

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

E01C 3/06 (2006.01)

E02D 27/35 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510043153.5

[45] 授权公告日 2007 年 12 月 26 日

[11] 授权公告号 CN 100357521C

[22] 申请日 2005.8.23

[21] 申请号 200510043153.5

[73] 专利权人 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所

地址 730000 甘肃省兰州市东岗西路 260 号

[72] 发明人 张明义 赖远明 马小杰 张淑娟

[56] 参考文献

CN2835328Y 2006.11.8

CN1502747A 2004.6.9

RU2256032C1 2005.7.10

JP10-227032A 1998.8.25

JP59-154213A 1984.9.3

CN2679247Y 2005.2.16

CN1556284A 2004.12.22

CN1480591A 2004.3.10

边界条件对碎石层降温效果及机理的影响.
赖远明, 张明义, 喻文兵, 高志华. 冰川冻土,
第 27 卷第 2 期. 2005

审查员 王 丽

[74] 专利代理机构 兰州中科华西专利代理有限公司

代理人 马正良

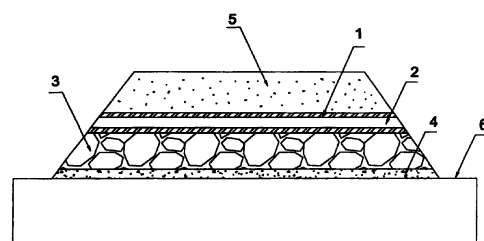
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 2 页

[54] 发明名称

复合通风聚冷路基

[57] 摘要

本发明涉及一种复合通风聚冷路基, 其结构特征是在压实的天然地表上置有填筑压密的砂砾石垫层, 砂砾石垫层上部填加有贯通的水平块(碎)石层, 在水平块(碎)石层的上部铺设带有纵向贯通的通风孔的混凝土板, 通风孔垂直于路基走向; 混凝土板上部有压密夯实的路堤填土。本发明将块(碎)石层与通风孔混凝土板相结合, 充分利用了通风孔能够与外界空气进行快速热交换的功能和块(碎)石层自然对流降温效应, 在冬季可最大限度地热量散出, 夏季又可阻隔热量向路基内传递, 实现对路基下部冻土的降温作用, 使其处在较低的温度状态, 提升冻土上限, 解决由于季节活动层在冻融过程中产生的冻胀与融沉给路基所带来的破坏, 确保冻土路基的多年稳定。



1、一种复合通风聚冷路基，其特征是在压实的天然地表（6）上置有填筑压密的砂砾石垫层（4），砂砾石垫层（4）上部填加有贯通的水平块碎石层（3），在水平块碎石层（3）的上部铺设带有纵向贯通的通风孔（2）的混凝土板（1），通风孔（2）垂直于路基走向；混凝土板（1）上部有压密夯实的路堤填土（5）。

2、根据权利要求1所述的一种复合通风聚冷路基，其特征是水平块碎石层（3）厚度为1.0~3.0 m，块碎石粒径为10~30 cm，砂砾石垫层（4）厚度 ≤ 0.5 m。

3、根据权利要求1所述的一种复合通风聚冷路基，其特征是通风孔（2）形状为圆形、或半圆、或方形、或三角形。

4、根据权利要求1所述的一种复合通风聚冷路基，其特征是混凝土板（1）是由混凝土和钢筋铸模而成。

复合通风聚冷路基

技术领域

本发明涉及一种道路的结构，尤其是一种复合通风聚冷路基。其可有效地降低路基下部冻土温度，抬升冻土上限，提高冻土路基的稳定性。

背景技术

青藏高原冻土区，由于反复的冻融作用，在多年冻土区产生了许多特殊的自然地质现象，如冻胀、融沉、冻拔、冻融分选等，它们对工程产生极大的影响。研究表明，多年冻土区主要的工程病害来自融沉和冻胀。目前，正在修建中的青藏铁路（格尔木至拉萨段）是世界上海拔最高、里程最长的高原铁路，穿越多年冻土区约为 632 公里，其中高温冻土区为 76%，高含冰量冻土区为 59%。由于冻土中大量厚层地下冰的存在决定了其特殊而复杂的工程特性。在全球变暖和人类活动造成冻土退化的双重影响下，冻土融化或升温后承载力将大大地降低，严重影响道路路基的稳定性，这就为高温、高含冰量冻土地区道路的修建与维护带来极大的挑战。因此，解决好冻土问题成为确保路基多年稳定、保证道路安全运营的关键。

