

文章编号: 0451-0712(2005)07-0075-07

中图分类号: U416.168

文献标识码: A

多年冻土地区路基修筑技术及实践

裴建中

(长安大学特殊地区公路工程教育部重点实验室 西安市 710064)

摘 要: 我国多年冻土地地区的路基修筑技术及其相关研究走过了 50 年的历程。从多年冻土地地区路基修筑技术的回顾出发,系统总结了多年冻土地地区路基冻胀、融沉和纵向裂缝等主导病害的发育性状、分布规律和形成机理,就基于多年冻土稳定的路基设计理论和面向调控的路基稳定结构进行了深入探讨,最后提出了路基修筑技术未来的发展趋势。

关键词: 多年冻土地地区; 路基; 病害; 设计理论; 调控措施; 发展趋势

随着人类活动足迹的延伸,人类对冻土的认识与研究逐渐深入。随着寒区经济的迅速发展,人们在冻土区开始大兴土木,如道路工程、水利工程、隧道工程、工业与民用建筑等方面的建设逐步展开。冻土区工程修筑过程中,必须考虑冻土,尤其是多年冻土这一特殊地基。从多年冻土被认识、有关多年冻土科

学概念的提出,到围绕工程建设进行的相关研究、解决实际冻土工程问题等,经历了一个漫长的过程。

我国公路建设第一次遇到多年冻土是 1953 年在青康公路查拉坪路段,当时由于缺乏相应的认识和处治措施,按照泥沼地段处理,造成多年冻土大面积暴露融化,结果未能成功;之后经过改移路线,采

基金项目:国家自然科学基金资助项目(项目编号:50178010)

收稿日期:2005-01-05

3 结语

选取地质、地貌、土地利用、水土流失和敏感目标等生态环境因子,利用层次分析法建立了公路选线环境评价指标体系,并利用 GIS 技术开发了公路生态环境设计信息系统。在评价方法上,由定性评价

实现了定量评价,以达到对公路沿线综合环境进行定量分析和比较,可在区域中选择环境最佳走廊和比较具体线路的环境状况,从而提高公路选线的科学性,促进公路建设与环境的协调发展。

A Study on Environmental Assessment for Expressway Routing

JIANG Yu-lin, ZHANG Qian-jin, CHEN Xue-ping, Wang Yong-sheng, WU Hong-yang

(China Academy of Transportation Sciences, MOC, Beijing 100029, China)

Abstract: The environmental assessment indexes of expressway routing are built to select the optimized environmental corridor and routes through Analytical Hierarchy Process Method on the basis of comprehensive considerations of environmental factors, such as geology, land use, soil erosion and sensitive objects, etc.. An index system is constructed to assess the ecology environment quantitatively, which offers the scientific assessment method to select optimal route on the basis of environment. Dali-Baoshan Highway in Yunnan Province is the case for the study.

Key words: highway; ecology environment; evaluation

取保温措施、加高路基和保护原有植被,问题才得以暂时解决。1956 年青藏公路建设过程中,又多处发现多年冻土,当时仍缺乏合理的处理措施,为公路运营埋下了工程隐患。后来又围绕着青藏公路的改建和多年冻土地地区的工程建设,陆续开展了相关的研究。近年来,随着全球气候的变暖和人类活动的加剧,多年冻土地地区工程建设又面临新的严峻考验。

1 多年冻土地地区路基主导病害

冻土是由土骨架、冰、水、气等四相物质构成并具有相变过程的多孔多相复合体,对工程影响较大的是土的冻结与融化过程。冻土同时也是一种对温度极为敏感的土体,含有丰富的地下冰,水分产生迁移并具有相变变化特征,土体中的热状况、水分状况与变化规律及由此导致的应力重分布是引起冻害严重与否的主要因素。这些特性造成了冻土区修筑构造物时,面临 2 大工程问题:冻胀和融沉。

1.1 冻胀

土体冻胀是土中的水冻结成冰而引起的体积膨胀现象。Rice 在 1975 年将冻胀作用的起因简洁地归结为 3W,即 Winter(低温)、Water(水)和 Weak(缺陷和土具有冻胀敏感性)。其实多年冻土地地区路基的很多病害,其原因也就是这 3 个方面。冻土冻胀机理的研究已有 100 多年的历史,走过了一条漫长的道路,从实验中建立经验公式,到逐渐建立简单的理论模型,直到现在普遍进行的温度场、水分场和应力场等耦合效应研究。提出的冻胀模型包括基于大量室内试验和现场观测结果建立的经验和半经验计算模型;Harlan 在 1973 年基于非饱和土中水的运动和正冻土中水的迁移的相似性,用热量关系建立的流体动力学计算模型;O'Neill 和 Miller 在 1982 年基于土的二次冻胀建立的刚冰模型,该模型假设冻结边缘的冰与增长的冰晶刚性连接,孔隙冰可以移动;Duquennoi 于 1985 年及 Fremond、Mikkola 于 1991 年将温度场、水分场和应力场统一考虑,提出水热力耦合模型,该模型主要基于质量、动量、能量守恒和熵不均等原则,这里的应力场主要是冻胀力,这是目前各国研究的热点。

