

带自动重合闸功能的剩余电流保护断路器的模块化设计

段旭兵 李亚团 王结实 宴超

平高集团智能电力科技有限公司

摘要: 在维持现有功能不变的情况下, 通过优化断路器本体结构, 调整电子部分硬件排列, 增加模块化外壳, 使断路器本体与二次保护部分达到隔离的效果, 以满足电网改造对元器件实现可互换性的需求。

关键词: 自动重合闸; 模块化; 剩余电流保护断路器; 电网改造

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2023.06.098

引言

我国低压电器发展60多年, 断路器本体性能已相对稳定, 但电子部分寿命相对机械部分偏低, 目前常见的剩余电流保护断路器一体化结构, 当电子部分损坏时, 往往需要更换整个断路器, 使断路器缩短了寿命周期, 这样增加了维修成本和大量的浪费。同时, 断路器拆装较为麻烦, 维修周期久, 进一步地增大了维修所需的工作量。即使不需更换整个断路器, 仅更换电子部分, 电子部分的拆装也较为麻烦, 且一二次一体, 也增加了更换电子部分的风险性。为了解决此问题, 对断路器本体结构进行优化设计, 调整电子部分硬件排列, 设计模块化外壳, 使断路器一二次结构分离, 构成可插拔模块, 大大提高了更换维修的速度, 增大了断路器本体的更换周期, 也提高了更换电子部分的安全性。

一、自动重合闸功能在断路器中的重要性

自动重合闸功能在断路器中的应用极为重要, 因其直接关联到电力系统的可靠性、稳定性和经济运行, 这一功能允许在断路器检测到暂态故障—如因闪电或树枝接触导线引起的短路—后自动恢复供电, 无须人工干预。据统计, 电力系统中约70%至90%的故障属于暂态性质, 这些故障在清除后不会再次出现。因此, 自动重合闸功能的实施可以显著减少由暂态故障引起的长时间停电, 提高供电的可靠性和效率。此外, 自动重合闸功能对于保护电网设备, 减少因故障导致的损失也发挥着关键作用。在没有自动重合闸的情况下, 断路器在检测到故障时会断开电路, 需要人工或远程指令重新闭合, 这不仅延长了停电时间, 还增加了对电网操作人员的依赖。而自动重合闸通过快速断开和闭合电路, 可以在不牺牲系统安全的前提下, 迅速恢复供电, 减少了电网和用户的经济损失。

例如, 对于一个年平均负载为100MW的电网, 如果通过实施自动重合闸功能, 将因暂态故障引起的年平均停电时间从10小时减少到1小时, 按每千瓦时电价0.1美

元计算, 可节省的经济损失高达90万美元。同时, 快速恢复供电还有助于防止电网因长时间断电而发生的级联故障, 进一步提升了整个电力系统的稳定性。然而, 自动重合闸功能的实施也必须严格控制和设计。错误的操作可能导致对故障的反复闭合, 增加设备损坏的风险, 甚至引起更大范围的电网故障。因此, 现代断路器的自动重合闸功能通常配备有智能控制系统, 能够根据电网条件和历史数据, 决定是否执行重合闸操作。例如, 如果检测到故障持续存在, 智能系统会阻止重合闸动作, 直到确认故障已经被清除。然而, 为确保自动重合闸功能的安全和有效性, 其模块化设计必须与先进控制技术和严格操作规程紧密结合, 确保在任何情况下都能提供智能且可靠的电力供应。通过这种综合性的设计方法, 不仅提升了断路器的性能, 也确保了电力系统的连续性和安全性。

二、断路器电子部分模块化设计

(一) 电子部件模块化设计

传统的一体式剩余电流保护断路器采用主板、控制板和接线板三块板堆叠在中盖上的方式, 这样的设计在更换电子部分时需拆卸开关本体上盖, 不仅维修更换过程繁琐, 还可能带来安全风险。相对于此, 电子部分的模块化设计通过实现一二次分离, 极大地简化了维护过程, 避免了直接接触开关本体的需要, 从而提高了安全性和便捷性。在这种设计中, 电子部分采用板卡堆叠的方案, 主要分为四块板: 主板, MMI板, 拓展板, 接线板。

主板作为系统的核心, 负责处理和所有主要功能, 它接收和分析传感器数据, 执行保护算法, 并控制断路器的动作。MMI板则提供了用户界面, 通常包含LCD显示屏和按键, 使用户能够直接与断路器交互, 进行设置和监控。拓展板根据具体需求选配不同功能, 包含蓝牙模块、实时时钟、超级电容及其他计量或控制相关电路, 增加了系统的功能性和灵活性。接线板则提供必要

的电源和信号连接，包括辅助电源输出、通信接口以及分合闸干接点输出等。

在模块化设计中，主板和拓展板的选择和布局尤为重要。选择合适的元器件和布局可以显著提高系统的稳定性和性能。例如，主电源选择瑞萨高压Buck芯片RAA223021，不仅提供稳定的12V输出，而且输出功率可达600mA，满足系统需求。接线板上的接线端子温度检测电路和出线端电压检测电路使用MCU的ADC和其他电子组件进行精确测量和控制，确保了系统的可靠性和安全性。

