

JTG

中华人民共和国推荐性行业标准

JTG/T 3375—2026

寒区公路隧道设计与施工 技术规范

Technical Specifications for Design and Construction of
Highway Tunnels in Cold Region

2026-04-06 发布

2026-07-01 实施

中华人民共和国交通运输部发布

前 言

根据《交通运输部关于下达 2020 年度公路工程行业标准制修订项目计划的通知》（公路函〔2020〕471 号）的要求，由招商局重庆交通科研设计院有限公司承担《寒区公路隧道设计与施工技术规范》（JTG/T 3375—2026）（以下简称“本规范”）的制定工作。

为适应我国公路隧道工程建设需要，规范和统一寒区公路隧道设计与施工技术要求，提高寒区公路隧道修筑品质，同时完善公路隧道技术标准体系，编写组在广泛调研寒区公路隧道工程实践，总结我国近年来寒区公路隧道设计与施工经验与科研成果，并广泛征求全国相关单位和专家意见的基础上，完成了本规范的编制工作。

本规范包括 14 章和 4 个附录，分别是：1 总则，2 术语，3 基本规定，4 隧道调查，5 总体设计，6 建筑材料，7 荷载及结构计算，8 洞口、洞门与衬砌设计，9 防排水设计，10 防冻保温设计，11 附属设施设计，12 施工准备，13 隧道施工，14 质量检验，附录 A 隧道冻胀力计算，附录 B 多年冻土段隧道围岩压力计算，附录 C 洞门墙水平冻胀力计算，附录 D 隧道供氧量计算。

本规范由吴梦军负责起草第 1 章、第 3 章，方林、朱仁景负责起草第 2 章、第 5 章，韩常领负责起草第 4 章，万明富负责起草第 6 章，夏才初负责起草第 7 章、附录 A、附录 B，黄伦海、肖博负责起草第 8 章，郑金龙、朱长安负责起草第 9 章、附录 D，陈建勋负责起草第 10 章、附录 C，刘帅负责起草第 11 章，祝存芳负责起草第 12 章，赵宗智、彭国才、郑金龙负责起草第 13 章，丁浩负责起草第 14 章。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本规范日常管理组，联系人：方林（地址：重庆市南岸区学府大道 33 号，招商局重庆交通科研设计院有限公司；邮政编码：400067；电话：023-62653128；传真：023-62653128；电子邮箱：fanglin@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：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

长安大学

四川省公路规划勘察设计研究院有限公司

辽宁省交通规划设计院有限公司

中交一公局集团有限公司

同济大学

青海地方铁路建设投资有限公司

主 编：吴梦军

主要参编人员：方 林 韩常领 陈建勋 肖 博 赵宗智 万明富
黄伦海 郑金龙 祝存芳 丁 浩 夏才初 刘 帅
朱仁景 彭国才 朱长安

主 审：朱光仪

参与审查人员：李志厚 程崇国 窦光武 张学富 杨其新 胡 平
拓勇飞 李信臻 吴 剑 赵喜忠 李玉文 郭小红
李伟平 刘新荣 肖了林 吴有铭 包卫星 韦 虎
杨永顺 喻文兵 王峥峥 许前顺

参 加 人 员：罗彦斌 胡学兵 廖 峻 郑熙熙

交通运输部信息公开
浏览专用

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	4
3.1	寒区气候分类	4
3.2	防冻设防	5
3.3	设计冻深	5
4	隧道调查	9
4.1	一般规定	9
4.2	气象调查	10
4.3	环境与水文调查	12
4.4	冻土调查	13
5	总体设计	15
5.1	一般规定	15
5.2	隧址选择	15
5.3	隧道线形	16
5.4	隧道横断面	17
5.5	横通道	18
6	建筑材料	20
6.1	一般规定	20
6.2	主体结构材料	20
6.3	保温材料	22
6.4	防水材料	22
7	荷载及结构计算	25
7.1	一般规定	25
7.2	荷载	25
7.3	结构计算	26
8	洞口、洞门与衬砌设计	28
8.1	一般规定	28
8.2	洞口及洞门	28
8.3	明洞	29

8.4	喷锚衬砌	29
8.5	复合式衬砌	30
8.6	防雪棚	31
9	防排水设计	32
9.1	一般规定	32
9.2	衬砌防排水	32
9.3	保温边沟	34
9.4	深埋水沟	35
9.5	防寒泄水洞	35
9.6	保温出水口	37
9.7	注浆防渗	39
10	防冻保温设计	41
10.1	一般规定	41
10.2	保温层厚度确定	43
10.3	保温层长度确定	45
10.4	保温层构造设计	46
11	附属设施设计	47
11.1	一般规定	47
11.2	消防给水与灭火设施	47
11.3	供配电设施	49
12	施工准备	50
12.1	一般规定	50
12.2	资料的收集和调查	50
12.3	施工场地与临时工程	51
12.4	施工人员、材料和设备	52
13	隧道施工	53
13.1	一般规定	53
13.2	开挖	53
13.3	支护与衬砌	54
13.4	防排水系统	55
13.5	保温层	56
13.6	施工通风	57
13.7	施工排水	58
13.8	监控量测	59
13.9	职业健康与劳动保护	59

14 质量检验	63
14.1 一般规定	63
14.2 洞口工程	63
14.3 混凝土衬砌	64
14.4 保温层	64
14.5 防冻排水设施	66
14.6 其他	66
附录 A 隧道冻胀力计算	67
附录 B 多年冻土段隧道围岩压力计算	71
附录 C 洞门墙水平冻胀力计算	75
附录 D 隧道供氧量计算	76
本规范用词用语说明	77

交通运输部信息公开
 浏览专用

交通运输部信息公开
浏览专用

1 总则

1.0.1 为指导和规范寒区公路隧道设计与施工，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于以钻爆法为主要开挖方法的各等级新建和改扩建寒区公路隧道。

1.0.3 寒区公路隧道设计与施工应根据隧址区气候条件、地质条件、生态环境特征，结合地区经验，重点考虑低温、冻融、高海拔地区缺氧等影响，制订相应技术方案。

1.0.4 寒区公路隧道设计与施工应遵循“安全耐久、经济合理、技术先进、低碳节能”的原则。

1.0.5 寒区公路隧道设计与施工应贯彻国家有关技术经济政策，积极稳妥地采用新技术、新材料、新设备、新工艺。

1.0.6 寒区公路隧道设计与施工除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定。

2 术语

2.0.1 寒区 cold region

因高海拔或高纬度形成的寒冷气候区，包括寒冷地区和严寒地区。

2.0.2 冻土 frozen soil

0℃以下并含有冰的土壤和岩石层。

2.0.3 季节冻土 seasonally frozen soil

地表层冬季冻结、夏季全部融化的土壤和岩石层。

2.0.4 多年冻土 permafrost

持续两年或两年以上保持冻结的土壤和岩石层。

2.0.5 最大冻深 maximum frozen depth

地表土层或疏松岩石冻结的最大深度。

2.0.6 标准冻深 standard frozen depth

一定周期内实测的最大冻深平均值。

2.0.7 设计冻深 design frozen depth

各计算点设计取用的冻结深度值。

2.0.8 冻胀率 frost heaving ratio

冻结前后体积之差与冻结前体积之比。

2.0.9 冻胀作用 frost action

围岩或衬砌背后空隙中因水的冻结和冰体增加而引起的体积增大的过程。

2.0.10 冻胀力 frost force

围岩或衬砌背后空隙中的水分膨胀产生的作用在隧道衬砌上的力。

2.0.11 保温水沟 heat insulating ditch

设置了保温层等保温措施的水沟。

2.0.12 深埋水沟 deep infiltration ditch

埋置于隧道内相应冻结深度以下的排水沟。

2.0.13 防寒泄水洞 frost-proof draw off culvert

设置于隧道底部冻结深度以下，为预防隧道发生冻害而修建的排水结构。

2.0.14 保温层 anti-freezing insulating layer of tunnel

将低导热材料设置在衬砌、结构表面或背后，用于隔热防冻的构造层。

交通运输部信息公开
浏览专用

3 基本规定

3.1 寒区气候分类

3.1.1 寒区公路隧道气候分类可按表 3.1.1 确定。

表 3.1.1 寒区公路隧道气候分类

气候分类	最冷月平均气温 t (°C)
寒冷地区	$-8 < t \leq -3$
严寒地区	$t \leq -8$

条文说明

国内不同行业标准对严寒地区和寒冷地区的分类标准是不同的。

国家标准《建筑气候区划标准》(GB 50178—1993)和《民用建筑设计统一标准》(GB 50352—2019)规定,严寒地区气候主要指标之一为“1月平均气温 $\leq -10^{\circ}\text{C}$ ”,寒冷地区气候主要指标之一为“1月平均气温 $-10\sim 0^{\circ}\text{C}$ ”。

行业标准《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1—2018)没有对寒冷地区和严寒地区进行分类,即无划分标准。行业标准《公路隧道设计细则》(JTG/T D70—2010)规定“保温水沟宜用于寒冷地区,最冷月平均气温在 $-5\sim -15^{\circ}\text{C}$ 、冻结深度 $1.0\sim 1.5\text{m}$;中心深埋水沟宜用于严寒地区,最冷月平均气温在 $-15\sim -25^{\circ}\text{C}$ 、冻结深度 $1.5\sim 2.5\text{m}$ ”,即寒冷地区划分标准为最冷月平均气温在 $-5\sim -15^{\circ}\text{C}$ 、冻结深度 $1.0\sim 1.5\text{m}$;严寒地区划分标准为最冷月平均气温在 $-15\sim -25^{\circ}\text{C}$ 、冻结深度 $1.5\sim 2.5\text{m}$ 。《季节性冻土地地区公路设计与施工技术规范》(JTG/T D31-06—2017)根据最冷月平均气温和围岩冻结深度两个指标,将隧道洞内环境温度分为“严寒”、“寒”和“冷”三类,“严寒”对应的最冷月平均气温为 -15°C 以下,“寒”对应的最冷月平均气温为 $-8\sim -15^{\circ}\text{C}$,“冷”对应的最冷月平均气温为 $0\sim -8^{\circ}\text{C}$ 。

《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2016)、《混凝土结构耐久性设计标准》(GB 50476—2019)、《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310—2019)规定,寒冷地区最冷月平均气温为 $-8\sim -3^{\circ}\text{C}$,严寒地区最冷月平均气温为 -8°C 及以下。公路隧道设计施工中,寒区公路隧道主要考虑的是围岩冻胀力和冻融对衬砌结构的影响,因此,参照以上标准规定,并结合公路隧道实际冻害调查及寒区公路隧道温度监测资料,本规范将最冷月平均气温“ $-8^{\circ}\text{C} < t \leq -3^{\circ}\text{C}$ ”和“ $t \leq -8^{\circ}\text{C}$ ”作为气候分类标准。

3.1.2 寒区公路隧道采用的气象参数宜根据隧道洞口气象站实测数据确定；无实测数据时，可根据附近气象站提供的相关资料确定。气象站与隧道水平距离宜小于 50km，高差宜小于 100m。

条文说明

根据气象部门相关规定，在地形较为平坦的地区，一个气象（台）站可以覆盖方圆 50km 的范围。同时，气候受高程影响很大，如气温随高程上升而下降，高程每增大 100m，平均气温降低约 0.6℃，不同季节稍有差别。

当隧道与气象站水平距离在 50km 以内，且高程相差不超过 100m 时，二者气候具有相似性，该气象站记录的气象参数可以直接引用；当隧址区地形起伏、高差变化较大，不能直接引用该气象站气象参数时，可以经由气象部门对参数修正后使用。

3.2 防冻设防

3.2.1 寒区公路隧道宜在进出洞地段设置防冻设防段，对于无水或基本无水且无潜在地下水补给来源的寒区公路隧道，可不设防冻设防段。

条文说明

水是发生冻害的必要条件，当隧道无水或基本无水且无潜在地下水补给来源时，冻害基本不会发生或发生程度较低，因此，这种情况下可以不设防冻设防段。

3.2.2 寒区公路隧道防冻设防段等级划分应符合表 3.2.2 的规定。

表 3.2.2 寒区公路隧道防冻设防段等级划分

气候分类	最冷月平均气温 t (℃)		
	$t \leq -15$	$-15 < t \leq -8$	$-8 < t \leq -3$
寒冷地区	—	—	三级
严寒地区	一级	二级	—

3.2.3 寒区公路隧道防冻设防段长度宜根据气候条件相似的既有隧道温度场实测数据分析确定；当无实测数据时，可采用经验公式、理论公式或数值模拟计算综合确定。

3.3 设计冻深

3.3.1 围岩冻胀性分级应符合表 3.3.1 的规定。

表 3.3.1 围岩冻胀性分级

冻胀级别	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。表 3-1 为不同岩性和不同围岩级别下岩体的冻胀率及冻胀性。

表 3-1 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 ~ 1.788	—	—	—	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
花岗岩	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	—
	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
砂岩	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	—
	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
玄武岩	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	—
	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

续表 3-1

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
石灰岩	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	—
	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
	强 ~ 全风化	3.75 ~ 4.37	0.081 ~ 0.095	—	—	—	0.09 ~ 0.12 弱	0.10 ~ 0.15 弱
花岗闪长岩	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	—
	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
石英岩	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	—
	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”。

3.3.2 标准冻深宜采用隧址区附近或气候条件相似的气象台或气象站实测多年的最大冻深平均值，高速公路、一级公路隧道统计年限不宜少于近 20 年，其他等级公路隧道统计年限不宜少于近 10 年。当无实测资料时，可按现行《冻土地区建筑地基基础设

计规范》(JGJ 118) 中“中国季节冻土标准冻深线图”查取。

条文说明

标准冻深为多年实测的最大冻深平均值, 对于不同公路等级, 实测年限要求不同。高速公路、一级公路隧道统计年限不少于 20 年, 且以最近 20 年的监测数据为宜; 其他等级公路隧道统计年限不少于 10 年, 且以最近 10 年的监测数据为宜。

3.3.3 寒区公路隧道设计冻深可按式 (3.3.3) 计算:

$$Z_d = Z_0 \psi_{zw} \psi_{zt} \quad (3.3.3)$$

式中: Z_d ——隧道设计冻深 (m);

Z_0 ——标准冻深 (m);

ψ_{zw} ——围岩冻胀性影响系数, 可按表 3.3.3 查取, 围岩冻胀性分级根据本规范第 3.3.1 条确定, 当隧址区年平均气温大于 -5°C 时, $\psi_{zw} = 1.0$;

ψ_{zt} ——洞口地形影响系数, 可按表 3.3.3 查取, 隧道深埋段 $\psi_{zt} = 1.0$ 。

表 3.3.3 设计冻深影响系数

系数	围岩冻胀性影响系数 ψ_{zw}					洞口地形影响系数 ψ_{zt}		
	不冻胀	弱冻胀	冻胀	强冻胀	特强冻胀	平坦	阳坡	阴坡
取值	1.0	0.95	0.9	0.85	0.8	1.0	0.9	1.1

4 隧道调查

4.1 一般规定

4.1.1 寒区公路隧道应按设计及施工阶段的任务、目的和要求，搜集和调查隧址区气象、水文、地形地貌、地质、冻土、周边环境等资料，以及邻近既有隧道的建设、养护、冻害防治资料与经验，调查资料应准确、齐全。

条文说明

寒区公路隧道工程面临着特殊的气象条件和地质条件，如负温条件造成的工程结构冻胀和冻融破坏等问题，致使寒区公路隧道冻害问题较为突出，为工程建设和养护运营带来了较大的安全风险。冻害问题较为复杂，各地在寒区公路隧道养护过程中积累了许多防治经验，为此，本条除提出基本的调查要求外，还提出需调查邻近隧道冻害情况与防治经验。

邻近隧道冻害情况与防治经验相关资料包括下列内容：

- (1) 洞门墙及明洞基础的冻胀、融沉变形。
- (2) 衬砌剥落、开裂。
- (3) 衬砌渗漏水与挂冰。
- (4) 路面积水与结冰。
- (5) 洞口挂冰、地表截排水沟与出水口结冰。
- (6) 热融滑塌、融冻泥石流等与冻融过程相关的不良冻土现象的分布、范围或规模。
- (7) 既有工程所采取的冻害防治措施与效果。

4.1.2 寒区公路隧道工程地质勘察工作应分阶段进行，采用工程地质调查、测绘、物探、勘探、取样、室内试验、原位测试和定位观测等综合勘察手段，查明并综合评价隧道工程地质、水文地质条件。

条文说明

工程地质勘察一般按可研勘察、初步勘察、详细勘察等三个阶段进行，与可行性研究、初步设计和施工图设计等阶段相适应。地质条件与隧道工程设计施工息息相关，是影响隧道工程的重要因素，因此，在隧道工程设计中切实重视地质勘察，特别是地形、

地质条件特别复杂时，需加强工程地质勘察与评价工作。

4.1.3 寒区公路隧道宜查明隧址区不同季节的水文地质与气象条件。

条文说明

寒区隧道最为突出的病害是隧道冻害问题，负温和水是发生冻害的必要条件，周期性冻融是隧道冻害产生的主要诱因，因此，要求调查隧址区不同季节的水文地质与气象条件，为隧道防冻保温设计提供可靠的基础资料。

4.1.4 寒区公路隧道位于多年冻土地段时，应进行气温、地温、多年冻土天然上下限观测；位于季节冻土地段时，宜进行气温、地温、冻结深度观测。

4.1.5 寒区公路隧道改扩建时应搜集既有隧道设计、施工、养护、运营管理等相关资料。

4.1.6 寒区公路隧道施工前，应进行现场调查，对冻土地质进行必要的复查；施工中，应根据实际地质与气象条件，对设计文件进行核对。

4.2 气象调查

4.2.1 气象调查应包括下列内容：

- 1 气温、日照、太阳辐射、年平均气温、最冷月平均气温、最低日平均气温、冻结深度、冻结时间、年平均负温天数。
- 2 风速、风向。
- 3 雨量、雪量、雪线高程、冰川。
- 4 雪崩、积雪、涎流冰。
- 5 历史上气象灾害情况。

4.2.2 应调查地形、坡向、坡度、冬季主导风向、小气候、高程等资料，分析其对隧址区冻深、降温速率、冻土分布及发育等的影响。

条文说明

由于坡向、小气候条件、风口等局部区域气候特征，对冻结深度、冻土的分布和发育、植物生长及地下水活动都有很大影响，如由于阴坡、阳坡坡向不同，日照的时间有长有短，得到的辐射热存在差异，对于季节冻土地区通常阳坡冻深小，阴坡冻深大；而对于多年冻土地区而言，通常阳坡多年冻土天然上限较大，且冻土含冰量较低，阴坡则

多年冻土天然上限较小，冻土含冰量较高。因此，局部特征在调查中需引起重视。

4.2.3 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、一级公路隧道气象资料统计年限不宜少于20年，其他等级公路隧道气象资料统计年限不宜少于10年。在缺乏历史气象资料地区，宜在隧址区设置观测周期不少于1年的气象观测点或观测站，持续收集气象资料。

