

# 模块化开关柜铜排系统标准化与方向设计研究

陈清河

广东金晖隆电气股份有限公司 广东汕头 515000

**摘要：**本文针对模块化开关柜铜排系统的标准化与方向设计展开深入研究。分析了铜排系统在开关柜中的重要作用以及当前铜排设计存在的问题，如设计效率低、标准化程度低、质量不稳定等。通过研究铜排系统的标准化设计原则和方法，包括铜排规格标准化、接口标准化、布局标准化等，提出了提高铜排设计效率和质量的具体措施。同时，探讨了模块化开关柜铜排系统的发展方向，如智能化、绿色化、高可靠性等。研究结果表明，通过标准化设计和优化发展方向，能够有效提高模块化开关柜铜排系统的性能和竞争力，为开关柜行业的发展提供有力支持。

**关键词：**模块化开关柜；铜排系统；标准化设计；发展方向

## 引言

### (1) 研究背景与意义

随着电力行业的快速发展，开关柜作为电力系统中的重要设备，其需求量不断增加。模块化开关柜以其安装便捷、维护方便、可扩展性强等优点，逐渐成为开关柜市场的主流产品。铜排作为开关柜中承载电流的关键部件，其设计和制造质量直接影响开关柜的性能和可靠性。然而，目前铜排系统在设计、制造和安装过程中存在诸多问题，如设计效率低、标准化程度低、质量不稳定等，这些问题制约了模块化开关柜的发展。因此，开展模块化开关柜铜排系统标准化与方向设计研究具有重要的现实意义。

### (2) 国内外研究现状

国内外学者对开关柜铜排系统进行了一定的研究。在国外，一些发达国家在铜排系统的标准化设计和制造方面积累了丰富的经验，其铜排产品质量和性能较高。例如，施耐德等知名通过模块化设计和标准化生产，提高了铜排系统的生产效率和质量稳定性。在国内，随着开关柜行业的不断发展，越来越多的企业开始重视铜排系统的标准化设计，但与国外相比，仍存在一定差距。目前，国内的研究主要集中在铜排的加工工艺、材料性能等方面，对铜排系统的标准化设计和方向设计的研究还不够深入。

### (3) 研究内容与方法

本文首先介绍了模块化开关柜铜排系统的作用和存在的问题，分析了铜排系统标准化设计的必要性和紧迫性。然后，从铜排规格标准化、接口标准化、布局标准化等方面提

出了铜排系统标准化设计的原则和方法。接着，探讨了模块化开关柜铜排系统的发展方向，包括智能化、绿色化、高可靠性等。最后，通过实际案例分析，验证了标准化设计和优化发展方向的有效性。研究方法主要包括文献研究法、案例分析法和实验研究法。

### 1 模块化开关柜铜排系统概述

铜排作为开关柜内承载电流的核心导体，承担着输送电流、连接电气设备以及提供机械支持等多重作用。它将电源、断路器、接触器、负载等各类电器元件紧密相连，构建起完整的电路系统，保障电能得以合理分配与高效传输。模块化开关柜铜排系统具备显著特点。其一，标准化程度较高，通过对铜排规格、接口、布局等方面进行统一设计，实现了大规模生产和快速组装，不仅提高了生产效率，还确保了产品质量的稳定性。其二，可扩展性强，其模块化设计理念使得铜排系统能够根据实际需求进行灵活组合与扩展，轻松满足不同用户的个性化需求。其三，安装便捷，标准化的设计让安装过程更加简单、快速，有效减少了安装时间和人工成本。其四，维护方便，当铜排系统出现故障时，可方便地进行模块化更换，大大降低了维护难度和成本。

然而，当前铜排系统在设计、制造和安装过程中仍存在诸多问题。设计效率方面，传统设计主要依赖人工手动绘制和计算，效率低下且容易出错。标准化程度低，不同厂家的铜排规格、接口等存在差异，缺乏统一标准，导致互换性差，增加了生产和维护成本。质量不稳定，受生产工艺和设备水平限制，铜排质量参差不齐，易出现划伤、凹坑、色泽

不匀等缺陷，影响开关柜性能和可靠性。智能化程度低，现有铜排系统大多不具备智能化监测和控制功能，无法实时掌握铜排运行状态，难以及时发现和处理潜在问题。这些问题制约了模块化开关柜的发展，亟待通过标准化设计和优化发展方向加以解决。

