ICS 93.080.01
P 66
备案号：60232-2018

DB63

青　海　省　地　方　标　准

DB 63/ T 1674—2018

多年冻土区 公路隧道技术规范

2018－06－25 发布　　2018－09－25 实施

青海省质量技术监督局　发布

目　　次

前言 III
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语与定义 1
3.1 1
高海拔高寒地区 1
3.2 1
冻土 1
3.3 1
多年冻土 1
3.4 2
多年冻土上限 2
3.5 2
多年冻土下限 2
3.6 2
最大冻土深度 2
3.7 2
冻融作用 2
3.8 2
冻胀作用 2
3.9 2
冻胀力 2
3.10 2
热棒 2
4　建设条件调查 2
4.1　资料搜集 2
4.2　地形与地质调查 3
4.3　气象调查 3
4.4　工程环境调查 3
5　隧道总体设计 3
5.1　一般规定 3
5.2　隧道位置选择 4
5.3　隧道线形设计 4
5.4　隧道结构形式 5
6　建筑限界与内轮廓 6

6.1 一般规定 6
6.2 建筑限界 6
6.3 内轮廓 6
7 支护结构设计与施工 6
7.1 一般规定 6
7.2 荷载及计算 7
7.3 初期支护与辅助工程措施施工 8
7.4 二次衬砌施工 8
8 防排水设计与施工 8
8.1 防排水基本原则 8
8.2 洞身防水设计与施工 9
8.3 洞身排水设计与施工 9
9 隧道开挖 10
9.1 一般规定 10
9.2 开挖方法 11
9.3 超欠挖控制 11
10 隧道防寒保温设计与施工 11
10.1 一般规定 11
10.2 衬砌保温 11
10.3 出水口保温 11
10.4 防雪棚洞 12
11 冻土隧道施工机械配套技术 12
11.1 一般规定 12
11.2 动力机械配套技术 12
11.3 掘进及支护机械配套技术 12
11.4 装卸运输机械配套技术 13
11.5 通风机械配套技术 13
11.6 其他配属设备 13
附录A（资料性附录） 冻土隧道建筑限界及内轮廓 14
附录B（规范性附录） 冻胀力计算 19
附录C（规范性附录） 特殊冻土地层施工 20
C.1 洞口冻土边仰坡 20
C.2 洞口冻土浅埋段 20
C.3 洞内厚层地下冰 20

前　言

本标准按照 GB/T 1.1-2009给出的规则编写。

本标准由青海省交通运输厅提出并归口。

本标准起草单位：青海地方铁路建设投资有限公司、招商局重庆交通科研设计院有限公司。

本标准主要起草人：纳启财、胡居义、祝存芳、程崇国、张虎发、田敏哲、吴梦军、李涛、丁浩、陈红伟、董政博、曹生业、陈晓堃、张学强、张凌东、陈莹洁、郭鸿雁、胡学兵、肖博、方林、李科。

多年冻土区 公路隧道技术规范

1 范围

本标准规定了高海拔高寒地区多年冻土公路隧道建设条件调查、隧道总体设计、建筑限界及内轮廓、支护结构设计与施工、防排水设计与施工、隧道开挖、隧道防寒保温设计与施工和隧道施工机械配套技术。

本标准适用于以钻爆法及机械开挖法为主要开挖手段的新建、扩建和改建两车道多年冻土公路隧道的设计和施工，三车道、四车道及市政隧道和铁路隧道可作为参考。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50010 混凝土结构设计规范

GB 50086 锚杆喷射混凝土支护技术规范

JTJ C20 公路工程地质勘察规范

JTG D70 公路隧道设计规范

JTJ F60 公路隧道施工技术规范

JTG/T D70 公路隧道设计细则

JTG/T TD31-04 多年冻土地区公路设计与施工技术细则

DB63/T 1489 多年冻土区 热棒路基技术规范

3 术语与定义

以下术语和定义适用于本文件。

3.1

高海拔高寒地区

因海拔高或高纬度而形成的特别寒冷的气候区。

3.2

冻土

具有负温或零温度并含有冰的土（岩）。

3.3

多年冻土

冻结状态持续两年或两年以上的岩土层。

3.4

多年冻土上限

多年冻土层顶面的埋藏置深度，即为多年冻土层的上界面。

3.5

多年冻土下限

多年冻土层底面的埋置深度，即为多年冻土层的下界面。

3.6

最大冻土深度

地表土层或疏松岩石历年冻结深度最大值。

3.7

冻融作用

地表气温的正温与负温交替变化对地表土体（岩体）带来的物理作用。

3.8

冻胀作用

地表气温的负温使地表土体中水分结冰而产生的体积膨胀对地表土体带来的物理作用。

3.9

冻胀力

由于岩土的冻胀受到约束产生的力。

3.10

热棒

一种内部采用重力式低温热管的装置。用于寒区工程，工作温度在-73°～60°之间，蒸发段在下方、冷凝段在上方、管内凝结液依靠重力而回流的传热管。

4 建设条件调查

4.1 资料搜集

4.1.1 隧址区气温、降水、降雪、风速和风向、风雪等气象资料。
4.1.2 随址区冻土类型、分布、冻土深度、冻土的上下限、年平均地温。
4.1.3 隧址区工程地质、水文地质、地表水等资料。
4.1.4 隧址区地震历史、地震动参数等资料。
4.1.5 青藏高原沿线矿产资源，植被、林木、草场资源，沼泽等生态环境资料。
4.1.6 社会、人文、宗教、信仰情况。

4.2 地形与地质调查

4.2.1 隧道地形、冻土地质调查应按工程可行性踏勘、初步勘测、详细勘察和施工阶段勘测等不同调查阶段的目标、内容及范围分别进行。并执行规范（JTJ C20）的有关规定。

4.2.2 隧道工程测绘应按设计阶段要求，测绘地形图、纵断面图、横断面图；在隧道和辅助通道洞口附近，应按规定布设平面控制网和高程控制点。

4.2.3 施工前各阶段的地形与地质调查应包括自然地理概况以及工程地质和水文地质等，并要重点调查和分析冻土、雪崩、风吹雪等发生、发展原因和发展趋势，分析多年冻土对隧道洞口和洞身稳定的影响程度。

4.2.4 应调查分析和预测冻土隧道开挖后可能出现冻胀、融沉、坍塌等地质灾害，并提出应对措施。

4.3 气象调查

4.3.1 气象调查的内容应包括隧址区的气温、气压、风速、风向、降雨量、雪线、冰川特征、冻结深度、日照等，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 在缺乏历史气象资料偏远地区，应在拟建隧道洞口、特长隧道的斜（竖）井洞口设立气象观测点（站），持续搜集当地气象资料半年以上，掌握隧址区气象条件。

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、涌泉、温泉、湖泊、沼泽、水草地、冰川、植被、矿产资源以及动植物生态等自然环境状况进行调查。

4.4.2 应对场区内土地使用情况、农田、草场、林场、水利设施、建筑物、地下管线情况等进行调查。对场区内公园、文化遗址、纪念建筑等重要地物应调查其现状，并应提出隧道建设可能造成的影响。

4.4.3 应对周边道路状况，生产生活用水资源，供水、供电和通信条件等进行调查。

4.4.4 应对周边施工便道、施工场地、拆迁、弃渣场地等调查。

4.4.5 应对建筑材料的来源、品质、储量等进行调查。

4.4.6 应对隧道运营噪声、施工噪声、振动、污水废气排放，以及施工和运营中冻土融沉可能造成地表沉降、塌陷、地面建筑物破坏等对环境的影响程度进行调查和预测。

5 隧道总体设计

5.1 一般规定

5.1.1 多年冻土隧道设计应考虑隧道施工和运营对隧址区冻土环境的扰动，以及高海拔高寒地区和冻土环境对隧道施工和运营的影响。

5.1.2 隧道设计应符合全寿命期的安全实用，质量可靠，经济合理，技术先进的要求。

5.1.3 隧道总体设计应遵循以下原则：

a) 在地形、地貌、地质、气象、社会和人文环境等调查的基础上，应综合比选隧道各轴线方案的走向、平纵线形、不良冻土现象、洞口位置、两端接线条件等，提出推荐方案；
b) 隧道位置应根据冻土地质选线工作成果，满足路线总体要求；
c) 应结合多年冻土隧道特点，确定经济合理的隧道内轮廓；
d) 隧道洞内外平、纵线形应协调，满足高海拔高寒环境下的行车安全和行车舒适要求；
e) 根据隧道海拔高度、长度、交通量及其构成、环保要求等，选择合理的通风方式，确定通风、照明、交通监控、防灾救援等设施的设置规模；

f） 应结合环境条件、公路等级、隧道长度、施工方法、工期和运营要求，对隧道内外防排水系统、防寒保暖系统、辅助通道、弃渣处理、交通工程设施、管理设施、环境保护等作综合考虑；

g） 隧道总体设计应考虑高海拔高寒环境下的节能降耗、方便维修和养护；

5.1.4 隧道设计应加强对隧址区生态环境和冻土环境的保护设计。

5.2 隧道位置选择

5.2.1 多年冻土地区隧道位置选择应充分考虑冻土条件，宜避开不良冻土现象地段。若隧道施工对冻土有影响，宜选用扰动较小的方案。必须通过时，应有切实可靠的工程措施。总体上，应遵循“选高不选低、选阳不选阴、选干不选湿、选裸不选盖、选粗不选细、选长不选短”的原则。