此外，模块化设计允许更灵活地升级和维修。当需要替换或升级某个模块时，只需拆下相应的板卡并替换新的模块即可，无须整体更换或重新配置系统。这种设计理念大大简化了维护工作，降低了维护成本，并缩短了系统停机时间。通过这种方式，电子部分的模块化不仅提高了剩余电流保护断路器的性能和可靠性，也提供了更高的灵活性和经济效益。

（二）自动重合闸功能模块化设计

自动重合闸功能的模块化设计在断路器中的实施是电力系统现代化进程中的一项关键技术创新，它通过智能化的控制策略显著提高了电力系统的稳定性和效率。在实际应用中，统计数据显示，电力系统中约70%至90%的故障是暂态性质，能在短时间内自行消除。自动重合闸功能的引入针对这一特点，通过自动断开和闭合电路来处理这些暂态故障，大大减少了因故障引起的长时间停电（图1）。研究表明，引入自动重合闸功能后，系统的平均恢复时间（MTTR）可以从几小时减少到仅几分钟，甚至几秒钟，有效降低了约60%的停电时间，从而直接提升了供电的可靠性和经济效益。

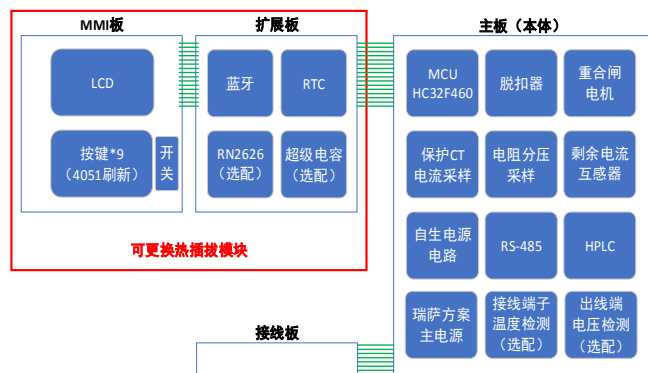


图1 自动重合闸漏保方案

模块化设计允许自动重合闸功能作为一个独立模块集成到断路器中，这种设计使得各个组件如控制单元、传感器和执行机构都可以进行标准化生产，降低了生产

成本，同时提高了产品的互换性和维修效率。以具体数据为例，通过标准化生产，模块化的自动重合闸可以降低约20%的生产成本，同时维修时间比传统设计缩短了约50%。此外，模块化设计还提供了更高的可定制性和灵活性。不同的应用场景可能需要不同的重合闸策略，通过对模块进行编程，可以设定如重合闭合的时间延迟（通常在几十毫秒到几秒不等）、尝试次数（一般为1-3次）以及对特定类型故障的响应方式。例如，在一个具有高度可变负载的工业区，可能会设置较短的重合延迟时间和较多的尝试次数来确保快速恢复供电，而在一个电力负荷相对稳定的住宅区，则可以设置较长的延迟时间和较少的尝试次数来确保系统的稳定性。

三、模块化外壳设计

（一）外壳结构优化设计

常规的一体化断路器结构通常采用三板堆叠在中盖上，通过螺丝固定在本体内部，这种设计在更换电子部分时必须打开断路器上盖，不仅操作繁琐而且由于高低电压交叉存在安全隐患，不能实现带电更换。为了克服这些限制，电子部分的模块化设计应运而生，通过调整和重新排列电路板硬件，合理地控制了拓展板和MMI板的大小，并将较大的、寿命较长的元器件放置于主板上。这样做不仅优化了断路器本体的结构，还实现了拓展板与MMI板的可插拔性，使电子部分的带电更换与维修成为可能。在设计模块化盒子时，必须考虑到拓展板上可能安装的超级电容，因此要合理利用模块空间，确保两块板中间预留足够的空间，通常是9mm以上。

在模块盒子上盖内部结构中，MMI板固定采用两个定位柱定位和两个M2自攻螺丝固定，考虑到显示屏高度约7mm，定位柱底座高度设置为7mm，直径为1.8mm，而自攻螺丝底孔为2mm。对于拓展板，则采用卡扣和支座固定，预留两板间隙为11mm以适应超级电容的高度，支座高度为21mm，板厚1.6mm，预留空间为2mm，因此支座底面高度为23mm，两侧导槽则为装配余量。整个模块内部空间的高度预留为24.8mm，而整体高度为28.5mm，采用无螺丝、支座卡扣配合的装配方式，这不仅极大地提高了装配效率，还节约了装配成本。这种外壳结构优化设计彻底改变了传统断路器的维护方式，实现了更高效、更安全的电子部分更换和维修方法，为未来断路器设计提供了新的思路和方向。

