

# Study on Frozen Soil Slope Disease and Influencing Factors in Qinghai-Tibet Highway

Zhuodong Lin

Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

**Abstract:** According to the investigation and investigation of the actual engineering in Naqu area, this paper discusses the main reasons for the instability of the fill slope and the factors that affect the freeze-thaw instability of the fill slope. The main forms of frozen soil slope diseases are hot melt slump, freezing Expansion and rupture, as well as support damage and local landslides. The main factors affecting slope stability are slope soil quality, slope, water content, groundwater seepage, slope morphology, temperature, and number of freeze-thaw cycles. Through the study of the causes of various diseases, the methods of dealing with the diseases are summarized, and the theoretical experience is provided for the design, construction, and maintenance of highways in frozen regions.

**Keywords:** Permafrost slope; Instability; Influencing factors; Treatment method

## 青藏地区公路冻土边坡病害及影响因素研究

林卓栋

重庆交通大学, 重庆, 中国, 400074

**摘要:** 根据对那曲地区实际工程的勘察调查, 本文探讨了填方边坡失稳的主要原因及影响填方边坡冻融失稳的因素。冻土边坡病害的主要形式为热融滑塌、冻胀破裂、以及支护破坏和局部滑坡等。影响边坡稳定性的成因主要有边坡土质、边坡坡度、含水率、地下水渗流、边坡形态、温度、冻融循环次数等。通过对各种病害成因的研究, 总结应对病害的处治方法, 为冻土区公路设计、施工、养护提供理论经验。

**关键词:** 冻土边坡; 失稳; 影响因素; 处治方法

### 1 引言

随着青藏地区人类活动更加频繁, 以及国家对青藏地区交通建设的不断投入, 青藏地区的公路边坡由于气温升高而导致的热融滑塌事故屡有发生, 对青藏地区人民的出行、交通物流、战略输送、国防安全带来巨大影响。高海拔地区的公路虽然日交通量较小, 由于交通网密度小, 一旦发生边坡滑塌阻塞交通就会引起交通阻塞中断, 驾驶人员更换路线成本增大, 不利于地区经济发展。为迎合国家号召的“交通强国”战略, 我们要高度重视高原地区公路安全性稳定性方面的研究。

青藏地区冻土分布面积广, 且多数地区处于多年冻土地区, 生态脆弱。公路路基由于填料含水, 地表水和地下水渗透, 天然降水等原因, 随着时间逐渐与季冻层一样, 产生随季节冻结融化的特性。通过认真总结相关的工程经验, 研究桥台桩基失稳的成因和机

理, 不仅对地基相应的处治方法有工程技术意义, 也能保障国家经济发展和人民幸福。

### 2 冻土路基病害

#### 2.1 路基不均匀变形

路基不均匀变形主要为横向不均匀变形。在青藏地区公路上的路基不均匀变形成因十分复杂, 其主要原因为路基土体冻胀开裂和融化沉降。前期设计和施工因素也占了很大一部比例, 填土力学性质、填料含水量分布不均、路基两侧地表水渗透和侵蚀、施工时压实度不足都会引起复杂的变形。

#### 2.2 冻胀融沉

无论在多年冻土区和季节冻土区, 地表处的季节活动层随着季节气温变化, 会产生冻结融化的现象。而填土路基由于天然含水, 加之渗流作用和降水, 也

会产生冻融现象。虽然填土可以提高填土下冻土天然上限，但是路基的季节性变化和路基两侧季冻层的季节性变化也会导致路基产生冻胀融沉病害。冬季由于大气温度下降，路基热量流失，土体内温度降到水分结晶点，水变成冰后体积增大，土体冻结造成冻胀，导致路面开裂。当气温逐渐升高时，冻结路基融化，冰变为水后体积减小，路基出现融沉病害。由于路面下的上层土体比下层土体融化快，尚处于冻结的土层格挡上层融化水下渗，融化水分只能向两侧排除，融化的水存于路基土之间，在路基土体自重和车辆荷载作用下产生翻浆，严重者将导致路面开裂，影响行车舒适和驾驶安全。

