

热扰动对冻土区片块石路基热状态 变化特性的影响研究

舒航

(中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610081)

摘要:随着我国现阶段的公路建设里程不断增长,相较于常规平原地区,高寒冻土区公路建设过程要克服冻土路基带来的各类不良影响。针对热扰动对冻土区片块石路基带来的影响进行深入研究,在分析该区域高等级公路路基状态的过程中,采集片块石路基的温度状态、吸放热状态和冻融循环状态等方面数据,探讨了其热状态变化的整体规律。研究结果显示:片块石路基在冻土区有着很好的热稳定性作用,可实现主动冷却作用;片块石路基能通过加快温差空气间的流通速度,避免热扰动对路基温度产生过于明显的影响,从而减少热扰动所带来的各类路基病害;片块石路基正下方的最大融化深度正逐步提高;片块石路基的阴阳面存在吸放热不平衡的情况,阳面路肩吸放热量达到阴面路肩吸放热量的2.7倍,阳面坡脚吸放热量达到阴面坡脚吸放热量的2.3倍;随着片块石路基阴阳面吸放热不平衡的发展,其对应的阴面冻土升温速度小于阳面冻土,阴面冻土上限发展程度同样小于阳面冻土。

关键词:热扰动;吸放热;片块石路基;热状态;冻土区

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)05-0265-03

0 引言

随着公路建设工程向西藏、青海等区域不断推进,冻土路基及其相关问题逐渐走入了人们的视野,成为公路建设过程中亟待解决的障碍。冻土是一种特殊的地质材料,其温度在冰点以下,内部含有丰富的冰质体,与常规土壤和岩石有着明显区别,既表征了一种材料类型,也表征了一种环境类型^[1]。多年冻土是指其冰冻状态维持2 a以上的特别冻土,往往是受到非常复杂的自然地质和地理环境的综合影响而形成,是地质、气象、历史等多方面互相作用的产物^[2]。目前,由于自然气候变迁、大气污染和人类活动等综合原因,导致多年冻土区的吸放热平衡状态产生了倾斜。其直接原因是体现在冻土区受到的地表辐射加强、热量传输状态出现截断或加强等,进而引起冻土区温度的逐渐升高,最终出现了冻土区难以抑制的收缩和退化现象,并且这一现象正在不断加剧^[3-6]。

随着冻土区域的不断收缩,建设在冻土区的公路路基稳定性将面临更大的考验。程培峰等^[7]通过埋设温度传感器,监测冻土区路基温度变化情况,发

现冻土区出现了较为明显的退化问题。丁彪等^[8]重点研究了冻土区路基常发现的病害问题,重新计算了多项指标权重,从而更加准确地评价多年冻土区公路损坏状态。为了有效地克服热扰动对冻土区公路路基带来的不良影响,工程上已引入了片块石路基建设技术。片块石路基在铁路建设上已有较为丰富的经验,通过片块石路基,可以明显改善路基的热交换状态,从而起到保持冻土区温度的作用^[9]。

然而,工程实践的经验表明,在某些多年冻土区域,尤其是温度较高区域,片块石路基带来的热稳定性状态还不能得到很好的保证。在公路大范围应用片块石路基前,仍需要对其抵抗热扰动的能力进行仔细论证。基于此,本文重点针对热扰动对冻土区片块石路基带来的影响进行了深入研究,在分析该区域高等级公路路基状态的过程中,采集片块石路基的温度状态、吸放热状态和冻融循环状态等方面数据,探讨了其热状态变化的整体规律,能够为片块石路基在热扰动明显区域的应用提供一定的参考。

1 工程数据概况

本文为得出准确的片块石路基热稳定相关数据,选取了我国青藏高原高寒区某条高速公路作为研究工程依托。该公路地处多年冻土区,沿线路基多建设于年平均温度不低于-1℃的多年冻土之上,有着较大的

收稿日期: 2020-11-19

作者简介: 舒航(1988—),男,本科,工程师,从事道路桥梁设计工作。

不稳定性。该高速公路工程的路基建设充分应用了片块石路基技术,沿线采用片块石路基线长达到64.81 km。初步分析认为,该地区路基冻土整体热状态影响因素较为复杂,包括地面处吸放热量、空气温度流变化和地温梯度变化等。

该条高速公路地处于青海省,平均海拔高度为4 315 m,属于夏季短冬季长气候,夏季凉爽、冬季严寒,年平均温度为 -4°C ,降水少,阳光辐射强烈,干旱严重,冻土冻结期长,风力较大,是典型的高寒区气候。

该条高速公路的路基路面工程资料为:路面宽度为11.75 m,材料为沥青混凝土,路基平均高于地表2.7 m,边坡坡度为1:2,其上铺设1 m厚的片块石覆盖层,所选用片块石的平均直径为1.1 dm。

