

DB15

内 蒙 古 自 治 区 地 方 标 准

DB15/T 2422—2021

高纬度多年冻土区公路路基
设计与施工技术规范

Technical specifications for design and construction of road subgrade
in high-latitude permafrost regions

2021-10-15 发布

2021-11-15 实施

内蒙古自治区市场监督管理局 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 3

5 路基设计 4

 5.1 一般规定 4

 5.2 设计原则 4

 5.3 地基处理 5

 5.4 路堤设计 5

 5.5 路堑设计 8

 5.6 过渡段设计 9

 5.7 边坡护道、护脚设计 11

 5.8 排水设计 12

6 路基施工 13

 6.1 一般规定 13

 6.2 施工准备 13

 6.3 路堤施工 14

 6.4 路堑施工 15

 6.5 排水施工 16

 6.6 路基检验与验收 16

附录 A（规范性） 多年冻土分类..... 18

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由内蒙古自治区交通运输厅归口。

本文件起草单位：内蒙古自治区交通运输科学发展研究院、中交第一公路勘察设计研究院有限公司、呼伦贝尔市公路勘测规划设计有限公司。

本文件主要起草人：汪双杰、张洪伟、王学营、陈建兵、刘茂海、白金泉、李铁、刘振孝、郑春明、符进、赵鑫、于晨、朱东鹏、赵晓亮、杨维亮、董元宏、吕骄阳。

高纬度多年冻土区公路路基设计与施工技术规范

1 范围

本文件规定了高纬度多年冻土区公路路基设计、施工及质量检查验收等内容。
本文件适用于高纬度多年冻土区各等级公路，其他多年冻土区可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 13761.1 土工合成材料 规定压力下厚度的测定 第1部分 单层产品厚度的测定方法
- GB/T 13762 土工合成材料 土工布及土工布有关产品单位面积质量的测定方法
- GB/T 13763 土工合成材料 梯形法撕破强力的测定
- GB/T 14800 土工合成材料 静态顶破试验(CBR法)
- GB/T 15788 土工合成材料 宽条拉伸试验方法
- GB/T 17639 土工合成材料 长丝纺粘针刺非织造土工布
- GB/T 19978 土工布及其有关产品 刺破强力的测定
- GB 50324 冻土工程地质勘察规范
- JTG D20 公路路线设计规范
- JTG D30 公路路基设计规范
- JTG/T D31-04 多年冻土地区公路设计与施工技术细则
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
- JTG 3430 公路土工试验规程
- JTG/T 3610 公路路基施工技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

多年冻土 permafrost

冻结状态持续两年及两年以上的土（岩）。

3.2

高纬度多年冻土区 high-latitude permafrost regions

我国东北北纬46° 以北、存在多年冻土的地区。

3.3

融区 thawed area

多年冻土区中由于外力作用形成的非多年冻土区域。

3.4

连续多年冻土区 continuous permafrost regions

多年冻土面积占区域总面积70 %及以上的多年冻土区域，即多年冻土的空间连续性大于等于70 %的多年冻土。

3.5

不连续多年冻土区 discontinuous permafrost regions

空间连续性小于70 %的多年冻土区域。

3.6

岛状多年冻土区 isolated permafrost regions

不连续多年冻土区的一种，空间连续性小于30 %的多年冻土区域。

3.7

地温年较差 annual range of ground temperature

地温在一年中最高与最低温度的差值。

3.8

地温年变化深度 depth of zero annual amplitude of ground temperature

地温年较差为零处的深度。

3.9

年平均地温 mean annual ground temperature

地温年变化深度处的温度。

3.10

多年冻土上限 permafrost table

天然条件或人为条件影响下形成的多年冻土层上界面。

3.11

不良冻土现象 frost hazards

在冻结和融化作用下产生的对工程有不利影响的地质现象，如冰锥、冻胀丘、融冻泥流、热融湖塘等现象。又称不良冷生现象。

3.12

冻土沼泽 marsh in permafrost areas

在多年冻土区，由于地表水、地下水的影响，地面长期潮湿，易生长喜湿和喜水植物的洼地。

3.13

冻土路基最小临界高度 minimum critical thickness of embankment

路面竣工后，保证原多年冻土天然上限位置不变的路基最小高度。

3.14

冻土路基最大临界高度 maximum critical thickness of embankment

在冻融循环作用下路基潜在滑移面与冻土体内冻结锋面重叠时的路基高度。

3.15

冷季 cold seasons

连续日平均气温在0℃及以下时为寒季，高纬度多年冻土区的寒季大致时间为当年11月底至次年4月底。

3.16

暖季 warm seasons

连续日平均气温在0℃以上时为暖季，高纬度多年冻土区的暖季大致时间为当年4月底5月初到当年11月左右。

3.17

能量平衡设计方法 energy-balance design method

基于公路构筑物与多年冻土地基间热能量互馈关系，以调控多年冻土地基能量平衡状态为设计目标，通过合理路基设计，维持多年冻土地基长期稳定状态，从而确保公路路基的长期稳定。

4 基本规定

4.1 应按照附录A中A.1对多年冻土进行分类。

4.2 公路地质勘察除应符合GB 50324要求外，还应重点查明公路沿线多年冻土的范围、界限、上限、厚度，地表植被与冻土的关系，冻土周围融区及地下水情况。勘察时间应符合下列规定：

- a) 冰锥、冻胀丘的调查在其发育期进行；
- b) 冻土上限的勘察在每年融化深度最大时进行。

4.3 路线选择除符合 JTG D20 规定外,山岭地区路线应选择在平缓、干燥和向阳的坡面上通过,线位宜高不宜低。多年冻土沼泽地区路线不宜选择在沼泽底部横坡较陡路段。

