UDC

中华人民共和国行业标准

TB

TB 10108—2002
J 159—2002

P

铁路隧道喷锚构筑法技术规范

Code for shotcrete-bolt construction method of railway tunnel

2002-03-16 发布　　2002-07-01 实施

中华人民共和国铁道部 发布

(京)新登字 063 号

中华人民共和国行业标准

铁路隧道喷锚构筑法技术规范

TB 10108—2002

J 159—2002

*

中国铁道出版社出版发行

（100054，北京市宣武区右安门西街 8 号）

北京市兴顺印刷厂印

开本：850 mm×1 168 mm 1/32 印张：3.125 字数：78 千字

2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月第 1 次印刷

印数：1～7 000 册

统一书号：15113·1685 定价：10.90 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书，如有缺页、倒页、脱页者，请与本社发行部调换。

关于发布《铁路工程节能设计规范》等 12 个铁路工程建设标准的通知

铁建设〔2002〕24 号

《铁路工程节能设计规范》（TB 10016—2002）、《铁路生产污水处理设计规范》（TB 10079—2002）、《铁路特殊路基设计规范》（TB 10035—2002）、《铁路隧道喷锚构筑法技术规范》（TB 10108—2002）、《铁路瓦斯隧道技术规范》（TB 10120—2002）、《铁路路基施工规范》（TB 10202—2002）、《铁路桥涵施工规范》（TB 10203—2002）、《铁路隧道施工规范》（TB 10204—2002）、《铁路给水排水施工规范》（TB 10209—2002）、《铁路客车车辆设备设计规范》（TB 10029—2002）、《铁路电力牵引变电所所用电系统设计规范》（TB 10080—2002）、《铁路通信光纤用户接入网工程施工规范》（TB 10222—2002）等 12 个铁路工程建设标准，经审查现予发布，自 2002 年 7 月 1 日起施行。届时原《铁路工程设计节能技术规定》（TBJ 16—86）、《铁路特殊土路基设计规则》（TBJ 35—92）、《铁路隧道喷锚构筑法技术规则》（TBJ 108—92）、《铁路路基施工规范》（TBJ 202—86，含 1996 年局部修订版）、《铁路桥涵施工规范》（TBJ 203—86，含 1996 年局部修订版）、《铁路隧道施工规范》（TBJ 204—86，含 1996 年局部修订版）、《铁路给水排水施工规范》（TBJ 209—86，含 1996 年局部修订版）及《铁路客车技术整备所设计规则》（TBJ 29—90）同时废止。

对工程延续项目勘测设计中新老规范衔接问题，按《关于实施新发布设计规范有关问题的通知》（建技〔1999〕88 号）办理。

以上标准由部建设管理司负责解释，由中国铁道出版社和铁路工程技术标准所组织出版发行。

中华人民共和国铁道部

二〇〇二年三月十六日

前　言

本规范是根据铁道部铁建设函〔1999〕50号文的要求，在《铁路隧道喷锚构筑法技术规则》(TBJ 108—92）基础上修订而成的。

本规范共分10章，其主要内容包括：总则、术语和符号、勘测、设计、施工、监控量测、工程验收。

本规范主要修订的内容有：围岩分类改称围岩分级，级别和顺序与国家标准统一，并充实了施工阶段分级的评定方法；增加了专业术语的定义；增加了在洞口段设计与施工中考虑环境保护的有关规定；增加了湿喷混凝土有关技术要求；增加了洞口施工章节；增加了采用喷锚构筑法和复合式衬砌时在勘测、设计和施工中的有关技术要求；充实了建筑材料、防排水、监控量测等有关章节的内容。

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专业设计院（北京市朝阳门外大街227号，邮政编码：100020），并抄送铁路工程技术标准所（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：铁道专业设计院。

本规范参编单位：中铁隧道集团有限公司、西南交通大学、中国铁道科学研究院、中铁二局集团有限公司。

本规范主要起草人：李汶京、郑大中、高万春、关宝树、徐祯祥、韩忠存、刘艳青。

目　　次

1　总　　则 …… 1
2　术语和符号 …… 2
2.1　术　　语 …… 2
2.2　符　　号 …… 3
3　勘　　测 …… 4
3.1　一般规定 …… 4
3.2　工程地质及水文地质调查 …… 4
3.3　围岩评价与围岩分级 …… 5
4　设　　计 …… 9
4.1　一般规定 …… 9
4.2　建筑材料 …… 9
4.3　设计原则 …… 11
4.4　初期支护 …… 14
4.5　二次衬砌 …… 15
4.6　仰　　拱 …… 16
4.7　防 排 水 …… 16
4.8　特殊岩土和不良地质地段 …… 18
5　施　　工 …… 19
5.1　一般规定 …… 19
5.2　开　　挖 …… 19
5.3　洞　　口 …… 20
5.4　喷射混凝土 …… 20
5.5　锚　　杆 …… 22
5.6　钢　　架 …… 23
5.7　辅助施工措施 …… 24

5.8 防 排 水…… 25
5.9 二次衬砌…… 26
6 监控量测…… 30
6.1 监控量测计划与内容…… 30
6.2 监控量测作业…… 31
6.3 监控量测资料的整理与反馈…… 33
7 工程验收…… 36
7.1 质量检验…… 36
7.2 工程验收…… 38
本规范用词说明 …… 39
《铁路隧道喷锚构筑法技术规范》条文说明…… 40

1 总 则

1.0.1 为了满足铁路隧道工程应用喷锚构筑法进行设计和施工的需要，使铁路隧道建设符合安全适用、技术先进、经济合理的要求，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于旅客列车最高行车速度为140 km/h的新建、改建标准轨距铁路隧道工程的设计、施工及验收。

1.0.3 采用喷锚构筑法修建隧道时，应符合下列基本要求：

1 合理地利用围岩的自承能力，保持围岩稳定；

2 以喷射混凝土、锚杆为主要支护手段，及时支护、封闭，使围岩成为支护体系的重要组成部分；

3 开挖作业应减少对围岩的扰动，保持隧道开挖轮廓圆顺；

4 施工中必须对围岩和支护进行观察、量测，并根据反馈信息进行动态设计。

1.0.4 按喷锚构筑法修建隧道时，必须认真贯彻国家有关的政策和法规，重视生态环境保护，防止污染环境。

1.0.5 采用喷锚构筑法进行铁路隧道设计和施工，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 喷锚构筑法　shotcrete-bolt construction method

以喷射混凝土、锚杆为主要支护手段，通过对围岩的监控量测指导设计与施工，使围岩成为支护体系的一部分，合理地利用围岩的自承能力，以保持围岩稳定的隧道修建方法。

2.1.2 锚杆　rock bolt，ancher bolt

锚入围岩体内加固围岩的一种杆形构件。

2.1.3 初期支护　primary support

隧道开挖后，用于控制围岩变形及防止坍塌所及时施作的支护。

2.1.4 二次衬砌　secondary lining

在围岩与初期支护变形基本稳定条件下，在初期支护内侧施作的最终衬砌。一般采用模筑混凝土。

2.1.5 湿喷　wet-mix shotcreting

将水泥、骨料和水在拌和机中拌和后，压送到喷嘴喷出的一种喷射混凝土施工方法。

2.1.6 干喷　dry-mix shotcreting

将水泥和骨料干拌后压送到喷嘴，在喷嘴的前端让其与水合流的一种喷射混凝土施工方法。

2.1.7 潮喷　moist mix shotcreting（half-wet mix shotcreting）

为降低粉尘，在混合料搅拌时（或搅拌前）预先加入少量的水（水灰比通常为0.25～0.35）的一种喷射混凝土施工方法。

2.1.8 喷射钢纤维混凝土　steel fiber reinforced concrete

均匀分散混入有短钢纤维的喷射混凝土。

2.1.9 超前支护　advanced support

沿隧道轴向以一定角度斜插入开挖面拱部前方，对围岩进行预加固的支护。

2.1.10 动态设计　observational designing

在隧道施工中根据围岩地质条件变化对隧道预设计进行优化和修正。

2.2 符　号

E_c——混凝土弹性模量

E_s——钢筋弹性模量

R_c——岩石单轴饱和抗压强度

3 勘　　测

3.1 一般规定

3.1.1 隧道勘测应为采用喷锚构筑法设计、施工提供所需的基础资料。

3.1.2 勘测应分为设计阶段勘测和施工阶段勘测。各阶段的调查内容、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。

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，当发现实际的地质情况与最初预计的情况不符时，应及时修改勘测计划。

3.1.4 勘测结果应根据规划、设计、施工的不同需要分别整理和保管。

3.2 工程地质及水文地质调查

3.2.1 设计阶段地质勘测可采用测绘、弹性波探测、遥感、钻探、试验坑道等方法。施工阶段地质勘测可采用开挖工作面直接观察、物探、超前钻孔、辅助坑道、勘探坑道等方法。

3.2.2 设计阶段工程地质调查应重点查明下列情况：

1 断层及其破碎带等；

2 风积沙与含水砂层；

3 膨胀岩、挤压性围岩、岩溶、煤系地层、黄土等；

4 滑坡、岩堆、采空区等；

5 地热、有害气体、放射性物质等。

3.2.3 设计阶段水文地质调查应重点查明下列情况：

1 地形、地貌；

2 地表水径流与地下水的联系；

3 承压水及地下水量、水位；

4 水利用情况；

5 水的腐蚀性及其对工程的影响；

6 含水层及其透水系数；

7 影响地下水状态的其他工程；

8 异常涌水、突泥的可能性。

3.2.4 施工阶段工程地质调查应完成下列工作：

1 根据对围岩性质的直接观察、量测和试验结果，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；

4 核定或修正围岩级别。

3.3 围岩评价与围岩分级

3.3.1 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、突发涌水等；

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。

3.3.2 隧道围岩级别的划分可分为设计阶段围岩级别的判别和施工阶段围岩级别的修正两步进行。

3.3.3 设计阶段围岩级别应根据岩石的坚硬程度和岩体完整程度两个因素，按国家现行《铁路隧道设计规范》(TB 10003—

2001）确定。

3.3.4 隧道围岩级别的修正应符合下列要求：

1 在设计阶段围岩基本分级的基础上，应结合隧道工程的特点，考虑地下水状态、初始地应力状态等因素进行修正；

2 地下水状态的分级宜按表3.3.4—1确定；

表 3.3.4—1 地下水状态的分级

级 别	状 态	渗水量 $\left(\frac{L}{min \cdot 10m}\right)$
Ⅰ	干燥或湿润	<10
Ⅱ	偶有渗水	10~25
Ⅲ	经常渗水	25~125

3 地下水影响对围岩级别的修正宜按表3.3.4—2进行；

表 3.3.4—2 地下水影响对围岩级别的修正

地下水状态 \ 围岩级别	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 当无实测资料时，可根据隧道埋深、地貌、地形、地质、构造运动史、主要构造线和开挖过程中出现的岩爆、岩芯饼化等特殊地质现象，按表 3.3.4—3 对围岩初始地应力状态作出评估；

表 3.3.4—3 初始地应力状态评估

初始地应力状态	主 要 现 象	评估基准 (R_c/σ_{max})
极高应力	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
	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	

续表 3.3.4—3

初始地应力状态	主 要 现 象	评估基准 (R_c/σ_{max})
高应力	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
	软质岩：岩芯时有饼化现象，开挖过程中洞壁岩体位移显著，持续时间长，成洞性差	

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

5 初始地应力影响对围岩级别的修正按表3.3.4—4 进行。

表 3.3.4—4 初始地应力影响对围岩级别的修正

初始地应力状态 \ 围岩级别	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
极高应力	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ或Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ
高 应 力	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ或Ⅴ	Ⅵ

3.3.5 施工阶段围岩级别的修正应根据开挖后暴露的地质状态，按表 3.3.5，对设计阶段预制的围岩级别进行核对，当不符合时应加以修正。

表 3.3.5 施工阶段围岩级别判定卡

工程名称		位置	里程 距洞口距离（m）				评定	
岩性指标	岩石类型（名称）		黏聚力 c= MPa；φ=				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_s= MPa					
	变形模量 E= GPa		泊松比 ν=					
	天然重度 γ= kN/m³		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	1.5~0.6	0.6~0.2	0.2~0.06	<0.06	较完整
		延伸性	极差	差	中等	好	极好	
		粗糙度	明显台阶状	粗糙波纹状	平整光滑有擦痕	平整光滑		较破碎
		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	破碎
	风化程度		未风化	轻微风化	颇重风化	严重风化	极严重风化	极破碎
	简要说明							

续表 3.3.5

工程名称		位置	里　程 距洞口距离（m）		评　定
地下水状态	渗水量 $\left(\frac{L}{min\cdot 10m}\right)$	<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		

3.3.6 在隧道工程设计中，采用解析法所需要的围岩物理力学指标，应按试验资料确定，当无试验数据时，可按表 3.3.6 选用。

表 3.3.6　各级围岩的物理力学指标

围岩级别	重　度 γ(kN/m³)	内摩擦角 φ(°)	黏聚力 c(MPa)	变形模量 E(GPa)	泊松比 ν	弹性反力系数 K(MPa/m)
Ⅰ	26～28	>60	>2.1	>33	<0.2	1800～2800
Ⅱ	25～27	50～60	1.5～2.1	20～33	0.2～0.25	1200～1800
Ⅲ	23～25	39～50	0.7～1.5	6～20	0.25～0.30	500～1200
Ⅳ	20～23	27～39	0.2～0.7	1.3～6	0.30～0.35	200～500
Ⅴ	17～20	20～27	0.05～0.2	1～2	0.35～0.45	100～200
Ⅵ	15～17	<22	<0.1	<1	0.4～0.5	<100

4 设　计

4.1 一般规定

4.1.1 喷锚构筑法设计应采用动态设计，即施工前预设计和施工中修正设计。施工前预设计应包括监控量测设计。

4.1.2 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，合理地利用围岩所具有的自承能力。

4.1.3 在软岩及土砂地层中开挖隧道时，应采用封闭的曲线形衬砌结构，衬砌断面周边外轮廓宜圆顺。

4.1.4 设置衬砌时应符合下列规定：

1　围岩较差地段的衬砌应向围岩较好地段适当延长；

2　对衬砌有不良影响的软硬地层分界处应设置变形缝；

3　隧道洞口宜采用一定长度的加强衬砌。

4.1.5 洞口段衬砌、洞门和洞外路基等设计应统筹考虑，并宜减少边仰坡开挖保护植被和生态环境。

4.2 建筑材料

4.2.1 喷射混凝土应优先采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，也可采用矿渣硅酸盐水泥。当有抗冻或抗渗要求时，水泥强度不宜低于 42.5 级，并应在使用前做强度复查试验。

当喷射混凝土遇含有较高可溶性硫酸盐的地层或地下水地段，应使用抗硫酸盐水泥。当有特殊要求时，可采用相应的特种水泥。

4.2.2 喷射混凝土及砂浆采用的骨料除应符合国家现行有关标准外，尚应符合下列规定：

1 粗骨料应选用坚硬耐久的碎石、卵石，或两者的混合物，当使用碱性速凝剂时，不得使用含有活性二氧化硅的石料。喷射混凝土中的石子粒径不宜大于16 mm。喷射钢纤维混凝土的石子粒径不宜大于10 mm。

2 全长粘结型锚杆砂浆宜采用中细砂，粒径不应大于3 mm。

3 喷射混凝土用的骨料级配宜采用连续级配。

4 喷射混凝土用砂应选用硬质洁净的中粗砂，细度模数应大于2.5，含水率宜为5%～7%，砂中小于0.075 mm的颗粒不应大于20%。

5 喷射混凝土用水不应含有影响水泥正常凝结与硬化的有害杂质，不应使用污水、pH值小于4的酸性水、硫酸盐含量按SO_4^{2-}计超过水重1%的水及海水。

4.2.3 喷射混凝土使用的外加剂应满足下列要求：

1 对混凝土的强度及围岩的粘结力基本无影响；

2 对混凝土和钢材无腐蚀作用；

3 对混凝土的凝结时间影响不大（除速凝剂和缓凝剂外）；

4 吸湿性差，易于保存；

5 不污染环境，对人体无害；

4.2.4 用于喷射混凝土的速凝剂，除应满足本规范第4.2.3条有关要求外，尚应满足下列要求：

1 水泥相容性和速凝效果检验合格；

2 喷射混凝土的初凝时间不应小于5 min，终凝时间不应大于10 min。

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

1 宜用边长0.3～0.5 mm的矩形断面，也可用直径为0.3～0.5 mm的圆形断面；

2 长度宜为20～25 mm；

3 钢纤维抗拉强度不得小于380 MPa，并不应有油渍和明显的锈蚀；

4 掺量宜为混合料质量的1%～3%。

4.2.6 全长粘结型锚杆杆体宜采用20 MnSi，也可采用Q235钢筋，直径宜为16～22 mm；缝管式锚杆宜采用20 MnSi钢管，亦可采用Q235钢管。

4.2.7 初期支护的钢架宜采用钢筋、钢管或型钢制成。

4.2.8 钢筋网材料宜采用Q235钢筋，直径宜为6～12 mm。

4.2.9 防水隔离层的材料应满足粘结性、抗裂性、耐久性、延伸性、无毒、易施工、难燃、无污染、破损后易修补及硬度不宜过大等要求，必要时还应满足抗冻、抗冲击、抗腐蚀等要求。

4.3 设计原则

4.3.1 衬砌设计应以工程类比为主。一般设计时可按表4.3.1—1～3选用衬砌参数。对地质复杂、大跨度、超浅埋和有特殊要求的隧道，还应做充分的地质调查，在获得原始地应力状态、围岩特性等资料的基础上，采用弹塑性数值法或近似解析法进行检算。采用复合式衬砌时，应符合行业标准《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2001）第7.1.1条和第7.2.4条的要求；采用喷锚衬砌时，应符合《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2001）第7.1.1条和第7.2.3条的要求。

表4.3.1—1 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，锚杆长度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，锚杆长度1.5～2.0 m，间距1.2～1.5 m	喷射混凝土厚度10 cm，锚杆长度2.0～2.5 m，间距1.0～1.2 m，必要时设置局部钢筋网

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

2 设置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2 cm。

表 4.3.1—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	位置	长度(m)	间距(m)			拱、墙	仰拱
Ⅱ	4	—	—	—	—	—	—	25	—
Ⅲ	6	—	局部设置	2.0	1.2~1.5	—	—	25	—
Ⅳ	10	10	拱、墙	2.0~2.5	1.0~1.2	必要时设置	—	30	30
Ⅴ	14	14	拱、墙	2.5~3.0	0.8~1.0	拱、墙、仰拱	必要时设置	35	35
Ⅵ	通过试验确定								

表 4.3.1—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		
	拱部及边墙	仰拱	位置	长度(m)	间距(m)			拱部边墙	仰拱
Ⅱ	5	—	局部设置	2.0	1.5	—	—	30	—
Ⅲ	10	10	拱、墙	2.0~2.5	1.2~1.5	必要时设置	—	35	35
Ⅳ	15	15	拱、墙	2.5~3.0	1.0~1.2	拱、墙、仰拱	必要时设置	35	35
Ⅴ	20	20	拱、墙	3.0~3.5	0.8~1.0	拱、墙、仰拱	拱、墙、仰拱	40	40
Ⅵ	通过试验确定								

注：采用钢架时，宜选用格栅钢架，喷射混凝土保护层厚度不应小于4 cm。

4.3.2 喷锚衬砌的内轮廓应比整体式衬砌内轮廓线适当扩大，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。

4.3.3 隧道开挖轮廓应预留适当的变形量，其值可根据围岩级别、开挖宽度、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，可按表 4.3.3 采用。

表 4.3.3 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	50~70
Ⅴ	50~70	70~100

注：1 深埋、软岩土质隧道取大值，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；
3 Ⅵ级围岩，按特殊设计计算预留变形量。

