

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

GB 50086-2001

条文说明

中国建筑资讯网

2001 北京

目次

1	总 则	(51)
3	围岩分级	(52)
4	锚喷支护设计	(55)
4.1	一般规定	(55)
4.2	锚杆支护设计	(57)
4.3	喷射混凝土支护设计	(60)
4.4	特殊条件下的锚喷支护设计	(62)
	(I)浅埋隧洞锚喷支护设计	(62)
	(II)塑性流变岩体中隧洞锚喷支护设计	(64)
	(III)老黄土隧洞锚喷支护设计	(66)
	(IV)水工隧洞锚喷支护设计	(66)
	(V)受采动影响的巷道锚喷支护设计	(68)
5	现场监控量测	(70)
5.1	一般规定	(70)
5.2	现场监控量测的内容与方法	(70)
5.3	现场监控量测的数据处理与反馈	(70)
6	光面爆破	(72)
7	锚杆施工	(73)
7.1	一般规定	(73)
7.2	全长粘结型锚杆施工	(73)
7.3	端头锚固型锚杆施工	(73)
7.4	摩擦型锚杆施工	(74)
7.5	预应力锚杆施工	(75)
7.6	预应力锚杆的试验和监测	(75)
8	喷射混凝土施工	(76)
8.1	原材料	(76)
8.2	施工机具	(76)
8.3	混合料的配合比与拌制	(77)
8.4	喷射前的准备工作	(77)
8.5	喷射作业	(78)
8.6	钢纤维喷射混凝土施工	(79)
8.7	钢筋网喷射混凝土施工	(80)
8.8	钢架喷射混凝土施工	(80)
8.9	水泥裹砂喷射混凝土施工	(80)
8.10	喷射混凝土强度质量的控制	(81)
9	安全技术与防尘	(83)
9.1	安全技术	(83)
9.2	防尘	(83)
10	量检查与工程验收	(85)
10.1	质量检查	(85)
10.2	工程验收	(86)

1 总则

1.0.1、1.0.2 锚杆喷射混凝土支护(简称锚喷支护)已在国内地下工程中获得广泛应用,并收到了明显的技术经济效益。但是,由于国内没有一本完整的、统一的技术规范,锚喷支护工程设计保守,不适当地增加工程投资及设计、施工不当,工程质量低劣,危及安全使用的现象不乏其例,甚至出现隧洞工程片帮、冒顶,造成国家财产严重损失的事例也时有发生。制订本规范,是为了使锚喷支护的设计、施工和验收有一个全国统一的标准,符合技术先进、经济合理、安全适用、确保质量的要求,更好地推动地下工程建设的发展。

本规范主要适用于矿山巷道、竖井、斜井、铁路隧道、公路隧道、城市地铁、水工隧洞及各类地下工程的锚杆喷射混凝土初期支护和后期支护。也适用于边坡工程的锚杆喷射混凝土支护的施工。

1.0.3 锚杆喷射混凝土支护与传统支护不同,其主要作用在于主动加固围岩,发挥围岩的自支承能力。因此,锚喷支护的设计和施工,必须正确有效地运用锚喷支护的特性,遵循一整套与传统支护不同的原则。

做好工程的地质勘察工作,是锚喷支护设计施工的一条总原则。勘察可以为锚喷支护的设计、施工提供依据。加强施工过程中的地质调查,能为修改设计和指导施工提供信息。

由于地下工程和矿山井巷所通过的围岩地质条件错综复杂,正确的设计和合理的施工方法,必须根据当地的地质条件和工程要求来确定。因此,锚喷支护必须遵循因地制宜的原则,以达到经济合理和安全可靠的目的。

1.0.4 锚喷支护是一门综合性、多科性和边缘性强的工程技术,涉及到地质勘察、岩土力学混凝土材料,钢筋混凝土结构的设计施工、地下工程防排水等技术领域,本规范不可能、也无必要包含锚喷支护工程设计施工可能涉及的所有技术规定。因此,本条规定除遵守本规范外,尚应符合现行有关国家标准的规定。

3 围岩分级

3.0.1、3.0.2 说明如下：

1 围岩分级的依据和适用范围。

1) 围岩分级的依据和适用范围。本规范的围岩分级是以《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GBJ 86 中的围岩分级为基础，并吸取了《工程岩体分级标准》GB 50218 的有关内容制订的，适用于隧道与地下工程锚喷支护设计与施工。

2) 围岩等级划分。本规范把围岩分为 I~V 级，分别表示围岩为稳定、稳定性较好、中等稳定、稳定性差和不稳定五种状态。分级表中前三级基本上是整体稳定的围岩，围岩破坏形式主要是局部块体、层状体的塌落和片帮，产生的围岩压力主要是松动压力。后两级围岩则是整体不稳定的松散软弱围岩，大都会出现塑性状态，产生的围岩压力主要是形变压力。

本规范围岩分级采用了多因素定性和定量指标相结合的分级方法。虽然围岩分级(本规范表 3.0.2)中没有给出以岩体完整性系数与岩石单轴抗压强度的乘积为主要特征的岩体质量系数，但由于表 3.0.2 中给出了岩石单轴抗压强度和岩体完整性指标，所以，实际上也等于给出了岩体质量系数，并基本上以此作为分级的主要定量指标。

本规范的围岩分级中，考虑了岩体的完整性、结构面性状、岩石强度、地下水 and 地应力状况等自然地质因素。在定性方面考虑了岩体完整性状态，定量方面则增添了岩体声波指标和岩体完整性系数。

2 围岩分级基本因素的考虑。

1) 围岩完整性。岩体完整性是影响围岩稳定性的首要因素，它通常取决于岩体结构类型、地质构造影响与结构面发育情况。

(1) 岩体结构类型。岩体是由不同地质成因的岩石组成的。从地质成因来说，岩体可概括为块状岩体与层状岩体。块状岩体指块状的火成岩与变质岩，层状岩体指沉积岩、沉积变质岩、喷出火成岩等具有原生成层的岩体。

在岩体结构类型划分中，考虑了岩体结构体的块度尺寸。本围岩分级中，块状岩体分为整体状结构、块状结构与散块状结构、碎裂镶嵌结构与碎裂状结构、散体状结构(见表 1)。碎裂镶嵌与碎裂状结构，虽然块体大小相同，但其咬合程度不同，因而完整性不同。

表 1 块状岩体按结构体块度的划分

岩体结构类型	块度尺寸(以结构面平均间距表示)(m)
整体状结构	>0.8
块状结构与散块状结构	0.4~0.8
碎裂镶嵌与碎裂状结构	0.2~0.4
散体状结构	<0.2

层状岩体按其单层厚度分为厚层、中厚层与薄层，但层状岩体结构类型中按层间结构程度，又细分为层间结合良好、较好和不良的三种情况，此外，还增加了软硬岩互层岩体结构类型。

(2) 构造影响程度和结构面发育情况。围岩分级(本规范表 3.0.2)中，按地质构造影响大小可分为影响轻微、较重、严重、很严重四级。

结构面发育情况包括节理裂隙或层面的密度(间距)、组数、贯通程度、闭合程度、充填情况和结合情况等。主结构面与洞轴线的不同交角关系，对拱部和边墙的安全性可以有不同的影响。如主结构面为小于 30° 的缓倾角时，拱部需采用以锚杆为主的支护型式。

软弱结构面及其组合关系，对围岩稳定性有重要影响。所谓软弱结构面，是指软弱夹层、破碎带、软弱泥化带、断层及夹泥层结构面等。软弱结构面的间距与组数，软弱结构面与洞轴线、临空面的不利组合以及由软弱结构面形成的可能滑移的不稳定块体的大小与

数量，都会危及围岩的稳定程度。本规范表 3.0.2 中反映了上述因素对围岩稳定性分级的影响。

(3)岩体纵波速度与岩体完整性系数。岩体纵波速度 V_{pm} 能综合表达岩体质量，而岩体完整性系数 K_v 只能表示岩体的完整性，围岩分级(本规范表 3.0.2)中采用以岩体和岩石声速速度的平方比表示岩体完整性系数 K_v 。表 3.0.2 中引用的各类围岩的 V_{pm} 和 K_v 数值，大致与国内外常用的数据相接近，尚需在今后实践中不断修正。

本规范围岩分级(表 3.0.2)中的声波速度测试规定采用孔测法。为测试方便起见，今后需开展锤击法测试的研究。

2)岩石强度。由于岩块强度可由室内试验获得，因此，围岩分级中一般采用岩石单轴饱和抗压强度(P_c)作为强度指标。该强度既考虑了地下水对岩石软化，又考虑了岩石的风化情况，同时，它与其他力学指标有较好的互换性，而且，试验方法简单可靠。

为了消除岩块加工的麻烦，对小型工程可采用点荷载强度代替单轴抗压强度。

按本规范围岩分级(表 3.0.2)中所给的单轴饱和抗压强度值，可将岩石分为 A、B、C、D、E 五级(见表 2)。

表 2 岩石强度等级划分

岩石强度等级	单轴饱和抗压强度(MPa)	代表性岩石
A	>60	花岗岩，闪长岩，安山岩，玄武岩，流纹岩，晶质凝灰岩等火成岩类；片麻岩，片岩，大理岩，石英岩等变质岩类
B	30~60	硅质、铁质胶结的砾岩，砂岩，硅质页岩，石灰岩，白云岩等沉积岩类
C	20~30	红色砂岩
D	10~30 (整体状 10~20)	泥质页岩，泥灰岩，粘土岩，泥质砂岩和砾岩，绿泥石片岩，千枚岩，部分凝灰岩
E	<10	

实际上，与围岩稳定性直接有关的因素是岩体强度，但岩体强度需在现场测试，一般不容易做到。因此，在围岩分级中常引入岩体准抗压强度概念，以近似代替岩体强度。准抗压强度可用岩体完整性系数 K_v 与岩石单轴饱和抗压强度 R_c 的乘积表示。岩体完整性系数取决于岩体结构类型。因此，相同的岩石抗压强度相对于不同结构类型的岩体，其岩体准抗压强度是不同的。目前，围岩分级中，常用岩体准抗压强度作为分级指标。考虑到岩体完整性系数与岩体结构类型相对应，因此，在本规范围岩分级中，主要以岩体结构类型与岩石单轴饱和抗压强度不同组合确定围岩级别。

3.0.4 围岩分级表(本规范表 3.0.2)中考虑了地应力的影响，一般在 I、II 级围岩中，岩体强度较高，地应力对围岩稳定性基本无影响，可不予考虑，而在 III、IV 级围岩中则需考虑。表征地应力影响的指标采用围岩强度应力比 S_m ，见本规范公式(3.0.4-1)。

在本围岩分级中确定 S_m 时，参照了国外建议的岩石强度应力比(见表 3)，即

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

同时，根据对国内某些矿区和隧道的调查，一般埋深在 300m 以上时，显示出较明显的地压现象，支护破坏率增高。据此，我们把 III 类围岩的 S_m 极限值定为 2，IV 类围岩的 S_m 极限值定为 1。

表 3 国外采用的岩石强度应力比(f_r/σ_1)分级

分 级	低地应力	中地应力	强地应力
分类法			
法国隧协	>4	2~4	<2
日本应用地质协会	>4	2~4	<2
前苏联顿巴斯矿区	>4	2. 2~4	$<2. 2$
日本国铁隧规	>6	4~6	2~4

3.0.5 在Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级围岩中，地下水是造成围岩失稳的重要因素之一，它可使岩石软化，强度降低；还可使软弱结构面泥化或冲走充填物，减少摩阻力，促使岩块滑动；地下水还可造成膨胀地压。

在Ⅰ、Ⅱ级围岩中，岩石坚硬，软弱结构面较少，本围岩分级中一般不再考虑地下水影响。但Ⅰ、Ⅱ级围岩中若有充泥的软弱结构面存在，有时要求对软弱结构面进行加固处理。因此Ⅲ、Ⅳ级围岩则应按地下水规模、岩石和结构面的软弱程度及地下水对围岩稳定性的危害大小，酌情降低围岩级别。

围岩中地下水的规模可分为四类：

- 渗——裂隙渗水；
- 滴——雨季时有滴水；
- 流——以裂隙泉形式，流量小于 10L/min；
- 涌——涌水，有一定压力，流量大于 10L/min。

3.0.6 在Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级围岩中，当存在断层或软弱夹层时，应审慎地选择洞轴线的方向，使其与断层或软弱夹层大角度相交。不然，当洞轴线与主要断层或软弱夹层交角较小时，则会影响隧洞的稳定性，当夹角小于 30° 时，则围岩级别应降低一级。

4 锚喷支护设计

4.1 一般规定

4.1.1 目前，地下工程中锚喷支护设计有工程类比法、监控量测法与理论验算法等三种方法，尤以工程类比法应用最广，通常在工程设计中占主导地位。因而，本条规定三种设计方法中以工程类比法为主。但考虑到某些地质复杂、经验不多的地下工程，单凭工程类比法不足以保证设计的可靠性和合理性，此时应结合其他的设计方法。

监控量测法是一种较为科学的设计方法，应当予以高度重视和大力推广。本规范相应条文中规定，对不稳定的，稳定性差的软弱围岩或较大跨度的工程，应采用监控量测法。理论验算法既是当今地下工程支护设计中的一种辅助方法，又是今后设计的发展方向，但鉴于岩体力学参数难以准确确定以及在计算模式方面还存在一些问题，因而，通常只作为工程设计中的辅助手段。本规范相应条文中规定，对处在稳定性较好的围岩中的大跨度工程，锚喷支护设计应辅以理论验算。此外，无论何种情况下，凡可能出现局部失稳的围岩，都需要通过理论计算，进行局部加固。

4.1.2、4.1.3 在地下工程设计和施工中，必须十分强调做好地质勘察工作。地质勘察工作是工程选点、围岩分级和结构设计的基础，是指导施工的依据，尤其是采用锚喷支护的地下工程，要求充分利用围岩自身承载能力，更需要查明工程地质情况。

划分围岩级别通常分为两个阶段：勘察阶段初步划分围岩级别与施工阶段详细划分围岩级别。

勘察阶段初步划分围岩级别。主要内容是根据隧洞开挖前获得的地质资料选定洞轴线，并根据沿洞轴线的地质剖面图，按分级表中的定性指标与岩石强度，初步确定各段围岩级别。然后，根据初定的围岩级别及工程尺寸，按锚喷支护参数表(见本规范表 4.1.2-1、表 4.1.2-2)确定支护的类型和参数。

施工阶段详细划分围岩级别。主要内容是深入查明开挖地段的工程地质与水文地质情况，并进行围岩声波测试和岩石点荷载测试等工作；绘制沿洞轴线的综合地质素描图或展示图，标出围岩不稳定块体的出露位置和大小、滑塌方向；确定岩体强度应力比，详细地确定各段围岩级别，作为修正原设计支护类型和参数的依据。

本规范中“隧洞和斜井的锚喷支护类型和设计参数”(见表 4.1.2-1)的编制，其基本依据是国内大量工程实践和各部门现行的技术规定。

围岩产状不同，结构面走向与洞轴线交角大小不同，对隧洞拱部和边墙稳定性影响也就不同。故支护参数表 4.1.2-1 对 I、II、III 类围岩中一些不同跨度的隧洞，给出了两种支护参数，即对于缓倾角围岩中的隧洞拱部及急倾角围岩中的隧洞易失稳一侧的边墙，应优先采用锚杆支护类型，使支护设计既安全可靠，又经济合理。

从国内 112 个锚喷支护隧洞工程实例统计的情况来看，锚杆的长度，大体如表 4 所示。

表 4 统计的锚杆长度(m)

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	—	—	—	—	2~4
II	—	1.5~2.5	2~3	2.5~3.0	1.5~4
III	1~2	1.5~3.0	1.5~3.5	2~4	—
IV	1.5~2	2~3	2~3.5	2.5~3	—
V	1.5~2.5	2~3	—	—	—