4.4 路基设计高度应考虑冻土路基临界高度,一般应大于冻土路基最小临界高度,且小于冻土路基最大临界高度。

4.5 公路路基设计应遵循宁填勿挖的基本原则,考虑冻土路基尺度效应,宜采用能量平衡设计方法。充分调查评价旧路利用的可能性。

4.6 路基填筑应选择冻胀或弱冻胀的土石填料,冻胀性分类见附录 A 中的 A.2。不应使用腐质土、草炭土、泥炭土、草皮以及冻土作路基填料。

4.7 开挖施工宜在初冬进行,应分层开挖、原土或洁净砾石回填,并做好隔热保温和临时排水措施。

4.8 二级及以上公路路基应进行动态设计、施工监测和长期监测,施工监测应包括多年冻土地温、沉降等,长期监测宜包括多年冻土地温、沉降、气候环境要素等。

5 路基设计

5.1 一般规定

5.1.1 路基设计除应收集气象、工程地质等基本资料外,还应收集多年冻土的上限、厚度、类型、地温等特征资料及物理、热学、力学等参数。改建、扩建公路还应收集既有公路路况、病害调查及防治资料。

5.1.2 地基处理时,应根据冻土勘察情况、设计原则及地表植被情况选择适宜的处理方案。

5.1.3 路基边坡坡率选择,应考虑边坡的热、力学稳定性和对植被存活率的影响。

5.1.4 路基设计应考虑水热环境变化对多年冻土的不利影响,做好路基排水防护设计。

5.1.5 路基取、弃土应统一规划,集中设置取、弃土场,路基两侧 200 m 内不应随意取土。取、弃土完成后,应恢复植被。

5.1.6 应加强对公路两侧地表植被的保护,保护现有天然林、人工林及草地。

5.2 设计原则

5.2.1 路基设计应依据多年冻土地区年平均地温、多年冻土类型、冻土总含水率以及路基病害调查资料,结合区内冻土分布、冻土变化情况以及路面类型,考虑工程建设的技术经济可行性与合理性,分段采用不同的设计原则。

5.2.2 符合下列条件之一时,宜按保护冻土的原则设计:

- a) 年平均地温低于 $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温稳定多年冻土区;
- b) 当地多年冻土天然上限小于 2 m,冻土厚度大于 10 m 的路段;
- c) 厚度超过 5 m 的连续多年冻土区高含冰量路段或岛状多年冻土区高含冰量路段;
- d) 存在不良冻土现象的路段。

5.2.3 符合下列条件之一时，宜按控制融化速率的原则设计：

- a) 基底地质情况良好，为少冰冻土或多冰冻土，融化下沉后不致造成路基病害；
- b) 基底多年冻土厚度 2 m~5 m，埋藏浅，范围小，下部为少冰冻土、多冰冻土或基岩的路段。

5.2.4 符合下列条件之一时，宜按预融冻土的原则设计：

- a) 地温较高、冻土厚度为不超过 2 m 的路段；
- b) 邻近多年冻土分布区域边界的零星岛状多年冻土路段，多年冻土层已处在退化状态中，保护多年冻土难以取得成效时；
- c) 需挖除和换填路段。

5.2.5 融区宜按季节冻土区设计。

5.3 地基处理

5.3.1 按“保护冻土”、“控制融化速率”原则设计的路堤，不宜清除腐殖土，可直接在原地表填筑砂、砂砾、碎石等粒状材料并压实，压实度应符合现行设计规范的相关要求。

5.3.2 按“允许融化”原则设计的路堤，可挖除腐殖土，采用砂、砂砾、碎石等粒状材料填压，低洼积水路段可采用片、块石填压，压实度应符合现行设计规范的相关要求。

5.3.3 路堑及零填挖段，应超挖换填，超挖换填深度应根据试验段确定，换填应符合以下规定：

- a) 开挖段为低含冰量冻土，应换填砂、砂砾、碎石等粗颗粒填料；
- b) 开挖段为高含冰量冻土，应换填片、块石。

5.3.4 新建公路护道、护脚地基应与路基采用相同的处治材料，且与路基同步施工。

5.3.5 高纬度多年冻土区沼泽、湿地地基处理应符合下列规定：

- a) 积水路段，宜先排除坑内积水，再抛石挤淤；
- b) 冻土沼泽路段，可采用防水土工格室+砂砾、抛石挤淤等措施稳定地基；
- c) 强融沉路段，宜采用以桥代路方案。

5.4 路堤设计

5.4.1 路堤高度

路堤高度应符合下列要求：

- a) 公路路堤的最大设计高度不宜超过 6 m；
- b) 公路路堤的最小设计高度宜根据当地经验确定，资料不足时按照附录 A 中 A.3 取值。

5.4.2 边坡坡率

低含冰量路段边坡坡率宜为 1:1.5~1:1.75；高含冰量路段边坡坡率宜为 1:1.75~1:2.0。

5.4.3 压实度

平坦地段，填土路基应在地基处理完成后，分层填筑路堤、路床。填土路基压实度应符合下列规定：

- a) 路堤压实度应满足表 1 的规定；

表1 路堤压实度要求

路基部位		路面底面以下深度 m	压实度 %		
			高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
上路堤	轻、中等及重交通	0.8~1.5	≥94	≥94	≥93
	特重、极重交通	1.2~1.9	≥94	≥94	—
下路堤	轻、中等及重交通	1.5以下	≥93	≥92	≥90
	特重、极重交通	1.9以下			

b) 路床压实度应满足表 2 的规定。

表2 路床压实度要求

路基部位		路面底面以下深度 m	路床压实度 %		
			高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
上路床		0~0.3	≥96	≥95	≥94
下路床	轻、中等及重交通	0.3~0.8	≥96	≥95	≥94
	特重、极重交通	0.3~1.2	≥96	≥95	—

5.4.4 一般路段横断面设计

5.4.4.1 当路堤实际填土高度小于最小设计控制高度要求，按照以下要求进行：

- a) 低含冰量多年冻土区，按照一般路基处理，应符合 JTG D30 的相关要求；
- b) 高含冰量多年冻土区，路基下多年冻土上限小于 2 m、冻土层厚度小于 2 m 时，宜采用全部清除换填的路基设计方案，如图 1 所示。换填底部应填筑不冻胀的土石填料，厚度大于 0.5 m，并做好开挖面的防排水和边坡防护。隔水材料采用土工布时，其质量应符合 GB/T 17639 的规定，其材料形态、物理性质和力学性能应满足表 3 的要求；

