

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50086-2001

锚杆喷射混凝土支护技术规范

specifications for bolt-shotcrete support

2001-07-20 发布

2001-10-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中 华 人 民 共 和 国 建 设 部

联合发布

中华人民共和国国家标准

锚杆喷射混凝土支护技术规范

Specifications for bolt-shotcrete support

GB 50086-2001

主编部门：原国家冶金工业局

批准部门：中华人民共和国建设部

施行日期：2001年10月1日

2001 北京

关于发布国家标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范》的

通知

建标[2001]158号

根据原国家计委《一九九四年工程建设标准定额制订、修订计划》(计综合[1994]240号)的要求,由原国家冶金工业局会同有关部门共同修订的《锚杆喷射混凝土支护技术规范》,经有关部门会审,批准为国家标准,编号为GB 50086-2001,自2001年10月1日起施行,其中,1.0.3、3.0.2、4.1.4、4.1.5、4.1.11、4.3.1、4.3.3、5.3.5、7.5.5(4)、7.6.2、8.5.1(4)、9.1.1、9.1.2(1)为强制性条文,必须严格执行。自本规范施行之日起,原国家标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GBJ86-85废止。

本规范由冶金工业部建筑研究总院负责具体解释工作,建设部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国建设部

二〇〇一年七月二十日

前 言

本规范根据原国家计委《一九九四年工程建设标准定额制订、修订计划》(计综合[1994]240号),由冶金部建筑研究总院负责,组织有关单位对国家标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GBJ86-85)进行修订而成。

在修订过程中,规范修订组进行了比较广泛的调查研究,吸收了国内外锚杆喷射混凝土支护技术领域的新成果和新经验,组织了有关主要修订内容的专题讨论,最后于1999年2月由建设部主持召开专家审定会,审查定稿。

本规范共有十章、七个附录。包括:总则、术语和符号、围岩分级、锚喷支护设计、现场监控量测、光面爆破、锚杆施工、喷射混凝土施工、安全技术与防尘、质量检查与工程验收等。主要修订内容是:增加了边坡锚喷支护设计、浅埋土质隧洞锚喷支护设计、预应力锚杆试验和监测、自钻式锚杆设计与施工、湿法喷射混凝土施工、水泥裹砂、喷射混凝土施工。修改或增补了围岩分级、预应力锚杆设计、现场监控量测、锚杆施工等有关条款。

本规范由冶金部建筑研究总院(北京市海淀区西土城路33号,邮政编码:100088)归口管理并负责具体解释。

本规范的主编单位、参编单位和主要起草人名单:

主编单位:冶金部建筑研究总院

参编单位:煤炭科学研究院

铁道部科学研究院

水利部松辽水利委员会

水利部东北勘测设计院

重庆后勤工程学院

海军工程设计研究局

中国科学院地质与地球物理研究所

北京有色冶金设计研究总院

深圳地铁公司

长江科学院

主要起草人:程良奎 段振西 刘启琛 郑颖人 赵长海

苏自约 徐祯祥 王思敬 张家识 车黎明

邹贵文 何益寿 赵慧文 丁恩保 盛 谦

目次

1 总 则..... (1)

2 术语、符号..... (2)

2.1 术语..... (2)

2.2 符号..... (3)

3 围岩分级..... (5)

4 锚喷支护设计..... (10)

4.1 一般规定..... (10)

4.2 锚杆支护设计..... (14)

4.3 喷射混凝土支护设计..... (17)

4.4 特殊条件下的锚喷支护设计..... (18)

(I) 浅埋隧洞锚喷支护设计..... (18)

(II) 塑性流变岩体中隧洞锚喷支护设计..... (19)

(III) 老黄土隧洞锚喷支护设计..... (19)

(IV) 水工隧洞锚喷支护设计..... (20)

(V) 受采动影响的巷道锚喷支护设计..... (21)

4.5 边坡锚喷支护设计..... (21)

5 现场监控量测..... (23)

5.1 一般规定..... (23)

5.2 现场监控量测的内容与方法..... (23)

5.3 现场监控量测的数据处理与反馈..... (23)

6 光面爆破..... (25)

7 锚杆施工..... (26)

7.1 一般规定..... (26)

7.2 全长粘结型锚杆施工..... (26)

7.3 端头锚固型锚杆施工..... (26)

7.4 摩擦型锚杆施工..... (27)

7.5 预应力锚杆施工..... (27)

7.6 预应力锚杆的试验和监测..... (28)

7.7 自钻式锚杆的施工..... (29)

8 喷射混凝土施工..... (30)

8.1 原材料..... (30)

8.2 施工机具..... (30)

8.3 混合料的配合比与拌制..... (30)

8.4 喷射前的准备工作..... (31)

8.5 喷射作业..... (31)

8.6 钢纤维喷射混凝土施工..... (32)

8.7 钢筋网喷射混凝土施工..... (33)

8.8 钢架喷射混凝土施工..... (33)

8.9 水泥裹砂喷射混凝土施工..... (33)

8.10 喷射混凝土强度质量的控制..... (34)

9	安全技术与防尘	(35)
9.1	安全技术	(35)
9.2	防尘	(35)
10	质量检查与工程验收	(37)
10.1	质量检查	(37)
10.2	工程验收	(39)
附录 A	喷射混凝土与围岩粘结强度试验	(40)
附录 B	现场监控量测记录表	(41)
附录 C	预应力锚杆基本试验循环加卸荷等级与位移观测间隔时间表	(42)
附录 D	喷射混凝土强度质量控制图的绘制	(43)
附录 E	测定喷射混凝土粉尘的技术要求	(44)
附录 F	喷射混凝土抗压强度标准试块制作方法	(45)
附录 G	锚喷支护施工记录	(46)
	本规范用词说明	(48)
附：	条文说明	(49)

1 总则

1.0.1 为使锚杆喷射混凝土支护(简称锚喷支护)工程的设计施工符合技术先进、经济合理、安全适用、确保质量的要求,特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于矿山井巷、交通隧道、水工隧洞和各类洞室等地下工程锚喷支护的设计与施工。也适用于各类岩土边坡锚喷支护的施工。

1.0.3 锚喷支护的设计与施工,必须做好工程的地质勘察工作,因地制宜,正确有效地加固围岩,合理利用围岩的自承能力。

1.0.4 锚喷支护的设计与施工,除应遵守本规范外,尚应符合现行国家标准的有关规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 初期支护 initial support

当设计要求隧洞的永久支护分期完成时，隧洞开挖后及时施工的支护，称为初期支护。

2.1.2 后期支护 Final support

隧洞初期支护完成后，经过一段时间，当围岩基本稳定，即隧洞周边相对位移和位移速度达到规定要求时，最后施工的支护，称为后期支护。

2.1.3 拱腰 haunch

隧洞拱顶至拱脚弧长的中点，称为拱腰。

2.1.4 隧洞周边位移 convergence of tunnel inner perimeter

隧洞周边相对应两点间距离的变化，称为隧洞周边位移。

2.1.5 锚固力 anchoring force

锚杆对围岩所产生的约束力，称为锚固力。

2.1.6 抗拔力 anti-pull force

阻止锚杆从岩体中拔出的力，称为抗拔力。

2.1.7 润周 wetted perimeter

水土隧洞过水断面的周长，称为润周。

2.1.8 点荷载强度指数 point-loading strength index

直径 50mm 圆柱形标准试件径向加压时的点荷载强度。

2.1.9 系统锚杆 system bolt

为使围岩整体稳定，在隧洞周边上按一定格式布置的锚杆群，称为系统锚杆。

2.1.10 预应力锚杆 prestress anchor

由锚头、预应力筋、锚固体组成，利用预应力筋自由段(张拉段)的弹性伸长，对锚杆施加预应力，以提供所需的主动支护拉力的长锚杆。本规范所指的预应力锚杆系指预应力值大于 200kN、长度大于 8.0m 的锚杆。

2.1.11 缝管锚杆 split set

将纵向开缝的薄壁钢管强行推入比其外径较小的钻孔中，借助钢管对孔壁的径向压力而起到摩擦锚固作用的锚杆。

2.1.12 水胀锚杆 swelllex bolt

将用薄壁钢管加工成的异形空腔杆体送入钻孔中，通过向该杆件空腔高压注水，使其膨胀并与孔壁产生的摩擦力而起到锚固作用的锚杆。

2.1.13 自钻式锚杆 self-drilling bolt

将钻孔、注浆与锚固合为一体，中空钻杆即作为杆体的锚杆。

2.1.14 喷射混凝土 shotcrete

利用压缩空气或其他动力，将按一定配比拌制的混凝土混合物沿管路输送至喷头处，以较高速度垂直喷射于受喷面，依赖喷射过程中水泥与骨料的连续撞击，压密而形成的一种混凝土。

2.1.15 水泥裹砂喷射混凝土 send enveloped by cement (SEC) shotcrete

将按一定配比拌制而成的水泥裹砂砂浆和以粗骨料为主的混合料，分别用砂浆泵和喷射机输送至喷嘴附近相混合后，高速喷到受喷面上所形成的混凝土。

2.1.16 格栅钢架 reinforcing-bar truss

用钢筋焊接加工而成的桁架式支架。

2.2 符号

2.2.1 抗力和材料性能

C —岩石滑动面上的粘结力
 E_c —喷射混凝土的弹性模量
 E_r —隧洞围岩变形模量
 f_c —喷射混凝土抗压强度设计值
 f_{cra} —喷射混凝土抗裂强度设计值
 f_t —喷射混凝土抗拉强度设计值
 f_{yk} 、 f_{ptk} —锚杆钢筋、钢绞线强度标准值
 f_{yv} —锚杆钢筋抗剪强度设计值
 f'_{ck} —施工阶段喷射混凝土试块应达到的平均抗压强度
 f'_{ckmin} —施工阶段喷射混凝土同批 n 组试块抗压强度的最低值
 f_r —岩石单轴饱和抗压强度
 q_r —水泥结石体与钻孔孔壁或喷射混凝土与岩石间的粘结强度设计值
 q_s —水泥结石体与钢筋、钢绞线间的粘结强度设计值
 S —喷射混凝土抗压强度的标准差
 V_{pm} —隧洞岩体纵波速度
 V_{pr} —隧洞岩石纵波速度
 γ —岩石重力密度
 ν_r —围岩泊松比

2.2.2 作用和作用效应

G —不稳定岩石块体重量
 N_t —锚杆轴向受拉承载力设计值
 P_A —锚杆设计锚固力
 $[P]$ —喷射混凝土支护允许承受的内水压力值
 S_m —隧洞岩体强度应力比
 σ_1 —垂直于隧洞轴线平面的较大主应力

2.2.3 几何参数

A —锚杆预应力筋截面积
 B —隧洞毛跨度
 d —钢筋或钢绞线直径
 D —钻孔直径
 H —隧洞洞顶覆盖岩层厚度
 h —喷射混凝土厚度
 L_a —锚杆锚固段长度
 R_w —过水隧洞的水力半径
 r_0 —支护后的隧洞半径
 S_0 —隧洞全断面的润周长
 S_1 —隧洞喷射混凝土的润周长
 S_2 —隧洞浇筑混凝土的润周长

2.2.4 计算系数

K —锚杆或预应力锚杆计算安全系数
 K_1 、 K_2 —喷射混凝土抗压强度合格判定系数
 K_s —验算喷射混凝土对隧洞围岩不稳定块体抗力的安全系数
 K_v —岩体完整性系数
 N —隧洞壁综合糙率系数、锚杆根数、试块组数
 n_1 —隧洞喷射混凝土糙率系数
 n_2 —隧洞浇筑混凝土部位的糙率系数
 ε —粘结强度降低系数

3 围岩分级

- 3.0.1 锚喷支护工程的地质勘察工作应为围岩分级提供依据，并应贯穿工程建设始终。
- 3.0.2 围岩级别的划分，应根据岩石坚硬性、岩体完整性、结构面特征、地下水和地应力状况等因素综合确定。并应符合表 3.0.2 的规定。
- 3.0.3 岩体完整性指标用岩体完整性系数 K_v 表示， K_v 可按式计算：

$$K_v = \left(\frac{V_{pm}}{V_{pr}} \right)^2 \tag{3.0.3}$$

式中 V_{pm} —隧洞岩体实测的纵波速度(km/s)；
 V_{pr} —隧洞岩石实测的纵波速度(km/s)。

当无条件进行声波实测时，也可用岩体体积节理数 J_v ，按表 3.0.3 确定 K_v 值。

表 3. 0. 3 J_v 与 K_v 对照表

J_v (条 / m ³)	<3	3~10	10~20	20~25	>25
K_v	>0. 75	0. 75~0. 55	0. 55~0. 35	0. 35~0. 15	<0. 15

- 3.0.4 围岩分级表(见本规范表 3.0.2)中的岩体强度应力比的计算应符合下列规定：
- 1 当有地应力实测数据时：

$$S_m = \frac{K_v f_r}{\sigma_1} \tag{3.0.4-1}$$

式中 S_m —岩体强度应力比；
 f_r —岩石单轴饱和抗压强度(MPa)；

表 3. 0. 2 围岩分级

		主要工程地质特征						毛洞稳定情况
围岩级别	岩体结构	构造影响程度, 结构面发育情况和组合状态	岩石强度指标		岩体声波指标		岩体强度应力比	
			单轴饱和抗压强度 (MPa)	点荷载强度 (MPa)	岩体纵波速度 (km/s)	岩体完整性指标		
I	整体状及层间结合良好的厚层状结构	构造影响轻微, 偶有小断层。结构面不发育, 仅有 2~3 组, 平均间距大于 0. 8m, 以原生和构造节理为主, 多数闭合, 无泥质充填, 不贯通。层间结合良好, 一般不出现不稳定块体	> 60	> 2. 5	> 5	> 0. 75	—	毛洞跨度 5~10m 时, 长期稳定, 无碎块掉落
II	同级围岩结构	同 I 级围岩特征	30~60	1. 25~2. 5	3. 7~5. 2	> 0. 75	—	毛洞跨度 5~10m 时, 围岩能较长时间 (数月至数年) 维持稳定, 仅出现局部小块掉落
	块状结构和间合中层厚状结构	构造影响较重, 有少量断层。结构面发育, 一般为 3 组, 平均间距 0. 4~0. 8m, 以原生和构造节理为主, 多数闭合, 偶有泥质充填, 贯通性较差, 有少量软弱结构面。层间结合较好, 偶有层间错动和层面张开现象	> 60	> 2. 5	3. 7~5. 2	> 0. 5	—	

