

Research on the Numerical Simulation and Change Rules of the Subgrade Temperature Field

Lei Xu, Yunliang Li, Lun Ji, Yiqiu Tan

School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang
Email: m13654564084@163.com, liyl-hit@163.com, jilun@hit.edu.cn, yiqiutan@163.com

Received: Jan. 1st, 2018; accepted: Jan. 15th, 2018; published: Jan. 22nd, 2018

Abstract

Numerical analysis model of the subgrade temperature field was established. Based on the program ANSYS, the distribution and the time-varying properties of the subgrade temperature field were analyzed. Results show that for the vertical subgrade temperature field, the temperature increases with the depth increasing, and the subgrade frost depth at the coldest time in January is about 2.0 m. The ambient temperature affects the horizontal subgrade temperature field within a scope of about 2.0 m, which is the same as the subgrade frost depth. Temperature change trend of various positions in the subgrade during a year basically agrees with the ambient temperature change trend. The temperature of the pavement surface is basically the same as the ambient temperature, while the ambient temperature affects a little on the subgrade temperature, and soil in the depths of the subgrade keeps permafrost, or seasonal frozen.

Keywords

Subgrade, The Temperature Field, Numerical Analysis, ANSYS

路基温度场数值模拟及变化规律研究

徐 垒, 李云良, 纪 伦, 谭忆秋

哈尔滨工业大学, 交通科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨
Email: m13654564084@163.com, liyl-hit@163.com, jilun@hit.edu.cn, yiqiutan@163.com

收稿日期: 2018年1月1日; 录用日期: 2018年1月15日; 发布日期: 2018年1月22日

摘 要

建立了路基温度场的数值分析模型, 基于ANSYS软件分析了路基温度场的分布规律及时变特性。研究表

明：路基竖向温度场随深度的增加温度升高，一月份最冷时的路基冻深约为2.0 m；环境温度对路基横向温度场的影响范围约为2.0 m，与路基冻深一致。路基内部不同位置处全年的温度变化与环境温度变化趋势基本一致。路表处的温度与环境温度基本相同，路基内部温度变化受环境温度变化影响较小，路基深处土体处于多年冻结或季节性冻结状态。

关键词

路基，温度场，数值模拟，ANSYS

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

季冻区路基每年都发生季节性融化和冻结，由此会产生一系列特殊的工程地质问题。季冻区路基冻胀会引起道路变形、裂缝；暖季冻土融化，导致道路出现翻浆冒泥、路基下沉、路肩滑塌和路面沉降等病害。路基温度场与环境因素、路基结构型式、路基填筑材料及路基湿度状况相关，影响因素较为复杂。为了了解季冻区路基的冻胀机理及发展规律、控制冻土路基工程中的冻害、确保冻土区道路工程的稳定性、耐久性，必须深入研究路基冻融过程中温度场的变化规律，为季冻区路基的冻害处理提供理论依据。

刘志强分析了影响冻土路基温度场的主要因素，建立了冻土路基模拟试验装置[1]。郑仕建对特殊环境下路面、路基的温度场进行了模拟研究，得出了不同参数条件下的温度场分布规律[2]。毛雪松建立了水泥混凝土路面结构的路基温度场模型，分别在第一类边界条件(附面层理论)和第二、第三类边界条件下对路基温度场进行数值模拟[3]。令锋运用传热学理论和渗流理论导出了路堤侧向有地表积水渗入情形下，多年冻土区路基温度场渗流场耦合作用的控制微分方程，对路基温度场的变化状态进行了数值分析[4]。葛建军采用数值模拟方法分析了青藏铁路多年冻土区路基保温护道的效果[5]。邹泽雄结合实际监测数据，利用 ANSYS 软件对路基温度场进行有限元数值模拟[6]。汪海年对青藏公路五道梁地区路基温度场进行了有限元分析，路线走向对冻土路基温度场的对称性有着重要影响[7]。汤涛运用 ABAQUS 及其二次开发平台，建立了多年冻土地区路基温度场有限元分析模型，运用该模型对低等级公路窄幅路基和高等级公路宽幅路基温度场进行对比分析[8]。白青波建立了一维路面路基结构温度场模拟模型，并通过路基温度场反演分析，验证了数值模型的正确性[9]。岳祖润分析了天然地表及路基不同位置的地温分布规律，建立温度场的仿真模型，研究温度沿深度方向的变化规律[10]。王威娜结合季节冻土地区实际气候条件，基于第 II 类与第 III 类混合热边界条件，模拟季节冻土地区路基温度场变化规律，分析阴阳坡面温度差异[11]。汪双杰针对典型工况条件下冻土路基内温度场的分布特征及其随时间的变化规律，分析了路面宽度、风速、路基高度和走向等因素对冻土路基温度场的影响规律[12]。韩铠屹运用有限元软件模拟路基冬季温度场，分析路基温度场在冬季各月份的分布情况及不同年份下路基温度场的变化[13]。许顺国运用有限元分析，对多年冻土区草皮护坡路基温度场进行了数值模拟[14]。张尧禹分析了多年冻土区路基温度场与外界环境的响应趋势，得出了路基的修筑对天然冻土上线的影响程度[15]。

