

文章编号: 1005—0523(2007)01—0032—03

新疆天山公路道路翻浆温度场的数值模拟分析

袁建议

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 温度差异是高原冻土地区公路路基发生翻浆的一个重要因子。通过建立的冻土路基温度场的控制方程, 建立计算物理模型和数值模拟计算模型, 首先模拟气候因素变化过程, 得到不同时期冻土路基温度场分布, 温度场随季节的变化反映了路基冻结锋面的迁移, 从而分析了关键点的温度差异。提出了将换填部分冻结土与阻断水分迁移路径的抗浆结构相结合的综合防治技术设想, 这对进一步研究路基翻浆的治理技术有重要的理论意义。

关键词: 翻浆; 温度场; 冻土路基; 路基变形; 有限元

中图分类号: U418 **文献标识码:** A

1 引言

新疆位于欧亚大陆腹地, 地形结构呈现典型“三山夹两盆”的总趋势, 山体海拔高度在 2 000—3 800 m 左右。新疆伊犁地区, 七月份最高气温 20—30℃, 年极端最低温 -37.0℃~-21.5℃, 年均降雨量 1 000 mm 以上^[1]。因此, 广泛分布于多年冻土地区以及由于近年来气候转暖而退化成的季节冻土地区的新疆区域道路路基面临严重的冻土路基变形问题。冻土路基变形, 在一年当中随地温的年波动变化, 可分为冻胀和融沉两部分^[2-5]。在冬季, 地温大于路面自然温度, 土体冻结, 变形表现为冻胀变形; 在夏季, 路面自然温度大于地温, 土体融化, 变形表现为融沉变形。它们在路面宏观变形表现为不规则鼓丘、凹坑和龟裂。特别是近年来, 在新疆伊犁境内国道 G313 线、国道 G218 线道路翻浆的现场调研, 冻土路基变形日趋严重, 严重影响了国道的正常运行。文章基于已作的温度传导机理理论研究^[6], 进一步运用有限元理论进行数值模拟分析, 有助于下一步研究针对道路翻浆的工程防治措施。

2 控制方程

稳态条件下的三维物体, 微分形式的热传导控制方程为;

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k_x \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k_y \frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k_z \frac{\partial T}{\partial z}\right) = -q^B \quad (1)$$

式中, T ——物体的温度, 单位为 K;
 k_x, k_y, k_z ——对应笛卡尔坐标系的 x, y, z 轴的热传导系数, 单位为 $W/(m \cdot ^\circ C)$;
 q^B ——每单位体积的热生成率, 单位为 W/m^3 。

边界条件:

$$T|_{S_1} = T_e \quad (\text{第一类边界}) \quad (2)$$
$$k_n \frac{\partial T}{\partial n}|_{S_2} = q^s \quad (\text{第二类边界}) \quad (3)$$

式中, T_e ——面积 S_1 的环境温度, 单位为 K;
 q^s ——面积 S_2 的边界热流输入, 单位为 W/m^2 ;
 k_n ——垂直于物体表面的热传导率, 单位为 $W/(m \cdot ^\circ C)$ 。

3 计算物理模型

新疆伊犁地区道路翻浆过程是水体在温度的影

响下发生季节性冻胀融沉的过程. 温度在翻浆过程中的地位是至关重要的, 因此, 进行数值计算模拟温度场分布, 探求路基结构内部的温度分布规律, 对研究翻浆治理技术有重要的指导作用. 本文选取国道G218线一典型剖面作为计算物理模型, 见图1.

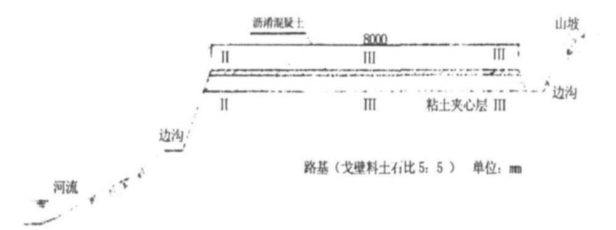


图1 计算物理模型

为了模拟现场实际情况, 路面一侧为河谷, 另一侧为山体边坡. 路面结构由两层材料组成, 即10cm厚的沥青混凝土面层和30cm厚的富含粘土的粘土夹心层. 根据现场观测, 产生翻浆鼓丘, 道路翻浆主要发生在这两层材料包含的深度.

4 数值模拟计算模型

考虑到尺寸效应的影响, 力学模型所取的区域作了规定, 路面宽度为8m, 计算宽度取为18m, 计算深度为10m, 粘土夹心层下路基为土石比5:5的戈壁料. 考虑到地热的影响, 边沟5m以下温度增量级为0.3℃/m. 建立力学计算模型及有限元网格划分如图2.

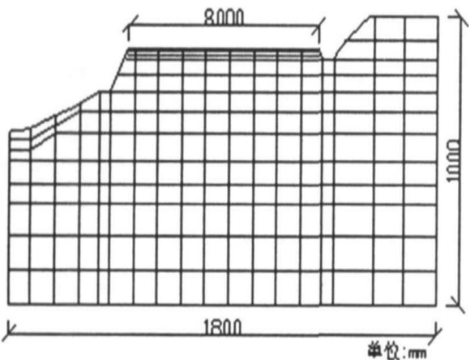


图2 计算办学模型及有限元网格划分

边界条件: 不考虑边界热流输入和辐射影响, 规定上边界为定温度 T_1 , 下边界为定温度 T_2 , 左右边界边沟5m以下按温度增量级0.3℃/m进行增温, 达到 T_2 .

