

中华人民共和国水利行业标准

SL 377—2007

替代 SDJS 7—85

水利水电工程锚喷支护技术规范

**Technical specification of shotcrete and rock bolt
for water resources and hydropower project**

2007—10—08 发布

2008—01—08 实施

中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部

关于批准发布水利行业标准的公告

2007 年第 10 号

中华人民共和国水利部批准《水资源水量监测技术导则》
(SL 365—2007) 等 5 项标准为水利行业标准，现予以公布。

二〇〇七年十月九日

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水资源水量 监测技术导则	SL 365—2007		2007.10.08	2008.01.08
2	水利水电工程 锚喷支护技术 规范	SL 377—2007	SDJ5 7—85	2007.10.08	2008.01.08
3	水工建筑物 地下开挖工程 施工规范	SL 378—2007	SDJ 212—83	2007.10.08	2008.01.08
4	开发建设项目 水土保持设施 验收技术规程	SL 387—2007		2007.10.08	2008.01.08
5	实时水情 交换协议	SE Z 388—2007		2007.10.08	2008.01.08

前 言

《水利水电工程锚喷支护技术规范》(SL 377—2007)是根据水利部建设与管理司于1998年1月21日下达的《关于编制水利水电工程锚喷支护技术规范的通知》(建技〔1998〕01号)的要求,在1985年颁布的《水利水电地下工程锚喷支护施工技术规范》(SDJS 7—85)基础上修订的行业技术标准。

本规范共10章28节231条,7个附录。这部规范比原规范增加了4章7节127条。新增加的主要内容有锚杆支护设计、喷射混凝土支护设计,原位监测设计,锚喷施工监测和环境保护等内容。

本规范替代规范的版本为:

——SDJS 7—85

本规范批准部门:中华人民共和国水利部

本规范主持机构:水利部建设与管理司

本规范解释单位:水利部建设与管理司

本规范主编单位:水利部松辽水利委员会

本规范参编单位:中水东北勘测设计研究有限责任公司

黄河水利委员会勘测规划设计研究院

水利部小浪底建设管理局

中国水电第六工程局

山西建华化工厂

吉林省水利厅

北京天成垦特莱科技有限公司

本规范出版、发行单位:中国水利水电出版社

本标准主要起草人:赵长海 车黎明 王 檠 刘元甫

孙荣博 皮 钧 王 衡 赵学文

孙国纬 高广纯 王福庆 于洪民

付庆福 侯吉长 刘殿武 周增富

本规范审查会议技术负责人：李 丰

本规范体例格式审查人：牟广丞

目 次

1	总则	8
2	引用标准	9
3	术语	10
4	锚喷支护设计	13
4.1	一般规定	13
4.2	监控设计	17
4.3	锚杆支护设计	19
4.4	喷射混凝土支护设计	25
4.5	联合支护设计	27
5	锚杆施工	29
5.1	一般规定	29
5.2	水泥砂浆锚杆施工	29
5.3	张拉锚杆施工	31
5.4	特殊型式锚杆施工	33
6	喷射混凝土施工	35
6.1	原材料	35
6.2	施工机具	36
6.3	混合料的配合比、拌制和运输	36
6.4	喷射作业前的准备工作	37
6.5	喷射作业	38
6.6	水泥裹砂喷射混凝土作业	39
6.7	钢纤维喷射混凝土作业	41
7	联合支护施工	42
7.1	锚杆、钢筋网喷射混凝土作业	42
7.2	锚杆、钢拱架、钢筋网喷射混凝土支护作业	42
7.3	特殊地质条件下的联合支护施工	43

8	锚喷支护施工监测	45
8.1	一般规定	45
8.2	收敛监测	45
8.3	多点位移监测	46
9	安全技术与防尘	48
9.1	安全技术	48
9.2	环境保护与防尘	49
10	质量检查	51
10.1	锚杆施工质量检查	51
10.2	喷射张土施工质量检查	51
附录 A	喷射混凝土与围岩结合面的黏结强度检测方法	56
附录 B	锚喷支护监控量测方法	58
附录 C	喷射混凝土作业区粉尘浓度检测方法	62
附录 D	锚杆拉拔力检测方法	63
附录 E	砂浆锚杆注浆质量检测方法	64
附录 F	喷射混凝土抗压强度的检测方法	66
附录 G	喷射混凝土抗渗性检测方法	67
	标准用词说明	68

1 总 则

1.0.1 为规范锚喷支护工程的设计和施工，保证锚喷支护设计和工程质量，确保安全，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于水利水电工程中各种地下洞室的锚喷支护设计与施工，或由锚喷支护参与组合而成的其它类型的支护设计与施工。采用锚喷支护的边坡、基础和其它建筑物的加固可参照执行。

1.0.3 采用锚喷支护的工程，应做好地质调查，合理地进行围岩分类，根据围岩自身稳定状况，因地制宜、正确有效地加固围岩，充分发挥围岩的自承能力。

1.0.4 采用锚喷支护的地下洞室，以普通钻爆法开挖时，应按《水工建筑物地下开挖工程施工规范》（SL 387—2007）的有关规定采用光面爆破或预裂爆破技术开挖。

1.0.5 采用锚喷支护的工程，应做好监控设计和施工期的监测，并根据监测结果及时修改支护设计。

1.0.6 对从事锚喷支护的作业人员，应进行岗位培训，考核合格后方可执行施工任务。

1.0.7 应积极采用经过省、部级以上有关部门鉴定的新技术、新工艺、新设备、新材料，使锚喷支护工程技术先进、安全可靠、经济合理。

1.0.8 水利水电工程锚喷支护的设计和施工除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和水利行业现行有关标准的规定。

2 引用标准

本规范引用标准主要有：

《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB 175)

《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB 50086)

《水利水电工程地质勘察规范》(GB 50287)

《水工预应力锚固施工规范》(SL 46)

《水工预应力锚固设计规范》(SL 212)

《水工混凝土试验规程》(SD 105—82)

《水工建筑物地下开挖工程施工规范》(SL 387—2007)

《水利水电建筑安装安全技术工作规程》(SD 267—88)

《水工混凝土施工规范》(SDJ 207—82)

3 术 语

3.0.1 地下洞室 **underground cavity**

在岩体或土体中开挖的地下空间。

3.0.2 锚喷支护 **anchoring and shotcreting support**

采用锚杆、喷射混凝土加固岩（土）体的技术措施。

3.0.3 临时支护 **temporary support**

对临时性建筑物或永久性建筑物在永久支护实施前为保证施工安全临时施作的支护。

3.0.4 永久支护 **permanent support**

用于永久性建筑物的支护。

3.0.5 初期支护 **first stage support**

洞室开挖后立即施作的第一次支护。

3.0.6 二次支护 **secondary support**

根据围岩稳定或初期支护后监测结果决定的再次支护。

3.0.7 系统锚杆 **pattern rock reinforcement**

根据岩（土）体整体稳定要求，在整个开挖面上，按一定间距、一定规律布置的锚杆。

3.0.8 局部锚杆 **feature rock reinforcement**

为防止岩（土）体塌落或滑动，在局部布置的锚杆。

3.0.9 砂浆锚杆 **cement grouted rock dowels**

以普通钢材为杆体，在锚杆全孔充填水泥砂浆、快硬水泥砂浆或水泥药卷的锚杆。

3.0.10 张拉锚杆 **rock bolts**

施加张拉力的锚杆。

3.0.11 预应力锚杆 **prestressed rock anchors**

施加预应力的锚杆，是预应力锚杆和预应力锚索的统称。

3.0.12 有黏结预应力锚杆 **prestressed rock anchors**

with bond

注浆后杆体不能自由滑动的预应力锚杆。

3.0.13 无黏结预应力锚杆 Prestressed rock anchors without bond

对杆体经过特殊处理，注浆后杆体可以自由滑动的预应力锚杆。

3.0.14 端头锚固型锚杆 head-anchoring rock

采用胶结材料或机械装置，首先将锚杆内端固定的锚杆。

3.0.15 缝管式锚杆 slot-tube rock

将沿纵向开缝的薄壁钢管强行推入比其外径小的钻孔中，借助钢管对孔壁的径向压力产生阻力而起锚固作用的锚杆。

3.0.16 树脂锚杆 resin grouted rock anchor

以树脂为胶结材料的锚杆。

3.0.17 花管注浆锚杆 injection grout holed rock

以在管壁布置一定数量小孔的钢管为杆体插入钻孔后，通过杆体空腔的小孔向锚杆孔注浆的砂浆锚杆。

3.0.18 水胀式锚杆 water expansion rock anchor

将用薄壁钢管加工成的异型空腔杆件，送入比其略大的钻孔中，通过向该杆件空腔高压注水，使杆件膨胀与孔壁产生摩阻力而起到锚固作用的锚杆。

3.0.19 自钻式锚杆 self-drilling grouted rock anchor

具有造孔功能，将造孔、注浆和锚固结合为一体的砂浆锚杆。

3.0.20 超前锚杆 rock anchor advance

在地下洞室掌子面，向下一掘进段周边围岩施作的锚杆。

3.0.21 喷射混凝土 shotcrete

拌和后的水泥、砂、石和速凝剂的混合料，通过喷射机射向受喷面，同围岩紧密结合的混凝土护面。

3.0.22 水泥裹砂喷射混凝土 cement paste wrapping sand shotcrete

先用部分水泥和少量水使砂、石表面造壳，然后将混合料和剩余的水泥混合，喷射至受喷面而形成的喷射混凝土护面。

3.0.23 潮料掺浆喷射混凝土 cement paste wrapping wet-aggregate shotcrete

将潮湿的砂、石同掺有速凝剂的水泥浆混合，再喷射至受喷面而形成的喷射混凝土护面。

3.0.24 钢纤维喷射混凝土 Steel fibre reinforced shotcrete

在水泥、砂、石、速凝剂的混合料中加入 3%~6% 的钢纤维，再喷射至受喷面的喷射混凝土护面。

3.0.25 格栅拱架 lattice-arch frame

用钢筋焊接加工而形成的桁架式拱形钢架。

3.0.26 隧洞周边相对位移 relative displacement of tunnel wall

地下洞室周边某两点间距离的变化值。

3.0.27 顶拱沉降量 arch-roof settlement

洞体开挖后顶拱下沉的量值。

3.0.28 收敛测量 convergence measurement

用专门仪器，测量洞室开挖或支护后洞周某两点间距离变化的方法。

4 锚喷支护设计

4.1 一般规定

4.1.1 锚喷支护设计应根据围岩的工程地质条件进行。锚喷支护工程地质调查的要求和深度除应符合 GB 50287 外，对 III ~ V 类围岩的地下洞室和 I、II 类围岩中开挖跨度大于 15m 的地下洞室，还应通过对围岩的变形观测，确定围岩的自稳能力。

4.1.2 在地质调查的基础上，根据围岩的稳定性和由岩石强度、岩体完整程度、结构面状态、地下水和结构面产状等地质因素决定的围岩基本质量，按表 4.1.2 确定围岩类别。围岩基本质量的总评分，可按 GB 50287 的规定确定。围岩的自稳能力可按本规范 4.1.1 条的规定由变形观测确定。

表 4.1.2 围岩基本质量分类

围岩类别	围岩稳定性	围岩基本质量总评分 T	围岩强度应力比 S
I	稳定。围岩可长期稳定，一般无不稳定块体	$T > 85$	$S > 4$
II	基本稳定。围岩整体稳定，不会产生塑性变形，局部可能产生掉块	$85 \geq T > 65$	$S > 4$
III	局部稳定性差。围岩强度不足，局部会产生塑性变形，不支护可能产生塌方或变形。较完整的软岩，可能暂时稳定	$65 \geq T > 45$	$S > 2$
IV	不稳定。围岩自稳时间很短，规模较大的各种变形和破坏都可能发生	$45 \geq T > 25$	$S > 2$
V	极不稳定。围岩不能自稳，变形破坏严重	$T \leq 25$	

注：I、II、IV 类围岩，当其 S 小于本表规定时，围岩类别宜相应降低一级。

4.1.3 锚喷支护设计应包括下列内容：

- 1 选择支护类型。

- 2 确定锚杆的型式、直径、数量、间距和布置。
- 3 确定喷射混凝土的强度等级和厚度，需要布置钢筋网时还应确定钢筋网的直径和间距。

4 根据监测结果确定是否进行二次支护以及二次支护的实施时间和程序。

4.1.4 锚喷支护设计宜采用工程类比法。对 IV、V 类围岩或大跨度地下洞室还应辅以监控量测法及理论验算法复核。

4.1.5 初步设计阶段，应根据工程地质条件、地下洞室尺寸、工程使用年限及洞室用途，按表 4.1.5 的规定初步选择支护类型和系统支护参数。

表 4.1.5 永久性锚喷支护类型和支护参数表

围岩类别	洞室开挖跨度 B (m)					
	$B \leq 5$	$5 < B \leq 10$	$10 < B \leq 15$	$15 < B \leq 20$	$20 < B \leq 25$	$25 < B \leq 30$
I	不支护	(1) 不支护; (2) 50mm 喷射混凝土	(1) 50~80mm 喷射混凝土; (2) 50mm 喷射混凝土, 布置长 2.0~2.5m、间距 1.0~1.5m 砂浆锚杆	100~120mm 喷射混凝土, 布置长 2.5~3.5m、间距 1.25~1.50m 砂浆锚杆。必要时设置钢筋网	120~150mm 钢筋网喷射混凝土, 布置长 3.0~4.0m、间距 1.5~2.0m 砂浆锚杆	150mm 钢筋网喷射混凝土, 相间布置长 4.0m 砂浆锚杆和长 5.0m 张拉锚杆, 间距 1.5~2.5m
II	(1) 不支护; (2) 50mm 喷射混凝土	(1) 80~100mm 喷射混凝土; (2) 50mm 喷射混凝土, 布置长 2.0~2.5m、间距 1.0~1.25m 砂浆锚杆	(1) 100~120mm 钢筋网喷射混凝土; (2) 80~100mm 喷射混凝土, 布置长 2.0~3.0m、间距 1.0~1.5m 砂浆锚杆, 必要时设置钢筋网	120~150mm 钢筋网喷射混凝土, 布置长 3.5~4.5m、间距 1.5~2.0m 砂浆锚杆	150~200mm 钢筋网喷射混凝土, 布置长 3.5~5.5m、间距 1.5~2.0m 砂浆锚杆, 原位监测变形较大部位进行二次支护	200mm 钢筋网喷射混凝土, 相间布置长 4.0~5.0m 砂浆锚杆和长 5.0~8.0m 张拉锚杆, 间距 1.5~2.5m, 原位监测变形大时, 进行二次支护

表 4.1.5 (续)

围岩类别	洞室开挖跨度 B (m)					
	$B \leq 5$	$5 < B \leq 10$	$10 < B \leq 15$	$15 < B \leq 20$	$20 < B \leq 25$	$25 < B \leq 30$
III	(1) 80 ~ 100mm 钢筋网喷射混凝土; (2) 50mm 钢筋网喷射混凝土, 布置长 1.5 ~ 2.0m、间距 0.75 ~ 1.0m 砂浆锚杆	(1) 120mm 钢筋网喷射混凝土; (2) 80 ~ 100mm 钢筋网喷射混凝土, 布置长 2.0 ~ 3.0m、间距 1.0 ~ 1.5m 砂浆锚杆	100 ~ 150mm 钢筋网喷射混凝土, 布置长 3.0 ~ 4.0m、间距 1.5 ~ 2.0m 砂浆锚杆	150 ~ 200mm 钢筋网喷射混凝土, 布置长 3.5 ~ 5.0m、间距 1.5 ~ 2.5m 砂浆锚杆, 原位监测变形较大部位进行二次支护	200mm 钢筋网喷射混凝土, 布置长 5.0 ~ 6.0m 砂浆锚杆和长 6.0 ~ 8.0m 张拉锚杆, 间距 1.5m ~ 2.5m, 原位监测变形较大部位进行二次支护	
IV	80 ~ 100mm 钢筋网喷射混凝土, 布置长 1.5 ~ 2.0m、间距 1.0 ~ 1.5m 砂浆锚杆	150mm 钢筋网喷射混凝土, 布置长 2.0 ~ 3.0m、间距 1.0 ~ 1.5m 砂浆锚杆, 原位监测变形较大部位进行二次支护	200mm 钢筋网喷射混凝土, 布置长 4.0 ~ 5.0m、间距 1.0 ~ 1.5m 砂浆锚杆, 原位监测变形较大部位进行二次支护, 必要时设置钢拱架或格栅拱架			
V	150mm 钢筋网喷射混凝土, 布置长 1.5 ~ 2.0m、间距 0.75 ~ 1.25m 砂浆锚杆, 原位监测变形较大部位进行二次支护	200mm 钢筋网喷射混凝土, 布置长 2.0 ~ 3.5m、间距 1.0 ~ 1.25m 砂浆锚杆, 原位监测变形较大部位进行二次支护, 必要时设置钢拱架或格栅拱架				

注 1: 表中空白部分表示不宜采用锚喷支护作为永久性支护。当采用锚喷支护作为临时性支护时, 可参照上一档次围岩类别或下一档次洞室开挖跨度初步确定支护参数, 再根据监测结果最后确定设计与施工采用的支护参数。
 注 2: 表中凡表明有 (1) 和 (2) 两个款项支护参数时, 可根据围岩特性选择其中一种做为设计的支护参数。
 注 3: 表中表示范围的支护参数, 洞室开挖跨度小时取小值, 开挖跨度大时取大值。

4.1.6 在Ⅳ类围岩中，地下洞室的开挖跨度大于15m；在Ⅴ类围岩中，地下洞室的开挖跨度大于10m，不宜采用单一形式的锚杆喷射混凝土做永久支护。为保证围岩在施工期的稳定性，可采用锚杆喷射混凝土做为临时性支护。

4.1.7 锚杆喷射混凝土做为临时性支护时，其支护参数可取表4.1.5中规定范围的小值。当监测结果需要加强支护时，再适当加大。

4.1.8 对于开挖跨度大于15m的地下洞室，按表4.1.5确定支护参数后，还应进行理论分析或数值分析计算，对选定的支护参数的可靠性进行分析。如果安全度不符合设计要求，应修改支护参数。

4.1.9 由构造引起的各种组合的结构面、断层破碎带、影响带或局部软弱岩体，应视地质条件和地质构造与地下洞室的布置关系，采用极限平衡理论或数字分析方法，按局部加固设计确定支护类型和支护参数。

4.1.10 技施设计阶段，应按GB 50287的规定做好地下工程的专门地质问题的勘察和施工地质工作，根据该阶段的地质勘察结果修正围岩类别，调整支护类型和支护参数。

4.1.11 开挖跨度大于15m的锚喷支护工程和Ⅳ、Ⅴ类围岩中临时支护的锚喷支护工程，在施工期间还应按本规范4.2的规定布置监测仪器，根据支护后围岩变形规律，按“监控设计法”修改支护类型和支护参数。

4.1.12 地下洞室交叉处，应根据地质构造、洞室的最大空间尺寸采取加强锁口锚杆的支护措施。初期支护可按照降低一类围岩类别，根据表4.1.5选择支护类型和支护参数，并根据交叉处围岩变形规律按本规范4.2的规定修正或确定二次支护参数。

4.1.13 局部加强支护应向较好围岩地段延伸，延伸长度应根据岩体构造、产状、地质条件差异程度和开挖跨度确定。

4.1.14 不同时段、不同开挖次序施作的支护应做好搭接，以保证支护的整体效果。

4.1.15 在V类围岩或断层带中建造地下工程时，设计应明确要求按小爆破药量，短进尺掘进，紧跟工作面支护，加强施工期监测，及时修改支护参数的方法施工，并制定切实可行的施工程序。

4.1.16 锚喷支护设计应根据地下水发育程度和围岩对施工用水的敏感程度，对地表水和施工用水提出处理措施。

4.2 监控设计

4.2.1 监控设计内容包括：确定监控量测项目，选择监测仪器；决定监控量测仪器数量和布置；进行监控量测数据整理分析和监测信息反馈及对支护参数的修正。

4.2.2 监控设计按工程设计阶段可分为：初设阶段或施工前进行的围岩稳定性分析监测、施工阶段进行的施工安全监测和工程运行期的永久性安全监测。

4.2.3 开挖跨度大于 20m 或开挖高度大于 50m 的地下洞室可视工程地质条件，在初步设计阶段或施工前进行专门的围岩稳定性分析监测，并依据监测结果分析围岩稳定程度，决定支护类型和参数或对初步选定的支护类型和参数进行调整。

该阶段的监测可在专门开挖的试验洞中进行。监测项目、内容及监测仪器布置，可由设计人员根据地质情况、洞室尺寸和监测目的决定。

4.2.4 施工阶段的安全监测应按本规范规定设计，并由施工单位或其它有安全监测资质的单位组织实施。依据监测结果修改支护参数，需要二次支护时，还应确定二次支护类型、支护参数和支护时间。

4.2.5 施工期安全监测项目可按表 4.2.5 确定。仪器性能应稳定可靠，量程与精度应满足量测需要。测点布置与测点数量应根据工程的地质条件和工程需要确定。

4.2.6 当地下洞室采用分部位开挖时，每序次开挖过程均应按相应的洞室尺寸，布置收敛监测仪器开展监测工作。量测开挖全过程围岩变形的多点位移计，应在第一次序开挖之前埋设。

表 4.2.5 锚喷支护工程监控量测项目表

围岩类别	洞室开挖跨度 B (m)				
	$B \leq 5$	$5 < B \leq 10$	$10 < B \leq 15$	$15 < B \leq 20$	$20 < B$
I				根据需要布置随机性监测仪器	根据需要布置随机性监测仪器
II			收敛及顶拱沉降量测	(1)收敛及顶拱沉降量测; (2)必要时布置多点位移计	(1)收敛及顶拱沉降量测; (2)多点位移计
III		收敛及顶拱沉降量测	收敛及顶拱沉降量测	(1)收敛及顶拱沉降量测; (2)多点位移计	(1)收敛及顶拱沉降量测; (2)多点位移计
IV	收敛及顶拱沉降量测	收敛及顶拱沉降量测	(1)收敛及顶拱沉降量测; (2)多点位移计	(1)收敛及顶拱沉降量测; (2)多点位移计	(1)收敛及顶拱沉降量测; (2)多点位移计; (3)锚杆应力计
V	收敛及顶拱沉降量测	(1)收敛及顶拱沉降量测; (2)多点位移计	(1)收敛及顶拱沉降量测; (2)多点位移计	(1)收敛及顶拱沉降量测; (2)多点位移计; (3)锚杆应力计	(1)收敛及顶拱沉降量测; (2)多点位移计; (3)锚杆应力计; (4)必要时增加仪器数量或其它项目
注：此表也适用于临时支护的施工期监测。					

4.2.7 在施工期的安全监测中，可根据围岩类别，洞室开挖跨度及洞体埋深情况，按表 4.2.7 估算围岩的允许变形值做为围岩稳定状态的标准值。当实测围岩变形值出现下列情况之一时，应立即修正支护参数，进行二次支护或采取新的加固措施。

