



T/CECS G XXXX: 2017

中国工程建设标准化协会标准

寒区公路隧道设计标准

(征求意见稿)

Standard for Design of Highway Tunnel in Cold Region

中国工程建设标准化协会公路分会 发布

前 言

根据中国工程建设标准化协会“建标协字[2016]084号”文关于《2016年第二批工程建设协会标准制定、修订计划》通知的要求，招商局重庆交通科研设计院有限公司承担《寒区公路隧道设计标准》的制订工作。

编写组在总结十余年来寒区公路隧道的设计经验和相关科研成果的基础上，以完善和提升寒区公路隧道建设技术为核心，完成了本标准的编写工作。

本标准分为10章，主要内容包括总则、术语和符号、隧道调查、基本规定、建设材料、荷载及结构计算、洞口及结构设计、防冻保温层设计、防排水系统设计、辅助工程措施。本标准第1、2、3章由XXX起草，第4章由XXX起草，第5章由XXX起草，第6章由XXX起草，第7章由XXX起草，附录A和附件由XXX起草，附录B由XXX起草，结构层设计要求相关条文由XXX起草，配合比设计相关条文由XXX起草，XXX参与第6章部分条文编写，XXX、XXX参与第7章部分条文编写。

本标准是基于通用的工程建设理论及原则编制，仅适用于通用情况，对于某些特定专项应用条件，若其适用性及有效性未经资深专业人员验证，则不宜采用或参照本标准中相关条文。因标准内容会随版本更新作修订，其他单位、团体及个人须审慎参照或引用本标准相关条文。标准使用过程中产生的一切后果，其责任概由标准使用方承担，中国工程建设标准化协会公路分会不负任何法律责任。

请各有关单位在使用过程中，将发现的问题和意见，函告本标准日常管理部门，联系人：吴梦军（地址：重庆市南岸区学府大道33号，邮编400067；传真：02362653128，电子邮箱：wumengjun@cmhk.com），以便修订时参考。

主编单位：招商局重庆交通科研设计院有限公司

参编单位：长安大学

四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院

中航福隆节能环保有限公司

湖北筑永建坚建材科技有限公司

玖青新材料科技（上海）有限公司

主要起草人：

主要审查人：

征求意见稿

目 录

1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
3 隧道调查	4
3.1 一般规定	4
3.2 资料搜集	4
3.3 气象调查	5
3.4 地质调查	5
3.5 冻土调查	6
4 基本规定	8
4.1 寒区气候分类	8
4.2 防冻设防要求及分段设防分级	11
4.3 设计冻深	12
4.4 隧道线形	14
4.5 隧道横断面	15
5 建筑材料	16
5.1 常用建筑材料	16
5.2 防排水材料	19
5.3 保温材料	22
5.4 其他材料	23
6 荷载及结构计算	27
6.1 一般规定	27
6.2 冻胀力荷载	27
6.3 结构计算	28
7 洞口及结构设计	29

7.1 一般规定.....	29
7.2 洞口及明洞	29
7.3 复合式衬砌	31
8 防冻保温层设计	33
8.1 一般规定.....	33
8.2 材料选择.....	34
8.3 防冻保温层构造	35
8.4 防冻保温层厚度设计.....	36
8.5 防冻保温层长度设计.....	36
8.6 性能要求.....	37
9 防排水系统设计	38
9.1 一般规定.....	38
9.2 衬砌防、排水系统.....	38
9.3 保温水沟.....	40
9.4 深埋水沟.....	41
9.5 防寒泄水洞	42
9.6 附属设施保温	43
10 辅助工程措施	45
10.1 一般规定.....	45
10.2 注浆堵水防冻措施.....	45
10.3 升温防冻措施	46
10.4 消防系统保温措施.....	48

1 总则

1.0.1 为满足寒区公路隧道建设需求，指导寒区公路隧道设计，提高寒区公路隧道设计水平，制订本标准。

1.0.2 本标准适用于寒区新建、改（扩）建山岭公路隧道，其它隧道可参照执行。

1.0.3 寒区公路隧道设计应重点掌握隧址区气候条件、水文地质、围岩冻胀性等，遵循因地制宜、安全可靠、技术先进、经济合理的原则，避免采用可能导致严重热效应的方案、材料及工艺。

1.0.4 寒区公路隧道应从选址、平纵设计、结构设计、防排水系统、材料性能等方面考虑冻害影响，合理制定衬砌结构、排水系统、消防系统的防冻保温方案。

1.0.5 寒区公路隧道设计宜采用实际工程应用效果较好的新技术、新材料、新设备、新工艺。

1.0.6 寒区公路隧道设计应重视对地下水资源的保护。

1.0.7 寒区公路隧道设计除应符合本标准外，尚应符合国家、行业现行有关标准和规范。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 寒区 cold region

因高海拔或高纬度形成的寒冷气候区，包括严寒地区和寒冷地区。

2.1.2 冻土 frozen soil

指零摄氏度以下、并含有冰的各种岩石和土壤。

2.1.3 季节冻土 seasonally frozen soil

地表层冬季冻结、夏季全部融化的土层。包括季节冻结层和季节融化层。

2.1.4 多年冻土 perennially frozen soil

又称永久冻土，指持续两年或两年以上的冻结不融的土层。可分为上下两层，上层为夏融冬冻的活动层，下层为多年冻土层。多年冻土层顶面距地表的深度，称冻土上限。多年冻土上下限之间的距离为多年冻土厚度。

2.1.5 最大冻土深度 maximum depth of frozen ground

地表土层或疏松岩石冻结的最大深度。

2.1.6 冻融作用 freeze thaw action

土层由于温度降到零度以下和升至零度以上而产生冻结和融化的一种物理地质作用和现象。

2.1.7 冻胀作用 frost effect

土层冻结，其中水分向冻结锋面迁移，产生重分布并变成冰，使原土层体积增大而发生变形的过程。

2.1.8 冻胀力 frost force

由于围岩冻胀作用产生的作用在隧道支护结构上的力。

2.1.9 防冻保温层 antifreezing insulating layer of tunnel

设置于支护与衬砌混凝土之间或衬砌混凝土外表面，起到保温作用的构造层。

2.2 符号

Z_0 ——土的季节冻结深度标准值(m)；

Z_d ——土的季节冻结深度设计值(m)；

ψ_{zs} ——土质或岩性对冻深的影响系数；

ψ_{zw} ——冻胀性对冻深的影响系数；

ψ_{zc} ——周围环境对冻深的影响系数；

ψ_{zt0} ——地形对冻深的影响系数。

P_b ——衬砌所受的冻胀压力 (kPa)；

n ——围岩完整度系数，与围岩分级相关；

α ——季节性融冻区冻结后体积膨胀系数，可以根据调查结果确定，或按 $\alpha=(1.2\sim1.4)\beta$ 计算；

β ——季节性融冻区岩土体的寒冰率，与地质条件有关；

H_f ——季节性融冻区厚度 (m)；

K_1 ——衬砌环向变形刚度 (kPa/m)；

K_2 ——冻胀层外围岩层弹性抗力 (kPa/m)。

δ ——防冻保温层的厚度 (m)；

δ_0 ——地表松散岩土体的最大冻结深度 (m)；

δ_1 ——围岩的最大冻结深度 (m)；

δ_2 ——二次衬砌混凝土的厚度 (m)；

λ_0 ——地表的松散岩土体的导热系数 (W/(m·°C))；

λ ——防冻保温层的导热系数 (W/(m·°C))；

λ_1 ——围岩的导热系数 (W/(m·°C))。

λ_2 ——二次衬砌混凝土的导热系数 (W/(m·°C))；

r ——隧道的当量半径 (m)；

T ——隧道所在地区最冷月平均气温℃；

K ——与岩性有关的冻结深度系数。

3 隧道调查

3.1 一般规定

3.1.1 应根据寒区公路隧道各设计阶段的任务、目的和要求，收集并整理沿线气象、地质、冻土等资料。

3.1.2 寒区公路隧道工程地质勘察工作应采用工程地质调查与测绘、勘探、冻土取样、室内试验、原位测试和定位观测等手段，综合评价隧道沿线工程地质条件。

3.1.3 寒区公路隧道设计前应重点调查隧址区水文地质情况，包括地表水分布、地下水位及变化范围、地下水出露等。调查时间宜在不同季节分别调查。

3.1.4 寒区高速公路、一级公路隧道通过冻土地段时应进行地温观测等原位试验。

3.2 资料搜集

3.2.1 寒区公路隧道设计应收集下列资料：

- 1 气象资料。包括年平均气温、融化指数（冻结指数）、冬季月平均风速、风向、年平均降水量等；
- 2 地温资料。包括年平均地温、标准融深（标准冻深）、秋末冬初地温沿深度的分布等；
- 3 冻土物理参数。包括干密度、总含水率、相对含冰率、盐渍度、泥炭化程度、冻土构造、冰夹层厚度等；
- 4 冻土与未冻土的热物理参数。包括导热系数、导温系数、容积热容量等；
- 5 冻土强度指标。包括冻结强度、抗剪强度、承载力特征值、体积压缩系数、压缩系数等；
- 6 冻土融化指标。包括融化下沉系数、融土体积压缩系数、融土承载力特征值等；
- 7 围岩冻胀指标。包括冻胀率、冻切力、水平冻胀力等；
- 8 地下水分布的资料及特征、不良冻土现象的分布及特征。

3.2.2 寒区公路隧道设计阶段应收集同一区域或类似气象、地质条件的已建隧道冻害资料及防治经验。

3.2.3 寒区公路隧道冻害调查的重点包括：衬砌开裂、渗漏水及挂冰、路面积水与结冰、洞口挂冰及热融滑塌、地表截排水沟出水口积水与结冰等。

3.3 气象调查

3.3.1 气象资料应包括工程地点的年平均气温、最冷月平均气温、最低日平均气温、冻结指数、冬季风向及风速、年平均降水（雪）量、雪线等。

3.3.2 气象资料应采用当地或条件相似的邻近气象台或气象站的实际观测值，高速公路、一级公路隧道统计年限应不少于近 20 年，其他等级公路隧道统计年限应不少于近 10 年。

条文说明

气象条件是寒区公路隧道设计的基本依据，也是隧道冻害的决定性因素。气象资料统计年限越多对设计越有利，美国相关规范采用 20 年气象资料，俄罗斯相关规范采用 10 年气象资料，本规范根据不同公路等级作出不同年限要求。

3.3.3 对于严寒地区地区的特长隧道，宜在洞口处设立气象观测点或观测站进行观测，持续收集当地气象资料。

3.4 地质调查

3.4.1 寒区公路隧道工程地质调查宜分阶段进行，调查内容和深度应与设计阶段相适应。

3.4.2 施工前各阶段的地形与地质调查应包括自然地理概况以及工程地质和水文地质等，并按阶段要求重点调查和分析以下内容：

- 1 地层、岩性及地质构造变动的性质、类型和规模；
- 2 断层、节理、软弱结构面特征及其与隧道的组合关系，围岩的基本物理力学性质；
- 3 地下水类型及地下水位、含水层的分布范围及相应的渗透系数、水量和补给关系、水质及其对混凝土的侵蚀性，有无异常涌水、突水；
- 4 崩塌、错落、岩堆、滑坡、岩溶、自然或人工坑洞、采空区、泥石流、流沙、湿陷性黄土、盐渍土、盐岩、地热、多年冻土、冰川等不良地质和特殊地质现象，及其发生、发展的原因、类型、规模和发展趋势，分析其对隧道洞口和洞身稳定的影响程度。

5 隧道通过含有有害气体或有害矿体的地层时,应查明其分布范围、有害成分和含量,并预测和评价其对施工、营运的影响,提出防治措施。

6 按《中国地震动参数区划图》(GB18306)的规定或经地震部门鉴定,确定隧道所处地区的地震动峰值加速度系数。

条文说明

规定了施工前各阶段隧道工程的地形、地质调查内容。隧道地形、地质调查是综合性的工作,查明测区的工程地质、水文地质条件,对各种不良地质条件作出评价,并提出有效措施或建议,为工程设计提供正确的资料。

由于各类地质问题的复杂程度、规模、性质,自然地理条件的不同,很难划分初、详勘工作的基本内容,实际工作中常互有穿插。条文中只提出了调查内容,应结合实际情况,安排调查内容之深度。一般在初勘阶段,以地质测绘为主要手段,辅以少量的勘探试验,对隧道围岩稳定性作出定性为主的评价,初步划分围岩级别;在详勘阶段,合理采用各种勘探手段,对各类地质现象进行综合分析,互相印证,尽量对隧道工程地质条件作出定量或半定量评估,详细划分围岩级别。

测区存在有害气体或矿体时,按劳动保护、环境保护等条例,查明含量,预测释放程度,以对人体、环境不发生危害为限,超出规定的危害允许值时,须采取必要的防护措施。对气、矿体勘查可与专业技术单位协力合作进行。

3.4.3 寒区公路隧道水文地质调查应包括下列内容:

- 1 隧道洞口地表水系与隧道线位关系;
- 2 地下水发育情况,以及地下水位随季节变化情况;
- 3 可能造成隧道发生冻害的各种水源发育情况。

3.5 冻土调查

3.5.1 在多年冻土地区,应对危害工程的冰椎、冻胀丘、厚层地下冰、融冻泥流、热融滑塌、热融湖塘、热融洼地、冻土沼泽、冻土湿地等冻土现象进行调查与测绘。

3.5.2 冻土工程地质调查与测绘,应包括下列内容:

- 1 地层岩性、地质构造、抗震设防烈度、地震动参数、地形地貌特征;
- 2 多年冻土的类型、厚度、含冰程度及冻土工程类型、上(下)限埋深、分布特点、多年冻土年平均地温及地温年变化深度;
- 3 多年冻土及活动层的岩性成分;
- 4 地表植被的类型、分布特点及覆盖度;
- 5 地表水体的类型、分布及补给、排泄条件;
- 6 地下水的类型、水位埋深、补给、径流、排泄条件;

