

中华人民共和国行业标准

铁路隧道设计规范

Code for design on tunnel of railway

TB 10003—2005

J 449—2005

主编单位：铁道第二勘察设计院

批准部门：中华人民共和国铁道部

施行日期：2005 年 4 月 25 日

中 国 铁 道 出 版 社

2005 年·北 京

关于发布《铁路隧道设计规范》的通知

铁建设〔2005〕67号

现发布《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2005)，自发布之日起施行。原发《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2001)同时废止。

以上标准由铁道部建设管理司负责解释，由铁路工程技术标准所、中国铁道出版社组织出版发行。

中华人民共和国铁道部

二〇〇五年四月二十五日

前 言

本规范是根据铁道部建设管理司的安排,为贯彻落实铁路跨越式发展的要求,在《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2001)基础上修订而成的。

本规范修订过程中认真总结了我国铁路隧道建设的经验和教训,借鉴了国内外有关标准的规定,在广泛征求意见的基础上,经反复审查定稿。

工程技术人员必须按照“以人为本、服务运输、强本简末、系统优化、着眼发展”的铁路建设理念,结合工程具体情况,因地制宜,充分发挥主观能动性,积极采用安全、可靠、先进、成熟、经济、适用的新技术,不能生搬硬套标准。勘察设计单位执行(或采用)单项或局部标准,并不免除设计单位及设计人员对整体工程和系统功能质量问题应承担的法律责任。

本规范共分 15 章,主要内容包括:总则、术语和符号、隧道勘测、作用(荷载)、建筑材料、洞门与洞口段、隧道衬砌和明洞、轨道、附属构筑物、概率极限状态法设计、破损阶段法和容许应力法设计、辅助坑道、防水与排水、运营期间的通风与照明、隧道改建等,另有 7 个附录。

本次修订的主要内容如下:

1. 修改了本规范适用速度。旅客列车设计行车速度由 140 km/h 提高为 160 km/h,明确货物列车行车速度为 120 km/h。
2. 明确铁路隧道应按满足 100 年使用年限设计。
3. 规定了时速 160 km 铁路隧道轨面以上最小净空。
4. 规定衬砌结构应优先采用复合式衬砌,并优化了复合式衬砌设计参数。

5. 规定各级围岩均应采用曲墙式衬砌。
 6. 提高了衬砌混凝土的强度等级。
 7. 加强了隧底结构，对仰拱及底板的设置原则作了规定。
 8. 提高了隧道衬砌防水标准。
 9. 提高防水板设置的要求，规定施工缝、变形缝应采取的防水措施，并对防水材料各项性能作出规定。
 10. 依照新颁《铁路工程岩土分类》、《铁路工程地质勘测规范》修改了相关附录。
 11. 删除原规范隧道施工、隧道运营管理设施两章，将有关内容纳入相应章节。
 12. 增列附录 G “地震基本烈度与地震动参数的换算”。
- 本规范以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。
- 在执行本规范过程中，希望各单位结合工程实践，认真总结经验，积累资料。如发现需要修改和补充之处，请及时将意见及有关资料寄交铁道第二勘察设计院（四川省成都市通锦路 3 号，邮政编码：610031），并抄送铁道部经济规划研究院（北京市海淀区羊坊店路甲 8 号，邮政编码：100038），供今后修订时参考。
- 本规范由铁道部建设管理司负责解释。
- 本规范主编单位：铁道第二勘察设计院。
- 本规范参编单位：铁道部经济规划研究院。
- 本规范主要起草人：赵万强、喻渝、倪光斌、陈中、肖硕恒、杨昌宇、熊祥雪、刘鹏、李现宾。

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	3
2.1	术 语	3
2.2	符 号	6
3	隧道勘测	10
3.1	一般规定	10
3.2	调查测绘	10
3.3	隧道位置的选择	14
3.4	隧道线路平面及纵断面	16
4	作用（荷载）	18
4.1	一般规定	18
4.2	作用组合与作用计算	20
4.3	荷载组合与荷载计算	22
5	建筑材料	24
5.1	一般规定	24
5.2	按概率极限状态法设计的材料性能	27
5.3	按破损阶段法和容许应力法设计的材料性能	29
6	洞门与洞口段	33
7	隧道衬砌和明洞	35
7.1	一般规定	35
7.2	隧道衬砌	36
7.3	特殊岩土和不良地质地段的隧道衬砌	41
7.4	明 洞	42
8	轨 道	44

9	附属构筑物	46
9.1	避车洞	46
9.2	电缆槽	47
9.3	其他设施	47
10	概率极限状态法设计	49
10.1	一般规定	49
10.2	承载能力极限状态计算	50
10.3	正常使用极限状态计算	56
10.4	洞门计算	59
10.5	构造要求	62
11	破损阶段法和容许应力法设计	68
11.1	一般规定	68
11.2	衬砌计算	69
11.3	洞门计算	77
12	辅助坑道	79
12.1	一般规定	79
12.2	横洞和平行导坑	79
12.3	斜井和竖井	80
13	防水与排水	83
13.1	一般规定	83
13.2	防水	84
13.3	排水	93
13.4	洞口和明洞防排水	96
14	运营期间的通风与照明	98
14.1	运营通风	98
14.2	照明	100
15	隧道改建	102
15.1	一般规定	102
15.2	改建	102

15.3	电气化改造.....	104
附录 A	铁路隧道围岩基本分级.....	105
A.1	围岩基本分级	105
A.2	隧道围岩分级修正	107
附录 B	偏压隧道衬砌作用（荷载）计算方法	110
附录 C	明洞作用（荷载）计算方法	112
附录 D	隧道门作用（土压力）计算方法	116
附录 E	浅埋隧道衬砌作用（荷载）计算方法	118
附录 F	隧道初期支护极限相对位移和稳定性判别方法	120
附录 G	地震基本烈度与地震动参数的换算	123
	本规范用词说明	124
	《铁路隧道设计规范》条文说明	125

1 总 则

1.0.1 为了贯彻国家有关法规和铁路技术政策，统一铁路隧道设计技术标准，使铁路隧道设计符合安全适用、技术先进、经济合理的要求，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于铁路网中客货列车共线运行、旅客列车设计行车速度等于或小于 160 km/h、货物列车设计行车速度等于或小于 120 km/h 的 I、II 级标准轨距铁路隧道的设计。

1.0.3 隧道按其长度可分为：

特长隧道	全长 10 000 m 以上；
长 隧 道	全长 3 000 m 以上至 10 000 m；
中长隧道	全长 500 m 以上至 3 000 m；
短 隧 道	全长 500 m 及以下。

注：隧道长度是指进出口洞门端墙墙面之间的距离，以端墙面或斜切式洞门的斜切面与设计内轨顶面的交线同线路中线的交点计算。双线隧道按下行线长度计算；位于车站上的隧道以正线长度计算；设有缓冲结构的隧道长度应从缓冲结构的起点计算。

1.0.4 隧道勘测设计，必须遵照国家有关政策和法规，重视隧道工程对生态环境和水资源的影响。隧道建设应注意节约用地、节约能源及保护农田水利，对噪声、弃碴、排水等应采取措施妥善处理。

1.0.5 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。

1.0.6 新建铁路隧道的内轮廓，必须符合现行国家标准《标准轨距铁路建筑限界》(GB 146.2) 的规定及远期轨道类型变化要

求。对于旅客列车最高行车速度 160 km/h 新建铁路隧道内轮廓尚应考虑机车类型、车辆密封性、旅客舒适度等因素确定，隧道轨面以上净空横断面面积，单线隧道不应小于 42 m²，双线隧道不应小于 76 m²；曲线上隧道应另行考虑曲线加宽。设救援通道的隧道断面应视救援通道尺寸加大，救援通道的宽度不应小于 1.25 m。

双层集装箱运输的隧道建筑限界应符合铁道部相关规定。

位于车站上的隧道，其内部轮廓应符合站场设计的规定和要求。

1.0.7 改建既有线和增建第二线时，新建隧道应采用新建铁路标准，改建隧道宜采用新建铁路标准。

1.0.8 隧道建筑物应按满足 100 年正常使用的永久性结构设计，建成的隧道应能适应运营的需要，方便养护作业，并具有必要的安全防护等设施。

1.0.9 隧道建筑结构、防排水的设计及建筑材料的选择，应充分考虑地区环境的影响。

1.0.10 隧道设计应贯彻国家有关技术经济政策，积极采用新理论、新技术、新材料、新设备、新工艺。

1.0.11 隧道设计应根据工程地质及水文地质条件，结合断面大小、衬砌类型、隧道长度、工期要求等因素综合研究选定适应的施工方法。

1.0.12 长隧道、特长隧道和地质条件复杂的隧道设计，应编制施工组织设计。高瓦斯隧道和瓦斯突出隧道应按本规范及相关规范、规程单独编制预防煤与瓦斯突出、探煤、揭煤、过煤的实质性施工组织设计。

1.0.13 隧道设计应结合施工通风及洞内卫生标准，选择施工运输方式。

1.0.14 铁路隧道设计除应符合本规范外，尚应符合国家现行的有关强制性标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 围岩 surrounding rock

隧道工程影响范围内的岩土体。

2.1.2 围岩压力 surrounding rock pressure

隧道开挖后，因围岩变形或松散等原因，作用于支护或衬砌结构上的压力。

2.1.3 围岩分级 surrounding rock classification

根据岩体完整程度和岩石坚硬程度等主要指标，按稳定性对围岩进行的分级。

2.1.4 初始地应力场 initial ground-stress field

在自然条件下，由于受自重和构造运动作用，在岩体中形成的应力。

2.1.5 作用 action (荷载 load)

施加在结构上的外力和引起结构外加变形或约束变形的原因。

2.1.6 松散压力 loosening pressure

由于隧道开挖、支护及衬砌背后的空隙等原因，使隧道上方的围岩松动，以相当于一定高度的围岩重量作用于支护或衬砌结构上的压力。

2.1.7 容许应力设计法 allowable stress design method

以结构构件截面计算应力不大于规定的材料容许应力的原则，进行结构构件设计计算的方法。

2.1.8 破损阶段设计法 plastic stage design method

考虑结构材料破坏阶段的工作状态进行结构构件设计计算的

方法。

2.1.9 概率极限状态设计法 probability limit states design method

以概率理论为基础,以防止结构或构件达到某种功能要求的极限状态作为依据的结构设计计算的方法。

2.1.10 可靠性 reliability

结构在规定的时间内,在正常规定的条件下,完成预定功能的能力。包括安全性、适用性和耐久性。当以概率来度量时,称为结构的可靠度。

2.1.11 设计基准期 design reference period

在持久设计状况下,计算结构可靠度时,考虑各项基本变量与时间关系所取用的基准时间。

2.1.12 安全等级 safety classes

为使结构具有合理的安全性,根据工程结构破坏所产生后果的严重性而划分的设计等级。

2.1.13 承载能力极限状态 ultimate limit states

结构或构件达到最大承载能力或达到不适于继续承载的较大变形的极限状态。

2.1.14 正常使用极限状态 service-ability limit states

结构或构件达到使用功能上允许的某一限值的极限状态。

2.1.15 可靠指标 reliability index

度量结构可靠性的一种数量指标,它是结构可靠概率的标准正态分布反函数。

2.1.16 失效概率 probability of structural failure

结构或构件不能完成预定功能的概率。

2.1.17 作用代表值 representative value of actions

结构或构件设计时,由于不同目的,作用所取的不同值均称为作用代表值。它包括标准值、准永久值、频遇值和组合值等。

2.1.18 作用标准值 characteristic value of actions

作用的主要代表值。其值可根据设计基准期内极大值概率分

布的某一分位值确定。

2.1.19 作用设计值 design value of actions

作用标准值乘以作用分项系数后的值。

2.1.20 作用效应 effects of actions

由于作用引起的结构或构件的内力和变形等。

2.1.21 作用的组合 combination of actions

结构或构件设计时,预计可能同时出现的几种不同作用的集合。

2.1.22 材料性能标准值 characteristic value of a material property

设计结构或构件时采用的材料性能的基本代表值。该值可根据符合规定标准材料的性能的概率分布的某一分位值确定。

2.1.23 材料性能设计值 design value of material property

材料性能标准值除以材料性能分项系数后的值。

2.1.24 几何参数标准值 nominal value of geometrical parameter

设计结构或构件时采用的几何参数的基本代表值。该值可按设计文件规定值确定。

2.1.25 几何参数设计值 design value of geometrical parameter

几何参数标准值除以几何参数分项系数后的值。

2.1.26 分项系数 partial coefficient

为了保证所设计的结构或构件具有规定的可靠度,在结构极限状态设计表达式中采用的系数,分为作用分项系数、抗力分项系数和材料性能分项系数等类。

2.1.27 抗力 reaction

结构或构件及其材料承受作用效应的能力,如承载能力、刚度、抗裂度、强度等。

2.1.28 地震动参数 seismic ground motion parameter

描述地震的动力特征参数,主要有地震动峰值加速度和地震动反应谱特征周期等指标。

2.1.29 地震动峰值加速度 seismic peak ground acceleration

与地震动加速度反应谱最大值相应的水平加速度。

2.2 符 号

2.2.1 作用 (荷载)

F_d ——作用设计值

F_k ——作用标准值

γ_f ——作用分项系数

S_d ——作用效应设计值

E ——地震作用

G_1 ——结构自重

G_2 ——结构附加恒载

F_b ——制动力

F_c ——冲击力

P ——压力

P_c ——落石冲击力

Q_1 ——列车活载

Q_2 ——公路车辆活载

Q ——围岩压力

2.2.2 内外力和应力

M, M_k, M_d ——弯矩、弯矩标准值、弯矩设计值

N, N_k, N_d ——轴向力、轴向力标准值、轴向力设计值

V_d ——剪力设计值, 竖向力设计值

q ——垂直匀布压力

σ ——基底应力

e_i ——结构上任意点 i 的侧压力

Q ——斜截面上最大剪力

2.2.3 材料指标

$f_{cu,k}$ ——边长为 150 mm 的混凝土立方体抗压强度标准值

f_{ck}, f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度标准值、设计值

f_{cmk}, f_{cmd} ——混凝土弯曲抗压强度标准值、设计值

f_{ctk}, f_{ctd} ——混凝土轴心抗拉强度标准值、设计值

E_c ——混凝土的弹性模量

G_c ——混凝土的剪切模量

f_{stk} ——钢筋抗拉强度标准值

f_{std}, f_{std}' ——钢筋抗拉、抗压强度设计值

E_s ——钢筋的弹性模量

R_a ——混凝土或砌体的抗压极限强度

R_l ——混凝土的抗拉极限强度

R_w ——混凝土的弯曲抗压极限强度

Q_{kh} ——斜截面上受压区混凝土和箍筋的抗剪强度

R_c ——围岩的单轴饱和抗压强度

σ ——弹性反力强度

γ ——围岩重度

2.2.4 几何特征

A ——构件截面面积

B ——坑道宽度

I ——截面惯性矩

W ——截面受拉边缘的抵抗矩

φ ——构件的纵向弯曲系数

η ——偏心距增大系数

ω ——裂缝宽度

a, a' ——自钢筋 A_g, A_g' 的合力点分别到截面近边的距离

A_g, A_g' ——纵向受拉、纵向受压钢筋的截面面积

A_k ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积

A_w ——配置在同一弯起平面内的弯起钢筋的截面面积

b ——矩形截面的宽度或 T 形截面的肋宽
 b'_i ——T 形截面受压区翼缘宽度
 d ——钢筋直径
 e, e' ——钢筋 A_s 、 A'_s 的重心至轴向力作用点的距离
 e_0 ——轴向力的偏心距
 h ——截面的高度或曲线线路外轨超高
 h' ——外侧拱顶至地面的高度
 h_0 ——截面的有效高度
 h'_i ——T 形截面受压区翼缘的高度
 H ——构件的计算长度
 Δl ——温度变化引起隧道构件的变形值
 R ——曲线半径
 t ——偏压隧道外侧围岩的覆盖厚度
 x ——混凝土受压区的高度
 β, β' ——内侧、外侧产生最大推力时的破裂角
 θ ——土柱两侧摩擦角
 δ ——衬砌向围岩的变形值

2.2.5 计算系数

γ ——材料重度
 φ ——内摩擦角
 φ_c ——计算摩擦角
 E ——变形系数
 f ——基底摩擦系数
 K ——围岩弹性反力系数或结构安全系数
 K_0 ——倾覆稳定系数
 K_c ——滑动稳定系数
 m ——开挖边坡坡率或地面坡率
 n ——回填土石面坡率

λ ——侧压力系数

α ——材料的线膨胀系数或轴向力的偏心影响系数

α_{kh} ——抗剪强度影响系数

ν ——泊松比

Δt ——温度变化值

μ ——回填土石与开挖边坡间的摩擦系数

3 隧道勘测

3.1 一般规定

3.1.1 隧道工程勘测时，应根据不同设计阶段的任务、目的和要求，针对隧道工程的特点，确定应搜集勘测资料的内容和范围，并进行调查、测绘、勘探和试验，做到搜集资料齐全、准确，满足设计要求。

3.1.2 隧道勘测应分为设计阶段勘测和施工阶段勘测。各阶段的勘测内容、范围、精度等应根据隧道规模及其使用目的确定，并应符合有关规定的要求。

3.1.3 在勘测前，应根据隧道所通过地区的地形、工程地质及水文地质等条件，并综合考虑勘测的阶段、方法、范围等，编制相应的勘测计划。

在勘测过程中，当发现实际地质情况和预计的情况不符时，应及时修改勘测计划。

3.1.4 隧道勘测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，评价隧道工程对环境可能造成的影响。

3.2 调查测绘

3.2.1 隧道工程测绘应遵守下列规定：

1 按设计阶段要求搜集或测绘地形图、纵断面图、横断面图等；

2 测绘资料的图纸内容需反映隧道所在地的工程地质、水文地质、周围建筑物及人居状况；

3 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。

3.2.2 隧道工程调查应包括下列内容:

- 1 自然概况:地形、地貌特征。
- 2 工程地质特征:地层、岩性及地质构造特征;着重查清地质构造变动的性质、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和围岩的基本物理力学性质等。
- 3 水文地质特征:地下水类型及地下水位、含水层的分布范围及相应的渗透系数、水量和补给关系、水质及其对混凝土的侵蚀性、有无异常涌水、突水等。
- 4 影响隧道洞口安全或洞身稳定的不良地质和特殊岩土地段(如崩塌、错落、岩堆、滑坡、岩溶、人为坑洞、泥石流、含水砂层、风积沙、黄土、盐岩、膨胀土、地温、多年冻土、雪崩、冰川等),查明其类型和规模以及发生、发展的原因,根据其发展的趋势,判明对隧道影响的程度。
- 5 通过含有害气体、矿体及具有放射性危害的地层时,查明其分布范围、成分和含量。
- 6 地震动参数。其与地震基本烈度对照按附录 G 办理。
- 7 周围建筑物及人居状况。
- 8 气象资料:气温、气压、风向、风速以及雨量、雪量、冻结深度等。
- 9 施工条件:建筑材料及可资供应的水、电情况,周围环境,交通、建筑物、水库、地下管线与采空区等,施工场地及弃碴条件,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。

3.2.3 长隧道、特长隧道和地质条件复杂的隧道,应进行大面积的区域性工程地质调查、测绘,并加强地质勘探和试验工作,查清区域地质构造及工程地质、水文地质条件;当地下水对隧道影响较大时,应进行地下水的动态勘测。必要时宜采取开挖试验坑道的措施进行调查、观测和试验,直接判断和确认围岩状态及其性质。

3.2.4 设计阶段地质调查,根据隧道规模的不同宜采用测绘、

弹性波探测、遥感、钻孔、试验坑道等方法进行。

3.2.5 施工阶段地质调查，根据需要宜采用开挖工作面直接观察或利用超前钻孔、导坑、试验坑道、物探等进行。

施工阶段地质调查应完成下列任务：

- 1 核定岩层构造、岩性、地下水等情况；
- 2 及时预测和解决施工中遇到的工程地质及水文地质问题；
- 3 为验证或修改设计提供依据。

3.2.6 根据调查结果，应对下列各项内容作出工程评价并提出处理措施：

- 1 围岩自稳性；
- 2 隧道涌水量、涌水压力、突然涌水等；
- 3 岩土膨胀压力；
- 4 滑坡、偏压；
- 5 围岩状态和土压特性；
- 6 高应力地区应力场；
- 7 瓦斯、岩溶及人为坑洞等。

3.2.7 围岩级别的确定应符合表 3.2.7 及附录 A 的规定。

表 3.2.7 铁路隧道围岩分级

围岩级别	围岩主要工程地质条件		围岩开挖后的稳定状态 (单线)	围岩弹性纵波速度 v_p (km/s)
	主要工程地质特征	结构特征和完整状态		
I	极硬岩 (单轴饱和抗压强度 $R_c > 60 \text{ MPa}$)；受地质构造影响轻微，节理不发育，无软弱面 (或夹层)；层状岩层为巨厚层或厚层，层间结合良好，岩体完整	呈巨块状整体结构	围岩稳定，无坍塌，可能产生岩爆	>4.5
II	硬质岩 ($R_c > 30 \text{ MPa}$)；受地质构造影响较重，节理较发育，有少量软弱面 (或夹层) 和贯通微张节理，但其产状及组合关系不致产生滑动；层状岩层为中厚层或厚层，层间结合一般，很少有分离现象，或为硬质岩石偶夹软质岩石	呈巨块或大块状结构	暴露时间长，可能会出现局部小坍塌；侧壁稳定；层间结合差的平缓岩层，顶板易塌落	$3.5 \sim 4.5$

续表 3.2.7

围岩级别	围岩主要工程地质条件		围岩开挖后的稳定状态 (单线)	围岩弹性纵波速度 v_p (km/s)
	主要工程地质特征	结构特征和完整状态		
III	硬质岩 ($R_c > 30$ MPa): 受地质构造影响严重, 节理发育, 有层状软弱面 (或夹层), 但其产状及组合关系尚不致产生滑动; 层状岩层为薄层或中层, 层间结合差, 多有分离现象; 硬、软质岩石互层	呈块 (石) 碎 (石) 状镶嵌结构	拱部无支护时可产生小坍塌, 侧壁基本稳定, 爆破震动过大易塌	2.5~4.0
	较软岩 ($R_c = 15 \sim 30$ MPa): 受地质构造影响较重, 节理较发育; 层状岩层为薄层、中厚层或厚层, 层间结合一般	呈大块状结构		
IV	硬质岩 ($R_c > 30$ MPa): 受地质构造影响极严重, 节理很发育; 层状软弱面 (或夹层) 已基本破坏	呈碎石状压碎结构	拱部无支护时, 可产生较大的坍塌, 侧壁有时失去稳定	1.5~3.0
	软质岩 ($R_c \approx 5 \sim 30$ MPa): 受地质构造影响严重, 节理发育	呈块 (石) 碎 (石) 状镶嵌结构		
	土体: 1. 具压密或成岩作用的黏性土、粉土及砂类土 2. 黄土 (Q_1 、 Q_2) 3. 一般钙质、铁质胶结的碎石土、卵石土、大块石土	1 和 2 呈大块状压密结构, 3 呈巨块状整体结构		
V	岩体: 软岩, 岩体破碎至极破碎; 全部极软岩及全部极破碎岩 (包括受构造影响严重的破碎带)	呈角砾碎石状松散结构	围岩易坍塌, 处理不当会出现大坍塌, 侧壁经常小坍塌; 浅埋时易出现地表下沉 (陷) 或塌至地表	1.0~2.0
	土体: 一般第四系坚硬、硬塑黏性土, 稍密及以上、稍湿或潮湿的碎石土、卵石土、圆砾土、角砾土、粉土及黄土 (Q_3 、 Q_4)	非黏性土呈松散结构, 黏性土及黄土呈松软结构		

续表 3.2.7

围岩级别	围岩主要工程地质条件		围岩开挖后的稳定状态 (单线)	围岩弹性纵波速度 v_p (km/s)
	主要工程地质特征	结构特征和完整状态		
VI	岩体: 受构造影响严重呈碎石、角砾及粉末、泥土状的断层带	黏性土呈易蠕动的松软结构, 砂性土呈潮湿松散结构	围岩极易坍塌变形, 有水时土砂常与水一齐涌出; 浅埋时易塌至地表	<1.0 (饱和状态的土 <1.5)
	土体: 软塑状黏性土、饱和的粉土、砂类土等			

- 注: 1 表中“围岩级别”和“围岩主要工程地质条件”栏, 不包括膨胀性围岩、多年冻土等特殊岩土;
 2 关于隧道围岩分级的基本因素和围岩基本分级及其修正, 可按本规范附录 A 的方法确定;
 3 层状岩层的层厚划分:
 巨厚层: 厚度大于 1.0m;
 厚层: 厚度大于 0.5m, 且小于等于 1.0m;
 中厚层: 厚度大于 0.1m, 且小于等于 0.5m;
 薄层: 厚度小于或等于 0.1m。

3.2.8 各级围岩的物理力学指标标准值应按试验资料确定, 无试验资料时可按表 3.2.8 选用。

表 3.2.8 各级围岩的物理力学指标

围岩级别	重度 γ (kN/m ³)	弹性反力系数 K (MPa/m)	变形模量 E (GPa)	泊松比 ν	内摩擦角 φ (°)	黏聚力 c (MPa)	计算摩擦角 φ_c (°)
I	26~28	1800~2800	>33	<0.2	>60	>2.1	>78
II	25~27	1200~1800	20~33	0.2~0.25	50~60	1.5~2.1	70~78
III	23~25	500~1200	6~20	0.25~0.3	39~50	0.7~1.5	60~70
IV	20~23	200~500	1.3~6	0.3~0.35	27~39	0.2~0.7	50~60
V	17~20	100~200	1~2	0.35~0.45	20~27	0.05~0.2	40~50
VI	15~17	<100	<1	0.4~0.5	<22	<0.1	30~40

- 注: 1 本表数值不包括黄土地层;
 2 选用计算摩擦角时, 不再计内摩擦角和黏聚力。

3.3 隧道位置的选择

3.3.1 隧道位置应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、煤层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。

3.3.2 长隧道、特长隧道、地质条件复杂的隧道、瓦斯隧道，其平面位置的选择应在大面积地质测绘和综合地质勘探的基础上确定线路走向，并应根据合理工期，对施工方案、施工方法进行多方案比选。

越岭线路的长隧道和特长隧道，应进行大面积的方案研究；对可能穿越的垭口，拟定不同的越岭高程及其相应的展线方案，通过区域工程地质调查、测绘，结合线路条件以及施工、运营条件等，进行全面技术经济比选确定。

3.3.3 河谷线路沿河傍山地段，当线路以隧道通过时，线路宜向靠山侧内移，避免隧道洞壁过薄、河流冲刷和不良地质对其稳定的影响。

采用短隧道群应与长隧道方案比选，并应优先选用长隧道。洞口位置的选定应考虑环境保护的要求，早进洞，晚出洞。

濒临水库地区的隧道应注意水库坍岸等对隧道稳定的影响，采取相应的工程措施。

3.3.4 隧道应避免通过具有放射性危害的地层。

3.3.5 隧道位置的选定，应考虑洞口地形、地质条件、相关工程和环境要求的影响，洞口不宜设在不良地质、排水困难、地势狭窄的沟谷低洼处或不稳定的悬崖陡壁下，宜避开滑坡、崩塌、岩堆、危岩落石、泥石流等地段；对于需设置辅助坑道和运营通风设施的隧道，应综合考虑其设置条件和要求。

3.3.6 新建双线或增建第二线时，应进行修建一座双线隧道和两座单线隧道的比较；当遇特长隧道及松软地层、不良地质地段、黄土地区的隧道时，宜修建两座单线隧道；其他有条件的长隧道，可修建两座单线隧道。

两相邻隧道的最小净距，应按围岩地质条件、隧道断面尺寸及施工方法等因素确定。一般情况下，应大于表 3.3.6 中的数

值，困难情况下可采用表 3.3.6 的数值。

表 3.3.6 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	$(1.5 \sim 2.0)B$	$(2.0 \sim 2.5)B$	$(2.5 \sim 3.0)B$	$(3.0 \sim 5.0)B$	$>5.0B$

注：B 为隧道开挖断面的宽度 (m)。

3.4 隧道线路平面及纵断面

3.4.1 隧道内的线路宜设计为直线，当因地形、地质等条件限制必需设计为曲线时，宜采用较大的曲线半径，慎用最小曲线半径，并宜将曲线设在洞口附近。隧道内不应设置反向曲线。

3.4.2 隧道纵向坡度设置应符合下列规定：

1 隧道内的坡度可设置为单面坡或人字坡，地下水发育的长隧道宜用人字坡。

隧道坡度不宜小于 3‰，在最冷月平均气温低于 -5°C 的地区，地下水发育的隧道宜适当加大坡度。

2 位于长大坡道上长度大于 400 m 的隧道，其坡度不得大于最大坡度按规定折减后的数值；位于长大坡道且曲线地段的隧道，应先进行隧道内线路最大坡度折减，再进行曲线坡度减缓。各种牵引种类的隧道内线路最大坡度折减系数应按表 3.4.2 的规定采用。

表 3.4.2 电力、内燃机车牵引的隧道内线路最大坡度折减系数

隧道长度 (m)	电力牵引	内燃牵引
$400 < L \leq 1000$	0.95	0.90
$1000 < L \leq 4000$	0.90	0.80
> 4000	0.85	0.75

注：最大坡度折减系数不分单、双机牵引，也不分单、双线隧道。

3 隧道内宜设计为长坡段。

4 旅客列车设计行车速度小于 160 km/h 的铁路，相邻坡段的坡度差大于 3‰ 时，应以圆曲线型竖曲线连接，竖曲线的半径应采用 $10\,000\text{ m}$ 。

旅客列车设计行车速度为 160 km/h 的铁路段，相邻坡段的坡度差大于 1‰ 时，应以圆曲线型竖曲线连接，竖曲线的半径应采用 $15\,000\text{ m}$ ，竖曲线不宜与平面圆曲线重叠设置，困难条件下，竖曲线可与半径不小于 $2\,500\text{ m}$ 的圆曲线重叠设置；特殊困难条件下，经技术经济比选，竖曲线可与半径不小于 $1\,600\text{ m}$ 的圆曲线重叠设置。

3.4.3 位于车站上的隧道，应采取必要的工程措施确保排水畅通。

3.4.4 当隧道洞口位于滨河可能被洪水淹没地带、水库回水影响范围或受山洪威胁地段时，其路肩高程应高出设计水位加波浪侵袭高度和壅水高度不小于 0.5 m 。Ⅰ、Ⅱ级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；当观测洪水的频率超过 $1/300$ 时，Ⅰ、Ⅱ级铁路应采用 $1/300$ 洪水频率标准设计。