有关冻胀还有一个重要的问题是冻胀量的计算。国内很多经验表明,土中冻前含水量对冻胀有一定影响,但不是全部水分,而是超出起始冻胀含水量的水分,其关系一般用式(1)表达:

$$K_d = a(W - W_p) \quad (1)$$

式中: K_d 为冻胀率,%; W 为冻土层内冻前平均含水量,%; W_p 为起始冻胀含水量,%; a 为冻胀系数。

关于冻胀系数 a 的取值,目前各学者的意见尚未统一。戴惠民等(1989)取为 0.47,童长江等取为 0.277,大庆油田设计院取为 0.67,中国科学院寒旱所取为 0.8。由于所试验土体材料的差异,冻胀系数 a 的取值差别较大。

1.2 融沉

冻胀和融沉是土随温度变化而冻结和融化时的 2 个过程,但两者并不互为可逆。富冰冻土融化时,融化后的土由于冰变成水,使体积减小而产生融化沉降。同时,由于在融化区域发生排水固结,引起土层的压密沉降。

过去大量的工程实践表明,冻土区筑路遇到的主要问题是冻胀和融沉,在季节冻土区主要是冻胀问题,在多年冻土区主要是融沉问题。以多年冻土为地基的寒区建筑物,其破坏主要来自建筑物使用中对冻土地基放热而引起的冻土地基融化下沉,以保护多年冻土为设计原则修建多年冻土区建筑物,便是寒区工程特殊措施中应用最为广泛的一种。依照此原则,不但克服了冻土的融化下沉,而且利用了冻土材料强度高于融土的特性。

刘永智等根据资料统计后发现,青藏公路破坏路段的 80% 以上均为融化下沉破坏,而其中含有融化核的路段占 90% 以上。由此可见,融化核对路基稳定的重要性。融化核指在季节活动层底板和多年冻土顶板之间形成的多年不冻的融化土层,亦称为不衔接层。气候、地形、地貌和下卧层特征等外部因素,以及冻土的岩性、含水量和年平均地温等内部因素的相互作用,制约着融化核的形成和发展。融化核对冻土路基稳定性有如此大的影响,原因如下:(1)融化核中含水量较大,冻土路基排水固结沉降变形较大;(2)融化核的存在,使多年冻土人为上限加深,季节冻结深度减少,融化核越发严重,形成恶性循环。因此,融化核问题在路基病害研究中不容忽视。

1.3 纵向裂缝

近年来,我国的青藏公路、美国阿拉斯加的一些公路中陆续报道了路基纵向裂缝的出现。这些裂缝具有其独特的特征。

从几何特点上分析,多年冻土地地区公路路堤纵向裂缝不同于一般地区纵向裂缝,不仅特别多,而且长度特别长,许多裂缝贯通后长度可达数百米,断续

长度则达500~600 m;宽度特别宽,最大单缝宽达10~30 cm,有时2条相邻裂缝间的沉陷宽度可达2 m;裂缝特别深,用钢钎可探深度可达2.2 m以上,用探地雷达等物探设备探测可知,许多路段的纵向裂缝深度可达5.6 m,甚至深入到路堤下的地基内。另外,许多裂缝的两端都明显地向路基边坡方向延伸,呈现出弧状特征。其次,纵向裂缝之间一般伴随有局部沉陷变形,最严重的当属缝宽较大时,许多路缘石、路面都掉进缝隙中;另外,当单缝较窄时,在同一路段中并行出现几条裂缝,此时2条裂缝之间的路面、路基往往会发生较大沉降变形,造成路面凹凸,因而起伏不平。

另外,纵向裂缝一般与其他病害如波浪、沉陷、扭曲和坑槽等同时存在,相互影响。

调查结果显示,纵向裂缝是多种内因与外因综合作用的结果。纵向裂缝与路基走向、路基高度、多年冻土类型与稳定程度、季节活动层厚度及排水条件等因素密切相关。据面波勘探显示,沥青混凝土路面吸热、路基两侧边坡热辐射差异及坡脚积水等因素致使路基坡脚下多年冻土层不规则融化,路基下多年冻土上限呈现W型、V型等特殊的形态,融化后的冻土其承载能力急剧下降,导致该区域成为融化软弱区,促使路基内应力不断调整而产生纵向裂缝。

在野外调查的基础上,通过建立机理分析模型研究表明:纵向裂缝在形成过程中呈现了很多特殊的性质,其启动机制首先是多年冻土融化区从无到有、从小到大,融化区位置不断调整,融化区物理参数不断变化,融化区因排水固结而不断下沉;其次是路基内裂缝由微观到宏观的发展,裂缝的汇合从路基上部开始,逐渐向下发展;路基变形由整体向一侧倾斜,随着表面裂缝的出现和融化区的逐渐压缩,路基变形就逐渐演化为裂缝破坏体的继续变形和发展。路基纵向裂缝在形成过程中大体上经历了3个阶段:初始变形阶段、强度破坏阶段和变形失稳阶段。在力学性质上呈现出3个基本区域:发育区、抑制区和诱发区。

