

电缆制造中铜导体纯度对性能的影响及改进策略

张益鑫

上海起帆电缆股份有限公司 上海 201514

摘要:通过分析纯度与电缆导电效率、热稳定性、机械强度及制造成本的关系,揭示了高纯度铜导体在电缆制造中的重要性。针对原材料采购与成本控制、生产工艺的适应性与稳定性、杂质去除技术的局限性以及质量控制与检测标准的缺失等挑战,提出优化原材料采购与成本管理、改进生产工艺流程与设备、研发与应用高效杂质去除技术以及建立完善的质量控制与检测体系等策略,以期为电缆制造行业的高质量发展提供有力支撑。

关键词:铜导体纯度; 电缆制造性能; 导电效率; 热稳定性; 机械强度; 制造成本

引言

随着电力行业的快速发展和电缆应用领域的不断拓展,对电缆的性能要求也越来越高。铜导体作为电缆的核心部件,其纯度直接影响电缆的导电效率、热稳定性、机械强度等关键性能指标。提升铜导体纯度并非易事,面临着原材料采购与成本控制、生产工艺适应性与稳定性、杂质去除技术局限性以及质量控制与检测标准缺失等多重挑战。深入研究铜导体纯度对电缆制造性能的影响,并提出有效的改进策略,对于推动电缆制造行业的高质量发展具有重要意义。

一、铜导体纯度对电缆制造性能的影响

(一) 纯度与电缆导电效率

铜导体的纯度对电缆的导电效率具有决定性影响。纯铜,作为一种优良的导体材料,其导电性能主要取决于铜原子晶格的完整性和电子在晶格中的自由移动程度。当铜导体中的杂质含量增加时,杂质原子会嵌入铜晶格中,破坏晶格的完整性,导致电子在移动过程中受到散射,从而增加电阻。高纯度的铜导体,由于杂质含量极低,晶格结构更为完整,电子在晶格中的移动受到的阻碍减小,电阻率降低,导电效率提高^[1]。例如,截面积的铜导体,高纯度铜(如OFHC,无氧高导电铜)制成的电缆相比低纯度铜电缆,在传输相同电流时,电能损耗更小,发热量更低,从而提高电缆的传输效率和能源利用率。尤其是在长距离输电或大功率电力传输中,该差异较为显著。

(二) 纯度与电缆热稳定性

铜导体的纯度还直接影响电缆的热稳定性。高纯度铜导体具有更高的熔点和更好的热导率。在高温环境下,

低纯度铜导体中的杂质可能加速氧化、腐蚀等化学反应,导致导体表面粗糙度增加,电阻增大,甚至引发导体断裂等安全问题。而高纯度铜导体,由于其纯度高,杂质含量少,对高温环境的抵抗能力更强,能够长时间保持稳定的物理和化学性质。例如,在矿井、炼钢厂等高温环境中使用的电缆,如果采用高纯度铜导体,可以有效提高电缆的耐热性能,延长电缆的使用寿命,减少因电缆故障导致的停产或安全事故。

(三) 纯度与电缆机械强度

铜导体的纯度对电缆的机械强度也有显著影响。高纯度铜导体,由于其晶格结构完整,晶界少,因此具有更高的抗拉强度和抗弯强度。在电缆的制造、安装和使用过程中,高纯度铜导体能够更好地抵抗外力作用,如拉伸、弯曲、扭曲等,不易发生变形或断裂^[2]。以电缆的敷设为例,在复杂地形或恶劣环境下敷设电缆时,电缆会受到较大的拉力和弯曲力。如果采用高纯度铜导体,可以有效提高电缆的承受能力,减少因外力作用导致的电缆损坏或故障。

(四) 纯度与电缆制造成本

铜导体的纯度对电缆的制造成本具有直接影响。一般来说,高纯度铜原材料的采购价格较高,且加工过程中需要更严格的工艺控制和质量检测,会增加电缆的制造成本。然而,成本增加并不是线性的,而是与纯度的提高程度、加工工艺的复杂程度以及质量检测的要求密切相关。虽然高纯度铜导体的原材料成本和加工成本较高,但由于其优异的导电性能、热稳定性和机械强度,可以在一些高端应用场合中替代低纯度铜导体,从而提高电缆的整体性能和使用寿命。从长远来看,纯度的提升会带来的经济效益和社会效益,足以抵消甚至超过制