续表 3. 0. 2

围岩级别	主要工程地质特征							毛洞 稳 定 情况
	岩体结构	构造影响程度，结构面发育情况和组合状态	岩石强度指标		岩体声波指标		岩体强度应力比	
			单轴饱和抗压强度 (MPa)	点荷载强度 (Mpa)	岩体纵波速度 (km/s)	岩体完整性指标		
Ⅲ	同Ⅰ级围岩结构	同Ⅰ级围岩特征	20~30	0. 85~1. 25	3. 0~4. 5	>0. 75	>2	毛洞跨 度5~10 m时， 围岩能 持个以 上的定 主出局 掉块、 塌落
	同Ⅱ级围岩块状结构和层间结合较好的中厚层或厚层状结构	同Ⅱ级围岩块状结构和层间结合较好的中厚层或厚层状结构特征	30~60	1. 25~2. 50	3. 0~4. 5	0. 5~0. 75	>2	
	层间结合良好的薄层和软硬岩互层结构	构造影响较重。结构面发育，一般为3组，平均间距0. 2~0. 4m，以构造节理为主，节理面多数闭合，少有泥质充填。岩层为薄层或以硬岩为主的软硬岩互层，层间结合良好，少见软弱夹层、层间错动和层面张开现象	>60(软岩，>20)	>2. 50	3. 0~4. 5	0. 30~0. 50	>2	
	碎裂镶嵌结构	构造影响较重。结构面发育，一般为3组以上，平均间距0. 2~0. 4m，以构造节理为主，节理面多数闭合，少数有泥质充填，块体间牢固咬合	>60	>2. 50	3. 0~4. 5	0. 30~0. 50	>2	

续表 3. 0. 2

		主要工程地质特征						毛洞稳定情况
围岩级别	岩体结构	构造影响程度，结构面发育情况和组合状态	岩石强度指标		岩体声波指标		岩体强度应力比	
			单轴饱和抗压强度(MPa)	点荷载强度(MPa)	岩体纵波速度(Km/s)	岩体完整性指标		
IV	同Ⅱ级围岩块状结构和层间结合较好的中厚层或厚层状结构	同Ⅱ级围岩块状结构和层间结合较好的中厚层或厚层状结构特征	10~30	0. 42~1. 25	2. 0~3. 5	0. 50~0. 75	>1	毛洞跨度5m 时，围岩能维持数日到一个月稳定，主要失稳形式为冒落或片帮
	散块状结构	构造影响严重，一般为风化卸荷带。结构面发育，一般为 3 组，平均间距 0. 4~0. 8m，以构造节理、卸荷、风化裂隙为主，贯通性好，多数张开，夹泥，夹泥厚度一般大于结构面的起伏高度，咬合力弱，构成较多的不稳定块体	>30	>1. 25	>2. 0	>0. 15	>1	
	层间结合不良的薄层、中厚层和软硬岩互层结构	构造影响严重。结构面发育，一般为 3 组以上，平均间距 0. 2~0. 4m，以构造、风化节理为主，大部分微张(0. 5~1. 0mm)，部分张开(>1. 0mm)，有泥质充填，层间结合不良，多数夹泥，层间错动明显	>30(软岩，>10)	>1. 25	2. 0~3. 5	0. 20~0. 40	>1	
	碎裂状结构	构造影响严重，多数为断层影响带或强风化带。结构面发育，一般为 3 组以上。平均间距 0. 2~0. 4m，大部分微张(0. 5~1. 0mm)，部分张开(>1. 0mm)，有泥质充填，形成许多碎块体	>30	>1. 25	2. 0~3. 5	0. 20~0. 40	>1	

续表 3. 0. 2

		主要工程地质特征					毛洞稳定情况	
围岩级别	岩体结构	构造影响程度，结构面发育情况和组合状态	岩石强度指标		岩体声波指标			岩体强度应力比
			单轴饱和抗压强度(MPa)	点荷载强度(MPa)	岩体纵波速度(Km/s)	岩体完整性指标		
V	散体状结构	构造影响很严重，多数为破碎带、全强风化带、破碎带交汇部位。构造及风化节理密集，节理面及其组合杂乱，形成大量碎块体。块体间多数为泥质充填，甚至呈石夹土状或土夹石状	—	—	<2.0	—	—	毛洞跨度 5m 时，围岩稳定时间很短，约数小时至数日
注：1 围岩按定性分级与定量指标分级有差别时，一般应以低者为准。 2 本表声波指标以孔测法测试值为准。如果用其他方法测试时，可通过对比试验，进行换算。 3 层状岩体按单层厚度可划分为： 厚层：大于 0.5m； 中厚层：0.1~0.5m； 薄层：小于 0.1m。 4 一般条件下，确定围岩级别时，应以岩石单轴湿饱和抗压强度为准；当洞跨小于 5m，服务年限小于 10 年的工程，确定围岩级别时，可采用点荷载强度指标代替岩块单轴饱和抗压强度指标，可不做岩体声波指标测试。 5 测定岩石强度，做单轴抗压强度测定后，可不做点荷载强度测定。								

K_v —岩体完整性系数；
 σ_1 —垂直洞轴线的较大主应力(kN/m²)。
2 当无地应力实测数据时：
 $\sigma_1 = \gamma H$ (3. 0. 4-2)
式中 γ —岩体重力密度(kN/m³)；
H—隧洞顶覆盖层厚度(m)。

3. 0. 5 对Ⅲ、Ⅳ级围岩，当地下水发育时，应根据地下水类型、水量大小、软弱结构面多少及其危害程度，适当降级。
3. 0. 6 对Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级围岩，当洞轴线与主要断层或软弱夹层的夹角小于 30° 时，应降一级。

4 锚喷支护设计

4.1 一般规定

- 4.1.1** 锚喷支护的设计，宜采用工程类比法，必要时应结合监控量测法及理论验算法。
- 4.1.2** 锚喷支护初步设计阶段，应根据地质勘察资料，按本规范表 3.0.2 的规定，初步确定围岩级别，并按表 4.1.2-1 和表 4.1.2-2 的规定，初步选择隧洞、斜井或竖井的锚喷支护类型和设计参数。
- 4.1.3** 锚喷支护施工设计阶段，应做好工程的地质调查工作，绘制地质素描图或展示图，并标明不稳定块体的大小及其出露位置。实测围岩分级定量指标，按本规范表 3.0.2 的规定，详细划分围岩级别，并修正初步设计。
- 4.1.4** 对Ⅳ、Ⅴ级围岩中毛洞跨度大于 5m 的工程，除应按照本规范表 4.1.2-1 的规定，选择初期支护的类型与参数外，尚应进行监控量测，以最终确定支护类型和参数。
- 4.1.5** 对Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级围岩毛洞跨度大于 15m 的工程，除应按照本规范表 4.1.2-1 的规定，选择支护类型与参数外，尚应对围岩进行稳定性分析和验算；对Ⅲ级围岩，还应进行监控量测，以便最终确定支护类型和参数。
- 4.1.6** 对围岩整体稳定性验算，可采用数值解法或解析解法；对局部可能失稳的围岩块体的稳定性验算，可采用块体极限平衡方法。
- 4.1.7** 对边坡工程锚喷支护设计，应充分掌握工程的地质勘察资料，按不同的失稳破坏类型，采用极限平衡法、数值分析法等方法进行边坡稳定性分析计算。

表 4. 1. 2-1 隧洞和斜井的锚喷支护类型和设计参数

毛洞跨度 B (m) 围岩级别	B≤5	5<B≤10	10<B≤15	15<B≤20	20<B≤25
I	不支护	50mm 厚喷射混凝土	(1)80~100mm 厚喷射混凝土 (2)50mm 厚喷射混凝土，设置 2.0~2.5m 长的锚杆	100~150mm 厚喷射混凝土，设置 2.5~3.0m 长的锚杆，必要时，配置钢筋网	120~150mm 厚钢筋网喷射混凝土，设置 3.0~4.0m 长的锚杆
II	50mm 厚喷射混凝土	(1)80~100mm 厚喷射混凝土 (2)50mm 厚喷射混凝土，设置 1.5~2.0m 长的锚杆	(1)120~150mm 厚喷射混凝土，必要时，配置钢筋网 (2)80~120mm 厚喷射混凝土，设置 2.0~3.0m 长的锚杆，必要时，配置钢筋网	120~150mm 厚钢筋网喷射混凝土，设置 3.0~4.0m 长的锚杆	150~200mm 厚钢筋网喷射混凝土，设置 5.0~6.0m 长的锚杆，必要时，设置长度大于 6.0m 的预应力或非预应力锚杆
III	(1)80~100mm 厚喷射混凝土 (2)50mm 厚喷射混凝土，设置 1.5~2.0m 长的锚杆	(1)120~150mm 厚喷射混凝土，必要时，配置钢筋网 (2)80~100mm 厚喷射混凝土，设置 2.0~2.5m 长的锚杆，必要时，配置钢筋网	100~150mm 厚钢筋网喷射混凝土，设置 3.0~4.0m 长的锚杆	150、200mm 厚钢筋网喷射混凝土，设置 4.0~5.0m 长的锚杆，必要时，设置长度大于 5.0m 的预应力或非预应力锚杆	—

续表 4. 1. 2-1

毛洞跨度 B (m)	B≤5	5<B≤10	10<B≤15	15<B≤20	20<B≤25
围岩级别					
IV	80~100mm 厚喷射混凝土, 设置 1. 5~2. 0 m 长的锚杆	100~150mm 厚钢筋网喷射混凝土, 设置 2. 0~2. 5m 长的锚杆, 必要时, 采用仰拱	150~200mm 厚钢筋网喷射混凝土, 设置 3. 0~4. 0m 长的锚杆, 必要时, 采用仰拱并设置长度大于 4. 0m 的锚杆	—	—
V	120~150mm 厚钢筋网喷射混凝土, 设置 1. 5~2. 0 m 长的锚杆, 必要时, 采用仰拱	150~200mm 厚钢筋网喷射混凝土, 设置 2. 0~3. 0m 长的锚杆, 采用仰拱, 必要时, 加设钢架	—	—	—

注：1 表中的支护类型和参数，是指隧洞和倾角小于 30° 的斜井的永久支护，包括初期支护与后期支护的类型和参数。

2 服务年限小于 10 年及洞跨小于 3. 5m 的隧洞和斜井，表中的支护参数，可根据工程具体情况，适当减小。

3 复合衬砌的隧洞和斜井，初期支护采用表中的参数时，应根据工程的具体情况，予以减小。

4 陡倾斜岩层中的隧洞或斜井易失稳的一侧边墙和缓倾斜岩层中的隧洞或斜井顶部，应采用表中第 (2) 种支护类型和参数, 其他情况下，两种支护类型和参数均可采用。

5 对高度大于 15. 0m 的侧边墙，应进行稳定性验算。并根据验算结果，确定锚喷支护参数。

表 4. 1. 2-2 竖井锚喷支护类型和设计参数表

竖井毛径 D(m) 围岩级别	D<25	5≤D<7
I	100mm 厚喷射混凝土，必要时，局部设置长 1. 5~ 2. 0m 的锚杆	100mm 厚喷射混凝土，设置长 1. 5~2. 5m 的锚杆；或 150mm 厚喷射混凝土
II	100~150mm 厚喷射混凝土，设置长 1. 5~2. 0m 的锚杆	100~150mm 厚钢筋网喷射混凝土，设置长 2. 0~2. 5m 的锚杆；必要时，加设混凝土圈梁
III	150~200mm 厚钢筋网喷射混凝土，设置长 1. 5~2. 0m 的锚杆，必要时，加设混凝土圈梁	150~200mm 厚钢筋网喷射混凝土，设置长 2. 0~3. 0m 的锚杆；必要时，加设混凝土圈梁
注：1 井壁采用锚喷做初期支护时，支护设计参数可适当减小。 2 III级围岩中井筒深度超过 500m 时，支护设计参数应予以增大。		

4.1.8 理论计算和监控设计所需围岩物理力学计算指标，应通过现场实测取得。计算用的岩体弹性模量、粘结力值，应根据实测弹性模量和粘结力的峰值乘以 0.6~0.8 的折减系数后确定。

当无实测数据时，各级围岩物理力学参数和岩体结构面的粘结力及内摩擦角，可采用表 4.1.8-1 和表 4.1.8-2 中的数值。

表 4. 1. 8-1 岩体物理力学参数

围岩级别	重力密度 γ (KN/m³)	抗剪断峰值强度		变形模量 E(GPa)	泊松比 ν
		内摩擦角 φ(°)	粘聚力 C(MPa)		
I	26. 50	>60	>2. 1	>33. 0	>0. 20
II		60~50	2. 1~1. 5	33. 0~20. 0	0. 20~0. 25
III	26. 54~24. 50	50~39	1. 5~0. 7	20. 0~6. 0	0. 25~0. 30
IV	24. 50~22. 50	39~27	0. 7~0. 2	6. 0~1. 3	0. 30~0. 35
V	<22. 50	<27	<0. 2	<1. 3	<0. 35

表 4. 1. 8-2 岩体结构面抗剪断峰值强度

序号	两侧岩体的坚硬程度及结构面的结合程度	内摩擦角 φ(°)	粘聚力 C(MPa)
1	坚硬岩，结合好	>37	>0. 22
2	坚硬~较坚硬岩，结合一般 较软岩，结合好	37~29	0. 22~0. 12
3	坚硬~较坚硬岩，结合差 较软岩~软岩，结合一般	29~19	0. 12~0. 08
4	较坚硬~较软岩，结合差~结合很差 软岩，结合差 软质岩的泥化面	19~13	0. 08~0. 05
5	较坚硬岩及全部软质岩，结合很差 软质岩泥化层本身	<13	<0. 05

4.1.9 竖井锚喷支护设计除应按照本规范表 4.1.2-2 的规定确定支护类型和参数外，还应遵守下列规定：

- 1 罐道梁宜采用树脂锚杆或早强水泥浆锚杆固定;
- 2 支承罐道梁处及岩层陡倾斜时, 支护应予加强;
- 3 设置混凝土圈梁时, 加固围岩的锚杆应与圈梁连成一体。

4.1.10 下述情况的锚喷支护设计, 还应遵守下列相应的规定:

- 1 隧洞交岔点、断面变化处、洞轴线变化段等特殊部位, 均应加强支护结构;
- 2 对与喷射混凝土难以保证粘结的光滑岩面, 应以锚杆或钢筋网喷射混凝土支护为主;
- 3 围岩较差地段的支护, 必须向围岩较好地段适当延伸;
- 4 I、II、III级围岩中的个别断层或不稳定块体, 应进行局部加固;
- 5 如遇岩溶, 应进行处理或局部加固;
- 6 对可能发生大体积围岩失稳或需对围岩提供较大支护力时, 应采用预应力锚杆加固。

4.1.11 对下列地质条件的锚喷支护设计, 应通过试验后确定:

- 1 膨胀性岩体;
- 2 未胶结的松散岩体;
- 3 有严重湿陷性的黄土层;
- 4 大面积淋水地段;
- 5 能引起严重腐蚀的地段;
- 6 严寒地区的冻胀岩体。

4.2 锚杆支护设计

4.2.1 锚杆设计应根据隧洞围岩地质情况、工程断面和使用条件等, 分别选用下列类型的锚杆;

- 1 全长粘结型锚杆: 普通水泥砂浆锚杆、早强水泥砂浆锚杆、树脂卷锚杆、水泥卷锚杆;
- 2 端头锚固型锚杆: 机械锚固锚杆、树脂锚固锚杆、快硬水泥卷锚固锚杆;
- 3 摩擦型锚杆: 缝管锚杆、楔管锚杆、水胀锚杆;
- 4 预应力锚杆;
- 5 自钻式锚杆。

4.2.2 全长粘结型锚杆设计应遵守下列规定:

- 1 杆体材料宜采用 II、III级钢筋, 钻孔直径为 28~32mm 的小直径锚杆的杆体材料宜用 Q235 钢筋;
- 2 杆体钢筋直径宜为 16~32mm;
- 3 杆体钢筋保护层厚度, 采用水泥砂浆时不小于 8mm, 采用树脂时不小于 4mm;
- 4 杆体直径大于 32mm 的锚杆, 应采取杆体居中的构造措施;
- 5 水泥砂浆的强度等级不应低于 M20;
- 6 对于自稳时间短的围岩, 宜用树脂锚杆或早强水泥砂浆锚杆。

4.2.3 端头锚固型锚杆的设计应遵守下列规定:

- 1 杆体材料宜用 II 级钢筋, 杆体直径为 16~32mm;
- 2 树脂锚固剂的固化时间不应大于 10min, 快硬水泥的终凝时间不应大于 12min;
- 3 树脂锚杆锚头的锚固长度宜为 200~250mm, 快硬水泥卷锚杆锚头的锚固长度宜为 300~400mm;
- 4 托板可用 Q235 钢, 厚度不宜小于 6mm, 尺寸不宜小于 150mm×150mm;

- 5 锚头的设计锚固力不应低于 50kN;
 - 6 服务年限大于 5 年的工程, 应在杆体与孔壁间注满水泥砂浆。
- 4.2.4 摩擦型锚杆的设计应遵守下列规定:
- 1 缝管锚杆的管体材料宜用 16 锰或 20 锰硅钢, 壁厚为 2.0~2.5mm; 楔管锚杆的管体材料可用 Q235 钢, 壁厚为 2.75~3.25mm;
 - 2 缝管锚杆的外径为 30~45mm, 缝宽为 13~18mm; 楔管锚杆缝管段的外径为 40~45mm, 缝宽宜为 10~18mm, 圆管段内径不宜小于 27mm;
 - 3 钻孔直径应小于摩擦型锚杆的外径, 其差值可按表 4.2.4 选取;

表 4. 2. 4 缝管锚杆、楔管锚杆与钻孔的径差

岩石单轴饱和抗压强度(MPa)	径 差(mm)
> 60	1. 5~2. 0
30~60	2. 0~2. 5
< 30	2. 5~3. 5

- 4 宜采用碟形托板, 材料为 Q235 钢, 厚度不应小于 4mm, 尺寸不应小于 120mm×120mm;
- 5 杆体极限抗拉力不宜小于 120kN, 挡环与管壁焊接处的抗脱力不应小于 80kN;
- 6 缝管锚杆的初锚固力不应小于 25kN/m, 当需要较高的初锚固力时, 可采用带端头锚塞的缝管锚杆或楔管锚杆;
- 7 水胀式锚杆材料宜选用直径为 48mm, 壁厚 2mm 的无缝钢管, 并加工成外径为 29mm, 前后端套管直径为 35mm 的杆体;
- 8 水胀式锚杆的托板材料、规格同摩擦型锚杆。

- 4.2.5 预应力锚杆的设计应遵守下列规定:
- 1 硬岩锚固宜采用拉力型锚杆; 软岩锚固宜采用压力分散型或拉力分散型锚杆。
 - 2 设计锚杆锚固体的间距应考虑锚杆相互作用的不利影响。
 - 3 确定锚杆倾角应避开锚杆与水平面的夹角为-10° ~+10° 这一范围。
 - 4 预应力筋材料宜用钢绞线、高强钢丝或高强精轧螺纹钢筋。对穿型锚杆及压力分散型锚杆的预应力筋应采用无粘结钢绞线。当预应力值较小或锚杆长度小于 20m 时, 预应力筋也可采用Ⅱ级或Ⅲ级钢筋。
 - 5 预应力筋的截面尺寸应按下列公式确定。

$$A=\frac{KN_t}{f_{ptk}}$$

(4.2.5-1)

- 式中 A—预应力筋的截面积(mm²);
- N_t—锚杆轴向拉力设计值(kN);
- f_{ptk}—预应力筋抗拉强度标准值(N/mm²);
- K—预应力筋截面设计安全系数, 临时锚杆取 1.6, 永久锚杆取 1.8。
- 6 预应力锚杆的锚固段灌浆体宜选用水泥浆或水泥砂浆等胶结材料, 其抗压强度不宜低于 30MPa。压力分散型锚杆锚固段灌浆体抗压强度不宜低于 40MPa。
 - 7 预应力锚杆的自由段长度不宜小于 5.0m。
 - 8 预应力锚杆采用粘结型锚固体时, 锚固段长度可按下列公式计算, 并取其中的较大值:

$$L_a=\frac{KN_t}{\pi Dq_r}$$

(4.2.5-2)

$$L_a=\frac{KN_t}{n\pi d\epsilon q_s}$$

(4.2.5-3)

式中 L_a —锚固段长度 (mm)；
 N_t —锚杆轴向拉力设计值 (kN)；
 K —安全系数，应按表 4.2.5-3 选取；
 D —锚固体直径 (mm)；
 d —单根钢筋或钢绞线直径 (mm)；
 n —钢绞线或钢筋根数；
 q_r —水泥结石体与岩石孔壁间的粘结强度设计值，取 0.8 倍标准值 (表 4.2.5-1)；
 q_s —水泥结石体与钢绞线或钢筋间的粘结强度设计值，取 0.8 倍标准值 (表 4.2.5-2)；
 ϵ —采用 2 根或 2 根以上钢绞线或钢筋时，介面粘结强度降低系数，取 0.60~0.85。

表 4. 2. 5-1 岩石与水泥结石体之间的粘结强度标准值(推荐)

岩石种类	岩石单轴饱和抗压强度(MPa)	岩石与水泥浆之间粘结强度标准值(MPa)
硬岩	>60	1. 5~3. 0
中硬岩	30~60	1. 0~1. 5
软岩	5~30	0. 3~1. 0
注：粘结长度小于 6. 0m。		

表 4.2. 5-2 钢筋、钢绞线与水泥浆之间的粘结强度标准值(推荐)

类 型	粘结强度标准值(MPa)
水泥结石体与螺纹钢之间	2. 0~3. 0
水泥结石体与钢绞线之间	3. 0~4. 0
注：1 粘结长度小于 6. 0m。 2 水泥结石体抗压强度标准值不小于 M30。	

表 4. 2. 5-3 岩石预应力锚杆锚固体设计的安全系数

锚杆破坏后危害程度	最小安全系数	
	锚杆服务年限≤2 年	锚杆服务年限>2 年
危害轻微，不会构成公共安全问题	1. 4	1. 8
危害较大，但公共安全无问题	1. 6	2. 0
危害大，会出现公共安全问题	1. 8	2. 2

- 9 压力分散型或拉力分散型锚杆的单元锚杆锚固长度不宜小于 15 倍锚杆钻孔直径。
- 10 设计压力分散型锚杆，还应验算灌浆体轴向承压力。确定注浆体的轴心抗压强度应考虑局部受压与注浆体侧向约束的有利影响，一般由试验确定。
- 11 预应力锚具及联接锚杆杆体的受力部件，均应能承受 95%的杆体极限抗拉力。
- 12 锚固段内的预应力筋每隔 1.5~2.0m 应设置隔离架。永久性的拉力型或拉力分散型锚杆锚固段内的预应力筋宜外套波形管，预应力筋的保护层厚度不应小于 20mm。临时性锚杆预应力筋的保护层厚度不应小于 10mm。
- 13 自由段内预应力筋宜采用带塑料套管的双重防腐，套管与孔壁间应灌满水泥砂浆或水泥净浆。
- 14 永久性预应力锚杆的拉力锁定值应不小于拉力设计值；临时性预应力锚杆可等于或小于拉力设计值。

4.2.6 自钻式锚杆的设计应遵守下列规定：

- 1 自钻式锚杆杆体应采用厚壁无缝钢管制作，外表全长应具有标准的连接螺纹，并能任意切割和用套筒联接加长；
- 2 自钻式锚杆结构应包括中空杆体、垫板、螺母、联接套筒和钻头；
- 3 用于锚杆加长的联接套筒应与锚杆杆体具有同等强度。

4.2.7 系统锚杆布置应遵守下列规定：

- 1 在隧洞横断面上，锚杆应与岩体主结构面成较大角度布置；当主结构面不明显时，可与隧洞周边轮廓垂直布置。
- 2 在岩面上，锚杆宜呈菱形排列。
- 3 锚杆间距不宜大于锚杆长度的 1/2；Ⅳ、Ⅴ级围岩中的锚杆间距宜为 0.5~1.0m，并不得大于 1.25m。

4.2.8 拱腰以上局部锚杆的布置方向应有利于锚杆受拉，拱腰以下及边墙的局部锚杆布置方向应有利于提高抗滑力。

4.2.9 局部锚杆的锚固体应位于稳定岩体内。粘结型锚杆锚固体长度内的胶结材料与杆体间粘结摩阻力设计值和胶结材料与孔壁岩石间粘结摩阻力设计值均应大于锚杆杆体受拉承载力设计值。

4.3 喷射混凝土支护设计

4.3.1 喷射混凝土的设计强度等级不应低于 C15；对于竖井及重要隧洞和斜井工程，喷射混凝土的设计强度等级不应低于 C20；喷射混凝土 1d 龄期的抗压强度不应低于 5MPa。钢纤维喷射混凝土的设计强度等级不应低于 C20，其抗拉强度不应低于 2MPa，抗弯强度不应低于 6MPa。

不同强度等级喷射混凝土的设计强度应按表 4.3.1 采用。

表 4. 3. 1 喷射混凝土的强度设计值(MPa)

喷射混凝土强度等级 强度种类	C15	C20	C25	C30
轴心抗压	7. 5	10. 0	12. 5	15. 0
弯曲抗压	8. 5	11. 0	13. 5	16. 5
抗 拉	0. 9	1. 1	1. 3	1. 5

4.3.2 喷射混凝土的体积密度可取 2200kg/m³，弹性模量应按表 4.3.2 采用。喷射混凝土与围岩的粘结强度：Ⅰ、Ⅱ级围岩不应低于 0.8MPa，Ⅲ级围岩不应低于 0.5MPa。

喷射混凝土与围岩粘结强度试验方法应遵守本规范附录 A 的规定。

表 4. 3. 2 喷射混凝土的弹性模量(MPa)

喷射混凝土强度等级	弹性模量
C15	1. 8×10 ⁴
C20	2. 1×10 ⁴
C25	2. 3×10 ⁴
C30	2. 5×10 ⁴

4.3.3 喷射混凝土支护的厚度，最小不应低于 50mm，最大不宜超过 200mm。

4.3.4 含水岩层中的喷射混凝土支护厚度，最小不应低于 80mm。喷射混凝土的抗渗强度不应低于 0.8MPa。

4.3.5 Ⅰ、Ⅱ级围岩中的隧洞工程，喷射混凝土对局部不稳定块体的抗冲切承载力可按下式验算：

$$KG\leqslant 0.6f_tu_mh$$

(4.3.5-1)

当喷层内配置钢筋网时，则其抗冲切承载力按下式计算：

$$KG\leqslant 0.3f_tu_mh+0.8f_{yv}A_{svu}$$

(4.3.5-2)

式中 G—不稳定岩面块体重量(N)；

f_t —喷射混凝土抗拉强度设计值(MPa)；

f_{yv} —钢筋抗剪强度设计值(MPa)；

h —喷射混凝土厚度(mm)；当 $h>100\text{mm}$ 时，仍以 100mm 计算；

u_m —不稳定块体出露面的周边长度(mm)；

A_{svu} —与冲切破坏锥体斜截面相交的全部钢筋截面面积(mm^2)；

K—安全系数，取 2.0。

4.3.6 通过塑性流变岩体的隧洞或受采动影响的巷道及高速水流冲刷的隧洞，宜采用钢纤维喷射混凝土支护。

4.3.7 钢纤维喷射混凝土用的钢纤维应遵守下列规定：

- 1

普通碳素钢纤维的抗拉强度不得低于 380MPa；
- 2

钢纤维的直径宜为 0.3~0.5mm；
- 3

钢纤维的长度宜为 20~25mm，且不得大于 25mm；
- 4

钢纤维掺量宜为混合料重量的 3.0%~6.0%。

4.3.8 钢筋网喷射混凝土中钢筋网的设计应遵守下列规定：

- 1

钢筋网材料宜采用 I 级钢筋，钢筋直径宜为 4~12mm；
- 2

钢筋间距宜为 150~300mm；
- 3

钢筋保护层厚度不应小于 20mm，水工隧洞的钢筋保护层厚度不应小于 50mm。

4.3.9 钢筋网喷射混凝土支护的厚度不应小于 100mm，且不宜大于 250mm。

4.3.10 对于下列情况，宜采用钢架喷射混凝土支护：

- 1

围岩自稳时间很短，在喷射混凝土或锚杆的支护作用发挥以前就要求工作面稳定时；
- 2

为了抑制围岩大的变形，需要增强支护抗力时。

4.3.11 钢架喷射混凝土支护的设计应遵守下列规定：

- 1

可缩性钢架宜选用 U 型钢钢架，刚性钢架宜用钢筋焊接成的格栅钢架；
- 2

采用可缩性钢架时，喷射混凝土层应在可缩性节点处设置伸缩缝；
- 3

钢架间距一般不大于 1.20m，钢架之间应设置纵向钢拉杆，钢架的立柱埋入地坪下的深度不应小于 250mm；
- 4

覆盖钢架的喷射混凝土保护层厚度不应小于 40mm。

4.4 特殊条件下的锚喷支护设计

(I) 浅埋隧洞锚喷支护设计

4.4.1 符合表 4.4.1 的浅埋岩石隧洞，宜采用锚杆钢筋网喷射混凝土作永久支护，必要时应加设格栅钢架，其参数可采用工程类比法并结合监控量测和理论计算确定。

表 4.4.1 宜采用锚喷支护的浅埋岩石隧洞条件

围岩级别	洞顶岩石层厚度	毛洞跨度(m)	水文地质条件
Ⅲ	0.5~1.0 倍洞径	<10	无地下水
Ⅳ	1.0~2.0 倍洞径	<10	无地下水
Ⅴ	2.0~3.0 倍洞径	<5	无地下水

4.4.2 对于Ⅳ、Ⅴ级围岩中的浅埋隧洞，应设置仰拱，必要时，宜采用深层固结灌浆，设

置长锚杆、超前锚杆或长管棚等方法加固地层。

4.4.3 对于表 4.4.3 中的浅埋岩石隧洞，其支护结构应考虑偏压对隧洞的影响，而作适当加强。

表 4.4.3 浅埋岩石隧洞考虑偏压影响条件

围岩级别	洞顶地表横向坡度	隧洞拱部至地表最小距离
III	1: 2. 5	<1 倍洞径
IV	1: 2. 5	<2 倍洞径
V	1: 2. 5	<3 倍洞径

4.4.4 覆土厚度大于 1 倍洞径的浅埋土质隧洞初期支护宜选用钢筋网喷射混凝土或钢架钢筋网喷射混凝土全封闭式支护型式。对于覆土小于 1 倍洞径的浅埋土质隧洞采用锚喷支护作初期支护时，其支护参数应通过现场试验及监控量测确定。对于厚淤泥质粘土或厚层含水粉细砂层等土层，未采取有效措施前不宜选用锚喷支护作初期支护。