5.2.2 应合理选择隧道埋置深度，宜避开浅埋段。宜将隧道埋设于不受季节影响的多年冻土层或非冻土层中，不宜将隧道位置放在地下水发育的地层和含土冰层中。

5.2.3 洞口位置宜避开热融滑塌、冰椎、冻胀丘等不良冻土地段。如特殊原因，洞口位置无法避开冻土，应充分考虑边仰坡的隔热防护和地基换填处理等措施。

5.3 隧道线形设计

5.3.1 在多年冻土地区，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，合理选用较为舒缓的技术指标，并执行规范（JTG/T TD31-04）的规定。

5.3.2 应根据地质、地形、路线走向、通风等因素确定隧道平面线形。设曲线时，不宜采用设超高的平曲线。由于特殊条件限制，隧道平面线形需设计为设超高的平曲线时，其超高值不宜大于 4.0%。

5.3.3 上、下分向行驶的多年冻土隧道应按分离式隧道布置，不应采用小净距隧道和连拱隧道。分离式隧道间的净距，除应结合隧址区气温条件、冻土条件、断面尺寸等因素综合确定外，还应保证两洞冻融圈的外边界净距不小于 5.0 m。

5.3.4 多年冻土地区隧道的停车视距及下坡修正应根据公路功能按下表 1、表 2 确定。

表1 高海拔多年冻土地区停车视距

设计速度/(km/h)		120	100	80	60	40	30	20
停车视距/m	反应时间3.5s	280	215	160	115	75	55	35
	反应时间3.0s	260	200	150	110	70	50	30
注1：新建干线公路，设计交通量在公路等级适应交通量上限附近，取 3.5s 反应时间的视距指标。 **注2**：新建集散公路，设计交通量在公路等级适应交通量中间范围，取 3.0s 反应时间的视距指标。 **注3**：改建公路条件受限时，可采用现行规范 （ JTG B01)规定的停车视距，并应设置警告标志。								

表2 纵坡段停车视距修正值/m

设计速度/(km/h)		120	100	80	60	40	30	20
反应时间3.5s								
纵坡坡度/%	3	16	11	8	8	8	6	0
	4	20	15	12	12	12	10	1
	5		21	17	17	17	14	2
	6			22	22	22	19	4

表 2　纵坡段停车视距修正值/m（续）

设计速度/(km/h)		120	100	80	60	40	30	20
反应时间3.5s								
纵坡坡度/%	7				28	25	7	
反应时间3.0s								
纵坡坡度/%	3	15	10	7	7	7	5	1
	4	20	14	10	10	10	8	2
	5		20	14	15	16	12	4
	6			19	20	21	17	6
	7					26	24	9

5.3.5　隧道纵坡形式，宜采用单向坡，地下水发育的长隧道、特长隧道宜采用双向坡。隧道内竖曲线最小半径应符合表 3 的规定。

表3　多年冻土地区的竖曲线最小半径

设计速度（km/h）		120	100	80	60	40	30	20
凸形竖曲线最小半径(m)	反应时间3.5s	20000	11500	6500	3300	1400	750	300
	反应时间3.0s	17000	10500	5600	3000	1200	650	250
凹形竖曲线最小半径(m)	反应时间3.5s	7000	5400	3800	2400	1400	900	450
	反应时间3.0s	6400	4900	3400	2000	1200	800	350

5.3.6　冻土隧道内纵坡应考虑行车安全、运营通风规模、施工作业和排水要求，不应小于 0.3%，不应大于 3%；中、短隧道受地形等条件限制时，对行车安全性、通风设备和运营费用的影响等作充分的技术经济综合论证并采取一定的措施后，可适当加大，但不宜大于 4%；短于 100m 的隧道纵坡可与该公路隧道外路线的指标相同。海拔 3000m 及以上多年冻土地区，隧道最大纵坡应按表 4 予以折减,折减后的纵坡不应小于 0.3%。

表4　多年冻土区隧道最大纵坡折减值

海拔高度（m）	3000～3500	3500～4000	4000～4500	4500～5000	5000以上
纵坡折减（%）	0.5	1.0～1.5	2.0	2.5	3

5.3.7　隧道洞外连接线应与隧道线形相协调，并符合下列规定：

a)　隧道洞口内、外各 3s 设计速度行程长度范围的平面线形应一致；

b)　隧道洞口内、外各 3s 设计速度行程长度范围的纵面线形应一致；

c)　当隧道建筑限界宽度大于所在公路的建筑限界宽度时，两端连接线应设不小于 3s 设计速度行程长度，且不小于 50m 的同隧道等宽的路基加宽段；当隧道限界宽度小于所在公路建筑限界宽度时，两端连接线的路基宽度仍按公路标准设计，其建筑限界宽度应设有 3s 设计速度行程的过渡段与隧道洞口衔接。

5.3.8　间隔 100m 以内的连续多年冻土隧道，宜整体考虑其平、纵线形技术指标。

5.4　隧道结构形式

5.4.1 冻土地区隧道的洞门结构，应采取措施抵抗因冻胀作用、冻融作用而导致的结构变形、作用力效应。
5.4.2 当洞门地基为冻胀性或融沉性地层时，应将洞门基础置于多年冻土上限以下 0.25m；如基础过深，应进行地基换填。
5.4.3 在洞外为路堑时，宜采用翼墙式洞门。当洞门墙、翼墙背后为冻胀性及强冻胀性土时，应换填粗颗粒土，并在洞门墙下设流水孔。
5.4.4 衬砌结构设计应考虑修建隧道引起的围岩温度场的改变，冻融作用对隧道结构的影响，计入衬砌背后围岩融化圈对衬砌的压力变化。
5.4.5 对少冰和多冰冻土，衬砌结构可按严寒地区衬砌设计。对富冰冻土、饱冰冻土和含土冰层，宜降低一级围岩级别进行衬砌结构设计。冻土分类执行规范（JTJ C20）的规定。
5.4.6 隧道净空断面应结合冻土性质及病害发生的可能性适当增大，预留一定的结构补强空间。
5.4.7 多年冻土隧道衬砌应采用钢筋混凝土曲边墙仰拱封闭式整体衬砌，明洞衬砌也应采用仰拱封闭式整体衬砌。
5.4.8 多年冻土隧道每板衬砌混凝土之间应设置环向变形缝。

6 建筑限界与内轮廓

6.1 一般规定

6.1.1 多年冻土区同一座隧道内冻土段和非冻土段应采用相同的建筑限界。
6.1.2 多年冻土区公路隧道在满足隧道功能、结构受力和后期运营养护要求的前提下，隧道内轮廓应考虑后期维修加固的空间。

6.2 建筑限界

6.2.1 多年冻土公路隧道建筑限界执行规范（JTG D70、JTG/T D70）的规定。
6.2.2 建筑限界内严禁有任何部件侵入。

6.3 内轮廓

6.3.1 多年冻土隧道内轮廓断面净空应考虑保温层、装饰层所需的空间。
6.3.2 多年冻土段隧道内轮廓应比非冻土段适当增大。多年冻土隧道内轮廓参见附录 A。
6.3.3 同一座隧道冻土和非冻土段可采用不同的内轮廓，有条件时，非冻土段可按冻土段内轮廓设计。

7 支护结构设计与施工

7.1 一般规定

7.1.1 多年冻土公路隧道应根据冻土类型、埋深等采用复合式衬砌结构。
7.1.2 隧道衬砌设计应综合考虑冻土类型、气温条件、断面形状、施工条件等。衬砌应有足够的强度、稳定性和耐久性，保证隧道长期使用安全。
7.1.3 衬砌结构类型、支护参数，应通过工程类比和结构计算综合分析确定。在施工阶段，还应根据现场监控量测结果调整支护参数，实行动态设计，必要时可通过试验分析确定。
7.1.4 冻土隧道衬砌断面应采用曲墙带仰拱封闭式整体衬砌。
7.1.5 多年冻土围岩地段应设仰拱，仰拱曲率半径应根据地质条件、地下水、隧道断面形状、隧道宽度等条件确定。路面与仰拱之间宜采用混凝土填充。