4.3.4 衬砌用混凝土应满足强度和耐久性要求。必要时还应满足抗冻、抗渗和抗腐蚀的要求。

4.3.5 衬砌用模筑混凝土和钢筋混凝土的强度等级不应低于C20和C25，其强度指标应按表 4.3.5—1 采用，受压或受拉时的弹性模量 E_c 应按表 4.3.5—2 采用。

表 4.3.5—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	19.4	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_l	1.4	1.7	2.0	2.2	2.7	3.1

表 4.3.5—2 混凝土的弹性模量 E_c（MPa）

混凝土强度等级	C15	C20	C25	C30	C40	C50
弹性模量 E_c	2.6×10^4	2.8×10^4	2.95×10^4	3.1×10^4	3.35×10^4	3.55×10^4

衬砌混凝土有抗渗要求时，在有冻害的地段及最冷月平均气温低于－15℃的地区，抗渗等级不得小于P8，其余地区不得小

于 P6。

4.3.6 喷射混凝土的强度等级不得小于 C20。普通喷射混凝土的设计强度和受压弹性模量应按表 4.3.6—1 和表 4.3.6—2 采用。重度可取22 kN/m^3。

表 4.3.6—1 喷射混凝土的设计强度值（MPa）

强度种类	符号	喷射混凝土强度等级		
		C20	C25	C30
轴心抗压	F_{cd}	10	12.5	15
弯曲抗压	F_{cmd}	11	13.5	16
轴心抗拉	F_{ctd}	1.0	1.2	1.4

表 4.3.6—2 喷射混凝土的受压弹性模量 E_c（MPa）

喷射混凝土强度等级	C20	C25	C30
受压弹性模量 E_c	2.1×10^4	2.3×10^4	2.5×10^4

喷射钢纤维混凝土的设计抗拉强度不应低于2 MPa，抗弯强度不应低于6 MPa。

4.3.7 锚杆用各种水泥砂浆的强度等级不应低于 M20。

4.4 初期支护

4.4.1 初期支护应在喷射混凝土、锚杆、钢筋网和钢架等支护中进行选择，组成不同支护形式。

4.4.2 初期支护形式及支护参数应根据围岩的性质及状态、地下水情况、隧道净空尺寸及其埋深等条件确定。在设计中可采用工程类比法按表 4.3.1—1～3 确定。必要时应结合监控量测法及理论验算法确定。

4.4.3 初期支护喷射混凝土厚度设计参数应根据围岩级别、开挖跨度及支护部位的不同，分别拟定。可详见表 4.3.1—1～3。

4.4.4 锚杆的类型应根据地质条件和使用目的确定，可分为中空注浆锚杆、水泥药卷锚杆、自钻式锚杆、预应力锚杆和普通砂浆锚杆等。锚杆杆体直径宜为20～25 mm，抗拉力不应小于150 kN。

4.4.5 系统锚杆布置应符合下列要求：

1 应沿隧道周边均匀布置，在岩面上按菱型布置。锚杆间距不应大于锚杆长度的1/2。

2 在隧道横断面内，锚杆的方向宜与周边垂直。在层状围岩中，锚杆的方向宜与岩层面垂直。

4.4.6 使用锚杆时在围岩破碎、受力较大地段，可采取增加锚杆数量、加大锚杆长度和直径等措施，在成孔困难地段可采用自钻式锚杆。

4.4.7 锚杆均应设置钢垫板，垫板的尺寸宜为 150 mm × 150 mm × 6 mm。

4.4.8 在自稳时间短、初期变形大的地层中，或对地面下沉量有严格限制时，应采用钢架支护。根据不同的围岩条件，可选择开口式钢架或封闭式钢架。

4.4.9 钢架设计应符合下列要求：

1 根据钢架、喷射混凝土、钢筋网等的综合作用设计钢架；

2 钢架间距不宜大于1.2 m，在各榀钢架间应设置纵向连接钢筋，其直径宜为20～22 mm；

3 钢架的截面尺寸（或型钢的型号）应根据工程类比法或试验取得；

4 钢架的保护层厚度不应小于4 cm；

5 格栅钢架主筋的直径不宜小于18 mm。

4.4.10 在松散、破碎或膨胀性围岩中应采用钢筋网喷射混凝土作初期支护，其厚度不宜小于100 mm，也可采用喷射钢纤维混凝土。

4.4.11 钢筋网宜采用直径为6～12 mm的 Q235 钢筋焊接成网片，网片的网格尺寸宜选取 150 mm × 150 mm～300 mm × 300 mm。钢筋网片搭接长度应为 1～2 个网格。

4.5 二次衬砌

4.5.1 二次衬砌应与外层的初期支护和围岩等共同组成整个支护体系。二次衬砌宜采用模筑混凝土。

4.5.2 二次衬砌宜为等厚截面、连接圆顺。其厚度可根据本规范第4.3.1条确定。在浅埋、不良地质等条件下，可适当增加二次衬砌的厚度或采用钢筋混凝土结构。

4.5.3 深埋隧道的二次衬砌一般情况下应在围岩和初期支护变形基本稳定后施作，变形基本稳定应符合下列条件：

1 隧道周边变形速率有明显减缓趋势；

2 拱脚水平相对净空变化速度小于0.2 mm/d，拱顶相对下沉速度小于0.15 mm/d。

4.5.4 在膨胀性和挤压性围岩中，可根据不同情况适当加大预留变形量，施作支护和衬砌宜采取先放后抗，先柔后刚的原则。初期支护变形初步稳定，变形速度小于0.5 mm/d时，可施作二次衬砌。

浅埋隧道应及早施作二次衬砌。

4.6 仰　　拱

4.6.1 仰拱应具有与隧道衬砌形状相适应的结构及形状，并且具有与使用目的相适应的强度、刚度和耐久性。

4.6.2 单线隧道仰拱曲率矢跨比不应小于1/8，双线隧道不应小于1/12。

4.6.3 单线Ⅳ～Ⅵ级、双线Ⅲ～Ⅵ级围岩隧道应设置仰拱，初期支护的仰拱其喷射混凝土厚度应与初期支护的拱、墙厚度相同，并按设计要求设置钢筋网、钢架或采用早强喷射混凝土。二次衬砌设置模筑混凝土仰拱时，仰拱填充宜采用与仰拱强度等级相同的混凝土。

4.6.4 在软弱围岩有水地段、特殊岩土和不良地质地段，仰拱应另行设计。

4.7 防　排　水

4.7.1 隧道防排水应按“防、排、截、堵结合，因地制宜，综合整治”的原则，对地表水和地下水采取相应的止水或导水措施。防排水设计应符合国家现行《铁路隧道防排水技术规范》(TB 10119)的有关规定。

4.7.2 在初期支护与二次衬砌间应设置防水隔离层，采用防水板时应选用抗拉强度及延伸率高，耐碱性强的材料，防水板的厚度宜为1.0～1.5 mm，搭接焊缝应为双焊缝，每条焊缝宽度不得小于2.0 cm。

4.7.3 二次衬砌施工缝、变形缝应采取可靠的防水措施。

4.7.4 采用抗渗混凝土灌筑二次衬砌时，其抗渗等级不应小于P8。

4.7.5 单线隧道宜优先设置双侧水沟；双线隧道宜在两侧或两侧及中心分别设置水沟，并不得单独采用中心水沟；双线特长、长隧道在两侧及中心均应设置水沟，必要时可加设横向联系水沟。

4.7.6 当地下水量较大时，在初期支护和防水隔离层之间宜加设环向及纵向盲管（沟）。在隧道衬砌边墙外设置纵向（沿隧道方向）集水盲管（沟），把地下水集中导入洞内水沟或直接排出洞外。

4.7.7 双线隧道有仰拱衬砌，地下水量大时可在隧道中心仰拱下方设置纵向排水主盲管（沟），盲管可为钢筋混凝土花管，直径60～100 cm，外包无纺布和回填透水材料，透水材料可用无砂混凝土灌注，也可用预制混凝土块拼装，强度应满足设计要求。

4.7.8 冬季有水的隧道，当最冷月平均气温在－10℃～－15℃时，宜设置双侧保温水沟；最冷月平均气温在－15℃～－20℃时，宜设置中心深埋水沟；最冷月平均气温低于－25℃时，宜设置防寒泄水洞，洞外应设置防寒暗管引排，出水口应保温。

在最冷月平均温度低于－10℃时，辅助坑道与隧道正洞相

交处的正洞范围内的水沟，必要时应有保温措施。

4.7.9 隧道内水质有侵蚀性时，应采取适当的防治措施。

4.8 特殊岩土和不良地质地段

4.8.1 在特殊岩土和不良地质地段设计隧道衬砌时，宜采用复合式衬砌。在施工阶段应加强监控量测，进行动态设计，并根据具体情况，增设监测项目及观测点。根据不同的围岩特性和支护形式，采取相应的加强加固措施，以改善整个支护体系的力学性能。

4.8.2 在浅埋、软弱破碎地层中，可采用超前锚杆，超前小导管注浆、管棚和水平旋喷等超前支护措施加固地层；也可在地表设置地层加固锚杆，从地表或沿隧道周边向围岩预注浆等加固措施。洞口围岩破碎且覆盖层厚度小于10 m时，应采用地表锚杆，预注浆以及管棚注浆等手段进行围岩预加固。浅埋隧道覆盖厚度应符合行业标准《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2001）第4.1.4条规定。

4.8.3 黄土隧道宜采用曲墙有仰拱的复合式衬砌，其曲墙矢高不应小于弦长的1/8。初期支护的喷射混凝土厚度宜为15 cm，钢筋网及锚杆等设置要求应符合行业标准《铁路隧道设计规范》(TB10003—2001）第7.3.1条的规定。

4.8.4 通过软弱、膨胀性及挤压性围岩的隧道宜采用曲墙有仰拱、圆形或接近圆形断面的复合式衬砌。围岩和衬砌均应采取加强措施，必要时衬砌可采用钢筋混凝土结构。

4.8.5 大面积淋水地段，最冷月平均气温低于－15℃地区的冻涨地段，以及大的岩溶、大断层破碎带等条件下的隧道衬砌设计参数应通过计算和现场试验确定。

4.8.6 土质隧道采用台阶法开挖时，开挖面距封闭仰拱间的距离不宜大于20 m。深埋黄土隧道的预留变形量不宜小于10 cm或经试验确定。

4.8.7 对深埋富水软弱破碎围岩隧道，必要时应沿其周边或全断面进行预注浆，对围岩进行加固和止水。

5 施　　工

5.1 一般规定

5.1.1 施工前应根据设计文件结合隧道的长度、断面形状与面积、工期、围岩情况、现场条件等编制施工组织设计，其内容包括场地布置、施工方法、施工机械、施工顺序、监控量测、组织机构、质量保证体系、安全卫生保证体系、环境保护对策等。

5.1.2 应建立完善的施工信息系统，对收集的地质资料、施工进度、劳力安排、材料消耗、机械台班等信息建立档案，应设专人进行动态分析，优化施工对策。

5.1.3 监控量测作业应纳入施工作业循环中，作为工序循环的一个组成部分。通过量测反馈设计，指导施工，并由专人、专用设备进行监测反馈。

5.2 开　　挖

5.2.1 采用钻爆法开挖时应采用光面爆破或预裂爆破技术。采用光面爆破时，必须合理选择爆破器材及起爆方式等。

5.2.2 施工前应进行爆破设计。在软弱围岩中开挖时，爆破开挖一次进尺应根据开挖宽度和围岩自稳时间严格控制。在坚硬完整的围岩中开挖时，应考虑有利于控制超挖因素综合确定进尺。

5.2.3 钻爆开挖应严格控制超挖，并应符合表5.2.3的要求。

表5.2.3 隧道允许超挖值（cm）

开挖部位 \ 围岩级别	Ⅰ	Ⅱ～Ⅳ	Ⅴ～Ⅵ
拱　　部	平均10 最大20	平均15 最大25	平均10 最大15
边墙、仰拱、隧底	平均10	平均10	平均10

5.2.4 隧道开挖中，爆破围岩可能对周围建筑物产生影响时，宜监测围岩爆破扰动范围和振动速度。

5.3 洞　口

5.3.1 在洞口段除坚硬完整的岩层外，应采用安全适用的施工方法开挖，用足以承受围岩变形的刚性支撑将开挖面全周封闭并及时做好衬砌。

5.3.2 洞口段施工应遵守下列规定：

1 排水系统应尽早完成；

2 进洞前应将仰坡、边坡危石处理好，先加固、后开挖。边仰坡开挖应由上而下顺序开挖，挖方全部做好后，方可进洞；

3 洞口段施工时宜采用超前锚杆或管棚支护，分部开挖进洞；

4 洞口段衬砌应及时封闭成环，及早施作隧道门，增强洞口稳定性。

5.3.3 洞口段边仰坡宜采用挂网喷射混凝土加固防护，并应优先采用格构植草等措施加固坡面。

5.3.4 洞口开挖需要加固时，可采用下列辅助施工措施：

1 超前锚杆、超前小导管周边注浆；

2 管棚；

3 地面锚杆；

4 洞口地表预注浆；

5 锚索、抗滑桩等。

5.4 喷射混凝土

5.4.1 喷射混凝土宜优先采用湿喷。

5.4.2 喷射混凝土使用的水泥、骨料、速凝剂等材料应符合设计要求。

5.4.3 喷射混凝土的配合比应满足设计强度和喷射工艺的要求，并通过试验确定，也可参照下列数据选择：灰骨比宜为1:4～

1:5；骨料含砂率宜为45%～60%；水灰比宜为0.4～0.5。

5.4.4 湿喷混凝土时应符合下列要求：

1 湿喷混凝土水泥用量不宜小于400 kg/m^3，混凝土的坍落度宜为8～13 cm，混凝土拌和料的停放时间不得大于30 min；

2 湿喷混凝土应采用液体速凝剂，其掺量不宜大于水泥用量的5%，喷射时应注意作业人员的人身防护；

3 喷射作业时，喷头距受喷面的距离宜为1.5～2.0 m；

4 喷射作业宜采用机械手连续施工，当人工掌握喷头时宜两人合力操作或采用简易支架；

5 洞内喷射作业的气温宜在15℃以上，并不得低于5℃。冬季施工时应对液体速凝剂的储运和其拌和物采取防冻措施。

5.4.5 采用钢筋网喷射混凝土时应符合下列要求：

1 钢筋网应在喷射一层混凝土后铺挂；

2 钢筋网应与锚杆或其他固定装置连结牢固；

3 开始喷射时，应减小喷头至受喷面的距离，并调整喷射角度，钢筋保护层厚度不得小于2 cm；

4 喷射中当有脱落的岩块或混凝土被钢筋网架住时，应及时清除后再喷射。

5.4.6 采用钢架喷射混凝土时应符合下列要求：

1 钢架与围岩间的间隙必须用喷射混凝土充填密实；

2 喷射顺序应从下向上对称进行，先喷射钢架与围岩间的空隙，后喷射钢架与钢架间的混凝土；

3 钢架应全部被喷射混凝土覆盖，其保护层厚度不得小于4 cm；

5.4.7 在有水地段进行喷射混凝土作业时应采取下列措施：

1 对渗漏水应先进行处理，当渗漏水范围大时，可设树枝状排水导管后再进行喷射；当渗漏水严重时，可设计泄水孔，边排水边喷射；

2 喷射时，应先从远离渗漏出水处开始，逐渐向渗漏处逼近，将散水集中，安设导管，使水引出，再向导管逼近喷射；

3 改变混凝土配合比，增加水泥用量，先喷干混合料，待其与渗水融合后，再逐渐加水喷射；

5.4.8 在砂层地段进行喷射作业时，应首先紧贴砂层表面铺挂钢筋网，并用钢筋沿环向压紧后再喷射。

喷射时，应首先喷一层加大速凝剂掺量的水泥砂浆，并适当减小喷射机的工作风压，待水泥砂浆形成薄壳后，方可正式喷射。

5.5 锚　　杆

5.5.1 锚杆的类型、长度等应根据设计要求、使用目的和围岩性质确定。锚杆钻孔前应根据设计要求定出孔位、作出标记，孔距允许误差为±150 mm。钻孔的方向、深度、直径等应符合设计要求，插入长度不得小于设计长度的95%。

5.5.2 锚杆安装作业应及时进行，并必须加垫板，垫板应与喷层面紧贴。

5.5.3 安装普通砂浆锚杆应满足下列要求：

1 砂浆配合比（质量比），水泥∶砂∶水宜为1∶(1～1.5)∶(0.45～0.5)；

2 灌浆管应插至距孔底5～10 cm处，并随水泥砂浆的注入缓慢匀速拔出，灌浆压力不得大于0.4 MPa；

3 灌浆后应及时插入锚杆杆体，采用全长粘接锚杆灌浆必须饱满，浆液不满时应及时补灌。采用中空灌浆锚杆应注意排气问题，待排气孔出浆后，方可停止灌浆。

5.5.4 采用早强药包锚杆时，除应符合本规范第5.5.3条规定外，尚应符合下列要求：

1 根据设计要求对药包做泡水检验；

2 锚固药包不应有受潮结块现象；

3 锚固药包宜在清水中浸泡，随用随泡；

4 药包应以专用工具推入钻孔内，应防止中途破裂；

5 杆体可采用手送或锤击安装。

5.5.5 在有水地段安装锚杆时应采取下列措施：

1 采用普通砂浆锚杆时，应将孔内水引出或在附近另行钻孔后，再安装锚杆；

2 采用早强速凝药包式锚杆或树脂锚杆、自钻式锚杆等。

5.6 钢　　架

5.6.1 钢架制造应符合下列要求：

1 钢架外轮廓线应根据设计开挖轮廓线及钢架与围岩间预留的空隙值确定，预留空隙值宜为5 cm；

2 采用型钢弯制钢架时，应根据设计尺寸及所用的开挖方式分节，各节长度不宜大于4 m，并应根据设计要求在腹板上钻孔；

3 弯制钢架可采用热弯法或冷弯法，并以1∶1大样控制尺寸；

4 格栅钢架可利用胎模焊接，节点焊接长度应大于4 cm，对称焊接。

5.6.2 首榀钢架加工完成后应放在平整地面上试拼，当各部尺寸符合设计要求时，方可进行批量生产。周边拼装允许偏差为±3 cm，平面翘曲应小于2 cm。

5.6.3 安装钢架前，应检查开挖断面的中线及高程。钢架安装应符合下列要求：

1 安装前应清除底脚下的虚碴及其他杂物，超挖部分宜用混凝土填充。安装允许偏差横向和高程均为±5 cm，垂直度允许偏差为±2°；

2 钢架可在开挖工作面以人工拼装，各节钢架间宜以螺栓连接；

3 沿钢架外缘每隔2 m应用楔子楔紧。

5.6.4 钢架落底接长应符合下列要求：

1 应根据围岩条件沿隧道两侧交错进行，每次每侧接长1～3榀。当需立即封闭成环时，宜两侧同时进行，每次接长1

榀；

2 拱部钢架与边墙钢架的连接宜用螺栓，当有困难时，也可采用焊接。

5.6.5 相邻两榀钢架间，应按设计要求连结牢固。

5.7 辅助施工措施

5.7.1 在软弱围岩中，可采用下列辅助施工措施的一种或几种：

1 喷射混凝土封闭工作面；

2 超前锚杆或超前小导管支护；

3 管棚超前支护；

4 设置临时仰拱或临时支护；

5 地表锚杆或地表注浆加固；

6 小导管周边注浆和围岩径向注浆；

7 超前预注浆；

8 工作面锚固。

5.7.2 采用喷射混凝土封闭开挖工作面时，应采用早强喷射混凝土，喷射厚度宜为5～10 cm。

5.7.3 在软弱围岩中喷射混凝土前，应使用高压风吹净受喷面，严禁用水冲洗。施喷时，应控制用水量，防止水量过多而潮解和软化围岩。

5.7.4 在软弱围岩中，开挖后应及时喷射混凝土进行支护，并使喷层在围岩自稳时间内达到设计厚度。

5.7.5 超前锚杆、小导管施工应满足下列要求：

1 宜和钢架配合使用，从钢架断面腹部穿过；

2 长度应大于循环进尺，宜为3.0～3.5 m；

3 小导管外插角宜小于10°，超前锚杆外插角宜为10°～20°；

4 小导管注浆压力在采用水泥砂浆单液浆时宜为1.0～2.0 MPa，采用水泥-水玻璃双液浆时宜为1.2～1.5 MPa。

5.7.6 管棚超前支护施工应符合下列要求：

1 管棚用钢管直径宜为70～127 mm，钢管中心间距宜为管

径的2～3倍；

2 管棚长度应根据地层情况选用，不宜小于10 m；

3 纵向两组管棚的搭接长度应大于3 m。

5.7.7 临时仰拱可采用型钢或格栅钢架加喷射混凝土等修筑。临时仰拱的设置区段应根据围岩情况及量测数据确定。

5.8 防 排 水

5.8.1 防水隔离层铺设前应完成下列准备工作：

1 对喷射混凝土表面凹凸显著部位应分层喷射找平，外露的锚杆头应切除，并用水泥砂浆抹平，局部漏水处需先处理；

2 应检查防水隔离层的质量，不得有断裂、孔洞等缺陷；

3 在铺设防水隔离层前应做好环、纵向排水盲管的铺设。

5.8.2 防水板的铺设应符合下列要求：

1 在清理好的基面上，宜先铺设柔性垫层，然后将防水板用热合焊机焊接，进行无钉铺设。防水板可在拱部和边墙按环状铺设，并视材质采取相应的结合方法。防水板应用双缝焊接。

