

输变电金属材料部件失效分析与对策

梁永昌

天津市产品质量监督检测技术研究院检测技术研究中心 天津 300232

摘要: 本文深入探讨了输变电金属材料部件失效的研究意义,并针对化学失效、力学性能失效、金相组织失效以及扫描电镜分析结果提出相应的对策与建议。通过加强材料研发与改进、优化表面防护处理技术、完善结构设计与制造工艺、以及充分利用扫描电镜等先进分析技术,可以有效预防和解决输变电金属材料部件的失效问题,提升电力系统的安全稳定运行水平,促进电力行业持续发展。

关键词: 金属材料; 化学分析; 力学性能; 金相组织; 失效分析

1 输变电金属材料失效研究的意义

输变电金属材料失效研究在现代电力工业中占据着举足轻重的地位。输变电金属材料失效研究是提升电力设备可靠性的关键。在电力系统中,输变电设备扮演着能量传输和分配的重要角色。而金属材料作为设备的核心组成部分,其性能的稳定与否直接关系到设备的整体可靠性。通过对金属材料的失效机理进行深入研究,可以揭示材料性能劣化的根本原因,进而提出针对性的优化措施,有效提升设备的可靠性和使用寿命。如何降低设备的故障率,减少运维成本,成为电力行业亟待解决的问题。通过对金属材料失效的研究,可以预测和预防潜在的安全隐患,降低故障发生的概率,从而减少运维成本和提高经济效益^[1]。

2 输变电金属材料部件失效的原因分析

2.1 化学分析

金属材料部件失效的化学原因主要涉及到材料与环境中的化学物质之间的相互作用。以大气腐蚀为例,金属部件在户外环境中受到长期的暴露,经过五年的自然老化,其表面腐蚀深度可达0.2-0.5毫米,导致材料的机械强度降低约10%。电化学腐蚀是另一种常见的腐蚀类型,尤其在金属部件与其他金属或电解质接触时。当两种不同金属在电解质溶液中连接时,形成的电偶腐蚀可导致其中一种金属的腐蚀速率增加,这种加速腐蚀的现象是单独腐蚀的数倍,对材料的耐久性构成严重威胁。研究表明,腐蚀坑的存在使金属部件的应力集中,降低材料的疲劳寿命。而剥落现象则直接导致材料的有效截面减小,承载能力下降^[2]。另外,金属材料内部的化学成分变化也是导致失效的一个重要原因。例如,合金元素的不均匀分布会导致材料的微观结构不均一,从而使其力学性能和耐腐蚀性能出现差异。杂质元素如硫、磷等,会严重影响金属材料的纯净度和组织结构。数据显示,当金属材料中硫的含量超过0.05%时,其抗氢致开裂和抗应力腐蚀开

裂的性能将显著降低,增加了材料失效的风险。

2.2 力学性能分析

据相关统计数据显示,约有75%的金属材料部件失效案例与力学性能的降低直接相关。例如,在对某型隔离开关的操作传动机构部件进行失效分析时,发现其抗拉强度较正常部件下降约20%,这直接导致了部件在正常工作条件下发生断裂。同样,韧性降低也是失效部件常见的力学性能变化之一。韧性降低意味着材料在受到冲击或外力作用时,抵抗裂纹扩展的能力减弱,从而增加失效的风险。疲劳破坏是输变电金属材料部件失效的另一种重要形式^[3]。

2.3 金相组织分析

金相组织观察分析,是一种深入剖析材料微观特性的有力手段。当部件失效时,了解其失效机理对于预防类似问题发生、提高产品质量和使用寿命具有重要意义。通过金相组织观察,可以捕捉到材料内部的细致结构,如晶粒的尺寸、各类相的分布状态,以及组织的整体形貌等细节。这些看似微小的特征,其实对材料的宏观性能有着深远的影响。晶粒细小意味着材料内部界面更多,这有助于提高材料的强度和韧性。而晶粒过于粗大,则可能导致材料在受力时更容易出现裂纹和断裂。晶粒度测定照片见图1。晶粒大小对于金属力学性能有显著影响。晶粒越细小,则强度高且韧性好。细化晶粒是同时提高材料强度和韧性的重要手段。

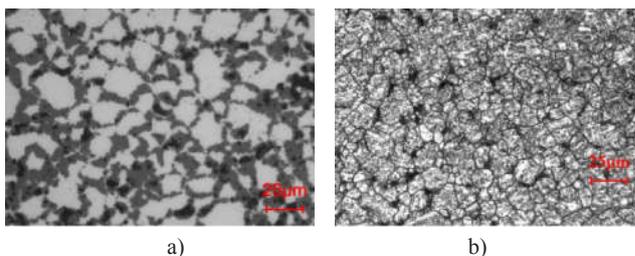


图1 晶粒度测定照片

不同的相具有不同的物理和化学性质，它们之间的相互作用和协调对材料的整体性能至关重要^[4]。若相的分布不均匀，可能导致材料在某些区域出现性能弱化，进而引发失效。正常部件的组织形貌通常呈现出一定的规律性和均匀性，而失效部件则可能出现组织紊乱、异常

