

高纬度地区工程冻害分类及机理浅析

魏 巍

中国能源建设集团黑龙江省电力设计院有限公司 黑龙江 哈尔滨 150071

摘要： 本文旨在探讨国内高纬度地区多年冻土工程冻害的分类以及其形成的机理。高纬度地区由于特殊的气候条件，工程冻害成为了影响基础设施建设和运营的重要因素。本文通过对冻害类型的详细分类和机理的分析，为相关工程的设计、施工和维护提供理论支持和实践指导。

关键词： 高纬度地区；多年冻土；工程冻害；分类；机理

引言

我国高纬度多年冻土主要集中分布在大、小兴安岭地区^[1]，面积为38~39万平方公里（如图1所示）。高纬度地区多年冻土与高海拔多年冻土相比，通常具有寒冷的气候条件，冬季漫长而严寒、太阳辐射少、气温常常

低于冰点等特点。在这样的环境下，进行各类工程建设和运营时，冻害问题成为了不可忽视的挑战。冻害不仅会影响工程的质量和安全性，还会增加维护成本和缩短使用寿命。因此，深入研究高纬度地区工程冻害的分类和机理具有重要的现实意义。

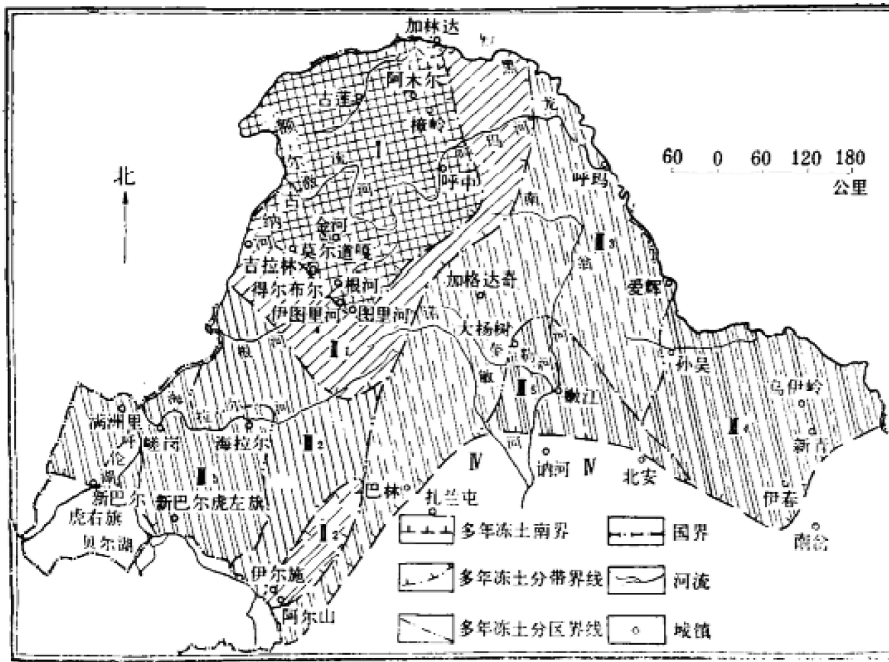


图1 东北大小兴安岭多年冻土分布图（郭东信 冰川冻土）

1 高纬度地区工程冻害的分类

1.1 地基土冻胀、融沉

地基土中的水分在低温下冻结，体积膨胀，从而引起地基的隆起和变形。这种冻胀现象可能导致建筑物基础的不均匀沉降、开裂，影响结构的稳定性。冻胀的程度主要取决于地基土的含水量、土质类型以及冻结条件等。

冻土融化沉陷是指冻土在融化时发生的下沉现象，

包括与外荷载无关的融化沉降和与外荷载直接有关的压缩沉降。冻土中的冰融化后，体积减小，导致土体孔隙增大，从而引起沉陷。融化过程中，水分的迁移和重新分布也会影响土体的结构和强度，引发沉陷。冻土融化后，土体的结构发生改变，颗粒重新排列，导致土体强度降低，容易发生沉陷。融化沉陷会对基础设施道路、桥梁、建筑物等，由于地基的沉陷而出现裂缝、倾斜甚