2 基于多年冻土稳定的路基设计理论研究

2.1 多年冻土路基的稳定性及其影响因素

多年冻土地地区公路路基的稳定性取决于下伏多年冻土层的稳定情况,而多年冻土层的稳定性与自然环境有紧密的联系。从路基稳定的角度,三者之间的关系具体体现为多年冻土的上限变化与周围自然

环境之间的关系。

多年冻土地地区道路病害的形成有其深刻的自然环境与地质条件背景,恶劣的自然环境和复杂的工程地质条件不仅是路基病害的主要成因,而且还加速了这些病害的急剧恶化;路基病害的发生、发展及分布与这些因素有着千丝万缕的联系。下面以青藏公路为例进行研究。

2.1.1 自然因素

(1)气温。

青藏高原属高寒大陆性气候,寒冷干燥,空气稀薄,太阳辐射异常强烈。青藏公路沿线多年平均最低气温为 $-14.5\sim-17.4^{\circ}\text{C}$,多年平均最高气温为 $-6.8\sim8.1^{\circ}\text{C}$,年平均地面温度为 $-20.5\sim14.9^{\circ}\text{C}$,年平均气温为 $-2.0\sim-6.9^{\circ}\text{C}$ 。年平均温度呈由北向南逐渐增高趋势,在昆仑山、风火山、唐古拉山等高山山口段年平均气温低于 -6°C 。

(2)太阳辐射。

太阳以电磁波的形式向外传递能量,称太阳辐射。到达地面的太阳辐射包括2个部分:一部分是以平行光线形式直接投射到地面上的,称为太阳直接辐射(S);另一部分是经过大气散射之后,从天空投射到地面的,称散射辐射(D)。两者之和称为总辐射($S+D$)。由于太阳高度和昼长随时间、季节、纬度而变化,因此,总辐射也有明显日变化、年变化和随纬度的变化。一般情况下,一天中早、晚总辐射小,中午大;一年中,总辐射是夏季大,冬季小;纬度愈低,总辐射愈大。但云可使这种变化规律受破坏。我国西藏地区由于高原日照时间长,空气稀薄、透明度高,因而辐射量大。另外,由于路线走向导致的路基坡向问题,使得路基向阳坡和背阳坡受到的太阳辐射强度不同,影响着路基两侧的热平衡状态。

据研究,我国西部多年冻土地地区年平均地温与年平均气温为指数函数的关系,年平均地温随年平均气温的降低而降低,而太阳辐射是导致地表温度和气温变化的最直接的因子。由于公路路基呈梯形剖面,路基的2个边坡表面呈倾斜形态,这使得路基和边坡的太阳辐射能有很大的差异,倾斜地面上地表吸收的太阳辐射能可以用式(2)表示:

$$R_s|_{slope} = R_s \cos i / \cos z \quad (2)$$

式中: R_s 为水平地表面吸收的太阳辐射能; z 为太阳天顶角; i 为太阳在倾斜地表面上的入射角。

(3)降水与蒸发。

降水与蒸发是季节活动层湿度状况的直接影响

因素,青藏高原的融化季节正是雨季。雨季时,季节融化层尤其是浅层土体湿度急剧增大,补给时垂直渗流又加速融化的趋势,疏干时蒸发耗热降低土体的温度,减缓融化的过程。同时,季节活动层湿度的变化也改变骨架结构,直接影响其热周转能力。

(4) 水文特征。

青藏高原河流众多,湖泊密布。沿线的河流有楚玛尔河、北麓河、沱沱河、通天河、布曲河、捷布曲河以及那曲河等。除布曲河与那曲河的水量、水深较大外,其他河流的径流量较小、水深较浅,但河床宽坦,河水渗流作用强烈。

(5) 地形和地貌。

青藏公路沿线海拔高,地形平坦开阔。沿线地貌以高平原、断陷盆地及谷地为主,第四纪松散沉积物分布广泛,主要类型有坡积物、洪积物、冲积物、湖相沉积物和冰水沉积物等。

2.1.2 冻土分布特征

青藏公路沿线多年冻土属高海拔低纬度冻土,具有明显的垂直分带性。冻土温度、厚度和埋藏深度受高度控制。海拔越高,冻土温度越低,厚度越大,埋藏(冻土上限)越浅。此外,多年冻土的分布还受纬度、地表水系和构造运动的控制。

K2879~K3512 段为多年冻土分布区,根据冻土平面分布特征,其间依次分为:岛状、片状和岛状3个区段。不同区段的多年冻土厚度、上限深度、冻土温度和稳定性有明显区别,其冻土工程地质特点和对工程的影响也各不相同。