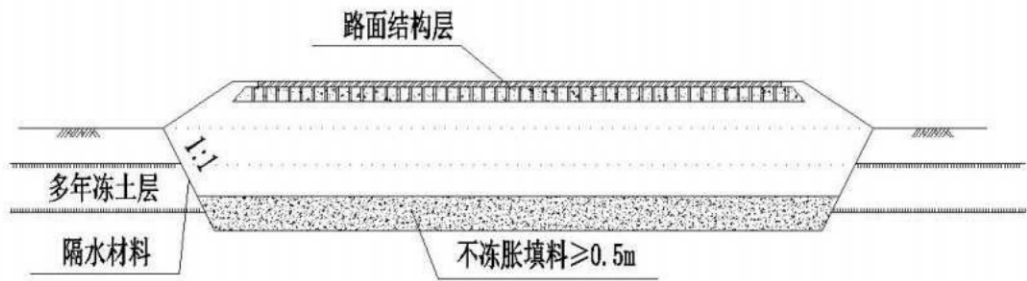


图1 全部换填路基横断面结构图

表3 隔水土工布性能要求

指标	项目	规定或允许偏差	检查方法
材料形态	材质及织造方法	长丝无纺布	查产品标志和检验合格证
	幅宽 (m)	≥4.5	
物理性质	单位面积质量 (g/m ²)	≥350	GB/T 13762
	厚度 (mm)	≥2.8	GB/T 13761.1
力学性质	标称断裂强度 (kN/m)	≥20	GB/T 15788
	CBR 顶破强力 (kN)	≥3.9	GB/T 14800
	纵横向撕破强力 (kN)	≥0.56	GB/T 13763
	刺破强力 (kN)	≥0.5	GB/T 19978

c) 高含冰量多年冻土区,路基下多年冻土上限小于 2 m、冻土层厚度大于 2 m,全部清除换填困难且不经济时,可采取部分换填的保护多年冻土路基设计方案,如图 2 所示。路基高度与换填深度之和应大于路基最小设计高度与天然上限之和,换填底部应填筑不冻胀的土石填料,厚度不少于 0.5 m,并做好开挖面的防排水和边坡防护。

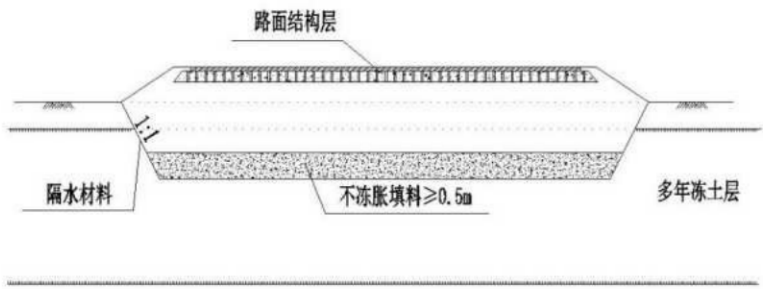


图2 基底部分换填断面结构图

5.4.4.2 当路堤实际填土高度大于最小设计控制高度要求并小于最大设计控制高度要求时,路堤下部应采用粗粒土填筑,填筑厚度应大于 0.5 m,上部可采用当地符合工程要求的土体填筑。冻土路堤典型横断面结构如图 3 所示。

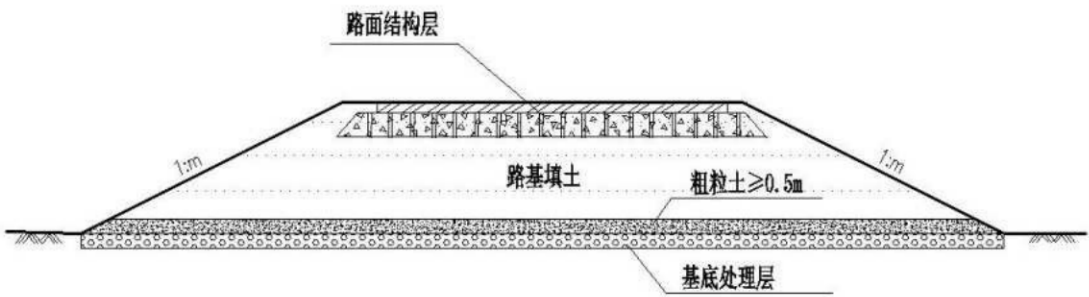


图3 一般填方路基断面结构图

5.4.4.3 当路堤实际填土高度大于最大设计控制高度要求时,应进行特殊结构路基设计。

5.4.5 斜坡路段设计

斜坡路段设计宜采用下列设计：

- a) 地面横坡小于 1:5 时，基底不宜挖台阶；地面横坡为 1:5~1:2.5 时，原地面应挖台阶，台阶宽度不应小于 2 m。路堤上方一侧采取挡排水措施，路堤下方一侧坡脚设置反压护道，当基岩面上的覆盖层较薄时，宜先清除覆盖层再挖台阶；当覆盖层较厚且稳定时，可予以保留；
- b) 地面横坡大于 1:2.5 时，路基基底应开挖台阶，台阶纵断面方向长度应大于 2 m，横断面方向应大于 2 m，台阶高度应大于 1 m，并设置 2 % 向内倾斜的横坡。应检算抗滑稳定性，检算方法应符合 JTG D30 相关要求。

5.5 路堑设计

5.5.1 高纬度多年冻土区路堑设计应考虑冻土条件、地表植被情况和区域气候条件，考虑工程建设的技术经济可行性与合理性进行设计。

5.5.2 多年冻土地区路堑设计应包括路床换填设计和边坡设计。

5.5.3 当多年冻土为低含冰量冻土时，换填应符合以下规定，典型横断面如图 4：

- a) 换填深度应大于路床深度，且大于 0.8 m；
- b) 换填材料宜为粗粒土；
- c) 一级以上公路宜采用土工格室等材料强化路基；
- d) 换填底面宽度应路基基大于底宽度加两倍多年冻土上限之和；
- e) 地质状况不良时，按特殊路基设计。

