

Selection and Performance Evaluation of Foundation Reinforcement Materials for Transmission Lines

Tianqi Si

China Energy Construction Group Xinjiang Electric Power Design Institute Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830002, China

Abstract

The reinforcement of transmission line foundations is one of the key technologies for ensuring the stable operation of power systems, especially in harsh environments where the stability of the foundation directly affects the safety and durability of the transmission lines. In recent years, with the growth in electricity demand and the intensification of climate change, traditional transmission line foundations have gradually exposed problems such as insufficient bearing capacity, poor corrosion resistance, and low durability, making reinforcement projects even more important. This paper focuses on analyzing the necessity and background of transmission line foundation reinforcement, explores the selection and performance evaluation criteria for reinforcement materials, and proposes reasonable material selection principles along with their application in practical engineering, aiming to provide theoretical support and technical references for transmission line foundation reinforcement.

Keywords

transmission line; foundation reinforcement; material selection; performance evaluation; technical implementation

输电线路基础加固材料的选择与性能评估

司天琪

中国能源建设集团新疆电力设计院有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830002

摘要

输电线路基础加固是保障电力系统稳定运行的关键技术之一,尤其在恶劣环境下,基础的稳固性直接影响到输电线路的安全性与耐久性。近年来,随着电力需求的增长和气候变化的加剧,传统输电线路基础逐渐暴露出承载力不足、抗腐蚀性差、耐久性差等问题,因此加固工程显得尤为重要。本文重点分析了输电线路基础加固的必要性与背景,探讨了加固材料的选择与性能评估标准,提出合理的材料选择原则及其在实际工程中的应用,旨在为输电线路基础加固提供理论支持与技术参考。

关键词

输电线路; 基础加固; 材料选择; 性能评估; 技术实施

1 引言

随着现代电力系统的快速发展,输电线路作为电力输送的核心环节,发挥着不可或缺的作用。然而,输电线路基础的稳定性问题日益突出,尤其是在极端气候条件下,基础受力、腐蚀等问题给线路运行带来极大的风险。输电线路基础的加固工作,除了确保线路运行的安全性外,还能延长其使用寿命、减少维护成本。因此,对加固材料的选择与性能评估显得尤为重要。近年来,随着材料科学与工程技术的发展,新型加固材料逐步进入实际应用,提供了更高效、耐用的解决方案。

2 输电线路基础加固的必要性与背景

2.1 输电线路基础受力分析

输电线路的基础承载力受到多种因素的影响,其中包括土壤类型、气候变化以及基础结构本身的老化。在常规使用过程中,基础受到的主要力来自于土壤压力、风载荷以及线路的自重。不同区域的土壤条件直接影响基础的稳定性,特别是在软土、湿润或含水层较高的地区,基础的承载力常常不足,容易导致沉降或倾斜,影响线路的正常运行。同时,极端气候(如强风、冰雪等)对基础的压应力也有显著影响,容易造成基础损坏。为此,需对基础进行受力分析,以便合理评估加固需求并采取有效措施,确保线路的稳定运行。

2.2 加固需求的驱动因素

输电线路基础的加固需求主要由线路安全、设备寿命和环境变化等因素驱动。随着电力系统规模的扩大和技术水平的提升,线路的可靠性和稳定性要求也越来越高。基础的

【作者简介】司天琪(1991-),男,中国河南商丘人,硕士,副高级工程师,从事输电线路结构研究。

老化、地基的不均匀沉降以及外部环境条件的变化（如气候变化、地震等）使得原有的基础无法有效支撑现代化的输电线路。此外，线路所处地区的土地开发、建设活动等因素也可能导致基础受力环境的变化，进一步加剧基础的负担。因此，为了保证电力传输的稳定性和可靠性，及时对基础进行加固显得尤为重要。加固不仅可以防止基础的进一步损坏，还能提高基础的整体承载能力，延长其使用寿命，并确保输电线路的长期稳定运行。

3 输电线路基础加固材料的分类与特点

3.1 传统加固材料的优缺点

传统的输电线路基础加固材料主要包括钢筋混凝土、钢板、砂浆以及石材等，这些材料经过长时间的应用，其优缺点已较为明显。钢筋混凝土作为最常用的加固材料，具有较强的抗压能力和稳定性，但其重量较大，施工过程中需要大量的人工与机械设备，且在潮湿或极端温差环境中容易出现裂缝，降低其耐久性。钢板在加固中被广泛应用，具有较高的抗拉强度和抗腐蚀性，但其重量较大且施工难度较高，成本较高。砂浆和石材则通常用于较为简易的加固，具有良好的适应性和较低的成本，但其耐久性较差，容易受到外界环境的侵蚀。尽管这些传统材料在一定程度上能满足加固需求，但随着技术的进步，仍有许多不足之处，尤其是在环境适应性、耐久性和施工便捷性方面。