7.1.6 隧道洞口段应设加强衬砌，加强衬砌段长度应根据地形、地质和环境条件确定，两车道隧道不应小于 10m。

7.1.7 冻土段衬砌应向非冻土段延伸不小于 10m。

7.2 荷载及计算

7.2.1 作用在冻土隧道支护结构上的荷载应考虑围岩冻胀力。

7.2.2 冻胀力计算应视当地的自然条件、围岩含冰量、衬砌防冻构造及排水条件等确定。当无实测资料时，冻胀力计算可参见附录 B 计算。

7.2.3 多年冻土隧道衬砌结构宜采用荷载结构法计算结构内力。

7.2.4 衬砌结构设计

7.2.5 多年冻土公路隧道应施做衬砌结构，宜采用复合式衬砌。

7.2.6 富冰、饱冰和含土冰层多年冻土隧道应采用三层衬砌结构，一次支护可采用喷射混凝土（内置钢架），二次支护可采用喷射混凝土或模筑混凝土，三层支护采用钢筋混凝土结构。参见下表 5。

7.2.7 衬砌结构类型和尺寸，应根据使用要求、冻土类型、围岩级别、工程地质和水文地质条件、隧道埋置深度、结构受力特点，并结合工程施工条件、环境条件，通过工程类比和结构计算综合分析确定。两车道多年冻土公路隧道支护参数可参照表 5 选用，并应根据现场围岩监控量测信息对设计支护参数进行必要的调整。

表5 多年冻土公路隧道复合式衬砌设计参数表（适用于两车道）

冻土级别	初期支护		二次衬砌		超前支护
	第一层	第二层	拱部	仰拱	
Ⅵ级多年冻土	30cm 厚 C30 低温早强喷射砼、I22a@50cm 工字钢、ϕ8@15cm×15cm 双层钢筋网	模筑 20cm 厚 C30 低温早强钢筋砼或喷射 24cm 厚 C30 低温早强砼(内设 I18@50cm 工字钢)	55cm 厚钢筋砼	55cm 厚钢筋砼	ϕ42 超前小导管支护（双排）
Ⅴ级多年冻土浅埋	28cm 厚 C30 低温早强喷射砼、I20a@60cm 工字钢、ϕ8@20cm×20cm 双层钢筋网	模筑 20cm 厚 C30 低温早强钢筋砼或喷射 24cm 厚 C30 低温早强砼(内设 I18@60cm 工字钢)	55cm 厚钢筋砼	55cm 厚钢筋砼	ϕ42 超前小导管支护（双排）
Ⅴ级多年冻土深埋	26cm 厚 C30 低温早强喷射砼、内设 I20a@75cm 工字钢、ϕ8@20cm×20cm 双层钢筋网	模筑 20cm 厚 C30 低温早强钢筋砼或喷射 24cm 厚 C30 低温早强砼(内设 I18@75cm 工字钢)	50cm 厚钢筋砼	50cm 厚钢筋砼	ϕ42 超前小导管支护（单排）

7.2.8 超前支护设计应符合下列规定：

a) 冻土隧道应采用超前小导管支护；

b) 超前小导管长度宜为 4m～6m，环向间距宜为 30cm～50cm，纵向排距宜取 1～3 倍的钢支撑间距；

c) 超前小导管的设置范围宜分布在拱顶环向的 120°～150°范围内，并根据现场实际围岩条件进行调整；

d) 多年冻土隧道超前导管不设注浆孔，管内应注浆密实，保证其刚度，浆液不应扩散至冻土围岩。

7.2.9 初期支护设计应符合下列规定：

a） 富冰、饱冰和含土冰层多年冻土隧道应采用双层初期支护。第一层初期支护内应增设钢架；第二层初期支护可采用钢架+喷射混凝土支护或钢架+模筑混凝土或模筑钢筋混凝土，厚度不小于 20cm；

b） 多年冻土隧道初期支护应采用纤维喷射混凝土，厚度不应小于 20cm，不宜大于 30cm；

c） 为减少施工对冻土破坏，多年冻土隧道不宜设置系统锚杆。

7.2.10 二次衬砌设计应符合下列规定：

a） 衬砌断面曲边墙拱形断面。隧道洞口段应设加强衬砌，加强长度不小于 10m；
b） 冻土隧道应设仰拱。仰拱曲率半径应比普通隧道小，路面与仰拱之间采用素混凝土填充；
c） 冻土段衬砌应向非冻土段延伸不小于 10m；
d） 二次衬砌应采用低温早强模筑混凝土。

7.3 初期支护与辅助工程措施施工

7.3.1 施工支护应配合开挖及时施作，初期支护应及时封闭成环，以减少冻土围岩的暴露时间，减小其与外界热交换的时间。

7.3.2 冻土隧道应采用湿喷或潮喷工艺。在施工中应对湿喷或潮喷设置试验段，进行相关测试，并对工艺进行对比，确定合理的工艺。

7.3.3 湿喷混凝土应采用低温早强混凝土，要求暖季施工出机温度控制在 8℃～12℃，寒季施工的出机温度应控制在 5℃～10℃。

7.3.4 喷射混凝土施工应采用机械化方式。喷射混凝土机械手应具备在高寒缺氧条件下低温启动、效率下降小、自动加热速凝剂等功能。上料机械宜采用螺旋输送机。喷射混凝土施工应执行规范（GB 50086）的规定。

7.3.5 冻土隧道超前管棚和超前小导管周边不宜设置注浆孔，防止注浆破坏冻土围岩。超前管棚内应设置钢筋笼，超前小导管内宜插入钢筋，并采用水泥砂浆注浆密实，提高超前管棚和超前小导管的刚度。

7.4 二次衬砌施工

7.4.1 多年冻土地区施工衬砌，必须拌制合格的低温早强耐久混凝土。施工前，应做混凝土配比试验，进行相关测试，并对工艺进行对比。既要保证混凝土浇筑所带入的热量最小，以使水化热温升对围岩冻土结构产生的破坏最小，又要保证混凝土浇筑后能在规定时间内达到抗冻临界强度和拆模强度。

7.4.2 隧道衬砌施工时，应符合规范（JTG D70）的规定。模板放样时，应确保衬砌不侵入隧道设计内轮廓。

7.4.3 冻土地区整体式衬砌、锚喷衬砌或复合衬砌，均应在洞口和易受冻害地段设置伸缩缝。

7.4.4 衬砌的施工缝应与设计的沉降缝、伸缩缝结合布置，在有地下水的隧道中，所有施工缝、沉降缝和伸缩缝均应进行防水处理。

7.4.5 多年冻土隧道二次衬砌与掌子面距离宜控制在 50m 左右。

7.4.6 低温早强模筑混凝土施工混凝土入模温度宜控制在 5℃～10℃范围内。

7.4.7 混凝土要达到拆模强度后方可拆模，衬砌拆模后应立即养护，养护时间一般为 7～14d。养护宜采用喷雾养护。必要时可在洞口设置保温门，控制隧道洞内外的热量交换。混凝土施工还应执行规范（GB 50010）的规定。

8 防排水设计与施工

8.1 防排水基本原则

8.1.1 多年冻土区公路隧道应设置防冻害设防段，其设防段长度可根据隧道长度、当地最冷月平均气温、地下水水量、洞口风速等综合确定。

8.1.2 防排水设计施工应遵循“以堵为主、排堵结合、多道设防、综合治理”的原则，应有效处理地表水、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。

8.1.3 防排水应满足下列要求：

a) 结构不渗水，不挂冰，路面无湿渍，不结冰；

b) 衬砌背后不积水、排水管道不冻结。

8.1.4 排水系统应具备保温性能，以保证排水系统在冰冻期不发生冻结。

8.2 洞身防水设计与施工

8.2.1 当地表水可能渗入隧道时，应采取防堵、引排等措施，防止地下水渗入隧道内。对于地表废弃的坑穴、钻孔等应填实封闭。

8.2.2 采用三层复合式衬砌的多年冻土隧道，应在一次衬砌与二次衬砌之间设置保温层和防水层，设置方式从内至外依次为土工布、防水板、保温板、1.0mm 厚防水板（厚 1.5mm）。

8.2.3 隧道模筑混凝土衬砌应满足抗渗、抗冻要求，混凝土的抗渗等级不宜小于 P10。

8.2.4 隧道模筑混凝土施工缝宜设置中埋式橡胶止水带，变形缝宜设置中埋式橡胶止水带和背贴式止水带。

8.2.5 为将地下水阻隔在最大冻结深度之外，防止冻胀的发生，在断层破碎带或地下水丰富等富水地层，宜采用围岩注浆堵水措施。注装材料一般采用纯水泥浆或水泥水玻璃双液浆，注浆压力宜选择在 0.3～0.5MPa，有承压水的地层，应大于静水压力 0.5MPa～1.5MPa，注浆堵水范围以大于最大冻结深度 0.5～1.0m 为宜。

