

一种特高压直流换流站高压隔离开关 冗余机构箱的研制

李锡华 杨 磊 张文涵
(山东电工电气日立高压开关有限公司)

摘要：高压隔离开关电动操作机构是发电厂、变电站中常用电气设备之一，使用量大，其性能和质量与电网安全运行和建设成本密切相关。在调研分析传统型高压隔离开关电动操作机构设计制造、安装调试及运行维护的基础上，针对特高压直流换流站对设备可靠性高要求，通过优化传统高压隔离开关机构箱结构，集成功能，采用新理念、新技术和新工艺，研制出一种特高压直流换流站高压隔离开关冗余机构箱。该机构箱的特点为在一台高压隔离开关电动操作机构箱内配置 A、B 两套操作系统，当 A 套操作系统出故障时，能远程及时切换到 B 套备用的操作系统上完成对高压隔离开关的分合闸操作。该机构箱具有结构简单、安装维护方便、操作安全可靠、投资省等优点，主要应用于 $\pm 800\text{kV}$ 直流换流站内高压隔离开关上，具有较好的经济效益和电力工程推广价值。

关键词：集成功能；冗余机构箱；直流换流站；操作系统；电磁联轴器

0 引言

目前，在电力系统中运行的特高压交流及直流高压隔离开关均为一台隔离开关配置一台电动操作机构箱，在隔离开关进行分闸或合闸操作时，由于电动操作机构箱内电器元件故障或机械传动部件卡滞，导致高压隔离开关不能操作，需要更换元器件或更换整台电动操作机构箱，引起电网长时间、大面积停电等事故，造成较大的经济损失和不良后果。

随着特高压交直流电网的发展，对电力设备的可靠性及自动化不断提高，为了提升交流和直流转换的可靠性，防止设备出现异常时设备本体及二次信号异常，避免造成例如高压隔离开关拒分、拒合及直流换

流阀闭锁停电等严重后果，急需研制一种特高压直流换流站高压隔离开关冗余机构箱。通过对机构箱冗余设计，即一台机构箱内配两套机构操作系统，当 A 套操作机构系统出故障时，能远程及时切换到 B 套备用的操作机构系统上完成对高压隔离开关的操作。该机构的研制对提高高压隔离开关安全可靠性及自动化程度有着重要意义。

1 使用环境条件

环境温度： $-55\sim+60^{\circ}\text{C}$ ；海拔高度：3000m(3000m 以上可按用户要求提高产品适用能力)；安装场所应无严重尘埃、易燃易爆物质及化学腐蚀性气体等影响；地

震烈度：9 度。

2 主要技术参数

高压隔离开关冗余机构箱技术参数见表 1。

表 1 高压隔离开关冗余机构箱技术参数

序号	内容	单位	参数
1	电机功率	W	1100
2	电机电压	V	AC380/DC220
3	控制电压	V	AC220/DC220
4	减速机变比	/	1200
5	输出时间	s	24
6	输出角度	°	180
7	最大输出力矩	Nm	3200
8	防护等级		IP65
9	Imin 工频耐受电压	V	2000
10	外形尺寸	mm	700×520×860

3 结构设计

3.1 电动机功率及减速机的选用

电动机功率及电磁联轴器的大小根据隔离开关需要的操作功能通过计算确定。以直流 816kV 户外高压隔离开关电动操作机构为例，根据经验和实际测量，主刀的出厂操作力矩最大不超过 800Nm，在户外长期运行后，虽会由于污秽及润滑缺失等原因有所增长，但一般不超过 1000Nm，设定高压隔离开关冗余机构箱输出力矩^[1]相对产品操作力矩 3 倍的安全系数，输出力矩取 3000Nm。电动机及蜗杆蜗轮减速的参数选择如下：

第一级蜗杆蜗轮减速的输出力矩：

$$T_1=9550P_1\eta_1i_1/n \quad (1)$$

第二级蜗杆蜗轮减速的输出力矩：

$$T_2=T_1\eta_2i_2 \quad (2)$$

式中，电动机功率 $P_1=1.1\text{kW}$ ；电动机转速 $n=1400\text{r/min}$ ；传动效率 $\eta_1=0.6$ ；传动效率 $\eta_2=0.6$ ；变比 $i_1=30$ ， $i_2=40$ 。