4.4.5 浅埋土质隧洞锚喷支护结构类型和参数应根据土质条件、隧洞跨度、支护强度和支护刚度要求，采用计算方法确定，宜按表 4.4.5 的经验参数类比及现场监控量测验证。

表 4.4.5 浅埋土层隧洞初期支护结构类型和参数

洞 跨 地质条件	<5m	5~12m
无地下水，隧洞 稳定性较好	喷层厚 150~250mm，钢筋网 Φ 6~10mm，网距 120mm $\times$ 120mm	喷层厚 250~300mm，钢筋网 Φ 6~10mm，网距 120mm $\times$ 120mm，钢架间距不大于 1000mm
无地下水，隧洞 稳定性较差	喷层厚 250~300mm，钢筋网 Φ 6~10mm，网距 120mm $\times$ 120mm，钢架间距 750~1000mm	喷层厚 300~350mm，双层钢筋网 Φ 6~10mm，网距 120mm $\times$ 120mm，钢架间距不大于 750mm

4.4.6 计算浅埋土质隧洞初期支护参数时，其计算荷载包括下列内容：

- 1 永久性荷载:垂直土压力、侧向土压力及支护结构自重。
- 2 地面附加荷载。

4.4.7 浅埋土质隧洞采用钢架喷混凝土支护时，钢架应有足够的刚度和强度，应能承受 40~60kN/m² 的垂直土压力。

4.4.8 浅埋土质隧洞采用锚喷支护时，如地层稳定性差，宜采用土层注浆、超前导管、长管棚等地层预加固预支护方法。但注浆压力应通过试验确定，以保证周围建筑物安全。

(II) 塑性流变岩体中隧洞锚喷支护设计

4.4.9 位于变形量大且延续时间长的塑性流变岩体中的隧洞，宜采用圆形、椭圆形等曲线形断面。椭圆形断面隧洞的长轴宜与垂直于洞轴线平面内的较大主应力方向相一致。设计断面尺寸必须预留周边相对位移量。

4.4.10 塑性流变岩体中隧洞锚喷支护的设计应遵守下列规定：

- 1 采用分期支护。初期支护采用喷层厚度不大于 100mm 的锚喷支护，后期支护视具体情况采用锚喷支护或其他类型支护。
- 2 采用仰拱封底，形成封闭结构。
- 3 采用监控量测，根据量测数据，及时调整支护抗力。

(III) 老黄土隧洞锚喷支护设计

4.4.11 在老黄土中的隧洞，可采用钢筋网喷射混凝土作永久支护，必要时，用水泥砂浆锚杆加强。老黄土的主要物理力学指标应符合表 4.4.11 的规定。

表 4. 4. 11 老黄土物理力学指标

顺序	项目	单位	指标
1	天然容重	kg/m ³	≥1700
2	天然含水率	%	12~19
3	塑性指数	—	≥10
4	粘聚力	MPa	≥0. 06
5	内摩擦角	°	≥24
6	变形模量	MPa	90~150

4. 4. 12 采用锚喷支护的老黄土隧洞，洞跨不宜大于 6. 5m，其断面应为圆形或马蹄形，曲墙的矢高不应小于弦长的 1/8，并应设置仰拱。

4. 4. 13 老黄土隧洞锚喷支护设计应遵守下列规定：

- 1 钢筋网喷射混凝土支护厚度宜为 100~150mm，应分两次施工。当需要水泥砂浆锚杆加强时，锚杆长度宜为 2. 0~2. 5m，杆体直径不宜大于 18mm，锚杆孔径不宜小于 60mm。
- 2 沿隧洞轴线每隔 5~10m 应设置环向伸缩缝，其宽度宜为 10~20mm。
- 3 锚喷支护设计，必须对地表水和洞内施工水提出处理措施。

(IV) 水工隧洞锚喷支护设计

4. 4. 14 在 I、II、III 级围岩中的水工隧洞，符合下列条件之一时，锚喷支护可作为后期支护。

- 1 围岩经过处理不透水，或外水压力高于内水压力，不会发生内水外渗；
- 2 隧洞虽有一定的渗水，但内水长期外渗不会危及岩体和山坡的稳定，也不会给邻近建筑物带来危害。

4. 4. 15 有压水工隧洞的锚喷支护，应按“围岩支护”变形一致的原则，校核喷射混凝土支护的抗裂能力。对于圆形隧洞，当 $h/r_o < 0. 05$ 时，喷射混凝土支护允许承受的内水压力，可按下列下式计算：

$$[P] \leq f_{cra} \left[\frac{\frac{E_r}{E_c} (r_o + h)}{r_o (1 + \nu_r)} + \frac{H}{r_o} \right]$$

(4. 4. 15)

式中 [P]—喷射混凝土支护允许承受的内水压力值 (MPa)；

f_{cra} —喷射混凝土的抗裂强度设计值 (MPa)；

E_c —喷射混凝土的弹性模量 (MPa)；

E_r —围岩的变形模量 (MPa)；

ν_r —围岩的泊松比；

r_o —支护后的隧洞半径 (mm)；

h —喷射混凝土厚度 (mm)；

H —隧洞洞顶覆盖岩层厚度 (m)。

对于承受较高内水压的重要水工隧洞，宜通过水压试验，确定喷射混凝土支护的抗裂能力。

4. 4. 16 当地下水位较高或长期使用后隧洞可能放空时，设计中应校核锚喷支护在外水压力作用下的稳定性。

4. 4. 17 采用锚喷支护的永久过水隧洞允许的水流流速不宜超过 8m/s；临时过水隧洞允许的水流流速不宜超过 12m/s。

4.4.18 锚喷支护隧洞的糙率系数，可按下列公式计算：

$$n_1 = \frac{\frac{1}{R} \frac{6}{W}}{17.721g \frac{14.8R_w}{\Delta}} \quad (4.4.18-1)$$

式中 n_1 —喷射混凝土支护的糙率系数；

R_w —水力半径(cm)，对于圆形断面的隧洞， $R_w = \frac{D}{4}$ (D 为隧洞直径)；

Δ —隧洞洞壁平均起伏差(cm)。

当喷射混凝土支护隧洞的底板使用浇筑混凝土时，应按下式计算支护的综合糙率系数：

$$n^2 S_0 = n_1^2 S_1 + n_2^2 S_2 \quad (4.4.18-2)$$

式中 n —隧洞的综合糙率系数；

n_1 —喷射混凝土糙率系数；

n_2 —浇筑混凝土部位的糙率系数，宜取 $n_2=0.014$ ；

S_0 —隧洞全断面的润周长(m)；

S_1 —喷射混凝土的润周长(m)；

S_2 —浇筑混凝土的润周长(m)。

隧洞喷层表面的平均起伏差不应超过 150mm。

4.4.19 锚喷支护的水工隧洞，喷射混凝土的厚度不应小于 80mm，抗渗强度不应小于 0.8MPa。

4.4.20 锚喷支护的水工隧洞，宜采用现浇混凝土做底拱，并应做好现浇混凝土与喷射混凝土的接缝处理。

(V) 受采动影响的巷道锚喷支护设计

4.4.21 受采动影响的煤层底板岩巷、电耙巷道和采矿进路，可采用锚喷支护。

4.4.22 受采动影响的巷道的锚喷支护设计应遵守下列规定：

1 锚喷支护的类型和参数，可根据动压影响程度、围岩级别、巷道跨度和服务年限等因素，用工程类比法确定，宜采用锚杆钢筋网喷射混凝土，或锚杆钢筋网喷射混凝土-钢架等组合支护型式；

2 受动压影响严重，并能引起围岩较大变形时，宜采用摩擦型锚杆、钢纤维喷射混凝土或可缩性钢架等支护型式。

4.4.23 当巷道建成后较长时间才受采动影响时，锚喷支护宜先按静压受力状态要求设计，待动压到来之前，再行增强。用于增强的可缩性钢架，其结构构造应便于拆卸回收。

4.5 边坡锚喷支护设计

4.5.1 边坡锚喷支护设计，应综合考虑岩土性状，地下水、边坡高度、坡度、周边环境、坡顶建(构)筑物荷载、地震力及气候等因素。边坡锚杆的锚固力应由稳定性计算确定。锚杆锚固段应伸入边坡潜在滑移面以外。

4.5.2 永久性边坡宜采用预应力锚杆或预应力锚杆与非预应力锚杆相结合的支护类型。坡面宜采用厚度不小于 10cm 的配筋喷射混凝土防护。

4.5.3 边坡锚喷支护设计应包括防排水设计。坡面的喷射混凝土护层内应设置泄水孔。

4.5.4 下列边坡工程的锚喷支护设计应通过专家论证。

- 1 高度大于 30m 的岩石边坡和高度大于 20m 的土质边坡。
- 2 地质及环境条件复杂，稳定性极差的边坡工程。

- 3 滑坡区内的边坡工程。
- 4 一旦失稳破坏，后果极为严重的边坡工程。

5 现场监控量测

5.1 一般规定

5.1.1 实施现场监控量测的工程应按表 5.1.1 确定，并应将监控量测项目列入锚喷支护设计文件。

表 5. 1. 1 隧洞进行现场监控量测的选定表

跨度 B(m) 围岩分级	B≤5	5<B≤10	10<B≤15	15<B≤20	20<B≤25
I	—	—	—	△	√
II		—	△	√	√
III	—	—	√	√	√
IV	—	√	√	√	√
V	√	√	V	√	√
注：“√”者为应进行现场监控量测的隧洞。 “△”者为选择局部地段进行量测的隧洞。					

5.1.2 现场监控量测的设计文件应根据隧洞的地质状况、支护类型及参数、工程环境、施工方法和其他有关条件制定。其内容应包括：量测项目及方法、量测仪器及设备、测点布置、量测程序、量测频率、数据处理及信息反馈方法。

5.1.3 现场监控量测宜由施工单位负责组织实施。根据设计文件的要求负责测点埋设，日常量测和数据处理工作，并及时进行信息反馈。

5.2 现场监控量测的内容与方法

5.2.1 实施现场监控量测的隧洞必须进行地质和支护状况观察、周边位移和拱顶下沉量测。对于具有特殊性质和要求的隧洞尚应进行围岩内部位移和松动区范围、围岩压力及两层支护间接触应力、钢架结构受力、支护结构内力及锚杆内力等项目量测。现场监控量测记录表见本规范附录 B。

5.2.2 隧洞开挖后应立即进行围岩状况的观察和记录，并进行工程地质特征的描述。支护完成后应进行喷层表面观察和记录。

5.2.3 现场监控量测的隧洞，若位于城市道路之下或邻近建筑物基础或开挖对地表有较大影响时，必须进行地表下沉量测及爆破震动影响监测。

5.2.4 各类量测点应安设在距开挖面 1m 范围之内，并应在工作面开挖后 12h 内和下一次开挖之前测取初读数。

5.2.5 每一项的量测间隔时间应根据该项目量测数据的稳定程度进行确定和调整。对于进行长期观察的隧洞，其后期量测间隔时间可根据工程的性质和要求确定。

5.2.6 各类量测仪器和工具的性能应准确可靠，长期稳定、保证精度和易于掌握。

5.3 现场监控量测的数据处理与反馈

5.3.1 现场监控量测的各类数据均应及时绘制成时态曲线(例如位移时间曲线)。应注明施工工序和开挖面距量测断面的距离。

5.3.2 当位移时态曲线的曲率趋于平缓时，应对数据进行回归分析或其他数学方法分析，以推算最终位移值，确定位移变化规律。

5.3.3 隧洞周边的实测位移相对值或用回归分析推算的最终位移值均应小于表 5.3.3 所列数据值。当位移速度无明显下降，而此时实测位移相对值已接近表 5.3.3 中规定的数值，同时支护混凝土表面已出现明显裂缝；或者实测位移速度出现急剧增长时，必须立即采取补强措施，并改变施工程序或设计参数，必要时应立即停止开挖，进行施工处理。

表 5. 3. 3 隧洞周边允许位移相对值(%)

埋深(m) 围岩级别	< 50	50~300	> 300
III	0. 10~0. 30	0. 20~0. 50	0. 40~1. 20
IV	0. 15~0. 50	0. 40~1. 20	0. 80~2. 00
V	0. 20~0. 80	0. 60~1. 60	1. 00~3. 00

注：1 周边位移相对值系指两测点间实测位移累计值与两测点间距离之比。两测点间位移值也称收敛值。
2 脆性围岩取表中较小值，塑性围岩取表中较大值。
3 本表适用于高跨比 0. 8~1. 2 的下列地下工程：
III级围岩跨度不大于 20m；
IV级围岩跨度不大于 15m；
V级围岩跨度不大于 10m。
4 I、II级围岩中进行量测的地下工程，以及III、IV、V级围岩中在表注 3 范围之外的地下工程应根据实测数据的综合分析或工程类比方法确定允许值。

5.3.4 经现场地质观察评定，认为在较大范围内围岩稳定性较好，同时实测位移值远小于预计值而且稳定速度快，此时，可适当减小支护参数。

5.3.5 采用两次支护的地下工程，后期支护的施作，应在同时达到下列三项标准时进行：

- 1 隧洞周边水平收敛速度小于 0.2mm/d；拱顶或底板垂直位移速度小于 0.1mm/d；
- 2 隧洞周边水平收敛速度，以及拱顶或底板垂直位移速度明显下降；
- 3 隧洞位移相对值已达到总相对位移量的 90%以上。

5.3.6 隧洞稳定的判据是后期支护施作后位移速度趋近于零，支护结构的外力和内力的变化速度也应趋近于零。

6 光面爆破

6.0.1 当用钻爆法开挖隧洞时，应采用光面爆破。施工时，必须编制爆破设计，按爆破图表和说明书严格施工，并根据爆破效果，及时修正有关参数。

6.0.2 光面爆破的参数应根据工程类比法或通过现场试炮确定。试炮用的爆破参数可按表 6.0.2 选用。

表 6.0.2 爆破参数

岩石种类	岩石单轴饱和抗压强度(MPa)	装药不偶合系数	周边眼间距(mm)	周边眼抵抗线(mm)	周边眼装药集中度(g/m)
硬岩	>60	1.20~1.50	550~700(450~600)	700~850	0.30~0.35
中硬岩	30~60	1.50~2.00	450~650(400~500)	600~750	0.20~0.30
软岩	<30	2.00~2.50	350~500(300~400)	400~600	0.07~0.15

注：1 括号内为 30~36mm 直径的小炮眼数值。
2 本表适用范围：
1) 眼深 1.0~3.5m(小炮眼深度不应大于 1.5m)；
2) 炮眼直径 40~50mm；
3) 装药集中度仅适用于 2 号岩石硝铵炸药，当采用其他炸药时，应进行换算；
4) 小炮眼宜采用乳化炸药。
3 竖井爆破时，表中装药集中度数值应增加 10%。