- 1 总变形量接近表 4.2.7 规定的允许值。
- 2 日变形量超过表 4.2.7 规定的允许值的 P4~P5。

表 4.2.7 允许变形标准值 单位:%

围岩类别	埋 深 (m)		
	<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: 表中允许位移值用相对值表示, 指两点间实测位移累计值与两测点间距离之比。
注 2: 脆性围岩取小值, 塑性围岩取较大值。
注 3: 本表适用于高跨比为 0.8~1.2; Ⅲ类围岩开挖跨度不大于 25m; Ⅳ类围岩开挖跨度不大于 15m; Ⅴ类围岩开挖跨度不大于 10m 的情况。

4.2.8 运行阶段的永久性监测可根据工程布置、地质条件进行设计。由施工单位或有监测资质的单位负责仪器安装和施工期间的监测。工程验收后由工程管理机构负责管理和观测。施工期的观测结果可用于指导安全施工, 运行期监测结果主要用于工程的安全评价。

永久性监测仪器视工程进度, 应尽可能在施工初期埋设, 其监测项目应以多点位移计、钢筋计、锚杆应力计、测斜仪为主。仪器应具有长期稳定性。

4.3 锚杆支护设计

4.3.1 锚杆支护设计应根据围岩的地质条件、工程规模、工作年限和使用条件选择下列类型:

- 1 按锚杆与围岩接触方式分类为:
 - 1) 全长黏结型锚杆主要类型有水泥砂浆锚杆、树脂锚杆、水泥卷锚杆。
 - 2) 端头锚固型锚杆主要类型有机械端头锚固锚杆、树脂端头锚固锚杆、快硬水泥卷端头锚固锚杆。

3) 摩擦型锚杆主要类型有缝管锚杆、花管注浆锚杆、水胀式锚杆。

2 按对锚杆施加的张拉力大小分类为：张拉锚杆和预应力锚杆。

3 特殊类型锚杆：自钻式锚杆。

4.3.2 全长黏结型锚杆设计应遵守下列规定：

1 永久性工程的锚杆，宜优先选用全长黏结型锚杆。

2 杆体材料宜选用Ⅱ、Ⅲ级螺纹钢筋。

3 杆体直径宜为16~32mm。

4 钻孔直径应比杆体直径大20mm以上。

5 杆体与钻孔壁的胶结材料可选用水泥砂浆、快硬水泥卷或树脂材料。水泥砂浆的强度等级不宜低于M20。

4.3.3 端头锚固型锚杆设计应遵守下列规定：

1 端头锚固型锚杆的杆体材料可按4.3.2规定选择。

2 机械端头锚固型锚杆的锚头尺寸应与钻孔直径有良好的配合，当锚杆承受设计拉力时，锚头不产生滑移。

3 树脂端头锚固锚杆或快硬水泥卷端头锚固锚杆，采用的胶结材料应具有早凝特性。树脂材料的固化时间不应大于10min，快硬水泥卷的终凝时间不应大于12min，并在8h之内达到设计要求的强度。

4 端头锚固型锚杆内锚头的胶结长度，应按公式(4.3.3-1)计算决定。还应按公式(4.3.3-2)校核：

$$L_a = k_1 \frac{N_t}{\pi D C_1} \quad (4.3.3-1)$$

$$L_a = k_2 \frac{N_t}{\pi d C_2} \quad (4.3.3-2)$$

式中 L_a ——内锚固段长度，mm；

N_t ——锚杆承受的设计拉力值，kN；

D ——钻孔直径，mm；

k_1 ——胶结材料与孔壁胶结长度安全系数，按表4.3.3-1

选取；

C_1 ——胶结材料与孔壁围岩的黏结强度，MPa，按表 4.4.3—2 或表 4.3.3—3 选取，必要时还应通过现场拉拔试验确定；

C_2 ——胶结材料与锚杆体的黏结强度，MPa；

d ——锚杆体钢筋直径，mm；

k_2 ——胶结材料与杆体黏结长度安全系数， $k_2 = 1.2 \sim 1.5$ 。

表 4.3.3—1 内锚固段胶结长度安全系数

工程性质	永久支护		临时支护	
钻孔方向	仰孔	俯孔	仰孔	俯孔
安全系数 k_1	1.8	1.5	1.5	1.2

表 4.3.3—2 水泥浆胶结材料与围岩黏结强度

围岩类别	I	II	III	IV	V
黏结强度 (MPa)	1.5	1.2~1.5	0.8~1.2	0.3~0.8	≤ 0.3

表 4.3.3—3 树脂材料与围岩的黏结强度

围岩类型	围岩抗压强度 (MPa)	黏结强度 C_1 (MPa)
黏土岩、粉砂岩	5.0	1.2~1.6
煤、页岩、泥灰岩	14.0	1.6~3.0
砂岩、石灰岩	50.0	3.0~5.0
花岗岩及类似花岗岩的岩浆岩	100.0	5.0~7.0

5 杆体直径宜为 16~32mm，外锚头处应设置托板，托板宜采用 Q235 号钢，其厚度不宜小于 6mm，外锚头的螺纹应具有自锁功能，外锚头强度不应低于锚杆的设计拉力值。

6 永久性工程中的端头锚固型锚杆，必须进行全孔注浆。

4.3.4 摩擦型锚杆设计应遵守下列规定：

- 1 软弱、破碎需要立即加固的围岩，可采用摩擦型锚杆。
- 2 缝管式锚杆的杆体材料宜用 16 锰硅或 20 锰硅钢制作，管壁厚度为 2.0~2.5mm，杆体的极限抗拉力不宜小于 120kN。
- 3 缝管式锚杆的外径宜为 38~45mm，缝宽宜为 13~18mm。
- 4 缝管式锚杆的钻孔直径应小于缝管式锚杆的外径，其差值可按表 4.3.4 规定选取。

表 4.3.4 缝管锚杆与钻孔的孔径差

岩石单轴饱和抗压强度 (MPa)	孔径差 (mm)
>60	1.5~2.0
30~60	2.0~2.5
<30	2.5~3.5

5 缝管式锚杆孔口处的托板应采用 Q235 钢材，其厚度不宜小于 4mm，平面尺寸不应小于 120mm×120mm。

6 缝管式锚杆的初锚固力不应小于 25kN，当需要较高的初锚固力时，可采用带端头锚塞的缝管式锚杆。

7 水胀式锚杆宜选用直径为 48mm，壁厚为 2mm 的无缝钢管制成，并加工成外径为 29mm、前后套管直径为 35mm 的杆体。其孔口处托板尺寸应满足本条第 5 款规定。

4.3.5 张拉锚杆设计应遵守下列规定：

1 地下洞室围岩构造较发育，存在较大范围的塑性区或塌滑体时，经过技术经济比较，可采用张拉锚杆或张拉锚杆与砂浆锚杆相结合的加固方法。

2 张拉锚杆由内锚固段、张拉段和外锚头组成。内锚固段一般情况下应采用胶结式，特殊情况也可以采用机械式。

3 胶结式张拉锚杆内锚固段的长度，可按本规范 4.3.3 条的规定计算。机械式张拉锚杆锚内固段可按 SL 212 的规定设计。

4 张拉锚杆可采用Ⅱ、Ⅲ级螺纹钢筋，其直径为25~32mm，有特殊要求时，也可采用精轧螺纹钢筋。其材料性质应符合SL 212的规定。

5 张拉锚杆在设计张拉力时，锚杆的平均应力不大于钢材抗拉强度标准值的70%。

6 张拉锚杆内锚固段的胶结材料，宜选用早强水泥砂浆或早强水泥卷。胶结材料的强度等级不宜低于M30。

7 张拉锚杆的锚具，宜由专门厂家制造，锚具材料的性质应符合SL 212的规定。

8 永久性张拉锚杆应做好防腐防锈处理。锚杆张拉完成后应进行全孔封孔灌浆。杆体的保护层厚度不应小于10mm。

4.3.6 易于塌孔的软弱岩层中，宜采用自钻式砂浆锚杆。其设计应遵守下列原则：

1 杆体材质应符合Ⅱ、Ⅲ级钢材质量规定，其强度应满足设计要求。

2 钻进时应一次达到设计深度，注浆应保证饱满。

4.3.7 围岩稳定分析认为需要布置预应力锚杆时，其锚固设计应遵守SL 212的规定。

4.3.8 锚杆的布置应遵守下列规定：

1 系统锚杆的布置按以下要求执行。

1) 系统锚杆可采用梅花形、矩形、方形或菱形布置，其间距不宜大于锚杆长度的1/2，Ⅳ类围岩中锚杆间距不得大于1.25m，Ⅴ类围岩中锚杆间距不得大于1.00m。

2) 按本规范4.1.5确定锚杆参数后，还应通过理论分析或有限元计算，验证其数量与长度是否满足稳定要求。不能进行理论分析的工程也应对围岩进行声波测试，确定松弛范围并校正锚杆长度。锚杆应穿越塑性区或松弛区，在稳定岩层中的长度应满足4.3.3的规定，且不得小于1.0m。

3) 系统锚杆方向应垂直洞室周边设计的轮廓线。

2 局部锚杆的布置按以下要求执行。

- 1) 局部锚杆应根据不稳定块体的大小、结构面的组合情况，用块体理论的极限平衡法确定锚杆的数量和锚杆长度。
- 2) 拱腰以上部位的局部锚杆，按承担全部不稳定岩体的下滑力进行设计，可按公式 (4.3.8-1) 或公式 (4.3.8-2) 计算：

水泥砂浆锚杆

$$n \geq k_c \frac{G}{A_s f_y} \quad (4.3.8-1)$$

张拉锚杆

$$n \geq k_c \frac{G}{A_y \sigma_{\text{con}}} \quad (4.3.8-2)$$

式中 n ——锚杆根数；

G ——锚杆承受的岩石重量，N；

A_s ——单根锚杆杆体截面积， mm^2 ；

A_y ——单根张拉锚杆杆体截面积， mm^2 ；

f_y ——锚杆体材料的设计抗拉强度，MPa；

σ_{con} ——张拉锚杆钢材的控制应力，MPa， $\sigma_{\text{con}}=0.7 f_{pk}$ ；

f_{pk} ——预应力钢材设计强度标准值；

k_c ——安全系数，永久性工程 $k_c=1.5\sim 1.8$ ；临时性工程 $k_c=1.2\sim 1.5$ 。

- 3) 拱腰以下及边墙部位的局部锚杆，按公式 (4.3.8-3) 和公式 (4.3.8-4) 确定锚杆数量，并按结构面位置确定锚杆长度：

砂浆锚杆

$$n \geq \frac{k_c (G_t - fG_n - CA)}{A_s f_{yv}} \quad (4.3.8-3)$$

张拉锚杆

$$n \geq \frac{k_c(G_t - fG_n - CA)}{P_t + fP_n} \quad (4.3.8-4)$$

式中 n ——砂浆锚杆或张拉锚杆数量；
 G_t 、 G_n ——不稳定块体平行作用于滑动面和垂直作用于滑动面上的分力，**N**；
 f ——滑动面上的摩擦系数；
 A ——滑动面的面积，**mm²**；
 C ——滑动面上的黏结力，**MPa**；
 A_s ——单根水泥砂浆锚杆的截面积，**mm²**；
 f_w ——锚杆钢筋或预应力钢材的抗剪强度值，**MPa**；
 P_t 、 P_n ——张拉锚杆作用于不稳定块体上的总压力在抗滑动方向和垂直滑动面方向上的分力，**N**；
 k_c ——安全系数，按公式（4.3.8-1）规定选取。

4) 砂浆锚杆或张拉锚杆，在稳定的岩层中的长度，应根据锚杆承受的拉力大小和围岩条件按本规范 4.3.3 条的规定确定。

5) 锚杆的方向，应按最优锚固角布置。

3 在地下洞室中，经稳定分析计算除应布置系统支护锚杆外，当存在影响局部稳定的结构面时，还应布置局部锚杆。系统锚杆和局部锚杆的数量、长度及布置均应满足本条第 1、2 款的要求。

4.4 喷射混凝土支护设计

4.4.1 喷射混凝土支护设计的主要内容是：确定喷射混凝土的类型、工艺、喷射厚度、强度等级、钢筋网布置和支护施工程序。采用钢纤维喷射混凝土支护时还应确定钢纤维的掺量及施工工艺。

4.4.2 喷射混凝土支护的类型，应根据围岩类别和洞室尺寸按本规范表 4.1.5 规定选择。

4.4.3 喷射混凝土厚度，应按下列原则确定：

1 喷射混凝土的最小厚度不应小于 50mm。过水的水工隧洞喷射混凝土的最小厚度不应小于 80mm。钢筋网喷射混凝土的最小厚度不应小于 100mm。

2 喷射混凝土的最大厚度不宜超过 200mm。钢筋网喷射混凝土的最大厚度不宜超过 250mm。

3 开挖跨度大于 15m 和 IV、V 类围岩中开挖的地下洞室，还应通过监测按本规范 4.2 的规定调整其喷射厚度。

4.4.4 永久工程喷射混凝土的设计强度等级不宜低于 C20；临时性工程不宜低于 C15；钢纤维喷射混凝土设计强度等级不宜低于 C25，且其抗拉强度不宜低于 2MPa，抗弯强度不宜低于 6MPa；各种类型的喷射混凝土 1d 龄期的抗压强度不宜低于 5MPa。不同强度等级喷射混凝土的力学指标按表 4.4.4 采用。

表 4.4.4 喷射混凝土力学参数

强度种类	喷射混凝土强度等级			
	C15	C20	C25	C30
轴心抗压强度 (MPa)	7.50	10.00	12.50	15.00
弯曲抗压强度 (MPa)	8.50	11.00	13.50	16.50
抗拉强度 (MPa)	0.9	1.10	1.30	1.50
弹性模量 (万 MPa)	1.80	2.10	2.30	2.50

4.4.5 喷射混凝土容重可取 2200kg m^3 。弹性模量可按表 4.4.4 选取。喷射混凝土与围岩的黏结力：I、II 类围岩不宜低于 1.2MPa，III 类围岩不宜低于 0.8MPa。喷射混凝土与围岩黏结力试验方法应遵守附录 A 的规定。

4.4.6 地下水较为丰富的岩层中，喷射混凝土的最小厚度不宜小于 80mm；喷射混凝土的混合料中应掺入增强防水剂，喷射混凝土的抗渗标号不宜低于 W8。

4.4.7 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 Q235 号钢筋，钢筋直径宜为 6~12mm。

- 2 钢筋网格间距宜为 200~300mm。
- 3 钢筋网的保护层厚度不应小于 20mm，过水的水工隧洞钢筋网的保护层厚度不宜小于 50mm。

4 当设置锚杆时钢筋网应同锚杆相连接。

4.4.8 对具有流变特性或开挖后产生较大塑性变形的围岩，宜采用钢纤维或聚丙烯纤维喷射混凝土支护。钢纤维或聚丙烯纤维喷射混凝土支护设计应遵守下列规定：

1 钢纤维喷射混凝土按以下要求执行。

- 1) 普通碳素钢纤维材料的抗拉强度不应低于 380MPa。
- 2) 钢纤维直径宜为 0.3~0.5mm。
- 3) 钢纤维长度宜为 20~25mm。
- 4) 钢纤维掺量宜为混合料重的 3%~6%。
- 5) 钢纤维喷射混凝土表面应敷以 10mm 普通喷射混凝土。

2 聚丙烯纤维喷射混凝土按以下要求执行。

- 1) 聚丙烯纤维的抗拉强度不应低于 350Mpa。
- 2) 聚丙烯纤维直径宜为 15~50 μ m。
- 3) 聚丙烯纤维长度宜为 20~25mm。
- 4) 聚丙烯纤维掺量宜为 0.9kg m³。

4.5 联合支护设计

4.5.1 在 IV、V 类围岩以及断层带、断层影响带、卸荷带、强风化带和节理密集带等软弱地质地段，应采用锚杆钢筋网喷射混凝土或带钢拱架（格栅拱架）的锚杆钢筋网喷射混凝土联合支护。

4.5.2 不在同一时间施作的相邻部位的钢筋网喷射混凝土支护必须搭接，钢筋网的搭接长度不应小于 200mm。

4.5.3 钢拱架可采用型钢或由钢筋焊接成型的格栅拱架，钢拱架的设计应遵守下列规定：

1 钢拱架可视围岩稳定程度按 0.75~1.50m 的间距设置。

安装时应与围岩或喷射混凝土密贴，并同锚杆或钢筋网联接。钢拱架基脚应插入未受扰动的岩体，当基脚岩体较为软弱时，可在钢拱架基脚部位安设与其联接的锚杆，锚杆插入岩体深度不应小于 2.0m。

2 制作格栅拱架的钢筋直径不应小于 20mm，钢筋材质应符合 II 级钢筋质量标准。

3 钢拱架应及时快速施作。钢拱架安装后应立即布设钢筋网并喷射混凝土，喷射混凝土厚度不应小于 70mm。

4 钢拱架铺设应延伸至较好岩体中，延伸长度不应小于 2m。

5 采用可缩性拱架时，喷射混凝土层在可缩性节点处设伸缩缝。

6 钢拱架之间应布置纵向联系筋或与喷射混凝土的钢筋网相联接，以增强钢拱架的稳定性。

4.5.4 在特别软弱破碎、开挖成洞困难的地质地段，可采用超前锚杆加钢拱架喷射混凝土支护的方法，采用这种联合支护设计时应遵守下列规定：

1 在掌子面的顶拱沿掘进方向布置超前锚杆，超前锚杆方向可与洞轴线成不大于 15° 的交角，超前锚杆间距可视围岩条件确定，一般宜为 300~400mm，长度宜按拱架间距确定，直径不应小于 22mm。

2 锚杆的外端应与钢拱架搭接。

5 锚杆施工

5.1 一般规定

5.1.1 锚杆孔施工应遵守下列规定：

- 1 根据设计要求和围岩情况确定孔位并做出标记，开孔允许偏差为 100mm。
- 2 锚杆孔轴线与设计轴线的偏差角应符合设计要求。施工中如需设置局部锚杆时，其孔轴线方向应按最优锚固角布置。当受施工条件限制时，在不影响锚固效果的前提下可适当调整锚杆轴线方向。
- 3 锚杆孔直径应符合本规范 4.3 的规定，其中水泥砂浆锚杆孔径应大于杆体直径 20mm 以上。
- 4 锚杆孔深度应符合设计要求，超深不宜大于 100mm。
- 5 孔内的岩粉和积水应洗吹干净。
- 6 锚杆安装前应对锚杆孔进行检查，对不符合要求的锚杆孔应进行处理。

5.1.2 锚杆材料应遵守下列规定：

- 1 锚杆材料（钢材、水泥等）性能指标应满足设计要求。
- 2 锚杆杆体与各部件的强度、加工精度及技术性能应经试验证明满足设计要求。
- 3 锚杆体及其部件在加工、运输、存放和安装过程中应保持清洁，避免污染、锈蚀、变形及损伤。
- 4 成品胶结材料（如水泥砂浆、树脂卷、水泥卷等）的强度、凝结时间、收缩率及杆体的防腐蚀等指标应满足设计要求。

5.1.3 单项工程锚杆施工前，应在施工现场进行锚杆安装试验。锚杆的结构、材料、安装工艺、施工机具等应满足设计要求。

5.2 水泥砂浆锚杆施工

5.2.1 水泥砂浆应按下列规定配制：

- 1 水泥砂浆的性能必须满足设计要求。
- 2 水泥砂浆的配比应经试验确定，在无特殊要求的情况下可在以下配比（重量比）范围内选取：

水泥:砂=1:1~1:2

水泥:水=1:0.38~1:0.45

3 水泥和水的质量要求应符合本规范 6.1.1 条和 6.1.5 条的规定。宜采用中细砂，最大粒径应小于 2.5mm，使用前应过筛。

4 根据需要，可填加具有早强、减水、膨胀等作用的外加剂。

5 砂浆材料应计量准确、拌和均匀，优先采用机械拌和，随拌随用，一次拌和的砂浆应在初凝前用完。

5.2.2 根据锚孔部位和方向，可采用先注浆后插杆或先插杆后注浆的施工方法，采用后一种方法施工时，在插杆的同时，应安装排气管。排气管距孔底 50~100mm。

5.2.3 锚杆注浆应遵守下列规定：

1 使用能够连续注浆的锚杆注浆机或砂浆泵，出口压力应能达到 1.0MPa，输送能力应大于 0.7m³/h。

2 采用先注浆后插杆的施工方法时，注浆管应插到孔底，然后退出 50~100mm 开始注浆，注浆管随砂浆的注入缓慢匀速拔出，使孔内填满砂浆。

3 采用先插杆后注浆的方法时，待排气管出浆时方可停止注浆。

4 如遇塌孔或孔壁变形注浆管插不到孔底时，应对锚杆孔进行处理，使注浆管能顺利插到孔底，必要时补打锚孔或使用自钻式锚杆。

5 注浆工艺须经注浆密实性模拟试验，密实度检验合格后方能在工程中实施。

5.2.4 锚杆安装应遵守下列规定：

1 采用先注浆后插杆的施工方法时，锚杆孔注满砂浆后应

及时插入锚杆体。

2 杆体插入孔内的长度应符合设计要求。插入困难时可利用机械顶推或风镐冲击。当锚杆端部带有螺纹时需注意保护杆体端部的螺纹不被损坏。

3 锚杆体插入后，在孔口处用铁楔固定并封闭孔口。

5.2.5 锚杆安装后，在砂浆强度达到设计要求之前，不应敲击、碰撞或牵拉锚杆。同钢筋网联结的锚杆，孔口处必须固定牢固。

5.2.6 在遇到锚杆孔处理困难，杆体或注浆管不能插到孔底，宜采用自钻式砂浆锚杆。

5.3 张拉锚杆施工

5.3.1 张拉锚杆孔的孔口应用早强砂浆做平整处理，其强度应能承受锚杆的最大荷载。

5.3.2 树脂卷内锚头张拉锚杆，施工应遵守下列规定：

1 使用前应检查树脂卷的质量，变质材料不能使用。超过贮存期的材料，应通过试验合格后方可使用。

2 树脂卷直径的选择，应以锚杆插入后树脂能将锚固段填满为原则。

3 内锚固段的长度应满足设计要求并由试验确定。

4 内锚固段的端部应加工成既易于将树脂搅拌均匀，又能在搅拌中将树脂推向孔底的形状。

5 使杆体旋转搅拌的搅拌器或凿岩机连接器必须与杆体同心，推进方向与孔轴线一致，搅拌时间应按树脂固化速度和搅拌器转速经试验确定。

6 搅拌完毕后应立即在孔口处用楔子将杆体固定，树脂固化前不应碰撞或张拉。

7 应待内锚固段的树脂完全固化后方可张拉，固化时间应参照树脂卷说明书并经现场试验确定。

5.3.3 快硬水泥卷内锚头张拉锚杆的施工应遵守下列规定：

1 水泥卷应在规定的贮存期内使用。使用前应检查水泥卷

质量，受潮结块不应使用。

2 水泥卷应浸泡均匀，浸泡水的水质应符合设计要求，浸泡时间应参照使用说明书的要求并经现场试验确定。

3 水泥卷可用端部平齐的长杆送入孔底并捣实，或用压缩空气经软管吹送入孔底。

4 杆体锚固端一般可做成尖头，采用风钻或风镐冲击插入。杆体插入后在孔口处用楔子固定。

5 水泥卷达到设计强度后方可进行张拉。

5.3.4 机械式内锚头张拉锚杆的施工应遵守下列规定：

1 内锚头部位的岩体应完整坚硬。钻孔时如发现孔底部位岩体软弱破碎时应对该孔作出标志，以便改用其它类型的锚杆，或增加孔深至坚硬岩层，并根据孔深加长锚杆。

2 孔径和孔深应严格控制在内锚头与锚杆长度所能适应的范围内。

3 安装前应对锚头进行检查，当弹簧片完好、弹力充足，壳体与楔块的接触面平整时方可安装。

4 安装锚头时应保持壳体和楔块的位置正确。

5.3.5 锚杆张拉应遵守下列规定：

1 施工中可采用扭力扳手或空心千斤顶进行张拉，并达到设计规定的扭矩或压力值。

2 应保证锚杆轴向受力，必要时应在托板上配置球面垫圈。

3 张拉过程中遇到锚杆拔出、螺纹扭断、托板偏斜，或锚杆外露过长等异常现象时，应采取相应的处理措施，必要时补加锚杆数量。

4 应合理编排锚杆张拉的次序，减少张拉时对相邻锚杆的影响。若发现相邻锚杆预应力损失大于设计荷载的 10%时，应进行补偿张拉。

5.3.6 先张拉后注浆的张拉锚杆，注浆时应遵守下列规定：

1 设置内径为 6~8mm 的排气管，管口应置于内锚头附近。使用内径为 16~18mm 的注浆管，插入锚杆孔内的长度

不宜小于 200mm。

2 托板安装前应对锚杆孔口进行封堵。封堵材料不得影响锚杆张拉变形，不得污染螺纹。

3 在锚杆注浆前应将锚杆张拉至设计拉力。

4 用锚杆注浆机或砂浆泵进行注浆时，当排气管出浆后，再稳定 30s 方可结束注浆。对同一锚杆孔的注浆应连续不得中断。

5 注浆的浆液应符合设计要求。无特殊要求时可采用水灰比为 0.4~0.5 的水泥浆，并加入适量膨胀剂及减水剂。

5.3.7 先注浆后插杆的张拉锚杆，施工时应遵守下列规定：

1 对于采用快速固化树脂卷和快硬水泥卷内锚头的张拉锚杆，在锚固段装填树脂卷或水泥卷后，立即按本规范 5.2.3 条的规定注入缓凝砂浆，然后按本规范 5.3.2 条和 5.3.3 条的要求插入锚杆，在锚头达到预定强度后进行张拉。