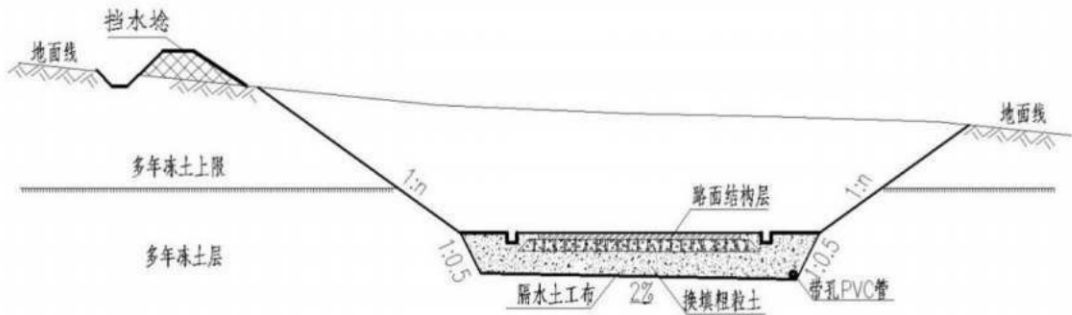


图4 低含冰量冻土段路堑典型横断面型式图

5.5.4 当多年冻土为高含冰量冻土时，换填应符合以下规定，典型横断面如图 5：

- a) 路床底部冻土层厚度小于等于 4 m 时，应全部挖除换填；
- b) 路床底部冻土层厚度大于 4 m 时，应超挖换填，换填厚度应不小于路基最小设计高度与多年冻土上限之和，换填底面宽度应不小于路基基底宽度加两倍多年冻土上限之和；
- c) 换填材料宜为片、块石，并做好基底防渗措施；
- d) 路床基底换填厚度过大造成施工不便或不经济时，可采用基底铺设隔热材料等其他措施；
- e) 边坡可采用上保下挡的支挡形式，支挡结构型式宜采用挂壁式或悬臂式或其他支挡结构型式；
- f) 挡墙下应设保温渗沟。

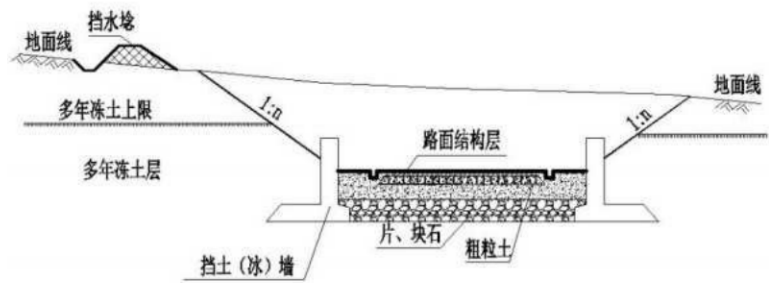


图5 高含冰量冻土段路堑典型横断面型式图

- 5.5.5 对于路堑边坡，应加强涎流冰调查，涎流冰防治应符合 JTG D30 相关规定。
- 5.5.6 岩石边坡挖方坡率应符合 JTG D30 相关规定。
- 5.5.7 非岩石挖方边坡坡率应根据当地的地貌形态、工程地质与水文地质条件、填料的物理力学性质、路基高度、施工方法等因素综合确定，并应符合以下规定：
- a) 当边坡高度小于 4 m，在富冰冻土、饱冰冻土和含土冰层等路段，细粒土层中天然含水率较高时，坡率宜为 1:2~1:3；
 - b) 当边坡高度大于等于 4 m 时，坡率不宜陡于 1:1.75；
 - c) 当边坡高度大于等于 6 m 时，宜采用折线式或台阶式边坡，一级边坡坡率应为 1:1.75，二级以上边坡坡率应为 1:2。台阶式边坡中部应设置边坡平台，边坡平台的宽度不宜小于 2 m。平台上应设置排水沟。
- 5.5.8 高含冰量冻土段应对边坡采取挖除换填的措施，挖除换填厚度应根据热工计算确定，并做好边坡加固及排水工程。
- 5.5.9 路堑边坡坡面的防护以生物防护措施为主，工程防护与生物防护相结合，最大程度地恢复自然生态系统。稳定性差的边坡应设置支挡工程。
- 5.5.10 路堑坡顶宜设置截水沟、挡水墙等措施，防止上方自然坡面地表水危害边坡。
- 5.5.11 当路堑开挖深度超过地下水位时，应采用渗沟、挡墙等措施排水、截水，渗沟和挡墙应采取保温措施。

5.6 过渡段设计

5.6.1 多年冻土地区路基应在以下交界处设置过渡段：

- a) 融区与多年冻土区交界处；
- b) 多年冻土地区不同含冰量交界处；
- c) 多年冻土区路基横纵向填、挖交界处；
- d) 路基与桥（涵）交界处。

5.6.2 融区与多年冻土地区过渡段设计应符合以下规定：

- a) 过渡段长度不宜小于 20 m，且不宜大于 50 m；
- b) 过渡段路基设计应遵循防治冻胀融沉的原则，按多年冻土段的要求设计；
- c) 融区（季节冻土区）路基设计应以防治冻胀为主，在多年冻土地区应以防治融沉为主；
- d) 过渡段路基填土高度不宜小于 2.0 m，路堤底部宜设置毛细水隔断层，当公路沿线石料丰富时，路基结构可采用片、块石路基。

5.6.3 多年冻土不同含冰量过渡段设计应符合以下规定：

- a) 过渡段长度不宜小于 20 m，且不宜大于 50 m；
- b) 高含冰量多年冻土不同地温过渡段，应在低温冻土段落设置过渡段，过渡段按高温冻土段的要求设计；
- c) 不同含冰量过渡段，应在低含冰量段落设置过渡段，过渡段按高含冰量段的要求设计。

