

ICS 27.140

P 59

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5083 — 2019

代替 DL/T 5083 — 2010

水电水利工程预应力锚固施工规范

Specification of prestressing anchorage construction
for hydropower and water resources project

2019-6-4 发布

2019-10-01 实施

国家能源局 发布

中华人民共和国能源行业标准

水电水利工程预应力锚固施工规范

Specification of prestressing anchorage construction
for hydropower and water resources project

DL/T 5083—2019

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：2 0 1 9 年 1 0 月 2 日

中国电力出版社

2019 北京

国家能源局

公告

201×年 第×号

依据×××

前 言

根据“国家能源局关于下达 2016 年能源领域行业标准制（修）订计划的通知”（国能科技（2016）238 号）要求制定。

本规范编制过程中进行了深入调查研究，认真总结了工程实践经验，并广泛征求了有关方面的意见。主要内容包括材料与设备、施工、试验与监测、安全与环境保护、质量检查与验收。

本规范修订的主要技术内容是：

- 为使规范涵盖更全面，名称更准确，将规范名称变更为《水电水利工程预应力锚固施工规范》；
- 删除了原规范中的“范围”一章和“总则”中部分条款；
- 增加了“预应力锚杆、锚墩”术语解释，修改了“预应力锚索”术语解释，删除了“预应力用钢绞线、涂层、修补材料、套管、外锚头”术语解释，按照逻辑关系、重要程度调整了术语解释的顺序；
- 增加了“基本规定”章节，第 5、6 章增加了“一般规定”章节；
- 增加了预应力用螺纹钢筋、自钻式预应力锚杆等预应力材料相关内容；
- 增加了夹具、连接器材料使用要求相关内容；
- 增加了灌浆材料章节；
- 增加了拉力分散型预应力锚索、拉压复合型预应力锚索的制作和安装要求；
- 试验与监测章节增加了“仪器埋设”相关内容；
- 将原“质量与安全”、“环境保护”和“验收”三个章节调整为“安全与环境保护”、“质量检查与验收”两个章节；
- 删除原“质量检查与验收”章节列举的检查项目，将附录 F 作为“质量检查与验收”章节质量检查项目；
- 附录 E 增加了“内缩量的测量方法”。

本规范实施后代替 DL/T5083—2010。

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归口。

本规范主编单位：中国葛洲坝集团第二工程有限公司

中国葛洲坝集团股份有限公司

本规范参编单位：中国水利水电第三工程局有限公司

四川准达岩土工程有限责任公司

柳州欧维姆机械股份有限公司

本规范主要起草人员：李俊 林本华 戈文武 杨俊志 闫平 金志斌 廖勇

黄芳玮 吴琴凤 冯杨文 曹琳 余超 曹佼 邓德彬

任瑞城 周丹丹 刘桃红 张晓军 刘水康 李建涛 罗嗣松

张仁义 董中秀 徐丽 张臣 刘昕

本规范主要审查人员：孙来成 汪毅 梅锦煜 周厚贵 楚跃先 刘冬霓 程志华

郭光文 谭恺炎 王鹏禹 席浩 吴高见 杨成文 向建

涂怀健 杨和明 沈益源 杨涛 和孙文 何小雄 吴秀荣

杨清 朱明星 贾志营 覃春安

目 次

1 总则	1
2 术语	2
3 基本规定	4
4 材料与设备	5
4.1 一般规定	5
4.2 锚索锚杆材料	5
4.3 锚夹具、连接器	6
4.4 防护材料	6
4.5 灌浆材料	7
4.6 造孔、张拉及灌浆设备	7
5 施工	9
5.1 一般规定	9
5.2 成孔	9
5.3 制作	10
5.4 安装	12
5.5 灌浆	14
5.6 锚墩	15
5.7 张拉	16
5.8 防护	18
6 试验与监测	19
6.1 试验	19
6.2 仪器埋设与监测	19
7 安全与环境保护	21
7.1 安全	21
7.2 环境保护	21
8 质量检查与验收	22
8.1 质量检查	22
8.2 验收	22
附录 A 钢绞线力学性能试验	23
附录 B 预应力钢绞线—锚具组装件静载试验	24
附录 C 锚具硬度检验	26
附录 D 张拉机具的配套标定	27
附录 E 预应力锚索伸长值的计算及内缩量测量方法	28
附录 F 预应力锚索施工记录及工序质量评定表	30
本规范用词说明	37
引用标准名录	38
附：条文说明	39

Contents

1	General	1
2	Terms	2
3	Basic Provisions	4
4	Materials and Equipment	5
4.1	General Provisions	5
4.2	Anchor Cable and Anchor Bolt Materials	5
4.3	Anchorage fixtures and Connectors	6
4.4	Protection Materials	6
4.5	Grouting Materials	7
4.6	Drilling, Tensioning and Grouting Equipment	7
5	Construction	9
5.1	General Provisions	9
5.2	Drilling	9
5.3	Manufacturing	10
5.4	Installation	12
5.5	Grouting	14
5.6	Anchor Pier	15
5.7	Tensioning	16
5.8	Protection	18
6	Test and Monitoring	19
6.1	Test	19
6.2	Instrument Embedding and Monitoring	19
7	Safety and Environmental Protection	21
7.1	Safety	21
7.2	Environmental Protection	21
8	Quality Inspection and Acceptance	22
8.1	Quality Inspection	22
8.2	Acceptance	22
	Appendix A Test of Mechanical Property of Steel Strands	23
	Appendix B Static Load Test of Prestressed Steel Strands-Anchorage Assembly Parts	24
	Appendix C Hardness Test of Anchorage	26
	Appendix D Calibration of Complete Set of Tensioning Machinery	27
	Appendix E Calculation on Elongation of Prestressed Anchor Cable and Measurement Method of Shrinkage	28
	Appendix F Construction Record and Quality Assessment Form for Prestressed Anchor Cable	30
	Explanation of Wording in This Specification	37
	List of Reference Standards	38
	Annex: Explanation of Provisions	39

1 总 则

- 1.0.1 为规范水电水利工程预应力锚固施工，满足工程安全、质量和经济合理的要求，制定本规范。
- 1.0.2 本规范适用于水电水利工程。
- 1.0.3 水电水利工程预应力锚固施工，除应符合本规范外，尚应符合国家现行的有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 预应力锚固 prestressed anchorage

通过对预应力锚索（杆）施加张拉力，使岩土体或混凝土结构物达到稳定状态或改善其内部应力状况的技术措施。

2.0.2 预应力锚杆 prestressed anchors

将张拉力传递到稳定的、适宜的岩土体或混凝土结构物中的一种受拉杆件(体系)。

2.0.3 预应力锚索 prestressing tendon

受拉杆件体由数股钢丝或钢绞线按照一定规律编排成束组成的预应力构件。

2.0.4 有粘结预应力锚索 bonded prestressing anchors

预应力钢绞线与浆液直接接触，锚索经张拉锁定、灌浆后张拉段与被锚固体无相对滑动的预应力锚索。

2.0.5 无粘结预应力锚索 unbonded prestressing anchors

预应力钢绞线经专用防腐油敷涂和外包层处理后编制成锚索，经张拉锁定后其张拉段在被锚固体内可相对滑动的预应力锚索。

2.0.6 缓粘结预应力锚索 delay bonded prestressing anchors

预应力钢绞线经胶黏剂处理后，初始具有无粘结锚索功能，当胶黏剂固化后即变为有粘结锚索。

2.0.7 拉力型预应力锚索 prestressing anchorage anchors on the tension type

锚索体内锚固段钢绞线与胶结材料粘结，施加预应力后，锚固段浆体结石处于受拉状态，应力集中在锚固段与张拉段结合部且往孔底方向迅速衰减的预应力锚索。

2.0.8 拉力分散型预应力锚索 prestressing anchorage anchors on the tension dispersion type

在锚索体的内锚固段分散设置多个钢绞线组与胶结体粘结，使预应力沿内锚固段分散传递至地层并且内锚固段胶结体处于受拉状态的预应力锚索。

2.0.9 压力型预应力锚索 prestressing anchorage anchors on the compression type

在锚索体内锚固段端部设置承载体，施加预应力后，承载体前的浆体结石处于受压状态的预应力锚索。

2.0.10 压力分散型预应力锚索 prestressing anchorage anchors on the compression-dispersion type

锚索内锚固段分散设置多个承载体，使预应力沿内锚固段分散传递至地层并且各承载体前的浆体结石处于受压状态的预应力锚索。

2.0.11 自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索 unbonded prestressing anchorage tendon on the multi-anchor and anticorrosion type

在锚索体的内锚固段分散设置多组承载体，每组承载体由承载板与辅助件组成，各根钢绞线的 P 型挤压锚固端经封装防护处理而成的防腐型单锚头嵌固于二者之间，各组承载体之间连接成一个整体，施加预应力后，预应力沿内锚固段分散传递至地层并且各承载体前的胶结体处于受压状态的预应力锚索。

2.0.12 拉压复合型预应力锚索 prestressing anchorage anchors on the tension-compression composite type

在锚索体的内锚固段分散设置多个承载体，各承载体上的钢绞线大致按均分设置为有粘结钢绞线与

无粘结钢绞线，或者单根钢绞线在承载体前部是无粘结钢绞线、在后部是有粘结钢绞线，施加预应力后，各承载体周围的胶结体处于受拉与受压复合状态的预应力锚索。

2.0.13 锚具 anchorage

用于保持预应力钢绞线（或预应力螺纹钢筋）的拉力并将其传递至被锚固体的锚固装置。

2.0.14 预应力钢绞线—锚具组装件 prestressing tendon anchorage assembly

预应力钢绞线与锚具装配的受力单元。

2.0.15 内锚固段 inneranchoring section

预应力锚索（杆）体的内部持力端。用胶结材料或金属加工的机械装置，使锚索（杆）内端与被锚固体粘结为整体的区段。

2.0.16 张拉段 tensile section

预应力锚索（杆）依靠自身弹性变形，张拉时可自由伸长，锁定后形成对被锚固体施加预应力的部分。

2.0.17 锚墩 anchor pier

对预应力锚索（杆）实现张拉和锁定的支撑装置。

2.0.18 设计张拉力 design tension

按照锚固设计的要求，并预留一定安全系数及各种因素引起的预应力损失后，确定每束锚索（杆）应施加的张拉荷载。

2.0.19 超张拉力 extra design tension

为消除各种因素引起的预应力损失，锚索（杆）张拉时将设计张拉力提高一定比例后，实际施加的张拉荷载。

2.0.20 内缩量 drawn-in

锚固过程中，由于锚具与预应力钢绞线间的相对位移、变形，所产生的预应力钢绞线的回缩量。

2.0.21 有效预应力 effective prestressing

预应力锚索（杆）张拉锁定后，受各种因素影响预应力逐渐降低，降低至相对稳定后所提供的预应力值。

2.0.22 预应力损失 prestressing loss

预应力锚索（杆）张拉锁定后的应力到建立有效预应力这一过程中所出现的应力减少。

3 基本规定

- 3.0.1 水电水利工程预应力锚固施工前应了解锚固工程环境和被锚固岩土体或构件工程特性，收集取得有关被锚固岩土体或混凝土结构的设计图纸、技术文件及施工条件等资料。
- 3.0.2 水电水利工程预应力锚固施工应编制施工组织设计，并根据不同的锚固类型制定施工工艺细则。施工前应进行技术交底。
- 3.0.3 在同一部位的预应力锚固工程施工中，宜采用同一品种、型号、规格和同一生产工艺制作的预应力材料、锚具。
- 3.0.4 预应力锚固工程所用的材料应具有相应合格证明文件，施工前应进行检测。
- 3.0.5 预应力锚固施工计量设备、器具必须按规范定期标定。
- 3.0.6 预应力锚固工程施工前，操作人员应经过技术培训。
- 3.0.7 岩土锚固的锚墩混凝土、钢质锚墩的找平层砂浆或混凝土、结构混凝土以及内锚段胶结体强度应达到设计要求，方能进行张拉。
- 3.0.8 张拉过程中如遇到异常情况，应停机检查处理。
- 3.0.9 试验、施工记录应及时总结整理、归档。

4 材料与设备

4.1 一般规定

- 4.1.1 预应力锚索、锚杆材料及锚夹具、连接器、水泥、钢筋等施工主材应按相应的材料标准进行验收与检测，并应具有材质证明书、产品合格证、试验检验报告。
- 4.1.2 预应力锚固工程使用的材料与设备在起吊、运输、储存、安装过程中均应有保护措施，避免锈蚀、沾污、遭受机械损伤、混淆和散失。
- 4.1.3 预应力锚索、锚杆材料及锚夹具、连接器检验合格的产品在现场存放期超过 1 年再用时应进行外观检查。
- 4.1.4 预应力锚索可根据工程性质、规模、锚固部位等情况选择高强度低松弛预应力钢丝、钢绞线或无粘结预应力钢绞线。

4.2 锚索锚杆材料

- 4.2.1 采用预应力钢丝或预应力钢绞线作为锚索材料时，其力学性能应分别符合《预应力混凝土用钢绞线》GB/T5224 和《预应力混凝土用钢丝》GB/T5223 的规定；采用高强度预应力螺纹钢筋作为锚杆材料时，其力学性能应符合《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T20065 的规定。
- 4.2.2 预应力钢绞线包括无涂层和涂层高强低松弛钢绞线，可采用标准型或模拉型 1860MPa、1960MPa 钢绞线。
- 4.2.3 进场的锚索、锚杆材料应进行外观检查并记录检查结果。外观检查应符合下列规定：
- 1 钢绞线外包装应完整，表面应无油渍、锈蚀、毛刺、损伤；钢绞线伸直性能良好，无散头；涂层钢绞线的保护层无损伤。
 - 2 无粘结钢绞线护套不得使用再生料生产；护套表面应光滑、无褶皱、裂缝、漏油点及未塑化颗粒，如发现上述缺陷应处理合格。
 - 3 每盘(捆)钢绞线均应有材质证明书、产品合格证、试验检验报告。无粘结预应力钢绞线还应提供所用高密度聚乙烯树脂和预应力钢绞线专用防腐润滑脂的材质证明书。
 - 4 预应力混凝土用螺纹钢筋应对其表面质量进行检查验收。
 - 5 预应力混凝土用螺纹钢筋、自进式预应力锚杆与连接套管表面不应存在影响其力学性能的缺陷。
 - 6 进场的锚索、锚杆材料应按照其检验批次提供材质证明书、产品合格证、试验检验报告。
- 4.2.4 钢绞线力学性能试验应符合下列要求：
- 1 检验项目应包括抗拉强度、屈服强度、伸长率、松弛性能、弹性模量等。
 - 2 松弛性能、弹性模量检验应由厂家进行，其检验成果随货提供。
 - 3 其余检验项目应由施工单位按附录 A 进行检验。
 - 4 检验频次为同品种、同型号、同生产厂家，每 60t 为一个批次，不足 60t 也作为一个批次。每批次取样数量不少于 3 组。
- 4.2.5 无粘结钢绞线应符合 JG/T 161《无粘结预应力钢绞线》标准要求，缓粘结钢绞线应标明胶黏剂的固化期。
- 4.2.6 螺纹钢筋力学性能试验应符合下列要求：
- 1 检测项目应包括屈服强度、极限抗拉强度、弹性模量、伸长率、冷弯试验、与连接套管的连接强

度等。

2 检验频次为同品种、同型号、同生产厂家，每 60t 为一个批次，不足 60t 也作为一个批次。每批次取样数量不少于 3 组。

4.2.7 自钻式预应力锚杆杆体应采用冷拔无缝钢管制作，抗拉强度应满足设计要求，应采用冷挤压工艺加工螺纹。

4.3 锚夹具、连接器

4.3.1 锚具、夹具、连接器的力学性能及几何尺寸应符合设计要求，锚具、夹具、连接器进场需有产品合格证及试验检验报告，其质量应符合《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T14370 的有关规定。

4.3.2 锚具、夹具、连接器进场验收合格后，使用前应进行外观检查。

4.3.3 进场入库的锚具、夹具、连接器应按下列规定进行检验：

1 外观检查应从每批锚具、夹具、连接器中随机抽取 10%，且不应少于 10 套，少于 10 套者应全部检验，并做锚具外观和结构主端部、锚具与张拉机具的匹配尺寸及表面检查，合格者方可投入使用。

2 硬度检验应从锚具、夹具、连接器总量中随机抽取 5%，且锚板不应少于 5 件，夹片不应少于 5 副，按厂家提供的硬度范围进行测试，合格者方可投入使用，锚具硬度检验要求见附录 C。

4.3.4 根据工程需要，大型预应力锚固工程所用锚具应按附录 B 进行预应力钢绞线—锚具组装件静载试验，其锚固性能应满足：锚具效率系数 μ_a 不小于 0.95，实测极限拉力时的总应变 ϵ_{apu} 不小于 2.0%，且锚夹具组件不能出现肉眼可见的裂纹或破碎。

4.3.5 锚夹具除应满足静载锚固性能外，供货商应提供通过 200 万次疲劳性能试验、50 次周期荷载试验的近期资料。

4.3.6 夹具应具有良好的自锚性能、松锚性能和安全的重复使用性能，主要锚固零件应具有良好的防锈性能，可重复使用的次数不应少于 300 次。

4.3.7 用于混凝土结构或构件中的永久性预应力锚索（杆）连接器应符合锚具的性能要求；用于先张法施工且张拉后还需进行放张和拆卸的连接器应符合夹具的性能要求。

4.3.8 与锚具相配套的锚垫板、螺旋筋的材质及加工尺寸均应符合设计要求，锚垫板应具有足够的刚度和强度，喇叭内口应光滑过渡、无毛刺。

4.3.9 连接器应与锚索、锚杆体材料一并进行拉力检验，同批次产品不少于 3 个样品，检验结果达到设计张拉力即为合格。

4.4 防护材料

4.4.1 用于埋管法成孔的套管，其规格、质量应符合设计要求。

4.4.2 弧形工作门闸墩预应力锚索（杆）的穿杆孔道宜采用金属管；水工隧洞环形预应力锚索或预应力混凝土衬砌、渡槽、桥梁、管涵等穿索孔道宜采用高密度聚乙烯波纹管或金属螺旋管。

4.4.3 预埋孔套管质量应符合设计要求，其几何尺寸应满足下列规定：

1 套管内径应大于锚索（杆）体直径 4mm 及以上。

2 套管采用钢管制作时，钢管壁厚不应小于 3mm。

3 套管采用金属螺旋管制作时，螺旋管壁厚不应小于 0.3mm，其径向变形量不应大于内径的 15%。

4 套管采用高密度聚乙烯（HDPE）波纹管壁厚不应小于 3mm，材质不应采用再生料。

- 4.4.4 岩锚高密度聚乙烯波纹管防护套管，应具有化学稳定性和耐久性，应能承受施工外力冲击和摩擦损伤。
- 4.4.5 采用防腐涂料进行防腐的锚索（杆），防腐涂料的化学性能应符合《建筑用钢结构防腐涂料》JG/T224 的有关规定。
- 4.4.6 无粘结预应力筋用的防腐油脂应符合《无粘结预应力筋用防腐润滑脂》JG/T430 的有关规定。

4.5 灌浆材料

4.5.1 灌浆材料采用的水泥应符合下列要求：

- 1 灌浆用水泥应采用硅酸盐或普通硅酸盐水泥，其质量应符合《通用硅酸盐水泥》GB175 的规定，其强度等级应不低于 42.5。
- 2 当地下水有腐蚀性时，应采用特种水泥。设计有特殊要求时，应按其要求执行。

4.5.2 灌浆材料采用的水应符合《混凝土用水标准》JGJ63 标准要求。

4.5.3 灌浆材料采用的细骨料应符合下列要求：

- 1 细骨料宜选用细度模数不大于 1.5 的砂。
- 2 灌浆用砂应采用质地坚硬的天然砂，含泥量应小于 3%，砂中云母、有机物、硫化物和硫酸盐等有害物质的含量按重量计不得大于 1%。

4.5.4 灌浆材料中使用的外加剂应符合下列要求：

- 1 外加剂的质量须符合《水工混凝土外加剂技术规程》DL/T5100 标准要求。
- 2 在锚索（杆）护套内、防护罩内和二次高压灌浆时，可使用膨胀剂。
- 3 水泥砂浆中氯离子的含量应小于水泥重量的 0.02%。

4.6 造孔、张拉及灌浆设备

4.6.1 造孔设备和测斜仪器应根据工程的环境条件、预应力锚索和锚杆参数进行选择；钻机应配有导向装置。

4.6.2 张拉设备应符合下列要求：

- 1 选用的张拉机具应与锚具类型、锚索（杆）的设计张拉力相匹配，并具有通用性。
- 2 与张拉机具配套的压力表精度不应低于 1.5 级，张拉时压力表读数不超过表盘刻度的 75%。宜选用抗震数显压力表。
- 3 测力计应与锚具、张拉千斤顶相匹配，且性能稳定。永久观测使用的测力计，其耐久性应符合设计要求。