连续3 a不间断对高速公路下部冻土层的温度状态进行监测,其横截面内包括铺设沥青路面(以沥青路面为基准面)、片块石路基的5处冻土区(路基中部、两侧2处路肩、两侧2处坡脚)和天然地面为基准面的5处冻土区(路基中部、两侧2处路肩、两侧2处坡脚),重点对其温度状态、冻土上限发展程度、吸放热状态和冻融循环状态展开论证分析。

2 地温数据分析

首先对比该条高速公路路面和天然地表为基准面下的地温数据,具体分别包括两侧2处路肩和路基中部共3个点,其下探深度均为0.5 m,其数值如图1所示。

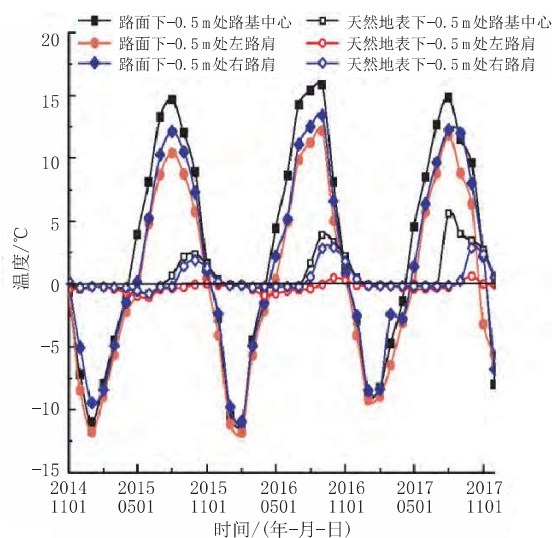


图1 路肩及路基中部温度对比情况

分析图1中数据可以发现,在5—11月份,受到路面面层材料覆盖的影响,路基中部和两侧路肩处温度差异最大,路基中心相对于左右2个路肩的最

大温差可达 3.48°C 和 4.41°C ,而这一数值在冬季的最小值仅为 -0.68°C 和 0.45°C 。观察天然地表处情况,在片块石层的影响下,路基中心相对于左右2个路肩的最大温差为 1.09°C 和 4.03°C ,在冬季的最小值为 -0.09°C 和 0.02°C 。这表明片块石路基在冻土区有着很好的热稳定性,可实现主动冷却,可以有效降低冻土温度,通过加快温差空气间的流通速度避免热扰动对路基温度产生过于明显的影响,从而减少热扰动所带来的各类路基病害。观察图1中冻土温度的整体发展趋势,可以发现路基中部和右侧路肩间的冻土温度差值正逐渐降低。这表明该处片块石路基的降温能力产生了变化,两侧路肩逐渐出现了温度不对称现象。

除了同一深度不同位置间的温度差对比分析外,不同深度间冻土温度对比研究也有着显著的意义。对比分析铺设片块石路基的两侧路肩、路基中部和天然路基的各深度冻土温度监测情况如图2所示。

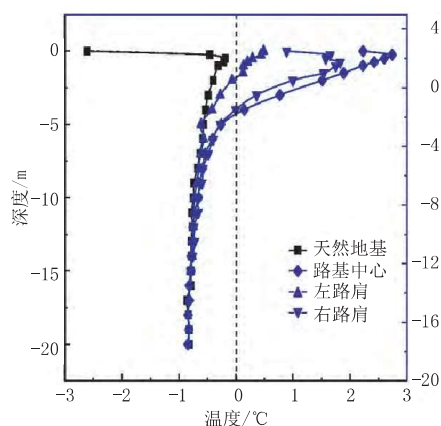


图2 不同深度冻土温度对比情况

从温度分布范围上可以发现,该冻土属于高温型冻土,平均温度约为 -0.8°C 。天然地基对应的冻土在深度 -4 m 以上区间,发生较为明显的温度波动;而针对铺设沥青路面和片块石路基区域的冻土温度扰动则体现在深度 -5 m 以上区间。另一明显趋势则表现在阴面路肩和阳面路肩间的温度差异上:阴面路肩(即图2中所示左路肩)在同一深度下的冻土温度低于阳面路肩(即图2中所示右路肩)。这一现象说明左路肩下方的冻土上限发展程度要小于右路肩冻土,即阴面冻土上限发展程度小于阳面冻土。