本文结合黑龙江省北安至古城高速公路所在地的气候特点，建立了路基温度场分析模型，分析了路基温度场的分布规律及时变特性，为路基冻胀病害的产生提供了理论依据。

2. 寒区路基温度场数值模型建立

2.1. 有限元模型

黑龙江省北安至古城高速公路，双向四车道，路基宽度为 26 m，路基边坡坡率为 1:1.5。建立的二维温度场分析模型尺寸如图 1 所示。设置 4 个路径：竖向路径 1 (SLJ1)，竖向路径 2 (SLJ2)，横向路径 1 (HLJ1)，横向路径 2 (HLJ2)。在考虑当地冻深的条件下，选取路基计算深度为 3 m。

采用 ANSYS 软件进行瞬态温度场分析，单元类型为 SOLID42，划分单元数量为 6870 个。网格划分结果如图 2 所示。

研究表明，土基底面的温度不论是年温度变化或是日温度变化均较稳定。所以，在进行有限元热分析时土基底部温度视为常温，取值大小根据路面厚度及当时气温决定。瞬态热分析中，需给定路表近地空气温度值和对流系数以及模型底面的地层温度。

2.2. 温度场分析参数

参数选取如下：路基土的密度为 1800 kg/m^3 ，焓值取值为 980 J 。传热系数取值如表 1 所示，比热取值如表 2 所示。

2.3. 气象资料

项目所在地为克东地区，该地区全年各月的温度数据如图 3 所示。全年温度荷载加载时为瞬态分析，主要分析关键点的温度随时间变化的时变规律特性，分为 12 个荷载子步，在 ANSYS 软件中由表格数据的方式加载。

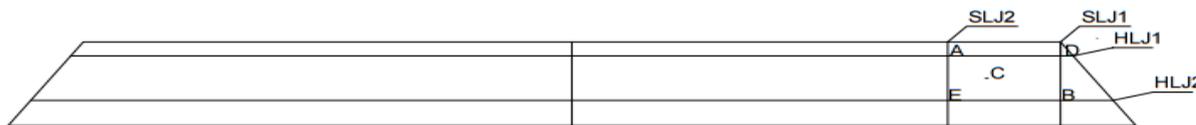


Figure 1. Two-dimensional temperature field analysis model

图 1. 二维温度场分析模型

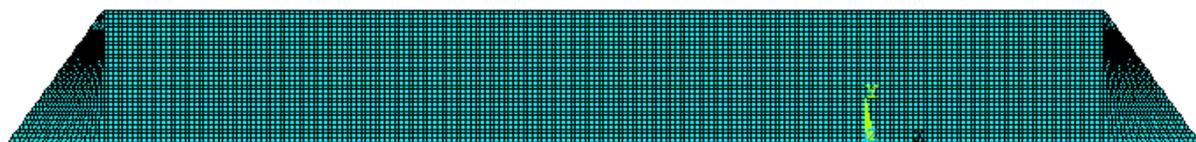


Figure 2. Finite element model

图 2. 有限元模型

Table 1. Heat transfer coefficient

表 1. 传热系数

温度/ $^{\circ}\text{C}$	-20	-10	0	10	20
传热系数 λ	2.45	2.45	1.9	1.9	1.9

Table 2. Specific heat

表 2. 比热

温度/ $^{\circ}\text{C}$	-20	-10	0	10	20
比热 $\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$	898.9	898.9	989.8	989.8	989.8

