

ICS 27.140
P 98
备案号: J230—2018

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL / T 5181 — 2017

代替 DL / T 5181 — 2003

水电水利工程锚喷支护施工规范

Construction code of rock bolt and shotcrete for
hydropower and water resources project

2017-11-15 发布

2018-03-01 实施

国家能源局 发布

中华人民共和国电力行业标准

水电水利工程锚喷支护施工规范

Construction code of rock bolt and shotcrete for hydropower
and water resources project

DL/T 5181 — 2017

代替 DL/T 5181 — 2003

主编机构：中国电力企业联合会

批准部门：国 家 能 源 局

施行日期：2018 年 3 月 1 日

中国电力出版社出版

2018 北 京

国家能源局

公 告

2017 年 第 10 号

依据《国家能源局关于印发〈能源领域行业标准化管理办法（试行）〉及实施细则的通知》（国能局科技〔2009〕52号）有关规定，经审查，国家能源局批准《煤层气生产站场安全管理规范》等 204 项行业标准，其中能源标准（NB）62 项、电力标准（DL）86 项、石油标准（SY）56 项，现予以发布。

附件：行业标准目录

国家能源局

2017 年 11 月 15 日

DL/T 5181 — 2017

附件:

行 业 标 准 目 录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	批准日期	实施日期
...						
110	DL/T 5181— 2017	水电水利工 程锚喷支护 施工规范	DL/T 5181 —2003		2017-11 -15	2018-03-01
...						

前 言

本规范是根据《国家能源局关于下达 2013 年第一批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2013〕235 号文）的要求，对 DL/T 5181—2003《水电水利工程锚喷支护施工规范》进行修订的。

在本规范修订过程中，编写组调查、分析、研究了原规范的执行情况，总结并采用了近年来水电水利工程锚喷支护施工所使用的新技术、新工艺的工程实践经验，与现行电力标准体系协调一致。

本规范包括锚杆施工、喷射混凝土施工、锚喷联合支护施工、安全技术与防尘防护、质量检查等内容。

本次修订中修改和增加的主要内容有：

——增加、删除和重新定义了部分术语；

——增加了注浆机、张拉锚杆、自钻式注浆锚杆、管式锚杆施工、潮喷法、聚丙烯喷射混凝土、架设钢拱架等施工的有关规定。

——删减了一些已经不适合现阶段施工要求的落后规定。

——删除了倒楔式锚杆、楔管锚杆施工的有关规定。

——删除了预应力锚索施工的有关规定。

——修订了管式锚杆、喷射混凝土、防尘等施工的一些规定和参数。

——修订了钢纤维的掺量规定。

——增加及修订了不良地质条件下锚喷联合支护、质量检查等的一些施工规定及作业参数。

——附录 A 中增加了“表 A.1 地下洞室锚喷支护类型表”及“表 A.2 地下洞室各类围岩参考支护参数表”。

——附录 B 中增加了无损检测的相关规定。

——修改了附录 G 及附录 H 中检测试件的尺寸。

本规范由中国电力企业联合会提出。

本规范由电力行业水电施工标准化技术委员会（DL/TC 29）
归口。

本规范起草单位：中国水利水电第十四工程局有限公司

本规范参编单位：中国南方电网调峰调频发电公司

本规范主要起草人：和孙文 葛浩然 伍志钦 刘学山

杨元红 徐 萍 凌征华 王来所

杨天吉 张 林 张玉彬 唐 俊

本规范主要审查人：许松林 梅锦煜 汪 毅 楚跃先

郭光文 余 英 孙来成 郑桂斌

林 鹏 张建华 罗维成 肖恩尚

王鹏禹 吴高见 向 建 张祖义

沈益源 朱明星 吕芝林 康明华

本规范在执行过程中的意见或者建议反馈至中国电力企业联
合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	锚杆施工	5
3.1	一般规定	5
3.2	全长黏结型锚杆	6
3.3	张拉型锚杆	8
3.4	摩擦型锚杆	10
3.5	管式锚杆及自钻式注浆锚杆	11
4	喷射混凝土施工	13
4.1	原材料	13
4.2	施工机具	14
4.3	混合料的配合比、拌制和运输	14
4.4	喷射作业	16
4.5	纤维喷射混凝土	18
5	锚喷联合支护施工	19
5.1	钢筋网喷射混凝土	19
5.2	钢拱架、钢筋网联合支护	19
6	安全技术与防尘防护	22
6.1	安全技术	22
6.2	防尘防护	23
7	质量检查	24
7.1	锚杆	24
7.2	喷射混凝土	24
附录 A	锚喷支护监控量测方法	29
附录 B	注浆密实性试验方法和检测方法	34

DL / T 5181 — 2017

附录 C 锚杆抗拔力检查方法	35
附录 D 喷射混凝土施工作业区粉尘浓度的测定方法	36
附录 E 喷射混凝土抗压强度检测方法	37
附录 F 喷射混凝土抗渗指标检测方法	38
附录 G 喷射混凝土抗拉强度检测方法	39
附录 H (规范性附录) 喷射混凝土抗冻性能检测方法	40
附录 I (规范性附录) 喷射混凝土与围岩黏结强度 检测方法	41
本规范用词说明	43
引用标准名录	44
附: 条文说明	45

Contents

1	General provision	1
2	Terminology	2
3	Anchor construction	5
3.1	General provisions	5
3.2	Anchor bonded all length	6
3.3	Tension type anchor	8
3.4	Friction anchor	10
3.5	Tube anchor and self-drill grouted anchor	11
4	Construction of shotcrete	13
4.1	Materials	13
4.2	Construction machines	14
4.3	Mix proportion, mixing and transport of mixture	14
4.4	Spray operation	16
4.5	Fibrous shotcrete	18
5	Anchor bolt-spray combined support construction	19
5.1	Wiremesh shotcrete	19
5.2	Steel rib-steel mesh combined support	19
6	Safety technique and dust prevention	22
6.1	Safety technique	22
6.2	Dust prevention	23
7	Quality inspection	24
7.1	Anchor	24
7.2	Shotcrete	24
Appendix A	Inspection/measuerment method on rock bolt support	29

DL / T 5181 — 2017

Appendix B	Test method on compactness of grouting.....	34
Appendix C	Test method on pull-out force of rock bolt.....	35
Appendix D	Measuerment method on dust concentration of shocreting area.....	36
Appendix E	Test method on compressive strength of shotcrete.....	37
Appendix F	Test method on impermeability indicators of shotcrete.....	38
Appendix G	Test method on tensile strength of shotcrete	39
Appendix H	Test method on tensile strength of shotcrete	40
Appendix I	Test method on adhesion strength of shotcrete & surrounding rock	41
Explanation of wording in this code.....		43
List of quoted standard.....		44
Addition: Explanation of provisions.....		45

1 总 则

- 1.0.1** 为规范水电水利工程锚喷支护施工的材料、机具、工艺、安全等要求以及质量检查等，制定本规范。
- 1.0.2** 本规范适用于水电水利工程中锚喷支护工程。
- 1.0.3** 采用锚喷支护的工程，应进行地质调查，因地制宜，选择合理的支护时机并按设计支护参数进行支护，有效利用岩（土）体的自身强度和自稳能力。
- 1.0.4** 锚喷支护所用的原材料应满足设计要求。
- 1.0.5** 锚喷支护施工时应进行监控量测，根据监测结果及围岩条件的变化情况及时调整支护参数和施工方案，做到安全、可靠、合理，锚喷支护监控量测方法见附录 A。
- 1.0.6** 锚喷支护施工的新技术、新工艺、新材料、新设备，应经过实验和论证，在工程施工中推广应用。
- 1.0.7** 水电水利工程锚喷支护施工除应遵守本规范规定外，尚应符合国家现行有关标准、规范的规定。

2 术 语

2.0.1 锚喷支护 anchor-plate retaining

由锚杆和喷射混凝土面板组成的支护。

2.0.2 围岩 surrounding rock

由于开挖，地下洞室周围初始应力状态发生了变化的岩体。

2.0.3 岩土锚固 ground anchors

通过锚杆、锚索等传力构件，将不稳定岩土体的作用荷载传递到稳定岩土体，从而加固不稳定岩土体的方法。

2.0.4 全长黏结型锚杆 ahchor bonded all length

锚杆孔全长填充黏结材料的锚杆。

2.0.5 端头锚固型锚杆 anchor anchored at head

采用黏结材料或机械装置将锚杆最里端锚固并将尾端施加张拉力锁定的锚杆。

2.0.6 摩擦型锚杆 frition anchor

靠锚杆体与孔壁之间的摩擦力起锚固作用的锚杆。

2.0.7 张拉型锚杆 tension type anchor

设计要求通过张拉锁定的锚杆。

2.0.8 预应力锚杆 prestessed anchor

对锚杆杆体的自由段施加张拉力，使之弹性伸长而预先受到应力的锚杆。

2.0.9 树脂锚杆 resin anchor

以树脂为黏结材料的锚杆。

2.0.10 水泥卷锚杆 cement-roll anchor

以水泥药卷为黏结材料的锚杆。

2.0.11 胀壳式锚杆 expanding shell anchor

机械内锚头在插入锚杆孔内后，通过机械力位移使锚头胀大并撑紧孔壁，从而产生锚固力的锚杆。

2.0.12 楔缝式锚杆 slot-and-wedge anchor

锚杆体里端开缝并夹一个铁楔送入锚杆孔内，冲击锚杆体，铁楔将锚杆体里端撑开并撑紧孔壁，从而产生锚固力的锚杆。

2.0.13 缝管锚杆 slot-tube anchor

将沿纵向开缝的薄壁钢管强行推入比其外径小的钻孔中，借助钢管与孔壁之间的径向压力而产生的摩阻力起锚固作用的锚杆。

2.0.14 水胀式锚杆 water expansion anchor

将薄壁钢管加工成的异型空胀杆体，送入比其略大的钻孔中，通过向杆体内注入高压水，使杆体膨胀与孔壁产生摩擦力而起到锚固作用的锚杆。

2.0.15 管式注浆锚杆 tube grouted anchor

用周边管体开孔的钢管做杆体的锚杆，可以通过其杆体周边的注浆孔使浆液渗透至全孔内并可对孔壁围岩进行固结灌浆的锚杆。

2.0.16 自钻式注浆锚杆 self-drill grouted anchor

具有造孔功能，将造孔、注浆和锚固结合为一体的锚杆。

2.0.17 超前锚杆 advanced anchor

在地下洞室开挖掌子面处，向下一掘进段周边围岩施作的锚杆。

2.0.18 系统锚杆 systematic anchor

根据岩体整体稳定要求，在围岩岩面上按一定规律布设的锚杆。

2.0.19 随机锚杆 random anchor

为防止岩块失稳，或某些部位需加强而在局部岩面上根据需要布设的锚杆。

2.0.20 锚筋桩 pile with anchors

在一个锚孔内插入由数根钢筋组成的钢筋束对岩体进行锚固的支护形式。

2.0.21 管棚 tube-roof

采用管式可注浆锚杆以与洞轴线很小夹角进行超前支护，利用管与管之间的密集作用与注浆效果，使其在开挖时不使顶拱岩石掉落的一种结构体。

2.0.22 干喷法 dry shotcrete

混合料搅拌时不加水、只在喷头处加水的喷射混凝土施工方法。

2.0.23 湿喷法 wet shotcreting

混合料搅拌时加入设计配合比的全部用水量水（扣除配置液态速凝剂的用水量）的喷射混凝土施工方法。

2.0.24 潮喷法 half-set shotcreting

采用工艺与干喷法相同，在拌和过程中加入适量水，以达到降尘目的的一种喷射混凝土施工方法。

2.0.25 钢纤维喷射混凝土 fibrous steel reinforced shotcrete

在混合料中掺入适量的钢纤维再喷射于岩面进行护面的混凝土。

2.0.26 聚丙烯纤维喷射混凝土 polypropylene fiber shotcrete

为提高喷混凝土的抗裂性能，在混合料中掺入适量聚丙烯纤维材料再喷射于岩面进行护面的混凝土。

3 锚 杆 施 工

3.1 一 般 规 定

3.1.1 锚杆工程施工前，应根据设计要求、现场地质条件和环境条件编制施工组织设计，进行必要的现场工艺实验。

3.1.2 锚杆的分类：锚杆按功能通常分为预应力和非预应力两类。按结构类型主要分为全长黏结型锚杆、张拉型锚杆、摩擦型锚杆、管式锚杆、自钻式锚杆等。

3.1.3 锚杆孔施工应符合下列规定：

1 钻孔应按设计图示位置、孔径、长度和方向进行，并控制对周边地层的影响。

2 开孔位置允许偏差为 100mm，特殊部位按设计要求执行，单位面积孔数符合设计要求。

3 系统加固锚杆孔轴方向一般应垂直于开挖轮廓线；局部加固锚杆的孔轴方向一般与可能滑动方向垂直或与可能滑动面的倾向呈约 45°的交角。各种锚杆的角度偏差应符合设计要求。

4 钻孔前须选好钻头尺寸。若采用“先注浆后插杆”的工艺，钻头直径应比锚杆直径大 15mm 以上。若采用“先插杆后注浆”的工艺，钻头直径应比锚杆直径大 25mm 以上。

5 水泥砂浆锚杆、树脂锚杆和水泥卷锚杆的钻孔孔深允许偏差为±50mm。

6 胀壳式锚杆孔深应比锚杆杆体有效长度（不包括杆体尾端丝扣部分）长 50mm～100mm。

7 楔缝式锚杆孔深不应小于杆体有效长度，且不应大于杆体有效长度 30mm。

8 摩擦型锚杆孔深应比杆体长度至少长 50mm。

9 孔内的岩粉和积水应清除干净。

3.1.4 安装锚杆前，应做好检查工作，锚杆原材料型号、规格、品种、锚杆各部件质量及锚杆杆体防腐技术性能应符合设计要求。

3.1.5 在Ⅳ类、Ⅴ类岩体及特殊地质条件下开挖工程，应根据现场具体情况先喷混凝土或挂网喷混凝土，再进行锚杆施工。为防止塌孔，应在锚杆孔钻完后及时安装锚杆杆体。当成孔困难时，可采用管式可注浆锚杆，必要时采用自钻式锚杆。