4 作用（荷载）

4.1 一般规定

4.1.1 采用概率极限状态法进行结构设计计算时，其作用应符合本节及第 4.2 节的规定。

采用破损阶段法或容许应力法进行结构设计计算时，其荷载应符合本节及第 4.3 节的规定。

4.1.2 作用（荷载）分类应符合表 4.1.2 的规定。

表 4.1.2 作用（荷载）分类

序号	作用分类	结构受力及影响因素	荷载分类	
1	永久作用	结构自重	恒载	主要荷载
2		结构附加恒载		
3		围岩压力		
4		土压力		
5		混凝土收缩和徐变的影响		
6	可变作用	列车活载	活载	
7		活载所产生的土压力		
8		公路活载		
9		冲击力		
10		渡槽流水压力（设计渡槽明洞时）		
11		制动力	附加荷载	
12		温度变化的影响		
13		灌浆压力		
14		冻胀力		
15		施工荷载（施工阶段的某些外加力）	特殊荷载	
16	偶然作用	落石冲击力	附加荷载	
17		地震力	特殊荷载	

注：永久作用（恒载）除表中所列外，在有水或含水地层中的隧道结构，必要时还应考虑水压力。

4.1.3 作用（荷载）应根据隧道的地形、地质条件、埋置深度、结构特征和工作条件、施工方法、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作用的代表值或荷载的计算值及其分布规律。

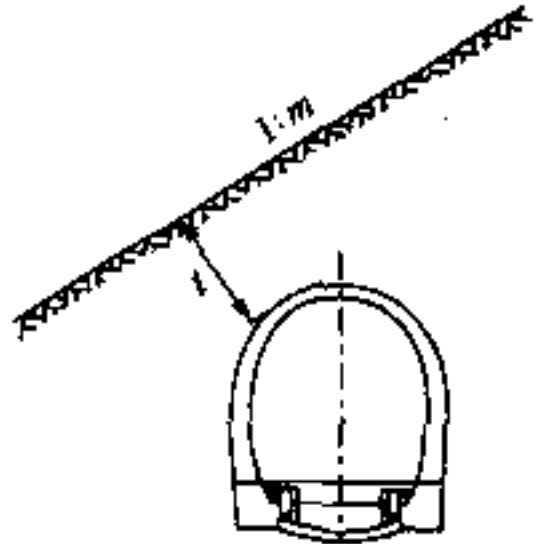
4.1.4 当地面水平或接近水平，且隧道覆盖厚度值小于表 4.1.4 所列数值时，应按浅埋隧道设计。当有不利于山体稳定的地质条件时，浅埋隧道覆盖厚度值应适当加大。

表 4.1.4 浅埋隧道覆盖厚度值 (m)

围岩级别	Ⅲ	Ⅳ	V
单线隧道	5~7	10~14	18~25
双线隧道	8~10	15~20	30~35

4.1.5 作用于隧道衬砌上的偏压力，应视地形、地质条件以及外侧围岩的覆盖厚度确定。

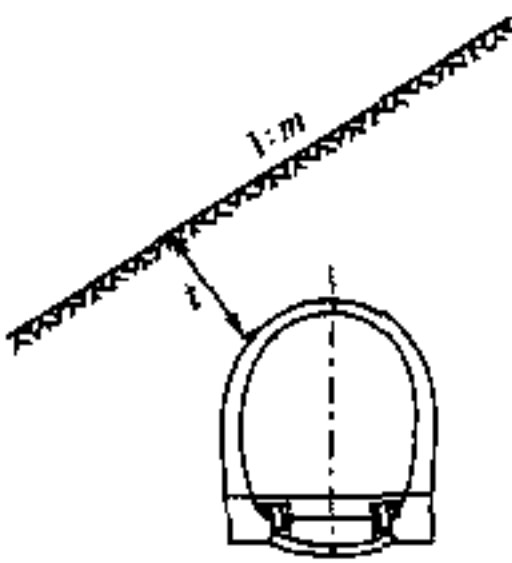
表 4.1.5—1 偏压隧道外侧拱肩山体最大覆盖厚度 t (m)

地面坡 1:m	线 别	围 岩 级 别				示 意 图
		Ⅲ	Ⅳ _石	Ⅳ _±	V	
1:0.75	双 线	7.0	*	*	*	
1:1	单 线	*	5.0	10.0	18.0	
	双 线	7.0	*	*	*	
1:1.25	双 线	*	*	18.0	*	
1:1.5	单 线	*	4.0	8.0	16.0	
	双 线	7.0	11.0	16.0	30.0	
1:2	单 线	*	4.0	6.0	12.0	
	双 线	*	10.0	14.0	25.0	
1:2.5	单 线	*	*	5.5	10.0	
	双 线	*	*	13.0	20.0	

- 注：1 VI级围岩的 t 值可通过计算确定；
 2 Ⅲ、Ⅳ级石质围岩的 t 值应扣除表面风化破碎层和坡积层厚度；
 3 “*”表示缺少统计资料，设计时可通过工程类比或经验设计取值。

一般情况下,Ⅲ~Ⅴ级围岩,地面倾斜,隧道外侧拱肩至地表的垂直距离 t 等于或小于表4.1.5—1所列数值时,应按偏压隧道设计。当 t 值等于或小于表4.1.5—2规定时,尚应在洞外采取设置地表锚杆、抗滑桩或其他支挡结构等工程措施。

表 4.1.5—2 偏压隧道外侧拱肩山体需加固的覆盖厚度限值 t (m)

地面坡 1:m	线 别	围 岩 级 别				示 意 图
		Ⅲ	Ⅳ _ε	Ⅳ _±	Ⅴ	
1:0.75	双 线	3.0	*	*	*	
1:1	单 线	*	3.0	5.0	12.0	
	双 线	3.0	8.0	*	*	
1:1.25	双 线	*	*	10.0	*	
1:1.5	单 线	*	2.0	4.0	9.0	
	双 线	3.0	7.0	9.0	20.0	
1:2	单 线	*	2.0	3.5	7.0	
	双 线	*	6.0	8.0	17.0	
1:2.5	单 线	*	*	3.0	6.0	
	双 线	*	*	7.0	14.0	

注:1 Ⅲ、Ⅳ级石质围岩的 t 值应扣除表面风化破碎层和坡积层厚度;

2 “*”表示缺少统计资料,设计时可通过工程类比或经验设计取值。

4.1.6 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确定。填料的物理力学指标,当无试验资料时,可按表4.1.6采用。

表 4.1.6 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°

4.2 作用组合与作用计算

4.2.1 采用概率极限状态法设计隧道结构时,结构的作用设计

值应按式 (4.2.1) 计算。

$$F_d = \gamma_f F_k \quad (4.2.1)$$

式中 γ_f ——作用分项系数；

F_k ——作用标准值。

4.2.2 隧道结构的作用应根据不同的极限状态和设计状况进行组合。一般情况可按作用的基本组合进行设计，基本组合可表达为：结构自重 + 围岩压力或土压力。

基本组合中各作用的组合系数取 1.0，当考虑其他组合时，应另行确定作用的组合系数。

4.2.3 结构自重标准值可按结构设计尺寸及材料标准重度计算确定。

4.2.4 计算单线深埋隧道衬砌时，围岩压力按松散压力考虑，其垂直及水平匀布压力的作用标准值可按下列规定确定。

1 垂直匀布压力可按式 (4.2.4) 计算确定。

$$q = \gamma h \quad (4.2.4)$$

$$h = 0.41 \times 1.79^S$$

式中 q ——围岩垂直匀布压力 (kPa)；

γ ——围岩重度 (kN/m³)；

h ——围岩压力计算高度 (m)；

S ——围岩级别。

2 水平匀布压力可按表 4.2.4 确定。

表 4.2.4 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	$<0.15q$	$(0.15 \sim 0.30)q$	$(0.30 \sim 0.50)q$	$(0.50 \sim 1.00)q$

注：式 (4.2.4) 及表 4.2.4 适用于下列条件：

- 1 不产生显著偏压力及膨胀力的一般围岩；
- 2 采用钻爆法施工的隧道。

4.2.5 计算偏压衬砌时，围岩压力可按本规范附录 B 的公式计算确定。

4.2.6 明洞回填土压力可按本规范附录 C 的公式计算。

4.2.7 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。土压力可按本规范附录 D 的公式计算。

4.2.8 混凝土收缩和徐变的影响、水压力及可变作用及偶然作用的确定可按第 4.3 节相应条文办理。

4.3 荷载组合与荷载计算

4.3.1 采用破损阶段法或容许应力法设计隧道结构时, 结构所受的荷载应按表 4.1.2 规定并就其可能的最不利组合情况计算。

4.3.2 明洞荷载组合时应符合下列规定:

1 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, 具体设计时可通过量测资料或有关计算验证。

2 当设置立交明洞时, 应分别不同情况计算列车活载、公路活载或渡槽流水压力。

3 当明洞上方与铁路立交、填土厚度小于 1 m 时, 应计算列车冲击力, 洞顶无填土时, 还应计算制动力的影响。

4 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。

4.3.3 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:

1 垂直匀布压力可按式 (4.3.3) 计算确定。

$$q = \gamma h \quad (4.3.3)$$

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

式中 ω ——宽度影响系数, $\omega = 1 + i(B - 5)$;

B ——坑道宽度 (m);

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

其余符号含义同式 (4.2.4)。

2 水平匀布压力可按本规范表 4.2.4 的规定确定。

4.3.4 浅埋隧道的荷载可按本规范附录 E 的规定确定。

4.3.5 偏压隧道的荷载可按本规范附录 B 的规定确定。

4.3.6 明洞回填土压力可按本规范附录 C 的规定确定。

4.3.7 作用于洞门墙墙背上的主动土压力可按第 4.2.7 条的规定办理。

4.3.8 铁路列车活载及其冲击力、制动力等应按国家现行《铁路桥涵设计基本规范》(TB 10002.1) 的规定计算。

4.3.9 公路汽车活载应按国家现行《公路桥涵设计通用规范》(JTJ021) 的规定计算。

4.3.10 对稳定性有严格要求的刚架和截面厚度大、变形受约束的结构, 均应考虑温度变化和混凝土收缩徐变的影响。

4.3.11 结构构件就地建造或安装时, 作用在构件上的施工荷载, 应根据施工阶段、施工方法和施工条件确定。

4.3.12 在最冷月平均气温低于 -15°C 地区和受冻害影响的隧道应考虑冻胀力, 冻胀力可根据当地的自然条件、围岩冬季含水量等资料通过计算确定。

4.3.13 灌浆压力应按灌浆机械可能使用的最大作用力计算确定。

4.3.14 地震力应按现行国家标准《铁路工程抗震设计规范》(GBJ111) 的规定计算确定。

5 建筑材料

5.1 一般规定

5.1.1 隧道工程常用的各类建筑材料，可选用下列强度等级：

- 1 混凝土：C15、C20、C25、C30、C40、C50；
- 2 喷射混凝土：C20、C25、C30；
- 3 片石混凝土：C15、C20；
- 4 水泥砂浆：M7.5、M10、M15、M20；
- 5 石材：MU40、MU50、MU60、MU80、MU100；
- 6 钢筋：HPB235 (Q235)、HRB335 (20MnSi)。

5.1.2 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 5.1.2—1 和 5.1.2—2 的规定。

表 5.1.2—1 衬砌建筑材料

材料种类 工程部位	混凝土	钢筋混凝土	喷射混凝土	
			喷锚衬砌	喷锚支护
拱 圈	C25	C30	C25	C20
边 墙	C25	C30	C25	C20
仰 拱	C25	C30	C25	C20
底 板	—	C30	—	—
仰拱填充	C20	—	—	—
水沟、电缆槽	C25	—	—	—
水沟、电缆槽盖板	—	C25	—	—

5.1.3 建筑材料的选用，应符合下列规定：

- 1 建筑材料应符合结构强度和耐久性的要求，同时应满足

其抗冻、抗渗和抗侵蚀的需要。

表 5.1.2—2 洞门建筑材料

材料种类 工程部位	混凝土	钢筋混凝土	砌 体
端 墙	C20	C25	M10 水泥砂浆砌块石或 C20 片石混凝土
顶 帽	C20	C25	M10 水泥砂浆砌粗料石
翼墙和洞口挡土墙	C20	C25	M10 水泥砂浆砌块石
侧沟、截水沟	C15	—	M10 水泥砂浆砌片石
护 坡	C15	—	M10 水泥砂浆砌片石

注：1 护坡材料也可采用 C20 喷射混凝土；

2 最冷月平均气温低于 -15°C 的地区，表列水泥砂浆强度应提高一级。

2 混凝土宜选用低水化热、低 C_3A 含量、低碱含量的水泥和矿物掺和料、引气剂等。

3 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。

4 最冷月平均气温低于 -15°C 的地区和受冻害影响的隧道，混凝土强度等级应适当提高。

5.1.4 隧道混凝土的碱含量应符合国家现行《铁路混凝土工程预防碱—骨料反应技术条件》(TB/T3054) 的规定。混凝土和砌体所用的材料除应符合国家有关标准规定外，尚应符合下列要求：

1 混凝土不应使用碱活性骨料；

2 钢筋混凝土构件中的钢筋应符合现行国家标准《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》(GB1499) 与《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》(GB13013) 的规定；

3 片石强度等级不应低于 MU40，块石强度等级不应低于 MU60，有裂缝和易风化的石材不应采用；

4 片石混凝土内片石掺用量不应大于总体积的 20%。

5.1.5 喷锚支护采用的材料，除应符合本规范的有关规定外，尚应符合下列要求：

- 1 喷射混凝土应优先采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥；**
- 2 粗骨料应采用坚硬耐久的碎石或卵石，不得使用碱活性骨料；喷射混凝土中的骨料粒径不宜大于 15 mm，喷射钢纤维混凝土中的骨料粒径不宜大于 10 mm；骨料宜采用连续级配，细骨料应采用坚硬耐久的中砂或粗砂，细度模数宜大于 2.5；**
- 3 锚杆杆体的直径宜为 16~32 mm，杆体材料宜采用 HRB335 (20MnSi) 钢；锚杆端头应设垫板，垫板可采用 HPB235 (Q235) 钢板；**
- 4 砂浆锚杆用的水泥砂浆强度等级不应低于 M20；**
- 5 钢筋网材料可采用 HPB235 (Q235) 钢，直径宜为 4~12 mm。**

5.1.6 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：

- 1 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；**
- 2 对混凝土的凝结时间影响不大（除速凝剂和缓凝剂外）；**
- 3 不易吸湿，易于保存；不污染环境，对人体无害。**

5.1.7 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：

- 1 钢纤维可采用方形或圆形断面，等效直径宜为 0.3~0.5 mm；**
- 2 长度宜为 20~25 mm，并不得大于 25 mm；**
- 3 抗拉强度不得小于 600 MPa，并不得有油渍和明显的锈蚀；**
- 4 掺量宜为混合料重量的 3.0%~6.0%。**

5.1.8 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。

5.1.9 常用建筑材料的重度应按表 5.1.9 的规定采用。

表 5.1.9 建筑材料的标准重度或计算重度

材料名称	混凝土	片石混凝土	钢筋混凝土 (配筋率在 3% 以内)	钢材	浆砌片石	浆砌块石	浆砌粗料石
重 度 (kN/m ³)	23	23	25	78.5	22	23	25

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。

5.2 按概率极限状态法设计的材料性能

5.2.1 混凝土的强度标准值应按表 5.2.1 采用。

表 5.2.1 混凝土强度标准值 (MPa)

强度种类	符 号	混 凝 土 强 度 等 级					
		C15	C20	C25	C30	C40	C50
轴 心 抗 压	f_{ck}	10	13.5	17	20	27	33.5
弯 曲 抗 压	f_{cmk}	11	15	18.5	22	29.5	36
轴 心 抗 拉	f_{ctk}	1.4	1.7	2.0	2.2	2.7	3.1

- 注：1 混凝土垂直浇筑，且一次浇筑层高度大于 1.5 m 时，表中强度值应乘以系数 0.9；
- 2 计算现浇钢筋混凝土轴心受压构件时，如截面中的边长或直径小于 30 cm，则表中强度值应乘以系数 0.8；当构件质量（如混凝土成形、截面和轴线尺寸等）确有保证时，则不受此限制；
- 3 离心混凝土的设计强度应按有关专门规定取用。

5.2.2 混凝土的强度设计值应按表 5.2.2 采用。

表 5.2.2 混凝土强度设计值 (MPa)

强度种类	符 号	混 凝 土 强 度 等 级					
		C15	C20	C25	C30	C40	C50
轴 心 抗 压	f_{cd}	7.5	10.0	12.5	15.0	20.0	25.0
弯 曲 抗 压	f_{cmd}	8.5	11	13.5	16.5	21.5	27.5
轴 心 抗 拉	f_{ctd}	0.93	1.13	1.33	1.47	1.80	2.07

5.2.3 混凝土的弹性模量应按表 5.2.3 采用。混凝土的剪切模量可按表 5.2.3 数值乘以 0.43 采用。混凝土的泊松比可采用 0.2。

表 5.2.3 混凝土的弹性模量 E_c (GPa)

混凝土强度等级	C15	C20	C25	C30	C40	C50
弹性模量 E_c	26	28	29.5	31	33.5	35.5

5.2.4 喷射混凝土的强度设计值应按表 5.2.4—1 采用；喷射混凝土的重度可取 2200 kg/m^3 ，弹性模量应按表 5.2.4—2 采用。

表 5.2.4—1 喷射混凝土的强度设计值 (MPa)

强度种类 \ 喷射混凝土强度等级	C20	C25	C30
轴心抗压	10.0	12.5	15.0
弯曲抗压	11.0	13.5	16.5
抗 拉	1.1	1.3	1.5

表 5.2.4—2 喷射混凝土的弹性模量 (GPa)

喷射混凝土强度等级	C20	C25	C30
弹性模量	21	23	25

5.2.5 钢筋的抗拉强度标准值及其抗拉强度和抗压强度的设计值应按表 5.2.5 采用。

表 5.2.5 钢筋抗拉和抗压强度的标准值与设计值 (MPa)

钢 筋 种 类	HPB235 (Q235)	HRE335 (20MnSi)
抗拉强度标准值	235	335 ($d = 8 \sim 25 \text{ mm}$) 315 ($d = 28 \sim 40 \text{ mm}$)
抗拉强度和抗压强度设计值	188	268

注：表中 d 为钢筋直径。

5.2.6 HPB235 级钢筋的弹性模量应采用 210 GPa, HRB335 级钢筋的弹性模量应采用 200 GPa。

5.2.7 龄期为 28 d, 以毛截面计算的各类砌体抗压强度设计值应按下列规定采用:

1 块体高度为 180~350 mm 的粗料石砌体的抗压强度设计值应按表 5.2.7—1 采用。

表 5.2.7—1 粗料石砌体的抗压强度设计值 (MPa)

石材强度等级	水 泥 砂 浆 强 度 等 级		
	M15	M10	M7.5
MU100	8.62	7.76	6.91
MU80	7.72	6.95	6.20
MU60	6.68	6.02	5.38

2 片石砌体的抗压强度设计值应按表 5.2.7—2 采用。

表 5.2.7—2 片石砌体的抗压强度设计值 (MPa)

石材强度等级	水 泥 砂 浆 强 度 等 级		
	M15	M10	M7.5
MU100	3.06	2.55	2.10
MU80	2.76	2.28	1.89
MU60	2.40	1.99	1.66
MU50	2.18	1.81	1.47
MU40	1.96	1.63	1.29

5.2.8 砌体的弹性模量可采用 10~15 GPa。砌体的剪切模量宜采用砌体弹性模量的 0.4 倍。

5.3 按破损阶段法和容许应力法设计的材料性能

5.3.1 混凝土和钢筋混凝土结构中用混凝土的极限强度应按表

5.3.1 采用。

表 5.3.1 混凝土的极限强度 (MPa)

强度种类	符 号	混凝土强度等级					
		C15	C20	C25	C30	C40	C50
抗 压	R_a	12.0	15.5	19.0	22.5	29.5	36.5
弯曲抗压	R_w	15.0	19.4	24.2	28.1	36.9	45.6
抗 拉	R_t	1.4	1.7	2.0	2.2	2.7	3.1

注：1 片石混凝土的抗压极限强度可采用表中数值；
2 表中弯曲抗压极限强度按 $R_w = 1.25 R_a$ 换算。

5.3.2 混凝土的容许应力应按表 5.3.2 采用。

表 5.3.2 混凝土的容许应力 (MPa)

应力种类	符号	混凝土强度等级					
		C15	C20	C25	C30	C40	C50
弯曲及偏心受压应力	$[\sigma_w]$	6.1	7.8	9.6	11.2	14.7	18.2
弯曲拉应力	$[\sigma_{wl}]$	0.36	0.43	0.50	0.55	—	—
剪 应 力	$[\tau]$	0.70	0.85	1.00	1.10	1.35	1.55

注：1 片石混凝土的容许应力可采用表中数值；
2 计算主要荷载加附加荷载时，除剪应力外可提高 30%。

5.3.3 混凝土的弹性模量应按表 5.2.3 采用，混凝土的剪切模量可按表列数值乘以 0.43 采用。

5.3.4 钢筋的容许应力应按表 5.3.4 采用。

表 5.3.4 钢筋的容许应力

钢筋种类	容 许 应 力 (MPa)	
	主要荷载	主要荷载附加荷载
HPB235 (Q235)	130	160
HRB335 (20MnSi)	180	230

5.3.5 钢筋强度和弹性模量等应按表 5.3.5 采用。

表 5.3.5 钢筋的强度和弹性模量

钢筋种类	屈服强度 (MPa)	抗拉极限 强度 (MPa)	抗拉或抗压 计算强度 (MPa)	弹性模量 (GPa)	延伸率 (%)
HPB235 (Q235)	240	380	260	210	25
HRE335 (20MnSi)	340	520	360	200	16

5.3.6 C20 喷射混凝土的极限强度可采用：轴心抗压 15 MPa，弯曲抗压 18 MPa，抗拉 1.3 MPa，弹性模量为 21 GPa。喷射混凝土与围岩的粘结强度可采用：Ⅰ、Ⅱ级围岩不应低于 0.8 MPa，Ⅲ级围岩不应低于 0.5 MPa。

- 注：1 喷射混凝土的强度等级指采用喷射大板切割法，制作成边长为 10cm 的立方体试块，在标准条件下养护 28 d，用标准试验方法所得的极限抗压强度乘以 0.95 的系数；
- 2 喷射混凝土与围岩粘结强度可采用预留试件拉拔法或钻芯拉拔法。

5.3.7 砌体的极限强度应按表 5.3.7 采用。

表 5.3.7 砌体的极限强度 (MPa)

强度种类		抗压 R_c			抗剪 R_j
砌体种类		片石砌体	块石	粗料石	
砂浆强度等级	M7.5	3.0	—	—	0.35
	M10	3.5	5.5	8.0	0.40
	M15	4.0	6.0	9.0	0.50

5.3.8 砌体的弹性模量及剪切模量应按第 5.2.8 条选取。

5.3.9 石砌体中心及偏心受压的容许应力应按表 5.3.9 采用。

表 5.3.9 石砌体中心及偏心受压的容许应力 (MPa)

砌体种类	石料强度等级	水 泥 砂 浆 强 度 等 级		
		M20	M15	M10
片石砌体	MU100	3.0	2.6	2.2
	MU80	2.7	2.35	2.0
	MU60	2.3	2.025	1.85
	MU40	1.95	1.65	1.45
块石砌体	MU100	5.6	5.25	4.9
	MU80	4.7	4.4	4.1
	MU60	3.8	3.5	3.2
粗料石砌体	MU100	7.1	6.05	5.0
	MU80	6.0	5.4	4.8
	MU60	4.9	4.5	4.1

- 注：1 介于表列石料或水泥砂浆的强度等级之间的其他砌体的受压容许应力，可用内插确定；
- 2 当有特殊需要必须用细料石及半细料石砌体时，其受压容许应力可按粗料石砌体的受压容许应力分别乘以提高系数 1.43 及 1.14，但提高后的受压容许应力不应大于水泥砂浆抗压极限强度的 1/2。

6 洞门与洞口段

6.0.1 隧道洞口位置应根据地形、地质、水文条件，同时结合环境保护、洞外有关工程及施工条件、运营要求，通过综合分析比较确定。

隧道应早进洞、晚出洞，同时应符合下列要求：

- 1 隧道洞口的设置，应减少对原有坡面的破坏；
- 2 当洞口处有坍方、落石、泥石流等威胁时，应尽早进洞；
- 3 线路跨沟或沿沟进洞时，应结合防排水工程，确定洞口位置；
- 4 漫坡地形的洞口位置，宜结合弃碴的处理、填方利用、排水以及有利施工等因素，综合分析确定；
- 5 洞口段应结合地形、地质条件和施工方法等确定加固措施，必要时可采取地表注浆。

6.0.2 洞门结构形式应根据洞口的地形、地质等条件确定，并符合下列要求：

- 1 采用斜交洞门时，其端墙与线路中线的交角不应小于 45° ，在松软地层中不宜采用斜交洞门；
- 2 设有运营通风的隧道，洞门结构形式应结合通风设施一并考虑；
- 3 位于城镇、风景区、车站附近的洞门，宜考虑建筑景观及环境协调要求；
- 4 有条件时可采用斜切式或其他新型洞门结构。

6.0.3 洞门设计应符合下列规定：

- 1 当洞顶仰坡土石有剥落可能时，仰坡坡脚至洞门端墙背的水平距离不宜小于 1.5m ；洞门端墙顶高出仰坡坡脚不宜小于

0.5 m；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 1 m。

2 当洞口有翼墙或挡土墙时，沿轨枕底面水平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 3.5 m。

3 洞门墙应根据地基情况设置变形缝，墙身应设置泄水孔。

6.0.4 洞门墙基础的设置应符合下列要求：

1 基础必须置于稳固的地基上，并埋入地面下一定深度，土质地基埋入的深度不应小于 1 m；

2 在冻胀性土上设置基础时，基底应置于冻结线以下 0.25 m，或采取其他工程措施；

3 在松软地基上设置基础，当地基承载力不足时，应结合具体条件采取扩大基础等措施。

6.0.5 洞口其他设施的设置，应遵守下列规定：

1 洞口仰坡周围应设置排水、截水设施，并与路堑排水系统一并布置；

2 当洞口边仰坡局部土石失稳时，应结合地形、地质特点，采取清刷、设置支挡建筑物等措施根治，不留后患；

3 洞口仰坡和边坡土石有剥落可能时，其坡面应予加固；有条件时应优先采用绿色护坡；

4 当洞口段路基基床为土层或遇水易软化的软弱岩层时，路基面应采用 M10 水泥砂浆砌片石铺砌；

5 洞口应设置必要的检查设备及相关标志；

6 旅客列车行车速度 160 km/h 的铁路隧道，应视洞口环境及旅客舒适度要求考虑设置洞口缓冲设施；

7 旅客列车行车速度 160 km/h 的铁路隧道，洞口过渡段设置应符合国家现行《铁路路基设计规范》(TB 10001) 的规定。

7 隧道衬砌和明洞

7.1 一般规定

7.1.1 隧道应设衬砌，并应优先采用复合式衬砌，地下水不发育的Ⅰ、Ⅱ级围岩的短隧道，可采用喷锚衬砌。

衬砌结构的型式及尺寸，可根据围岩级别、水文地质条件、埋置深度、结构工作特点，结合施工条件等，通过工程类比和结构计算确定，必要时，还应经过试验论证。

7.1.2 隧道衬砌设计应符合下列规定：

1 隧道应采用曲墙式衬砌，Ⅵ级围岩的衬砌应采用钢筋混凝土结构；

2 因地形或地质构造等引起有明显偏压的地段，应采用偏压衬砌；Ⅴ、Ⅵ级围岩的偏压衬砌应采用钢筋混凝土结构；Ⅳ级围岩的偏压衬砌也宜采用钢筋混凝土结构；

3 隧道洞口段衬砌应加强，加强长度应根据地质、地形等条件确定，一般单线隧道洞口加强衬砌长度不应小于5 m，双线和多线隧道应适当加长；

4 围岩较差地段的衬砌应向围岩较好地段延伸，延伸长度宜为5~10 m；

5 偏压衬砌段应延伸至一般衬砌段内5 m以上；

6 单线Ⅲ级以上、双线Ⅲ级及以上地段均应设置仰拱；单线Ⅲ级、双线Ⅱ级及以下地段是否设置仰拱应根据岩性、地下水情况确定；不设仰拱的地段应设底板，底板厚度不得小于25 cm，并应设置钢筋，钢筋净保护层厚度不应小于30 mm；

7 硬软地层分界处及对衬砌受力有不良影响处，应设置变形缝；

8 电力牵引的隧道，当长度大于 2000m 或位于隧道群地段和车站两端时，应根据需要设置接触网补偿下锚的衬砌段。

7.1.3 隧道与运营通风洞、辅助坑道的横通道及其他联络通道等连接处的衬砌应加强。

7.1.4 位于曲线地段隧道断面的加宽，除圆曲线部分应按规定办理外，缓和曲线部分可分两段加宽。自圆曲线至缓和曲线中点，并向直线方向延长 13 m，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 22 m，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 7.1.4）。



图 7.1.4 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。

7.2 隧道衬砌

7.2.1 复合式衬砌设计应符合下列规定：

1 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，力求充分发挥围岩的自承能力。

2 复合式衬砌的初期支护，宜采用喷锚支护，其基层平整

度应符合 $D/L \leq 1/6$ (D 为初期支护基层相邻两凸面凹进去的深度; L 为基层两凸面的距离); 二次衬砌宜采用模筑混凝土, 二次衬砌宜为等厚截面, 连接圆顺。

3 各级围岩在确定开挖断面时, 除应满足隧道建筑限界要求外, 还应预留适当的围岩变形量, 其量值可根据围岩级别、隧道宽度、埋置深度、施工方法和支护情况等条件, 采用工程类比法确定; 当无类比资料时, 可参照表 7.2.1—1 采用。

表 7.2.1—1 预留变形量 (mm)

围岩级别	单线隧道	双线隧道
II	—	10~30
III	10~30	30~50
IV	30~50	50~80
V	50~80	80~120
VI	由设计确定	设计确定

注: 1 深埋、软岩隧道取大值; 浅埋、硬岩隧道取小值;

2 有明显流变、原岩应力较大和膨胀性围岩, 应根据量测数据反馈分析确定。

4 复合式衬砌初期支护及二次衬砌的设计参数, 可采用工程类比确定, 并通过理论分析进行验算, 当无类比资料时, 可参照表 7.2.1—2 与表 7.2.1—3 选用, 并应根据现场围岩量测信息对支护参数作必要的调整。

7.2.2 喷锚衬砌设计应符合下列规定:

1 喷锚衬砌内部轮廓应比整体式衬砌适当放大, 除考虑施工误差和位移量外, 应再预留 10 cm 作为必要时补强用。

2 遇下列情况不应采用喷锚衬砌:

- 1) 地下水发育或大面积淋水地段;
- 2) 能造成衬砌腐蚀或膨胀性围岩的地段;
- 3) 最冷月平均气温低于 -5°C 地区的冻害地段;
- 4) 有其他特殊要求的隧道。