2 防水板的接头处应擦净。防水板的接头处不得有气泡、褶皱及空隙。接头处应牢固，强度应不小于同质材料。

3 防水板用垫圈焊接法和绳扣法吊挂在固定点上，在凹凸处应适当增加固定点。点间防水板不得绷紧，以保证灌筑混凝土时板面与喷混凝土面能密贴。

4 采用柔性垫层作滤层时，防水板与柔性垫层应密切叠合。

5 防水板纵横向一次铺设长度应根据开挖方法和设计断面确定。铺设前，宜先行试铺，并加以调整。防水板在下一阶段施工前的连接部分，不应沾污和破损。

5.8.3 防水隔离层铺设后，必须采取下列保护措施：

1 在灌筑二次衬砌前，严禁在铺设防水隔离层地段进行爆破作业；

2 灌筑二次衬砌时，严禁模板、堵头板等损坏防水隔离层；

3 开挖和衬砌作业不得损坏防水隔离层，当发现层面有损

坏时应及时修补；

4 二次衬砌灌筑前应检查防水层质量，做好接头标记，并填写质量检查记录。

5.8.4 采用喷涂材料作防水层时，材料性能及工艺应符合有关规定。

5.8.5 在初期支护和二次衬砌间设置排水盲管（沟）时，应在铺设防水隔离层前完成，当盲沟内的水排入洞内侧沟时，应在灌筑二次衬砌前，在水沟与外部盲沟间预置排水管，并应防止在灌筑混凝土或压浆时将排水管堵塞。

5.8.6 在隧道富水地段的隧底部可设置隧底盲管（沟），隧底盲管（沟）不宜与隧道两侧边墙外的盲管（沟）相连。有条件时宜设置检查井，间距为50～80 m。

5.8.7 设置隧底盲管（沟）时，盲管（沟）上部覆盖的透水层可采用现场灌筑的无砂混凝土，灌筑时不宜强烈振捣。透水层也可采用优质碎石、卵石等材料，其强度和粒径应达到设计要求。

5.8.8 含水的破碎地层应采用降低地下水位的排水方案。对浅埋隧道在地表进行人工降水时，应对周围建筑物进行监测，防止因降水引起地表沉降过大而对建筑物造成不利影响。

5.8.9 隧道施工缝、变形缝的施作应符合国家现行《铁路隧道防排水技术规范》(TB10119）的规定。

5.9 二次衬砌

5.9.1 二次衬砌施工前应完成下列准备工作：

1 中线、高程、断面尺寸和净空尺寸必须符合要求；

2 衬砌所用原材料的质量及其贮运均应符合现行有关规定；

3 应做好地下水引排工作，仰拱及基础部位的浮碴和积水必须处理；

4 防水板或喷层表面粉尘应清除；

5 施工用机具、拱架、模板台车等必须经过检查，并进行机械试运转。

5.9.2 灌筑二次衬砌的模板台车，其结构应有足够的强度和刚度，且表面光滑，接缝严密。

5.9.3 灌筑作业应符合下列要求：

1 二次衬砌应由下向上依次灌筑。

2 修建有仰拱的隧道时，宜先修仰拱。每段施工长度应根据地质情况确定。

3 初期支护与二次衬砌间不应留有空隙。

5.9.4 二次衬砌混凝土应采用自动计量拌制。

5.9.5 灌筑二次衬砌时，拌制混凝土的最短时间应符合表5.9.5的规定。

表5.9.5 混凝土搅拌最短时间（min）

搅拌机机型 \ 搅拌机出料量（L）	≤500	>500
强制式	1.0	1.5
自落式	1.5	2.0

注：1 采用自落式搅拌机拌制细砂或机制砂的混凝土时，宜延长搅拌时间；
2 当掺加外加剂时，搅拌时间宜延长；
3 采用分次投料搅拌工艺时，搅拌时间应按工艺要求办理；
4 当采用其他形式的搅拌设备时，搅拌的最短时间应按设备说明书的规定办理，或经试验确定。

5.9.6 采用泵送混凝土时，除应符合国家现行《铁路混凝土与砌体工程施工规范》(TB10210—2001）规定外，尚应满足下列要求：

1 入泵坍落度宜为100～140 mm；

2 配置输送管时，应缩短管线长度，少用弯头。输送管应平顺，内壁光滑，接口不得漏浆；

3 泵送混凝土前，应先用按设计配合比拌制的水泥浆或按骨料减半配制的混凝土润滑管道。

5.9.7 人工灌筑混凝土应分层，每层灌筑高度、次序、方向应根据搅拌能力、运输距离、灌筑速度、洞内气温和振捣等因素确定。

5.9.8 混凝土灌筑应连续进行。当因故间歇时，其间歇时间宜缩短。对于不掺外加剂的混凝土，其允许间歇时间不应大于2 h；当气温达30℃左右时，不应大于1.5 h；当气温为10℃左右时，不应大于2.5 h。对于掺外加剂或有特定要求的混凝土，其间歇时间应根据环境温度、水泥性能、水灰比和外加剂类型等条件通过试验确定。

当允许间歇时间已超过时，应按浇筑中断处理，同时应留置施工缝，并作出记录。施工缝的平面应与结构的轴线相垂直，施工缝处应埋入适量的接茬片石、钢筋或型钢，并使其体积露出前层混凝土的一半左右。

5.9.9 混凝土养护应符合下列规定：

1 对采用硅酸盐水泥及普通硅酸盐水泥拌制的混凝土，其养护时间不得少于7 d，对掺有外加剂或有抗渗要求的混凝土不得少于14 d。

2 混凝土浇筑后，12 h内应覆盖和洒水，直至规定的养护时间。操作时，不得使混凝土受到污染和损伤。当日平均气温低于5℃时，应采取保温措施，并不得对混凝土洒水养护。

3 混凝土的洒水养护时间应符合表5.9.9的规定。洒水次数应以混凝土表面保持湿润状态为度。养护用水应与拌和用水相同。

表 5.9.9 混凝土养护时间 (d)

水泥品种	相对湿度		
	<60%（干燥环境）	60%～90%（较湿环境）	>90%（潮湿环境）
硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥	14	7	可不再另洒水养护
矿碴硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥	21	14	

注：当采用其他品种水泥时，养护时间应另行确定。

5.9.10 在围岩及初期支护变形基本稳定条件下灌筑的二次衬砌，可在混凝土强度达到2.5 MPa时拆模。

5.9.11 防止二次衬砌混凝土开裂应采取下列措施：

1 宜采用较小的灰骨比、降低水灰比、合理选用外加剂；

2 合理确定分段灌筑长度及灌筑速度；

3 拆模时，混凝土内外温差不得大于20℃；

4 应加强养护，混凝土温度升降速度不宜大于5℃/h。

6 监控量测

6.1 监控量测计划与内容

6.1.1 监控量测计划应根据隧道的规模、地形地质条件、支护类型和参数、开挖方式等制定。

监控量测计划的内容应包括：量测项目及方法、量测仪器的选择、测点布、量测频率、数据处理及量测作业人员的组织等。

施工中，当地质条件发生变更时，应及时修改量测计划。

6.1.2 监控量测应满足下列要求：

1 掌握围岩和支护动态，进行日常施工管理；

2 了解支护构件的作用及效果；

3 确保隧道工程安全与经济；

4 将监控量测结果反馈于设计及施工中；

5 了解隧道施工对附近建筑物的影响；

6 积累资料，供以后设计、施工时参考。

6.1.3 监控量测可分为必测项目和选测项目两类。必测项目在采用喷锚构筑法修建的隧道必须进行，选测项目应根据隧道建设规模、围岩性质、隧道埋置深度、开挖方式等条件有选择地进行。

1 必测项目应包括下列各项：

1）洞内、外观察；

2）水平净空变化量测；

3）拱顶下沉量测；

4）浅埋隧道地表下沉量测。

2 选测项目应包括下列各项：

1）地表下沉量测；

2）围岩内部变形量测；

3）围岩压力量测；

4）锚杆轴力量测；

5）初期支护喷射混凝土应变量测；

6）钢架内力及所受的荷载量测；

7）二次衬砌混凝土应变量测；

8）围岩弹性波速度测试。

6.1.4 当浅埋隧道上方有建筑物或管线等需要采用钻爆法开挖时，应进行爆破振动监测。

6.1.5 在增建第二线隧道时，应对相邻线隧道和其他结构物进行必要的监测。

6.2 监控量测作业

6.2.1 洞内观察可分开挖工作面观察和初期支护完成区段观察两部分。开挖面观察应在每次开挖后进行一次。当地质情况基本无变化时可每天进行一次。观察后应绘制开挖面略图（地质素描），填写工作面状态记录表及围岩级别判定卡

在观察中当发现地质条件恶化，应立即通知施工负责人采取应急措施。

对初期支护完成区段的观察应每天至少进行一次，观察内容包括喷射混凝土、锚杆、钢架的状态。

洞外观察应包括对洞口地表情况、地表沉陷、边坡及仰坡的稳定、地表水渗透的观察。

6.2.2 水平净空变化量测、拱顶下沉量测等必测项目量测断面的间距应根据围岩级别、隧道断面尺寸、埋置深度及工程重要性按表 6.2.2 进行。

表 6.2.2　必测项目量测断面间距和测点数量

围岩级别	断面间距 (m)	每断面测点数量	
		水平净空变化	拱顶下沉
Ⅲ	30～50	1条测线	1个测点
Ⅳ	10～30	1条测线	1个测点
Ⅴ～Ⅵ	5～10	1～2条测线	1～3个测点

注：洞口及浅埋地段断面间距取小值。

6.2.3　水平净空变化量测应在每次开挖后尽早进行，最迟不大于24 h，而且在下一循环开挖前应完成初读数。

6.2.4　监控量测测点应牢固可靠，易于识别并妥为保护。拱顶下沉量测后视点必须埋设在稳定岩面上，并和水准点建立联系。

6.2.5　量测应选择精度适当、性能可靠、使用及携带方便的仪器。

6.2.6　水平净空变化测线的布置应根据施工方法、地质条件、量测断面所在位置、隧道埋置深度等条件确定。在地质条件良好，采用全断面开挖方式时，可设一条测线。当采用台阶法开挖时，可在拱腰和边墙部位各设一条测线。

6.2.7　拱顶下沉量测应与水平净空变化量测在同一量测断面内进行。当地质条件复杂，下沉量大或偏压明显时，除量测拱顶下沉外，尚应量测拱腰下沉及基底隆起量。

6.2.8　拱顶下沉量测与水平净空变化量测的量测频率宜相同，并应根据位移速度和距开挖工作面距离选择较高的一个量测频率，分别按表 6.2.8—1 和表 6.2.8—2 确定。

表 6.2.8—1　拱顶下沉量测与净空变化量测量测频率（位移速度）

位移速度（mm/d）	量测频率
≥5	2次/d
1～5	1次/d
0.5～1	1次/(2～3d)
0.2～0.5	1次/3d
<0.2	1次/7d

表 6.2.8—2　拱顶下沉量测与净空变化量测量测频率(距开挖面距离)

量测断面距开挖面距离（m）	量测频率
<1B	2次/d
(1～2)B	1次/d
(2～5)B	1次/2～3d
>5B	1次/7d

注：B 为隧道开挖宽度。

当按表 6.2.8—1 和表 6.2.8—2 选择量测频率出现较大差异时，应取量测频率较高的值作为实施的量测频率。

6.2.9　浅埋地段隧道地表下沉量测，断面布置宜与洞内水平净空变化和拱顶下沉在同一横断面内。当地表有建筑物时，应在建筑物周围增设下沉测点。

横断面方向在隧道中心及两侧间距2～5 m施设下沉测点，每断面施设7～11 个测点。监测范围应在隧道开挖影响范围以外。

地表下沉量测应在开挖面前方隧道埋置深度与隧道开挖高度之和处开始，直到衬砌结构封闭、下沉基本停止时为止。

地表下沉量测频率应和拱顶下沉和水平净空变化的量测频率相同。

6.2.10　各项监控量测作业均应持续到变形基本稳定后2～3周。

6.2.11　围岩压力、锚杆轴力、支护和衬砌应变等选测项目的量测频率，开始时应与同一断面的变形量测频率相同，当量测值变化不大时，可适当降低量测频率。

6.3　监控量测资料的整理与反馈

6.3.1　根据量测数据应及时绘制拱脚水平相对净空变化、拱顶相对下沉和地表下沉的时态曲线及其与开挖工作面距离的关系图等。

6.3.2　对初期支护时态曲线应进行回归分析，选择与实测数据拟合性好的函数进行回归，预测可能出现的最大位移。

6.3.3　根据量测结果应按下列要求进行隧道稳定性综合判别：

1 实测最大位移值或预测最大位移值不大于表6.3.3—1～2所列极限相对位移值的2/3，可认为初期支护达到基本稳定。

表 6.3.3—1 单线隧道初期支护极限相对位移（%）

围岩级别	埋深（m）		
	≤50	50～300	300～500
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	0.5～1.20

注：1 本表适用于按本规范表4.3.1—2参数设计的单线复合式衬砌的初期支护。硬岩取表中较小值，软岩取较大值。表中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两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 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。

表 6.3.3—2 双线隧道初期支护极限相对位移（%）

围岩级别	埋深（m）		
	≤50	50～300	300～500
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

续表 6.3.3—2

围岩级别	埋深（m）		
	≤50	50～300	300～500
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4.3.1—3参数设计的双线复合式衬砌的初期支护。硬岩取表中较小值，软岩取较大值。表中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两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 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。

2 根据位移变化速度，当拱脚水平相对净空变化速度大于10～20 mm/d时，表明围岩处于急剧变形状态；当变化速度小于0.2 mm/d时，可认为围岩达到基本稳定。

上述判别准则不适用于浅埋及特浅埋地段。浅埋及特浅埋地段应加强初期支护的强度和刚度，严格控制变形发展。

3 根据回归后位移时态曲线的形态，当围岩位移速度不断下降时表示围岩趋于稳定状态；当位移速度保持不变时表示围岩不稳定；当位移速度不断上升时表示围岩进入危险状态。

6.3.4 根据量测结果可按表6.3.4所列变形管理等级指导施工。

表 6.3.4 变形管理等级

管理等级	管理位移	施工状态
Ⅲ	$U<U_0/3$	可正常施工
Ⅱ	$U_0/3\leqslant U\leqslant 2U_0/3$	应加强支护
Ⅰ	$U>2U_0/3$	应采取特殊措施

注：U—实测位移值；U_0—最大允许位移值。

7 工程验收

7.1 质量检验

7.1.1 喷射混凝土质量应根据28 d龄期抗压强度的试验结果，绘制强度质量控制图进行质量控制。喷射混凝土强度的匀质性可根据表7.1.1所列指标控制。

表7.1.1 喷射混凝土的匀质性指标

施工控制水平		优	良	及格	差
标准离差 S_n(MPa)	母体的离散	$S_n<4.5$	$4.5\leqslant S_n<5.5$	$5.5\leqslant S_n<6.5$	$S_n\geqslant 6.5$
	一次试验的离散	$S_n<2.2$	$2.2\leqslant S_n<2.7$	$2.7\leqslant S_n<3.2$	$S_n\geqslant 3.2$
变异系数 C_v(%)	母体的离散	$C_v<15$	$15\leqslant C_v<20$	$20\leqslant C_v<25$	$C_v\geqslant 25$
	一次试验的离散	$C_v<7$	$7\leqslant C_v<9$	$9\leqslant C_v<11$	$C_v\geqslant 11$

试件应在施工中抽样制取，单线隧道每20 m，双线隧道每10 m，至少应在拱部和边墙各取一组试件，原材料或配合比改变时应另取一组，每组至少三块。

7.1.2 喷射混凝土的材料应以质量计量，并满足允许误差要求。

7.1.3 喷射混凝土强度检验应以抗压强度为主要指标。

7.1.4 试件可采用边长15 cm的立方体无底试模喷射成型、现场钻取试件、大板切割等方法制取。

7.1.5 喷射混凝土强度应符合设计要求，其试件抗压强度应符合下列要求：

1 当同批试件组数 $n\geqslant 10$ 时

$$\overline{R}_n - KS_n \geqslant 0.85R$$

$$R_{min} \geqslant 0.85R$$

式中 n——同批喷射混凝土试件组数；

$\overline{R}_n$——同批 n 组试件强度的平均值（MPa）；

S_n——同批 n 组试件强度的标准差（MPa）；

R——喷射混凝土的强度等级；

R_{min}——同批 n 组试件中强度最低一组的值（MPa）；

K——合格判定系数，根据表7.1.5取值。

表7.1.5 合格判定系数 K 值

n	10～14	15～24	≥25
K	1.70	1.65	1.60

2 当同批试件组数 $n<10$ 时

$$\overline{R}_n \geqslant 1.05R;$$

$$R_{min} \geqslant 0.9R。$$

7.1.6 喷射混凝土厚度可用钻孔或其他方法检验，单线隧道每20 m，双线隧道每10 m，至少应检查一个断面。每个断面应从拱顶起，每间隔2 m布设一个检查点。实际厚度小于设计厚度的点数不应大于检查点数的40%，平均厚度不得小于设计厚度，最小厚度不得小于设计厚度1/2。

7.1.7 采用全长锚固型锚杆时，应对锚杆的材质、锚杆孔、砂浆的饱满度等按设计要求进行检查。

7.1.8 初期支护的外观与隧道断面的检查，应符合下列要求：

1 断面尺寸应符合设计要求；

2 不应有漏喷、离鼓现象；

3 不应有尚在扩展或危及安全的裂缝；

4 设防水隔离层的复合式衬砌，锚杆尾端不得外露。

7.1.9 防水隔离层的质量应根据其种类、工程防水等级，采用不同的质量检验方法。

7.1.10 防水隔离层所有材料的材质、规格、性能应符合设计要求。

7.1.11 防水板的铺设质量应符合下列要求：

1 相邻塑料板的搭接长度不得小于10 cm，焊缝宽度不得小于2 cm，焊缝强度不得小于防水板本身强度的70%。焊缝不应有漏焊、假焊、烤焦，当有烤穿之处时，应以塑料片焊贴覆盖。

