

文章编号:1006-2106(2008)06-0048-04

青藏铁路多年冻土路堤施工技术分析研究*

朱高明**

(中国中铁股份有限公司, 北京 100055)

摘要:研究目的:通过分析研究片石通风路基、热棒路基、通风管路基施工技术的工作原理、施工工艺和方法、主要质量保证措施和实际应用效果,总结青藏铁路多年冻土路堤施工技术,为高原多年冻土路堤施工提供技术支持。

研究结论:根据分析确定不同冻土施工技术的适用范围,灵活选择冻土施工技术。路基面过宽、暖季过长的冻土地段不宜选择热棒路基;通风管路基与风向密切相关,目前我们很难把握风向,建议少采用通风管路基;片石通风路基要注意选好石材,防止地表水进入路堤;在高路堤地段,建议采用以桥代路方式通过。

关键词:青藏铁路;多年冻土;路堤;施工技术

中图分类号:U419.92 **文献标识码:**A

Analysis and Study on the Construction Technology for Embankment in Permafrost Zone of Qinghai - Tibet Railway

ZHU Gao - ming

(China Railway Group Co. Ltd, Beijing 100055, China)

Abstract: Research purposes: The summaries are made on the construction technology for embankment in permafrost zone of Qinghai - Tibet Railway based on analyzing and studying the working principle, construction methods, measure for ensuring construction quality and actual effect of construction technology of slice stone air - cooled embankment, thermal probe embankment, ventilation pipe embankment in permafrost area of Qinghai - Tibet Railway for the purpose of providing technical support to embankment construction in permafrost zone.

Research conclusions: The applicable scopes of different construction technologies in permafrost zone are defined after analysis in order to select rational construction technology. Thermal probe embankment with wide top is not suitable to adopt in the permafrost zone in which warm season is longer. Ventilation pipe embankment relates to wind direction, but now it is difficult for us to define wind direction, so it suggests to less adopt it as much as possible. The more attention should be paid to the quality of stone and prevention of surface water entering into slice stone air - cooled embankment and it is advised that bridge substitutes for deep embankment.

Key words: Qinghai - Tibet Railway; permafrost; embankment; construction technology

青藏铁路经过高海拔地带,广泛分布高原多年冻土,连续多年冻土长度共计 546 km,占线路全长的 49%。冻土是一种对温度极为敏感的土体介质,含有丰富的地下冰,具有流变性,对温度变化极为敏感,且

性质不稳定。冻土在正负温度交替变化的过程中,水分产生剧烈相变,随之而来土体体积发生变化,产生冻胀和融沉现象,导致冻土上结构产生冻胀和融沉变形,从而破坏结构,因此多年冻土施工技术成为青藏铁路

* 收稿日期:2008-05-19

** 作者简介:朱高明,1976 年出生,男,工程师。

建设的三大难题之一。为了解决冻土施工技术问题,青藏铁路建设主要采用了片石气冷路堤技术、热棒技术、通风管路堤技术等冻土路堤施工技术。本文将从工作原理、工艺流程、施工注意事项和应用效果等方面对以上3种冻土施工技术进行分析研究,为今后的冻土路基施工提供参考。

1 工作原理分析

1.1 片石气冷路堤

通过改变路堤结构来改变传热方式,使传入路堤中的热量不仅通过片石间的接触传导传热,还通过人为制造路堤介质空隙形成以对流为主的传热机制,利用高原冻土区负积温远大于正积温的特征,改变路堤中的温度场,从而降低基底温度,维持多年冻土上下限不变,防止产生冻胀和融沉病害,以达到保护多年冻土的目的。在暖季,太阳辐射热通过路堤表面以传导方式将热量传到堤中和基底,路堤空隙中的空气被加热,在向下传递热量的同时,因密度减少而延空隙上升,热流方向与传热方向相反,同时因为空隙起到了热屏蔽作用,从而大大地减少了热量的传入;到了寒季,路堤温度高于外界温度,密度大的冷空气进入路堤空隙,交换路堤中的较热空气,从而冷却堤身和基底,达到保护多年冻土的目的。

