

封闭与开放抛石路堤降温效果及机理 对比试验研究

张明义, 赖远明, 喻文兵, 张建明

(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: 在多年冻土地区道路工程的修筑与维护中, 所面临的最大问题就是冻土问题, 抛石路堤对其下伏土体具有冷却降温的作用已得到公认。通过室内试验比较分析了封闭与开放抛石路堤结构降温效果及降温机理差异。试验结果表明: 开放结构降温速度快, 而封闭结构对外界温度变化相对不敏感, 比较而言降温速度较慢, 但从长远来看, 在试验条件下, 其降温能力要强于开放结构。同时, 对抛石层顶底温差与其顶部温度变化关系以及抛石内温度场特征的分析, 发现两种路堤结构在降温机理上存在着明显差异, 封闭结构主要依靠内部空气自然对流强弱变化引起等效导热系数的变化来实现对其底部土层的降温作用; 开放结构则主要依靠外界低温风的作用在其内部形成强迫对流, 以强化传热的方式来实现降温。但实际工程中由于多种因素的影响往往导致两种对流方式同时并存, 因此对于年平均气温低于 0 的多年冻土区而言, 两种抛石路堤结构均应具有良好的应用前景。

关键词: 岩石力学; 封闭与开放; 抛石路堤; 降温效果; 降温机理

中图分类号: TU 457

文献标识码: A

文章编号: 1000-6915(2005)15-2671-07

CONTRAST EXPERIMENTAL STUDY ON COOLING EFFECT AND MECHANISM BETWEEN CLOSED AND OPEN RIPRAPPED- EMBANKMENTS

ZHANG Ming-yi, LAI Yuan-ming, YU Wen-bing, ZHANG Jian-ming

(State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In construction and maintenance of road engineering in cold regions, permafrost has been the mainly influencing factor in embankment stability. The cooling effect of the riprapped embankment on the soil beneath has been recognized. In this paper, the differences of the cooling effect and mechanism between the closed and open riprapped embankments have been compared through the laboratory test. It can be concluded that the cooling rate of the open model is faster than that of the closed one, but as far as a long-term effect is concerned, the closed one's cooling capability is larger under the condition of the experimental temperature. Furthermore, by analyzing the changing correlation between the top temperature and the temperature difference through the top and bottom of the riprapped layers, taking consideration of the temperature field in the riprapped layers, it is found that the cooling mechanisms of the two embankment models are quite different from each other. Namely, the cooling effect of the closed embankment model on the soil beneath mainly relies on the changing of the thermal conductivity of riprapped layer, which is caused by the changing of the inside nature convection, but that of the open model relies

收稿日期: 2004-05-13; **修回日期:** 2004-06-28

基金项目: 国家杰出青年科学基金资助项目(40225001); 中国科学院全国优秀博士学位论文作者专项资金资助项目; 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-04)

作者简介: 张明义(1974-), 男, 1999年毕业于兰州大学水文地质与工程地质专业, 现为博士研究生, 主要从事寒区岩土工程方面的研究工作。E-mail: myzhang@ns.lzb.ac.cn.

on the way of heat-transfer enhancement because of the inside forced convection induced by the low temperature wind outside. But the two ways of convection exist together because of the effect of many factors in actual engineering; therefore, both of the two models have good application perspective in permafrost regions where mean annual air temperature is subfreezing.

Key words: rock mechanics; closed and open condition; riprapped embankment; cooling effect; cooling mechanism

1 引言

我国多年冻土主要分布在大、小兴安岭和松嫩平原北部及西部高山和青藏高原, 约占国土面积的22.4%^[1], 目前青藏铁路、青藏公路、青康公路、大小兴安岭等地的道路均有相当长的路段通过多年冻土区, 因此解决冻土问题成为保证路基稳定性所面临的重大问题。由于冻土中冰的存在决定了其特殊而复杂的工程特性, 在多年冻土区影响道路稳定的主要因素是由于冻土退化导致的融沉。由于全球变暖和道路兴建造成冻土退化的双重影响^[2], 为路基的修建与维护带来极大的挑战。为此必须改变原有的被动消极的措施, 采取主动冷却地基的方法, 以确保工程的稳定^[3]。目前正在进行的道路工程中, 出于保护冻土的原则, 采取了一系列的保护多年冻土的主动措施, 其中包括抛片石和碎石护坡、抛片石路堤、遮阳篷、遮阳板、管道通风路堤、热棒等, 其中抛石路堤对保护多年冻土的良好效果已得到公认, 且成本较低, 易于施工。