至倒塌。

会影响植被生长,破坏动物栖息地,导致生态系统失衡。同时会改变地下水流程,影响水资源的分布和利用^[2]。



图2 内蒙古伊图里河镇冻土融化沉降(拍摄于2024.05)

1.2 混凝土冻害

混凝土冻害的成因主要包括以下几个方面。首先,混凝土内部存在的孔隙和毛细孔道在水分侵入后,当温度降低到冰点以下时,水会结冰膨胀。由于冰的体积比水大,这种膨胀会产生巨大的内应力,导致混凝土内部结构的破坏。其次,混凝土中的水泥浆体在冻融循环过程中会逐渐失去胶结能力,使得骨料与水泥浆体之间的粘结力减弱,从而降低混凝土的整体强度。此外,混凝土中的外加剂、掺和料等成分如果使用不当,也可能影响其抗冻性能。

混凝土冻害对建筑物的影响是多方面的。从外观上看,混凝土表面可能会出现剥落、裂缝等现象,影响建筑物的美观。在结构方面,冻害会降低混凝土的强度和承载能力,可能导致建筑物的变形、倾斜甚至倒塌,严重威胁到人们的生命财产安全。而且,冻害还会缩短建筑物的使用寿命,增加维修和重建的成本^[3]。

混凝土冻害对建筑物的影响是多方面的。从外观上看,混凝土表面可能会出现剥落、裂缝等现象,影响建筑物的美观。在结构方面,冻害会降低混凝土的强度和承载能力,可能导致建筑物的变形、倾斜甚至倒塌,严重威胁到人们的生命财产安全。而且,冻害还会缩短建筑物的使用寿命,增加维修和重建的成本。

1.3 水工建筑物冻害

水工建筑物冻害的成因主要是水在低温下冻结成冰,体积增大,对水工建筑物的结构产生挤压和破坏作用。气温的剧烈波动导致水工建筑物材料的热胀冷缩,产生内部应力,长期作用下引发裂缝。地基土中的水分冻结,引起土体膨胀,对建筑物基础产生上抬力,导致不均匀沉降和变形。

水工建筑物冻害的表现形式主要是由于冻融循环作

用,混凝土表面逐渐疏松,出现剥落和裂缝。冻胀力使砌石之间的粘结力减弱,石块松动甚至脱落。以及在低温环境下,金属的韧性降低,容易发生锈蚀和变形,影响其正常运行。

冻害对水工建筑物的影响主要是冻害导致的裂缝和变形削弱了水工建筑物的承载能力,影响其结构的稳定性。混凝土裂缝和砌石结构的损坏会使水工建筑物的防渗性能下降,增加渗漏的可能性。频繁的冻害作用加速了水工建筑物材料的老化和劣化,缩短了其正常使用年限^[4]。

1.4 电塔基础冻害

电塔基础冻害的形成原因是多方面的。首先,土壤的冻胀是一个关键因素。在寒冷的冬季,土壤中的水分冻结成冰,体积膨胀,对电塔基础产生向上的推力,导致基础发生位移和变形。其次,气温的剧烈变化使得电塔基础材料的热胀冷缩效应加剧。长时间的冷热交替,容易造成基础材料的疲劳和损伤。此外,如果电塔基础的设计和施工不合理,比如基础埋深不足、保温措施不到位等,也会增加冻害发生的风险。



图3 黑河地区电力线路工程桩基冻拔图(拍摄于2023.12)

1.5 金属结构冻害

金属材料在低温环境下可能会发生脆性增加、韧性下降等现象,导致金属结构的承载能力降低。例如,钢结构在寒冷条件下可能出现焊缝开裂、构件变形等问题。

1.6 管道冻害

对于给排水管道、热力管道等,可能由于管内水的冻结而导致管道破裂、堵塞等问题。水在冻结时体积膨胀,会对管道产生较大的压力,尤其是在管道弯头、阀门等部位更容易发生冻害。

