

JTG

中华人民共和国行业推荐性标准

JTG/* ****_**—***

寒区公路隧道技术规范

Specification for Technology of Highway Tunnels in Cold Areas

征求意见稿

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中华人民共和国交通运输部发布

中华人民共和国行业推荐性标准

寒区公路隧道技术规范

Specification for Technology of Highway Tunnels in Cold Areas

JTG/* ****-*__**

主编单位：招商局重庆交通科研设计院有限公司

批准部门：中华人民共和国交通运输部

实施日期：202*年**月**日

征求意见稿

前 言

根据交通运输部《关于做好 2019 年度公路工程行业标准规范制修订项目准备工作 的通知》(交公便字〔2019〕××号文)的要求,由招商局重庆交通科研设计院有限公司作为主编单位承担《寒区公路隧道技术规范》(JTGT ××-×—××)的制订工作。

本规范包括 14 章×个附录,分别是:1 总则、2 术语和符号、3 基本规定、4 隧址调查、5 总体设计、6 建筑材料、7 荷载及结构计算、8 洞口与结构设计、9 防排水系统设计、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 最大冻深分布图、附录 B 曲墙隧道冻胀力荷载计算方法、附录 C 洞门墙水平冻胀力计算、附录 D 防冻保温层厚度计算。

本规范制订的主要内容如下:

请各有关单位在执行过程中,将发现的问题与意见,函告本规范日常管理组,联系人:××(地址:重庆市南岸区学府大道 33 号,邮编:400067;电话:023-62653050,传真:023-62653128;邮箱:××××),以便下次修订时研用。

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

青海地方铁路建设投资有限公司

四川省公路规划勘察设计研究院有限公司

长安大学

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

主 编:吴梦军

主要参编人员:

主 审：朱光仪

参与审查人员：

参加人员：

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 基本规定.....	4
3.1 寒区分类.....	4
3.2 防冻设防分级及要求.....	4
3.3 设计冻深.....	6
4 隧道调查.....	9
4.1 一般规定.....	9
4.2 资料搜集.....	10
4.3 气象调查.....	10
4.4 工程环境调查.....	11
4.5 地质调查.....	12
4.6 冻土调查.....	14
5 总体设计.....	16
5.1 一般规定.....	16
5.2 隧道位置选择.....	16
5.3 隧道线形.....	17
5.4 隧道横断面.....	18
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.....	21
6.3 保温材料.....	23
6.4 其他材料.....	24
7 荷载及结构计算.....	28

7.1 一般规定.....	28
7.2 冻胀力荷载.....	28
7.3 荷载组合.....	29
7.4 结构计算.....	32
8 洞口与结构设计.....	34
8.1 一般规定.....	34
8.2 洞口及洞门.....	34
8.3 防雪棚洞.....	35
8.4 明洞.....	36
8.5 喷锚衬砌.....	36
8.6 整体式衬砌.....	36
8.7 复合式衬砌.....	37
8.8 特殊构造要求.....	37
9 防排水系统设计.....	39
9.1 一般规定.....	39
9.2 衬砌防排水系统.....	39
9.3 保温水沟.....	40
9.4 深埋水沟.....	42
9.5 防寒泄水洞.....	43
9.6 排水盲管.....	44
9.7 保温出水口.....	45
9.8 注浆堵水防冻措施.....	45
10 防冻保温设计.....	47
10.1 一般规定.....	47
10.2 防冻保温层构造.....	47
10.3 材料选择.....	47
10.4 防冻保温层厚度.....	48
10.5 防冻保温层长度.....	48
10.6 性能要求.....	49
10.7 升温防冻措施.....	50

11 附属设施设计	51
11.1 一般规定	51
11.2 消防给水及灭火设施	51
12 施工准备	54
12.1 一般规定	54
12.2 资料的收集和调查	54
12.3 施工场地与临时工程	55
12.4 施工人人员、材料和设备	55
12.5 材料	55
12.6 机械设备	55
13 隧道施工	57
13.1 一般规定	57
13.2 开挖	57
13.3 支护与衬砌	58
13.4 防排水系统施工	59
13.5 防冻保温层施工	60
13.6 施工通风	61
13.7 施工供氧与职业健康	62
13.8 监控量测	63
13.9 施工排水	64
14 质量检验	66
14.1 一般规定	66
14.2 防冻保温层	66
14.3 防寒排水设施	67
14.4 其它	68
附录 A 最大冻深分布图	69
附录 B 曲墙隧道冻胀力荷载计算方法	70
B.1 洞口季节冻土段	70
B.2 多年冻土段及非冻土段	71
附录 C 洞门墙水平冻胀力计算	73

附录 D 防冻保温层厚度计算.....	75
附录 E 隧道供氧量计算.....	76

征求意见稿

1 总则

1.0.1 为规范和指导寒区公路隧道设计与施工，制订本规范。

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

1.0.3 寒区隧道设计与施工应全面掌握隧址区气象条件、地质条件等，遵循“安全、环保、耐久、经济、节能”原则。

1.0.4 寒区隧道应从选址、平纵设计、结构设计、防排水系统、材料性能、附属设施、施工方案等方面考虑低温或缺氧影响，合理制定相应技术方案。

1.0.5 寒区隧道设计与施工应采取合理、可行的质量控制、安全保障、劳动保护、生态环保等措施。

1.0.6 寒区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。

1.0.7 寒区隧道设计与施工除应符合本标准外，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，包括寒冷地区和严寒地区。

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。

2.1.10 防冻水沟 antifreeze ditch

隧道内设置于冻结深度以下的排水沟。

2.1.11 防寒泄水洞 cold-proof drainage tunnel

为防止隧道富水发生冻胀而设置的排水结构。

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°C；
 K ——与岩性有关的冻结深度系数。

3 基本规定

3.1 寒区分类

3.1.1 寒区分类应按表 3.1.1 确定。

表 3.1.1 寒区分类标准

气候环境分类	最冷月平均气温℃
寒冷地区	-3~10
严寒地区	≤-10

条文说明

对于寒区的划分标准，国内不同行业的标准规范，其划分指标及其标准值差异较大，对于公路隧道，寒区的划分主要是考虑衬砌背后和洞内水分是否冻结为标准，在综合参考《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660-2020）和《铁路隧道设计规范》（TB 10003-2016）等规范的基础上，并兼顾划分指标简单明确，确定寒区定义为：寒区是指最冷月平均气温不大于-3℃的地区，一般包含所有的多年冻土区、冰川区、稳定性季节积雪区。

3.1.2 寒区隧道采用的气候参数应由附近气象站提供，气象站与隧道水平距离宜小于 50km，且高差宜小于 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。而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。

当隧道与气象台站水平距离在 50km 以内，且高程相差不超过 100m 时，二者气候具有相似性，该气象站记录的气候参数可以直接引用；当隧址区地形起伏、高差变化较大时，不能直接引用该气象站记录的气候参数，可对其修正后再用。

3.2 防冻设防分级及要求

3.2.1 寒区隧道洞口防冻设防长度宜根据相同气候条件的既有隧道温度场实测数据分析确定，当无实测数据时，可采用经验法、气象分析法或有限元模拟计算确定。

条文说明

目前国内寒区隧道防冻保温段落确定较多采用经验值法或经验公式法，本标准给出三种方法，第一种为经验表法，后两种为经验公式法，实际应用时可视工程具体情况，采用其中一种方法确定洞口防冻设防段长度，或采用多种方法对比确定。

1 可根据表 3.2.1-1 确定说明洞口防冻设防设计长度。

说明表 3.2.1-1 洞口防冻设防设计长度

洞口海拔高度 (m)	最冷月平均气温 (°C)	防冻设防设计长度 (m)
3300	-10	680
3600	-10.5	690
3800	-11	710
4000	-12	750
4200	-13	830
4400	-14	860
4600	-15	900
4800	-16	930

2 可根据式(3.2.1-1)计算洞口防冻设防设计长度：

$$y = 154.7(-t)^{0.604} \quad (3.2.1-1)$$

3 区分高海拔寒区和高纬度寒区，分别采用式(3.2.1-2)和式(3.2.1-3)计算洞口防冻设防设计长度：

1) 对于海拔高度超过 3000m 的寒区隧道：

$$y = -0.812t^2 - 53.448t + 150.73 \quad (3.2.1-2)$$

2) 对于高纬度寒区隧道：

$$y = -0.793t^2 - 51.861t + 175.69 \quad (3.2.1-3)$$

式中： t ——隧道洞口最冷月平均气温， $^{\circ}\text{C}$ ；

y ——防冻设防设计长度， m 。

式(3.2.1-2)是对高海拔地区的 26 座寒区隧道经验数据进行拟合分析，得到的最冷月平均气温和防冻保温层长度的计算公式。式(3.2.1-3)是对高纬度地区的 80 座寒区隧道经验数据进行拟合分析，得到的最冷月平均气温和防冻保温层长度的计算公式。

3.2.2 综合隧址区最冷月平均气温、地下水发育状况等，按表 3.2.2 确定寒区隧道防冻设防等级。

表 3.2.2 寒区隧道防冻设防等级

地下水出水状态	寒冷程度	
	寒冷	严寒
无水或基本无水	不设防	不设防
潮湿或点滴状出水， $p \leq 0.1$ 或 $Q \leq 25$	三级	二级
淋雨状或线流状出水， $0.1 < p \leq 0.5$ 或 $25 < Q \leq 125$	二级	一级
涌流状出水， $0.5 < p$ 或 $125 < Q$	一级	一级

注：1. p 为隧道围岩裂隙水压 (MPa)；

2. Q 为每 10m 洞长出水量 (L/min.10m)；

3. 对于四级及以下公路隧道可适当降低设防等级。

3.2.3 寒区隧道不同设防等级要求应满足表 3.2.3 规定。

表 3.2.3 寒区隧道不同设防等级要求

设防要求	设防等级			备注
	一级	二级	三级	
气象观测站设置	应设	宜设	可不设	
最小纵坡值	0.8%	0.5%	0.3%	
内轮廓与建筑限界最小间距	≥20cm	≥15cm	≥10cm	
衬砌设缝长度	不宜大于 10m	不宜大于 10m	不宜大于 12m	
冻胀力荷载	应考虑	宜考虑	可不考虑	
防水等级	一级	一级	二级	
排水沟设置	深埋水沟+保温边沟	深埋水沟+保温边沟	保温边沟	最冷月平均气温低于-25℃的非多年冻土隧道，宜设置防寒泄水洞
纵向排水管保温	电伴热+保温层	保温层	保温层	
监控量测				

注：寒冷地区消防给水管应设置防冻保温层，严寒地区应设置电伴热和防冻保温层。

3.3 设计冻深

3.3.1 隧道设计冻深 Z_d 可按下式计算：

$$Z_d = Z_0 \psi_{zs} \psi_{zw} \psi_{zc} \psi_{zt0} \quad (3.4.2)$$

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 3.3.1 查取。

表 3.3.1 冻深影响系数

系数	土质或岩性影响系数 ψ_{zs}				围岩冻胀性影响系数 ψ_{zw}				地形影响系数 ψ_{zt0}		
分类	黏性土、岩	细砂、砂、粉砂、砾砂	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	平坦	阳坡
取值	1.0	1.2	1.3	1.4	1.0	0.95	0.9	0.85	0.8	1.0	0.9

注：冻胀性影响分类根据第 3.3.3 条确定。

3.3.2 标准冻深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。当缺少资料时，最大冻深可参考附录 A 确定。

3.3.3 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 3.3.3 的规定。

表 3.3.3 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℃条件下冻土的弹性模量为 0.14~0.59GPa，-5~-20℃条件下冻岩的弹性模量为 4.45~10.12GPa，对比可知冻岩弹性模量是冻土的 7.5~72.3 倍。说明表 3.3.3 为不同岩性和围岩级别下岩体的冻胀率及冻胀性。

说明表 3.3.3 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
	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	-

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
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 隧道调查

4.1 一般规定

4.1.1 寒区隧道应按照各设计阶段的任务、目的和要求，搜集和调查项目区气象、水文、地形地貌、地质、冻土、工程环境等资料以及当地既有工程的养护、冻害记录资料与防治经验，调查资料应齐全、准确。

条文说明

寒区隧道工程面临着特殊的气象条件和工程地质条件，如负温条件造成的工程结构冻胀破坏、多年冻土融沉产生的结构损坏等问题，致使寒区隧道冻害问题突出，为工程建设和运营带来了极大的困难。由于冻害问题较为复杂，各地发生的隧道病害问题也不尽相同，在公路隧道养护过程中各地积累了丰富的防治经验，为此除提出基本的调查要求外还强调调查当地冻害防治措施。

4.1.2 寒区隧道工程地质勘察工作应按勘测阶段循序渐进，采用工程地质调查与测绘、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条件，满足设计与施工需要。

条文说明

工程地质勘察一般按可研勘察、初勘、详勘等三个阶段进行，与可行性研究、初步设计和施工图设计等阶段相适应。地质环境与隧道工程建设息息相关，是影响隧道工程最为重要的因素，因此在隧道工程设计中应切实贯彻地质选线的原则，当地形地质条件特别复杂、线路比选范围较大时应加深工程地质评价工作，尤其是寒区隧道面临着更为复杂的工程环境，为线路比选提供依据。

4.1.3 寒区隧道设计前应重点查明隧址区水文地质情况与气象条件，宜在不同季节分别调查。

条文说明

寒区修建隧道除存在一般地区常见的病害以外，其最为突出的就是隧道冻害问题，由于负温和水是发生冻害的必要条件，周期性冻融过程是隧道冻害产生的主要诱因，因此要求应重点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，据此设计完善的防排水系统和隔热保温措施，确保隧道不渗、不漏、不冻胀、不融沉。

4.1.4 寒区隧道通过多年冻土地段时应进行气温、地温、多年冻土上下限观测，季节冻土隧道根据需要进行气温、地温、冻结深度观测，掌握气温、地温变化对冻土的影响。

4.1.5 施工阶段应核查施工图防冻融设计采用的相关基础资料，不符合实际情况应及时调整设计。

4.2 资料搜集

4.2.1 寒区隧道设计应搜集下列资料：

- 1** 气象资料：气温、气压、风速和风向、降雨量、积雪量、风吹雪、雪线、冻结深度、冻结指数、气象灾害等；
- 2** 地温资料：年平均地温、秋末冬初地温沿深度的分布、多年冻土上下限、季节冻土深度；
- 3** 冻土物理参数：物质组成、干密度、总含水量、盐渍度、泥碳化程度、相对含冰量以及冻土类型、构造及分布范围；
- 4** 冻土与未冻土热物理参数：导热系数、导温系数、热容量；
- 5** 冻土强度指标：冻结强度、抗剪强度、承载力特征值、体积压缩系数、冻胀系数、融化下沉系数、融土体积压缩系数；
- 6** 水文资料：地表水系、地下水位及变化情况、地下水露头、涌泉、温泉、水质、涎流冰；
- 7** 地质资料：区域地质、遥感地质、工程地质、地震历史、地震动参数、地质灾害；
- 8** 生态环境资料：沿线矿产资源、植被、树木、草场、沼泽、湿地。
- 9** 工程环境资料：沿线交通情况、周边既有工程、施工条件等。

条文说明

多年冻土引起结构破坏的主要原因是融沉作用，季节冻土引起结构破坏的主要原因是冬季冻结时产生的冻胀作用，故调查中应掌握冻土融化下沉系数与冻胀系数，这也是工程分类指标的依据。

4.2.2 应对同一区域或类似气象、地质条件的已建隧道冻害情况与防治技术相关资料进行搜集，应包括以下内容：

- 1** 路基的冻胀、融沉变形；
- 2** 衬砌剥落、开裂；
- 3** 衬砌渗漏水与挂冰、冰柱；
- 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、融冻泥流、寒冻劈裂等与冻融过程相关的不良地质现象；
- 7** 既有工程所采取的冻害防治措施与效果。

