

深季节冻土区哈齐客专路基现场试验

邵博文^{1,2}, 岳祖润^{1,2}

(1. 石家庄铁道大学 土木工程学院, 河北 石家庄 050043;

2. 石家庄铁道大学 道路与铁道工程安全保障省部共建教育部重点实验室, 河北 石家庄 050043)

摘要: 鉴于哈尔滨—齐齐哈尔(哈齐)客专路基工后沉降不大于15 mm的要求,开展了路基现场试验。对路基中的温度、沉降变形、路基冻胀变形及路基本体的含水量变化情况进行监测。结果表明:线路所处地区,11月中旬开始冻结,来年1月下旬地表附近地温过程线开始上抬;冻结层直到4月中旬才全部处于正温,最大冻深约为2.4 m。经过现场监测,处于深季节冻土区的高铁路基在经历冻融循环后的沉降变形为20 mm左右。路基表面的最大冻胀量发生在地表温度处于-1~-2℃之间,在此地温值下,路基冻结层范围内易发生水分积聚现象,路堤冻胀较敏感,所以路基填料应严格保持为最优含水量,做好基床表层的防排水措施,避免路基病害的发生。

关键词: 地温; 沉降; 冻胀; 含水量

中图分类号: TU411.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2015)01-0066-06

哈齐客运专线是黑龙江省第一条开建的省内客运专线。也是黑龙江省三大城市(哈尔滨、大庆和齐齐哈尔)增进交通的重要快速干道。线路全长280.893 km,设计速度250 km/h,该客专线路处在深季节性冻土地区,沿线年平均气温4.1~4.7℃,极端最高温度38.7~40.8℃,极端最低温度-36.8~-39.3℃,全线轨道采用I型板式无砟轨道,路基采用AB组填料填筑,沿线天然土体的最大季节冻结深度189~272 cm。路基在经历冻融循环后,极易发生翻浆、冒泥,从而引起路基的变形、开裂等现象^[1],将会严重影响铁路路基的稳定性与行车安全。哈齐客专路基设计工后沉降要求不大于15 mm。进一步增加了路基施工的难度。因此,以哈齐客专第五标段路基为工程依托,开展了现场试验研究,通过现场埋设仪器进行观测,了解路基在经历冻融循环后的温度变化状况、沉降情况,以及路基表面的冻胀变形的变化情况,分析路基的冻胀问题。

1 试验设计

1.1 试验目的

- (1) 观测路基不同位置的温度场,总结地温沿时间和深度的变化特征。
- (2) 观测路堤的左、右路肩不同深度温度场变化特征,分析路堤保温护道的作用。
- (3) 测试路基在修筑阶段沉降变形随时间的变化特征,分析路基的施工质量。
- (4) 测试路堤填料的冻胀性能,总结出路堤发生最大冻胀量时间及发生最大冻胀量时的地温特征。

1.2 试验内容

试验内容包括:①地温测试;②沉降变形监测;③路基冻胀变形监测;④路基填料的含水量测试。

1.3 仪器布置及观测频率

收稿日期:2014-02-18 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxsbzrb.2015.01.14

作者简介:邵博文(1987-),男,硕士研究生,主要从事高速铁路与公路施工及监测技术的研究。E-mail:849941817@qq.com

基金项目:国家科技支撑计划863项目(sq2011gx05E05958);国家自然科学基金(51178281);铁道部科技研究开发计划重点课题(2011G026-A)

邵博文,岳祖润.深季节冻土区哈齐客专路基现场试验[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2015,28(1):66-70.

