

青藏高原清水河多年冻土区铁路路基沉降变形特征研究

李 忠^{1,2}, 唐义彬³

(1. 中国矿业大学资源学院, 江苏徐州 221008; 2. 石家庄铁道学院土木分院, 石家庄 050043;

3. 中铁十五局集团有限公司, 河南洛阳 471000)

摘 要:通过埋设在青藏铁路路基中2个断面内的共6条沉降观测管3年来的地基沉降变形资料,研究高原多年冻土区铁路路基的沉降变形特征,分析填筑铁路路基对下伏多年冻土融化变形的影响。研究表明,由于受到填筑路基时赋存在路基填料内的热量的影响,铁路路基下伏多年冻土上限在施工初期会有一个明显的下移沉降,铁路路基也随只有一个较大幅度的工后下沉变动,随着时间的推移,路基下降速率会逐渐下降,但在短时间内不会停止下来,而且由于太阳辐射和路基边坡形状的影响,路基向阳面与背阴面的变形有较大的差别,且在近南北向展布的路基上表现最为明显。

关键词:铁路路基; 高原多年冻土; 路基沉降; 冻土上限

中图分类号:U416.1*68 **文献标识码:**A

文章编号:1004-2954(2005)10-0017-03

1 概述

高原多年冻土是青藏铁路重要工程特征之一,也是可能引起路基沉降变形等病害的主要根源。一方面它具有一般土的共性,另一方面它又是一种多相复杂的体系,被冰所胶结,具有鲜明的物理化学特性。冻土区的各项工程建筑常常遇到许多由于冻土中冰的增长与消失而引起的冻胀与融沉现象,导致建筑物的迅速破坏,不但造成了巨额的浪费,影响建筑物的正常使用。

特别是高温冻土地区,由于冻土对于外界的影响十分敏感,尤其是温度和热量的扰动直接影响冻土的上限变化,因此详细研究青藏铁路路基修建过程中及建成后对与天然冻土的影响,分析铁路路基下伏高原多年冻土记录基本体的沉降变形特征,对于在高原地区进一步的科研和施工设计工作均具有重要的实际意义。

2 现场观测

2.1 观测场地

2.1.1 观测场地地貌特征

观测试验段位于青藏铁路格拉段昆仑山口至风火山之间的楚玛尔河高原准平原区,里程为DK1 024 +

900 ~ DK1 025 + 000,平均海拔4 500 m。该试验区处于北纬32°~36°的(长)江(黄)河源多年冻土区的片状多年冻土带中,平均海拔4 500 m,地势开阔平坦,属典型的高原河流相沉积地貌,植被覆盖率10%,热融湖塘集中分布,地下水以大气补给的、暖季分布的冻结层上水为主,水位不稳定,水量较小。该区属于青藏高原冰雪型气候区,冻结期为九月至次年四月,本段年平均气温-6.2℃,极端最高气温23.1℃,极端最低气温-46.1℃,年平均气温较差27.8℃;全年的主导风向为西风。太阳辐射强烈,不同坡向地面受热差别很大,阴面地温比阳面地温平均低1.5~2.5℃,冻土厚度阴坡比阳坡大50~70 m。

2.1.2 观测场地冻土特征

该区上层为松散潮湿的棕黄色的细砂,颗粒成分以石英、长石为主,沙土质较均匀,土层见冻深度一般为1.9~2.5 m,冻土上限一般为2.5 m;中层为中密浅灰色砾砂,颗粒成分以长石、石英为主,砾石含量约50%,见冻深度一般为2.3~2.6 m之间,1.9~2.5 m出发于厚层冰;岩芯松软潮湿。下层为厚度2~3 m的杂色含土冰层,含砾砂团块包裹体,冰以厚层状网状产出,具厚层状网状构造,厚层冰中有气泡,体积含冰率50%~60%,为饱冰冻土。岩芯呈短柱状,融化后有大量水溢出。底层为深灰色强~中等风化的泥岩,块状构造,泥质结构,局部夹灰绿色页岩及坚硬的泥灰岩。薄层冰发育,局部可见厚达10 cm的厚层地下冰,地下冰层状构造,体积含冰率25%~30%,为富冰冻土,岩芯呈短柱状,融化后很湿、软化,局部溢出较大量水。