4.2.3 应搜集本区域融雪剂对路面材料、隧道结构的腐蚀情况等相关资料。

4.3 气象调查

4.3.1 气象调查应包括工程地点的气温、气压、风速、主导风向、雪线、冰川特征、日照、年平均气温、最冷月平均气温、最低日平均气温、年平均负温

天数及平均气温、冻结指数、冻结深度、冻结时间、年平均降水（雪）量、雪线标高、气压等，其中气温、风速、降雨、降雪、积雪应调查其极端值以及历史上气象灾害情况等。

4.3.2 应调查海拔高度、纬度、地形、坡向（阴坡、阳坡）、斜坡坡度、冬季主导风向、小气候环境、隧道朝向等自然地理资料，分析其对隧址区冻深、降温速率、冻土分布及发育特征等的影响。

条文说明

由于坡向、小气候条件、风口等局部区域差异的影响，对冻结深度、冻土的分布和发育特征、植物生长及地下水活动都有很大影响，如由于坡向不同，接收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最小，阴坡冻深最大；而对于多年冻土地区而言，通常阳坡多年冻土上限较大，且冻土含冰量较低，阴坡则多年冻土上限较小，冻土含冰量较高。因此，局部特征在调查中应引起重视。

4.3.3 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边远地区，宜在项目区设置观测周期不少于 1 年的气象观测点或观测站，持续收集项目区气象资料。

条文说明

气象条件时寒区隧道设计的基本依据，气象资料统计年限越长对设计越有利，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，本次按不同公路等级及项目区所在位置对统计年限作了规定。

4.3.4 寒区特长隧道宜在隧道洞口、斜竖井井口处设置气象观测点或观测站，持续观测当地气象资料，并满足下列要求：

- 1 气象观测点或观测站宜布置在洞口、斜竖井口 100m 范围内，开展气温、风向、风速、湿度等观测；
- 2 气象观测宜在项目立项阶段开始，直至隧道施工结束；
- 3 对运营期间仍需观测隧道，应将观测点或观测站交付养管单位继续观测。

条文说明

本条规定了在缺少隧址区的气象资料时应进行现场观测的要求，以掌握隧址区气象条件，为运营期自然风的利用提供基础资料，也为防止极端天气可能对隧道造成危害提供基础资料。

4.4 工程环境调查

4.4.1 应对隧址区及邻近地区相关地表水系、地下水露头、温泉、湖泊、沼泽、湿地、水草地、冰川、矿产资料以及动植物生态等自然环境进行调查。

4.4.2 应对项目区农田、草场、林场、水利设施、保护区、建（构）筑物等

进行调查。

4.4.3 应对项目区道路、临时便道、生活生产用水、供电、通讯条件等进行调查。

4.4.4 应对周边建筑材料来源、储量等进行调查。

4.4.5 应对项目区施工场地、弃渣场地等进行调查。

4.4.6 应对隧道噪音、振动、污水与废气排放对周边环境影响进行预测，对冻胀、融沉可能造成地表变形、塌陷、地面建筑开裂等进行评价。

4.5 地质调查

4.5.1 寒区隧道地质调查宜分阶段进行，调查目标、内容和范围应与设计阶段相适应。

4.5.2 隧道工程地质调查应包括下列内容：

- 1** 地层岩性及地质构造特征；
- 2** 断层、节理、软弱结构面特征及其与隧道的组合关系，围岩的完整性、风化程度及其基本物理、力学性质等；
- 3** 崩塌、错落、岩堆、滑坡、岩溶、人为坑洞、采空区、泥石流、地热、高地应力、雪崩、风吹雪、冰川、涎流冰、热融滑塌等不良地质现象，分析其类型、规模以及发生原因、趋势，分析其对隧道的影响程度；
- 4** 流沙、湿陷性黄土、岩盐、膨胀岩、多年冻土等特殊岩土，分析其成因、性质、范围及岩土力学特性，分析其对隧道的影响程度；
- 5** 有害气体、矿体及具有放射性危害的地层，确定其分布范围、有害成分和含量，并预测和评价对施工和运营的影响；
- 6** 地震参数；
- 7** 调查分析和预测隧道开挖及运营后冻胀、融沉、冰层融化、水分转移可能引起的工程地质问题。

4.5.3 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、地表水与地下水补排条件，与隧道轴线关系、连通性；
- 2** 构造断裂、褶皱、不同地层接触带、节理裂隙密集区、浅埋段的含水情况与补排条件、冻土中地下水类型、地下水水量、迁移条件等；
- 3** 围岩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、水头压力、水质、侵蚀性、矿化度，地下水位随季节变化情况及趋势，寒、暖季涌水量变化规律；
- 4** 可能造成隧道发生冻害的各种水源发育情况。

条文说明

寒区隧道病害通常以地下水冻结过程形成的病害最为严重，地下水在冻结

过程极易形成挂冰、积冰等病害，同时反复冻融过程造成常导致衬砌开裂、掉落等病害产生，处理好地下水是保证寒区隧道工程稳定的关键。因此查明隧址区水文地质条件时勘察的重要任务之一，应重视地下水情况的调查与分析，为隧址选择及采取的防排水与隔热保温措施提供依据。

4.5.4 寒区隧道水文地质条件复杂或水文地质条件对防冻融设计有影响时，宜设置地下水观测点或观测站进行观测，并满足下列要求：

- 1 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陷的影响；
- 3 地下水观测宜从初步勘察阶段开始，直至隧道施工结束，同时观测周期应不少于一个水文年；
- 4 如地下水观测点或观测站在运营期间仍需观测，在隧道主体工程竣工验收后，观测点或观测站宜随主体工程一起移交。

4.5.5 洞口积雪地段地质调查应包括以下内容：

- 1 洞口汇雪面积、地形地貌、植被、气象要素等；
- 2 积雪类型、分布范围及形成条件、发育规律；
- 3 风吹雪地段洞口冬季风力风向、风速梯度值及频率和持续时间、风雪流的输雪量、积雪深度、积雪密度；
- 4 当地防治积雪及风吹雪的工程措施或经验。

条文说明

积雪对寒区隧道的安全运营产生了较大影响，通常分为自然降雪和风吹雪两种形式。自然降雪是在风力较弱或无风条件下形成堆积松散雪层，造成车辆与地面附着力降低，威胁行车安全；而风吹雪是指降雪或降雪后，风力达到一定强度时雪粒随风运动，形成风雪流，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，对隧道安全运营产生影响。应重点调查收集风雪流行程中的地形、地物、植被等情况，风雪流的移雪数量、冬季风力与风向及其频率和持续时间、降雪量、积雪厚度等，为针对性设计提供依据。

4.5.6 洞口受雪崩影响时，其地质调查应包括下列内容：

- 1 雪崩地段分布、类型、发生频率、雪崩量、雪崩裂点位置、最大雪崩量、运动形式、影响范围及形成规律；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 集雪区的地貌形态、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、坡面植被情况；
- 4 堆积区雪崩体的形态、面积、位置、厚度、堆积特征、消融时间；
- 5 雪崩区一定范围内其他不良地质体发育情况、规模、与雪崩的空间关系；
- 6 降雪量、积雪深度、最大雪深、积雪起止日期及连续积雪天数、降雪强度；
- 7 当地防治雪崩的工程措施或经验。

条文说明

雪崩是指在重力影响下，山坡积雪崩塌，掩埋洞口，阻断通行，对道路安全运营产生较大危害。应重点调查雪崩分布范围、裂点位置、危害范围及发生频率等，为隧道选线和方案设计提供依据。

4.5.7 洞口受涎流冰影响时，其工程地质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 形成涎流冰水源、类型、流量、流向、水位及随季节变化情况；
- 3 查明涎流冰形成时间、冻融周期和深度、分布范围，分析涎流冰发育规律及对隧道的影响和危害程度；
- 4 当地防治涎流冰的工程措施与经验。

条文说明

涎流冰是寒区较为特殊的灾害，一般为出露的地下水在寒冷季节冻结形成，涎流冰上路会对行车安全造成威胁，对工程构筑物产生冻胀危害。因此应重点调查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，为寒区隧道设计提供依据。

4.6 冻土调查

4.6.1 冻土工程地质与测绘调查，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 区域冻土分布范围、融区分布范围与成因、冻土类型、厚度、地层结构及其与地质、地理环境的相互关系，多年冻土与非冻区分界线；
- 3 热融湖塘、热融滑塌、融冻泥流、热融洼地、融区、冻土沼泽、冻土湿地、冻胀丘、冰锥、厚层地下冰等不良冻土现象的分布、范围和规模；
- 4 多年冻土上限、季节融化深度与多年冻土层厚度、地表物质组成、含冰率、地下冰分布、地温年变化深度、冻土融沉等级、冻胀特征、多年冻土层上水、层间水、层下水的存在形态及相互关系，应特别注意富冰冻土、饱冰冻土和含土冰层的分布、厚度，冻土的物理力学及热学参数；
- 5 季节冻土最大冻结深度、冻结层含冰（水）特征、物理力学及热学性质、冻胀特征、地下水补给、径流、排泄条件与地表水关系；
- 6 构造地热异常区、构造地热融区等的分布；
- 7 植被类型、分布特点及覆盖度、地表水体类型、分布及补给排泄条件、地表保温状态、雪盖、区域气温和地温特征；
- 8 分析研究气候条件的变化趋势，预测冻土随时间、人为活动的变化及其对工程建设和运营的影响。

4.6.2 冻土工程地质勘察应根据冻土环境条件采用调绘、坑探、钻探和物探、室内试验、原位测试等相结合的综合勘探方法，并符合以下规定：

- 1 地面调查应重点调绘第四系地层和地表岩性特征，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类型；
- 2 冻土勘察应结合冻土工程地质条件复杂程度、冻土地温分区等环境条件综合确定勘探工作量，重点勘察不同冻土类型的界限和冻土区与融区的分界线、含水量变化；查明冻土现象及其性质、特征和范围、地下冰、多年冻土含冰状

态、多年冻土上限等。

3 多年冻土段应设地温观测孔，观测孔深度不应小于地温年变化深度，获取地层分层及地温年变化深度、冻土上限、冻土下限、季节冻结与融化深度、地下水位等冻土参数，观测时间及周期根据工程要求确定；

4 多年冻土段钻探应采用干钻或低温冲洗液钻进，钻孔深度应钻至洞底设计高程以下不小于5m，且不应小于2倍天然上限，地下水发育的隧道，勘探深度应至泄水洞基层底面以下4-5m；

5 多年冻土下限以及冻土现象季节性变化特征的勘探宜在2-5月进行，多年冻土上限深度的勘探宜在9-10月进行。多年冻土钻探取样、运输以及试验等过程中应采取保持天然冻结状态、防止融化的措施。

条文说明

隧道进出口与环境气候密切接触，是寒区隧道冻害问题集中出现的段落，地温是多年冻土层的重要表征，地温是热学计算中必要的边界条件和基础依据，因此提出进行地温观测的要求，在实际工作中可利用钻孔进行地温监测，明确地温年变化深度、地温梯度、不同深度地温振幅等关键数据。

钻取冻结土试样应特别小心，应保证取芯时不致融化、维持天然冻结状态，是钻探工作的主要目的之一，也是对冻土地质作出正确评价的基础。

4.6.3 应对冻土工程地质条件和地质环境进行评价，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、人为活动影响引起的冰层融化、水分转移以及冻土工程地质条件、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 预测冻土工程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 寒区隧道设计应满足规划、功能、土地资源、生态环境、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、照明和交通监控等设施应与公路等级相适应。

5.1.2 寒区隧道应对通过的走廊带及沿线工程地质和水文地质深入调查、勘察，遇有滑坡、崩塌、岩堆、泥石流、岩溶、积雪、雪崩、涎流冰等不良地质应慎重对待，视其影响程度分别对“绕”、“避”、“穿”等方案进行比选论证。

5.1.3 寒区特长隧道、长隧道位置应为路线基本走向的控制点，而中、短隧道位置应服从路线走向。

5.1.4 寒区隧道路线设计应考虑冻结期路面冰滑，以及驾驶员因心理负荷增大、血氧含量减少而导致的反应时间延长等不利因素，合理选用技术指标。

5.2 隧道位置选择

5.2.1 寒区隧道应避免通过水文地质极为复杂的地段，宜选择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。当受其他条件限制，隧道必须通过水文地质条件复杂地段时，应有充分的理由和可靠的工程措施。

5.2.2 河谷线路沿河傍山地段，以隧道形式通过时，应选择干燥和向阳的斜坡上通过，避免穿越低洼、潮湿和较陡的山坡。

5.2.3 寒区隧道洞口宜选择向阳、背风、不易积雪的位置。

5.2.4 寒区隧道排水沟出水口宜布置在向阳坡，且地形有利于地下水排泄；当位于向阴坡时，应避免高挖方、深路堑。

5.2.5 对于积雪地带，寒区隧道位置选择应符合下列规定：

1 隧道应避免在积雪危害严重的山坡坡脚处通过，当无法避开时，应以最短距离通过；

-
- 2** 隧道洞外路基段应避免出现浅路堑、长段落挖方及低路堤形式；
 - 3** 隧道洞口及洞外路基段路线走向应与风雪流的主导风向平行。

5.2.6 对于雪崩地带，寒区隧道位置选择应符合下列规定：

- 1** 隧道洞口应避开严重雪崩地段，宜选择无雪崩危害区域；
- 2** 河谷线路傍山隧道应充分考虑雪崩发育情况，对阴坡与阳坡、向风坡与背风坡、陡坡与缓坡等通过方案进行比选，确定隧道路线走向；
- 3** 隧道洞口及洞外路基段路线应从雪崩堆积区的外侧通过。

5.2.7 隧道洞口应避让涎流冰严重地段，当无法避开时，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隧道平面线形。

条文说明

本条引自《公路隧道设计规范》JTG D70-2004第4.3.1条规定，并增加气象因素以确定隧道平面线形，这主要是考虑寒区隧道风向、冰滑路面对行车安全的影响等。

5.3.2 寒区隧道洞口内外各3s设计速度行程长度范围的平、纵线形应一致，并符合以下规定：

- 1** 当洞口内外设平曲线时，宜采用不设超高的圆曲线最小半径，并符合表5.3.2-1规定；

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	20
≤2.0%	5500	4000	2500	1500	600	350	150
>2.0%	7500	5250	3350	1900	800	450	200

- 2** 当洞口内外设竖曲线时，竖曲线最小半径和最小长度宜符合表5.3.2-2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
凸形竖曲线半径	17000	10000	4500	2000	700	400	200
凹形竖曲线半径	6000	4500	3000	1500	700	400	200
竖曲线长度	100	85	70	50	35	25	20

条文说明

考虑寒区隧道洞口段行车安全，对其平纵线形进行了规定。平曲线最小半

径与《公路隧道设计规范》JTG D70-2004 第 4.3.1 条保持一致；竖曲线在《公路隧道设计规范》JTG D70-2004 第 4.3.4 条基础上，最小半径取表 4.3.4 中的一般值。

5.3.3 寒区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。

5.3.4 寒区隧道洞口平面线位与冬季风向宜大角度相交。

5.3.5 寒区隧道防冻设防段最小纵坡值宜大于 1.0%。

5.4 隧道横断面

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

5.4.2 寒区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间；
- 2 洞内排水设施、保温层、装饰层所需的空间；
- 3 通风、照明、消防、监控、运营管理等设施所需空间；
- 4 有利于围岩稳定、结构受力的形状；
- 5 为后期维修加固预留空间。

5.4.3 寒区隧道在满足功能、结构受力和预防性养护要求的前提下，防冻设防段可适当加大隧道内轮廓。

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，寒区隧道内轮廓宜比普通环境地段适当加大。

5.4.4 寒区隧道建筑限界与内轮廓的最小间距宜满足下列要求：

- 1 当防冻设防等级为一级时，其最小间距宜不小于 15cm；
- 2 当防冻设防等级为二级时，其最小间距宜不小于 20cm；
- 3 当防冻设防等级为三级时，其最小间距宜不小于 25cm。

