ICS 27.140
P 59
备案号：J352—2004

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL / T 5083 — 2004

代替 DL / T 5083 — 1998

水电水利工程预应力锚索施工规范

Specification of prestressing tendon construction for hydropower and water conservancy project

2004-03-09 发布　　2004-06-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会　发布

目　次

前言 …… III
1　适用范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 2
3　名词术语 …… 3
4　总则 …… 6
5　一般规定 …… 7
6　材料与设备 …… 9
6.1　预应力钢绞线 …… 9
6.2　防护套管 …… 10
6.3　锚具 …… 10
6.4　造孔设备 …… 11
6.5　张拉机具 …… 11
6.6　灌浆设备 …… 11
7　锚索施工 …… 13
7.1　成孔 …… 13
7.2　锚索制作 …… 15
7.3　锚索运输、安装 …… 16
7.4　张拉 …… 18
7.5　防护 …… 20
8　试验与监测 …… 22
8.1　试验 …… 22
8.2　监测 …… 23
9　质量与安全 …… 24
9.1　质量 …… 24
9.2　安全 …… 26

10 环境保护 …… 28
11 验收 …… 29
附录 A（规范性附录） 钢绞线力学性能试验 …… 30
附录 B（规范性附录） 预应力钢绞线—锚具组装件静载试验 …… 32
附录 C（规范性附录） 锚具硬度检验 …… 35
附录 D（规范性附录） 张拉机具的配套标定 …… 36
附录 E（规范性附录） 预应力锚索伸长值的计算 …… 37
附录 F（资料性附录） 预应力锚索施工记录及质量评定表 …… 39
条文说明 …… 47

前　言

预应力技术在我国水电水利工程中已广泛使用，并积累了大量的施工经验。为适应我国水电建设快速发展的需要，进一步总结经验，促进该项技术的发展，规范施工行为，确保预应力工程施工质量，根据原国家经贸委电力司“关于下达 2002 年度电力行业标准制修订计划的通知”（国经贸电力［2002］973 号）要求，对 DL/T 5083—1998《水工隧洞预应力混凝土衬砌锚索施工导则》进行修订。

本标准是在收集、总结国内水电水利系统预应力锚索施工经验的基础上修订的，并借鉴国内外的一些先进经验，增加的内容为：适用范围增扩至岩体边坡、地下洞室及各类预应力结构；增加原材料力学性能的检验项目与内容；防护灌浆增加了抽真空辅助灌浆新工艺；在岩锚工程中还增加了信息法施工等。

本标准实施后代替 DL/T 5083—1998。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E 均为规范性附录。本标准的附录 F 为资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业水电施工标准化委员会归口并负责解释。

本标准主要起草单位：中国葛洲坝集团公司。

本标准参加起草单位：中国人民武装警察部队水电指挥部、国土资源部长江三峡地质灾害防治指挥部、长江预应力工程公司、山西基成岩土工程有限公司、天津市轧三金属材料科技有限公司、广东东莞津盈实业有限公司、柳州欧维姆机械股份有限公司、广西柳州 HVM 有限公司、广西柳州市建筑器具厂、广西柳州市 TVM 有限公司。

本标准主要起草人：任尚卿、郭德福、邢德勇、朱忠华、王青屏、黄学斌、周光奉、贾志营、程温鸣、丁永贵、方中予、韦勇生、冯建江、闫文、汤宝雄、张宏强、吴雄、佟英玉、周喜成、徐勤、邵志雄。

1 适 用 范 围

本标准规定了预应力锚索材料检验、基本性能试验、施工和施工期监测的基本要求。

本标准适用于水电水利工程中的岩体加固及混凝土结构后张预应力锚索施工。其他工程的岩体加固及混凝土结构后张预应力锚索施工可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T5224 预应力混凝土用钢绞线