2 防水隔离层应与喷射混凝土表面密贴。

3 防水板焊缝应压气检查。

7.1.12 二次衬砌的混凝土强度、厚度、净空尺寸等应符合设计要求。

7.2 工程验收

7.2.1 应根据现行的《铁路隧道施工规范》(TB 10204—2002)的规定进行验收。

7.2.2 施工部门应向验收人员提供以下资料，并列入工程技术档案：

1 原材料出厂（场）合格证和工地材料试验记录。

2 光面爆破、初期支护、二次衬砌、防排水施工的试验和检查记录。

3 变更设计和原材料代用证明文件。

4 工程重大问题处理文件。

5 施工期间重点地段的工程地质素描图。

6 竣工测量资料。

7 监控量测资料：

1）实际测点布置图；

2）监控量测记录汇总及变形时态曲线；

3）根据监控量测结果而修改施工前设计或改变开挖方式地段的信息反馈记录。

8 隐蔽工程检查记录。

9 设计文件及竣工图。

10 工程小结。

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”。

《铁路隧道喷锚构筑法技术规范》
条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明。为了减少篇幅，只列条文号，未抄录原条文。

1.0.1 隧道及地下工程建设中采用喷锚构筑法进行设计和施工在我国推广以来，已取得大量的成果。由传统的整体式衬砌设计中的定值参数法改变为以新奥法原理为基础的动态信息设计方法，不论在设计上还是在施工方法及工艺、机具等方面均有很大的不同，正在取得明显的技术和经济效益。当前，喷锚构筑法已成为隧道及地下工程设计和施工的重要手段。

1.0.3 喷锚构筑法根据新奥法原理，结合我国铁路工程实践，以岩土力学原理为基础，合理地利用围岩的自承能力，尽量减少开挖隧道时对围岩的扰动，使围岩成为支护体系中重要的组成部分，监控量测是喷锚构筑法的重要组成内容，通过施工阶段的监控量测来指导动态设计和施工的全过程，它已成为我国铁路隧道工程建设中广泛采用的方法之一。

1.0.4 按照铁道部发布的《铁路主要技术政策》的要求，铁路建设项目应遵循可持续发展战略，进行环境影响评价。隧道工程设计、施工要保护生态环境，尽量减少植被破坏，防止水土流失。生态保护和污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时投产使用。

1.0.5 采用喷锚构筑法进行铁路隧道设计和施工时，除应按本规范执行外，尚应符合国家和铁道部现行的有关标准和规范的规定，主要有：

（1）《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2001)；
（2）《铁路隧道施工规范》(TB 10204—2002)；
（3）《铁路混凝土与砌体工程施工规范》(TB 10210—2001)；
（4）《铁路线路设计规范》(GB 50090—99)；
（5）《铁路隧道施工技术安全规则》(TBJ 404—87)；
（6）《铁路隧道工程质量检验评定标准》(TB 10417—98)；
（7）《铁路隧道防排水技术规范》(TB 10119—2000)。

3.1.1 隧道的设计和施工，受到围岩和环境等的影响，应进行各种调查，以获得预估工期和工程费、决定施工方法、确保施工安全及运营维修管理等所需的资料。其中，地质调查是最重要的。由于地质条件的复杂性和地质勘测技术的限制等因素，致使调查结果和实际有时出入较大。因此，施工中经常发生设计的变更，工程费用增加，工期延长以及不测事态等情况。为借鉴以往隧道工程中的经验和教训，对于特别重要的地质现象，必须进行充分调查。

勘测时，在考虑其目的、隧道规模、调查阶段、要求事项(对象、内容)、精度等的同时，应对调查顺序、范围、方法、时间等详加研究，以决定调查的细节。尤其应对调查时间和顺序、调查事项的选择、调查成果的表达以及在设计、施工中的应用方法等加以研究和确定。

在各种特殊岩土和不良地质地段修建隧道采用喷锚构筑法时，应采用辅助施工措施，并应重点加强下列情况的地质调查：

（1）未固结层的性质及滞水状况；
（2）大规模的破碎带，伴有涌水的破碎带的规模和性质；
（3）软弱和膨胀性围岩的特性；
（4）洞口附近及埋深小的区间的地质状况；
（5）滑坡和偏压地形。

3.1.2 设计阶段勘测应包括选定线路的调查和设计及施工计划的调查，施工阶段的勘测主要包括施工调查等项内容，各调查阶段的概况参见说明表 3.1.2。

说明表 3.1.2　调查阶段的划分

划　分	时　期	目　的	主 要 内 容	范　围
选定路线的调　查	从比较路线的研究到隧道路线的确定	获得选定路线的地形，地质及环境条件等必要资料。作为下一阶段的调查的基础资料	·地形，地质调查，环境调查 ·一般的概略调查	包括比较方案路线所涉及的范围
设计施工计划的调查	隧道路线决定以后到开始施工	获得初步设计，工程计划，预算等基础资料	·地形，地质及环境调查 ·精密地质调查，施工设备调查，周边环境调查	与隧道有关的范围及周边范围
施工中的调　查	施工中	获得预测和确认施工中问题，设计变更，施工管理，补偿等资料	·地形，地质及环境调查 ·围岩状态的观察，支护动态的量测 ·隧道周边环境调查，量测	隧道内受施工影响的范围

在勘测时，应首先进行以掌握总体的、大范围的、以全貌为目的的调查，依次整理出由调查所判明的事项，提出调查的重点。接着在先前调查已获得成果的基础上，对以后进行的调查成果不断地进行评价、修正、使之更趋完善。

设计施工计划的调查，是为工区划分、施工和开挖方法、施工机械、工期、工费等基本计划而进行的。

施工中的调查是为研究辅助工法和变更支护模式而进行的，与采用超前钻孔的调查内容相同，但深度要深一些。

编制调查计划时，首先要掌握隧道周边的地形、地质特征（滑坡、活断层、古火山等）及水文特征（涌水位置、水利用状况等）等资料，并收集相邻地区和类似地质条件的调查实例。其次，根据隧道附近的踏勘，尽可能掌握隧道地质中的问题。

在资料调查不能获得充分情报时，要进行地表踏勘，根据其结果再进行下一步的调查。不管何种情况，都要按资料调查、地质调查、地质精查的顺序进行调查。

3.1.3　勘测设计应按不同调查阶段提出具体要求，并考虑隧道的规模、特点等编制。编制时，应对调查项目、调查方法、范围、顺序、精度要求、成果等作出明确规定。计划包括对既有资料的收集和调查、地质踏勘、环境和施工条件的调查等内容和采取的方法等。

勘测中要考虑隧道规模和喷锚构筑法的特性，根据要求的精度和事项决定调查的顺序、方法、范围和时间。

在喷锚构筑法中，对决定支护模式方法有关的项目应进行重点调查，其项目见说明表 3.1.3。

说明表 3.1.3　决定支护模式方法与调查试验项目

项　目	决定支护模式的方法		
	标准支护模式方法	类似条件方法	解析方法
岩石种类	◎	◎	◎
围岩弹性波速度	◎	○	
重　度	○	○	◎
单轴抗压强度	◎	◎	◎
变形系数		○	◎
静泊松比		◎	◎
超声波速度	○	○	
黏 聚 力	○	◎	◎
内摩擦角	○	◎	◎
侧压系数		○	○
流变系数			◎
粒度组成		◎	
RQD		○	○
黏土矿物含有量		○	
黏土矿物种类		○	
透水系数，孔隙水压		◎	
浸水崩塌度		◎	
N 值		◎	
含 水 比		○	
吸 水 率		○	

注：1　◎为必要项目；○为参考项目。
2　根据调查的进展，如与最初预计的不同时，应加以判明并及时修正调查计划。

3.1.4 勘测结果是工程规划、设计、施工等的重要资料，故应有效地利用并整理。

关于地质调查成果，不仅从地质学的观点，而且要从工程学的观点，加以整理。整理地质调查结果不仅是单纯地整理，而是应对工程规划、设计、施工有重要意义的围岩进行评价。

在整理地质调查结果时，应综合地判断所实施的各项调查、试验结果，并把整个隧道的围岩条件及特别有问题的地质分布、性状等，对编制施工计划所需的事项，汇总在地质平面图及地质纵剖面图上，其比例尺通常为1/1000～1/5000，在洞口附近及进行坑道调查时采用1/100～1/500。

这些地质图，不仅表示地质构造，还要表示工区划分，整个工区的开挖方法、开挖方式的建议，应从工程学的观点加以绘制，例如，在岩石学上同样确认为凝灰角砾岩，但视砾径的的大小和硬度、固结程度的不同，有的可以用机械开挖，有的就不可以，在这种情况下，就要进一步从工程学角度加以划分。

地质调查得到的资料的多少，因地质图的精度而异。根据局部的露头观察和钻孔调查推断全体时，要进行详尽地地质学的考察。在编制施工计划时，因不确实性是存在的，有时要进行补充调查。

编制的地质图不仅表示地质构造，也要宜于用来编制相应的开挖方法、开挖方式等施工计划。例如，凝灰角砾岩，要记载好砾石的大小、硬度、比例、基质的固结状态等。此外，既是同样的地质，因埋深的不同，土压现象和涌水现象也会不同。

各种岩石的试验值，因为都是局部的，是否能够代表岩体，要加以充分研究，并进而能对整个围岩进行评价。在设计中采用试验结果的物性值时，要确认与其他试验结果没有矛盾。一般说，试验结果是很离散的，因此应根据离散性选定合适的代表值。

各种岩石，原位试验等的结果，一般都是很离散的，从这些离散的结果中要推定出其代表值是很重要的。此外，用不同的试

验方法进行同样试验时，有时也会得出不同的试验结果，所以对应该采用那种试验方法也要作出判断。而且，这样得到的物性值，从整个隧道来看，只不过是局部的试验结果，所以对由试验得到的物性值如何评价，在什么范围内适用，都应经研究确定。

3.2.1 地质调查有许多方法，在不同的围岩条件下，应采用不同的方法。这里只说明围岩级别与调查方法、调查项目与调查方法之间的关系，供选择调查方法时参考（见说明表3.2.1—1及说明表3.2.1—2）。

说明表3.2.1—1 围岩条件和必要的调查项目（一）

调查项目 / 围岩条件	地形	地质构造	土质岩质	地下水	力学性质	物理性质	矿物化学性质	记事
硬岩	滑坡 崩塌 偏压地形	地质分布 断层 褶曲	岩石名 岩相 裂隙 风化 变质	滞水层 地下水位 透水系数	单轴抗压强度	围岩弹性波速度 超声波速度 重度	浸水崩解度	变成土砂的情况，以土砂为准
软岩	滑坡 崩塌 偏压 地形 埋深	地质分布 断层 褶曲	岩石名 岩相 裂隙 风化 变质	滞水层 地下水位 透水系数	单轴抗压强度 黏聚力 内摩擦角 变形系数 泊松比 流变系数	围岩弹性波速度 超声波速度 重度		浸水崩解度激烈的情况，以膨胀性围岩为准
土砂	滑坡 崩塌 偏压 地形 埋深	地质分布	岩石名 固结程度	滞水层 地下水位 透水系数	单轴抗压强度 黏聚力 内摩擦角 变形系数 泊松比 N值	重度 粒度组成 含水比	黏土矿物 浸水崩解度 盐基性置换容量	粒径均匀，但几乎不含黏土的情况，应研究其流动性
膨胀性围岩	滑坡 崩塌 偏压 地形 埋深	地质分布 断层 褶曲	岩石名 岩相 裂隙 风化 变质		单轴抗压强度 黏聚力 内摩擦角 变形系数 泊松比	重度 液限 塑限 含水比 围岩弹性波速度		

说明表 3.2.1—2　围岩条件和必要的调查项目（二）

调查项目 \ 地质调查法		资料调查	地表调查	弹性波调查	水文调查	地下水调查	钻孔	孔内检测					孔内加载试验	试件试验	调查坑道观察量测
								速度检测	电气检测	孔径检测	温度检测	标准贯入试验			
地貌	滑坡、崩塌	○	○				○								
	偏压	○	○												
	埋深	○													
地质构造	地质分布	△	○	△			○	△	△						○
	断层、褶曲	△	○	○			○	△							○
岩质、土质	岩质、土质名	△	○				○		△						○
	岩块	△	○				○								○
	裂隙		△	○			○	○							○
	风化、变质		△	○			○	○	△						○
	固结程度		○	△			○	△	△	○		○			○
地下水	积水层		○		○	○	○		○	○	△				
	地下水位		△		△	○	○								
	透水系数					○									
力学性质	饱和单轴抗压强度											○		○	△
	黏聚力、内摩擦角											△		○	△
	变形系数、泊松比											△	○	○	○
	标准贯入试验锤击数											○			
物理性质	围岩弹性波速度			○					○						
	超声波速度												○		
	重度												○		
	粒径分布												○		
	液限、塑限												○		
	含水比												○		
矿物化学性质	黏土矿物												○		
	浸水崩解度												○		
	吸水率、膨胀率												○		

注：○为必测项目；△为选测项目。

地质调查有：地表地质勘察、物理探查、钻孔、土质试验等。

地表地质勘察是研究物理探查和钻孔调查结果不可缺少的调查，视调查的目的和精度取得调查的范围。

物理探查有弹性波探查、电气探查、自然放射能探查等，是一种从地表不能直接看到的地下的地质及地质构造，采用地球物理的测定技术，解析方法进行推定的方法。

其中，弹性波探查是隧道地质调查的基本方法，但对软岩的一部分，因围岩的弹性波速度差异不大，弹性波速度与强度之间的直接关系较小，仅仅采用弹性波探查判断围岩性质是不完全的，应配合钻孔和岩石试验结果进行判断。

钻孔是地表地质勘察之后进行的调查，在隧道施工的位置处采取地质试件，是直接目视岩相的最有效的调查方法之一。

利用钻孔进行的调查包括：速度检测、电气检测、孔径检测、标准贯入试验、孔内加载试验、地下水检测、注水试验、孔内涌水压试验、温度检测等，是掌握地下的地质状况的物理的、力学的方法。

以上是从地表进行的设计施工前的调查，必要时，还应在隧道内进行施工中的调查。

试验的目的是根据土质或岩石的试件，了解岩石的物理、力学的性质，并根据其结果推断围岩的稳定性，为设计、施工提供基本资料。

试验应根据围岩性质决定必要的项目和数量。

用钻孔的岩芯进行的试验，是采用全体岩芯还是采取部分岩芯进行试验对围岩的评价可能是不同的，因此应根据目的，选定合适的采样地点。此外，根据试验结果评价围岩性质时，对试验值是代表一般性的，还是代表特异性的，应具体说明。

在软岩的条件下，隧道周边围岩可能发生破坏时，用弹性波速度测定围岩分级时应考虑围压比。

在软岩情况下，应判断是否有膨胀性，宜采用围压比和浸水

崩塌度等方法进行水化评价。

水化显著时，可根据阳离子置换容量测定结果和X线分析结果判断膨胀性的有无来测定蒙脱石的含量。

在黏性土时，可采用作用应力和围压比进行评价。在砂质土时自稳性评价是最重要的，并应与地层构成、各层的土质、N值、地下水位等综合考虑决定。特别是有涌水的情况，要进行粒度分析、密度试验等来推定其流动性能。

在一般围岩，以岩石的单轴抗压强度试验为标准试验。对三轴压缩试验，并没有一个明确的基准，可能发生孔隙水压的情况应以短期的应力变化为对象进行压密非排水试验，但考虑到长期的孔隙水压的减少，以采用压密排水试验为宜。在硬岩中，三轴压缩试验是没有必要的。

流变系数是进行FEM解析所要求的输入系数，应采用长期三轴流变试验确定。

试验的试件主要以泥岩、砂岩、凝灰岩等软岩为对象，试验期间可为1~6个月的试验，但1个月内位移基本稳定时，可以1个月为准。

目前各国在隧道及地下工程中十分重视施工中地质调查工作，条文中所规定的几种方法是施工中地质调查比较常用的方法。隧道内的调查包括：工作面观察、超前钻孔、弹性波的工作面前方探查等。

掌子面观察应尽可能由专门的地质人员承担。

超前钻孔主要是在工作面或其周边实施，尽可能地采取前方的地质试件。在不可能采取岩芯的条件下，也应利用孔尾、岩粉、钻孔速度及钻孔状况等来确认地质的变化和有无涌水。

在施工中地质状况有急剧变化，必要时应停止开挖，并采用超前钻孔进行工作面前方的地质探查。

开挖工作面地质观察及素描极为重要，每次爆破后，应立即由专人进行开挖面工作面观察和进行素描。

弹性波的工作面前方探查可采用地质预报技术TSP（Tunnel

Seismic Prediction）或HSP（Horizontal Seismic Profiling）等方法。本调查方法是把进行垂直的调查钻孔的VSP（Vertical Seismic Profiling）应用于水平方向，在隧道工作面安置接收器，在侧壁钻深1~2m的钻孔安置起震源，而后根据工作面前方的反射波解析围岩状况。

采用地质雷达预测工作面前方的地质和涌水情况，实践证明是一种比较有效的方法。

用施工中量测的数据对地质资料进行反馈修正也是一种有效的方法。

3.2.2 施工中应注意下列地质情况的调查：

1 断层破碎带、褶皱破碎带

对这种围岩应进行预加固，排出地下水，并提高围岩的自稳能力。包括：土砂和软弱围含水砂层、砂砾层以及断层破碎带等。

这种情况地质构造多较为单纯，用踏勘、钻孔、孔内检查、地下水调查等就可基本确定。

断层破碎带中隧道开挖的难度较大，破碎带的规模一般都很大，并有显著的黏土化和伴有涌水，突破破碎带时可能喷出大量涌水和土砂。为此，要充分调查断层破碎带的走向，倾斜的方向和宽度及角砾质或黏土质的特性等。

2 含水、未固结或低固结的围岩

一般说，第三纪和第四纪的砂岩、砾岩多是没有充分固结成岩的，故统称为未固结的砂层，砂砾层。同时，隧道内的水压，视地形、地质构造不同变化很大。因此，这些地层常含有丰富的地下水源，对隧道开挖会造成极大困难。

成为隧道施工问题的未固结或低固结的围岩有第四纪的粉砂、黏土、含水砂砾层，部分第三纪的泥岩、凝灰岩等。这些地质条件的掌子面自稳性都较差，而且地层的承载力也低，易于引起支护和衬砌的下沉。因此，在这种情况下，要研究采用辅助工法的问题。特别是当此类地层含水时，调查清楚隧道的涌水量和

涌水压是很重要的。除了采用水文调查判断隧道周边的地质构造及地层的透水系数外，更详细地了解滞水层的分布、地下水位等。

3 特殊围岩，如具有膨胀性的、岩溶或偏压的围岩

路线选定时，应极力避开滑坡和易产生偏压的地带。不得已横切滑坡地带时，应将隧道设置在滑坡面以下。

滑坡和偏压地形的特征可以通过地形图、航空摄影、实地调查等获得，也要对既有资料的灾害历史进行调查。

在隧道附近出现滑坡地形时，为了获得整治滑坡和研究对策的资料，应采取钻孔和电气探查等方法调查地下水状况，并应充分掌握滑坡形态和活动等状况。

在第三纪的泥岩，凝灰岩等膨胀性围岩中，为了判断有无膨胀性，除研究围压比外，还要通过试验研究构成岩石的粒子的黏土成分的比例、浸水崩塌度、蒙脱土含量、自然含水比等。

新第三纪的泥岩，凝灰岩中含有多种黏土矿物的围岩，当埋深大时，开挖后断面会有明显缩小，称之为膨胀性围岩。由于围岩强度也小，故要进行岩芯和钻孔的原位试验，此外还要进行黏土含水率、浸水崩解度、黏土矿物率、密度以及液限、塑限、吸水等试验以判定膨胀压力的大小。