现场试验段在大庆市杜尔伯特县境内,处在典型的深季节冻土区。在试验段内选择断面,路堤断面基底宽32 m,路基表面宽20 m,路堤高4.0 m,设计坡度1:1.5。在该断面埋设的实验仪器有:

(1) 测温传感器。由勘察资料可知,该地区天然地表最大冻深在2.09~2.72 m之间,而且冻深以下一定深度对冻胀的影响越来越小到几乎无影响,因此设计的测温传感器长为3.6 m;热敏电阻在地表以下0.6 m范围内和预计最大冻深处的间距为0.2 m,其它位置的间距为0.6 m。这样,可以较精确地测试土体在不同深度处冻结和融化的温度变化特征。

(2) 剖面管。当路基填至0.7 m高度并碾压压实后,开槽埋设路基基底沉降管。开槽宽度为20~30 cm,将槽深挖至地基加固垫层顶面,在槽底回填约0.1 m厚的细砂,然后整平槽底,埋置沉降管,同时沉降管内穿入钢丝绳,其上填原路基填料至碾压平面平齐,路基表层的沉降管埋设方法同基底。采用剖面沉降仪和电子水准仪观测,用以测试路基的沉降变形。

(3) 冻胀观测桩。在路基表面埋设直径为30 cm,埋深为25 cm的圆截面冻胀观测桩,用水准仪定期观测冻胀观测桩的高程变化情况。

(4) 含水量测试。使用洛阳铲在路基中心取样并称量,随后将土样带回实验室进行烘干试验。

图1为埋设断面示意图。地温、沉降在填土施工阶段每天观测1次,1个月后3 d观测1次,3个月后15 d观测1次。冻胀变形在11月初,地温处于0℃附近每3 d一次;入冬后每7 d一次;外界气温回升,3月下旬地表温度在0℃附近每3 d一次。直至观测工作全部结束。填料含水量每月取样测试1~2次。

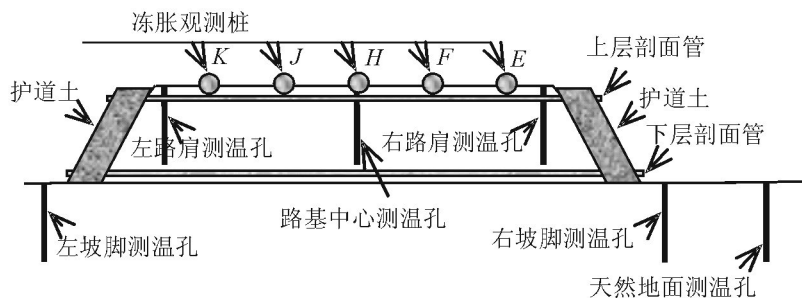


图1 埋设仪器断面示意图

2 观测结果及分析

2.1 地温观测

图2为右路肩不同深度地温随时间变化曲线,由图2可以得到如下规律:路基各深度处的地温年变化近似呈余弦状分布,且地温周期大致相同,但不同深度处的地温极值^[2]、极值发生的时间、相位均存在显著的区别。同时,地表温度向地中传递时,地温呈周期性变化;随深度增加,地温变化的相位相对滞后,地温的变化受外界气温影响逐渐减小。另外,所有测点都呈现出一个变化规律:各个测点的全年温差随深度增加而减小,以此类推,到某一深度时,土体的全年温差将很小,可近似视为0℃,路基地温年变化曲线将接近一条直线,此深度处土体将处于热稳定状态。分析其原因主要是由于太阳辐射、风向、风力、地表积雪等外界因素对路基土体温度的影响随深度的增加而逐渐减小所造成的。

由图3可以看出,路基中心地表温度在2010年11月中旬到2011年3月中旬和2011年11月底到2012年3月中旬两个时间段内不再降温,呈现持续不变的状态。这是由于此时间段内,试验段根据施工需要填筑了高3.5 m左右的预压土,而预压土不仅具有保温作用,还可以阻止外界热量向路基本体传递,使路基中心温度处于热平衡状态,始终保持正值,大约在5℃。降温阶段,2013年路基中温度场分布也表现出明显的对称性,这表明保温护道起到了保护路基的作用。升温阶段,路基中心与右路肩在任意深度处的温差近似为0℃。这是由于2013年路基已经填筑完成两年左右,施工热扰动和热影响已处于弱化阶段,路基储热逐渐形成一个新的热力平衡,路基阴阳坡的现象开始表现的不明显。