3.2 全长黏结型锚杆

3.2.1 全长黏结型锚杆包括水泥砂浆锚杆、水泥卷锚杆、树脂锚杆等。

3.2.2 水泥砂浆锚杆的原材料及砂浆配合比的有关规定：

1 锚杆杆体材料宜采用热轧Ⅱ级、Ⅲ级钢筋，其质量应符合《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》GB 1499 及《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》GB 13013 的规定。锚杆杆体使用前应调直、除锈、除油污。

2 应选用强度等级不低于 42.5 的 P.I 硅酸盐水泥或 P.O 普通硅酸盐水泥，水泥的性能指标应符合《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》GB 175 的规定。

3 拌制砂浆用水的质量应满足《水工混凝土施工规范》DL/T 5144 有关条款的规定。

4 根据需要可在砂浆中掺入减水、早强、速凝等外加剂，但掺入的外加剂不得含有对锚杆产生腐蚀作用的化学成分。外加剂的性能指标应符合《混凝土外加剂》GB 8076 的规定。掺入的外加剂如果降低砂浆的后期强度，应经过试验论证，保证砂浆的后期强度满足设计要求。

5 砂浆强度等级应满足设计要求。其砂浆配合比（重量比）

可在以下范围内选取:

- 1) 水泥:砂=1:1~1:2。
- 2) 水泥:水=1:0.38~1:0.45。

3.2.3 水泥砂浆锚杆安装应符合下列要求:

- 1 检查注浆器工作性能。注浆前应用水或稀水泥浆润滑管路。
- 2 拌匀砂浆并防止石块或其他杂物混入,随拌随用,初凝前应使用完毕。应选择注浆压力不低于 2MPa 的注浆机。
- 3 锚杆安装宜采用“先注浆后插杆”的程序进行,注浆管应先插到孔底,然后退出 50mm~100mm,开始注浆,注浆管随砂浆的注入缓慢匀速拔出,锚杆安装后孔内应填满砂浆。
- 4 采用先插杆后注浆时,注浆管和锚杆应同时进行安装;俯角小于 30°的锚杆还需安装排气管,并在注浆前对锚杆孔孔口进行封堵。深入孔底的注浆管或排气管的里端应距孔底 50mm~100mm;位于孔口的注浆管插入锚杆孔内的长度不宜小于 200mm。注浆管的内径可为 16mm~18mm,排气管的内径可为 6mm~8mm。注浆应待排气管出浆或不再排气时方可停止。
- 5 大中型工程或重要部位,在锚杆施工前,通过“注浆密实性试验”确定注浆工艺,试验方法参见附录 B。

3.2.4 锚固用水泥卷应符合下列要求:

- 1 水泥卷应采用检验合格的产品。
- 2 使用前,应通过试验,验证水泥卷的性能。
- 3 采用水泥卷锚杆作永久性支护锚杆时,水泥卷的强度应满足设计要求。

3.2.5 水泥卷锚杆施工应符合下列要求:

- 1 宜适用于孔深 5m 以内的锚杆施工。
- 2 水泥卷的直径应与锚杆孔孔径及锚杆直径相匹配,装入锚杆孔内的水泥药卷数量应保证插入锚杆后孔内没有空隙。
- 3 水泥卷浸水前,应先在其两端扎透气孔,然后全部浸入水

中，待不冒气泡时，取出水泥卷，立即送入孔内，随即插入锚杆。

3.2.6 树脂锚杆的树脂卷采购、贮存和使用应符合下列要求：

- 1 树脂卷应是有资质的厂家生产的合格产品。
- 2 使用前，应检查树脂卷质量，变质的树脂卷不得使用。
- 3 树脂卷宜存放在阴凉、干燥和温度在 $+5^{\circ}\text{C}\sim+25^{\circ}\text{C}$ 的防火仓库中。

3.2.7 树脂锚杆施工应符合下列要求：

- 1 树脂锚杆应由专门的安装机具进行施工。
- 2 锚杆安装前，应用锚杆杆体量测孔深，做出标记，然后用杆体将树脂卷送至孔底。
- 3 搅拌树脂时，应缓慢推进锚杆杆体，连续搅拌树脂的时间宜为30s。
- 4 树脂搅拌完毕后，应立即在孔口处将锚杆杆体临时固定。

3.2.8 锚筋桩施工应符合下列要求：

- 1 宜采用“先插杆后注浆”的施工工艺。
- 2 应以钢筋束的外接圆直径和注浆管与排气管所占空间来选择钻孔直径。
- 3 注浆管和排气管应牢固地固定在钢筋束内并保持畅通，随钢筋束一起插入孔内。

3.2.9 锚杆安装后，应立即在孔口采取临时性固定措施。在黏结材料凝固之前不得敲击、碰撞或拉拔锚杆。

3.3 张拉型锚杆

3.3.1 张拉型锚杆包括普通张拉锚杆和预应力锚杆。

3.3.2 张拉型锚杆锚固可采用端头锚固或全长黏结锚固式，特殊情况下也可采用机械式。黏结式锚固可采用速凝树脂卷、快硬水泥卷和普通砂浆；机械式可采用胀壳式、楔缝式等。

3.3.3 张拉型锚杆的杆体可采用热轧钢筋，也可采用冷拉螺纹钢筋或高强精轧螺纹钢筋，其质量应符合《钢筋混凝土用热轧光圆

钢筋》GB 13013 及《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》GB 1499 的规定。

3.3.4 在锚杆存放、运输和安装过程中，应保持杆体和各部件的完好，不得损伤杆体上的丝扣。

3.3.5 安装前应检查孔深，以锚杆就位后其外露段的丝扣长度可以安装托板、螺帽等部件为合适长度。

3.3.6 张拉型锚杆孔口应该用早强砂浆做平整处理，其强度应能承受锚杆张拉的最大荷载。

3.3.7 锚杆张拉应符合下列要求：

1 锚杆张拉应进行原位试验，通过试验确定合理的张拉工艺。

2 张拉过程中应保持锚杆轴向受力。

3 张拉力的大小须满足设计要求。

4 托板安装后，应按规定检查其紧固情况。

5 对于间距较小的锚杆群，应注意相邻锚杆张拉时的相互影响。

6 所有张拉机具应定期进行校验。

3.3.8 张拉型水泥卷锚杆施工应符合下列要求：

1 张拉型水泥卷锚杆施工应满足水泥卷施工要求。

2 预应力锚杆锚固端的锚固材料宜选用早强型水泥卷，自由端锚固材料宜选用缓凝型水泥卷，也可采用锚固端和自由端分两期注浆。

3 锚杆张拉应在自由端凝结材料初凝前和锚固端凝结材料达到设计强度之后进行，其时间应通过试验确定。

3.3.9 张拉型树脂锚杆施工应符合下列要求：

1 锚杆张拉应在搅拌完毕且树脂达到固结强度后进行。

2 当现场温度低于+5℃时，张拉之前的待凝时间由试验确定。

3 当缓凝树脂卷与速凝树脂卷同时装入孔内时，锚杆张拉

应在缓凝树脂卷固化之前进行。

3.3.10 胀壳式锚杆施工应符合下列要求：

- 1 锚杆安装前，托板、胀壳与杆体应组装好，防止安装时脱落。
- 2 当锚杆送至孔内要求深度后，应立即拧紧杆体。
- 3 对永久性支护的胀壳式锚杆，在张拉锁定后应对全孔进行注浆充填。

3.3.11 楔缝式锚杆施工应符合下列要求：

- 1 入孔前，将楔子与杆体组装好。
- 2 锚杆就位后，对杆体的外露端施加冲击力，使内锚头张开并与孔壁紧密接触。安装托板，拧紧螺帽。
- 3 楔缝式锚杆作为永久性支护，应进行全孔注浆充填。

3.4 摩擦型锚杆

3.4.1 临时支护可采用摩擦型锚杆，摩擦型锚杆可采用缝管锚杆及水胀式锚杆。

3.4.2 缝管锚杆的钻孔直径应小于锚杆的外径，其差值可按表 3.4.2 选取。

表 3.4.2 缝管锚杆与钻孔的径差

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

3.4.3 缝管锚杆的管体材料宜采用 16Mn 钢或 20Mn 钢，壁厚为 2.0mm~2.5mm。锚杆外径为 40mm~45mm，缝宽为 13mm~18mm。

3.4.4 缝管锚杆施工应符合下列要求：

- 1 采用专用机具向钻孔内推入锚杆杆体。
- 2 在锚杆杆体被推进过程中，应使凿岩机、锚杆杆体和钻孔中心线在同一轴线上。
- 3 锚杆杆体应全部推入钻孔。当托板抵紧岩壁面时，应立即停止推压。

3.4.5 水胀式锚杆施工应符合下列要求：

- 1 锚杆应采用厂家生产的合格产品。钻孔直径应与锚杆相配套。
- 2 安装锚杆前，应检查注水设备，使其处于正常工作状态。
- 3 装好注水管，用安装棒将锚杆送入钻孔中，应使托板紧贴岩面。
- 4 向杆体注水时，水压应大于 30MPa，应保持注水压力稳定，达到调压阀泄压为止。

3.5 管式锚杆及自钻式注浆锚杆

3.5.1 在Ⅳ类、Ⅴ类围岩中开挖洞室或进行边坡加固，可采用管式注浆锚杆、自钻式注浆锚杆进行支护。

3.5.2 管式注浆锚杆和自钻式注浆锚杆的注浆浆液水灰比根据岩石破碎状况及浆液扩散度确定，可控制在 0.45~0.8。

3.5.3 管式注浆锚杆施工应符合下列要求：

- 1 用做管式注浆锚杆杆体的钢管规格、尺寸和材质均应符合设计要求。
- 2 杆体的前端应加工成不大于 45°的锐角。直径较小、长度较短的管式注浆锚杆宜采用冲击式风动工具将杆体打入岩体；直径大、长度长或围岩内夹有坚硬岩石时，管式注浆锚杆送入前需先钻孔引导，再用冲击式风动工具将杆体送入孔内。
- 3 在杆体前端 1/2~2/3 杆长范围内的管壁上开孔，孔径为 6mm~8mm，沿管轴向孔距以 100mm~150mm 为宜，沿环向为 90°，宜布置成梅花形；管壁上可焊接一些碎钢片形成倒刺状以增

加握裹力；设置托板的管式注浆锚杆，杆体尾端外露部分可加工100mm~150mm的管螺纹，托板上可设直径约12mm的排气孔。

4 注浆浆液视情况可添加减水剂、膨胀剂，需快速凝固的可添加早强剂。注浆压力视锚杆部位决定，均应通过试验确定，一般为0.2MPa~1MPa。注浆过程中不论在孔口有无泛浆都应注浆至预定压力后停止注浆，再封堵钢管口。

5 管式注浆锚杆用于管棚支护时，锚杆相对于洞室轴线的外倾角宜为2°~3°；用做超前锚杆时，锚杆相对于洞室轴线的外倾角宜不小于30°。锚杆的外露端应支承在钢拱架或格栅拱架上。

3.5.4 自钻式注浆锚杆施工应符合下列要求：

- 1** 自钻式注浆锚杆适用于岩石破碎不易成孔的地质环境中。
- 2** 使用前，应检查钻头、钻杆是否通气，如有堵塞应处理通畅后方可使用。
- 3** 注浆应满足砂浆锚杆要求。

4 喷射混凝土施工

4.1 原 材 料

4.1.1 喷射混凝土宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，强度等级不宜低于 42.5。

4.1.2 砂石料的质量应符合《水工混凝土施工规范》DL/T 5144 的有关规定。天然砂的细度模数宜为 2.2~3.0，人工砂的细度模数宜为 2.4~2.8，细骨料的含水率保持稳定，并控制在中值的 ± 1 ，表面含水率不宜超过 6%。粗骨料最大粒径不宜大于 15mm。骨料级配应控制在表 4.1.2 所给定的范围内。当采用碱性速凝剂时，不得使用碱活性骨料。

表 4.1.2 喷射混凝土用骨料通过各种筛径的累计重量百分数

筛径 (mm)	0.15	0.30	0.60	1.20	2.50	5.00	10.00	15.00
累计重量百分数 (%)	4~8	5~22	13~31	18~41	26~54	40~70	62~90	100

4.1.3 喷射混凝土回弹的骨料不应重复使用。

4.1.4 施工中可使用具有速凝、早强、减水等性能的外加剂，其质量应符合《水工混凝土外加剂技术规程》DL/T 5100 的有关规定。掺入外加剂后，喷射混凝土的性能应满足设计要求。对于所使用的各种外加剂，应做与水泥相关的相容性试验及水泥净浆凝结试验。掺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。

4.1.5 喷射混凝土用水的质量应符合《水工混凝土施工规范》DL/T 5144 的有关规定。

4.2 施 工 机 具

4.2.1 喷射机应根据喷射混凝土工程量、进度要求、工艺流程、工作环境等条件选择，宜采用湿式喷射机。喷射作业宜采用机械手作业。

4.2.2 干式喷射机的性能应满足下列要求：

- 1 密封性能良好，输料连续均匀。
- 2 生产能力、允许输送的骨料最大粒径应满足施工需要。
- 3 混合料输送距离：水平不小于 100m，垂直不小于 30m。