地理纬度对冻土分布的影响表现在2个方面:其一,多年冻土分布的起始海拔高度不同,北低南高,北端(K2876)海拔约4 380 m,南端(K3512)海拔约4 610 m;其二,冻土连续性、上限深度、地温和稳定性不同。北区连续片状分布,冻土上限埋深较小,冻土温度较低,相对较稳定,在全球气候条件和工程活动影响下,缓慢退化,此区范围大约在昆仑山南坡至雅玛尔河之间。自雅玛尔河向南,多年冻土除高山垭口段外一般连续性较差,上限埋藏较深,路基下上限深度常大于6~7 m,甚至钻孔经常未见冻土,冻土呈现明显退化性。

海拔高程对多年冻土分布的控制作用明显,随着海拔高度的增加冻土厚度增大,上限埋深减小,冻土温度降低。

2.1.3 人类工程活动

多年冻土地区道路病害的产生与人类工程活动

也有关联。在修筑道路路基时,往往就近挖土填筑路堤,这样做的后果不仅使原来天然地表的环境破坏(由于原有植被的消失而导致路表热状态的改变),而且挖除路表后导致路堤坡脚容易积水。这2种情况均会使路基边坡下的多年冻土地温升高,上限下降。因此,从这个角度讲,设置适当的取土场与弃土堆,对多年冻土地地区路基的稳定非常重要。取土场和弃土堆既不能离路基太远,经济上要保证合理的运距,但又不能离路基太近,以确保路基稳定。

2.2 路基合理高度

冻土路基区别于一般路基的最大特点是路基下埋有一层厚度1~5 m的季节冻融层,其下为对温度极为敏感的多年冻土层。土的融化会产生下沉变形,而冻结则产生冻胀变形,因此,路基的融沉与冻胀均是路基高度设计的主控因素。过去的实践表明,多年冻土地地区融化下沉变形和冻胀隆起变形两者中前者是主导因素,因此,路基设计首先是要考虑如何控制多年冻土层的融化,正确评估冻土发生融化的变形值。

要研究多年冻土地地区路基合理高度,首先需要确定路基设计原则。经过几十年的探索,关于多年冻土地地区路基设计原则的认识趋于一致,分为严格保护、一般保护和不保护3种设计原则,或者换种提法,即保护冻土、控制融化速率和允许融化3种设计原则。严格保护是采取有效工程措施保护多年冻土的存在条件,维持其原有稳定状态;一般保护是采取工程措施,控制多年冻土融化速率,允许其有一定程度的融化,但必须控制在可接受的范围之内;不保护则是将多年冻土按一般情况对待,甚至先期破坏其存在条件或加速融化而成为一般建筑条件。3种设计原则的选用受工程条件、多年冻土条件、社会和经济等诸多因素影响,许多大型工程采用了上述原则。但是,目前应用最为广泛的是保护冻土原则,依据这一原则,不仅可以克服冻土融化下沉的问题,而且可以充分利用冻土材料强度高于融土的特性。

在上述原则的基础上,近年继续发展了新的设计原则,即区段设计原则和场地设计原则。区段设计原则根据地质单元、地貌单元、多年冻土年平均地温、年平均气温和冻土上限埋深变化等区域性因素确定;场地设计原则是根据地基土类型、多年冻土含冰量和上限埋深等场地条件确定。这种方法更具有科学性,因为公路为线性构造物,不可能在全线采用一个设计高度。

在设计路基高度之前,还需要确定路基临界高

度。路基临界高度是指保证多年冻土上限稳定的路基最小填土高度。多年冻土地地区路基临界高度研究,早已被人们所重视。如在20世纪80年代中期对青藏公路砂石路面的临界高度(H_o)提出计算公式,如式(3):

$$H_o = 0.933 - 0.088H_N \quad (3)$$

式中: H_N 为天然上限。

过去普遍认为,路基高度增加,多年冻土上限上升,路基就会稳定,因此,上述路基高度是路基的下临界高度。但是王秉纲等(2000年)在总结实践经验和路基温度场理论分析的基础上研究认为,路基高度并非越高越稳定,路基高度高到一定程度后,路基内产生融土核,带来更大的不均匀沉降、纵向裂缝和反拱等病害,并由此提出了路基上临界高度(H_U)的概念,并给出了 H_U 计算公式,如式(4)和式(5)。

沥青混凝土路面:

$$H_U = 5.03 - 0.8H_N \quad (4)$$

砂石路面:

$$H_U = 7.17 - 1.76H_N \quad (5)$$

路基临界高度是确定路基设计高度的主要依据,但它不能代替设计高度。合理的路基设计高度应该根据路基设计原则、沿线区域冻土类型、上限深度、季节活动层土类和气候环境条件综合确定。另外,也可以考察区域内邻近公路的路基稳定情况,采用工程类比法进行设计。