5.5 横通道

5.5.1 对于高海拔寒区长隧道和特长隧道，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 3000~4000m 时，人行横通道设置间距宜为 200m，同时应不大于 300m；

2 当隧道设计高程为 4000~5000m 时，人行横通道设置间距宜为 175m，同时应不大于 250m。

条文说明

根据《公路隧道设计规范》（JTG 3370.1—2018）规定，“人行横通道设置间距宜为 250m，并不应大于 350m”。其他主要国家对人行横通道间距的规定如说明表 5.5.1-1 所示。

说明表 5.5.1-1 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 1000

相关研究结果显示，高海拔寒区隧道内气压、气温和含氧量均较平原地区低，发生火灾后，表征火灾的热释放率、质量损失率、火焰高度、燃烧时间、有害气体扩散速度等均受到海拔高度的影响。逃生疏散可用时间同样也受到海拔高度影响，在平原地区，逃生疏散可用时间为 6min，而在海拔 3513m 处，逃生疏散可用时间为 7min，是平原地区的 1.17 倍。

驾乘人员生理机能也会受海拔高度的影响。对海拔高度 2260m 和 3600m 地区筑路工人和驾驶员的研究表明，高海拔低氧环境不同程度加重了筑路工人的生理荷载，且与人体心率增加有直接关系，海拔高度每上升 1000m，生理负荷约增加一个劳动强度等级。受低氧环境影响，在高海拔地区重体力劳动时，人体许多生理指标如肺通气量、能量代谢率等都有显著升高，海拔越高，生理负荷越重。当海拔高度达到 5000m 时，劳动能力明显下降，下降率约为 32%。此外，海拔高度在 4570m 以上时，光强度要比正常状态大 2.5 倍才能看见。

可见，高海拔寒区隧道火灾疏散过程中，人员识别能力和逃生速度均明显降低，其海拔高度影响系数如说明表 5.5.1-2 所示。

说明表 5.5.1-2 海拔高度影响系数及人行横通道间距

海拔高度/m	平原地区	3000	3500	4000	4500	5000	5500
海拔高度影响系数	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

在此基础上，并结合寒区隧道实际情况，提出当隧道设计高程为 3000~4000m 时，人行横通道设置间距宜为 200m，同时应不大于 300m；当隧道设计高程为 4000~5000m 时，人行横通道设置间距宜为 175m，同时应不大于 250m。

5.5.2 对于寒区双洞短隧道和中隧道，可在洞外适当位置宜设置联络道，如为隧道群，其设置间距宜不大于 1000m；对于寒区双洞长隧道和特长隧道，可在洞外适当位置应设置联络道。

5.5.3 对于单洞双向通行的寒区特长隧道，应设置平行通道，平面位置相对于主洞，宜布置在靠近地下水补给源一侧。

6 建筑材料

6.1 一般规定

6.1.1 寒区隧道的水泥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。

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。

引气除可以提高水泥混凝土的抗冻性（包括抗盐冻性）、耐腐蚀性等耐久性外，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 二次衬砌混凝土抗渗等级不应低于P8。二次衬砌混凝土抗冻等级应当根据所处冻融环境和结构设计使用年限综合确定。

条文说明

其他条件相同的情况下，混凝土的抗渗等级越高，其冻融环境下结构构件中饱和水的含水率越低，可以提高水泥混凝土的抗冻性能。

6.1.3 保温材料应具有良好的保温性、防火性、防水及耐腐蚀性。

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；由于隧道内相对潮湿，同时由于汽车尾气对隧道内环境有一定的腐蚀性，为了保证保温材料的耐久性要求，保温材料需要有防水及耐腐蚀性。

6.1.4 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。通常宜以水泥类注浆材料为主，可采用快凝早强水泥。

条文说明

应当根据工程的具体要求、地质条件、浆液性能、注浆工艺及成本等因素，综合考虑选择合适的注浆材料。

水泥浆具有结石体强度高和抗渗透性强的特点，且原材料成本低，无毒无污染，因此被广泛使用。但水泥浆析水性大、稳定性差，注入能力有限，且凝

胶时间长，地下水水流速较大时，浆液易受冲刷和稀释，影响注浆效果。为了提高水泥浆的可注性，可以根据情况选择粒径合适的水泥，为改善水泥浆液的析水性、稳定性、流动性和凝结特性，可掺入适当的助剂进行改性。

化学浆液粘度低、可注性好，凝胶时间可准确控制，但价格高，有毒性，所以在必要时才选择化学注浆浆液。

6.2 主体结构材料

6.2.1 寒区隧道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种水泥和集料配制，其抗侵蚀性能的要求视水的侵蚀特征确定。
- 3 最冷月平均气温低于-15℃的地区及受冻害影响的隧道，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。

6.2.3 寒区隧道洞门宜采用混凝土或钢筋混凝土结构。

6.2.4 抗冻水泥混凝土的冻融环境等级应根据环境条件，按表 6.2.4 确定。

表 6.2.4 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
<10	D1	D1	D2	D3
10~59	D1	D2	D3	D4
60~120	D3	D4	D5	D6
121~180	D4	D5	D6	D7
>180	D5	D6	D7	D7

注：1. 中度饱水指冰冻前浸水或受潮，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湿润土体，混凝土内高度水饱和。

2. 偶尔浸水的水泥混凝土构件，其冻融环境可以按表中中度饱和水的规定适当降低，但降低后的冻融环境等级不应低于 D1。
3. 有盐环境是指冻结的水中含有盐，包括海水、盐渍土或其他含有氯化物的环境，以及使用有机、无机类除冰盐环境。
4. 位于冻结线以上土中的水泥混凝土构件，其冻融环境等级可根据当地实际情况和经验适当降低，但降低后的冻融环境等级不应低于 D1。

5. 本表适用于阳光经常照射到的水泥混凝土构件，对阳光照射较少或照射不到的水泥混凝土构件，其冻融环境可以按表中规定适当降低，但降低后的冻融环境等级不应低于 D1。
6. 偶尔遭受冻害冻害的中度或高度饱水混凝土构件，其冻融环境等级可适当降低，但降低后的冻融环境等级不应低于 D1。

条文说明

冻融环境等级与循环次数、饱水程度、冻结温度、含盐与否等条件有关。水泥混凝土的饱水程度与入冬前、后的降水量密切相关。常见公路工程水泥混凝土构件的饱水程度见说明表 6.2.4。

说明表 6.2.4 公路工程水泥混凝土构件的饱水程度

冻融环境条件	结构构件	饱水状态
无盐环境	非水中的竖向构件、偶尔受渗漏影响的构件、干旱地区的水平构件	中度饱水
	水平构件、水位变化区的竖向构件、受渗漏影响严重的构件	高度饱水
有盐环境	受氯盐作用的非水中的竖向构件、偶尔受渗漏影响的构件、干旱地区的水平构件	中度饱水
	受氯盐作用的水平构件、潮汐区、浪溅区的竖向构件、受渗漏影响严重的构件	高度饱水

气温较低的严寒地区，饱水后的结构构件长期处于冻结状态，冻融循环换次数相对较少，冻害相对较轻；而气温相对较高的严寒地区，饱水后的结构构件冻融循环换次数相对较多，冻害相对较重。故采用冻融循环次数来划分水泥混凝土的冻融环境等级，更能客观反映冻害程度。

对阳光照射较少或照射不到的水泥混凝土构件，其冻融循环换次数远低于表面外露的混凝土构件，故其冻融环境可以按表中规定适当降低，

6.2.5 寒区隧道水泥混凝土材料的抗冻等级分为八个等级，具体根据表 6.2.5 确定。

表 6.2.5 水泥混凝土抗冻等级

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	F400	F350
D7	F450	F400	F400

注：1. 水泥混凝土抗冻性采用快速冻融试验方法测试，按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTJ E30) 中规定的 T0565 进行，但冻融循环次数按本表规定执行。
2. 设计使用年限小于 30 年的以 30 年计。

条文说明

《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTJ E30) 中 T0565 的 4.7 第一款规定达到 300 次即停止冻融循环试验, 而本规范规定的最高抗冻等级为 450 次, 所以冻融循环次数按本表规定执行。

水泥混凝土盐冻试验按现行《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTJ E30) 执行。

6.2.6 寒区隧道防冻设阶段二次衬砌应采用抗冻水泥混凝土。混凝土强度等级与最大水胶比应满足表 6.2.6 的规定。

表 6.2.6 引气水泥混凝土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	-	-	-	-	Ca30	0.55
F150			Ca35	0.50		
F200	Ca35	0.50		Ca35	0.50	
F250	Ca40	0.45				
F300		Ca40	0.45	Ca35	0.50	
F350	Ca45					0.40
F400		Ca45	0.40	Ca40	0.45	
F450	Ca50					0.36

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 表示引气水泥混凝土的强度等级为 50MPa, 其余类推。

6.2.7 寒区隧道喷射混凝土宜选用中低温抗冻快凝混凝土, 防冻设阶段喷射混凝土强度等级要求不低于 C25。

6.3 保温材料

6.3.1 寒区隧道常用的有机保温材料主要包括酚醛泡沫板、聚氨酯、聚苯乙烯、聚乙烯材料等。

条文说明

无机保温材料有难燃、抗老化性能强等优点, 但无机保温材料的保温性能稍弱于有机材料、抗化学溶剂性能差、吸水率高、施工密度大等不足, 所以一般采用满足要求的有机保温材料。

6.3.2 保温材料宜选用质轻、疏松、多孔、导热系数小的材料, 其性能指标需要满足表 6.3.2 的规定。

表 6.3.2 保温材料主要性能指标

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	二次衬砌外表面保温材料不低于 B1 级		
	初期支护、二次衬砌之间保温材料不低于 B2 级		

注：抗冻保温材料燃烧性按现行《建筑材料与制品燃烧性能分级》（GB 8624）执行。

6.3.3 常用保温材料性能指标规定见表 6.3.3。

表 6.3.3 常用保温材料性能指标

性能	酚醛泡沫	聚氨酯	聚苯乙烯	聚乙烯
施工密度 (kg/m ³)	41~100	25~40	30	80~150
耐热 (℃)	190	90~120	70	60~70
耐冷 (℃)	-180	-110	-80	-
导热系数 (常温) W/(m·K)	0.020~0.033	0.022~0.036	0.033~0.040	0.029~0.035
可燃性	难燃	易燃	易燃	易燃
融状态	无熔滴	有焰熔滴	有焰熔滴	有熔滴
燃烧气体毒性	C036 无毒	C0353 有毒	有毒	C07 无毒
抗老化性	最好	差	差	好
抗化学溶剂性能	好	不好	不好	好
吸水率 (kg/m ³)	0.02	0.03	0.2	0.02
抗压强度 (Mpa)	0.216	0.127	0.107	0.033

条文说明

目前，保温防冻材料种类较多，保温性能各异；各种材料的耐火性差别也较大，需要保证隧道内发生火灾时保温材料不助燃、不发生有害化学反应、不产生有害气体。

不同厂家生产的不同规格型号的保温材料性能差异较大，产品的主要指标需要下列规范要求：

酚醛泡沫需要满足 GB/T20974-2014、JG/T 515-2017 要求；

聚氨酯需要满足 JG/T314-2012、GB/T 21588-2008；

聚苯乙烯需要满足 GB/T10801.1-2002、GB/T 10801.2-2018；

聚乙烯需要满足 GB/T30595-2014。

6.4 其他材料

6.4.1 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，可以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。对于氯盐与硫酸盐冻融环境，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 6.4.1 的规定。

表 6.4.1 活性矿物掺合料的掺量

冻融类型	水冬			盐冻		
	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

适当掺加活性矿物材料可以减小水泥混凝土的水泥用量，降低水化温升，改善水泥混凝土的和易性，减少水泥混凝土的干缩变形与水化温升变形，提高水泥混凝土的抗渗性（特别是氯离子扩散）、耐腐蚀性等耐久性，有利于后期强度增长；但是掺加量过多，会引起水泥混凝土抗冻性下降，对钢筋的保护作用降低，并且早期强度下降较大。

粉煤灰的烧失量较大时不利于引气，且会增大拌和用水量以及受冻时水泥混凝土的水饱和程度，明显降低水泥混凝土的抗冻性，故对粉煤灰的烧失量进行较严格的控制。

6.4.2 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、松香热聚物或改性松香皂类引气剂，不得将烷基苯磺酸钠、烷基磺酸钠、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

三铁皂甙、松香热聚物类引气剂引入的气泡尺寸、拌合物含气量稳定，对抗冻性能的改善明显优于化学合成的引气剂。

部分聚羧酸盐减水剂虽然可使水泥混凝土拌合物获得较高的含气量，但气泡尺寸大，不能提高水泥混凝土的抗冻性。要选用消泡效率高且与引气剂相容性好的消泡剂以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与坏，集料、活性矿物掺合料中的某些成分（如黏土、碳），不同外加剂间的相互作用，直接影响外加剂在水泥混凝土中的作用效果。故需对拟用的各种原材料进行外加剂相容性试验。相同材料，不同季节施工，外加剂的效果也可能有较大的差异，故外加剂的掺量需要根据季节做适时调整。

常用的无机盐类早强剂、防冻剂对水泥混凝土抗冻性，特别是抗盐冻性能有不利影响。当使用无机盐类外加剂时，需要增大含气量，宜保证水泥混凝土的抗冻性能。

6.4.3 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满足表 6.4.3-1 的规定。

表 6.4.3-1 钢纤维几何参数

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	30~80
钢纤维喷射混凝土	20~35	0.3~0.5	30~80

2 有机合成纤维可选用聚丙烯晴纤维 (PAN)、聚丙烯纤维 (PP)、聚酰胺 (尼龙) 纤维、聚乙烯纤维、聚乙醇纤维 (PVA) 等。有机纤维性能指标除应满足《水泥混凝土与砂浆合成纤维》(GB/T 21120) 要求外，还应满足下列规定：

- 1) 宜用直径为 10~100μm，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。无机纤维性能应符合《水泥混凝土与砂浆合成纤维》(GB/T 21120) 规定。

4 纤维素纤维性能指标除应满足《水泥混凝土与砂浆合成纤维》(GB/T 21120) 要求外，还应满足表 6.4.3-2 的规定。

表 6.4.3-2 纤维素纤维性能指标

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

6.4.4 纤维混凝土应满足下列规定：

1 根据纤维混凝土的应用环境和工作条件，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衬砌，以及存在高水压、高地应力、挤压性围岩地段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等要求均应符合现行《纤维混凝土结构设计规范》GB50010 的要求。

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《纤维混凝土技术规程》CECS38。

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《纤维混凝土技术规程》CECS38 中的规定。纤维素掺量宜采用 1.0~1.2kg/m³，或根据现场配合比确定纤维掺量。

6 纤维混凝土检测与试验应符合《纤维混凝土技术规程》CECS38 和《纤维混凝土试验方法标准》CECS13 中的规定。

征求意见稿

7 荷载及结构计算

7.1 一般规定

7.1.1 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。

7.1.2 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。

7.1.3 寒区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。

7.1.4 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。

7.1.5 在一级设防阶段，衬砌结构的验算应分别考虑“冻结条件下围岩压力+冻胀力”的情况和“融化条件下围岩压力”的情况。

7.2 冻胀力荷载

7.2.1 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℃时，隧道结构设计应计入冻胀力；当无实测资料时，可按下式计算：

