[开关设备]

环保气体全绝缘金属封闭开关设备的研制

文/苏太育
福建逢兴机电设备有限公司

介绍了集三工位隔离接地开关、断路器、操作机构、联锁机构及全密封气箱为一体的环保气体全绝缘金属封闭开关设备的设计。阐述了环保气体全绝缘金属封闭开关设备的工作原理以及主要结构设计，并提出开发过程中的关键工艺问题，完成了产品的研发。

环保气体全绝缘金属封闭开关设备简称“环保柜”，是二次配电设备环网柜，用于城市及环网电缆分支箱、工厂配电、中低压配电站、公共电网、工业配电和高层建筑。最初的环网柜是以普通空气作为主绝缘介质，敞开式的结构，没有密封。潮湿的空气环境和绝缘部件表面附着的污秽，造成绝缘部件绝缘强度下降，导致绝缘结构损坏、相间短路等故障。SF_6充气环网柜很好地避免了此类问题，SF_6气体无色、无味，具有优良的绝缘性能和灭弧性能。 但作为惰性气体，SF_6会导致全球气候逐渐变暖。SF_6是温室效应气体，被归类为限制排放气体，不符合国家节能减排的“双碳”政策。所以需要一种环保气体替代SF_6，以减少SF_6排放，同时减少温室气体对大气的影响。绝缘介质主要有干燥空气、氮气及SF_6混合气体。其中，干燥空气的绝缘性能优于氮气。

该项目被科技部列为科技助力经济2020年重点专项（立项编号SQ2020YFF0403040）。历经3年攻关，在国家电器产品质量检验检测中心完成了环保气体全绝缘金属封闭开关设备的开发。完成型式试验并按期完成验收结题，荣获福建省百万职工创新大赛一等奖和第五届“创响福建”智能制造专题赛二等奖。

基金项目：科技助力经济2020重点专项（SQ2020YFF0403040）

工作原理

环保气体全绝缘金属封闭开关设备的安装尺寸采用电网标准化尺寸，贯彻模块化、标准化设计理念。将母线、三工位隔离接地开关和断路器整个串联回路密封在S304不锈钢壳体内，以真空灭弧室作为开断元件，充干燥空气或氮气作为绝缘介质。开关结构具有上隔离上接地和下隔离下接地两种方案，分别满足国网和南网的要求，气箱上装有凹凸镜观察窗，用较小的视窗完成大范畴观察，三工位隔离开关合闸、隔离和接地三个状态可实时观察，保证设备实际操作人员的安全。隔离开关机构、断路器机构和柜门之间有强制的机械联锁，满足高压电器设备“五防”要求，操作流程如下。

1）三工位上隔离上接地方案。送电操作：关闭电缆室柜门→分开接地开关→合上隔离开关→合上断路器；停电操作：分开断路器→分开隔离开关→合上接地开关→合上断路器（完成电缆接地）→打开电缆室柜门。

2）三工位下隔离下接地方案。送电操作：关闭电缆室柜门→分开接地开关→合上隔离开关→合上断路器；停电操作：分开断路器→分开隔离开关→合上接地开关（完成电缆接地）→打开电缆室柜门。

断路器机构装有手电辅助开关，手动操作开关

时，断开电动操作回路，保障操作人员安全。在电缆室中，电缆连接高度达650 mm，安装三相一体电流互感器，有充足的空间方便电缆施工安装。气箱下部后侧装有泄压阀，当发生严重事故且设备保护装置失灵时，气箱内产生的高压气体可以通过泄压阀释放压力至电缆沟，以保证操作人员和相邻设备安全。环保柜采用模块化、标准化设计，设有扩展模块，通过绝缘的插接件连接，现场拼接安装方便，可灵活实现各种电气接线方案。

开发内容

（1）三工位隔离接地开关设计

三工位隔离接地开关有三工位上隔离上接地开关和三工位下隔离下接地开关两种方案，如图1和图2所示。开关结构为旋转式三工位隔离接地开关，兼备隔离开关和接地开关功能。设计上摒弃了传统的拐臂连接的传动方式，采用一次传动，具有分合闸功率损耗低的优点。两片隔离开关固定在绝缘臂上，绝缘臂中间有六角孔穿主轴，主轴与机构输出轴同轴一次传动。隔离开关两侧安装弹簧调节触头压力，弹簧外侧设计均压环以优化电场。隔离开关两侧边分别设计一块磁锁板，磁锁板产生的夹紧力与隔离开关通过的电流成正比，防止大电流导致的退刀。