该地区年平均地温约-1~-1.5℃,低于-0.5℃,属于细颗粒土高温不稳定冻土区。冻土主要为高含冰量衔接型冻土,它的分布明显受到岩性、含水量的控制。在位于湖相沉积发育、细粒土为主的一级阶地上,高含冰量冻土为主;而在颗粒较粗的由冰水扇、洪积扇二、三级阶地及河漫滩上,则以整体状构造的少冰冻土或多冰冻土为主。

2.2 观测场地观测仪器选择、布置与测试

2.2.1 测斜管埋设

为了保证试验数据的真实可靠,本次试验特选择了优质PVC管和高灵敏度的沉降测斜仪,分别在DK1 024 + 940和DK1 024 + 970两断面的地基表面、基床

收稿日期:2005-03-08

基金项目:铁道部科技攻关项目(2001G001-B-02-01)

作者简介:李 忠(1971—),男,副教授,现为中国矿业大学资源学院博士研究生。

· 线路/路基 ·

底层、路基表面各埋设3层(图1、图2),水平沉降管由每节4m的特制PVC管组成,管内在水平和竖直方向刻有4根导槽。管与管的连接由套箍和螺丝完成,导槽可精确对准。

DK1 024 + 940 和 DK1 024 + 970 两断面的地基表面、基床底层、路基表面各3层水平沉降管2001年10月22日完成后便开始测试工作,至今已完成测试86次。

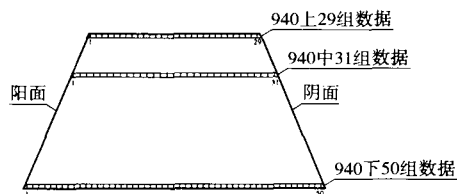


图1 DK1 024 + 940 沉降测试断面测点示意图
(面向拉萨方向)(沉降测试点间距0.5m)

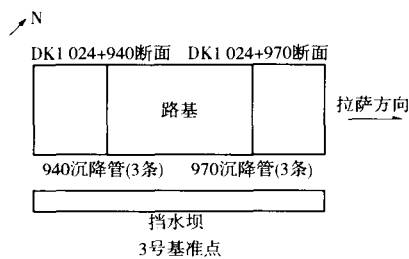


图2 青藏线格拉段清水河试验段路基沉降测试平面示意图

2.2.2 测斜仪沉降测试

(1)将电缆一端接记录仪,一端接探头,工作示意图见图3。

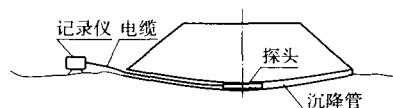


图3 水平测斜仪的工作示意图

(2)用普通6号铁丝将探头及电缆拉至沉降管的起始端,然后缓缓地拉动电缆,每等长刻度线处(0.5m的倍数)读数1次,直至沉降管的终止端。然后,将测斜仪水平掉转180°,从另一端按同样的方法进行第2次测试,读数。注意每次测试读数都要把电缆拉紧,位置要拉准确,以防读数不稳。通常采用正反测试的目的是提高精度,可以抵消探头的初始值和沟槽倾斜偏差等因素所造成的系统误差。

(3)用水准仪和现场的3号水准基点(海拔4521.068m,埋深16m)抄平,得到沉降管起始端的高程,从而根据沉降差可得到各读数点的高程。第1次测试推算出各点的高程,即为未来测试的基准高程,即初始高程。

(4)直接读取水平测斜仪在DK1 024 + 940、DK1 024 + 970两个断面的读数,通过室内水平测斜仪的

标定参数,计算路基沉降值,定期观测路基的沉降变化。为了最大限度地消除由于人工测试所带来的误差,将分别从每一根测试管的两头测试2次,综合处理所读取的路基沉降数值。

3 路基沉降变形特征分析

高原多年冻土路基的沉降变形主要与多年冻土的构造类型、多年冻土的工程地质条件、路基施工的质量以及路基所在地区的太阳辐射等条件有关。从2001年10月22日至2004年6月底,通过对DK1 024 + 940断面和DK1 024 + 970断面共进行的55次测试,在对15000多个数据进行处理后,发现多年冻土地区铁路路基的沉降表现出下列4个特点。