6.0.3 周边眼施工应符合下列要求：

- 1 洞轮廓线的眼距误差宜小于 50mm；
- 2 炮眼外偏斜率不应大于 50mm/m；
- 3 眼深误差不宜大于 100mm。

6.0.4 光面爆破应采用毫秒起爆方式。当雷管分段毫秒差小，造成震动波峰迭加时，应跳段使用。

6.0.5 开挖工作面的岩石爆破时，周边眼应采用低密度、低爆速、低猛度、高爆力的炸药，并应采用毫秒雷管或导爆索同时起爆。当炸药用量较多，对围岩影响较大时，可分段起爆。

6.0.6 周边眼宜采用小药卷连续装药结构或间隔装药结构；眼深小于 2m 时，可采用空气柱反向装药结构；在岩石较软时，亦可用导爆索束装药结构。

6.0.7 内圈炮眼的孔深大于 2.5m 时，内圈炮眼斜率应与周边眼相同。

6.0.8 爆破质量应符合下列要求：

- 1 眼痕率：硬岩不应小于 80%，中硬岩不应小于 50%；
- 2 软岩中隧洞周边成型应符合设计轮廓；
- 3 岩面不应有明显的爆震裂缝；
- 4 隧洞周边不应欠挖，平均线性超挖值应小于 150mm。

注：1 眼痕率为可见眼痕的炮眼个数与不包括底板的周边眼总数之比；
2 当炮眼眼痕大于孔长的 70%时，算一个可见眼痕炮眼；
3 平均线性超挖值为超挖横断面积与不包括洞底的设计开挖断面周长之比。

7 锚杆施工

7.1 一般规定

7.1.1 锚杆孔的施工应遵守下列规定：

- 1 钻锚杆孔前，应根据设计要求和围岩情况，定出孔位，做出标记。
- 2 锚杆孔距的允许偏差为 150mm，预应力锚杆孔距的允许偏差为 200mm。
- 3 预应力锚杆的钻孔轴线与设计轴线的偏差不应大于 3%，其他锚杆的钻孔轴线应符合设计要求。
- 4 锚杆孔深应符合下列要求：
 - 1) 水泥砂浆锚杆孔深允许偏差宜为 50mm；
 - 2) 树脂锚杆和快硬水泥卷锚杆的孔深不应小于杆体有效长度，且不应大于杆体有效长度 30mm；
 - 3) 摩擦型锚杆孔深应比杆体长 10~50mm。
- 5 锚杆孔径应符合下列要求：
 - 1) 水泥砂浆锚杆孔径应大于杆体直径 15mm；
 - 2) 树脂锚杆和快硬水泥卷锚杆孔径宜为 42~50mm，小直径锚杆孔直径宜为 28~32mm；
 - 3) 水胀式锚杆孔直径宜为 42~45mm；
 - 4) 其他锚杆的孔径应符合设计要求。

7.1.2 锚杆安装前应做好下列检查工作：

- 1 锚杆原材料型号、规格、品种，以及锚杆各部件质量和技术性能应符合设计要求；
- 2 锚杆孔位、孔径、孔深及布置形式应符合设计要求；
- 3 孔内积水和岩粉应吹洗干净。

7.1.3 在Ⅳ、Ⅴ级围岩及特殊地质围岩中开挖隧洞，应先喷混凝土，再安装锚杆，并应在锚杆孔钻完后及时安装锚杆杆体。

7.1.4 锚杆尾端的托板应紧贴壁面，未接触部位必须楔紧。锚杆杆体露出岩面的长度不应大于喷射混凝土的厚度。

7.1.5 对于不稳定的岩质边坡，应随边坡自上而下分阶段边开挖、边安设锚杆。

7.2 全长粘结型锚杆施工

7.2.1 水泥砂浆锚杆的原材料及砂浆配合比应符合下列要求：

- 1 锚杆杆体使用前应平直、除锈、除油；
- 2 宜采用中细砂，粒径不应大于 2.5mm，使用前应过筛；
- 3 砂浆配合比：水泥比砂宜为 1:1~1:2(重量比)，水灰比宜为 0.38~0.45。

7.2.2 砂浆应拌和均匀，随拌随用。一次拌和的砂浆应在初凝前用完，并严防石块、杂物混入。

7.2.3 注浆作业应遵守下列规定：

- 1 注浆开始或中途停止超过 30min 时，应用水或稀水泥浆润滑注浆罐及其管路；
- 2 注浆时，注浆管应插至距孔底 50~100mm，随砂浆的注入缓慢匀速拔出；杆体插入后，若孔口无砂浆溢出，应及时补注。

7.2.4 杆体插入孔内长度不应小于设计规定的 95%。锚杆安装后，不得随意敲击。

7.3 端头锚固型锚杆施工

7.3.1 树脂锚杆的树脂卷贮存和使用应遵守下列规定：

- 1 树脂卷宜存放在阴凉、干燥和温度在 $+5\sim 25^{\circ}\text{C}$ 的防火仓库中。
 - 2 树脂卷应在规定的贮存期内使用；使用前，应检查树脂卷质量，变质者，不得使用。超过使用期者，应通过试验，合格后方可使用。
- 7.3.2 树脂锚杆的安装应遵守下列规定：**
- 1 锚杆安装前，施工人员应先用杆体量测孔深，做出标记，然后用锚杆杆体将树脂卷送至孔底；
 - 2 搅拌树脂时，应缓慢推进锚杆杆体；
 - 3 树脂搅拌完毕后，应立即在孔口处将锚杆杆体临时固定；
 - 4 安装托板应在搅拌完毕 15min 后进行，当现场温度低于 5°C 时，安装托板的时间可适当延长。
- 7.3.3 快硬水泥卷的贮存应严防受潮，不得使用受潮结块的水泥卷。**
- 7.3.4 快硬水泥卷锚杆的安装除应遵守本规范第 7.3.2 条的规定外，尚应符合下列要求：**
- 1 水泥卷浸水后，应立即用锚杆杆体送至孔底，并在水泥初凝前，将杆体送入，搅拌完毕；
 - 2 连续搅拌水泥卷的时间宜为 $30\sim 60\text{s}$ ；
 - 3 安装托板和紧固螺帽必须在水泥石的强度达到 10MPa 后进行。
- 7.3.5 安装端头锚固型锚杆的托板时，螺帽的拧紧扭矩不应小于 $100\text{N}\cdot\text{m}$ 。托板安装后，应定期检查其紧固情况，如有松动，及时处理。**

7.4 摩擦型锚杆施工

- 7.4.1 缝管锚杆、楔管锚杆和水胀锚杆钻孔前，应检查钻头规格，确保孔径符合设计要求。**
- 7.4.2 缝管锚杆的安装应遵守下列规定：**
- 1 向钻孔内推入锚杆杆体，可使用风动凿岩机和专用连接器；
 - 2 凿岩机的工作风压不应小于 0.4MPa ；
 - 3 锚杆杆体被推进过程中，应使凿岩机、锚杆杆体和钻孔中心线在同一轴线上；
 - 4 锚杆杆体应全部推入钻孔。当托板抵紧壁面时，应立即停止推压。
- 7.4.3 楔管锚杆的安装除应遵守本规范第 7.4.2 条的规定外，还应符合下列要求：**
- 1 安装顶锚下楔块时，伸入圆管段内之钢钎直径不应大于 26mm ；
 - 2 下楔块应推至要求部位，并与上楔块完全楔紧。
- 7.4.4 水胀锚杆安装应遵守下列规定：**
- 1 锚杆应轻拿轻放，严禁损伤锚杆末端的注液嘴；
 - 2 安装锚杆前，对安装系统进行全面检查，确保其良好的状态；
 - 3 高压泵试运转，压力宜为 $15\sim 30\text{MPa}$ ；
 - 4 锚杆送入钻孔中，应使托板与岩面紧贴。

7.5 预应力锚杆施工

- 7.5.1 锚杆体的制作应遵守下列规定：**
- 1 预应力筋表面不应有污物、铁锈或其他有害物质，并严格按设计尺寸下料。
 - 2 锚杆体在安装前应妥善保护，以免腐蚀和机械损伤。
 - 3 杆体制作时，应按设计规定安放套管隔离架、波形管、承载体、注浆管和排气管。杆体内的绑扎材料不宜采用镀锌材料。
- 7.5.2 钻孔应符合下列规定：**

1 钻孔的孔深、孔径均应符合设计要求。钻孔深度不宜比规定值大 200mm 以上。钻头直径不应比规定的钻孔直径小 3.0mm 以上。

2 钻孔与锚杆预定方位的允许角偏差为 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 。

7.5.3 孔口承压垫座应符合下列要求：

1 钻孔孔口必须设有平整、牢固的承压垫座。

2 承压垫座的几何尺寸、结构强度必须满足设计要求，承压面应与锚孔轴线垂直。

7.5.4 锚杆的安装与灌浆应遵守下列规定：

1 预应力锚杆体在运输及安装过程中应防止明显的弯曲、扭转，并不得破坏隔离架、防腐套管、注浆管、排气导管及其他附件。

2 锚杆体放入锚孔前应清除钻孔内的石屑与岩粉；检查注浆管、排气管是否畅通，止浆器是否完好。

3 灌浆料可采取水灰比为 0.45~0.50 的纯水泥浆，也可采取灰砂比为 1:1、水灰比为 0.45~0.50 的水泥砂浆。

4 当使用自由段带套管的预应力筋时，宜在锚固段长度和自由段长度内采取同步灌浆。

5 当采用自由段无套管的预应力筋时，应进行两次灌浆。第一次灌浆时，必须保证锚固段长度内灌满，但浆液不得流入自由段。预应力筋张拉锚固后，应对自由段进行第二次灌浆。

6 永久性预应力锚杆应采用封孔灌浆，应用浆体灌满自由段长度顶部的孔隙。

7 灌浆后，浆体强度未达到设计要求前，预应力筋不得受扰动。

7.5.5 锚杆张拉与锁定应遵守下列规定：

1 预应力筋张拉前，应对张拉设备进行率定。

2 预应力筋张拉应按规定程序进行，在编排张拉程序时，应考虑相邻钻孔预应力筋张拉的相互影响。

3 预应力筋正式张拉前，应取 20%的设计张拉荷载，对其预张拉 1~2 次，使其各部位接触紧密，钢丝或钢绞线完全平直。

4 压力分散型或拉力分散型锚杆应按张拉设计要求先分别对单元锚杆进行张拉，当各单元锚杆在同等荷载条件下因自由段长度不等而引起的弹性伸长差得以补偿后，再同时张拉各单元锚杆。

5 预应力筋正式张拉时，应张拉至设计荷载的 105%~110%，再按规定值进行锁定。

6 预应力筋锁定后 48h 内，若发现预应力损失大于锚杆拉力设计值的 10%时，应进行补偿张拉。

7.5.6 灌浆材料达到设计强度时，方可切除外露的预应力筋，切口位置至外锚具的距离不应小于 100mm。

7.5.7 在软弱破碎和渗水量大的围岩中施作永久性预应力锚杆，施工前应根据需要对围岩进行固结灌浆处理。

7.6 预应力锚杆的试验和监测

7.6.1 预应力锚杆的基本试验应遵守下列规定：

1 基本试验锚杆数量不得少于 3 根。

2 基本试验所用的锚杆结构、施工工艺及所处的工程地质条件应与实际工程所采用的相同。

3 基本试验最大的试验荷载不宜超过锚杆杆体承载力标准值的 0.9 倍。

4 基本试验应采用分级循环加、卸荷载法。拉力型锚杆的起始荷载可为计划最大试验荷载的 10%，压力分散型或拉力分散型锚杆的起始荷载可为计划最大试验荷载的 20%。加荷等级与锚头位移测读间隔时间按本规范附录 C 确定。

5 锚杆破坏标准：

- 1) 后一级荷载产生的锚头位移增量达到或超过前一级荷载产生位移增量的 2 倍时；
- 2) 锚头位移不稳定；
- 3) 锚杆杆体拉断。

6 试验结果宜按循环荷载与对应的锚头位移读数列表整理，并绘制锚杆荷载-位移($Q-s$)曲线，锚杆荷载-弹性位移($Q-s_e$)曲线和锚杆荷载-塑性位移($Q-s_p$)曲线。

7 锚杆弹性变形不应小于自由段长度变形计算值的 80%，且不应大于自由段长度与 1/2 锚固段长度之和的弹性变形计算值。

8 锚杆极限承载力取破坏荷载的前一级荷载，在最大试验荷载下未达到规定的破坏标准时，锚杆极限承载力取最大试验荷载值。

7.6.2 预应力锚杆的验收试验应遵守下列规定：

1 验收试验锚杆数量不少于锚杆总数的 5%，且不得少于 3 根。

2 验收试验应分级加荷，起始荷载宜为锚杆拉力设计值的 30%，分级加荷值分别为拉力设计值的 0.5、0.75、1.0、1.2、1.33 和 1.5 倍，但最大试验荷载不能大于杆体承载力标准值的 0.8 倍。

3 验收试验中，当荷载每增加一级，均应稳定 5~10min，记录位移读数。最后一级试验荷载应维持 10min。如果在 1~10min 内，位移量超过 1.0mm，则该级荷载应再维持 50min，并在 15、20、25、30、45 和 60min 时记录其位移量。

4 验收试验中，从 50%拉力设计值到最大试验荷载之间所测得的总位移量，应当超过该荷载范围自由段长度预应力筋理论弹性伸长值的 80%，且小于自由段长度与 1/2 锚固段长度之和的预应力筋的理论弹性伸长值。

5 最后一级荷载作用下的位移观测期内，锚头位移稳定或 2h 蠕变量不大于 2.0mm。

7.6.3 长期监测应符合下列要求：

1 永久性预应力锚杆及用于重要工程的临时性预应力锚杆，应对其预应力变化进行长期监测。

2 永久性预应力锚杆的监测数量不应少于锚杆数量 10%。临时性预应力锚杆的监测数量不应少于锚杆数量的 5%。

3 预应力变化值不宜大于锚杆拉力设计值的 10%，必要时可采取重复张拉或适当放松的措施以控制预应力值的变化。

7.7 自钻式锚杆的施工

7.7.1 自钻式锚杆安装前，应检查锚杆体中孔和钻头的水孔是否畅通，若有异物堵塞，应及时清理。

7.7.2 锚杆体钻进至设计深度后，应用水和空气洗孔，直至孔口返水或返气，方可将钻机和连接套卸下，并及时安装垫板及螺母，临时固定杆体。

7.7.3 锚杆灌浆料宜采用纯水泥浆或 1:1 水泥砂浆，水灰比宜为 0.4~0.5。采用水泥砂浆时，砂子粒径不应大于 1.0mm。

7.7.4 灌浆料应由杆体中孔灌入，水泥浆体强度达 5.0MPa 后，可上紧螺母。

8 喷射混凝土施工

8.1 原材料

- 8.1.1 应优先选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，也可选用矿渣硅酸盐水泥或火山灰质硅酸盐水泥，必要时，采用特种水泥。水泥强度等级不应低于 32.5MPa。
- 8.1.2 应采用坚硬耐久的中砂或粗砂，细度模数宜大于 2.5。干法喷射时，砂的含水率宜控制在 5%~7%；当采用防粘料喷射机时，砂含水率可为 7%~10%。
- 8.1.3 应采用坚硬耐久的卵石或碎石，粒径不宜大于 15mm；当使用碱性速凝剂时，不得使用含有活性二氧化硅的石材。
- 8.1.4 喷射混凝土用的骨料级配宜控制在表 8.1.4 所给的范围内。