5.6.4 多年冻土区路基纵向填、挖过渡段，基底换填时填方段应与挖方段顺接，且应由挖方侧向填方侧设 4 %的排水纵坡，高含冰量段应在挖方侧设保温材料，保温材料可采用聚氨酯复合材料、聚苯乙烯泡沫材料或挤塑聚苯乙烯泡沫材料等，布设于路面结构层下 30 cm~50 cm 处，保温材料技术指标要求见表 4。填挖过渡断面示意图如图 6 所示。

表4 保温材料的技术指标要求

指标	导热系数 W/(m·℃)	密度 kg/m ³	抗压强度 kPa	吸水率 %
技术要求	≤0.03	≥45	≥550	≤0.5

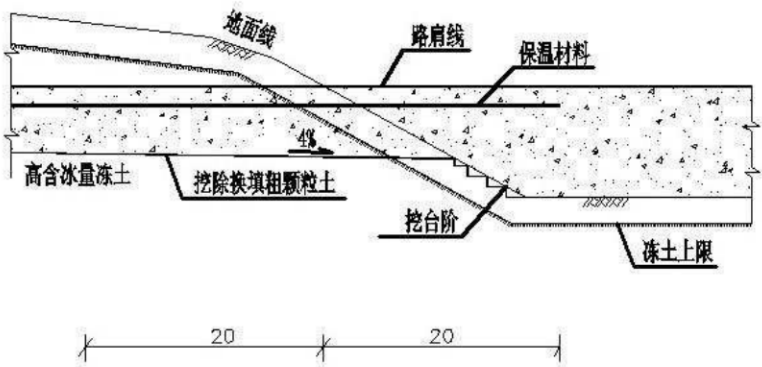


图6 填挖过渡处理示意图

5.6.5 多年冻土区半填半挖路基，挖方区为土质或软质岩石时，应超挖换填压实路基；填方区宜采用渗水性好的材料填筑，填挖交界结合部路床范围宜铺设土工格栅。当挖方区为硬质岩石时，填方区宜采用填石路堤。

5.6.6 路基与桥（涵）过渡段路基设计应符合以下规定：

- a) 路基高度不宜小于路堤最小设计控制高度，当小于路堤最小设计控制高度时，应设置厚度大于 6 cm 的隔热层。

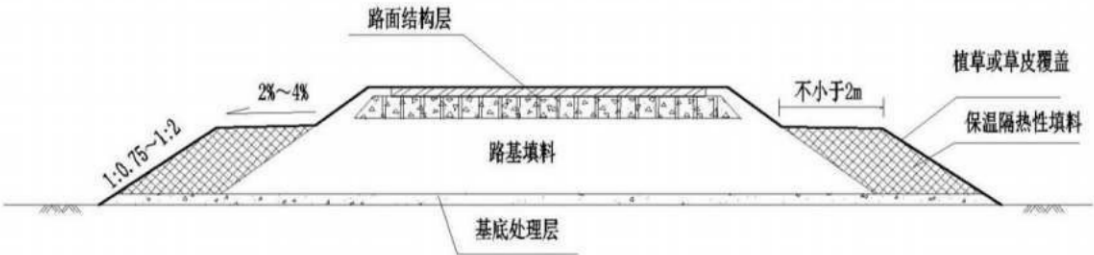


图8 边坡护道

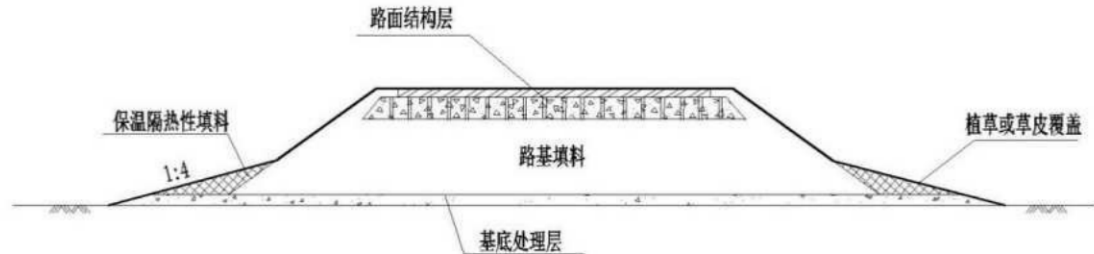


图9 边坡护脚

5.8 排水设计

5.8.1 高纬度多年冻土地区路基排水系统应与主体工程及自然环境相协调，并注重防、排、截、疏的结合排水设计除满足 JTG/T D31-04 规定外，还应满足以下要求：

- a) 高纬度多年冻土地区排水系统应对地表水、地下水、冻结层上水、路面下渗水等统筹考虑；
- b) 路基排水应与路面排水、路基防护、地基处理等其他处治措施相互协调，形成完善的排水系统。

5.8.2 高纬度多年冻土地区公路路基排水设计应根据公路等级、地表水文条件、地形、降水强度、持续时间、地表植被情况、土层的渗透性等因素，确定排水设计原则，划分排水段落、分段确定排水方案和排水线路，完成排水系统布置图。

5.8.3 高纬度多年冻土地区公路路基排水设计应遵循以下原则：

- a) 路基两侧不应积水；
- b) 采取措施拦截地表水，或以最短路径排入附近桥涵中；
- c) 排水设施宜远离路基坡脚；
- d) 单向坡面坡向流水明显或地表蓄水能力强时，应在路基排水沟外侧增设截水沟和挡水埝。