8.2.6 隧道二次衬砌施工时，对防水混凝土应采取抗冻措施，并应符合下列规定：

a） 当环境昼夜平均气温连续 3d 低于 5℃或最低气温低于－3℃时，混凝土的抗压强度在达到设计强度 30%前或未达到 5MPa 前，均不得受冻。浸水冻融条件下的混凝土开始受冻时，其强度不得小于设计强度的 75%。

a) 混凝土的入模温度 5℃～10℃。水泥、矿物掺和料、外加剂等可在使用前运入暖棚进行自然预热，不得直接加热。掺减水剂的混凝土，应通过试验确认电热法养护对其强度无影响后，方可采用；

b) 加热处理时水加热的温度不宜高于 60℃；骨料不加热时，水温可加热至 60℃以上，并应先投入骨料，和热水搅拌均匀后再投入水泥；混凝土搅拌时间宜较常温施工时延长 50%左右；

c) 混凝土的运输容器应有保温措施，应尽量缩短运输时间和减少中间倒运环节。

8.3 洞身排水设计与施工

8.3.1 冻土公路隧道在不同温度下的常用排水沟形式可按表 6 的规定选用。

表6 不同温度的排水沟形式

最冷月平均气温(℃)	粘性土最大冻结深度(m)	常用排水沟形式
-5～-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

8.3.2 保温水沟的设置长度一般根据隧道长度、水量大小、水温、主导风向、水沟坡度等因素综合类比确定，有条件时可根据隧道内实测温度确定。但无类比资料时，可参考表 7 确定设置长度。

表7 保温水沟设置长度

最冷月平均气温(℃)	隧道长度(m)	设置长度(m)	
		低洞口	高洞口
-10～-12	< 1000	全隧道设置	
	> 1000	200～400	150～300
-12～-15	< 1000	全隧道设置	
	> 1000	300～500	250～450

8.3.3 保温水沟的结构形式应结合隧道衬砌断面设计，水沟上部应设置双层盖板，两层盖板间应充填保温材料，保温层厚度一般不小于 30cm，沟底纵坡一般与隧道纵坡一致，但不得小于 0.3%。

8.3.4 中心深埋水沟应设置在最大冻结深度以下不小于 100cm。水沟应设置检查井，检查井间距为 30m～50m，检查井应设双层盖板，盖板之间应填塞干草或泡沫聚氨酯等其他保温材料。

8.3.5 防寒泄水洞的结构尺寸、支护参数应根据地质条件和埋置深度，由计算或工程类比确定，断面尺寸不宜小于 2.5m×2.5m。其埋置深度根据围岩的最大冻结深度确定，一般置于隧道仰拱以下 4m～6m。多年冻土隧道洞口泄水洞不应设置在主洞正下方；上下行分离式隧道防寒泄水洞应设置在两个主洞之间，泄水洞施工应超前主洞。

8.3.6 防寒泄水洞一般应设铺底，拱部及边墙应留有足够的泄水孔，其间距不宜小于 1m。宜每隔 150m～200m 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。防寒泄水洞衬砌宜铺设保温隔热层，进出口应设置防寒保温门。设防寒泄水洞的地段，宜设置横导洞，且横导洞环向宜布设泄水孔，泄水孔直径不宜小于 10cm。

8.3.7 设置保温水沟、中心深埋水沟或防寒泄水洞的隧道，应设置盲管（包括环向、纵向及横向）、泄水孔、横导沟、洞外暗沟、保温出水口等设施，以形成完善的排水系统。

8.3.8 保温水沟和防寒泄水洞的水流出隧道后，应采用暗沟通过路堑地段流入地形低洼处。暗沟应埋置于冻结深度以下，其坡度不宜小于 5%，并每隔 50m 设一道检查井和沉淀坑。

8.3.9 最冷月平均气温低于-15℃的地区，中心深埋水沟、防寒泄水洞、洞外暗沟均应设防寒保温出水口。当出水口地形较陡时，其结构宜用端墙式；地形平坦时，宜用掩埋保温。

9 隧道开挖

9.1 一般规定

9.1.1 在保证冻土稳定或减少冻土融化前提下，应开展冻土隧道专项施工方案设计，并采用适宜的开挖方法，尤其应与支护条件相适应。

9.1.2 多年冻土段隧道洞口应尽量选择在寒季施工。夏季施工时，必须制定减少冻土融化的有效措施方可开挖，有条件时可在浅埋洞口提前设置热棒。

9.1.3 多年冻土隧道洞口施工应采取简洁、方便有效的遮阳网作为遮阳措施。

9.1.4 冻土隧道双洞开挖时，应确保左右洞掌子面距离不小于 50m，防止左右洞冻融圈相互影响。

9.1.5 冻土隧道施工宜根据围岩情况应尽可能采用机械开挖。当机械开挖无法施工时，可采用爆破开挖。

9.1.6 冻土隧道爆破可采用光面爆破，施工中应提高钻眼效率和爆破效果，降低工料消耗。

9.1.7 开挖爆破应选用适当的炸药品种和型号，并进行试爆。对冻结围岩应严格控制凿岩作业用水量，减少爆破对周边冻土的影响。必要时宜采用抗冻防水炸药。

9.1.8 洞口冻土边仰坡、洞口冻土浅埋段、洞内厚层冰等特殊冻土地层，施工前应做好详细的施工预案，施工方案可参见附录 C。

9.2 开挖方法

9.2.1 施工前，应采用超前地质预报和地质分析法等手段综合确定隧道前方冻土的类型、分布情况、围岩级别，并初步预测施工过程中可能出现的地质灾害情况，从而为隧道施工制定合理有效的开挖方案。
9.2.2 冻土隧道的开挖方案宜优先选取侧壁导坑法、三台阶留核心土法、上下台阶法等，应根据冻土类型、施工环境、开挖断面等综合比选。隧道开挖应执行规范（JTJ F60）的规定。

9.3 超欠挖控制

9.3.1 应尽量减少对冻土隧道的超挖，各部位超挖值平均不得大于 10cm，最大不得大于 15cm。
9.3.2 应采取光面爆破、提高钻眼精度、控制药量等措施，并提高作业人员的技术水平，将超挖控制在允许值以内。
9.3.3 隧道开挖应预留变形量，在冬季预留变形量应适当减小，宜控制在 8cm～10cm；在夏季预留变形量应适当增加，宜控制在 15cm～20cm。

10 隧道防寒保温设计与施工

10.1 一般规定

10.1.1 冻土隧道应设置合理、可靠的保温措施，防止出现以下冻害：
a) 因冰冻造成隧道衬砌、路面等结构的破坏；
b) 因排水系统冻结、水压增大，导致衬砌开裂或渗漏；
c) 因渗水或路面积水而发生衬砌挂冰、路面结冰而影响行车；
d) 因保温不够，衬砌背后冻土反复冻融造成衬砌压力增大。
10.1.2 防寒保温设计应本着科学、安全、经济、环保、节能的原则，灵活选用保温方案。
10.1.3 保温材料应具有较好的保冷抗冻性、防火性、防水及耐腐蚀性。

10.2 衬砌保温

10.2.1 为减少冻土融化，多年冻土隧道衬砌应设置保温层，保温层厚度应由热工计算确定。
10.2.2 多年冻土隧道冻土段宜设置两层保温层。第一层保温层设置在初期支护与二次衬砌之间，第二层保温层设置在二次衬砌表面。
10.2.3 第一层保温层应具有足够的强度和防水性能，保温层内外均应设置防水板。衬砌表面第二层保温层应结合防火板综合使用。
10.2.4 保温材料一般宜采用聚氨酯或聚酚醛材料。保温材料主要参数可参考表 8。

表8 保温材料参数取值

保温材料参数	密度(kg/m^3)	导热系数 W/(m·K)	吸水率(%)	压缩强度(KPa)	燃烧性能
指标	30～40	≤0.02	≤3.0	≥100	B1级

