

# 黑龙江严寒地区客运专线路基工程冻胀原因分析及防治措施

郑新 刘青

中交一公局集团第八工程有限公司

**摘要:** 路基冻胀是影响铁路运行速度的安全的重大隐患之一,文章结合哈牡客专的建设,对引起哈牡客专路基冻胀的原因进行了分析,详细阐述了路基冻胀的防治措施及处理方法,从而为严寒路基冻胀地区的铁路路基施工及养护提供参考。

**关键词:** 严寒;路基;客运专线;冻胀;防治措施

## 一、引言

新建哈尔滨至牡丹江铁路客运专线工程我单位施工区段为DK208+400~DK224+800,线路全长16.4km,设计时速250km/h,位于黑龙江省哈尔滨市尚志市亚布力西和虎峰岭隧道之间,属严寒地区。季节性冻土分布普遍,正常每年10月底土体开始冻结,3月中旬冻结深度到达最大,最大冻结深度1.9m~2.1m,4月中旬开始融化,5月下旬冻融结束。区段内共有路基9.987km,其中基床表层0.7m,采用掺加5%水泥的级配碎石,基床底层2.3m,采用A、B组填料,基床底层以下采用A、B、C组填料。

本项目所在黑龙江尚志市地区路基冻害较为普遍,路基冻害会使路基产生不均匀变形,损害轨道的平顺性,进而影响铁路运行速度及安全,是高速铁路主要病害之一。

## 二、研究目的和内容

随着我国高速铁路的快速发展,列车速度较以往有了巨大提升,铁路路基暴露出来的问题越来越多,越来越严重。提速后行车频次加大,相对的维修作业时间减少,而且列车提速对线路的标准要求更高。现阶段北方地区已建或在建的高速铁路,变形要求很高,且铁路路基对于冻胀反映比较敏感,我国各地区工务段每年需要投入大量人力物力进行钢轨线形调整,效果并不理想。部分列车必须限速200km/h以下,严重影响了客运专线快捷、安全优势的发挥,所以进行路基冻害成因和路基防冻胀措施的研究具有十分重要的现实意义。

## 三、路基冻胀的主要机理

根据以往研究成果,路基冻胀产生的原因主要是路基中水分在0℃或0℃以下,路基土中水分发生冻结,而在冻结过程中,温度较高的水分会向温度较低的土层方向迁移,即路基更深层的水分会向冻结面移动,从而导致冻结面增大加厚,最终在温差聚水的持续作用下,形成聚冰层,挤压土颗粒,使土体膨胀,最终导致路基冻胀病害的发生。

路基冻胀由路基表面开始,向路基深处递进发展,直到路基土体温度与外界气温达到平衡,冻结停止。路基冻结所能达到的最大深度为路基的冻结深度。冻结深度与冬季的负温总量、冻结速率、土的含水量有关,冻结速率与冻结深度都随负温总量呈曲线递增关系。

黑龙江尚志市地区纬度较高,年各月极端最高气温35.7℃,累年各月极端最低气温-32.1℃,属中温带,湿润~亚湿润大陆性季风气候,夏季短促温暖,冬季漫长寒冷。地下水均分布在填料以下,但沿线路基低填方及土质路堑基床距离地下水位较近,笔者认为这些地段是宜发生冻胀的区域,需加强排水措施。

## 四、路基冻胀的主要影响因素

影响路基冻胀的因素很多,大体可以分为内因和外因两类。内因主要是填土土质和水分;外因主要是环境温度和荷载。对于铁路来说,外因是客观存在的,无法改变,因此路基设计及施工时,防冻胀措施主要是从内因考虑。

## (一) 填料土质对冻胀的影响

### 1. 填料中细粒含量对路基冻胀的影响

填料土质对路基冻胀的影响主要是填料中细粒含量对冻胀的影响。土颗粒(<0.075mm)含量大于等于总质量50%的土称为细粒土。土粒径越细,土粒与水接触面积越大,相互产生的作用越强,当粉粒含量占主要组成时,冻胀性最强。因此,路基施工规范中明确规定非冻胀材料中细粒含量必须小于5%,就是减弱冻胀性。