GB/T14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器

GB50010 混凝土结构设计规范

GB/T50326 建设工程项目管理规范

DL/T5100 水工混凝土外加剂技术规范

DL/T5123 水电站基本建设工程验收规程

DL/T5144 水工混凝土施工规范

DL/T5148 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范

DL/T5176 水电工程预应力锚固设计规范

JG3006 有粘结预应力筋

JG3007 无粘结预应力筋专用防腐润滑脂

JG/T3013 金属螺旋管

JG/T3663 给水用高密度聚乙烯管材

JG/T5028 预应力用液压千斤顶

SL46 水工预应力锚固施工规范

SL176 水利水电工程施工质量评定规程

ISO14001 环境管理体系—规范及使用指南

3 名 词 术 语

3.0.1

预应力钢绞线 prestressing steel strand

用于对岩体、混凝土结构物施加预应力的由多根高强钢丝捻制成的低松弛线束。

3.0.2

预应力锚索 prestressing tendon

由锚具、预应力钢绞线及附件组成的结构件。

3.0.3

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。

3.0.4

有粘结预应力锚索 bonded prestressing tendon

预应力锚索经张拉锁定、灌浆后，其张拉段与被锚固介质无相对滑动的预应力锚索。

3.0.5

无粘结预应力锚索 unbonded prestressing tendon

预应力钢绞线经专用防腐油脂敷涂和外包层处理，张拉锁定后其张拉段在被锚固介质内可相对滑动的预应力锚索。

3.0.6

锚具 anchorage

将预应力锚索的张拉力传递给被锚固介质的装置。

3.0.7

涂层 coating

涂敷在预应力钢绞线表面起防腐和润滑作用的材料。

3.0.8

套管　sheathing

套在预应力钢绞线和有或无防腐油脂涂层的高密度聚乙烯（HDPE）管子。

3.0.9

预应力锚固　prestressed anchorage

通过对预应力锚索施加张拉力，使岩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。

3.0.10

内锚固段　inneranchoring section

预应力锚索体的内部持力端。用胶结材料或金属加工的机械装置，使锚索体内端与被锚固介质粘结为整体的区段。

3.0.11

张拉段　tensile section

预应力锚索依靠自身弹性变形，张拉时可自由伸长，锁定后形成对被锚固介质施加预应力的部分。

3.0.12

外锚头　outer fixed end

对锚索实现张拉和锁定的支撑装置。

3.0.13

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，确定每束锚索应施加的张拉荷载。

3.0.14

超张拉力　extra design tension

为消除各种因素所引起的预应力损失，锚索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。

3.0.15

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值。

3.0.16

有效预应力　effective prestressing

预应力锚索张拉锁定后，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。

3.0.17

预应力损失　prestressing loss

预应力锚索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。

3.0.18

真空灌浆　vacuum grouting

封孔灌浆时利用真空泵将孔道内和浆液中的气体及多余水分排出，从而提高预应力孔道浆体的饱满度和密实度。

3.0.19

信息法施工　construction method from information

岩体预应力锚固施工中，通过信息反馈，及时对原设计方案作相应调整，更好地指导现场施工，提高岩体锚固的安全性。

4 总　　则

4.0.1　水电水利工程预应力锚索施工前应取得有关被锚固岩体或混凝土结构的设计图纸、技术文件及施工条件等资料。

4.0.2　预应力工程施工应编制施工组织设计，并根据不同的锚索类型制定施工工艺细则。施工前必须进行技术交底。

4.0.3　预应力工程施工应积极采用新工艺、新材料、新设备、不断提高预应力施工技术水平。

4.0.4　水电水利工程预应力锚索施工，除应符合本标准的规定外，还应符合国家现行的有关标准、法律和法规的规定。

5 一 般 规 定

5.0.1 重要的预应力工程应进行性能试验或生产性试验，以验证设计参数，完善施工工艺。

5.0.2 预应力工程所用的材料和设备必须是合格的产品。

5.0.3 在同一部位的预应力工程施工中，宜采用同一品种、型号、规格和同一生产工艺制作的预应力钢绞线。若需要代换预应力钢绞线，必须进行试验和论证。

5.0.4 预应力锚索施工应按规定的工艺流程进行作业。

5.0.5 预应力工程施工承重排架（含脚手架），应根据现场情况和实际载荷进行设计。

5.0.6 预应力锚固工程宜采用信息法施工。

5.0.7 结构预应力混凝土浇筑过程中，严禁振捣器触及无粘结锚索、防护套管及埋设的仪器引伸线。

5.0.8 岩体锚固的锚墩混凝土、结构混凝土强度应达到设计要求的强度等级，方能进行锚索张拉，除非设计对混凝土强度等级另有要求。

5.0.9 岩锚的内锚段及张拉段胶结体强度应达到设计要求，方能进行锚索张拉。

5.0.10 锚索张拉过程中如遇预应力钢绞线断丝、夹片出现可视裂纹、千斤顶严重漏油、油泵压力表反应异常等情况之一，应停机检查处理。

5.0.11 封孔灌浆应在锚索张拉锁定后 3d 内进行。

5.0.12 封孔灌浆应采取有效措施排除孔内的水、气，确保灌浆密实度，浆液内应掺有微膨胀剂，其掺量应通过试验确定。

5.0.13 试验、施工记录应及时整理、归档。

5.0.14 预应力工程施工前，操作人员应经过技术培训，持证上岗，未经培训、考核不合格者不得上岗操作。

5.0.15 预应力工程施工中，应做好生态环境保护。

6 材料与设备

6.1 预应力钢绞线

6.1.1 预应力钢绞线包括无涂层和涂层高强低松弛钢绞线，一般采用标准型或压紧型 1860MPa（270 级）、1960MPa（290 级）钢绞线。

6.1.2 进场钢绞线的外观应按下列要求进行检验：外包装完整，表面无油渍、锈蚀、毛刺、损伤；直径偏差±0.15mm；捻距为直径的 12～16 倍（标准型），捻距为直径的 14～18 倍（压紧型）；伸直性能良好、无散头；涂层钢绞线的 PE 护套无损伤。外观检验合格后方能入库，并作详细记录。

6.1.3 供货商（厂家）应提供每盘（捆）钢绞线的材质证明书、产品合格证、试验检验报告。

6.1.4 钢绞线的力学性能应符合 GB/T5224 的规定。

6.1.5 钢绞线力学性能试验项目应包括：极限强度、屈服强度、伸长率、松弛性能、弹性模量。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。其余项目应由工程承包单位按附录 A 进行检验。

6.1.6 无粘结钢绞线的防腐油脂应化学稳定性好，不得含有有害成分，其涂敷量不应小于 50g/m。PE 套管厚度为 1.0mm～1.2mm，应具有一定的韧性和硬度，并有抗腐蚀、抗老化性能。

6.1.7 无粘结预应力钢绞线的 PE 套管在起吊、运输、储存过程中不得冲撞、不应受损，并有防雨、防晒、防污染及防腐蚀等措施。

6.2 防 护 套 管

6.2.1 采用埋管法成孔的套管，其质量应符合设计要求。

6.2.2 套管内径应大于锚索体直径 4mm 以上，有隔离架的锚索其套管内径应大于隔离架直径 2mm；钢管管壁厚度不应小于 3mm；金属螺旋管壁厚不应小于 0.3mm，其径向变形量不得大于内径的 15%。

6.2.3 套管宜采用缩节管连接，应确保接头严密。金属管、高密度聚乙烯（HDPE）波纹管如采用焊（熔）接时，必须严格控制焊缝质量。

6.2.4 岩锚高密度聚乙烯（HDPE）波纹防护套管，应具有化学稳定性和耐久性，其壁厚应能承受施工外力冲击和摩擦损伤。

6.3 锚 具

6.3.1 锚具的力学性能及几何尺寸应符合设计要求，锚具进场需有产品合格证及试验检验报告，其质量应符合 GB/T14370 的有关规定。

6.3.2 大型预应力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η_a不小于 0.95，实测极限拉力时的总应变ε_{apu}不小于 2.0%，且夹片未出现肉眼可见的裂纹或破碎。

6.3.3 锚具除必须满足静载锚固性能外，供货商应提供锚具通过 200 万次疲劳性能试验、50 次周期荷载试验的最新资料。

6.3.4 进场入库的锚具应按下列规定进行检验：

1 外观检查应从每批锚具中抽取 10%，且不应少于 10 套，少于 10 套者应全部检验。做外观及结构主端部、与张拉机具的匹配尺寸及表面检查，合格者方可入库。

2 硬度检查应从锚具总量中随机抽取 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，

合格者方可入库，锚具硬度检验见附录 C。

6.3.5 与锚具相配套的锚垫板、螺旋筋、承压板的材质及加工尺寸均应符合设计要求。

6.4 造 孔 设 备

6.4.1 岩锚造孔设备应根据工程规模、环境条件、岩石特性、预应力锚索设计参数和施工工艺要求，选用技术先进、整机性能稳定可靠、安装定位方便、能适应复杂地质条件的钻机。

6.4.2 钻具应配有导向机构，运转平稳，易于控制钻孔精度。

6.4.3 测斜仪器应能满足造孔精度的要求。

6.5 张 拉 机 具

6.5.1 选用的张拉机具应与锚具类型、锚索的设计张拉力相匹配。

6.5.2 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。

6.5.3 测力计应与锚具、张拉千斤顶相匹配，且性能稳定、温度稳定性好。永久观测使用的测力计，其耐久性应符合设计要求。

6.5.4 张拉机具、器具应由专人保管，定期维护、标定，标定期一般为 6 个月，如经检修必须重新标定。

6.5.5 预应力钢绞线锚具组装件试验的专用张拉机具，若标定后使用次数较少（少于 20 次），未经检修或无异常，其标定期可适当延长，但不应超过 10 个月。

6.6 灌 浆 设 备

6.6.1 选用的灌浆设备须与预应力锚索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。

6.6.2 制浆设备应采用高速搅拌机，以提高浆液的均匀性，增加其流动度和可灌性。

6.6.3 灌浆泵的排浆量应能满足锚索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%。

6.6.4 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。

7 锚 索 施 工

7.1 成 孔

7.1.1 岩质边坡、地下洞室围岩加固和坝工基础处理加固，预应力锚索孔道应采用钻孔法成孔，其要求如下：

1 应按设计要求测定孔位，孔位坐标误差不得大于 10cm，如遇障碍须移位，应征得监理工程师同意，并取得书面更改通知后方能实施。

2 开孔时应严格控制钻具的倾角及方位角，当钻进 20cm～30cm 后应校核角度，在钻进中及时测量孔斜及时纠偏，终孔孔轴偏差不得大于孔深的 2%，方位角偏差不得大于 3° 。如设计有特殊要求时，应按其要求执行。

3 岩锚成孔应顺直，孔壁无错台、无松动碎石。

4 终孔孔深宜大于设计孔深 40cm，终孔孔径不得小于设计孔径 10mm。

5 在钻孔过程中，如遇岩体破碎或地下水渗漏严重钻进受阻时，应采取固结灌浆等堵漏止水措施。若岩性软弱孔壁易坍塌，应采用跟管法钻进成孔。

6 钻孔过程中如遇异常情况时可采用孔内电视观察，查明情况及时研究处理。

7 钻孔过程中应做好施工地质工作，使锚固段置于设计要求的岩层内。

8 终孔后应使用压缩空气或压力水进行清洗。

9 锚孔经验收合格后，应及时安装锚索。

7.1.2 岩锚孔口应按以下要求进行处理：

1 锚索安装或孔口临时封堵后，应进行锚墩基面平整，清

除浮土、碎石。安装孔口套管时，套管必须与孔轴、锚索同心，并嵌入孔内。

2 锚墩外形尺寸、锚垫板下螺旋筋和加强筋应符合设计要求。锚垫板与套管应正交，偏斜不得超过0.5°。

3 锚墩模板一般宜采用钢模，安装尺寸误差不应大于±10mm。

4 锚墩混凝土强度等级应满足设计要求。

5 锚墩混凝土施工应按照DL/T5144中有关规定执行。

7.1.3 混凝土结构预应力锚索孔道应采用埋管法成孔，其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。

