

文章编号: 1006—2106(2009)01—0032—04

多年冻土区典型路堑边坡失稳病害的防治^{*}

赵相卿^{1**} 熊治文¹ 韩龙武² 杨永鹏²

(1. 中国铁道科学研究院, 北京 100081; 2. 中铁西北科学研究院有限公司, 兰州 730000)

摘要: 研究目的: 随着西部大开发的推进, 我国在青藏高原地区修建了青藏铁路等工程, 青藏公路的改建工程最近也在展开, 这两条线路穿越了 550 km 的多年冻土区。青藏铁路路基自 2001—2002 年修完以来已有五六年的时间, 从 2006 年 7 月开始试运营到现在也有将近 2 年的时间了。笔者在 2007 年 8 月底和 9 月初对青藏铁路格拉段多年冻土区路基状况作了一个全面的调查, 在调查中发现了不少问题, 其中路堑的问题最为突出。

研究结论: 依据这次调查中病害严重断面, 以 K115 断面和 K1128 断面为重点分析断面, 结合 2008 年 3、4 月份调查的钻孔的水文地质资料和多年冻土地区的特殊环境, 判断人为上限形态, 依据冻土强度室内试验和经验公式, 对路堑边坡进行稳定性分析, 指出路堑边坡病害的病因和提出防护措施。

关键词: 多年冻土; 青藏铁路; 人为上限; 路堑边坡

中图分类号: U213.14 **文献标识码:** A

Control of Destabilization Disaster of Typical Cutting Slope in Permafrost Region

ZHAO Xiang-qing, XIONG Zhi-wen, HAN Long-wu, YANG Yong-peng

(1. China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China; 2. Northwest Research Institute of CREC, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: Research purposes: With the development of the western China, the Qinghai-Tibet Railway has been built on Qinghai-Tibet Plateau, and the Qinghai-Tibet Highway is now under reconstruction. They all cross the 550 km long permafrost region. Based on the investigation, this paper analyzes the problems related to the subgrade of Qinghai-Tibet Railway built in 2001~2002, especially the road cutting problem.

Research conclusions: Focusing on the seriously default sections of K115 and K1128 judged as the artificial permafrost table, the analyses of the stability of the cutting slope is made in combination with the investigated hydrogeology information made in April 2008 and the special environment in permafrost region, the reasons for the subgrade problems are pointed out and the protection measures are presented based on the lab tests and test equations for frozen soil.

Key words: Permafrost; Qinghai-Tibet Railway; artificial permafrost table; cutting slope

在青藏铁路众多路堑中, 多建在土质或类土质和风化、半风化岩质边坡上, 在不同的地段, 坡面防护措施不同, 主要有喷射混凝土护坡、I型挡墙护坡、草皮护坡、骨架护坡等, 前两种措施主要设在石质路堑地

段, 后两种措施主要应用在土质和堑顶换填地段。还有少量低寒冰量和低路堑地段未采用任何保护措施。在这次调查中发现, I型挡墙护坡和草皮护坡地段坡面比较完整, 防护效果不错, 而一般骨架护坡地段骨架

* 收稿日期: 2008—06—12

基金项目: 科技部科技支撑计划项目(2006BAQ07B02)

** 作者简介: 赵相卿, 1982年出生, 男, 硕士研究生

坡面有不同程度的破坏,一般呈现为堑坡骨架局部下滑在坡脚鼓出或坡顶骨架下滑比较明显,造成了坡顶严重的不平顺,导致形成雨水积水坑等情况;而喷射混凝土地段堑坡坡面均有裂缝,大小不一,严重地段还有渗水、掉块等现象,坡顶裂缝长、条数多、宽度大等特点。针对骨架护坡和喷射混凝土护坡长期稳定性问题,依据这次调查中病害严重断面的水文地质条件和多年冻土地区的特殊环境建立了路堑模型,下面本文将对两个典型的断面进行分析,判断路堑边坡稳定性和提出防护措施。