10.2.5 保温材料敷设时，应确保保温材料完整性，不得有破损和缺块。第一层保温层铺设前，应确保初期支护表面平整。衬砌表面保温层应待结构质量检测完成后铺设。

10.3 出水口保温

10.3.1 冻土隧道深埋水沟、防寒泄水洞、洞外暗沟均应设置保温出水口（参见附录 D）。
10.3.2 保温出水口设置原则如下：
a) 选择背风、朝阳、排水通畅的位置设置保温出水口；

b） 尽可能提高排水管的排水坡度。

10.4 防雪棚洞

10.4.1 对冬季容易积雪的冻土隧道洞口，应结合地形条件，隧道轴线和风向交角等，在洞口设置防雪棚洞。

10.4.2 防雪棚洞宜做成透明式棚洞。防雪棚洞下部宜采用钢筋混凝土结构，上部宜采用玻璃钢板。

10.4.3 防雪棚洞的结构设计应重点进行雪荷载工况下结构验算。结构形式考虑洞门形式的要求。隧道宜采用端墙式洞门，如采用削竹式洞门，应使防雪棚洞与洞门闭合。

10.4.4 防雪棚洞玻璃钢板应具有轻质、耐久、柔韧、厚度小、重量轻、透光性好，对自然光有反射、吸收和透射能力，不燃、难燃或阻燃，自身不发粘、有自洁性能等特点。

11 冻土隧道施工机械配套技术

11.1 一般规定

11.1.1 多年冻土区隧道施工机械配套应遵循以下原则：

a） 多选用电动设备和风动设备，少用内燃设备；

b） 选用大型设备，少用小型设备；

c） 选用增压设备，少用非增压设备；

d） 选用先进掘进设备，少用常规钻孔设备。

11.1.2 隧道施工机械应采取以下措施保证机械设备正常运转：

a） 超前预测、分类备料。对特种润滑油、防冻液、燃油、三滤、斗齿、油缸油封、高压油管、加压设备等易损易耗件，根据消耗量及更换周期提前预测需用量，做好计划，储备充足；

b） 按时保养、及时维修。参照机械设备使用维修说明书，结合高原施工影响，制定设备使用维修登记表和保养规定。要求操作维修人员认真填写设备工作时间、保养检修项目、消耗油料、配件等，定期收交，分析掌握设备保养维修规律；

c） 重视配属动力设备维修。空压机、发电机组、挖掘机等的配置状况直接影响隧道开挖支护、衬砌的施工进度。应配置备用设备，发生故障时，及时更换，并成立专业的设备维修工班，及时保养检查，降低设备故障的发生率。

11.1.3 冻土地区机械设备应考虑机械功率和动力损失，功率、动力损失比率可根据实测获得。

11.2 动力机械配套技术

11.2.1 动力机械配套的目标主要是确保隧道施工的用电和用风，重点是发电机组和空压机的配备。

11.2.2 发电机组配套应根据混凝土自动计量拌和站、混凝土输送泵、制氧站、通风机、电瓶车充电机、钢筋制作机械以及施工生活用电等的总功率计算所需用电量。考虑到发电机组 24 小时工作，需有 1 台替换备用发电机组。

11.2.3 根据出渣能力决定掘进打眼同时风枪的用风量，并准备替换备用品。

11.2.4 动力设备的选型，应选择低温启动性能好，同时在高原缺氧环境里功率降损小，工作性能可靠的设备。

11.3 掘进及支护机械配套技术

11.3.1 冻土区隧道掘进机械可选用大功率机械设备，以提高工作效率、缩短工期、减少人员工作量。

11.3.2 隧道凿岩机可选用性能可靠的大压力、大容量螺杆式空压机组驱动，同时准备备用凿岩机。

11.3.3 混凝土喷射机械可根据不同的岩层选择湿喷或干喷机械，宜配备两台以上同时工作，喷射砼拌合机械、注浆泵和压浆泵等设备应满足喷砼需求。

11.3.4 衬砌台车可采用电动自行式。

11.4 装卸运输机械配套技术

11.4.1 汽车动力损失，在无实测资料时，可按每增加 1000m 高程，损失 11%考虑。

11.4.2 运渣设备可采用有轨运输、蓄电池机车。

11.4.3 装载机、挖掘机和汽车等装卸运输机械，宜采用带增压装置型号，增大机械功率。

11.4.4 装卸运输机械应做好发动力预热和保温、选用低凝点柴油、强化放电能力、加大进气量、增加发动力保养次数、改善启动时间、增加清洗次数等措施。

11.5 通风机械配套技术

11.5.1 通风机械配套应保障隧道内人员呼吸需求，保证空气新鲜。

11.5.2 在寒季施工时，在洞口应设置保温棚，或采用空气加热隧道通风机，保证隧道内空气温度。

11.5.3 风袋应具有较好韧性，减少破损。

11.6 其他配属设备

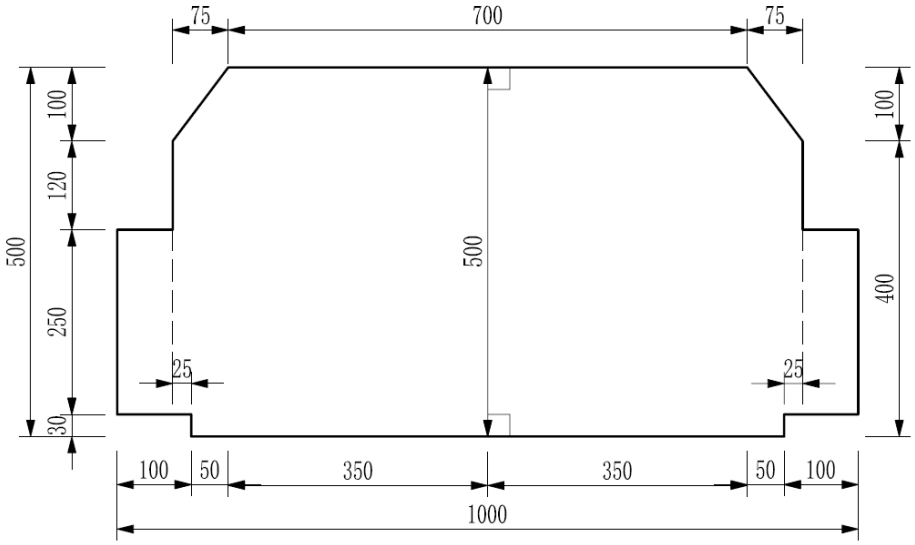
11.6.1 应在隧道外设置制氧站向洞内供氧，保证施工人员身体需氧量。

11.6.2 应设置锅炉向混凝土拌合站保温棚供暖和供热水，并提供人员生活区供暖。

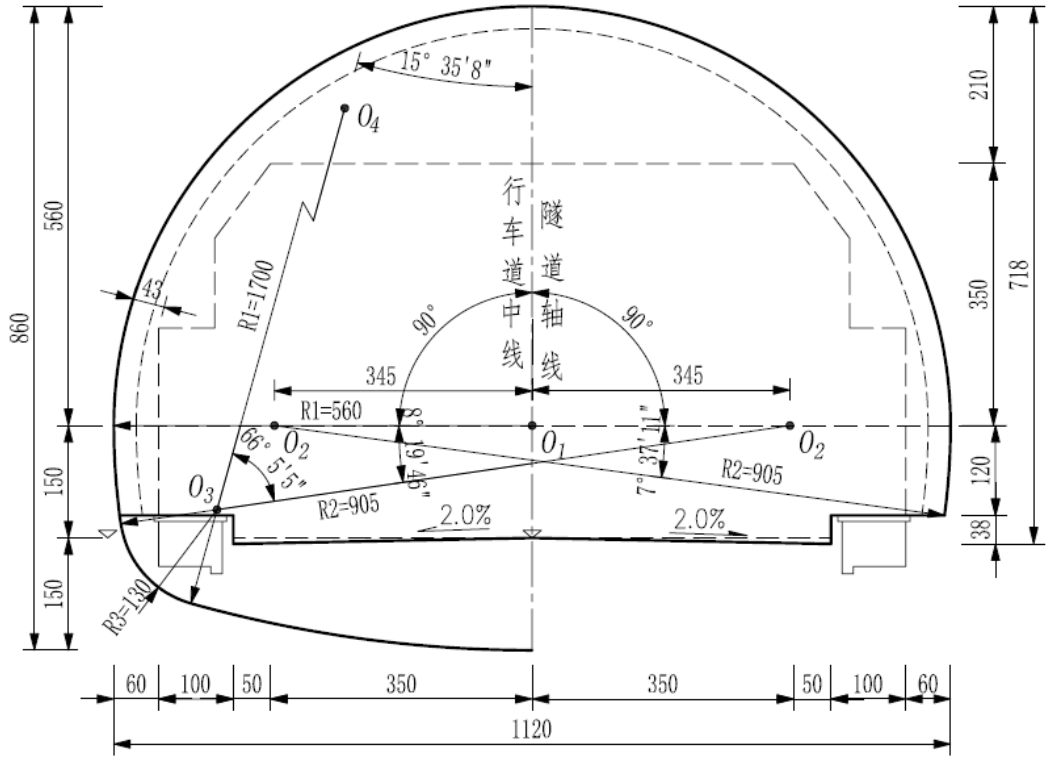
11.6.3 隧道施工应每隔 250m-300m 设置一道内轮廓环作为警示标志。