1 一般弧形门闸墩拉锚孔道宜采用金属管，隧洞混凝土衬砌和引水渡槽等预应力锚索孔道，宜采用金属或高密度聚乙烯（HDPE）波纹管。

2 孔道管应采用缩接管连接，若采用电弧焊（熔）接时必须确保其焊接质量。

3 金属波纹管的连接管管径应比所接管大一号，其长度一般为200mm～300mm，两端应采用防水乳胶带封裹。高密度聚乙烯（HDPE）波纹管可采用熔接法连接。

4 孔道管安装应位正、顺畅、牢固、可靠。孔道管均应采取有效支承固定措施，确保孔管安装后孔轴线符合设计要求。金属波纹管在安装时及安装后需有防电火花措施，以免灼伤管壁。

5 预应力钢筋混凝土隧洞、管道的锚索孔道及其两端的喇叭管、锚具槽，应在内层钢筋绑扎完毕后进行安装。喇叭管轴线应与连接孔道管轴线重合，锚具槽槽口应与模板紧贴。

6 混凝土浇筑前应对已安装的孔道管的密封性、畅通性及孔位进行全面检查，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，严禁冲击、触伤或移动孔道管。

7 为确保孔道畅通，混凝土浇筑结束后可立即通水，必要时采用梭形体进行通畅性检查，如发现孔道有错台或阻塞，应进

行疏通处理。

7.2 锚 索 制 作

7.2.1 锚索制作应在专用车间或专用工作台上进行，应具有良好的防雨、防污染设施。

7.2.2 钢绞线下料长度应符合锚索的设计尺寸及张拉工艺操作需要。计算公式如下：

①端头锚：$L=s+h$ （7.2.2–1）

②对穿锚：$L=s+2h$ （7.2.2–2）

③环锚：$L=s+h_1+h_2$ （7.2.2–3）

式中：

L——钢绞线下料长度，mm；

s——实测孔道长度，mm；

h——锚垫板外钢绞线使用长度包括工作锚板、限位板、工具锚板的厚度，张拉千斤顶长度和工具锚板外必要的安全长度之和，mm；

h_1——孔口外张拉端钢绞线使用长度，包括孔口至工作锚板的间距，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。

注 1：有测力计的锚索，另加测力计高度；

注 2：如锚固端为 P 型挤压锚、H 型压花锚或 BM 型锚，应计其长度。

7.2.3 钢绞线必须采用切割机下料，严禁使用电弧或乙炔焰切割。雷雨时不应进行室外作业。

7.2.4 设计长度相同的锚索，其钢绞线下料长度应相同，其长度误差不应大于±10mm。

7.2.5 无粘结筋编索前，应将锚固段及锚头 PE 套管剥去，使用清洗剂洗去油脂并套上止油护套，并对裸露钢绞线进行防护。

7.2.6 锚索应根据设计结构进行编制，采用编帘法或隔离架集束，隔离架应按设计要求设置，其间距允许偏差 50mm。

7.2.7 锚索编制中钢绞线应一端对齐，排列平顺，不得扭结，绑扎牢固，绑扎间距宜为 2.0m。

7.2.8 岩锚内锚固段的进出浆管应按设计编入索体。靠近孔底的进浆管出口至锚索端部距离不宜大于 200mm。

7.2.9 岩锚制索时，止浆环安装位置应符合设计要求，尺寸误差不大于±50mm，并将止浆环与索体密封固定。端头锚索的导向帽应按设计要求制作，与索体连接应牢固可靠。

7.2.10 锚索制成后，经检验合格应签发合格证，并进行编号、挂标示牌，注明生产日期、使用部位、孔号。对穿锚索还应进行钢绞线编号，同根钢绞线两端编号应相同。

7.2.11 合格锚索应按编号整齐、平顺地存放在距地面 20cm 以上的支架或垫木上，不得叠压存放。支架间距宜为 1.0m～1.5m，并进行临时防护。锚索存放场地应干燥、通风，不得接触硫化物、氯化物、亚硫酸盐、亚硝酸盐等有害物质，并应避免杂散电流。

7.3 锚索运输、安装

7.3.1 锚索运输与安装应根据施工环境和条件制订具体的实施方案及技术要求。

1 水平运输中索体的各支点间距不宜大于 2.0m，弯曲半径不宜小于 3.0m，不应使锚索结构受到损伤。

2 垂直运输时，应根据索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，其余吊点能快速、安全脱钩。

3 使用车辆长距离运输时，索体底部、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 无粘结锚索在搬运和装卸时应谨慎操作，严防与硬质物体摩擦，以免损伤 PE 套管。

7.3.2 施工现场待安装的锚索，应按序号顺直存放在距地面 20cm 以上的承索架（台）上，并采取必要的防污染措施。

7.3.3 锚索安装前应对孔道、锚索进行以下核查：

1 孔号与锚索的编号。

2 索体的钢绞线顺直性，如有扭曲须经调整。

3 岩体锚索应检查其止浆环质量及进出浆管的位置、通畅性。

4 对测试仪器的引伸线做导通检查。

7.3.4 岩锚孔道验收 24h 后，锚索安装前，应检查其通畅情况。

7.3.5 无粘结钢绞线若 PE 套管破损，必须修复合格后方能安装。

7.3.6 岩体锚索应一次放索到位，避免在安装过程中反复拖动索体。

7.3.7 有防护套的岩体锚索，应先将套管与索体固定牢靠后再行安装，采取缓慢均匀推进，严防索体与套管相互错动。

7.3.8 岩体锚索安装后应检查止浆环的有效性，如存在问题须进行处理。

7.3.9 锚索安装完毕后，应对外露钢绞线进行临时防护。

7.3.10 结构混凝土预应力锚索安装要求如下：

1 结构有特殊要求的有粘结锚索宜采用套装法安装，无粘结锚索可直接绑扎在定位支架上。锚索安装位置、锚垫板、孔外钢绞线长度均应满足设计和施工要求。

2 预应力结构一端张拉，固定端采用 P 型挤压锚、H 型压花锚或 BM 型锚时，应与结构钢筋固定牢靠。

3 预应力钢筋混凝土隧洞、管道的环向预应力锚索，如采用无粘结钢绞线，可直接固定在定位支架上。

7.3.11 环锚中的游动锚具安装位置应通过伸长值计算确定。

7.3.12 无论是直线还是曲线孔道，对穿锚索安装到位后，应调整两端长度，使之满足工作需要。

7.4 张　　拉

7.4.1 锚索张拉准备应包括生产、技术、机具、人员等方面的工作，其要求如下：

1 应清除张拉施工区内与张拉作业无关的材料、设备及其他障碍物。

2 检查或搭设张拉作业所需的工作平台、脚手架，并固定牢靠，设置安全防护设施，挂警示牌。

3 张拉用千斤顶、压力表、测力计必须配套标定，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见附录 D。