在滑坡地带一般多出现膨胀压力，因此滑坡多数是判断有无膨胀压力的一个重要因素。

4 因滑坡、岩堆蠕动、采矿等造成不均匀下沉、坍塌和坡面灾害等原因而产生显著变形的围岩

岩堆是以自然坡角堆积在山坡上并处于稳定状态的。因此，隧道开挖极易引起滑动或蠕动，而且与岩石界面处会出现涌水等。这种情况在洞口施工中要特别注意。

隧道通过矿区的采空区时，因隧道与采空区的相互影响，会造成隧道的不均匀下沉，使围岩显著变形。因此应充分调查采空区的实态及隧道与采空区位置的相关关系，以便采取有效措施进行防治。

现场踏勘确认有活动的滑坡，为了解其活动状况及研究防滑坡措施，要对滑坡进行调查。对规模大的滑坡也要研究采取避开的改线方案。为了评价滑坡灾害发生的可能性和偏压作用等能否影响滑坡的稳定，要进行判断和准备采取相应措施的调查。

5 互层及软硬相间的围岩

围岩的种类、软硬是决定开挖方式的基本条件，如对火成岩、沉积岩或变质岩，因其硬度不同，开挖方式也不同。特别是当软硬岩层成互层存在时，调查要特别注意。

3.2.4 施工中地质调查的主要任务是探明工作面的稳定性和工作面前方的工程地质和水文地质的状况，同时校核设计时预判的地质情况是否符合实际，以便为修改设计参数和施工方法提供第一手资料。

施工中地质调查对预测施工中可能出现的问题，如塌方、岩爆、涌水，特别是异常涌水具有特别重要的意义。

3.3.1 对隧道施工的难易、开挖工作面自稳性、突发涌水、会产生偏压的地形、洞口附近的边坡崩坍、滑坡及对相邻结构物的影响、膨胀性围岩等的评价是很重要的。一般这些围岩条件，用围岩级别或物性值等准确地表达是很困难的，不得不依靠以往的经验、资料、实例等进行定性判定。

在进行隧道设计时，有时需设定围岩的工程模式、初始应力场等，采用理论分析法和数值分析法来分析围岩的状态和稳定性。

喷锚构筑法的支护结构主要是喷射混凝土和锚杆，在初期支护施做之前，开挖面及其顶部的围岩必须能自稳。因此，判定自稳时间是隧道设计和施工中一个重要因素。

3.3.2 隧道围岩分级分两阶段进行，即设计阶段的分级和施工阶段的分级修正。两阶段分级指标基本上是相同的，仅在完整性指标上，施工阶段考虑了坑道开挖工作面上的实际情况，而在选择判定围岩完整性的指标上与设计阶段有所不同。两者的不同如下：

设计阶段的围岩完整性判定指标　施工阶段围岩完整性判定指标

- ●地质构造影响程度
- ●节理裂隙发育程度
- ●围岩结构类型
- ●风化程度

- ●地质结构面状态
- ●间　　距
- ●延 伸 性
- ●粗 糙 度
- ●张 开 性
- ●风化程度

各阶段的分级都可以采用经验方法或半经验半定量方法或定量方法进行围岩级别的评定，目前通常采用定性和定量相结合的方法进行评定。

根据近 600 个样本，采用数理统计的方法，对设计阶段和施工阶段围岩级别的定量评定方法的研究，给出了各分级因子的权值。例如，施工阶段的各因子的评定权值见说明表 3.3.2—1。

说明表 3.3.2—1　施工阶段各因子的权值

因子 \ 基准	1	2	3	4	5
岩石强度	227	151	91	55	0
围岩完整性	208	162	124	89	41
地下水影响	151	124	79	—	—

围岩级别的评定按说明表 3.3.2—2 划分。

说明表 3.3.2—2　围岩级别的评定值

级　别	评　定　值
Ⅰ	>550
Ⅱ	549～480
Ⅲ	479～415
Ⅳ	414～335
Ⅴ	324～290
Ⅵ	<290

例如，当岩石强度判断为 2 级、围岩完整性判断为 2 级、地下水影响判断为 2 级时，围岩级别根据说明表 3.3.2—1 和说明表 3.3.2—2 知：151＋162＋124＝437，在 479～415 范围内，可确定为Ⅲ级。

岩石坚硬程度宜采用岩石单轴饱和抗压强度（R_c）的实测值，按说明表 3.3.2—3 进行划分。

说明表 3.3.2—3　岩石坚硬程度的划分

岩石类别		单轴饱和抗压强度（MPa）	代 表 性 岩 石
硬质岩	极硬岩	>60	花岗岩、闪长岩、玄武岩等岩浆岩
	硬　岩	30～60	硅岩、钙质胶结的砾岩及砂岩、石灰岩、白云岩等 沉积岩片麻岩、石英岩、大理岩、板岩、片岩等变质岩
软质岩	软　岩	5～30	凝灰岩等喷出岩
	极软岩	<5	泥砾岩、泥质砂岩、泥质页岩、炭质页岩、泥灰岩、泥岩、煤等沉积岩 云母片岩或千枚岩等变质岩

当无条件取得实测值时，也可采用实测的点荷载强度指数 $I_{s(50)}$ 的换算值，按下式进行换算：

$$R_c = 22.82 I_{s(50)}^{0.75} \qquad \text{（说明 3.3.2）}$$

围岩完整程度的划分宜按说明表 3.3.2—4 进行划分，亦可根据说明表 3.3.2—5 的方法进行划分。

说明表 3.3.2—4　围岩完整程度的划分

划　分	结构面发育程度	地质构造影响程度
完　整	不发育	轻　微
较完整	较发育 不发育	较　重 轻　微
较破碎	发　育 较发育	严　重 严　重
破　碎	极发育 发　育	极严重 严　重
极破碎	极发育	极严重

说明表 3.3.2—5　围岩完整性等级分级基准

分级 / 方法	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎
RQD（%）	>90	75~90	50~75	25~50	<25
裂隙系数 K_v	>0.75	0.5~0.75	0.35~0.50	0.20~0.35	<0.2
体裂隙系数 J_v（条/m^3）	<3	3~7.5	7.5~22.5	22.5~75	>75

注：$K_v=(v_{pm}/v_{pr})^2$　（v_{pm}为围岩弹性波速度；v_{pr}为岩石弹性波速度）。

结构面发育程度分级，宜根据结构面特征按说明表 3.3.2—6 确定。

说明表 3.3.2—6　结构面发育程度分级

名称	结构面发育程度		
	结构面组数及平均间距	主要结构面的类型	岩体结构类型
不发育	1~2组，平均间距>1.0m	规则为构造型密闭	巨块状结构
较发育	2~3组，平均间距>0.4m	呈X型，较规则，以构造型为主，多数密闭，部分微张，少有充填	大块状结构
发育	>3组，平均间距<0.4m	不规则，呈X型或米字型，以构造型或风化型为主，大部分张开，部分有充填物	碎石块石状
极发育	3组，杂乱、平均间距0.2m	以风化型和构造型为主，均有充填	碎石状

岩体受地质构造影响程度，宜按说明表 3.3.2—7 确定。

说明表 3.3.2—7　岩体受地质构造影响程度的分级

受地质构造影响程度	地质构造作用特征
轻微	地质构造变动小，结构面不发育
较重	地质构造变动较大，位于断裂（层）或褶曲轴的邻近地段，可有小断层，结构面发育
严重	地质构造变动强烈，位于褶曲部或断裂影响带内，软岩多见扭曲及拖拉现象，结构面发育
很严重	位于断裂破碎带内，岩体破碎呈块石、碎石、角砾状，有的甚至呈粉末泥土状，结构面极发育

岩石坚硬程度的划分，与岩石成分、结构及其成因、岩石受风化作用的程度以及岩石受水作用后的软化、吸水反应情况等因素有关，这可以用岩石试件的单轴饱和抗压强度这一代表岩石坚硬程度的定量指标进行划分。一般说，岩石单轴饱和抗压强度应取实测值或采用经过统计分析的统计值，亦可采用锤击难易、回弹程度、手触感觉和吸水反应等定性方法确定。

近几年来岩石点荷载强度试验获得较大的应用。这项试验方法简单，可在现场直接取样进行。给出的式（说明 3.3.2），是工程岩体分级标准中采用的。由于点荷载试验加载的特点和试件加载时的破坏特征，该项试验不适用于砾岩和 R_c<5 MPa的极软岩。

与国标《工程岩体分级标准》(GB50218—94）中岩石坚硬程度划分的比较见说明表 3.3.2—8。

说明表 3.3.2—8　本规范与“工程岩体分级标准”划分的岩石坚硬程度的比较

R_c	60	60~30	30~15	15~5	5
国标	坚硬岩	较坚硬岩	较软岩	软岩	极软岩
本规范	极硬岩	硬岩	软质岩	极软岩	—

3.3.3　考虑到铁路路线一经选定，很难修改，隧道必将通过不同的地质条件。因此，铁路隧道围岩分级将通过的围岩分为两大类，即：岩质围岩和土质围岩两大类。其中，岩体分级与工程岩体分级标准基本上是一致的，而土体则是根据铁路隧道的工程特点划分的。

岩体基本上划分为 5 级，土体则划分为 3 级。岩体和土体的分级是交叉的。整个隧道围岩根据单线铁路隧道不支护坑道的稳定性，分为 6 级。整个划分没有包括特殊围岩。

岩体分级主要是根据岩石单轴饱和抗压强度和岩体的完整程度划分的。土体基本上是根据砂质土和黏性土来划分的。

考虑到地质调查的精度，对 5～10 m宽度的断层破碎带或对

密集的软硬相间的围岩，应明确记载按一定长度，采用平均的围岩进行划分，并根据施工中的观察和量测结果进行修正。

本规范没有考虑特殊围岩的分级。但通常所说的特殊围岩，如由黏土质粒子构成的围岩，可采用围压比作为划分标准；而对泥质岩（泥岩、粉沙岩、凝灰岩等），应根据钻孔的施工状况和岩芯状况以及自然含水量，蒙脱土的含有量，水崩解度等室内试验结果等对围岩强度因吸水而降低的情况进行评价。评价时可参考说明表 3.3.3—1 的判断基准进行评价。

说明表 3.3.3—1　泥质岩的围岩分级的基准（日本）

指标及指标值		围岩分级		
		I	I	S
地质条件	破碎质的泥质岩或凝灰岩		○	
钻孔施工条件	不能采用无水掘进			◎
钻孔岩芯状况	因应力释放，目视可见体积增加			◎
	岩芯采取率极差		△	
	产生岩饼现象		△	
围压比	<0.5			◎
	0.5~1.5			○
	1.5~2.0		○	
	≥2.0	○		
蒙脱土含有量 C 自然含水率 w	$C\geqslant20\%$，$w\geqslant20\%$			
	$C<20\%$，$w<20\%$	○		
浸水崩塌度				△
其他	2×10μm 以下含有量≥30%			
	液限≥100%		△	
	围岩弹性波速度<1.5		△	

注：○—能够划分（应与其他指标配合进行划分）；△—大致标准；
◎—能够确实地划分。

由砂质土构成的围岩，要分析与工作面崩塌等有关的物性值。砂质土的物性值有表示砂的紧密程度的相对密度和细颗粒含有量等，可按说明表 3.3.3—2 进行初步划分。

说明表 3.3.3—2　评价工作面稳定性的砂质土的围岩分级基准（日本）

围岩级别	围岩状态	分级指标	
		相对密度	细颗粒含有量
	掌子面大致处于稳定状态的围岩状态的围岩	≥80%	≥10%
	稍有变化就可能流动的围岩的围岩		<10%
	掌子面自稳性非常差的围岩	<80%	

3.3.4　为了便于围岩分级的判定及使各项分级指标规范化，并系统地建立围岩分级的数据库，根据现行铁路隧道围岩分级拟就的围岩级别判定卡，在进行围岩分级时，通常可分为两步进行，即施工前围岩级别的判定和施工中围岩级别的校核及修正。

施工前围岩级别的判定和施工中围岩级别的修正都采用了分级参数和差法进行分级。这是经验分级方法的基础，也是定量分级方法的基础。即：

分级级别＝分级参数 1 ± 分级参数 2 ± 分级参数 3……

在分级参数上，基本上采用了岩石强度、围岩完整性和地下水影响 3 个分级指标。即：

围岩级别＝岩石强度 ± 围岩完整性 ± 地下水影响

为了量化研究的需要，上述 3 个分级指标又细分为 13 个因子如下：

岩石强度	围岩完整性	地下水
●极硬岩	●完整	●干燥或湿润
●硬岩	●较完整	●偶有涌水
●软岩	●较破碎	●经常涌水
●极软岩	●破碎	
●土砂	●极破碎	

这 13 个因子将作为围岩分级的划分因子。

实质上，围岩级别的判定，就是上述 13 个因子的不同组合。

施工前围岩级别主要是根据地质调查、试验数据及若干工程实例，由地质人员判定的。

为了便于判定，可采用围岩级别判定卡，根据地质调查结果，标示在相应栏目内即可。

目前国内外的围岩分级考虑地下水的影响时，主要采用遇水降级的方法，部分方法考虑了根据地下水影响的分级进行修正。本规范采用遇水修正的方法。因为水对围岩级别的影响不仅与水的赋存状态有关，还与岩石性质和围岩完整性有关。岩石越致密，强度越高，完整性越好，则水的影响越小。反之，水的不利影响越大。

表 3.3.4—1 的地下水状态的分级是参考国内外分级方法中的一些研究成果而确定的。表 3.3.4—2 则是根据我国铁路隧道及一些地下工程的实践而确定的。

围岩初始地应力场的影响即反映了埋深的影响，也反映了岩石强度的影响。因此，应与埋深、岩石强度及地应力场的量值综合考虑。首先应根据岩石单轴饱和抗压强度（R_c）和地应力场应力中的最大应力（σ_{max}）的比值（R_c/σ_{max}）确定初始地应力场的应力水平。表 3.3.4—3 就是根据各国的地下工程实践提出的一个分级标准。R_c/σ_{max}大于 7 的为普通地应力场。

应该指出：初始地应力场在软岩中的影响很大，应给以充分关注。表 3.3.4—4 是根据国内外地下工程实践给出的，可在工程实践中采用。

3.3.5 施工中围岩级别的校核及修正主要方法是填写《施工阶段围岩级别判定卡》，根据开挖后的围岩实际情况如实填写后，经分析，确认实际的围岩级别。

隧道开挖后，可以直接观察到地质状态，核定岩层构造、岩性及地下水情况，当发现设计文件与实际情况不符时，应及时修改围岩级别。此时，最主要的是根据开挖工作面地质观察，重新评定围岩的完整状态，可采用地质因素评分法，根据以弹性波速度决定的裂隙系数以及 RQD 等综合评定。在施工中围岩级别判

定卡（表 3.3.5）中，对此作了相应的分级，施工中围岩级别的修正，主要是对围岩节理发育程度及结构状态的重新评定。因为暴露后的围岩可以真实、直接地反映出围岩的实际状态。重新评定可按软弱结构面状态进行。

根据修正后的数据，仍可按前述方法评定和修正围岩级别。当施工中积累有足够数量的数据后，施工中的围岩级别亦可按上述方法直接评定。

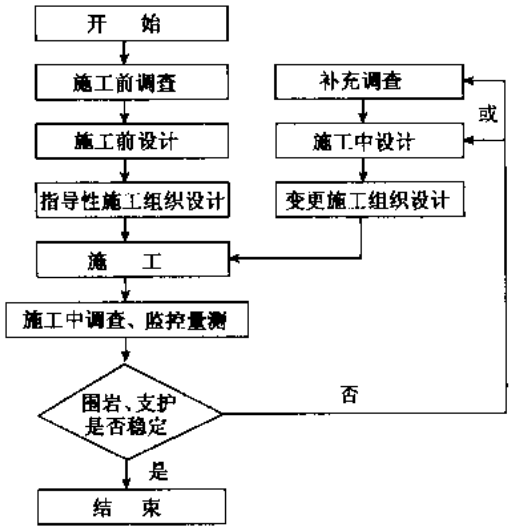
4.1.1 合理利用围岩的自承能力是喷锚构筑法的主要原则之一。但是，只有在允许围岩产生一定变形的条件下，才能达到利用围岩自承能力的目的。然而，过量的围岩变形将破坏围岩的原始应力状态，为尽可能减少对围岩扰动，就不能允许围岩有过大的变形，以防止围岩松动和强度的降低。

采用喷锚构筑法修建隧道，认为围岩、初期支护和二次衬砌三者共同组成支护体系。初期支护和二次衬砌不仅仅是被动承受围岩压力的结构，同时也是起到封堵围岩裂隙，加固围岩本身，以保持或恢复围岩在初始应力场中的受力状态的支护结构。我们可以用变更开挖方式和掘进速度，调整初期支护的施作时间、强度和组成等方法，来达到控制围岩变形的目的。

4.1.2 主要是根据设计任务书及有关规范，在外业资料的基础上参照标准设计来进行预设计。由于目前还不能在开挖前就预先准确了解围岩的性质及有关参数，为提高设计参数的可靠性和准确性，就必须在施工阶段对围岩的性质及支护效果进行跟踪监测，修定设计参数，为施工设计提供可靠的依据。

施工设计应为动态设计，根据观测及监控量测得到的支护体系各控制部位的位移或应力应变数据，对支护体系的安全性、可靠性分阶段进行评价，并提出对策。设计流程图见说明图 4.1.2。

4.1.3 采用喷锚构筑法时，应采用内轮廓圆顺、封闭的曲线型衬砌结构。要求衬砌断面圆顺，主要考虑防止衬砌和围岩产生应力集中现象，以保持围岩的整体稳定性能，为结构的内部设计，如通风及合理利用有效空间等创造条件。



说明图 4.1.2　调查、设计、施工、监控量测流程

4.1.4　用喷锚构筑法设计隧道时，在洞口段及地质变化地段，围岩压力不同，为避免衬砌强度不够而引起变形，围岩较差地段的衬砌应适当向围岩较好地段延伸，以起过渡作用。在软硬交错地段，岩性差别较大，为防止衬砌下沉不均匀造成破坏，而引起病害，在软、硬岩分界外应设置变形缝。

洞口地段的隧道衬砌结构受力比较复杂，衬砌可能受沿洞顶仰坡方向传来的纵向推力等不利因素影响，气候影响也较大，宜采用整体式加强衬砌，在围岩整体性好，并有充分理由时，可采用喷锚构筑法修建洞口衬砌。

4.3.1　表4.3.1—1～2 单双线隧道复合式衬砌的设计参数主要参照《铁路隧道设计规范》(TB10003—2001) 表 7.2.4—1～2 提出的。复合式衬砌的初期支护设计，应根据工程地质、水文地质、隧道断面尺寸等拟定，还要考虑覆盖厚度等有关因素，以决定初期支护的组成。

在围岩自稳时间短，隧道所在地区对地表下沉量有严格控制时，除初期支护应考虑钢架外，尚应采取相应的辅助工法，如超

前支护、超前小导管预注浆、管棚、地表加固锚杆、洞内外预注浆等，以加固和改善围岩的力学性能。

表 4.3.1—3 喷锚衬砌设计参数主要是参照《铁路隧道设计规范》(TB10003—2001) 表 7.2.3 提出的，喷锚衬砌主要用于完整、稳定的围岩中的短隧道。由于喷射混凝土厚度不易控制，为保证质量，故规定了喷射混凝土的设计厚度为最小厚度，为保证衬砌内轮廓不侵入隧道限界，喷锚衬砌内轮廓除考虑按整体式衬砌要求放大外，尚应预留10 cm,作为衬强备用的空间。