析出等现象。金属材料的机械性能和失效形式和其进行组织有重要的关系。铁素体强度低、韧性和塑性好，而渗碳体强度高，但塑性和韧性极差。通过热处理制度可以获得强度和韧性均较好的回火马氏体或索氏体组织。金相组织照片如图2所示。

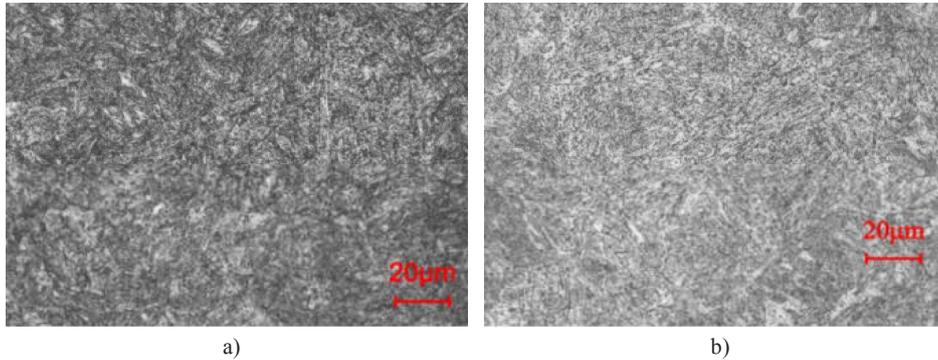


图2 金相组织照片

2.4 扫描电镜分析

扫描电镜分析在输变电金属材料部件失效分析中扮演关键角色，其高精度观测能力可深入揭示失效的微观机制。通过这种技术，能清晰观察到材料表面的形貌、微观结构变化和失效特征，进而判断失效形式，如磨损、腐蚀或断裂。更重要的是，扫描电镜能够精确揭示裂纹的起源、扩展路径及断裂方式，为失效原因的深入分析提供有力依据。它还能帮助我们观察和分析材料内

部的微观结构变化，例如相变和析出物，从而建立失效与微观结构之间的联系。这些观察结果提供失效机制的直接证据，有助于我们精确识别问题所在，并据此制定针对性的解决措施，提高材料部件可靠性和耐久性。因此，扫描电镜分析是确保输变电金属材料部件安全、稳定运行不可或缺的技术手段^[5]。失效分析断口形貌照片如图3所示。

