

# 季节性冻土路基处理措施与施工

解艳明

中国路桥工程有限责任公司

**摘要：**季节性冻土，就是在寒冷季节形成多年冻土，在温暖季节进行融化的土壤。冻土层包含的水分非常多。当冻土层暴露在比较炎热的天气下，会慢慢的进行融化，从而致使地面下沉。如果在上面修建公路或者建筑物，很容易对其造成破坏。现阶段，我国对季节性冻土区公路路基冻害进行了深入研究，也获得了非常大的进展。基于此，本文对季节性冻土路基处理措施与施工进行了详细分析。

**关键词：**季节性；冻土路基；处理措施与施工

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.11.052

## 引言

我国的季节性冻土在全国陆地总面积中达到了一半以上。季节性冻土区的路基主要是处于比较开放的环境中，会进行周期性的冻融循环，这也严重的影响了公路的正常运行。在公路部门进行统计中，我国北部公路70%以上的灾害是由冻胀和浆化引起的。相关研究表明，不管是在冬季冻胀还是在春夏秋季的浆化，都会造成基床表面发生改变，不仅会极大的影响公路的正常运行，增加了安全风险，而且在进行维修的过程中，需要投入的资金也比较多，不利于区域经济的发展。由于季节性冻土对我国公路路基会造成非常严重的破坏，许多有关部门在破坏形式、成因、妨碍因素及预防措施等方面做了大量研究工作，取得了可观的成果。

## 一、冻土的概念和分类

任何温度为零摄氏度或负温度的土壤，会产生冰，同时也会让土壤出现颗粒胶结，这也被称为是冻土。冻土的形成主要是因为土壤中的含水量比较多，当温度到达零度或更低时，土壤中的水就会凝结成冰，形成冻土。通过按照冻结的时间长短，能够划分成多年冻土以及季节性冻土。多年冻土也被称为是永冻土，是指三年以上未解冻的一层土壤。永久冻土常存在于地下一定深度。表层土壤在冬季进行结冰，夏季发生融化，也被称为是季节性冻土。多年冻土层的顶面与动土表层的距离，也被称为是多年的冻土上限，是多年冻土区公路设计的重要依据。多年冻土主要包含两层：上部主要是夏季能够进行融化的活动层，冬季冻结的活动层主要是常年不解冻的冻层。永久冻土是寒冷气候的产物（年平均气温 $<-2^{\circ}\text{C}$ ）。季节性的冻土层主要是在冬季进行冻结，夏季会发生融化，冻结的时间一般都是在在一个季节之内，也被称为是季节性的冻土。冻土是由土壤颗粒、水、冰、气体等组成的多相组分的复杂系统。冻土和未冻土的物理力学性质相同，但鉴于冻结过程中水相的变化及其因素在结构和物理力学性质上，冻土具备与未冻土不同的几个特征，如冻结过程中水分的变化。移民；

冰沉淀、冻胀和融化。发表论文，永久冻土路基。这些特性也会导致多年冻土以及季节性的冻土对建筑物造成极大的危害。

## 二、季节性冻土区公路路基的冻害破坏形式

### 1、翻浆

翻浆主要是因为水集中在地表，特别是在春季融化时，从路面顶部到底部溶化的水会慢慢的渗入路基中，不能及时进行排出。此外，春季土壤在融化的过程中，由于早晚温差相对较大，会反复进行冻融，对道路结构造成了极大的破坏，降低了道路强度，最终削弱了道路的承载能力。从道路险情调查来看，北方出现了多处路面翻浆现象。在某些地区，春季高速公路上有各种各样的水坑。同时，水坑造成的凸起大多数情况从车道方向发展，不利于车辆行车安全，妨碍行车舒适性。季节性冻土区较为集中，破坏程度不同。现阶段，全国部分地区的道路正遭受季节性冻害。经报告，道路冻害通常比较严重，一定要修复后才能继续选用。

### 2、冻胀

路面变形是一种路面破坏非常严重的变形。这种变形的特点是变形相对较大，横向非常的不均匀，经常会发生纵向裂纹的情况。冻胀还具有非常突出的侧向挠度，路面中间大于两侧的冻胀量。北方地区受冰冻温度的影响，更容易出现冻胀裂缝，而长期未建设的道路也很容易受到冻胀的危害。随着车辆的通行，冻胀的缝隙也会不断增加，这也会对整体路面造成严重的破坏。这种损伤在国道的冻害中是非常常见。在横向裂缝的发展中，还会导致发生纵向裂缝，对人们的出行造成不利影响，不利于进行道路的养护。