- 7 冻土现象的类型、分布、发生发展规律及对工程建设和运营的影响;
- 8 融区的类型、规模、分布及其对工程建设和运营的影响;
- 9 多年冻土环境的特点、变化特征;
- 10 收集气温、降水量等工程设计所需气象资料, 评价地基场地的地表排水条件;
- 11 收集已有冻土隧道冻害资料、工程措施及有效性、环境保护措施等相关资料。

条文说明

评价冻土工程地质条件需要调查的项目很多。本条列出的调查项目是冻土工程地质条件整体框架的基本内容。冻土工程地质调查与测绘应查明的项目依据拟建工程类型不同而有所区别, 并非任何冻土工程都需要完成所列调查内容。具体应调查那些项目应根据拟建工程特性、勘察阶段和区域冻土特征而定。但是, 不论何种冻土工程, 地基基础设计都需要的冻土工程地质资料是: ①多年冻土的空间分布特征, 即多年冻土在平面和剖面上的分布界线; ②多年冻土的基本特征, 即多年冻土的年平均地温、地温年变化深度, 多年冻土的厚度和上限埋深, 多年冻土的岩性成分和工程类别; ③季节融化层的工程特性。

因此, 在制定冻土工程地质调查与测绘计划时, 应重点、优先安排上述项目的调查。

3.5.3 冻土工程地质调查与测绘提交的资料, 应包括下列内容:

- 1 调查、测绘说明书;
- 2 冻土工程地质测绘实际材料图;
- 3 综合冻土工程地质图或分区图;
- 4 冻土工程地质剖面图;
- 5 综合地质柱状图;
- 6 各种素描图、照片、录像资料等。

条文说明

本条列出的冻土工程地质调查与测绘应提交资料的内容是指一般情况下应包括的, 具体应提交哪些资料应根据工程类别、勘察阶段等确定。

3.5.4 冻土工程地质勘察时应采用调绘、坑探、钻探和物探相结合的方法, 查明隧道沿线的冻土特征, 并符合以下规定:

- 1 地面调查宜结合测绘开展, 重点调绘第四系类型和地表岩性特征, 并开展必要的坑探, 调查多年冻土上限深度和上限附近冻土工程类型。
- 2 隧道沿线冻土的勘察应采用物探和钻探相结合的方法进行, 重点查明多年冻土含冰状态、多年冻土上限, 必要时在钻探完成一个月后对钻孔进行测温, 获取冻土温度资料, 测温频率宜为每月 1 次, 测温次数应不少于 3 次。
- 3 应结合勘察阶段的特点与钻探工作量, 合理布设钻探工作量, 重点勘察不同冻土类型的界限和冻土区与融区的分界线。

4 基本规定

4.1 寒区气候分类

4.1.1 寒区公路隧道气候区划以 1 月平均气温、7 月平均气温、7 月平均相对湿度为主要指标；以年降水量、年日平均气温低于或等于 5℃的日数和年日平均气温高于或等于 25℃的日数为辅助指标。各气候区划指标应符合表 4.1.1 的规定。

表 4.1.1 寒区气候分类指标

区名		主要分类指标		行政区划
A	严寒地区	1 月平均气温 $\leq -10^{\circ}\text{C}$ 7 月平均气温 $\leq 25^{\circ}\text{C}$ 年日平均气温 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的日数 $\geq 145\text{d}$		黑龙江、吉林全境；辽宁大部；内蒙中、北部及陕西、山西、河北、北京北部的部分地区
B	寒冷地区	1 月平均气温 $-10\sim 0^{\circ}\text{C}$ 7 月平均气温 $18\sim 28^{\circ}\text{C}$ 年日平均气温 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的日数 $\geq 145\sim 90\text{d}$		天津、山东、宁夏全境；北京、河北、山西、陕西大部；辽宁南部；甘肃中东部以及河南、安徽、江苏北部的部分地区
C	严寒地区 C1	7 月平均气温 $< 18^{\circ}\text{C}$ 1 月平均气温 $\leq 0\sim -22^{\circ}\text{C}$	1 月平均气温 $\leq -10^{\circ}\text{C}$	青海全境；西藏大部；四川西部、甘肃西南部；新疆南部部分地区
	寒冷地区 C2	年日平均气温 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的日数 $90\sim 285\text{d}$	1 月平均气温 $> -10^{\circ}\text{C}$	
D	严寒地区 D1	7 月平均气温 $\geq 18^{\circ}\text{C}$ 1 月平均气温 $-5\sim -20^{\circ}\text{C}$	1 月平均气温 $\leq -10^{\circ}\text{C}$	新疆大部；甘肃北部；内蒙西部
	寒冷地区 D2	年日平均气温 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的日数 $110\sim 180\text{d}$	1 月平均气温 $> -10^{\circ}\text{C}$	

条文说明

从大量隧道冻害调查发现，气温是气候指标中最关键的影响因素。气温作为寒区气候分类指标，可有年平均气温、月平均气温、月平均最高与最低气温、高于或低于某一界线温度的天数等，选取的指标既要有明确的工程意义，又要符合习惯，使用方便，为

大家所接受。根据相关规范调研可知,月平均温度能较好地反映地区冷热程度,有关专业使用的一些计算参数大多是以月平均气温为基础统计的,工程界乐于接受,而年日平均气温小于等于 5°C 的日数能反映一地寒冷期的长短,故将这三项指标作为寒区气候分类指标。

对建筑起决定作用的是最热月(7月,个别地区为5月、6月)和最冷月(1月)气温。1月由于受西北寒流的影响,东部南北温差达 50°C ,而西部南北则温差较小,因此,选用1月平均气温作为东部季风区的划分指标。7月由于受东南季风暖流的影响,全国普遍增温,东部南北温差仅 10°C ,青藏高原温度仍然很低。因此,选用7月平均气温作为青藏高原与其他地区的界限指标。

4.1.2 A 区冬季漫长严寒,夏季短促凉爽;西部偏于干燥,东部偏于湿润;气温年较差很大;冰冻期长,冻土深,积雪厚;太阳辐射量大,日照丰富;冬半年多大风。该区气候特征值宜符合下列条件:

1 1月平均气温为 $-31\sim-10^{\circ}\text{C}$,7月平均气温低于 25°C ;气温年较差为 $30\sim50^{\circ}\text{C}$,年平均气温日较差为 $10\sim16^{\circ}\text{C}$;3~5月平均气温日较差最大,可达 $25\sim30^{\circ}\text{C}$;极端最低气温普遍低于 -35°C ;年日平均气温低于或等于 5°C 的日数大于145d。

2 年平均相对湿度为 $50\%\sim70\%$;年降水量为 $200\sim800\text{mm}$,雨量多集中在6~8月,年雨日数为 $60\sim160\text{d}$ 。

3 年太阳总辐射照度为 $140\sim200\text{W}/\text{m}^2$,年日照时数为 $2100\sim3100\text{h}$,年日照百分率为 $50\%\sim70\%$,12~翌年2月偏高,可达 $60\%\sim70\%$ 。

4 12~翌年2月西部地区多偏北风,北、东部多偏北风和偏西风,中南部多偏南风;6~8月东部多偏东风和东北风,其余地区多为偏南风;年平均风速为 $2\sim5\text{m}/\text{s}$,12~翌年2月平均风速为 $1\sim5\text{m}/\text{s}$,3~5月平均风速最大,为 $3\sim6\text{m}/\text{s}$ 。

5 年大风日数一般为 $10\sim50\text{d}$;年降雪日数一般为 $5\sim60\text{d}$;长白山个别地区可达 150d ,年积雪日数为 $40\sim160\text{d}$;最大积雪深度为 $10\sim50\text{cm}$,长白山个别地区超过 60cm 。

4.1.3 B 区冬季较长且寒冷干燥,平原地区夏季较炎热湿润,高原地区夏季较凉爽,降水量相对集中;气温年较差较大,日照较丰富;春、秋季短促,气温变化剧烈;春季雨雪稀少,多大风风沙天气,夏秋多冰雹和雷暴;该区气候特征值宜符合下列条件:

1 1月平均气温为 $-10\sim0^{\circ}\text{C}$,极端最低气温在 $-20\sim-30^{\circ}\text{C}$ 之间;7月平均气温为 $18\sim28^{\circ}\text{C}$,极端最高气温为 $35\sim44^{\circ}\text{C}$;平原地区的极端最高气温大多可超过 40°C ;气温年较差可达 $26\sim34^{\circ}\text{C}$,年平均气温日较差为 $7\sim14^{\circ}\text{C}$;年日平均气温低于或等于 5°C 的日数为 $145\sim90\text{d}$;年日平均气温高于或等于 25°C 的日数少于 80d ;年最高气温高于或等于 35°C 的日数可达 $10\sim20\text{d}$ 。

2 年平均相对湿度为 $50\%\sim70\%$;年雨日数为 $60\sim100\text{d}$,年降水量为 $300\sim1000\text{mm}$,日最大降水量大都为 $200\sim300\text{mm}$,个别地方日最大降水量超过 500mm 。

3 年太阳总辐射照度为 150~190W/m², 年日照时数为 2000~2800h, 年日照百分率为 40%~60%。

4 东部广大地区 12~翌年 2 月多偏北风, 6~8 月多偏南风, 陕西北部常年多西南风; 陕西、甘肃中部常年多偏东风; 年平均风速为 1~4m/s, 3~5 月平均风速最大, 为 2~5m/s。

5 年大风日数为 5~25d, 局部地区达 50d 以上; 年沙暴日数为 1~10d, 北部地区偏多; 年降雪日数一般在 15d 以下, 年积雪日数为 10~40d, 最大积雪深度为 10~30cm; 最大冻土深度小于 1.2m。

4.1.4 C 区 长冬无夏, 气候寒冷干燥, 南部气温较高, 降水较多, 比较湿润; 气温年较差小而日较差大; 气压偏低, 空气稀薄, 透明度高; 日照丰富, 太阳辐射强烈; 冬季多西南大风; 冻土深, 积雪较厚, 气候垂直变化明显; 该区气候特征值宜符合下列条件:

1 1 月平均气温为 0~-22℃, 极端最低气温一般低于-32℃, 很少低于-40℃; 7 月平均气温为 2~18℃; 气温年较差为 16~30℃; 年平均气温日较差为 12~16℃, 冬季气温日较差最大, 可达 16~18℃; 年日平均气温低于或等于 5℃的日数为 90~285d。

2 年平均相对湿度为 30%~70%; 年雨日数为 20~180d, 年降水量为 25~900mm; 该区干湿季分明, 全年降水多集中在 5~9 月或 4~10 月, 约占年降水总量的 80%~90%, 降水强度很小, 极少有暴雨出现。

3 年太阳总辐射照度为 180~260w/m², 年日照时数为 1600~3600h, 年日照百分率为 40%~80%, 柴达木盆地为全国最高, 可超过 80%。

4 该区东北部地区常年盛行东北风, 12~翌年 2 月南部和东南部盛行偏南风; 其他地方大多为偏西风, 6~8 月北部地区多东北风, 南部地区多为东风; 年平均风速一般为 2~4m/s, 极大风速可超过 40m/s; 空气密度甚小; 年平均气压值偏低, 大多在 600hPa 左右, 只及平原地区的 2/3~1/2。

5 年大风日数为 10~100d, 最多可超过 200d; 年雷暴日数为 5~90d, 全部集中在 5~9 月; 年冰雹日数为 1~30d; 12~翌年 5 月多沙暴, 年沙暴日数为 0~10d; 年降雪日数为 5~100d, 年积雪日数为 10~100d。

4.1.5 D 区 大部分地区冬季漫长严寒, 南疆盆地冬季寒冷; 大部分地区夏季干热, 吐鲁番盆地酷热, 山地较凉; 气温年较差和日较差均大; 大部分地区雨量稀少, 气候干燥, 风沙大; 部分地区冻土较深, 山地积雪较厚; 日照丰富, 太阳辐射强烈; 该区气候特征值宜符合下列条件:

1 1 月平均气温为-20~-5℃, 极端最低气温为-20~-50℃; 7 月平均气温为 18~33℃, 山地偏低, 盆地偏高; 极端最高气温各地差异很大, 山地明显偏低, 盆地非常之高, 吐鲁番极端最高气温达到 47.6℃, 为全国最高; 气温年较差大都在 30~40℃, 年平均气温日较差为 10~18℃; 年日平均气温低于或等于 5℃的日数为 110~180d; 年日平均气温高于或等于 25℃的日数小于 120d。

2 年平均相对湿度为 35%~70%；年降雨日数为 10~120d；年降水量为 10~600mm，是我国降水最少的地区；降水量主要集中在 6~8 月，约占年总量的 60%~70%；山地降水量年际变化小，盆地变化大。

3 年太阳总辐射照度为 170~230W/m²，年日照时数为 2600~3400h，年日照百分率为 60%~70%。

4 12~翌年 2 月北疆西部以西北风为主，东部多偏东风；南疆东部多东北风，西部多西至西南风；6~8 月大部分地区盛行西北和西风，东部地区多东北风；年平均风速为 1~4m/s。

5 年大风日数为 5~75d，山口和风口地方多大风，持续时间长，年大风日数超过 100d；年降雪日数为 1~100d。

4.2 防冻设防要求及分段设防分级

4.2.1 寒区公路隧道应根据气候类别、公路等级按表 4.2.1 确定防冻设防要求。

表 4.2.1 寒区公路隧道防冻设防要求

气候区划		公路等级		
		高速公路、一级公路	二级、三级公路	四级公路
A、C1、D1	严寒地区	设防	设防	不设防
B、C2、D2	寒冷地区	设防	不设防	不设防