4.2.3 湿式喷射机的性能应满足下列要求：

- 1 密封性能良好，输料连续均匀。
- 2 喷混凝土生产率不小于 $5\text{m}^3/\text{h}$ ，允许骨料最大粒径为 15mm。
- 3 混凝土输送距离：水平不小于 30m，垂直不小于 20m。
- 4 机旁粉尘小于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

4.2.4 搅拌混合料宜采用强制式搅拌机。

4.2.5 选用的空气压缩机应满足喷射机工作风压和耗风量的要求，风压进入喷射机前，应进行油水分离。

4.2.6 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。

4.2.7 供水设施应能保证喷头处的水压为 0.15MPa~0.20MPa，供水量应满足设计要求。

4.2.8 当采用胶带输送机向喷射机供料时，胶带输送机应采取防尘、防分离措施。

4.3 混合料的配合比、拌制和运输

4.3.1 混合料配合比应符合下列要求：

- 1 水泥、砂石和水的用量比例应符合表 4.3.1 的规定。
- 2 外加剂、掺和料的品种及掺量应通过试验确定。

表 4.3.1 各种喷射混凝土水泥、砂石和水的用量比例

喷射混凝土类型	水泥与砂石的质量比	水灰比	砂率 (%)
干、潮喷法	1.0: (4.0~4.5)	0.40~0.45	45~55
湿喷法	1.0: (3.5~4.0)	0.42~0.50	50~60
钢纤维喷射混凝土	1.0: (3.0~4.0)	0.40~0.45	50~60

4.3.2 各种原材料均按质量计量，称量的允许偏差应符合下列规定：

- 1 水泥、水和外加剂、掺和料均为 $\pm 2\%$ 。
- 2 砂、石均为 $\pm 3\%$ 。

4.3.3 混合料搅拌时间应符合下列要求：

- 1 采用强制式搅拌机时，搅拌时间不得少于 60s。
- 2 采用自落式或滚筒式搅拌机时，搅拌时间不得少于 120s。

4.3.4 干喷法混合料的拌制和使用应符合下列规定：

1 砂石料含水率小于 6%，干粉速凝剂可在搅拌时掺入。拌制好的混合料，应在初凝前使用完毕。不掺速凝剂的混合料，存放时间不应超过 2h。

2 速凝剂应加入喷射机的料斗中或在输料管内掺入，速凝剂加入后应立即喷射。

4.3.5 潮喷法在拌和干料时，先加入全部用水量的 8%~10%。速凝剂使用液态时在喷头加入，使用粉剂时，掺加到喷射机料斗中。

4.3.6 湿喷法混合料的拌制和使用应符合下列要求：

- 1 全部用水量一次与水泥、砂石搅拌均匀，随拌随用。
- 2 混合料拌制后，应进行坍落度测定，其坍落度宜为 8cm~12cm。

3 速凝剂应在喷头或输料管的适当部位加入。采用液态速凝剂拌料时应扣除配制液态速凝剂的用水量。

4.3.7 混合料在运输、存放过程中，应防止水和石块等杂物混入。混合料装入喷射机前应过筛。

4.4 喷射作业

4.4.1 喷射作业现场，应做下列准备工作：

- 1 拆除作业面障碍物，清除开挖面的浮石和泥浆、石渣、堆积物。
- 2 用高压风水将受喷面冲洗干净；对遇水易潮解、泥化的岩层，则应用高压风清扫岩面。
- 3 埋设控制喷射混凝土厚度的标志。
- 4 作业区应安设充足的照明设施，具有良好的通风条件。
- 5 受喷面有渗漏点时，应进行处理。
- 6 喷射作业前，应对机械设备、风、水管路、输料管路和电气线路等进行全面检查，并进行试运转。

4.4.2 喷射机操作应遵守操作规程，并符合下列要求：

- 1 连续均匀向喷射机供料。
- 2 保持喷射机工作风压的稳定。
- 3 中断或完成喷射作业时，将喷射机和输料管内的积料清除干净。

4.4.3 喷头操作应符合下列要求：

- 1 保持喷头处水压稳定并保持喷头处于良好的工作状态。
- 2 喷头宜与受喷面垂直，喷射距离控制在 0.8m~1.2m。

4.4.4 喷射作业应符合下列要求：

- 1 喷射作业应分段、分片依次进行，喷射顺序应自下而上。各段间的结合部和结构的接缝处应做妥善处理，不得存在漏喷部位。
- 2 素喷混凝土一次喷射厚度应按表 4.4.4 选用。

表 4.4.4 素喷混凝土一次喷射厚度 (mm)

喷射方法	部位	掺速凝剂	不掺速凝剂
干、潮法	边坡、边墙	70~100	50~70
	顶拱	30~60	30~40

续表 4.4.4

喷射方法	部位	掺速凝剂	不掺速凝剂
湿法	边坡、边墙	80~150	
	顶拱	50~80	

3 分层喷射时，后一层喷射应在前一层喷射混凝土终凝 1h 后进行。再进行喷射时，应先用风水清洗喷层表面松散层，并保持受喷面湿润。

4 喷射作业紧跟开挖工作面时，混凝土终凝到下一循环放炮的间隔时间不宜小于 4h。

4.4.5 喷射混凝土表面应平整，平均起伏差应满足设计要求。

4.4.6 喷射混凝土的回弹率，潮喷边墙宜小于 15%，顶拱宜小于 25%；湿喷边墙宜小于 12%，顶拱宜小于 22%。

4.4.7 低温期施工应符合下列要求：

- 1 喷射作业区的气温不应低于 +5℃。
- 2 混合料进入喷射机时的温度不应低于 +5℃。
- 3 在与现场气温相同条件下进行水泥净浆凝结试验，决定速凝剂掺量。

4 做好保温工作。喷射混凝土强度在下列数值时，不得受冻：

- 1) 普通硅酸盐水泥配制的喷射混凝土低于设计强度等级 30%。
- 2) 矿渣硅酸盐水泥配制的喷射混凝土强度低于设计强度等级 40%。

4.4.8 喷射混凝土养护应符合下列要求：

- 1 终凝 2h 后，应开始喷水养护；养护时间，不得少于 7d。
- 2 气温低于 +5℃ 时，不得喷水养护；必要时，需采取保温防冻措施。

4.5 纤维喷射混凝土

4.5.1 纤维喷射混凝土可分为钢纤维喷射混凝土、聚丙烯纤维喷射混凝土等。

4.5.2 钢纤维喷射混凝土的原材料除符合 4.1 的有关规定外，还应符合下列要求：

- 1 钢纤维的长度偏差不应超过长度公称值的 $\pm 5\%$ 。
- 2 钢纤维掺量不宜大于 45kg/m^3 。
- 3 钢纤维不得有明显的锈蚀、油渍或其他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结片、表面锈蚀的纤维、铁屑及杂质的总质量不应超过钢纤维质量的 1%。
- 4 骨料粒径不宜大于 10mm。
- 5 钢纤维喷射混凝土应具有良好的泵送性。

4.5.3 钢纤维喷射混凝土施工应符合下列要求：

- 1 搅拌混合料时，宜采用钢纤维播料机向混合料中添加钢纤维；搅拌时间不宜少于 180s。
- 2 钢纤维在混合料中应均匀分布，不得成团。
- 3 混合料的水平运输宜采用混凝土搅拌运输车。

4.5.4 聚丙烯喷射混凝土的搅拌应采用强制式搅拌机，先干搅拌，搅拌时间不得少于 180s，然后加水搅拌，搅拌时间不得小于 240s。

5 锚喷联合支护施工

5.1 钢筋网喷射混凝土

5.1.1 锚喷联合支护中的钢筋网的钢筋规格、钢材质量、网格尺寸，应满足设计要求。钢筋使用前应做除锈、除污处理。

5.1.2 钢筋网宜紧贴开挖面，并应与锚杆（或插筋）连接牢固。

5.1.3 采用双层钢筋网时，第二层钢筋网应在第一层钢筋网被混凝土覆盖后铺设。

5.1.4 喷射混凝土作业除应遵守 4.4 的有关规定外，还应遵守下列规定：

1 应适当减小喷头与受喷面的距离，并调节喷射角度，避免喷头正对钢筋。

2 如发现脱落的混凝土或大量回弹物被钢筋网架住，应及时清除。

5.1.5 喷射混凝土应填满钢筋与岩面之间的空隙，并与钢筋黏结良好。钢筋网的混凝土保护层厚度应符合设计要求。

5.2 钢拱架、钢筋网联合支护

5.2.1 钢拱架可采用型钢、钢筋进行制作，制作及安装应满足设计要求。

5.2.2 架设钢拱架应符合下列要求：

1 钢拱架安装允许偏差：横向间距和高程均为 $\pm 50\text{mm}$ ，垂直度为 $\pm 2^\circ$ 。

2 钢拱架立柱应支立于可靠的基础上。

3 钢拱架与岩面之间应楔紧。相邻钢拱架之间应连接牢靠。

4 全断面开挖时每榀钢拱架至少应与 3 根~5 根锚杆相连接;分层开挖时,上层钢拱架每榀至少有 5 根~7 根锚杆与之相连焊接牢固,并设置锁脚锚杆,锁脚锚杆打设角度为 45° 左右。

5.2.3 钢筋网宜连续铺设。采用双层钢筋网,第二层钢筋网应焊接固定在钢拱架上。

5.2.4 喷射混凝土作业应保证钢拱架与岩面之间的空隙充填密实。除可缩型钢拱架的可缩节点部位外,钢拱架应被喷射混凝土覆盖。

5.2.5 在松散、软弱、破碎等稳定性差的围岩中进行锚喷支护施工的有关规定:

1 不良地质条件下的地下洞室,应进行联合支护。

2 此类围岩的施工操作程序应为:超前施工注浆小管棚→开挖后立即喷一层 3cm~5cm 厚混凝土→架设钢拱架→设置系统锚杆→铺设钢筋网→喷第二层 5cm~7cm 厚混凝土→下一个循环开挖前复喷混凝土至设计厚度。系统锚杆应与钢拱架焊接。

3 应及时进行施工期现场监控量测,根据围岩变形情况,及时调整支护方案和支护参数。

4 锚喷支护应紧跟开挖工作面进行。

5 必要时,采取用喷射混凝土封闭开挖面、超前锚固、底拱锚固或封闭仰拱等措施。

6 下一循环的爆破作业宜在喷射混凝土作业完成后 4h、砂浆锚杆安装后 6h、监测仪器埋设后 1h 进行,并控制瞬时起爆药量。

5.2.6 对可能塌落或滑移的危石进行加固的有关规定:

1 对拱部的危石处理原则是:撬除浮石→素喷一层 3cm~5cm 厚混凝土→架设钢拱架→铺设钢筋网→打锚杆锁住危石→复喷混凝土。

2 对边墙或边坡上出露的大面积危石,应根据危石的结构情况,采取“边挖边锚”或“先锚后挖”的原则,逐层施工,直至

全部锚固为止。

5.2.7 塌方处理段和围岩较差地段的加强支护，应向前后两侧围岩条件较好地段延伸适当距离。

5.2.8 对以下地质条件的锚喷支护设计，可以通过工程类比法、现场试验和稳定计算后确定：

- 1 膨胀性岩体和淤泥质土体；
- 2 有严重湿陷性黄土；
- 3 严寒地区的冻胀岩体；
- 4 高地应力地区。

6 安全技术与防尘防护

6.1 安全技术

- 6.1.1** 施工前应制定施工安全技术措施。
- 6.1.2** 锚喷施工的机械设备应布置在围岩稳定或已经支护的安全地段。
- 6.1.3** 喷射机、注浆器、注浆泵、水箱、油泵等设备或压力容器，均应安装压力表或安全阀。
- 6.1.4** 施工期间应经常检查输料管、出料弯头、注浆管以及各种管路的连接部位，发现问题应及时处理。
- 6.1.5** 带式上料机及其他设备外露的转动和传动部分，应设置保护罩。
- 6.1.6** 施工过程中进行机械故障处理时，应停机、断电、停风。在开机前，应预先通知有关的作业人员。
- 6.1.7** 施工中应定期检查电源线路和设备的电器部件，确保用电安全。
- 6.1.8** 作业时严禁在喷头和注浆管前方站人。喷射作业的堵管处理，宜采用敲击法疏通。若必须采用压风疏通时，风压不得大于0.4MPa，同时应将输料管放直，将喷头朝向无人的方向予以固定。
- 6.1.9** 工作台架的安装应牢固可靠，设置临边防护。高处作业人员应佩戴安全带。
- 6.1.10** 在竖井中进行锚喷支护施工时应符合下列要求：
- 1 采用溜筒运送喷射混凝土的混合料时，下料口周围应封闭。
 - 2 竖井内输料钢管宜采用法兰连接，悬吊应牢固。
 - 3 采用升降式操作平台施工，其安全措施应符合《水电水利

工程施工通用安全技术规程》DL/T 5370 的有关规定。

6.2 防 尘 防 护

6.2.1 喷射机应保持良好的密封性。

6.2.2 锚喷支护作业区粉尘浓度应每 10 天至少测定一次。粉尘浓度合格的标准：占总数 80% 及以上的测点试样的粉尘浓度不大于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ ，其他试样粉尘浓度不超过 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 。粉尘浓度测定应符合附录 D 规定的要求。

6.2.3 在锚喷支护作业区，宜采取以下综合防尘措施：

- 1 采用湿喷法。
- 2 潮喷时采用双水环加入喷射用水，在喷射机或混合料搅拌处设置集尘器或除尘器。
- 3 加强作业区通风。
- 4 采用增黏剂、抑尘剂等外加剂。