1 圆形隧道的冻胀力荷载可采用如下公式计算：

$$P_b = \frac{2D_1(1-\mu_{II})\frac{\Delta_c}{c} - D_4 \frac{\Delta_b}{b}}{\left(\frac{a^2 + b^2(1-2\mu_I)(1+\mu_I)}{(b^2-a^2)} + 2(D_1 + D_2(1-2\mu_{II})) \frac{(1+\mu_{II})}{E_{II}} \right) D_4 - \frac{8D_1 D_2 (1-\mu_{II})^2 (1+\mu_{II})}{E_{II}}} \quad (7.2.1-1)$$

$$D_1 = \frac{c^2}{2(c^2-b^2)}, \quad D_2 = \frac{b^2}{2(c^2-b^2)}, \quad D_3 = \frac{E^{II}(1+\mu^{III})}{2E^{III}(1+\mu^{II})}, \quad D_4 = D_3 + D_2 + D_1(1-2\mu_{II}) \quad (7.2.1-2)$$

$$\Delta_b = \frac{(1-2\mu_{II})(\alpha_r - \alpha_\theta)}{1-\mu_{II}} \frac{b}{2} (\ln(b) - \frac{1}{2}) + \frac{C_1}{2} b + \frac{C_2}{b} \quad (7.2.1-3)$$

$$\Delta_c = \frac{(1-2\mu_{II})(\alpha_r - \alpha_\theta)}{1-\mu_{II}} \frac{c}{2} (\ln(c) - \frac{1}{2}) + \frac{C_1}{2} c + \frac{C_2}{c} \quad (7.2.1-4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 = \frac{\eta}{k+2} \left[\frac{(k-1)(1-2\mu_{II})(c^2 \ln c - b^2 \ln b)}{(b^2 - c^2)(1-\mu_{II})} + \frac{(3-4\mu_{II})k + (1+4\mu_{II}-4\mu_{II}^2)}{2(1-\mu_{II})} \right] \\ C_2 = \frac{b^2 c^2 (\ln b - \ln c)(k-1)\eta}{2(c^2 - b^2)(1-\mu_{II})(k+2)} \end{array} \right. \quad (7.2.1-5)$$

式中： P_b ——圆形隧道衬砌所受的冻胀压力（kPa）；

k ——冻结围岩沿隧道径向线冻胀系数与沿隧道环向线冻胀系数的比值，

一般在2~3之间，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 ——冻结围岩体积膨胀系数，可以根据调查或试验结果确定；

a 、 b 、 c ——衬砌内半径、衬砌外半径、冻结圈外半径（m）；

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。

2 曲墙式隧道冻胀力荷载受衬砌形状、隧道埋深等的影响，不同冻土段冻胀力荷载可采用附录B确定。

7.2.2 隧道冻胀力计算中，冻融圈范围的确定应符合以下规定：

- 1 多年冻土段冻融圈范围按施工期间最大融化深度确定；
- 2 非冻土段冻融圈范围按设计寿命内可能达到的最大冻结深度确定；
- 3 洞口季节冻土段围岩自地表向下发生季节冻融，冻融深度相当于季节活动层厚度，通常在1.5~3m之间。

7.3 荷载组合

7.3.1 浅埋段隧道

1 冻结条件下按围岩松散荷载与冻胀力荷载组合计算，冻结条件下围岩物理力学指标标准值按表7.3.1确定，并按照《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》（JTG 3370.1—2018）附录D进行计算。

表 7.3.1 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 $\phi'(\circ)$	粘聚力 $c'(\text{MPa})$	计算摩擦角 $\phi_c'(\circ)$	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

2 融化条件下应考虑地表融化层的自重作用以及融化范围内围岩产生的围岩压力，在融化状态下，浅埋段隧道荷载为：

$$q = \gamma h_2 + \gamma h_1 - (\gamma h_2 + 2\gamma h_1) \frac{h_2}{B'_t} \lambda' \tan \theta' + \gamma r_m \quad (7.3.1-1)$$

$$e = e_2 + e_3 \quad (7.3.1-2)$$

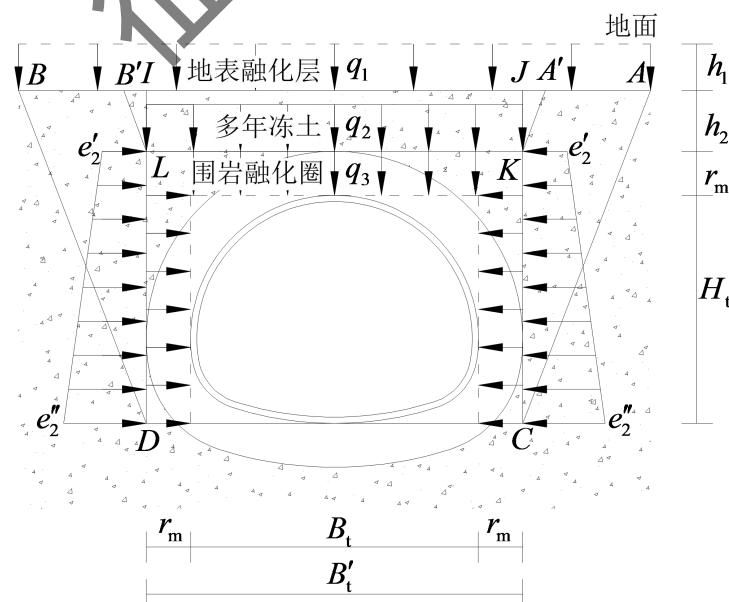
$$e_2 = \frac{e'_2 + e''_2}{2}, \quad e_3 = \gamma \left(r_m + \frac{1}{2H_t} \right) \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi_c}{2} \right) \quad (7.3.1-3)$$

$$e'_2 = (\gamma h_2 + \gamma h_1) \lambda', \quad e''_2 = (\gamma h' + \gamma h_1) \lambda' \quad (7.3.1-4)$$

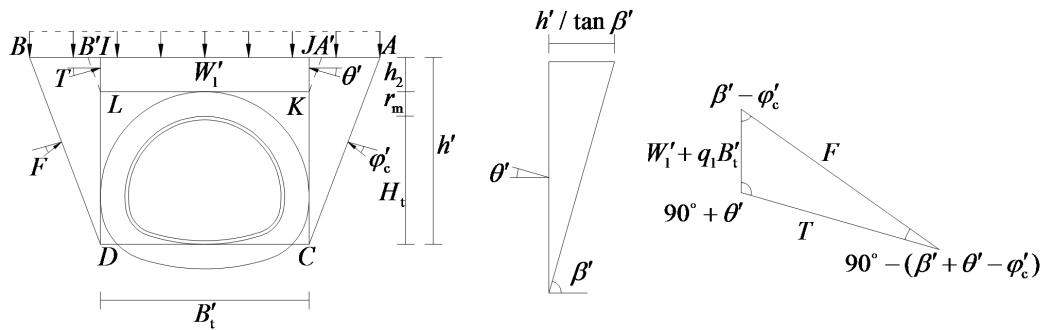
$$\lambda' = \frac{\tan \beta' - \tan \varphi'_c}{\tan \beta' [1 + \tan \beta' (\tan \varphi'_c - \tan \theta') + \tan \varphi'_c \tan \theta']} \quad (7.3.1-5)$$

$$\tan \beta' = \tan \varphi'_c + \sqrt{\frac{(\tan^2 \varphi'_c + 1) \tan \varphi'_c}{\tan \varphi'_c - \tan \theta'}} \quad (7.3.1-6)$$

式中：
 q ——融化条件下垂直均布压力（kN/m²）；
 e ——融化条件下水平均布压力（kN/m²）；
 r ——围岩重度（kN/m³）；
 h_1 ——地表融化层厚度（m），如图 6.3.1；
 h_2 ——融化圈上限到多年冻土上限的距离（m），如图 6.3.1；
 h' ——坑道底部到多年冻土上限的距离（m），如图 6.3.1；
 B'_t ——融化圈上宽度（m），如图 6.3.1；
 β' ——破裂面与水平面的夹角（°），如图 6.3.1；
 φ'_c ——冻结围岩计算摩擦角（°），如表 6.3.1。



a) 融化作用下浅埋多年冻土隧道荷载计算模型



b) 多年冻土围岩荷载计算示意图

图 7.3.1 融化作用下浅埋多年冻土隧道荷载计算示意图

7.3.2 深埋段隧道

1 冻结条件下按围岩的松散荷载与冻胀力荷载组合计算。根据普氏理论，将冻结条件下围岩的计算摩擦角 φ_c' 和坚固性系数 f' 代入公式(7.3.2-1)~(7.3.2-4)计算垂直和水平方向的围岩均布压力。

$$H = \frac{B_t + 2H_t \tan(45^\circ - \frac{\varphi_c'}{2})}{2f'} \quad (7.3.2-1)$$

$$q = \gamma H \quad (7.3.2-2)$$

$$e = \frac{e' + e''}{2} \quad (7.3.2-3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} e' = q \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_c'}{2}) \\ e'' = (q + \gamma H_t) \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_c'}{2}) \end{array} \right. \quad (7.3.2-4)$$

式中： f' ——冻结围岩的坚固性系数；

H_t 、 B_t ——分别为隧道的开挖高度和宽度(m)；

q ——冻结条件下垂直均布压力(kN/m²)；

γ ——围岩重度(kN/m³)；

H ——压力拱高度(m)。

e ——冻结条件下衬砌结构水平均布压力(kN/m²)；

e' ——冻结条件下衬砌结构顶部水平均布压力 kN/m²；

e'' ——冻结条件下衬砌结构底部水平均布压力(kN/m²)。

其它符号同上。

2 融化条件下按围岩的松散荷载计算，并考虑融化后的围岩自稳能力，对深埋段隧道，荷载按如下计算：

$$q = \gamma h \quad (7.3.2-5)$$

$$e = \frac{e' + e''}{2} \quad (7.3.2-6)$$

$$\begin{cases} h = h_f + (h_m - h_f) \frac{r_m}{h_m} & r_m \leq h_m \\ h = h_m & r_m > h_m \end{cases} \quad (7.3.2-7)$$

$$e' = q \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_c}{2}), \quad e'' = (q + \gamma H_t) \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_c}{2}) \quad (7.3.2-8)$$

式中: q ——融化条件下垂直均匀压力;

e ——融化条件下衬砌结构水平侧压力 (kN/m^2) ;

e' ——融化条件下衬砌结构顶部水平侧压力 (kN/m^2) ;

e'' ——融化条件下衬砌结构底部水平侧压力 (kN/m^2) ;

φ_c' ——融化围岩的计算摩擦角 ($^\circ$) ;

h_f ——完全冻结状态下塌落拱高度 (m);

h_m ——完全融化状态下塌落拱高度 (m);

7.4 结构计算

7.4.1 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。

7.4.2 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。

7.4.3 冻胀力主要由二衬承担, 将其与折减后的围岩松散荷载叠加后, 施加到衬砌模型上进行计算。

7.4.4 非冻土段采用双层复合式衬砌的隧道断面, 洞口季节冻土段、多年冻土段采用三层复合式衬砌的隧道断面, 其二衬荷载分担比例选取如表 7.4.4;

表 7.4.4 二次衬砌荷载分担比例 (%)

围岩级别	分担比例	
	双层复合式衬砌	三层复合式衬砌
IV	40 ~ 20	32 ~ 16
V	80 ~ 60	65 ~ 49

7.4.5 结构的强度采用安全系数进行检验, 将冻胀力作为基本可变荷载进行荷载组合, 钢筋混凝土结构的强度安全系数如表 7.4.5。

表 7.4.5 钢筋混凝土结构的强度安全系数

荷载组合 破坏原因	永久荷载+基本可变荷载	永久荷载+基本可变荷载 +其它可变荷载
钢筋达到计算强度或混凝土 达到抗压或抗剪极限强度	2.0	1.7
混凝土达到抗拉极限强度	2.4	2.0

7.4.6 洞门计算

1 寒区隧道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。寒区隧道洞门墙宜采用端墙式洞门，应按挡土墙结构进行计算。

2 洞门墙作挡土墙结构计算时按平面问题简化处理，主要考虑水平冻胀力的作用，其分布图式和标准值可按附录C选取，也可通过模型试验得到。

3 考虑到端墙式洞门墙一般刚度较大，并有洞口段衬砌的约束作用，按上条计算时认为冻胀力作用下墙身发生水平位移较小，对冻胀力的计算结果不考虑墙体水平变形影响。

4 寒区隧道洞门墙后土体冻胀特性有别于一般挡土墙，除墙侧和土表层外，洞口段衬砌后围岩或土体也会发生冻胀，宜考虑多向冻胀作用。可通过洞门墙空间模型的数值模拟计算得到多向冻胀对洞门墙内力的影响，对理论计算做出修正，进而设计洞门墙的厚度、配筋等。

5 寒区隧道洞门墙荷载组合可参照现行《公路路基设计规范》(JTGD30)对挡土墙荷载组合的有关规定，应进行永久荷载与冻胀压力的荷载效应组合。

6 寒区隧道洞门墙的验算规定应首先符合现行《公路隧道设计规范》(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计入土压力和冻胀力的作用，并应按暖季和寒季分别进行验算。验算方法可参照现行《冻土地区建筑地基基础设计规范》(JGJ118) 8.2.19 和 8.2.20 的规定。

8 洞口与结构设计

8.1 一般规定

8.1.1 寒区隧道洞口洞门及结构设计除满足公路工程技术标准及公路隧道设计规范的技术要求外，还应考虑寒区气象水文条件引起的冻胀和融沉的影响，通过工程类比和结构计算综合分析确定隧道洞口、洞门及支护衬砌结构的类型和尺寸参数。

8.1.2 寒区隧道除考虑洞口地形、地质条件外，还应综合考虑气象水文条件，合理确定隧道进出洞（成洞面）位置，制定安全可靠的进洞辅助施工措施；

8.1.3 寒区隧道存在冻害段应设置抗冻设防段，设防阶段长度可根据隧道长度/当地月平均气温/地下水量/隧道内外温度/风速风向和密度等综合确定；一般情况下可参考当地最冷月平均气温和临近隧道的设防条件类比确定；

8.1.4 寒区隧道抗冻设防段宜采用复合式衬砌或整体式衬砌。

8.1.5 寒区隧道应考虑冻融环境对洞门及衬砌结构耐久性的影响，保证隧道长期运营安全。

8.2 洞口及洞门

8.2.1 寒区隧道洞口洞门设计应符合下列规定：

1 寒区隧道洞口应设置于山体稳定、地质条件较好、排水有利的地方，避免大挖大刷破坏边仰坡冻融山体的稳定

2 寒区隧道洞口不宜设置于沟谷低洼和汇水处，宜设置于沟谷地质较好的一侧并有足够的宽度的山嘴处，减轻积雪和涎流冰的形成；

3 寒区隧道洞口洞门可采用明洞式洞门，存在季节性冻土等不良地质条件时洞门宜采用端墙式洞门。

4 隧道洞口洞门不宜对山体进行大挖大刷，应控制边仰坡高度，保证成洞面的稳定；

5 寒区隧道洞口应考虑设置积雪、路面冻害防护工程所需的空间；

8.2.2 寒区隧道端墙式洞门设计时应符合下列规定：

1 洞门墙基底应设置于最大冻结线以下不小于 0.25m，否则应采取其它工

程措施；

- 2 洞门墙基底为冻胀土层时，应进行防冻胀处理；
- 3 洞门墙伸缩缝、沉降缝、背排水盲沟（管）及其出水口应采取可靠防寒保温措施；
- 4 洞门墙除应按照设计规范进行抗倾覆验算外，还应考虑静冰压力和动冰压力进行强度及稳定性验算；
- 5 洞门墙背土石回填厚度应大于最大冻结深度不小于 0.25m，可采用现浇（片石）混凝土。

8.2.3 寒区隧道明洞式洞门设计时应符合下列规定：

- 1 宜优先采用直削式、倒削式或喇叭式洞门形式；
- 2 洞口明洞设计回填坡面宜大于自然坡面；
- 3 明洞及回填土石应加强防排水，排水盲沟（管）及其出水口应采取可靠防寒保温措施。