5.8.4 高纬度多年冻土地区地表排水设施结构应抗冻融、安全耐久、经济合理、对地表破坏小、施工快捷、便于检查、养护、维修和更换。

5.8.5 排水设施断面形式及尺寸应根据地形地质条件、边坡高度及汇水面积等确定。

5.8.6 渗沟的出口应设陡坡或跌水。

5.8.7 高纬度多年冻土地区排水设施应进行防冻、保温设计。

5.8.8 对于路基侧沿坡脚的积水无法与排水沟连通排离时，应回填积水坑，或设置防水护道，积水距坡脚的距离应符合以下规定：

- a) 少冰与多冰冻土路段积水距离坡脚不宜小于 5 m；
- b) 富冰冻土、饱冰冻土与含土冰层路段积水距离坡脚不宜小于 10 m。

5.8.9 低填、浅挖路基以及排水困难地段，应采取措施及时拦截有可能进入路界的地表水，排除路基内自由水，隔离地下水，保证路基处于干燥或中湿状态。

5.8.10 如遇常年性深部构造断层裂隙水在冻土层中溢出，不应改变水的原有通道，应设保温渗沟或桥涵通过。

6 路基施工

6.1 一般规定

6.1.1 高纬度多年冻土地区公路路基施工应在公路总体施工规划下，制订相应的施工组织设计。编制施工组织设计时，应考虑施工季节、工期要求、地质条件和当地自然条件等，确定合理的施工方法和施工进度。

6.1.2 路基施工应按设计和现场实际情况选择合理施工季节和时段，且应符合以下规定：

- a) 按预融原则设计的路基宜选择在暖季施工，按控制融化速率原则设计的路堑宜选择在冷季施工；
- b) 路堤的填筑宜在暖季进行，高温高含冰量冻土地段高路堤的填筑宜跨年度分两期进行；
- c) 暖季施工，应尽量避开降雨集中、热融作用最活跃的月份，宜安排在深秋，并做好防护；
- d) 路堑可在初冬开挖成型，跨年冷季末回填；
- e) 跨年度施工路段，应在暖季进行复检，满足相关技术要求后，进行下一步工序。

6.1.3 各道工序应紧密衔接，快速施工，缩短暴露时间，减少对多年冻土地基的热干扰。

6.1.4 路基工程施工应贯彻“先防排水系统，后主体工程”施工的原则，统筹安排永久防排水系统与临时防排水系统的施工，确保多年冻土区路基防排水系统合理有效。

6.1.5 施工期间不应坡脚滞水、路侧积水。

6.1.6 路基施工应保护环境，尽量减少对环境的影响。

6.1.7 施工中若发现实际地质情况与设计不符或原设计方案因故不能实施的，施工单位不应擅自处理，应按有关规定办理。

6.2 施工准备

6.2.1 施工前应全面熟悉并核对设计文件，充分了解工程沿线多年冻土工程特性、设计原则和设计意图。

6.2.2 路基施工前应核对地形、地貌及多年冻土工程地质和水文地质资料，核查施工现场冻土类型、地质情况，调查沿线附近有无新的不良冻土现象出现，确认冻土沼泽的范围及面积。

6.2.3 应根据工程特点，建立工地试验室。工地试验室除应具备一般土工试验、水质分析和材料试验的能力外，尚应具备下列试验的能力：

- a) 冻土容重试验；
- b) 冻土总含水量试验；
- c) 土颗粒密度试验；
- d) 冻融循环试验；
- e) 气温、地温观测。

6.2.4 应提前准备充足的施工材料，材料应符合设计要求并经现场试验确认合格。确保各施工工序快速衔接。

6.2.5 路基填料存放时应根据施工季节采取必要的防护措施。寒季时，应采取保温措施，防止填料冻结。暖季时，应采取遮阳、防水等措施，减少填料吸热。

6.2.6 施工营地和施工场地布置与路线距离不宜小于 50 m，并避开高含冰量冻土、不良冻土现象及植被发育地区，不具备条件时应采取保护冻土的措施，并应减少对生态环境的破坏。

6.3 路堤施工

6.3.1 路堤施工应根据冻土环境和现场地质情况，按照设计文件要求，进行相关工艺流程设计，制定工程实施方案。

6.3.2 路堤施工应符合 JTG/T 3610 的相关要求。

6.3.3 施工期间发现新的高含冰量冻土、不良冻土现象分布，施工单位应根据施工预案应急处理并上报相关部门，在通过专项研讨处理方案后按程序处置。

6.3.4 地表排水系统应在施工中同步进行。在路基主体施工中，应先做好临时排水设施，预防雨季地表水对路基坡脚和边坡的浸泡、渗透及冲刷。

6.3.5 施工便道应根据设计要求布设，充分利用原有道路，减少新建便道，自然保护区等重点路段在施工时可先剥离腐殖土后填筑便道，在施工完成后移植恢复。

6.3.6 填料要求除应符合 JTG/T 3610 的要求外，还应符合下列规定：

- a) 最大粒径和含泥量应满足设计要求；
- b) 大于设计粒径的硬质材料，应破碎或清除；
- c) 清除的填料应集中堆放并及时运出，不应丢弃在路基两侧。

6.3.7 地基表层处理应符合下列规定：

- a) 不清表段，应按设计要求直接填筑填料后整平碾压；
- b) 清除表土、低填路基局部换填路段，路基压实施工时应根据设计要求合理选择压实方法和施工机械，分段填筑、分层压实。

6.3.8 多年冻土地区不清表段，路基压实时宜采用冲击碾压为主，振动压实为辅的混合压实方法，且符合下列规定：

- a) 冲击碾压时应先压两侧后压中间，小半径曲线段由内侧向外侧，错轮碾压，压实标准应符合设计及其他相关规范要求；
- b) 冲击碾压完成后应采用振动压路机碾压；
- c) 碾压前、后应进行填筑顶面标高测量，测定填方的沉降量，控制标高；
- d) 压实作业应做到无偏压，无死角，碾压均匀。

6.3.9 当路基设置有护坡道时，护坡道基底处理与路基主体应采用同一种填料填筑，压实度应与路基主体相同。

6.3.10 多年冻土区清表、低填路基局部换填路段，路基压实施工时应根据换填深度、填料类型，合理选择压实方法和施工机械，分段填筑、分层压实，压实度应符合表 5 的规定。