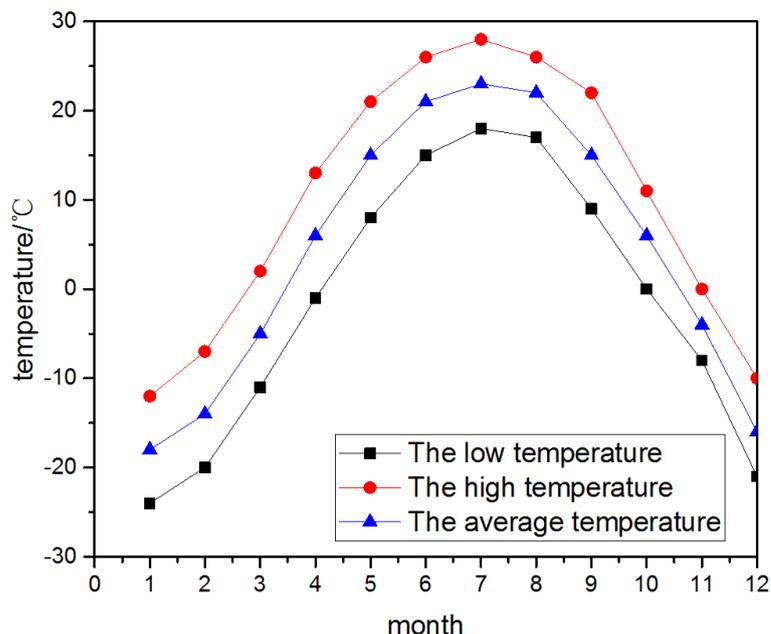


Figure 3. The temperature of the whole year

图3. 全年各月温度

3. 路基温度场分布规律

3.1. 温度场竖向分布规律

一月份为项目所在地的全年最低温度, 选取一月份每天的最高温度、最低温度及平均温度分别进行数值模拟, 得到路基内部的温度分布规律。根据模拟结果, 得到路基内部竖向路径 1、竖向路径 2 (SLJ1、SLJ2) 在三个不同工况(高温、低温、平均温度)条件下温度的分布如图 4、图 5 所示。

从图 4 可以看出, 在竖向路径 1 位置, 随着深度的增加, 路基内部的温度升高, 在路表处, 路基的温度接近环境温度。在不同的环境温度下, 路基深度较浅时温度差别较大, 随着路基深度的增加, 路基温度的差值逐渐减小。同时从图 4 也可以看出, 竖向路径 1 处的大地冻深大致为 2.5 m。

从图 5 可以看出, 在竖向路径 2 位置, 温度沿深度的分布与路径 1 的分布规律完全相同。与路径 1 的主要区别是路径 2 处的大地冻深约为 2.0 m。即路径 2 处的冻深明显小于路径 1 处的冻深。这主要是由于路径的位置不同造成的。由图 1 可知, 路径 1 接近路基两侧边坡的位置, 路基内部的温度受到环境温度的影响更大, 路基顶面及边坡坡面都与路基存在着热交换; 而竖向路径 2 离边坡较远, 其热交换主要来自路基顶面, 所以其冻深要小于路径 1 的冻深。综合以上分析, 在不考虑边坡的影响情况下, 当地的路基冻深应当为 2.0 m, 这与当地的实测大地冻深基本一致。说明数值模拟结果较为准确。

3.2. 温度场横向分布规律

通过路基温度场的数值模拟, 得到一月份路基横向路径 1 (HLJ1) 和横向路径 2 (HLJ2) 在三个不同工况(高温、低温、平均温度)条件下温度的分布状况如图 6 及图 7 所示。

通过图 6 及图 7 可以看出, 路基横向的温度分布与路基竖向的温度分布相类似, 从边坡至路基中心温度逐渐升高。环境温度对路基横向的影响范围大致为 2.0 m, 即在距离边坡表面 2.0 m 以内, 路基温度随横向距离的增加而升高, 当距离边坡表面的距离超过 2.0 m 以后, 路基内部的横向温度接近一致。环境温度对路基横向温度的影响范围与大地冻深基本一致。