表 7.2.1—2 单线隧道复合式衬砌的设计参数

围岩级别	初期支护					二次衬砌厚度(cm)			
	喷射混凝土厚度(cm)		锚杆			钢筋网	钢架	拱、墙	仰拱
	拱、墙	仰拱	位置	长度(m)	间距(m)				
II	5	—	—	—	—	—	—	25	—
III	7	—	局部设置	2.0	1.2~1.5	—	—	25	—
IV	10	—	拱、墙	2.0~2.5	1.0~1.2	必要时设置 @25×25	—	30	40
V	15~22	15~22	拱、墙	2.5~3.0	0.8~1.0	拱、墙、仰拱 @20×20	必要时设置	35	40
VI	通过试验确定								

表 7.2.1—3 双线隧道复合式衬砌的设计参数

围岩级别	初期支护					二次衬砌厚度(cm)			
	喷射混凝土厚度(cm)		锚杆			钢筋网	钢架	拱、墙	仰拱
	拱、墙	仰拱	位置	长度(m)	间距(m)				
II	5~8	—	局部设置	2.0~2.5	1.5	—	—	30	—
III	8~10	—	拱、墙	2.0~2.5	1.2~1.5	必要时设置 @25×25	—	35	45
IV	15~22	15~22	拱、墙	2.5~3.0	1.0~1.2	拱、墙、仰拱 @25×25	必要时设置	40	45
V	20~25	20~25	拱、墙	3.0~3.5	0.8~1.0	拱、墙、仰拱 @20×20	拱、墙、仰拱	45	45
VI	通过试验确定								

- 注：1 采用钢架时，宜选用格栅钢架，钢架设置间距宜为 0.5~1.5m；
 2 对于 IV、V 级围岩，可视情况采用钢筋束支护，喷射混凝土厚度可取小值；
 3 钢架与围岩之间的喷射混凝土保护层厚度不应小于 4cm；临空一侧的混凝土保护层厚度不应小于 3cm。

3 喷锚衬砌的设计参数，可参照表 7.2.2 选用。

表 7.2.2 喷锚衬砌的设计参数

围岩级别	单 线 隧 道	双 线 隧 道
I	喷射混凝土厚度 5 cm	喷射混凝土厚度 8 cm，必要时设置锚杆，锚杆长 1.5~2.0 m，间距 1.2~1.5 m
II	喷射混凝土厚度 8 cm，必要时设置锚杆，锚杆长 1.5~2.0 m，间距 1.2~1.5 m	喷射混凝土厚度 10 cm，锚杆长 2.0~2.5 m，间距 1.0~1.2 m，必要时设置局部钢筋网

注：1 边墙喷射混凝土厚度可略低于表列数值，当边墙围岩稳定，可不设置锚杆和钢筋网；

2 钢筋网的网格间距宜为 15~30 cm，钢筋网保护层厚度不应小于 3 cm。

7.2.3 整体衬砌设计应符合下列规定：

1 单线隧道洞口段，当线路中线与地形等高线斜交，围岩为 I~III 级时，可采用斜交衬砌。双线斜交衬砌的选用应慎重考虑。

2 最冷月平均气温低于 -15°C 的地区，应根据情况设置变形缝。

3 各级围岩地段拱部衬砌背后应压注不低于 M20 的水泥砂浆。

7.2.4 初期（施工）支护的组成应根据围岩的性质及状态、地下水情况、隧道断面尺寸及其埋置深度等条件确定。

1 系统锚杆应沿隧道周边均匀布置，在岩面上按梅花形布置，其方向应接近于径向或垂直岩层，并应根据使用目的和围岩性质及状态等确定锚杆的类型、锚固方式、长度等，尤其对软弱围岩、自稳时间短、初期变形大的地层，应采用长锚杆或自钻式锚杆注浆加固围岩。

2 自稳时间短、初期变形大的地层，或对地面下沉量有严格限制时，应采用钢架。根据围岩条件的不同，可选择仅在隧道拱部设置的钢架或在拱部及墙部设置的开口式钢架。在软弱围岩

中应采用封闭式钢架。格栅钢架主筋的直径不宜小于 18 mm，各排钢架间应设置钢拉杆，其直径宜为 20~22 mm。

3 松散、破碎或膨胀性围岩中宜采用钢筋网喷射混凝土作初期支护，其厚度不宜小于 10 cm，钢筋网应以直径 6~8 mm 的钢筋焊接而成，网格间距宜为 15~30 cm，钢筋网搭接长度应为 1~2 个网孔。

7.2.5 衬砌仰拱应具有与其使用目的相适应的强度、刚度和耐久性。仰拱厚度宜与拱、墙厚度相同。

Ⅲ~Ⅵ级围岩隧道的仰拱，其初期支护宜采用钢筋网喷射混凝土，必要时宜加设锚杆、钢架或采用早强喷射混凝土；二次衬砌应采用模筑混凝土。

在软弱围岩有水地段或最冷月平均气温低于 -15℃ 地区的洞口段，仰拱应加强。

7.2.6 隧道仰拱与底板施工应符合下列要求：

1 仰拱或底板施作前，必须将隧底虚碴、杂物、积水等清除干净，超挖部分应采用同级混凝土回填与找平；

2 仰拱应超前拱墙衬砌施作，其超前距离宜保持 3 倍以上衬砌循环作业长度；

3 仰拱或底板施工缝、变形缝处应作防水处理，其工艺按有关规定办理；

4 仰拱或底板施作应各段一次成型，不得分部灌注。

7.2.7 隧道喷射混凝土应在开挖后及时进行，宜采用湿喷工艺。

7.2.8 隧道拱、墙背回填应符合下列规定：

1 拱部范围与墙脚以上 1 m 范围内的超挖，应用同级混凝土回填；

2 其余部位的空隙，可视围岩稳定情况、空隙大小，采用混凝土、片石混凝土回填；

3 拱部局部坍塌严禁采用浆砌片石回填。

7.3 特殊岩土和不良地质地段的隧道衬砌

7.3.1 黄土地区的隧道，应视黄土分类、物理力学性能和施工方法等确定衬砌结构，并应采用曲墙有仰拱的衬砌，曲墙衬砌的边墙矢高不应小于弦长的 $1/8$ 。

黄土隧道宜采用复合式曲墙带仰拱衬砌，其初期支护宜采用钢架、钢筋网喷射混凝土和锚杆支护，单线隧道喷层厚度不得小于 10 cm，双线隧道不应小于 15 cm，钢筋网钢筋直径宜为 6~12 mm。设锚杆时，其长度宜为 2.5~4 m，支护沿纵向每隔 5~10 m，应设置环向变形缝，其宽度宜为 10~20 mm。

位于隧道附近地表的冲沟、陷穴、裂缝应予回填、铺砌，并设置地表水的引排设施。

7.3.2 松散堆积层、含水砂层及软弱、膨胀性围岩的隧道设计应遵守下列规定：

1 衬砌应采用曲墙有仰拱的结构；必要时可采用钢筋混凝土或钢架混凝土结构；

2 通过松散堆积层或含水砂层时，施工前宜采取设置地表砂浆锚杆、从地表或沿隧道周边向围岩注浆等预加固措施；施工中可采用超前锚杆、超前小导管注浆或管棚等超前支护措施；

3 通过软弱和膨胀性围岩时，宜采用圆形或接近圆形断面；

4 根据具体情况，应对地表水和地下水作出妥善处理。

7.3.3 穿越岩溶、洞穴的隧道，应根据空穴大小、充填情况及其与隧道的关系、地下水情况，采取下列处理措施：

1 对空穴水的处理应因地制宜，采用截、堵、排结合的综合治理措施；

2 干、小的空穴，可采取堵塞封闭；有水且空穴较大，不宜堵塞封闭时，可根据具体情况，采取梁、拱跨越；

3 当空穴岩壁强度不够或不稳定，可能影响隧道结构安全时，应采取支顶、锚固、注浆等措施。

7.3.4 通过含瓦斯地层的隧道，应根据地层每吨煤含瓦斯量、瓦斯压力确定瓦斯地段等级，针对不同瓦斯等级地段采用不同的衬砌结构。瓦斯隧道衬砌应采取下列防瓦斯措施：

1 瓦斯隧道应采用复合式衬砌，初期支护的喷射混凝土厚度不应小于 15 cm，二次衬砌模筑混凝土厚度不应小于 40 cm；

2 衬砌应采用单层或多层全封闭结构，并选用气密性建筑材料，提高混凝土的密实性和抗渗性指标；

3 衬砌施工缝应严密封填；

4 应向衬砌背后或地层压注水泥砂浆，或采用内贴式、外贴式防瓦斯层，加强封闭。

7.3.5 通过放射性岩层的隧道，应根据放射性元素性质和放射强度，采用单层或多层全封闭衬砌结构。

7.4 明 洞

7.4.1 明洞的设置应满足下列条件：

1 洞顶覆盖薄，难以用钻爆法修建隧道的地段；

2 受坍方、落石、泥石流等威胁的地段；

3 公路、铁路、沟渠等必须在铁路上方通过，又不宜修建隧道、立交桥或渡槽等的地段；

4 为了减少隧道工程对环境的破坏，保护环境和景观，洞口段需延长者。

7.4.2 明洞的结构类型应根据地形、地质及施工条件等因素，综合比较确定。

7.4.3 明洞结构设计应符合下列规定：

1 明洞拱圈和路堑式明洞边墙、半路堑式明洞内墙可比照隧道整体式衬砌设计，半路堑式明洞外墙宜适当加厚；

2 棚式明洞盖板宜采用 T 形截面构件，内边墙宜采用重力式结构，当岩层坚固完整、无水时，可采用锚杆式边墙；外侧支承结构根据坍方落石和地基情况可选用墙式、柱式或刚架式等类

型；特殊情况下也可采用悬臂结构；

3 气温变化较大的地区，应根据具体情况设置变形缝。

7.4.4 明洞基础设计应符合下列规定：

1 拱形明洞位于软弱地基上或两侧边墙地基软硬不均时，应采取设置仰拱、整体式基础、桩基和加深基础等措施；

2 外边墙基础深度超过路基面以下 3 m 时，宜设置横向拉杆或用锚杆锚固于稳定的岩层内；若为棚式明洞的立柱，宜加设纵撑与横撑；

3 明洞受河岸冲刷影响地段，应根据情况设置防护；

4 外墙基础趾部距外侧稳固地层的边缘，应保持适当的水平距离；当地基坚硬完整时，基础可做成台阶状；

5 局部地段外墙基础设置困难时，可采用拱、梁跨越。

7.4.5 明洞顶回填土的厚度和坡度，应根据明洞的用途和要求确定。为防御落石、崩塌而设的明洞，回填土的厚度不宜小于 1.5 m。填土坡度宜为 1:1.5~1:5。

山坡有严重的危石、崩塌威胁时，应予以清除或加固处理。

7.4.6 明洞边墙背后回填，应根据明洞类型、围岩级别、设计要求和施工方法按下列要求确定：

1 衬砌设计考虑了围岩弹性反力作用时，边墙背后超挖部分应用混凝土或水泥砂浆砌片石回填；

2 衬砌设计只计墙背地层（或回填土）主动土压力时，边墙背后回填料的内摩擦角，不应小于地层的计算摩擦角或所用回填料的计算摩擦角。

7.4.7 明洞顶上的过水渡槽，其过水断面的设计，应按有关排洪、灌溉的标准办理，并注意泥石流的影响。

8 轨 道

8.0.1 隧道内轨道类型应与隧道外线路标准一致，正线轨道类型可按表 8.0.1 的规定采用。在长度大于 1000 m 的隧道内，应采用与隧道外轨道同级的耐磨钢轨。

8.0.2 隧道内可铺设无碴道床或有碴道床，特长隧道应采用无碴道床，长度 1000 m 及以上隧道，当条件适宜时，宜采用无碴道床。道床应有良好的防排水设施。

8.0.3 隧道内铺设无碴道床时应符合下列要求：

- 1 道床基底必须干燥、稳定；
- 2 无碴道床与有碴道床之间应铺设道床弹性逐渐变化的过渡段，其长度不应小于 7.5 m；
- 3 道床必须设置变形缝。

8.0.4 隧道内铺设有碴道床时应符合下列要求：

- 1 应采用一级碎石道碴；
- 2 采用单层道床时，其厚度应按隧道外石质、渗水土路基的标准铺设；
- 3 道床碴肩至边墙（或高式水沟）间应用道碴铺平；
- 4 轨枕端头至侧沟、电缆槽间的道碴宽度不应小于 20 cm；靠近道床一侧的侧沟墙身应增设构造钢筋。

表 8.0.1 正线轨道类型

项 目		单位	特重型	重 型		次重型	中 型	轻 型
运营 条件	年通过总质量	Mt	>50	25~50		15~25	8~15	<8
	路段旅客列车设计行车速度	km/h	160~120	160~120	≤120	≤120	≤100	≤80
钢 轨		kg/m	75	60	60	50	50	50
机 道 结 构	轨 枕	混凝土枕	型号	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
			铺枕根数	1667	1667	1760	1600~1680	1520~1640
	有 道 床	土 质 路 基	非渗水土路基	30	30	30	20	20
			渗水土路基	20	20	20	20	15
		石质路基	道碴	35	35	35	30	25
	无 道 床	板式轨道	道碴	30	30	—	—	—
			混凝土底座厚度	≥15				
		弹性支承块式		≥17				

注：1 年通过总质量包括净载、机车和车辆的质量，单线按往返总质量计算，双线按每一条线的通过总质量计算；
 2 年通过总质量大于 50 Mt 的线路，根据实际的运营条件，经技术经济比选可采用 60 kg/m 钢轨；
 3 设计行车速度小于 160 km/h 的改建铁路轨道，可采用Ⅱ型混凝土枕；
 4 弹性支承块式混凝土底座厚度系指支承块下混凝土厚度；
 5 特殊情况采用木枕时，铺设根数可根据设计确定。

9 附属构筑物

9.1 避车洞

9.1.1 避车洞应交错设置在隧道两侧边墙上，大避车洞之间设置小避车洞，其间距和尺寸应按表 9.1.1 规定办理，并应符合下列规定：

1 隧道长度为 300~400 m 时，可在隧道中部设一个大避车洞，长度小于 300 m 时，可不设大避车洞；

2 洞口紧接桥或路堑，当桥上无避车台、路堑侧沟无平台时，应与隧道一并考虑布置避车洞；

3 避车洞不应设于衬砌断面变化处或变形缝处；

4 旅客列车行车速度为 160 km/h 的隧道内，避车洞内应沿洞壁设置高 1.2 m 的钢制扶手。

表 9.1.1 避车洞的间距和尺寸 (m)

名 称	一 侧 间 距		尺 寸		
			宽 度	深 度	中心高度
大避车洞	有碴道床	300	4.0	2.5	2.8
	无碴道床	420			
小避车洞	有碴道床	60	2.0	1.0	2.2
	无碴道床				

注：双线隧道小避车洞每侧间距按 30 m 设置。

9.1.2 避车洞应有衬砌，其结构类型应与隧道衬砌类型相适应；避车洞底面应与道床、人行道或侧沟盖板顶面平齐。

9.2 电 缆 槽

9.2.1 隧道内应设置电缆槽。电缆槽的布置和设置条件，除应符合有关专业的要求外，尚应符合下列规定：

1 通信、信号电缆可设在一个电缆槽内，通信、信号电缆必须和电力电缆分槽敷设；

2 通信、信号电缆槽的弯曲半径不宜小于 1.2 m，电力电缆槽的弯曲半径宜为电缆外径的 6~30 倍；

3 槽底有高低差时，纵向应顺坡连接；

4 电缆槽应设盖板，盖板顶面应与避车洞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。

9.2.2 隧道长度大于 500 m 时，应在设电缆槽同侧的大避车洞内设置余长电缆腔，间距可为 420 m 或 600 m，隧道长度为 500~1000 m 时，可只在隧道中部设置一处。

9.3 其他设施

9.3.1 隧道内需设置无人增音站时，其位置可根据通信要求确定，亦可与大避车洞结合使用，但应将大避车洞加深 2.5 m。当不能结合时，应另行修建无人增音站，其尺寸宜与大避车洞相同。

9.3.2 无人增音站内应预留通信电缆出入通路和预埋接地装置（接地体），并应有防排水措施，要求做到不渗水、不漏水。

9.3.3 隧道内当需设置变压器洞、信号继电器箱洞及无线电通信电台箱洞等设备洞室时，可根据有关专业要求协商办理。

9.3.4 电力牵引的长隧道，必要时可设置存放维修接触网的绝缘梯车洞，并宜利用施工辅助坑道或避车洞修建，其间距宜为 500 m。

9.3.5 同时修建相邻双孔隧道时，宜按表 9.3.5 规定在相邻双孔隧道之间设置供巡查、维修、救援等使用的行人和行车横通道。

表 9.3.5 横通道间距和尺寸 (m)

名 称	间 距	宽 度	高 度
行人横通道	300~400	2.0	2.2
行车横通道	600~800	4.0	4.5

注：1 隧道长度为 600~800 m 时，可在隧道中部设一行人横通道，长度小于 600 m 时可不设；

2 隧道长度为 1000~1200 m 时，可在隧道中部设一行车横通道，长度小于 1000 m 时可不设。

9.3.6 I 级铁路的特长隧道和有特殊需要的长隧道，宜单独设置存放专用器材等运营养护设备的洞室，并作出明显标志。必要时，还应设置报警、消防及其他应急设施。分期修建时，隧道断面应能满足后期安装应急设施的净空要求。

9.3.7 旅客列车行车速度 160 km/h 的新建铁路隧道，应根据隧道长度及防灾救援等情况考虑设置救援通道。对有辅助坑道的隧道，应利用辅助坑道作紧急出口。

10 概率极限状态法设计

10.1 一般规定

10.1.1 本章适用于旅客列车行车速度小于或等于 140 km/h、货物列车行车速度小于或等于 80 km/h 且不运行双层集装箱列车的一般地区单线铁路隧道整体式衬砌及洞门、单线铁路隧道偏压衬砌及洞门、单线铁路拱形明洞衬砌及洞门结构的设计。

10.1.2 隧道结构应根据承载能力极限状态及正常使用极限状态的要求，分别按下列规定进行计算和验算：

1 承载力与稳定：结构构件均应进行承载能力（包括压屈失稳）的计算，必要时尚应进行结构整体稳定性计算；

2 变形：对使用上需控制变形值的结构构件，应进行变形验算；

3 抗裂及裂缝宽度：对使用上要求不出现裂缝的混凝土构件，应进行混凝土抗裂验算；对钢筋混凝土构件，应验算其裂缝宽度。

10.1.3 隧道结构的设计、施工、运营及养护应实行有效的质量管理和控制，以使结构达到并保持规定的结构可靠性或安全度。

10.1.4 计算整体式衬砌时，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在作用下的变形、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（10.1.4）计算确定：

$$\sigma = K\delta \quad (10.1.4)$$

式中 σ ——弹性反力强度；

K ——围岩弹性反力系数，无实测数据时可按本规范表 3.2.8 选用；

δ ——衬砌向围岩的变形值。

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。

10.1.5 隧道和明洞衬砌的混凝土偏心受压构件，除应按本规范第 10.2 节及第 10.3 节检算承载能力外，尚应控制其截面偏心距。其轴向力的偏心距不宜大于截面厚度的 0.45 倍；对半路堑式明洞外墙和砌体偏心受压构件，则不应大于截面厚度的 0.3 倍；基底偏心距应符合本规范表 11.3.1 的规定。

10.1.6 明洞的基底应力不得大于地基承载力设计值。半路堑单压式明洞和受力情况类似挡土墙的结构，其滑动稳定系数不应小于 1.3，倾覆稳定系数不应小于 1.5。

10.1.7 计算有仰拱的隧道和明洞衬砌，当仰拱先作时，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。

10.2 承载能力极限状态计算

10.2.1 混凝土矩形截面中心及偏心受压构件，其受压承载能力应按式 (10.2.1) 检算。

$$\gamma_{sc} N_k \leq \varphi a b h f_{ck} / \gamma_{Rc} \quad (10.2.1)$$

式中 N_k ——轴力标准值 (MN)，由各种作用标准值计算得到；

γ_{sc} ——混凝土衬砌构件抗压检算时作用效应分项系数，根据结构类型按表 10.2.1—1 采用；

γ_{Rc} ——混凝土衬砌构件抗压检算时抗力分项系数，按表 10.2.1—1 采用；

φ ——构件纵向弯曲系数，对于隧道衬砌、明洞拱圈及墙背紧密回填的边墙，可取 $\varphi = 1.0$ ；对于其他构件，应根据其长细比，按表 10.2.1—2 采用；

f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值 (MPa)，按本规范表

5.2.1 采用;

b ——截面宽度 (m);

h ——截面高度 (m);

α ——轴向力偏心影响系数, 按表 10.2.1—3 采用。

表 10.2.1—1 混凝土衬砌构件抗压检算各分项系数

结 构 类 型	单线深埋隧道衬砌	单线偏压隧道衬砌	单线明洞混凝土衬砌
作用效应分项系数 γ_{sc}	3.95	1.60	2.67
抗力分项系数 γ_{Rc}	1.85	1.83	1.35

注: 偏压衬砌的分项系数仅适用于 IV、V 级围岩。

表 10.2.1—2 混凝土构件的纵向弯曲系数

H/h	<4	4	6	8	10	12	14	16
纵向弯曲系数 φ	1.00	0.98	0.96	0.91	0.86	0.82	0.77	0.72
H/h	18	20	22	24	26	28	30	
纵向弯曲系数 φ	0.68	0.63	0.59	0.55	0.51	0.47	0.44	

注: 1 表中 H 为构件的计算长度, h 为截面短边边长 (当中心受压时) 或弯矩作用平面内的截面边长 (当偏心受压时);

2 当 H/h 为表列数值的中间值时, φ 可按插值采用。

表 10.2.1—3 偏心影响系数 α

e_0/h	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16
α	1.000	1.000	1.000	0.996	0.979	0.954	0.923	0.886	0.845
e_0/h	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34
α	0.799	0.750	0.698	0.645	0.590	0.535	0.480	0.426	0.374
e_0/h	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48		
α	0.324	0.278	0.236	0.199	0.170	0.142	0.123		

注: 1 表中 e_0 为轴向力偏心距;

2 表中 $\alpha = 1.000 + 0.648(e_0/h) - 12.569(e_0/h)^2 + 15.444(e_0/h)^3$ 。

10.2.2 受弯构件、偏心受压构件, 其受拉钢筋和受压区混凝土同时达到强度设计值时, 相对界限受压区高度 ξ_b 可按式计算:

$$\xi_b = x_b/h_0 = 0.8/[1 + f_{std}/(0.0033E_s)] \quad (10.2.2)$$

式中 ξ_b ——相对界限受压区高度；

x_b ——界限受压区高度 (m)；

h_0 ——截面有效高度 (m)；

f_{std} ——纵向受拉钢筋的抗拉强度设计值，按表 5.2.5 采用；

E_s ——钢筋的弹性模量，按本规范第 5.2.6 条的规定采用。

10.2.3 偏心受压构件计算时，应考虑构件在弯矩作用平面内挠曲对轴向力偏心距的影响，此时，应将轴向力对截面重心的初始偏心距 e_i 乘以偏心距增大系数 η 。对矩形、T 形、工字形截面偏心受压构件，偏心距增大系数可按下式计算：

$$\eta = 1 + \frac{1}{1400 \frac{e_i}{h_0}} \left(\frac{H}{h} \right)^2 \zeta_1 \zeta_2 \quad (10.2.3-1)$$

$$\zeta_1 = \frac{0.5 f_{cd} A}{N_d} \quad (10.2.3-2)$$

$$\zeta_2 = 1.15 - 0.01 \frac{H}{h} \quad (10.2.3-3)$$

式中 H ——构件的计算长度 (m)；

h ——截面高度 (m)；

A ——构件截面面积 (m^2)；

ζ_1 ——考虑偏心距对截面弯曲的影响系数，当计算所得的

$\zeta_1 > 1$ 时，取 $\zeta_1 = 1$ ；

ζ_2 ——考虑构件长细比对截面弯曲的影响系数，当 H/h

≤ 15 时，取 $\zeta_2 = 1$ ；

f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度标准值、设计值；

N_d ——按最不利荷载组合求得的轴向力设计值；

h_0 ——截面的有效高度 (m)。

对于隧道衬砌、明洞拱圈和墙背紧密回填的明洞边墙，以及当构件高度与弯矩作用平面内的截面边长之比 $H/h \leq 8$ 时，可不考虑挠度对偏心距的影响，取 $\eta = 1$ 。

偏心受压构件除应计算弯矩作用平面的受压承载力外，尚应按轴心受压构件检算垂直于弯矩作用平面的受压承载力，此时可不考虑弯矩作用，但应按表 10.2.3 考虑纵向弯曲系数的影响，将截面承载力予以折减。

表 10.2.3 钢筋混凝土构件的纵向弯曲系数

H/b	≤ 8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
φ	1.00	0.98	0.95	0.92	0.87	0.81	0.75	0.70	0.65	0.60	0.56	0.52

注：1 H 为构件计算长度，两端刚性固定时， $H = 0.5l$ ；一端刚性固定、另一端为不移动的铰时， $H = 0.7l$ ；两端均为不移动的铰时， $H = l$ ；一端刚性固定、另一端为自由端时， $H = 2l$ ； l 为构件的全长。

2 b 为矩形截面构件短边尺寸。

10.2.4 钢筋混凝土矩形截面偏心受压构件正截面强度应按下列公式计算（图 10.2.4）：

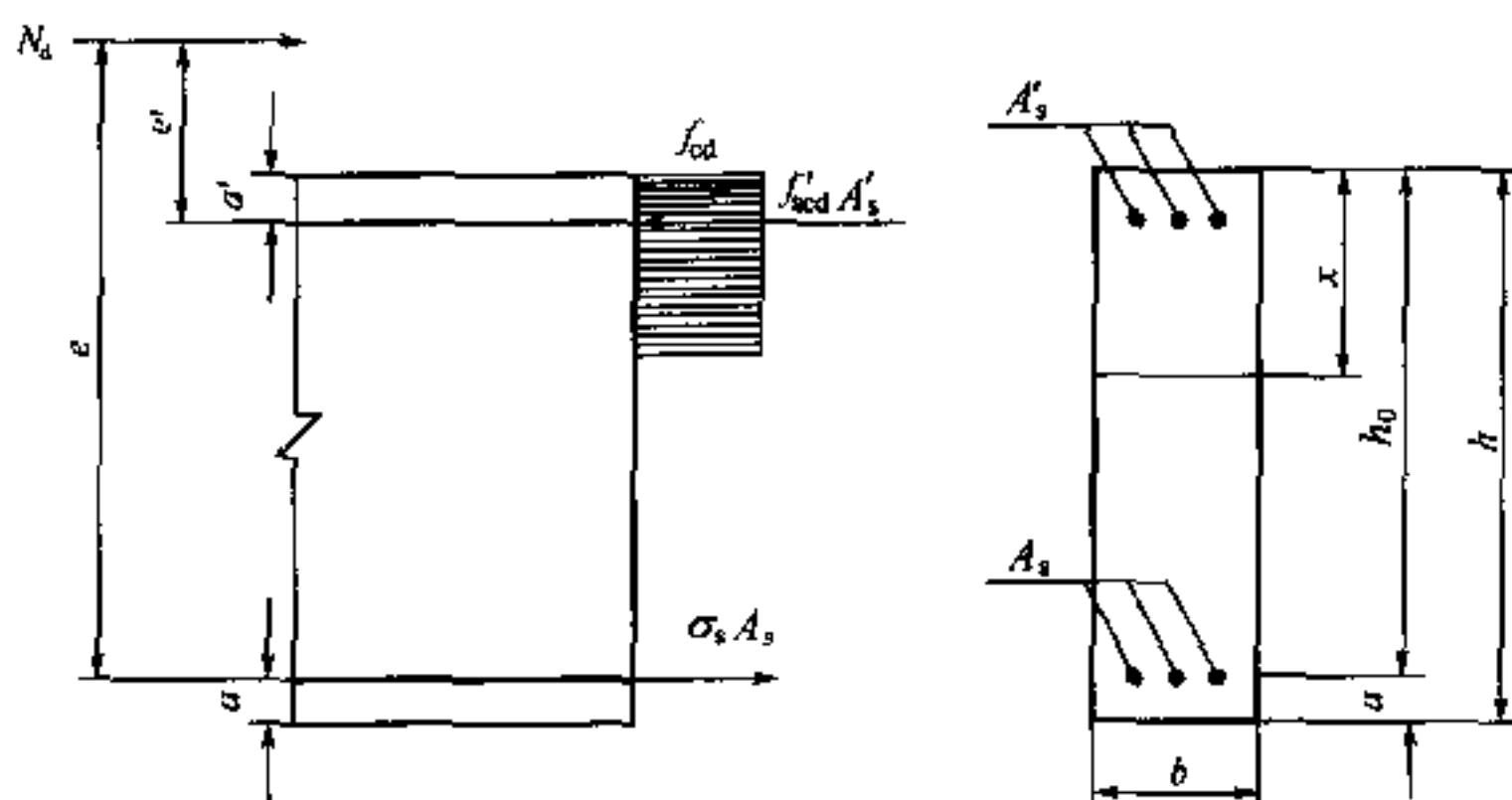


图 10.2.4 矩形截面偏心受压构件正截面

$$N_d \leq f_{cmd} b x + f_{scd} A'_s - \sigma_s A_s \quad (10.2.4-1)$$

$$N_d e \leq f_{cmd} b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f_{scd}' A_s' (h_0 - a') \quad (10.2.4-2)$$

$$e = \eta e_i + y_{sp} \quad (10.2.4-3)$$

$$e_i = e_0 + e_s \quad (10.2.4-4)$$

式中 N_d ——按最不利荷载组合求得的轴向力设计值, $N_d = \gamma_s N_k$, 其中 γ_s 按表 10.2.4 采用;

表 10.2.4 钢筋混凝土衬砌构件抗压检算分项系数

结构类型	单线深埋隧道衬砌	单线偏压隧道衬砌	单线明洞混凝土衬砌
分项系数 γ_s	1.80	1.60	1.60

注: 偏压衬砌的分项系数仅适用于 IV、V 级围岩。

N_k ——按最不利荷载组合求得的轴向力标准值 (MN);

f_{cmd} ——混凝土弯曲抗压强度设计值 (MPa), 按表 5.2.2 采用;

f_{std}, f_{scd}' ——钢筋的抗拉、抗压强度设计值 (MPa), 按表 5.2.5 采用;

e ——轴向力作用点至受拉边钢筋 A_s 的合力点的距离 (m);

b ——构件截面宽度 (m);

h_0 ——构件截面有效高度, $h_0 = h - a$, h 为截面高度 (m);