表 8.1.4 喷射混凝土骨料通过各筛径的累计重量百分数(%)

骨料粒径 (mm) 项 目	0. 15	0. 30	0. 60	1. 20	2. 50	5. 00	10. 00	15. 00
优	5~7	10~15	17~22	23~31	34~43	50~60	78~82	100
良	4~8	5~22	13~31	18~41	26~54	40~70	62~90	100

- 8.1.5 应采用符合质量要求的外加剂，掺外加剂后的喷射混凝土性能必须满足设计要求。在使用速凝剂前，应做与水泥的相容性试验及水泥净浆凝结效果试验，初凝不应大于 5min，终凝不应大于 10min；在采用其他类型的外加剂或几种外加剂复合使用时，也应做相应的性能试验和使用效果试验。
- 8.1.6 当工程需要采用外掺料时，掺量应通过试验确定，加外掺料后的喷射混凝土性能必须满足设计要求。
- 8.1.7 混合水中不应含有影响水泥正常凝结与硬化的有害杂质，不得使用污水及 pH 值小于 4 的酸性水和含硫酸盐量按 SO₄²⁻ 计算超过混合用水重量 1%的水。

8.2 施工机具

- 8.2.1 干法喷射混凝土机的性能应符合下列要求：
- 1 密封性能良好，输料连续均匀；
 - 2 生产能力(混合料)为 3~5m³/h；允许输送的骨料最大粒径为 25mm；
 - 3 输送距离(混合料)，水平不小于 100m，垂直不小于 30m。
- 8.2.2 湿法喷射混凝土机的性能应符合下列要求：
- 1 密封性能良好，输料连续均匀；
 - 2 生产率大于 5m³/h，允许骨料最大粒径为 15mm；
 - 3 混凝土输料距离，水平不小于 30m，垂直不小于 20m；
 - 4 机旁粉尘小于 10mg/m³。
- 8.2.3 选用的空压机应满足喷射机工作风压和耗风量的要求；当工程需要选用单台空压机工作时，其排风量不应小于 9m³/min；压风进入喷射机前，必须进行油水分离。
- 8.2.4 混合料的搅拌宜采用强制式搅拌机。
- 8.2.5 输料管应能承受 0.8MPa 以上的压力，并应有良好的耐磨性能。
- 8.2.6 干法喷射混凝土施工供水设施应保证喷头处的水压为 0.15~0.20MPa，50%~60%。

8.3 混合料的配合比与拌制

- 8.3.1 混合料配合比应遵守下列规定：

- 1 干法喷射水泥与砂、石之重量比宜为 1.0； 4.0~1.0； 4.5； 水灰比宜为 0.40~0.45； 湿法喷射水泥与砂、石之重量比宜为 1.0； 3.5~1.0； 4.0； 水灰比宜为 0.42~0.50， 砂率宜为 50%~60%。
- 2 速凝剂或其他外加剂的掺量应通过试验确定。
- 3 外掺料的添加量应符合有关技术标准的要求， 并通过试验确定。
- 8.3.2 原材料按重量计， 称量的允许偏差应符合下列规定：
 - 1 水泥和速凝剂均为±2%；
 - 2 砂、石均为±3%。
- 8.3.3 混合料搅拌时间应遵守下列规定：
 - 1 采用容量小于 400L 的强制式搅拌机时， 搅拌时间不得少于 60s；
 - 2 采用自落式或滚筒式搅拌机时， 搅拌时间不得少于 120s；
 - 3 采用人工搅拌时， 搅拌次数不得少于 3 次；
 - 4 混合料掺有外加剂或外掺料时， 搅拌时间应适当延长。
- 8.3.4 混合料在运输、 存放过程中， 应严防雨淋、 滴水及大块石等杂物混入， 装入喷射机前应过筛。
- 8.3.5 干混合料宜随拌随用。 无速凝剂掺入的混合料， 存放时间不应超过 2h， 干混合料掺速凝剂后， 存放时间不应超过 20min。
- 8.3.6 用于湿法喷射的混合料拌制后， 应进行坍落度测定， 其坍落度宜为 8~12cm。

8.4 喷射前的准备工作

- 8.4.1 喷射作业现场， 应做好下列准备工作：
 - 1 拆除作业面障碍物、 清除开挖面的浮石和墙脚的岩渣、 堆积物；
 - 2 用高压风水冲洗受喷面； 对遇水易潮解、 泥化的岩层， 则应用压风清扫岩面；
 - 3 埋设控制喷射混凝土厚度的标志；
 - 4 喷射机司机与喷射手不能直接联系时， 应配备联络装置；
 - 5 作业区应有良好的通风和足够的照明装置。
- 8.4.2 喷射作业前， 应对机械设备、 风、 水管路， 输料管路和电缆线路等进行全面检查及试运转。
- 8.4.3 受喷面有滴水、 淋水时， 喷射前应按下列方法做好治水工作：
 - 1 有明显出水点时， 可埋设导管排水；
 - 2 导水效果不好的含水岩层， 可设盲沟排水；
 - 3 竖井淋帮水， 可设截水圈排水。
- 8.4.4 采用湿法喷射时， 宜备有液态速凝剂， 并应检查速凝剂的泵送及计量装置性能。

8.5 喷射作业

- 8.5.1 喷射作业应遵守下列规定：
 - 1 喷射作业应分段分片依次进行， 喷射顺序应自下而上；
 - 2 素喷混凝土一次喷射厚度应按照表 8.5.1 选用；

表 8. 5. 1 素喷混凝土一次喷射厚度(mm)

喷射方法	部 位	掺速凝剂	不掺速凝剂
干 法	边 墙	70~100	50~70
	拱 部	50~60	30~40
湿 法	边 墙	80~150	—
	拱 部	60~100	—

3 分层喷射时，后一层喷射应在前一层混凝土终凝后进行，若终凝 1h 后再进行喷射时，应先用风水清洗喷层表面；

4 喷射作业紧跟开挖工作面时，混凝土终凝到下一循环放炮时间，不应小于 3h。

8.5.2 喷射机司机的操作应遵守下列规定：

1 作业开始时，应先送风，后开机，再给料；结束时，应待料喷完后，再关风；

2 向喷射机供料应连续均匀；机器正常运转时，料斗内应保持足够的存料；

3 喷射机的工作风压，应满足喷头处的压力在 0.1MPa 左右；

4 喷射作业完毕或因故中断喷射时，必须将喷射机和输料管内的积料清除干净。

8.5.3 喷射手的操作应遵守下列规定：

1 喷射手应经常保持喷头具有良好的工作性能；

2 喷头与受喷面应垂直，宜保持 0.60~1.00m 的距离；

3 干法喷射时，喷射手应控制好水灰比，保持混凝土表面平整，呈湿润光泽，无干斑或滑移流淌现象。

8.5.4 喷射混凝土的回弹率，边墙不应大于 15%，拱部不应大于 25%。

8.5.5 竖井喷射作业应遵守下列规定：

1 喷射机宜设置在地面；喷射机如置于井筒内时，应设置双层吊盘。

2 采用管道下料时，混合料应随用随下。

3 喷射与开挖单行作业时，喷射区段高宜与掘进段高相同，在每一段高内，可分成 1.50~2.00m 的小段，各小段的喷射作业应由下而上进行。

8.5.6 喷射混凝土养护应遵守下列规定：

1 喷射混凝土终凝 2h 后，应喷水养护；养护时间，一般工程不得少于 7d，重要工程不得少于 14d。

2 气温低于+5℃时，不得喷水养护。

8.5.7 冬期施工应遵守下列规定：

1 喷射作业区的气温不应低于+5℃；

2 混合料进入喷射机的温度不应低于+5℃；

3 喷射混凝土强度在下列数值时，不得受冻：

1) 普通硅酸盐水泥配制的喷射混凝土低于设计强度等级 30%时；

2) 矿渣水泥配制的喷射混凝土低于设计强度等级 40%时。

8.6 钢纤维喷射混凝土施工

8.6.1 钢纤维喷射混凝土的原材料除应符合本规范的有关规定外，还应符合下列规定：

1 钢纤维长度偏差不应超过长度公称值的±5%。

2 钢纤维不得有明显的锈蚀和油渍及其他妨碍钢纤维与水泥粘结的杂质；钢纤维内含有的因加工不良造成的粘连片、铁屑及杂质的总重量不应超过钢纤维重量的 1%。

3 水泥标号不宜低于 425 号。

4 骨料粒径不宜大于 10mm。

8.6.2 钢纤维喷射混凝土施工除应遵守本章有关规定外，还应符合下列规定：

1 搅拌混合料时，宜采用钢纤维播料机往混合料中添加钢纤维，搅拌时间不宜小于 180s；

2 钢纤维在混合料中应分布均匀，不得成团；

3 在钢纤维喷射混凝土的表面宜再喷射一层厚度为 10mm 的水泥砂浆，其强度等级不应低于钢纤维喷射混凝土的强度等级。

8.7 钢筋网喷射混凝土施工

8.7.1 喷射混凝土中钢筋网的铺设要遵守下列规定：

- 1 钢筋使用前应清除污锈；
- 2 钢筋网宜在岩面喷射一层混凝土后铺设，钢筋与壁面的间隙，宜为 30mm；
- 3 采用双层钢筋网时，第二层钢筋网应在第一层钢筋网被混凝土覆盖后铺设；
- 4 钢筋网应与锚杆或其他锚定装置联结牢固，喷射时钢筋不得晃动。

8.7.2 钢筋网喷射混凝土作业除应符合本章有关规定外，还应符合下列规定：

- 1 开始喷射时，应减小喷头与受喷面的距离，并调节喷射角度，以保证钢筋与壁面之间混凝土的密实性；
- 2 喷射中如有脱落的混凝土被钢筋网架住，应及时清除。

8.8 钢架喷射混凝土施工

8.8.1 架设钢架应遵守下列规定：

- 1 安装前，应检查钢架制作质量是否符合设计要求；
- 2 钢架安装允许偏差，横向和高程均为 $\pm 50\text{mm}$ ，垂直度为 $\pm 2^\circ$ ；
- 3 钢架立柱埋入底板深度应符合设计要求，并不得置于浮渣上；
- 4 钢架与壁面之间必须楔紧，相邻钢架之间应连接牢靠。

8.8.2 钢架喷射混凝土施工除应符合本章有关规定外，还应遵守下列规定：

- 1 钢架与壁面之间的间隙必须用喷射混凝土充填密实；
- 2 喷射顺序，应先喷射钢架与壁面之间的混凝土，后喷射钢架之间的混凝土；
- 3 除可缩性钢架的可缩节点部位外，钢架应被喷射混凝土覆盖。

8.9 水泥裹砂喷射混凝土施工

8.9.1 水泥裹砂喷射混凝土施工所用设备除应遵守本规范第 8.2 节的规定外，还应符合下列要求：

1 砂浆输送泵宜选用液压双缸式、螺旋式或挤压式，也可采用单缸式。砂浆泵的性能应符合下列要求：

- 1) 砂浆输送能力不应小于 $4\text{m}^3/\text{h}$ ；
- 2) 砂浆输送能力在 $0\sim 4\text{m}^3/\text{h}$ 内宜为无级可调；
- 3) 砂浆输出压力应能保证施工过程中输料管叉管处砂浆的压力不小于 0.3MPa ；
- 4) 使用单缸式砂浆输送泵时，应保证喷射作业时砂浆的输送脉冲间隔时间不超过 0.4s 。

2 砂浆拌制设备宜采用反向双转式或行星式水泥裹砂机，也可以采用强制式混凝土搅拌机。

8.9.2 水泥裹砂喷射混凝土的配合比除应遵守本规范第 8.3 节有关条文规定外，还应符合下列要求：

- 1 水泥用量宜为 $350\sim 400\text{kg}/\text{m}^3$ ；
- 2 水灰比宜为 $0.4\sim 0.52$ ；
- 3 砂率宜为 $55\%\sim 70\%$ ；
- 4 裹砂砂浆内的含砂量宜为总用砂量的 $50\%\sim 75\%$ ；
- 5 裹砂砂浆内的水泥用量宜为总水泥用量的 90% ；砂浆内宜掺高效减水剂。

8.9.3 水泥裹砂砂浆的拌制应遵守下列规定：

- 1 水泥裹砂造壳时的水灰比宜为 $0.2\sim 0.3$ ，造壳搅拌时间为 $60\sim 150\text{s}$ ；二次加水后的搅拌时间宜为 $30\sim 90\text{s}$ ；减水剂应在二次加水时加入搅拌机。

- 2 使用掺合料时，则掺合料应与水泥同时加入搅拌机。
- 8.9.4 混合料的拌制应遵守本规范第 8.3 节有关条文的规定。
- 8.9.5 水泥裹砂喷射混凝土作业除应遵守本规范第 8.5 节有关规定外，还应遵守下列规定：
 - 1 作业开始时，喷射机先送风；砂浆泵按预定输送量送裹砂砂浆；待喷头开始喷出砂浆时，喷射机输送混合料。
 - 2 调整砂浆泵的压力，使喷出的混凝土具有适宜的稠度。
 - 3 喷射作业结束时，喷射机先停止送料后，砂浆泵停止输送砂浆，待喷头处没有物料喷出时，停止送风。
 - 4 一次喷射厚度可按本规范表 8.5.1 的规定增加 20%。

8.10 喷射混凝土强度质量的控制

- 8.10.1 重要工程的喷射混凝土施工，宜根据喷射混凝土现场 28d 龄期抗压强度的试验结果，按本规范附录 D 的格式绘制抗压强度质量图，控制喷射混凝土抗压强度。
- 8.10.2 喷射混凝土的匀质性，可以现场 28d 龄期喷射混凝土抗压强度的标准差和变异系数，按表 8.10.2 的控制水平表示。

表 8. 10. 2 喷射混凝土的匀质性指标

施工控制水平		优	良	及格	差
标准差(MPa)	母体的离散	<4. 5	4. 5~5. 5	>5. 5~6. 5	>6. 5
	一次试验的离散	<2. 2	2. 2~2. 7	>2. 7~3. 2	>3. 2
变异系数(%)	母体的离散	<15	15~20	>20~25	>25
	一次试验的离散	<7	7~9	>9~11	>11

- 8.10.3 喷射混凝土施工中应达到的平均抗压强度可按下式计算：

$$f_{ck}=f_c+S$$
(8.10.3)

