

和田南部藏北高原地区多年冻土公路路基及边坡处理研究

赵奇峰

(新疆维吾尔自治区交通规划勘察设计研究院, 新疆 乌鲁木齐 830006)

摘要: 中国高海拔地区多年冻土分布广泛, 随着基础设施建设向边远地区推进, 公路工程建设中不可避免地面临多年冻土地质病害。文中分析新疆和田地区南部藏北高原地区的气候特点、水文地质特点、多年冻土分布特点, 以 G216 线民丰段为例, 阐述高海拔地区公路工程建设中多年冻土路基及边坡处理措施和经验。

关键词: 公路; 路基; 边坡; 多年冻土; 藏北高原地区

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)05-0072-03

以青藏、青康、新藏等公路为依托, 2002 年交通部确立了《多年冻土地地区公路修筑成套技术研究》项目, 历时 5 年系统总结了我国多年冻土区公路修筑经验, 取得了一系列理论与技术成果。目前, 多年冻土路基处治中主要采取保护冻土并控制融化速率的原则, 一般少冰多年冻土采用抬高路基的措施, 冻土含冰量高、冻土温度较高、冻土地质条件较差路段的处理方式主要有 XPS 挤塑保温板隔热路基、片块石通风路基、通风管路基及热棒路基等。但多年冻土地地区公路建设项目在众多科研成果的支撑下还是不同程度地出现了路基沉陷病害。该文以 G216 民丰段多年冻土处治为依托, 通过对多年冻土地地区自然地理环境的分析, 研究适用于该地区多年冻土路基及边坡处治方案, 为多年冻土处治提供借鉴。

1 项目概况

G216 线民丰段部分段落位于和田南部藏北高原区, 地形起伏不大, 海拔 4 800~5 297 m, 沿线从藏北高原过渡地带到藏北高原新藏界范围均分布有多年冻土。其含冰土层主要为角砾土、碎石土等粗粒土, 属不融沉~弱融沉性多年冻土。其中山脊处以少冰~多冰冻土为主, 沟槽中以多冰~富冰冻土为主, 局部为饱冰冻土; 多年冻土厚度不一, 上限为 1.0~1.5 m。现场实测地温为 $-0.52\sim-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 据此评价区内多年冻土属高温不稳定多年冻土。

2 沿线多年冻土发育条件

(1) 气候。新疆和田南部藏北高原地区平均海

拔在 4 900 m 以上, 主要以寒冷干旱高原气候为主。全年降水量少, 日照时间长, 蒸发量大, 年平均气温低, 多风。据南端改则县气象站资料, 改则县年平均气温 $-0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1 月平均气温 $-12.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 7 月平均气温 $11.9\text{ }^{\circ}\text{C}$; 年平均降雨量 189.6 mm, 极端降水量最大 295.8 mm(1977 年)、最小 84.5 mm(1982 年); 降水主要集中在 6—9 月, 降水量为 170.8 mm, 占全年降水总量的 89.94%。受地形地貌、海拔高度及纬度差异的影响, 气温呈明显的地理分布特征。新疆和田南部藏北高原地区海拔比改则县更高, 区内气候条件比改则县更恶劣, 降雨、降雪更稀少, 气温更低, 这些因素形成了多年冻土得以保存的外在条件。

(2) 地形、地质。该项目所在高原区地形起伏不大, 以高原丘陵地貌和高原冲积平原地貌为主。受强烈构造运动影响, 道路沿线褶皱、断裂、储水构造极为发育, 地层主要为第四系全新统角砾, 稍密~中密, 充填中细砂, 山前冲洪积层分布着深厚松散的砾石层, 构成储水空间和移动通道。据地质调查, 地形低洼处排水不畅, 多年冻土较发育; 苦牙克大裂谷进入藏北高原过渡地带为高原区水源补给区排泄通道, 且覆盖层较厚, 该处多年冻土较发育; 多年冻土厚度由高原平台顶(0.8 m)至下部逐渐增大, 多年冻土由少冰多年冻土逐渐变为富冰多年冻土。