经计算，第一级蜗杆蜗轮减速的输出力矩 $T_1=135\text{Nm}$ ，第二级蜗杆蜗轮减速的输出力矩 $T_2=3241\text{Nm}$ 。

3.2 内部结构

高压隔离开关冗余机构箱内左侧为 A 套操作系统，右侧为 B 套操作系统，结构示意图如图 1 所示。

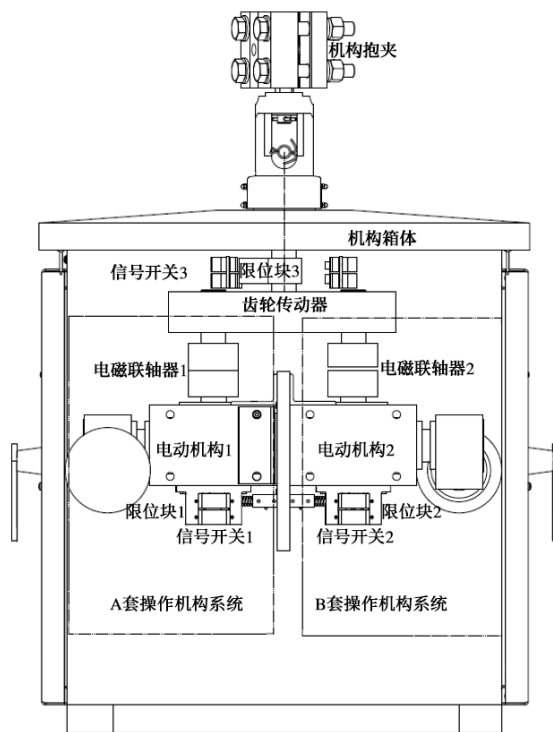


图 1 高压隔离开关冗余机构箱结构示意图

如图 1 所示，高压隔离开关冗余机构箱包括机构箱体、减速机 1、减速机 2、电机 1、电机 2、信号开关 1、信号开关 2、信号开关 3、电磁联轴器 1、电磁联轴器 2、齿轮传动器、限位块 1、限位块 2、限位块 3、传动轴、抱夹等。

电机 1、电机 2 分别与减速机 1、减速机 2 连接，

为高压隔离开关电动操作机构的传动矩力部件，高压隔离开关进行分闸或合闸操作时，通过控制电气回路使装在减速机 1（或减速机 2）上的电机 1（或电机 2）作顺时针或逆时针转动，通过电磁联轴器 1（或电磁联轴器 2）将力矩传动到齿轮传动器带动传动轴旋转，传动轴与机构箱上方抱箍连接，再通过抱箍带动隔离开关进行分合闸操作，同时带动传动轴上的限位块 1（或限位块 2）和限位块 3 旋转。当限位块 1（或限位块 2）和限位块 3 同时旋转到分闸或合闸位置时，限位块 1（或限位块 2）和限位块 3 端面分别与信号开关 1（或信号开关 2）和信号开关 3 的触点接触，直到将信号开关 1（或信号开关 2）和信号开关 3 的触点切换，常闭接点断开控制电器回路电源，同时常开接点闭合，给出分闸或合闸位置信号，完成分闸或合闸操作。

电磁联轴器 1、电磁联轴器 2 是通过电气回路进行控制，在正常操作时电磁联轴器 1 接通电源，连接减速机 1 和齿轮传动器，此时电磁联轴器 2 断开。当第 1 套操作机构系统出故障时，则快速远程切换到第 2 套备用操作机构系统。

齿轮传动器是通过齿轮连接减速机 1、减速机 2 与传动轴的传动系统。

信号开关 1、信号开关 2 和信号开关 3 分别由多个磁吹微动开关并排连接在一起，磁吹微动开关的数量根据变电站所需信号接点数量提供，1 个磁吹微动开关组由 2~5 个磁吹微动开关组成。信号开关 1 和信号开关 2 上的每对信号作为隔离开关的分闸和合闸位置信号，只要其中 1 个磁吹微动开关未完全到位，就不能切断控制回路电源，直到每对磁吹微动开关接点均触压到位，均能发出位置信号。

其工作原理：参照图 1，正常刀闸分合闸操作下，电磁联轴器 1 通电与齿轮传动器连接，电机 1 处于工作状态；电磁联轴器 2 断电与齿轮传动器脱开，

电机 2 处于备用状态。按下电机 1 系统的操作按钮，电机 1 通电工作，通过电磁联轴器 1、齿轮传动器、机构输出轴，将力矩传递至刀闸进行分闸或合闸，分闸或合闸到位时，分、合闸位置信号开关 3 处的行程开关断开操作电源。同时分、合闸位置信号开关 1 和分、合闸位置信号开关 3 接通。分、合闸位置信号开关 3 作为判断刀闸的分、合闸位置的主信号。分、合闸位置信号开关 1 和分、合闸位置信号开关 2 作为判断刀闸的分、合闸位置的冗余信号。