本规范“隧洞和斜井的锚喷支护类型和设计参数”(见表 4.1.2-1)中不同围岩级别,不同隧洞跨度中选用的锚杆长度,大体上与工程实践相一致。但对Ⅱ、Ⅲ级围岩中跨度大于 15m 并小于 25m 的洞室工程,必要时锚杆长度应大于表 4 中所给的数值或采用预应力锚杆,以确保工程的稳定性。

4.1.4 Ⅳ、Ⅴ级围岩和Ⅲ级围岩中跨度大于 5m 的工程,因地质条件复杂,容易出现事故,所以单靠工程类比法设计是不够的。本条文规定表明,Ⅳ级以下围岩的初期支护参数,可按照锚喷支护参数(见本规范表 4.1.2-1)中给出的数值确定,而后期支护应根据监控量测法设计确定。并注意,初期支护参数,应小于锚喷支护参数(表 4.1.2-1)中的数值,因为表 4.1.2-1 中给出的数值是初期支护与后期支护之和。

4.1.5 本条规定对Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级围岩中跨度大于 15m 的工程,除按照本规范表 3.1.2-1 选择锚喷支护参数外,还需对围岩稳定性进行力学分析,最终确定支护设计参数。这是由于目前大跨度工程实例还不多,其次是大跨度隧洞围岩不稳定性增大,所以,为保证安全可靠和获得合理支护参数,有必要对围岩的稳定性进行力学验算或通过模型试验进行稳定性分析。

4.1.6 关于围岩整体稳定性验算,目前国内外尚无统一的标准。围岩应力状态计算方法也不统一,但多数认为应以弹塑性理论为计算依据,若只按弹性理论进行围岩失稳验算是不合理的。因为不让围岩进入塑性,违反了现代支护理论的基本原则,即无法充分发挥围岩的自承能力。事实也表明,围岩出现一定范围的塑性,并不会失稳,反而能充分发挥围岩的自承能力,从而节省了锚喷支护工程量。因此,本条中规定围岩稳定性验算可采用以弹塑性理论为基础的数值解法或解析解法。由于岩体参数不易准确确定,因此,计算中不必过于追求高精度的计算模型和计算方法。也允许采用将弹性应力代入莫尔-库伦准则求塑性区的计算方法,这样求出的塑性区范围一般偏小,可乘以 1.1~1.4 的系数。

目前,尚无评定围岩稳定性的标准方法。但从理论分析可知,限制围岩受拉区、塑性区和松弛区的最大范围或隧洞周边的最大位移量,或洞周的最小支护抗力值,都能起到控制围岩失稳的作用,问题是其量值应为多少才合适,缺乏统一的标准,目前主要是依据设计人员的经验和参照过去的工程实例来确定。洞周的允许位移量亦可参考本规范表 5.3.3 来确定。

本条规定体现了围岩局部失稳采用局部加固的设计原则。设计人员根据施工阶段沿洞轴线地质展示图上标出的围岩不稳定块体的大小,采用锚喷支护参数(本规范表 4.1.21)中给出的支护参数,用块体极限平衡方法进行局部稳定性验算。荷载只考虑不稳定块体的自重,一般不计由地应力作用引起的围岩应力。这是因为应力重分布导致不稳定块体周边的应力降低,同时,由于地应力数值不易取得和不便计算。拱腰以上部位的不稳定块体,一般呈现塌落的形式失去稳定,因而不计结构面上的 C 、 ϕ 值;而拱腰以下部位的不稳定块体,则呈现滑落的形式,应计自重引起的摩擦力作用,有时还考虑结构面上的粘结力作用。

4.1.7 对边坡工程锚喷支护设计,应在充分掌握边坡的地质勘察资料的前提下,首先根据岩土性状和岩土结构特征等分析判断可能出现的失稳破坏类型,如平面滑动、圆弧滑动、楔体滑动和倾倒破坏等。

对于一般的边坡稳定问题,可采用极限平衡法求解。对于复杂的边坡稳定问题,可采用数值分析方法处理。边坡采用数值分析方法的合理性主要取决于计算模型及计算参数是否符合边坡的客观状况。数值分析方法能模拟边坡开挖程序和锚杆施作时机,反映施工过程中诸因素的变化对边坡稳定性的影响,给出边坡开挖后的位移场和应力场。显示塑性区和拉应力区分布的部位,这些都为边坡的锚固设计提供重要依据。

4.1.8 由于现场测试中,存在着选取测点的代表性和岩体试件的尺寸效应等问题,设计中选用的 E 、 C 、 ϕ 值均较实测值低。尤其当围岩进入塑性破坏后,塑性区中 C 、 E 值随之降低,靠近洞壁的 C 、 E 值降低多,而靠近弹塑性区交界处, C 、 E 值降低少。如果计算中不考虑塑性区中 C 、 E 值的这种变化,则应取 C 、 E 的平均值作为计算参数,其值通常可由设计人员及勘察人员,按实测值和现场实际情况商定。实践表明,塑性区中 ϕ 值降低不

多，一般不再考虑折减。

在本条中还根据 1995 年颁布的现行国家标准《工程岩体分级标准》GB 50218 给出了各级围岩的力学指标及岩体结构面抗剪断峰值强度。

地应力或支护前洞壁的位移值或释放荷载值，在条文中虽未作规定，但这两个数据都是计算中所必要的，无论在数值计算或分析计算中，都需要知道这两个数据。

对于重要工程，宜采用实测的地应力值。无实测条件时，垂直地应力可按覆盖层的厚度计算确定，侧压系数值可参照当地其他工程实测资料和该地区地质构造情况估计确定。

支护前洞壁位移或释放的荷载值，随施工方法的不同而不同，目前只能借助实测值和经验来确定。如果是实测值，还应考虑量测前已产生的位移和释放的荷载。目前，有些程序中以洞壁实测位移作为边界条件，这种计算方法更能反映实际情况。

对封闭式支护结构，如果计算中不考虑隧洞开挖和支护程序，则支护前洞壁位移值可以近似取仰拱封底前的洞壁位移值或略小于该位移值。

4.1.9 竖井通常是矿山开采的咽喉工程，一般服务年限较长，故在选用锚喷支护时，均采用审慎态度。鉴于目前Ⅳ、Ⅴ级围岩的竖井中，采用锚喷支护的实例不多，故在竖井锚喷支护类型及设计参数(本规范表 4.1.2-2)中，仅列入Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级围岩竖井锚喷支护类型与参数，而且，其支护参数均比同等横断面的隧洞有所增大。

4.1.10 本条规定主要是针对地下工程的特殊部位而言，体现了因地制宜、区别对待的设计原则，以确保工程设计既安全可靠、又经济合理。

1 隧洞交岔点、断面变化处等特殊部位，是应力比较集中的地方，加强其支护结构，以确保这些地段的稳定性。

2 喷射混凝土支护的作用，主要是依靠它与围岩表面的紧密粘结来保证其与围岩共同工作的。在光滑岩面上，这种粘结力就很小，因此，应采用以锚杆或钢筋网喷射混凝土为主的支护类型，以获得足够的支护抗力，有效地加固围岩。

3 围岩较差地段的支护应向围岩较好地段延伸一定长度，一般来说应延伸 1.0m 以上。

4.1.11 本条规定中提出的 6 种地质条件都不属于本规范围岩分级中的正常类型。一些试验表明，在膨胀性岩体中，采用锚喷支护与其他支护形式相结合的复合支护是行之有效的，采用锚喷支护作为复合支护的初期支护是适宜的。在其余 5 种情况下，采用锚喷支护尚无足够把握。总的来说，本条所述 6 种岩层采用锚喷支护都缺乏经验，因而，其设计需要经过试验后确定。

4.2 锚杆支护设计

4.2.1 本条规定中所列出的前 4 种锚杆类型是按锚杆的作用原理来划分的，后 1 种自钻式锚杆是本次修订规范时新增的。

全长粘结型锚杆是一种不能对围岩加预应力的被动型锚杆，适用于围岩变形量不大的各类地下工程的永久性系统支护。

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

摩擦型锚杆，安装后可立即提供支护抗力，并能对围岩施加三向预应力，韧性好，适用于软弱破碎、塑性流变围岩及经受爆破震动的矿山巷道工程。

预应力锚杆能对围岩施加大于 200kN 的预应力，且能处理深部的稳定问题，适用于大跨度地下工程的系统支护及局部大的不稳定块体的支护。

自钻式锚杆，是一种具有钻进、注浆、锚固三位一体的锚杆，在复杂地层或需套管护壁钻进且工作空间狭小条件下，施工简便、锚固效果较好。

4.2.3 端头锚固型锚杆，国内目前有以下几种结构形式(见图 1)。其中机械式锚固适用于硬岩或中硬岩；粘结式锚固除用于硬岩及中硬岩外，也可用于软岩。端头锚固型锚杆的作用主要取决于锚头的锚固强度。在锚头型式选定后，其锚固强度是随围岩情况而变化的。

因此，为了获得良好的支护效果，使用前，应在现场进行锚杆的拉拔试验，以检验所选定的锚头是否与围岩条件相适应。

由于地下水或潮湿空气的长期作用，端头锚固型锚杆的杆体和锚头易发生锈蚀，可使其锚固力减小或完全丧失。因此，服务年限大于 5 年的端头锚固型锚杆，应采取灌注水泥砂浆或其他防腐措施。

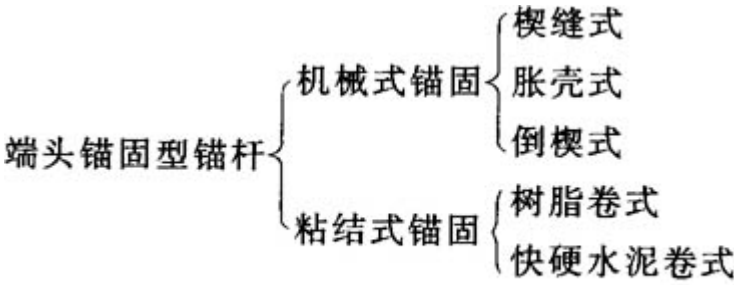


图 1 端头锚固型锚杆结构形式

粘结式锚固端的锚固剂，国内有树脂卷和快硬水泥卷两种。树脂锚固剂目前广泛采用 115 松香封端不饱和聚脂树脂。树脂与填料之比一般为 1:5~1:7，这种锚固剂的特点是固化时间短(由几十秒到几分钟)，强度增长快(半小时强度可达 28d 强度的 65%~96%)，强度高(最终强度达 60~120MPa)。因此，能及时提供支护能力。

快硬水泥卷锚固剂由硫铝酸盐水泥和双快型水泥配制而成，水泥卷内的装填密度为 1.14~1.48g/cm³，使浸水后的水灰比控制在 0.34~0.35 范围内。这种快硬水泥锚固剂，强度增长快(0.5~1.0h 强度可达 20MPa)。因此，快硬水泥卷锚杆也有能及时提供支护抗力的特点。

4.2.4 摩擦型锚杆，目前国内有全长摩擦型(缝管式)和局部摩擦型(楔管式)两种。摩擦型锚杆是一根沿纵向开缝的钢管，当它装入比其外径小 2~3mm 的钻孔时，钢管受到孔壁的约束力而收缩，同时，沿管体全长对孔壁施加弹性抗力，从而锚固其周围的岩体。这类锚杆的特点是安装后能立即提供支护抗力，有利于及时控制围岩变形；能对围岩施加三向预应力，使围岩处于压缩状态；而且，锚固力还能随时间而提高。

锚杆纵向开缝宽度规定为 13~18mm，是基于当锚杆打入比其外径小的钻孔时，开缝不会全闭合甚至重叠。

工程实践表明，当其他条件不变时，摩擦型锚杆的锚固力随锚杆与钻孔径差的加大而增高。要保证锚杆每米锚固长度的初锚固力不小于 25kN，径差常取 2~3mm。此外，当径差不变时，锚杆锚固力又同岩石的软硬程度密切相关，在硬岩中的锚固力远比在软岩中的为高。因此，对于硬岩、中硬岩和软岩，规定了不同的径差。

在某些特定条件下，需要提高摩擦型锚杆的初锚固力时，可采用带端头锚楔的缝管锚杆或楔管锚杆。工程实践表明，在硬岩条件下，采用带端头锚楔的缝管锚杆或楔管锚杆，可使初始锚固力增加 50kN 以上。

4.2.5 本条的预应力锚杆是指预拉力大于 200kN，长度大于 8.0m 的岩石锚杆。与非预应力锚杆相比，预应力锚杆有许多突出的优点。它能主动对围岩提供大的支护抗力，有效地抑制围岩位移；能提高软弱结构面和塌滑面处的抗剪强度；按一定规律布置的预应力锚杆群使锚固范围内的岩体形成压应力区而有利于围岩的稳定。此外这种锚杆施工中的张拉工艺，实际上是对每根工程锚杆的检验，有利于保证工程质量。因而近年来国内外在地下工程及边坡工程中预应力锚杆的应用获得迅速发展。这次规范修订中，将预应力锚杆设计、施工及试验监测作为重点充实的条款。

1 目前国内普遍采用的预应力锚杆是一种集中拉力型锚杆，大量的研究资料已经证实这种锚杆固定长度上的粘结应力分布是极不均匀的，固定段的最近端应力集中现象严重，随着荷载的增大，并在荷载传至固定长度最远端之前，杆体—灌浆体界面或者灌浆体—地层界面就会发生“粘脱”(debonding)。这种粘结作用逐步破坏的锚杆一般都会大大降低地层

强度的利用率，特别在软岩和土层中，当固定长度大于8~10m时，其承载力的增量很小或无任何增加。国内已开发出一种单孔复合锚固系统，即压力分散型或拉力分散型锚杆。这种锚固系统是在同一个钻孔中安装几个单元锚杆，而每个单元锚杆都有自己的杆体，自己的锚固长度，而且承受的荷载也是通过各自的张拉千斤顶施加的。由于组合成这类锚杆的单元锚杆锚固长度很小，所承受的荷载也小，锚固长度上的轴力和粘结应力分布较均匀，不会产生逐步粘脱现象，从而能最大限度地调用地层强度。从理论上讲，使用这类锚杆的整个锚固长度并无限制，锚杆承载力可随着整个锚固长度的增加而提高，适用于软岩或土体工程。特别是压力分散型锚杆，其单元锚杆的预应力筋采用无粘结钢绞线，在荷载作用下灌浆体受压，不易开裂，因而能大大提高锚杆的耐久性。

2 锚杆的倾角主要应考虑有利于地下工程与边坡和稳定性，一般锚杆轴线应与岩体主结构面或滑移面成大角度相交。

但是与水平面夹角为 $-10^{\circ} \sim +10^{\circ}$ 的区域不应作安设锚杆的范围。因为倾角接近水平的锚杆，注浆后灌浆体的沉淀和泌水现象，会影响锚杆的承载能力。

3 锚杆预应力筋采用钢绞线、钢丝或精轧螺纹钢是最为适合的。一是因为其抗拉强度远比II、III级钢筋高，可以大幅度降低锚杆的用钢量。二是当预拉力达到锚杆拉力设计值时，预应力筋产生的弹性伸长比II、III级钢筋大若干倍，这样当锚头松动或其他原因使预应力筋弹性伸长变小时，所引起的预应力损失要小得多。三是钢绞线、钢丝运输安装方便。即使在较狭窄的空间也可施工。对穿型锚杆应采用无粘结钢绞线，一方面可大大提高锚杆的耐久性，另一方面当锚杆长度上某部位出现岩体裂隙张开时可在整个长度上调整应力，而不会发生粘结型锚杆那样的应力集中和局部破坏。

