

团 体 标 准

T/CC TAS 128—2024

粤港澳大湾区城际铁路隧道设计规范

Code for design of intercity railway tunnel
in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国交通运输协会 发布

目 次

前言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 总体设计	3
4.1 一般规定	3
4.2 隧道选址	4
4.3 隧道线路平面及纵断面	6
4.4 隧道断面类型及内轮廓	6
4.5 超前地质预报	7
4.6 风险评估与控制	7
4.7 施工组织设计	8
4.8 接口设计	8
5 隧道勘察	9
5.1 一般规定	9
5.2 调查与测绘	9
5.3 勘察方法及内容	12
5.4 勘察技术成果	15
5.5 建构物调查	17
6 建筑材料	17
6.1 一般规定	17
6.2 按概率极限状态法设计的主要材料性能	20
6.3 其他常用材料	21
6.4 结构耐久性	22
7 作用与组合	24
7.1 作用分类及作用效应组合	24
7.2 永久作用	2
7.3 可变作用	3
7.4 偶然及地震作用	3
8 隧道洞口	4
8.1 一般规定	4
8.2 洞口段结构设计	4
8.3 洞口防护	6

9	矿山法隧道	6
9.1	一般规定	6
9.2	衬砌结构	6
9.3	辅助坑道	9
9.4	施工方法及辅助施工措施	11
9.5	附属结构	12
9.6	特殊地质设计	12
10	掘进机法隧道	12
10.1	一般规定	13
10.2	掘进机选型	13
10.3	衬砌结构	13
10.4	服务洞室	15
10.5	辅助工程	15
10.6	特殊地质设计	15
11	盾构法隧道	16
11.1	一般规定	16
11.2	盾构选型	16
11.3	衬砌结构	17
11.4	盾构工作井及风井	19
11.5	内部附属结构	20
11.6	特殊地质及辅助措施设计	20
12	明挖法隧道	21
12.1	一般规定	21
12.2	基坑支护	21
12.3	地下水控制	23
12.4	基坑开挖	24
12.5	衬砌结构	25
12.6	洞内附属构筑物	26
12.7	基坑回填	26
12.8	特殊地质设计	27
13	防水与排水	28
13.1	一般规定	28
13.2	矿山法隧道防排水	29
13.3	掘进机法隧道防排水	31
13.4	盾构法隧道防排水	31
13.5	明挖法隧道防排水	33
14	工程监测	33
14.1	一般规定	33
14.2	监测范围	34

14.3	监测项目	34
14.4	监测点布设	35
14.5	监测频率	35
14.6	监测控制值及预警	35
15	通风与照明	38
15.1	一般规定	38
15.2	施工通风	38
15.3	运营通风及防灾通风	39
15.4	照明	41
16	防灾疏散救援	41
16.1	一般规定	41
16.2	紧急救援站	42
16.3	紧急出口及避难所	42
16.4	横通道	43
16.5	疏散通道	43
16.6	其他	43
17	环境保护与风险控制	43
17.1	一般规定	44
17.2	水资源保护	44
17.3	隧道弃渣	44
17.4	地表沉降	44
17.5	周边建（构）筑物保护	44
17.6	风险控制	45
附录 A（规范性）	洞门墙计算方法	47
附录 B（规范性）	常用型钢特性参数表	52
附录 C（规范性）	深埋隧道荷载计算方法	54
附录 D（规范性）	浅埋隧道荷载计算方法	55
附录 E（规范性）	偏压隧道荷载计算方法	56
附录 F（规范性）	明洞荷载计算方法	58
附录 G（规范性）	隧道与相关工程设计接口关系表	61

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由广东省交通运输厅提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：深圳市地铁集团有限公司、中铁二院工程集团有限责任公司、广州地铁集团有限公司、中国铁路设计集团有限公司、中铁工程设计咨询集团有限公司、深圳市市政设计研究院有限公司、广州地铁设计研究院股份有限公司

本文件主要起草人：潘明亮 郭桃明 卿伟宸 熊国兴 马德林 魏雪 殷召念 陈铁卫 王唤龙 王芳 范磊 喻渝 赵全超 陈柯霖 朱宏 钟昌桂 王宏超 郑杰元 王建捷 段江涛 王呼佳 张慧玲 龙杰 李坤杰 韩伟杰 万建成 苏开淮 苟新铭 周良 常鑫 廖楚天 王健宏 尹厚继 刘明

粤港澳大湾区城际铁路隧道设计规范

1 范围

本文件规定了粤港澳大湾区城际铁路隧道的总体设计、隧道勘察、建筑材料、作用与组合、隧道洞口、施工方法及辅助措施、防排水、监控量测、通风照明、防灾救援、环境保护与风险控制等要求。

本文件适用于粤港澳大湾区城际铁路隧道设计。

2 规范性引用文件

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

- GB/T 700 碳素结构钢
- GB/T 1348 球墨铸铁件
- GB/T 19879 建筑结构用钢板
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50017 钢结构设计标准
- GB 50038 人民防空地下室设计规范
- GB 50108 地下工程防水技术规范
- GB 50111 铁路工程抗震设计规范
- GB 50157 地铁设计规范
- GB 50216 铁路工程结构可靠性设计统一标准
- GB 50911 城市轨道交通工程监测技术规范
- GB/T 51336 地下结构抗震设计标准
- GB/T 51438 盾构隧道工程设计标准
- GB 55001 工程结构通用规范
- GB 55004 组合结构通用规范
- GB 55006 钢架构通用规范
- GB 55007 砌体结构通用规范
- GB 55008 混凝土结构通用规范
- GB 55016 建筑环境通用规范
- GB 55017 工程勘察通用规范
- GB 55018 工程测量通用规范
- GB 55033 城市轨道交通工程项目规范
- JGJ 79 建筑地基处理技术规范
- RFJ 02 轨道交通工程人民防空设计规范
- TB 10003 铁路隧道设计规范
- TB 10005 铁路混凝土结构耐久性设计规范
- TB 10012 铁路工程地质勘察规范

- TB 10016 铁路工程节能设计规范
- TB 10017 铁路工程水文勘测设计规范
- TB 10020 铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范
- TB 10061 铁路工程劳动安全与卫生设计规范
- TB 10062 铁路工程设计防火规范
- TB 10068 铁路隧道运营通风设计规范
- TB 10120 铁路瓦斯隧道技术规范
- TB 10181 铁路隧道盾构法技术规程
- TB 10417 铁路隧道工程施工质量验收标准
- TB 10501 铁路工程环境保护设计规范
- TB 10623 城际铁路设计规范
- TB 10624 市域（郊）铁路设计规范
- T/CSPSTC 54 岩石隧道掘进机法技术规程

3 术语和定义

GB 50157-2013、GB/T 51438-2021、GB 50911-2013、TB 10003-2016、TB 10020-2017、TB 10181-2017、Q/CR 9129-2018 界定的以及下列术语和定义适用于本文件

3.1 矿山法 **mining method**

修筑隧道的一种暗挖施工方法。传统的矿山法指用钻眼爆破的施工方法，又称钻爆法，现代矿山法包含软土地层浅埋暗挖法及由其衍生的其他暗挖方法。

[来源：GB 50157-2013，2.0.24]

3.2 掘进机法 **tunnel boring machine method**

本规范中特指采用全断面岩石掘进机（TBM）修筑隧道的一种暗挖施工方法，通过旋转刀盘推进，使滚刀挤压破碎岩石，然后通过配套的运输设备将碎石运出的一种暗挖方法。

3.3 盾构法 **shield method**

用盾构机修筑隧道的一种暗挖施工方法，为在盾构钢壳体的保护下进行开挖、推进、衬砌和注浆等作业的方法。

[来源：GB 50157-2013，2.0.25]

3.4 明挖法 **cut and cover method**

由地面挖开的基坑中修筑地下结构的方法。

[来源：GB 50157-2013，2.0.21，有修改]

3.5 作用 **action**

施加在结构上的集中或分布力（直接作用，也成为荷载），或引起结构外加变形或约束变形的原因（间接作用）。

[来源：Q/CR 9129-2018，2.1.16]

3.6 明洞 **open cut tunnel**

明洞是用明挖法修建的隧道。它是在露天的路堑地面，或敞口的基坑内，先修筑隧道结构，然后回填覆盖土石。

3.7 复合式衬砌 **composite lining**

容许围岩产生一定的变形，而又充分发挥围岩自承能力的一种衬砌。一般由初期支护、防水层和二次衬砌组合而成。

[来源：TB 10003-2016，2.1.14]

3.8 盾构工作井 **shield working shaft**

盾构组装、解体、调头、空推、吊运管片和输送渣土等使用的竖井，运营期一般兼顾附属设备设施等的布置空间，包括盾构始发工作井、盾构接收工作井、检查工作井等。

[来源：GB/T 51438-2021，2.1.5]

3.9 隧道覆盖层厚度 **tunnel overburden**

隧道顶部岩层和土层的厚度之和。

[来源：GB/T 51438-2021，2.1.7]

3.10 疏散通道 **evacuation walkway**

隧道内沿纵向贯通设置，可供人员应急疏散的通道。

[来源：TB 10003-2016，2.1.4]

3.11 横通道 **passage-way**

连接两座并行隧道或隧道与平行导坑，供人员应急疏散的通道。

[来源：TB 10020-2017，2.0.7]

3.12 隧道周边环境 **around environment**

隧道施工影响范围内的既有轨道交通设施、房屋、地下管线、桥梁、高速公路、道路等建（构）筑物，河流、湖泊等环境对象的统称。

[来源：GB 50911-2013，2.1.2，有修改]

4 总体设计

4.1 一般规定

4.1.1 隧道勘察设计应综合考虑线路技术标准、环境保护、运营养护、防灾救援等方面的因素，合理确定隧道位置、结构形式、施工方法、建设工期、工程投资等，保证隧道工程的安全、可靠、耐久。

4.1.2 隧道设计应依据可靠完整的资料，针对地形、地质和生态环境的特征，综合考虑运营和施工条件，通过技术、经济比较分析，使选定的方案、设计原则和建筑结构符合安全适用、经济合理和环境保护的要求。

4.1.3 新建特长双线隧道和地质条件复杂的双线隧道，应结合施工方法、施工组织、运营与防灾疏散救援工程设置等因素，进行修建单洞双线和双洞单线隧道的技术经济比较。

4.1.4 隧道位于市区时，隧道设计应考虑施工及运营对环境的影响，并应考虑城市规划及周围环境对隧道结构的影响。

4.1.5 隧道结构根据其重要性及复杂程度可划分为三个安全等级，并应符合表 1 的规定。

表 1 隧道结构安全等级

安全等级	隧道类型
一 级	特大跨度隧道、水下隧道或有特殊要求的隧道
二 级	一般隧道、明洞、棚洞及洞门、运营服务或防灾通道、泄水洞
三 级	用于施工、通风、排水等临时性辅助坑道

4.1.6 隧道建筑物应按永久性结构设计，建成的隧道应能满足运营的需要，方便养护作业，并设置可靠的安全防护设施和必要的检查、维修设施。隧道工程设计使用年限应符合表 2 的规定。

表 2 铁路隧道工程设计使用年限

工程部位（结构）	洞门及其挡墙、衬砌、明挖主体结构	边仰坡防护结构，洞内外排水结构、电缆沟槽
设计使用年限	100 年	60 年

4.1.7 隧道建筑材料应符合结构强度要求，并应满足 TB10005 规定的抗渗、抗侵蚀、抗磨蚀等耐久性要求。

4.1.8 隧道结构防水等级应达到现行 GB50108 规定的二级标准，有特殊要求的设备洞室应达到一级标准。

4.1.9 隧道运营期保护应符合国家、地方相关法规要求。

4.2 隧道选址

4.2.1 隧道位置宜选择在稳定的地层中，不宜穿越工程地质、水文地质极为复杂和溶洞、暗河、采空区等严重不良地质段，当必需通过时，应有充分的理由和可靠的工程措施。

4.2.2 特长隧道、地质条件复杂的隧道，其平面位置的选择应在较大范围地质勘察的基础上，结合施工方案、工期、相关工程及运营条件等，经技术经济比选确定。

4.2.3 线路以隧道方式穿越城区时，应规避不良地质地段，减少房屋、管线拆迁及绿化迁移，保护文物和重要建、构筑物，减小振动对周围敏感点的影响。

4.2.4 河谷线路沿河傍山地段，当线路以隧道通过时，选线应符合下列要求：

- a) 线路宜向靠山侧内移，避免隧道外侧岩体过薄、河流冲刷和不良地质对其稳定的影响；
- b) 进行短隧道群与长隧道方案比较。

4.2.5 下穿水域的隧道位置应符合下列规定：

- a) 隧道宜选择河（海）床稳定、冲刷深度小的地段通过，不宜穿越河（海）床的局部深槽、深坑区域。

- b) 纵断面设计时应根据河流最高和最低设计水位、河床最大冲刷深度及最大冲刷线等因素综合确定最小覆盖层厚度。
 - c) 河床最大冲刷深度应按不低于百年一遇的洪水频率确定，并按不低于三百年一遇的洪水频率进行校核。
 - d) 盾构隧道覆盖层厚度不宜小于隧道外径，并应大于水利及航运部门对规划航道深度和船舶锚击深度的要求。
 - e) 濒临水库、河流地区的矿山法隧道应注意水库坍岸、河流冲刷等对隧道稳定的影响，评价隧道与水体的水力联系，采取相应的工程措施。
 - f) 当存在驳岸、码头、沉船等既有构筑物或地下障碍物时，宜绕避或从下方穿越，也可从地面清除障碍物后再通过。
- 4.2.6 岩溶地区隧道选线应符合下列规定：
- a) 充分利用既有区域地质资料和遥感图像地质解译成果资料，分析研究区域范围内岩溶发育情况，隧道位置优先选择岩溶及岩溶水发育相对较弱的区域；
 - b) 隧道应尽量选择高线位通过，不宜通过岩溶水发育的季节交替带、水平径流带、深部缓流带；
 - c) 傍山隧道宜选择在岩溶发育较弱的一侧通过，并应高于岩溶水排泄带；
 - d) 隧道应避免穿越岩溶强烈发育的构造带，避开负地形区、网状洞穴、暗河发育区、巨大空洞区、溶洞群及岩溶水富集区、排泄区；
 - e) 隧道应以大角度通过可溶岩与非可溶岩接触带及断层、褶曲轴部等构造带；
 - f) 隧道应尽量靠近并高于既有或在建的其它地下工程，充分利用其它地下工程已形成的降落漏斗效应截排地下水；
 - g) 线路纵坡应优先采用人字坡，隧道内宜适当加大纵坡。
 - h) 当线路与暗河交叉时，隧道应在暗河顶板高程以上以大角度与之相交，并保证隧底以下有足够安全厚度。
- 4.2.7 高地温地区隧道选线应符合下列规定：
- a) 隧道位置应选择在地温相对较低的地层；
 - b) 通过较高地温地区时，应优化平纵断面，以高线位、短距离方式通过；
 - c) 河谷地区线路宜设于傍山靠河侧，缩短辅助坑道设置长度。
- 4.2.8 隧道选线应尽量避免穿越软土、深厚人工填土地层；当必须穿越时，应优化平纵断面，尽量大角度通过，减少穿越段长度，并采取可靠的工程措施。
- 4.2.9 隧道选线应避免穿越滑坡区域；当必需穿越时，隧道洞身位置应选择在滑动面以下一定深度的稳定地层中，并采取可靠工程措施。
- 4.2.10 盾构隧道选线应尽量避免穿越孤石发育区；当必须穿越时，应优化平纵断面，尽量从孤石数量少、体积小的部位穿过，并采取可靠的工程措施。
- 4.2.11 地震动峰值加速度 0.10g 以上的地区；隧道不宜穿越活动断裂带、易液化砂（粉）土地层。
- 4.2.12 隧道洞口应综合考虑地形地质条件、相关工程、环境、防洪、防淹要求等因素，并符合以下要求：
- a) 洞口宜避开滑坡、崩塌、岩堆、危岩落石、泥石流等地段，选择在稳定的边坡进洞，不应设在排水困难、地势狭窄的沟谷低洼处或不稳定的悬崖陡壁下。
 - b) 当洞口位于可能被洪水淹没地带、水库回水影响范围、受山洪威胁地段时，其道床底面应高出设计水位加波浪侵袭高度和雍水高度不小于 0.5m。
 - c) 位于城市地区的隧道，采用“V”型坡时，洞门及敞开段边墙顶高程应高出内涝水位 0.5m。
 - d) 铁路设计水位的洪水频率标准为 1/100；当观测洪水（包括调查可靠的有重现期可能的历史洪水）高于上述设计洪水频率标准时，应按观测洪水设计。

4.3 隧道线路平面及纵断面

4.3.1 隧道内的线路平面宜设计为直线，当因地形、地质等条件限制设计为曲线时，宜将曲线设在洞口附近并采用较大的曲线半径。

4.3.2 隧道纵断面设计应符合下列规定：

- a) 山岭隧道内的纵坡可设计为人字坡或单面坡，地下水发育的长度 3000m 及以上隧道宜采用人字坡。
- b) 隧道内的坡度不宜小于 3‰；确定最大坡度时应考虑盾构机、掘进机及其后配套运输设备的爬坡能力。
- c) 相邻坡段间应根据设计速度、相邻坡段坡度差，按 TB10623 规定设置圆曲线形竖曲线连接。

4.3.3 采用矿山法施工，两相邻隧道间的最小净距，应综合考虑围岩级别、隧道断面尺寸及施工工法等因素确定。一般情况下，可采用表 3 的中值；困难情况下，不能满足表 3 的下限值时，应根据地形地质条件、周边环境条件等对地层及结构进行分析，采取满足隧道施工和运营安全的加强措施。

表 3 两相邻单线隧道间的最小净距 (m)

围岩级别	I	II~III	IV	V	VI
净距	(0.5~1.0) B	(1.0~1.5) B	(1.5~2.0) B	(2.0~4.0) B	>4.0B

注：B 为隧道开挖跨度 (m)。

4.3.4 采用盾构法施工，两相邻隧道间距宜符合下列规定：

- a) 直径 10m 及以上并行隧道间的净距不宜小于 10m，直径小于 10m 并行隧道间的净距不宜小于后施工隧道外径。
- b) 上下叠落隧道或交叉隧道，当先施工下方隧道时，隧道间的净距不宜小于后施工隧道外径的 50%；当先施工上方隧道时，隧道间的净距不宜小于后施工隧道的外径。
- c) 当不能满足时，应结合隧道所处的地质和环境条件，对隧道和地层变形进行分析，并采取相应的加强措施。

4.3.5 采用盾构法施工，直径 10m 及以上隧道的覆盖层厚度不宜小于 10m，直径小于 10m 隧道的覆盖层厚度不宜小于隧道外径。当不能满足时，应结合隧道所处的地质和环境条件，对隧道和地层变形进行分析，并采取相应的加强措施。

4.4 隧道断面类型及内轮廓

4.4.1 隧道断面类型应根据隧道建筑限界、结构受力、施工工法、机械设备及工程投资等多因素综合确定。

4.4.2 采用矿山法施工的隧道，宜采用马蹄形、拱形隧道形式，当对结构受力要求较高时，可根据技术经济比选，选用圆形或椭圆形隧道形式。

4.4.3 采用掘进机法、盾构法施工的隧道，宜采用圆形隧道形式。

4.4.4 采用明挖法施工的隧道，宜采用矩形隧道（基坑）形式。

4.4.5 新建隧道的内轮廓，应满足现行国家相关限界标准规定、轨道结构形式及其维护方式、疏散救援及互联互通的要求。最高运行速度 160km/h 及以上新建铁路隧道内轮廓的确定尚应考虑列车类型、车辆密封性和旅客舒适度等因素。

位于车站上的隧道，其内轮廓尚应符合站场设计的规定和要求。

4.4.6 隧道内应设置贯通的救援通道。救援通道尺寸应满足本文件第 16.5 节的规定。无砟道床内侧至线路中线距离不应小于 1.8m，有砟道床需满足大型清筛机作业需要时，该距离不应小于 2.2m。

4.4.7 隧道内轮廓的确定应考虑以下因素：

- a) 建筑限界（见 TB10623）；
- b) 隧道内股道数和线间距；
- c) 疏散通道；
- d) 空气动力学效应；
- e) 列车密封性；
- f) 接触网悬挂方式；
- g) 轨道结构形式及其维护方式；
- h) 隧道设备空间；
- i) 结构受力条件；
- j) 互联互通要求。

4.5 超前地质预报

4.5.1 超前地质预报设计主要包括以下内容：

- a) 隧道工程地质及水文地质条件，着重说明不良地质及特殊岩土、可能存在的主要工程地质问题及地质风险。
- b) 超前地质预报的设计原则、预报方案、（分段）预报内容、方法选择及不同方法的组合关系、技术要求，需要时应编制气象、重要泉点和洞内主要出水点（流量大于 1L/s 的出水点）、暗河流量等观测计划和观测技术要求等。
- c) 超前地质预报实施工艺要求（必要时提出）。
- d) 超前地质预报工作量。
- e) 其他需要说明的问题。

4.5.2 隧道超前地质预报可采用地质调查法、超前钻探法、物探法和超前导坑预报法。在实施过程中可采用一种或多种方法相结合，并对各种方法预报结果综合分析，相互验证，提高预报准确性。

4.5.3 超前地质预报应包含（但不限于）以下内容：

- a) 地层岩性，重点对软弱夹层、破碎地层、煤层及特殊岩土的预报；
- b) 地质构造，重点对断层、节理密集带、褶皱等影响岩体完整性的构造发育情况预报；
- c) 不良地质，重点对岩溶、人为坑洞、瓦斯等发育情况的预报；
- d) 地下水，重点对岩溶管道水及富水断层、富水褶皱、富水地层中的裂隙水等发育情况的预报。

4.6 风险评估与控制

4.6.1 隧道设计应进行风险评估，优化风险控制措施，且应贯穿于隧道设计和施工全过程。

4.6.2 隧道风险评估与控制应将可能发生的各类风险降至合理、可接受的水平，为实现隧道工程安全、稳定、质量、环境、工期、投资等目标提供技术保障，并以安全、稳定风险评估与控制为重点。

4.6.3 隧道设计应采取有效措施进行风险控制，并高度重视具有突发性和灾难性的风险。

4.6.4 隧道风险评估与控制应根据项目推进和环境变化，综合应用风险管理技术，对风险实施有效的动态管理。

4.6.5 设计阶段风险评估与控制应按可行性研究、初步设计、施工图三个阶段开展，各阶段工作内容见表 4。

表 4 设计阶段风险评估与控制工作内容

阶段	工作重点
可行性研究阶段	辨识并规避影响线路方案的隧道工程风险
初步设计阶段	全面开展隧道工程的风险评估，制定风险控制措施
施工图阶段	核查风险因素、风险事件，完善和细化风险控制措施

4.6.6 隧道风险评估方法应根据各阶段风险特点采用定性、定性与定量相结合、定量等方法。

4.6.7 各设计阶段均应提交风险管理报告。极高风险等级工点以及复杂技术工点应编制专项风险评估报告。

4.7 施工组织设计

4.7.1 长隧道、特长隧道和地质条件复杂的隧道、采用新技术的隧道以及特殊气候条件下的隧道应编制指导性施工组织设计。

4.7.2 隧道施工组织设计主要内容应包括施工方案、工区划分、进度指标等，据以指导施工。

4.7.3 隧道施工组织设计应根据施工方法、施工通风、施工排水、施工风险控制等要求，并结合机械化配套程度、辅助坑道设置情况，合理规划进度和工期。

4.7.4 隧道指导性施工组织设计还应考虑以下因素：

- a) 隧道工程按照 24 小时连续施工确定进度指标。
- b) 矿山法隧道施工，工期安排需预留 2~3 个月进洞施工准备时间；隧道施工后续工程包括未完衬砌、明洞、管沟、洞门及附属设施，在开挖贯通后 1~3 个月完成。
- c) 掘进机法、盾构法隧道施工，工期安排需预留 10~12 个月设备定制时间，设备到场后拼装时间 1~2 个月，贯通后拆除时间 1 个月。
- d) 城镇地区隧道应结合周边环境条件预留交通疏解、房屋拆迁、管线迁改等的施工准备时间。
- e) 长大隧道单口施工正洞长度宜为 2km~3km。

4.8 接口设计

4.8.1 隧道工程应结合洞口相邻工程统筹考虑，与相关专业的接口应有良好的过渡和衔接。

4.8.2 隧道设计应考虑相关专业在隧道内设置电缆槽、过轨管、综合接地、监控等设施的布置要求，各种设施在隧道内的布置应综合考虑以尽量减少设备洞室数量。

4.8.3 隧道防灾疏散救援工程应统筹隧道、场坪、通风、电力、牵引供电、通信、信号、房建、给排水、机械等接口进行系统设计。

4.8.4 隧道与相关工程设计接口关系可按附录 G 确定。

4.8.5 隧道与相关专业的接口应满足以下要求：

- a) 隧道洞口边坡防护应与路基（车站）边坡协调设计。
- b) 隧道与路基（车站）分界段应设置过渡段。
- c) 隧道洞内排水沟与路基（车站）排水沟应顺畅衔接，保证隧道内地下水能顺利流出。
- d) 隧道内的电缆槽向路基、桥梁范围的电缆槽过渡时其转弯半径应满足相关专业电缆铺设要求。
- e) 隧道与桥梁相连时，隧道内的侧沟、电缆槽盖板顶面与桥梁人行道应平顺连接，隧道内排水沟应顺接到桥下排水系统中。做好系统设计、合理安排施工工序，防止相互干扰。
- f) 桥梁伸入隧道时，隧道与桥台基础宜分离设置，宜合理确定桥隧连接方式及施工顺序。隧道衬砌内轮廓设计应考虑桥梁承台结构尺寸、梁部的架设及维修等因素。

- g) 隧道内可铺设无砟轨道或有砟轨道，长度 1000m 及以上的隧道宜采用无砟轨道。当隧道位于高地应力软岩、强膨胀岩（土）等特殊地层时，应慎重选择隧道内轨道结构型式。
 - h) 无砟轨道和有砟轨道之间应设置轨道结构过渡段，过渡段设置应符合 TB10082 的规定。
 - i) 隧道内设置电力、通信及信号电缆槽，电缆槽设盖板，能开启维护。
 - j) 隧道内应按需求专业要求的位置、数量、规格设置过轨管。
 - k) 隧道内设道岔时，应预留转辙设备安装空间，电缆槽盖板、水沟盖板等设施开启不应影响转辙设备的安装和维护。
 - l) 隧道内应进行综合接地系统设计。
 - m) 隧道内应根据人员待避、养护维修要求及通信、信号、电力、机械、接触网、牵引变电等存放设备的需要设置设备专用洞室或综合洞室，洞室的设置应统筹考虑，综合利用。
 - n) 隧道内接触网下锚段设置应满足需求专业要求，充分利用隧道建筑限界与内轮廓间的富裕空间，尽量减少隧道扩挖。
 - o) 隧道废水泵房、洞口雨水泵房应考虑给水排水、电力、通信等工程的设备、管线布置、预留孔洞、设备用电、控制及监控等设计。
- 4.8.6 防灾救援接口应满足以下要求：
- a) 隧道通风应考虑电力、通信、机械等接口工程的设计。
 - b) 隧道紧急救援站应考虑给排水、消防、通风、电力、通信接口工程的设计。紧急救援站位于隧道内时，消防给水管道应设置在管沟内，消火栓箱应嵌入隧道壁内。隧道内紧急救援站的横通道、紧急救援站以外的横通道、紧急出口、避难所与隧道连接处应设防护门。
 - c) 紧急出口、避难所应按规定预留安装风机、配电柜、照明、视频监控、应急通信、疏散标识等条件。
 - d) 城市隧道设置紧急出口时，应结合城市规划设计。

5 隧道勘察

5.1 一般规定

- 5.1.1 隧道勘察按规划、设计阶段的技术要求，分阶段开展可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察和施工勘察。
- 5.1.2 勘察范围、内容、方法、勘探量、精度等应根据勘察阶段的要求和隧道规模及其施工方法具体确定。
- 5.1.3 隧道勘察应根据不同勘察阶段、目的任务和要求，针对隧道工程的工法特点，开展调查、测绘、勘探、物探和试验等工作，并编制勘察报告，做到搜集资料齐全、准确，满足设计要求。
- 5.1.4 隧道场地附近存在对工程设计方案和施工有重大影响的岩土工程问题时应进行专项勘察。如针对可溶岩区的隧道工程，宜开展岩溶专项勘察；针对花岗岩地区球状风化发育的隧道工程，宜开展球状风化专项勘察；针对填海造陆区的隧道工程，宜开展填石专项勘察等。
- 5.1.5 隧道勘察应详细调查隧道所在地区的自然、人文活动和社会环境状况，分析工程与环境的相互影响，提出工程周边环境保护措施的建议。
- 5.1.6 隧道围岩级别的确定应符合 TB10003 的规定。

5.2 调查与测绘

5.2.1 基本规定

- 5.2.1.1 根据城际铁路隧道线路走向结合隧道洞口和辅助坑道设计位置，按规定设置平面控制点和高

程控制点。

5.2.1.2 按设计阶段要求收集或测绘地形图、纵断面图、横断面图等。

5.2.1.3 城际铁路工程专项测量包括地下建筑测绘、跨越线路的建筑测绘、水域地形测量、房屋拆迁测量、勘测定界测量、相交线路的坐标联测等。

5.2.2 周边环境调查应满足以下要求：

- a) 调查范围包括既有或在建的房屋、管线、桥梁、隧道、道路、轨道交通、铁路等建（构）筑物和设施，以及文物、地表水体等。
- b) 设计单位根据城际铁路不同阶段的设计任务、目的和要求，综合考虑施工工艺、影响因素及所在区域的环境特点，确定各项周边环境的现状调查范围，并确定调查的基本内容。
- c) 开展周边环境调查时，首先收集现有的资料，当收集的资料不能满足设计深度要求时，需进行现场调查或补充勘测。
- d) 工程周边环境的调查范围应根据城际铁路工程隧道的线路位置、敷设方式、埋置深度、结构形式、施工方法、地质条件及工程周边环境重要性等因素综合确定。
- e) 初步调查时应初步查明隧道临近重要控制点的建（构）筑物、道路、桥梁、既有轨道交通、既有铁路、河流、湖泊、塘、海、重要管线等的基础资料，以确定工程的可行性。
- f) 初步调查方法主要采用现场踏勘和资料搜集的方式，可结合初勘工作一并进行。
- g) 详细调查时应重点查明隧道临近建（构）筑物、道路、桥梁、既有轨道交通、既有铁路、重要管线等的基础资料，以确定相互之间的位置关系，完善设计方案。
- h) 周边建（构）筑物详细调查包括资料调查、结构基本情况调查、地下部分情况调查及病害情况调查等。
- i) 周边道路详细调查包括与邻近道路的关联调查及道路路面、路基结构形式和现状的调查。
- g) 周边桥梁详细调查应包括桥面系调查、上部结构调查和下部结构调查。
- k) 周边隧道需重点调查隧道的顶（底）板埋深（标高）、断面尺寸、衬砌厚度、施工方法、原施工开挖范围、附属结构（通道、洞门、竖井、小室）、变形缝设置及渗漏情况等内容。
- l) 地下管线详细调查应全面收集和整理测区内已有的地下管线资料，资料收集包括各种地下管线的平面位置、埋深、规格、管线类型、材质、权属等属性内容，并进行实地核查。