6.4 路堑施工

6.4.1 路堑施工应合理选择施工工艺，采取隔水、排水、换填和设置保护层等措施，保护冻土，防止边坡热融滑塌。

6.4.2 路堑边坡开挖宜采用机械化快速施工。

6.4.3 开挖前应先做好永久性排水设施，施工过程中应注意施工场地的排水。

6.4.4 准备工作完成之前，应保护好施工场地及其周围的天然植被。

6.4.5 路堑宜采用全宽、分段、分层开挖方法，先挖阴坡，后挖阳坡。气温较高时，对暴露的高含冰量冻土应作临时遮阳隔热保护。

6.4.6 低含冰量多年冻土区，宜采用粗粒土换填，施工季节宜为冬季。高含冰量多年冻土区，宜采用片、块石等大粒径材料换填，施工季节宜为暖季，并尽量避免雨天施工。换填应在开挖后及时进行，并连续作业、快速施工。

6.4.7 部分挖除换填的冻土路段，开挖后应先完成路基的回填，在施工中对开挖断面应进行保温防护；全部挖除的冻土路段，开挖后可先完成挡墙、排水、边坡防护等工程的施工，防、排水设施应做好保温处理。

6.4.8 路堑开挖后，对开挖断面应采取草皮覆盖、织网覆盖等防护措施，减少开挖断面吸热。

6.4.9 横向通道的设置应与路堑开挖的松土作业同时进行，间距宜为 100 m，路堑开挖方式应满足以下要求：

- a) 长度不大于 200 m 的路堑，宜从两端相间开挖，并在路堑口下方设横向通道。
- b) 长度大于 200 m 的路堑，可分段开挖，在中部设置横向通道。

6.4.10 冬季开挖的路堑，开挖至换填层位时，应对边坡做简易遮挡防护，减少热融影响，并加快回填施工进度，减少开挖断面暴露时间。

6.4.11 暖季开挖的路堑在清方成型后，应对边坡进行遮挡防护，同时进行边坡挡墙的修建，避免边坡

滑塌失稳。路基主体可在开挖后适当暴露，预融开挖面冻土，保证抛石换填的效果。

6.4.12 开挖完成后，应及时完成整平作业。整平作业包括清除刷坡后的余土，清出侧沟，基面与侧沟平台的整平和路堑成型等工作。

6.4.13 路堑边坡保温层铺设草皮泥炭层时，边坡挖除部分应整平，每块草皮泥炭厚度不宜小于 0.25 m，根部应切平。铺砌时应上下错缝，互相嵌锁。

6.5 排水施工

6.5.1 排水工程基坑施工宜在基础所有建筑材料、机具和垫层所用砂砾全部备齐后开始；基坑开挖后，如果发现基础全部或部分埋在纯冰或含土冰层上，应进行专项处理；基础完工后应立即回填夯实。

6.5.2 应快速施工，各工序应全面展开，相互衔接，逐段完成；不应长期暴露基坑，影响基坑边坡稳定。

6.5.3 砂砾垫层施工前，应将积雪、融雪水或雨水及基坑内淤泥和松软湿土彻底清除。

6.5.4 施工临时性排水设施宜与永久性排水设施相结合。

6.5.5 高含冰量冻土地段临时排水措施应以挡水埝为主。高含冰量冻土地段路堑施工时，应在基面一侧或两侧拉出排水（泥）沟槽，以便于泥流、水流的排泄。

6.5.6 挡水埝施工应符合下列规定：

- a) 挡水埝应在路基主体工程施工前完成；
- b) 挡水埝迎水侧应有良好的排水通道，不应形成积水坑、积水洼地。挡水埝与路堤坡脚间应进行纵、横向填土顺坡，确保地表水远离路基并通过附近桥、涵排出；
- c) 挡水埝施工不应破坏原地面；
- d) 填料及压实标准应符合设计要求；
- e) 埋设挡水埝下的挡水板，易选在冻土活动层初融季节，开挖后快速施工。挡水板规格、性能及设置应符合设计要求。

6.5.7 排水沟施工应符合下列规定：

- a) 沟槽开挖可安排在暖季分段施工，分段长度宜为当天可完成长度；
- b) 拼装水沟混凝土预制件时，应做好上下游方向的连接，接头处应采用防水材料填塞；
- c) 排水沟垫层材料、厚度应符合设计要求。

6.5.8 渗沟宜在春融后至雨季开始以前施工，并按设计要求加强保温措施，防止结冰堵塞。

6.5.9 施工中的临时排水应符合下列规定：

- a) 施工过程中，路基表面应做成两侧 4% 横向排水路拱；
- b) 斜坡路基坡脚 3 m 外应做好临时排水设施。

6.6 路基检验与验收

6.6.1 路基施工质量控制要求及验收标准应符合现行 JTG F80/1 中的相关规定。

6.6.2 设计文件和本规范要求监测的项目，应符合相关规范的要求。

附 录 A

(规范性)

多年冻土分类

A.1 多年冻土的分类

A.1.1 应根据土的种类和冻土总含水率，按表A.1确定多年冻土类型。

表A.1 多年冻土分类

冻土类型		土的种类	总含水率 w (%)
低含冰量 冻土	少冰冻土	粉黏粒含量小于等于 15%粗颗粒土 (包括碎石类土, 砾、粗、中砂, 以下同)	$w<10$
		粉黏粒含量大于 15%粗颗粒土	$w<12$
		细砂、粉砂	$w<14$
		粉土	$w<17$
		黏性土	$w<w_p$
	多冰冻土	粉黏粒含量小于等于 15%粗颗粒土	$10\leq w<15$
		粉黏粒含量大于 15%粗颗粒土	$12\leq w<15$
		细砂、粉砂	$14\leq w<18$
		粉土	$17\leq w<21$
		黏性土	$w_p\leq w<w_p+4$
高含冰量 冻土	富冰冻土	粉黏粒含量小于等于 15%粗颗粒土	$15\leq w<25$
		粉黏粒含量大于 15%粗颗粒土	
		细砂、粉砂	$18\leq w<28$
		粉土	$21\leq w<32$
		黏性土	$w_p+7\leq w<w_p+15$
	饱冰冻土	粉黏粒含量小于等于 15%粗颗粒土	$25\leq w<44$
		粉黏粒含量大于 15%粗颗粒土	
		细砂、粉砂	$28\leq w<44$
		粉土	$32\leq w<44$
		黏性土	$w_p+15\leq w<w_p+35$
	含土冰层	碎石类土、砂类土、粉土	$w>44$
		黏性土	$w>w_p+35$
注：冻土总含水率应在冰融化后按照现行JTG 3430 的测试。			

