

轨道交通 DC1500V 供电系统可靠性分析及框架保护创新实践

廖林根

港铁中铁电化轨道交通（深圳）有限公司 广东深圳 518109

DOI:10.32629/ems.v8i3.18736

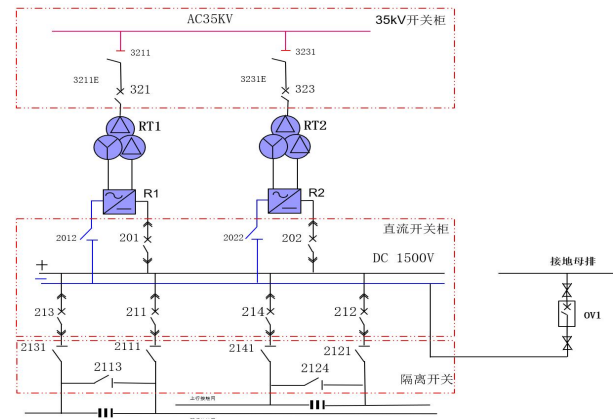
[摘要] 轨道交通作为城市市民出行的首选交通工具，DC（直流）1500V 供电系统是列车平稳运行的“能量心脏”，DC1500V 供电设计的科学性直接决定轨道交通的安全性、可靠性与运营效率。本文从 DC1500V 供电系统设计的核心重要性出发，梳理 DC1500V 设计方式及故障影响范围，通过分析进而提出针对性的解决方案，使创新设计得以实践，从而提升 DC1500V 框架保护的可靠性，为轨道交通 DC1500V 供电设计提供新思路，助力轨道交通实现更稳定、高效的运营服务。

[关键词] 轨道交通；DC1500V；框架保护；创新实践。

引言

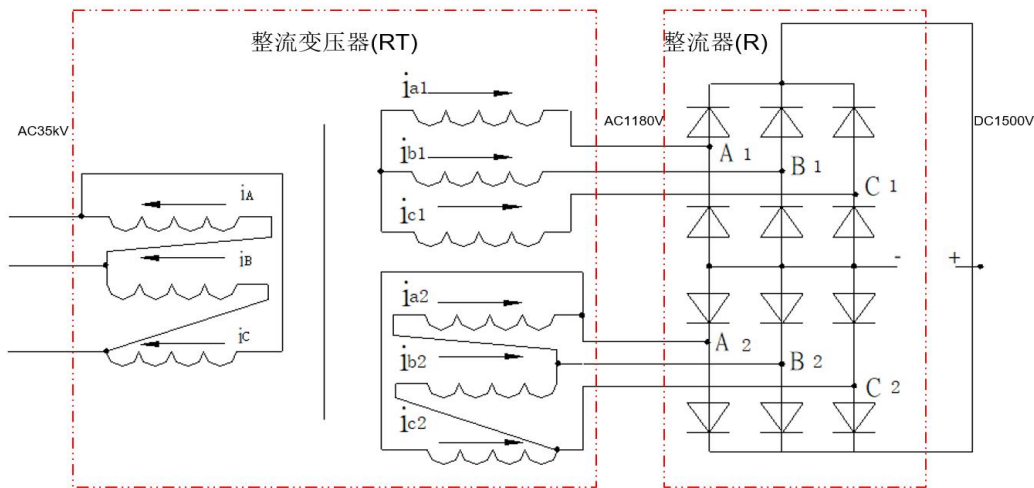
随着城市规模的不断扩大，轨道交通凭借运量大、速度快、低碳环保的优势，成为缓解城市交通拥堵、保障市民便捷出行的关键基础设施。而轨道交通列车的运行，都离不开持续稳定的电力供应，供电系统就像是轨道交通的“生命线”，贯穿于运营的全过程。多数城市地铁供电系统采用集中供电方式，三级供电：110kV、35kV 及 DC1500V；110kV 双回路供电，35kV 单母线分段环网供电，DC1500V 单母线供电；110kV 及 35kV 供电系统中任意节点供电设备故障，均可通过保护装置切除故障点，将故障影响及经济损失降至最小，110kV 及 35kV 供电故障对列车运行无直接影响。DC1500V 供电系统与接触网系统类似，均为单设备供电状态，任意直流供电设备故障均影响列车正常运行，提升 DC1500V 供电系统的可靠性尤其重要，本文通过分析 DC1500V 供电设计及影响范围，针对供电系统产生的问题进行创新设计，优化框架保护功能，提升 DC1500V 系统供电可靠性，通过实践证明其设计的可行性及可靠性，从而降低 DC1500V 故障概率，提高列车 DC1500V 供电系统可靠性。