- 4 张拉机具、器具应定期维护、标定，标定期一般为 6 个月，如经检修应重新标定。

4.6.3 灌浆设备应符合下列要求：

- 1 选用的灌浆设备须与预应力锚索（杆）孔道灌浆的浆液类型、浓度及施灌强度相适应，并能保证稳定均匀连续灌浆。
- 2 制浆设备宜采用高速搅拌机，转速 1000r/min 以上。
- 3 灌浆泵的排浆量应能满足锚索（杆）孔道的灌浆强度的需要，压力稳定，其允许工作压力应大于最大设计灌浆压力的 1.5 倍，压力波动范围宜小于灌浆压力的 20%。
- 4 灌浆泵配套的压力表须经校验合格，其量程应与设计最大灌浆压力相适应。输浆管宜采用耐压橡

胶管或耐压 PE 管，其管径应满足灌浆强度的要求。

5 施灌时宜采用灌浆自动记录仪，并测记注浆压力、流量、比重等。流量传感器的性能应符合：流量检测范围 0~150L/min，分辨率 0.1L/min；压力传感器的性能应符合：压力检测范围 0~10MPa，分辨率 0.01MPa。

6 灌浆泵配套的压力传感器、流量传感器、自动记录仪等应经校验合格方能使用。

5 施工

5.1 一般规定

- 5.1.1 预应力锚固孔道形成后应进行清洗；灌浆前应排干孔内积水。
- 5.1.2 预应力用钢绞线和螺纹钢应采用切割机切断，不应使用电弧或乙炔焰切割。雷雨时不应进行室外切割作业。
- 5.1.3 预应力锚索各根钢绞线在全长范围内不应有接头或连接器；预应力锚杆的螺纹钢宜采用连接构件接长。
- 5.1.4 制作过程中，有粘结预应力钢绞线或螺纹钢表面应清洗干净，无粘结预应力钢绞线护套剥除后的裸线表面油脂应清洗干净。
- 5.1.5 结构预应力混凝土浇筑过程中，混凝土振捣器不应与预应力锚索、锚杆或防护套管及埋设的仪器引伸线等接触。

5.2 成孔

- 5.2.1 预应力锚固孔道形成方法可选择钻孔法、埋管法。
- 5.2.2 预应力锚固钻孔质量应符合下列要求：
- 1 孔位偏差不应大于 10cm。
 - 2 内锚固段应置于设计要求的岩层内。
 - 3 终孔孔径应满足设计要求，终孔孔深不应小于设计孔深，终孔孔轴偏斜不应大于孔深的 2%，方位角偏差不应大于 3°。如设计有特殊要求时，应按其要求执行。
- 5.2.3 采用钻孔法钻凿预应力锚固孔道时应遵守下列规定：
- 1 宜采用风动潜孔锤冲击回转钻进法成孔；覆盖层深厚、岩性软弱孔壁易坍塌时，宜采用风动潜孔锤同步跟管法成孔，不得采用以清水为冲洗介质的钻进方法。干式钻孔时应配有捕尘装置。
 - 2 穿越粘性土、塑性流变地层或高地应力岩层的钻孔在确定钻头直径时，应考虑钻孔缩径对隔离架及锚索或锚杆承载体安装入孔就位的影响。
 - 3 应按设计钻孔倾角、方位角及孔位开孔；钻孔过程中应及时测量钻孔角度，及时纠偏。
 - 4 钻孔过程中遇岩体破碎或地下水使钻进受阻时，宜采用固结灌浆或其他护壁堵漏与止水措施。固结灌浆施工宜按照《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》DL/T 5148 的有关规定执行，扫孔作业宜在灌浆后 1d~3d 进行。
 - 5 遇溶洞、洞穴、架空区、大裂隙、障碍物时应及时查明情况并研究处理。
 - 6 发现设计孔深处的岩土体不宜作为锚固段时，应按设计复核后提出的方案进行处理。
 - 7 钻孔过程中，应及时修整孔壁。岩锚成孔应顺直，孔壁无错台、无松动碎石。
 - 8 锚孔经验收合格后，应及时安装锚索或锚杆，不得长时间裸孔。
- 5.2.4 混凝土结构预应力锚索孔道埋管安装应位正、顺畅、牢固可靠。孔道管安装允许偏差可按表 5.2.4 的规定执行。设计有特殊要求时，应按其要求执行。

表 5.2.4 预应力锚索孔道管安装允许偏差

项目名称	弧门闸墩		隧洞		引水渡槽(含管涵)		
	管轴两端点 偏差	管轴局部 偏差	径向局部 偏差	环向间距	纵向管		环向管局部 偏差
					高差	左右偏移	

允许偏差值 (mm)	±8	±10	±10	±15	±10	±10	±5	±10
---------------	----	-----	-----	-----	-----	-----	----	-----

5.2.5 混凝土结构预应力锚索孔道埋管法施工应符合下列要求：

- 1 孔道管宜采用接头管套接，采用电弧焊接或熔接时应满足密封、平直、牢固的要求。
- 2 金属波纹管的接头管管径应比所连接孔道管大一号，其长度宜为 200mm~300mm，两端应采用防水乳胶带封裹。高密度聚乙烯波纹管宜采用接头管套接或熔接法连接。
- 3 孔道管应固定。
- 4 孔道管周边进行焊接作业时，应避免电火花熔穿管壁。
- 5 引水隧洞预应力钢筋混凝土衬砌、输水管道的预应力锚索孔道管及其两端的喇叭管、锚具槽，应在内层钢筋绑扎完毕后进行安装。喇叭管轴线应与孔道管轴线重合，锚具槽口应与模板紧贴。
- 6 混凝土浇筑前应对已安装的孔道管的密封性、畅通性、孔位及防浇筑挤压变形措施进行全面检查，并将两端孔口临时封堵保护。浇筑混凝土过程中应有专人看护，不得冲击、触伤或移动孔道管。
- 7 混凝土浇筑结束后应使用梭形体对孔道管进行全面检查，发现孔道有阻塞时应立即进行疏通处理。

5.3 制作

5.3.1 预应力锚索、锚杆制作应在专用车间或专用工作台上进行。高陡边坡锚索、锚杆可在现场因地制宜编制，但应有防雨、防污染及防止锚索、锚杆损伤的措施。

5.3.2 下料时，宜将钢绞线盘卷置于放线架内，宜从盘卷中央逐步抽出钢绞线。钢绞线宜采用人工抬运，不得在地上拖拽。

5.3.3 钢绞线和螺纹钢筋下料长度应满足锚索、锚杆结构设计尺寸及张拉工艺操作需要。端头锚钢绞线或螺纹钢筋下料长度可按公式 (5.3.3-1) 计算，对穿锚钢绞线或螺纹钢筋下料长度可按公式 (5.3.3-2) 计算，分散型锚索钢绞线下料长度可按公式 (5.3.3-3) 计算，环形锚索钢绞线下料长度可按公式 (5.3.3-4) 计算。锚固端为 P 型挤压锚、H 型压花锚或 BM 型锚时应计其长度。

$$L=S+h \quad (5.3.3-1)$$

$$L=S+2h \quad (5.3.3-2)$$

$$L_n=S-l_j+h \quad (5.3.3-3)$$

$$L=S+h_1+h_2 \quad (5.3.3-4)$$

式中：L——钢绞线或螺纹钢筋下料长度 (mm)；

S——实测孔道长度 (mm)；

h——锚垫板外钢绞线或螺纹钢筋使用长度，包括测力计厚度、工作锚板厚度、限位板厚度、张拉千斤顶高度、工具锚板厚度和工具锚板外必要的安全长度之和 (mm)；

L_n ——每组承载体对应的钢绞线下料长度 (mm)；

l_j ——每组承载体距锚索体孔底端部的距离 (mm)；

n、j——承载体分级编号；

h_1 ——孔道外张拉端钢绞线使用长度，包括孔口至工作锚板的间距，测力计、工作锚板、限位板的厚度，弧形垫座和传力筒的实测孔长，张拉千斤顶长度，工具锚板厚度及其板外必要的安全长度之和 (mm)；

h_2 ——孔口外被动端钢绞线使用长度，包括孔口至工作锚板的间距，工作锚板厚度及其板外必要的

安全长度之和 (mm)。

5.3.4 预应力锚索承载板、止浆环、隔离架等附件应满足下列要求：

1 压力型和压力分散型锚索承载体的承载板、P 型挤压锚等材质、加工质量及尺寸均应符合设计要求；承载板、P 型挤压锚应提供产品合格证及 P 型挤压锚的抗拔性能试验资料。

2 止浆环的加工质量和尺寸应满足在 0.5MPa 注浆压力下不漏浆的要求，应具耐磨性，下索时与孔壁摩擦不破损。

3 隔离架和对中支架宜由厂家配套制作，外形尺寸应符合设计要求，外径宜小于锚孔直径 4mm。有粘结钢绞线锚索的隔离架和对中支架材质可采用钢材或合成材料；无粘结钢绞线锚索的隔离架和对中支架材质宜采用合成材料。

4 绑扎材料不应含有对锚索产生腐蚀的成分。

5.3.5 有粘结拉力型预应力锚索、锚杆内锚固段制作应符合下列要求：

1 在锚固段与自由段结合部位或锚索、锚杆体的指定位置安装止浆器，并与锚索、锚杆体密封固定。

2 锚索、锚杆安装在俯孔或水平孔的，锚固段灌浆管出口应安设至导向帽，锚固段排气管应穿过止浆器进入锚固段内；张拉段灌浆管应安设在止浆器附近。安装在仰孔时，应调换灌浆管、排气管的功用。

5.3.6 无粘结拉力型预应力锚索、锚杆内锚固段制作应符合下列要求：

1 采用无粘结钢绞线时，锚固段的无粘结钢绞线护套剥除长度应与设计锚固段长度一致，护套剥除的切口处应采取保护措施；采用螺纹钢筋时，加设的护套不应伸入锚固段，护套切口应密封。

2 锚索、锚杆灌浆采用全孔一次灌浆工艺时，根据锚杆孔深度，可安设 1 根~2 根灌浆管，至少一根灌浆管应安设至导向帽。

5.3.7 无粘结拉力分散型预应力锚索内锚固段制作应遵守下列规定：

1 锚固段各组无粘结钢绞线护套剥除长度应符合锚索结构设计要求。

2 钢绞线应按分组由长至短依次顺直置于相应位置。

5.3.8 压力型预应力锚索内锚固段制作应遵守下列规定：

1 无粘结钢绞线在挤压锚位置的护套剥除长度应满足挤压锚挤压成形需要。

2 挤压锚具的弹簧丝和锚套应按照产品使用规定缓慢旋转套在钢绞线表面，在专用挤压机上挤压成形挤压锚。制作挤压锚时弹簧丝不应折断、缺段或缺失。挤压时的操作油压和挤压后挤压锚具直径应符合产品设计要求。

3 应调整承载板平面与钢绞线垂直，与挤压锚具端面紧密贴合。

5.3.9 采用挤压锚与钢板承载的压力分散型预应力锚索内锚固段制作除应符合压力型预应力锚索内锚固段制作的规定外，还应遵守下列规定：

1 应按分组由长至短依次安装各组承载体的承载板、挤压锚，承载体安装位置应符合锚索结构设计要求。

2 按照锚索结构要求装配承载体、灌浆管等。

5.3.10 拉压复合型预应力锚索内锚固段制作除应符合拉力型预应力锚索、压力型预应力锚索内锚固段制作的规定外，还应遵守下列规定：

1 各承载体上的钢绞线应按锚索结构设计要求设置为有粘结钢绞线与无粘结钢绞线，或者单根钢绞线在承载体前部是无粘结钢绞线、在后部是有粘结钢绞线。

2 按分组由长至短依次安装各组承载体的承载板、挤压锚，承载体安装位置应符合锚索结构设计要

求。

3 应按照锚索结构要求装配有粘结钢绞线束、无粘结钢绞线束。

5.3.11 自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索内锚固段制作除应符合压力分散型预应力锚索内锚固段制作的规定外，还应符合下列要求：

1 每组承载体应由承载板与辅助板组成，各根钢绞线的挤压锚固端经封装防护处理而成的防腐型单锚头嵌固于二者之间。

2 各组承载体之间应连接成一个整体。

5.3.12 预应力锚索、锚杆张拉段制作与集束应遵守下列规定：

1 各根钢绞线应按照锚索结构设计以锚索体的孔底端部为基准整齐、顺直排列。

2 灌浆管、排气管应按结构要求编入锚索体、锚杆体，安装在俯孔、水平孔的锚固段灌浆管出口以及安装在仰孔的锚固段排气管口应安设至导向帽。

3 钢绞线和灌浆管、排气管之间应采用隔离架分隔集束。隔离架间距在内锚固段可为 0.75m~1.50m，张拉段内可为 1.5m~2.0m，但不应大于 3.0m。预应力锚杆体宜每隔 2.0m 设置对中支架。

4 钢绞线和灌浆管、排气管等应捆扎成一束。内锚固段两隔离架之间应绑扎牢固，张拉段两隔离架之间应绑扎，钢绞线宜与隔离架绑扎在一起。

5 锚索体端部导向帽的固定不应采用焊接方式。

6 分散型预应力锚索体制作时，应对各组承载体钢绞线编号并标识，并应在安装锚具后与夹片锥孔编号进行对应。

5.3.13 在架空严重或浆液可能漏失严重的覆盖层进行预应力锚索、锚杆施工时，可在张拉段锚索体、锚杆体外裹土工布与细帆布以及在张拉段与锚固段附近设置止浆器。

5.3.14 穿越断层、裂隙发育地层的锚孔在预应力锚索、锚杆安装前未采取固结灌浆处理的，制作锚索体、锚杆体时，宜在锚固段设置止浆器，宜增设灌浆管。

5.3.15 无粘结预应力锚索采用波纹管保护的，应设置波纹管内部与外部灌浆管、波纹管内部的锚索支架、波纹管及其管端封闭用端帽、波纹管外部支架。

5.3.16 对穿型预应力锚索的钢绞线应排列顺直，应在两端编号并标识，应采用隔离架集束，隔离架间距可为 1.0m~2.0m，锚索灌浆管应按灌浆工艺要求设置。对穿型预应力锚杆宜每隔 2.0m 设置对中支架。

5.3.17 环向预应力锚索应采用编帘法制作。预应力钢绞线应排列顺直，应以一端对齐，应两端编号并标识，宜每隔 1.5m~2.0m 扎紧成束，端部宜加密捆扎。

5.3.18 预应力闸墩纵向主锚索按拉力型预应力锚索设计时，其制作应符合拉力型预应力锚索的规定。预应力闸墩横向次锚索按对穿型预应力锚索设计时，其制作应符合对穿型预应力锚索的规定。

5.3.19 预应力锚索、锚杆制作完毕，应进行检验，合格后应按锚孔编号挂标识牌，宜注明完成日期、孔号、吨位、长度等。不合格及无孔号牌的预应力锚索、锚杆不得运入安装作业区。

5.3.20 合格预应力锚索、锚杆应存放在支架或垫木上，支点距地面不应小于 200mm，间距可为 1.0m~1.5m。预应力锚索、锚杆应平铺存放，不得叠压、弯曲，并进行临时防护。存放场地应干燥、通风，应避开硫化物、氯化物、亚硫酸盐、亚硝酸盐等有害物质，与杂散电流区域应隔离，并采取防雨、防污染措施。

5.4 安装

5.4.1 预应力锚索、锚杆运输应遵守下列规定：

1 水平运输中锚索体、锚杆体的各支点间距不宜大于 2.0m；压力分散型锚索水平运输及垂直运输中弯曲半径不宜小于 5.0m，其他锚索、锚杆运输中弯曲半径不宜小于 3.0m。

2 垂直运输时，应根据锚索体、锚杆体在吊运中的状态合理设置吊点，其间距不宜大于 3.0m，入孔前除主吊点外，其余吊点应能快速、安全脱钩。

3 使用车辆长距离运输时，锚索体、锚杆体底部、层间应设垫木，上下层垫木应在一条垂线上且不宜超过三层，周边及顶部应加以防护。

4 无粘结预应力锚杆在搬运和装卸时应避免 PE 护层与硬质物体的摩擦损伤。

5.4.2 预应力锚索、锚杆入孔前的检查应按下列要求执行：

1 孔口周围杂物应清理干净。

2 岩锚孔道验收超过 24h 时，应检查其通畅情况。

3 孔号牌与锚孔孔号应对应，并应核对孔深与锚索、锚杆长度。

4 预应力锚索体、锚杆体应顺直。

5 无粘结钢绞线护套无明显机械损伤，且轻微损伤处已外包防水聚乙烯胶带修补合格。

6 灌浆管、排气管道应畅通。

7 止浆器应完好。

8 对测试仪器的引伸线应做导通检查。

5.4.3 岩土预应力锚索、锚杆安装应缓慢匀速推入锚孔，宜一次推送到位。安装过程中，不应扭转锚索体，不宜往复拖拽锚索体、锚杆体。

5.4.4 上仰孔预应力锚索、锚杆安装应遵守下列规定：

1 应量测实际孔深，并将孔深尺寸相应标识在锚索体、锚杆体上。

2 孔口应设置提升或承托装置及阻滑设施。

3 宜采用机械提升辅以人工入孔的方法。

4 当锚索体顶端入孔后，孔外锚索体应有适当长度保持与孔道同轴。

5 锚索体、锚杆体应慢速连续均匀入孔。

6 安装到位后，应固定锚索体、锚杆体。

5.4.5 俯孔大吨位预应力锚索安装应遵守下列规定：

1 在孔口应安设送索导向架。

2 孔口安设的牵引装置应能控制锚索体的自由下滑。

3 锚索安装到位后应将其固定。

5.4.6 预应力锚索体外设有防护套管的，应先将套管与锚索体固定牢固后再行安装，宜采取缓慢均匀推进，不应搓动锚索体及套管。

5.4.7 预应力锚索、锚杆安装后应检查止浆器的有效性。

5.4.8 预应力锚索、锚杆安装完毕后，应对外露部分进行临时防护。

5.4.9 混凝土结构预应力锚索、锚杆安装应遵守下列规定：

1 有粘结预应力锚索、锚杆宜采用埋管法安装，无粘结预应力锚索或锚杆、缓粘结预应力锚索可直接绑扎在定位支架上。

2 预应力锚索在混凝土结构部位的固定端采用 P 型挤压锚、H 型压花锚或 BM 型锚时，应将其与结构钢筋固定牢固。

3 引水隧洞预应力钢筋混凝土衬砌、输水管道的环向预应力锚索采用无粘结钢绞线、缓粘结钢绞线时,可将其直接固定在外层结构钢筋上或定位支架上;采用埋管法时,锚索体宜采用牵引入孔就位。

4 预应力闸墩纵向主锚索采用拉力型预应力锚索结构时,宜在孔外设置导向架将锚索缓慢匀速推入孔内就位;采用U形钢绞线集束的闸墩主锚索宜逐一牵引入孔。预应力闸墩横向次锚索采用对穿型预应力锚索结构时,宜采用牵引入孔就位。

5.4.10 环向预应力锚索安装时,所用游动锚具的安装位置应通过锚索伸长值计算确定。

5.4.11 对穿型预应力锚索、锚杆安装时应根据张拉工艺操作需要调整两端长度。

5.5 灌浆

5.5.1 预应力锚索灌浆浆液宜使用纯水泥浆。预应力锚杆内锚固段胶结物宜选用纯水泥浆或水泥砂浆。

5.5.2 灌浆浆液及其配合比应符合下列规定:

1 灌浆浆液凝结后胶结体 28d 抗压强度应符合设计要求,7d 抗压强度不宜低于 30MPa。

2 浆液水灰比应通过试验确定。纯水泥浆液的水灰比宜采用 0.40~0.45;水泥砂浆的水灰比宜采用 0.45~0.50。

3 浆液流淌直径应不小于 150mm。

4 浆液 3h 后的泌水率应控制在 2%,泌水应在 24h 内全部被浆体吸收。

5 砂、减水剂和膨胀剂的掺加应通过试验确定。

5.5.3 浆液拌制应按下列规定执行:

1 各种原材料计量应按质量计,水、外加剂溶液可按体积计。

2 浆液应搅拌均匀并测定浆液密度。

3 纯水泥浆液的搅拌时间,使用高速搅拌机时不应少于 30s。浆液在使用前应过筛,浆液自制备至用完的时间不宜大于 4h。

4 浆液温度应保持在 5℃~40℃。当冬季日平均气温低于 5℃时,应对制浆系统、灌浆机械和输浆管线进行保温;高温季节灌浆时应采取降温措施,保持浆液温度在 40℃以下。