4.2.2 综合围岩基本质量指标和地下水发育状况对寒区公路隧道冻害的影响，按表将寒区公路隧道分段防冻设防等级划分为一级、二级和三级。

表 4.2.2 寒区公路隧道分段防冻设防等级

地下水发育状况	围岩基本质量指标		
	BQ>350	350≤BQ<250	BQ<250
潮湿或点滴状出水	一级	一级	二级
淋雨状或涌流状出水，水压<0.1MPa 或单位出水量<10L/min·m	一级	二级	三级
淋雨状或涌流状出水，水压>0.1MPa 或单位出水量>10L/min·m	二级	三级	三级

条文说明

根据寒区公路隧道设计资料调研及现场调查来看，有些隧道通长采用防冻保温措施，有些隧道完全不采用，而有些隧道在距离洞口一定范围内采用，没有统一标准，从而造成工程投资不必要的浪费或起不到良好的防冻效果，因此，有必要根据隧道不同段落的实际情况划分设防等级，使防冻保温设计更有针对性。

地下水的发育状况是隧道是否发生冻害的关键性因素之一。一方面地下水本身具有

冻胀性，积聚在衬砌背后的地下水在冻结过程中产生的冻胀力作用于衬砌，可能对衬砌产生破坏作用，当隧道防水系统失效时，地下水可能沿着施工缝、沉降缝或既有衬砌裂缝渗（流）出，形成冰挂、冰凌等，影响隧道行车安全；另一方面，地下水存在会提高围岩含水率，当含水率达到某一限界时，围岩就会发生冻胀，在反复的冻融过程中造成围岩损伤，致使隧道发生冻害。日本通过未固结围岩试验，也证明了含水率与冻胀率的关系，即含水率越大冻胀率越大。

同时，在既有隧道调研和室内试验的基础上，研究发现冻害发生与否与围岩条件密切相关：冻害一般发生在第三系的沉积岩段、新第三纪中～上部的软质且细粒的泥岩及凝灰岩、含水率 20% 以上的泥质岩及凝灰质岩或风化程度高、破碎的岩体，而在中硬岩～硬岩中，基本不发生冻害。日本通过室内试验研究发现，岩石强度在 5.0MPa 以下，冻胀率很大，岩石强度在 5.0MPa 以上几乎不发生冻胀。

因此，寒区公路隧道分段防冻设防等级划分主要考虑围岩基本质量指标和地下水发育状况两个方面因素。

4.3 设计冻深

4.3.1 标准冻深 Z_0 应采用隧址区附近或气温条件相近的气象台（站）的多年最大冻深平均值，高速公路、一级公路隧道统计年限应不少于近 20 年，其他等级公路隧道统计年限应不少于近 10 年。

4.3.2 隧道设计冻深 Z_d 可按下列式计算：

$$Z_d = Z_0 \psi_{zs} \psi_{zw} \psi_{zc} \psi_{zt0} \quad (4.3.2)$$

式中： Z_d ——隧道设计冻深(m)；

ψ_{zs} ——土质或岩性对冻深的影响系数；

ψ_{zw} ——冻胀性对冻深的影响系数；

ψ_{zc} ——周围环境对冻深的影响系数；

ψ_{zt0} ——地形对冻深的影响系数。

各影响系数按表 4.3.2 查取。

表 4.3.2 冻深影响系数

系数	土质影响系数 ψ_{zs}				冻胀性影响系数 ψ_{zw}					环境影响系数 ψ_{zc}			地形影响系数 ψ_{zt0}		
分类	黏性土、	细砂、粉砂、粉土	中砂、粗砂、砾砂	碎（卵）石土	不冻胀	弱冻胀	冻胀	强冻胀	特强冻胀	村镇旷野	城市近郊	城市市区	平坦	阳坡	阴坡
取值	1.0	1.2	1.3	1.4	1.0	0.95	0.9	0.85	0.8	1.0	0.95	0.9	1.0	0.9	1.1

注：1. 冻胀性影响分类根据第 4.3.3 条确定。

2. 对于环境影响系数,城市市区人口为20万~50万人,只考虑城市市区的影响;50万~100万人,应考虑5km~10km的近郊范围;大于100万人,尚应考虑10km~20km的近郊范围。

4.3.3 围岩冻胀性分级应根据平均冻胀率 η 的大小划分为不冻胀、弱冻胀、冻胀、强冻胀和特强冻胀五级,并应符合表 4.3.3 的规定。

表 4.3.3 围岩冻胀性分级

冻胀类别	不冻胀	弱冻胀	冻胀	强冻胀	特强冻胀
土平均冻胀率 η	$\eta \leq 1$	$1 < \eta \leq 3.5$	$3.5 < \eta \leq 6$	$6 < \eta \leq 12$	$\eta > 12$
岩体平均冻胀率 η	$\eta \leq 0.13$	$0.13 < \eta \leq 0.47$	$0.47 < \eta \leq 0.8$	$0.8 < \eta \leq 1.6$	$\eta > 1.6$

条文说明

根据相关试验结果, -5°C 条件下冻土的弹性模量为 $0.14 \sim 0.59\text{GPa}$, $-5 \sim -20^{\circ}\text{C}$ 条件下冻岩的弹性模量为 $4.45 \sim 10.12\text{GPa}$, 对比可知冻岩弹性模量是冻土的 $7.5 \sim 72.3$ 倍。说明表 4.3.3 为不同岩性和围岩级别下岩体的冻胀率及冻胀性。

说明表 4.3.3 岩体的冻胀率及冻胀性

岩石名称	岩石风化程度	岩石孔隙率	岩石冻胀率	不同围岩条件下的岩体冻胀率				
				I	II	III	IV	V
泥灰岩	—	16.0~52.0	0.550~1.7888	—	—	—	0.60~2.02 中~特强	0.74~2.25 中~特强
凝灰岩	—	12.5~40.0	0.430~1.375	—	—	—	0.48~1.63 中~特强	0.62~1.88 中~特强
页岩	—	0.70~1.87	0.015~0.041	—	—	—	0.02~0.07 无	0.04~0.10 无
	未风化	1.05~1.95	0.023~0.042	0.02~0.04 无	0.02~0.05 无	0.02~0.06 无	0.03~0.07 无	—
花岗岩	微~中风化	1.37~4.94	0.030~0.107	—	0.03~0.11 无	0.03~0.12 无	0.03~0.13 无	0.05~0.16 无~弱
	强~全风化	2.71~17.68	0.059~0.384	—	—	—	0.06~0.40 无~弱	0.08~0.41 无~弱
	未风化	1.51~7.92	0.033~0.172	0.03~0.17 无~弱	0.03~0.17 无~弱	0.03~0.18 无~弱	0.04~0.20 无~弱	—
砂岩	微~中风化	6.44~12.55	0.140~0.272	—	0.14~0.27 弱	0.14~0.28 弱	0.14~0.29 弱	0.16~0.31 弱
	强~全风化	9.16~14.89	0.199~0.323	—	—	—	0.20~0.34 弱	0.21~0.36 弱
	未风化	0.39~3.49	0.008~0.076	0.01~0.08 无	0.01~0.08 无	0.01~0.09 无	0.01~0.10 无	—
玄武岩	微~中风化	0.62~16.90	0.013~0.367	—	0.01~0.37 无~弱	0.01~0.37 无~弱	0.02~0.38 无~弱	0.03~0.40 无~弱
	强~全风化	4.26~48.06	0.092~1.043	—	—	—	0.10~1.04 无~强	0.11~1.04 无~强
	未风化	0.75~1.88	0.016~0.041	0.02~0.04 无	0.02~0.04 无	0.02~0.06 无	0.02~0.07 无	—
石灰岩	微~中风化	1.38~3.36	0.030~0.073	—	0.03~0.08 无	0.03~0.09 无	0.03~0.10 无	0.05~0.13 无

岩石名称	岩石风化程度	岩石孔隙率	岩石冻胀率	不同围岩条件下的岩体冻胀率				
				I	II	III	IV	V
	强~全风化	3.75~4.37	0.081~0.095	—	—	—	0.09~0.12 弱	0.10~0.15 弱
	未风化	5.36~5.78	0.116~0.125	0.12~0.13 无	0.12~0.13 无	0.12~0.14 无~弱	0.12~0.15 无~弱	—
花岗闪长岩	微~中风化	5.60~11.56	0.122~0.251	—	0.12~0.25 无~弱	0.12~0.26 无~弱	0.13~0.27 无~弱	0.14~0.29 弱
	强~全风化	6.30~16.57	0.137~0.360	—	—	—	0.14~0.37 弱	0.15~0.39 弱
	未风化	0.05~0.10	0.001~0.002	0 无	0.00~0.01 无	0.00~0.02 无	0.01~0.03 无	—
石英岩	微~中风化	0.54~5.90	0.012~0.128	—	0.01~0.13 无	0.01~0.14 无~弱	0.02~0.15 无~弱	0.03~0.18 无~弱
	强~全风化	3.10~15.4	0.067~0.334	—	—	—	0.07~0.35 无~弱	0.09~0.37 无~弱
片麻岩	—	0.30~2.40	0.007~0.052	0.01~0.05 无	0.01~0.06 无	0.01~0.07 无	0.01~0.08 无	0.03~0.11 无
片岩	—	0.02~1.85	0.000~0.040	0.00~0.04 无	0.00~0.04 无	0~0.05 无	0.01~0.07 无	0.02~0.10 无
辉长岩	—	0.29~1.13	0.006~0.025	0.01~0.02 无	0.01~0.03 无	0.01~0.04 无	0.01~0.05 无	0.03~0.08 无
安山岩	—	1.10~4.50	0.024~0.098	0.02~0.10 无	0.02~0.10 无	0.03~0.11 无	0.03~0.12 无	0.04~0.15 无~弱
大理岩	—	0.10~0.60	0.002~0.013	0.00~0.01 无	0.00~0.02 无	0~0.03 无	0.01~0.04 无	0.02~0.07 无

注：表中“无”表示“无冻胀”；“弱”表示“弱冻胀”；“中”表示“冻胀”；“强”表示“强冻胀”；“特强”表示“特强冻胀”。

4.4 隧道线形

4.4.1 隧道位置应选择在稳定的地层中，避免穿越工程地质和水文地质极为复杂、浅埋、偏压以及严重不良地质地段。

4.4.2 线路通过山岳、丘陵的融冻坡积层时，宜选择在缓坡上部；线路走向沿大河河谷时，宜选择在高阶地上；在多年冻土不稳定地段线路宜按最短距离通过，宜避免顺着大河融区附近的多年冻土不稳定地段定线。

4.4.3 隧道洞口的位置的选择应考虑排水问题，出水口尽可能置于向阳坡，位于向阴坡时应尽可能避免“高挖方、深路堑”。

4.4.4 应根据地质、地形、路线走向、通风等因素确定隧道平面线形。设曲线时，不宜采用设超高的平曲线。在《公路隧道设计规范》JTG D70 所规定的基础上适当提高平

面设计指标。

4.4.5 隧道轴线或洞口的选择应综合地形、地貌、地质与气象等条件确定，重点考虑风向、气温、冻土深度等自然环境对洞口的影响。

条文说明

实践表明，洞口气温、风向、风速等因素对寒区公路隧道温度场的影响程度较大，故隧道轴线或洞口选址应综合考虑地形、地貌、地质与气象等条件，如洞门方向尽量避面与自然风的主导风向一致。

4.4.6 隧道洞口段线位宜与隧址区 12～翌年 2 月风向大角度相交。

4.4.7 隧道防冻设防段最小纵坡值不宜小于 1.0%。

4.5 隧道横断面

4.5.1 隧道建筑限界按《公路隧道设计规范》JTG D70 相关规定确定。

4.5.2 隧道内轮廓断面净空应满足下列要求：

- 1 隧道建筑限界所需的空間；
- 2 洞内排水设施、保温层、装饰层所需的空間；
- 3 通风、照明、消防、监控、运营管理等设施所需空間；
- 4 有利于围岩稳定、结构受力的形状；
- 5 考虑后期维修加固的空间。

条文说明

考虑设计施工水平、工程材料、工程经验及冻土隧道后期运营养护维修，寒区公路隧道内轮廓宜比普通环境地段适当加大。

4.5.3 寒区公路隧道在满足隧道功能、结构受力和后期运营养护维修要求的前提下，在防冻设防段可适当加大隧道内轮廓。

4.5.4 寒区公路隧道防冻设防段建筑限界和内轮廓的最小间距宜大于 15cm。

5 建筑材料

5.1 常用建筑材料

5.1.1 建筑材料的选用应符合下列规定：

- 1 应符合结构强度和耐久性的要求，同时满足抗冻、抗渗和抗侵蚀的需要。
- 2 当有侵蚀性水经常作用时，所用混凝土和水泥砂浆均应采用具有抗侵蚀性能的特殊水泥和集料配制，其抗侵蚀性能的要求视水的侵蚀特征确定。
- 3 最冷月份平均气温低于 -15°C 的地区及受冻害影响的隧道，混凝土强度等级应适当提高。

5.1.2 混凝土和砌体所用的材料除应符合国家有关标准规定外，还应符合下列要求：

- 1 混凝土不应使用碱活性集料。
- 2 钢筋混凝土构件中，钢筋的技术条件应符合现行国家标准《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》GB1499 的规定。
- 3 片石强度等级不应低于 MU40，块石强度等级不应低于 MU60，混凝土砌块强度等级不应低于 MU20，有裂缝和易风化的石材不应采用。

5.1.3 寒区公路隧道的混凝土应采用抗冻水泥混凝土，抗冻水泥混凝土应采用掺加引气剂或引气减水剂的引气水泥混凝土，有经验时也可采用能够保证抗冻性的其他混凝土。

5.1.4 水泥混凝土的冻融环境等级应根据环境条件，按表 5.1.4 确定。

表 5.1.4 水泥混凝土的冻融环境等级

冻融次数（次/年）	无盐环境		有盐环境	
	中度饱水	高度饱水	中度饱水	高度饱水
<50	D1	D2	D3	D3
50~120	D3	D4	D5	D5
121~180	D4	D5	D6	D6
>180	D5	D6	D6	D7