青海省祁连山北麓热水地区的块片石试验路堤建于1973年, 经观测发现对保护多年冻土具有明显的作用^[4]; 黑龙江西北部抛石路堤试验也已经取得了较好的效果^[5]; 文[6]经对风火山试验断面观测计算发现, 块石层的有效导热系数在冬季是夏季的12.2倍; 文[7]通过室内试验证实, 一定厚度的块石层和碎石层均具有明显的降温效果; 文[8]对碎石道碴层等效导热系数进行测试研究, 提出当碎石层顶底温差较大时, 底部加热条件下的导热系数明显地大于顶部加热的导热系数; 文[9, 10]通过现场试验和数值计算对抛石路堤的对流传热进行了研究; 文[11]对气候变暖条件下青藏铁路抛石路堤降温效果进行了数值计算分析。以上研究有封闭的、开放的、半开放半封闭的, 均表明抛片石、碎石路堤对其下伏土体具有冷却降温的作用, 但对封闭与开放两种不同路堤结构的降温效果与降温机理差异研究较少。本研究通过室内试验对两种抛石路堤结构的

降温效果与降温机理进行了对比研究, 以期对多年冻土区道路的设计与长期维护提供参考依据。

2 试验方案

2.1 试验装置

试验装置由模型试验箱、控温系统、通风系统和观测系统4部分组成。模型试验箱为8.0 m × 1.84 m × 2.7 m(长×宽×高)的保温箱, 箱体由冷库保温板组成; 控温系统由7.5 kW的SANYO双头压缩机组、电脑控温器(分辨率0.1, 精度±0.3)、氟利昂液体循环管道、蒸发器及温度传感器组成。控温过程经人工设定后, 由电脑控制器自动控制, 系统控温范围为-60~50; 通风系统由冷却风扇、加速风扇、风速调节装置、回流风道等组成, 风向平行于箱体的长度方向; 观测系统由温度传感器、DT500型数采仪及计算机组成, 每20 min采集1次数据。

2.2 试验模型

封闭的抛石层由于其孔隙中的空气能发生自然对流而具有可变的等效导热系数的特性。根据多孔介质流体动力学理论, 当某种介质的Rayleigh数(Ra)大于 $4\pi^2$ 时, 其孔隙内的流体就会有自然对流发生。Rayleigh数(Ra)表达式为

$$Ra = \frac{C\beta gKH\Delta T}{vk} \quad (1)$$

式中: C , β , ν 分别为孔隙内流体的体积热容量、体积热膨胀系数、运动粘度; g 为重力加速度; K 为介质渗透率; H 为介质层厚度; ΔT 为介质顶底板温差(适用于底板温度高于顶板); k 为介质的等效导热系数。

但开放的抛石层由于受到外界风等多种因素的直接影响, 其内部往往很难发生自然对流, 主要以强迫对流为主, 无法用Rayleigh数的大小来衡量。所以本次试验采取封闭与开放两种抛石路堤模型, 同时置于模型试验箱内, 中间以保温板隔开, 以比较在相同的试验条件下两种模型的降温效果及对流

机理差异。

试验中两模型尺寸相同,顶部宽 1.7 m,底部宽 5.6 m,坡度 1 : 1.5。模型顶部铺设保温板代替路堤填土,保温板厚度为 0.07 m,相当于 1.0 m 厚的土层,抛石底部为 0.5 m 厚砂砾土(含水量 8.0%,干密度为 1.95 g/cm³);试验中采用的抛石为石英云母岩,厚度 1.3 m,粒径范围 10~30 cm,以随机抛掷并适当挤压的方式填筑;由于受抛石尺寸的影响,测温传感器不易埋设,因此,在装样过程中将传感器缚于抛石之上,通过调整抛石位置和方向来调整传感器的位置,误差可控制在 1 cm 范围之内。封闭模型为确保内部空气自然对流不受外界气流影响,在其 2 个边坡上铺设防水土工布,在土工布上铺设粒径较小的 25 cm 厚碎石,并以细砂填充。模型尺寸及测温探头布置详见图 1。