A_s, A_s' ——受拉区、受压区的钢筋截面面积 (m^2);

a ——受拉区钢筋合力点至截面近边的距离 (m);

a' ——受压区钢筋合力点至截面近边的距离 (m);

η ——考虑挠度影响的轴向力偏心距增大系数, 按第 10.2.3 条的规定计算;

e_i ——初始偏心距 (m);

e_0 ——轴向力对截面重心的偏心距 (m);

y_{sp} ——自截面重心至 A_s 合力点的距离 (m);

e_s ——附加偏心距 (m), $e_s = 0.12(0.3h_0 - e_0)$, 当 $e_0 \geq 0.3h_0$ 时, 取 $e_s = 0$;

σ_s ——钢筋 A_s 的应力 (MPa)。

混凝土受压区高度 x 可按下列式确定:

$$f_{cmd}bx \left(e - h_0 + \frac{x}{2} \right) \pm f_{scd}' A_s' e' - f_{std} A_s e = 0 \quad (10.2.4-5)$$

式中 e' ——轴向力作用点至纵向受压钢筋合力点的距离 (m)。

当 N_d 作用于 A_s 与 A_s' 的重心之间时, 公式中“ $\pm$ ”取“+”, 否则取“-”。

按本条进行检算时, 需首先判别大小偏心。

1 当 $x \leq x_b$ 时称为大偏心受压构件, 此时式 (10.2.4-1) 中 $\sigma_s = f_{std}$ 。

2 当 $x > x_b$ 时称为小偏心受压构件, 此时式 (10.2.4-1) 中 σ_s 可按下列式计算:

$$\sigma_s = \frac{f_{std}}{\xi_b - 0.8} \left(\frac{x}{h_{0i}} - 0.8 \right) \quad (10.2.4-6)$$

式中 h_{0i} ——第 i 层钢筋截面重心至混凝土受压区边缘的距离 (m)。

3 当 $x > h$ 时, 式 (10.2.4-1) 及式 (10.2.4-2) 中取 $x = h$, σ_s 仍按求出的 x 进行计算。

4 对小偏心受压构件, 尚应按下式核算:

$$N_d \left[\frac{h}{2} - a' - (e_0 - e_s) \right] \leq f_{cmd} b h \left(\frac{h}{2} - a' \right) + f_{scd}' A_s (h_0 - a') \quad (10.2.4-7)$$

5 矩形截面对称配筋的钢筋混凝土小偏心受压构件, 也可按下列近似公式计算钢筋截面面积:

$$A_s = A_s' = \frac{N_d e - \xi(1 - 0.5\xi) f_{cmd} b h_0^2}{f_{scd}' (h_0 - a')} \quad (10.2.4-8)$$

此处, 相对受压区高度可按下式计算:

$$\xi = \frac{N_d - \xi_b f_{cmd} b h_0}{\frac{N_d e - 0.45 f_{cmd} b h_0^2}{(0.8 - \xi_b)(h_0 - a')} + f_{cmd} b h_0} + \xi_b \quad (10.2.4-9)$$

10.3 正常使用极限状态计算

10.3.1 从抗裂要求出发, 隧道和明洞衬砌的混凝土矩形偏心受压构件, 其抗裂承载能力应按式 (10.3.1) 检算。

$$\gamma_{st} N_k (6e_0 - h) \leq 1.75 \varphi b h^2 \cdot \frac{f_{ctk}}{\gamma_{Rt}} \quad (10.3.1)$$

式中 N_k ——轴力标准值 (MN), 由各种作用标准值计算得到;

γ_{st} ——混凝土衬砌构件抗裂检算时的作用效应分项系数, 根据结构类型按表 10.3.1 选用;

γ_{Rt} ——混凝土衬砌抗裂检算时的抗力分项系数, 根据结构类型按表 10.3.1 选用;

表 10.3.1 混凝土衬砌构件抗裂检算各分项系数

结 构 类 型	单线深埋隧道衬砌	单线偏压隧道衬砌	单线明洞混凝土衬砌
作用效应分项系数 γ_{st}	3.10	1.40	1.52
抗力分项系数 γ_{Rt}	1.45	2.51	2.70

注: 1 当 $e_0/h \leq 1/6$ 时, 可不进行抗裂检算;

2 偏压衬砌分项系数仅适用于 IV、V 级围岩。

e_0 ——检算截面偏心距 (m);

b ——截面宽度 (m);

h ——截面高度 (m);

φ ——构件纵向稳定系数, 对于隧道衬砌、明洞拱圈及墙背紧密回填的边墙, 可取 1.0; 对于其他构件, 应根据其长细比, 按表 10.2.1—2 选用;

f_{ctk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值, 按本规范表 5.2.1 采用。

10.3.2 钢筋混凝土衬砌结构构件，按作用基本组合所求得的最大裂缝宽度，不应大于 0.2 mm。

10.3.3 钢筋混凝土受拉、受弯和偏心受压构件，其最大裂缝宽度可按式 (10.3.3) 计算，对 $e_0 \leq 0.55h_0$ 的偏心受压构件，可不检算裂缝宽度。

$$w_{\max} = \alpha\psi\gamma(1.9C_s + 0.08d/\rho_{te})\sigma_s/E_s \quad (10.3.3)$$

式中 $w_{\max}$ ——最大裂缝宽度 (mm)；

α ——构件受力特征系数，对轴心受拉构件取 $\alpha = 2.7$ ，对受弯和偏心受压构件取 $\alpha = 2.1$ ，对偏心受拉构件取 $\alpha = 2.4$ ；

ψ ——裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数， $\psi = 1.1 - 0.65f_{ck}/(\rho_{te}\sigma_s)$ ，其中 ρ_{te} 为按有效受拉混凝土面积计算的纵向受拉钢筋配筋率，即 $\rho_{te} = A_s/A_{ce}$ ；当 $\rho_{te} < 0.01$ 时，取 $\rho_{te} = 0.01$ （当 $\psi < 0.4$ 时，取 $\psi = 0.4$ ；当 $\psi > 1.0$ 时，取 $\psi = 1.0$ ；对直接承受重复荷载的构件，取 $\psi = 1.0$ ）；

A_s ——受拉区纵筋截面面积；

A_{ce} ——有效受拉混凝土截面面积：对受拉构件取构件截面面积；对受弯、偏心受压和偏心受拉构件取 $A_{ce} = 0.5bh + (b_f - b)h_f$ ；对矩形截面取 $A_{ce} = 0.5bh$ （ b 、 h 分别为混凝土截面的高度及宽度）；

γ ——纵向受拉钢筋表面特征系数，变形钢筋取 0.7，光面钢筋取 1.0；

C_s ——最外层纵向受拉钢筋外边缘至受拉区底边的距离 (mm)，当 $C_s < 20$ 时，取 $C_s = 20$ ；当 $C_s > 65$ 时，取 $C_s = 65$ ；

d ——钢筋直径 (mm)，当采用不同直径钢筋时， $d = 4A_s/u$ ，此处 u 为纵向受拉钢筋截面周长的总和；

σ_s ——纵向受拉钢筋的应力 (MPa), 按本规范第 10.3.4 条计算;

E_s ——钢筋的弹性模量 (MPa), 按本规范第 5.2.6 条采用。

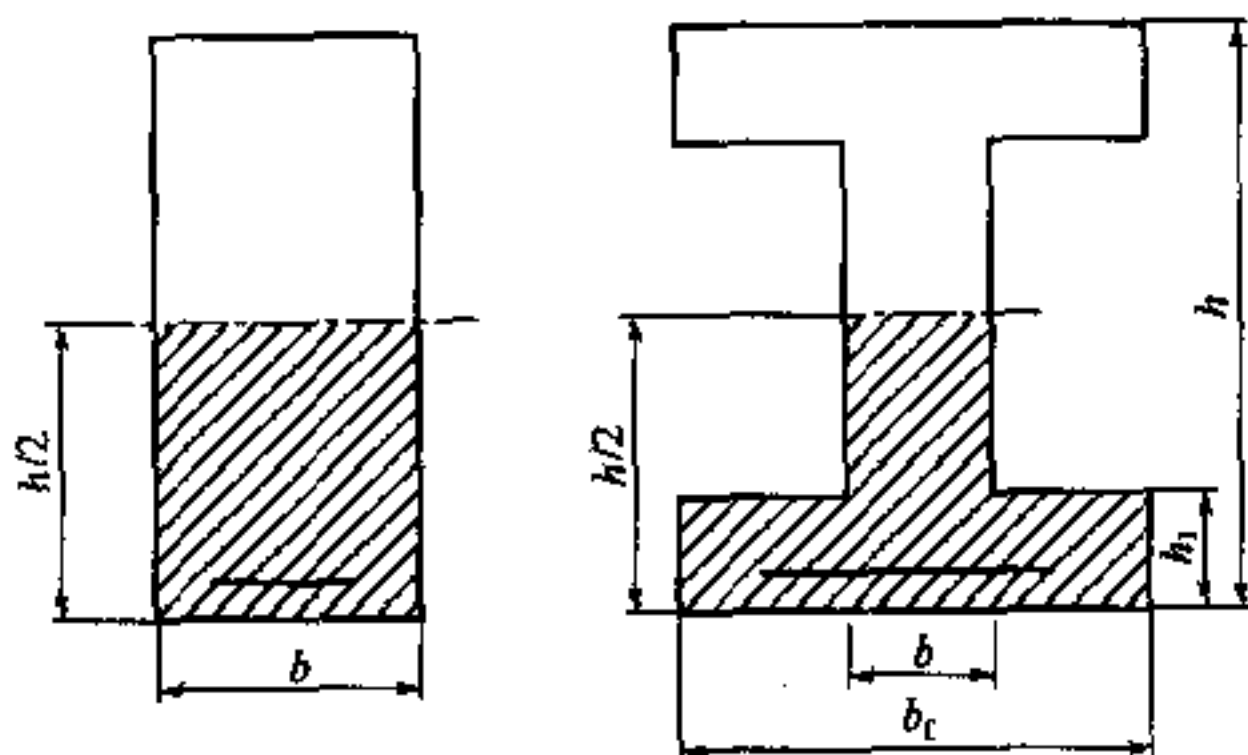


图 10.3.3 有效受拉混凝土截面面积

10.3.4 裂缝宽度检算时, 钢筋混凝土构件纵向受拉钢筋应力按下列公式计算:

1 受弯构件 $\sigma_s = M_s / (0.87 h_0 A_s)$ (10.3.4—1)

2 偏心受压构件 $\sigma_s = N_s (e - z) / (A_s z)$ (10.3.4—2)

3 轴心受拉构件 $\sigma_s = N_s / A_s$ (10.3.4—3)

4 偏心受拉构件 $\sigma_s = N_s e' / [A_s (h_0 - a_s')]$ (10.3.4—4)

式中 M_s, N_s ——按荷载组合计算出的弯矩值与轴力值 (MN·m, MN);

A_s ——受拉区纵向钢筋截面面积 (m²);

e ——轴向压力作用点至纵向受拉钢筋合力点之间的距离 (m), 按式 (10.2.4—3) 计算;

z ——纵向受拉钢筋合力点至受压区合力点之间的距离 (m), $z = [0.87 - 0.12(h_0/e)^2]h_0$, 且 $z < 0.87h_0$;

a_s' ——纵向钢筋受压钢筋合力点至截面近边的距离 (m);

e' ——轴向拉力作用点至纵向受压钢筋合力点的距离 (m);

h_0 ——截面有效高度 (m)。

10.3.5 对于受弯构件, 按作用基本组合计算的最大挠度值不应大于表 10.3.5 规定的允许值。

表 10.3.5 受弯构件的允许挠度

构件类型		允许挠度
梁、板构件	当 $l_0 \leq 5\text{m}$ 时	$l_0/250$
	当 $5\text{m} < l_0 \leq 8\text{m}$ 时	$l_0/300$
	当 $l_0 > 8\text{m}$ 时	$l_0/400$

注: l_0 为受弯构件的计算跨度。

10.3.6 钢筋混凝土受弯构件在各种荷载组合作用下的变形 (挠度和转角), 可根据给定的刚度按材料力学的方法计算。

10.4 洞门计算

10.4.1 洞门墙 (包括隧道门和明洞门) 可视作挡土墙, 除应检算其强度、基底应力及稳定性外, 还应控制其截面和基底的偏心距。计算时, 设计参数应按现场试验资料采用。当缺乏试验资料时, 亦可按表 10.4.1 规定采用。

表 10.4.1 洞门墙设计参数

仰坡坡度	计算摩擦角 φ_c	地层重度 γ (kN/m ³)	基底摩擦系数 f
1:0.5	70°	25	0.6~0.7
1:0.75	60°	24	0.5
1:1	50°	20	0.45
1:1.25	43°~45°	18	0.4
1:1.5	38°~40°	17	0.35~0.4

10.4.2 钢筋混凝土洞门墙的截面最小配筋率应符合本规范表 10.5.5 的规定。选择截面时钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值 n 应采用 15。

10.4.3 洞门墙墙身的强度及地基承载能力可按下列要求检算：

1 洞门墙墙身抗压承载力按下式检算：

$$\gamma_s N_k \leq 0.7 \Phi A f_{ck} / \gamma_{Rc} \quad (10.4.3-1)$$

式中 γ_s ——墙身抗压检算作用效应分项系数，取 1.10；

N_k ——截面轴向力标准值 (MN)；

A ——截面面积 (m²)；

Φ ——承载力影响系数， $\Phi = 1 / [1 + 12(e_0/t)^2]$ ；

e_0 ——检算截面偏心距 (m)；

t ——墙身厚度 (m)；

f_{ck} ——洞门墙墙身材料轴心抗压强度标准值，混凝土按表 5.2.1 采用；

γ_{Rc} ——洞门墙墙身材料抗压强度分项系数，取 $\gamma_{Rc} = 1.03$ 。

2 洞门墙墙身抗裂承载力按下式检算：

$$\gamma_s \left[\frac{2G}{bt} - \frac{6}{bt^2} (Gd_g - \gamma_e e_k d_e) \right] \leq \frac{f_{tk}}{\gamma_{Rt}} \quad (10.4.3-2)$$

式中 γ_s ——墙身抗裂检算作用效应分项系数，取 $\gamma_s = 1.10$ ；

G ——计算条带墙重 (MN)；

b ——洞门计算条带宽度 (m)；

t ——检算截面厚度 (m)；

d_g ——重力作用线至检算截面前缘距离 (m)；

e_k ——土压力的标准值 (MN)；

γ_e ——土压力的分项系数，按表 10.4.3 采用；

d_e ——土压力作用线至墙趾的距离 (m)；

f_{tk} ——洞门墙材料抗拉强度标准值，混凝土采用表 5.2.1 之值；

表 10.4.3 计算单线隧道门和明洞门的土压力计算分项系数

计算项目	抗压极限状态		抗裂极限状态	稳定性极限状态	
	墙身抗压	地基承载力	墙身抗裂	基底抗倾覆	基底抗滑动
分项系数 γ_e	2.56	2.30	2.21	2.52	2.07

γ_{Rt} ——洞门墙材料抗拉强度分项系数, 取 $\gamma_{Rt}=0.7$;

其余符号意义同前。

3 洞门墙的地基承载力按下式检算:

$$\gamma_s \left(\frac{G}{A} + \frac{Gd_g - \gamma_e e_k d_e}{W} \right) \leq \frac{p_k}{\gamma_p} \quad (10.4.3-3)$$

式中 γ_s ——地基承载能力检算作用效应分项系数, 取 $\gamma_s=1.01$;

p_k ——地基承载力标准值, 按地基实际承载力确定或查表 10.4.5—1~2;

γ_p ——地基承载力分项系数, 取 $\gamma_p=1.12$;

W ——基础底面的抵抗矩 (m^3);

其余符号意义同前。

10.4.4 洞门墙稳定性可按下列要求检算:

1 倾覆稳定按下式检算:

$$\gamma_e e_k d_e \leq Gd_g / \gamma_g \quad (10.4.4-1)$$

式中 γ_g ——洞门材料重度分项系数, 取 1.0;

其余符号意义同前。

2 滑动稳定按下式检算:

$$\gamma_e e_k \leq f_k G / \gamma_f \quad (10.4.4-2)$$

式中 f_k ——地基摩擦系数标准值, 按表 10.4.1 采用;

γ_f ——地基摩擦系数的分项系数, 取 $\gamma_f=1.04$;

其余符号意义同前。

10.4.5 当根据野外鉴别结果确定地基承载能力标准值时, 应符合表 10.4.5—1 及表 10.4.5—2 的规定。

表 10.4.5—1 岩石地基承载力标准值 (MPa)

风化程度 岩石类别	强风化	中等风化	微风化
硬质岩	0.5~1.0	1.5~2.5	≥ 4.0
软质岩	0.2~0.5	0.7~1.2	1.5~2.0

注: 1 对于微风化的硬质岩石, 如取其承载力大于 4.0MPa 时, 应由试验确定;
2 对于强风化的岩石, 当与残积土难于区分时, 可按土考虑。

表 10.4.5—2 碎石类土地基承载力标准值 (MPa)

密实程度 土的名称	稍 密	中 密	密 实
卵石土	0.30~0.50	0.50~0.80	0.80~1.00
碎石土	0.25~0.40	0.40~0.70	0.70~0.90
圆砾土	0.20~0.30	0.30~0.50	0.50~0.70
角砾土	0.20~0.25	0.25~0.40	0.40~0.60

注: 1 表中数值适用于骨架颗粒空隙全部由中砂、粗砂或硬塑、坚硬状态的黏性土或稍湿的粉土所填充;
2 当粗颗粒为中等风化或强风化时, 可按其风化程度适当降低承载力; 当颗粒间呈半胶结时, 可适当提高承载力。

10.4.6 洞门墙身截面偏心距不应大于 0.3 倍截面厚度。对于岩石地基, 基底偏心距不应大于 1/4 基底厚度, 对于土质地基, 基底偏心距不应大于 1/6 基底厚度。

10.4.7 隧道门土压力的计算应符合本规范附录 D 的规定。

10.5 构造要求

10.5.1 承受荷载的隧道建筑物各部结构截面最小厚度不应小于表 10.5.1 的规定。

10.5.2 混凝土基础台阶的坡线和竖直线之间的夹角不应大于 45°。

10.5.3 钢筋混凝土构件中外侧钢筋的混凝土净保护层最小厚度应符合表 10.5.3 的规定。

表 10.5.1 截面最小厚度 (cm)

建筑材料种类	隧道和明洞衬砌	洞门端墙、翼墙和洞口挡土墙
混 凝 土	20	30
片石混凝土	—	50

表 10.5.3 混凝土保护层最小厚度 (cm)

构件厚度	保 护 层 最 小 厚 度	
	非侵蚀性环境	侵蚀性环境
< 15	1	1.5
15~30	3	3.5
31~50	3.5	4
> 50	4	5

注：明洞和洞门，可采用非侵蚀性环境栏内数值。

10.5.4 受拉区域的钢筋可单根或 2~3 根成束布置，钢筋的净距不得小于 d (d 为钢筋的直径，螺纹钢筋 d 为钢筋的计算直径) 或 30 mm。当钢筋 (包括成束钢筋) 层数等于或多于 3 层时，其净距横向不得小于 $1.5d$ 或 45 mm，竖向仍不得小于 d 或 30 mm。

光面钢筋端部半圆形弯钩的内径不得小于 $2.5d$ (直钩的半径也不得小于 $2.5d$)，并应在钩的端部留一直段，其长度不得小于 $3d$ (图 10.5.4)。

上述有关直钩的规定，也适用于螺纹钢筋。

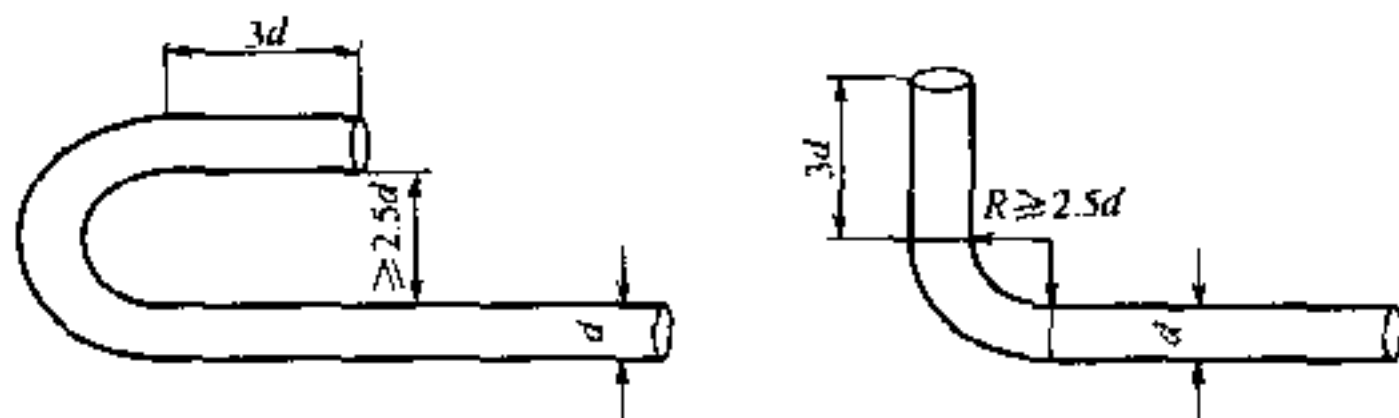


图 10.5.4 钢筋标准弯钩

10.5.5 钢筋混凝土结构构件中纵向受力钢筋的截面最小配筋率不应低于表 10.5.5 规定的数值。

表 10.5.5 钢筋混凝土构件中纵向受力钢筋的最小配筋率 (%)

受 力 类 型		最 小 配 筋 率
受压构件	全部纵向钢筋	0.60
	一侧纵向钢筋	0.20
受弯构件、偏心受拉、轴心受拉构件一侧的受拉钢筋		0.2 或 $45f_{ctd}/f_{sd}$ 中的较大值

- 注：1 偏心受拉构件中的受压钢筋，应接受压构件一侧纵向钢筋考虑；
 2 受压构件的全部纵向钢筋和一侧纵向钢筋的配筋率以及轴心受拉构件和小偏心受拉构件一侧受拉钢筋的最小配筋率应按构件的全截面面积计算；受弯构件、大偏心受拉构件一侧受拉钢筋最小配筋率按全截面面积扣除受压翼缘面积 $(b'_f - b)h'_f$ 后的截面面积计算；
 3 当温度、收缩等因素对结构产生较大影响时，构件的最小配筋百分率应适当增加；
 4 当钢筋沿构件截面周边布置时，“一侧纵向钢筋”系指沿受力方向两个对边中的一边布置的纵向钢筋。

10.5.6 钢筋的弯起及锚固应符合下列规定：

1 钢筋的弯起：

当纵向受力钢筋需弯起时，弯起钢筋的弯终点 B 处应留有锚固长度，该长度在受拉区不应小于 $20d$ ，在受压区不应小于 $10d$ ，光面钢筋在端部尚应设弯钩。

位于梁底层两侧的钢筋不应弯起。

弯起钢筋的弯起角，对于梁宜为 45° 或 60° ，对于板不宜小于 30° 。

弯起钢筋弯曲最小半径 R (示于图 10.5.6)，

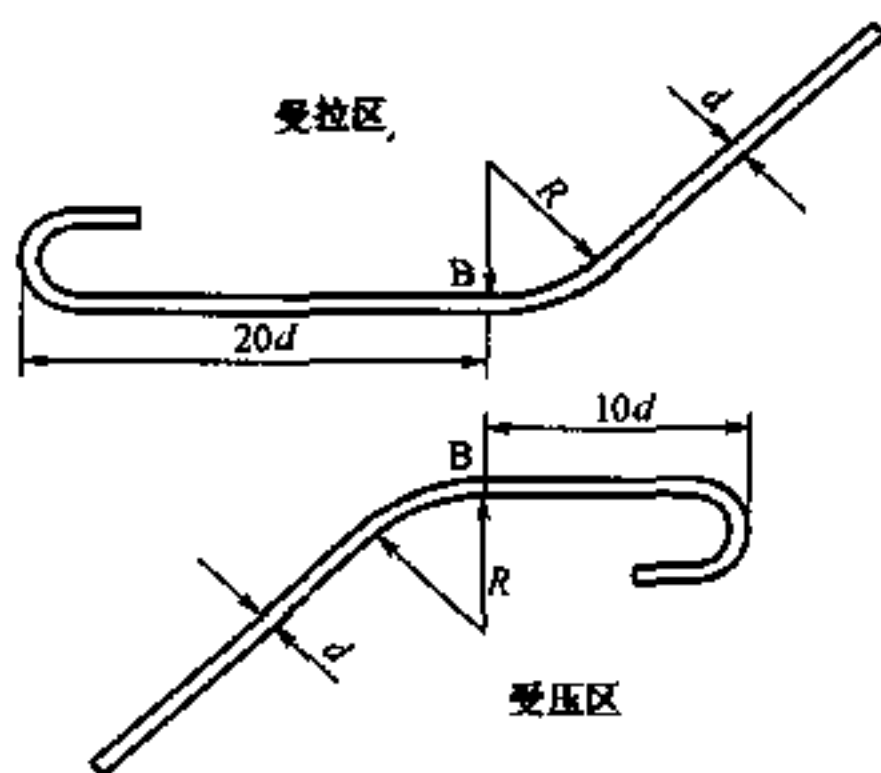


图 10.5.6 弯起钢筋端部构造

对于 HPB235 (Q235) 钢筋应为 $10d$ ，对于 HRB335 (20MnSi) 钢筋应为 $12d$ (d 为钢筋直径)。

2 钢筋的锚固长度应符合表 10.5.6 的规定。

表 10.5.6 钢筋的锚固规定

锚固条件 \ 钢筋类别		HPB235 (Q235) 光面钢筋	HRB335 (20MnSi) 螺纹钢
受压钢筋自不受力处算起的锚固长度	$\geq 30d$	不设弯钩	—
	$< 30d$	$10d$ 加直钩	—
	$\geq 20d$	—	不设弯钩
	$< 20d$	—	$10d$ 加直钩
受拉构件的钢筋按粘结力计算的锚固长度	在无横向压力区域	$30d$ 加半圆钩	$20d$ 加直钩
	在有横向压力区域	$15d$ 加半圆钩	$10d$ 加直钩
受弯构件、偏心受压构件的受拉钢筋自不受力处起算的锚固长度	在压力区	$10d$ 加直钩	$10d$ 不设弯钩
	在拉力区 (在困难情况下)	$20d$ 加半圆钩	$20d$ 加直钩
弯起钢筋当伸到压力区的长度	$\geq 20d$	不设与纵筋平行的直段，端部采用直钩	不设与纵筋平行的直段，且不设弯钩
	$< 20d$	设与纵筋平行长度为 $10d$ 的直段，并加直钩	设与纵筋平行长度为 $15d$ 的直段，且不设弯钩

10.5.7 轴心受压构件的配筋构造应符合下列规定：

1 仅受轴心压力并配有纵筋及一般箍筋的构件

- 1) 纵筋截面积不应小于构件截面积的 0.6%，也不宜大于 3%；
- 2) 纵筋的直径不宜小于 12 mm；
- 3) 箍筋的间距不应超过纵筋直径的 15 倍，也不应大于构件横截面的最小尺寸；
- 4) 箍筋的直径不应小于纵筋直径的 1/4，也不应小于

6 mm。

2 当采用螺纹钢筋时

- 1) 纵筋的截面积不应小于螺旋圈内核心面积的 0.6%；
- 2) 核心截面积不应小于构件截面积的 $2/3$ ；
- 3) 螺纹钢筋的螺距不应大于核心直径的 $1/5$ ，也不应大于 80 mm；
- 4) 螺纹钢筋换算截面不应小于纵筋的截面积，也不应超过该截面积的 3 倍；
- 5) 纵筋截面积与螺纹钢筋换算截面积之和不应小于该截面积的 10%。

10.5.8 钢筋连接应符合下列规定：

1 直径大于 25 mm 的光面钢筋以及所有螺纹钢筋的接头均应采用焊接。

2 直径较小的光面钢筋可以采用搭接，此时钢筋端部应弯成半圆形弯钩，两钩切点间的距离对受拉钢筋不得小于 $30d$ ，对受压钢筋不得小于 $20d$ ，在搭接范围内应用铁丝捆扎。

3 焊接接头的抗拉强度不应低于钢筋本身的强度。

10.5.9 钢筋的直径和间距应符合表 10.5.9—1~3 的要求。

表 10.5.9—1 柱中钢筋的直径和间距 (mm)

类 别	直 径 d	间 距
纵向受力钢筋 (主筋)	≥ 12	净距 ≥ 50 中距 ≤ 350
箍 筋	≥ 6 $\geq d/4$ (d 为主筋中的最大直径) 纵向钢筋配筋率 $> 3\%$ 时， ≥ 8	≤ 400 ； $\leq$ 截面的短边尺寸； $\leq 15d$ (绑扎骨架中) 或 $\leq 20d$ (焊接骨架中)， d 为纵筋中最小直径； 在绑扎的搭接接头 l_d 长度范围内，当搭接钢筋为受压时， $\leq 10d$ ，且 ≤ 200 (d 为主筋中最小直径)
构造钢筋	偏心受压柱，当截面高度 $h \geq 600$ mm 时，应在柱长边设置纵向构造钢筋， $d = 10 \sim 16$ ，间距 ≤ 500	

表 10.5.9—2 板中钢筋的直径和间距 (mm)

类 别	直 径 d	间 距
纵向受力钢筋 (主筋)	受力钢筋常用 6, 8, 10	板厚 $h \leq 150$ mm 时, ≤ 200 ; $h > 150$ mm 时, $\leq 1.5h$, 且不应大于 300
构造钢筋	分布钢筋常用 $d \geq 6$, 间距 ≤ 200	

表 10.5.9—3 梁中钢筋的直径和间距 (mm)

类 别	直 径 d	间 距
纵向受力 钢筋(主筋)	梁高 $h < 300$ mm 时, ≥ 6 ; $h \geq 300$ mm 时, ≥ 10	净距 $\geq d$, 同时下部钢筋 ≥ 25 mm, 上部钢筋 ≥ 30 mm。下部钢筋多于两排时, 其横向中距应是下面两排中距的 2 倍
箍 筋	梁高 $h \leq 250$ mm 时, ≥ 4 ; 250 mm $< h \leq 800$ mm 时, ≥ 6 ; $h > 800$ mm 时, ≥ 8 ; 配有计算的受压钢筋时, $\geq d/4$ (d 为受压钢筋中的最大直径)	梁高 150 mm $< h \leq 300$ mm 时, 150~200; 300 mm $< h \leq 500$ mm 时, 200~300; 500 mm $< h \leq 800$ mm 时, 250~350; $h > 800$ mm 时, 300~500; $V > 0.07f_c b h_0 + 0.05N_{p0}$ 时取小值, 反之取大值 (式中 V 为剪力设计值; N_{p0} 为混凝土法向预应力等于零时预应力钢筋及非预应力钢筋的合力; f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值)
构造钢筋	1 架立钢筋, 梁跨 $l < 4$ m 时, $d \geq 6$; $l = 4 \sim 6$ m 时, $d \geq 8$; $l > 6$ m 时, $d \geq 10$; 2 梁侧构造钢筋及拉筋, 梁高 $h > 700$ mm 时, 在梁两侧面沿高度每隔 300~400 mm 应设一根 $d \geq 10$ 的构造钢筋, 并以拉筋联系。拉筋直径一般与箍筋同, 间距 500~700 mm, 常为箍筋间距的倍数	