### 3、冻裂

鉴于土壤局部冻胀不均匀造成路基横向变形，或冬季气温急剧变化，土壤收缩不均匀后发生横向变形，造成路基和路基的横向变形。路面局部不平整，虽然这种横向变形会在春季快速释放，但反复冻融循环的因素会直接破坏路基的稳定性，在外部车辆载荷的因素下会发生振动，从而致使路基坍塌和滑坡。

### 4、解冻沉降

在多年的冻土区，由于地下冰层非常浅，在施工以及运营的过程中，由于不同因素的影响，路基基础的自然结构以及物理状态也会出现极大的改变，从而致使永久冻土的局部解冻。表层土层在自重和外荷载的因素下沉降，进而引起路基变形。典型的路基沉降涵盖慢沉型和极沉型。前者发生在多年冻土区，冰层丰富且饱和，因此施工和运营对该地区的干扰相对较慢；后者发生在厚厚的地下冰层中，因为外部因素的因素促使厚厚的冰层融化，造成大面积融化，向阳侧的路肩以及边坡也会

发生裂缝、滑坡以及坍塌的情况。

#### 5、冰害

多年冻土区也会出现典型的冰丘、冰锥和流冰。地下水在冬季结冰，并被多年冻土和冰冻表面所阻挡。在顶盖薄弱的区域，鉴于冻胀效应，路面会隆起，逐步形成冰丘。这些病害会在春天回暖时消失，但容易因冻融循环而开裂。

### 三、季节性冻土区公路路基冻害制约因素

#### 1、路基土壤质量

研究数据表明，土壤质量对土壤冻胀的因素表现在粒径组成、密实度、液塑限、渗透性以及矿物组成等方面。土壤的冻胀是鉴于水的迁移造成大量水分的积累，而水分的迁移主要取决于土壤颗粒本身的性质。因此，土壤的基本性质会对土壤的冻胀形成较大的效果。粉砂和黏粒多的土壤更容易发生冻胀，粉质土的冻胀是非常大的，黏性土相对较差，砾石土冻胀量最小。土壤的矿物组成直接妨碍土壤颗粒表面的物理化学性质。矿物颗粒对土壤冻胀的因素取决于矿物的表面化学能，不利于冻胀的发生。

#### 2、温度

表层土冻结其实就是现在表层土中环境温度变化的具体过程。一方面，表土的任何部分暂时冻结的程度受该地区白天气温和水泥混凝土路面填料的导热控制。需要分析该地区白天的气温和表土的热化学性质，算其他地区的临时冻结深度。与预想不同的是，内部温度和环境温度相互间的差异不一定相同。差异的大小与地表条件之间是紧密相连的。随着冻融循环次数的不断增加，路基土的物理力学性质也会受到极大的影响。在实际工程中，常用的冻结指数是负气温的累积次数。温度越低，冻结的速率也就越大，路基土壤冻结的深度就越深，路基冻结的可能性也就越大。

#### 3、土壤水分

土壤中的含水量也是造成冻胀的物理因素。通过实践证明，只有当土壤中的水分达到一定的限度时，才会出现冻胀。在同等外部条件下，土壤含水量越高，冻胀越大。在自然界中，路基的含水量受降水、地下水位、地表水流量等的影响，地下水位对冻胀影响特别大。当冻结区的地下水位比较高时，很容易发生强烈的冻胀。

### 四、季节性冻土路基处理措施与施工措施

#### 1、多年冻土路基设计原则

第一，保持冻结原则。在公路路基施工以及使用的过程中，需要确保基础底部的多年冻土始终处于冻结的状态。在冻土层较厚、地温较低、冻土较稳定区域进行施工时，需要综合分析技术可行性以及经济性。

第二，容许融化原则。在施工和选用过程中，久冻土融化。一是自然融化。适用于冻土厚度小、低温高的不稳定冻土，低等级土壤为未解冻或弱解冻冻土。二是人工融化。铺设基础前，对冻土进行人工解冻或开挖更换，宜用于较薄的解冻或强解冻的冻土基础。