附 录 A
（资料性附录）
冻土隧道建筑限界及内轮廓

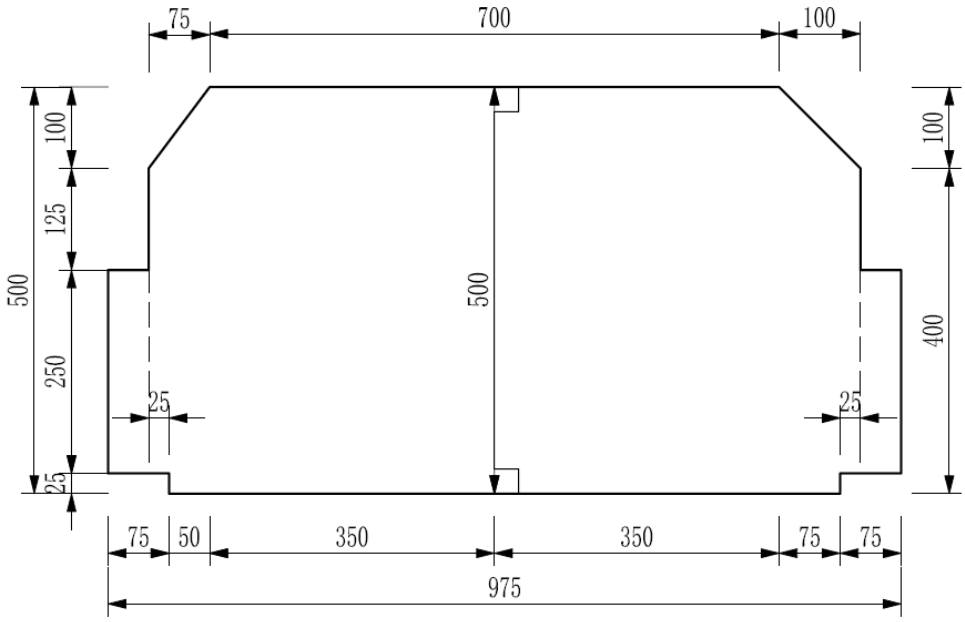
多年冻土隧道应采用非冻土区相同的建筑限界，内轮廓应比非冻土段扩大30cm，见图A.1～A.10。



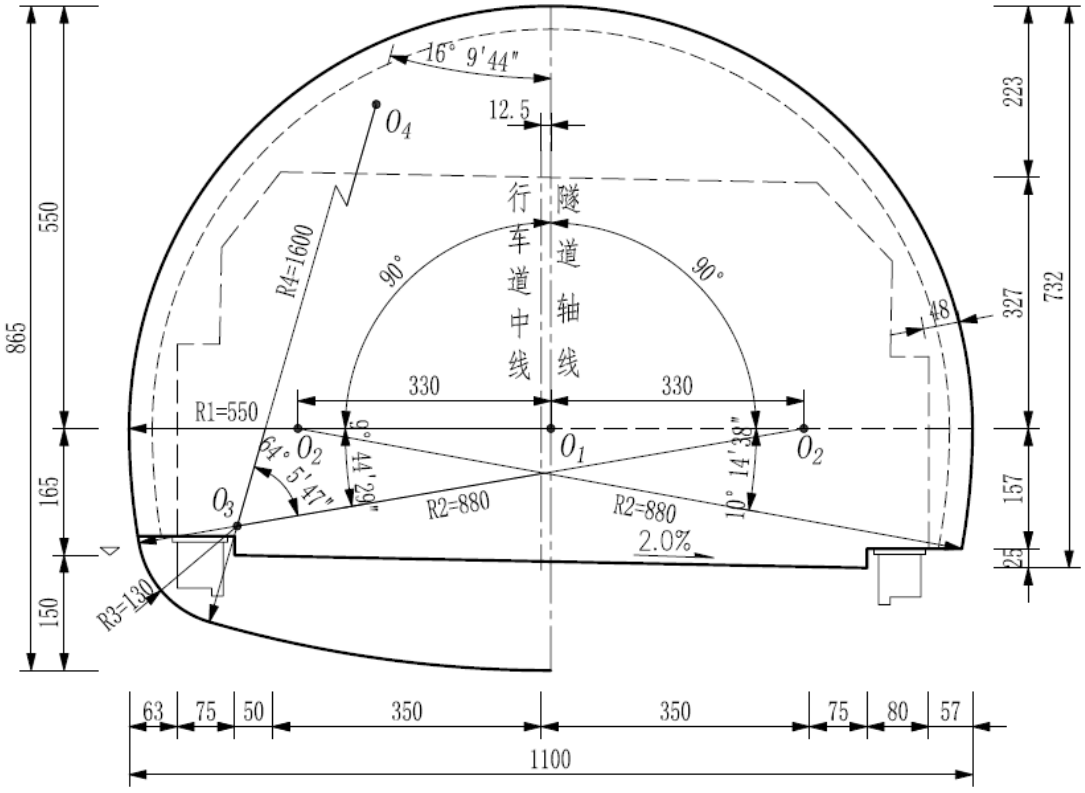
图A.1 二级公路二车道冻土隧道限界图(60km/h)



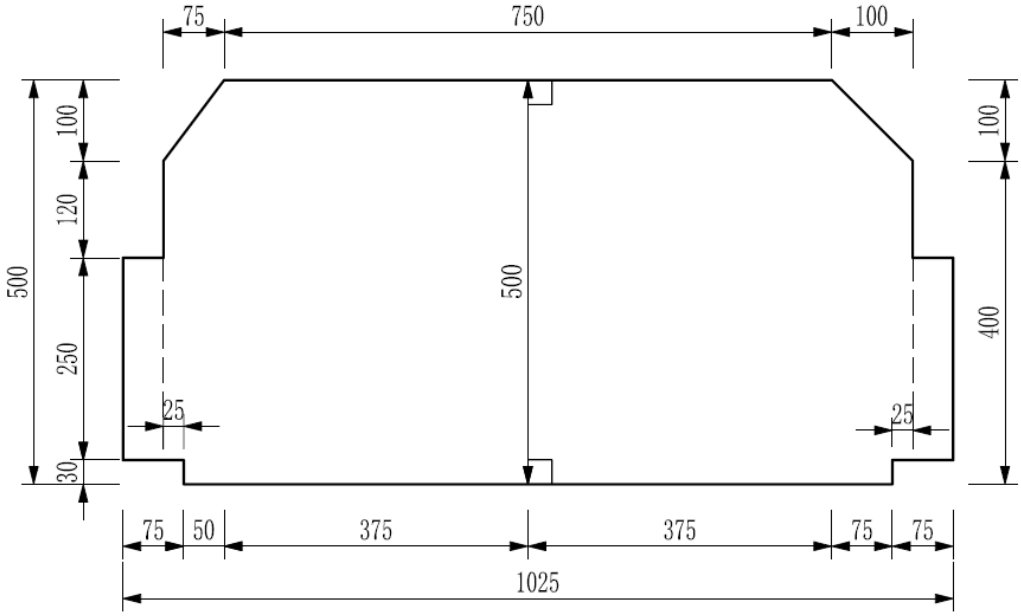
图A.2 二级公路二车道冻土隧道内轮廓图(60km/h)



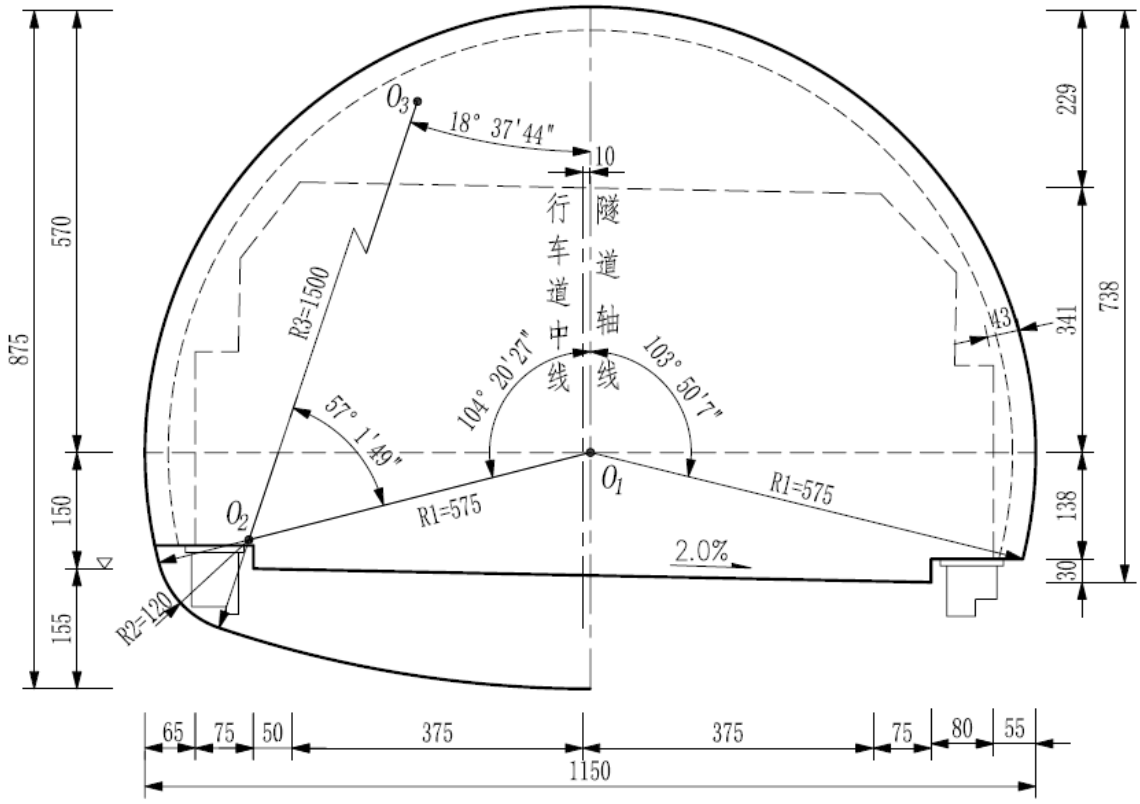
图A.3　一级公路二车道冻土隧道限界图(60km/h)