注: 当按计算需设置弯起钢筋时, 前一排 (对支座而言) 的弯起点至后一排的弯终点的距离不应大于上表中 $V > 0.07f_c b h_0 + 0.05N_{p0}$ 时的箍筋间距。

11 破损阶段法和容许应力法设计

11.1 一般规定

11.1.1 隧道和明洞衬砌按破损阶段检算构件截面强度时, 根据结构所受的不同荷载组合, 在计算中应分别选用不同的安全系数, 并不应小于表 11.1.1—1 和表 11.1.1—2 所列数值。按所采用的施工方法检算施工阶段强度时, 安全系数可采用表列“主要荷载+附加荷载”栏内数值乘以折减系数 0.9。

表 11.1.1—1 混凝土和砌体结构的强度安全系数

材料种类		混 凝 土		砌 体	
荷 载 组 合		主要荷载	主要荷载+附加荷载	主要荷载	主要荷载+附加荷载
破坏原因	混凝土或砌体达到抗压极限强度	2.4	2.0	2.7	2.3
	混凝土达到抗拉极限强度	3.6	3.0	—	—

表 11.1.1—2 钢筋混凝土结构的强度安全系数

荷 载 组 合		主要荷载	主要荷载+附加荷载
破坏原因	钢筋达到计算强度或混凝土达到抗压或抗剪极限强度	2.0	1.7
	混凝土达到抗拉极限强度	2.4	2.0

11.1.2 计算隧道整体式衬砌及明洞时, 应考虑围岩对衬砌变形的约束作用, 可按本规范第 10.1.4 条办理。

11.1.3 喷锚衬砌和复合式衬砌的初期支护, 宜按工程类比法确定衬砌设计参数; 施工期间应通过监控量测进行修正。对地质复

杂、大跨度、多跨度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。

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，按构造要求设计；在Ⅳ～Ⅵ级围岩，应按承载结构设计。

11.1.4 喷锚衬砌和复合式衬砌初期支护的稳定性，应按监控量测得到的总位移量与极限位移量比较和位移变化趋势进行判别。极限位移应根据围岩地质条件、断面特征及施工方法等因素分析确定。采用本规范表 7.2.1—2 及表 7.2.1—3 中参数设计的初期支护，其极限相对位移可参照附录 F 选用。

11.1.5 隧道和明洞衬砌的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 0.30 倍。基底偏心距应符合本规范表 11.3.1 的规定。

11.1.6 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本规范表 11.3.1 的规定。

11.1.7 计算隧道和明洞有仰拱的衬砌时，仰拱作用的考虑应符合本规范第 10.1.7 条的规定。

11.1.8 隧道建筑物各部分的构造要求，应符合本规范第 10.5 节的规定及下列要求：

1 当梁高 $h > 800 \text{ mm}$ 时，梁中箍筋间距取 $300 \sim 500 \text{ mm}$ ($KQ > 0.07R_a b h_0$ 时取小值，反之取大值)。

2 当按计算需设置弯起钢筋时，前一排（对支座而言）的弯起点至后一排的弯终点的距离不应大于上款 $KQ > 0.07R_a b h_0$ 时的箍筋间距。

11.2 衬砌计算

11.2.1 混凝土和砌体矩形截面中心及偏心受压构件的抗压强度

应按下式计算:

$$KN \leq \varphi \alpha R_a b h \quad (11.2.1)$$

式中 R_a ——混凝土或砌体的抗压极限强度, 可分别按本规范表 5.3.1 或表 5.3.7 采用;

K ——安全系数, 按本规范表 11.1.1—1 采用;

N ——轴向力 (MN);

b ——截面的宽度 (m);

h ——截面的厚度 (m);

φ ——构件的纵向弯曲系数: 对于隧道衬砌、明洞拱圈及墙背紧密回填的边墙, 可取 $\varphi = 1.0$; 对于其他构件, 应根据其长细比按本规范表 10.2.1—1 采用;

α ——轴向力的偏心影响系数, 按本规范表 10.2.1—3 采用。

11.2.2 从抗裂要求出发, 混凝土矩形截面偏心受压构件的抗拉强度应按下式计算:

$$KN \leq \varphi \frac{1.75 R_l b h}{\frac{6e_0}{h} - 1} \quad (11.2.2)$$

式中 R_l ——混凝土的抗拉极限强度, 按本规范表 5.3.1 采用;

e_0 ——截面偏心距 (m);

其他符号意义同前。

注: 计算表明, 对混凝土矩形截面构件, 当 $e_0 \leq 0.20h$ 时, 系抗压强度控制承载力, 按式 (11.2.1) 计算。

11.2.3 钢筋混凝土受弯构件的截面强度, 应按下列公式计算 (图 11.2.3):

1 受压区面积为矩形时

$$KM \leq R_w b x (h_0 - x/2) + R_g A'_g (h_0 - a') \quad (11.2.3-1)$$

此时, 中性轴的位置按下式确定:

$$R_g(A_g - A'_g) = R_w b x \quad (11.2.3-2)$$

2 受压区面积为 T 形时

$$KM \leq R_w [bx(h_0 - x/2) + 0.8(b'_i - b)h'_i(h_0 - h'_i/2)] + R_g A'_g(h_0 - a') \quad (11.2.3-3)$$

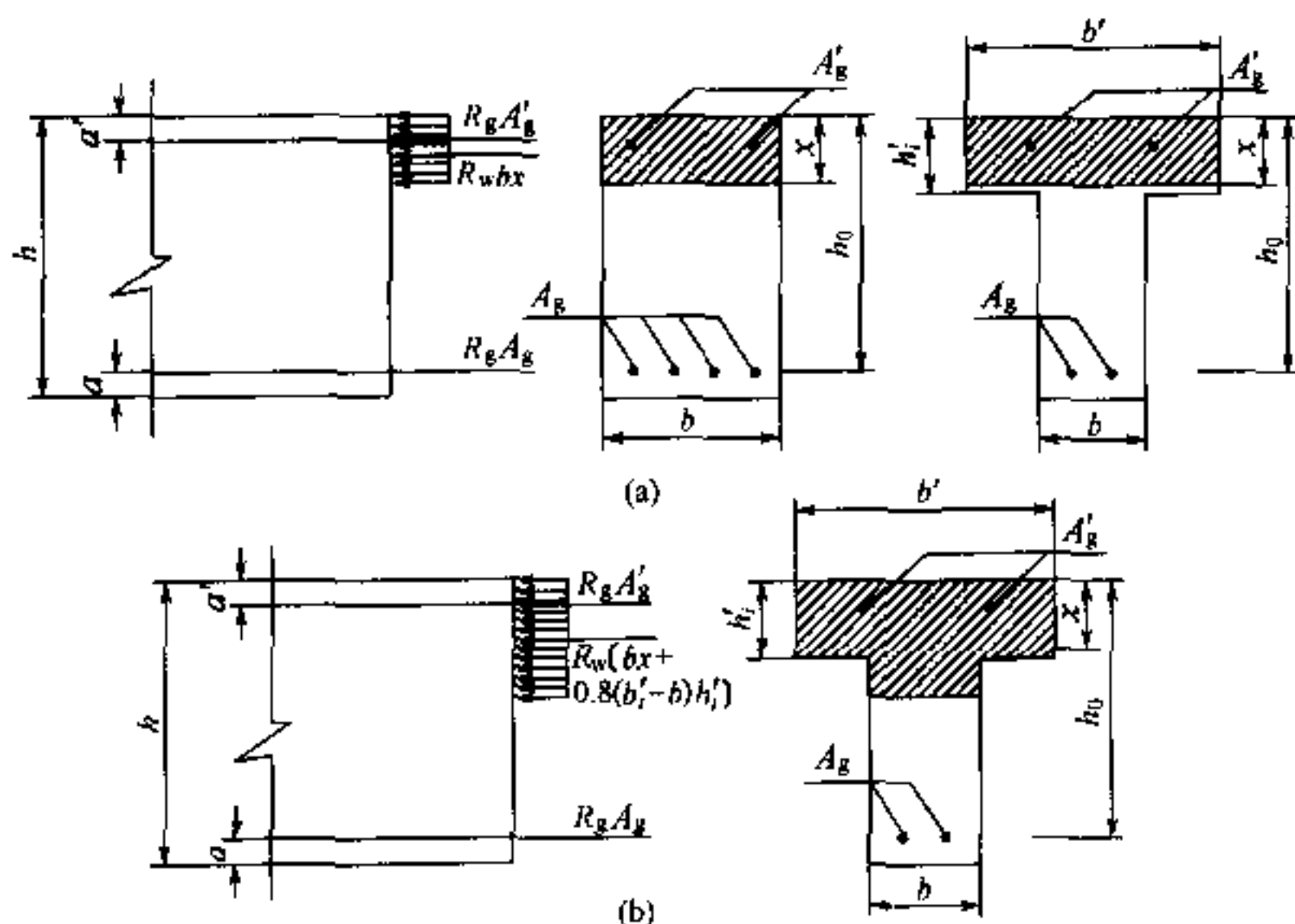


图 11.2.3 钢筋混凝土受弯构件截面强度计算图

(a) 受压区面积为矩形；(b) 受压区面积为 T 形

此时，中性轴的位置按下式确定：

$$R_g(A_g - A'_g) = R_w [bx + 0.8(b'_i - b)h'_i] \quad (11.2.3-4)$$

按上述公式计算受弯构件时，混凝土受压区的高度应符合式 (11.2.3-5) 与式 (11.2.3-6) 的要求，截面强度应符合式 (11.2.3-7) 的要求。但在构件中如无受压钢筋或计算中不考虑受压钢筋时，只需符合式 (11.2.3-5) 的要求。

$$x \leq 0.55h_0 \quad (11.2.3-5)$$

$$x \geq 2a' \quad (11.2.3-6)$$

$$KM \leq 0.5R_w b h_0^2 \quad (11.2.3-7)$$

式中 K ——安全系数, 按表 11.1.1—2 采用;

M ——弯矩 (MN·m);

R_w ——混凝土弯曲抗压极限强度, $R_w = 1.25R_a$ 按表 5.3.1 采用;

R_g ——钢筋的抗拉或抗压计算强度, 按表 5.3.8 采用;

A_g, A'_g ——受拉和受压区钢筋的截面面积 (m²);

a, a' ——自钢筋 A_g 或 A'_g 的重心分别至截面最近边缘的距离 (m);

h ——截面高度 (m);

h_0 ——截面的有效高度 (m), $h_0 = h - a$;

x ——混凝土受压区的高度 (m);

b ——矩形截面的宽度或 T 形截面的肋宽 (m);

b'_i ——T 形截面受压区翼缘计算宽度 (m), 按表 11.2.3 所列各项中的最小值采用;

表 11.2.3 T 形截面受压区翼缘的宽度

序号	考 虑 情 况	肋 形 梁	独 立 梁
1	按跨度 l	$l/3$	$l/3$
2	按梁肋净距 s	$b + s$	—
3	按翼缘高度 h'_i ($h'_i/h_0 \geq 0.1$)	—	$b + 12h'_i$

h'_i ——T 形截面受压区翼缘的高度 (m)。

11.2.4 矩形和 T 形截面的受弯构件, 其截面应符合下式要求:

$$KQ \leq 0.3R_a b h_0 \quad (11.2.4)$$

式中 K ——安全系数, 按表 11.1.1—2 采用;

Q ——剪力 (MN);

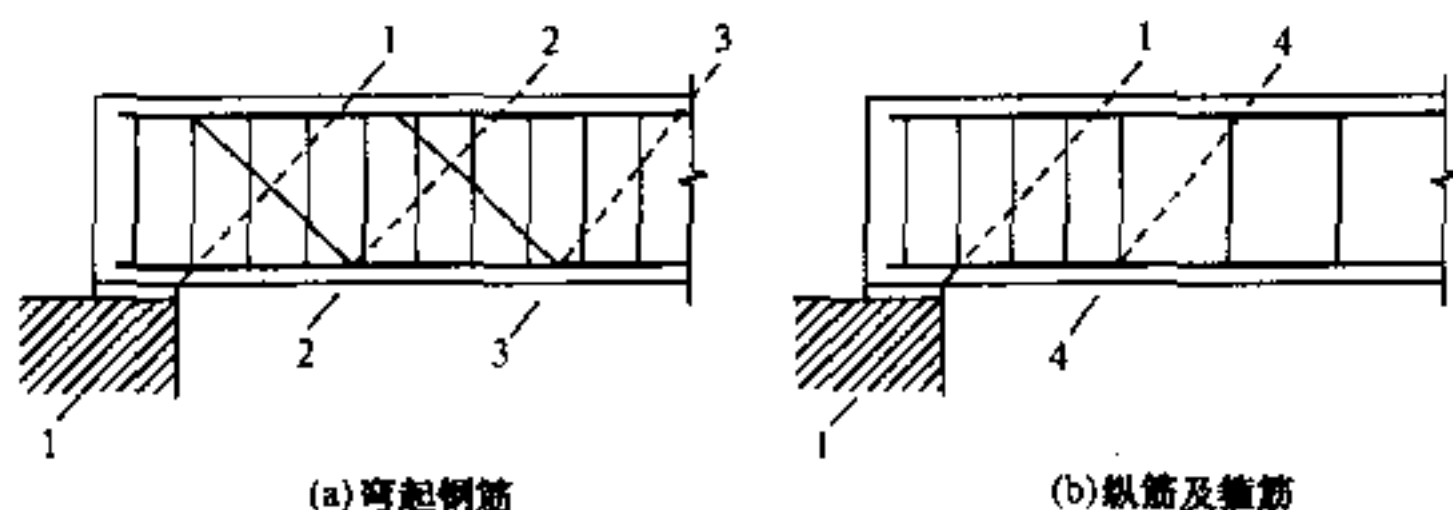
b ——矩形截面的宽度或 T 形截面的肋宽 (m);

其余符号意义同前。

11.2.5 在计算斜截面的抗剪强度时, 其计算位置应按下列规定

采用:

- 1 支座边缘处的截面, 如图 11.2.5 (a)、(b) 截面 1—1;
- 2 受拉区弯起钢筋弯起点处的截面, 如图 11.2.5 (a) 截面 2—2、3—3;
- 3 受拉区箍筋数量与间距改变处的截面, 如图 11.2.5 (b) 截面 4—4。



- 1—1——支座边缘处的斜截面
2—2, 3—3——受拉区弯起钢筋弯起点的斜截面
4—4——箍筋数量与间距改变处的斜截面

图 11.2.5 斜截面抗剪强度的计算位置图

11.2.6 矩形和 T 形截面的受弯构件, 当仅配有箍筋时, 其斜截面的抗剪强度应按下列公式计算:

$$KQ \leq Q_{kh} \quad (11.2.6-1)$$

$$Q_{kh} = 0.07 R_a b h_0 + \alpha_{kh} R_g \frac{A_k}{S} h_0 \quad (11.2.6-2)$$

式中 Q ——斜截面上的最大剪力 (MN);

Q_{kh} ——斜截面上受压区混凝土和箍筋的抗剪强度 (MN);

α_{kh} ——抗剪强度影响系数, 应按下列规定采用:

当 $KQ/bh_0 \leq 0.2 R_a$ 时, $\alpha_{kh} = 2.0$;

当 $KQ/bh_0 = 0.3 R_a$ 时, $\alpha_{kh} = 1.5$;

当 KQ/bh_0 为中间数值时, α_{kh} 值按直线内插法取用;

A_k ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积 (m^2),

$A_k = n\alpha_k$, 此时, 箍筋的间距应符合第 11.1.8 条的要求;

n ——在同一截面内箍筋的肢数;

α_k ——单肢箍筋的截面面积 (m^2);

S ——沿构件长度方向上箍筋的间距 (m);

R_g ——箍筋的抗拉计算强度, 按表 5.3.5 采用。

11.2.7 矩形和 T 形截面的受弯构件, 当配有箍筋和弯起钢筋时, 其斜截面的抗剪强度按下列公式计算:

$$KQ \leq Q_{kh} + 0.8R_g A_w \sin\theta \quad (11.2.7)$$

式中 Q ——在配置弯起钢筋处的剪力 (MN), 按第 11.2.8 条的规定采用;

A_w ——配置在同一弯起平面内的弯起钢筋的截面面积 (m^2), 弯起钢筋的间距应符合第 11.1.8 条的要求;

θ ——弯起钢筋与构件纵向轴线的夹角 ($^\circ$)。

11.2.8 计算弯起钢筋时, 剪力 Q 值可按下列规定采用 (图 11.2.5a):

1 当计算第一排 (对支座而言) 弯起钢筋时, 取用支座边缘处的剪力值;

2 当计算以后的每排弯起钢筋时, 取用前一排 (对支座而言) 弯起钢筋起点处的剪力值。

11.2.9 矩形和 T 形截面的受弯构件, 如能符合式 (11.2.9) 要求时, 则不需要进行斜截面的抗剪强度计算, 而仅需要根据本规范第 11.1.8 条的规定, 按构造要求配置箍筋。

$$KQ \leq 0.07R_s b h_0 \quad (11.2.9)$$

11.2.10 钢筋混凝土矩形截面的大偏心受压构件 ($x \leq 0.55h_0$), 其截面强度应按下列公式计算 (图 11.2.10):

$$KN \leq R_w b x + R_g (A'_g - A_g) \quad (11.2.10-1)$$

$$\text{或} \quad KNe \leq R_w b x (h_0 - x/2) + R_g A'_g (h_0 - a') \quad (11.2.10-2)$$

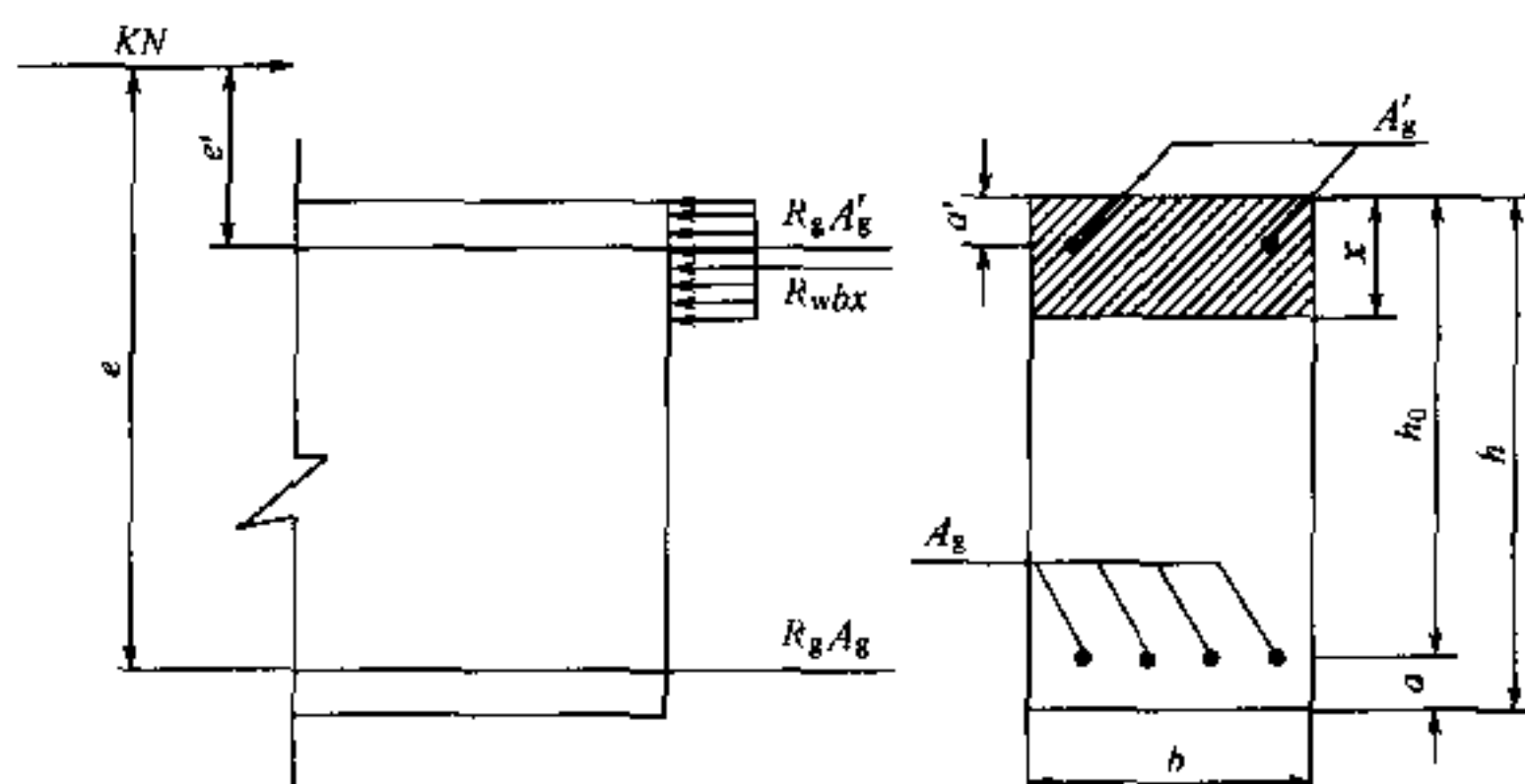


图 11.2.10 钢筋混凝土大偏心受压构件截面强度计算图

此时，中性轴的位置按下式确定：

$$R_g (A_g e \mp A'_g e') = R_w b x (e - h_0 + x/2) \quad (11.2.10-3)$$

当轴向力 N 作用于钢筋 A_g 与 A'_g 的重心之间时，式 (11.2.10-3) 中的左边第二项取正号；当 N 作用于 A_g 和 A'_g 两重心以外时，则取负号。

如计算中考虑受压钢筋时，则混凝土受压区的高度应符合式 (11.2.3-6) 要求，如不符合，则按式 (11.2.10-4) 计算。

$$KNe' \leq R_g A_g (h_0 - a') \quad (11.2.10-4)$$

式中 N ——轴向力 (MN)；

e, e' ——钢筋 A_g 和 A'_g 的重心至轴向力作用点的距离 (m)；
其他符号意义同前。

当按式 (11.2.10-4) 求得的构件截面强度比不考虑受压钢筋更小时，则计算中不应考虑受压钢筋。

11.2.11 钢筋混凝土矩形截面的小偏心受压构件 ($x > 0.55h_0$)，其截面强度应按下式计算 (图 11.2.11)：

$$KNe \leq 0.5R_a b h_0^2 + R_g A'_g (h_0 - a') \quad (11.2.11-1)$$

当轴向力 N 作用于钢筋 A_g 与 A'_g 的重心之间, 尚应符合下列要求:

$$KNe' \leq 0.5R_a b h_0'^2 + R_g A_g (h_0' - a) \quad (11.2.11-2)$$

式中符号意义同前。

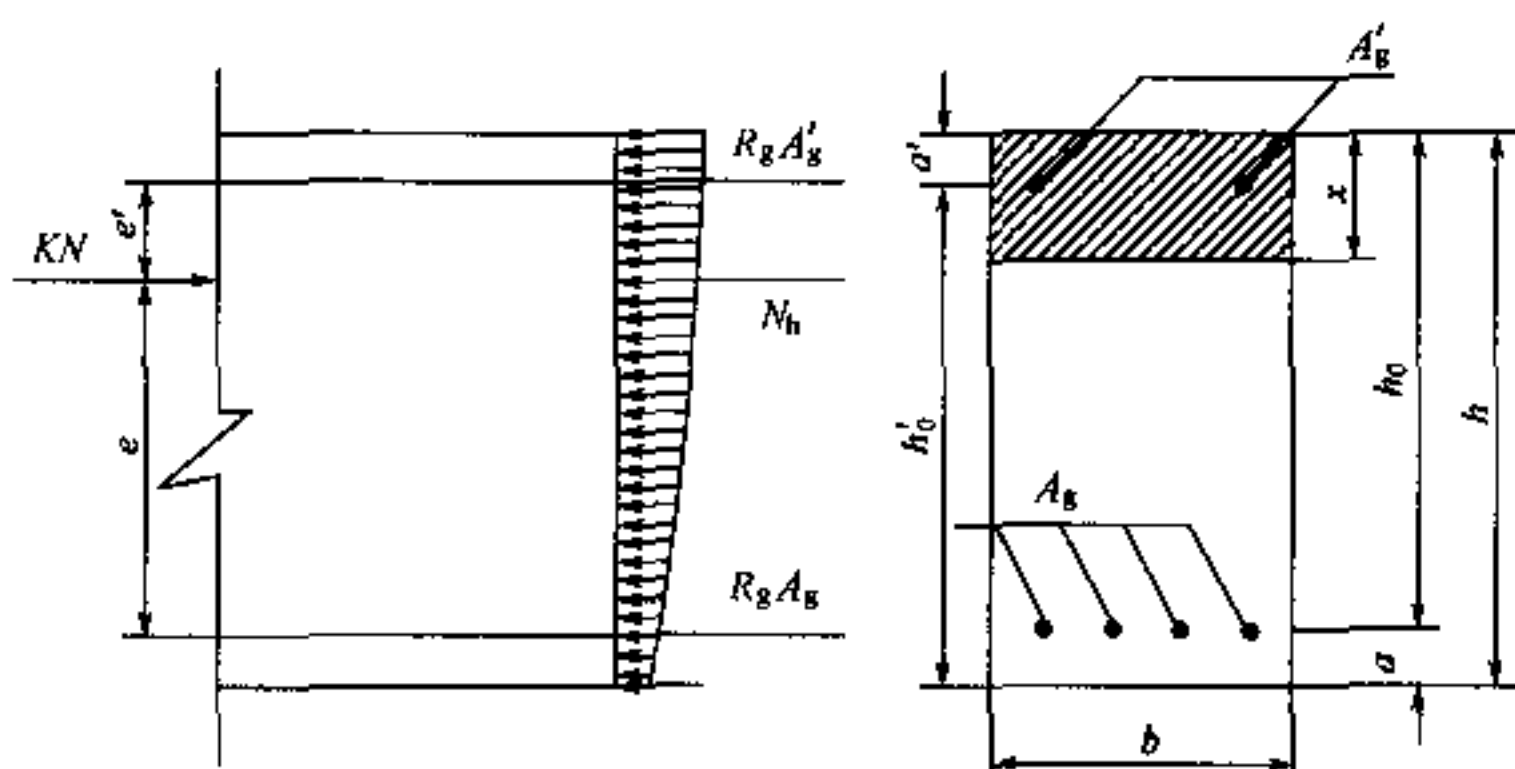


图 11.2.11 钢筋混凝土小偏心受压构件截面强度计算图

11.2.12 计算钢筋混凝土矩形截面的偏心受压构件时, 应考虑构件在弯矩作用平面内的挠度对轴向力偏心距的影响。此时, 应将轴向力的偏心距 e_0 乘以偏心距增大系数 η 。 η 值按下式计算:

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{KN}{10\alpha E_h I_0} H^2} \quad (11.2.12-1)$$

$$\alpha = \frac{0.12}{0.3 + \frac{e_0}{h}} + 0.17 \quad (11.2.12-2)$$

式中 K ——安全系数, 按表 11.1.1—2 采用;

E_h ——混凝土的受压弹性模量, 按本规范第 5.2.3 条采用;

I_0 ——混凝土全截面(包括钢筋)的换算截面惯性矩(m^4);

H ——构件的高度 (m);

α ——与偏心距有关的系数,当 $e_0/h \geq 1$ 时,取 $\alpha = 0.26$ 。

对于隧道衬砌,明洞拱圈和墙背紧密回填的明洞边墙,以及当构件高度与弯矩作用平面内的截面边之比 $H/h \leq 8$ 时,可取 $\eta = 1$ 。

偏心受压构件,除应计算弯矩作用平面的强度外,尚应按轴心受压构件检算垂直于弯矩作用平面的强度。此时,可不考虑弯矩的作用,但应按表 11.2.12 考虑纵向弯曲系数的影响。

表 11.2.12 钢筋混凝土构件的纵向弯曲系数

H/h	≤ 8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
纵向弯曲系数 η	1.00	0.98	0.95	0.92	0.87	0.81	0.75	0.70	0.65	0.60	0.56	0.52

11.3 洞门计算

11.3.1 洞门(包括隧道门和明洞门)可视作挡土墙,按容许应力检算其强度,并应检算绕墙趾倾覆及沿基底滑动的稳定,检算时应符合表 11.3.1 的规定。

表 11.3.1 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
倾覆稳定系数 K_0	≥ 1.5

注:检算高洞门墙需控制截面拉应力时,拉应力控制值可按混凝土的抗拉极限强度(按表 5.3.1)或砌体的弯曲抗拉极限强度(可取表 5.3.7 抗剪极限强度 R_j 值),给以适当的安全系数拟定。

11.3.2 计算洞门时，设计参数应按现场试验资料采用。当缺乏试验资料时，亦可采用表 11.3.2 所列数值。

表 11.3.2 洞门设计计算参数

仰坡坡度	计算摩擦角 φ_c	地层重度 γ (kN/m^3)	基底摩擦系数 f	基底控制压应力 (MPa)
1:0.5	70°	25	0.6	0.8
1:0.75	60°	24	0.5	0.6
1:1	50°	20	0.4	0.4~0.35
1:1.25	43°~45°	18	0.4	0.3~0.25
1:1.5	38°~40°	17	0.35~0.4	0.25

11.3.3 钢筋混凝土洞门的截面最小配筋率应符合本规范第 10.5.5 条的规定。

12 辅助坑道

12.1 一般规定

12.1.1 隧道辅助坑道（横洞、平行导坑、斜井、竖井、泄水洞）的选择，应根据隧道长度、施工期限、地形、地质、水文等条件，结合施工和运营期间通风、排水、防灾救援、疏散及弃碴等的需要，通过技术经济比较确定。

12.1.2 辅助坑道的断面尺寸应根据用途、运输要求、地质条件、支护类型、设备外形尺寸及技术条件、人行安全及管路布置等因素确定。当需作为通风道时，应核算其面积。

12.1.3 辅助坑道应视需要设置永久支护。辅助坑道的洞（井）口、软弱围岩段及辅助坑道与正洞连接段的衬砌应加强。

12.1.4 辅助坑道在隧道主体工程竣工后，应按下列规定进行处理：

1 排水系统应整理，水流应通畅；

2 需要利用的辅助坑道应设置永久支护及衬砌，其洞（井）口应设置安全防护设施；不予利用的洞（井）口应封闭。

12.1.5 辅助坑道的洞（井）口位置选择、施工场地布置及弃碴处理等，应符合环境保护要求。

12.2 横洞和平行导坑

12.2.1 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宜为 $40^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ，并应有向洞外不小于 3‰ 的下坡。