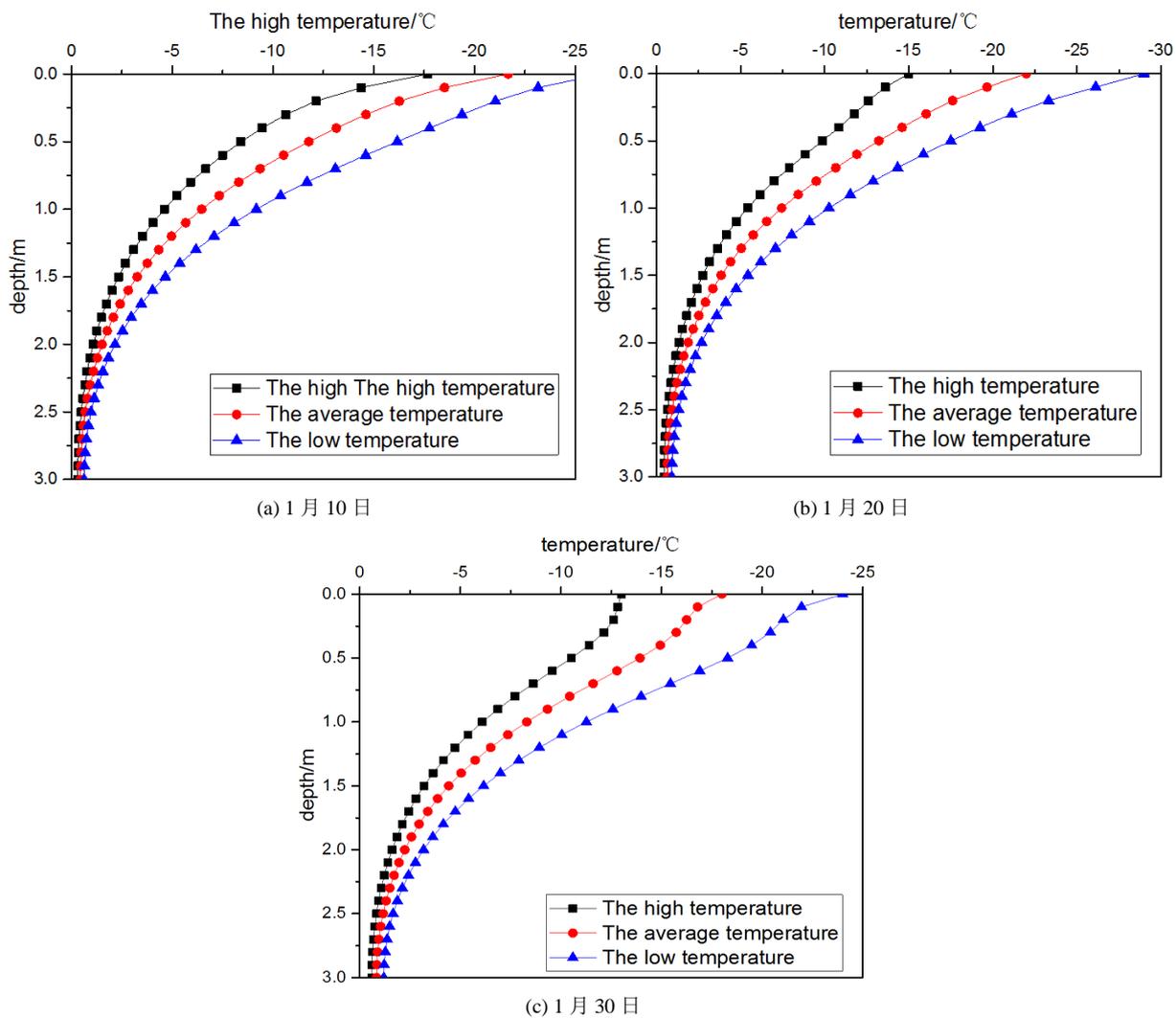
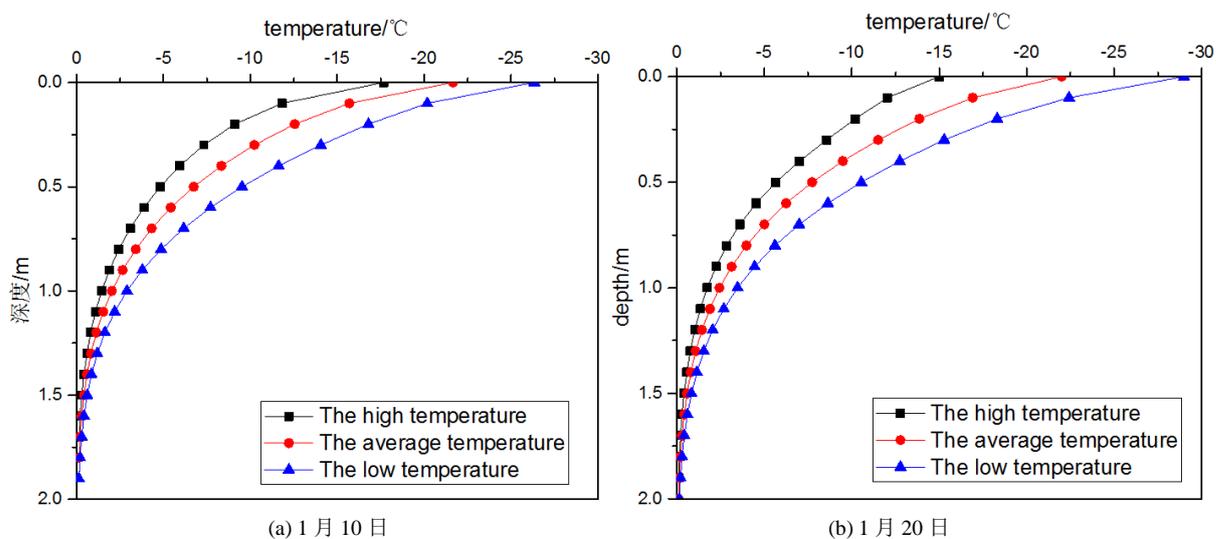
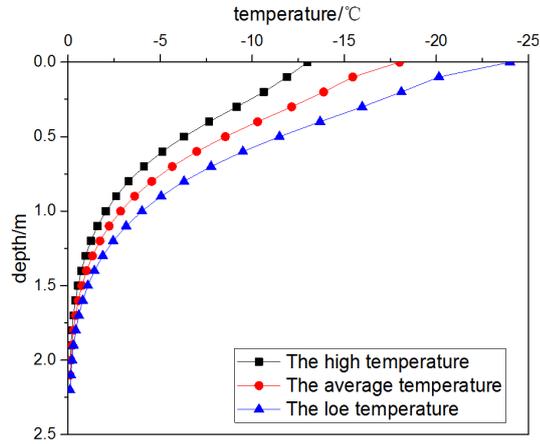