8.2.4 寒区隧道洞口边仰坡应进行必要的防护，寒冷季节对坡体进行必要的保温；边仰坡坡面宜优选植物绿化，当采用网格式或拱肋式骨架护坡时应设置锚杆（束）。

8.2.5 寒区隧道洞口边仰坡、成洞面应充分考虑洞口边仰坡山体的春季冻融影响，采取稳定的地面坡度，必要时采取一定的加强防护措施。

8.3 防雪棚洞

8.3.1 寒区隧道易产生积雪危害的洞口可设置一定长度的防雪棚洞

8.3.2 根据地形条件、地质条件、气象候条件及环境要求，与隧道连接的防雪棚洞宜采用拱形断面。

8.3.3 寒区隧道洞口防雪棚洞建筑限界及内轮廓宜与隧道相同；独立的防雪棚洞建筑限界宽度宜与路基建筑限界宽度相同；棚洞内轮廓形状和尺寸应根据设置目的和结构形式拟定。

8.3.4 应结合气象条件对防雪棚洞整体承载能力进行分析，对主要结构构件进行截面强度验算。

8.3.5 防雪棚洞结构设计应符合下列规定：

- 1 宜应采用轻型钢架结构。
- 2 应根据地质情况和结构形式设置必要的沉降变形缝，棚洞长度大于 40m 时宜设伸缩缝。
- 3 棚洞基础应置于稳固的地基上。
- 4 棚洞基底应设置于最大冻结线以下不小于 0.25m，否则应采取其它工程措施。

5 当地基外侧受水流冲刷影响时，应采取加固和防护措施。

8.4 明洞

8.4.1 寒区隧道明洞设计应符合下列规定：

1 应结合明洞的基础部地质条件设置变形缝，石质基础变形缝设置间距宜取20~30m，土质基础宜为10~20m；

2 洞口明洞为软质岩或为冻胀土层时，宜先施作明洞衬砌并可靠回填再开挖进洞；

3 明洞衬砌应考虑冻胀作用，采用整体模板浇筑钢筋混凝土衬砌，厚度不小于

4 位于地下水位下的洞口明洞应按抗冻融破坏环境设计；

8.4.2 寒区隧道明洞基础设计应符合下列规定

1 隧道洞口明洞应设置仰拱；

2 明洞衬砌仰拱基底应设置于最大冻结线以下不小于0.25m，否则应采取其它工程措施；

8.4.3 明洞衬砌混凝土强度等级不小于C30、混凝土抗渗等级不低于P10，抗冻性能指标不低于F300。

8.4.4 明洞洞顶回填宜采用非冻胀性材料回填；明暗交界面回填厚度应大于最大冻结深度不小于0.25m；回填坡面应设置封水回填层，其回填厚度不小于0.5m；

8.5 喷锚衬砌

8.5.1 喷射混凝土设计应符合下列规定：

1 宜选用低温早强高性能混凝土。

2 强度等级不低于C25。

3 厚度不小于60mm。

8.5.2 当喷射混凝土设置钢筋网时，喷射混凝土保护层厚度不应小于30mm。

8.5.3 在多年冻土段，不宜设置系统锚杆。

8.6 整体式衬砌

8.6.1 混凝土的强度等级不低于C35，抗渗等级不低于P10。

8.6.2 整体式衬砌宜采用等厚、圆顺的断面形式。

8.6.3 整体式衬砌应采用钢筋混凝土结构。

8.6.4 季节性冻土地段，距洞口 300~500m 范围的衬砌段应根据情况设置伸缩缝。

8.6.5 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 20m。

8.7 复合式衬砌

8.7.1 复合式衬砌设计应符合下列规定：

1 初期支护应按永久支护结构设计，宜采用喷射混凝土、锚杆、钢筋网和钢架等支护单独或组合使用，并应符合本规范 8.5 节的规定；

2 二次衬砌应采用钢筋混凝土衬砌结构，宜采用连接圆顺、等厚的衬砌断面，并应符合本规范 8.6 节的规定；

3 在确定结构断面时，除应满足隧道净空和结构尺寸外，尚应考虑保温隔热、后期加固等富余空间。

8.7.2 隧道防冻设防等级为一级的段落，其支护结构可在非设防段基础上增强一级进行设计。

8.7.3 对于防冻设防等级为二、三级的寒区隧道段，应采用数值计算和工程类比法相结合来确定衬砌结构的类型和支护参数。

8.7.4 全风化、强风化、多年冻土等软质岩类地段宜采用三层复合式衬砌结构，第一层支护采用喷锚衬砌，第二层采用钢架喷射混凝土结构或模筑钢筋混凝土结构，第三层采用模筑钢筋混凝土结构，在第二、三层衬砌之间可设置隔热防水保温层。

8.7.5 中风化、弱风化、微风化等硬质岩类地段可采用双层复合式衬砌结构，第一层支护采用喷锚衬砌，第二层采用模筑钢筋混凝土结构，隔热防水保温层可根据水文、气候、养护等条件设置第一、二层衬砌之间或二次衬砌外表面。

8.8 特殊构造要求

8.8.1 隧道主体结构各部的截面最小厚度，应符合表 8.8.1 的规定。

表 8.6.1 截面最小厚度 (mm)

建筑材料种类	隧道和明洞衬砌			洞门端墙、翼墙和洞口挡土墙
	拱 圈	边 墙	仰 拱	
混凝土	350	350	350	500

征求意见稿

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。当隧道地处严寒地区时，对地下水的处理宜以堵为主。

9.1.2 寒区隧道防冻设防阶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，保证衬砌背后不积水、排水沟不冻结，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。

9.1.4 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，保温水沟、中心深埋水沟和防寒泄水洞以洞内二次衬砌表面温度 $^{\circ}\text{C}$ 为设防终点为宜。

条文说明

寒区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，是避免寒区隧道冻胀及结冰病害的有效方法。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。因此，一般规定中规定了寒区隧道防冻设防阶段的防水等级为“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。

9.2.2 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。

说明表 9.2.2 寒区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	P8	应选	—	应选	宜选一种				应选	宜选一种		
	二级	P10	应选	可选	应选		宜选一种		应选		应选一种		
	三级	P12	应选	宜选	应选		至少选一种		应选		至少选一种		

9.2.3 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。防水板搭接缝应与衬砌施工缝错开不小于80cm。

9.2.4 寒区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。

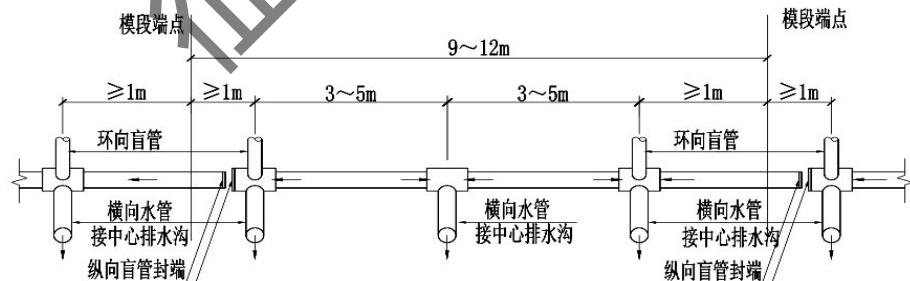


图 9.2.4 纵向盲沟、环向盲管与边墙横向管连接图

1 横向和环向排水管的设置间距视地下水渗漏情况而定：当围岩渗水严重时，应加密设置；渗水较少时按最大间距布置，一般可按10m。

2 纵、横向排水管排水纵坡不宜小于1.0%，设有中心水沟的隧道，横向排水管排水坡度不应小于2%，中间不得凹陷、扭曲等，以防泥沙淤积、堵塞排水管。

9.3 保温水沟

9.3.1 最冷月平均气温在-5°C 以下地区，排水沟形式应按表 9.3.1 的规定选用。

表 9.3.1 不同气温的排水沟形式

最冷月平均气温 (°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。

9.3.2 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 9.3.2 进行取值。

表 9.3.2 保温水沟设置长度经验取值

最冷平均气温 (°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°C 应根据洞内实测温度或温度场计算结果确定。

9.3.3 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。

9.3.4 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%。

9.3.5 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，以防水渗入保材料。

9.3.6 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。

9.3.7 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 深埋中心水沟沟顶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，且不宜小于 1.0%，洞外至出水口段中心水沟坡度不应小于 2%。

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。

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

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 °C；

T ——隧道所在地区最冷月平均气温 °C；

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，如图9.5.1所示。

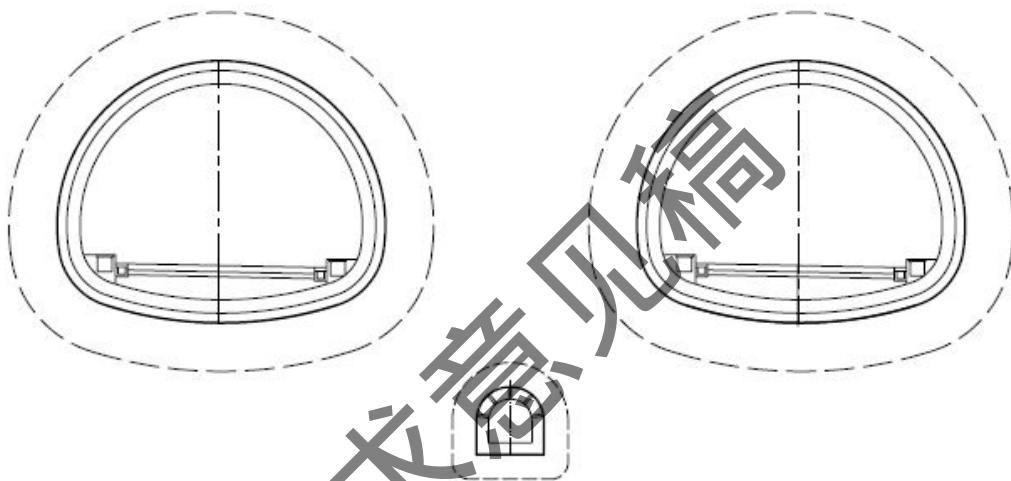


图9.5.1 防寒泄水洞设置方式

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2m×2m。

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

条文说明

一般置于隧道路面以下4m~6m，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。

9.5.5 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、位置根据地下水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。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。

9.5.6 防寒泄水洞需要穿越多年冻土时，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，排水管的直径应满足排水要求，如图9.5.6所示。

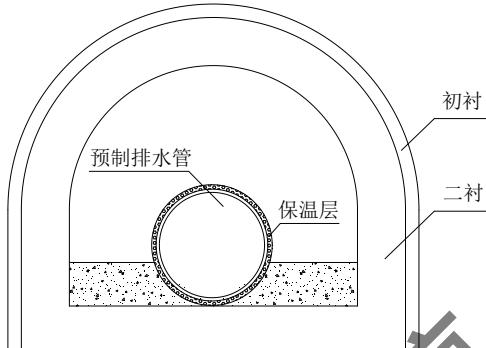


图9.5.6 带预制排水管的防寒泄水洞

9.5.7 防寒泄水洞宜每隔200~250m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 排水盲管

9.6.1 防水层与初期支护间应设环向排水盲管，直径不应小于50mm，间距不宜大于10m。

9.6.2 纵向盲管设计应符合以下规定：

- 1 纵向盲管应与环向盲管与横向盲管有效连接，直径不应小于100mm。
 - 2 纵向盲管排水坡度应与隧道纵坡一致。
- 9.6.3** 横向盲管设计应符合以下规定：
- 1 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。
 - 2 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。
 - 3 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。
 - 4 横向盲管直径不宜小于80mm，排水坡度不宜小于1%，沿隧道纵向间距不宜大于10m。

9.7 保温出水口

9.7.1 严寒地区隧道中心深埋水沟、防寒泄水洞、洞外暗沟均应设保温出水口。

9.7.2 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。

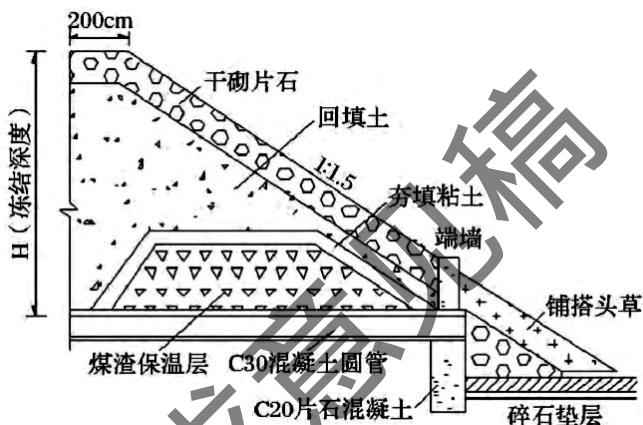


图 9.7.2-1 端墙式保温出水口（适用于陡峭地势）

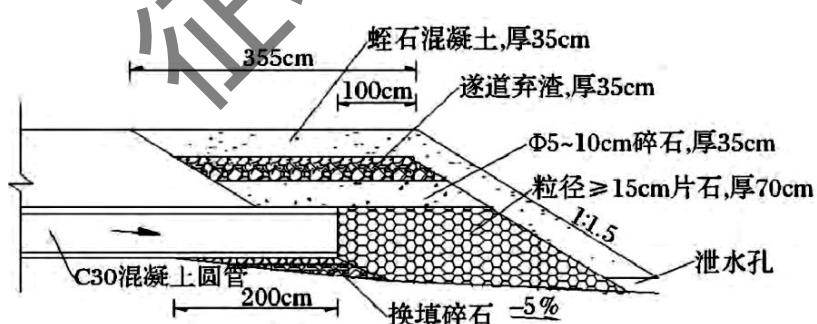


图 9.7.2-2 圆端掩埋式保温出水口（适用于平坦地势）

9.8 注浆堵水防冻措施

9.8.1 寒区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。对于季节性冻土或永久性冻土区，宜优先采用注浆堵水。

9.8.2 寒区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 9.8.2 执行：

表 9.8.2 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。

9.8.3 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。

9.8.4 寒区隧道注浆堵水防冻应符合以下规定：

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 防冻保温设计

10.1 一般规定

10.1.1 根据防冻设防等级，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设计方案。

10.1.2 寒区隧道防冻保温层设置应根据防冻设防等级确定，当防冻设防等级为Ⅳ、Ⅴ级时，衬砌应设防冻保温层。

10.1.3 防冻保温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。

10.1.4 寒区隧道保温设计应对洞内外温度场的变化规律进行详细调查和测试。

10.2 防冻保温层构造

10.2.1 寒区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。

10.2.2 寒区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锚固件、保温层、防火层。

10.2.3 寒区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。

10.3 材料选择

10.3.1 采用防冻保温层进行隧道保温时，应将保温层、防火层和固定材料（胶黏剂、锚固件等）作为系统构造综合设计。

10.3.2 寒区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，其导热系数、抗压强度、吸水率、燃烧性能、产烟毒性、

耐腐蚀性等性能应满足设计要求。

条文说明

根据防冻保温层不同设置位置所需的不同性能要求选择合适的保温材料。防冻保温层表面设置时，材料抗压强度要求低，但其燃烧性能应不低于B2级，无产烟毒性；防冻保温层中间设置时，材料燃烧性能可降低至B2级，但材料抗压强度应满足承载要求。

10.3.3 防火层所用材料的品种规格，应符合国家、行业相关标准的规定，其燃烧性能、产烟毒性、吸水率、抗冻性、耐腐蚀性、抗弯强度等性能应满足设计要求。

条文说明

防冻保温层表面设置时，防火层设置在最外侧，因此除燃烧性能、产烟毒性应满足要求外、其吸水率、抗冻性以及耐腐蚀性也需满足设计要求，以保证防火层结构的长期稳定。此外，防冻保温层表面铺设时，采用的是防火板材，为了保证其施工面整体圆顺、平整，防护板材料抗弯强度应满足要求。

10.2.4 固定材料应满足承载力和耐腐蚀要求。

条文说明

防冻保温层系统构造均需承受材料自重荷载，而且当防冻保温层表面设置时，还需承受风荷载，因此采用的固定材料需满足承载力和耐腐蚀要求，保证将整个保温层系统构造牢固地固定在基面上。