3.2 材料性能与适用性分析

新型加固材料的出现为输电线路基础加固提供了更多选择，这些材料通常在抗压、抗腐蚀、耐久性等方面表现优异。与传统材料相比，新型复合材料如聚合物基复合材料、碳纤维增强复合材料等具有更好的性能和适用性。这些材料具有较低的重量和较高的强度，能够有效减轻基础负担，且具有较强的抗腐蚀性和耐环境侵蚀能力。在适用性方面，这些材料不仅适用于多种地质环境，还能在极端气候条件下保持稳定的性能。以碳纤维增强复合材料为例，它在提高基础的抗拉强度和抗弯性能方面表现突出，且施工便捷，能够有效缩短加固周期。综上所述，新型材料在性能和适用性上相较传统材料具有显著优势，能够满足现代输电线路对加固材料的更高要求^[1]。

4 输电线路基础加固材料的性能评估标准

4.1 材料强度与稳定性测试

材料强度和稳定性是评估输电线路基础加固材料的重要指标。在进行强度测试时，常用的标准包括抗压强度、抗拉强度和抗弯强度等。例如，钢筋混凝土的抗压强度通常在 25 MPa 到 60 MPa 之间，而碳纤维复合材料的抗拉强度可达到 2500 MPa，远高于传统材料。在稳定性测试中，常通过标准的疲劳试验来评估材料在长时间受力后的性能变化。比如，钢板在反复加载后，经过 5000 次加载和卸载的测试，仍能保持其原有的强度和形状稳定性，而普通混凝土在相同

条件下表现出明显的微裂纹和强度下降。此外，材料的变形能力也是评估稳定性的重要指标。以聚合物基复合材料为例，其变形模量较低，适用于需要一定弹性的加固场合。这些测试数据帮助确定材料在实际使用中的安全性和可靠性。

4.2 耐候性与抗腐蚀性评估

耐候性和抗腐蚀性是影响材料使用寿命的关键因素，尤其是在极端气候和恶劣环境条件下。耐候性评估通常通过加速老化试验进行，常见的测试方法包括紫外线辐照、湿热试验和冻融循环等。例如，某款聚氨酯涂层材料在通过 2000 小时的紫外线辐照测试后，仍能保持 95% 以上的原始强度和颜色不变，显示出优异的耐候性。而抗腐蚀性评估则多依赖盐雾试验，特别是在沿海地区或盐雾环境中使用的材料，其抗腐蚀性能尤为重要。钢筋混凝土的抗腐蚀性较差，经盐雾试验后，表面出现明显的锈蚀现象，而使用锌合金涂层或环氧树脂涂层的钢材，在相同环境下表现出优异的抗腐蚀性能，腐蚀速率可低至 0.01 mm/年。通过这些数据，工程师能够选择适应各种环境条件的加固材料，确保长期稳定性。

5 输电线路基础加固材料的选择原则与应用

5.1 选择原则：经济性、可行性与耐用性

在选择加固材料时，经济性、可行性和耐用性三个重要的原则。经济性要求材料的成本要与工程预算相符，同时保证加固效果的可接受性。例如，钢筋混凝土作为传统材料，虽然初期投资较高，但由于其优良的抗压性能和较长的使用寿命，整体经济性较好。可行性则要求材料能够与现有的输电线路基础兼容，并且施工过程不应过于复杂或耗时。以复合材料为例，尽管其初期成本较高，但施工便捷，能在较短时间内完成加固工作，尤其适用于需要紧急加固的线路。耐用性则要求所选材料能够在多变的自然环境中保持长期稳定性，减少维护频率。例如，采用抗腐蚀性强的锌合金材料可延长输电线路基础的使用年限，减少因腐蚀引起的频繁修复。通过综合考虑这三项原则，可以选择出最为适合的加固材料。

5.2 实际应用中的选择分析

在实际应用中，材料的选择通常需要根据输电线路所在的地理位置、气候条件以及基础的具体问题来决定。例如，某地区的输电线路基础长期处于潮湿环境中，钢材在这种环境下容易生锈。因此，采用涂有防腐涂层的钢板或聚合物基复合材料作为加固材料较为合适，能够有效防止腐蚀并延长使用寿命。在另一些山区或高温环境中，碳纤维复合材料因其轻质高强的特点，能够减轻基础负担并提高其承载力，适用于需要增强抗拉强度的场合。以某工程为例，工程师通过选用适合的加固材料，解决了基础因长期沉降导致的线路偏移问题，同时避免了由于选择不当而带来的频繁修复和高额维护费用。

5.3 不同环境条件下的材料选型对比

材料的选型应根据环境条件的变化而灵活调整。例如，在沿海地区，盐雾和湿气对基础的腐蚀性影响较大，此时使用不锈钢或复合材料作为加固材料更为合适，因为它们具有较强的抗腐蚀能力，能够应对高温环境带来的挑战。在寒冷地区，由于极端低温可能导致某些材料的脆化，选择具有较高抗冻融性能的材料如聚氨酯涂层或聚合物基复合材料较为适宜，能够有效避免材料因温差变化而破裂。而在高温地区，使用耐高温的聚合物或陶瓷基复合材料可以有效避免材料因热膨胀而产生应力集中，保证基础的稳定性。这些选型对比通过实际数据支持，可以帮助工程师在不同环境条件下做出合理选择，确保基础加固的长期效果。