1 典型断面路堑状况简介

本文针对问题比较严重的 2 个路堑 K 1 115 和 K 1 128 展开分析。

1.1 K 1 115 断面路堑状况简介

1.1.1 K 1 115 断面路堑地质状况

断面位于青藏公路 GK3 040+000 左侧, K 1 115+500~700 段路堑中部,处于秀水河与五道梁之间。此处地势开阔、平坦,路堑所位于的越岭地段,堑顶较平坦,左侧地势稍高。地表植被覆盖率一般,约为 40%~50%。主要为第四系风积和冲洪积的细砂及砂砾。线路走向 SW30°。具体地层资料如表 1 所示,断面示意图如图 1 所示。

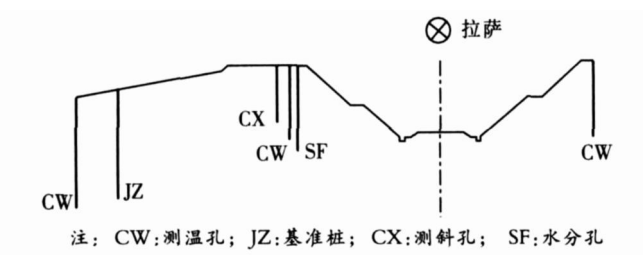


图 1 K 1 115 断面布置示意图

表 1 K 1 115+630 地层表 (堑顶钻孔资料, 孔深: 12 m)

土层	土质	备注
0~3.5 m	砾砂土	粗颗粒换填土层, 3.5 m 处见有少量冰晶体
3.5~3.8 m	砂粘土	红褐色, 冻结, 见有少量冰晶体
3.8~4.5 m	粉砂岩	灰绿色, 完全风化, 层理明显
4.5~6.0 m	泥岩	红褐色, 完全风化, 体积含冰量不足 5%
6.0~6.6 m	粉砂岩	灰绿色, 完全风化, 体积含冰量 5% 左右。并见有厚层状裂隙冰发育 (冰层厚 5~8 mm)
6.6~7.3 m	泥岩	红褐色, 完全风化
7.3~7.9 m	泥灰岩	灰白色, 中风化
7.9~8.2 m	细砂岩	灰绿色, 完全风化
8.2~8.7 m	泥岩	红褐色, 完全风化
8.7~9.0 m	粉砂岩	灰绿色, 完全风化
9.0~9.5 m	泥岩	红褐色, 完全风化
9.5~11.0 m	粉砂岩	灰绿色, 完全风化
11.0~11.3 m	泥岩	红褐色, 完全风化
11.3~12.0 m	细砂岩	灰绿色, 完全风化

1.1.2 K 1 115 断面路堑坡面破坏状况

该路段为路堑, 两级护坡, 一级为混凝土喷网支护, 并设有泄水孔, 由于冻胀作用护坡鼓包、破坏严重, 特别是左侧路堑的坡脚; 坡顶和一级护坡平台也有裂缝, 二级为人工换填粗颗粒土护坡。

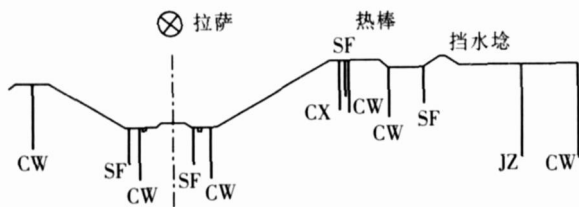
1.2 K 1 128 断面路堑状况简介

1.2.1 K 1 128 路堑地质状况

断面位于青藏公路 GK3 052+000 右侧, K 1 127+900~K 1 128+230 段路堑中部, 位于原二十局局址后面约 1 km。此处线路走向 SE28°, 近南北向, 左侧路堑边坡向阳, 高程约 4 612 m。地貌: 此处路堑处于越岭地段, 右高左低, 斜坡坡度大约 5°~8°。具体地层资料如表 2 所示。断面示意图如图 2 所示。

