

江苏电网非晶合金变压器综合评估

吴 鹏,陆云才,陈铭明,蔚 超,吴益明
(江苏省电力公司电力科学研究院,江苏 南京 211103)

摘 要:根据江苏电网的应用情况及非晶合金变压器的技术特点,对非晶合金变压器从安全性能、经济性能和环境影响 3 个方面与常规 S11、S13 及 S15 型等多种型号常规变压器进行了全面对比分析。在安全性能方面,非晶合金变压器的过负荷能力和过励磁能力不足;在经济性能方面,非晶合金变压器空载损耗低、运行效率高,节能效果明显;在环境影响方面,非晶合金变压器噪声比常规变压器大,需厂家降低其噪声水平。根据综合评估结果给出了非晶合金变压器选用的建议。

关键词:非晶合金变压器;综合评估;过负荷能力;过励磁能力;低损耗

中图分类号:TM411

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2013)03-0001-05

20 世纪 80 年代,美国通用电气公司(GE)、美国电力研究院(EPRI)和帝国电力研究公司(ES-EERCO)联合研制了非晶合金变压器(AMT)。我国于“七·五”中期开始非晶合金变压器的研制工作,1995 年挂网试运行。2011 年 8 月,为响应国家节能减排号召,切实降低配网损耗,国家电网公司推广采用节能型变压器,推广应用 S13 以上型号节能型变压器(不低于 25%),农村和纯居民供电配电变压器优先采用调容变压器(不低于 10%)和非晶合金变压器(不低于 15%)。非晶合金变压器以其显著的节能效果成为配网节能减排改造和建设的主力之一^[1,2]。江苏电网内首台非晶合金变压器于 2000 年投运,截至 2012 年 7 月,江苏省电力公司所属 10 kV 非晶合金变压器共 78 699 台,占配电变压器总台数的 12.7%;油浸式变压器占非晶变总量的 99.5%,型号以 SBH11,SBH15,SBH16 型为主,其中 SBH15,SBH16 型变压器占非晶变总量的 65%。为对非晶合金变压器的选用提供参考,从经济性能、安全性能、环境影响方面等对非晶合金变压器进行综合评估。

1 非晶合金变压器技术特点

用于变压器铁心材料的非晶合金主要以铁、镍、钴等金属为合金基,并加入少量的硼、硅等元素所制成的合金,具有良好的铁磁性。非晶态合金薄带的制造工艺与传统的硅钢片制造工艺有很大不同,硅钢片的制造过程需经过炼、轧等多道工序;而非晶合金材料是以非常快的速度由液体冷却凝固成 0.027 mm 左右厚的合金薄带,此工艺比常规硅钢片成材工艺节省了 6~8 道工序,节省能耗 80% 左右。另外,晶粒取向的硅钢片成材率低,仅 40%~50% 左右,而非晶合金成材率可达 90%。非晶合金薄带材具有优异的软磁性能、硬度高、耐蚀性能好等特点。但因受喷出冷却成

型的工艺所限,带材宽度仅为 213 mm,所以目前还不能制造高电压、大容量变压器铁心^[3]。非金属与硅钢性能比较^[4]如表 1 和图 1 所示。

表 1 非晶合金与硅钢主要物理性能比较

物理性能	非晶合金	冷轧硅钢
饱和磁感应强度 /T	1.54	2.03
矫顽力 $I/(A \cdot m^{-1})$	< 4	> 30
50 Hz 下单位铁损 $/(W \cdot kg^{-1})$	0.18	1.2
电阻率 $/(μΩ \cdot cm)$	140	50
密度 $/(g \cdot cm^{-3})$	7.18	7.65
硬度 $/(hg \cdot cm^{-2})$	860	170
饱和磁致伸缩系数 $\times 10^{-6}$	30	10
最大导磁率	> 200 000	> 10 000
厚度 /mm	0.027 左右	0.3

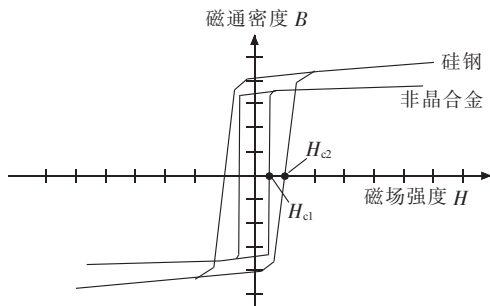


图 1 非晶合金与硅钢片磁滞曲线比较

非晶合金变压器主要特点有^[5,6]:(1) 非晶合金没有晶格和晶界存在,因此,其磁化功率小,并具有良好的温度稳定性;(2) 非晶合金带材的厚度为 0.02~0.03 mm,是硅钢片的 1/10 左右,电阻率是冷轧硅钢片的 3 倍左右,因此,其涡流损耗很小;(3) 非晶合金的硬度是硅钢片的 5 倍,加工剪切比较困难;(4) 非晶合金对机械应力非常敏感,无论是拉应力还是弯曲应力都会影响其磁性能,在变压器结构设计时需采取特殊的紧固措施,以减少铁心受力,应避免采用以铁心作为主支撑承重的结构设计方案;(5) 非晶合金的磁致伸缩度比硅钢片高 10% 以上,因此不宜过度夹紧,这将直接增加

变压器的噪声;(6) 非晶合金的矫顽力小于 4 A/m , 是冷轧硅钢片的 $1/7$ 左右, 其磁滞回线所包络的面积远远小于冷轧硅钢片, 因此非晶合金的磁滞损耗比冷轧硅钢片的也小很多。

可见, 采用非晶合金取代硅钢片制造变压器虽工艺略复杂, 但可使空载损耗和空载电流大幅下降^[7-10], 非晶合金变压器 SBH15, SHB16 系统空载损耗与传统 S9, S11, S13 配变比较如表 2 所示。

表 2 非晶系列变压器与传统型配变空载损耗

变压器容量 /(kV·A)	空载损耗 /W				
	S9 型	S11 型	S13 型	SBH15 型	SBH16 型
100	290	200	145	75	58
125	340	240	170	85	68
160	400	280	200	100	78
200	480	340	240	120	90
250	560	400	280	140	110
315	670	480	335	170	130
400	800	570	400	200	160
500	960	680	480	240	190
630	1 200	810	600	320	230
800	1 400	980	700	350	280
1 000	1 700	1 150	850	450	330
1 250	1 950	1 360	975	530	390
1 600	2 400	1 640	1 200	630	470

通过对江苏电网内非晶合金变压器和传统变压器进行抽检试验, SBH15-200 kV·A 非晶合金配变空载损耗平均值为 110.7 W , 相同容量的 S11 型常规配变空载损耗平均值为 332.5 W , SBH15-200 型非晶合金配变空载损耗比 S11-200 型常规配变要低 66.7% , 负载损耗接近; SBH15-400 kV·A 非晶合金配变空载损耗平均值 177.5 W , 相同容量的 S11 型常规配变空载损耗平均值为 576 W , SBH15-400 型非晶合金配变空载损耗比同容量 S11-400 型常规配变要低 69.2% , 负载损耗接近。以上实验室测试结果验证了非晶合金低空载损耗特性。

2 非晶合金变压器综合评估

2.1 安全性能评估

2.1.1 过载能力

变压器过载能力与线圈的导线电流密度选取、绝缘材料耐热和有效散热面积等因素有关, 与铁心材料没有直接联系。当油浸式变压器的绝缘材料选用耐热等级高的, 则过载能力也会增强, 例如高压线圈导线采用漆包线, 过载能力将高于选用纸包线的变压器。

变压器挂网运行后, 负载率是一个动态参数, 随时变化的, 当负载率超过 100% 时, 变压器处于过负载状态。油浸式变压器的过负载能力应符合 GB/T1094.7,

非晶合金变压器同样需满足上述标准, 起始负荷 80% , 环境温度 40°C 下, 过负荷电流倍数为 1.5 时可持续运行 2 h , 其热点温度不超过 140°C 。另外, 部分变压器厂家保证其非晶合金变压器可在 120% 负载下长期安全运行。

以上均是理论计算或分析, 因非晶合金变压器实际过负载时间与环境温度、初始负载率、过负载要求、铁心及绕组内部真实热点温升限制等因素有关。目前国内并无厂家做过相关过载试验研究, 特别是非晶合金变压器内部温升实测。当用户有特殊过载要求时, 制造企业仅从设计角度保证其过载满足要求。

非晶合金变压器由于采用全密封结构, 漏磁损耗、涡流损耗导致的热点温升问题较为显著, 同时厂家对自己产品的实际过负荷能力不够了解。很多负荷特性变化较大的地区(如农忙或抗旱期间, 农网负荷骤增, 及夏天持续高温, 城市空调负荷猛增), 易出现变压器长时过载的现象, 容易造成非晶合金变压器损坏。在前期投运的非晶合金变压器中有少量出现烧损现象, 经总结分析发现设备过负荷能力不强, 短时超载变压器就有可能烧损(经统计 2006 年至 2007 年, 非晶合金变压器故障以过负荷损坏居多, 全省共有 12 台非晶变发生过负荷损坏故障)。随后, 江苏电网采取了一系列措施, 加强了对此类设备的运行管理工作, 适当控制非晶合金变压器的使用范围, 并严格控制负荷水平, 对负荷超过 80% 的非晶变, 及时进行增容改造, 确保不发生因过负荷烧毁变压器, 目前总体运行状况良好。非晶合金变压器近 3 年故障率分别为 0.24% , 0.27% , 0.22% , 与常规变压器近 3 年故障率 0.24% , 0.25% , 0.21% 接近, 充分反映了采取一系列措施后, 非晶合金变压器故障率得到了有效控制。

由于变压器过载多数只是属于短期(每年 $4\sim 5 \text{ d}$)、短时(每天 $1\sim 2 \text{ h}$)现象, 为避免短时过载, 非晶合金变压器必须在负荷接近时立即进行增容改造。江苏目前重载的配电变压器(最高负荷超 80%)有 8 万台, 如果大量应用非晶合金设备, 安全运行压力较大。

综合以上因素, 需从不同角度深入研究非晶合金铁心变压器的运行, 包括使用寿命的加速老化、现场运行及空载特性稳定性试验、热点温升及过负荷能力等, 提高非晶合金变压器安全运行的可靠性。

2.1.2 过励磁能力

过励磁是指变压器铁心工作磁密超过铁心的饱和磁感应强, 原因有多种: 电磁计算时铁心的工作磁密取值偏高、变压器运行时电网出现过电压等。无论非晶合金变压器还是传统硅钢变压器, 原则上都不允许长时间过电压运行。因此, 非晶合金变压器在电磁计算时工作磁密取值在 $1.25\sim 1.35 \text{ T}$, 与非晶合金带材的饱和磁

感应强度 1.55 T 比,理论上留有足够的裕度。

然而部分运行情况显示,非晶合金变压器在电网存在过电压时,空负载损耗急剧增加,铁心会产生不可逆的形变,长期运行后造成使用寿命降低及产生的噪声变大。此类问题在农网无功补偿不足导致电压波动和闪变地区较为严重,非晶合金过励磁能力还有待进一步深入研究分析。

2.2 经济性能评估

2.2.1 节能效果

变压器的有功损耗是由空载损耗和负载损耗组成,一般国家标准或企业标准上所标注的变压器的负载损耗保证值是指当变压器流通额定电流时所汲取的有功功率,但是变压器在实行运行时,线圈上流通电流并不是一成不变的,是根据实际情况有波动的,即形成负载波峰或波谷等情况,因此评估变压器有功损耗需考虑实际负载率。

空载损耗不会随年平均负载率变化而变化,对某台变压器运行在额定电压情况下是一个恒定值;实际负载损耗是随着年平均负载率变化而变化;在低年平均负载率情况下,由于 SBH15 型非晶配变具有超低空载损耗的优点,从而其总损耗远低于 S11 型硅钢配变。现将年平均负载率 30%,50%,60% 情况下 SBH15 和 S11 的实际负载损耗、有功损耗比较如表 3 所示。

表 3 500 kV·A 额定容量 SBH15 和 S11 低负载率下损耗比较

低负荷下损耗	S11	SBH15
P_0/W	680	240
P_k/W	5 150	5 150
P'_k/W	464	464
$\beta=30\%$ P_z/W	1 144	704
P_z 降低幅度 / %		38.5
P'_k/W	1 288	1 288
$\beta=50\%$ P_z/W	1 968	1 528
P_z 降低幅度 / %		22.4
P'_k/W	1 854	1 854
$\beta=60\%$ P_z/W	2 534	2 094
P_z 降低幅度 / %		17.4

表中: β 为负载率; P_0 为空载损耗; P_k 为额定负载损耗; P'_k 为实际负载损耗; P_z 为有功损耗。

从表 2 中可以看出,当年平均负载率为 30% 时,S11 型硅钢配变的有功损耗是 SBH15 型非晶配变的 1.6 倍还多,当年平均负载率为 50% 时,SBH15 型非晶配变的有功损耗比 S11 型硅钢配变降低 22.4%,所以在低负载率的情况下,通过非晶合金变压器降低空载损耗,从而大幅度降低变压器的总损耗。

2.2.2 运行效率高

500 kV·A 容量 SBH15,SBH16 非晶配变及 S9,

S11 型硅钢配变 4 种产品在负载率从 0 到 150% 范围内的运行效率如图 2 所示。

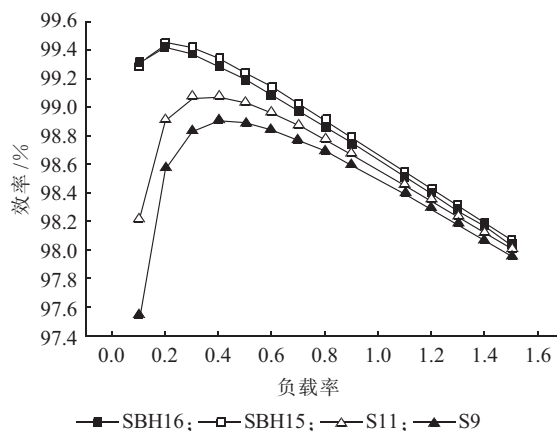


图 2 500 kV·A 变压器运行效率与负载率曲线

从图 2 可以看出,在负载率从 0 到 150% 范围内,SBH15,SBH16 型非晶配变的效率均高于 S9,S11 型硅钢变压器,在负载率低的区域,更能体现非晶配变的高效率的优势。与 S13 立体卷铁心硅钢配变相比,也是同样的情况。

2.2.3 降低电网线损

截至 2007 年底,国家电网公司农电系统综合线损率为 7.06%,10 kV 线损率为 4.90%,农网 10 kV 配变中 S7 及以前型号高耗能变压器比例约为 30%。据统计,农网平均用电负载率在 25% 左右,部分欠发达地区甚至在 10% 左右,配电变压器的空载损耗成为电能损耗主要部分。我国配电网损耗情况与欧洲相比^[11],还存在很大差距,具体如表 4 所示。

表 4 配电网损耗情况对比

配电网损耗 / %	欧洲	中国
配电网损耗 / 全网损耗		70
变压器损耗 / 全网损耗	33	65
配变损耗 / 配电网损耗	40	30~70
配变空载损耗 / 配变损耗		50~80

由表 4 可以看出,我国配电网损耗占全网损耗的 70%,成为整个电网损耗的主要部分。配电变压器损耗占配电网损耗的 30%~70%,成为配电网损耗的主要部分。配电变压器空载损耗又占配电变压器总损耗的 50%~80%,可见降低配电变压器空载损耗,是降低配电网损耗的重要途径之一。江苏部分供电公司采用非晶配变后线损均有不同幅度的降低,降低幅度最大高达 25%。

2.2.4 初购置成本较高但全寿命周期成本较低

2007 年之前,非晶合金变压器设备成本相对较高,价格约是同等级 S11 配变的 1.5 倍,其主要原因是非晶合金铁心加工困难,工艺复杂,在一定程度上增加

了工程建设成本。随着国家节能降耗和低碳经济政策的进一步推进,非晶合金变压器需求不断增长,非晶合金变压器市场的进入者增多,市场竞争加剧,非晶合金变压器的招标价格下行,近年来价格已降至同等级 S11 配变的 1.3 倍左右。由于其节能效果显著,运营成本较低,所以其综合成本较传统变压器低。

非晶合金变压器主要的节能优势还是体现在空载或者平均负荷率低于 50% 运行状态。目前江苏运行的变压器基本没有长期空载运行的,轻载状态的也很少,节能特性体现不明显,靠节能特性收回投资成本的周期较长,运行中为避免长时过载,非晶合金变压器必须在负荷接近时立即进行增容改造,考虑全省负荷随经济增长趋势,非晶合金变压器平均运行 10 年到 15 年即需要增容改造或故障更换,很多地区非晶合金变压器无法持续运行到总体节约成本的运行年限,因此目前节约成效并不明显。

2.3 环境影响评估

影响非晶合金变压器噪音的因素主要有非晶铁心材料的磁致伸缩系数、非晶铁心技术参数、器身装配工艺、模具、装备等因素。与器身结构也有一定关系,例如非晶铁心的结构和重量、夹件结构、器身固定的方式等。铁心片的磁滞伸缩现象是产生变压器噪声的主要原因,这与铁心的尺寸和磁通密度存在密切关系。在同一磁通密度下的磁滞伸缩程度,非晶合金的这一指标比传统晶粒取向冷轧硅钢片高约 10%。但是,冷轧硅钢片的饱和磁通密度较高,约为 2.03 T,而非晶合金的饱和磁通密度较低,约为 1.5 T。因为非晶合金铁心变压器的额定工作磁通密度(1.25~1.35 T)要比冷轧硅钢片铁心变压器的额定工作磁通密度(1.63~1.73 T)要低得多,所以二者实际的磁滞伸缩是接近的。但是,非晶合金铁心变压器与同规格传统铁心的变压器相比,铁心质量大 40% 左右,有效截面积大 50% 以上,这在一定程度上会使变压器噪声增大。

铁心结构也间接影响变压器噪声,通过改进铁心结构,有效降低磁通密度,控制不对称谐波影响。目前国内大多数非晶合金生产厂家采用 4 个框合并成类似三相五柱式有交错铁轭接缝的结构,此结构性能稳定可靠,但存在磁通分布不对称现象,部分厂家在经过磁通密度改进工艺之后,有效降低了变压器噪音 5~10 dB。同时有厂家研究出三相三柱结构的立式非晶合金变压器,在磁通密度控制上更加稳定,性能更佳。

如果不能有效掌握非晶铁心的处理工艺,非晶合金变压器的噪音明显高于硅钢变压器。如何选取合理的热处理工艺,也直接影响非晶合金变压器的噪音水平。目前某些企业掌握了该工艺,再加上其他降噪措施,如在非晶合金变压器外壳加设防音壁或振动传播

性能甚小的遮音钢板,在铁心搭接部位使用多层绝缘吸音胶,在框式夹件与铁心的接触面上用多层高密度创新吸音材料,使非晶合金铁心很好地固定,且富有弹性,也能有效地控制非晶合金的噪音。采取这些降噪措施,容量为 500 kV·A 的非晶合金变压器的噪音可控制在 45 dB 以内,但大多数企业并不能在设计、工艺、制造、使用过程中真正控制变压器的噪声水平,行业标准^[12]中也未明确规定非晶合金变压器的声级限值,仅提出非晶合金铁心变压器的声级限值由制造单位与用户协商确定。目前江苏入网非晶合金变压器技术规范中一般规定非晶合金变压器噪音(2 m)不超过 55 dB。在实验室对同容量非晶合金配变与常规 S11 配变可听噪声进行测试,结果如表 5 所示。

表 5 同容量非晶合金配变与常规 S11 配变空载噪声对比 dB

类型	型号	30 cm 处噪声	2 m 处噪声	背景噪声
非晶变	SBH15	51.4	48.3	44.3
常规变	S11	48.5	46.6	44.2
噪声差		2.9	1.7	0.1

实验环境:温度为 29℃;湿度为 74%。

实验室声级测量显示,非晶合金变压器空载运行时,噪音比普通油浸式变压器略高 2~3 dB,当负荷电流达到额定电流的 70% 时,噪音明显增大,相对同容量、同规格的普通油浸式配电变压器高出 5~8 dB。负荷越大,铁心振动幅值越大,变压器的噪声与变压器的振动状况基本保持一致。目前江苏省各市公司已接到多起非晶合金变压器噪音投诉,解决效果不是很理想。为避免此类问题,一般在居住密集地区内不建议使用非晶合金变压器。

3 建议

3.1 因地制宜选用

由于非晶合金变压器存在过负荷能力不强、噪音水平高等问题,选用时应因地制宜。

(1) 对于配网建设资金紧缺的地区,原则上不推荐使用非晶合金变压器;

(2) 在负荷增长较快的区域(如城乡结合部)、高峰时配变负荷率超过 70% 的区域以及负荷特性变化较大的地区,原则上不推荐使用非晶合金变压器;

(3) 在负荷率偏低,对噪音要求不高,不会出现重载、超载的发展稳定的区域,可适当选用非晶合金变压器,突出降损效果;

(4) 在年均负载率小于 30% 的情况下,可以采用非晶合金变压器(亦可选用低容量的常规变压器节约成本);

(5) 局部地区为满足节能减排要求,可选用 S13

新型卷铁心结构节能变压器。

3.2 有效降低造价

建议生产厂商逐步提高生产能力和生产效率,在确保生产质量的前提下,有效降低设备成本,控制设备造价,为进一步推广应用提供支持。

3.3 改善产品性能

建议生产厂商对变压器负载能力不强、噪音较大问题进行专题研究,不断改进生产制造工艺,改善产品的性能,提高过负荷能力及抗突发短路能力,降低噪音。建议采购协议中增加对非晶合金变压器过负荷能力考核的要求。

3.4 加强运维管理

建立非晶变专项记录,含出厂、投运、使用三方面;针对低载时内部故障情况,组织专项开箱检查,查明故障性质及原因,避免因运输、安装过程中导致非晶合金变压器损坏。

3.5 增加关键点见证,提高入网抽检率

非晶合金变压器对非晶带材的质量要求非常高,涉及铁心冲剪、叠装、固定成型、磁场热处理、冷却、涂胶、铁心紧固等众多生产环节,需对生产制造的多个环节加强关键点见证,着重考察制造厂生产管理、工艺流程,尤其是铁心紧固措施。对涉及变压器运行的关键参数损耗性能及噪声水平,加强抽检,提高入网抽检率。

4 结束语

非晶合金变压器因其低空载损耗特性是配变发展的方向,从安全性能、经济性能、环保影响等三方面对其进行综合评估;安全性能方面存在过载能力差、过励磁能力差的现状,需要厂家改进设计,减小非晶变温升,将工作磁密设计在合理范围内;经济性能方面能够节省能源、提高配变的运行效率、降低电网线损;环境影响方面其可听噪声比传统配变稍大,需要生产非晶变压器的厂家扎实掌握非晶变铁心的处理工艺,加强

入网抽检力度。

参考文献:

- [1] 刘道生.我国非晶合金变压器技术调研分析报告[J].电气制造, 2012(2):30-35.
- [2] 侯忠平,陈开全,胡晶金.非晶合金变压器与硅钢片贴片变压器运行参数比较[J].机电工程技术,2012,41(2):72-74.
- [3] 刘 盾.非晶合金变压器的运行成效分析[J].农村电工,2012(5):27.
- [4] 薛金喜.非晶合金变压器的设计、应用效果及前景分析[J].中国电力教育,2012(3):150-151.
- [5] 盛万兴,王金丽.非晶合金铁心配电变压器应用技术[M].北京:中国电力出版社,2009.
- [6] 郑国培,刘 忠,陈 星,等. SH15 型非晶合金铁心配电变压器的技术经济分析[J]. 变压器,2005,42(6):1-5.
- [7] 陈建荣,游仲东. SH15 型非晶合金油浸式变压器的技术与工艺特点分析[J].机电工程技术,2009,38(6):129-130.
- [8] 冯文胜.非晶合金变压器的发展前景[J].广东电力,2001, 14(3):8-11.
- [9] 茅建华.非晶合金变压器节能经济效益分析.上海电力学院学报,2005,21(2):177-180.
- [10] 郑国华.非晶合金变压器节能性分析[J].电力需求侧管理, 2009,11(6):44-46.
- [11] 周贤土.非晶合金材料变压器[J].变压器,1996(10):15-18.
- [12] JB/T10088—2004,6~500 kV 级电力变压器声级[S].

作者简介:

吴 鹏(1983),男,河南西平人,工程师,从事线圈类电力设备状态评估研究工作;

陆云才(1982),男,江苏南通人,工程师,从事线圈类电力设备状态评估研究工作;

陈铭明(1986),男,江苏南通人,硕士,从事电能计量技术管理与电能质量研究工作;

蔚 超(1984),男,山东莱芜人,硕士,从事线圈类电力设备状态评估研究工作;

吴益明(1964),男,江苏镇江人,高级工程师,从事高电压技术和变压器类设备的研究工作。

Comprehensive Evaluation of Amorphous Alloy Transformer on Jiangsu Power System

WU Peng, LU Yun-cai, CHEN Ming-ming, WEI Chao, WU Yi-ming

(Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: According to the technical characteristics of amorphous alloy transformer and the application of Jiangsu power, the comprehensive evaluation about amorphous alloy transformer from the safety performance, the economic performance and the environmental impact are studied comparing with S11 type, S13 type and S15 type transformer. In the safety performance, overload capacity and over-excitation ability of amorphous alloy transformer is insufficient; in the economic performance, low no-load loss, high efficiency, energy saving effect of amorphous alloy transformer is obvious; in terms of environmental impact, the audible noise level of amorphous alloy transformer was higher than that of conventional transformer, manufacturers need to study to reduce the noise level. Finally, the application recommends of amorphous alloy transformer is presented based on comprehensive evaluation.

Key words: amorphous alloy transformer; comprehensive evaluation; overload capacity; over-excitation ability; low loss

基于改进天气发生器模型的风速与日照强度组合预测方法研究

霍雨翀, 范子恺

(东南大学电气工程学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 为了满足含有风光互补发电系统的配电网随机生产模拟的要求和提高仿真模拟的精度, 对中国天气发生器模型进行了适当的改进, 并提出一种基于改进天气发生器模型的风速与日照强度组合预测模型。该模型利用历史气象资料, 提取一个地区风速、太阳光照强度等天气要素的一般特征, 并根据这些统计特征生成该地区目标时间段内每 1 h 的天气预测数据。仿真结果表明, 该模型预测精度较高, 具有一定的工程应用参考价值。

关键词: 天气发生器; 风速; 日照强度; 组合预测; 风光联合发电

中图分类号: TM61

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2013)03-0006-04

随着风力发电与太阳能发电在电力系统中的广泛应用, 人们越来越关心风光互补发电的运行规律。科学的预测风速与太阳光照强度可以为探究风电、光电的运行特性, 进而为寻找风光互补的经济运行方法提供极大的便利。天气发生器是研究一个地区风速、太阳光照强度等天气要素的一般特征, 并根据这些统计特征生成该地区一年内逐日天气预测数据的随机模型^[1]。天气发生器自问世以来, 已广泛应用于农业、经济等领域。文献[1]利用中国最新的尽可能长的逐日气候资料对我国各地的风速、太阳光照强度等非降水变量的模拟进行了全局性的研究, 并开发出适用于我国情况的中国天气发生器, 实验证实该模型在我国气候特征的条件预测精度较高。文中对传统的中国天气发生器模型加以改进, 使其能够满足含有风光互补发电系统的配电网随机生产模拟的要求。并通过实际数据, 将改进天气发生器与传统中国天气发生器、时间序列预测法等方法比较, 验证了改进天气发生器模型对风速、太阳光照强度预测的精度较高。

1 对中国天气发生器模型的改进

中国天气发生器能够预测的气候要素主要有降水、最高气温、最低气温、平均风速、日照时数(或太阳辐射度)等, 其中以降水的模拟为关键。最高气温、平均风速以及日照时数等非降水量的预测以降水的变化特征为条件。最高气温、平均风速、日照时数等非降水量的预测一般来说都分干、湿 2 种状态进行^[1,2]。

出于风光互补系统的随机生产模拟的要求, 文中只模拟其中的平均风速、太阳辐射度 2 个变量。在预测出某一天是干日还是湿日后, 这 2 个变量都可以用下面的这个公式及进行模拟^[2]:

$$V_{p,i}(j) = M_i(j) + x_{p,i}(j) \times SD_i(j) \quad (1)$$

式中: $i=1, 2, 3, \dots, 365$, $j=1, 2$ 分别为平均风速和日照

时间; $V_{p,i}(j)$ 为第 p 年第 i 日变量 j 的预测值; $M_i(j)$, $SD_i(j)$ 分别为第 i 日变量 j 的平均值和标准差; $x_{p,i}(j)$ 为第 p 年第 i 日变量 j 的标准化残差。为了能够满足含有风光互补发电系统的配电网随机生产模拟的要求, 相对于原始的模型, 主要对傅里叶级数拟合进行了改进。原始天气发生器的处理方法为将 1 年划分为 12 或 13 个时段, 分干、湿 2 种状态对历史序列用矩形求和法进行傅里叶级数拟合^[1,2]。矩形求和法的特点在于当样本序列中样本点较少时, 采用零次多项式插值补充样本点。其缺陷主要在于用矩形求和法处理时抹平了部分时间序列变化的信息, 因而精度相对较低。

改进后的模型以 1 个月为 1 个时间段, 先对样本序列用 3 次样条插值适当补充一些样本点, 再进行傅里叶级数拟合, 这样能保留大部分时间序列变化的信息, 从而提高算法预测精度。原始天气发生器模型只能得到以日为单位变量的预测值, 参照文献[3]中对风光互补发电系统随机生产模拟的要求, 需要得到每小时的平均风速, 为此文中采用典型日方法^[4]加以修正。

需要说明的是, 原始天气发生器以日照时间而非太阳辐射度为预测变量。日照时间越长, 地面所获得的太阳辐射量就可能越多。文中也选取日照时间为模拟变量, 再由日照时间确定每 1 h 太阳辐射度的预测值。

2 基于改进后天气发生器的平均风速与日照时间组合预测算法

2.1 日平均风速与日照时数的预测

基于改进后天气发生器的平均风速与日照时间的组合预测算法主要步骤如下。

2.1.1 确定干、湿日

假定日降水量大于或等于 0.1 mm 为湿日, 用符号 W 表示, 干日用 D 表示。设 $P(W/W)$ 代表在前 1 日为湿日的条件下本日持续为 1 个湿日的条件概率, $P(W/D)$ 代表在前 1 日为干日的条件下本日转移为湿日的条件

概率,那么可以有下式^[2]:

$$\begin{cases} P(D/W) = 1 - P(W/W) \\ P(D/D) = 1 - P(W/D) \end{cases} \quad (2)$$

式中: $P(D/W)$ 和 $P(D/D)$ 分别为前日为湿日的条件下现转移为干日的条件概率和前1日为干日本日仍持续为干日的条件概率。根据条件概率公式可求得:

$$\begin{cases} P(W/D) = 1 - P(DD)/P(D) \\ P(W/W) = P(WW)/P(W) \end{cases} \quad (3)$$

式中: $P(D)$ 、 $P(W)$ 分别为样本序列中干湿日出现的频率; $P(DD)$ 和 $P(WW)$ 分别为持续出现2个干日和湿日的频率。当已有的资料中缺少或干-湿日转移概率难以确定时,研究表明在环境条件变化不大的情况下, $P(W/W)$ 和 $P(W/D)$ 与多年月平均降水日数两者之间具有良好的相关关系,用下面的表达式即有^[2]:

$$\begin{cases} P(W/D) = \beta P_w \\ P(W/W) = 1 - \beta + P(W/D) \end{cases} \quad (4)$$

式中: P_w 为某一给定月份湿日出现的频率; β 为一常数,取值范围在0.6~0.9,文中取为0.75。将上述得到的干-湿日转移概率和计算机产生的[0,1]之间的随机数比较,确定该日是否为干日或者是湿日。

2.1.2 傅里叶级数拟合

日平均风速和日照时数的历史统计数据在1年中各个时段每1天的日平均值和日标准差序列可以用傅里叶级数拟合的方法,分干、湿2种状态分别对其以日期为自变量进行傅里叶级数拟合(根据文献[1]只保留6个谐波分量)。

例如干日和湿日各变量在1年中每个月的平均值 $M_i^0(j)$ 、 $M_i^1(j)$,都可以分别拟合如下:

$$\begin{cases} M_i^0(j) = M^0(j) + \sum_{k=1}^6 C_k^0(j) \times \cos(k\omega \times i) + S_k^0(j) \times \sin(k\omega \times i) \\ M_i^1(j) = M^1(j) + \sum_{k=1}^6 C_k^1(j) \times \cos(k\omega \times i) + S_k^1(j) \times \sin(k\omega \times i) \end{cases} \quad (5)$$

式中: k 为谐波的波数; $M^0(j)$ 、 $C_k^0(j)$ 、 $S_k^0(j)$ 和 $M^1(j)$ 、 $C_k^1(j)$ 、 $S_k^1(j)$ 分别为干日或湿日时变量 j 的傅里叶级数拟合的系数; ω 为傅里叶级数拟合时生成的参数(角频率)。把1年分为12个时间段,即1个月为1个时间段。那么, i 就表示在1个月中的第几天。如果研究的对象是标准差,那么方法与平均值的相同。若要得到1个月中第 x 天的平均风速或日照时间的平均值或标准差,只要根据该日的干湿情况,找到该月对应物理量的表达式,用 x 代替 i 求出表达式结果即可。

对历史序列的傅里叶级数拟合精度在很大程度上取决于拟合时间段内样本数量的多少。由于本模型以1个月为1个时间段,实践验证表明,当1个月中的样

本点数量少于15个时,拟合的精度会受到影响。如前所述,文中的处理方法为先对样本序列用3次样条插值适当补充一些样本点,再进行傅里叶级数拟合。

2.1.3 平稳过程转换

确定残差。可以通过对多变量的平稳过程的模拟实现^[1]。由于平均风速和日照时数具有周期性的季节变化,因此必须对这2个变量的实际天气数据进行标准化处理:

$$R_{p,i}(j) = \frac{X_{p,i}(j) - M_i^0(j)}{\sigma_i^0(j)} \quad (\text{当第 } i \text{ 日为干日}) \quad (6)$$

$$R_{p,i}(j) = \frac{X_{p,i}(j) - M_i^1(j)}{\sigma_i^1(j)} \quad (\text{当第 } i \text{ 日为湿日}) \quad (7)$$

式中: $R_{p,i}(j)$ 为变量 j 在第 p 年第 i 日的实测残差; $\sigma_i^0(j)$ 、 $\sigma_i^1(j)$ 分别为第 i 日为干日或湿日时变量 j 的标准差; $X_{p,i}(j)$ 为变量 j 在第 p 年第 i 日的实测值。

2.1.4 构建相关矩阵

通过上述变换后得到的2个变量的残差序列都是均值为0,标准差为1的平稳序列。这些序列不仅本身之间存在自相关,两者之间还存在互相关。通过2个变量的残差序列,计算它们之间的自相关系数和互相关系数,从而构建后延0天的相关矩阵 M_0 和后延1天的相关矩阵 M_1 :

$$\begin{cases} M_0 = \begin{bmatrix} \rho_0(1,1) & \rho_0(1,2) \\ \rho_0(2,1) & \rho_0(2,2) \end{bmatrix} \\ M_1 = \begin{bmatrix} \rho_1(1,1) & \rho_1(1,2) \\ \rho_1(2,1) & \rho_1(2,2) \end{bmatrix} \end{cases} \quad (8)$$

式中: $\rho_0(j,k)$ 为变量 j 与同1日变量 k 之间的互相关系数; $\rho_1(j,k)$ 为变量 j 与前1日变量 k 之间的互相关系数。由于同1日2个不同变量之间的相关系数 $\rho_0(j,k) = \rho_0(k,j)$,同1变量之间的相关系数 $\rho_0(j,j) = 1$,所以相关矩阵 M_0 是一个对称矩阵。且可以简化为:

$$M_0 = \begin{bmatrix} 1 & \rho_0(1,2) \\ \rho_0(2,1) & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

相关矩阵的引入体现了平均风速和太阳辐射度之间的交叉影响,起到风速与日照强度组合预测的功能。

2.1.5 残差模拟模型

2个变量的逐日残差可以用Matalas(1967)给出的一个多变量平稳过程^[1]的产生公式来模拟:

$$\begin{bmatrix} x_{p,i}(1) \\ x_{p,i}(2) \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x_{p,i-1}(1) \\ x_{p,i-1}(2) \end{bmatrix} + B \begin{bmatrix} \varepsilon_{p,i}(1) \\ \varepsilon_{p,i}(2) \end{bmatrix} \quad (10)$$

式中: $x_{p,i}(j)$ 、 $x_{p,i-1}(j)$ 分别为变量 j 在第 p 年第 i 日与第 $i-1$ 日的残差模拟值; $\varepsilon_{p,i}(j)$ 为服从标准正态分布的随机数; A 、 B 为利用前面求得的相关系数矩阵 M_0 ,

M_1 定义的 2 个 2×2 矩阵, 它们的计算公式如下^[1]:

$$\begin{cases} A = M_1 M_0^{-1} \\ BB^T = M_0 - M_1 M_0^{-1} M_1^T \end{cases} \quad (11)$$

2.1.6 整体合成

至此, 即可根据某一天的干湿抽样情况, 用式(4)得到当天的平均风速的平均值及标准差, 再根据式(1)合成得到该天的平均风速 V_{avg} 。

每天的干、湿状态下的日照时间 T_{avg} 也可用类似平均风速的方法得到。

2.2 每小时平均风速的预测

对于每小时的平均风速, 可以先选取每个月的干、湿典型日, 根据该日是干日还是湿日用相应典型日每小时的平均风速与典型日全天平均风速的比值乘以 V_{avg} 即可。

2.3 每小时太阳辐照度的预测

可按下列步骤将预测得到的日照时间转换为每小时的太阳辐照度的预测值。

2.3.1 确定太阳常数

大气层外的太阳辐射主要取决于地球和太阳之间的距离, 一般忽略太阳本身的运动变化, 即使假设太阳表面的辐射功率不变。太阳常数是指在平均日地距离时, 地球大气层的上界垂直于太阳光线的平面上, 单位时间内在单位面积上所获得的太阳总辐射能的数值。

虽然大气层外太阳常数在 1 年之中随时间的变化而连续变化, 但是可以用各月份的平均值来计算到达大气层外表面的各月日照量, 也就是认为 1 个月中不变化。太阳常数 I_{sc} 可以参考文献[5]。

2.3.2 确定安装地点的太阳赤纬角

一般的, 太阳辐射能量是由低纬度向高纬度逐渐减弱的。安装地点决定了纬度 φ 的多少。据此可得到该地点的太阳赤纬角 δ , 可由 Cooper 方程近似计算:

$$\delta = 23.45 \sin \left[360 \times \frac{284 + n}{365} \right] \quad (12)$$

式中: n 为 1 年中的日期序号, 1 月 1 日为 0 号。

2.3.3 确定日照时间内每 1 h 的太阳高度

太阳高度角定义为入射光线与地平面的夹角。当太阳高度较低时, 光线穿过大气的路程较长, 从而能量衰减的就较多。又由于光线以较小的角度投射到地平面上, 所以到达地面的能量就会较少。否则, 就较多。由纬度公式可以进一步计算太阳高度角 α_s :

$$\alpha_s = \arcsin(\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega) \quad (13)$$

式中: ω 为时角, 地球每小时自转 15° , 正午 12 时为 0, 上午为负, 下午为正。

2.3.4 确定日照时间内每 1 h 的大气透明度

太阳光进入大气层后, 由于受到空气中水汽、尘埃

等的吸收以及散射的作用, 太阳辐射能通过大气层时会有一定的衰减。大气透明度 P 即用于表征这种衰减的程度。大气透明度高, 到达地面的太阳辐射能就多。

为了克服福布斯效应, 人们将大气质量为 m 的大气透明度订正到大气质量为 2 的大气透明度 P_2 , 而一天中的 P 值的变化取决于各小时的大气质量 m ^[5]:

$$m = \frac{1}{\sin \alpha_s} \quad (14)$$

根据安装地点年平均大气透明系数 P_2 , 再根据式(14)中所求得各小时的大气质量, 可以计算出各小时的大气透明度 P 。

2.3.5 根据辐照度公式求解

云层、太阳能阵列的安装角度、覆尘率、温度和天气的影响也会影响到太阳能电池板阵列的工作。

对于阵列的安装角度, 比较理想的方式是使阵列的朝向跟踪太阳, 始终使阵列表面与太阳入射光线相垂直, 但绝大多数是采用固定角朝向, 具体与地平面的夹角视情况而定。对于覆尘率, 假定组件表面始终保持清洁, 即覆尘率为 0, 不会影响系统的正常工作。对于温度, 假定它们对太阳能电池板的工作也无作用。

首先太阳辐射分为直接辐射和散射辐射, 直接辐射 I_n 的表达式为^[5]:

$$I_n = \gamma I_{\text{sc}} P \quad (15)$$

式中: γ 为日地距离的修正值, $\gamma = 1 + 0.034 \cos(\frac{2\pi n}{365})$ 。

太阳的散射辐射 I_d 指的是地球大气及云层反射和散射作用而改变了方向的太阳辐射, 在晴天时主要取决于太阳高度和大气透明度, 表达式如下^[5]:

$$I_d = \frac{1}{2} I_{\text{sc}} \frac{1-P}{1-1.4 \ln P_2} \sin \alpha_s \quad (16)$$

式中: I_{sc} 为太阳常数; P_2 为订正后的大气透明度。由于天空中云层的影响, 经过其他云状的吸收反射后, 太阳直接辐射 I_{n1} 和间接辐射 I_{d1} 分别为:

$$\begin{cases} I_{n1} = I_n \times \eta_1 \\ I_{d1} = I_d \times \eta_2 \end{cases} \quad (17)$$

式中: η_1 为直接辐射衰减度, 即直接辐射经各云状衰减后的百分比; η_2 为散射辐射衰减度, 即散射辐射经各云状衰减后的百分比。根据文献[5], η_1 与 η_2 的取值分干湿 2 种状态如 1 表所示。

表 1 干日与湿日的云层衰减度取值

名称	干日	湿日
η_1	1	0.281 8
η_2	2.416 7	2.916 7

设 S 为太阳能阵列倾斜面与水平面的夹角, 那么

到达阵列倾斜面上的太阳总辐射表达式如下:

$$I = I_{nl} \cos \alpha_s + I_{dl} \frac{1 + \cos S}{2} + (I_{nl} + I_{dl}) \left(\frac{1 - \cos S}{2} \right) \rho \quad (18)$$

式中: ρ 为地物表面的反射率, 在工程计算中一般取 0.2; I 为仿真时间内某 1 h 的太阳辐照度。根据事先确定的当天的日照时数, 可以确定该天日照时间内每个小时的太阳辐照度。

综上所述, 可以作出描述基于改进后天气发生器的每小时平均风速与每小时太阳辐照度的组合预测算法流程, 如图 1 所示。

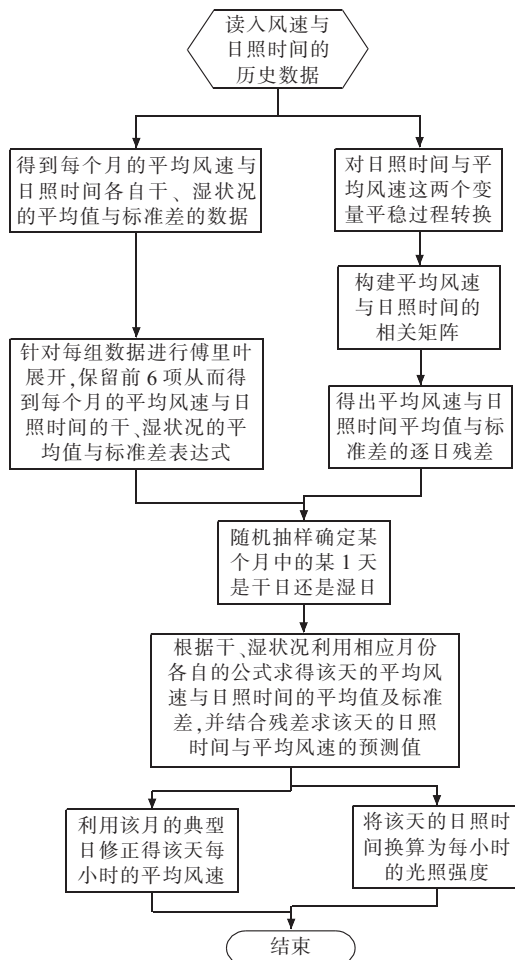


图 1 风光互补天气发生器模型流程

3 预测效果评估

为了评估基于改进后天气发生器的每小时平均风速与每小时太阳辐照度的组合预测算法的预测效果, 以文献[4]中的地区天气系统为例, 选择其 2 月份的小时平均风速与每日的日照时数进行算例分析。同时, 采用均方根误差 (E_{RMS}) 来比较预测值与实测值的偏差。 E_{RMS} 越小, 表明预测值偏离实际值越小, 模拟效果越好。均方根误差^[6]为:

$$E_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (19)$$

式中: $y_i, \hat{y}_i$ 分别为实测值和模拟值。对于文献[4]中的地区天气系统, 利用其历史数据预测最近一年 2 月份每小时的平均风速与每日的日照时数。实际测得 2 月份每小时的平均风速与逐日日照时数如图 2 所示。

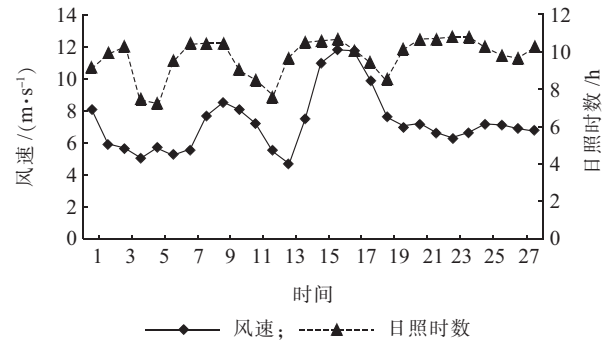


图 2 每小时平均风速与逐日日照时数曲线

表 2 给出了 3 种不同预测方法的预测效果。可见, 基于改进后天气发生器的每小时平均风速与每小时太阳辐照度的组合预测算法的效果优于传统中国天气发生器模型, 显著优于时间序列预测法。

表 2 不同预测方法的预测效果

预测方法	均方根误差 $E_{RMS}/\%$
基于改进后天气发生器模型	13.3
传统中国天气发生器模型	19.1
时间序列预测法	27.5

4 结束语

以满足含有风光互补发电系统的配电网随机生产模拟的要求和提高仿真模拟的精度为目的, 对中国天气发生器模型进行了改进。并在改进后的天气发生器的框架之下研究了风速与太阳辐照度的时间变化模型, 提出了基于改进后中国天气发生器的平均风速与日照强度的组合预测算法。通过算例对比, 可以发现基于改进后天气发生器原理的平均风速与日照强度组合预测模型能较好的保留历史数据中的信息, 从而取得较高的预测精度, 预测效果较为理想。这对于探究风电、光电的运行特性, 进而为寻找风光互补的经济运行方法具有极大的意义。

参考文献:

- [1] 廖要明, 刘绿柳, 陈德亮, 等. 中国天气发生器模拟非降水变量的效果评估[J]. 气象学报, 2011, 69(2): 310-319.
- [2] 陈明昌, 张强, 杨晋玲, 等. 降水、温度和日照时数的随机生成模型和验证[J]. 干旱地区农业研究, 1994, 12(2): 17-26.
- [3] 陈赞. 风力发电和光伏发电并网问题研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [4] 刘波, 郭家宝, 袁智强, 等. 风光互补发电系统特性研究[J]. 华东电力, 2010, 38(12): 1903-1906.