5.5.4 非对穿型预应力锚索、锚杆灌浆方法选择应符合下列规定:

1 有粘结预应力锚索、锚杆应采用先利用锚固段止浆器进行锚固段灌浆,在张拉后再进行张拉段灌浆的二次灌浆方法。

2 无粘结预应力锚索、锚杆可采用孔口阻塞、全孔一次灌浆法灌注锚固段和张拉段。

3 无粘结预应力锚索采用波纹管保护时,可利用波纹管内部与外部灌浆管对波纹管内外的孔道进行全孔一次灌浆。

5.5.5 对穿型预应力锚索、锚杆灌浆宜采用从一端孔口进浆的全孔一次灌浆法。

5.5.6 内锚固段灌浆应遵守下列规定:

1 压力表或压力计应安装在孔口进浆管路上。

2 内锚固段灌浆压力应根据孔深与孔壁岩土体情况确定。无试验值时可按 0.1MPa~0.5MPa 控制。大于 45° 倾角或深孔灌浆时,可考虑水泥浆液柱压力。

3 内锚固段灌浆应连续进行。因故中断,应采取处理措施,不应影响灌浆质量。

4 当孔口排出的浆液与注入的浆液比重相同时,即可进行屏浆,屏浆压力宜为设计规定最大灌浆压力,屏浆时间宜为 20min~30min。

5.5.7 张拉段灌浆应符合下列要求：

- 1 张拉段灌浆材料宜与锚固段灌浆的材料相同。
- 2 张拉段灌浆压力不应大于锚固段灌浆压力值，宜通过试验确定。
- 3 张拉段灌浆应连续进行，在设计规定压力下不显著吸浆后，延续灌注 10min~30min，即可结束灌浆。
- 4 张拉段锚索体、锚杆体外裹土工布与细帆布时，张拉段灌浆应在其内进行。

5.5.8 回填灌浆封孔宜在预应力锚索、锚杆张拉锁定后 3d 内进行。**5.5.9 灌浆时宜采用灌浆自动记录仪测记其压力、流量、比重等灌浆数据。****5.5.10 水平锚固孔道灌浆时宜采取延长屏浆时间、真空辅助灌浆措施。****5.5.11 上仰锚固孔道张拉段灌浆前或全孔一次灌浆前宜封堵孔口 2m~3m 长度。屏浆后可利用排气管进行补充压浆。****5.5.12 混凝土结构内的环形及多波形曲线预应力锚索孔道灌浆可采取一端或两端同时进浆，宜采取利用排气管进行补充压浆、延长屏浆时间、真空辅助灌浆措施。****5.5.13 预应力锚索、锚杆灌浆过程中，若遇注入量大而难以结束时，可采取低压、浓浆、限流措施进行处理。****5.5.14 预应力锚索锚固段灌浆时应制取浆液试件进行抗压强度试验。灌浆时每批次取样不应少于一次，每次取样组数不应少于 2 组。设计有特殊要求时，应按其要求执行。****5.6 锚墩****5.6.1 岩土预应力锚索、锚杆锚墩宜选择现浇钢筋混凝土锚墩，混凝土结构预应力锚索、锚杆锚墩或台座宜直接在结构上浇筑成内凹式或外凸式；锚墩建基面岩石强度高且岩面较完整，需要快速施工锚墩时，可采用钢质锚墩；设计张拉力较小且锚墩尺寸较小，运输和安装容易时，宜采用预制钢筋混凝土锚墩；地下洞室仰孔预应力锚索、锚杆锚墩宜选择预制钢筋混凝土锚墩或钢质锚墩。****5.6.2 锚墩基面应清理、平整，土基面应捣实。预制钢筋混凝土锚墩、钢质锚墩基面找平应采用 M35 水泥砂浆，其平面应与孔道轴线垂直，其平整度应小于 2mm。****5.6.3 现浇钢筋混凝土锚墩施工应按下列规定执行：**

1 锚垫板孔径应与工作锚板相匹配，孔口导向钢管内径不应小于锚垫板孔径。锚垫板应与孔口导向钢管正交、同心，偏斜值不宜超过 0.5°。

2 孔口导向钢管宜嵌入孔内 500mm 左右，应与锚孔同心，宜用水泥砂浆固定。

3 锚墩钢筋施工应符合《水工混凝土钢筋施工规范》DL/T5169 的规定。

4 锚墩模板宜采用锚墩体形定制钢模板。模板安装的允许偏差应符合《水电水利工程模板施工规范》DL/T5110 的规定。

5 锚墩混凝土强度等级应满足设计要求。

6 锚墩混凝土施工应按照《水工混凝土施工规范》DL/T5144 的规定执行。

5.6.4 预制钢筋混凝土锚墩施工应符合下列规定：

1 预制锚墩的混凝土强度等级、钢筋、钢套管、锚墩外型尺寸、安装时混凝土的抗压强度值应符合设计要求。

2 孔口应设置固定锚墩的插筋，宜设置提升或承托锚墩的装置。

3 应在孔口基面找平层上抹 20mm 厚 M35 水泥砂浆后进行锚墩安装，应利用插筋将锚墩固定。

5.6.5 钢质锚墩施工应按下列规定执行：

- 1 钢质锚墩的加工尺寸、钢板材质应符合设计要求。
- 2 孔口应设置固定钢板的插筋。
- 3 孔口基面的钢筋网应按设计要求布置。

4 宜在孔口基面找平层上抹一层 M35 水泥砂浆后进行钢板安装，调正固定后，钢板与基面之间的空隙宜采用 M35 水泥砂浆灌注充填。

5.6.6 小吨位预应力锚杆可在孔口找平后安装承载钢板。

5.6.7 锚墩混凝土施工时应制取混凝土试件进行抗压强度试验。同一配合比混凝土每批次取样不应少于一次，每次取样组数不宜少于 2 组。设计有特殊要求时，应按其要求执行。

5.7 张拉

5.7.1 预应力锚索、锚杆张拉准备应按下列规定执行：

1 张拉用千斤顶、压力表、测力计应配套标定，绘制张拉力—压力表（测力计）读数关系曲线。张拉机具的配套标定应按照附录 D 的规定执行。

2 应计算钢绞线在各级荷载时的理论伸长值、编制张拉作业指导表，张拉作业指导表宜注明锚索吨位、孔深、张拉分级荷载、油压、理论伸长值等。锚索理论伸长值计算应按照附录 E 的规定执行。

3 应检查锚固段浆液结石体抗压强度及锚墩或结构混凝土强度，其值达到设计要求后方可进行张拉作业。

4 应根据工作锚具尺寸、超张拉力选定测力计。

5 锚垫板外的钢绞线或螺纹钢筋表面应清洗干净，无粘结钢绞线 PE 护套应剥除。

6 测力计、工作锚夹具应同步安装，应与锚垫板中心孔同心。应调整工作锚具夹片对称、顶面齐平并轻轻敲紧。

7 张拉机具就位后应试运行正常；钢绞线伸长值测量器具、张拉记录表格应齐备。

8 预应力锚杆张拉用的力矩扳手应检定合格。张拉作业指导表宜注明张拉荷载或螺母预紧力、螺母拧紧力矩。

5.7.2 缓粘结预应力锚索张拉应在固化期内进行。

5.7.3 预应力锚索、锚杆应分区、分序张拉。同一锚固区内的锚索、锚杆应按跳束分序进行张拉，同一序次的张拉应先张拉试验锚索、锚杆和安装测力计的锚索。结构混凝土预应力张拉的分区、分序可按表 5.7.3 的规定执行。设计有特殊要求时，应按其要求执行。

表 5.7.3 结构混凝土预应力张拉分区、分序要求表

名称	分区	分序
引水隧洞预应力混凝土衬砌、输水管道环向预应力锚索	按浇筑段分区	两端相向，跳束分序
U 型预应力混凝土引水渡槽预应力锚索	同一槽段按先纵向后环向分区	纵向索：由外向内、对称，跳束分序 环向索：两端相向，跳束分序
矩型预应力混凝土引水渡槽预应力锚索	同一槽段按张拉顺序依次分两端底部横向及侧墙竖向区、两侧纵向区、底部纵向区、底部横向区、两侧墙竖	纵向索：两侧对称、由下而上，跳束分序 横向及竖向索：两端相向，跳束分序

	向区	
大型弧门闸墩预应力锚索	按闸墩分区	对称, 跳束分序

5.7.4 长度超过 24m 的对穿锚索（杆）宜采用两端同步张拉。采取一端张拉时，应通过试验确定张拉工艺和张拉操作规程。

5.7.5 预应力锚索、锚杆张拉的方式应符合下列规定：

1 非分散型预应力锚索钢绞线、锚杆螺纹钢筋的张拉长度相同，应采用整束张拉的方式。预应力锚索整束张拉有困难时，可采用单根循环分级张拉方式。

2 分散型预应力锚索钢绞线的长度不等，宜采用单根循环分级张拉方式。单根张拉宜按照先锚具中间后周边、间隔对称分序张拉的原则进行。需要较快实施张拉时，分散型预应力锚索可采用差异化整体张拉方式，其步骤宜为分组单根预紧、分组荷载差异化进行单根张拉补足伸长值、分级整体张拉、锁定。

5.7.6 预应力锚索、锚杆张拉施工作业应遵守下列规定：

1 张拉应按分级加载进行，宜由零逐级加载至超张拉力后锁定。超张拉力不应大于钢绞线抗拉强度标准值的 75%。张拉分级与持荷时间可按表 5.7.6 的规定执行。设计有特殊要求时，应按其要求执行。

2 张拉时应先进行单根预应力钢绞线预紧，再进行整体张拉。钢绞线预紧时的伸长值应采用预紧力推算的伸长值。

3 张拉加载及卸载应缓慢平稳，加载速率每分钟不宜超过 $0.1 \sigma_{con}$ ，卸载速率每分钟不宜超过 $0.2 \sigma_{con}$ 。

4 千斤顶按各分级荷载加载时，其配套标定的压力表的指针或压力计的读数应达到张拉系统标定曲线上各级预应力指示的油压值。安设有测力计的锚索，应利用测力计读数对千斤顶加载情况进行监测。

5 每级加载后应同步测量记录钢绞线伸长值、压力表或测力计读数。锁定后应量测预应力钢绞线的内缩量。

6 应采用以张拉力控制为主，伸长值校核的双控操作方法。当岩土预应力锚索张拉实测伸长值与理论计算伸长值的偏差在 $-5\% \sim +10\%$ 以外，或者混凝土结构预应力锚索张拉实测伸长值与理论计算伸长值的偏差在 $\pm 6\%$ 以外时，应停机检查，待查明原因并采取相应措施后，方可恢复张拉。实际伸长值为从预紧力至最终应力之间的实测伸长值与预紧力推算的伸长值之和。

7 对夹片式锚具，张拉锁定后，夹片顶面应齐平，其相互间的错位大于 2mm 的，应退锚重新张拉。放张退锚宜采用退锚器。

8 预应力锚杆锁定时螺母拧紧力矩应满足施加设计规定的预紧力或张拉荷载的需要。

9 预应力锚索张拉过程中遇下列情形之一时，应停止张拉作业，并进行检查和处理：

- 1) 钢绞线断丝、滑丝；
- 2) 夹片出现裂纹；
- 3) 千斤顶漏油；
- 4) 压力表反常；
- 5) 锚墩有裂缝；
- 6) 锚固段滑移。

表 5.7.6 张拉分级与持荷时间表

张拉阶段	预紧	分级加载	超张拉
加载系数	0.10~0.20	0.25、0.50、0.75、1.00	岩锚 1.05~1.10 混凝土结构锚 1.03~1.05
持荷时间(min)	2	2~5	≥ 10

注：加载系数为各级荷载与设计张拉力 σ_{con} 的比值。

5.7.7 预应力锚索、锚杆张拉完毕后 48h 内，应力损失超过设计张拉力的 10% 时，应进行补偿张拉。

5.8 防护

5.8.1 在边开挖边锚固的施工部位，封孔灌浆 3d 以内不宜进行爆破，3d~7d 内，爆破产生的质点振动速度不应大于 1.5cm/s。

5.8.2 预应力锚索（杆）外部封锚结构应根据长期或临时防护需要，采取混凝土结构封锚、环氧树脂砂浆封锚、金属或塑料防护罩封锚措施予以保护。设计有特殊要求时，应按其要求执行。

5.8.3 预应力张拉完成后、确定不需补偿张拉时，可割除多余的钢绞线，锚夹片外保留钢绞线长度不应小于 50mm，其切割不应使用电弧或乙炔焰。

5.8.4 混凝土结构封锚应按下列规定执行：

1 混凝土强度等级、钢筋布置、预应力筋的混凝土保护层厚度应符合设计要求。

2 环向预应力锚索的锚具槽回填前应恢复过槽钢筋。

3 内凹式混凝土结构锚墩槽、环向预应力锚索的锚具槽宜采用与结构混凝土相同强度等级的补偿收缩混凝土进行回填。设计有特殊要求时，应按其要求执行。

4 封锚混凝土施工应按照《水工混凝土施工规范》DL/T5144 的规定执行。

5.8.5 金属、塑料防护罩封锚应按下列规定执行：

1 金属或塑料防护罩材质、结构尺寸以及钢绞线留存长度应符合设计要求。

2 防护罩应可拆卸，可采用螺栓固定在锚垫板上，其接触面应采取防水措施。

3 防护罩内宜充填预应力筋用防腐润滑脂。

5.8.6 采用环氧树脂砂浆封锚时，封锚尺寸应符合设计要求。环氧树脂砂浆施工应按照《环氧树脂砂浆技术规程》DL/T 5193 的有关规定执行。

6 试验与监测

6.1 试验

- 6.1.1 重要的预应力锚固工程，或设计要求时，应进行材料试验、受力性能试验。
- 6.1.2 各类试验进行前应依据设计要求编制试验大纲。
- 6.1.3 受力性能试验应具有代表性，其规模可视工程量大小按设计规定执行；受力性能试验一般选择非破坏性试验方法，可在有代表性的工作锚索中进行。岩土体锚固试验不得少于 3 束，结构预应力试验可按隧洞洞段、渡槽节段作为试验段，大型弧门闸墩预应力试验可采用工程类比法。如采用新材料、新技术、新工艺，必须经过试验验证。
- 6.1.4 受力性能试验的条件、所用的锚索（杆）、张拉机具及施工工艺必须与实际工程相同。测力计应与锚具、张拉千斤顶相匹配且性能稳定。
- 6.1.5 受力性能试验的张拉力值应以张拉千斤顶的实际出力为准。
- 6.1.6 在复杂的地质条件下，根据设计要求研究确定破坏性试验的必要性。破坏性试验应满足以下要求：
- 1 试验数量由设计确定。
 - 2 当加载超过 $100\% \sigma_{con}$ 时，应继续加载至锚固段产生连续位移或有预应力钢绞线断丝、锚索（杆）被拉断，即认为已达到破坏状态。
 - 3 破坏性试验不得在锚固区内进行，应选择具有代表性的且与锚固工程条件相类似的部位进行试验。岩（土）体中预应力锚索的破坏性试验，应在非锚固区选择有代表性的地质地段造孔，孔深可大于锚固段长度 10m 以上。
- 6.1.7 试验均应提出试验报告。试验报告的主要内容包括：试验方法、数量，使用的材料、设备、仪器，加载过程，伸长值量测，结构应力及变形，试验成果分析及结论。

6.2 仪器埋设与监测

- 6.2.1 预应力锚固工程监测部位、项目、数量和方法应按设计要求实施。
- 6.2.2 预应力监测仪器规格型号、性能应满足设计要求，实施监测前应进行配套率定。
- 6.2.3 预应力监测仪器埋设应按照以下要求进行：
- 1 埋设前应对锚垫板平整度进行检查。
 - 2 测力计安装应与孔口管、锚垫板、锚板等连接构件保持同心对中，其承载面尺寸应与锚垫板、锚板相匹配。
 - 3 应变片安装位置、数量应符合设计要求；埋设前后均应进行完好性检测。
 - 4 埋设后数据引线均应进行标识，并做好保护工作。
- 6.2.4 施工期原位监测工作应与预应力锚固张拉同步进行，及时整理资料，迅速反馈信息，进行动态设计，调整施工工艺。
- 6.2.5 预应力锚固监测应从锚索张拉时开始，每级荷载应测量记录 1 次，锁定后应测量记录 1 次，3d 以内应每天不宜少于 2 次，3d 以后 10d 以内应每天监测 1 次，10d~30d 每 5d 监测 1 次，以后应每月监测 1

次。当环境与边界条件发生变化时，应及时监测并增加监测频次。监测数据出现异常时，应及时查找原因，并进行补救处理。

6.2.6 对需要转入运行期监测的项目应注意保护并及时移交。在规定的监测期内仪器发生故障、失效，应及时修复，确保监测数据的连续性。

6.2.7 监测报告的内容宜包括监测部位、监测项目、方法，监测仪器的型号、规格和标定资料、监测数据分析等。施工期监测的原始资料应包括监测的原始记录、应力变化过程曲线等。

7 安全与环境保护

7.1 安全

- 7.1.1 预应力锚固工程开工前应进行安全风险辨识，制定安全技术措施，进行安全技术培训和交底，持证上岗。
- 7.1.2 施工前应对作业区围岩的松动块石、边坡孤石进行检查处理，根据需要设置挡石排或柔性拦石网等安全设施。
- 7.1.3 施工过程中应对作业区的岩土边坡、洞室拱顶及壁面的围岩稳定性进行定期检查评估，发现隐患及时治理，必要时立即撤离现场，并及时向监理工程师报告。
- 7.1.4 预应力锚固工程施工承重排架（含脚手架），应根据现场情况和实际载荷进行设计、搭设，经验收合格后方可投入使用。
- 7.1.5 非作业人员不得进入预应力锚固张拉作业区，张拉、放张时千斤顶出力方向 45° 范围内不得站人。
- 7.1.6 预应力锚固工程安全生产设施检查内容如下：
- 1 脚手架、作业平台、安全通道、防护栏杆、防滑设施、安全网及警示标志等。
 - 2 动力、照明电源线路、控制开关及防雷设施。
 - 3 造孔设备的固定，高压风管及压力水管线路。
 - 4 高压油泵及油管。
 - 5 设备、机具的转动和传动部分的防护罩。
 - 6 输浆管线的耐压性，垂直管线的稳固性。
 - 7 造孔设备捕尘装置，地下洞室的通风、粉尘浓度（应确保作业人员均拥有 3 m³/min 的新鲜空气，粉尘含量不大于 10mg/m³）。
- 7.1.7 预应力锚固施工过程中应认真做好施工安全记录。

7.2 环境保护

- 7.2.1 锚固工程施工前，施工单位应制定环境保护措施和实施方案。
- 7.2.2 施工过程中，应采取降低噪声措施。施工作业在施工场界的噪声值，应符合《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB12523 的有关规定。
- 7.2.3 施工过程中，应采取防尘、降尘措施。对易于造成扬尘的露天堆储材料，宜采取扬尘控制措施。
- 7.2.4 施工中产生的污水应采取沉淀隔油等处理措施；对施工设备和机具维修、运行、存储时的漏油，应采取有效隔离处理措施，做到零排放。
- 7.2.5 施工中产生的废弃物应在指定地点按要求堆放，应回收利用可循环使用的废弃物。
- 7.2.6 施工中对可能接触有害物质及噪音污染的操作人员应采取有效的防护措施。
- 7.2.7 施工结束后，应对施工现场进行清理。

8 质量检查与验收

8.1 质量检查

- 8.1.1 水电水利工程预应力锚固应对成孔、制作与安装、灌浆、锚墩、张拉、防护工序进行质量检查，并按照《水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准》DL/T5113.1的要求进行质量评定。
- 8.1.2 预应力锚固工程成孔、制作与安装、灌浆、锚墩、张拉、防护工序质量评定检查项目和要求可参考附录 F.0.1~F.0.8 执行。
- 8.1.3 监测系统的检验内容宜包括测力计、应变片及其引伸线的安装位置和保护措施。
- 8.1.4 预应力锚固施工过程中，应及时整理检查检验记录，并在施工完毕后按单位工程进行汇总，编写质量检查报告。