4 规定锚杆的自由段长度不宜小于5.0m，是为了使预应力筋在设定的张力作用下有较大的弹性伸长量，不致在锚杆使用过程中因锚头松动而引起预拉力的显著衰减。

5 本条给出的安全系数K适用于预应力锚杆锚固段的设计。按锚杆破坏后影响程度和服务年限的长短给出了不同的安全系数，其取值主要考虑锚杆设计中的不确定因素及风险程度，其数值是参照国外有关标准及中国工程建设标准化协会标准《土层锚杆设计与施工规范》CECS 22的有关条款的规定提出的。

6 处于地层中的预应力锚杆经常受到地下水(特别是含有腐蚀介质的地下水)的侵蚀，而在高拉应力作用下，预应力筋则会出现应力腐蚀。一般腐蚀和应力腐蚀交织在一起，国外已出现不少因腐蚀而导致锚杆破坏的实例。如法国米克斯坝，有几根13000kN承载力的锚杆仅使用几个月就发生断裂。锚杆的应力水平是杆体强度极限值的67%。经多次试验的结论是，处于高拉伸应力状态下的锈蚀是破坏的主要原因。1986年国际预应力协会(FIP)曾对35个锚杆断裂实例进行调查。其中永久锚杆占69%，临时锚杆占31%，锚杆使用期在2年内及2年以上发生腐蚀断裂的各占一半。由此可见，因腐蚀而引起的锚杆破坏是不能忽视的。

因此，本条规定永久性预应力锚杆预应力筋的保护层厚度不应小于20mm，并宜外套波形管，一旦锚固段的水泥浆体出现开裂，波形管仍有阻隔地下水浸蚀的作用。

4.2.6 自钻式锚杆适用于钻孔过程易塌孔，而必须采用套管跟进的复杂地层。这种锚杆将钻孔、注浆及锚固等功能一体化，在隧道超前支护系统及高地应力，大变形巷道的变形控制等工程中均取得良好效果。

目前国产的自钻式锚杆的技术参数见表5。

表 5 自钻式锚杆技术参数

型 号	R27N	R32N
直径 / 壁厚(mm)	27/6. 0	32/6. 0
抗拉强度(MPa)	680	680
抗拉力(kN)	280	320
重量(kg/m)	3. 0	3. 6
螺纹方向	左旋	左旋
标准长度(m)	2. 0, 3. 0, 4. 0	
最大钻进深度(m)	>12	

4.2.7 锚杆与岩体主结构面成较大角度布置，则能穿过更多的结构面，有利于提高结构面上的抗剪强度，使锚杆间的岩块相互咬合，充分发挥锚杆加固围岩的作用。

系统锚杆的间距，除受围岩稳定条件及锚杆长度制约外，在稳定性较差的岩体中，为使支护紧跟掘进工作面，锚杆的纵向间距还受掘进进尺的影响。所以，锚杆纵向间距的选定，还要与所采用的施工方法相适应。系统锚杆主要对围岩起整体加固作用。根据工程经验，为使一定深度的围岩形成承载拱，锚杆长度必须大于锚杆间距的两倍。因此，规定系统锚杆的间距不宜大于锚杆长度的 1/2。但是，在Ⅳ、Ⅴ类围岩中，当锚杆长度超过 2.5m 时，若仍按间距不大于 1/2 锚杆长度的规定，则锚杆间的岩块可能因咬合和联锁不良，而导致掉块或坠落。因此，还规定在Ⅳ、Ⅴ类围岩中，锚杆间距不得大于 1.25m。

4.2.8 本条规定是为了充分发挥锚杆材料的作用，提供有效的支护抗力，阻止不稳定岩块的坠落。

4.2.9 粘结型锚头的破坏，在裂隙交割的坚硬岩体中，一般受胶结材料与杆体间的粘结强度控制，而在软弱的岩体中，有时则受胶结材料与岩面的粘结强度控制。故本条规定，粘结型锚固体锚入稳定岩体长度的确定应同时验算两种不同情况的粘结强度。

4.3 喷射混凝土支护设计

4.3.1 喷射混凝土强度等级是决定其力学性能和耐久性的重要指标，对支护结构的工作性能和使用效果关系重大。因此，本条文规定对于重要地下工程，喷射混凝土的强度等级不应低于 C20，施工中只要遵守本规范的有关规定，一般均能达到设计要求的强度等级。由于地下工程与地面结构不同，喷射混凝土施工后要求具有较高的支护抗力，特别在软弱围岩中喷射混凝土早期强度至关重要。根据国内外对喷射混凝土早期强度的试验资料(见表 6)，本条规定在添加速凝剂条件下，喷射混凝土 1d 龄期的抗压强度不应低于 5MPa。

国内外的试验资料表明，与不掺钢纤维的喷射混凝土相比，钢纤维喷射混凝土的抗拉强度约提高 30%~60%，抗弯强度约提高 30%~90%，故本条规定在掺入速凝剂的情况下，钢纤维喷射混凝土的强度等级不得低于 C20，抗拉强度不得低于 2MPa。

表 6 喷射混凝土早期抗压强度(MPa)

龄期(h)	3	8	24
测定单位			
日本(新奥法指南)	1. 0~3. 5	5. 0~8. 5	10. 5~15. 0
美国	3. 5	8. 4	10. 6~21. 0
中国(下坑隧道工程)	—	2. 3~2. 5	6. 5~6. 7
中国(冶金部建筑研究总院)	—	2. 5	8. 3

4.3.2 喷射混凝土的容重、静力弹性模量的规定值，是在综合分析国内有关单位的科学实验资料及工程质量检验数据基础上提出的。喷射混凝土与围岩的粘结力，不仅与混凝土强度等级有关，也与岩石强度和岩体的完整性有关。故本规范规定，对Ⅰ、Ⅱ级围岩，粘结

强度不应小于 0.8MPa，Ⅲ级围岩不应低于 0.5MPa。对粘结强度作相应的规定，其目的是保证在围岩与喷射混凝土的结合面上能传递一定的拉应力和剪应力，有利于两者共同工作。

4.3.3 喷射混凝土的收缩较大，若其厚度小于 50mm 时，喷层中粗骨料的含量甚少，更容易引起收缩开裂。同时，喷层过薄也不足以抵抗岩块的移动，常出现局部开裂或剥落。近几年来，有关部门对喷射混凝土支护使用情况调查结果表明，喷射混凝土支护层产生局部开裂剥落者，其厚度多在 50mm 以下，也有 30~40mm 的。因此，本条规定喷射混凝土支护的最小厚度不应小于 50mm。

根据锚喷支护原理，要求喷层具有一定的柔性。因此，规定喷射混凝土厚度一般不应超过 200mm，特别在软弱围岩中作初期支护，喷层过厚，会产生过大的形变压力，易导致喷层出现破坏，这是不经济的。当喷层不能满足支护抗力要求时，可用锚杆或配筋予以加强。

4.3.4 在含水岩层中采用喷射混凝土支护，规定喷层设计厚度不应小于 80mm。抗渗强度不应小于 0.8MPa，是为了严格控制外水内渗，以保证良好的工作条件。

4.3.5 冲切强度公式适用于岩石与喷射混凝土粘结强度得到保证，且厚度不大于 100mm 的喷射混凝土层。因此，本条规定在 I、II 级围岩的隧洞中，薄层喷射混凝土对局部不稳定块体的抗力可按本规范公式 (4.3.5-1)、(4.3.5-2) 计算。当喷层厚度大于 100mm 或喷层与围岩粘结强度很低时，在局部不稳定块体作用下，喷层呈现粘结破坏。这时，需设置锚杆，由喷层与锚杆共同承受不稳定块体的重量。

4.3.6 大量的试验资料表明，钢纤维喷射混凝土的一系列性能都优于普通喷射混凝土，特别是它具有良好的韧性(即从加荷开始直至试件完全破坏所作的总功，常以荷载-挠度曲线与横坐标轴所包络的面积表示)，约比素喷混凝土提高 10~50 倍(图 2)，抗冲击能力约比素喷混凝土提高 8~30 倍。故规定在膨胀岩体隧洞和受采动影响的巷道中，宜采用钢纤维喷射混凝土支护。

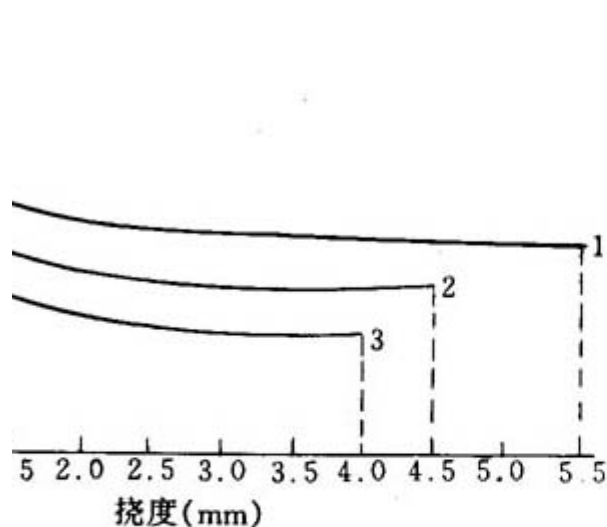


图 1 喷射混凝土小梁荷载—挠度曲线

1—钢纤维直径 0.3mm，长 25mm，体积掺量 2%；2—钢纤维直径 0.4mm，长 25mm，体积掺量 2%；3—钢纤维直径 0.4mm，长 25mm，体积掺量 1.5%；4—素喷混凝土

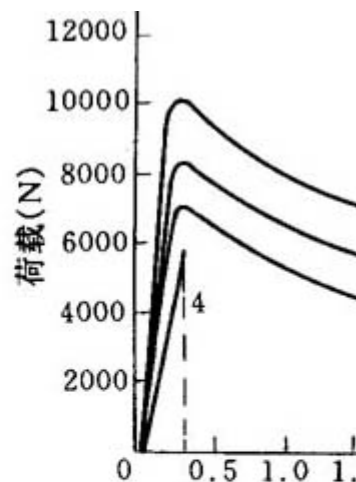


图 2 钢纤维喷射混凝土小梁荷载—挠度曲线

4.3.7 本条说明如下：

1 钢纤维喷射混凝土的破坏，通常不是纤维被拉断，而是纤维从混凝土中被拔出，也就是说，钢纤维喷射混凝土增强性能主要是由纤维和混凝土基质的握裹力来决定。因此，普通碳素钢纤维就能满足钢纤维的增强要求。

2 当纤维体积百分率不变时，纤维直径增大，则纤维在混凝土中的分布间距也随之增大；反之，纤维直径减小，纤维间距也随之减小。纤维间距越小，对混凝土裂缝扩展的约束能力也就越强，使混凝土的各种性能更能得到强化。但纤维直径过小，会使纤维添加和钢纤维混凝土的搅拌和施工发生困难。因此，钢纤维的直径以 0.3~0.5mm 为宜。

3 钢纤维的长度和掺量主要是由喷射混凝土的施工工艺决定。实践表明，纤维长度大于 25mm，掺量超过干混合料重量 6% 时，搅拌的均匀性和喷射施工就要发生困难。主要表现为在搅拌时纤维容易绞结在喷射机中。因此，钢纤维长度不要超过 25mm，掺量不宜大于干混合料重量的 6%。

4.3.8 在一般情况下，地下工程喷射混凝土支护中配置钢筋网，其主要作用是提高喷射混凝土的整体性，防止收缩，使混凝土中的应力均匀分布，并提供一定的抗剪强度，有利于抵抗岩石塌落和承受冲击荷载。

1 钢筋网常按构造要求设计，故选用的钢筋直径宜为 4~12mm。

2 实践表明，当钢筋间距小于 150mm，喷射混凝土回弹大，且钢筋与壁面之间易形成空洞，不能保证混凝土的密实度；当钢筋间距大于 300mm 时，则将大大削弱钢筋网在喷射混凝土中的作用，因此，规定钢筋的间距应为 150~300mm。

3 钢筋保护层厚度不应小于 20mm，这与普通钢筋混凝土的规定是一致的。由于在过水隧洞中，喷射混凝土要经受高速水流长期的、反复的冲刷作用，其表层容易磨蚀，因此，规定钢筋保护层厚度不应小于 50mm。

4.3.11 本条说明如下：

1 当围岩变形量小时，钢架可采用钢管或其他轻型钢材制成的刚性钢架；当围岩变形量大时，宜采用 U 型钢制成的可缩性钢架。在可缩性节点处，应能使其自由压缩，以适应钢架的柔性卸压作用，故不宜在联接节点处喷上混凝土。

2 设置钢架处，钢架保护层厚度小于 40mm 时，常引起喷层收缩开裂，从而恶化钢架使用条件，引起钢架腐蚀，故规定钢架保护层厚度不应小于 40mm。

3 规定钢架立柱埋入底板的深度不应小于水沟底面水平，是为了保证钢架的稳定性，而不致使其在侧压力作用下被挤向巷道中。

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 本条主要针对覆盖岩层厚度为 1~3 倍洞跨的浅埋岩石隧洞而言，由于浅埋岩石隧洞的覆盖层不可能形成完整的支承环，支护结构主要承受岩体的松散压力，它比深埋条件下支护所承受的荷载更大一些。因此，支护刚度和厚度也要比深埋条件下的隧洞要大一些。对本规范表 4.4.1 所列之外的 I、II 级围岩，在类似埋深和跨度条件下，如果施工合理，基本不出现岩体过大松动，因而锚喷支护参数不必加强。目前，锚喷支护用于浅埋岩石隧洞的工程实例见表 7。

表 7 浅埋隧洞锚喷支护工程实例

工程名称	地质条件	隧洞断面 宽×高(m)	洞顶覆盖 层厚度(m)	支护参数
××洞库 AB段	凝灰岩，大部 为块状结构， 属Ⅱ级围岩	13×7. 7	13	锚杆与钢筋网喷射混凝土联 合支护，喷层厚 80~100mm， 锚杆长 2. 0m，网筋直径 6~8mm
××Ⅱ线 2 号隧洞	砂岩和奥陶纪 石灰岩，岩体 破碎，断层宽 3~6m，节理产 状零乱，属 Ⅲ、Ⅳ级围岩	11×9	10	锚杆与钢筋网喷射混凝土联 合支护，喷层厚 150mm，锚 杆长 2. 0~2. 5m，网筋直径 18~22mm
下坑隧道	严重风化的千 枚岩，有地下 水，属Ⅳ、Ⅴ 级围岩	5. 0×6. 0	10~20	锚杆与钢筋网喷射混凝土联 合支护，喷层厚 180mm，锚 杆长 2. 0~2. 5m，网筋直径 8mm，仰拱厚 300mm
××村隧 道	严重风化的石 灰岩、属Ⅳ级 围岩	17×10	5~30	锚杆与钢筋网喷射混凝土联 合支护，喷层厚 200mm，锚 杆长 3m，网筋直径 16mm， 有仰拱

覆盖岩层厚度小于本规范表 4.4.1，洞跨超过本规范表 4.4.1 的浅埋隧洞，由于各种条件比较复杂和工程经验较少，本规范对这类浅埋隧洞采用锚喷支护未加限制，而是提出通过试验慎重确定。

4.4.2 浅埋隧洞的传统设计方法常采用浅部地压理论，即支护衬砌要承受上部覆盖的全部岩石重量。近年来，在一定条件下的浅埋岩石隧洞采用锚喷支护获得成功。但浅埋岩石隧洞围岩自支承能力的利用程度毕竟不同于深埋隧洞，在设计时务必采取审慎态度，其根本原则是不容许围岩出现较大的变形。本条中所有规定体现了要适当增加锚喷支护刚度，提高支护能力，以控制围岩的变形和松动，保证隧洞的稳定。