### 2. 填料中含水量对冻胀的影响

路基之所以产生冻胀,与填料中含有水分有直接的关系,水分是引起路基冻胀的必要条件。但并不是有水分就一定产生冻胀,只有含水量超过其起始冻胀量时,才会发生冻胀,结合本项目,在含水率到达4.4%时,为最佳含水率,过低的含水量虽更不易产生冻胀,但对路基压实度将产生较大影响。冻胀率表示土的冻胀程度( $\eta = \text{冻结量} / \text{冻结深度} * 100\%$ ),冻胀量为零时的含水量即为起始冻胀含水量。当冻胀率 $\leq 1$ 时,冻胀量对建筑物不构成威胁,图1为本标段不同土质对冻胀率与含水量的统计关系曲线,从图1中可知,随着含水量的增土的冻胀率随含水量的增大而增大,变化幅度随土质不同而变化。

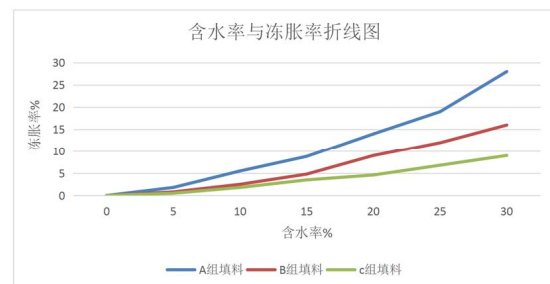


图1 填料含水量与冻胀率折线图

路基中水分主要有两个来源:地表水与地下水,地表水主要是自然降水最终渗透到路基中的部分;地下水主要是从地底下通过土壤的毛细作用不断补充到土体中的水分。在无其他外来水增加的情况,填料的冻胀系数随含水量的增大而增大,但最终会趋近与一个稳定值;在有外界水源补给的情况下,在温度梯度作用下,填土中未冻结区的水分会向冻结区牵引和积聚,使冰晶体继续扩大,在土层中形成聚冰夹层,土体随之拱起。因此,为了防止路基冻胀,须采取降低地下水位和阻止地表水进入路基的措施。

## (二) 其他对路基冻胀影响的因素

除上述主要影响因素外,其他对路基冻胀影响的因素还有环境的温度、荷载、填料在施工过程中的施工质量、地下水位至地面的距离等。

## 五、路基冻胀的防治措施

针对引起路基冻胀的各因素,从材料到施工都要考虑防冻胀的措施,要以预防为主,防治结合,综合治理的思想进行防治。其中填料土质和防排水为防治路基冻胀的主要方向。

### (一) 路基基床填料的选用

哈牡客运专线对路基填料的选择非常严格,且有具体明确的要求,路堤基床表层厚0.7m,采用级配碎石掺加5%水泥填筑,基床底层厚度为2.3m,上部1.8m,采用非冻胀A、B组土填筑,其下