10.4 防冻保温层厚度

10.4.1 保温层厚度应根据寒区隧道气候条件、围岩条件、结构设计等通过计算分析确定，计算方法包括等效厚度法、气象解析法、有限元模拟计算法。当缺少隧道洞内温度场实测数据时，建议采用本规范附录C中的等效厚度法进行计算。

10.4.2 表面铺设法厚度设计应考虑锚固件、龙骨等钢性构件冷桥效应引起的防冻保温层保温效果折减，适当增加保温层厚度。

10.4.3 中间铺设法厚度设计应考虑衬砌结构尺寸限制，不得使二次衬砌侵限。

10.5 防冻保温层长度

10.5.1 宜根据寒区隧道实测温度场或临近既有隧道内实测温度场，并结合数值计算确定防冻保温层长度。

条文说明

隧道温度场实测项目包括隧道洞内风速风向、洞内气温、衬砌表面和内部温度、围岩内部温度等。测试仪表、探头包括：测温探头、测温仪表、风速风向计、风速风向采集器等。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、拱腰和边墙布置测点进行温度观测。在洞内每隔一定距离布置1个测试断面，在边墙布置测点对风速风向进行观测。

在数值计算中，假定隧道结构壁面与空气进行对流换热，以隧道温度场、风速风向实测数据为基础，采用合适的计算模型和参数对防冻保温层设置前后的隧道温度场进行计算，得到纵向方向保温层的所需的不同厚度以及相应的设防长度。

10.5.2 寒区隧道无温度场实测数据时，可根据隧道曲线形式、长度、气候、地热梯度及隧道通风模式等因素，通过工程类比或数值模拟计算进行确定。

条文说明

工程类比法根据相同气候条件的既有隧道实际保温层设置长度与运营状况调查或既有隧道温度场实测数据进行分析确定。

根据经验总结，按表10.5.2确定隧道保温段长度。

表 10.5.4 经验总结得到的隧道防冻保温层设防长度（m）

隧道长度（m）	最冷月平均气温（℃）			
	-5~10	-10~15	-15~25	<-25
500	全长	全长	全长	全长
500~1000	500	全长	全长	全长
1000~3000	500	1000	全长	全长

10.6 性能要求

10.6.1 防冻保温层采用表面设置（喷涂或铺设）时，防冻保温层系统应能承受隧道风荷载和系统自重荷载的作用而不产生破坏。防冻保温层采用中间设置时，防冻保温层系统应能承受系统自重荷载的作用而不产生破坏。

10.6.2 防冻保温系统应具有防潮性能，且不应有地下水侵入。

10.6.3 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。

10.6.4 在正确使用和正常维护的条件下，防冻保温层系统保持稳定，使用年限不应少于25年。

10.6.5 防冻保温系统在罕遇地震发生时不应从基层上脱落。

10.7 升温防冻措施

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

10.7.2 寒区隧道衬砌保溫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溫需要时，宜对衬砌进行供热。

征求意见稿

11 附属设施设计

11.1 一般规定

11.1.1 寒区隧道交通工程与附属设施设计应与隧道土建工程设计、所处路段的交通工程及沿线设施设计相协调。

11.1.2 寒区隧道机电设备选型应适用于隧址地区最低温度环境。

11.1.3 当隧道位于高原地区时，供配电设备设计及选型应符合现行《特殊环境条件-高原用高压电器的技术要求》（GBT-20635）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/T22580）的规定。

11.1.4 寒区隧道交通工程与附属设施设计除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业有关标准的规定。

11.2 消防给水及灭火设施

11.2.1 寒区隧道消防给水系统及灭火设施设计除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业有关标准的规定。

11.2.2 寒区隧道消火栓系统应采取防冻措施，并宜采用干式消火栓系统和干式室外消火栓。

条文说明

在室外极端温度低于4°C时，因系统管道可能结冰，结冰会降低管道的供水能力，导致灭火能力的降低或丧失，故宜采用干式消火栓系统；当采取湿式消火栓系统时应采取保温措施。

11.2.3 干式消火栓系统的充水时间不应大于10min，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，所以本次规范规定了充水时间。现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 第 12.2.2 条第 3 款干式系统充水时间不应大于 90s；现行国家标准《消防给水及消火栓系统技术规范》GB50974 第 7.1.6 规定城市隧道干式消火栓系统的充水时间不应大于 5min，该参数过小，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。发达国家的标准有 10min 和 3min 的充水规定。本规范适用范围为寒区隧道，相较于城市隧道，消防救援队到达时间略长，需消火栓提供灭火用水时间可适当延长，因此本次规范综合考虑确定为 10min。

当干式消火栓系统采用干式报警阀时如同干式自动喷水灭火系统，当采用雨淋阀时为半自动系统，采用雨淋阀和干式报警阀的目的是为了接通或切断向消火栓管道系统的供水，并通过压力开关向消防控制室报警。为使干式系统快速充水转换成湿式系统，在系统管道的最高处设置自动快速排气阀。有时干式系统也采用电磁阀和电动阀，电磁阀的启动及时，应采用弹簧非浸泡在水中型式，失电开户型，且应有紧急断电启动按钮；电动阀的启动时间长，并与配置电机相关，本条规定启动时间不应超过 30s，以提高可靠性。

11.2.4 寒区隧道消火栓系统采用湿式消火栓时，应符合下列规定：

1 在严寒、寒冷等冬季结冰地区宜采用干式地上式室外消火栓。当采用地下式室外消火栓，地下消火栓井的直径不宜小于 1.5m，且当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。

2 当环境温度低于 4℃时，室内湿式消火栓、供水管道及阀门应采取防冻措施。

3 室外供水管道最小管顶覆土应至少在冰冻线以下 0.30m，室外阀门井井口应采取保温措施。

4 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

湿式消火栓系统管道是充满有压水的系统，湿式消火栓系统同干式系统相比没有充水时间，能够迅速出水，有利于扑灭火灾。在寒冷或严寒地区采用湿式消火栓系统应采取防冻措施。

1 消火栓的设置应方便消防队员使用，地下式消火栓因室外消火栓井口小，特别是冬季消防队员着装较厚，下井操作困难，而且地下消火栓锈蚀严重，要打开很费力，因此本次规范推荐在严寒和寒冷地区采用干式地上式室外消火栓。

2 因平时水不流动，更容易被冻，为防止管道冻坏，有些隧道管理单位采取放空措施，但这将导致发生火灾时供水不及时，从而导致更大规模火灾事故。因此湿式室内消火栓系统应采用防冻措施。防冻措施需根据隧址地区极端最低温度进行合理选择，可采用保温层，或电伴热+保温层等措施。

根据调研情况，多数隧道管理单位反映，电伴热故障率较高，且检修较困

难。因此电伴热在施工安装时应特别注意施工质量控制。电伴热带不能在地上拖拽、硬拉，不能打硬折，以免损伤；电伴热带的分支、末端及电伴热带之间的连接等处应牢固可靠，并采用电伴热带专业厂家提供的专用配件。

3 室外消防管道管顶至少应敷设在冰冻线以下 0.3m，利用土壤保温防冻，相比于电伴热等措施，经济又可靠。

4 部分寒区隧道昼夜温差较大，热胀冷缩效应明显，应采用可靠技术措施，防止管道、管件损坏。

11.2.5 寒区隧道消防水泵房采暖温度不应低于 10℃，但当无人值守时不应低于 5℃；

11.2.6 寒区隧道的消防水池应采取防冻措施，并应符合下列规定：

- 1 室外消防水池宜地下式。
- 2 消防水池出水管最小管顶覆土应至少在冰冻线以下 0.30m
- 3 消防水池溢流水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

室外消防水池存在结冰风险，宜采取地下式设置，防止结冰，尤其是出水管、溢流管、排水管等水池附件。

11.2.7 寒区隧道灭火器、水成膜泡沫剂选型应符合温度使用范围要求。

12 施工准备

12.1 一般规定

12.1.1 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；结合寒区隧道施工特点，辨识工程风险点，在风险评估的基础上，编制施工组织方案，并对危险性较大的隧道工程编制专项施工方案。

12.1.2 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，注重防火、防冻、防雪、防冰、防滑、防风等。

12.1.3 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。寒区隧道应采用工厂化、集约化、标准化、机械化施工并做好防排水工程施工质量检测准备工作。

12.1.4 施工前应进行图纸会审，针对寒区隧道特点进行设计技术交底。

12.2 资料的收集和调查

12.2.1 施工前应做好气象、水文、地质和勘察设计资料的复核，注重冻土工程地质条件的核查。

12.2.2 施工前应了解用地、建筑物、道路、水利、电力、电讯设施等征地拆迁情况；做好通电、通水、通路、通信和场地平整等工作。

12.2.3 施工前应认真复核设计图纸。

- 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、洞门型式、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、气象等条件的适应性。
- 4** 洞口段中心排水沟、防寒泄水洞、排水保温出口等防冻设计的适应性。
- 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以下规定:

- 1 项目驻地选址宜在地质良好的向阳地段，应避开滑坡、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、停车区域等以洞口为中心合理布置。
- 3 材料加工场应避开风口、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，方便弃渣。

12.3.2 临时工程应符合以下规定:

- 1 临建设施应遵循因地制宜、永临结合原则。
- 2 驻地建设房屋内应采取保温、保暖措施。
- 3 临建设施基础应考虑冻胀因素，结构应考虑防风雪。
- 4 海拔 3000m 以上的隧道，生活、工作区应考虑配备供氧等医疗设施。
- 5 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。
- 6 给排水设施应考虑防冻、保温措施。

12.4 施工人员、材料和设备

12.4.1 施工人员

- 1 进场人员应身体健康，进场前应组织体检。
- 2 进场人员宜有寒区隧道工作经验。

12.5 材料

12.5.1 根据设计指标做好建筑材料的选择和相关检测、试验工作，满足抗冻、抗渗和抗侵蚀要求。

12.5.2 冬季施工应提前储备充足的建筑材料。

12.5.3 混凝土原材料及拌合、运输、养生应制定防冻保温方案。

12.6 机械设备

12.6.1 施工设备应充分考虑寒区的气候、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。

12.6.2 海拔 3000m 以上的隧道宜选用多臂凿岩台车、多级变速风机、湿喷机械手等大型机械设备。

12.6.3 冻土隧道宜采用悬臂式掘进机、破碎锤、铣挖机等机械设备。

12.6.4 寒区隧道宜配备防排水系统施工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。

征求意见稿

13 隧道施工

13.1 一般规定

13.1.1 寒区隧道在穿越冻土、断层破碎带、富水地层、含冰地层等不良地质段，施工中极易出现冻害、涌水和塌方等灾害，施工时应做好相应的技术方案、安全制度和应急预案，确保隧道施工安全。

13.1.2 因天气寒冷、缺氧、紫外线强、人烟稀少，寒区隧道施工期间应切实做好施工人员防护，确保施工人员身体健康。

13.1.3 寒区隧道进洞尽可能选在非冻融季节；多年冻土宜选择在冬季。

13.1.4 寒区隧道施工应做好衬砌防冻保温工作，防止衬砌出现冻害，造成衬砌漏水、挂冰、隧底冒水、积冰、冻胀、开裂、酥碎、剥落等病害。

13.1.5 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，注重施工机械的防寒及保养措施，提高机械利用率及寿命。应加强施工技术管理，并合理安排工序进度和关键工序的作业循环，组织均衡生产，提高劳动生产效率。

13.1.6 隧道施工中必须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应于实际围岩状态时，必须采取应急措施，根据地质超前预报及监控量测信息实施动态管理。

13.1.7 严寒地区隧道施工排水管、沟宜采取防寒保温措施。

13.1.8 严寒地区保温水沟施工时应有防潮措施。

13.1.9 拱脚下沉应作为必测项目进行监控量测。

13.1.10 供暖防冻、电伴热防冻、地热利用防冻施工应符合相关规范规定，并符合设计要求。

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，进洞前应采取防止雪崩和风吹雪掩埋洞口的措施。

2 洞口施工宜选在非冻融季节；多年冻土区宜选择在冬季。

3 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。

13.2.2 冻土区开挖宜在冬季或冻土未开始融化前进行。

13.2.3 冻土段爆破必须采用光面爆破。

13.3 支护与衬砌

13.3.1 应尽快封闭初期支护并及时浇筑二次衬砌。

13.3.2 喷射混凝土应采用湿喷法施工。

13.3.3 喷射混凝土施工前，应进行工艺试验，通过工艺试验选定工艺参数。

13.3.4 应严格控制喷射混凝土和二次衬砌混凝土用粗集料和细集料的含泥量，含泥量不符合规定时，应采用水洗法处理。

13.3.5 喷射混凝土和二次衬砌混凝土应掺加硅灰。可同时掺加硅灰与 I 级粉煤灰，也可同时掺加硅灰与 S105 级磨细矿渣粉，但不得同时掺加矿渣粉与粉煤灰。

13.3.6 二次衬砌混凝土宜掺加引气剂。

13.3.7 应严格控制喷射混凝土的出机温度，不宜过高，也不宜过低，冬季的出机温度宜为 13~17℃，非冬季的出机温度宜为 10℃。拌合物的温度应通过热工计算选定，并严格控制。二次衬砌混凝土入模温度宜控制在 10 ± 2℃。

13.3.8 喷射混凝土搅拌时间宜为 3min。

13.3.9 混凝土输送车的转筒外应加设保温罩，保温罩不能影响转筒正常转动。

13.3.10 混凝土运输时，混凝土输送车的转筒宜以 2~4 转/min 的转速转动；卸料前，转筒应高速旋转 30S~60S。

13.3.11 宜采用电动混凝土输送泵。

13.3.12 冬季进行衬砌施工时，应采取完善的保温、防冻措施，确保衬砌质

量。

13.3.13 混凝土抗冻性能应符合设计规定。采用引气混凝土时，混凝土含气量应符合配合比设计规定，检测频率应与坍落度相同。

13.3.14 衬砌背后空洞必须回填密实，并应符合下列规定：

- 1** 衬砌混凝土厚度不足时，应立即处理，并不得采用注浆回填方式处理。
- 2** 回填作业应在下一环衬砌浇筑混凝土前完成。
- 3** 边墙背后空洞深度小于或等于1.0m、拱部背后空洞深度小于或等于0.5m时，应采用衬砌同级混凝土回填密实，应与衬砌混凝土同时浇筑。
- 4** 边墙背后空洞深度大于1.0m、拱部背后空洞深度大于0.5m时，应按设计要求处理。
- 5** 采用浆砌片石或片石混凝土回填时，片石不得侵入二次衬砌内。

13.3.15 在冬季进行明洞浇筑时，应采取防雪、防冻措施。

13.3.16 沉降缝、伸缩缝设置应符合设计规定，施工缝应结合变形缝设置。

13.3.17 二次衬砌混凝土抗渗性能和抗冻性能应符合设计规定。

13.4 防排水系统施工

13.4.1 防寒泄水洞宜先于正洞修建。

13.4.2 防寒泄水洞宜采用全断面开挖，光面爆破，小型设备无轨运输。

13.4.3 防寒泄水洞中心检查井、检查井防寒保温、检查井盖板、盖板之间保温材料、泄水孔横通道等的位置、尺寸、材料等均应符合设计规定。

13.4.4 防寒泄水洞出水口保温设施的位置、尺寸、材料等均应符合设计规定。

13.4.5 防寒泄水洞预留泄水孔应保持通畅。

13.4.6 堵水防冻径向注浆应符合下列规定：

- 1** 注浆浆液的选择应根据地层渗透系数、水压力等综合确定，可选择水泥浆液、水泥—水玻璃浆液或者化学浆液。
- 2** 注浆应在第一层初期支护完成，且混凝土强度达到设计强度的100%后进行。
- 3** 注浆范围宜控制在开挖轮廓线以外3~6m。
- 4** 径向注浆孔深应满足设计要求，最小深度不应小于3m，注浆管直径不宜小于40mm。
- 5** 注浆孔宜按梅花形排列，孔距视岩层渗水和裂隙情况确定，一般不宜大于2m。
- 6** 注浆钻孔宜垂直开挖岩面。