当电机 1 系统出现故障时，可通过切换开关（或回路）将操作切换到电机 2 系统，先将电磁联轴器 2 通电，将电机 2 通过电磁联轴器 2 与齿轮传动器连接，再断开电磁联轴器 1 的电源，使电机 1 与齿轮传动器脱开。然后对电机 2 进行操作，完成分闸或合闸操作。

4 二次电气回路设计

高压隔离开关冗余机构箱电气回路在传统的电动操作机构箱二次回路中，增加了电磁联轴器切换控制回路，将近控 / 遥控时分闸、合闸分为 A 套系统和 B 套系统回路，且操作时各回路之间相互独立并满足电气互锁要求。高压隔离开关冗余机构箱电机回路系统图，见图 2。高压隔离开关冗余机构箱控制回路系统图，见图 3。

参照图 2、图 3，高压隔离开关冗余机构箱电气回路包括 A 套系统电机回路、A 套系统控制回路、A 套系统电磁联轴器回路。B 套系统电机回路、B 套系统控制回路、B 套系统电磁联轴器回路。其中 A 套系统电机回路由小型断路器 QF3、断相与相序保护继电器 XJ1、热过载继电器 KT1、分闸用交流接触器 KM1、合闸用交流接触器 KM2、三相交流电动机 M1 等依次首尾串接构成回路。A 套系统控制回路由小型断路器 QF1、近控 / 遥控切换开关 SBT1、近控 A/B