1 牵引供电系统介绍



如上图所示：整流变压器（RT），整流器柜（R），钢轨电位限制装置（OV）。

RT1 与 RT2 整流变压器二次侧中压相相差 $15^\circ \pm 1.5\%$ ，一台变压器 $+7.5^\circ$ ，另一台变压器 -7.5° ，每台变压器可通过改变外部连接件移相 $\pm 7.5^\circ$ ，整流变压器将 AC35kV 降压为 AC1180V。



整流变压器将 AC33kV 降到 AC1180V，经整流器转换成 DC1500V 向接触网供电。每座牵引变电所内，由 RT1 及 RT2

整流变压器和 R1 及 R2 整流器组成整流机组。如上图所示，12 脉波整流由两个 6 脉波 3 相整流桥并联组成。其中一个 3

相整流桥接向整流变压器的二次侧星形绕组, 另一个3相整流桥接向整流变压器的二次侧三角形绕组。由于每台整流变压器二次侧星形绕组和三角形绕组相对应的线电压相位错开 $\pi/6$, 便可以得到两个三相桥并联组成的12脉波整流电路。两组12脉波整流电路将AC1180V电压整流合并成24脉波的DC1500V电压为地铁列车供电。

2 牵引变压器与整流器故障分析及影响

根据《GB 50157 地铁设计规范》的要求, 牵引变压器与整流器机组过载能力要求为负载100%额定负荷时连续工作, 150%额定负荷连续工作2小时, 300%额定负荷连续工作1分钟。因地铁站间距平均约1公里, 最长区间不超过2公里, 行车间隔2至3分钟; 地铁建设还受地面建筑、地理高差及居民分布影响, 地铁线路有曲线, 有上坡, 也有下坡, 导致列车的持续牵引能力时间受限, 列车满载牵引时间难以使单台牵引变压器或整流器300%额定负载达到1分钟;

全线平均设置牵引混合变电所, 各站DC1500V母排通过馈出线以手拖手方式实现各站DC1500V母线之间串联供电, 任意一个所DC1500V母线电压下降都会通过直流1500V馈线开关吸收临近站DC1500V电能补充, 使各站DC1500V母线电压基本一致, 且区间相临列车在区间制动运行时向接触网馈送制动电能, 列车制动能量会自动补充临所DC1500V母线电能, 因此单所牵引变压器及整流器柜单台退出运行时对地铁列车供电无直接影响。

3 直流1500V开关设备故障分析及应急措施

3.1 直流1500V断路器故障分析及应急措施

直流1500V断路器保护跳闸联跳相临站供电臂直流1500V断路器, 保护装置启动自动重合闸功能, 如果是异物搭接接触网引起的短路, 短路电流烧断异物后, DC1500V将会自动重合闸成功。

如果是某直流断路器或保护装置故障, 则另一侧断路器会自动合闸成功, 此时接触网处于单边供电状态; 当值行车调度员可以调整相应区间行车间隔保证列车正常运行; 当值电力调度员可以通过操作越区隔离开关, 对故障直流开关进行隔离, 转换成接触网大双边供电模式, 保证列车正常运行。

DC1500V直流断路器为小车形式, 断路器一次回路插接式导电, 二次回路航空插座插接导电, 如果DC1500V断路器机械或其小车上的继电器故障退出运行, 可以迅速将故障断路器更换成备用断路器, 恢复接触网正常供电。

直流1500V单个开关故障, 对行车影响较小, 有应急预案条件下, 对列车影响3至5分钟左右, 对列车运行影响较小, 应急措施丰富。

3.2 直流1500V开关柜(电压/电流)框架保护跳闸影响

直流系统与交流系统不同, 直流1500V系统电压低电流大, 直流系统可以并联多个电源点, 如直流1500V母线电源点可以是进线, 也可以是馈线。直流1500V开关柜母线对地短路时直流电压/电流框架保护跳闸动作, 必须切除母线故障所有电源, 保障变电所人员及设备安全, 电压/电流框架保护联跳本站牵引变压器35kV断路器, 联跳本站DC1500V所有进

