



## 1.2 直流电流测量系统构成及原理

电子式 CT 工作原理如图 2 所示, 电子式 CT 利用分流器传感直流电流、利用基于激光供电的远端模块就近采集分流器的输出信号<sup>[3]</sup>, 输出信号通过光纤进行传输, 利用光纤绝缘子保证绝缘, 远端模块置于独立的密闭箱体内。远端模块与合并单元之间以光缆相联, 合并单元一方面为远端模块提供供能激光, 另一方面接收并处理远端模块下发的数据, 并将测量数据按规定的协议 (TDM 总线或 IEC60044-8 标准) 输出供控制保护系统使用<sup>[4]</sup>。

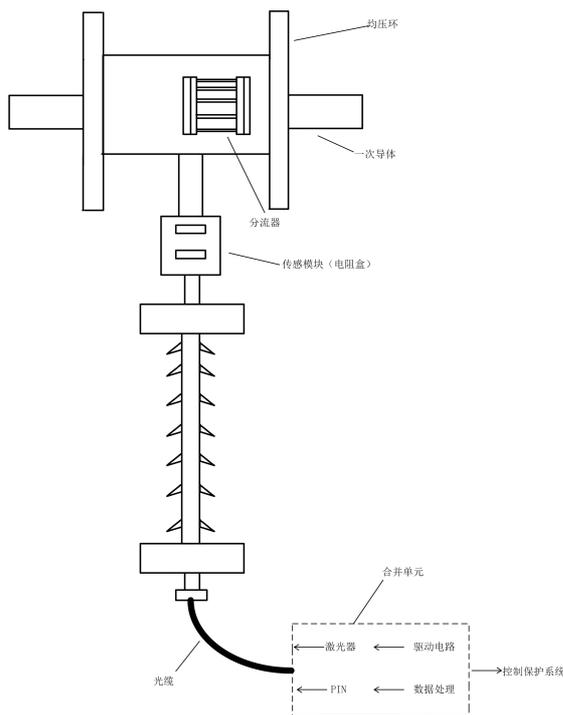


图 2 电子式 CT 工作原理

## 2 直流电流测量系统故障原因分析

### 2.1 电子式 CT 光纤绝缘子故障

电子式 CT 光纤绝缘子由金属法兰、环氧管、填充绝缘介质、低电阻率涂覆层光纤等组成。直流工况下电子式 CT 光纤绝缘子内部电位按照电阻分配, 限于目前设备生产工艺和填充介质特性, 包覆纤芯的低电阻率材料在法兰内部引入电位, 此时会导致绝缘子高低端光纤表面和法兰之间产生电位差, 绝缘子内部填充介质膨胀系数大、热胀冷缩易在端部产生空腔和气泡, 加剧法兰内局部场强畸变, 最终导致光纤表面放电烧损纤芯, 导致电子式 CT 故障, 通过该设备采集电流量的控制保护相应退出, 影响特高压多端混合直流安全稳定运行。

### 2.2 电子式 CT 单通道故障

昆柳龙直流输电系统直流保护采用“三取二”策略, 同一测点直流电流会通过三个在用通道分别送至三个合并单元, 控制保护系统再从合并单元采集数据。

电子式 CT 测量通道主要跟踪数据为驱动电流值, 正常工作数值范围如表 1 所示, 电子式 CT 测量通道激光器正常温度为 35℃ 左右, 温度高报警值 50℃。针对直流电流测量采集回路对电子式 CT 单通道故障导致直流电流测量系统异常情况进行分析。

表 1 电子式 CT 通道异常监视原则

名称	正常工作范围	合并单元关闭	需要关注值	退出保护值
驱动电流/mA	<1100	≥1500	>1000	≥1500

(1) 电子式 CT 电阻盒单一通道故障。电子式 CT 电阻盒 (图 3) 实际是一个信号分配器, 其功能是将一路电子式 CT 的模拟信号转换为多路信号传输, 通过电阻盒可以将一路分流器的模拟信号转换后传输给多个远端模块处理, 当电阻盒的某一个输出通道故障时, 将导致对应的电子式 CT 电流通道出现异常<sup>[5]</sup>。

