

# 冻土区域输电线路杆塔基础施工防冻胀控制技术分析

马怀广

宁夏先科电力设计咨询有限公司 宁夏回族自治区 750002

**【摘要】**：冻土区域输电线路杆塔基础施工过程中，冻胀现象可能导致基础变形，进而影响输电线路的稳定性和安全性。本文分析了冻土区域施工中的冻胀问题及其对基础工程的影响，探讨了几种有效的防冻胀控制技术，包括基础设计优化、材料选择和施工方法等。通过针对冻土区域特征进行合理设计和施工，可以有效避免冻胀对基础的破坏，确保输电线路的长期稳定运行。文章结合实际案例，提出了在实际施工中应用这些技术的策略与措施，为类似工程提供参考。

**【关键词】**：冻土区域；输电线路；冻胀；基础施工；防冻胀技术

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.011

## 引言

冻土区域因其特有的土壤结构和温度条件，成为输电线路建设中难以忽视的重要因素。冻胀现象是冻土区域施工过程中常见的挑战之一，它不仅可能导致基础结构的变形和沉降，严重时甚至危及输电线路的正常运行。如何有效预防冻胀，保证输电线路杆塔基础的稳定性，成为了当前工程实践中的研究重点。针对冻土区域的特殊性，采用合适的技术手段进行防控显得尤为重要。本文将深入分析冻胀的成因、影响以及防控措施，为相关领域的工程实施提供实践指导。

## 1 冻土区域输电线路基础施工中冻胀现象的成因分析

冻土区域输电线路基础施工中的冻胀现象主要来源于土壤在低温条件下的水分膨胀行为。在冻土区，土壤中的水分在冻结时体积会发生膨胀，形成冻胀现象。土壤中水分的来源包括降水、地下水及大气中的水蒸气。当温度下降至冰点以下时，土壤中的水分冻结，形成冰晶，这些冰晶会占据原本空隙，导致土壤体积的膨胀，进而产生较大的压力作用于基础结构。冻土的类型和特性，如土壤的粒径、含水量和孔隙度等，都会对冻胀现象产生影响。尤其是在施工时未考虑到土壤冻胀效应时，冻结水的膨胀可能会对基础造成严重影响，进而影响输电线路的稳定性。

冻胀现象的发生与冻土的物理特性密切相关，不同地理区域的冻土种类和分布存在显著差异。冻土分为浅冻土和深冻土，浅冻土层的厚度较薄，但仍能对基础产生不小的冻胀影响。深冻土层则通常存在更为复杂的冻结过程，它对基础的影响时间较长，冻胀作用更为显著。冻胀不仅在温度骤降时发生，长期低温的积累也会导致水分不断向下渗透并冻结，增加冻胀的周期性和持续性。此外，土壤的类型也会直接影响冻胀的程度。黏土、砂土和砾石等土壤的冻胀特性差异较大，黏土由于其较高的膨胀性，冻结时的膨胀压力更为显著，而砂土和砾石则相对较少发生冻胀。冻胀现象一旦形成，便会对土体产生不均匀的体积变化，进而影响基础的稳定性，导致其出现不均匀沉降、倾斜甚至破坏。

冻胀的发生不仅取决于土壤的物理性质，还与施工过程中的处理方式和环境因素密切相关。例如，在施工过程中如果未对冻土进行充分的预处理，如冻土层的加固或土壤的保温措施，那么冻胀的风险就会大大增加。环境的温度波动也是影响冻胀程度的关键因素。随着季节变化，冻土的温度波动较为频繁，尤其是在春秋季节，白昼温度和夜间温度差异较大，容易导致土壤水分的冻结和解冻，进而加剧冻胀的周期性变化。冻胀现象的发生不仅会对基础结构造成直接影响，还可能对输电线路的电力传输稳定性产生隐患。通过对冻土区域冻胀成因的深入分析，可以为后续冻胀防控技术的制定和应用提供理论依据和技术支持，从而有效提高输电线路基础施工的安全性和稳定性。

## 2 冻胀对输电线路杆塔基础稳定性的影响研究

冻胀对输电线路杆塔基础稳定性的影响主要体现在基础结构的变形和不均匀沉降。当冻土区域的基础受到冻胀的作用时，土壤在冻结过程中膨胀的体积可能导致基础发生不均匀沉降，进而影响输电线路的整体稳定性。冻胀引起的土壤体积变化不但会造成基础的倾斜，还可能引起基础与土壤的界面脱离，导致基础承载力下降。由于冻胀现象具有季节性和周期性，基础在不同季节的受力变化较大，可能会加剧输电线路的振动和不稳定性，影响电力传输的安全性。冻胀的影响不仅限于土壤的膨胀，还可能导致土体的裂缝和断裂，进一步损害基础的整体结构，形成长期的隐患。