1.2 热棒

热棒是用无缝钢管作管壳,将管壳抽成真空后将液体工质注入形成的,由蒸发段、绝热段及冷凝段三部分组成。在寒冷季节,由于空气温度低于多年冻土温度,蒸发器中液体工质吸收多年冻土中的热量而蒸发,蒸汽在管内压差的驱动下沿热棒中心通道向上流动至冷凝器,与相对温度较低的冷凝器管壁接触后放出汽化热冷凝成液体,液体工质在重力作用下沿管壁流回蒸发器再蒸发,如此循环将大气的冷量源源不断地传到多年冻土中。在暖季,由于空气温度高于多年冻土温度,热棒停止工作。

1.3 通风管路堤

通风管路堤就是在高温极不稳定区域路堤的适当位置埋设通风管,加强路基通风,利用堤身人为造成的孔隙来改变一般路堤的热传输性,使之由单一的导热方式变为导热与对流的混合方式,促进堤身热量散失,提高基底的冷储量,维持多年冻土的稳定。埋设的通风管增加了堤身的孔隙度,增加了空气的流通,冬季堤外密度大的冷空气置换堤身内密度小的热空气,促进堤身热量的散逸;而暖季由于气温高于堤身温度,地气

温度逆转,又抑制了对流换热作用,减少堤中的积累,从而达到保护多年冻土的目的。

片石通风路基无论在寒季还是暖季都能够很好地保护冻土,降低温度明显;热棒只在寒季工作,在暖季停止工作,对于暖季保护冻土不利;通风管路基受风向影响,只有在顺管路方向才能对路基起到冷却作用,因此效果会打折扣。

2 工艺流程和施工方法

2.1 片石路基

2.1.1 施工准备

做好片石开采及筛选,采用程序化作业;并进行路基现场测量放线,放设中桩、边桩、护桩,进行穿线复核。

2.1.2 基底处理

对原地面进行碾压,填筑一层路拱,自路基中心向外设2%的人字横向排水坡,坡脚处最小填筑层厚度不小于30 cm,然后使用重型压路机进行碾压,质量标准同路基本体,平整度按路基工程施工要求控制。

2.1.3 倾填片石

采用全断面填筑,根据断面数量计算卸料间距,投料顺序先中间后两侧。在倾填完成的片石层上,采用重型振动式压路机碾压。碾压时先两侧后中间,纵向碾压,碾压时纵向行与行间重叠0.4 m以上,前后相邻区段应重叠2.0 m以上,碾压遍数以6~8遍为宜。

2.1.4 边坡砌筑

采用粒径30 cm以上的硬质石料按路堤坡度码砌边坡,使用钢筋做成控制坡度的放样架,拉线控制坡面,石料大面朝外,错缝砌筑。

2.1.5 铺筑垫层

在完成的倾填片石层上,先行铺设0.2 m厚的碎砾石垫层,碎砾石垫层的粒径控制在5~10 cm,以防止大量碎砾石掉入通风片石层中,影响通风效果。碎砾石垫层采用重型压路机碾压5~6遍,观察无轮迹,可进行下一道工序。

2.1.6 铺筑沙垫层

在碎砾石垫层之上,铺设0.2 m厚的中粗砂作为反滤层,使用重型压路机进行碾压,使其 $D_r > 0.67$,平整度按土质路基控制,其上即可进行填土施工。

2.2 热棒

2.2.1 放设桩位

根据设计位置及间距,准确放出每根热棒的桩位,打入钢筋头作为标志。

2.2.2 钻孔

在确定安装热棒的位置处用钻机钻孔,钻孔直径应较热棒管壳直径大 5~8 cm,钻进方法原则上采用干钻视地层情况亦可加入少量冷水,采用小循环钻进,钻孔深度比设计深度大 10~20 cm。