### 2.3 面层松散、路基沉陷

青藏高原海拔高、纬度低，因此气压低大气稀薄，日照时间长、紫外线辐射强。公路在铺筑沥青后，在高强度辐射和低温的耦合作用下，沥青的老化速度和程度比低海拔公路加快，在间歇性的汽车荷载的作用下沥青面层逐渐松散破坏。路基沉陷问题是由于季冻层地基。在填土之后，天然冻土上限会上升，但是铺筑沥青面层之后，沥青的吸热能力较强，在太阳辐射下储热，将热量向路基直至地基传导，导致已经上升的冻土上限下降，如果路基填筑高度低，甚至会使得冻土上限降至未填筑路基时的上限之下，导致季冻层内的冰晶更容易融化。季冻层内水分流动性因此也会更大，地基甚至路基松散，路基沉陷更容易发生。

### 2.4 路面裂缝

青藏高原的公路容易产生路面裂缝，是低温高海拔地区公路常见病害之一。路面裂缝的成因较为复杂，研究表明其发生与路基的不均匀变形和沉降密不可分。路基横向不均匀变形会导致路基形状不均匀，含水量和密度也处处不同，路基无法再支撑面层，在荷载长期作用下面层开裂。而沉降导致了路基高度在同一横断面上分布不均匀，高差导致了一定量的路面脱空，汽车荷载或者辐射老化会致使其开裂。经过实地调查，建设在低洼地带或者路基两侧积水严重地段的道路容易发生路面开裂。

## 3 冻土公路病害影响因素

路基路面病害的成因可归纳为三个部分<sup>[1]</sup>：气候、冻土性质、设计。

### 3.1 气候因素

由于道路建设场地不同，其所在地区的气候条件也有较大差异，气候因素尤其是热量和降水因素对路基水分场和温度场的影响也是存在差异的。而对于高海拔、低纬度、气象条件多变的青藏地区公路，年平均气温和降水量是其主要影响因素。气温即大气的温度，反应当地的热状况特征。在各种气候因素中，年平均气温是很重要的指标，它影响着路基的温度场变化和水的冻结融化来影响路基稳定。近年来随着全球气温升高，青藏高原年平均气温的上升，因此冻土地温随之上升。而这种温度变化趋势路基的稳定性产生不可逆的影响，路基病害因此也逐年增多。同时气温升高，导致降雨降雪的情况也同样增多，水分渗入路基地基，提升了土体含水量，一旦到了春融时期，路基稳定性也受到威胁。

### 3.2 冻土性质

季冻层性质对季冻区公路以及多年冻土区公路的稳定性也有着重要影响。季冻层是季节融化冻结的土层，它直接承载路基。因此季冻层的土体类型、承载力是建设过程中重要的参考指标。对于多年冻土区，多年冻土分布及类型、土质、地下冰是重要影响因素。路基下季冻层状况以及多年冻土状况会直接影响路基稳定性，这也是冻土地区道路病害产生的直接原因。另一影响路基病害的重要因素是路基土质，采用不同类型填土，其级配、矿物成分、颗粒大小、表面自由能状况各不相同，形成不同的孔隙率、密度、渗透能力。这些差异直接影响土层的导热系数和渗透率等热学参数和水分迁移系数，而这些参数会极大影响路基的温度场水分场，从而影响路基的热稳定状况和病害发生概率。然而地下水的含量也影响路基的稳定性，地下水含量的多少影响不仅影响到冻土温度场的分布状况而且也影响路基内部水分场的重分布。

### 3.3 路基设计因素

冻土地区公路前期设计因素也是路基稳定重要影响因素。公路作为依附于天然冻土层上的人工构筑物，其面层路基结构、路基形式、边坡坡度、路基高度、路线走向等直接影响到路基整体的稳定性及温度场的分布。多年冻土地区的路基高度是影响下卧层多年冻土层稳定性的重要因素。早起的公路建设主要确保在预算范围内建设更高的路基，从而保证路基的热