一起 220 kV 变压器局部放电试验异常情况分析

甘 强,吉亚民,陈 轩

(江苏省电力公司检修分公司,江苏 南京 211102)

摘 要:对一起 220 kV 变压器现场局部放电测试结果进行分析,采用多端子校正—多端子测量的方法对变压器局部放电位置初步定位,结合变压器高压绕组局部放电表征参数进一步分析,最终确定油中气泡放电为变压器局部放电测试结果异常的原因,提出了现场处理方案,并对江苏地区冬季安装变压器的流程提出建议。

关键词:变压器局放;传输比;真空注油;放电量

中图分类号:TM407

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)03-0010-03

某 220 kV 变压器首次局放试验超标,通过低压侧局部放电的检测排除了外部干扰,采用多端子测量定位技术,初步确定了放电位置。经过对变压器高压绕组局部放电表征的分析,确定油中气泡放电是导致变压器局部放电测试异常的原因。对油中气泡的产生原因进行分析,指出冬季温差较大导致变压器在安装过程中残留气泡,从而引起变压器局部放电测试异常。针对存在气泡放电的变压器拟定现场处理方案,并对江苏地区冬季安装变压器的流程提出建议。

1 试验的基本情况

该台变压器为三相无载自耦变压器,连接组别为 YNa0yn0+d11,按照相关标准对该变压器开展局部放电试验,试验接线如图 1 所示。

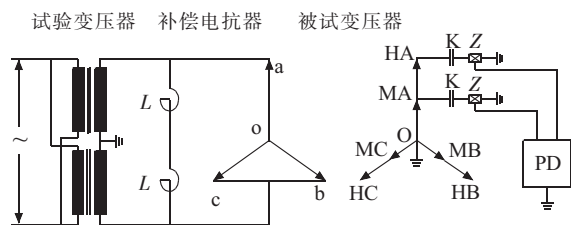


图 1 变压器局部放电试验原理

图中: L 为补偿电抗器; K 为电容式套管; Z 为检测阻抗; PD 为局部放电测试仪。 $a/b/c$ 、 $MA/MB/MC$ 、 $HA/HB/HC$ 分别为被试变压器低、中、高三侧的三相绕组。现场采用 200 Hz 中频发电机组作为试验电源,被试变压器低压侧非被试相短接后与被试相串联励磁,在高压、中压电容式套管末屏与接地点之间接入检测阻抗进行局部放电测量,首次试验的数据如表 1 所示。

2 局放异常的初步原因分析

2.1 干扰的排除

表 1 变压器首次局部放电试验数据 pC

试验电压	高压 A	中压 A	高压 B	中压 B	高压 C	中压 C
$0.1U_m/\sqrt{3}$	20	40	20	40	20	40
$0.5U_m/\sqrt{3}$	20	40	20	40	20	40
$1.0U_m/\sqrt{3}$	100	40	100	40	20	40
$1.2U_m/\sqrt{3}$	500	100	500	100	100	40
$1.3U_m/\sqrt{3}$	800	150	800	160	200	40
$1.5U_m/\sqrt{3}$	1 000	210	1 000	200	300	60

相关规程与技术文件要求该变压器高、中压侧局部放电小于 100 pC,根据表 1 的测试结果可见该变压器局部放电测试结果异常。由于变压器三相局部放电均存在异常情况,首先应排除局部放电测试的干扰。

该变电站为新建变电站,周围无邻近带电设备及其他干扰源,可排除电磁场干扰。被试变压器周围金属构件及电气设备均可靠接地,可排除悬浮放电产生的干扰。在被试变压器的低压侧接入耦合电容器及检测阻抗,在测试过程中对被试变压器的低压侧局部放电进行检测,未见异常局部放电,可排除试验设备存在局部放电和现场试验连线产生电晕放电。

2.2 局部放电的表征分析

对变压器局部放电脉冲波形的进一步分析表明:局部放电正负半周等频、等幅出现,正负半周对称。根据电晕放电在时基上处于 -90° 的特性,在高压侧均压帽上架设一尖端模拟电晕放电,进而确定李沙育椭圆零位,确定脉冲信号位于正负半周 $0\sim 90^\circ$ 之间。

脉冲幅值在局部放电起晕后随着试验电压逐步增长,到达一定幅值后不再随试验电压增长;单一脉冲在局部放电起始初期尚可分辨,随着试验电压的升高,脉冲重复率增加,单一脉冲分辨率下降,最后不可分辨。局部放电起始电压略高于熄灭电压。

2.3 局部放电的初步定位

变压器局部放电异常可能是变压器端部存在绝缘缺陷,如变压器端部存在油中气泡,变压器引线包扎不

良等;也可能是变压器器身中存在绝缘缺陷,如变压器绕组中存在气隙等。为了进一步确认变压器缺陷的初步位置,采用了多端子测量^[1]的方法对局部放电进行初步定位。

利用标准脉冲发生器在高压套管端部注入 500 pC 的方波模拟变压器高压绕组端部发生局部放电,在中压侧观测脉冲幅值,计算两者之间的传输关系,试验结果如表 2 所示。该变压器端部发生局部放电时,高压与中压幅值比约为 5;表 1 结果表明,该变压器高压与中压局部放电幅值比约为 5,两组指纹吻合,表明该变压器局部放电位于高压绕组端部场强集中部位。

表 2 变压器方波校核试验数据 pC

项目	数据	项目	数据
高压 A	500	中压 B	116
中压 A	118	高压 C	500
高压 B	500	中压 C	118

3 气泡产生原因分析

变压器油中存在气泡一般有几个原因:(1)变压器在制造厂完成器身组装后,暴露在空气中时间较长,导致绕组或绝缘件受潮;(2)变压器在现场安装过程中,潮气渗入变压器导致绝缘受潮;(3)变压器在现场安装过程中,抽真空不彻底。

制造厂的组装记录表明该变压器身暴露时间相对较短,出厂试验未发现变压器局部放电试验异常,可以排除原因(1)。现场安装记录表明该变压器在抽真空过程中低于 133 Pa,真空保持时间符合相关规定。该变压器的生产及组装工艺符合制造厂的工艺要求。

变压器制造厂在产品使用文件中要求,变压器现场安装温度不低于 5℃,湿度不低于 65%。该变压器安装所在地徐州市地处江苏省苏北地区,冬季平均气温较低,昼夜温差较大。变压器安装时正好为冬季严寒季节,安装记录显示,该变压器安装时的温度为 8℃,此时段最低温度为-5~-10℃,昼夜温差可达 20℃。

变压器安装过程中,空气中的水蒸汽将由变压器升高座、手孔等孔洞进入油箱内。变压器铁心、器身、油箱温度低于周围环境温度,湿润的空气一旦进入油箱,将会在变压器内部凝结为液态水;当变压器铁心、器身、油箱温度低于 0℃时,部分水分将会形成冰、霜等固态水,附着于变压器内部。变压器安装完成后,将会抽真空,水的气化温度与气压的关系见图 2 所示。

针对不同温度,变压器内部真空度达到一定数值,其内部的液态水将发生气化,从而防止变压器在安装过程中受潮,提高绝缘性能^[2]。抽真空结束后,变压器进入注油工序。现场采用真空注油,其温度控制在

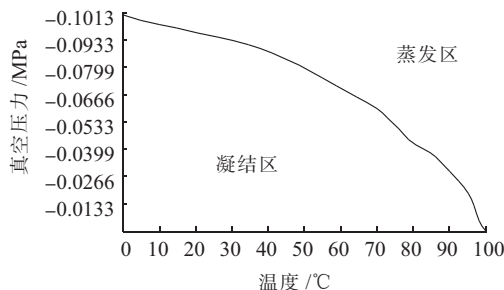


图 2 水汽化的温度与压力之间的关系

45~65℃,高温变压器油注入箱体,会使变压器油箱、器身温度上升。原来以固态形式存在的水迅速融化,一部分直接气化为水蒸气,另一部分以乳胶状溶入油中,由于变压器内的气压仍然很低,在极低的真空压力作用下,油中部分的水溃破油膜而析出,水分迅速蒸发。因此油中的含水量不会太高,但是变压器油箱内的水蒸气将会逐渐增多,最终在变压器顶部形成气泡,有一部分气泡到达变压器套管附近的放气孔,经人工排气排出,还有一部分气泡残存于变压器内部死角而无法排出。变压器局部放电试验时,残留于变压器场强集中区域的气泡将会先行击穿而导致局部放电测试异常。

4 后续处理及重复试验结果

针对上述情况,拟定了现场处理意见:(1)由于变压器所在地区冬季气温较低,首先对变压器进行热油循环 12 h,提升变压器器身及绝缘油的温度,要求热油循环结束后,变压器顶层油温不低于 20℃。(2)将变压器油放至距离大盖 30 cm 左右,重新抽真空,真空度要求低于 133 Pa,真空度保持时间不低于 4 h;(3)进行真空注油,静置 48 h 后,重新开展局放试验。

变压器静置 48 h 后,对该变压器重新开展了局放试验,试验结果见表 3。可见,变压局部放电测试结果符合规程及相关技术文件要求。

表 3 变压器处理后局部放电试验数据 pC

试验电压	高压 A	中压 A	高压 B	中压 B	高压 C	中压 C
$0.1U_m/\sqrt{3}$	20	40	20	40	20	40
$1.5U_m/\sqrt{3}$	20	40	20	40	20	40

5 冬季安装变压器的建议

现场试验数据表明,严格按照制造厂工艺要求安装的变压器仍有可能出现局部放电测试异常,后续的分析表明,油中气泡放电是变压器局部放电异常的原因,这种现象在冬季安装的变压器中时有出现。

为了提高变压器现场局部放电试验的通过率,确保变压器安全运行,针对冬季变压器的安装工艺进行改善,具体措施如下:(1)严格按照制造厂相关文件进

行变压器安装,确保变压器安装时环境条件符合相关规定。(2) 确保现场安装满足变压器真空度及保持时间的要求,减少变压器内部残留的水分。(3) 真空注油距变压器大盖 30 cm 处,停止真空注油,在此对变压器抽真空,真空度控制在 133 Pa,持续时间控制为 4 h,确保变压器内部残余气体(含水蒸气)析出变压器外。

与部分制造厂沟通后,论证了方法的可行性,制造厂家对变压器的安装文件进行了修改并开展现场试验,将原有的抽真空后一次完成注油的安装工序,改为抽真空后先部分注油,第二次抽真空后,完成注油的安装工序。以 50 台大型变压器为样本统计,采用改进工艺后安装的变压器未发现同类型故障,有效提升了变压器现场局部放电试验的通过率。

6 结束语

油中气泡放电具有气泡放电的典型特征,多端子测量的结果表明,油中气泡局部放电与变压器高压绕

组端部局部放电的传输关系一致。变压器出现油中气泡放电,可以通过变压器部分排油,重新抽真空析出气泡,当冬季温度较低时,可在排油前通过热油循环提高变压器器身及绝缘油的温度。冬季温差较大时,宜对变压器的安装工艺进行改善,在变压器注油距变压器大盖 30 cm 处,再次对变压器抽真空,可以提高变压器现场局部放电测试的通过率。

参考文献:

- [1] 保定天威保变电气股份有限公司. 变压器试验技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [2] 阳少军, 牛保红, 吕家圣. ± 500 kV 天广直流换流变故障的分析与处理[J]. 高电压技术, 2006, 32(9): 165-167.

作者简介:

甘 强(1978),男,重庆人,工程师,从事电气试验工作;
吉亚民(1972),男,江苏盐城人,高级工程师,从事高电压与绝缘技术研究工作;
陈 轩(1989),男,江苏南京人,助理工程师,从事电气试验工作。

Analysis of Abnormal Result of Partial Discharge Test in a 220 kV Transformer

GAN Qiang, JI Ya-min, CHEN Xuan

(Jiangsu Electrical Power Maintenance Branch Company, Nanjing 211102, China)

Abstract: This paper analyzes the results of partial discharge test in a 220kV transformer. The partial discharge position is preliminarily located by plurality of terminal correction-measurement method. After further analysis combined with the characterizing parameters of partial discharge in high voltage winding of the transformer, the reason of abnormal result of partial discharge test is determined, namely the bubble discharge in oil. This article also provides on-site treatment scheme and suggestions on transformer installation process in winter in Jiangsu province.

Key words: transformer partial discharge; transmission ratio; vacuum oil filling; discharge quantity

(上接第 9 页)

- [5] 陈闽江. 光伏发电系统的蒙特卡罗序贯仿真和可靠性分析[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2004.
- [6] YANG H X, LU L, BURNETT J. Weather Data and Probability Analysis of Hybrid Photovoltaic - wind Power Generation Systems in Hong Kong [J]. Renewable Energy, 2003, 28 (11): 1813-1824.

作者简介:

霍雨翀(1989),男,江苏溧阳人,硕士研究生,从事可再生能源在电力系统中应用以及电网规划研究;
范子恺(1993),男,江苏徐州人,东南大学电气工程及其自动化在读。

A Combination Forecast Method of Wind Speed and Solar Irradiance Based on Advanced Weather Generator

HUO Yu-chong, FAN Zi-kai

(School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The forecast of wind speed and solar irradiance is very important for the stable and economic operation of grid-connected hybrid photovoltaic-wind power generation systems. The original weather generator is improved to make it more accurate and meet the demand of probabilistic production simulation of power system including hybrid photovoltaic-wind power generation systems. Afterwards, a combination forecast method of wind speed and solar irradiance is proposed. The method models the complementary characteristics of solar irradiance and wind speed based on the historic daily observation data, and then obtains the forecasting result at hourly intervals. The simulation results show that the model can be used to accurately predict and in engineering practice.

Key words: weather generator; wind speed; solar irradiance; combination forecast; hybrid photovoltaic-wind power generation

500 kV 变压器空载合闸重瓦斯误动事件分析及防范

梁文腾

(江苏省电力公司检修分公司苏州分部,江苏 苏州 215000)

摘 要:通过对一起合空载变压器重瓦斯保护动作事故分析并参考近年来类似案例,发现变压器瓦斯继电器二次回路故障、励磁涌流产生的变压器振动和油流涌动可能导致重瓦斯继电器误动。提出采取措施抑制励磁涌流降低瓦斯继电器误动可能性,对不同合闸角下变压器励磁涌流进行仿真,精确控制合闸角抑制励磁涌流理论可行。同时提出提高变压器制造工艺可以有效降低变压器冲击电流下的绕组振动和油流涌动。

关键词:瓦斯继电器,励磁涌流,合闸角,油流涌动

中图分类号:TM407

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)03-0013-03

重瓦斯保护是变压器主保护,能直接反映变压器本体内部所有短路故障造成的严重发热现象而直接出口跳闸,有效避免短路故障对主变本体的损坏,具有较高的灵敏性和准确性。但是近年来国内多次发生变压器本体重瓦斯保护误动事故,由于主变重瓦斯动作须对变压器进行严格检查和取油样测试等复杂流程确定主变无内部故障后方可投运,对电力系统和变压器可靠性运行产生一定的影响^[1]。据统计,重瓦斯误动作事故中主要异常情况为流过变压器本体的穿越性大电流和合空载变压器励磁涌流。近日,华东电网某 500 kV 变电站在主变更换保护后复役送电过程中发生重瓦斯保护动作事故,结合近年来类似的案例,分析了其产生误动的原因,并提出了防范措施。

1 事故过程简介

2012 年 10 月,华东电网某 500 kV 变电站进行 2 号主变压器保护更换工作结束后复役操作。经一次、二次设备检查完成,变压器保护投入运行。在复役过程中使用 2 号主变 500 kV 开关充电,合闸后 160 ms 发生主变跳闸。检查发现 2 号主变非电气量保护屏上显示 B 相本体重瓦斯保护动作,其他保护均未动作。随后对现场进行主变外观检查、二次回路检查、油样检查和录波分析。

现场检查未发现设备异常,2 号主变本体外观正常,无渗漏油现象,瓦斯继电器外观正常,内部充满油。二次回路检查结果正常,直流系统绝缘正常。采集 2 号主变三相本体油样进行油样分析正常,在确认变压器无故障之后再次试送电成功。

故障录波器打印报告显示,主变高压侧 B 电流二次值约为 0.7 A(一次值 2 800 A),A 相 C 相二次值约为 0.3 A(一次值 1 200 A),电流持续时间约为 160 ms。故障录波显示主变高压侧电流为典型励磁涌流。

2 跳闸事故原因分析

该次事故跳闸主变压器在复役之前完成了主变保护更换工作。通过检查可以排除内部短路和保护装置的明显故障。

正常情况下重瓦斯继电器动作条件为油流冲击挡板、变压器油面过低导致下浮球下摆或实验探针按下。该次事故后检查变压器油位正常且实验探针无人触碰,故油流冲击挡板或二次回路节点误接通是保护误动的原因。

在冲击电流的作用下,内部绕组线圈会瞬间受到较大的电动力,进而使主变内部绕组迅速产生形变、位移和振动并在变压器内产生油流涌动。绕组振动还会使主变本体发生振动。继电器瓦浮筒、挡板、信号和跳闸接点若不可靠,受到振动后可能会直接误接通跳闸节点。而油流涌动则会冲击气体继电器挡板使其直接动作。

在该案例中合闸后出现数倍于额定电流的励磁涌流,变压器会产生油流涌动和变压器本体振动。事故后检查二次回路及保护装置均无故障,对变压器检查确认无故障后试送电成功。该误动具有偶然性,故二次回路节点受振动误接通和油流涌动冲击造成保护误动的可能较大。

在相关事故案例中有出现变压器振动导致重瓦斯接点抖动误接通以及油流涌动造成误动的情况^[2,3]。文献[4]中变压器保护误动事故后对气体继电器的抗震性能进行了试验,结果发现在大力敲击时会发生气体继电器的误动作。气体继电器的抗震性能较差的情况下,主变震动可能会发生继电器误动作。

3 重瓦斯保护误动作防范措施

通过对该案例的事故调查以及相关案例分析,可以发现重瓦斯保护误动作,排除主变本体油路堵塞、气

体继电器故障、二次回路故障和保护异常等可控因素后,应当主要从变压器励磁涌流消除措施和降低冲击电流产生的变压器震动和油流涌动来考虑。而在实际生产中应做好气体继电器的设计安装和试验工作。

3.1 抑制变压器励磁涌流方法

电力系统中电力变压器复役操作充电过程中的励磁涌流普遍存在,具有很大的危害性。目前尚未有保护装置可以完全避免励磁涌流误动作的可能性,且励磁涌流可能会对主变本体造成损伤。国外已有因励磁冲击电流过大产生机械应力而导致变压器线圈机械强度降低或损伤的报道^[3]。因此采取措施控制变压器励磁涌流是解决问题的根本方法。

降低变压器励磁涌流的最直接方法是通过控制变压器剩磁和偏磁对主磁通的叠加作用,即有效降低主磁通中的初始磁通。初始磁通由剩磁通和偏磁通组成。控制励磁涌流即控制变压器剩磁和偏磁作用。

变压器结合电阻测量时,会在铁心中存留下很大的剩磁,已投运变压器在停役之后也会产生剩磁通。因此,对 500 kV 变压器进行高压绕组的直流电阻测试时,必须限制测试电流。而变压器退出运行时产生的剩磁并不是随机的,该剩磁与前一次切出电网的励磁电流存在一一对应的关系,通过记录在变压器分闸时刻的电流可以准确计算出铁心剩磁。对比铁心的时效特性,得出最佳的合闸角度,可以控制励磁涌流不再出现。同时在手动切除变压器的时刻,如果能控制断路器的分闸时刻,就可以控制分闸时刻的电压相位,从而控制剩磁的大小和极性。

在没有剩磁的情况下只要控制断路器在电源电压相位的 90° 或者 270° 时刻合闸,则变压器空投时不会有励磁涌流。对于可以分相操作的三相变压器,通过计算将每一相分别合闸于电压相位角 90° 时刻,可有效控制励磁涌流大小。

采用 PSCAD/EMTDC 软件对不同合闸角下的变压器励磁涌流进行仿真,选取单相双绕组变压器,系统仿真模型如图 1 所示。

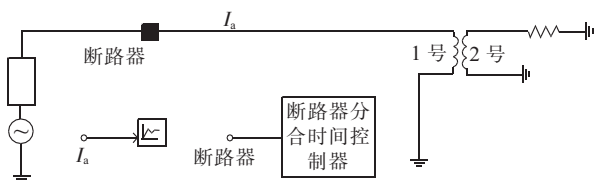


图 1 变压器励磁涌流仿真模型

选取合闸时间 0.100 s(0°), 0.102 s(36°), 0.103 s(54°), 0.105 s(90°) 不同合闸角下变压器励磁涌流波形如图 2 所示。

仿真结果表明,在合闸角为 0° 时变压器产生的励磁涌流将可以达到额定电流的 3.2 倍。随着合闸角

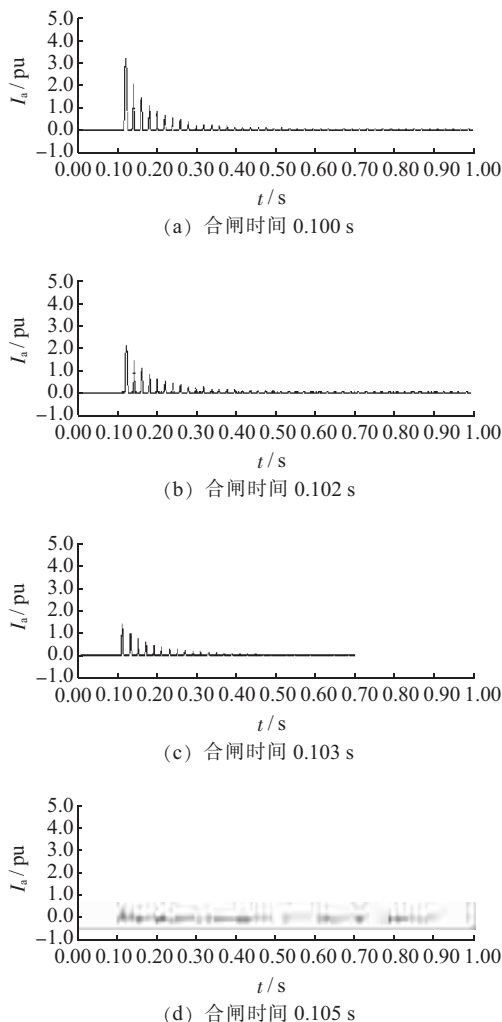


图 2 合空载变压器励磁涌流

的增加,励磁涌流逐渐降低。当合闸角为 90° 时,变压器无励磁涌流出现。

采用多组不同合闸角进行励磁涌流仿真,得到在不同合闸角下的励磁涌流数值曲线,如图 3 所示。

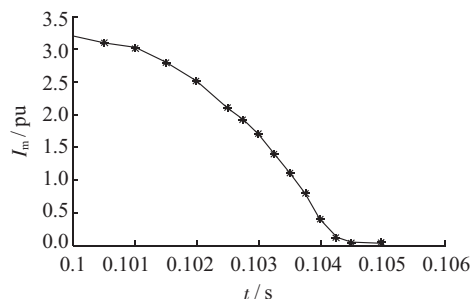


图 3 不同合闸角下励磁涌流分布曲线

曲线显示,当合闸角接近 0° 或 90° 时变压器励磁涌流变化较小。但在半个周波(10 ms)中,若保证合闸角低于 1.7 倍额定电流仍需要控制合闸时间在最佳合闸角在 ± 2 ms 以内。因此,只有精确控制合闸角在最佳合闸角一定范围内才能有效控制励磁涌流。

在有剩磁的情况下采用理想状态合闸角(90°)合闸时其励磁涌流并不为 0。而随着合闸相位的正弦值

逐渐接近剩磁比时,励磁涌流呈现逐步减小的趋势。因此,在电力生产中,通过记录变压器上一次退出运行时励磁电流相位及铁心磁通的时效特性可以惟一确定该剩磁,并通过控制合闸角将励磁涌流减小到最低值^[5]。

从理论上讲,在准确测量电源测电压相位的情况下可以精确控制合闸角。但在实际中控制装置的动作时间、出口继电器动作时间以及断路器合闸时间具有一定的分散性,其动作时间误差产生的合闸角误差大于 90° 。根据仿真结果,为了有效控制合闸角电流需要依赖对断路器合闸时间的精确控制到毫秒级。在三相电力变压器中必需令断路器三相分时相合闸,但很多断路器在结构上根本无法分相操作。相信随着电力电子技术的发展,采用精确控制合闸角来消除变压器励磁涌流的方法将很快用于生产实际。

3.2 变压器冲击电流下的油流涌动分析

除直接控制励磁涌流之外,采取措施降低冲击电流带来的油流涌动问题是解决瓦斯继电器误动作的主要方法。对于电力变压器,即使是在外部穿越性大电流下重瓦斯保护仍然有误动作的可能性。

首先,通过改善变压器结构设计降低变压器绕组振动和位移,文献[6]提出建立变压器绕组轴向机电耦合的动力学模型,研究变压器绕组的机电耦合振动稳定性问题,分析得到了模型变压器绕组主要设计参数的稳定域和不稳定域。对冲击电流条件下变压器瓦斯继电器安装点油流测速可以间接反映变压器绕组的稳定性,并作为瓦斯继电器流速整定的重要依据。其次,提高变压器本体的抗震性。绕组的剧烈振动会直接变压器本体振动,从而产生更大的油流涌动。

4 结束语

综上所述,变压器瓦斯继电器二次回路故障、励磁涌流产生的变压器振动和油流涌动是变压器重瓦斯保护误动作的可能因素。采取措施抑制励磁涌流能有效减少油流涌动和变压器本体震动的情况,进而减少瓦斯继电器误动的可能性。对不同合闸角下的励磁涌流仿真发现分相合闸角精确控制抑制励磁涌流的方法理论可行,但需要精确至毫秒级的断路器合闸时间控制。提高变压器制造工艺也可减少绕组在大电流下的振动和油流涌动。相信随着电力技术的迅速发展,合闸角控制技术消除变压器励磁涌流的理论方法将能很快应用于生产实践中。

参考文献:

- [1] 贺家李,宋从矩.电力系统继电保护原理[M].3版.北京:中国电力出版社,1994.
- [2] 鲍有理,周小强.500 kV 主变 B 相瓦斯保护跳闸事件分析[J].江苏电机工程,2010,29(3):16-20.
- [3] 王清璞,刘霞,刘海涛,等.500 kV 主变压器空载合闸重瓦斯保护动作跳闸分析[J].河北电力技术,2007,26(4):49-51.
- [4] 关建军,吕群贤,刘敏,等.降压变压器重瓦斯保护误动的原因分析[J].变压器,2010,47(3):73-74.
- [5] 李钜,乌云高娃,刘涤尘.Preisach 模型剩磁计算与抑制励磁涌流合闸角控制规律[J].电力系统自动化,2006,30(19):37-41.
- [6] 王璋奇,王孟.电力变压器绕组轴向振动稳定性分析[J].中国电机工程学报,2002,22(7):25-28.

作者简介:

梁文腾(1988),男,山东兖州人,硕士,从事变电站运维工作。

Analysis on Event of Heavy Gas Protection Malfunction Closing 500 kV No-load Transformer

Liang Wen-teng

(Suzhou Section of Jiangsu Electrical Power Maintenance Branch Company, Suzhou 215000, China)

Abstract: Through the analysis of heavy gas protection malfunction on closing no-load transformer, and then taking reference on the similar cases happened in recent years, this paper finds that secondary circuit failure, transformer vibration and oil flowing caused by magnetizing inrush may lead to heavy gas protection malfunction. The measure is proposed to reduce the possibility of heavy gas protection malfunction caused by the transformer inrush current and magnetizing inrush of transformer in different closing angles situations is simulated. This article also proposes that eliminating magnetizing inrush by precise control of the closing angle is theoretically possible. Based on the analysis above, the proposed measure can decrease winding vibration and oil flowing caused by the impact of current in transformers.

Key words: gas relay; magnetizing inrush; closing angle; oil flowing

欢迎投稿 欢迎订阅

直流控制保护故障录波采集及远传研究与应用

沈刚,薛海平,吕冰,曹卫国,叶周
(南京南瑞继保电气有限公司,江苏南京 211102)

摘要:分析了目前直流输电工程中,控制保护系统向远方调度中心传送直流控制保护系统产生的内部故障录波信息的现状和存在的问题,研究并提出了一种直流输电控制保护内部故障录波信息采集和远传技术的新方案。该方案开发一种适应于直流输电工程换流站的故障录波前置管理机,通过磁盘映射方式快速采集直流控制保护内部故障录波信息,经调度数据网采用 IEC 61850 标准与调度端故障录波主站直接互联,实现直流控制保护内部故障录波信息向主站端的及时推送,从而大幅度提高内部故障录波信息采集和远传的可靠性和快速性。该方案已在实际工程中获得应用。

关键词:直流输电;控制保护;故障录波;信息远传;IEC 61850

中图分类号:TM 769.1

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)03-0016-03

随着我国电力资源的优化配置、远距离大容量输电技术的发展,规划建设的直流输电项目越来越多^[1]。随着直流换流站的日益增多,调度中心对直流换流站的管理和信息采集的全面性亦愈来愈重要。尤其是当直流系统发生故障时,要求调度中心能够尽快定位故障点及其关联的控制保护系统,尽快获取相应的故障录波信息并进一步分析故障原因^[2]。目前的直流换流站中,直流控制保护系统一般通过保护及故障录波信息管理子站(简称保信子站)实现控制保护内部故障信息的采集和远传。已投运的换流站中,一部分换流站的保信子站没有采集直流控制保护系统的内部故障录波信息;一部分换流站的保信子站尽管采集了直流控制保护系统的内部故障录波信息,但其上传的可靠性和速度较差,导致调度中心无法及时准确地收到所需的故障录波信息。文中根据已投运直流工程控制保护系统的现状、特点及直流控制保护系统的发展方向,提出一种直流输电控制保护内部故障录波信息采集及远传技术,并应用于实际工程中,提高了采集和远传直流控制保护系统内部故障录波信息的可靠性和快速性。

1 方案概述

直流输电工程换流站中,直流控制保护系统具有完善的内部故障录波功能。当直流系统发生故障时,换流站、远方调度中心需要通过这些内部故障录波信息分析直流故障。

早期直流工程中的直流控制保护系统为国外公司产品,不具有内部故障录波远传功能。近期投运的直流工程中,直流控制保护系统由国内企业供货,其内部故障录波一般通过保信子站上传至远方调度中心,但其上传的可靠性和速度较差。远方调度中心往

往收不到直流控制保护系统的内部故障录波信息,如需查看常常要靠换流站运维人员手动传输,既不方便也影响远方调度中心分析直流故障的时效性。

直流换流站中也配置独立的故障录波器,不通过保信子站,而是通过调度数据网直接上传至远方调度中心的故障录波主站。独立的故障录波器尽管也采集直流系统的故障录波信息,但其信息没有直流控制保护系统内部故障录波全面和完整,有时故障录波器的信息不足以分析直流故障。

因此,在直流控制保护系统中配置一套直流故障录波前置管理机是较好的方案,该前置管理机专门负责直流控制保护系统内部故障录波信息的采集和远传。同时,这种增加专用前置管理机的方式,也可以使得在对已投运系统进行改造时,对系统的影响最小。直流故障录波前置管理机在控制保护系统中的接入方式如图1所示。

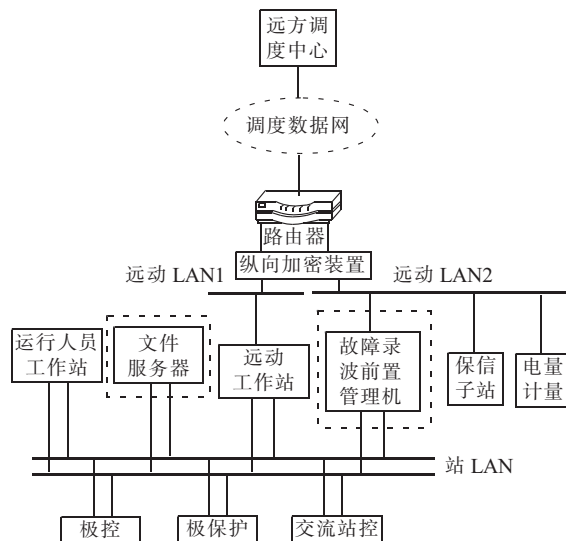


图1 直流故障录波前置管理机接入方式

故障录波前置管理机一方面通过换流站现有局域网与控制保护系统和存放故障录波文件的系统服务器

相连,实现对控制保护内部故障录波的采集;另一方面通过远动 LAN2,经过纵向加密装置、路由器、调度数据网与远方调度中心相连,实现直流控制保护系统内部故障录波的上送。上述接入方式由于不经过规约转换器、保信子站等中间环节,可以大大提高故障录波信息传送的快速性。同时,保存故障录波文件的系统服务器不直接接入调度数据网,保证了换流站局域网的网络安全性。

为实现对直流控制保护内部故障录波的采集和快速、稳定地向远方调度中心传送,需要进行如下几个方面的考虑:(1) 直流故障录波前置管理机方案;(2) 录波文件采集方案;(3) 与远方调度中心故障录波主站的通信方案;(4) 向远方调度中心故障录波主站及时推送故障录波信息的方法。

2 故障录波前置管理机

换流站现有的通过保信子站向远方调度中心传送直流故障录波时出现如波形上送失败、通信中断、传送不稳定等问题,归纳其原因有如下几点:(1) 直流控制保护的内部录波文件在 20~40 MB 之间,远远大于交流保护产生的录波文件(一般小于 100 KB),保信子站采用 IEC103 通讯规约传输和处理波形文件时,经常会出现超时。(2) IEC 103 规约并不适合传输较大的波形文件,速度相对比较慢(需要等待主站的确认)。(3) 直流控制保护会因为扰动频繁启动,在短时间内产生大量波形文件,有可能超出保信子站有限的处理能力。(4) 目前保信子站大多数为嵌入式装置,其本地存储容量相对较小,无法满足长时间的历史录波存储需求。

因此,直流故障录波前置管理机不宜采用常规的嵌入式装置,而采用无风扇工控机是比较好的方案,可以配置高性能的处理器、大容量的内存和硬盘。考虑到网络安全性,直流故障录波前置管理机不能采用 Windows 操作系统,而应该安装安全的 Linux 操作系统。并采用 IEC 61850 规约或 FTP 方式向远方调度中心传送故障录波信息。根据实际工程的需要来确定直流故障录波前置管理机的硬件配置,并对其功能、性能进行测试,以满足工程应用的要求。

3 录波文件快速采集

换流站直流控制保护系统产生的内部故障录波文件都存放在系统服务器上,系统服务器一般为 Windows 操作系统。直流故障录波前置管理机可以通过局域网与系统服务器通信,从系统服务器获取故障录波文件。

直流故障录波前置管理机与系统服务器都接入换流站局域网,可以通过 TCP/IP 相互通信。虽然从理论

上说,直流故障录波前置管理机可以通过多种标准的规约(如:IEC 103、IEC 61850,等)与系统服务器进行通信,但系统服务器是换流站监视和控制系统的核心,服务器上安装和运行有许多重要的软件,在服务器上增加规约通信软件,可能会对服务器的运行产生较大的影响。而对于已经投运的直流工程而言,尽量避免对已有系统造成影响是必须考虑的首要因素。

为此,直流故障录波前置管理机可以考虑以下 2 种采集直流故障录波信息的方案。

(1) FTP 方式。系统服务器与直流故障录波前置管理机都开放 FTP 服务,直流故障录波前置管理机采用 FTP 方式读取文件服务器上的直流控制保护系统内部故障录波文件。

(2) 跨平台的磁盘映射方式。采用跨平台的磁盘映射软件(如 Samba,等),将文件服务器上直流控制保护内部故障录波文件存放目录映射到直流故障录波前置管理机,由其直接进行文件检索和读取。

部分已投运的直流工程中,考虑到开放 FTP 服务可能会对系统服务器上运行的其他进程产生影响,不能开放 FTP 服务,无法采用 FTP 方式读取系统服务器上的直流控制保护内部故障录波文件。

磁盘映射方式已经非常成熟,已在其他领域得到广泛应用,而且磁盘映射方式对原有系统基本没有影响^[3]。可以选择跨平台的磁盘映射技术,作为直流故障录波前置管理机采集控制保护内部故障录波文件的通用方案,应用于已投运和待建直流工程。

同时,为了提高录波信息传送的效率与可靠性,在正常情况下,不需将服务器上保存的控制保护系统内部故障录波文件全部上传到远方调度中心,而是只上传故障录波文件列表信息。在发生直流系统故障或有其他需要时,调度中心如需要查看某次故障录波文件,故障录波主站从列表中选择需要上传的故障录波文件,故障录波管理前置机再上传相应的录波文件。为此需要开发用于生成并更新故障录波文件列表的软件。

生成故障录波文件列表的软件周期性扫描系统服务器上相应目录下的故障录波文件,检查是否有新文件产生,若有则更新相应的故障录波文件列表信息。

文件服务器上保存有各个控制保护主机生成的故障录波文件,它们是按子目录分别存放的,生成故障录波文件列表的软件需能够对每个控制保护主机生成相应的故障录波文件列表。

生成故障录波文件列表的软件可以运行在故障录波管理前置机上,也可以运行在系统服务器上。若该软件运行在故障录波管理前置机上,它要扫描的是网络上的系统服务器共享文件目录,效率比较低,而且有可能对服务器的运行产生较大影响。若该程序运行在系

统服务器上,它要扫描的是本地的文件目录,效率比较高,而且只是扫描是否有新文件产生,对服务器的运行基本没有影响。因此,生成故障录波文件列表的软件运行在系统服务器上是较好的方案。

4 与调度端故障录波主站的互联

直流故障录波前置管理机要上传的故障录波信息属于非实时数据,通过非实时数据网与远方调度中心故障录波主站通信。直流工程换流站都配置非实时调度数据网接口设备(如远动 LAN2、路由器)和相关安全防护设备(如防火墙、纵向加密装置等),直流故障录波前置管理机只要接入远动 LAN2,即可通过非实时调度数据网与远方调度中心故障录波主站进行通信。

直流故障录波前置管理机与调度端故障录波主站通信的方式主要有以下 3 种方案:(1) 采用 IEC 103 规约;(2) 采用 IEC 61850 规约;(3) 采用 FTP 方式。

由于直流控制保护系统内部故障录波文件数量多且单个文件较大,采用 IEC 103 通信规约会出现上送慢且易失败、通信易中断和通信不稳定等问题,IEC 103 规约对传输直流故障录波文件不是很适用^[4]。

FTP 方式传输文件快速且可靠,但需要换流站端的直流故障录波前置管理机和调度端的故障录波主站都要开放 FTP 服务,容易造成网络安全问题。

IEC 61850 标准支持传输大容量的文件,其传输方式类似于 FTP,从而能够保证文件传输的快速性和可靠性。由于是调度端和换流站端 2 个应用软件之间的规约通信,不存在网络安全问题。因此,换流站端直流故障录波前置管理机和调度端故障录波主站的通信选用 IEC 61850 规约是较好的方案。

5 故障录波信息向主站端的及时推送

每当直流控制保护系统产生新的内部故障录波时,系统服务器上都会相应增加新的录波文件。不仅是交直流系统发生故障时直流控制保护系统会产生故障录波,在交直流系统受到扰动时直流控制保护系统也会产生故障录波。远方调度中心一般不需要获取这些因扰动产生的大量故障录波信息。若将这些故障录波文件也上传,将极大降低录波信息传送的效率与可靠性。因此,为了提高录波信息传送的效率与可靠性,没有必要将服务器上保存的控制保护系统产生的所有内部故障录波文件都上传远方调度中心,而是采用平时上传故障录波文件列表,需要时才上传选择的故障录波文件的方案。正常情况下,故障录波前置管理机从系统服务器只读取故障录波文件列表信息并将之上传。在发生直流系统故障或有其他需要时,远方调度中心需要查看某次故障录波文件,故障录波主站从文件列

表中选择需要上传的故障录波文件,故障录波管理前置机再从文件服务器获取相应的录波文件并上传到远方调度中心。

6 工程应用

采用上述方案,在锦屏至苏南 ± 800 kV 特高压直流输电工程(简称锦苏工程)锦屏换流站直流控制保护系统中,实现了直流控制保护内部故障录波信息向国调中心的快速、可靠传送。

锦苏工程中,直流控制保护系统配置了 1 台安装 Linux 操作系统的无风扇工控机作为直流故障录波管理前置机。该前置机配置 3 块网卡,通过双网卡与换流站局域网相连,并采集内部故障录波信息;通过单网卡与远动 LAN2 相连,经调度数据网向国调上送直流控制保护内部故障录波信息。锦苏工程直流故障录波上送国调方案如图 2 所示。

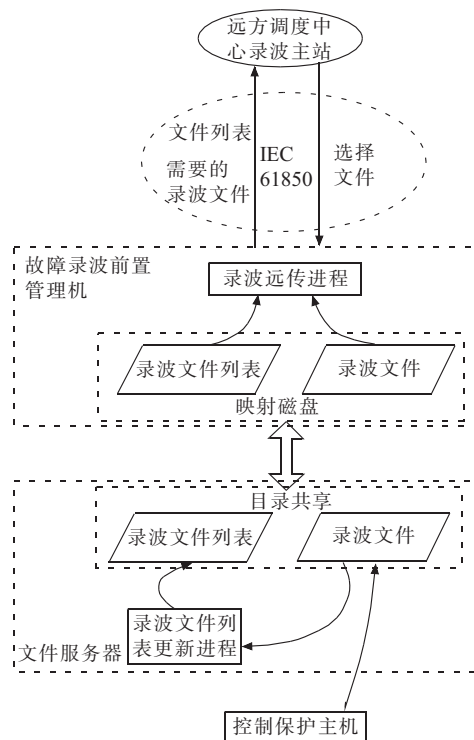


图 2 锦苏工程直流故障录波上送国调示意

直流控制保护系统内部故障录波文件保存在文件服务器中。采用跨平台的磁盘映射方式,将文件服务器上存放内部故障录波文件的目录映射到直流故障录波前置管理机,由前置管理机直接进行文件检索和读取。在文件服务器上安装和运行生成故障录波文件列表的软件,进行录波文件列表更新。

7 结束语

对直流输电控制保护系统内部故障录波采集和远传现状及存在的问题进行了分析,并提出了完善的解

电网主接线图自动生成与校核系统

杨 威¹, 李 力¹, 苏 勇², 沈 烨²

(1.广东电网公司电力调度控制中心,广东 广州 510800;

2.南京金水尚阳信息技术有限公司,江苏 南京 210014)

摘 要:针对电网主接线图的自动生成与校核、发布与查询、更新与管理等问题,给出一种 C/S 与 B/S 相结合的图纸综合管理系统的设计方法,可实现调度中心电气主接线图纸完全同步更新。电网主接线图自动生成与校核系统在广东电网投入运行后,有效提高了图纸绘制速度、准确度和标准化程度。

关键词:自动绘制;规范制图;统一编号;图纸管理

中图分类号:TP391.71

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)03-0019-04

电网主接线图是用电网描述电能的发、输、变、配电关系以及拓扑结构关系的图形化表示,已经广泛用于电力系统的管理、分析和计算之中,成为电力系统运行管理中的重要辅助工具。当前在电网调度管理中存在着纸质图纸和电子版图纸并存,传统档案管理方式的缺点是信息传递速度慢,图纸共享困难,图纸版本不统一,信息发布、获取、复制、存储成本高,图纸更新不及时,易产生图纸与实物不符的问题等,构成安全隐患。因此,对图纸实行电子化管理具有现实意义。

广东电网是目前国内规模最大的省级电网,也是南方电网“八交五直”西电通道的受端电网,电压等级繁多、母线出线数量不一,隔直装置、小电抗等装置也日益增多。由于网络新建、旧线改造、方式变更、检修、消缺等原因导致实际主接线元件、方式变化繁多,要做到及时更新主接线图,需要付出高昂的人工成本和管理成本,而日常调度运行必须使用实时的主接线图。电网主接线图的正确与否直接影响到电网的安全运行与生产,如何保证电网主接线图的正确性,保证主接线图与实际主接线图实相符,是生产运行单位必须要面对的生产管理问题。针对电网主接线图的自动生成与校核,发布与查询,更新与管理等问题,提出一种 C/S(客户机/服务器)与 B/S(浏览器/服务器)相结合的图纸综合管理系统的设计方法。

1 系统设计

电网主接线图自动生成与校核系统是集主接线图绘制、自动校核、维护管理和使用于一体的主接线图管理系统。它为日常调度运行提供一种基于主接线图的信息共享处理平台,以便与设备台帐信息、运行信息等属性数据有机结合、统一管理。该系统产生的主接线图在电网内应用面广、应用层级多、使用人群多,采用电网主接线图自动生成与校核系统可以方便

多人多层级编辑、查询、统计、审核,使绝大部分异动改图仅仅需要很短时间就能完成,符合智能电网的技术发展方向和使用需求,从而大大提高管理效率。针对一次设备标准化编号需求,对 AutoCAD 软件在功能上进行了扩展,支持一次图纸部件直接调用;图库管理上采用统一制作存储,图元共享,使调度的图纸绘制标准规范和统一。

传统的图纸绘制和管理工作主要依靠电网运行方式人员对电网历史及当前厂站设备的熟悉程度和工作经验,缺乏科学和可校核的标准进行参考,由于没有可靠的辅助手段使得因绘制错误或者流转疏漏可能造成的图纸潜在安全风险无法预先识别和控制,另一方面电网主接线图仅由调度部门全职负责的模式也已经难以适应当前电网的发展和全社会对图纸可靠性、精确性的要求,急需建立以系统运行为中心,包括规划设计、基建施工、变电运行、生技、安监、市场、基建、各基层供电局、输变电等多部门共同参与的整体图纸管理体系,以适应现代大电网风险防控工作的需要。

从建立电网主接线图生成机制和闭环管理机制,完善广东电网主接线图的绘制、命名编号、校核、批准全过程体系,提升广东电网整体的图纸管理工作水平出发,有必要搭建一个统一的广东电网主接线图管理系统,并与目前运行的公司生产 MIS 系统、发电策划管理系统、调度检修管理信息系统,整合成一个无缝连接的统一管理平台,发挥多方联动机制,完善并实现全网主接线图一体化管理、标准化绘制、全过程审核的模式,确保图纸准确无误,确保电网安全稳定运行。

1.1 主要功能

一次设备主接线图是指发电站、变电站采用的电压等级、各电压的进出线状况,必需反映出厂站的电压等级、各电压的进出线状况。因此,在常规制图软件中(如 AutoCAD)增加相关图元,以提供标准元件图形对象,提高制图效率。另外,设备主接线图中的各种图元

和线路的编号必需满足行业规范和命名规则,能够伴随制图的过程自动生成并填写。生成的图纸需经过严格的审核才能归档,并以一定的格式提交到相应的图库中供以后查阅、使用。系统包含以下主要功能模块。

(1) 图元编辑:在 AutoCAD 中嵌入可绘制母线、开关、进出线、变压器、断路器、隔离开关等的程序,可自行扩展所需图元。

(2) 图形快速绘制:绘制好的图元保存在图元库中,自动添加到 AutoCAD 图形对象中,绘制主接线路图时可直接拖动“元件”的图形到相应位置^[1]。

(3) 图纸模板:将厂站主接线类型、出线支路、变压器支路、编号等规律表达成可程序实现的规则,遵循规则可大体上确定厂站的接线图的基本结构,其余元件的定位可在此基础上依据出线支路及变压器支路等较强的规律性进行。梳理各种规则,根据一次主接线路图的结构主要是由母线和断路器的数量决定的本质特点,给出主要图纸模板,并自动匹配后续人工编辑部分的编号。

(4) 工作流控制:实现电气图纸从录入、制图到审核、批准、归档一体化和流程化管理。

(5) 上报和发布:归档的图纸上传到服务器,以 Web 的方式统一管理和发布,并且形成设备管理同步接口。

(6) 图纸查询:以 Web 方式提供全局图纸搜索、查询服务,并具有格式转换、本地保存和打印等功能。

1.2 系统结构

系统采用分层的设计模式,依据各子功能所处的地位和调用情况及通用程度,进行分层设计,具有共享功能和抽象的可通用的功能,各使用该功能的系统复用功能模块,保证行为的一致性和投资的效率。当功能发生变化时,分别进行修改升级,保证整个平台的可扩展性、易维护性。

系统由绘图客户端,图纸代理服务器,WEB 服务器构成。绘图客户端完成图纸绘制工作,采用传统的 C/S 架构,实现与 AutoCAD 的无缝结合,通过代理服务器接入到图纸管理 Web 服务器,进行数据交互;代理服务器主要负责提供客户端的代理服务,并处理图纸相关的任务;WEB 服务器,负责图纸的管理任务,采用纯 B/S 架构的系统模型,用户通过浏览器访问。系统各部分之间的关系结构如图 1 所示。

系统采用分层次、模块化的设计理念,提供数十个功能模块,为电网公司的图纸生成、图纸管理业务提供了有效的信息化处理手段。系统部署如图 2 所示。

2 系统关键技术

图纸绘制工具根据用户的一般使用习惯,提供方

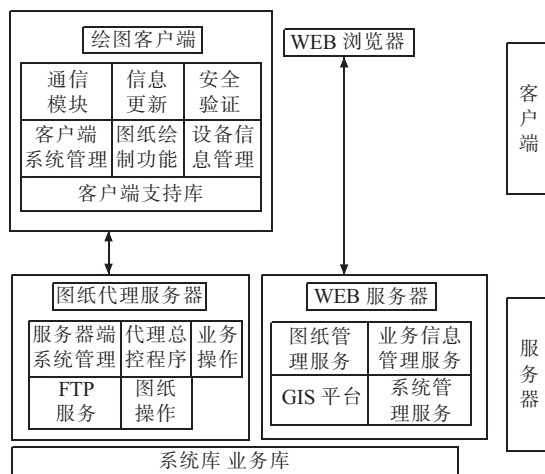


图 1 系统组成关系

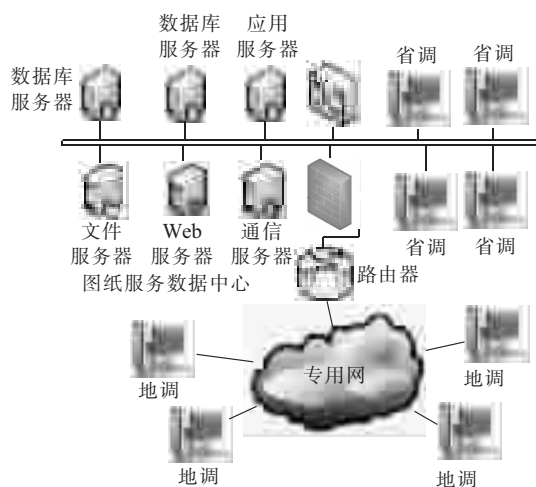


图 2 系统部署

便的绘制工具,为用户提供图纸的快速绘制和设备的标准化编号,以及图元的制作、图纸信息的抽取等功能。图纸管理工具提供对 dwg 图纸进行导入、导出、查询、维护等功能,同时还提供面向任务的可视化流程管理,使得图纸的管理流程与实际业务流程一致统一。为了达成上述目标,必须选择合适的开发工具和运行平台,按照总体最优,局部可继承的原则确定第三方软件工具。

2.1 基础平台与工具

图纸一般由专人独立负责完成绘制,原来的图纸大多支持 dwg 格式,是基于 AutoCAD 软件的,系统若想满足继承性,选择依托 AutoCAD 进行扩展是最有效的解决办法,既能满足用户使用习惯,又能保持老图纸在新系统中生命力。因此快速制图工具系统扩展了原来 AutoCAD 只能绘制简单点、线的功能,提供图样作图、交互作图、向导作图 3 个快速功能模块,不仅建立了常用电气一次图纸的图元,还具有模版创建和使用的功能,能够向用户提供典型的电气一次图纸样式,经过简单修改就能快速生成新图^[2]。而图纸管理部分

提供网络化服务,是基于 J2EE 平台的服务实现,应用服务器提供了一系列健壮的、可靠的、企业级服务,平台支持简化的、基于组件开发模型,使得系统核心代码具有编写一次、随处运行的可移植性。

考虑到图纸审核工作流程,相对于通用工作流工具软件来说还是简单的,且具有较大的自定义需求,采用自行开发方式,将业务专业化与使用灵活相结合,根据业务性质抽取出几种主要的节点类型和操作,通过可配置的流程,经过一定修改适应业务要求,将各类型节点连接为一个完整的流程。同时考虑到可靠的多重安全控制机制,设置了普通用户、绘图员、审核员和系统管理员 4 种角色,每种角色具有不同的操作权限,为每个用户分配了用户组,使得某一角色的用户可以根据所在的用户组完成相关图纸的授权访问与操作。

2.2 技术特点

通过向导绘制图纸,规范化图纸绘制过程,加速图纸的绘制,解决电网公司以往图纸绘制方式繁多、效率低、容易出错的问题。自动绘图向导主要提供变电站、开关站和发电厂几种常见类型的图纸绘制向导,立即显示相关模板,然后选择图元进行必要的修改。

(1) 设备编号自动化及校核^[3]。系统提供了编号视窗,在生成的图纸上对设备进行标准化编号,既可以手工编号,也可以自动编号,解决了电网公司图纸中设备编号不统一、编号不方便等难题。

首先需要标注母线的电压等级,设置母线编号的起始编号,选择需要编号的母线,如果是双母,可以对第二条母线继续编号,母线编号自动加一;对母线编完号之后,选择其中一条作为主母线。然后对断路器进行编号,包括旁路断路器,母联断路器。断路器编号是根据母线电压等编号规则设定默认起始编号,需要根据实际情况进行修改。在将母线、断路器编完号之后,将自动为隔离开关自动编号。

编号完成后,可进行图纸校核功能,系统自动检查有无重复的编号,以亮色提示重复的编号位置。自动编号功能如图 3 所示。



图 3 自动编号功能

(2) 图纸管理集中化。系统实现了图纸管理业务流程的电子化、业务流程流转的自动化,可实现省地县三级一体化管理,提高了图纸管理的效率,保证了图纸管理的可靠。图纸工作流管理采用业务专业化与使用

灵活相结合的方式,根据业务性质抽取出几种主要的节点类型和操作,通过可配置的流程,经过一定修改适应业务要求,将各类型节点连接为一个完整的流程。

(3) 流程管理可视化。提供面向任务的可视化流程管理手段,使得图纸的管理流程与实际业务流程完全一致,解决了图纸流程管理的不规范以及流程繁中出错等问题,定义了如图 4 所示的审批流程。

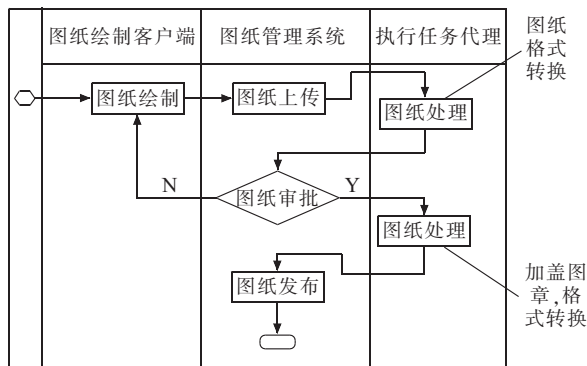


图 4 图纸审批流程

(4) 资源共享多级化。根据用户业务逻辑关系,将系统级别抽象为两级系统。单级使用时,由系统本级管理服务器完成各类规则、图元的初始化(自身即为上级);多级使用时,可以控制由上一级发布规则、图元规范等全局统一的资源,实现了资源管理的一致性。

多级网络化的图纸管理平台使不同地区的企业、部门之间可以相互协作,互联互通,共享图元库、图纸库等信息资源,促进了广域网环境下的信息化建设。各级单位的图纸绘制人员客户端安装图纸绘制客户端,通过网络连接到图纸数据中心,使用系统提供的图元、规则和模块快速制图。

(5) 图纸使用多样化。根据厂站主接线图自动生成电网接线图,包括电网接线图中厂站主变容量和数量;线路的长度、型号和限流值;线路运行的方式。还能自动生成厂站正常方式图,即去掉刀闸、PT、接地刀等图形和编号,仅留下母线、线路、开关的图形和编号。对图纸的格式、线型、线距等进行多元化管理,可输出多种格式的图形文件(dwg、jpg、svg 等),以满足不同场合需要。

(6) 与设备管理一体化。按照设备台帐信息生成图形数据库,对厂站主接线图按所属地区、电压等级进行分类管理;根据图形及信息在各变电站名下生成全部的母线、开关、刀闸、主变、线路等设备台账,对厂站的信息(厂站数量、主变台数、线路条数等信息)进行统计、查询,并能导出到 excel 文件;能将 excel 格式的线路限流表和电网接线图中的线路信息双向关联(根据电网接线图导出线路限流值表,根据线路限流值表导入到电网接线图中)。

3 结束语

电网主接线图自动生成与校核系统在广东电网投入运行后,有效提高了图纸绘制速度、准确度和标准化程度,严格了图纸审核的流程化管理的实施,改善了全系统图纸信息的存储、查询和共享,为进一步深化电网行业的管理信息化创造了条件,奠定了基础。该系统不仅能应用于广东电网日常的生产应用、规划设计应用,而且可应用于其他省级电网、大型地市级电网的生产、规划、设计、施工等工作中,具有良好的推广前景。

参考文献:

[1] 冯 威,冯林桥.供配电 CAD 中矢量绘图与数据处理一体化的

实现[J].电网技术,2002,26(1):59-61.