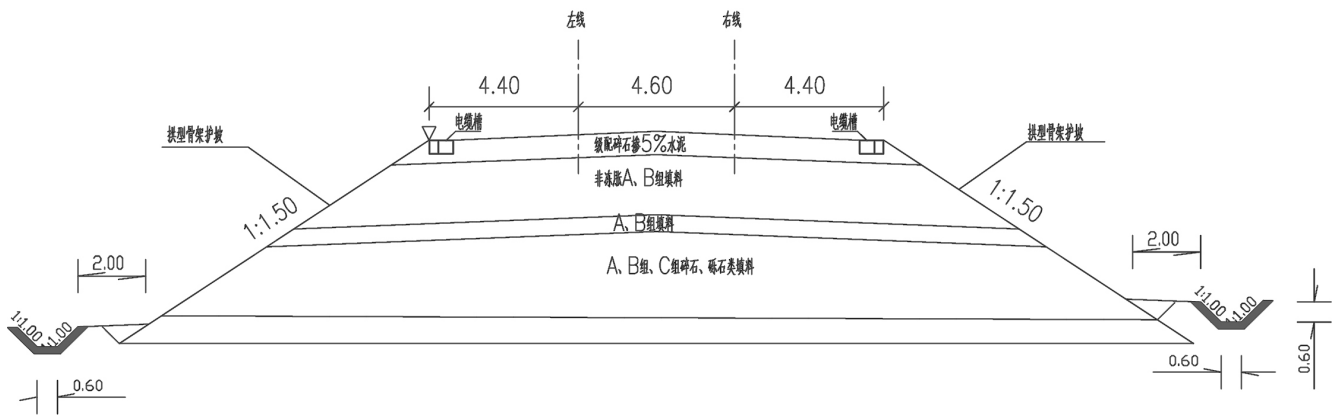


图2 标准路基横断面图

0.5m采用A、B组土填筑，标准横断面图见图2

在《高速铁路路基工程施工质量验收标准TB 10751-2010》中，对路基填筑所用填料的粒径有明确要求，本项目，根据规范及各参建单位的要求，把路基填料粒径的控制最为一项主控指标。因此，本项目选取了一段路基作为试验段，对此段路基细粒含量、含水率及冻胀量进行检测，验证细粒含量、含水率对冻胀的影响程度，从而确定填料的控制标准。

从数据看出，当细粒含量都比较大或某一数值较大时，都会造成冻胀量的增加，所以控制填料细粒含量及含水率都很重要，二者也是引起路基冻胀的主要因素，在实际施工中，都应予以高度重视。

(二) 水因素的处理

路基中水分主要有两个来源：地表水与地下水，地表水主要是自然降水最终渗透到路基中的部分；地下水主要是从地底下通过土壤的毛细作用不断补充到土体中的水分。在无其他水源补充的情况下，填料的冻胀系数与含水量成正比，但最终会趋近于一个稳定值；在有外界水源补给的情况下，在温度梯度作用下，填土中未冻结区的水分会向冻结区牵引和积聚，使冰晶体继续扩大，在土层中形成聚冰层，外在表现为土体隆起。所以，为了预防路基冻胀，降低地下水位或阻断地下水向上的补充和控制地表水渗入路基本体是十分必要的。

1. 设置各种排水沟及排水坡。

对于路基来说，水是影响路基质量与耐久性的主要因素之一，也是引起路基冻胀的必要条件，所以，排水措施是否有效，直接影响路基的施工质量。本项目主要排水措施有：路堤坡脚两侧，红线往里0.5m，全部设置倒梯形排水沟。路堑地段在路堑顶部设置天沟（截水沟）。在路堤式路堑两侧根据地质及地形情况设置矩形侧沟及渗水暗沟，最终所有排水设施的水汇聚到当地自然排水系统。同时，全线路基路肩处按照1m间距设置直径8cm的排水管，路基基床全部按照4%人字坡设置。通过这些措施，最终保证地表水能够顺利排出到路基本体外，消除或减少路基冻胀的可能。

2. 路桥路涵过渡段的处理

路基与桥梁及涵洞过渡段是防止路基冻胀，重点处理的部位，并有专门设计。过渡段的填料选用掺加3%水泥的级配碎石，分层压实，与路基段落通过设置台阶进行连接。在桥台与路基之间设置有10cm宽空心砖，因此必须处理好此处的防排水问题，台后空心砖对应位置，设置排水软管，锥体铺砌设置间距1.5m，深度不小于1m的PVC排水管。排出的水最终汇到排水沟中。

3. 对路基冻胀超标地段的治理措施

路基冻胀的防治是首位的，当出现路基冻胀数据超标的情况下，制定合理可行的治理措施，防止冻胀的继续恶化，也是相当必要的。本标段路基冻胀超标的段落见下表：

由表中数据可知，本标段冻胀量超标位置主要集中在一个

表1 细粒含量与含水率量测数据

序号	测点里程	工点类型	细颗粒含量 (%)	含水率 (%)	备注
1	DK208+405左	松软土路基	6.4	3.9	左
2	DK208+405左	松软土路基	5.9	4.1	左
3	DK209+430中	松软土路基	5.4	2.6	中
4	DK209+430中	松软土路基	4.9	3.2	中
5	DK209+480右	松软土路基	5.7	5.5	右
6	DK209+480右	松软土路基	5.9	4.6	右
7	DK209+530左	松软土路基	6.3	2.2	左
8	DK209+530左	松软土路基	6.0	3.0	左
9	DK209+630中	松软土路基	4.3	4.2	中
10	DK209+630中	松软土路基	4.9	4.0	中
11	DK212+350右	松软土路基	6.2	3.9	右
12	DK212+350右	松软土路基	5.4	4.0	右
13	DK220+300左	路堤坡面防护	6.8	3.7	左
14	DK220+300左	路堤坡面防护	6.9	3.9	左