(3) 水文特点。和田南部藏北高原地区地表水主要为天然湖泊, 主要分布在昆仑山区羌塘高原内陆区, 由昆仑山冰雪融水在低洼处形成高原湖泊。以该区降水及高山冰雪融水形成的径流进行补给, 维持湖泊面积的稳定。地表部分被第四系覆盖, 地

下水多储存于多年冻土层中,多年冻土表层一定深度内的水随着季节交替冻融循环,为高原湖泊和地表水的重要补给源。

3 多年冻土路基的处理

3.1 处理措施

目前,冻土路基处理主要采用保护冻土并控制

融化速率的原则,一般少冰多年冻土采用抬高路基的措施,但在冻土含冰量高、冻土温度较高、冻土地质条件较差的路段,路基抬高过大已不经济或出现高路堤问题,无法达到保护冻土并控制融化速率的目的,需进一步采用其他隔热、自然降温措施。主要处治措施及其优缺点见表1。

该项目经过冻土路段多以填方通过,但局部从

表1 多年冻土路基处治措施比选

处治措施	原理及优缺点
片块石通风路基	通过片块石路基内的孔隙($\geq 20\%$),利用内外温度场的不均匀性形成空气对流,降低路基内温度。可提高地基和路基的承载能力,便于施工单位在暖季施工,耐久性好,后期易于养护;片块石材料和施工质量不易控制
通风管路基	通过管道将路基内的热量传导出,起到降低路基温度、稳定冻土的作用。暖季外部暖风会造成路基内温度升高,管道周围压实困难,施工不便
热棒路基	通过将工作介质循环蒸发和冷凝把路基内热量传导出,将外部冷量传导至路基内,起到降低地温、稳定冻土的作用。降温效果好;有效半径小,埋设密度大(1.5~2.5倍有效半径),成本高,施工不便
保温隔热板路基	通过隔热材料将减少或隔断路基上部热量传导至路基下部,进而影响多年冻土的稳定。隔热效果明显;隔热材料抗压强度有限,施工过程易造成材料损坏,且不利于路基内热量导出

苦牙克大裂谷进入藏北高原过渡地带因地形起伏较大,路线在爬升克服高差过程中不可避免地采用路堑方式通过。在多年冻土路基处治中,根据填挖情况,结合土质类别、含冰量、地温等实际情况,考虑以上处治措施的适用特点,分别采用如下处理方案:

(1) 对于少冰、多冰冻土路段,在地基无软弱土的前题下直接采用砾类土填筑路基,不进行特殊处理,保证路基有一定填筑高度(一般不小于3.0 m),路基两侧做好截排水设施。在不破坏多年冻土现状

的情况下直接填筑路基可使多年冻土上限升高,但随着路基内含水量的降低,路基上部将不受多年冻土的影响。

(2) 富冰冻土填方路段采用片块石通风路基,片块石分2层填筑。上层采用规格10~15 cm的片块石,厚度0.2 m;下层采用规格不小于20 cm的片块石,厚度0.8 m。片块石层和路面结构层之间采用不小于30 cm厚的砂砾石填筑,路基两侧做好截排水设施(见图1)。

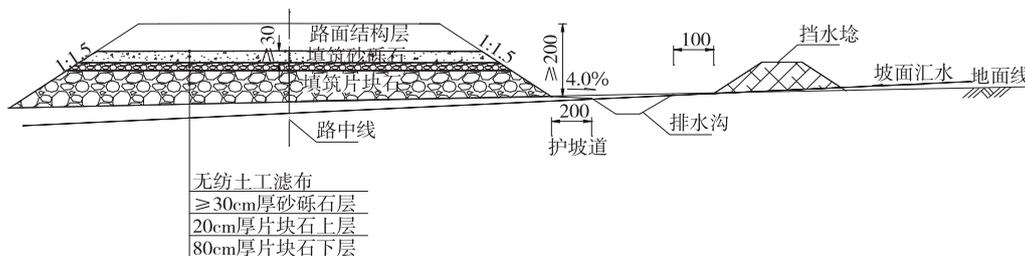


图1 片块石通风路基断面示意图(单位:cm)

