

某地区变电站 10 kV 并联电抗器发热情况分析 改进措施建议

尹健, 杜振川, 付熙玮, 周丹丹

(国网江西省电力有限公司南昌供电分公司, 江西 南昌 330069)

摘要:文中以 10 kV 并联电抗器为研究对象,通过现场测温、理论计算及实例验证,从典设方案设计、设备选型、现场布置、通风设计及设备日常运维等方面,探究其发热的主要成因及改进措施。研究表明,通风设计标准不高是导致电抗器发热的核心原因,并据此提出针对性改进措施;经实践验证,可有效将电抗器运行温度控制在国标允许范围(≤ 85 K 温升),为 10 kV 并联电抗器的安全稳定运行提供技术参考。

关键词:并联电抗器;现场测温;通风设计;温升;改进措施

中图分类号:TM 472 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-348X(2026)01-0058-04

0 引言

10 kV 并联电抗器主要用于补偿线路容性无功、抑制电压升高、改善电网功率因数,其运行状态直接影响配电网的供电可靠性与经济性^[1]。近年来,随着配电网负荷密度提升、新能源接入比例增加,10 kV 并联电抗器长期处于满负荷或过载工况,发热故障的发生率显著上升^[2]。据某电网公司统计,近年来因发热导致的电抗器停运事件占总故障的 52%,不仅造成直接经济损失,还可能引发电网电压波动、线路过载等连锁问题^[3]。

当前,针对现场运行的 10 kV 并联电抗器的发热专项分析较少,文中结合某地区 10 kV 并联电抗器的实际运行数据,通过“故障现象—原因分析—理论计算—实例验证—整改措施”的研究思路,系统剖析发热问题的根源,研究成果为电网运维单位提供故障诊断与预防的实操依据,对保障配电网安全运行具有重要的工程意义。

1 电抗器基本情况

根据红外测温现场实测,某地区户外干式电抗

器、油浸式电抗器均未出现异常发热现象,而户内干式铁芯电抗器的发热情况普遍严重。根据《干式铁芯并联电抗器选用导则》(DL/T 2778—2024)^[4],环境温度在($-10 \sim +40$ °C)范围内时,电抗器绕组的平均温升值为 85 K,铁心的平均温升值为 100 K,在最高环境温度 40 °C,155(F)级的绕组平均温升限值 95 K,180(H)级的绕组平均温升限值 120 K。电抗器运行过热情况详见表 1。

表 1 电抗器运行过热情况

序号	型号	设备型式	安装位置	设备温度/°C
1	BKSC-10000	干式铁芯	室内	145
2	BKSC-10000	干式铁芯	室内	121
3	BKSC-10000	干式铁芯	室内	162
4	BKSC-10000	干式铁芯	室内	131
5	BKSC-10000	干式铁芯	室内	143
6	BKSC-10000	干式铁芯	室内	146
7	BKSC-10000	干式铁芯	室内	142
8	BKSC-10000	干式铁芯	室内	145
9	BKSC-6000/	干式铁芯	室内	123
10	BKSC-10000	干式铁芯	室内	111

2 电抗器发热原因分析

2.1 电抗器本体发热分析

电抗器本体运行中的热源主要包括铁心的磁滞损耗和涡流损耗、绕组损耗、漏磁场产生的杂散损耗

收稿日期:2025-09-03

作者简介:尹健(1992),男,硕士,高级工程师,主要负责变电设备检修试验、技术监督等相关工作。

等产生的热量^[5]。干式电抗器的线圈和铁心被环氧树脂包在内部,影响热量散发;由于线圈的相间影响且上端部的两侧都是热源^[6],空气因受热密度变小,会向上流动,因此干式电抗器的铁心上夹件、铁轭处的温升最高,与运行现场的红外测温情况吻合,现场测温如图1所示。