（2）断路器设计

断路器采用绝缘板母字形结构，真空灭弧室和触头弹簧推杆机构上下布置，灭弧室与弹簧推杆之间

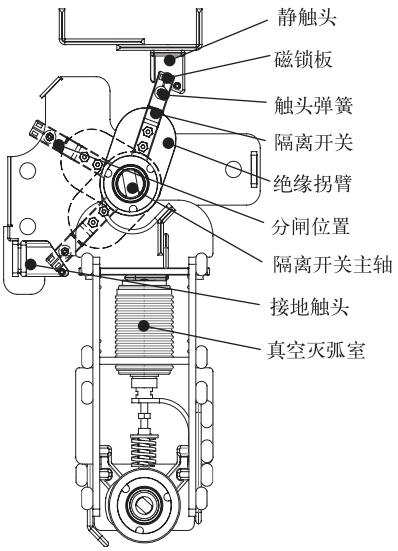

图1　三工位上隔离上接地开关

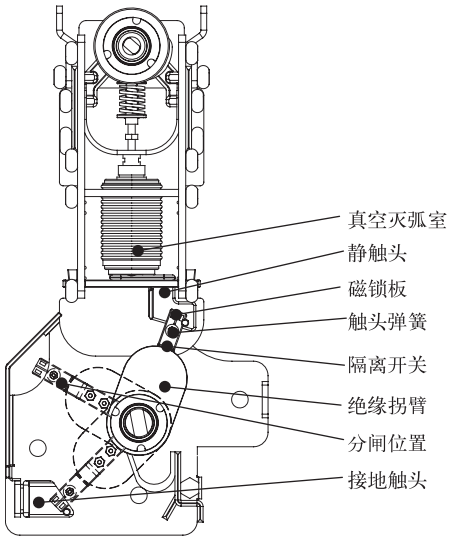

图2　三工位下隔离下接地开关

用双头螺栓连接，螺栓在灭弧室一端为正螺纹，在弹簧一端为反螺纹，旋转螺栓即可调节灭弧室开距、超程。弹簧推杆与断路器主轴通过内渐开线凸轮滑动传动，将断路器主轴旋转运动转换为上下直线运动。

A/B/C相灭弧室之间采用绝缘板隔开，断路器主轴A/B/C相采用大裙边硅胶隔开，断路器在常压空气状态也能满足绝缘要求。

在外露金属紧固件安装均压环，优化电场，减少局部放电量。

断路器结构如图3所示。

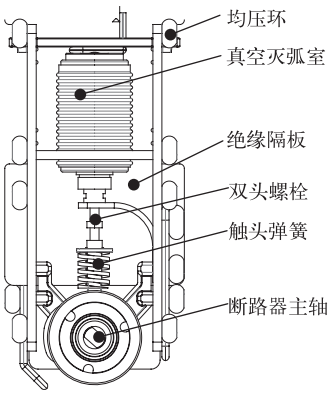

图3　断路器结构

（3）机构设计

三工位隔离接地开关机构选用盘簧机构，输出轴角度大于90°，可手动、电动操作，隔离操作孔和接地操作孔独立分开，并互相机械联锁。隔离开关和接地开关可选配安装程序锁，实现相邻两台环保柜交叉机械联锁。断路器机构选用重合闸功能的