2.3 试验条件

试验模型箱内温度通过试验控温系统按正弦函数 $T = 1.0 + 12\sin\left(\frac{2\pi t}{360} + \frac{\pi}{2}\right)$ 进行调控。即路堤模型外部空气平均温度为 1.0,温度变幅为 12,周期 15 d,模型顶部风速 2.8 m/s。模型装好后在室温

条件下放置 72 h,然后试验从最高温开始,每 12 h 调温一次,重复进行 6.5 个周期。

为说明试验设计的合理性和可行性,根据模型尺寸、抛石层特征及控温条件,对封闭路堤模型抛石层的 Ra 数进行计算,当路堤模型外部温度最低时,其 Ra 数最小可达 59.9,故满足多孔介质内流体发生自然对流的临界条件 $Ra > 4\pi^2$ 。

3 试验结果与分析

3.1 降温效果比较

由于试验初期路堤模型外部的温度并不稳定,故数据的分析从半个周期以后开始,记为第 1 个周期的开始时间。图 2,3 分别为封闭与开放抛石路堤模型底部与迎风坡周期平均温度变化曲线,图中探头 12 和 35 在抛石层中位于填土层以上 32.5 cm 处;探头 13 和 36 位于填土层表面以下 0.5 cm 处;探头 60 和 49 为路堤模型迎风坡温度监测点。其中,探头 12,13,60 为封闭结构测温点;探头 35,36,49 为开放结构测温点(具体位置见图 1)。