6.2.4 喷射混凝土作业人员应佩戴防尘口罩、防尘帽、软胶手套、毛巾、压风呼吸器等防护用具。

7 质 量 检 查

7.1 锚 杆

7.1.1 锚杆材料及黏结、灌浆、防腐材料应具有出厂合格证、试验报告单等资料，其性能指标应符合设计要求。

7.1.2 非张拉型锚杆的质量检查应符合表 7.1.2 的要求。

表 7.1.2 非张拉型锚杆的检查项目、质量标准、检测方法及取样标准

锚杆类型	检查项目	质量标准	检测方法	取样标准
全长黏结型锚杆、管式锚杆、自钻式锚杆	注浆饱和度	注浆饱和度应达到 80% 以上	现场抽查试验，检查方法参见附录 B；无损检测	抽查锚杆数量的 3%~10%；重要工程及部位按设计要求执行
全长黏结型锚杆、摩擦型锚杆、管式锚杆、自钻式锚杆	锚杆抗拔力	同组锚杆的抗拔力平均值应符合设计要求；任意一根锚杆的抗拔力不得低于设计值的 90%	现场抽查试验，检查方法参见附录 C	每 200 根（包括总数少于 200 根）锚杆至少抽样一组，每组不少于 3 根；试件应包括边墙和顶拱锚杆；地质条件或原材料变化时，应至少抽样一组；重大工程的抽样数量应适当增加

7.1.3 张拉型锚杆的质量检查应符合下列要求：

- 1 张拉型锚杆的垫板与顶面应紧密接触，垫板不得出现弯曲。
- 2 预应力锚杆应有完整的锚杆性能试验和验收检验资料以及施工记录。锚杆性能试验结果应符合设计要求。

7.2 喷射混凝土

7.2.1 对喷射混凝土所用原材料的检查应符合《水工混凝土施工

规范》DL/T 5144 的规定，按表 7.2.1 执行。

表 7.2.1 喷射混凝土检查项目、质量标准、检测方法及其取样标准

检查项目	质量标准	检测方法	取样标准
水泥和外 加剂性能	符合设计 要求	取样试验， 查看资料	同品种、同强度等级的水泥每 200t~400t 为一取样单位，如不足 200t 也作为一取样单位； 同品种的速凝剂每 5t~10t 为一取样单位，如不足 5t 也作为一取样单位； 砂和小石按每 300m ³ ~500m ³ 为一取样单位

7.2.2 混合料的配合比和级配遵守下列要求：

- 1 每班作业前应对所使用的衡器进行检查和校正。
- 2 混合料的实际配合比，每个作业班至少检查两次。

7.2.3 喷射混凝土应做抗压强度检查，并遵守下列要求：

- 1 喷射混凝土检测宜采用 28d 龄期的抗压强度。
- 2 宜采用喷大板切割法制备试件。当有特殊要求时，还应采用养生 28d 后现场取芯的方法。
- 3 取样数量：每喷 100m³ 混合料（或工程量小于 100m³ 的独立工程）至少取两组试件，每组 3 块。

- 4 喷射混凝土抗压强度的检测方法见附录 E。

7.2.4 喷射混凝土抗压强度的验收应符合下列规定：

- 1 同批喷射混凝土的抗压强度，应以同批标准试块的抗压强度代表值来评定。
- 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；当 3 个试块强度中的最大值和最小值与中间值之差均超过中间值的 15% 时，该组试块不应作为强度评定的依据。

- 3 永久支护工程的合格条件为：

$$f'_{ck} - K_1 S_n \geq 0.9 f_c \quad (7.2.4-1)$$

或
$$f'_{ck, \min} \geq K_2 f_c \quad (7.2.4-2)$$

4 临时支护工程的合格条件为:

$$f'_{\text{ck}} \geq f_c \quad (7.2.4-3)$$

或
$$f'_{\text{ck}, \min} \geq 0.85 f_c \quad (7.2.4-4)$$

式中: f'_{ck} ——同批 n 组喷射混凝土试块抗压强度的平均值, MPa;

f_c ——设计的喷射混凝土立方体抗压强度, MPa;

$f'_{\text{ck}, \min}$ ——同批 n 组喷射混凝土试块抗压强度的最小值, MPa;

K_1, K_2 ——合格判定系数, 按表 7.2.4 选取;

S_n ——同批 n 组喷射混凝土试块抗压强度的标准差, MPa,
按以下公式计算:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{\text{cki}}'^2 - n f_{\text{ck}}'^2}{n-1}} \quad (7.2.4-5)$$

式中: f'_{cki} ——同批第 i 组喷射混凝土试块抗压强度的代表值, MPa, 当同批试块组数 $n < 10$ 时, 可按以下合格条件验收:

$$f'_{\text{ck}} \geq 1.15 f_c \quad (7.2.4-6)$$

$$f'_{\text{ck}, \min} \geq 0.95 f_c \quad (7.2.4-7)$$

5 喷射混凝土强度不符合要求时, 应查明原因, 采取补强措施。

6 喷射混凝土抗压强度的变异系数 $V = S_n / f'_{\text{ck}} \leq 0.25$ 为喷射混凝土的均匀性合格。

注: 同批试块是指原材料和配合比基本相同的喷射混凝土试块。

表 7.2.4 喷射混凝土合格判定系数 K_1 、 K_2 值

同批试块组数 n	10~14	15~24	≥ 25
K_1	1.70	1.65	1.60
K_2	0.90	0.85	0.85

7.2.5 根据工程设计的需要决定其他的测试项目和数量：

- 1 抗渗指标的检测方法见附录 F。
- 2 抗拉强度的检测方法见附录 G。
- 3 抗冻性能的检测方法见附录 H。
- 4 喷射混凝土与围岩黏结强度的检测方法见附录 J。

7.2.6 喷射混凝土厚度检查应符合下列要求：

1 过水洞室及边坡可采用针探、钻孔等方法进行检查。过水隧洞宜采用无损检测法进行检查。

2 检查断面的数量按表 7.2.6 确定，但每一个独立工程检查断面不得少于一个。在断面上以拱冠为基准，向两侧每隔 2m~5m 布置一个测点。每个断面的测点不宜少于 5 个，其中拱部测点不应少于 3 个。过水隧洞应适当增加测点数量。

表 7.2.6 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) 及边坡	50~100
一般隧洞 (III、IV 类围岩)、水工隧洞、竖井	20~50
大型洞室	20~30

3 实测喷层厚度达到设计尺寸的合格率应满足下列要求：

- 1) 大型洞室、过水隧洞和竖井不低于 80%。其他隧洞及边坡不低于 60%。
- 2) 实测厚度的平均值应不小于设计尺寸。未合格测点的最小厚度应不小于设计厚度的 1/2，但其绝对值不得小于 50mm。

7.2.7 喷射混凝土外观质量应符合下列要求：

1 在喷大板试件的纵、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。

2 在结构接缝、墙角、洞形或洞轴急变等部位，喷层应有良好的结合。

3 无漏喷、脱空现象。

4 无贯穿性裂缝。

5 漏水点已做处理。

附录 A 锚喷支护监控量测方法

A.0.1 地下洞室的锚喷支护类型及参考支护参数见表 A.0.1-1 及表 A.0.1-2。

A.0.2 监控量测应按以下程序和规定进行：

- 1 仪器埋设后应立即测定稳定的初始值。
- 2 一般应在每一施工循环的开挖前、后进行观测。对围岩流变特性明显的地质地段，观测间隔时间不宜大于 4h。当围岩变形明显减少时，可适当延长监测的间隔时间。
- 3 同一地段的监测自始至终应由专人负责，中途不宜换人；确实需要换人时，应至少有两次交接性监测。
- 4 某一地段的监测中途不宜更换仪器。确实需要更换仪器时，应同时采用原仪器和更换仪器测定同一时间变形后，方可使用更换的仪器进行观测。
- 5 当监测结果出现异常情况时，应查明原因，并重复观测 1 次~2 次。
- 6 按表 A.0.2-1 或表 A.0.2-2 的格式和项目做好监测记录，不得漏项。

A.0.3 对监测资料进行整理、分析，应做以下工作：

- 1 计算各测点收敛位移值和变形速率（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，其中应包括当日监测结果、对监测结果的基本分析、洞室稳定状态、对支护效果的初步评价以及对支护措施的修正建议。
- 5 每周提交一份监测简报。

6 每一个施工阶段完成后，提交一份监测专项报告。

A.0.4 监测资料处理应遵守以下原则：

1 测后 24h 之内应向项目技术负责人、监理工程师提交日监测报表。当本次观测到的变形比上次明显增长时，应立即通知项目技术负责人，密切注意变形发展趋势；在 2h 之内以简要报告形式向有关人员报告监测结果，以便研究处理意见；缩短时间间隔继续进行观测。

2 各种监测报告应发送工程建设有关各方，并作为竣工验收文件。

表 A.0.1-1 地下洞室锚喷支护类型表

围岩类别	围岩稳定性	围岩总评分 T	围岩强度应力比 S	支护类型
I	稳定。围岩可长期稳定，一般无不稳定块体	>85	>4	不支护，大型或特大型断面地下洞室素喷混凝土或喷钢纤维混凝土
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	>4	不支护或局部随机锚杆，喷薄层混凝土。大型、特大型断面地下洞室及重要工程，采用系统锚杆，喷钢纤维混凝土或钢筋网喷混凝土
III	能暂时稳定，稳定性差。围岩节理裂隙密集，较破碎，局部会产生塑性变形，不支护可能产生塌方或变形破坏。完整的较软岩，只能暂时稳定	$85 \geq T > 65$	>2	系统锚杆加钢筋网喷混凝土或喷钢纤维混凝土，必要时可加钢筋拱肋喷混凝土
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	$45 \geq T > 25$	>2	超前锚杆、网喷混凝土，系统锚杆，锚杆排间距比 III 类围岩小，长度更长。大断面地下洞室要加钢格构架或工字钢，喷厚层混凝土
V	极不稳定。围岩不能自稳，变形破坏严重	≤ 25	—	管棚、系统锚杆、钢格构架或工字钢，钢筋网喷厚层混凝土，应一循环一支护，支护到位后才能进行下一循环

注：1. II、III、IV 类围岩，当强度应力比小于本表规定时，围岩类别宜相应降低一级。

2. 支护类型与支护参数参照《水工隧洞设计规范》DL/T 5195 附录，或参考表 A.0.1-2。

表 A.0.1-2 地下洞室各类围岩参考支护参数表

断面大小	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
小断面	不支护	不支护或少量锚杆	喷混凝土 5cm~7cm; 系统锚杆 L2m~3m, @1.5m×1.5m	网喷混凝土 7cm~10cm 或钢纤维混凝土; 系统锚杆 L2m~3m, @1.0m×1.0m	超前管棚, 间距 30cm~40cm, 网喷混凝土或喷钢纤维混凝土 10cm~12cm; 系统锚杆 L2m~3m, @1.0m×1.0m, 钢拱架或格栅拱架间距 60cm~80cm
中断面	不支护	喷混凝土 3cm~5cm 随机锚杆	喷混凝土 5cm~10cm; 系统锚杆 L3~4m, @1.5m×1.5m	网喷混凝土 10cm~20cm 或喷钢纤维混凝土; 系统锚杆 L3m~4m, @1.0m×1.0m; 有时需加 $\phi 22\sim 25$ 钢筋代替钢筋网	超前管棚, 间距 30cm~40cm, 网喷混凝土或喷钢纤维混凝土 12cm~15cm; 钢拱架(或格栅拱架)间距 60cm~80cm; 系统锚杆 L3m~5m, @1.0m×1.0m~0.75m×0.75m
大断面	素喷混凝土 3cm~5cm	素喷混凝土 3cm~5cm 随机锚杆	喷混凝土 7cm~12cm; 系统锚杆 L4m~5m, @1.5m×1.5m	网喷混凝土或喷钢纤维混凝土 10cm~15cm; 系统锚杆 L4.5m~9m, @1.0m×1.0m; 有时需格栅拱架或用 $\phi 25$ 圆钢筋代替格栅拱架	超前管棚, 间距 30cm~40cm; 格栅拱架或钢拱架, 拱梁高 12cm~15cm, 网喷混凝土或喷钢纤维混凝土 15cm~18cm; 间距 60cm~80cm; 系统锚杆 L4.5m~9m, @1.0m×1.0m~0.75m×0.75m
特大断面	挂网喷混凝土 5cm~7cm (或喷钢纤维混凝土); 随机锚杆	挂网喷混凝土 5cm~7cm 或喷钢纤维混凝土 随机锚杆	挂网喷混凝土 10cm~15cm (或钢纤维混凝土); 系统锚杆 L4.5m~6.0m, @1.5m×1.5m	挂网或喷钢纤维混凝土 10cm~15cm; 系统锚杆 L6m~8m, @1.0m×1.0m; 有时需格栅拱架或用 $\phi 25$ 的钢筋肋加强	超前管棚, 间距 30cm~40cm; 格栅拱架或钢拱架, 拱梁高 12cm~15cm, 间距 80cm, 网喷混凝土或喷钢纤维混凝土 15cm~18cm; 系统锚杆 L6m~12m, @1.0m×1.0m~0.75m×0.75m

表 A.0.2-2 多点位移计量测记录表

工程名称: 仪器编号: 仪器埋设日期: 年 月 日
 项目名称: 桩 号: 仪器距离开挖面距离: m
 工程部位: 测点位置: 监测起始日期: 年 月 日

监测日期	各测线实测相对位移值 (mm)										开挖桩号	
	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							简要地质素描:					

观测:

记录:

计算:

校核:

附录 B 注浆密实性试验方法和检测方法

B.0.1 选取内径与锚杆孔相同、长度与锚杆一样的塑料管或钢管若干根，将管的一端封堵模拟锚杆孔孔底，将管子按与地面平行、垂直向上和倾斜向上等几个方向固定。

B.0.2 按 3.2.2 的规定拌制砂浆，用预定的注浆方法向管内注满砂浆，插入锚杆。

B.0.3 养护一周后将管子剖开，检查杆体位置及注浆的密实程度。

B.0.4 锚杆采用无损检测时，应符合下列要求：

- 1 检测前应对所采用的砂浆锚杆无损检测仪器进行现场率定。
- 2 砂浆锚杆的外露端尽量磨平。
- 3 锚杆注浆过程中，要做好现场注浆、插杆记录。
- 4 无损检测数据按注浆饱和度的分辨等级分为 1.0、0.70、0.50，超过 0.70 时判定合格。

附录 C 锚杆抗拔力检查方法

C.0.1 锚杆抗拔力的试验，可按以下程序进行：

- 1 将锚杆的外露段车成丝扣或焊接带有丝扣的加长杆，加长杆和焊口的强度应大于杆体的抗拉强度。
- 2 将锚杆孔口的岩面处理平整，安装传力板，保证锚杆承受轴向拉力。
- 3 安装拉拔器和其他设备。

C.0.2 对锚杆进行拉拔力检查的有关规定：

- 1 缓慢、匀速地加载，加载速率不宜大于 1kN/s。
- 2 加载后应立即开始测定锚杆的位移量。
- 3 拉拔设备应安装牢靠，并有安全防护措施。拉拔器的轴线应与杆体轴线重合。
- 4 当岩体软弱或比较破碎、有可能在岩体内部发生破坏时，拉拔器底座的承力点应置于可能破坏的范围之外。
- 5 对锚喷支护中作抽样检查的锚杆进行拉拔试验时，当拉拔力达到设计值时应立即停止加载，结束试验。
- 6 锚杆抗拔力不符合要求时，可用加密锚杆的方法予以补强。

附录 D 喷射混凝土施工作业区粉尘浓度的测定方法

D.0.1 喷射混凝土施工作业区粉尘浓度的测定可采用滤膜法，采样器宜使用便携式电动测尘器。

D.0.2 测定粉尘含量的取样部位和数量，应满足表 D.0.2 的规定。

表 D.0.2 喷射混凝土粉尘测点布置和取样数量

测尘地点	位置	取样数量 (个)
喷头附近	距喷头 5m，离底板 1.5m 处，下风向设点	3
喷射机附近	距喷射机 1m，离底板 1.5m 处，下风向设点	3
洞内拌料处	距拌料处 2m，离底板 1.5m 处，下风向设点	3
喷射作业区	隧洞中间，离底板 1.5m 处，下风向设点	3

D.0.3 取样时间：取样应在喷射混凝土作业正常、粉尘浓度稳定后进行。每一个试样的取样时间不得少于 3min。

附录 E 喷射混凝土抗压强度检测方法

E.0.1 喷射混凝土抗压强度的检测试件，应在施工过程中通过喷大板切割法或现场钻取芯样取得。

E.0.2 喷大板切割法按以下要求制作试件并检测其抗压强度：

1 喷射混凝土作业时，按实际施工条件向垂直放置的长 450mm、宽 350mm、高 120mm 的开敞式不吸水的刚性材料模具内沿水平方向喷射混凝土，在施工现场养护一昼夜后脱模。

2 将混凝土大板移至试验室，在标准养护条件下养护 7d，用切割机去掉周边和上表面（底面可不切割），加工成边长为 100mm 的立方体试件。立方体试件的允许偏差为：边长在 $\pm 1\text{mm}$ 范围内，直角在 $\pm 2^\circ$ 范围内。

3 继续在标准条件下养护至 28d 龄期，进行抗压强度试验。

E.0.3 现场钻取芯样法按以下要求制作试件并检测其抗压强度：

1 采用小型钻机配金刚石钻头，在喷射混凝土结构物上钻取芯样。取样位置应具有代表性，钻取芯样数量应不少于 3 个。

2 将钻取的芯样用切割机加工成高度和直径相同的圆柱体试件。圆柱体试件的允许偏差为：高度在 $\pm 1\text{mm}$ 范围内，垂直度不超过 2° 。

3 对龄期已达到 28d 的圆柱体试件进行抗压强度试验。当圆柱体试件的直径和高度均为 100mm 时，试验结果即为抗压强度指标；当圆柱体试件的直径和高度小于 100mm（但不得小于 76mm）时，试验结果乘以 0.95 的折减系数作为抗压强度指标。

附录 F 喷射混凝土抗渗指标检测方法

F.0.1 喷射混凝土抗渗指标检测试件，应在施工现场制备。

F.0.2 试件的制备及检测的有关规定：

1 按附录 E 喷制混凝土大板（开敞式不吸水的刚性材料模具的长、宽、高分别为 450mm、350mm、200mm）。

2 待混凝土的抗压强度超过 10MPa 后，采用钻机配金刚石钻头（直径 158mm、长 152mm）钻取混凝土芯，加工成直径 150mm、高 150mm 的圆柱体试件 6 个。

3 清除两端面浆膜，待圆柱体试件晾干后，在其侧面涂一层环氧树脂，干燥后，装入抗渗试模，在芯样周围浇筑水泥砂浆，脱模后送入标准养护室养护。到达试验龄期，取出试件，擦拭干净。待表面晾干后，在试件底部的新砂浆面上涂环氧树脂，阻止水从砂浆处渗出。用密封材料将试件密封于抗渗仪的试模中。用水泥加黄油（质量比 2.5:1~3:1）密封时，将密封材料均匀刮涂在试件侧面，厚 1mm~2mm，用加压设备将试件压入试模。用石蜡加松香密封时，在试件侧面涂一层密封材料，用加压设备将试件压入预热的渗透仪试件套筒内。试模预热温度，以石蜡接触试模即缓慢熔化，但不流淌为宜，试模变冷后接触压力。

4 抗渗试验按《水工混凝土试验规程》DL/T 5150 的规定执行。

附录 G 喷射混凝土抗拉强度检测方法

G0.1 按附录 E 中喷大板切割法制作边长为 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ 的立方体试件。

G0.2 使试件中的拉应力方向与喷层的受拉方向一致，采用《土工混凝土试验规程》DL/T 5150 中的劈裂法进行试验。

附录 H （规范性附录）喷射混凝土 抗冻性能检测方法

H.0.1 按附录 E 中喷大板切割法制作边长为 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ 的立方体试件。

H.0.2 按设计要求及《水工混凝土试验规程》DL/T 5150 的规定进行检测。

附录 I （规范性附录） 喷射混凝土与 围岩黏结强度检测方法

I.0.1 喷射混凝土与围岩之间黏结强度的检测应在现场进行。当现场不具备检测条件时，亦可在现场选取有代表性的岩块，在室内进行检测。

I.0.2 喷射混凝土与围岩之间黏结强度的检测，可采用以下方法：

1 预留试件拉拔法

- 1) 试验在施工现场进行。试验部位的施工喷层厚度应在 100mm 以上，且围岩表面较为平整。
- 2) 试件为圆柱体，直径为 200mm~500mm，高度约为 100mm。在试件中心位置预先埋入钢拉杆，其抗拔力须大于喷射混凝土与围岩的黏结力。
- 3) 试件部位的混凝土喷射后，立即用铲刀沿试件轮廓挖出宽 50mm 的槽，使试件与周围的喷射混凝土完全脱离，仅底面与围岩黏结。
- 4) 待喷射混凝土达到设计强度后，用拉拔器对拉杆施加拉力，使试件沿其与围岩结合面破坏。根据拉拔力和破坏面积计算喷射混凝土与围岩的黏结强度。

2 钻芯拉拔法

- 1) 采用小型钻机配金刚石钻头，垂直于喷射混凝土层面钻进并深入围岩 20mm 以上，形成带有喷射混凝土与围岩黏结面的圆柱型芯样。
- 2) 用卡套套住并卡紧芯样。
- 3) 安装拉拔器，对卡套缓慢施加拉力，直到芯样沿喷射混凝土与围岩结合面破坏。

4) 按下式计算喷射混凝土与围岩的黏结强度:

$$R_c = \frac{P_c}{A_c} \cos \alpha$$

式中: R_c ——喷射混凝土与围岩的黏结强度, MPa;

P_c ——实测破坏拉力, N;

A_c ——实测喷射混凝土与围岩结合面破坏面积, mm^2 ;

α ——实测断裂面与芯样横截面交角, ($^\circ$)。

I.0.3 喷射混凝土与岩块的黏结强度, 可按以下方法检测:

1 在附录 E 喷大板的木模内, 放置从施工现场选取的厚度超过 50mm 的岩石板, 用水将岩石板表面湿润, 按实际喷射条件向大板模内喷射混凝土。

2 在与实际结构物相同条件下养护 7d, 用切割法加工成边长 100mm 的立方体试件 (其中岩石和混凝土的厚度各为 50mm 左右), 养护至 28d 龄期。

3 在混凝土与岩块结合面处, 用劈裂法测定混凝土与岩块的黏结强度值。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》GB 175
- 《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》GB 1499
- 《混凝土外加剂》GB 8076
- 《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》GB 13013
- 《水电水利工程预应力锚索施工规范》DL/T 5083
- 《水工混凝土外加剂技术规程》DL/T 5100
- 《水工混凝土施工规范》DL/T 5144
- 《水工混凝土试验规程》DL/T 5150
- 《水工隧洞设计规范》DL/T 5195
- 《水电水利工程施工通用安全技术规程》DL/T 5370

中华人民共和国电力行业标准

水电水利工程锚喷支护施工规范

DL/T 5181 — 2017

代替 DL/T 5181 — 2003

条 文 说 明

目 录

1 总则	47
2 术语	49
3 锚杆施工	50
3.1 一般规定	50
3.2 全长黏结型锚杆	51
3.3 张拉型锚杆	53
3.4 摩擦型锚杆	55
3.5 管式锚杆及自钻式锚杆	56
4 喷射混凝土施工	58
4.1 原材料	58
4.2 施工机具	59
4.3 混合料的配合比、拌制和运输	61
4.4 喷射作业	63
4.5 纤维喷射混凝土	65
5 锚喷联合支护施工	67
5.1 钢筋网喷射混凝土	67
5.2 钢拱架、钢筋网联合喷射混凝土支护	68
6 安全技术与防尘防护	70
6.1 安全技术	70
6.2 防尘防护	71
7 质量检查	72
7.1 锚杆	72
7.2 喷射混凝土	73

1 总 则

1.0.2 锚喷支护分为深层支护、浅层支护和表层支护。深层支护指的是深度在 15m 以上的支护，主要采用预应力锚索支护；深度小于 15m 的为浅层支护，多以锚杆、锚筋桩为主，或使用短锚索；喷混凝土和钢构架为表层支护。本规范主要是针对浅层和表层支护。

1.0.3 支护在围岩稳定中起着决定性的作用，因此，支护参数的设计十分重要，国内外有大量的实际工程经验，采用工程类比法设计，再用理论计算和监控量测来验证、优化是合适的。实践证明，开挖卸荷必将产生岩体松弛变形，围岩出现一定范围的塑性区，通过支护，可提高塑性区围岩的力学参数，并限制围岩受拉区、松弛区和塑性区的范围扩展，控制围岩的位移量即收敛量值，以稳定围岩。支护时机是利用围岩自稳能力，实现支护抗力与岩体变形相协调的关键。

1.0.5 施工期现场监控量测是一项技术含量较高的工作，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做出明确规定。凡是跨度较大和围岩较差的地下工程，均应进行现场监控量测。进行现场监控量测的工程应按表 1-1 选定。

表 1-1 隧洞进行现场监控量测的选定表

围岩分类	跨度 B (m)				
	$B < 5\text{m}$	$5 < B < 10$	$10 < B < 15$	$15 < B < 20$	$B > 20$
I	—	—	—	△	√
II	—	—	△	√	√

续表 1-1

围岩分类	跨度 B (m)				
	$B < 5$ m	$5 < B < 10$	$10 < B < 15$	$15 < B < 20$	$B > 20$
III	—	—	√	√	√
IV	—	√	√	√	√
V	√	√	√	√	√

注：△代表根据围岩及洞室情况进行选择。

1.0.6 近年来，喷锚支护中出现很多新技术、新工艺、新材料，如在软岩中，将高吨位预应力锚索设计成应力分散性锚索，在喷混凝土中，采用掺钢纤维、聚丙烯等材料外，还出现了掺无机纳米材料、磨细硅粉材料等。不仅改善了混凝土的性能，增加了混凝土强度，也增加了黏稠度，很大程度地减少了回弹率。在选用前，应对选用的材料进行物理力学性能测定和化学性能测定。

1.0.7 锚喷支护是一门综合性，多学科的边缘性强的工程技术，涉及地质勘查、岩土力学、材料力学和材料学科及防排水技术。因此施工中除了要遵守本规范外，还应符合现行的国家标准规定。

2 术 语

2.0.7、2.0.8 国内各行业对预应力锚杆的定义有关标准很不统一。本规范考虑到水电站施工行业的习惯和工程实际，将预应力锚杆和预应力锚索分别定义。安装时加张拉力的锚杆统称为“张拉型锚杆”，其中设计对张拉力无要求的，并对张拉时机也无严格规定的，如在全孔注浆且胶凝材料达到或接近设计强度后再张拉锁定的锚杆称“张拉锚杆”。而设计对张拉力有要求，即张拉锚杆在张拉后再进行全孔注浆的锚杆，称为“预应力锚杆”。

2.0.21 管棚根据所支护的部位不同，有大管径管棚（即管径达108mm以上）和小管径管棚（即管径小于42mm）两种。前者一般是适用于洞口，长度一般为20m~40m，因为外叉角容易控制，而洞内不使用大管棚，因为没有操作空间和操作高度，因此一般只能用小管径管棚，其仰角即外叉角容易控制在 2° ~ 3° ，长度与普通锚杆相当，一般不超过6m。