2.2.3 成孔检查

钻孔完成后,进行孔径和孔深检查,并将钻孔中泥浆清除干净。

2.2.4 热棒安装

钻孔经检验合格后,将热棒用吊车吊起插入钻孔中定位,经检查合格后固定。

2.2.5 回填

用水中沉沙法回填钻孔间隙,即先将冷水灌满钻孔,而后将中粗沙徐徐灌入热棒与孔壁之间的间隙中,灌沙数量与计算数量相符,多余的水自孔中流出。

2.3 通风管路基

2.3.1 基底处理

按设计要求,根据冻土分布地段路堤含冰量的不同分别进行处理,对原地面碾压,热融湖塘和沼泽湿地采取修筑挡水捻和抛填片石等措施进行处理。

2.3.2 填筑基底土拱垫层

基底处理后填筑基底土拱垫层。土拱垫层厚度不小于 50 cm,土拱设 4% 的人字横坡,当路堤填筑高度稍高于通风管顶面设计高程时,将路基面整平并碾压,进行平整度和压实度质量检测,其压实度按基床以下填料要求控制,其平整度按土质路基要求控制。

2.3.3 沟槽开挖

根据通风管的设计位置和高程,测量放出通风管的位置,并采用开槽机或人工按标志桩进行沟槽开挖,沟槽的宽度和深度大于通风管外径 3~5 cm,同时清理干净沟底浮土。

2.3.4 垫层施工

用人工在挖好的沟槽中铺设中粗砂垫层,砂垫层铺设要平整,厚度满足设计要求。

2.3.5 铺设安装

通风管放入沟槽中摆放要平顺,采用导链进行安装,承插接口要安装到位,两端伸出路堤长度要满足设计要求。就位检查合格后,回填中粗砂,填平沟槽,用小型压路机压实,并按要求设 4% 人字横坡,以防寒季积水结冰,发生通风管冻融破坏。

2.3.6 管顶路堤填筑

路堤填筑采用三阶段、四区段、八流程的工艺组织施工。对于非渗水填料要做 4% 的横向排水坡,路堤

压实采用重型振动压路机沿线路纵向进行,第一遍采用不振动静压,然后由慢到快,由弱到强,碾压时由两侧路肩向中间进行,各区段交接处重叠压实。纵向搭接长度不小于 2.0 m,沿线路纵向行与行之间压实重叠不小于 0.4 m,压实度和平整度要满足规范要求。

热棒安装相对简单,施工难度小;片石通风路基和通风管路基工艺和方法差不多,相对热棒施工要复杂。

3 主要施工质量保证措施

3.1 片石通风路基

(1) 施工时要制订冻土保护措施,做好排水系统,防止地表水和冻结层上水汇入路基施工范围。

(2) 片石的质量和粒径应严格控制,边坡码砌不能采用干砌,更不能采用小石子填塞,要确保通风空隙。

(3) 碾压应按试验确定的工艺施工,片石上过渡层填料要满足设计级配要求,防止填料漏入片石中,影响通风。夯实采用振动压实机械并达到 K30 设计标准,方可进行下部施工。