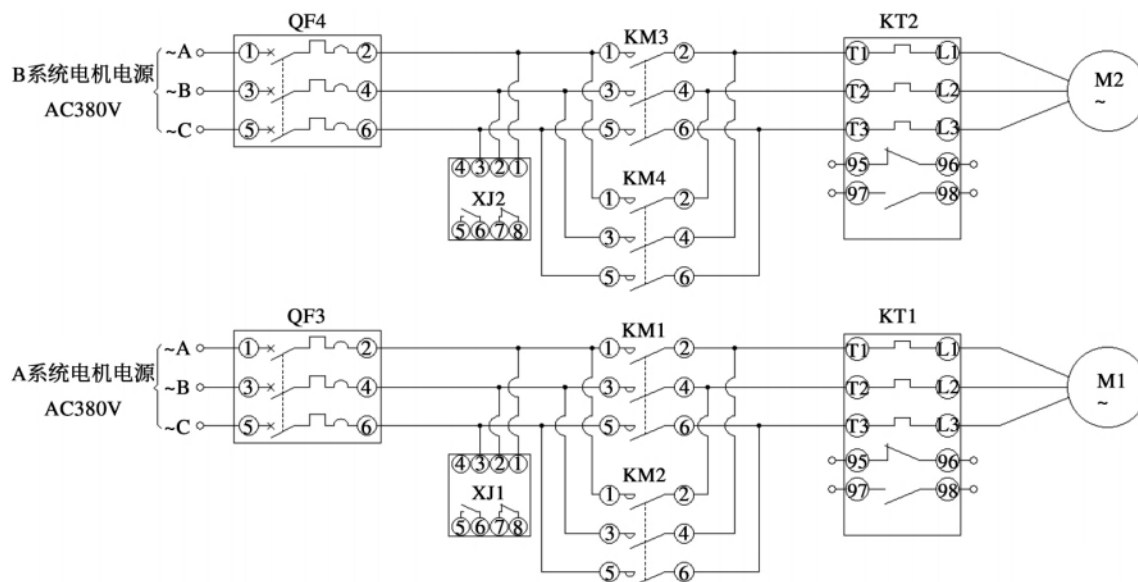


图 2 高压隔离开关冗余机构箱电机回路系统图

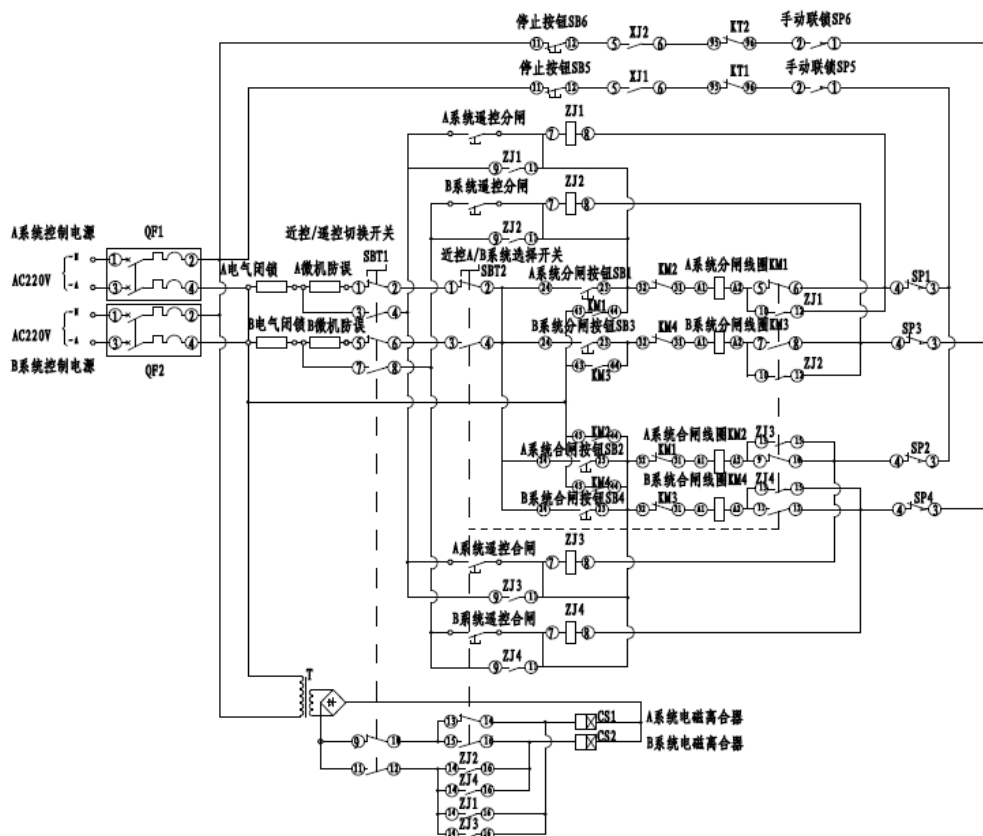


图 3 高压隔离开关冗余机构箱控制回路系统图

系统选择开关 SBT2、中间继电器 ZJ1/ZJ3、分闸按钮 SB1、合闸按钮 SB2、停止按钮 SB5、微动开关 SP1/SP2/SP5 等元件依次首尾串接构成回路。A 套系统电磁联轴器回路由变压器 T、电磁联轴器 CS1 等元件依次首尾串接构成回路。其中 B 套系统电机回路由小型断路器 QF4、断相与相序保护继电器 XJ2、热过载继电器 KT2、分闸用交流接触器 KM3、合闸用交流接触器 KM4、三相交流电动机 M2 等依次首尾串接构成回路。B 套系统控制回路由小型断路器 QF2、近控 / 遥控切换开关 SBT1、近控 A/B 系统选择开关 SBT2、中间继电器 ZJ2/ ZJ4、分闸按钮 SB3、合闸按钮 SB4、停止按钮 SB6、微动开关 SP3/SP4/SP6 等元件依次首尾串接构成回路。B 套系统电磁联轴器回路由变压器 T、电磁联轴器 CS2 等元件依次首尾串接构成回路。

其工作原理：

参照图 2、图 3，A 套系统近控合闸（或分闸）操作方式如下：先合上电源小型断路器 QF1/QF3，将近控 / 遥控切换开关 SBT1 打到“近控”档位，其接点 1-2、5-6、9-10 接通，将近控 A/B 系统选择开关 SBT2 打到“A 系统”档位，其接点 1-2、13-14 接通，电磁联轴器 CS1 吸合，将 A 系统机构与高压隔离开关连接上。然后，按下 A 套系统合闸按钮 SB2（或分闸按钮 SB1），合闸接触器 KM2 的触头（或分闸接触器 KM1 的触头）吸合，电机 M1 开始正转（或反转），通过电机 M1 带动 A 套机构的轴顺时针（或逆时针）转动，操作高压隔离开关进行合闸（或分闸），当高压隔离开关合闸（或分闸）到位后，通过合闸限位开关 SP2（或分闸限位开关 SP1）断开 A 套系统控制回路电源，同时电机回路合闸接触器 KM2 的触头（或分闸接触器 KM1 的触头）脱开，断开电机回路电源，电机 M1 停转，合闸（或分闸）结束。