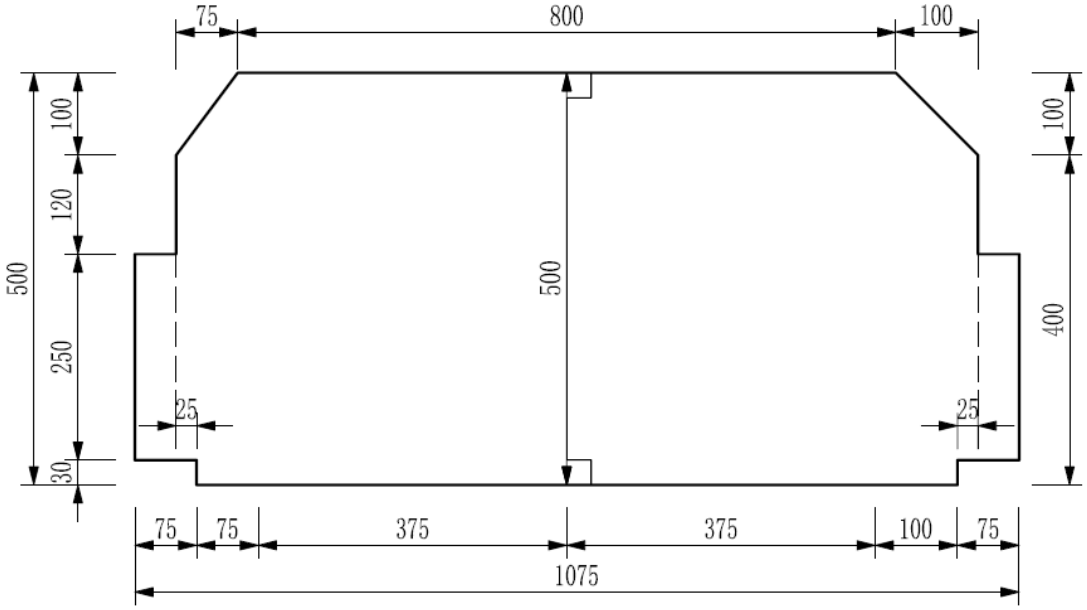
图A.4　一级公路二车道冻土隧道内轮廓图(60km/h)



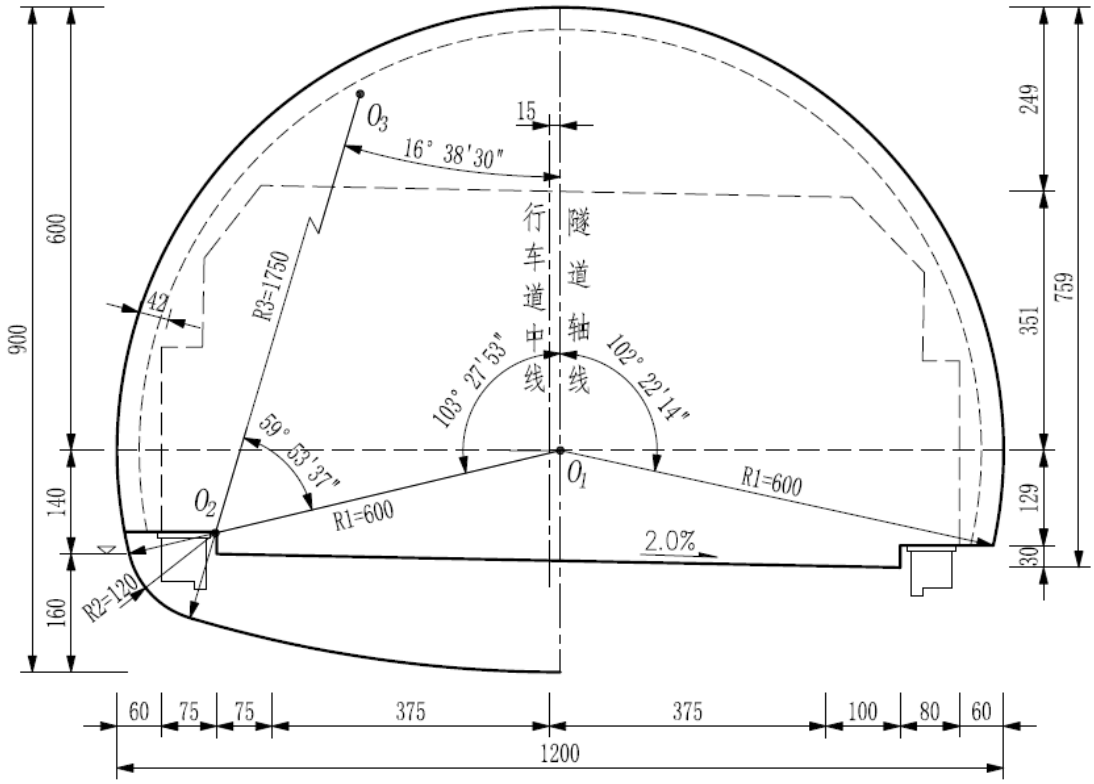
图A.5　高速公路、一级公路二车道冻土隧道限界图(80km/h)



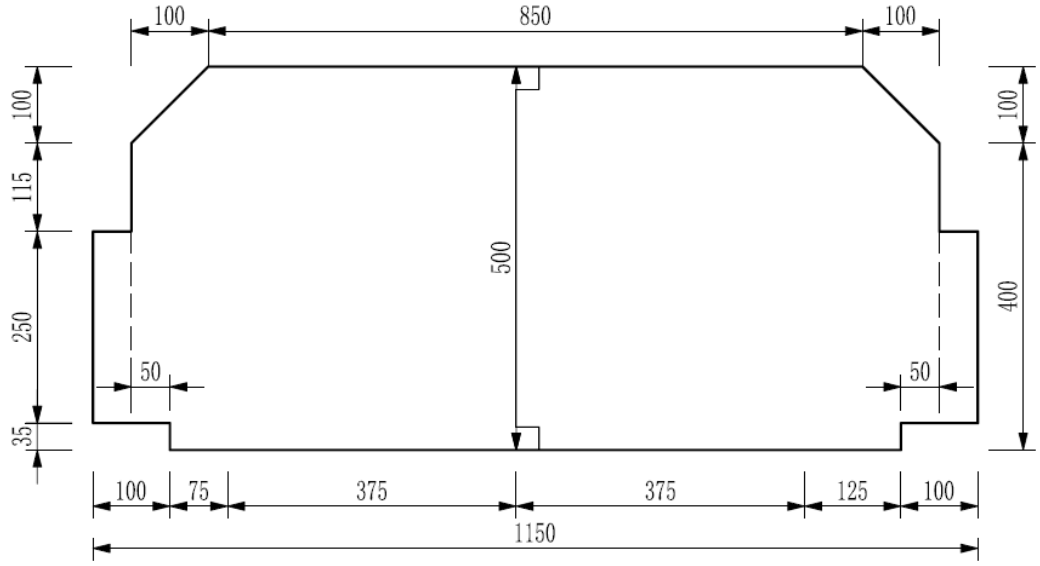
图A.6　高速公路、一级公路二车道冻土隧道内轮廓图(80km/h)