3 吸放热数据分析

在地温数据调查的基础上,可通过傅里叶定律计算得到吸放热量,具体数据如图3所示。

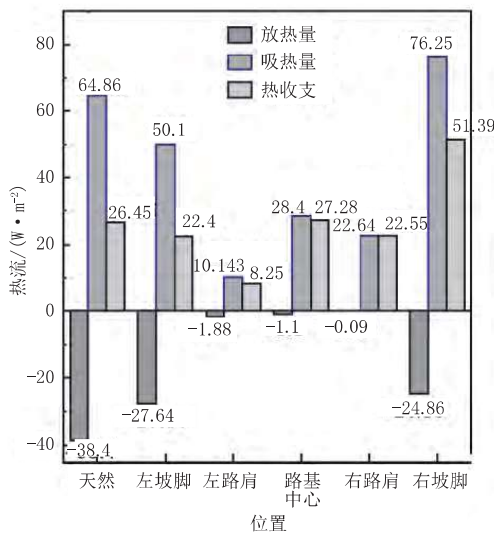


图3 冻土吸放热对比情况

从图3中可以明显发现,无论是天然路基区域冻土还是铺设沥青路面和片块石路基区域的冻土,均表现为热收支为正数的现象,换言之,冻土的吸热量大于放热量。长此以往,其下部冻土层的整体温度必然会随着时间的推移而逐渐上升。

此外,观察片块石路基高速公路不同部位处的吸放热和热收支情况,可以发现右路肩处(即阳面路肩)的放热量仅为-0.09,其热收支数值为22.55;与之相对,左路肩处(即阴面路肩)的热收支数值仅为8.25,是阳面路肩处的1/2.7。同样,阴阳面处的坡脚也有着热收支差异,左侧坡脚的热收支仅为22.4,是阳面坡脚处的1/2.3。随着时间的推移,片块石路基阴阳面吸放热的不平衡发展将会扩大,其对应路基处的阴面冻土升温速度小于阳面冻土路基。

4 冻融循环数据分析

在该高速公路实体工程全程监测过程中,发现这期间内两侧路肩与路基中部之间并未出现较为严重的融化夹层问题。而且两侧路肩处冻土的冻融时间与路基中部处冻土冻融时间相错开,并且冻融循环周期长度也不相同。其中,路基中部冻土的融化时间长度约为7个多月,从3月下旬直到10月下旬;与之相对,10月下旬到次年3月下旬则为冻结期。阳面路肩处冻土的融化时间与路基中部冻土融化时间较为接近,其融化结束时间大约在10月上旬。阴面

路肩处冻土的融化开始时间约为4月中上旬,结束时间约为10月中旬。

5 结语

本文选取了我国青藏高寒区某条高速公路作为研究工程依托,对热扰动对冻土区片块石路基带来的影响进行了深入研究,采集片块石路基的温度状态、吸放热状态和冻融循环状态等方面数据,探讨了其热状态变化的整体规律,得出了以下主要结论:

(1)片块石路基在冻土区有着很好的热稳定性作用,可实现主动冷却作用。

(2)片块石路基能通过加快温差空气间的流通速度,避免热扰动对路基温度产生过于明显的影响,从而减少热扰动带来的各类路基病害。

(3)片块石路基的阴阳面存在吸放热不平衡的情况,阳面路肩吸放热量达到阴面路肩吸放热量的2.7倍,阳面坡脚吸放热量达到阴面坡脚吸放热量的2.3倍。

(4)随着片块石路基阴阳面吸放热不平衡的发展,其对应的阴面冻土升温速度小于阳面冻土,阴面冻土上限发展程度同样小于阳面冻土。

参考文献:

[1] 王志坚.青藏铁路建设中的冻土工程问题[J].中国铁路,2002(12):31-37,9.

[2] Williams P G, Smith M W. The Frozen Earth [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1989: 59-82.

[3] 程国栋.局地因素对多年冻土分布的影响及其对青藏铁路设计的启示[J].中国科学(D辑:地球科学),2003(6):602-607.

[4] 王澄海,靳双龙,施红霞.未来50a中国地区冻土面积分布变化[J].冰川冻土,2014,36(1):1-8.

[5] 尹国安,牛富俊,林战举,等.青藏铁路沿线多年冻土分布特征及其对环境变化的响应[J].冰川冻土,2014,36(4):772-781.

[6] 周幼吾,邱国庆,郭东信,等.中国冻土[M].北京:科学出版社,2000:9-12.

[7] 程培峰,王锐,韩春鹏.高纬度多年冻土区路基工后温度变化规律研究[J].公路工程,2017,42(5):12-17,31.

[8] 丁彪,雷宇,张娟,等.多年冻土地区路面状况评价方法的研究[J].公路工程,2017,42(6):107-109,193.

[9] 程国栋,吴青柏,马巍.青藏铁路主动冷却路基的工程效果[J].中国科学(E辑:技术科学),2009(1):16-22.