线断路器, 联跳本站DC1500V所有馈线断路器, 同时还联跳相临供电臂直流断路器。接触网上/下行线共计4个供电臂受影响, 按每个接触网供电分区行驶一辆列车计算, 行车调度员会面临4辆列车的应急处理, 后续列车亦会驶入跳闸供电分区。牵引供电系统2个35kV开关跳闸, DC1500V2个进线开关跳闸、4个馈线开关跳闸及相临站4个馈线开关跳闸, 当值电力调度员面对12个开关跳闸及报警信息, 短时间较难分析出故障原因, 无法马上采取应急措施恢复接触网供电。

DC1500V电压/电流型框架保护跳闸后, 从设备跳闸开始就中断列车运行, 等应急处理完成至恢复列车运行, 历史经验告诉我们至少得用时20分钟以上。长时间中断行车, 严重影响广大市民对通勤时效的要求, 影响社会秩序, 给运营单位及社会造成巨大经济损失。

3.3 直流1500V开关柜(电压/电流)框架保护故障分析
交流电可以通过电流互感器进行一、二次电压隔离及降压, 互感器技术成熟可靠, 正常运行20年无异常; 框架保护电压及电流传感器是将一次直流高压或电流经电子电路计算得到二次电流及电压, 国外技术较成熟及稳定。电子电路在高压条件下工作, 国外知名品牌使用寿命为5年, 部分元器件正常使用寿命达不到5年就会产生故障。

电子式电流及电压传感器使用条件不同, 使用寿命也相应变化; 有些站DC1500V开关柜室空间较小, 通风设计存在不足, 环境温度相对较高, 设备房处理顶楼, 夏天环境温度达到30度, 开关柜内温度可以达到35-40度, 受环境影响, 电子式传感器使用寿命相应缩短, 不能正确评估电流/电压传感器使用寿命及时更换元器件, 传感器故障造成DC1500V框架保护误跳闸。

以某一国外品牌为例, 电子式电流及电压传感器通过分流器使得一次高压侧输入电压为30mV to 2V, 二次侧输出为 $\pm 25\text{mA}$; 输入及输出电压及电流值均较小, 直流1500V开关底部电缆夹层中的电力电缆纵横交错, 电磁场错综复杂, 直流开关电流/电压框架保护易受电磁干扰, 部分变电所内禁止打电话, 防止电磁干扰导致电流/电压传感器产生异常信号, 造成DC1500V开关柜框架保护装置误跳闸。

DC1500V开关柜框架保护装置跳闸后, 电力调度无法正确判断是一次回路对地短路故障, 还是电流/电压传感器故障引起的跳闸, 为了设备安全, 故障站整个牵引直流1500V系统退出运行, 通过越区供电方式临时恢复行车。等非行车时间再对DC1500V开关柜会全面检查及绝缘测试; 二次接线及保护装置功能也会做全面测试。部分电流/电压传感器拆下来测试时, 它的输入及输出比例正常; 类似电脑死机后, 重启后故障现象就不会再现, 影响设备再次投入。

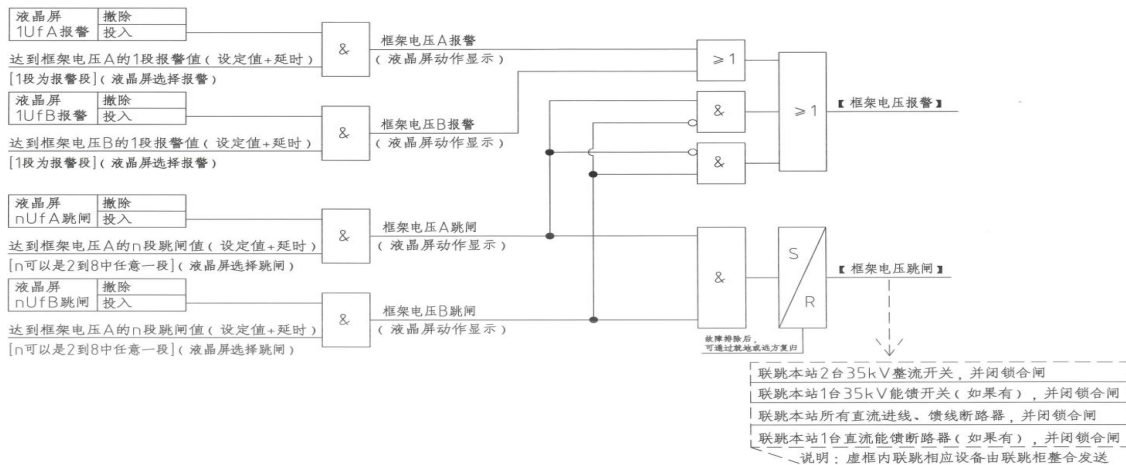
3.4 直流1500V开关柜(电压/电流)框架保护创新与实践

DC1500V开关柜框架电流及电压保护均为重要保护, 为了人身安全, 不能降低框架保护的可靠性; 为了解决框架保护遇到的各种问题, 安全冗余设计是条较为保守可行的办法。