Figure 4. The temperature distribution of vertical path 1

图 4. 竖向路径 1 的温度分布

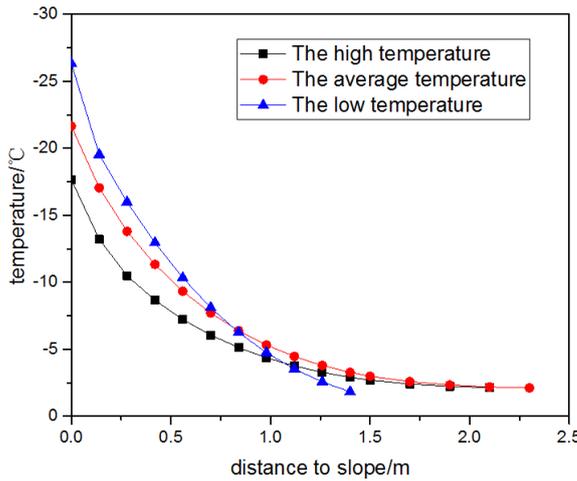




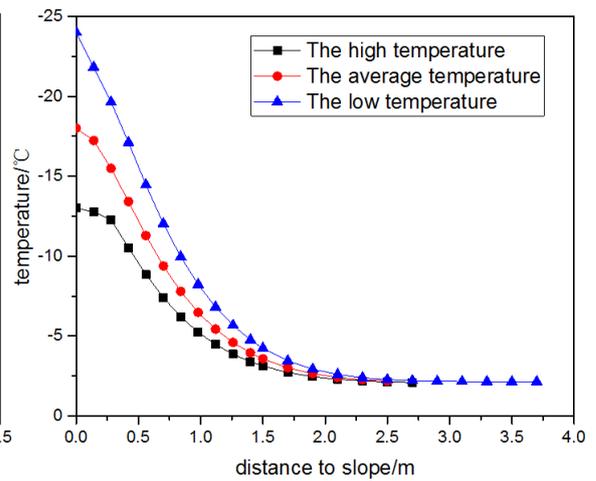
(c) 1月30日

Figure 5. The temperature distribution of vertical path 2

图 5. 竖向路径 2 的温度分布



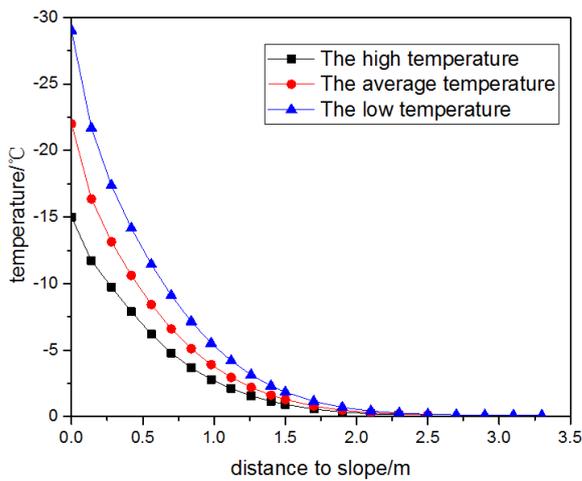
(a) 1月10日