2.3 路基中的水热过程

多年冻土路基稳定性的2个控制因素是温度和水分。多年冻土地地区路基温度场中的关键问题是,温度场变化会引起其中水分的相变和多年冻土上限的变化。

自然界的土可以看作一个土水体系,外界条件的改变,都可能导致土中水分的运动。天然条件下土体中各点的含水量因时间、位置和温度而异,土体中水分的形态按照水分存在的形态与所承受作用力的性质和大小来分类。土体中水分所承受的作用力常概括为吸附力、吸着力、毛细力和重力,进而土体中液态水可以分为吸湿水、薄膜水、毛细水和重力水等4类。在土体中水分的形态分类基础上,引入能态的概念,对土中水分的迁移做定量的研究。自然界中的物体都具有能量,普遍的趋势是自发地由能量高的状态向能量低的状态运动或转化,最终达到能量平衡的状态。经典物理学认为,任何物体所具有的能量都由动能和势能组成。由于水分在土孔隙中迁移很慢,其动能一般可以忽略不计。因此,土水势——土

体水分所具有的势能,在决定土中水分的能态和运动上就变得极为重要。任意2点之间土水势能之差,即土水势差,是水分在此2点间运动的驱动力。土水势的概念既适用于饱和土,也适用于非饱和土。在外界条件作用下,土中的水分运动,称之为水分迁移。

关于土中水分迁移机理,一个完整的定性定义应该包括原动力、迁移系数和迁移量的确定。为了确定水分迁移原动力的数值,迄今国内外学者曾提出过11种假说:(1)毛细力;(2)液体内部的静压力;(3)结晶力;(4)蒸汽状态水的位移;(5)气压液饱;(6)吮吸力;(7)渗透压力;(8)电渗力;(9)真空抽吸力;(10)化学势;(11)趋向冻结锋面的液压降低。由于自然条件下,水分迁移取决于力学的、物理的和物理化学因素的总和,因此,上述每一种假说,都只能代表某种特定条件下水分迁移的原动力。

20世纪30年代,将能量的观点引入后,水势梯度就从数量上和方向上给出了水分迁移的原动力。之后,国际土学会提出了土水分势的划分及其定义。土水的总势等于由压力、重力、温度、基质、溶质和电力等构成的分势的总和,其中任何一种分势梯度都可以引起水分迁移。

目前,国内外学者在水热研究的过程中发现,如果将应力也考虑进去,有助于更全面地分析路基的工作原理。

3 面向调控的路基稳定结构研究

从20世纪60年代到90年代末,为保证多年冻土地地区路基稳定性,防止道路病害的产生,世界各国至少对13种措施进行了探索,包括浅色路面、工业保温隔热层、泥炭土垫层、保温护道、热管、预融、冬季施工、地表覆盖层、通风管路堤、土工织物加筋、轻质回填材料、桥基础及块石对流路堤等。

目前,保护多年冻土路基最常用的方法是抬高路基高度或在路基中铺设保温材料。然而,长期的研究发现,在低温冻土区,抬高路堤高度或铺设保温材料可有效地保护多年冻土,使多年冻土上限抬升;但是在高温多年冻土区,抬高路堤不但不能使冻土上限上升,反而形成融化盘,若过高地抬高路基,由于吸热面的增大和阴、阳坡的作用,又会造成融化盘的不对称,进而导致路基的不均匀沉降;若铺设保温材料,虽可在夏季阻挡上部热量传入,但在冬季又可阻挡上部冷量传入和下部的热量输出,长时间的运行会在路基中形成热量累积,致使多年冻土上限下降。

可以说,抬高路基高度或铺设保温材料保护冻土路基均是被动消极的方法,不足以或不可能完全消除冻土路基融化下沉,尤其在全球气温升高的大趋势下更是如此。

对于高温多年冻土的保护,从理论上讲,通过改变路基的填料和结构,以调控传导、调控辐射和调控对流均可有效地调控路基温度场。目前,国内外研究和应用最多的是“主动冷却路基措施”,将“保护多年冻土地温不变”变为“主动将多年冻土地温降低”。采取的工程主要包括块石路基、通风管路基和热棒路基等工程措施。这些措施的共同特点是主动将路基内热能带出路基或将路基外冷源不断输入路基,使路基温度降低,向有利于路基稳定的趋势发展。

3.1 热棒

热棒是一根密封并抽成真空的金属管,内有毛细多孔管芯或螺旋线和一定的工作液体,如氨、丙酮或氟利昂及其混合物等。热棒插入地下部分为蒸发段,地面以上部分为冷凝段。当地温大于气温时,蒸发段毛细孔中的液体吸热蒸发并向上运动,到达冷凝段受到冷却使蒸汽凝结放热成为液体,依靠重力和毛细力作用再流回蒸发段,如此循环工作,将热量由一端传给另一端。到了夏季,热棒停止工作。这种热棒的主要优点是:无需外加能源,自行工作,传热有明显的方向性,冻结时间长。