4 张拉机具就位后，先进行空载试运转，检查其运行状态及可靠性。

5 有测力计的锚索，测力计与工作锚板同步安装，且均应与锚索孔道对中。

6 张拉机具操作人员应定人定位持证挂牌上岗，非作业人员不得进入张拉作业区，千斤顶出力方向严禁站人。

7.4.2 锚索张拉程序、加载分级、张拉力、超张拉力、锁定力、持荷稳定时间等均应按下列要求执行：

1 隧洞预应力混凝土衬砌、预应力混凝土引水渡槽等混凝土结构环向预应力锚索，宜按浇筑段分段，采用两端相向、分序跳束、分级加载的张拉工艺。

2 需补偿张拉的锚索，应在其短期预应力损失的大部分完成后或按设计规定进行补偿张拉。

3 长度超过 24m 的对穿锚索宜采用两端同步张拉。在特殊

情况下或设计要求采取一端张拉时，应制定详细的张拉操作规程，并通过试验完善工艺后方可实施。

4 应采用以张拉力控制为主，伸长值校核的双控操作方法。当岩体锚索张拉实测伸长值与理论计算伸长值偏差超出+10%或小于-5%时，混凝土结构锚索张拉实测伸长值超出理论计算伸长值±6%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。锚索张拉伸长值计算见附录E。

5 除设计有明确规定外，一般应采用先进行单根预应力钢绞线预紧，使锚索各股预应力钢绞线的应力均匀后，再进行整索张拉。预紧应力宜为 $0.20\sigma_{con}$～$0.30\sigma_{con}$。

6 分级加载和整索张拉程序为：

$$0 \longrightarrow m_1\sigma_{con} \xrightarrow{\text{持荷 } t\text{min}} m_2\sigma_{con} \xrightarrow{\text{持荷 } t\text{min}} m_3\sigma_{con} \xrightarrow{\text{持荷 } t\text{min}} m_4\sigma_{con} \xrightarrow{\text{持荷 } t\text{min}} m_5\sigma_{con} \xrightarrow{\text{持荷 } t\text{min}} m_6\sigma_{con} \xrightarrow{\text{持荷稳压 10min}} \text{锁定}$$

式中：

m_1～m_6——张拉系数，一般 m_1、m_2、m_3、m_4、m_5 分别为 0.2、0.25、0.5、0.75、1.0，岩锚超张拉 m_6 为 1.05～1.10，混凝土结构锚索超张拉 m_6 为 1.03～1.05；

t——持荷时间，一般为 2min～5min；

σ_{con}——张拉控制应力。

7 在张拉过程中应按设计要求逐级加载。岩体锚索最大张拉应力应控制在 $105\%\sigma_{con}$～$110\%\sigma_{con}$，混凝土结构锚索最大张拉应力应控制在 $103\%\sigma_{con}$～$105\%\sigma_{con}$ 范围内。

8 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 $0.2\sigma_{con}$。

9 锚索张拉锁定后夹片错牙不应大于 2mm，否则应退锚重新张拉。

10 锚索张拉每级加载后应同步量测其伸长值，锁定后应量测预应力钢绞线的滑移量。

7.5 防　　护

7.5.1　在边开挖边锚固的施工部位，封孔灌浆 3d 以内一般不允许爆破，3d～7d 内，爆破产生的质点振动速度不得大于 1.5cm/s。

7.5.2　封锚时锚板外预应力钢绞线存留长度不应小于 30mm，其切割严禁使用电弧或乙炔焰。

7.5.3　有粘结锚索的永久防护应按下列要求执行：

1　应检查进浆管、出浆管（排气管）的畅通情况。

2　永久防护采用水泥浆或水泥砂浆灌注孔道，其强度应满足设计要求。

3　浆材所用水泥、外加剂不得含有对锚索有腐蚀性的物质。

4　浆液配合比应通过试验确定。水泥浆液水灰比宜采用 0.3～0.4，水泥砂浆的水灰比宜采用 0.45～0.5，要求浆液 3h 后的泌水率控制在 2%以内。砂的最大粒径不大于 3mm，含泥量小于 1%，水质应符合 DL/T5144 的有关规定。

5　浆液宜采用高速搅拌机拌制，灌浆可采取间隙灌浆法或反复屏浆法，灌浆压力应符合设计要求，一般为 0.5MPa～0.7MPa，重要结构混凝土预应力工程宜采用真空灌浆工艺。

6　内锚段灌浆过程中，应观察出浆管的排水、排浆情况，当排浆比重与灌浆比重相同时，方可进行屏浆。屏浆压力宜为 0.3MPa～0.4MPa，屏浆时间宜为 20min～30min。

7　张拉段封孔灌浆应按以下要求进行：

1）灌浆前应冲洗孔道，排干孔内积水。

2）灌浆压力应符合设计要求。

3）认真观察出浆管排水、排浆情况，当排浆浓度与进浆浓度相同时，方可进行屏浆。屏浆压力和时间与内锚段相同。

4）灌浆结束 24h 后，如发现孔道浆体不饱满，应采取必要措施进行补充灌浆。

8 内锚段及张拉段灌浆过程中，按规定制备浆体试件。

7.5.4 外锚头防护按下列要求执行：

1 混凝土结构封锚：

1）锚索的外锚头防护，其混凝土强度等级、钢筋数量及规格均应符合设计规定。

2）锚板、预应力钢绞线及其周围应清理干净，结构混凝土面必须凿毛并冲洗干净。

3）环向锚索的锚具槽回填应在混凝土壁面凿毛并清洗干净、过槽钢筋恢复后，采用与结构混凝土相同强度等级的无收缩混凝土进行回填、养护。

4）封锚混凝土施工，按照 DL/T5144 中的有关规定执行。

2 金属（塑料）防护罩封锚：

1）无粘结锚索外锚头防护，可采用可拆卸金属（塑料）防护罩加注防腐油脂。

2）金属（塑料）防护罩的材质、结构尺寸应符合设计要求。

3）防腐油脂不得含对锚头有腐蚀性的物质。

7.5.5 灌浆浆液温度应保持在 5℃～40℃之间。当冬季日平均气温低于 5℃时，须对制浆系统、灌浆机械和输浆管线进行保温。

8 试 验 与 监 测

8.1 试　　验

8.1.1　重要岩体锚固或预应力混凝土结构工程，应进行性能试验。试验包括材料试验、锚索受力性能试验及验收试验。

8.1.2　材料试验分钢绞线力学性能试验、锚具硬度检验。其试验、检验方法分别见附录 A、附录 C。

8.1.3　锚索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。岩体锚固试验不得少于 3 束，结构预应力可按隧洞洞段、渡槽节段作为试验段，大型弧门闸墩可采用工程类比法。如采用新材料、新技术、新工艺，必须经过试验验证。

8.1.4　受力性能试验的条件、所用的锚索、张拉机具及施工工艺必须与实际工程相同。

8.1.5　锚索受力性能试验的张拉力值应以测力计读数为准。

8.1.6　验收试验应按设计要求随机抽样进行，其抽样数一般为 5%，但不得少于 3 束。验收试验的合格标准应由设计确定。

8.1.7　采用有粘结锚束或在高陡边坡锚固时，应在封孔灌浆前进行验收试验。

8.1.8　在复杂的地质条件下，如采用新型锚索结构，应做破坏性试验。其试验锚索数量由设计确定，但不应少于 3 束。锚索破坏性试验的张拉程序应另行制定。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被拉断，即认为预应力锚索已达到破坏状态。

8.1.9　设计要求预应力锚索须做锚固力破坏性试验时，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。

8.1.10 各项试验均应提出试验报告。试验报告的主要内容应包括：试验方法、数量，使用的材料、设备、仪器，加载过程，伸长值量测，试验成果整理分析，并做出试验结论。