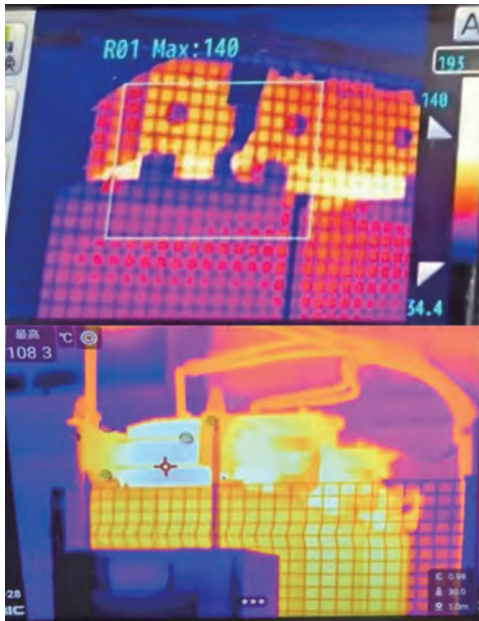


图1 现场测温图

当环境温度为40℃时,铁心温度将达到140℃,若室内通风情况不佳,因电抗器持续发热,热空气在电抗器周围聚集,环境温度将进一步上升,如某220 kV变电站电抗器室实际运行室温将近60℃,此时,电抗器铁心的理论温度将达到160℃,超过F级电抗器的耐热温度限值(155℃)。若电抗器本体有大量积尘堵塞了散热气孔,相对环境的温升值将超过100 K,进一步加剧电抗器本体发热。

2.2 电抗器室异常温升分析

2.2.1 理论分析

电抗器布置在室内时,其本身作为持续发热源,室内温度变化主要受发热功率(即损耗功率)和室内外空气热量交换速率的影响^[7],当二者达到平衡时,室内温度维持在稳定值。

环境温度 t 下的空气密度 ρ (单位:kg/m³)为^[8]:

$$\rho = \frac{1.293 \times 273}{273 + t} \quad (1)$$

因1 kW损耗对应1 kJ/s,根据空气比热容和冷却空气的温升 Δt ,可计算出要冷却电抗器损耗功率 Q 所

需要的室内外空气交换通风速度 L (单位:m³/s):

$$L = \frac{Q}{k \times 1.005 \times \rho \times \Delta t} \quad (2)$$

式中: Δt 为室内外空气温差,是电抗器室的排风系统出口处空气温度 t_{ex} (室内温)与进口处空气温度为 t_{in} (室外温)的温差; k 为有效热交换系数,受通风方式的影响。

将式(1)代入式(2),可得出:

$$L = \frac{0.00283 \times Q \times (273 + t)}{k \times \Delta t} \quad (3)$$

可变换为:

$$\Delta t = \frac{0.00283 \times Q \times (273 + t)}{k \times L} \quad (4)$$

在已知电抗器损耗功率时,根据式(3),可求出要控制室内外温差在限值范围内所需要的通风速度,根据式(4),可求出在固定通风速度情况下的室内温升。实际运行中,因受排风机布置位置影响,排出的空气并非完全是最热的空气,因此热交换系数 k 一般小于1。

2.2.2 实际案例分析

某变电站总计安装4台BKSC-10 000/10.5干式铁心并联电抗器,布置在同一个房间内,4台设备同时运行时,总计损耗功率为130.92 kW。

1) 通风速度校核

按《电力变压器 第6部分:电抗器》(GB/T 1094.6—2011)^[9]要求,干式铁心并联电抗器运行环境温度不超过40℃,某地区夏季户外平均气温按30℃计,则允许的室内外温差 Δt 不应超过10℃。

根据式(3),可以求出通风速度至少应为11.23 m³/s,即40 428 m³/h,经计算,电抗器室现有配置的3台轴流风机排风量为36 300 m³/h,不满足通风速度要求,若考虑热交换系数的影响,差距将更加明显。

2) 室内温升测算

该变电站电抗器室进风口与排风口在同一侧,无法形成有效的空气流通,导致室内热空气无法有效排出,实际热交换效率将大打折扣,系数按0.5计算。根据式(4),在现有通风条件(36 300 m³/h)下,夏季室外温度为40℃时,实际温升将达到23℃,即室内温度为63℃。