为了解决好冻土问题，美国科学家 Douglas J. Goering (Goering D J. Passively Cooled Railway Embankments for Use in Permafrost Areas [J]. Journal of Cold Regions Engineering, 2003, 17(3): 119-133) 提出了一种完全以块（碎）石堆积的路基结构形式。该措施利用了多孔介质的自然对流降温效应对其下部土体进行降温，但由于松散的块（碎）石体整体性很差，力学稳定性很难保证，在机车等外力作用下容易变形，甚至坍塌。我国在青藏铁路建设中采取了一种在块（碎）石层顶部填加一定厚度土层的路基结构形式，该结构形式可以确保路基的整体稳定，但由于路堤上部土层的影响不仅减少了块（碎）

石层与空气的接触面积，而且造成了块（碎）石层顶底温差变小，从而导致块（碎）石层内自然对流效应变弱，甚至消失，不能有效地将外界冷能传到路堤下部的冻土中。因此，在高温冻土区要想单独利用现有的这些技术来实现对下部冻土的保护，确保路基稳定是相当困难的。

发明内容

在全球气候变暖的大背景下，为实现在青藏高原多年冻土（尤其高温多年冻土）区对路堤下多年冻土的保护，确保路基的稳定，本发明提供一种复合通风聚冷路基。其根据青藏高原四季温差大、气温通常比地表温度低的气候特征，利用多孔介质的自然对流降温效应，通过混凝土板中的通风孔来降低块（碎）石层的上表面温度，增大块（碎）石层顶部和底部温差，加强自然对流降温效应，实现对下部冻土温度的降低，抬升多年冻土上限，提高冻土路基的多年稳定性。

本发明的目的可以通过以下技术方案来实现：

一种复合通风聚冷路基，是在压实的天然地表上置有填筑压密的砂砾石垫层，砂砾石垫层上部填加有贯通的水平块（碎）石层，在水平块（碎）石层的上部铺设带有纵向贯通的通风孔的混凝土板，通风孔垂直于路基走向；混凝土板上部有压密夯实的路堤填土。

水平块（碎）石层厚度为 1.0~3.0 m，块（碎）石粒径为 10~30 cm，砂砾石垫层厚度 ≤ 0.5 m。

混凝土板由混凝土和钢筋铸模而成。通风孔形状可为圆形、或半圆、或方形、或三角形。

这种复合通风聚冷路基工作原理为多孔介质的自然对流降温效应。其工作过程可描述为：当冬季外界气温较低时，通过混凝土板的通风孔来实现路堤内部与外界低温气流进行热交换，从而降低块（碎）石层上表面温度，增大块（碎）石层顶部和底部表面温差，块（碎）石层中出现上部温度低于下

部，空气密度上大下小，在重力和浮升力的作用下，内部有空气自然对流发生，空气的流动将外部冷量带入路基中，同时下部较轻空气的上浮流动也会把路基中大量的热量带出，实现对路堤填土及下部天然土层的降温作用；当夏季外界温度较高时，混凝土板的通风孔虽然同样会造成块（碎）石层上表面温度的升高，但此时块（碎）石层内上部温度高于下部，空气密度上小下大，空气处于相对静止状态，无对流发生。由于空气的导热系数很小，从而能够阻隔来自块（碎）石层顶部的热量。本发明利用了通风孔来加强块（碎）石层的自然对流降温效应，有效降低其下部冻土温度，提高冻土上限，防止冻土路基冻胀和融沉的发生。