2.0.24 考虑工程实际应用情况，将潮喷法（半湿喷法）加进本规范。

3 锚杆施工

3.1 一般规定

3.1.1 锚杆的参数主要有三项内容：深度、间排距和锚杆强度，其中锚杆强度一般由锚杆材质和相应结构决定。通常，地下洞室断面越大，墙体越高，需要用系统锚杆组成的承载圈厚度越大，锚杆深度也越大。相应地，围岩越差，围岩组成的承载圈厚度越大，锚杆相应也越深。同时，围岩越差，锚杆自身的作用范围越小，锚杆排间距也越小。因此，锚杆深度，取决于地下洞室规模和围岩类别，而锚杆排间距则完全取决于围岩类别。地下洞室规模越大，岩石越坚硬，原始地应力越高，则需要抑制围岩变形的作用力也越大，选用锚杆强度也越高；对于软弱围岩，围岩产生变形破坏的主要因素是岩体本身，锚杆适应变形的能力非常重要。

3.1.3 对于有可能滑动的结构面，锚杆方向与滑动面的倾向成大交角布置，有利于保持围岩的稳定。

规定钻头直径与锚杆孔径的关系，是为了保证锚杆杆体周围包裹一定厚度的黏结材料作为保护层（对于“先注浆后插杆”程序而言）和便于将注浆管插入锚杆孔（对于“先插杆后注浆”程序而言）。

清除孔内的岩粉和积水，是为了保证黏结材料与孔壁之间更好地结合。

3.1.5 在Ⅳ类、Ⅴ类围岩及特殊地质条件下，先喷混凝土再施作锚杆，是为了利用喷混凝土使围岩暂时稳定，保证施作锚杆时的安全。

在破碎的岩体中，应慎重采用自钻式锚杆。由于塌孔原因，

注浆浆液常被堵在锚杆头部，杆体全长几乎没有浆液，绝大部分自钻式可注浆锚杆成为端头锚，无法保证质量。因此，在破碎岩体中宜优先考虑使用管式可注浆锚杆。

3.2 全长黏结型锚杆

3.2.1 全长黏结型锚杆，特别是全长固结砂浆锚杆是质量最可靠，成本最低的锚杆，应大力推广。

3.2.2 一般情况下，全长黏结型锚杆杆体材料采用热轧Ⅱ级或Ⅲ级钢筋，因为Ⅱ级、Ⅲ级钢筋带肋，与黏结材料之间的握裹力比光面钢筋好。个别情况下也可采用热轧Ⅰ级钢筋。要求锚杆杆体除锈、除油污，是为了保证与黏结材料之间很好地黏结。

优先选用强度等级不低于42.5的新鲜硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，是因为上述水泥拌制的水泥砂浆早期强度较高，有利于锚杆施工。

要求掺入砂浆的外加剂不得含有对锚杆产生腐蚀作用的化学成分，是为了保证锚杆长期工作的可靠性。

3.2.3 如果砂浆初凝后仍然使用，其强度将大大降低，满足不了设计要求，因此要求砂浆随拌随用，初凝前应使用完毕。

对于“先插杆后注浆”的锚杆，当俯角大于 30° 时，注浆管深入孔底注浆，孔内空气较容易排出，可以不设排气管；当俯角小于 30° 时，孔内空气不易排出，所以须将排气管深入孔底，注浆管自孔口向孔底注浆，同时孔内空气被压至孔底沿排气管排出。由于注浆时有一定的压力，为防止注浆过程中砂浆从孔口外流，应在注浆前对孔口进行封堵。

锚杆孔注浆饱满程度是砂浆锚杆施工质量的重要指标，但在实际工程中，通常用超声波较难检查，孔深很大的。因此，施工前，要按附录B所述方法先进行试验，选择好注浆机调配好砂浆浆液，选用密实性较好而且比较稳定（即不随操作人员变化而改变其效果）的注浆工艺，在实际施工中坚持实施。

本规范写入对注浆机的要求，因为要保证锚杆注浆质量，特别是大断面顶拱锚杆，因注浆高度和输送管的摩擦阻力作用，往往要达到 2MPa~5MPa 以上的挤压力方能保证将水灰比接近 0.45 的浆体压入顶拱锚杆孔孔底。表 3-1 所示为几种砂浆锚杆注浆机的技术性能。

表 3-1 几种砂浆锚杆注浆机的技术性能

型号	MEycoDegnna WT	FCB250	GS20E (E、EC、EB)
功率 (kW)	5.5+1.8	5.5/2.2	5.5
注浆压力 (MPa)	2.5~4.0	2~5.0	2.2~5.0
最大粒径 (mm)	6	5	3
稠度 (水灰比)	≥0.3	≥0.3	≥0.3

3.2.4 水泥卷锚杆在不塌孔的条件下，注浆饱满度易得到保证，但锚固力较全固结砂浆锚杆降低约 1/4~1/3。

水泥卷目前尚无统一标准，各生产厂家的产品性能各异。所以，使用前应按产品说明进行试验，验证其性能。

3.2.5 应根据锚杆直径、锚杆孔孔径经过计算确定水泥卷的用量，以保证锚杆孔内充填饱满，同时应避免浪费水泥卷。

3.2.7 树脂卷是将树脂胶黏剂和固化剂按一定比例分别封装于一个聚酯薄膜袋中相互隔离的两个腔内的一种锚固剂。装入锚杆孔内的树脂卷被旋转的锚杆体端部捅破后，树脂胶黏剂和固化剂混合，产生化学反应，很快固化，将锚杆体锚固于孔内。安装机具可采用煤电钻、风动搅拌器或由凿岩机改装，连接器必须与锚杆杆体同心。

3.2.8 锚筋桩是用于要求高抗剪强度的部位，其桩孔孔径不仅要考虑钢筋根数、钢筋直径、注浆管和排气管所占空间，还要考虑钢筋间距能通过砂浆浆液，即钢筋间不能完全密贴，要留有空隙，以免形成中空的锚筋桩。

3.2.9 锚杆安装后，通常在孔口处用铁楔将锚杆楔紧，以防在砂浆凝固之前锚杆发生位移。在黏结材料凝固之前不得敲击、碰撞或拉拔锚杆，是为了防止黏结材料受扰动而影响黏结力。

3.3 张拉型锚杆

3.3.1 张拉锚杆可用于临时性支护，也用于永久支护，普通张拉锚杆一般采用扳手拧紧螺帽，设计无要求时没有最小张拉力要求，由施工人员凭经验掌握。其优点是可很快约束岩石表面的松弛。

3.3.2 在端头锚固中，黏结式的一般都比机械式的锚固力大，加工容易、成本低。而端头黏结式的预应力锚杆，其张拉是在锚固段砂浆强度达到设计强度的 75% 以上而自由段砂浆未达初凝时进行，或在张拉后再进行自由段的二次注浆；普通张拉锚杆不分锚固段与自由段，因此，张拉在砂浆强度达 75% 以上时进行并锁定。

3.3.3 螺纹钢筋冷拉后提高了屈服点，从而提高设计强度。在满足一定的张拉控制应力的条件下，采用冷拉钢筋比非冷拉钢筋节省材料。

高强精轧螺纹钢筋可用专用套筒连接，用专用螺母作预应力端部锚固，从而简化预应力工艺是理想的预应力钢筋。目前国产的高强精轧螺纹钢筋还处于试验研究阶段，尚未大批量生产，未列入国家及行业标准，下述外形尺寸（见表 3-2）和钢筋力学性能（见表 3-3）仅供参考。

表 3-2 高强精轧螺纹钢筋外形尺寸

国名	公称直径 d_0 (mm)	标准尺寸							截面 计算 面积 (cm^2)	理论 质量 (kg/m)
		基圆直径		螺纹 高 h (mm)	螺纹底 宽 b (mm)	螺距 L (mm)	螺纹根 弧 r (mm)	导角 α		
		d_h (mm)	d_v (mm)							
中国	25	25	25	1.6	6.0	12	1.0	81.5°	4.91	3.85
	32	32	32	2.0	7.0	16	2.0	81.5°	8.04	6.31

续表 3-2

国名	公称直径 d_0 (mm)	标准尺寸							截面 计算 面积 (cm^2)	理论 质量 (kg/m)
		基圆直径		螺 纹 高 h (mm)	螺 纹 底 宽 b (mm)	螺 距 L (mm)	螺 纹 根 弧 r (mm)	导角 α		
		d_h (mm)	d_v (mm)							
德国	20	19.8	19.5	1.5	5.0	12	1.5	$\approx 80^\circ$	5.25	—
	26	25.7	25.4	1.8	6.0	13	2.0	$\approx 81^\circ$	5.31	—
	28	27.8	27.5	1.9	6.5	14	2.0	$\approx 81^\circ$	6.16	—

表 3-3 高强精轧螺纹钢筋力学性能

级别	直径 (mm)	屈服强度 σ_s (MPa)	抗拉强度 σ_b (MPa)	冷弯	伸长率 δ_5 (%)
735	32	735	885	90°, $d=7a$	7
735	25	735	885		8
930	25	930	1080	90°, $d=8a$	

3.3.6 张拉锚杆孔口用早强砂浆做平整处理，一是为了避免托板与岩面之间局部接触而降低承载能力；二是如果采用千斤顶进行张拉，可为千斤顶的支腿提供平整的支承面。

3.3.7 锚杆张拉可采用穿心式千斤顶、拉伸机、扭力扳手等机具进行张拉。

张拉过程中如果锚杆不是轴向受力，则反映出来的张拉力不是锚杆的轴向拉力，则无法控制锚杆达到设计张拉力，必要时应在托板和螺帽之间设置球面垫圈。球面垫圈的作用是保证在托板与锚杆杆体之间的垂直度有偏差时垫圈也能与托板紧密接触，从而保证锚杆轴向受力和螺帽可靠地锁定预应力。

张拉锚杆虽然没有设计张拉力的要求，但为了使托板与岩面靠紧从而使锚杆具有支护作用，操作人员应采用扳手尽力拧紧螺帽，张拉锚杆拧紧螺帽的扭矩不应小于 $100\text{N} \cdot \text{m}$ 。

3.3.8 用水泥卷作为张拉型锚杆锚固段的锚固剂，应选用早强型

水泥卷，其达到设计锚固力的时间须通过试验确定。

3.3.9 速凝树脂卷的固化时间一般为数分钟，所以，要求树脂卷被搅拌完毕后 150min 再进行张拉，保证树脂卷已完全固化。有的工程的预应力锚杆（例如大朝山地下厂房和水布垭地下厂房），锚杆的黏结材料（缓凝树脂卷与锚固段的速凝树脂卷）一并装入锚杆孔内，一起搅拌。为了保证锚杆体张拉段在张拉时自由位移，应在缓凝树脂卷固化之前进行张拉。缓凝树脂卷的固化时间一般为 2h~4h，可按需要配制。

3.3.10、3.3.11 这几类机械式锚杆一般用于临时性的支护，如要做永久性支护，则在锚杆张拉锁定后，要进行全孔注浆将杆体用砂浆饱满充填。胀壳式锚杆都由厂家专门制作，而楔缝式锚杆的锚固头仅仅是一个倒楔体而已，制作安装都十分容易、简便，这里不多叙述。

3.4 摩擦型锚杆

3.4.2 缝管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，应保证管壁与钻孔壁结合紧密，因此采用缝管锚杆时，钻孔应严格按设计的孔径施工，合理选择造孔钻头，孔径大小应均匀。在相同的锚杆管壁挤压力作用下，岩石强度越高，锚杆孔孔壁变形越小，孔径与杆径之差也越小。

3.4.4 为使缝管锚杆安装到位，采用风动凿岩机强行将锚杆全部挤入锚杆孔中。在推进锚杆过程中，使凿岩机、锚杆杆体和钻孔中心线在同一轴线上，目的是减少推进阻力和防止锚杆横向变形。当托板抵紧岩壁面时，若再继续推进，可能使焊接在杆体尾部的环向法兰破坏。

凿岩机的工作风压不应小于 0.40MPa。

3.4.5 水胀式锚杆是将薄壁钢管加工成异型空腔式杆件，插入孔中后，向杆体内腔注入高压水（压力大于 30MPa），使杆体膨胀并与孔壁紧密接触，使孔壁承受径向压力而产生微胀。因此在孔

长度方向上沿孔壁产生非均匀分布的摩阻力。水胀式锚杆安装速度快（每根的安装时间约为 2min），安装后立即具有锚固力，而且抗震性能好。所以，在软弱、破碎、高地应力、围岩变形大的地段，使用水胀式锚杆的效果好。由于是薄壁管且止水塞长久会产生腐蚀等问题，因此不宜使用于永久工程。

国产的水胀式锚杆锚固力一般为 80kN，杆体的破断力为 96kN，单位长度的摩阻力为 78.4kN/m~156kN/m，注水压力为 30MPa 以上。

瑞典 Atlas Copco 公司生产的水胀式锚杆，标准型的锚固力为 100kN，加强型的锚固力可达 220kN。

水胀式锚杆的注水泵宜采用柱塞泵，注水流量为 6L/min~12L/min，电机功率为 3kW，应配备高压管及注水器。

3.5 管式锚杆及自钻式锚杆

3.5.1~3.5.3 管式锚杆用于软弱、破碎的围岩。因管壁有孔，可将浆液在全长孔内注入岩体中，并起到固结围岩作用。在这类围岩中，由于围岩松散，锚杆孔塌孔严重。因此，管式锚杆一般是采用冲击式风动工具打入锚杆孔内。遇有块石的围岩，可先用钻机先打引导孔后再用风动工具将管式锚杆压入孔内。为减少阻力，应将杆体前端加工成不大于 45°的尖角，仅在杆体前端 1/2~2/3 长度内管壁穿孔以作灌浆通道，对大口径管棚，一般长度都超过 20m，尾端管壁不穿孔段长度为 1m~2m。注浆压力一般要通过试验并视锚杆部位而定，顶拱系统锚杆，注浆压力往往会超过 1MPa，而边墙和用作管棚的锚杆，注浆压力一般不超过 0.5MPa，注浆结束时间往往通过恒定注浆压力持续时间确定。