## 2 模块化开关柜铜排系统标准化设计原则与方法

### 2.1 标准化设计原则

**统一性原则：**铜排的规格、接口、布局等应实现统一，确保不同厂家的铜排产品能够互换使用，提高生产效率和降低成本；**合理性原则：**铜排的设计应充分考虑电气性能、机械强度、散热等因素，确保铜排在正常运行条件下能够安全可靠地工作；**可扩展性原则：**铜排系统应具备良好的可扩展性，能够根据实际需求进行灵活组合和扩展，满足不同用户的个性化需求；**兼容性原则：**铜排系统应与开关柜中的其他设备和系统兼容，确保整个开关柜系统的正常运行。

### 2.2 铜排规格标准化

**截面尺寸标准化：**根据开关柜的额定电流和短路容量，制定统一的铜排截面尺寸标准。常见的铜排截面尺寸有 800A、1250A、1600A、2000A、2500A 和 3200A 等规格；**材质标准化：**规定铜排的材质应采用纯铜或铜合金，确保铜排具有良好的导电性能和机械强度。同时，对铜排的纯度、硬度等指标进行明确规定；**表面处理标准化：**铜排的表面应进行镀锡、镀银等处理，以提高其耐腐蚀性和导电性能。规定镀层的厚度和均匀度等指标，确保表面处理质量。

### 2.3 接口标准化

**一次接口标准化：**一次接口主要包括进线接口和出线接口。规定进线接口和出线接口的位置、尺寸和连接方式，确保铜排与电源、负载等设备的可靠连接。例如，低压柜常见的进线方式包括铜排柜顶进线、铜排柜侧进线、电缆柜顶进线以及电缆底部进线等，应制定相应的接口标准；**二次接口标准化：**二次接口主要用于连接断路器、智能电表等设备的通信接口。规定通信接口的模式和协议，如 RS485 通信协议，并确保屏蔽线连接在通信端口和辅助终端之间，提高通信的可靠性和稳定性；**模块间接口标准化：**在模块化开关柜中，铜排模块之间需要实现可靠的连接。规定模块间接口的尺寸、形状和连接方式，如采用插拔式连接或螺栓连接，确保模块间的快速安装和拆卸。

### 2.4 布局标准化

**主母线布局标准化：**主母线贯穿整个开关柜排列，承载着全部电流。根据开关柜的高度和深度要求，制定主母线的布置方式，如上下布置、前后布置以及品字形布置等。同时，考虑主母线与母线桥、接地开关等元件的连接方式，确保电气距离和安全性能；**分支母线布局标准化：**分支母线将主母线的电流分配到各个回路。规定分支母线的走向、长度和连接方式，确保电流分配均匀，减少发热和损耗；**元器件布局标准化：**铜排的布局应充分考虑元器件的布置，确保安装维护的方便性。例如，将电流互感器、断路器等发热元件合理布置，避免热量集中，影响开关柜的性能和可靠性。

## 3 模块化开关柜铜排系统标准化设计案例分析

### 3.1 案例背景

某开关柜制造企业为了提高生产效率和产品质量，决定对模块化开关柜铜排系统进行标准化设计。该企业主要生产低压开关柜，产品广泛应用于工业、商业和民用领域。

### 3.2 标准化设计实施过程

**铜排规格标准化：**根据企业的产品特点和市场需求，制定了统一的铜排截面尺寸标准，包括 800A、1250A、1600A、2000A、2500A 和 3200A 等规格。同时，规定了铜排的材质为 T2 紫铜，表面进行镀锡处理，镀层厚度不小于  $8 \mu\text{m}$ 。

**接口标准化：**对一次接口、二次接口和模块间接口进行了标准化设计。一次接口采用铜排柜顶进线和铜排柜侧进线两种方式，规定了进线孔的位置、尺寸和防护方式。二次接口采用 RS485 通信协议，确保断路器、智能电表等设备之间的通信可靠。模块间接口采用插拔式连接，连接力小于 50N，便于模块的快速安装和拆卸。

**布局标准化：**对主母线、分支母线和元器件的布局进行了标准化设计。主母线采用前后布置方式，便于安装和维护。分支母线根据回路的电流大小和走向进行合理布置，确保电流分配均匀。元器件的布置考虑了安装维护的方便性和散热要求，避免了热量集中。

### 3.3 实施效果

**设计效率提高：**通过标准化设计，铜排的设计时间从原来的平均 3 天缩短到 1 天，设计效率提高了 67%；**产品质量提升：**标准化生产使得铜排的质量更加稳定，产品合格率从原来的 85% 提高到了 98%，减少了因质量问题导致的返工和维修成本；**生产周期缩短：**标准化的铜排系统便于大规

模生产和组装，生产周期从原来的平均 15 天缩短到了 10 天，提高了企业的市场响应速度；成本降低：通过标准化设计和批量生产，铜排的采购成本和制造成本分别降低了 10% 和 15%，提高了企业的经济效益。