阻,减小热量向多年冻土层传递,增加路基及多年冻土的稳定性,防止多年冻土上限的下降。但近年来的研究表明路基过高会增加冻土路基病害发生的概率。

《多年冻土地区公路设计与施工技术细则》(JTG/T D31-04-2012)明确规定了冻土路基要控制路基最小临界高度和最大临界高度<sup>[2]</sup>。从已有的建设经验来说,青藏地区的砂砾石公路路基最小临界高度取值在1m左右,沥青公路最小临界高度取值在2.4m至3.4m。路线走向会造成阴阳坡效应,因此也深刻影响路基稳定性。路线走向影响了两侧边坡太阳辐射的时长,使两侧边坡温度不同。路基高度越高,坡度越缓,阴阳坡效应越明显。阴阳坡效应短期内会对冻土造成显著的影响,但是只要控制好路基高度和坡度,其长期影响就会减弱。另外,路面类型也影响着多年冻土地区路基稳定性。不同的路面结构吸热散热能力不同,导致路基原有的热稳定状况受到影响,因此也会导致不同的路基病害。

## 4 冻土路基病害防治措施

### 4.1 完善路面路基排水

保证路基路面的排水系统顺畅,排水沟、泄水孔等不出现堵塞、渗漏、变形、淤积、冻结等。降水和地下水地表水通过各种途径渗入到路基中,过高的含水量是造成路基冻胀融沉的主要成因。完善路基路面排水能够将各种渠道进入路基的水分及时排出路基,稳定路基含水量,减少水分对路基的影响。

### 4.2 设置防冻层

对于经常发生冻胀、翻浆的地段,设计要求路面总厚度不小于防冻最小总厚度。如果路面总厚度小于防冻最小总厚度,则应加设防冻层来补足。防冻层材料应选用抗冻性能强、孔隙率高的材料,如粗砂、砂砾、矿渣等粗颗粒,也可采用石灰粉煤灰稳定粗粒土、石灰煤渣或者水泥稳定粗粒土等无机结合料<sup>[3]</sup>。

### 4.3 设置保温层

对于温差较大、含水量较高、导热系数高的路基,路面结构层或者土基应当设置保温层。尽可能减

少热量向路基及冻土层传递,保证土体温度较低,减少路基因热融引发的灾害。保温层的铺设应选择导热性能差的材料,如EPS保温板。

### 4.4 设置热棒

董旭光所提出的新型框架热锚管对多年冻土区冻土边坡有很好的保温效果<sup>[4]</sup>。热棒中装有一定量的液氨,埋设在冻土中。液氨的沸点低,当气温低于冻土温度,液氨蒸发为气体,将冻土热量散入大气;当气温高于冻土温度时,氨气冷凝,将冻土附近温度降低,完成热循环。这种装置有利于稳定冻土温度,在高等级公路路段适合使用。

## 5 结语

青藏冻土地区公路的病害逐年增多,本文从设计和施工的角度分析总结了病害的类型、成因以及应对措施。设计者应从冻土的性质,当地气候的角度去设计路线和路基,源头上避免冻土引发的路面路基灾害;施工单位应当因地制宜,在施工过程中发现问题,与设计方实时沟通,保证施工顺利和公路安全。青藏地区公路战略重要,但是交通量小,使用强度较小,所以应当在设计施工时做好质量控制,减少后期检测成本,服务国家和人民的需要。

## References (参考文献)

- [1] Mao X.S. Field test and cause analysis of longitudinal cracks on Qinghai-Tibet highway subgrade based on hydrothermal changes. Journal of Xi'an University of Technology. 2014, 30(3). 毛雪松. 基于水热变化的青藏公路路基纵向裂缝现场测试及成因分析. 西安理工大学学报, 2014, 30(3).
- [2] JTG / D31-04-2012. Technical specifications for highway design and construction in permafrost regions. Beijing: People's Communications Press. 2012. JTG/D31-04-2012. 多年冻土地区公路设计与施工技术细则. 北京: 人民交通出版社. 2012.
- [3] Du Y. Types of subgrade diseases on the Qinghai-Tibet highway and prevention measures. East China Highway. 2012, (3), 7-9. 杜棣. 青藏公路路基病害类型及防治措施. 华东公路. 2012, (3), 7-9.
- [4] Dong X.G. Working mechanism and experimental research of new frame thermal anchor pipe slope support structure in permafrost regions. Lanzhou University of Technology, 2017. 董旭光. 多年冻土区新型框架热锚管边坡支护结构的工作机理及试验研究. 兰州理工大学. 2017.