此时,电抗器本体最大温度将达到163℃,超过电抗器耐热极限。

故障分析 FAULT ANALYSIS

2.3 异常温升分析结论

1) 电抗器在合理范围内发热为正常现象。干式电抗器因结构原因,正常运行时比油浸式温度更高,相应的耐热等级也比油浸式更高。F级在155℃以下可长期运行,H级在180℃以下可长期运行。

2) 干式电抗器室内布置时,在损耗功率一定的情况下,影响室内环境温度的主要因素为通风条件,包括配置的总风机通风速度以及进出风口的设置位置。当通风条件不满足热平衡要求时,室内温度会异常上升。

3) 电抗器本体相对环境温度的温升一般不超过100K,不同型号电抗器略有差异。当室内环境温度上升较多时,电抗器本体温度会同步上升到异常值;若由于清扫不到位,大量积尘堵塞了散热气孔,将使得温升进一步加剧。

3 改进措施建议

3.1 优化典设方案布置

当前某地区220kV变电站的通用设计主要选用220kV-A2-3和220kV-A3-2两种布置方式。220kV-A3-2为半户内二幢楼平行布置,主变压器户外布置,220kV气体绝缘金属封闭开关设备(gas insulated switchgear, GIS)配电装置室二层布置,电容器室布置于一楼。220kV-A2-3为全户内一幢楼三层布置,局部设置地下电缆层;一层布置主变压器、10kV开关柜、10kV并联电抗器、10kV并联电容器、站用变压器、接地变压器及消弧线圈;二层布置主控室、110kV GIS;三层布置110kV GIS。

1) 建议在典设基础上,将电抗器参照主变模式,采用户外布置,并选用油浸式电抗器。若受限于用地条件需与建筑一体化的要求,应设置在架空层,并保持半敞开式。

2) 若只能设置在室内,则应选择大面积的房间,且靠近楼体边缘位置,对墙体做差异化通风设计。

以某220kV变电站为例,采用220kV-A3-2型布置方式,电抗器室布置如图2,仅1号电抗器内墙侧有一个百叶窗进风口,其面积较小,难以满足进风要求。

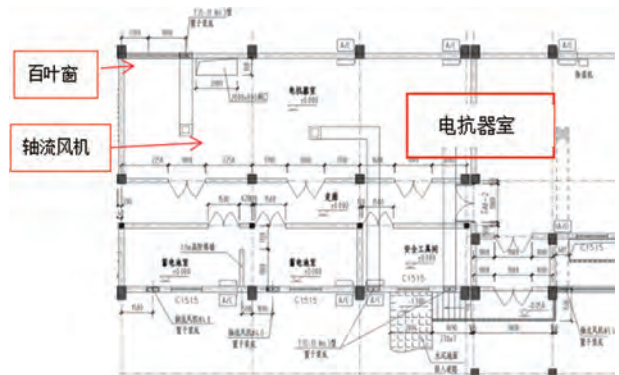


图2 电抗器室布置图

建议将其整体挪至220kV GIS楼的一层,与电容器室共房间布置,并通过防火墙、门与电容器隔开,满足防火要求(详见图3)。这种布置方式既可以扩大电抗器室的面积,也利用其与站内环形道路侧开孔,做成大型百叶窗,扩大纱网网孔尺寸,并升级轴流风机通风量。

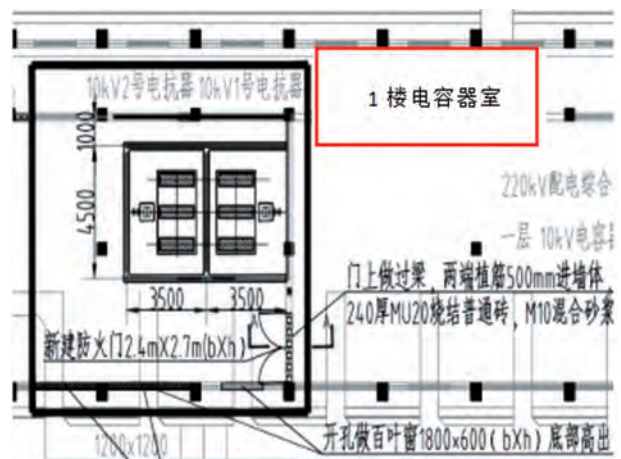


图3 电抗器调整方案布置示意图

3.2 提高通风设计标准

若设置在室内,则应提高电抗器室通风标准。在轴流风机配置方面,当前主要依靠出厂试验报告给的损耗功率值进行通风量计算,该值为设备在环境良好情况下的理论值,与某地区现场实际偏差较大;建议根据行标中该型号的最大散热值,选择轴流风机功率,并考虑一定预留系数。