[2] 乔 毅,孙 岩,焦连伟,等.可视化输配电网状态分析软件包的开发与实现[J].电网技术,2001,25(2):1-5.

[3] Q/GD001 1136.3—2006,广东电力系统调度规程[S].

作者简介:

杨 威(1984),男,湖南长沙人,工程师,从事电网运行方式研究工作;

李 力(1970),女,广东广州人,高级工程师,从事电网运行方式研究工作;

苏 勇(1972),男,江苏南京人,工程师,从事水电调度自动化系统研究工作;

沈 烨(1986),男,湖南湘潭人,工程师,从事水电调度自动化系统研究工作。

Automatic Drawing and Checking System for Power Grid Main Wiring Graph

YANG Wei¹, LI Li¹, SU Yong², SHEN Ye²

(1.Guangdong Power Supply Company Power Dispatching and Control Center, Guangzhou 510800, China;

2. Nanjing Jin Shui Shang Yang Information Technology Co. Ltd., Nanjing 210014, China)

Abstract: In view of the problem that the automatic drawing and checking, announcing and query, updating and managing of main wiring graph, the paper provides a design method of drawing synthesis management system combining C/S and B/S. This method can realize synchronous update of main wiring drawing. When automatic drawing and checking system for main wiring graph put into operation in Guangdong power grid, it can improve the degree of drawing rate, accuracy and standardization of graph.

Key words: automatic drawing; standard drafting; unified number; drawing management

(上接第 18 页)

决方案,最终在实际工程中验证了方案的有效性和可靠性。

参考文献:

[1] 胡 铭,田 杰,李海英,等.高压直流输电控制保护系统国产化研究及其应用[C].中国科协 2004 年学术年会电力分会场暨中国电机工程学会 2004 年学术年会,2004.

[2] 金 淳.电力故障信息管理系统的设计与实现[J].电脑知识与技术,2009,5(6):1387-1389.

[3] 胡 振.基于 Samba 文件共享技术的研究与实践[D].武汉:华中科技大学,2009.

[4] 张彦明.继电保护故障信息与通信协议的结合[J].广东科技,2008(8):61-63.

作者简介:

沈 刚(1972),男,江苏江都人,高级工程师,从事电力系统及其自动化研究和开发工作;

薛海平(1980),男,江苏江阴人,工程师,从事电力系统及其自动化研究和开发工作;

吕 冰(1981),男,江苏昆山人,工程师,从事电力系统及其自动化研究和开发工作;

曹卫国(1978),男,河南新乡人,工程师,从事 IEC 61850 在交流和直流系统的应用工作;

叶 周(1967),男,河南平顶山人,研究员级高级工程师,从事电力系统及其自动化研究和开发工作。

Research and Application of TFR Acquisition and Remote Transmission in HVDC Control and Protection System

SHEN Gang, XUE Hai-ping, LV Bing, CAO Wei-guo, YE Zhou

(Nanjing NARI-relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: Firstly, the problems encountered in the remote transmission of HVDC control and protection TFR files are described and discussed. And then a new way is proposed. In the new situation, a front equipment machine is added to the HVDC control and protection system which can get TFR files from HVDC control and protection system through disk mapping and transfers information to the remote dispatch center through dispatching data network and IEC 61850. This way has been implemented in real HVDC projects.

Key words: HVDC; control and protection; TFR; information remote transmission; IEC 61850

励磁系统整流装置均流不佳问题解决方法

余 振, 万 泉

(国电南瑞科技股份有限公司 江苏 南京 210061)

摘 要:分析了励磁系统整流装置均流不佳的各种原因,包括交流阻抗、元件通态特性、母排连接方式等,提出了相应的解决方法,即更换可控硅排列次序、主回路母排重新设计、安装均流磁环与数字智能均流,在实际应用中效果较好。

关键词:励磁系统;整流装置;均流

中图分类号:TM461

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)03-0023-03

均流系数是励磁系统的一项重要指标,电力行业标准 DLT583^[1]、GBT7409^[2]均规定功率整流装置均流系数一般不小于 0.85,以便设备的容量得到充分合理的应用。电力行业标准规定当并联运行的支路中,有 1 条支路退出运行时,应能保证发电机在所有运行方式下(包括强励)均能连续长期运行,如均流系数较低时,可能会导致励磁系统退出 1 条支路后不能满足强励运行的电流要求,进而影响电厂的安全可靠运行,因此均流问题现在越来越受到电厂人员的重视。本文针对整流装置均流不佳的各种原因进行分析,提出了相应的解决方法,并在实际应用中效果较好。

1 影响均流系数的几种原因

衡量励磁系统整流装置均流好坏程度的标准是均流系数,数值越大均流越好,反之则均流越差。均流系数 K_1 计算公式^[1]如下:

$$K_1 = \frac{\sum_{i=1}^m I_i}{m I_{\max}} \quad (1)$$

式中: $\sum_{i=1}^m I_i$ 为 m 条并联支路电流的和; $I_{\max}$ 为并联支路中的电流最大值。如某机组整流装置电流分别为 800 A, 700 A, 600 A 时,则均流系数为 0.875。

在任意时刻,并联的 2 个支路导通为相同的两相可控硅。电流分配如图 1 所示,交、直流侧电抗参数、可控硅参数、换相时刻和换相过程都影响 T_{12} 和 T_{22} 之间电流分配。 T_{12} 和 T_{22} 回路方程列写如下:

$$\begin{aligned} (R_{1a} + R_{1d} + R_{1T}) \cdot i_1 + (L_{1a} + L_{1d}) \frac{di_1}{dt} + V_{1T} = \\ (R_{2a} + R_{2d} + R_{2T}) \cdot i_2 + (L_{2a} + L_{2d}) \frac{di_2}{dt} + V_{2T} \end{aligned} \quad (2)$$

上式在 b 相导通期间,满足:

$$i_1 + i_2 = i_\gamma = \begin{cases} \frac{\sqrt{2} U_2}{2\omega L_1} (\cos \alpha - \cos \omega t) & \alpha \leq \omega t \leq \alpha + \gamma \\ I_d & \alpha + \gamma < \omega t < \alpha + \pi/6 \end{cases} \quad (3)$$

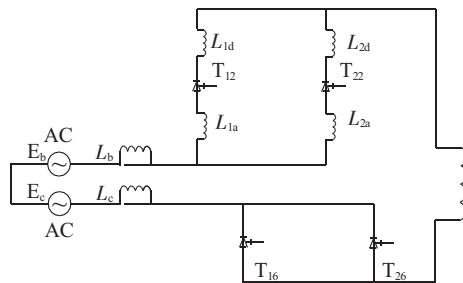


图 1 电流分配

式中: R_{1a}, R_{2a} 分别为整流桥 1, 2 b 相交流侧铜排或电缆电阻; R_{1d}, R_{2d} 分别为整流桥 1, 2 直流侧铜排或电缆电阻; R_{1T}, R_{2T} 分别为整流桥 1, 2 b 相可控硅通态电阻; L_{1a}, L_{2a} 分别为整流桥 1, 2 b 相交流侧铜排或电缆电感; L_{1d}, L_{2d} 分别为整流桥 1, 2 直流侧铜排或电缆电感; i_1, i_2 分别为整流桥 1, 2 b 相可控硅电流; V_{1T}, V_{2T} 分别为整流桥 1, 2 b 相可控硅通态压降或导通转折压降(门槛压降); α 为整流桥可控硅触发角; γ 为整流桥可控硅换相角。根据以上公式分析及实际工程经验,在可控硅元件没有损坏的前提下,影响均流系数的原因主要有以下几种。

1.1 交流阻抗影响

对于交流侧采用铜排互连的整流桥,离交流进线处较近的功率柜由于交流阻抗较小通常输出电流较大,而离交流进线处较远的功率柜由于交流阻抗较大通常输出电流较小。不同的进出线方式也影响并联元件之间电流分配,理想与实际母排连接方式如图 2 所示。这就要求采用合理的布局,尽量减小可控硅整流桥交直流回路阻抗的差异,特别是交流侧感抗的差异。

1.2 可控硅元件的管压降影响

如图 3 所示,并联可控硅对于通态峰值电压(V_{TM})、斜率电阻(R_{T0})、门槛电压(V_{T0})对均流效果影响较大。在选择可控硅时应尽量选取上述参数相近的元件作为同一桥臂的位置进行并联,最大限度保证各可控硅平均通态压降的一致性。

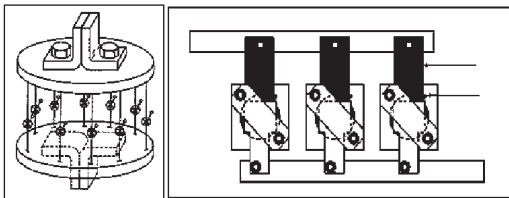


图 2 理想与实际母排连接方式

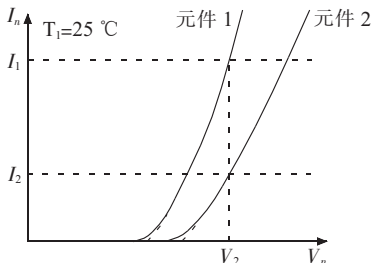


图 3 晶闸管元件通态特性对均流的影响

1.3 可控硅元件的开通特性

由于可控硅元件导通特性及触发脉冲的差异,导致可控硅开通存在时间差异,引起支路电流的差异。如图 4 的-C 相晚触发导致 C 相电流明显不均流。

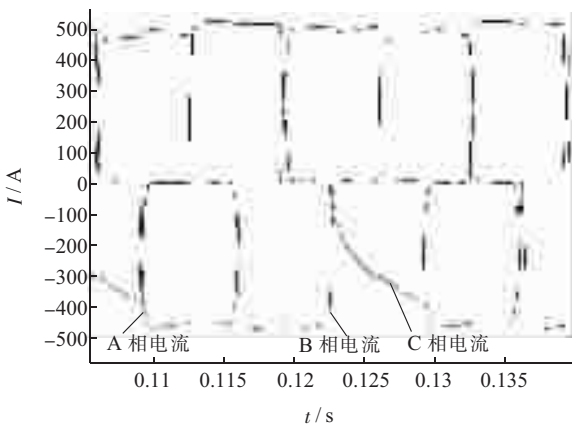


图 4 -C 相晚触发电流波形

1.4 一次回路上存在接触不良的情况

由于铜排连接螺丝不合适或者连接不紧导致接触电阻较大,通常该柜电流比其他柜明显偏低^[3,4]。

2 在线监测手段

对励磁系统均流的监测方法通常有如下几种:

(1) 霍尔元件。由于电流互感器不适用于直流电流的测量,无法判断出各柜的实际输出大小,而分流计精度较低,且串联在主电路上,测量存在安全隐患。用霍尔元件测量直流电流,弱电回路与主电路隔离,能够输出与被测电流波形相同的“跟随电压”,容易与计算机或二次仪表接口。其精准度高,线性度好,响应时间快,频带宽,不会产生过电压。各功率柜的直流侧输出使用霍尔元件进行测量,输出电流大小一目了然。

(2) 电压测量。使用万用表测量各段铜排的阻抗

压降。采用此方法可以测量出铜排各段的压降和可控硅的管压降,当铜排压接不紧密使得接触电阻变大或某相可控硅压降与其他相差别较大时,利用此方法可以较为快速的发现问题。

(3) 温度测量。使用红外线测温仪可以随时检查每条桥臂上整流元件和快熔的运行情况,均流特性差的整流柜,其快熔之间温差较大,个别快熔温升异常,参照该整流柜的均流测试表可以看出:温度过高的快熔压降大,温度偏低的快熔压降小。并且与温度偏高的快熔连接的元件温度也偏高,其承受的电流较大,与温度较低的快熔连接的元件温度也较低,其承受的电流偏小。因此,均流偏差是导致元件、快熔温升异常的直接原因。这样就为均流调整、测算找到了一个新的参照数据——快熔运行温度。同理,元件温度也可以是均流调整和测算误差参照数据,这要根据整流柜的具体结构来确定^[5]。

(4) 电流波形分析。配合大电流探头对单柜的交流侧进行测量,对交流侧的电流波形进行分析,可找出导通异常的可控硅。在 0.122 时刻-C 相电流上升波形如图 4 所示,可知触发延时致使电流在整个导通周期之内都没有爬升至电流均分点,有效值变化达到一半以上,两管均流差值较大。查看交流侧波形,可以检测出:① 脉冲触发引起的不均流问题,如脉冲未触发、脉冲出发强度不够等;② 各支路由可控硅元件参数不匹配引起的不均流问题。

3 解决均流问题的方法

对于励磁系统均流较差的问题,首先应结合上文提到的各种监测手段确定可控硅元件是否工作正常,如元件本身均正常导通,则需要根据各柜的异常情况实施最优的解决方案。

3.1 调换可控硅排列次序

对于可控硅的并联使用,要得到大范围的动态均流,应选择并联可控硅元件的 R_{T0} , V_{T0} 一致(相等最好)。选斜率电阻相近的可控硅元件作为同一桥臂的位置进行并联, V_{TM} 相近仅作为参考。

其优点:成本较低,一般情况下采用此方法能解决部分均流问题。缺点:可控硅的拆卸较麻烦,受可控硅的参数影响,此方法有一定局限性。

3.2 交流母排重新设计

在整流元器件参数较匹配或完全一致情况下,有时候也会出现不均流的问题。在排除了脉冲触发与铜排压接不紧密后,往往由于交流母排设计不合理导致:(1) 铜排弯折或者接口太多,自感与接触电阻较大;(2) 柜体结构不合理,单相铜排涡流;(3) 铜排排列不合理,距离过近,排间产生互感。

随着机组容量的提升,各桥臂的载流能力要求越来越高,铜排布局对均流影响越来越大。电解铝与离子膜烧碱行业同相逆并联的技术得到了广泛应用,同相逆并联(如图5所示)特点就是利用导体产生的磁力线相互抵消,减少导排的互感,最终减少母线的交流阻抗,达到提高功率因数的目的。采用同相逆并联后,还可以减少涡流引起的附加损耗。

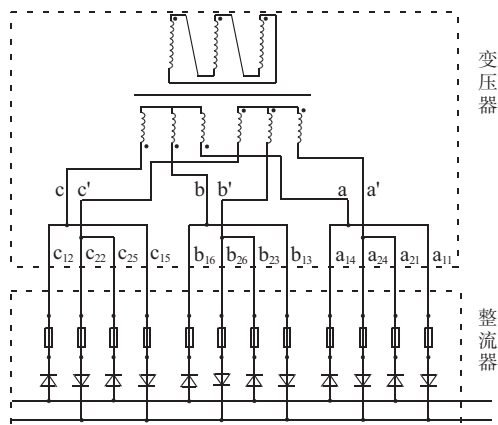


图5 同相逆并联

其优点:能解决由于结构设计引起的均流问题。缺点:更换铜排成本较高,部分受制于功率柜空间而无法重新设计,只能解决少部分均流问题。

3.3 安装磁环

磁环线圈有阻止交流电路中电流变化的特性。通过调节磁环磁阻的大小来改变功率装置的交流阻抗,磁阻越小,其产生的磁场就越大,等效产生阻抗就越大。如图6所示,靠近交流进线侧的1号与2号功率柜交流阻抗势必小于相对远端3号功率柜。1号与2号功率柜安装磁环后,适当调节磁环气隙使得3柜进线交流阻抗基本一致从而达到均流的目的。

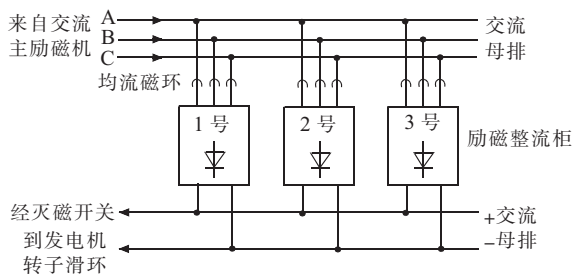


图6 励磁系统整流柜布置

其优点:使用磁环增加该功率装置的交流阻抗,达到均衡各柜输出电流的目的,对机组励磁系统性能没有任何影响,可以解决大多数均流问题。缺点:在单柜输出较大时会产生一定的噪声;将消耗一定的功率引起发热;会发生高频震动,磁环如安装不紧长时间使用后有松脱的隐患^[6]。

3.4 智能均流

通过常规自然均流方式,励磁整流系统一般能够

达到行业标准要求。但近年来部分电厂要求均流系数达到0.95以上,因此部分厂商开发了数字智能均流功能。其原理是通过数字方式对AVR输出的可控硅触发脉冲进行处理,调整可控硅导通时刻,从而达到均流的目的。如图4波形为某电厂不均流时单柜输出波形,采用数字均流后波形如图7所示,整体的均流系数达到0.99。

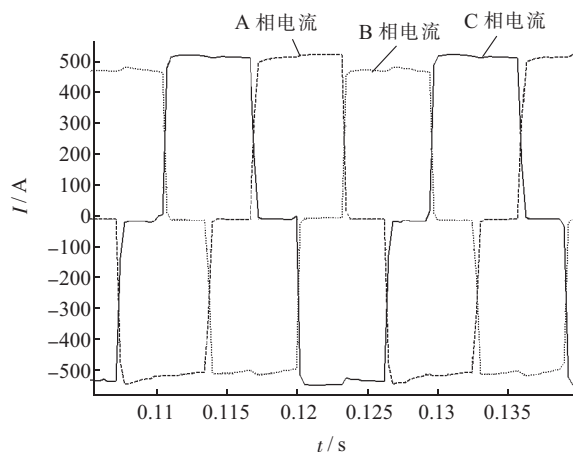


图7 均流系数达到0.99时可控硅整流波形

数字式均流与常规均流相比有一定的优势:

(1) 调整方法简单,调整方向明确,能够在线实施,现场调整工作量不大。

(2) 降低对可控硅器件参数一致性要求,从而降低选配难度。

(3) 具备较强的交、直流进出线变化的适应性,对现场施工要求低,能够比较方便安排整流柜的位置等;

(4) 测量的各可控硅的电流能比较准确反映各个可控硅状况和真正均流情况^[7]。

但是数字均流也存在一定的缺点:

(1) 由于在脉冲回路串接调整电路,降低了系统的可靠性;

(2) 数字均流容易掩盖可控硅器件本身存在的问题,如某相可控硅通态压降较差或者触发不一致,应该对该相可控硅进行更换处理,可是往往此种情况下,由于数字均流调整简单而更换可控硅较麻烦,于是维护人员通过数字均流的调整掩盖了这一问题,对功率柜安全运行造成隐患。

(3) 长时间运行后,可控硅特性发生变化可能造成均流变差,此时如强行对可控硅进行均流可能加重特性变化较多可控硅的负载,缩短可控硅的使用寿命。

4 结束语

针对励磁系统常见的均流问题进行了归纳总结,提出了功率柜桥臂电流的实时监测办法,对均流问题给出了相应的解决办法,并且总结了几种解决办法的

电动汽车电池更换服务收费标准研究

沈琰桓, 宋国兵

(西安交通大学, 陕西 西安 710049)

摘 要:近年来,国内电动汽车得到比较广泛的推广应用,但缺少对换电电动公交车运营收费模式的研究,也未有商业化运营的成功案例。介绍了国内电动汽车充换电服务收费现状,以“十城千辆”试点城市的快速换电电动公交车为例,综合考虑充换电站折旧、电池成本和充换电服务费等因素,从投入和产出达到收支平衡进行分析,以测算充换电服务收费标准。通过与部分省份推行的燃油替代收费标准进行比较,给出收取电池更换服务费的结论与建议,为国内电动汽车充换电服务收费标准的研究和出台提供参考。

关键词:智能电网;电动汽车;充电设施;充换电站;收费标准

中图分类号:TM64

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)03-0026-04

电动汽车具有显著的节能减排和环保优势,发展电动汽车已成为世界各国的共识^[1-4]。为保障国家能源安全,减少对石油进口的依赖,我国政府出台了多项鼓励政策,全力推动电动汽车产业发展。国家电网公司积极响应国家号召,把推动电动汽车发展作为贯彻国家能源战略、落实节能减排政策和履行社会责任的重大战略举措。截至 2011 年底,国家电网公司已建成投运 243 座充换电站和 13 283 台交流充电桩,我国已经成为世界上投运充换电设施数量最多的国家。目前国内外学者对电动汽车充换电站布局设计、技术应用、发展方向等方面的研究较多,缺少对电动汽车收费模式和收费标准的深入分析^[5-12]。文中以“十城千辆”试点城市的快速换电电动公交车为例,按投资产出核算和按燃油替代核算 2 种方法对电动汽车电池更换服务收费标准进行了分析比较,并给出建议,可供国内电动汽车充换电服务收费标准的研究和出台提供参考。

1 充换电服务收费现状

1.1 收费现状

目前国家层面没有出台充换电服务收费方面的相关政策,甚至没有将充换电服务列入物价清册。国内电动汽车充换电服务主要有下面 3 种结算。

1.1.1 换电模式电动乘用车按里程收费

国内部分电动汽车推广应用重点城市已有换电模式电动乘用车比较成熟的商业化运营经验,经过地方物价部门核准或备案后,和用户签订充换电服务合同,并以此收取充换电服务费。如杭州已大规模应用的换电电动出租车即采用了按里程计费方式,目前的收费标准为每公里 0.5 元。

里程的计算方法是通过车载里程计读取本次换

电和上次换电对应的行驶里程,作差后得到本次换电收取费用的里程数据。

1.1.2 整车充电模式按电度收费

对于整车充电模式,无论是电动乘用车和电动公交车,均可以按充电电度收费,根据电动汽车在充电桩上充电电量收取费用。目前,北京和安徽推广应用的整车充电电动乘用车采用该收费方式,收费的电价标准为一般工商业电价。

1.1.3 记录充换电数据等待服务价格出台

当前全国大部分地区的充换电站多为单一用户(如公交公司、出租车公司等)提供充换电服务。由于目前没有出台充换电收费标准,国内很多充换电站每天、每周或每月记录用户的充电量、换电数据,并经用户签字确认,待物价部门出台收费标准后收取相关费用。中央和地方的财政补贴政策及落实情况,将直接影响到电动汽车充换电服务的收费标准。

1.2 财政补贴政策

推广应用电动汽车的优惠政策,除了免费使用或划拨土地、提供免费停车位、电动汽车不限行等定性优惠措施外,定量的财政补贴政策主要包括充换电建站补贴和电池经营补贴。

1.2.1 充换电站建站补贴

目前,国内有部分城市对充换电站建设费用进行补贴,北京的补贴标准为建站总费用的 30%,杭州和济南均为 20%。

1.2.2 电池经营补贴

对“十城千辆”试点城市采购《节能与新能源汽车示范推广应用工程推荐车型目录》内的电动公交车,国家财政补贴每辆 50 万元,部分城市的当地财政还有一定金额的补贴。以江苏出台的优惠政策为例,对购买使用电动公交车,每辆车除中央财政补贴 50 万元外,省财政补贴 20 万元,市财政补贴 30 万元。国家和当地的

财政补贴合计 100 万元,由裸车购买者和电池经营者共同享受,两者之间的分配比例由双方协商而定。

下面从经营充换电站和电动汽车换电电池的充换电服务方的角度考虑,以投资资产折旧、运行费用和运营收入来核算充换电服务收费,并与用户易于接受的燃油替代收费标准进行比较分析。

2 按投资产出核算收费标准

2.1 测算方法

对于“裸车采购、电池租赁”的换电模式,充换电站投资方的运营成本主要包括充换电站折旧和维护费、电池折旧、电能费用、人员成本和相关税费,运营收入主要包括电池更换服务费和政府补贴,其中政府补贴部分参考国内部分城市实施的补贴政策,含充换电站建设补贴、电池采购补贴、车辆行驶里程补贴、税费减免等。对于整车充电模式,充换电服务方不经营电池,不存在电池折旧问题,也不享受电池采购补贴。

在电动汽车推广应用前期,车辆规模较小,为了保证充换电服务能够良性开展,需尽量保证充换电服务提供方不亏损。对于换电模式,由于目前技术无法准确测量电池的荷电容量,借鉴国内换电收费经验,以里程方式为例,按投资产出核算收费标准计算公式为:

$$\text{每公里收费标准} = \frac{\text{年运营成本} - \text{政府补贴}}{\text{车辆规模} \times \text{年行驶里程}} \quad (1)$$

2.2 测算条件

2.2.1 运营收入部分

(1) 充换电站建设补贴。国内已出台充换电站建设补贴政策的城市比较少,已享受到补贴费用的城市更少,文中收费标准测算中若享受充换电站建设补贴则以 20% 来考虑。

(2) 电池采购补贴。“十城千辆”试点城市对每辆电动公交车的补贴标准为 50 万元。每辆车无论配置多少组电池,均只能得到 50 万元的补贴,该部分补贴由裸车采购方和电池经营方协商各自获取补贴的比例,文中以电池经营方得到 50 万元补贴为例进行测算。

(3) 电池更换服务费。电池更换服务费与服务车辆、日行驶里程、每公里收费标准有关,该费用的求取方法是在运营收入和运营成本相等的情况下,得到每辆车每公里的收费结果。

2.2.2 运营成本部分

(1) 充换电站折旧和维护费。充换电站是充换电服务的基础,充换电站折旧是运营成本的主要组成部分。根据国家电网公司文件精神,充换电站房的建筑部分年限为 20~30 年,充换电设备折旧年限为 8~10 年。充换电站建设费用中,除了建筑和设备外,还有项目前期、项目管理等其他费用,为此论文中充换电站综

合折旧年限为 12.5 年,即折旧率为 0.08。若充换电站项目通过省发改委审核并纳入电力基础设施投资范畴,计算电池更换服务费时则可以不计充换电站折旧费用。

参考变电站来测算充换电站的维护费用。变电站的年运行维护费用约占全站投资的 2%~2.5%,在电动汽车推广应用初期,由于充换电站建设成本相对较高,故充换电站维护费取全站建设费用的 2%。

(2) 电池折旧。根据国家电网公司文件精神,电动汽车动力电池折旧年限为 3~5 年。文中以 4 年折旧计算,即折旧率为 0.25。

(3) 电能费用。充换电服务方所建充换电站一般由 10 kV 供电,供电容量远大于 100 kV·A,电能价格采用 100 kV·A 及以上普通工业的峰谷分时电价。

以某省电价为例(各省份的价格存在较小差异),高峰、平段和低谷电价分别取 1.445 元/kV·A, 0.867 元/kV·A, 0.389 元/kV·A。为降低电能成本,尽量在低谷时段给电池充电,而最大限度避开高峰和平段。本文测算电能成本时假定高峰、平段和低谷所耗电能占比分别为 10%, 20%, 70%。

(4) 人员成本。以每座充换电站配置 20 名服务人员,每人年工资为 4 万元/年。

(5) 相关税费。提供充换电服务得到的收益,需要交纳一定的经营收入税费,一般以营业收入的 6% 作为税费。

假设充换电站年折旧和维护费为 X_a ; 电池年折旧费为 X_b ; 电能费用为 X_c ; 人员成本为 X_d ; 相关税费为 X_e ; 充换电站建设补贴为 X_A ; 电池采购补贴为 X_B ; 电池更换服务费为 X_C ; 所有费用单位均为元。由于:

$$X_a + X_b + X_c + X_d + X_e = X_A + X_B + X_C \quad (2)$$

$$X_e = 0.06 X_C \quad (3)$$

根据式(2)和(3)可以求得:

$$X_c = \frac{3}{47} (X_a + X_b + X_c + X_d - X_A - X_B) \quad (4)$$

2.2.3 其他测算条件

对于 2 个全自动换电工位的充换电站,假设建设费用约为 5 000 万元,服务对象为 60 辆电动公交车,车辆与电池的配置比例为 1:1.6,电池采购价为 60 万元/组。电动公交车日行驶里程 200 km,百公里电耗为 120 kW·h。

2.3 测算结果

根据式(3)和(4),可以求得电池更换服务费 X_c ,进一步求得每辆车每公里的电池更换服务费。按照是否得到政府补贴,得到下面的测算结果。

(1) 若政府提供充换电站建设补贴和电池采购补

贴,每公里需收取 3.64 元,充换电服务方才能保证收支平衡,详细的测算结果如表 1 所示。

表 1 政府提供补贴时的测算结果

成本与收入	分项内容	费用	备注
总投资 /万元	合计	10 760	
	其中:充换电站建设	5 000	
	电池采购	5 760	
运营成本 /(万元·年 ⁻¹)	合计	2 426	
	其中:充换电站折旧	400	折旧率为 0.08
	充换电站维护费	100	
	电池折旧	1 440	折旧率为 0.25
	电能费用	310	
	人员成本	80	
	营业收入税	96	
	合计	2 426	
运营收入 /(万元·年 ⁻¹)	其中:充换电站建设补贴	80	
	电池采购补贴	750	
	电池更换服务费	1 596	3.64 元/km
	利润(万元)	0	

(2) 若政府不提供任何补贴,即 $X_A = X_B = 0$,每公里需收取 5.66 元才能保证收支平衡。

2.4 灵敏度分析

影响电池更换服务收费标准的最主要因素是电池费用,包括电池折旧和电池采购补贴,其次是充换电站折旧、电能费用和充换电站建设补贴,影响最小的是充换电站维护费、营业收入税和人员成本。因此,电池的销售价格、使用寿命和性能参数将直接影响到电动汽车的大规模推广应用。

3 按燃油替代核算收费标准

目前,电动汽车的推广应用处于起步阶段,为了促使用户接受并使用电动汽车,部分省份推行燃油替代收费标准。

3.1 测算公式

根据当前油价和燃油公交车的油耗,计算常规燃油公交车的能源消耗费用,相同行驶里程下,向电动公交车用户收取与燃油同样的费用,作为电池更换服务费。假设燃油公交车百公里油耗为 L 升,燃油价格为 U 元/升,可以得到按燃油替代核算收费标准计算公式如下:

$$\text{每公里收费标准} = U \times L / 100 \quad (5)$$

3.2 测算条件和结果

以目前市场行情为例,燃油公交车百公里油耗约 40 升,燃油价格则取当前市场价格,约 7.5 元/升,可以得到与燃油同等费用下,电动公交车用户需要承担的电池更换服务费为每公里 3.00 元。

3.3 灵敏度分析

从上面的测算看出,按燃油替代核算的收费标准主要受燃油价格的影响。燃油价格的波动性比较大,对于电动汽车包年用户,可以按当地年度平均燃油价格进行费用结算。

4 2 种收费标准的比较分析

(1) 充换电站服务的电动汽车数量越多,按照投资产出核算的充换电服务收费标准越低,越有利于电动汽车的推广应用。

(2) 对于燃油替代核算收费方式,无论整车充电还是换电模式,对用户收取相同的充换电服务费用,所不同的是,若采用换电模式,用户只需采购不带电池的裸车,但电池采购补贴之外的电池费用需要服务双方协商确定。

(3) 若能享受到文中所提的充换电站建设补贴和电池采购补贴,按投资产出核算的充换电服务收费标准与燃油替代核算结果比较接近,若不能享受到补贴,前者核算结果明显高于后者。

(4) 采用燃油替代收费标准向用户收取充换电服务费,充换电服务提供方若要实现盈亏平衡,还需要积极从政府争取到相应的运营补贴、税收减免和其他优惠政策。

(5) 由于电动汽车没有在全国范围内得到大规模推广应用,充换电设施、电池等关键技术还在不断提高中,按投资产出核算方式得到的收费标准短时间内难以得到物价部门的认可,而燃油替代收费标准容易被政府部门和车辆使用单位所接受。

5 结束语

综上所述,采用投资产出核算方式确定的收费标准能够较好地保证充换电服务提供方的正常运营,并不断扩大充换电站的建设和服务能力,确保基础设施的前期投入。为调动用户采购、使用电动汽车的积极性,在电动汽车推广应用初期,建议以不高于燃油替代收费标准向用户收取充换电服务费,收费不足部分由充换电服务方与政府部门协商解决。

参考文献:

- [1] 滕乐天,姜久春,何维国.电动汽车充电机(站)设计[M].北京:中国电力出版社,2009.
- [2] 康继光,卫振林,程丹明,等.电动汽车充电模式与充电站建设研究[J].电力需求侧管理,2009,11(5):69-71.
- [3] 张文亮,武斌,李武峰,等.我国纯电动汽车的发展方向及能源供给模式的探讨[J].电网技术,2009,33(4):1-5.
- [4] 陈良亮,张浩,倪峰,等.电动汽车能源供给设施建设现状与发展探讨[J].电力系统自动化,2011,35(14):11-17.
- [5] 李瑞生,王晓雷,周逢权,等.灵巧潮流控制的电动汽车智能化充电站[J].电力系统保护与控制,2010,38(21):87-90.

- [6] 陈磊,黄琦,张昌华,等.考虑故障影响的电动汽车充电系统控制策略的研究[J].电力系统保护与控制,2012,40(7):117-122.
- [7] 龚钢军,孙毅,蔡明明,等.面向智能电网的物联网架构与应用方案研究[J].电力系统保护与控制,2011,39(20):52-58.
- [8] 宋永华,阳岳希,胡泽春.电动汽车电池的现状及发展趋势[J].电网技术,2011,35(4):1-7.
- [9] 李明,姜久春,牛萌,等.电动汽车充电站网络监控系统的研究[J].汽车电子,2010,26(2):163-164.
- [10] 严辉,李庚银,赵磊,等.电动汽车充电站监控系统的设计与实现[J].电网技术,2009,33(12):15-19.

- [11] 赵明宇,王刚,汪映辉,等.电动汽车充电设施监控系统设计与实现[J].电力系统自动化,2011,35(10):65-70.
- [12] 周逢权,连湛伟,王晓雷,等.电动汽车充电站运营模式探析[J].电力系统保护与控制,2010,38(21):63-66,71.

作者简介:

沈珑桓(1992),男,江苏无锡人,本科,研究方向为电动汽车和分布式电源接入;

宋国兵(1972),男,河南信阳人,副教授,研究方向为输电线路故障定位、自适应重合闸和新能源发展技术。

Research on Toll Standard of Electric Vehicles Battery Swap Service

SHEN Long-huan, SONG Guo-bing

(Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: In recent years, domestic electric vehicles gain more popularization and application. However, it is deficient in research of operation charging mode about the battery swap electric bus, and there is no corresponding successful commercial operation case. This paper analyses the present charging situation of charging and swapping battery service. Taking the battery swap electric bus in preferential policy city as an example, in consider of depreciation of charging and swapping station, the cost of battery, the service of charging and swapping and so on, this paper analyses the balance of investment and profit, to calculate charging and swapping service charge standard. Comparing with the charge standard of oil-alternative in part provinces, conclusions and suggestions on charging battery swap service are then given, which provides reference for the research and release of domestic electric vehicles charging and swapping service toll standard.

Key words: smart grid; electric vehicles; charging infrastructure; charging and swapping station; charge standard

(上接第25页)

优缺点。经过实践证明,采用了上述几种方法后,可以解决绝大多数的励磁系统均流问题,均流系数能提升到0.9以上。励磁系统的调试检修人员可以结合现场实际情况根据难易程度选择最为合适的办法。

参考文献:

- [1] DLT 583—2006,大中型水轮发电机静止整流励磁系统及装置技术条件[S].
- [2] GBT 7409.3—2007,同步电机励磁系统 大中型同步发电机励磁系统技术要求[S].
- [3] 许其品,魏伟,王永刚.可控硅整流桥均流的探讨[J].水电厂自动化与大坝监测,2010,34(4):12-15.
- [4] 王伟,石磊,马齐,等.影响并列运行可控硅励磁整流桥均流

的因素[J].水电厂自动化,2006(S):90-96.

- [5] 陈改琴.整流柜均流系数测算方法的改进[J].有色冶金节能,2010(1):49-51.
- [6] 余前军,李自淳,钱厚军.励磁整流柜高性能均流磁环[J].大电机技术,2009(3):48-50.
- [7] 许敬涛.整流设备动态均流技术[J].中国氯碱,2010(3):5-7.

作者简介:

余振(1983),男,江苏南京人,工程师,从事发电机励磁控制研究工作;

万泉(1985),男,湖北武汉人,工程师,从事发电机励磁控制研究工作。

Solutions of Current Inequality in Rectifiers of Generator Excitation System

YU Zhen, WAN Quan

(NARI Technology Development Co. Ltd., NanJing 210061, China)

Abstract: Reasons for poor current-sharing of rectifiers for generator excitation, including AC Impedance, component on-state characteristics and busbar connection mode, are analyzed. This paper proposes relevant solving method that is rearrangement of the order of SCR, redesign of main circuit busbar, installation of flux diverter and digital intelligent current-sharing, achieving good results in practical application.

Key words: excitation system; rectifying device; current sharing

基于区域策略寻优的地区电网 AVC 系统

栗杰鹏, 陈天华, 杜磊, 吴荣, 杨科
(国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 210061)

摘要: 目前传统地调自动电压控制系统(AVC)以母线电压、关口力率合格为控制目标的模式可提高系统电压、功率因数的合格率,但在降低系统网损等经济性上有所欠缺;而以相关无功优化算法为依据的控制模式能获得当前断面在经济上的理论最优解,但工程应用效果却不甚理想。以工程应用为导向,兼顾系统运行的安全性、稳定性与经济性,提出一种应用于地区电网 AVC 系统的区域策略寻优法,该方法能在区域内厂站间协调控制,相互支援,直接给出当前区域内的最优控制策略。多个地调的实际运行均取得较好的运行效果,表明算法的先进性,同时具有一定的推广价值。

关键词: 自动电压控制;区域优化;策略寻优

中图分类号: TM761.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2013)03-0030-03

随着调度自动化水平的快速提高,自动电压控制系统(AVC)^[1]在最近 10 年内得到了广泛应用和推广。目前全国绝大部分省地调部署有 AVC 系统,甚至在一些经济较为发达、规模较大的县级电网中也开展了 AVC 系统建设,并实现了省地县 AVC 一体化协调控制。随着电网规模的扩展以及调度自动化系统的更新换代(最新一代智能调度决策支持系统的推广),未来若干年内 AVC 系统将成为地调调度自动化系统(EMS)的必选模块。目前地调 AVC 的控制策略算法普遍采用的是基于九区图或十七区图原理的专家控制算法,以母线电压、关口力率及厂站力率合格为控制目标,该算法比较简单实用,能有效提高系统电压、功率因数的合格率,但在优化系统网损等经济性上稍有不足;基于全网无功优化^[2,3]计算的 AVC 系统能为当前电网断面提供理论上的最优解,但在以离散变量为主的地调 AVC 系统中容易造成设备频繁动作,因此并未见有较多工程应用推广。文中综合考虑前述 2 种方法的优缺点,以工程应用为导向,满足对电压无功考核点的灵活设置,并兼顾系统运行的安全性、稳定性与经济性,提出并开发出一种基于区域策略寻优算法的地区电网 AVC 系统,并在实际运行中取得较好的效果。

1 区域策略寻优法

AVC 系统结构如图 1 所示,主要包括量测处理、闭锁处理、自动分区、策略计算、遥控接口等,其中策略计算部分提供区域寻优及专家系统 2 种算法。对于地调级 AVC,首先根据地区电网辐射型树状运行特点,将地区电网实时自动划分为若干个独立的控制区域,区域寻优算法以区域为控制对象,将区域内可控设备进行初步筛选以形成策略集,再以评估函数对策

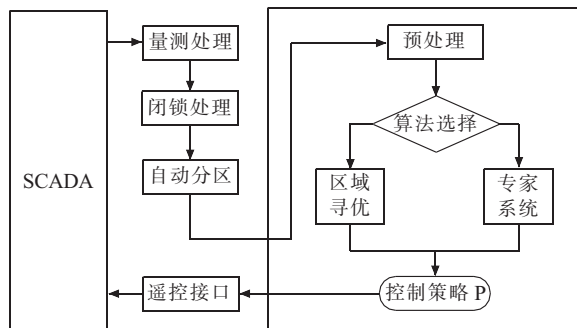


图 1 AVC 系统结构

略集进行策略寻优,从而获得最优的控制策略。

1.1 自动分区

当前我国地区电网主要呈以 220 kV (西北地区为 330 kV) 母线为根节点辐射型树状运行的特点,结合无功电压的局部性、分散性,可将地区电网划分为若干以 220 kV(330 kV) 母线为根节点的独立控制区域。AVC 系统根据从 SCADA 实时读取的开关刀闸遥信状态,自动识别各母线及设备的上下级拓扑关系,形成分区。各分区通过 220 kV 线路相联系,分区间电压无功弱耦合,分区内部电压无功强耦合。区域结构如图 2 所示。

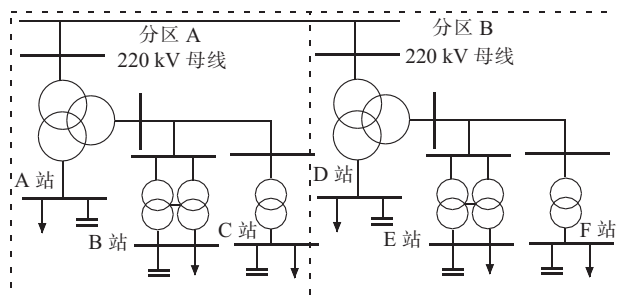


图 2 地区电网典型区域结构

区域形成后,分别针对各区域进行计算和策略寻优,具有以下可见优势:(1) 可降低对全网量测精确度及全网状态估计合格率的依赖,避免因部分分区量测质量差和参数不准确而影响全网数据断面;(2) 减小

计算模型,降低计算规模,提高运算速度。

1.2 状态预处理和策略集生成

1.2.1 状态预处理

在区域生成后,分别对各区域进行预处理。首先依据系统定义的 AVC 相关保护信号与告警闭锁信号等检测设备状态,将不可控的设备置闭锁状态位,其逻辑关系如图 3 所示。

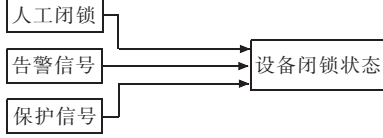


图 3 设备闭锁逻辑结构

其次,依据电网安全运行规则制定以下预处理规则,进一步对可控设备进行筛选:

- (1) 设备人工设置不参与控制或有闭锁信号时,不参与控制;
- (2) 设备未到设定动作时间间隔时,不参与控制;
- (3) 关口无功过补时,分区内不可增无功(投电容或切电抗);
- (4) 关口无功欠补时,分区内不可减无功(切电容或投电抗);
- (5) 主网(关口 220 kV 或 330 kV 母线)电压低,不可升 220 kV,330 kV 主变档位或减无功;
- (6) 主网(关口 220 kV 或 330 kV 母线)电压高,不可降 220 kV,330 kV 主变档位或增无功;
- (7) 并列运行主变中有一台闭锁时,均不可控;
- (8) 同一控制节点,电容器与电抗器不可以同时投入;
- (9) 同一母线上容抗器容量、状态相同时,循环投切平均分配动作次数;
- (10) 单周期只允许变压器调一档。

1.2.2 策略集生成

上述预处理完成后,将区域内可控设备按照设定的单周期分区最大允许可动设备数 $N_{\max}$ 进行排列组合,形成策略集。每一条策略包含控制设备及其控制方向(变压器为升、降,容抗器为投、切),控制设备个数分别从 1 到 $N_{\max}$ 。策略集示意如图 4 所示。

1.3 策略寻优

1.3.1 评估函数设计

以区域网损最小为目标^[4,5],将节点电压和无功越限以罚函数的形式加入到评估函数中,同时将控制设备动作次数还原为经济成本,扩展的评估函数为:

$$F = \lambda_1 P_{\text{loss}} + \sum_{i=1}^{n_1} \lambda_u (V_i - V_{i\text{lim}})^2 + \lambda_g (Q_g - Q_{g\text{lim}})^2 + \sum_{i=1}^{n_2} \lambda_q (Q_i - Q_{i\text{lim}})^2 + \sum_{i=1}^{n_3} \lambda_T (\Delta X_{T_i})^2 + \sum_{i=1}^{n_4} \lambda_C (\Delta X_{C_i})^2 \quad (1)$$

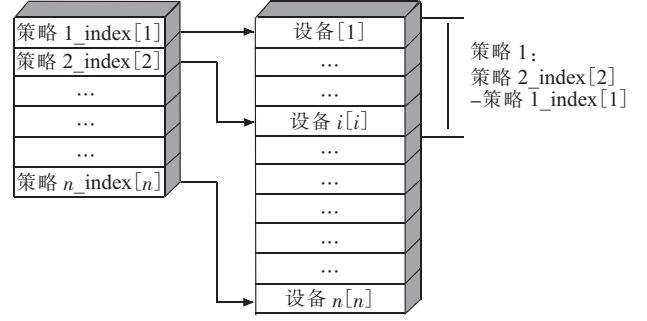


图 4 策略集结构示意图

$$V_{i\text{lim}} = \begin{cases} V_{i\text{max}} & V_i > V_{i\text{max}} \\ V_i & V_{i\text{min}} \leq V_i \leq V_{i\text{max}} \\ V_{i\text{min}} & V_i < V_{i\text{min}} \end{cases} \quad (2)$$

$$Q_{g\text{lim}} = \begin{cases} Q_{g\text{max}} & Q_g > Q_{g\text{max}} \\ Q_g & Q_{g\text{min}} \leq Q_g \leq Q_{g\text{max}} \\ Q_{g\text{min}} & Q_g < Q_{g\text{min}} \end{cases} \quad (3)$$

$$Q_{i\text{lim}} = \begin{cases} Q_{i\text{max}} & Q_i > Q_{i\text{max}} \\ Q_i & Q_{i\text{min}} \leq Q_i \leq Q_{i\text{max}} \\ Q_{i\text{min}} & Q_i < Q_{i\text{min}} \end{cases} \quad (4)$$

式中: P_{loss} 为系统的有功损耗; n_1, n_2, n_3, n_4 分别为电压考核节点个数、无功考核节点个数、可调主变数、可控容抗器数; $V_i, V_{i\text{lim}}, V_{i\text{max}}, V_{i\text{min}}$ 分别为各电压考核点的电压、电压越界值、电压上限、电压下限; $Q_g, Q_{g\text{lim}}, Q_{g\text{max}}, Q_{g\text{min}}$ 分别为当前关口的无功值、无功越界值、无功上限值和下限值; $Q_i, Q_{i\text{lim}}, Q_{i\text{max}}, Q_{i\text{min}}$ 分别为各无功考核点的无功值、无功越界值、无功上限值和下限值; $\lambda_u, \lambda_g, \lambda_q, \lambda_l$ 分别为电压罚因子、关口无功罚因子、单站无功罚因子、网损罚因子; $\lambda_T, \Delta X_T$ 分别为主变分头的调节罚因子和可动作次数; $\lambda_C, \Delta X_C$ 分别为容抗器的调节罚因子和可动作次数。上述罚因子为开放参数,可根据电压、无功或网损优先级要求进行设置。

1.3.2 策略寻优

以分区根节点的 220 kV 或 330 kV 母线为平衡节点,取当前状态估计断面作为基态潮流数据,依次按照策略集中每一策略所含设备动作方向修改相应遥测遥信值,潮流计算完成后,依据评估函数计算当前策略的状态值。循环上述过程,得到与策略集相对应的状态值集,策略集中使得状态值为最小的策略即为此分区当前状态下的最优策略。策略寻优流程如图 5 所示。

2 工程应用

2.1 设计实现

AVC 系统基于 EMS 一体化设计实现,数据通信上与 SCADA 实现无缝衔接,AVC 采用主备服务器运

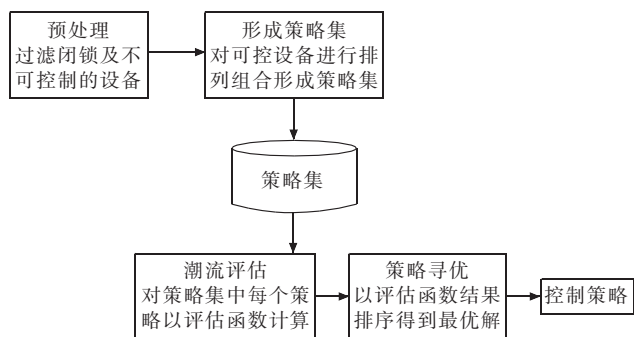


图5 区域寻优算法流程

行方式。在算法设计上也具有主备2种算法,默认模式下优先采用区域寻优法,如果寻优失败可自动切换至传统的基于专家系统的算法,保证系统的运行可靠性。

2.2 运行分析

基于上述策略寻优法的AVC系统已在国内多个地区电网上投入实时闭环运行,具有区域优化计算、算法灵活切换、实用可靠等优点,特别在厂站间协调控制,相互支援方面具有一定的先进性。以图2所示的区域接线图进行分析,当B站需调节而自己又无可调设备时,C站可进行支援,很好地诠释了区域内厂站间的协调控制,达到区域的最优控制。

比较典型的案例是安徽某地调,之前采用传统的地调AVC系统,经过系统升级改造之后,进行升级前后3个月的系统运行效益分析。

(1) 电压质量方面,升级前后负荷侧10 kV母线电压合格率平均值均在99.7%以上,全网合格率则由之前的98.5%提高到99.1%;

(2) 设备动作次数方面,电容平均控制次数由4.6降至3.8,主变由2.9减少至2.3,进一步降低了设备的动作次数,提高了设备的利用率 and 使用寿命;

(3) 优化网损方面,进一步减少了支路无功传输,线损率降低0.08%,关口功率因数在高峰时均能保持在0.98以上。

2.3 工程应用中需注意的问题

区域策略寻优算法本质为潮流寻优法,比较依赖于状态估计,且对数据精度有一定的要求,在数据精度较差或潮流计算不收敛时,寻优计算就会失败,一方面系统此时可自动切换至专家算法以保证实时控制系统的稳定可靠性,另一方面需要系统维护人员提高基础自动化水平。

3 结束语

应用于地区电网AVC系统的区域寻优策略算法是地调AVC控制策略的一种新思路,在区域优化及协调控制上具有一定的先进性。实际应用表明,在提高电压合格率、减少设备动作次数、降低网损等方面有更好的效果。

参考文献:

- [1] 黄华,高宗和,戴则梅,等.基于控制模式的地区电网AVC系统设计与应用[J].电力系统自动化,2005,29(15):77-80.
- [2] 赵美莲,赖业宁,刘海涛,等.实时无功优化研究及其在线实现[J].电力系统保护与控制,2009,37(23):79-83.
- [3] 唐寅生,李碧君.电力系统OPF全网最优无功的经济压差 ΔU_J 算法及其应用[J].中国电力,2000,33(9):42-44.
- [4] 张建,牛霞,刘晓东,等.快速多目标无功优化方法在实际系统中的应用[J].四川电力技术,2009,32(1):79-83.
- [5] 董岳昕,杨洪耕.一种适应于地区电网无功优化控制的新方法[J].电力系统保护与控制,2010,38(14):49-54.