Ⅳ级围岩的单线隧道、Ⅲ级围岩的双线隧道内均应设置仰拱。在初期支护设计中，仰拱喷射混凝土厚度及要求均应与拱部及边墙相同，使初期支护尽快形成封闭结构，以保证围岩的稳定。

对一般地区的隧道用喷锚构筑法设计时，在预设计阶段可以参照有关标准设计进行。在大跨度、超浅埋、不良地质地段进行设计时，除按工程类比确定衬砌设计参数外，还应进行必要的理论分析计算来加以验证，计算的理论及方法目前主要有数值分析法、特征曲线法（即收敛—约束法）、整体平衡理论等。

4.3.2　在Ⅰ～Ⅱ级围岩中，隧道开挖后，围岩很快趋于稳定，变形量小，并且多有超挖，一般可不留预留变形量。对Ⅲ～Ⅵ级围岩，则有不同程度的变形量，特别是在浅埋或软弱围岩条件下，情况比较复杂，要确定预留变形量比较困难，必须通过大量的实际监控量测数据进行统计分析。因此规定采用工程类比法确定，如无类比资料时，可按表 4.3.2 先设定预留变形量，再在施工中通过量测不断修正。

4.3.4　用喷锚构筑法设计复合式衬砌或喷锚支护整体式衬砌时，二次衬砌或整体式衬砌的结构可按破损阶段法进行内力分析和检算，其混凝土的极限强度可按表 4.3.4—1 中所列数值选用。

4.4.1～4.4.2　初期支护应具有足够的强度和合理的刚度，并且应在一定程度上能够与围岩共同受力和变形。由于喷射混凝土、钢筋网和钢架的作用各不相同，因此初期支护的强度和刚度与其

组成的成分密切相关。故在设计时应根据围岩的工程地质状况、地下水情况、隧道净空尺寸以及覆盖层厚度等主要因素选择初期支护的组成形式。例如采用喷射混凝土支护、喷锚网支护、钢架喷射混凝土支护等。当地质条件复杂或者隧道埋深很浅（例如小于5 m）时，应采用超前小导管、管棚支护或预注浆加固围岩等辅助施工措施。

4.4.3 喷射混凝土在凝固过程中有较明显的收缩，若其厚度小于4 cm，必然造成喷层中粗骨粒含量减少（回弹量较大），更容易引起收缩开裂。同时，喷层过薄也不足以抵抗局部岩块的变形力，常出现裂缝甚至剥落。近几年来，有关部门对喷射混凝土支护使用情况进行调查的结果表明，喷层产生局部开裂剥落者，其厚度多在4 cm以下，有的仅有2～3 cm。因此本条规定喷层厚度不得小于4 cm。

根据喷锚支护原理，要求喷层具有一定的柔性。在软弱围岩中，如喷层过厚，会承受过大的形变压力，从而导致喷层弯曲裂损。因此喷层的厚度应有一定的限制，按国标规定，喷层厚度最大不宜超过20 cm。根据铁路隧道的实际应用条件，最大喷层厚度不宜超过25 cm。

当规定的喷层最大厚度不足以提供支护抗力时，可用配钢筋网或钢架予以加强。

4.4.4 锚杆的类型主要有：全长粘结型、端头锚固型、摩擦型锚杆、预应力锚杆及自钻式锚杆。

全长粘结型锚杆是一种通常不能对围岩施加预应力的被动型锚杆，适用于围岩变形量不大的隧道或其它地下工程的永久系统支护。由于其适用性强，施工简便，故在铁路隧道中应用广泛。

中空注浆锚杆是自钻（进）式锚杆的简化改进型，自钻式锚杆成本较高，普通砂浆锚杆的注浆又难饱满，因此中空注浆锚杆很有推广前景。中空注浆锚杆的杆体为碳素钢，不用钻头，但保持了自钻式锚杆的全螺纹无缝钢管材料，并有联接套、钢垫板和止浆塞等。用凿岩机凿孔后，把锚杆插入孔中，锚杆头部有塑料

锚头，其作用有二：一是把杆体卡在孔中不会掉下来，二是与孔口的止浆塞一起保持杆体在孔内的居中位置，以使杆体周边的砂浆保护层厚度均匀。

端头锚固型锚杆在安装后可以立即提供支护抗力，并能对围岩施加不大于100 kN的低预应力，适用于裂隙性的坚硬岩体的局部支护。

摩擦型锚杆也能在安装后立即提供支护抗力，并能对围岩施加较低的三向预应力，韧性好，适用于软弱破碎、塑性流变围岩及经受爆破震动的局部支护。

上述两类锚固目前已经研制了锚固后注入防腐粘结用的浆液工艺，以保证长期使用。

自钻式锚杆是一种具有钻进、注浆和锚固功能三位一体的锚杆，能保证在复杂的以及钻孔作业中易塌孔的地层中的锚固效果，主要用于特殊岩土及不良地质条件下施工的隧道。

确定锚杆长度时，主要应考虑围岩的地质条件。在成块和层状围岩中主要考虑悬吊作用或组合梁效应，此时锚杆的长度应大于围岩松弛范围。如果主要是考虑加固和改善围岩受力条件，应使锚杆与围岩组成统一作用体，充分发挥围岩自承能力，此时锚杆的端头也可锚固在围岩松弛范围以内，但锚杆应具有足够的锚固力，另外也可采用具有一定预应力的系统锚杆。

4.4.5 锚杆的布置应根据围岩级别及其特性、隧道断面尺寸、覆盖层厚度等条件进行确定。

系统锚杆的布置应在设计中根据上述原则确定，局部锚杆的布置则应在施工过程中根据开挖后的围岩状况确定。系统锚杆间距不宜大于锚杆长度的1/2的规定是考虑到有利于相邻锚杆的共同作用。布置锚杆时，应使锚杆承受拉力或剪力，故规定锚杆安设方向应尽量与岩层面垂直。

4.4.6 在锚杆受力较大的区段，锚杆可能由于下述两种原因中的一种而失效。第一种原因是由于锚杆本身的强度不够被拉断；第二种原因是由于锚固力不足而被拉出。在采用全长粘结型锚杆

时，锚固力不足表现为锚杆与粘结材料间或粘结材料与围岩间的粘结力不足，为防止上述现象的发生，规范中提出了三种提高锚杆支护效果的措施。

采用高强度锚杆或大锚杆直径是为了提高锚杆自身强度的措施，同时，加大锚杆直径还可增加锚杆与粘结材料间的接触面积。增大钻孔直径是为了增加粘结材料与围岩间的接触面积。增加锚杆根数则是为了减少每根锚杆所承受的力。此外，提高锚杆与粘结材料间或粘结材料与围岩间的粘结力，也可用提高粘结材料的粘结性能等方法加以解决。

采用自钻式锚杆或其它预应力锚杆可以在很大程度上改善注浆质量，保证了砂浆的饱和度要求，相应增大了围岩的 c、ϕ 参数值，从而保证了锚杆的锚固力。

4.4.7 垫板是使喷射混凝土与锚杆组成统一支护结构的重要构件。实践证明，设置垫板可明显地提高锚杆与喷射混凝土的综合支护效果，故规范规定应在锚杆端头设置垫板。

由于我国铁路隧道施工现状，普通锚杆增加垫板难度大，以及工程费用增加等情况，在设计施工中大量采用的是无垫板的螺纹筋砂浆锚杆，锚杆质量很难保证。因此在铁路隧道工程中推广使用带垫板的锚杆是保证喷锚支护质量的一个重要措施，必须推广，本条款规定各类锚杆均应设置垫板。

4.4.8 在自稳时间短的围岩中修建隧道时，如果在喷射混凝土及锚固锚杆的砂浆尚未达到所须强度之前就须对开挖岩面进行支护时，应采用钢架，因钢架在架设后，可立即起到支护作用。另外，当围岩压力大或变形发展快时，亦应采用钢架，加强初期支护。

4.4.9 在各排钢架之间设置纵向钢拉杆是为了保证钢架在架立后、尚未被喷射混凝土固定之前沿纵向的稳定性。在喷射混凝土后也能增加纵向刚度，从而改善纵向受力条件。

4.4.10 在松散、破碎或膨胀性围岩中采用喷锚支护后，由于后续工序爆破震动的影响或水的影响，上述喷层易于离层或变形，

在离层或变形积累到一定数量后，往往会造成喷层开裂或剥落。而这种情况下使用钢筋网喷混凝土是为了增加喷层的抗裂和抗剪能力。

4.5.1 影响二次衬砌受力状态的因素很多，除围岩级别外，地下水、隧道埋置深度、初期支护的刚度、性能及其施作时间等，初期支护与二次衬砌之间的接触程度对初期支护的受力状态影响很大。目前多采用工程类比法进行二次衬砌的设计。计算一般可采用荷载—结构计算模型，通过类比或量测，确定作用在二次衬砌上的外荷载，按破损阶段法进行结构内力分析和检算。

4.5.2 为合理利用围岩的自承能力，允许围岩和衬砌有一定的变形，故二次衬砌不宜过厚，并且不应小于构造要求的最小厚度。二次衬砌受力比较均匀，为防止应力集中，二次衬砌宜采用圆顺等厚的马蹄形断面。

在不良地质阶段，初期支护承受了较大的作用，在围岩与支护不能充分发挥时，通过监控量测，如果认为有必要，可增加二次衬砌的厚度或采用钢筋混凝土衬砌。

4.5.3 深埋隧道的二次衬砌变形基本稳定的条件，是总结了多座隧道施工中监控量测的大量统计资料后提出的，为了稳妥可靠，在确定二次衬砌基本稳定条件时，可同时按本规范第 6.3.3 条规定的隧道稳定性综合判断方法进行对照使用。

4.6.1 仰拱设计参数及其与隧道边墙底部的连接方式是影响隧道整体强度的重要因素之一。对仰拱的曲率、厚度、轨下附属构筑物的合理布置形式等，近年来已有不少科研成果，已陆续反映到规范和标准设计当中，对减少隧道病害，提高运营功能起到明显作用。

4.6.2 《铁路隧道底部结构受力状态及合理结构形式》的科研成果（铁道部技鉴字〔1997〕第 046 号文公布），双线隧道曲墙式衬砌底部仰拱的曲率由原来的 1/14 加大到 1/12，仰拱填充材料由原来的 C10 混凝土改为与仰拱材料强度等级相同的 C20 混凝土等，可在今后双线隧道的设计中参考使用。

4.6.3 仰拱的初期支护及二次衬砌的厚度均与拱顶的初期支护及二次衬砌的厚度相同。在软弱围岩中将初期支护尽快施作，并且成为一个封闭结构，是保持围岩稳定的一个重要手段，也是本规范的一个重要原则。

4.7.1 为保证喷射混凝土的质量，在施喷前应对施喷面的涌水进行处理，根据围岩特性、涌水范围、涌水量等具体情况分别采用导水或止水的方法，把水引离施工的工作面。

当地下水从狭小范围或岩面裂缝中涌出时，尽量把水集中疏导到一个集中出水点，用排水管引离施工面，也可利用排水钻孔或排水管进行排水，把水引入水沟中，然后再进行喷射混凝土作业。

当涌水量大，涌水范围较广，采用上述方法无效时，可在受喷面上铺设带导水槽的防水板或俯贴式盲沟（橡塑材料制品），然后再喷射混凝土，进行初期支护的施工。

当施喷面只有小范围渗水、浸水时，可采用在初期支护的喷射混凝土中适当增加速凝剂的用量，达到迅速止水的目的。对于土、砂或软岩地层，应在施喷面上加设细孔钢筋网，增加粘结力，以防止喷层因自重剥落。

4.7.2 实践证明，施工期间无水或少水的隧道，并不能保证在以后的运营期间也无水或少水，施工初期水量较小的隧道，往往由于施工时山体受到扰动，水路变得畅通，各处地下水容易向隧道汇集，使隧道内地下水量不断增加。因此，根据隧道设计基准期内对防水的要求，应在复合式衬砌的初期支护与二次衬砌间设置防水隔离层。

防水隔离层除可以防止地下水进入隧道以外，还有一个重要作用，即在初期支护与二次衬砌之间起应力调整作用，防止二次衬砌的混凝土因受力不均匀而产生裂纹。

防水隔离层一般由橡塑板材为主的防水板和柔性垫层所组成，也可用喷涂高分子化学材料。柔性垫层主要是为防止防水板被围岩或初期支护刺破漏水，而在初期支护和防水板之间加设的

保护垫层，材料一般为土工无纺布或泡沫材料。

在初期支护的喷射混凝土中加入能提高混凝土的粘结力和抗裂能力，并有微膨胀性的外加剂，已成为提高初期支护防水能力的主要手段，有关科研成果已开始推广应用，对初期支护的防水已起到明显效果。如通过有关部门鉴定的新型膨胀型速凝剂等，不仅提高了隧道支护结构的防水性能和力学性能，还可以增加喷射混凝土的后期强度。

防水隔离层采用分层喷涂施作时，要选用无毒、无味、无腐蚀、无刺激性的合格化学材料，防止施工及运营期间对环境的污染。

4.7.3 二次衬砌一般采用泵送混凝土、衬砌台车进行连续灌筑施工，一次灌筑长度为8～12m。在衬砌台车端部设置的堵头模板，由于泵送混凝土压力较大，为防止堵头模板漏浆或“爆模”，施工时都要把堵头板紧紧地挤顶在已铺好防水板的开挖面上，致使压坏防水板的现象时有发生。因此，在二次衬砌施工缝处应设置止水带和遇水膨胀橡胶止水条，以防止因防水板漏水后，水进入隧道内。

4.7.5 隧道采用单侧水沟可降低工程造价，在无仰拱隧道中，两侧边墙不等高也不会有太大的影响。在有仰拱的单线隧道中采用单侧水沟时，衬砌将为不对称结构，在有水沟一侧，边墙与仰拱连接处内侧为锐角，极易在围岩及衬砌结构中产生应力集中，成为隧道整体结构中的一个薄弱环节，病害常常由此产生。因此规定在单线隧道中宜采用双侧水沟。

双线隧道如果两侧边墙下都不设侧沟，而仅在两线路中间设中心水沟，不利于拦截隧道衬砌两侧外面的地下水，造成地下水进入隧道后在道床下漫流，再汇集到中心水沟内。地下水长期浸泡道床，造成道床软化，发生翻浆冒泥等病害。因此规范规定不得单独设置中心水沟。

4.7.6 在地下水量较大时，为了排除初期支护及衬砌外的地下水，可在围岩开挖面地下水露头处一定范围内设置环、纵向盲沟

或盲管，将地下水汇集，通过边墙当中下部埋设的排水沟流入洞内水沟中。

为扩大地下水汇水范围，在铺设盲沟、盲管前，在不影响围岩稳定和不致引起盲沟（管）堵塞的前提下，可在盲沟（管）范围内向围岩方向钻一些集水钻孔。在砂质、土质或破碎松散围岩，不宜使用集中排水，以防造成岩土颗粒流失，降低围岩的稳定性。

4.7.7 隧道底部病害是长期困扰铁路隧道线路安全的主要问题之一，经有关部门的多次研究与科研攻关，已取得初步的科研成果。在隧道内采用深排水沟，降低水沟底面高程等方法证明是有效的减轻隧底病害的措施。

在双线隧道的仰拱下面设沿隧道中心纵向的排水盲沟，并与上部拱墙外侧设置的纵、环向盲沟相配合，形成隧道整个排水系统，证明是有效的。仅隧底地下水发育时，盲沟可不与边墙的环向盲管相连，上下排水可各成体系。

在单线隧道中设置仰拱下的排水盲沟（管），目前还有一些问题有待解决，主要是仰拱下的盲沟（管）养护维修困难。单线隧道目前主要采用加深侧沟的办法，以减少地下水给道床造成的病害。按规范要求，水沟加深，边墙基础也相应加深，工程造价要提高，因此，在设计中要全面综合考虑和进行经济技术比选后，提出合理的隧道轨下结构设计方案。

4.8.1 在特殊岩土和不良地质条件下修建隧道时采用复合式衬砌是一种较好的结构形式，在地下工程建设中，国内外已有不少成功的范例和经验，并且总结出了新的理论和施工手段，使以前采用常规传统的方法不能修建隧道的地方现在成为可能。

4.8.2 浅埋、松散、破碎围岩，开挖后变形快，早期压力大，自稳时间短，单靠初期支护不能满足要求时，应采取用相应的辅助施工措施对围岩进行处理，如采用超前支护，小导管预注浆，管棚法施工，地面砂浆锚杆预加固，岩体预注浆等，以期达到对围岩加固减载的作用，改善初期支护和二次衬砌的受力状况。采

用何种辅助施工方法应经过技术经济比较后确定。

深浅埋隧道分界深度与地质、地形、隧道宽度、衬砌设计参数和施工方法等因素有关，通过调研统计和理论分析计算，Ⅴ级围岩为 $3B$（B 为隧道宽度），Ⅳ级围岩为 $2B$，Ⅲ级围岩为 $0.6B$。根据室内模型试验，Ⅴ～Ⅲ级围岩为 $(2\sim3)B$；按《铁路隧道设计手册》有关规定分类，Ⅴ级围岩为 $(2.8\sim3.3)B$，Ⅳ级围岩为 $(1.5\sim1.8)B$，Ⅲ级围岩为 $(0.6\sim0.7)B$。综合分析上述各种资料，在确定浅埋隧道覆盖厚度值时，应符合《铁路隧道设计规范》(TB10003—2001）的有关规定。

4.8.3 在新、老黄土地层中用喷锚构筑法修建隧道已有不少成功的经验。黄土中垂直压力不均匀，一般多呈马鞍型分布、侧压力大，老黄土（Q_2）具有湿陷性小，强度较高，稳定性能较好等优点，可以用喷锚网等支护手段做永久衬砌。用砂浆锚杆时，为增加砂浆与黄土地层间的粘结面积，提高锚杆的抗拔力，锚杆孔径不应小于60 mm。

黄土隧道侧压力大，按一般地区的隧道衬砌边墙侧拱度设计隧道时，边墙的曲率偏小，从全断面总体受力分析看，结构的压力曲线与其截面轴线偏离较大，加大曲边墙的矢跨比是改善黄土隧道整体受力状态的较好途径。

黄土地区的隧道内轮廓宜采用平拱曲墙，圆顺连接的封闭断面形式。

4.8.4 通过松散、堆积、软弱、膨胀性围岩的隧道，一般侧压力较大，边墙部位会发生较大变形和底部隆起现象，宜采用对各种荷载适应性强，有仰拱并接近圆形的衬砌断面形式。

在膨胀性围岩中修建隧道，除遵守《铁路隧道设计规范》（TB10003—2001）的有关规定外，尚应符合《铁路膨胀岩隧道技术规范》的有关规定。

膨胀岩遇水膨胀，失水干缩，因此在膨胀岩隧道中排水以堵为主，严防开挖面长时间暴露或浸水，设计中应加强防水措施。

对膨胀岩隧道的初期支护应该加强。在使围岩不至于发生松

散，同时又允许围岩有一定的塑性变形的前提下，为充分发挥围岩的自承能力，可在二次衬砌外加设缓冲层（弹性夹层）的办法，籍以达到缓解膨胀压力的目的，这方面在公路的膨胀岩隧道设计中有不少的经验值得借鉴。

4.8.5 过量排出地下水是引起地面建筑物沉陷的主要原因之一，因此在有严格限制地面下沉量的隧道，对地下水的排水量应严格控制，必要时要进行化学注浆固化地层。

在地表下沉量大，收敛趋势不明显时，除加强初期支护如用刚性钢架支顶，加厚喷层等方法外，还可以提前施作二次衬砌，基本上能有效地控制地表下沉。

4.8.6 对深埋土质隧道应及时封闭仰拱，滞后时间不宜大于5d，二次衬砌距开挖面距离不宜大于20m，主要考虑衬砌应及早封闭成环，防止变形过大。

土质隧道不宜使用爆破开挖，也不宜采用无轨运输方式组织施工，结构宜采用曲墙有仰拱衬砌并改善内轮廓形状，增加边墙曲率，预留变形量一般大于10cm，具体数据应根据试验确定。