5.2.3 地形图测量

5.2.3.1 地形测量宜采用航空摄影测量方法，也可采用全站仪数字化测图法、GNSS RTK 数字化测图法、激光扫描法等方法测图。

5.2.3.2 地形等级应按表 5 的规定划分。

表 5 地形等级表

地形等级	I (平坦地)	II (丘陵地)	III (山地)	IV (高山地)
地面坡度 (°)	<3	3~10	10~25	25 以上
地面高差 (m)	<25	25~150	150~350	350 以上

注：表内数据系指在一个测段测图范围内的大部分地面坡度或高差，当地面坡度与高差有矛盾时，一般以地面坡度为主。

5.2.3.3 地形图图例符号应符合现行国家地形图图式和铁路工程制图符号标准的规定。

5.2.3.4 地形点的分布及密度，应能反映地形、地貌的真实情况，满足正确插入等高线的需要。1: 2000、1: 5000、1: 10000 地形图高程点的注记至 0.1m；1: 500、1: 1000 地形图高程点的注记至 0.01m。

5.2.3.5 图根点可用导线法、支导线法和 GNSS RTK 法测设，起闭于初测导线点或 GNSS 点。图根点

相对于邻近控制点，平面点位中误差不应大于图上 0.1mm，高程中误差不应大于 1/10 基本等高距。

5.2.3.6 数字外业测图可按照图幅施测，也可以分区施测。按图幅施测时，每幅图应测出图廓形外 5mm；分区施测时，应测出各区界线外图上 5mm。

5.2.3.7 流动站的作业应符合下列规定：

- a) 流动站接收机天线高设置宜与测区环境相适应，变换天线高时应对手簿作相应更改。
- b) 流动站作业的有效卫星数不宜少于 6 个，多星座系统有效卫星数不宜少于 7 个，PDOP 值应小于 6，并应采用固定解成果。
- c) 应设置项目参数、天线高、天线类型、PDOP 和高度角等。
- d) 每点观测时间不应少于 5 个历元。
- e) 流动站的初始化，应在对空开阔的地点进行。
- f) 作业前，宜检测 2 个以上不低于图根精度的已知点；检测结果与已知成果的平面较差不应大于图上 0.2mm，高程较差不应大于基本等高距的 1/5。
- g) 若作业中，出现卫星信号失锁，应重新初始化，并应经重合点测量检查合格后，继续作业。
- h) 结束前，应进行已知点检查。
- i) 每日观测完成后，应转存测量数据至计算机，并应做好数据备份。

5.2.3.8 在测站上作业前，应核对后视点的距离和高程，并应重测前站所测的明显地物点或对数个测点进行检查。观测时间较久或移站前均应检查后视方向。

5.2.3.9 全站仪数字化测图应符合下列规定：

- a) 仪器对中误差不得大于 5mm，仪器高和棱镜高应量至 0.01m。
- b) 数据采集开始前和结束后，应对后视点的距离和高程进行检核，距离较差不应大于图上 0.1mm，高程较差不应大于 1/6 基本等高距，检测结果超限时，本站已测的碎部点必须重测。
- c) 距离观测应符合表 6 的规定。

表 6 全站仪测图最大观测距离 (m)

测图比例尺	1:500	1:1000	1:2000	1:5000	1:10000
观测距离	240	360	600	900	1200

- d) 数据采集编码宜采用“地形码+信息码”的形式，必要时现场绘制草图，标明点的连接关系。

5.2.3.10 GNSS RTK 数字化测图应符合下列规定：

- a) 求解转换参数的高等级控制点应均匀分布于周围，且数量不少于 4 个，均匀分布于整个测图区域周围。
- b) 数据采集开始前，宜检测 1 个以上不低于图根点精度的已知点；平面较差不应大于图上 0.2mm，高程较差不应大于 1/5 基本等高距。
- c) 测点采集应输入点的属性（点号、代码），必要时现场绘制草图，标明点的连接关系。

5.2.3.11 地形测绘应包括以下内容：

- a) 三角点、GNSS 点、导线点和水准点应测出其位置并注明编号及高程。
- b) 各类建筑物应分别测绘。当距离线路较远，定线不可能穿过密集建筑物时，可绘出总外廓，只标示主要街区和通道。
- c) 省、县、乡等行政区划界线。
- d) 树林、竹园、果园、菜园、稻田、旱地、荒地、苗圃等各种植被及其他地类界。
- e) 铁路、公路、便道、人行道路。铁路、公路应注明名称及去向，公路应加注铺面材料。
- f) 各种电力线、通信线、管线、电缆及各种栅栏、地下管线、检修井等。

- g) 池塘、沟渠、河流（注明河名、流向及通航情况）、泉、井、水库、沼泽、桥梁、虹吸管、堤灌设备等。
- h) 明显的不良地质分界线、人工洞穴和坟地范围。
- i) 村镇名称、地名、道路名称、主要企事业单位及国家规定的文物保护单位、自然保护区。
- j) 其他各种地貌、地物，当不能按实际情况测绘时，均按规定图例描绘。

5.3 勘察方法及内容

5.3.1 隧道勘察应坚持安全第一、预防为主、综合考虑的原则，建立安全生产责任制及相关的应急预案，做到在勘察安全的基础上开展外业工作。

5.3.2 隧道勘察应采取调绘、钻探、物探及试验相结合的方法，尤其对于钻探难以开展的山岭隧道、受建构筑物等影响无法开展钻探的城区隧道，应充分利用物探手段对地质情况进行解译。隧道勘察具体应结合其处的场地复杂程度、地层岩性及所处的勘察阶段等进行勘探点间距和孔深的布置。

5.3.3 隧道工程测量应遵守下列规定：

- a) 按设计阶段要求收集或实测地形图、纵断面图、横断面图等。
- b) 测量资料需反映隧道所在地的周边建（构）筑物、地下障碍物、地下管线等情况。
- c) 在隧道洞口和辅助坑道口附近，按规定设置必要的平面控制点和水准点。

5.3.4 采用矿山法施工的山岭隧道，其工程地质勘察应采用调绘、钻探、物探、试验等方法查明隧道穿越段的地形地貌、地质构造、地层岩性及岩土物理力学参数，调查包括下列内容：

- a) 查明地层、岩性及地质构造特征，着重查清地质构造性质、类型、规模；断层、节理、软弱结构面特征及其与隧道的组合关系，特别注意可溶岩区的岩溶分布特征和花岗岩区等硬质岩的分布范围及特征。
- b) 查明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、水压、水温和补给关系、水质及其对混凝土的侵蚀性，判断工程有无异常涌水、突水。
- c) 查明影响隧道洞口安全或洞身稳定的崩塌、错落、岩堆、滑坡、岩溶、人为坑洞、泥石流等不良地质现象和偏压等不利地形条件，分析其类型和规模以及发生原因、发展趋势，判明对隧道影响的程度。
- d) 查明含水砂层、膨胀土、软土、填土、花岗岩差异风化带等特殊岩土，分析其成因、范围及岩土力学特性及对隧道的影响程度。
- e) 查明有害气体、矿体及具有放射性危害的地层，确定分布范围、成分和含量。
- f) 查明地应力水平，重点查明高地应力引起的大变形、岩爆分布范围及影响程度。
- g) 查明软质岩缓倾岩层分布范围，分析其变形对工程的影响程度。
- h) 濒临水库地区的隧道位于水库常水位或规划水位以下时，评价其与水库的水力联系。
- i) 地震动参数。
- j) 对隧道围岩的稳定性进行评价，进行围岩分级和岩土施工工程分级。分析隧道开挖、围岩加固及初期支护可能出现的岩土工程问题，提出防治措施建议，提供隧道围岩加固、初期支护和衬砌设计与施工所需的岩土参数。
- k) 山岭隧道段埋深小于 100m 的较浅隧道或洞身段沟谷较发育的隧道，勘探点间距不宜大于 500m；埋深较大隧道勘探点的布置应根据地质调查及物探成果专门研究确定。

5.3.5 采用盾构法施工的城区及水下隧道，其工程地质勘察主要采用钻探、物探、试验等方法查明隧道穿越段的地形地貌、地质构造、地层岩性及岩土物理力学参数，应包括下列内容：

- a) 查明地层、岩性及地质构造特征，着重查清地质构造性质、类型、规模；断层、节理、软弱结构面特征及其与隧道的组合关系，特别注意可溶岩区的岩溶分布特征和硬质岩的分布范围及特征；

- b) 查明江、河、湖、海等地表水的水位、水深、腐蚀性、补给关系，分析其与盾构隧道间的隔水层及水力联系，判断盾构存在涌水、突水的可能性；查明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、水压、水温和补给关系、水质及其对混凝土的侵蚀性，判断工程有无异常涌水、突水；
- c) 查明含水砂层的分布范围、成因，分析其岩土力学特性及对隧道施工的影响程度；
- d) 查明有害气体、矿体及具有放射性危害的地层，确定分布范围、成分和含量；
- e) 查明填海造陆区人工填土层的埋深、物质组成、块石的种类及强度，确定其对盾构选型、刀盘掘进等的影响；
- f) 查明软土地层的分布，重点查明软土可能引起的大变形、差异沉降及造成盾构不利的软硬不均岩面起伏的范围及影响程度；
- g) 查明软质岩缓倾岩层分布范围，分析其蠕变变形对盾构掘进及后期管片防渗的影响；
- h) 濒临水库地区的隧道位于水库常水位或规划水位以下时，评价其与水库的水力联系；
- i) 地震动参数；
- j) 盾构隧道工程勘察应符合 GB / T 51438 的要求；
- k) 对隧道围岩的稳定性进行评价，进行围岩分级和岩土施工工程分级。分析隧道开挖、围岩加固及初期支护可能出现的岩土工程问题，提出防治措施建议，提供隧道围岩加固、初期支护和衬砌设计与施工所需的岩土参数；
- l) 城区隧道及水下隧道段详细勘察应在利用初步勘察成果基础上，根据工程的结构特点、施工方法和场地条件布置布置勘探点；详勘成果宜分别绘制左、右线详勘地质剖面图，地质剖面图上勘探点沿结构线投影间距根据场地复杂程度可按表 7 的规定确定。

表 7 详细勘察地质剖面图上勘探点沿隧道结构的投影间距 (m)

类别	复杂场地	中等复杂场地	简单场地
地下区间	10~30	30~50	50~60

5.3.6 采用明挖法施工的隧道，其工程地质勘察应采用调绘、钻探、物探、试验等方法查明地形地貌、地质构造、地层岩性及岩土物理力学参数，调查包括下列内容：

- a) 查明场地岩土类型、成因、分布与工程特性；重点查明填土、暗浜、软弱土夹层及饱和砂层的分布，基岩埋深较浅地区的覆盖层厚度、基岩起伏、坡度及岩层产状。
- b) 根据开挖方法和支护结构设计需要提供必要的岩土参数。
- c) 土的抗剪强度指标应根据土的性质、基坑安全等级、支护形式和工况条件选择室内试验方法；当地区经验成熟时，也可通过原位测试结合地区经验综合确定。
- d) 查明场地水文地质条件，判定人工降低地下水位的可能性，为地下水控制设计提供参数；分析地下水位降低对工程及工程周边环境的影响，当采用坑内降水时还应预测降低地下水位对基底、坑壁稳定性的影响，并提出处理措施的建议。
- e) 根据粉土、粉细砂分布及地下水特征，分析基坑发生突水、涌砂流土、管涌的可能性。
- f) 搜集场地附近既有建(构)筑物基础类型、埋深和地下设施资料，并对既有建(构)筑物、地下设施与基坑边坡的相互影响进行分析，提出工程周边环境保护措施的建议。
- g) 可溶岩地区应首先处理溶洞、溶槽等，测量岩溶水的承压水头，分析基坑开挖涌突水及地面塌陷的风险，确保开挖的顺利。
- h) 地震动参数。
- i) 明挖隧道段详细勘察应宜分别绘制左、右线详勘地质剖面图，地质剖面图上勘探点沿结构线投影间距根据场地复杂程度可按表 7 的规定确定。

5.3.7 采用掘进机法施工的隧道，其工程地质勘察应采用调绘、钻探、物探、试验等方法查明隧道穿越段的地形地貌、地质构造、地层岩性及岩土物理力学参数，调查包括下列内容：

- a) 查明地层、岩性及地质构造特征，着重查清地质构造性质、类型、规模；断层、节理、软弱结构面特征及其与隧道的组合关系，特别注意可溶岩区的岩溶分布特征和花岗岩区等硬质岩的分布范围及特征。
- b) 查明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、水压、水温和补给关系、水质及其对混凝土的侵蚀性，判断工程有无异常涌水、突水。
- c) 查明影响隧道洞口安全或洞身稳定的崩塌、错落、岩堆、滑坡、岩溶、人为坑洞、泥石流等不良地质现象和偏压等不利地形条件，分析其类型和规模以及发生原因、发展趋势，判明对隧道影响的程度。
- d) 查明含水砂层、膨胀土、软土、填土、花岗岩差异风化带等特殊岩土，分析其成因、范围及岩土力学特性及对隧道的影响程度。
- e) 查明有害气体、矿体及具有放射性危害的地层，确定分布范围、成分和含量。
- f) 查明地应力水平，重点查明高地应力引起的大变形、岩爆分布范围及影响程度。
- g) 查明硬质岩层分布范围、饱和单轴抗压强度大小，分段提供围岩分级，评价其对刀盘可能带来的磨损及风险。
- h) 濒临水库地区的隧道位于水库常水位或规划水位以下时，评价其与水库的水力联系。
- i) 地震动参数。
- j) 山岭隧道段埋深小于 100m 的较浅隧道或洞身段沟谷较发育的隧道，勘探点间距不宜大于 500m；埋深较大隧道勘探点的布置应根据地质调查及物探成果专门研究确定。

5.3.8 城际铁路隧道工程地质勘探、试验应符合下列规定：

- a) 钻孔位置和数量应视地质复杂程度而定。主要的地质界线，重要的不良地质、特殊岩土地段等处应有钻孔控制。
- b) 区域性断层和重大物探异常点应布设控制性勘探点。
- c) 山岭段埋深小于 100m 的较浅隧道或洞身段沟谷较发育的隧道，勘探点间距不宜大于 500m；埋深较大隧道勘探点的布置应根据地质调查及物探成果专门研究确定。
- d) 钻探中应作好水位观测和记录，探明含水层的位置和厚度，并取样作水质分析。水文地质条件复杂的隧道，应作水文地质试验，测定岩土的渗透性，计算涌水量，必要时应进行地下水动态观测，并测定地下水的流向、流速。
- e) 取代表性岩土试样进行物理力学性质试验。
- f) 对有害矿体和气体，应取样作定性、定量分析。

5.3.9 施工阶段地质勘察宜采用掌子面地质素描、物探、超前钻孔、孔内摄像、导坑等综合超前地质预报方法，主要完成下列任务：

- a) 核定围岩的岩性、结构、构造、地下水及围岩级别等情况，为验证或修改设计提供依据；
- b) 及时预测和解决施工中遇到的工程地质及水文地质问题。
- c) 开挖揭示地质条件与设计图差别较大时，应进行必要的洞内外补勘工作。

5.3.10 地质勘察成果应重点对下列内容作出分析评价，并提出处理措施：

- a) 围岩状态及自稳性。
- b) 隧道涌水量、水压、突水突泥可能性等。
- c) 球状风化体（孤石）。
- d) 软土的变形及软硬不均。
- e) 地下水与地表水体的水力联系。
- f) 滑坡、顺层、偏压。

- g) 填海造陆区的填石的特征。
- h) 有害气体、岩溶及人为坑洞。
- i) 缓倾岩层等。

5.4 勘察技术成果

5.4.1 勘察报告应在搜集已有资料，取得工程地质调查与测绘、勘探、测试、试验等成果的基础上，结合勘察阶段、工程特点、设计方案、施工方法等对勘察工作的要求，进行岩土工程分析与评价，提供工程场地的工程地质和水文地质资料。

5.4.2 岩土参数的确定，应结合原位测试、室内试验和当地工程经验等综合分析并选用，应符合现行国家标准 GB50021 的有关规定。

5.4.3 勘察报告应资料完整、数据真实、内容翔实，逻辑清晰，文字、表格、图件互相印证；文字、标点符号、术语、数字和计量单位等应符合国家现行有关标准的规定。岩土工程分析评价应论据充分、针对性强，所提建议应技术可行、经济合理、安全适用。

5.4.4 预可行性研究、可行性研究阶段勘察报告宜按照线路编制，初步设计阶段勘察报告宜按照线路编制或按照地质单元、线路敷设形式编制，施工图阶段勘察报告宜按照工点分别编制；报告中应统一全线地质单元、工程地质和水文地质分区、岩土分层的划分标准。

5.4.5 矿山法隧道地质勘察成果应重点对下列内容作出分析评价，并提出工程处理措施的建议：

- a) 围岩状态、自稳性及围岩级别划分。
- b) 隧道涌水量、水压、突水突泥可能性等。
- c) 岩土膨胀压力。
- d) 与地表水体的水力联系。
- e) 滑坡、顺层、偏压。
- f) 高地应力地区地应力场。
- g) 有害气体、岩溶及人为坑洞。
- h) 缓倾岩层。

5.4.6 盾构法隧道地质勘察成果应重点对下列内容作出分析评价：

- a) 根据地层岩性、地质构造，提出盾构设备选型应注意的工程地质问题。
- b) 根据不良地质和特殊岩土对施工和工程安全的影响，提出工程措施的建议。
- c) 根据地表水体对盾构施工的影响，地下水对结构的渗透和浮托作用，提供防渗和抗浮设防水位。
- d) 根据周边建（构）筑物、地下管线等在施工过程中的安全性，提出迁改、防护等措施建议。
- e) 工程建设和周边环境相互影响的预测，提出预防措施的建议。

5.4.7 掘进机法隧道勘察成果分析及勘察报告应包括以下内容：

- a) 隧道洞身地层岩性、地质构造特征，各类地层岩性多样本统计的岩石单轴饱和抗压强度、磨蚀性等地质参数。
- b) 隧道洞身不良地质类型和特殊性岩土类型、具体段落、与隧道关系及其对掘进机法施工的影响，提出处理措施建议。
- c) 隧道洞身各地层应预测分段涌水量，推测突水、涌泥点，提出处理措施建议。
- d) 隧道洞身围岩掘进机工作条件分级，工作条件分级应符合 Q/CR 9528 要求。

5.4.8 明挖法隧道勘察成果应重点对下列内容作出分析评价：

- a) 厚度大于 3.0m 的填土层，应了解填筑年代、填料的主要成分、填筑方式等，宜采取土样进行室内试验和原位测试，查明填土的工程特性。
- b) 除提供室内试验常规岩土参数外，还应根据设计需要，提供土的三轴固结不排水抗剪强度、三

轴不固结不排水抗剪强度、渗透系数、静止侧压力系数、基床系数、无侧限抗压强度回弹模量、回弹指数、岩石单轴抗压(拉)强度、基设计参数、锚杆设计参数、土层电阻率及热物理指标等。

- c) 当场地水文地质条件复杂,在基坑开挖过程中需要对地下水进行控制(降水或隔渗),且已有资料不能满足要求时,应进行专门的水文地质勘察。
- d) 对于岩质边坡,应查明结构面(尤其是外倾软弱面)的类型及其力学性质、发育程度。
- e) 查明基坑开挖影响范围内是否有构造破碎带和软弱夹层。

5.4.9 勘察成果资料整理应符合下列规定:

- a) 各阶段勘察成果应具有连续性、完整性。
- b) 相邻区段、相邻工点的衔接部位或不同线路交叉部位的勘察成果资料应互相利用、保持一致。
- c) 勘探点平面图宜取合适的比例尺,应包含地形、线位、站位、里程、结构轮廓线等。
- d) 绘制工程地质断面图时,勘探点宜投影至线路断面上,断面图应包含里程标、地面高程、结构轮廓线等。
- e) 地质构造图、区域交通位置图等平面图应包括线路位置和必要的工点名称的标识。
- f) 勘察报告应包括文字部分、表格、图件,重要的支持性资料可作为附件。

5.4.10 勘察报告中的岩土工程分析评价应包括下列内容:

- a) 工程建设场地的稳定性、适宜性评价。
- b) 不良地质作用及特殊性岩土对工程影响的分析与评价,避让或防治措施的建议。
- c) 划分场地土类型和场地类别,抗震设防烈度大于或等于6度的场地,评价地震液化和震陷的可能性。
- d) 围岩、边坡稳定性和变形分析,支护方案和施工措施的建议。
- e) 工程建设与工程周边环境相互影响的预测及防治对策的建议。
- f) 地下水对工程的静水压力、浮托作用分析。
- g) 水和土对建筑材料腐蚀性的评价。

5.4.11 勘察报告中的岩土工程内容

5.4.11.1 勘察报告包括文字部分、表格、图件,重要的支持性资料作为附件。

5.4.11.2 勘察报告的文字部分一般包括下列内容:

- a) 勘察任务依据、拟建工程概况、执行的技术标准、勘察目的与要求、勘察范围、勘察方法、完成工作量等。
- b) 区域地质概况及勘察场地的地形、地貌、水文、气象条件。
- c) 场地地面条件及工程周边环境条件等。
- d) 岩土特征描述,岩土分区与分层,岩土物理力学性质、岩土施工工程分级、隧道围岩分级。
- e) 地下水类型,赋存、补给、径流、排泄条件,地下水位及其变化幅度,地层的透水及隔水性质。
- f) 不良地质作用、特殊性岩土的描述,及其对工程危害程度的评价。
- g) 场地土类型、场地类别、抗震设防烈度、液化判别。
- h) 场地稳定性和适宜性评价。
- i) 场地工程周边环境条件分析和工程相互影响的评价,环境保护的工程措施建议。
- j) 对各类工程和建筑结构进行岩土工程评价,并提出工程措施建议。
- k) 对施工过程中可能出现的工程地质问题进行预测,提出预防措施建议。
- l) 对工程建成后或运营过程中可能出现的工程地质问题进行预测,提出预防措施建议。

5.4.11.3 勘察报告的表格一般包括下列内容:

- a) 勘探点主要数据一览表。
- b) 标准贯入试验、静力触探、旁压试验、十字板剪切试验、动力触探试验等原位测试,岩土室内试验,抽水试验,水质分析等成果表。

- c) 各岩土层的原位测试、岩土室内试验统计汇总表；物探剪切波速测试成果，地震液化判别成果表。
- d) 各岩土层物理力学性质指标综合统计表及参数建议值表。
- e) 其他的相关分析表格。

5.4.11.4 勘察报告的图件一般包括下列内容：

- a) 勘探点平面布置图，工程地质纵、横断（剖）面图。
- b) 水文地质试验成果图。
- c) 钻孔柱状图，岩芯照片。
- d) 室内土工试验、岩石试验成果图。
- e) 波速、电阻率测井试验成果图，静力触探、动力触探、旁压试验等原位测试曲线图。
- f) 其他相关图件。

5.5 建构筑物调查

5.5.1 隧道工程自然环境条件调查应包括下列内容：

- a) 自然概况：地形、地貌特征。
- b) 环境保护：地表水体、农林资源、动植物资源等环境要素及保护要求，有关法令及规章制度对噪声、振动、地表下沉等的限制，以及补偿对象调查等。
- c) 气象资料：气温、气压、风向、风速以及雨量、地温等。

5.5.2 隧道工程周边环境条件调查应包括下列内容：

- a) 建（构）筑物：房屋、路基、桥梁、隧道、管线、水利设施、人防工程、架空高压线塔（杆）、文物等。
- b) 地下障碍物：地下空洞、古井、降水井、取水井、古墓葬、遗留桩基、锚杆（索）、抛石、沉船等。
- c) 施工条件：建筑材料及水、电供应情况，交通条件，施工场地及弃渣条件。

6 建筑材料

6.1 一般规定

6.1.1 隧道工程常用的各类建筑材料，可选用下列强度等级：

- a) 混凝土：C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60；
- b) 喷射混凝土：C25、C30、C35；
- c) 水泥砂浆：M10、M15、M20；
- d) 钢筋：HPB300、HRB400、HRB500、CRMG600。

6.1.2 隧道工程各部位建筑材料的强度等级应满足耐久性要求，并不应低于表 8~表 12 的规定。

表 8 矿山法隧道衬砌、支护建筑材料

工程部位	混凝土	钢筋混凝土	喷射混凝土
拱墙	C30	C35	C25
仰拱	C30	C35	C25
底板	—	C35	—

表 9 盾构法、TBM 法隧道衬砌建筑材料

结构类型	钢筋混凝土
预制装配式管片衬砌	C50
现浇模筑衬砌	C35
仰拱预制块	C40

表 10 明挖法隧道衬砌、支护建筑材料

结构类型	混凝土	钢筋混凝土
现浇模筑衬砌	—	C35
预制装配式衬砌	—	C40
地下连续墙和灌注桩	—	水下 C30
咬合桩	C20 缓凝混凝土	水下 C30
垫层	C20	—

表 11 沟槽、盖板及仰拱填充建筑材料

工程部位	混凝土	钢筋混凝土
水沟、电缆槽	C25	C30
水沟、电缆槽盖板	—	C30
仰拱填充	C20	—

表 12 洞门建筑材料

工程部位	混凝土	钢筋混凝土
端墙	C30	C35
洞口挡墙	C30	C35
截水沟	C25	C30
护坡	C25	—

注：护坡材料也可采用喷射混凝土、浆砌片石。

6.1.3 建筑材料的选用，应符合下列规定：

- a) 建筑材料应符合结构强度要求，同时应满足 TB10005 规定的抗渗、抗侵蚀、抗磨蚀等耐久性要求。
- b) 混凝土宜选用低水化热、低 C₃A 含量、低碱含量的水泥和矿物掺和料、引气剂等。
- c) 当有侵蚀性水经常作用时，所用混凝土和水泥砂浆均应具有相应的抗侵蚀性能。

6.1.4 混凝土所用的材料除应符合国家相关标准规定外，尚应符合下列要求：

- a) 钢筋混凝土中由水泥、矿物掺合料、骨料、外加剂和拌合用水等引入的氯离子总含量不应超过胶凝材料总量的 0.10%。
- b) 混凝土中的碱含量应满足表 13 的规定。
- c) 混凝土中的三氧化硫含量不应超过胶凝材料总量的 4.0%。
- d) 钢筋混凝土构件中的钢筋应符合 GB 1499 的规定。

表 13 混凝土的碱含量最大限值 (kg/m³)

设计使用年限		100 年	60 年
环境条件	干燥环境	3.5	3.5
	潮湿环境	3.0	3.0
	含碱环境	2.1	3.0

注：

1 混凝土的碱含量包括水泥、掺合料、骨料、外加剂及拌合用水的碱含量之和。其中，矿物掺合料的碱含量以其所含可溶性碱量计算。粉煤灰的可溶性碱量取粉煤灰总碱量的 1/6，磨细矿渣粉的可溶性碱量取磨细矿渣粉总碱量的 1/2，硅灰的可溶性碱量取硅灰总碱量的 1/2。

2 干燥环境是指不直接与水接触、年平均空气相对湿度长期不大于 75% 的环境；潮湿环境是指长期处于水下或潮湿土中、干湿交替区、水位变化区以及年平均相对湿度大于 75% 的环境；含碱环境是指与高含盐碱土体、海水、含碱工业废水或钠（钾）盐等直接接触的环境。干燥环境或潮湿环境与含碱环境交替作用时，均按含碱环境对待。

6.1.5 喷锚支护采用的材料，除应符合本文件的有关规定外，尚应符合下列要求：

- a) 喷射混凝土应优先采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。
- b) 喷射混凝土中的骨料粒径不宜大于 16mm，钢纤维喷射混凝土中的骨料粒径不宜大于 10mm。
- c) 锚杆杆体材料应符合国家、行业相关标准的规定。
- d) 砂浆锚杆用的水泥砂浆强度等级不应低于 M20。
- e) 钢筋网材料采用 HPB300，直径宜为 6~8mm。

6.1.6 混凝土和喷射混凝土中可根据需要掺加外加剂，其性能应满足下列要求：

- a) 对混凝土的强度及其与围岩的粘结力基本无影响，对混凝土和钢材无腐蚀作用。
- b) 对混凝土凝结时间影响不大（除速凝剂和缓凝剂外）。
- c) 不易吸湿，易于保存；不污染环境，对人体无害。

6.1.7 喷射钢纤维混凝土中的钢纤维宜采用普通碳素钢制成，并应满足下列要求：

- a) 钢纤维可采用方形或圆形断面，等效直径宜为 0.3~0.5mm。
- b) 长度宜为 20~25mm，并不得大于 25mm。
- c) 拉强度不得小于 600 MPa，并不得有油渍和明显的锈蚀。
- d) 掺量宜为混合料质量的 3.0%~6.0%。

6.1.8 预制管片中钢纤维类型应选用高强钢丝切断型钢纤维，钢纤维材料参数应符合现行行业标准 YB/T 151 的规定。钢纤维掺量不应小于 25kg/m³。

6.1.9 初期支护的钢架宜用钢筋、工字钢、H 形型钢或钢轨制成，也可用钢管或 U 形型钢制成。常用型钢的截面参数见附录 B。

6.1.10 明洞回填土压力按洞顶设计填土和一定数量坍方堆积土石的全部重力计算确定。填料的物理力学指标，当无试验资料时，可按表 14 采用。

表 14 明洞填料的物理力学指标

填料名称	重度 (KN/m ³)	计算摩擦角 φ_c
干砌片石	20	50°
回填土石	19	35°

6.1.11 常用建筑材料的重度应按表 15 的规定采用。

表 15 建筑材料的标准重度或计算重度

材料名称	混凝土	钢筋混凝土 (配筋率在 3%以内)	喷射 混凝土	钢材
重度 (kN/m ³)	23	25	22	78.5

注：钢筋混凝土配筋率大于 3%时，其重度为混凝土自重（扣除钢筋体积的混凝土重量）加钢筋自重。

6.2 按概率极限状态法设计的主要材料性能

6.2.1 混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值确定。立方体抗压强度标准值应为按标准方法制作、养护的边长为 150mm 的立方体试件，在 28d 或设计规定龄期以标准试验方法测得的具有 95%保证率的抗压强度值。

6.2.2 混凝土轴心抗压、轴心抗拉强度标准值 f_{ck} 、 f_{tk} 应按表 16 采用。

表 16 混凝土强度标准值 (MPa)

强度种类	符号	混凝土强度等级						
		C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60
轴心抗压	f_{ck}	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5
轴心抗拉	f_{tk}	2.01	2.20	2.39	2.51	2.64	2.74	2.85

6.2.3 混凝土轴心抗压、轴心抗拉强度设计值 f_c 、 f_t 应按表 17 采用。

表 17 混凝土强度设计值 (MPa)

强度种类	符号	混凝土强度等级						
		C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60
轴心抗压	f_c	14.3	16.7	19.1	21.1	23.1	25.3	27.5
轴心抗拉	f_t	1.43	1.57	1.71	1.80	1.89	1.96	2.04

6.2.4 混凝土受压和受拉的弹性模量 E_c 应按表 18 采用。混凝土的剪切变形模量 G_c 可按表 18 中的数值乘以 0.4 采用。混凝土的泊松比可按 0.2 采用。

表 18 混凝土的弹性模量 E_c ($\times 10^3$ MPa)

混凝土强度等级	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60
弹性模量 E_c	30.0	31.5	32.5	33.5	34.5	35.5	36.0

注：
1 当有可靠试验数据时，弹性模量可根据实测数据确定；
2 当混凝土掺有大量矿物掺合料时，弹性模量可按规定龄期根据实测数据确定。

6.2.5 钢筋的强度标准值应具有不小于 95%的保证率。普通钢筋的屈服强度标准值 f_{yk} 、极限强度标准值 f_{stk} 应按表 19 采用。

表 19 普通钢筋强度标准值 (MPa)