12.2.2 长度在 4000 m 以上的长隧道，当不宜采用横洞时，应

优先采用平行导坑。瓦斯隧道和特长隧道应优先采用平行导坑。平行导坑的设置应符合下列要求：

- 1 宜设在地下水来源的一侧；
- 2 与隧道的净距应按地质条件、施工方法等因素确定，宜采用 15~20 m；
- 3 若将来有可能扩建为第二线隧道时，除与隧道的间距应按本规范表 3.3.6 规定办理外，位于软弱围岩和特殊地质地段的平行导坑结构宜结合二线综合考虑；
- 4 坑底高程宜低于隧道底面高程 0.2~0.6 m。

12.2.3 平行导坑宜采用单车道断面，隔适当距离设置错车道，错车道的有效长度宜为 1.5 倍施工车辆长度。

12.2.4 平行导坑横通道的设置应符合下列规定：

- 1 间距应根据施工及进度需要、运营期间功能要求确定，不宜小于 240 m，其位置可结合隧道避车洞位置确定，应尽量避免通过断层、岩层破碎带等不良地质地段；

- 2 与隧道中线的交角宜为 40°；

- 3 设有平行导坑的长隧道、特长隧道，平行导坑和正洞的横通道设置间距宜为 300~500 m，当考虑防灾救援时，其间距应适当减小。

12.2.5 平行导坑应设置水沟，其过水断面、沟底坡度等，应根据排水需要和正洞排水统一考虑。

12.3 斜井和竖井

12.3.1 长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。

斜井和竖井井口不得设在可能被洪水淹没处，井口应高出洪水频率为 1/100 的水位至少 0.5 m；当设于山沟低洼处时，必须有防洪措施。

12.3.2 斜井和竖井的设置应符合下列规定：

1 斜井

1) 斜井提升方式应根据提升量、斜井长度、坡度及井口地形选择；

各种提升方式的斜井倾角应符合下列规定：

箕斗提升 不大于 35°

串车提升 不大于 25°

胶带输送机提升 不大于 15°

2) 井底车场与隧道中线连接处的平面交角宜采用 $40^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 。

3) 井身纵断面不宜变坡，井口和井底变坡点应设置竖曲线，竖曲线半径宜采用 $12 \sim 20 \text{ m}$ 。

4) 斜井必须设置宽度不小于 0.7 m 的人行道，倾角大于 15° 时应设置台阶；串车斜井和箕斗斜井每隔 $30 \sim 50 \text{ m}$ 可设一个躲避洞。

2 竖井

1) 平面位置应设在隧道中线的一侧，与隧道的净距宜为 $15 \sim 20 \text{ m}$ ；

2) 竖井断面宜采用圆形，井筒内应设置安全梯或其他升降安全设施；

3) 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；

4) 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、钢罐道或木罐道。

12.3.3 斜井和竖井井底车场，应根据地质条件、运量要求、提升方式、运输设备等因素，结合调车安全、作业方便等要求，合理布置。

12.3.4 斜井和竖井井底应根据涌水量和施工组织安排选择地下水的排出方式和相应的设施，并根据井身长度、提升方式、使用期限及便利施工等因素考虑各种洞室的设置。

12.3.5 斜井和竖井的衬砌设计应符合下列规定：

1 斜井井口段和地质较差的地段，宜作衬砌；

2 竖井井口应设混凝土或钢筋混凝土井颈；马头门应作模筑混凝土衬砌。井口段、通过地质条件较差的井身段及马头门的上方宜设壁座；其型式、间距可根据地质条件、施工方法及衬砌类型确定。

12.3.6 斜井和竖井在建井和使用期间，必须有相应的安全措施，并在适当位置设挡车设备，严防溜车。倾角在 15° 以上的斜井应有轨道防滑措施。竖井还应设置可靠的防坠器。

13 防水与排水

13.1 一般规定

13.1.1 新建和改建隧道防排水，应采取“防、排、截、堵结合，因地制宜，综合治理”的原则，采取切实可靠的设计、施工措施，保障结构物和设备的正常使用和行车安全。对地表水和地下水应作妥善处理，洞内外应形成一个完整的防排水系统。

13.1.2 隧道防、排水设计应根据工程特点及勘测资料进行，其设计内容应包括：

- 1 防水标准和设防要求；
- 2 防水混凝土抗渗等级和其他技术指标；
- 3 防水层选用的材料及其技术指标；
- 4 工程细部构造的防水措施，选用的材料及其技术指标；
- 5 工程结构的防水系统，各种洞口工程防排水系统；洞身局部地段地表堵水、截水、排水系统。

13.1.3 I级铁路隧道；II级铁路电化隧道；车站隧道及机电设备洞室的防水应满足下列要求：

- 1 衬砌不渗水，安装设备的孔眼不渗水；
- 2 道床排水畅通，不浸水；
- 3 在有冻害地段的隧道，衬砌背后不积水、排水沟不冻结。

13.1.4 II级铁路非电化隧道；隧道内一般洞室的防水应满足下列要求：

- 1 衬砌不漏水，安装设备的孔眼不渗水；
- 2 道床排水畅通，不浸水；
- 3 在有冻害地段的隧道，衬砌不渗水，衬砌背后不积水、排水沟不冻结。

13.1.5 隧道正洞间的联络通道防水，应达到衬砌不漏水、地面不积水；兼运营期间养护维修使用的辅助坑道防水，应达到衬砌拱部不滴水、边墙不淌水，地面不积水；供其他使用的辅助坑道防水，应达到衬砌不能有线流，洞内排水通畅。

13.1.6 隧道应重视初期支护的防水，防水应以混凝土自防水为主体，以施工缝、变形缝防水为重点，并辅以注浆防水和防水层加强防水，满足结构使用功能。

13.1.7 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他公害的措施，并应防止水土流失、降低围岩稳定性及造成农田灌溉和人畜用水困难等后患。

13.1.8 隧道防排水应积极采用可靠的新技术、新材料、新工艺。

13.2 防 水

13.2.1 隧道首先应重视防止地表水的下渗。当隧道地表的沟谷、坑洼积水对隧道有影响时，宜采取疏导、铺砌和填平等措施，对废弃的坑穴、钻孔等应填实封闭，防止地表水下渗。

13.2.2 隧道附近水库、池沼、溪流、井泉的水，当有可能渗入隧道，应采取封堵措施处理，以免影响生产、生活用水。

13.2.3 隧道防水措施应符合下列规定：

1 隧道衬砌防水应充分利用混凝土结构的自防水能力，其抗渗等级不得低于 P6，并可根据需要和埋置深度采用抗渗等级不得低于 P8 的防水混凝土。在有冻害地段或最冷月平均气温低于 -15°C 的地区，防水混凝土的抗渗等级还应适当提高。

处于侵蚀性介质中的防水混凝土，其耐侵蚀系数不应小于 0.8。

2 防水混凝土结构的厚度不应小于 30 cm，裂缝宽度不得大于 0.2 mm，并不得贯通；当为钢筋混凝土时，迎水面主筋保护层厚度不应小于 5 cm。

3 复合衬砌初期支护与二次衬砌之间应铺设防水板，并设系统盲管（沟）。

4 I级铁路隧道、II级铁路电化隧道、车站隧道及机电设备洞室的施工缝应同时采用两种可靠的复合防水措施，变形缝应采用中埋式止水带加其他两种可靠的复合防水措施。

5 II级铁路非电化隧道、隧道内一般洞室、隧道正洞间的联络通道的施工缝应采用一至二种可靠的复合防水措施，变形缝应采用中埋式止水带加其他一至二种可靠的复合防水措施。

6 围岩破碎、富水、易坍塌地段及地下水、岩溶发育，存在突水、突泥可能的特殊地质地段，应采用注浆加固围岩和防水的措施。

7 有侵蚀性地下水时，应针对侵蚀类型，压注抗侵蚀浆液，敷设防水、防蚀层等，采用抗侵蚀性混凝土等措施。

8 最冷月平均气温低于 -15°C 地区，对地下水的处理应以堵为主。

I 防水混凝土

13.2.4 防水混凝土采用的材料应符合表 13.2.4 的规定，防水混凝土施工应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》(GB50108)的有关规定；防水混凝土的配合比应通过试验确定。

表 13.2.4 防水混凝土原材料技术要求

材料名称	技 术 要 求
水泥	水泥的强度等级宜为 42.5 级；在受侵蚀性介质作用时，应按介质的性质选用相应的水泥；在受冻融作用时，应优先选用普通硅酸盐水泥，不宜用火山灰质硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥
砂、石	除应符合国家现行《普通混凝土用碎石或卵石质量标准及检验方法》(JGJ53)的规定外，不得使用碱活性粗、细骨料，石子最大粒径不宜大于 40mm，且连续级配，含泥量不得大于 1%，泥块含量不得大于 0.25%；砂宜采用中砂，含泥量不得大于 3%，泥块含量不得大于 1%
水	拌制混凝土所用的水，应符合国家现行《混凝土拌合用水标准》(JGJ 63)的规定
外加剂	可根据工程需要掺入减水剂、膨胀剂、防水剂、密实剂、引气剂、复合型外加剂等外加剂，其品种和掺量应经试验确定。所有外加剂应符合国家或行业标准一等品及以上的质量要求

续表 13.2.4

材料名称	技 术 要 求
掺合料	可掺入一定数量的粉煤灰、磨细矿渣粉、硅粉等。粉煤灰的级别不应低于二级，掺量不宜大于 20%；硅粉掺量不应大于 3%；其他掺合料的掺量应经过试验确定
总碱量	每立方米防水混凝土中各类材料的总碱量（ Na_2O 当量）应符合国家现行《铁路混凝土工程预防碱—骨料反应技术条件》（TB/T3054）的规定
氯离子含量	混凝土中氯离子含量应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》（GB50010）的相应规定

II 施工缝、变形缝

13.2.5 隧道衬砌混凝土应连续浇筑，拱圈、仰拱、底板不得留纵向施工缝。施工缝设置应遵守下列规定：

1 墙体纵向施工缝不应留设在剪力与弯矩最大处或底板与边墙的交接处，应留在高出底板顶面不小于 30 cm 的墙体上。拱墙结合的水平施工缝，宜留在拱墙接缝以下 15~30 cm 处；墙体有预留孔洞时，施工缝距孔洞边缘不应小于 300 mm。

2 环向施工缝应避开地下水和裂隙水较多的地段，并宜与变形缝相结合。

13.2.6 常见施工缝防水的单一构造形式见图 13.2.6—1 和图 13.2.6—2，复合构造形式见图 13.2.6—3 和图 13.2.6—4，亦可采用其他新型、成熟、可靠的防水构造形式。

13.2.7 施工缝的施工应符合下列规定：

1 纵向施工缝浇灌混凝土前，应将其表面浮浆和杂物清除，刷净浆或涂混凝土界面处理剂；

2 设止水条的环向施工缝施工时，在端面应预留浅槽，槽应平直，槽宽比止水条宽 1~2 mm，槽深为止水条厚度的 1/2；

3 施工缝内采用中埋式止水带时，应确保位置准确、固定牢靠；

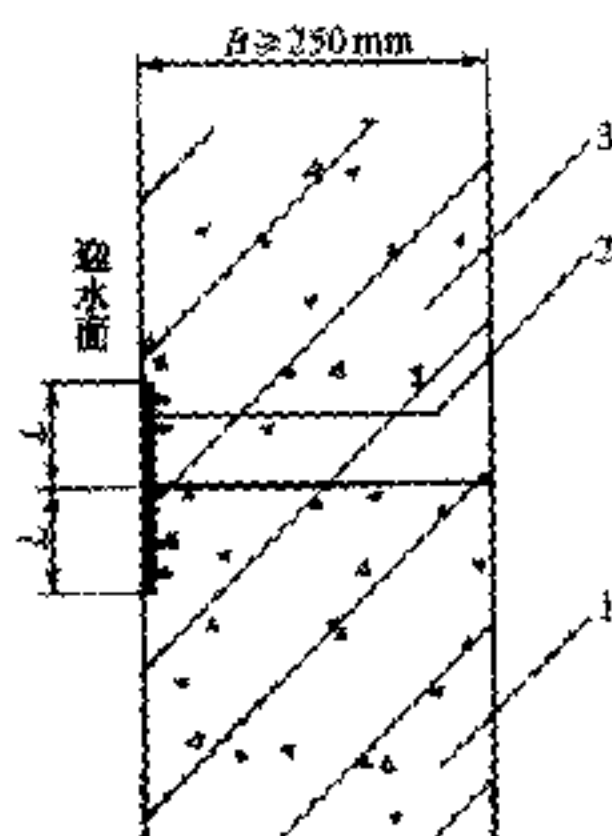


图 13.2.6—1 施工缝单一防水构造(一)
1—先浇混凝土; 2—外贴止水带;
3—后浇混凝土

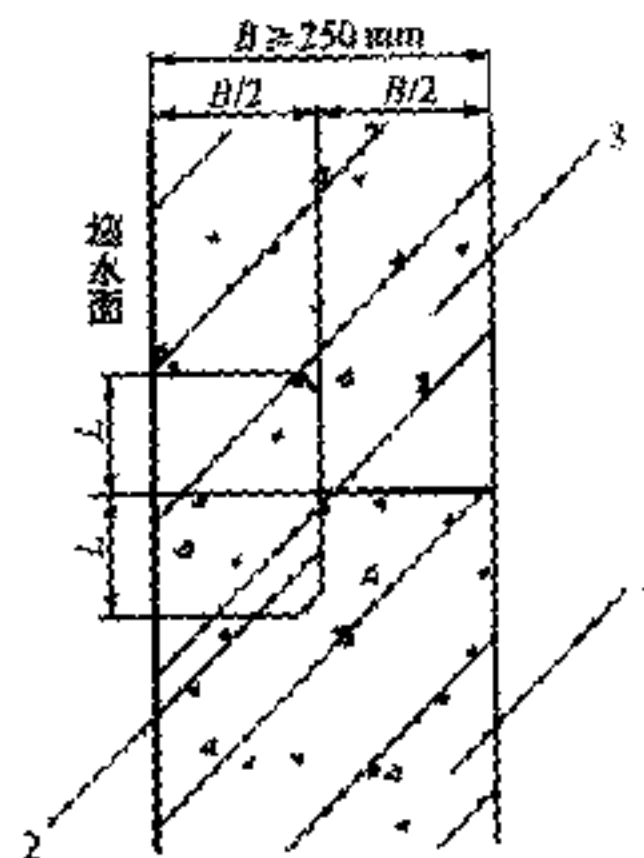


图 13.2.6—2 施工缝单一防水构造(二)
钢板止水带 $L \geq 200 \text{ mm}$;
钢边橡胶止水带 $L \geq 120 \text{ mm}$
1—先浇混凝土; 2—中埋式止水带;
3—后浇混凝土

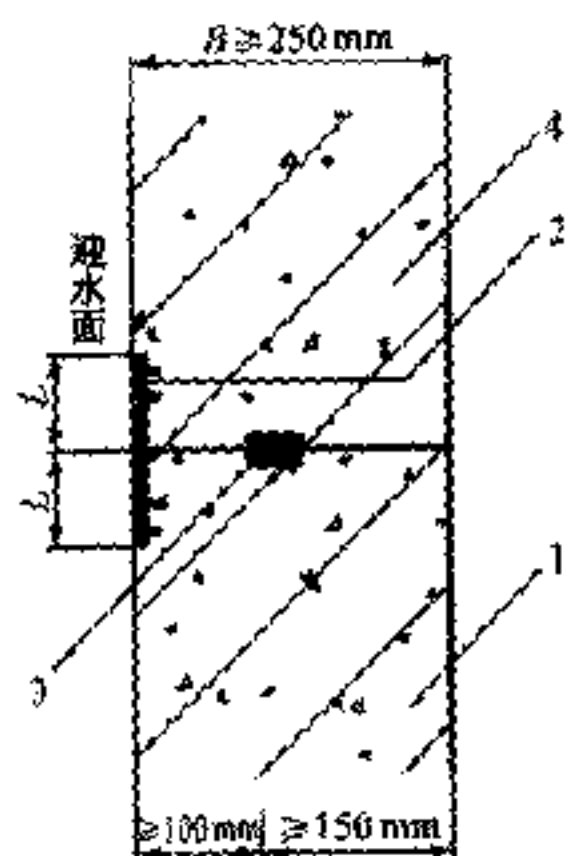


图 13.2.6—3 施工缝复合防水构造(一)
外贴止水带 $L \geq 150 \text{ mm}$
1—先浇混凝土; 2—外贴止水带;
3—遇水膨胀止水条; 4—后浇混凝土

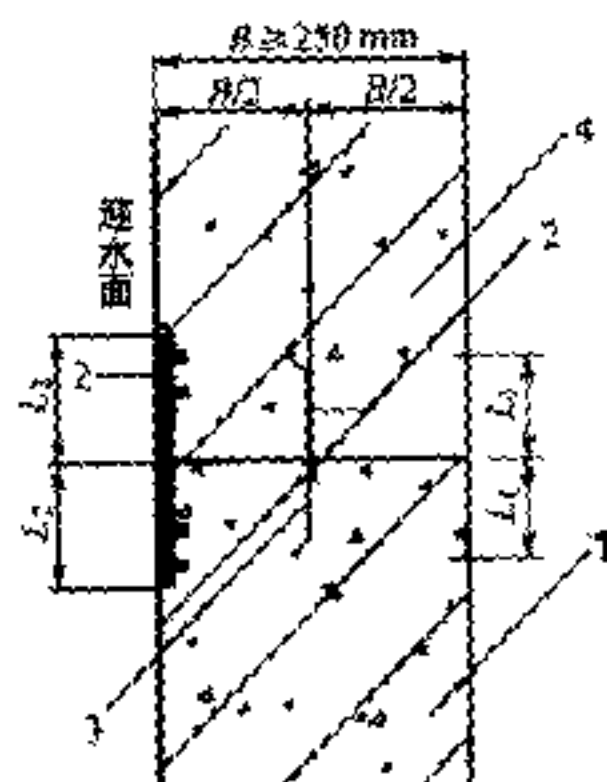


图 13.2.6—4 施工缝复合防水构造(二)
外贴止水带 $L_2 \geq 150 \text{ mm}$;
钢板止水带 $L_1 \geq 100 \text{ mm}$;
橡胶止水带 $L_1 \geq 125 \text{ mm}$;
钢边橡胶止水带 $L_1 \geq 120 \text{ mm}$
1—先浇混凝土; 2—外贴式止水带;
3—中埋式止水带; 4—后浇混凝土

4 施工中应采取措施保证待贴止水条或预设止水带的混凝土界面洁净。

13.2.8 隧道衬砌变形缝设置应符合下列规定：

- 1 变形缝处混凝土结构的厚度不应小于 300 mm；
- 2 用于沉降的变形缝其最大允许沉降差值不应大于 30 mm，当计算沉降差值大于 30 mm 时，应采取特殊设计；
- 3 用于沉降的变形缝的宽度宜为 20~30 mm，用于伸缩的变形缝的宽度宜小于此值。

13.2.9 常见变形缝的几种复合防水构造形式见图 13.2.9—1 和图 13.2.9—2，亦可采用其他新型、成熟、可靠的防水构造形式。

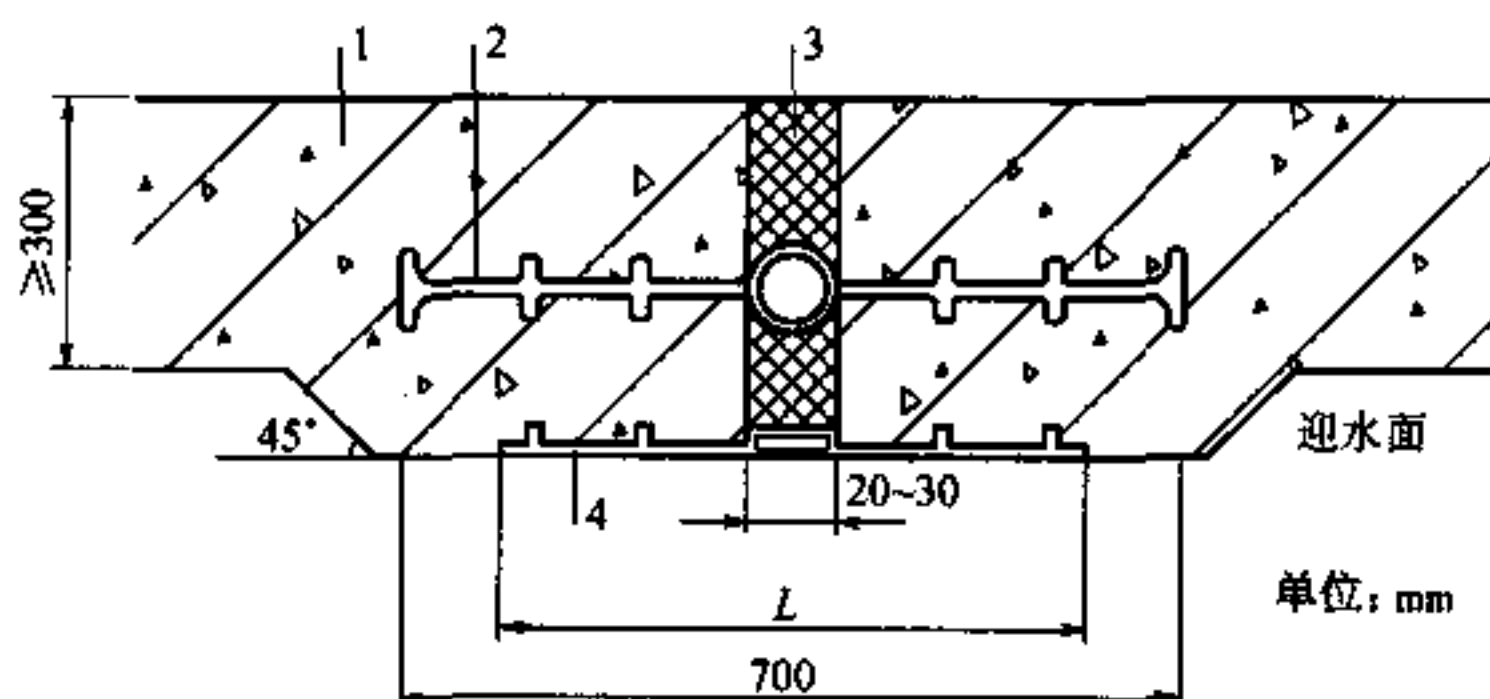


图 13.2.9—1 中埋式止水带与外贴式防水层复合防水构造

外贴式止水带 $L \geq 300$ ；外贴式防水卷材 $L \geq 400$ ；外涂防水涂层 $L \geq 400$

1—混凝土结构；2—中埋式止水带；3—填缝材料；4—外贴防水层

13.2.10 变形缝施工应符合下列规定：

- 1 缝内两侧应平整、清洁、无渗水；
- 2 缝底应先设置与嵌缝材料无粘结力的背衬材料或遇水膨胀橡胶条；
- 3 嵌缝应密实；
- 4 中埋式止水带接头连接应采用热焊，不得叠接；背贴式止水带应与防水板焊接，止水条不得受潮。

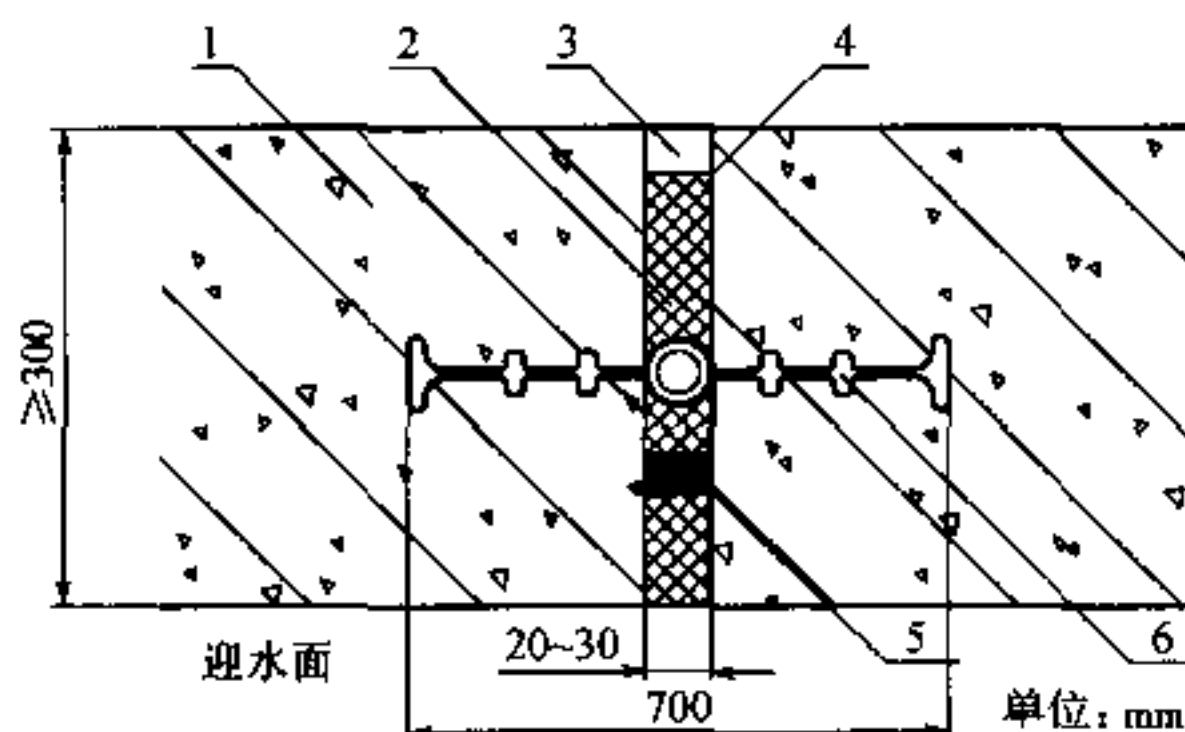


图 13.2.9—2 中埋式止水带与遇水膨胀橡胶条、嵌缝材料复合防水构造

1—混凝土结构；2—填缝材料；3—嵌缝材料；
4—背衬材料；5—遇水膨胀橡胶条；6—中埋式止水带

13.2.11 止水条宜选用制品型遇水膨胀橡胶止水条，其物理力学性能应符合表 13.2.11 的规定。当选用其他新型、成熟、可靠的材料时，其物理性能应符合国家相关标准的要求。

表 13.2.11 制品型遇水膨胀橡胶止水条物理力学性能

序号	项 目		指 标
1	硬度 (邵尔 A)(度°)		42 ± 7
2	拉伸强度 (MPa)		≥ 3.5
3	扯断伸长率 (%)		≥ 450
4	体积膨胀倍率 (%)		≥ 200
5	反复浸水试验	拉伸强度 (MPa)	≥ 3
		扯断伸长率 (%)	≥ 350
		体积膨胀倍率 (%)	≥ 200
6	低温弯折 ($-20^{\circ}\text{C} \times 2\text{h}$)		无裂纹
7	防霉等级		优于 2 级

注：* 硬度为推荐项目，其余均为强制项目；

成品切片测试应达到标准的 80%；

接头部位的拉伸强度不得低于上表标准性能的 50%；

体积膨胀倍率是浸泡后的试样质量与浸泡前的试样质量的比率。

13.2.12 止水带宜选用橡胶止水带和钢边橡胶止水带，其物理性能应分别符合表 13.2.12—1 和表 13.2.12—2 的要求。当选用其他新型、成熟、可靠的材料时，其物理性能应符合国家相关标准的要求。

表 13.2.12—1 橡胶止水带物理性能

项 目				性 能 要 求		
				B 型	S 型	J 型
1	硬度 (邵尔 A)(度)			60±5	60±5	60±5
2	拉伸强度 (MPa)			≥15	≥12	≥10
3	扯断伸长率 (%)			≥380	≥380	≥300
4	压缩永久变形 (%)		70℃×24 h	≤35	≤35	≤35
			23℃×168 h	≤20	≤20	≤20
5	撕裂强度 (kN/m)			≥30	≥25	≥25
6	脆性温度 (℃)			≤-45	≤-40	≤-40
7	热空气老化	70℃×168 h	硬度变化 (邵尔 A)(度)	≤+8	≤+8	—
			拉伸强度 (MPa)	≥12	≥10	—
			扯断伸长率 (%)	≥300	≥300	—
		100℃×168 h	硬度变化 (邵尔 A)(度)	—	—	≤+8
			拉伸强度 (MPa)	—	—	≥9
			扯断伸长率 (%)	—	—	≥250
8	臭氧老化 50pphm; 20%, 48 h			2 级	2 级	0 级

注：B 型适用于变形缝用止水带；S 型适用于施工缝止水带；J 型适用于有特殊耐老化要求的接缝用止水带。

13.2.13 施工缝、变形缝防水选用的嵌缝材料，要求最大拉伸强度不应小于 0.2 MPa，最大伸长率应大于 300%，且拉、压循环性能为 80℃时拉伸—压缩率不小于 ±20%。

表 13.2.12—2 钢边橡胶止水带的物理力学性能

项 目	硬度 (邵尔 A)	拉伸 强度 (MPa)	扯断 伸长 率 (%)	压缩永 久变形 (70℃× 24h) (%)	撕裂 强度 (N/mm)	热老化 70℃×168h			拉伸永久 变形(70℃ ×24h,拉 伸100%)	橡胶与金属 带粘合试验	
						硬度 变化 (邵尔 A)	拉伸 强度 (MPa)	扯断 伸长 率 (%)		破坏 类型	粘合 强度 (MPa)
性能 指标	60±5	≥18	≥400	≤35	≥35	≤+8	≥16.2	≥320	≤20	橡胶破 坏(R)	≥6

III 注浆防水

13.2.14 隧道注浆防水时,注浆方案应根据水文地质、工程地质条件及环境允许排水量,按下列规定选择:

1 在隧道开挖前,预计涌水量大的软弱地层地段,宜采用超前预注浆;

2 支护后有大面积渗漏水或大股涌水时,宜采用围岩注浆。

13.2.15 隧道围岩注浆,超前预注浆后的漏水量应小于设计允许值,浆液固结体达到设计强度后,方可开挖。

13.2.16 超前预注浆应根据岩层裂隙状态、地下水情况、加固范围、设备能力、浆液扩散半径和对注浆效果的要求等综合分析确定注浆孔数、布孔方式及钻孔角度。

13.2.17 超前预注浆段的长度视具体情况合理确定,宜为 30~50m;掘进时必须保留止水岩盘的厚度,该厚度宜为毛洞高度(直径)的 0.5~1.0 倍。

13.2.18 岩石地层超前预注浆的压力应根据围岩水文地质及工程地质条件合理确定,一般应比静水压力大 0.5~1.5MPa;当静水压力较大时,宜为静水压力的 2~3 倍。