A.1.2 应根据土的种类、总含水率和冻土类型等，按表A.2确定冻土融沉类型。

表A. 2 多年冻土融成分类

融沉等级	融沉类型	土的类别	总含水率 w (%)
I	不融沉	碎卵石类土、砾砂、粗砂、中砂（粉黏粒含量小于 15%）	$w < 10$
II	弱融沉		$w \geq 10$
I	不融沉	碎卵石类土、砾砂、粗砂、中砂（粉黏粒含量大于等于 15%）	$w < 12$
II	弱融沉		$12 \leq w < 15$
III	融沉		$15 \leq w < 25$
IV	强融沉		$w \geq 25$
I	不融沉	粉砂、细砂	$w < 14$
II	弱融沉		$14 \leq w < 18$
III	融沉		$18 \leq w < 28$
IV	强融沉		$w \geq 28$
I	不融沉	粉土	$w < 17$
II	弱融沉		$17 \leq w < 21$
III	融沉		$21 \leq w < 32$
IV	强融沉		$w \geq w_p$
I	不融沉	黏性土	$w < w_p$
II	弱融沉		$w_p \leq w < w_p + 4$
III	融沉		$w_p + 4 \leq w < w_p + 15$
IV	强融沉		$w_p + 15 \leq w < w_p + 35$
V	融陷	含土冰层	$w \geq w_p + 35$
注 1：.总含水率包括冰和未冻水。 注 2：盐渍化冻土、泥炭土、腐殖土、高塑性黏土不在表列。 注 3：w_p 为塑限含水率。			

A. 2 冻胀性分类

应根据土的类别、天然含水率和冻胀率等，按表A. 3确定冻土冻胀类别。

表A.3 土的冻胀分类表

土的类别	冻前天然含水率 ω (%)	冻前地下水位距设计冻深的最小距离 h_w (m)	平均冻胀率 η (%)	冻胀等级	冻胀类别	
碎（卵）石，砾砂、粗砂、中砂（粒径小于 0.075mm 颗粒含量均不大于 15%），细砂（粒径小于 0.075mm 颗粒含量不大于 10%）	不饱和	不考虑	$\eta \leq 1$	I	不冻胀	
	饱和含水	无隔水层时	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀	
	饱和含水	有隔水层时	$\eta > 3.5$	III	冻胀	
碎（卵）石，砾砂、粗砂、中砂（粒径小于 0.075mm 颗粒含量均大于 15%），细砂（粒径小于 0.075mm 颗粒含量大于 10%）	$\omega \leq 12$	> 1.0	$\eta \leq 1$	I	不冻胀	
		≤ 1.0	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀	
	$12 < \omega \leq 18$	> 1.0				$3.5 < \eta \leq 6$
		≤ 1.0	$\omega > 18$	> 0.5	IV	
	≤ 0.5	$6 < \eta \leq 12$				
	粉砂	$\omega \leq 14$	> 1.0	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
≤ 1.0			$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀	
$14 < \omega \leq 19$		> 1.0				$3.5 < \eta \leq 6$
		≤ 1.0	$19 < \omega \leq 23$	> 1.0	IV	
≤ 1.0		$6 < \eta \leq 12$				
$\omega > 23$		不考虑	$\eta > 12$	V	特强冻胀	
		粉土	$\omega \leq 19$	> 1.5	$\eta \leq 1$	I
≤ 1.5				$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
$19 < \omega \leq 22$	> 1.5		$3.5 < \eta \leq 6$			
	≤ 1.5			$22 < \omega \leq 26$	> 1.5	IV
≤ 1.5	$26 < \omega \leq 30$		> 1.5		$\eta > 12$	
≤ 1.5			$\omega > 30$	不考虑		
$\omega > 30$	不考虑					

表 A.3 土的冻胀分类表（续）

土的类别	冻前天然含水率 ω (%)	冻前地下水位距设计冻深的最小距离 h_w (m)	平均冻胀率 η (%)	冻胀等级	冻胀类别
黏性土	$\omega \leq \omega_p+2$	>2.0	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
		≤ 2.0	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$\omega_p+2 < \omega \leq \omega_p+5$	>2.0			
		≤ 2.0	$3.5 < \eta \leq 6$	III	冻胀
	$\omega_p+5 < \omega \leq \omega_p+9$	>2.0			
		≤ 2.0	$6 < \eta \leq 12$	IV	强冻胀
	$\omega_p+9 < \omega \leq \omega_p+15$	>2.0			
		≤ 2.0	$\eta > 12$	V	特强冻胀
	$\omega > \omega_p+15$	不考虑			
注 1：冻前天然含水率（ω）为季节活动层内含水率的平均值（%）。 注 2：ω_p为塑限。 注 3：盐渍土、有机质土不在表列。 注 4：塑性指数大于 22 时，冻胀性降低一级。 注 5：当碎石类土的充填物大于全部质量的 40%时，其冻胀性按充填物土的类别判定。					

A.3 路堤最小设计高度

A.3.1 高速公路和一级公路分离式路堤、二级以下公路路堤，最小设计高度可按表A.4选取。

表A.4 融沉类路堤最小设计高度表

单位为米

融沉等级	冻土温度状态	路基最小设计高度
不融沉、弱融沉	—	1.5
融沉	高温不稳定多年冻土	3.5
	低温稳定多年冻土	1.9
强融沉、融陷	—	—

A.3.2 高速公路和一级公路整体式路基不融沉或弱融沉路段最小设计高度可按2.5m控制, 融沉、强融沉或融陷路段应采用特殊结构路基或以桥代路。