4.4.3 本条规定浅埋岩石隧洞考虑偏压条件，是参照国内有关标准规定，结合锚喷支护的工作特点提出的，仅适用于采用锚喷支护的浅埋岩石隧洞。

4.4.4、4.4.5 最近 10 多年来，我国城市地铁和市政隧洞采用配筋喷射混凝土与拱架相结合做初期支护已积累了一些经验，本条是在这些工程经验基础上提出的。为了慎重起见，提出了覆土厚度不小于 1 倍洞径的浅埋土质隧洞前提条件。但实际上我国已有了小于 1 倍洞径覆土厚度的工程经验，因数量较少，且条件比较复杂，故本条提出“应通过现场试验及监控量测确定”。但在地下水排干有困难的地层、厚淤泥质粘土层、厚层含水粉细砂层等极不稳定地层，本条提出在未采取有效措施前不宜采用的限制。

浅埋土质隧洞采用锚喷支护，其锚杆作用不很明显，故第 4.4.5 条提出的主要支护形式是钢筋网喷混凝土和钢架-钢筋网喷混凝土，而且强调施作仰拱，形成封闭结构。及时封闭是维护浅埋土质隧洞稳定的要点之一。浅埋土质隧洞锚喷支护工程实例见表 8。

表 8 浅埋土质隧洞锚喷支护工程实例

工程名称	地质条件	隧洞断面 宽×高(m)	洞顶覆盖 厚度(m)	支护类型及参数
北京地铁 复西区间 隧道	粉细砂及砂砾 石层松散，地 下水在—22m	6. 0×5. 4	9~12	喷层厚 300mm，钢筋网 ϕ 6~10mm，间距 150mm × 150mm 格栅拱架间距 750~1000mm 二次衬砌 350mm，仰拱封底
北京地铁 双线区间 隧道	亚粘土，粉细 砂及砂砾石， 无地下水	9. 45×7. 1	11	喷层厚 350mm，钢筋网 ϕ 6~10mm，双层排列格栅拱架 间距 500~750mm，二次衬砌 400mm，仰拱封底
北京复兴 门折返线 渡线	亚粉土，粉细 砂及砂砾土层 无地下水	14. 86×11	11	喷层厚 400mm，钢筋网双层布 置，格栅拱架间距 500mm，二 次衬砌 450mm，仰拱封底

4.4.6 本条主要规定了设计锚喷支护参数时的荷载确定方法，主要考虑浅埋土质隧洞覆土难以形成稳定的支承环，因此垂直土压力应以全土柱计算，这是偏于安全的。

4.4.7 浅埋土质隧洞开挖工作面土体的自稳时间较短。而喷射混凝土强度增长要经过一个间隔时间，这段间隔时间的土体稳定要靠安装牢固的钢架支撑。因此，本条强调钢架应具有能承受 40~60kN/m² 荷载的支撑能力。

4.4.8 浅埋土质隧道施工时，会遇到各种不稳定地质条件，应该重视地层预加固和预支护方法。这方面国内外已有不少成熟的经验，包括土体注浆加固、超前锚杆和长管棚等方法。当然，在采用注浆加固地层时，应考虑埋深浅，地下管网多的特点，浆压力应通过试验确定。

(II) 塑性流变岩体中隧洞锚喷支护设计

4.4.9 隧洞断面形状要尽量做到与围岩压力分布相适应，塑性流变岩体一般是四周来压或有很大的水平压力。因此，在这类围岩中的隧洞断面宜采用圆形、椭圆形或马蹄形等断面形状。采用圆滑曲线的断面轮廓，可以减小应力集中引起的围岩破坏和增强喷层的结构作用。

在塑性流变岩体中开挖隧洞，一条基本原则是不使围岩发生有害松散的前提下，容许围岩产生较大的变形，以减小支护抗力，使锚喷支护达到经济合理，安全可靠。因此，在隧洞的设计中，断面尺寸应预留允许的周边收敛量。

4.4.10 塑性流变岩体的主要特点是在隧洞开挖后，围岩变形量大，延续时间长。在这种情况下，正如“围岩支护”相互作用原理(图 3)所示的那样，若采用一次完成的刚性大的永久支护，对围岩过早地施加过强的约束力，会导致支护结构承受较大的荷载，甚至常出现弯曲破坏。

通过塑性流变岩体的隧洞，一般应分两次支护，即初期支护与后期支护。初期支护的作用是及时提供一定的支护抗力，使围岩不致发生松散破坏，同时，又允许围岩的塑性变形有一定发展，以充分发挥围岩的自支承作用。后期支护的作用是维持隧洞的长期稳定性，并满足防水等使用要求。

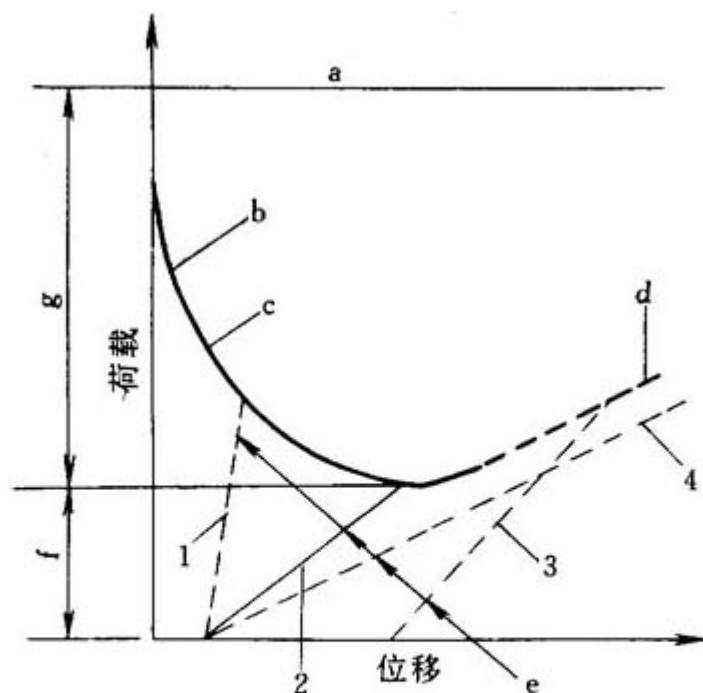


图3 岩石特性曲线与支护特性曲线相互作用图

a—原始地应力;b—岩石特性曲线;c—岩石拱形成;d—岩石拱破坏;

e—支护特性曲线;f—支护承受部分;g—岩石拱承受部分;

1—太刚;2—适宜;3—太晚;4—太柔

显然,在塑性流变岩体中,采用柔性较大的薄层喷射混凝土加锚杆做初期支护,是十分理想的。但是,也必须指出,塑性流变岩体有明显的时间效应。如图4所示,在不同的时间阶段,岩体的应力-位移曲线是不同的。比较柔性的锚喷支护在 t_1 、 t_2 时,支护特性曲线与岩体特性曲线相交,说明两者能取得平衡。这时,支护结构承受较小的荷载,但却引起相当大的位移。当超过 t_2 时,两者特性曲线不得相交,并出现过度的支护变形,易使围岩松散。因而,必须适时地提高支护抗力,进行后期支护,使支护特性曲线在 t_3 时,与围岩特性曲线相交,以保证隧洞的长期稳定性。

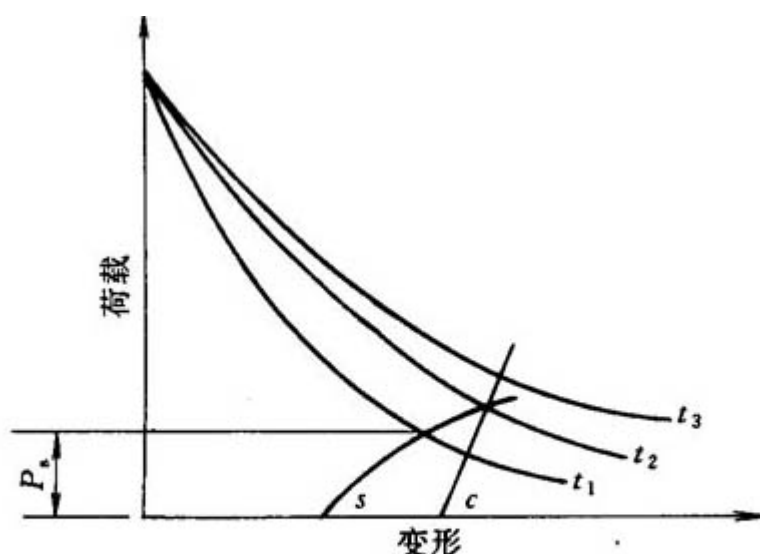


图 4 不同时间阶段围岩特性曲线与支护特性曲线的适应性

s —初期支护的特性曲线; c —后期支护的特性曲线; P_s —支护结构的抗力

在塑性流变岩体中开挖隧洞,由于岩体潜在应力的释放或岩体吸水膨胀,沿四周逐渐向隧洞内挤出。支护结构在一定程度上抑制了岩体的挤压膨胀,但如底部没有约束,围岩裸露,必然形成膨胀和应力释放的集中部位,产生底鼓。如底鼓不加控制,任其发展,常常造成隧洞墙脚内移和支护结构的严重破坏,这在实际工程中是屡见不鲜的。因而,必须设置仰拱,形成全封闭环,以提高支护抗力。

塑性流变岩体中的隧洞采用锚喷支护,如何根据不同时间阶段内围岩与支护的变形特性,调整支护抗力,使“围岩-支护”的变形协调发展,是以经济的支护结构取得隧洞稳定的关键。而要掌握围岩与支护变形的时间效应,最现实可行的办法是通过现场量测。

(III) 老黄土隧洞锚喷支护设计

4.4.11 老黄土具有湿陷性较小、强度较高的特点。在我国西北地区的老黄土土层中,已用锚喷支护成功地建成一些铁路隧道和地下洞室。通过现场量测和工程实践表明,它能及时支护土体,发挥土体自承作用,保持洞体稳定。

4.4.12 黄土地层有较明显的侧压力,其静止侧压力系数约为 0.5 左右。因此,隧洞应采用曲线形边墙。用锚喷支护的实例证明,当边墙曲率较大(矢高不应小于弦长的 1/8)并设置仰拱后,隧洞能较快地达到稳定。

4.4.13 本条规定是根据现有的几座穿过老黄土的隧洞,采用锚喷支护的成功经验提出的。当采用水泥砂浆锚杆时,要求孔径不宜小于 60mm,是为了增大砂浆与土层的粘结面积,以满足一定的锚杆抗拔力的要求。

老黄土隧洞中的薄层喷射混凝土衬砌,如不设置伸缩缝,由于在喷射混凝土硬化过程中的自身收缩或使用过程中温度变化等原因所引起的应力,一旦大于喷射混凝土的抗拉强度,以及地层的不均匀沉陷,均会使衬砌出现裂缝,恶化隧洞的工作条件,故规定沿隧洞轴线每隔 5~10m 应设一道环向伸缩缝。

老黄土对于水的作用是很敏感的,在水的作用下,会很快解体而失去稳定。因此,锚喷支护设计时,就必须对地表水和洞内施工水提出处理措施,以保证施工的安全和洞体的稳定。

(IV) 水工隧洞锚喷支护设计

4.4.14 水工隧洞不同于其他隧洞,它长期处在水的作用下工作,有的甚至在有较高压力水中工作,不仅要承受较大的内水压力,还有防渗、抗冲刷等问题。所以,在水工隧洞中采用锚喷支护时,对其使用范围应有所限制。

工程实践和科学实验表明，水工隧洞锚喷支护承受内水压力及抗渗、抗冲刷等性能，主要取决于围岩性质。当围岩的变形模量为 $10 \times 10^3 \text{MPa}$ ，洞跨为 10m，喷射混凝土的厚度为 200mm 时，锚喷支护的水工隧洞可以承受 0.5MPa 的内水压力(不考虑锚杆和钢筋网的作用)，其中 80%以上的内水压力由围岩承担。考虑水工隧洞的特殊工作条件，当锚喷支护作为后期支护时，仅限制在Ⅲ级以上(包括Ⅲ级)围岩中应用。对于Ⅳ、Ⅴ级围岩，由于完整性差，或岩质软弱，承载能力低，宜采用复合支护，即内水压力主要由现浇钢筋混凝土支护承担。而锚喷初期支护的主要作用是及时支护围岩，限制其有害变形的发展，防止围岩坍塌，保证施工安全。

在水工隧洞中，由于防渗不好，内水外渗，恶化了围岩地质条件，可能导致隧洞严重破坏。因此，对锚喷支护的水工隧洞，必须重视其防渗问题。

4.4.15 $\times\times\times$ 一级、 $\times\times$ 河一级、 $\times\times$ 镇和 $\times\times\times$ 四个锚喷支护的水工隧洞水压试验表明(表 9)，内水压力是由围岩和支护共同承担的，锚喷支护符合弹性介质的薄壁圆管的工作原理。为此，可按“围岩-支护”变形一致的原则来计算支护的抗裂能力。对于洞跨超过 10m、内水压力大于 0.6MPa 的重要工程，其锚喷支护的设计尚缺乏经验，也缺乏运行资料，所以规定宜通过试验决定。

表 9 有压水工隧洞实测开裂压力与计算开裂压力(MPa)

工程名称	实测开裂压力	计算开裂压力
$\times\times\times$ 一级	0.66	0.58
$\times\times$ 镇	0.89	0.84
$\times\times$ 河一级	0.55	—
$\times\times\times$	0.80	0.35

4.4.16 外水压力是水工隧洞的主要荷载之一，锚喷支护也不例外，据 $\times\times\times$ 一级电站和 $\times\times$ 镇电站试验资料，当外水压力为 1.4~1.6MPa 时，喷层局部剥落，一般呈现粘结破坏。所以，当外水压力较高、隧洞使用中放空时，必须校核其稳定性。

外水压力值，可采用地下水位线以下的水柱高乘以相应的折减系数的方法估算(表 10)。

表 10 外水压力折减系数

地下水活动分级	地下水活动情况	折减系数
1	无	0
2	微弱	0~0.25
3	显著	0.25~0.50
4	强烈	0.50~0.75
5	剧烈	0.75~1.00

喷射混凝土支护与围岩是互相紧密结合的两种不同的透水介质，在地下水位变幅小、补水和排水条件固定的情况下，在长期运行过程中将形成稳定的渗流场，所以，严格地说，这时作用在支护上的外水荷载是一种“场力”。

4.4.17 锚喷支护的引水隧洞和尾水隧洞的水流速度均不高，一般为 3~5m/s，只有导流隧洞和泄洪隧洞才有较高的流速。例如，星星哨水库泄洪洞的流速为 7m/s， $\times\times 2$ 号泄洪洞的流速达 13.5m/s。

在泄洪隧洞和导流隧洞中，可根据围岩条件选择锚喷支护的允许流速，一般来说，围岩条件好，允许流速可适当提高，但不宜超过 12m/s，否则，有可能出现冲刷破坏或气蚀破坏。国外也有在 12m/s 左右的流速情况下锚喷支护发生破坏的实例，其破坏原因一般是由于处在较差的地质地段。因此，对于局部软弱的地质地段和采用较高流速的隧洞，都要采取结构措施，增强支护与围岩的整体性。

4.4.18 隧洞内壁面的平整程度对过流能力有显著影响。壁面过于粗糙,将使水头损失增大,降低隧洞的过流能力。喷射混凝土施作于凹凸不平的岩面上,有水通过时,摩阻损失增大。试验资料证明(表 11),喷射混凝土支护的摩阻特性是属于大糙度、非均匀糙率问题,可按 J·尼古拉兹公式估算其糙率系数。

表 11 喷射混凝土支护实测糙率与计算糙率

工程名称	壁面起伏差(mm)	计算的糙率	实测的综合糙率	开挖方式	支护情况
××哨一号洞	115	0.0248	0.0252	光面爆破	局部地段锚喷支护,大部分地段不支护,底板为现浇混凝土
××哨二号洞	115	0.0248	0.0249	光面爆破	
×××	210	0.0274	0.0276	普通爆破	全洞锚喷支护,底板现浇混凝土