2 快速固化树脂卷的固化时间和快硬水泥卷达到张拉强度的时间，应比缓凝砂浆或缓凝树脂的初凝时间早 2h 以上，以保证张拉锚杆在缓凝砂浆初凝前张拉完毕。

3 当采用自由段带套管的张拉锚杆时，应按本规范 5.2 的有关规定施工，当砂浆强度达到设计要求时方可进行张拉。

5.3.8 张拉锚杆的端部必须进行保护，防止锈蚀、碰撞，不可用它吊运及牵拉重物。

5.3.9 预应力锚杆的施工应遵守 SL 46 的规定。

5.4 特殊型式锚杆施工

5.4.1 缝管式锚杆的施工应遵守下列规定：

1 钻孔前应检查钻头规格，确保孔径符合设计要求。

2 可使用风动凿岩机和专用连接器将杆体推入钻孔中，并保证杆体和钻孔同轴、托板和岩面紧密接触。

5.4.2 水胀式锚杆的施工应遵守下列规定：

1 孔径与孔深必须满足锚杆的安装要求。

- 2 检查注水设备使其处于正常工作状态。
 - 3 装好注水管并用安装棒将锚杆送入钻孔中，使托板贴紧岩面。
 - 4 向杆体注水时应保证注水压力值稳定，并注水达调压阀泄压。
- 5.4.3 花管注浆锚杆的施工应遵守下列规定：**
- 1 杆体长度应符合设计要求，管径及管壁厚度可由计算决定，钻孔深度应超过杆体长度 100mm。
 - 2 花管段长度可取杆长的 P3~P4。在花管段沿管轴线方向每隔 100mm 打一对穿孔，孔径为 6~8mm，相邻两对穿孔轴线应旋转 90°。
 - 3 花管段端部宜做成锥角不大于 45°的尖端。杆体的外露段可有 100~150mm 的管螺纹。
 - 4 托板尺寸应满足设计要求，托板上锚杆孔附近应设置直径 12mm 的排气孔。
 - 5 宜采用添加早强剂、减水剂、膨胀剂的水泥浆，水泥浆的性能应满足设计要求。由杆体内注浆，待排气管出浆时封堵排气管，并继续灌注至注浆泵压力为 0.2MPa 时稳压 3min 后停止灌注，封堵钢管口。
- 5.4.4 自钻式注浆锚杆施工时应遵守下列规定：**
- 1 在易于卡钻或塌孔的地质地段，宜使用自钻式注浆锚杆。
 - 2 自钻式注浆锚杆使用前应检查钻头、钻杆排水或排气是否通畅，如有堵塞应处理通畅后方可使用。
 - 3 自钻式注浆锚杆注浆遵守本规范 5.4.3 条的规定。

6 喷射混凝土施工

6.1 原材料

6.1.1 应优先选用新鲜的普通硅酸盐水泥，其标号不宜低于 32.5MPa。也可采用新鲜的、标号不低于 42.5MPa 矿渣水泥。必要时，经过试验论证也可选用特种水泥。水泥的性能指标应符合 GB 175 的规定。

6.1.2 应优先选用天然砂，也可采用人工砂。砂的细度模数宜为 2.5~3.0，含水率宜为 5%~7%。砂的质量应符合《水工混凝土施工规范》(SDJ 207—82) 的规定。

6.1.3 应优先采用坚硬、耐久、磨圆度好的卵石，也可采用机制碎石。卵石或人工碎石质量应符合 SDJ 207—82 的规定。卵石或人工碎石的粒径不宜大于 15mm，其级配应符合表 6.1.3 的规定。回弹料不宜重新使用。采用碱性速凝剂时，不得使用碱活性骨料。

表 6.1.3 喷射混凝土骨料通过各筛径的

累积重量百分数

单位：%

骨料粒径 (mm)		0.15	0.30	0.60	1.20	2.50	5.00	10.00	15.00
骨料 品质	优	5~7	10~15	17~22	23~31	34~43	50~60	73~82	100
	良	4~8	5~22	13~31	18~41	26~54	40~70	62~90	100

6.1.4 喷射混凝土混合料中，可掺入具有速凝、早强、减水、增黏、防水等性能的外加剂。掺入各种外加剂后，喷射混凝土性能应满足设计要求。使用的各种类型外加剂应进行与水泥及拌和用水的相容性试验及水泥净浆试验，掺入速凝剂的喷射混凝土初凝时间不应大于 5min，终凝时间不应大于 10min。

6.1.5 喷射混凝土用水的质量应满足 SDJ 207—82 的规定。

6.1.6 钢纤维喷射混凝土的钢纤维应采用符合国家标准的普通碳素钢，用熔化拉拔法、切削法或截段法制成，其直径与长度应符合设计要求。

6.2 施工机具

6.2.1 应根据工程量大小、进度要求、工艺流程等条件，选择密封性好、料物输送均匀、性能稳定的喷射机具。喷射机允许输送骨料的最大粒径为 **25mm**，水平输送距离不小于 **100m**，垂直输送距离不小于 **30m**。

6.2.2 应优先选用强制式搅拌机。

6.2.3 空气压缩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气压缩机工作时，其排风量不应少于 **9m³/min**。压缩空气进入喷射机前，应进行油水分离。

6.2.4 输料管应能承受 **0.8MPa** 以上的工作压力，并应具有良好的耐磨性能。

6.2.5 水泵、水箱或其它供水系统应具有 **0.2MPa** 以上供水压力，供水量应满足设计要求。

6.2.6 当需设置皮带输送机向喷射机供料时，皮带输送机应具备上料方便、粉尘小、混合料不产生分离等性能。

6.3 混合料的配合比、拌制和运输

6.3.1 混合料配合比应满足下列规定：

1 水泥与砂石的质量比：干喷法宜为 **1.0:4.0~1.0:4.5**；湿喷法宜为 **1.0:3.5~1.0:4.0**。

2 砂率：干喷法宜为 **45%~55%**；湿喷法宜为 **50%~60%**。

3 水灰比：干喷法宜为 **0.40~0.45**；湿喷法宜为 **0.42~0.50**。

4 速凝剂或其它外加剂的掺量应通过净浆试验确定。

5 施工前应进行喷射混凝土的配合比试验。

- 6.3.2** 各种原材料均按质量计量，质量的允许偏差值为：
- 1 水泥和速凝剂为±2%。
 - 2 砂、石料均为±3%。
 - 3 钢纤维为±1%。
- 6.3.3** 混合料的拌和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，搅拌时间不应小于 1min。
 - 2 采用自落式或滚筒式搅拌机时，搅拌时间不应小于 2min。
 - 3 混合料中掺入速凝剂或外加剂时，应适当延长搅拌时间。
- 6.3.4** 采用干喷法施工时，混合料的使用应遵守下列规定：
- 1 当使用的砂石料含水量小于 4% 时，速凝剂可在拌和时掺入。拌制好的混合料，应在 20min 内使用完毕。
 - 2 当使用的砂石料含水量为 4%~10% 的湿料时，速凝剂加入后应立即喷射。
 - 3 混合料宜随拌随用。不掺入速凝剂时，混合料存放时间不应超过 2h。
- 6.3.5** 采用湿喷法施工时，混合料的使用应遵守下列规定：
- 1 全部用水量一次与水泥、砂石拌和均匀，随拌随用。
 - 2 若采用液态速凝剂时，拌料时应扣除这部分水量。速凝剂应在喷头输料管的适当部位加入。
 - 3 喷射作业时混合料不得出现“离析”和“脉冲”现象。
- 6.3.6** 混合料在运输、存放过程中，应严防雨淋、滴水及石碴等杂物混入，装入喷射机前应过筛。

6.4 喷射作业前的准备工作

- 6.4.1** 喷射混凝土作业之前，应对喷射手进行技术培训，考核合格后持证上岗。
- 6.4.2** 应按下列要求做好作业面的检查和清理：
- 1 清除浮石、松动的岩块、岩粉、岩渣和其它堆积物。

- 2 检查作业面尺寸，处理欠挖岩体。
 - 3 用高压水冲洗作业面，并对受污染的作业面进行清理。
 - 4 检查上一工序作业情况，做好受喷面的地质描述。
 - 5 需要工作平台作业时，应检查工作平台的牢固性。
- 6.4.3** 严重漏水、渗水地段，喷射作业之前应按本规范 4.1.16 条的规定做好排水、治水工作。
- 6.4.4** 喷射作业前应进行风水管路和电器设备的检查，对机械设备做试运行。
- 6.4.5** 喷射作业区应安设充足的照明设备并具备良好的通风条件。
- 6.4.6** 应在受喷面设置控制喷层厚度的标志。

6.5 喷射作业

- 6.5.1** 喷射机操作应遵守下列规定：
- 1 严格执行喷射机操作规程。
 - 2 连续均匀向喷射机供料。
 - 3 保持喷射机工作风压稳定。
 - 4 完成喷射作业或因故中断喷射作业时，应将喷射机和输料管内积料清除干净。
- 6.5.2** 喷射手的作业应遵守下列规定：
- 1 应保持喷头具有良好的工作性能。
 - 2 喷头与受喷面应垂直，并保持 0.6~1.0m 的喷射距离。
 - 3 喷射时，喷射手应控制好水灰比，保持喷射混凝土表面平整、湿润光泽，无干斑或滑落流淌现象。
- 6.5.3** 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：掺速凝剂时不宜超过 100mm；不掺速凝剂时不宜超过 70mm。
 - 3 分层喷射时，后一层喷射应在前一次喷射混凝土终凝后进行。若终凝 1h 后再次喷射时，应用风水清洗前一次喷层表面

后再进行后一次喷射作业。

4 喷射作业紧跟工作面时，下一工作循环的放炮时间，应在前一循环喷射混凝土终凝 3h 后进行。

5 两次循环作业的喷射混凝土应有 200mm 搭接长度，搭接部位的起伏差应控制在允许范围之内。

6.5.4 喷射混凝土表面应平整，其平均起伏差应控制在 100mm 以内。

6.5.5 喷射混凝土的回弹率，边墙不应大于 15%，顶拱不应大于 25%。

6.5.6 寒冷地区或冬季喷射混凝土施工时应遵守下列规定：

1 作业区气温不低于 +5℃。

2 混合料进入喷射机时的温度不低于 +5℃。

3 当采用普通硅酸盐水泥配制的喷射混凝土，强度低于设计强度等级的 30%，采用矿渣水泥配制的喷射混凝土，强度低于设计强度等级 40% 时，喷射混凝土不得受冻。

4 气温低于 +5℃ 时，不得喷水养生。

6.5.7 在高温环境进行喷射混凝土作业时，气温不得高于 +35℃。

6.5.8 喷射混凝土养护应遵守下列规定：

1 终凝 2h 后应开始喷水养护。

2 养护时间一般性工程不得少于 7d，重要工程不得少于 14d。

6.6 水泥裹砂喷射混凝土作业

6.6.1 水泥裹砂喷射混凝土施工机具除应符合本规范 6.2 的规定外，还应符合下列要求：

1 砂浆输送泵可选用液压双缸式、螺旋式或挤压式，也可采用单缸式。砂浆泵的输送能力不应小于 4m³/h，并在 0~4m³/h 内无级可调；砂浆输出压力不少于 0.3MPa；采用单缸式砂浆输送泵时，应保证砂浆的输送脉冲间隔时间不超过

0.4s。

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

6.6.2 水泥裹砂喷射混凝土的配合比除应符合本规范 6.3.1 条的规定外，还应符合下列要求：

- 1 水泥用量宜为 $350\sim 400\text{kg m}^3$ 。
- 2 水灰比宜为 $0.40\sim 0.52$ 。
- 3 砂率宜为 $55\%\sim 70\%$ 。
- 4 裹砂砂浆的砂量宜为总用砂量的 $50\%\sim 75\%$ 。
- 5 裹砂砂浆的水泥用量宜为总水泥量的 90% 。
- 6 裹砂砂浆造壳水灰比宜为 $0.2\sim 0.3$ 。

6.6.3 裹砂砂浆的拌制应遵守下列规定：

- 1 裹砂砂浆的拌制程序为：
 - 1) 将砂和一次搅拌用水加入拌和机搅拌 $20\sim 40\text{s}$ ；
 - 2) 加入水泥再搅拌 $40\sim 150\text{s}$ ；
 - 3) 最后将两次搅拌用水和外加剂加入拌和 $30\sim 90\text{s}$ 。
- 2 使用掺合料时，掺合料应与水泥同时加入搅拌机。

6.6.4 水泥裹砂喷射混凝土混合料的拌和时间，应遵守本规范 6.3.3 条的规定。

6.6.5 水泥裹砂喷射混凝土作业除应遵守本规范 6.5 的有关规定外，还应遵守下列规定：

1 喷射手送风后，待砂浆泵输送的裹砂砂浆在喷头喷出后，再由喷射机输送混合料。

2 注意调整砂浆泵压力，使喷出的裹砂混凝土稠度适宜。

3 喷射结束时，喷射机应先停止输送混合料，再停止输送裹砂砂浆，喷头处没有料物喷出时停止送风。

4 裹砂喷射混凝土的一次喷射厚度可适当增加，但不宜超过 120mm 。

5 水泥裹砂喷射混凝土的回弹率，边墙不宜大于 10% ，拱部不宜大于 20% 。

6.7 钢纤维喷射混凝土作业

6.7.1 钢纤维喷射混凝土的原材料，除应符合本规范 6.1 的规定外，还应遵守下列规定：

- 1 钢纤维和聚丙烯纤维的长度偏差不得超过长度公称值的±5%。
- 2 水泥标号不宜低于 42.5MPa。
- 3 骨料粒径不得大于 10mm。
- 4 钢纤维不得有明显的锈蚀和油渍及其它妨碍钢纤维与水泥黏结的杂质，钢纤维内含有的因加工不良造成的黏连片、表面锈蚀的纤维、铁屑及杂质总量不应超过钢纤维重量的 1%。

6.7.2 钢纤维喷射混凝土施工，除应满足本规范 6.5 规定外，还应遵守下列规定：

- 1 宜选用纤维播料机往混合料中添加钢纤维。加入钢纤维后混合料的搅拌时间不宜小于 3min。
- 2 钢纤维在混合料中应分布均匀，不应成团。

7 联合支护施工

7.1 锚杆、钢筋网喷射混凝土作业

7.1.1 钢筋网的钢筋规格、钢材质量、网格尺寸，应满足设计要求。铺设前应做除锈、除污处理。

7.1.2 钢筋网可人工在现场铺设，也可在加工厂焊接成一定尺寸的钢筋网片，运至现场成片铺设。钢筋网应沿开挖面铺设，与岩面距离宜为 30~50mm。钢筋网应同锚杆联接牢固，相邻铺设的钢筋网应搭接，搭接时纵横钢筋网应对应，搭接长度不应小于 200mm。

7.1.3 采用双层钢筋网时，第二层钢筋网应在第一层钢筋网被第一层喷射混凝土覆盖后再铺设。

7.1.4 钢筋网喷射混凝土作业时，除应遵守本规范 6.5 的规定外，还应遵守下列规定：

1 应适当减少喷头与受喷面的距离，并调整喷射角度，避免喷头正对钢筋。

2 喷射中如有脱落的混凝土被钢筋网架住，或回弹物散落在钢筋网与岩面之间应及时清除。

7.1.5 钢筋网的保护层厚度不应小于 20mm，对于过水的水工隧洞不宜小于 50mm。

7.2 锚杆、钢拱架、钢筋网喷射混凝土支护作业

7.2.1 钢拱架喷射混凝土作业应根据围岩变形特性及时施作。

7.2.2 钢拱架的架设应遵守下列规定：

1 对设计要求铺设钢拱架部位的岩体，应严格按设计要求的轮廓线开挖。

2 钢拱架应根据设计图纸并考虑可能发生的超挖在专门加工厂分 3~4 段制成半成品，运至施工现场快速拼装。分段制作

的半成品钢拱架，应能适应地下洞室可能发生的断面尺寸的变化。

3 检查钢拱架制作质量是否符合设计要求。

4 钢拱架安装允许偏差：横向间距和高程为±50mm，垂直度为±2°。

5 钢拱架同壁面应紧密接触，与围岩的空隙应用喷射混凝土充填。

7.2.3 锚杆采用梅花形布置时，每榀钢拱架至少应与**3**根锚杆相联接。

7.2.4 钢拱架安装后，应立即铺设钢筋网并在钢拱架之间喷射混凝土，喷射混凝土厚度应根据设计或原位监测结果确定，但不应小于**70mm**。

7.2.5 安装钢拱架部位，应加密布设原位监测仪器，加密观测次数，及时整理观测资料，分析围岩及支护的稳定状况，必要时调整支护参数和施工方法。

7.3 特殊地质条件下的联合支护施工

7.3.1 在松散、软弱、破碎等稳定性差的围岩中进行锚喷支护施工时，应遵守下列规定：

1 应及时进行施工期现场量测，监视围岩或支护后的变形情况，掌握好支护时机，及时调整支护方案和支护参数。

2 支护应紧跟工作面进行，必要时应及时封闭掌子面、设置超前锚杆与封闭仰拱。

3 喷射混凝土作业完成后**4h**，锚杆安装完成后**8h**，监测仪器埋设后**1h**方可进行下一循环的开挖作业。

7.3.2 在岩石破碎，地下水发育的地段，可采用集中导水或超前灌浆的办法开挖，开挖后立即喷射防水型早强混凝土封闭开挖面，再设置钢拱架、锚杆等其它综合性支护措施。

7.3.3 在易风化、吸水膨胀、失水剥落等围岩中，开挖后应立即用喷射混凝土封闭开挖面。

7.3.4 对可能塌落或滑动的危石进行加固时应遵守下列规定：

1 对出现在拱部的危石应先喷射混凝土再安装锚杆。

2 对边墙出露的大面积塌滑区，应根据危石的结构情况采用先锚后挖或边挖边锚的原则逐层施工。

7.3.5 在特殊地质条件下，各种支护施作后，必须加强安全监测工作，遇有异常变化应立即采取补强措施。

8 锚喷支护施工监测

8.1 一般规定

8.1.1 锚喷支护施工监测是以保证工程施工安全，支护措施经济、合理为目的。

8.1.2 施工监测应简单、快捷、仪器安装及监测对施工干扰小、操作简便、反应灵敏，信息反馈迅速。监测项目应以收敛监测、顶拱沉降监测为主，位移及应力量测为辅。

8.1.3 监测项目、监测部位、仪器安装数量、监测时间及频率的安排，应根据工程重要程度、围岩地质条件、支护设计情况、施工条件及工程进度等，按照本规范 4.2.5 条的规定施作。

8.1.4 仪器埋设部位应做简单地质描述，记录仪器埋设位置与与软弱结构面的关系。

8.1.5 监测工作应做为一个重要工序列入施工组织设计。重要工程应由专业队伍组织实施，一般性工程也要有专人负责。

8.1.6 能与长期监测结合的项目，应按永久监测和设计要求开展监测工作。

8.2 收敛监测

8.2.1 收敛监测断面及测点的布置，除应遵守本规范 8.1.3 条的规定外，还应遵守下列规定：

1 收敛量测断面应安排在工程的关键部位或围岩稳定较差的部位。其观测断面间距可根据围岩情况，施工条件确定。

2 测点应紧跟掌子面布置，一般情况距掌子面的距离不宜大于 1.0m，特殊情况下可根据需要布置。

3 每个观测断面的测点数量一般情况下为 5 点，但不得少于 3 点。

4 测点埋设应在开挖后立即实施。

- 8.2.2** 量测收敛值仪器的选择应遵守下列规定：
- 1 测距应满足洞周最大两点间测距要求。
 - 2 精度不低于 **0.01mm**。
 - 3 携带方便、安装简单、操作灵活。
 - 4 正式使用前应经过计量部门检定，并经过试验室校正。
- 8.2.3** 测点应布置在完整的岩体上，测点应牢固，做好保护，防止人为、机械或开挖飞石碰动。
- 8.2.4** 收敛监测及资料整理分析应按附录 **B** 的规定执行。