弹簧机构，旋钮操作，防止误碰合分闸。

（4）柜体结构及联锁设计

环保柜具有两种方案，即三工位上隔离上接地环保柜和三工位下隔离下接地环保柜，如图4和图5所示。扩展连接采用标准化侧面扩展或202绝缘套管顶部母线扩展。

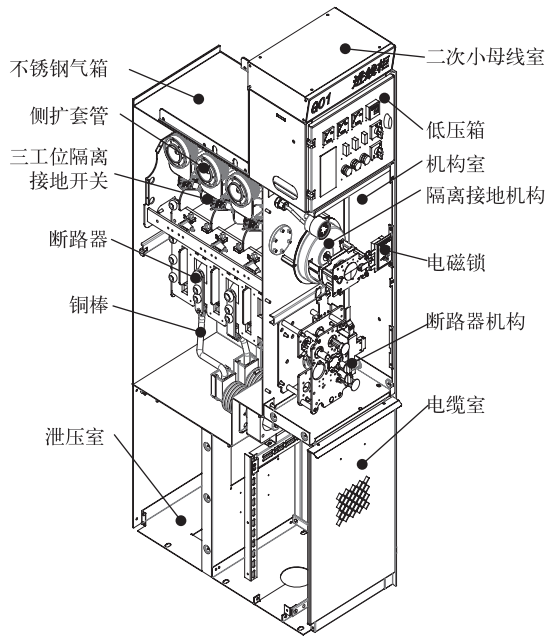

图4　三工位上隔离上接地环保柜

（拆去左侧板及机构面板）

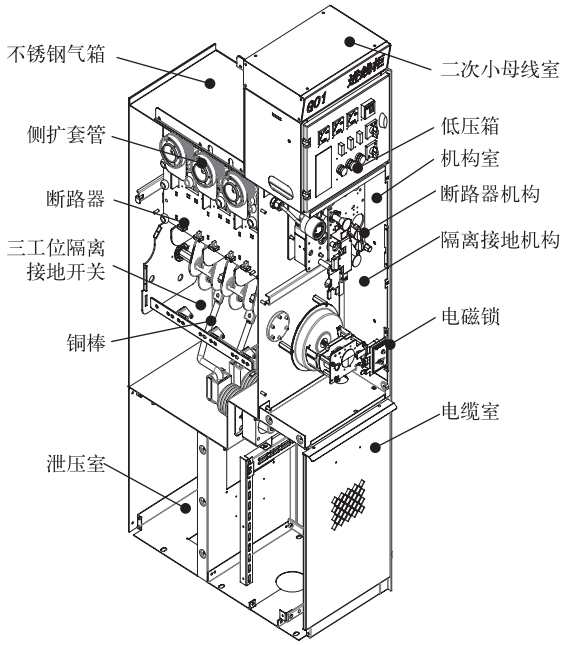

图5　三工位下隔离下接地环保柜

（拆去左侧板及机构面板）

上隔离上接地方案联锁方式。电缆室柜门关闭后方可操作接地开关分闸，下门辅助开关提供电气信号；隔离开关合闸状态，接地开关不能操作，断路器可以操作；隔离接地开关分闸状态，接地开关可以操作，断路器不可以操作；接地开关合闸状态，隔离开关不能操作，断路器可以操作；接地开关和断路器都合闸状态，电缆室柜门才能打开；断路器合闸状态，隔离开关、接地开关均不可以操作；断路器分闸状态，电缆室柜门不能打开；电缆室柜门打开后，所有开关和断路器都不可以操作。接地开关操作孔设有电磁锁，防止带电合闸接地开关。

下隔离下接地方案联锁方式。隔离开关合闸状态，接地开关不能操作，断路器可以操作；隔离开关分闸状态，接地开关可以操作，断路器不能操作；断路器合闸状态，隔离开关、接地开关均不能操作；接地开关合闸状态，隔离开关、断路器均不能操作，电缆室柜门可以打开；电缆室柜门未关时，接地开关不能操作分闸。接地开关分闸状态，电缆室柜门不能打开。电缆室柜门打开后，所有开关和断路器都不可以操作。电缆室柜门辅助开关提供电气信号；接地开关操作孔设有电磁锁，防止带电合闸接地开关。

试制情况和解决的技术工艺问题

1）为保证三工位隔离开关机械强度及局部放电，选用增强PC加玻璃纤维、零件等厚均匀及规则的加强筋框架结构，注塑成型后无气孔等缺陷，通电时不容易产生悬浮电压，同时满足强度、绝缘要求及局部放电稳定性要求。

2）灭弧室动杆和弹簧支座采用双头螺杆连接，免拆零件可方便快速调试断路器灭弧室的开距和超程等参数。灭弧室相间增加绝缘板，隔离轴和断路器轴相间增设大裙边硅胶，增强爬电距离及绝缘能力。

3）优化气箱内的电场分布，主母线采用带$R5$圆角的矩形铜排，环网回路母线采用$\phi 20$铜棒，所有铜排/铜棒端头均做倒圆处理，并在母线连接及固定处均装设电场均压环蔽罩，优化电场。