(4) 路堤土方填筑前应在片石边坡上用塑料彩布条覆盖,防止土粒漏入边坡片石中,影响通风。

3.2 热棒

(1) 热棒运至工地后,应进行外观检查 and 产品质量抽查,其结构、形状、规格及工作性能应符合设计要求,摆放整齐规则并覆盖。

(2) 热棒安装钻孔位置应符合设计要求,钻孔采用成孔护壁措施,不能坍塌。

(3) 钻孔完成后,应及时安装热棒,并满足安装时间要求。暂不安装的应将孔口盖住,防止孔内落入杂物。

(4) 安装过程中采用尼龙绳吊装,并注意防止碰撞和摩擦棒身,不能压伤和擦伤工件。

(5) 热棒安装应整齐,倾斜度和高度应符合设计要求,观察设备同热棒安装一起埋设。

3.3 通风管路基

(1) 在少冰或多冰冻土地段,路堤可直接填筑在天然地面上,不得清楚地表草皮,这是因为地表植被是多年冻土的良好隔热屏障,有利于保护多年冻土的稳定。

(2) 基底的热融湖塘、沼泽、湿地等的处理必须按设计和施工技术细则施工,不留质量隐患,基底垫层土拱严格控制填筑质量,确保压实度、平整度、路拱度等符合要求。

(3) 严格保护路堤两侧 200 m 范围内的天然植被不被破坏,同时选择没有冻胀性的填料。

(4) 严格控制通风管的质量,通风管的尺寸必须符合设计要求,外观平整光洁承插口无开裂、碰撞损伤等。

4 应用效果分析

4.1 片石气冷路基

根据片石路基试验段观测发现:片石路基高路堤地段路基基底存在高温夹层,经过 3 个冻融循环高温夹层逐渐减少并消失;路基地温场受阴阳坡影响明显,左侧地温明显低于右侧;路基变形主要发生在建成后第一年,能占到变形量的 70% 以上,3 年后基本趋于稳定;片石通分路基对比段路基平均温度低 $0.5 \sim 1\text{ }^{\circ}\text{C}$,基底积温平均低 $570\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 左右,总沉降量小于对比段。但要注意设置基底土路拱,确保工后沉降发生后片石层底部高出原天然地面,防止地表水流入路基基底,影响片石路堤的工程效果,甚至影响路基的稳定性;注意防止填料沿路堤边坡溜入坡脚片石孔隙中从而影响通风效果。

4.2 热棒路基

根据热棒路基试验段观测发现:热棒路堤地段多年冻土上限抬升约 1 m,路堤平均温度降低 $0.4 \sim 3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,冻土的平均温度随热棒的工作时间延长而降低;职能防止冻胀变形,不能防止融沉变形,在纵向和横向上的冻胀变形差异较小;斜插布置方式效果更为显著;热棒的传热随距离的增大而作用越来越小,横断面超过 7 m,路堤中心土体冷却减少,需要几年时间才能趋于平稳,如果是双线路基,路基面过宽,路堤中心就难以冷却,路堤体内温度出现驼峰现象,易产生纵向裂纹;存在阴阳坡差异等。要注意热棒在布设时纵向间距不能过大,一般在 3 m 左右;同时针对阴阳坡间距设置要有所不同,主要注意保护热棒绝缘段。

4.3 通风管路基

根据通风管路基试验段观测发现:中心孔 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 线位置有不同程度的抬升,但抬升需要消耗下部土体的冷能来实现,这表明路基温度场还处于不稳定阶段;埋设在路基中部的通风管基本以强迫对流中的紊流方式为主,能有效降低地温,但埋设在路基底部的通风管以

自然对流为主,不能有效地降低路基温度;在暖季,强迫对流设计的通风管并不能明显降低地温。

青藏铁路实践证明,片石通风路基和热棒路基应用效果明显,对冻土路基保护有利,通风管路基效果不是很明显。

5 结论

(1) 对于双线路基,热棒对路堤中心土体的冷却减少,路堤土体内温度会产生驼峰现象,不利于冻土保护;由于热棒在寒季工作,在暖季停止工作,对于暖季时间长的冻土地段,热棒对冻土保护也不利,因此路基面过宽、暖季过长的冻土地段不宜选择热棒路基。

(2) 通风管路基与气候特征密切相关,只有当通风管处于顺风区,才能起到降温作用,当通风管处于息风区或通风不畅时,通风管路基不起降温作用。从青藏铁路的实际使用效果来看,并不是很理想。当前对通风管路基的认识还不够,还需要进一步理论研究和实际应用研究,建议现阶段不使用通风管路基来处理冻土施工。

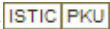
(3) 片石通风路基要选择石材好的石料,且要注意防止地表水进入路堤,影响片石路堤的工程效果,因此在石材缺乏和雨水多的地区,片石通风路基不宜选用。

(4) 对于高路堤多年冻土地段,热棒路基、片石通风路基不适用时,建议采用以桥代路方式,减少对多年冻土的热稳定性破坏,保护冻土。

(5) 冻土路基施工要根据实际情况灵活选用,要对不同的施工技术进行经济技术方案比选。

参考文献:

- [1] 李永强,韩龙武,崔珑,等. 热棒在青藏高原风火山地区的实测效果分析[J]. 岩石力学与工程学报,2003(S2): 129-132.
- [2] 刘端. 青藏线运营期间地温冻土区片石气冷路基工程效果分析[J]. 铁道建筑技术,2007(4): 58-63.
- [3] 侯宪军. 多年冻土区热棒路基工作原理与施工技术[J]. 山西建筑,2008(2): 285-286.
- [4] 王钊. 青藏铁路多年冻土区片石通风路堤施工技术[J]. 冰川冻土,2007(4): 327-332.
- [5] 王凯. 青藏铁路多年冻土区通风管路堤施工技术[J]. 基建优化,2004(2): 48.