多孔介质中的这种热对流方式为非稳态的非等温渗流，其渗流控制方程可表述为如下的连续性方程、动量方程和能量方程：

连续性方程：

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0$$

动量方程：

$$\begin{aligned}\frac{\partial p}{\partial x} &= -\frac{\mu}{k} v_x - \rho_a B |v| v_x \\ \frac{\partial p}{\partial y} &= -\frac{\mu}{k} v_y - \rho_a B |v| v_y - \rho_a g\end{aligned}$$

能量方程：

$$C_e^* \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_e^* \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_e^* \frac{\partial T}{\partial y} \right) - c_a \rho_a \left(\frac{\partial (v_x T)}{\partial x} + \frac{\partial (v_y T)}{\partial y} \right)$$

式中： v_x 、 v_y 分别为空气在 x 和 y 方向上的速度分量， $|v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ ， B 为非达西流的 *Beta* 因子， k 为多孔介质的渗透率， μ 为空气的动力粘度， ρ_a 为空气密度， p 为空气压强， T 为温度， t 为时间， c_a 为空气的定压比热， C_e^* 是介质等效体积热容， λ_e^* 为等效导热系数。

采用以上控制方程，通过有限元的方法，对该复合通风聚冷路基的温度

场进行数值模拟仿真计算, 计算结果表明: 本发明具有良好的降温效果, 可使其下部多年冻土处于较低的温度状态; 在同等条件下, 本复合通风聚冷路基与现有块(碎)石层顶部填加一定厚度土层的路基相比, 可使其下部多年冻土温度多降低 $1.5\sim 2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 并且其力学稳定性远远好于现有的由块(碎)石堆积的路基。

室内试验研究结果也同样表明了本复合通风聚冷路基具有良好的冷却降温作用。试验在特制的大型保温模型箱(尺寸: $8.0\times 1.84\times 2.7\text{m}$.)中进行, 箱中环境温度按照正弦函数 $T=1.0+12\sin(2\pi t/360+\pi/2)$ 进行控制, 式中 T 为环境温度 ($^{\circ}\text{C}$), t 为时间 (h), 风速为 2.5m/s 。试验分为无混凝土板和有通风孔混凝土板两种情况。图 3 显示了无混凝土板和有通风孔混凝土板两种情况下试验模型中块(碎)石层底部温度过程线。图 3 中曲线 A 表示环境控温曲线、B 表示无混凝土板情况、C 表示有通风孔混凝土板情况。从图 3 中可以看出: 在等同的试验条件下, 有通风孔混凝土板的块(碎)石层底部温度明显低于无混凝土板的块(碎)石层底部温度。并且, 在最后一个试验周期, 有通风孔混凝土板的块(碎)石层底部最高温度已低于 0°C , 平均温度为 -1.7°C , 比环境平均温度 (1.0°C) 低 2.7°C , 比无混凝土板情况 (-0.1°C) 低 1.6°C 。

以上数值仿真和室内试验结果均表明本发明具有良好的冷却降温作用, 可使其下部多年冻土温度降低, 使其处于较高的稳定状态, 确保冻土路基的多年稳定。

本发明的优点与产生的有益效果是:

1、本发明由于块(碎)石层顶部通风孔混凝土板的存在, 充分利用了多孔介质的自然对流降温效应, 在冬季可最大限度地将热量散出, 夏季又可阻隔热量向路基内传递, 实现对路基下部冻土的降温作用, 使其处在较低的温度状态, 提升冻土上限, 解决由于季节活动层在冻融过程中产生的冻胀与融沉给路基所带来的破坏;

2、本发明无需任何外部动力设施, 无污染, 保护生态环境。并且, 块(碎)

石取材方便，混凝土板可在工厂加工完成后运往现场直接铺设，对冻土不会产生大的人为扰动，可满足高温、高含冰量冻土地区工程稳定性的特殊要求；

3、本发明结构简单，主要材料为块（碎）石、混凝土和钢筋，成本低，易于施工与维护，降温效果和工程稳定性好，具有较好的应用推广前景。尤其在高温、高含冰量的多年冻土区，它和旱桥一样可以确保道路的稳定和安全，但其造价仅为旱桥的 40~50%。

