

国道216线冻土层研究及对工程建设的影响

曾国财

中国冶金地质局西北局 陕西 西安 710000

摘要: 本文通过工程实例对青藏高原多年冻土进行研究, 阐述了冻土特征, 冻土形成的条件, 冻土对工程建设的影响, 提出了解决冻土对公路建设产生不良影响的解决措施

关键词: 地质; 路基; 冻胀与融沉

1 本论文研究的主要内容

本文以国道216线(西藏境)区界至改则段为研究对象, 收集工作区地形地貌、气候、地层岩性、水文地质、地质构造、新构造运动及地震发育情况等有关资料, 采用工程地质调绘、钻探、物探、室内试验等综合勘探方法, 进行沿线冻土调查研究:

(1) 查明沿线多年冻土的类型, 特征, 及其他地理环境的相互关系; 查明季节融化层, 多年冻土层厚度; 查明多年冻土层的物质成分、性质与含冰量、冻土组构类型、地下冰层的厚度与分布特征; 查明冻土层的物理、力学和热物理性质, 冻土融沉特征, 平均地温, 地温年变化深度等。

(2) 根据沿线工程地质区段, 阐述冻土对拟建线路的影响, 并对该冻土路段的工程地质条件进行评价。

(3) 提出有针对性的工程措施建议。

2 国道216线(区界—松西村段)沿线冻土特征

2.1 冻土调查方法

国道216线(区界-改则段)沿线冻土特征的研究工作依托于中冶地集团西北岩土工程有限公司开展的“国道216线(西藏境)区界至改则段—标段公路新改建工程”项目, 采用工程地质调绘、钻探、挖探、物探等综合勘探方法, 开展沿线冻土的调查工作。

2.2 多年冻土

多年冻土成为本路段内分布最广、规模最大的特殊性地质体。拟建路线所在区域位于连续片状多年冻土区。本文从气候、地形地貌、岩性和含水性、地表水及地下水、冻土地温、冻土分布特征、冻土的冻胀及融沉等促成冻土发育的各项条件方面分述如下:

(1) 气候

由于本路段地处藏西北高原, 远离海洋, 项目位于喀喇昆仑山脉以南、冈底斯山脉以北的藏北寒冷干旱高原气候区。

本路段区全年降水量少, 日照时间长, 蒸发量大,

全年平均气温低, 多风。以狮泉河气象站的气象资料作为本路段设计参考。

狮泉河气象站观测统计资料表明, 年平均气温 0.4°C , 极端最高气温 27.6°C , 极端最低气温 -36.6°C 。低于 0°C 的气温每年平均有263天, 年均降水量仅 73.4mm , 年最大降水量 136.5mm , 全年日照时数年均 3544.2 小时。平均相对湿度为 33.6% 。本地区年平均地温 5°C , 最低地温 -7.2°C (记录于1978年1月份)。地面极端最高气温 69.8°C , 地面极端最低气温 -51.7°C 。这些因素形成了多年冻土得以保存的外在条件。

(2) 地形地貌

线路处于高海拔地区, 地面海拔高度在 $4961.97\text{--}5264.44\text{m}$ 之间, 平均海拔 5092m 以上, 5000m 以上占全线的 93% 。沿线微地貌有湖盆宽谷区、河流宽谷区、低山丘陵区及冲洪积平原区, 均属于堆积沉积为主的地形地貌。成因对冻土类型及特征等影响较大: 残积冻结土呈疏松状态, 含冰量较少、局部有粒状冰; 坡积冻结层较厚, 含冰量较多; 冲积上升地区, 接触式砂砾冻结层, 含冰少, 下降堆积沉积区, 上部粒状冰整体构造, 下部包裹状黏性土层; 洪积上部常见冰充填于部分孔隙, 含冰少, 下部黏性土层及粉粘粒多, 含冰多。阳坡段含冰少, 上限深; 阴坡段含冰多, 上限浅。一般来说, 地貌为封闭或半封闭洼地, 地形相对低洼, 地表排水不畅, 地形朝向背阴的地方, 冻土上限较浅, 含冰量较大; 反之上限相对埋深较大, 含冰量较小。

(3) 岩性和含水量

岩性和含水量是影响多年冻土上限和冻土类型的重要因素, 即细粒土较粗粒土的冻土上限浅, 且含水量大, 冻土上限浅, 冻土类型多为富冰、饱冰冻土; 粗粒土反之。本地区地层以粗粒土为主, 粘粒含量一般, 约 $10\text{--}20\%$ 。地下水位较浅(一般 $0.5\text{--}2.8\text{m}$), 冻土上限一般埋深较浅(一般 $0.5\text{--}3.1\text{m}$)。