由糙率系数计算公式得知,若喷层表面的平均起伏差小于 150mm,则可明显减小糙率系数。根据××哨水工隧洞的施工经验,采用光面爆破开挖技术,壁面的平均起伏差可控制在 115mm 左右。

壁面平均起伏差可按下式计算:

$$\Delta = \Delta_{起} + \Delta_{伏} \tag{2}$$

式中 $\Delta_{起}$ 、 $\Delta_{伏}$ —— $(A_{max}-A_m)$ 和 (A_m-A_{min}) 开口环面积按边墙和拱部周长折算的平均厚度(mm);
 A_{max} 和 A_{min} ——分别为大于和小于 A_m 各断面的平均面积(m²);
 A_m ——平均断面面积(m²)。

采用锚喷支护的水工隧洞,为了减少电能损失,在经济合理的条件下,可以按现浇混凝土支护具有相同水头损失的原则,适当增加隧洞的开挖断面。

4.4.19 鉴于水工隧洞防渗的特殊要求,故对喷射混凝土的抗渗指标提出了较高的要求。根据以往的经验,只要精心施工,注意改善施工工艺,这些规定指标是不难达到的。

4.4.20 采用锚喷支护的水工隧洞,一般底拱为现浇混凝土,这样,在两者的结合处往往形成透水通道,×××水电站隧洞水压试验资料证明,结合处渗出的水占整个隧洞渗水量的 25%以上。因此,必须做好接缝的处理。根据×××水电站和××河一级水电站的隧洞施工经验,在施工中,应首先施作底拱的现浇混凝土,然后向边墙和拱部喷射混凝土。现浇混凝土与喷射混凝土应有足够的搭接长度,其结合处应进行凿毛处理,必要时,可对接缝进行灌浆。

(V) 受采动影响的巷道锚喷支护设计

4.4.21 受采动影响的巷道,是指煤矿和金属矿山中受采煤(采矿)爆破、采空及放顶等影响的主要巷道。对煤矿来说,是指服务年限在 5 年以上的底板岩巷,而不包括靠近采煤工作面的上、下顺槽和回风巷。

4.4.22 受采动影响巷道的支护结构及参数,主要根据受采动影响程度和服务年限来确定。受采动影响的巷道,承受动压的反复作用,应力集中严重,变形大。因此,在支护选择上应以锚杆、钢架为主,而不宜采用单一的喷射混凝土支护或钢筋网喷射混凝土支护。

钢纤维喷射混凝土有很高的韧性,约比素喷混凝土高 10~50 倍。摩擦型锚杆受采矿爆破影响后,可以提高其支护抗力。因此,钢纤维喷射混凝土、摩擦型锚杆和可缩性钢架,特别适用于受采动影响严重,并能引起围岩较大变形的地段。

4.4.23 煤矿巷道一般要在建成一段时间后才受采动影响,短则 1~2 年,长则 5~10 年。因此,为了减少初期建设投资,缩短建设周期,在初期可只考虑承受静压来确定支护结构及参数,待动压到来之前,再对支护进行加强。

在条件允许的情况下，钢架一般是要回收的，以便重复使用，降低生产成本。因此，在设计钢架时，要从便于拆卸和回收出发，来考虑钢架的结构构造。

5 现场监控量测

5.1 一般规定

5.1.1 现场监控量测是一项技术含量较高的现场工作，它对工程设计的正确实施有着重要作用，因此，应该做出详尽的设计，在设计文件中应对整个量测程序作明确规定。本规范表 5.1.1 是在总括了各类地下工程现场试验的资料和经验后制定的，其制定的原则是：凡是跨度较大和围岩较差的地下工程，应进行现场监控量测；围岩好或特别好但跨度又很大的地下工程宜在局部地段进行量测，控制和监视局部不稳定块体的动态，以保证安全。

5.1.2 隧洞及地下工程的客观条件千变万化，因此每一工程应有与其条件相应的设计文件。对于所有应进行现场监控量测的工程，本条所列内容都必须包含在设计文件之中。

5.1.3 现场监控量测工作应逐步成为整个施工过程中一个重要环节，该工作宜由施工单位负责实施。其量测结果和资料除应及时指导施工外，还应及时向设计和监理单位报告。

5.2 现场监控量测的内容与方法

5.2.1 地质和支护状况观察、周边位移和拱顶下沉量测是根据设计要求进行量测的隧洞所必须做的量测项目，也即必测项目。地表下沉等量测项目是根据隧洞埋深、围岩状况以及设计文件特殊规定的内容进行选择的量测项目，也即选测项目。

5.2.2 开挖工作面的工程地质与水文地质观察和描述，对于判断围岩稳定性和预测开挖面前方的地质条件是十分重要的；初期支护状况的观察和裂缝描述，对于直接判断围岩和地下工程的稳定性以及支护参数的合理性也是必不可少的。因此，本项工作定为各类地下工程都应进行的现场量测项目。

5.2.3 对于城市浅埋隧洞等地下工程，由于行车路面、重要建筑物等对地表下沉数值有严格的要求，因此，本条规定必须进行地表下沉的监控量测，并应及时进行信息反馈，以利路面行车和建筑物的安全。

5.2.4 本条关于安设时机的要求是为获取围岩开挖初始阶段的变形动态数据。这部分数据在全部变形过程中占十分重要的地位。

5.2.5 量测数据的稳定程度可由数据的时态曲线进行判断。

5.3 现场监控量测的数据处理与反馈

5.3.1 绘制量测数据的时态曲线是数据处理的基本方法，也是竣工文件中必不可少的一部分。时间横坐标下的各类动态是综合分析的条件，尤其是当发生各种事故时，是分析原因的依据。

5.3.2 采用回归分析时，可在下列函数中选用：

1 对数函数，例如：

$$u = a \lg(1+t) \quad (3)$$

$$u = a + \frac{b}{\lg(1+t)} \quad (4)$$

2 指数函数，例如：

$$u = ae^{-b/t} \quad (5)$$

$$u = a(1 - e^{-bt}) \quad (6)$$

3 双曲函数，例如：

$$u = \frac{t}{bt} \quad (7)$$

$$u = a[1 - (\frac{1}{1+bt})^2] \quad (8)$$

式中 a、b—回归常数；

t—初读数后的时间(d)；

u —位移值(mm)。

5.3.3 本规范表 5.3.3 中所列数值是对做过现场监控量测的各类地下工程量测数据进行统计和分析后得到的,可作为实际应用的依据。另外,由于地质状况的多变性以及工程结构的复杂性,本表中的数值无法覆盖所有地下工程的实测位移值,因此,允许根据实测数据的综合分析进行适量的修正。

位移反常急剧增长的现象见图 5 所示,图(a)为正常曲线,(b)为反常曲线,当图中出现反弯点时必须立即向施工主管报告,采取措施。

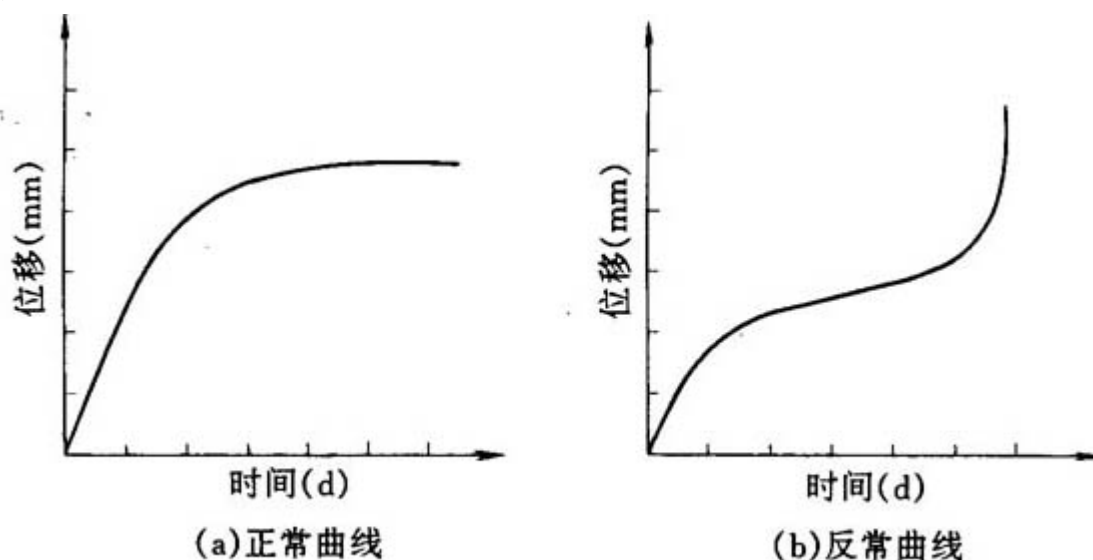


图 5 正常曲线与反常曲线

5.3.4 设计文件中对隧道围岩的记载来源于地质勘察资料,而这种资料是宏观的和粗略的,隧道内具体状况只能在开挖后才明确。因此当实际围岩与设计相差甚远,同时现场位移量测值经综合分析后认为围岩稳定性好,此时允许适当变更支护参数。

5.3.5 本条所列的三条标准是地下工程和围岩达到基本稳定的条件。其中位移速度是指至少 7d 观测的平均值,总位移量可由回归分析计算得到。

5.3.6 本条给出地下工程达到后期稳定状态的实测判据。后期支护是在一次支护达到基本稳定后施作的,因此后期支护以后,位移速度必须明显减少并且逐渐接近于零。若干进行长期观测的地下工程已证实了这一结论。具有流变或膨胀性质的围岩容易在支护-围岩接触处产生局部接触应力,因此有必要对其外力和结构内力的量测数据进行分析判断。

6 光面爆破

6.0.1 在隧洞开挖中，为了避免盲目施工，预先进行爆破设计是十分必要的。爆破设计内容包括：炮眼布置图，周边眼装药结构图、钻爆参数和文字说明等。由于地质条件经常变化和爆破器材的改变，因此，应该根据施工情况，随时修正有关参数，以获得良好的爆破效果。

6.0.2 光面爆破效果的好坏，取决于爆破参数的选取是否合理。一般应根据工程类比法或通过现场试炮确定。爆破参数主要是周边眼间距或抵抗线(或周边眼至内圈崩落眼的距离)及其比例关系，装药量集中度等。本规范表 6.0.2 给出了试炮时初选参数值范围。实践证明，这些因素是共同起作用的，只要通过现场几次爆破试验，并根据爆破效果调整这些参数，就会得到比较理想的爆破效果。

有条件时，也可在施工前进行爆破成缝试验，以求得合理的爆破参数。

6.0.3 为了保证隧洞成型好，周边眼的位置不应偏离轮廓线。实践表明，在软岩中，隧洞周边眼间距误差大于 100mm 时，爆破效果很差，因此，条文规定沿轮廓线的周边眼间距误差不宜大于 50mm。凿岩机的外形尺寸要求周边眼的位置与隧洞周壁之间有一空隙(一般 100mm)，因而，它决定了周边眼必须有一个向外的偏角。偏角大，虽钻眼方便，但会造成较大的超挖。因此，偏角应控制在较小的范围内，一般以 $2\sim 3^\circ$ ，瑞典的臂式钻最优外偏角为 2.5° 。国内常用的支架式凿岩机的钻孔外偏值可以控制在 $30\sim 50\text{mm/m}$ 的范围内。

经验表明，“长钎打短眼”的办法可以减小向外的偏斜率，有助于提高爆破面的平整度。

6.0.4 毫秒爆破可以提高爆破效果，减少对围岩的扰动。在隧洞内杂散电流较大的情况下，采用电力起爆有一定危险性，而非电起爆可不受其影响，并具有安全可靠和操作方便等优点。但非电雷管不具备防爆性能，不能使用于有瓦斯的井下爆破作业。

实测得知，当分段起爆差小于 $50\sim 100\text{ms}$ 时，爆破震动波峰有叠加现象发生，增加对围岩的扰动，因此，应跳段起爆。但当跳段造成一段起爆药量过大、对围岩影响较大时，则应综合考虑。

在有瓦斯的隧洞中使用毫秒延期电雷管时，为防止瓦斯爆炸，最后一段的延续时间必须小于 130ms。

6.0.5 模型试验和工程实践表明，相邻炮眼同时起爆时，切向拉力叠加，拉裂岩石所需的药量较小。因此，强调周边眼应采用同段毫秒雷管或导爆索同时起爆。

6.0.6 为了确保隧洞周边炮眼具有良好的爆破效果，爆破以后能够形成设计所要求的周边轮廓和最大限度地减少对围岩的扰动，必须严格控制周边眼的装药量，并使爆力在炮眼全长上分布均衡，最终达到良好的爆破效果。

当孔深大于 2m 时，采用空气柱反向装药结构，爆破效果较差，而且不适于有瓦斯的井下作业。因此，条文规定当眼深小于 2m 时，可采用反向装药结构。

6.0.7 本条是光面爆破质量检验的直观标准，炮眼痕痕率最能反映爆破效果。鉴于在软岩中，炮眼残痕保留时间很短，故以成型好坏作为判断的依据。

由于隧洞在开挖过程中受各种因素的影响，开挖时必然会有一定的超挖值，按目前的施工水平，允许线性超挖值 150mm 的标准，需经努力才能达到。因此，规定平均线性超挖值应小于 150mm，计算线性超挖值时，不计入隧洞底板的数值。由于围岩坍塌而造成的超挖，不属于此范围之内。

7 锚杆施工

7.1 一般规定

7.1.1 本条说明如下：

1 由于地下工程开挖后岩面凹凸不平(指采用钻爆法开挖)以及围岩存在的节理裂隙，完全按设计在岩面上布置的锚杆孔位，有时眼位就可能落在岩面的突出点或裂隙处，致使开钻困难。在这种情况下，允许孔位有适当的误差。但是，为了保证锚杆加固围岩的效果，规范中对锚杆孔位的误差作了相应的规定。

2 摩擦型锚杆(缝管锚杆和楔管锚杆)的孔深应比杆体长10~50mm，是为了使锚杆杆体全部推入钻孔中并使托板紧贴壁面，否则会影响锚固效果。

3 砂浆锚杆孔径大于杆体直径15mm，是为了能有足够厚度的砂浆包裹杆体和砂浆与孔壁的粘结均匀，以保证所要求的锚固效果。

7.1.2 本条说明如下：

1 为了确保锚杆的锚固效果，在锚杆安装前一定要对钻孔质量进行检查，如发现与设计要求不符，就要及时采取补救措施，如加深锚杆孔(当偏斜角或孔位偏离设计要求太大时)等。

2 钻孔内若残存有积水、岩粉、碎屑或其他杂物，会影响注浆质量和妨碍杆体插入，也影响锚固效果。因此，锚杆安装前，必须清除孔内积水和岩粉等杂物。

7.1.3 在IV、V级围岩和特殊地质围岩中掘进隧洞时，由于围岩自稳时间短，为保证作业安全和抑制围岩早期变形，应先在隧洞壁面喷上一层混凝土，然后钻孔安装锚杆和铺设钢筋网，再复喷混凝土。

在上述围岩中，由于岩层软弱破碎，钻孔施工后孔壁容易掉渣或产生变形，如不及时安装锚杆，就会使锚杆推不进去或推不到底。这一点对端头锚固型锚杆和摩擦型锚杆尤为重要。因此，规范规定在这类岩层中应做到钻孔施工以后及时安装杆体。

7.1.4 托板是锚杆传力和对围岩起加固作用的重要部件之一，如其不能紧贴或部分接触壁面，不仅严重影响锚杆的加固效果，也会使托板局部受压，出现应力集中而破坏。因此，条文中对托板安装作了严格的规定。