条文说明

气象条件是寒区公路隧道设计的基本依据，气象资料统计年限越长，参数对设计越有指导作用，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，本规范按不同公路等级对统计年限作了规定。

4.2.4 气象观测点或观测站设置应符合下列规定：

- 1 站点位置宜布置在洞口、斜（竖）井口100m范围内，持续开展气温、风向、风速、湿度等观测。
- 2 气象观测宜在初步勘察阶段开始，至竣工验收后结束。有条件时，竣工验收后宜移交相关单位开展长期气象观测。

4.2.5 洞口受积雪影响时，调查应包括下列内容：

- 1 积雪地段地形、地貌、植被、坡向。
- 2 积雪分布范围、厚度、形成原因与发育规律。
- 3 风吹雪的成因、来源，路线走向与冬季主导风的交角。
- 4 当地防治积雪的工程措施和经验。

条文说明

积雪对寒区公路隧道的建设和运营安全产生较大影响，积雪通常分为自然降雪和风吹雪。自然降雪是在风力较弱或无风条件下降雪在地面堆积形成的松散雪层，会造成车辆与路面附着力降低，严重时会发生雪崩，这将威胁行车安全；而风吹雪是指降雪在较强风的携带下运行及堆积的过程，其危害主要有积雪阻车、吹入洞内影响行车、风雪流遮挡视线等，对隧道运营安全产生影响。

4.2.6 洞口受雪崩影响时，调查应包括下列内容：

- 1 雪崩的分布、类型、规模、频率、时间、雪源及其形成规律，必要时应测绘汇雪面积地形图和雪崩运动路径的纵断面图。
- 2 积雪区的地貌形态、面积、高差、储雪条件、积雪厚度和冬季储雪量。
- 3 通过区的地貌形态、坡度、坡向、基岩岩性、地质构造、坡面植被等。

- 4 雪崩的运动形式、发生规律,最大雪崩量和雪崩裂点位置。
- 5 雪崩堆积区的形态、面积、位置、厚度、特征、消融时间等。
- 6 雪崩区一定范围内其他不良地质体发育情况、规模及与雪崩的空间关系。
- 7 降雪量、最大雪深、积雪起止时间及连续积雪天数、最大降水和降雪强度。
- 8 当地防治雪崩的措施与经验。

条文说明

山坡积雪崩塌,掩埋洞口,阻断通行,对隧道运营安全将产生较大危害。因此,需要重点调查雪崩分布范围、裂点位置、危害范围及发生频率等,为隧道选线和设计施工提供依据。

4.2.7 洞口受涎流冰影响时,调查应包括下列内容:

- 1 洞口地形、地貌、地质、气象条件以及植被生长情况。
- 2 涎流冰的类型、分布范围、厚度、发育规律及对隧道工程的影响和危害程度。
- 3 地下水露头(泉)的类型、流量、流向、水温及其动态变化情况。
- 4 形成涎流冰的地表水来源、流向、流量及其动态变化情况。
- 5 当地防治涎流冰的措施与经验。

条文说明

涎流冰会对行车安全造成较大威胁,对隧道结构产生冻胀危害。需要重点调查清楚各种水源在寒冷季节形成的冰流量、流动范围、涎流冰类型以及当地防治经验,为隧道设计施工提供依据。

4.3 环境与水文调查

4.3.1 应对隧址区及邻近地区相关地表水系、地下水系、温泉、湖泊、水库、沼泽、湿地、冰川、保护区,以及植物生态、植被类型及覆盖度、雪盖范围等自然环境进行调查。

4.3.2 寒区公路隧道水文地质调查应包括下列内容:

- 1 隧址区地表水系、地表水汇水区、井泉位置、地表水与地下水补给及排泄条件等。
- 2 隧址区断层、褶皱、不同地层接触带、节理密集发育段、浅埋段等含水情况,以及地下水补给及排泄条件。
- 3 围岩地下水类型及地下水位、冻土中地下水类型与地下水量、含水层的分布范围及渗透系数、水压力、水质及其对混凝土的侵蚀、矿化度,以及地下水位随季节变化

情况，寒、暖季涌水量变化规律。

条文说明

地下水在冻结过程极易形成挂冰、积冰等病害，反复冻融将导致衬砌开裂、掉落等病害，处理好地下水是保证寒区公路隧道结构稳定与运营安全的关键。因此，重视地下水情况的调查与分析，查明隧址区水文地质条件至关重要。

4.3.3 寒区公路隧道水文地质条件复杂时，宜进行水文专项地质调查，设置地下水观测点或观测站进行观测，并应满足下列要求：

- 1 应对水位及其变化幅度、水温、水质、流量等进行观测。
- 2 地下水观测点或观测站宜就近设置，并充分利用既有钻孔、水井和泉眼等进行观测，查明地下水赋存、补给条件，评价地下水变化对隧道结构以及围岩冻胀和融沉的影响。
- 3 地下水观测宜从初步勘察阶段开始，至隧道竣工验收后结束，同时观测周期应不少于一个水文年。

4.4 冻土调查

4.4.1 位于冻土段隧道工程地质调查应包括下列内容：

- 1 地形地貌特征、地层岩性与地表物质组成、地质构造。
- 2 冻土分布范围、类型、厚度、含水率、含冰量、地温、地层结构、土质及其物理力学和热学性质。
- 3 多年冻土上限、季节性冻土最大冻结深度、冻土的融沉等级和冻胀性。
- 4 多年冻土的形成、发展及变化趋势和融区的分布情况。
- 5 冻土沼泽、冻胀丘、冰锥、热融湖塘、热融滑塌、融冻泥流等不良地质的分布、规模及其发展情况。
- 6 地表水和地下水的发育情况及其与冻土的关系。
- 7 沿线填料、保温材料、工程用水和生活用水的分布情况。
- 8 既有隧道的运营状况及对冻土环境的影响。
- 9 当地防治冻土的措施与经验。

4.4.2 位于多年冻土段隧道工程地质勘察应设地温观测孔，并按现行《冻土工程地质勘察规范》（GB 50324）的要求进行地温观测。

4.4.3 位于多年冻土段隧道工程地质勘探应选择在适宜的时间进行，冻结或融化过程形成的不良地质现象调查和勘探宜在2—3月或7—9月进行，多年冻土上限宜在9—10月进行。

4.4.4 位于多年冻土段隧道工程地质勘探深度应符合下列规定：

- 1 当采用保持冻土原则设计时，勘探深度应大于设计人为上限 2.5m 以上。当无法确定人为上限时，勘探深度可按大于 2 倍天然上限确定，且不得小于 12m。
- 2 当采用容许融化原则设计时，勘探深度应大于容许融化人为上限 1 ~ 2m。
- 3 对于饱冰冻土或含土冰层，勘探深度宜适当加大或钻穿相应地层。
- 4 对于设置防寒泄水洞的隧道，其勘探深度应达到防寒泄水洞基础底面以下 4 ~ 5m。

4.4.5 冻土工程地质环境评价应包括下列内容：

- 1 季节融化层融化深度及其变化，冻土物理力学和热学性质、温度及其变化。
- 2 不良冻土现象及其动态变化。
- 3 自然环境变化与人为活动影响引起的冰层融化、水分转移、冻土地质条件与冻土特征变化。
- 4 冻胀和融沉特性评价及对围岩强度、隧道结构的影响。
- 5 预测冻土地质条件变化规律以及可能发生的工程地质与生态环境问题，提出相应的工程措施建议。

5 总体设计

5.1 一般规定

5.1.1 寒区公路隧道设计应满足公路功能、国土资源、生态环保、可持续发展的要求，并充分考虑寒区气候特征。平纵线形、建筑限界、净空断面、通风、照明、消防和交通监控等标准应与公路等级相适应。

5.1.2 当积雪、雪崩、涎流冰等对寒区公路隧道建设与运营有较大影响时，宜采用避、绕方案；难以避、绕时，应采取措施保障隧道建设与运营安全，并加强监测。

5.1.3 寒区公路隧道总体设计应考虑冰冻期路面结冰导致抗滑性能降低，以及高海拔地区血氧含量低导致驾驶员反应时间延长等因素，合理选用技术指标。

5.1.4 寒区公路隧道应采取节能减排措施，并设置方便维修与养护的设施。

5.1.5 严寒地区特长隧道、长隧道位置宜为路线走向的控制点。

条文说明

根据大量冻害调查可知，部分寒区公路隧道之所以出现严重冻害，很多情况与选线不合理有关，如隧道走向与冬季风向成小角度相交，穿越富水地段等。为了更好地从本质上减少冻害发生，在选线时，严寒地区特长隧道、长隧道通常作为路线走向的控制点。

5.2 隧址选择

5.2.1 寒区公路隧道宜选择从地下水位及围岩含水率低、冻融对围岩影响较小的地段通过。

5.2.2 傍山寒区公路隧道，宜布设于地表干燥或向阳地带。

5.2.3 寒区公路隧道洞口宜选择阳坡、不易积雪、风速小的有利位置。

5.2.4 对于积雪地带，隧址选择应符合下列规定：

- 1 宜避免在积雪危害严重的坡脚通过，当无法避开时，应以最短距离通过。
- 2 洞外路基段宜避免出现深路堑、长段落挖方等。
- 3 洞口及洞外路基段路线走向宜垂直于风雪流的主导风向。

5.2.5 对于雪崩地带，隧址选择应符合下列规定：

- 1 洞口应避开严重雪崩地段。
- 2 应考虑雪崩发育情况，进行方案比选后确定隧道线位。
- 3 洞口及洞外路基段的线位宜布置在雪崩影响区外侧。

5.2.6 隧道洞口不宜设在多年冻土发育地段。

5.2.7 隧道洞口宜避让涎流冰地段，当无法避让时，应以最短距离通过。

5.3 隧道线形

5.3.1 应根据气象、地质、地形、路线走向、通风等因素确定寒区公路隧道平面线形。

条文说明

本条引自《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1—2018)第4.3.1条，并增加气象因素以确定隧道平面线形，主要是考虑寒区公路隧道温度、风向、风力等对行车安全的影响。

5.3.2 寒区公路隧道防冻设防段线形应符合下列规定：

1 隧道平曲线，宜采用不设超高和加宽的圆曲线，最小半径应符合表5.3.2-1的规定。当隧道平面线形需采用设超高的圆曲线时，其超高值不宜大于3%。

表 5.3.2-1 不设超高的圆曲线最小半径 (m)

路拱	设计速度 (km/h)					
	120	100	80	60	40	30
≤2.0%	5 500	4 000	2 500	1 500	600	350
>2.0%	7 500	5 250	3 350	1 900	800	450

2 隧道纵断面采用的竖曲线最小半径和最小长度应符合表5.3.2-2的规定。

表 5.3.2-2 竖曲线最小半径和最小长度 (m)

设计速度 (km/h)	120	100	80	60	40	30	20
凸形竖曲线最小半径	17 000	10 000	4 500	2 000	700	400	200
凹形竖曲线最小半径	6 000	4 500	3 000	1 500	700	400	200
竖曲线最小长度	100	85	70	50	35	25	20

条文说明

本条对寒区公路隧道的平、纵线形进行了规定。平、竖曲线最小半径与《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1—2018)第4.3.1条、第4.3.4条保持一致,但基于寒区公路隧道行车安全考虑,对防冻设防段平曲线强调采用不设超高和加宽的圆曲线。

5.3.3 寒区公路隧道洞口内外侧各3s设计速度行程范围的平、纵线形应一致,且平曲线不宜采用缓和曲线,特殊困难地段,经技术经济比较论证后,二、三级防冻设防段可采用缓和曲线,但应加强线形诱导设施,保障行车安全。

5.3.4 寒区公路隧道线位应综合地形、地貌、地质与气象条件确定,洞口平面线位宜与冬季风主导风向垂直或大角度相交。

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,故隧道轴线选择要综合考虑地形、地貌、地质与气象等条件。

5.3.5 寒区公路隧道防冻设防段最小纵坡不宜小于0.5%。

5.3.6 寒区长隧道和特长隧道纵坡宜采用双向坡。

条文说明

寒区公路隧道洞身段地温明显高于洞口段,通过双向坡的设置,可利用洞中段高温地下水流向两端低温洞口,从而减轻冻害的发生。

5.4 隧道横断面

5.4.1 寒区公路隧道建筑限界应符合现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1)的规定。

5.4.2 寒区公路隧道内轮廓断面净空应考虑保温层的设置,并预留后期维修加固空间。

5.4.3 寒区公路隧道防冻设防段宜适当加大隧道内轮廓,净空断面最小富余量宜符合表 5.4.3 的规定。

表 5.4.3 净空断面最小富余量

设防等级	一级	二级	三级
最小富余量 (cm)	20	15	10

条文说明

考虑寒区公路隧道防冻设防段结构受力和冻害的复杂性和不确定性,以及施工质量、材料耐久性等,需考虑为运营期维修加固预留适当空间。

5.5 横通道

5.5.1 对于高海拔寒区公路隧道,人行横通道设置间距应符合下列规定:

- 1 当隧道设计高程为 3 000 ~ 4 000m 时,人行横通道设置间距宜为 200m,且不宜大于 300m。
- 2 当隧道设计高程为 4 000 ~ 5 000m 时,人行横通道设置间距宜为 175m,且不宜大于 250m。
- 3 当隧道设计高程超过 5 000m 时,人行横通道设置间距宜经论证确定。

条文说明

《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1—2018)规定“人行横通道设置间距宜为 250m,并不应大于 350m”。国外对人行横通道间距的规定见表 5-1。

表 5-1 国外对人行横通道间距的规定

国别	日本	美国	德国	法国	瑞士	奥地利
人行横通道间距 (m)	350	100 ~ 300	350	城市道路隧道 200; 其他隧道 400	400	推荐 500,且不大于 1 000

高海拔寒区公路隧道内驾乘人员生理机能受海拔影响较大。海拔每上升 1 000m,生理负荷约增加一个劳动强度等级,当海拔达到 5 000m 时,劳动能力明显下降,下降率约为 32%。此外,根据相关研究,海拔 2 300m 以上地区,驾驶员光感受性亦显著下降。可见,高海拔寒区公路隧道火灾疏散过程中,人员识别能力和逃生速度均有明显降低,相关研究提出考虑海拔影响系数的人行横通道间距见表 5-2。

表 5-2 海拔影响系数及人行横通道间距

海拔 (m)	平原地区	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000	5 500
海拔影响系数	1	0.84	0.79	0.74	0.68	0.61	0.54
人行横通道间距 (推荐值, 上限值) (m)	250, 350	210, 294	197.5, 276.5	185, 259	170, 238	152.5, 213.5	135, 189

综合各因素和相关研究成果, 结合寒区公路隧道实际情况, 提出高海拔寒区公路隧道人行横通道设置间距标准。

5.5.2 寒区公路隧道设置平行通道时, 平行通道宜布置在地下水补给源一侧, 其高程宜低于主洞, 如图 5.5.2 所示。

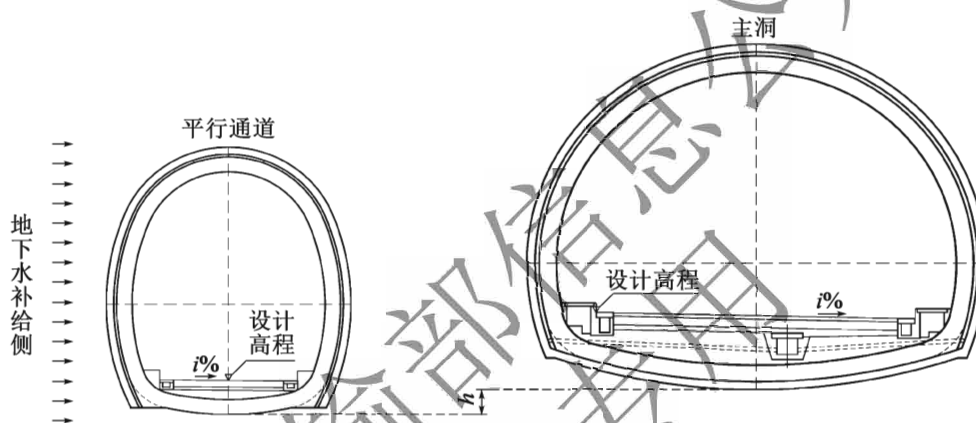


图 5.5.2 平行通道布置图

6 建筑材料

6.1 一般规定

6.1.1 寒区公路隧道防冻设防段衬砌结构应采用抗冻混凝土，抗冻混凝土可采用掺加引气剂或引气减水剂的引气水泥混凝土。

条文说明

对于 C60 以下的水泥混凝土，适量的引气是目前提高水泥混凝土抗冻性较为经济有效的措施。引气不仅可以提高水泥混凝土的抗冻性（包括抗盐冻性）、耐腐蚀性等，还可以提高水泥混凝土的抗弯强度，有利于提高水泥混凝土的韧性，但单纯引气对水泥混凝土的弹性模量和徐变有不利影响。

6.1.2 寒区公路隧道保温材料应具有良好的保温、防火、防潮及耐腐蚀性能。

条文说明

隧道内部环境相对密闭，如果保温材料不具备防火性，一旦发生火灾，将给隧道逃生救援带来更大风险；同时，由于隧道内相对潮湿、汽车尾气有一定的腐蚀性，保温材料需要有防潮及耐腐蚀性。

6.1.3 寒区公路隧道防水材料应有良好的低温物理力学性能。

6.2 主体结构材料

6.2.1 寒区公路隧道主体结构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规定，同时满足抗冻、抗渗和抗侵蚀的要求。
- 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种水泥和集料配制，其抗侵蚀性能要求视水的侵蚀特征确定。
- 3 一级防冻设防段衬砌混凝土强度等级应适当提高。

6.2.2 混凝土和砌体所用的材料应符合下列规定：

- 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《钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋》（GB 1499.1）、《钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋》（GB 1499.2）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，不应采用有裂缝和易风化的石材。
- 4 应选择质地坚硬、集配良好、粒径合理、吸水率低、颗粒洁净、有害杂质含量少的粗、细集料。

6.2.3 寒区公路隧道一般碎石的压碎值指标不应大于 18%，坚固性指标不应大于 6%，含泥量不应大于 1%；砂的坚固性指标不应大于 6%，含泥量不应大于 2.5%。

条文说明

寒区公路隧道结构用砂、碎石质量对混凝土的抗冻能力有一定影响，为了保证混凝土结构的抗冻能力，对砂、碎石相关指标提出要求。

6.2.4 不同混凝土强度等级最大水胶比和单位体积混凝土的胶凝材料用量应符合表 6.2.4 的规定。

表 6.2.4 混凝土的最大水胶比和单位体积混凝土的胶凝材料用量

强度等级	最大水胶比	最小胶凝材料用量 (kg/m ³)	最大胶凝材料用量 (kg/m ³)
C30	0.55	280	400
C35	0.50	300	400
C40	0.45	320	450
C45	0.40	340	450
C50	0.36	360	480