表2 冻胀量观测数据

序号	测点里程	工点类型	第二期	第三期	第四期
			累计冻胀量/mm	累计冻胀量/mm	累计冻胀量/mm
1	DK208+405左	松软土路基	2.3	6.7	7.6
2	DK208+405左	松软土路基	1.4	5.7	7.2
3	DK209+430中	松软土路基	2.3	3.9	5.4
4	DK209+430中	松软土路基	2.9	5.0	6.5
5	DK209+480右	松软土路基	3.8	6.4	7.9
6	DK209+480右	松软土路基	2.6	7.5	8.0
7	DK209+530左	松软土路基	3.1	4.7	6.2
8	DK209+530左	松软土路基	2.7	5.3	6.8
9	DK209+630中	松软土路基	2.9	3.7	5.2
10	DK209+630中	松软土路基	2.9	5.4	6.9
11	DK212+350右	松软土路基	3.6	5.6	7.1
12	DK212+350右	松软土路基	2.0	5.6	7.1
13	DK220+300左	路堤坡面防护	3.2	4.3	5.8
14	DK220+300左	路堤坡面防护	4.7	6.1	8.0

表3 2018年度超标冻胀量统计表

断面里程	分类	最大冻胀位置	本年度冻胀量 (mm)			细颗粒含量 (%)
			左侧	中心	右侧	
DK214+048	路堑	左侧	8.0	7.9	1.8	2.9
DK214+148	路堑	右侧	9.2	0.6	10.3	6.6
DK214+248	路堤	右侧	1.6	1.6	11.0	6.7
DK214+348	路堑	右侧	1.2	0.8	12.3	2.7
DK214+548	路堤	右侧	9.3	2.7	10.4	5.6
DK214+648	路堤	右侧	5.5	2.3	8.1	6.1
DK214+748	路堤	中心	10.2	11.1	9.0	6.7

注：表中测量数据由设计院及本项目部共同测定，冻胀量设计要求为≤8，细粒含量设计要求为≥7%。

段落，冻胀量测量位置一个断面选取左中右3个点，冻胀超标位置每个断面并不一样，针对这种情况，本项目结合业主及设计建议，分析原因如下：

(1) 局部段落路基两侧填料压实度欠佳，导致表水易渗，致使填料含水量偏高；部分段落，填料细颗粒含量偏高，从而引起冻胀变形。

(2) 部分地段电缆槽侧壁高于路基面，路基面水排水不畅，路肩积水下，致使填料含水量偏高，引起路基两侧冻胀变形。

(3) 部分地段电缆槽及护肩泄水孔排水不畅，不能及时排除基床表层下渗水引起冻胀变形。

针对引起路基冻胀原因，治理措施如下：

(1) 路基中心冻胀量大于8mm地段，参考路基两侧冻胀量，并结合路基填挖高度，采取路堤两侧或单侧设置横向渗水管的措施，以便尽快疏干基床内渗水，减小冻害。并疏通电缆槽及护肩泄水孔，整平路基面坡度，避免路肩积水等综合措施。

(2) 路基中心冻胀量小于8mm，路肩冻胀量大于10mm地段，结合路基填挖高度，采取路堤相应侧设置横向渗水管，并疏通电缆槽及护肩泄水孔、侧沟、渗水盲沟，整平路基面坡度，避免路肩积水等综合措施。