作者简介:

栗杰鹏(1986),男,山西长治人,工程师,从事自动电压控制的研究开发和工程化工作;

陈天华(1981),男,江苏南通人,工程师,从事自动电压控制的研究开发和工程化工作;

杜磊(1983),男,山东高唐人,工程师,从事自动电压控制的研究开发和工程化工作。

吴荣(1972),女,江苏盐城人,助理工程师,从事电力系统软件技术支持和市场化工作;

杨科(1986),男,江苏宜兴人,助理工程师,从事自动电压控制的研究开发和工程化工作。

AVC System for Regional Power Grid Based on Regional Strategy Optimization

LI Jie-peng, CHEN Tian-hua, DU Lei, WU Rong, YANG Ke

(NARI Technology Development Co. Ltd., Nanjing 210061, China)

Abstract: The conventional Automatic Voltage Control (AVC) system, in which the bus voltage and gate power factor are set as control targets, can improve the qualified rate of voltage and power factor. However, it is lack of economy in reducing the network losses; On the other hand, the reactive power optimization algorithm that minimizing the network losses can obtain the optimal solution in theory, but it is too ideal to apply in engineering. This paper proposes a zone strategy-optimization method for the purpose of engineering applications in regional power grid, also considering the security, stability and economy. This method can obtain the coordination control effect between substations, and get optimal strategy for current zone. Multiple engineering applications achieved good operating results, showing that the algorithm is advanced and has a certain popularization value.

Key words: automatic voltage control; zone optimal; strategy-optimization

中压配电站所智能防盗及防误联动新技术的研究

沈飞飞¹, 吕培强²

(1.江苏省电力公司,江苏 南京 210024;2.苏州供电公司,江苏 苏州 215000)

摘 要:对现有中压配电站所防盗及防误联动技术方案进行了分析,在此基础上提出了一种新的技术方案。该方案采用新型智能锁钥设备、使用 GPRS 或 3G VPN 专网无线通信方式进行信息传输,可实现多层级的防盗钥匙权限管理并通过神经元构架建立防误排他性数据模型,可预防人为误操作。

关键词:配网;防盗;防误;智能钥匙

中图分类号:TM764

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)03-0033-03

中压配电站所是否具有完善的防盗及防误操作功能直接关系到配电网的供电可靠性,随着配电网建设步伐的加快,其规模迅速扩大,配网结构也趋于复杂,现有防盗及防误操作模式已经不能满足要求。文中提出的技术方案采用新型智能锁钥设备并使用 GPRS 或 3G VPN 专网无线通信方式,通过对智能锁钥进行电子授权和有效期设置可实现配电站所多层级防盗钥匙权限管理,通过神经元构架建立防误排他性数据模型并植入智能钥匙设备芯片以实现防误操作功能。

1 中压配电站所智能防盗及防误功能现状

国外供电企业在实现配网自动化的基础上延伸防盗及防误功能^[1],对所属的站所进行统一信息化管理,针对无人值守变电站所防盗级别,通常配置门禁、图像监控、防盗报警等功能。优点是:基于配网自动化系统的硬件基础、软件平台可以为实现防盗及防误功能提供强大的平台支撑;对中压配电站所设置的技防理念先进、周全,符合现场工作要求。缺点是:价位颇高,动辄上千万的初期投资令人望而怯步。配网自动化的建设客观上需要较长的过程,一般选择在高供电可靠性要求区域、高负荷密度区域优先试点,广大的城镇或偏远区域实现配网自动化还尚待时日,而这些分布广、数量大的配电站所亟需解决防盗及防误功能的技防措施。

国内配电站通常借鉴高压变电站防盗及防误系统方案^[2,3],即站所大门采用刷卡门禁、机械门禁或密码锁具系统,设备类采用电磁防误系统,其优点:重点管理并识别区域内出入人员;根据人员级别控制操作并记录事件;依托调控一体化等先进的智能化技术手段,实现对变电站全覆盖的防盗及防误等技防措施。缺点:刷卡门禁系统需要内部电源支持;需要增加对电路、磁路的定期维护;需要调控一体化等系统的支

持,投资大、性价比低。中压配电站所往往因突发故障造成站所全部失电,若采用大型变电站门禁系统将会导致抢修人员在特殊应急状况下无法进入配电站所,限制了配电抢修人员的机动和快速响应能力。门禁系统需要对其电路、磁路等进行大量维护,对于分布广、数量大的配电站所,日常工作量之大与配电站所少维护(免维护)发展方向不相适应。

无论大型变电站还是成熟的配电自动化试点区域,均在自身软硬件系统较完备的基础上实现防盗及防误功能,基于大多数常规中压配电站所现状深入探索研究与之相适应的防盗及防误技防措施还十分欠缺,对该领域进行技术和管理创新势在必行。

2 基于智能锁钥和无线通信的防盗及防误技术

该技术方案采用新型智能锁钥设备并使用 GPRS 或 3G VPN 专网无线通信方式,通过对智能锁钥进行电子授权和有效期设置可实现配电站所多层级防盗钥匙权限管理,通过神经元构架建立防误排他性数据模型并植入智能钥匙设备芯片以实现防误操作功能。采用远程通信(GPRS、3G等)进行关键信息传输,通信距离不受限,终端硬件通过 IC 卡与管理计算机连接,可实时接收计算机发出的控制指令,同时又向计算机返回终端电磁防误、开启(关闭)大门的状态量,实现 IC 卡一卡传送多点防误、防盗信息,并上传到控制器上判断开锁及信息处理。

2.1 无人值守配电站所防盗及防误联动方案

方案主要内容:(1) 现场更换无需改造大门,只需更换锁芯;(2) 采用 GPRS 或 3G VPN 专网无线通信方式进行信息传输;(3) 远程或事先预置进入配电站所时限,超过预置时限自动失效,该钥匙即便遗失也无法私自开门;(4) 自带纽扣电池接触式与锁芯核对是否能开启大门;(5) 通用型智能钥匙。一把智能钥匙对应现场的配电站所;(6) 锁芯受外力意外开启可唤醒自身向最近预置终端报警;(7) 根据工作需要,可分级授

权等;(8) 开发辅助软件对防盗及防误钥匙发放使用实现集控管理;(9) 按区域运检班组划定智能钥匙代码:智能钥匙 A,智能钥匙 B,智能钥匙 C 等。

2.2 防盗钥匙授权形式

多层次防盗钥匙权限管理包括:(1) 一级授权。工区领导可以在任何时间、地点开启所有已加装智能锁具的配电站所。(2) 二级授权。相对应运检班组长、现场工程师可以在任何时间、地点开启本区域内所有已加装智能锁具的配电站所。(3) 三级授权。运检班组成员、非本部门检修、维护人员只能在相对应运检班组得到授权后,开启授权确认时间内的对应配电站所,过时效自动失效,只能关闭大门,而不能再次开启大门。

2.3 防误钥匙授权形式

防误钥匙与防盗钥匙为同一把钥匙,防误操作通过定制相应的功能来实现,通过神经元构架建立适应配网目标网架的防误排他性数据模型,预防人为操作失误,所采用的交互式应答方式既能保证稳定性的防误操作管理又能满足特殊性管理需求。

(1) 同一配电所防误操作建模分析。同一配电所调整运行方式下开关变位信息如表 1 所示。

表 1 同一配电所调整运行方式下开关变位信息

I 配 电 所	同一配电所	I 配电所						
		113	112	111	100	121	122	123
	113A 线(环入)	—	ϕ	2	1	1	ϕ	1
	112A 线(馈线)	z12	—	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ
	111A 线(环出)	z13	z23	—	1	1	ϕ	1
	100 母联	z14	z24	z34	—	1	ϕ	1
	121B 线(环出)	z15	z25	z35	z45	—	ϕ	2
	122B 线(馈线)	z16	z26	z36	z46	z56	—	ϕ
	123B 线(环入)	z17	z27	z37	z47	z57	z67	—

(a) 排他性数据集:

$$\begin{aligned} \ell = \{ & \square 12, \square 16, \square 23, \square 24, \square 25, \square 26, \dot{z}27, \dot{z}36, \\ & \square 46, \dot{z}56, \dot{z}67 \} \end{aligned}$$

(b) 有效性数据集:

$$\begin{aligned} \ell_1 = \{ & \square 14, \square 15, \square 17, \square 34, \square 35, \square 37, \dot{z}45, \dot{z}47 \} \\ \ell_2 = \{ & \square 13, \square 57 \} \end{aligned}$$

(c) 约束条件:

$$Z = \Phi x_1 + \omega x_2 + \Psi x_3 + v x_4 + \tau x_5 + \sigma x_6 + \rho x_7 + \cdots ;$$

其中:

$$\text{IF}(x_1=\text{ture},1,0), x_1 \text{ 为相位};$$

$$\text{IF}(x_2=\text{ture},1,0), x_2 \text{ 为设备工况};$$

$$\text{IF}(x_3 \leq 300=\text{ture},0,1), x_3 \text{ 为 A 线电流值};$$

$$\text{IF}(x_4 \leq 300=\text{ture},0,1), x_4 \text{ 为 B 线电流值};$$

$$\text{IF}(x_5=\ell_1=\text{ture},1,0), x_5 \text{ 为 A 线重要客户预警通知};$$

$$\text{IF}(x_6=\ell_2=\text{ture},1,0), x_6 \text{ 为 B 线重要客户预警通知};$$

$$\text{IF}(x_7=\ell=\text{ture},1,0), x_7 \text{ 为变电站主变负荷} \leq 70\%;$$

$$\tau = \{ \Phi, \omega, \Psi, v, \tau, \sigma, \rho \} \text{ 权重取值}, 0 < \tau < 1 \text{ 且 } \Phi + \omega + \Psi + v + \tau + \sigma + \rho = 1;$$

$$\text{阈值 } \min < Z < \text{阈值 } \max;$$

...

(2) 不同方向 2 座配电所防误操作建模分析。其调整运行方式下开关变位信息如表 2 所示,约束条件可参照同一配电所防误操作建模分析。

表 2 不同方向 2 座配电所调整运行方式下开关变位信息

不同方向 2 座配电所		I 配电所						
		113A 线(环 入)	112A 线(馈 线)	111A 线(环 出)	100 母联	121B 线(环 出)	122B 线(馈 线)	123B 线(环 入)
II 配 电 所	113C 线 (环入)	1	ϕ	1	1	1	ϕ	1
	112C 线 (馈线)	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ
	111C 线 (环出)	1	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ
	100 母联	1	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ
	121D 线 (环出)	1	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ
	12D 线 (馈线)	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ
	123D 线 (环入)	1	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ

(3) 不同方向 3 座配电所防误操作建模分析。不同方向两两联络配电所调整运行方式下开关变位信息如表 3 所示,约束条件可参照同一配电所防误操作建模分析。

(4) 不同方向 4 座配电所防误操作建模分析。不同方向井字联络配电所调整运行方式下开关变位信息如表 4 所示,约束条件可参照同一配电所防误操作建模分析。

2.4 技术方案仍需完善之处

运行软件的问题主要是误码导致配电站所不能在预约时间内正常开启大门,可采用对运行软件进行安全认证,误码等发生后启动备份程序等加以解决。

需要进一步扩展与完善的功能:(1) 可与电子地图交互式操作使维护更为方便;(2) 智能锁内置统一时钟,具备严格的时间限制功能,工作有效批准时间到期,智能锁密码自动失效;(3) 为满足系统整体抗破坏能力校核,采用 S-net 结构,局部破坏不影响其他部分正常工作;(4) 现场采用一体化锁扣(智能锁)控制开锁与闭锁,随时可调阅查询防误解锁、开门记录,提供全方位安全保障。

表 3 不同方向两两联络配电所调整运行方式下开关变位信息

I、II不同 方向两两联 络座配电所	I 配电所							I、III不同 方向两两联 络座配电所
	113A 线 (环入)	112A 线 (馈线)	111A 线 (环出)	100 母联	121B 线 (环出)	122B 线 (馈线)	123B 线 (环入)	
II 配 电 所	113C 线(环入)	1	∅	1	1	∅	1	113E 线(环入)
	112C 线(馈线)	∅	∅	∅	∅	∅	∅	112E 线(馈线)
	111C 线(环出)	1	∅	∅	∅	∅	1	111E 线(环出)
	100 母联	1	∅	∅	∅	∅	1	100 母联
	121D 线(环出)	1	∅	∅	∅	∅	1	121F 线(环出)
	122D 线(馈线)	∅	∅	∅	∅	∅	∅	122F 线(馈线)
	123D 线(环入)	1	∅	∅	∅	∅	1	123F 线(环入)

表 4 不同方向井字联络配电所调整运行方式下开关变位信息

I、II不同 方向两两联 络座配电所	I 配电所							III、I 不同 方向两两联 络座配电所	
	113A 线 (环入)	112A 线 (馈线)	111A 线 (环出)	100 母联	121B 线 (环出)	122B 线 (馈线)	123B 线 (环入)		
II 配 电 所	113C 线(环入)	1	∅	1	1	∅	1	III 配 电 所	113E 线(环入)
	112C 线(馈线)	∅	∅	∅	∅	∅	∅		112E 线(馈线)
	111C 线(环出)	1	∅	∅	∅	∅	1		111E 线(环出)
	100 母联	1	∅	∅	∅	∅	1		100 母联
	121D 线(环出)	1	∅	∅	∅	∅	1		121F 线(环出)
	122D 线(馈线)	∅	∅	∅	∅	∅	∅		122F 线(馈线)
	123D 线(环入)	1	∅	1	1	∅	1		123F 线(环入)
II、IV不同 方向两两联 络座配电所	113H 线 (环入)	112H 线 (馈线)	111H 线 (环出)	100 母联	121G 线 (环出)	122G 线 (馈线)	123G 线 (环入)	IV、III不同 方向两两联 络座配电所	
	IV 配电所								

3 技术方案经济性分析

初期试点投资按试点改造 500 座偏远配电站所,较常规门禁系统投入单价将上升 35%,中长期按 2 000 座配电站所改造计算,较常规门禁系统投入单价将下降 45%,具有显著的经济效益。

4 结束语

针对现有配电站所防盗、防误管理的实际需求,提出了一种中压配电站所智能防盗及防误联动新技术和实现方案。方案基于智能锁钥和无线通信技术,可实现配电站所多层次防盗钥匙权限管理以及防误操作联锁功能,但仍需在实践中进一步加强在抗干扰能力、联动

报警、系统升级、灵活扩展等方面的深入研究,为智能配电网建设做出新的贡献。

参考文献:

[1] 郝福忠,吴广学,鱼 滨.变电站辅助设施与环境监控系统设计及实现[J].电气自动化,2011,33(4):46-48.
[2] 刘雪飞,刘国亮.关于变电站五防闭锁装置的探讨[J].电力系统保护与控制,2008,36(19):77-80.
[3] 孙一民,侯 林,揭 萍.间隔层保护测控装置防误操作实现方法[J].电力系统自动化,2006,11(5):23-25.

作者简介:

沈飞飞(1978),男,江苏苏州人,工程师,从事配电网运行检修工作;
吕培强(1969),男,江苏苏州人,工程师,从事配电网运行检修工作。

Research on the New Technology of Intelligent Anti-theft and Anti-malfunction
in Medium Distribution Substation

SHEN Fei-fei¹, LYU Pei-qiang²

(1. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China; 2. Suzhou Power Supply Company, Suzhou 215004, China)

Abstract:Based on the analysis of existing implementation technology of anti-theft and anti-malfunction in medium distribution substation, new technical scheme is proposed. Adopting novel intelligent lock-key device and GPRS or 3G VPN wireless communications mode to transmit information, and can realize multilevel authority management of anti-theft key. Moreover, human faulty operation can be prevented through anti-malfunction data model using neural network.

Key words: distribution grid; anti-theft; anti-malfunction; intelligent key

地区电网经济调度辅助决策系统

侯广松¹, 徐爱军², 王朝明³

(1. 菏泽供电公司, 山东 菏泽 274016; 2. 河海大学, 江苏 南京 210098;

3. 南京软核科技有限公司, 江苏 南京 210012)

摘 要:从地区级电网运行需求出发, 着眼于全网的经济运行实时优化控制, 提出了一种用于地区级电网的经济调度辅助决策系统设计方案, 该系统可通过在线分析为调度人员提供实时的电网经济运行方式辅助决策, 也可用于网损统计和离线分析以制订降损措施。

关键词:电网; 经济运行; 优化; 辅助决策

中图分类号: TM761

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2013)03-0036-03

地区电网的经济调度, 实质是节能调度, 就是在现有电网结构条件下, 通过调整电网运行方式减少电能损耗, 从而获得节电效益的调度方式。地区电网经济调度的前提是变电站具备 2 台及以上主变, 并具备 2 路及以上电源进线, 电网运行方式选择增多。经济调度理念的发展, 经历了从经验判断到科学分析^[1]、从变电站到网^[2]的过程, 用于电网线损分析计算的软件已成熟^[3]并在各级电网经营企业投入使用。目前, 电能综合管理系统(EMS)已在各级电网调度机构普遍投入运行, 电网的经济调度也将从离线分析进入实时分析阶段, 为调度运行人员经济调度提供在线的辅助决策。变压器的在线经济运行控制已投入实用^[4], 在线的全网经济调度系统也必将进入实用阶段。文中提出了一种用于地区级电网的经济调度决策系统方案。

1 全网经济运行原理

地区电网在节能发电调度确定的 220 kV 和 500 kV 网架结构的基础上, 通过优化 220 kV 及以下变电站内的变压器经济运行、110 kV 线路及以下的线路经济运行和 AVC 系统结合, 实现地区电网的全网经济运行。随着分布式电源的逐步接入, 地方小电厂也逐步增多, 分布式电源的优化调度也将纳入到全网经济运行的范畴内。

有功经济运行是整个电网运行方式的骨架。运行方式人员的主要工作就是在安全约束的前提下, 实现电网的有功经济运行。无功经济运行是在有功经济运行的基础上, 实现无功潮流的进一步优化, 在实现电压合格率满足考核的目标下, 通过电容器和分接头档位的调整, 实现无功潮流的优化分布, 从而实现降损节能的目标。从全局考虑电网经济运行, 即将有关于全网经济运行的元素综合考虑, 有着重要的理论意义和应用价值, 全网经济运行分析的过程如图 1。

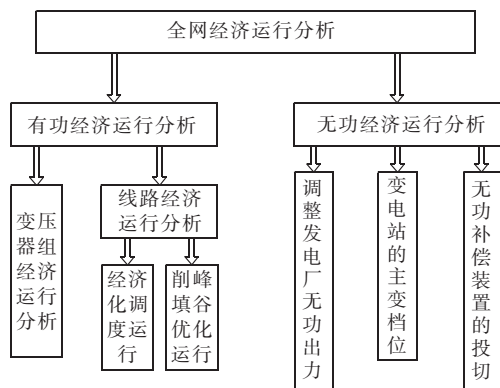


图 1 地区电网经济运行分析过程示意

地区电网的运行方式有其自身的特点。一般而言, 地区电网 220 kV 变电站及以下的变电站, 呈辐射状结构。有功经济运行的关键在于有功的均衡分布。均衡分布有几个层面: 同一断面下、同一电压等级下, 不同变电站有功的均衡分布; 不同断面下, 同一变电站有功的均衡分布; 不同相的有功均衡分布。

有功经济运行涉及到电网拓扑结构的改变, 因此传统的最优潮流方法并不适用。有功经济运行时, 变压器开关投切、线路开关投切等均为离散量, 故特定断面的有功优化问题本质上是一个大规模非线性整数规划问题。文中采用基于遗传算法结合专家系统规则的模式实现电网的有功经济运行, 如图 2 所示。

系统的无功功率对电压影响极大, 无功功率不足, 将引起电网电压下降, 而无功过剩将引起电网电压偏高, 合理调整变压器分接头, 是提高电网电压水平的一种调压手段, 但其作用仅仅是通过改变电网中的无功潮流分布来提高局部的电压水平。要维持整个系统的电压水平, 除了必需有足够的无功补偿容量、实行无功分区分压就地平衡外, 还要有足够的无功备用容量, 以保证负荷增加后的电压质量。

非线性混合整数规划问题的求解应充分利用非线性混合整数规划领域的最新研究成果, 采用分枝定界

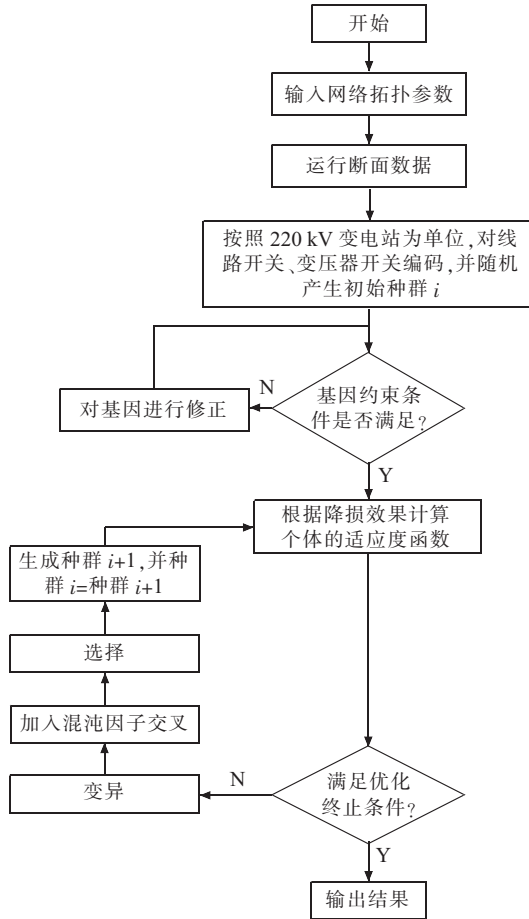


图2 基于遗传算法的有功经济运行算法

法结合原对偶内点法求解大规模非线性混合整数规划问题,即采用分枝定界法进行离散量优化,采用原对偶内点法进行连续量优化。

原对偶内点法实际上是对常规内点法的一种改进。其基本思路是:引入松弛变量将函数不等式约束化为等式约束及变量不等式约束;用拉格朗日乘子法处理等式约束条件,用内点障碍函数法及制约步长法处理变量不等式约束条件;导出引入障碍函数后的库恩—图克最优性条件,并用牛顿—拉夫逊法进行求解;取足够大的初始障碍因子以保证解的可行性,而后逐渐减小障碍因子以保证解的最优性。首先考虑如下的非线性规划问题:

$$\min f(x) \quad (1)$$

$$\text{s.t. } h(x)=0 \quad (2)$$

$$\underline{g} < g(x) < \bar{g} \quad (3)$$

式中: x 为 n 维向量; h 为 m 维向量; g 为 r 维向量。

引入松弛变量将不等式约束化为等式约束及变量不等式约束,即将式(3)改为:

$$\begin{cases} g(x) - l - \underline{g} = 0 \\ g(x) + u - \bar{g} = 0 \\ l, u > 0 \end{cases} \quad (4)$$

2 工程实现

2.1 经济运行理论的工程简化

对电网经济运行原理加一定的约束条件使计算简化:(1) 对主变高压侧并列的变电站按主变压器的经济特性择优选择,在输电网潮流优化计算中将变电站高压侧负荷按照恒功率处理。(2) 将地区电网根据输电变电站电源的不同划分为几个不同的区域,分区进行优化计算以减少计算量。(3) 根据电网结构考虑继电保护配合等因素置入约束条件以滤除不可能的分区方式。(4) 分区按各种可能的运行方式计算输电网有功损耗择优。(5) 不考虑变压器调档和电容器投停,在计算时按主变档位和电容器的当前运行状态不变(因无功优化为单独系统)。

2.2 接驳方式

电网经济运行系统与 SCADA 系统及电能表集抄系统接驳,如图 3 所示。因主要由调度值班人员用于实时调整电网运行方式降低电网损耗,系统直接接入 SCADA 系统,与电能表集抄系统接口及运行方式、线损专工管理工作站均通过二次防护系统隔离。

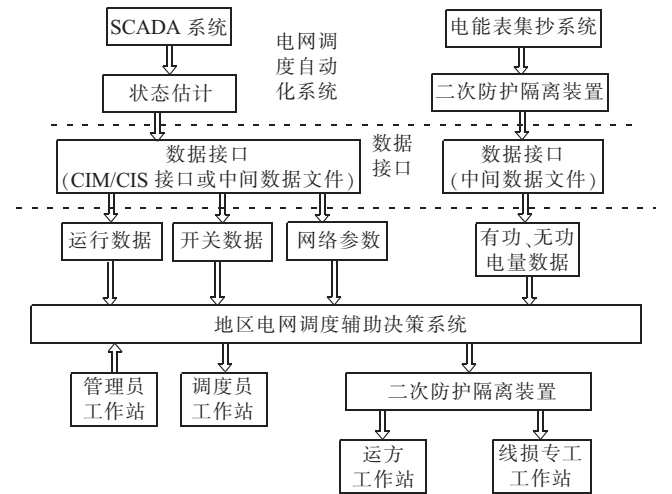


图3 电网经济调度辅助决策系统与接驳示意

2.3 实现功能

2.3.1 自动采集与数据处理功能

(1) 通过与 SCADA 系统的接口采集到所需的电网实时数据和电网运行状态量,作为状态估计、潮流分析、拓扑分析、自动分区等计算的数据依据。(2) 具有随时招测电能表集抄系统采集终端数据功能,可自由定义定时采集的周期和起始时间、重复招测的次数、抄表数据范围。设置定时自动招测时间为每日零点,周期为上次零点至本次零点 24 h。(3) 对无法招测的表计,系统以不同方式发出报警,以便进行人工招抄。对未能抄录的数据,系统恢复正常时能自动补测,以保证数据的完整性和连续性。(4) 提供多种修补数据的方法,但

对所修补的数据加以标记,以保证原始数据的准确性和不可修改性。(5)采集的电能量数据带时标存入原始数据库。(6)对自SCADA所采集数据,参照电能表数据进行处理,对异常数据进行处理接近真实数据。

2.3.2 数据存储与分析功能

系统对采集到的数据进行处理,应具备以下统计分析功能:(1)变电站的96点和24点有功、无功日负荷曲线记录。(2)变电站年、月、日最大、最小、平均有功、无功负荷分析。(3)变电站有功、无功日电量记录,年、月最大、最小、平均日电量分析。

2.3.3 网损实时计算

将有功损耗进行积分,就能得到一个元件、一站、一片及全网一天的有功损耗电量,继而得到每月、每年的全网有功损耗电量。

2.3.4 定时优化的功能

为减少系统计算量,可设置优化计算的时间间隔,设定实时优化计算或按某一时间间隔进行定时计算。

2.3.5 电网降损方式调整建议

根据电网实际运行数据,系统对允许的各种运行方式进行潮流计算,与实际运行方式进行比较,提出降低电网有功损耗的建议运行方式并指出调整后可降低的有功、无功损耗。

2.3.6 简单的负荷预测

在记录变电站、电网负荷曲线的基础上,每日0:00预测各站所负荷曲线并存储,系统在计算本次优化结果时根据预测负荷曲线估计至下次优化方式调整可节约的电量,若方式调整时间间隔小或节约的电量小于设定阈值则不进行调整。

2.3.7 离线线损分析

(1)典型日线路理论计算功能。系统可由历史数据库中提取任一日、任一时刻(整点或一刻)电网运行断面进行线路理论计算,所输出报表格式符合国家电网公司、山东电力集团公司要求格式。(2)在取某一时刻进行线损理论计算时,可人为调整任一站所的负荷值以适应计算未来某一负荷水平下电网经济运行方式的需要,报表输出格式与国家电网公司所要求的报表格式相同。

2.3.8 电网线损统计功能

按日、月、季、年生成电网损耗电量统计报表,可进行分压分层线损电量及线损率统计。

2.3.9 系统管理功能

(1)图形维护功能:系统使用电网单线图作为运行主界面,电网图及参数库应维护方便。(2)关口管理功能:设置地区电网与省网计量关口、设置各电压等级线损统计分界。(3)分片管理功能:以电源点(线损理论计算、潮流计算的平衡点)不同设置供电区域(片)的名称,各片的范围因电网运行方式不同由系统自动适应。(4)报表管理功能。系统各种统计、分析、计算结果以数据库存储,在必要时生成报表输出,应具备对各类报表的格式、内容进行增、删、改的功能。

3 结束语

地区电网经济调度辅助决策系统是一个以实时分析电网运行状况、为调度人员提供电网运行方式调整方案降低电网损耗的系统,同时具备离线线损理论计算、网损统计等电网经济运行分析功能。该系统的投入使用可使电网调度由经验型调度走向知识型调度,使电网总是处于经济运行方式,为减少电网损耗、降低企业成本起到积极作用。

参考文献:

- [1] 胡景生.电网经济运行与能源标准化[M].北京:中国电力出版社,2001.
- [2] 侯广松.地区电网经济运行分析和应用[J].山东电力技术,2004(1):78-80.
- [3] 罗毅芳,刘巍,施流忠,等.电网线损理论计算与分析系统的研制[J].中国电力,1997,30(9):37-39.
- [4] 卫志农,常宝立,汪方中,等.地区电网变压器经济运行实时控制系统[J].电力系统自动化,2006,30(1):86-88.

作者简介:

侯广松(1974),男,山东菏泽人,高级工程师,从事电网运行管理、电力系统运行分析工作;

徐爱军(1987),男,江苏东台人,硕士研究生,研究方向为电力系统优化运行和控制;

王朝明(1976),男,江苏苏州人,博士,从事电力系统优化运行和控制研究工作。

Assistant Decision-making System for Economic Dispatch of Regional Power Grid

HOU Guang-song¹, XU Ai-jun², WANG Chao-ming³

(1. Heze Power Supply Company, Heze 274016, China; 2. Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. Nanjing Softcore Co. Ltd., Nanjing 210012, China)

Abstract: Based on the requirements of the regional power grid and real-time optimal control of the whole network economic operation, this paper proposes a design scheme of an assistant decision-making system for economic dispatch used in regional power grid. This system can provide real-time assistant decision for economic operation mode of power network by online analysis. It can be also used in network loss statistics and off-line analysis to take measures to reduce losses.

Key words: power grid; economic operation; optimization; assistant decision-making

冷热电联供型微电网容量规划优化研究

崔恒志¹, 黄奇峰¹, 杨世海¹, 战丽萍², 周 贇²

(1.江苏省电力公司电力科学研究院,江苏 南京 211103;2.东南大学 江苏 南京 210096)

摘 要:与普通能源利用形式相比,冷热电联供型微电网具有能源利用效率高、利用形式多样、就地解决综合能源需求等特点,可以很好地满足综合能源用户的需求。目前在运或在建的冷热电联供项目往往存在设备配置比例不合理,设备利用率低或无法实现较高的能源利用效率。介绍了几种典型的联供型微电网形式,进行了微电网容量规划优化建模,并在 CPLEX 环境下编程实现该模型,通过算例分析验证了该模型的有效性。

关键词:冷热电联供;微电网;容量规划;优化

中图分类号:TM611.3

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)03-0039-03

冷热电联供型微电网是指可以同时供应电负荷、热负荷、冷负荷的分布式能源利用形式,由于其具有能源利用效率高、能源利用形式多样、能就地解决综合能源需求等特点,可以很好地满足综合能源用户的需求,其研究利用也越来越受到重视^[1-3]。在经历了 1973~1974 年和 1979~1980 年 2 次能源危机后,热电联供开始受到西方国家的重视,美国和欧洲已有许多在运行的项目。日本从 1981 年开始支持天然气冷热电联供系统的发展,并制定了一系列的保护政策和法规。截止 2003 年,日本民用燃气热电(冷)项目总装机容量达到 1 429 kW,项目达到 2 915 个。中国自上世纪 90 年代初期也开始重视冷热电联供系统,并开始了相关的探索和研究,上海浦东机场和天津西站也分别采用了冷热电联供型的供能形式^[4-7]。然而,目前在运行或在建的冷热电联供项目往往由于设备配置比例不合理,使得设备利用率低,或无法达到原理上高达 80%的能源利用效率。在联供系统设计时,比较经典的“以热定电”或“以电定热”原则并不能给出较优的系统配置策略。已投入商业应用的设计软件如 DeST^[1]和 HOMER 也只能简单的依据峰值负荷信息和简单的比例原则给出系统的设备配置方案和设计。

冷热电联供型微电网供能形式多样,设备组合策略较多,如何提出一种通用性较强的联供型微电网的优化规划方法很重要。文中分析了不同冷热电联供型微电网的特性,然后研究了联供型微电网通用规划模型,最后在 CPLEX 中编程实现该规划模型并用算例进行验证,结果显示该规划模型通用性较强,且规划结果也较优。

1 典型联供型微电网

冷热电联供型微电网中原动机可采用(微型)燃气轮机、内燃机、燃料电池、斯特林发动机等,余热吸

收利用中可采用换热器、余热锅炉、余热吸收式制冷机等,在热负荷或冷负荷较大时还可以采用加入燃气锅炉的形式加以补燃。另外还可以根据系统的储能需求加入一定容量的蓄热或蓄冷装置。

由于燃料电池和斯特林发动机并没有商业应用,下面介绍典型的联供型微电网是只考虑原动机为微型燃气轮机和内燃机的情况。

类型一。以内燃机或燃气轮机为原动机,采用换热器、余热锅炉进行余热回收利用以供应热负荷,冷负荷供应分产系统采用吸收式制冷机和电制冷机组,并网不上网,如图 1^[1]所示。

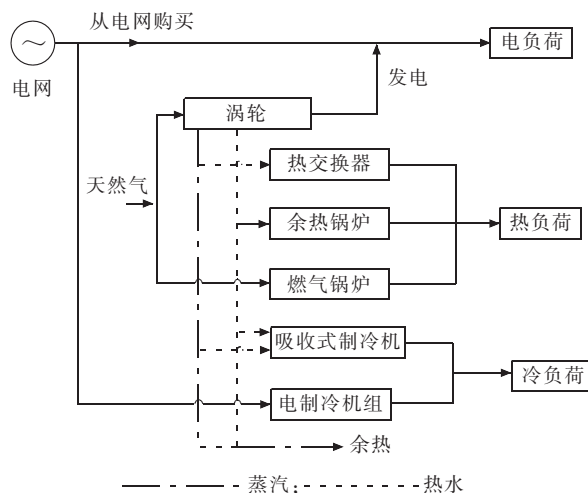


图 1 典型联供型微电网类型一

类型二。与类型一的主要区别在于类型二联供型微电网包含蓄能罐/箱,在夏季可以蓄冷,冬季可以蓄热,如图 2^[1]所示。

类型三。与类型一的差别在于,类型三联供型微电网中的吸收式制冷设备可由燃气锅炉供热或采用部分直燃式的制冷机组。

2 容量规划优化建模

在联供型微电网的规划定容中,需要确定各分产

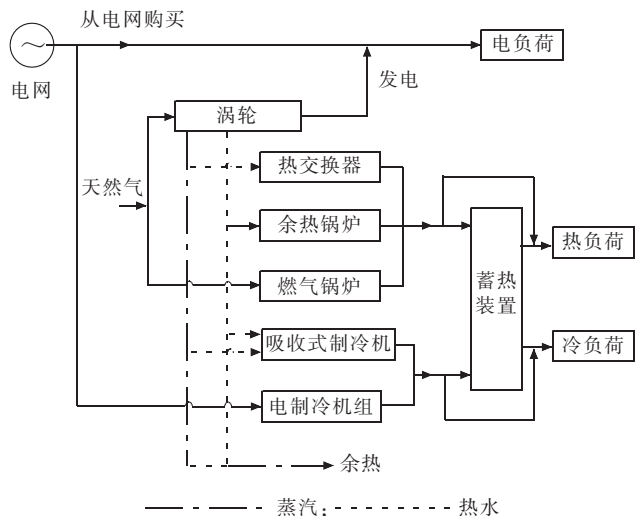


图2 典型联供型微电网类型二

系统中主要设备的最佳容量及分产系统间的最佳设备组合。因而文中规划模型的变量选定为 T, B, A, E, S , 分别为微型燃气轮机/内燃机、燃气锅炉、吸收式制冷机、电制冷机、蓄能罐的容量。由决策变量数组 Z 确定系统的组成, $Z[i]$ 的值可取 0 或 1。

2.1 目标函数

电力规划中, 考虑资金的时间价值是进行方案比较的基础。电力规划模型的目标函数是与项目的经济评价准则相关联的, 常用的电力规划目标函数有净现值最大、内部收益率大于基准收益率、总费用最小及年费用最小 4 种。然而由于项目未来收益的难预测性及规划模型的计算复杂度较高, 前两种规划模型的目标函数应用并不多^[8]。微电网的规划亦如此。

文中联供型微电网规划模型的目标函数选定为初期投资和年运行成本分别乘以权重系数后相加最小, 记为式(1)。

$$\begin{cases} \min (\alpha_1 C_1 + \alpha_2 C_2) \\ C_1 = C_1^{\text{Fix}}(T, B, A, E, S, Z) \\ C_2 = \sum \sum C_2(T, B, A, E, S, Z) \end{cases} \quad (1)$$

2.2 约束条件

微电网内负荷平衡约束, 包括电负荷、热负荷、冷负荷的平衡, 方程为:

$$\begin{cases} T_{\text{out},i} + G_i - E_{\text{in},i} = EL_i \\ T_{\text{H},i} + B_{\text{out},i} - A_{\text{in},i} \geq HL_i \\ A_{\text{out},i} + E_{\text{out},i} \geq CL_i \end{cases} \quad (2)$$

式中: EL_i, HL_i, CL_i 分别为逐时电负荷、热负荷、冷负荷需求; G_i 为微电网与电网的功率交换量。

安全约束包括系统中设备出力约束、设备运行爬坡和下坡约束、微电网联络线上潮流约束等。

$$X_{\min} \leq X_{\text{out},i} \leq X_{\max} \quad (3)$$

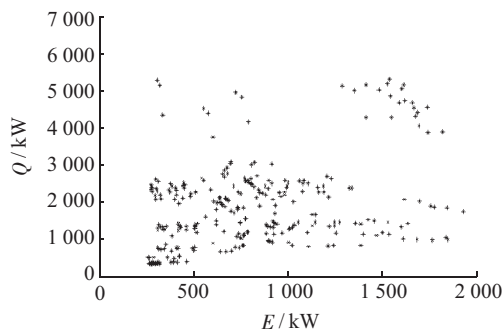
$$X_{\text{down}} \leq X_{\text{out},i+1} - X_{\text{out},i} \leq X_{\text{up}} \quad (4)$$

$$\begin{cases} G_i \leq L_{\text{in}} & G_i \geq 0 \\ |G_i| \leq L_{\text{out}} & G_i < 0 \end{cases} \quad (5)$$

式中: $L_{\text{in}}, L_{\text{out}}$ 分别为微电网与大电网联络线上吸收或输出功率, 对于并网不上网的微电网形式, L_{out} 为 0。

3 算例分析

算例取自文献[1], 北京某新建四星级酒店, 建筑面积为 7.3 万 m^2 , 其中客房面积 4.2 万 m^2 , 餐厅宴会面积 1.5 万 m^2 , 车库及其他等为 1.6 万 m^2 , 其等效热负荷-电负荷($Q-E$)散点如图 3 所示。

图3 酒店负荷 $Q-E$ 散点

在 CPLEX 环境下编程实现文中提出的规划模型。规划模型中的目标函数中初期投资和年运行成本的权重定为 1:1。

分析该酒店的负荷数据及能源价格 (见表 1), 并在此基础上制定数据输入文档。该酒店的最大电负荷为 2 000 kW, 最大热负荷为 2 700 kW, 最大生活热水负荷为 1 200 kW, 最大冷负荷为 4 900 kW。

在该微电网容量规划模型中, 燃气轮机采用经典变工况运行模型^[9-11]。

$$\begin{cases} \eta_* = 2.745W_* - 2.816W_*^2 + 1.07W_*^3 \\ f_* = 0.288 + 0.624W_* + 0.088W_*^2 \end{cases} \quad (6)$$

式中: η_*, W_* 和 f_* 分别为燃气轮机发电效率、输出功率和消耗燃料与额定的比值, 即标么值。

联供微电网系统中余热利用供冷设备常用的为吸收式制冷机组。包括单效或双效的溴化锂吸收式制冷机组和氨水制冷机组等。其中溴化锂制冷机组以水为制冷剂, 溴化锂容易为吸收剂, 一般热源 (低压蒸汽 0.12 MPa 以上或热水 75 $^{\circ}\text{C}$ 以上) 均可满足要求, 且易于自动化实现, 在负载率 10%~100% 范围内可以实现制冷量的自动、无级调节。氨水制冷机组以氨作为制冷剂, 能够制取 0 $^{\circ}\text{C}$ 以下的低温, 变工况性能良好, 在负载率 30%~100% 范围内调节时, 装置的经济性无明显变化^[2]。

系统中可采用蓄能罐蓄热或蓄冷, 比较常见的有

自然分层水蓄能装置,其冬天可蓄热,夏天蓄冷,数学模型如下:

$$R=\rho VC_p \varepsilon \alpha \Delta t \quad (7)$$

式中: R 为蓄能罐中可用能量; ρ 为水的密度; V 蓄能罐中可用水的体积; C_p 为水的比热容; Δt 为蓄能罐进出水温差; ε 蓄能罐的完善度; α 蓄能罐容积的利用率。能源价格如表 1^[1]所示。

表 1 能源价格

项目	时间	价格
天然气	全年	1.8 元/m ³
峰电价	8:00~10:00, 18:00~22:00	1.065 元/(kW·h)
平电价	7:00, 11:00~17:00	0.678 元/(kW·h)
谷电价	23:00~6:00	0.313 元/(kW·h)

根据输入的不同状态变量数组 Z 得到优化配置结果,结果如表 2 所示。其中,原动机模型选用的是微型燃气轮机模型,额定发电效率 0.3;吸收式制冷机组采用的是双效溴化锂吸收式制冷机组,COP=1.2;蓄能罐采用自然分层水蓄能罐,蓄热密度 31.78 kW·h/m³,蓄冷密度 8.47 kW·h/m³。

表 2 微燃机系统容量优化配置结果

设备	类型一	类型二	类型三	DeST 类型一
燃气轮机/kW	400	1 700	400	500
燃气锅炉/kW	2 100	0	2 100	2 600
吸收式制冷机/kW	600	2 800	1 400	340
电制冷机组/kW	4 300	800	3 500	4 600
储能罐/m ³		1 080		
初期投资/百万元	10.71	18.32	10.93	11.70
年运行成本/百万元	5.56	2.02	5.53	5.57
投资回收年限/年	7.8	3.7	7.8	8.7

原动机选用的是内燃机,其他设备模型同上。同样根据输入的不同状态变量数组 Z 得到优化配置结果,结果如下表 3 所示。

表 3 内燃机系统容量优化配置结果

设备	类型一	类型二	类型三	DeST 类型一
内燃机/kW	500	2000	500	625
燃气锅炉/kW	2 200	0	2 200	2 300
吸收式制冷机/kW	500	2 100	1 400	320
电制冷机组/kW	4 400	1 200	3 500	4 600
储能罐/m ³		1319		
初期投资/百万元	11.40	19.97	11.57	12.06
年运行成本/百万元	5.08	1.93	5.02	5.03
投资回收年限/年	6.1	4.0	6.0	6.4

表 2 中,联供型微电网系统以微型燃气轮机为原动机,类型一系统的容量规划结果采用通用型容量规划算法比 DeST 软件的规划结果较优,初期投资减少 8.5%,投资回收期也降低 10%。表 3 中,以内燃机为原

动机,容量规划优化结果也较优。配备蓄能的类型二联供系统的经济性远远优于其他类型的联供系统。

由以上几个算例结果可知,采用文中提出的通用型规划模型可对不同的系统进行容量配置的优化,且优化配置结果可有效地提高系统的经济性,降低运行成本。

4 结束语

在分析几种典型的冷热电联供型微电网系统的基础上提出了一种通用的容量配置优化模型,并在 CPLEX 环境中进行建模,在描述规划模型的同时,实现系统的优化计算。通过对北京某酒店算例的计算分析,并与前人工作的对比,验证了该模型的有效性和可靠性,研究表明该冷热电联供型微电网容量规划优化算法具有较好的通用性和可靠性。

参考文献:

- [1] 付林,李辉.天然气热电冷联供技术及其应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [2] 葛斌.热电冷联产原理与技术[M].北京:中国电力出版社,2011.
- [3] 孔祥强.冷热电联供[M].北京:国防工业出版社,2011.
- [4] 忻奇峰.冷热电三联供系统在浦东国际机场的应用[J].电力需求侧管理,2004,6(5):40-42.
- [5] 赵奕.天津西站冷热电三联供系统经济与节能性分析[J].铁路工程造价管理,2010,25(3):1-3,14.
- [6] HU Y F, WANG B, GUO L, et al. Combined Cooling, Heating and Power Microgrid System with MW Class Micro Turbine in China [C]. 20th International Conference on Electricity Distribution, 2009.
- [7] WANG J J, ZHANG C F, JING Y Y. Multi-criteria Analysis of Combined Cooling, Heating and Power Systems in Different Climate Zones in China [J]. Applied Energy, 2010, 14(4):2263-2278.
- [8] 电网规划基础及应用[M].北京:中国电力出版社,2011.
- [9] 冯志兵,金红光.燃气轮机冷热电联产系统与蓄能变工况特性[J].中国电机工程学报,2006,26(4):25-30.
- [10] 左远志,杨晓西,丁静,等.微型燃气轮机的生产厂商与性能影响因素[J].煤气与热力,2007,27(3):76-79.
- [11] 和彬彬,杨勇,段立强,等.微型燃气轮机冷热电联供系统变工况性能研究[J].热能动力工程,2008,23(6):615-619.