3.5.4 自钻式锚杆是一种集造孔、注浆功能为一体的锚杆，适用于地质条件差、易于坍塌地段。这种锚杆的杆体前端带有钻头，造孔后不再拔出，利用杆体空腔注浆，浆液自孔底向孔口返回浆

液，这其实是一种理想主义的锚杆。实践证明，在造孔过程中，整个锚杆孔都存在塌孔现象，因此，在注浆过程中由于塌孔的原因，使浆液无法返回到孔口，往往只能在锚杆头端部充满浆液，而整个杆体内仍是空腔和未胶结的碎渣，所以实际上是一种端头锚固型锚杆，是在松散、破碎围岩中不宜使用的锚杆，因此自钻式锚杆要慎用。

4 喷射混凝土施工

4.1 原 材 料

4.1.1 优先选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥是因为早期强度高，性能稳定。矿渣水泥和火山灰质水泥早期强度较低，喷混凝土采用这两种水泥时，应适当提高水泥强度等级。当地下水含有硫酸盐腐蚀介质，可采用抗硫酸盐水泥。对喷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。

4.1.2 天然砂磨圆度好，级配良好，应优先选用。

为了保证喷射混凝土的质量，减少收缩，降低粉尘，应采用中粗砂，细度模数宜为 2.5~3.0。

对于喷法而言，砂的含水率宜控制在 5%~7%，是为了减少搅拌混合料时的粉尘；有利于水泥的充分水化及混合料在喷头处加水后易于混合均匀，减少回弹；喷头处应加水量稳定，喷射手便于掌握加水量，有利于保证喷射混凝土的质量。

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，避免堵塞管路，故规定最大骨料粒径不宜大于 15mm。

骨料级配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 5.1.2 给出的骨料级配最佳。

碱性速凝剂与含有活性二氧化硅的骨料（即碱活性骨料）容易产生碱骨料反应，引起喷射混凝土的剥裂破坏。

4.1.3 从施工现场收集的回弹骨料中，含有速凝剂、已部分水化的水泥以及杂物，再次使用将会降低喷混凝土强度。因此，在主体工程不应重复使用喷射回弹料，用于临时工程也需经过试验、

论证。

4.1.4 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，所以在喷射混凝土中需加入速凝剂。同一种速凝剂对于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的相容性试验。

当前，喷射混凝土外加剂的类型和品种不断增加，还经常将几种外加剂复合使用。为取得使用外加剂的最佳效果，防止某些副作用的发生，使用前应进行必要的试验。

4.2 施 工 机 具

4.2.2 几种国产干式喷射机技术性能见表 4-1。

表 4-1 几种国产干式喷射机的技术性能

指标		喷射机类型					
		CP-5	CP-9	PC5B	PC6B	PCZ-5	PZ-5D
适用范围		干喷、潮喷	干喷、潮喷	干喷、潮喷	干喷、潮喷	干喷、潮喷	干喷、潮喷、湿喷
生产能力干混合料 (m ³ /h)		5	8.5~9	5	6	5	5
工作风压 (MPa)		0.2~0.4	0.2~0.4	0.1~0.4	0.1~0.4	0.15~0.4	0.2~0.4
耗风量 (m ³ /min)		7~8	10~12	5~8	5~8	7~8	5~8
骨料最大粒径 (mm)		15	20	20	20	20	19
输料管内径 (mm)		50	65	50	50	50	51
输送距离 (mm)	水平	200	200	200	200	200	140
	垂直			50	50	50	

续表 4-1

指标		喷射机类型					
		CP-5	CP-9	PC5B	PC6B	PCZ-5	PZ-5D
电机功率 (kW)		5.5					
外形 尺寸 (mm)	长 宽 高	1250 780 1200	1300 800 1300	1196 740 1110	1300 800 1200	1300 740 1200	1400 1150
质量 (kg)		700	850	560	750	750	700

4.2.3 采用湿式喷射机喷射混凝土，具有强度高、粉尘浓度小、工作环境好等优点。湿喷混凝土技术在国内外已普遍应用，生产的湿喷机的性能也比较稳定。近几年我国越来越多地采用湿喷技术，湿式喷射机开始批量生产。几种湿式喷射机的技术性能见表 4-2。

表 4-2 几种湿式喷射机的技术性能

型号	TK-96	CPS2000	HPZ-5	HTS-300	SPZ-6	HSP-5	AL-500A	AMV Rainimax	Meyco Petnta	
生产能力 (m ³ /h)	5	5	5.5	4~5	6	4.5~5	10~15	15	30	
骨料最大 粒径 (mm)	15	15	20	25	25	15	15	20	22	
输料管内 径 (mm)		50/65	50		51	50~60	65			
压缩空气 耗量 (m ³ /min)	10	12~15	7~8	8~10	9	15	20	12.8	12	
最大输 送距离 (m)	水平	30	30	200	40	40	30	30	10	20
	垂直	26			20			25	10	14

续表 4-2

型号	TK-96	CPS2000	HPZ-5	HTS-300	SPZ-6	HSP-5	AL-500A	AMV Rainimax	Meyco Petnta
质量 (kg)		1500	700	1020	850	1080	13500		
外形尺寸 (mm)	长	2600	1520	2250	1790	2160	7400		
	宽	1100	820	1150	900	1050	2340		
	高	1350	180	1300	1200	1170	3000		

4.2.4 采用强制式搅拌机可以降低粉尘浓度。

4.2.5 喷射混凝土施工所用的压缩空气，风压与风量均应满足要求。若风压与风量不足，物料在管路内的运动速度减慢，易产生堵管，从而减弱冲击捣实力，造成混凝土的密实性差。

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。

4.2.6 在喷射混凝土施工中，输送混合料的输料管要承受 0.1MPa~0.6MPa 的压力，管壁要经受混合料的反复磨损。为了保证施工安全并满足正常施工的要求，对输料管的技术性能做了相应的规定。

4.2.7 混合料通过喷头时的压力约为 0.1MPa，为使水环喷出的水能穿透混合料料流，使水与混合料均匀混合，要求供水压力应超过 0.2MPa。供水设施一般为高位水池、水泵或加压水箱。

4.2.8 当喷射机喂料口高度较大，或者混合料含水较多、速凝剂需要在喷射机入口处掺入时，宜采用皮带上料。皮带机倾角不能过大，以避免混合料分离。

4.3 混合料的配合比、拌制和运输

4.3.1 本规范所规定的配合比，是经过多年实践验证的，而且是普遍采用的。按规定的配合比拌制混合料，可保证喷射混凝土的强度，减少回弹，降低粉尘。

由于不同品种速凝剂的速凝效果不同；即使同一品种的速凝剂，对不同厂家生产的同一规格的水泥，也有不同的速凝效果。如果速凝剂或其他外加剂掺量不当，不仅会影响速凝效果，而且会影响混凝土的早期强度和后期强度。因此，规定速凝剂和其他外加剂的使用，应根据产品说明书中提供的掺量范围，通过试验确定其最佳掺量。

目前用于喷射混凝土的外掺料主要是粉煤灰和硅粉。使用外掺料的目的主要是减少水泥用量、增加和易性，并降低成本。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，应通过试验确定其最佳掺量。

4.3.2 喷射混凝土中添加无机纳米材料、磨细硅粉，不仅能增加喷射混凝土强度，而且增加黏稠度，减少回弹，一般无机纳米材料添加用量不超过水泥用量的10%。

4.3.3 规定原材料称量的允许偏差和混合料的搅拌时间，是为了保证喷射混凝土的均匀性。混合料掺有外加剂或外掺料时，搅拌时间应适当延长。

4.3.4、4.3.5 为了减少施工粉尘，可采用湿砂拌制混合料。由于拌成的混合料是潮湿的，因此也称为“潮喷法”。实践证明，砂料的含水量小于6%时，减尘效果不明显。如砂料含水量大于10%，水泥易黏附于喷射机内壁，影响机械的正常工作，或在喷射过程中频繁出现堵管等故障。

水泥与水及速凝剂拌和后，很快就开始凝结，因此，混合料停放时间不宜过长。采用含水量为8%~10%的湿砂料拌制的混合料，在加入速凝剂之后应很快就喷射出去，所以要求速凝剂在喷射机的上料皮带上或在输料管内掺入。

不掺速凝剂的混合料，存放时间超过2h也会出现初凝，因此要求存放时间不应超过2h。

潮喷混凝土目前在各大小工地得到大量采用，它适用于软岩中地下洞室开挖后需要立即喷上一层混凝土的情况，用量少。因

此施工方不愿做喷射量小的湿喷作业程序，而干喷既不能保证质量，又不能保证施工环境，因此常常采用潮喷混凝土方法施工。潮喷混凝土方法施工操作程序中，施工机械完全相同于干喷混凝土，仅仅是在干拌混凝土料的过程中先加入设计用水量的 8%，但是拌料后，应在 1h 以内将所有拌料喷射完毕。

4.3.6 湿喷混凝土混合料加入速凝剂后应立即喷射，避免水泥的水化作用提前发生。因此，要求速凝剂应在喷头或输料管的适当部位加入。湿喷混凝土经常采用液态速凝剂，配制液态速凝剂的用水量应在拌制混合料时扣除。

4.3.7 无论是干混合料还是湿混合料，在喷射之前都不允许进入多余的水，以避免影响混凝土的质量。

4.4 喷射作业

4.4.1 为了保证安全文明施工，按计划顺利地进行喷射混凝土作业，应在喷射混凝土施工前，清理好场地，拆除作业面障碍物。开挖面的浮石既威胁施工安全，也影响支护质量，应清除。清除墙脚的石渣和堆积物，是为了使喷混凝土能够喷到墙脚，防止边墙喷层出现“失脚”现象。

用高压风水冲洗受喷面，可将岩面的岩粉、碎浮石冲洗掉，保证喷射混凝土与受喷面黏结牢固。

受喷面的污染可能表现为局部油污、局部烟熏（内燃设备排烟或其他烟熏）或砂浆（混凝土）污染等。这些污染都会影响喷混凝土与受喷面的黏结，应采取凿除、打毛或化学的方法进行处理。

受喷面渗水、漏水，直接影响喷射混凝土施工质量。所以，应在喷射作业前做好治水工作。尤其是在地下水水压力大的部位，更要重视治水工作。治水的方法很多，应因地制宜采取措施，但治水的原则是将渗水、漏水集中、导出，不使其被喷混凝土层覆盖后“击穿”混凝土。

4.4.2 喷射机的正确使用是保证喷射混凝土施工质量的关键。因此，喷射机操作人员应经过培训、持证上岗，在操作过程中严格执行操作规程，保证喷射机正常、稳定地进行工作。

完成喷射作业或因故中断喷射作业时，应清除喷射机和输料管内的积料，以方便喷射机的再次使用或安全处理故障。

4.4.3 喷头的良好工作状态，主要包括水环出水孔的畅通和喷头各部件之间的良好密封。

实践证明，喷射作业时，当喷头与受喷面保持垂直，距离0.8m~1.2m的情况下，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。

干法喷射作业的水灰比，是由喷射手根据经验在喷头部位控制的，主要凭经验目测。当喷射混凝土表面平整，呈湿润光泽，无干斑或滑移流淌现象，这时的水灰比是合适的，一般在0.40~0.45。

4.4.4 喷射作业分段、分片依次进行，便于施工管理，有利于保证喷射支护的质量。喷射顺序自下而上，可避免松散的回弹物料污染待喷面，并且由于下部喷层对上部喷层的支托作用，有利于避免喷混凝土的脱落。

实践经验表明，只有当壁面上形成10mm左右的塑性层后，粗骨料才能嵌入。为减少回弹损失，一次喷射厚度不宜过小。但也不能过大，一次喷射厚度过大容易造成“离层”而影响混凝土的黏结力与凝聚力，甚至因自重过大而脱落。

当喷射混凝土设计厚度超过本规范规定的一次喷射厚度时，则应分层进行喷射。若前一层喷射混凝土未达到终凝就进行后一层喷射，会扰动前一层混凝土结构，并可能导致前一层混凝土与受喷面之间脱空甚至脱落。因此，要求后一层喷射应在前一层喷射混凝土终凝并达到一定强度后进行。

工程实践表明，喷射混凝土终凝后4h，在其紧跟的开挖工作面放炮，喷射混凝土的凝聚力及其与壁面的黏结力足以抵抗爆破

的振动影响，不会导致混凝土开裂、脱空或脱落。

4.4.5 喷射混凝土表面的平整度对水工隧洞十分重要，壁面平整则粗糙系数小，过流能力大。

4.4.6 在喷射混凝土原材料中加入外加剂和掺合料后(纳米材料、硅粉等)，其喷射回弹率可以很大程度减少。锦屏二级实测后边顶综合回弹率不超过 16%。

4.4.7 在低温条件下进行喷射混凝土作业，混凝土凝结时间延长，强度增长缓慢，使一次喷射混凝土的厚度减少，回弹率增大。为控制以上问题，要求作业区气温和混合料的温度不应低于+5℃；并要求结合现场实际条件通过试验来决定速凝剂掺量。

喷射混凝土允许受冻的最低强度，根据原规范采用的《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB 50086 规定的标准。