6 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。

7 注浆终压力宜为0.5~1.5MPa。

8 仰拱径向注浆应根据拱墙注浆效果、隧底排水条件确定，需进行仰拱径向注浆时，应最后进行。

9 注浆时，洞内气温和浆液温度应不低于+5℃。

10 应做好压浆孔编号及位置、水泥品种及标号、砂浆成分及水灰比、延散度、压浆压力、注浆数量等记录。

11 选择化学浆液压浆时，应对其水环境污染风险进行评估；施工时，应随时注意对附近水源的影响，一旦发现污染必须立即停止使用。

12 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。

13.4.7 防水板与热熔垫圈的连接，宜采用超声波焊接机施工，不宜采用电热焊枪施工。

13.4.8 深埋渗水沟，回填材料除应满足保温、透水性好的要求外，水沟周侧应用级配骨料分层回填，石屑、泥砂不能渗入沟内。

13.4.9 二次衬砌施工缝和变形缝防水材料应符合设计规定，其施工质量应严格控制。

13.4.10 保温水沟施作时应有防潮措施，防止保温材料受潮，影响保温性能。

13.5 防冻保温层施工

13.5.1 保温材料存放及使用期间应加强防水、防潮及防火工作。

13.5.2 保温层表面喷涂法施工应符合下列规定：

1 施工的环境温度应为10~35℃，风速不大于5m/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 在完成一层防冻保温层喷涂后，需待其表面不粘手，再喷涂下一层。

4 喷涂后的防冻保温层应充分熟化48~72h后，再进行下道工序的施工。

5 喷涂保温材料应连续、饱满，防冻保温层表面应平整，其平整度偏差不应大于6mm。

6 防冻保温层应采用钢丝网和无铆钉进行固定。钢丝网铺设应平整，紧贴防冻保温层，并固定牢靠。无铆钉间隔尺寸应满足设计要求。

7 防冻保温层外表面应采用砂浆乳液进行修饰，其搭接宽度不应小于100mm。

13.5.3 保温层表面铺设法施工应符合下列规定：

1 定位放线应准确，膨胀螺栓、U型构件与二次衬砌应连接牢固。

2 施工现场风力大于5级时，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进行填充。

-
- 4** 龙骨按自下而上的顺序进行安装，安装偏差不超过 5mm。
 - 5** 龙骨纵向搭接长度不应小于 100mm。
 - 6** 保温铺设完成后安装防火板。龙骨与防火板应采用自攻钉安装牢固。防火板施工面随二次衬砌表面圆滑过渡，无破裂。板与板之间接缝以及防冻保温层两端部应进行封闭。

13.5.4 保温层中间铺设法施工应符合下列规定：

- 1** 初期支护表面防水板应整体平顺、无褶皱、无破损现象，应与初期支护密贴，松紧适度，满足《公路隧道施工技术规范》（JTGT 3660—2020）相关要求。
- 2** 防水板拼接其接缝应密贴，防水应可靠，不存在渗漏隐患，满足《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1—2017）防水层施工要求。
- 3** 预制的保温板平整、牢固地密贴在防水板上。保温板应按自下而上的顺序进行安装，板与板之间错缝拼接，其缝隙应采用发泡胶进行填充。
- 4** 保温层外层应再铺设一层防水板，两者连接牢固。防水板拼接其接缝须密贴，防水应可靠，不存在渗漏隐患。

13.6 施工通风

13.6.1 高海拔寒区隧道施工通风方案制定时，应计算高原因素的影响。

13.6.2 隧道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。

13.6.3 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 。

条文说明

参照《公路隧道施工技术规范》(JTG F60)的规定。

13.6.4 机械通风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，可选用压入式或混合式通风，有条件时宜采用巷道式通风。

13.6.5 通风管宜采用硬质金属风管，也可采用高强、低阻、阻燃的软质风管，每 100m 平均漏风率不宜大于 1% 。

条文说明

受气温影响，寒区一般气压较低，隧道通风难度加大，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。

13.7 施工供氧与职业健康

13.7.1 高海拔寒区隧道制氧方式宜采用变压吸附法(PSA)，供氧标准按照表13.7.1执行。

表 13.7.1 高原供氧标准参考值

海拔高度 (m)	大气压力		室内工作一般人员供氧标准		重体力劳动人员供氧标准	
	(mmHg)	(kPa)	气管氧分压(kPa)	生理等效高度(m)	气管氧分压(kPa)	生理等效高度(m)
2100	589	78.5	15.22	2100	15.22	2100
2800	539	71.9	13.87	2800		
3500	494	65.8				
4200	450	60.0				
5000	375	50.0				

条文说明

经科研比选，从环境适应性、经济性、供氧量等比较，高海拔寒区隧道制氧方式推荐采用变压吸附法。

13.7.2 应根据气象资料(含氧量)和人员数量核定隧道施工供氧量，供氧量计算方法见附录 F。

13.7.3 高海拔寒区隧道施工供氧方式包括鼻吸式供氧、移动式氧吧供氧、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，隧道内施工根据工作区域不同可选取局部弥散式供氧或移动吸氧车等方式。

13.7.4 高海拔寒区隧道氧气站建设和使用应符合《氧气站设计规范》(GB 50030)规定。供应的氧气应无毒、无害、无异味。

13.7.5 高原人员用氧应在专业人员指导下进行，专业人员监督高原人员用氧情况，当高原人员出现头晕、恶心、呕吐、心悸、心慌、胸闷等不适时，停止用氧。

13.7.6 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，每次连续用氧不宜小于 1 小时。

条文说明

高压氧舱和平衡压力舱均可作用。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。一般情况下可以使用平衡压力舱，用于解决增压抢救需求，可节省费用。

13.7.7 隧道内宜在施工人员密集区设置移动式氧吧，保障施工人员就近吸氧需求。

13.7.8 弥散式供氧房间内应采用通风换气措施，室内二氧化碳浓度不得超过0.09%。

13.7.9 隧道内弥散式供氧宜采用以下方案：

1 采用专用输氧管道(通常采用 DN25 不锈钢管)向隧道内供氧，专用输氧管道连接洞外制氧机。

2 制氧机生产的高浓度氧气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，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。

13.7.10 用氧应注意防震，防火，防热，防油。搬运时避免倾倒、撞击，氧气瓶放在阴凉处，周围严禁烟火和易燃品，距离火炉至少 5m，距离暖气至少 1m。

13.7.11 所有进入隧道的施工及管理人员应提前检查身体，对于高血压、心脏病等患者不安排上山。施工过程中，定期和不定期检查，发现问题，随时下山治疗，防止高原病和后遗症的发生。

13.7.12 坚持管理人员、先遣人员先上，待条件具备后，大批人员再上的原则。人员上场应采取“梯次”上山的办法。一般准备 7~10 天的适应期，减少身体的不适应及所形成的各种剧烈的高山反应。

13.7.13 高海拔隧道及超高海拔隧道施工应建立完善的后勤生活保障体系，作业人员应配备防寒服装，营房宜避风朝阳，人员居住区宜保证卫生清洁。

13.7.14 高海拔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生和卫生员，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，做到一般病现场能够治疗，其他病症及时转移到后方医院医治。

条文说明

高海拔地区特殊的气候环境容易引发高反等一系列不良反应，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。

13.8 监控量测

13.8.1 应根据隧道所处的气候条件、围岩条件、支护类型和参数、施工方法、量测目的等编制监控量测计划。

13.8.2 寒区隧道监控量测目的

13.8.3 对于不同防冻设防等级的段落，监控量测项目应包括：

13.9 施工排水

13.9.1 隧道施工防排水工作应按防、截、排、堵相结合的综合治理原则进行，隧道施工防排水设施应与营运防排水工程相结合，隧道的防冻保温措施应与防排水系统结合。

13.9.2 隧道排水系统分地下水排水系统、路面水(清洗水)排水系统和洞外截、排水系统，各自互相独立，分别排放。

13.9.3 隧道施工前应根据工程地质、水文地质资料制定防排水方案。施工中应按现场气象条件、施工方法、机具设备等情况，选择不妨碍施工的防排水措施。

13.9.4 寒区隧道防排水工程施工质量应符合下列要求：

- 1 掌子面附近无积水，隧底无漫流水。
- 2 拱部、边墙不滴水。
- 3 路面不冒水、无积水，设备箱洞处无渗水。
- 4 洞内排水系统无淤积、不堵塞，确保排水通畅。
- 5 隧道衬砌背后无积水，路面、排水沟不冻结。

13.9.5 隧道两端洞口及辅助坑道洞口应按设计要求及时做好排水系统，覆盖层较薄和渗透性强的地层，地表积水应及时处理。

13.9.6 洞内顺坡排水，其坡度应与线路坡度一致，并满足下列要求：

- 1 水沟断面应满足排除隧道中渗漏水和施工废水的需要；
- 2 水沟位置宜结合结构排水工程设在隧道两侧或中心，并减少施工干扰；
- 3 经常清理排水设施，确保水路畅通。

13.9.7 洞内反坡排水，应采取下列措施：

- 1 必须采取机械抽水；
- 2 排水方式可根据距离、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 根据线路坡度分段开挖反坡排水沟。在每段下坡终点开挖集水坑，使水流至坑内，再用水泵将水抽到下段水沟流入下一个集水坑，这样逐段前进，将水排出洞外。反坡水沟坡度不宜小于0.5%；
- 4 隧道较短时，可在开挖面附近开挖集水井，安装水泵，将水一次送出洞外；
- 5 沟管断面、集水坑(井)的容积按实际排水量确定；
- 6 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；
- 7 做好停电时的应急排水准备工作。

13.9.8 洞内有大面积渗漏水时，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，以便在衬砌时确定拱墙背后排水设施的位置。

13.9.9 隧道施工有平行导坑或横洞时，应充分利用辅助导坑降低正洞水位，使正洞水流通过辅助导坑引出洞外。正洞施工由斜井竖井排水时，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，应边开挖边挖积水坑，并视渗水量大小采用抽水机或吊桶排出。

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

13.9.11 洞内永久性防排水结构物施工时，除应满足一般规定外，还应满足下列要求：

- 1 保温水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 修筑的深埋水沟，回填材料除应满足保温、透水性好的要求外，水沟两侧应用级配骨料分层回填，不得让石屑、泥砂渗入沟内。

征求意见稿

14 质量检验

14.1 一般规定

14.1.1 寒区隧道质量检验，应根据防冻保温等设计要求，有针对性地增加或增强对保温隔热层、保温水沟、深埋中心水沟、防寒泄水洞和混凝土衬砌等分项工程的检验工作。

条文说明

为确保寒区隧道防冻保温效果，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，因此确保该部分新增或增强设计措施的工程实施质量。

14.1.2 寒区隧道质量检验除应符合本规范的规定外，尚应符合《公路工程质量检验评定标准第一册土建工程（JTG F80/1）》等国家和行业现行的其他有关标准的规定。

14.2 防冻保温层

14.2.1 保温隔热材料应符合以下基本要求：

1 保温隔热材料现场使用前，需出具材料附带的产品合格证与包括主要性能参数和防火等级等主要性能的出厂检验报告。

2 保温隔热材料施工前，必要时应进行现场抽样并送至专业检测单位进行检验，导热系数、吸水率、抗冻性、产烟毒性、燃烧性能等材料性能参数应满足设计要求。

3 表面喷涂材料的燃烧性能、防腐性、耐冻融循环性、产烟毒性等应满足设计要求。

4 表面铺设材料的燃烧性能、防腐性、耐冻融循环性、产烟毒性、抗弯强度等应满足设计要求。

5 表面铺设锚固件的防腐性、承载力等应满足设计要求。

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，在具体工程中应根据设计要求在现场使用前检查核实。

14.2.2 保温隔热层采用喷涂施工时，应符合以下要求：

1 喷涂时隧道二次衬砌表面应平整，且无渗漏水、污物和壁面潮湿情况。

- 2** 喷涂保温层时无断层现象。
- 3** 保温隔热层表面应平顺，无明显突出部分，不得产生裂缝、空鼓、变形。
- 4** 保温隔热层整体应密实饱满，不得有气泡、空隙。
- 5** 保温隔热层实测项目应符合表 14.2.2 的规定：

表 14.2.2 保温隔热层喷涂施工时实测项目

项目	规定值或允许偏差	检查措施
保温隔热层厚度 (mm)	不小于设计值	插针法，每 $10m^2$ 检查一处
保温隔热层长度 (cm)	不小于设计值	尺量

14.2.3 保温隔热层采用铺設施工时，应符合以下要求：

- 1** 铺设表面应平整，且无渗漏水、污物和壁面潮湿情况。
- 2** 锚固件安装位置、深度和承载力应满足设计要求，不得出现松动。
- 3** 保温隔热板应固定牢固，不得有松动。
- 4** 保温隔热板表面应平顺，密贴于铺设表面，不得有松动、开裂。
- 5** 保温隔热层接缝应填充密实，不得留有空隙。
- 6** 保温隔热层实测项目应符合表 14.2.3 的规定：

表 14.2.3 保温隔热层鋪設施工时实测项目

项目	规定值或允许偏差	检查措施
保温隔热层厚度 (mm)	不小于设计值	插针法，每 $10m^2$ 检查一处
保温隔热层长度 (cm)	不小于设计值	尺量
保温隔热层搭接长度 (mm)	≥ 100 ，且不小于设计值	尺量：全部搭接均要检查，每一个搭接处检查 3 处
锚固件安装纵、环向间隔距离偏差 (mm)	≤ 30 ，构件数量满足设计要求	尺量：每个构件进行检查
龙骨搭接长度 (mm)	≥ 100	尺量：每个搭接点均检查
龙骨安装偏差 (mm)	≤ 5	尺量：每榀进行检查

条文说明

保温隔热层采用鋪設施工时，既包括于二次衬砌外表面鋪設施工，也包括于防水板外表面、二次衬砌内表面之间鋪設施工，还包括于二次衬砌外表面、三次衬砌内表面之间鋪設施工，应根据实际采用的施工工艺有针对性地开展质量检验工作。

14.3 防寒排水设施

14.3.1 保温水沟、深埋中心水沟、防寒泄水洞和保温出水口等防寒排水设施，应符合以下基本要求：

- 1** 防寒排水设施的横断面尺寸应符合设计要求。
- 2** 防寒排水设施的设置高程应符合设计要求。
- 3** 防寒排水设施的纵向坡度应符合设计要求。
- 4** 防寒排水设施的长度应满足符合要求。
- 5** 防寒排水设施的保温材料应符合设计要求。
- 6** 防寒泄水洞和正洞联络通道的数量、高程、排水坡率和断面尺寸应符合设计要求。
- 7** 防寒排水设施施工完成后，应清理排水系统中的建筑垃圾，保温出水口

应保证流水间隙，及时疏通排水通道，并进行灌水排水试验。

8 排水系统应不冻结，进行局部保温和加热的部位，最冷季节不冻结。

14.3.2 保温水沟、深埋中心水沟、防寒泄水洞和保温出水口等防寒排水设施的实测项目应符合表 14.3.2 的规定：

表 14.3.2 防寒排水设施实测项目

项目	规定值或允许偏差	检查措施
断面尺寸 (mm)	(0, +10]	尺量：每 10m 测 1 处
沟顶高程 (mm)	[-20, 0)	水准仪：每 10m 测 1 处
纵坡或坡率	满足设计要求	水准仪：每 10m 测 1 处
保温材料性能	满足设计要求	核查产品的出厂检验报告，必要时开展抽样试验