造成成本的增加^[3]。在电缆制造中，需要综合考虑铜导体的纯度与制造成本之间的关系，选择最适合的铜导体纯度以满足特定应用场合的需求。

二、电缆制造中铜导体纯度提升面临的挑战

（一）原材料采购与成本控制

在电缆制造行业中，提升铜导体的纯度首先面临的是原材料采购与成本控制的挑战。高纯度铜原材料的市场供应相对有限，且价格通常较高。由于高纯度铜的提炼加工过程复杂，需要消耗更多的能源和原材料，导致生产成本上升。对于电缆制造商而言，采购高纯度铜原材料不仅意味着更高的采购成本，还会涉及到供应链稳定性和供货周期的问题。例如，在全球铜市场波动较大的情况下，高纯度铜的价格会随市场供需关系发生较大变化，给电缆制造商的成本控制带来不确定性。同时，由于高纯度铜的特殊性，其供应商较少，电缆制造商在选择供应商时面临较少的选项，增加采购风险。

（二）生产工艺的适应性与稳定性

提升铜导体纯度还对电缆制造的生产工艺提出了更高要求。高纯度铜导体对加工过程中的温度控制、环境清洁度、设备精度等都有着更为严格的要求。现有的生产工艺和设备并不完全适应高纯度铜导体的生产，需要进行相应的调整和改进。例如，在熔炼和铸造过程中，需要控制熔炼温度和时间，以避免铜液中的杂质重新融入或产生新的杂质。在拉拔和绞线过程中，需要保持设备的高精度和稳定性，以确保铜导体的尺寸和形状符合要求^[4]。

（三）杂质去除技术的局限性

尽管铜导体纯度的提升对电缆性能有着显著影响，但现有的杂质去除技术却存在一定的局限性。在传统的铜冶炼和加工过程中，可以通过一些物理和化学方法去除大部分杂质，但对于某些微量杂质或特定类型的杂质，去除效果并不理想。例如，对于铜中的某些气体元素（如氧、氮等）或某些难以挥发的金属元素（如铅、铋等），现有的去除技术无法达到很高的去除率。这些残留杂质会影响铜导体的导电性能、热稳定性和机械强度，从而限制铜导体纯度的进一步提升。

（四）质量控制与检测标准的缺失

在电缆制造中，提升铜导体纯度还需要建立完善的质量控制与检测体系。目前对于高纯度铜导体的质量控制和检测标准并不完善或存在缺失。导致在生产过程中无法准确判断铜导体的纯度水平，或者在成品检验时无法及时发现纯度问题。例如，对于高纯度铜导体的导电

性能、热稳定性和机械强度等关键性能指标，缺乏统一或准确的检测方法或标准。不仅会给电缆制造商带来质量控制上的困难，还会影响电缆产品的市场竞争力和用户信誉。建立完善的质量控制与检测体系是提升铜导体纯度所面临的重要挑战之一。

三、电缆制造中铜导体纯度提升的改进策略

（一）优化原材料采购与成本管理

在电缆制造过程中，提升铜导体的纯度不仅关乎产品性能，还直接影响到制造成本和市场竞争力。优化原材料采购与成本管理成为关键。面对高纯度铜原材料的采购，电缆制造商需采取灵活的采购策略。由于高纯度铜市场供应相对有限且价格波动较大，制造商应建立与多家供应商的合作关系，确保原材料的稳定供应。多元化供应商策略不仅有助于分散风险，还能在价格谈判中争取更多主动权。以及定期对供应商进行评估，包括其生产能力、质量控制体系以及价格竞争力，是确保原材料质量稳定、成本可控的重要手段。

在成本控制方面，电缆制造商需要找到原材料质量与成本之间的平衡点。高纯度铜虽然性能优异，但价格较高。制造商需根据产品需求和市场需求，合理确定铜导体的纯度规格^[5]。例如，对于某些对导电性能要求极高的应用场景，如高压电缆，需选择高纯度铜；而对于一些对性能要求相对较低的应用，可以考虑使用成本更低的铜合金或低纯度铜。

（二）改进生产工艺流程与设备

在电缆制造中，提升铜导体纯度不仅依赖于原材料的选择，还需要对生产工艺流程进行优化，并引进或研发先进的生产设备。对熔炼过程进行精细化控制。熔炼是铜导体生产的关键环节，直接影响铜液的纯度和质量。可以通过采用更精确的温控系统，确保熔炼温度在最佳范围内，避免温度过高导致铜液氧化或过低影响熔炼效率，加强熔炼过程中的气氛保护，减少铜液与空气的接触，降低杂质融入的可能性。

改进铸造工艺。铸造过程中，铜液的冷却速度和凝固方式对铜导体的晶粒结构和纯度有着重要影响。可以通过优化铸造模具的设计，改善铜液的流动性和凝固条件，获得更均匀、致密的铜导体结构。此外，还可以采用连续铸造技术，提高生产效率，减少铜液的氧化和夹杂。