注：1. 中度饱水指冰冻前偶受水或受潮，混凝土内饱水程度不高。高度饱水指冰冻前长期或频繁接触水或润湿土体，混

凝土内高度水饱和。

2. 无盐或有盐指冻结的水中是否含有氯盐类，包括除冰盐、海水或其他含有氯化物的盐。
3. 位于冰冻线以上土中的混凝土构件，其冻融环境等级可根据当地实际情况和经验适当降低。
4. 偶尔遭受冻害的饱水混凝土构件或轻度饱水构件，其冻融环境等级可按表 5.2.1 的规定降低一级或二级，但混凝土抗冻等级不应低于 F100。
5. 对于隧道衬砌用喷射水泥混凝土，其受到的冻融循环次数远低于外露表面，故其冻融环境作用等级可按表 5.2.1 的规定降低二级等级或按经验确定，但混凝土抗冻等级不应低于 F100。

5.1.5 抗冻水泥混凝土的抗冻性能等级分为 F450、F400、F350、F300、F250、F200、F150、F100 八个等级。公路水泥混凝土材料的抗冻等级按表 5.1.5 确定。

表 5.1.5 抗冻水泥混凝土的抗冻等级要求

冻融环境等级	设计基准期（年）		
	100	50	30
D1	F200	F150	F100
D2	F250	F200	F150
D3	F300	F250	F200
D4	F350	F300	F250
D5	F400	F350	F300
D6	F450	F350	F350
D7	F450	F400	F400

注：1. 水泥抗冻性采用快速冻融试验方法，按 JTG E30—2005 中的 T 0565 进行，但将其中 4.7 条的第一款改为达到规定的冻融循环次数。

2. 设计基准期小于 30 年的以 30 年计。

5.1.6 引气水泥混凝土的最低强度等级与最大水胶比应满足表 5.1.6 的要求。

表

5.1.6 引气水泥混凝土的最低强度等级与最大水胶比

抗冻等级	设计基准期（年）					
	100		50		30	
	最低强度等级	最大水胶比	最低强度等级	最大水胶比	最低强度等级	最大水胶比
F100	—	—	—	—	C _a 30	0.55
F150			C _a 35	0.55		0.50
F200	C _a 35	0.50		0.50	C _a 35	
F250	C _a 40	0.45	0.45			
F300	C _a 45	0.40	C _a 45	0.40		

F350						
F400	Ca50	0.36			Ca40	0.40
F450						

注：1. 如采取表面防水处理等附加措施，可降低大体积混凝土对最低强度等级和最大水胶比的抗冻要求。

2. 表中 Ca50 表示强度等级为 50MPa 的引气混凝土，其余类推。

5.1.7 引气水泥混凝土的含气量与平均气泡间距系数应满足 5.1.7 的要求。

表

5.1.7 引气水泥混凝土的含气量与平均气泡间距系数要求

项目	抗冻等级	强度等级			
		Ca30	Ca40	Ca50	≥Ca60
设计含气量 (%)	F100	3.5	3.0	2.5	2.5
	F150	4.0	3.5	3.0	2.5
	F200	4.5	4.0	3.5	2.5
	F250	5.0	4.5	4.0	3.0
	F300	5.4	5.0	4.0	3.0
	F350	6.0	5.0	4.5	3.5
	F400	6.5	5.4	4.5	3.5
	F450	6.5	5.4	5.0	3.5
气泡间距系数(mm), ≤	≤F150	0.32	0.37	0.41	0.42
	F200	0.30	0.35	0.39	0.40
	F250	0.28	0.32	0.37	0.39
	F300	0.26	0.30	0.35	0.37
	F350	0.24	0.28	0.33	0.35
	F400	0.22	0.25	0.30	0.33
	F450	0.20	0.23	0.28	0.31

注：1. 表中含气量对应于粗集料最大粒径为 19~26.5mm 时的数值。当粗集料最大粒径 9.5~16mm 时，含气量应较表中数值增加 0.5%；当粗集料的最大粒径为 31.5mm 时，含气量可较表中数值减少 0.5%。

2. 混凝土拌合物的含气量应控制在±1.0%内。

3. 对于现场泵送、高频振捣的混凝土和远距离长时间运输，应检测泵送、振捣过程以及长时间运输所造成的含气量损失，以判断所有引气剂的实用性和适宜掺量。

5.1.8 引气水泥混凝土的最小胶凝材料用量与最大胶凝材料用量宜满足表 5.1.8 的规定。

表

5.1.8 引气水泥混凝土单位体积的胶凝材料用量

强度等级	最小用量 (kg/m ³)		最大用量 (kg/m ³)
	无盐环境	有盐环境	
C _a 30	280	300	400
C _a 35	300	320	
C _a 40	320	340	450
C _a 45	340	360	
C _a 50	360	380	480
≥C _a 55	380	380	500

注：1. 表中数据适用于最大集料最大粒径为 19mm 的情况，集料最大粒径较大时宜适当降低胶凝材料用量，集料最大粒径较小时宜适当增加。

2. 对于强度等级达到 Ca60 的泵送水泥混凝土，胶凝材料最大用量可增大至 530 kg/m³。

3. 路面用水泥混凝土的最大胶凝材料用量不应大于 420 kg/m³。

5.1.9 抗冻水泥混凝土的浆集比应满足表

5.1.9 的规定。

表

5.1.9 每立方米体积混凝土中最大浆体体积

混凝土强度等级	C30~C45	C50~C60
1m ³ 混凝土中最大浆体体积	≤0.32	≤0.35

5.1.10 引气水泥砂浆的强度等级、抗冻性、拌合物含气量与最小胶凝材料用量应满足表

5.1.10 的规定。

表

5.1.10 引气水泥砂浆的强度等级、抗冻性、含气量与最小胶凝材料用量

环境作用等级	最小强度等级	抗冻性等级	胶凝材料最小用量 (kg/m ³)		含气量 (%)
			无盐环境	有盐环境	
D1、D2	M _a 10	F200	260	280	10~12
D3	M _a 15	F250	280	320	10~12
D4、D5	M _a 20	F300	340	360	10~12

注：1. 此表适用于 32.5 级的水泥。大于 32.5 级水泥可在表中数值基础上减少 30kg。

2. Ma10 表示引气水泥砂浆的强度等级为 10MPa，其余类推。

3. 水泥砂浆的抗冻性试验采用快速冻融试验方法，按照 JTG E30 中的水泥混凝土抗冻性试验方法（快冻法）T 0565 进行。

5.2 防排水材料

5.2.1 防水卷材技术指标应满足表 5.2.1 规定。

表 5.2.1 隧道内用防水卷材技术指标

项目		单位	指标		
			乙烯-醋酸乙烯共聚物 (EVA)	乙烯-醋酸乙烯与沥青共聚物 (ECB)	聚乙烯 (PE)
断裂拉伸强度 $\geq$		MPa	18	17	18
扯断伸长率 $\geq$		%	650	600	600
撕裂强度 $\geq$		kN/m	100	95	95
不透水性/0.3MPa/24h			无渗漏	无渗漏	无渗漏
低温弯折性 $\leq$		°C	-35 无裂缝	-35 无裂缝	-35 无裂缝
加热伸缩量	延伸 $\leq$	mm	2	2	2
	收缩 $\leq$	mm	6	6	6
热空气老化 (80°C×168h)	断裂拉伸强度 $\geq$	MPa	16	14	15
	扯断伸长率 $\geq$	%	600	550	550
耐碱性「饱和 Ca(OH) ² 溶液×168h」	断裂拉伸强度 $\geq$	MPa	17	16	16
	扯断伸长率 $\geq$	%	600	600	550
人工候化	断裂拉伸强度保持率 $\geq$	%	80	80	80
	扯断伸长率保持率 $\geq$	%	70	70	70
刺破强度	1.5mm $\geq$	N	300	300	300
	2.0mm $\geq$	N	400	400	400
	2.5mm $\geq$	N	500	500	500
	3.0mm $\geq$	N	600	600	600

注：立体防排水板基材的物理力学性能应符合上表要求。

5.2.2 隧道内用无纺布土工织物技术指标应满足表 5.2.2 的规定。

表 5.2.2 隧道内用无纺布土工织物技术指标

项目		单位	指标			备注
单位面积质量		g/m ²	300	400	500	偏差为±5%
断裂强度	纵横向	kN/m	≥ 15	≥ 20	≥ 25	
断裂延伸率	纵横向	%	≥ 50			
CBR 顶破强力		kN	≥ 2.9	≥ 3.9	≥ 5.3	
撕破强力	纵横向	kN	≥ 0.42	≥ 0.56	≥ 0.70	

等效孔径 $O_{90}(O_{95})$	mm	0.1~0.2			
垂直渗透系数	cm/s	$K \times (10^{-1} \sim 10^{-2})$			$K=1.0 \sim 9.9$
厚度	mm	≥ 2.2	≥ 2.8	≥ 3.4	

5.2.3 隧道内用止水带技术指标满足表 5.2.3 的规定。

表 5.2.3-1 橡胶止水带技术指标

项目			单位	指标	
				B 型	S 型
硬度			邵尔 A 度	60±5	60±5
拉伸强度≥			MPa	15	12
扯断伸长率≥			%	450	450
压缩永久变形	70℃×24h≤		%	30	30
	23℃×168h≤		%	20	20
撕裂强度≥			kN/m	30	25
脆性温度≤			℃	- 45	- 45
热空气老化	70℃×168h	硬度变化≤	邵尔 A 度	+6	+6
		拉伸强度≥	MPa	12	10
		扯断伸长率≥	%	400	400
耐碱水	氢氧化钙饱和溶液 23℃×168h	硬度变化≤	邵尔 A 度	+6	+6
		拉伸强度≥	MPa	12	10
		扯断伸长率≥	%	400	400
臭氧老化 50pphm: 20%, 40℃, 48h				无龟裂	无龟裂
橡胶与金属粘合				R 型破坏	

注: B 型止水带适用于变形缝, S 型止水带适用于施工缝; 仅钢边止水带检测橡胶与金属粘合项目。

表 5.2.3-2 塑料止水带技术指标

项目		单位	指标	
			EVA	ECB
拉伸强度 $\geq$		MPa	16	16
扯断伸长率 $\geq$		%	600	600
撕裂强度 $\geq$		kN/m	60	60
低温弯折性 $\leq$		℃	- 40	- 40
热空气老化 (80℃×168h)	100%伸长率外观		无裂纹	无裂纹
	拉伸强度保持率 $\geq$		%	80
	扯断伸长率保持率 $\geq$		%	70
耐碱性 $\text{Ca}(\text{OH})_2$		拉伸强度保持率 $\geq$	%	80

饱和溶液×168h	扯断伸长率保持率≥	%	90	90
-----------	-----------	---	----	----

5.2.4 止水条宜选用制品型遇水膨胀橡胶止水条，其物理力学性能应满足表 5.2.4 的规定。

表 5.2.4 制品型遇水膨胀橡胶止水条技术指标

项目	单位	指标
硬度	邵尔 A 度*	42±7
拉伸强度	MPa	≥3.5
扯断伸长率	%	≥450
体积膨胀率	%	≥200
反复浸水试验	拉伸强度	MPa
	扯断伸长率	%
	体积膨胀率	%
低温弯折（-20℃×2h）		无裂纹
防霉等级		≥2 级

注：*表中硬度为推荐采用项目，其余为强制执行项目；成品切片测试应达到表中性能指标的 80%；接头部位的拉伸强度不得低于表中性能指标的 50%；体积膨胀率是浸泡后的试样质量与浸泡前的试样质量的比率。

5.2.5 环、纵向排水盲管在承受 0.5MPa 压力时耐压扁平率不大于 5%。

5.3 保温材料

5.3.1 隧道常用保温材料分为无机保温材料和有机保温材料。无机保温材料主要包括矿渣棉、岩棉、玻璃棉、硅酸铝纤维板等；有机保温材料主要包括聚氨酯、聚苯乙烯、聚乙烯、酚醛泡沫板等。

5.3.2 用于防冻保温层的保温材料一般选用质轻、疏松、多孔、导热系数小的材料。防冻保温层材料的性能指标必须符合表 8.2.4 的规定。

表 8.2.4 防冻保温层材料的主要性能指标

性能项目	性能指标
导热系数(W/(m·K))	≤0.04
抗压强度(MPa)（变形 10%）	≥0.1
燃烧性能	B2 级阻燃材料

条文说明

目前，防冻保温层常用的材料包括聚酚醛泡沫、硬质聚氨酯泡沫、干法硅酸铝纤维。

聚酚醛泡沫的导热系数为 $0.022 \sim 0.027 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，硬质聚氨酯泡沫的导热系数 $0.018 \sim 0.024 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，干法硅酸铝纤维的导热系数为 $0.037 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。各种保温材料的生产工艺和材质各异，其保温性能也各异。保温绝热材料种类较多，各种材料的耐火性差别较大，需要保证隧道内发生火灾时保温材料在高温环境中不发生有害的化学反应，尤其是不助燃、不产生有害气体。在工程中，应综合考虑其保温效果和经济效益，合理选择。