（二）接口与安装模块化

接口与安装模块化在电气设备设计中扮演着至关重要的角色，特别是在确保断路器系统的灵活性、可维护

性和扩展性方面。模块化接口的设计旨在简化安装过程,减少维护时间并提高系统整体的可靠性。通过采用标准化接口,如插槽、扣件和快速连接器,模块化盒子能够确保电子部件如主板、MMI板和拓展板的快速、安全和正确安装。例如,使用宽度为5mm的标准化插槽和深度为2mm的扣件,可以实现模块之间的稳固连接,同时也允许快速更换,无须专业工具或长时间停机。

此外,接口的模块化还意味着电气连接的简化,通过采用可编程的连接器,如带有30+Pin的多功能接口,可以实现不同模块间的快速通信和电源分配。这种接口通常设计有误插防护和自锁功能,确保连接的安全性和稳定性。例如,一个带有60+Pin的连接器可以包含电源线、信号线和控制线,每条线均设计有2mm的间距和0.5mm的接触点直径,以确保连接的准确性和可靠性。安装模块化则进一步提升了整体系统的灵活性和可维护性。通过采用可调节的支座和卡扣,模块化盒子可以轻松安装在不同尺寸和形状的断路器上,支座高度可以从15mm到25mm不等,以适应不同的安装需求。卡扣设计通常包含4到6个弹性臂,长度约为10mm,宽度为2mm,提供稳定而灵活的固定。这种设计不仅简化了安装过程,减少了所需的工具和步骤,还允许在不影响系统运行的情况下进行快速维护和升级。

四、断路器本体结构优化设计

断路器本体采用目前市面上常见的矮款计量带载波模块重合闸本体,底座及主回路部分不做改动;但矮款重合闸本体空间有限,且主板与控制板安装不在同一平面上,而主板延伸扩展需保证固定在同一平面,因此,既需对断路器本体空间做增大处理,又需对断路器电子部分固定螺栓做一些改动:

因互感器、脱扣器、微动开关、电机接线均接在主板上,因此需预留走线空间,走线空间 $\geq 5\text{mm}$,所以对原本结构中盖上五个螺母电路板固定位置进行增高处理,并使其保持在同一水平面(距底面32.4mm,走线空间6mm)。

对断路器本体空间做增大处理:考虑到设计成本,因此对中盖部分只做增高螺栓的改动,增大本体空间可以通过增高上盖高度来实现。常规一体式矮款计量重合闸上盖高度为9-11mm,增大到21mm厚,模块盒子深度预留高度28.5mm。

在上盖为模块盒子预留卡槽,设有两个线卡接口,下方接口为计量专用;同时预留通讯载波模块卡槽,保持与原方案不变;模块盒子两侧设插拔操作槽,防止插

拔时手指操作不便。

因上盖结构加高处理,所以原本结构的脱扣按钮、手动合闸拨杆、分合闸指示等结构也需要改动。如果对上盖中对应结构的指示位置结构做改动,使原本的脱扣按钮、手动合闸拨杆、分合闸指示结构满足使用,则更能节省设计成本。

手动合闸拨杆位置将上盖中对应位置下沉10mm,使其保持与上盖加高前同一水平面即可;脱扣按钮位置同样将对应位置下沉10mm,保持与原结构同一水平面,同时,在上盖对应脱扣按钮的位置周围增加一个手指操作槽,方便人员操作。

分合闸指示位置结构保持不变,将上盖部分,下沉0.5mm,预留标贴槽。设计标贴外观左侧为分合闸指示视窗,右侧为分合闸指示字样,但分合闸指示随着上盖的增高,相当于分合闸指示结构下沉,将会导致使用者视角变小,使分合闸指示难以分辨。所以在标贴视窗圆孔位置采用小型凸透镜结构,利用光的散射,适当增大使用者视角,使分合闸指示更容易识别。

五、结语

通过电路板的自研开发,及本体结构的优化设计,断路器已经满足市面上对剩余电流保护断路器的功能要求,并成功实现电子部分可插拔,同时,断路器通过第三方型式试验项目,IP防护等级满足了断路器结构要求,EMI指标也达到了剩余电流保护断路器户用级别。相比于传统的剩余电流保护断路器,电子模块的可插拔,大大增加了断路器本体的使用寿命,降低了维修成本,实现了断路器电子部分的带电更换与维修。但受限于断路器模块的空间,MCU处理器必须在主板上,因此,此结构严格意义上未达到一二次分离的概念。如何将MCU与主板分离,百分百的实现一二次分离,是接下来工作的重点。

参考文献

- [1]GB-T 14048.1-2012 低压开关设备和控制设备第1部分:总则
- [2]GB-T 14048.2-2020 低压开关设备和控制设备第2部分:断路器
- [3]QGDW 11196-2014 剩余电流动作保护器选型技术原则和检测技术规范
- [4]赵科达,王兴利,熊劲华,高翔.带自动重合闸功能的剩余电流保护断路器的小型化设计A.《电器与能效管理技术》.2017-06-01