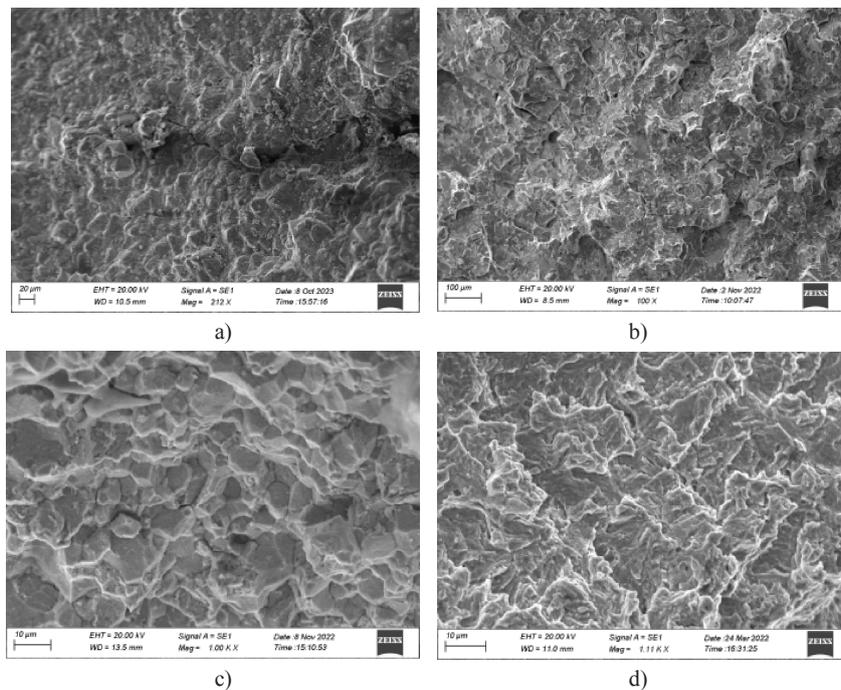


图3 失效分析断口形貌

3 输变电金属材料部件失效的对策研究

3.1 化学分析视角下的失效对策研究

针对输变电金属材料部件失效的化学原因，可以从材料选择和表面处理两个方面进行对策研究。在材料选择方面，应选择耐腐蚀性能优异的金属材料。对于户外环境中的部件，应考虑使用耐候性好、抗大气腐蚀能力强的合金材料。对于海洋或潮湿环境，应选择抗水腐蚀能力强的不锈钢或特种合金材料。材料的纯度也至关重要，应尽可能减少杂质元素的含量，以提高材料的纯净度和抗腐蚀性能。可以采用涂层、镀层或阳极氧化等方法来保护金属材料。这些表面处理技术能够增加材料的耐腐蚀性，减缓腐蚀速率，延长材料的使用寿命^[6]。同时，定期对部件进行涂层的修复和维护也是必要的，以确保其长期有效的保护作用。

3.2 力学性能分析下的失效对策研究

可以通过调整合金元素的种类和含量，优化材料的微观结构，从而获得更好的力学性能。采用先进的材料制备工艺，如热处理、锻造或轧制等，也能有效地提高材料的性能。严格控制生产过程中的各个环节，确保材料的质量稳定性。加强对原材料的质量检测，避免使用不合格的材料。优化生产流程，提高生产工艺的可靠性和重复性，以减少因工艺波动导致的性能不稳定问题^[7]。

3.3 金相组织分析指导下的失效对策研究

金相组织分析为揭示材料失效机理提供有力的证据，基于这些分析结果的对策应关注于材料微观结构的优化。首先，应通过合理的热处理和合金化方法来控制晶粒尺寸，确保晶粒细小且分布均匀，从而提高材料的强度和韧性。其次，要优化材料的相组成和分布，通过调整合金元素比例和热处理工艺，减少相的分布不均匀性，以提高材料的性能均匀性和耐久性。最后，针对组织形貌异常的问题，应加强材料生产工艺的控制，避免异常析出和组织紊乱等现象的发生。同时，定期对材料进行金相组织检查，及时发现并解决潜在问题^[8]。

3.4 扫描电镜分析下的失效对策研究

依据扫描电镜分析的结果，可以制定出更为精准和有效的失效对策。针对特定的失效形式（如磨损、腐蚀或断裂），扫描电镜分析有助于深入了解其微观层面的发生机理，从而制定出针对性的预防措施。例如，在磨损问题中，通过扫描电镜可以观察磨损表面的形貌变化、磨损产物的分布以及磨损机制的微观特征。通过观

察和分析裂纹的起源、扩展路径以及断裂方式，可以发现材料的薄弱环节和潜在问题，从而为材料的成分和结构设计提供指导^[9]。例如，扫描电镜分析可以揭示材料中的夹杂物、气孔等缺陷对裂纹萌生和扩展的影响，进而指导我们优化材料的制备工艺，减少缺陷的产生。扫描电镜分析还可以用于对失效部件进行事后分析，深入了解失效的原因和机理，为改进设计和提高产品质量提供依据^[10]。

结束语

输变电金属材料部件失效研究是电力工业中不可或缺的一环，它直接关系到电网设备的安全。通过化学分析、力学性能、金相组织分析和扫描电镜断口形貌分析多种技术手段对输变电金属材料部件的失效形式进行了分析，为深入了解该材料失效的原因和机理提供了重要依据，并对预防失效提出了相应对策。

参考文献

- [1]陈勇.刘飞.李卫国.输变电金属材料失效研究及其意义[J]. 电力科学与技术学报, 2020, 35(2): 1-6.
- [2]张志强.王晓明.输变电金属材料部件失效原因及扫描电镜分析[J]. 材料研究与应用, 2021, 15(4): 245-252.
- [3]李晓东.刘海涛.输变电金属材料失效对策探讨[J]. 电网技术, 2019, 43(11): 4052-4058.
- [4]王刚.张华.扫描电镜分析在输变电金属材料失效研究中的应用[J]. 扫描电镜技术与应用, 2022, 18(1): 32-38.
- [5]王莹.林瑶.复合材料在输变电工程中的应用[J]. 集成电路应用. 2020.37(11):170-171.
- [6]卢展强.张兴森.输变电金属材料部件失效分析与对策[J]. 广西电力, 2019, 37(1): 42-44.
- [7]张涛.王莉.输变电金属材料部件失效的化学分析与对策探讨[J]. 化工新型材料, 2023, 41(4): 197-200.
- [8]李明远.陈海燕.张强.输变电金属材料部件力学性能失效分析与提升措施[J]. 机械设计与制造, 2022, 48(10): 108-111.
- [9]王伟.孙刚.输变电金属材料部件金相组织观察与失效机理分析[J]. 材料科学与工程学报, 2021, 39(3): 494-498.
- [10]刘佳.周杰.赵勇.输变电金属材料部件失效分析与预防措施研究[J]. 电力系统及其自动化, 2020, 44(12): 213-217.