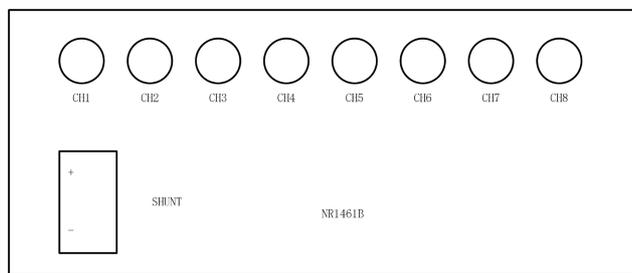


图 3 电子式 CT 电阻盒

(2) 电子式 CT 远端模块故障。远端模块通过合并单元的激光器供能, 接收并处理电阻盒传输的模拟信号, 输出串行数字光信号, 每个远端模块对应一个测量通道, 当远端模块的供能回路失效或者本体故障时, 将导致该测量通道故障。

(3) 合并单元板卡故障。分流器采样数据信号传输如图 4 所示, 合并单元 NR1125 板卡一方面通过多模光纤为远端模块供能, 一方面接收分流器采样数据并按规定协议输出供二次设备使用。当合并单元的板卡故障无法为远端模块产生激光能量或板卡其他故障, 均会导致测量系统单通道故障。

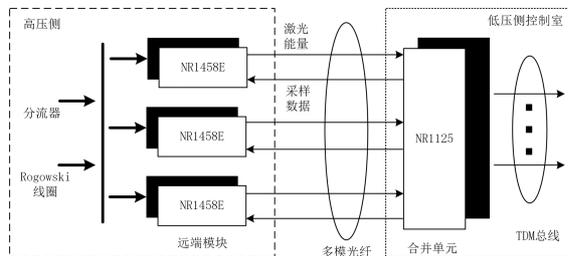


图 4 分流器采样数据信号传输

(4) 光纤通道故障。昆柳龙直流输电系统直流滤波器电子式 CT 通道配置为每极“用 4 备 2”, 400kV 以上电子式 CT 通道配置为每极“用 3 备 3”, 其余电子式 CT 通道配置为每极“用 3 备 1”。采样数据送单阀或送单极的光纤绝缘子配置 24 芯, 送双极的配置 32 芯, 单电子

式 CT 光纤通道故障时,会导致该测量通道故障。

### 3 直流电流测量系统的运维

#### 3.1 直流电流测量系统对控制保护系统的影响

直流电流测量系统故障包括测量值异常(测量品质位异常和测量偏差)和测量通道异常,测量系统故障均会对控制系统和保护系统产生严重影响<sup>[4]</sup>。

直流电流测量系统对保护系统的影响如下:①如果 A 套合并单元的某个测点品质位异常,则 A 装置退出相关保护,B/C 装置中的相关保护动作,按 2 取 1 出口;A 和 B 套的测量品质位异常,C 套相关保护按 1 取 1 动作;3 套异常,闭锁相应阀组或极。②如果 A 套保护判光纤中断,则退出 A 套保护,B/C 套保护按 2 取 1 出口;A 和 B 套保护光纤中断,C 套相关保护按 1 取 1 动作;3 套光纤中断,闭锁相应阀组或极。③如果同一测点送双极三套保护 6 个测量通道同时故障,导致双极保

护系统均不可用,可引起双极闭锁。

直流电流测量系统单个电子式 CT 测点异常,合并单元会产生测量品质位异常信号,对控制系统影响如下:①接收到单套测量异常信号,按照故障等级进行控制系统切换。②接收到两套测量异常信号,如为紧急故障执行相应极或阀组闭锁跳闸,其余故障直流维持运行。

#### 3.2 直流电流测量系统运维策略

直流电流测量系统为三套直流保护系统和两套控制系统提供采样数据,数据通道分为主用通道和热备用通道,一般热备用通道连接至合并单元 B 屏,屏间可以通过跳线连接,直流电流测量系统通道故障处置原则如表 2 所示。当直流电流测量系统通道故障时,按照冗余热备用通道及时更换、无热备用通道且主用通道故障及时申请停运的原则,精准运维特高压混合直流输电直流电流测量系统。