注：大掺量矿物掺合料混凝土的水胶比不应大于 0.42。

条文说明

本条根据《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》（JTG/T 3310—2019）的规定提出。孔隙中的游离水给混凝土的耐久性带来不利影响，在满足混凝土强度等级的前提下，规定混凝土的最大水胶比可以控制混凝土中的游离水量，从而有效改善混凝土抗渗性、密实性等耐久性能。规定胶凝材料的最小用量，主要是为保证混凝土的工作性，而规定胶凝材料的最大用量，主要是防止过高的水化热引起混凝土的开裂。

6.3 保温材料

6.3.1 寒区公路隧道常用保温材料的主要性能指标应符合表 6.3.1 的规定。

表 6.3.1 保温材料主要性能指标

项目	性能指标			
	单位	板材		喷涂
		设置于衬砌表面	设置于初期支护与二次衬砌之间	设置于衬砌表面
导热系数	W/(m·K)	≤0.065		≤0.065
抗压强度	kPa	≥100	≥200	≥120
拉伸强度	kPa	≥100	—	≥120
燃烧性能	—	不低于 B1 级	不低于 B2 级	不低于 B1 级

条文说明

根据《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)对隧道内部装修材料燃烧性能的规定,城市交通隧道除嵌缝材料外,隧道的内部装修应采用不燃材料。无机保温材料燃烧性能一般为 A 级不燃材料,但保温性能稍弱;有机保温材料燃烧性能一般达不到 A 级,但保温性能较好。现在复合式保温材料(有机保温材料外侧裹有无机材料)已作为隧道的保温材料用于实际工程中,理论上能够满足寒区隧道保温材料的不燃性能和保温性能,但是具体选用保温材料时,需要满足相关标准的要求,方可使用。

统计多座隧道测试结果,分析表明初期支护与二次衬砌之间接触压力一般为 10~310kPa,同时,结合现有保温材料的实际抗压强度情况,本规范要求设置在初期支护和二次衬砌之间的保温材料抗压强度大于 200kPa。实际中,需要结合隧道形式、隧道跨度、地质情况、隧道埋深以及施工方案等对初期支护与二次衬砌之间接触压力的影响进行核算,根据核算结果选取抗压强度指标。

6.3.2 保温材料的外观质量、尺寸公差及性能指标应符合所选用具体材料现行相关标准的规定。

条文说明

隧道常用的有机保温材料包括聚酚醛泡沫板、聚氨酯、聚苯乙烯等。所选用的保温材料性能指标在符合表 6.3.1 规定的同时,尚需符合保温材料现行相关标准的规定。

6.4 防水材料

6.4.1 防水卷材应符合下列规定:

1 防水卷材主要技术指标应符合表 6.4.1 的规定。

表 6.4.1 防水卷材主要技术指标

项目	单位	指标	
		聚乙烯 (PE)	乙烯-醋酸乙烯共聚物 (EVA)
断裂拉伸强度	MPa	≥18	≥18
扯断伸长率	%	≥600	≥650
撕裂强度	kN/m	≥95	≥100
不透水性 (0.3MPa, 24h)	—	无渗漏	无渗漏
低温弯折性	—	-35℃无裂缝	-35℃无裂缝
加热伸缩量	延伸	mm	≤2
	收缩	mm	≤6
热空气老化 (80℃, 168h)	断裂拉伸强度	MPa	≥15
	扯断伸长率	%	≥550
耐碱性 [Ca(OH) ₂ 饱和溶液, 168h]	断裂拉伸强度	MPa	≥16
	扯断伸长率	%	≥550
人工候化	断裂拉伸强度保持率	%	≥80
	扯断伸长率保持率	%	≥70
刺破强度	N	≥300	≥300

2 防水卷材的外观质量、规格尺寸和物理性能指标应符合现行《高分子防水材料第 1 部分：片材》(GB/T 18173.1) 的规定。

3 防水卷材的低温性能除符合表 6.4.1 的规定外，其脆化温度宜小于最低环境温度 15℃。

条文说明

塑料等聚合物的耐寒性能用脆化温度表示，脆化温度是指塑料在规定的冲击荷载作用下，有 50% 试样产生脆性破坏的温度。脆化温度越低，表明塑料材料的耐低温冲击性能越好。运输、存放及安装过程中的环境温度低于脆化温度时，塑料失去柔韧性，脆易折，在外力作用下可能产生微裂纹、破裂现象，因此，规定脆化温度要小于在运输、存放及安装过程中遇到的最低环境温度 15℃。脆化温度测试方法要符合现行《塑料 冲击法脆化温度的测定》(GB/T 5470) 的规定。

6.4.2 橡胶止水带应符合下列规定：

1 隧道内用橡胶止水带技术指标宜符合表 6.4.2 的规定。

表 6.4.2 橡胶止水带主要技术指标

项目	单位	指标
硬度	邵尔 A 度	60 ± 5
拉伸强度	MPa	≥10

续表 6.4.2

项目		单位	指标	
拉断伸长率		%	≥380	
压缩永久变形	70℃, 24h	%	≤30	
	23℃, 168h	%	≤20	
撕裂强度		kN/m	≥30	
脆性温度		℃	≤ -45	
热空气老化	70℃, 168h	硬度变化	邵尔 A 度	≤ +6
		拉伸强度	MPa	≥9
		拉断伸长率	%	≥320
臭氧老化 (50 × 10 ⁻³)	20%, (40 ± 2)℃ × 48h	—	无裂纹	
橡胶与金属黏合		—	橡胶间破坏	

注：止水带接头部位的拉伸强度指标应不低于表 6.4.2 中规定的 80%（现场施工接头除外）。

2 橡胶止水带的外观质量、尺寸公差和物理性能指标应符合现行《高分子防水材料 第 2 部分：止水带》(GB/T 18173.2) 的规定。

3 橡胶止水带的脆性温度除应符合表 6.4.2 的规定外，同时宜小于最低环境温度 5℃。

条文说明

橡胶止水带一般选择天然橡胶为主要原料，掺加各种助剂及填充料，经塑炼、混炼、压制成型，具有良好的弹性、耐磨性、耐老化性和抗撕裂性能，适应变形能力强、防水性能好。

橡胶止水带需要满足低温脆性的要求，脆性温度需小于运输、存放及安装过程中的最低环境温度 5℃。脆性温度的测定要符合现行《硫化橡胶或热塑性橡胶 低温脆性的测定（多试样法）》(GB/T 15256) 的规定。

7 荷载及结构计算

7.1 一般规定

7.1.1 寒区公路隧道结构上可能同时出现的永久荷载、可变荷载及偶然荷载，应按满足承载能力和正常使用要求分别进行组合，并按最不利组合进行荷载计算与结构设计。

7.1.2 寒区公路隧道应采用破损阶段法对结构承载能力进行验算，并对使用阶段的结构变形及裂缝宽度进行验算。

7.1.3 寒区公路隧道冻胀力应作为其他可变荷载参与荷载组合。

7.1.4 寒区公路隧道一级防冻设防段衬砌应考虑冻胀力影响。

7.1.5 当计算的寒区公路隧道冻胀力大于 0.5MPa 时，应采取降低冻胀力的工程措施。

7.2 荷载

7.2.1 寒区公路隧道冻胀力宜根据隧址区气象条件、最大冻结深度、洞内风速、围岩级别和裂隙率、隧道排水条件等综合确定。当无相关资料时，可按本规范附录 A 计算。

7.2.2 曲墙式断面隧道冻胀力可按本规范附录 A 中第 A.2 节计算，也可采用与其几何面积相等的等代圆形隧道按本规范附录 A 中第 A.1 节计算。

7.2.3 寒区公路隧道非多年冻土段围岩压力可按现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1) 计算。

7.2.4 寒区公路隧道穿越多年冻土段围岩压力可按本规范附录 B 计算。宜比较冻结条件下和融化条件下的围岩压力，选取其中较大者参与荷载组合。

7.2.5 明洞及浅埋段隧道应考虑上覆雪荷载的影响。

7.3 结构计算

7.3.1 寒区公路隧道复合式衬砌中的二次衬砌和明洞宜采用荷载结构法计算。

条文说明

《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1—2018)指出,深埋隧道中的整体式衬砌、浅埋隧道中的整体式或复合式衬砌的二次衬砌及明洞衬砌等宜采用荷载结构法计算,深埋隧道中复合式衬砌的二次衬砌也可采用荷载结构法计算。根据寒区公路隧道的受力特点,这里统一为采用荷载结构法进行内力计算。

7.3.2 作用在复合式衬砌上的冻胀力主要应由二次衬砌承担。

7.3.3 钢筋混凝土结构的裂缝计算宽度限值应符合现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1)的规定。

7.3.4 寒区公路隧道洞门墙计算及验算应符合下列规定:

1 洞门墙应具有抵抗来自仰坡、边坡土压力的能力,并能承受冻融期间冻胀力的作用。洞门墙应按挡土墙结构进行强度、抗滑和抗倾覆稳定性验算。

2 洞门墙作挡土墙结构计算时可按平面问题简化,同时考虑洞口衬砌对洞门墙的影响,其中水平冻胀力分布图式和标准值可按本规范附录 C 选取。

3 洞门墙按上款计算时可不考虑基底水平位移影响。

4 洞门墙计算宜考虑多向冻胀作用,可采用洞门墙空间模型进行数值模拟计算,以得到多向冻胀对洞门墙内力的影响,进而对理论计算进行修正。

5 洞门墙荷载组合可按现行《公路路基设计规范》(JTG D30)的规定执行,并进行永久荷载与冻胀力的荷载效应组合。

6 洞门墙的验算应符合现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1)的有关规定。

7 洞门墙抗基底滑动和抗倾覆稳定验算应考虑土压力和冻胀力的作用,并按暖季和寒季分别进行验算。验算方法可按现行《冻土地区建筑地基基础设计规范》(JGJ 118)的有关规定执行。

条文说明

寒区挡土墙墙后土体的冻胀呈现双向冻胀的特征,即低温从地表和挡土墙表面两个方向入侵土体。对隧道洞门墙而言,上述特征仍然存在,但由于其与隧道内部相通,冷

量还可以从隧道进出口段沿隧道衬砌侵入洞门墙后岩土体,呈现更为复杂的多向冻胀特点,这在寒区公路隧道洞门墙设计计算时需要予以考虑,但鉴于目前这方面的研究成果缺失,因此,建议使用理论计算与数值模拟相结合的方法。理论计算即将洞门墙按挡土墙结构考虑,按平面问题简化计算,水平冻胀力分布图式和标准值参照《冻土地区建筑地基基础设计规范》(JGJ 118—2011)对挡土墙水平冻胀力计算规定选取。根据冻胀力分布和量值即可通过计算得到墙体在冻胀力作用下的内力。需要指出的是,一般柔性挡土墙刚度较小,冻胀力作用下会发生变形,因此,需要对冻胀力值作变形修正(如《水工建筑物荷载标准》(GB/T 51394—2020)对悬臂式和薄壁式挡土墙冻胀力的规定)。但由于公路隧道洞门墙一般采用刚度较大的端墙式洞门形式,并且洞口段衬砌对洞门墙亦有约束作用,因此,在冻胀过程中认为冻胀力使洞门墙产生水平变形较小,可不作上述变形修正。由于理论计算模型与实际有所偏差,因此,可以采用数值方法建立隧道洞门墙的空间模型,考虑上述多向冻胀特点,得到多向冻胀力作用对洞门墙的内力响应的影响,进而对理论计算结果进行修正。

交通运输部信息公告
浏览专用

8 洞口、洞门与衬砌设计

8.1 一般规定

8.1.1 寒区公路隧道洞口、洞门与衬砌设计应考虑冻胀和融沉的影响，通过工程类比和结构计算综合分析确定支护类型和参数。

8.1.2 寒区公路隧道防冻设防段宜采用复合式衬砌，宜设置伸缩缝。

8.1.3 寒区公路隧道洞口、洞门与衬砌耐久性应满足冻融环境要求。

8.2 洞口及洞门

8.2.1 寒区公路隧道洞口设计应符合下列规定：

- 1 应尽可能减少对原状地表的改变，宜采用与原地形顺适的洞门形式。
- 2 应控制边仰坡高度，不宜对山体进行大开挖。
- 3 应考虑设置防积雪和路面冻害措施所需的空間。

条文说明

地形地貌较大的改变会引起风速、风向的改变，洞口的大刷大挖将形成较深的路堑或较高较陡的边仰坡，从而可能产生严重的风吹雪或诱发雪崩。隧道洞门形式除了与洞口地形相协调外，还不能引起洞口附近风速、风向发生较大的改变而加重风吹雪现象。

8.2.2 寒区公路隧道端墙式洞门设计应符合下列规定：

- 1 洞门墙基底宜置于设计冻深以下不小于0.25m。
- 2 洞门墙背排水盲沟（管）及其出水口应采取防冻保温措施。
- 3 洞门墙背后宜采用不冻胀土石回填，也可采用现浇混凝土或片石混凝土回填。

8.2.3 寒区公路隧道明洞式洞门设计应符合下列规定：

1 洞门形式宜选择直削式、倒削竹式或喇叭式，选用削竹式时，宜增大仰坡坡面与洞口的距离，其长度不宜小于1m。

- 2 洞口明洞设计回填坡面坡度宜大于自然坡面坡度。
- 3 明洞及回填土石应加强防排水，排水盲沟（管）及其出水口应采取防冻保温措施。

8.2.4 寒区公路隧道洞门宜采用混凝土或钢筋混凝土结构。

8.2.5 寒区公路隧道洞口边仰坡防护应考虑冻融影响，同时采取措施保证边仰坡的稳定。边仰坡宜采用生态防护，优先选择当地使用较多的人工建植植物物种。

8.3 明洞

8.3.1 寒区公路隧道明洞衬砌设计应符合下列规定：

- 1 应采用钢筋混凝土。
- 2 一级防冻设防段混凝土强度等级不宜低于 C40，二级防冻设防段混凝土强度等级不宜低于 C35，三级防冻设防段混凝土强度等级不宜低于 C30。
- 3 混凝土抗渗等级不宜低于 P10，抗冻性能指标不宜低于 F300。

8.3.2 寒区公路隧道明洞基础设计应符合下列规定：

- 1 明洞衬砌应设置仰拱。
- 2 当按容许融化的原则设计时，应采取相应措施，基础在不均匀冻融变形时不得产生破坏。
- 3 当按保护多年冻土原则设计时，宜在仰拱底部设置保温措施，同时应及时浇注衬砌，减少开挖面暴露时间。
- 4 明洞衬砌基础宜置于设计冻深以下不小于 0.25m。

8.3.3 寒区公路隧道明洞拱背回填应符合下列规定：

- 1 宜采用不冻胀材料回填。
- 2 明洞洞顶回填厚度不宜小于 3.5m。
- 3 明洞回填应设置隔水层，如采用黏土隔水层，其厚度应不小于 0.5m。

8.3.4 明洞衬砌应结合地质条件、明洞长度、环境温度等设置变形缝，沉降缝、伸缩缝、施工缝宜合并设置。

8.4 喷锚衬砌

8.4.1 寒区公路隧道防冻设防段喷射混凝土设计应符合下列规定：

- 1 宜选用低温早强混凝土。

- 2 喷射混凝土强度等级不应低于 C25。
- 3 喷射混凝土厚度不应小于 60mm。

8.4.2 当喷射混凝土内设置钢筋网时，其保护层厚度不应小于 30mm。

8.4.3 寒区公路隧道穿越多年冻土段时，不宜设置系统锚杆。

条文说明

近年来工程经验表明，在多年冻土段，系统锚杆作用机理不清，对围岩稳定的作用不大。反而由于系统锚杆施作时间较长，冻土圈受施工扰动易融化，导致围岩不稳定，安全风险增大，故在多年冻土段一般不设置系统锚杆。

8.5 复合式衬砌

8.5.1 寒区公路隧道复合式衬砌设计应符合下列规定：

- 1 初期支护宜采用喷射混凝土、锚杆、钢筋网和钢架等单独或组合使用，按永久支护结构设计，并符合本规范第 8.4 节的规定。
- 2 二次衬砌宜采用模筑混凝土。
- 3 一级防冻设防段混凝土强度等级不宜低于 C40，二级防冻设防段混凝土强度等级不宜低于 C35，三级防冻设防段混凝土强度等级不宜低于 C30。
- 4 防冻设防段混凝土抗渗等级不宜低于 P10，抗冻性能指标不宜低于 F300。

8.5.2 寒区公路隧道防冻设防段衬砌变形缝设置应符合下列规定：

- 1 应全断面贯通设置。
- 2 应结合二次衬砌台车长度和施工缝设置，一、二级防冻设防段设置间距不宜大于 10m，三级防冻设防段不宜大于 12m。
- 3 变形缝设置位置应避开地下水集中出露处。

8.5.3 寒区公路隧道一、二级防冻设防段支护参数应通过工程类比和计算分析综合确定。

8.5.4 寒区公路隧道三级防冻设防段支护参数相对于非设防段可适当增强。

条文说明

寒区公路隧道三级防冻设防段，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。

8.5.5 寒区公路隧道应采取措施保证衬砌背后无空洞，衬砌背后不得积水冻胀。

8.6 防雪棚

8.6.1 寒区公路隧道受积雪危害的洞口可设置防雪棚，设置长度及形式应结合洞口地质、地形、气象、边仰坡高度等因素综合确定。

8.6.2 寒区公路隧道洞口防雪棚建筑限界应与主体隧道保持一致，内轮廓应满足功能要求。

8.6.3 防雪棚应满足承载能力和整体稳定性要求，主要结构构件应进行截面强度验算。

8.6.4 防雪棚设计应符合下列规定：

- 1 应根据地质情况和结构形式设置沉降缝，防雪棚长度大于 40m 时宜设置伸缩缝。
- 2 防雪棚洞基础应置于稳固的地基上，且基底宜置于设计冻深以下不小于 0.25m。
- 3 应避免基础外侧受水流冲刷，必要时应采取加固和防护措施。

8.6.5 设置防雪棚后，应考虑防雪棚对隧道洞内温度场的影响。

9 防排水设计

9.1 一般规定

9.1.1 寒区公路隧道防排水设计应遵循“防、排、截、堵结合，因地制宜，综合治理”的原则，妥善处理地表水和地下水，洞内外防排水系统应完整通畅。

9.1.2 寒区公路隧道防排水应做到衬砌背后不积水与不冻结、排水沟不堵塞与不冻结。

9.1.3 寒区公路隧道防冻设防段的排水系统宜采取防冻保温措施。

条文说明

寒区公路隧道的重点是防止衬砌和围岩冻结、冻胀，以及洞内渗漏水结冰，以保证隧道衬砌不被破坏及隧道运营环境安全。加强保温、防水、排水措施，是避免寒区公路隧道冻胀及结冰病害发生的有效方法。