在冻土区域，由于土壤的冻胀特性，基础往往会经历不同的应力周期，这些应力周期加剧了基础的不稳定性。冻胀作用引发的基础变形可能导致输电线路杆塔的结构力学性能发生变化，从而影响电力设备的稳定运行。随着冻胀现象的持续存在，基础的支撑力逐渐下降，可能导致杆塔的垂直度发生变化，甚至出现基础破坏现象。长期冻胀对基础的影响不仅表现为物理变形，还可能影响杆塔的荷载分布，增加系统的应力集中，从而对结构的抗震性能产生不利影响。随着冻胀作用的反复发生，杆塔在频繁的应力和变形作用下可能会出现裂纹，最终导致基础失稳，影响输电线路的运行寿命。

冻胀对基础稳定性的影响还涉及到土壤的水文条件和气候变化。尤其是在冻土地区，土壤中的水分是冻胀现象的根本原因。在低温环境下，土壤中的水分结冰膨胀，伴随着冻结和融化周期的变化，土壤水分的分布和冻结深度发生变化，冻胀的作用逐渐积累，对基础产生持续的影响。气候变化对冻胀的影响同样不容忽视。在气候变暖的背景下，冻土的解冻速度加快，冻胀现象的发生频率和强度可能增加，这进一步增加了基础结构的失稳风险。冻胀对输电线路基础的长期影响不仅限于结构上的损害，还可能对线路的运行产生极大的隐患，增加了设备的维修成本，甚至造成安全事故。理解冻胀对基础稳定性的具体影响，成为了冻土区域输电线路设计与施工过程中不可忽视的关键问题。

### 3 有效的冻胀防控技术及其在基础施工中的应用

在冻土区域，防控冻胀现象的关键在于设计与施工中采取有效的技术措施，以确保基础的稳定性和长期使用安全。基础设计的优化是一项重要的防冻胀技术。通过合理选择基础类型与设计深度，能够有效降低冻胀对基础的影响。对于冻土较深的地区，可采用深基础设计，例如钻孔桩基础或沉井基础，这些基础可以避开冻土层，减少冻胀力对基础结构的作用。对于较浅冻土层，可以考虑采用带有隔热层的基础结构，利用材料的导热性来减少冻胀效应。基础设计的调整不仅能够适应不同冻土层的特性，还能有效地避免因冻胀引起的不均匀沉降或基础破坏。

材料的选择和施工工艺同样是防冻胀技术中至关重要的环节。使用抗冻胀性能强的材料，如采用高强度混凝土、具有优异热隔离性能的保温材料等，可以有效减少冻胀对基础的负面影响。保温材料的应用可以有效防止土壤在冬季冻胀过程中受到过度的膨胀，从而降低冻土层的冻结深度，减轻基础所承受的冻胀压力。此外，施工过程中采用适当的施工方法，如在冻土区域施工时避免土壤水分的过度渗透，采取排水、加固等技术措施，可以有效控制冻胀的发生和发展。通过合理设计、选材以及施工工艺的结合，能够有效提升基础在冻土区域的稳定性。

防冻胀技术的应用效果还需要通过实践中的施工质量控制和后期监测来进一步验证。在基础施工过程中，采用现场监测技术进行实时温度和土壤水分变化监测，可以有效预测冻胀现象的发生，及时采取措施调整施工策略。例如，安装土壤温度监测仪器，通过动态调整施工进度和采取适当的防冻措施，能够在冻胀风险较高时，进行针对性的处理。此外，冻胀防控技术的持续优化，也需要依靠工程实践中的经验积累，不断根据施工中遇到的新问题，调整技术方案，以提高施工质量和防控效果。通过多方位的防控技术应用，能够确保冻土区域输电线路基础在复杂环境中的稳定性，为输电线路的安全运行提供坚实的基础。

### 4 冻土区域施工中基础设计优化与材料选择策略

在冻土区域的基础设计优化中，最重要的目标是确保基础能够有效抵御冻胀带来的负面影响。为了适应冻土的特殊条件，基础设计需要根据土壤冻胀的深度、温度变化以及土壤类型进行合理调整。在冻土较深的地区，常见的设计方案是采用深基础，如桩基或钻孔桩。这些深基础能够避开表层冻土的影响，减少冻胀压力对基础的直接作用。而在较浅冻土区域，设计时可以考虑采用较深的基坑开挖，将基础深度加深至冻结深度以下，这样不仅能减少冻胀现象对基础的影响，还能有效避免由于土壤冻结造成的沉降或裂缝。在设计时，基础形态的选择也应根据地形和冻土特性进行灵活变化，以确保最大程度的适应性。