8.2 监　　测

8.2.1 预应力工程施工期监测的内容、数量、部位和监测方法应按设计要求实施。

8.2.2 施工期原位监测工作必须与预应力锚索张拉同步进行，及时整理资料，迅速反馈信息，进行动态设计，调整施工工艺。

8.2.3 对需要转入运行期监测的项目应注意保护并及时移交。如在规定的监测期内仪器发生故障、失效，应尽快修复，继续监测。

8.2.4 监测报告的内容主要包括：监测项目、方法，监测仪器的型号、规格和标定资料。施工期监测的原始资料应包括预应力损失值及应力—应变曲线图。

9 质 量 与 安 全

9.1 质　　量

9.1.1　承包单位应建立质量检验机构和质量保证体系，实行全过程监控，确保工程施工质量。

9.1.2　钢绞线、防护套管、锚具和灌浆管等材料，除应检验其产品出厂合格证外，还应按 6.1、6.2 和 6.3 的规定进行检验。

9.1.3　岩锚造孔应对其孔位、孔径、孔深、孔斜和方位角进行检查，其偏差应符合 7.1 的规定；预应力混凝土结构成孔，在混凝土浇筑前应对孔道管的安装精度、密封性和畅通性进行全面检查。

9.1.4　锚索制作中应对下料长度、隔离架位置、绑扎间距、进出浆管的内口位置、止浆环位置及索体编号、标示牌进行检查。锚索的存放和临时防护应符合 7.2.11 的规定。

9.1.5　锚索运输中应注意检查索体水平支点间距、弯曲半径和垂直吊点间距，符合 7.3.1 的要求，保证索体结构不受损伤。

9.1.6　锚索安装前应核对索体的编号和孔号，检查索体的顺直性、无粘结锚索 PE 护套的完好性、聚乙烯管的密封性、进出浆管的内口位置和通畅性。

9.1.7　岩锚孔道验收 24h 后，锚索安装前应核查孔径、孔深及通畅性。锚索安装后应检查止浆环的有效性和索体、孔口管及孔轴的同心度。

9.1.8　采用套装法安装的预应力锚索，应检查其位置、锚垫板、孔外钢绞线长度，应检查 P 型挤压锚、H 型压花锚和 BM 型锚的牢固性。

9.1.9　锚索张拉前应按 7.4.1 的规定进行检查，其检查内容如下：

1 内锚段浆体结石、锚墩混凝土及结构混凝土的强度。

2 张拉机具配套标定成果。

3 张拉机具的技术状况。

4 锚索张拉操作人员定人、定位及持证上岗情况。

9.1.10 锚索张拉过程中应按 7.4.2 的规定进行检查，其检查内容为：

1 锚索张拉程序。

2 单根钢绞线预紧力控制。

3 整束张拉加载分级。

4 稳压时间。

5 加载及卸载速率。

6 张拉实测伸长值与理论计算伸长值的偏差。

7 夹片有无错牙。

8 锁定后的安装荷载是否满足设计要求。

9.1.11 永久防护灌浆前应检查的内容：

1 灌浆设备的技术性能及工作状况。

2 水泥、砂、拌和用水、外加剂品质。

3 浆液配合比及其温控措施。

9.1.12 灌浆过程中应按 7.5.3 的有关规定进行检查，其检查内容包括：

1 浆液比重及温度。

2 灌浆压力。

3 屏浆压力及屏浆时间。

4 孔道浆体饱满度。

5 补灌措施及补灌情况。

6 浆体取样试件制作。

9.1.13 外锚头防护应按 7.5.3 中第 9 款和 7.5.4 的规定进行检查，其检查内容如下：

1 混凝土结构封锚：

1）钢绞线的外露长度。

2）锚板及钢绞线除污情况。

3）新老混凝土结合面的处理。

4）混凝土的配合比。

5）模板、钢筋安装情况。

6）混凝土浇筑及养护。

7）混凝土取样试件制作。

2 金属（塑料）防护罩封锚：

1）防护罩材质及结构尺寸。

2）防腐油脂品质。

3）防护罩安装的密封性。

4）防护罩内油脂灌满度。

3 环向锚索的锚具槽回填应按 7.5.4 中第 2 款的规定进行检查。

9.1.14 边开挖边锚固的施工部位，应按 7.5.1 的规定进行检查。

9.1.15 监测系统的检验内容应包括测力计、应力、应变、无应力计及其引伸线的安装位置、精度和保护措施。

9.1.16 预应力锚索施工过程中，应及时整理检查、检验记录，并按单位工程进行汇总。记录格式见附录 F。

9.1.17 预应力工程施工完毕后，应编写质量检查报告。

9.2 安 全

9.2.1 预应力工程施工必须贯彻“安全第一，预防为主”的方针，加强安全组织教育，建立安全生产保证体系，确保施工安全。

9.2.2 预应力工程开工前应制定安全技术措施，进行安全技术培训，持证上岗。

9.2.3 专职安全检查人员和注册安全监理工程师应按本标准及国家有关规定进行监督。定期组织安全大检查，对查出的安全隐患限期整改，使安全生产处于受控状态。

9.2.4 预应力工程施工过程中，应定期检查安全生产制度和岗位责任制贯彻执行情况。

9.2.5 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。

9.2.6 安全生产设施检查内容：

1 脚手架、交通梯、张拉平台、防护拦杆、防滑设施及安全网等。

2 动力、照明电源线路、控制开关及防雷设施。

3 造孔设备的定位、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，垂直管线的固定。

7 造孔设备捕尘装置，地下洞室的通风、粉尘浓度（应确保作业人员人均拥有 $3m^3/min$ 的新鲜空气，粉尘含量不大于 $10mg/m^3$）。

9.2.7 进入作业区人员必须戴安全帽，高空作业人员应系安全带、穿防滑鞋；钻机操作人员应戴防护口罩、风镜等防护用品。

9.2.8 非作业人员不得进入锚索张拉作业区，张拉时千斤顶出力方向 45° 内严禁站人。

9.2.9 认真做好施工安全记录。

10 环 境 保 护

10.0.1 预应力工程施工应根据 ISO14001，结合工程特点制定生态环境保护措施。

10.0.2 对职工进行生态环境保护教育，增强其生态环境保护意识和责任感。

10.0.3 岩质边坡锚固工程施工便道、孔位清理的弃渣应按业主指定地点及要求堆放。

10.0.4 岩体锚固钻孔要求：

1 钻机应配备消声、捕尘装置。

2 钻孔作业人员应配带隔音、防尘器具。

3 制定施工污水处理排放措施。

10.0.5 灌浆及混凝土施工要求：

1 水泥堆放应有防护设施，避免水泥粉尘散扬。

2 弃浆、污水应经处理才能排放。

10.0.6 施工废弃物不得随意倾倒江河或就地掩埋，应集中处理。

10.0.7 预应力工程施工结束，应对施工现场进行清理。

11 验　　收

11.0.1　预应力工程验收应符合下列规定：

1　已按批准的设计图纸及技术文件施工完毕，工程质量符合设计要求，具备投入使用条件。

2　在施工过程中发生的质量问题，经处理后已达到设计要求。

11.0.2　预应力工程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、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（包括造孔、埋管、编索、安装、张拉、灌浆、封锚、监测）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　其他需要提供的资料。

附 录 A
（规范性附录）
钢绞线力学性能试验

A.1 试验内容

工程承包单位应对入库的钢绞线的屈服强度、极限强度、伸长率进行试验。

A.2 试件制备

A.2.1 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一组组成实验组，不足60t的按60t计。设计另有规定的应按设计要求执行。

A.2.2 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）。

A.2.3 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、试件号等，送检前避免损坏。

A.3 试件检验

A.3.1 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。

A.3.2 试件送检单位应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。

A.3.3 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.4 试验合格判定

A.4.1 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。并再随机扩大为 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。

A.4.2　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
（规范性附录）
预应力钢绞线—锚具组装件静载试验