9.2 衬砌防排水

9.2.1 寒区公路隧道初期支护与二次衬砌之间应设置防水板及无纺布，同时应满足下列要求：

- 1 防水板厚度应不小于 1.5mm，接缝搭接长度应不小于 15cm。
- 2 无纺布密度应不小于 350g/m²。
- 3 防水板搭接缝应与衬砌施工缝错开，错开距离应不小于 100cm。

9.2.2 寒区公路隧道防冻设防段模筑混凝土衬砌施工缝、沉降缝及伸缩缝防水宜采用中埋式止水带和背贴式止水带，必要时辅以预埋注浆管、施作防水密封材料等措施。

条文说明

模筑混凝土施工缝、伸缩缝和沉降缝是防水的薄弱部位，寒区公路隧道经常会在“三缝”位置出现挂冰、渗水等病害现象，可见加强防冻设防段的“三缝”防水处理十

分重要，因此，规定采用中埋式止水带和背贴式止水带，同时，在非寒区隧道防水设计的基础上增设其他防水措施，形成组合防水构造。“三缝”防水措施可按表 9-1 选取。

表 9-1 防冻设防段“三缝”防水措施选择

工程部位		施工缝				变形缝（伸缩缝、沉降缝）		
防水措施		中埋式止水带	预埋注浆管	防水密封材料	背贴式止水带	中埋式止水带	背贴式止水带	防水密封材料
防冻设防等级	三级	宜选	宜选一种			应选	宜选一种	
	二级	应选		宜选一种		应选	应选一种	
	一级	应选		至少选一种		应选	至少选一种	

9.2.3 寒区公路隧道防冻设防段的排水形式可按表 9.2.3 选用。

表 9.2.3 防冻设防段排水形式

防冻设防等级	最冷月平均气温（℃）	主排水沟形式
一级	-25 ~ -15	深埋水沟 + 保温边沟
	< -25	防寒泄水洞 + 保温边沟
二级	-15 ~ -8	深埋水沟 + 保温边沟
三级	-8 ~ -3	中心水沟 + 保温边沟

条文说明

本条主要参照《铁路隧道设计规范》（TB 10003—2016）第 12.9.4 条关于防寒排水措施的规定，并以最冷月平均气温和防冻设防等级两个指标进行双控，以选取排水沟形式。

9.2.4 寒区公路隧道防冻设防段排水应符合下列规定：

1 纵向排水盲管宜布置在模筑混凝土纵向施工缝以下位置，宜采取保温措施，其排水坡度应与隧道纵坡一致。

2 当设深埋中心水沟时，初期支护与防水层之间的环向排水盲管宜与深埋中心水沟直接连接。

3 横向导水管排水坡度不应小于 2%。

4 环向排水管和横向导水管布置间距应根据围岩地下水发育状况确定，并不宜大于 10m。

条文说明

寒区公路隧道防冻设防段排水管路需要更加通畅，使得地下水能够快速地被截排至中心水沟中，而不至于在隧道背后、边墙等部位产生滞积，继而发生渗漏、冻胀等病

害, 为此, 通常采取加密横向排水管和加大排水坡度的措施, 示意如图 9-1 所示。

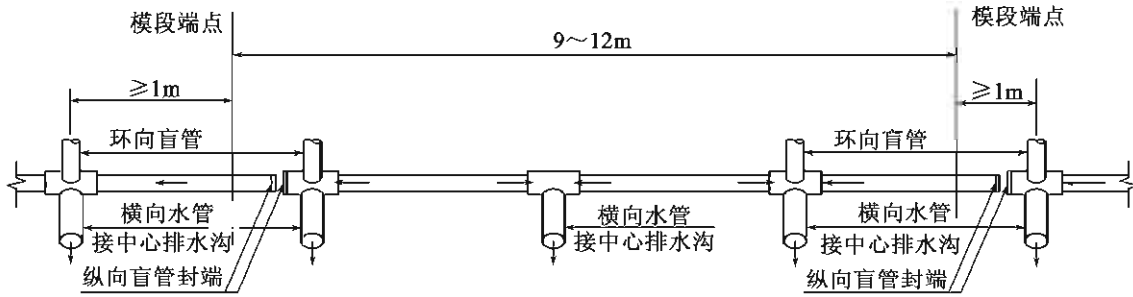


图 9-1 纵向盲管、环向盲管与边墙横向管连接图

9.3 保温边沟

9.3.1 保温边沟设置长度应根据气温、隧道长度、水量、水温、寒冷季节的主导风向、边沟坡度等因素确定, 有条件时可参考邻近隧道内实测气温确定。

9.3.2 保温边沟保温结构形式应与衬砌断面设计相适应。边沟盖板底面应敷设保温材料, 或采用双层盖板, 盖板中间设置保温材料, 厚度不宜小于 30cm。

条文说明

由于保温的需要, 保温边沟一般在盖板底面敷设保温材料进行保温, 或设置双层盖板, 盖板中间设置一层保温材料。边沟过水断面尺寸一般根据隧道围岩的涌水量来计算确定。

9.3.3 保温边沟底纵坡宜与隧道纵坡一致。保温边沟与洞外暗沟连接时, 洞外暗沟坡度不应小于 2%。

9.3.4 边沟保温材料宜具有阻燃特性, 并设防潮措施。

条文说明

一般采用的防潮措施包括: 设置防潮层, 将保温材料用沥青玻璃布包裹起来; 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。

9.3.5 保温边沟应设置检查井, 检查井宜按 50m 间距布置, 并应避开施工缝、伸缩缝和沉降缝。检查井下应设沉砂池, 检查井盖板的保温措施应与边沟一致。

9.4 深埋水沟

9.4.1 深埋水沟断面形式宜选用矩形，其断面尺寸应根据水力计算确定，且高度不宜小于40cm，宽度不宜小于50cm。

9.4.2 深埋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，沟顶宜位于设计冻深以下，可通过加深仰拱的方式实现，也可置于仰拱以下。

条文说明

为实现沟顶位于设计冻深以下，一般采用加深仰拱的方式降低水沟的高程，当仰拱加深较大造成施工难、造价高等问题时，可以设置于仰拱之下。

9.4.3 深埋水沟洞身段纵坡设置宜与隧道纵坡一致，出水口段纵坡坡度不宜小于3%。

9.4.4 深埋水沟回填材料除应满足保温、渗水要求外，尚应采取防石屑、泥砂渗入水沟引起水沟淤积的措施。

条文说明

深埋水沟顶回填材料一般采用3~5cm级配碎石等集料分层回填、压实，无仰拱段回填厚度较大时，上面覆盖层需要采用低强度等级混凝土，以保证路面基层的承载力。

9.4.5 深埋水沟应设置检查井，检查井间距不宜大于150m，且应在与一般水沟交界处设置一处。检查井下应设沉砂池，检查井盖板的保温措施应与水沟一致。

9.5 防寒泄水洞

9.5.1 单洞寒区公路隧道防寒泄水洞宜布置在主洞正下方，双洞寒区公路隧道防寒泄水洞可布置在两个主洞之间，其结构净距宜大于6m，如图9.5.1所示。

9.5.2 防寒泄水洞的设计参数应根据排泄能力、施工条件、地质条件、埋置深度以及对隧道主体稳定的影响等综合确定，净宽不宜小于2.0m。

9.5.3 防寒泄水洞应位于设计冻深以下，其基底承载力应满足要求。

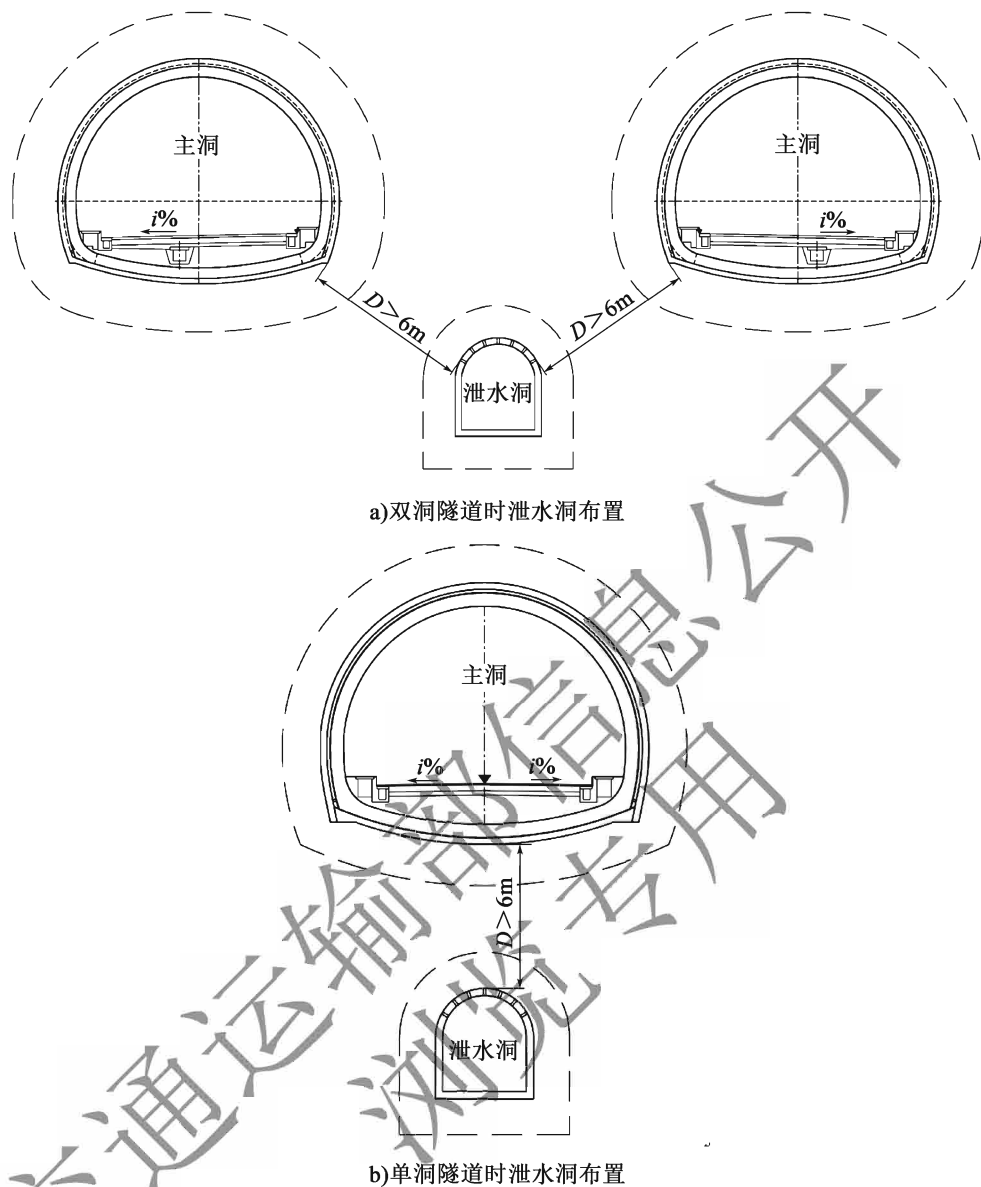


图 9.5.1 防寒泄水洞布置图

条文说明

防寒泄水洞一般置于隧道路面以下 4~6m，不能埋置过深，埋置过深会增加投资，同时不方便检修。

9.5.4 防寒泄水洞泄水孔设置应符合下列规定：

- 1 泄水洞拱部及边墙应设置足够的泄水孔，其间距不宜大于 1m，孔径不宜小于 10cm。
- 2 宜设置横导洞，横导洞环向布设泄水孔，泄水孔孔径不宜小于 10cm。
- 3 应沿隧道纵向中心线设钻孔将隧道仰拱底部排水盲沟（管）与泄水洞连通，泄

水钻孔的深度、角度、位置应根据地下水量的大小及围岩情况确定，间距宜为 8 ~ 10m、钻孔直径不宜小于 10cm。

4 地下水水量较大处应增设泄水竖井或盲沟，并通过横导洞排入泄水洞。当围岩中有细小颗粒可能流失时，泄水洞衬砌背面应设置反滤层。

9.5.5 当防寒泄水洞穿越多年冻土时，其拱部及边墙不应设置泄水孔，宜在洞内设置带保温层的预制排水管（图 9.5.5），排水管的直径应满足排水要求。

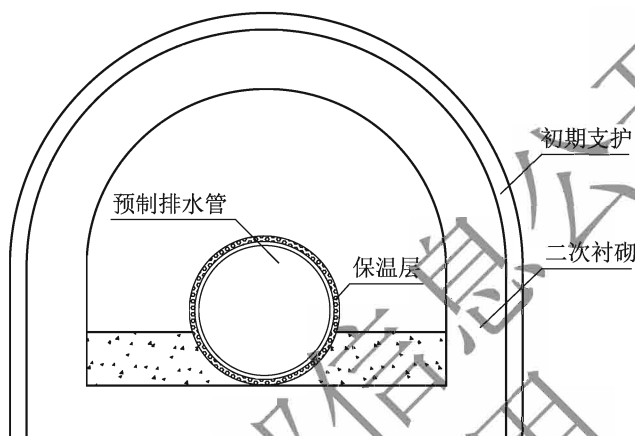


图 9.5.5 带预制排水管的防寒泄水洞

9.5.6 防寒泄水洞宜每隔 200 ~ 250m 设一检查井，两端应各设一处检查井，检查井下应设沉砂池，检查井宜设双层盖板，盖板间应敷设保温材料。

9.5.7 防寒泄水洞应设置保温出水口。

9.6 保温出水口

9.6.1 严寒地区隧道保温边沟、深埋水沟、防寒泄水洞、洞外暗沟应设保温出水口。

9.6.2 寒区公路隧道排水出水口宜布置在阳坡，且地形有利于地下水排泄；当位于阴坡时，应避免高挖方、深路堑等。

9.6.3 保温出水口设计应符合下列规定：

- 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 出水口地段较陡时，宜采用端墙式保温出水口；地形平坦时，宜采用掩埋圆包式保温出水口。

- 3 出水口外侧宜铺设保温层, 不得产生冻结。
- 4 必要时, 出水口可设置绝缘的电伴热装置。

条文说明

目前常用的保温出水口形式主要有圆包式、端墙式。

圆包式保温出水口适用于水量不大, 出水口地形较为平缓、洞外排水条件相对较差的情况; 由于出水口附近地形平缓, 为防止出水口附近出水流速缓慢而冻结封堵, 从而引起病害, 出水口处需要设置至少 0.5m 的落差, 必要时可以清方顺坡, 满足落差要求, 消除隐患。圆包式保温出水口如图 9-2 所示。

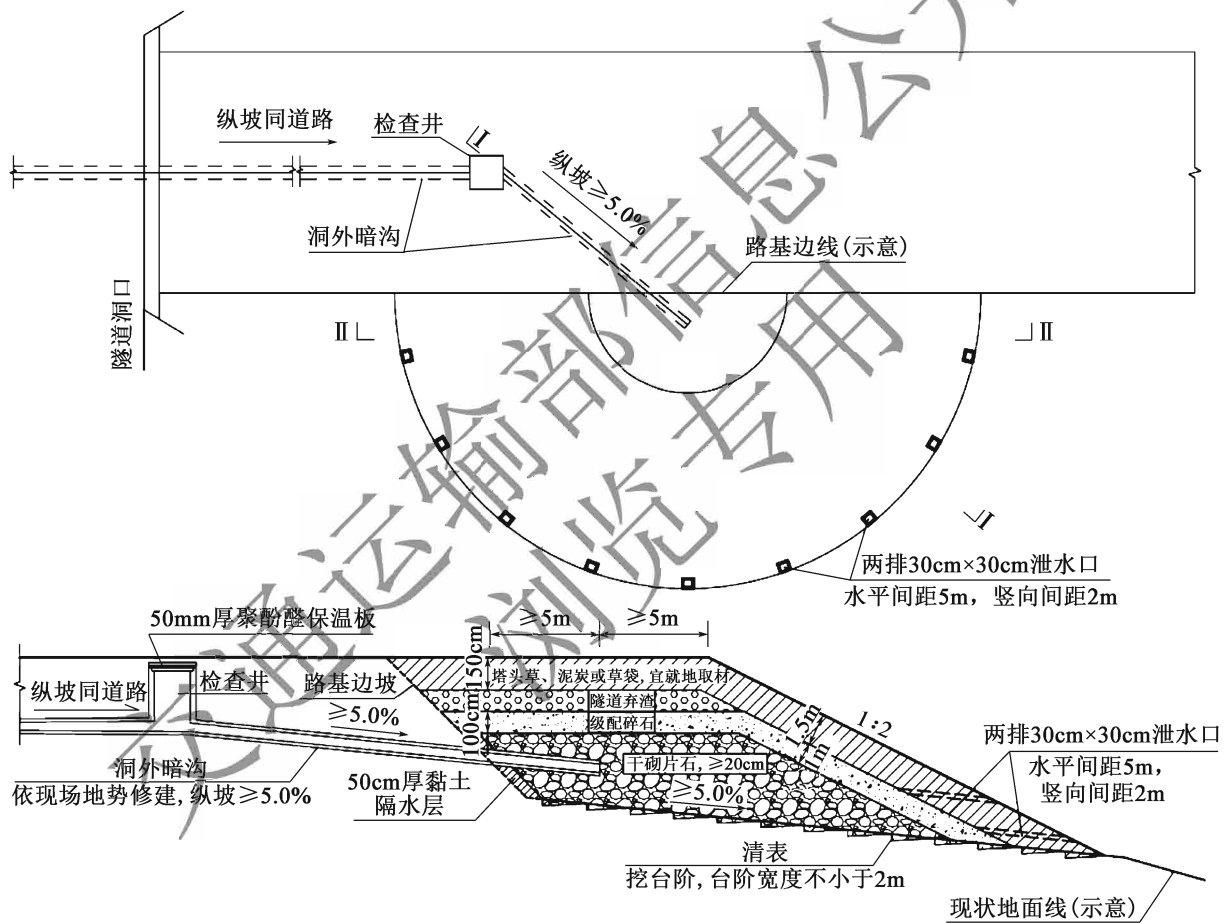


图 9-2 圆包式保温出水口

端墙式保温出水口适用于隧道出水量大, 出水口地形相对陡峭、洞外排水条件较好, 且隧道内的水经保温出水口能迅速排泄的地方; 端墙式保温出水口可设计成外“八”字墙形式, 集中水流后引入下游沟谷或低洼处。端墙式保温出水口如图 9-3 所示。