从图 2 可以看出,位于模型表面迎风坡的探头

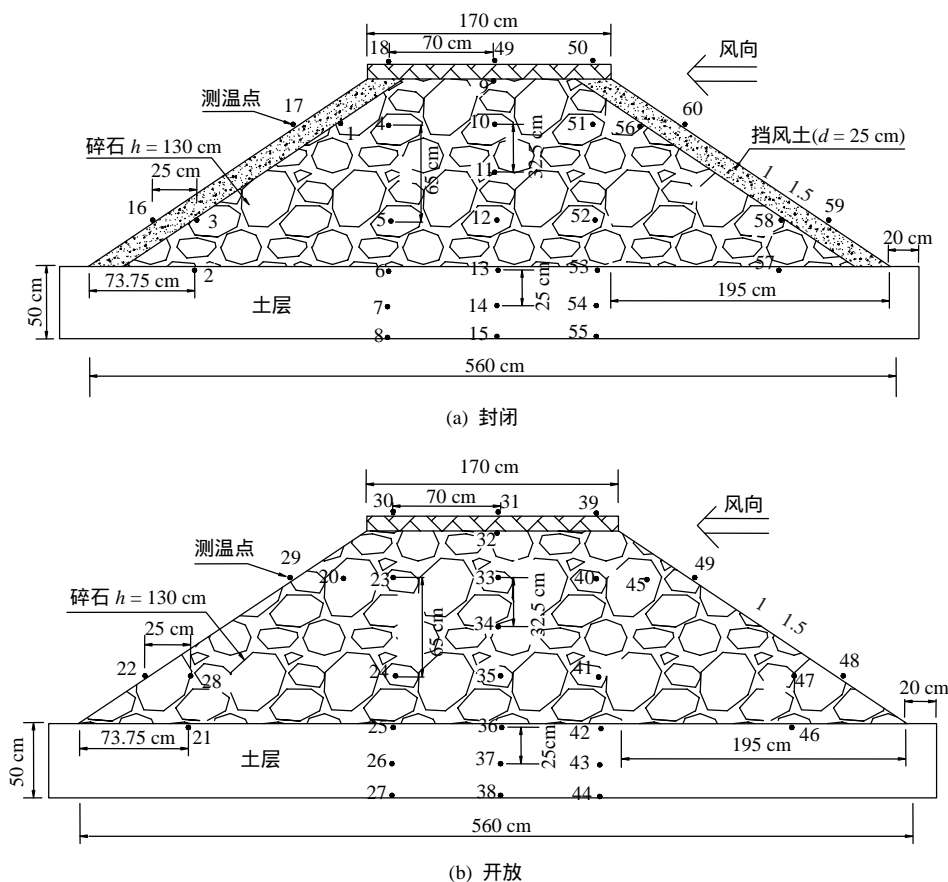


图 1 试验抛石路堤模型

Fig.1 Cross-sections of a riprapped embankment

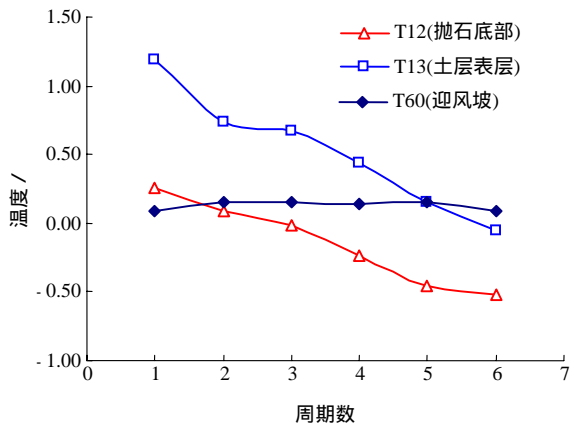


图 2 封闭抛石路堤模型底部与迎风坡周期平均温度变化
Fig.2 Mean periodic temperatures at the bottom and the windward slope of closed riprapped embankment

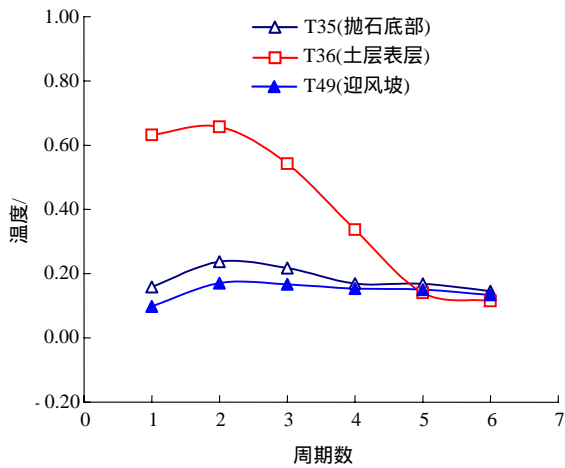


图 3 开放抛石路堤模型底部与迎风坡周期平均温度变化
Fig.3 Mean periodic temperatures at the bottom and the windward slope of open riprapped embankment

60 由于直接受外界空气的影响,平均温度在整个试验中基本保持不变,但抛石中的探头 12 与位于土层表层的探头 13 则自始至终均保持较好的降温趋势,与探头 60 温度变化不一致,第 1 个周期平均温度高于探头 60,但在 6 个周期以后均已明显降至探头 60 以下,低于 0,而且仍保持较好的降温趋势,这种抛石层内外温度变化差异表明了封闭抛石路堤结构良好的降温效果。同时,两测点温度下降趋势基本保持一致,探头 12 平均温度低于探头 13,差值保持在 0.5 左右,这个差值的存在说明抛石下部的温度要低于其下伏土层表层的温度,这表明了抛石对其下伏土层仍然具有很好的降温潜力。

从图 3 可以看出,抛石中的 35 与迎风坡的探头 49 温度变化趋势来看,二者基本保持一致,探头 35 处平均温度略高于探头 49 处,变化平缓,体现

了开放抛石路堤内外温度变化的一致性,表明了其对外界温度变化的敏感性,及其降温速度快的特点。另外从下伏土层表层温度变化来看,探头 36 平均温度在前 5 个周期处于下降状态,但在第 6 个周期时温度已不再降低,与抛石底部(T35)和迎风坡(T49)趋于一致,并且差值很小,这充分表明此时开放抛石路堤对其下伏土层的降温能力变得十分微弱。以上分析说明开放抛石路堤结构在外界正温条件下,当下伏土体温度高于抛石表面风温时,抛石层对其可产生降温作用,但当土体温度与抛石表面风温相一致时,抛石层对其降温效果变得不明显。