8.3 多点位移监测

8.3.1 多点位移计是量测围岩表面及围岩内部一定深度内变形规律的仪器，应在重要的工程中布置，并在关键的地质地段配合收敛计使用。

8.3.2 多点位移计的布置除应符合本规范 **8.1.3** 条的规定外，还应符合下列规定：

1 为监测开挖过程的全变形而设置的多点位移计，应在掌子面前方 **2.0** 倍洞径处埋设。

2 为监测洞室施工期围岩稳定或支护安全程度的多点位移计，应紧跟开挖面布置，一般情况下距开挖面的距离不宜大于 **1.0m**。

3 在同一观测断面上，可视观测部位需要埋设 **1~3** 支观测仪器，每支观测仪器可设 **3~5** 个观测点。

4 每支多点位移计的埋设深度和测点位置，可视监测需要设置，其最深测点应不小于 **1.5** 倍洞径。

8.3.3 多点位移计可视需要选择杆式或钢丝式，其量程应满足变形需要，其精度为 **0.01mm**，并具有长期稳定性。

8.3.4 多点位移计埋设应遵守下列规定：

1 钻孔直径应满足仪器埋设的需要，钻孔孔向允许偏差应为 $\pm 2^\circ$ ，钻孔长度允许误差应为 $\pm 50\text{mm}$ 。

2 各测点锚固应牢固，测杆或钢丝应能自由活动。

3 孔口传感器应与孔壁岩体结合紧密，初始读数调整后孔口应封闭，不应碰动。

8.3.5 多点位移计监测及资料整理分析应按附录 B 的规定执行。

9 安全技术与防尘

9.1 安全技术

- 9.1.1** 施工前应根据地质预报、初期监测资料分析围岩稳定状况，制定施工安全措施。
- 9.1.2** 锚喷支护作业前，应检查和处理作业区的危石及松动岩块，施工机具应布置在安全地带。
- 9.1.3** 在Ⅳ、Ⅴ类围岩中进行施工作业时，应遵守下列规定：
- 1** 锚喷支护作业应紧跟工作面。
 - 2** 应按喷射混凝土（厚度不得小于 50mm）→安装短锚杆→铺设钢拱架和钢筋网→喷第二层混凝土→安装深部锚杆的程序进行作业。
 - 3** 加密布设监测仪器，增加观测次数，及时进行安全预报。
- 9.1.4** 施工中应定期检查电源线路和设备的电器部件。
- 9.1.5** 喷射机、水箱、风包、注浆罐、注浆泵等密封及压力容器，应定期进行耐压试验及检验，合格后方可使用。压力容器应安装压力表和安全阀，使用过程中发现失灵应立即更换。
- 9.1.6** 喷射混凝土施工作业过程中，应经常查看出料弯头、输料管、注浆管和管路接头有无磨损、松脱现象，发现异常应立即处理。
- 9.1.7** 带式送料机及其它设备，外露的转动和传动装置应设保护罩。
- 9.1.8** 作业平台和作业台车应具有足够的稳定性，并应设置栏杆。高空作业应配备安全带。
- 9.1.9** 向设备供电、供风、供水时应通知有关作业人员。
- 9.1.10** 处理喷射机堵管事故时，应将输料管顺直并按紧喷头。疏通管路的压缩空气，其压力不得超过 0.4MPa。
- 9.1.11** 钢纤维喷射混凝土施工应采取有效措施，防止钢纤维扎

伤操作人员。

9.1.12 非操作人员不应进入施工作业区。喷头、注浆管的前方不应站人。

9.1.13 操作人员的皮肤应避免同外加剂及树脂材料直接接触。严禁在作业区点燃明火。

9.1.14 锚杆注浆时，注浆罐内应保持一定数量的砂浆。处理管路堵塞时应先消除罐内压力。

9.1.15 检验锚杆锚固力或对锚杆施加预应力时，拉力计及孔口装置安装应牢固。锚杆张拉时，前方或下方不准布置设备或停留操作人员。当锚杆内部应力达到设计应力的 110%，应立即卸荷。

9.1.16 水胀式锚杆安装时应遵守下列安全规定：

1 高压泵要设置防护罩。锚杆安装完毕后应将高压胶管一并放入防护罩内，并移至安全、无淋水地段。

2 在高压进水阀未关闭，回水阀未打开之前，不准撤离安装棒。

3 安装锚杆时，操作人员手持安装棒应与锚杆孔轴线偏离一定角度。

9.1.17 竖井或斜井中的锚喷支护作业应遵守下列安全规定：

1 井口应设置防止杂物落入井中的措施。

2 采用溜筒运送喷射混凝土混合料时，井口溜筒喇叭口周围应封闭严密。

3 输料钢管应采用法兰联接，输料管悬吊应牢固。

4 操作平台应安全可靠，升降操作平台应符合 SD 267—88 的有关规定。

9.2 环境保护与防尘

9.2.1 锚喷支护作业现场施工机械、料物堆放、防尘设施的布置应符合安全施工要求。施工场地应平整，排水通畅，应做到文明施工。

9.2.2 锚喷支护作业区粉尘浓度不应大于 10mg m^3 。至少每 10d 测定一次粉尘浓度含量，并发布测量结果。粉尘浓度测定应遵守附录 C 的规定。

9.2.3 在锚喷支护作业区可采取下列防尘措施减少粉尘浓度：

- 1 采用“湿喷法”或“水泥裹砂法”进行喷射混凝土作业。
- 2 在喷头 3~4m 处增设一水环，采用双水环加入喷射用水。
- 3 在喷射机或混合料拌和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 加强作业区通风。
- 6 采用增黏剂、抑尘剂等外加剂。

9.2.4 喷射机、喷射手和拌和机操作人员作业时，应佩带防尘口罩、防尘帽、压风呼吸器等防护用具。

9.2.5 加强施工用水的管理，排放的污水应达到国家标准，不符合标准的应采取净化措施。

10 质量检查

10.1 锚杆施工质量检查

10.1.1 锚杆体的钢筋应有出厂合格证及试验报告单等资料，其特性指标应符合设计要求。

10.1.2 检查端头锚固型和摩擦型锚杆质量应做拉拔力试验。拉拔力检验应按附录 D 的规定进行。全长黏结型锚杆还应做注浆密实度检查，注浆密实度检查应按附录 E 的规定进行。试验数量按每 300 根（包括总数少于 300 根）锚杆抽样一组，每组不应少于 3 根，检查锚杆的位置应包括边墙和顶拱锚杆。地质条件变化或原材料变更时，应至少抽样一组，重大工程的抽样数量应适当增加。

10.1.3 锚杆施工质量合格条件应为：

- 1 同组锚杆的拉拔力平均值应符合设计要求。
- 2 任意一根锚杆的拉拔力不应低于设计值的 90%。
- 3 注浆密实度不应低于 70%。
- 4 锚杆的拉拔力不符合要求时，检测应再增加一组，如仍不符合要求，可用加密锚杆的方式予以补救。

10.1.4 张拉锚杆的质量检查应遵守下列规定：

- 1 有完整的锚杆性能试验和验收检验资料。
- 2 锚杆性能试验结果应符合本规范 4.3 的有关规定。
- 3 锚杆的验收检验结果应符合本规范 10.1.3 条的规定。
- 4 长期监测的张拉锚杆，稳定后的预应力值应符合本规范 5.3.5 条的规定。

10.2 喷射混凝土施工质量检查

10.2.1 喷射混凝土所用原材料及混合料的检查应遵守下列规定：

1 水泥和外加剂均应有厂方的合格证。水泥品质应符合设计要求；检查数量，每 200t 水泥取样一组。

2 每批材料到达工地后应进行质量检查，合格方可使用。

3 混合料的配合比及拌和质量，每班作业至少检查两次，条件变化时应及时检查。

10.2.2 喷射混凝土应做抗压强度检查。抗压强度的检查应按下列规定进行：

1 喷射混凝土抗压强度检查应采用在喷射混凝土作业时喷大板的取样方法进行，当有特殊要求时，还应用现场取芯的方法进行检查。取样数量为每种材料或每一配合比每喷射 1000m²（含不足 1000m² 的单项工程）各取样一组，每组试样为 3 块，有其它要求时应增加取样数量。喷大板和现场取芯检查的取样位置应包括两侧边墙和顶拱，在其工程中应有代表性。

2 一般情况下，对喷射混凝土只检测 28d 龄期的抗压强度。取样及检验方法应遵守附录 F 的规定。

10.2.3 喷射混凝土抗压强度的质量标准应符合下列规定：

1 同批喷射混凝土的抗压强度应以同批标准试块的抗压强度值来评定。

2 每组试块的抗压强度代表值为 3 个试块试验结果的平均值；当 3 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值；当最大值和最小值与中间值之差均超过中间值 15% 时，该组试块不应做为强度评定的依据。

3 重要工程喷射混凝土质量按公式 (10.2.3-1) 和公式 (10.2.3-2) 判定是否合格。

$$f_{ck} - K_1 S_n \geq 0.9 f_c \quad (10.2.3-1)$$

$$f_{ckmin} \geq K_2 f_c \quad (10.2.3-2)$$

4 一般工程或临时性工程喷射混凝土质量按公式 (10.2.3-3) 和公式 (10.2.3-4) 判定是否合格。

$$f_{ck} \geq 0.9f_c \quad (10.2.3-3)$$

$$f_{ckmin} \geq 0.85f_c \quad (10.2.4-4)$$

以上各式中 f_{ck} ——同批 n 组试块喷射混凝土抗压强度的平均值, MPa;

f_c ——设计的喷射混凝土立方体抗压强度, MPa;

f_{ckmin} ——同批 n 组喷射混凝土抗压强度的最小值, MPa;

K_1 、 K_2 ——合格判定系数, 按表 10.2.3 选取;

n ——每批喷射混凝土试块的抽样数量;

S_n ——同批 n 组喷射混凝土试块抗压强度的标准差, MPa。

表 10.2.3 喷射混凝土合格判定系数 K_1 、 K_2 值

n	10~14	15~24	≥ 25
K_1	1.70	1.65	1.60
K_2	0.9	0.85	0.85

当同批试件组数 $n < 10$ 时, 可按公式 (10.2.3-5) 或按公式 (10.2.3-6) 判定是否合格。

$$f_{ck} \geq 1.15f_c \quad (10.2.3-5)$$

$$f_{ckmin} \geq 0.95f_c \quad (10.2.3-6)$$

注 同批试块为喷射混凝土的原材料和配比基本一致情况下的试块。

5 当检验喷射混凝土强度不符合要求时, 应查明原因, 采取补强措施。

10.2.4 有防渗要求的喷射混凝土支护, 应按附录 G 的规定进行抗渗指标的测定。取样的数量、方法及部位应符合本规范 10.2.2 条的规定。

10.2.5 采用喷射混凝土对建筑物补强加固或设计有特殊要求时, 应按附录 A 的规定进行喷射混凝土与原结构面黏结力的测定, 取样数量不应少于 3 组, 每组不少于 3 块试件。

10.2.6 喷射混凝土结构在 0℃以下条件工作时，应对喷射混凝土进行抗冻性能的检验。抗冻检验的试件制备、取样方法和部位可按本规范 10.2.2 条的规定进行，抗冻指标的测定可按 SD 105—82 的规定执行。

10.2.7 喷层厚度的检查应遵守下列规定：

1 不过水洞室可采用针探、钻孔或其它方法检查。有压隧洞宜采用无损检测法检查。

2 喷层厚度检查断面的数量可按表 10.2.7 确定。但每一个独立工程检查数量不应少于一个断面。每个断面以拱冠为基准，向两侧每隔 2~5m 布置一个测点，每个断面的测点不应少于 5 个，其中拱部测点不应少于 3 个。

表 10.2.7 喷层厚度检查断面间距

工程类型	检查断面间距 (m)
一般隧洞 (I、II 类围岩)	50~100
一般隧洞 (III、IV 类围岩)、水工隧洞、竖井	20~50
V 类围岩、大型洞室	20~30

3 实测喷混凝土厚度的合格率应为：

- 1) 大型洞室、水工隧洞和竖井不应低于 80%。
- 2) 一般隧洞不应低于 60%。
- 3) 实测厚度的平均值应不小于设计尺寸。未合格测点的厚度不应小于设计厚度的 P2，但其绝对值不应小于 50mm。
- 4) 对重要工程的拱、墙喷层厚度的检查结果，应分别进行统计。

10.2.8 喷射混凝土的均匀性检查应符合下列规定：

1 喷射混凝土的均匀性可根据本规范 10.2.2 条规定测得的 28d 抗压强度，用计算的抗压强度标准差和变异系数来评定，并按表 10.2.8 的规定表示其质量等级。母体标准差和变异系数可

按公式 (10.2.8-1) 和公式 (10.2.8-2) 计算。

表 10.2.8 喷射混凝土的均匀性

施工控制水平	优	良	及格	差
母体标准差 S_n (MPa)	<4.5	4.5~5.5	5.5~6.5	>6.5
母体变异系数 V (%)	<15	15~20	20~25	>25

母体标准差,

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cki}^2 - n f_{ck}^2}{n-1}} \quad (10.2.8-1)$$

母体变异系数,

$$V = \frac{S_n}{f_{ck}} \times 100 \quad (10.2.8-2)$$

式中 S_n ——同批 n 组喷射混凝土试块 28d 强度的标准差, MPa;

n ——试块组数;

f_{ck} ——第 i 组试块抗压强度的平均值, MPa;

f_{cki} —— n 组试块抗压强度的平均值, MPa;

V ——变异系数, %。

2 在喷大板的纵横剖面上骨料分布均匀, 不应出现夹层、砂包、明显层面、蜂窝、洞穴等缺陷。

10.2.9 喷射混凝土的整体性检查应符合下列规定:

1 在结构接缝、墙角、洞形或洞轴急变等部位, 喷层应有良好的搭接。

2 无漏喷、脱空现象。

3 无继续扩展危及使用安全的贯穿性裂缝。

4 出现过的漏水点已作了妥善处理。

附录 A 喷射混凝土与围岩结合面的黏结强度检测方法

A.0.1 喷射混凝土与围岩的黏结强度检测应在现场进行。当现场不具备检测条件时，亦可在现场选取有代表性岩块在室内测定。

A.0.2 喷射混凝土与围岩的黏结强度检测，可采用以下方法：

1 预留试件拉拔法按以下要求执行。

- 1) 试验在施作后的喷射混凝土中进行，试件为圆柱体，直径200~500mm，高度为100mm，试件中心埋入高强度材料的拉杆，其承载能力应大于喷射混凝土与围岩的黏结力。
- 2) 喷射混凝土施作后，立即用铲刀沿试件轮廓修成宽50mm的槽，仅保留试件底面与围岩结合。
- 3) 用拉拔器对拉杆施加拉力，使试件沿喷射混凝土与围岩结合面破坏，根据拉力及破坏面积计算喷射混凝土与围岩黏结力。

2 钻芯拉拔法按以下要求执行。

- 1) 采用小型钻机，用金刚石钻头，垂直喷射混凝土层面钻进至岩石20mm，形成带有喷射混凝土的圆柱形岩芯。
- 2) 用卡套插入试件并卡紧岩芯，安装拉拔器后缓慢施加拉力，使岩芯沿围岩结合面破坏。
- 3) 按公式(A.0.2)计算黏结强度。

$$R_c = \frac{P_c}{A_c} \cos \alpha \quad (\text{A.0.2})$$

式中 R_c ——喷射混凝土与围岩的黏结强度，MPa；

P_c ——岩芯拉断荷载，N；

A_c ——岩芯拉断截面积， mm^2 ；

α ——岩芯断裂面同横截面交， $^\circ$ 。

A.0.3 喷射混凝土与岩块的黏结力可按下列方法测定：

1 在 $450\text{mm} \times 350\text{mm} \times 120\text{mm}$ （长 \times 宽 \times 高）的敞口试模中，放入约 $400\text{mm} \times 300\text{mm} \times 50\text{mm}$ （长 \times 宽 \times 高）在现场选取的岩块。

2 在现场喷射混凝土作业时，对装入岩块的大模喷射混凝土，并与施工现场一致的条件下养生至 **28d**。

3 将喷大模的试件加工成 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的方形试件，沿喷射混凝土与岩石结合面，采用劈裂法求取喷射混凝土与岩石结合面的黏结强度。

附录 B 锚喷支护监控量测方法

B.0.1 监控量测是锚喷支护设计和施工的重要环节，应按本规范 4.2 和 8.1、8.2、8.3 的有关规定进行设计和施工。

B.0.2 监控量测应按下列程序和规定进行：

1 仪器埋设后应立即测定稳定的初始值。

2 一般情况下应在每一施工循环的放炮前、放炮后进行观测。对流变特性明显的地质地段，观测间隔时间不宜大于 8h。当变形明显减少时可适当延长监测的间隔时间。

3 某一地段的监测自始至终应由专人负责，中途不宜换人，需要换人时，应至少有两次的交接性监测。

4 某一地段的监测中途不宜更换仪器，需要更换仪器时，同一测次应同时采用原来的仪器和更换的仪器测定同一时间变形后，方可使用更换后的仪器进行量测。

5 观测结果出现异常情况，应查明原因并重复观测 1~2 次。

6 按表 B.0.2—1 或 B.0.2—2 的格式和项目作好监测记录，不得漏项。

B.0.3 监测资料整理分析后应提交下列资料：

1 计算各测点收敛值、位移值和变形速率（日变形量）。

2 绘制位移—时间变化过程线。

3 分析实测位移曲线的时、空关系。

4 编制监测日报表。日报表中应包括本日监测结果、对监测结果的基本分析、洞室稳定状态、对支护效果的初评价及施工措施的必要修正等。

5 每周提出一份监测简报。

6 每一个施工阶段完成后提交一份专项报告。

B.0.4 监测资料处理应遵守下列原则：

表 B.0.2-1 收敛量测记录表

工程名称： 仪器编号： 仪器埋设日期： 年 月 日
 项目名称： 桩 号： 埋设时仪器距开挖面距离： m
 工程部位： 测点位置： 起始监测日期： 年 月 日

监测日期 年 月 日	各测线实测相对位移值 (mm)												开挖进尺 (m)	
	A—B		A—C		B—C		A—D		A—E		D—E			
	测值	位移	测值	位移	测值	位移	测值	位移	测值	位移	测值	位移		
仪器埋设 位置简图							简要地质素描、本循环进尺及施工情况							

观测： 记录： 计算： 校核：

表 B.0.2-2 多点位移计算测记录表

工程名称： 仪器编号： 仪器埋设日期： 年 月 日
 项目名称： 桩 号： 埋设时仪器距开挖面距离： m
 工程部位： 测点位置： 起始监测日期： 年 月 日

监测日期 年 月 日	各测线实测相对位移值 (mm)										开挖进尺 (m)
	A		B		C		D		E		
	测值	位移	测值	位移	测值	位移	测值	位移	测值	位移	

仪器埋设 位置简图	<p style="text-align: center;"><i>a, b, c, d, e</i> 表示为 测点距孔口距离</p>	简要地质素描、本循环进尺及施工情况
--------------	---	-------------------

观测： 记录： 计算： 校核：

1 一般情况下，测试后 **24h** 之内应向项目技术负责人、监理工程师提交日监测报表。当本测次实测变形比上测次实测变形明显增长，并接近控制的允许变形值时，除应缩短监测的间隔时间外，还应立即通知施工技术负责人，密切注意变形发展趋势，并在 **2h** 以内以简要报告形式向有关人员报告监测结果，研究处理意见。

2 监测简报应发送给施工项目经理、技术负责人、监理工程师、设计代表和业主代表，并作为竣工验收的文件。

3 每个施工阶段的专项报告，是施工阶段验收的主要文件，除应按上款分送有关部门外，还应归档永久保存。

附录 C 喷射混凝土作业区 粉尘浓度检测方法

C.0.1 喷射混凝土作业区粉尘浓度检测应由取得环境影响评价资质单位进行。

C.0.2 粉尘浓度测定的取样部位和数量，应符合表 C.0.2 的规定。

表 C.0.2 喷射混凝土粉尘浓度测点布置和取样数量

测尘地点	位 置	取样数 (个)
喷头附近	距喷头 5m、底板 1.5m，下风向设点	3
喷射机附近	距喷射机 1m、底板 1.5m，下风向设点	3
洞内拌料处	距拌料处 2m、底板 1.5m，下风向设点	3
喷射作业区	作业面中部，距底板 1.5m，作业区下风向设点	3

C.0.3 取样应在喷射作业形成稳定生产能力后进行。一个样品的取样时间不得小于 3min。

C.0.4 测尘方法宜采用滤膜称量法。

C.0.5 当 80%以上测点实测的粉尘浓度，达到本规范 9.2.2 条的规定标准，其它测点粉尘浓度不超过 20mg m^{-3} 时，应视为合格。

附录 D 锚杆拉拔力检测方法

D.0.1 拉拔力的检测，可按下列程序进行：

1 在拉拔力检测锚杆的外露端接一加长杆，加长杆的接口（螺栓或焊口）和加长杆的强度应大于杆体的抗拉强度，其长度应满足检测要求。

2 平整锚杆外露端的孔口岩面，安装传力板，保证检测锚杆承受轴向拉力。

3 安装拉拔器和其它设备，拉拔器的轴线应与杆体轴线同心。

D.0.2 锚杆拉拔力检测时应遵守下列规定：

1 均匀、缓慢、逐级施加拉拔力，加荷速率不宜大于 1kN/s 。

2 每级加荷后应立即测定锚杆位移量。

3 检测设备应定期标定，并符合计量要求。

4 检测设备应安装牢固、符合安全规定。

5 检测过程中应记录检测锚杆位置、拉力值、位移值和检测过程中的异常现象。

D.0.3 根据拉力计指示值和拉力计的特性参数计算拉拔力，并按本规范 10.1.3 的规定判定锚杆质量。

D.0.4 内锚固段的胶结材料与孔壁的黏结强度检测可在现场选择有代表性的地质地段，按本规范 4.3.3 条的规定执行。

附录 E 砂浆锚杆注浆质量检测方法

E.0.1 对砂浆锚杆质量的检测项目主要是锚杆孔注浆的饱满程度。

E.0.2 砂浆锚杆施工过程中，应按表 E.0.2 的规定详细记录砂浆锚杆的注浆过程，并按表 E.0.2 计算每根锚杆胶结材料的实际用量。

表 E.0.2 锚杆注浆施工记录表

工程名称： _____ 工程部位： _____
 工程编号： _____ 桩 号： _____
 施工日期： 年 月 日 记录： _____ 计算： _____ 校核： _____

钻 孔 及 锚 杆 参 数									
锚杆 数量 (根)		锚杆 直径 (mm)		锚杆 长度 (m)		钻孔 直径 (mm)		钻孔 深度 (m)	
注 浆 参 数									
注浆 方式	配 比		水灰 比	材 料 用 量					
	水泥:砂			水泥 (kg)		砂 (m ³)		砂浆量 (m ³)	
水泥卷直径 (mm)		水泥卷长度 (mm)		水泥卷数量 (只)					
材料损失量 (m ³)									
平均每根锚杆注浆量 (m ³ /根)									
平均每根锚杆砂浆饱满度 (%)									

E.0.3 根据表 E.0.2 记录数据,按公式 (E.0.3) 计算砂浆饱满度,当 W 值大于 0.7 时锚杆质量为合格。

$$W = \frac{Q - Q_1}{0.25 \pi L_a n (D^2 - d^2)} \quad (\text{E.0.3})$$

式中 Q ——每批锚杆制备的砂浆量, m^3 ;
 Q_1 ——每批锚杆注浆施工损失的砂浆量, m^3 ;
 L_a ——每根锚杆注浆长度, m ;
 n ——每批注浆锚杆根数;
 D ——锚杆孔钻孔直径, m ;
 d ——锚杆直径, m 。