材料的选择在冻土区域的基础施工中起着至关重要的作用。冻土的冻胀特性要求在基础施工中选用具有抗冻性能的材料，以抵抗低温对基础结构的影响。例如，采用低温下性能稳定的高强度混凝土，能够有效避免冻胀带来的体积变化和裂缝问题。保温材料的选择也是重要的技术手段之一，使用热阻性能较好的隔热材料如聚苯乙烯泡沫板或挤塑板，可以有效隔离外界寒冷空气，降低冻土层的冻胀作用。保温层不仅能减缓冻结过程，还能防止因水分积聚引起的膨胀，从而保护基础不受冻胀影响。通过材料的合理选用，能够有效提升基础的抗冻性能，减少冻胀对基础的破坏性影响。

在施工过程中，基础的防冻处理与后期维护同样至关重要。在冻土区域施工时，采用加热或排水措施可以有效减少冻胀现象。加热系统通过预先对土壤进行加热，避免冻土在施工过程中受冻而产生膨胀；而排水措施则通过减少土壤中的水分，降低冻胀发生的可能性。在施工完成后，对基础进行定期检测，监测其稳定性和沉降情况，也能及时发现潜在的冻胀风险。此外，通过工程经验积累和技术创新，施工中还可以引入新型材料和技术，如超高性能混凝土（UHPC）和冻土加固技术等，进一步提高基础设计的稳定性和耐久性。通过对基础设计的不断优化和材料选择策略的调整，可以有效保障冻土区域基础的长期稳定性，确保输电线路的正常运行。

### 5 冻胀防控技术实施效果评估与施工质量保障措施

冻胀防控技术的实施效果评估是确保冻土区域基础施工质量的关键环节。评估过程中，主要关注防控措施是否能够有效减少冻胀现象对基础结构的影响，以及是否能够延长基础的使用寿命。在实际工程中，冻胀防控效果的评估通常通过现场监测数据、基础沉降与变形分析以及长期运行的稳定性检查来进行。通过监测土壤温度、湿度以及冻胀层深度的变化，可以及时评估防控技术是否达到了预期效果。若基础在经历冻胀作用的周期后，未发生明显的沉降或变形，说明防控措施的实施取得了较好的效果。基于防冻胀技术的长期效果评估，还可以为类似项目的防控方案优化提供宝贵的数据支持。

施工质量保障措施在冻胀防控中的作用不可忽视。为了确保基础施工的质量，施工阶段必须严格按照设计要求进行操作，包括土壤的预处理、材料的选择、施工环境的控制等。土壤预处理包括对冻土层的加热、保温或排水处理，以确保冻胀现象不在施工过程中发生。通过采用适当的施工方法，如逐层开挖和合理的基础深度设计，可以有效避免基础在施工过程中受冻或过度变形。材料选择上，必须选用符合冻胀防控要求的高强度混凝土、保温层材料等，并确保材料在施工过程中不受损害。此外，施工过程中还需定期进行质量检测，对土壤、混凝土、保温层等关键部位进行强度和稳定性检测，确保施工质量达到设计标准。

在施工完成后的长期监测和维护环节，防冻胀技术的效果也需要通过持续跟踪来进一步保障。通过安装地质监测设备，可以实时了解土壤的温度变化、冻胀层深度以及基础沉降情况，确保任何潜在的冻胀风险能够在早期得到预警并采取措施。此类监测系统不仅有助于发现施工中的质量问题，还能够

为后期的工程维护提供数据支持，确保基础在长期使用过程中维持良好的稳定性。定期对基础进行维护和加固，如检查基础周围的排水系统是否畅通、保温层是否完好等，可以有效延长基础的使用寿命。通过一系列的施工质量保障措施，结合后期的监测与维护，可以为冻土区域的输电线路基础提供坚实的安全保障。

## 6 结语

冻土区域的冻胀问题对输电线路杆塔基础的施工与运行带来了诸多挑战，合理的防控技术和施工质量保障措施能够有效减轻冻胀对基础结构的影响，确保基础的稳定性和输电线路的安全性。基础设计的优化、材料选择的合理性以及施工过程中的精细化管理，都是确保冻胀防控效果的关键。通过对防控技术实施效果的评估与持续监控，能够及时调整施工方案，提升工程质量，从而保障冻土区域输电线路的长期稳定运行，并为类似工程提供有力的技术支持和实践指导。

## 参考文献:

- [1] 王凯,刘涛.冻土地区输电线路基础冻胀问题研究[J].电力工程技术,2023,45(6):134-139.
- [2] 张磊,李建华.冻胀对土木工程基础结构影响及防控措施[J].建筑科学,2022,38(4):55-60.
- [3] 陈杰,王磊.冻土区输电线路基础施工中冻胀控制技术探讨[J].土木工程学报,2021,54(3):45-50.
- [4] 李飞,赵杰.基于冻胀防控技术的输电线路基础设计优化[J].电力系统自动化,2022,46(12):102-107.
- [5] 周敏,孙刚.冻土区基础设计与施工技术研究[J].地质工程与环境,2023,47(5):72-77.