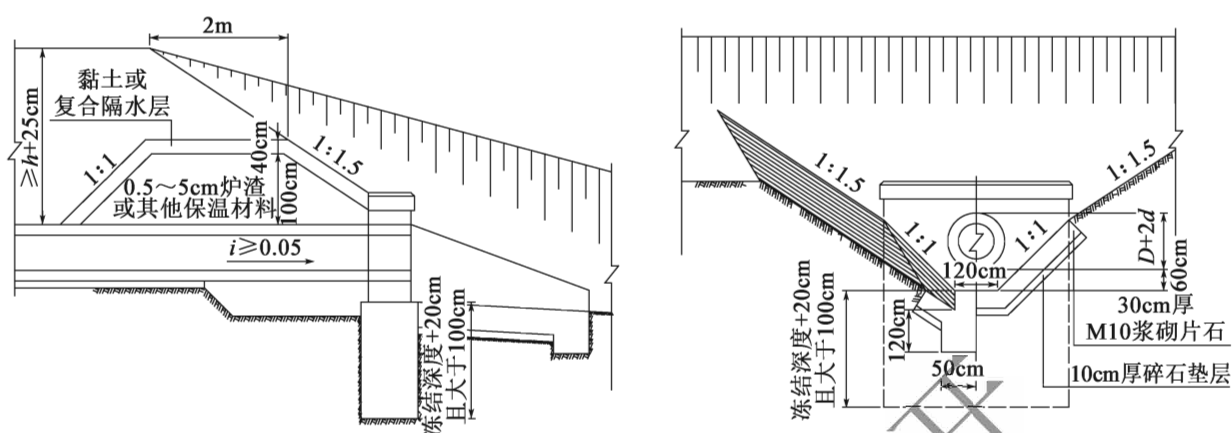


图 9-3 端墙式保温出水口

9.7 注浆防渗

9.7.1 寒区公路隧道穿越富水、循环冻融、断层破碎带，以及围岩冻胀性分级为“强冻胀”“特强冻胀”的段落时，宜采取注浆形成防渗圈。

9.7.2 当采用普通水泥浆液进行注浆时，不宜选用矿渣水泥、粉煤灰水泥等抗冻性能差的材料。

9.7.3 寒区公路隧道富水段采用径向注浆堵水时，宜采用高压注浆，注浆设计压力应根据围岩水文地质合理确定，宜比静水压力大 1.0~1.5MPa，径向注浆堵水范围宜为开挖范围以外 5m，并宜大于冻融圈 0.5m。

9.7.4 当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空隙、空洞时，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。

9.7.5 寒区公路隧道低温条件下注浆前应进行压水试验，并应冲洗钻孔。

条文说明

压水试验可以防止注浆管孔眼在渗水结冰时被封堵，如孔眼被封堵，需要压入热水将冰充分融化。压水试验也可以测定岩层的吸水性、渗透性，同时为确定注浆压力、浆液配合比提供参考依据。

注浆前冲洗钻孔可以检查止浆塞效果，以及注浆范围内是否有跑浆、漏浆现象。

9.7.6 对于季节性冻土段，应选择合适的注浆时机。注浆前宜对围岩进行取样观察，当围岩内地下水充分融化后可实施注浆。

9.7.7 寒区公路隧道围岩注浆效果检验可采用钻孔取芯、物探、声波等方法进行。

交通运输部信息公开
浏览专用

10 防冻保温设计

10.1 一般规定

10.1.1 寒区公路隧道保温层设置应根据防冻设防段等级、气温、风速、风向等确定，一级防冻设防段应设置保温层。

10.1.2 保温层设计应包括厚度及长度的确定、材料选择、构造设计等。

10.1.3 寒区公路隧道保温层设计应对洞内外温度场的变化规律进行详细调查和测试，宜结合隧道贯通后最冷月洞内温度分布规律和地下水状况进行动态设计。

10.1.4 寒区公路隧道保温层设置方式可采用衬砌表面喷涂、衬砌表面铺设和衬砌中间铺设。

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（图 10-1）。该方法能有效保护二次衬砌，防止其产生冻害破坏，同时便于施工和维护，但喷涂施工须采取职业健康防护措施，对保温材料阻燃性要求较高，容易遭到车辆的撞击或人为的破坏等。

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二次衬砌表面，并在保温板上设置防火层，形成防冻保温层的方法（图 10-2）。该方法能有效保护二次衬砌，防止其产生冻害破坏，同时便于撤换、更新、维护，但对保温材料阻燃性要求较高，容易遭到车辆的撞击或人为的破坏等。

衬砌中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（图 10-3）。该方法对保温层阻燃性无特殊要求，运营期不易受外部的破坏，但要求材料抗压强度较高，二次衬砌易受冻融破坏，难以进行维修、更换。

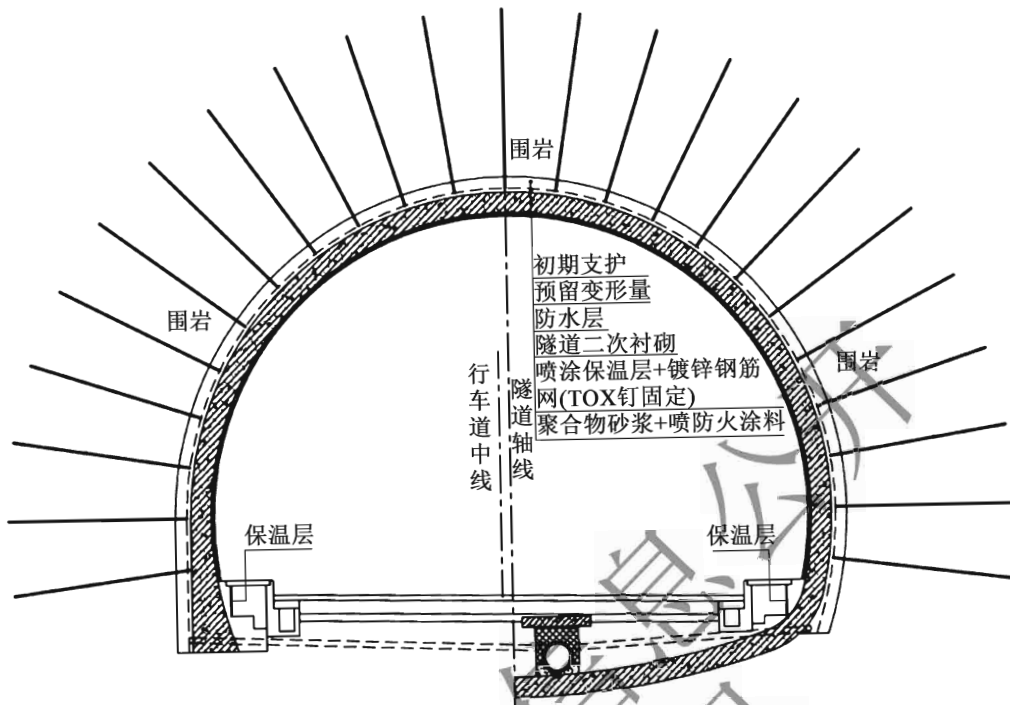


图 10-1 衬砌表面喷涂法保温层设计图

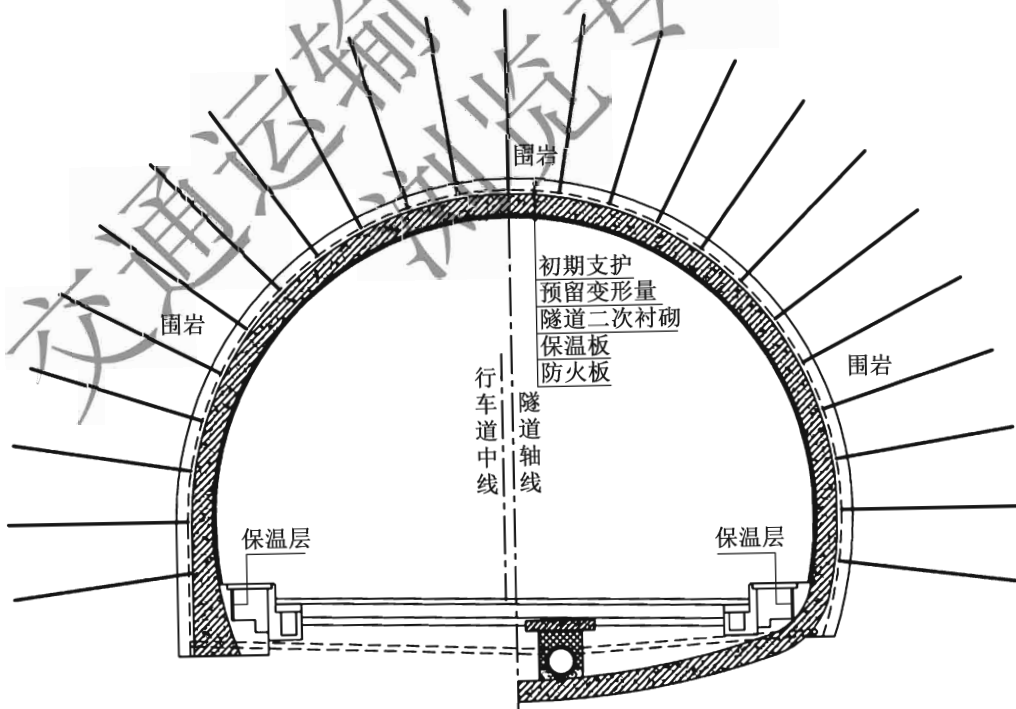


图 10-2 衬砌表面铺设法保温层设计图

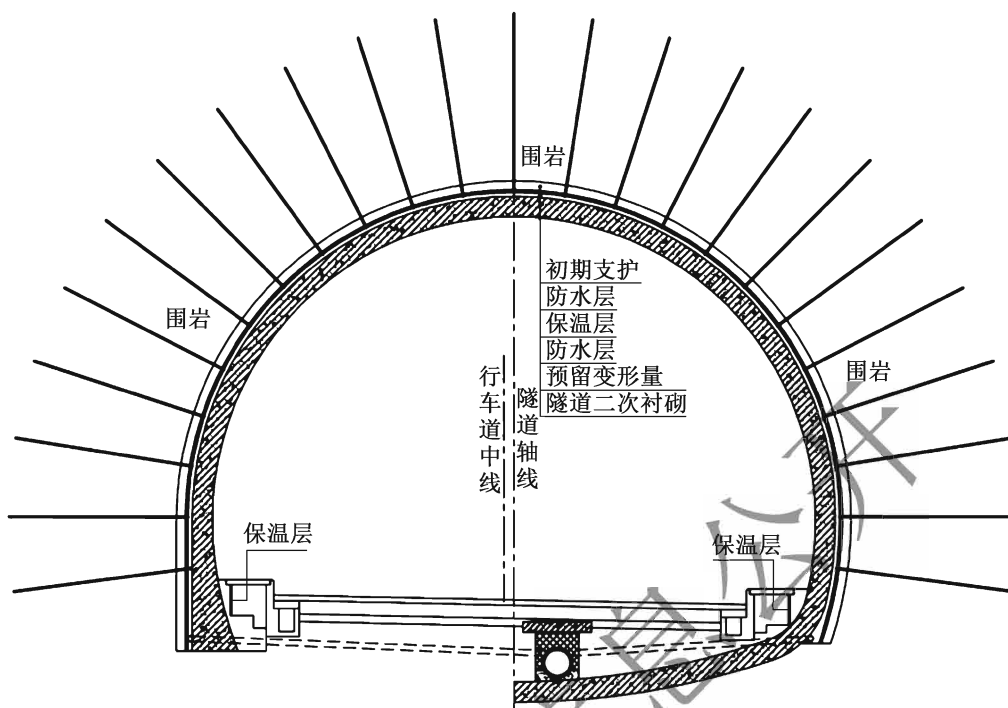


图 10-3 衬砌中间铺设法保温层设计图

10.1.5 保温层在运输、加工、安装等过程中应注意防潮和防止破损。

条文说明

保温材料为多孔结构，与水接触时易吸水，从而降低保温层保温效果，并在反复冻融循环作用下，影响其长期耐久性。

10.2 保温层厚度确定

10.2.1 保温层厚度应根据寒区公路隧道气象、围岩条件和保温层构造设计等计算分析确定，计算方法包括等效厚度法、气象解析法和数值模拟。

10.2.2 等效厚度法计算方法应符合下列规定：

1 围岩最大冻结深度可按式 (10.2.2-1) 计算：

$$\frac{\delta_0}{\lambda_0} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} \quad (10.2.2-1)$$

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得到；

λ_0 ——地表松散岩（土）体的导热系数 [W/(m·K)]，应根据现场情况进行实测得到，无实测条件时，可根据岩（土）体实际状况，按现行《冻土工程地质勘察规范》（GB 50324）进行取值；

δ_1 ——围岩的最大冻结深度 (m);

λ_1 ——围岩的导热系数 [W/(m·K)], 应根据现场情况进行实测得到, 无实测条件时, 可按表 10.2.2 进行取值。

2 保温层采用衬砌表面喷涂或衬砌表面铺设进行设置时, 其厚度可按式 (10.2.2-2) 计算:

$$\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r + \delta_1}{r} = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{r + \delta}{r} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r + \delta + \delta_2}{r + \delta} \quad (10.2.2-2)$$

式中: r ——隧道的当量半径 (m), $r=2A/L$, 其中 A 为净空断面面积 (m²), L 为净空断面周长 (m);

λ ——保温层的导热系数 [W/(m·K)], 应根据保温材料实际检测结果进行取值;

δ ——保温层厚度 (m);

λ_2 ——二次衬砌混凝土导热系数 [W/(m·K)], 钢筋混凝土取 1.74W/(m·K);

δ_2 ——二次衬砌混凝土厚度 (m)。

3 保温层设置在初期支护和二次衬砌之间时, 其厚度可按式 (10.2.2-3) 计算:

$$\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r + \delta_1}{r} = \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r + \delta_2}{r} + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{r + \delta_2 + \delta}{r + \delta_2} \quad (10.2.2-3)$$

表 10.2.2 围岩导热系数取值

围岩岩性 (名称)		导热系数 λ_1 [W/(m·K)]	围岩岩性 (名称)		导热系数 λ_1 [W/(m·K)]
岩浆岩	辉岩	4.33	岩浆岩	凝灰角砾岩	2.02
	蛇纹岩	3.15		凝灰岩	2.34
	橄辉岩	4.37		砾岩	1.92
	辉长岩	2.28		砂岩	1.66
	辉绿岩	2.29		粉砂岩	1.49
	闪长岩	2.20		沉积岩	泥质板岩、泥质页岩
	石英闪长岩	3.00	白云岩	3.24	
	花岗岩	2.40	灰岩	2.4	
	花岗闪长岩	2.11	泥灰岩	1.92	
	正长岩	2.26	变质岩	片岩	2.46
	花岗正长岩	2.11		片麻岩	2.02
	辉绿岩	2.50		闪岩	2.22
	玄武岩	1.45		大理岩	2.56
	安山玄武岩	1.69		石英岩	5.26
	玢岩	1.88		花岗片麻岩	2.0
	石英斑岩	2.11	角岩	3.39	

10.2.3 保温层采用衬砌表面铺设进行设置时，其厚度确定应考虑锚固件、龙骨等刚性构件冷桥效应引起的保温效果折减。

条文说明

保温层表面铺设时，所采用的膨胀螺栓、U形构件、龙骨和自攻钉均为刚性材料，导热系数明显高于保温材料，将形成冷桥，降低保温层保温效果。

10.3 保温层长度确定

10.3.1 寒区公路隧道宜根据实测温度场或类似的既有隧道洞内实测温度场，以衬砌表面温度不低于0℃为标准确定保温层长度。

条文说明

隧道温度场实测项目包括隧道洞内外气温、风速与风向、衬砌表面和内部温度、围岩内部温度等。一般在隧道洞内每隔一定距离设置1个测试断面，每个测试断面分别在拱顶、拱腰和边墙布置测点测试隧道洞内温度场和洞内风速、风向，同时，在洞外距洞口50m处测试隧道洞外气温和风速、风向。

10.3.2 寒区公路隧道无温度场实测数据时，可根据隧道平纵线形、长度、气候、地热梯度及隧道通风模式等，通过工程类比或数值模拟计算确定保温层长度。

10.3.3 当采用工程类比法确定隧道保温层长度时，应调查类似气候条件并设置保温层的既有隧道防排水、防冻保温和冻害情况，考虑隧道断面大小和通风情况，确定隧道保温层设置长度。设置长度可按表10.3.3确定。

表 10.3.3 寒区公路隧道保温层设置长度 (m)

隧道长度 (m)	最冷月平均气温 (℃)			
	≥ -8	-8 ~ -15	-15 ~ -25	≤ -25
500	全长	全长	全长	全长
500 ~ 1 000	500	全长	全长	全长
1 000 ~ 3 000	500	1 000	全长	全长

10.3.4 采用数值模拟计算确定保温层长度时，应考虑隧道结构壁面与空气之间的对流换热，以隧道温度场、风速和风向实测数据为依据，采用流固耦合计算模型对隧道温度场进行计算，确定保温层长度。

10.4 保温层构造设计

10.4.1 衬砌表面喷涂法和衬砌表面铺设法的构造从衬砌表面起依次为锚固件、保温层、防火层，保温层固定措施应满足承载要求。

条文说明

当保温层设置在衬砌表面时，为了满足隧道防火要求，需要在保温层外侧再设置一层防火层。

10.4.2 衬砌中间铺设法宜采用双层防水板夹保温层的形式，其构造从喷射混凝土表面起依次为无纺布、防水板、保温层、防水板、二次衬砌。

条文说明

保温层采用衬砌中间铺设进行设置时，为了防止围岩地下水和二次衬砌浇筑时的水与保温层直接接触，并侵入至保温层内部，影响其保温效果和耐久性，故建议采用双层防水板夹保温层的结构形式。

10.4.3 寒区公路隧道季节性冻土段保温层宜采用二次衬砌表面铺设进行设置。

10.4.4 短隧道保温层可采用表面喷涂法进行设置。

10.4.5 隧道通过多年冻土地层时宜设置两层保温层，分别在衬砌表面和衬砌中间铺设。

11 附属设施设计

11.1 一般规定

11.1.1 寒区公路隧道附属设施设计应与土建工程、所处路段的交通工程及沿线设施设计相协调。

11.1.2 寒区公路隧道附属设施工作温度范围应满足隧址区最低气温要求；当无条件满足时，应采取防冻保温措施。

11.2 消防给水与灭火设施

11.2.1 寒区公路隧道宜采用干式地上式室外消火栓。当采用地下式室外消火栓时，地下消火栓井的直径不宜小于1.5m，且地下式室外消火栓的取水口在冰冻线以上时，应采取保温措施。

11.2.2 寒区公路隧道消火栓系统应采取防冻措施，宜采用干式消火栓系统；无条件时，宜采用湿式消火栓系统。

条文说明

在洞外温度低于0℃时，系统管道可能结冰而降低管道的供水能力，导致灭火能力的降低或丧失，故建议采用干式消火栓系统。为了保证及时完成消防供水，对干式消火栓系统充水时间提出了要求。但对于长大隧道而言，要满足充水时间要求难度较大，因此，寒区公路隧道也可以采用湿式消火栓系统，同时采取必要的防冻措施。