#### 2、多年冻土区路基施工原则

第一，冻土保护原则是指采取使用该原理设计的路

基，需要在规定的使用时间内，确保热稳定性。这也就需要将其上限始终控制在规定的深度范围内，从而确保其多年冻土保持相应的冻结状态。

第二，控融原则主要是指在设计使用期限内，需要让设计路基（或边坡）的多年冻土慢慢进行融化，通过对融化沉降变形进行计算，能够对冻融融化的速率以及深度进行计算。

第三，冻土破坏原则是指在施工过程中，基层（或边坡）的多年冻土应全部解冻或清除（全部或至设计深度），同时需要把解冻的水进行排掉。

#### 3、多年冻土区路基施工前的准备工作

第一，施工前相关资料的收集：从某种角度来看，对于多年冻土区的公路施工，在路基工程开工之前，应充分采集该区多年冻土段的地质条件、水文特征、季节气候变化等信息，并应该收集数据。数据分析整理，全方位了解多年冻土区土壤特性、工程类型、冻土解冻和植被覆盖情况。

第二，施工前对施工段进行考察：组织相关人员对施工段进行实际考察，使施工组织更符合实际情况。调查应参照结合施工路段及周边地形特征和地表水分布情况、区域内不利多年冻土活动特征、周边相关交通通讯工程对未建设工程的因素等。

第三，施工前现场勘查测量：施工方应与工程设计人员一起到施工现场重新测量标准桩和连接道路中心线到中心线的控制桩，并及时做好相关数据记录工作。在施工现场，要重点对施工路段及周边地形、冻土等实际情况发生变化的施工路段进行附加测量。

第四，多年冻土区路基施工前，需要把部分路段用来充当试验路段，分析相关技术、数据和条件。路基工程正式开工前，施工方应对路基填料性能、路面压实机械条件、施工过程中冻土的因素等进行路段试验，相关施工工艺科学合理。

#### 4、多年冻土区路基开挖施工要点

第一，在多年冻土区路基工程建设中，路基开挖工程是至关重要的一环。在地下水含量充足的路基段，应做好路基边坡流水的防渗施工。堑坡顶距堑坡顶坡6米以上应设置挡水堰。道路上车辆和行人的安全。

第二，多年冻土区路基边坡加固需要采取使用能有效满足保温条件的材料，施工时满足铺设厚度但不提高施工工序的材料。例如：采取使用水平铺设、交错搭接的稻草铺设在特定路段上。富冰路段施工过程中，为防止富冰土层岩屑施工时基层发生冻胀、浆化，可采用使用足量渗流土代替冰层，原路段土壤肥沃。

#### 5、多年冻土区路基施工及填筑要点

第一，冻土区路基施工段冻土多为富冰和饱以及冰冻土时，路基建设工程禁止破坏路基及周边土壤中冰的冻结状态，并采取使用保护冻土的原则进行施工。路基边坡脚部应及时设置相关适宜的排水系统，与路基边坡脚部的距离应保持在规定距离。在冰量充足的路基路段，施工时禁止路基边坡脚部积水，堑坡边坡应及时铺装并填满草皮。当路基施工段在冰量较少的区域时，施

工时应尽量避免破坏土壤中的热流平衡。路基边坡脚尖与设置的排水沟的最小距离应大于或等于2米，富冰路段所建挡水垄与边坡脚尖的最小距离应更大大于或等于6米。

第二，多年冻土区路基基层建设，原则上以含冰量充足的细粒土进行基层填筑。病土应回填高渗透性土并充分压实，然后进行路基填土工作。在路基施工过程中，路基的施工高度应满足以下两点：一是施工过程中，防灌浆高度应低于路基施工最低填土高度；最小填充高度。二是施工需要依据保护冻土的原则，满足冻土上限不下降的原则。

第三，冻土区路基施工取土时，需要单独找一个取土场，取土场的土质与路基施工路段土质相差不大。如果路基施工路段的取土在富冰路段以及有土壤冰层的路段，为有效地对土源问题进行解决，临时取土点需要离施工场地在10米以外的地方。路基坡脚，避免取土过程妨碍路基。该地区的土壤质量有效果。取土施工中，为保持当地土壤特性，取土深度不应大于当地多年冻土层厚度的80%，取土过程中取土坑内积水应同时取出和排出。周围区域应覆盖草皮。

第四，在多年冻土区路基施工中，填料的选择应满足粒径较小的土体的保温隔热性能和防渗性能。通过采用黏性土和渗透性差的土填筑路堤时，应保证土壤的含水率，土壤含水率需要能够控制在2%以下。路堤施工以及填筑的过程中，需要避免使用冻土区的土壤以及含有植被层的土壤用作路堤的填土材料。