作者简介:

崔恒志(1971),男,江苏南通人,高级工程师,从事电能计量、电力通信管理工作;
黄奇峰(1968),男,江苏盐城人,高级工程师,从事计量管理工作;
杨世海(1976),男,安徽淮北人,高级工程师,从事计量检测与管理
工作;
战丽萍(1990),女,山东济宁人,硕士研究生,从事微电网规划与能量优化方面的研究;
周赣(1978),男,江苏丹阳人,讲师,从事冷热电联供微电网方面的研究工作。

220/110 kV 混压四回路新型窄基四柱钢管塔优化设计

刘德标¹, 钱统亚¹, 张大长²

(1.盐城电力设计院, 盐城 江苏, 224002; 2. 南京工业大学土木工程学院, 南京 江苏, 210009)

摘要:研究一种新型 220/110 kV 混压四回路 Q460 高强度钢管窄基四柱塔, 通过考察杆塔结构用钢量、顶点挠度及结构自振频率对铁塔根开、节间进行优化分析, 提出 220/110 kV 混压四回路窄基钢管塔合理根开、节间的选取方法及取值。

关键词:混压四回路; Q460 高强度钢; 窄基四柱钢管塔; 优化设计

中图分类号: TM753

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2013)03-0042-04

随着输电线路输电容量及电压等级的不断提高, 同塔双回及多回线路在经济发达地区已经成为必然的趋势^[1-3]。但对于荷载特别大的多回路转角塔, 采用单杆或者双杆型式的钢管塔, 由于杆件根部弯矩大, 导致主管直径较大, 材料利用率低, 甚至出现加工困难等问题, 故开发适用于城市地区多回路输电线路的新型杆塔结构形式十分必要。文中研究一种新型窄基四柱钢管塔, 该钢管塔的受力特点与单杆结构不尽相同, 因其是多层门式刚架结构, 整体受力更好, 四柱塔根部弯矩转化为一拉一压的轴力, 降低主管弯矩, 减小管径; 导地线横担设计成 A 字型或水平刚架, 线路方向荷载产生的内力转换为横担拉、压构件的轴力, 从而减小横担构件的规格。与角钢塔相比其根开更小, 缩短了线路走廊宽度, 从而减少了拆迁和植被破坏, 有利于资源节约和环境保护。新型钢管杆整体外形美观, 满足了城市输电线路的外观要求。文中主要研究四杆钢管杆的整体力学特性和最佳杆件布置形式, 通过理论分析及有限元模拟, 探讨四杆钢管杆的设计理论及方法, 并进行了杆塔结构优化设计分析。

1 杆塔设计依据及荷载工况

1.1 窄基四柱塔的设计依据

窄基四柱钢管塔主要参照 DL/T 5154—2002^[4]、GB 50017—2003^[5]、GB 50009—2001^[6]以及国家电网公司输电线路钢管塔通用设计研究成果进行设计。220/110 kV 混压四回路窄基钢管塔, 220 kV 导线采用 2×LGJ-630/45 钢芯铝绞线, 安全系数为 3.5; 110 kV 导线采用 2×LGJ-300/25 钢芯铝绞线, 安全系数为 3.3; 地线为 JLB30-150, 安全系数小于等于 3.8。设计水平档距 350 m, 垂直档距 450 m; 导线覆冰 10 mm, 地线覆冰 15 mm; 导地线分别按照 20 mm 和 25 mm 验算冰。根据输电钢管塔的研究成果, 结构重要性系

数采用 1.1, 设计风速为 28.0 m/s, 地面粗糙度类别按 B 类。由于该新型钢管塔结构的构件设计是强度控制而非变形控制, 所以采用高强度钢更为经济合理, 故采用 Q460 高强度钢, Q460 高强度钢的强度指标如表 1 所示。

表 1 Q460 高强度钢强度设计值

厚度或直径/mm	抗拉/MPa	抗压和抗弯/MPa	抗剪/MPa	孔壁承压/MPa
16	415	415	240	590
16~35	395	395	230	560
35~50	380	380	220	540

1.2 构件强度设计理论

1.2.1 钢管构件承载力计算

文献[5]中压弯构件整体稳定承载力计算公式如下:

$$\frac{N}{\varphi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_{lx} (1 - 0.8 \frac{N}{N'_{Ex}})} \leq f \quad (1)$$

式中: N 为轴向压力; M_x 为截面弯矩; φ_x 为受压构件稳定系数; A 为截面面积; β_{mx} 为等效弯矩系数; W_{lx} 为截面模量; γ_x 为截面塑性发展系数; N'_{Ex} 为参数; f 为材料设计值。文献[4]中复合受力强度计算公式如下:

$$\left(\frac{N_2}{A_g} + \frac{M_x C_y}{I_x} + \frac{M_y C_x}{I_y} \right)^2 + 3 \left(V \frac{Q}{It} + T \frac{C}{J} \right)^2 \leq f_a^2 (\text{多边形}) \text{ 或 } \leq f_b^2 (\text{环形}) \quad (2)$$

式中: N_2 为轴向压力; A_g 为截面面积; M_x, M_y 分别为绕 x, y 轴截面弯矩; I_x, I_y 分别为绕 x, y 轴截面惯性矩; C_x, C_y 分别为计算点在 x, y 轴上的投影长度; V 为剪力; T 为扭矩; $\frac{Q}{It}$ 为最大弯曲剪应力系数; $\frac{C}{J}$ 为最大扭转剪应力系数。

1.2.2 钢管节点承载力计算

根据日本有关标准^[7]关于节点板节点的相关规定计算钢管节点承载力。

1.3 荷载工况

1.3.1 导地线荷载

导地线荷载主要分为大风、覆冰、断线以及安装工

收稿日期: 2012-12-27; 修回日期: 2013-02-05

基金项目: 国家电网公司依托工程基建新技术研究项目 (SGKJ [2011]10)

况 4 种,均以节点荷载的方式作用于结构挂点上;同时,根据架空输电线路规范进行荷载组合,得到窄基四柱钢管转角塔的杆塔结构设计荷载工况共 176 种。

1.3.2 塔身风荷载

输电塔属于高耸结构,风荷载对结构内力影响较大。窄基四柱钢管塔的杆件设计均根据文献[4]和[5]的相关规定选择各系数。由于四柱钢管塔的形式特殊,且没有相关体型系数的取值方法,故需特别注意风荷载计算的体型系数。因此,结合文献[6]及相关经验,考虑前后侧有遮挡的情况,选择体型系数为 1.0,即每个主管的体型系数均为 0.5,计算每个主管的塔身风荷载。再进行风荷载与导地线荷载组合,得到不同工况下窄基钢管塔各杆件的设计内力。

2 杆塔结构内力分析

2.1 分析模型

采用 SAP 2000 进行杆塔结构建模和内力计算,四柱塔主管以及横隔全部采用 Q460 高强度钢管,横担采用 Q345 钢管,横隔设置交叉材用 Q345 等边角钢。杆塔构件形式及杆件规格根据内力试算得到,除横隔交叉材采用铰接外,其余杆件节点均采用刚接形式。

另外,根据窄基四管钢管塔的特点,对导线荷载的施加方法进行简化,A 字形横担端部的前后侧挂点导线荷载叠加后施加在同一点上,窄基四柱钢管塔的分析模型如图 1 所示。

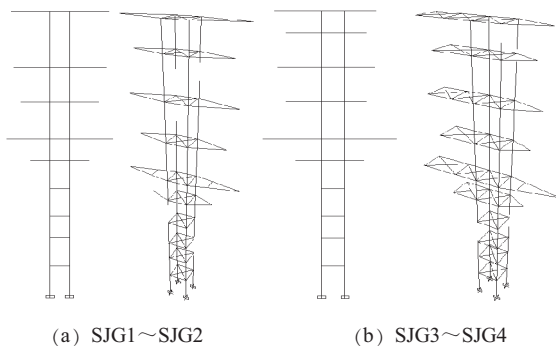


图 1 220/110 kV 四回路窄基四柱钢管塔塔型

2.2 杆塔结构内力

杆塔结构内力分析可知,转角塔 SJG1、SJG2 和 SJG3 的横担下侧主管的控制工况为 90° 大风工况,转角塔 SJG4 横担以下主管的控制工况为覆冰工况(如表 2 所示);横担以上主管均为安装工况控制。控制工况下窄基四柱钢管塔二型转角塔 SJG2、四型转角塔 SJG4 的结构内力情况如图 2 和图 3 所示。

基于上述杆塔结构受力分析可知,主管主要承受轴力、弯矩和剪力;横隔主要承受弯矩和剪力,主要是弯矩控制,而轴力较小。从上到下横隔内力逐渐增大,杆塔结构的呼高范围内横隔受力最大,符合刚度分配

表 2 控制工况下的底部主管内力

塔形	控制工况	规格	应力 /MPa
SJG1	90° 大风	D 660×16	399.67
SJG2	90° 大风	D 711×16	409.28
SJG3	90° 大风	D 813×18	381.50
SJG4	覆冰	D 914×20	363.22

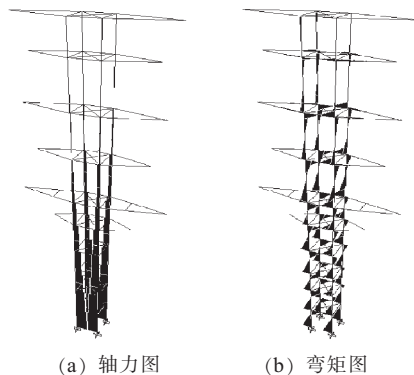


图 2 90°大风转角塔 SJG2 的内力

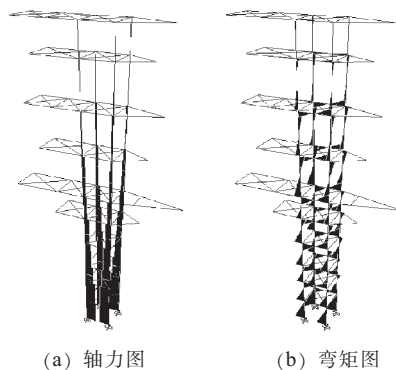


图 3 覆冰时转角塔 SJG4 的内力

原则;同时,考虑呼高范围内弯矩相差较小并方便加工,呼高范围内设置相同规格横隔,分析得到各塔型 27 m 呼高范围内横隔的内力如表 3 所示,横隔内力较大。另外,与主管、横隔内力相比,横担内力要小得多,设计比较容易。

表 3 控制工况下横隔内力

塔形	控制工况	规格	应力 /MPa
SJG1	90° 大风	D 457×18	367.36
SJG2	90° 大风	D 529×20	394.19
SJG3	90° 大风	D 610×20	378.17
SJG4	覆冰	D 711×20	366.88

2.3 杆塔加工顶点位移

基于内力分析和构件设计,在满足构件强度的条件下,杆塔结构的顶点水平位移如表 4 所示,可知 90° 大风工况的顶点水平位移最大。窄基四柱钢管塔的顶点位移均能满足规范的要求,说明四柱钢管塔具有良好的刚度和整体性能。

表 4 风荷载下顶点水平位移

塔形	控制工况	顶点位移 /m
SJG1	90° 大风	0.81
SJG2	90° 大风	0.93
SJG3	90° 大风	0.86
SJG4	覆冰	0.80

3 杆塔结构优化

窄基四柱钢管塔的根开对塔重、节点及基础设计均有很大的影响,而节间大小可能影响结构弯矩分配,主管以及横隔受弯矩影响较大,因此,有必要研究根开和节间对杆塔力学性能的影响规律。文中对呼高为 27 m、总高为 54 m 的 1~4 型转角塔进行结构优化分析。

3.1 根开对杆塔结构性能的影响

转角塔 SJG1 选用 1.8 m、2.3 m、2.8 m、3.3 m、3.8 m 5 种根开,转角塔 SJG2 选用 2 m、2.5 m、3 m、3.5 m、4 m 5 种根开,转角塔 SJG3 选用 2.2 m、2.7 m、3.2 m、3.7 m、4.2 m 5 种根开,转角塔 SJG4 选用 2.5 m、3 m、3.5 m、4 m、4.5 m 5 种根开,4 种塔型节间初定为 7 m,分析得到不同根开所对应的塔重及顶点位移变化规律如图 4、图 5 和图 6 所示。

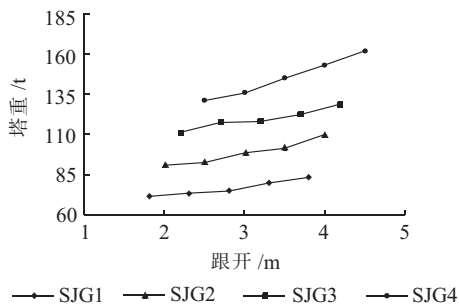


图 4 根开-塔重变化特点

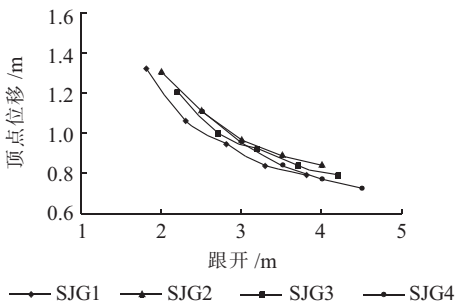


图 5 根开-顶点位移变化特点

由图 4 可知,塔重随根开减小而降低,220/110 kV 混压四回路 1 型、2 型、3 型、4 型转角塔当根开分别为 1.8 m、2 m、2.2 m、2.5 m 时用钢量最小。

由图 5 杆塔顶点位移变化特点可知,顶点位移随根开减小而明显增大,220/110 kV 混压四回路 1 型、2 型、3 型、4 型转角塔当根开分别为 3.8 m、4 m、4.2 m、

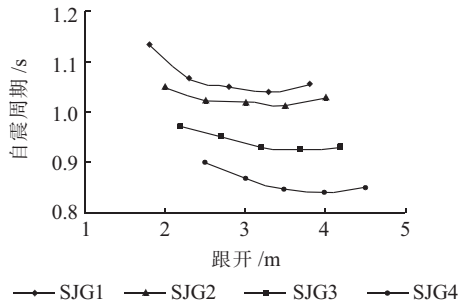


图 6 根开-自振周期变化特点

4.5 m 时顶点位移最小。

由图 6 杆塔结构自振频率特点可知,自震周期随根开减小而增大,但变化不显著,220/110 kV 混压四回路 1 型、2 型、3 型、4 型转角塔当根开分别为 3.8 m、4 m、4.2 m、4.5 m 时自震周期最小。

基于上述杆塔结构优化分析可知,当满足规范规定时,根开越小、杆塔经济性越高,但是根开过小将出现杆件节点、铁塔基础设计、制作加工困难以及顶点位移偏大等问题。因此,综合考虑选择转角塔 SJG1、SJG2、SJG3 和 SJG4 的根开分别取为 2.8 m、3.0 m、3.2 m 和 3.5 m。

3.2 横隔节间对杆塔结构性能的影响

采用上述优化分析得到的窄基塔根开,1~4 型转角塔的节间分别取 5.0 m、6.0 m、7.0 m、8.0 m、9.0 m,分析钢管塔的结构性能,分析结果如图 7、图 8 和图 9 所示。

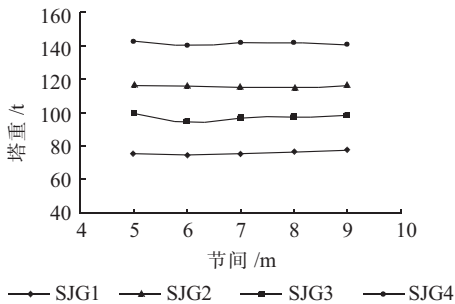


图 7 横隔节间-塔重变化特点

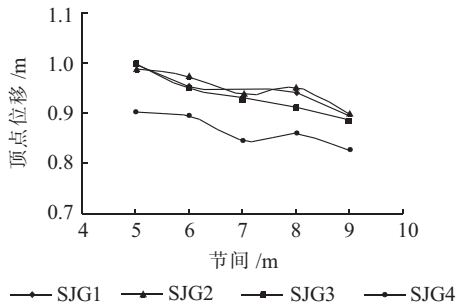


图 8 横隔节间-顶点位移变化特点

可见横隔节间变化对塔重影响较小,塔重基本保持不变;顶点位移随着横隔节间变大有下降趋势,但变化较缓,4 种转角塔的顶点位移在 0.8~1.0 m 之间;节

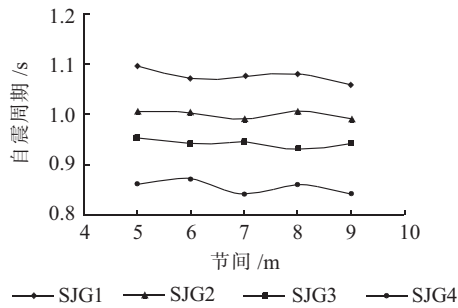


图9 横隔节间-自震周期特点

间对自振周期影响不明显,4种转角塔的自振周期在0.8~1.1 s之间。

综上所述,节间对整塔的影响不大,因此选择任意一个节间都可以,但是节间小可降低主管以及横隔的规格,所以文中选择5 m节间作为最终结果。

4 结束语

研究开发了220/110 kV混压四回路的新型Q460高强钢窄基四柱钢管塔,并通过模拟分析以及真型塔试验2种方法研究其结构性能,得到如下主要结论:采用Q460有利于降低杆塔结构的用钢量,同时符合结构设计采用高强材料的趋势;转角塔SJG1、SJG2、SJG3

的主管以及横隔的控制工况都为90°大风,4型转角塔则为覆冰工况,同时影响各杆件应力水平的主要因素均为构件的弯矩,主管为压弯受力,横隔为弯剪受力;窄基四柱钢管塔的塔重随根开减小而降低,顶点位移以及自振周期则随根开减小而增大;节间的变化对四柱钢管塔的塔重以及自振周期影响较小,但随着节间的增大,顶点位移会缓慢降低。

参考文献:

- [1] 孙竹森,程永锋,张强,等.输电线路钢管塔的推广与应用[J].电网技术,2010,34(6):186-192.
- [2] 杨靖波,李茂华,杨风利,等.我国输电线路杆塔结构研究新进展[J].电网技术,2008,32(22):77-83.
- [3] 韩军科,杨靖波,杨风利,等.特高压钢管塔主材长细比及径厚比的取值[J].电网技术,2009,33(19):17-20.
- [4] DL/T 5154—2002,架空送电线路杆塔结构设计规定[S].
- [5] GB 50017—2003,钢结构设计规范[S].
- [6] GB 50009—2001,建筑结构荷载规范[S].
- [7] 日本铁塔协会,输电钢管铁塔制作标准[S]. 1995.

作者简介:

刘德标(1961),男,江苏盐城人,工程师,从事线路设计工作;
钱统亚(1967),男,江苏盐城人,工程师,从事线路设计工作;
张大长(1971),男,江苏南京人,教授,从事特种钢结构研究工作。

Optimization Design of a New Type Narrow-base Four-column Steel Pipe Tower for 220/110 kV Mixed Voltage 4-circuit Transmission Line

LIU De-biao¹, QIAN Tong-ya¹, ZHANG Da-chang²

(1. Yancheng Electric Power Design Institute, Yancheng 224002, China;

2. College of Civil Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

Abstract: This paper studied a new type of Q460 high-strength narrow-base four-column steel pipe tower for 220/110 kV mixed voltage 4-circuit Transmission line. Examining the steel consumption, vertex deflection and natural frequency of structure, the structural optimization and analysis on leg spans and beam intervals are carried out. The reasonable values and selection method of the leg spans and beam intervals of 220/110 kV mixed voltage 4-circuit narrow-base steel pipe tower are proposed.

Key words: mixed voltage 4-circuit; Q460 high-strength steel; narrow-base four-column steel pipe tower; optimization design

(上接第41页)

Capacity Planning of Combined Cooling, Heating, and Power Micro-grids

CUI Heng-zhi¹, HUANG Qi-feng¹, YANG Shi-hai¹, ZHAN Li-ping², ZHOU Gan²

(1. Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China;

2. Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: With the advantage of high energy efficiency, variety using types and solving energy demand on the spot, combined cooling, heating and power (CCHP) micro-grids can satisfy the demand of integral energy users compare to normal energy utilization types. However, CCHP projects in operation or under construction currently are often unreasonable allocated, the energy utilization efficiency of the systems are far lower than the expected, and the production efficiency of the devices is low. The optimal model of capacity planning for CCHP micro-grid is proposed in this paper. Firstly, several typical types of cogeneration micro-grid systems are introduced. Then, the optimal model for capacity planning of CCHP micro-grid is built. Finally, the model is realized in CPLEX language and the effectiveness of the model is verified by example analysis.

Key words: CCHP; micro-grid; capacity planning; optimal

冶金企业集中接入配网的谐波影响及对策分析

孙文华¹, 陈 龙², 袁晓冬³

(1.常州供电公司,江苏 常州 213004;2.中国矿业大学信电学院,江苏 徐州 221008;

3.江苏省电力公司电力科学研究院,江苏 南京 211103)

摘 要:冶金企业大量非线性负荷接入配电网会对电力系统电能质量造成明显的影响。在介绍典型非线性负荷的电气特性、谐波发射水平的基础上,给出了不同类型谐波源谐波迭加方法。结合常州地区电能质量普测工作,分析了冶金企业产生谐波对电网的具体影响,并提出了相应治理和应对措施。

关键词:冶金企业;电能质量;谐波;治理措施

中图分类号:TM714

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)03-0046-04

冶金企业用电设备多数为非线性负荷,非线性负荷设备向电网中注入谐波,会造成公共连接点的波形畸变,供电质量降低。随着冶金行业的蓬勃发展,非线性负荷不断增长,造成某一地区电网中冶金企业集中接入现象增多。现有的研究中,针对单个冶金企业对电网的影响分析较多,而对集中接入存在的问题研究较少。文中介绍了冶金企业典型负荷谐波发射水平,在多谐波源谐波迭加方法的基础上,分析了冶金企业集中接入产生谐波对常州地区电网的影响,并提出了相应治理办法。

1 谐波限值的规定

电能质量是指通过公用电网供给用户端的交流电能的品质。理想状态的公用电网应以恒定的频率、正弦波形和标准电压对用户供电。而在实际工况下,谐波是造成公共连接点电能质量下降的重要因素之一。谐波可能会导致损耗增加、继电保护装置误动作、设备寿命缩短。为了确保电力系统的安全运行和供电设备的正常工作,必须对谐波污染加以限制。我国国家标准 GB/T14549-1993《电能质量 公用电网谐波》对电力系统谐波电压、谐波电流限值做出了明确的规定。

2 冶金企业典型负荷的谐波分析

冶金行业用电设备主要为直流电动机和变流器驱动、交流电动机变频调速驱动、变压器、电抗器、电力电子装置等非线性负载。非线性负载是指具有非线性阻抗特性的电气设备,其阻抗随外施电压或电流的变化而变化。当向非线性负荷施加标准正弦波形的电压时,它将产生非正弦波形的电流。因此,非线性负荷最大特点是会引起电力系统电压或电流正弦波形的畸变,产生谐波分量。

电弧炉、中频炉、轧机等设备是冶金企业最常用的也是最主要的非线性负荷。下面就冶金企业典型非线性负荷谐波发射水平做简要分析。

2.1 电弧炉

电弧炉在冶炼过程中,主要因为电弧阻抗不稳定,并且在交流电弧的半个周期中电弧阻抗也在变动,造成了电弧电流的非正弦畸变,产生各次谐波。电弧炉电弧电流具有数值大而且不平衡、畸变和不规则波动的特点。电弧炉交流电的正负半周换相,电极和炉料交替作为阴极和阳极,导致电流正负 2 个半周不对称,造成偶次谐波;三相电弧不平衡导致 3 次谐波^[1]。所以其电流波形不是正弦波,可分解为 2 次和 2 次以上的各次谐波电流,主要为 2~7 次,其中各次谐波平均值含有量和最大含有量可达基波分量的百分比如表 1^[2]所示。常州市某冶金企业电弧炉 10 kV 炉前变谐波电流含有量实测值表如 2 所示。

表 1 电弧炉谐波电流含有率

谐波次数 / 次	平均值 / %	最大值 / %
2~3	5~10	15~30
4~7	2~6	6~15

表 2 电弧炉谐波电流发生量实测值

谐波次数 / 次	实测值 / %	谐波次数 / 次	实测值 / %
2	10.45	8	1.00
3	9.38	9	0.88
4	4.56	10	0.62
5	5.80	11	0.60
6	2.40	12	0.45
7	2.02	13	0.40

2.2 中频炉

中频炉中频电源主电路采用三相全控整流桥,包括整流电路、逆变电路和负载谐振电路。整流器件为晶闸管,应用电路多数为 6 脉波或 12 脉波整流电路。在 6

脉波整流的电路中,交流侧电流中含 $6k\pm 1$ (k 为正整数)次谐波电流,这些谐波成为整流电路的特征谐波^[3]。各次谐波有效值与谐波次数成反比,而且与基波有效值的比值为谐波次数的倒数。即6脉波整流的中频炉中,5次和7次谐波含所占比例较高,对总谐波含量影响最大。11次,13次,17次,19次谐波含量相对较高,对谐波总含量也有一定影响。同理,若中频炉的整流电路为12脉波整流,则特征谐波的次数为 $12k\pm 1$ 。依次类推,脉波整流电路的特征谐波次数为 $pk\pm 1$ 。实际测试中某企业中频炉谐波电流频谱如图1所示。

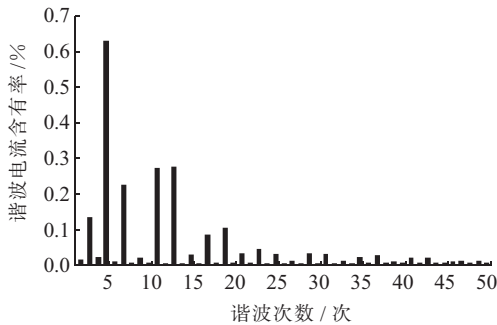


图1 6脉波中频炉谐波电流频谱

2.3 轧机

轧机是实现金属轧制最常用的设备。现代大型轧机运行时产生的有功冲击和无功冲击对电网的频率和电压都产生影响。由于轧机控制性能的要求,大部分轧机主传动装置使用晶闸管整流的直传动系统,部分轧机主传动使用晶闸管变流的交-交变频传动系统。轧机系统的整流装置属于典型的脉冲整流装置,轧机由于晶闸管调相调压的非线性特点,造成轧机电流电压波形畸变,产生大量的谐波。

3 多谐波源迭加分析

当某个企业有多台非线性设备,或电网某条线路存在多个企业接入的情况下,各个谐波源产生的谐波相互迭加将对电网产生进一步的影响。在计算多谐波源迭加时,根据谐波源类型的不同主要有以下2种迭加方法。

3.1 变流器类型谐波源

中频炉、轧机等谐波源为电力电子变换装置,主要包括各种交直流换流装置、双向晶闸管可控开关设备等。尽管该类谐波源谐波发射水平的影响因素十分复杂和繁多,但有一定的规律。以中频炉为例评估谐波注入,2台炉按下式进行迭加计算:

$$I_h = \sqrt{I_{h1}^2 + I_{h2}^2 + K_h I_{h1} I_{h2}} \quad (1)$$

式中: I_h 为迭加后的第 h 次谐波电流; I_{h1} , I_{h2} 分别为2个谐波源的第 h 次谐波电流; K_h 为迭加系数。当同次谐波源相角差 θ 确定时, $K_h = 2\cos \theta$;当相角差不能确

定时, K_h 按表3选取。当数台中频炉同时计算时,应首先按照2个谐波电流迭加,然后再与第3个谐波电流迭加,依此类推。

表3 同次谐波电流迭加系数

h /次	K_h	h /次	K_h
3	1.62	11	0.18
5	1.28	13	0.08
7	0.72	$9 >13 $ 偶次	0

3.2 时变谐波源

电弧炉负荷属于时变谐波源,发生谐波特征和大小随时间变化,其谐波电流都是随机变化的。因此2台电弧炉同次谐波电流的迭加计算时, I_{h1} 和 I_{h2} 彼此间无任何联系,所以不应用叠加系数,直接按式(2)计算,采用均方根计算值。多台电弧炉同次谐波电流迭加计算也按此方法进行^[4]。

$$I_h = \sqrt{I_{h1}^2 + I_{h2}^2} \quad (2)$$

冶金企业集中接入配电网地区谐波源分布广泛,准确评估同种和不同谐波源谐波迭加情况,有助于把握电网中谐波的总体含量,为相应的治理措施提供决策依据。

4 常州市谐波影响现状

随着常州市现代化工业的迅速发展,炼钢、轧辊、铸造等冶金企业的数量、规模不断增长。常州地区是典型的冶金企业集中接入配电网地区,谐波源负荷类型多且复杂、谐波迭加情况严重。

文中对常州地区电网和主要用户进行了电能质量普测工作。统计在内的40个大容量非线性负荷电能质量污染源用户中,其中32个用户属于冶金企业,且近半数的冶金企业存在电能质量超标现象,如表4所示。

表4 冶金企业主要负荷谐波超标数量 个

用户负荷类型	用户数量	谐波超标用户数量
电弧炉	9	3
中频炉	9	5
轧机	5	4
电弧炉、轧机、中频炉	2	2
变频整流装置	4	0
高压电机	3	0
总计	32	14

可见,冶金企业集中接入配电网谐波超标现象明显,对电能质量造成明显影响。具体测试结果表明:

(1) 用户谐波电压一般不存在超标现象,谐波电流超标比较普遍,超标的企业中大多数是冶金企业。

(2) 所有谐波超标用户的主要负荷均为电弧炉、

中频炉、轧机 3 种中的 1 种或几种。此类用户的 5 次、7 次等典型谐波电压电流含量、谐波畸变率等指标一般都处于较高水平,且部分指标已经超出国家标准。

(3) 未按要求采取谐波治理措施的企业谐波含量丰富,谐波都处在较高的发射水平。而已安装滤波装置企业,谐波含量一般符合国家标准中规定的限值。图 2、图 3 分别为未采取任何治理措施和采用了一定治理措施的企业谐波电流频谱。比较可知,不采取治理措施时各次谐波含量丰富,而应用治理措施的企业虽然 5 次、7 次等典型次谐波仍高于其他次谐波,但整体已处于较低水平。

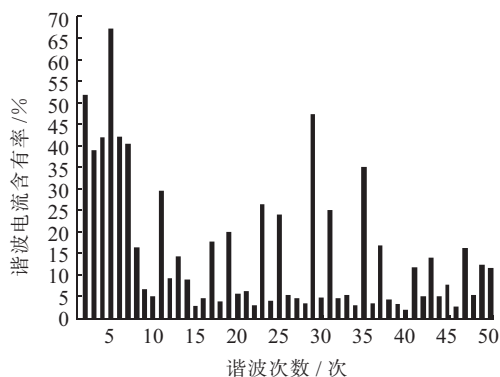


图 2 未采用治理措施时某企业谐波电流频谱

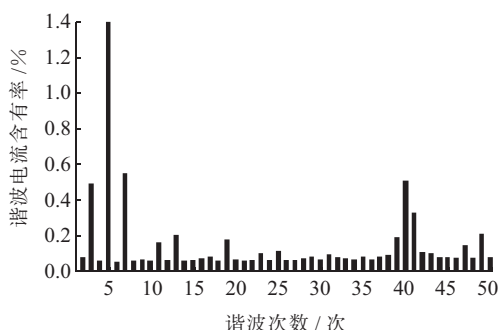


图 3 采用治理措施企业谐波电流频谱

(4) 部分企业已安装 5 次、7 次等特征次谐波滤波装置,特征次谐波含量处于限值以下,但 11 次、13 次、23 次、25 次等其他次谐波含量存在超出标准限值现象,如图 4 所示。

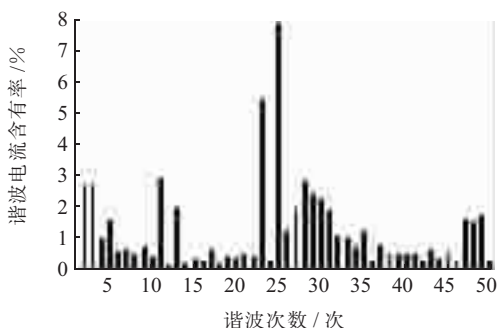


图 4 某企业谐波电流频谱

从常州地区电网整体电能质量测试情况看,大型电能质量污染企业、工厂分布较少的市区电能质量情

况良好,基本无谐波超标问题。少数变电站谐波电流含量和总畸变率较大,超出国标要求,主要由于低压系统采用的无功补偿装置通常没有考虑谐波的影响所致。农村电网由于自身容量较小,小型冶金用户非线性负荷分布广,且用户也较少考虑谐波问题。因此,它们所带来的电能质量问题,可能在局部对电网和其他用户造成影响。电能质量指标超出国标限值比较严重的城郊等地区,一般都存在冶炼、铸造、轧钢等有大量的变频器群和电弧炉等谐波源的重工业企业。

5 谐波治理措施

5.1 常州地区现状

冶金企业集中接入地区谐波超标现象普遍,对电网造成影响恶劣,必须加以限制。现有的谐波治理装置主要分为无源滤波器和有源滤波器 2 种,谐波治理的另一个方向是,谐波治理与无功补偿相结合的方式。

常州地区统计在内的 32 家大容量冶金企业中,已经采用治理措施的企业有 14 家,其中 9 家采用以单调谐加高通滤波为主的无源滤波器和 5 家应用静止无功补偿装置(SVC)进行综合治理。从治理效果上看,采用无源滤波装置进行谐波治理的企业中,仍有部分存在高次谐波超标现象,而应用 SVC 进行综合补偿的企业谐波水平几乎均控制在合理的范围内。由于技术经济等多方面的原因,有源滤波器尚未在常州地区大规模投入使用。

5.2 典型案例

常州市在谐波超标的冶金企业中,有近 1/3 的用户是在安装了滤波器后仍出现谐波超标现象,原因主要是这些企业大部分采用无源滤波器,其本身存在易受电网运行状态影响、只能补偿固定频率谐波等问题。

某冶金企业主要负荷为轧机、中频炉,生产过程中产生大量谐波,采用传统的无源滤波装置滤波效果不明显。企业更改治理措施后,在其配电变电站 10 kV 母线上采用静止无功发生器(SVG)和滤波器(FC)相结合的形式进行滤波和无功综合补偿,其一次系统图如图 5 所示。该方案能够对系统的无功量进行跟踪补偿,做到无级调节,并能有效滤除谐波,稳定电压。设备运行之后谐波治理的效果显著,各项指标均满足国家标准。治理前后电流波形如图 6 所示。

5.3 滤波方案

冶金企业一般可采用增设 5 次、7 次、11 次、13 次静态型无源滤波装置进行就地治理^[5],滤波器典型组合见表 5。效果不明显时,宜配置有源滤波器或采用谐波治理与无功综合补偿相结合的方案。有源电力滤波器(APF)能补偿各次谐波,原则上能达到完全滤波的效果。而 SVC 和 SVG 在谐波抑制、综合补偿的实践中

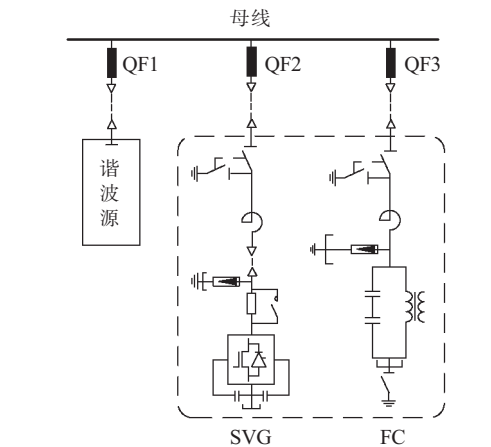
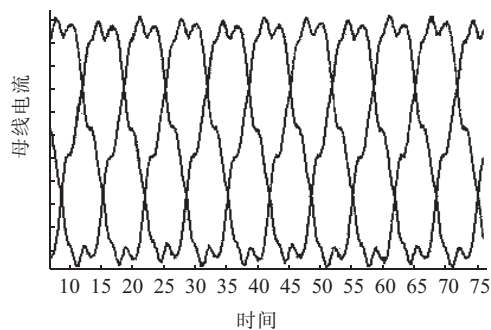
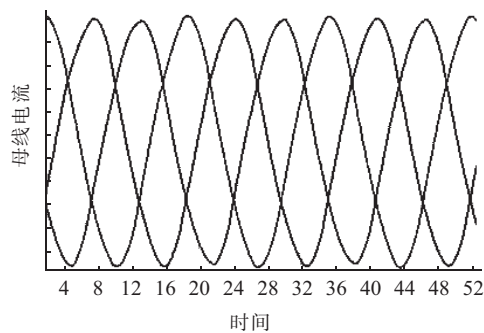


图5 SVG和FC相结合的一次系统



(a) 治理前



(b) 治理后

图6 治理前和治理后母线电流

显示了技术上的优势和良好的效果，有效地降低了对电网的不利影响。在设计滤波装置时应根据现场供电系统短路容量、变压器短路阻抗、负荷状况等数据考虑具体方案。

冶金企业负荷情况复杂,谐波超标现象严重,治理较为困难。针对冶金企业集中接入配电网的情况,电力管理部门应从宏观上更加有计划的制定谐波治理措施,避免企业由于经济技术等原因而放弃治理或采用传统落后的治理方式,避免某个企业谐波治理后符合标准但可能导致其他企业谐波放大等现象。在谐波治理策略上建议考虑综合治理,即在重要谐波源处采用就地治理方式,而对于一般负荷在总进线处集中治理。这样既能达到理想的谐波治理效果,又能节约治理的投入。由此确保电网中谐波含量限制在合理的水平。

表5 滤波器典型组合方案

谐波源描述	滤波与无功补偿装置组合方式(推荐)
交流电弧炉	3次、4次单调谐(或二阶高通)组合或2次C型高通、3次、4次单调谐(或二阶高通)组合
6脉动整流负荷	5次、7次单调谐滤波器与11次高通滤波器组合
12脉动整流负荷	5次单调谐与11次二阶高通组合或5次、7次单调谐与11次、13次、17次二阶高通组合
大功率可关断高速电力器件的高压变频器负荷	5次、7次单调谐与11次、13次、17次二阶高通组合
注入系统的三相3次谐波电流方向不一致	3次单调谐滤波器

此外,还必须贯彻“堵新治旧”谐波管理方针。在审查新上和扩建的电能质量污染源项目的接入方案时,应同时进行谐波项目的评估,谐波治理措施要与工程项目同步实施。对于现有的谐波源用户,在实测的基础上,积极分析治理方案;污染严重的用户,必须提出限期整改的计划和措施。

6 结束语

冶金企业集中接入对配电网电能质量影响较为恶劣,为保证电网谐波限制在合理水平,在满足用户要求的基础上保证电网安全经济运行,应加强对谐波等电能质量相关问题的研究,实现更经济适用和切实有效的治理办法。电力部门还需做好引导和监管工作,树立和增强维护电能质量的意识,提升电能质量管理水平,力争为用户提供更优质高效的电能。

参考文献:

[1] 杨奎禄,张仕民.电弧炉对电网的影响及其治理方法[J].四川电力技术,2005(S1):23-25.
[2] 翁利民,陈允平,舒立平.大型炼钢电弧炉对电网及自身的影响和抑制方案[J].电网技术,2004,28(2):64-67.
[3] 周孝信,卢强,杨奇逊,等.中国电气工程大典(电力系统工程)[M].第8卷.北京:中国电力出版社,2009.
[4] 陈延鏢,陆乃城,王敏杰,等.钢铁企业电力设计手册(上册)[M].北京:冶金工业出版社,1996.
[5] 沈龙大,刘天泽,贾庆勇,等.冶金企业的无功补偿与谐波治理[J].电力设备,2003,4(1):14-17.

作者简介:

孙文华(1965),女,江苏常州人,高级工程师,从事电力生产、电能质量监测和管理以及配电自动化的研究工作;
陈龙(1988),男,河北廊坊人,硕士研究生,从事电能质量相关检测、研究工作;
袁晓冬(1979),男,江苏南京人,高级工程师,从事电能质量、新能源及智能配网方面的研究工作。

基于功率负荷自适应的备自投实现方法

赵家庆¹, 霍雪松², 钱科军¹, 李澄³, 陈颢³

(1. 苏州供电公司, 江苏 苏州 215004; 2. 江苏省电力公司, 江苏 南京 210024;

3. 江苏方天电力技术有限公司, 江苏 南京 211102)

摘要:针对电力系统中变电站 2 台主变容量不一或单台主变容量小于全站负荷功率时, 低压备用电源自投(简称备自投)动作易造成小容量主变过负荷运行, 而和电流闭锁备自投时易导致半站甚至全站失电的问题, 分析了常规备自投过负荷处理方式的不足, 提出了可用于传统/智能变电站的基于功率负荷自适应的备自投实现方法。

关键词:功率负荷自适应; 智能变电站; 备自投保护; 通用数字接口

中图分类号: TM77

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2013)03-0050-04

随着电网规模的快速发展、继电保护相关技术的进步及供电可靠性要求的提高, 备用电源自投(简称备自投)设备的应用越来越普及。对其在变电站现场中作为备用电源自动投入的功能要求也越来越完善^[1-3]。工业、经济的发展带动了用电负荷的快速增长, 变电站正常运行时, 经常出现全站负荷常超出单台主变容量的现象^[4,5]。当进线线路或对侧源端发生故障时, 导致变电站一路进线失电, 此时会出现 2 种情形: 一是完成充电的备自投保护装置将会启动, 其动作后可能出现单条线路或单台主变压器承担全站所有工作负荷的情况, 此时易导致主变过负荷运行, 严重过负荷情况下甚至可引起主变过热运行会导致绝缘降低、绕组击穿、或发生内部故障而损坏主变设备, 进而造成全站失电, 严重影响变电站设备安全以及供电的可靠性。二是可能由于和电流闭锁备自投而导致备自投无法完成充电, 此时若失电则备自投不会启动。如失电前为双进线供电, 可能会导致单母线分段的变电站一段母线上的负荷线路失电; 如失电前为单线供电且负荷向小容量主变转移时则可能会发生严重的全站负荷线路失电情况。针对传统备自投的不足进行了分析, 提出了基于功率负荷自适应的备自投实现方法, 在提升变电站的运行稳定性方面具有一定的实用性。

1 常规低压备自投过负荷分析

1.1 分段备自投过负荷

分段备自投一次接线如图 1 所示。若失电前出线总负荷超过任 1 台主变额定容量, 当 1 条进线失电时, 会出现以下 2 种情形:

(1) 不投入和电流闭锁功能时, 备自投可完成充电, 1 号/2 号进线失电时, 备自投动作会出现 2 号/1 号主变承担站内所有出线负荷而发生主变过负荷运行的情况。

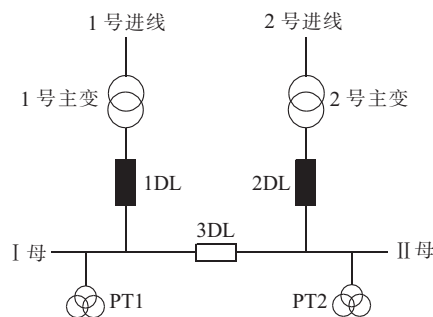


图 1 分段备自投一次接线

(2) 投入和电流闭锁功能时, 则无法完成充电, 1 号/2 号进线失电时, 备自投拒动, 此时主变均不过负荷, 但会出现一段母线失电而导致的失电母线上出线全失电的情形。

1.2 进线备自投过负荷

进线备自投一次接线如图 2 所示。

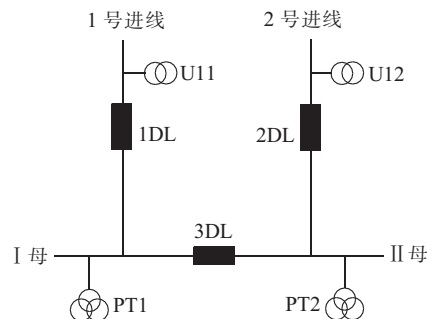


图 2 进线备自投一次接线

若失电前 1 台大容量主变带全站负荷工作时(设 1 号/2 号变为大容量主变), 当大容量主变进线失电时, 会出现以下 2 种情形:

(1) 不投入和电流闭锁功能时, 备自投可完成充电, 1 号/2 号进线失电时, 备自投动作后小容量主变承担站内所有出线负荷时, 小容量主变过负荷运行。

(2) 投入和电流闭锁功能时, 则无法完成充电, 1 号/2 号进线失电时, 备自投拒动, 此时会出现 2 段母线全

失电而导致的母线上全部出线全失电。

1.3 常规备自投过负荷时动作及影响

在上述2种工作方式下,如备自投动作可能出现单台主变压器承担站内所有工作负荷,而导致主变过负荷工作。如过负荷倍数超出变压器额定电流1.2倍以上则不能长期过负荷运行,否则由于内部绕组的过热,会加速绝缘老化、油气分解,缩短主变设备的正常寿命,加速主变设备的更新换代;长时间严重过负荷导致的主变故障,将造成更大的经济损失,并严重影响供电可靠性^[6,7]。

如备自投闭锁可保障主变的安全运行,但导致的失电会引起负荷电量的损失,重要企业负荷的失电同时也对用户的生产造成损失,为供电部门造成不良影响。为挽回损失,常规的操作方法即通过监控人员人工操作拉去部分次要线路负荷,及时恢复重要负荷的供电,必要时还需要到变电站现场进行操作,既费时效率又低下。

针对上述问题,提出了一种基于功率负荷自适应的备自投实现方法,智能识别并灵活处理变电站中单台主变容量无法满足负荷功率时,备自投动作易造成备投主变长期过负荷运行或简单和电流闭锁易导致重要负荷失电的问题,并可满足变电站接口复杂多样的工程应用需要。

2 基于功率负荷自适应的备自投方案

基于功率负荷自适应的备自投实现方案流程如图3所示。该实现方案主要由负荷功率及遥信信息采集计算、按功率分布自适应减载、自适应备用电源自投三大功能部分和自适应减载矩阵出口、备自投保护出口两个控制部分组成。

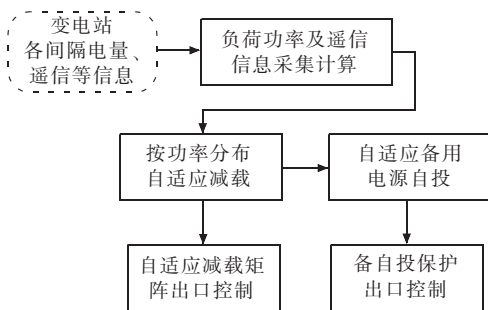


图3 基于功率负荷自适应的备自投实现方案流程

2.1 负荷功率及遥信信息采集计算

负荷功率采集和计算,即通过采样接口采集站内负荷的二次电压电流或功率,并折算到一次侧,获取负荷的实时功率,主要包括主变出线负荷功率和低压出线负荷功率。

2.1.1 主变出线负荷功率计算

根据主变出线的电压电流量,计算出主变出线部

分的二次实时负荷功率,再折算出2台主变出线的有功功率 P_1, P_2 和无功功率 Q_1, Q_2 。由此可以得出2台主变此时的总负荷视在功率为:

$$S = \sqrt{(P_1 + P_2)^2 + (Q_1 + Q_2)^2} \quad (1)$$

2.1.2 低压出线负荷功率计算

根据采集到需减载部分的低压出线二次有功功率和无功功率,将其折算为一次功率。假设减载的轮次设置为 n 轮,可分别计算出第 n 轮需减载的负荷功率为:

$$\begin{cases} P_{jn} = \sum_{x=1}^m P_{lx} \\ Q_{jn} = \sum_{x=1}^m Q_{lx} \end{cases} \quad (2)$$

式中: lx 为减载线路间隔编号; m 为各轮次选中将减载的出线间隔数量。

2.1.3 遥信信息采集

主变出线及分段断路器位置、低压出线间隔开关位置等遥信信息,可以采用传统开关量、GOOSE遥信等多种方式进行采集。

2.2 按功率分布自适应减载

为了使备自投保护动作后主变压器能非过负荷运行,需在备投动作前,根据站内负荷功率分布情况,有选择的减载部分低压出线负荷。

假设减载轮次为2轮,依次将各轮次低压出线总负荷功率按2轮减载的顺序减去。

(1) 减去1轮减载总负荷后系统负荷剩余为:

$$P_{t1} = P_1 + P_2 - P_{j1} \quad (3)$$

$$Q_{t1} = Q_1 + Q_2 - Q_{j1} \quad (4)$$

此时1轮减载后的视在功率为:

$$S_{t1} = \sqrt{(P_{t1} + Q_{t1})^2} \quad (5)$$

(2) 减去1轮减载总负荷和2轮减载总负荷后系统负荷为:

$$P_{t2} = P_1 + P_2 - P_{j1} - P_{j2} \quad (6)$$

$$Q_{t2} = Q_1 + Q_2 - Q_{j1} - Q_{j2} \quad (7)$$

此时1轮、2轮减载后的视在功率为:

$$S_{t2} = \sqrt{(P_{t2} + Q_{t2})^2} \quad (8)$$

假设2台主变容量分别为 S_1, S_2 ,将1轮减载后、2轮减载后的视在功率分别与主变容量进行比较,可得出以下结果:(1) 如果功率 $S < S_1$,说明不需减载,即满足功率选择条件,可进入备投到主变一的备自投流程。(2) 如果功率 $S > S_1$ 且 $S_{t1} < S_1$,说明需1轮减载,站内负荷功率才小于备投到主变一的主变容量,功率选择条件才会满足;则需先减载1轮出线负荷,才能进入备投到主变一的备自投流程。(3) 如果功率 $S > S_1, S_{t1} > S_1$ 且 $S_{t2} < S_1$,说明需要进行1轮、2轮减载,站

内负荷功率才小于备投到主变一时的主变容量,功率选择条件才会满足;则需先减载 1 轮和 2 轮出线负荷,才能进入备投到主变一的备自投流程。(4) 如果功率 $S > S_1$, $S_{11} > S_1$ 且 $S_{12} > S_1$, 说明 2 轮负荷均减载后,站内负荷仍然大于备投到主变一时的主变容量,则闭锁备自投功能。备投到主变二上时的减载判断流程同上。

2.3 自适应备用电源自动投入

系统可根据主变出线电压电流量、断路器位置等各种运行条件,自适应选择判断备自投运行在进线备投方式或分段备投方式下。

2.4 减载矩阵及备自投出口控制

负荷减载及备自投保护的出口控制,可采用传统的信号电缆回路或 GOOSE 网络跳闸实现。为保证自适应负荷减载的选择性和灵活性,系统内设有多个轮次的线路出口选择跳闸控制矩阵。即为全站每条线路的负荷切除提供了多轮次的控制选择,在每个轮次中配有多个出口选择开关,根据其负荷特性,每条线路的跳闸选择可在不同轮次中选定或不选,也可自由选定在不同的轮次切除,或不切除。

实现方法如下:系统中设置了不少于 2 个负荷线路切除轮次,每轮次有多达 32 条线路的出口跳闸选择矩阵,某一线路跳闸与自适应负荷减载的外部接口(出口矩阵)对应相关,切除负荷线路通过投运相应跳闸矩阵的控制字实现,控制字投退即可视为保护出口压板的投退。

按轮次减载的线路间隔可根据低压出线负荷的供电重要性进行人工分级和设定,如最次要负荷在首轮中设置切除,次要负荷可在后一轮次中设置切除。一旦出线间隔的负荷性质和重要性发生改变,则可通过修改减载矩阵实现其减载轮次的变化或减载控制退出,负荷线路减载的灵活性和选择性得到充分保证。

3 工程应用及可靠性优化

3.1 保护电量采集方案比较

备自投系统需采集的保护电量信息有:(1) 主变出线及分段间隔的电压电流信息,作主变出线实时负荷功率和作备自投保护功能计算用。(2) 低压出线间隔的功率,以确定减载的负荷大小。

现对目前传统/智能变电站电量采集方式^[1]进行对比分析。(1) 用传统 CT(电流互感器)/PT(电压互感器)接口方式采集。采用传统的 CT/PT 接口形式采集主变出线及分段间隔的电压电流方式较为常见。但出线数较多时,接入的间隔数量有限,工程施工量大。(2) 采用 IEC 61850-9 规约采集。主变出线及分段间隔的电压电流采样数据参与备自投功能实时计算,宜采用实时性高的 IEC 61850-9 规约形式以点对点的方

式进行采集。当出线间隔的电压电流数据采用点对点方式接入时,备自投保护需要提供至少 10~12 路采样值光纤接口,软硬件实现难度很大;另外,每路出线间隔也需提供一路采样值光纤输出,网络复杂,工程实施难度大。(3) 采用 GOOSE 规约方式采集。对于实时性要求很高的主变出线及分段间隔的电压电流,不能采用 GOOSE 规约方式进行采集。

考虑到负荷功率为慢变化量,实时性要求相对较低,可以采用 GOOSE 报文的形式将出线间隔的有功、无功功率等模拟量传至备自投装置中。另外,GOOSE 规约扩展配置容易,工程实施简单,易于实现多路出线间隔负荷功率的信息传输。

3 种保护电量采集方案对比如表 1 所示。现场可根据工程应用需求选择合理的保护电量采集方案。

表 1 保护电量采集方案优缺点对比

序号	采集方案	优点	缺点
1	传统 CT/PT 接口方式	传统实现方法,工程实现简单	接口数量受装置硬件配置限制
2	IEC61850-9 规约形式	采用光纤传输,信号实时性和可靠性均很高	点对点传输时接口数量受装置硬件配置限制
3	GOOSE 规约形式	配置简单,信号传输可靠	传输模拟量信号实时性相对较低

3.2 保护跳闸控制方案

现场的备自投保护动作及减载跳闸方式应根据工程应用需求选择,可采用传统的信号电缆接入出线间隔跳闸回路中来实现,或采用基于 GOOSE 网络的跳闸控制实现方案。减载控制的各轮次应具有独立的至少 16 路出口的减载跳闸控制矩阵,以灵活地满足不同数量出线间隔、不同减载控制方案的应用需求。

3.3 方案可靠性优化

对方案的细节部分进行了相应的补充和优化,提高了其动作可靠性。

3.3.1 增加功率缓存记忆模块

为了防止电源失电后主变出线和部分低压出线的瞬时功率全为 0,采集不到正常工作时负荷功率的情况,在备投逻辑中增加功率缓存记忆模块,自动记忆并锁存失电前主变出线和低压出线的负荷功率,防止因失电造成的功率计算错误。

3.3.2 增加出线开关位置判别条件

为了防止 GOOSE 信号误传或通信异常等造成的出线功率计算错误,增加出线开关位置判别条件。只有当和功率同时传送过来的断路器位置为合位时,才能计算此路出线间隔的负荷功率,否则将负荷功率数据置 0。

3.3.3 增加出线减载轮次校验功能

为了防止将同一出线间隔同时设置到减载 1 轮和

2 轮中,负荷功率被重复计算的问题,在系统中增加了出线减载轮次校验功能。如果一出线间隔同时设置在减载 1 轮和 2 轮中时,则只在 1 轮减载负荷中进行计算,在 2 轮中则不计算此功率。

3.3.4 增加出线跳闸校验功能

为了防止减载跳闸出口后,低压出线间隔跳闸失败,开关未分开而造成备自投动作后主变仍然过负荷的异常情况,在系统中增加了出线跳闸校验功能。可在自适应矩阵减载跳闸出口 1~3 s 后,校验低压出线间隔返回的开关位置;如异常,则发出减载失败告警,并根据现场需要决定是否闭锁备自投。

4 结束语

通过对传统备自投方法不足之处的分析研究,提出了基于功率负荷自适应的备自投实现方法。根据工程应用的特点,对部分实现方法作了比较分析,并对该方案工程实施细节作了优化处理,提高了备自投保护的可靠性,降低了低压备自投简单动作易造成小容量主变长期过负荷运行或简单和电流闭锁备自投易导致的全站失电的问题,具有较强的实用性。

参考文献:

[1] 高翔. 数字化变电站应用技术[M]. 北京:中国电力出版社, 2008.