(1)多年冻土地区铁路路基的变形虽然也分为冻胀—融沉两部分,但主体上缓慢沉降为主。

从图4可以看出,高原多年冻土路基的沉降变形随时间变化主要有以下特点。

①工后1~2个月,路基填土初期,随着地基本身的不断压密,沉降在不断增加,后期的沉降速率比填土初期有所减小,但不明显。

②随着冬季的到来,地温下降至0℃以下,路基出现冻胀变形,但幅度较小。例如2002年底至2003年初、2003年底至2004年初的冬季,冻胀量为10~15mm;而且路基表现为冻胀变形的时间短,一般每年仅为3~4个月。

③随着夏季的到来,地温上升至0℃以上,路基出现融沉变形,幅度较大。例如,2003年4月至2003年9月、2004年4月至2004年9月,融沉量在35~50mm;而且路基表现为融沉变形的时间长,一般每年为6~7个月。

从沉降曲线随时间变化的趋势分析,路基的冻胀变形和融沉变形相互作用,使路基的冻胀变形没有表现出来。因此,在1个冻胀—融沉变形循环内,高原多年冻土铁路路基在横断面上的变形主要以融沉幅度大于冻胀幅度的缓慢下沉变形为主,而且随着时间的推移,这种变形速率虽会逐渐降低,但短时间内不会停止。

(2)多年冻土地区铁路路基的工后变形主要集中在路基下伏的天然土层中,路基本体的变形不大。

图5显示了DK1 024 + 940、DK1 024 + 970两个断面上的路基各层填土间的冻胀—融沉变形差,从图中可以看出,路基内各层的变形在工后6个月内有较大的差别,但随着时间的推移,路基本体的压密程度和整体性日趋提高,路基上中下各层填料的变形差逐渐稳定在1~5mm以内。高原多年冻土路基的冻胀—融沉变形主要发生在路基下伏的天然土层当中,路基本

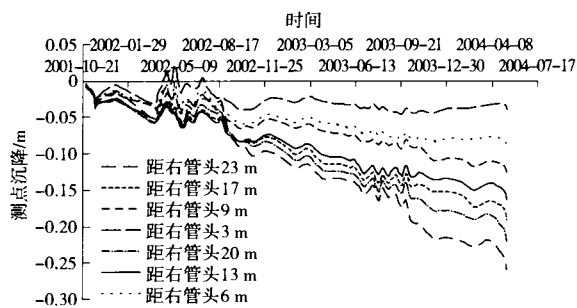


图4 多年冻土区铁路路基横向变形随时间变化

体的变形已经很小,特别是幅度较大的融沉变形,主要是由于路基下伏多年冻土的融化下沉造成的。

(3)多年冻土地区铁路路基的变形在横断面上表现出不均匀的特点,向阳一侧的变形幅度明显要大于背阴一侧的变形幅度,变形的中心不在路基中央,而在靠近向阳一侧的路肩。

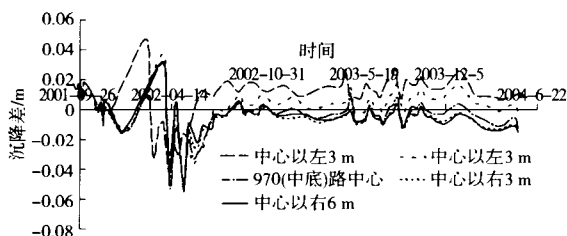


图5 多年冻土区铁路路基各层填土间变形差随时间变化

图6显示了路基两侧向阳面和被阴面不同位置处的沉降曲线分散,从图上可以看到路基两侧的沉降曲线有明显的不同:阴坡沉降量小,变形幅度小,越靠近阳坡沉降量及变形幅度越大。阳坡坡脚向右5~8m处的沉降最大。2002年9月初至2003年9月初,阴坡地基面沉降约20mm,阳坡地基面最大沉降达60mm。由于这种变形差异的发展,在路基完工18个月后,与路基向阳一侧出现了一系列的纵向张性裂隙,裂隙宽度介于0.5~1.5cm。