A 套系统遥控合闸（或分闸）操作方式如下：电源小型断路器 QF1/QF3 处于合闸位置，将近控 / 遥

控切换开关 SBT1 处于“遥控”档位，其接点 3-4、7-8、11-12 接通，接通 A 套系统遥控合闸接点（或遥控分闸接点），合闸中间继电器的线圈 ZJ3（或分闸中间继电器 ZJ1 的线圈）得电常开接点吸合，同时电磁联轴器 CS1 遥控回路接通吸合，将 A 系统机构与高压隔离开关连接上。同时合闸接触器 KM2 的触头（或分闸接触器 KM1 的触头）吸合，电机 M1 开始正转（或反转），通过电机 M1 带动 A 套机构的轴顺时针（或逆时针）转动，操作高压隔离开关进行合闸（或分闸）。当高压隔离开关合闸（或分闸）到位后，通过合闸限位开关 SP2（或分闸限位开关 SP1）断开 A 套系统控制回路电源，同时电机回路合闸接触器 KM2 的触头（或分闸接触器 KM1 的触头）脱开，断开电机回路电源，电机 M1 停转，合闸（或分闸）结束。

参照图 2、图 3，B 套系统近控合闸（或分闸）操作方式如下：先合上电源小型断路器 QF2/QF4，将近控 / 遥控切换开关 SBT1 打到“近控”档位，其接点 1-2、5-6、9-10 接通，将近控 A/B 系统选择开关 SBT2 打到“B 系统”档位，其接点 3-4、15-16 接通，电磁联轴器 CS2 吸合，将 B 系统机构与高压隔离开关连接上。然后，按下 B 套系统合闸按钮 SB4（或分闸按钮 SB3），合闸接触器 KM4 的触头（或分闸接触器 KM3 的触头）吸合，电机 M2 开始正转（或反转），通过电机 M2 带动 B 套机构的轴顺时针（或逆时针）转动，操作高压隔离开关进行合闸（或分闸），当高压隔离开关合闸（或分闸）到位后，通过合闸限位开关 SP4（或分闸限位开关 SP3）断开 B 套系统控制回路电源，同时电机回路合闸接触器 KM4 的触头（或分闸接触器 KM3 的触头）脱开，断开电机回路电源，电机 M2 停转，合闸（或分闸）结束。

B 套系统遥控合闸（或分闸）操作方式如下：电源小型断路器 QF2/QF4 处于合闸位置，将近控 / 遥

控切换开关 SBT1 处于“遥控”档位，其接点 3-4、7-8、11-12 接通，接通 B 套系统遥控合闸接点（或遥控分闸接点），合闸中间继电器的线圈 ZJ4（或分闸中间继电器 ZJ2 的线圈）得电常开接点吸合，同时电磁联轴器 CS2 遥控回路接通吸合，将 B 系统机构与高压隔离开关连接上。同时合闸接触器 KM4 的触头（或分闸接触器 KM3 的触头）吸合，电机 M2 开始正转（或反转），通过电机 M2 带动 B 套机构的轴顺时针（或逆时针）转动，操作高压隔离开关进行合闸（或分闸）。当高压隔离开关合闸（或分闸）到位后，通过合闸限位开关 SP4（或分闸限位开关 SP3）断开 B 套系统控制回路电源，同时电机回路合闸接触器 KM4 的触头（或分闸接触器 KM3 的触头）脱离，断开电机回路电源，电机 M2 停转，合闸（或分闸）结束。

5 冗余机构箱的主要特点

1) 高压隔离开关冗余机构箱采用电磁联轴技术，通过电磁联轴器的吸合与断开，实现高压隔离开关 A 套操作系统与 B 套操作系统之间操作的切换。

2) 高压隔离开关冗余机构箱电气系统与传统高压隔离开关机构箱电气系统相比，多了一套冗余 B 套操作系统，当机构箱内 A 套操作系统出现故障，而导致高压隔离开关不能操作时，可远程遥控启用 B 套操

作系统对高压隔离开关进行不间断操作。避免引起电网长时间、大面积停电等事故，造成较大的经济损失和不良后果等问题。

3) 高压隔离开关冗余机构箱电气系统提升了高压隔离开关的可靠性及自动化，同时有 A 套系统和 B 套系统两套信号可有效防止高压隔离开关出现二次信号回路不到位时产生的换流阀闭锁问题。

6 结束语

高压隔离开关冗余机构箱是基于资源节约和功能冗余等设计理念开发的新产品，与传统型电动操作机构箱相比，具有两套操作系统，结构简单、功能可靠，安装维护工作量少。当机构箱内一套操作系统出现故障，而导致高压隔离开关不能操作时，可远程遥控启用另一套操作系统对高压隔离开关进行不间断操作，应用于特高压直流换流站内高压隔离开关上具有较好的经济效益和电力工程推广价值。

参考文献

- [1] 吴宗泽. 机械设计师手册 [M]. 北京：机械工业出版社，2008.

(收稿日期：2024-09-06)