设计时应确定热棒的影响半径,根据冷却需要设置其离开路基的位置、埋深和布设数量,如图1所示。

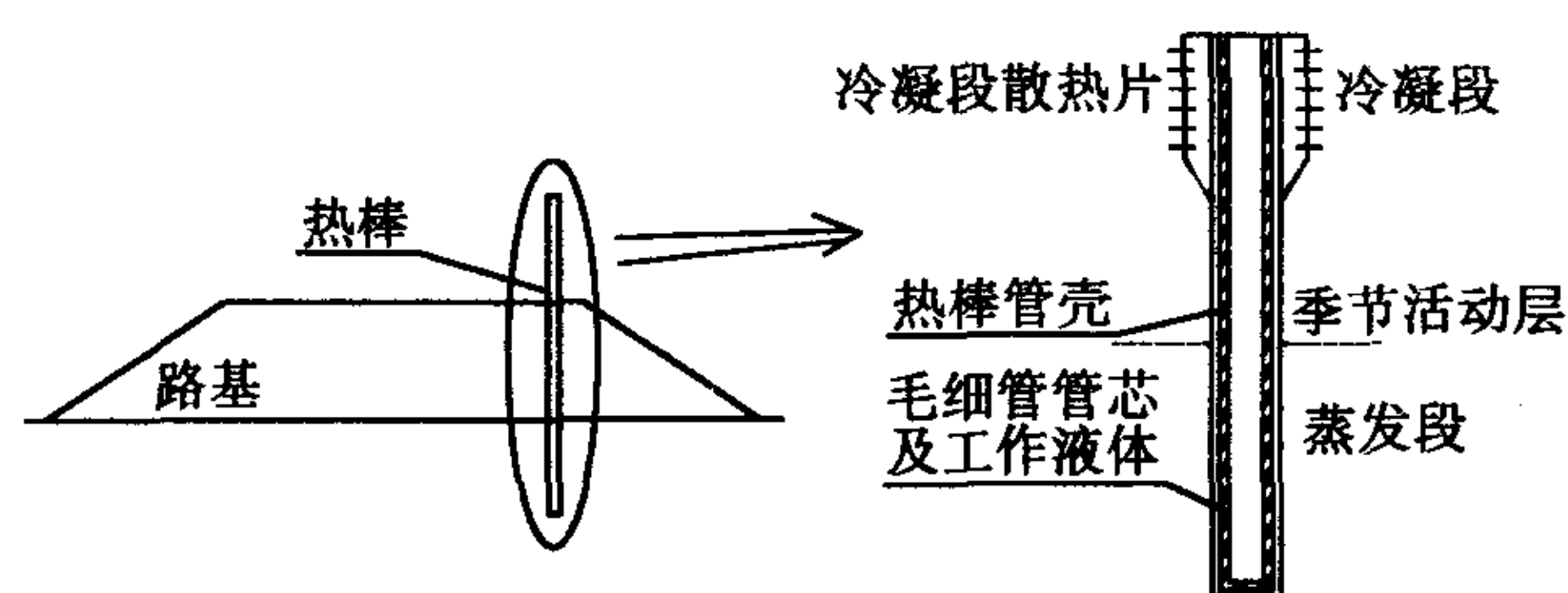


图1 热棒路基结构示意图

3.2 空气对流路堤

空气对流路堤(Air Convection Embankment, 简称ACE,由于这种结构是用大粒径的块石修筑,因此,通常也被称为块石路堤)使用在多年冻土地区有条件的地方,用碎石或块石填筑路基,利用填石路基的通风透气性,来实现保护冻土路基的作用,工作原理如图2所示,具体结构如图3所示。寒季,冷、暖空气在路基中产生对流,冷空气下降,侵入地表;暖季,热空气受下部冷空气的阻隔,难以下渗,每年地