2.2 沉降观测

季节冻土区,路基经历冻融循环后,易产生不均匀沉降,造成路基线路不顺和路基开裂等灾害^[3-4]。

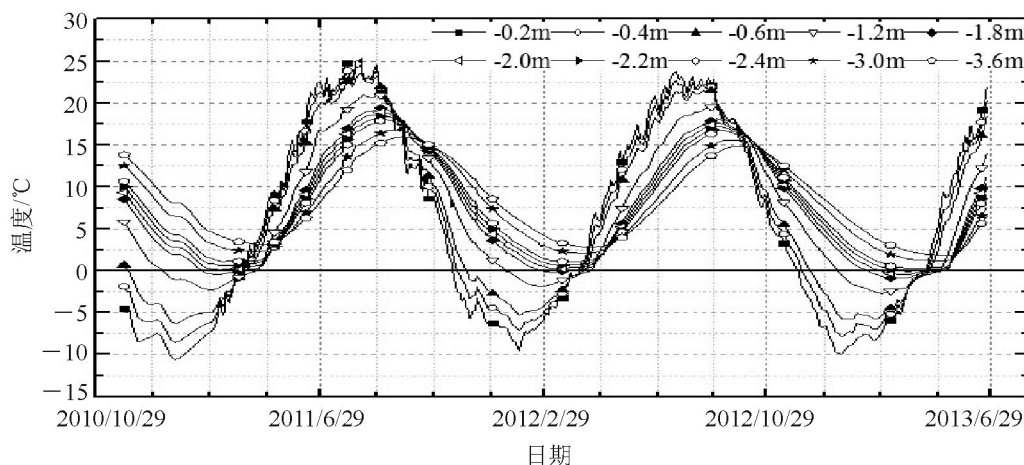


图 2 右路肩地温随时间的变化

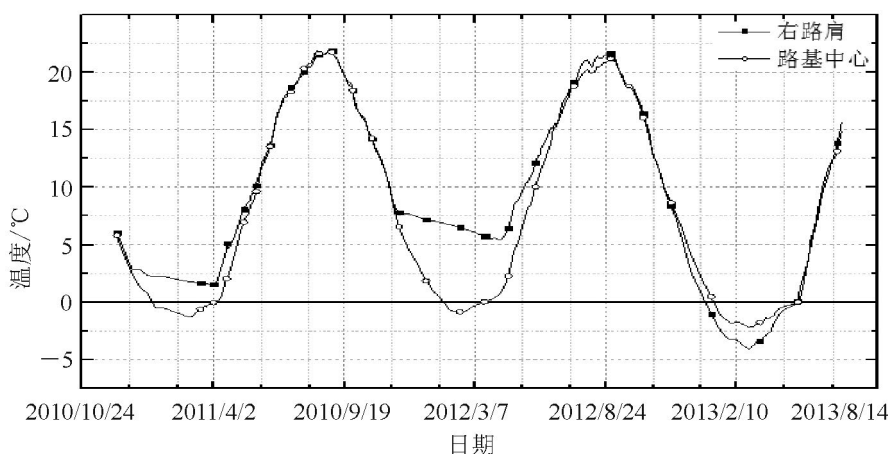


图 3 右路肩-路基中心 1.2 m 深度处地温随时间变化

图 4 与图 5 分别为实测路基表面、基底的沉降数据。由图 4 和图 5 可以看出,路基经历两个冻融过程后变形基本在 20 mm 左右,工后沉降很难满足《高速铁路路基施工质量验收标准》规范。2011 年 12 月初到 2012 年 4 月初,路基浅层和基底各测点的累积沉降量随时间的推移缓慢增大。这是由于路基根据施工要求,堆载了 3 m 高的预压土。2012 年 7 月以后,路基基底各测点沉降变形随时间推移趋于稳定。