8.2 验收

- 8.2.1 预应力锚固工程验收分为单元工程验收和完工验收。
- 8.2.2 预应力锚固工程验收应符合下列规定：
 - 1 已按批准的设计图纸、技术文件及承包合同中的有关规定施工完毕，工程质量符合设计要求，具备投入使用条件。
 - 2 锚索测力计的实测锚固力与时间变化过程线平稳，实际锚固力应满足设计要求。
 - 3 在施工过程中发生的质量缺陷，经处理后已达到设计要求。
- 8.2.3 预应力锚固工程完工验收应提供下列资料：
 - 1 钢绞线、锚具、防护管材、监测仪器的出厂合格证。
 - 2 进场的钢绞线、螺纹钢筋、锚具、防护管材的检验资料，重要预应力工程应提供预应力钢绞线—锚具组装件静载试验报告。
 - 3 性能试验、验收试验、破坏性试验（如有）的试验报告。
 - 4 混凝土、水泥净浆、水泥砂浆试验报告。
 - 5 分部分项、单元工程验收及评定资料。
 - 6 设计变更及有关技术文件。
 - 7 施工记录和重要技术会议记录。
 - 8 工程质量事故处理专题报告。
 - 9 施工技术报告及竣工图。
 - 10 工程施工中技术照片及影像资料。

附录 A

钢绞线力学性能试验

A.0.1 钢绞线力学性能试验内容应包含钢绞线的屈服强度、极限强度、伸长率等试验。

A.0.2 试件制备应符合以下要求：

1 从外观检验合格的钢绞线中取试件。一般钢绞线批量在 60t 以下的，随机选取 3 盘取 3 根试件组成 1 个试验组；60t 以上批量的，按 60t 一组组成试验组，不足 60t 的按 60t 计。设计另有规定的应按设计要求执行。

2 试件制取时应从所选钢绞线盘内先截去 500mm，再根据试验条件截取 900mm~1200mm（测试标距为 610mm）。

3 每根试件两端均应用胶布贴裹编号，注明钢绞线生产日期、盘号、试件编号等，送检前避免损坏。

A.0.3 试件检验应符合以下要求：

1 钢绞线力学性能试验，须由具有相应资质的试验检验机构进行。

2 试件送检单位与相应检验机构签订有法律效力的钢绞线力学性能检验委托书。委托书中须明确送检试件名称、规格、数量、检验项目、送件日期、检验成果提供日期及其他有关事宜。

3 被委托机构应按委托书规定的项目进行钢绞线力学性能检验，按规定的日期向委托单位提供具有法律效力的钢绞线力学性能检验报告。报告中须提供所有委托检验项目的检验结果，并判定送检试件是否合格。

A.0.4 试验判定标准如下：

1 3 根试件中，如有 1 根试件的主要力学指标不合格，则该试件所取的钢绞线盘判为不合格。再随机扩大为 6 根试件重做试验，如再有 1 根不合格，则该批 60t 组的钢绞线判为不合格。

2 如试件在夹头内或距钳口两倍钢绞线公称直径内断裂而达不到标准性能要求时，则判为试验无效，须重做试验。

附录 B

预应力钢绞线—锚具组装件静载试验

B.0.1 基本规定：

- 1 大型水电水利工程预应力锚固，应根据设计要求进行预应力钢绞线—锚具组装件静载试验。
- 2 试验用的预应力钢绞线、锚具均为合格品，其组装件应由锚具的全部零件与预应力钢绞线组成。
- 3 锚具零件不得带有影响试验效果的物质。
- 4 预应力钢绞线等长、平行，受力长度不小于 3m。
- 5 试件不少于 3 套。

B.0.2 试验用的预应力钢绞线、锚具，其组装方式须与工程实际相一致。

B.0.3 试验用的测力系统其误差应小于或等于 2.1%，测量总应变的量具其标距误差不应大于 0.2%，指示应变的标距误差应小于或等于 0.1%。

B.0.4 试验加载程序：

- 1 试件制作、试验程序及方法按照 GB/T14370 执行。
- 2 加载应按预应力钢绞线强度标准值的 20%、40%、60%、80%分四级。加载速率宜为 100MPa/min。
- 3 当达到 80%强度标准值时，应持荷 1h，随后继续加载直至破坏。

B.0.5 测试内容：

- 1 应测得试件极限拉力 F_{apu} 及其总应变 ϵ_{apu} 。
- 2 各根预应力钢绞线与锚具之间的相对位移。
- 3 锚板、夹片之间的相对位移。
- 4 当加载至预应力钢绞线抗拉强度标准值的 80%并持荷 1h 后，锚板、夹片的变形及钢绞线的伸长值。
- 5 试件的破坏部位与破坏形式。

B.0.6 试验成果应包括试验记录及计算的锚固效率系数和总应变等内容。

B.0.7 锚固效率系数、总应变的计算公式及判定标准如下：

1 锚固效率系数计算公式：

$$\eta_a = \frac{F_{apu}}{\eta_p F_{pm}} \quad (\text{B.0.7-1})$$

式中：

- η_a —— 预应力钢绞线—锚具组装件静载试验测得的锚具效率系数；
- F_{apu} —— 预应力钢绞线—锚具组装件的实测极限拉力；
- η_p —— 预应力钢绞线的效率系数，其取值见表 B.0.7；
- F_{pm} —— 按预应力钢绞线试件实测破断荷载平均值计算的预应力钢绞线的实际极限抗拉力。

表 B.0.7 预应力钢绞线的效率系数

预应力钢绞线根数	1~5	6~12	13~19	20 以上
η_p	1.00	0.99	0.98	0.97

2 总应变 ε_{apu} 计算公式:

$$\varepsilon_{apu} = \frac{\Delta L}{L} \quad (\text{B.0.7-2})$$

式中:

ε_{apu} ——预应力钢绞线—锚具组装件达到实测极限拉力时的总应变;

ΔL ——预应力钢绞线—锚具组装件的预应力钢绞线实测伸长值, mm;

L ——预应力钢绞线—锚具组装件的预应力钢绞线计算长度, mm.

3 判定标准:

1) 如三套试件同时满足 η_a 不小于 0.95, ε_{apu} 不小于 2.0%, 且锚板和夹片未出现肉眼可见的裂纹或破碎, 则该批锚具为合格品。

2) 如有一套试件不满足 1) 的条件, 应取双倍数量的试件重做。若仍有一套试件不满足 1) 的条件, 则该批锚具为不合格品。

附 录 C 锚 具 硬 度 检 验

- C.0.1** 应在每批入库的锚板和夹片中抽取总量的 5%，且锚板不少于 5 件，夹片不少于 5 副，做硬度抽样检查。
- C.0.2** 测试前应用硬度标准块校正硬度计，随后将锚具和检测的夹片擦净，锚板中心打点处刨光进行测试。
- C.0.3** 采用洛氏硬度计测试，在锚板中心测打 3 点，在夹片背面中心线上测打 3 点，如符合厂家出厂标准值为合格品。
- C.0.4** 检验合格判定：当所有被检验的锚板和夹片的硬度值均合格时，判定该批锚板和夹片为合格品。如有一件不合格，则需取双倍数量重做检验，如仍有一件不合格，则应对该批锚板、夹片进行逐件检验，合格者方可入库使用。

附 录 D

张拉机具的配套标定

D.0.1 张拉机具配套标定前应进行下列准备工作：

- 1 千斤顶、压力表、测力计等应与锚索（杆）设计张拉力相匹配，应处于良好状况。千斤顶的额定张拉力宜比锚索（杆）设计超张拉力大 500KN~1000KN。
- 2 将待标定的千斤顶、压力表、测力计擦拭干净。
- 3 千斤顶、压力表、测力计应编号、标示、登记。
- 4 张拉机具配套标定前，压力表、测力计应单独进行检验合格。
- 5 采取保护措施以防止张拉机具在装卸、运输过程中受到碰撞、摔打、损伤。

D.0.2 张拉机具配套标定应符合下列要求：

- 1 张拉机具配套标定应由具有相应资质的试验检验机构进行。
- 2 应进行千斤顶—压力表配套标定，以及千斤顶—压力表—测力计配套标定。
- 3 试验检验机构应按规定的试验方法进行试验，出具具有法律效力的张拉力—压力表（测力计）读数关系试验报告。

D.0.3 张拉机具配套标定成果应包括下列内容：

- 1 千斤顶的张拉力—压力表读数关系曲线图（含对应关系数值表）。
- 2 千斤顶主动张拉力—压力表读数关系计算公式；千斤顶被动张拉力—压力表读数关系计算公式。
- 3 千斤顶的张拉力—压力表—测力计读数关系曲线图（含对应关系数值表），以及读数关系计算公式。
- 4 张拉机具配套标定过程中发现的有关问题。

D.0.4 标定的设备额定张拉力应大于锚索设计超张拉力 1~2 级（即 500KN~1000KN）。

附录 E

预应力锚索伸长值的计算及内缩量测量方法

E.0.1 曲线型预应力锚索理论伸长值可按下式计算：

$$\Delta L = \int_0^L \frac{P \cdot e^{-(kx + \mu\theta_x)}}{AE} dx = \frac{PL}{AE} \cdot \frac{1 - e^{-(kL + \mu\theta)}}{kL + \mu\theta} \quad (\text{E.0.1})$$

式中： ΔL ——锚索伸长值（mm）；

P ——预应力钢绞线张拉端的张拉力（N）；

L ——预应力钢绞线的计算长度（mm）；

A ——预应力钢绞线的截面积（mm²）；

E ——预应力钢绞线的弹性模量（MPa）；

θ ——曲线孔道部分切线的夹角之和（rad）；

x ——从张拉端至计算截面的孔道长度（mm）；

θ_x ——从张拉端至计算截面曲线孔道部分切线的夹角之和（rad）；

k ——孔道每米局部偏差对摩擦的影响系数；

μ ——预应力钢绞线与孔道壁的摩擦系数。

E.0.2 直线型预应力锚索理论伸长值可按下式计算：

$$\Delta L = \frac{P_j L}{AE} \quad (\text{E.0.2-1})$$

$$P_j = P \left(1 - \frac{kL + \mu\theta}{2} \right) \quad (\text{E.0.2-2})$$

式中： ΔL ——锚索伸长值（mm）；

P_j ——预应力钢绞线张拉端的张拉力与计算截面处扣除孔道摩擦损失的张拉力的平均值（N）；

P ——预应力钢绞线张拉端的张拉力，当超张拉时按超张拉力取值（N）；

L ——预应力钢绞线的计算长度（mm）；

A ——预应力钢绞线的截面积（mm²）；

E ——预应力钢绞线的弹性模量（MPa）；

θ ——曲线孔道部分切线的夹角之和（rad）；

k ——孔道每米局部偏差对摩擦的影响系数；

μ ——预应力钢绞线与孔道壁面的摩擦系数。

E.0.3 直线与曲线组合型预应力锚索的理论伸长值应分段计算并叠加。

E.0.4 预应力锚索实际伸长值可按下式计算：

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 \quad (\text{E.0.4})$$

式中： ΔL ——锚索实际伸长值（mm）；

ΔL_1 ——从初应力至最终应力之间的实测伸长值，包括多级张拉、两端张拉总伸长值（mm）；

ΔL_2 ——初应力下的推算伸长值（mm）。

E.0.5 伸长值的测量可按下列规定执行：

1 锚索在初始应力下，量测千斤顶活塞体外露长度，锚索张拉时在相应分级荷载下量测千斤顶活塞外露长度。如果中间锚固，则第二级初始荷载应为前一级最终荷载，将多级千斤顶活塞伸长值叠加即为初应力到最终应力间的实测伸长值。

2 应分别量测在施加荷载前后钢绞线实际外露长度并计算其差值，以校核前款量测的实际伸长值。

E.0.6 预应力锚索张拉锁定后内缩量测量，可采用下列方法：

1 工具锚板内缩量的量测方法：在钢绞线开始张拉，达到初始力即设计张拉力值的10%~25%，把松弛的钢绞线完全拉紧，此时将千斤顶充分固定牢固可靠，精确量取从千斤顶工具锚板外露端面至钢绞线外露端头的长度 b_1 。当千斤顶张拉力达到某级张拉力值时，再次量取从千斤顶工具锚板外露端面至钢绞线外露端头的长度 b_2 ，则工具锚内缩量 $b=b_1-b_2$ 。当预应力锚索由多根钢绞线组成时，则应对每根均进行测量，取其平均值（一般至少测量三处）。

2 工作锚板内缩量的量测方法：一般千斤顶与工作锚板接触部位均设置有一块限制工作夹片的限位板。钢绞线在张拉时工作夹片跟随钢绞线的拉伸，向后移动至限位板凹槽的位置，对钢绞线失去约束作用。当千斤顶张拉至设计某级张拉力、回油放松钢绞线的瞬间，钢绞线弹性收缩，工作夹片跟随收缩向锚板孔位底部位移，将钢绞线夹紧，将施加的预应力锁定在钢绞线内。但由于工作锚板回缩位移，将引起钢绞线张拉力的减小。张拉完成卸掉千斤顶后，在工作锚板部位测量夹片外露端面钢绞线外露长度 c_1 ，当预应力锚索由多根钢绞线组成时，则应对每根均进行测量，取其平均值（一般至少测量三处）。千斤顶限位板凹槽深度已知为 c_2 ，则工作锚板内缩量 $c=c_1-c_2$ 。工作锚板内缩量除与锚夹具硬度等有关外，还与钢绞线直径有关。

F.0.2 预应力锚索预埋管道安装质量评定表

施工单位:

合同编号:

单位工程名称		分部工程名称		工程部位				
锚孔编号		锚索吨位 kN		锚索类型				
设计孔长 m			预埋管道长 m					
锚索编号	孔道允许 误差 mm	测点 位置 cm	测点偏差					
			任意点	左起弯点	任意点	中心点	任意点	右起弯点
N1	Δx	x						
N1'		y						
N2		x						
N2'		y						
N3	Δy	x						
N3'		y						
N4		x						
N4'		y						
管道材质、结构尺寸								
孔道管线型情况▲								
孔道管固定、管接头密封及畅通情况▲								
进出浆管规格质量、固定及畅通情况▲								
锚垫板与孔道垂直情况								
施工单位自评意见			主控项目 100%合格，一般项目合格率 % 工序质量等级为： 签字 加盖公章 年 月 日					
监理单位意见			经抽检 并查验相关检测报告或记录， 主控项目 100%合格，一般项目合格率 % 该工序质量核定为： 签字 加盖公章 年 月 日					

注：1、允许误差及测量坐标值设计规定。

注：2、N1~N4 是指锚索体左端，N1' ~N4' 是指锚索体右端。

注：3、 Δx 为横向， Δy 为竖向。

F.0.3 预应力锚索制作安装质量评定表

施工单位：

合同编号：

单位工程名称						单位工程编码					
分部工程名称						分部工程编码					
单元工程名称						单元工程编码					
锚孔编号						锚索编号					
锚索类型		设计锚固力 (kN)			设计长度 (m)						
钢绞线根数		质量评定日期			年 月 日						
项目		单位	设计值	实测值	质量等级	项目		单位	设计值	实测值	质量等级
钢 绞 线	线	MPa				锚 固 段 体 系	长度▲	m			
	直径	mm					承压板直径	mm			
	根数	--					承压板数量	个			
	下料长度	m					承压板间距	m			
	剥皮清洗▲						挤压锚外径	mm			
	外观						导向帽直径	mm			
止 浆 装 置	直径	mm				锚 索 体	导向帽长度	m			
	长度	m					自由段长度	m			
回 浆 管	直径	mm				安 装	索体绑扎				
	耐压	MPa					外观				
	长度	m					锚索体检查				
对 中 支 架	直径	mm				锚 索 体	锚索入孔姿态				
	锚固段中间距	m					外露长度	m			
波 纹 管	直径	mm				运 输	支点间距	m			
	长度	m					转弯半径	m			
施工单位自评意见		主控项目 100%合格，一般项目合格率 % 工序质量等级为： 签字 加盖公章 年 月 日									
监理单位意见		经抽检 并查验相关检测报告或记录，									

	主控项目 100%合格，一般项目合格率 % 该工序质量核定为： <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> 签字 加盖公章 年 月 日 </div>
注：▲为主控项目	

F.0.4 锚墩制作质量评定表

施工单位：

合同编号：

单位工程名称				单位工程编码			
分部工程名称				分部工程编码			
单元工程名称				单元工程编码			
锚索孔编号				锚索体编号			
锚索类型		设计锚固力 (kN)		设计长度 (m)			
质量评定日期			年 月 日				
项目		单位	设计值	实测值	质量等级		
基面清理		—	—	—	—		
孔口管	直径	mm					
	长度	m					
	对中误差▲	mm					
钢筋	钢筋间距	mm					
	保护层厚度	mm					
模板	锚墩尺寸误差	mm					
仓面清理		--					
混凝土强度等级▲		MPa					
锚垫板	锚板尺寸	mm					
	中心孔直径	mm					
	外平面偏斜误差▲	°					
施工单位自评意见			主控项目 100%合格，一般项目合格率 % 工序质量等级为： <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> 签字 加盖公章 年 月 日 </div>				
监理单位意见			经抽检 并查验相关检测报告或记录，				

	主控项目 100%合格，一般项目合格率 % 该工序质量核定为： <div style="text-align: center;"> 签字 加盖公章 年 月 日 </div>
附表：锚墩混凝土立方体抗压强度检测结果报告。 注：▲为主控项目	

F.0.5 预应力锚索张拉质量评定表

施工单位：

合同编号：

单位工程名称		分部工程名称		单元工程名称									
单位工程编码		分部工程编码		单元工程编码									
锚索类型		锚索孔编号		锚索体编号									
设计锚固力 (kN)		锚索长度 (m)		锚固段长 (m)									
预紧千斤顶型号/编号		油泵型号/编号		压力表型号/编号									
张拉千斤顶型号/编号		油泵型号/编号		压力表型号/编号									
测力计型号/编号		质量评定日期	年 月 日										
钢绞线下料长度 (mm)													
预紧	预紧力 (kN)												
	预紧时各股钢绞线实测伸长值 (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		13	14	15	16	17	18	19	平均值				
张拉 ▲	荷载级别	预紧	2	3	4	5	6	7	8	9	锁定		
	张拉力 (kN)											0	
	压力表读数 (MPa)												
	加荷时间 (min)												
	持荷时间 (min)												
	理论伸长值 (mm)												
	实测伸长值 (mm)												
	理论实测之差 (mm)												
张拉情况描述													
操作		测量		记录		计算							

张拉日期	年 月 日	补偿张拉日期	年 月 日
质量评定	施工单位自评	签字： 年 月 日	监理单位复核 签字： 年 月 日
注：▲为主控项目。张拉指预应力锚索进行的整体张拉，预紧时张拉可以指示为“0”，实测伸长值和理论伸长值指，预紧张拉力条件下的理论伸长值，以后各级张拉力时的实测伸长值为预紧时的理论伸长值再加上各级张拉力时的实测伸长值。			

F.0.6 预应力锚索灌浆质量评定表

施工单位：

合同编号：

单位工程名称		单位工程编码					
分部工程名称		分部工程编码					
单元工程名称		单元工程编码					
锚索孔编号		锚索体编号					
锚索类型	设计锚固力 (kN)	锚固段长度 (m)	自由段长度 (m)				
注浆记录仪器型号/编号		质量评定日期	年 月 日				
项目	单位	锚固段注浆			自由段注浆		
		设计值	实测值	质量等级	设计值	实测值	质量等级
浆液	水灰比	—					
	灰砂比	—					
注浆	压力	MPa					
	进浆比重	—					
	回浆比重	—					
	屏浆比重	—					
	屏浆时间▲	min					
	结石 28d 强度▲	MPa					
	理论注浆量	L					
	注浆量	L					
注浆日期							
注浆过程记录							
施工单位自评意见		主控项目 100%合格，一般项目合格率 % 工序质量等级为：					

	签字 年 月 日	加盖公章
监理单位意见	经抽检 并查验相关检测报告或记录， 主控项目 100%合格，一般项目合格率 % 该工序质量核定为：	
	签字 年 月 日	加盖公章
附表：结石 28d 立方体抗压强度检测结果报告。 注：▲为主控项目		

F.0.7 预应力锚索外锚头保护质量评定表

施工单位：

合同编号：

单位工程名称		分部工程名称		工程部位	
锚孔编号		锚索吨位 kN		锚索类型	
外锚头保护方式	<input type="checkbox"/> 混凝土结构封锚 <input type="checkbox"/> 金属（塑料）防护罩封锚 <input type="checkbox"/> 其它				
项 目		质量要求		检测记录	
钢绞线	存留长度				
	表面清洁				
混凝土结构封锚	混凝土强度等级▲				
	保护层厚度▲				
	混凝土施工				
	封锚外观				
金属（塑料）防护罩封锚	材 料▲				
	结构尺寸▲				
	密封性▲				
	防腐油脂				
	外观				
锚墩标志色					
其它					
封锚施工日期	年 月 日				