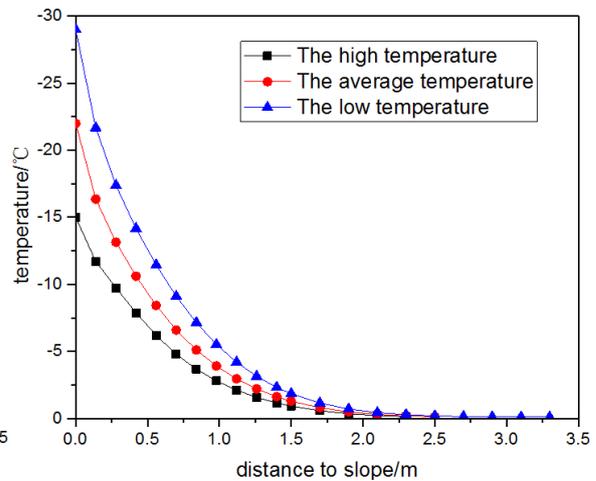
(b) 1月30日

Figure 6. The temperature distribution of crosswise path 1

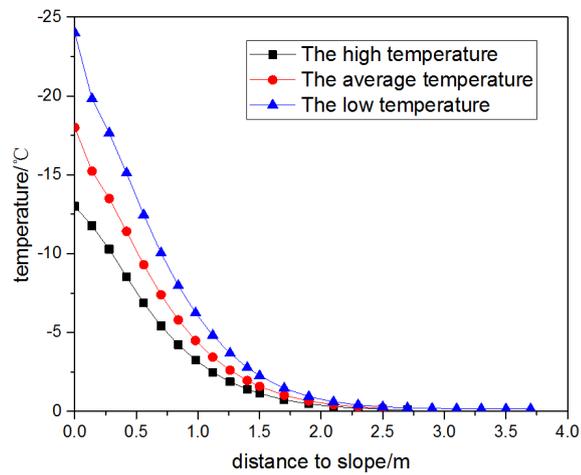
图 6. 横向路径 1 的温度分布



(a) 1月10日

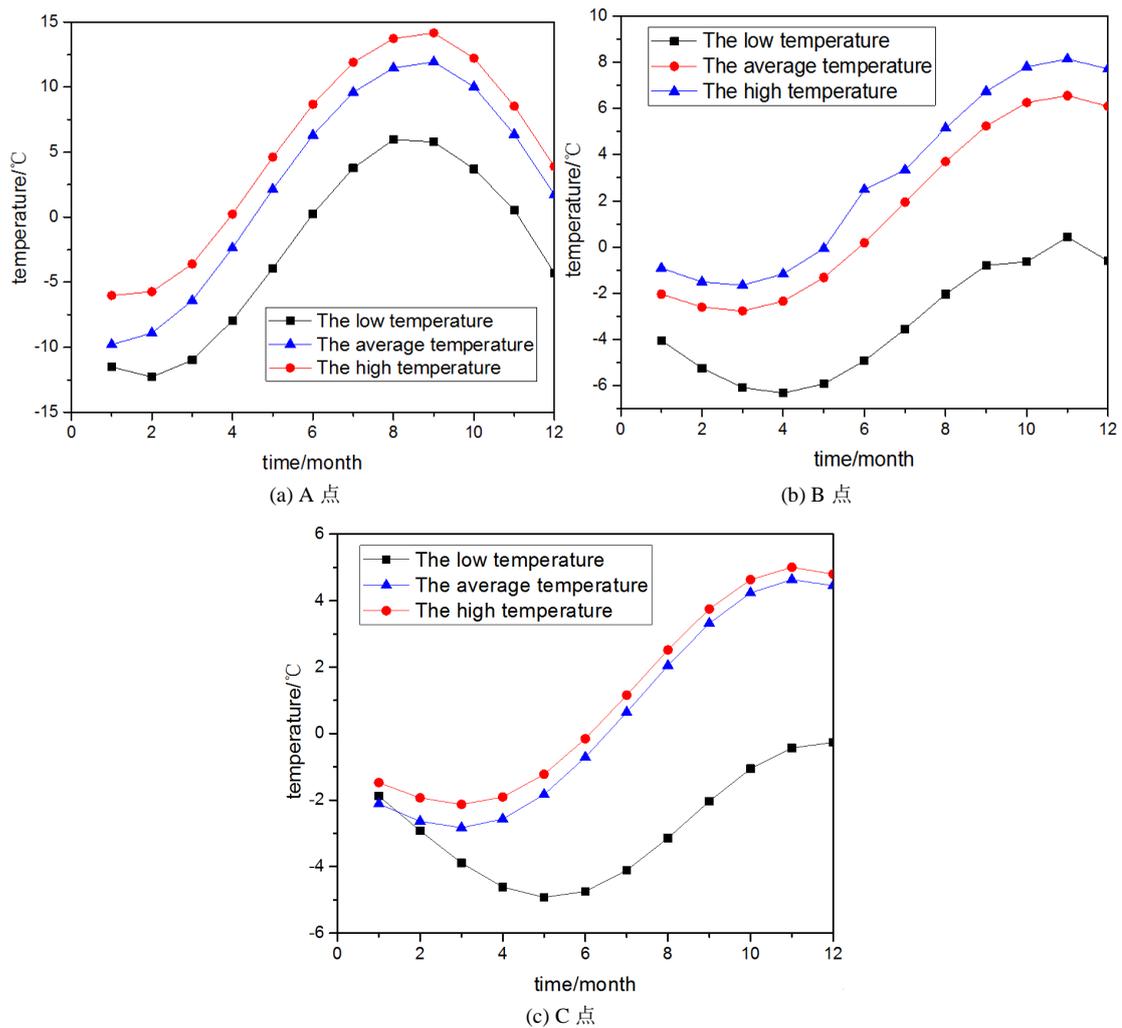


(b) 1月20日



(c) 1月30日

Figure 7. The temperature distribution of crosswise path 2
 图 7. 横向路径 2 的温度分布



(a) A 点