11.2.3 寒区公路隧道采用干式给水与消火栓时，系统充水时间不应大于5min，并应符合下列规定：

1 在供水干管上宜设干式报警阀、雨淋阀或电磁阀、电动阀等快速启闭装置，当采用电动阀时开启时间不应超过30s。

2 当采用雨淋阀、电磁阀和电动阀时，在消火栓箱处应设置直接开启快速启闭装置的手动按钮。

3 在系统管道的最高处应设置快速排气阀。

条文说明

干式消火栓系统因为其内充满有压空气，打开消火栓后先要排气，然后才能出水，因出水滞后而影响灭火，所以本条规定了充水时间。《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)第12.2.2条第4款规定：城市交通隧道干式系统充水时间不宜大于90s；《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974—2014)第7.1.6条规定：严寒、寒冷等冬季结冰地区城市隧道及其他构筑物的干式消火栓系统的充水时间不应大于5min。《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)规定的充水时间过小，致使隧道内的干式系统要分成若干子系统，造成管道系统复杂，投资增加。本规范参照《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974—2014)规定充水时间不大于5min。

11.2.4 寒区公路隧道采用湿式给水与消火栓时，应符合下列规定：

- 1 洞外管道最小管顶覆土应至少在设计冻深以下0.30m，室外阀门井井口应采取防冻措施。当管沟开挖困难埋深不足时，应采取其他防冻措施。
- 2 当洞内环境温度低于0℃时，洞内湿式消火栓、供水管道及阀门应采取外敷保温层，或内设电伴热、外敷保温层等防冻措施。
- 3 当温差变化较大时应校核管道系统的膨胀和收缩，并应采取相应的技术措施。

条文说明

由于管道内水平时不流动，容易被冻，因此，湿式室内消火栓系统需采取防冻措施。防冻措施需根据隧址区极端最低温度进行合理选择，如采取外敷保温层，或内设电伴热、外敷保温层等措施。

部分寒区公路隧道不同季节和昼夜温差较大，热胀冷缩效应明显，需要采用可靠技术措施，防止管道、管件损坏。

11.2.5 寒区公路隧道消防水泵房应根据具体情况设计相应采暖设施。当无人值守时，室内采暖温度不应低于5℃。

11.2.6 寒区公路隧道消防水池应符合下列规定：

- 1 洞外消防水池应采取防冻措施。
- 2 消防水池溢流管和排水设施应采用间接排水，并应采取防冻措施。

条文说明

洞外消防水池及出水管、溢流管、排水管等由于存在结冰风险，需采取防冻措施。

11.3 供配电设施

11.3.1 当环境温度超过现行《低压成套开关设备和控制设备》(GB 7251)中对应的产品标准规定的低温限值时,供配电设施应采取保温措施,如设置自动投切的加热装置等。

11.3.2 高海拔寒区公路隧道供配电设备设计及选型,应符合现行《特殊环境条件高原电工电子产品》(GB/T 20626)、《特殊环境条件高原用低压电器技术要求》(GB/T 20645)和《特殊环境条件高原电气设备技术要求 低压成套开关设备和控制设备》(GB/T 22580)的规定。

交通运输部信息中心
浏览专用

12 施工准备

12.1 一般规定

12.1.1 寒区公路隧道施工前应熟悉设计文件和地质勘察报告，做好现场核查和图纸核对工作，同时应结合低温、低氧特点，辨识工程风险点，在风险评估的基础上，编制施工组织方案和应急预案。

12.1.2 寒区公路隧道在穿越冻土、断层破碎带、富水地层等不良地质段时，应编制专项施工方案。

条文说明

寒区公路隧道在穿越冻土、断层破碎带、富水地层等不良地质段时，施工中极易出现冻害、涌水和塌方等灾害，为了确保隧道施工安全，需要编制专项施工方案。

12.1.3 场地布置应遵循因地制宜、安全方便、节地环保的原则。现场生产区、生活区、办公区应统一规划、分开布置，注重封闭保温，应采取防火、防冻、防雪、防风等措施。

12.1.4 应根据自然条件、技术特点、工程规模等配备工程人员、施工设备，寒区特长公路隧道宜采用机械化施工。

12.1.5 施工前应进行设计文件会审，针对寒区公路隧道施工效率低、作业环境差、施工难度大等特点进行针对性设计技术交底。

12.2 资料的收集和调查

12.2.1 施工前应做好气象、水文、地质和设计文件的复核，对冻土地段地质条件宜重点核查。

12.2.2 施工前应了解用地、建筑物、道路、水利、电力、电信等征地拆迁情况，做

好通电、通水、通路、通信和场地平整等工作。

12.2.3 施工前应复核设计图纸，主要包括下列内容：

- 1 混凝土抗冻、抗渗及防排水，保温材料的技术指标。
- 2 洞口位置、洞门形式、洞口防护、防雪措施等洞口工程与地形地貌、自然条件的适应性。
- 3 洞口段排水系统的设置与地形、地貌、水文、气象等条件是否相协调。
- 4 洞口段中心排水沟、防寒泄水洞、保温出水口等防冻设计与寒区冻深是否一致。
- 5 设计文件中确定的施工方法、技术措施与现场实际条件的相符性。

12.3 施工场地与临时工程

12.3.1 施工场地的布置应符合下列规定：

- 1 项目驻地选址宜选在地质良好的向阳地段，应避免滑坡、崩塌、泥石流、落石、雪崩、洪水等危险区域。
- 2 门禁室、空压机房、风机、停车区域等宜以洞口为中心合理布置。
- 3 材料加工场应避免风口、积雪严重区域；加工棚应采取防雨雪、防风等措施；拌和站实行封闭管理，站内应配备供暖、保温设施。
- 4 弃渣场地布置应满足安全、环保、水保要求。
- 5 海拔2 800m以上的隧道，生活区宜配备供氧室，隧道内宜采用移动式氧吧和弥散式供氧设备供氧。
- 6 施工便道、便涵、便桥应考虑结冰、淤冰影响，设置必要的安全设施。
- 7 给排水设施应采取防冻、保温措施。
- 8 针对高原寒区生态脆弱的特点，场地布置应避免大开大挖，并注重植被、水源地等环境的保护。

12.3.2 临时工程应符合下列规定：

- 1 临建设施应遵循因地制宜、永临结合的原则。
- 2 房屋内应采取保温、保暖措施。
- 3 临建基础应考虑冻胀因素，结构宜考虑防风雪要求。

条文说明

寒区冻胀、融沉是影响房屋基础稳定的重要因素，同时寒区冬季风雪较大时，容易对临建房屋的上部结构造成影响，所以提出要考虑冻胀和防风雪的要求。

12.4 施工人员、材料和设备

12.4.1 施工人员应身体健康，宜有寒区公路隧道施工经验。施工前应组织人员针对寒区公路隧道气温低、含氧量低的特点进行专项安全教育培训。

12.4.2 应根据设计文件做好建筑材料的选择和相关检测、试验工作。

12.4.3 冬季施工应提前储备充足的建筑材料、应急物资、医疗物资和生活物资。

12.4.4 混凝土原材料及拌和、运输、养生应制定防冻保温措施。

12.4.5 施工设备应充分考虑气温、海拔等因素，选择低温启动性能好、工作性能可靠、功率高的设备，并注重保养和防冻。

12.4.6 海拔 3 500m 以上的寒区公路隧道，施工设备宜采用电力驱动。

条文说明

高海拔地区含氧量低导致燃油机械效率降低明显，同时机械废气排放大，容易损害施工人员健康，选用电力驱动设备能有效避免这些问题。

12.4.7 寒区公路隧道施工宜配备防排水系统质量检测的红外热成像仪、管道爬行器等智能化的检测设备。

12.4.8 寒区公路隧道供配电宜配置自发电系统。

13 隧道施工

13.1 一般规定

13.1.1 施工期间，应做好施工人员职业健康与劳动保护。

条文说明

寒区公路隧道存在寒冷、缺氧、气压低、紫外线强等影响职业健康的因素，施工期间，要求采取措施，做好施工人员职业健康与劳动保护工作。

13.1.2 高海拔寒区公路隧道宜采用机械化配套施工。应选择适用于高原气候的施工机械设备，合理安排施工机具设备周转时间，并应注重施工机械的防寒及保养措施。

条文说明

高海拔寒区寒冷、缺氧，对高强度体力工作非常不利，所以本条规定采用机械化配套施工，优先选用液压凿岩台车、湿喷机械手、拱架安装机、自行式仰拱栈桥、全自动防水板铺设台车、二次衬砌成套工装、智能养护台车、沟槽整体模板、多功能钻机、除尘机、污水处理机等设备，实现隧道开挖、装运、支护等作业线机械化，降低施工人员的数量和劳动强度。

13.1.3 应加强施工技术管理，合理安排工序进度和作业循环，组织均衡施工。

13.1.4 施工中应密切注意冻土及地下水等的变化情况，当施工方法或支护结构不适用于实际围岩状态时，应采取措施，并应根据地质超前预报及监控量测信息进行调整。

13.1.5 供暖防冻、电伴热防冻、地热利用防冻施工应符合相关标准的规定，并满足设计要求。

13.2 开挖

13.2.1 洞口施工应符合下列规定：

- 1 边仰坡存在积雪的洞口段，宜采取防雪崩危害和风吹雪掩埋洞口的措施。
- 2 非多年冻土段洞口施工宜选在非冻融季节；多年冻土段洞口施工宜选择在冬季。
- 3 多年冻土开挖形成的边仰坡，应采取防晒、隔热、保温措施。
- 4 洞口防冻排水设施应在冬季来临前完成设置。

13.2.2 多年冻土段开挖宜在冬季或冻土融化前进行。

13.2.3 穿越多年冻土段时，应采用光面爆破开挖或机械开挖。

13.3 支护与衬砌

13.3.1 开挖后，应尽快进行初喷，及时封闭围岩。

13.3.2 喷射混凝土应采用湿喷法施工；施工前，应进行工艺试验获取喷射工艺参数。

13.3.3 细集料宜选用河砂，含泥量宜小于2.5%，泥块含量宜小于0.5%。

13.3.4 粗集料含泥量宜小于0.5%，不得有泥块。

13.3.5 宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，不宜选用矿渣水泥。

13.3.6 外加剂应符合下列规定：

- 1 宜选用液态外加剂。
- 2 减水剂的减水率不宜小于20%。
- 3 掺加引气剂的拌和物的含气量不宜大于5%。
- 4 不宜使用防冻剂。
- 5 不应使用含有氯盐的外加剂。
- 6 同一分项工程宜采用同品牌外加剂。

13.3.7 喷射混凝土和二次衬砌混凝土宜掺加硅灰，或掺加硅灰与I级粉煤灰、硅灰与S105级磨细矿渣粉；不应单独掺加矿渣粉与粉煤灰。

13.3.8 集料温度应高于7℃，不得有冻块或冰雪。

13.3.9 寒区多年冻土段施工环境温度宜为-5~5℃，其他段落施工环境温度宜高于-3℃。

13.3.10 喷射混凝土的出机温度宜不小于 10℃，二次衬砌混凝土入模温度应不小于 5℃。

13.3.11 喷射混凝土应搅拌均匀，搅拌时间宜不少于 3min。

13.3.12 混凝土输送车的转筒外应加设保温罩。

13.3.13 混凝土运输时，混凝土输送车转筒宜慢速转动；卸料前，转筒宜进行不少于 2min 的快速转动。

13.3.14 宜采用电动混凝土输送泵。

13.3.15 二次衬砌施工宜采用有中埋式止水带固定功能的定型堵头模板。

13.3.16 应采取有效措施，避免衬砌背后出现空洞。

13.3.17 明洞宜在非冬季浇筑；冬季进行明洞浇筑时，应采取防雪、防冻措施。

13.3.18 衬砌拱墙变形缝应与仰拱变形缝设在相同位置，并符合设计规定。

13.4 防排水系统

13.4.1 防水板与热熔垫圈的连接，宜采用超声波焊接机施工。

13.4.2 洞内永久性防排水结构物施工应符合下列规定：

- 1 保温边沟施作时应有防潮措施，防止保温材料受潮，影响保温性能。
- 2 深埋水沟回填材料除应满足保温、透水性好要求外，水沟周侧应用级配集料分层回填，不得让石屑、泥沙渗入沟内。
- 3 横向排水管中间不应凹陷、扭曲。

13.4.3 防寒泄水洞施工应符合下列规定：

- 1 宜先于主洞施工。
- 2 宜采用全断面开挖，光面爆破。
- 3 预留泄水孔应保持通畅。
- 4 出水口保温设施的位置、尺寸、材料等均应符合设计规定。

13.4.4 保温出水口施工应符合下列规定：

- 1 宜选择在背风向阳处, 出水口高出地面应不小于 0.5m。
- 2 排水沟纵坡宜大于 5%。
- 3 保温层和防护层的长度与厚度应符合设计规定。

13.4.5 防渗注浆应符合下列规定:

- 1 注浆可分段、分片进行, 注浆顺序应从水少区域向水多区域方向进行, 宜从上往下进行, 可多孔同时注浆。
- 2 仰拱径向注浆应在拱墙部位注浆完成后进行, 并不得堵塞排水沟。
- 3 注浆时, 洞内气温和浆液温度应不低于 5℃。
- 4 应做好注浆孔编号及位置、水泥品种及强度等级、砂浆成分及水灰比、延散度、注浆压力、注浆数量等记录。
- 5 采用化学浆液注浆时, 应加强水环境保护, 避免影响附近水源。
- 6 压注化学浆液时, 其安全技术、防护用品应按国家有关规定执行。

13.5 保温层

13.5.1 保温材料存放及使用应防水、防潮、防火。

13.5.2 喷涂保温层施工应符合下列规定:

- 1 施工的环境温度宜为 10~35℃, 最高风速应小于 5m/s, 最低风速应大于 0.15m/s, 相对湿度应小于 80%。
- 2 喷嘴距作业面的距离应根据喷涂设备的压力确定, 不宜超过 1.5m。
- 3 在完成一层保温层喷涂后, 宜待其表面不粘手, 再喷涂下一层。
- 4 喷涂后的保温层应充分熟化 48~72h 后, 再进行下道工序的施工。
- 5 喷涂作业应连续、饱满、平整, 其平整度偏差不应大于 6mm。
- 6 保温层应采用钢丝网固定。钢丝网铺设应平整, 紧贴保温层, 并固定牢靠。

13.5.3 表面铺设保温层应符合下列规定:

- 1 定位放线应准确, 膨胀螺栓、U 形构件与二次衬砌应连接牢固。
- 2 安装现场风速大于或等于 5m/s 时, 不宜安装保温板。
- 3 保温板之间错缝拼接, 其缝隙应采用发泡胶填充。
- 4 龙骨按自下而上的顺序进行安装, 安装偏差应不超过 5mm。
- 5 龙骨纵向搭接长度不应小于 100mm。
- 6 防火板应在保温板铺设完成后安装, 防火板与龙骨应采用自攻钉固定。防火板应随二次衬砌表面圆滑过渡, 无破裂。板与板之间接缝以及保温板两端部应进行封闭。

13.5.4 衬砌中间铺设保温层应符合下列规定:

1 初期支护表面防水板应整体平顺、无褶皱、无破损、松紧适度，并应与初期支护紧贴。防水板应焊接牢靠。

2 沿隧道纵向布置的钢丝长度宜为 2.5~3.0m；环向间距，拱部宜为 0.5~0.7m，墙部宜为 1.0~1.2m。钢丝一端宜固定在衬砌上，另一端宜固定在膨胀螺栓上。钢丝应以紧线器拉紧。

3 沿隧道环向布置的支撑圆钢纵向间距宜与保温板长度相匹配，宜小于 2.5m。圆钢底部应支垫。圆钢应顶紧防水板，间距宜小于 50mm。圆钢应与纵向钢丝在相交处以扎丝固定。

4 保温板宜自下而上安装在支撑圆钢上面，保温板应紧贴在防水板上。板与板之间应错缝拼接，缝隙应采用发泡胶填充。

5 保温板外的第二层防水板可悬吊于支撑圆钢上铺设。

13.6 施工通风

13.6.1 施工通风应纳入工序管理，成立专门的通风班组，由专人负责管理。

13.6.2 风机布置应根据隧道长度、断面大小、施工方法、设备条件等综合确定，通风方式包括压入式、混合式、巷道式等。

13.6.3 通风管宜采用硬质金属风管，也可采用高强、低风阻、阻燃的软质风管，每 100m 平均漏风率不宜大于 1.0%。

条文说明

受气温影响，寒区一般气压较低，且风管内外压差大，软质风管受压差影响，漏风率较高，硬质风管受压差影响小，推荐采用硬质金属风管。

13.6.4 高海拔寒区公路隧道制订施工通风方案时，应考虑高海拔因素的影响。

条文说明

《公路隧道施工技术规范》(JTG/T 3660—2020) 规定“隧道施工通风应能提供洞内各项作业所需的最小风量，每人应供应新鲜空气 $3\text{m}^3/\text{min}$ ，采用内燃机械作业时，供风量不应小于 $4.5\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{kW})$ 。隧道施工通风的风速，全断面开挖时不应小于 0.15m/s ，分部开挖的坑道内不应小于 0.25m/s ，并均不应大于 6m/s ”。此规定是按低海拔地区制定的。高海拔地区大气中的含氧量低，不设置弥散式供氧时，应当通过提高风量保证供氧量。

13.6.5 一级防冻设防段,非冻土段施工通风宜采取预热新风措施,可设置5m的新风预热过渡段。

13.7 施工排水

13.7.1 施工防排水工作应遵循防、截、排、堵相结合的综合治理原则,施工防排水设施应与运营防排水工程相结合,隧道的防冻保温措施应与防排水系统结合。

13.7.2 排水系统包括地下水排水系统、路面水排水系统和洞外截、排水系统,宜各自独立、分别排放。

13.7.3 施工前应根据工程地质、水文地质资料制订防排水方案。施工中应按现场气象条件、施工方法、洞内状况、机具设备等情况,选择施工防排水措施。

13.7.4 施工排水应符合下列规定:

- 1 掌子面附近无积水,隧底无漫流水。
- 2 洞内排水系统无淤积、不堵塞,排水通畅。
- 3 排水沟不冻结。

13.7.5 洞口及辅助坑道洞口应先施工排水系统,覆盖层较薄和渗透性强的地层,进洞开挖前应先行进行地表隔水封闭。

13.7.6 洞内顺坡排水,其坡度应与隧道纵坡一致,并符合下列规定:

- 1 水沟断面应满足隧道渗漏水 and 施工废水的排水需要。
- 2 水沟位置宜结合永久排水工程设在隧道两侧或中心,并减少施工干扰。
- 3 应经常清理排水沟内淤积和垃圾。

13.7.7 洞内反坡排水应符合下列规定:

- 1 应采取机械抽水。
- 2 可根据距离、坡度、水量和设备等情况选用排水水沟或管路,分段接力或一次将水排出洞外。
- 3 沟管断面、集水坑(井)的容积应按实际排水量确定。
- 4 抽水机的功率应大于排水量所需功率20%以上,并有备用抽水机。
- 5 应做好停电时的应急排水准备工作。