#### 4 模块化开关柜铜排系统发展方向

##### 4.1 智能化方向

模块化开关柜铜排系统智能化发展是行业必然趋势，具有显著优势与广阔前景。在智能监测方面，集成温度、局放等传感器，能实时精准捕捉铜排运行参数，借助数据分析提前预警潜在故障，将隐患扼杀在萌芽，极大提升系统运行安全性与稳定性。智能控制技术的运用，可依据负载变化自动调节电流分配，实现能源的优化利用，降低能耗，契合节能减排的时代需求。智能诊断借助大数据与人工智能，构建故障诊断模型，能快速精准定位故障原因并提供解决方案，缩短维修时间，减少停电损失。未来，随着相关技术不断进步，智能化铜排系统将实现更高效的数据采集、更精准的分析决策以及更便捷的远程控制，为电力系统的智能化管理提供有力支撑，推动整个开关柜行业向智能化、高效化迈进。

##### 4.2 绿色化方向

模块化开关柜铜排系统绿色化发展顺应环保潮流，意义重大。在环保材料应用上，采用无铅、无镉等环保型铜排材料，能从生产源头减少有害物质排放，降低对土壤、水源等环境的污染，保障生态安全。节能设计方面，优化铜排布局与结构，合理选用截面尺寸与导电材料，能有效降低电阻损耗，减少铜排发热，进而降低整个开关柜系统的能耗，提高能源利用效率，契合节能减排政策要求。可回收利用设计则着眼于资源循环利用，通过标准化与模块化设计，方便铜排报废后的回收与再加工，减少资源浪费，降低对原生资源的依赖。未来，随着环保法规日益严格和可持续发展理念深入人心，绿色化铜排系统将成为市场主流，推动开关柜行业向绿色、低碳方向转型升级。

##### 4.3 高可靠性方向

高可靠性是模块化开关柜铜排系统持续稳定运行的关键保障，也是行业发展的核心追求。在材料选择上，采用高纯度、高导电率的铜材，其良好的导电性能可降低发热量，减少因过热引发的绝缘损坏等故障风险；同时，选用具备高强度、耐腐蚀特性的材料，能增强铜排的机械性能，抵御复杂环境因素侵蚀，延长使用寿命。制造工艺方面，引入先进

的精密加工、表面处理技术，确保铜排尺寸精度与表面质量，减少因加工误差导致的接触不良等问题，提升电气连接的稳定性。结构设计上，采用冗余设计理念，增加关键部位的冗余铜排，当部分铜排出现故障时，系统仍能正常运行；优化散热结构，提高散热效率，避免局部过热影响铜排性能。此外，严格的质量检测体系贯穿生产全过程，从原材料检验到成品出厂测试，确保每一环节符合高可靠性标准。未来，随着电力系统对可靠性要求的不断提高，高可靠性铜排系统将不断创新升级，为电力供应安全保驾护航。

#### 5 结论

标准化设计是提升模块化开关柜铜排系统性能与竞争力的核心举措。通过统一铜排规格、接口及布局等标准，实现了生产流程的优化与产品质量的稳定。规格标准化使铜排的选型与采购更加便捷高效，降低了成本；接口标准化保障了不同模块间的无缝连接，提高了系统的兼容性与互换性；布局标准化则优化了空间利用与散热效果，提升了系统的整体可靠性。实际案例表明，标准化设计显著提高了设计效率、产品质量，缩短了生产周期，降低了成本，为企业带来了可观的经济效益。

在发展方向上，智能化、绿色化与高可靠性是模块化开关柜铜排系统的必然趋势。智能化发展可实现铜排系统的实时监测、智能控制与故障诊断，提高运维效率与安全性；绿色化设计有助于减少环境污染、降低能耗，符合可持续发展的要求；高可靠性则通过采用高强度材料、冗余设计及严格的质量检测等手段，确保系统在恶劣环境下稳定运行。未来，应进一步加强对这些方向的研究与应用，推动模块化开关柜铜排系统向更高水平发展。

#### 参考文献：

- [1] 瑚泽立, 张航伟, 黄小羽等. 一种模块化开关柜综合状态监测仪表的研制 [J]. 2020.
- [2] 张宏润, 吴建明. 模块化开关柜底板加工工艺分析 [J]. 科技创新与应用, 2020.
- [3] 曾晓松. 低压成套电器开关柜模块化设计系统开发 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2004.
- [4] 喻虹, 寇松彬. 低压开关柜模块化趋势及功能单元的设计 [J]. 高科技与产业化, 2010.
- [5] 何先锐, 张豪, 匡勇等. 一种模块化开关柜的主回路连接结构 [P]. 2022.