<p>施工单位自评意见</p>	<p>主控项目 100%合格，一般项目合格率 %</p> <p>工序质量等级为：</p> <p style="text-align: right;">签字 加盖公章</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>
<p>监理单位意见</p>	<p>经抽检 并查验相关检测报告或记录，</p> <p>主控项目 100%合格，一般项目合格率 %</p> <p>该工序质量核定为：</p> <p style="text-align: right;">签字 加盖公章</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>
<p>注：▲为主控项目</p>	

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

- 《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB50086
- 《通用硅酸盐水泥》GB175
- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB12523
- 《预应力混凝土用钢绞线》GB/T5224
- 《预应力混凝土用螺纹钢》GB/T20065
- 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T14370
- 《混凝土用水标准》JGJ63
- 《无粘结预应力钢绞线》JG/T 161
- 《建筑用钢结构防腐涂料》JG/T224
- 《无粘结预应力筋用防腐润滑脂》JG/T430
- 《水电工程预应力锚固设计规范》DL/T5176
- 《水工混凝土外加剂技术规程》DL/T5100
- 《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》DL/T5148
- 《水工混凝土钢筋施工规范》DL/T5169
- 《水电水利工程模板施工规范》DL/T5110
- 《水工混凝土施工规范》DL/T5144
- 《环氧树脂砂浆技术规程》DL/T5193
- 《水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准》DL/T5113.1
- 《水电站基本建设工程验收规程》DL/T5123

中华人民共和国电力行业标准

水电水利工程预应力锚固施工规范

DL5083—201X

条 文 说 明

目 次

3	基本规定	41
4	材料与设备	42
5	施工	45
5.1	一般规定	45
5.2	成孔	45
5.3	制作	47
5.4	安装	50
5.5	灌浆	52
5.6	锚墩	53
5.7	张拉	55
5.8	防护	59
6	试验与监测	61
6.1	试验	61
6.2	仪器埋设与监测	62
7	安全与环境保护	63
7.1	安全	63
7.2	环境保护	63
8	质量检查与验收	64
8.1	质量检查	64
8.2	验收	64

3 基本规定

3.0.1 在预应力锚固工程施工前进行地质复核，复核设计提供的地质资料是否有变化，对地下水和地层进行化学分析，确定对锚索有无腐蚀性十分重要；或对被锚固构件工程特性进行复核，确定特性均满足设计要求。主要目的是按设计条件对锚索进行防护、做到锚固工程万无一失，且充分达到设计要求的预应力锚固效果。

3.0.2 预应力锚索、锚杆结构复杂，施工难度大，技术含量高，施工前编制作业指导书，制定工艺流程，按序施工，明确质量控制标准都很重要，只有按作业指导书组织施工，才能保证施工质量，做到安全施工。

3.0.3 同一锚固部位，宜采用同品种、型号、规格和同一厂家及工艺生产的预应力材料，是为了保证锚索、锚杆的均一性。按统一的技术要求、技术标准施工，不仅施工方法统一，管理方便，也易保证施工质量。

3.0.6 预应力锚索技术复杂，技术含量较高，工序也繁杂，一定要安排经过培训，并考核合格的人员上岗施工。

4 材料与设备

4.1 一般规定

4.1.1~4.1.3 预应力锚固工程使用的主材质量直接关系到预应力锚固是否能达到和满足设计要求，对预应力锚固工程有着根本性的影响，因此在现场必须严格控制并按照要求进行验收、检测、运输和储存。

4.2 锚索锚杆材料

4.2.1 预应力锚索使用的钢绞线为有涂层（无粘结）或无涂层（有粘结）高强度低松弛钢绞线。低松弛钢绞线在满足标准条件下试验 1000h，初载为最大负荷的 70%和 80%时，其松弛率不大于 2.5%和 3.5%。钢绞线生产工艺分为标准型和模拉型，其标准强度分别为 1725MPa、1860MPa 和 1960MPa。为最大限度的发挥预应力锚索的作用，目前 1725MPa 很少采用，所以本规范推荐的钢绞线标准强度值为 1860MPa 和 1960MPa，其性能见表 4.2.1。

表 4.2.1 1×7 低松弛钢绞线规格及力学性能表

公称直径 mm	直径允许偏差 mm	公称截面积 mm ²	理论质量 g/m	强度级别 σ MPa	规定非比例伸长应 力 $\sigma_{p0.2}$ MPa	规定非比例伸 长力 $F_{p0.2}$ kN	最大力下总伸长 率 δ %	张拉力松弛初 始负荷 %	1000h 松 弛率 %
12.7		98.7	775	1860 1960	≥ 184 ≥ 193	≥ 166 ≥ 174	3.5 ($L_0=500\text{mm}$)	60 70 80	≤ 1.0 ≤ 2.5 ≤ 4.5
15.2	+0.4 -0.2	140	1101	1860 1960	≥ 260 ≥ 274	≥ 234 ≥ 247			
15.7		150	1178	1860 1960	≥ 258 ≥ 279	≥ 232 ≥ 251			
17.8		190	1500	1860	≥ 353	≥ 294			

采用预应力混凝土用螺纹钢筋制作预应力锚杆，不仅可以充分利用材料的抗拉强度，还可提高抗剪能力，已有不少工程采用。关于预应力混凝土用螺纹钢筋的力学指标国家已制定标准，可按 GB/T 20065 要求执行。

4.2.3 钢绞线、预应力混凝土用螺纹钢筋等主材进入施工场地后，首先应对其外观进行严格检查，确保外观满足质量要求，并具有相关的合格证件。

无粘结钢绞线进场后应进行外观检查，检查项目为护套是否完整，有无防腐介质渗出，防腐介质涂敷量、护套厚度、护套的质量和防腐性能等。防腐材料及护套的材质和质量在 JG 161 中已有明确规定，可按此要求检查。

目前我国生产的无粘结钢绞线性能见表 4.2.3。

表 4.2.3 无粘结预应力钢绞线规格与性能表

公称直径 mm	公称截面积 mm ²	公称强度 MPa	油脂含量 g/m	护层				摩擦系数 μ	偏摆系数 κ
				厚度（二类以上） mm	拉伸强度 MPa	弯曲屈服强度 MPa	断裂伸长率 %		
9.5	54.8	1860 1960	≥ 32	≥ 1.0	≥ 30	≥ 10	≥ 600	0.04~0.10	0.003~0.004
12.70	98.7	1860 1960	≥ 43						
15.2	140	1860 1960	≥ 50	≥ 1.0	≥ 30	≥ 10	≥ 600	0.04~0.10	0.003~0.004
15.70	150	1860	53						

4.2.7 自钻式锚杆是用高强无缝钢管制成的，是集造孔、注浆、锚固于一身的张拉锚杆，可以施加 1000kN

的预应力。可快速实现工程锚固，并多用于边坡、岩壁吊车梁等工程加固。目前加工自钻式锚杆的材质尚无国家标准，可按表 4.2.7 规定进行检测。

表 4.2.7 自钻式锚杆原材料基本要求

钢材名称	屈服强度 MPa	极限强度 MPa	延伸率 %	备注
45 号钢	335	590	14	国标，退火态
45Mn2	735	885	10	国标，淬火态
40Mn2	735	885	12	国标，淬火态

4.3 锚夹具、连接器

4.3.1~4.3.3 锚具包括工作锚板、工具锚板、夹片等产品，锚板与夹片均有严格的配合要求，国家已制定 GB/T 14370 的生产标准，其力学性能、几何尺寸和钢材质量均应符合该标准的要求。进场的锚具应配齐相关检测资料，并随同进场锚具一并验收。

4.3.4 1~2 级水工建筑物中使用的锚索为重要的锚固工程，锚索数量较多，吨位较大，加固的部位比较重要，再加上预应力锚索使用寿命长，对锚索的锚固力要求较严格，所以应进行钢绞线-锚具组装件的静载试验。静载试验要满足锚具效率系数 η_a 不小于 0.95，极限拉力时的总应变 ϵ_{apu} 不小于 2.0%，且锚具组装件不产生破损。本次修订规范时，对钢绞线-锚具组装件的静载试验、硬度检验及外观检查，均做了检测频次的规定，一方面便于质量控制，另一方面也便于质量检查，做到有章可依。

4.4 防护材料

4.4.1~4.4.4 预应力锚固工程承受的拉力大，应力值可达 1000 MPa ~1200MPa，在高应力状态下易产生应力腐蚀，一旦发生腐蚀破坏，后果不堪设想。所以对预应力锚固工程的防护越来越受到重视，做好防护则首先应从材料入手。目前用的最多最普遍也是最有效的防护方式是水泥注浆、无粘结预应力锚索和防护套管等。

制作套管的材料品质关系到套管的强度、耐老化程度和抗腐蚀能力，如果使用了再生料制作的套管，其耐久性将会受到影响，强度不足易于破损，将给锚固工程带来不良后果，也给施工造成困难。

4.5 灌浆材料

4.5.1~4.5.4 注浆用水泥应采用硅酸盐、普通硅酸盐水泥，因矿渣水泥和火山灰水泥含有硫化物和氯化物，当氯离子含量超过水泥重量的 0.02% 时，会对锚索产生腐蚀。施工前应对锚固区地下水进行复核，当地下水有腐蚀性时，还应采用特种水泥。本规范还强调施工前，应进行注浆浆液的配合比试验，要求水泥浆或水泥砂浆的强度值不低于设计值，浆液 3h 后的泌水率控制在 2% 以内。水泥砂浆的质量还取决于细骨料的品质，也应进行严格控制。

4.6 造孔、张拉及灌浆设备

4.6.1 造孔机械设备和测斜仪器的选型应符合设计要求及施工条件。造孔设备应动力足、扭矩大、起拔力强、拆解方便、搬迁容易、易于组装、施工速度快、效率高，并应配有钻孔导向和纠偏装置。应根据施工

环境、地质条件、锚索深度、锚索孔方向、孔径大小等因素来选择适宜的钻孔机械设备、成孔工艺和成孔方法。

4.6.2 预应力锚索的张拉设备包括张拉千斤顶、高压油泵、压力表、测力计等。张拉千斤顶，高压油泵和压力表是配套使用的，一定要相互匹配。在同一个区域内有时每束预应力锚索设计张拉力不同，一个区域和另一个区域的锚索设计张拉力也会有区别，所以要求张拉设备能适应各种设计张拉力的需要。千斤顶的出力十分重要，关系到能否施加到设计需要的超张拉力，所以千斤顶出力应大于施加的超张拉力。这样可以保证张拉千斤顶施加的设计张拉力的准确程度。

压力表读数直接反应张拉力的大小，采用抗震数显压力表，且其精度不低于 1.5 级。当施加超张拉荷载时，表盘量程显示值为压力表最大量程的 75%，这些规定都是确保施加的张拉力稳定、准确，有利于锚索张拉的质量控制。

锚索测力计是在锚索张拉锁定后测量锚索工作状态的仪器。目前我国生产的测力计元件多为振弦式或差动电阻式，其测值应稳定，受环境与温度影响小，有利于保证测值准确、稳定、可靠。锚索测力计的测值与张拉千斤顶出力显示的读数值是存在差异的，这种差异是由多种原因造成的，因此测力计的标定和张拉千斤顶与压力表的标定应同时进行，并及时记录和分析标定成果，以准确判定锚索的张拉力和锁定后锚索的工作状态。锚索测力计安装时，可能出现偏载的情况，为此要求供应商提供偏载情况下的检验资料。

张拉设备的标定应由有资质的计量部门实施，这是法律赋予的职责，无资质单位标定的结果不具备法律效力，不能用来判定锚索锚固力的大小。由于张拉千斤顶反复在高压下工作，油封的摩阻力会发生变化，所以规定 6 个月标定一次，对于钢绞线—锚具组装件静载试验使用的张拉机具应用次数少时，可 10 个月标定一次。当发现张拉设备异常时，应重新标定。张拉机具由专人保管，建立设备使用、检修台账是质量管理的需要。

4.6.3 注浆设备包括浆液搅拌机、注浆泵及配套的压力表、管阀及输浆管等。由于预应力锚索大多数较长，已施工的锚索最长达 120m，最短的也在 20m 以上，再加上孔径小，锚索孔内组装件繁多，构造复杂，注浆质量难以保证，所以选择性能优良的制浆机、注浆泵十分重要。其基本要求是运行稳定，连续注浆，适应各种浓度的浆液，注浆性能应满足锚索孔注浆速度的要求。

为保证浆液均匀、流动性和可灌性，宜选择高速搅拌机制浆，其转速应在 1000r/min 以上，由于锚索孔注浆为隐蔽工程，宜采用灌浆自动记录仪实施注浆。

注浆过程中压力将产生波动，为减少波动的影响，注浆泵的压力表精度应为 1.5 级，量程应为注浆压力的 1.5 倍。

注浆管应耐磨性好，其管径应满足注浆量的需要，主要目的是防止注浆管损坏、注浆过程中注浆管爆裂而影响注浆。

5 施工

5.1 一般规定

5.1.1 为使封孔浆体与孔壁围岩良好结合，终孔后视孔壁围岩性状，采用适当方法清孔。一般采用压缩空气冲孔；对于坚硬岩体，或者采用湿式钻孔的，多采用压力水冲孔。下倾孔锚固孔道施灌前将孔道冲洗干净，排干积水，目的是利于浆体与孔壁围岩粘结良好。

5.1.2 使用电弧或乙炔焰切割钢绞线，会使其切割部位受高温加热而改变其物理力学性能，故不准使用。雷雨时在露天进行钢绞线切割作业，可能发生触电、雷击事故，要避免。

5.1.4 为使锚索钢绞线与锚固胶结材料良好粘结，编索前将无粘结钢绞线 PE 护层剥除，用清洗剂洗净油脂，有粘结钢绞线表面亦要无油污等。

5.2 成孔

5.2.1 水电水利工程岩土体边坡加固、地下洞室围岩加固、大坝基础处理加固等预应力锚索、锚杆施工，一般是在经过开挖削坡或者壁面初步清理后，按设计要求进行钻孔。

水电水利预应力混凝土结构工程锚固孔道是直线孔道时，为避免钻凿法对结构钢筋的损伤，一般采用预埋管法成孔。对于曲线孔道、环形孔道，因无法采用钻凿法成孔，则采用埋管法。

5.2.2 预应力锚固孔深应按设计要求控制以使内锚固段置于设计要求的岩土层内，以满足提供锚固力的需要。

终孔孔径达不到设计尺寸，会使锚索、锚杆无法送进孔道，亦可能使得锚索、锚杆的胶结体直径过小而不能完全包裹筋体；孔径是计算锚固段长度、锚固力的一个重要参数，其他条件不变时，孔径减小，则与孔壁的粘着力减小，锚固力减小。

由于岩土体锚孔孔底沉渣难以彻底清除干净，若孔深小于或等于设计孔深，会造成锚索、锚杆安装无法达到设计要求的深度，故考虑一定的超深量；仰孔超深要大于浆体沉缩量，以使岩土锚索、锚杆的有效锚固段长度符合设计要求。

孔道偏斜影响下索顺利与否，要予以控制。部分水电工程岩土体锚索孔允许偏差值见表 5.2.2。

表 5.2.2 部分水电工程岩锚造孔允许偏差值

项目内容 工程名称	设计张拉力 kN	孔位允许 偏差 cm	孔径允许 偏差	孔深允许 偏差 cm	孔斜允许偏差	方位角允许 偏差(°)
三峡工程大坝、 电厂	2000	<10	≤3%		端头锚不大于孔深的 2% 对穿锚不大于孔深的 1%	
三峡工程永久船 闸	1000 3000(观测)	<10			端头锚不大于孔深的 2% 对穿锚不大于孔深的 1%	
广西龙滩工程左 岸边坡	端头 2000 对穿 3000	<10	符合设计	≤20	不大于孔深的 2% 不大于孔深的 0.8%	≤±2
广西龙滩工程导 流洞	端头 2000			≤20	不大于孔深的 2%	≤±2
清江隔河岩水电 站高边坡	端头 2000	<10			不大于孔深的 2%	

5.2.3 关于钻凿预应力锚固孔道：

1 风动潜孔锤冲击回转钻进工效高，是岩土体钻孔常采用的钻孔方法。覆盖层、岩性软弱地层孔壁易坍塌而难以成孔，可视具体情况使用大扭矩钻机采取跟管法钻进成孔。破碎带、崩塌体堆积物遇水增加渗透压力，加剧边坡的不稳定性，不能采用湿式作业，需采用干式作业。为防止钻孔作业时粉尘对施工人员身体健康的危害和对大气的污染，干式钻孔时配捕尘装置。

采用跟管法钻孔时，由于穿越的地层复杂，塌落的土体、滞留的钻渣等易卡钻，为避免孔内事故、提高功效，可采取低转速、低给进、反复排渣的作业方法。

2 在粘性土、塑性流变岩体或高地应力岩层中造孔，往往孔壁周围岩土体发生挤压变形和应力释放，致使孔径缩小，因而造孔时要适当加大孔径，以免因孔径缩小导致下索困难。

3 为了使每根锚索的锚固范围符合设计规定，要控制岩锚钻孔孔距、排距的偏差。在测放确定孔位时，一般控制其偏差在 10cm 以内。由于各种原因导致测放孔位后，发现个别孔位在施钻过程中遇到障碍或地形、地质方面的问题，需要移动孔位，及时报经有关单位同意，并得到其书面通知后方能实施。锚孔移位时应注意群锚效应。群锚效应可按经验公式 (5.2.3) 进行计算分析。

$$D = 1.5 \sqrt{\frac{L \times d}{2}} \quad (5.2.3)$$

式中：

D——锚索最小间距 (m)；

L——锚索长度 (m)；

d——孔径 (m)。

经验表明，要注重从钻孔操作方面控制钻孔精度，在开孔时将钻具按照设计确定的倾角和方位角调整到位后，启动钻机缓慢钻进 20cm~30cm 停机，再次对钻具的倾角、方位角进行校核调整，可有效防止起始钻进的偏差。一般情况下可每钻进 5m~10m 测量一次孔斜，根据实测孔斜情况，采取相应纠偏措施，有利于保证钻孔的精度。深孔钻进时，重点控制 0m~20m 范围的孔道偏差。

4 岩体锚固施工中，因岩层情况十分复杂，钻孔作业中常有塌孔、卡钻、漏水等情况发生，致使钻进受阻或无法成孔，比较成熟而有效的措施是进行固结灌浆。广西龙滩水电站左岸高边坡岩锚施工中，该情况时有发生，采取先对该部位岩体进行固结灌浆（浆液中可掺入适量不含对索体有腐蚀性物质的速凝剂），待浆体达到一定强度后，再继续钻进作业。山西太祁高速公路 K17+000~K22+000 滑坡群路段，由于地处晋中地质断裂带，山体岩石十分破碎，造孔困难，后将山体作全面灌注水泥浆再行钻孔。根据现场情况，也可采用泥浆固壁法成孔。

实践表明，当钻遇承压水地层且地下水丰富时，采取固结灌浆进行封堵是有效的。

5 钻孔中遇到溶洞、洞穴、架空区、大裂隙、障碍物等时，易发生掉钻、漏风、钻进受阻等，可采用孔内电视观测，可直观真实地查明发生上述情况的原因，以便有针对性研究制定有效的处理措施，同时能真实记录孔位的地质情况。

6 一般水电水利岩体锚固工程原始地形、地貌情况复杂，早期的地勘工作难以全面揭示。在岩锚钻孔过程中按照设计的要求，注意收集钻机的钻进速度、返渣数量、成分及地下水情况，结合孔内电视观测，进行地质编录和绘制施工地质图表，了解和掌握岩锚区域及各锚索孔位的地质特征，判断设计孔深处的岩土体条件是否满足设计期望的内锚固段的要求。

7 为保证岩锚孔道质量，除终孔的孔轴偏差符合设计规定外，还要使孔道顺直性好、孔壁无错台、无松动碎石，以免影响锚索、锚杆安装、增大锚索张拉时的摩擦阻力和降低有效锚固力。

8 由于岩锚孔道所处环境复杂，成孔后若不及时安装锚索、锚杆或未将孔口临时封堵，可能会因各种原因致使石渣、泥土落入孔内，造成孔道堵塞或被填。

5.2.5 水电水利预应力混凝土结构工程类型很多，一般均采用预埋管法成孔。

1 管材可根据混凝土结构的特征、浇筑方法和锚索体结构型式选定。工程实践中，结构体积大、混凝土入仓强度高的大型弧门闸墩、船闸升船机闸室底部、水轮机混凝土蜗壳等预应力锚索孔道，多采用预埋钢管成孔，使其孔道质量更有保障。坝顶门式启闭机梁、压力隧洞衬砌、引水渡槽、管涵等结构，体积相对小些或壁厚相对较薄，混凝土浇筑入仓强度相对较低，其预应力锚索孔道（尤其是曲线索）多采用预埋金属螺旋管或高密度聚乙烯波纹管，施工简便，有利于使孔道线型符合设计要求。