13.7.8 当围岩有大面积渗漏水时,宜采用钻孔将水集中汇流引入排水沟,其钻孔位置、数量、孔径、深度、方向和渗水量等应做详细记录,并以此作为衬砌环向排水设施

布置位置的依据。

13.7.9 有平行导坑或横洞的隧道，应充分利用辅助导坑降低主洞水位。主洞施工由斜（竖）井排水时，应在井底设置集水坑，用抽水机抽出井外。集水坑设置的位置不得影响井内运输和安全。斜井、竖井施工有水时，开挖时应根据出水点位置及水量设置积水坑，必要时应采用抽水机或吊桶排出。

13.7.10 隧道施工排水时，应将水沟（管）埋在冻结线以下或采取防寒保温措施。

13.8 监控量测

13.8.1 拱脚下沉应作为必测项目进行监控量测，每5~20m设一个量测断面；仰拱回填施工前，每天量测1~2次，量测精度应不低于0.5mm。

13.8.2 应监测掌子面和混凝土施工部位环境温度，每日温度量测次数应不少于3次。

条文说明

一天中，最低气温通常在日出前，最高气温在午后2点左右。所以，早晨6点前后和下午2点可各安排一次温度量测，其他测温时间可在其间安排。

13.8.3 海拔超过3000m时，宜监测掌子面和二次衬砌施工部位的氧气浓度。

13.8.4 应监测永久性冻土段地温变化。

13.8.5 弥散式供氧设施应具有氧气和二氧化碳浓度监测、显示、报警、控制等功能。

13.9 职业健康与劳动保护

13.9.1 高海拔寒区公路隧道制氧方式宜采用变压吸附法，供氧设施气管氧分压宜为13.87kPa。

条文说明

从环境适应性、经济性、供氧量等方面进行比较，高海拔寒区公路隧道制氧方式推荐采用变压吸附法（PSA法）。供氧设施气管氧分压13.87kPa是按生理等效海拔

2 800m考虑的。

13.9.2 应根据气象资料(含氧量)和人员数量核定隧道施工供氧量,供氧量计算方法见本规范附录D。

13.9.3 高海拔寒区公路隧道施工供氧方式包括鼻吸式供氧、移动吸氧车供氧、隧道内弥散式供氧,高原反应强烈时宜选择鼻吸式供氧方式,室内工作和睡觉休息宜选择弥散式供氧方式,隧道内不同工作区域可选取局部弥散式或移动吸氧车等方式供氧。

13.9.4 海拔超过4 000m时,隧道内施工人员密集区宜设置移动吸氧车,保障施工人员就近吸氧需求。

13.9.5 弥散式供氧房间内应采取通风换气措施,室内二氧化碳浓度不得超过9 000mg/m³。

13.9.6 隧道内弥散式供氧应符合下列规定:

- 1 可采用DN25不锈钢管作为专用输氧管道,连接洞外制氧机向隧道内供氧。
- 2 制氧机生产的高浓度氧气可经专用输氧管道输送到掌子面前方约50m处。
- 3 在专用输氧管道末端,可通过高压橡胶软管及快换接头连接掌子面附近的弥散式供氧装置。

13.9.7 供氧设施应注意防震、防火、防热、防油。氧气瓶应放在阴凉处,周围严禁烟火和存放易燃品,距离火源不得小于5m,距离暖气不得小于1m,搬运时应避免倾倒、撞击。

13.9.8 高海拔寒区公路隧道氧气站建设和使用应符合现行《氧气站设计规范》(GB 50030)的规定。

13.9.9 高海拔人员用氧应在专业人员指导下进行,专业人员监督用氧情况,当人员出现头晕、恶心、呕吐、心悸、心慌、胸闷等不适时,应停止用氧。

13.9.10 高原反应明显者,宜采用平衡氧舱或鼻吸式吸氧治疗。鼻吸式吸氧治疗每天应吸氧1次,每次连续用氧宜不少于1h。宜采用低浓度、低流量鼻管持续给氧,氧流量宜为2~4L/min。

条文说明

高压氧舱为医疗设备、特种压力设备，需要专用资质和专业医疗人员操作，价格相对昂贵。一般情况下使用平衡压力舱解决增压抢救需求，可节省费用。

13.9.11 高海拔地区隧道施工及管理人员，进场前应进行身体检查。宜先安排先遣人员上岗，待条件具备后，再安排其他人员上岗；同时，人员进出场前，宜在海拔低于施工场地的地点适应7~10d。

13.9.12 高海拔寒区公路隧道施工应建立完善的后勤生活保障体系。工作人员应配备防寒服装。办公室和宿舍宜避风向阳，室内温度应不低于18℃。人员居住区应保证卫生清洁，并应配备洗澡设施。

13.9.13 严寒地区应配置洞内生活车，车内应配置衣物储存箱，并供应热水和姜糖水，车内应可取暖。

13.9.14 严寒地区与高海拔地区应配置通勤车接送人员进出隧道。

13.9.15 应控制劳动强度和劳动时间。应有计划地间歇性作业，避免长时间、剧烈作业。工作时间安排应符合下列规定：

- 1 海拔3 000~4 000m时，连续工作时间宜少于6h。
- 2 海拔超过4 000m时，连续工作时间宜少于4h；劳动周期不宜超过6个月；工作1年后，宜到低海拔地区休息2~3个月。

13.9.16 高海拔寒区公路隧道施工宜建立后勤医疗保障体系。施工区应设立卫生室并配备医护人员，建立施工人员健康档案，储备必需的药品、氧气袋和常用医疗器材。应配备抗高原反应的药品和简易血氧饱和度、心率检测仪等医疗器材。一般疾病应能现场及时治疗，其他疾病应转院就医。

条文说明

高海拔地区特殊的气候环境容易引发高原反应等一系列不良反应，损害施工人员身体健康，因此，施工强调医疗保障体系的建立。

13.9.17 应定期和随机检查作业人员身体状况，有下列表现者，应及时回到低海拔地区：

- 1 连续3d、每天两次血压测定，收缩压高于160mmHg或舒张压高于100mmHg。
- 2 心率超过120次/min或低于50次/min超过3d，或心率大于140次/min超

过1d。

3 静息时呼吸困难，伴有咳嗽、咳泡沫样痰、胸闷或胸痛等，血氧饱和度小于70%。

4 出现恶心呕吐、心慌气短、行动困难等高原反应症状。

交通运输部信息公开
浏览专用

14 质量检验

14.1 一般规定

14.1.1 应根据防冻保温等特殊设计要求，加强洞口、混凝土衬砌、保温边沟、深埋水沟、防寒泄水洞和保温层等分项工程的检验工作。

条文说明

为确保寒区公路隧道防冻保温效果，往往需要采取增加部分工程设施、提高对常规工程项目的要求等综合设计措施，因此，需要对新增或增强设计措施的工程质量进行检验。

14.1.2 质量检验和评定时，应将保温层作为分项工程纳入分部工程洞身衬砌中。

条文说明

保温层作为寒区公路隧道增加的分项工程，对衬砌的安全与耐久具有重要作用，其施工工艺与部位也与洞身衬砌强相关，因此，在开展质量检验时，需要将其纳入分部工程洞身衬砌中。

保温边沟、深埋水沟、防寒泄水洞与洞口、混凝土衬砌等其他分项工程，均系根据寒区公路隧道特殊要求，进行了部分功能或构造的增强性设计，因此，其归属的分部工程关系，均与现行《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1）的规定保持一致，即保温边沟、深埋水沟、防寒泄水洞等分项工程仍纳入分部工程辅助通道中，洞口相关分项工程仍纳入分部工程洞口工程中，混凝土衬砌仍纳入分部工程洞身衬砌中。

14.2 洞口工程

14.2.1 洞门与明洞实测项目应符合表 14.2.1 的规定。

表 14.2.1 洞门与明洞实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1△	基础高程 (mm)	[-20, 0)	水准仪: 每 5m 测 1 处, 不小于 2 处

注: 表中标识“△”的项目, 与《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1—2018) 中的标识意义相同, 即对结构安全、耐久性和主要使用功能起决定性作用的检查项目, 本章余同。

14.3 混凝土衬砌

14.3.1 混凝土衬砌应符合下列规定:

- 1 衬砌施工前, 初期支护背部存在空洞、断面严重侵限时应处理。
- 2 衬砌背后的空隙应注浆回填密实。

14.3.2 混凝土衬砌实测项目应符合表 14.3.2 的规定。

表 14.3.2 混凝土衬砌实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1△	混凝土抗渗等级	在合格标准内	检查方法与评定按现行《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG 3420) 的规定执行, 检查频率按现行《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程 (JTG F80/1)》中隧道工程混凝土衬砌实测项目的“混凝土强度”检查频率执行
2△	混凝土抗冻等级	在合格标准内	按现行《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1) 的相关规定执行
3△	衬砌背部密实状况	无空洞、无杂物、无积水	按现行《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1) 的相关规定执行

14.4 保温层

14.4.1 喷涂保温层应符合下列规定:

- 1 喷涂前二次衬砌表面应平整, 且无渗漏水、污物和壁面潮湿情况。
- 2 保温材料的导热系数、抗压强度和燃烧性能等主要性能指标应满足设计要求, 并按 10% 的批次抽检率进行复验。

条文说明

保温隔热材料的生产工艺和材质不同, 其导热性、耐水性、耐久性和燃烧性等性能指标差异较大, 在具体工程中需根据设计要求在现场使用前抽检核查。

14.4.2 喷涂保温层实测项目应符合表 14.4.2 的规定。

表 14.4.2 喷涂保温层实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1△	保温层厚度 (mm)	不小于设计值	尺量法或测针法,沿隧道纵向分别在拱顶、两侧拱腰、两侧边墙每 20m 检查 1 个断面,每个断面测 5 点
2△	保温层长度 (cm)	不小于设计值	尺量

14.4.3 喷涂保温层外观质量应符合下列规定:

- 1 保温层应无断层现象。
- 2 保温层表面应平顺、饱满,无明显突出部分,不得有裂缝、空鼓、变形。

14.4.4 铺设保温层应符合下列规定:

- 1 铺设前混凝土表面应平整,且无渗漏水、污物和壁面潮湿情况。
- 2 保温材料的导热系数、抗压强度和燃烧性能等主要性能指标应满足设计要求,并按 10% 的批次抽检率进行复验。

14.4.5 铺设保温层实测项目应符合表 14.4.5 的规定。

表 14.4.5 铺设保温层实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1△	保温层厚度 (mm)	不小于设计值	尺量法或测针法,沿隧道纵向分别在拱顶、两侧拱腰、两侧边墙每 20m 检查 1 个断面,每个断面测 5 点
2△	保温层长度 (cm)	不小于设计值	尺量
3△	保温层错缝拼接长度 (mm)	不小于设计值	尺量:全部搭接均要检查,每一个搭接处检查 3 处
4	锚固件安装纵、环向间距偏差 (mm)	± 30 , 构件数量不小于设计数量	尺量:抽查 10%
5	龙骨搭接长度 (mm)	≥ 100	尺量:抽查 10% 搭接点
6	龙骨安装偏差 (mm)	≤ 5	尺量:抽查榫数 10%

14.4.6 铺设保温层外观质量应符合下列规定:

- 1 保温板应固定牢固,不得有松动。
- 2 衬砌表面铺设保温板,表面应平顺,密贴于铺设表面,不得有松动、开裂。
- 3 衬砌中间层铺设保温板,密贴于铺设表面,不得有开裂。
- 4 保温板接缝应填充密实,不得留有空隙。

条文说明

保温层采用铺设施工时,既包括于二次衬砌外表面铺设施工,也包括于防水板外表

面、二次衬砌内表面之间铺设施工，还包括于二次衬砌外表面、三次衬砌内表面之间铺设施工，应当根据实际采用的施工工艺有针对性地开展外观质量检查工作。

14.5 防冻排水设施

14.5.1 保温边沟、深埋水沟、防寒泄水洞和保温出水口等防冻排水设施，应符合下列规定：

- 1 防冻排水设施的保温材料应满足设计要求，并按 10% 的批次抽检率进行复验。
- 2 防冻排水设施施工完成后，应清理排水系统中的垃圾、杂物，及时疏通排水通道，并进行灌水排水试验。
- 3 排水系统应不冻结。

14.5.2 保温边沟、深埋水沟、防寒泄水洞和保温出水口等防冻排水设施实测项目应符合表 14.5.2 的规定。

表 14.5.2 防冻排水设施实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	断面尺寸 (mm)	(0, +10]	尺量或全站仪：每 10m 测 1 处
2△	沟顶高程 (mm)	[-20, 0)	水准仪：每 10m 测 1 处
3△	纵坡或坡率	满足设计要求	水准仪：每 10m 测 1 处
4	防寒泄水洞和正洞的联络通道断面尺寸 (mm)	±10	尺量或全站仪：每 10m 测 1 处
5	防寒泄水洞和正洞的联络通道高程 (mm)	±20	水准仪：每 10m 测 1 处
6△	防寒泄水洞和正洞的联络通道纵坡	满足设计要求	水准仪：每 10m 测 1 处

14.5.3 保温边沟、深埋水沟、防寒泄水洞和保温出水口等防冻排水设施外观质量应符合下列规定：

- 1 保温边沟盖板底面敷设的保温层，应无破损。
- 2 盖板应无松动、破损。
- 3 保温出水口应无堵塞、排水顺畅。

14.6 其他

14.6.1 防水卷材、橡胶止水带的脆化温度等主要耐寒性能指标应满足设计要求，并按 10% 的批次抽检率进行复验。

附录 A 隧道冻胀力计算

A.1 圆形断面冻胀力

A.1.1 圆形断面隧道的冻胀力可按式 (A.1.1-1) 计算:

$$P_b = \frac{2D_1(1-\mu_{II})\frac{\Delta_c}{c} - D_4\frac{\Delta_b}{b}}{\left\{ \frac{a^2 + b^2(1-2\mu_I)(1+\mu_I)}{b^2 - a^2} \frac{(1+\mu_I)}{E_I} + 2[D_1 + D_2(1-2\mu_{II})] \frac{(1+\mu_{II})}{E_{II}} \right\} D_4 - \frac{8D_1D_2(1-\mu_{II})^2(1+\mu_{II})}{E_{II}}} \quad (\text{A.1.1-1})$$

$$D_1 = \frac{c^2}{2(c^2 - b^2)}, D_2 = \frac{b^2}{2(c^2 - b^2)}, D_3 = \frac{E_{II}(1+\mu_{III})}{2E_{III}(1+\mu_{II})}, D_4 = D_3 + D_2 + D_1(1-2\mu_{II}) \quad (\text{A.1.1-2})$$

$$\Delta_b = \frac{(1-2\mu_{II})(k-1)\eta b}{(1-\mu_{II})(k+2)} \left(\ln b - \frac{1}{2} \right) + \frac{C_1}{2}b + \frac{C_2}{b} \quad (\text{A.1.1-3})$$

$$\Delta_c = \frac{(1-2\mu_{II})(k-1)\eta c}{(1-\mu_{II})(k+2)} \left(\ln c - \frac{1}{2} \right) + \frac{C_1}{2}c + \frac{C_2}{c} \quad (\text{A.1.1-4})$$

$$C_1 = \frac{\eta}{k+2} \left[\frac{(k-1)(1-2\mu_{II})(c^2 \ln c - b^2 \ln b)}{(b^2 - c^2)(1-\mu_{II})} + \frac{(3-4\mu_{II})k + (1+4\mu_{II} - 4\mu_{II}^2)}{2(1-\mu_{II})} \right] \quad (\text{A.1.1-5})$$

$$C_2 = \frac{b^2c^2(\ln b - \ln c)(k-1)\eta}{2(c^2 - b^2)(1-\mu_{II})(k+2)} \quad (\text{A.1.1-6})$$

式中: P_b ——圆形断面隧道衬砌所受的冻胀力 (kPa);
 k ——不均匀冻胀系数, 是围岩冻结时沿冻结方向与垂直冻结方向的线冻胀系数的比值, 一般在 2~3, 对岩质围岩可取 1.5, 对土质围岩可取 2.5, 也可以根据试验确定;
 η ——岩体冻胀率, 可根据调查或试验结果确定;
 a 、 b ——衬砌内半径、衬砌外半径 (m);
 c ——冻融圈外半径 (m), 为衬砌外半径与冻融圈厚度之和;
 E_I 、 E_{II} 、 E_{III} ——衬砌混凝土、冻结围岩、未冻结围岩的弹性模量 (kPa);
 μ_I 、 μ_{II} 、 μ_{III} ——衬砌混凝土、冻结围岩、未冻结围岩的泊松比;

- Δ_b ——冻胀围岩内缘 ($r=b$) 的径向冻胀位移;
 Δ_c ——冻胀围岩外缘 ($r=c$) 的径向冻胀位移。

条文说明

本条中计算的冻胀力系指作用于围岩与衬砌界面全环分布的法向冻胀力, 推导公式的基本假定是: ①围岩为均质、各向同性的弹性介质; ②平面应变假设; ③围岩在冻结时, 温度梯度最大的主冻结方向的冻胀率大于其他方向, 但不均匀冻胀系数为常数, 在冻胀过程中保持不变; ④隧道的衬砌、冻结圈和非冻结圈均为圆形。所以, 上述计算公式适合于隧道埋深大于冻胀应力影响范围的情况; 隧道埋深小于冻胀应力影响范围的情况, 如洞口季节冻土段和浅埋段, 用该计算公式计算的冻胀力是偏大的, 当然也是偏安全的。

围岩不均匀冻胀系数是围岩冻结时沿冻结方向与垂直冻结方向的线冻胀系数的比值, 在隧道中围岩冻结方向一般为隧道径向, 垂直冻结方向为隧道环向。

A. 1.2 寒区公路隧道冻融圈厚度的确定应符合下列规定:

- 1 非冻土段冻融圈厚度宜根据该断面处的洞内气温、围岩热物理性质参数、衬砌和保温层热物理性质参数和厚度计算确定, 也可按勘察报告提供的最大冻结深度确定。
- 2 多年冻土段冻融圈厚度可按施工期间最大融化深度确定。
- 3 季节性冻土段冻融圈厚度可按季节活动层厚度确定, 取值可在 1.5~3m。

A. 1.3 圆形断面隧道的冻胀力也可按式 (A. 1.3-1) 计算:

$$P_b = \frac{2n\eta E_{\text{III}}}{pq + (m_2 + 1)[e(m_1 - \mu_1) + (m_2 + \mu_{\text{III}})]} \quad (\text{A. 1.3-1})$$

$$m_1 = \frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2}, m_2 = \frac{c^2 + b^2}{c^2 - b^2} \quad (\text{A. 1.3-2})$$

$$p = \frac{2b^2}{c^2 - b^2}, q = \frac{2c^2}{c^2 - b^2}, e = \frac{E_{\text{III}}}{E_1} \quad (\text{A. 1.3-3})$$