7.2 全长粘结型锚杆施工

7.2.1 砂浆的配合比直接影响着砂浆强度、注浆密实度和施工的顺利进行。条文中规定的配合比，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，杆体插入后，砂浆易往外流淌，孔内砂浆不饱满，影响锚固效果。

7.2.2、7.2.3 钻孔注浆的饱满程度，是确保锚杆安装质量的关键。规定注浆管应插至距孔底50~100mm，随砂浆的注入缓慢匀速拔出，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。

7.2.4 砂浆锚杆安装后，在水泥砂浆强度较低时，随意敲击杆体，将影响砂浆与杆体和砂浆与孔壁的粘结强度，降低锚杆的锚固力，影响锚杆质量，易发生安全事故。

7.3 端头锚固型锚杆施工

7.3.1 树脂卷的原料虽然是易燃品或危险品，但制成药卷后，由于已掺入大量的惰性填料，其性能就比较稳定，无爆炸危险，不易自燃。运输和贮存一般按二级易燃物品的货物类型办理。

搬运时，包装箱和药卷包装材料必须牢固，要轻拿轻放，防止碰撞、摔打、挤压。树脂卷应贮存在温度为5~25℃的隔热通风的仓库内。工作场所附近禁止明火。夏季气温较高时，应避免用火车运输。

树脂卷在存放过程中有微量苯乙烯挥发，时间过长，会降低药卷质量。故在成品出厂时，均规定贮存期限，一般为三个月。过期者，必须进行试验，确保性能时，方可使用。

7.3.2 安装树脂锚杆的搅拌机具，可采用旋转式锚杆机、煤电钻或风动搅拌器。托板螺帽的安装可用专用安装器或风动搬手，以确保扭力在 $100\text{N} \cdot \text{m}$ 以上。

树脂锚杆安装过程中，必须将杆体推至孔底，才能达到锚固力。搅拌时，应缓推猛搅，以迅速将凝固剂和树脂拌和均匀。根据试验，连续搅拌时间一般为 30s。

树脂混合物虽然凝固和硬化快，但强度的增长必须有一个过程。安装顶部锚杆时，为了防止杆体下滑，搅拌完毕后，应立即在孔口处将杆体临时固定。

安装托板的目的是，为了对锚杆施加一定的预应力，压缩岩层，达到其锚固效果。但是，需要在树脂达到一定强度时，才能安装托板。树脂固化和强度的增长速度，随温度的提高而加快。实践表明，施工温度在 5°C 以上时，搅拌完毕后 15min 即可安装托板。当现场温度低于 5°C 时，可适当推迟安装时间。

7.3.3 快硬水泥卷的使用期是指从水泥出厂到水泥卷使用这段时间，一般不超过 6 个月。过期水泥卷必须进行试验，技术性能满足设计要求时，才能使用。

水泥卷的外套由长纤维透水纸制作，透水性、吸湿性强，容易受潮结块。因此，水泥卷应使用塑料袋密封包装，并贮存在干燥仓库内，以确保质量。

7.3.4 快硬水泥卷锚杆为达到其锚固效果，安装时，要求水泥与水混合均匀，水灰比适宜。试验表明，水泥卷浸水时间为 2.5min，当水面不冒气泡时，一般才能达到要求的水灰比。浸水后的水泥卷应立即用杆体送入孔底，连续搅拌时间为 30~60s。当水泥卷浸水时间超过水泥终凝时间，水泥卷会发热、变硬，该水泥卷应予报废。

快硬水泥卷锚杆，从安装到水泥卷达到一定强度，即达到安装托板对锚杆所施加预应力值的要求，需要一定的时间。根据试验，这个时间约为水泥搅拌后 20min 左右。

7.3.5 规定安装端头锚固型锚杆的托板时，螺帽的拧紧扭矩不应小于 $100\text{N} \cdot \text{m}$ ，这是因为只有达到一定的拧紧扭矩，才能保证所要求的紧固效果。

端头锚固型锚杆安装以后，由于爆破震动和应力松弛等因素的影响，托板可能松动。因此，在喷射混凝土施工以前，应经常检查托板的紧固情况，如有松动，及时拧紧。

7.4 摩擦型锚杆施工

7.4.1 钻孔直径对摩擦型锚杆的锚固力有明显影响，因此，钻孔前，必须检查钻头规格，以确保孔径符合设计要求。试验和工程应用表明，在锚杆规格和岩层条件相同的情况下，由于钻孔直径不同，获得的锚固效果也不同。钻孔直径较小，所获得的锚固力就较高，反之亦然。但钻孔直径也不宜过小，否则会给锚杆推进造成困难，影响安装质量。

7.4.2 摩擦型锚杆目前常用凿岩机安装，这就要求凿岩机有足够的工作风压，以保证对锚杆有足够的推进力。实践表明，当工作风压小于 0.4MPa 时，推进速度缓慢，甚至推不进去。因此，规范作了凿岩机的工作风压不要低于 0.4MPa 的规定。

此外，对这种锚杆来说，用托板传递对岩层的预应力，是确保围岩三向受压的重要因素之一。因此，锚杆杆体应全部推入钻孔，并使托板抵紧壁面。为防止杆体尾端挡环焊缝发生冲击破坏，规范规定托板抵紧壁面时，应立即停止推压。

7.4.3 楔管式锚杆的锚固力由缝管段的锚固力和圆管段端头的楔块式点锚固力组成。因此，安装时，端头上下楔块应完全楔紧，否则，将降低锚杆的锚固力。

7.4.4 水胀锚杆由薄壁钢管(无缝钢管 $\Phi 48$ 壁厚 2mm)加工成的异型空腔杆件、端套、挡圈、注液咀和托盘等配套组成。为确保安装操作安全和质量，提出了一些规定和在安装前必须进行的全面检查，如考虑其整体结构强度，高压泵压力不宜超过 30MPa ，一般为 $15 \sim 30\text{MPa}$ 。加压和初锚力的关系为：

在充液压力为 10MPa 时，平均初锚力为 47.8kN；

在充液压力为 15MPa 时，平均初锚力为 70.2kN；

在充液压力为 18MPa 时，平均初锚力为 100kN；

在充液压力为 25MPa 时，平均初锚力为 120kN；

在安装操作中，重点提出了注液咀的保护、杆体与注液器连接牢固，托板与岩面紧贴等，使之取得良好的效果。

7.5 预应力锚杆施工

7.5.1 擦伤、扭结、切割、刻痕等造成的损坏会削弱预应力筋的性能，在高应力状态下工作时，易产生应力腐蚀，这种预应力筋应报废。

绑扎锚杆杆体时，不宜采用镀锌铁丝，以免产生化学腐蚀现象。

7.5.3 孔口承压垫座的平整程度，张拉设备各部件的接触状态，对预应力损失有很大影响。有些工程，在施工中由于承压垫座不平整，或者各部件间接触不良，锚杆锁定后，预应力很快下降，其数值达 30%~50%。经采取整平措施后，预应力损失可控制在 7%以内。

7.5.4 若使用自由段无套管的锚杆，只有在完成锚固段注浆，并对锚杆施加张拉荷载后，才能在锚杆自由段内灌浆。如果在张拉前对无套管的预应力筋进行灌浆，自由段内的预应力筋不能正常在外力作用下伸长，也就无法对锚杆施加预应力。

套管可采用塑料或其他无损于预应力钢材的材料。

此外，根据国际预应力混凝土协会(FIP)对 35 件锚杆腐蚀情况的调查，锚头附近(背面 1.0m 以内)，即自由段顶部预应力筋腐蚀占 19 件，因此必须用浆体填满自由段长度顶部的孔隙。

为了保证封孔注浆密实饱满，应在孔口适当部位预留注浆孔和排气孔，必要时，还可采用膨胀水泥等措施。

7.5.5 压力分散型锚杆或拉力分散型锚杆均由若干单元锚杆组成。而各个单元锚杆的自由段长度是不相等的。为了使各单元锚杆受力相等，必须先对各单元锚杆分别张拉，当各单元锚杆在同等荷载条件下因自由段长度不等引起的弹性伸长差得到补偿后，方可同时张拉各单元锚杆。

7.5.6 如拟对锚杆进行二次补偿张拉，则预留的预应力筋长度，须满足再次张拉的要求。

7.5.7 在软弱破碎和渗水量大的围岩中，为了控制浆液损失，保证预应力筋的锚固质量，一般应对钻孔做不透水性试验。美国的标准规定，如果在 10min 后钻孔的渗透率超过 0.49ml/mm(孔径)/m(孔深)，则应对钻孔进行固结灌浆，然后重新钻孔。

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是用来确定锚杆是否有足够的承载力，并检验锚杆的设计和施工方法能否满足工程要求。

在对锚杆加荷时，每一循环荷载中，不能将荷载降低到零，而只能退到起始荷载值，以保证试验设备对中。

锚杆试验用的液压千斤顶，在持荷时可根据需要反复泵油，这将能够弥补由于锚杆小位移或少量液压油渗漏造成的误差。

根据基本试验结果，必要时，应修改设计参数和施工方案。这包括增加锚杆数量，调整锚杆设计参数，修改锚杆施工方法等。

7.6.2 预应力锚杆的验收试验的规定与美国等国家关于预应力锚杆验收试验的规定是基本一致的。预应力锚杆的验收试验与基本试验结合在一起能够验证锚杆的承载力，检查预应力锚杆的工程质量。

荷载每增加一级，都应稳定一段时间以记录位移读数，稳定时间一般为 5~10min。

7.6.3 目前，国内的锚杆荷载监测装置或荷载传感器的可靠性已不断提高，已较广泛地用于长期监测锚杆荷载的变化情况。

8 喷射混凝土施工

8.1 原材料

8.1.1 优先选用普通硅酸盐水泥，是因为它含有较多的 C_3A 和 C_3S ，凝结时间较快，特别是与速凝剂有良好的相容性。当地下水含有硫酸盐腐蚀介质，可采用抗硫酸盐水泥。对混凝土有早强要求时，可采用硫铝酸盐水泥或其他早强水泥。

8.1.2 采用中粗砂及其细度模数大于 2.5 的规定，不仅是为了保证混凝土强度，也是为了减少粉尘和混凝土硬化后的收缩。砂子的含水率宜控制在 5%~7%，主要是为了在干法喷射时减少材料搅拌时水泥的飞扬损失，降低粉尘，也有利于水泥的充分水化及混合料在喷头处遇水后易于混合均匀，减少回弹率和提高混凝土强度。

8.1.3 尽管目前国内的喷射机可使用最大粒径为 25mm 的粗骨料，但为了减少回弹率和混合料在管路内的堵塞，故规定最大骨料粒径不宜大于 15mm。

当使用碱性速凝剂时，采用含有活性二氧化硅的石材作骨料，容易产生碱骨料反应，引起喷射混凝土的开裂破坏。因此，规范规定当使用碱性速凝剂时，不得使用含有活性二氧化硅的石材作骨料。

8.1.4 骨料级配对混合料在管路内的输送、混凝土的密实性及喷射中的回弹率都有重要影响。因此，本条规定了喷射混凝土的骨料级配区间。

8.1.5 为了加速喷射混凝土的凝结、硬化，提高其早期强度，减少喷射混凝土施工时的回弹率和因重力而引起的混凝土脱落，增大一次喷射厚度和缩短分层喷射的间隔时间，一般在喷射混凝土中加入速凝剂。速凝剂对于不同品种的水泥，其作用效果也不相同。因此，在使用前应做速凝剂与水泥的相容性试验。试验的主要项目为：水泥掺入速凝剂后的初终凝时间，早期强度和后期 (28d) 强度的保有率。

当前，喷射混凝土外加剂的类型和品种不断增加，如增粘剂等；几种外加剂如速凝剂与增粘剂，速凝剂与膨胀剂的复合使用也经常出现，为确保其使用后的良好性能和最佳效果，并防止某些副作用的发生，使用前，应进行必要的试验。

8.2 施工机具

8.2.1 喷射机是喷射混凝土施工中的主要设备。目前，国内已有多种干法喷射混凝土机的定型产品。这些不同型号的喷射机，各有其特点，可根据施工需要，选择使用。但是，为了保证喷射混凝土质量，减少施工中的回弹率和粉尘浓度，提高作业效率，喷射机的主要性能，应符合条文规定的要求。

8.2.2 湿拌混凝土喷射机 (简称湿喷机) 的明显优点是喷射混合料进入喷射机前已按规定加入拌和水，拌和均匀，水灰比能准确控制，有利于水泥的水化，因而施工中粉尘较小，回弹较少，混凝土均质性好，强度也较高，是今后喷射混凝土施工的发展方向。

我国现已研制成功的 TK-961 型湿喷机已在多座铁路隧道中用于湿喷混凝土施工，取得了良好效果，本条对湿法喷射混凝土机的性能要求，是为了保证喷射混凝土的质量和施工顺利进行。

8.2.3 喷射机所用的压缩空气，一般由地面空压车站或移动式空压机供给。风压与风量均应满足喷射混凝土施工要求。风压与风量不足，物料在管内的运动速度减慢，易产生堵管，影响喷射作业的顺利进行，也会减弱冲击捣实力，造成混凝土的密实性差。在实践中，当使用移动式空压机供气时，如排风量小于 $9m^3/min$ ，则作业中会因供气不足，影响喷射作业的正常进行，因此，本条规定，当使用移动式空压机供气时，其排风量不应小于 $9m^3/min$ 。

压风进入喷射机前应进行油水分离，以免压风中的油污进入喷射混凝土中，影响混凝土的质量。

8.2.5 在喷射混凝土施工中，输送干混合料用的输料管管壁要经受骨料的反复磨损和 0.10~0.60MPa 的压力。为了保证施工安全并满足正常进行喷射混凝土施工的要求，本条

对输料软管的技术性能作出了相应的规定。

8.2.6 干法喷射用的混合水应有足够的压力，以保证压力水穿透料流，使水和水泥均匀混合。压力水一般由高位水池、水泵或加压水箱供给。

料流通过喷头时的压力，一般在 0.10MPa 左右。为此，喷头处的水压应为 0.15～0.20MPa。

8.3 混合料的配合比与拌制

8.3.1 本条说明如下：

1 规定水泥与骨料配合比，这主要是考虑既满足喷射混凝土的强度要求，又可减少回弹损失。当水泥用量增加时，喷射混凝土的强度提高，回弹减少。但是，水泥用量太高时，不仅不经济，也会增加混凝土的收缩。

2 规定砂率宜为 50%～60%，是综合考虑喷射混凝土的施工性能和力学性能后提出的。实践表明，当砂率低于 50%，管路易堵塞，回弹率高；若砂率高于 60%，则不仅会降低喷射混凝土强度，也会加大收缩。

3 对水灰比的规定，是为了有效地保证混凝土强度，并减少回弹和粉尘。

4 由于不同品种的速凝剂，对同一品种水泥的速凝效果不同；就是同一品种的速凝剂，对不同厂家生产的同一品种规格的水泥，也会有不同的速凝效果。此外，速凝剂掺量不当，不但影响速凝效果，也会影响混凝土的早期强度和后期强度。因此，规范规定，喷射混凝土中速凝剂的掺量，应根据速凝剂产品说明书中提供的掺量范围，通过试验确定其最佳掺量。

5 目前，用于喷射混凝土的外掺料主要是粉煤灰和硅粉，其目的主要是减少水泥用量和降低成本。但在不影响喷射混凝土强度的前提下，其掺量有一个最佳范围。因此，就必须通过试验来确定这一最佳值。

8.3.2、8.3.3 对喷射混凝土原材料的称量允许偏差及混合料搅拌时间作出规定，是为了保证混凝土的匀质性。特别是加入速凝剂的混合料，均匀的拌和尤为重要，不然，将不仅影响喷射混凝土的速凝效果，也会使强度值有较大的离散。