(b) B 点

(c) C 点

Figure 8. The time curve of temperature
 图 8. 温度的时变曲线

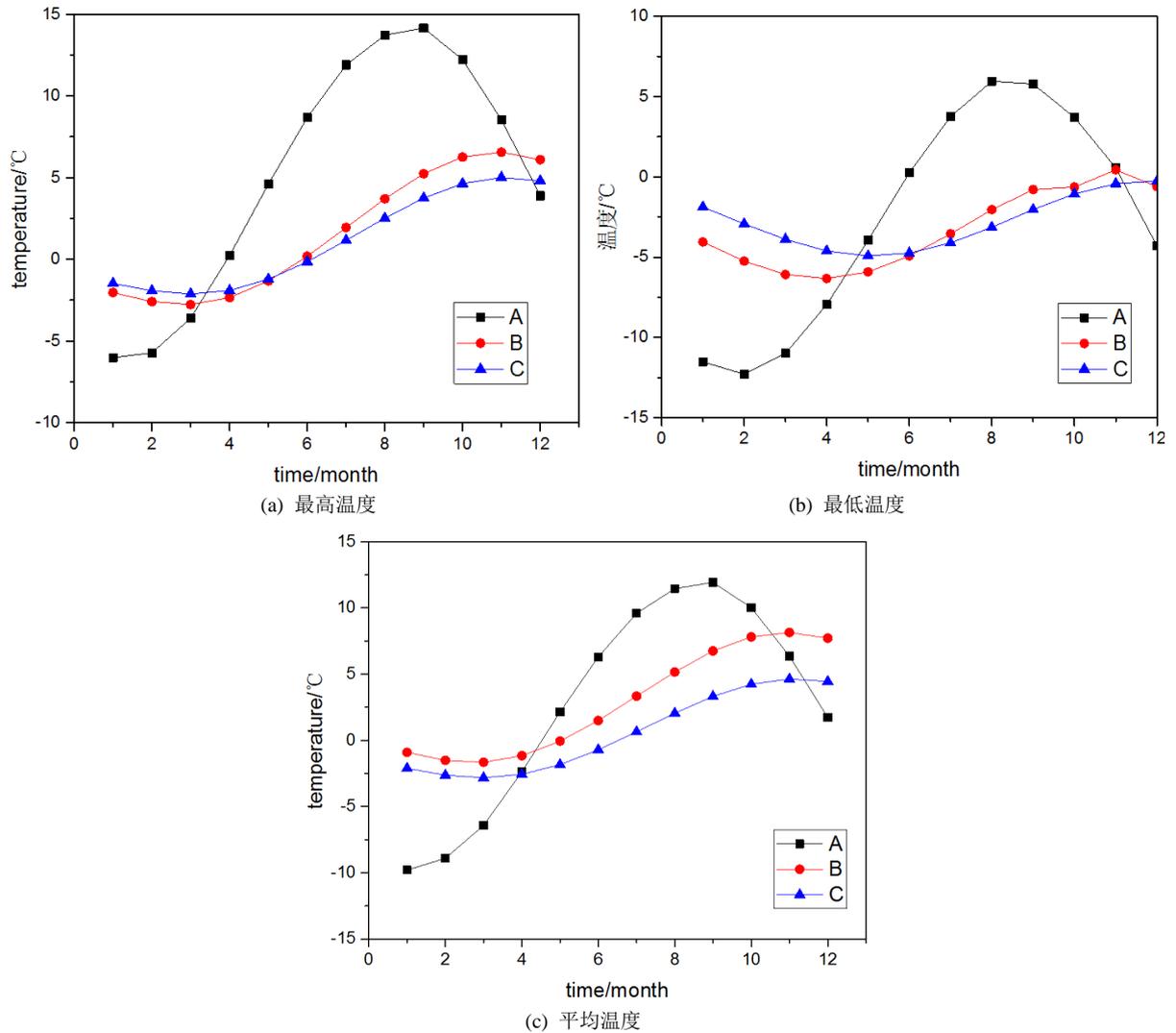


Figure 9. The comparison of ABC point temperature change
图 9. A/B/C 温度变化对比

4. 温度场时变特性分析

根据项目所在地一年内气温的变化情况,分别计算环境最高温度、最低温度、平均温度三个工况下路基内部的温度场变化情况。图 1 所示的 A、B、C 三个点的温度随时间变化如图 8 所示(A 点接近于路表, B、C 点处于路基内部)。