采用短台阶法开挖的土质隧道，开挖循环进尺宜控制在1.5m以内，并及时喷射早强混凝土封闭开挖面，施作早强药包锚杆。

5.1.1 施工时可根据说明图5.1.1所示程序组织施工。

施工组织设计文件一般由以下内容组成：

（1）概　　况

①隧道概况；

②资料依据；

③施工地区气象；

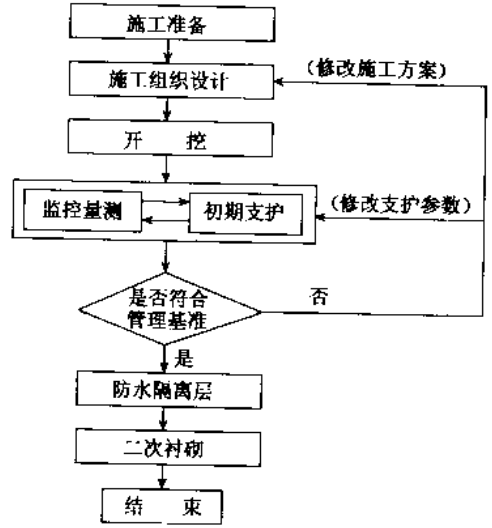
④施工条件；

⑤材料供应；

⑥当地人情风习、生活条件及物资供应；

⑦施工应具技术装备、技术水平、工区划分等。

（2）施工准备工作



说明图5.1.1　施工组织设计

（3）施工方法

（4）监控量测

（5）安全质量保证体系

（6）组织机构

（7）环保与其他

①弃碴的利用及处理；

②隧道施工与农田水利；

③水源、水质及供水；

④地表下沉与防护；

⑤生态平衡与保护。

（8）施工组织进度图

（9）洞口施工场地平面布置图

①弃碴场；

②材料库；

③机械库；

④办公与生活用房；

⑤管线布置图；

⑥炸药、雷管、油料等危险品及易燃品存放地；

⑦洞口施工场地。

(10) 附　　表

①工程数量表；

②劳动力数量表；

③主要机具表；

④主要材料表。

采用喷锚构筑法施工时的核心问题之一是信息反馈，监控量测是施工组织设计的重要内容。

5.1.2 施工中应进行网络施工组织工序进度管理、安全技术组织措施管理、机械配套及维修管理、量测信息反馈管理、材料管理，使施工工序规格化，施工工艺卡片化，建立开挖、钻爆、喷锚、运输、量测、防水、模筑衬砌、通风等施工操作细则。

5.1.3 施工方法和支护参数必须适合地质构造的变化，喷锚构筑法与以往的施工方法的不同点就在于根据现场量测信息指导施工，即通过对开挖面的地质观察和拱顶下沉、水平净空变化量测，并判断其稳定性，对隧道的施工方法、开挖步骤、顺序、初期支护参数进行合理的调整，提出合理的支护参数及安全快速的施工方法。

5.2.1 采用钻爆开挖时，为改善爆破效果，应采用光面爆破和预裂爆破技术。一般情况下，中硬以下岩石宜采用光面爆破，软岩宜采用预裂爆破。分部开挖时也可采用预留光面层光面爆破。

5.2.1 光面爆破参数应根据工程类比或爆破漏斗及成缝试验选择，无条件试验时可按说明表 5.2.2—1 选用，并应根据爆破效果及时调整。

爆破器材及起爆方式直接影响爆破效果。为了克服深孔爆破中的“管道效应”宜采用大直径药卷。但进行光面预裂爆破时周边眼应采用低爆速、低密度、低猛度、高爆力、传爆性好的小直径药卷，目前我国尚未生产专用光爆炸药，通常采用22～25 mm

说明表 5.2.2—1　光面爆破参数

围岩级别	单轴抗压极限强度 R_b(MPa)	装药不偶合系数 δ	周边眼间距 E(cm)	周边眼最小抵抗线 W(cm)	相对距 E/W	周边眼装药集中度 q(kg/m)
硬　岩	>60	1.25～1.50	55～70	70～85	0.80～1.00	0.30～0.35
中硬岩	30～60	1.50～2.00	45～60	60～75	0.80～1.00	0.20～0.30
软　岩	≤30	2.00～2.50	30～50	40～60	0.50～0.80	0.07～0.15

注：1　装药不偶合系数指炮眼直径与药卷直径的比值。

2　适用于炮眼直径40～50 mm，药卷直径20～42 mm，炮眼深度1.0～5.0 m。

3　装药集中度按 2 号岩石硝铵炸药考虑，当采用其他炸药时，应进行换算。

4　周边眼间距 E 的取值：当断面较小或围岩软弱、破碎或在曲线、折线开挖成形要求高时应取较小值；周边抵抗线 W 的取值：一般情况下均应大于周边眼间距 E，软岩在取较小的周边眼间距的同时，抵抗线应适当增大。周边眼的相对距离 E/W 的值：软岩取小值，硬岩及断面小时取大值，开挖断面小于 8 m² 或竖井开挖时，装药集中度宜相应增加 5%～10%。

5　单位体积耗药量视围岩情况和循环进尺而定。硬岩隧道采用全断面开挖，进尺为3～5 m深孔爆破时，其值为1.4～2.0 kg/m³，软岩隧道采用半断面或台阶方式开挖，进尺为1～3 m的浅孔爆破时，其值为 0.6～1.0 kg/m³。

6　表中 q 系按 2 号岩石硝铵炸药计算，采用其他炸药时应按下式换算：

$$K=\frac{1}{2}\left(\frac{\text{2 号岩石炸药猛度}}{\text{换算炸药猛度}}+\frac{\text{2 号岩石炸药爆力}}{\text{换算炸药爆力}}\right)$$

小直径药卷，按一定间距捆绑在导爆索上代用。目前多采用国产Ⅱ系列非电毫秒延迟雷管及半秒延迟雷管进行光面、预裂爆破。由于起爆间隔不好及误差原因，爆破效果不甚理想。新研制的间隔为200 ms的等差雷管使用效果很好。其标准见说明表 5.2.2—2。

说明表 5.2.2—2　国产非电200 ms等差雷管技术标准

段　别	3	4	5	6	7	8	9	10
延迟时间 (ms)	400 ±50	600 ±50	800 ±50	1000 ±60	1200 ±60	1400 ±70	1600 ±70	1800 ±70

预裂爆破参数可根据现场成缝试验选择，无条件试验时，可

按说明表 5.2.2—3 选用，并应根据爆破效果及时调整。

说明表 5.2.2—3　预裂爆破参数

围岩级别	单轴抗压极限强度 R_b（MPa）	装药不偶合系数 δ	周边眼间距 E（cm）	周边眼至内排崩落眼间 E（cm）	周边眼装药集中度 q（kg/m）
硬　岩	>60	1.20～1.30	40～50	40	0.35～0.40
中硬岩	30～60	1.30～1.40	40～45	40	0.25～0.35
软　岩	≤30	1.40～2.00	30～40	30	0.09～0.19

注：1　适用于炮眼直径 40～50 mm，药卷直径20～42 mm，炮眼深度 1.0～3.5 m；

2　条件相同时，预裂爆破的单位体积耗药量应较光面爆破大些；

3　表中 q 系按 2 号岩石硝铵炸药计算，采用其他炸药时应按下式换算：

$$K=\frac{1}{2}\left(\frac{\text{2号岩石炸药猛度}}{\text{换算炸药猛度}}+\frac{\text{2号岩石炸药爆力}}{\text{换算炸药爆力}}\right)$$

5.2.3　由于施工受多种因素的影响，开挖后产生超欠挖是必然现象，将超挖值限制在最低限是当前施工中急需解决的问题。为此，必须改进爆破技术，严格施工管理，主要注意以下几点：

（1）准确画出开挖轮廓线及周边眼孔位，实施办法除目前采用的经纬仪画线外，还可采用激光指向仪定向，在开挖工作面上找出断面控制点。

（2）严格控制周边眼装药量，除利用光爆炸药进行空气间隔装药外，还可直接用导爆索束进行周边眼爆破。实践表明，光爆炸药与导爆索配合使用效果很好。

（3）严格控制周边眼的起爆时差，力求使其同时起爆，由于国产系列Ⅱ系列毫秒雷管段间隔误差较大，光爆效果不甚理想，宜采用精度较高的间隔为200 ms的等差雷管。实践说明，在掏、扩槽眼及部分掘进眼采用毫秒雷管，其他炮眼采用间隔为200 ms的等差雷管进行爆破，效果很好。

5.3.1　隧道洞口段开挖时极易发生塌坍、边仰坡滑落，地表水的下渗使地表下沉、地基承载力不足，甚至会使结构承受偏压。因此在选定洞口施工方案时，应充分考虑到这些不利条件，作到有备无患。隧道洞口段多为地质不良，加上相关工程影响，使本

来不良的地质条件更加恶化。因此结构受力多变且不可预测，要求洞口结构采用刚性支护且宜早封闭，二次衬砌尽早做好。

5.3.2　洞口段施工根据地形、工程地质与水文地质条件，结合洞外工程来确定进洞的方式。尽早完成隧道洞口段洞门衬砌灌筑，目的是增加整体性与抗外来不定因素的影响。洞口多受大气降水影响，因此进洞前应作好地表水的排放，清除不稳定危石，尽量减少由于开挖而带来的围岩松动，保护边仰坡植被，贯彻早进晚出的原则。

5.3.3　隧道洞口若遇有软硬相间岩层时，可清除软岩，浆砌支挡硬岩；岩单为软岩可挂网喷混凝土；若风化较深有可能顺层坍滑层时可采用锚杆加网喷。以上各措施应结合洞口地形、地质、地貌来综合判定。

5.3.4　隧道洞口开挖中的辅助工法，目的是稳定开挖面，减少坍塌，各种方法的适用条件如下：

（1）超前锚杆与小导管周边注浆多用于山前的堆积物与坡积物的山体内；

（2）管棚多用于埋深不大，顶部易坍或为减小地面下沉；

（3）地面锚杆多用于浅埋，为使其洞顶以上土体或岩体成为整体，确保下方开挖；

（4）洞口地表预注浆，多用于洞口段为松散体，以使其通过注浆而增加密实与胶结，为开挖防坍。

若洞口施工中引起大面积、深层次的坍塌时，可用锚索、抗滑桩及沉井等措施进行处置。如预计在施工时可能产生上述情况时，则设计时应采用相应的方案和对策。

5.4.1　干喷时粉尘大，回弹多，施工工作面小环境很差，材料浪费，喷射混凝土的质量难保证。湿喷工艺较好地解决了上述问题，根据朔黄线寺铺尖隧道施工中分别采用干、湿喷工艺施作初期支护，喷射效果比较如说明表 5.4.1。

说明表 5.4.1　干、湿喷混凝土效果比较表

喷射方式	部　位	一次喷射厚度(mm)	回弹量(%)	粉尘浓度 (mg/m³)	
				未喷前洞内粉尘浓度	喷射时测定洞内粉尘浓度
湿　喷	拱　部	90～100	13～15	1.5	1.9
	边　墙	180～200	6～9	1.7	2.0
干　喷	拱　部	50～70	40～60	1.3	30.5
	边　墙	100	17～25	1.5	23.2

5.4.4　湿喷混凝土是把按配合比搅拌好的混凝土送入喷射机，喷到受喷面上，因此其工作风压要比干喷大，一般控制在0.3～0.5MPa之间。喷射作业时，因喷头的后座力大，风压变化也较大，喷头又在不断旋转运动之中，因此一个人很难控制，有条件时尽量采用机械手施工，人工操作时应严格遵守操作规程，以保证喷射混凝土的质量和防止伤害事故的发生。

湿喷混凝土喷射时因风压较大，喷头距受喷面近时会把刚粘在受喷面上的混凝土拌和料吹走，回弹量也会相应增加，因此喷头距受喷面距离宜比干喷时大些。在施工中要反复调试，以增加一次喷射厚度和减少回弹量。

混凝土的坍落度、速凝剂效果和气温均对湿喷混凝土的一次喷射厚度和质量有较大影响。坍落度是判断混凝土拌和物和易性的重要指标，试验证明，混凝土（后盘拌料）坍落度控制在8～13 cm为宜。

速凝剂质量和掺量直接影响混凝土初凝时间，试验证明，湿喷混凝土的初凝时间控制在1～3 min，终凝时间控制在2～10 min，其后期强度均在90%以上。

液体速凝剂碱性较强，有较强的刺激性，应做好施工人员的人身防护。

朔黄线长梁山隧道施工中初期支护采用湿喷混凝土，混凝土坍落度控制在8～10 cm，混凝土初凝时间为2 min，施工气温在15℃左右，一次喷射厚度可达10 cm以上，回弹率控制在10%～20%之间。

5.4.5　开挖后，应先喷一层混凝土后再挂网，既可保证作业安全，又可使岩面平整，便于使钢筋网与围岩表面保持适宜的间隙。当采用光面爆破，围岩表面比较平整时，亦可先铺挂钢筋网，再喷射混凝土。

采用双层钢筋网时，第一层钢筋网被混凝土覆盖后，再铺挂第二层钢筋网，有利于减少喷射中的回弹，增加混凝土的密实性。

在开始向钢筋网喷射混凝土时，应适当减少喷头至受喷面的距离，这样可提高喷射料流的冲击力，迫使混凝土挤入钢筋背后，以保证钢筋能被混凝土完全包裹及喷层的密实性。

5.4.7　本条规定的几种止水措施，在实践中是有效的。当地下水较为集中时，应设导水管或导水槽将水引离岩面，然后喷射混凝土。当导水效果不好时，应钻深度约1 m的集水孔，并敷设排水盲沟，将水引到隧道底板排水沟中，然后再喷射混凝土，盲沟宽度应小于10 cm，盲沟间距5～10 m。

5.4.8　在砂层中进行喷射混凝土作业时，经常出现喷不上去的现象，实践表明，如此时贴砂面铺挂3 cm×3 cm的细网，并用钢筋压紧或用短锚杆固定在砂层上，然后先喷水泥砂浆薄层，等凝固后，再喷射混凝土效果很好。若细砂层很松散，则采用注浆固结后再进行喷射作业。

5.5.1　锚杆，特别是系统锚杆是隧道支护的重要手段。所以应重视锚杆的选型及施工前的准备。锚杆的数量和方向应根据地层的节理、走向，通过现场地质描述来确定。由于隧道开挖后，岩面凹凸不平且围岩存在节理裂隙，因此不能完全按设计布置锚杆孔位。但是为了保证锚杆支护的组合效果，本规范对锚杆孔位的偏差作了相应规定。

5.5.2　垫板是使喷射混凝土与锚杆组成统一支护结构的重要构件。实践证明，设置垫板后可明显提高锚杆和喷射混凝土的综合支护效果，另外，喷射混凝土虽然可起部分垫板作用，但一般均

为先喷后锚，致使锚杆端部不能与喷射混凝土层牢固联结，喷层也发挥不了垫板作用，故明确规定锚杆应加垫板。

5.5.3 砂浆的配合比直接影响着砂浆强度、注浆密度和施工的顺利进行。本规范规定的配合比，一般均能满足砂浆的设计强度要求。若水灰比过小，可注性差，也容易堵管，影响注浆作业的进行，水灰比过大，杆件插入后，砂浆易往外流淌，孔内砂浆不饱满，也不密实，影响锚固效果。砂浆稠度适宜时，杆体插入后，将砂浆挤压密实，在杆体与孔壁之间不容易形成空腔。

钻孔注浆的饱满程度是确保锚杆安装质量的关键，规定普通砂浆锚杆注浆时，注浆管应插至距孔底5～10 cm，随砂浆的注入缓慢均速拔出，就是为了避免拔管过快而造成孔内砂浆脱节，保证锚杆全长为足够饱满的砂浆所握裹。

为了保证砂浆本身的质量及砂浆与锚杆体和砂浆孔壁的粘结强度，最终保证锚杆的锚固力，必须保证锚杆插入长度并注满浆液。

5.6.1 钢架与围岩间预留5 cm空隙是和分节的目的是为了安装方便，在腹板上钻孔的目的是便于安设超前导管（格栅钢架不需钻孔）。

5.6.3 清除钢架底脚处虚碴是为了防止钢架整体下沉或两边不均匀下沉。

5.6.5 拉杆连接的目的是为了改善纵向受力状态。

5.7.1 辅助施工措施是针对软弱不良地层提出的，其选择的正确与否直接关系到工程的成败和造价的高低，是衡量施工应变能力的重要标志。辅助工法已作为隧道施工的一个分支进行研究和应用。条文中所列的8种是现场常用的几种，并不是辅助施工措施的全部。

当围岩自稳时间可达24 h时，开挖工作面的开挖多采用环形开挖，然后及时喷射混凝土封闭开挖工作面，这是最简单的稳定开挖工作的办法，也是行之有效、最经济的施工措施。

当围岩自稳时间在12～24 h之间，必须采用先超前支护后再

开挖的措施，通常是采用超前锚杆支护，若洞室跨度较大，可采用超前小导管支护。说明表5.7.1是近几年铁路隧道、地下铁道采用过的数据，可以参考。实际应用时，应根据围岩级别、施工能力、量测结果进行选择并修正，采用超前支护措施的地层极易坍方，因此纵向两排锚杆或小导管应有1.0 m以上的重叠长度。超前锚杆、小导管和地层之间均不进行注浆。

说明表 5.7.1 超前锚杆、小导管施工参数

围岩级别	锚杆直径（mm）	小导管外径（mm）	纵向间距（m）	环向间距（cm）	外插角	
					锚杆	小导管
Ⅰ	20～22	40～50	3～5	25～35	10°～20°	5°～10°
Ⅱ	18～20	30～40	2.5～3.5	40～50		

地面锚杆是一种地表预加固地的措施。适用于浅埋洞口地段及某些偏压地段，如大秦线露破石双线隧道在偏压、埋深仅1～3 m时，应用该法非常成功。

小导管周边预注浆适用于自稳时间在12 h以内，甚至没有自稳能力的围岩中，如未胶结的砂卵石、粉细砂。该法需和钢架配合使用，已成功地应用到单线铁路隧道及地下铁道工程中，有利于减少地表沉陷。

深孔预注浆多用在有水及双线大跨、地表不允许有过大沉陷的各类地下工程中，该法费工、费时、费料、施工难度大，仅在特殊情况下采用。

在软弱地层中施工，及时封闭是重要的环节，当不能及时封闭时，应设置临时（可拆除）仰拱。以提高支护的稳定度。

对围岩的预加固或预支护应首先选择简单的辅助施工措施，当满足不了工程要求时，再增用其他种辅助施工措施。

5.7.2 封闭开挖工作面是在中断工序时采用的施工支护措施，一般正常施工时，仅封闭隧道周边的工作面，可用早强水泥或普通水泥加速凝剂的喷射混凝土封闭，当采用小导管超前注浆时，应封闭开挖工作面（作为止浆墙）。

5.7.5 超前锚杆和小导管的长度应视施工机具而定。一般 YT-28 风钻只能打3.5 m深孔。由于超前支护中锚杆和小导管必须有一定倾角，过长锚杆会给施工造成困难，最小深度 2 倍开挖进尺加1 m的叠加长度。目前多采用3.5 m是较方便、经济的深度，引起的超挖量也不大。

锚杆、小导管的直径、间距应在施工中通过量测信息反馈进行修正，达到经济、可靠。

5.7.6 管棚钢架施工只有在特殊条件下采用，一般尽量少用。其施工精度要求高，速度较慢，纵向搭接设置第二排管棚的难度较大，在特殊地段，通过长度小于50 m的不良地层时可以采用。管棚的施工多用钻机钻孔，钻孔时有设套管钻孔和不设套管钻孔两种，设置套管钻孔的精度较高。北京地铁西单车站的管棚就是采用土星 881 钻机设套管进行的，每次钻孔深达20 m，端头位置偏差在30 cm以内。管棚放入钻孔后应对管棚与孔壁间空隙进行注浆充填，防止地层松动。