1.7 道路桥梁冻害

1.7.1 道路冻害

表现为路面的开裂、隆起、剥落等,影响行车的舒适性和安全性。可能原因包括路基土的冻胀、基层材料

的收缩、温度变化导致的路面应力等。

1.7.2 混凝土冻害

1.7.3 桥梁冻害

桥梁结构的某些部位,如墩台、支座等,可能受到冻胀力的作用而产生裂缝或变形。此外,桥面的冰雪也会影响桥梁的使用功能。

2 高纬度地区工程冻害的机理

高纬度多年冻土,作为地球生态系统中的独特存在,其冻害机理复杂而多样,对人类活动和自然环境都产生着深远的影响^[5]。

从微观角度来看,冻土中的水分在冻结过程中,冰晶的形成会改变土壤颗粒之间的排列和接触方式。冰晶的生长会将土壤颗粒推开,破坏原有的结构联结,导致土壤孔隙度增大。当气温回升,冻土解冻时,冰晶融化成水,由于土壤结构已经受损,孔隙中的水无法及时排出,导致土壤强度降低,出现沉陷、滑坡等现象。

此外,多年冻土中的冰与土壤颗粒之间的相互作用也是冻害产生的重要原因。冰的存在会增加土壤的脆性,使其更容易在外界荷载作用下发生断裂。而在反复的冻融循环过程中,这种损伤不断积累,最终导致土壤的物理和力学性能严重劣化。本文主要从以下四点浅析多年冻土区工程冻害的机理。

2.1 水分迁移与冰晶生长

在寒冷的环境下,地基土中的水分会在温度梯度的作用下向冻结锋面迁移。当水分到达冻结锋面时,会冻结成冰,形成冰晶。随着冰晶的不断生长和聚集,体积膨胀,从而产生冻胀力。

2.2 土的冻胀特性

不同类型的土具有不同的冻胀特性。一般来说,粉土和粘性土的冻胀性较强,而砂土的冻胀性较弱。土的颗粒大小、孔隙比、含水量等因素都会影响其冻胀性。此外,土中的盐分含量也会对冻胀产生一定的抑制作用。

2.3 温度变化的影响

高纬度地区气温的大幅度变化是导致工程冻害的重要因素之一。在冬季,气温的骤降会使工程材料迅速收缩,而在春季气温回升时,又会迅速膨胀。这种反复的热胀冷缩作用会使材料产生疲劳损伤,降低其强度和耐久性。

2.4 风的作用

在高纬度地区,冬季的寒风会加速热量的散失,使工程结构表面的温度更低。同时,风还会带走结构表面的水分,加速材料的干燥和老化,从而降低其抗冻性能。

结论

高纬度地区工程冻害的分类主要包括地基冻胀、道路冻裂、桥梁冻害、电力工程基础变形和管道冻堵^[6]等。其形成机理涉及水分迁移与冰晶生长、土的冻胀特性、温度变化和风的作用等多个方面。产生冻害的原因是温度、水分条件、材料特性、工程设计与施工等因素形成。要防止工程冻害发生,就需要采取综合的措施,包括地基处理、道路养护、桥梁防护和管道保温等。在未来的工程建设中,亦应充分考虑高纬度地区的特殊气候条件,加强对工程冻害的研究和防治,确保工程的安全和稳定运行。

参考文献

- [1]郭东信.东北大小兴安岭多年冻土区[J].冰川冻土,1981,3(3):1-9
- [2]原喜忠.大兴安岭北部多年冻土地地区路基沉陷研究[J].冰川冻土,1999,02:11-12
- [3]张颖,张粉芹.混凝土冻害的破坏机理及防治措施[J].山西建筑,2007,07:102-103
- [4]王显波,浅析水工建筑物冻害防治技术[J].民营科技,2010,01:136-137
- [5]常晓丽,金会军,何瑞霞,等.大兴安岭北部多年冻土监测进展[J].冰川冻土,2013,35(1):93-100.
- [6]周幼吾,郭东信,邱国庆等.中国冻土[M].北京:科学出版社,2000:1-2