8.3.4 干混合料如被雨水、滴水淋湿，混合料中的水泥就可能在喷射作业前提前产生预水化作用，造成凝结时间延长，混凝土强度降低。大块石等杂物混入混合料中，喷射施工中极易堵管，严重影响施工效率，浪费混凝土材料，给施工带来麻烦。因此，在本条对这些问题作了相应的规定。

8.3.5 由于砂、石中含有一定水分，掺入速凝剂的混合料，停放时间较长时，水泥会发生预水化作用，这不仅影响混凝土的速凝效果，使回弹率增大，而且，会导致混凝土后期强度明显降低。大量试验表明，混合料在掺速凝剂后，停放时间超过 20min 时，喷射混凝土早期与后期强度均有显著降低。因此，在施工中应尽量做到混合料随拌随用。

8.4 喷射前的准备工作

8.4.1 本条说明如下：

1 喷射作业前，应认真清除作业面墙脚或边坡底部的岩渣和回弹物料，以防止边墙或边坡混凝土喷层出现失脚现象（即墙脚或边坡底部岩面或土层未喷上混凝土）。喷层失脚，对穿过遇水膨胀或易潮解岩层或土层中的工程，会产生严重的不良后果。有的则产生岩层膨胀和喷层脱落，使支护结构逐步破坏。因此，喷射作业前，必须将墙脚或边坡底部的浮石、岩渣和其他堆积物清除干净，以确保全部作业面均被喷射混凝土覆盖。

2 对于光滑岩面，必要时进行凿毛，以保证喷射混凝土与岩面的粘结强度；对于特别突出的、应力集中的岩面，应进行凿除，以保证受力均衡。

3 工作台架应塔设牢固，并配有安全栏杆，其宽度应为 2.0m 左右，距作业面的距离应为 0.5～1.0m 左右，以保证喷射作业方便灵活和安全。

4 喷射作业前，应用高压风水(对遇水易泥化的岩面只能用压风)清洗受喷面(对土层受喷面，可不用清洗)，是为了喷射混凝土与受喷面粘结牢固，保证喷射混凝土和地层良好的共同工作。

5 喷层厚度，是评价喷射混凝土支护工程质量的主要项目之一。实际工程中，往往发生因喷层过薄而引起混凝土开裂、离鼓和剥落现象。因此，施工中必须控制好喷层厚度。一般可利用外露于洞壁的锚杆尾端，或埋设标桩等方法来控制喷射混凝土厚度，也可在施工中用插杆子的办法随时检查喷层厚度。

8.4.2 喷射混凝土施工前，对喷射机及输料软管、皮带上料机、风水管路及其连接处进行检查和试运转，如有问题，可及时处理。这样，可保证施工顺利进行，防范施工事故。比如输料软管，在实践中曾多次遇到喷射作业一开始，输料软管就出现堵塞，经检查发现是软管内壁有水泥结块，这是因为前次喷射作业结束后未吹干净所致。因此，作业前，检查输料软管管壁是否有水泥结块(用锤子敲击疏通)，就显得极为重要。

8.4.3 本条规定的几种治水措施，在实践中都是行之有效的。当地下水集中，就应该采用在出水点埋设导水管或导水槽的方法，将水引离岩面，然后喷射混凝土。当岩层渗透水量较小、导水效果不好时，应先在渗漏集中的区域，钻深度不小于1m的集水孔，然后敷设由矿渣棉或无纺纤维布等材料做成的排水盲沟，将水集中后引入隧洞底板排水沟中。为了保证喷射混凝土和岩层有足够的粘结面积，盲沟最大宽度不要超过500mm。

8.5 喷射作业

8.5.1 本条说明如下：

1 按规定区段进行喷射作业，有利于保证喷射混凝土支护的质量，并便于施工管理；喷射顺序自下而上，以免松散的回弹物料粘污尚未喷射的壁面。同时，还能起到下部喷层对上部喷层的支托作用，可减少或防止喷层的松脱和坠落。

2 工程实践表明，只有当壁面上形成10mm左右厚的塑性层后，粗骨料才能嵌入。为减少回弹损失，一次喷射的混凝土厚度不宜过薄。同时，一次喷射的厚度也不宜过大，否则，会影响喷射混凝土的粘结力与凝聚力，造成离层或因自重过大而坠落。因此，应按本规范表8.5.1中的要求，控制一次喷射的最大厚度。本条关于一次喷射厚度的规定是指素喷混凝土而言；当为钢筋网喷射混凝土时，因为有钢筋网格的支托，一次喷射厚度可适当加大。

3 当喷射混凝土设计厚度超过本规范表8.5.1中所规定的一次喷射厚度要求时，就应该分层进行喷射。若混凝土未达到终凝就进行后一层喷射，可能会扰动前一层喷射混凝土结构；同时，当混凝土还未终凝时，混凝土与壁面的粘结力还很小，这时若进行后一层喷射，由于喷层厚度的加大，可能导致喷层离鼓甚至脱落，因此，本款规定，“后一层喷射应在前一层混凝土终凝后进行。”

4 工程实践表明，喷射混凝土终凝后3h，紧靠喷射混凝土的工作面进行放炮时，混凝土的凝聚力及其与壁面的粘结力就足以能够抵抗爆破力对新喷混凝土区域范围的震动而不会导致混凝土离鼓、开裂或脱落。因此，本款作出了这一规定，以利缩短作业时间和加快工程进度。

8.5.2 本条说明如下：

1 本条第一款的规定是为避免喷射机司机操作失误，以防止混合料在输料管内积聚而造成堵管。

2 干法喷射时，为了保证通过喷头处加水拌和以后的混合料有稳定的水灰比，从而提高喷射混凝土的质量，减小回弹率和粉尘浓度，本条第二款规定了向喷射机供料应连续均匀，并保持喷射机料斗内有足够的存料。

3 大量的工程实践表明，喷射速度(即喷头出口处的工作风压)是影响喷射混凝土质量和回弹率的重要因素之一。当喷头处的工作风压为0.1MPa左右时，在其他影响因素符合规定的时候，喷射混凝土回弹率较小，强度较高，粉尘浓度较低。当风压过小，即喷射速度太小时，则由于喷射冲击力小，粗骨料不容易嵌入新鲜混凝土中，则回弹率高，也影响喷

射混凝土强度；当风压过大，即喷射冲击力大时，回弹率也高，也会使粉尘浓度增大。故本款作了相应的规定。

4 喷射混凝土干混合料是由水泥、砂、石混合而成，砂子一般含 5%~7% 的水分。试验表明，这种混合料存放 15min 就开始预水化，存放时间延长，预水化加剧，造成混合料结块。喷射作业完毕，如果残留在喷射机中的混合料结块，就会影响以后喷射机的正常使用，喷射作业过程中的震动会使粘结在喷射机中的水泥块掉落，造成堵管。因此，要求在喷射作业结束后，将喷射机中的积料清除干净是十分必要的。

8.5.3 本条说明如下：

1 喷射手应经常保持喷头具有良好的工作状态，主要是指水环出水眼的畅通和喷头各部件之间良好的密封，使之不漏水，从而保证干混合料在喷头处与水得到均匀地混合。

2 当喷头与受喷面垂直，喷头与受喷面的距离保持在 0.60~1.00m 的情况下进行喷射作业时，粗骨料易嵌入塑性砂浆层中。喷射冲击力适宜，表现为一次喷射厚度大，回弹率低，粉尘浓度小。但是，目前不少单位对这个问题，往往不够重视，偏离了这一技术要求，从而造成了回弹率高，粉尘浓度大，恶化了作业环境。因此，本款对此特别作了规定。

3 干法喷射混凝土的水灰比是在喷射作业过程中，由喷射手根据经验来控制的，主要是凭经验目测。若达到了规定中的要求，其水灰比一般在 0.40~0.45 左右，这对保证喷射混凝土的强度和密实性是有利的。

8.5.4 喷射混凝土施工中的回弹率，同喷射混凝土材料和水灰比，混合物喷射速度，喷头至受喷面的距离与角度及喷射手技术熟练程度等因素有关。而回弹率的高低对喷射混凝土质量、材料消耗、施工效率等都有重大影响。工程实践表明，只要正确的按有关规定施工和抓好全面施工质量管理，本条规定的边墙回弹率不应大于 15%，拱部回弹率不应大于 25% 的指标是能够达到的。

8.5.5 本条说明如下：

1 竖井喷射混凝土施工作业时，由于空间狭小，为简化井筒中的布置，可将喷射机设置在地面。如果井筒太深，设备置于地面不能满足要求时，就要在井筒内设置双层吊盘，喷射机司机和喷射手分别在上、下吊盘上作业，从而确保施工安全和喷射作业顺利进行。

2 当喷射机置于井筒内吊盘上时，一般采用溜灰管下料。如果管道内积料过多，含有一定的水分的混合料会在管道内凝结，从而将管道堵死。因此，要求混合料随下随用，使管道保持畅通。

3 竖井施工时，每一掘进段的高度是由井壁围岩的稳定情况决定的。规定支护段高与掘进段高相同，有利于及时控制围岩变形。规定各分段段高为 1.50~2.00m 及自下而上进行作业，是基于喷射手在不借助于其他辅助设施的情况下能进行喷射作业和有利于提高喷射混凝土的质量。

8.5.6 喷射混凝土中由于砂率较高，水泥用量较大，以及掺有速凝剂，因而，其收缩变形要比现浇混凝土大。因此，喷射混凝土施工后，应对其保持较长时间的喷水养护。本条规定了养护的时间和不需进行养护的条件。

8.5.7 在低温下进行喷射混凝土作业，混凝土凝结时间显著延长，使一次喷射厚度减少，并使回弹率增大。同时，喷射混凝土在低温下硬化，强度增长缓慢。为了保证喷射作业具有良好的工作条件，混凝土在冬期施工中的强度能够得到正常发展，本条作出了作业区和混合料的温度不应低于 +5℃ 的规定。

8.6 钢纤维喷射混凝土施工

8.6.1 本条说明如下：

1 在钢纤维喷射混凝土中混入过长的纤维，在搅拌和施工中容易成团，影响正常施工，若混入过短的纤维，则会影响钢纤维抵抗裂缝扩展的能力和钢纤维喷射混凝土抗拉强度的提高。因此，本款作出了钢纤维长度偏差不应超过长度公称值的 ±5% 的规定。

2 钢纤维锈蚀严重或表面有过多的油渍，会影响纤维与混凝土基体的握裹力。而握裹力则是影响钢纤维增强效果的主要因素之一。钢纤维中混入过多的粘连片、杂质和铁屑，都会影响钢纤维增强性能的提高。因此，本款作出了其含量不应超过钢纤维总量 1% 的规定。

3 钢纤维喷射混凝土性能与纤维在混凝土基体中分布的情况有关。有关试验表明，骨料粒径越大，纤维在混凝土基体中分布的均匀性就越差，从而对裂缝扩展的约束力就降低，因此，规范中作出了粗骨料粒径不应大于 10mm 的规定，以充分发挥钢纤维的增强作用。

8.6.2 钢纤维喷射混凝土混合料可使用强制式搅拌机或自落式搅拌机搅拌。

使用强制式搅拌机搅拌混合料，必须配合使用钢纤维播料机。播料机目前主要有电磁振动插播机和振动筛式播料机两种。播料机的作用是将钢纤维均匀添加到强制式搅拌机中与砂、石、水泥混合，边搅拌边添加钢纤维，以保证钢纤维在混合料中拌合分布均匀。

使用自落式搅拌机搅拌混合料时，可将纤维过筛后（一般通过 15~20mm 孔径的筛子）连同砂、石、水泥一起放进上料斗进入搅拌机内进行搅拌。

不论使用哪种搅拌方法，都要求钢纤维在混合料中分布均匀，不得有成团现象，以确保施工的顺利和混凝土质量。

8.7 钢筋网喷射混凝土施工

8.7.1 当采用普通凿岩爆破方法开挖隧洞时，岩面起伏差较大，在这种情况下，先喷上一层混凝土，再铺设钢筋网，既可保证岩层稳定性较差时的作业安全，又可减少围岩表面起伏差，便于使钢筋网与隧洞表面保持适宜的间隙。

采用双层钢筋网时，第一层钢筋网被混凝土覆盖后再铺设第二层钢筋网，有利于减少喷射作业过程中物料的回弹率，增加钢筋与壁面之间喷射混凝土的密实性。

8.7.2 开始向钢筋网喷射混凝土时，适当减少喷头至受喷面的距离，可提高喷射混凝土料流的冲击力，迫使受喷面上的混凝土挤入钢筋背面，以保证钢筋被混凝土完全包裹和混凝土喷层的密实性。

8.8 钢架喷射混凝土施工

8.8.1 架设钢架前应按照设计要求检查钢材品种和钢架结构形式，安设时，应按设计的间距进行架设。

架设钢架的关键是要保证钢架的稳定性，因此，要求钢架应埋入底板一定深度，钢架与壁面之间应楔紧，钢架之间必须连接牢靠。

8.8.2 钢架喷射混凝土作业的关键是保证钢架与壁面之间的混凝土充填密实，这就要求掌握好喷射方向和顺序。施工时，首先喷射钢架与壁面之间的混凝土，待钢架与壁面之间及钢架周围填满混凝土之后，再喷射钢架之间的混凝土。

8.9 水泥裹砂喷射混凝土施工

8.9.1 用于水泥裹砂喷射混凝土的砂浆泵可选用液压双缸式小型混凝土泵、螺旋式砂浆输送泵（也叫螺杆泵）、挤压式砂浆输送泵以及电动单缸砂浆输送泵。液压双缸泵体积较大、造价较高但性能稳定可靠；螺旋式或挤压式泵体积小、造价低，但主要零部件易受磨损需经常更换；电动单缸砂浆泵体积较小、造价也较低，性能可靠，但输送砂浆时，由于柱塞做的是往复运动，所以输送连续性稍差。

水泥裹砂喷射混凝土施工时，在相同的时间内，砂浆泵输送的砂浆重量与干喷机输送的干混合料的重量基本相同。而干喷机的出力通常确定为 $3 \sim 4 \text{ m}^3/\text{h}$ ，相应地，砂浆泵的出力要求能达到 $4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

水泥裹砂喷射混凝土是通过调整砂浆泵的输送量来控制喷出料的稠度。当干喷机输送干混合料的量发生变化时，砂浆泵输送砂浆的量亦应相应变化，从而保证喷出的混凝土有适宜的稠度。因此水泥裹砂喷射混凝土要求砂浆泵的出力在其额定的输送能力下必须是任

意可调的。为达到这一要求,当采用电动螺杆泵、挤压泵或单缸泵时,它们的动力应为无级调速电机,以便通过调整电动机的转速来控制砂浆泵的输送量。

单缸砂浆泵是靠柱塞的往复运动来输送砂浆,因此砂浆的输送过程是间断的。砂浆输送的间隔时间可通过砂浆柱塞每分钟的往返次数计算出来。

8.9.2 在确定水泥裹砂喷射混凝土的施工配合比时,首先要确定出总配合比,然后分别确定砂浆的配合比和混合料的配合比。

总配合比的确定可采用普通混凝土配合比设计的“绝对体积法”。混凝土的含气量可取3%~5%。首先根据喷层的强度要求确定一个水灰比;再根据砂子的粗细在55%~70%范围内确定一个砂率;然后再确定单位用水量(混凝土拌和物的坍落度可取3~5cm)。水灰比、砂率和单位用水量确定后便可计算出混凝土的总配合比。