牌号	符号	公称直径 d (mm)	屈服强度标准值 f_{yk}	极限强度标准值 f_{stk}
HPB300	A	6~22	300	420
HRB400、HRBF400	C C ^F	6~32	400	540
HRB500、HRBF500	D D ^F	6~32	500	630

6.2.6 普通钢筋的抗拉强度设计值 f_y 、抗压强度设计值 f'_y 应按表 20 采用。当隧道结构中配有不同种类的钢筋时，每种钢筋应采用各自的强度设计值。

表 20 普通钢筋强度设计值 (MPa)

牌号	抗拉强度设计值 f_y	抗压强度设计值 f'_y
HPB300	270	270
HRB400、HRBF400	360	360
HRB500、HRBF500	435	435

注：对轴心受压构件，当采用 HRB500、HRBF500 钢筋时，钢筋的抗压强度设计值 f'_y 应取 400MPa。

6.2.7 普通钢筋的弹性模量 E_s 应按表 21 采用。

表 21 钢筋的弹性模量 (MPa)

钢筋种类	弹性模量 E_s	延伸率
HPB300	2.1×10^5	25%
HRB400、HRBF400	2.0×10^5	16%
HRB500、HRBF500	2.0×10^5	15%

6.3 其他常用材料

6.3.1 隧道设置防水板与无纺布时，其物理力学性能除应符合现行国家、行业相关标准的规定外，尚应符合下列要求：

- a) 防水板宜选用高分子防水材料，不得使用再生料；
- b) 防水板幅宽不应小于 2m；
- c) 无纺布单位面积质量不应小于 300g/m²。

- 6.3.2 止水带宜选用橡胶止水带或钢边橡胶止水带，止水条宜选用制品型遇水膨胀橡胶止水条。止水带（条）物理力学性能应符合现行国家、行业相关标准要求。
- 6.3.3 混凝土界面处理应采用 I 型界面剂；变形缝防水密封材料应采用混凝土建筑接缝用密封胶。
- 6.3.4 注浆材料应根据围岩工程地质和水文地质条件、注浆目的、注浆工艺和设备等因素，结合经济性合理确定，并应满足下列要求：
- 耐久性，稳定性好；
 - 固化时体积收缩小，固结后有较高的强度和抗渗性；
 - 低毒或无毒、无臭，对环境无污染或污染小，对人体无害；
 - 动水条件下，应满足抗分散性好、早期强度高、凝胶时间可调、结石体抗冲刷性能好等要求。
- 6.3.5 隧道工程防水涂料应具有良好的耐水性、耐久性、耐腐蚀性及耐菌性，并应具有无毒、阻燃和良好的粘结性。
- 6.3.6 管片密封垫宜采用三元乙丙橡胶类或遇水膨胀橡胶与三元乙丙橡胶的复合材料等，密封垫应符合下列规定：
- 密封垫的压缩永久变形率不应大于 25%。
 - 接缝闭合压缩力应小于千斤顶最大顶力。
 - 热力隧道的密封垫应满足耐热(老化)要求。
- 6.3.7 钢筋混凝土管片防腐蚀涂层应符合下列规定：
- 防腐蚀涂层宜为环氧或改性环氧类封闭型材料、水泥基渗透结晶型或硅氧烷类材料。
 - 防腐蚀涂层应具有良好的耐化学腐蚀性、抗微生物侵蚀性、耐水性、耐磨性，并应无毒或低毒。
 - 防腐蚀涂层应满足在盾尾刷挤压和摩擦下不损伤、不渗水。
- 6.3.8 管片连接螺栓的机械性能宜选用 6.8 或 8.8 级，应有较好的耐腐蚀性和抗冲击韧性，表面应进行防腐蚀处理。
- 6.3.9 钢管片及二次衬砌结构的钢材应符合现行国家标准 GB/T 700 和 GB/T 19879 的规定，并应符合下列规定：
- 钢材应为镇静钢，宜采用 Q235、Q355 或 Q390，其质量等级不应低于 B 级。
 - 钢材的屈服强度实测值与抗拉强度实测值的比值不应大于 0.85。
 - 钢材应有明显的屈服台阶，且伸长率不应小于 20%。

6.4 结构耐久性

- 6.4.1 混凝土结构的耐久性应根据结构的设计使用年限、结构所处的环境类别和环境作用等级进行设计。
- 6.4.2 混凝土结构的耐久性设计应包括下列内容：
- 确定结构的设计使用年限、环境类别及其作用等级；
 - 采用有利于减轻环境作用的结构形式和布置；
 - 规定结构材料的性能与指标；
 - 确定钢筋的混凝土保护层厚度；
 - 提出混凝土构件裂缝控制与防排水等构造要求；
 - 针对严重环境作用采取合理的防腐蚀附加措施或多重防护措施；
 - 采用保证耐久性的混凝土成型工艺、提出保护层厚度的施工质量验收要求。
- 6.4.3 隧道结构环境类别与环境作用等级应按 TB 10005 执行：
- 隧道结构按照碳化环境类别进行耐久性设计时，根据环境对钢筋混凝土结构的作用程度，环境作用等级分为 T1、T2、T3 三个等级。

b) 其他环境类别的耐久性设计按 TB 10005 的规定执行。

表 22 碳化环境的作用等级

环境作用等级	环境条件
T1	室内年平均相对湿度<60%
	长期在水下（不包括海水）或土中
T2	室内年平均相对湿度≥60%
	室外环境
T3	处于水位变动区
	处于干湿交替区

6.4.4 设计使用年限

- a) 主体结构和期间不可更换的结构构件，应根据使用环境类别，按设计使用年限为 100 年的要求进行耐久性设计；
- b) 使用期间可以更换且不影响运营的次要结构构件，可按设计使用年限 60 年的要求进行耐久性设计；
- c) 临时结构宜根据其使用性质和结构特点确定其使用年限。

6.4.5 材料要求

- a) 混凝土材料的强度等级、水胶比和原材料组成应根据结构所处的环境类别、环境作用等级和结构设计使用年限确定；
- b) 应针对具体的环境类别和环境作用等级，提出混凝土材料的氯离子扩散系数等具体量化的耐久性指标。
- c) 结构构件的混凝土强度等级应同时满足耐久性和承载能力的要求；
- d) 同一构件中的受力普通钢筋，宜使用同牌号的钢筋。
- e) 使用不同牌号热轧钢筋的混凝土构件，其耐久性设计要求相同。

6.4.6 不同环境作用下钢筋主筋、箍筋和分布筋，其混凝土保护层厚度应满足钢筋防锈、耐火以及与混凝土之间粘结力传递的要求，且混凝土保护层厚度设计值不得小于钢筋的公称直径。钢筋混凝土保护层厚度按 TB 10005 的规定执行。

6.4.7 采用矿山法、盾构法和掘进机法施工的隧道钢筋混凝土结构的表面裂缝计算宽度最大限值按 TB 10005 的规定执行，明挖法隧道钢筋混凝土结构的表面裂缝计算宽度最大限值按 GB/T 50476 的规定执行。

7 作用与组合

7.1 作用分类及作用效应组合

7.1.1 隧道结构上的作用分类应符合表 23 的规定。

表 23 隧道结构作用分类

作用分类	作用名称
永久作用	结构自重
	结构附加恒载
	围岩压力
	土压力
	混凝土收缩和徐变作用
	水压力及浮力
	基础变位影响力
	地面永久建筑物影响力
可变作用	地面超载和车辆荷载
	隧道内列车荷载及其制动力
	与隧道立交的铁路列车荷载及其产生的冲击力、土压力
	与隧道立交的渡槽流水压力
	温度变化的作用
	雪荷载
	风荷载
	岩土侵蚀作用
与各类结构施工有关的临时荷载	
偶然作用	人防荷载
	沉船、抛锚或河道疏浚产生的撞击力等其他荷载
	落石冲击力
注：	
1 围岩弹性抗力不作为设计荷载；	
2 当围岩为膨胀岩（土）时，应考虑所处水环境变化产生的膨胀力；	
3 其他未列作用，应根据其对隧道结构的影响特征考虑。	

7.1.2 隧道结构设计应根据使用过程中在结构上可能同时出现的作用，按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行组合，并应取各自最不利的组合进行设计。

7.1.3 对于承载能力极限状态，应按作用的基本组合、偶然组合或地震组合计算荷载组合的效应设计值，并应按下式进行计算：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (1)$$

式中： γ_0 ——重要性系数；

S_d ——作用组合的效应设计值；

R_d ——结构构件抗力的设计值。

7.1.4 对于正常使用极限状态，应根据不同的设计要求，采用作用的标准组合、频遇组合或准永久组合，并按下列表达式进行设计：

$$S_d \leq C \quad (2)$$

式中： C ——结构或结构构件达到正常使用要求的规定限值，例如变形、裂缝、振幅、加速度或应力等的限值，应按各有关结构设计规范的规定采用。

7.1.5 明洞荷载组合应符合下列规定：

- 明洞顶回填土压力计算，当有落石危害需检算冲击力时，可只计洞顶设计填土重力（不包括坍方堆积体土石重力）和落石冲击力的影响，具体设计时可过测量资料或有关计算验证。
- 当设置立交明洞时，应区分不同情况计算列车活载、公路活载或渡槽流水压力。
- 当明洞上方与铁路立交、填土厚度小于 3m 时，应考虑列车冲击力。洞顶无填土时，还应计算制动力的影响。
- 当计算作用于深基础明洞外墙的列车活载时，可不考虑列车的冲击力、制动力。止涌水。

7.2 永久作用

7.2.1 荷载应根据隧道的地形、地质条件、埋置深度、结构特征、工作条件、施工方法和相邻隧道间距等因素，按有关公式计算或按工程类比确定。当施工过程中发现其与实际不符时，应及时修正。对地质复杂的隧道，必要时应通过实地量测确定荷载的计算值及其分布规律。

7.2.2 当地表水平或接近水平，且矿山法隧道覆盖厚度满足（式 3）要求时应按浅埋隧道设计。当有不利于山体稳定的地质条件时，浅埋矿山法隧道覆盖厚度值应适当加大。

$$H < 2.5h_a \quad (3)$$

式中 H ——隧道拱顶以上覆盖层厚度；

h_a ——深埋隧道垂直荷载计算高度，按附录 C 的规定计算。

7.2.3 作用于隧道衬砌上的偏压力，除应考虑地形偏压外，尚应考虑由于地质构造引起的偏压。

7.2.4 复合式衬砌、明洞衬砌的永久荷载应按下列规定计算：

- 隧道结构自重可按结构设计尺寸及材料标准重度计算，结构附加荷载应按实际情况计算。
- 隧道内的预埋件附加荷载应根据预埋件自重及作用于预埋件上的荷载确定。
- 深埋隧道的荷载可按附录 C 的规定确定。
- 浅埋隧道的荷载可按附录 D 的规定确定。
- 偏压隧道的荷载可按附录 E 的规定确定。
- 明洞回填土压力应按洞顶设计填土和一定数量坍方堆积土石的全部重力计算。明洞回填土压力可按附录 F 的公式确定。
- 作用于洞门墙背的主动土压力可按库仑理论计算，当墙背仰斜（即墙背向地层倾斜）和直立时，土压力采用水平方向。隧道洞门土压力可按附录 A 的公式确定。

7.2.5 当盾构隧道位于岩石中时，地层压力宜根据围岩分级按现行行业标准 TB10003 的规定确定。

7.2.6 位于碎石土、砂土、标贯击数大于 8 的粉土或黏性土中的盾构隧道，竖向地层压力的计算应符合下列规定：

- a) 对于覆盖层厚度不大于 2 倍隧道外径的浅埋盾构隧道，竖向地层压力应按全土柱重量计算。
- b) 对于覆盖层厚度大于 2 倍隧道外径的深埋盾构隧道，竖向地层压力宜计及土体卸载拱作用的影响。

7.2.7 明挖隧道和位于标贯击数不大于 8 的粉土或黏性土中的盾构隧道，其竖向地层压力应按隧道顶面以上全部土柱重量计算。

7.2.8 盾构隧道底部的主动围岩压力应根据隧底地层条件、开挖直径、埋深等因素综合确定，当隧底地层在无支护状态下能够自稳时，可不计入底部地层的主动围岩压力；当隧底地层在无支护状态下不能自稳时，应计入使底部地层在无支护状态下处于极限平衡状态时所需的围岩压力。

7.2.9 盾构隧道和明挖隧道在长期使用阶段承受的地层水平压力宜按静止土压力计算。

7.2.10 水压力和浮力计算

7.2.10.1 水压力应根据围岩的渗透性确定。黏性土地层可按水土合算的方法确定，砂性土地层可按水土分算的方法确定，岩石地层应按水土分算、水土合算的不利情况确定。

7.2.10.2 水压力应根据设防水位以及施工和使用阶段可能发生的地下水位最不利情况，按静水压力计算其对结构的作用。

7.2.10.3 山岭隧道复合式衬砌上的外水压力可按下列规定计算：

- a) 排水型隧道衬砌一般不考虑外水压力，有特殊环境要求需采取“限量排放”的隧道可适当考虑外水压力。
- b) 不排水型隧道，应按 7.2.10.2 的要求计算外水压力。
- c) 岩溶及地下水发育地段，衬砌可适当考虑外水压力。

7.2.10.4 盾构隧道管片衬砌上的外水压力一般情况下应按全水头计算。当采取泄水型管片或增设排水洞室等排水措施时，可考虑对水压力的折减。

7.3 可变作用

7.3.1 铁路列车活载及公路车辆活载应按国家现行相关规范的规定计算。

7.3.2 盾构隧道使用期间地面超载不应小于 20kPa；施工期间盾构始发井和接收井周边地面超载应根据实际情况分析后取用，且不应小于 30kPa。

7.3.3 对受温度影响显著的刚架和截面厚度大的超静定结构，应考虑温度变化和混凝土收缩的影响。隧道结构温度变化影响应根据所处地区的气温条件、运营环境及施工条件确定，混凝土收缩及徐变影响可采用降低温度的方法计算。

7.3.4 结构构件在就地建造或安装时，作用在构件上的施工荷载、温度荷载、吊扣或其他机具荷载及在构件制造、运送、吊装时作用于构架上的临时荷载，应根据施工阶段、施工方法和施工条件确定。

7.4 偶然及地震作用

7.4.1 当铁路隧道结构作为人防工程时，人防荷载计算应符合现行国家标准 GB 50038 和现行行业标准 RFJ 02 相关规定确定。

7.4.2 当有落石危害需检算冲击力时，可通过现场调查或有关计算验证确定。

7.4.3 沉船、抛锚或疏浚撞击力应依据具体河道实际情况及通行船只情况，通过调查研究确定。

7.4.4 地震作用应符合现行国家标准 GB/T 51336、GB/T 51438 和 GB 50111 的相关规定。

8 隧道洞口

8.1 一般规定

8.1.1 山岭隧道洞口工程设计应符合下列要求：

- a) 隧道洞口设计应遵循“早进晚出、保护环境”的原则。
- b) 洞口不应大面积开挖边仰坡，有条件时尽量采用不刷仰坡进洞方案。
- c) 洞口边仰坡应根据岩（土）性质、气候、水文条件及边仰坡高度，采取工程加固和植被防护相结合的措施，有条件时可接长明洞；地震区边仰坡宜采用柔性防护措施。
- d) 当洞口处有岩堆、落石、泥石流等威胁时，可采取接长明洞或设置渡槽等措施；
- e) 线路应避免沿沟进洞，当不可避免时，应结合防排水工程，确定洞口位置；
- f) 漫坡地形的洞口位置，应结合排水、用地、弃渣等因素，综合分析确定；
- g) 洞口位于林区时，应考虑树木倒伏对铁路安全的影响。

8.1.2 城区隧道洞口工程设计应符合下列要求：

- a) 隧道洞口设计应遵循因地制宜、与环境相协调的原则。
- b) 洞口与油气设备、设施平面距离不应小于 50m。
- c) 隧道洞门及洞口截水天沟范围内不应有油气输送管道。
- d) 城市隧道洞口“U”形槽应设置雨棚，防止雨水流入隧道，雨棚设计应考虑台风、强降雨等影响。

8.1.3 洞口边仰坡周围应设置排水、截水设施，并与相邻工程排水系统、天然沟渠共同组成完整的排水系统；城区隧道洞口排水系统还应与市政排水管网相连。

8.1.4 洞口段应结合地形、地质条件和施工方法等确定工程措施，必要时可采取地表注浆、锚固桩等预加固措施。

8.1.5 洞口段应设置必要的检查设施及铭牌、号标等标志。

8.2 洞口段结构设计

8.2.1 隧道洞口应修建洞门，洞门可设计为挡（翼）墙式、端墙式、环框式或斜切式等型式，具体应根据洞口的地形、地质条件确定，并与洞外路基工程相协调。

8.2.2 挡（翼）墙、端墙式洞门设计应符合下列规定：

- a) 仰坡坡脚至洞门墙背的水平距离不应小于 1.5m，洞门端墙顶高出仰坡坡脚不应小于 0.5m，洞门端墙与仰坡间水沟的沟底至衬砌拱顶外缘的高度不宜小于 1m。
- b) 铺设有砟轨道的地段，当洞口有翼墙或挡土墙时，沿轨枕底面水平方向由线路中线至邻近翼墙、挡土墙的距离，至少有一侧（曲线地段系曲线外侧）不应小于 3.5m。
- c) 洞门墙应根据地基情况设置变形缝，墙身应设置泄水孔。
- d) 洞门端墙与衬砌之间应设置保证结构完整性的连接钢筋。

8.2.3 斜切式洞门设计应符合下列规定：

- a) 帽檐斜切式洞门帽檐高度不应小于 1.5m，仰坡坡脚至帽檐与衬砌交接距离不宜小于 1.5m。
- b) 洞门范围回填土应分层回填密实，并采取防冲刷、防溜坍的工程措施。

8.2.4 洞门墙基础的设置应符合下列要求：

- a) 基础应置于稳固的地基上，并埋入地面下一定深度，土质地基埋入的深度不应小于 1m，岩质地基埋入的深度不应小于 0.5m，并应低于洞口沟槽的基底。
- b) 当地基承载力不足时，应结合具体条件采用扩大基础、桩基、压浆加固等措施。

8.2.5 洞门端墙及挡（翼）墙可按容许应力法检算其强度，并检算其倾覆及滑动的稳定性。检算时应符合表 24 的规定。

表 24 洞门墙主要检算规定

墙身截面压应力 σ	\leq 容许应力
墙身截面偏心距 e	≤ 0.3 倍截面厚度
基底应力 σ	\leq 地基容许承载力
基底偏心距 e	岩石地基 $\leq B/4$ 土质地基 $\leq B/6$ (B ——墙底宽度)
滑动稳定系数 K_c	≥ 1.3 (抗震检算时 ≥ 1.1)
倾覆稳定系数 K_o	≥ 1.6 (抗震检算时 ≥ 1.3)
注:	
1 墙身截面偏心距规定仅适用于素混凝土结构。	
2 地震区洞门设防时, 应按地震及非震两种工况进行结构检算。	

8.2.6 洞门结构检算需要的地层计算摩擦角、地层重度、基底摩擦系数、地基容许承载力等参数, 应按地质勘察资料采用。

8.2.7 洞门墙的检算可按附录 A 的规定进行。

8.2.8 隧道洞门端墙钢筋可按结构承载要求或按照护面钢筋要求设置。

8.2.9 隧道的进洞方式应根据洞口的地形、地质等条件确定, 一般可采用下列方法:

- a) 洞口坡面较为陡峭, 岩层完整、无落石及风化剥落时, 可采用贴壁进洞。
- b) 洞口覆盖层较薄或地层松散破碎时, 可采用护拱+管棚进洞或地表预加固进洞。
- c) 洞口存在显著地形偏压或一侧露空的傍山地形, 可采用回填暗挖进洞或半明半暗进洞。

8.2.10 桥隧相连的洞口设计应综合考虑地形、地质条件、桥梁结构等因素, 并符合下列要求:

- a) 桥台进洞段隧道内净空尺寸, 应满足桥梁结构、桥梁架设及维修要求。
- b) 合理设计桥隧连接方式及施工工序, 统筹考虑隧道洞口、桥台基坑, 必要时对洞口稳定性进行检算。
- c) 隧道洞口排水系统应与桥梁排水系统协调布置, 防止隧道排水对桥台造成的不利影响。
- d) 隧道与桥梁相连段隧道内的救援通道应与桥梁人行道平顺连接。

8.2.11 设计速度 160km/h 及以上的铁路隧道, 洞门设计应考虑空气动力效应对周围环境的影响, 并应满足表 25 中的微气压波峰值要求, 必要时通过设置洞口缓冲结构降低微气压波峰值。

表 25 微气压波峰值控制标准

建筑物至洞口距离	建筑物有无特殊环境要求	基准点	微气压波峰值
$< 50\text{m}$	有	建筑物	按要求
	无		$\leq 20\text{Pa}$
$\geq 50\text{m}$	有	距洞口 20m 处	$< 50\text{Pa}$

8.2.12 隧道洞口缓冲结构设置应考虑列车类型、隧道长度、隧道净空有效面积、轨道类型、洞口环境等因素, 可采用等截面开孔式、变截面式或辅助坑道开孔等形式。

8.2.13 长度大于等于 5km 的隧道洞口及洞身浅埋段应考虑国防要求进行结构加强。

8.2.14 隧道洞口段需布置射流风机、信号转辙机、废水泵房等设施设备时，应进行技术、经济比选，合理确定隧道扩大段的结构尺寸，避免工程浪费。

8.3 洞口防护

8.3.1 隧道洞口上方有公路跨越或邻近洞口的路堑顶有公路并行时，应考虑延长洞口、接长明洞并在靠近铁路的公路一侧设置防撞护栏，护栏等级应符合有关规定。

8.3.2 隧道洞口应尽量避免通过危岩落石发育区。当无法避免时，应遵循多重防护、综合治理的原则，根据危岩落石特征、范围、地形地貌等因素，可选用清除、支顶、锚固、灌浆、防护网等主动防护措施，或拦石墙、落石槽、型钢栏栅、防护网等被动防护工程措施。有条件时，可接长明洞或设置棚洞。

8.3.3 隧路相连的洞口边坡防护应与路基边坡协调设计；隧道洞内排水沟与路基排水沟应顺畅连接。

9 矿山法隧道

9.1 一般规定

9.1.1 矿山法隧道宜采用新奥法原理进行设计，按照“少扰动、早喷锚、勤量测、紧封闭”的基本原则组织施工。

9.1.2 隧道应设衬砌。衬砌结构的型式及尺寸，可根据围岩级别、工程地质及水文地质条件、埋置深度、环保要求、结构工作特点，结合施工方法及施工条件等，通过工程类比和结构计算确定；必要时，还应经过试验论证。

9.1.3 计算复合式衬砌时，初期支护应按主要承载结构计算；二次衬砌在 I～III级围岩可作为安全储备，IV～VI级围岩及下列情况宜按承载结构设计：

- a) 浅埋、偏压地段；
- b) 抗震设防及国防设防段；
- c) 可能承受水头压力地段；
- d) 流塑性或挤压性围岩、膨胀岩（土）、软土、人工填土、松散堆积体等特殊地质地段；
- e) 施工过程中出现大量塌方地段；
- f) 为确保围岩稳定或周边环境安全，需提前施作二次衬砌地段等。

9.1.4 计算有仰拱的隧道和明洞衬砌，当仰拱先施作时，应考虑仰拱对结构内力的影响；当仰拱在边墙之后施作时，则可不考虑仰拱的作用。

9.1.5 隧道采用矿山法施工时，应根据地质条件、断面尺寸、辅助加固措施和周边环境条件等情况选择全断面法、台阶法、分部开挖法等施工方法。

9.2 衬砌结构

9.2.1 采用荷载—结构法计算矿山法隧道衬砌的内力和变形时，应考虑围岩对衬砌变形的约束作用如弹性反力。弹性反力的大小及分布可根据衬砌结构型式、回填情况和围岩的变形性质等因素，采用局部变形理论，由式（4）计算确定。

$$\sigma = K\delta \quad (4)$$

式中 σ ——弹性反力强度；

K ——围岩弹性反力系数，无实测数据时可按表 26 选用；

δ ——衬砌朝向围岩方向的变形值（m）。

计算明洞时，当墙背围岩对边墙变形有约束作用时，亦应考虑弹性反力的影响。

表 26 各级围岩的弹性反力系数

围岩级别	弹性反力系数 K (MPa/m)
I	1800~2800
II	1200~1800
III	500~1200
IV	200~500
V	100~200
VI	<100

9.2.2 矿山法隧道暗洞和明洞衬砌的素混凝土偏心受压构件，其轴向力的偏心距不宜大于截面厚度的 0.45 倍；对于半路堑式明洞外墙、棚式明洞边墙和砌体偏心受压构件，不应大于截面厚度的 0.3 倍。基底偏心距应符合表 24 的规定。

9.2.3 明洞的基底应力不得大于地基的容许承载力。半路堑单压式明洞、悬臂式明洞和受力情况类似挡土墙的结构等，其滑动稳定系数和倾覆稳定系数应符合表 24 的规定。

9.2.4 钢筋混凝土衬砌结构构件，考虑长期荷载作用的影响进行计算时，表面裂缝计算宽度限值不应大于 0.2mm，特殊环境条件下应符合 TB 10005 要求。

9.2.5 矿山法隧道衬砌设计应符合下列规定：

- a) 隧道应采用曲墙式衬砌，并宜采用复合式衬砌。
- b) 高地应力软岩、高压富水断层、浅埋偏压地层等特殊围岩区段宜采用钢筋混凝土。
- c) 位于地震区的隧道洞口、浅埋和偏压地段以及断层破碎带等地段应按 GB 50111 进行抗震设防。
- d) 一般情况下隧道宜设置仰拱，衬砌边墙与仰拱宜圆顺连接，II 级围岩、地下水不发育的 III 级硬质岩地段可设置钢筋混凝土底板，厚度不应小于 30cm。
- e) 软硬地层分界处、明暗洞分界处、活动断裂地段、充填溶洞地段、采空区地段等应设置变形缝。
- f) 缓倾软质岩、膨胀岩土、高地应力软岩、高压富水等地段应结合隧底上拱风险评估结论，对隧底结构进行针对性设计。
- g) 可溶岩地段隧道衬砌结构应结合围岩级别及衬砌受力情况合理设置构造钢筋或受力钢筋，具体设计措施应结合经济技术比选确定。

9.2.6 隧道正洞与辅助坑道、横通道、运营通风洞、大型洞室等连接处的衬砌应加强。

9.2.7 位于曲线地段的隧道，断面加宽应根据直线地段衬砌内轮廓、建筑限界、曲线半径、线间距计算确定。缓和曲线部分加宽可分两段，自圆曲线至缓和曲线中点，并向直线方向延长 13m，应采用圆曲线加宽断面；其余缓和曲线，自直缓分界点向直线段延长 22m，应采用缓和曲线中点加宽断面，其加宽值取圆曲线加宽值的一半（图 1）。

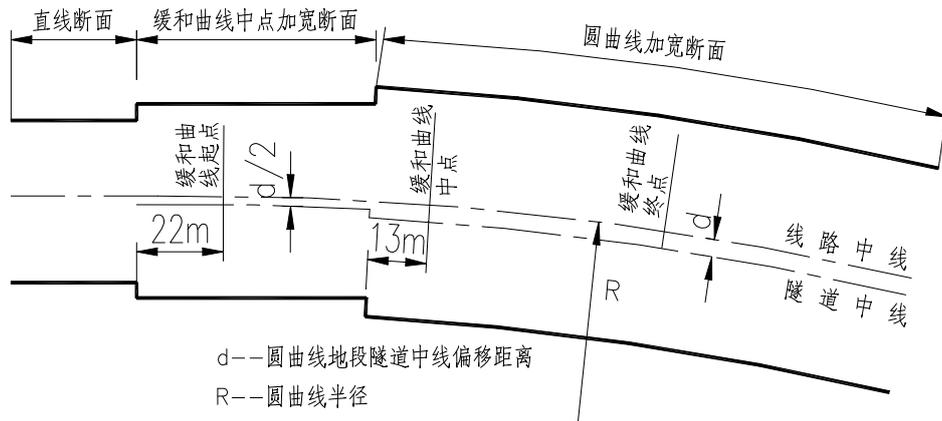


图1 曲线地段隧道加宽示意图

位于曲线地段车站上的隧道及区间曲线地段的双线隧道，断面加宽值应根据站场及线路具体情况计算确定。

9.2.8 喷锚衬砌和复合式衬砌的初期支护，可按工程类比法确定设计参数；施工期间应通过监控量测进行修正。对地质复杂、大跨度、多线和有特殊要求的隧道，除采用工程类比法外，还应结合数值解法或近似解法进行分析确定。

9.2.9 复合式衬砌设计应综合考虑包括围岩在内的支护结构、断面形状、开挖方法、施工顺序和断面闭合时间等因素，充分发挥围岩的自承能力。

9.2.10 初期支护及二次衬砌的设计参数，应根据隧道围岩分级、围岩构造特征、地应力条件等采用工程类比、理论分析确定。

9.2.11 复合式衬砌各级围岩隧道预留变形量值可根据围岩级别、开挖跨度、埋置深度、施工方法和支护条件，采用工程类比法确定；当无类比资料时，可按表 27 采用。

表 27 预留变形量 (mm)

围岩级别	小跨	中跨	大跨
II	—	0~30	30~50
III	10~30	30~50	50~80
IV	30~50	50~80	80~120
V	50~80	80~120	120~170

注：

1 隧道跨度的划分按 TB10003-2016 第 1.0.6 条的规定执行。

2 浅埋、软岩、跨度较大隧道取大值；深埋、硬岩、跨度较小隧道取小值。

3 有明显流变、原岩应力较大和膨胀岩（土），应根据量测数据反馈分析确定预留变形量。

4 特大跨度隧道，应根据量测数据反馈分析确定预留变形量。

9.2.12 初期支护的组成应根据围岩条件、地下水情况、隧道断面尺寸及其埋置深度等条件确定，并应符合下列规定：

- a) 喷射混凝土应优先采用湿喷工艺，厚度不应小于 5cm。
- b) 钢筋网应以直径 6~8mm 的钢筋焊接而成，网格间距宜为 15cm~25cm；应在初喷混凝土后铺设。

- c) 系统锚杆宜沿隧道周边按梅花形均匀布置，其方向应接近于径向或垂直岩层。系统锚杆应设垫板，垫板应与喷层面密贴。
- d) 钢架可设于隧道拱部、拱墙或全环；钢架应在开挖后或初喷混凝土后及时架设，钢架背后的间隙应设置垫块并充填密实。

9.2.13 隧道仰拱与底板设计应明确下列要求：

- a) 仰拱或底板施工前，应将隧底虚渣、杂物、积水等清理干净，超挖部分应采用同级混凝土回填。
- b) 仰拱应超前拱墙衬砌施作，其超前距离宜保持 2 倍以上衬砌循环作业长度。
- c) 仰拱或底板施工缝、变形缝处应作防水处理。
- d) 仰拱或底板施作应分段一次成型。
- e) 仰拱填充应在仰拱混凝土终凝后施作。

