

块石通风性能实验研究

何平^{1, 2}, 程国栋², 马巍², 吴青柏²

(1. 北京交通大学土建学院, 北京 100044; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 青藏铁路广泛采用的块石护坡和块石路基是通过空气对流降低路基的温度起到保护冻土的作用。块石的粒径、孔隙率、通风能力直接影响块石路基的空气对流作用。孔隙率试验测试结果表明: 孔隙率与粒径大小有关, 随粒径增大而增大。粒径 0.10~0.25 m 的块石, 孔隙率大致在 38%~48%。通过风洞试验发现, 块石层内风压梯度与风速存在非线性关系, 与速度的平方成正比; 阻力系数随块石粒径增大而减小。通过青藏高原天然风速条件下块石通风基础通风能力分析, 块石层起到很好的通风作用。因此, 对于温度场的计算, 建议考虑块石路基中风的强迫对流作用。

关键词: 块石; 阻力系数; 通风性能; 青藏铁路

中图分类号: TU445; U213.14

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2006)06-0789-04

作者简介: 何平(1961-), 女, 辽宁锦州人, 博士, 研究员, 博士生导师。主要从事冻土物理力学及寒区工程应用研究。

Researches on ventilation properties of block stones layer

HE Ping^{1, 2}, CHENG Guo-dong, MA Wei, WU Qing-bai

(1. Civil Engineering School of Beijing Jiaotong, Beijing 100044, China; 2. State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Cold and

Arid Regicous Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 7300, China)

Abstract: Block stones were used to protect permafrost from thawing by air convection effect in the embankment of Qinghai-Tibet Railway. The diameter, porosity and ventilating ability of the block stones pile had important influences on air convection effects. It was shown that the porosity increased with the block stone size. It was about 38%~48% for the block stones in the sizes of 0.10~0.25 m. And it was seen from the wind tunnel tests that the wind pressure gradient had a nonlinear relationship with the wind velocity. The resistance coefficient decreased with the increasing of block stone size. Based on the ventilation ability analysis of the block stone embankment in Qinghai-Tibet Plateau, the block stones layer had stronger ventilated effect. It was suggested to consider the effect of natural wind on thermal field under embankment with block stones layer.

Key words: block stone; resistant parameter; ventilated property; Qinghai-Tibet Railway

0 前 言

青藏铁路处于高原多年冻土区。由于气候转暖以及工程活动的影响, 多年冻土的融沉问题成为铁路建设的主要工程问题之一。为防止多年冻土融化和路基沉降变形, 块石护坡和块石路基被作为保护多年冻土的措施之一广泛用于青藏铁路建设中。许多学者进行了块石的降温效果数值分析和试验研究。鲍维猛^[1]、姜凡^[2]、米隆^[3]以及赖远明^[4-5]等分析了自然热对流作用下块石层对路基温度场的作用, 证明了块石自然热对流作用能够降低多年冻土的温度。喻文兵^[6]通过室内模拟试验发现, 在温度周期波动下, 平均粒径 7 cm 的碎石层的降温效果比粒径 22 cm 的块石层好。汪双杰^[7]通过室内试验表明, 厚度较大的块石层所产生的自然对流降温效应越大。孙志忠^[8]在分析青藏高原北

麓河块石护坡路基试验段观测资料的基础上, 发现由于青藏高原风速作用, 暖季碎石层对热有较好的屏蔽作用; 而冷季由于风的强迫对流, 大块石层有更好的降温效果。

青藏高原大于 3 m/s 的风速全年累积可达 6500 h, 风速达 8 级以上的大风年均 100~160 d。且冬季的风速较大, 夏季较弱些。在这样一个环境下, 块石通风基础的强迫对流对路基的温度场显然具有不可忽视的作用。目前块石的降温效果观测和其自然热对流作用分析方面有了较好的研究成果^[9-14], 而块石的强迫通风能力对路基温度场的影响研究特别是相关参数未见实测结果报道, 为此, 本文给出不同块石粒径风洞试

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目 (KZCX1-SW-04)

收稿日期: 2005-05-16

表 3 块石通风基础内部断面平均风速
Table 3 The wind velocities of block-stone layer

块石粒径/m	块石孔隙率	天然风速/(m·s ⁻¹)							
		1	3	5	10	15	20	25	30
0.15	0.446	0.030	0.090	0.149	0.299	0.448	0.598	0.747	0.897
0.10	0.437	0.020	0.061	0.102	0.203	0.305	0.407	0.508	0.610
0.04	0.380	0.013	0.038	0.064	0.128	0.192	0.256	0.320	0.384
0.25	0.470	0.064	0.193	0.322	0.645	0.967	1.290	1.612	1.935