6 输电线路基础加固的技术实施与优化

6.1 施工工艺与技术要求

输电线路基础加固施工工艺的选择需要考虑原有基础的情况、所选材料的特性以及工程实施的时间要求。对于钢筋混凝土加固，常用的施工工艺包括现浇法和预制法，现浇法在施工现场浇筑混凝土，适用于土壤不稳定或基础沉降较大的区域，施工周期较长；而预制法则利用工厂预制的钢筋混凝土构件进行加固，施工过程较为简便，适用于地质条件较为稳定的地区。以碳纤维复合材料加固为例，施工过程中，首先要清理基础表面，确保无尘土和油污；然后根据结构要求，将碳纤维布浸渍于树脂中，精确贴合在需要加固的区域，并通过加热或自然固化方法使材料与基础牢固结合。数据表明，碳纤维复合材料的抗拉强度可达到 2500 MPa，且材料的轻便性使得施工效率大幅提高，相比传统加固方法，施工周期缩短了约 30%。施工中的技术要求还包括对施工环境的严格控制，如温度、湿度等，以保证加固材料的最佳性能发挥^[2]。

6.2 加固效果的评估与反馈

加固效果的评估主要依赖于对基础的受力状况、变形量和稳定性的实时监测。以钢板加固为例，在加固完成后，通过对基础的沉降量和倾斜度进行监测，通常使用位移传感器和激光扫描仪进行数据采集，确保加固后的稳定性。在某工程中，使用钢板加固后，通过沉降监测系统发现基础的沉降速率从原先的 1.5 mm/年降至 0.2 mm/年，表现出明显的加固效果。与此同时，还需要对加固材料的耐久性进行周期性的检测，如抗拉强度、抗腐蚀性等，通过标准的实验室测试或现场加压试验来评估加固效果的长期可靠性。通过反馈

机制，及时调整加固方案，在发现加固效果不理想时，快速采取补充加固措施，确保工程质量。数据反馈显示，经过加固的基础相比原基础，其使用寿命提升了约 40%，极大地提高了输电线路的运行安全性和稳定性^[3]。

6.3 加固后基础的性能监测与维护

加固后的基础需要进行长期的性能监测，以确保加固效果持续有效。常见的监测技术包括沉降监测、应变监测和位移监测。通过设置沉降点并使用高精度的测量仪器，能够实时跟踪基础的沉降情况，防止沉降过大影响线路的稳定性。以某输电线路基础加固工程为例，加固后通过设置应变传感器，监测到基础受力分布的均匀性。数据显示，加固后的基础在负载作用下，最大应变值从原先的 0.05% 降低至 0.02%，表明基础的受力更加均匀。此外，定期的维护工作也至关重要，尤其是在腐蚀性环境中，定期检查加固材料的表面状态，防止涂层剥落或腐蚀现象发生。对于钢筋混凝土加固，建议每五年进行一次全面检查，对于复合材料加固，建议每三年进行一次全面检测。通过结合现代监测技术和维护手段，确保加固后的基础在整个生命周期内始终保持良好的性能，减少突发故障的发生，提升输电线路的整体可靠性^[4]。

7 结语

通过对输电线路基础加固材料的选择与性能评估的分析，可以看出，合理选择适合的加固材料对提高线路稳定性、延长使用寿命具有至关重要的作用。不同环境条件下的材料选型需综合考虑经济性、可行性和耐用性等多重因素。施工工艺与技术要求的严格执行，以及加固效果的有效评估和反馈机制，确保了加固工程的顺利实施和预期效果的实现。加固后基础的长期性能监测与维护则为确保工程长期稳定运行提供了保障。随着技术的不断发展，新型加固材料的应用为输电线路的基础加固提供了更加高效、环保和经济的解决方案，推动了电力基础设施的现代化建设，为确保电力系统的安全可靠运行做出了重要贡献。

参考文献

- [1] 林培银. 极端气候下 220 kV 及以上架空输电线路的稳定性和加固方法探讨[J]. 电工技术, 2025, (S1): 547-549.
- [2] 赵家豪. 输电线路桩基与浅层加固软土耦合水平承载机理及优化设计方法研究[D]. 导师: 舒前进, 中国矿业大学, 2025.
- [3] 李双喜, 孙明宝. 格构式输电铁塔主体结构的加固措施分析及其实际应用[J]. 机械管理开发, 2025, 40(02): 64-66.
- [4] 彭连勇, 田利. 输电线路灾害防控与加固提升关键技术及工程应用[J]. 安装, 2024, (S1): 50-51.