表 2 K 1 128+020 地层表堑顶钻孔资料 (孔深: 10 m)

土层	土质	备注
0~1.5 m	粗颗粒土	路基填土
1.5~3.0 m	粘砂土	(1) 1.5~2.0 m 土黄色, 表层植物根须发育, 岩芯完整, 冻结, 粉砂质含量高。体积含冰量 10% 左右, 呈网状构造; (2) 2.0~3.0 m 体积含冰量 10%~20%, 网状或块状构造
3.0~8.1 m	泥岩	红褐色, 全风化, 其中 (1) 3.0~3.5 m 体积含冰量不足 10%, 粒状或块状构造; (2) 3.5~3.9 m 体积含冰量 40%~50%, 厚层状或网状构造; (3) 3.9~4.0 m 土黄色的细砂, 冻结; (4) 4.0~4.5 m 体积含冰量 30%~40%, 厚层状或网状构造 融后流塑塑状 (5) 4.5~7.0 m 体积含冰量 80%~90%, 厚层冰状构造, 少量全风化的泥岩土颗粒镶嵌或悬浮于厚层冰层中, 融后呈流塑状; (6) 7.0~8.1 m 体积含冰量 80% 左右, 厚层状构造, 全风化的泥岩土颗粒及少量未风化的泥岩块镶嵌或悬浮于厚层冰层中
8.1~8.2 m	泥岩	红褐色, 未风化
8.2~8.3 m	泥灰岩	灰绿色, 未风化, 未见裂隙冰
8.3~9.5 m	泥岩	红褐色, 中—强风化
9.5~10.0 m	泥灰岩	灰绿色, 未风化



注: CW:1#测温孔; JZ:基准桩; CX:测斜孔; SF:水分孔

图 2 K1128断面布置示意图

1.2.2 K1128断面路堑边坡破坏状况

右侧堑顶约 2 km 外为一坡度较陡、高约 100 多 m 的南北走向的高山。路堑所位于的越岭地段,坡顶较平坦,植被覆盖率较好,约为 70%~80%。路堑两侧堑坡均为骨架护坡,右侧堑坡坡长最长约为 16 m,左侧堑坡坡长最长约 14 m。在堑底, K1127+900~K1128+000 段,路肩两侧各设一排热棒,热棒间间距约 3.0 m;在 K1128+000~K1128+230 段,堑底未设热棒。而在 K1127+900~K1128+230 整段路堑的右侧堑顶上设有一排热棒,间距 4.0 m。并设有挡水墙和排水沟。右侧堑顶有好几条融沉裂缝,且骨架护坡脚处有骨架鼓起的现象。

2 病害原因分析

2.1 K1115路堑病害原因分析

根据地质资料和现场调查的病害情况来看,本段含冰量并不高,但是在一侧发生了很严重的喷混路堑边坡鼓胀现象,究其原因可以断定路堑边坡变形比较明显的一侧汇水面积比较大,暖季冻结层上水聚集在坡脚的比较多,由于上下两层都是泥岩渗水性能较差,在 6~6.6 m 这层全风化粉砂岩中聚集,寒季形成裂隙冰,寒季则冻胀比较严重。因此造成沿此层岩层的纵向裂缝和鼓胀比较明显;并且由于融化上限的风化的粉砂岩在暖季随着水流方向容易被水冲刷流失的特性和裂隙冰的融化,这一点在 K1115+680 断面喷射混凝土护坡和未防护护坡交接处看的很清楚,该层粉砂岩以下坡面已经被染成了灰绿色;致使其上层土层产生了一定的下沉量,导致一级边坡平台和堑顶开裂,形成纵向裂缝。