2 混凝土结构锚索孔道采用预埋钢管成孔时，其安装连接方法可用接头管套接或电弧焊接。采用电弧焊接时要将两节钢管轴心重合临时固定。施焊后管内焊缝要平滑，无凸出管壁的焊瘤。管外周边焊缝均匀、密实、无砂眼、不渗漏。管道的通长线型符合设计要求。若预埋钢管上设有灌浆（排气）管，按设计要求将其与预埋钢管一并焊接牢固。预埋钢管按设计位置敷设、固定，以避免在外力作用下发生位移。孔内清理干净验收合格后，将所有孔口临时封闭严密，以防混凝土浇筑时漏浆堵孔。

3 预埋金属螺旋管要采用与被接管的材质、波形相同且管径大一号的接头管进行套接。接头管长度一般为 200mm~300mm，用切割机截取。连接时被接管旋进套管内 100mm 以上，接头管两端与被接管交接处采用防水乳胶带（或防水胶结材料）多层封裹，接缝两侧封裹宽度不小于 30mm。高密度聚乙烯波纹管安装时，可采用接头管套接或熔接法连接，其密封要求与金属螺旋管相同。

4 为控制混凝土结构锚索孔道质量，在安装时采取以下措施：

1) 按照锚索的设计位置及线型，在相应的结构钢筋上布设测点并标明其轴线沿程各点坐标，作为孔道管安装时的定位标志。

2) 金属螺旋管和高密度聚乙烯波纹管敷设时可用细铁丝将其与沿孔管全长设置的定位钢筋或井形定位支架绑扎牢固，钢管要敷设在型钢定位支架上并点焊固定，以控制孔道管线型，使偏摆系数 k 值、摩擦系数 μ 值在规定范围内。

5 为避免金属螺旋管或波纹管被电火花灼伤，在其附近进行电弧焊作业时，可用阻燃物覆盖防护。

6 引水隧洞混凝土衬砌和大直径混凝土输水管道的环形预应力锚索，一般设置在内外两层结构钢筋之间。当采用有粘结预应力钢绞线时，需在结构混凝土内预埋孔道管。为使孔道管及其两端的喇叭管、锚具槽有可靠的支承设施，其安装需在外层结构钢筋绑扎焊接完毕后进行。喇叭管与孔道管轴线重合，可有效减小锚索张拉时孔口的摩擦阻力。锚具槽自身的板缝，锚具槽与混凝土结构模板之间及喇叭管之间的接缝均需封闭严密，以防止混凝土浇筑时因漏浆堵塞孔道。

7 通过混凝土浇筑前对孔道管的全面检查、处理、封堵孔口，以及混凝土浇筑时对孔管的严格监护等措施，以预防堵孔事故的发生。

8 混凝土浇筑结束后（预埋孔管被混凝土覆盖后 2h 内）即可用有压水冲洗孔道，及时将可能渗入孔道内的水泥浆等污物排出，是使孔道畅通的有效措施之一。混凝土终凝后，采用棱形体对孔道进行检查，可以发现孔内是否存在错台或阻塞，以便及时采取措施疏通。在确认孔道完全畅通后，将其两端孔口临时封闭，以防异物落入孔内。

5.3 制作

5.3.1 一般大型水电水利预应力工程，均设置有良好的防雨、防尘、防污染设施的锚索、锚杆加工车间。

若预应力加固工程量较小或施工现场无合适场地时，也可设置有防雨、防污染功能的锚索制作工作台。不要在没有任何防护措施的场地上进行锚索制作。

5.3.2 采用人工抬运的目的是防止钢绞线的钝化膜磨损、无粘结钢绞线 PE 护层破损。

5.3.3 锚索、锚杆制作前，按照设计的孔深和拟采用的张拉工艺，将钢绞线、螺纹钢的长度算出，即为下料长度。当锚索安装有测力计时，另加测力计高度。为使钢绞线、螺纹钢下料长度清晰，可制表列计。

端头锚：包括岩体端头锚和混凝土结构端头锚。如为 P 型挤压锚、H 型压花锚和 BM 型锚，其长度另计。

对穿锚：包括岩体对穿锚和混凝土结构对穿锚。

分散型锚索：包括拉力分散型、压力分散型锚索，计算下料长度时要注意承载体的级数及其间距。

环形锚索：包括 HM 锚和 QM 锚，HM 锚的张拉包角为 360° ，QM 锚的张拉包角为 380° ，计算其下料长度时应区分开。

5.3.4 预应力锚索的组装件较多，锚索的结构也比较复杂，尤其是压力分散型、拉力分散型和拉压复合型锚索的组装件更多，主要包括钢垫板、螺旋筋、承压板、止浆装置、隔离架、对中支架、护套、波纹管及绑扎用的金属丝等。其中一些组装件可由锚索生产厂家提供，也有一些组装件是锚索的制作和安装单位自己制作。这些组装件不仅要满足本规范对保护层厚度、几何尺寸匹配的要求，还要满足允许误差的规定以及抗侵蚀及化学稳定性的要求。每一个细小环节都不能忽视，否则会影响锚索寿命，严重时会出现安全事故。

5.3.5 关于有粘结拉力型锚索、锚杆制作：

1 有粘结拉力型锚索、锚杆的内锚固段与张拉段分界处设置止浆器，是为了有效控制内锚固段长度及其灌浆质量。制作时按设计要求将止浆器穿入索体、杆体，其下端置于内锚固段起始位置，其尺寸误差不大于 $\pm 50\text{mm}$ 。调整止浆器端面与钢绞线或螺纹钢垂直后，用环氧砂浆或锚固剂将止浆器与索体、杆体密封固定，使其在锚索体、锚杆体安装时不发生位移并能有效止浆。止浆器耐压强度要大于设计灌浆压力。

2 有粘结拉力型锚索、锚杆体设有内锚固段进出浆管和张拉段进出浆管，其长度和在索体、杆体中的排列位置情况如下：

有粘结锚索、锚杆内锚固段进出浆管口位置：俯孔（含倾角在 15° 以内）有粘结锚索、锚杆的进浆管下口距锚索、锚杆孔底端不大于 200mm ，出浆管口穿过止浆器进入锚固段内；仰孔有粘结锚索、锚杆的进浆管出口置于止浆器上端面 100mm ，出浆管的上口距孔顶 50mm 或进入导向帽。

有粘结锚索、锚杆张拉段进出浆管口位置：俯孔锚索、锚杆进浆管出口距止浆器上端面的距离不大于 200mm ，出浆管下口置于锚垫板下端面 50mm ；仰孔进浆管出口置于锚垫板上端面 50mm ，出浆管的上口距止浆器下端面 50mm 。

有粘结拉力型锚索结构参见图 5.3.5：

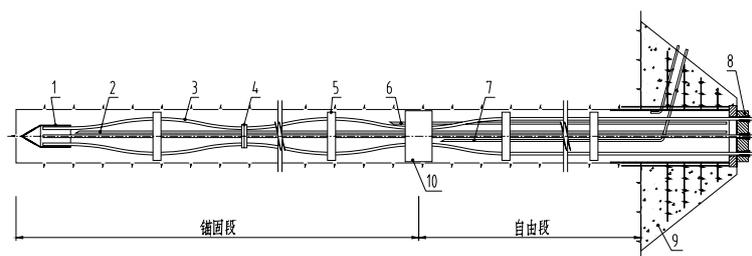


图 5.3.5 有粘结拉力型锚索结构示意图

1—导向帽；2—锚固段注浆管；3—钢绞线；4—绑扎丝；5—隔离架；6—锚固段排气管；7—自由段注浆管；8—锚具；9—锚墩；10—止浆装置

5.3.6~5.3.7 无粘结拉力型锚索或锚杆、无粘结拉力分散型锚索制作时，为使其索体与锚固胶结材料良好粘结，编索前须将无粘结钢绞线 PE 护层剥除，装上止油套，用清洗剂洗净油脂。

无粘结锚索体、杆体内，一般只设有进出浆管各一根：俯孔进浆管出口至索体、杆体孔底端距离不大于 200mm，出浆管下口置于锚垫板下端面 50mm；仰孔进浆管出口置于锚垫板上端面 50mm，出浆管上口距孔顶 50mm 或进入导向帽。

无粘结拉力型锚索结构参见图 5.3.6:

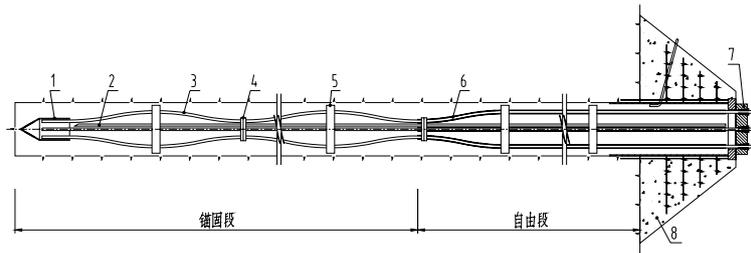


图 5.3.6 无粘结拉力型锚索结构示意图

1—导向帽；2—注浆管；3—钢绞线；4—绑扎丝；5—隔离架；6—无粘结钢绞线；7—锚具；8—锚墩

无粘结拉力型分散型锚索结构参见图 5.3.7:

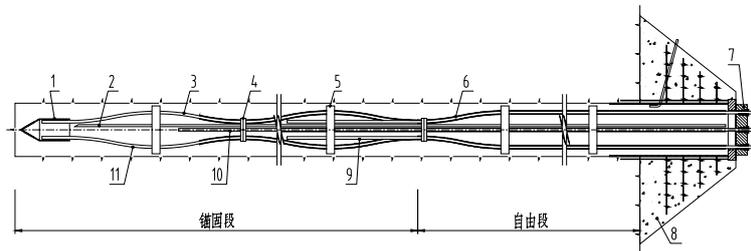


图 5.3.7 无粘结拉力分散型锚索结构示意图

1—导向帽；2—注浆管；3—钢绞线；4—绑扎丝；5—隔离架；6—无粘结钢绞线；7—锚具；8—锚墩；9—第 n 组钢绞线；10—第 2 组钢绞线；11—第 1 组钢绞线

5.3.8~5.3.9 压力型锚索、压力分散型锚索的 P 型锚具是承载体的主要部件，是索体的传力机构，制作时要牢固可靠。制索过程中要注意以下几点：

(1) 无粘结钢绞线穿过承载板时防止磨损 PE 护层。无粘结钢绞线待挤压锚固端部在剥去 PE 护层 (65mm~70mm)，洗净油脂，待其干燥后方能挤压安装 P 型锚具。

(2) 由于钢绞线直径和 P 型锚具挤压机型号不同，挤压时的工作压力及挤压后的 P 锚直径也不同。锚索施工前可通过挤压试验确定其参数。工程实践表明，P 型锚具用于 $\Phi 15.2\text{mm}$ 钢绞线挤压时操作油压为 42MPa~45MPa，挤压后 P 锚直径不大于 $\Phi 30.6\text{mm}$ 。

(3) P 型锚具挤压后，其预应力钢绞线外端宜露出挤压套 2mm~5mm。挤压后，要测量 P 型锚具外径，当发现其外径超过规定值时，及时更换挤压模具。

(4) 防护型锚索的承载体需安装防护罩，其内注满防腐油脂。

(5) 压力分散型锚索钢绞线分级定长下料后，在其上端部用不易磨失的材料标示级数。

(6) 压力分散型锚索承载体间距是根据孔壁围岩性状确定的。索体施加预应力后, 预应力沿内锚固段分散传递至地层, 孔壁围岩应力较为均衡, 可充分利用围岩条件确保提供所需锚固力。因此, 各组承载体间距宜大致相同, 一般以 1m 为宜, 间距误差不宜大于 50mm。

压力分散型锚索结构参见图 5.3.9。

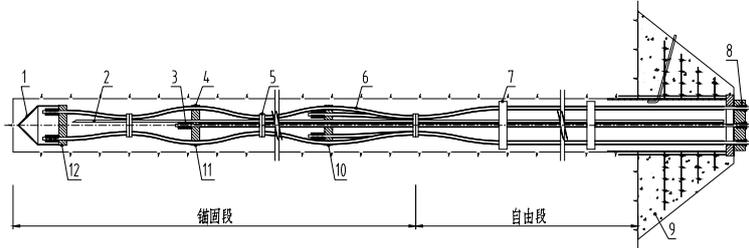


图 5.3.9 压力分散型锚索结构示意图

1—导向帽; 2—注浆管; 3—P 型锚; 4—承压板; 5—绑扎丝; 6—无粘结钢绞线; 7—隔离架; 8—锚具; 9—锚墩; 10—第 n 组承载体; 11—第 2 组承载体; 12—第 1 组承载体

5.3.11 自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索的结构参见图 5.3.11。

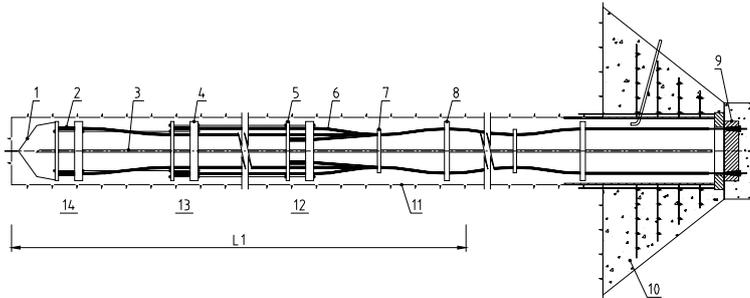


图 5.3.11 自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索结构示意图

1—导向帽; 2—单锚头; 3—灌浆管; 4—承载板; 5—辅助板; 6—无粘结钢绞线; 7—绑扎丝; 8—隔离架; 9—ESM 锚具; 10—锚墩; 11—锚孔; 12—第 n 组承载体; 13—第 2 组承载体; 14—第 1 组承载体

5.3.12 关于预应力锚索、锚杆张拉段制作与集束:

4 捆扎锚索体的扎丝不得含有有色金属材料的镀层或涂层。

5 分散型锚索由于钢绞线长短不等, 张拉时伸长值亦不同, 为了便于用理论计算伸长值对张拉时实际伸长值进行校核控制, 保证钢绞线的张拉安全, 故需对钢绞线进行标识, 以便张拉识别。可在钢绞线孔口端采用涂颜色或刻痕迹予以标识。

5.3.13 锚索穿越断层、裂隙发育地层时, 在锚索灌浆时易出现灌浆长时间难以结束的情况, 甚至堵管, 增设灌浆管以作备用和补救。为确保锚固段灌浆质量, 可在锚索锚固段设置止浆器。

5.3.16 岩体对穿锚索和混凝土结构对穿锚索, 其设计长度超过 24m 时, 一般均采用两端同步张拉。制索时需对每一根钢绞线进行编号, 且每根钢绞线两端编号相同, 其目的有: 便于穿索过程中调整索体, 使其不发生扭转; 索体两端安装工作锚板、工具锚板时, 不发生钢绞线交叉错位; 单根钢绞线预紧时, 两端能对应同步。可采用透明胶布对编码进行保护, 以防因摩擦而脱落。

5.3.19 对成品锚索进行验收、签发合格证、挂标示牌, 是锚索质量控制的重要措施, 目的是防止不合格锚索进入安装工序或将锚索装错孔号。

5.3.20 为了使验收合格的锚索、锚杆得到妥善的防护, 以保持其验收时的质量标准, 防止其在待安装存放期间受损或被污染、被腐蚀, 合格锚索、锚杆应按要求进行存放。

5.4 安装

5.4.1 锚索运输按索体特性、长度、重量、运距、运量、道路状况等制定详细的实施性运输方案，确定采用的最佳运输方式和运输中的防护措施及要求。

1 为了防止锚索体（尤其是无粘结锚索）在运输中受到摩擦或损伤，锚索水平运输无论是采用汽车载运还是人力扛抬，锚索的各支点间距不宜超过 2.0m，弯曲半径不宜小于 3.0m。压力分散型锚索因设有多个承载体，为防止其变形受损，运输中宜加大转弯半径。

2 当采用起重机械进行锚索垂直运输或安装时，为防止锚索体在起吊时局部受力过大而造成钢绞线局部拆弯受损，根据索体在吊运中的状态，合理设置吊点，其间距一般不大于 3.0m。同时为便于锚索安装的顺利、安全、快捷，除主吊具需牢固可靠外，其他吊点宜采用触地即可自动松开的装置。

3 为使锚索在车辆长距离运输中得到全面良好的防护，防止索体与车箱板面发生相互摩擦或被挤压损伤，锚索体应按要求放置。

4 对无粘结锚索，无论使用何种搬运装卸方式，都要有严密有效的防护措施，锚索体不被碰撞、挤压、摩擦，防止预应力钢绞线 PE 护层破损。

5.4.2 锚索、锚杆安装前进行全面核查，是控制锚索、锚杆施工质量重要措施之一：

2 在地质条件复杂的部位，锚孔验收后为防止孔道发生变化宜尽快安装锚索。如超过 24h 未下索，要对孔道进行通畅检查，发现问题及时处理，合格后方可下索。

3 防止锚索穿错孔号，需核对孔号牌、锚索长度等。

4 防止锚索安装中出现困难或在张拉时出现意外，锚索体要顺直入孔。

5 无粘结锚索安装前，对其钢绞线逐根仔细检查 PE 护层的完好情况。若发现有 PE 护层破损的，且其范围较小，需认真修补完整；破损范围较大的予以更换。只有锚索的全部钢绞线 PE 护层完好才能进行安装。

6 为使岩锚内锚固段的灌浆顺利并能保证质量，进出浆管要通畅。

8 检查仪器引伸线完好，以确保测试仪器的有效性。

5.4.3 岩锚孔道壁面相对较粗糙，有时孔道部位的岩性较差，孔壁不甚稳固。若锚索、锚杆安装中被反复拖拽，可能造成：

(1) 止浆器被损伤，降低或失去止浆功能。

(2) 扰动孔壁围岩，从而发生堵孔或塌孔，造成锚索、锚杆无法安装到位，所以锚索、锚杆安装尽量一次到位。

5.4.4 为使上仰索安装顺利、安全到位，要采取防止索体滑落的措施。

5.4.6 采用双层防护的岩土体锚索，其索体外设有防护套管，锚索体上一般设对中支架(或以隔离架代替)。安装前将套管逐段套在索体上，用接头管将各段套管进行连接，用防水胶布对每个接头进行密封，并将套管固定在索体上。套管外设置对中支架，其间距不大于 2.0m。安装时将锚索连同套管一起缓慢送入孔道。放索中保持索体与套管同步，防止二者相互错动。

5.4.7 岩土体锚索安装到位后，要检查止浆器的有效性，其方法有：气囊式止浆器，可采用给气囊充气加压检查；其他结构止浆器，可采用向内锚固段充水加压检查。如果止浆器存在问题，可采用辅助密封措施加以处理。

5.4.8 为了避免锚索外露部分在相关工序施工中被雨淋、尘土、混凝土、水泥浆及其他有害物质污染、腐蚀，需进行临时防护。

5.4.9 关于混凝土结构预应力锚索、锚杆安装：

1 较长的预应力输水渡槽、桥梁或其他混凝土结构，其锚索线型为多弧连接或其他复杂线型，混凝土结构采用分段分层浇筑。预应力锚索安装方法有：采用有粘结锚索时，为方便安装，可采取先装后浇法，即将金属螺旋管或高密度聚乙烯波纹管套在索体上，可用防水胶带把所有接头密封好，待检查无误后按照设计线型将其安装就位固定；采用无粘结锚索时，安装时可将锚索直接绑扎在定位支架上。锚索位置、两端锚垫板、锚垫板下螺旋筋均需符合设计对其材质、规格、安装精度的要求；孔外钢绞线长度满足张拉施工操作。

2 P 型挤压锚、H 型压花锚或 BM 型锚要与结构钢筋牢固连接，以使索体在混凝土浇筑过程中不变形移位。

3 引水隧洞预应力混凝土衬砌、大直径预应力混凝土输水管道，锚索均设在内外两层结构钢筋之间。如采用无粘结锚索、缓粘结锚索，安装时一般将其直接绑扎在定位支架上。

5.4.10 引水隧洞预应力衬砌中，如采用环形预应力锚固体系，锚索的张拉包角 360° ，其张拉端和锚固端分别设在一个工作锚板的两侧面。在实施槽外张拉时，由于锚索随着张拉力增加，其伸长值也相应增加，从而带动工作锚板在锚具槽内游动。工作锚板游动量可通过计算锚索的伸长值确定。如果工作锚板的起始安装位置不恰当，可能给锚索张拉造成困难。因此，环锚工作锚板的安装位置，要通过计算环形锚索的张拉伸长值来确定。