式中 f_{ck} —施工阶段喷射混凝土应达到的平均抗压强度 (MPa)；

f_c —喷射混凝土抗压强度设计值 (MPa)；

S —标准差 (MPa)。

9 安全技术与防尘

9.1 安全技术

9.1.1 施工前，应认真检查和处理锚喷支护作业区的危石，施工机具应布置在安全地带。

9.1.2 在Ⅳ、Ⅴ级围岩中进行锚喷支护施工时，应遵守下列规定：

1 锚喷支护必须紧跟开挖工作面。

2 应先喷后锚，喷射混凝土厚度不应小于 50mm；喷射作业中，应有人随时观察围岩变化情况。

3 锚杆施工宜在喷射混凝土终凝 3h 后进行。

9.1.3 施工中，应定期检查电源线路和设备的电器部件，确保用电安全。

9.1.4 喷射机、水箱、风包、注浆罐等应进行密封性能和耐压试验，合格后方可使用。

喷射混凝土施工作业中，要经常检查出料弯头、输料管和管路接头等有无磨薄、击穿或松脱现象，发现问题，应及时处理。

9.1.5 处理机械故障时，必须使设备断电、停风。向施工设备送电、送风前，应通知有关人员。

9.1.6 喷射作业中处理堵管时，应将输料管顺直，必须紧按喷头，疏通管路的工作风压不得超过 0.4MPa。

9.1.7 喷射混凝土施工用的工作台架应牢固可靠，并应设置安全栏杆。

9.1.8 向锚杆孔注浆时，注浆罐内应保持一定数量的砂浆，以防罐体放空，砂浆喷出伤人。处理管路堵塞前，应消除罐内压力。

9.1.9 非操作人员不得进入正进行施工的作业区。施工中，喷头和注浆管前方严禁站人。

9.1.10 施工操作人员的皮肤应避免与速凝剂、树脂胶泥直接接触，严禁树脂卷接触明火。

9.1.11 钢纤维喷射混凝土施工中，应采取措施，防止钢纤维扎伤操作人员。

9.1.12 检验锚杆锚固力应遵守下列规定：

1 拉力计必须固定牢靠。

2 拉拔锚杆时，拉力计前方或下方严禁站人。

3 锚杆杆端一旦出现颈缩时，应及时卸荷。

9.1.13 水胀锚杆的安装应遵守下列规定：

1 高压泵应设置防护罩。锚杆安装完毕，应将其搬移到安全无淋水处，防止放炮时被砸坏。

2 搬运高压泵时，必须断电，严禁带电作业。

3 在高压进水阀未关闭，回水阀未打开之前，不得撤离安装棒。

4 安装锚杆时，操作人员手持安装棒应与锚杆孔轴线偏离一个角度。

9.1.14 预应力锚杆的施工安全应遵守下列规定：

1 张拉预应力锚杆前，应对设备全面检查，并固定牢靠，张拉时孔口前方严禁站人；

2 拱部或边墙进行预应力锚杆施工时，其下方严禁进行其他作业；

3 对穿型预应力锚杆施工时，应有联络装置，作业中应密切联系；

4 封孔水泥砂浆未达到设计强度的 70%时，不得在锚杆端部悬挂重物或碰撞外锚具。

9.2 防尘

9.2.1 喷射混凝土施工宜采用湿喷或水泥裹砂喷射工艺。

9.2.2 采用干法喷射混凝土施工时，宜采取下列综合防尘措施：

- 1 在保证顺利喷射的条件下，增加骨料含水率；
 - 2 在距喷头 3~4m 处增加一个水环，用双水环加水；
 - 3 在喷射机或混合料搅拌处，设置集尘器或除尘器；
 - 4 在粉尘浓度较高地段，设置除尘水幕；
 - 5 加强作业区的局部通风；
 - 6 采用增粘剂等外加剂。
- 9.2.3** 锚喷作业区的粉尘浓度不应大于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。施工中，应按本规范附录 E 的技术要求测定粉尘浓度。测定次数，每半个月至少一次。
- 9.2.4** 喷射混凝土作业人员，应采用个体防尘用具。

10 质量检查与工程验收

10.1 质量检查

10.1.1 原材料与混合料的检查应遵守下列规定：

1 每批材料到达工地后，应进行质量检查，合格后方可使用。

2 喷射混凝土的混合料和锚杆用的水泥砂浆的配合比以及拌和的均匀性，每工作班检查次数不得少于两次；条件变化时，应及时检查。

10.1.2 喷射混凝土抗压强度的检查应遵守下列规定：

1 喷射混凝土必须做抗压强度试验；当设计有其他要求时，可增做相应的性能试验。

2 检查喷射混凝土抗压强度所需的试块应在工程施工中抽样制取。试块数量，每喷射 $50\sim 100\text{m}^3$ 混合料或混合料小于 50m^3 的独立工程，不得少于一组，每组试块不得少于3个；材料或配合比变更时，应另作一组。

3 检查喷射混凝土抗压强度的标准试块应在一定规格的喷射混凝土板件上切割制取。试块为边长100mm的立方体，在标准养护条件下养护28d，用标准试验方法测得的极限抗压强度，并乘以0.95的系数。

喷射混凝土抗压强度标准试块可按本规范附录F所列方法进行制作。

4 当不具备制作抗压强度标准试块条件时，也可采用下列方法制作试块，检查喷射混凝土抗压强度。

1) 按本规范附录F的要求喷制混凝土大板，在标准养护条件下养护7d后，用钻机在大板上钻取芯样的方法制作试块。芯样边缘至大板周边的最小距离不应小于50mm。

芯样的加工与试验方法应符合《钻取芯样法测定结构混凝土抗压强度技术规程》YBJ 209的有关要求。

2) 亦可直接向边长为150mm的无底标准试模内喷射混凝土制作试块，其抗压强度换算系数，应通过试验确定。

5 采用立方体试块做抗压强度试验时，加载方向必须与试块喷射成型方向垂直。

10.1.3 喷射混凝土抗压强度的验收应符合下列规定：

1 同批喷射混凝土的抗压强度，应以同批内标准试块的抗压强度代表值来评定。

2 同组试块应在同块大板上切割制取，对有明显缺陷的试块，应予舍弃。

3 每组试块的抗压强度代表值为三个试块试验结果的平均值；当三个试块强度中的最大值或最小值之一与中间值之差超过中间值的15%时，可用中间值代表该组的强度；当三个试块强度中的最大值和最小值与中间值之差均超过中间值的15%，该组试块不应作为强度评定的依据。

4 重要工程的合格条件为：

$$f'_{ck} - K_1 S_n \geq 0.9 f_c \quad (10.1.3-1)$$

$$f'_{ckmin} \geq K_2 f_c \quad (10.1.3-2)$$

5 一般工程的合格条件为：

$$f'_{ck} \geq f_c \quad (10.1.3-3)$$

$$f'_{ckmin} \geq 0.85 f_c \quad (10.1.3-4)$$

式中 f'_{ck} — 施工阶段同批n组喷射混凝土试块抗压强度的平均值(MPa)；

f_c — 喷射混凝土立方体抗压强度设计值(MPa)；

f'_{ckmin} — 施工阶段同批n组喷射混凝土试块抗压强度的最小值(MPa)；

K_1, K_2 — 合格判定系数，按表10.1.3取值；

n — 施工阶段每批喷射混凝土试块的抽样组数；

S_n — 施工阶段同批n组喷射混凝土试块抗压强度的标准差(MPa)。

表 10. 1. 3 合格判定系数 K_1 、 K_2 值

N	10~14	15~24	≥ 25
K_1	1. 70	1. 65	1. 60
K_2	0. 90	0. 85	0. 85

当同批试块组数 $n < 10$ 时，可按 $f'_{ck} \geq 1.15f_c$ 以及 $f'_{ckmin} \geq 0.95f_c$ 验收。

6 喷射混凝土强度不符合要求时，应查明原因，采取补强措施。

注：同批试块是指原材料和配合比基本相同的喷射混凝土试块。

10.1.4 喷射混凝土厚度的检查应遵守下列规定：

- 1 喷层厚度可用凿孔法或其他方法检查。
- 2 各类工程喷层厚度检查断面的数量可按表 10.1.4 确定，但每一个独立工程检查数量不得少于一个断面；每一个断面的检查点，应从拱部中线起，每间隔 2~3m 设一个，但一个断面上，拱部不应少于 3 个点，总计不应少于 5 个点。
- 3 合格条件为：每个断面上，全部检查孔处的喷层厚度 60% 以上不应小于设计厚度；最小值不应小于设计厚度的 50%；同时，检查孔处厚度的平均值不应小于设计厚度；对重要工程的拱墙喷层厚度的检查结果，应分别进行统计。

表 10. 1. 4 喷射混凝土厚度检查断面间距(m)

隧洞跨度	间距	竖井直径	间距
< 5	40~50	< 5	20~40
5~15	20~40	5~8	10~20
15~25	10~20	—	—

10.1.5 锚杆质量的检查应遵守下列规定：

1 检查端头锚固型和摩擦型锚杆质量必须做抗拔力试验。试验数量，每 300 根锚杆必须抽样一组；设计变更或材料变更时，应另做一组，每组锚杆不得少于 3 根。

2 锚杆质量合格条件为：

$$P_{An} \geq P_A \tag{10.1.5-1}$$

$$P_{Amin} \geq 0.9P_A \tag{10.1.5-2}$$

式中 P_{An} ——同批试件抗拔力的平均值(kN)；

P_A ——锚杆设计锚固力(kN)；

P_{Amin} ——同批试件抗拔力的最小值(kN)。

- 3 锚杆抗拔力不符合要求时，可用加密锚杆的方法予以补强。
- 4 全长粘结型锚杆，应检查砂浆密实度，注浆密实度大于 75% 方为合格。

10.1.6 预应力锚杆的质量检查应遵守下列规定：

- 1 检查是否有完整的锚杆性能试验与验收试验资料。
- 2 锚杆的性能试验结果应符合本规范第 7.6.1 条第 6 款和第 7 款的规定。
- 3 锚杆的验收试验结果应符合本规范第 7.6.2 条第 4 款和第 5 款的规定。
- 4 长期监测的预应力锚杆的预应力值变化应满足本规范第 7.6.3 条第 3 款规定要求。

10.1.7 锚喷支护外观与隧洞断面尺寸应符合下列要求：

- 1 断面尺寸符合设计要求；
- 2 无漏喷、离鼓现象；
- 3 无仍在扩展中或危及使用安全的裂缝；

- 4 有防水要求的工程，不得漏水；
- 5 锚杆尾端及钢筋网等不得外露。

10.2 工程验收

10.2.1 锚喷支护工程竣工后，应按设计要求和质量合格条件进行验收。

10.2.2 锚喷支护工程验收时，应提供下列资料：

- 1 原材料出厂合格证，工地材料试验报告，代用材料试验报告；
- 2 按本规范附录 G 的内容与格式提供锚喷支护施工记录；
- 3 喷射混凝土强度、厚度、外观尺寸及锚杆抗拔力等检查和试验报告，预应力锚杆的性能试验与验收试验报告；
- 4 施工期间的地质素描图；
- 5 隐蔽工程检查验收记录；
- 6 设计变更报告；
- 7 工程重大问题处理文件；
- 8 竣工图。

10.2.3 设计要求进行监控量测的工程，验收时，应提交相应的报告与资料：

- 1 实际测点布置图；
- 2 测量原始记录表及整理汇总资料，现场监控量测记录表；
- 3 位移测量时态曲线图；
- 4 量测信息反馈结果记录。

附录 A 喷射混凝土与围岩粘结强度试验

A.0.1 喷射混凝土与围岩的粘结强度试验应在现场进行。当条件不具备时，亦可在试验室用岩块近似地测定其粘结强度。

A.0.2 喷射混凝土与围岩的粘结强度的试验可采用预留试件拉拔法或钻芯拉拔法。

A.0.3 当采用预留试件拉拔法时，试验应在隧洞的边墙或拱部进行。试件应为圆柱体，直径宜为 200~500mm，高可为 100mm。试验应符合下列步骤：

- 1 在预定试验部位，施工的喷层厚度应在 100mm 以上，其表面宜平整；
- 2 试件部位的混凝土喷射后，应立即用铲刀沿试件轮廓挖出宽 50mm 的槽，试件与四周的喷射混凝土应完全脱离，仅底面与围岩粘结；
- 3 试验前，应将钢拉杆埋入试件中心并用环氧树脂砂胶粘结，设计的钢拉杆，应使其抗拔力大于喷射混凝土与岩石的粘结力；
- 4 用适宜的拉拔设备将试件拉拔至破坏，根据拉拔力和粘结面积，进行粘结强度的计算。

A.0.4 当采用钻芯拉拔法时，应符合下列要求：

- 1 主要设备应采用混凝土钻芯机、拉拔器和测力计。
- 2 试验按下列步骤进行：
 - 1) 用金刚石钻机在工程欲测部位垂直钻进喷层并深入围岩数厘米，形成芯样；
 - 2) 将卡套插入芯样与围岩的空隙中，推压弹簧内套，使卡套卡紧芯样；
 - 3) 安装拉拔器与测力仪；
 - 4) 以每秒 20~40N 的速度缓慢加力，直到芯样断裂；
 - 5) 按下列公式计算喷射混凝土与围岩的粘结强度：

$$f_{cr} = \frac{P_c}{A_c} \cos \alpha \quad (\text{A.0.4})$$

式中 f_{cr} —喷射混凝土与岩石的粘结强度(MPa)；

P_c —芯样拉断时的荷载(N)；

A_c —芯样断裂面积(mm²)；

α —断裂面与芯样横截面交角(°)。

A.0.5 喷射混凝土与岩石块的粘结强度试验应符合下列要求：

- 1 模板规格和形式：模板尺寸为 450mm×350mm×120mm(长×宽×高)，其尺寸较小的一边为敞开状。
- 2 试件制作应符合下列规定：
 - 1) 在预定进行粘结强度试验的隧洞区段，选择厚约 50mm、长宽尺寸略小于模板尺寸的岩块；
 - 2) 将选择好的岩块置于模板内，在与实际结构相同的条件下喷上混凝土，喷射前，先用水冲洗岩块表面；
 - 3) 喷成后，在与实际结构物相同的条件下养护至 7d 龄期，用切割法去掉周边，加工成边长为 100mm 的立方体试块(其中岩石和混凝土的厚度各为 50mm 左右)，养护至 28d 龄期，在岩块与混凝土结合面处，用劈裂法求得混凝土与岩块的粘结强度值。

附录 B 现场监控量测记录表

表 B 现场监控量测记录表

埋设日期:

开挖日期;

初读数日期:

[illegible]

主管

附录 C 预应力锚杆基本试验循环加卸荷等级与位移观测间隔时间表

表 C 锚杆基本试验循环加卸荷等级与位移观测间隔时间表

循环数 \ 加荷标准	加荷量 (%) 计划最大试验荷载								
第一循环	10	—	—	—	30	—	—	—	10
第二循环	10	30	—	—	50	—	—	30	10
第三循环	10	30	30	50	70	—	50	30	10
第四循环	10	30	30	50	80	70	50	30	10
第五循环	10	30	30	50	90	80	50	30	10
第六循环	10	30	30	50	100	90	50	30	10
观测时间(min)	5	5	5	5	10	5	5	5	5
注：1 在每级加荷等级观测时间内，测读锚头位移不应少于 3 次。 2 在每级加荷等级观测时间内，锚头位移小于 0.1mm 时，可施加下一级荷载，否则应延长观测时间，直至锚头位移增量在 2h 内小于 2.0mm 时，方可施加下一级荷载。									