(3) 路基中心冻胀量小于8mm，两侧或一侧冻胀量8~10mm，采取疏通电缆槽及护肩泄水孔、侧沟、渗水盲沟，整平路基面坡度，避免路肩积水等综合措施。

渗水盲管设置如下图：

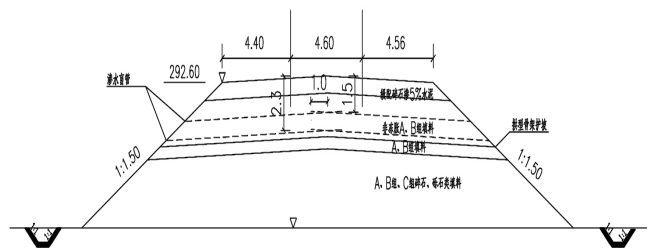


图3 渗水盲管设置横断面图

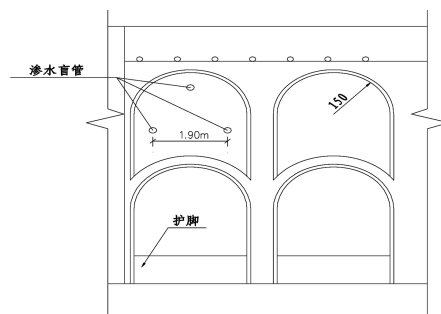


图4 渗水盲管设置纵断面图

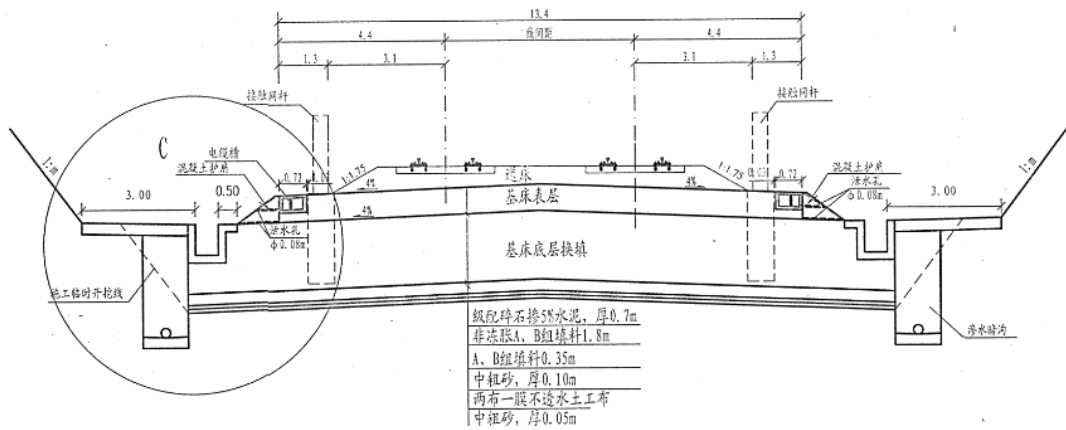


图5 渗水暗沟设置形式

两侧设置双排横向渗水盲管地段, 上下排盲管交错设置, 第一排距路面竖向1.6m, 沿线路方向间距3.8m; 第二排距路面竖向2.4m, 沿线路方向间距1.9m。盲管深度至中心点交叉1.0m。单侧设置横向渗水盲管地段, 盲管设置要求与两侧设置相同, 盲管深度至对侧中心线外2.0m。渗水盲管采用空心型RCP-10NC (A) 排排水管材, 管径100mm, 环刚度 $\geq 32\text{KPa}$ , 管壁空隙率 $\geq 80\%$ , 外包透水土工布。钻孔直径110mm。

4. 其他防排水措施

基床表层两侧设置的电缆槽, 每块均设置泄水孔, 泄水孔通过PVC穿过路肩, 最终将基床表层的地表水排出到路基外。

在地下水水位较高的路堑地段, 在路肩两侧纵向设置渗水暗沟, 同时每隔一段距离, 两侧对称设置检查井, 每两个检查井下部通过双壁打孔波纹管进行联通。每段渗水暗沟两侧出口处设置保温措施, 防止出口处阻塞, 导致水流不畅。渗水暗沟布置形式如下图所示:

六、结语

引起路基冻胀病害的因素较多, 但各参建单位如果能充分认

识引起路基冻胀病害的原因, 采取有效措施, 根据实际情况合理设计, 加强施工质量控制, 各方单位加强沟通, 全面治理, 本着修路架桥, 造福社会的责任心去研究处理, 那么, 路基冻胀病害是完全可控的。

参考文献

[1] 铁道第三勘察设计院哈牡客专相关路基设计图纸。  
 [2] 赵润涛, 李季宏, 李曙光. 客运专线路基工程防冻胀处理措施. 铁道勘察, 2011年第4期。  
 [3] 郭奕清. 冻土地区路基的主要病害分析与防治措施. 山西建筑, 2007年9月。  
 [4] TB 10751-2010 高速铁路路基工程施工质量验收标准。  
 [5] 刘焕强, 等. 客专铁路路基A、B组填料冻胀性浅析. 铁道工程学报. 2010年11月。  
 [6] 哈牡客专路基冻胀整治报告. 中国铁路设计集团有限公司. 2018年6月

(上接第157页)

同时填充过程中, 要利用两侧积压的方式将沟槽内的空气和水有效排除, 加强水泥胶浆填充的密实性。填充完成后, 检查填充质量, 待渗漏部位无渗漏现象后, 利用素浆和砂浆实施填平处理。

在采用下线堵漏法时, 同样需要先展开沟槽剔凿和清洁工作, 完成后, 在沟槽底部沿着裂缝走向布置一根线, 直径应根据漏水量合理确定, 总体长度控制在200毫米左右。然后, 施工人员将胶浆塞入沟槽中, 且立即抽出让渗漏水沿着线孔流出。如果遇到裂缝较长的情况, 可采用分段堵漏的方式, 且每段之间要预留出20毫米左右的孔隙距离, 利用下管堵漏法实施孔隙处理, 保证堵漏效果。

(五) 氰凝灌浆堵漏技术

氰凝灌浆堵漏技术就是利用氰凝作为主要灌浆材料, 开展防堵堵漏施工的一种方式。氰凝由于具有较强的抗渗透性, 能够有效加强堵漏效果, 维护水工建筑物的安全。该技术的应用范围为: 施工缝、变形缝渗漏、因混凝土质量不佳引发的渗漏。具体操作方法为: 先将漏水裂缝剔凿成“V”形, 同时在槽内布置好灌浆孔。在这个过程中, 施工人员要注意, 开槽前必须先用试剂清洗裂缝, 注重裂缝的清洁度。然后处理漏水孔, 将灌浆嘴固定在孔洞内。需要注意的是, 渗漏严重部位的灌浆孔洞设置要呈现交错状。接下来将先做好的半圆状油毡, 利用水泥胶浆和水泥砂

浆封堵在漏水部位, 并检查封堵质量, 保证气密效果。合格后, 可开展氰凝灌浆操作。灌注完成后检查漏水位置是否仍存在渗漏现象, 如没有即可撤出灌浆嘴, 且利用水泥胶浆将实施后续封堵抹平处理。

四、结语

综上所述, 水工建筑物防渗堵漏是一项较为复杂的工作, 在实际施工中, 需要对材料、堵漏方法进行合理分析, 加强技术选用的合理性, 提升水工建筑物防渗堵漏水平, 从而确保水利工程的使用安全, 避免因渗漏问题导致各种质量问题的出现, 最终有效提升水利工程的建设价值, 保护人民的生命财产安全。

参考文献

[1] 徐南粤. 浅谈水工建筑物防渗堵漏施工技术[J]. 四川水泥. 2019 (05)  
 [2] 陈适芬. 水工建筑物防渗堵漏施工技术探析[J]. 低碳世界. 2017 (33)  
 [3] 谭海凤. 浅谈水工建筑物防渗堵漏施工技术[J]. 建材与装饰. 2018 (37)  
 [4] 季明建. 防渗堵漏施工技术在水工建筑物中的应用[J]. 中华建设. 2017 (01)  
 [5] 连焕生. 简述小型水工建筑物防渗堵漏施工技术[J]. 建材与装饰. 2018 (24)