13.2.19 单孔注浆结束的条件,应符合下列规定:

1 超前预注浆各孔段均达到设计终压并稳定 10min,且注浆量不小于设计注浆量的 80%、进浆速度为开始进浆速度的 1/4;

2 支护后围岩注浆达到设计终压；

3 其他各类注浆应满足设计要求。

13.2.20 预注浆及围岩注浆后，必须在分析资料的基础上，采取钻孔取芯法对注浆效果进行检查，必要时进行压（抽）水试验。当检查孔的吸水量大于 $1.0 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m})$ 时，必须进行补充注浆。注浆钻孔及检查孔应封填密实。

13.2.21 注浆应防止对环境的污染，在注浆施工期间及工程结束后，应对水源取样检查。当有污染时，应及时采取相应措施。

13.2.22 注浆材料应符合下列要求：

1 具有良好的可灌性；

2 凝胶时间可调；

3 固化时收缩小，与岩石、混凝土、土壤等有一定的粘结力；

4 固结后有一定的抗压、抗拉强度和抗渗性、耐久性，稳定性好；

5 当地下水有侵蚀性时应具有相应的耐腐蚀性；

6 无毒或低毒，对环境污染小；

7 注浆工艺简单，操作方便、安全。

13.2.23 注浆材料的选择可根据隧道围岩工程地质和水文地质情况、注浆目的、注浆工艺和设备等因素，并结合经济性合理确定，一般按以下原则考虑：

1 超前预注浆宜用水泥类浆液，必要时可用水泥—水玻璃浆液；

2 围岩注浆，可用水泥砂浆、水泥类浆液、化学浆液；

3 水泥类浆液宜选用强度不低于 42.5 级的水泥，其他浆液材料应符合有关规定；浆液的配合比，必须经现场试验后确定。

IV 防水板设置

13.2.24 隧道防水板应在初期支护变形基本稳定并经验收合格

后进行铺设，铺设时基层宜平整、无尖锐物，基层平整度应符合 $D/L \leq 1/6$ 的要求（ D 为初期支护基层相邻两凸面凹进去的深度； L 为基层相邻两凸面间的距离）。

13.2.25 隧道设置防水板与无纺布时，应符合下列规定：

- 1 防水板宜选用高分子防水材料；
- 2 幅宽宜为 2~4 m，厚度不应小于 1.2 mm；
- 3 物理力学性能应符合表 13.2.25 的规定；
- 4 耐穿刺性好；
- 5 耐久性、耐水性、抗渗性、耐腐蚀性、耐菌性好；
- 6 无纺布密度不应小于 300 g/m^2 。

表 13.2.25 塑料防水板物理力学性能

项 目	拉伸强度(MPa)	断裂延伸率(%)	热处理时变化率(%)	低温弯折性
指 标	≥ 12	≥ 200	≤ 2.5	-20℃无裂纹

13.2.26 隧道内防水板应采用无钉铺设，两幅防水板的搭接宽度不应小于 150 mm，搭接缝应为双焊缝，单条焊缝的有效宽度不应小于 15 mm。焊缝应连续、不间断，不得漏焊、假焊、焊焦、焊穿且应做充气检验。

13.2.27 防水板搭接缝与施工缝错开距离不应小于 50 cm。

13.3 排 水

13.3.1 隧道、明洞、辅助坑道宜采用自流排水，并应防止由于排水危及地面建筑物及农田水利设施等。

13.3.2 隧道排水主要应采取下列措施：

1 隧道内纵向应设排水沟，横向应设排水坡，流入排水沟的隧底横向排水坡宜为 2%，不应小于 1%。

2 根据工程地质和水文地质条件，应在衬砌外设环向盲管、纵向盲管（沟）、进水孔和洞内排水沟，组成完整的排水系统，必要时可在隧底设排水盲管（沟）；环向盲管应与纵向盲管（沟）

连接，纵向盲管（沟）应与边墙进水孔连接，边墙进水孔应与洞内排水沟连通；各盲管（沟）及进水孔相互间宜采用变径三通连接。

3 遇围岩地下水出露处，应在衬砌背后加设竖向盲管或排水管（槽）、集水钻孔等予以引排，对于颗粒易流失的围岩，采用集中疏导排水时，应采取防颗粒流失的特殊反滤措施。

4 当地下水发育，含水层明显，又有长期补给来源，洞内水量较大时，可利用辅助坑道或设置泄水洞等作为截、排水设施；泄水洞断面设置，应根据流量及施工条件，同时考虑养护方便而定，泄水洞的纵坡不小于 3‰。

5 喷锚支护地段围岩局部集中漏水时，应在喷锚前采取措施将水封堵或引离排除。

13.3.3 隧道内设置排水沟应遵守下列规定：

1 水沟坡度应与线路坡度一致；在隧道中分坡平段范围内和车站内的隧道，排水沟底部应有不小于 1‰的坡度。

2 隧道应设置双侧水沟，对于排水量小且预计今后水量不会有大的增加时，可考虑设置单侧排水沟；双线隧道不得单独采用中心水沟；双线特长、长隧道在地下水发育时宜增设中心水沟。

3 水沟靠道床侧墙体应留泄水孔。泄水孔孔径应为 4～10 cm，间距应为 100～300 cm。在电缆槽底面紧靠水沟侧，应在水沟边墙上预留泄水槽，槽宽不得小于 4 cm，间距不得大于 500 cm。

4 水沟断面应视水量大小选定，应有足够的过水能力；水沟的设置应便于清理和检查，并应铺设盖板。

5 最冷月平均气温低于 -5°C 地区冬季有水隧道的冻害地段，宜设置保温水沟、中心深埋水沟或防寒泄水洞等措施；其配套排水设施应能防寒，使水流畅通。

13.3.4 当隧道内水质有侵蚀性和放射性时，应采取适当措施，

防止排水污染环境。

13.3.5 当隧道洞顶有沟谷通过，且沟底岩层裂隙发育、地表水对隧道影响较大时，可用 M10 水泥砂浆砌片石或不低于 C15 混凝土铺砌沟底。

13.3.6 当隧道的覆盖层较薄，地表水易渗漏影响隧道时，应清理地表、开沟疏导封闭积水洼地或局部夯填黏土，促使地表径流通畅。

13.3.7 采用环向盲管排水时，其设置应符合下列规定：

1 环向盲管应沿隧道、坑道的周边固定于围岩或初期支护表面，并与纵向盲管（沟）连接；

2 环向盲管纵向设置间距宜为 5～10 m，当水较大时，可在水较大处增设 1～2 道；

3 环向盲管与混凝土衬砌接触部位应作隔浆层如外裹无纺布等，其管径应根据围岩渗漏水量的大小确定。

13.3.8 采用纵向集水盲管（沟）排水时，其设置应符合下列要求：

1 应设在衬砌边墙脚处防水层外侧；

2 应与竖向盲管、环向盲管、集水孔、进水孔连接牢固、畅通；

3 纵向坡度应符合设计要求，当设计无要求时，其坡度不得小于 2‰；

4 采用外包裹无纺布的渗水盲管，其管径应根据围岩渗漏水量的大小确定；

5 进水孔纵向设置间距宜为 5～10 m。

13.3.9 在地下水发育的无仰拱衬砌地段，应设置隧底横向盲管，并与洞内排水沟连通。隧底横向盲管设置间距宜为 5～15 m，坡度不应小于 1%，外侧应设置隔浆层。

13.3.10 盲管应具有一定的弹性，透水性好，能承受不小于 0.5 MPa 的压力，并不易锈蚀。

13.4 洞口和明洞防排水

13.4.1 洞口防水和排水应采取下列措施：

- 1 隧道、明洞和辅助坑道的洞口应设置截水沟和排水沟。
- 2 多雨地区，宜采取措施防止洞口仰坡范围内地表水下渗和冲刷。
- 3 洞外路堑的水不宜流入隧道。当出洞方向路堑为上坡时，宜将洞外侧沟做成与线路坡度相反，且不小于 2‰ 的坡度。当隧道全长小于 300m、路堑水量较小，且含泥量少、不易淤积，修建反向侧沟将增加较大工程等条件下，路堑侧沟的水可经隧道流出，但应验算隧道水沟断面，不够时应予扩大，并在高端洞口设置沉淀井。

13.4.2 明洞的防水和排水应遵守下列规定：

- 1 明洞顶部应设置必要的截、排水系统；对称路堑式明洞洞顶水沟，一般应往洞门方向排水，如线路出洞为上坡时，反坡排水坡度不得小于 1%，并应保证洞顶回填土最薄厚度不小于 1.5m。当明洞较长且有条件时，可横向拉槽向山坡较低一侧排水。
- 2 靠山侧边墙顶或边墙后，应设置纵向和竖向盲沟，将水引至边墙进水孔排入洞内排水沟。衬砌拱脚背后（或边墙脚背后）纵向盲管设置纵坡不小于 2‰；衬砌边墙背后竖向盲管设置间距宜为 5~10m。
- 3 衬砌外缘应敷设外贴式防水层，防水层铺设基面应作 1~2cm 水泥砂浆找平层，防水层表面应设 3~5cm 厚水泥砂浆保护层；防水层应与混凝土密贴。防水层视具体情况可采用涂料或片材，材料应具备良好的耐久性、耐水性、抗渗性，其物理性能应符合国家相关标准、规范要求。
- 4 明洞与隧道接头处、明洞衬砌施工缝、变形缝应按第 13.2.5~第 13.2.13 条要求做好防水处理。

5 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，在黏土取材困难时，可选用复合隔水层；隔水层应与边坡搭接良好。

6 独立明洞洞身宜设双侧排水沟，横向应设排水坡。隧道洞口接长的明洞，应与隧道洞身一并考虑设置排水设施。

13.4.3 隧道口及明洞顶截水沟设置应符合下列要求：

1 应设置在洞顶边仰坡外不小于 5 m。

2 截水沟坡度应根据地形设置，但不小于 3‰。当纵坡过陡时应设计急流槽或跌水连接，水沟截面尺寸根据流入截水沟的汇水区流量确定。水量大时，应根据地形将水引至沟谷或涵洞处排泄，不宜引入路堑排泄。

13.4.4 明洞工程纵向盲管直径不得小于 100 mm，竖向盲管直径不得小于 50 mm；进水孔直径宜为 50 mm；纵向排水管与竖向排水管、进水孔宜通过变径三通接头连接。

14 运营期间的通风与照明

14.1 运营通风

14.1.1 运营隧道应结合具体情况，采用下列综合防治有害气体危害的方法：

- 1 提高列车通过隧道的行驶速度；
- 2 隧道内铺设无碴道床；
- 3 设置机械通风。

14.1.2 特长隧道及瓦斯隧道运营通风的设置应与消防通风综合考虑。

14.1.3 运营隧道内空气的卫生标准应达到：列车通过隧道后 15 min 以内，空气中 CO 浓度在 30 mg/m^3 以下，氮氧化物（换算成 NO_2 ）浓度在 10 mg/m^3 以下。电化运营隧道内的卫生标准还应符合：隧道湿度应小于 80%，温度应低于 28°C ，臭氧浓度应小于 0.3 mg/m^3 ，含有 10% 以下游离 SiO_2 的粉尘浓度应小于 10 mg/m^3 。

瓦斯隧道运营期间，必须进行瓦斯检测，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%。

14.1.4 瓦斯隧道运营期间应采用定时通风，并在列车进入隧道前或在列车出隧道后进行，列车在隧道内运行时不应进行通风。瓦斯隧道运营通风的最小风速不得小于 1.0 m/s 。当隧道内瓦斯浓度达到 0.4% 时，必须启动风机进行通风，保证隧道内瓦斯浓度不大于 0.5%；当瓦斯浓度降到 0.3% 以下时，可停止通风。

14.1.5 运营隧道设置机械通风应根据牵引种类、隧道长度、隧道平面与纵断面、道床类型、行车速度和密度、气象条件及两端洞口地形条件等因素综合确定，并满足下列要求：

1 单线隧道应符合下列规定：

内燃机车牵引的隧道，长度在 2 km 以上，宜设置机械通风；

电力机车牵引的隧道，长度在 8 km 以上（行车密度较低、自然风条件较好时，可适当加长长度），宜设置机械通风进行换气；

隧道长度虽小于上述数值，但自然通风不良，难以在规定时间内达到容许卫生标准时，亦宜设置机械通风。

2 双线隧道应根据行车密度、自然条件等具体情况，选定设置机械通风的隧道长度和通风方式。对于内燃机车牵引的双线隧道，当隧道长度 L (km) $\times$ 行车密度 N (对/d) ≤ 100 时，不应设置机械通风。

14.1.6 运营隧道采用的机械通风方式，应根据技术、经济条件，考虑安全、通风效果等因素，综合比选确定。

当采用轴流风机时，可选用洞口风道式、斜井式、竖井式等；当采用射流风机时，可在纵向布置风机或在洞口同一断面集中布置风机，也可采用射流风机和轴流风机相结合的组合通风方式。

当需要利用斜井、竖井、横洞等辅助坑道进行机械通风时，辅助坑道设置的位置与断面尺寸，应结合运营通风的要求统一确定。

14.1.7 配置通风设备时，通风机所需供给的有效风量，应按挤压为主的原理进行计算，并考虑列车通过隧道的活塞作用和自然风的影响。

通风机供给的洞内风速不应大于 8 m/s。

14.1.8 轴流风机通风的设置应符合下列规定：

1 采用洞口风道通风方式时，宜采用吹入式通风；通风机可设在低洞口端，通风设备宜设在洞外，当必须设在洞内时，机房和设备应有防潮、防锈蚀的措施；

2 通风机的类型宜选用风量大、风压低的轴流风机；风机

传动应配套，宜选用电力传动；

3 设计洞口风道式通风时，风道与隧道的夹角宜小些，风道口与风道的过风面积及风机类型应使通风系统处于良好的工作状态；

4 通风设备的基础应置于稳固的地基上。

14.1.9 射流风机通风的设置应符合下列规定：

1 纵向等距离布置射流风机时，其间距宜在 100~150 m 之间，保证风流均匀扩散；

2 射流风机宜采用洞口堆放式或洞内壁龛式，不宜采用拱顶吊装式；

3 射流风机采用支架固定时，其支架应做成可拆式，支架两端应设置防护钢网；

4 风机支架等钢结构应接地，防止漏电危及检修人员安全；

5 为保证风机能按设定的时间启动关停，有效地利用活塞风，风机控制系统应设置红外线或踏板信号自动控制装置；该装置含控制台、控制柜、红外线或踏板信号装置及语音系统等；功能设置应含断路、短路、过载保护、声光报警及语音提示等。

14.2 照 明

14.2.1 全长 1000 m 及以上的直线隧道和全长 500 m 及以上的曲线隧道应设置照明设备。

14.2.2 隧道照明的设置应符合下列要求：

1 隧道内指示照明采用固定照明，其灯具安装高度（距轨面）宜为 4 m；

2 隧道内作业照明应采用移动照明，其插座宜设在避车洞处，安装高度（距轨面）不宜低于 1.5 m；

3 照明灯具应选用防潮、减震、防腐蚀和不妨碍信号瞭望的灯具；在可能有瓦斯泄出的隧道内应具有防爆性能；

4 照明的设置尚应符合国家现行《铁路隧道照明设施与供

电技术条件》(TB/T 2275) 的规定。

14.2.3 设有固定照明装置且有救援通道的隧道，应设置应急照明设施。

15 隧道改建

15.1 一般规定

15.1.1 改建既有隧道宜采用新建铁路的有关标准。当既有隧道改建工程较大或改建条件困难时，可根据具体情况，提出满足运输要求和符合技术条件的改建标准。增建隧道，应采用新建铁路的有关标准。

15.1.2 隧道改建方案，应根据技术标准、运输要求，结合地形、地质、线路条件、附近大型建筑物的影响、运营情况和既有隧道现状，通过技术经济比较确定。

15.1.3 隧道改建选用的工程措施及施工方法，应以保证运营和施工的安全为前提，减少对运营的干扰并方便施工。

15.1.4 隧道改建应根据设计要求收集有关资料，必要时还应对既有隧道作进一步补充勘察。

15.2 改建

15.2.1 既有隧道改建时，对隧道外有坍方落石、隧道内有较严重漏水、基底翻浆冒泥等现象应进行整治。

15.2.2 改建曲线地段的单线隧道，其断面加宽，除圆曲线部分应按规定办理外，缓和曲线部分，自缓和曲线终点向缓和曲线延伸 13 m 范围内，应采用圆曲线加宽值。自缓和曲线中点向直线方向延伸 13 m 处应采用圆曲线加宽值的一半；自缓和曲线起点向直线方向延伸 22 m 处为开始加宽的起点，其余部分的加宽值，可根据以上三点的加宽值，按直线变化插入进行检查。当不能满足上述要求时，应予以处理（图 15.2.2）。

15.2.3 改建既有隧道，对衬砌净空不符合要求的，应按以下办

法处理：



图 15.2.2 改建曲线地段隧道加宽加高示意图

1 净空宽度不足，可根据衬砌侵入限界的程度及既有线路条件，采用调整线路平面、凿除或拆换局部衬砌，以满足限界要求；

2 净空高度不足，可调整线路纵断面，落底处理；当降坡落底引起隧道两端引线地段工程改建困难，应与挑顶改建方案作比较；

3 净空宽度和高度均不足，可根据具体情况，采用局部或全部拆换衬砌的改建措施。

15.2.4 隧道改建时，对局部衬砌裂损、强度不够或漏水的地段，可采用压浆、喷锚、设置套拱或其他加强措施。

15.2.5 隧道内基底翻浆冒泥整治，应优先采用加深或重建排水沟，必要时可采用更换仰拱、加固基底等方法；隧道内严重渗漏水地段或衬砌背后有空隙地段，宜采用回填注浆，浆液宜选用水泥砂浆、水泥类浆液；隧道回填注浆后仍有渗漏水时，宜采用衬砌内注浆，浆液宜选用特种水泥浆、超细水泥浆和化学浆液。

15.2.6 隧道改建施工应符合铁道部《铁路超限货物运输规则》

及有关行车线上施工安全的规定。

15.3 电气化改造

15.3.1 隧道电气化改造要求的净空高度可与新建电力牵引隧道不同，应根据接触网悬挂高度、受电弓高度、车辆高度、养路抬道的预留等计算，得出最小的净空高度，并留有一定富余量确定。

15.3.2 电化改造隧道应避免在洞门墙下锚。

15.3.3 隧道电气化改造，要求做到拱部不渗水。

附录 A 铁路隧道围岩基本分级

A.1 围岩基本分级

A.1.1 分级因素及其确定方法应符合下列规定：

1 围岩基本分级应由岩石坚硬程度和岩体完整程度两个因素确定；

2 岩石坚硬程度和岩体完整程度，应采用定性划分和定量指标两种方法综合确定。

A.1.2 岩石坚硬程度可按表 A.1.2 划分。

表 A.1.2 岩石坚硬程度的划分

岩石类别		单轴饱和抗压强度 R_c (MPa)	代 表 性 岩 石
硬 质 岩	极硬岩	$R_c > 60$	未风化或微风化的花岗岩、片麻岩、闪长岩、石英岩、硅质灰岩、钙质胶结的砂岩或砾岩等
	硬 岩	$30 < R_c \leq 60$	弱风化的极硬岩；未风化或微风化的熔结凝灰岩、大理岩、板岩、白云岩、灰岩、钙质胶结的砂岩、结晶颗粒较粗的岩浆岩等
软 质 岩	较软岩	$15 < R_c \leq 30$	强风化的极硬岩；弱风化的硬岩；未风化或微风化的云母片岩、千枚岩、砂质泥岩、钙泥质胶结的粉砂岩和砾岩、泥灰岩、泥岩、凝灰岩等
	软 岩	$5 < R_c \leq 15$	强风化的极硬岩；弱风化至强风化的硬岩；弱风化的较软岩和未风化或微风化的泥质岩类；泥岩、煤、泥质胶结的砂岩和砾岩等
	极软岩	$R_c \leq 5$	全风化的各类岩石和成岩作用差的岩石

A.1.3 岩体完整程度可按表 A.1.3 划分。

A.1.4 围岩基本分级可按表 A.1.4 确定。

表 A.1.3 岩体完整程度的划分

完整程度	结构面特征	结构类型	岩体完整性指数(K_v)
完整	结构面 1~2 组, 以构造型节理或层面为主, 密闭型	巨块状整体结构	$K_v > 0.75$
较完整	结构面 2~3 组, 以构造型节理、层面为主, 裂隙多呈密闭型, 部分为微张型, 少有充填物	块状结构	$0.75 \geq K_v > 0.55$
较破碎	结构面一般为 3 组, 以节理及风化裂隙为主, 在断层附近受构造影响较大, 裂隙以微张型和张开型为主, 多有充填物	层状结构, 块石、碎石状结构	$0.55 \geq K_v > 0.35$
破碎	结构面大于 3 组, 多以风化型裂隙为主, 在断层附近受构造作用影响大, 裂隙宽度以张开型为主, 多有充填物	碎石角砾状结构	$0.35 \geq K_v > 0.15$
极破碎	结构面杂乱无序, 在断层附近受断层作用影响大, 宽张裂隙全为泥质或泥夹岩屑充填, 充填物厚度大	散体状结构	$K_v \leq 0.15$

表 A.1.4 围岩基本分级

级别	岩体特征	土体特征	围岩弹性纵波速度 (km/s)
I	极硬岩, 岩体完整	—	> 4.5
II	极硬岩, 岩体较完整; 硬岩, 岩体完整	—	$3.5 \sim 4.5$
III	极硬岩, 岩体较破碎; 硬岩或软硬岩互层, 岩体较完整; 较软岩, 岩体完整	—	$2.5 \sim 4.0$
IV	极硬岩, 岩体破碎; 硬岩, 岩体较破碎或破碎; 较软岩或软硬岩互层, 且以软岩为主, 岩体较完整或较破碎; 软岩, 岩体完整或较完整	具压密或成岩作用的黏性土、粉土及砂类土, 一般钙质、铁质胶结的粗角砾土、粗圆砾土、碎石土、卵石土、大块石土, 黄土 (Q_1 、 Q_2)	$1.5 \sim 3.0$

续表 A.1.4

级别	岩 体 特 征	土 体 特 征	围岩弹性纵波速度 (km/s)
V	软岩, 岩体破碎至极破碎; 全部极软岩及全部极破碎岩 (包括受构造影响严重的 破碎带)	一般第四系坚硬、硬塑黏性 土, 稍密及以上、稍湿、潮湿 的碎(卵)石土、粗圆砾土、 细圆砾土、粗角砾土、细角砾 土、粉土及黄土 (Q_3 、 Q_4)	1.0~2.0
VI	受构造影响很严重呈碎石、 角砾及粉末、泥土状的断 层带	软塑状黏性土、饱和的粉土、 砂类土等	<1.0 (饱 和 状态的土 < 1.5)

A.2 隧道围岩分级修正

A.2.1 隧道围岩级别的修正应符合下列规定:

- 1 围岩级别应在围岩基本分级的基础上, 结合隧道工程的特点, 考虑地下水状态、初始地应力状态等必要的因素进行修正。
- 2 地下水状态的分级宜按表 A.2.1—1 确定。

表 A.2.1—1 地下水状态的分级

级 别	状 态	渗水量 [L/(min·10 m)]
I	干燥或湿润	<10
II	偶有渗水	10~25
III	经常渗水	25~125

- 3 地下水对围岩级别的修正, 宜按表 A.2.1—2 进行。

表 A.2.1—2 地下水影响的修正

围岩基本分级 地下水状态分级	I	II	III	IV	V	VI
I	I	II	III	IV	V	—
II	I	II	IV	V	VI	—
III	II	III	IV	V	VI	—

4 围岩初始地应力状态，当无实测资料时，可根据隧道工程埋深、地貌、地形、地质、构造运动史、主要构造线与开挖过程中出现的岩爆、岩芯饼化等特殊地质现象，按表 A.2.1—3 评估。

表 A.2.1—3 初始地应力场评估基准

初始地应力状态	主 要 现 象	评估基准 (R_c/σ_{max})
极高应力	1. 硬质岩：开挖过程中时有岩爆发生，有岩块弹出，洞壁岩体发生剥离，新生裂缝多，成洞性差	<4
	2. 软质岩：岩芯常有饼化现象，开挖过程中洞壁岩体有剥离，位移极为显著，甚至发生大位移，持续时间长，不易成洞	
高应力	1. 硬质岩：开挖过程中可能出现岩爆，洞壁岩体有剥离和掉块现象，新生裂缝较多，成洞性较差	4~7
	2. 软质岩：岩芯时有饼化现象，开挖过程中洞壁岩体位移显著，持续时间较长，成洞性差	

注： R_c 为岩石单轴饱和抗压强度 (MPa)； σ_{max} 为最大地应力值 (MPa)。

5 初始地应力对围岩级别的修正宜按表 A.2.1—4 进行。

表 A.2.1—4 初始地应力影响的修正

修正级别 围岩基本分级		I	II	III	IV	V
初始地应力状态						
极高应力		I	II	III 或 IV ^①	V	VI
高 应 力		I	II	III	IV 或 V ^②	VI

注：①围岩岩体为较破碎的极硬岩、较完整的硬岩时定为 III 级；围岩岩体为完整的较软岩、较完整的软硬互层时定为 IV 级；

②围岩岩体为破碎的极硬岩、较破碎及破碎的硬岩时定为 IV 级；围岩岩体为完整及较完整软岩、较完整及较破碎的较软岩时定为 V 级。

6 隧道洞身埋藏较浅，应根据围岩受地表的影响情况进行围岩级别修正。当围岩为风化层时，应按风化层的围岩基本分级考虑；围岩仅受地表影响时，应较相应围岩降低 1~2 级。

A.2.2 施工阶段隧道围岩级别的判定宜按表 A.2.2 的判定卡进

行。

表 A.2.2 施工阶段围岩级别判定卡

工程名称			位置	里 程		评 定		
				距洞口距离(m)				
岩性指标	岩石类型(名称)		黏聚力 $c =$ MPa; $\varphi =$			极硬岩 硬岩 较软岩 软岩 极软岩 土		
	单轴饱和抗压强度 $R_c =$ MPa		点荷载强度极限 $I_r =$ MPa					
	变形模量 $E =$ GPa		泊松比 $\nu =$					
	天然重度 $\gamma =$ kN/m ³		其 他					
岩体完整状态	地质构造影响程度		轻 微	较 重	严 重	极严重	完 整	
	地质结构面	间距(m)	>1.5	0.6~1.5	0.2~0.6	0.06~0.2	<0.06	较完整
		延伸性	极 差	差	中 等	好	极 好	较破碎
		粗糙度	明显台阶状	粗糙波纹状	平整光滑有擦痕		平整光滑	破 碎
		张开性 (mm)	密闭 <0.1	部分张开 0.1~0.5	张开 0.5~1.0	无充填张开 >1.0	黏土充填	
	风化程度	未风化	微风化	弱风化	强风化	全风化	极破碎	
	简要说明							
地下水状态	渗水量[L/(min·10m)]		<10 干燥或湿润	10~25 偶有渗水	25~125 经常渗水	干燥或湿润 偶有渗水 经常渗水		
初始地应力状态	埋深 $H =$ m							
	地质构造应力状态			其他				
围岩级别	I	II	III	IV	V	VI		
备 注								
记录者	复核者		日 期					

附录 B 偏压隧道衬砌作用（荷载）计算方法

B.0.1 当地面倾斜，Ⅳ、Ⅴ级围岩的单线隧道及Ⅲ～Ⅴ级围岩的双线隧道外侧拱肩至地面的垂直距离（ t ）等于或小于本规范表 4.1.5—1 所列数值时，应按偏压隧道设计。

B.0.2 在作用（荷载）下其垂直压力可按式（B.0.2—1）计算：

$$Q = \frac{\gamma}{2} [(h + h')B - (\lambda h^2 + \lambda' h'^2) \tan \theta] \quad (\text{B.0.2—1})$$

并假定偏压分布图形与地面坡一致（图 B.0.2）。

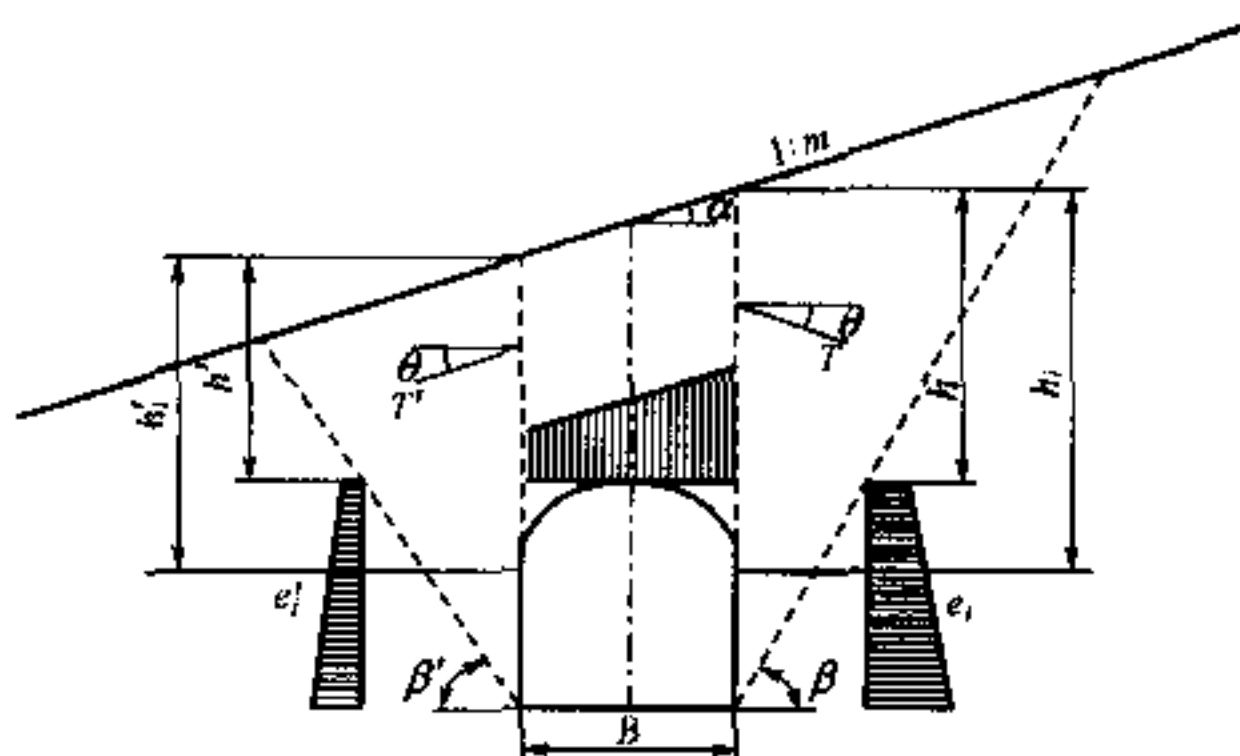


图 B.0.2 偏压隧道衬砌作用（荷载）计算图式

式中 h, h' ——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（°），当无实测资料时，可参考表 B.0.2 选取；