(3) 对于低填及挖方段,路面底部以下铺设砂砾石防冻层,换填路面结构层以下1.5 m砂砾石,两

侧设置加深边沟,挖方边坡坡率1:1.5。受造价限制,挖方坡面未采取隔热保温措施(见图2)。

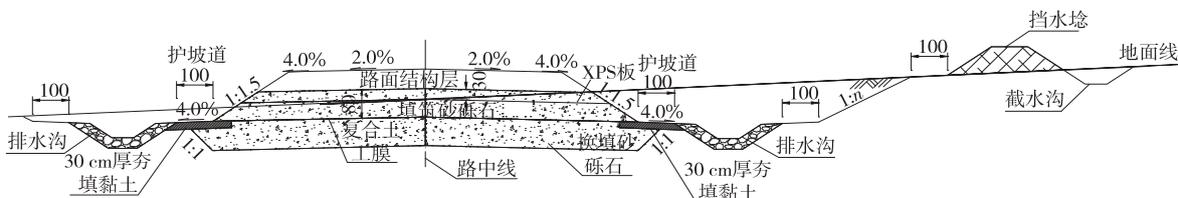


图2 低填及挖方段多年冻土换填示意图(单位:cm)

(4) 路基、路面分期实施。XPS 挤塑保温板隔热路基、片块石通风路基、通风管路基及热棒路基有一定效果,但还不能完全解决多年冻土带来的问题,建成初期依然会出现很多病害,特别是多年冻土段采用沥青面层铺筑后病害比砂石路面明显增加(沥青面层和半刚性基层脱离现象严重、水泥稳定砂砾基层在低温条件下不易形成板体、路基路面出现融沉变形沉陷),路基在建成后通过长时间在自然条件下达到新的平衡后才能稳定。因此,路基、路面应分期实施,路面在路基建成通车 2~4 年后铺筑,这样既有利于病害处治,也可避免浪费大量资金。

3.2 施工中遇见的问题及解决方案

多年冻土路段一般建议在寒季施工,但该项目区海拔高度在 4 800 m 以上,寒季温度较低,通常在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,如此高的海拔和低温对施工中的给养带来极大挑战,施工成本巨大,在寒季施工不现实。

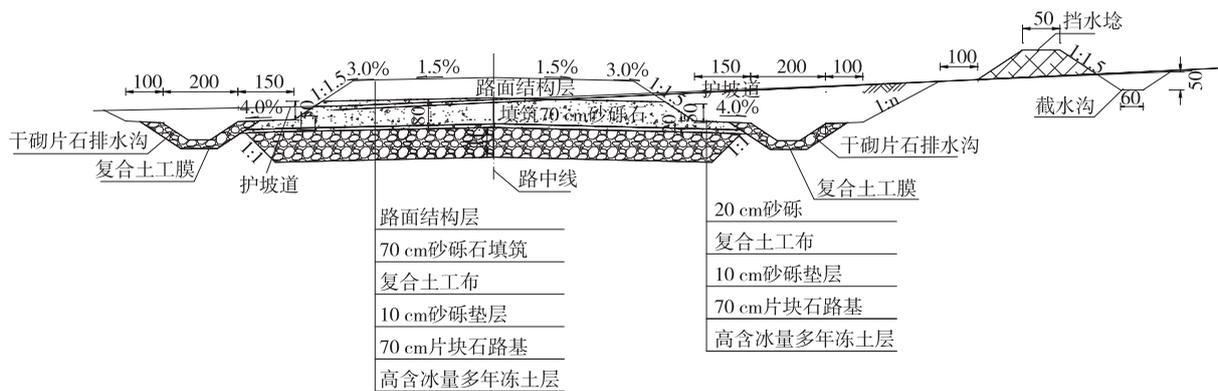


图3 低填及挖方段多年冻土换填片块石示意图(单位:cm)