裹砂砂浆内的含砂量是根据砂浆泵的输送性能通过试验确定的。应尽量取大值,以充分发挥裹砂法的优点。干混合料内通常含有10%的水泥,其目的是为了减小混合料对输料管的磨损。当砂石表面含水较多时,会使混合料中的水泥变成稀浆,此时便不宜向混合料中加入水泥,而应将100%的水泥全部用于拌制裹砂砂浆。当砂浆内的含砂量和含水量确定后,裹砂砂浆的配合比以及干混合料的配合比也就相应确定了。

8.9.3 裹砂砂浆的拌制程序有“三段法”和“两段法”。三段法是先将砂和一次搅拌用水加入搅拌机搅拌,使砂子表面充分湿润;再将水泥(包括掺合料)加入搅拌机进行搅拌(这一过程叫“造壳”);造壳搅拌完成后将二次搅拌用水(总用水量减去造壳用水量)和减水剂加入搅拌机,拌制出水泥裹砂砂浆。两段法是将前两步合并为一步。即:将砂、一次搅拌用水和水泥(包括掺合料)同时投入搅拌机进行造壳搅拌,然后加入二次搅拌用水和减水剂拌制出水泥裹砂砂浆。当采用反向双转式或行星式混凝土搅拌机时可采用两段法;采用一般强制式搅拌机时宜采用三段法。

水泥裹砂法的造壳用水量是根据造壳水灰比确定的。在无试验资料论证的情况下,造壳水灰比可取0.25,用裹砂砂浆内的水泥重量(包括掺合料)乘以造壳水灰比即为造壳用水量。用造壳用水量减去砂浆内的砂子的表面含水(当砂子吸水未达饱和状态时,这一数值为负值)即为一次搅拌用水量。

8.9.5 水泥裹砂喷射混凝土作业时砂浆泵的压力是根据喷射机的压力来确定的。假如喷射机每小时喷出 3m^3 混合料,则砂浆泵也应输出相对应的砂浆量。在喷射作业开始时,首先要使砂浆泵的输送量等于所需的砂浆匹配量,然后在此基础上根据喷出料的状态进行微调。

水泥裹砂喷射混凝土作业时,砂浆泵的输送量要随时根据干喷机输出量的变化而变化。砂浆泵司机要根据喷射手的要求调整砂浆的输送量。

8.10 喷射混凝土强度质量的控制

8.10.1 由于施工中多种因素的影响,喷射混凝土强度的离散性一般较大。但若原材料的选用、配料、搅拌和喷射施工,养护等环节均能按规定进行,就可生产出品质优良的喷射混凝土。施工中,在一个统计周期内,根据测试的喷射混凝土抗压强度(试验试块的应在20组以上),绘制质量控制图,有助于及时了解强度的变化情况,采取措施减小喷射混凝土强度的离散性。

例如某铁路隧道,由于采用强度质量控制图对喷射混凝土施工质量进行控制,做到及时发现问题,尽快采取对策,使锚喷支护的质量迅速提高。施工初期,标准差为 $\pm 5.6\text{MPa}$,变异系数为20.1%,施工水平仅为一般;一年后,标准差和变异系数分别下降到 $\pm 3.3\text{MPa}$ 和13.7%,施工控制水平达到了优良。**8.10.2** 评价喷射混凝土的施工控制水平,主要参数是标准差和变异系数。

1 母体的离散可通过同批试块的强度值算出。

1) 母体标准差

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cki}'^2 - n f_{ck}'^2}{n-1}} \quad (9)$$

式中 S_n —母体标准差(MPa)；
 n —试块组数；
 f_{cki}' —第 i 组试块抗压强度(MPa)；
 f_{ck}' — n 组试块抗压强度的平均值(MPa)。

$$f_{ck}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cki}' \quad (10)$$

2) 母体变异系数

$$V = \frac{S_n}{f_{ck}'} \times 100 \quad (11)$$

式中 V —变异系数(%)。

2 一次试验的离散，可通过同一工作班一次试验所得数据算出。

1) 一次试验标准差

$$S_1 = \frac{1}{d} f_{ckm}' \quad (12)$$

式中 S_1 —标准差(MPa)；

d —与组内试块个数有关的系数，按本规范表 8.10.2 选用；

f_{ckm}' —一次试验中，各组试块极差的平均值(MPa)；每组试块的极差为组内试块最高与最低强度值之差。

2) 一次试验的变异系数

$$V_1 = \frac{S_1}{f_{ckl}'} \times 100 \quad (13)$$

式中 f_{ckl}' —一次试验中各组试块强度的平均值(MPa)。

喷射混凝土强度质量控制图中最大的平均极差 f_{ckmax}' 按下式计算：

$$f_{ckmax}' = f_{ck}' \cdot V_1 \cdot d \quad (14)$$

表 12 计算一次试验标准差的系数

试块个数	d	1/d	试块个数	d	1/d
2	1. 128	0. 887	7	2. 704	0. 370
3	1. 693	0. 591	8	2. 847	0. 351
4	2. 059	0. 486	9	2. 970	0. 337
5	2. 326	0. 430	10	3. 078	0. 325
6	2. 543	0. 395			

表 12 是根据我国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。

8.10.3 喷射混凝土施工应达到的平均强度，即本规范公式(8.10.3)中计算的标准差 S 为现场实际统计的母体标准差。缺乏统计资料时，初期可根据本工程强度质量控制情况，参

照本说明表 14 所列数值试选。

9 安全技术与防尘

9.1 安全技术

9.1.1 施工前，认真检查和处理作业区(顶板、两帮和工作面)的危石特别重要。以往由于危石未能全面清除，工伤事故屡见不鲜，设备工具被砸坏，故本条作了明确规定。

9.1.2 IV、V级围岩稳定性差，隧洞开挖后自稳时间短(或极短)，易发生安全事故。因此，开挖后应及时支护，缩短空顶时间和空顶距离，以充分利用端部支承效应，减少对开挖工作面附近围岩的扰动，保证锚喷支护作业区的安全。

采用先喷后锚，喷层厚度不小于50mm，可及时封闭围岩，防止小岩块脱落，保护作业区人员的安全。同时也应有专人负责，随时观察围岩变化及时采取安全措施。

此外，根据实测资料，掺入速凝剂后喷射混凝土的早期抗压强度3h可达1MPa左右。因此，规定锚杆施工宜在喷射混凝土3h后进行，以保证施工安全。

9.1.3、9.1.4、9.1.5 说明如下：

1 地下工程所处的环境，空气湿度大，电源线路和设备的电气部分易受潮漏电，故应定期检查。

2 喷射机、水箱、风包和注浆罐等都属于承受压力的设备，以往由于使用前未做承压试验，曾发生过崩裂事故。至于出料弯头和输料管磨穿及管路联结处的松脱现象也时有发生，如不及时检查更换，是十分危险的。对于处理机械故障时，断电、停风和送电、送风时通知有关人员，这是必须做到的，多次的事故教训要吸取。故本条作了严格的规定。

9.1.6 喷射作业中，处理堵管是一项涉及到安全的大事，决不能草率行事。在处理堵管时应尽可能采取敲击法疏通。当用高压风吹通时，本条规定工作风压不应超过0.4MPa，是因为若压力大，一旦管路疏通，堵塞物通过喷嘴时，冲击力很大，使喷头剧烈甩动，喷射手很难按住喷头，极易伤人。

处理堵管时，要顺直输料管，是为了减少管内阻力，确保处理堵管时的安全。

9.1.7、9.1.8、9.1.9 这3条规定都是针对锚喷支护施工中，最容易忽略的几个安全问题而提出的。如搭设施工台架时，往往只铺设面板而没有栏杆，这样就不能应付突然出现的情况；向锚杆孔注浆时，稍不注意罐内砂浆就会放空，结果插入钻孔中的注浆管将孔内砂浆喷出，很容易伤害作业人员；喷射作业时，在任何情况下，均规定喷头不得对人，严防喷射料流击伤人。因此，本规范在这3条中特别强调了这些容易被人们忽略的安全问题。

9.1.10 速凝剂和树脂对人体(皮肤、眼睛、手)有腐蚀，树脂还属可燃性物质。因此，条文中作了相应的规定。

9.1.11 钢纤维喷射混凝土施工中所用的钢纤维是直径为0.3~0.5mm的金属丝，其两端为针状较锋利，容易扎伤人。因此，在搅拌操作、上料喷射及处理回弹物时，应采取措施，防止钢纤维扎伤操作人员。

9.1.12 检验锚杆抗拔力时，所用的拉力计是依托在锚杆的尾端来进行拉拔作业的，因此，为了防止杆体突然拉断或锚杆丧失承载力，试验设备掉下伤人，规定拉拔器前方和下方严禁站人，以确保检验作业的安全。

9.1.13 这四条规定都是针对水胀锚杆在施工中，容易疏忽几个安全问题而提出的。如高压泵设置防护罩、高压胶管的防护，以及防止炮崩等，均在过去时有发生；高压泵的移动或搬动，绝不可带电作业；同时，也对操作中安装棒的使用作了规定，以确保安装锚杆时，操作人员的安全。

9.2 防尘

9.2.2 喷射混凝土施工采用湿喷或水泥裹砂喷射工艺可有效减少粉尘。对于干喷工艺，一般在喷射机附近及喷头周围粉尘量较大，除采用综合防尘措施外，佩戴个体防护用品，也是减少粉尘对人体健康影响的有效措施。

9.2.3 喷射混凝土施工中产生的粉尘主要是水泥粉尘。砂石骨料中虽有细颗粒，但含量很

少。经测定，喷射混凝土粉尘中游离二氧化硅含量一般在 10%以下。因此，参照国内外的有关规定(见表 13 和表 14)，规范中规定喷射混凝土施工时的粉尘浓度不应大于 10mg/m³。

表 13 国内容许的最高粉尘浓度(mg/m³)

游离二氧化硅含量(%)	煤炭	冶金	工业企业卫生标准(TJ 36)
>10	2	2	2
<10	10	10	6*
—	—	—	100**

注：表中的“*”为水泥粉尘，“**”为煤粉尘。

表 14 国外容许的最高粉尘浓度(mg/m³)

游离二氧化硅含量(%)	美国	瑞典	前苏联	日本	法国	英国	朝鲜
>10	2	2	2	2	2. 4~0. 65	2	2~5
<10	—	5	4	5	8	5	10
—	10*	10*	—	10	—	8**	—

注：表中的“*”为水泥粉尘，“**”为煤粉尘。

10 质量检查与工程验收

10.1 质量检查

10.1.1 为获得质量均匀的喷射混凝土和水泥砂浆,原材料准确称量,混合料搅拌的均匀性是很重要的。要求在每一工作班至少目测检查两次。施工中如遇气候骤变、机械故障或围岩塌方等突发性事件时,应及时对作用的原材料和拌和物进行检查。

10.1.2 抗压强度是喷射混凝土性能的主要指标,一般亦能反映喷射混凝土其他物理力学性能的优劣。因此,检查时通常只做抗压强度试验即可。某些重要工程,如水工隧洞、大型洞室还要了解喷射混凝土的抗拉强度与岩面的粘结强度、抗渗性能等,从而应增做相应的试验。

喷射混凝土标准试块的尺寸,考虑到所用骨料的最大粒径不宜大于15mm,本规范规定为边长100mm的立方体。同时规定28d的极限抗压强度乘以0.95的系数,以与现行国家标准《混凝土结构工程施工及验收规范》GB 50204取得一致。

10.1.3 喷射混凝土强度验收合格条件分为重要工程和一般工程两种情况。

一般工程的规定,其设计强度等级的保证率只有50%。

重要工程规定, $f'_{ck} - K_1 S_n \geq 0.9 f_c$ 是主要条件,设计强度的保证率可达95%以上。考虑的主要方面是:

1 采用计量抽样检验方案。使之能以较少的检验数量,得到有关产品质量较多的信息。

2 采用母体标准未知的形式。这对于地下工程施工生产水平不易稳定,喷射混凝土强度质量易于波动的情况较为适用。

3 兼顾使用者、施工者的双方利益。在限制漏判概率的同时,也适当限制错判概率。

4 验收函数 $f'_{ck} - K_1 S_n$ 中的 K_1 值服从中心t分布规律。当试块组数一定时, K_1 值越大则错判概率愈大,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_1 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块组数而变, K_1 值的取值必将随试块组数的增加而减小。本规范表10.1.3即为漏判概率限制在20%左右所取得的 K_1 值,为简便计,分为三档。

$f'_{ckmin} \geq K_2 f_c$ 是第一条件的补充。主要是控制分布曲线中,低强度一侧可能出现长尾的情况,以弥补其不足。

当样本统计数据同时符合本规范公式(10.1.3-1)、(10.1.3-2)或公式(10.1.3-3)、(10.1.3-4)的两个条件时,则认为该批喷射混凝土强度合格。

10.1.4 喷射混凝土厚度的检查常用钻眼法。钻眼检查的做法,宜在喷射混凝土施工完8h内用短钎杆钻孔。此时混凝土强度较低,易于实施,发现厚度不够,亦便于及时补喷。当用凿岩机钻眼,因混凝土与围岩粘结紧密,两者颜色相近而不易辨认喷层厚度时,可用酚酞试液涂抹孔壁,碱性混凝土表面呈红色。

规定的检查断面间距,当设计厚度为100mm时,与留取强度检查试块的工程量接近。若工程对喷层厚度有严格要求时,检查断面和钻孔数量可适当增加。

喷层厚度检查的合格条件,考虑到岩面本身有起伏,喷层是紧贴岩面的,而且要求做到表面圆顺,因此,不同部位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,应配合采用光面爆破,加强施工管理。

10.1.5 锚杆质量的检查,包括长度、间距、角度、方向、抗拔力以及注浆密实度等,有的已在隐蔽工程检查中进行。锚杆的抗拔力与锚杆的型式,杆体材料、直径,以及围岩强度、钻孔的冲洗程度等因素有关,因此用它作为端头锚固和摩擦型锚杆质量的综合性指标。其抗拔力达到设计指标即为合格。

检验锚杆抗拔力时,应注意下列事项:

- 1 安装拉力计时，其作用线应与锚杆轴线同心；
- 2 加载应缓慢，匀速，拉拔至设计吨位时，即停止。设计无要求时不做破坏性试验；
- 3 拉力计应固定牢靠，并有安全保护措施。

10.1.6 本条说明如下：

- 1 锚喷支护工程完成后，应保证隧洞或竖井在使用期内设备的使用与安全和人员的正常通行，为此，规定断面尺寸必须符合设计要求。
- 2 工程竣工时，漏喷或喷层离鼓现象不加处理，则会导致水和湿气侵蚀围岩，使围岩软化或膨胀，造成喷层破坏，严重影响工程的可靠性。
- 3 工程验收时如发现喷层有正在扩展或危及使用安全的裂缝，则说明该工程是不稳定的，当然不能予以验收。
- 4 在锚杆和钢筋网喷射混凝土施工中，有时会出现锚杆尾部外露太长和钢筋网没有完全被喷层覆盖，这样不仅不美观，更重要的是锚杆杆体和钢筋会被锈蚀，最终有可能危及工程的使用与安全。因此，要求锚杆尾端和钢筋网不得外露，必须由喷层完全覆盖。

10.2 工程验收

10.2.1 按设计要求和质量合格条件验收锚喷支护工程，是为了确保工程投入使用后，能长期满足安全使用的要求。

10.2.2 锚喷支护工程验收时，应提供 8 个方面的资料，以备工程使用过程中一旦出现问题可从有关资料中了解当时施工情况，分析原因，提出相应的处理措施。过去在地下工程锚喷支护工程验收时，有的施工单位提供资料不全因而出现问题时，分析原因，进行处理都很困难。为了纠正这种不良状况，规范中特别强调了工程验收时应提供的技术资料。

10.2.3 设计要求进行监控量测的工程，在验收时应提交相应的报告和有关资料，其中必须包括位移测量时态曲线图，该图对分析判断隧洞是否处于稳定，至关重要。