E.0.4 重要工程还应采用无损检验办法对锚杆注浆质量进行检验。采用无损检验时应注意以下环节:

- 1 采用的无损检验仪器性能应稳定,对注浆饱满度的分辨等级为 1.0、0.70、0.5 和 0.25。检验结果在 0.70 以上为合格。
- 2 施工前应对采用的砂浆锚杆无损检测仪进行现场率定或进行验证性试验。
- 3 砂浆锚杆的外露端应磨平。在施工时做好保护。

附录 F 喷射混凝土抗压强度的检测方法

F.0.1 喷射混凝土抗压强度的检测试件应在现场施工过程中通过喷大板切割法或现场钻取法取得。

F.0.2 喷大板切割法应按下列要求制件和检验其抗压强度指标：

1 在作业时，向 $450\text{mm} \times 350\text{mm} \times 200\text{mm}$ （长 \times 宽 \times 高）的开敞式木模中喷射施工作业所用混凝土，应与施工现场相同条件下养生。

2 拆除木模并制成 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 标准试件 3 块。立方体试件的允许偏差，边长应不大于 $\pm 1\text{mm}$ ，直角应不大于 2° 。

3 养生 28d 后，在压力机上应进行抗压强度试验，求取每块试件的抗压强度值。

F.0.3 现场钻取法，应按下列要求制件和检验其抗压强度指标：

1 采用配有金刚石钻头的小型钻机，在喷射混凝土结构物上钻取芯样。钻取位置应有代表性并符合本规范 10.2 的规定。钻取芯样数量为 3 块。

2 将钻取的芯样用金刚石切割机制成高度与直径相同的试件，圆柱体试件的允许偏差，高度应不大于 $\pm 1\text{mm}$ ，直角应不大于 2° 。

3 将喷射已达 28d 的试件置于压力机上测定其抗压强度，当试件直径为 100mm ，高度为 100mm 时，试验结果即为抗压强度指标，当试件直径和高度小于 100mm 时，则其结果应乘以 0.95 的折算系数后，才能作为抗压强度指标。试件的直径不应小于 76mm 。

附录 G 喷射混凝土抗渗性检测方法

G.0.1 喷射混凝土抗渗强度检验的试样，应在施工现场制备。

G.0.2 喷射混凝土抗渗强度检测的试件制备应遵守下列规定：

1 在喷射混凝土作业时，向 $450\text{mm} \times 350\text{mm} \times 200\text{mm}$ （长 \times 宽 \times 高）的开敞式木模中喷射施工作业所用混凝土，并在与施工现场相同条件下养生。

2 拆模后钻取直径为 150mm 、高 150mm 的圆柱体标准试件 6 块。

3 清除两端面浆膜，沿圆柱周边涂环氧树脂，再涂溶化的配比为 $4:1$ 的石蜡火漆混合物，用螺旋加压器将试件压入预热的抗渗仪试件套筒内，冷却后解除压力。若试件与套筒仍有间隙，应用高强水泥砂浆捣实，凝固后在标准条件下养护 28d 。

4 试验前排除管路中空气，以 0.1MPa 压力为起始压力，每 8h 压力增加 0.1MPa ，在每级压力施加前观测端面渗水状况。当压力加至规定值时，6 个试件中表面渗水不超过 2 个，则其抗渗指标大于或等于规定值。

5 喷射混凝土抗渗指标检验，亦可按 **SD 105—82** 的有关规定执行。

标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要 求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推 荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允 许
不必	不需要、不要求	

中华人民共和国水利行业标准

水利水电工程锚喷支护技术规范

SL 377—2007

条 文 说 明

目 次

1	总则	3
4	锚喷支护设计	5
5	锚杆施工	23
6	喷射混凝土施工	28
7	联合支护施工	39
8	锚喷支护施工监测	42
9	安全技术与防尘	46
10	质量检查	49

1 总 则

1.0.1 锚喷支护已成为地下工程建设中普遍应用的一种围岩加固技术，不仅应用广泛，而且工程量很大，特别对解决复杂地质条件的地下工程建设和施工具有重要意义。为此制定本规范，以规范水利水电工程锚喷支护的设计、施工和安全。

1.0.2 水利水电工程锚喷支护的类型为：①锚杆支护；②喷射混凝土支护；③钢筋网喷射混凝土支护；④钢纤维喷射混凝土支护（含聚丙烯纤维喷射混凝土）；⑤锚杆喷射混凝土支护；⑥锚杆、钢筋喷射混凝土或锚杆、钢纤维喷射混凝土联合支护；⑦锚杆、钢拱架与钢筋喷射混凝土联合支护。

上述类型的锚喷支护，无论是作为临时支护还是永久支护，或作为永久护的一部分，它们的设计和施工均应遵守本规范。对于岩（土）边坡、基础加固，水工建筑物补强等采用锚喷技术时，也可参照本规范有关条款执行。

1.0.3 在地下建造的水工建筑物与围岩有极密切的关系，而锚杆、喷射混凝土支护与围岩的关系更为密切。这种密切关系主要是因为锚喷支护在于主动加固围岩，可以充分发挥围岩固有的承载能力；此外还因为这种支护的功能在于锚喷支护后的围岩与锚喷支护共同承受围岩压力。因此应在充分做好地质调查、合理进行围岩分类基础上，根据围岩本身的自稳状态进行锚喷支护设计和施工。

1.0.4 锚喷支护对象是围岩，而且与围岩有密切的依赖关系。如果开挖方法不当造成围岩大范围的松弛，洞周围岩松动，不仅使洞室周边起伏差增大，加大了施工难度，增加了工程量，而更重要的是由于对围岩的扰动而降低了围岩本身的承载能力，对围岩的扰动愈大围岩承载能力降低愈大，加固后的效果愈差，有时还会造成围岩的不稳定。尽管掘进机开挖可以减少对围岩的扰

动，加快掘进速度，但由于受地质条件、工程规模和洞室尺寸等条件的制约，钻爆法开挖仍然是主要的开挖方式。为减少对围岩的扰动和破坏，减少超挖，保证开挖面的平整，对断面较小的洞室采用光面爆破技术，对分部开挖的大断面地下洞室采用预裂爆破技术是非常重要的措施。

1.0.5 锚喷支护因受围岩条件影响，设计和施工差异很大，加之围岩的构造和力学性质对围岩稳定影响状况也不可能查得十分清楚和准确，因此需要采用动态设计的方法进行锚喷支护的设计和施工。这种设计和施工的基本做法是通过围岩或初期支护的变形监测获取的原位变形资料，通过计算分析，进一步揭示围岩或支护的稳定性，如果监测结果表明支护设计偏于危险，围岩中的有害变形仍在发展，则应采取加强支护的措施；如果支护设计偏于安全，可总结经验适当减小支护参数。对于重要工程必须依据设计要求安排和布置监测工作，其目的是保证锚喷支护设计安全、经济、施工简便。

1.0.6 锚喷支护的工程质量在很大程度上取决于作业人员的技术熟练程度，因此必须加强技术培训。国外十分重视这一问题，例如美国规定，给喷射当过 3 年助手的人员才能直接从事喷射混凝土作业，有 3 年以上直接从事喷锚支护作业资质的人员，才能做工长。当前，锚喷支护作业的机具和施工工艺发展十分迅速，所以技术培训工作就更为重要。

4 锚喷支护设计

4.1 一般规定

4.1.1 锚杆、喷射混凝土支护是一种经济、快速的岩体加固技术。实施这种加固措施的目的是提高围岩的整体性，保证围岩与支护共同工作，进而充分发挥和最大可能提高围岩承载能力。因为支护类型选择、支护参数确定以及施工措施与围岩的地质条件的关系极为密切，特别是围岩的成洞条件和成洞后的自稳能力。因此对工程地质调查的要求和各设计阶段地质调查的深度除应满足《水利水电工程地质勘察规范》(GB 50287)的规定外，对Ⅲ类和Ⅲ类以下围岩以及在Ⅱ类和Ⅱ类以上围岩中开挖跨度大于15m的地下洞室，还应对围岩进行变形观测，确定围岩的自稳能力，根据围岩的自稳能力确定施工程序和支护参数。

4.1.2 锚喷支护设计是在围岩分类基础上进行的，目前对围岩分类的方法很多。GB 50287主要是针对水利水电工程而制定的勘察规范，该规范将控制围岩稳定的岩石强度、岩体完整程度、结构面状态、地下水和主要结构面产状五项因素评分之和为基本判据，以围岩强度应力比为限定判据而制定。各项因素评分办法可按GB 50287的规定计算。

对于大型地下洞室和Ⅳ类以下围岩，在施工阶段还应以监控量测结果判定围岩稳定程度，必要时对围岩类别予以修正。

4.1.3 锚喷支护主要作用是通过锚杆和喷射混凝土对围岩实施加固，这种加固包括整体性加固和局部性加固。无论是整体性加固，还是局部性加固，首先应选定支护类型，然后再确定锚杆的型式、长度、直径、数量、间距和布置，并同时确定喷射混凝土的厚度、强度、钢筋网尺寸以及支护时间等。

4.1.4 锚喷支护设计主要有工程类比法、监控量测法和理论计算法等三种。其中工程类比法是根据国内外大量的工程实践总结

出来的，具有广泛的实用性，所以应用最为普遍，是锚喷设计最基本和行之有效的设计方法。

监控量测法是近几年发展起来的一种较为科学的设计方法。这种设计方法的核心是以综合反映各种地质因素和工程因素的围岩位移和位移速率作为围岩是否稳定的判据。该法简单易行，对恶劣地质条件的支护工程是不可缺少的设计方法。

因为受地质工作深度的限制，十分准确的确定围岩的各种力学指标十分困难，再加上计算模式还存在一些问题，因此理论分析和计算方法通常只做为锚喷支护设计的辅助方法。但在一些重要工程或一些大型洞室的支护工程中，为确保工程的安全，还应通过理论分析对围岩的稳定性进行验算。

这里还应特别指出，无论何种情况，凡可能出现局部失稳的围岩，都需要通过理论计算确定其支护参数。

4.1.5 表 4.1.5 是按不同地质条件、不同开挖跨度给出的永久性工程的锚喷支护设计参数。该表中规定的参数值是通过上百个工程的统计分析，并纳入了近十年来开挖跨度大于 **25m** 洞室支护所采用的资料。根据国内外已建工程经验，本次规范修订将锚喷支护的应用范围扩大到开挖跨度为 **30m**。对于喷射混凝土，本规范规定的最小厚度为 **50mm**，最大厚度为 **200mm**，可调范围不大。对钢筋网，表 4.1.5 只规定了使用条件，而对其间距和直径，按本规范 4.4.7 条的规定设计。

在锚喷支护设计中，锚杆的作用至关重要。因为它不仅可以加固洞室表面，而且可根据围岩的松弛区大小，结构面产状和延伸深度加固一定深度范围的围岩。实测资料表明，采用锚杆加固后，可以有效地限制围岩变形发展并可提高围岩的抗剪强度，此外还可根据需要对围岩施加一定预应力，从而提高围岩的支护抗力。因此设计和施工人员对锚杆支护参数的选择要尤为重视。国标《锚杆喷射混凝土支护技术规范》（GB 50086）通过对已建工程的统计结果，系统锚杆的长度一般在表 1 所列范围内变化。20 世纪 70~80 年代，水利水电工程施工的地下洞室断面比较小，

又受到锚杆施工机具的限制，锚杆长度均较短，仅为地下洞室开挖跨度的 0.15 倍，见图 1 曲线 (a)。近 10 年中，由于地下洞室开挖断面不断扩大，锚杆施工机具也有了很大发展，地下工程中系统锚杆的长度有所增大。经对龙滩、二滩、小浪底等 20 多个工程统计，系统锚杆的长度与开挖跨度之比为 0.25 左右，见图 1 曲线 (b)。

表 1 锚杆长度统计表

围岩类别	$B \leq 5$	$5 < B \leq 10$	$10 < B \leq 15$	$15 < B \leq 20$	$20 < B \leq 25$	$25 < B \leq 30$
I				2.5~3.0	3.0~4.0	
II		1.5~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	5.0~6.0	
III	1.5~2.0	1.5~2.5	1.5~4.0	4.0~5.0		
IV	1.5~2.0	2.0~2.5	2.0~4.0			
V	1.5~2.5	2.0~3.0				

世界上很多国家对系统锚杆的长度也都做了相应的规定，例如美国工程师协会规定，顶拱部位的锚杆最小长度为 $0.25B$ ，拱线以下部位锚杆长度宜为 $0.20H$ (H 为洞室开挖高度)；日本经验，系统砂浆锚杆长度 $L=20\Delta$ ，张拉锚杆 $L=50\Delta$ (Δ 为围岩允许变形值)；澳大利亚雪山工程公司规定 $L=6+0.044B^2$ (单位以英尺计，1 英尺=0.3048m)。

参照国内工程和国际工程经验，考虑到水利水电工程的实际情况，将国标规定的系统锚杆长度略作调整并适当加长。本规范所规定的锚杆长度与国标规定之比较见表 2。

III 类围岩开挖跨度大于 25m；IV 类围岩开挖跨度大于 15m；V 类围岩开挖跨度大于 10m，锚喷支护在水利水电工程中只作为临时性支护，所以表 4.1.5 中未列出支护参数。上述范围地下洞室临时支护的锚喷参数按表 4.1.5 注 1 的规定选取，再根据监测结果确定。

4.1.8 在水利水电工程中开挖跨度大于 15m 的地下工程均属重

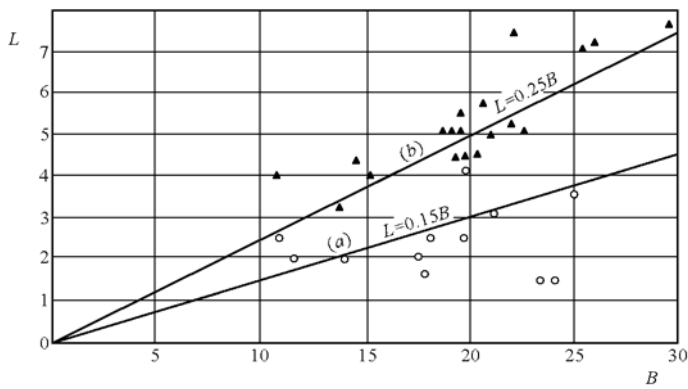


图1 部分工程锚杆长度与开挖跨度关系

说明 1. “○”代表20世纪70~80年代修建的地下工程的锚杆长度与开挖跨度关系点。

2. “▲”代表20世纪90年代修建的地下工程中锚杆长度与开挖跨度关系点。所代表的工程有：龙滩水电站地下厂房(28.9m)；大朝山地下厂房(26.4m)；小浪底地下厂房(26.2m)；二滩地下厂房(25.5m)；十三陵地下厂房(23.0m)；天荒坪地下厂房(22.4m)；龙滩尾调室(22.0m)；大朝山尾调室(22.0m)；东风地下厂房(21.7m)；响洪甸地下厂房(21.5m)；广蓄地下厂房(21.0m)；太平驿地下厂房(19.7m)；龙滩主变室(19.6m)；江垭地下厂房(19.0m)；鲁布格地下厂房(19.0m)；东风地下厂房地下开关站(19.0m)；天荒坪主变室(18.0m)；大广坝地下厂房(15.2m)；小浪底主变室(15.2m)；二滩导流洞(20.5m)；小浪底导流洞(19.6m)；漫湾导流洞(15.0m)。

要工程，例如大型导流洞、地下厂房、调压井和主变室等，这些工程地质工作较为详细，岩石力学参数也通过试验确定，具备理论计算分析的条件，采用数值分析后还可对选定的支护参数的可靠性做出评定。

4.1.9 由结构面形成的不稳定岩体为局部问题，应根据节理裂隙组合情况，确定不稳定体的边界条件和范围，并对不稳定块体进行稳定分析，计算支护力的大小，决定锚杆的布置、长度、直径、钢筋网格间距及喷射混凝土厚度等。

表 2 本规范与国标规定的系统锚杆长度比较

围岩类别	$B \leq 5$		$5 < B \leq 10$		$10 < B \leq 15$		$15 < B \leq 20$		$20 < B \leq 25$		$25 < B \leq 30$	
	国标规定	本规范规定	国标规定	本规范规定	国标规定	本规范规定	国标规定	本规范规定	国标规定	本规范规定	国标规定	本规范规定
I	均不设置锚杆		均不设置锚杆		2.0 ~2.5	2.0 ~2.5	2.5 ~3.0	2.5 ~3.5	3.0 ~4.0	3.0 ~4.0	无规定	4.0 (砂) 5.0 (张)
II	均不设置锚杆		1.5 ~2.0	2.0 ~3.0	2.0 ~3.0	2.0 ~3.0	3.0 ~4.0	3.5 ~4.5	5.0 ~6.0	3.0 ~5.5	无规定	4.0~5.0 (砂) 5.0~8.0 (张)
III	1.5 ~2.0	1.5 ~2.0	2.0 ~2.5	2.0 ~3.0	3.0 ~4.0	3.0 ~4.0	4.0 ~5.0	3.5 ~5.0	无规定	5.0~6.0 (砂) 6.0~8.0 (张)		
IV	1.5 ~2.0	1.5 ~2.0	2.0 ~2.5	2.0 ~3.0	3.0 ~4.0	4.0 ~5.0						
V	1.5 ~2.0	1.5 ~2.0	2.0 ~3.0	2.0 ~3.5								

注 1: (砂) 代表砂浆锚杆。
注 2: (张) 代表张拉力锚杆。

4.1.10 由于人们对地质条件的认识需要逐步深化，再加上地下工程涉及的范围较大，有些地下洞室不仅跨度大而且洞线长。在初步设计阶段很难查清所有的地质问题，随着设计工作的不断深化，在技施设计阶段可能会遇到更多的地质问题，所以技施设计阶段的地质工作尤为重要。**GB 50287** 对技施设计阶段的地质工作作了专门的规定，主要有：在初步设计审批中要求补充论证的和施工中出现的专门工程地质问题；对不良工程地质问题的处理措施；施工地质工作；施工期和运行期工程地质监测和分析地质监测资料。根据技施设计阶段的地质工作结果，修正围岩类别，调整支护参数，是地下工程锚喷支护设计的重要工作。

4.1.11 由于地质条件变化较为复杂，各向异性明显，为了有针对性的进行支护设计，根据变化情况随时调整支护类型和支护参数，是一种经济合理的设计方法。所以本规范强调在永久性锚喷支护工程中，根据工程重要程度和地质条件布置适量的监测仪器，按“监控设计法”监测支护效果，必要时修改设计。

4.1.12 地下洞室交叉处应力集中，施工对围岩将造成多次扰动，所以该处是地下工程的特殊部位。支护设计时一定要给予足够的重视。应按空间最宽部位的开挖跨度，确定支护参数。在施工过程中，还应在此部位布置监测仪器，根据变形发展规律确定是否需要加固和修改支护参数。

4.1.13 局部破碎或软弱地段的加固向较好地段延伸，是为了增加局部加固效果，减缓结合部位的变形发展速率。延伸长度与围岩性质，特别与软弱破碎带的产状、构造发育程度关系极大。对于与地下建筑物交角较小的软弱构造带，搭接长度要大些，而交角较大时则可适当减小。

4.1.14 不同时间施作的支护做好搭接，是支护设计的结构性措施。其目的是为了保证支护的整体效果。

4.1.15 V类围岩极其软弱，爆破开挖时围岩扰动破坏严重，开挖后由空间效应和时间效应引起的围岩变形发展迅速，因此采用小药量爆破开挖可减少围岩的扰动，采用短进尺开挖可减缓由

空间效应引起的围岩变形，及时支护可限制由时间效应引起的围岩变形，这些措施都是保证围岩稳定的有效办法。

4.1.16 地下水的存在会使围岩稳定程度降低，并造成锚喷支护施工困难，影响工程质量。有些地质条件又对水十分敏感，如遇水软化强度迅速降低，这些问题都是设计和施工人员应十分重视的问题。

4.2 监控设计

4.2.1 锚杆、喷射混凝土和监控量测是地下工程锚喷支护的三大支柱。当今已进入信息时代，在支护设计中，应用监控量测的“信息”进行支护设计是锚喷支护设计的重要方法之一。

监测资料可反映各种自然因素和人为因素对围岩变形的影响，通过对监测资料的分析，对评价围岩稳定状态的综合影响，了解水文地质、工程地质的变化趋势，检验工程地质结论，确定初设阶段支护参数是否合理，是进一步优化设计和保证施工安全的重要依据。在 **GB 50287** 的规范中也强调了监测工作的重要性。

锚喷支护监控量测设计包括，选择与围岩地质条件、洞室开挖尺寸及施工方法相适应的监测项目；合理的布置量测系统；科学的量测方法；监测信息的整理分析；监测信息处理及根据围岩稳定判据对支护参数的调整和修正。

4.2.2 锚喷支护的监控设计方法是贯穿于初步设计、技施设计和施工全过程的动态设计方法，是依据锚喷支护工程在实施过程中所反映的围岩稳定状况、支护是否安全可靠等各种信息变化而进行的优化设计方法，也是最能适应各种地质因素和人为因素影响的设计方法。各设计阶段的设计任务不同，监控量测的作用、方法以及采用的监测仪器也有区别。为此，我们把监控量测归纳为初设阶段（或施工前）进行的围岩稳定性分析监测；施工阶段进行的施工安全监测和工程运行期的永久性监测三种情况。这三种情况的监测在已建工程中均有应用。

4.2.3 在重要工程或大型地下洞室的初步设计阶段，为了论证采用锚喷支护的合理性和初步确定支护参数，对地下洞室围岩稳定性和支护效果需专门安排围岩稳定性分析监测。这种监测在施工前专门开挖的试验洞内进行。主要目的是分析洞室围岩稳定状况，研究围岩的变形特性，利用试验洞的监测结果推测控制变形值，对施工过程中可能出现的不安全因素制定预防对策。例如天荒坪蓄能电站地下厂房开挖尺寸为 **22.4m×47.73m×198.7m**（宽×高×长）；龙潭水电站开挖尺寸为 **28.0m×74.0m×197.0m**；拉西瓦水电站地下厂房开挖尺寸为 **25.5m×69.27m×258.75m**；李家峡水电站地下厂房开挖尺寸为 **30.0m×70.0m**（宽×高），均在初步设计阶段专门开挖了试验洞，布置了收敛计、多点位移计、锚杆应力计等监测仪器，开展了围岩稳定程度的监测，并对监测资料进行了全面分析，对拟定的岩体力学参数进行了论证，这些工作对进一步优化设计起到了重要指导作用。小浪底地下厂房，二滩水电站地下厂房，鲁布格水电站地下厂房也开展了这方面的试验研究工作。