为更好说明两种路堤结构降温效果的差异,将各周期相对降温值列于表 1。由于试验初期模型外部温度场的不稳定性可能对两模型初期温度场产生不一致的影响,因此采用各周期相对第 1 个周期的降温值来进行比较,分析二者在降温效果上的差异。

表 1 封闭与开放条件下抛石层底部降温表

Table 1 Relative descent temperatures at the bottom of the closed and open riprapped layers

周 期	封闭条件				开放条件			
	T12(抛石下部)		T13(土层表层)		T35(抛石下部)		T36(土层表层)	
	平均温 度/ 度/	相对降 温/ 温/	平均温 度/ 度/	相对降 温/ 温/	平均温 度/ 度/	相对降 温/ 温/	平均温 度/ 度/	相对降 温/ 温/
1	0.26	0.00	1.19	0.00	0.16	0.00	0.63	0.00
2	0.09	0.17	0.73	0.46	0.24	-0.08	0.66	-0.03
3	-0.02	0.28	0.67	0.52	0.22	-0.06	0.54	0.09
4	-0.23	0.49	0.43	0.76	0.17	-0.01	0.34	0.29
5	-0.46	0.72	0.15	1.04	0.17	-0.01	0.14	0.49
6	-0.52	0.78	-0.05	1.24	0.15	0.01	0.12	0.51

从表 1 对抛石路堤底部温度比较发现:封闭结构土层表层平均温度在前 5 个周期一直高于开放结构,并且二者降温趋势基本保持一致,而在第 6 个周期封闭结构却比开放结构低约 0.17,这一方面是由于封闭结构在第 1 个周期的平均温度为 1.19,较开放结构的 0.63 要高出 0.56;另一方面也体现了封闭结构对外界温度变化响应的相对滞后性以及在此条件下其降温能力要强于开放结构。根据抛石内探头 12 与 35 的比较,开放结构抛石层内的平均温度在第 1 个周期略低于封闭结构,但此后便基本趋于稳定,其相对降温值基本不再发

生明显变化,而封闭结构则由开始的 0.26 降至第 6 周期的 -0.52,降低了约 0.78,6 个周期以后的平均温度比开放结构要低 0.67。以上分析说明封闭抛石路堤结构降温速度较慢,而开放结构则具有降温快,温度场稳定也快的特点,但其长期降温效果不如封闭结构。

3.2 降温机理分析

通过以上的研究与分析可发现,在试验条件下,封闭抛石路堤的总体降温效果要好于开放抛石路堤。

由于路堤结构的不同形成了不同的边界条件类型,开放抛石路堤不仅要受到表面温度的影响,还要面对外界风的干扰,这样其内部空气的对流机制必然要发生变化,与封闭结构内的空气自然对流有所差异。

试验中发现,封闭结构在顶部温度发生变化时,顶底温差存在明显差异;而开放结构则无此现象发生,如图 4 所示。图 4 中选取抛石顶部测温点 9(封闭)和 32(开放)(均位于保温板以下,温度与外界有一定差异),由于底部测温点位于土层中,所测温度变化滞后于抛石中温度,所以选择位于抛石底部土层以上 32.5 cm 处的 12 号(封闭)和 35 号(开放)测点,顶底两点相距均为 97.5 cm,具体位置见图 1(a),(b)。由于两种抛石路堤结构顶底温差随时间变化均具有各自相同的周期性变化规律,故只选取试验最后一个周期作为研究对象。从图 4 可以看到抛石顶底温差随顶部温度变化关系,封闭结构随着顶部温度的升高而增大,随顶部温度的降低而减小,顶部正温时温差远大于负温时;但开放结构在正温与负温阶段顶底温差基本相同,并无明显差别,且差值很小。这表明两种不同抛石路堤结构中对流机制的差异:在封闭条件下当顶部温度较低时,空气密度较大,而造成底部密度较小的热空气上升,顶部冷空气下沉,在抛石内形成较强的自然对流,从而加大了抛石的单向等效导热系数,也就出现了顶部温度低,顶底温差反而小这一现象。而当顶部温度较高时,抛石内无明显自然对流发生,热交换只能依靠单纯的抛石间接触热传导来实现,所以抛石顶底能量交换大量减少,而致使顶底温差增大;开放结构中当顶部温度较低时虽然同样会造成顶部空气密度大,底部空气密度小这一现象,但由于受到外界风的干扰,强迫对流的作用已远远大于自然对流,抛石层内以强化对流换热为主。即当外界风吹入抛石孔隙时,由于受到抛石个体的阻挡以及抛石不规则形状