表 B.0.2 摩擦角 θ 取值

围岩级别	I ~ III	IV	V	VI
θ 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：

$$\lambda = \frac{1}{\tan\beta - \tan\alpha} \times \frac{\tan\beta - \tan\varphi_c}{1 + \tan\beta(\tan\varphi_c - \tan\theta) + \tan\varphi_c \tan\theta} \quad (\text{B.0.2—2})$$

$$\lambda' = \frac{1}{\tan\beta' + \tan\alpha} \times \frac{\tan\beta' - \tan\varphi_c}{1 + \tan\beta'(\tan\varphi_c - \tan\theta) + \tan\varphi_c \tan\theta} \quad (\text{B.0.2—3})$$

$$\tan\beta = \tan\varphi_c + \sqrt{\frac{(\tan^2\varphi_c + 1)(\tan\varphi_c - \tan\alpha)}{\tan\varphi_c - \tan\theta}} \quad (\text{B.0.2—4})$$

$$\tan\beta' = \tan\varphi_c + \sqrt{\frac{(\tan^2\varphi_c + 1)(\tan\varphi_c + \tan\alpha)}{\tan\varphi_c - \tan\theta}} \quad (\text{B.0.2—5})$$

式中 α ——地面坡度角 ($^\circ$)；

φ_c ——围岩计算摩擦角 ($^\circ$)；

β, β' ——内、外侧产生最大推力时的破裂角 ($^\circ$)。

B.0.3 在作用（荷载）下的水平侧压力可按式（B.0.3—1~2）计算：

$$\text{内侧} \quad e_i = \gamma h_i \lambda \quad (\text{B.0.3—1})$$

$$\text{外侧} \quad e_i = \gamma h_i' \lambda' \quad (\text{B.0.3—2})$$

式中 h_i, h_i' ——内、外侧任一点 i 至地面的距离 (m)。

附录 C 明洞作用（荷载）计算方法

C.0.1 明洞拱圈回填土垂直压力可按式（C.0.1）计算：

$$q_i = \gamma_1 h_i \quad (\text{C.0.1})$$

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)。

C.0.2 明洞拱圈回填土石侧压力可按式（C.0.2—1）计算：

$$e_i = \gamma_1 h_i \lambda \quad (\text{C.0.2—1})$$

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 C.0.2—1）时按无限土体计算，即

$$\lambda = \cos \alpha \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \varphi_1}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \varphi_1}} \quad (\text{C.0.2—2})$$

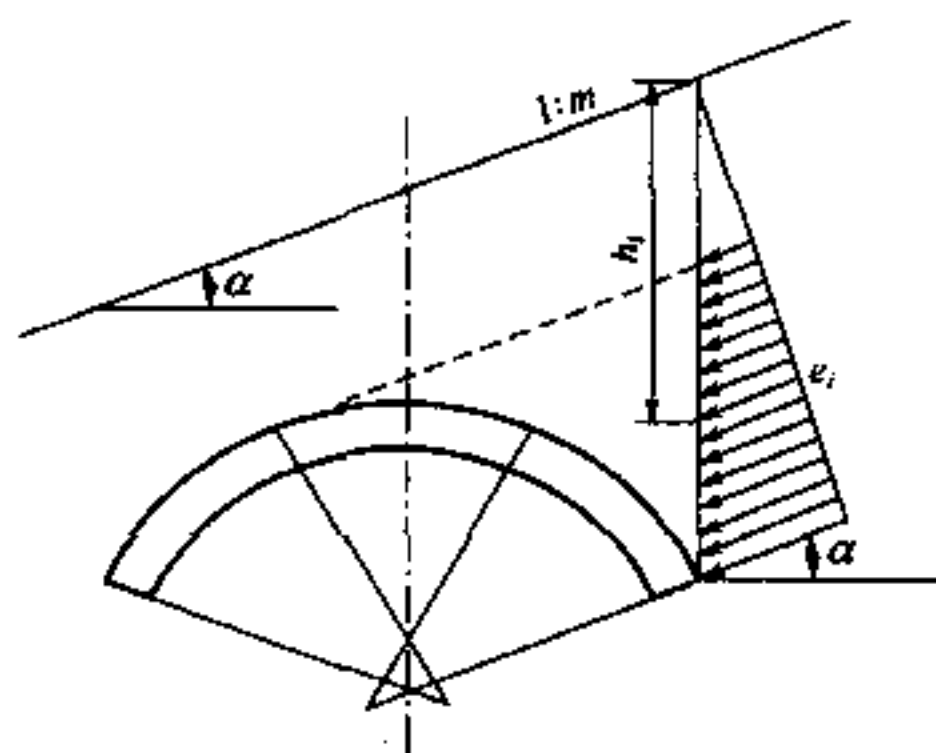


图 C.0.2—1

填土坡面向上倾斜(图 C.0.2—2)时按有限土体计算,即

$$\lambda = \frac{1 - \mu n}{(\mu + n) \cos \rho + (1 - \mu n) \sin \rho} \cdot \frac{mn}{m - n} \quad (\text{C.0.2-3})$$

式中 α ——设计填土面坡度角 ($^{\circ}$);

 φ_1 ——拱背回填土石計算摩擦角 ($^{\circ}$);

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;

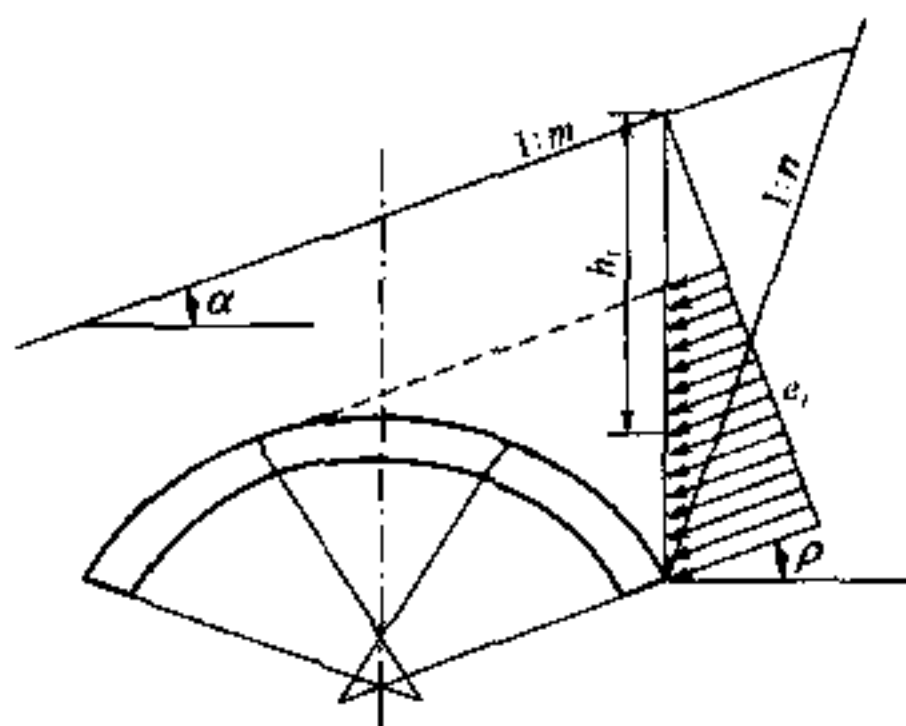
 μ ——回填土石与开挖边坡面间的摩擦系数。

图 C.0.2-2

填土坡面水平 (图 C.0.2—3) 时的侧压力系数为

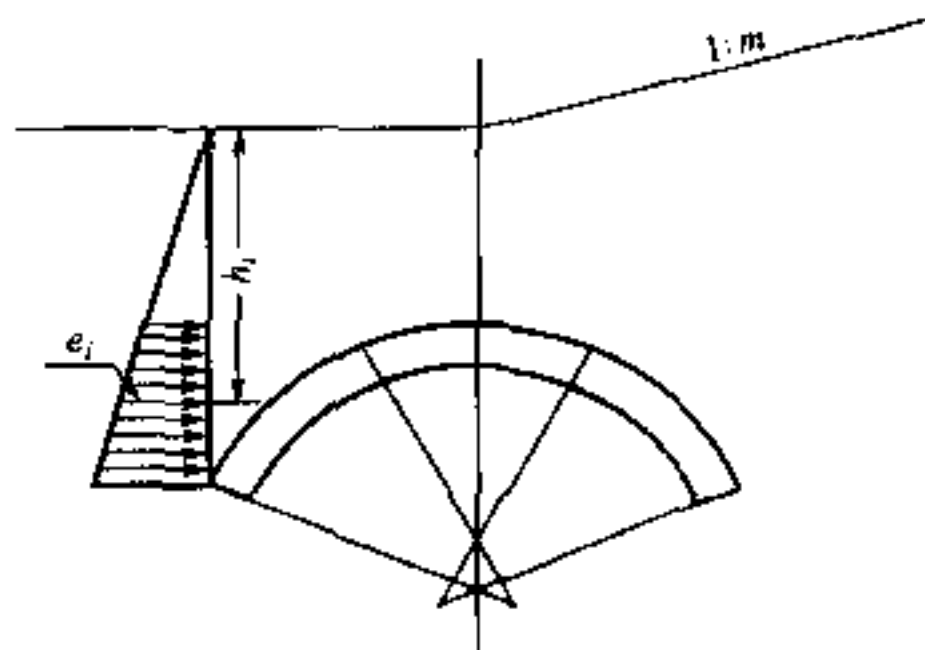


图 C.0.2—3

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

C.0.3 明洞边墙回填土石侧压力可按式 (C.0.3—1) 计算:

$$e_i = \gamma_2 h_i' \lambda \quad (\text{C.0.3—1})$$

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

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 C.0.3—1) 时,

$$\lambda = \frac{\cos^2 \varphi_2}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin \varphi_2 \cdot \sin(\varphi_2 - \alpha')}{\cos \alpha'}} \right]^2} \quad (\text{C.0.3—2})$$

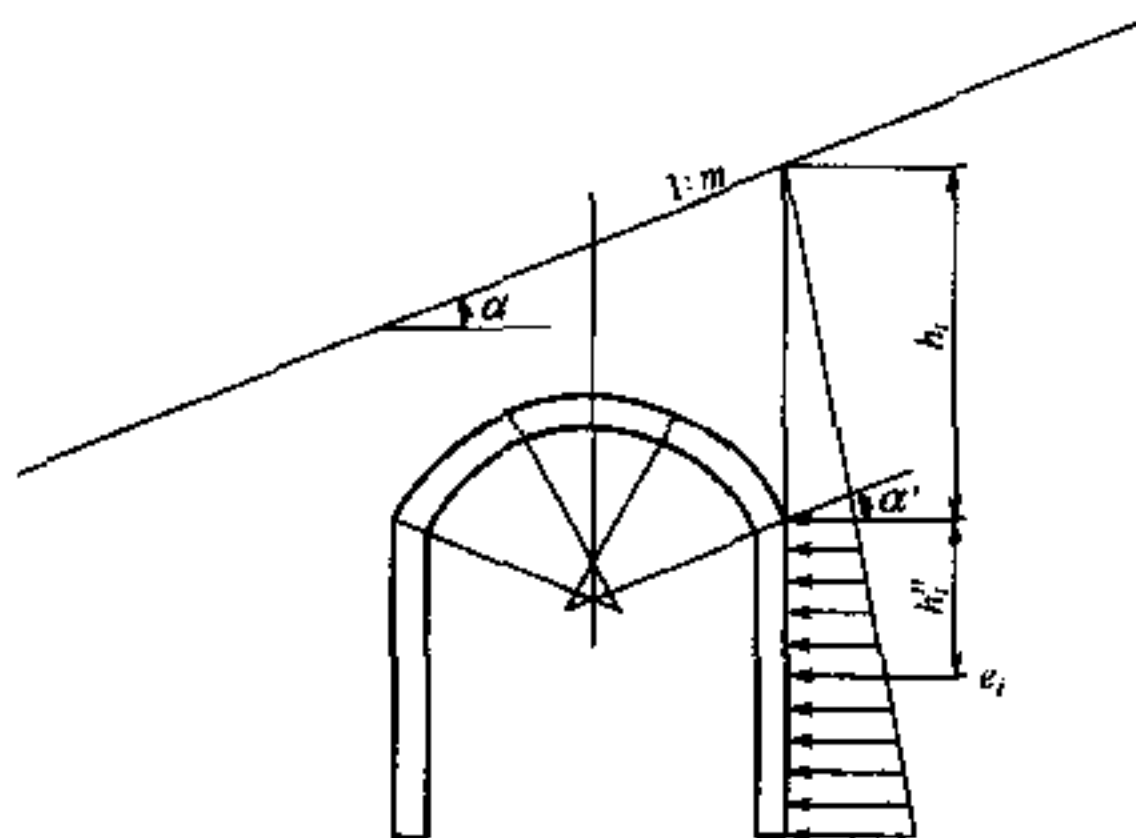


图 C.0.3—1

填土坡面向下倾斜 (图 C.0.3—2) 时,

$$\lambda = \frac{\tan \theta_0}{\tan(\theta_0 + \varphi_2)(1 + \tan \alpha' \tan \theta_0)} \quad (\text{C.0.3—3})$$

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;

$$\tan \theta_0 = \frac{-\tan \varphi_2 + \sqrt{(1 + \tan^2 \varphi_2)(1 + \tan \alpha' / \tan \varphi_2)}}{1 + (1 + \tan^2 \varphi_2) \tan \alpha' / \tan \varphi_2}$$

(C.0.3—4)

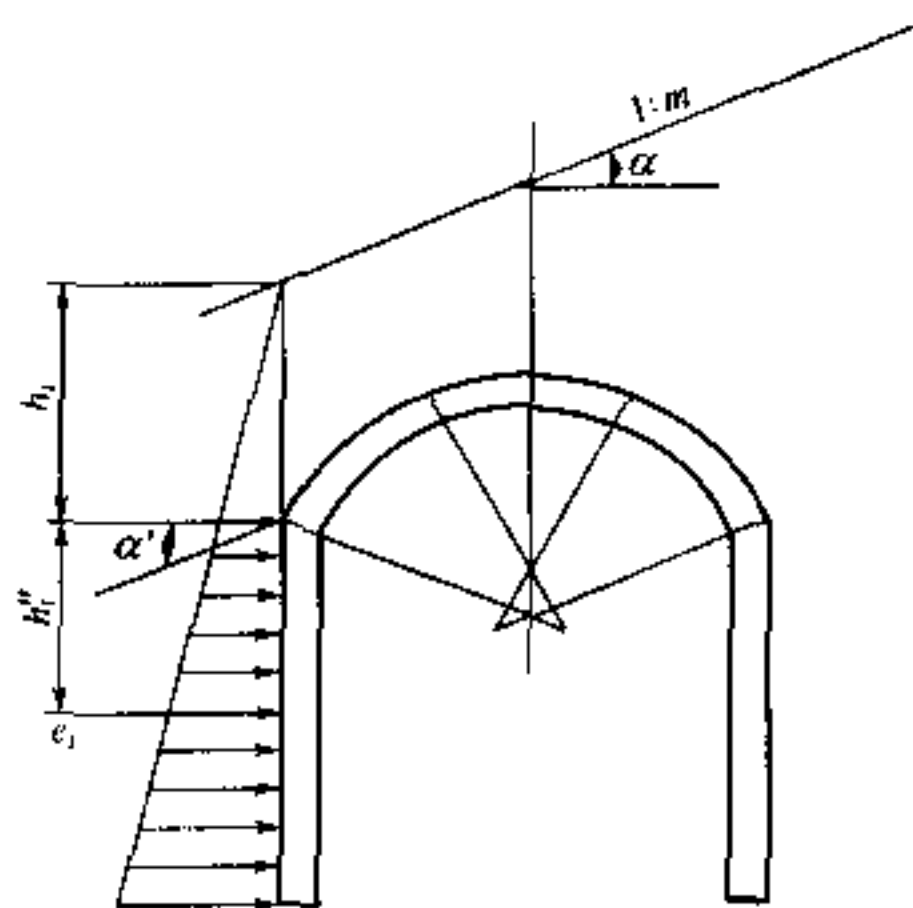


图 C.0.3—2

填土坡面水平时的侧压力系数为

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

附录 D 隧道门作用（土压力）计算方法

D.0.1 当采用概率极限状态理论设计时，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

$$\tan \omega = \frac{\tan^2 \varphi_c + \tan \alpha \tan \epsilon - \sqrt{(1 + \tan^2 \varphi_c)(\tan \varphi - \tan \epsilon)(\tan \varphi_c + \tan \alpha)(1 - \tan \alpha \tan \epsilon)}}{\tan \epsilon (1 + \tan^2 \varphi_c) - \tan \varphi_c (1 - \tan \alpha \tan \epsilon)}$$

(D.0.1—1)

式中 φ_c ——围岩计算摩擦角 ($^\circ$)；

ϵ, α ——地面坡角和墙背倾角 ($^\circ$)，如图 D.0.1 所示。

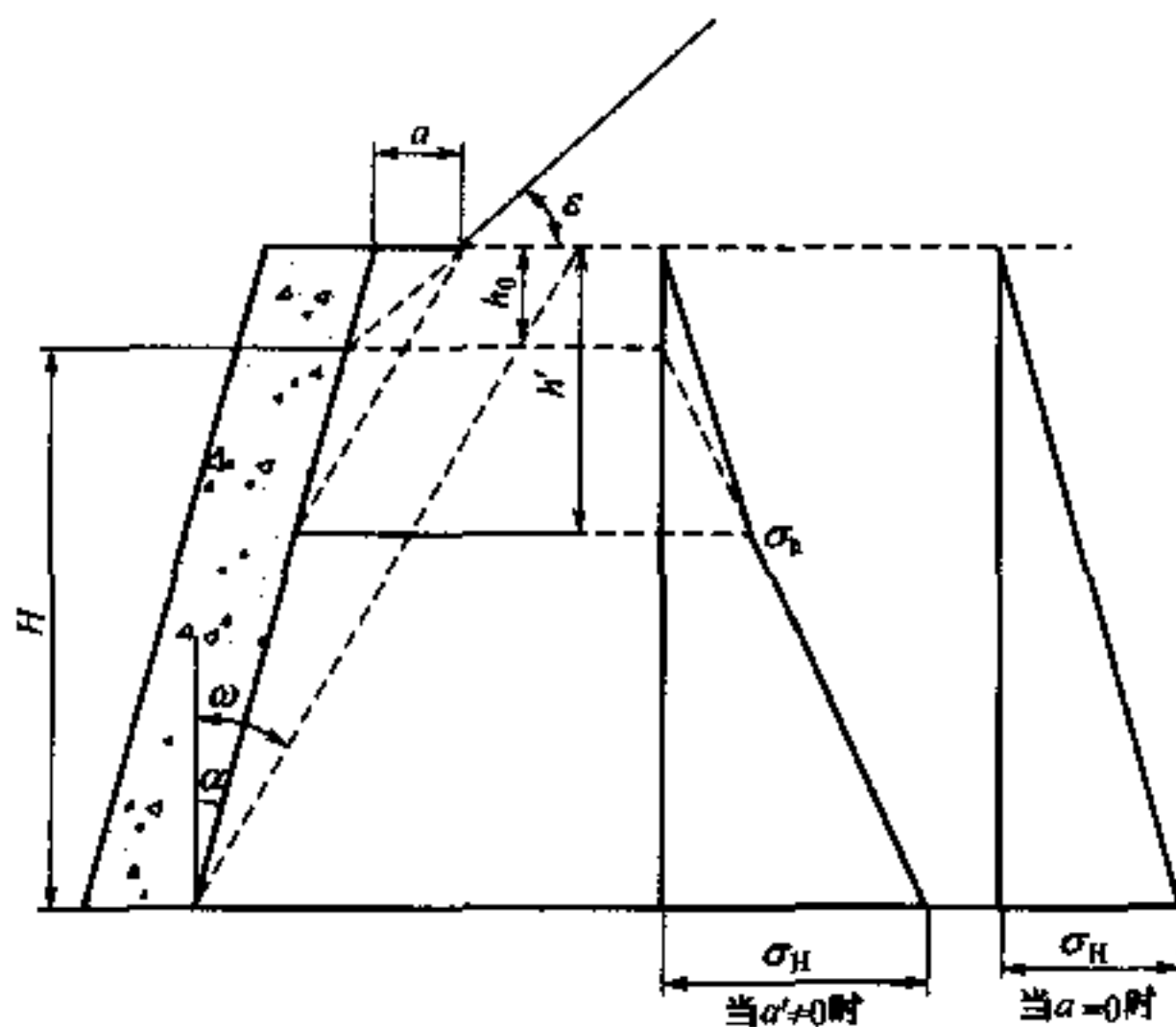


图 D.0.1 土压力分布

2 土压力

$$E = \frac{1}{2} \gamma \lambda [H^2 + h_0(h' - h_0)] b \times \xi \quad (\text{D.0.1—2})$$

$$\lambda = \frac{(\tan \omega - \tan \alpha)(1 - \tan \alpha \tan \epsilon)}{\tan(\omega + \varphi_c)(1 - \tan \omega \tan \epsilon)} \quad (\text{D.0.1—3})$$

$$h' = \frac{a}{\tan \omega - \tan \alpha} \quad (\text{D.0.1—4})$$

式中 E ——土压力 (kN);

γ ——地层重度 (kN/m³);

λ ——侧压力系数;

ω ——墙背土体的破裂角 (°);

b ——洞门墙计算条带宽度 (m);

ξ ——土压力计算模式不定性系数, $\xi = 0.6$ 。

墙后土压力计算简图及土压力分布示于图 D.0.1。

附录 E 浅埋隧道衬砌作用（荷载）计算方法

E.0.1 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：

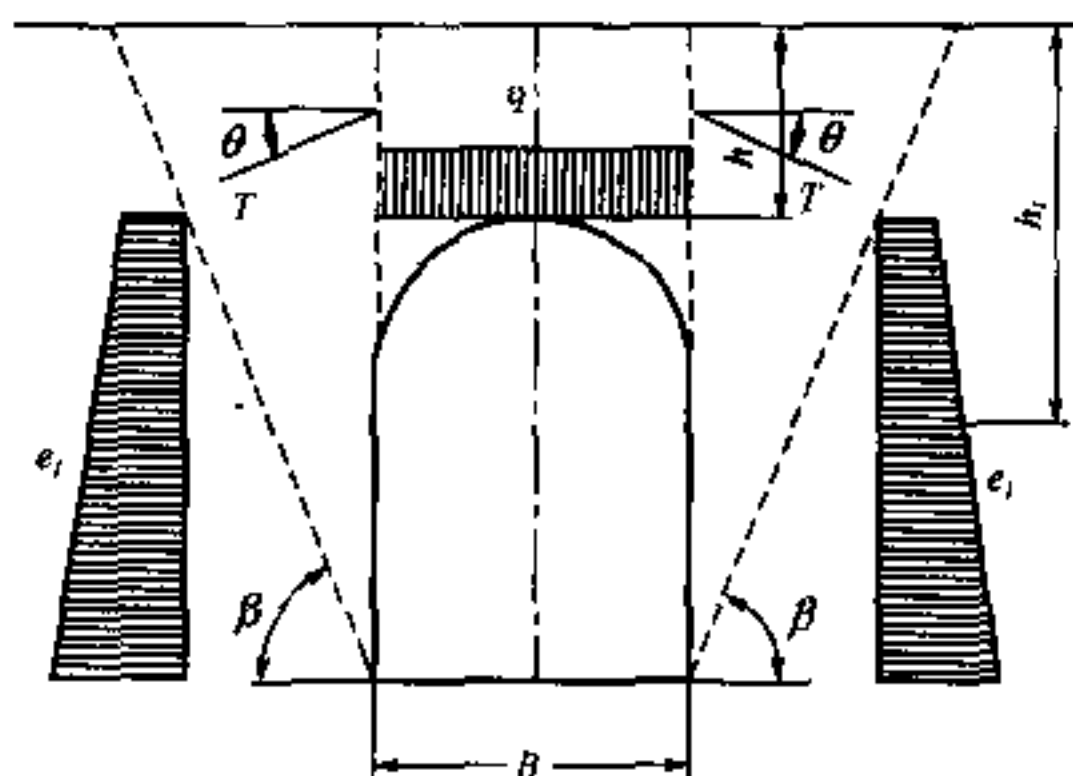


图 E.0.1

1 垂直压力可按式 (E.0.1—1) 计算：

$$q = \gamma h \left(1 - \frac{\lambda h \tan \theta}{B} \right) \quad (\text{E.0.1—1})$$

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

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

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 (E.0.1—2) 计算:

$$e_i = \gamma h_i \lambda \quad (\text{E.0.1—2})$$

式中 h_i ——内外侧任意点至地面的距离 (m)。

E.0.2 当 $h < h_0$ (h_0 为深埋隧道垂直荷载计算高度) 时, 取 $\theta = 0$, 属超浅埋隧道。

E.0.3 当 $h \geq 2.5h_0$ (h_0 为深埋隧道垂直荷载计算高度) 时, 式 (E.0.1—1) 不适用。

附录 F 隧道初期支护极限相对位移 和稳定性判别方法

F.0.1 隧道稳定性可根据隧道施工实测位移 U 、隧道极限位移 U_0 进行判别。当 $U \leq U_0$ 时，隧道稳定；当 $U > U_0$ 时，隧道不稳定。

F.0.2 单线隧道初期支护极限相对位移，可按表 F.0.2 确定。

表 F.0.2 单线隧道初期支护极限相对位移 (%)

围岩级别	隧道埋深 h (m)		
	$h \leq 50$	$50 < h \leq 300$	$300 < h \leq 500$
拱脚水平相对净空变化			
Ⅱ	—	—	0.20~0.60
Ⅲ	0.10~0.50	0.40~0.70	0.60~1.50
Ⅳ	0.20~0.70	0.50~2.60	2.40~3.50
Ⅴ	0.30~1.00	0.80~3.50	3.00~5.00
拱顶相对下沉			
Ⅱ	—	0.01~0.05	0.04~0.08
Ⅲ	0.01~0.04	0.03~0.11	0.10~0.25
Ⅳ	0.03~0.07	0.06~0.15	0.10~0.60
Ⅴ	0.06~0.12	0.10~0.60	0.50~1.20

- 注：1 本表适用于按本规范表 7.2.1—2 参数设计的单线隧道复合式衬砌的初期支护。硬岩取表中较小值，软岩取较大值。表列数值可在施工中通过实测资料积累作适当修正。
- 2 拱脚水平相对净空变化指拱脚测点间净空水平变化值与其距离之比；拱顶相对下沉指拱顶下沉值减去隧道下沉值后与原拱顶至隧底高度之比。
- 3 单线隧道初期支护墙腰水平相对净空变化极限值可按拱脚水平相对净空变化极限值乘以 1.2~1.3 后采用。

F.0.3 双线隧道初期支护极限相对位移，可按表 F.0.3 确定。

表 F.0.3 双线隧道初期支护极限相对位移 (%)

围岩级别	隧道埋深 h (m)		
	$h \leq 50$	$50 < h \leq 300$	$300 < h \leq 500$
拱脚水平相对净空变化			
Ⅱ	—	0.01~0.03	0.01~0.08
Ⅲ	0.03~0.10	0.08~0.40	0.30~0.60
Ⅳ	0.10~0.30	0.20~0.80	0.70~1.20
Ⅴ	0.20~0.50	0.40~2.00	1.80~3.00
拱顶相对下沉			
Ⅱ	—	0.03~0.06	0.05~0.12
Ⅲ	0.03~0.06	0.04~0.15	0.12~0.30
Ⅳ	0.06~0.10	0.08~0.40	0.30~0.80
Ⅴ	0.08~0.16	0.14~1.10	0.80~1.40

- 注：1 本表适用于按本规范表 7.2.1—3 参数设计的双线隧道复合式衬砌的初期支护。硬岩取表中较小值，软岩取较大值。表列数值可在施工中通过实测资料积累作适当修正。
- 2 拱脚水平相对净空变化指拱脚测点间水平净空变化值与其距离之比；拱顶相对下沉指拱顶下沉值减去隧道下沉值后与原拱顶至隧底高度之比。
- 3 双线隧道初期支护墙腰水平相对净空变化极限值可按拱脚水平相对净空变化极限值乘以 1.1~1.2 后采用。

F.0.4 隧道稳定性还可结合现场观测和位移发展变化规律，依据下述项目作出判别：

- 1 隧道开挖工作面状态及支护状态观测结果；
- 2 位移速度；
- 3 位移速度的变化率。

F.0.5 经过判别不能满足隧道稳定性要求时，应修改设计或加强支护：

- 1 隧道施工中修改设计的主要内容包括：
 - 1) 围岩级别的变更；

- 2) 预留变形量的增加或减少;
 - 3) 施工工序或开挖方法的变更;
 - 4) 监控量测项目或点位置的变动。
- 2 对初期支护的加强措施包括:**
- 1) 增加喷射混凝土厚度, 考虑使用早强水泥配制的喷射混凝土;
 - 2) 加密或加长锚杆;
 - 3) 增设钢筋网或考虑使用喷射钢纤维混凝土;
 - 4) 采用或加密钢拱;
 - 5) 加固围岩以提高围岩的物性指标;
 - 6) 采用预支护技术(管棚、旋喷拱或预切槽)减少坑道变形。

F.0.6 确认围岩级别提高, 地质及水文条件较原判断有明显好转, 应调整初期支护设计参数。

F.0.7 当出现下列失稳先兆时应加强支护或尽快施作二次衬砌:

- 1 局部石块坍塌或层状劈裂、喷混凝土层的大量开裂;
- 2 累计位移量已达到极限位移的 $2/3$, 且仍未发现隧道周边位移速度有明显减缓的趋势;
- 3 每日的位移量大于极限位移的 10% ;
- 4 洞室变形的异常加速, 即在无施工干扰时的变形速率加大。

附录 G 地震基本烈度与地震动参数的换算

G.0.1 地震区隧道设计应直接采用地震动参数（地震动峰值加速度和地震动反应谱特征周期）取代地震基本烈度，作为铁路隧道工程设防的依据。对于相关技术标准中涉及地震基本烈度概念的，在尚未修订之前，可参照下述方法确定：

1 抗震设计验算直接采用现行国家标准《中国地震动参数区划图》(GB18306—2001) 提供的地震动参数；

2 当涉及地基处理、构造措施或其他防震减灾措施时，地震基本烈度数值可由现行国家标准《中国地震动参数区划图》(GB18306—2001) 查取地震动峰值加速度并按表 G.0.1 确定。

表 G.0.1 地震动峰值加速度分区与地震基本烈度对照

地震动峰值加速度分区(g)	<0.05	0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	≥ 0.4
地震基本烈度值	$<VI$	VI	VII	VII	VIII	VIII	$\geq IX$

本规范用词说明

执行本规范条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

(1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

(2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

(3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。