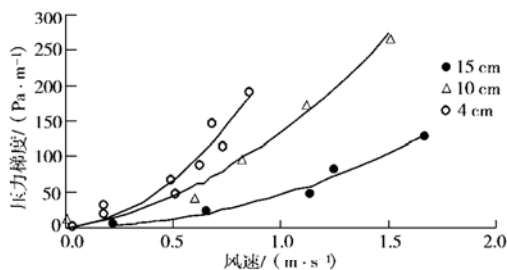


图 2 块石层风压梯度与风速关系

Fig. 2 Relationship between pressure gradient and wind velocity

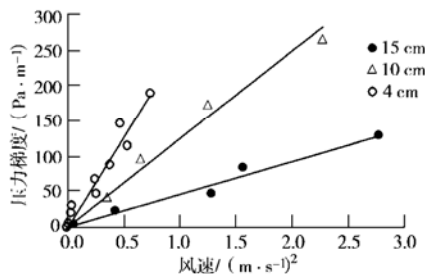


图 3 压力梯度与风速平方关系

Fig. 3 Relationship between pressure gradient and the square of wind velocity

场具有不可忽视的作用。

由于目前并没有实际的块石路基两侧的实际风压资料可以参考,也未见相关的理论计算结果。因此,按水力学^[15]理论,进口处风压头局部损失系数按下式计算:

$$\xi_1 = 0.5(1 - \frac{A_1}{A}) \quad (3)$$

出口压头损失系数

$$\xi_2 = (\frac{A}{A_2} - 1)^2 \quad (4)$$

整个块石层厚度保持不变,因此有 $A_1 = A_2 = nA$, 其中 n 为孔隙率。

取进风口风压系数为 0.9, 考虑风在绕过路基顶部在背风面造成负压, 因此取出风口风压系数为-0.2。即路基两侧的风压差为

$$\Delta p = [0.9 - (-0.2)] \frac{\rho V_\infty^2}{2} = 1.1 \frac{\rho V_\infty^2}{2} \quad (5)$$

式中, ρ 和 V_∞ 分别为空气密度和远处风速。在海拔 4000 m 的青藏高原, 空气密度约为 0.641 kg/m³。按伯努力方程可以计算出通过块石层内的平均风速 V :

$$\Delta P = (\xi_1 + \xi_2 + \lambda L) \frac{\rho V^2}{2} \quad (6)$$

其中, L 为块石路基断面宽度, 取 15 m (青藏铁路的实际设计值为 10~15 m)。根据式 (3) ~ (6) 计算出了不同块石粒径和天然风速下块石层的平均风速, 结果见表 3。

由表 3 可以看出, 在青藏高原常见风速 3m/s 时, 路基块石层内的平均风速对于大块石 (直径 0.25 m) 和小块石 (直径 0.04 m) 分别为 0.193 m/s 和 0.038 m/s。对于断面宽度为 12~15 m 的块石路基层, 风通过的时间约 1.3 min 和 6.58 min。对于更大的风速, 则风通过路基块石层的时间会更少, 可见, 青藏铁路块石路基具有很好的通风作用。因此, 对于温度场的计算, 建议考虑风的强迫对流作用, 这种作用在块石路基温度场中起着重要控制作用。

4 结 论

通过对大粒径块石的孔隙率测定, 发现孔隙率与粒径大小有关, 随粒径变小而减小。通风实验结果表明, 块石内风压梯度与风速存在非线性关系, 与速度的平方有关, 阻力系数随块石粒径增大而减小。通过对青藏高原天然风速条件下块石通风基础的通风能力分析, 块石层具有很好的通风能力, 因此在常年平均风速 3 m/s 情况下, 块石路基的温度场将受风的强迫对流影响。

参考文献:

[1] 鲍维猛, 刘建坤. 多年冻土区片石通风路基温度场数值模拟[J]. 岩土工程界. 2004, 7(3): 52 - 55. (BAO Wei-meng, LIU Jian-kun. The numerical simulations of temperature states of blocky stones embankment on permafrost[J]. Geotechnical Engineering World, 2004, 7(3): 52 - 55.)
[2] 姜 凡, 刘 石, 王海刚, 等. 冻土块石路基的保冷效果数值计算研究[J]. 铁道学报. 2004, 26(4): 109 - 115. (JIANG Fan, LIU Shi, WANG Hai-gang, et al. Numerical simulation on the cooling effect of gravels embankment in permafrost areas[J]. Journal of the China Railway Society, 2004, 26(4): 109 - 115.)