4.2.4 目前，施工期监测已成为地下工程锚喷支护设计和施工的重要环节。国际上均把施工监测作为必须进行的工作。我国已建或在建的水利水电工程也都开展了这方面的工作，并依据施工期的监测结果及时修正和调整支护参数，以做到节省投资和保证施工安全。例如在小浪底水利枢纽的地下洞室群的施工过程中，全方位的开展了施工监测工作。小浪底导流洞共三条，开挖直径 **16.4~19.8m**，总长度 **3352m**，采用五次序分部开挖成洞，锚杆喷射混凝土为临时支护。由于受 **F236、F238** 和 **F240** 断层影响，围岩条件变化复杂，为指导各开挖阶段的正常施工，保证支护参数符合围岩稳定要求，不仅在第一次序的 **8m×7.8m** 上中导洞施工中安排了 **41** 个监测断面的洞周相对位移、锚杆受力状态和围岩深部变形的监测，还在其它次序的施工过程中，共进行顶拱沉降监测 **346** 个断面，洞周收敛量测 **223** 个断面（平均 **18m** 一个断面）；安装多点位移计 **42** 支，锚杆应力计 **30** 支。这些监测工

作不仅指导了导流洞的正常施工，也保证了施工安全。

4.2.5 因为收敛量测对施工干扰小、测量速度快、数据直观便于应用，洞周相对位移的变化又能综合反映围岩稳定状况与支护效果，所以大多数工程施工阶段的监测都以收敛量测（包括顶拱沉降）为主。为了掌握围岩变形特性，确定加固范围，一些重要工程还在关键部位布置了一定数量的多点位移量测。表 4.2.5 中的观测项目是根据大量工程实践总结出来的，可供设计和施工选用。每种监测仪器的布置和数量应根据围岩地质条件、主要构造的产状和设计与施工的需要确定。地质条件好的地段，仪器间距可大些，地质条件差的地段仪器间距可小些。收敛量测应能包容工程所通过的各种地质条件，量测数据能基本反映该工程围岩变形的基本规律，布置数量可多些。而多点位移监测和锚杆应力监测应布置在关键部位，数量可少些。其他项目例如渗压和接触压力的观测可视需要布置。

4.2.6 大型地下洞室均采用分次序开挖方式成洞，各开挖次序对围岩稳定均有影响。为掌握各开挖次序中围岩的变形规律、支护效果，监测工作应贯穿于施工全过程。因此每个开挖次序均应按相应的洞室尺寸布置收敛量测仪器。但对量测全过程围岩变形的多点位移计，应在第一次序开挖之前埋设。

4.2.7 在地下工程的监控设计中，各类围岩的稳定判据是一个很重要的问题。开挖或初期支护的稳定判别主要依靠两个因素：一是位移总量，二是变形速率。这两个问题，在地下工程施工中都要加以控制。

1 表 4.2.7 给出的允许变形量控制标准，是在收集了国内工程实测资料基础上，由煤炭、冶金、铁道、水电、国防等部门通过统计分析提出的，列入了 GB 50086，实践证明，具有一定的实用性。小浪底水利枢纽地下工程施工中，开展了大量的监测工作，取得了大量的观测数据，也提出了适用于小浪底围岩条件的允许变形控制标准，详见表 3。该标准是通过对其 3 条总长 3352m 的导流洞施工过程中的 346 个顶拱下沉测点，223 个收敛

量测断面和 42 支多点位移计，通过近 3 年的观测经分析后获得的。小浪底地下工程施工实践证明，表 3 提出的控制标准基本是可行的。

表 3 小浪底水利枢纽地下工程围岩允许变形控制标准

洞径 (m)	各类围岩类别的允许变形标准值 (mm)				说 明
	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	
8	<5	5~20	20~50	50~120	标准埋深 70m Ⅲ类围岩 $R_p > 15\text{MPa}$ Ⅳ类围岩 $R_p < 15\text{MPa}$ Ⅴ类围岩 $R_p < 10\text{MPa}$
17	<10	10~37	37~95		
20	<12	12~40	40~110		
25	<15	15~50	50~140		

但值得提出的是，无论是表 4.2.7 所列的允许变形控制标准，还是表 3 所列小浪底地下工程允许变形控制标准值，都是指在开挖掌子面埋设仪器并测定初始值后，再继续开挖所测定的变形值，如果开始埋设仪器的地点不在掌子面，应按该工程实测的开挖过程全变形曲线，将施工时所测位移值修正后，才能用表 4.2.7 的标准值判定。

2 变形速率的大小也是围岩稳定的重要标志。变形速率值大，说明围岩稳定性差，超过警界值围岩将失稳。总结国内外经验，本规范以日变形量超过允许变形总值的 P4~P5 作为警界值，当实测变形的速率接近此标准时，需立即采取加强支护措施。小浪底上中导流洞穿越 F238、F236 断层时就是利用这一标准进行控制的。

4.2.8 在永久性的重要工程中，需要布置一定数量的永久性观测仪器，这也是设计中要考虑的问题。永久性观测的目的主要是解决锚喷支护地下洞室运行期稳定性的评价问题，所以要求观测手段应具有长期稳定性。根据国内外的经验，主要采用多点位移监测和锚杆应力监测来实现，大型地下厂房还采用性能稳定的测斜仪等。

永久性监测应布置在有代表性的关键部位，结合施工进度安

排，尽可能提前施作，以保证测得全部变形值，并在施工过程中也可利用指导安全施工。

4.3 锚杆支护设计

4.3.1 在地下工程、边坡或基础加固中，锚杆是广泛应用的加固措施。它可以对一定深度的围岩实施加固，提高围岩的自支撑能力，增强整体加固效果，还可通过锚杆对围岩施加一定数值的预压应力，提高围岩支护抗力。

由于锚杆支护应用广泛，种类繁多，本规范按其工作原理归纳为 3 种类型：

(1) 依靠与钻孔孔壁摩擦实现锚固的锚杆有全长黏结型锚杆、端头锚固型锚杆和摩擦型锚杆。全长黏结型锚杆是以胶结材料将锚杆与围岩联合为一体，依靠胶结材料与孔壁的黏结力和胶结材料与杆体材料的握裹力来实现锚固的。这种类型锚杆的胶结材料主要有水泥砂浆、快硬水泥卷或树脂材料，其中应用最为广泛的是水泥砂浆或水泥浆，这种锚杆就是砂浆锚杆。其中端头锚固型锚杆和摩擦型锚杆，也是依靠与围岩的摩擦力进行锚固的锚杆，而端头锚固型锚杆是以胶结材料或用机械方式进行端头锚固，然后进行全长锚固，摩擦型锚杆则是通过一定方式使杆体直接与孔壁接触并产生摩擦力来实现锚固的，例如缝管式锚杆和水胀式锚杆等。

(2) 为提高围岩的支护抗力，最有效的方式是通过向锚杆施加张拉力而主动加固围岩，防止围岩失稳。按施加张拉力的大小，这种锚杆可分为张拉锚杆和预应力锚杆。预应力锚杆多用高强钢丝、高强钢绞线或精轧螺纹钢筋做杆体，可施加高吨位的锚固力，这种锚杆国内又称为预应力锚索。预应力锚杆设计和施工已有专门规范，本规范只对张拉锚杆做出规定。国内目前使用的张拉锚杆的张拉力一般为 50~200kN，长度为 8~12m。

(3) 自钻式锚杆是一种新型的具有特殊功能的锚杆，是集钻进、注浆、锚固功能为一体的全长黏结型锚杆，因此具有全长黏

结型锚杆的作用，在软弱破碎带或造孔困难的地质地段，使用这种锚杆可以不扰动围岩并可实现地下工程的快速施工，尽早发挥锚杆的锚固作用。

4.3.2 全长黏结型锚杆因为对锚杆的全长实行灌注水泥砂浆，用水泥砂浆把锚杆与围岩黏结在一起，沿锚杆全长都起锚固作用，同时由于水泥砂浆将锚杆握裹，具有良好的防腐防锈功能，所以在永久性锚固工程中普遍应用。

由于钻孔机械性能的提高，本次制定的规范把杆体直径由**14~22mm**提高到**16~32mm**。为保证锚杆与胶结材料有较高的握裹力及胶结材料与钻孔壁有较高的黏结强度，要求胶结材料的强度等级不得小于**M20**。

4.3.3 对抢险或需要尽快提供锚固力的工程，优先选用端头锚固型锚杆。这种类型锚杆主要有胀壳式、倒楔式、楔缝式和快硬水泥卷等四种，前三种为机械式，后一种属胶结式。机械式端头锚固型锚杆的锚固效果主要取决于锚杆端头的结构型式，因此机械式内锚头要与孔壁咬合紧密，内锚头尺寸应与钻孔孔径有良好的配合。当施加设计张拉力时，内锚头不产生滑移。对于胶结式端头锚固型锚杆，主要应选择快速凝固材料进行端头锚固。

4.3.4 摩擦型锚杆一般由薄壁管材制成，其锚固力大小主要取决于管材强度和管壁与孔壁的摩擦力。因此要求摩擦型锚杆使用的材质，管壁的结构尺寸和与孔壁的摩擦力应承受**120kN**以上拉力。管壁与孔壁的摩擦力的大小，对缝管式锚杆而言，主要取决于开缝的大小和缝管与钻孔的差值；对水胀式锚杆而言，则取决于异型管材在**3.0MPa**以上高压水作用下，能有较大部位与孔壁接触并对孔壁提供均匀分布、不可恢复的压力，当锚杆轴向受拉时，这种对孔壁的径向压力变成了强大的摩阻力而起到迅速锚固作用。

4.3.5 当地下洞室开挖跨度和高度较大或围岩构造较为发育，据计算分析可能出现较大塑性区时，通常采用砂浆锚杆和张拉锚

杆相间布置的加固措施。例如小浪底地下厂房的边墙开挖高度为 57.94m，相间布置了 6m 的砂浆锚杆和 10m 的张拉锚杆。江垭、二滩、龙滩、大朝山等水电站的地下厂房也相间布置了砂浆锚杆和张拉锚杆。张拉锚杆可提供一定数额的支护抗力，以增强围岩的整体稳定。

一般情况下，张拉锚杆的杆体材料可与砂浆锚杆或端头锚固型锚杆一样，选择 II、III 级螺纹钢筋，但张拉力较大或杆体较长需要自动对接时，也可选择精轧螺纹钢筋。采用高强材料做为锚杆体时，由于锚杆体应力较高，为防止应力腐蚀和围岩可能发生的变形进一步增大锚杆体的应力，设计时应控制其平均应力不大于锚杆材料强度标准值的 70%。所使用的胶结材料的强度等级不低于 M30。

4.3.6 在易于塌孔、堵孔的地层中应用自钻式锚杆具有特殊作用，可减少处理塌孔的麻烦，降低破碎地层中锚杆施工难度，加快施工速度，并起到迅速锚固的作用。

自钻式锚杆由带螺纹的中空杆体、钻头、联结套、止浆塞、拱形托板及螺母组成，其构造见图 2，其技术参数见表 4。

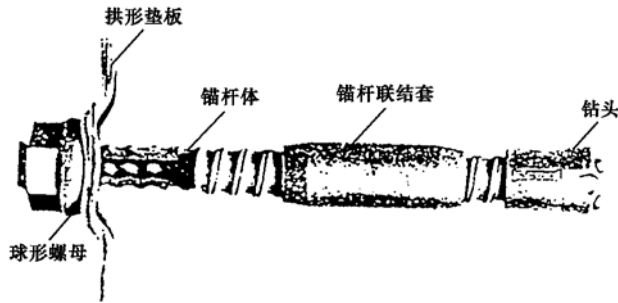


图 2 自钻式预应力锚杆结构

4.3.8 锚杆的布置主要是研究或解决锚杆长度、布置型式和间距。按锚杆的作用分为局部加固锚杆和系统加固锚杆两种。这两种锚杆的布置原则是有区别的。

表 4 自钻式锚杆型号和技术参数

型 号	外径 (mm)	内 径	极限 张拉力 (kN)	屈服 荷载 (kN)	屈服 强度 (N/mm ²)	断面积 (mm ²)	重量 (kg/m)	长度 (m)	接头 长度 (mm)
TTTAN30 16	30	16	220	180	470	382	3.0	4	
TTTAN30 14	30	14	260	220	640	359	2.9	3, 4	
TTTAN30 11	30	11	320	260	580	446	3.5	2,3,4	
TTTAN R32	32	20	275	220	520	420	3.2	3, 4	
TTTAN R38	38	17	500	420	600	690	5.4	3	
TTTAN40 16	40	16	660	525	590	879	6.9	3	
TTTAN52 26	52	26	929	730	550	1337	10.5	3	160
TTTAN73 53	73	53	1160	970	590	1631	12.8	3	165
TTTAN103 78	103	78	1950	1570	500	3146	24.7	3	180
TTTAN105 53	105	53	3460	2750	500	5501	43.5	3	180

(1) 系统锚杆是根据岩(土)体稳定要求,在整个开挖面上,按一定间距和规律均匀布置的锚杆,是解决围岩整体稳定的加固措施。锚杆长度要穿越围岩的松弛区,并在稳定的围岩中有1m以上的锚固长度,间距为不大于锚杆长度的P2。采用等距离的梅花形、矩形或菱形布置,其目的是使锚杆提供均匀的支持抗力,使一定深度的围岩形成拱形承载体。在Ⅲ类以上围岩中,节理裂隙不甚发育,锚杆间距不大于锚杆长度的P2,可保证一根锚杆穿越若干条节理裂隙,使锚杆所通过的结构面联成整体,可保证整体的加固效果。Ⅳ、Ⅴ类围岩,节理裂隙比较发育,围岩结构块体较小,为保证整体加固效果,应采用较小的间距布置锚杆。

(2) 局部锚杆是为防止岩(土)体滑动或塌落,在局部按一定规律布置的锚杆,是对局部不稳定岩体的加固措施。在设计时要根据结构面的位置、产状及其组合情况,确定塌滑体范围和滑动力大小,计算锚杆的数量和长度。局部布置的锚杆长度可不等长,但都应伸入到稳定的岩层之中。锚杆在稳定岩层中的长度,

应根据需要提供的阻滑力大小计算决定。

在计算锚杆提供阻滑力大小时，应充分考虑结构面的产状、结构面的力学性质、锚杆的受力特点，并充分考虑结构面组合关系和阻滑作用，经济合理地确定锚杆数量。

锚杆的布置应考虑以提供最大阻滑力的“最优锚固角”方向布置。受施工影响时，可适当对锚固角度做某些调整。锚杆的间距应根据滑动范围和需要提供的总锚固力大小确定。

4.4 喷射混凝土支护设计

4.4.1 喷射混凝土支护是将水泥、砂、石和速凝剂的混合料，通过喷射机以较高的压力射向受喷面，形成与围岩或老混凝土结构面紧密结合的混凝土护面，是地下工程经常使用的一种施工速度较快的支护形式。

喷射混凝土是水泥和集料在反复连续撞击条件下压实的混凝土。它与岩面、混凝土、钢材有很高的黏结强度，具有良好的耐久性，并能在结合面上传递拉应力和剪应力。由于混合料内掺入一定比例的速凝剂，使混凝土在 10min 之内终凝，可立即获得一定强度并能适应结构变形需要。还由于喷射混凝土施工是将运输、浇筑和捣固结合为一道工序，而且不需模板，可以在任意空间和场地狭小地段作业，立即实现对围岩的保护，并限制围岩可能发生的有害变形的发展，是地下工程必不可少的加固措施。

4.4.3 喷射混凝土中的水泥含量高达 $500\sim 600\text{kg m}^3$ ，而中粗骨料含量少，当喷射厚度在 50mm 以下时易收缩、开裂，从而降低了喷层的整体性。当铺设钢筋网时，钢筋网与岩面总存在一定距离，而且钢筋网还需一定的保护层厚度。因此本规范规定素喷混凝土最小厚度为 50mm，钢筋网喷射混凝土的最小厚度为 100mm。

由于喷射混凝土支护具有一定柔性可以适应围岩的变形需要，喷射混凝土过厚刚度增加，适应变形能力变小，而且一次喷射过厚回弹变大，可能发生喷层脱落，经济上也不合理，所以限

制喷射厚度不大于 200mm，钢筋网喷射混凝土厚度不应大于 250mm。

由于软弱围岩强度低，洞室开挖后围岩变形明显，支护对围岩变形的调整作用加强，因此利用原位监测结果指导喷射混凝土支护设计的效果比较突出，利用监测反馈的结果指导锚杆、喷射混凝土支护设计是最为有效的方法。

4.4.4 喷射混凝土的强度等级是决定支护力学性质和耐久性的重要指标。目前随着喷射混凝土工艺水平的提高，新材料特别是新型高效减水剂、增黏剂、早强剂的问世，对喷射混凝土的力学性质均有很大改善，喷射混凝土抗压强度等级达到 C20，钢纤维喷射混凝土强度等级达到 C25 是不困难的。

喷射混凝土支护的另一个特点是混合料中可以掺入速凝剂，使其早期强度提高，这一点非常重要，特别是对软弱围岩，洞室开挖后稳定时间很短，立即支护并使支护尽快形成支护抗力，可保证 1d 的强度达到 5MPa 是完全能做到的，见表 5。

表 5 喷射混凝土早期强度 单位：MPa

测定国家或单位	龄 期 (h)		
	3	8	24
日本	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		2.3~2.5	6.5~6.7
中国冶建院		2.5	8.3

4.4.5 喷射混凝土是依靠与岩面的黏结来传递拉应力和剪应力的，所以喷射混凝土与岩面的黏结力至关重要。它是喷射混凝土与围岩共同工作的有利保证。喷射混凝土与围岩的黏结强度不仅与喷射混凝土强度有关，还与围岩的强度有关，因此在选择喷射混凝土黏结强度指标时，应考虑上述两个因素。

4.4.6 在地下水较丰富的岩层中，外水内渗将影响工程的使用，大量的渗水将降低喷射混凝土强度。为此在淋水地段，要求喷射

混凝土有良好的不透水性。解决这一问题的途径，一是增加喷层厚度；二是提高喷射混凝土的抗渗强度。

喷射混凝土本身抗渗强度较高，但喷射作业稍有不慎，将增加喷射混凝土不均匀性，造成局部地段抗渗效果不好。为此在混合料中添加增强防水剂，以改善施工工艺提高喷射混凝土喷射质量，增大与围岩的黏结力，并可提高喷射混凝土抗渗能力 10% 以上。

4.4.7 在喷射混凝土中布设钢筋网，可以提高喷射混凝土的抗剪切能力、支护抗力和支护的整体性。钢筋网与锚杆连接后还可以扩大支护范围，使锚杆、钢筋网、喷射混凝土和一定深度的围岩形成范围较大的承载圈。但是如果钢筋网布置不当也会影响喷射混凝土质量，如钢筋网的直径过大、间距过小将影响喷射混凝土与围岩的结合，甚至发生喷射混凝土被钢筋网架住的现象。一般情况下要求钢筋网直径小些，网格间距大些为好，这可视施工情况而定。

4.4.8 在流变性较大的岩体中，为适应较大变形的需要，在喷射混凝土中掺入 3%~6% 的钢纤维或聚丙烯纤维是有效的措施。实测资料表明，在喷射混凝土中掺入适量直径 0.3~0.5mm、长 20~25mm、强度不低于 380MPa 的钢纤维，喷射混凝土的抗拉强度可提高 30%~60%，抗弯强度可提高 30%~90%，掺入聚丙烯纤维也可提高喷射混凝土的抗拉强度至 4.0~5.4MPa。

由于钢纤维的加入，在喷射混凝土中往往有部分钢纤维垂直层面且露出层面，易于伤人，平行于层面的钢纤维也有部分附于喷层表面，易于锈蚀，因此需在钢纤维喷射混凝土表面敷以 10mm 素喷混凝土加以保护。

4.5 联合支护设计

4.5.1 IV、V 类围岩及断层带、断层影响带、卸荷带或节理密集带，由于岩体特别软弱破碎，再加上构造影响，洞室开挖后，变形发展迅速。仅靠锚杆或钢筋网喷射混凝土支护不足以抵抗围

岩有害变形的发展。综合性支护措施包括带钢拱架或格栅拱架的锚杆、钢筋网喷射混凝土支护。在地下工程中大多数断层带是采用这些方法支护的。例如小浪底导流洞 F238、F236 断层带和其影响带属 V 类围岩，就是采用间距为 1.0m 的格栅拱架、锚杆、钢筋网和喷射混凝土联合支护后才保证了安全施工。

4.5.2 带钢拱架或格栅拱架的锚杆、钢筋网喷射混凝土联合支护，锚杆、钢筋网、钢拱架必须连接。目的是加强支护的整体性，把一定范围的围岩与支护措施联合为一体，共同抵御有害变形的发展。此外两次施做的联合支护必须互相搭接，这种结构措施可加强支护整体性，使各种不同类型支护变形互相协调，也可制约软弱洞段岩体的有害变形的发展。

4.5.3 采用钢拱架、锚杆、钢筋网喷射混凝土联合支护时，钢拱架的间距不宜过大，而且必须与围岩密贴，钢拱架底角必须埋入不受扰动的围岩之中。这样做可以使钢拱架迅速起到承压作用，有效的传递变形，最大限度抑制变形的发展。

用型钢制作的钢拱架，安装困难，不易适应洞体形状，也不易保证与围岩密贴。可采用 II 级或 III 级螺纹钢在现场按洞体实际开挖形状制成格栅式钢拱架，这种钢拱架安装灵活，施工速度快，经济实用。

4.5.4 在软弱破碎地段开挖洞室时，有时成洞条件很差，为保证顺利进洞，最有效方法就是在掌子面沿掘进方向安设超前锚杆，加固顶拱以上的岩体后再掘进。该法可以防止掘进时顶拱塌落，成洞后再立即支护，可保证安全施工。

为保证开挖的安全，应将超前锚杆内端置于未开挖的岩体中，外端架设在钢拱架上并固定，这样可以有效地防止顶拱塌落。大量工程经验证明，这种措施是最有效的设计和施工方法。

5 锚杆施工

5.1 一般规定

锚杆施工应遵守的一般原则，是各种型式锚杆施工都应遵守的规定。

5.2 水泥砂浆锚杆施工

5.2.1 砂浆锚杆是通过水泥砂浆与锚杆及孔壁的黏结力承受拉力的，水泥砂浆强度直接影响黏结力的大小。为保证水泥砂浆强度，砂浆的配合比、砂的质量、外加剂掺量和计量都至关重要。对重要工程可在施工前通过试验决定砂浆配合比；对一般工程可直接采用 5.2.1 条建议的砂浆配合比，按这一配合比，一般情况下其抗压强度均能达到 20MPa。

5.2.2 砂浆锚杆质量除了与材质和水泥砂浆强度有关外，水泥砂浆在锚杆孔中的密实度也是重要的因素，而且是更为重要的因素。这一点已经引起了设计和施工人员的高度重视。保证注浆饱满的关键有二：一是要将注浆管插到孔底，对注浆管插不到底的孔要进行处理；二是注浆管向外拔出的速度要合适，拔出太快，孔内浆不饱满，拔出太慢，砂浆从管周间隙挤出，造成拔管困难。最合适的拔管速度是随着注入砂浆对注浆管的推力匀速拔出。为保证注浆饱满，施工中应严格的监视并记录注浆量。