附图说明：

图 1 是复合通风聚冷路基横向剖面示意图

图 2 是复合通风聚冷路基纵向剖面示意图

图 3 为无混凝土板和有通风孔混凝土板两种情况下试验模型中块（碎）石层底部温度过程线

具体实施方式：

下面结合附图，将对本发明再做进一步的说明。

参照附图 1~2，一种利用天然冷能的复合通风聚冷路基，首先将天然地表 6 压实，然后填筑厚度 0.3m 砂砾石垫层 4，压密；砂砾石垫层 4 上部填加贯通的水平块（碎）石层 3，厚度为 1.5m，块（碎）石粒径为 10~30cm，顶部以粒径较小的碎石找平，然后在水平块（碎）石层 3 上部铺设带纵向贯通的通风孔 2 的混凝土板 1，板间接缝灌浆，增加混凝土板 1 的整体性和防止上部填土下漏，在混凝土板 1 上部再填加路堤填土 5，并压密夯实。

当冬季外界气温较低时，通过混凝土板 1 的通风孔 2 实现路堤内部与外界低温气流进行快速热交换，降低块（碎）石层 3 上表面温度，增大块（碎）石层 3 顶部和底部表面温差（上部温度低于下部），加大其内部空气自然对流强度，增强路基的整体导热性，从而加大了路堤自身及其下部土层热量的散失；当夏季外界温度较高时，块（碎）石层 3 内上部温度高于下部，空气处

于相对静止状态，无对流发生。另外，由于空气的导热系数很小，从而能够阻隔来自块（碎）石层顶部的热量。因此，实现了这种复合通风聚冷路基在寒季带走热量、输入冷量，而在暖季阻隔热量侵入的工效，达到了积累冷量，保护冻土的目的。