按全年环境最高温度、最低温度、平均温度三个工况计算结果得到路基内部 A、B、C 三点的温度对比如图 9 所示。

由图 8 可以看出,路基内部不同位置处,温度随时间的变化总体趋势基本相同,并且可以看出路基内部不同位置处,全年温度变化趋势与环境温度变化趋势一致。由于 A、B、C 三点所处位置的不同,导致不同点之间的温度变化存在一定的差别。

由图 9 可以看出,点 A 处的温度对环境温度的变化更为敏感,而点 B 与点 C 的温度变化基本一致,且其对环境温度的变化的敏感程度要小于 A 点。

由于 A 点处于路表位置,所在位置的温度受环境温度影响最大,而 B、C 点处于路表以下,受环境

温度变化的影响相对较小。如果按全年的最低气温来计算, A 点处的温度与环境温度的变化基本一致, 每年大致有 6 个月的时间温度处于零度以下(10 月至第二年的 4 月), 而 B、C 点全年的温度都处在零度以下。如果按全年的最高气温来计算, A 点处的温度每年大致有 3 个月的时间处于零度下, 而 B、C 点的温度全年有 5 个月处于零度以下。路基内部处于多年冻结或季节性冻结状态, 路基容易出现冻胀和融沉病害。

5. 研究结论

结合 ANSYS 软件建立了路基温度场的分析模型, 分析了路基内部温度场的分布规律及时变特性。

路基内部竖向温度场分布规律为随深度的增加温度升高, 一月份最冷时的路基冻深约为 2.0 m; 路基横向的温度场分布特征为, 环境温度对边坡横向的影响范围约为 2.0 m, 与路基冻深基本一致。

路基内部不同位置处全年的温度变化与环境温度变化趋势基本一致。路表处的温度与环境温度变化基本相同, 路基内部温度变化受环境温度变化影响较小, 路基深处土体处于多年冻结或季节性冻结状态。

参考文献 (References)

- [1] 刘志强, 马巍, 周国庆, 等. 纵向布管调控冻土路基温度场的模拟试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(11): 1827-1831.
- [2] 郑仕建, 李炳熙, 刘逸, 等. 特殊环境下路基温度场模拟及参数优化[J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2010, 37(1): 69-72.
- [3] 毛雪松, 陆鹿, 格桑泽仁, 等. 水泥混凝土路面的路基温度场测试及数值模拟[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2011, 31(2): 1-5.
- [4] 令锋, 吴紫汪. 渗流对多年冻土区路基温度场影响的数值模拟[J]. 冰川冻土, 1999, 21(2): 115-119.
- [5] 葛建军. 青藏铁路多年冻土区保温护道路基温度场数值模拟研究[J]. 冰川冻土, 2008, 30(2): 274-279.
- [6] 邹泽雄, 娄瑜. 青藏高原多年冻土区站场路基温度场的有限元模拟[J]. 公路, 2006(6): 60-65.
- [7] 汪海年, 窦明健. 青藏高原多年冻土区路基温度场数值模拟[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2006, 26(4): 11-15.
- [8] 汤涛, 马涛, 黄晓明, 等. 青藏高速公路宽幅路基温度场模拟分析[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2015, 45(4): 799-805.
- [9] 白青波, 李旭, 田亚护. 路基温度场长期模拟中的地表热边界条件研究[J]. 岩土工程学报, 2015, 37(6): 1142-1149.
- [10] 岳祖润, 程佳. 季节性冻土地区保温护道路基温度场数值模拟[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2015, 28(3): 25-29.
- [11] 王威娜, 秦煜, 李小飞, 等. 季节冻土地区阴阳坡路基温度场及变形发育数值模拟[J]. 公路交通科技, 2017, 34(2): 20-28.
- [12] 汪双杰, 崔福庆, 陈建兵, 等. 基于地气耦合模型的多年冻土区宽幅路基温度场数值模拟[J]. 中国公路学报, 2016, 29(6): 169-178.
- [13] 韩铠屹, 罗承平, 刘源. 寒冷地区铁路客运专线路基温度场数值模拟[J]. 武汉大学学报(工学版), 2015, 48(2): 207-211.
- [14] 许顺国, 牟瑞芳, 曾晓燕. 多年冻土区草皮护坡路基温度场的数值模拟[J]. 路基工程, 2006(6): 49-51.
- [15] 张尧禹. 冻土路基温度场数值模拟[J]. 资源环境与工程, 2009, 23(f09): 195-120.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3431，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojtt@hanspub.org