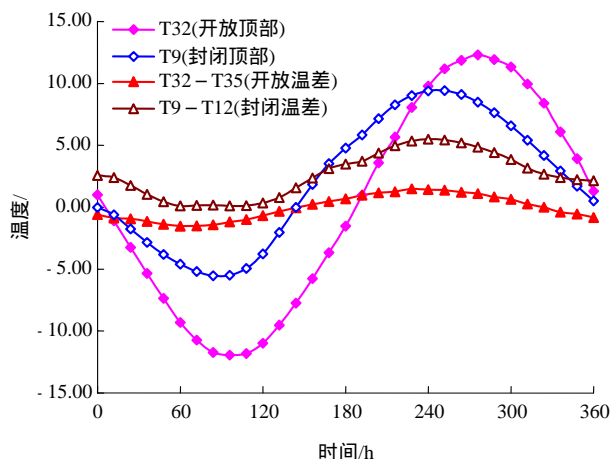


图 4 封闭与开放抛石路堤模型顶底温差与顶部温度变化
Fig.4 Temperature differences between the top and bottom of the ripped-stone layers as well as the top temperatures for the closed and open embankment models vs. time

和较大表面粗糙度的影响,在抛石层内孔隙中形成绕流和局部小涡旋,造成局部边界层变薄或破坏,增大了表面传热系数,从而提高了抛石与空气间的传热效果。加上抛石层内部表面积大的特点,才导致抛石层内温度很快能与边界趋于一致,所以顶底温差随顶部温度变化并不明显。

抛石层内空气对流的趋势与等温线形状密切相关,同样由于两种路堤模型在不同周期的相同时刻各自等温线图基本相似,只是温度等值线位置稍有差异,故选取最后一个周期环境最高温与最低温的等温线图进行分析比较,见图 5~8。图 5,6 为封闭结构环境最高温与最低温等温线图,从图中可见:封闭的抛石路堤模型在环境最高温条件下,内部等温线趋于平缓,与模型表面形状基本一致,并且模型内温度上高下低,这可以说明这种形状的等温线基本上是由于抛石体单纯接触热传导所致,可以认为抛石层内无明显空气自然对流发生;而环境最低温时,等温线则出现明显弯曲,温度下高上低,上部空气密度大而导致空气自然对流的发生,从图中等温线的形状可以看出空气对流是从中部上升,两侧下降,形成两个环。这种对流的存在进一步解释了当顶部低温时,顶底温差反而小这一现象。也正是封闭抛石层内这种空气自然对流的存在,才形成了封闭抛石层的可变导热性及其对下伏土体具有冷却降温的作用。图 7,8 为开放结构环境最高温与最低温等温线图,两图等温线形状基本相同,相对平缓,与风的方向保持一致,这说明开放抛石路堤模型内的传热方式并不以自然对流换热为主,而是更

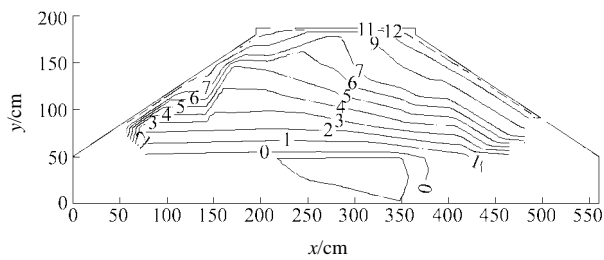


图 5 封闭抛石路堤模型环境最高温时等温线图

Fig.5 Isotherms of the closed riprapped embankment model at maximum ambient temperature