9.2.14 隧道衬砌混凝土应连续灌筑，拱圈、仰拱、底板不得留纵向施工缝；隧底结构应整幅灌筑，当不可避免时，应加强结构及防水措施。

9.2.15 隧道衬砌纵向施工缝应设在水沟盖板面以下、侧沟过水面以上。

9.2.16 变形缝处混凝土结构的厚度不应小于 300mm，变形缝的宽度宜为 20mm~30mm。

9.2.17 隧道超挖部分应采用同级混凝土回填。

9.2.18 拱顶应进行充填注浆以保证初期支护与二次衬砌密贴。

9.2.19 抗震设防段衬砌应设变形缝，对地震动峰值加速度 0.2g 及以上地区，隧道结构尚应符合下列规定：

- a) 抗震设防段应采用带仰拱的曲墙式衬砌。
- b) 浅埋、偏压的土质或破碎围岩地段宜进行围岩径向注浆。
- c) 活动断层破碎带地段，应合理选择支护形式及隧道断面形状，并适当预留断面净空。

9.3 辅助坑道

9.3.1 辅助坑道类型的选择应遵循下列原则：

- a) 优先选择横洞。受地形条件限制时，可选择斜井或平行导坑。特殊条件下经过技术条件比选后方可选择竖井。
- b) 高瓦斯隧道应结合施工通风优先选择平行导坑。
- c) 岩溶水发育的隧道应优先选择横洞或平行导坑兼顾泄水功能，亦可单独设置泄水洞。

9.3.2 辅助坑道应选择在地质条件好的地层中，避免穿过工程地质及水文地质条件复杂和不良地质地段，当需要通过时，应采取可靠的工程技术措施。在岩溶发育和地下水丰富地段不宜设置斜井和竖井。

9.3.3 辅助坑道运输方式应根据施工机械配备情况、辅助坑道的坡度、长度、断面大小、出渣量及工期等条件，经技术经济比较确定。

9.3.4 辅助坑道的洞（井）口位置选择应结合地形条件、洪水位高程、施工场地布置、交通条件、环境保护及弃渣综合确定。辅助坑道洞（井）口、洞（井）身应设有排水系统，保障施工和运营安全。斜井和竖井排水应纳入正洞排水系统统筹考虑。

9.3.5 辅助坑道断面尺寸应根据用途、运输要求、支护类型、设备外形尺寸及技术条件、人行安全及管路布置、安全距离等因素确定。兼做运营期间通风道时，应按通风设计要求核算其面积。

9.3.6 辅助坑道支护结构可采用喷锚衬砌；软弱破碎围岩段等特殊地质地段，洞（井）口段、岔洞段、与正洞交叉段及有特殊要求地段应采用复合式衬砌，竖井马头门应采用模筑衬砌。兼作运营服务使用的辅助坑道应按永久工程进行结构和防排水设计，宜采用模筑衬砌，设计使用年限为 60 年。

9.3.7 采用单车道断面的横洞、斜井、平行导坑或泄水洞，应每隔一定距离设置错车道，在隧道主体工程竣工后，辅助坑道洞（井）口及其与正洞连接处应进行系统设计，错车道间距及连接处系统设计应满

足 TB10003 相关规定。

9.3.8 辅助坑道与正洞、横通道交叉口段应尽可能避开不良地质或特殊地质区域，交叉口段支护设计应考虑结构空间效应并适当加强，并应进行开挖步骤和监控量测设计。交叉口段的施工缝、沉降缝应做防水措施设计。

9.3.9 辅助坑道的开挖、支护和衬砌应满足 TB10003 相关规定。

9.3.10 傍山、沿河隧道需设辅助坑道时，宜优先考虑采用横洞，其位置应考虑施工需要和施工主攻方向。横洞与隧道中线连接处的平面交角不宜小于 40° ，并应有向洞外不小于 3% 的下坡。

9.3.11 平行导坑的设置应符合下列要求：

a) 宜设在地下水来源或出渣运输方便的一侧。对于预留第二线的隧道，应设在二线位置上；位于软弱围岩和特殊地质地段的平导断面、衬砌等宜结合二线综合考虑。

b) 与隧道的净距应按地质条件、隧道断面尺寸及施工方法等因素确定。一般情况下，可按第 4 章表 3 的规定执行。

c) 平导纵坡一般与正洞一致，其坑底高程应根据其功能、运输方式、地下水富水程度等确定，一般宜低于隧道水沟底面不少于 1.2m。兼作排水通道的平行导坑应根据水力计算确定。

9.3.12 平行导坑与正洞之间应设置横通道，并应符合下列规定：

a) 应尽量避免通过断层、岩层破碎带等不良地质地段；

b) 与隧道中线的交角宜为 40° ；

c) 间距应根据施工及进度需要、运营期间功能要求、设备洞室等综合考虑，宜为 300~500m。

9.3.13 隧道需增加工作面时，可在其洞身埋置不深且地质条件较好地段采用斜井或竖井。斜井和竖井井口位置应考虑场地条件和防洪要求，井口应高出洪水频率为 1/100 的水位至少 0.5m，且有可靠的防洪措施。

9.3.14 斜井的设置应符合下列规定：

a) 斜井运输方式应根据提升量、斜井长度、坡度及井口地形选择。

b) 井底车场与隧道中线连接处的平面交角不宜小于 40° 。

c) 斜井井口场坪应设计为向洞外不小于 3% 的下坡；井底应设缓坡段。井口和井底变坡点应设置竖曲线，竖曲线半径宜采用 12~20 m。

d) 斜井应设置宽度不小于 0.7m 的人行道，倾角大于 15° 时应设置台阶。

e) 无轨运输斜井，每隔 300~500m 宜设置一处安全防撞设施。

f) 有轨运输的斜井井身纵断面不宜变坡，井身每隔 30~50 m 应设一个躲避洞。

g) 采用无轨运输的斜井，其坡度应与运输车辆的爬行能力相适应，其综合坡度不宜大于 10%。

斜井宜按 200~300m 的间距设置缓坡段，缓坡段坡度不宜大于 3%，并应与错车道或防撞设施结合设置。有轨运输斜井采用矿车提升时倾角不宜大于 25°

9.3.15 竖井的设置应符合下列规定：

a) 平面位置宜设在隧道的外侧，与隧道的净距宜为 15m~20m。

b) 竖井断面宜采用圆形，根据提升设备、管路布置、安全通道、安全距离等因素综合确定断面尺寸；竖井较浅时，可选择矩形断面。

c) 井筒内应设置安全梯或其他升降安全设施。

d) 井筒与井底车场连接处（或称马头门）应能满足通过隧道内所需的材料和设备的要求。

e) 竖井应根据使用期限、井深、提升量，并结合安装维修等因素，选用钢丝绳罐道或刚性罐道。

f) 竖井进口应设钢筋混凝土井颈，马头门应采用模筑混凝土衬砌。竖井在一般地质条件下可不设壁座，但在井口段、地质条件较差的井身段及马头门的上端应设壁座，其型式、间距可根据地质条件、施工方法及支护类型确定。

9.3.16 泄水洞设计应符合下列规定：

- a) 隧道周边发育有暗河或富水型岩溶管道且危及隧道施工、运营安全时，应设置泄水洞进行引排。
- b) 隧道周边围岩富水裂隙强烈发育，采用注浆措施仍无法达到设计要求时，宜设置泄水洞进行泄压。
- c) 隧区岩溶强烈发育，地表发育有洼地、落水洞且采用地表封闭、截排措施较为困难时，宜设置泄水洞。
- d) 隧道二次衬砌出现开裂渗水现象且周边存在较大地下水压时，宜设置泄水洞。
- e) 岩溶水发育的隧道在确定辅助坑道时，应优先选择平行导坑兼作泄水洞。
- f) 设置了泄水洞的隧道应动态反馈信息，及时明确泄水洞实施启动条件和优化方案。

9.3.17 泄水洞宜设置在地下水来源一侧，与隧道的净距应按地质条件，隧道断面尺寸及施工方法等因素确定，泄水洞纵坡应根据水力计算确定，一般与正洞一致，其坑底高程应预留对侧引排条件，一般宜低于正洞内轨顶面高程不少于 3.5m。

9.3.18 泄水洞与正洞间应设置横通道，间距应根据施工安全需要、运营期间功能要求综合考虑，宜为 300m~500m，可根据开挖揭示地质情况适当调整，泄水洞应遵循适度超前原则，超前距离一般不小于 200m，且不得大于 500m。

9.3.19 泄水洞应结合正洞地质条件及涌（出）水情况设置集水廊道，集水廊道与隧道中线的平面交角宜为 90°，坡度宜结合施工条件、涌（出）水点与泄水洞高程关系等综合确定。

9.3.20 泄水洞洞外排水设施应避免不良地质、不稳定地质体，应避免对下游构筑物产生次生灾害，以最短途径引排到自然稳定的沟谷中，途径涵洞排放时，应与涵洞无缝顺接，并应验算其过水能力，防

9.4 施工方法及辅助施工措施

9.4.1 矿山法施工应符合下列规定：

- a) I、II 级围岩一般采用全断面法开挖；其他围岩采用全断面法时，应与辅助工法相结合。
- b) III~V 级围岩一般采用台阶法开挖，对变形控制严格的大断面隧道可采用中隔壁法、交叉中隔壁法、双侧壁导坑法等分部开挖法。
- c) VI 级围岩在采取辅助施工措施后，可采用分部开挖法或台阶法开挖。
- d) 采用机械化配套施工的隧道，宜结合配套的机械设备，尽量采用全断面或微台阶法开挖。

9.4.2 特殊地段需要采用矿山法施工的，必须采取施工辅助措施确保施工安全、控制地面沉降、地面正常交通和地下管线安全等。

9.4.3 超前支护措施可采用超前锚杆、超前小导管、超前管棚、超前管幕、超前水平旋喷等，应根据地层条件和周边环境条件等综合确定。

9.4.4 超前锚杆可用于开挖临空后可能存在剥落或局部明塌的软弱围岩及缓倾岩层地段。

9.4.5 超前小导管可用于自稳时间短的软弱破碎带或浅埋、偏压等地段。

9.4.6 超前管棚可用于洞口及洞身浅埋段、软弱围岩或断层破碎带、地表有重要建（构）筑物等地段。

9.4.7 超前管幕可用于大断面浅埋段、穿越道路或重要建（构）筑物时对地表沉降控制要求极为严格等地段。

9.4.8 隧道开挖掌子面自稳能力差、易坍塌时，可采用水平旋喷、喷射混凝土封闭、锚杆加固、开挖工作面注浆等稳定措施。

9.4.9 围岩加固措施可采用锚杆、注浆、深层搅拌、高压喷射注浆、地层冻结等，应进行综合比选后确定。

9.4.10 围岩加固范围及强度指标应根据加固需求、所处地段工程地质和水文地质条件综合确定。

9.4.11 围岩锚杆加固适用于砂质地层，裂隙发育较高的围岩，弱膨胀性、流变性较小等地下水较少的地层。

- 9.4.12 注浆加固适用于砂土、粉土、粘性土、强全风化岩和一般填土层，以及软弱围岩破碎带。
- 9.4.13 深层搅拌加固适用于淤泥质黏土、淤泥质粉质黏土、黏土、粉质黏土、黏质粉土等软土地层。
- 9.4.14 高压喷射注浆加固适用于淤泥质黏土、淤泥质粉质黏土、黏质粉土、砂质粉土、粉砂等地层。
- 9.4.15 地层冻结法适用于含盐量较少、地下水水流速较小的含水地层加固。
- 9.4.16 围岩加固措施应进行现场或室内试验检验其实施效果。

9.5 附属结构

- 9.5.1 隧道内可不设置避车洞、绝缘梯车洞，其他设备洞室应根据相关工程要求和维修要求，与双洞单线隧道的横通道统筹设置或多个洞室合并设置。
- 9.5.2 隧道内宜设置双侧电缆槽及水沟，靠近线路侧的沟槽壁应设置构造钢筋。
- 9.5.3 隧道内沟槽应设盖板，盖板应平整，铺设稳固。电缆槽盖板顶面应与洞室底面或道床顶面平齐，当电缆槽与水沟同侧并行时，应与水沟盖板平齐；设有疏散通道的隧道侧沟及电缆槽盖板应与疏散通道齐平。
- 9.5.4 隧道设备洞室与隧道衬砌施工缝、变形缝、衬砌断面变化处的净距不应小于一倍洞室跨径。
- 9.5.5 山岭隧道洞内接触网下锚区素混凝土段宜布置在地质条件良好的地段。接触网下锚设施不应侵占救援通道。
- 9.5.6 洞室应设置衬砌，其结构类型、建筑材料应与正洞一致。
- 9.5.7 隧道内附属构筑物及安装设计应考虑列车通过时所产生的的压力变化和列车风的影响，并应按照最不利情况组合考虑。

9.6 特殊地质设计

- 9.6.1 矿山法隧道特殊地质段设计应包括以下主要内容：
 - a) 超前地质预报设计；
 - b) 特殊地质处置方案设计；
 - c) 风险管理设计；
 - d) 衬砌结构设计；
 - e) 监控量测设计。
- 9.6.2 岩溶隧道勘察设计应根据地形、地质、水文条件及工程所处环境等特点，综合考虑施工、运营、维护要求，合理确定技术方案和工程措施。岩溶隧道衬砌结构设计应综合考虑围岩级别、岩溶类型、地下水发育状况、岩溶洞壁稳定状况、与隧道的空间关系等因素，确定结构类型。
- 9.6.3 膨胀岩（土）隧道应根据岩性、成因、膨胀率、膨胀力等情况，采用工程类比、理论计算方法进行设计。二次衬砌应采用曲墙带仰拱结构，必要时可采用钢筋混凝土。
- 9.6.4 通过含瓦斯地层的隧道，应根据不同地段瓦斯赋存或涌出情况、瓦斯动力现象划分瓦斯工区、瓦斯地段等级，确定瓦斯隧道类型，并针对不同瓦斯地段等级进行防治瓦斯设计。瓦斯隧道施工期间，还应根据预测及揭示地质资料及时修正设计。瓦斯隧道二次衬砌厚度不应小于40cm。
- 9.6.5 隧道通过采空区时，应根据采空区年代、规模、分布范围、与隧道空间关系等评价采空区对隧道影响程度，进行采空区处治预设计。
- 9.6.6 岩爆隧道设计应遵循以防为主，防治结合的原则。
- 9.6.7 穿越风积沙、含水砂层地段的隧道，应根据沙（砂）层特性、规模，综合考虑颗粒级配、相对密度、承载力、地下水压力和渗透系数等因素确定设计方案。

10 掘进机法隧道

10.1 一般规定

- 10.1.1 辅助坑道设置困难、受环境限制的铁路隧道，地质条件、场地布置、设备运输、水电供应等条件适宜时，宜采用掘进机法。
- 10.1.2 掘进机法铁路隧道工程应开展综合地质选线研究，宜避免穿越不良地质高风险地段，不能绕避时应以最短距离穿过。
- 10.1.3 掘进机类型选择和设备基本功能确定应根据工程特点、地质条件、施工环境等因素确定，并应满足安全可靠、技术先进和经济合理的要求。
- 10.1.4 掘进机法铁路隧道内轮廓应根据建筑限界、空气动力学效应、机车车辆类型及密封性、接触网悬挂方式、疏散救援、轨道结构类型、运营维护要求等综合确定。
- 10.1.5 采用掘进机法施工的隧道，应考虑掘进机的施工通风、排水、运输、组装、拆卸、供配电、洞内运输方式、场地等因素。
- 10.1.6 掘进机法铁路隧道穿越不良地质时，应开展针对性勘察、设计，提出可靠的装备制造要求，并制定专项施工方案。
- 10.1.7 掘进机法铁路隧道应分阶段开展风险评估工作，制定相应处理措施和应急预案，并进行动态管理。

10.2 掘进机选型

- 10.2.1 掘进机选型应遵循“地质适应、安全可靠、经济合理、绿色环保”的原则；选用既有设备时，应开展设备适应性及可靠性评估，必要时进行设备修复改造。
- 10.2.2 掘进机选型应综合考虑地质条件、施工环境、工期要求、经济性等因素。
- 10.2.3 掘进机选型应考虑以下因素：
- a) 隧道地层岩性、地质构造、水文地质、岩石坚硬程度、岩体完整性、围岩应力状态、岩石磨蚀性、不良地质情况等。
 - b) 沿线建（构）筑物、环境保护区等周边环境条件。
 - c) 隧道长度、平面、纵断面、支护结构等设计参数。
 - d) 洞口施工场地、交通、水电供应、气候等条件。
 - e) 施工工期要求。
- 10.2.4 敞开式岩石隧道掘进机、单护盾岩石隧道掘进机、双护盾岩石隧道掘进机地质适应性可参照表 28 的要求。

表 28 各类型 TBM 地质条件适应性表

掘进机类型	敞开式岩石隧道掘进机	单护盾岩石隧道掘进机	双护盾岩石隧道掘进机
围岩级别	II~IV级	IV~VI级	II~VI级
岩石坚硬程度	较软岩~二级极硬岩	软岩~硬岩	软岩~二级极硬岩
岩石抗压强度	15MPa~150MPa	5MPa~60MPa	5MPa~150MPa
岩体完整性	RQD>40	/	RQD>25

注：岩体完整性不作为单护盾岩石隧道掘进机选型的主要影响因素。

10.3 衬砌结构

10.3.1 掘进机施工的隧道内轮廓应根据建筑限界、空气动力学效应、机车车辆类型及密封性、接触网悬挂方式、疏散救援、轨道结构类型、运营维护等综合确定。

10.3.2 掘进机法铁路隧道横断面应根据内轮廓、支护类型、结构尺寸、沟槽布置、轨下结构、施工误差、预留变形量、掘进机扩挖能力等因素设计。

10.3.3 掘进机施工的隧道，可采用复合式衬砌、管片衬砌、喷锚衬砌等结构形式。

10.3.4 敞开式掘进机施工隧道衬砌结构设计

10.3.4.1 隧道宜采用复合式衬砌，宜采用同步衬砌形式，底部结构宜采用仰拱预制块形式。

10.3.4.2 复合式衬砌结构参数应综合考虑围岩条件、水文地质条件、结构特点等通过工程类比和结构计算确定。施工期间应根据围岩特征、掘进参数及监控量测进行修正。

10.3.4.3 初期支护及围岩应作为主要承载结构，承担隧道施工期间的全部围岩荷载。初期支护宜采用喷锚网、钢筋排、钢架等联合支护，必要时应辅以注浆加固等措施。特殊地段，初期支护也可采用模筑混凝土作为加强措施。

10.3.4.4 预留变形量值可根据围岩条件、埋置深度、开挖直径、施工环境和支护情况，采用工程类比法综合确定。

10.3.4.5 初期支护的组成应根据围岩条件、地下水情况、隧道断面尺寸及其埋置深度等条件确定，并应符合下列规定：

- a) 喷射混凝土强度不宜低于 C25；用于大跨度及特殊条件下的工程支护时，其设计强度等级不宜低于 C30。岩爆、软弱围岩等需及早发挥初支强度时，喷射混凝土可添加钢纤维或合成纤维。
 - b) 喷射混凝土应采用湿喷工艺，最小厚度不应小于 5cm。
 - c) 钢筋网钢筋直径应为 6mm~8mm，网格间距宜为 15cm~25cm；
 - d) 系统锚杆宜沿隧道拱墙按梅花形均匀布置，其方向应尽可能径向或与岩面大角度相交。
 - e) 掘进机施工隧道钢架应全环设置，开挖后宜紧贴岩面及时架设。需局部加强地段可采用局部钢架或格栅。
 - f) 岩体破碎部位初期支护宜采用围岩加固，锚喷网、钢筋排与钢架等联合支护手段。
- 10.3.4.6 仰拱预制块应采用钢筋混凝土结构，仰拱预制块强度等级不应低于 C40，并符合以下规定：
- a) 仰拱预制块尺寸应根据隧道断面尺寸、循环进尺、运输方式、排水沟设置等因素综合确定，并应检算其脱模、翻转、吊装、运输、洞内安装及二衬整体受力等工况。
 - b) 设置钢架支护地段，仰拱预制块底部弧形部位应设置环向槽。
 - c) 仰拱预制块应采用洞外工厂化预制，洞内拼装，其底部应采用细石混凝土回填密实，局部空隙可采用注浆填充。
 - d) 仰拱预制块应预留回填孔、吊杆、钢架安装槽、止水带安装槽、水沟接头防水处理槽等，当采用有轨运输方式时还应预留承轨槽道钉孔。
 - e) 仰拱预制块应检算其脱模、翻转、吊装、运输、洞内安装及二衬整体受力等工况。

10.3.4.7 拱顶应进行充填注浆以保证初期支护与二次衬砌密贴。

10.3.4.8 不良地质、特殊区段的复合式衬砌支护设计应符合下列规定：

- a) 隧道洞口段、洞室交叉口段、断面变化处等特殊部位应加强支护结构；
- b) 围岩存在断层、破碎带或不稳定块体时，应加强支护结构；
- c) 高地应力软岩大变形、硬岩岩爆等应采用能主动加固围岩和有效控制围岩应力释放的支护体系。

10.3.5 护盾式掘进机施工隧道衬砌结构设计

10.3.5.1 隧道宜采用预制管片衬砌。管片衬砌结构承担围岩压力、自重、洞内附属设施产生的附加荷载等永久荷载，同时应考虑掘进机的推进力、壁后充填注浆压力等施工荷载。非排水型衬砌应考虑外水压力。

10.3.5.2 管片厚度应根据隧道所处工程地质、水文地质、埋置深度、隧道直径、管片材料、施工工艺等综合确定。

10.3.5.3 隧道管片分块应综合考虑管片直径、受力要求、管片运输、管片拼装、防水效果和纵向螺栓的分布等相关因素。

10.3.5.4 管片环宽应综合考虑地质条件、曲线空间、盾尾长度、运输、组装及防水等因素，一般宜取1000mm~2000mm。

10.3.5.5 管片衬砌宜采用通用环管片进行隧道线形拟合。楔形环管片可采用单面楔形或双面楔形形式。衬砌环楔形量应根据隧道平面曲线半径、竖曲线半径及线路纠偏需要等因素确定。

10.3.5.6 管片拼装方式可分为通缝和错缝两种型式。对防水要求高、软土地区、大直径断面的隧道，应优先采用错缝拼装方式。

10.3.5.7 管片接头包含纵向和环向接头。管片间一般可采用斜直或弯形螺栓接头形式。如有特殊要求时，也可采用铰接头、销插入式、楔接头、榫接头等形式。

10.3.5.8 管片衬砌宜采用钢筋混凝土平板形结构，开口处可采用箱形钢管片。

10.4 服务洞室

10.4.1 掘进机服务洞室一般包括预备洞、始发洞、检修洞、组装洞及拆卸洞等，应根据需要选择设置，并应符合以下规定：

- a) 预备洞净空与掘进机开挖直径间隙不宜小于15cm。预备洞长度应根据掘进机拼装、运输等需要确定。
- b) 掘进机法铁路隧道应设置始发洞，始发洞长度、断面尺寸可根据掘进机类型和始发方式确定。
- c) 掘进机洞内组装时应设置组装洞，断面尺寸应根据吊装设备、车辆运输、作业空间等因素确定。
- d) 检修洞长度宜为主机长度与2倍开挖直径之和，并考虑走行轨两侧盲区，且不宜小于30m。检修洞与掘进机净空不宜小于80cm。
- e) 拆卸洞长度宜为主机长度与2倍开挖直径之和，且不宜小于30m。两侧宽度均不小于1m，高度结合最大件、起吊设备尺寸等要求确定。
- f) 服务洞室的具体技术要求，除符合上述规定外，尚应根据掘进机设备的具体工作要求确定。

10.4.2 护盾式岩石掘进机始发洞底部应设置导向台和反力架。

10.5 辅助工程

10.5.1 辅助工程设计应综合考虑工程特点、施工组织、地形地貌、地质灾害、防洪防涝及环境条件等因素，确定辅助工程方案。

10.5.2 掘进机法铁路隧道应在设计阶段开展运输道路的现场调查核对工作，并对道路净空、曲线半径、承载能力及邻近建（构）筑物、管线等掘进机运输影响因素进行评估。

10.5.3 掘进机进场运输道路应优先使用既有道路。当既有道路不满足运输条件时，应进行加固改造，必要时可新建道路。

10.5.4 辅助工程供配电容量应根据掘进机、带式输送机、通风机和办公生活等用电总负荷确定。

10.6 特殊地质设计

10.6.1 特殊地质段设计应包括以下主要内容：

- a) 超前地质预报设计。
- b) 特殊地质处置方案设计。

- c) 风险管理设计。
- d) 衬砌结构设计。
- e) 防排水设计。
- f) 监控量测设计。

10.6.2 特殊地质段超前地质预报应采用地质调查法、地震波法、电法、超前钻孔等方式进行综合超前地质预报。

10.6.3 隧道穿越软弱破碎地层或膨胀岩地层时，应加强初期支护刚度，超前加固围岩，并对出露护盾的空腔进行回填。

10.6.4 隧道穿越岩爆段时，应根据岩爆强弱确定锚杆长度、间距、类型等，必要时增设钢筋网片、喷射纤维混凝土等加强措施。

10.6.5 隧道穿越岩溶段时，应强化超前地质预报，查明岩溶性质、范围、与隧道空间关系、富水情况等，制定针对性措施。

10.6.6 隧道穿越突泥涌水地层时，应对掌子面前方围岩进行超前泄水降压，并加强围岩变形监测和地表水文监测，分析地表与地下水的联系，加强洞内涌水量、水压、排水水质的量测及分析，调整优化排水方式或终止排水。

10.6.7 隧道穿越挤压性围岩地层时，应加强隧道初期支护，辅以长锚杆或锚索径向加固围岩，并通过边刀外扩加大掘进断面。变形极为严重时应采用人工扩挖或钻爆法处理。

10.6.8 特殊地质地段永久衬砌宜采用钢筋混凝土结构。

11 盾构法隧道

11.1 一般规定

11.1.1 盾构隧道内轮廓宜为圆形，其内径大小应根据建筑限界、设备及管线安装空间要求、设计速度、道床型式、附属结构设置、后期维修补强空间、综合施工误差等要求综合确定。

11.1.2 衬砌管片设计应对制作、吊装、堆放、运输、安装、使用等工况进行检算。

11.1.3 盾构隧道宜采用单层预制衬砌结构，必要时可设置二次衬砌。

11.1.4 盾构隧道防水设计应符合地下工程二级防水标准。

11.1.5 隧道施工应进行壁后注浆。壁后注浆应根据地层特点、管片结构受力及变形要求、环境控制和现场具体情况，通过同步注浆、即时注浆或二次注浆的方式进行。

11.1.6 为盾构机提供空推条件的矿山法隧道设计应结合周边环境条件、地质条件和施工组织计划等综合确定长度及断面类型，其断面内净空最小尺寸应根据盾构机外径、导台高度、必要的安全距离以及其他必需的工装设备尺寸等因素确定。

11.1.7 盾构机空推段采用管片衬砌结构时，应加强管片衬砌与矿山法初期支护或二次衬砌间空隙的豆砾石填充、壁后注浆及管片衬砌与矿山法模筑衬砌之间的接口防水设计。

11.1.8 工作井设计应综合考虑结构深度、地质条件、结构尺寸、施工工艺等因素，工作井形状和尺寸除满足盾构组装、始发、接收、拆卸、材料及渣土运输等需要外，还应结合使用阶段功能要求进行设计。

11.1.9 隧道附属构筑物应结合盾构隧道结构特点进行布置。

11.2 盾构选型

11.2.1 盾构类型应根据工程地质与水文地质条件、工程条件（包括地面环境、地下障碍物、周边建筑物）、隧道设计条件（包括隧道轴线、衬砌形式、断面尺寸、长度），以及施工安全、环保和工期要求，并结合以往施工经验等因素综合确定。

- 11.2.2 当掘进区段地层较均匀且无地下水或少量地下水、地层透水性较差、地层以黏性土为主或隧道埋深较浅时，宜采用土压平衡盾构，并宜配备向开挖面添加泥浆或泡沫的设备。
- 11.2.3 当掘进区段地层及环境条件较复杂且隧道直径较大、地层透水性较好且地下水压力大于300kPa或需精确控制开挖面压力时，宜采用泥水平衡盾构。
- 11.2.4 当掘进区段内地层岩石和土层交互分布、开挖面地层强度或稳定性差异较大时，宜采用复合盾构。
- 11.2.5 当掘进区段存在长距离的卵石、圆砾、漂石等地层及岩土复合地层时，应为盾构配备有利于实施刀具维修、换刀、土体改良等措施的设备。特殊地段大直径盾构机选型可配备部分常压背装式刀具、全断面超前注浆、超前探测、刀盘和刀具磨损监测及检测等设备。
- 11.2.6 当掘进区段存在长距离的坚硬岩质地层时，宜采用全断面（硬岩）隧道掘进机（硬岩TBM）。
- 11.2.7 当掘进区间较长且不同地段最合适的掘进方式不同时，可选用多种掘进模式的盾构机。
- 11.2.8 水下盾构隧道根据地质条件、水压大小，宜采用泥水平衡盾构，当采用土压平衡盾构时应进行专题研究。

11.3 衬砌结构

- 11.3.1 盾构隧道管片结构计算模型应根据衬砌构造特点、施工工艺、衬砌与地层相互作用及装配式管片衬砌接头形式等确定。
- 11.3.2 盾构隧道的计算收敛变形标准应符合现行国家标准 GB/T 51438 的有关规定。
- 11.3.3 管片衬砌结构横向内力计算应符合下列规定：
- 管片横向内力计算应分别选取隧道覆盖层最厚和最薄、地下水位最高和最低、存在超载或偏压、隧道穿越地层条件突变处等不利位置进行。
 - 管片横向内力计算时，宜采用匀质圆环模型、弹性铰模型、梁-弹簧模型或梁-接头模型。
 - 管片衬砌应根据横向内力计算结果进行相应截面承载力计算，对于钢筋混凝土管片，可按现行国家标准 GB 50010 中矩形截面偏心受压构件进行承载能力极限状态和正常使用极限状态计算；对钢管片或复合式管片，可按现行国家标准 GB 50017 和 GB/T 1348 的相关规定进行计算。
 - 当内部结构对管片衬砌结构使用期的横向受力状态有明显影响时，应合理确定内部结构与管片衬砌结构的连接方式及计算模型。
- 11.3.4 管片衬砌结构纵向内力计算应符合下列规定：
- 计算模型可采用梁-弹簧模型、等效刚度模型、三维壳体模型。
 - 在采用等效刚度模型计算时，应对管片纵向抗拉、抗弯和抗剪刚度进行折减。
 - 沿隧道纵向衬砌结构与地层间的相互作用可依据弹性地基梁理论采用地层弹簧模拟。
 - 当隧道底部以下存在未处理的软弱地层时，纵向内力计算应考虑长期运营荷载作用下的地层变形影响。
 - 当内部结构对管片衬砌结构使用期的纵向受力状态有明显影响时，应合理确定内部结构与管片衬砌的连接方式及计算模型。
- 11.3.5 管片接头计算应符合下列规定：
- 管片接头计算内容应包括接头强度验算及接缝张开量计算。当管片接头处设有凹凸榫槽时，可不进行螺栓的抗剪强度验算。
 - 钢筋混凝土管片的环向螺栓应按现行国家标准 GB 50010 中矩形截面偏心受压构件的承载能力极限状态计算；钢管片的环向螺栓应采用以管片边缘为回转中心的模型计算螺栓拉应力。
 - 纵向螺栓应进行管片拼装阶段抗剪强度验算。
 - 位于7度及以上地震设防区的隧道应进行地震作用下的纵向螺栓抗拉强度验算。