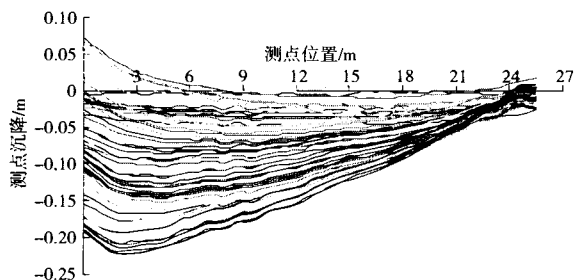


图6 多年冻土区铁路路基向阳面与背阴面横向沉降变形

(4)多年冻土地区铁路路基的变形与路基下伏多年冻土的工程地质性质的变化关系密切。

由于试验段路基所在冻土区属于细颗粒土高温不稳定冻土区,年平均地温高于 -1.5°C ,下伏多年冻土对外界的影响十分敏感。因此,铁路路基的修建与施工直接影响了下伏多年冻土的赋存状态,特别是由于

路基填高较大,在阳坡边坡形成吸热凹面,造成了进入路基下伏多年冻土的热通量大大多于进入天然地面下多年冻土的热通量。

如图7所示,由于铁路路基横断面上呈等腰梯形剖面,其向阳的一面承受太阳照射时间长,角度大必然能够接受更多的太阳辐射能量,使得路基两侧所吸收的太阳辐射能有很大的差异。

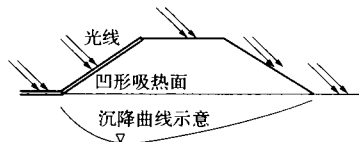


图7 多年冻土区铁路路基向阳面接收太阳辐射及融化夹层中心示意

由下列公式可以简单计算路基两侧所接受的日太阳辐射总量

$$Q_d = \int_{t_1}^{t_2} \int_{\delta_1}^{\delta_2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} S_0 \cos \theta d\theta d\delta dt$$

式中: Q_d 表示年太阳辐射总量; t 表示每天接收太阳辐射时间; δ 表示太阳辐射平面扫描角; θ 表示太阳辐射剖面扫描角; S_0 表示日太阳辐射系数, $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

通过计算,可以发现向阳面所接受的太阳辐射时间 $3 \sim 4 \text{ h}$,日太阳辐射总量比背阴面大 $8 \sim 10 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,而且路基两侧差异在夏季更为明显。

再通过下列公式,可以计算不同地区进入多年冻土的热通量

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \approx -\lambda \frac{T_2 - T_1}{\Delta z}$$

式中: q 表示进入多年冻土的热通量; T 表示多年冻土上限附近的温度; λ 表示多年冻土的导热系数单位($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$); $\Delta z = 0.5 \text{ m}$ 。

图8显示了进入天然地面下和铁路路基下的多年冻土的热通量曲线,由图中可以看到,天然地面下的多年冻土的热通量曲线平缓,吸热期和放热期基本相等,说明多年冻土处于相对稳定的状态;而路基下多年冻土的热通量曲线显示路基下多年冻土的吸热期远远大于放热期,多年冻土的热平衡已经被破坏,这势必加大多年冻土的融化深度,改变了多年冻土的上限位置,使得路基下伏多年冻土的工程地质特征向差的方向转变,并在路基下部靠近向阳面一侧形成一个终年不冻的融化夹层,引起路基即使在冬季仍然会发生沉降。

由于融化夹层的中心靠近向阳面一侧的路肩(图7),路基两侧的多年冻土活动层厚度不均匀,沉降变化幅度也就不均匀,向阳面明显要厚于背阴面,这也就造成了路基向阳面一侧出现的张性裂隙数量与规模明

道岔下架设纵横梁吊轨加固线路的方法

高雪瑞

(铁一院乌鲁木齐勘测设计院, 乌鲁木齐 830011)

摘 要:介绍道岔下架设纵横梁吊轨加固线路的方法,保证道岔下刚构桥的安全顶进作业,此方法经过现场实践检验证明行之有效。

关键词:铁路道岔; 刚构桥; 吊轨; 线路加固

中图分类号:U448.23 **文献标识码:**B

文章编号:1004-2954(2005)10-0020-02

1 工程概况

该工点为兰新线西段阿拉山口站扩能改造工程,位于阿拉山口车站东咽喉 K2357+605 处,为一处将平交道改为下穿立交桥的工程。结构采用 1-8 m 框架桥,箱身位于 2 组 9 号单开道岔的下方,箱身中心线与线路垂直并与这 2 组道岔的岔心连线重合。框架桥净宽 8 m,边墙厚 0.65 m,采用顶进法施工。