- [3] 米隆,赖远明,吴紫汪,等.高原冻土铁路路基温度特性的有限元分析[J].铁道学报,2003,25(2):62-67. (MI Long, LAI Yuan-ming, WU Zi-wang, et al, The finite element analysis for temperature property of railway embankments in cold regions[J]. Journal of the China Railway Society, 2003, 25(2): 62-67.)
- [4] 赖远明,张鲁新,徐伟泽,等.青藏铁路抛石路基的温度特性研究[J].冰川冻土,2003,25(3):291-296. (LAI Yuan-ming, ZHANG Lu-xin, XU Wei-ze, et al. Temperature features of broken rock mass embankment in the Qinghai-Tibetan Railway[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(3): 291-296.)
- [5] 赖远明,张鲁新,张淑娟.气候变暖条件下青藏铁路块石路基的降温效果[J].科学通报,2003,48(3):292-297. (LAI Yuan-ming, ZHANG Lu-xin, ZHANG Shu-juan, et al. Cooling effect of the ripped-stone embankment of the Qinghai-Tibet Railway under the condition of the global air temperature rising[J]. Chinese Science Bulletin, 2003,48(3): 292-297.)
- [6] 喻文兵,赖远明,张学富,等.块石层与碎石层降温效果室内试验研究[J].冰川冻土,2003,25(6):638-643. (YU Wen-bing, LAI Yuan-ming, ZHANG Xue-fu, et al. Experimental study on the cooling effect of block stone and crushed stone[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(6): 638-643.)
- [7] 汪双杰,孙斌祥,徐学祖,等.路堤块石自然对流机理的室内模拟试验研究[J].中国公路学报,2004,17(2):18-23. (WANG Shuang-jie, SUN Bin-xiang, XU Xiao-zu, et al. Research on laboratory experiment of natural convection mechanism of embankment blocky stone[J]. China Journal of highway and transport, 2004, 17(2): 18-23.)
- [8] 孙志忠,马巍.块石层对其下部路基土体温度的影响[J].铁道工程学报,2003,4:59-61. (SUN Zhi-zhong, MA Wei. Effects of blocky stones on temperature of embankment in permafrost region[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2003,4: 59-61.)
- [9] 程国栋,童伯良,罗学波.厚层地下冰地段路堤建筑中的两个重要问题[J].冰川冻土,1981,2:6-12. (CHENG Guo-dong, TONG Bai-liang, LUO Xue-bo. Two important problems of embankment construction in the section of massive ground ice[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1981, 2: 6-12.)
- [10] 王国尚,林清,金会军.寒区道路块片石通风路堤试验研究[C]//第五届全国冰川冻土大会论文集(上).兰州:甘肃文化出版社,1996:377-382. (WANG Guo-shang, LIN Qing, Jin Hui-jun. Experimental research on the block stone embankment in cold regions[C]// Proceedings of the Fifth Chinese Conference on Glaciology and Geocryology Lanzhou: Gansu Culture Press, 1996: 377-381.)
- [11] 杨海蓉.多年冻土地区防治路基融化下沉及提高其稳定性的措施[J].冰川冻土,1985,7(1):83-88. (YANG Hai-rong. The roadbed stability in permafrost region[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1985, 7(1): 83-88.)
- [12] DOUGLAS J Goering, PANKA j Kumar. Winter-time convection in open-graded embankments[J]. Cold Regions Science and Technology, 1996, 24:57-74.
- [13] SABOUNDJIAN S, DOUGLAS J Goering. Air convection embankment for roadways: A field experimental study in Alaska[C]// 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington D C: Academic Press, 2003: 20-28.
- [14] 冯文杰,马巍,张鲁新,等.碎块石护坡在寒区道路工程中的应用[J].冰川冻土,2003,25(6):632-637. (FENG Wen-jie, MA Wei, ZHANG Lu-xin, et al. Application of riprap slope protection to roadway engineering in permafrost regions[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(6): 632-637.)
- [15] 李炜,徐孝平.水力学[M].武汉:武汉水力电力大学出版社,2000,156-171. (LI Wei, XU Xiao-ping. Hydraulics[M]. Wuhan: Wuhan Hydraulic and Electric Power University Press, 2000: 156-171.)