(4) 地表水和地下水

流动的地表水和地下水在运移的过程中吸收了大量的热量,向地下渗流提高了地温,加速了多年冻土的融化,导致冻土上限下移,甚至消失造成融区^[1]。

本区多年冻土按含冰量划分,少冰-多冰冻土占70%,富冰-饱冰冻土占30%。据勘察资料,本区第四系松散地层以粗粒土为主。研究资料表明粒径0.02-0.005mm为分凝冰形成的最佳粒度范围,对于粗粒土而言,形成地下冰的多寡则主要取决于其中小于0.075mm颗粒含量的多少,该区粉粘粒含量高的角砾及粉质黏土等含冰量相对较高,冻土类型以多冰-饱冰冻土为主,多为层状构造,粗粒冻结或被冰分离,细粒土冻结可见薄透镜体冰。

(5) 冻土地温

据相关资料,青藏公路勘察的多年冻土经验及有关资料进行类比分析,本区多年冻土的年平均地温 $T_{cp} = -2.0^{\circ}\text{C} \sim -3.5^{\circ}\text{C}$,属于低温多年冻土。

冻土温度、厚度、上限等主要受海拔高度的控制,冻土上限与微地貌、地形朝向,植被、地下水、岩性等密切相关^[2]。

(6) 冻土分布特征

多年冻土为连续片状多年冻土,分布于线路全线,冻土类型为少冰、多冰、富冰和饱冰。其中少冰-多冰冻土占70%,富冰-饱冰冻土占30%以上。冻土天然上限深度0.5-3.1m,一般有含冰量随深度而增加的趋势,一些少冰冻土向下逐渐过渡为富冰冻土、饱冰冻土;细颗粒土含冰量大于粗颗粒土。

(7) 冻土的冻胀、融沉性评价

项目区多年冻土类型以少冰-多冰冻土,富冰-饱冰冻土。大部分路段路基土以角砾等粗颗粒土为主,粉粘粒含量小于15%,冻土含冰量低,为少冰-多冰冻土,多为不融沉或弱融沉;仅局部路段角砾粉粘粒含量较高,冻土含冰量高,为富冰-饱冰冻土,多为融沉或强融沉,且发育冻结层上水,易造成冻胀、融沉、翻浆等病害。

3 沿线冻土对公路工程的影响

多年冻土地区的公路建设和使用中,因特殊地质条件引起的路面破坏、路基失稳等公路病害时有发生,不仅严重影响了公路的正常使用,增加了维修养护费用,还可能造成巨大的经济损失。多年冻土地区的公路由于特殊地理位置、气候和地质条件经常发生病害,而且很难彻底治理。从寒区道路工程来看,主要的病害类型为冻胀和融化下沉。据不完全统计,青藏公路多年冻土区的病害约有80%为融化下沉,20%为冻胀破坏。

3.1 沿线冻土对公路工程的影响

多年冻土是一种特殊的土体,多年冻土区的活动层

每年都发生着季节性融化和冻结,并伴生有各种不良地质现象,产生多年冻土区一系列特殊的工程地质问题,主要有冻胀和融沉等现象。

(1) 冻胀

冻胀是多年冻土区应特别注意考虑的一个问题,它包括多年冻土以上的活动层和融区内的深季节冻土。对于低温稳定和基本稳定的多年冻土区,一般来说,其季节融化层厚度较小,且存在双向冻结,冻结速度较快,水分迁移较小,冻胀相对较轻。对于高温不稳定多年冻土区,季节融化层厚度较大,冻结速度也慢,如存在细颗粒土,和有足够水分补给,则可能产生较大的水分迁移,从而产生严重的冻胀作用。对多年冻土区的融区及季节冻土区,如果地下水埋藏较浅并且有冻结敏感性土,则有可能产生冻胀。另外由于路基填筑材料不均匀,或不同岩性和水文地质条件的路基过渡处理不当,可能引起不均匀冻胀。用粉质土和粘性土填筑的路基中,由于冻结时水分迁移可能在上部聚冰而引起冻胀和翻浆^[1]。

(2) 融沉

在多年冻土上限附近往往存在厚层地下冰或高含冰量冻土层,由于埋藏浅,很容易受天然因素或人为活动的影响,而产生融化下沉,这是多年冻土区地基变形和破坏的主要原因。长期以来,路基下人为冻土上限较天然冻土上限高度下降了大约1m~3m,路基沉降约为0.5m~1m^[1]。

路基修筑后改变了地表层的水热交换条件,并引起基底层压缩或破坏表层土,多年冻土天然上限的深度也将发生变化。筑路填土增加了热阻,是有利于上限上升的因素。当路堤很低时,热阻小,使上限上升的因素弱,如其小于因地表破坏使上限下降的因素,上限将会下降从而产生多年冻土的融化下沉。随着路堤高度的增加,使上限上升的作用也随之增大,当增大至等于上限下降因素的作用时,就能保持路堤下冻土上限不变从而使冻土地基保持稳定。保持路堤下冻土上限不变的最小路堤高度称路堤临界高度,当路堤高度大于临界高度时,上限将上升,而小于临界高度时,上限将下降。当采用保护冻土的设计原则在冻土区筑路时,路堤高度一般应等于大于临界高度。但路堤高度并非越高越有利于保护冻土。在高温冻土区,当夏季施工的路堤高度超过一定值时,会在路堤内形成融土核,造成冻土内冻结冰的融化,而使路堤下沉;再则,路堤过高时,对东西走向的路堤,坡向对冻土上限的影响就会加大,从而引起上限不均匀下降,可能产生路堤不均匀融沉。因此,一般来讲,合理的路堤