5.2.3 为保证注浆质量，选择性能稳定的注浆机械设备也很重要。注浆机械一般采用螺杆式锚杆注浆机、活塞式砂浆泵或挤压式砂浆泵等，其输浆能力 $0.7 \sim 1.5\text{m}^3/\text{h}$ 、出口压力 $0.8 \sim 1.5\text{MPa}$ 可满足要求。施工时在出浆口还应设回浆阀以调节输浆量和压力。

小浪底水利枢纽工程使用的几种注浆机械性能见表 6。

表 6 注浆泵的主要技术参数

机 械 型 号	MZ-2	UB3	UBJ-1.8C
输送能力 (m ³ /h)	0.7~1.0	3.0	0.4~1.8 可调
水平输送距离 (m)	40	150	100
垂直输送距离 (m)	20	40	30
出浆口压力 (MPa)	1.0	1.5	
电机功率 (kW)	2.2	4	2.2 2.8 双速
外形尺寸 (mm×mm×mm)	1500×460×570	1033×474×890	1410×834×863
整机重量 (kg)	180	250	330

锚杆施工应重视对砂浆密实度的检查。过去曾认为，只要在设计拉力下锚杆不被拔出即可满足设计要求，所以用拉拔试验结果来评定其质量。工程实践证明这是不够的。据计算分析，即使锚杆有较小长度被水泥砂浆黏结即可满足抗拉力的要求，被黏结段的位置并不影响抗拉力值，如果胶结段处于孔口段，则锚杆长度就失去了意义。为此应进行锚杆注浆密实度的检测，而这项检测目前尚无更科学的方法，只能严格控制注浆量，依据施工记录来鉴别注浆密实度。有条件时可经充分对比试验后，采用无损检验方法评定。

5.2.4 如遇锚杆孔干燥，孔壁岩石吸水量大，注浆后孔内砂浆水灰比很快降低，造成插杆困难时，应及时插杆。插杆困难时可利用机械顶推或风镐冲击插入。

5.2.5 在砂浆未达设计强度之前，对锚杆敲击、碰撞或牵拉都会影响砂浆与锚杆的良好黏结。

5.2.6 锚杆孔塌孔现象出现机率较高，一般采用掏孔处理。若塌孔严重，无法使锚杆孔通畅，则应采用花管注浆锚杆或自钻式锚杆。

5.3 张拉锚杆施工

5.3.2 树脂卷亦称“树脂锚固剂”，是将树脂胶黏剂和固化剂按

一定比例分别封装于一只设有隔离腔的聚酯薄膜袋内的锚固剂。两种糊状物质互不接触，不会固化。装入锚杆孔内的树脂卷一旦被旋转的杆体端部捅破，两种物质搅拌混合产生化学反应，很快固化，便将杆体锚固于孔内。目前国内生产的树脂卷直径为 $\phi 35\text{mm}$ 、 $\phi 28\text{mm}$ 和 $\phi 23\text{mm}$ 三种，长度为 $350\sim 500\text{mm}$ ，还可按需要制作。固化后与混凝土或岩石的黏结强度可达 7MPa ，同螺纹钢筋的握裹强度可达 16MPa 。

5.3.5 快硬水泥卷（即早强型水泥基药卷式锚固剂）按凝固时间可分为：早强型（ 2h 达到设计锚固力）、标准型（ 24h 达到设计锚固力）、缓凝型（ 72h 达到设计锚固力）。

目前使用的水泥卷多由工厂生产，分为滤纸外皮外套塑料网格和滤纸外皮外套无纺布两种，卷直径和长度可按使用要求订做。

5.3.4 机械式内锚头多由楔块与孔壁接触的壳体组成，楔块在冲击力或张拉力的作用下将壳体胀开，压紧孔壁，产生锚固力。

目前在工程中应用的机械式内锚头有胀壳式、楔缝式、倒楔式等多种，其中胀壳式应用较多。

机械式内锚头部位的孔壁岩石应完整坚硬，如遇软弱破碎岩层，加力后壳体被挤入孔壁，则锚头失效。所以这种锚头不宜用于断层及软弱破碎的围岩中。

5.3.6 采用先插杆张拉后注浆的施工方法时，工作程序一般是：锚杆安装的同时安装排气管、注浆管—孔口封堵—安装托板—锚杆张拉—注浆。

排气管一般使用内径 $6\sim 8\text{mm}$ 聚乙烯管，沿杆体伸到内锚头附近，可先固定在杆体上随杆体一起插入钻孔中。如杆体需要旋转搅拌，为避免旋转时排气管损坏或堵塞，则应选用有一定刚度的聚乙烯管，在杆体插完后再插入孔中。

5.3.7 采用先注浆后安装张拉锚杆的施工方法时，在内锚固段应采用快速固化的树脂卷或快硬水泥卷，锚杆的自由段应采用缓凝水泥砂浆，注浆时按次序分段注入。锚杆强行插入后，锚头部

分先硬化并很快达到张拉强度，而锚杆张拉时，自由段的胶结材料尚未初凝，待锚杆张拉锁定后，自由段的缓凝砂浆才开始硬化，并将施加的张拉力“冻结”在岩体中。利用两种不同胶结材料凝结“时间差”安装张拉锚杆的工艺，质量易于保证，施工简便。

5.4 特殊型式锚杆施工

5.4.1 缝管式锚杆是利用管壁的弹力挤压孔壁而产生的摩擦力来实现锚固的，管壁的弹力大小及对孔壁的挤压强度受管径与钻孔直径的匹配关系影响极大。因此采用缝管式锚杆时，钻孔应严格按设计的孔径施工，合理地选择造孔钻头，孔径大小应均匀。为使锚杆安装到位，应采用风动凿岩机强行将锚杆全部挤入锚杆孔之中。

小浪底导流洞使用的缝管式锚杆长度为 1.2~2.5m，锚杆直径为 30~44mm，适应的钻孔直径为 $\phi 27\text{mm}\sim 42\text{mm}$ ，初锚固力达到 70kN。

5.4.2 水胀式锚杆是将薄壁管件加工成异型空腔式杆件，插入钻孔中后，向杆体内腔注入压力大于 3.0MPa 的水，使杆体膨胀与孔壁紧密接触。在高压水的作用下，凸凹不平、弯弯曲曲的异型薄壁钢管变形，也使孔壁承受径向压力而产生微胀，因此在钻孔长度方向上沿孔壁产生非均匀分布的摩阻力。当管内空胀的水压力消失后，依靠管件膨胀后对孔壁产生的摩阻力和一定数值的剪力承受拉力。水胀式锚杆的承载力一般要高于缝管式锚杆的承载能力。水胀锚杆安装速度较快，安装后立即承载，还有良好的抗震能力，所以在软弱、破碎、高地应力、大变形的地段，使用效果非常好。

国内生产的水胀式锚杆的锚固力一般为 80kN，杆体的破断力为 96kN，注水压力为 3.0MPa 以上，每根锚杆的安装时间约为 2min。

5.4.3 花管注浆锚杆是将锚杆端部加工成尖顶、管壁钻有小孔

的钢管，用钻机冲击或人工锤击插入孔中。从钢管内注浆，浆液从管壁上的小孔挤出，填充钢管与孔壁间隙及孔壁上岩石的缝隙，起到较好的粘结作用及固结孔周围岩的作用。小浪底水利枢纽在导流洞的围岩加固中，采用了 **46836m** 花管注浆式锚杆，支护效果较好。

5.4.4 应用自钻式锚杆避免了因塌孔锚杆安装困难，节省了处理塌孔的时间，加快了锚杆施工速度，及时提高了围岩的稳定能力。所以这种类型的锚杆在节理裂隙发育和软弱破碎围岩中，有广泛的应用价值。

6 喷射混凝土施工

6.1 原 材 料

6.1.1 普通硅酸盐水泥，凝结时间较快，特别是与速凝剂有良好的相容性，性能也比较稳定。矿渣水泥早期强度低，在喷射混凝土中采用矿渣水泥时，应适当提高原材料的标号。对混凝土有早强要求时，可采用硫铝酸盐水泥或其它早强水泥。

6.1.2 砂是喷射混凝土的主要原材料之一。由于质量优良天然砂，磨圆度好，又有良好的级配，是喷射混凝土首选砂料。机制砂磨圆度较差，级配也不十分理想，不仅对喷射混凝土的强度和均匀性有影响，也使管路磨损加剧，回弹增大。但有些工程缺少质量优良天然砂，为了节省运费，降低投资，也可采用机制砂。

砂的细度模数对喷射混凝土的质量也有较大影响。为了保证喷射混凝土质量，减少收缩，降低施工粉尘，砂的细度模数宜大于 2.5。

采用干喷法时，喷射混凝土的用水是在喷头附近与混合料混合再射向受喷面，加水量是由喷射手根据经验控制的。如果砂中含水量经常变化，势必要求喷射手经常调整喷头附近的加水量，如果喷射手不掌握砂中的含水量的变化，就很难控制喷射混凝土质量。为了保证喷射混凝土质量，保持恒定的加水量是十分必要的，5%~7%接近砂的饱和含水量，在正常施工中这一含水量变化很小，也易于喷射手控制加水量。

6.1.3 石或碎石的质量、级配也是影响喷射混凝土强度的重要因素。经过大量的试验研究和工程实践，表 6.1.3 给出的骨料级配是最佳的。控制骨料粒径不大于 15mm 是为了减少回弹和管路堵塞。

以含有活性二氧化硅的石材做骨料，容易产生碱骨料反应，

引起喷射混凝土的开裂破坏。

6.1.4 为了加速喷射混凝土的凝结、硬化，提高早期强度，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，在喷射混凝土中加入速凝剂是较为有效的措施。速凝剂对不同品种的水泥，作用效果不同。因此，在使用前应做速凝剂与水泥及拌和用水的相容性试验。

6.1.5 喷射混凝土用水与普通混凝土是一致的。使用污水、pH值小于4的酸性水，或SO₄含量超过1%时，都将影响喷射混凝土强度和锚杆与围岩的胶结强度。

6.1.6 目前我国钢纤维的加工方法主要有熔化拉拔法、切削法和截段法。熔化拉拔法是由钢液直接抽取。切削法是由钢锭或薄钢板切削制取。这两种方法制作工艺简便，价格较便宜。而截段法是由冷拔钢丝剪断后形成，工艺较为复杂，价格较高。

6.2 施工机具

6.2.1 喷射机是喷射混凝土施工的主要设备。目前国内已可生产多种型号喷射机，其主要技术指标见表7。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。但为了保证喷射质量，减小回弹和粉尘浓度，提高作业效率，要选择密封性好，料物输送均匀、连续，生产能力稳定的喷射机组。

表7 国产喷射机的主要类型及技术性能

指 标	喷 射 机 类 型									
	HP30 —74	PZ —5B	ZP —V	ZP —VII	HPX —308	冶建 —65	HPJ	PZ—9	PZ—3 (B)	
生产能力 (干混合料) (m ³ /h)	2~6	5 ~5.5	5~6	5~6	3~5	4	5	8.5 ~9.0	3、2、 1.5、 1.0	
工作风压 (MPa)	0.1 ~0.5	0.2 ~0.4	0.2 ~0.4	0.12 ~0.14	0.1 ~0.6	0.12 ~0.6	0.2 ~0.4	0.2 ~0.4	0.2 ~0.4	
耗风量 (m ³ /min)	6 ~10	7 ~8	5 ~8	5 ~8	7 ~10	7 ~8	7 ~8	10 ~12	4.5 ~5.0	

表 7 (续)

指 标	喷射机类型									
	HP30 —74	PZ —5B	ZP —V	ZP —VII	HPX —308	冶建 —65	HPJ	PZ—9	PZ—3 (B)	
骨料最大粒径	25	20	20	20	25	25	15	20	12	
输料管内径 (mm)	50	50	50	50	50	50	50	65	42	
输送距离 (m)	水平	250	200	200	120	200	200	200	200	
	垂直	100		40	50	80	70			
电机功率 (kW)	7.5	5.5	5.5	5.5	4	3	5.5	7.5	3.0	
外形尺寸 (mm)	长	1500	1520	1480	1225	1430	1600	2100	1300	1130
	宽	1000	820	750	770	868	850	960	800	540
	高	1600	1280	1280	1170	1375	1630	1560	1300	1020
重量 (kg)	800	700	800	820	700	1100	1000	800	430	

湿喷混凝土具有强度高、粉尘浓度小、工作环境好等优点，所以具有很高的发展潜力。湿喷技术在国外已普遍应用，生产的湿喷机性能比较稳定，见表 8。我国近几年也开始发展湿喷技术，如 TK—961 型湿喷机，其技术指标：生产率 $5\text{m}^3/\text{h}$ ，骨料最大粒径 15mm ，系统风压 $\geq 0.5\text{MPa}$ ，耗风量 $\geq 9\text{m}^3/\text{min}$ ，机旁粉尘 $\leq 10\text{mg}/\text{m}^3$ ，速凝剂掺量 $0\sim 7\%$ ，最大水平输送距离 30m ，最大垂直输送距离 20m 。

表 8 湿喷混凝土喷射机的技术性能

型 号	PC08—60M	EimcoF—2	Compenmass —208	TK—961	BSM—903	
生产能力 (m^3/h)	9	20	4	3~6	5	3~4
骨料最大粒径 (mm)	15	25	20	25	15	15
输料管内径 (mm)	50	152	50	50	50	50

表 8 (续)

型 号		PC08—60M	EimcoF—2	Compermass—208	TK—961	BSM—903	
压缩空气耗量 (m^3/min)		6	6	13~14	8~12	10	12
最大输送距离	水平 (m)	100	200	30	200	40	50
	垂直 (m)				80	20	30
机重 (kg)		3300	1360	1200	2200		
外形尺寸	长 (mm)	5300			2700		
	宽 (mm)	1200			930		
	高 (mm)	2100		1700	1420		

6.2.2 搅拌机是配制砂、石、水泥混合料的主要机具。在混合料配制过程中，从粉尘浓度最小、混合料拌和均匀的角度出发，应优选强制式拌和机制备混合料。

6.2.3 喷射机的压缩空气，一般由空压机站或移动式空压机供给。空压机所供给的风压与风量不足，混合料在管路内运动速度慢，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。实践证明，当使用移动式空压机供风时，如排风量小于 $9\text{m}^3/\text{min}$ ，则作业中供气不足，影响喷射作业的正常进行。

为避免压缩空气中的油污进入混合料，应设置油水分离装置。

6.2.4 在喷射混凝土施工中，输送混合料的输料管将承受 $0.1\sim 0.6\text{MPa}$ 的压力。混合料在输料管中以滚动、碰撞的方式和较高速向喷嘴方向运动，在混合料运动过程中对输料管产生摩擦，如耐压性、耐磨性不足，必将经常更换，这不仅影响施工，也不安全。

6.2.5 混合料在喷嘴附近的压力约为 0.1MPa ，为使出口附近供水环喷出的水能穿透混合料，使水均匀的与混合料混合，应要求供水压力在 0.2MPa 以上。

6.2.6 有时施工场地狭小，混合料制备需在异地生产，由汽车或皮带输送机向喷射机供料。此时应注意混合料在运输过程中，不产生分离现象，以保证喷射混凝土质量。

6.3 混合料的配合比、拌制和运输

6.3.1 本规范所规定喷射混凝土的配合比，是经过多年实践而且普遍采用的配合比。在无试验资料时，可按此配合比进行施工。如采用湿喷法时，水泥用量、砂率和用水量均应略有增加。

速凝剂品种不同产生的速凝效果也不同，即使同一品种速凝剂，对不同厂家生产的水泥，也有不同的速凝效果。掺入速凝剂后任何一种因素的变化都会对喷射混凝土质量带来影响。因此要求，对速凝剂和其它外加剂的使用需通过净浆试验确定。

6.3.2、6.3.3 为保证喷射混凝土的均匀性，必须对原材料称量的允许偏差和混合料的搅拌时间做出规定。

6.3.4 当砂的含水量大时，掺入速凝剂后立即产生水化作用，加速混合料的初凝，不仅对喷射混凝土质量产生影响，有时还会造成施工困难，影响施工进度。不掺速凝剂的混合料存放 2h 也会初凝。

6.3.5 湿喷混凝土的速凝剂，必须在喷头附近的适当部位加入，加入后立即射向受喷面完成喷射作业，避免水化作用提前发生。湿喷混凝土经常采用液态速凝剂，液态速凝剂所加水量与混合料拌和所加水量总和应等于湿喷混凝土总用水量。

6.3.6 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。

6.4 喷射作业前的准备工作

6.4.3 渗水或严重涌水将影响喷射混凝土施工。为保证施工质量和正常施工，必须首先设法将渗水或涌水集中导入预埋的水管流出，再将水管周围用喷射混凝土封闭，待喷层达到一定强度，

拔出水管，采用早强水泥砂浆快速堵塞孔口。这是施工中经常采用的有效方法。

此外，对大量渗水或涌水的排放也应做好规划。

6.4.6 喷层厚度是评价喷射混凝土支护质量的主要项目之一。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，也可在施工中用插扞子的办法控制。

6.5 喷射作业

6.5.1 喷射机的正确使用是保证充分发挥喷射机工作性能，保证施工质量的关键。因此喷射机操作人员要严格执行操作规程，使喷射机供料均匀，水灰比和风压稳定。

在完成作业或因事故中断作业时，应清除喷射机内和输料管中的积存料物，其目的是为了处理安全事故和方便喷射机的再次使用。

6.5.2 当喷头与受喷面垂直距离保持在 0.60~1.0m 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。一次喷射厚度大，回弹率低，粉尘浓度小。

6.5.3 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，可避免松散的回弹物料黏污尚未喷射的壁面，并依托下部喷层对上部喷层的支撑，可防止喷层的松脱和坠落。

工程实践表明，只有当壁面上形成 10mm 左右的塑性层后，粗骨料才能嵌入。一次喷射过厚会影响喷射混凝土的黏结力与凝聚力，造成离层或因自重过大而坠落。一次喷射厚度的大小，因喷射方法和部位不同而存在一定差异，可根据施工经验并参照表 9 选择。

当喷射混凝土设计厚度超过表 9 的一次喷射厚度时，则应分层喷射。若混凝土未达到终凝就进行后一层喷射，不仅会扰动前一层喷射混凝土结构，还会因混凝土与壁面的黏结力很小，而导致喷射混凝土离鼓甚至脱落。

表 9 一次喷射厚度参考表

单位: mm

喷射方法	部 位	掺速凝剂	不掺速凝剂
干喷法	边墙	70~100	50~70
	拱部	50~60	30~40
湿喷法	边墙	80~150	
	拱部	60~100	

工程实践表明,喷射混凝土终凝后 3h 再进行爆破时,紧靠爆破面的喷射混凝土的凝聚力及其与壁面的黏结力足以抵抗爆破力的振动影响,不会导致喷射混凝土离鼓、开裂或脱落。

两次作业的喷射混凝土应互相搭接,可以加强支护的整体性,保持围岩变形的连续性。

6.5.4 喷射混凝土表面的平整度,对水工隧洞十分重要。壁面平整糙率小,水头的沿程损失减小,发电效益增大。例如回龙山水电站的引水隧洞实测平均起伏差为 210mm,实测糙率为 0.033;而太平哨水电站的引水隧洞采用光面爆破技术开挖,实测平均起伏差只有 115mm,实测糙率为 0.028。如果地下洞室采用光面爆破开挖,注意喷射混凝土表面平整,控制壁面平均起伏差小于 100mm 是可以做到的,此时喷射混凝土的综合糙率可控制在 0.025 左右。

6.5.5 喷射混凝土施工中的回弹率与喷射混凝土材料水灰比、喷射速度、喷头至受喷面的距离、喷射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、材料消耗量、施工效率等都有重大影响。工程实践表明,只要正确地按有关规定施工,搞好施工质量管理,边墙回弹率不大于 15%、拱部回弹率不大于 25% 的指标是能够达到的。

6.5.6 在低温下进行喷射混凝土作业时,混凝土凝结时间显著延长、强度增长缓慢,使一次喷射混凝土的厚度减少、回弹率增大。

6.6 水泥裹砂喷射混凝土作业

6.6.1 水泥裹砂喷射混凝土也称“SEC”（Sand Enveloped with Cement）喷射混凝土技术。已在水工隧洞施工中有了较多的应用。水泥裹砂喷射混凝土工艺流程见图3。

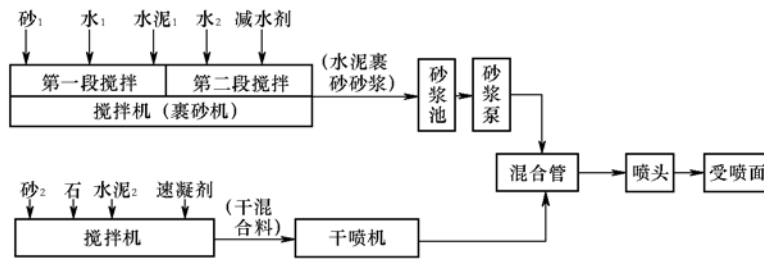


图3 水泥裹砂喷射混凝土工艺流程

水泥裹砂喷射混凝土将所用原材料分为两部分：一部分用于拌制水泥裹砂砂浆；另一部分用于拌制干混合料。水泥裹砂砂浆内包含50%~70%的砂（图3中的砂₁）、90%左右的水泥（图3中的水泥₁）以及全部水（图3中的水₁+水₂）和减水剂；干混合料中含有30%~50%的砂（图3中的砂₂）、10%左右的水泥（图3中的水泥₂）以及全部石子和速凝剂。喷射作业时，水泥裹砂砂浆由砂浆泵输送至混合管，干混合料由干喷机输送至混合管，二者汇合后经喷头喷出。

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。干喷机的输送能力通常定为3~4m³/h，相应砂浆泵的输送能力要求能达到4m³/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稠度的，即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。因此砂浆泵的输送力在其额定的输送能力下必须是任意可调的。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。

单缸砂浆泵靠柱塞的往复运动输送砂浆，因此砂浆的输送过程是间断的，其间隔时间可通过砂浆泵柱塞每分钟的往返次数计算。

6.6.2 在确定水泥裹砂喷射混凝土的配合比时，首先确定总配合比，然后分别确定裹砂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水灰比，再根据砂子的粗细在 55%~70% 范围内确定砂率，然后再确定单位体积用水量（混凝土拌合物的坍落度可取 30~50mm）。水灰比、砂率和单位体积用水量确定后即可计算出混凝土的总配合比。

裹砂砂浆的含砂量是根据砂浆泵的输送性能并通过试验确定的，应尽量取大值，以充分发挥裹砂法的优点。干混合料通常含有 10% 的水泥，其目的是为了减轻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，此时不宜向混合料中加入水泥，而应将 100% 的水泥拌制裹砂砂浆。当砂浆内的含砂量和含水泥量确定后，裹砂砂浆及干混合料的配合比也就相应确定了。