5.3.3 主要保温隔热材料的性能指标应满足表 5.3.3 的规定。

表 5.3.3 保温隔热材料的性能指标

性能	酚醛泡沫	聚氨酯	聚苯乙烯	聚乙烯	橡塑	岩棉	玻璃棉
施工密度 (kg/m^3)	41-100	25-40	30	22-30	80-150	100	60
耐热 ($^{\circ}\text{C}$)	190	90-120	70	60-70	106	500	300
耐冷 ($^{\circ}\text{C}$)	-180	-110	-80	—	-40	-60	-60
导热系数(常温) $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	0.020 -0.033	0.022 -0.036	0.033 -0.04	0.029 -0.035	0.031 -0.036	0.033 -0.064	0.03 -0.042
可燃性	难燃	易燃	易燃	易燃	易燃	不燃	不燃
融状态	无熔滴	有焰熔滴	有焰熔滴	有熔滴	有熔滴	无熔滴	无熔滴
燃烧气体毒性	C036 无毒	C0353 有毒	C07 有毒	C07 无毒	HS 有毒	—	—
抗老化性	最好	差	差	好	良	好	好
抗化学溶剂性能	好	不好	不好	好	良	不好	不好
吸水率 kg/m^3	0.02	0.03	0.2	0.02	0.3	<2 吸水	<2 吸水
抗压强度 (Mpa)	0.216	0.127	0.107	0.033	0.03	0.107	0.107

5.3.4 保温材料应具有较好的保冷抗冻性、防火性、防水及耐腐蚀性。

5.3.5 对于有机材料系高分子材料，一般要求为不燃材料 (A 级)、难燃材料 (B1 级)。

5.3.6 隧道保温工程中应用时，在材料其它性质符合要求的基础上，应尽量选择导热系数 λ 小的保温材料。

5.4 其他材料

5.4.1 活性矿物掺合料应满足以下规定：

1 混凝土中掺加活性矿物掺合料时，可使用质量合格的硅灰、低钙磨细粉煤灰、磨

细矿渣等，粉煤灰烧失量不得大于 3.0%。F200 及其以上的抗冻混凝土不应使用Ⅲ级粉煤灰。对于氯盐冻融环境与硫酸盐环境，活性矿物掺合料中不得含有石灰岩粉。

2 活性矿物掺合料宜 2 种或 2 种以上复合使用。硅灰用量不宜超过 8%，且掺加硅灰时应掺加高效减水剂。

3 活性矿物掺合料的掺量应满足表 5.4.1 的规定。

表 5.4.1 活性矿物掺合料的掺量

冻融类别	水冻			盐冻		
混凝土类别	预应力混凝土	普通混凝土	路面混凝土	预应力混凝土	普通混凝土	路面混凝土
矿物掺合料最大掺量 (%)	30	30	20	25	25	15

注：1. 表中掺量对应于强度等级为 42.5 的普通硅酸盐水泥，对于强度等级为 52.5 的普通硅酸盐水泥可放宽 5%；对于强度等级为 52.5 的硅酸盐水泥可放宽 10%。

2. 对于大体积混凝土可较表中数值放宽 15%。

条文说明

粉煤灰的烧失量（主要是碳）大于 3.0%时不利于引气，会增大拌合用水量以及受冻时混凝土的水饱和程度，从而明显降低混凝土的抗冻性。

5.4.2 外加剂应满足下列规定：

1 外加剂混凝土中应掺加质量合格的引气剂或引气减水剂。应优先选用三萜皂甙、松香热聚物类或改性松香皂类引气剂，不得将烷基苯磺酸钠、烷基磺酸钠类、木质素磺酸盐及其他气泡质量差的表面活性剂作为引气剂使用。

2 选用外加剂时，必须进行外加剂与胶凝材料的相容性、和易性、强度、耐久性等试验，确定外加剂的品种、复配组成，并用工程所用原材料进行配合比试验获得外加剂的掺量。

3 不宜使用无机盐类早强剂、防冻剂，确有必要使用时，应与引气剂、减水剂等复合使用。不应使用含有碱金属或氯盐的外加剂。

条文说明

不合格的或质量较差的引气剂在混凝土拌合物中引入的气泡尺寸偏大，且含气量不稳定，混凝土拌合物含气量随时间的损失较大，难以保证的硬化后混凝土的抗冻性。因此，强调使用优质引气剂，且引气剂的掺量是以含气量达到要求的指标来控制的。

部分聚羧酸盐减水剂在掺加后，混凝土拌合物的含气量较高，但气泡尺寸大，不能提高混凝土的抗冻性。故应使用消泡剂去除聚羧酸盐减水剂引入的大气泡。

外加剂与水泥适应性的好坏直接影响外加剂在混凝土中的作用效果（引气效果即含气量、气泡尺寸、气泡稳定性、减水效果、凝结时间、经时变化等），不同外加剂间也可能存在着相互作用，影响其效用的发挥。集料、活性矿物掺合料中的某些成分（如粘

土、碳)也会影响外加剂的效果。故应采用拟用的各种原材料进行外加剂相容性试验,当掺加多种外加剂时应一起与引气进行相容性试验。选出相容性好的外加剂。相同材料,不同季节施工,则外加剂的效果也可能有较大的差异,外加剂的掺量应根据季节做实时调整。

常用的无机盐类早强剂、防冻剂对混凝土抗冻性,特别是抗盐冻性能有不利影响。

引气混凝土表面的小于2.0mm的球形气孔与椭球形气孔是成型时微小气泡在模板处受脱模剂等作用破灭形成的,其不影响混凝土的内在质量。设计混凝土时可不考虑这些气孔对混凝土的影响。

5.4.3 钢纤维、有机合成纤维、无机合成纤维、纤维素纤维及其技术要求如下:

1 钢纤维几何参数的要求宜符合下表 5.4.3-1 的规定。

表 5.4.3-1 钢纤维几何参数参考范围

工程类别	长度(mm)	直径或等效直径(mm)	长径比
一般浇筑钢纤维混凝土	20~60	0.3~0.9(mm)	30~80
钢纤维喷射混凝土	20~35	0.3~0.5	30~80

2 有机纤维合成纤维可选用聚丙烯腈纤维(PAN)、聚丙烯纤维(PP)、聚酰胺(尼龙)纤维、聚乙烯纤维(PE)、聚乙烯醇纤维(PVA)等。有机纤维性能指标除应满足《水泥混凝土与砂浆用合成纤维》GB/T 21120 要求外,且应符合下列规定:

- 1) 宜用直径为 10~100 μ m, 长度为 3~25mm 的细纤维。
- 2) 纤维混凝土采用的有机纤维应为不含再生链烯烃的纯聚合物;
- 3) 纤维及其表面处理层对人体的健康和环境无不利影响;
- 4) 纤维在混凝土拌合物中和硬化的混凝土中应具有化学稳定性,保持纤维强度不降低;
- 5) 纤维应在混凝土拌合物中易于分散,并且与硬化混凝土间具有良好的粘结性能。

3 无机合成纤维主要品种有玻璃纤维、碳纤维、玄武岩纤维等。无机纤维性能指标应符合《水泥混凝土与砂浆用合成纤维》GB/T 21120 中的规定。

4 纤维素纤维性能指标除应满足《水泥混凝土与砂浆用合成纤维》GB/T 21120 中的要求外,且应符合表 5.4.3-2 的规定。

表 5.4.3-2 纤维素纤维主要技术指标

平均当量直径/ μ m	断裂伸长率/%	断裂强度/MPa	初始弹性模量/ 10^3 MPa	耐碱能力(极限拉力保持率%)
5~22	5~20	≥ 700	≥ 7.0	≥ 95

5.4.4 纤维混凝土应满足下列规定:

1 根据纤维混凝土应用的环境和工作条件,结合纤维的几何参数、物理力学特征,综合考虑确定采用的纤维的品种:

- 1) 防止衬砌非结构性裂缝,提高耐久性,可采用合成纤维或纤维素纤维。
- 2) 对有耐火要求的隧道二次模筑衬砌,可采用合成纤维或纤维素纤维。
- 3) 对抗拉、抗剪、抗裂、抗冲击、抗疲劳、抗震、抗爆等性能要求较高的隧道二次模筑衬砌;对存在高水压、高地应力、挤压性围岩地段隧道二次衬砌及对有抗震设防和国防要求的隧道二次衬砌可采用钢纤维混凝土。
- 4) 防止冻害引起的衬砌混凝土劣化,宜采用钢纤维、合成纤维或纤维素纤维。
- 2 钢纤维混凝土结构构件承载能力极限状态计算和正常使用极限状态验算的要求,裂缝控制等级,变形、裂缝宽度和应力的规定值以及耐久性要求等均应符合现行《混凝土结构设计规范》GB50010。
- 3 钢筋钢纤维混凝土结构构件正常使用极限状态下的裂缝宽度、受弯构件挠度应依据钢纤维混凝土的强度等级采用现行有关混凝土结构设计规范的规定,按普通钢筋混凝土构件计算,并考虑钢纤维的影响对计算结果予以修正,修正方法应符合《纤维混凝土结构技术规程》CECS 38。
- 4 合成纤维和纤维素纤维混凝土结构承载力可按同强度等级的普通混凝土结构构件计算。
- 5 钢纤维、合成纤维、纤维素纤维或混杂纤维混凝土衬砌设计应满足《纤维混凝土结构技术规程》CECS38 中的规定,纤维素纤维常用掺量宜采用 $1.0\text{kg/m}^3\sim 1.2\text{kg/m}^3$,另外纤维掺量也可根据现场配合比适配确定。
- 6 纤维混凝土检测与试验应符合《纤维混凝土结构技术规程》CECS 38 和《纤维混凝土试验方法标准》CECS13 中的规定。

6 荷载及结构计算

6.1 一般规定

6.1.1 作用在隧道支护结构上主要有永久荷载、可变荷载和偶然荷载三种。

6.1.2 在隧道结构上可能同时出现的荷载，应按承载能力和满足正常使用要求的检验分别进行组合，对于寒区多年冻土隧道冻胀力应作为基本可变荷载参与组合，并按最不利组合进行设计。

6.1.3 寒区公路隧道衬砌结构设计应考虑冻胀力荷载影响，根据计算进行配筋或调整衬砌结构厚度。必要时应增设防冻保温层。

条文说明

对于严寒地区隧道，冻胀力作用对衬砌结构产生的附加压应力不可忽略。冻胀力附加应力较大时，单靠隧道支护结构难以解决，并且施工难度及工程造价均会大幅提高。为了减小或消除冻胀力，在工程应用中，一般采用保温防冻的措施。

6.1.4 隧道衬砌冻胀力应作为可变荷载。冻胀力大小应根据当地的自然条件、冬季围岩含水率及排水条件等因素，结合经验或试验研究确定。

6.2 冻胀力荷载

6.2.1 冻胀力计算应视当地的自然条件、围岩冬季含冰量、衬砌防冻构造及排水条件等确定。当隧道所在区域的最低气温低于 -15°C 时，隧道结构设计应计入冻胀力；当无实测资料时，可按下列公式计算：

$$P_b = \frac{n\alpha E_2}{pq + (m_2 + 1)[e(m_1 - \mu_1) + (m_2 + \mu_2)]} \quad (6.2.1-1)$$

$$m_1 = \frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2}; \quad m_2 = \frac{(b + H_f)^2 + b^2}{(b + H_f)^2 - b^2} \quad (6.2.1-2)$$

$$p = \frac{2b^2}{(b + H_f)^2 - b^2}; \quad q = \frac{2(b + H_f)^2}{(b + H_f)^2 - b^2}; \quad e = \frac{E_2}{E_1} \quad (6.2.1-3)$$

式中: P_b ——衬砌所受的冻胀压力 (kPa);

n ——围岩完整度系数, 与围岩分级相关;

α ——季节性融冻区冻结后体积膨胀系数, 可以根据调查结果确定, 或按 $\alpha = (1.2 \sim 1.4)\beta$ 计算;

β ——季节性融冻区岩土体的寒冰率, 与地质条件有关;

a 、 b ——衬砌内半径及外半径 (m);

H_f ——季节性融冻区厚度 (m);

E_1 、 E_2 ——衬砌混凝土及围岩的弹性模量 (kPa);

μ_1 、 μ_2 ——衬砌混凝土及围岩泊松比。

6.2.2 冻胀力也可按下式计算确定:

$$P_b = \frac{\delta \alpha K_1 K_2}{K_1 + K_2} \quad (6.2.2)$$

式中: K_1 ——衬砌环向变形刚度 (kPa/m);

K_2 ——冻胀层外围岩层弹性抗力 (kPa/m)。

6.3 结构计算

6.3.1 明洞、棚洞、整体式衬砌等结构, 应按极限状态进行设计计算, 或按容许应力法进行弹性受力阶段内力分析与强度校核, 充分保证结构设计的可靠性或具有规定的安全系数。

6.3.2 隧道复合式衬砌设计中, 应按荷载-结构计算方法进行设计和计算, 并对结构变形或混凝土构件裂缝宽度进行验算。

7 洞口及结构设计

7.1 一般规定

7.1.1 寒区公路隧道结构设计除满足常规技术要求外，还有考虑冻胀和融沉的影响，通过工程类比和计算综合分析确定衬砌结构类型和尺寸。

条文说明

《公路隧道设计规范》（JTG D70-2004）规定，最冷月份平均气温低于 -15°C 地区的隧道应考虑冻胀力，冻胀力作为可变荷载，主要体现在荷载短期效应组合中：结构自重+附加恒载+围岩压力或土压力+混凝土收缩或徐变力+温度荷载+冻胀力。

7.1.2 寒区公路隧道受冻设防段宜采用复合式衬砌或整体式衬砌。

条文说明

《公路隧道设计规范》（JTG D70-2004）规定：高速公路、一级公路、二级公路隧道采用复合式衬砌，三级及以下公路可采用喷锚衬砌。为进一步提高寒区公路隧道衬砌结构对冻胀力可变荷载的抵抗作用，本规范规定寒区各级公路隧道受冻段均采用复合式衬砌结构。

7.1.3 寒区公路隧道应考虑冻融环境对结构耐久性的影响，保证隧道长期安全使用。

7.2 洞口及明洞

7.2.1 寒区公路隧道洞门设计应符合下列规定：

- 1 隧道洞口宜选择向阳、不易积雪、易于排水位置；
- 2 在降雪量较大地区，隧道洞口不宜设在边坡和仰坡较为陡峻的位置，以免受到雪崩威胁。
- 3 尽可能采用与原地形顺适的洞门型式，如削竹式洞门，并尽量减少对原地表的破坏；
- 4 受积雪或风吹雪影响的槽谷或路堑中的洞口外两侧宜设置不小于 5m 宽积雪、堆