2.2 K1128路堑病害原因分析

该地段属于厚层地下冰地段,其中 3.5~3.9 m 体积含冰量 40%~50%,厚层状或网状构造;4.0~4.5 m 体积含冰量 30%~40%,厚层状或网状构造;4.5~7.0 m 体积含冰量 80%~90%,厚层冰状构造;7.0~8.1 m 体积含冰量 80%左右,厚层状构造,全风

化的泥岩土颗粒及少量未风化的泥岩块镶嵌或悬浮于厚层冰层中。堑坡坡面、坡顶和堑底都进行了粗颗粒土换填,另外整段路堑右侧堑顶还增加了一排热棒,间距 4.0 m。并设有挡水墙和排水沟。这么强的措施下右侧堑顶仍出现了多条裂缝,如不及时修补,则会引起雨水入渗融化厚层地下冰等情况,不利于路堑边坡稳定。需要强调的是此处路堑也是路堑边坡高的一侧问题较多,并且它还是阳面,根据地形地貌可知由此边坡右侧汇水面积比较大,再加上路堑的开挖引起的人为上限的变化和水力梯度的改变,使得暖季冻结层上水在堑坡坡脚聚集,甚至在堑坡坡底进行挖探取样时,在土工布上下均发现了饱和水土层。这主要是因为厚层地下冰的融化和冻结层上水沿上限状态面下流入造成。

总结以上 2 个断面的情况,无论是低含冰量的 K1115 路堑,还是有大量厚层地下冰 K1128 路堑,都存在着换填厚度不够或经过几个冻融循环后防护措施部分失效的情况,对这两种地质条件的路堑都要给与关注。

3 稳定性分析

目前冻土地区路堑的稳定性问题主要是局部稳定性问题,即工程造成的水热环境的改变,形成了新的冻土融化上限形态^[4];在新的水热平衡形成的过程中,在人为上限随着冻融循环变化的过程中产生了坡脚冻胀鼓包和坡顶融沉裂缝等潜在病害特征,如果不及时采取措施,任其进一步发展,路堑边坡将有可能产生局部失稳的情况,影响到线路的正常运营。下面以 K1115+630 断面和 K1128+020 断面为例分析一下两种特殊路堑边坡稳定性。

本文根据地质资料和室内抗剪试验试验结果,确定路堑边坡稳定性分析采用参数如下^[2],其中冻土上限以上土层取常温下无侧限抗压试验结果,由于冻土的强度是一个温度和时间的函数^[3],暂取冻土上限以下土层取冻土长期抗剪强度(为瞬时抗剪强度的 10%)^[4-5]。岩层按经验取值如表 3 所示。

在这里利用 geo-slope 软件对 K1115 路堑和 K1128 路堑边坡进行稳定性分析,分析云图分别如图 3、图 4。在对 K1115 断面采用的是表 3 中土的性质参数选取法;对 K1128 断面采用的是上限以上土层采用表 3 中土的性质参数选取法,上限以下土层采用未风化泥岩作为材料参数^[6],这两种方法都简化了土层条件。

表 3 土质参数

土质		重度 / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	粘聚力 / kPa	摩擦角 $\varphi / (^{\circ})$
粗颗粒土	冻土上限以上	20	8.22	25
	冻土上限以下	20	50	28
粘砂土	冻土上限以上	20	32.87	29.94
	冻土上限以下	20	182.47	14
粉土	冻土上限以上	18	20.5	9.22
	冻土上限以下	18	57.5	18
灰岩夹砂岩	冻土上限以上(全风化)	25.9	31.4	28.6
	冻土上限以下(全风化)	25.9	159.65	38
	未风化	25.9	400	51
片岩	冻土上限以上(全风化)	25.32	22.5	11.32
	冻土上限以下(全风化)	25.32	164.23	21
	未风化	25.32	100	45
泥岩夹砂岩	冻土上限以上(全风化)	25.89	27	29
	冻土上限以下(全风化)	25.89	163	38
	未风化	25.89	300	45
泥岩	冻土上限以上(全风化)	25	26	32
	冻土上限以下(全风化)	25	102.54	41
	未风化	25	300	100