直接将导管打入地层的方法多用在处理坍方及山岭隧道通过松软地层，要求精度不高地段，因导向很难控制，多配合注浆进行加固。

5.7.7 临时仰拱是封闭断面、减少变形的最有效办法，在大断面采用 CRD 方法施工中要分块封闭仰供。当变形异常时，应及时增设仰拱进行断面封闭，工艺简单且实用，施工中应重视。由于设置临时仰拱不及时而造成坍方的施工实例很多。

5.8.1 喷射混凝土表面凹凸显著部位系指矢高与弦长之比超过1/6 的部位。

5.8.2 复合式衬砌中的防水层，一般可采用一种或两种卷材组成防水隔离层，如塑料防水板、橡胶防水板以及将无纺布与塑料（橡胶）板组合成的防水层等。

本条规定是根据大瑶山隧道、中梁山隧道和缙云隧道实施的施工操作细则制定的。由于这些细则尚在试用阶段，今后应根据现场经验总结加以修改，便利施工，使其更加符合技术要求。

5.8.4 喷涂防水层，在我国还是一项新工艺。由于这种防水层在隧道内应用较少，尚无成熟经验，其使用效果和施工细则，有待调查研究，因此在执行中应慎重，并应认真总结，以备为日后修订条文提供依据。

5.9.1 隧道在投入使用后，改建是非常困难的。因此，衬砌施工时其结构尺寸、净空、防排水及原材料的选用均应严格按设计与现行规定办理。

5.9.2 隧道衬砌使用的模板，大体上有移动式和组装式两类，对它们的要求是确保衬砌几何尺寸准确，除强度和刚度均应符合设计要求之外，尚应便于灌筑混凝土，并不漏浆。

5.9.4 采用商品混凝土，要保证混凝土的质量。

5.9.5 为使组成混凝土的原材料均匀分布，所以规定一个最短的拌制时间。

5.9.6 减少管路的弯曲和接头是为了减少管道阻力。泵送前润滑管道，目的是为了使管道与混凝土柱体间有一灰浆润滑层。

5.9.8 混凝土灌筑因故不能连续施工时，允许中途停顿。但不得超过第 5.9.8 条规定的混凝土允许间歇时间，否则应按间歇灌筑处理。

5.9.10 在围岩及初期支护变形尚未基本稳定的条件下，施作二次衬砌时，二次衬砌将是受力结构。这时衬砌的混凝土强度即使已达到2.5 MPa也不能拆模。

由于地质条件复杂多变，尤其是在稳定性很差的Ⅴ～Ⅵ级围岩中，单靠工程类比法进行设计时，不能保证设计的可靠性和合理性。二次衬砌和仰拱的施作，时间因素影响很大，直接关系到衬砌结构的安全。过早施作会使二次衬砌承受较大的围岩压力，过晚又不利于初期支护的稳定。因此，在施工中应进行监控量测，掌握围岩变化规律，及时调整支护与衬砌设计参数，并确定二次衬砌和仰拱的施作时间，使衬砌结构安全可靠。

二次衬砌的施作时间，根据国家标准的有关规定应在围岩和锚喷支护变形基本稳定后进行。主要条件是：位移速率有明显减

缓趋势；拱脚附近水平净空变化值小于每天0.2mm；已产生的位移量占总位移量80%以上。位移值与位移速率是以采用机械式收敛计实测数据为依据的。水平净空变化与拱顶下沉速度，从安全考虑，是指至少7d的平均值，总位移值可由回归分析计算取得。

自稳性很差的围岩，可能在较长时间达不到基本稳定的条件，喷射混凝土将会出现大量明显裂缝，而支护能力又难以加强，此时则应及早施作仰拱，以改善围岩变形条件。若围岩仍不能稳定，应提前施作二次衬砌，以提供支护抗力。

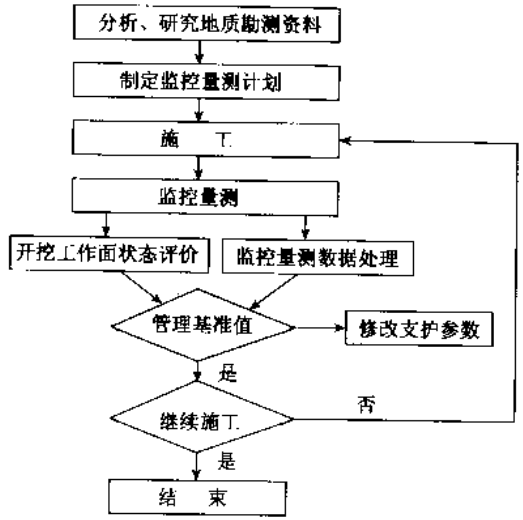
5.9.11 本条所指的衬砌开裂，主要是由于混凝土本身的收缩、硬化过程中的水化热引的升降温、周边的围岩约束等引起的开裂。因此，可采取改善混凝土质量，合理分段，避免过大温差，减少周边的约束等措施解决之。

减少收缩，可采用加膨胀剂、选用较低水化热的水泥。在衬砌和初期支护间设隔离层等办法减少衬砌开裂。但比较有效的方法是后者。

6.1.1 监控量测是喷锚构筑法重要的组成部分。根据目前勘测技术水平及手段，欲准确地掌握隧道所通过地区的工程地质、水文地质等情况难度很大。尤其是开挖方法、开挖进度、工人的技术水平、支护质量及施作时间等因素对围岩都有明显的影响。实践表明，我们较难对影响围岩动态的诸因素都能及时的加以评价和分析，监测结果只是围岩动态的综合反映。目前，主要是通过监测对围岩动态和支护工作状态作出正确评价，为隧道设计、施工的安全和经济提供依据。

采用喷锚构筑法时，为使施工前设计与围岩条件相适应，须在施工中不断对设计参数进行修正，故在制定量测计划时，首先应明确量测目的、对量测结果的评价方法，根据隧道用途、规模、施工前地质调查及环境调查所提供的资料条件等制定适合于隧道具体条件的量测计划。在制定量测计划时还要使量测作业的经费开支尽量节省。

监控量测作业可根据说明图6.1.1监控量测流程进行。



说明图6.1.1　监控量测流程

6.1.3 围岩变形是围岩力学形态变化最直观的表现，围岩的坍塌和支护系统的破坏都是变形发展到一定限度的必然结果。变形量测具有量测结果直观、测试数据可靠、量测仪表长期稳定性好、抗外界干扰性好，同时测试费用底廉。因此，在选用测试项目时应位移量测为首选量测项目。

必测项目为日常施工管理中所必须进行的量测项目，均为位移测试项目。净空位移量测一般只进行水平位移变化基线的量测。地表下沉量测可量测到隧道开挖过程中围岩变形的全过程，在浅埋地段地表下沉量测应作为必测项目。

重要工程或特殊地质条件下，为了全面掌握围岩、支护、衬砌等受力状态可根据需要可选择一项或几项量测项目作为必测项目的补充。为了便于测试资料的相互验证，各选测项目应同必测项目布置在同一断面上。

6.1.4 爆破振动监测是用各测点的振动速度、振动加速度等判别。不同的建筑物允许的振动速度不同，应符合国家标准《爆破

安全规程》(GB6722—86)的有关规定。

6.2.1 开挖工作面地质描述图包括内容如下：

(1) 地层、岩石分布、岩层走向、倾角；

(2) 固结程度、风化及变质程度、软硬程度；

(3) 裂隙方向及频率、充填物及性质；

(4) 断层位置及走向、倾角、破碎程度；

(5) 涌水位置及涌水量；

(6) 塌方位置及形态。

对已施工区段的观察，应注意以下各项内容：

(1) 锚　　杆

①安设位置及方向；

②锚杆灌浆是否饱满；

③锚杆垫板的松紧状态。

(2) 喷射混凝土

①厚度及其与围岩密贴情况；

②裂纹发生位置、种类、宽度及长度；

③涌水处所及涌水量。

(3) 钢　　架

①架设位置是否正确，不得侵入衬砌断面；

②背后是否与围岩密贴；

③背后回填不得用木材及干砌片石，应用喷射混凝土填满。

6.2.2 当断面尺寸较大、围岩级别高、埋置深度较小时，量测断面的间距应取小值。在Ⅰ、Ⅱ级围岩中变形量较小，可不设测点，但为验证围岩级别或积累资料时，也可以酌情设点。

6.2.3 水平净空变化、拱顶下沉等洞内必测项目应尽早进行，因围岩位移受空间和时间因素影响很大，尤其开挖初期阶段围岩变形速率大。若量测进行较晚，则不能量测到开挖初期阶段的位移。

6.2.4 因量测测点距开挖面较近，易被爆破破坏。测点埋设必须牢固，而且要设置防爆破保护装置。为了便于量测人员寻找和

提醒全体人员注意保护，量测断面处要有明显标志。

6.2.8 量测频率取决于位移速率和距开挖面距离两方面因素决定的，在按表6.2.8选择量测频率时，位移速率、距开挖面距离两者有差异时，原则上取量测频率较高的作为量测频率。

6.2.9 浅埋隧道或隧道浅埋地段，多为土质或软弱围岩。一般将会产生较大的地表下沉。为了评判该类隧道的围岩稳定性和支护效果，地表下沉量测尤为重要，是不可少的必测项目。地表下沉量测是在隧道未开挖前就进行测试，因此地表下沉量测可以获得开挖全过程下沉曲线，而洞内量测仅能获得全位移曲线的一部分，开挖前及开挖瞬间变化洞内量测是无法取得的。从这方面来讲，地表下沉量测具有特殊的意义，特别对于城市地区隧道，地表下沉则为主要量测项目。

隧道开挖影响范围可按下式确定：

$$D = B + 2 \times h \times \tan(45^\circ - \phi/2)$$

式中　D——开挖影响范围；

B——隧道开挖宽度；

h——隧道开挖高度；

ϕ——围岩内摩擦角。

6.2.10 待围岩达到基本稳定后，在以1次/7 d的量测频率量测2～3周后，可结束量测。

对于膨胀性围岩，位移长期不能趋于稳定时，应适当延长量测时间，当位移速率小于1 mm/d时方可结束量测。

6.3.1 各监控量测量测的数据应及时整理。整理的目的为：

(1) 变形、应变、应力等物理量随时间变化的曲线—时态曲线；

(2) 变形、应变、应力等物理量随开挖面推进变化的曲线—空间曲线；

(3) 各量测物理量量测值之间的相互比较和印证。

量测数据的整理尽量采用微机管理，可用Excel软件进行管理，亦可用铁道科学研究院西南分院编制的“监测数据处理系

统”，对各种量测数据管理和回归分析。

6.3.2 现场量测所取得的原始数据，不可避免的会具有一定的离散性，其中包含着误差甚至测试错误。不经过数学处理的量测数据是难以直接利用的。数学处理的目标是：

（1）将同一量测断面的各种量测数据进行分析对比、相互印证，以确定量测数据的可靠性；

（2）探求围岩变形或支护系统的受力随时间变化规律，确定围岩和支护系统稳定状态。

回归分析是目前量测数据数学处理的主要方法，通过对量测数据回归分析可以预测最终位移值和各阶段的位移速率。目前常采用以下函数作为回归函数：

$$U = A + B\ln(t+1)$$

$$U = Ae^{-B/t}$$

$$U = \frac{t}{A+Bt}$$

$$U = A(e^{-Bt_0} - e^{-BT})$$

$$U = A\ln\left(\frac{B+T}{B+t_0}\right)$$

$$U = A\left[\left(\frac{1}{1+Bt_0}\right)^2 - \left(\frac{1}{1+BT}\right)^2\right]$$

式中 U——变形值（mm）；

A，B——回归系数；

t——量测时间（d）；

t_0——测点初读数时距开挖时的时间（d）；

T——量测时距开挖时的时间（d）。

6.3.3 量测所得到的信息目前可通过理论计算（反分析）和经验方法两种途径对围岩的稳定性进行分析和判断。用有限元、边界元等和反分析技术结合的理论分析方法，计算结果可起到定性的作用。由于岩体结构的复杂和多样性，在计算理论上做了近似和简化，另一方面理论计算的输入参数不易取得，理论计算分析

还未达到定量标准。当前广泛采用经验方法来实现反馈。根据“经验”（包括调研及必要的理论分析）建立一套判断准则，直接根据量测结果（经过处理的）判断围岩稳定性和支护系统的可靠性。以便及时调整设计和进行施工决策。

结合国、内外实测数据和研究成果，建立以位移为基础的判断准则。

（1）根据位移量测值或预计最终位移值判断

在隧道开挖过程中，若发现量测位移总量或根据已测位移预计最终位移将超过某一临界值时，则意味着围岩不稳定，须加强支护，然而临界值的确定是非常困难的。本规范所采用表 6.3.3 洞周最大允许相对位移是根据国际《锚杆喷射混凝土技术规范》(GBJ 86—85)提出的。每一具体工程条件各异，呈现出十分复杂的现象。

（2）根据位移速率判断

国内下坑、金家岩、大瑶山等十余座隧道的位移观测表明，变形速率是由大变小的递减过程，从变形曲线可分为三个阶段：

①变形急剧增长阶段——变形速率大于1 mm/d时；

②变形缓慢增长阶段——变形速率1～0.2 mm/d时；

③基本稳定阶段——变形速率小于0.2 mm/d时。

上述变形速率标准是针对净空收敛和拱顶下沉量测而言，对于其他量测仅供参考。

（3）根据围岩位移时态曲线判断

由于岩体的流变特性，岩体破坏前变形曲线可分为三个阶段。

①基本稳定区，主要标志为变形速率逐渐下降，即 $d^2U/dt^2<0$，该区亦称“一次蠕变区”，表明围岩趋于稳定状态。

②过渡区，变形速率保持不变，$d^2U/dt^2=0$。该区亦称“二次蠕变区”，表明围岩向不稳定状态发展，须发出警告，加强支护系统。

③破坏区，变形速率逐渐增大，即 $d^2U/dt^2>0$。亦称“三

次蠕变区”，表明围岩已进入危险状态，须立即停工，进行加固。

围岩稳定性判断是很复杂的也是非常重要的问题，应结合具体工程实践采用上述经验判别准则综合评判。

6.3.4 在具体工程施工管理中。为了施工安全和工程质量，制定了施工管理等级，并以最大允许位移值 U_0 的 2/3 作为最大位移的控制标准。

7.1.1～7.1.3 喷射混凝土是由非匀质材料组成的，施工中又受多种因素影响，强度离散往往较大。实行严格的质量管理和控制，选用优良的材料，配合比准确和拌制均匀，喷射施工、养护等环节都按规定执行，方能生产出质量优良的喷射混凝土。在施工进展过程中，建议绘制质量管理图，可及时发现问题并采取补救措施。

评价喷射混凝土的施工控制水平的主要参数是标准差 S_n 和变异系数 C_v。表 7.1.1 列出的数值是根据国内喷射混凝土施工的实际质量状况，并参考国外用于现浇混凝土的强度控制参数而编制的。

抗压强度是喷射混凝土强度的主要指标，一般能反映其他物理力学性能的优劣。因此，检查时通常只作抗压试验即可。在有某些特殊要求时，应增做相应的试验。

由于喷射拱部和边墙的条件不同，所以应分别取样。

7.1.4 喷射混凝土标准试件的尺寸，考虑所用骨料的最大粒径不宜大于15 mm，本规则规定为15 cm的立方体。

喷大板切割的方法制取的试件，虽与实际较接近，但目前仍有不少单位不具备切割加工条件。一般可用边长15 cm立方体无底模具喷射成型，制取试件。但验收时，应将其换算为标准试件的强度，换算系数或公式应通过相同情况下的对比试验求得。对试验数据进行整理分析时，先作方差分析，判断不同的试件制作方法对强度的影响是否“显著”。

7.1.5 喷射混凝土的强度验收合格条件中 $R_n - KS_n \geqslant 0.85R$ 是主要指标，设计计算强度的保证率为 95%。考虑的主要方面是：

采有计量抽样检验方案，使之能从较少的检验数量，得到有关质量的较多的信息；

采用母体标准差未知的形式，这对于地下工程生产水平不够稳定，喷射混凝土强度质量易于波动的情况，较为适宜。

兼顾使用方和施工方的利益，在限制漏判概率的同时，也适当限制错判概率。验收函数 $R_n - KS_n$ 中的 K 值，遵循非中心 t 分布。当试件组数一定时，K 值愈大，则错判概率愈大而漏判概率愈小，验收标准愈严，可能造成工程费用的浪费；反之，K 值愈小，验收标准愈宽，可能造成对结构物安全的影响。为保证漏判概率不随试件组数而变，K 的取值必将随试件组数增多而减少。本规范的表 7.1.5 即为漏判概率限制在 20 左右所取的 K 值，为简便计，分为三挡。右侧大于或等于 $0.85R$，为必须保证的喷射混凝土设计算强度。

$R_{min} > 0.85R$ 是前述条文的补充，主要作用是控制分布曲线中低强度一侧可能出现长尾的情况，以弥补其不足。

当样本统计值同时满足条文的两项要求时，则认为该批喷射混凝土强度合格。

7.1.6

（1）喷射混凝土厚度的检查常用钻眼法。钻眼检查的做法宜在混凝土喷好8 h以内，用短钎将孔凿出，此时，混凝土强度较低，易于实行，发现厚度不够可及时补喷，施工管理亦方便。用凿岩机钻眼时，若因混凝土与围岩粘结紧密，颜色相近而不易辨认喷层厚度时，可用酚酞试液涂抹孔壁，碱性混凝土即呈现红色。

（2）规定的检查断面间距，当设计厚度为10 cm时，与留取强度检查试件的相应间距接近。若工程对喷层厚度有严格要求时，检查断面和钻眼数量，可适当增加。

（3）喷层厚度检查的合格条件，考虑基岩面本身有起伏，喷层是紧贴岩面的，而且通常还要求做到表面圆顺整齐，因此，喷层厚度相差的幅度比较大。根据一些开挖成型较好工程的实测结

果统计60%达到设计厚度，其余均不小于设计厚度的1/2的要求并不低。此时，设计厚度的保证率为60%。要达到这个要求，需配合采用光面爆破，加强施工管理。

（4）在软岩地段，设计中可规定最小厚度。

7.1.9 本条所规定的防水等级，系指具有一般防水要求、有较高防水要求和有特殊水要求共三等。采用塑料板防水隔离层时，其质量检查方法如说明表7.1.9。

说明表7.1.9 塑料板防水层质量检查方法

检查方法	检查内容	适用范围
直观检查	①用手托起塑料板，看其是否与喷混凝土层密贴 ②看塑料板是否有被划破、扯破、扎破等破损现象 ③看焊缝宽度是否符合要求，有无漏焊、假焊、烤焦等现象 ④外露的锚固点（钉子）是否有塑料片覆盖	一般防水要求的工程
焊缝检查	①～④项同上 ⑤每铺设20～30延米长，剪开焊缝2～3处，每处0.5m，看其是否有假焊、漏焊现象	有较高防水要求的工程
漏水检查	①～④项同上 ⑤焊接是否按设计采用双焊缝，并进行压水（气），看其有无漏水（气）现象	有特殊防水要求的工程

7.2.2 验收时，条文提出的10项资料应列入工程技术档案中，以备工程在使用过程中一旦出现问题可以查出资料，找出原因和处理办法。目前一些施工单位对施工中的资料整理重视不够，验收时凭记忆、印象，所以很不准确。为了纠正这种只管施工不管今后应用、维修方便的倾向，特别强调工程验收时要保证提供资料的质量。