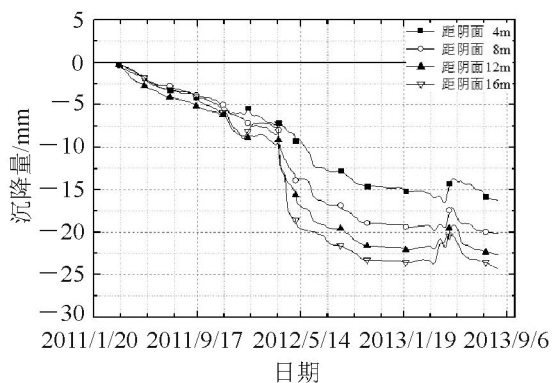


图 4 路基浅层各测点沉降随时间变化

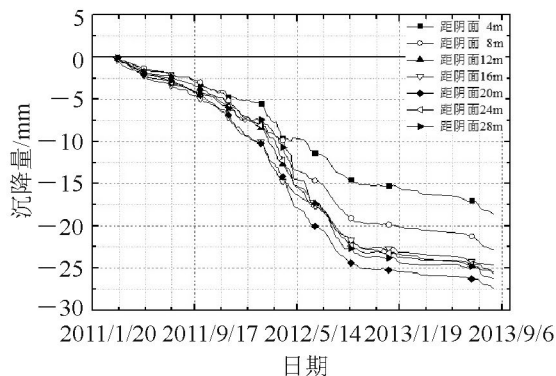


图 5 路基基底各测点沉降随时间变化

2013 年 3 月下旬~4 月初,路基表层发生了轻微的隆起,这是由于在外界气温回升的过程中,地表积雪融化向路基渗入,同时,地下向上溶解,水分向冻结层范围内迁移,在昼夜温差较大的情况下,路基产生一定的冻胀变形。说明路基冻胀存在于一定深度范围内,在最大设计冻深 2.72 m 范围之内。该深度内

应采取行之有效的防排水措施,防止路基冻胀灾害发生。

2.3 路基表层冻胀变形观测

在寒冷地区的路基,土体中水分在冬季负温下结晶,引起土体体积增大。若路基土土质、水分及冻结条件不均一,将会产生不均匀冻胀^[5]。图 6 表示筏板结构路基表层冻胀变形随时间的变化,图 7 表示筏板结构路基地温随时间的变化。

由图 6 和图 7 可以看到,1 月中旬之前,路基表面各测点几乎不产生冻胀量,土体中的水分仅发生原位冻结。1 月中旬到 3 月下旬路基表面的冻胀量逐渐增大,此时路基浅层地温保持相对稳定。

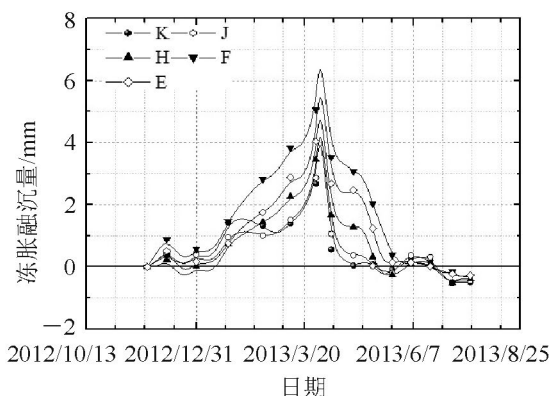


图 6 筏板结构路基表层冻胀变形随时间的变化

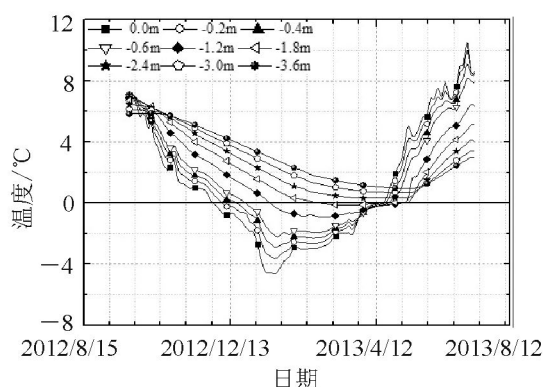


图 7 筏板结构路基地温随时间的变化

3 月底至 4 月初,路基表面的冻胀量突然增大,原因是:①路基浅表层各深度处的温度梯度变化较大,随着时间的推移,3 月底路基浅表层各深度处的地温近似达到同一值($-1 \sim -2^{\circ}\text{C}$),使得向上迁移的地下水分在同一负积温状态下同步冻结成冰,土体积增大,冻胀量增大;②地面积雪大量融化,但浅表层土体仍处于负温状态,在大量地表水的补给作用下,浅层土中的水分冻结成冰,土体积增大,导致路基产生冻胀。4 月份,路基表面的冻胀量趋于稳定。5 月初到 5 月中旬,路基表面发生融沉。5 月中旬到 5 月底,路基表面沉降趋于稳定,这是因为路基土体的热融下沉已完成。