5.4.11 对穿型锚索、锚杆两端孔外的长度需满足张拉工艺的操作需要，以使张拉作业安全、顺利进行。

5.5 灌浆

5.5.1 纯水泥浆易于灌注、填满锚孔，满足锚索灌浆质量要求。若灌注水泥砂浆，掺入细砂的最大粒径不大于 1.5mm ，其用量控制在 30% 以内为宜，且灌浆管内径要大，以免灌注时砂浆堵管而影响灌浆质量或致使灌浆难以进行。从灌浆设备方面，国产三缸高压灌浆泵额定压力 12MPa ，垂直输送距离达 80m ，水平输送距离达 300m ，能满足高陡边坡灌注纯水泥浆以及细砂小掺量的水泥砂浆的要求。

5.5.2 关于锚索灌浆浆液及其配合比：

2 灌浆质量的好坏，浆液配比是极为重要的因素之一。内锚固段和张拉段灌浆的浆液配比通过试验确定。考虑可灌性，采用强度等级为 42.5 或 52.5 普通硅酸盐水泥拌制纯水泥浆灌注时，水灰比可为 $0.40\sim 0.45$ ；采用水泥砂浆灌注时，水灰比可为 $0.45\sim 0.50$ 。

3 浆液流动度在 $120\text{mm}\sim 170\text{mm}$ 为宜。

4 3h 泌水率不超过 2% ，泌水如在 24h 内被浆体全部吸收，可使孔内浆体密实。

5.5.3 关于浆液拌制：

1 按配合比确定的材料量准确投料，以使拌制的浆液质量符合设计要求。

2 水泥、外加剂和掺合料要充分搅拌，以获得流动性好的浆液，达到最佳的灌浆效果。采用高速搅拌机制浆能使浆液的流动性提高，增加其均匀和可灌性。

3 纯水泥浆液如果搅拌时间太长，会降低浆液的流动性。灌浆时采用边制浆、边灌浆，以免浆液搁置时间过长。如因故停灌致使已拌浆液初凝，予以废弃。

4 经验表明，浆液将因气温过高而降低流动度，当浆液温度超过 40°C 就难以灌注；冬季日平均气温低于 5°C 时，浆液流动度亦明显降低，甚至出现管线冻胀。故低温季节需采取有效的防寒保温措施；夏季灌浆时制浆系统可设遮阳棚，加冰制浆，输浆管线进行隔热保温。

5.5.4 关于锚索、锚杆灌浆方法:

1 有粘结锚索的张拉力是由内锚固段的孔道浆体结石与孔壁围岩之间的摩擦力和粘结力承担的。因此,要先进行内锚固段灌浆,待其结石达到设计强度后进行锚索张拉锁定,再进行锚索张拉段孔道封孔灌浆,使全孔锚索体得到永久防护,即两次灌浆。

2 无粘结锚索张拉段,施加预应力时不受钢绞线体外介质的影响,为简化工序、缩短工期,内锚固段和张拉段可同时一次进行全孔灌浆。在孔口围岩较完整时,孔口阻塞灌浆亦能使内锚固段浆体密实,故无粘结锚索可采用全孔一次灌浆。

3 为满足双层防护的无粘结锚索孔内的灌浆质量,节省施灌时间,灌浆时一般都采用将防护套管内外腔同时进行灌注。

5.5.5 对穿锚索孔道灌浆一般为一端进浆,另一端排气(或排浆)。灌浆时因浆压较大,为不使浆液自流溢出,需将两端孔口密封,使孔道内成为密封腔体,达到其灌浆密实。

5.5.6 关于锚固段灌浆:

2 岩土体锚固孔道灌浆,由于孔壁围岩的性状差异非常大,所以孔壁吸浆情况各不相同。一般情况一个锚固区灌浆前要做适当数量的工艺性试验,从试验成果中筛选出最佳灌浆参数。

4 采用浓浆灌注,并适当延长屏浆时间,利于使锚固孔道浆体密实。

5.5.8 锚索张拉锁定后,预应力钢绞线自身有一个沿程应力调整过程,锚索的应力调整完成后即进行封孔灌浆,可最大限度地保存锚索的有效预应力。同时也能有效防止预应力钢绞线因受有害介质影响产生锈蚀、腐蚀。

5.5.9 为加强锚固工程的质量监控,对灌浆这种隐蔽工程施工全过程的各项质量数据全面、及时、准确的掌控,灌浆时采用灌浆自动记录仪是必要的。

5.5.10 为使水平锚固孔道灌浆密实,灌浆时浆压要大于俯孔灌浆压力,使其顺利进浆,同时当进浆缓慢时,适当稍增浆压、延长屏浆时间,直至孔道不吸浆。对封孔灌浆质量要求较高、孔壁围岩较完整、裂隙不发育的锚固孔道可采用真空灌浆。

5.5.11 关于岩土体上仰锚固孔道灌浆:

(1) 岩土体上仰锚固孔道张拉段灌浆或全孔一次灌浆时,为避免浆压过大孔口冒浆,灌浆前可用环氧砂浆密封孔口,或将孔口段先行灌浆 2m~3m,稍作间歇后再进行灌浆,对孔道浆体密实是有效的。

(2) 锚索、锚杆安装在上仰孔时,伸至孔顶的为排气管而非灌浆管,是有别于俯孔的。为了使孔顶浆体密实,排气管出口距孔顶岩面控制在 50mm 以内,并在屏浆后可作为二次灌浆的进浆管进行一次压浆。

5.5.12 环锚及多波形曲线锚索孔道灌浆工艺比较复杂,为了达到其孔内浆体密实,清江隔河岩水电站引水隧洞衬砌环锚孔道灌浆等多个工程利用安装在曲线孔顶部的出浆管(排气管)进行补充灌浆,此方法对孔道灌浆质量是十分有效的。

5.5.14 为了检验浆体结石的强度,给张拉时机提供依据,可在灌浆施工现场取样制作浆体的试块,试块采用 7.07cm×7.07cm×7.07cm 立方体试模制作。

5.6 锚墩

5.6.1 关于预应力锚墩的选用:

(1) 在高陡边坡、地下洞室岩石强度高、岩面较完整情况下,可采用钢质锚墩。它体积小、成本低,能达到快速施工的目的。如拉西瓦水电站地下厂房、锦屏二级水电站地下厂房、三峡水利枢纽工程地下厂

房尾水管顶部均采用了钢质锚墩。

(2) 岩土体锚索、锚杆设计张拉力较小，且施工现场运输和安装条件较好时，采用预制钢筋混凝土锚墩，可以缩短工期，简化现场施工工序。

5.6.2 锚索、锚杆安装前或孔口临时封堵之后，及时将锚墩建基面上的石渣、浮土、松动石块切实清理冲洗干净，以利锚墩混凝土与岩面胶结。孔口基面找平是为了使锚墩与孔口岩面贴合紧密，避免张拉时在孔口受剪。

5.6.3 关于现浇钢筋混凝土锚墩：

1 各厂家锚具的设计尺寸参数不尽相同，其最外圈钢绞线孔的包络圆直径亦可能不一样，因此，锚垫板中心孔孔径需根据所选用的锚具尺寸予以确定。为了减小锚索张拉时的摩阻损失或防止锚索被剪切破坏，锚垫板与套管正交，误差不超过 0.5° 。

2 岩锚孔道验收合格后，一般先安装锚索，再安装孔口套管，并将套管校正至与孔轴、锚索同心，使其嵌入一定深度后固定，并用水泥砂浆或细石混凝土将套管外壁与孔壁之间缝隙充填密实，以防浇筑锚墩混凝土时漏浆。

3 锚垫板下螺旋筋、锚墩混凝土及其内部的加强筋，都是锚索、锚杆张拉和锁定后的承力、传力结构，只有规格尺寸符合设计要求，才能使其满足张拉和锚固的安全需要。

4 锚墩混凝土一般采用定型钢模板浇筑，有利于保证锚墩混凝土的质量和外形尺寸的准确，提高模板周转率，降低成本。为使锚墩位置及外形尺寸符合设计要求，锚墩模板安装误差要控制在允许范围内。锚墩尺寸及配筋参见表 5.6.3。

表 5.6.3 锚墩尺寸及配筋参考表

级别(kN)	底面(m×m)	顶面(m×m)	墩高(m)	钢筋网(mm)
1000	0.8×0.8	0.4×0.4	0.4	二层 $\Phi 8@100$
2000	1.0×1.0	0.5×0.5	0.5	三层 $\Phi 8@100$
3000	1.2×1.2	0.6×0.6	0.6	四层 $\Phi 8@100$

注：锚墩建基面性状较差时底面尺寸可放宽到 $1.6\text{m}\times 1.6\text{m}$ ，或采用网格梁结构。

5 锚墩混凝土强度等级为 C30 及以上。

6 混凝土锚墩是岩体锚索张拉时及锁定后的支承体和锚固端，是岩土锚固体系的重要组成部分，要严格控制其施工质量：锚墩混凝土配合比由具备相应资质的检测机构试验确定；混凝土所用水泥、外加剂、砂石骨料是经过检验合格的材料；混凝土浇筑按照规定的程序和要求进行施工；做好锚墩混凝土的养护工作。

5.6.4 关于预制钢筋混凝土锚墩：

1 预制钢筋混凝土锚墩所用材料质量要求与现浇钢筋混凝土锚墩相同。

2 采用预制混凝土锚墩时，在孔口设置至少四根插筋，用于固定预制混凝土锚墩。因此锚孔验收后，及时进行插筋埋设。地下洞室锚索锚墩建基面的插筋，除了使锚墩与岩体之间有效固定外，还用于穿索和临时固定索体。

3 预制锚墩安装时，为使其与找平层粘结牢固，可在找平层上抹 2cm 厚 M35 水泥砂浆，并立即将锚墩钢套管插入孔内且与其轴线重合、对位、紧贴找平层后拧紧螺帽。用 M35 水泥砂浆灌满锚墩的螺杆孔道。

5.6.5 钢质锚墩一般采用 45 号钢制作，其结构尺寸、钢筋网、垫层砂浆参考值见表 5.6.5。

表 5.6.5 钢质锚墩尺寸、钢筋及砂浆参考表

项目	钢质锚墩外形尺寸	垫层砂浆	钢筋网(mm)
----	----------	------	---------

级别(kN)	(mm×mm×mm)	标号	厚度(mm)	
1000	300×300×40	M40	>50	Φ8@100
1500	400×400×40	M40	>50	Φ8@100
2000	500×500×50	M40	>50	Φ8@100
3000	600×600×60	M40	>50	Φ8@100

由于钢质锚墩较薄，为使板下应力有效传递，回填的水泥砂浆要密实无空鼓。

5.7 张拉

5.7.1 关于锚索、锚杆张拉准备工作：

1 锚索张拉是预应力工程施工的关键工序，张拉作业的质量直接关系到工程 and 人身安全。锚索张拉质量是由张拉系统即千斤顶、高压油泵、压力表或测力计的协调动作准确显示来保证的，所以在张拉过程中压力表或测力计准确提供预应力锚索的张拉力值至关重要。为此，在张拉前须对所使用的机具进行配套标定，并提供千斤顶张拉力—压力表读数关系曲线及其计算公式。如三峡水利枢纽工程升船机上闸首预应力锚索，张拉用的千斤顶、压力表（测力计）均进行了配套标定，图 5.7.1-1 是其中的 0213 号千斤顶与 20304504 号压力表配套标定关系曲线及其计算公式，表 5.7.1 是千斤顶张拉力（主动）—压力表读数标定表，图 5.7.1-2 是 SM2-3-19 号监测锚索的测力计与张拉千斤顶配套标定的关系曲线及计算公式。

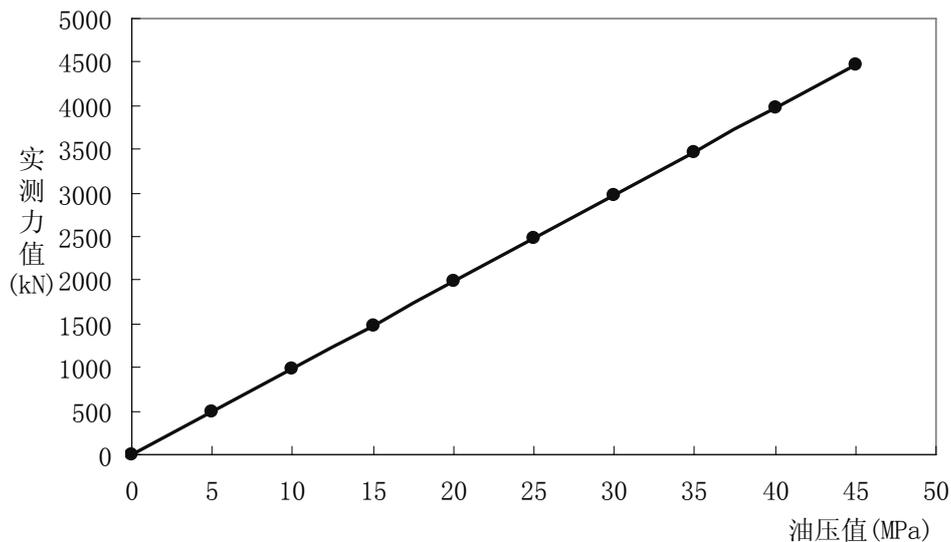


图 5.7.1-1 千斤顶—压力表标定曲线

千斤顶型号 YCW500A；千斤顶编号 0213；压力表编号 20304504；

千斤顶张拉力（主动） $Y=99.57X-10.95$ ；千斤顶（被动） $Y=102.47X+14.43$

表 5.7.1 千斤顶张拉力（主动）—压力表标定表

压力表读数 X(MPa)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
千斤顶张拉力 Y(kN)	486.90	984.75	1482.60	1980.45	2478.30	2976.15	3474.00	3971.85	4469.70	4967.55

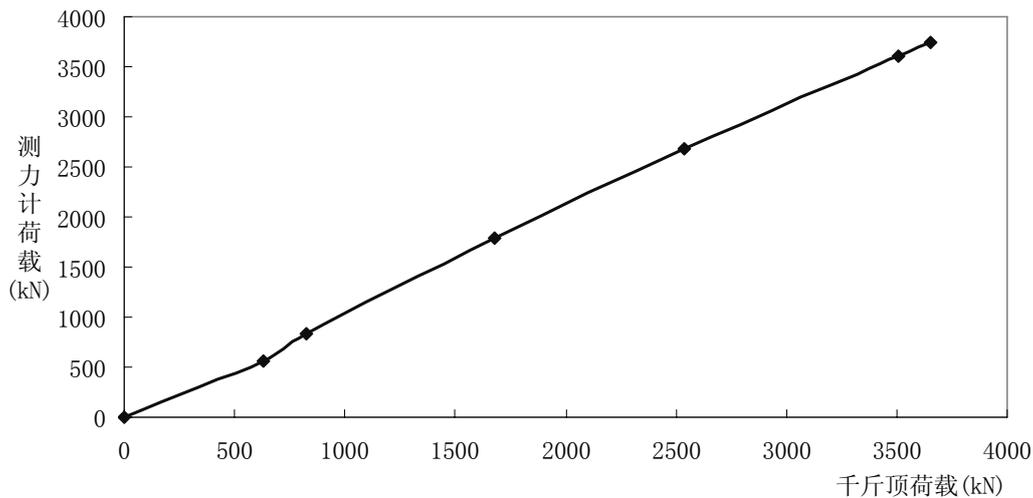


图 5.7.1-2 监测锚索 SM2-3-19 千斤顶与测力计关系曲线

2 锚索张拉时运用千斤顶——压力表配套标定计算公式，算出与锚索各级张拉力相对应的压力表读数。通过控制油泵压力表读数实现千斤顶对锚索的各级张拉力，也可在关系曲线上直接找出各级张拉力对应的压力表读数。

3 一般地，设计对锚索张拉时锚墩混凝土、结构混凝土应达到的强度标准有明确规定。如果施加预应力过早，混凝土因强度较低在张拉后徐变产生的预应力损失加大，甚至在其端部沿预应力钢绞线位置产生破裂。预应力锚索的张拉力是由其内锚段胶结体及其孔壁间的摩擦力和粘聚力承担的。当内锚段胶结体的强度达到了设计要求时，进行锚索张拉才是安全的。否则，锚索张拉过程中可能产生滑移或将锚索拔出。胶结体的强度由试件的试验资料提供。

4 测力计结构尺寸要与工作锚具相匹配。

5 张拉前，剥除外露无粘结钢绞线的 PE 护套。

6 监测孔测力计的安装位置是结构上的要求，测力计安装与孔轴同心，其目的是为了防止产生偏心。

7 为使锚索张拉作业顺利进行，在张拉机具运抵工地后，先进行配套试装，并进行空载运行，以便排除液压系统中的空气，检查张拉系统各个环节有无问题，如千斤顶是否漏油，压力表是否回零，高压油泵输油回油是否正常，高压油管系统有无漏油等，发现问题立即处理。在张拉机具运行正常可靠后再进行千斤顶安装。

5.7.2 缓粘结锚索因胶粘剂中固化材料掺量不同，使其固化期差别较大，国内该类产品的固化期分为 3 个月、6 个月、12 个月。可根据工程实际情况，选用最适当固化期的缓粘结钢绞线。使用缓粘结锚索时要在厂家所标注的固化期内张拉完毕，以免因胶粘剂固化使锚索无法张拉而报废。

5.7.3 关于预应力锚索张拉顺序或程序与方法：

(1) 为了避免或减轻在同一锚固区内锚索张拉产生群锚效应，要按设计要求的顺序进行锚索张拉。

(2) 先张拉试验锚索和安装测力计的锚索，以便指导后续施工。

(3) 压力隧洞混凝土衬砌、输水渡槽预应力锚索张拉时，为避免由于次应力的作用而引起洞段、槽段端部混凝土产生裂缝，不采取由中间向两端推进的张拉方式。如小浪底水库的排沙洞（其内径为 6.5m），深圳布吉河上箱形断面预应力混凝土渡槽（净空 4.2m×4.2m，跨度 48m，设计过水流量 24m³/s）及东深供水三期扩建工程论证阶段的预应力混凝土预制管（内径 4.8m，设计单管过水流量 45m³/s），在锚索张拉过

程中其节段端部（管口）均出现了不同程度的纵向裂纹（缝）。经采取由两端向中间（即先锁口）的张拉方式，上述工程的后续预应力锚索张拉中就没发现裂纹（缝）。跳束分序张拉、分级加载是为了减少群锚效应的作用。群锚效应是指由相邻锚索中后张锚索产生的混凝土弹性压缩变形引起先张索预应力损失的相互影响。

（4）U型预应力混凝土引水渡槽的锚索张拉程序，是由其受力特点所决定的。由于该类引水渡槽是对称、薄壁、敞开式结构，施加预应力时稍有不当，可能对其结构造成不利影响。根据东深供水三期扩建工程同类预应力引水渡槽锚索张拉施工的实践经验证明，U型引水渡槽预应力张拉采用由外向内、对称、跳束、分级加载的方法是成功的，对结构是安全的。

（5）矩型预应力混凝土引水渡槽结构型式较多，其内预应力锚索布置也不尽相同，如南水北调京石段应急工程中的几座大型预应力混凝土渡槽类似于多纵梁三槽结构。其预应力锚索布置既有纵向直线索、曲线索，又有横向曲线索及竖向索。此类工程的锚索张拉时，需制定详细的张拉程序和工艺，防止张拉时引起结构变形而受损。同时要配备足够的机具和作业人员进行张拉作业。

（6）大形弧门闸墩结构尺寸较小，锚索布置一般为双排多层。采用对称、跳束、分级，同步张拉的方法，是为避免在施加预应力时对结构产生不利影响，为减少预应力损失而采取的张拉工艺。

5.7.4 实践经验表明，当对穿锚索长度超过 24m 时，采取两端张拉的方法有利于索体应力的充分调整，所建立的有效预应力相对较高。当然也有一些预应力混凝土结构，由于构造上的原因，索体长度超过 24m 而采用一端张拉的工艺。如深圳水库库尾布吉河上的箱形预应力混凝土输水渡槽（长为 630.45m，单跨长度为 48m），预应力锚索采用一端张拉，其固定端采用 BM 型锚。张拉过程中为了减少预应力损失，采取了多项施工技术措施，如分 10 级加载、分序跳束、间歇张拉，工程投入运行后使用正常。