基吸入的冷量大于热量,因而起到保护冻土的作用,该措施适用于高温不稳定的多年冻土地区。

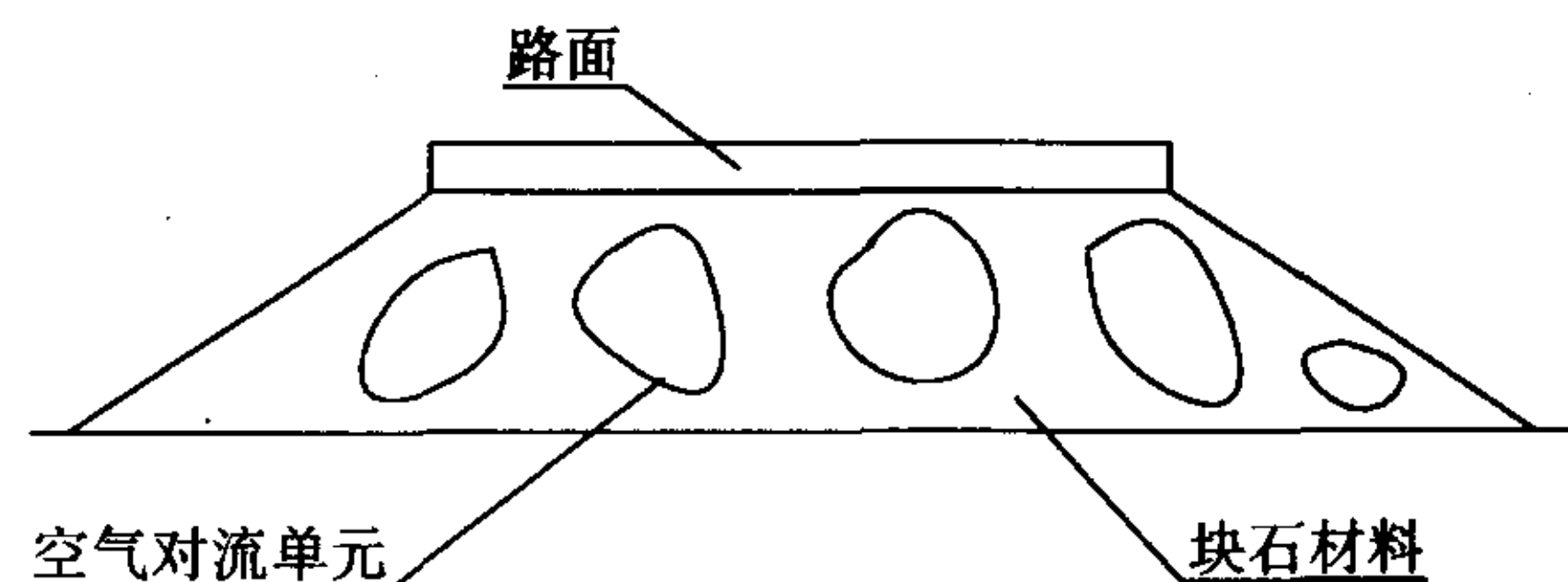


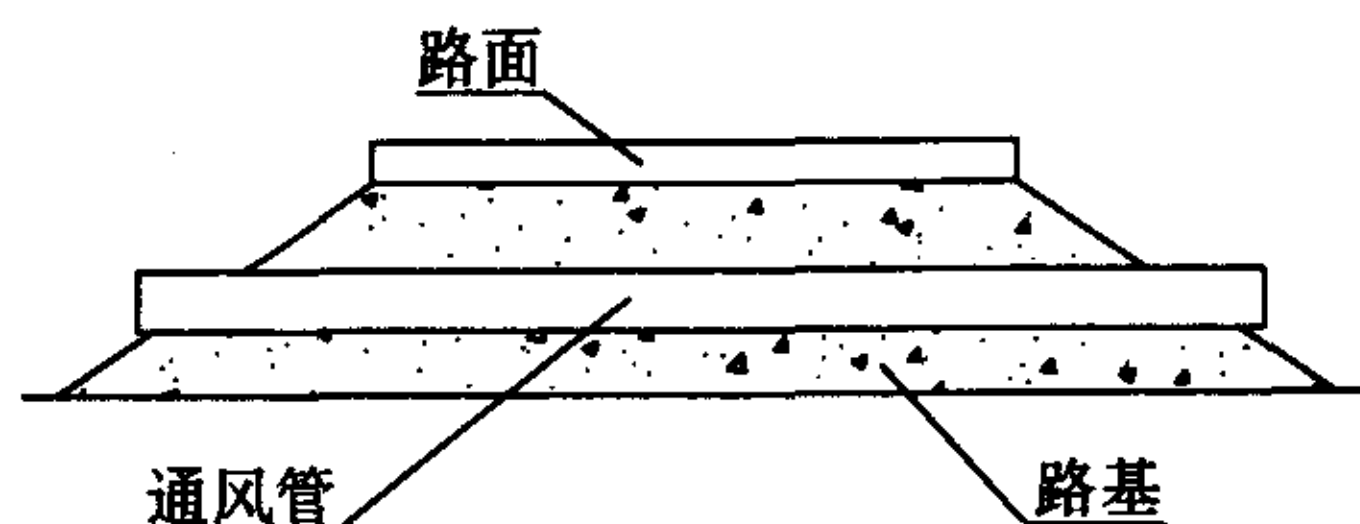
图2 通风路基工作原理

如果当地粗集料资源丰富,应考虑采用这种开级配碎石通风路基来满足冷凝要求,这种方法也被证明是维护多年冻土路基稳定最经济、效果最好的方案。

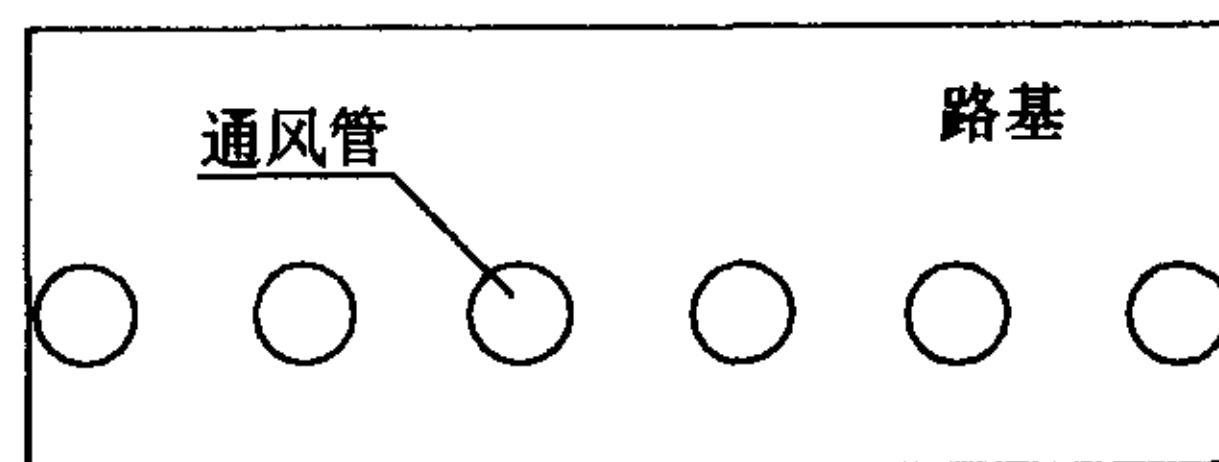
为了形成对流单元,碎石层路基所需最小厚度约1.5~2 m。为保证通风效果,碎石层顶面应防止小颗粒堵塞下面孔隙,此时,可采用具有足够强度的土工合成材料。同时,为防止地面径流和热融湖塘水通过路基孔隙侵入地下,影响多年冻土的稳定,必须合理设置排水系统,并高出水平面足够高度。