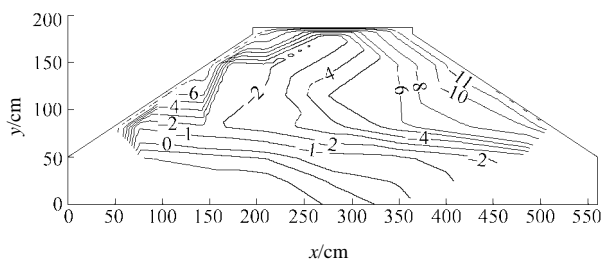


图 6 封闭抛石路堤模型环境最低温时等温线图

Fig.6 Isotherms of the closed riprapped embankment model at minimum ambient temperature

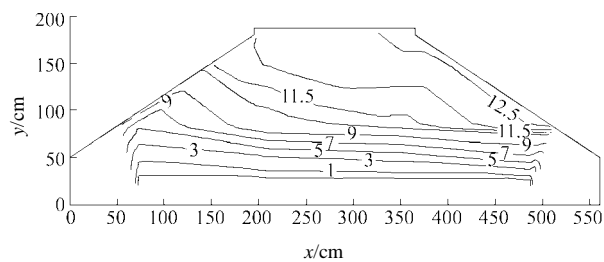


图 7 开放抛石路堤模型环境最高温时等温线图

Fig.7 Isotherms of the open riprapped embankment model at maximum ambient temperature

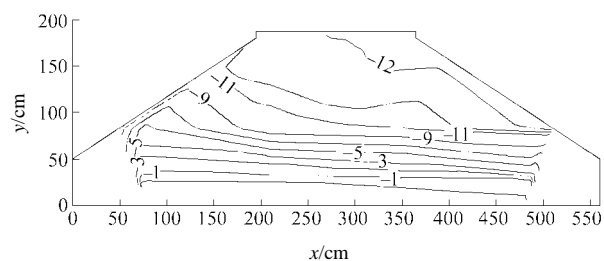


图 8 开放抛石路堤模型环境最低温时等温线图

Fig.8 Isotherms of the open riprapped embankment model at minimum ambient temperature

多的依赖于外界风的作用，以强迫对流换热的方式来增加抛石层的总体导热系数，实现对其下伏土体温度的快速改变。这种强化传热方式的存在正是开

放抛石层底部温度与路堤表面风温具有很好一致性的原因。另外图形中等温线出现左右不对称现象，原因在于试验条件的限制，受单向风的影响，致使模型背风坡温度变幅小于迎风坡，这种边界条件的不对称导致了内部温度场的不对称。

4 结论与建议

(1) 在试验条件下，开放抛石路堤结构降温速度快，而封闭结构对外界温度变化不敏感，比较而言降温速度较慢，但随着时间的推移降温效果将达到甚至超过开放结构。因此从长远来看，在外边界正温条件下，封闭抛石路堤的总体降温效果要好于开放抛石路堤。

(2) 两种路堤结构在降温机理上存在明显差异，封闭结构主要依靠内部空气自然对流形成的可变导热性来实现对其底部土层的降温作用；开放结构则主要依靠外界低温风的作用在其内部形成强迫对流，以强化传热的方式来实现降温。

(3) 在寒区道路工程建设中，合理利用两种抛石路堤结构的降温特点，可对其下伏多年冻土起到积极的保护作用。本文建议在需要按保护原则设计的多年冻土地区，年平均气温较低地段两种特殊路堤结构均可考虑使用，在温度较高地段推荐采用封闭抛石路堤结构。

(4) 由于实际工程中抛石层为两侧边开放上下边封闭，同时受风向、地形、风沙积雪填塞等诸多因素的影响，内部往往自然对流与强迫对流同时并存，降温能力与降温机理介于两种路堤结构之间，所以对于年平均气温低于 0 的多年冻土区而言，两种抛石路堤结构均应具有良好的应用前景。但在现场复杂条件的影响下定量评价哪一种路堤结构实用性更强还有待于更进一步研究。