附录 D 喷射混凝土强度质量控制图的绘制

D.0.1 喷射混凝土施工中的强度质量控制图应包括单次试验强度图，平均强度动态图和平
均极差动态图(图 D)。

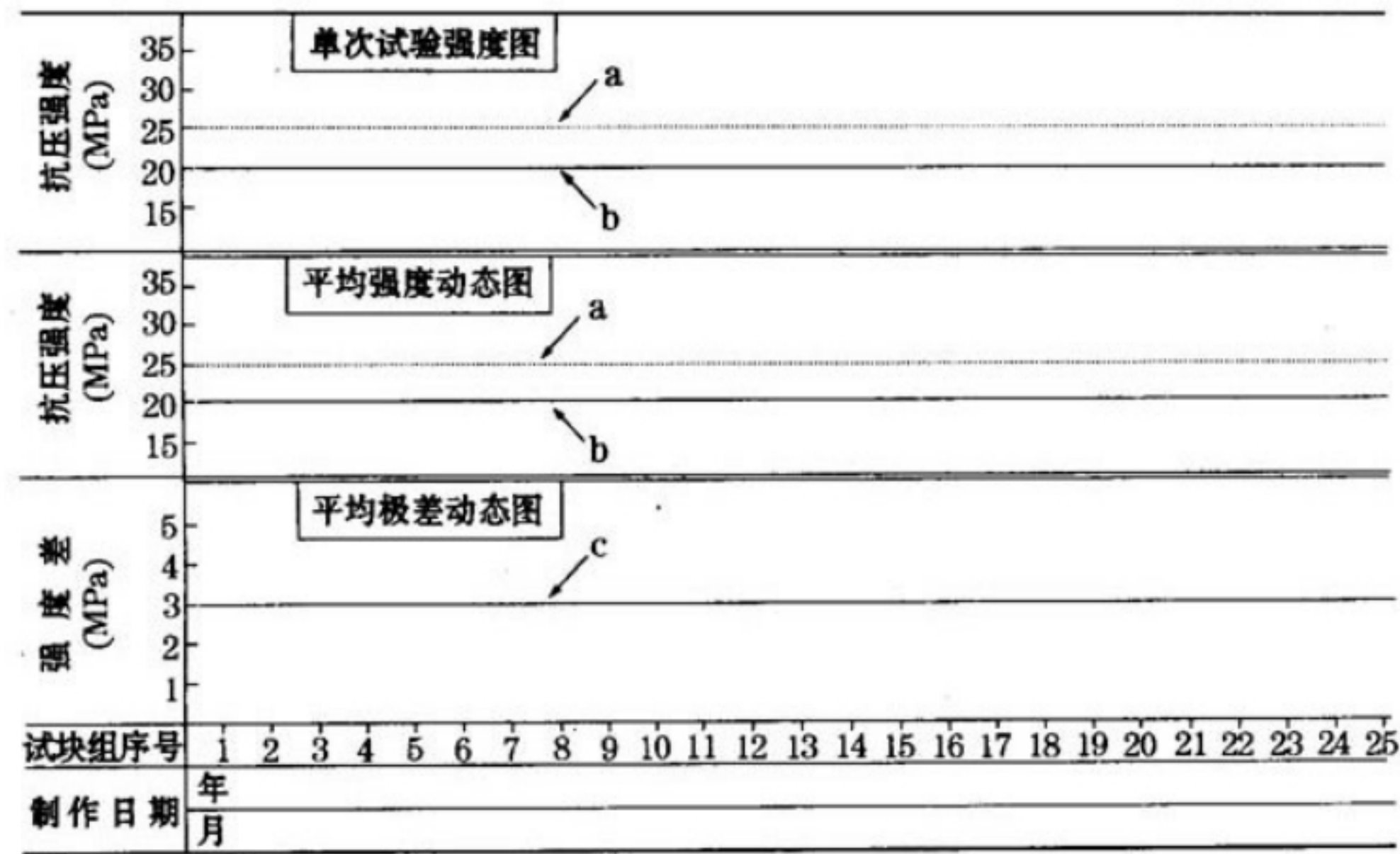


图 D 喷射混凝土强度质量控制图

a—施工应达到的平均强度；b—设计强度等级；c—最大的平均差

D.0.2 单次试验强度图绘制时，应将全部强度试验结果，按制取的先后顺序、标点绘制，图上有设计强度等级线和施工应达到的平均强度线作控制。

D.0.3 平均强度动态图绘制中，每个点所标绘的应是以前 5 组的平均强度，并应以设计强度等级线作下限。

D.0.4 平均级差动态图绘制时，每个点所标绘的应是前 10 组的平均极差值，并应以最大的平均极差作上限。

附录 E 测定喷射混凝土粉尘的技术要求

- E.0.1 测定粉尘应采用滤膜称量法。
- E.0.2 测定粉尘时，其测点位置、取样数量可按表 E.0.2 进行布置。

表 E.0.2 喷射混凝土粉尘测点位置和取样数量

测尘地点	测点位置	取样数(个)
喷头附近	距喷头 5.0m，离底板 1.5m，下风向设点	3
喷射机附近	距喷射机 1.0m，离底板 1.5m，下风向设点	3
洞内拌料处	距拌料处 2.0m，离底板 1.5m，下风向设点	3
喷射作业区	隧洞跨中，离底板 1.5m，作业区下风向设点	3

- E.0.3 粉尘采样应在喷射混凝土作业正常、粉尘浓度稳定后进行。每一个试样的取样时间不得少于 3min。
- E.0.4 占总数 80%及以上的测点试样的粉尘浓度，应达到本规范规定的标准，其他试样不得超过 20mg/m³。

附录 F 喷射混凝土抗压强度标准试块制作方法

F.0.1 标准试块应采用从现场施工的喷射混凝土板件上切割成要求尺寸的方法制作。模具尺寸为 $450\text{mm} \times 350\text{mm} \times 120\text{mm}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高)，其尺寸较小的一个边为敞开状。

F.0.2 标准试块制作应符合下列步骤：

- 1 在喷射作业面附近，将模具敞开一侧朝下，以 80° (与水平面的夹角)左右置于墙脚。
- 2 先在模具外的边墙上喷射，待操作正常后，将喷头移至模具位置，由下而上，逐层向模具内喷满混凝土。
- 3 将喷满混凝土的模具移至安全地方，用三角抹刀刮平混凝土表面。
- 4 在隧洞内潮湿环境中养护 1d 后脱模。将混凝土大板移至试验室，在标准养护条件下养护 7d，用切割机去掉周边和上表面(底面可不切割)后，加工成边长 100mm 的立方体试块。立方体试块的允许偏差，边长 $\pm 1\text{mm}$ ；直角 $\leq 2^\circ$ 。

F.0.3 加工后的边长为 100mm 的立方体试块继续在标准条件下养护至 28d 龄期，进行抗压强度试验。

附录 G 锚喷支护施工记录

工程名称：_____围岩级别：_____
里程：_____至_____记录时间：_____年____月____日____时
工程部位：_____记录者：_____

1 原材料、配合比

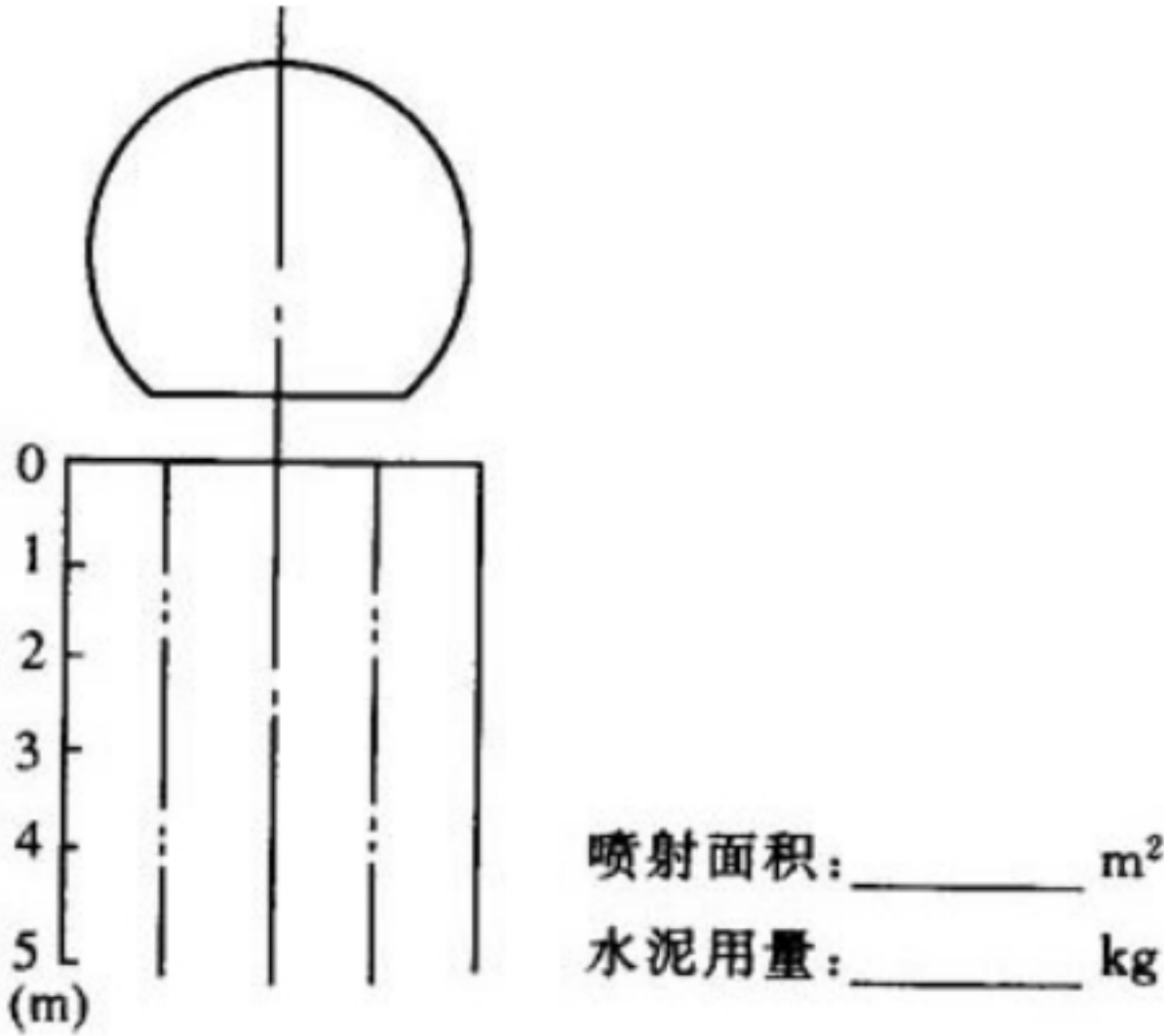
材料名称	型号·产地	试验报告编号·品质
砂		
石		
水泥		
速凝剂		
外掺料		
水		
钢筋		

喷射混凝土配合比(水泥；砂；石)：_____
速凝剂掺量：_____
外掺料掺量：_____
锚杆注浆配合比(水泥；砂)：_____
水灰比：_____

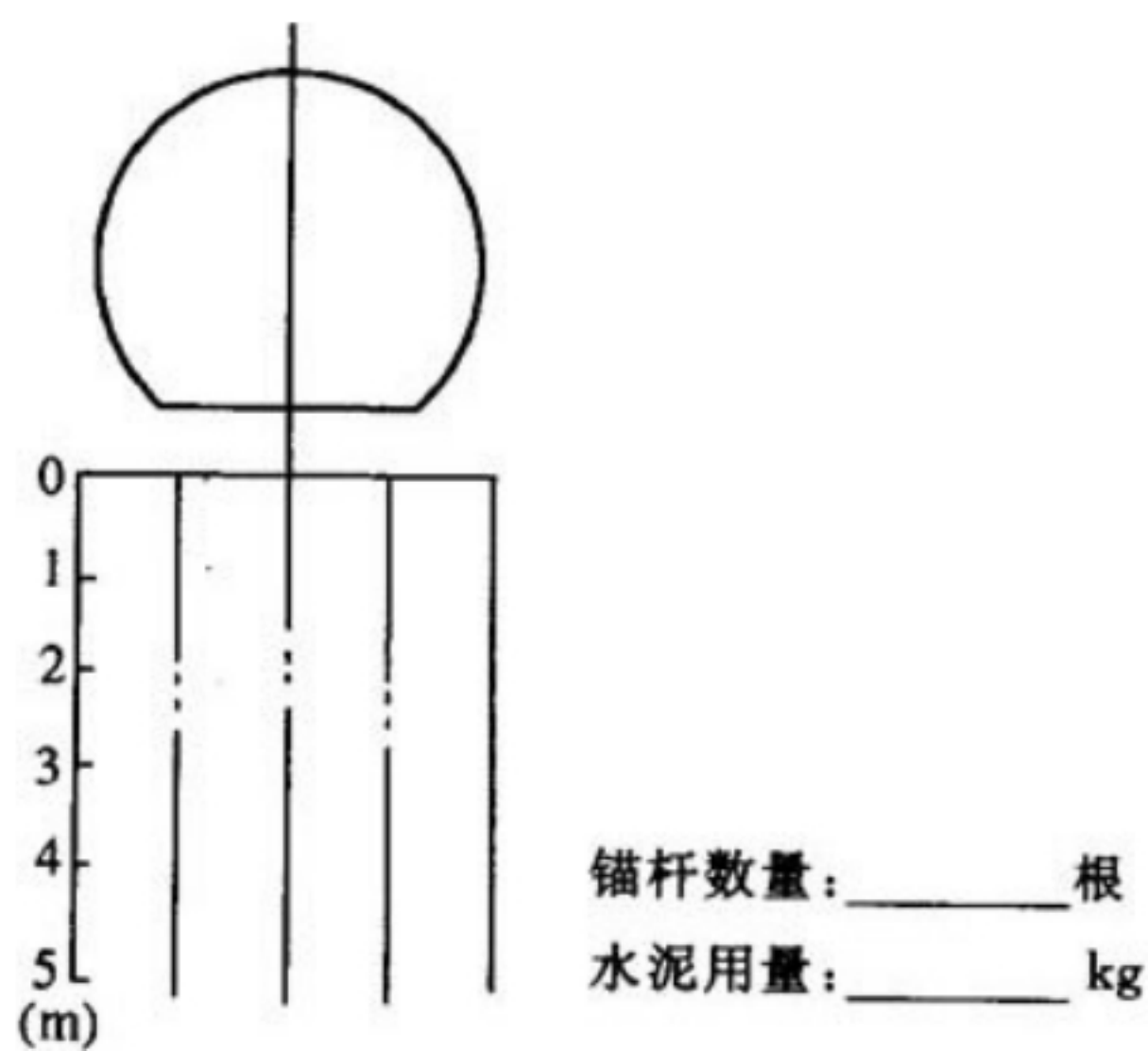
2 施工时间

锚喷部位开挖(放炮)：_____月_____日_____时
喷射混凝土作业：_____月_____日_____时起至_____月_____日_____时止
锚杆安装：_____月_____日_____时起至_____月_____日_____时止

3 喷层厚度图



4 锚杆布置图



5 其他(包括岩块、围岩坍塌等事件的时间、地点、过程、原因分析, 以及锚喷作业中发生机械故障、堵管等事件的次数、原因和排除方法; 其他需要记录的事项)。

工程负责人: _____

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词，说明如下：

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”或“可”，反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 本规范中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应按……执行”或“应符合……要求或规定”。