3.3 通风管

通风管路堤是采用不同管径和不同质地的圆管来降低路基中温度的一种措施。在寒冷季节,冷空气有较大的密度,在自重和风的作用下将管中的热空气挤出,并不断将周围土体中的热量带走,达到保护地基土冻结状态的目的。根据《冻土地区建筑地基基础设计规范》(JGJ 118—98),房屋下通风管基础宜用于年平均气温低于 -3.5°C ,且季节融化层为不冻胀或弱冻胀的多年冻土地区。常用的管材可以为PVC波纹管、钢管或混凝土管,管径从0.3~1.0 m不等,水平布设间距经试验认为2倍管径比较合理,通风管应与当地风向的主导方向一致。如图3所示。



(a) 通风管路堤横断面结构



(b) 通风管路堤纵断面结构

图3 通风管路基结构示意图

4 路基修筑技术未来发展趋势

在多年冻土地区路基设计中考虑三场(温度场、水分场和应力场)的耦合已成为必然,但目前有关单独温度场的计算与分析较为成熟,实现三场耦合还存在问题,需要在以下方面继续攻关。

(1)国内外的的工作大多停留在试验探索阶段与简单模型阶段,能够真正服务于寒区工程建设的理论探讨并不多,而且许多模型中只对三场耦合进行了初步描述,不能解释成冰机制、水分迁移过程和应力重分布特点,且模型中众多参数的物理意义不明确,也无法确定,限制了模型的进一步发展与应用。

(2)迄今为止,国内外理论研究所采用的理论包括混合物理理论、连续介质力学和热力学原理等,在解决问题时只在某一个方面具有优势,如何整合这些理论或寻找更适合的理论需要深入研究,而且许多模型,一般未涉及具有四相(土骨架、冰、水、气)物质组成和相变过程的冻土。

(3)冻土融化过程中的水分迁移未受到足够重视,且缺乏融化过程中水分迁移的相关理论。因此,只有将路基的水热过程研究和路基合理高度研究结合起来,才能取得符合实际的成果。

有关面向调控的路基稳定结构,目前相关的研究很多,但应注意以下2个方面。

(1)过去很多工程措施,如抬高路基或者在路基中铺设保温隔热材料,在保护冻土和防治路基病害方面虽然有一定的效果,但效果有限,有时不但没有

起到应有的作用,还带来了次生病害。目前来看,随着全球气温逐渐变暖,应采取积极主动的保护措施,使路基冷却和多年冻土上限上升。同时,还应根据保护多年冻土的需要,积极开发新的结构和材料,如热半导体材料等。

(2)对于许多工程措施,清楚其机理还远远不够,在工程应用时,还必须结合多年冻土实际情况,考虑其特殊自然条件和施工损伤,研究其合理的结构形式和应用条件。

参考文献:

- [1] 裴建中. 多年冻土地区路基纵向裂缝形成机理与处治对策研究[D]. 长安大学, 2004.
- [2] 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 冻土路基工程[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1988.
- [3] 胡长顺, 等. 高原多年冻土地区路基路面典型结构研究总报告[R]. 2000.
- [4] 李宁, 等. 冻土力学的研究进展与思考[J]. 力学进展, 2001, 31(1).
- [5] 臧恩穆, 吴紫汪. 多年冻土退化与道路工程[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1999.
- [6] 刘永智, 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).
- [7] 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(4).
- [8] 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 冻土的温度水分应力及其相互作用[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1990.

A Study on Subgrade Construction Technology and Practice in Permafrost Regions

PEI Jian-zhong

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education,
Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: There are 50 years history about subgrade construction technology and the relevant research in the permafrost regions. In this paper the characteristic, distributing laws and forming mechanics of the main distresses are summed up, the design theory is studied on the basis of the permafrost stability, and the subgrade structure types are discussed which can control the temperature of the subgrade. Last, the future development trends of subgrade construction technology are put forward.

Key words: permafrost regions; subgrade; distress; design theory; control measure; development trend