2 道岔下架设纵横梁吊轨加固应考虑的因素

该桥位于道岔的下方,而目前又没有在道岔下施

收稿日期:2005-04-26

作者简介:高雪瑞(1972—),男,工程师,1993年毕业于西南交通大学桥梁工程专业,工学学士。

显要大于背阴面一侧。

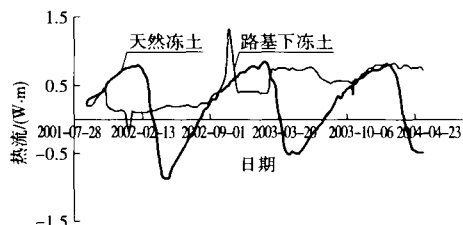


图8 进入多年冻土区铁路路基中的热通量随时间变化

4 结论

综上所述,在青藏高原多年冻土区进行铁路施工在历史上还是第一次,虽然施工地区多年冻土的类型、年平均气温、地质、水文特点对于铁路路基的工后沉降变形关系密切,太阳辐射以及由于铁路路基施工所造成的多年冻土上限的变化及融化夹层的出现,决定着铁路路基沉降变形的特征。

只有通过精确缜密的实地观测,在分析了大量现

工抬吊道岔、加固道岔的定型钢梁。根据以往施工架设吊轨梁的原理、经验,考虑到道岔的受力与普通线路受力有以下不同:一般普通线路受到列车纵向力及少许的横向力;而道岔则不同,车辆经过道岔的曲股时,将产生很大的横向力以及因为道岔不对称所引起的偏心力与由此产生的偏心矩;如处理不好,将给行车带来很大的安全隐患。所以,要解决好道岔的加固问题,必须处理好列车在道岔上行进时,纵横梁吊轨在各种情况下所受力的作用。

3 加固结构构件计算方法

(1)考虑道岔几何尺寸的不对称性,在构造上确定横抬梁布置的方式和长度。

(2)考虑道岔偏心的特点,根据道岔在纵横梁上所处位置及车辆可能运行位置,计算确定横抬梁所承受的最大弯矩 M ,根据此弯矩去计算并确定所采用横抬梁的大小及根数。

根据横抬梁长度及大小计算长细比,确定横抬梁结构稳定性。

(3)根据支撑处计算荷载的大小,确定横纵梁之间连接 U 形螺栓的直径及数量,以确保各种构件连接

场科研数据的基础上,准确可靠地掌握该地区铁路路基沉降变形的特征,才能为在该地区铁路的设计、施工以及以后的运营管理、防治冻土路基各种病害的发生提供理论依据和保障。

参考文献:

- [1] 张鲁新. 青藏铁路高原冻土地区地温变化规律及路基稳定性影响[J]. 中国铁道科学, 2000, 21(1): 37-47.
- [2] 王绍令, 赵新民. 青藏铁路高原冻土地区地温检测结果分析[J]. 冰川冻土, 1999, 21(2): 158-166.
- [3] 孙增奎, 王连俊, 白名洲, 魏庆朝. 多年冻土区利用加筋措施减小路堤变形试验研究[J]. 铁道标准设计, 2004(1).
- [4] 盛煜, 刘永智. 青藏公路高原下伏多年冻土的融化特征[J]. 冰川冻土, 2003, 25(1): 42-56.
- [5] 徐学祖等. 冻土物理学[M]. 北京: 科技出版社, 1993: 112-165.
- [6] 孙增奎, 王美芝, 王连俊. 青藏铁路多年冻土区路堤变形的数值模拟与预测[J]. 铁道标准设计, 2004(11).
- [7] 胡泽用, 钱泽雨等. 太阳辐射对青藏铁路路基表面热状况的影响[J]. 冰川冻土, 2002, 24(2): 122-136.
- [8] 吴紫汪, 程国栋, 朱林楠等. 冻土路基工程[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1988: 51-67.