表 2 直流电流测量系统通道故障处置原则

故障情况	故障类别	故障特征	处置建议	安措要求
一路主用异常	N-1	①通道未关闭,测量值有偏差,未造成保护动作; ②通道出现数据帧丢失,频率较低,未导致控制系统故障或保护退出	加强监视,同时做好更换热备用通道的准备	无
陆续发现两路测量通道异常	N-1-1 (用 3 备 1 测点)	①测量值偏差较大,造成单套保护动作或通道故障关闭;②通道频繁出现数据帧丢失,导致控制系统故障或单套保护退出	申报紧急抢修票,退出故障通道对应的控制保护,带电更换热备用通道	退出对应的控制保护装置(C 套测量装置,只需退出 C 套保护装置)
	N-1-1(除用 3 备 1 测点以外)	无热备用通道可用,任意一路主用通道异常,无法满足两套直流控制系统及三套保护系统正常可用时 更换备用通过程中,发现备用通道异常	①按紧急缺陷流程,申请停电处理; ②停运前应做好异常通道及正常通道的状态监视	三站对应极、换流器操作至检修
两路主用通道发生异常	N-1-1(除用 3 备 1 测点以外)	两路主用通道陆续发生异常或一路主用通道异常 更换备用过程中发现备用通道异常	申报紧急抢修票,每次退出一套故障通道对应的控制保护系统,带电更换热备用通道	退出对应的控制保护装置(C 套测量装置,只需退出 C 套保护装置)
	N-2 (用 3 备 1 测点)	不论是否有备用通道,若两路主用通道发生异常时	立即申请紧急停运处理,同时,向调度申请立即退出异常通道对应的保护	三站对应极、换流器操作至检修
三路测量通道发生故障	N-2(除用 3 备 1 测点以外)	两路主用通道同时发生异常时	申报紧急抢修票,每次退出一套故障通道对应的控制保护系统,带电更换热备用通道	退出对应的控制保护装置(C 套测量装置,只需退出 C 套保护装置)
	N-3、N-2-1 或 N-1-1(用 3 备 2 测点)	三路主用通道同时发生异常时、陆续发现三套测量通道异常或主用通道故障后发现备用测量通道故障	立即申请紧急停运处理,同时,向调度申请立即退出异常通道对应的保护	三站对应极、换流器操作至检修
四路测量通道发生故障	N-3-1、N-2-1-1 或 N-1-1-1-1(用 3 备 3 测点)	陆续发现四套测量通道异常或主用通道故障后发现备用测量通道故障	立即申请紧急停运处理,同时,向调度申请立即退出异常通道对应的保护	三站对应极、换流器操作至检修

### 4 结语

本文通过分析昆柳龙直流输电系统的直流电流测量系统构成及原理、通道配置情况和故障处置原则,得出以下结论。

电子式 CT 因光纤绝缘子内部光纤出现断点或电阻盒异常导致多起测量通道故障,需直流停电后方能进行光纤绝缘子或电阻盒异常检查及更换。电子式 CT 单通道(电阻盒单一通道、远端模块、光纤通道)异常,可以通过在线更换为热备用通道继续保持运行。电子式 CT 单通道(测量板卡)异常,可以通过在线更换测量板卡后继续保持运行。

#### 参考文献

[1] 李倩. 一起测量元件故障导致直流系统闭锁事件的分析及改

进措施[J]. 机电信息, 2016(30): 78-79. 81.

- [2] 龙磊. 特高压混合多端直流系统故障退站后处置方法研究[J]. 电气技术, 2023, 24(3): 44-51.
- [3] 胡琛. 空心线圈电流互感器可靠性及长期稳定性关键问题研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2018.
- [4] 崔玉, 朱继红, 曹海欧, 等. 合并单元数据可靠性提升方案研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(2): 160-165.
- [5] 熊杭. ±800kV 云广特高压直流输电系统典型事故分析[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.

作者简介: 杨宗璋(1994—), 男, 汉族, 云南临沧人, 本科, 助理工程师, 主要从事特高压换流站运维工作。

查李云(1995—), 男, 傣族, 云南临沧人, 本科, 助理工程师, 主要从事特高压换流站运维工作。