- [2] 潘书燕,吕良君,周洪涛,等.一种适用于安全稳定控制系统的备用电源自投装置[J].电力自动化设备,2007,27(2):114-117.
- [3] 杜振华,王建勇,罗奕飞,等.基于 MMS 与 GOOSE 网合一的数字化网络保护设计[J].电力系统保护与控制,2010,38(24):178-181,221.
- [4] 范寿忠.备自投过负荷联切功能的实现[J].电力系统保护与控制,2010,38(5):139-140.
- [5] 冯玲.防止备自投装置动作过负荷方案的实践[J].华北电力技术,2006(8):19-20.
- [6] 王德全.110 kV 备自投与保护装置配合问题的分析和探讨[J].江苏电机工程,2010,29(4):41-44.
- [7] 许琦,曹建权.防止因备自投动作引起变压器过载跳闸的分析及对策[J].江苏电机工程,2012,31(4):30-33.

作者简介:

赵家庆(1963),男,江苏苏州人,高级工程师,从事电力系统自动化的研究开发、建设运行和技术管理工作;

霍雪松(1976),男,河南周口人,高级工程师,从事调度自动化系统运行管理工作;

钱科军(1981),男,江苏苏州人,博士,从事电力系统自动化系统研发和管理、可再生能源发电并网等工作;

李澄(1970),男,江苏无锡人,高级工程师,从事变电站综合自动化系统与时钟同步领域技术与开发工作;

陈颢(1987),男,湖北钟祥人,工程师,从事变电站综合自动化系统的开发及工程应用工作。

A Method of Automatic Switchover Device Based on Self-Adaptive Electrical Load

ZHAO Jia-qing¹, HUO Xue-song², QIAN Ke-jun¹, LI Cheng³, CHEN Hao³

(1.Suzhou Power Supply Company, Suzhou 215004, China;2. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China;

3. Jiangsu Frontier Electric Technology Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: For two main transformers in one power substation, if the capacity of one transformer is not equal to another transformer's or less than the total power load of the substation, the action of automatic switchover device will cause the transformer with smaller capacity overload. However, the action of automatic switchover device with current blocking will cause extensive load loss. Based on the detailed analysis in the shortage of the overload management in traditional automatic switchover device, a novel method of automatic switchover device for traditional and smart substation is proposed based on self-adaptive electrical load.

Key words: self-adaptive electrical load; smart substation; automatic switchover device; universal digital interface

(上接第 49 页)

Harmonic Effect and Strategy Analysis of Metallurgical Enterprises Centralized Connected to Distribution Grid

SUN Wen-hua¹, CHEN Long², YUAN Xiao-dong³

(1. Changzhou Power Supply Company, Changzhou 213004, China;

2. School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China;

3. Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: Large numbers of nonlinear loads of metallurgy enterprises connected to distribution grid have significant effect on system power quality. After introducing the electrical characteristics and harmonic emission levels of typical nonlinear load, this paper presents the harmonic superposition method of different types of harmonic sources. Combined with power quality test results in Changzhou area, the specific harmonic effect of metallurgical enterprises on power grid is then analyzed, and corresponding measures are also proposed.

Key words: metallurgical enterprise; power quality; harmonic; treatment measures

基于无线通信技术的电缆温度实时监测系统

吴为国¹, 茅 丰²

(1. 泰州供电公司, 江苏 泰州 225300; 2. 上海应用技术学院电气与电子信息学院, 上海 201418)

摘 要: 现有的电缆温度在线监测系统大多由于现场监测装置供电困难、布线复杂等原因无法大规模使用。提出了一种基于无线技术的温度监控系统, 采用 SmartNode 模块组成短距离无线传感器网络, 实现电缆接头温度的采集和数据传输, 并且具有低功耗、易扩充等特点。供电公司现场运行表明, 该系统软硬件运行正常, 组网和传输性能良好, 具有很强的实用性。

关键词: 电缆; 温度; 数据采集; 无线; 传感器

中图分类号: TM764

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2013)03-0054-03

随着我国经济的发展, 电力负荷快速增长, 变电站电缆作为站内传输介质, 由于使用年限及安装操作不规范, 可能导致老化、绝缘层损坏导致电缆局部温度上升, 长时间可能会引起火灾, 因此, 研究电缆温度的检测, 并将其运用于实际现场中, 对于及时发现和预控火灾非常有必要, 对当前电网的安全稳定运行也有极其重要的作用^[1]。集成了传感器、微机电系统和无线通信三大技术而形成的无线传感器网络是一种全新的信息获取和处理技术。基于无线传感器网络系统所建立的电缆温度监测系统特别适应那些需要获取分散状态参量的场所^[2]。文中研制了一种适合于供配电网电缆接头的在线温度监测系统, 终端装置采用低功耗的 SmartNode 模块为核心, 组成无线传感器网络, 同时采用以太网与上位机之间进行数据交换, 该系统具有以下新特点: (1) 灵活, 探测点可以随时增加; (2) 温度阈值监控, 通过 GPRS 模块发送报警短信给运行人员; (3) 可根据历史数据, 对电缆运行状况进行评估。

1 基于无线通信的在线监测系统设计理念

目前电力部门采用的电缆测温系统大多是基于有线数据传输的感温式电缆测温系统(比如分布式光纤测温系统), 由于受到已有布线的限制, 在原有基础上进行改造时线路容易遭到损坏, 监控网络中各个节点不易移动, 不利于探点的增减。而无线通信技术相对于目前电缆测温系统普遍采用的有线通信技术^[3]而言, 有以下显著特点。

(1) 移动性: 在通信区域内的任何地方, 用户都可以实时访问信息。

(2) 安装的快速性和简单性: 安装无线通信系统既快速又简单, 同时消除了穿墙或挖掘电缆沟布线的繁琐工作。

(3) 安装的灵活性: 无线技术可以遍及有线通信所不能到达的地方。

(4) 减少投资: 无线网络减少了布线的费用, 而且维护费用的减少可以使得投资回报在变电站投运以后逐步体现。

(5) 扩展能力: 无线通信可以组成多种拓扑结构, 容易扩展节点^[4,5]。

2 温度监控系统实施方案

根据实际情况, 该系统主要有两部分: (1) 硬件设计主要完成温度数据的采集功能; (2) 软件设计实现对电缆的温度监测及存储、报警等功能即实时评估体系和显示与存档系统^[6,7]。

2.1 系统总体设计

该系统以电力公司内部 380 V 供电电缆以及远端变电站做为参考对象进行设计, 系统总体结构如图 1 所示。系统通过无线探测器将电缆温度采集上传至无线数据采集模块, 每个无线探测器都具有唯一 ID 号进行识别, 可以做到准确定位, 无线数据采集器通过 TCP/IP 协议将温度、电压等检测数据通过以太网上传至监控主机, 监控主机通过软件实时监控各单位的温度等数据, 进行判别并存储数据^[8]。如果发生预警将通过协议转换与电力调度通信, 并通过 GPRS 网络向运行人员发送报警信息。

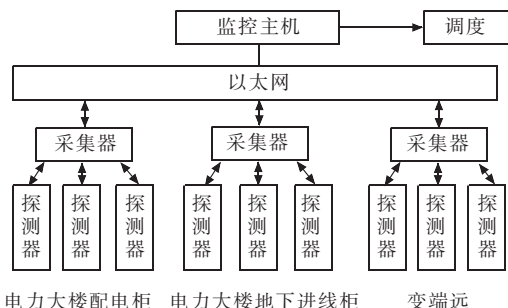


图 1 系统总体结构

2.2 无线传感器

系统无线传感器结构如图2所示,主要包括温度传感器、无线传输模块、电池和天线几个部分。

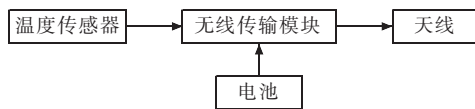


图2 无线传感器结构

2.2.1 温度传感器

温度传感器采用了数字温度传感器DS18B20,具有如下主要特点:(1)数据传输采用单总线(1WireBus)结构,无需外围其他元件;(2)能应用在分布式测量系统中;(3)温度输出为9~12位可编程;(4)测温范围为-55~+125℃,在-10~85℃时精度为±0.5℃;(5)输出分辨率为12位时最大的转换时间为750ms;(6)具有可编程的温度报警功能;(7)具有可靠的CRC数据传输校验功能;(8)电源电压范围为3~5.5V;(9)低功耗,无需外接电源也能可靠工作。

DS18B20为数字化温度传感器,具有体积小、抗干扰能力强等优点,能适应分接箱电接头处的恶劣环境。传感器测量精度高、情况稳定,长期运行无需调校,具有在线自检功能,自动温度校准,自动错误监测,全密封绝缘防水防尘,保证了整个系统的高可靠性。

2.2.2 无线传输模块

探测器采用SmartNode S102无线通信模块,主要特点:(1)超低功耗,侦听电流7uA,休眠电流60nA;(2)功率可调,5mw(7dbm)~400m,40mw(17dbm)~2000m;(3)通信频率,315MHz,434MHz,470MHz,780MHz,868MHz,915MHz,各64信道(或240~960MHz可设);(4)数据传输模式,SmartNode协议传输;(5)数据传输方式,点对点,点对多点,中继转发(8级组网深度);(6)接口支持,1路TTL串口、2路I/O,或4路I/O,或4路10位A/D转换。

2.3 无线数据采集器

系统无线数据采集器结构如图3所示,主要包括单片机、无线传输模块、电源和天线几个部分。无线采集器采用SmartNode协议与无线传感器进行互联,通过它可以接受传感器的参数信息及温度、电压信号,并通过以太网接口与数据终端互联;同时将终端对无线传感器参数设置命令下发给网内的无线传感器。

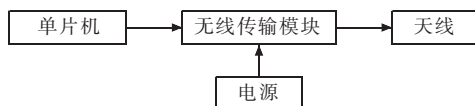


图3 无线数据采集器结构

该无线数据采集器特点:(1)功率可调,调节范围1~18dbm;(2)数据传输模式,透明传输,SmartNode

协议传输;(3)网络结构,点对点、点对多点、多级中继;(4)高抗干扰能力和低误码率,基于FSK的调制方式,采用高效前向纠错和信道交织编码技术,提高了数据抗随机干扰和突发干扰的能力;(5)多种天线配置方案,多种增益的胶棒天线、吸盘天线可满足用户不同的结构需要。

2.4 软件部分

系统软件主要需要实现包括无线传感器、无线采集器组网参数、运行参数的设置,电缆温度、传感器状态的实时监控,温度数据的存储查询以及报警等功能。监控界面简单明了,不需要进行复杂的组网参数设置,将软件分为参数设置、调试软件和运行监控软件。

2.4.1 参数设置软件

系统底层由多个无线传感器及无线信号采集器组成,为了保证物理层能够正确组网成功,需要对网内的无线传感器和信号采集器进行参数设置。软件设置无线传感器参数界面如图4所示,主要可以通过改变工作频率、无线传输速率、功率、休眠时间、上报时间等参数,适应不同的环境需求,提高产品的应用面。



图4 参数设置界面

2.4.2 监控运行软件

监控运行软件主要功能包括站点选择、实时温度显示,温度曲线的绘制、历史温度数据查询等功能。

2.5 报警方式

系统通过各点的测温是否超过限额、电缆温度与室温的比较、各相间的温度进行比较,智能判断火灾告警,并选取了采用GPRS无线短信方式或站内遥信的方式进行报警,将报警信息传与运行监控人员,由运行人员在现场进行故障性质的判断。

3 系统装置实际调试运行

为了更好地验证该系统在各种情况下具有广泛的应用性,选取了两类环境,即供电公司下属的110kV变电站和供电公司生产调度大楼内部的380V配电网。监控终端选择在供电局大楼的监控中心。

在 110 kV 远端变电站,根据现场环境,采用若干个无线传感器加一个无线数据采集器的模式,通过测试,无线数据发送接收正常,一个无线数据采集器能够满足整个变电站的无线接收功能;同时,利用电力局域网,将数据传送至控制终端。

在供电局大楼内部 380 V 配电电缆的温度测试中碰到了调试中最大的问题:电缆进线柜位于地下一层,电缆配线柜位于 17 楼,而数据终端放置于 18 楼。由于无线信号过墙后强度会急剧衰减,18 楼的数据采集器无法采集到地下一楼的传感器数据信号。根据实际情况,采用大楼本身的网络布线,在一楼安装一个数据中继器,通过已有网线与 18 楼数据终端的路由器相联,解决了特殊环境的组网需求。一楼的中继器接受无线传感数据相当稳定,再经网线、路由器传递到数据终端,保证了通信的稳定,实现了遥测数据的正常传递。

在系统安装调试阶段,分别用热源对各点进行加热模拟,监测装置均能正确告警。系统在供电公司调度大楼 380 V 配电电缆以及 110 kV 变电站中挂网试运行至今,运行稳定,无线数据通道稳定,收集了正常运行时电缆温度的历史数据,便于运行人员加强对电缆温度的有效监控。

4 结束语

采用低功耗的短距离无线通信方式组成温度传感器网络的方法,可实现电缆温度的实时监测,存储和报

警等功能。该系统通过对电缆接头温升预警,有效解决了开关柜节点温度越限的此类问题,并对电力设备运行中温度状态进行在线检修、评估、预警和风险分析,进而达到防患于未然的目的。该方案在不改变任何外部接线的基础上进行改造,设备低廉,便于推广。

参考文献:

- [1] 王萍萍,孙凤杰,崔维新.电力电缆接头温度监控系统研究[J].电力系统通信,2006,27(2):59-74.
- [2] 王财宝,盛戈噪,曾 奕,等.基于 ZigBee 技术的导线接头温度集群监测[J].电力自动化设备,2009,29(11):45-49.
- [3] 周怡颖,凌志浩,吴勤勤. ZigBee 无线通信技术及其应用探讨[J].自动化仪表,2005,26(6):5-9.
- [4] 王新超,潘贞存.电力电缆接头故障的预警监测系统[J].电力自动化设备,2001,21(5):25-28.
- [5] 王新超,王 葵.电力电缆接头运行中的实时监测[J].继电器,2001,29(8):46-48.
- [6] 凌伟平,徐蕴锋.电力电缆温度在线监测系统的开发与应用[J].东北电力技术,2012(3):41-43.
- [7] 王振浩,辛业春,杜长军,等.城区电力电缆接头故障在线监测系统[J].电力系统保护与控制,2009,37(2):69-72.
- [8] 赵炳成,沈立新,丁周松.基于 ZigBee 技术的高压开关柜温度在线监测系统[J].浙江电力,2012,31(2):16-18.

作者简介:

吴为国(1978),男,江苏泰州人,工程师,从事电力系统继电保护设备管理工作;
茅 丰(1978),男,上海人,讲师,从事电气与电子信息技术应用方面研究工作。

Real-time Temperature Monitoring System for Cable Based on Wireless Communication Technology

WU Wei-guo¹, MAO Feng²

(1. Taizhou Power Supply Company, Taizhou 225300, China;

2. School of Electrical and Electronic Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China)

Abstract: Due to difficulties in power supply of field monitoring device and wiring complex, the current temperature on-line monitoring systems for power cable can't be used in large scale. This paper proposes a temperature monitoring system based on wireless technology, with characteristics of low power consumption and easy expansion. SmartNode module composed of short-range wireless sensor network is used to realize acquisition of cable connector temperature and data transmission. Field operation by Power Supply Company indicates that the hardware and software of this system are at normal operation, with good networking and transmission performance. The system is proved to have strong practicability.

Key words: cable; temperature; data acquisition; wireless; sensor

广 告 索 引

江苏射阳港发电有限公司	封面	《江苏电机工程》协办单位	前插 4
江苏省电力设计院	封二	宿迁电力设计院有限公司	(黑白) 文前
南京南瑞继保电气有限公司	前插 1	南京苏逸实业有限公司	封三
《江苏电机工程》协办单位	前插 2、3	南瑞科技股份有限公司	封底

无后备灵敏度的 220 kV 变压器后备保护整定

陈永明,杨 茹,汤大海,曹 斌,杨 静,马海薇
(镇江供电公司,江苏 镇江 212001)

摘 要:由于 220 kV 变压器保护配置已由制造厂设定好,采用常规整定无法满足系统运行要求。针对现场不同的保护配置,采用不同的 10 kV 侧后备保护联跳变压器各侧断路器的方案,可以解决 220 kV 侧后备保护无灵敏度的问题,现场实际运用取得良好的运行效果。

关键词:220 kV 变压器;高阻抗;后备保护;灵敏度;整定;运行

中图分类号:TM773

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)03-0057-03

近年来,江苏省 220 kV 变电所主变压器越来越多地采用 220 kV,110 kV,10 kV 电压等级供电,直接用 10 kV 电压等级就近进行供电,减少了中间供电环节。2010~2011 年镇江投运了 6 座 220 kV 变电所,其中 5 座变电所 220 kV 变压器第三绕组采用 10 kV 电压等级供电。220 kV 变压器 10 kV 侧短路造成 220 kV 后备保护无后备灵敏度,一旦 10 kV 侧后备保护或 10 kV 侧开关拒动,则 220 kV 变压器将被损坏。而目前 220 kV 变压器保护由上级部门统一招标,没有考虑 220 kV 变压器采用高阻抗限制短路电流对 220 kV 后备保护的影响,投运的变压器保护大部分还没有采用 Q/GDW 175—2008^[1]中的方案进行变压器保护(简称“六统一”)变压器保护,有些变电所变压器更换了,但仍然是老的变压器保护。如何在现有变压器保护设备的基础上,针对不同的保护配置,整定变压器后备保护,尽量弥补 220 kV 侧后备保护没有灵敏度的问题,提出了一些方案,供同行参考。

1 变压器 220 kV 侧后备保护的常规整定

1.1 高阻抗 220 kV 变压器典型参数

以 2 种特殊的 220 kV 变压器为例:(1) 220 kV 高阻抗变压器,如 A 变电所 220 kV 变压器:容量为 180 MV·A,短路阻抗 U_{k1-2} 为 13.24%, U_{k1-3} 为 61.65%, U_{k2-3} 为 46.81%,接线组别为 YN,a0,d11。(2) 220 kV 变压器在 10 kV 侧串联电抗器,如 B 变电所:变压器容量为 240 MV·A,短路阻抗 U_{k1-2} 为 10.97%, U_{k1-3} 为 35.76%, U_{k2-3} 为 22.05%,接线组别为 YN,a0,d11,10 kV 侧串联电抗器电抗值为 0.197 Ω 。

1.2 短路电流计算

取基准容量为 100 MV·A,基准电压为 230 kV,115 kV,10.5kV,A 变电所 220 kV 母线系统等值阻抗标幺值大方式为 0.0095、小方式为 0.0248;B 变电所 220 kV 母线系统等值阻抗标幺值大方式为 0.0179、小

方式为 0.0262。A 和 B 变电所 10 kV 母线短路电流计算结果见表 1。

表 1 A 和 B 变电所 10 kV 母线短路短路电流 A

变电所	最大方式三相短路电流	最小方式两相短路电流	备注
A	713	591	折算到 220 kV 侧
	15 627	12 967	折算到 10 kV 侧
B	728	615	折算到 220 kV 侧
	15 942	13 481	折算到 10 kV 侧

1.3 变压器 220 kV 侧复压过流保护整定

(1) 低电压元件。按区外故障切除后能可靠返回整定,一般整定为额定电压的 60%~70%,取二次定值为 70 V^[2]。

(2) 负序电压元件。按正常运行时躲过最大不平衡电压整定,一般整定为额定电压的 4%~6%,取二次定值为 4 V。

(3) 电流元件。整定策略为躲过变压器 220 kV 侧最大负荷电流整定,即:

$$I_{zd} \geq K_k I_{fh,max} \quad (1)$$

式中: I_{zd} 为 220 kV 侧复压过流保护整定值; K_k 为可靠系数,一般取 1.5; $I_{fh,max}$ 为变压器 220 kV 侧最大负荷电流。A,B 变电所变压器 220 kV 侧复压过流保护定值分别为 702 A,1 007 A。

(4) 灵敏度计算。220 kV 侧复压过流保护灵敏度按式(2)计算:

$$K_{lm} = I_{k,min}^{(2)} / I_{zd} \quad (2)$$

式中: K_{lm} 为灵敏系数; $I_{k,min}^{(2)}$ 为系统最小方式 A 变电所 10 kV 母线两相短路折算到 220 kV 侧的短路电流。则 A 变电所变压器 220 kV 侧复压过流保护灵敏度为 0.84。同理,B 变电所变压器 220 kV 侧复压过流保护灵敏度为 0.61。

可见,两变电所变压器 220 kV 侧复压过流保护灵敏度均小于 1,实际上即使是在系统最大运行方式下

灵敏度也均小于 1, 即 10 kV 母线两相短路, 220 kV 高阻抗变压器或在变压器 10 kV 侧加限流电抗器的变压器 220 kV 侧复压过流保护对变电所 10 kV 母线故障均无后备灵敏度。

1.4 220 kV 侧复压过流保护无后备灵敏度的后果

220 kV 变压器 10 kV 侧短路, 220 kV 后备保护无后备灵敏度, 一旦 220 kV 变压器 10 kV 侧后备保护或 10 kV 侧开关拒动, 或 10 kV 侧电流互感器与断路器之间发生故障(简称死区故障), 则该故障无法切除, 只有等到 220 kV 变压器或 10 kV 侧电抗器被烧到能够让 220 kV 侧复压过流保护有灵敏度能够动作跳闸切除故障为止, 而此时 220 kV 变压或 10 kV 侧电抗器将损坏。

2 变压器 10 kV 侧后备保护整定

2.1 变压器 10 kV 侧复压过流保护整定

以 A 变电所 220 kV 变压器 10 kV 侧复压过流保护为例进行保护定值整定, B 变电所 10 kV 侧复压过流保护定值整定类似。

(1) 低电压元件。按区外故障切除后能可靠返回整定, 一般整定为额定电压的 60%~70%, 取二次定值为 70 V;

(2) 负序电压元件。按正常运行时躲过最大不平衡电压整定, 一般整定为额定电压的 4%~6%, 取二次定值为 4 V;

(3) 电流元件。整定策略为躲过变压器 10 kV 侧最大负荷电流整定:

$$I_{zd.10} \geq K_k I_{fh.max.10} \quad (3)$$

式中: $I_{zd.10}$ 为 10 kV 侧复压过流保护整定值; K_k 为可靠系数, 一般取 1.5; $I_{fh.max.10}$ 为变压器 10 kV 侧最大负荷电流。计算可得 $I_{zd.10}$ 为 7 423 A。

(4) 灵敏度计算如式(4)所示:

$$K_{lm} = I_{k.min.10}^{(2)} / I_{zd.10} \quad (4)$$

式中: $I_{k.min.10}^{(2)}$ 为系统最小方式 A 变电所 10 kV 母线两相短路折算到 10 kV 侧的短路电流。计算可得 K_{lm} 为 1.75, 大于 1.5, 即 A 变电所 10 kV 母线两相短路, 220 kV 变压器 10 kV 侧复压过流保护灵敏度达 1.75。同理 B 变电所 10 kV 母线两相短路, 220 kV 变压器 10 kV 侧复压过流保护灵敏度也大于 1.5。

2.2 变压器 10 kV 侧限时速断保护整定

变电所 10 kV 侧一般为不接地系统或经消弧线圈接地系统, 不装设专门的母线保护, 而配置变压器 10 kV 侧限时速断保护作为 10 kV 母线保护。以 A 变电所为例进行保护定值整定, B 变电所 10 kV 侧限时速断保护整定类似。整定策略为按 10 kV 侧母线故障有

足够的灵敏度整定:

$$I_{zd.sd} \leq I_{k.min.10}^{(2)} / K_{lm} \quad (5)$$

式中: $I_{zd.sd}$ 为 10 kV 侧限时速断保护保护整定值;

$I_{k.min.10}^{(2)}$ 为系统最小方式 220 kV A 变电所 10 kV 母线两相短路折算到 10 kV 侧的短路电流; K_{lm} 一般为 1.5。所以 A 变电所 220 kV 变压器 10 kV 侧限时速断保护为 8 645 A, 时间元件一般整定为 0.3~0.6 s。

2.3 220 kV 变压器 10 kV 侧电抗器保护整定

220 kV 变压器容量为 240 MV·A, 一般在 10 kV 侧串联电抗器, 并配置一段 10 kV 侧电抗器保护。该保护可按 2 种方法整定策略: (1) 同变压器 10 kV 侧复压过流保护整定策略; (2) 同变压器 10 kV 侧限时速断保护整定策略。方案(1)保护定值小, 但动作跳闸时间长; 方案(2)保护定值大, 但动作跳闸时间短。实际工程中按方案(2)整定了 10 kV 侧串联电抗器保护。

3 10 kV 侧后备保护跳闸方案整定

3.1 10 kV 侧后备保护配置情况

目前 220 kV 变压器 10 kV 侧后备保护一般有如下 3 种配置。

3.1.1 “六统一”变压器保护

“六统一”变压器保护 10 kV 侧(低压或 1、2 分支)后备保护的配置两段保护: (1) 过流保护, 设一段二时限, 第一时限跳开本分支分段, 第二时限跳开本分支断路器。(2) 复压闭锁过流保护, 设一段三时限, 第一时限跳开本分支分段, 第二时限跳开本分支断路器, 第三时限跳开变压器各侧断路器。

当有电抗器时还配置低压侧电抗器复压闭锁过流保护, 设一段二时限, 第一时限跳开本侧各分支断路器, 第二时限跳开变压器各侧断路器。

3.1.2 10 kV 侧后备保护多段多时限配置

有些变压器保护 10 kV 侧后备保护配置两段, 每段三时限; 也有配置三段, 其中一段和二段三时限, 三段一个时限; 也有其他配置。

3.1.3 10 kV 侧后备保护多段一时限配置

有些变压器保护 10 kV 侧后备保护配置多段保护, 但每段保护只有一时限, 一些老变电所就存在这种配置。

3.2 变压器 10 kV 侧后备保护跳闸方案整定

3.2.1 “六统一”变压器 10 kV 侧后备保护

“六统一”变压器两段保护中的一段保护按母线保护整定, 另一段保护按复合电压过流保护整定; 若变压器 10 kV 侧按分裂运行时, 不需要跳 10 kV 分支分段断路器, 则 10 kV 侧过流保护, 可由第一时限跳开本分支分段, 第二时限跳开本分支断路器, 改为第一时限跳

开本分支断路器,第二时限跳开变压器各侧断路器跳闸方案。复压闭锁过流保护跳闸方案仍采用原方案,即第一时限跳开本分支分段,第二时限跳开本分支断路器,第三时限跳开变压器各侧断路器。

对于低压侧有电抗器保护时,该保护可以按母线保护整定,也可以220 kV变压器10 kV侧过流保护来整定,跳闸方案仍按“六统一”保护方案整定运行,即第一时限跳开本侧各分支断路器,第二时限跳开变压器各侧断路器。

3.2.2 10 kV侧后备保护多段多时限配置

对于220 kV变压器10 kV侧后备保护按多段多时限配置时,可按其中的一段保护按母线保护整定,另一段保护按复合电压过流保护整定,但至少整定让其中一段保护有一个时限去跳变压器各侧断路器方案。若多于两段配置时,可以单独整定一段保护有一个时限去跳变压器各侧断路器方案。若各段均有三时限,则第一时限跳开本分支分段,第二时限跳开本分支断路器,第三时限跳开变压器各侧断路器。

3.2.3 10 kV侧后备保护多段一个时限配置

对于220 kV变压器10 kV侧后备保护按多段一时限配置时,除了按母线保护整定的一段保护和按复合电压过流保护整定的一段保护分别跳10 kV侧断路器外,可以将其中的一段保护单独按母线保护整定或按复合电压过流保护整定,并去跳变压器各侧断路器方案;当10 kV侧后备保护配置多达四段时,除了按母线保护整定的一段保护和按复合电压过流保护整定的一段保护分别跳10 kV侧断路器外,另外可以分别将其中的一段保护单独按母线保护整定、而其中的另一段保护单独按复合电压过流保护整定,并分别去跳变压器各侧断路器方案。

3.3 整定效果

当220 kV变压器10 kV侧短路故障时,虽然220 kV后备保护无后备灵敏度,一旦220 kV变压器10 kV侧后备保护或10 kV侧开关拒动,或“死区”故障时,则该故障没有切除,但由于变压器10 kV侧后备保护或10 kV侧电抗器保护有联跳变压器各侧断路器方案,届时将主变220 kV侧断路器、110 kV侧断路器及

其他相关断路器跳闸,切除了故障,从而防止了220 kV变压器或10 kV电抗器损坏事故的发生。

现场220 kV变压器10 kV侧后备保护的配置,上述3中情况均存在。为了防止上述故障引起220 kV变压器损坏等事故的发生,镇江供电公司220 kV变压器10 kV侧后备保护的整定运行按上述介绍的联跳方案进行整定和运行,取得了良好的效果。

4 结束语

220 kV变压器低压侧采用10 kV电压直接供电,减少了中间供电环节,节约了投资,但也带来220 kV侧后备保护无后备灵敏度的问题。通过设置和整定10 kV侧后备保护联跳变压器各侧断路器方案,可以防止由于220 kV变压器10 kV侧短路或死区故障时220 kV后备保护没有后备灵敏度,故障没有办法切除,造成220 kV变压器损坏等事故的发生。建议优先采用10 kV侧限时速断保护联跳变压器各侧断路器方案,可以快速切除220 kV变压器10 kV侧短路或死区故障,有利于减少故障对变压器或对10 kV电抗器的冲击和影响。

参考文献:

- [1] Q/GDW 175—2008,变压器、高压并联电抗器和母线保护及辅助装置标准化设计规范[S].
- [2] DL/T 594—2007,220~750 kV电网继电保护运行整定规程[S].

作者简介:

- 陈永明(1979),男,江苏海安人,工程师,从事电网继电保护运行管理工作;
- 杨茹(1979),女,山东泗水人,工程师,从事电网生产技术管理工作;
- 汤大海(1963),男,江苏镇江人,高级工程师,从事电网继电保护运行管理工作;
- 曹斌(1977),男,江苏海安人,工程师,从事电网继电保护运行管理工作;
- 杨静(1974),男,江苏镇江人,工程师,从事电网继电保护运行维护工作;
- 马海薇(1981),女,江苏镇江人,工程师,从事电网调度运行管理工作。

Backup Protection Setting of 220 kV Transformer Without Back-up Sensitivity

CHEN Yong-ming, YANG Ru, TANG Da-hai, CAO Bin, YANG Jing, MA Hai-wei

(Zhenjiang Power Supply Company, Zhenjiang 212001, China)

Abstract: Due to the fact that 220 kV transformer protection configuration has been set by manufacturer, the conventional setting cannot satisfy system operation requirements. For different site-specific protection configuration, using different schemes of 10 kV back-up protection relevant tripping circuit of breakers on each side of transformer, the problem of 220 kV side back-up protection without the sensitivity can be solved. The practical application in the field gets good results.

Key words: 220 kV transformer; high impedance; back-up protection; sensitivity; setting; run

基于 G 语言的智能变电站五防规则生成方法

徐 勇¹,王成波¹,梅德冬²,崔 巍²,熊 兵¹
(1.扬州供电公司,江苏 扬州 225009;2.南瑞科技股份有限公司,江苏 南京 210003)

摘 要:在智能化变电站中,五防系统的实施工作量大、效率低。介绍了在绘制全站一次接线图的过程中自动生成设备五防规则的方法,它能够将基于 G 语言的一次设备图形对象与基于 IEC 61850 的模型数据对象无缝对接,实现由一次设备的拓扑关系直接产生五防设备使用的规则文件,避免繁琐的规则库输入配置,对于提高智能变电站工程实施的效率与质量具有积极的意义。

关键词:G 语言;IEC 61850;五防设备;间隔规则模板

中图分类号:TM76 **文献标志码:**B **文章编号:**1009-0665(2013)03-0060-03

目前的变电站防误体系中,通常采用三层防误^[1],即站控层防误(由五防工作站或监控系统完成)、间隔层防误(由间隔内的测控装置完成)以及单元电气闭锁,这些设备层层防护,既可相互配合,也能独立运行,为变电站的安全操作以及稳定运行提供了可靠保障。在五防系统工程实施中,通常是先由变电站五防技术人员根据系统一次接线关系,制定每个操作对象的五防规则,形成全站五防规则文件,将规则文件下载到站控层五防设备,同时按间隔划分,将每个间隔的五防规则下载到相应测控装置,由这些设备进行实时防误判别。在该过程中,规则文件的编制工作量大、任务重,影响了整个变电站五防系统工程实施的进度。变电站五防规则由一次系统的接线关系决定,因此,研究如何利用系统的一次接线图,直接生成五防系统的规则文件具有重要的意义。

1 变电站一次接线图的 G 语言描述

G 语言是电力系统图形描述规范的简称,是基于可缩放矢量图形(SVG)的公共图形交换格式无法直接表达电力系统图形和模型一体化的概念等不足,在 IEC 61970-453 基于公共信息模型(CIM)的图形交换基础上发展起来的、应用于电力系统的一种新型的图形描述语言;能够直接表达电力设备特征,支持高效地存取电力设备信息和电力图形数据,支持不同系统之间的电力设备信息和电力图形数据的交换,兼容 SVG 基本图形格式^[2]。

G 语言中,除定义了基本的图形元素,如直线、折线、圆形、各种多边形外,还针对电力系统的特点,定义了电力专用的图形元素,如母线、线路、断路器、隔离刀闸等,这些元件是在继承、包含基本图元的基础上复合而成的。具体的图形元素如表 1 和表 2 所示。其中 ConnectLine 作为设备之间的连接线,具有 link

表 1 基本图形元素

名称	关键字	名称	关键字
直线	line	折线	polyline
矩形	rect	三角形	triangle
圆角矩形	roundrect	平行四边形	parallelrect
圆	circle	菱形	diamond
椭圆	ellipse	静态文本	Text
圆弧	circlearc	图像	image
椭圆弧	ellipsearc	热点	poke

表 2 电力图形元素

名称	关键字	名称	关键字
连接线	ConnectLine	负荷	EnergyConsumer
端子	pin	并联电容	Capacitor_P
母线	Bus	并联电抗	Reactor_P
交流线段	ACLine	串联电容	Capacitor_S
交流线端	ACLineEnd	串联电抗	Reactor_S
断路器	CBreaker	熔断器	Fuse
隔离刀闸	Disconnecter	消弧线圈	Ascoil
接地刀闸	GroundDisconnecter	避雷器	Arrester
发电机	Generator	电压互感器	PT
两卷变压器	Transformer2	电流互感器	CT
三卷变压器	Transformer3	潮流方向	PowerFlow

属性,能将多个设备通过端子连接起来;这些图形元素可以完整地搭建出变电站的一次接线图。

2 间隔图形模板

G 语言支持将多个电力图元组合成 1 个间隔(bay),形成 1 个间隔的图形模板文件,当需要绘制变电站相同类型的间隔时,可以直接引用;通过间隔模板,可以快速构建出整个变电站的一次接线图。图 1 所示的变电站线路间隔可建立如下间隔模板文件。

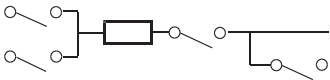


图 1 间隔接线

```

<?xml version="1.0" encoding="GBK"?>
<sgd>
  <Bay id="sgd_dbo1">
    <Layer w="58" x="0" y="0" h="225" id="0"
name="平面 1" show="1">
      <Disconnecter id="101000001" x="19" y="66"
index="3" devref="#sgd_dz1.gld.icn.g:sgd_dz1"/>
      <CBreaker id="100000005" x="15" y="116"
index="1" devref="#sgd_kg1.dlq.icn.g:sgd_kg1"/>
      <Disconnecter id="101000010" x="6" y="172"
index="0" devref="#sgd_dz1.gld.icn.g:sgd_dz1"/>
      <Disconnecter id="101000011" x="34" y="172"
index="2" devref="#sgd_dz1.gld.icn.g:sgd_dz1"/>
      <ConnectLine id="34000016" d="24,109 24,120"
link="0,1,101000001;1,0,100000005"/>
      <Disconnecter id="101000025" x="37" y="6"
index="4" devref="#sgd_dz1.gld.icn.g:sgd_dz1"/>
      <ConnectLine id="34000044" d="24,148 24,166"
link="0,1,100000005;1,1,34000045;1,1,34000047"/>
      <ConnectLine id="34000045" d="11,176 11,166
24,166" link="0,0,101000010;1,1,34000044;
1,1,34000047"/>
      <ConnectLine id="34000047" d="39,176 39,166
24,166" link="0,0,101000011;1,1,34000045;
1,1,34000044"/>
      <ConnectLine id="34000048" d="42,49 42,59
24,59" link="0,1,101000025;1,0,34000050;
1,1,34000049"/>
      <ConnectLine id="34000049" d="24,70 24,59"
link="0,0,101000001;1,0,34000050;1,1,34000048"
/>
      <ConnectLine id="34000050" d="24,59 24,11"
link="0,1,34000048;0,1,34000049"/>
    </Layer>
  </Bay>
</sgd>

```

此间隔包括 1 个断路器 (CBreaker) 和 4 把隔刀 (Disconnecter), 具有全局唯一的 id 号以及间隔内的设备编号 index, 通过 7 根连接线 (ConnectLine) 进行连接。在变电站中, 通过间隔模板绘制一次接线图, 形成 G 格式的图形描述文件, 包含一次设备、所属间隔及关联关系的描述, 从而确立了设备间的五防依赖关系, 为五防规则的生成奠定了基础。

3 五防设备间隔

3.1 五防设备间隔的划分

现有的五防规则是基于特定接线方式下的间隔编制的, 相同类型间隔设备的五防规则具有稳定性, 因此只需要将设备按间隔进行分组, 就可以得出各设备的闭锁规则。

按照接线方式的不同, 可以将设备划分为 3/2 线-线串间隔、3/2 线-变串间隔、3/2 接线母线间隔、主变间隔、双母接线母线间隔、双母接线线路间隔、母联间隔等多种间隔, 每种间隔类型除与间隔的图形模板相关外, 还与相连间隔相关, 如 3/2 线-线串间隔是 3/2 间隔图形模板实例化而成, 分别与两条线路相连接。

3.2 五防设备间隔规则模板

根据五防间隔的类型, 设计间隔内设备的五防规则, 形成五防规则模板文件; 以双母接线线路间隔为例, 此间隔与母线间隔和母联间隔关联, 如图 2 所示,

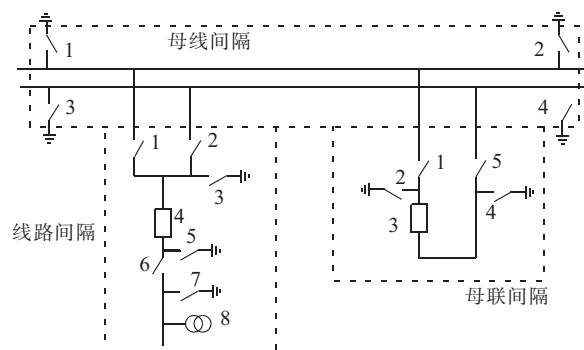


图2 双母接线线路五防间隔

间隔内设备按间隔图形模板内序号进行标示。

对线路间隔, 可以编列如下五防规则模板。

1 分闸条件: 4=分, 2=分; 2=合, 母联间隔.1=合, 母联间隔.3=合, 母联间隔.5=合。

1 合闸条件: 母线间隔.1=分, 母线间隔.2=分, 3=分, 5=分, 2=分; 2=合, 母联间隔.1=合, 母联间隔.3=合, 母联间隔.5=合。

2 分闸条件: 4=分, 1=分; 1=合, 母联间隔.1=合, 母联间隔.3=合, 母联间隔.5=合。

2 合闸条件: 母线间隔.3=分, 母线间隔.4=分, 3=分, 5=分, 1=分; 1=合, 母联间隔.1=合, 母联间隔.3=合, 母联间隔.5=合。

3 分闸条件:

3 合闸条件: 1=分, 2=分, 6=分。

4 分闸条件:

4 合闸条件:

5 分闸条件:

5 合闸条件: 1=分, 2=分, 6=分。

6 分闸条件: 4=分。

6 合闸条件: 4=分, 3=分, 5=分, 7=分。

7 分闸条件:

7 合闸条件: 6=分, $8 < U_{无压}$ 。

其中,断路器的分合无条件,接地刀闸的分操作无条件。此间隔五防规则模板文件可以与间隔图形模板文件统一存放,当通过间隔图形模板绘制一次接线图时,这些间隔五防模板中的设备对象就实例化为具体的变电站一次设备。

4 五防规则的生成

由五防设备间隔可以得到全站基于图形对象的五防规则,但这些规则五防设备不能直接使用,需要将其转化为基于全站信息数据库数据的规则。在智能变电站中,G语言针对电力系统中一次设备的图形化属性进行描述,而 IEC 61850 则围绕一次设备的保护测量控制等功能进行信息建模,形成统一规范的全站信息数据库,其交汇点在一次设备上,因此可以利用这一特点实现变电站图形对象与模型对象的统一。对五防系统而言,可以将基于图形对象的规则转化为实际二次系统中,可运算的基于模型数据对象的逻辑关系。

对系统接线图中的一次设备,IEC 61850 规定了与之相对应的信息模型^[3],如断路器 XCBR、刀闸 XSWI、变压器 YPTR、电压互感器 TVTR、电流互感器 TCTR、电容器 ZCAP、电抗器 ZREA 等;符合 IEC 61850 建模规范的二次设备都建有这些逻辑节点模型,图形对象与模型数据关联时,只需要将对应间隔二次设备的 ICD 文件与间隔图形进行整体关联,由模型解析模块分析出相关一次设备的信息模型,然后自动与图形文件中的图元进行自动关联。

以图 3 为例,智能终端的信息模型体现了间隔内的开断设备的属性^[4],其中逻辑节点前缀 QG 用于表示隔离刀闸设备,QGD 用于表示接地刀闸设备;合并单元的信息模型体现了间隔内的测量设备的属性,逻辑节点前缀 UI 用于表示线路电压;可以形成如表 3 所示的图形设备与信息模型的对应关系。

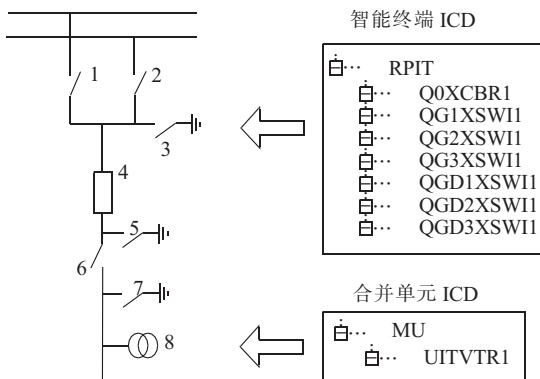


图 3 图模关联示例

在图形元件的属性中,扩展属性 dataref 用于表征与之对应的信息模型数据的索引(reference),以断路器为例,表示如下:

表 3 线路间隔图形设备与信息模型对应关系

图形设备序号	信息模型	图形设备序号	信息模型
4	RPIT/Q0XCBR1	3	RPIT/QGD1XSWI1
1	RPIT/QG1XSWI1	5	RPIT/QGD2XSWI1
2	RPIT/QG2XSWI1	7	RPIT/QGD3XSWI1
6	RPIT/QG3XSWI1	8	MU/UITVTR1

```
<CBreaker id="100000000" x="50" y="56" keyid="114560487319940993"
```

```
RoundBox ="46,52,26,44" PathName ="" devref = "#sgd_kg1.dlq.icn.g:sgd_kg1"
```

```
dataref="IL2201RPIT/Q0XCBR1.Pos"/>
```

当完成图模的关联后,可根据间隔的五防规则模板,生成具体的、基于 IEC61850 信息数据的五防规则,应用于站控层五防设备和间隔层五防设备。

5 结束语

随着建设新一代智能变电站目标的提出,智能变电站越来越重视建设成本集约化、建设过程的高效化与成熟化、运维检修的方便化、信息处理的集成化与智能化;在五防系统的建设实施中,需要与监控系统有机融合,从一体化设计层面,进一步提升实施效率与质量。G语言作为智能电网中主站与变电站进行图形交互的基础,必将在变电站中得到广泛的推广与应用,基于 G 语言的变电站五防规则生成方法能够显著提高五防规则设计与实施效率,避免编制或输入过程中的错误,提升系统建设的质量,为变电站的安全可靠运行打下坚实基础。

参考文献:

- [1] 智全中,秦广召,娄伟,等.五防系统在智能化变电站中应用分析[J].电力系统保护与控制,2009,37(23):108-111.
- [2] Q/GDW 624—2011,电力系统图形描述规范[S].
- [3] IEC 61850, Communication Networks and Systems in Substations [S].
- [4] Q/GDW 396—2009, IEC61850 工程继电保护应用模型[S].