- e) 承受盾构千斤顶顶力的管片环面应进行局部受压承载能力验算。
- f) 存在高水压工况的盾构隧道,应对管片环向接头按现行国家标准 GB 50010 进行截面抗压验算,验算应考虑接头的细部构造,计算受压有效面积应从隧道截面面积中扣除预留孔洞、沟槽面积。
- g) 钢管片应对接头钢板进行抗压强度、抗剪强度、局部稳定性验算,并应符合现行国家标准 GB 50017 的相关规定。

11.3.6 管片衬砌宜采用钢筋混凝土板型管片。有特殊要求时,也可采用其他管片形式。

11.3.7 衬砌环宜由多块标准块、两块邻接块和一块封顶块组成,其分块方式应根据管片的制作、运输、受力特征、拼装方式、结构受力与变形、防水要求等综合确定。

11.3.8 管片宽度应根据隧道最小曲线半径、隧道直径、管片制作、运输、管片拼装工艺以及盾构千斤顶行程等因素综合确定,并宜采用较大的管片宽度。

11.3.9 管片厚度应根据隧道所处地质条件、埋置深度、隧道直径、管片材料、施工工艺等条件,通过工程类比并经结构分析验算后确定。

11.3.10 管片接头角和插入角应根据内力传递、拼装方式、盾构设备及管片生产条件等综合,在满足施工要求的前提下,宜采用较小的接头角和插入角。

11.3.11 管片宜采用双面通用楔形环,楔形量的选取应符合以下规定:

- a) 楔形量应根据管片环类型及拼装方式、隧道直径、管片宽度、最小转弯半径、曲线拟合误差和盾尾间隙等综合确定。
- b) 楔形量大小应能满足曲线线路拟合及施工纠偏的需要。
- c) 盾构法隧道楔形衬砌环理论楔形量应按式 5 计算:

$$\Delta = kB_{cq}D_w/R_q \quad (5)$$

式中 Δ ——楔形衬砌环理论楔形量;

k ——综合修正系数,根据隧道直径、衬砌环宽度、隧道线路曲线半径、楔形环间距等综合确定,通常可取 1.5~2.5;

B_{cq} ——衬砌环幅宽 (m);

D_w ——衬砌环外径 (m);

R_q ——衬砌环所在的平面曲线半径 (m)。

d) 楔形环的楔形量可根据管片环平均楔形量和管片环组合设计确定,并不宜大于 90mm。

11.3.12 管片的螺栓孔、拼装定位孔、注浆孔的位置和尺寸应根据管片的连接、起吊、拼装方式以及壁后注浆要求和结构受力等因素确定。

11.3.13 管片接头构造应符合下列规定:

- a) 衬砌环接头分为环向接头和纵向接头,衬砌环接头选用应根据强度和刚度、衬砌环组装准确性、施工作业方便及防水等因素确定。
- b) 管片接头构造可根据隧道变形要求、接头张开量限值、盾构千斤顶受力要求等采用平板型、凹凸榫槽型等形式。
- c) 当隧道所处地层为深厚软土地层或需要增加管片连接刚度时,管片环缝接头环面构造宜采用凹凸榫、剪力销或快速连接件等形式。
- d) 凹凸榫槽宜设置于管片厚度方向的中部,其尺寸拟定时不应影响管片的防水密封垫槽和嵌缝槽的设置,且应验算凹凸榫在盾构千斤顶作用下的混凝土局部受压承载能力。
- e) 管片边缘均应设置倒角,倒角尺寸不应小于 5mm×5mm
- f) 管片内侧边缘处应预留嵌缝槽,槽宽不宜小于 10mm,且嵌缝槽深宽比不小于 2.5,嵌缝槽断面构造形状可按图 2 选用。

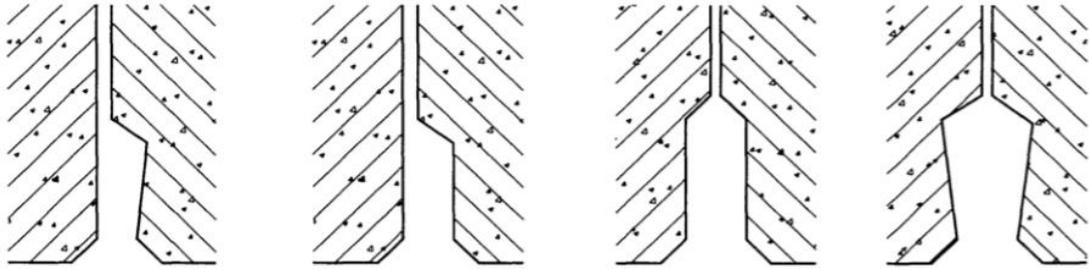


图 2 嵌缝槽断面构造形式

11.3.14 管片接头的连接方式应符合下列规定：

- a) 管片接头宜采用螺栓连接。
- b) 根据管片形式、接头受力要求、拼装要求、接头止水要求等可采用弯螺栓、直螺栓、斜螺栓连接方式。
- c) 螺栓的机械性能等级应满足构造和结构受力要求。
- d) 螺栓手孔设计应满足管片、螺栓受力及螺栓紧固操作要求。

11.3.15 管片拼装应优先采用错缝拼装的方式，当必须采用通缝拼装时，连续通缝拼装的环数不宜大于 2 环。

11.3.16 钢筋混凝土管片配筋构造应符合下列规定：

- a) 管片主筋宜采用肋梁式主筋配筋形式，肋梁箍筋直径不宜小于 6mm，间距不宜大于 200mm。各主筋肋梁间应设置构造钢筋连接。
- b) 当采用板式配筋形式时，管片主筋及分布筋最大间距不宜大于 200mm，管片内外层主筋之间应设置拉筋，拉筋直径不宜小于 8mm。
- c) 管片螺栓孔、螺帽孔、拼装定位孔、注浆管、凹凸榫等构造结构均应进行加强配筋设计。

11.3.17 钢筋混凝土管片应采用高精度钢模制作，管片允许偏差应符合下列规定：

- a) 宽度应为 $\pm 1.0\text{mm}$ （管片外径小于 10m 时），或为 0.4mm （管片外径不小于 10m）。
- b) 弧长、弦长应为 $\pm 1.0\text{mm}$ 。
- c) 厚度应为 $+3.0\text{mm}$ 、 -1mm 。
- d) 螺栓孔直径及螺栓孔位置应为 $\pm 1.0\text{mm}$ 。
- e) 混凝土接触面不平整度为 $\pm 0.5\text{mm}$ ，每延米平整度应为 $\pm 0.2\text{mm}$ 。

11.3.18 钢筋混凝土管片内弧面及端面上各类孔洞及沟槽应满足预制时脱模的要求，脱模角度不宜小于 3° 。

11.3.19 联络通道位置的钢筋混凝土管片应进行特殊设计，与联络通道现浇结构连接部位应预埋连接钢板，横通道范围需拆除的管片宜采用通缝拼装。

11.3.20 联络通道两侧的正线隧道应设置加强衬砌段，每侧加强衬砌段端头距离联络通道结构边的距离不宜小于 2 环管片宽度。

11.4 盾构工作井及风井

11.4.1 盾构隧道宜利用车站端头作为工作井，车站结构设计时应满足盾构始发或到达的受力要求，必要时盾构工作井也可在区间或在区间的一侧设置。

11.4.2 盾构工作井的形式和大小应根据地质条件、盾构组装和拆卸要求及施工出渣进料等需求确定。

11.4.3 盾构进出洞口处，应设置洞门密封止水装置，在管片和工作井井壁间应设置现浇钢筋混凝土环

梁，在工作井井壁应预埋与后浇环梁连接的钢筋。

11.4.4 工作井结构设计应计及吊装盾构机的附加荷载，以及盾构始发时反力对竖井内部构件或工作井壁的影响。

11.4.5 盾构工作井预留洞门直径应满足 GB51438 相关规定。

11.4.6 当隧道使用期间需要通风或排烟时，盾构隧道宜设置风井。风井设置位置、数量及构造应满足相关行业隧道设计标准的要求。

11.4.7 盾构工作井始发和到达端头的土体应进行加固，加固方法和加固参数应根据土质、地下水、盾构的形式、覆土、周围环境等条件确定。

11.5 内部附属结构

11.5.1 根据隧道使用功能或防灾疏散要求，相邻隧道之间可设置横通道。横通道的设置应符合下列要求：

- a) 宜设在地质条件较好地段，避开衬砌断面变化处、变形缝处。
- b) 应结合地质条件、埋置深度、周边环境等因素综合确定施工方法和施工辅助措施。
- c) 应过渡平稳、防水可靠、排水顺畅。

11.5.2 盾构法段一般不设置设备专用洞室，必要时宜结合盾构工作井、轨下空间或横通道设置。

11.5.3 不能自然排水的隧道应设集水池及机械排水设施。排水设施的排水能力应满足设计排水量要求，并配置备用泵。排水设施应配有控制、监控系统。集水池宜与正洞隔离，机械排水系统应设检修通道。

11.5.4 隧道纵断面最低点宜兼顾排水泵站和辅助坑道、工作井位置结合设计；排水泵站设计应符合下列要求：

- a) 排水泵站应按工法、长度划分单元，分段布置。
- b) 排水泵站可采取与联络横通道结合、布置于隧道一侧的、设置于隧道内部等形式。

11.5.5 隧道内纵向应设排水沟，并根据通信、信号、电力工程要求设置电缆槽或挂墙支架敷设管线。

11.5.6 隧道内净空具备轨旁设置沟槽时，宜采用沟槽敷设方式，并符合下列规定：

- a) 应综合考虑与轨道结构、排水沟槽的相互关系。
- b) 宜设置双侧电缆槽，电缆槽盖板应平整，铺设稳固。
- c) 通信、信号电缆可设在一个电缆槽内，通信、信号电缆应和电力电缆分槽敷设。
- d) 槽底有高低差时，纵向应顺坡连接。
- e) 靠近道床一侧的沟（槽）身应增设构造钢筋。

11.5.7 盾构隧道内部横隔板、竖向隔墙等结构可采用现浇、预制件拼装或部分预制件与部分现浇相结合的方法施工。

11.5.8 内部结构及与管片衬砌的连接设计应对运营期衬砌环变形引起的不利影响进行分析。

11.5.9 当横隔板上承受列车等动荷载时，横隔板两端不宜通过植筋方式直接与衬砌管片连接。

11.5.10 当预制构件与衬砌结构同步施工时，预制构件沿隧道纵向幅宽宜与衬砌环同宽；相邻预制构件之间应进行连接，预制构件底部与衬砌管片之间应采用混凝土或砂浆填充密实。

11.5.11 隧道内的应急疏散平台与隧道衬砌结构应采用预埋件连接。

11.5.12 隧道管片内固定设备、管线支架等可采用预埋槽道和套筒，技术要求应满足 T/CAMET 02002 的相关规定。

11.6 特殊地质及辅助措施设计

11.6.1 盾构隧道应根据岩溶发育情况、岩溶赋水情况、上覆土层的性质、隧道所处的位置等因素，综合评价隧道穿越岩溶地区的风险并采取针对性处理措施。盾构隧道岩溶治理措施应以地面预处理为主、

洞内处理为辅。

11.6.2 盾构穿越软硬不均地层、含漂石、孤石地层时，应选取合理掘进参数、控制掘进机姿态，必要时应进行土体改良和必要的预处理措施等。

11.6.3 盾构始发施工场地应考虑管片堆放场地、渣土分离及泥浆处理场地等施工作业所需的临设布置，盾构接收端尚应考虑盾构解体出井所需施工场地。

11.6.4 盾构始发、到达、联络通道施工、穿越浅覆土段、穿越重要或有特殊保护要求的建(构)筑物时，宜根据具体情况采取相应的地层加固或施工辅助措施。

11.6.5 地层加固工法或施工辅助措施应根据工程地质、周边环境、现场情况，经技术经济比较确定；地层加固方法可采用注浆、深层搅拌、高压旋喷注浆、地层冻结、素（玻璃纤维筋）混凝土桩或连续墙；施工辅助措施可采用降水、气压、超前管棚、平衡始发与到达等方法。

11.6.6 当盾构始发、接收地层条件复杂，地层加固实施困难或加固效果难以保证时，宜优先采用盾构平衡始发与到达工法，常用方式为密闭式钢套筒。

11.6.7 管片脱离盾尾后，应及时进行同步注浆，必要时根据周边环境要求、地层变形情况施作补注浆。

12 明挖法隧道

12.1 一般规定

12.1.1 明挖法隧道设计应根据具体工程条件，通过技术经济、施工组织方案、环境影响等综合比选，选择适宜的围护结构型式、施工方法及衬砌结构。

12.1.2 明挖法隧道应根据地形地貌、地质条件及围护结构类型，确定合理的地下水控制、开挖、内支撑、地基加固和回填等设计方案。

12.1.3 明挖法隧道设计应根据工程规模、地质、水文、气象及周边环境条件，进行明挖基坑风险识别，制定基坑本体稳定、地下管线、周边建构筑物安全及基坑防洪防涝等防控措施。

12.1.4 明挖法隧道设计应充分考虑交通疏解方案和管线迁改方案的合理性和可行性。

12.1.5 地下水控制应根据工程地质、水文地质和环境条件并结合围护结构型式等确定，可选用截水、降水、集水明排或其组合方法。

12.1.6 明挖法隧道基础应设置在稳固的地基上，当地基松软、软硬不均或存在其它特殊地层时，应采取处理措施，防止地基不均匀沉降。

12.1.7 衬砌结构混凝土应浇筑密实、表面平整光滑、曲线圆顺，满足设计强度、变形、抗震、防水、耐火、耐久性等要求。

12.1.8 明挖法隧道结构温度变化影响应根据所处地区的气温条件、运营环境及施工条件确定，混凝土收缩及徐变影响可采用降低温度的方法计算。

12.1.9 明挖法隧道结构防水等级应符合 GB 50108 规定的二级标准要求，有特殊要求的设备洞室应符合一级标准要求。

12.1.10 明挖法隧道结构抗浮设计应根据 JGJ 476 的有关规定进行检算，并采取有效的抗浮措施。

12.1.11 明挖法隧道结构应按主管部门批准的人防设防等级进行设计。

12.2 基坑支护

12.2.1 基坑支护设计应规定其设计使用期限。临时基坑支护的设计使用期限不宜小于一年。

12.2.2 基坑支护设计应根据工程特点和工程环境保护要求等确定基坑的安全等级、地面允许最大沉降量、围护结构允许的最大水平位移等控制要求。

12.2.3 基坑支护设计应根据周边环境、工程地质及水文地质条件、基坑深度、沉降和变形控制要求，

通过技术经济比较选择支护形式、内支撑和基坑保护措施等。

12.2.4 基坑支护设计应计算各构件的内力、基坑侧壁的位移，并验算支护结构局部稳定、整体稳定、抗滑移、抗隆起以及砂土抗管涌等。基坑稳定性验算应遵照 JGJ 120、DBJ/T 15-20 等规范进行。

12.2.5 临近高边坡的基坑，应分析高边坡对基坑的影响，以及基坑开挖对高边坡安全的影响。

12.2.6 根据基坑支护安全等级、周边环境条件和地质条件等，支护结构可按表 29 进行选择。当周边环境对变形要求严格控制时，宜优先选用排桩或地下连续墙加内支撑的支护形式。

表 29 各种支护结构的适用条件

支护结构形式	适用条件
排桩或地下连续墙 加内支撑	1 适用于一级或二级基坑； 2 基坑周边环境复杂，周边环境保护的要求很严格时（如邻近地铁或重要的天然地基建物等），宜采用地下连续墙加内支撑或逆作法； 3 对需要截水的基坑，可采用桩间加旋喷或桩外侧加搅拌桩的方式形成帷幕；对地下水控制的要求很严格时，宜采用地下连续墙或咬合桩的支护形式； 4 周边环境条件允许或地质条件较好且有成熟工程经验时，宜采用排桩支护。
排桩加锚杆（索）	1 适用于各级基坑的支护形式，但对于深厚软土地层或邻近有地下障碍物等锚杆（索）不宜使用时除外； 2 对需要截水的基坑，可采用桩间加旋喷或桩外侧加搅拌桩的方式形成帷幕；对局部地段地下水控制的要求严格时，可在排桩外侧再增加一排旋喷桩墙。
悬臂式排桩或双排桩	1 适用于二级或三级基坑，对于地质条件较好、周边环境较宽松的一级基坑，也可采用双排桩； 2 悬臂式排桩可用于地质条件较好、周边环境较宽松且基坑深度小于 8.0m 的较浅基坑，不宜用于对变形要求严格或存在较厚软土地层的基坑； 3 双排桩宜用于基坑中不适合采用锚杆和支撑的局部地段，对于基坑深度大于 15.0m 或存在较厚软土地层的基坑不宜采用。
土钉墙支护或复合土钉墙	1 适用于二级或三级基坑，对于地质条件较好、周边环境较宽松的一级基坑，也可采用复合土钉墙； 2 地质条件较好、周边环境较宽松且基坑深度小于 12.0m 的基坑可优先选用土钉墙，对变形要求严格或存在较厚软土地层的基坑不宜采用土钉墙； 3 复合土钉墙可用于深度小于 15.0m、需要截水或对变形有限制的基坑，当基坑开挖范围内存在薄层软土层时，应设置微型桩。
钢板桩支护	1 适用于开挖深度小于 7.0m 的长距离箱涵、管沟的基坑支护； 2 邻近有重要建（构）筑物基础或重要地下管线时、密实砾砂、碎石土等坚硬的地层时，不宜采用钢板桩支护。
水泥土挡墙支护	1 适用于开挖深度不大于 6.0m 的淤泥和淤泥质土等土层； 2 不宜用于对变形要求严格的基坑。
坡率法	1 基坑周边环境宽松、具有放坡可能的场地，且岩土质较好，地下水位较深，应优先采用坡率法； 2 当基坑较深时，可采用上部放坡、下部桩锚或其他支护方案相结合。

12.2.7 内支撑体系结构设计应包括：结构体系布置、内力与变形计算、截面设计及稳定性计算、构造设计。支撑比较复杂时，宜采用空间结构分析方法进行整体分析。

12.2.8 平面支撑体系的布置应符合下列规定：

- a) 平面支撑的布置应根据基坑的形状、岩土工程条件和土石方开挖的线路确定，在平面内应形成整体受力体系；
- b) 上下道支撑的中心线宜布置在同一竖向平面内，并宜避开主体地下结构的墙、柱等竖向构件；
- c) 当混凝土支撑的跨高比超过 20、钢支撑的跨高比超过 35 时，宜设置支撑立柱；
- d) 当平面外混凝土支撑的长细比超过 25、钢支撑的长细比超过 30 时，应设置水平横向连系杆件；
- e) 平面支撑与其下方的主体结构板、梁净距不宜小于 800mm。

12.2.9 当温度改变引起的支撑结构内力不可忽略不计时，应考虑温度应力。

12.2.10 支撑立柱计算应符合下列规定：

- a) 宜按轴心受压构件进行内力验算和整体稳定验算，对钢立柱尚应进行局部稳定验算；
- b) 受压计算长度可按相邻层水平支撑的间距考虑；单层支撑立柱、多层支撑最下层立柱的受压计算长度可按底层净高度加 5 倍立柱直径或边长考虑；
- c) 宜采用格构式钢立柱、钢管立柱或混凝土立柱；
- d) 长细比不宜大于 25，格构式钢立柱各单肢之间应采用外贴缀板或缀条焊接连接；
- e) 立柱和支撑间可按铰接支点设置连接措施；
- f) 立柱锚入支承桩的长度应根据立柱抗压和抗拔的要求计算确定，且不应小于立柱长边或直径的 4 倍；
- g) 立柱支承桩宜采用灌注桩，桩端应进入基坑底以下稳定的持力层。

12.2.11 钢支撑设计应符合下列规定：

- a) 钢支撑应考虑构件安装误差产生的偏心矩作用，偏心矩可取支撑计算长度的 1/1000；
- b) 受压构件的长细比不应大于 150，受拉杆件的长细比不宜大于 250，连系构件的长细比不应大于 120，构件长度不宜超过 50m，且不宜设“米”字形节点或转换节点；
- c) 各构件之间宜螺栓连接，抗剪需要时可焊接连接，焊缝应满足传递轴力和剪力的要求；
- d) 轴力设计值应考虑内力分布不均匀及温度变化影响引起的增大系数，一般取 1.2~1.4；
- e) 钢支撑应施加预加压力，预加压力值宜取支撑轴力设计值的 0.4 倍~0.6 倍。

12.2.12 钢腰梁的设计应符合下列规定：

- a) 钢腰梁翼板应与支撑平面垂直布置；
- b) 钢腰梁的拼接方式可采用焊接或螺栓连接，连接接头承载力不宜低于其截面承载力；
- c) 与支撑连接部位的型钢应加焊垂直于翼缘和腹板的加劲板，加劲板的厚度不宜小于 12mm；
- d) 支护结构上应设置吊筋或三角托架，对钢腰梁进行支承。

12.2.13 立柱穿过主体结构板以及支撑穿过主体结构侧墙的部位，应采用焊接止水板的止水措施，立柱桩穿过主体结构板应充分凿毛，并对主体结构板钢筋进行加强。当临时立柱支撑桩兼做抗拔桩时，桩头钢筋宜锚入主体结构底板，同时应加强该节点防水。

12.3 地下水控制

12.3.1 基坑工程的设计与施工中，必须采取合理的方法对地下水进行有效的控制，防止地下水渗入基坑造成渗流破坏或坑壁坍塌，防止地下水大幅波动对基坑周围环境造成危害，为基坑开挖与基础工程施工提供作业条件。

12.3.2 地下水控制设计和施工应查明基坑周边可能与之发生水力联系的水文地质条件，以及地下水位变化对基坑周边环境可能产生的影响。

12.3.3 地下水控制设计应符合基坑周边建（构）筑物、地下管线、道路等沉降控制值的要求。

12.3.4 地下水的控制方法应根据场地工程地质、水文地质和周边环境条件并结合基坑支护和基础施工

方案综合分析、确定，常用的地下水控制方法有下列四种：基坑内排水、基坑外截水、基坑降水和回灌。

12.3.5 基坑内明沟排水适用于基坑不深、涌水量不大、坑壁土体比较稳定、不易产生流砂、管涌和坍塌的基坑工程。

12.3.6 当坑底以下存在连续分布、埋深较浅的隔水层时，应采用落底式帷幕。落底式帷幕进入下卧隔水层的深度应满足 JG/J 120 第 7.2.2 条公式要求，且不宜小于 1.5m。

12.3.7 当坑底以下含水层厚度大而需采用悬挂式帷幕时，帷幕进入透水层的深度应满足 JG/J 120 第 C.0.2 条、第 C.0.3 条对地下水沿帷幕底端绕流的渗透稳定性要求，并应对帷幕外地下水位下降引起的基坑周边建筑物、地下管线、地下构筑物沉降进行分析。当不满足渗透稳定性要求时，应采取增加帷幕深度、设置减压井等防止渗透破坏的措施。

12.3.8 截水帷幕的厚度应满足渗透稳定性要求。

12.3.9 基坑降水可采用轻型井点降水或管井井点降水。轻型井点降水适用于含水层渗透系数小于 20m/d、水位降深小的基坑工程；管井井点降水适用于含水层渗透系数较大且厚度较大、水位降深大的基坑工程。

12.3.10 基坑内降水应使用管井井点，降水深度宜保持在土方开挖面以下 1.0m。

12.3.11 基坑在降水期间，应监测地下水位、地表和周边建筑物沉降，发现异常现象应及时采取措施，必要时应停止抽水和采取截水措施。

12.3.12 回灌可采用井点、地沟等形式。当建筑物离基坑较远且为均匀透水层、中间无隔水层时，可采用地沟回灌；当建筑物离基坑近且浅部有弱透水层或者隔水层时，可采用井点回灌。

12.3.13 回灌井点的布置应根据降水井点间距和被保护目标的平面位置确定。回灌井点的设计深度应根据降水漏斗的形状和降水深度确定。

12.4 基坑开挖

12.4.1 设计文件中应要求基坑开挖前，除应编制好施工组织设计外，尚应符合下列规定：

- a) 对周边建（构）筑物、地下管线和道路进行踏勘，施工可能对其发生影响或争议的应保留影像资料或布设标记，并做好记录；
- b) 收集勘察报告、支护结构设计、降排水要求、基坑周边环境、工期、气候和地面荷载等资料；
- c) 完成基坑及周边环境的监测布点和初始值测量工作；
- d) 完成土方开挖平面布置图，明确出土道路和出土口、挖土机械、行车线路等的布置；
- e) 验算挖运土石方的机械设备产生的荷载对支护结构的影响，以及坑内行车道两侧边坡的稳定性，确定必要的加固措施；
- f) 完成基坑内外的降水排水系统；
- g) 编制施工应急预案，制定周边建（构）筑物、管线保护方案，以及雨期施工措施。

12.4.2 开挖方式应根据岩土特性、岩石类别、风化程度和节理裂隙发育程度等确定。基坑开挖过程应遵循分层、分段、先支后挖、严禁超挖的基本原则。

12.4.3 基坑开挖过程应经常测量和校核基坑平面位置、水平标高和边坡坡度。

12.4.4 基坑开挖顺序、分段长度、分层厚度应根据地质情况和设计要求确定，并应符合下列规定：

- a) 分层厚度不得大于土钉、锚杆、支撑的竖向间距，流塑状软土不应超过 1m；
- b) 禁止采用掏脚的方法挖土；
- c) 软土层应分段开挖，分段长度宜为 15m~30m，在基坑周边环境敏感时应适当减少分段长度；
- d) 分层土石方的坡脚宜留土防护，并应避免长时间浸泡。

12.4.5 淤泥层土方开挖，应采用小型挖掘机，并采取防机械沉陷的措施。

12.4.6 石方开挖宜采用爆破法，并应编制专项施工方案。

12.4.7 基坑开挖时周边地面超载应符合设计要求。当设计没有要求时，坑顶堆土的坡脚至基坑上部边缘距离不宜少于 1.5 倍基坑深度，弃土堆置高度不宜超过 5m。软土地区基坑周边三倍基坑深度范围内严禁堆土。

12.4.8 基坑开挖到底应及时施工垫层和地下结构基础。

12.4.9 基坑开挖应进行监测，采取信息化施工。

12.5 衬砌结构

12.5.1 明挖法隧道主体结构的设计使用年限为 100 年，不影响运营安全的构件可按使用年限为 60 年设计。

12.5.2 明挖法隧道主体结构宜采用矩形或拱形结构，并根据施工工艺、工程地质、水文地质条件等因素确定与围护结构的叠合或复合形式。

12.5.3 围护结构需满足永久结构使用需求时，其设计使用年限、裂缝宽度允许值、耐久性设计等，应参照本节相关规定执行。

12.5.4 明挖法隧道结构设计

12.5.4.1 隧道结构应按施工阶段和正常使用阶段分别进行结构强度、刚度和稳定性计算。对于钢筋混凝土结构，尚应对使用阶段进行裂缝宽度验算；偶然荷载参与组合时，不验算结构的裂缝宽度。

12.5.4.2 处于一般环境中的结构，按荷载准永久组合并计及长期作用影响计算时，普通钢筋混凝土结构的最大计算裂缝宽度允许值，可按表 30 中的数值进行控制；处于侵蚀环境等不利条件下的结构，其最大计算裂缝宽度允许值应根据具体情况另行确定。

表 30 钢筋混凝土构件的最大计算裂缝宽度允许值（mm）

结构类型		允许值（mm）
明挖法隧道	水中环境、土中缺氧环境	0.3
	洞内干燥环境或洞内潮湿环境	0.3
	干湿交替环境	0.2
注：		
1 当设计采用的最大裂缝宽度的计算式中保护层实际厚度超过 30mm 时，可将保护层厚度的计算值取为 30mm；		
2 厚度不小于 300mm 的钢筋混凝土结构可不计干湿交替作用；		
3 洞内潮湿环境相对湿度为 45%~80%。		

12.5.4.3 明挖法隧道通常只进行横断面方向的受力计算，遇下列情况时，也应对其纵向强度和变形进行分析。

- a) 覆土荷载沿隧道纵向有较大变化时；
- b) 结构直接承受建、构筑物等较大局部荷载时；
- c) 地基或基础有显著差异、液化地层对结构稳定性有影响时；
- d) 地基沿纵向产生不均匀沉降时；
- e) 地震作用下的小曲率半径隧道；
- f) 结构刚度突变或变化较大时。

12.5.5 明挖法隧道抗震设计

12.5.5.1 明挖法隧道抗震设计应符合 GB/T 51336 的有关规定。

12.5.5.2 隧道结构的抗震设防类别应为重点设防类（乙类），隧道结构设计应达到下列抗震设防目标：

- a) 当遭受低于本工程抗震设防烈度的多遇地震影响时，隧道结构不损坏，对周围环境及正常运营无影响；
- b) 当遭受相当于本工程抗震设防烈度的地震影响时，隧道结构不损坏或仅需对非重要结构部位进行一般修理，对周围环境影响轻微，不影响正常运营；
- c) 当遭受高于本工程抗震设防烈度的罕遇地震（高于设防烈度 1 度）影响时，隧道结构主要结构支撑体系不发生严重破坏且便于修复，无重大人员伤亡，对周围环境不产生严重影响，修复后的隧道应能正常运营。

12.5.5.3 应根据隧道结构的特性、使用条件和重要性程度，确定结构的抗震等级。当地层中包含有可液化土层或基底处于可产生震陷的软黏土地层中时，应采取抗液化及防震陷处理措施，保证地震作用下结构物的安全。

12.5.5.4 明挖法隧道结构可采用下列抗震分析方法：

- a) 隧道结构的地震反应宜采用反应位移法或惯性静力法计算，结构体系复杂、体形不规则以及结构断面变化较大时，宜采用动力分析法计算结构的地震反应；
- b) 隧道结构与地面建、构筑物结合设计时，隧道结构抗震设计应与地面结构抗震设计相协调，宜根据地面建、构筑物的抗震分析要求与地面建、构筑物进行整体计算；
- c) 采用惯性静力法计算地震作用时，可按现行国家标准 GB50111 的有关规定执行；
- d) 采用反应位移法计算地震作用时，应分析地层在地震作用下，在隧道不同深度产生的地层位移、调整地层的动抗力系数、计算地下结构自身的惯性力，并直接作用于结构上分析结构的反应。

12.5.6 明挖法隧道人防设计

12.5.6.1 明挖法隧道的人防设计应与主管部门批准的人防设防等级相匹配。

12.5.6.2 结构各个部位抗力应协调，在人防荷载作用下，保证结构各部位都能正常工作。

12.5.6.3 结构计算按国家现行的有关规范、规定、标准执行，核武器按一次作用设计。在战时荷载作用下，只验算结构承载力，不验算结构变形、裂缝开展以及地基承载力与地基变形。在动荷载单独作用下及动荷载与静荷载同时作用下，材料强度应按规范要求考虑材料强度综合调整系数。

12.5.6.4 在核爆动荷载作用下，动力分析采用等效静载法。

12.6 洞内附属构筑物

12.6.1 明挖法隧道可不设置避车洞，其他设备洞室应根据相关工程要求和维修需要进行统筹设置。

12.6.2 隧道内附属洞室宜设置在地质与环境条件较好的地段，距离隧道变截面处和变形缝处不宜小于洞室跨径。

12.6.3 管线可采用挂墙或沟槽敷设方式。当采用沟槽敷设方式时应符合下列规定：

- a) 应综合考虑与轨道结构、排水沟槽的相互关系。
- b) 宜设置双侧电缆槽，电缆槽盖板应平整，铺设稳固。
- c) 排水沟或电缆槽结构靠近道床一侧的沟（槽）身应设置构造钢筋。