水泥裹砂法的造壳用水量由造壳水灰比确定。在无试验资料的情况下，造壳水灰比可取 0.25。造壳用水量减去砂浆内的砂子的表面含水量即为一次搅拌用水量。

6.6.3 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拌合机搅拌，使砂子表面充分湿润，再将水泥（包括掺合料）加入拌合机进行搅拌（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）和减水剂加入拌合机拌制出水泥裹砂砂浆。两段法是将前面两步合并为一步，即将砂、一次搅拌用水和水泥（包括掺合料）同时投入拌合机进行造壳搅拌，然后加入二次搅拌用水和减水剂制出水

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，采用一级强制式搅拌机时宜采用三段法。

6.6.4 水泥裹砂喷射混凝土作业时，砂浆泵的输送量根据干喷机出力的变化而变化。当料杯壁上黏了水泥，干喷机出力变小时，砂浆泵的出力亦应减小。砂浆泵司机要根据喷射手的要求调整砂浆的输送量。

由于造壳作用改善了喷射混凝土骨料的介面效应，提高了喷射混凝土强度和与壁面的黏结力，使一次喷射厚度可增加到 **120mm**。

由于裹砂喷射混凝土界面效应增强，喷射混凝土的回弹量也大大减小。富尔江引水隧洞水泥裹砂喷射混凝土实测平均回弹率为 **12%**（边墙 **9.5%**，顶拱 **15%**）；甘堡水电站引水隧洞裹砂喷射混凝土实测回弹率也为 **12%**（边墙 **9%**，顶拱 **16.3%**）；东风水电站裹砂喷射混凝土实测回弹率仅为 **9.7%**。

6.7 钢纤维喷射混凝土作业

6.7.1 在钢纤维喷射混凝土中混入过长的纤维，钢纤维容易成团，影响正常施工；混入过短的纤维，则影响钢纤维抵抗裂缝扩展的能力和抗拉强度。根据国内外工程实践，钢纤维长度为 **20~25mm** 为宜，其长度偏差不应超过长度公称值 **±5%**。

钢纤维表面油渍和污物应清除，以保证与喷射混凝土的良好结合。

试验表明骨料粒径越大，钢纤维在混凝土基体中分布的均匀性就越差。钢纤维分布不均匀不仅降低了对裂缝扩展的约束力，还严重影响混凝土的强度。为充分发挥钢纤维的作用，粗骨料粒径不应大于 **10mm**。

6.7.2 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。播料机有电磁振动式和振动筛式两种。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分布均匀。

使用自落式搅拌混合料时，可将钢纤维过筛后（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。由于滚筒的回转，使钢纤维与水泥、砂、石在滚筒内不断翻滚抖落，钢纤维被均匀分散到混合料中。

7 联合支护施工

7.1 锚杆、钢筋网喷射混凝土作业

7.1.2 随着地下工程施工场面的扩大和施工机械化程度的提高，钢筋网的铺设方法也由以往在现场捆扎布设，发展成为在加工厂焊接成片再运往施工现场，在工作台车上成片铺设，加快了施工进度。成片铺设时要控制好钢筋网与岩面的距离和保证相邻两片钢筋网纵、横钢筋搭接。

7.1.3 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。这样做有利于减少喷射作业过程中物料的回弹率，增加喷射混凝土的密实性。

7.1.4 开始向钢筋网喷射混凝土时，要适当减小喷头至受喷面的距离，以提高喷射混凝土料流的冲击力，使混凝土挤入钢筋网背面，保证钢筋网被混凝土完全包裹并使得混凝土喷层密实。当喷射表层混凝土时，再将喷射距离适当拉大，以使混凝土喷层厚度均匀，表面平整。

由于钢筋网对喷射混凝土有一定阻碍作用，当钢筋网间距较小时，有时发生喷射混凝土被架在钢筋网之外的现象，使喷混凝土无法和岩面接触，在钢筋网与岩面之间造成空腔，这将影响钢筋网喷射混凝土质量，使支护失去作用。

7.2 锚杆、钢拱架、钢筋网喷射 混凝土支护作业

7.2.1 软弱岩层中洞室开挖后，应力释放加剧，变形发展迅速，必须立即采取有效措施防止有害变形的发展，或减缓变形发展速率，以保证安全施工，这种情况常选择钢拱架、锚杆、钢筋网喷射混凝土联合支护。

7.2.2 钢拱架的形状、轮廓尺寸应与安装部位的洞形和尺寸一

致，以保证钢拱架同围岩或第一次喷射混凝土层面紧密接触。安装前应做好洞形的测量工作，或开挖时严格按照要求洞型开挖。局部凹陷可用喷射混凝土填平，以保钢拱架与围岩紧密结合。

由于钢拱架安投部位岩体质量较差，对钢拱架受力要求较为严格，所以间距和高程的误差不得大于 50mm，垂直度不得大于 $\pm 2.0^\circ$ 。

为保证钢拱架承受垂直和水平方向荷载，钢拱架的底脚要置于未受扰动的、较坚硬的岩体内，以保证钢拱架有效抵抗有害变形。

7.2.3 对软弱和破碎的围岩，仅仅依靠钢拱架抵御有害变形的发展是不够的，还必须考虑围岩自身的承载能力。不论围岩本身承载能力如何，通过工程措施使围岩与钢拱架共同发挥作用就可抵御更大的变形，防止围岩失稳。由于围岩失稳总是从围岩表层开始逐渐发展到围岩深部一定范围，因此用不同深度锚杆和钢拱架联合作用是防止围岩失稳的最有效的措施。

7.2.4 每榀钢拱架之间喷射钢筋网混凝土，其目的是保证联合支护的整体作用和刚度。

7.3 特殊地质条件下的联合支护施工

7.3.1 在特殊的地质条件下，围岩变形比较复杂，影响因素很多，仅靠理论计算不能完全解决问题，所以原位监测就更为重要，依靠监测信息准确掌握围岩变形情况和支护时机，保证调整施工方法和支护参数及时有效。

紧跟开挖面支护、及时封闭开挖面、设置超前锚杆均能有效地限制有害变形的发展，是合理的施工方法。

控制每一施工循环的间隔时间，使每一循环的各个环节有效的完成后再进行下一循环的施工，是保证安全施工的重要措施，应严格执行。

7.3.3 在易风化、吸水膨胀、失水剥落的特殊围岩中，及时封闭开挖暴露的岩面，可防止由于外界条件的改变而降低该段岩层

的固有强度。将围岩的固有强度大部分保存下来，有利于围岩稳定，有利于地下洞室安全施工。

7.3.4 对可能塌落或滑动的危石，由于所处位置不同，其加固方式也不同。拱部的危石主要靠锚杆悬吊作用加固，但安装锚杆时产生的震动可能使危石在锚杆施工时失稳。为防止锚杆安装的震动引起危石滑落，先喷射混凝土，以喷射混凝土的抗冲切强度临时支撑危石，然后再进行锚杆安装，往往是有效的加固措施。对边墙部位的危石，应采取边开挖边锚固的方式加固，这样可以利用危石与内部围岩的嵌固作用，保证施工安全。

8 锚喷支护施工监测

8.1 一般规定

8.1.1 围岩破坏的最终反映是失稳，而造成围岩失稳的综合因素就是变形发展到一定程度，使围岩发生破坏而失去稳定能力。锚喷支护的施工监测就是利用监测仪器监测工程所处位置的变形规律，选择有效的支护手段和合理的支护措施，防止有害变形的发展。

8.1.2 锚喷支护施工监测方法应简单，不需动用大量仪器和复杂手段，而且监测数据又能迅速指导安全施工。实践证明，洞室开挖或支护后量测洞周某几个部位的相对变形的变化值最为简单易行，所以把测定其收敛变形和顶拱沉降变形作为主要监测项目。有特殊要求时，可安装测定围岩内部变形的多点位移计及特定构件或结构应力的应力计。

8.1.3、8.1.4 施工监测仪器的布置和安装数量应依据工程重要程度、围岩条件、洞室规模大小和施工条件决定，有特殊要求时，还应根据需要增加或减少。仪器布置部位应具有代表性，应能反映变形的全过程。

对施工期监测仪器埋设位置应做简单的地质描述，记录同施工有关的情况，以便正确分析监测结果和利用监测信息修改支护设计，保证安全施工。

8.1.5 施工监测工作是施工的一个重要环节，也是施工的一个主要内容，应列入施工组织设计，专门制定工作计划，设有专门组织或专业人员负责实施。这一条十分重要，这是地下工程安全施工的重要保证。

8.1.6 尽早埋设永久性观测仪器，一方面可测定围岩或结构物的变形发展过程，正确分析工程的长期稳定性；另一方面还可利用早期（施工期）测得的变形指导施工。

8.2 收敛监测

8.2.1 收敛监测是用收敛计量测洞室开挖后，洞周某两点间距离变化的方法。在布置和埋设收敛监测仪器时应注意以下问题。

洞室开挖过程中，围岩的变形符合图4的基本规律。

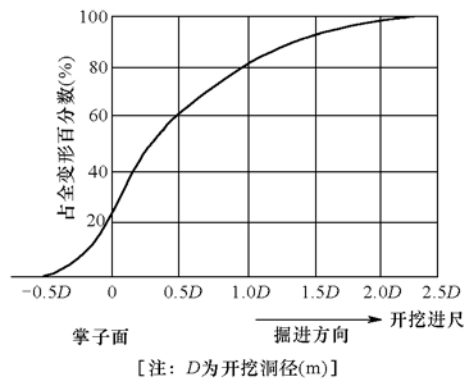


图4 开挖过程典型收敛曲线

按照这一规律，围岩的收敛变形是在距洞室开挖掌子面 $0.5D$ 的位置就开始发生了，当洞室开挖至掌子面时，围岩收敛变形已完成全部变形的 $5\% \sim 20\%$ 左右。收敛计埋设距开挖面越远，实测的收敛变形值越小，丢失的变形越大，为此要求收敛仪测点位置尽可能靠近掌子面，这样可以保证测定到真实的收敛变形值。所以本规范规定测点位置距掌子面不宜超过 $1m$ 。如果不具备以上条件，可适当调整测点位置。但无论测点埋设在什么位置，都要以实测的全过程变形曲线或典型收敛过程线的规律，求取围岩的实际变形值，修正后再以正文4.2.7条之规定判断洞室的稳定性。

收敛变形包括两部分：一部分是由开挖的“空间效应”引起的，另一部分是由围岩流变特性的“时间效应”引起的。为捕捉真实的全变形，尽可能少丢失因时间延误的变形值，在仪器埋设后应立即测定初始值。

8.2.2 收敛计主要有两种型式，一种为钢尺式收敛计，其测距一般为 15~20m；另一种为钢丝式收敛计，最大测距为 50m。两种收敛计精度均为 0.01~0.05mm，可根据洞室尺寸和测距需要选择。

收敛计使用前，钢尺和百分表应经计量部门检定，还应在试验室进行整体校正。当量测现场温度变化时，还应进行温度修正，以保证量测结果的准确。

8.2.3 测点应布置在较完整的岩体上，监测仪器应安装牢固，这是保证测量结果正确反映围岩变形客观规律的需要。

8.3 多点位移监测

8.3.1 多点位移计也是锚喷支护工程中量测围岩深部变形的仪器。由于多点位移计构造较为复杂，安装繁锁，要求精度高，价格也比较高，所以主要应用于重要工程的关键部位，并配合收敛计使用。

8.3.2 多点位移计不仅可以测量围岩深部的变形，还可以测量洞室开挖过程的全变形。当需测量洞室开挖过程的全变形时，多点位移计应在洞室开挖施工前埋设，测点距掌子面的距离不应小于 2 倍洞径，保证测到图 4 的典型开挖过程线。为了测定围岩深部不同位置的变形值，内锚固点应设置在不受开挖影响无相对位移处。按一般规律，洞室开挖后，不产生相对变形的位置在距洞壁表面 1.5 倍洞径的围岩内部，所以多点位移计的最深测点可在 1.5 倍洞径以外处设置。

8.3.3 由于多点位移计多用于永久性监测或围岩深部变形量测，所以要求仪器具有长期稳定性和较高的精度。目前，国内生产的多点位移计的主要技术指标为：

- 钻孔直径： $\phi 56\text{mm}\sim 100\text{mm}$ ；
- 测点数：2~6 点；
- 量程：20~80mm；
- 埋设深度：大于 50m；

——分辨力：0.002~0.1mm；

——传递误差：不大于0.1mm。

8.3.4 多点位移计的各测点需要与围岩固定，如果固定不牢固将影响变形测定和分析，有些测点固定在钻孔较深处，所以多点位移计的埋设要认真仔细，而且需要由有经验的专门人员负责。

多点位移计的传感器布置在孔口处，洞室开挖时不仅经常受震动，还可能受飞石、机械碰动，因此孔口传感器要设置专门的防护罩，量测导线引出后要做好保护。

9 安全技术与防尘

9.1 安全技术

9.1.1 掌握设计文件中指明的地质构造情况，对不同的地质条件，制定相应的安全技术措施。适时观测地质构造变化情况，预报可能出现的地质条件和构造的变化，备有应急的安全技术措施，做到有备无患。这是地下工程施工最重要的安全措施，应严格执行。

9.1.2 洞室开挖后，由于围岩应力重新调整，围岩周边形成一定范围的松弛区，加之节理裂隙的存在，施工中由于震动或碰撞会有危石塌落，造成人员伤亡、设备受损。因此作业前必须对作业面进行妥善处理。

9.1.2 **IV、V**类围岩稳定性差，隧洞开挖后自稳时间短，易发生安全事故。因此，在施工中要加强技术管理，合理安排施工程序。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。

在**IV、V**围岩中施工，加强施工监测尤为重要。依据监测信息可提前预报围岩稳定程度。在施工中既要采取步步为营、稳妥可靠的技术措施，又要加密布设观测仪器，增加观测次数，缩短观测间隔时间。

9.1.4 地下工程所处的环境差，洞内湿度大，加上塌落的危石可能撞击电源线路，造成电源线路或设备的电器部件漏电，应定期组织检查和处理。

9.1.6 输料管、弯头及注浆管经常在较高压力下工作，且带有棱角、形状各异的混合料在管中运送速度较高，输料管、注浆管及出料弯头磨损较快，如发现不及时，薄弱环节易突然爆裂伤人。因此，经常检查是重要的安全措施。

9.1.10 喷射作业中，当输料管发生堵塞时，一般采用敲击法疏通管路，但压缩空气压力过大时，堵塞物通过喷嘴时，冲击力很大，使喷头剧烈甩动，操作人员很难按住喷头，极易伤人。所以在处理堵管时，压缩空气压力不得超过 **0.4MPa**。此外，为了保证处理堵管时的作业安全，必须保持管路顺直，以减少阻力。

9.1.11 钢纤维喷射混凝土施工中，所用的钢纤维为直径 **0.3~0.5mm** 的金属丝，其两端较锋利，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。

9.1.13 喷射混凝土使用的速凝剂，大部分属于强碱，锚杆锚固使用的环氧材料，在硬化前促使固化的化学材料，对人的皮肤有一定腐蚀作用。所以接触上述两种材料的操作人员，均应备有防护工具，避免与其直接接触。

9.1.15 检验锚杆拉拔力时，由于拉拔器和锁定装置较重，再加上拉拔作业时，有时发生锚杆杆体缩颈、断裂，甚至导致拉拔器脱落的现象。因此，除了应合理确定施加的最大拉拔力值外，还规定拉拔器前方或下方严禁站人，以确保检验作业的安全。

9.1.16 由于水胀式锚杆是靠 **3.0MPa** 以上的高压力，将异型薄壁钢管变形与孔壁紧密结合才能形成摩阻力。因此高压泵、高压胶管的保护、安装杆的合理使用等，都是十分重要的安全问题，施工作业中应认真对待。

9.1.17 在竖井进行锚喷支护作业时，井底场地狭小，由井口一旦落下杂物，无法躲藏，出现意外事故机率大。竖井较深时输料管较长，自重也大，再加上高压风的冲击力，如采用捆扎联结，易脱落伤人，损坏设备。因此应采用法兰联结。竖井的升降平台应牢固，设计时应有足够的裕度。垂直运送设备、材料时，人和设备、材料不能混装。人行爬梯周围应设置栏杆和安全网。

9.2 环境保护与防尘

9.2.1 施工现场的环境，是安全生产、文明施工的重要组成部分

分，随着社会的进步，科学的发展，人民生活水平的提高，对施工环境的要求越来越高。不仅施工场地要平整，设备料物堆放有序，排水、通风、防尘措施还要布置合理、有效，场地还要明亮，这是保证施工人员健康工作的重要环节，也是提高工作效率，降低施工成本的有效措施。应做好施工场地的环境保护工作。

9.2.2 喷射混凝土施工中产生的粉尘主要来源于水泥。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。根据国内外有关规定，喷射混凝土施工时的粉尘浓度不应大于 10mg m^3 。国内有关部委的标准和国外的建议标准分别见表 10 和表 11。

表 10 国内容许的最高粉尘浓度 单位： mg m^3

游离二氧化硅含量 (%)	煤炭	冶金	工业企业卫生标准 (TJ 36—79)
>10	2	2	2
<10	10	10	6*

注：“*”为水泥。

表 11 国外容许的最高粉尘浓度 单位： mg m^3

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：“*”为水泥粉尘，“**”为煤粉尘。

9.2.3 为了降低喷射混凝土作业中的粉尘含量，国内外都做了大量的研究，规定了不少好的、有效的措施和办法降低粉尘含量，例如“湿喷法”、“水泥裹砂法”，实测资料表明采用“水泥裹砂法”进行喷射混凝土施工，其粉尘含量只有 8%。

9.2.4 采用干法喷射混凝土施工时，喷射机附近及喷头周围，粉尘含量较大，除采取综合措施减少粉尘浓度外，配戴防护用品，也是减少粉尘对人体健康影响的有效措施。

10 质量检查

10.1 锚杆施工的质量检查

10.1.2、10.1.3 端头锚固型锚杆或摩擦型锚杆主要依靠端头的锚固力或沿孔壁的摩擦承受拉力。因此对这两种类型的锚杆的质量，主要检查其拉拔力是否满足设计要求。

拉拔力检查可采用扭力扳手或空心千斤顶对锚杆施加拉力。一般情况下每 300 根锚杆抽样一组，每组数量不少于 3 根。如遇地质条件、围岩类别或使用材料发生变化时，还应适当增加抽样数量。检查时必须保证锚杆承受轴向拉力，加载应均匀、缓慢，拉拔至设计荷载时应立即停止拉拔。当设计无特殊要求时，一般不作破坏性检验。

全长黏结型锚杆的质量主要取决于胶结材料与围岩的黏结强度和胶结材料在锚杆孔中的饱满程度，而胶结材料在锚杆孔中的饱满程度往往更为重要，所以，检查注浆效果仅用拉拔力检测是不够的。实际上拉拔力满足设计要求，但锚杆质量也不一定合格。如一根 4m 长的锚杆，钻孔直径为 $\phi 50\text{mm}$ ，锚杆直径为 $\phi 25\text{mm}$ ，锚杆承受的设计拉力为 100kN，则有 1.4m 以上的胶结长度可满足拉力要求。如果这 1.4m 的胶结长度集中在孔口处，深部的 2.6m 没有黏结，锚杆也能承受 100kN 的拉力，此时锚杆只在孔口处的 1.4m 有效，也就是设计锚杆有效的长度只有 1.4m，这就造成对围岩加固的实际范围将由 4m 变成为 1.4m，这是十分危险的。因此必须对全长黏结锚杆的注浆效果进行检查，保证锚杆全长有效。

注浆饱满程度的检查目前尚无十分准确的方法。瑞典生产的 011 型锚杆估测仪国际上应用较为普遍，但也只实用于长度 4m 以内的锚杆。它是用弹性波的传播情况来判定注浆饱满程度的，这种检查将测定结果分为 A、B、C、D 四种情况，分别代表注浆饱

满度好、较好、合格和不合格四种。我国有些科研部门也采用上述原理开发研制了一种注浆效果饱满程度检测仪器，但尚未推广采用。由于目前检查方法不很成熟，还必须依靠施工控制方法来最后判定。为此，应严格按附录 E 要求做好施工记录，并依据实际注浆量判定锚杆注浆密实度。

10.2 喷射混凝土的质量检查

10.2.1 影响喷射混凝土质量的因素主要是材料质量和施工工艺。喷射混凝土的原材料包括水泥、砂、石、速凝剂、各种外加剂等。控制喷射混凝土的质量同普通混凝土一样，应从原材料做起。由于材料用量多，每批材料都有差异，因此每批材料进场后均应进行单项质量检查。由于材料配合比受人为因素影响，每次制备的混合料也不完全相同，因此每班作业至少应对配合比抽查两次，并详细记录配比抽查情况。

10.2.2、10.2.3 抗压强度是喷射混凝土的主要力学指标。一般情况下喷射混凝土抗压强度的高低，亦能反映其它力学性能的优劣，所以只要检查其抗压强度指标即可。一些重要工程当有特殊要求时，还要测定其抗拉强度、与围岩的黏结强度和抗渗强度等。

喷射混凝土强度的检验试件，必须在喷射作业过程中采用喷模法制取，有特殊要求时还应在工程的代表部位钻取。

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%。重要工程的规定， $f_{\alpha} - K_1 S_n \geq 0.9f_c$ 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 $f_{\alpha} - K_1 S_n$ 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，验收标准愈晋升，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 10.2.3 即为漏判概率限制在 20% 左右所取的 K_1 值，为简便计，分为三档。

$f_{\text{ckmin}} > K_2 f_c$ 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。

当统计数据同时符合本规范公式 (10.2.3-1)、公式 (10.2.3-2) 或公式 (10.2.3-3)、公式 (10.2.3-4) 的两个条件时，则认为该批喷射混凝土强度合格。

10.2.4 对于导流洞、引水洞、尾水洞、尾调室等过水的水工隧洞，由于内水的外渗，不仅会引起水量的损失，降低围岩的强度，恶化围岩的工作条件，还会影响其它邻近建筑物的运行安全，因此还应检查喷射混凝土的抗渗指标。

10.2.5 采用喷射混凝土对水工建筑物补强加固时，喷射混凝土与被加固的混凝土或与其它材料的结合能力是重要的技术指标，这一指标用两种介质的黏结强度进行评定。所以应进行两种介质的黏结强度检测。

10.2.6 在东北、华北和西北地区，冬季气温均在零下 15℃ 以下，水工建筑物将有较长时间经受冻融的考验，所以要求采用喷射混凝土的工程，其喷射混凝土应具有足够的耐久性。

10.2.7 喷射混凝土厚度的检查常用针探法或钻孔法。钻孔检查宜在喷射混凝土施工完 8h 内用短钎杆将孔钻好。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。采用钻孔法检查，因混凝土与围岩黏结紧密，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。

喷层厚度检查的合格条件，考虑到围岩本身有起伏，喷层是紧贴岩面的，而且要求做到表面圆顺整齐，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，还应配合采用光面爆破，加强施工管理。

10.2.8 喷射混凝土的均匀性也是评定其质量的重要标准。均匀性以获得的抗压强度的标准差来判定。

10.2.9 喷射混凝土的整体性，依靠外观检查为主。主要检查，接缝的处理，有无漏喷，离鼓、漏水现象，还应检查有无危及使用安全的贯穿性裂缝的存在。整体性检查应在工程验收时进行。