(3) 该项目在多年冻土段受地形限制出现较多挖方路基,多年冻土挖方一般建议在寒季施工,但受环境限制,该项目在夏季施工,采用挖掘机对挖方段多年冻土进行开挖。根据现场挖方情况,少冰多年冻土边坡在开挖至 1:1~1:1.35 时基本稳定,且边坡渗水较少,边坡坡率可适当调整;多冰及富冰多年冻土挖方边坡按设计 1:1.5 进行开挖,开挖后冻土直接暴露于地表,边坡冻土出现快速融化情况,边坡开挖十几分钟后即有融水渗出,但边坡整体较稳定,未出现边坡垮塌现象。现场调查发现自然稳定边坡的坡率为 1:1.3~1:1.5,实践表明开挖边坡坡率采用 1:1.5 是稳定、可行的。另外,受施工季节影响,该项目开挖边坡处于融化渗水状态,对边坡进行隔热保温防护施工较困难,效果也十分有限,如果造价有限,对挖方边坡可不进行防护,让其自行融化稳定。

为此,施工单位不得不在夏季对多年冻土段进行施工。由于气温较高,地表的多年冻土融化使表层土体含水量增高,部分低洼处接近饱和状态,过高的含水量造成地基承载力极低,给施工带来极大不便。针对这种情况,考虑到施工的便利性和可行性,对原设计处理措施进行调整。

(1) 少冰、多冰未进行特殊处理冻土的段落,施工过程中出现表层冻土融化现象,造成施工机械和人员无稳定的施工平台,无法进行正常施工。为此,在地表填筑一层不小于 50 cm 的片块石作为施工平台,再进行正常路基填筑。

(2) 挖方段多年冻土在路基开挖后出现冻土快速融化现象,无法进行填前碾压及路基换填砂砾施工。为便于施工并避免路基出现沉陷病害,调整下部换填方案,将多年冻土路床底部换填 70 cm 砂砾石防冻层调整为换填 70 cm 片块石(见图 3)。

4 结论

(1) XPS 挤塑保温板隔热路基、片块石通风路基、通风管路基及热棒路基等多年冻土处治措施在实际应用中有各自的优缺点,从已建成道路使用效果来看,片块石通风路基是处理多年冻土最直接、最有效且施工较方便的一种措施,多年冻土地区工程建设中可重点考虑采用。

(2) 多年冻土区因其特殊的地质条件,对工程项目有着长期的影响,从节约造价及工程项目耐久性考虑,有条件的项目在项目立项初期应考虑路基和路面分期实施。

(3) 地基土中含水量大是造成多年冻土病害的根本原因,在路基范围做好截、排水设施降低地基的含水率可降低多年冻土上限并有效减轻多年冻土融

(下转第 77 页)