雪平台；

5 洞外为路堑的洞口宜设置防雪棚或防雪棚洞，条件许可宜接长明洞；

6 端墙或翼墙式洞门的端、翼墙截面形式及厚度应通过计算确定，并宜采用钢筋混凝土结构。当端翼墙位于冻胀性土时，应参照有关条文验算其强度及稳定性，或采用挖除、换填等以减少冻胀力的措施。

7 隧道进出口路面宜增设防滑或反结冰措施。

条文说明

洞口外两侧宜设置不小于 5m 宽积雪、堆雪平台，即可以改变洞口的地形条件以减少风吹雪掩埋洞口路面的危害，又可作为除冰雪临时堆放平台，迅速恢复道路交通。

寒冷地区，尤其是严寒地区，隧道滴水、风力或汽车轮胎带入隧道的冰雪及其他滞水将使路面结冰，降低轮胎与路面的附着力，恶化隧道的营运条件，危及行车安全，有必要在隧道进出口路面增设防滑或反结冰措施。

7.2.2 寒区公路隧道洞门墙设计时，台背填料、基础埋置深度应符合下列规定：

1 洞门墙台背填料应优先选用砂性土、砂砾、碎（砾）石、粉煤灰等渗水性强的填料，严禁采用淤泥、腐殖土和膨胀土。

2 当冻结深度小于或等于 1m 时，洞门墙基底应在冻结线以下不小于 0.25m，并应符合基础最小埋置深度不小于 1m 的要求。

3 当冻结深度超过 1m 时，基底最小埋置深度不小于 1.25m，还应将基底至冻结线以下 0.25m 深度范围的地基土换填为非冻胀材料。

7.2.3 寒区公路隧道洞口边仰坡设计应符合下列规定：

1 洞顶回填边坡坡度一般根据回填高度、填料或当地土质的物理力学性质、施工方法等因素，并结合自然稳定山坡形式及力学分析方法综合确定；回填料应采用非冻胀性或弱冻胀性砂性土或砂砾土等粗颗粒土。

2 挖方边仰坡坡度宜根据降水、土质及冰冻条件适当放缓，一般不小于 1:1.5~1:1.75。

3 抗滑安全系数不满足要求的边仰坡应采取调整坡率、植物防护、硬性防护、桩基处理、锚钉墙及换填等对策。

条文说明

季节性冰冻地区处于不良水文及水文地质条件下的土质边仰坡，因表层融化而底部仍处于冻结状态，不利于融水的下渗，水分蓄积在融化层内，使土体处于饱和状态，加之反复冻融的影响，土体抗剪强度很低，这种情况下极易发生融化层的滑移破坏，并且设有坡面防护的工程，也常因边坡融化层的滑移而遭破坏。因此，季节性冰冻地区重要工程的高边坡，在土质和自然条件不良的情况下宜进行边坡的抗融滑验算，以掌握边坡的冰冻稳定性，并采取有效措施进行预防。

7.2.4 冻胀严重的边仰坡应优选植物防护，当采用网格式或拱式骨架护坡时应采用锚杆。

1 边坡植物防护应选择耐寒、抗旱、耐贫瘠、根系发育的草种和灌木。

2 骨架植物防护采用锚杆结构时，锚杆直径宜为 18-32mm，锚杆伸入冻结线以下不小于 1.5m。

3 铺砌层下应设置碎石或砂砾垫层，厚度不宜小于 0.15m。

4 护面墙基础应埋置在冻深以下不小于 0.25m，并对基础土质进行冰冻稳定性处理，护面墙前趾应低于边沟铺砌的底面。

7.2.5 寒区公路隧道明洞设计应符合下列规定：

1 明洞应采用带仰拱的封闭式断面，衬砌内轮廓应按标准适当放大以顶留隔热保温层空间。

2 明洞结构与衬砌厚度应考虑冻胀力经计算确定。

3 明洞衬砌应采用自防水的钢筋混凝土，环向及纵向钢筋间距不宜大于 15cm；地下水发育的冻胀性围岩地段，衬砌宜采用掺纤维的钢筋混凝土。

4 当明洞地基为冻胀性或融沉性地层时，基底处理应符合本规范 7.2.2 条的规定。

5 明洞两侧回填土应采用非冻胀性粗颗粒土，厚度一般不小于 2.0 m。

6 明洞回填应做好防水隔水处理，防止地表水下渗；明洞顶应设挡水坝或截排水沟，防止地表水渗入明洞两侧。

7 明洞回填层厚度一般宜大于最大冻土深度或通过热工计算设置保温隔热材料。

7.2.6 明洞及洞门墙等主体结构混凝土的最小强度等级、抗冻等级及抗渗等级应符合本规范 5.2 节的规定。

7.3 复合式衬砌

7.3.1 对于防冻设防等级为一级的寒区公路隧道段，可按降低一级围岩级别进行支护结构设计。

条文说明

防冻设防等级为一级的寒区公路隧道，冻胀力附加荷载影响有限，可通过增加衬砌结构（抗冻）厚度及加强构造设计来适应冻胀力荷载影响，为简化设计可按非寒区公路隧道降低一级围岩级别进行二次衬砌结构设计。

7.3.2 对于防冻设防等级为二、三级的寒区公路隧道段，应采用数值计算和工程类比法相结合来确定衬砌结构支护参数。

7.3.3 寒区公路隧道初期支护设计应符合下列规定：

- 1 喷射混凝土最小厚度应不小于 10cm，并选用中低温抗冻快凝混凝土，强度等级一般不小于 C25。
- 2 锚杆长度应伸出冻融圈外不小于 1.5 m。
- 3 喷射混凝土中钢筋网间距宜为 15~20cm，喷射混凝土厚度大于 15cm 时宜采用双层钢筋网。
- 4 对滴水、渗漏水地段，应采用径向注浆、后注浆等措施，确保冻融圈及初期支护基本干燥无渗水。
- 5 初期支护与围岩间或初期支护内不可存在的空隙。

7.3.4 冻融影响段隧道宜采用双层初期支护。第一层初期支护采用型钢拱架+喷射混凝土支护，第二层初期支护采用格栅拱架+喷射混凝土支护。

7.3.5 寒区公路隧道二次衬砌设计应符合下列规定：

- 1 二次衬砌与初期支护间或二次衬砌内不可存在的空隙，防冻设防段应进行衬砌背后注浆。
- 2 二次衬砌内轮廓应按标准适当放大以预留隔热保温层空间。
- 3 二次衬砌应采用自防水的钢筋混凝土，环向及纵向钢筋间距不宜大于 15cm；地下水发育的冻胀性围岩地段，衬砌宜采用掺纤维的钢筋混凝土。
- 4 二次衬砌宜采用等厚、圆顺的断面形式。
- 5 边墙拱部应一次浇筑成型，不得留有纵向施工缝（含施工冷缝）。
- 6 衬砌纵向分段长度，寒冷地区不宜大于 10m，其与仰拱的沉降缝、伸缩缝、施工缝宜在同一位置。
- 7 寒区公路隧道防冻设防段应采取措施严格控制衬砌开裂及裂缝宽度。

条文说明

隧道二次衬砌主要承受后期继续增加的围岩压力，使隧道衬砌长期稳定，一般情况下，由初期支护传给二次衬砌的荷载分布比较均匀，故二次衬砌宜采用等厚、圆顺断面。

7.3.6 二次衬砌等主体结构混凝土的抗冻等级、最小强度等级应符合本规范 5.2 节的规定。

7.3.7 对于寒区公路隧道防冻设防段，其衬砌设防段落长度应向非设防段或设防等级较低段延伸不小于 15m。

8 防冻保温层设计

8.1 一般规定

8.1.1 根据防冻设防分级、持续性、反复性，遵循防水、排水、保温综合治理的原则，结合隧址区气候、水文地质条件、施工条件和工程经济性等因素确定防冻保温层设计方案。

8.1.2 对于需要进行结构加固的既有隧道，应将加固设计与防冻保温层设计综合考虑。

8.1.3 防冻保温系统是由保温层、保护层和固定材料（胶黏剂、锚固件等）构成，且安装在隧道衬砌表面或初期支护与二次衬砌之间的非承重保温构造总称。

8.1.4 防冻保温层设计内容包括结构构造、保温材料的选择、防冻保温层的厚度计算和防冻保温层设置长度的确定。

8.1.5 防冻保温层设计应将保温层、保护层和固定材料（胶黏剂、锚固件等）作为系结构造综合设计，其功能要满足防冻、防潮、防火、牢固可靠的工程基本要求。

条文说明

由于隧道洞内环境潮湿，保温层受潮后，保温效果往往大幅度降低；另外，隧道对防火有很高的要求，而保温层在燃烧或高温情况下，会产生有害气体（物质），会对安全行车和人员造成危害，因此在进行隧道冻害处治设计时，除了保温层要能满足防冻的基本要求外，还应考虑防火、防潮。此外，由于自重的作用，保温层设置到隧道衬砌表面时往往会自动脱落，因此，需要用固定材料将其牢固定在衬砌表面，设计中应充分考虑固定件的防锈和冷桥影响。

8.1.6 应做好隔热防冻工程的密封和防水构造设计。

8.1.7 隧道保温层设计应对洞内温度场的变化规律进行详细调查和测试。

条文说明

有条件时，应对临近既有隧道温度场现场实测，隧道温度场现场测试的项目包括隧道洞内外气温、衬砌表面和内部温度、围岩内部温度、洞内外风速和风向等。测试仪表、探头包括：温度计、风向风速表、测温探头、测温仪表等。应在隧道洞内每隔一定距离布置 1 个测试断面，每个测试断面分别在拱顶、拱腰、边墙和路面布置测点，在隧道洞外距洞口 50m 处测试洞外气温、风速和风向。

8.1.8 有条件时，应通过对隧道温度场现场实测，确定围岩最大冻结深度。无实测资料时，可根据气象资料，查出地表的松散岩（土）体的冻结深度（或在洞口实测），可按式(8.1.8)计算围岩的最大冻结深度：

$$\frac{\delta_0}{\lambda_0} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} \quad (8.1.8)$$

式中： δ_0 ——地表松散岩土体的最大冻结深度（m），可通过查阅相关气象资料（或在洞口实测）获得；

λ_0 ——地表的松散岩土体的导热系数（W/(m·°C)）；

δ_1 ——围岩的最大冻结深度（m）；

λ_1 ——围岩的导热系数（W/(m·°C)）。

条文说明

可根据气象资料，查出地表的松散岩（土）体的冻结深度（或在洞口实测），根据等效厚度法原理换算成隧道围岩的最大冻结深度。在这里把地壳看作一个均质的、半无限大物体，因此地球表面一定范围内的热传导问题可以看作是单层平板热传导问题。

有条件时，应通过对隧道温度场现场实测，确定最大冻结深度。无实测资料时，可根据气象资料，查出地表的松散岩（土）体的冻结深度（或在洞口实测），根据等效厚度法原理换算成围岩的最大冻结深度。围岩最大冻结深度计算时把地壳看作是一个均质的、半无限大物体，地球表面一定范围内的热传导问题看作是单层平板热传导问题。

8.2 材料选择

8.2.1 隧道防冻保温层所用材料的品种规格及使用性能，应符合国家、行业相关标准的规定，并满足设计要求。

8.2.2 隧道防冻保温层所用材料应满足安全、环保的要求。

8.2.3 寒冷地区隧道用胶黏剂应通过耐冻融性能试验，其冻融试验结果应符合该地区最低气温环境的使用要求。

8.2.4 寒冷、大风地区隧道采用锚固件固定保温层时，锚固件应进行锚固力现场拉拔试验和风压验算，并应做好洞口处的保温层的密闭处理。

8.3 防冻保温层构造

8.3.1 隧道防冻保温层的设置方式主要有衬砌表面喷涂、衬砌表面铺设、初期支护与二次衬砌之间铺设等。

条文说明

衬砌表面喷涂法是通过压缩空气将含有保温材料、胶结材料和速凝剂等的混合物料直接喷涂到隧道衬砌表面，形成防冻保温层的方法；衬砌表面铺设法是使用锚固件等将事先预制好的保温板固定到隧道初期支护或原有衬砌表面，形成防冻保温层的方法；初期支护与二次衬砌之间铺设法是使用胶黏剂或锚固件等将预制好的保温板固定到隧道初期支护表面，形成防冻保温层，然后再浇筑二次衬砌混凝土的方法。

8.3.2 隧道衬砌表面喷涂或衬砌表面铺设防冻保温层构造，应从衬砌表面起依次施做固定件、保温层、防火层。

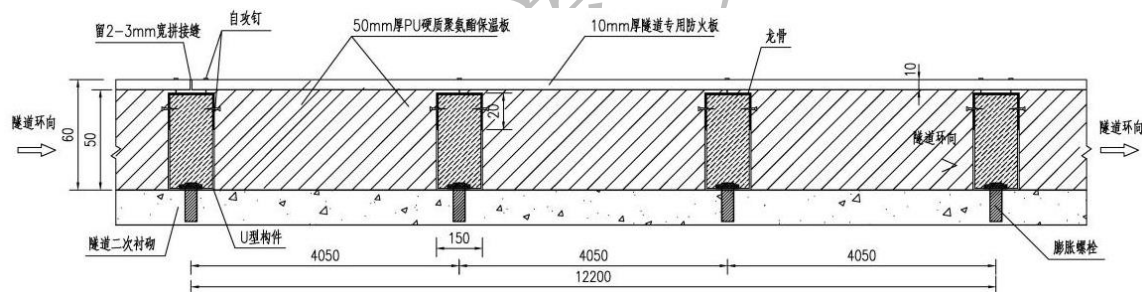


图 8.3-1 衬砌表面铺设方式

8.3.3 隧道初期支护与二次衬砌之间铺设防冻保温层构造，应从喷射混凝土表面起，依次施做防水板、胶黏剂或锚固件、保温层、防水板、二次衬砌。

条文说明

初期支护与二次衬砌之间铺设保温层一般适用于围岩稳定性较好的Ⅱ、Ⅲ级围岩，二衬仅作为安全储备。对于初期支护不能可靠持久地保证围岩稳定的地质条件，应设置承力保温层，须进行保温层承载能力试验论证。在富水地层采用初期支护与二次衬砌之间铺设保温层必须在初期支护中设置地下水排导系统，同时，要确保排出的地下水不在隧道内冻结。