高度是保证多年冻土路堤稳定的关键。

路基的修建改变了地表水和地下水的径流条件。当排水措施不当时会产生路基过水或积水现象。由于水体的热作用,使冻土上限下降,多年冻土地下冰融化,导致路基下沉甚至发生突陷,这种情况应当严格避免^[1]。

出现路基融沉病害的路段的冻土类型主要是富冰-饱冻土,含冰量较高,其天然冻土上限较低,地下水比较丰富。

3.2 工程措施建议

根据调查项目区冻土属于低温多年冻土。路基工程应综合考虑其含冰量条件,进而采取强化的综合技术措施,以保证多年冻土路基稳定。建议设计时考虑尽量采用填土高度满足保护冻土的临界高度要求,受局部微地貌限制,不能满足最小临界填土高度要求时:对于填方路基的少冰,多冰路基段落,按照一般路基进行处理。根据现场调查情况针对部分多冰路基段落的挖方路段,进行路基土体改良或置换,提高冻土路基的稳定性。对于富冰、饱冰、含土冰层的多年冻土路基段落,根据工程地质条件,采用保温板路基、片块石路基、热棒路基等的单项或组合形式进行多年冻土路基段落的处理。

多年冻土路段桥梁基础建议采用桩基础。设计中应进行冻胀变形与融化下沉变形检算,以保证路桥平顺过渡,防止“桥跳”的发生。在融冻过渡地段,桥梁工程基础应尽量放在单一的融区或冻土区中,若无法避免跨越融冻过渡带,桥梁须以大跨度通过。

多年冻土区隧道工程措施的关键是需处理好防排水、保温及抗冻胀衬砌结构三个环节。隧道防排水可采取防、排、堵、截结合,多道防线、综合治理的原则。要选用导热系数小,耐低温的防水材料。排水沟及排水沟进、出口段应注意保温、防冻。在隧道衬砌内应设隔热板等工业保温层。结构设计要考虑可能产生的冻胀力,施工中注意减少热交换。洞口应注意对冻土的保护,少挖或不挖坡,采用接长明洞,尽量不破坏进出口地貌。

针对全线沉陷翻浆的形成原因,建议设计中从两方面采取措施:(1)完善排水设施,将地表水及时排导至路基范围外;抬高路基,减小毛细水和冻土融水对路基土的影响,使路基土保持较干燥状态。(2)在土质松软、粉粘粒含量高、沉陷翻浆严重的路段,除加强排水外,另作粗颗粒土或片石换填。

结论

(1)通过工程地质调绘、地球物理探测、钻探、试验等手段查明了沿线冻土的分布特征,拟建项目分布连续片状多年冻土。本区多年冻土的年平均地温 $T_{cp} = -2.0^{\circ}\text{C} \sim -3.5^{\circ}\text{C}$,属于低温多年冻土,冻/土类型多为多冰、富冰冻土,局部少冰。地表多见石环、冻拔石、冻融条带等冻土地质现象,冻土天然上限一般在1.5-4.6m以内,大部分为1.5~2.5米之间。在垂向上,含冰量则有随深度而增加的趋势,一些少冰冻土向下逐渐过渡为富冰冻土、饱冰冻土甚至含土冰层。拟建路段冻土层总厚度较大,钻探深度内未见冻土下限。

(2)沿线冻土对公路造成的道路病害主要有冻胀及融沉。其中冻土层上水发育的细颗粒土路段、富冰、饱冰冻土路段冻胀融沉现象比较严重;在夏季冻融后将会该段公路存在全线路面翻浆的问题。

(3)对沿线冻土进行了工程地质评价,总体上,全线工程地质条件一般。

(4)根据沿线冻土勘察、道路病害发育的具体情况,提出了具体的有针对性的整治措施建议。

参考文献

- [1]吴小丽.青藏高原多年冻土和季节性冻土区土壤水分变化及其与降水的关系[J].水文.2021(1):73-78.
- [2]杨林.青藏高原多年冻土地区热融滑塌形成机理及处治措施探讨——以青藏铁路格拉段K1154+900~K1155+000段为例[J].青海科技,2022(1):87-90.
- [3]马红绛.郭彦荣.杨有海.兰新铁路路基土冻胀特性试验研究[J].铁道建筑.2010(11):78-80.