第五，路基工程施工后，应及时对成型的路基进行压实。压实机应为20吨以上的压路机，或其他具备相同效果的压实机，路基压实次数应适当，压实路基表面无压实机械工作轨迹，路面无软弹现象。

### 6、高含冰量冻土路基的特殊处理措施和施工

第一，保温层。路基保温层路基主要是在确保路堤高度的基础上，通过运用特殊的工业材料性能，提升路基的热阻，有效减少由于大气热融入路基的路基结构。可以实现保护冻土、延缓冻土退化的目标。

第二，碎石路基。当公路处于高原的高温、含水量高的多年冻土区，采取使用传统路基结构难以保证路基结构的安全稳定时，可使用碎石进行路基填料，通过运用碎石缝隙内空气对流的原理，能够让外界的冷空气对碎石路基内部的温度进行不断冷却，实现对路基保护的目标。

第三，遮阳板路基。通过采用遮阳板保护边坡，能够使路堤体和基土降温。在路基吸收热量较多的一侧，对遮阳板进行设置，能够有效地表面太阳对到路基边坡进行直射，辐射热有了非常明显的减少，路堤的温度也能够进行降低。同时，还可以屏蔽雨水，有效减少大气降雨对路基产生的影响，从而对冻土路基进行保护。在多年的冻土区，公路路基填土的高度在3m以上时，遮阳板护坡效果也是特别明显的，能够极大的减少地温。

第四，硅藻土护堤。硅藻土属于是非常疏松的多孔

结构，孔隙吸水能力非常强。水中融入硅藻土，也可以形成热交换的结构。在融化的季节，结构也能够少液态状态下的导热系数有利于防热。向路基方向转移；在冻结期，水分变成固态水，结构的导热性将大大进一步提升，从而让路基快速向大气进行散热，硅藻土一般是在秋季降雨非常多的多年冻土区。

第五，通过采用块石护坡保护冻土路基。这是主动保护路基的方法。寒冷季节来临时，岩层的导热系数比土壤高5-10倍以上，所以借助岩层进行施工能够增强地基的蓄冷能力，起到保护作用在冻土上优于其他类型。鉴于块石护坡路基逐步形成的孔隙率较大，能够允许空气流动或强制流动。当天气变暖时，热空气会自动上升，岩石的温度不会受到效果，仍然处于低温状态，其中的对流会变成对流热向上传递，而岩石的热量则不会受到效果。其次，当天气变冷时，冷空气会渗入缝隙，逐步形成向下的对流进行热交换，从而将更多的冷能传递到地基。正常情况下，冷暖季节的砌块的热传导量是差不多的，但热传导本身并不占热传递的很大一部分。另外，巨石护坡路的基因是缝隙比较大，自由对流比较强，能够交换冷能，屏蔽热量。

第六，冻区与保温路基相结合。施工人员通常采取使用先冻后保温的方法来处理公路路段相对狭窄的一些低填土路段的病害问题，使冻土恢复到人工上限。这种方法对此类部位的病害效果显著。一般在全年气温最低时进行施工。为保证路基的稳定性，常纵向开挖3-5m左右的冻结沟，然后选择路基两侧的位置错开。目的是要有足够的强度支撑坑壁，避免坑壁大面积塌陷，也有利于加固路基。冻结沟开挖成功后，冻沟两侧的坑壁和坑底都被冻结了四到五个月左右，以保证施工质量。

### 结语

路基对道路建设质量有着非常关键的影响。如果不进行合理的处理，不仅会对路基质量造成不利影响，还会对道路的使用时间造成影响。季节性冻土路基受自然条件限制，形成路基病害是各种条件相互作用的结果。只有对造成路基病害的各种因素进行综合分析，做出比较特殊的设计，采取相应的治理措施，才能有效提高工程质量。

### 参考文献

- [1] 李水生. 高寒和季节性冻土地地区路桥的施工技术[J]. 中国公路, 2020(09): 119-120.
- [2] 李水生. 高寒和季节性冻土地地区路桥施工技术[J]. 中国公路, 2020(05): 108+111.
- [3] 闫续屏. 高寒季节性冻土地地区地基处理冬季施工技术[J]. 施工技术, 2012, 41(01): 59-60+68.
- [4] 胡静. 严寒冻土地地区的公路路基处理技术探讨[J]. 黑龙江科技信息, 2015, 2(09): 43-45.
- [5] 来圣翔. 多年冻土地地区特殊路基热稳定性分析和路面结构响应研究[J]. 北京交通大学学报, 2016, 2(06): 22-27.