5.7.5 分散型锚索张拉较为复杂。目前的张拉方式分为单根循环分级张拉、差异化整索张拉两种方式。如黄河支流上山西张峰水利枢纽工程溢洪道闸室基础预应力锚索加固工程设计总锚固力 220,000kN，甘肃黄河支流临桃海甸峡水电站大坝预应力锚索加固工程设计总锚固力 115,200kN，施工中均采用了差异化整索张拉的方法。差异化整索张拉工艺为先分组差异荷载张拉以补足长钢绞线的伸长值，再整体分级荷载张拉，其步骤为：

（1）计算各组的差异张拉力，计算公式如下：

$$P = \frac{\Delta L}{L} AE \quad (5.7.5)$$

式中：

ΔL ——钢绞线差异伸长量（mm）；

P ——各级差异张拉力（kN）；

A ——钢绞线截面积（mm²）；

E ——钢绞线弹性模量（MPa）；

L ——钢绞线长度（m）。

（2）按计算的各组差异张拉力进行张拉，补足长钢绞线的伸长值。

（3）在各级差异张拉稳压后，整索分级张拉至设计超张拉力，稳压锁定。

5.7.6 关于锚索、锚杆张拉施工作业：

1 锚索、锚杆张拉是预应力施工中的关键工序，为使锚索、锚杆在张拉过程中充分调整应力，应坚持分级加载。锚索张拉过程中分级加载的级数与索体的长度、设计张拉力大小、孔道管的质量、套管材料及张拉方式等有关。一般情况下可分为 4~6 级，特殊情况可采取多级张拉，如深圳水库布吉河上的输水

渡槽，由于跨度大采取一端张拉，为使孔底索体应力与孔口应力达到基本一致，分为 10 级加载张拉。

锚索张拉锁定荷载一般为：一是张拉到设计的控制应力 σ_{con} ；二是超张拉至 $m_6\sigma_{\text{con}}$ 持荷稳压后，再降至设计张拉应力 σ_{con} 锁定；三是超张拉至 $m_6\sigma_{\text{con}}$ 进行锁定。采取超荷载张拉锁定要比不超荷载张拉所建立的预应力松弛损失小。超荷载张拉锁定是为了抵消锚索锁定后预应力松弛损失，以满足设计要求的张拉应力值。

在岩体加固或混凝土结构加固对锚索施加预应力的过程中，采用分级张拉持荷稳压的目的是为使索体能充分调整应力，各股钢绞线受力均匀，从而降低锚索锁定后的应力损失。当锚索张拉到设计规定的控制应力后，持荷稳压时间不小于 10min，最终的稳压时间视被锚固介质的特性而定，一般岩锚的最终稳压时间比混凝土结构预应力锚索的最终稳压时间要长些。

岩体锚索最大张拉应力控制在 $105\%\sigma_{\text{con}} \sim 110\%\sigma_{\text{con}}$ ，混凝土结构锚索最大张拉应力控制在 $103\%\sigma_{\text{con}} \sim 105\%\sigma_{\text{con}}$ 范围内，实际工程中应视具体情况选用。岩锚预应力锚索张拉时最大张拉控制应力之所以比混凝土结构锚索要大，主要原因是岩体本身属非均质的弹性体，加之节理、裂隙中有填充物，受力后压缩变形较大；混凝土结构是较为均质的弹塑性体，其徐变变形相对比岩体要小。在群锚张拉过程中为避免群锚效应，减少有效预应力值的损失，故相邻锚索施加预应力值控制在 $+5\%\sigma_{\text{con}}$ 或 $-3\%\sigma_{\text{con}}$ 范围内较妥。

2 为了使锚索体各股预应力钢绞线在张拉时受力均匀，采用单孔千斤顶对预应力钢绞线进行逐股预紧，预紧应力一般为 $0.1\sigma_{\text{con}} \sim 0.2\sigma_{\text{con}}$ ，预紧过程中要注意不可遗漏，所有预应力钢绞线全部预紧完毕后，即可进行整束张拉。当无法进行整束张拉时，在征得监理工程师同意后，可采取单根分级循环、反复张拉，直至各根钢绞线应力均匀。

3 锚索张拉过程中采取缓慢加载，其目的是为了索体能充分调整应力，使之受力均匀。同样被张拉的锚索在卸载时也要缓慢。如果采取快速降载可能会导致锚固端受瞬时荷载冲击，使锚固段端部受到不利的影响，甚至会造成水泥结石或混凝土结构中出现裂缝。

4 按照张拉作业指导表注明的张拉分级荷载、油压值，操作油泵，读取压力表示值，控制千斤顶进行荷载施加。同时，利用测力计进行监测。

6 为控制预应力锚索张拉质量，锚索张拉均采用张拉力为主与伸长值校核的双控措施。在每级加载后要同步量测其伸长值，锚索锁定后要量测预应力钢绞线的滑移量，计算实际伸长值并认真作好记录，以便与同级荷载下的理论计算伸长值进行比较，判断张拉质量是否符合规范和设计要求。

在锚索张拉过程中为了检验张拉作业是否正常，避免质量事故的发生，采取以张拉力控制为主、伸长值校核的双控操作方法是必要的。工程实践表明，岩土体锚索张拉时有发生实测伸长值大于理论计算值的 10% 或小于 5% 的情况；混凝土结构预应力锚索张拉时也有实测伸长值大于理论计算伸长值的 6% 或小于 6% 的情况。这可能是由于张拉机具出现故障或锚固段发生滑移，亦有可能是岩锚的张拉段长度未能满足设计要求，届时须停机检查处理。至于计算式中预应力钢绞线的弹性模量 E 的取值，有采用厂家提供的数据，亦有通过试验确定的。工程实践表明，如果 E 的取值与实际所用的预应力钢绞线弹性模量基本一致，其理论计算伸长值与正常张拉情况下实测伸长值之间较为接近。

7 由于锚具摩擦不同或锚具安装工艺上的问题，致使夹片在张拉过程中不能平齐跟进出现错牙。这时夹片对钢绞线的咬合面积及咬合力减小，致使锚索的张拉效果受到一定的影响。所以锚索张拉中夹片错牙不能过大，否则要放张退锚调换夹片，重新安装后再行张拉。以往在岩体加固和混凝土结构预应力锚索张拉中，由于各类原因需要放张退锚，传统的方法是用千斤顶加插片，这种方法存在着很大的安全隐患，可采用 DP 型快速退锚器。长江三峡水利枢纽对外交通工程，雅砻江锦屏一级、二级水电站高边坡岩锚加

固工程中成功使用该退锚器，取得了很好的经济效益和社会效益。

9 预应力钢绞线断丝断股的主要原因可能是预应力钢绞线存在材质缺陷，张拉千斤顶、油压表或油泵出现故障。表现特征是张拉过程中孔内预应力钢绞线有较大的断裂声，油压表指针瞬时剧烈摆动回落。夹片破裂的主要原因可能是夹片存在质量缺陷。其表现特征是张拉中可听到破裂声，甚至有夹片飞出。

5.7.7 在深厚覆盖层、松散堆积体和流变岩体中进行预锚加固处理时，往往发生压缩变形，锚索张拉后初期预应力损失较大，经验表明需进行补偿张拉是不可避免的。在边坡岩性复杂、压缩变形大的部位进行预应力锚固，或预应力混凝土结构锚索张拉力大、索体长、形状复杂时，为了减少预应力损失，可采取间歇张拉的方式，待被锚固的介质或索体应力充分调整，早期预应力损失基本完成后，再进行补偿张拉，使锚索应力达到或超过设计允许应力值后锁定。

锚索锁定后的应力值可通过测力计监测获得。无测力计的锚索锚固力损失值可参照下式进行推算：

$$\Delta\sigma = \frac{E\lambda}{L} \quad (5.7.7)$$

式中：

- $\Delta\sigma$ ——锚固应力损失（MPa）；
- λ ——锚固时钢绞线内缩量（mm）；
- E ——钢绞线弹性模量（MPa）；
- L ——锚索体张拉段长度（mm）。

5.7.8 岩土体和混凝土结构锚固工程预应力锚索张拉记录，是工程竣工验收及运行期可追溯的技术档案资料。其内容包括：

- 1 张拉机具及其标定资料。
- 2 所采用的张拉程序、工艺及技术措施。
- 3 安全技术措施。
- 4 分级加载、持荷稳压。
- 5 各级张拉力及其对应的实测伸长值。
- 6 稳压锁定、内缩量。
- 7 张拉过程中的监测记录。
- 8 张拉过程中异常情况。
- 9 实测伸长值与理论计算伸长值比较。
- 10 质量签证记录。

5.8 防护

5.8.1 在边开挖边锚固的同一作业区内，为使锚索的内锚固段及张拉段浆体固化过程中不遭爆破影响，在作业区内采取控制爆破。为了施工安全，不影响开挖施工进度，亦可在浆液中掺入适量对锚索无害的速凝剂，但实施前要进行试验验证。

5.8.2 水电水利预应力加固工程受环境条件的影响，锚索的设计使用年限长，运行环境较为复杂，因而其外锚头的防护特别重要，稍不注意就会使锚索锚固效果和耐久性受到影响。外锚头防护一般采用混凝土或钢筋混凝土结构，其管理维护比较简单。

外锚头使用金属、塑料防护罩，其后期管理和维护非常困难，一般不常采用。因观测需要，以及补偿张拉前防护需要，无粘结锚索临时防护一般采用可拆卸金属、塑料防护罩加注防腐油脂。

5.8.3 预应力张拉完毕并确认不需要补偿张拉后方可进行外部多余钢绞线割除工作；封锚前将锚板外钢绞线按照规定值留存，多余部分用切割机切除。为使预应力锚固区不受损伤，严禁采用电弧或乙炔焰切割，否则将会导致预应力钢绞线、锚具退火，影响锚固质量。

5.8.4 关于混凝土结构封锚：

1 为使新老混凝土结合良好，锚墩混凝土或结构混凝土表面要凿毛、冲洗、湿养。浇筑混凝土前将锚板、预应力钢绞线清洗干净，混凝土浇筑完毕后进行 7d~14d 的养护。

2 水工隧洞混凝土衬砌采用有粘结预应力环锚时，当锚索张拉完毕后及时用混凝土回填锚具槽。填槽前将槽内混凝土壁面凿毛、恢复过槽钢筋网、冲洗干净，并涂刷粘结剂，用与衬砌圈强度等级相同的补偿收缩细石混凝土回填。需要强调回填混凝土要振捣密实，表面收光与隧洞壁面吻合，随后进行养护不少于 14d，以使新老混凝土能良好结合。

3 水工隧洞如采用无粘结预应力锚索，做好槽内锚头和锚具槽的处理：锚具槽所有内壁面彻底凿毛，恢复过槽钢筋网，切实清洗干净，槽内不能留有残渣、余水，在槽内满铺防油塑料布；锚板、锚具、钢绞线涂防腐油脂后，使用耐老化、不渗油的材料封装严密，不能有任何渗油点；填槽混凝土的强度等级与衬砌混凝土相同或略高的补偿收缩混凝土；混凝土浇筑前进行湿养护 72h 后，在槽内壁面全面均匀涂刷粘结剂；槽内混凝土浇筑要振捣密实，将其表面收光至与隧洞壁面一致；可在槽口回填混凝土面粘贴一层碳纤维布；对槽口回填的混凝土养护 14d 以上。

6 试验与监测

6.1 试验

6.1.1 采用预应力锚索加固的边坡、地下洞室、水工建筑物基础及预应力混凝土工程，一般都是比较重要的水利水电工程。一旦边坡失稳、地下洞室的变形超标、或坝基抗滑稳定安全系数不满足规范要求，都会危及结构物的安全。为保证加固对象的安全，应对锚索使用的材料、锚索的受力性能进行检验和试验，为工程验收和质量评定提供依据。

6.1.3 锚索受力性能试验的目的是确定锚固段长度、复核锚索孔地质力学参数，确定锚索安装、张拉工艺和预测各种预应力损失的量级。由于锚索受力性能试验较为复杂，耗时、耗材较多，1、2级水工建筑物的锚固工程锚索数量较多，设计张拉力较大，所以原则上1、2级水工建筑物的锚固工程应进行锚索受力性能试验。

锚索受力性能试验有两种方式：非破坏性试验和破坏性试验。一般情况下不做破坏性试验，非破坏性试验可在工作锚索中选择有代表地段进行。

一般情况下，锚固段的非破坏性试验应遵守下列规定：

1 试验锚索应有代表性。

2 锚固段的胶结材料达到设计强度后，方可进行试验。施加张拉力不少于5级，每级持荷5min，并进行相应的观测。当张拉力达到设计张拉力的120%时，即可认为锚固段的锚固力满足设计要求。

6.1.4 预应力锚索受力性能试验所用的材料、锚索的结构、张拉力、张拉设备及试验中所拟定的工艺都应工程实际相同。这样的试验成果才具有代表性、科学性，才能对工程具有指导意义。

6.1.5 试验前，测力计、压力表及千斤顶三者应配套标定，根据标定结果在张拉千斤顶与压力表之间建立相关关系。试验锚索的承载能力以压力表的指示值为准，并用张拉荷载对应的实测伸长值复核。

6.1.6 破坏性试验的目的是确定锚索的承载能力、锚固段的力学参数和锚索的受力状态。破坏性试验不应在锚固部位安排，只能选择与工程条件相似的部位进行。由于主要是确定锚索的承载能力和锚固段长度，为节省试验成本，可采用短锚索，但锚索自由段长度不应小于10m。破坏性试验的张拉力分级，加荷速率都应专门制定。判定是否破坏主要有二种方式，一种为从锚索的应力~应变曲线分析，当锚索达到屈服状态可判定为破坏；另一种锚固段发生连续位移或钢绞线发生断裂可判定为破坏。

一般情况下，锚固段的破坏性试验，应遵守下列规定：

1 破坏性试验不得在工作锚索中进行。

2 用于破坏性试验的锚索可比工作锚索短，但锚固段的长度应满足设计要求。

3 按设计拟定的张拉程序，逐级施加张拉力。每级荷载持荷5min，并进行相应观测。当锚固段产生连续位移，或有30%的钢丝或钢绞线断裂，即认为预应力锚索已达到破坏状态。

4 当锚索体应力已达到钢材极限抗拉强度，锚索并没有出现本条第3款的情况，可根据实测的荷载与变形关系曲线确定锚固段的锚固力。

5 根据试验结果，核算锚固段的安全程度，并据此调整锚固段的结构和长度。

6 进行破坏性试验时，应防止发生人身伤害和设备损坏等事故。

6.1.7 各项试验完成后，应及时提出实验报告，便于及时分析试验结果，指导施工。

6.2 仪器埋设与监测

6.2.1 预应力锚固工程监测分为施工期监测和运行期监测。在岩（土）体锚索施工过程中，通过施工期监测可以进行动态设计，调整施工程序，改进施工工艺。监测数量应根据 SL 212 和工程规模确定。东深供水三期扩建工程 4.3km 大型薄壁双向预应力渡槽，24m 跨试验段纵向预应力锚索 1000kN 级共 10 束，其中 2 束安装测力计；横向 U 型 500kN 级无粘结预应力锚索共 10 束，其中 4 束安装测力计，经过一年多监测取得了大量数据。三峡水利枢纽升船机闸首混凝土结构共设置 3000kN 级预应力锚索 657 束，其中 56 束为监测锚索，占锚索总量的 8.5%。

6.2.3 预应力锚固工程监测仪器的埋设是非常重要的，在埋设前和埋设过程中应仔细检查被埋设的部位是否满足要求，埋设是否牢固、准确、可靠，埋设的质量将直接影响到后期的观测效果。

6.2.4 锚索的监测工作应与预应力锚索施工同步进行，这主要是为了测得被锚固岩（土）体、结构的应力、应变初始值，并按照监测要求进行后续监测；同时，按照本条规定定期将测得的资料进行分析整理，及时向有关方面反馈，以便调整设计参数和张拉程序及工艺。

6.2.5 锚固工程的监测分为二类，一类是对锚索本身的锚固效果进行监测，主要观测锚索锚固力的变化情况，确定预应力损失程度，其主要成果是锚固力~时间变化过程线；另一类是对被锚固介质的监测，主要观测被锚固对象的位移、结构物内部应力、应变和结合部位的开合度。这些物理量的变化规律都是锚固初期变化大，后期逐渐平缓收敛，所以锚索锁定初期观测频次要密集，间隔时间要短，后期可疏稀，间隔时间可长些。为了确保观测成果的准确性，应妥善保护观测设施。如发现异常，应会同设计人员查明原因，及时补救。

6.2.6 施工期监测转入运行期监测时，除了现场实地交接外，还应对监测资料做全面、详细地移交。在移交过程中如有仪器发生故障、失效，应及时修复，以便继续观测。

6.2.7 阶段性和定期性的监测报告非常重要，其内容应做到详细、全面，并对锚固工程安全运行情况作出评价。

7 安全与环境保护

7.1 安全

7.1.1 在编制预应力锚固工程施工组织设计时，应同时制定安全施工技术措施，对可能存在安全隐患的施工工序，还应制定详细的安全施工作业指导书。工程开工前，应结合工程的具体情况，对参与工程施工的人员进行安全施工技术培训并进行考核，操作人员应持证上岗。

7.1.2~7.1.3 岩（土）锚固施工区域的自然环境比较复杂。开挖后的高陡边坡或洞室围岩稳定性差，工程地质条件和水文地质条件较为复杂的边坡或洞室围岩，存在一些松动块石或边坡孤石；高地应力区的地下洞室可能发生岩爆，因此预应力锚索施工前应全面检查、加强监测，并彻底清除作业区内可能构成安全隐患的边坡或洞室围岩松动块石或孤石，在作业区上方的适当位置设置挡石排或柔性拦石网，以消除安全隐患。

7.1.4~7.1.5 这 3 条规定都是针对预应力锚固施工中可能发生、且容易疏忽的几个安全问题而提出的。从安全工作应以人为本的原则出发，强调预应力锚索施工人员应做好自身的安全及健康防护工作。

7.1.7 预应力锚固工程施工过程中应认真做好施工安全的记录，其主要内容有：

- 员工安全技术培训记录；
- 施工安全工作会议记录；
- 专职安全检查人员例行安全检查记录；
- 注册安全监理工程师或建设单位组织的安全检查记录；
- 安全隐患整改记录；
- 重大安全事故处理记录。

7.2 环境保护

7.2.1 虽然预应力锚固工程对环境的破坏很小，但由于锚固工程也占用一定空间，对周围环境也有一定影响。为将对环境的破坏减少到最小程度，施工后尽快恢复原地形、地貌，清除施工垃圾十分重要，要在施工前制定完善的保护措施和保护方案，经监理批准后再进行锚固施工。

7.2.2 根据现行的国家标准 GB12523 的规定，施工期间，施工作业在施工场界的允许噪声控制标准为：昼间 70dB（A）、夜间 55dB（A）。

7.2.3 锚索防护注浆和锚墩混凝土施工中应防止水泥飞扬，影响施工区域的空气质量。

7.2.4 施工中产生的污水、废水不应任意向地表水系排放，应经处理达标后再排入江河或指定地点。

7.2.5 预应力锚索施工中的废弃物，如剥下的无粘结钢绞线的护套管和被清除的废油脂、锚夹具的包装纸、废轮胎、废机油及废蓄电池等，应按规定对其进行分类、堆放，不应随意掩埋和倾倒入江河，以免污染土壤和水体。

7.2.6 施工中对可能接触有害物质的操作人员，应做好劳动保护。

7.2.7 预应力锚固工程施工完毕后，应进行场地清理、平整，力求恢复原貌，保持良好的生态环境。

8 质量检查与验收

8.1 质量检查

8.1.1~8.1.3 这3条是将预应力锚固施工的各个工序、各施工环节应进行的质量检查项目和内容作了明确的规定，强调了及时填写各工序质量评定表的必要性。因此对各工序的质量检查更具有可操作性。

8.1.4 施工单位应严格遵守国家、地方政府制定的关于建筑工程施工质量的法律、法规，认真执行工程承包合同中有关质量方面的条款。在施工中，应建立有效的质量管理机构，切实落实三级检查制度，做好各工序的检查验收，做到发现问题及时处理。预应力锚固工程的质量控制与每一个环节都息息相关，只有做好预应力锚固工程施工过程中各工序的质量监控，才能保证预应力产品的合格。

8.2 验收

8.2.1 边坡、地下洞室、基础加固工程，每束锚索作为一个单元工程，施工完成后应组织该束锚索的单元工程质量评定；每个锚固区加固完成后，应组织该锚固区的完工验收。

8.2.2~8.2.3 这2条明确了验收应符合的条件，以及完工验收时应提供的资料。