DC1500V开关柜框架电压保护可采用双电压传感器, 两

个电压传感器检测电流/电压信号比对误差超过 5%时，保护装置判定其中一个电压传感器检测故障，保护装置发现框架电压报警。电力调度人员收到报警信息后，安排人员及时检查更换故障电压传感器。单一电压传感器故障时，框架保护不会误跳闸，框架保护装置发出框架电压报警，由电力调度

人员通知检修人员及时更换处理。当两个电压传感器均检测到框架电压超过跳闸设定值时，框架电压保护跳闸。通过实时在线监测传感器测量数据来判断传感器是否运行正常；冗余设计避免电压传感器故障或传感器受干扰引起的误跳闸，提升框架电压保护动作的可靠性。

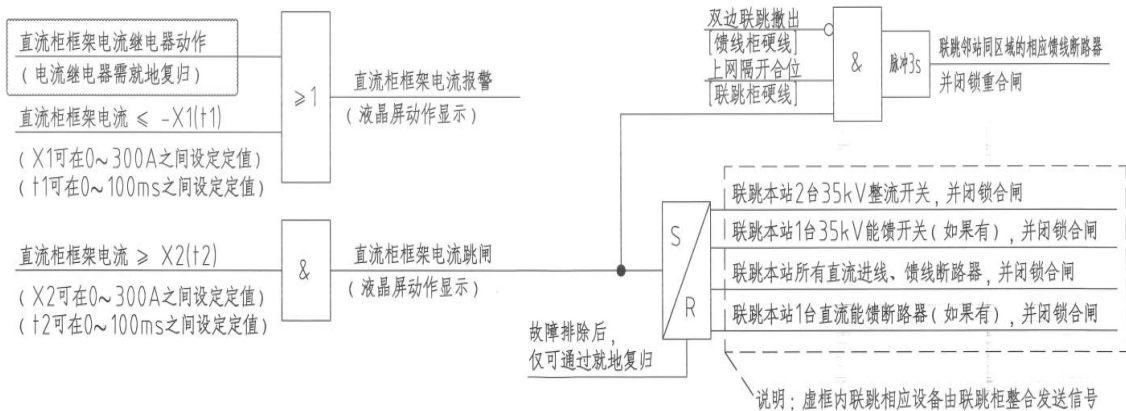


双电压传感器框架保护逻辑图

DC1500V 框架电流保护，也可以按框架电压保护形式设置双电流传感器检测元件，防止电流传感器故障造成框架保护装置误跳闸。

电流大于设定值后触发框架电流保护跳闸。此次电力调度员及时查看另一个框架电流继电器是否也触发了框架保护报警，以此为依据判断框架保护是否误动作，这种设置，可以为恢复 DC1500V 设备供电提供依据，提高了故障应急判断效率，缩短故障处理时间，降低行车中断对运营及乘客造成的经济损失。

也可以使用不同类型的框架电流检测装置，如设置 1 个电流传感器检测框架电流，另一个使用框架电流继电器检测框架电流。当传统的电流传感器检测到 DC1500V 开关柜框架



双电流传感器框架保护逻辑图

结束语

综上所述，通过对 DC1500V 供电设备可靠性分析，根据不同设备，不同故障现象，针对性的提出影响范围及应急措施。对列车运行影响重大的设备，进行深入分析，提出有效的解决方案，通过设备冗余设计，提出针对性优化保护逻辑措施，创新实践，让方案在实际中使用，提升供电系统可靠性，为轨道交通高质量发展提供稳定可靠的电力支撑，助力构建更高效、安全、绿色的城市公共交通网络。

[参考文献]

[1] GB 50157-2013 地铁设计规范
 [2] 于松伟、杨兴山等 城市轨道交通供电系统设计原理与应用
 [3] IAMx-C Technical description A1
 [4] IAMx-V Technical description A1
 作者简介：廖林根，1983.12，男，汉族，广东乐昌人，中级，本科，供电工程师，研究方向：地铁供电系统建设及运维。