8.4 防冻保温层厚度设计

8.4.1 表面铺设法的防冻保温层厚度，可按式(8.4.1)进行计算：

$$\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r + \delta_1}{r} = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{r + \delta}{r} \quad (8.4.1)$$

式中： λ_1 ——围岩的导热系数（W/(m·°C)）；

λ ——防冻保温层的导热系数（W/(m·°C)）；

r ——隧道的当量半径（m）；

δ ——防冻保温层的厚度（m）；

其它符号意义同前。

8.4.2 中间铺设法的防冻保温层厚度，可按式(8.4.2)进行计算：

$$\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r + \delta_1}{r} = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{r + \delta + \delta_2}{r + \delta_2} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r + \delta_2}{r} \quad (8.4.2)$$

式中： λ_2 ——二次衬砌混凝土的导热系数（W/(m·°C)）；

δ_2 ——二次衬砌混凝土的厚度（m）；

其它符号意义同前。

条文说明

保温法是在衬砌表面或初期支护与二次衬砌之间设置隔热材料形成防冻保温层，使围岩的热量在冬季不易逸出，并保持防冻保温层的背面温度在冰点以上，从而防止冻害的发生。防冻保温层厚度计算是依据绝热原理，对于不同导热性能的两种材料（围岩和防冻保温层），欲使其隔热效果相同，令其热流量相同，即同一热流量通过不同导热性能、不同厚度的材料，根据两侧的温差相等，即可解出这两种材料的等效厚度。隧道是个管状结构，且隧道围岩的冻结深度较大，故可按圆筒计算其热流量。对于隧道横断面方向的热传导，可以近似认为是温度只沿径向变化的一维圆筒热传导问题。

寒冷地区公路隧道保温层厚度应综合计算分析和工程类比确定。

8.5 防冻保温层长度设计

8.5.1 宜根据临近既有隧道内温度场实测数据，确定防冻保温层厚度设置长度。

8.5.2 也可采用经验公式法、气象解析法和有限元模拟计算法确定。

条文说明

经验公式法、气象解析法和有限元模拟计算法取得的保温段长度结果，可在设计阶段应用。工程实施阶段，在隧道贯通后，通过一段时间（至少一个气象观测年）的实测，

取得隧道纵向温度分布曲线和衬砌背后围岩温度分布，依据实测资料修正衬砌表面铺设防冻保温层段长度。

8.6 性能要求

8.6.1 隔热法中使用的防冻保温层材料，应具有一定的防水性、抗渗透性、防火性和耐久性。

8.6.2 采用表面（喷涂或铺设）隔热法时，防冻保温层应能承受隧道风荷载的作用而不产生破坏。

8.6.3 防冻保温层与衬砌应粘结牢靠，不得产生面层剥落、保护层脱落、裂缝等破坏。

8.6.4 防冻保温层的燃烧性应符合《建筑材料及制品燃烧性能分级》（GB8624—2006）及《建筑设计防火规范》（GB50016-2014）的要求。

8.6.5 在正确使用和正常维护的条件下，防冻保温层的使用年限不应少于 25 年。

8.6.6 防冻保温系统应能适应基层的正常变形而不产生裂缝或空鼓，并能长期承受自重作用而不产生有害的变形，同时应能耐受外界气候的长期反复作用而不产生破坏。

8.6.7 防冻保温系统在罕遇地震发生时不应从基层上脱落。

8.6.8 防冻保温系统应采取防火构造措施。

8.6.9 防冻保温系统应具有防潮性能。

8.6.10 防冻保温系统各组成部分应具有物理、化学稳定性。所有组成材料应彼此相容并应具有防腐性。

9 防排水系统设计

9.1 一般规定

9.1.1 防排水设计应遵循“以防为主，防、排、截、堵结合，多道设防，综合治理”的原则，妥善处理地表水、地下水，洞内外防排水系统应完整通畅。当隧道单独设有防冻结措施时，可以排为主。

9.1.2 寒区公路隧道防冻设防段的防水等级应为一级防水。

9.1.3 隧道应设置完善的防排水系统，并应具备相应的保温性能，防止冬季水流冻结、地层冻胀引起隧道衬砌冻害及洞口发生挂冰现象。

条文说明

9.1.1~9.1.3 寒区公路隧道的技术难题是防止围岩冻结、冻胀以及洞内渗漏水结冰的产生，保证隧道衬砌不被破坏及隧道运营环境安全。加强防水、保温、排水以及供热措施，是避免寒区公路隧道冻胀及结冰病害的有效方法。因此，一般规定中规定了寒区公路隧道防冻设防段的防水等级为“一级防水”，并提出相关总体要求和原则。

9.2 衬砌防排水系统

9.2.1 二次衬砌应采用抗裂、防渗、抗冻的低温早强高性能防水混凝土，二次衬砌混凝土抗渗等级不得低于 P10，抗冻等级不得小于 F300。

条文说明

混凝土的受冻破坏和侵蚀破坏与水的渗透有着密切的关系，因此在寒冷、侵蚀环境中提高混凝土的抗渗等级有利于提高混凝土的耐久性能。在寒冷及严寒地区的隧道衬砌经常与冰冻接触，当气温低、昼夜温差大时，在冻融循环作用下，其表面剥蚀现象比一般地区严重，加之侵蚀作用的影响也会加重混凝土的破坏。因此本条参考《水工混凝土结构设计规范》DL/T5057 中的相关要求，选择了寒区年冻融循环次数小于 100 次时严重受冻部位的混凝土抗冻等级标准 F300 作为冻融侵蚀环境中防水混凝土的抗冻标准。

9.2.1 二次衬砌应加强“三缝”处理，除应符合一般隧道规定的防水设防要求外，宜增设一道防水措施，采用组合形式的防水构造。

条文说明

隧道二次衬砌施工缝、沉降缝、伸缩缝是防水的薄弱部位，寒区公路隧道加强“三缝”处理十分重要，因此强调在常规防水设计的基础上增设一道防水措施形成组合防水构造。如：施工缝宜采用背贴式止水带与中埋式缓膨胀性橡胶止水条组合形式防水构造，沉降缝宜采用背贴式止水带与中埋式橡胶止水带组合形式防水构造。

说明表 9.2.1 寒区公路隧道工程防水设防要求

工程部位		衬砌结构	防水层		施工缝					变形缝			
防水措施		防水混凝土抗渗等级	防水卷材	防水涂料	中埋式止水带	预埋注浆管	遇水膨胀橡胶止水条	防水密封材料	外贴止水带	中埋式止水带	外贴止水带	遇水膨胀橡胶止水条	防水密封材料
防冻设防等级	一级	P10	应选	—	应选	宜选一种			应选	宜选一种			
	二级	P12	应选	可选	应选		宜选一种		应选		宜选一种		
	三级	P14	应选	宜选	应选		至少选一种		应选		至少选一种		

9.2.2 在初期支护及二次衬砌之间应设置防水板及无纺布，防水板的厚度不小于 1.5mm，接缝搭接长度不小于 200mm，分段铺设的防水板的边缘部位应预留至少 250mm 的搭接余量，无纺布单位面积质量不小于 350g/m²。防水板接缝应与衬砌施工缝错开不小于 80 cm。

9.2.3 无机防水涂料宜用于结构主体的背水面，有机防水涂料宜用于隧道工程的迎水面，有机涂料应具有较高的抗渗性，且与基层有较好的粘结性；防水涂料宜选用反应型，若采用水乳型，其施工环境温度不得低于 5℃；

9.2.4 寒区公路隧道防冻设防段宜将衬砌背后环向排水管直通路面下的中心排水沟，纵向排水管经三通向横向排水管汇水，避免因纵向排水管封冻而使整个环向排水系统不畅。

9.2.5 寒区公路隧道防冻设防段纵向、横向排水管宜采用防潮、环状保温层进行保温。

9.3 保温水沟

9.3.1 隧道排水系统应满足防冻设防地段隧道排水的有关防冻要求，洞口地段排水系统应增加保温措施，对排水沟应采取保温水沟、防寒泄水洞、电加热等保温防寒措施。

9.3.2 最冷月平均气温在 -5°C 以下地区，排水沟形式应按表 9.3.2 的规定选用。

表 9.3.2 不同气温的排水沟形式

最冷月平均气温 ($^{\circ}\text{C}$)	黏性土最大冻结深度 (m)	主排水沟形式
-5~-10	≤ 1.0	一般水沟或保温水沟
-10~-15	1.0~1.5	保温水沟
-15~-25	1.5~2.5	中心深埋水沟
< -25	> 2.5	防寒泄水洞

注：当最冷月平均气温与黏性土最大冻结深度不一致时，应按较大值选取。

9.3.3 保温水沟宜采用小于隧道内最大冻结深度的浅埋方式设置，其设置长度一般应根据隧道的长度、水量大小、水温、隧道所处地区寒冷季节的主导风向、水沟坡度等因素综合考虑确定。有条件时可根据隧道内实测气温确定，无实测资料时可按表 9.3.3 进行取值。

表 9.3.3 保温水沟设置长度经验取值

最冷平均气温 ($^{\circ}\text{C}$)	隧道长度 (m)	保温水沟设置长度	
		低洞口	高洞口
-10~-12	≤ 800	全洞设置	
-10~-12	> 800	200~350	150~250
-12~-15	≤ 1000	全洞设置	
-12~-15	> 1000	300~400	250~350

注：当最冷月平均气温 $< -15^{\circ}\text{C}$ 应根据洞内实测温度或温度场计算结果确定。

9.3.4 保温水沟结构形式应与隧道衬砌断面设计相配合。水沟上部应设置双层盖板，两层盖板间应充填保温材料，其厚度不宜小于 35cm。

9.3.5 保温水沟底纵坡一般与隧道纵坡一致。设保温水沟的隧道与洞外暗沟连接时，洞外暗沟坡度不应小于 2%。

9.3.6 保温材料宜采用蛭石混凝土、矿渣、沥青玻璃棉、矿渣棉、泡沫聚氨酯、泡沫塑料等，保温材料应具有阻燃特性，并应有防潮措施。

条文说明

一般可采用以下三种防潮措施：设置防潮层，将沥青玻璃棉等保温材料用沥青玻璃布包裹起来；将保温材料定期进行翻晒；有渗漏水地段将水沟盖板用水泥砂浆勾缝或沥青涂抹，以防水渗入保温材料。

9.3.7 隧道应在两侧下隅角、双层防水板中间设置 2m 高、5cm 厚的岩棉保温层，并应对保温层进行防水处理。

条文说明

岩棉保温层用以防止纵向排水管冻结，对保温层进行防水处理确保岩棉的保温性能。

9.3.8 横向排水管与保温水沟宜采用 5cm 厚的聚氨酯泡沫材料进行包裹；横向排水管需通过侧式水沟上的预留孔洞与侧式水沟连接并应深入侧式水沟不小于 5cm；横向排水管与侧式水沟的结构部位应采用聚硫双组份密封胶嵌缝密封。

9.3.9 保温水沟应设置检查井，检查井间距宜为 30m~50m，且避开施工缝、沉降缝和变形缝。断面形式可采用方形或圆形，检查井下应设沉淀池，检查井应设双层盖板，两层盖板间应填塞泡沫塑料或其他保温材料。

9.4 深埋水沟

9.4.1 深埋中心水沟应深埋于隧道内冻结深度以下，水沟断面形式应根据地质条件选用 U 形、圆形、箱形或拱形，其断面尺寸应根据水力计算确定。可参照流量确定，矩形断面不宜小于 25cm×40cm（高×宽），圆形断面内径不宜小于 30cm。

条文说明

研究表明：因隧道内仰拱及仰拱回填材料与洞外天然岩土导热系数的差异，洞内冻结深度往往大于洞外粘性土的最大冻结深度，因此洞内深埋水沟的埋深需在洞外最大冻结深度的基础适当提高。

9.4.2 中心水沟纵向坡度应与线路坡度一致，且不得小于 2%在隧道平坡段范围内，排水沟底部不应小于 0.5%的坡度。

9.4.3 水沟埋置深度应结合当地气温、冻结深度、水量、水温、水沟坡度，以及隧道走向与寒冷季节主导风向等条件确定，并宜大于当地粘性土的最大冻结深度，一般可参考下列经验数值选用。

1 长度小于 1km 的隧道，水沟埋深宜按当地砂性土的最大冻结深度考虑。

2 长度大于 1km 的隧道，低侧洞口 300~500m 范围内，水沟埋置深度宜按当地砂性土最大冻结深度考虑。高侧洞口和洞身段宜按当地粘性土最大的冻结深度或略小于当地粘性土的冻结深度考虑。