14.4 其它

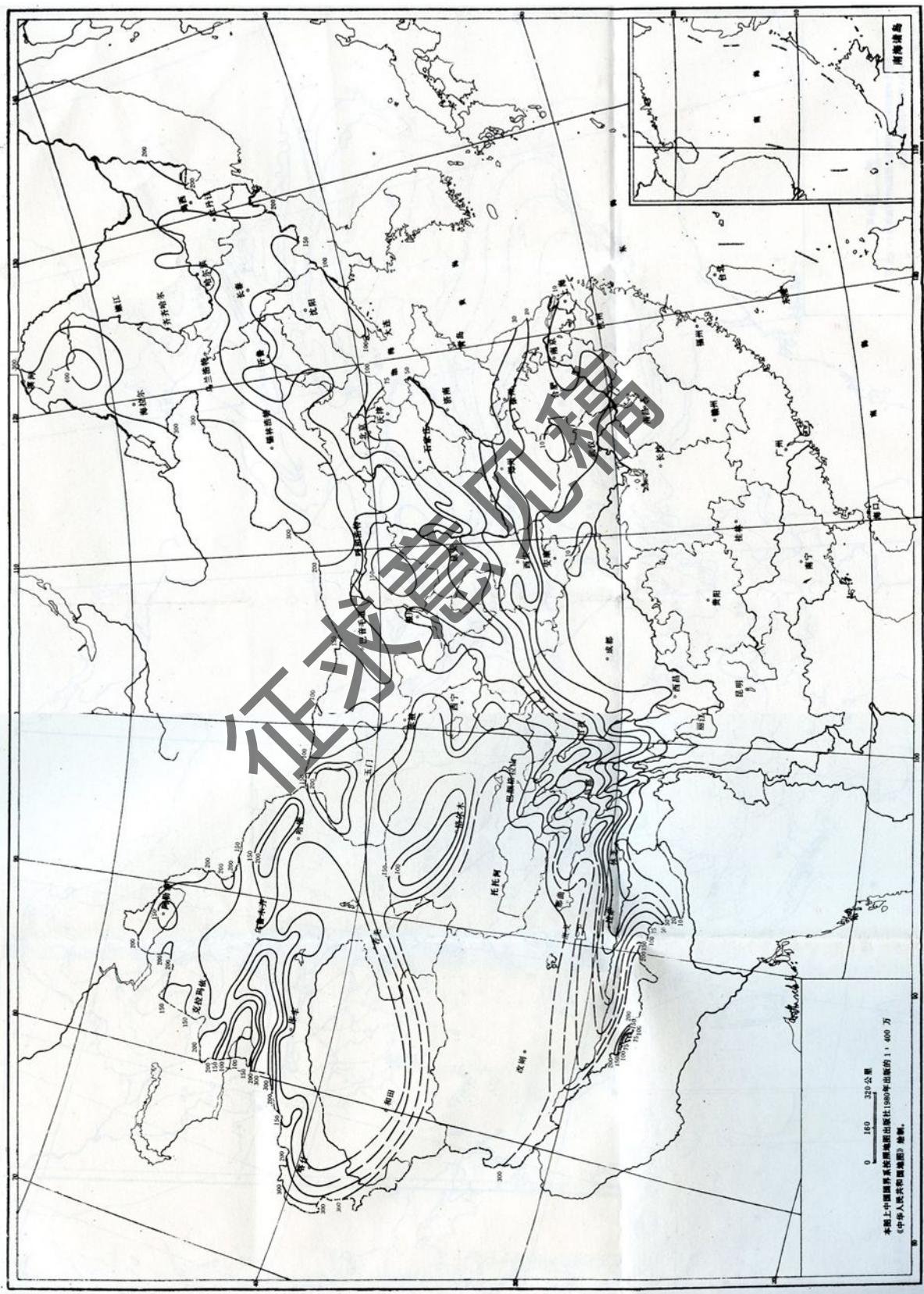
14.4.1 抗冻设阶段的隧道混凝土衬砌，应开展必要的抗渗等级和抗冻性能指标的质量检验与测试工作，并满足设计要求。

14.4.2 抗冻设阶段的隧道混凝土衬砌，应沿隧道纵向分别在拱顶、两侧拱腰、两侧边墙全长布设 5~7 条测线，检查衬砌背部的密实状况，并满足无空洞、无杂物的施工质量要求。

14.4.2 洞门或明洞的基座高程，应满足设计对其埋置深度的要求。

14.4.3 抗冻设阶段的隧道混凝土骨料，应进行抗冻试验，并满足规范要求。

附录 A 最大冻深分布图



图附录A 最大冻深 (cm) 分布图

附录 B 曲墙隧道冻胀力荷载计算方法

B.1 洞口季节冻土段

B.1.1 以三心圆隧道为例，洞口季节冻土段隧道冻胀力荷载的作用形式如图B.1.1所示，图中O₁、O₂为三心圆隧道的圆心。

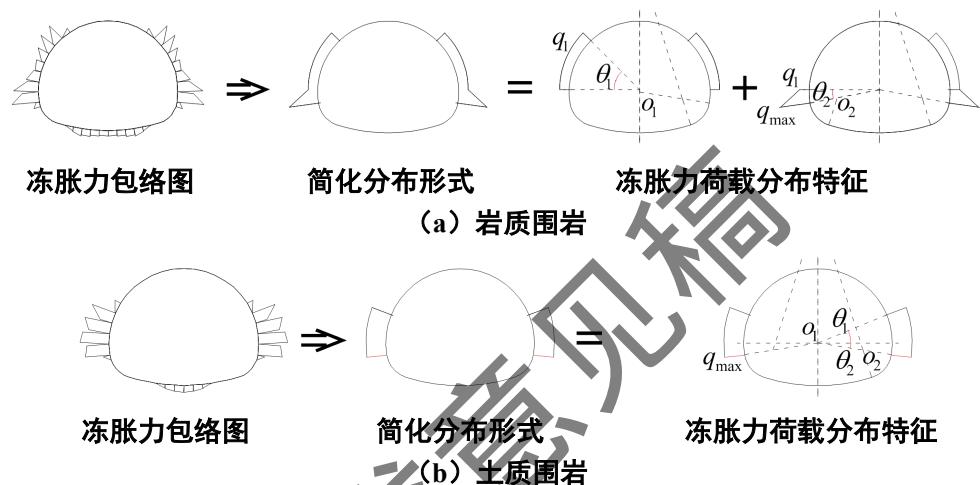


图 B.1.1 洞口段季节冻土段围岩冻胀力荷载分布

1 岩质围岩冻胀力荷载作用模式可分解为两部分荷载的叠加：均匀作用于衬砌拱腰至边墙的压力荷载 q_1 ；作用于衬砌边墙至拱脚的梯形荷载，最小值为 q_1 ，最大值为 q_{max} ，如图B.1(a)所示。

2 土质围岩冻胀力荷载作用模式可简化为垂直作用于边墙至拱脚的均布荷载 q_{max} ，如图B.1.1(b)所示。

3 不同冻土段冻胀力荷载分布特征参数如表B.1.1所示。

表 B.1.1 洞口季节冻土段围岩冻胀力分布特征参数

围岩级别	θ_1	θ_2
V	45°	11°
VI	22°	9°

B.1.2 隧道冻胀力 q_{max} 及 q_1 可采用下式计算：

$$q_{max} = (A_1 k + A_2)(B_1 h + B_2)(C_1 E^{\text{III}} + C_2) \quad (\text{B.1.2-1})$$

$$q_1 = 0.37 q_{max} \quad (\text{B.1.2-2})$$

式中： E 为弹性模量；

μ 为泊松比；

k 为围岩不均匀冻胀系数;

η 为围岩体积冻胀率;

E^{III} 为衬砌的弹性模量(GPa);

A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 、 C_1 、 C_2 为经验参数, 按表 B.1.2 取值。

表 B.1.2 洞口季节冻土区冻胀力计算参数

	A_1	A_2	B_1	B_2	C_1	C_2
V 级岩质围岩	-0.0377	0.1474	44.6582	-0.005	0.5675	-0.3024
V 级土质围岩	-0.0185	0.1500	6.031	0.0147	0.2399	17.6793

B.2 多年冻土段及非冻土段

B.2.1 多年冻土段及非冻土段隧道冻胀力荷载的作用形式以及作用力量值如图 B.2.1 所示, 图中 O_1 、 O_2 分别为三心圆隧道的圆心, 围岩冻胀力荷载分布可分解为: (1) 均匀作用于衬砌拱顶至边墙的压力荷载 q_1 ; (2) 均匀作用于拱脚的压力荷载 q_{\max} ; (3) 作用与仰拱的压力荷载其 q_2 ; (4) q_1 与 q_{\max} 、 q_{\max} 与 q_2 的过渡段荷载。不同冻土段冻胀力荷载分布特征参数如表 B.2.1 所示。

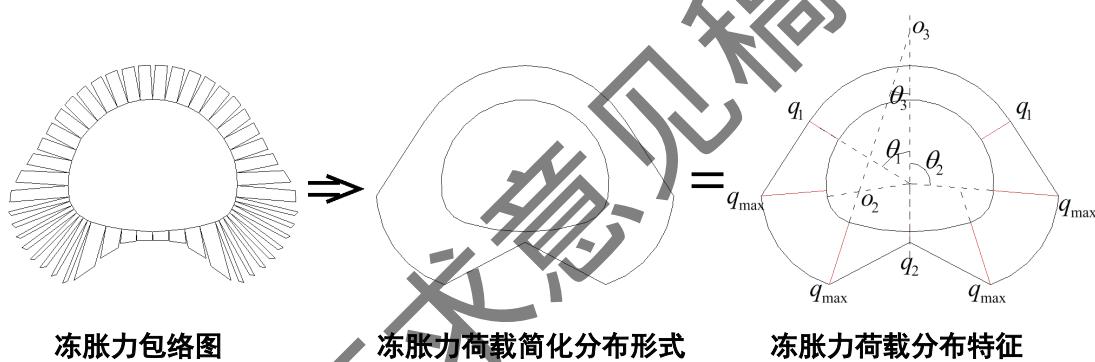


图 B.2.1 多年冻土段及非冻土段围岩冻胀力荷载

表 B.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°

B.2.1 多年冻土段及非冻土段冻胀力荷载的计算公式如下:

$$\begin{cases} q_1 = D_1 q_{\max} \\ q_2 = D_2 q_{\max} \\ q_{\max} = D_3 (1 - D_4^h) P_b \end{cases} \quad (\text{B.2.1})$$

式中: P_b 为将衬砌等效为圆形, 根据式 6.1 计算得到的冻胀力;

h 为隧道埋深;

$D_1 \sim D_4$ 为冻胀力量值特征参数, 如表 B.2.1 所示。

表 B.2.1 多年冻土段及非冻土段围岩冻胀力量值特征参数

冻土段	围岩级别	D_1	D_2	D_3	D_4
多年冻土段	V	0.5175	0.0000	1.06	0.9349
	VI	0.5836	0.3700	1.26	0.7731
非冻土段	IV	0.5260	0.1578	0.84	0.9821
	V	0.5537	0.2621	1.04	0.9821

征求意见稿

附录 C 洞门墙水平冻胀力计算

C.0.1 当基础埋深等于或大于设计冻深时，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，还应计算竖直冻胀力的作用。

C.0.2 最大单位水平冻胀力设计值和水平冻胀力沿墙高的分布可分别按下列图式确定：

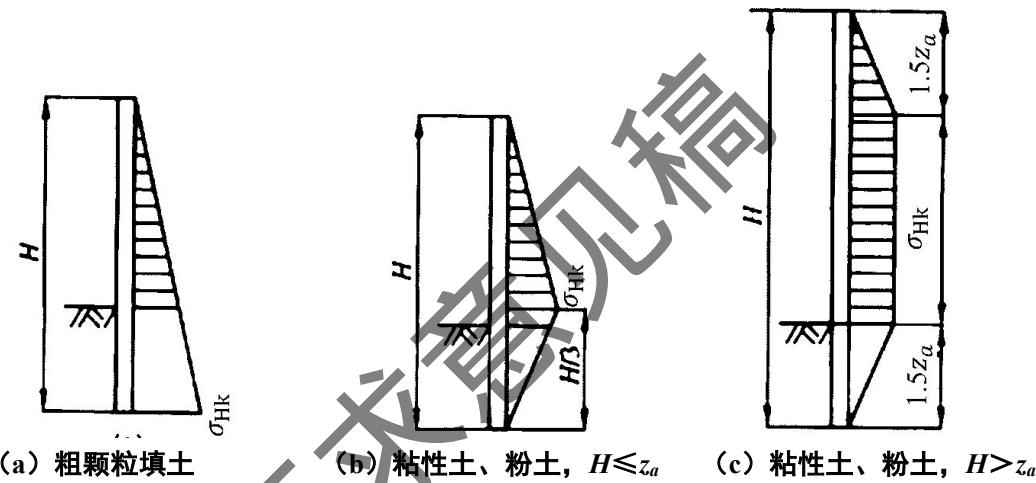


图 C.0.2 《冻土地区建筑地基基础设计规范》中水平冻胀应力沿墙背的分布图示

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	$\sigma_{Hk} < 15$	$15 \leq \sigma_{Hk} < 70$	$70 \leq \sigma_{Hk} < 120$	$120 \leq \sigma_{Hk} < 200$	$\sigma_{Hk} \geq 200$

条文说明

冻土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可参照现行《冻土地区建筑地基基础设计规范》（JGJ118）对挡土墙水平冻胀力计算规定（图 1 和表 1）选取，也可通过模型试验得到。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（如现行《水工建筑物荷载设计规范》（SL744）对L型挡土墙冻胀力的规定）。而由于上条指出洞门墙宜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不会使洞门墙产生水平变形，不做上述变形修正。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，对理论计算结果进行修正。

征求意见稿

附录 D 防冻保温层厚度计算

D.0.1 应通过对隧道温度场现场实测，确定围岩最大冻结深度。若无实测资料时，可按式（D.0.1）计算围岩的最大冻结深度。

$$\frac{\delta_0}{\lambda_0} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} \quad (\text{D.0.1})$$

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
资料或在洞口实测；

λ_0 ——地表松散岩（土）体的导热系数[W/ (m·K)]；

δ_1 ——围岩的最大冻结深度（m）；

λ_1 ——围岩的导热系数[W/ (m·K)]。

D.0.2 表面铺设法的防冻保温层厚度，可按式（D.0.2）进行计算：

$$\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r + \delta_1}{r} = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{r + \delta}{r} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r + \delta + \delta_2}{r + \delta} \quad (\text{D.0.2})$$

式中： r ——隧道的当量半径（m）；

λ ——防冻保温层的导热系数[W/ (m·K)]；

δ ——防冻保温层厚度（m）；

λ_2 ——二次衬砌混凝土导热系数[W/ (m·K)]

δ_2 ——二次衬砌混凝土厚度（m）；

D.0.3 中间铺设法的防冻保温层厚度，可按式（D.0.3）进行计算：

$$\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r + \delta_1}{r} = \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r + \delta_2}{r} + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{r + \delta_2 + \delta}{r + \delta_2} \quad (\text{D.0.2})$$

附录 E 隧道供氧量计算

E.0.1 鼻吸式供氧流量可按式(F.0.1)计算:

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

式中: v —供氧流量, L/min;

v_i —吸氧浓度, %;

v_s —设备供氧浓度, %。

E.0.2 弥散式供氧流量计算

1 人员耗氧量应按下式计算:

$$Q_1 = \frac{Q_R \times N_R}{R_\theta} \quad (\text{E.0.2})$$

式中: Q_1 —空间内人员每小时总耗氧流量, m³/h;

Q_R —空间内单人每小时总耗氧流量, m³/h;

N_R —空间内活动人数;

R_θ —供氧管道出口氧气浓度, %。

2 空间需氧量应按下式计算:

$$Q_2 = \frac{V_F \times A}{R_\theta} \times K_1 \quad (\text{E.0.3})$$

式中: Q_2 —空间内每小时提升气管氧分压所需氧流量, m³/h;

V_F —空间内体积, m³;

A —单位体积每小时提升气管氧分压所需氧量, m³;

R_θ —供氧管道出口氧气浓度, %;

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按下式计算:

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 \quad (\text{E.0.4})$$

式中: Q —室内弥散式供氧所需氧气总流量, m³/h。