5 计算过程及结果分析

5.1 计算过程

本数值模拟采用ADINAT进行线性稳态分析, 全部单元都是线性的, 所以在矩阵组合阶段, 只计算包括对流贡献在内的线性系统传导率矩阵, 而不考虑比热的影响. 数值计算中采用了三种工况, 并作敏感性分析.

- 工况一: 冬季 $T_1 = -293\text{ K}$ $T_2 = -275\text{ K}$
- 工况二: 春季 $T_1 = -263\text{ K}$ $T_2 = -271.5\text{ K}$
- 工况三: 夏季 $T_1 = -253\text{ K}$ $T_2 = -261\text{ K}$

所采用的计算参数, 沥青混凝土的导热系数为, 粘土夹心层的导热系数为, 路基戈壁料的导热系数为.

编译程序计算各个工况的温度场分布, 并以距左路边0.25m、4.25m和7.25m的I-I、II-II和III-III剖面处节点作为关键点进行敏感性分析, 各种工况下的关键点的温度如图3-5.

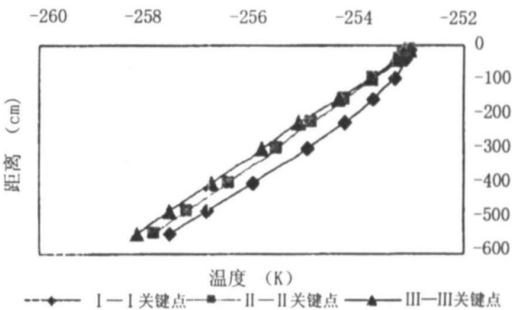


图4 工况二温度场分布

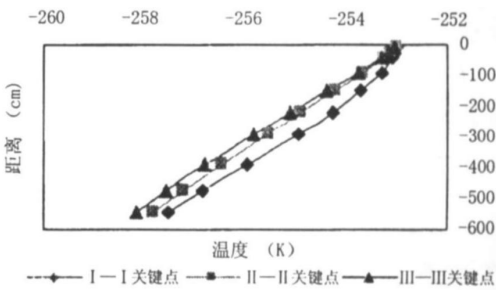


图5 工况三温度场分布

5.2 结果分析

关键点温度表示了路堤不同部位距路面不同深度的温度变化值. 由计算结果可见, 对于工况一, 计算模型中路基温度传递方向与实际冬季自然表面温度低于地温时是一致的, 且温度场中的温度均低于-273K. 因此, 冬季翻浆土体中的水份结冰, 土体产生冻胀效应. 对于工况二和工况三, 计算模型中路基

从上往下,温度是逐渐降低的,这是由于自然表面温度高于地温的结果.这两种工况的温度场的温度均高于 -273 K ,土体中的水份开始融化,土体含水量就要增大,土体强度发生衰减,从而产生融沉效应.

距路面同一深度处,工况一中剖面 I—I 节点的温度相对剖面 II—II、III—III 节点的温度均低;工况二和工况三中剖面 I—I 节点的温度相对剖面 II—II、III—III 节点的温度均高.因此,在冬季,剖面 I—I 土体比剖面 II—II、III—III 土体更易于冻结,而春夏季更易于融化,靠近河谷一侧更易于产生道路翻浆.这与实际现场调研结果是一致的.

6 结语

(1) 道路翻浆属于典型的公路水毁类型,是多因子耦合灾变的必然结果.而温度差异则是引起翻浆的一个重要因子,其研究对于研究翻浆机理和防治技术有重要作用;

(2) 基于文献^[6]的研究,进行了温度场的数值模拟,揭示出季节性冻土区域路基因冻胀融沉而引起路基变形主要出现于路面的阳坡及中部部位,这

与实际情况是相符合的.

(3) 随着全球气温转暖,季节性冻土区域的冻土上限不断下移,采取大面积换填冻结土进行治理季节性冻土区域翻浆路基是不经济的.将换填部分冻结土与阻断水分迁移路径的抗浆结构相结合的防治技术应是可行的和经济的,作者已经作了初步研究工作,这将是进一步研究的主要内容.

参考文献:

- [1]袁建议.翻浆路基土体吸水蠕变及强度非线性研究[J].固体力学学报,2005,26:181—186.
- [2]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,1998:57—74.
- [3]刘永智,吴青柏,张建明,等.青藏高原多年冻土地区公路路基变形[J].冰川冻土,2002,24(1):10—11.
- [4]KAREN S HENRY, ROBERT D HOELTZ. Geocomposite capillary barriers to reduce frost heave in soils [J]. Canadian Geotechnical Journal, 2001,38(4):678—694.
- [5]WANG Tie—hang, HU Chang—shun, LI Ning, etc. Numerical analysis of ground temperature in Qinghai—Tibet plateau[J]. Science in China, 2002,45(4):433—443.
- [6]袁建议,陈洪凯.翻浆路基中温度传导机理初步研究[J].重庆交通学院学报,2003,22(2):93—95.

Numerical Simulation Analysis on Temperature Field for Tianshan-Xinjiang Highway Tympanites Roadbed

YUAN Jian-yi

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The diversity of temperature is an important factor for tympanites to occur in highway roadbed. The physical model and calculating model of temperature field are founded according to the founded controlling equation in this paper. By simulating the changing progress of climate features, the temperature field of roadbed in permafrost region in different season is got. The variations of temperature field with time indicate the variations of freezing front—surface. Then, some results are got by analyzing the diversity of temperature of key points. The last, the technology assumption of effectively controlling tympanites which combines replacing part frozen soil and resisting highway tympanites structure is brought up. It has significant senses for further research of tympanites' controlling technology.

Key word: tympanites; temperature field; frozen soil roadbed; roadbed deformation; finite element