B.1 基本规定：

B.1.1 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。

B.1.2 试验用的预应力钢绞线—锚具组装件，应由锚具的全部零件与预应力钢绞线组成。

B.1.2.1 锚具零件不得带有影响试验效果的物质。

B.1.2.2 预应力钢绞线等长、平行，受力长度不小于 3m。

B.1.2.3 试件不少于 3 套。

B.2 试验用的预应力钢绞线、锚具，其组装方式应与工程实际相一致。

B.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.4 试验加载程序：

B.4.1 试件制作、试验程序及方法按照 GB/T14370 执行。

B.4.2 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。

B.4.3 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.5 测试内容：

B.5.1 应测得试件极限拉力 F_{apu} 及其总应变 ε_{apu}。

B.5.2 各根预应力钢绞线与锚具之间的相对位移。

B.5.3 锚板、夹片之间的相对位移。

B.5.4 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。

B.5.5 试件的破坏部位与破坏形式。

B.6 提出试验成果：

B.6.1 试验记录。

B.6.2 计算锚固效率系数和总应变。

B.6.2.1 锚固效率系数计算公式：

$$\eta_a = \frac{F_{apu}}{\eta_p F_{pm}} \qquad (B.1)$$

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.1；

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平均极限抗拉力。

表 B.1 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

B.6.2.2 总应变ε_{apu}计算公式：

$$\varepsilon_{apu} = \frac{\Delta L}{L} \qquad (B.2)$$

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。

B.6.2.3 判定标准：

B.6.2.3.1 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。

B.6.2.3.2 如有一套试件不满足 B.6.2.3.1 的条件，应取双倍数量的试件重做。若仍有一套试件不满足 B.6.2.3.1 的条件，则该批锚具为不合格品。

附 录 C
（规范性附录）
锚 具 硬 度 检 验

C.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.2 测试前应用硬度标准块校正硬度计，随后将模具和检测的夹片擦净，锚板中心打点处刨光进行测打。

C.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.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，则需另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
（规范性附录）
张拉机具的配套标定

D.1 预应力工程锚索张拉前，所有张拉机具应进行配套标定。

D.2 张拉机具配套标定前，压力表、测力计应单独进行校正合格。

D.3 张拉机具配套标定前的准备工作：

D.3.1 将待标定的千斤顶、压力表、测力计擦拭干净。

D.3.2 千斤顶、压力表、测力计进行配套编号、标示、登记。

D.3.3 张拉机具送检中装卸、运输严防碰撞、摔打、损伤。

D.4 张拉机具配套标定：

D.4.1 张拉机具配套标定应由具备相应资质的检验机构进行。

D.4.2 张拉机具配套标定成果应包括：

D.4.2.1 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）。

D.4.2.2 千斤顶主动张拉力—压力表读数关系计算公式。

D.4.2.3 千斤顶被动张拉力—压力表读数关系计算公式。

D.4.2.4 张拉机具配套标定过程中发现的有关问题。

D.4.3 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
（规范性附录）
预应力锚索伸长值的计算

E.1 理论伸长值的计算公式：

E.1.1 曲线型锚索伸长值计算公式：

$$\Delta L=\int_0^L \frac{P_e^{-(kL+\mu\theta)}}{AE}\mathrm{d}x=\frac{PL}{AE}\left[\frac{1-\mathrm{e}^{-(kL+\mu\theta)}}{kL+\mu\theta}\right] \qquad (E.1)$$

式中：

ΔL——锚索伸长值，mm；

P——预应力钢绞线的张拉力，N；

L——预应力钢绞线从张拉端至计算截面的孔道长度，mm；

θ——预应力钢绞线从张拉端至计算截面曲线孔道部分切线的夹角之和，rad；

k——预应力孔道局部偏摆系数；

μ——预应力钢绞线与孔道壁的摩擦系数；

E——预应力钢绞线弹性模量，MPa；

A——预应力钢绞线的截面积，mm^2。

E.1.2 直线型锚索伸长值计算公式：

$$\Delta L=\frac{PL}{AE} \qquad (E.2)$$

式中：

ΔL——锚索伸长值，mm；

P——预应力钢绞线的平均张拉力，取张拉端的张拉力与计算截面处扣除孔道摩擦损失后张拉力的平均值，其计算公式见（E.3），N；

L——预应力钢绞线从张拉端至计算截面的孔道长度，mm；

E——预应力钢绞线弹性模量，MPa；

A——预应力钢绞线的截面积，mm^2。

$$P = P_j\left(1-\frac{kx+\mu\theta}{2}\right) \qquad (E.3)$$

式中：

P_j——张拉控制力，当超张拉时按超张拉取值，N；

x——张拉端至计算截面的孔道长度，mm；

θ——预应力钢绞线从张拉端至计算截面曲线孔道部分切线的夹角之和，rad；

k——预应力孔道局部偏摆系数；

μ——预应力钢绞线与孔道壁面的摩擦系数。

E.1.3 对于多曲线组合形预应力钢绞线，其张拉伸长值应分段计算，然后叠加。

E.2 实际伸长值计算公式：

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 \qquad (E.4)$$

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.3 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，故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。

附 录 F
（资料性附录）
预应力锚索施工记录及质量评定表

表 F.1 预应力锚索单元工程质量评定表

施工单位： 合同编号：

单位工程					分部工程				
锚索编号				设计张拉力 kN			锚索类型		
序号	检查项目	优良	合格	评定标准	序号	检查项目	优良	合格	评定标准
1	造 孔				4.3	埋件安装			
1.1	孔位偏差				4.4	张拉时混凝土强度			
1.2	孔径偏差								
1.3	孔深偏差				5	锚索张拉			
1.4	偏斜率				5.1	张拉安全措施			
2	锚索制安				5.2	锚索预紧			
2.1	材质检查				5.3	张拉程序			
2.2	绑扎结构				5.4	张拉记录			
2.3	锚索防护				6	封孔灌浆			
2.4	安装质量				6.1	孔道检查及清洗			
3	内锚固段灌浆				6.2	浆液配比			
3.1	孔道清洗及压水				6.3	屏浆比重及屏浆时间			
3.2	浆液配比				6.4	中断影响程度			
3.3	屏浆比重及屏浆时间				6.5	灌浆记录			
3.4	中断影响程度				6.6	浆体 R28 强度指标			
3.5	灌浆记录				7	封锚			
3.6	张拉时浆体强度				7.1	锚头处理			
4	锚墩混凝土				7.2	立模检查			
4.1	基面清理				7.3	混凝土浇筑			
4.2	模板安装				8	环保及文明施工			
施工单位初评： 终检： 日期：					监理单位评定： 终检： 日期：				
注 1：评定标准应根据设计要求及本标准的有关规定填写。 注 2：中断影响程度用“轻”、“重”、“严重”表示。									

表 F.2　预应力锚索造孔质量评定表

施工单位：　　合同编号：

锚孔编号		设计张拉力 kN		施工部位		
项　目	单位	设 计 值	实 测 值	误 差 值	评价	
					合格	优良
孔口桩号						
孔口高程	m					
孔径	mm					
方位角	度					
倾角	度					
孔深	m					
终孔孔斜	%					
	m					
孔道清洗						
施工依据						
质量评定情况	等级： 初检： 日期：	等级： 复检： 日期：	等级： 终检： 日期：	等级： 监理： 日期：		
注：本表适用于岩锚工程。						

表 F.3 预应力锚索预埋管道安装质量评定表

施工单位：　　合同编号：

<table>
<tr><td>单位工程名称</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">分部工程名称</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>单元工程名称</td><td colspan="2"></td><td>设计张拉力
kN</td><td></td><td>单元孔长
m</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">锚索编号</td><td rowspan="2">孔管允许误差
mm</td><td rowspan="2">测点位置
cm</td><td colspan="6">测点偏差</td></tr>
<tr><td>任意点</td><td>左起弯点</td><td>任意点</td><td>中心点</td><td>任意点</td><td>右起弯点</td></tr>
<tr><td>N1</td><td rowspan="8">Δx