2.4 路基本体含水量试验

在冻结过程中,土中水分迁移的理论目前比较流行的是建立在水分迁移与温度梯度关系基础之上的薄膜水迁移理论。温度状况决定着水的相变,水的相变影响着水的入渗速度,而且水相变时释放相变热^[6]。图 8 表示路基冻结期与融冻期路基含水量随深度变化曲线。

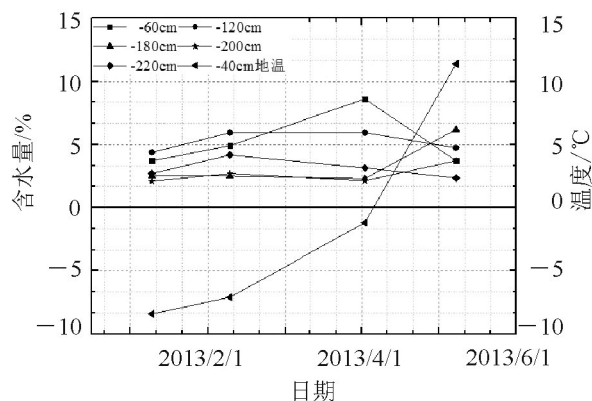


图 8 路基冻结期与融冻期路基含水量随深度变化曲线

由图 8 可以看到,2 月份,距路基表面 60 cm 和 120 cm 深度处的含水量轻微增加,但增幅不大,其原因是地表温度逐渐升高,但增幅不大,使得路基表面积雪发生轻微融化,浅层冻土含水量增加。180 cm 和 200 cm 处的地温仍处于减低趋势,致使含水量几乎保持不变。

3 月初到 4 月初地表温度逐渐回升,且增幅较大,致使路基表面的积雪大量融化,路基表面(暖区)的

未冻水分不断的向冻结封面(冷区)迁移,最终导致 60 cm 处的含水量随地表温度的升高而逐渐增加。此外,180 cm 与 200 cm 处的地温趋于稳定,使得含水量保持稳定。220 cm 处的地温处于正积温状态,使得此处的水分向上(冷区)迁移,220 cm 处的含水量减小。

4 月初到 5 月底地表温度迅速回升,增幅较大,地表积雪大量融化,路基浅层(120 cm 以上)的水分一部分被蒸发,另一部分向地下迁移,使得浅表层的含水量减低,180 cm 与 200 cm 处的含水量增加,同时,由于水分向上迁移的作用,220 cm 处的含水量减低。

由此推测,春季随着地表温度的升高,土体中各深度处的温度也随之升高,致使冻结锋面不断上移,使得土体中温度梯度减小。路基在双向融化状态下,水分始终是从暖区向冷区迁移,从而使得地表水分向下迁移,路基基底已冻土中的未冻水和未冻土中的孔隙水不断向冻结锋面迁移,造成路基中的水分在一定深度处产生水分积聚状况。

3 结论

(1) 路基各深度处的地温年变化近似呈余弦状分布,且地温周期大致相同,同时,地表温度向地中传递时,地温呈周期性变化;随深度增加,地温变化的相位相对滞后。另外,各个测点的全年温差随深度增加而减小,以此类推,到某一深度时,土体的全年温差可近似视为 0°C ,路基地温年变化曲线将接近一条直线,此深度处土体将处于热稳定状态。

(2) 经过三个冻融过程,施工热扰动和热影响已处于弱化阶段,路基储热逐渐形成一个新的热力平衡,路基阴阳坡的现象开始表现得不明显。路基中温度场分布也表现出明显的对称性,保温护道保护路基的作用开始显著。

(3) 路基经历两个冻融过程后,沉降变形基本在 20 mm 左。目前,路基沉降变形已基本趋于稳定。

(4) 在 3 月下旬至 4 月初,当路堤浅表层各深度处的地温近似达到同一值($-1 \sim -2^{\circ}\text{C}$)时,路堤冻胀较敏感,此时路堤产生的冻胀量占总冻胀量的 40% 左右。