明黄土路基自身的防渗性较差。

2.3 沉降变形分析

在土体自重、荷载及浸水后湿陷作用下,黄土路基会发生一定沉降变形,其随时间的变化见图 6。

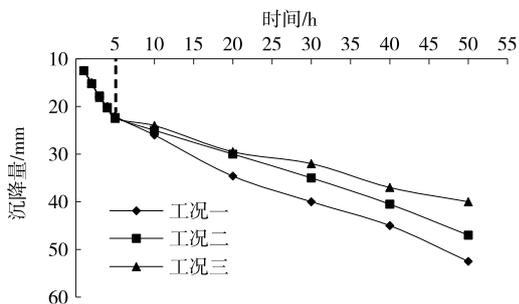


图 6 不同工况下黄土路基沉降变形曲线

从图 6 可看出:3 种工况下路基沉降变形分为初期沉降变形期(0~5 h)、稳定变形期(5~50 h)两个阶段。在初始沉降变形期,3 种工况下沉降变形相差极小,试验 5 h 后,工况一下沉降变形为 22 mm,工况二下沉降变形为 22.3 mm,工况三下沉降变形为 22.5 mm。在这一阶段,黄土路基发生的沉降变形主要由路基填筑时的不密实性(欠密实性)所引起,此时水分还未完全渗透浸入路基底部,黄土路基的湿陷性对沉降变形的影响较小。在路基上部荷载及土体自重作用下,黄土路基发生较大沉降,且沉降速率较快。随着时间的推移,因土体自重产生的沉降变形基本稳定,此时黄土路基底部遭受浸水作用,开始产生湿陷性沉降变形,但湿陷性沉降变形速率小于自身沉降变形速率。由于不同防渗结构具有不同防渗挡水效果,后期沉降变形逐渐显现,防渗结构的防渗效果越好,路基的湿陷性沉降变形越小,故工况三下沉降变形最小,工况二下沉降变形居中,工况一下沉降变形最大,试验 50 h 最终沉降变形分别为 40、47 和 52.5 mm。

3 结论

(1) 灰土防渗墙的防渗效果最佳,灰土挤密桩次之,未作处置时黄土路基的防渗效果较差,试验

50 h 后黄土路基的含水率上升量分别为 3.2%、9% 和 17%。

(2) 黄土路基含水率随深度增加而降低,这是因为水分渗入存在相对滞后。

(3) 黄土路基的沉降变形呈两阶段变化特征,第一阶段主要由上部荷载及土体自重作用引起,第二阶段主要由黄土湿陷性引起,且前者的沉降变形速率大于后者;采用灰土防渗墙处置时沉降变形最小,灰土挤密桩的沉降变形居中,未作处置的黄土路基沉降变形最大。

参考文献:

[1] 方恺,左元龙.不同湿陷性黄土深度下的桥梁桩基承载力分析[J].湖南交通科技,2019,45(2):123-125+141.

[2] 李新明.湿陷性黄土地区建筑地基处理技术研究[J].工程建设与设计,2019(16):45-46.

[3] 宁宏坤.晋南地区黄土湿陷性研究[J].工程建设与设计,2018(16):38-39.

[4] 许勇.某高速公路湿陷性黄土路基沉陷病害旋喷桩处治技术研究[J].山西交通科技,2018(4):9-12+31.

[5] 李永刚.强夯法在 G218 湿陷性黄土路基处理中的应用[J].山东交通科技,2018(1):50-51+57.

[6] 王红梅,赵根根.干拌水泥碎石桩处置既有湿陷性黄土路基沉陷及其效果评价[J].内蒙古公路与运输,2015(6):15-18.

[7] 王鼎,葛忻声,甄正,等.内外套管组合沉管夯扩法在大厚度湿陷性黄土地基中的现场试验研究[J].建筑结构,2019,49(6):134-137.

[8] 边陇超,孙梦青,詹兴吉.灰土挤密桩在处理桥头湿陷性黄土路基中的应用[J].公路交通科技(应用技术版),2017(7):57-58.

[9] 张培泽.变桩间距高压旋喷桩联合土工格栅加固桥头黄土路基沉降监测与规律分析[J].山西交通科技,2018(1):14-17.

收稿日期:2019-12-29

(上接第 74 页)

沉病害。

参考文献:

[1] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司.多年冻土地地区公路设计与施工技术细则:JTG/T D31-04-2012 [S].北京:人民交通出版社,2012.

[2] 汪双杰,李祝龙,章金钊,等.多年冻土地区公路修筑技术[M].北京:人民交通出版社,2008.

[3] 王春雷,张戎垦,赵晓萌,等.季节冻土区高速铁路路基冻胀监测系统及冻胀规律研究[A].冰川冻土,2014,36(4):202-208.

收稿日期:2020-12-27