式中: n ——围岩完整度系数, 与围岩分级相关。

条文说明

本条引自《公路隧道设计细则》(JTG/T D70—2010) 中第 10.2.6 条, 但该标准将 η 定义为融冻区冻结后的体积膨胀系数, 本规范将其定义为冻胀率。由于岩土体的三相特征, 其冻胀率与钢筋、混凝土等结构材料的温度体积膨胀系数不同, 冻胀与水由液相变为固相产生的体积增加有关, 岩土颗粒本身由于温度变化产生的体积改变很小, 可以忽略。

研究表明, 冻胀率除与气温条件、岩土体类别有关外, 还主要与含水率有关。当含

水率超过起始冻胀含水率时，在没有地下水补给的情况下，岩土体中仍有水分迁移现象存在，含水率发生重分布，并产生冻胀；含水（冰）率越大，冻胀率越大，在封闭系统中，即在无地下水补给的条件下，两者基本成线性递增关系。

A.2 曲墙式断面冻胀力

A.2.1 多年冻土段及非冻土段隧道冻胀力的作用形式以及作用力量值如图 A.2.1 所示，冻胀力分布可分解为：均匀作用于衬砌拱顶至边墙的压力荷载 q_1 ，均匀作用于拱脚的压力荷载 q_{\max} ，作用于仰拱的压力荷载 q_2 ， q_1 与 q_{\max} 、 q_{\max} 与 q_2 的过渡段荷载。不同冻土段冻胀力分布特征参数见表 A.2.1。

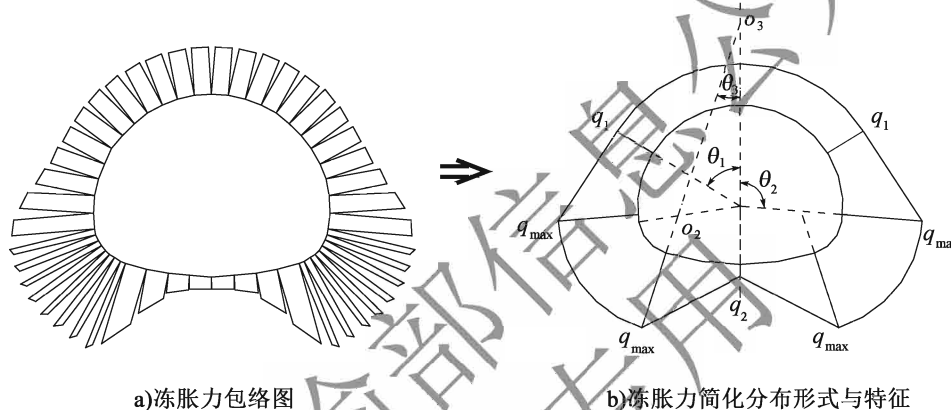


图 A.2.1 多年冻土段及非冻土段围岩冻胀力

表 A.2.1 多年冻土段及非冻土段围岩冻胀力分布特征参数

冻土段	围岩级别	θ_1	θ_2	θ_3
多年冻土段	V	81°	98°	18°
	VI	58°	81°	18°
非冻土段	IV	58°	95°	18°
	V	58°	88°	18°

A.2.2 多年冻土段及非冻土段的冻胀力可按式 (A.2.2) 计算：

$$\begin{cases} q_1 = D_1 q_{\max} \\ q_2 = D_2 q_{\max} \\ q_{\max} = D_3 (1 - D_4^h) P_b \end{cases} \quad (\text{A.2.2})$$

式中： P_b ——将衬砌等效为圆形，根据式 (A.1.1-1) 计算得到的冻胀力；

h ——隧道埋深 (m)。

条文说明

式 (A.2.2) 是考虑隧道衬砌形状为三心曲墙式时的经验公式, 是对第 A.1.1 条的圆形隧道冻胀力计算结果的修正, 因此, 除了衬砌形状, 该计算公式的其他基本假定、理论依据和适用范围与第 A.1.1 条一致。由于修正参数受多年冻土段及非冻土段的影响, 因此, 对多年冻土段和非冻土段进行了区分。

交通运输部信息公开
浏览专用

附录 B 多年冻土段隧道围岩压力计算

B.1 深埋段隧道围岩压力

B.1.1 多年冻土深埋段隧道完全冻结条件下围岩压力可采用普氏理论按式 (B.1.1-1) 计算:

$$q_f = \gamma' h_f \quad (\text{B.1.1-1})$$

$$h_f = \frac{B_t + 2H_t \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi_c'}{2}\right)}{2f'} \quad (\text{B.1.1-2})$$

$$e' = \frac{e'_1 + e''_1}{2} \quad (\text{B.1.1-3})$$

$$e'_1 = q_f \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi_c'}{2}\right) \quad (\text{B.1.1-4})$$

$$e''_1 = (q_f + \gamma' H_t) \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi_c'}{2}\right) \quad (\text{B.1.1-5})$$

式中: q_f ——深埋段隧道冻结条件下围岩垂直均布压力 (kN/m^2);

γ' ——冻结状态下围岩重度 (kN/m^3);

h_f ——冻结条件下围岩压力计算高度 (m);

B_t ——隧道开挖宽度 (m);

H_t ——隧道的开挖高度 (m);

φ_c' ——冻结围岩计算摩擦角 ($^\circ$), 见表 B.2.1。

f' ——冻结围岩的坚固性系数;

e' ——冻结条件下衬砌结构水平均布压力 (kN/m^2);

e'_1 ——冻结条件下衬砌结构顶部水平均布压力 (kN/m^2);

e''_1 ——冻结条件下衬砌结构底部水平均布压力 (kN/m^2)。

B.1.2 多年冻土深埋段隧道非完全冻结条件下围岩压力可考虑为松散荷载按式 (B.1.2-1) 计算:

$$q = \gamma h \quad (\text{B.1.2-1})$$

$$e_3 = \frac{e'_3 + e''_3}{2} \quad (\text{B.1.2-2})$$

$$\begin{cases} h = h_f + (h_m - h_f) \frac{r_m}{h_m} & r_m \leq h_m \\ h = h_m & r_m > h_m \end{cases} \quad (\text{B. 1. 2-3})$$

$$e'_3 = q \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_c}{2} \right) \quad (\text{B. 1. 2-4})$$

$$e''_3 = (q + \gamma H_1) \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_c}{2} \right) \quad (\text{B. 1. 2-5})$$

式中： q ——深埋段隧道融化条件下垂直均布压力 (kN/m^2)；

γ ——融化状态下围岩重度 (kN/m^3)；

h ——融化条件下围岩松散荷载计算高度 (m)；

e_3 ——融化条件下衬砌结构水平侧压力 (kN/m^2)；

e'_3 ——融化条件下衬砌结构顶部水平侧压力 (kN/m^2)；

e''_3 ——融化条件下衬砌结构底部水平侧压力 (kN/m^2)；

r_m ——围岩融化圈厚度 (m)；

h_m ——完全融化状态下围岩压力计算高度 (m)；

φ_c ——融化状态下围岩计算摩擦角 ($^\circ$)。

B. 2 浅埋段隧道围岩压力

B. 2. 1 多年冻土浅埋段隧道完全冻结条件下围岩压力可按现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1) 计算，计算时宜采用实测的冻结围岩物理力学参数，当无实测数据时可按表 B. 2. 1 选取。

表 B. 2. 1 冻结围岩的物理力学指标标准值

围岩级别	重度 γ (kN/m^3)	内摩擦角 φ ($^\circ$)	黏聚力 c' (MPa)	计算摩擦角 φ'_c ($^\circ$)	坚固性系数 f'
I	26 ~ 28	> 62. 4	> 2. 31	> 79. 6	18. 6 ~ 24. 8
II	25 ~ 27	52. 0 ~ 62. 4	1. 65 ~ 2. 31	71. 7 ~ 79. 9	9. 92 ~ 18. 6
III	23 ~ 25	40. 6 ~ 52. 0	0. 77 ~ 1. 65	61. 9 ~ 72. 2	3. 72 ~ 9. 92
IV	20 ~ 23	28. 1 ~ 40. 6	0. 22 ~ 0. 77	52. 0 ~ 62. 4	1. 24 ~ 3. 72
V	17 ~ 20	20. 8 ~ 28. 1	0. 055 ~ 0. 22	42. 1 ~ 52. 6	0. 99 ~ 1. 86
VI	15 ~ 17	< 20. 8	< 0. 22	32. 1 ~ 42. 8	0. 37 ~ 1. 24

B. 2. 2 当衬砌背后多年冻土层中有融化圈时，浅埋段隧道围岩压力的计算可采用融化条件下围岩物理力学指标按现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1) 计算，也可考虑地表融化层的自重作用及多年冻土层内围岩的影响按式 (B. 2. 2-1) 计算：

$$q_s = \gamma'h_2 + \gamma h_1 - (\gamma'h_2 + 2\gamma h_1) \frac{h_2}{B'_t} \lambda' \tan\theta' + \gamma r_m \quad (\text{B. 2. 2-1})$$

$$e = \max(e_1, e_2) \quad (\text{B. 2. 2-2})$$

$$e_1 = \frac{e_1^t + e_1^r}{2}, e_1^t = (\gamma'h_2 + \gamma h_1) \lambda', e_1^r = (\gamma h' + \gamma h_1) \lambda' \quad (\text{B. 2. 2-3})$$

$$e_2 = \gamma \left(r_m + \frac{H_t}{2} \right) \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi_c}{2} \right) \quad (\text{B. 2. 2-4})$$

$$\lambda' = \frac{\tan\beta' - \tan\varphi'_c}{\tan\beta' [1 + \tan\beta' (\tan\varphi'_c - \tan\theta') + \tan\varphi'_c \tan\theta']} \quad (\text{B. 2. 2-5})$$

$$\tan\beta' = \tan\varphi'_c + \sqrt{\frac{(\tan^2\varphi'_c + 1) \tan\varphi'_c}{\tan\varphi'_c - \tan\theta'}} \quad (\text{B. 2. 2-6})$$

式中： λ' ——侧压力系数；

q_s ——融化条件下垂直均布压力 (kN/m^2)；

e ——融化条件下水平均布压力 (kN/m^2)；

e_1 ——未考虑围岩融化圈范围围岩压力的水平均布压力 (kN/m^2)；

e_1^t 、 e_1^r ——衬砌结构顶部、底部水平侧压力值 (kN/m^2)；

e_2 ——围岩融化圈范围围岩压力的水平均布压力 (kN/m^2)；

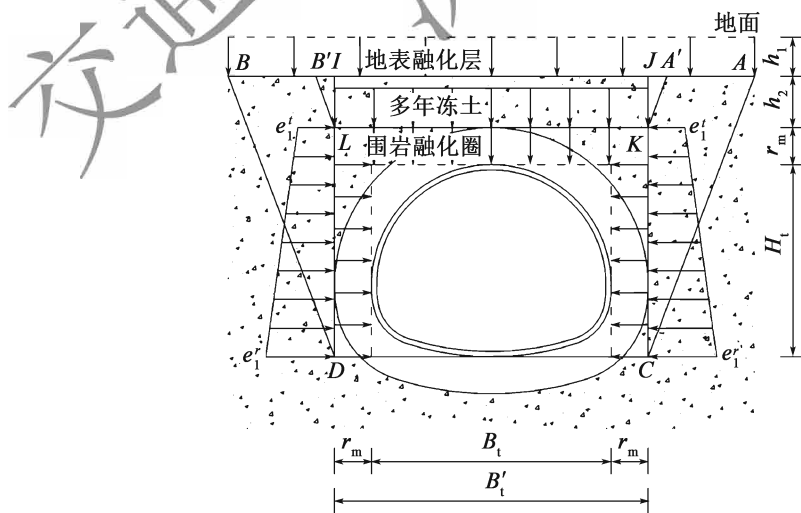
h_1 ——地表融化层厚度 (m)，如图 B. 2. 2 所示；

h_2 ——融化圈上限到多年冻土上限的距离 (m)，如图 B. 2. 2 所示；

h' ——坑道底部到多年冻土上限的距离 (m)，如图 B. 2. 2 所示；

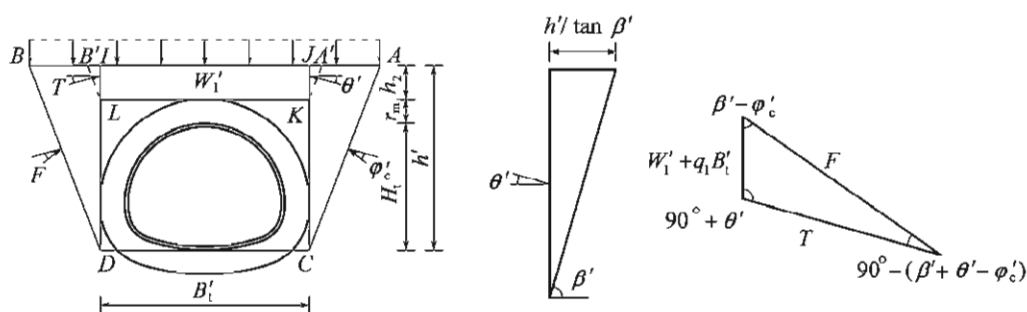
B'_t ——围岩融化圈宽度 (m)， $B'_t = B_t + 2r_m$ ，如图 B. 2. 2 所示；

β' ——破裂面与水平面的夹角 ($^\circ$)，如图 B. 2. 2 所示。



a) 围岩压力计算模型

图 B. 2. 2



b) 围岩压力示意图

图 B.2.2 浅埋段隧道围岩压力计算示意图

条文说明

表 B.2.1 中的值是在《公路隧道设计细则》(JTG/T D70—2010) 给出的不同级别的围岩物理力学指标标准值的基础上, 根据岩石冻融前后的力学指标变化情况推测得到冻结岩体的物理力学指标。由于受节理裂隙影响, 冻结围岩融化后强度下降幅度远大于冻结岩石的下降幅度, 因此, 表 B.2.1 中的值是偏安全的。

隧道围岩冻融情况随时间变化较为复杂, 如施工期扰动的冻土层会逐渐回冻, 自地表向衬砌会出现冻结—融化—冻结(冬季, 未完全回冻)、融化—冻结—融化(暖季)等多夹层分布的情况。这里从衬砌围岩是否产生冻胀力, 将不同分布状态划分为两类: 衬砌背后多年冻土层中有融化圈时, 无冻胀力产生, 只计算围岩松散荷载, 此时可以按式 (B.2.2-1) ~ 式 (B.2.2-6) 计算, 也可出于安全考虑, 围岩均采用融化条件下物理力学指标, 按现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1) 方法计算围岩压力; 衬砌背后多年冻土层中融化圈有回冻时, 冻胀力与围岩压力组合作用, 此时对围岩压力的计算仍是安全的, 融化圈中的回冻围岩仍按融化状态计算围岩压力。

附录 C 洞门墙水平冻胀力计算

C.0.1 当基础埋深大于或等于设计冻深时，可只计算水平冻胀力的作用；当基础埋深小于墙前地面设计冻深时，除应计算水平冻胀力外，尚应计算竖直冻胀力的作用。

C.0.2 墙背水平冻胀应力的大小和分布，宜由现场试验确定。在不能进行试验时，可采取理论计算和数值模拟相结合的方法。理论计算时，冻胀力沿墙高的分布可按图 C.0.2 确定，最大水平冻胀力可按表 C.0.2 确定。

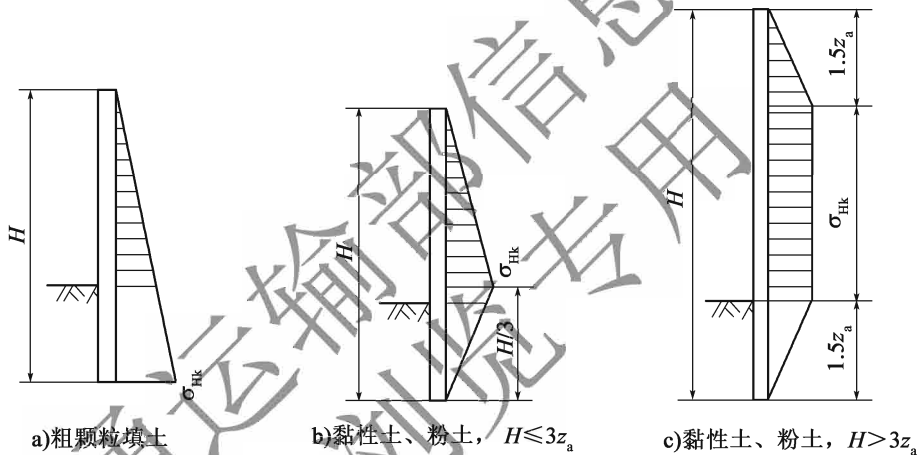


图 C.0.2 水平冻胀应力沿墙背分布示意图

H -墙高; z_a -墙背中部多年冻土上限深度

表 C.0.2 水平冻胀力标准值 σ_{Hk} (kPa)

冻胀等级	不冻胀	弱冻胀	冻胀	强冻胀	特强冻胀
冻胀率 η (%)	$\eta \leq 1$	$1 < \eta \leq 3.5$	$3.5 < \eta \leq 6$	$6 < \eta \leq 12$	$\eta > 12$
水平冻胀力	$\sigma_{Hk} < 15$	$15 \leq \sigma_{Hk} < 70$	$70 \leq \sigma_{Hk} < 120$	$120 \leq \sigma_{Hk} < 200$	$\sigma_{Hk} \geq 200$

附录 D 隧道供氧量计算

D.0.1 鼻吸式供氧流量可按式 (D.0.1) 计算:

$$v = \frac{v_i - 0.21}{4v_s} \quad (\text{D.0.1})$$

式中: v ——供氧流量 (L/min);
 v_i ——吸氧浓度 (%);
 v_s ——设备供氧浓度 (%)。

D.0.2 弥散式供氧流量可按下列规定计算。

1 人员耗氧量可按式 (D.0.2-1) 计算:

$$Q_1 = \frac{Q_R \cdot N_R}{R_0} \quad (\text{D.0.2-1})$$

式中: Q_1 ——空间内人员每小时总耗氧流量 (m^3/h);
 Q_R ——空间内单人每小时总耗氧流量 (m^3/h);
 N_R ——空间内活动人数;
 R_0 ——供氧管道出口氧气浓度 (%)。

2 空间需氧量可按式 (D.0.2-2) 计算:

$$Q_2 = \frac{V_F \cdot A}{R_0} K_1 \quad (\text{D.0.2-2})$$

式中: Q_2 ——空间内每小时提升气管氧分压所需氧流量 (m^3/h);
 V_F ——空间内体积 (m^3);
 A ——单位体积每小时提升气管氧分压所需氧量 (m^3);
 K_1 ——房间密封性修正系数, 取 1.67。

3 弥散式供氧空间内总需氧流量可按式 (D.0.2-3) 计算:

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 \quad (\text{D.0.2-3})$$

式中: Q_3 ——室内弥散式供氧所需氧气总流量 (m^3/h)。

本规范用词用语说明

1 本规范执行严格程度的用词，采用下列写法：

- 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”，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”。