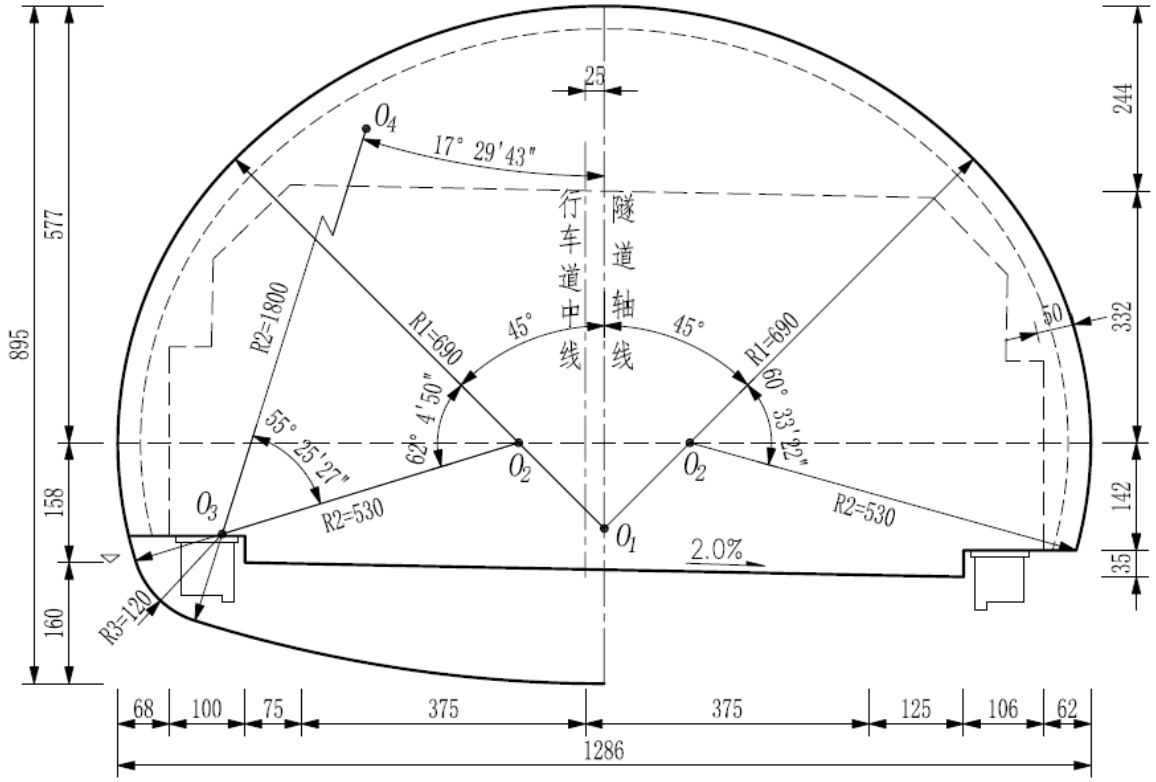
图A.7　高速公路、一级公路二车道冻土隧道限界图(100km/h)



图A.8　高速公路、一级公路二车道冻土隧道内轮廓图(100km/h)



图A.9　高速公路二车道隧道限界图(120km/h)



图A.10　高速公路二车道隧道内轮廓图(120km/h)

附 录 B
（规范性附录）
冻胀力计算

寒区多年冻土隧道和最冷月份平均气温低于-15℃地区的隧道应考虑冻胀力，冻胀力可根据当地自然条件、围岩冬季含水量及排水条件等通过研究确定。当无实测资料时，可按下式（B.1）计算：

$$P_b=\frac{n\alpha E_2}{pq+(m_2+1)\left[e(m_1-\mu_1)+(m_2+\mu_2)\right]} \tag{B.1}$$

式中：

$$m_1=\frac{b^2+a^2}{b^2-a^2};m_2=\frac{\left(b+H_f\right)^2+b^2}{\left(b+H_f\right)^2-b^2} \tag{B.2}$$

$$p=\frac{2b^2}{\left(b+H_f\right)^2-b^2};q=\frac{2(b+H_f)^2}{(b+H_f)^2-b^2};e=\frac{E_2}{E_1} \tag{B.3}$$

式中：P_b—衬砌所受的冻胀压力（KPa）；

n—围岩完整度系数，与围岩分级相关；

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

β—季节性融冻区岩土体的寒冰率，与地质条件有关；

a、b—衬砌内半径及外半径（m）；

H_f—融冻区厚度（m）；

E_1、E_2—衬砌混凝土及围岩的弹性模量（KPa）；

μ_1、μ_2—衬砌混凝土及围岩泊松比。

冻胀力也可按式（B.4）计算确定：

$$P_b=\frac{\delta\alpha K_1K_2}{K_1+K_2} \tag{B.4}$$

式中：K_1—衬砌环向变形刚度（KPa/m）；

K_2—冻胀层外围岩层弹性抗力（KPa/m）。

附 录 C
（规范性附录）
特殊冻土地层施工

C.1 洞口冻土边仰坡

C.1.1 隧道明洞施工过程中，应在隧道洞口边仰坡应采用黑色遮阳网进行防晒，黑色遮阳网遮光率宜为45%～65%。

C.1.2 洞口明洞开挖需遵循“分段、分层开挖，分层防护，边开挖，边防护”的原则，开挖一段，成形一段，防护一段，尽量减少对冻土的温度扰动，做好冻土边坡的保温。

C.1.3 边仰坡开挖尽量选择在低温期间开挖，并在高温来临前及时施工完该段的支护结构和保温层。

C.1.4 边仰坡支护可采用喷锚支护，为加快施工速度，减少围岩暴露时间，锚杆宜采用自进式锚杆。

C.1.5 支护完成后，支护结构表面应设置保温层。保温层宜在结构外敷设，厚度不小于5cm，并采用袋装颗粒土覆盖。

C.2 洞口冻土浅埋段

C.2.1 隧道洞口冻土浅埋段的设计内轮廓宜扩大30cm，以满足隧道施工、运营以及后期养护要求。

C.2.2 隧道支护参数需参照本标准表5进行选取，并通过相应的计算进行复核。

C.2.3 初期支护宜采用C30低温早强喷射混凝土或低温早强模筑混凝土。二次衬砌宜采用50～60cm厚C45钢筋混凝土。

C.2.4 隧道暗洞掘进施工前应在隧道浅埋段洞顶布设热棒群，其设计参照规范（DB63/T 1489-2016）的规定执行。其布置范围宜遵循以下规定：

d) 沿隧道纵向，热棒群设置的范围为边仰坡刷坡线后 3m～5m 处起至“2 倍冻土上限深度+隧道热熔圈厚度”距离止；
e) 热棒群横向设置范围以最外侧一列热棒的蒸发段棒体与隧道支护结构的侧面的距离不大于 0.5m～1.0m 为原则；
f) 隧道顶部热棒的蒸发段底部与隧道支护结构应保持 0.5m～1.0m 的距离；
g) 隧道热融圈的厚度宜实测，在无实测数据时，一般可取 3m～5m，暖季开挖时选取较大值，寒季开挖时选取较小值。

C.2.5 隧道洞口宜采用套拱导向墙和大管棚超前支护，保证洞口洞门段安全，有利于顺利进入冻土段暗洞施工。

C.2.6 开挖基础套拱时基础下应施工砂砾垫层隔温层，以避免套拱混凝土水化热对冻土造成热融，造成套拱下沉，

C.2.7 管棚钻孔施工时，钻机宜选择潜孔钻，尽量快速施工，以减少洞口段冻土外露时间，减少明暗洞交界处冻土的热融；管棚宜采用跟管工艺施工，防止钻孔周边冻土融化造成坍孔。

C.2.8 洞口冻土浅埋段隧道暗挖段开挖方案宜优先选取侧壁导坑法、三台阶留核心土法。

C.2.9 隧道暗挖段掘进应遵循“短开挖、留核心；早封闭、快成环；强支护、稳拱脚；严控水、紧仰拱；勤量测、速反馈”的施工原则。

C.3 洞内厚层地下冰

C.3.1　在多年冻土厚层地下冰明洞开挖时，为避免地下冰热融滑坍，宜搭设遮阳棚，减少太阳辐射。

C.3.2　明洞边坡开挖时，宜采用分段(15m～20m)、分层(1.5m～2.0m)开挖，并分段分层采用隔热保温板和复合防水板覆盖防护，避免地下冰融化。尽量缩短洞口边仰坡的暴露时间，减少厚层地下冰的融化。

C.3.3　明洞开挖到位后，应立即对坡面及基底进行封闭处理，富冰、饱冰冻土边仰坡应采取粗颗粒土换填。

C.3.4　对暗挖隧道，当在暖季施工时，可利用夜间通冷风方式，降低洞内环境温度，确保厚层地下冰处于稳定状态。

C.3.5　暗挖段施工时，应及时采用喷射混凝土封闭岩面，减少地下冰暴露时间。喷射混凝土的温度既要保证混凝土快速凝固而不脱落，又要保证地下冰裸露面不融化。

C.3.6　应派专职试验员负责温度测试，对洞内拱顶、拱腰、墙角等处的环境温度，模板顶部、拱腰、底部温度，混凝土的入模温度，混凝土养护温度，洞外的环境温度，砂石料的温度，砂石料棚内的温度等与混凝土质量相关的每隔2h测试一次，随时掌握与混凝土质量相关项目的温度情况，发现哪个环节出现问题，随时采取措施。

C.3.7　为了降低洞内环境温度，减少暖季白天通风时间，避免厚层地下冰产生热融现象，洞内出碴进料宜采用有轨运输，避免因内燃机械燃烧油料而产生的高温。特殊情况时宜采用隔离制冷措施，防止洞外热空气进入洞内。

C.3.8　提高模筑混凝土支护速度，避免厚层地下冰因喷射混凝土厚度不足与洞内温度达到热平衡后，致使厚层地下冰热融圈扩大而破坏围岩的稳定。