12.6.4 隧道内应按照相关专业要求预埋综合接地系统设施。电缆过轨通道宜采用预埋过轨管方式，过轨管转弯半径应满足电缆铺设要求。

12.6.5 隧道内附属构筑物及安装件设计应考虑列车通过隧道时所产生的附加荷载，并应按照荷载的最不利组合进行设计。

12.7 基坑回填

12.7.1 回填土料不得采用淤泥和淤泥质土，回填土料的有机质含量不应大于 5%，含水量应满足压实的要求。

- 12.7.2 回填填料使用前分别取样测定其最大干容重和最佳含水量并做压实试验,确定填料含水量的控制范围、铺土厚度和碾压遍数等参数。
- 12.7.3 基坑应在隧道和地下管线结构达到设计强度要求后及时回填。回填前应将基坑内积水、杂物清理干净,符合回填的虚土应压实。
- 12.7.4 基坑回填应分层压实,隧道结构两侧回填应对称进行,两侧回填面高差不得大于 50cm;基坑回填高程不一致时,应从低处逐层填压;基坑分段回填接茬处应设置台阶,台阶宽度不得小于 1m,高度不得大于 0.5m。
- 12.7.5 基坑回填时,机械或机具不得碰撞隧道结构及防水保护层。隧道结构两侧和顶部 50 cm 范围内以及地下管线周围应采用人工使用小型机具夯填。
- 12.7.6 基坑回填采用机械碾压时,搭接宽度不得小于 20 cm;小型机具夯填重叠不得小于 1/3 夯底宽度。
- 12.7.7 基坑回填应与基坑拆(换)撑施工工况一致,以回填作为基坑换撑的条件,应根据设计工况分阶段回填。
- 12.7.8 规模较小、回填层较厚的基坑,回填层压实困难,宜采用砂料回填,同时应用串桶控制回填料的自由降落高度,且应用振动或水冲密实。
- 12.7.9 雨季回填应集中力量分段施工,取、运、摊、压各工序应连续作业,降雨前应完成填土层的压实,并形成排水坡面。
- 12.7.10 施工结束后,填方应检查标高、边坡坡度、压实度等指标。作为道路路基或其他建筑物基础使用的回填部位,尚应符合相关规范的要求。

12.8 特殊地质设计

- 12.8.1 软弱地基系指主要由淤泥、淤泥质土、填土或其他高压缩性土层构成的地基。当明挖法隧道地基的局部范围内有高压缩性土层时,应按局部软弱地基设计。
- 12.8.2 当地基承载力或变形不能满足设计要求时,地基处理可选用换填或复合地基等处理方法,处理后的地基承载力应通过载荷试验确定,且应满足 JGJ79 的有关要求。
- 12.8.3 换填法可用于淤泥、淤泥质土,膨胀土、素填土、杂填土地基处理。换填深度不宜大于 3m,也不宜小于 0.5m。淤泥未能全部挖除时,不应采用换填法。
- 12.8.4 复合地基设计应满足建筑物承载力和变形要求。当地基土为欠固结土、膨胀土、可液化土等特殊土时,设计采用的增强体和施工工艺应满足处理后地基土和增强体共同承担荷载的技术要求。
- 12.8.5 复合地基承载力特征值应通过现场复合地基载荷试验确定,或采用增强体的载荷试验结果和其周边土的承载力特征值结合经验确定。
- 12.8.6 水泥土搅拌法可用于处理正常固结的淤泥、淤泥质土、素填土、粉土、黏性土、砂土等土层。
- 12.8.7 高压喷射注浆法适用于处理淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土、人工填土等地基。对于地下水明显流动、有可能造成水泥浆流失的工程应慎用。
- 12.8.8 对于花岗岩、混合花岗岩、片麻岩、混合片麻岩的残积土及其全~强风化层等遇水扰动易软化崩解的地层,要充分考虑其遇水软化、崩解的不利影响,嵌固深度应进行基坑稳定性及渗透稳定性的验算。同时,应辅以降水措施,避免地基软化。
- 12.8.9 岩溶、土洞、采空区、崩塌、冲沟、暗河(沟)、断层破碎带、滑坡、泥石流不良地质现象较发育的地基,应视作特殊地质地基,需考虑进行处理。
- 12.8.9.1 坑底位于岩溶、土洞、采空区、断层破碎带等特殊岩土体的基坑,宜采取对可能影响基坑安全的溶(土)洞、采空区进行充填处理、对断层破碎带进行截水等措施。
- 12.8.9.2 岩溶场地应查明溶(土)洞的分布和充填情况、岩溶地下水承压性质等,并进行抗渗稳定性、

施工安全性的评估，必要时宜按下列规定对其进行处理：

- a) 影响支护结构施工安全的土洞、无填充或半填充溶洞应采取袖阀管注浆、素混凝土灌注、吹填砂等充填措施；
 - b) 抗渗、抗突涌稳定性不能满足要求的，可对基底采取加固措施进行封底或者加强截水帷幕等措施。
- 12.8.9.3 当基坑存在岩层破碎带时，应调查岩层破碎带的走向、倾向、宽度、填充物性质、渗透性质等，并进行抗渗稳定、抗管涌验算，必要时对其进行注浆加固处理。
- 12.8.10 当围护结构范围内存在较大孤石，可能引起围护结构成槽（孔）困难时，宜采用预处理。预处理方案应结合地质条件、围护结构形式、周边环境等进行技术经济比选；可考虑增加槽壁加固及翻填地基、预爆破、全回转全套管钻机取芯、旋挖钻+合金筒钻取芯等处理方案。

12.8.11 特殊地质基坑的地下水控制可参考下列规定：

- a) 对于花岗岩（或片麻岩）的残积土及其全~强风化层基坑应采用坑内降水，严格控制降水井间距和降水深度，降水至基岩面或降水至基底以下 1m，以满足坑底疏干要求。
- b) 对于岩溶区基坑，应根据岩溶特点及上部土层条件，采用坑内降水与溶洞填充封堵相结合方式。基坑开挖前应提前探明溶洞发育情况，采用注浆方式进行基底加固；对于溶洞发育的灰岩地区基坑，坑内外水力联通导致开挖时基底涌水是主要风险，且难以完全避免，应通过适当加深围护止水深度、提高溶洞处理填充质量来加强截水，并应提前做好针对性应急预案。
- c) 对于以粘性土等中硬土为主、无软弱土层的基坑，基底以下无承压水层或满足渗透稳定时，坑内可采用明排疏干方式；对岩面较高（岩面在基坑开挖范围内）且无承压水的基坑，中微风化层可考虑明排地下水。

13 防水与排水

13.1 一般规定

13.1.1 隧道防排水工程设计内容一般应包括：

- a) 防水等级、设防要求、防排水体系的构成；
- b) 防水混凝土的抗渗等级、技术指标；
- c) 防水层选用的材料及其技术指标、施工工艺要求；
- d) 施工缝、变形缝、管片接缝等工程细部防水构造、选用材料及相关技术要求；
- e) 降水、截水、堵水措施及技术要求；
- f) 洞口、洞身及地表排水系统构成、选用材料及设备配置能力；
- g) 满足环保要求的工程措施；
- h) 排水系统运营维修及养护的技术要求。

13.1.2 隧道的防水等级可分为一、二、三、四级，各等级的防水标准应符合表 31 的规定。

表 31 防水等级标准

防水等级	标准
一级	不允许渗水，结构内缘表面无湿渍。
二级	不允许漏水，结构内缘表面可有少量因渗水形成的湿渍或水膜；总湿渍面积不大于总防水面积的 2/1000；任意 100 m ² 防水面积上的渗水不超过 3 处，其单个形成的湿渍或水膜面积不大于 0.2 m ² ；平均渗入水量不大于 0.05L/m ² ·d，任意 100 m ² 防水面积上的渗入水量不大于 0.15L/m ² ·d。

防水等级	标准
三级	有少量漏水点，不得有线流和漏泥沙，安装设备的孔眼不渗水；任意 100 m ² 防水面积上的漏水点、渗水形成的水膜或湿渍不超过 7 处；单个湿渍或水膜面积不大于 0.3 m ² ，单点漏水量不得大于 2.5L/d。
四级	有漏水点，不得漏泥沙。

13.1.3 隧道的防水等级，应根据工程的重要性、使用功能、运营安全保障等要求，按下列规定设计：

一级防水：有客运作业或装修要求的车站隧道拱墙；隧道内供人员长期工作的洞室；因少量湿渍而影响设备正常运转、危及运营安全的设备洞室；因少量湿渍使贮存物质变质、失效的贮物洞室。

二级防水：区间隧道及连接通道拱墙；隧底结构；有人员经常活动的场所；安装一般电气设备的洞室、置放无防潮要求器材物料的洞室；辅助坑道内安装电动防火门、风机及其控制设备的段落。

三级防水：运营期间作为防灾救援通道、检修通道、通风排烟通道的辅助坑道；人员临时活动场所；安装非电气设备的洞室。

四级防水：对渗漏水无严格要求的坑道、施工用临时洞室。

13.1.4 铁路隧道的防水应以结构自防水为主体，以接缝防水为重点。设计除根据需要选择建筑材料构建防水体系外，还应注重衬砌结构对工作环境及其变化的适应性，控制裂缝产生与发展，保证二次衬砌防水功能的耐久性。

13.1.5 下穿河流、湖泊、海洋及城市等地区的隧道，宜按全封闭不排水原则设计。

13.1.6 铁路隧道的排水，应服从于保护环境、规避第三方风险、防止次生灾害的总体要求。隧道修建及运营中的排水有可能影响周围环境，造成污染和危害时，应采取防污染和防其它公害发生的措施。

13.1.7 铁路隧道的排水系统，应根据广东省雨季雨量充沛的特点及工作环境，采取防淤积、防堵塞等措施，并充分考虑其可维护性。洞内排水应满足道床、人员走行面、设备安装处、线缆沟槽无滞水的要求。洞外排水应结合施工期间排水系统、辅助坑道设置、相邻工程排水系统统筹考虑，不得对相邻工程基础、结构产生冲刷。

13.1.8 铁路隧道施工期间的防排水设计，应以保护环境、防止施工灾害为重点，确保安全、保证质量、满足工期要求。采用的防排水工程措施应考虑足够的安全富余能力。

13.1.9 采用机械排水的隧道应设集水池及机械排水设施，排水能力应满足设计排水量要求，并配备备用泵。

13.1.10 对于工程地质、水文地质条件复杂、水环境保护要求较高或防排水工程风险较高的隧道，施工前应进行防排水工程措施备用方案的设计。

13.2 矿山法隧道防排水

13.2.1 隧道防水设计应符合下列规定：

- 隧道衬砌应采用防水混凝土，抗渗等级不应低于 P8；地下水发育或有侵蚀的地段隧道衬砌混凝土抗渗等级不应低于 P10。
- 防水等级为一、二、三级的隧道应设置防水层。岩溶地区或地下水发育地段，宜采用防排水板防水层。
- 防水等级为一、二级的隧道衬砌施工缝、变形缝应按表 32 选防水措施。
- 有侵蚀性地下水地段，应针对侵蚀类型，采用抗侵蚀性混凝土等措施。

表 32 铁路隧道衬砌结构防水设防要求

工程部位		拱墙			仰拱(底板)		施工缝					变形缝				
防水措施		防水板	防排水板	防水涂料	防水板	预埋注浆管	中埋式止水带	防排水板	预埋注浆管	背贴式止水带	防水密封材料	水泥基渗透结晶型防水涂料	中埋式止水带	防排水板	背贴式止水带	防水密封材料
防水等级	一级	应选一种		可选	必要时选一种		应选	至少选一种					应选	至少选两种		
	二级	应选一种		—	必要时选一种		应选	至少选一种					应选	至少选一种		
	三级	可选一种			—	—	可选一种					可选一种				

13.2.2 隧道防水应重视地表水下渗对隧道的影响。明洞结构回填土表面均应铺设隔水层，隔水层应优先选用黏土层。当地表有沟谷、洼地、坑穴时，应结合环境条件及其对隧道的影响，采取地表疏导、防渗等处理措施。当地表处理较困难时，也可采取洞内加固地层或引排等，减少地表水下渗对隧道的影响。

13.2.3 明洞衬砌外缘应敷设外贴式防水层或防水涂料，复合式衬砌初期支护与二次衬砌之间应设置防水层，防水层一般由防水板或防排水板与缓冲层组成，宜采用分离式。防水层可根据水文地质条件和结构防水设防要求，采用全封闭、半封闭设计。

13.2.4 隧道接缝防水采用中埋式止水带时，应设计安装固定措施并提出保证稳固居中的工艺要求。侧沟分段施工时，应设计止水防渗措施。

13.2.5 在下列情况下隧道工程可采用注浆防水：

- 掌子面前方存在较高水压的富水区，开挖后存在突水、突泥风险；
- 掌子面开挖可能导致不可接受的地下水环境改变、地表沉降者；
- 开挖后洞壁出水超过允许排放标准；
- 初期支护完成后仍有较大面积的渗漏水；

13.2.6 隧道围岩注浆、超前预注浆后应做注浆效果检查和评判；当漏水量小于设计允许值，浆液固结体达到设计强度后，方可开挖，否则应进行补充注浆或采取其它有效的工程措施。

13.2.7 隧道、辅助坑道宜采用自流排水，无自流排水条件时应设置机械排水。隧道排水应防止危及地面建（构）筑物及农田水利设施等。

13.2.8 隧道的排水系统包括地表截排水沟，洞内侧沟及中心水沟。暗洞衬砌背后环向盲管（沟）、纵向盲管（沟）、横向排水管、泄水孔等，明洞衬砌靠山侧边墙顶或边墙后应设置纵向和竖向盲沟。隧道必要时可设泄水洞或隧底排水管（沟）。

13.2.9 隧道及平行导坑、横洞等辅助坑道内纵向应设排水沟，底部结构顶面应设横向排水坡；流入排水沟的隧底横向排水坡宜为2%。

13.2.10 洞内排水沟的设置应符合下列规定：

- 洞内纵向排水沟宜与线路坡度一致。在隧道内线路平坡段、车站隧道段，排水沟泄水底面排水坡不得小于1%。

- b) 单线隧道宜设置双侧水沟，双线及多线隧道应设置双侧水沟及中心排水沟。
- c) 道床积水应通过纵横向排水管（槽）引入排水沟；电缆槽应设置泄水孔接入侧沟。
- d) 中心排水沟可采用盖板明沟或暗埋管沟。采用暗埋管沟时，应设置满足养护、维修需要的检查井。
- e) 隧底岩体软弱且地下水发育地段，应采取疏排地下水的措施，以防止隧底滞水、基础软化、翻浆冒泥，有条件时可于隧底结构下设置纵向排水沟（管）。
- f) 隧道边墙至侧沟泄水孔间距不大于 3m，直径不小于 8cm；岩溶及地下水发育地段泄水孔应加密设置，直径不小于 10cm；泄水孔宜入岩一定深度。

13.2.11 环纵向盲管应设反滤层；环向盲管管径不宜小于 50mm，纵向盲管管径不宜小于 80mm。

13.2.12 颗粒易流失的围岩段，隧道采用集中疏导排水时应采取防颗粒流失的反滤措施。

13.2.13 地下水发育、有长期补给来源或揭示大型地下水通道的隧道应根据正洞及辅助坑道的预测涌水量，检算隧底盲沟、侧沟、中心水沟、深埋水沟的排水能力，可加大水沟、充分利用辅助坑道分流排水，必要时设置泄水洞。

13.3 掘进机法隧道防排水

13.3.1 掘进机法铁路隧道的防水等级、设防要求、抗渗等级、结构排水及技术指标等，应根据工程的功能要求确定。

13.3.2 掘进机法铁路隧道防水设计应根据地层条件、水文地质条件、结构形式、使用及施工要求、环境保护等综合考虑。应结合施工工艺对施工缝、变形缝、管片或预制块接缝等提出明确的防水构造、材料及工艺要求。

13.3.3 掘进机法铁路隧道防水设计应符合下列规定：

- a) 隧道防水设计应包括防水标准和设防要求，衬砌自防水，施工缝（管片接缝）、变形缝防水，防水层、管片衬砌与隧道开口处防水，工程细部构造的防水，工程结构的防排水系统等。
- b) 掌子面前方及开挖后揭示水量较大的富水区，应采取注浆防水措施。
- c) 做好钻爆法、掘进机法不同断面连接处的防水设计。
- d) 仰拱预制块之间及其与现浇仰拱块之间的防水，可采用在仰拱预制块上设置弹性密封垫的方式。弹性密封垫应满足设计水压和接缝量张开错位情况下不渗漏的要求。
- e) 仰拱预制块设置中心水沟时，中心水沟接头处应设置橡胶止水带。
- f) 预制块采用弹性密封垫时，应在弹性密封垫安装前设置防水保护措施。

13.3.4 管片衬砌的防水设计应符合以下要求：

- a) 管片结构防水混凝土的抗渗等级不低于 P10，地下水发育或有侵蚀的地段隧道衬砌混凝土抗渗等级不应低于 P12。
- b) 管片混凝土外加剂宜采用高效减水剂，掺合料宜采用高活性微矿粉掺料。
- c) 在腐蚀性地下水环境条件下，应在管片外喷涂防腐涂层或采用耐腐蚀混凝土。
- d) 富水段管片背后注浆材料宜采用掺加抗裂防水剂的水泥浆。

13.3.5 管片接缝防水应符合以下规定：

- a) 管片接缝防水应在设计水压和接缝最大张开错位下不得渗漏。
- b) 管片接缝应至少设置一道密封垫。
- c) 封顶块与邻接块之间应采用较薄遇水膨胀橡胶与复合密封垫。
- d) 富水段宜采用高强度高分子特殊注浆材料补强混凝土施工缝和预制管片拼接缝。

13.3.6 掘进机法隧道排水设计按本章 13.2 矿山法隧道排水规定办理。

13.4 盾构法隧道防排水

13.4.1 隧道防水应以管片混凝土结构自防水为主体，以管片接缝防水为重点，重视螺栓孔、注浆孔、隧道与竖井接头等特殊部位防水。

13.4.2 管片自防水应满足以下要求：

- a) 钢筋混凝土管片应采用防水混凝土制作，其抗渗等级不应低于 P10，地下水发育或有侵蚀的地段隧道衬砌混凝土抗渗等级不应低于 P12，氯离子扩散系数不宜小于 $3 \times 10^{-13} \text{m}^2/\text{s}$ 。当隧道处于对混凝土有中等以上腐蚀的地层时，钢筋混凝土管片迎水面应涂抹外防腐涂层，防腐涂层应具有防水性能。
- b) 混凝土管片的裂缝宽度不得大于 0.2mm，并不得贯通。
- c) 钢筋混凝土管片应进行单块检漏试验。管片外表在设计抗渗压力下，恒压 2h，最大渗水深度不得超过主筋保护层厚度。

13.4.3 管片接缝至少应设置一道密封垫。当隧道处于富含水区域时，结合水压情况，可采取增设密封垫、遇水膨胀条等加强防水措施。

13.4.4 密封垫应沿管片侧面成环设置。密封垫沟槽形式、截面尺寸应与密封垫形式和尺寸相匹配。

13.4.5 密封垫沟槽截面积应按式 6 计算：

$$A = (1 \sim 1.15)A_0 \quad (6)$$

式中：A ——密封垫沟槽截面积；

A_0 ——弹性密封垫橡胶部分的面积；

13.4.6 密封垫宜采用三元乙丙橡胶类或遇水膨胀橡胶与三元乙丙橡胶的复合材料等，密封垫应符合下列规定：

- a) 密封垫应在计算的接缝最大张开量和估算的错台量情况下，在 2 倍~3 倍埋深水头的压力下不渗漏。
- b) 密封垫的压缩永久变形率不应大于 25 %。
- c) 接缝闭合压缩力应小于千斤顶最大顶力。
- d) 当封顶块采用纵向插入方式时，密封垫表面应涂抹润滑剂。
- e) 变形缝环缝密封垫表面应增设遇水膨胀橡胶片加强防水。

13.4.7 嵌缝防水设计应符合以下规定：

- a) 嵌缝材料应具有良好的不透水性、粘结性、耐久性、弹性和抗下坠性。
- b) 嵌缝槽宜采用弹性、刚性或遇水膨胀类密封材料进行嵌缝。
- c) 变形缝嵌缝槽宜采用弹性密封材料进行嵌缝。

13.4.8 螺栓孔防水设计应符合以下规定：

- a) 螺栓孔口应设置锥形倒角的螺孔密封圈沟槽。
- b) 螺栓孔密封圈的外形应与沟槽相匹配。
- c) 螺孔密封圈应采用合成橡胶或遇水膨胀橡胶制品。

13.4.9 注浆孔的注浆管密封圈和注浆管盖密封圈，应符合下列规定：

- a) 注浆管密封圈应在管片混凝土浇筑前固定在注浆管四周，单道或多道设置。
- b) 注浆管密封圈和注浆管盖密封圈应采用遇水膨胀橡胶制品。

13.4.10 复合式衬砌的内层衬砌混凝土浇筑前，应将外层管片的渗漏水引排或封堵。采用防水板等夹层防水层的复合式衬砌，应根据隧道排水情况选用相应的缓冲层和防水板材料。

13.4.11 竖井与隧道结合处，可采用刚性接头，接缝宜采用柔性材料密封处理。在软土地层距竖井结合

处一定范围内的衬砌段，宜增设变形缝。变形缝环面应粘贴垫片，同时应采用适应变形大的弹性密封垫。

13.4.12 施工过程中出现地下水渗漏时，应进行注浆堵水处理，当渗漏较大时，应引排至隧道外。

13.4.13 富水区段长大隧道、洞内反坡施工可根据坡度、水量和设备情况，设置集水池、管路及泵站。

13.4.14 工作井底部应配备足够的消防排水设备及设施。

13.4.15 隧道洞外截排水系统应结合城市管网综合考虑，不得流入隧道内。

13.5 明挖法隧道防排水

13.5.1 明挖法隧道迎水面主体结构应采用防水混凝土，混凝土抗渗等级不得低于 P10，富水段或有侵蚀性环境下的防水混凝土抗渗等级不得低于 P12。

13.5.2 一级设防时附加防水层不得少于两道，二级设防时附加防水层不得少于一道，且每道防水层不得低于规定单层厚度值。相邻防水层及施工工艺不得产生有害的物理、化学作用。

13.5.3 外露使用的防水材料应满足燃烧性能等级不低于 B₁ 级的要求。防水材料有害物质限量应满足现行国家环保要求。

13.5.4 叠合墙结构侧墙迎水面应采用水泥基类防水材料。盖挖逆做支护结构与主体结构顶板采用刚接时，连接面防水采用水泥基渗透结晶型防水涂料。

13.5.5 有种植要求的结构顶板应至少设一道耐根穿刺的防水层，材料应通过耐根穿刺试验。

13.5.6 基面处理满足要求后，方可施工防水层。

13.5.7 接缝止水措施不得少于两道，富水段应适当加强。

13.5.8 明挖法隧道一般按照防水型隧道设计，宜采用自然排水，不能自然排水的隧道应设置集水池和机械排水设施，并采取机械排水。机械排水应符合下列规定：

- a) 集水池的有效容积应充分考虑排水区域的隧道结构渗水容量，并应有一定的富余量；
- b) 机械排水设施的排水能力应满足设计排水量要求，并配置备用泵；
- c) 集水池宜设置监控系统，机械排水设施应设置控制系统和监控系统。

13.5.9 明挖法隧道内排水沟设计应符合下列规定：

- a) 明挖法隧道内宜设置双侧排水沟，可不设中心排水沟；
- b) 排水沟断面应根据水量大小确定，排水沟的设置应考虑清理和检查要求；
- c) 明挖法隧道内最低点须设置集水池，双侧排水沟的水应顺接引入。

13.5.10 明挖法隧道外部水不宜流入隧道。隧道洞内排水系统应与洞外排水系统顺接，宜设置具有检修、维护功能的汇水井（池）。

14 工程监测

14.1 一般规定

14.1.1 应对隧道结构、附属结构、周围岩土体及周边环境进行工程监测。

14.1.2 隧道工程施工期间的工程监测应为验证设计、施工及环境保护等方案的安全性和合理性，优化设计和施工参数，分析和预测工程结构和周边环境的安全状态及其发展趋势，实施信息化施工等提供资料。

14.1.3 隧道工程监测设计应包括监测范围、监测项目、监测点布设位置、监测频率和控制指标等。

14.1.4 隧道工程监测范围、监测项目、监测点的布设、监测频率应满足反映隧道结构和周边环境变化特征和安全状态的要求。

14.1.5 隧道工程监测应贯穿隧道工程施工全过程。隧道贯通且周围岩土体和周边环境变形趋于稳定时，可结束监测工作。

14.1.6 当遇到下列情况之一时，应进行专项监测：

- a) 隧道穿越或邻近既有轨道交通、铁路设施。
- b) 隧道穿越重要建（构）筑物、高速公路、桥梁、机场跑道、隧道等。
- c) 隧道下穿河流、湖泊等地表水体。
- d) 隧道穿越岩溶、断裂带、地裂缝等不良地质体。
- e) 隧道穿越重要管道。

14.1.7 矿山法隧道的监测应满足 Q/CR 9218 的相关技术要求；若隧道位于城镇地区，还应满足 GB 50911 的相关技术要求。

14.2 监测范围

14.2.1 隧道工程监测范围应根据地形地质条件、隧道设计、环境条件等并结合当地的工程经验综合确定。

14.2.2 浅埋隧道工程的监测范围不应小于隧道正上方隧道轴线两侧地表沉降曲线边缘 $2.5i$ 处（ i 为地表沉降曲线 Peck 公示中的沉降槽宽度系数）之间的距离。

14.2.3 深埋隧道的监测范围应根据覆盖层厚度、岩层产状等地质特征及周边环境综合确定监测范围。

14.2.4 当遇到下列情况之一时，应调整监测范围：

- a) 隧道周边土体以淤泥、淤泥质土或其他高压缩性土为主时，应根据工程经验扩大监测范围。
- b) 隧道周边以岩层为主时，可根据地层物理力学特性，岩层产状、构造等实际情况调整监测范围。
- c) 隧道穿越断层破碎带等不良地质体或特殊性岩土发育区域时，应根据地质分布特点和危害程度分析确定监测范围。

14.3 监测项目

14.3.1 工程监测项目应在满足工程支护结构安全和周边环境保护要求的条件下，针对不同的施工方法，根据支护结构设计方案、周围岩土体及周边环境条件综合确定。

14.3.2 隧道和周边环境的监测项目应符合下表的规定。

表 33 隧道结构及周边环境的监测项目

监测对象		必测项目	选测项目
隧道结构及附属结构		暗挖隧道结构竖向、水平位移、结构收敛； 明挖隧道支护结构竖向、水平位移；	矿山法隧道钢架内力、二次衬砌内力、锚杆轴力等； 盾构管片结构应力及连接螺栓应力等； 明挖隧道支护结构应力、锚杆拉力
周边环境	周围岩土体	地表沉降或隆起	土体深层水平位移、分层竖向位移、孔隙水压力、 地下水位、围岩压力等
	建构筑物	竖向位移、裂缝、倾斜（高层建筑）	水平位移
	桥梁	墩台竖向位移、墩台差异沉降、墩柱倾斜、裂缝	梁板应力
	隧道	结构水平、竖向位移、变形缝差异沉降、轨道的 竖向位移及静态几何形位、结构裂缝	结构净空收敛
	城市道路路基	路面路基竖向位移、挡墙竖向位移、挡墙倾斜	\
	地下管线	竖向位移、差异沉降	水平位移

14.3.3 工程周边环境条件复杂区域，宜对环境风险等级高、现状安全状态差、控制标准高的环境对象进行重点监测。

14.4 监测点布设

14.4.1 支护结构及周围岩土体监测点的布设应根据施工工法、地质条件、隧道埋深及监测方法的要求等综合确定，并应满足监测对象实际状态、位移和内力变化规律，及分析监测对象安全状态的要求。

14.4.2 隧道结构和周围岩土体位移、内力最大的部位及其变化最大的部位，影响工程安全的关键部位，隧道与附属结构连接处及其他特殊部位应布设监测点。

14.4.3 周边环境监测点的布设应根据各类环境对象的性质、环境风险等级、与隧道相对位置关系、地质条件和监测方法等综合确定。

14.4.4 隧道结构及周边环境监测点布设，宜通过各监测项目监测数据的相互关系，反映监测对象的内在变化规律。

14.5 监测频率

14.5.1 监测频率应根据工程筹划、施工进度等情况，结合监测对象和监测项目的特点、工程地质及水文地质条件和当地工程经验等综合确定。

14.5.2 隧道结构及周边环境的监测频率可参照下表执行。

表 34 隧道结构及周边环境的监测频率

监测部位	监测对象	开挖面至监测点距离	监测频率
开挖面前方	周边环境	$5D < L \leq 8D$	1 次/ (3d~5d)
		$3D < L \leq 5D$	1 次/2d
		$D < L \leq 3D$	1 次/1d
		$L \leq D$	2 次/1d
开挖面后方	隧道结构及周边环境	$L \leq D$	2 次/1d
		$D < L \leq 3D$	1 次/1d
		$3D < L \leq 8D$	1 次/ (1d~2d)
		$L > 8D$	1 次/ (3d~7d)

注：D 为盾构隧道开挖直径 (m)，L 为开挖面距监测断面的水平距离 (m)

14.5.3 盾构隧道结构监测宜在衬砌环脱出盾构且能通视时开始。

14.5.4 监测数据趋于稳定后，监测频率宜为 1 次/15d~1 次/30d。

14.5.5 既有轨道交通监测宜采用远程自动化监控系统。

14.5.6 当遇到下列情况之一时，应提高监测频率。

- a) 监测数据异常或变化速率较大。
- b) 存在勘察未发现的不良地质条件，且影响工程安全。
- c) 地表、建（构）筑物等周边环境发生较大沉降、不均匀沉降。

14.6 监测控制值及预警

14.6.1 工程监测应该根据工程特点、监测项目控制值、当地施工经验等制定监测预警等级和预警标准。

14.6.2 工程监测应根据预警等级和预警标准建立预警管理制度，预警管理制度应包括不同预警等级的警情报送及施工应急预案等。

14.6.3 隧道结构的监测控制值应根据工程地质条件、隧道设计参数、当地工程经验等确定。当无经验时，也可参考下表确定。

表 35 隧道结构监测控制值

监测项目及岩土类型			累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)	
矿山法 隧道	拱顶沉降		10~20	3	
	底板竖向位移		10	2	
	净空收敛		10	2	
	中柱竖向位移		10~20	2	
盾构法 隧道	管片结构沉降	坚硬~中硬土	10~20	2	
		中软~软弱土	20~30	3	
	管片结构差异沉降		0.04%L _s	—	
	管片结构净空收敛		0.2%D	3	
明挖法 隧道	支护桩（墙）顶竖向位移	土钉墙、型钢水泥土墙	30~40	4~5	
		灌注桩、地下连续墙	10~30	2~4	
	支护桩（墙）顶水平位移	土钉墙、型钢水泥土墙	30~60	5~6	
		灌注桩、地下连续墙	15~40	2~4	
	支护桩 （墙）体 水平位移	型钢水泥土墙	坚硬~中硬土	40~50	6
			中软~软弱土	50~70	6
		灌注桩、地下连 续墙	坚硬~中硬土	20~40	2~5
			中软~软弱土	30~70	2~6
	地表沉降	坚硬~中硬土		20~40	2~4
		中软~软弱土		20~60	2~60
立柱结构竖向位移			10~20	2~3	