4.4.8 喷射混凝土因水泥用量较大并掺有速凝剂，因而收缩变形要比现浇混凝土大。因此，在喷射混凝土施工后，应按规定进行喷水养护。

4.5 纤维喷射混凝土

4.5.2、4.5.3 室内试验结果表明，掺加钢纤维可有效提高喷射混凝土力学性能，在实际应用中，钢纤维含量超过 45kg/m^3 的混凝土在拌制和输送过程中易结团，导致堵管及喷层不均匀现象，不利于控制质量。

钢纤维喷混凝土时，应在标准配比中适当减少豆石 10%、提高砂率 10%~15%，使钢纤维喷混凝土具有良好的泵送性。

拌制钢纤维喷射混凝土的混和料，可采用强制式搅拌机，也可采用自落式搅拌机。采用强制式搅拌机，应配合使用钢纤维播料机，边搅拌边添加钢纤维，将钢纤维均匀添加到强制式搅拌机内与砂、石、水泥均匀混合。采用自落式搅拌机，可将钢纤维过筛后连同砂、石、水泥一起放进上料斗进入搅拌机进行搅拌。由于滚筒的不断翻滚抖落，使钢纤维均匀分散到混合料中。

无论采用哪种搅拌方法，都要求钢纤维在混合料中分布均匀，不得成团，以保证混凝土质量和施工的顺利进行。

钢纤维喷射混凝土表面往往有钢纤维穿出。为防止外露的钢纤维伤人及钢纤维锈蚀，应素喷砂浆覆盖其表面。

4.5.4 对聚丙烯，水电行业还没有统一标准，目前水电工地使用的聚丙烯性能指标见表 4-4。

表 4-4 聚丙烯的基本性能

比重 (g/cm ³)	纤维长度 (mm)	燃点 (℃)	熔点 (℃)	断裂强度 (MPa)	断裂伸长率 (%)	直径 (mm)
0.91	15~19	580	160~170	≥450	≥15	30±1

聚丙烯喷射混凝土中的聚丙烯因分散性不好，极易结成团，因此应要先干拌到足够分散后再加水搅拌。

5 锚喷联合支护施工

5.1 钢筋网喷射混凝土

5.1.1 钢筋网喷射混凝土的作用是依靠钢筋网与喷射混凝土的黏结，增强锚喷支护的整体性，提高喷射混凝土的抗剪切能力。为保证钢筋网的质量，应对钢筋的规格、材质进行检查，钢筋使用前应除锈、除污，钢筋网的网格尺寸应符合设计要求，网格一般以 $15\text{cm} \times 15\text{cm} \sim 25\text{cm} \times 25\text{cm}$ 为宜，网格太密，喷混凝土料黏附在钢筋上，使喷层产生架空现象。

5.1.2 要求钢筋网沿开挖面铺设，是为了使钢筋网较好地被喷射混凝土覆盖。钢筋网应与锚杆连接牢固，否则喷射混凝土时容易产生颤动，影响喷混凝土的凝结，使喷层与钢筋之间或喷层与围岩之间的黏结遭到破坏，甚至造成喷层的脱落。

5.1.3 本条规定有利于充分发挥双层钢筋网的受力作用，并减少喷射混凝土的回弹，防止喷层架空，保证混凝土的密实性。

5.1.4 开始向钢筋网喷射混凝土时，要随时调整喷射角度和适当减小喷射距离，以提高喷射混凝土料流的冲击力，使混凝土挤入钢筋网背后，保证钢筋网被混凝土完全包裹，并使混凝土喷层密实。

当喷射表层混凝土时，要适当拉大喷射距离至 $0.6\text{m} \sim 1.2\text{m}$ ，使混凝土喷层厚度均匀，表面平整。

如有脱落的混凝土或大量回弹物被钢筋网架住，则喷混凝土无法与岩面黏结，在钢筋网与岩面之间形成空腔，严重影响钢筋网喷射混凝土支护的质量。这时应及时清除架空的物料，重新喷射混凝土。

5.1.5 喷射混凝土填满钢筋与岩面之间的空隙并与钢筋黏结良好，才能使钢筋网喷射混凝土支护与围岩形成整体，共同承载，充分发挥围岩本身的承载能力。

5.2 钢拱架、钢筋网联合喷射混凝土支护

5.2.2 钢拱架支护要求钢拱架尽量紧靠岩面，以便于在钢拱架与岩面之间用喷混凝土料填满。所以，安装钢拱架之前应测量洞室的开挖轮廓尺寸，如实际开挖轮廓尺寸与钢拱架的形状尺寸出入较大，应对后者进行调整，以保证其能够紧靠岩面。

由于安设钢拱架的部位围岩条件差，对钢拱架受力要求较为严格，所以对钢拱架的安装精度作了规定。

为保证钢拱架可靠地承受荷载，其底脚应置于坚硬牢固的基础上。

为了使钢拱架安装后能及时承受围岩的荷载，应在钢拱架与围岩之间加若干石块、铁楔子及喷混凝土等，用来传递荷载。相邻钢拱架之间联结牢靠，有利于钢拱架作为整体承受荷载，提高承载能力。

将钢拱架与锚杆相连接，有利于钢拱架与围岩共同发挥作用，提高承载能力。锁脚锚杆对控制顶拱下沉作用明显，理论与实践表明，当锁脚锚杆打设角度为 45° 左右时，支护效果较好。

5.2.3 双层钢筋网的第二层钢筋网焊接在钢拱架上，有利于钢筋网喷射混凝土与钢拱架联合承载。

5.2.4 用喷射混凝土将钢拱架与岩面之间的空隙充填密实，有利于钢拱架与喷混凝土层及围岩共同发挥作用，提高承载能力。

为了适应围岩的变形，有时将钢拱架制成可缩型。对于可缩型钢拱架的可缩性节点，喷射混凝土时应加以保护，以保证其变形灵活。

5.2.5 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，应及时进行施工期现场监控量

测，依靠监测信息准确掌握围岩变形情况和支护时机，及时调整支护方案和支护参数。

紧跟开挖工作面进行支护、及时封闭开挖面、超前锚固、底拱锚固或封闭仰拱等措施，均能有效地限制有害变形的发展。

规定喷射混凝土作业完成后 4h、砂浆锚杆安装后 6h、监测仪器埋设后方可进行下一循环的爆破作业，可保证前一循环的喷射混凝土和锚杆达到一定强度。

5.2.6 有些危石已处于极限平衡状态，钻孔时的振动有可能使其塌落。对于拱部危石，为了保证施工安全，先素喷一层混凝土（最好采用机械手），再架设钢拱架可以很大程度提高其安全度；然后打设短锚杆（最好采用凿岩台车），利用短锚杆挂一层钢筋网；然后再喷一层混凝土，可以进一步提高其安全度；在此基础上，再打设深部锚杆，可以对危石进行彻底加固。对于边墙部位的危石，为了保证安全，一般采用挖一层、锚一层的“边挖边锚”的措施，特殊情况下需要采取“先锚后挖”的措施。

5.2.7 工程经验表明，延伸的距离为 1 倍洞径左右。

5.2.8 大量工程实践证明，采用锚喷与其支护形式进行的联合支护，在各类地层中都是适用的，一定程度上是锚喷支护参数的选取决定了围岩稳定与否，即锚杆排间距与长度，如在膨胀性土、淤泥质土及湿陷性黄土中配系统锚杆，其排间距常常不大于 0.5m，锚杆深度也取决于洞室断面大小，但在相同尺寸洞室中，此几类土的锚杆深度要大得多。大量工程说明，进行稳定性计算是很难得出一个合理的结果的。

6 安全技术与防尘防护

6.1 安全技术

6.1.1 锚喷支护作业是在地下洞室封闭环境中进行。为了保证施工安全和作业人员健康，应制定详细的、切实可行的安全技术措施，采取合理的施工程序和技术措施。

6.1.3~6.1.5 锚喷施工使用压缩空气、压力水、压力油的设备和器具，均应具有足够的耐压能力和良好的密封性能；使用过程中应能及时、准确掌握并控制其使用压力，使其不超过额定压力；发现耐压部件出现薄弱部位，应及时处理，以防止有压力物质突然泄漏，造成事故。

6.1.6 施工过程中处理故障时，应停机、断电、停风，防止机械误操作造成事故。故障处理结束，在开机送风、送电之前，通知有关作业人员，防止有人处于危险位置而因突然开机受到伤害。

6.1.8 喷射混凝土作业时，输料管堵塞是常会发生的，如处理措施不当，易造成人身伤害。采用敲击法疏通比较安全，这种方法要求停风操作，通过敲击输料管，使堵塞的物料松动，随着敲击，物料随着从输料管中倒出，直至输料管被全部疏通。如果采用压风疏通，应控制风压不能过大；保持管路顺直以减少阻力，并防止疏通的瞬间由于压风的反作用力使管路突然摆动；喷头应可靠地固定以防止喷头摆动。

6.1.10 竖井内输料钢管使用法兰盘连接比焊接易于操作，而且适应变形的能力大。悬吊钢管应采用钢丝绳，应该在钢管的全长上悬吊，每隔一定的高度，将钢管与钢丝绳加以固定，以减少法兰盘连接部位承受的荷载。

6.2 防 尘 防 护

6.2.1 喷射机如果密封不好，水泥会随泄漏的风压进入空气，增加粉尘浓度。所以，喷射机应保持良好的密封性。

6.2.2 锚喷支护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。有关标准规定详见表6-1。

表 6-1 允许的最高粉尘浓度控制限值表 (mg/m³)

游离二氧化硅含量	煤炭行业	冶金行业	工业企业卫生标准
>10%	2	2	2
<10%	10	10	6*
			10**

注：表中的“*”为水泥粉尘，“**”为煤粉尘。

6.2.3 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、测试，通过工程实践创造、推广了不少行之有效的工艺和措施，例如湿喷法、水泥裹砂法、潮料掺浆法等，都能有效地降低粉尘含量。此外，在喷头处采用双水环，在喷射机及混合料搅拌站设置除尘器，在作业面设置除尘水幕，加强通风，采用增黏外加剂等，都是有效的降尘、防尘措施。要使粉尘浓度不超过允许浓度，应采取先进的技术和工艺，采取综合防尘措施。

7 质 量 检 查

7.1 锚 杆

7.1.2 摩擦型锚杆主要检查其抗拔力和锚杆深度。全长黏结型锚杆抗拔力的检查不能取代锚孔内黏结材料密实度的检查，因为只要黏结长度超过 20 倍杆体直径，其抗拔力都能满足要求，但锚孔中并不一定都充满了黏结材料。

如何检查锚杆孔内黏结材料的密实度和锚杆深度，国内目前还没有简单易行的可靠方法，因此现场监督极为重要。要保证黏结材料的密实度，要依靠采取合理、可靠的工艺措施来实现。瑞典生产的 011 型锚杆估测仪在国际上已较为普遍地应用，它用弹性波的传播情况来判定注浆的饱满程度，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。目前，水电行业采用的声波反射法对浆液饱满度和锚杆长度进行测定，准确率较高。

在抽取的每一组试件中，应包括边墙和顶拱锚杆，因为同样的注浆工艺对于边墙和顶拱的锚杆注浆效果可能不同。

张拉锚杆，其张拉力不大，而且张拉时一般不测定张拉力，由操作人员采用适当长度的扳手尽力拧紧螺帽即可。所以，检查其质量时，主要观察垫板与岩面是否紧密接触、垫板的强度和刚度是否足够即是否出现弯曲变形。

预应力锚杆在重要工程用得较多，其质量好坏对工程的安全性有重要影响。所以检查预应力锚杆的质量，不能仅凭观察，更重要的是要检查锚杆性能试验结果、验收检验资料和施工记录，判断其是否符合设计要求。

7.2 喷射混凝土

7.2.1 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、速凝剂等。控制喷射混凝土的质量应首先控制原材料的质量。因此，要求水泥应符合国家标准的规定，并应有出厂合格证；砂、石的质量应符合设计要求；速凝剂等外加剂应符合行业标准，并有产品合格证。

由于材料用量较大，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。

7.2.2 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比抽查两次，并详细记录抽查情况。

7.2.3 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也能反映其他力学性能，所以只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。

为了真实反映喷射混凝土的施工质量，喷射混凝土强度的检测试件应在喷射作业过程中抽样，可采用喷大板法制取，也可以在喷射混凝土达到一定强度后，在工程的代表部位钻取芯样。

7.2.4 喷射混凝土强度验收合格条件分为永久支护工程和临时支护工程两种情况。

临时支护工程的规定，其设计强度等级的保证率要求达 50%。

永久支护工程的规定，其设计强度等级的保证率要求达 95% 以上。主要考虑以下几个方面：

- 1) 采用计量抽样检验方案，能以较少的检验数量，得到有关产品质量的较多信息。
- 2) 采用母体标准未知的形式。这对于地下工程施工水平不易稳定、喷射混凝土质量易于波动的情况较为适用。
- 3) 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, 则错判概率越大, 而漏判概率越小, 验收标准越提升, 可能造成工程费用的浪费; K_1 值越小, 验收标准越低, 可能造成对结构物安全的不利影响。为保证漏判概率不随试块组数而变化, K_1 值的取值应随试块组数的增加而减小。表 7.2.4 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。

7.2.5 对于有压水工隧洞等有特殊要求的洞室, 考虑洞室渗漏的影响, 应检查喷射混凝土的抗渗指标。考虑外水压力的影响时, 应检查喷射混凝土的抗渗指标、抗拉强度、与围岩的黏结力。寒冷地区应检查喷射混凝土的抗冻性能。

采用喷射混凝土对水工建筑物补强加固时, 应检查喷射混凝土与受喷面的黏结强度。

7.2.6 采用钻孔方法检查喷射混凝土厚度, 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, 易于钻孔, 若发现厚度不够, 亦便于及时补喷。孔内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, 混凝土因具有碱性而表面呈红色。

7.2.7 喷射混凝土的整体性检查应在工程验收时进行, 以外观检查为主。