4）气箱内绝缘介质由SF_6改为干燥空气或氮气，减少SF_6排放，同时减少温室气体对大气的影响，助力“双碳”目标的实现。采用微正压技术，

（下转第83页）

表1　基本误差数据

负载	功率因数	57.7 V误差	100 V误差	220 V误差	结论
合相I_{max}	1.0L	0.012	−0.025	0.015	合格
合相I_{max}	0.5L	−0.075	−0.13	−0.078	合格
合相I_{max}	0.8C	0.025	0.015	0.018	合格
合相I_b	1.0L	0.006	−0.025	0.01	合格
合相I_b	0.5L	−0.031	−0.037	−0.022	合格
合相I_b	0.8C	0.008	−0.025	−0.032	合格
合相0.1I_b	1.0L	−0.029	−0.03	−0.047	合格
合相0.1I_b	0.5L	−0.024	−0.045	−0.075	合格
合相0.1I_b	0.8C	−0.018	−0.032	−0.055	合格
合相0.05I_b	1.0L	−0.055	−0.078	−0.069	合格
合相0.02I_b	1.0L	−0.065	−0.126	−0.055	合格
A相I_{max}	1.0L	−0.023	−0.03	−0.03	合格
A相I_{max}	0.5L	−0.022	−0.105	−0.037	合格
A相I_b	1.0L	−0.022	−0.03	−0.022	合格
A相I_b	0.5L	−0.02	−0.045	−0.06	合格
A相0.1I_b	0.5L	0.016	−0.024	−0.045	合格
A相0.05I_b	1.0L	−0.01	−0.037	−0.039	合格
B相I_{max}	1.0L	0.01	−0.02	0.01	合格
B相I_{max}	0.5L	−0.023	−0.039	−0.055	合格
B相I_b	1.0L	−0.006	−0.01	−0.016	合格
B相I_b	0.5L	−0.04	−0.05	−0.08	合格
B相0.1I_b	0.5L	−0.026	−0.06	−0.035	合格
B相0.05I_b	1.0L	−0.063	−0.043	−0.078	合格
C相I_{max}	1.0L	0.02	−0.021	−0.015	合格
C相I_{max}	0.5L	0.016	−0.06	−0.087	合格
C相I_b	1.0L	−0.008	−0.016	−0.018	合格
C相I_b	0.5L	−0.05	−0.045	−0.053	合格
C相0.1I_b	0.5L	−0.086	−0.096	−0.077	合格
C相0.05I_b	1.0L	−0.12	−0.110	−0.08	合格

结束语

设计的自适应电能表可以自动识别接线方式和电压规格，并进行计量模式、计量参数、事件和报警参数的自适应切换，计量精度低于0.2%，满足用户使用需求，大大降低用户的使用和管理难度，节约维护成本，有着非常广泛的应用前景。EA

（收稿日期：2022-09-13）

参考文献

[1] 王健．三相三线和三相四线有功电能表接线的计量影响及改善对策[J]．电子世界，2014(4)：26-27．

[2] 张永建，娄延旭，康慈云．二元件电能表计量三相三线有功电能的原理[J]．农村电工，2021(3)：52．

[3] 何建新，李立雄．宽量程标准电能表的设计[J]．设计与研发，2021(12)：13-15．

[4] 牟向阳，吴国强，付希林．电压电流自适应智能电能表的设计与实现[J]．现代科学仪器，2017(1)：22-26．

[5] 刘建，黄杰，田正等．一种三相三线与三相四线自适应电能表的设计[J]．计算机测量与控制，2016，24(4)：281-283．

[6] 杨娴，黄珏，徐佳隆，等．关口电能表多回路自动控制与检测装置的研究[J]．电气应用，2021，40(3)：35-39．

（上接第80页）

即气箱内部的工作压力比外边大气压力略高一点，合理地减少漏气率。经氦检漏测试年漏气率小于0.01%。即便气箱产生漏气，零表压时仍保持充足的绝缘以确保设备正常运作。避免空气中的湿冷气体进入气箱内部，保证气箱内部元器件的绝缘特性。

5）加装凹凸镜观察窗，用较小的视窗完成大范围观察，使内部隔离开关状态清晰可见。

6）采用精度高、操作力小、寿命长及稳定性高的盘簧隔离开关机构。设有两层防误操作联锁：一是内设的强制性防护的机械硬联锁片；二是操作孔挡板构成的外部防护，操作者无法把手柄插进闭锁的操作轴孔。

结束语

环保气体全绝缘金属封闭开关设备采用标准化、模块化及一体化设计，结构简单，满足“五防”要求；采用三工位隔离接地开关、模块化断路器、盘簧机构及凹凸观察窗，使隔离断口清晰可视；创新内部电场优化，降低了局部放电数值，提高了雷电冲击数值；气箱内部采用干燥空气或氮气作为绝缘介质，环保、无污染，微正压技术降低了漏气率；设备常压运行，出现漏气情况也不影响设备运行；机械双重防误操作装置，简单可靠。该产品是节能环保的模块化、标准化高性能产品。EA

（收稿日期：2022-11-29）