(5) 春季随着地表温度升高,土体中温度梯度减小,路基在双向融化状态下,土体中的水分从暖区向冷区迁移,造成路基中的水分在一定深度范围内产生水分积聚状况。

参 考 文 献

- [1] Meng Fansong, Liu Jianping, Liu Yongzhi. Design principles and frost damage characteristics of frozen [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2001, 23(3): 307-311.
- [2] 谭忆秋, 徐慧宁, 周纯秀, 等. 季节性冰冻区路基温度场分布规律 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2011, 43(8): 98-102.
- [3] Liu Yongzhi, Wu Qingbai, Zhang Jianming et al. Deformation of highway embankment in permafrost region of Qinghai-Tibet Plateau [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24(1): 10-15.
- [4] HOU Jinfang, FENG Jun, YAN Wei et al. Field test of subgrade for passenger dedicated line in seasonal frozen regions [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2011, 33(4): 851-854.
- [5] XIA Qiong, YANG Youhai, DOU Shun. Frost heaving characteristics of Lanzhou-Xinjiang railway subgrade and the treatment of frost damage [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2011, 33(4): 164-170.
- [6] SATOSHI AKAGAWA. Experimental study of frozen fringe characteristics [J]. Cold Region Science and Technology, 1988, 15: 209-223.

(下转第 110 页)

不断地研究新负载类型的特点,在以往研究的基础上,寻求一种快速、准确的负载识别方法。

参 考 文 献

- [1]刘宁宁,高蒙,亢海伟.基于FFT的学生公寓典型负荷特性研究[J].石家庄铁道学院学报,2007,20(1):80-83.
- [2]张跃,唐铁.集中供电复杂电力负载识别与控制的设计[J].软件,2011,32(4):64-68.
- [3]郑宇,姚加飞.基于谐波分离的学生公寓负载特性识别[J].检测技术,2007,26(8):113-116.
- [4]王娟,高蒙,亢海伟.基于BP神经网络的负载识别和C语言实现[J].河北省科学院学报,2005(1):11-14.
- [5]李昂,史延东,宁飞.智能负载识别器的设计[J].微型机与应用,2005(4):21-22.

Load Characteristic Identification Based on Characteristic Matrix of Harmonics

Yuan Kun, Gao Meng

(School of electrical and electronics engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: This paper gives a load characteristic identification method based on harmonics of current. Since binary numbers are independent of one another, a algorithm of random combination calculating multiple data has been given in this paper. This method firstly samples and calculates the harmonics of current and gets the matrix of harmonics which combine randomly, then samples and calculates the harmonics of current in real time, querying those values in the matrix of current's harmonics and the one which is consistent with the real-time values is the load in electric network.

Key words: intelligent power supply; load identification; characteristic matrix; combination calculation

(上接第 70 页)

Field Test of Subgrade for Ha-Qi Passenger Dedicated Line in Deep Seasonal Frozen Regions

Tai Bowen^{1,2}, Yue Zurun^{1,2}

(1. Key Laboratory of Roads and Railway Engineering Safety Control of Ministry of Education, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China; 2. School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: The settlement of subgrade is not allowed to be more than 15 mm in the Harbin-Qiqihar in Passenger Dedicated Line. A field test of subgrade was operated in the Passenger Dedicate Line from Harbin to Qiqihar. The soil temperature, settlement, frost heaving and moisture content were measured. From the results: at the test place, the surface temperature of subgrade was under 0℃ in mid November, and was higher than 0℃ in late January. The frozen layer did not thaw until the middle of April. The maximum frozen depth was about 2.4 m. line region. So it is necessary to take insulation protection measures. After observation, the settlement of the subgrade was less than 20 mm, which is within the range of the design standard. The maximum frost heaving of the subgrade surface occurred in the surface temperature between -1 ~ -2℃. At this temperature, freezing layer is prone to water accumulation within the scope, so the subgrade filling should be strictly maintained with the optimum moisture content, and drainage measures must be taken for shallow foundation to avoid the occurrence of subgrade disease.

Key words: ground temperature; settlement; frost heaving; moisture content