作者简介:

- 徐勇(1970),男,江苏仪征人,工程师,从事电力系统规划、建设、生产管理等方面工作;
- 王成波(1974),男,江苏仪征人,助理工程师,从事电力系统规划、运行、生产管理等方面工作;
- 梅德冬(1975),男,江苏海安人,高级工程师,从事智能变电站技术与设备的研究工作;
- 崔巍(1969),男,河北高阳人,助理工程师,从事电力系统自动化设备的开发与实施方面工作;
- 熊兵(1977),男,江苏仪征人,助理工程师,从事变电站运行、管理等方面工作。

变电站远动专线通道网络化改造方案分析

卓 倬,徐 义
(宿迁供电公司,江苏 宿迁 223800)

摘 要: 宿迁地区变电站远动专线网络化改造后,有些变电站通道存在时通时断或者不通的情况。从传输控制协议(TCP)的 keepalive 属性、串口属性等方面分析了影响变电站通道状况的因素,并提出了解决方案,保证了变电站远动网络化改造后的正常运行。

关键词: 网络化;波特率;存储缓存;keepalive

中图分类号: TM73

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2013)03-0063-03

随着网络在社会各个方面越来越普及,电力行业中远动信息传输从原有的只有专线运用转变成网络传输势在必行。现新建变电站远动信息传输基本上实现了网络化,但是一部分变电站因设备陈旧等原因仍旧沿用老式的专线方式。近年来,国网公司开展“三集五大”工作,其中“大运行”中变电站远动部分的具体工作则是对只具备专线通道的变电站进行网络化改造。在对宿迁地区变电站改造过程中,发现有些变电站经过网络化改造后,通道存在时通时断或者不通的情况。文中对变电站总控装置、串口装网络设备、网络通道进行了分析,并提出了解决方案。

1 通道传输结构

1.1 改造前的远动传输结构

待改造的变电站改造前采用的是四线专用模拟通道,规约采用 CDT 或者 IEC101 规约。总控串口数据经过 MODEM 转换为四线模拟信号,然后经过通信传输网到达主站^[1],如图 1 所示。



图 1 变电站网络化改造前远动传输结构

1.2 改造后的远动传输结构

改造后的变电站远动规约不变,总控串口数据经过终端服务器(串口转网口设备)转化为网络信号,再经过网络设备送达主站^[2],如图 2 所示。

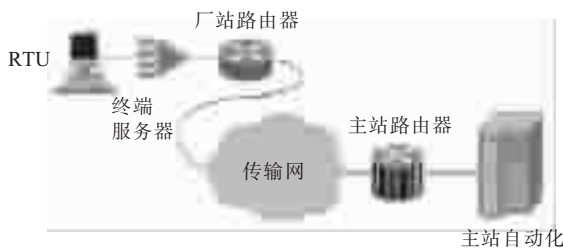


图 2 变电站网络化改造后远动传输结构

站波特率基本使用 300 bit/s 或 600 bit/s,IEC101 规约的变电站波特率使用 1 200 bit/s,有部分变电站使用 600 bit/s,经过改造后变电站的通道状况统计如表 1 所示。采用波特率 300 bit/s,600 bit/s 的变电站通道会出现通道不畅情况,而采用 1 200 bit/s 的变电站通道正常。

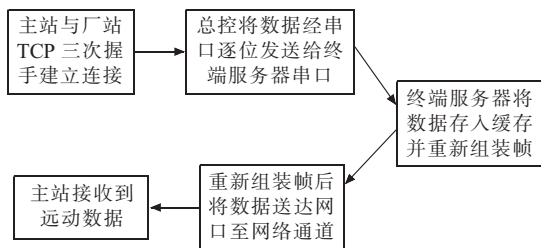


图 3 改造后的远动信息传输过程

表 1 改造后通道状况统计

波特率/(bit·s) ⁻¹	CDT	IEC 101
300	不通	
600	时通时断	时通时断
1 200	通畅	通畅

2 影响通道状况的几个因素

改造后的变电站远动信息具体传输过程,如图 3 所示。宿迁地区只有专线通道的变电站全部采用的是 CDT 或者 IEC101 规约传输,采用 CDT 规约的变

2.1 传输控制协议(TCP)的 keepalive 属性

在主站与终端服务器间需建立 TCP 连接才可以进行数据传输,TCP 是面向连接的,在实际应用中先需要网络检测连接是否可用,如果不可用情况可分为:(1)连接的对端正常关闭。(2)连接的对端非正常关闭,包括对端设备死机,程序崩溃,网络被中断等。这些情况不能也无法通知对端,所以连接会一直存在,浪费网络资源。

TCP 协议栈的 `keepalive` 属性可以主动探测网络通道是否可用,其基本属性如表 2 所示。在实际变电站网络化改造过程中,终端服务器中的 `keepalive` 的属性设置要对应具体情况。如果 `keepidle` 属性时间间隔太小会造成通道的时通时断,时间间隔太大会占用大量的网络空间和资源。

表 2 TCP 中的 `keepalive` 属性

项目	属性
<code>keepalive=1</code>	开启 <code>keepalive</code> 属性
<code>keepidle=10</code>	如该链接在 10 s 内没有数据传输,则进行通道探测
<code>keepinterval=1</code>	探测时发送数据包 的间隔为 1 s
<code>keepcount=3</code>	探测尝试的次数。如果第一次探测包就收到回应,则后次不在发送

2.2 串口属性

现有总控串口信息传输全部采用的是串口异步通信,其通信特点是传输 8 位数字位时需加上起始位和停止位,起始位默认设置为 1 位,停止位可以人为设置。校验位根据校验方式来决定,如果校验方式为奇校验或偶校验,校验位为 1 位;如果校验方式为无校验,校验位为空。

变电站通道在网络连接成功后,`keepalive=1` 使其属性激活,TCP 连接等待数据,这时总控按照设定的串口波特率进行数据帧传输,根据数据帧的大小和波特率可以计算出这段数据帧传输所需的时间。根据串口异步通信原理,所需时间要将字符的起始位、停止位、校验位计算在内,这 3 个数字位将占用大量的传送时间。如果数据帧传输时间过长,超过了 `keepalive` 时间间隔,网络通道断开,数据将无法送达主站并且暂存在终端服务器存储缓存中,在一定时间后造成存储缓存的溢出。

根据上述描述,如果串口波特率太小,TCP 建立连接后,终端服务器将花费大量的时间在重组数据帧上,从而导致远动通道的退出^[3]。而现有变电站因为设备老化,不支持高波特率传输,所以总控串口的波特率在实际情况允许范围内尽量设置为高波特率。

2.3 远动信息采集量

远动信息的采集量关系到终端服务器数据帧重组的时间以及存储缓存的是否溢出^[4]。当远动信息传输的最长数据帧超过终端服务器的存储缓存时,将会延长数据帧传输时间,造成通道的断开。

3 解决方案

假设一变电站 A,总控基本属性设置如下:传输规约为 CDT 规约,最长数据帧= a 字节,波特率= b bit/s,

数据位=8 位,起始位= c 位,校验位= d 位(奇校验、偶校验, $d=1$;无校验, $d=0$)。

终端服务器基本属性如下:设备缓存 `cache=e` 字节,`keepidle=f` s,`keepinterval=g` s,`keepcount=h` 次。

在满足以下条件后,改造后的变电站远动通道才可以顺利投入运行。

条件一:

传输时间= $\lceil (a \times (8+1+c+d)) / b \rceil < \text{keepalive 时间间隔}(f+g \times h)$

条件二:

最长数据帧= $a \times (8+1+c+d) / 8$ 字节 < 设备缓存 `cache=e` 字节

当变电站改造时出现通道故障时,可对相关属性进行修改,使之满足上述条件,以保证变电站网络化改造后的正常运行。

4 案例分析

4.1 案例一

以 110 kV 顺河变网络化改造为例,该站专线波特率 300 bit/s,CDT 规约,起始位停止位各 1 位,校验位 1 位,总控采集遥测量 64 个。串口转网口设备常用型号为 MOXA NPORT5120,存储缓存 512 个字节,`keepidle=10` s,`keepinterval=1` s,`keepcount=3` 次。则该段遥测包含 64 个遥测数据,报文总计 396 个字节,根据解决方案中的条件一所述,该数据传输时间为 14.52 s,即 TCP 建立网络链接后,而端服务器接收总控数据花费 14.52 s,超出 `keepalive` 时间间隔 13 s,该网络连接中断,数据无法送达网络通道暂存入设备缓存。当下个数据帧传输到终端服务器,存入设备缓存后,存储缓存溢出导致设备死机,变电站远动信息在主站退出运行^[4]。

解决方案有 2 种:(1) 将 `keepalive` 时间间隔延长至 15 s。(2) 将串口波特率提高至 1 200 bit/s。考虑到远动信息、时性特点以及 `keepidle` 属性时间间隔太大,会占用大量的网络空间和资源,方案(2)为最佳方案。

将串口波特率提高至 1 200 bit/s 后,数据传输时间 3.63 s,小于 `keepalive` 时间间隔 13 s。现场实际操作提高波特率为 1 200 bit/s 后,变电站远动信息正常投入运行。

4.2 案例二

以 35 kV 皂河变网络化改造为例,该站专线波特率 1 200 bit/s,起始位停止位各 1 位,校验位 1 位。串口转网口设备常用 MOXA NPORT5120。采用 CDT 规约,终端服务器缓存 512 字节。该变电站采集了 36 个遥测量,最后一个遥测传输点号为 256,那么总控传输的时候将会从点号 1 到点号 256 全部扫描并传输,空

点号数据以 0 代替。

根据解决方案中的条件二所述,最长数据帧 1 073 字节大于终端服务器缓存 512 字节,超出存储缓存并延长了数据帧传输时间,造成通道断开。

根据实际情况,该厂站只有 36 个遥测数据,但是却占用了 256 个点号,厂站信息量的采集要紧凑,中间尽量不要空出无用点号,所以解决方案为把该 36 个数据依次排序,不空出无用点号。

修改后的最长数据帧为 429 字节,小于终端服务器缓存 512 字节,符合解决方案中的条件二,皂河变通道恢复正常。

5 结束语

针对宿迁地区在进行变电站远动网络改造后变电站时通时断或不通的情况,分析了影响数据传输的各

种因素,并提出了解决方案。上述方案实施后,增加了通道的可靠性,保证了网络化改造工作的正常开展,并对后续变电站的改造施工具有积极的示范作用。

参考文献:

- [1] 唐 涛,诸伟楠,杨仪松,等.发电厂与变电站自动化技术及其应用[M].北京:中国电力出版社,2005.
- [2] 金益民,吴玉林,崔恒志,等.江苏电网 EMS 中网络通信的应用[J].电力系统自动化,2003,27(7):66-69.
- [3] 黄春红,黄坚明.变电站实时数据网络化传输的可能性[J].电力设备,2005,6(11):67-69.
- [4] 开圣武,夏友斌,胡金双.远动数字通道网络化的三种实现方法[J].电工技术,2006(11):41-43.

作者简介:

卓 倬(1984),女,江苏宿迁人,助理工程师,从事远动自动化维护工作;

徐 义(1983),男,江苏沐阳人,工程师,从事二次系统管理工作。

The Research of Changing the Transformer Substation's Analogy Channel to Network Channel

ZHUO Zhuo, XU Yi

(Suqian Power Supply Company, Suqian 223800, China)

Abstract: When changing the transformer substation's analogy channel to network channel, intermittent problem and interrupt problem will exist in some substations channel. This paper analyzes influencing factors of substation channel from keepalive quality and serial port quality of TCP, and then the solution is proposed in order to guarantee the normal operation of substation when network reform.

Key words: network; baud rate, storage cache; keepalive

(上接第 62 页)

Generation Method of Smart Substation Five-prevention Rules Based on G Language

XU Yong¹, WANG Cheng-bo¹, MEI De-dong², CUI Wei², XIONG Bing¹

(1. Yangzhou Power Supply Company, Yangzhou 225009, China;

2. NARI Technology Development Co. Ltd., Nanjing 210003, China)

Abstract: In smart substation, the implementation of anti-maloperation system has heavy workload but low efficiency. This paper presents a method of automatic generating devices' five-prevention rules during the drawing of the main-line diagram for whole substation. The primary equipment graphic objects based on G language could be connected seamlessly to IEC 61850 based model data objects, thus rules files used by anti-maloperation devices could be generated from primary device topology directly, avoiding complicated input configuration of rules database. This method is helpful to increase efficiency and quality of smart substation project implementation.

Key words: G language; IEC 61850; anti-maloperation equipment; interval rule template

建合格的水管

1946 年,美国人贝斯特·韦斯特在加州盖了一座以自己名字命名的、有 700 间客房的大酒店。装修结束并验收合格后,韦斯特下令打开所有浴室的喷头,顿时,管道因排泄不畅导致水四处乱溢,很多房间成了“一片泽国”。他立即要求施工队返工,将地下管道换成两倍粗的管子,可施工队不同意。他们认为,700 个房间同时放水,这种情况在现实生活中不可能发生,但韦斯特态度十分坚决,最后施工队只好照他说的办。就是这样一件被认为“不可能发生的事”竟然真的在 1953 年、1979 年和 2001 年发生了,但由于事前有准备,大酒店避免了“水漫金山”。

分布式光伏发电并网的国内外政策分析与启示

江 林

(江苏省电力公司电力科学研究院,江苏 南京 211103)

摘 要:分布式光伏发电的健康发展离不开政策的引导和激励,也需要政策的规范和约束。借鉴发达国家固定上网电价政策、净电量计量政策、成本分摊政策、并网技术规定,结合我国已有的分布式光伏发电并网政策,提出了江苏发展分布式光伏发电并网方面的政策建议。

关键词:分布式光伏发电;政策;电价;并网技术规定

中图分类号:TM615

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)03-0066-03

发展太阳能、风能等可再生能源是我国调整能源结构、实现节能减排的重要战略举措。2013年1月,国务院办公厅印发了《能源发展“十二五”规划》^[1],要求加快风能、太阳能等可再生能源的分布式开发利用;以城市、工业园区等能源消费中心为重点,完善相关配套设施,大力推进屋顶光伏等分布式可再生能源技术应用,尽快提高分布式供能比重;到2015年,太阳能发电装机规模将达到21 000 MW。我国光伏发电的发展主要得益于政府的激励政策。虽然随着技术的进步及开发规模的扩大,光伏发电成本已经显著下降,但与水电、火电等常规电源相比,利用成本仍然偏高,在没有政策干预的情况下仍不具备市场竞争力,因此在较长时期内其发展仍然需要政策的激励和扶持,同时也需要政策的规范和约束,因此迫切需要借鉴欧美发达国家的政策经验,实现我国光伏发电的可持续发展。

1 固定上网电价政策

固定上网电价政策是对光伏系统所发电量馈入电网部分给予保证价格的一种激励政策,发电企业与电网企业按此固定电价进行上网电能结算。由于上网电价和用户的用电电价不同,采用固定上网电价政策的光伏发电系统,实行发电量与用电量分开计量。电网企业以高电价收购光伏系统所发全部电量,而用户按照常规电价为所用电量缴纳电费^[2]。

在光伏发电发展初期,国外多采用发电量以规定电价强制上网等政策激励其发展。随着光伏发电发展规模的不断扩大,许多国家对上网收购办法进行了调整,建立了上网电价年降幅与光伏发电年装机规模联动的模式。德国1991年颁布上网电价法律《强制购电法》,要求电网企业按规定的电价全额收购可再生能源发电量。2000年颁布《可再生能源法》,2004年、2008年和2012年分别进行了3次修订,核心内容是

制定固定上网电价政策,并建立电价年降幅与市场规模联动的模式。采用固定上网电价政策的光伏发电系统,实行发电量与用电量分开计量,电网企业以高电价收购光伏系统所发全部电量,而用户按照常规电价为所用电量缴纳电费。按照2012年最新修订的法律规定,德国未来12个月内如果光伏装机容量超过3 500 MW,上网电价下降3%;如果超过7 500 MW,上网电价下降15%。现在欧洲大部分国家采用这种办法来刺激光伏市场的发展。日本2012年7月1日开始也执行光伏固定上网电价政策。

2 净电量计量政策

净电量计量政策是指允许用户利用光伏所发上网电量与用户的购电量相抵扣,从而减少用户电费账单支出的一种结算政策。当用户侧光伏系统发出的电量不能满足用户的用电需求时,差额部分由电网提供,用户支付这部分电费;反过来,当用户侧所发电量超出用电需求时,富余部分将反馈至电网,用户收取这部分电费^[3]。净电量政策主要针对自发自用型用户,具体实施细节根据不同装机容量、不同国家、同一国家不同地区而不同。美国已经在42个州都通过了《净电量计量法》,即允许光伏发电系统上网和计量,电费按电表净读数计量,允许电表倒转,光伏上网电量超过用电量时,电力公司按照零售电价付费。日本在2012年7月之前也执行剩余电量上网政策,即净电量计量政策。截止2011年初,美国的大部分州以及日本、加拿大、丹麦、意大利、墨西哥等13个国家采用净电量政策。

3 成本分摊政策

太阳能光伏发电的建造成本以及上网电价都高于常规电源,由于光伏发电的最终受益者是全社会,因此国外普遍采用全社会成本分摊机制解决补贴资金筹集问题。

国外成本分摊政策大致可以分为3类。第一类是

由国家财政提供资金,补贴形式有一次性补贴、税收优惠和信贷优惠等^[4]。一次性补贴降低了用户初期投资门槛,此类补贴政策实施起来非常方便,但会增加政府财政支出,而且还存在只注重安装容量而忽略设备实际运行的隐患,需要在执行过程中加大对项目后期运作的监督。税收优惠政策是指对光伏发电系统的投资者减免特定类型税收,譬如减免个人所得税、财产税等,这种方法对于政策制订及实施部门更为方便,不需制定资金预算,且实施年限和减免税率可根据具体情况灵活调整。信贷优惠指国家对投资光伏发电的企业提供低于市场利率的优惠贷款。日本和美国都有此类型的成本分摊政策。第二类成本分摊政策是向终端电力用户征收可再生能源电价附加。德国可再生能源电价附加从 2000 年 0.2 欧分/(kW·h),上升到 2011 年的 3.53 欧分/(kW·h),上涨了 17.7 倍。第三类成本分摊政策是通过向化石能源生产者征税筹集,如英国。

4 并网技术规定

政策既有激励的一面,也包括相关的规范和要求,二者缺一不可,这也是许多欧美光伏发电大国的发展经验。分布式光伏发电的规模较小,一般在数兆瓦以内,通常接入 35 kV 及以下的配电网,由于其出力具有一定的波动性,在接入电网后对电网产生一定的影响。为了使分布式电源并网合理有序地进行,欧美国家制定了相关技术标准,从技术层面规定了并网的技术要求,既有利于光伏发电发展,又有利于电网的安全稳定可靠运行。

德国光伏发电以屋顶光伏为主,并网管理分为小型系统和大型系统,于 2008 年和 2011 年先后制定了《发电厂接入中压电网技术导则》(1~60 kV)、《分布式电源接入低压配电网技术要求》(1 kV 及以下),分别提出接入中、低压配电网的分布式电源并网技术标准,非常明确和严格的对各项指标进行了规定,譬如对孤岛保护、短路电流、低电压穿越等提出详细技术要求,针对不同装机容量的光伏系统提出了详细的调度方式规定,明确了并网调试程序和内容。这有利于电网企业和分布式电源项目业主在前期规划和设计过程中有据可依,遵循并网技术标准的具体要求进行项目建设,实现分布式电源的快速并网。

美国以及国际电工委员会现有光伏发电并网技术规定如表 1 所示。在这些标准中,美国 IEEE 1547 得到最广泛的认可,它是一个针对分布式发电并网的系列标准,不仅仅限于光伏。IEEE 1547—2003 标准规定了容量为 10 MV·A 以下的分布式电源并网的过压或欠压、过频或欠频、电能质量、孤岛、并网测试等基本技术要求。

表 1 IEEE 及 IEC 颁布的光伏发电并网技术规定

序号	标准名称	时间
1	IEEE 1373—1999 并网光伏系统测试方法及规程推荐标准	1999
2	IEEE 929—2000 光伏系统电网接口推荐标准	2000
3	IEEE 1547—2011 分布式发电并网导则	2011
4	IEC 61727—2004 光伏系统—电网接口特性标准	2004

IEEE 1547 系列标准中的 IEEE 1547.5、IEEE1547.7 和 IEEE 1547.8 处于标准草案制定期间,尚未颁布。IEEE 1547 各部分主要内容如下:(1) P1547.1 分布式电源的并网测试步骤;(2) P1547.2 IEEE 1547 标准的应用导则和编制说明;(3) P1547.3 分布式电源的量测、信息交换和控制导则;(4) P1547.4 微电网结构和分类、运行模式、规划设计;(5) P1547.5 10 MV·A 以上容量电源的输电网并网技术要求(未颁布);(6) P1547.6 分布式电源的低压并网规程;(7) P1547.7 分布式电源或微电网并网对配电网影响的工程研究准则、范围和程度;(8) P1547.8 扩展 IEEE 1547 在创新设计和运作流程中的可用性和独创性。

5 国内光伏发电政策及发展

为解决能源安全和短缺问题,我国政府在十一五规划(2006~2010)和十二五规划(2011~2015)中皆提出节能和发展清洁能源的计划,在十二五规划中尤其将太阳能列为首位。

2005 年颁布《中华人民共和国可再生能源法》(2006 年实施,2009 年修订),确立了可再生能源总量目标制度、并网发电审批和全额收购制度、上网电价与费用分摊制度、专项资金和税收、信贷鼓励措施。

2006 年发布《可再生能源管理规定》,明确了发电企业应承担可再生能源发电配额义务。

2009 年发布《金太阳示范工程财政补助资金管理暂行办法》^[5],规定本次计划实施年限为 2009~2011 年。补贴范围包括并网发电项目、独立发电项目、光伏发电技术产业化示范项目、光伏发电基础能力建设四方面。此外,已享受可再生能源电价分摊政策支持的光伏发电项目不纳入本办法支持范围。

2011 年 7 月,国家能源局发布《太阳能光伏发电上网电价政策的通知》^[6],明确 2011 年 7 月 1 日前、后核准的光伏发电项目上网电价分别为 1.15 元/(kW·h)和 1 元/(kW·h)(西藏仍执行 1.15 元/(kW·h))。目前,国内分布式光伏发电上网电价主要分为 2 类,一是享受国家金太阳工程一次投资补贴的项目,上网电价为当地脱硫燃煤机组标杆电价;二是不享受国家金太

阳工程一次投资补贴的项目,上网电价分别为 1.15 元/(kW·h)和 1 元/(kW·h)。

2012 年 10 月,国家电网发布《关于分布式光伏发电并网的相关意见》^[7],确定单个并网点总装机容量不超过 6 MW 的光伏发电项目,国家电网公司全额收购分布式光伏发电项目富余电力,上、下网电量分开结算。在受理、制定接入电网方案、并网调试的全过程中,不收取任何费用。项目接入引起的公用电网改造也由国家电网承担。

在光伏发电并网技术规定方面,国内现有四项技术规定,如表 2 所示,其中 2011 年 5 月国家电网公司颁布的企业标准 Q/GDW 617—2011 光伏电站接入电网技术规定为最新的光伏并网技术规定,它适用于 380 V 及以上电压等级并网的光伏电站,主要包括接入容量限制、电能质量、功率和电压、电网异常时的响应特性、安全与保护等方面的内容。

表 2 已公开的光伏发电并网技术规定

类别	标准名称	时间
国标	GB/T 19939—2005 光伏系统并网技术要求	2005
国标	GB/T 20046—2006 光伏(PV)系统电网接口特性	2006
企标	Q/GDW 617—2011 光伏电站接入电网技术规定	2011
企标	Q/GDW 619—2011 光伏电站接入电网测试规程	2011

为鼓励光伏发电,江苏省政府也出台了《关于继续扶持光伏发电的政策意见》,重点制定了江苏光伏上网电价,2012 年为 1.3 元/(kW·h),其中省公司收购价 0.45 元/(kW·h),国家财政补贴 0.55 元/(kW·h),省财政补贴 0.3 元/(kW·h),暂由江苏公司代为支付。2013~2015 年间上网电价每年递减 0.05 元/(kW·h)。另外江苏省电力公司也出台了《分布式光伏发电并网管理规定(试行)》和《分布式光伏发电并网管理工作流程》,积极推动分布式光伏发电并网工作的开展。

6 江苏分布式光伏发电并网政策建议

欧美光伏发电大国经过多年的实践和探索,建立了较为完善的光伏发展政策体系,虽然国外风电政策在具体操作上具有其特殊的国情色彩,但政策制定和调整的理念具有普遍适用性。国外经验表明,分布式光伏发电的健康发展离不开政策的引导和激励,也需要政策的规范和约束。针对江苏,提出以下建议:

(1) 协调上网电价补贴与一次性财政补贴的关系。上网电价补贴与一次性财政补贴各有利弊,应通过实践制定更符合江苏情况的光伏发电并网补贴政策。

(2) 完善分布式光伏发电并网技术规定。参照国内外光伏发电以及分布式发电的相关标准,制定江苏分布式光伏发电并网技术规定,主要提出安全、保护和电能质量要求;并网测试规定,包括测试内容、条件、方法、程序、手段等。

(3) 细化分布式光伏发电并网管理办法。国网公司和江苏省电力公司陆续出台了分布式光伏发电并网管理规定,但在并网申办上还存在管理流程执行不畅的现象,需要进一步细化管理办法。

参考文献:

[1] 国务院办公厅.能源发展“十二五”规划[Z]. 2013.
[2] 王乾坤,周原冰,宋卫东,等.德国可再生能源发电政策法规体系及其启示[J].能源技术经济, 2010,22(10):50-54,67.
[3] 张 钦,蒋莉萍.美国加州可再生能源发展经验与实践[J].华东电力,2012,40(11):1895-1898.
[4] 郝龙俊.建筑光伏发电上网补贴政策综述[J].甘肃电力技术, 2012(2):44-47.
[5] 财政部,科技部,国家能源局.金太阳示范工程财政补助资金管理暂行办法[Z]. 2009.
[6] 国家能源局.太阳能光伏发电上网电价政策的通知[Z]. 2011.
[7] 国家电网公司.关于分布式光伏发电并网的相关意见[Z].2012.

作者简介:

江 林(1974),女,四川自贡人,高级工程师,从事电力系统分析、新能源技术及政策研究。

Research on Domestic and Overseas Grid Integration Policies of Distributed Photovoltaic Power Generation

JIANG Lin

(Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: The healthy development of distributed photovoltaic power generation is dependent not only on the guidance and incentives but also the norms and constraints of polices. The policy recommendations of grid integration of distributed photovoltaic power generation in Jiangsu province is proposed, referring the feed-in tariff policy, the net metering policy, the cost-sharing policy, the grid integration technical regulations in developed countries, combined with the existing grid integration policy of distributed photovoltaic power generation in our country.

Key words: distributed photovoltaic power generation; policy; electricity price; grid-connection technology regulation

江苏省内在役 1 000 MW 汽轮机的特点与运行问题

姚永灵,徐 斌

(江苏方天电力技术有限公司,江苏 南京 211102)

摘 要:围绕江苏省内投产的两类 1 000 MW 超超临界汽轮机,在介绍主要结构特点和性能设计参数差异的基础上,定性分析了引起机组热力性能偏离设计参数的主要因素,对新建 1 000 MW 超临界火电机组的汽轮机选型以及在役机组运行或改造有一定参考作用。

关键词:超超临界;汽轮机;热力性能

中图分类号:TK263

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)03-0069-03

随着 2006 年 11 月 28 日华能玉环电厂 1 号机组及同年 12 月 4 日华电国际邹县发电厂 7 号机组 2 台国产 1 000 MW 超超临界机组的相继投产,国内 1 000 MW 机组进入了快速发展时期。由于采用了较高的初参数,提高了蒸汽循环效率,再加上一些新技术的应用,超超临界机组经济性得到了大幅提高。1 000 MW 超超临界机组比目前的主力机组 600 MW 超临界机组煤耗能降低约 15 g/(kW·h),比 300 MW 亚临界机组降低的煤耗更是在 20 g/(kW·h)以上,因此,越来越多大容量高参数的 1 000 MW 超超临界机组投产,必将大大提高火电机组整体经济性,减少发电厂二氧化碳和污染物的排放。

1 设计参数

我国三大汽轮机制造厂都采取了与国外公司合作的方式来发展超超临界汽轮机的技术路线,上海汽轮机有限公司、哈尔滨汽轮机有限公司和东方汽轮机有限公司分别与西门子公司、东芝公司和日立公司合作,生产了各自的 1 000 MW 超超临界汽轮机。从整体来看,3 种机型都采用了单轴、一次中间再热、四缸四排汽、双背压、凝汽式、八级回热抽汽的方式,高压缸采用单流式,中压缸都是对称双流式,都有 2 个双流低压缸。3 种机型的主要技术数据如表 1 所示。

东汽、哈汽机组为冲动式。上汽机组为反动式,高、中压缸级数较多。从蒸汽参数来看,2 种机型都采用了 600 ℃的主再热蒸汽温度,东汽、哈汽机组的主汽压力都为 25 MPa,而上汽机组的主汽压力较高,达到 26.25 MPa,而且该机型的主汽压力还有再提高的空间,这与其独特的高压缸结构有关。3 种机组的设计热耗都达到了相当好的水平,相对而言,上汽机组由于更高的主汽压力及其独特的结构,设计的热力性能更好一些,其设计热耗达 7 319 kJ/kW·h,比哈汽机组的设计热耗低了 0.6%。

表 1 3 种机组主要技术数据

项目	上汽-西门子公司	哈汽-东芝机组	东汽-日立机组
型号	N1000-26.25/600/600	N1000-25/600/600	
高压缸级数	13 压力级	双流调节级+9 压力级	双流调节级+8 压力级
中压缸级数	2×13 级	2×7 级	2×6 级
低压缸级数	2×2×6 级	2×2×6 级	2×2×6 级
末级叶片高度/mm	1 146	1 219	1 092
排汽面积/m ²	4×10.96	4×11.87	4×10.11
背压(平均)/kPa	4.9	4.9	4.9
高压缸效率/%	91.06	90.15	87.18
中压缸效率/%	93.27	94.54	92.29
低压缸效率/%	89.15	89.20	92.57
保证热耗率/[kJ·(kW·h) ⁻¹]	7 319	7 366	7 354

江苏省自 2007 年 12 月 4 日第一台投产到目前为止,已经有 10 台 1 000 MW 超超临界机组投产,其中 2 台是哈汽-东芝机组,其他都是上汽-西门子公司,目前正在建设中的 6 台 1 000 MW 机组也是上汽-西门子公司。

2 结构特点

文中讨论省内已投产的哈汽-东芝和上汽-西门子公司 1 000 MW 超超临界机组影响热力性能的几个主要结构特点。

2.1 高压缸

哈汽机组高压缸内外缸都采用了传统水平中分面形式^[1]。上汽机组采用无中分面的圆筒型高压缸,高压外缸为轴向对分筒形结构,内缸为对剖垂直中分面筒形结构。圆筒型高压缸以紧凑的轴向法兰连接,有很高的承压能力,可承受更高的压力和温度。哈汽机组还是传统的 4 个调门,通过导汽管与高压缸相连。而上汽机组只有 2 个主汽调门并直接和汽缸相连,无导汽管,结构紧凑,流动损失大大减小。

对于大容量超超临界机组,调节级应力是影响机组结构设计和热力性能的关键因素^[2]。哈汽机组采用喷嘴调节方式,为了保证调节级叶片在部分进汽情况下有足够的强度,不得不使用双流调节级结构(如图1所示),主汽通过4个高压调门分2路逆流进入调节级,其中一路调节级后蒸汽通过180°转向后进入压力级。相对于全周进汽方式,双调节级喷嘴调节方式的特点是在低负荷时保持额定进汽压力,有利于提高循环效率;其不足是部分进汽损失以及汽流转向引起的调节级效率较低。

上汽机组采用全周进汽加补汽阀方式,高压第一级采用斜置静叶、切向进汽(如图2所示),结构紧凑、损失小。全周进汽滑压运行,无效率相对较低的调节级,有利于提高汽轮机效率。

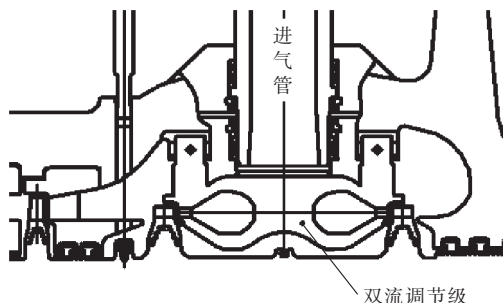


图1 哈汽-东芝机组调节级

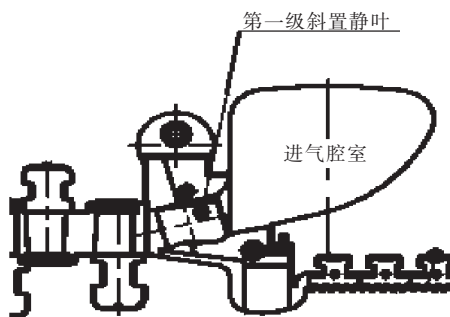


图2 上汽-西门子机组第一级

上汽机组的高压缸由于其独特的圆筒型汽缸、阀门配置和配汽方式,在效率上有明显优势。而哈汽机组由于缸体结构和调节级应力的限制,机组设计主汽压力为25 MPa,在超超临界机组中是比较低的,另外调门压损较大等因素对循环效率有一定影响。

2.2 中压缸

与高压缸类似,哈汽机组再热主汽门通过导汽管与汽缸连接,而上汽机组2个再热主调门直接和汽缸相连,有利于减少阻力。上汽机组中压第一级也是斜置静叶、切向进汽。虽然2种机型都采用双流中压缸,但排汽管结构有所区别。哈汽机组中压缸有2个排汽口分别与连通管相连。上汽机组中压缸则只有1个排汽口布置在汽缸中间顶部,与连通管相连。这样的布置使中低压连通管结构紧凑顺畅,有利于减少排汽阻力。

这2种机型中压缸最大区别体现在对中压转子的冷却方式上。为降低中压进汽前几级的温度,必须设计中压转子的冷却蒸汽系统,哈汽机组冷却蒸汽来自高压调节级后的节流蒸汽,通过冷却蒸汽管进入中压汽轮机,利用菌型叶根与叶轮的预留间隙流动,冷却中压前2级叶根。上汽机组对中压转子的冷却方式比较独特,在中压缸进口有4个切向进汽孔,将蒸汽引入进汽室与转子之间并加速形成涡流,蒸汽能量转换为动能后,温度可下降15℃左右,起到冷却中压转子的作用。

2.3 低压缸

无论冲动式还是反动式汽轮机,低压缸部分结构基本相近。2种机型都采用了2个双流低压缸,共4个流程,每个流程都包含6级。

哈汽机组的48英寸末级叶片高度达到了传统叶片材料的极限长度,是目前最长的汽轮机叶片,排汽面积比上汽机组大8.3%。更大的排汽面积有利于降低余速损失,提高汽轮机整体效率。

3 实际热力性能及存在的问题

国内已经投产的1000 MW超超临界汽轮机都进行了性能考核,从试验结果来看,各种机型都达到了制造厂的热耗保证值。考虑到考核试验考核的是汽轮机本体,热力系统一般不在考核范围之内,考核的边界条件较多而且比较严格,导致试验结果修正项目较多和修正量较大,再加上进行考核试验时汽轮机都处于刚投产时新的状态或者考虑了老化修正,这些因素导致考核试验结果并不一定能全面反应整个汽轮机的实际性能,尤其不能反应经过一段时间运行后处于相对稳定状态下汽轮机的实际性能。

省内哈汽1000 MW机组投产已有4年,上汽机组投产也有近3年的时间,这些机组陆续进行了多次的性能试验,通过对各1000 MW机组历次性能试验以及运行统计情况分析,目前1000 MW机组实际的热耗水平在7450~7600 kJ/(kW·h),与热耗设计值之间有一定差距,一方面是汽轮机本体性能下降,另一方面是热力系统的状态造成的。在机组运行及性能试验过程中,发现如下几个问题。

3.1 主汽调门压损问题

哈汽机组采用传统的喷嘴调节方式,除了部分进汽损失,还存在调门节流损失,试验发现该机组调门即使在全开状态下节流压损也较大,影响了高压缸实际运行效率,该机组实测高压缸效率在87%左右。

上汽厂机组采用无调节级方式,全周进汽,没有部分进汽损失,而且调门节流损失也达到最小,在阀门全开状态下,高压缸试验效率可以达到91%。该机组高压缸设计了1个补汽阀,其作用是在夏季高背压情况

下保证机组出力,实际运行情况表明 2 个主调门基本能满足出力的要求,夏季满负荷一般也无需开补汽阀。但是,为了满足电网调频的要求,实际运行时机组调门并没有处于全开状态,而是处于节流状态(保留 5%左右的流量裕量)以提高机组负荷响应能力,这种运行状态实际上削弱了该机组全周进汽设计在经济性方面的优越性,导致高压缸效率降低 1%左右。

对于上汽机组而言,如何在满足电网调频要求的前提下尽可能使调门节流损失降到最低,充分发挥其设计上的优势,是值得研究的课题。

3.2 汽封漏汽偏大问题

汽轮机动静间隙之间漏汽量对汽轮机效率影响很大。抽汽温度相对于设计值的偏高程度可以比较直观反映缸内汽封漏汽情况。因为汽轮机动静间隙逐步变大难以避免,所以抽汽温度偏高是普遍存在的现象。相对而言哈汽机组抽汽温度偏高比较明显,特别是低压缸的第 5 级和第 6 级抽汽,严重时超温达 30℃多。其原因可能是该低压缸容易变形,导致动静间隙变大,而且很难消除。另外,汽封的形式和性能也是影响因素。与汽缸内汽封漏汽类似,轴端汽封漏汽量也存在偏大的问题。如曾经在性能试验中测量上汽机组高压缸轴封去中压缸排汽口的漏汽量,比设计值大了近 1 倍。

解决汽封漏汽偏大问题,有些可以通过更换性能更好的汽封或在检修过程中调整汽封间隙来解决。但对于汽缸变形等因素导致的漏汽量偏大则较难解决,需要对汽缸结构进行改进。

3.3 冷却蒸汽量问题

哈汽机组中压转子的冷却采用了传统的从高压缸调节级后引入较低温蒸汽的方法,其流量是通过节流

孔和阀门控制的,但实际上该流量很难合理控制,导致该流量大大高于设计值,在某次试验中应用间接测量的方法对该流量进行了测量,结果是达到了 54 t/h,而设计流量只有不到 20 t/h,过大的冷却蒸汽绕过高压缸直接进入中压缸,将大大影响机组的经济性。

3.4 热力系统问题

除了汽轮机本体的性能,影响机组性能的另一个重要因素是与之配套的热力系统运行状态的好坏。如回热加热器性能、凝汽器性能等等。在实际生产中普遍存在的是系统工质泄漏问题,系统泄漏包括内漏和外漏,需要重视各种疏水管路、蒸汽旁路等容易发生泄漏部位的维护,提高机组运行的经济性。

4 结束语

超超临界 1 000 MW 汽轮机的投产,使我国火力发电机组的运行效率达到了一个更高的水平。不同制造厂的产品有各自的设计风格 and 机构特点,在生产过程中也表现出不同的优势和问题,应根据机组本身特点,优化运行方式,消除缺陷,提高机组运行的经济性。

参考文献:

- [1] 何阿平,彭泽瑛.1 000 MW 超超临界汽轮机的技术优势与结构特点[J].上海电力,2005(4):337-341.
- [2] 朱宝田.三种超超临界 1 000 MW 汽轮机简介[C].中国超超临界火电机组技术协作网第二届年会,2006.

作者简介:

姚永灵(1974),男,江苏苏州人,高级工程师,从事汽轮机性能测试及技术监督工作;

徐 斌(1983),男,江苏江都人,助理工程师,从事汽轮机性能测试及技术监督工作。

Characteristics and Operation Issues of 1 000 MW Steam Turbines within Jiangsu Province

YAO Yong-ling, XU Bin

(Jiangsu Frontier Electric Technology Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: Two types of 1 000 MW ultra-supercritical steam turbines installed within Jiangsu Province are analyzed in this paper. The differences between the structural features and performance design parameters of these two types of steam turbines are introduced firstly, and then the root reasons leading to the deviation between the actual performance and initial design parameters are analyzed qualitatively. This paper can provide valuable reference for the type-selection of steam turbines as well as the operation and reform of power units in service.

Key words: ultra-supercritical; steam turbine; thermodynamic performance

反转 180 度

在一家建筑设计所里,有一位最受客户欢迎的设计师,他每年的业绩令同行大为羡慕。同行纷纷向他取经,这位设计师说:“我受欢迎并不是因为我比别人更有才华,客户喜欢我是为了另一个原因。我只是在和客户交流的时候,把设计图的正面朝着客户的方向摆放。而你们却往往在他们面前只顾炫耀自己的技巧,给客户所看的是倒裁葱的设计图,他们听着深奥的专业术语,越看越糊涂,只能望而却步了。”

某发电机组压缩空气母管压力频繁波动问题分析与改造

梁 梅

(江苏徐塘发电有限责任公司, 江苏 邳州 221300)

摘 要: 针对某发电机组压缩空气母管压力频繁波动、空压机频繁投切及仪用气压无法维持等问题, 结合现场运行曲线分析了产生问题的原因, 计算分析了管路改造的基本要求, 提出了加装缓冲储气罐的现场管路改造方案, 并利用改造后的运行曲线说明了改造方案的有效性。

关键词: 空压机; 干燥机; 加载; 卸载; 卸荷阀

中图分类号: TK228

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2013)03-0072-02

作为控制动力之一, 压缩空气具有非常重要的作用, 是气动仪表和控制设备的动力源。发电企业中, 仪用压缩空气压力和干燥度是保证系统安全稳定运行的必要指标 (GB/T13277-91 一般表示压缩空气质量等级)。发电企业采用 2 台或更多机组共用一套压缩空气系统的方式, 这就对压缩空气的品质提出了更高的要求。很多实际应用中, 当压缩空气系统投用后, 随着后期用气设备的增加, 必然需要更多的压缩空气。而在压缩空气的生产设备(空压机)和后处理设备(干燥机)的制气量和处理量仍能满足时, 往往存在流通管路无法保证压缩空气流通的问题。文中分析了产生上述问题的原因, 并提出了管路改造方案。

1 故障情况及分析

自 2008 年起, 某发电企业 6 号、7 号机组压缩空气系统频繁出现气压无法维持及空压机频繁加、卸载等故障。气压最低时仅能维持 0.55 MPa, 远远低于机组安全运行要求的 0.65 MPa。对系统各测点数据监测发现, 空气压缩机出口至空气干燥机进口之间的母管压力波动频繁(如图 1 所示)。母管压力曲线在 20 s 内完成一次波峰和波谷的切换。而此时气压却无法维持, 即空压机产生的压缩空气短时间内在空压机和干燥机之间的母管聚积, 导致压力暴增暴跌, 但干燥机出口却无法产生足够的压缩空气。为尽量维持输出压力, 只能开启干燥机的旁路系统, 让一部分压缩空气不经过干燥机直接输出。这样必然导致压缩空气后处理设备失效, 无法除去压缩空气中的水分。气动设备大部分同时存在电气元器件、引线, 一旦进入的压缩空气含有水分, 其危害极大。

空压机的加、卸载是根据母管压力自动切换的。以该公司为例: 1 台空压机持续加载, 但无法产生足够的压缩空气, 当母管压力低于 0.69 MPa 时, 另 1 台空压机自动加载。而 2 台空压机加载产生的压缩空气又

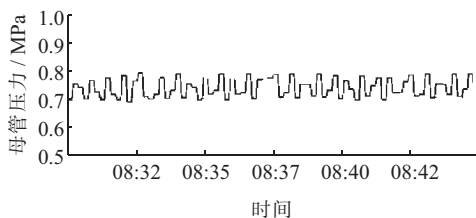


图 1 母管出口压力

超出了需要的制气量, 当母管压力高于 0.8 MPa 时第 2 台自动卸载 (单位时间内使用的压缩空气量不恒定且无法控制, 因此无法设计出恒定的制气量, 只能依靠空压机的加、卸载切换来实现)。第 2 台空压机运行的电流曲线如图 2 所示。

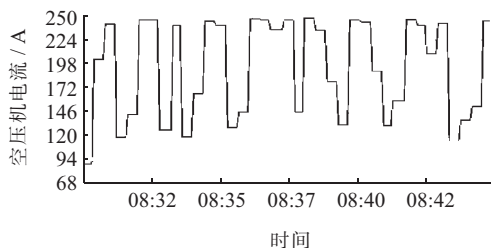


图 2 空压机电流

可见, 空压机在 20 s 内要完成一次加、卸载的切换。以该公司使用的阿特拉斯 GA132 空气压缩机为例, 其加载、卸载的切换是依靠卸荷阀控制的。工作原理^[1]如图 3、图 4 所示。

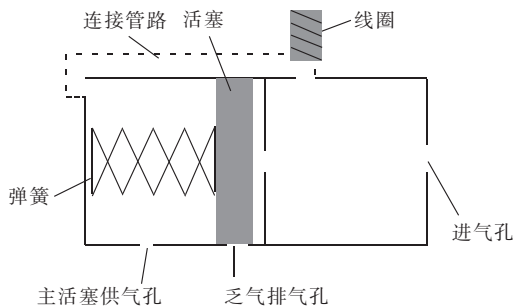
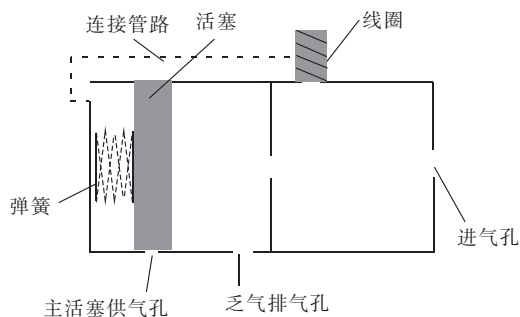


图 3 加载状态

图 3 为加载状态, 控制气流由进气孔进入, 产生压



力作用在活塞右侧。同时线圈带电吸合,气流经连接管路也产生压力作用在活塞左侧,在两端形成同样的压力。此时活塞在弹簧作用下被推进活塞室内部,控制气流经主活塞供气孔进入主活塞室形成压力,推动主活塞,空压机进入加载状态。图4为卸载状态,线圈失电闭合,控制气流产生压力只作用在活塞右侧,其压力大于弹簧推力,控制气流无法流向主活塞而经乏气排气孔排出,空压机进入卸载状态。活塞的工作环境温度 $75\sim 95\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在这样高温环境下,活塞每20 s完成控制加、卸载的2次动作,其使用寿命由正常情况的1年缩短为不足10天。

经测量,6号、7号机组压缩空气系统中空压机出口至干燥机进口母管容积仅为 0.1 m^3 ,而阿特拉斯GA132空气压缩机的制气量为 $22.8 \text{ m}^3/\text{min}$,2台空压机同时加载时,制气量即为 $43.6 \text{ m}^3/\text{min}$,该系统中运行的空气干燥机为森洁40组合式,额定处理量为 $40 \text{ m}^3/\text{min}$ 。系统设计之初,在机组用气量较小时可以满足要求。2008年起,随用气设备增加,该系统频繁出现上述故障。

该系统中压缩空气的压力为 0.75 MPa,即空气压缩比为 1:7.5。随系统运行设备老化,额定处理量为 40 m³/min 的空气干燥机以 35 m³/min 计算,当 2 台空压机加载时,母管内压力升降时间应为:

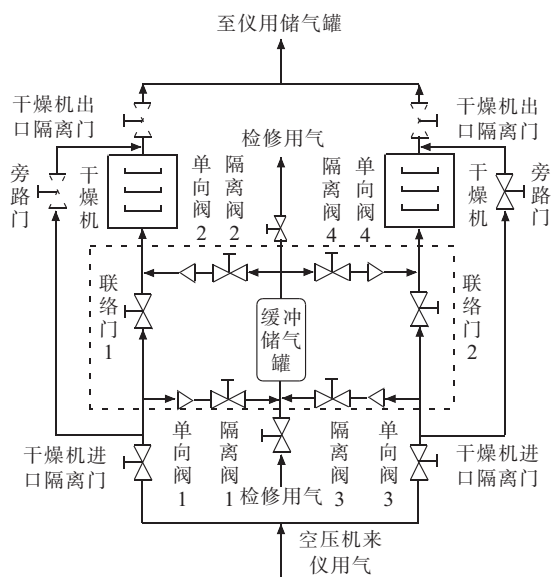
$$T = V \times \delta \times (V_1 - V_2) \quad (1)$$

干燥机进口母管容积, m^3 ; δ 为空气压缩比; V_1 为 2 台空压机加载制气量, m^3 ; V_2 为干燥机处理量, m^3 。计算可得母管压力升降时间 8.4 s, 也就是说, 第 2 台空压机会在 16.8 s 内完成一次加、卸载的切换。计算得出的结果与实际运行中的监测数据一致。

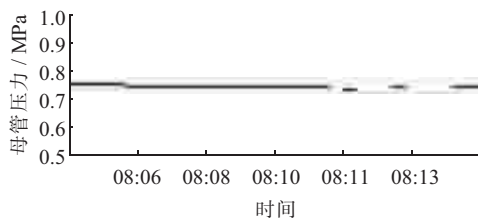
升降时间 T ，以保证空压机出口至干燥机进口母管压力不会在短时间内暴增暴跌，使产生的压缩空气尽可能平稳的流向并通过空气干燥机。

在实际运行中,2 台同时运行的空气压缩机 1 台持续加载,另 1 台约每次加载 5 min 即转入约 20 min 的卸载状态,产生的压缩空气可满足系统运行需要。因此,如果增大母管容积 V ,就可避免 2 台空压机同时加载时其中 1 台不会短时间内在加、卸载状态间切换,压力趋于平稳。此时产生的压缩空气会平稳地通过空气干燥机,输出的压缩空气气压也趋于平稳。

为此, 公司将闲置的检修用检修储气罐串联在空压机出口至干燥机进口母管上, 使母管容积增大了 6 m^3 。系统如图 5 所示(虚线区域内为新增加设备)。



隔离阀 1,2,3,4 用于当某台干燥机出现故障时进行隔离检修,单向阀 1,2,3,4 用于切换干燥机运行时避免压缩空气倒流,联络门 1,2 用于当缓冲储气罐出现故障时进行隔离检修。此时,母管压力升降时间为 8.5 min,完全满足系统运行需要,投用后母管压力曲线如图 6 所示。在这种工况下,空压机产生的压缩空气平稳流过干燥机,仪用气压稳定维持在 0.73 MPa。同时,空压机频繁加、卸载的现象完全消失,卸荷阀切换正常,活塞的磨损情况也恢复正常。



HP 中速磨煤机旋转分离器改造

李晓坚, 韦 丹

(江苏国信扬州发电有限责任公司, 江苏 扬州 225131)

摘 要:江苏国信扬州发电有限责任公司二期锅炉煤粉细度偏差较大, 锅炉结渣严重、飞灰含碳偏高等情况影响机组安全经济运行, 为此, 对4号锅炉磨煤机进行旋转分离器改造。介绍了旋转分离器的改造方案、结构特点和改造后进行的验证试验, 实际运行表明改造后可以有效解决锅炉存在的部分问题。