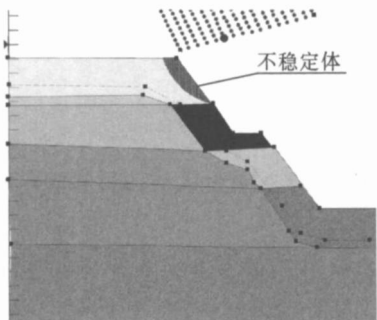


图 3 K 1 115+630断面边坡稳定性分析云图

K 1 115+630 断面稳定性分析主要参数如下:
(1)方法: Janbu法; (2)安全系数: 1.43; (3)总体积: 4.4064 (4)总质量: 88.127; (5)抗滑力: 57.632 (6)滑动力: 40.293

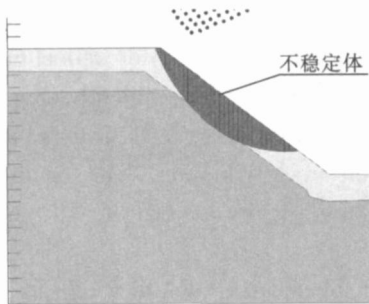


图 4 K 1 128+020断面边坡稳定性分析云图

K 1 128+020 断面稳定性分析主要参数如下:
(1)方法: Bishop法; (2)安全系数: 1.15 (3)总体积: 30.55 (4)总质量: 610.99 (5)抗滑力矩: 27477 (6)滑动力矩 3958.2

4 整治措施

根据保护以上分析本文提出以下措施:
4.1 在 K 1 115路堑, 可以考虑在堑坡一级平台上铺上一层碎石护坡来提高融化上限, 并清掉喷射混凝土护坡鼓包掉块, 重做坏掉的坡面, 并沿坡面破坏带土层位置重做泄水孔和疏通断面原有泄水孔, 重点排出该层融化水。以此保证路堑边坡稳定性。
4.2 在 K 1 128路堑, 可以考虑在堑顶热棒下增设保温板, 和挡水埝加宽加高并外移, 来提高冻土上限, 将水分阻滞在路堑范围外, 另外还可增厚堑顶换填土层来提高人为上限以保护厚层地下冰。

5 结论

在多年冻土区修筑路堑, 不仅要关注高含冰量地段的冻土保护问题, 也要注意低含冰量地段的稳定性问题, 由于冻融循环的重复以及其造成的水分迁移的变化, 再加上全球变暖等因素, 都有可能使原来稳定的路堑边坡产生一定的扰动, 造成局部的不稳定, 如果不加以治理任其发展下去, 就有可能对其整体稳定性构成威胁, 从而影响线路的正常运营。本文给出的整治措施只是初步设想, 随着观测数据的收集和分析还需要进一步研究和探讨。

参考文献:

[1] 吴紫旺, 朱林楠, 郭兴民. 青康公路多年冻土区路堤的临界高度[J]. 冰川冻土, 1998 20(1): 36—41
[2] 臧恩穆, 吴紫旺. 多年冻土退化与道路工程[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1999
[3] 程国栋. 局地因素对多年冻土分布的影响及其对青藏铁路设计的启示[J]. 中国科学(D辑), 2003 33(6): 602—607
[4] 王铁行, 窦明健, 胡长顺. 多年冻土地区路基临界高度研究[J]. 土木工程学报, 2003 36(4): 94—98
[5] 黄小铭. 高原冻土区铁路路基工程主要研究成果综述及应用条件分析[J]. 兰州: 中铁西北科学研究院, 2000
[6] 铁道部科学技术司. 青藏铁路多年冻土科研成果汇编[G]. 北京: 铁道部科学技术司, 2002