14.6.4 周边环境监测项目控制值应根据环境对象的类型与特点、结构形式、变性特征、已有变形、正常使用条件及国家现行有关标准的规定，并结合环境对象的重要性、易损性及相关单位的要求等进行确定。当无经验时，可参照下表确定。

表 36 地表沉降控制值

监测项目及岩土类型			累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
城市建成区	地表沉降	坚硬~中硬土	10~20	3
		中软~软弱土	15~25	3
	地表隆起		10	3
越岭地段	地表沉降		20~40	3~4

表 37 建筑物变形控制值

监测项目		累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
建筑物沉降		10~30	1~3
差异沉降		0.0011~0.0021	3~4
裂缝		1.5	\
倾斜	$H_g \leq 24$	0.004	\
	$24 < H_g \leq 60$	0.003	\
	$60 < H_g \leq 100$	0.0025	\
	$H_g > 100$	0.002	\

注：l 为相邻基础的中心距离； H_g 为自室外地面起的建筑物高度。

表 38 城市道路路基变形控制值

监测项目	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
高速公路、城市主干道	10~30	3
一般城市道路	20~40	3

表 39 城市轨道交通隧道结构变形控制值

监测项目	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
隧道结构沉降	3~10	1
隧道结构上浮	5	1
隧道结构水平位移	3~5	1
隧道差异沉降	$0.04\%L_s$	—
隧道结构变形差异沉降	2~4	1

注： L_s 为沿隧道轴向两监测点间距。

表 40 既有铁路路基变形控制值

监测项目	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
整体道床	10~20	1.5
碎石道床	20~30	1.5

表 41 地下管线变形控制值

监测项目	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)	差异沉降 (mm)
燃气管道	10~20	2	0.3%L _g
雨污水	10~20	2	0.25%L _g
供水管	10~30	2	0.25%L _g

注：L_g 为管节长度；燃气管道变形控制值适用于 100~400mm 的管径。

15 通风与照明

15.1 一般规定

15.1.1 隧道通风方式可分为自然通风和机械通风。通风方式的选择应根据技术、经济条件，考虑安全、效果、维修、防灾救援等因素，综合比较确定。

15.1.2 城际铁路隧道正常运营通风应使隧道内具有符合卫生标准的空气环境，保证隧道中旅客、乘务人员、维护人员免受有害气体的危害，减少有害气体、粉尘、湿气、高温等对隧道衬砌及有关设备的腐蚀和影响。

15.1.3 城际铁路隧道防灾通风应考虑着火列车在隧道内运行时滞留的烟气和残余列车活塞风的影响，通风系统设置应满足在火灾情况下能控制烟雾扩散方向，保障疏散救援安全。

15.1.4 运营通风应与防灾通风统筹考虑。当运营通风与防灾通风系统合用时，应采用可靠的防火安全措施，并应符合防灾通风系统的有关要求。

15.1.5 隧道内照明设置应满足养护维修、紧急情况下的人员疏散及救援人员的通行要求。

15.2 施工通风

15.2.1 隧道施工独头掘进长度超过 150m 时，应采用机械通风。独头掘进长度超过 1000m 的隧道，应进行施工通风专项设计。

15.2.2 隧道施工作业环境应符合表 42 的规定。

表 42 隧道施工作业环境的职业健康及安全标准

项 目		指标
O ₂ 浓度 (%)		≥20
含有 10% 以上的游离 SiO ₂ 的粉尘浓度 (mg/m ³)		≤2
含有 10% 以下的游离 SiO ₂ 的粉尘浓度 (mg/m ³)		≤4
有害气体	CO 浓度 (mg/m ³)	≤30*
	CO ₂ 浓度 (%)	≤0.5
	SO ₂ 浓度 (mg/m ³)	≤15
	H ₂ S 浓度 (mg/m ³)	≤10
	NO _x (换算成 NO ₂) 浓度 (mg/m ³)	≤5

噪声 (dB)	≤90
注:	
1 *在特殊情况下, 施工人员需要进入工作面时, CO 浓度可为 100mg/m ³ , 但工作时间不得大于 30min;	
2 瓦斯隧道的瓦斯浓度控制标准应符合国家现行相关标准的规定。	

15.2.3 施工通风方式可根据独头通风长度、断面大小、施工方法、有害气体浓度、设备条件等采用压入式、吸出式、巷道式、混合式或风渠式通风。

15.2.4 隧道瓦斯工区可采用压入式、巷道式或风渠式通风, 当高瓦斯或瓦斯突出段距洞口大于 2000m 时, 应采用巷道式通风。

15.2.5 掘进机法和盾构法隧道采用接力式施工通风, 由洞口送至掘进机或盾构尾部的新鲜风, 应满足掘进机或盾构自带通风系统向施工作业区域的供风要求。

15.2.6 隧道掌子面所需风量应按工作面排出炮烟情况、隧道内最多工作人数、允许最低风速、瓦斯涌出量、内燃机废气稀释排出等因素综合计算确定。

15.2.7 隧道施工通风应能提供洞内各项作业所需最小风量, 每人应供应新鲜空气 3m³/min, 采用内燃机械作业时, 供风量不宜小于 3m³/(min·kW)。

15.2.8 瓦斯工区洞内通风机械应采用防爆型, 风管应采用抗静电、阻燃风管, 通风系统供送风量应满足人员需风量不小于 4m³/(min·人), 作业机械需风量不小于 4m³/(min·kW)。

15.2.9 矿山法施工的隧道, 洞内施工通风的风速应满足:

- a) 全断面开挖时不应小于 0.15m/s, 分部开挖时不应小于 0.25m/s;
- b) 隧道瓦斯工区洞内不应小于 0.25m/s, 防止瓦斯局部积聚的风速不小于 1m/s。

15.2.10 掘进机法隧道施工通风, 应满足除尘、设备散热、作业人员舒适度的风量要求, 并应符合下列规定:

- a) 隧道工作面至掘进机尾部施工作业区域的回风风速不宜小于 0.5m/s;
- b) 掘进机尾部至隧道或辅助坑道洞口之间的运输通道区域回风风速不应小于 0.3m/s。

15.2.11 盾构法隧道施工通风, 通风量应满足设备散热、排尘、作业人员需风量要求, 设计最低风速不宜小于 0.25m/s。

15.3 运营通风及防灾通风

15.3.1 铁路运营隧道内空气卫生及温湿度标准应满足表 43 的要求。瓦斯隧道运营期间隧道内在任何时间、任何地点保证运营安全的瓦斯浓度不得大于 0.5%。

表 43 运营隧道空气卫生及温湿度环境标准

指标	正常运营			维护	备注
	日均浓度	15min 加权浓度	最高容许浓度	最高容许浓度	
一氧化碳 (mg/m ³)	20	30	—	20	H<2000m
氮氧化物 (一氧化氮和二氧化氮, mg/m ³)	5	10	—	5	H<3000m
臭氧 (mg/m ³)	—	—	0.3	0.3	—

粉尘 (mg/m^3)	石英 粉尘	8	10	—	8	$M_{\text{SiO}_2} < 10\%$
		1	2	—	2	$M_{\text{SiO}_2} > 10\%$
	大理石粉尘(碳酸钙)	4	—	—	4	—
	动植物 性粉尘	2	4	—	3	—
	其他粉尘	8	—	—	8	—
氧含量 (%)		20%			H < 2000m	
注: H——隧址平均海拔高度 (m); M_{SiO_2} ——游离二氧化硅的粉尘浓度。						

15.3.2 城际铁路隧道运营通风应尽可能利用列车活塞风和自然风,当利用列车活塞风与自然风的共同作用可完成隧道通风时,应选择自然通风。

15.3.3 电力牵引的城际铁路隧道设置机械通风应根据隧道长度、隧道内是否设置车站、线路平纵断面、行车速度和组织模式、隧道内地温及有害气体等因素综合考虑确定,并应符合下列规定:

- 长度大于 20km 城际铁路双向行车的隧道宜设置固定式机械通风。
- 长度大于 20km 单向行车的独立隧道应根据计算确定通风方式。
- 存在阻塞工况的城际铁路非独立隧道应设置固定式机械通风,通风方案应结合隧道长度、行车组织、信号制式等因素综合确定。
- 有特殊要求的隧道应设置机械通风。

15.3.4 城际及市域(郊)铁路非独立隧道运营通风量,应根据人员新风量需求及环境温度控制需求确定,并应符合下列规定:

- 正常运营时应充分利用列车活塞风对隧道换气。隧道内新风换气量应满足断面客流人员新风量需求,每个乘客的计算新风量不应小于 $30\text{m}^3/\text{h}$ 。
- 列车阻塞工况下,应保证列车空调冷凝器周围空气温度不超过 45°C 。
- 维护作业时,隧道内最大风速不宜大于 $8\text{m}/\text{s}$,最小风速不应小于 $0.15\text{m}/\text{s}$ 。

15.3.5 与车站相接的非独立隧道存在阻塞工况时,宜在车站端头或利用辅助坑道设置固定式机械通风系统。

15.3.6 瓦斯突出隧道应设置固定式机械通风,其余瓦斯隧道和其他有害气体隧道应根据线路条件、自然环境条件、结构封闭效果、运营维护模式等综合确定。

15.3.7 设置机械通风的瓦斯隧道设计通风量,应分别按稀释隧道内瓦斯、防止瓦斯积聚最小风速以及隧道运营需风量中的最大值进行确定。

15.3.8 城际铁路隧道内固定式机械通风设备及其附属设施,应考虑列车气动效应的影响。

15.3.9 隧道防灾通风应与防灾疏散救援工程及应急疏散方案紧密结合,根据疏散点位置、人员疏散路线及疏散方向进行防排烟气流组织设计。

15.3.10 隧道内紧急救援站防灾通风设计遵循人烟分离的原则,宜采用半横向式排烟通风或集中排烟通风等方式,疏散横通道和待避区采取机械加压送风防烟措施,并应符合下列规定:

- 横通道防护门处风速不应小于 $2\text{m}/\text{s}$ 。
- 待避区供送新风量按每人不应小于 $10\text{m}^3/\text{h}$ 。
- 当设置机械排烟系统时,应同时设置补风系统。当设置机械补风系统时,其补风量不宜小于排烟量的 50%。
- 排烟道内的设计风速不宜大于 $18\text{m}/\text{s}$ 。

15.3.11 隧道口紧急救援站两端隧道内通风风速不应小于 $1.5\text{m}/\text{s}\sim 2\text{m}/\text{s}$,风向由洞内吹向明线段。

15.3.12 当城际铁路利用隧道内客运车站疏散时，其防灾通风应符合 TB 10063 的相关规定。

15.3.13 隧道紧急出口、避难所和底部疏散廊道通风设计应满足非火灾列车故障工况的人员疏散要求，可采用纵向通风方式，并应符合下列规定：

- a) 防护门处处风速不应小于 1.5m/s。
- b) 避难所、底部疏散廊道待避区待避区供送新风量按每人不应小于 10m³/h。

15.3.14 风机可采用射流风机、轴流风机，或者射流风机和轴流风机的组合。通风机的设置应符合下列规定：

- a) 射流风机纵向布置及设置间距应综合考虑隧道净空断面、风机效率、活塞风利用、火灾对策、经济性等因素。
- b) 隧道内射流风机宜采用壁龛式安装，并采取可靠的安全防护措施。
- c) 采用多台轴流风机时，宜并联设置。
- d) 直接暴露在火灾现场的风机，应具备高温条件下连续工作性能。

15.4 照明

15.4.1 城际铁路隧道应根据需要设置正常照明、应急照明及照明插座箱等，并应符合下列规定：

- a) 城际铁路隧道长度 500m 及以上的应设置正常照明。
- b) 5000m 及以上或设有紧急出口的隧道应设置应急照明和疏散指示标志。
- c) 长度 500m 以下的隧道可根据需要设置照明插座箱；设有正常照明的隧道可同时设置照明插座箱。

15.4.2 隧道照明应采用高效率、防腐蚀、防潮、防振、抗风压的灯具，其防护等级不宜低于 GB4208 规定的 IP65 级。其中时速 200 公里以上城际铁路隧道的照明灯具，还应选用通过风洞效应测试的隧道灯具。

15.4.3 在可能有瓦斯泄出的隧道内，照明灯具应具有防爆性能。

15.4.4 隧道内照明设备布置严禁侵入铁路建筑限界，且不应妨碍司机对信号的瞭望。

16 防灾疏散救援

16.1 一般规定

16.1.1 城际铁路隧道防灾疏散工程设计应遵循以人为本、安全疏散、自救为主、方便救援的原则。

16.1.2 城际铁路隧道应具有针对火灾、水淹、风灾、地震和雷击等灾害的预防措施，并应以预防火灾为主。

16.1.3 城际铁路隧道防灾疏散工程设计按同一隧道或区间在同一时间段内只有一节旅客车厢发生火灾考虑。

16.1.4 列车在隧道内发生火灾时，应控制列车驶出隧道进行疏散；当列车不能驶出隧道，应控制列车停靠在相邻的车站或紧急救援站进行疏散救援。

16.1.5 列车非火灾事故工况停车疏散，可通过隧道洞口、地下车站、紧急出口、避难所、横通道等进行疏散。

16.1.6 隧道防灾疏散应以洞外疏散为主，疏散路径和设施应结合隧道线路运输性质、环境条件、辅助坑道条件等设置，并制定相应的疏散预案。

16.1.7 隧道内应设置贯通的疏散通道，单线隧道单侧设置，多线隧道双侧设置。

16.1.8 长度 20km 及以上的山岭隧道或隧道群应设置紧急救援站，紧急救援站之间的距离不应大于 20km。

16.1.9 连续长度 20km 及以上的地下区间宜利用车站进行疏散，利用作为防灾疏散的车站之间或车站

与紧急救援站的距离不应大于 20km，地下车站防灾设计应符合 DB44/T 2360 等国家、行业及地方相关标准的规定。

16.1.10 长度 10km 及以上的单洞隧道，应在洞身段设置不少于 1 处紧急出口或避难所。长度大于等于 5km 且小于 10km 的单洞隧道，宜结合施工辅助坑道，在隧道洞身段设置 1 处紧急出口或避难所。

16.1.11 双洞并行隧道或隧道与平行导坑之间应设置相互联络的横通道。

16.1.12 防灾疏散救援工程应综合考虑城际铁路线路技术标准、工程分布、工程特征、环境条件、运营管理模式等因素进行总体方案设计。

16.1.13 防灾疏散救援工程设计应包括以下内容：

- a) 总体方案设计：防灾疏散救援工程设置形式、规模和数量。
- b) 土建工程技术参数确定：疏散通道尺寸；横通道间距、断面净空尺寸；紧急救援站或区间车站、紧急出口、避难所、防护门等技术参数。
- c) 相关设施配套：通风、应急照明、供电、应急通信、设备监控、消防等设备系统。
- d) 疏散救援设施及设备的接口设计。

16.1.14 隧道与地下车站相连时，其防灾疏散救援工程应统筹设计。

16.1.15 当区间隧道设置有盾构工作井时，宜预留作为运营期间的检修维护通道，并兼作非火灾事故工况外部进入洞内抢险救灾的通道。

16.2 紧急救援站

16.2.1 城际铁路隧道内紧急救援站宜设置在地质条件较好、便于利用辅助坑道地段，紧急救援站可采用以下型式：

- a) 双洞单线隧道宜采用加密横通道型。
- b) 单洞双线隧道宜采用两侧平导型，平行导坑断面净空尺寸不宜小于 4.5m×5.0m（宽×高）。
- c) 紧急救援站内横通道间距不宜大于 60m，横通道净空尺寸不宜小于 4.5m×4.0m（宽×高）。

16.2.2 城际铁路隧道内紧急救援站的长度，应为旅客列车编组长度加一定余量，余量可按不小于 10m 取值。

16.2.3 城际铁路隧道内紧急救援站疏站台设计应符合下列规定：

- a) 双洞单线隧道相邻侧设置，单洞双线隧道两侧设置，站台宽度不宜小于 2.3m。
- b) 站台面高于轨面的尺寸不宜小于 0.3m。
- c) 站台边缘距线路中线的距离可取 1.8m。

16.2.4 城际铁路隧道口紧急救援站宜设置在疏散条件较好、明线段较长的地段，可采用以下型式：

- a) 洞口疏散型：适用于明线段长度大于 250m 的隧道群。
- b) 洞口辅助坑道型：适用于明线段长度 250m 及以下的单、双洞隧道群。
- c) 洞口横通道加密型：适用于明线段长度 250m 及以下的双洞隧道群。

16.2.5 隧道口紧急救援站的长度应包括明线段与两端洞口段长度之和，且明线段与任意一端隧道洞口段长度之和不小于列车长度。

16.2.6 隧道口紧急救援站的站台可不予加宽，洞外内站台应接，站台与待避区之间应设连接通道。

16.3 紧急出口及避难所

16.3.1 紧急出口设计应符合下列规定：

- a) 优先选择平行导坑或横洞。
- b) 当选择斜井作为紧急出口时，其坡度不宜大于 12%，水平长度不宜大于 500m。
- c) 当选择竖井作为紧急出口时，其垂直高度不宜大于 30m，楼梯总宽度不应小于 1.8m。

- d) 斜井、横洞式紧急出口断面净空尺寸不宜小于 3.0m×2.2m (宽×高); 平行导坑断面净空尺寸不宜小于 4.0m×5.0m (宽×高), 竖井式紧急出口尺寸按照楼梯布置确定。

16.3.2 避难所设计应符合下列规定:

- a) 设置避难所的辅助坑道断面净空尺寸不宜小于 4.0m×5.0m (宽×高)。
- b) 避难所内应设置待避区, 待避面积不宜小于 0.5m²/人。

16.3.3 紧急出口及避难所内应设置通风、应急照明、应急通信、监控等设施。

16.4 横通道

16.4.1 并行隧道或隧道与平行导坑之间的横通道间距不宜大于 500m, 隧道水域段、不良地质段或其他困难条件下的横通道间距不应大于 1000m。

16.4.2 横通道设计应符合下列规定:

- a) 通行净空不宜小于 2.0m×2.2m (宽×高)。
- b) 横通道应设防护门。

16.4.3 横通道内应设置应急照明、应急通信等设施。

16.5 疏散通道

16.5.1 疏散通道宜利用隧道边墙处的水沟和电缆槽盖板面设置。

16.5.2 疏散通道走行面高度不应低于轨顶面, 其通行净空宽度不应小于 0.75m, 高度不应小于 2.2m。

16.6 其他

16.6.1 盾构隧道利用下部空间作为疏散廊道时, 应符合下列规定:

- a) 疏散廊道两端应采用工作井或斜井等辅助坑道或通过地下车站与隧道外连通。
- b) 隧道行车空间与疏散廊道之间应设置竖向通道, 竖向通道可采用封闭楼梯间、滑道等连接。竖向通道沿隧道长度方向的间距不宜大于 200m, 竖向通道的疏散方向应朝向隧道与地面连接的最近出口或通道。
 - a) 疏散廊道及楼梯处通行净空不应小于 0.75m×2.0m (宽×高), 楼梯处坡度不应大于 45°。
 - b) 竖向通道上部开口应高出道床面 20cm, 并设置当心跌落警示标志或栏杆。
 - c) 疏散廊道应设置通风、应急照明、应急通信及标志等设施。

16.6.2 双线及多线隧道设置中隔墙时, 联络门洞应符合下列规定:

- a) 联络门洞处应安装防护门, 间距不宜大于 200m。
- b) 门洞的通行净宽不应小于 1.2m, 净高不应小于 2.0m, 门洞地面应与隧道内疏散通道面齐平。

16.6.3 横通道、紧急出口、避难所与隧道连接处均应设防护门, 防护门净空尺寸应符合以下规定:

- a) 紧急救援站横通道防护门净空尺寸不小于 1.7m×2.0m (宽×高)。
- b) 紧急救援站以外的横通道、紧急出口及避难所内的防护门净空尺寸均不小于 1.5m×2.0m (宽×高)。

16.6.4 防护门应满足以下要求:

- a) 耐火性能满足甲级防火门要求。
- b) 防护门可采用平推门或滑移门, 其正常工作状态为常闭状态。
- c) 防护门门框墙宜采用钢筋混凝土结构。
- d) 防护门应能长期承受列车活塞风机瞬变压力的作用。

17 环境保护与风险控制

17.1 一般规定

- 17.1.1 隧道工程设计应严格执行国家环保、水保法律、法规及相关规定，合理选择隧道设计施工方案与措施，实现隧道工程与环境和谐统一。
- 17.1.2 隧道位置选择应充分考虑区域社会人文、环境影响，尽量绕避自然资源保护区、水源保护区、文物保护区和风景名胜区、林地、耕地等环境敏感点，工程完工后及时进行现场清理，复垦或绿化。
- 17.1.3 隧道的环保工程应与隧道主体工程同时设计、同时实施、同时验收交付。
- 17.1.4 隧道洞口及辅助坑道洞口应尽量减少开挖面，并采取必要的绿色防护措施。
- 17.1.5 隧道弃渣场的选择应符合国家土地利用的相关政策。

17.2 水资源保护

- 17.2.1 当隧道址附近有重要的水利设施和居民生活用水时，隧道设计应采取以下措施：
- 对地下水位、水量，地表居民等信息进行调查；
 - 评估隧道修建可能对地表居民造成的影响并做好设计预案；
 - 视水压及出水量采取注浆堵水等工程措施；
 - 对于明挖隧道，应采取有效措施，减少对周边环境的影响。
- 17.2.2 地下水流失可能引发地表环境破坏或居民生产生活受到影响，或运营排水成本较高时，隧道排水设计应遵循以堵为主、限量排放的设计原则，岩溶、暗河地段，尽量维持既有排水通道。
- 17.2.3 隧道及辅助坑道洞口应设置施工期污水处理设施。

17.3 隧道弃渣

- 17.3.1 隧道弃渣应根据施工组织尽量用作路基、站场填料或混凝土骨料，不能利用和剩余弃渣应运至弃渣场集中堆放。
- 17.3.2 弃渣挡护工程应按永久性结构设计，设计使用年限为 60 年。挡渣墙基底应高出 1/50 洪水位不小于 0.5m。
- 17.3.3 隧道弃渣场的位置应结合当地国土、环保、水保、河道管理等部门意见，根据场地地形、地质、水文条件及周边环境等因素综合确定。
- 17.3.4 隧道弃渣场设计应结合所在地区的降水、地面径流及地形地质情况，开展弃渣场的稳定性评价。隧道弃渣场顶面宜进行绿化或复垦。

17.4 地表沉降

- 17.4.1 隧道施工时应控制工程施工引起的地表沉降和地层变形，变形控制值应根据工程场地、地质情况、邻近建构（筑）物等情况确定，并应采取相关变形控制措施。隧道施工引起的地表沉降控制值应符合本标准的相关规定。
- 17.4.2 当两条相邻隧道间距小于隧道外径时，应根据工程地质条件、周围环境、两隧道净距等，对相邻隧道施工重复扰动对周边环境、隧道结构自身强度和刚度的影响进行分析。当影响较大且不可接受时，应采取地层加固或隧道内撑等相关工程措施。
- 17.4.3 盾构隧道施工引起的地层损失率不应大于 1.5%。当隧道位于饱和流塑状的软土地层中时，地层损失率不应大于 1%。当隧道周边环境条件和地层条件较复杂且邻近有重大风险源邻近建构物时，

地层损失率不应大于 0.5%。

17.5 周边建（构）筑物保护

17.5.1 浅埋隧道地表建(构)筑物密集时，隧道设计应采取相应的保护措施，防止地表塌陷，降低噪声、振动，减少对居民正常生产生活造成的影响。

17.5.2 当隧道下穿或邻近建(构)筑物时，应按本文件第 5.5 节的规定对建（构）筑物进行调查。当工程风险较大时应进行风险评估。

17.5.3 隧道风险控制设计应根据建(构)筑物结构形式、工程地质条件、隧道直径及埋深、隧道与建（构）筑物的相对位置关系等确定。

17.5.4 当盾构隧道周边环境条件和地层条件均较复杂且邻近有重大风险建（构）筑物时，应对隧道施工可能引起的地层变形进行分析预测，分析预测方法可采用 PECK 法和三维有限元数值模拟方法。当有可靠经验时，可根据当地工程经验对分析结果进行修正。应结合工程经验对地层变形预测结果进行判断，确认合理后方可用于风险工程设计。

17.5.5 建(构)筑物变形控制值应根据当地经验和工程类比确定，并应采取相应的工程技术措施确保建（构）筑物的安全及正常使用功能。

17.5.6 当隧道施工可能引发城市道路沉陷、地下管线沉降或隆起变形过大时，应明确具体的管线保护和风险控制工程措施。

17.5.7 当隧道邻近输油管道工程时，隧道与输油管道的最近距离应符合现行国家标准 GB50253 的规定。

17.5.8 当隧道邻近液化天然气气化站的液化天然气储罐、天然气放散总管等构筑物时，盾构隧道与天然气储罐、天然气放散总管的最近距离应符合现行国家标准 GB 50028 的规定。

17.5.9 当隧道穿越居民区、文教区时，隧道上方及两侧敏感点环境振动应满足国家标准 GB 10070 和 JGJ/T 170 规定的限值要求。当不能满足标准要求时，应采取振动控制措施。

17.6 风险控制

17.6.1 隧道设计应进行风险评估和采取风险控制措施，风险评估方法应根据各阶段风险特点采用定性、定性与定量相结合、定量等方法。风险控制措施高度重视具有突发性和灾难性的风险。

17.6.2 隧道风险评估与风险控制设计以现状调查和地质勘察资料为基础，选择合理的设计方案和进行充分的风险分析，制定可靠的风险控制措施，将工程风险程度降低到可接受水平。

17.6.3 隧道风险控制设计时应区分工程自身风险、地质风险和環境风险，对工程风险进行分级，并提出相应的工程实施方案、风险控制指标和风险控制措施。隧道重大地质风险和環境风险工程应开展工程专项设计和专项论证工作。

17.6.4 当无法探明工程地质或水文地质风险时，应从隧道选线、施工工法等角度进行设计方案比选，同时应制定应急预案并应进行风险工程论证。

17.6.5 设计阶段风险评估与控制应按可行性研究、初步设计、施工图三个阶段开展，各阶段工作内容见表 44。

表 44 设计阶段风险评估与控制工作内容

阶段	工作重点
可行性研究阶段	辨识并规避影响线路方案的隧道工程风险

阶段	工作重点
初步设计阶段	全面开展隧道工程的风险评估，制定风险控制措施
施工图阶段	核查风险因素、风险事件，完善和细化风险控制措施

17.6.6 隧道风险评估与控制应根据项目推进和环境变化，综合应用风险管理技术，对风险实施有效的动态管理。

17.6.7 各设计阶段均应提交风险管理报告。极高风险等级工点以及复杂技术工点应编制专项风险评估报告。

附录 A
(规范性)
洞门墙计算方法

A.1 隧道门端墙、翼墙及洞门挡土墙的有关参数可按以下公式计算：

1 最危险破裂面与垂直面之间的夹角

$$\tan \omega = \frac{\tan^2 \varphi + \tan \varepsilon \tan \alpha - A \frac{\tan \varepsilon}{1 - \tan \varepsilon \tan \alpha} (1 + \tan^2 \varphi) - \sqrt{(1 + \tan^2 \varphi) (\tan \varphi - \tan \varepsilon) [(1 - \tan \varepsilon \tan \alpha) (\tan \varphi + \tan \alpha) - A(1 + \tan \varphi \tan \varepsilon)]}}{\tan \varepsilon \left(1 - A \frac{\tan \varepsilon}{1 - \tan \varepsilon \tan \alpha} \right) (1 + \tan^2 \varphi) - \tan \varphi (1 - \tan \alpha \tan \varepsilon)}$$

(A.1—1)

式中 $A = \frac{h_0 a}{H^2}$;

$$h_0 = \frac{a \tan \varepsilon}{1 - \tan \varepsilon \tan \alpha};$$

φ ——地层计算摩擦角 (°);

ε, α ——分别为地面坡角和墙背倾角 (°), 如图 A.1 所示。

2 土压力

墙后土压力计算简图及土压力分布如图 A.1 所示。

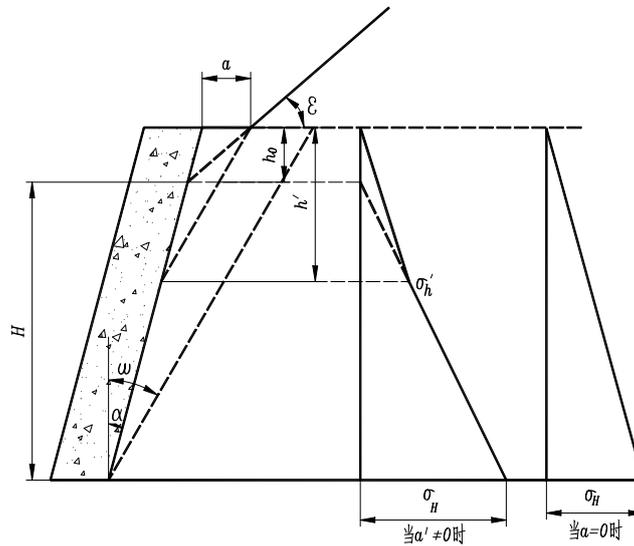


图 A.1 土压力分布

当 $a=0$ 时,

$$\sigma_H = \gamma H \lambda; \quad E = \frac{1}{2} b \gamma H^2 \lambda$$

式中 γ ——地层重度 (kN/m³);

b ——洞门墙计算条带宽度 (m)。

$$\lambda = \frac{(\tan \omega - \tan \alpha)(1 - \tan \alpha \tan \varepsilon)}{\tan(\omega + \varphi)(1 - \tan \omega \tan \varepsilon)} \quad (\text{A.1—2})$$

当 a 较小时,

$$\sigma_h' = \gamma(h' - h_0)\lambda; \quad \sigma_H = \gamma H \lambda; \quad E = \frac{1}{2} b \gamma H^2 \lambda + \frac{1}{2} b \gamma h_0 (h' - h_0) \lambda$$

式中

$$H = \frac{\alpha}{\tan \omega - \tan \alpha} \quad (\text{A.1—3})$$

当 a 较大, 且破裂面交于斜坡面时,

$$\sigma_h' = \gamma h' \lambda'; \quad \sigma_H = \gamma H \lambda'; \quad E = \frac{1}{2} b \gamma (H - h_0)^2 \lambda''$$

式中

$$\lambda' = \frac{\tan \omega - \tan \alpha}{\tan(\omega + \varphi)}$$

$$\lambda'' = \left[\frac{(\tan \omega - \tan \alpha)(1 + \tan \alpha \tan \varepsilon)}{1 - \tan \omega \tan \varepsilon} + A \right] \frac{1}{\tan(\omega + \varphi)} \quad (\text{A.1—4})$$

A.2 洞门墙计算应在端墙或翼墙的控制部位截取宽度 1m 的条带进行检算, 检算条带按以下截取:

1 柱式、端墙式洞门, 检算条带按图 A.2—1 截取, 分别取条带 I、II 检算墙身截面偏心 and 强度, 以及基底偏心、应力及抗滑和抗倾覆稳定性。

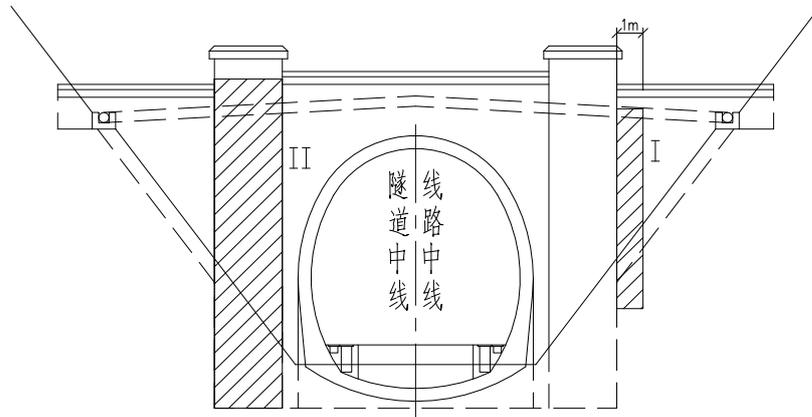


图 A.2—1

2 偏压式洞门, 检算条带按图 A.2—2 截取, 取条带 II 检算截面偏心 and 强度, 取条带 I、III 中高者检算其偏心、强度及稳定性, 取端墙与挡墙共同作用部分 IV 检算其稳定性。

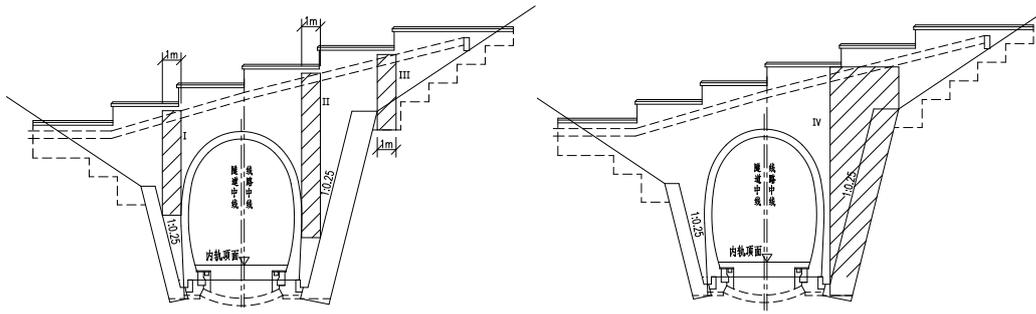


图 A.2—2

3 翼墙式洞门，检算条带按图 A.2—3 截取，检算翼墙时取条带 I、II 检算截面偏心、强度及稳定性，检算端墙时取条带 III 检算其偏心 and 强度，取端墙与挡墙共同作用部分 IV 检算其滑动稳定性。

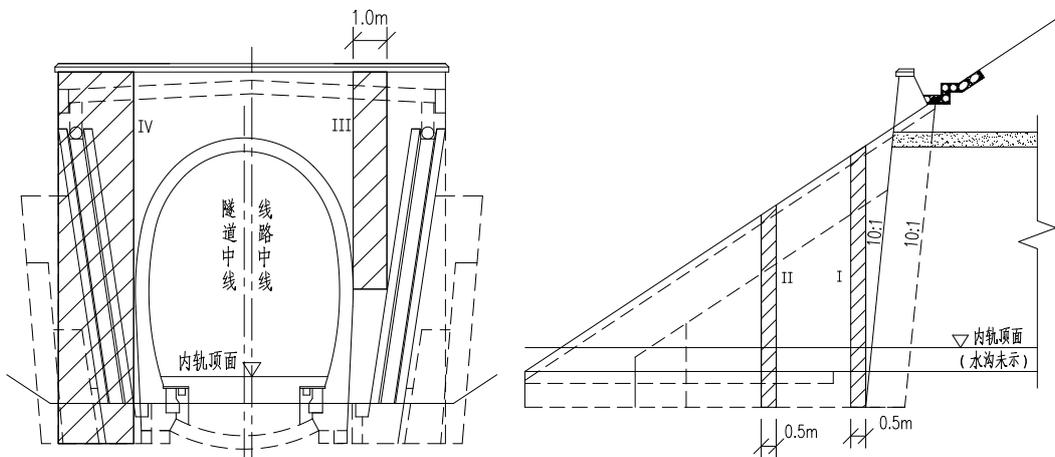


图 A.2—3

A.3 洞门墙的抗倾覆稳定性可按式 (A.3) 计算。

$$K_o = \frac{\sum M_y}{\sum M_o} \quad (\text{A.3})$$

式中 K_o ——倾覆稳定系数；

M_y ——垂直力对墙趾的稳定力矩；

M_o ——水平力对墙趾的倾覆力矩。

A.4 洞门墙的抗滑稳定性可按式 (A.4) 计算。

$$K_c = \frac{(\sum N + \sum E \tan \alpha) f}{\sum E - \sum N \tan \alpha} \quad (\text{A.4})$$

式中 K_c ——滑动稳定系数；

N ——作用于基底上的垂直力；

E ——墙后主动土压力的水平分力；

f —— 基底摩擦系数；

α —— 基底倾斜角。

A.5 洞门墙基底合力的偏心距可按式 (A.5—1) ~ 式 (A.5—5) 计算。

1 水平基底

$$e = \frac{B}{2} - c \quad (\text{A.5—1})$$

$$c = \frac{\sum M_y - \sum M_o}{\sum N} \quad (\text{A.5—2})$$

2 倾斜基底

$$e' = \frac{B'}{2} - c' \quad (\text{A.5—3})$$

$$c' = \frac{\sum M_y - \sum M_o}{\sum N'} \quad (\text{A.5—4})$$

$$N' = \sum N \cos \alpha + \sum E \sin \alpha \quad (\text{A.5—5})$$

式中 e —— 水平基底偏心距；

e' —— 倾斜基底偏心距；

B —— 水平基底宽度；

B' —— 倾斜基底宽度；

其他符号意义同式 (A.3)、式 (A.4)。

A.6 洞门墙的基底应力可按式 (A.6—1) ~ 式 (A.6—4) 计算。

1 水平基底

$$e \leq \frac{B}{6} \text{ 时, } \sigma_{\min}^{\max} = \frac{\sum N}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \quad (\text{A.6—1})$$

$$e > \frac{B}{6} \text{ 时, } \sigma_{\max} = \frac{2 \sum N}{3 c} \quad (\text{A.6—2})$$

2 倾斜基底

$$e' \leq \frac{B'}{6} \text{ 时, } \sigma_{\min}^{\max} = \frac{\sum N'}{B'} \left(1 \pm \frac{6e'}{B'}\right) \quad (\text{A.6—3})$$

$$e' > \frac{B'}{6} \text{ 时, } \sigma_{\max} = \frac{2 \sum N'}{3 c'} \quad (\text{A.6—4})$$

式中 σ_{\max} —— 基底最大压，应力；

σ_{\min} —— 基底最小压应力；

其他符号意义同式 (A.5—1) ~ 式 (A.5—5)。

A.7 洞门墙的墙身截面偏心距及强度可按式 (A.7—1)、式 (A.7—2) 计算。

1 偏心距 e_b

$$e_b = \frac{M}{N} \quad (\text{A.7—1})$$

式中 M ——计算截面之上各力对截面形心力矩的代数和；
 N ——作用于计算截面之上垂直力之和。

2 截面应力 σ

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{N}{A} \left(1 \pm \frac{6e_b}{b}\right) \quad (\text{A.7—2})$$

式中 A ——计算截面的面积；
 W ——计算截面抵抗矩；
其他符号意义同式 (A.7—1)。

当截面应力 σ 出现负值时，除其绝对值应满足表 24 的要求外，尚应检算不考虑圬工承受拉力时，受压区应力重分布的最大压应力，其值不得大于容许值。

附录 B
(规范性)
常用型钢特性参数表

B.1 常用热轧普通工字钢截面特性可参考表 B.1 选取。

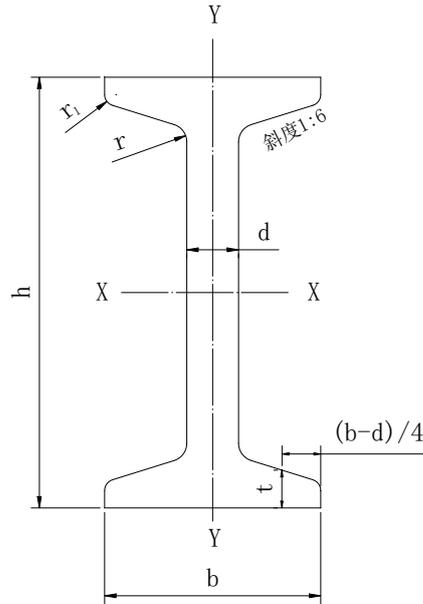


图 B.1

h —高度； b —腿宽度； d —腰厚度； t —平均腿厚度； r —内圆弧半径； r_1 —腿端圆弧半径

表 B.1 常用热轧工字钢截面特性参数表

型号	截面尺寸 (mm)						截面面积 (cm^2)	理论重量 (kg/m)	惯性矩 (cm^4)		惯性半径 (cm)		截面模数 (cm^3)	
	h	b	d	t	r	r_1			I_x	I_y	i_x	i_y	W_x	W_y
									(cm^4)	(cm^4)	(cm)	(cm)	(cm^3)	(cm^3)
12	120	74	5.0	8.4	7.0	3.5	17.818	13.987	436	46.9	4.95	1.62	72.7	12.7
12.6	126	74	5.0	8.4	7.0	3.5	18.118	14.223	488	46.9	5.20	1.61	77.5	12.7
14	140	80	5.5	9.1	7.5	3.8	21.516	16.890	712	64.4	5.76	1.73	102	16.1
16	160	88	6.0	9.9	8.0	4.0	26.131	20.513	1130	93.1	6.58	1.89	141	21.2
18	180	94	6.5	10.7	8.5	4.3	30.756	24.131	1660	122	7.36	2.00	185	26.0
20a	200	100	7.0	11.4	9.0	4.5	35.578	27.929	2370	158	8.15	2.12	237	31.5
20b		102	9.0				39.578	31.069	2500	169	7.96	2.06	250	33.1
22a	220	110	7.5	12.3	9.5	4.8	42.128	33.070	3400	225	8.99	2.31	309	40.9
22b		112	9.5				46.528	36.524	3570	239	8.78	2.27	325	42.7
25a	250	116	8.0	13.0	10.0	5.0	48.541	38.105	5020	280	10.2	2.40	402	48.3

型号	截面尺寸 (mm)						截面面积 (cm ²)	理论重量 (kg/m)	惯性矩 (cm ⁴)		惯性半径 (cm)		截面模数 (cm ³)	
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>t</i>	<i>r</i>	<i>r₁</i>			<i>I_x</i>	<i>I_y</i>	<i>i_x</i>	<i>i_y</i>	<i>W_x</i>	<i>W_y</i>
	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)								
25b		118	10.0				53.541	42.030	5280	309	9.94	2.40	423	52.4
28a	280	122	8.5	13.7	10.5	5.3	55.404	43.492	7110	345	11.30	2.50	508	56.6
28b		124	10.5				61.004	47.888	7480	379	11.10	2.49	534	61.2

B.2 常用热轧 HW 型钢截面特性可参考表 B.2 选取。

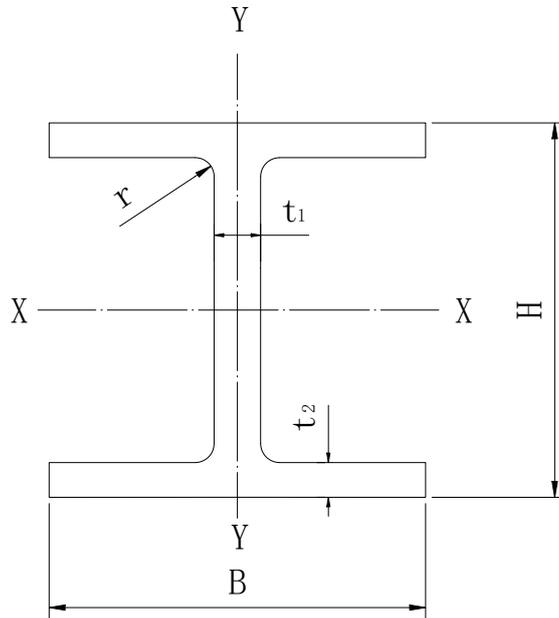


图 B.2

H—高度；*B*—高度；*t₁*—腹板厚度；*t₂*—翼缘厚度；*r*—圆角半径

表 B.2 常用热轧 HW 型钢截面特性参数表

型号	截面尺寸 (mm)					截面面积 (cm ²)	理论重量 (kg/m)	截面特性参数					
	<i>H</i>	<i>B</i>	<i>t₁</i>	<i>T₂</i>	<i>r</i>			惯性矩 (cm ⁴)		惯性半径 (cm)		截面模数 (cm ³)	
	<i>I_x</i>	<i>I_y</i>	<i>i_x</i>	<i>i_y</i>	<i>W_x</i>			<i>W_y</i>					
HW150	150	150	7.0	10	8	39.64	31.1	1620	563	6.39	3.76	216	75.1
HW175	175	175	7.5	11	13	51.42	40.4	2900	984	7.50	4.37	331	112
HW200	200	200	8	12	13	63.53	49.9	4720	1600	8.61	5.02	472	160
HW250	250	250	9	14	13	91.43	71.8	10700	3650	10.80	6.31	860	292

附 录 C
(规范性)
深埋隧道荷载计算方法

C.1 计算深埋隧道衬砌时，围岩压力按松散压力考虑，其垂直及水平匀布压力可按下列规定确定：

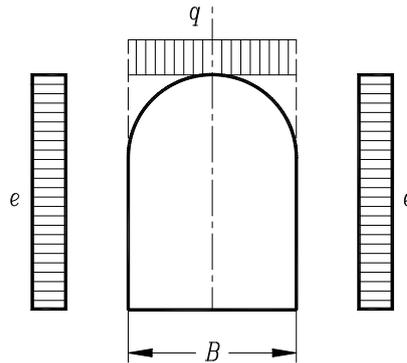


图 C.1

1 垂直匀布压力可按式 (C.1) 计算确定。

$$q = \gamma h \quad (\text{C.1})$$

$$h = 0.45 \times 2^{s-1} \omega$$

式中 s ——围岩级别；

ω ——宽度影响系数， $\omega = 1 + i(B - 5)$ ；

B ——坑道宽度 (m)；

i —— B 每增减 1m 时的围岩压力增减率：当 $B < 5\text{m}$ 时，取 $i = 0.2$ ； $B > 5\text{m}$ 时，可取 $i = 0.1$ 。

2 水平匀布压力可按表 C.1 的规定确定。

表 C.1 围岩水平匀布压力

围岩级别	I ~ II	III	IV	V	VI
水平匀布压力	0	$< 0.15q$	$(0.15 \sim 0.30) q$	$(0.30 \sim 0.50) q$	$(0.50 \sim 1.00) q$

C.2 式 (C.1) 及表 C.1 的适用条件是不产生显著偏压力及膨胀力的一般围岩及采用钻爆法（或敞开式掘进机法）施工的隧道。

附录 D
(规范性)
浅埋隧道荷载计算方法

D.1 当地面水平或接近水平，且隧道覆盖厚度值小于式(3)所列数值时，应按浅埋隧道设计。

D.2 地面基本水平的浅埋隧道，所受的作用(荷载)具有对称性。其计算应符合下列规定：

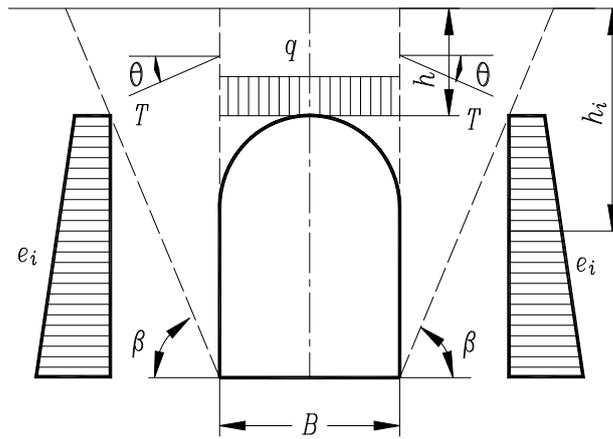


图 E.0.2

1 垂直压力可按式(D.2—1)式计算：

$$q = \gamma h \left(1 - \frac{\lambda h \tan \theta}{B} \right) \quad (\text{D.2—1})$$

$$\lambda = \frac{\tan \beta - \tan \varphi_c}{\tan \beta [1 + \tan \beta (\tan \varphi_c - \tan \theta)] + \tan \varphi_c \tan \theta}$$

$$\tan \beta = \tan \varphi_c + \sqrt{\frac{(\tan^2 \varphi_c + 1) \tan \varphi_c}{\tan \varphi_c - \tan \theta}}$$

式中 B ——坑道跨度 (m)；
 γ ——围岩重度 (kN/m^3)；
 h ——洞顶地面高度 (m)；
 θ ——顶板土柱两侧摩擦角 ($^\circ$)，为经验数值；
 λ ——侧压力系数；
 φ_c ——围岩计算摩擦角 ($^\circ$)；
 β ——产生最大推力时的破裂角 ($^\circ$)。

2 水平压力可按式(D.2—2)式计算：

$$e_i = \gamma_i \lambda \quad (\text{D.2—2})$$

式中 h_i ——内外侧任意点至地面的距离 (m)。

D.3 当 $h < h_a$ (h_a 为深埋隧道垂直荷载计算高度) 时，取 $\theta=0$ ，属超浅埋隧道。

D.4 当 $h \geq 2.5h_a$ (h_a 为深埋隧道垂直荷载计算高度) 时，式(D.2—1)不适用。

附录 E
(规范性)
偏压隧道荷载计算方法

E.1 在荷载作用下其垂直压力可按式 (E.1—1) 计算:

$$Q = \frac{\gamma}{2} [(h + h')B - (\lambda h^2 + \lambda' h'^2) \tan \theta] \quad (\text{E.1—1})$$

并假定偏压分布图形与地面坡一致。

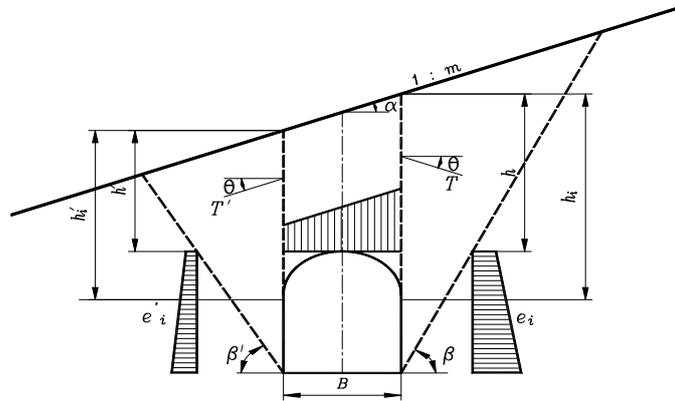


图 E.1 偏压隧道衬砌作用(荷载)计算图式

式中 h, h' ——分别为内、外侧由拱顶水平至地面的高度 (m);

B ——坑道跨度 (m);

γ ——围岩重度 (kN/m^3);

θ ——顶板土柱两侧摩擦角 ($^\circ$), 当无实测资料时, 可参考表 E.1 选取。

表 E.1 摩擦角 θ 取值

围岩级别	I ~ III	IV	V	VI
值	$0.9\varphi_c$	$(0.7 \sim 0.9)\varphi_c$	$(0.5 \sim 0.7)\varphi_c$	$(0.3 \sim 0.5)\varphi_c$

λ, λ' ——内、外侧的侧压力系数, 由下式计算:

$$\lambda = \frac{1}{\tan \beta - \tan \alpha} \times \frac{\tan \beta - \tan \varphi_c}{1 + \tan \beta (\tan \varphi_c - \tan \theta) + \tan \varphi_c \tan \theta} \quad (\text{E.1—2})$$

$$\lambda' = \frac{1}{\tan \beta' + \tan \alpha} \times \frac{\tan \beta' - \tan \varphi_c}{1 + \tan \beta' (\tan \varphi_c - \tan \theta) + \tan \varphi_c \tan \theta} \quad (\text{E.1—3})$$

$$\tan \beta = \tan \varphi_c + \sqrt{\frac{(\tan^2 \varphi_c + 1)(\tan \varphi_c - \tan \alpha)}{\tan \varphi_c - \tan \theta}} \quad (\text{E.1—4})$$

$$\tan \beta' = \tan \varphi_c + \sqrt{\frac{(\tan^2 \varphi_c + 1)(\tan \varphi_c + \tan \alpha)}{\tan \varphi_c - \tan \theta}} \quad (\text{E.1—5})$$

式中 α ——地面坡度角 (°);
 φ_c ——围岩计算摩擦角 (°);
 β, β' ——内外侧产生最大推力时的破裂角 (°)。

E.2 在作用 (荷载) 下的水平侧压力可按式 (E.2—1~E.2—2) 计算:

$$\text{内侧:} \quad e_i = \gamma h_i \lambda \quad (\text{E.2—1})$$

$$\text{外侧:} \quad e_i = \gamma h_i' \lambda' \quad (\text{E.2—2})$$

式中 h_i, h_i' ——分别为内、外侧任一点 i 至地面的距离 (m)。

附录 F
(规范性)
明洞荷载计算方法

F.1 明洞拱圈回填土垂直压力可按式 (F.1) 式计算:

$$q_i = \gamma_1 h_i \quad (\text{F.1})$$

式中 q_i ——明洞结构上任意点 i 的回填土石垂直压力值 (kN/m^2);
 γ_1 ——拱背回填土石重度 (kN/m^3);
 h_i ——明洞结构上任意点 i 的土柱高度 (m)。

F.2 明洞拱圈回填土石侧压力可按式 (F.2—1) 式计算:

$$e_i = \gamma_1 h_i \lambda \quad (\text{F.2—1})$$

式中 e_i ——任意点 i 的侧压力 (kN/m^2);
 γ_1, h_i ——符号意义同前;
 λ ——侧压力系数, 计算公式为:

填土坡面向上倾斜 (图 F.2—1) 时按无限土体计算, 即:

$$\lambda = \cos \alpha \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \varphi_1}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \varphi_1}} \quad (\text{F.2—2})$$

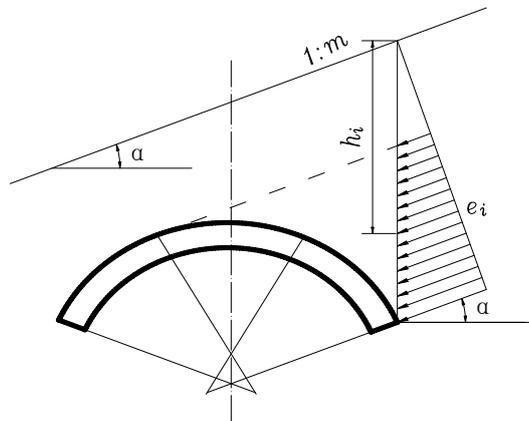


图 F.2—1

填土坡面向上倾斜 (图 F.2—2) 时按有限土体计算, 即:

$$\lambda = \frac{1 - \mu n}{(\mu + n) \cos \rho + (1 - \mu n) \sin \rho} \cdot \frac{mn}{m - n} \quad (\text{F.2—3})$$

式中 α ——设计填土面坡度角 ($^\circ$);
 φ_1 ——拱背回填土石计算摩擦角 ($^\circ$);
 ρ ——侧压力作用方向与水平线的夹角 ($^\circ$);
 n ——开挖边坡坡度;
 m ——回填土石面坡度;

μ ——回填土石与开挖边坡面间的摩擦系数。

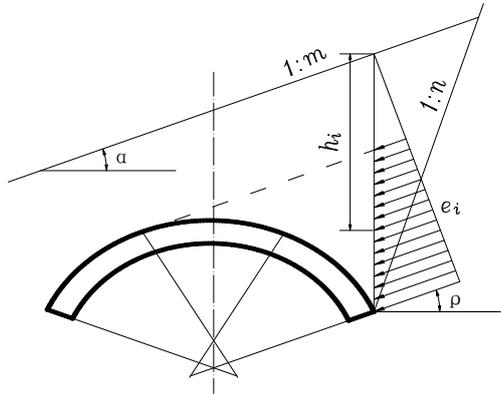


图 F.2—2

填土坡面水平时（图 F.2—3）的侧压力系数：

$$\lambda = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_1}{2}\right)$$

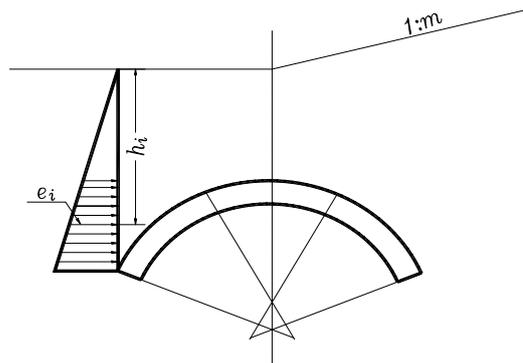


图 F.2—3

F.3 明洞边墙回填土石侧压力可按式（F.3—1）式计算：

$$e_i = \gamma_2 h_i' \lambda \tag{F.3—1}$$

$$h_i' = h_i'' + \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \cdot h_1$$

式中： γ_2 ——墙背回填土石重度（ kN/m^3 ）；

h_i' ——边墙计算点换算高度（ m ）；

h_i'' ——墙顶至计算位置的高度（ m ）；

h_1 ——填土坡面至墙顶的垂直高度（ m ）；

λ ——侧压力系数，计算公式为：

填土坡面向上倾斜（图 F.3—1）时，

$$\lambda = \frac{\cos^2 \varphi_2}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin \varphi_2 \cdot \sin(\varphi_2 - \alpha')}{\cos \alpha'}}\right]^2} \tag{F.3—2}$$

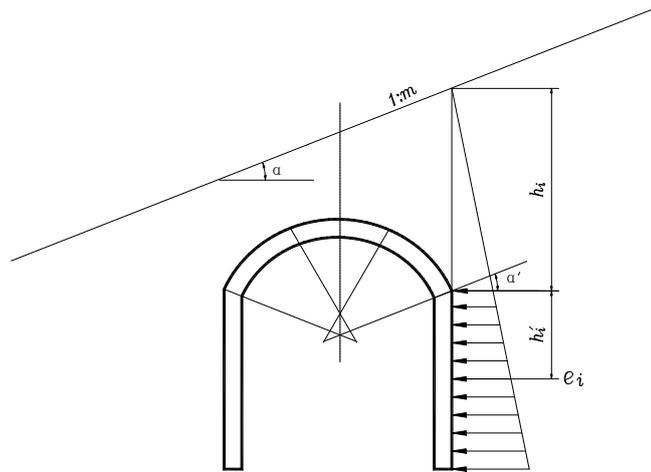


图 F.3—1

填土坡面向下倾斜（图 F.3—2）时，

$$\lambda = \frac{\tan \theta_o}{\tan(\theta_o + \varphi_2)(1 + \tan \alpha' \tan \theta_o)} \quad (\text{F.3—3})$$

式中 $\alpha' = \arctan\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2} \tan \alpha\right)$;

φ_2 ——墙背回填土石计算摩擦角；

$$\tan \theta_o = \frac{-\tan \varphi_2 + \sqrt{(1 + \tan^2 \varphi_2)(1 + \tan \alpha' / \tan \varphi_2)}}{1 + (1 + \tan^2 \varphi_2) \tan \alpha' / \tan \varphi_2} \quad (\text{F.3—4})$$

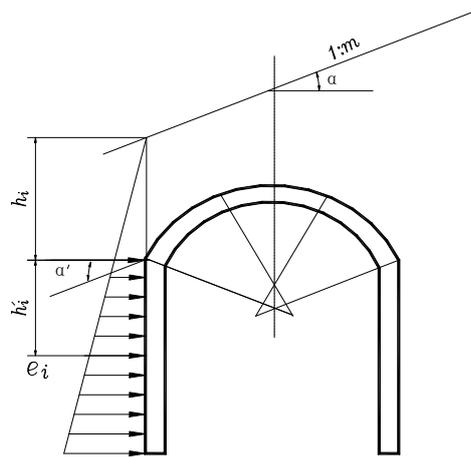


图 F.3—2

填土坡面水平时，

$$\lambda = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_2}{2}\right)$$

附 录 G
(规范性)

隧道与相关工程设计接口关系表

专业	衬砌断面土建预留	沟槽接口	挡护及边坡接口	洞室预留	过轨预留	接地系统	防灾救援	特殊设计
线路							场坪外道路设计	
桥梁	桥合进洞或过梁时，隧道需配合桥梁尺寸及检修土建预留	桥隧相连时，沟槽及天沟顺接	桥隧相连时，基坑防护与隧道基础及边坡防护的顺接，根据工点情况设计					
路基		路隧相连时，沟槽及天沟顺接	路隧相连时，边坡防护与支挡防护的顺接，根据工点情况设计				复杂场坪的设计	
站场	车站进洞时，隧道需配合站场专业需求土建预留	站隧相连时，沟槽及天沟顺接	站隧相连时，边坡防护与支挡防护的顺接，根据工点情况设计					
轨道	隧道需配合轨道结构高度及排水需求土建预留							隧道专业通过沉降难于控制段，如活动断裂带等，轨道专业采取适应性的轨道结构
通信	隧道需配合通信电缆槽、接地需求土建预留，目前按通用图执行			通信设备专业洞室，余长电缆腔洞室及防护门隔墙	洞口及设备洞室的过轨预留	按《铁路综合接地系统》通用参考图执行	应急通信、监控	洞室避让高瓦斯段或防爆，洞口或洞内必要时的

专业	衬砌断面土建预留	沟槽接口	挡护及边坡接口	洞室预留	过轨预留	接地系统	防灾救援	特殊设计
								防灾监控
信号	隧道需配合信号电缆槽、转辙机、信号机、接地需求土建预留，辅助坑道外设中继站的电缆槽预留及检修通道功能需求				洞口及辅助坑道外设中继站的过轨预留	按《铁路综合接地系统》通用参考图执行		
电力	隧道需配合电力电缆槽、接地需求土建预留，目前按通用图执行			电力设备专业洞室、余长电缆腔洞室及防护门隔墙	洞门、设备洞室、防灾救援、中继站等过轨预留	按《铁路综合接地系统》通用参考图执行	应急照明、防灾通风用电	高瓦斯段根据需求设置风机供电及瓦斯监测洞室避让高瓦斯段或防爆
暖通				配合其他设备通风防火等需要，洞室基础及隔墙的孔洞预留		按《铁路综合接地系统》通用参考图执行		
牵引变电				AT所、分区所、接触网开关监控洞室及防护门隔墙	设备洞室的过轨预留	按《铁路综合接地系统》通用参考图执行		洞室避让高瓦斯段或防爆
接触网	隧道需配合接触网预埋槽道、锚段，接地需求土建预留				隔离开关、回流电缆、高压电缆等过轨预留	按《铁路综合接地系统》通用参考图执行		
车辆				200km/h及以下车辆的轴温探测仪洞室				
机械	隧道需配合机械通风需求土建预留			风机控制柜洞室，设备需求设防护门，	风机安装处的过轨预留		防灾通风及防护门	高瓦斯段根据需求设置风机

专业	衬砌断面土建预留	沟槽接口	挡护及边坡接口	洞室预留	过轨预留	接地系统	防灾救援	特殊设计
				隔墙门洞预留				
环评	隧道需配合环境防噪声需求的缓冲结构土建预留							
给排水	隧道需配合环保需求的污水处理站及沉淀池土建预留				防灾救援水管的过轨预留		消防洞室	
建筑							疏散导向标识	