作者: [朱高明](#), [ZHU Gao-ming](#)
作者单位: [中国中铁股份有限公司](#), 北京, 100055
刊名: [铁道工程学报](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期): 2008 (6)

参考文献(5条)

1. 李永强;韩龙武;崔琰 [热棒在青藏高原风火山地区的实测效果分析](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2003 (z2)
2. 刘端 [青藏线运营期间地温冻土区片石气冷路基工程效果分析](#)[期刊论文]-[铁道建筑技术](#) 2007 (04)
3. 侯宪军 [多年冻土区热棒路基工作原理与施工技术](#)[期刊论文]-[山西建筑](#) 2008 (02)
4. 王钰 [青藏铁路多年冻土区片石通风路堤施工技术](#)[期刊论文]-[冰川冻土](#) 2007 (04)
5. 王凯 [青藏铁路多年冻土区通风管路堤施工技术](#)[期刊论文]-[基建优化](#) 2004 (02)

本文读者也读过(10条)

1. [韩伟奇](#). [Han Weiqi](#) [潮汐河深水承台施工技术](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#)2010 (4)
2. [谭忠盛](#). [任少强](#). [李培安](#). [Tan Zhongsheng](#). [Ren shaoqiang](#). [Li Peian](#) [风火山多年冻土隧道综合施工技术](#)[期刊论文]-[施工技术](#)2008, 37 (10)
3. [刘怀亮](#). [王仲钢](#). [薛建军](#). [袁寅涛](#). [彭少引](#). [Liu Huailiang](#). [Wang Zhonggang](#). [Xue Jianjun](#). [Yuan Yintao](#). [Peng Shaoyin](#) [埃塞俄比亚特克泽水电站混凝土施工技术综述](#)[期刊论文]-[水力发电](#)2010, 36 (2)
4. [胡卿纪](#) [青藏铁路冻土施工的几项技术措施](#)[期刊论文]-[铁道建筑](#)2003 (5)
5. [张猛](#). [马人乐](#). [梁峰](#). [尹昌洪](#). [张根宝](#). [ZHANG Meng](#). [MA Ren-le](#). [LIANG Feng](#). [YIN Chang-hong](#). [ZHANG Gen-bao](#) [广电发射塔主吊装塔机安装施工技术](#)[期刊论文]-[建筑机械 \(上半月\)](#) 2009 (6)
6. [叶中兵](#). [Ye Zhongbing](#) [石武客运专线路基岩溶注浆施工技术](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#)2010 (9)
7. [肖培伟](#). [雷厚斌](#). [Xiao Peiwei](#). [Lei Houbin](#) [瀑布沟工程放空洞HF抗冲耐磨混凝土施工技术](#)[期刊论文]-[水力发电](#) 2010, 36 (6)
8. [王振岩](#). [李琳](#) [石武客运专线东孟姜女河特大桥\(32+48+32\)m预应力现浇连续梁跨新菏铁路施工技术](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#) 2010 (9)
9. [朱志坚](#). [曾吉浩](#). [白光磊](#). [Zhu Zhijian](#). [Zeng Jihao](#). [Bai Guanglei](#) [覆盖层内大跨度隧道施工技术](#)[期刊论文]-[水力发电](#)2008, 34 (9)
10. [张建均](#). [Zhang Jianjun](#) [锦屏二级水电站地下厂房岩壁梁混凝土施工技术](#)[期刊论文]-[水力发电](#)2010, 36 (2)

引用本文格式: [朱高明](#). [ZHU Gao-ming](#) [青藏铁路多年冻土路堤施工技术分析研究](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2008 (6)