3 有实测资料时，根据实测隧道内气温和冻结深度按式(9.4.3)确定。

$$h_x = Kh_0 \frac{T_x}{T} \quad (9.4.3)$$

式中： h_x ——隧道洞内距离洞口距离 x 处水沟最小埋深 m；

h_0 ——隧道所在地区的最大冻结深度 m；

T_x ——隧道洞内距离洞口距离 x 处最冷月平均气温℃；

T ——隧道所在地区最冷月平均气温℃；

K ——与岩性有关的冻结深度系数，粘性土取 1.0，砂性土取 1.1~1.3，岩石取 1.3~2.0。

条文说明

低侧洞口 300~500m 范围具体长度视隧道长度及隧道走向与寒冷季节主导风向的关系而定，隧道越长或冬季背风侧的洞口取值越短。

9.4.4 中心深埋水沟周边的回填直接影响到水沟的使用功能，水沟宜采用素混凝土基座固定，回填材料除需满足保温、渗水性好、方便施工的要求外，还应防止石屑、泥砂渗入水沟引起水沟淤积。

条文说明

实践表明：采用在水沟附近以级配骨料分层回填，上面覆盖弃渣，效果较好。

9.4.5 深埋中心水沟应设置检查井，检查井间距宜取 30~50m，断面形式可采用方形或圆形，检查井下应设沉淀池，以便清淤，检查井应设双层盖板，两层盖板间应填塞泡沫塑料或其他保温材料。

9.5 防寒泄水洞

9.5.1 防寒泄水洞宜设置于隧道中心线底部，并可合并设置于两隧道之间冻融圈以外，见图 9.5.1。

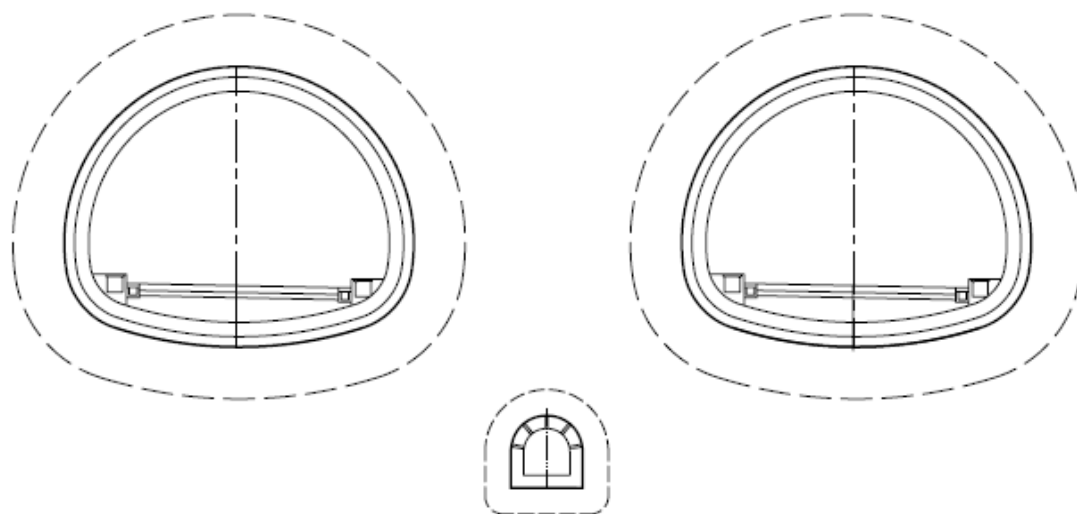


图 9.5.1 防寒泄水洞设置方式

条文说明

为减少主洞和泄水洞冻融圈的相互影响，多年冻土隧道洞口泄水洞宜合并设置在两个主洞之间。

9.5.2 防寒泄水洞的结构尺寸、支护参数应根据实际泄水量、施工条件、地质条件和埋置深度等因素综合确定，且断面尺寸不宜小于 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 。

9.5.3 防寒泄水洞的埋置深度应低于围岩最大冻结深度，并确保隧道底部稳定。

条文说明

一般置于隧道路面以下 $4\text{m} \sim 6\text{m}$ ，不宜埋置过深，一方面增加投资，另一方面不方便检修。

9.5.4 防寒泄水洞一般应设铺底，当石质较好地段时可不设铺底，拱部及边墙应留有足够的泄水孔，其间距不宜小于 1m 。地下水水量较大处应增设泄水竖井或盲沟，并通过横向导洞排入中心泄水洞。若围岩中有细小颗粒可能流失时，衬砌背面应设置反滤层。

9.5.5 防寒泄水洞宜每隔 $200 \sim 250\text{m}$ 设一检查井，检查井应设双层盖板，盖板之间应填塞保温材料。为防止防寒泄水洞本身冻结，泄水洞衬砌宜铺设保温隔热层，进出口应设置防寒保温门。

9.6 附属设施保温

9.6.1 洞外最冷月平均气温在 -15°C 以下地区，中心深埋水沟、防寒泄水洞、洞外暗沟，

均应设保温出水口。

9.6.2 保温出水口设计应符合以下规定：

- 1 选择背风、朝阳、排水通畅的位置设置保温出水口，纵坡宜大于 5%；
- 2 保温出水口有端墙式及掩埋保温圆包头式两种，出水口地段较陡时宜采用端墙式；地形平坦宜采用掩埋保温圆包头式；
- 3 尽可能增大排水坡度；
- 4 表面用沥青涂黑或采用稻草等覆盖；
- 5 出水口外侧铺设岩棉保温层；
- 6 必要时设计可通电的出水口。

征求意见稿

10 辅助工程措施

10.1 一般规定

10.1.1 寒区公路隧道穿越富水围岩段，不具备排放条件的，应采取注浆堵水措施。

10.1.2 对于季节性冻土或永久性冻土区，宜优先采用注浆堵水。

10.1.3 当保温措施不能满足隧道防冻要求时，应采用升温防冻措施。

10.2 注浆堵水防冻措施

10.2.1 寒区公路隧道应按下列规定选择注浆方式：

1 施工前或施工初期应进行生产性注浆试验。

2 穿越富水围岩段宜采用深孔预注浆方式，注浆前应施作止浆墙。根据地质情况，注浆方式分为前进式注浆、后退式注浆和一次全孔注浆，选择原则可按表 10.2.1：

表 10.2.1 注浆方式选择表

岩石裂隙发育程度	注浆方式
发育	前进式
一般	后退式
不发育	一次

3 永久性冻土区、季节性冻土洞口区宜采用开挖后径向注浆方式，开挖后注浆在隧道初期支护完成后施作。

4 已完成的初期支护表面有较大面积的渗漏水，或初期支护与围岩间存在不允许的空隙而可能导致、诱发冻害时，应进行初期支护背后回填注浆。初期支护背后回填注浆孔的孔径不宜小于 40mm，间距宜为 2~4m，深入围岩不应小于 30cm，可按梅花形排列。

条文说明

1 生产性注浆试验的目的是验证注浆工程施工图设计和施工组织设计，优化注浆技术参数。

2 岩石破碎、裂隙发育宜采用前进式注浆，即钻孔一段注浆一段，清孔钻进后再注浆，钻、注交替作业至设计终孔处；裂隙不够发育、岩层稍好时宜采用后退式注浆，即注浆孔一次钻进成孔，利用止浆塞分段止浆，从孔底分段注浆后退至孔口；在岩层裂隙不发育时可全孔一次注浆，即注浆孔一次钻进成孔，安装孔口管一次完成全孔注浆。

10.2.2 隧道注浆止水材料应具有一定的抗压、抗拉强度，抗渗性、抗冲刷及耐老化性能好，浆液固化时无收缩现象。

10.2.3 寒区公路隧道应按下列规定确定注浆参数：

1 注浆设备的技术性能应与所搅拌浆液的类型、密度相适应，其额定工作压力应大于最大灌浆压力的 1.5 倍，排浆量能满足灌浆最大注入率的要求。

2 穿越富水围岩段宜采用高压注浆，注浆设计压力应根据围岩水文地质条件合理确定，宜比静水压力大 1.0~1.5MPa，当静水压力较大时，宜为静水压力的 2~3 倍；一次注浆长度宜为 30~50m；注浆范围宜为开挖范围以外 5m 并宜大于隧道围岩冻融圈 0.5m。

3 永久性冻土区、季节性冻土洞口区可采用低压注浆，注浆压力宜控制在 0.3~0.5MPa 之间，有承压水的地层注浆压力可适当提高，注浆范围宜大于最大冻结深度 0.5~1m。

10.3 升温防冻措施

10.3.1 寒区公路隧道利用电能、太阳能等热能资源对防冻设防段衬砌进行供热，电热带或保温管路宜布设于隧道二次衬砌与保温板之间、隧道路面以下。

10.3.2 寒区公路隧道衬砌保温适用于严寒地区最冷月平均气温低于 -25℃，当地粘性土的最大冻结深度大于 1.5m，仅采用深埋水沟仍不能满足衬砌保温需要时，宜对衬砌进行供热。

10.3.3 寒区公路隧道供热应符合下列规定：

1 衬砌供热方法采用隧道二次衬砌与防水板（或隧道二次衬砌与保温层）间铺设 U 型供热管、电热带、加热电缆等热交换设备，并在二次衬砌表面敷设保温层，减少热量损失。

2 隧道洞口路面暗冰路段，宜对洞口段路面进行加热。

3 根据隧道长度、隧道地温分布，采用全面供热或局部供热。

4 供热管热量来源可根据当地情况采用地热资源、电力、太阳能等热能。通过在隧道拱脚向管内输入暖空气或实现供热，当暖空气无法满足要求时，双源供热管内可穿入电热带，采用电能供热。

- 5 中、短隧道应采用全面供热方法，供热部位包括二次衬砌、中央排水沟。
- 6 长、特长隧道应根据气象、地温资料，确定洞口供热长度。

10.3.4 寒区公路隧道衬砌供热设计应满足下列要求：

- 1 寒区公路隧道洞口处应建立气象监测站，开展寒区公路隧道防冻保暖技术地质勘察工作，勘察内容应除隧道工程地质勘察外，还应开展围岩地温测试、洞口气象监测、围岩热物理性测试。
- 2 寒区公路隧道在整个供暖季节内，隧道衬砌、保温水沟内的地下水温度应始终大于 4℃。
- 3 隧道衬砌加热系统设计前，应根据工程勘察结果评估保温水沟加热系统实施的可行性及经济性。
- 4 隧道衬砌加热系统应与隧道洞口段保温层施工协同进行，衬砌加热系统施工应不影响隧道保温层的正常施工。
- 5 隧道衬砌加热系统应确保隧道衬砌背后的排水系统不冻结。在隧道衬砌加热系统设计之前，应详细勘察隧道洞口加热段的地下水发育情况，进行针对性的衬砌加热。
- 6 衬砌加热系统应不侵入隧道建筑界限。
- 7 隧道洞口段衬砌加热系统安装完成后，应在埋管区域做出标志或标明管线的位置，应在每组供热管的起点和终点安装永久定位目标。
- 8 隧道衬砌加热系统设计前，应明确加热段内预埋件的布设位置，应制定合理的避让方案。
- 9 隧道衬砌加热系统的供热管宜采用串联横向布置。
- 10 衬砌加热系统的供热管间距宜取 20~30cm，远离洞口后，间距可适当放大。单组供热管的长度不宜大于 120m。
- 11 供热管内流体的流速不应低于 0.2m/s，流速宜为 0.6~0.8m/s。
- 12 隧道衬砌加热系统施工前应根据加热段的隧道施工图、加热段的设计文件和施工图纸，完成施工组织设计。
- 13 隧道衬砌加热系统的施工应在二次衬砌施工之后，在保温隔热层施工的前 3 天内完成。

10.3.5 寒区公路隧道路面供热设计应满足下列要求：

- 1 隧道路面加热方法与衬砌加热方法基本一致，预埋加热管后的路面结构层应达到设计要求的强度。
- 2 洞内暗冰的防治距离根据地温、气象资料综合确定，隧道贯通后根据实测气象数据进行修正，洞外暗冰的防治距离应大于刹车距离，刹车距离可按式(10.3.5)计算：

$$S = \frac{v^2}{2\mu g} \quad (10.3.5)$$

式中： S ——刹车距离（m）；

v ——车速（m/s）；

g ——重力加速度 9.8m/s^2 ；

μ ——摩擦系数。摩擦系数 μ 与多种因素有关，混凝土路面一般值为 0.8 左右，雨天和冰雪按 0.2 考虑。

3 路面下管道可采用左右两侧分幅分段交叉式布管形式，管道宜采用不锈钢管，管道埋深 13~15cm。

4 管道热水系统宜在日平均气温值变为 0°C 以前启动，以确保通水时，水流不在管道内发生冻结导致管道阻塞，对路基进行预加热。

10.4 消防系统保温措施

10.4.1 寒区公路隧道消防等级应满足有关规范要求，消防设计不宜采用水消防方法，可以考虑相应的替代消防方法，必须设置水消防时，应对消防管道及泵站采取抗冻保温措施。

10.4.2 隧道消防系统防冻应综合考虑温度、低温持续时间以及成本等因素选择合适的防寒保温措施。一般情况下可综合采用包扎管道防冻、填充防冻液防冻、伴热（暖）系统防冻等措施。

1 包扎管道防冻：采用棉、麻织物或稻草绳子等保温材料进行包扎，以达到保温防冻效果。

2 填充防冻液防冻：用防冻液充满系统管网以达到防冻的目的。火灾时，防冻液喷出后即可喷水。

3 管道伴热（暖）系统防冻：把温（伴）热带缠绕或平放在需要加热、保温、防冻的管道、阀门、泵体、贮罐等器件上，当通电后发热，随着温度升高，电阻自动逐渐增大，最后，在某一温度时电阻值发生突变，以至阻断电流，温度不再升高。若管道温度降低，此时芯带的电阻值又变小，电流又自动增大，又对管道加热，达到保温防冻的目的。

本规范用词用语说明

1 本规范执行严格程度的用词，采取下列写法：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”或“可”，反面词采用“不宜”。
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

- 1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”。
- 2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》（×××）的有关规定”。
- 3) 当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本规范第×章的有关规定”、“应符合本规范第×.×节的有关规定”、“应符合本规范第×.×.×条的有关规定”或“应按本规范第×.×.×条的有关规定执行”。