关键词:HP 中速磨; 旋转分离器; 节能; 环保

中图分类号:TK223.25

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)03-0074-04

江苏国信扬州发电有限责任公司二期工程(3号、4号锅炉)采用哈尔滨锅炉厂引进三井巴布科克能源公司技术生产的超临界变压运行直流锅炉。锅炉型号为HG1956/25.4-YM, 为单炉膛、一次再热、平衡通风、露天布置、固态排渣(采用碎渣机方案)、全钢结构、全悬吊结构Ⅱ型锅炉。锅炉以神府烟煤作为设计煤, 以山西晋北烟煤作为校核煤, 采用三井巴布科克公司LNASB燃烧器, 前后墙对冲燃烧布置。锅炉采用冷一次风机正压直吹式制粉系统, 每台锅炉配置6台上海重型机器厂有限公司制造的HP1003型中速磨煤机, 该磨煤机配用的分离器为静态离心式分离器, 采用了具有离心式和惯性分离技术, 煤粉细度只能依靠调节挡板的角度来解决, 煤粉调节范围小。此外, 由于煤的供应厂家较多、煤种变化较大, 因此不同煤种的燃烧效率不能得到充分发挥, 长期存在分离效率低、回粉量大、煤粉细度不易调节等问题。为解决以上问题, 优化出粉状况, 决定对二期磨煤机进行动态分离器改造。

1 分离器改造特点

该动态分离器有一个由传动机构带动的转子, 转子由多个叶片组成, 从磨煤机碾磨区上升的气粉混合物气流进入旋转的转子区, 在转子带动下作旋转运动, 其中的粗煤粉颗粒在离心力和叶片的撞击下被分离出来, 落入碾磨区重新碾磨, 其余的细粉随气流穿过叶片进入煤粉引出管^[1]。该类型旋转式分离器具有分离效率高、煤粉细度调节方便、出粉中粗颗粒少、煤粉细度不受通风量变化的特点。在磨煤机的不同出力下均可达到要求的细度, 有利于锅炉负荷的变化。

为保证改造效果, 4号锅炉磨煤机动态分离器改造分批进行, 在前一台改造效果良好的基础上, 再进行下一台改造。磨煤机4D、4F、4C、4A分离器改造分别于2010年7月14日、2011年3月6日、2011年

11月10日、2011年12月9日完成。改造后的分离器结构如图1所示。

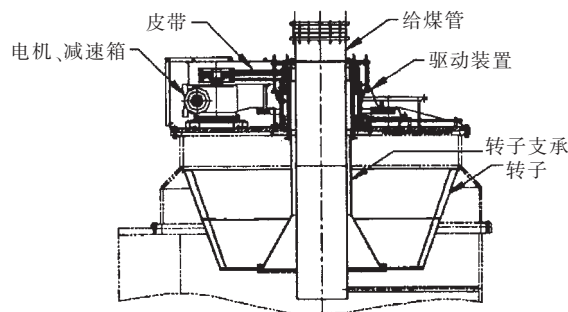


图1 改造后动态分离器结构

1.1 动静组合分离

在对旋转分离器的选型上, 选择了性能指标更好的动静组合旋转分离器。与没有静叶的分离器相比, 其导流能力更强。同时动静组合分离器的叶片采用可拆式的结构, 即在本体加装人孔门, 同时经过特殊的设计, 保证叶片随时可以拆装, 方便检查和检修, 保证在线维护。

1.2 齿轮传动

考虑传动的稳定性, 采用齿轮传动设计。虽然皮带更换方便, 但运行中易松弛, 维护量大且不易被及时发现, 需定期进行检查。齿轮传动较精确, 但运行抗震性略差, 对安装要求高, 更换较难。同时皮带传动的效率比齿轮传动要低, 不利于节能。

1.3 双轴承支撑

采用双轴承的设计, 增加了整体的稳定性, 确保了分离器本体转子在径向的抗震能力和高速旋转的稳定性。与国内外传统的分离器单轴承支撑传动相比, 增加了转子的高速旋转能力, 高速旋转时更稳定; 增加了转子的抗震能力, 对主轴承形成保护; 在主轴承磨损时, 避免振动。

1.4 双重密封

旋转分离器的密封结构采用油封密封, 辅以密封风密封, 增强了可靠性。同时, 密封风对机械密封起到

了保护的作用,可保护传动部分不超温。

2 改造后主要性能指标试验

2.1 磨煤机 4D 分离器试验

磨煤机 4D 分离器为首台改造,改造完成后由江苏方天电力技术有限公司进行了性能试验,主要有磨煤机煤量分别在 48 t/h、40 t/h、30 t/h 出力下的变动态分离器转速试验、变出力试验、分离器起停比较试验以及最大出力试验。试验主要性能指标如表 1 所示。

表 1 磨煤机 4D 改造前后比较(48 t/h 出力)

序号	项目	改造前	改造后
1	煤粉管出口粉量偏差 /%	28	8
2	煤粉均匀性指数 /%	1.1	1.25(100 r/min)
3	煤粉细度 /%	23.62	31.46~7.19 (0~120 r/min)
4	磨煤机差压 /Pa	4 070	3 720(80 r/min)
5	磨煤机单耗 / [(kW·h)·t ⁻¹]	9.1	8.79(80 r/min)

2.2 磨煤机 4F 分离器试验

磨煤机 4D 改造后分离器在低转速工况下存在煤粉均匀性指数偏低的现象,为此磨煤机 4F 改造时对叶型的角度进行了优化。改造后的性能试验主要有磨煤机煤量分别在 48 t/h、40 t/h、30 t/h 出力下的变动态分离器转速试验。试验主要性能指标如表 2 所示。

表 2 磨煤机 4F 改造前后比较出力(48 t/h 出力)

序号	项目	改造前	改造后
1	煤粉管出口粉量偏差 /%	30	9.38
2	煤粉均匀性指数 /%	1.1	1.31(100 r/min)
3	煤粉细度 /%	23.62	31.46~16.91 (60~100 r/min)
4	磨煤机差压 /Pa	1 890	1 630(80 r/min)
5	磨煤机单耗 / [(kW·h)·t ⁻¹]	9.1	8.58(80 r/min)

2.3 磨煤机 4C 分离器试验

磨煤机 4C、4A 分离器结构与 4F 一致,改造完成后的试验工况主要有重要试验内容为煤量 48 t/h、40 t/h、30 t/h 下分离器转速在 60 r/min、80 r/min 及 100 r/min 的特性试验。试验主要性能指标如表 3 所示。

表 3 磨煤机 4C 改造前后比较(48 t/h 出力)

序号	项目	改造前	改造后
1	煤粉管出口粉量偏差 /%	>30	18
2	煤粉均匀性指数 /%	1.1	1.21
3	煤粉细度 /%	23.43	14.33(80 r/min)
4	磨煤机差压 /Pa	5 000	4 230(80 r/min)

需要说明的是磨煤机 4C、4A 改造后由电厂进行煤粉取样及化验,主要只对各煤粉管煤粉样重及煤粉细度进行了采样、测试,并对试验数据进行了整理分

析。从磨煤机出口各煤粉管粉量分布看,随分离器转子转速的升高,粉量分配偏差变化没有明确的规律性。在不同转子转速时出口管煤粉量分布存在较大差异,与磨煤机 4F、4D 分离器改造后的试验数据对比有较大差异。初步估计原因在于前 2 台磨煤机改造试验是由江苏方天采用德国进口的煤粉等速 AKOMA 取样装置进行煤粉采样,利用自动缩分器缩分煤粉样,将其煤粉管断面分为 4 个,上面分布着 64 个取样点;而后 2 台磨煤机改造试验时的煤粉取样装置为平头枪,虽然也进行了等格法测量(只在一条线上,非面上),但相比等截面圆环取样装置,误差较大。加之平头枪中粗细取样罐在内外温差较大的情况下易产生水汽,造成粉量偏差大。另外,在每个采样点时间的把握上以及人员自身取样方面也存在误差,因此试验结果与磨煤机 4F 存在较大的差异。实际运行时,现场参考磨煤机 4F 改造后的数据进行分离器转速控制。

2.4 同一工况下分离器变转速试验

为进一步了解磨煤机分离器对锅炉 NO_x 排放的影响,在同一工况情况下进行了分离器变转速试验:机组负荷 530 MW,总煤量 229 t/h,磨煤机运行方式 ACDEF,燃尽风开度 20%,分离器转速为 80 r/min、60 r/min 时,NO_x 浓度分别为 897 mg/m³、933 mg/m³。

可见,在目前工况下降低磨煤机分离器转速 NO_x 浓度呈上升趋势,在分离器转速在 80 r/min 以下时磨煤机各煤粉管均匀性指数下降,部分燃烧器过氧燃烧造成锅炉 NO_x 排放上升。

根据目前燃用煤种,还进行了分离器转速在 90 r/min、100 r/min 工况下的最大出力试验及煤量稳定在 50 t/h 工况下分离器对应转速的试验,结果如表 4、表 5 所示。

表 4 磨煤机分离器不同转速下最大出力试验

序号	项目	磨煤机 A		磨煤机 C		磨煤机 F		磨煤机 D
1	分离器转速 / (r·min) ⁻¹	90	100	90	100	85	100	100
2	煤量 / (t·h) ⁻¹	48	45	50	50	48	47	50
3	电流 / A	110	113	104	112	106	107	100
4	一次风量 / (t·h) ⁻¹	85	86	94	91	85	86	108
5	进口风温 /℃	218	226	276	275	266	245	224
6	出口风温 /℃	58	58	61	60	55	58	66
7	进口风压 /kPa	8.21	8.28	7.95	7.94	8.31	8.3	7.81
8	出口风压 /kPa	4.51	4.14	3.89	3.52	3.49	3.56	3.43
9	磨碗差压 /kPa	2.58	2.89	2.23	2.51	2.6	2.95	2.7
10	煤种	伊泰	伊泰	伊泰	伊泰	褐煤平煤	褐煤平煤	褐煤蒙煤

磨煤机分离器高转速条件下最大出力试验表明,锅炉后墙燃烧器对应的磨煤机在分离器处于高转速情

表 5 磨煤机出力在 50 t/h 煤量稳定工况下试验

序号	项目	磨煤机 A	磨煤机 C	磨煤机 F	磨煤机 D
1	分离器转速/(r·min) ⁻¹	75	100	60	100
2	电流/A	113	112	104	100
3	一次风量/(t·h) ⁻¹	85	91	86	108
4	进口风温/℃	226	275	266	224
5	出口风温/℃	58	60	56	66
6	进口风压/kPa	8.35	7.94	8.28	7.81
7	出口风压/kPa	4.5	3.52	3.54	3.43
8	磨碗差压/kPa	2.67	2.51	2.32	2.7
9	煤种	伊泰	伊泰	褐煤平煤	褐煤平煤

况下出力是受限的,主要原因为分离器高转速时差压比较大,在分离器转速超过 85 r/min 时动态分离器差压大于原分离器差压,再加上后墙燃烧器煤粉管可伸缩孔开度比较小,造成后墙制粉系统输送出力受限。

2.5 3 号和 4 机锅炉同工况下磨煤机电耗对比

2012 年 2 月 24 日 15:00 至 15:30,对 3 号和 4 号锅炉同工况下磨煤机电耗进行了记录,3 号、4 号锅炉磨煤机煤量分别为 274.85 t/h、273.29 t/h,其电耗分别为 647.90 A、596.84 A。可见 4 号锅炉磨煤机动态分离器改造后,磨煤机电流同比 3 号锅炉同煤量约低 10%。

3 改造后的运行情况

3.1 各煤粉管粉量和风速均匀性提高

从 4 号锅炉磨煤机 4D、4F 动态分离器改造后的试验数据表明,磨煤机出口管风速分布比较均匀,大部分工况最大分布偏差小于 10%,避免了改造前磨煤机出口管风速分布偏差大的现象;磨煤机 4A、4C 动态分离器改造后电厂对其进行试验,结果表明煤粉细度均匀性上升,但各煤粉管粉量由于取样装置问题表现出偏差比较大。有关偏差较大的问题仍需专业单位重做试验确认。

3.2 煤粉细度可调范围增

在磨煤机 48 t/h 出力下,当磨煤机 4D 动态分离器转速从 0 到 120 r/min 变化时,平均煤粉细度 R90 的变化范围为 31.46%~7.19%;磨煤机 4F 动态分离器转速从 60 r/min 到 100 r/min 变化时,平均煤粉细度 R90 的变化范围为 31.64%~16.91%,煤粉细度可调范围较大,对煤种的适应性增强。

3.3 煤粉均匀性指数提高

在改造前,最好时的磨煤机煤粉均匀性指数在 1.0 左右,改造后转速在 80 r/min 以上时都能达到 1.1。磨煤机 4F、4C、4A 在 4D 改造的基础上进行了优化设计,提高了分离器在低转速下的煤粉均匀性指数。从实验结果看,分离器叶型优化后,煤粉均匀性指数及煤粉

细度有了进一步改善;从磨煤机 4F 改造后试验数据分析,分离器转速在 70~100 r/min 时,平均煤粉均匀性指数均在 1.0 以上(磨煤机 4D 分离器转速在 80 r/min 以上)。与磨煤机 4D 分离器改造后试验结果类似,动态分离器在高转速时煤粉均匀性指数较高,达到 1.31。煤粉均匀性指数基本上呈现出随动态分离器转速的增加而提高的趋势,其中转速越高,趋势越明显(磨煤机 4F 在煤量为 40 t/h、分离器转速达到 80 r/min 时,煤粉均匀性指数达到 1.25)。

3.4 磨煤机最大出力能满足要求

改造后对磨煤机 4D 进行了最大出力试验(煤种为蒙西煤,煤种全水分为 19.9%,哈氏可磨性系数为 64),试验期间保持分离器转子转速 80 r/min。试验稳定最大给煤量为 56.75 t/h,进口通风量 98.11 t/h,在最大出力状况下仍基本能保证磨煤机通风量的需要。相应条件下磨煤机电流为 117.19 A,磨煤机差压为 4.13 kPa。磨煤机出力限制在 56 t/h,虽然仍有提高的潜能,但考虑到一、二次风流量裕量较小,出于安全考虑未进一步增加磨煤机出力。对磨煤机 4F、4C、4A 正常燃用煤种的情况下进行了最大出力试验,试验时以调整磨煤机出力至磨煤机出口煤粉温度不低于 58℃,安全运行一次风量为前提。在试验煤种下,磨煤机 4C、4D 都能在分离器转速 100 r/min 时维持煤量 50 t/h 出力下稳定运行;磨煤机 4A 在 100 r/min 时煤量只能在 45 t/h 出力下稳定运行;磨煤机 4F 在煤量为 48 t/h 时,一次风量在 86 t/h 左右,有点偏低(在中试所试验报告中燃用平混煤时,分离器转速在 100 r/min 时能满足此出力稳定运行),后墙燃烧器对应的磨煤机出力受限主要原因是各可调缩孔开度太小。

3.5 改造前后 NO_x 浓度同负荷下变化幅度有限

去除燃烬风开度对 NO_x 的影响(从 30% 关至 10%,NO_x 上升约 40 mg/m³),在 3 台磨煤机分离器运行工况下,NO_x 下降约 41 mg/m³(煤种因素未考虑)。磨煤机分离器停运及运行试验表明 NO_x 有不同变化,在 4 号锅炉 500 MW 负荷下,将磨煤机 4F、4D 动态分离器停运,试验数据显示 NO_x 浓度上升约 40 mg/m³。高转速下 NO_x 浓度有所下降,也说明了在高转速下,煤粉的均匀性得到了进一步提高;但全年平均 NO_x 浓度较 2010 年未有下降。

3.6 燃烧器区域结渣情况有所改善

3 号锅炉 2011 年 5 至 12 月共人工放渣 69 斗,4 号锅炉共人工放渣 42 斗。4 号锅炉人工放渣次数比 3 号锅炉少,在燃用相同煤种的情况下,由于 4 号锅炉磨煤机 4F、4D 进行了动态分离器改造,磨煤机出口煤粉管煤量偏差得到改善,避免了部分燃烧器出现还原性气氛,从而造成灰熔点下降引起的较大渣块的形成。

4 改造时需要注意的问题

实际改造过程中,发生过某分离器齿轮箱有煤粉进入现象,导致该台磨分离器停用,经过清理,换油,并加强监视未再发生类似事件。但是为了确保分离器密封系统可靠稳定运行,机组大修时,将该台分离器返厂进行优化加工处理,将密封升级为更为可靠的双唇密封,并在其他磨煤机进行旋转分离器改造时也采用双唇密封。

5 结束语

国信扬电公司4号锅炉磨煤机动态分离器改造试验结果表明,分离器各项主要性能指标满足锅炉安全经济运行要求,煤粉细度的可调范围变大,提高了磨煤机对煤种的适应性,方便了运行中的调整;燃烧器区域

结渣程度有所减轻,人工放渣次数同比3号锅炉有所下降。磨煤机动态分离器改造的完成为下一步燃烧器改造、脱硝系统改造提供了制粉系统较佳的运行参数,建议3号炉也进行分离器改造,为以后的燃烧器改造打下基础。同时建议对4号炉以优化动态分离器运行方式为中心的制粉系统优化试验,挖掘动态分离器的潜力。

参考文献:

- [1] 闫顺林,杨玉环.旋转煤粉分离器分离性能研究[J].电力科学与工程,2011,27(8):52-56.

作者简介:

李晓坚(1982),男,江苏连云港人,工程师,从事火电厂节能管理工作;

韦丹(1982),女,江苏扬州人,经济师,从事火电厂集控运行工作。

Reform of Rotary Separator of HP Medium-speed Coal Mill

LI Xiao-jian, WEI Dan

(Jiangsu Guoxin Yangzhou Power Generation Co. Ltd., Yangzhou 225131, China)

Abstract: The large scatter of the fineness of pulverized coal, serious boiler slagging phenomenon as well as high carbon content in fly ash have seriously influenced the safety and economy of the coal-fired power plants of Guoxin Yangzhou Power Generation Co. Ltd. Reform of the rotary separator of No. 4 coal mill is thus performed. The reform scheme, structural features and the post-reform experimental validation are also introduced in this paper. The practical operation results show that several of the above mentioned questions can be solved effectively.

Key words: HP medium-speed coal mill; rotary separator; energy saving; environmental protection

(上接第73页)

3 结束语

针对仪用气压无法稳定维持及空压机频繁加、卸载的故障,分析得知,母管容积过小、造成空压机频繁加、卸载是其直接原因。在空压机母管增加缓冲储气罐后,使压缩空气系统结构更加合理,解决了频繁加、卸载的故障。

参考文献:

- [1] 李申.压缩空气净化原理及设备[M].浙江:浙江大学出版社,2005.

作者简介:

梁梅(1969),女,江苏邳州人,工程师,从事火力发电厂企业管理工作。

Analysis on Frequent Pressure Fluctuation Issues Occurred in Main Pipes Transporting Compressed Air in One Thermal Power Plant

LIANG Mei

(Jiangsu Xutang Power Generation Co. Ltd., Pizhou 221300, China)

Abstract: Issues associated with the frequent pressure fluctuation occurred in main pipes transporting compressed air, frequent switching of air compressor as well as unstable pressure of the air supplied for instrument are encountered in one thermal power plant. Through referring to the field operation curves, root reasons for these mentioned issues are analyzed in this paper. Based on related calculation results, basic requirements for reforming the pipeline system are analyzed, and reform scheme suggesting the installation of buffer air storage tanks is proposed. Effectiveness of the proposed scheme is illustrated with the operation curves obtained after reform.

Key words: air compressor; air dryer; load; unload; unloading valve

某 135 MW 火电机组启动中工质水质问题及解决方法

周荣勤

(江苏协联热电集团有限公司, 江苏 宜兴 214203)

摘 要:针对某 135 MW 火电机组启动过程中凝结水、给水、除氧水水质不易达标问题,从防止锅炉和相关管道腐蚀考虑,分析介绍了水质不达标的危害以及产生腐蚀的原理,总结了该机组产生这一问题的原因和现场应对措施,并以现场数据比较说明了应对措施的有效性。

关键词:火电厂锅炉;腐蚀;水质监督

中图分类号:TK223.5

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)03-0078-03

在锅炉水的循环利用及处理过程中,锅炉设备和管线容易发生腐蚀问题,腐蚀严重时大量的凝结水无法回收,造成水资源和热量的浪费,尤其是锅炉使用寿命会大大降低。目前锅炉的给水预处理环节已经可以将盐类物质处理在很低的水平,电导率一般都很小,结垢问题不会发生在给水管线和设备上。但进入锅炉后,由于锅炉中水的蒸发浓缩,会产生硅及腐蚀产物的沉积。给水过程中带入如氧气和二氧化碳等溶解气体和回水中如铁和铜等腐蚀产物,会导致给水系统的腐蚀,进而影响锅炉设备的使用寿命。炉水结垢也会造成锅炉的腐蚀。锅炉水中含有铜和铁时,会在金属受热面上形成铜垢或铁垢,容易引起金属的局部腐蚀,造成金属空孔或爆裂,导致设备泄漏,所以危害性很大。因此,必须控制锅炉水腐蚀对预防热力系统腐蚀现象。2009 年 5 月 20 日某公司某 135 MW 火电机组在启动过程中,从锅炉点火直至冲转、并网过程中,水质监督发现凝结水、给水、除氧水水质黄,持续时间长,且含铁量较高,凝结水在冲转并网后 2 h 才能达标回收,能耗损失较大。文中分析介绍了水质不达标的危害以及产生腐蚀的原理,并提出了应对措施,以期对解决以上问题有所帮助。

1 腐蚀机理

热力系统的腐蚀分有机物腐蚀、二氧化碳腐蚀和氧腐蚀 3 种情况,下面从腐蚀机理分别进行阐述。

1.1 有机物腐蚀

引起锅炉有机酸腐蚀的主要原因有:(1) 原水带入系统的有机物(腐植酸)与其他物质发生作用,使其改变形态后随给水进入炉内。(2) 凝汽器泄漏有机物随给水直接进入锅炉。(3) 常用的苯乙稀系离子交换树脂和水中有机物发生反应,形成的树脂粉末进入锅炉内。

原水有机物以悬浮态、胶态、溶解态 3 种形态存

在,在补给水处理系统能够去除有机物的各个环节的运行操作主要包括:(1) 保证澄清池运行稳定;(2) 加次氯酸钠杀菌;(3) 加强活性炭过滤器的监督和反洗;(4) 缩短除盐系列的反洗周期;(5) 缩短混床的再生周期;(6) 除盐系统启用制水前的正洗操作。

防止凝汽器泄漏有机物,平时主要加强对凝结水的监测,加强凝汽器清洗以及检修状态的查漏工作,尽量减少运行中凝汽器泄漏。

离子交换树脂和水中有机物发生反应不可避免,加强树脂的再生清洗,及时洗出树脂粉末,同时及时添加新树脂,可以最大限度防止苯乙稀系离子交换树脂粉末进入锅炉内。

通过以上措施的实施,虽然达到了补给水处理系统去除有机物的最大限度,澄清池、活性炭过滤器对原水中的胶态、悬浮态有机物有一定的去除、截留作用,但最多达到 80% 去除效果,而阴床、混床对有机物的吸附属于树脂“污染”,是不可逆反应;当原水中有有机物含量过高时,仍会有大量的有机物“穿过”补给水处理系统。当含有有机物的补给水进入锅炉发生高温分解成为低分子有机酸后,便体现在炉水 pH 值不稳定,酚酞碱度下降甚至消失。原水有机物含量并不恒定,是随着水位、水温等因素变化而变化的。有机物进入热力系统遇高温产生低分子有机酸后,存在一个累积问题,需要加以关注。

1.2 溶解二氧化碳的腐蚀

当水中溶有游离 CO_2 时,腐蚀情况存在以下 2 种:

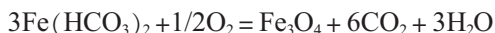
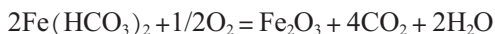
(1) 无氧情况。在水中没有溶解氧,只有溶解的 CO_2 时,碳钢的腐蚀为氢的去极化作用。其腐蚀反应式如下:



随着腐蚀的进行,溶解的 CO_2 不断消耗,如果没有新的 CO_2 补充,腐蚀可以停止。

(2) 有氧情况。在水中溶有 CO_2 又溶有 O_2 时,碳

钢腐蚀的历程如下:



总反应为:



腐蚀反应的结果,一方面生成溶解度很小的氧化铁,其保护性不太好;同时又释放出 CO_2 ,它再度溶解于水中,溶解的 CO_2 进一步发生腐蚀,一直到溶解氧完全被消耗完为止。 CO_2 实际上只起了催化剂的作用,本身并不消耗。腐蚀的实质是 CO_2 使水的酸度增加,水中的氢离子夺取铁中的电子,变为氢气而逸出,水变为碳钢的腐蚀剂。

1.3 氧腐蚀

氧腐蚀是给水系统最常见的、较严重的腐蚀。由于进除氧器前凝结水一般都与大气进行了充分的接触,水中的溶解氧基本上是饱和状态,因此凝结水流过的管路及设备均有发生氧腐蚀的可能。

原理。铁受水中溶解氧的腐蚀是一种电化学腐蚀,铁和氧形成两个电极,组成腐蚀电池,其阳极过程为:



阴极过程为:



因水中含有溶解氧,所以 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 将进一步被氧化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 。随着条件的不同(温度、pH 值、溶解氧含量),也可得到更为复杂的腐蚀产物,例如铁的锈瘤即为 $m\text{Fe}(\text{OH})_2 \cdot n\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot p\text{H}_2\text{O}$ 或 $m\text{FeO} \cdot n\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot p\text{H}_2\text{O}$ 。氧腐蚀的产物是铁氧化物,会恶化锅炉的水质。

正常运行时,通过凝泵出口母管及除氧器下水管加氨、二甲基酮胺来提高 pH 值和进一步除氧(主要通过除氧器热力除氧),达到防腐的目的。

2 腐蚀途径

锅炉的腐蚀途径^[1]主要有:(1) 安装或大修后的系统管路冲洗、化学清洗不彻底;(2) 锅炉启动前补充水水质不合格,溶氧等超标;(3) 运行过程中由于泄漏等原因造成。

在锅炉启动初期,稳压水箱和凝汽器上水至正常水位后,启动凝结水泵向除氧器上水,然后通过给泵向锅炉上水。在此过程中稳压水箱和凝汽器上水至正常水位后,再联系化验水质,这样就有一个时间差,给腐蚀提供了时间及空间。在启动初期锅炉上水有时通过定排直接从除盐水母管上水,这部分水质没经过除氧及加氨处理,即使对炉水即时化验加药,也会对锅炉造成一定的损害。

补给水在含有有机物时,在升温过程中加热分解,导致炉水 pH 值不稳定,要不断进行协调磷酸盐处理,增加了炉水的含盐量,表现在启动初期炉水电导率是正常运行的 1~2 倍,这样就需增加定排,造成一定的浪费。

3 应对措施及效果

3.1 应对措施

为防止锅炉水腐蚀,要做好机组启动前准备工作,加强开机升炉时运行中的水质监督,并做好有效的化学药品调节工作。开机升炉阶段化学监督工作符合要求,可以避免大量杂质离子和腐蚀性介质进入锅炉,一方面能够减轻锅炉的结垢和腐蚀程度,另一方面可以大大降低锅炉的排污率,为锅炉的安全经济运行提供保障。

(1) 机组启动前做好各管路的冲洗工作。机组启动前必须用加有氨和联氨、或者氨和二甲基酮胺的除盐水冲洗凝结水、给水管路以及锅炉本体等,待全铁指标合格后再点火升炉。

(2) 在锅炉补水前,做好水质监测工作。稳压水箱和凝汽器上水过程中,及时联系化验水质;启动凝结水泵向除氧器上水,这时可通过凝泵出口母管加氨提高 pH 值。

(3) 启动过程中,做好水质监督。因为给泵启动在点火过程中稍晚,给水控制可以除氧水为标准;除氧水现场取样,即时监督,及时控制水质指标。做好“两器”溶氧的监督工作。锅炉除氧器、汽轮机凝汽器水质溶解氧含量高会引起锅炉本体的电化学腐蚀,为了消除这一影响,机炉启动时必须注意“两器”溶氧的合格率指标,使之尽快恢复正常。做好凝结水回收前的质量验收工作,凝结水回收前必须经过化学检验人员的分析检验,按照标准待各项指标合格后再进行回收。当运行中发生供水、运行的经济性等其他矛盾时,应尽量避免凝结水将大量的铁离子带入锅炉系统。凝泵启动时即采取现场取样,加氨进一步控制 pH 值,以保证水质,达到防腐作用。

在锅炉启动过程中,水质的取样和实际测样有时间差(取样口至炉内化验处),如何消除因时间差带来的取样数据时效误差,在启动过程中,采取现场取样,以现场取样水质化验为标准,以减少凝结水及除氧水的排放。

(4) 运行过程中,做好在线化学药品调解水质工作。在补给水管道增加加氨和加二甲基酮胺系统,提高其 pH 值(8.0~8.8),降低二氧化碳的腐蚀和氧腐蚀,降低给水系统铁离子含量,同时控制氨含量,防止氨过量形成铜腐蚀。

3.2 实施效果

针对以上措施,对运行人员以及化学监督检验人员进行培训,自2010年10月份以来,该公司某135 MW火电机组从点火直至冲转、并网过程中,水质监督发现凝结水、给水、除氧水水质均有好转,且含铁量有明显下降,凝结水回收时间也有明显缩短。具体数据对比如表1所示。

表1 某135 MW火电机组启动过程中的水质监测数据对比 $\mu\text{g/L}$

名称	铜			铁		
	标准	处理前	处理后	标准	处理前	处理后
凝结水		10	3		30	11
给水	≤ 5	12	2	≤ 20	33	13
炉水		12	5		56	18
饱和蒸汽	≤ 3	3	2	≤ 20	18	11
过热蒸汽	≤ 3	3	2	≤ 20	19	9

注:处理前为2009年5月20日的监测数据;处理后为2012年3月22日的监测数据。

4 结束语

由于锅炉处于非常特殊的运行环境,温度、压力以及腐蚀性介质使其具备遭受多种腐蚀的条件,只有充分认识这些腐蚀的起因,才能采取有效的预防措施,使炉管免遭腐蚀破坏。炉管腐蚀往往是一综合性问题,多种腐蚀可能同时出现,在采取预防措施时,要全面系统地分析腐蚀起因,进行综合防治。此外,炉管的防腐还关系锅炉效率以及环境污染等多方面因素,必须了解供水流向、生产工艺,并分析各个系统的材质,才能对防腐工作提供预防以及处理的方向。

参考文献:

[1] 唐梦奇.锅炉的腐蚀与结垢[J].清洗世界,1986(2):15-22.

作者简介:

周荣勤(1972),男,江苏宜兴人,工程师,从事电厂环保技术管理工作。

Solutions to Water Quality Issues Encountered in Start-up Processes of One 135 MW Thermal Power Plant

ZHOU Rong-qin

(Jiangsu Xielian Thermal Power Generation Co. Ltd., Yixing 214203, China)

Abstract: It is encountered in one 135 MW thermal power plant that, during the start-up processes, the desired quality standard for condensed water, feed water and deoxygenated water can hardly be met satisfactorily. In order to prevent the corrosion of boiler and related pipelines, this work firstly introduces and analyzes the corrosion mechanism and the hazards resulting from substandard water quality. The causes of above mentioned problems are then summarized, and solution measures that can be performed in field are also proposed. Finally, the effectiveness of these measures is illustrated through comparing the statistical data.

Key words: power plant boiler; corrosion; water quality supervision

下 期 要 目

- 电网监控数据辅助分析系统的研发
- 基于综合自动化系统的断路器遥控操作分析
- 650 MW 燃煤机组引风机和增压风机合并节能分析
- 变电站事故跳闸信号的分析
- 静止变频器系统变压器短路阻抗的算法研究
- 物联网在智能电网中的应用
- 风电机组一次调频特性研究
- 基于放松弧垂法的架空地线带电更换方案
- 2012 年江苏省电厂电气一次设备红外检测及分析
- 盐城地区风电及光电特性研究
- GIS 电磁式电压互感器的励磁特性实验
- 基于锂电池组的变电站直流系统接线方式及其运行
- 两起消弧线圈系统故障案例分析

PQDIF 和 IEC 61850 标准在电能质量数据传输中的应用

王巍,金耘岭,李忠

(南京灿能电气自动化有限公司,江苏 南京 211100)

摘要:数据传输是电能质量系统的一个重要组成部分。总结了目前电能质量监测系统常用的几种网络架构,从特点、结构、应用缺陷几个方面阐述了 PQDIF 和 IEC 61850 标准,并指出了这 2 种标准在数据定义、传输数据量、传输方式、功能实现和开发难易上各自的优势和缺点。

关键词:电能质量;数据传输;PQDIF;IEC 61850

中图分类号:TM769

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)03-0081-04

目前国内多个省市已经陆续建立了省网或地市区域的电能质量监测系统。一个典型的电能质量监测系统由电能质量监测终端、传输网络、监测中心系统组成。电能质量监测终端负责采集、计算和统计电网上的电能质量数据;通过传输网络传输至监测中心;监测中心系统负责存储、分析、展示电能质量数据。目前大部分电能质量监测终端能够支持以太网的数据传输方式,因此终端和监测中心系统的传输网络均采用以太网。终端和监测中心之间数据传输协议有私有协议、PQDIF、IEC 61850。私有协议不具有通用性和开放性,因此不对其进行讨论。PQDIF 为 IEEE1159.3 标准规定的电能质量数据传输协议,是目前主流的数据传输协议。IEC 61850 是智能变电站的整体标准,已经有部分省级电能质量监测网采用 IEC 61850 作为电能质量数据的传输协议。文中将通过分析现行的电能质量监测系统网络架构,对 PQDIF、IEC 61850 的数据传输协议进行详细阐述和深入讨论。

1 电能质量监测系统网络架构

目前全国大部分省均建立了省级的电能质量监测系统,部分地市也建立了市级的电能质量监测系统。在中国电力科学研究院的牵头下,国家级电能质量监测系统也在调研和筹备中。目前监测网系统的网络架构^[1]主要有三层式网络、二层式网络和无线 3G 网络 3 种模式。

1.1 三层式网络

三层式网络主要为终端、子站系统、监测主站系统三层网络分布,如图 1 所示。终端采集数据后通过通信网络传输给子站系统;子站系统负责存储数据并将数据通过通信网络转发给主站系统;主站系统存储重点数据并完成高级分析功能。子站系统和主站系统均可发布数据,子站系统用户只能访问本系统内数据,主站系统用户可以访问所有下属子站系统内数

据。该网络主要应用于已有监测系统接入上级监测系统,如市级监测系统接入省级监测系统;省级监测系统接入国网监测系统;用户监测系统接入地市监测系统。

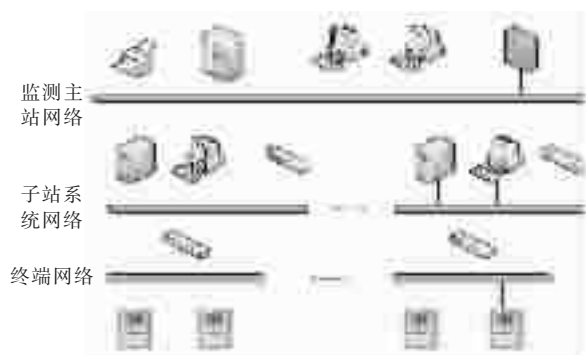


图 1 三层式网络结构

1.2 二层式网络

二层式网络主要为终端、监测主站系统二层网络分布,如图 2 所示。终端采集数据后通过通信网络传输给主站系统,主站系统负责数据存储、显示、发布、高级分析等功能。二层式网络主要应用于监测系统直接组网的方式。

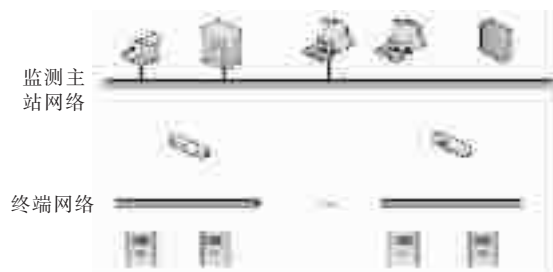


图 2 二层式网络结构

1.3 无线 3G 网络

无线 3G 网络主要由终端、3G 网络、监测主站系统组成,其网络结构与二层式网络类似,如图 3 所示。3G 网络主要应用了 3G、虚拟专用网(VPN)等先进技术,通过公用的 Internet 进行数据传输。终端采集数据后通过 3G 路由器,经由 VPN 发送至主站系统,主站系统负责数据存储、显示、发布、高级分析等功能。

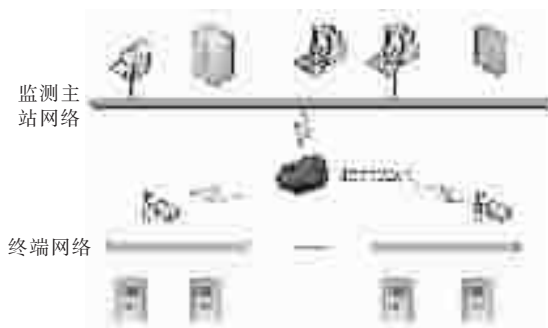


图3 无线3G网络结构

无线3G网络主要应用于偏远地区无法架设有线通讯网络或架设通信网络成本较高,大量用户侧电能质量监测系统的组建。

2 PQDIF 传输标准

电能质量数据交换格式 PQDIF 由 IEEE 标准委员会制定的 1159.3 标准定义。它完全独立于监测设备的软、硬件,不仅可以较好解决多数据源数据的兼容问题,还可以实现电能质量物理属性的多角度观察功能,满足了电能质量监测技术的发展需要。从标准的定义来看,PQDIF 标准以文件的形式存在比较多。目前多数的 PQDIF 标准应用也是以文件作为应用基础。

2.1 PQDIF 文件的特点

2.1.1 通用性

IEEE Std.1159.3 标准中为大部分的电能质量所涉及的有关测量数据提供了通用的表达方式,因此无论是对于测量数据的保存和读取均是在统一格式下进行的,用户的保存读取过程不用再进行烦琐的格式转换,减少了传输时间,提高了中间效率。

2.1.2 可扩展性

PQDIF 支持通过定义新的标识(GUID—全球唯一标识)来扩展记录,这样对于一些特殊的信息也可通过此类方式来进行保存。

2.1.3 可压缩性

PQDIF 文件采用开放的 ZLIB 压缩方法,使得文件更加紧凑易于保存。同时 PQDIF 文件定义了一些数据的简写规则,如时间序列共享、等差数列简写等,可以大大缩减文件大小。

2.2 PQDIF 文件的结构

PQDIF 文件由物理结构和逻辑结构组成^[2]。物理结构用于描述 PQDIF 文件二进制流的存储方式,该方式与存储的内容无关。逻辑结构用于标定 PQDIF 文件中各标签的层次关系,并根据该层次关系决定物理结构的存储顺序。

2.2.1 物理结构

PQDIF 格式文件是由一系列记录所组成的记录集合(如图4所示)。这些记录按照链表的形式排列,每个

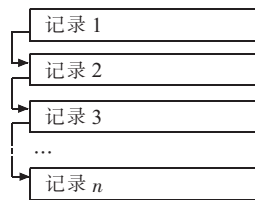


图4 PQDIF 的文件物理结构

记录中都有记录长度,以及下个记录的位置。

PQDIF 文件中每个记录均具有相同的基本结构,包含一个记录头和记录体。记录头由记录头结构组成。记录体由一些列的集合、标量和向量数据组成。这些数据的逻辑归属关系由逻辑结构决定。

2.2.2 逻辑结构

PQDIF 文件的逻辑结构由很多个记录的逻辑分层组成。即由一个简单的容器记录紧接着一个或多个数据源、监控器设置、观察数据组成。实际监测中每一条线路或每一个设备(单元式设备)均可以定义为一个容器,设备的设置和采样数据都是逻辑层的实例。此外,还可以通过定义新的标识来扩展记录。

在每个记录的头部用绝对链接来定义记录的次序,通过紧接着的记录表,定义了一个线性的记录表,该线性表具有一定的逻辑层次,如图5所示。

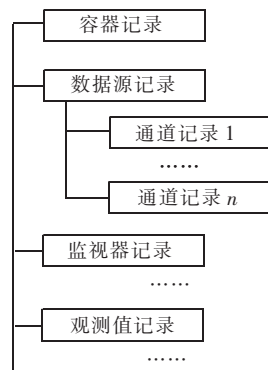


图5 PQDIF 文件逻辑结构

PQDIF 的逻辑结构实际为树形结构,标准内定义了各个标签的父、叶节点之间的逻辑关系。PQDIF 文件通过数据源记录中的4种标签(如表1所示)定义组合来确定每个逻辑通道对应的电能质量指标类型。

如某通道定义的4种标签值分别为:ID_QT_VALUELOG、ID_QM_VOLTAGE、ID_QC_RMS 和 ID_PHASE_AN,即可确定此通道首要序列定义表示的测量数据类型为稳态A相电压有效值。

2.3 PQDIF 的应用缺陷

在实际应用中 PQDIF 文件暴露出部分应用的缺陷。由于 IEEE1159.3 标准制定较早(2002年),因此缺少一些指标的定义,如谐波角度、谐波无功功率、谐波视在功率等。如要传输这部分的数据就要增加自定义的标签,降低了文件的通用性。另一方面部分指标的标

表 1 标准中用于确定测量数据类型定义的 4 种标签

标签名称	标签值举例
高级类型标签	波形值(ID_QT_WAVEFORM)
	趋势值(ID_QT_PHASOR)
	统计值(ID_QT_VALUELOG)
物理量标签	电压(ID_QM_VOLTAGE)
	电流(ID_QM_CURRENT)
	功率(ID_QM_POWER)
特征标签	有效值(ID_QC_RMS)
	频谱值(ID_QC_SPECTRA)
	正序值(ID_QC_SPOS)
相位标签	A 相(ID_PHASE_AN)
	B 相(ID_PHASE_BN)
	AB 相间(ID_PHASE_AB)

签定义存在多种定义,如谐波可用 ID_QC_SPECTRA(谐波频谱)定义,也可用 ID_QC_SPECTRA_HGROUP(谐波组)定义,同时还需要 Observation 内采用 tagChannelFrequency 标签或 tagChannelGroupID 标签定义谐波次数,这无形中增加了解析的复杂度。由于 PQDIF 文件数据采用序列化结构,因此在传输实时数据时文件过于臃肿,实时传输效率较低。

3 IEC 61850 标准

IEC 61850 标准^[3-11]是国际电工委员会第 57 技术委员会(IEC TC57)制定的关于变电站自动化系统和通信网络的国际标准。其最初目的是取消各种协议转换,使变电站内不同厂家的 IED 之间通过一种标准协议实现互操作和信息共享。随着 IEC 61850 公用电力事业自动化通信网络和系统(第二版)的陆续发布,已经将其应用领域扩展到变电站之外,成为电力系统自动化领域唯一的无缝通信国际标准。IEC 61850 是一个庞大的变电站自动化标准,电能质量仅仅是其中的一个组成部分。电能质量相关的模型建立、通信协议、抽象通信接口完全依照 IEC 61850 相关章节的定义。

3.1 IEC 61850 的特点

IEC 61850 标准规划了整个变电站内的所有智能电子设备模型和通信网络模型、通信协议。

3.1.1 良好的互操作性

IEC 61850 标准通过规定一系列的抽象通信服务接口(ACSI)约定了数据传输映射。不同厂家的 IED 设备之间、IED 和监控系统之间可完全实现互操作。

3.1.2 良好的稳定性

IEC 61850 标准实际仅定义了智能变电站的规划,通过采用现行成熟的各种标准对本标准进行定义和解释。如采用 UCA 2.0 标准进行变电站内各种数据对象和公用数据类的建模,采用工业制造报文规范

(MMS)进行通信传输,采用可扩展标记语言(XML)进行模型描述等,因此其具有良好的稳定性。

3.1.3 良好的扩展性

IEC 61850 标准可以通过逻辑节点类、公共数据类的定义来适应各行业的需求。如 2011 年发布的第二版扩展了电能质量各指标的逻辑节点定义,使得电能质量指标传输摆脱了最初采用完全可依照标准实现。后期如果出现新的电能质量指标类型,完全可以通过标委会增加新的逻辑节点来实现。

3.1.4 功能自由分布

IEC 61850 标准中对变电站内各种功能模型均进行了定义,因此完全可以实现不同的 IED 设备完成不同的功能模型或一个 IED 设备完成整个变电站内所有功能模型。在硬件足够强大的未来完全可以实现一台电能质量监测终端完成整个变电站的数据监测。

3.2 IEC 61850 的模型描述

IEC 61850 采用变电站配置语言(SCL)语言进行整个变电站模型的描述。SCL 语言是基于 XML 技术的一种语言规范,通过 SCL 内定义的各逻辑设备、逻辑节点、数据对象等描述,可以完整解析出电能质量终端能够分析计算的电能质量数据和电能质量终端所具有的各项功能。

3.3 IEC 61850 的传输协议

IEC 61850 协议采用 MMS 协议进行数据传输,MMS 协议采用的是基于以太网的 TCP/IP 协议,因此其传输链路仅能采用以太网。

3.4 IEC 61850 的应用缺陷

IEC 61850 标准为变电站标准,其应用的网络模型为变电站内的通信网络,对于实时性要求很高。在实际应用中,电能质量归属于各地计量或者生计部门,因此通信网络一般采用四区网络(MIS 网络),该网络由于混杂了各种办公、开票、自动化等信息,数据传输的实时性不强,通信链接经常会中断。对实时数据的传输和操作造成很大的影响。

4 2 种标准比较

4.1 数据定义

PQDIF 文件采用数据源记录的标签定义组合来表明电能质量指标定义。在观测值记录中仅能保存电能质量指标的值。定义组合比较繁琐,并且有些存在二义性。传输的数据单一,无法传输更多复杂的数据。

IEC 61850 采用面向对象的建模方法对电能质量指标进行建模,模型中包含电能质量指标值、品质、上下限值、值类型等信息。通过数据集的定义,可以自由裁剪传输的数据类型。所有电能质量指标的定义都由一个标准中明确规定的对象名称来表示,简洁明了。

4.2 数据传输量

PQDIF 文件采用压缩和数据裁减的技术,其文件大小可以最小达到原始数据量的 1/2,最大可以达到原始数据量的 1/100,保证较少的链路数据传输量。

IEC 61850 采用 MMS 协议进行数据传输,MMS 协议在电能质量数据传输时对原始数据又进行了一次 ASN.1 编码,造成链路数据传输量的增加。

经过实际测算,对于传输相同电能质量指标一天的统计数据,PQDIF 文件的数据传输量为 1.5 MB 左右,IEC 61850 标准的数据传输量为 21 MB 左右。

4.3 数据传输方式

PQDIF 为文件协议,没有规定数据传输协议。可以采用二进制流或者文件传输的方式进行传输,如 FTP, TCP/IP, MMS 等,并且可以在各种传输介质上传输,如以太网、GPRS、3G、串行总线等。传输方式灵活多变,适应性强。IEC 61850 采用 MMS 协议为基于 TCP/IP 的传输协议,仅能传输在以太网上。

4.4 实现的功能

PQDIF 为文件协议,因此 IEEE 1159.3 标准中并无定值操作、限值设定、手动触发等交互功能的定义,因此很难使用 PQDIF 文件对电能质量终端进行操作。仅能使用其进行电能质量数据传输。

IEC 61850 标准是一整套变电站操作标准,对于变电站内的所有功能均有定义,因此很容易实现监测系统与电能质量终端之间的各种交互操作和数据传输。可以实现电能质量数据动态监测的功能。

4.5 开发难易度

PQDIF 文件协议结构简单易懂,整个文件结构遵循编程结构思想,监测系统开发人员很容易就能掌握其文件结构,进行解析编程。能够减少监测系统接入的开发周期。可使用 C、VC++、C#、VB、JAVA 等多种语言进行开发。IEC 61850 协议比较庞大,监测系统开发人员需要理解系统模型建立、MMS 协议、ASN.1 编码、SCL 语言、XML 等相关知识才能进行开发,软件开发周期长。目前较多采用 C、VC++ 等语言进行开发。

5 结束语

目前电能质量通用的几种网络架构在实际使用中

可以采用多种网络价格混合使用的方式来构架通信网络,以满足不同用户或监测目标的接入。在数据传输协议中,PQDIF 文件标准和 IEC 61850 通信标准都是通用的标准,均可应用于文中描述的各种网络架构。PQDIF 更适用于数据传输量较少、实时性要求不高的通信网络,如无线 3G 网络。IEC 61850 标准则可广泛应用于二层式、三层式、无线 3G 网络等各种网络架构。相对于 PQDIF,IEC 61850 在控制和实现的功能上更灵活更丰富,因此 IEC 61850 标准必将成为未来电能质量数据传输的主要传输标准。

参考文献:

- [1] 雷 斌,余金霞,李 忠. 电能质量监测系统的方案探讨[J]. 江苏电机工程,2011,30(2):63-65.
- [2] 朱伟立,王 俊,王 巍,等. PQDIF 在嵌入式电能质量监测终端上的实现与应用[J]. 江苏电机工程,2011,30(2):59-62.
- [3] 李永亮,李 刚. IEC 61850 第 2 版简介及其在智能电网中的应用展望[J]. 电网技术,2010,34(4):11-16.
- [4] IEC 61850, Communication Networks and Systems in Substations [S].
- [5] IEC 61850-6, Configuration Description Language for Communication in Electrical Substations Related to IEDs[S]. Ed.2(CDV).
- [6] IEC 61850-7-4, Basic Communication Structure: Compatible Logical Node Classes and Data Classes[S]. Ed.2(CDV).
- [7] IEC 61850-7-3, Basic Communication Structure: Common Data Classes[S]. Ed.2(CDV).
- [8] IEC 61850-90-1, Use of IEC 61850 for the Communication between Substations[S].
- [9] IEC 61850-80-1, Exchanging Information from a CDC-based Data Model Using IEC 60870-5-101 or IEC 60870-5-104[S].
- [10] IEC 61850-7-410, Hydroelectric Power Plants: Communication for Monitoring and Control[S].
- [11] IEC 61850-7-420, Basic Communication Structure: Distributed Energy Resources Logical Nodes[S].

作者简介:

- 王 巍(1980),男,江苏南京人,工程师,从事电力系统自动化产品的系统开发工作;
- 金耘岭(1970),男,安徽淮南人,高级工程师,从事电力系统自动化产品的研究、开发及管理工作;
- 李 忠(1973),男,江苏启东人,高级工程师,从事电力系统自动化产品的研究、开发及管理工作。

Application of PQDIF and IEC 61850 in Power Quality Data Transmission

WANG Wei, JIN Yun-ling, LI Zhong

(Nanjing Shining Electric Automation Co. Ltd., Nanjing 211110, China)

Abstract: Data transmission is an important part of system power quality. This paper summarized the current network structure commonly used in power quality monitoring system, as well as describing PQDIF and IEC 61850 standard from aspects of characteristics, structure and using defect. This article also pointed out their respective pros and cros in data definition, amount of data transmission, transmission mode, function realization and difficulties of development.

Key words: power quality; data transmission; PQDIF; IEC 61850