Δy</td><td>x</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>N1'</td><td>y</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>N2</td><td>x</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>N2'</td><td>y</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>N3</td><td>x</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>N3'</td><td>y</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>N4</td><td>x</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>N4'</td><td>y</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">孔道管线型情况</td><td colspan="3">□合格</td><td colspan="3">□优良</td></tr>
<tr><td colspan="3">孔道管固定、管接头密封及畅通情况</td><td colspan="3">□合格</td><td colspan="3">□优良</td></tr>
<tr><td colspan="3">进出浆管规格质量、固定及畅通情况</td><td colspan="3">□合格</td><td colspan="3">□优良</td></tr>
<tr><td colspan="3">锚垫板与孔道垂直情况</td><td colspan="3">□合格</td><td colspan="3">□优良</td></tr>
<tr><td rowspan="3">质量评定情况</td><td>等级：</td><td>等级：</td><td>等级：</td><td>等级：</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>初检：</td><td>复检：</td><td>终检：</td><td>监理：</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>日期：</td><td>日期：</td><td>日期：</td><td>日期：</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="8">注 1：允许误差及测量坐标值按设计规定。
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。</td></tr>
</table>

表 F.4　预应力锚索编制合格证

施工单位：　　合同编号：

<table>
<tr><td>锚索编号</td><td></td><td>设计张拉力
kN</td><td></td><td>施工部位</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">钢绞线</td><td>级别</td><td></td><td>规格</td><td></td><td>下料长度
m</td><td></td><td>下料
时间</td><td>年
月　日</td></tr>
<tr><td colspan="4">钢绞线盘号：</td><td colspan="4">去皮、清洗、除锈情况：</td></tr>
<tr><td>止浆环</td><td colspan="4">材料及直径：</td><td colspan="2">气囊耐压：</td><td colspan="2">环氧封填：</td></tr>
<tr><td>灌（回）浆管</td><td colspan="4">管材及直径：</td><td colspan="2">耐压：</td><td colspan="2">长度：</td></tr>
<tr><td rowspan="2">架线环</td><td colspan="4">材料及直径：</td><td colspan="2">锚固段间距：</td><td colspan="2">张拉段间距：</td></tr>
<tr><td colspan="8">架线环与索体绑扎情况：</td></tr>
<tr><td rowspan="2">波纹管</td><td colspan="4">材料：</td><td colspan="2">直径：</td><td colspan="2">长度：</td></tr>
<tr><td colspan="8">外对中隔离架安装及导向帽的连接：
（指先装法的成品索）</td></tr>
<tr><td>导向帽</td><td colspan="4">直径：</td><td colspan="2">长度：</td><td colspan="2">安装：</td></tr>
<tr><td rowspan="2">索体：</td><td colspan="4">锚固段长：</td><td colspan="2">张拉段长：</td><td colspan="2">索体总长：</td></tr>
<tr><td colspan="8">外观检查：</td></tr>
<tr><td>施工依据</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td>质量评定情况</td><td colspan="2">等级：
初检：
日期：</td><td colspan="2">等级：
复检：
日期：</td><td colspan="2">等级：
终检：
日期：</td><td colspan="2">等级：
监理：
日期：</td></tr>
</table>

表 F.5　预应力锚索锚固段（张拉段）灌浆质量评定表

施工单位：　　合同编号：

锚孔编号		设计张拉力 kN		施工部位	
水泥品种、级别		外加剂名称		外加剂掺量	
项　　目	标准值	实测值	误差值	评　价	
浆体强度 MPa					
水 灰 比					
灌浆压力 MPa					
供浆量 L					
弃浆量 L					
实灌浆量 L					
回浆比重					
屏浆时间 min					
质量评定情况	等级： 初检： 日期：	等级： 复检： 日期：	等级： 终检： 日期：	等级： 监理： 日期：	

表 F.6 预应力锚索混凝土锚墩开仓检查表

施工单位：　　合同编号：

<table>
<tr><td colspan="2">锚孔编号</td><td></td><td>设计张拉力
kN</td><td></td><td>孔深
m</td><td></td><td>施工部位</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="7">施工单位自检意见</td><td colspan="3">孔口管直径</td><td></td><td colspan="2">混凝土强度等级</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="3">锚垫板安装情况</td><td></td><td colspan="2">水泥品种、级别</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="3">钢筋安装情况</td><td></td><td colspan="2">混凝土配比</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="3">模板安装情况</td><td rowspan="2"></td><td colspan="2" rowspan="2">外加剂品种、掺量</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="3">仓面冲洗情况</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="7">开仓申请：

初检：　　复检：　　终检：　　年　月　日</td></tr>
<tr><td>监理单位意见</td><td colspan="8">监理意见：

监理：　　年　月　日</td></tr>
</table>

表 F.7　预应力锚索（端头锚）张拉质量检查表

施工单位：　　合同编号：

锚索编号		设计张拉力 kN		锚具型号		施工部位			
锚索总长 m		内锚段长 m		张拉段长 m		油泵编号			
预紧千斤顶型号、编号				张拉千斤顶型号、编号					
预紧压力表型号、编号				张拉压力表型号、编号					
预紧千斤顶率定方程				张拉千斤顶率定方程		主动			
						被动			

序号		压力表读数 MPa	张拉力 kN	加荷时间 min	实际伸长量 mm		稳压时间 min	递增值 mm	理论伸长值 mm
					稳压前	稳压后			
张拉分级	0								
	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
	6–1								
	6–2								

备注：

油泵操作者		伸长值测量者		记录员	

施工单位意见：	监理单位意见：
初检：　　复检：　　终检： 年　月　日	监理 年　月　日

注：张拉分级中 6–1、6–2 为补偿张拉。

表 F.8 预应力锚索（对穿锚）张拉质量检查评定表

施工单位：　　合同编号：

锚索编号		设计张拉力 kN		孔道长度 m		锚具型号		施工部位	
预紧千斤顶型号			编号		压力表编号			率定方程	
张拉千斤顶	左侧型号		编号		压力表编号			率定方程	
	右侧型号		编号		压力表编号			率定方程	
部位	张拉分级	压力表读数 MPa	张拉力 kN	加荷时间 min	实测伸长量 mm		递增值 mm	累计递增值 mm	稳压时间 min
左端	0								
	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								
右端	0								
	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								
实测伸长值之和 mm		0 到初始应力的理论伸长值 mm		理论伸长值 mm				实测伸长值与理论伸长值误差率 %	
备注									
施工单位意见	□优良 □合格 初检 日期：　年　月　日		□优良 □合格 复检 日期：　年　月　日				□优良 □合格 终检 日期：　年　月　日		
监理单位意见					签证人： 日期：　年　月　日				

水电水利工程预应力锚索施工规范

条文说明

目　录

1　适用范围 …… 49
4　总则 …… 50
5　一般规定 …… 54
6　材料与设备 …… 60
6.1　预应力钢绞线 …… 60
6.2　防护套管 …… 63
6.3　锚具 …… 64
6.4　造孔设备 …… 66
6.5　张拉机具 …… 67
6.6　灌浆设备 …… 71
7　锚索施工 …… 73
7.1　成孔 …… 73
7.2　锚索制作 …… 79
7.3　锚索运输、安装 …… 81
7.4　张拉 …… 84
7.5　防护 …… 91
8　试验与监测 …… 95
8.1　试验 …… 95
8.2　监测 …… 97
9　质量与安全 …… 99
9.1　质量 …… 99
9.2　安全 …… 105
10　环境保护 …… 108
11　验收 …… 110