参考文献(References)：

[1] 周幼吾, 郭东信, 邱国庆, 等. 中国冻土[M]. 北京: 科学出版社, 2000.(Zhou Youwu, Guo Dongxin, Qiu Guoqing, et al. Geocryology in China[M]. Beijing: Science Press, 2000.(in Chinese))

[2] 王绍令, 赵秀锋, 郭东信, 等. 青藏高原多年冻土对气候变化的响应[J]. 冰川冻土, 1996, 18(增 1): 157 - 167.(Wang Shaoling, Zhao Xiufeng, Guo Dongxin, et al. Response of permafrost to climate changes in the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1996, 18(Supp.1): 157 - 167.(in Chinese))

[3] 马 巍, 程国栋, 吴青柏. 多年冻土地区主动冷却地基方法研究[J].

- 冰川冻土, 2002, 24(5): 579–587.(Ma Wei, Cheng Guodong, Wu Qingbai. Preliminary study on technology of cooling foundation in permafrost regions[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24(5): 579–587.(in Chinese))
- [4] 王国尚, 林清, 金会军. 寒区道路块片石通风路堤试验研究[A]. 见: 中国地理学会冰川冻土分会第五届全国冰川冻土学大会论文集(上)[C]. 兰州: 甘肃文化出版社, 1996. 377–382.(Wang Guoshang, Lin Qing, Jin Huijun. Experimental research on the block stone embankment in cold regions[A]. In: Chinese Society of Glaciology and Geocryology ed. Proceedings of the 5th Chinese Conference on Glaciology and Geocryology (Vol.1)[C]. Lanzhou: Gansu Culture Press, 1996. 377–382.(in Chinese))
- [5] 杨海蓉. 多年冻土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): 86.(Yang Hairong. Measures for preventing thaw settlement of roadbed and improving its stability in permafrost regions[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1985, 7(1): 86.(in Chinese))
- [6] 赫贵生, 丁靖康, 李永强. 倾填碎石层的热传输特性及其应用[J]. 冰川冻土, 2000, 22(增 1): 33–37.(He Guisheng, Ding Jing Kang, Li Yongqiang. Heat transmission properties and application of the dump filling crushed stone layer[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2000, 22(Supp.1): 33–37.(in Chinese))
- [7] 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 Wenbing, Lai Yuanming, Zhang Xuefu, 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.(in Chinese))
- [8] 张建明, 盛煜, 赖远明. 铁路碎石道碴层导热系数测试研究[J]. 冰川冻土, 2003, 25(6): 628–631.(Zhang Jianming, Sheng Yu, Lai Yuanming. Experimental study on thermal conductivity of railway ballast[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(6): 628–631.(in Chinese))
- [9] Goering D J. Experimental investigation of air convection embankments for permafrost-resistant roadway design[A]. In: Proceedings of the 7th International Conference on Permafrost[C]. Canada, Nordicana: [s. n.], 1998. 319–326.
- [10] Goering D J. Passively cooled railway embankments for use in permafrost areas[J]. Journal of Cold Regions Engineering, 2003, 17(3): 119–133.
- [11] Lai Y M, Zhang L X, Zhang S J, et al. Cooling effect of ripped-stone embankments on Qinghai—Tibet railway under climatic warming[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(6): 598–604.

殷建华教授在意大利都灵荣获国际岩土力学计算方法与 进展协会 2005 年度杰出贡献奖

2005 年 6 月 19~24 日, 第 11 届国际岩土力学计算方法与进展协会国际会议(11th Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics, IACMAG) 在意大利历史名城都灵(Turin)隆重召开, 香港理工大学土木与结构工程系殷建华教授荣获国际岩土力学计算方法与进展协会 2005 年度杰出贡献奖。该协会的主席德赛教授(Professor CS Desai)和第 11 届国际会议主席巴拉教授(Professor G Barla) 向殷建华教授颁发了证书和奖牌。巴拉教授说: 给殷建华博士颁发 2005 年度杰出贡献奖, 是表彰他在岩土力学领域发展和应用弹粘塑性本构模型、计算方法以及开发新的试验设备三方面的杰出贡献”。IACMAG 是岩土力学计算方法与进展的国际性学术组织, 协会系列会议和杰出贡献奖评选每 4 年才举行一次。

(孔令伟供稿)