在进出风口布置方面,轴流风机与百叶窗应对角布置,百叶窗应放置于底部位置,窗外部应避免日照强烈位置,必要时加装隔温装置,确保室外进风温度较低。

3.3 合理进行设备选型

考虑到某地区夏季温度较高,且根据省公司通用

设计相关文件要求,当前基本都采用室内布置方式,自然通风条件较差,散热不良,因此建议优选绝缘耐热等级为H级(耐热值为180℃)的设备。

同时,在设计阶段明确以下条件:一是要求厂家选用取向型硅钢片,降低铁芯的磁滞损耗、涡流损耗,使用去磁性能较好的连接螺栓;二是根据最新通用设备要求,要求中标电抗器厂家在底部配置合适功率的散热风扇;三是物资招标时,在技术规范书中明确选用损耗值和温升值较小的物料。

3.4 加强设备日常运维

一是结合日常检修,对线夹接触部位、铁心夹件等连接部位按照力矩要求重新检查紧固,减少接触电阻引起的发热;二是对电抗器的绝缘子、垫块、铁心的表面和底部及风道中的灰尘定期进行清理,提升本体的散热能力;三是加强对百叶窗、轴流风机的维护,保持进气和排气通道的畅通,在电抗器投入运行时,确保全程开启全部风机;四是建议加装带有测温功能的红外摄像头,将绕组、铁心、夹件的实测温度接入辅控系统,加强运行温度监视。

4 结语

1) 文中以现场运行的10 kV电抗器发热故障为研究对象,根据红外测温现场实测结果,进行了设备本体发热机理分析、理论计算,并通过现场实例进行通风速度校核、室内温升测算,综合分析得到电抗器异常温升的主要原因为室内通风条件设计不合理。

2) 针对主要发热原因提出了改进措施,主要包括优化电抗器布置方案、提高通风设计标准、合理进

行设备选型、加强设备日常运维等综合措施,并经该地区试点验证可将设备运行温度控制在允许范围以内,初步证明该方案具备可行性与有效性。

3) 文中构建的“故障现象—原因分析—理论计算—实例验证—整改措施”的流程,可为同类10 kV电抗器布置方案设计优化、设备选型、现场发热故障诊断、运维检修提供参考。

参考文献:

- [1] 王伟伟,汪飞.干式铁心并联电抗器典型故障分析[J].电气技术与经济,2019(05):36-39.
- [2] 张志东,刘建月,高若天,等.红外测温技术在干式电抗器接地系统发热检测中的应用[J].电力电容器与无功补偿,2017,38(01):100-104.
- [3] 郭坤,樊得平,王川,等.干式空心限流电抗器连接环发热原因分析及改进措施研究[J].电力电容器与无功补偿,2022,43(03):30-35,42.
- [4] 国家能源局.干式铁心并联电抗器选用导则:DL/T 2778—2024[S].北京:中国电力出版社,2024.
- [5] 杨婧,黄智刚.一起电抗器发热分析及解决措施[J].通信电源技术,2019,36(12):206-208,210.
- [6] 郭祥雄,李培,郭良峰,等.电抗器发热故障案例分析[J].国网技术学院学报,2020,23(03):17-19.
- [7] 李国欣,娄赵伟,李浩.一起电抗器发热问题的分析与对策[J].电测与仪表,2017,54(10):99-102,107.
- [8] 李志刚.电力工程设计手册(变电站设计)[M].北京:中国电力出版社,2018.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.电力变压器 第6部分:电抗器:GB/T 1094.6—2011[S].北京:中国标准出版社,2011.