在拉拔和绞线环节，也需要进行优化。拉拔过程中，需严格控制拉拔速度和拉力，避免铜导体产生裂纹或断裂。绞线时，需确保各股铜线的张力和绞合角度一致，

保证铜导体的整体性能和外观质量。

除了优化工艺流程,引进或研发先进生产设备也是提升铜导体纯度的关键。例如,可以引进具有高精度和稳定性的熔炼设备,确保铜液的纯净度和均匀性。研发高效的铸造设备,提高铜导体的凝固速度和晶粒细化程度,还可以引进智能化的拉拔和绞线设备,实现生产过程的自动化和精确控制^[6]。

(三) 研发与应用高效杂质去除技术

在电缆制造过程中,铜导体纯度的提升直接关系到电缆的导电性能、热稳定性和机械强度等关键指标。铜原材料中难免含有各种杂质,如何高效去除这些杂质成为提升铜导体纯度的关键。研发与应用高效杂质去除技术显得尤为重要。一方面,可以探索基于物理原理的杂质去除技术。例如,利用电磁场或超声波等物理手段,对铜熔液中的杂质进行精准定位和有效分离。这类技术具有处理速度快、对环境友好等优点,有望成为未来杂质去除领域的重要发展方向。另一方面,化学方法也是杂质去除的重要手段。通过研发新型化学试剂,使其与铜熔液中的杂质发生特异性反应,生成易于分离的化合物,从而实现杂质的去除。这种方法需要重点关注试剂的选择性和反应效率,以确保处理过程的高效性和经济性。此外,生物技术在杂质去除领域也展现出了一定的应用潜力。通过筛选和培养具有特定功能的微生物或酶,使其能够选择性地吸附或分解铜熔液中的杂质,为杂质去除提供了新的思路。

(四) 建立完善的质量控制与检测体系

在电缆制造行业中,铜导体的纯度是衡量产品质量的重要指标之一。为了确保电缆中铜导体的纯度达到预定标准,建立完善的质量控制与检测体系至关重要。需要提出并建立一套针对电缆制造中铜导体纯度的质量控制与检测标准,明确铜导体的纯度范围、杂质含量限制以及相应的检测方法。例如,可以规定铜导体的纯度需达到99.9%以上,同时明确铁、镍、锌等常见杂质的最大允许含量。检测方法则可以采用光谱分析、化学分析等手段,确保检测结果的准确性和可靠性。

在制定标准的同时,加强过程控制也是确保产品质量的关键环节。从原材料采购开始,就应对铜原材料进行严格的质量检验,确保其纯度符合生产要求。在生产过程中,应对熔炼、铸造、拉拔、绞线等各个环节进行

实时监控,及时发现并纠正可能影响铜导体纯度的因素^[7]。例如,在熔炼过程中,应严格控制熔炼温度和气氛,避免铜液与空气中的氧气发生反应,引入氧化杂质。

此外,成品检验也是确保产品质量不可或缺的一环。在电缆生产完成后,应对铜导体进行全面的质量检测,包括纯度检测、外观检查、导电性能测试等。只有经过严格检验并符合标准的电缆才能出厂销售,从而确保用户能够使用到高质量的电缆产品。

结语

铜导体纯度对电缆制造性能具有显著影响,提升铜导体纯度是提升电缆整体性能和使用寿命的关键途径。该过程中面临着诸多挑战,需要电缆制造商在原材料采购、生产工艺、杂质去除技术以及质量控制与检测等方面不断创新和优化。提出一系列针对性的改进策略,旨在为电缆制造行业提供有益的参考和指导。随着技术的不断进步和创新,高纯度铜导体将在电缆制造中得到更广泛的应用,为电力行业的持续发展和电缆应用领域的拓展做出更大的贡献。

参考文献

- [1] 苏华光. 导体铜及铜合金的应用和加工工艺综述[J]. 电线电缆, 2022, (05): 22-29+33.
- [2] 鲁海洋, 刑孟哲, 陈建芳, 等. 高速列车车顶铜导体压接开裂原因分析及改进措施[J]. 矿冶工程, 2022, 42(03): 134-137.
- [3] 曹卫卫. 电线电缆导体直流电阻检测过程中的问题与处理对策[J]. 机械工程与自动化, 2022, (01): 150-151.
- [4] 朱军军, 韩哲, 叶赞赞, 等. 实现绞合铜导体直流电阻快速检测判定方法研究[J]. 电线电缆, 2021, (03): 28-31.
- [5] 王路正, 杨宜. 关于低压电线电缆导体截面积检验标准判定的探讨[J]. 设备监理, 2020, (02): 57-58+60.
- [6] 蒋桂贤, 乔恩, 赵天宝, 等. 电缆用异形铜导体直流电阻影响因素及控制措施[J]. 光纤与电缆及其应用技术, 2023, (03): 32-35.
- [7] 钮万锦, 吕建祥, 王振乾. 铜导体线材产品公司的运营管理策略分析[J]. 营销界, 2023, (10): 47-49.