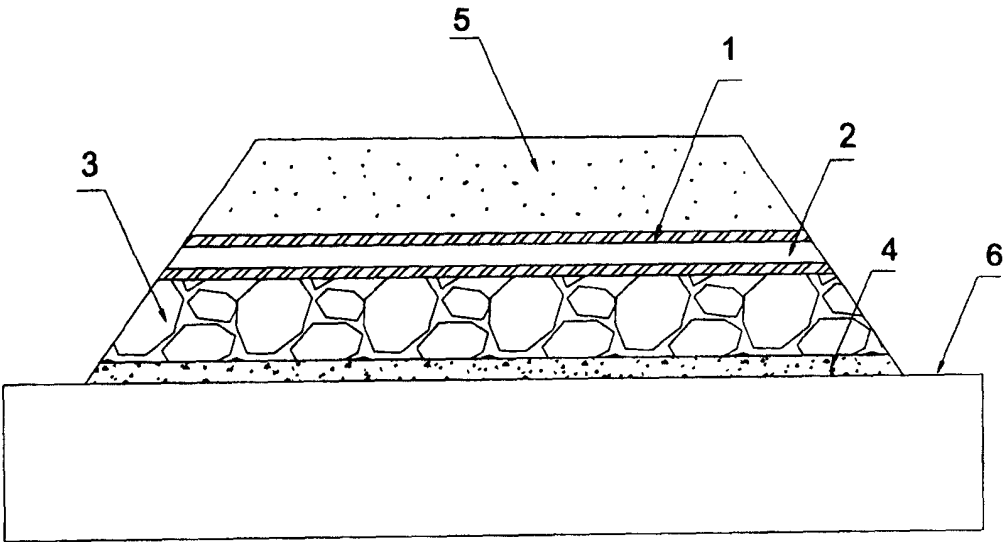


图 1

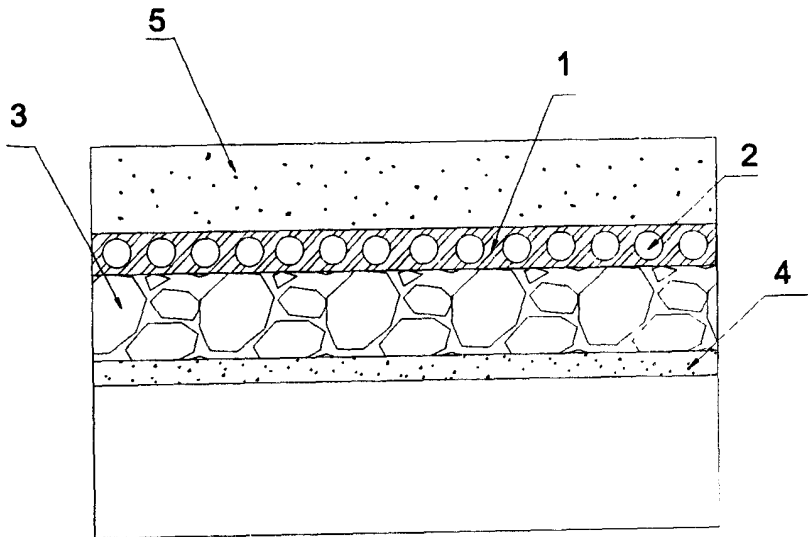


图 2

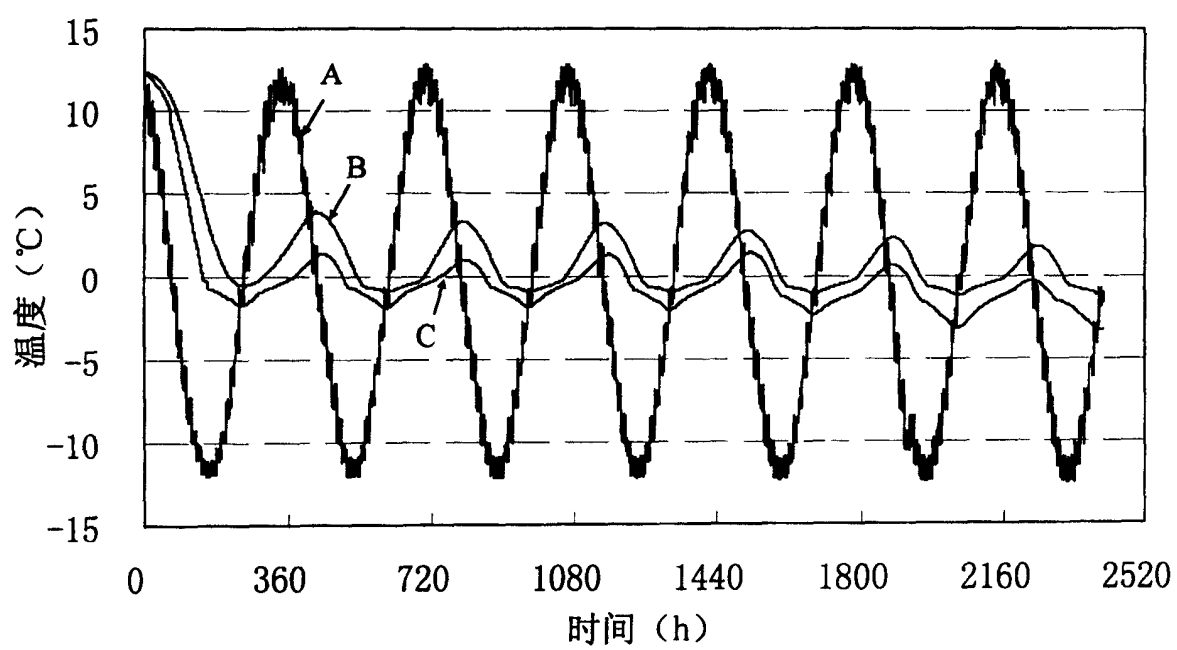


图 3