1 适 用 范 围

本标准适用于水电水利工程中岩体加固，如岩质边坡、大坝岩石基础、地下洞室、压力隧洞、地下厂房、调压井等围岩的锚固；闸墩、坝顶门机梁、压力隧洞衬砌、地下厂房岩锚梁、水轮机蜗壳、调压井、输水渡槽、大直径压力水管、混凝土砂石骨料储罐、油料储罐、大型水塔及污水消化池等混凝土结构预应力锚索施工。

本标准可供其他工程，如地质灾害防治、公路岩质边坡、隧洞围岩锚固及桥梁、码头、船坞等混凝土结构预应力锚索施工时参考。

4 总　　则

4.0.1　水电水利工程预应力锚索施工技术复杂，受客观因素影响较大。施工前，应取得预应力锚索设计图纸（含锚索结构详图）、技术要求，预应力锚索施工与其他工程项目施工的相互关系、施工工期等资料。岩体锚索施工还应掌握施工区内的工程地质和水文地质资料；混凝土结构锚索施工应了解锚索在结构体内的布置与结构钢筋、埋件之间的相互关系，施工的环境条件等。以保证预应力工程施工顺利进行。

4.0.2　一般预应力工程开工前，承包单位在全面了解施工现场情况和深入研究设计文件之后，应根据设计要求和实际情况编制实施性施工组织设计，其内容包括施工进度计划、施工布置、施工程序、施工方法、质量控制措施、施工安全技术措施、环境保护措施和施工组织机构设置、施工材料和施工设备、计量仪器选择及配置等。对重要的施工工序还应编制作业指导书或施工技术方案，如大范围、高陡边坡的施工承重排架设计方案，造孔、锚索制作、安装、张拉锁定、封孔灌浆等施工技术方案。

需要进行预应力锚索基本性能或工艺试验的项目，应编制试验大纲。

在较为破碎软弱的岩体进行锚固，而且张拉力超过 1000kN 以上时，一般不宜使用普通的拉力型、压力型索体结构。可改用拉力分散型、压力分散型结构，其内锚固段索体设置若干个由 P 型挤压锚组成的承载体，由承载体分担施加的预压应力，使锚固段孔壁围岩应力分布均匀，可充分发挥锚固段的抗拔能力，但在施工前应根据锚索类型制定详细的施工工艺细则。在正常情况下，一般内锚固段长度不宜超过 10m。锚固段的长度可通过理论

计算或采用工程类比法确定，亦可通过拉拔试验即破坏性试验来确定。

1 理论计算确定锚固段长度有两种情况：

1）锚索从胶结体中拔出，其计算式为：

$$L=\frac{\kappa T}{n\pi dC_1} \qquad (1)$$

式中：

L——锚固段长度，m；

T——设计锚固力，kN；

κ——安全系数，κ参照表 1 选用；

n——钢绞线根数；

d——钢绞线直径，mm；

C_1——水泥结石与钢绞线粘结强度的设计值，取值 2.4MPa～3.2MPa。

2）按锚索体与胶结体一起沿孔壁滑移，计算锚固段长度，其计算式为：

$$L=\frac{\kappa T}{\pi DC_2} \qquad (2)$$

式中：

D——孔径，mm；

C_2——水泥结石与孔壁围岩胶结强度的设计值，取值参照表 2，MPa；

L、κ、T 意义与式（1）相同。

表 1 胶结式锚固段安全系数κ参考值

工程性质与锚索孔道方向	永久性锚固工程		临时性锚固工程	
	仰孔	俯孔	仰孔	俯孔
安全系数κ	2.0	1.5	1.6	1.2

表 2　水泥结石与围岩的粘结力

围岩级别	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
粘结力 MPa	1.5	1.5～1.2	1.2～0.8	0.8～0.3	≤0.3

2　工程类比法：

根据水电水利工程和交通、冶金、地矿等部门的经验，内锚固段长度参考值见表 3。

表 3　岩锚内锚固段长度参考值

内容 / 序号	设计锚固力 kN	内锚固段长度 m
1	＜1000	4～5
2	1000～2000	5～6
3	2000～3000	6～7
4	＞3000	7～8

3　拉拔试验法：

如锚固区地质情况复杂，锚固工程规模较大，最好通过拉拔试验来确定内锚固段长度。

鉴于预应力工程施工的复杂性、各类预应力工程的独特性，在其施工前由业主或监理工程师主持召开有关单位相关人员参加的技术交底会，由设计单位就该工程的设计意图、工程规模和特点、施工程序、施工技术和质量要求、试验项目和目的、控制性工期以及该工程项目施工与其他工程项目施工的相互关系等，进行全面、详细的交底，并澄清有关疑难问题，对确保预应力工程施工的有序、安全、顺利进行非常重要。

4.0.3　随着我国经济改革开放的逐步深入和加快，我国的科学技术进步日新月异。近年来预应力工程施工材料、设备、工艺技术也有了长足的发展。预应力工程施工中除了应积极采用已被实

践证明为成熟的新技术、新工艺、新材料、新设备外，还应不断努力去研究开发更好更新的技术、工艺、材料和设备。为确保工程质量和安全，施工中在正式采用研发的或尚未广泛采用的新材料、设备、工艺和技术之前，应先进行必要的试验论证，并经有关部门或专家鉴定批准为妥。

4.0.4　水电水利工程预应力锚索施工，不仅涉及多种施工科学技术，如材料试验检验，设备计量器具及其检验、标定，工程地质勘探评价，钻孔、灌浆、钢筋混凝土施工等，同时也涉及水体、大气、植被等自然生态环境，人体健康保护、安全防护等。因此预应力工程施工除应遵守本标准外，还应遵守《环境保护法》、《中华人民共和国安全生产法》等国家法律、法规的有关规定。

5 一 般 规 定

5.0.1 规模较大或等级较高的预应力工程，在正式进行施工前或材料入库验收前，应根据设计和本标准要求进行必要的试验检验，如钢绞线力学性能试验、锚具的硬度及锚固性能检验、施工工艺试验等，以验证设计参数，完善施工工艺，制定施工技术操作规程。如清江隔河岩和天生桥一级水电站引水隧洞预应力混凝土衬砌，黄河小浪底水库排沙洞预应力混凝土衬砌，清江高坝洲水电站水轮机蜗壳预应力混凝土，东深供水三期扩建工程预应力混凝土输水渡槽、输水管道，三峡水利枢纽五级船闸边坡岩锚与升船机上闸首预应力工程等，都成功地进行了性能试验和工艺试验，其试验成果很好地指导了相应预应力工程施工。同时，还应进行水泥、砂石骨料材质检验，水泥浆、混凝土配合比试验。工程验收前应进行验收试验，使预应力工程施工中的质量控制难点、技术操作要点，在工程施工之前通过各项试验检验得到有效解决，通过验收试验使其工程质量得到进一步验证。

5.0.2 为了保证预应力工程所用的材料和设备是合格品，必须从其源头上进行控制。

1 对供货商（厂家）进行有关产品的品种、质量、物理力学性能、质量检测手段、包装质量、供货能力、资质等级等方面的调查。

2 通过对所调查的多家供货商（厂家）进行全面评估，在被确定的合格供货商（厂家）中公开进行招标，择优选定供货商（厂家），可以实现材料、设备采购质量优良，价格合理以及售后服务及时、周到。

5.0.3 本条规定是为了确保同一施工部位使用的预应力钢绞线的物理力学性能符合设计要求及均一性，按照规定的施工工艺张

拉锁定后，能达到设计要求的锚固力及使用寿命。在特殊情况下确需进行钢绞线代换，必须通过物理力学性能试验论证，并报经有关单位审查批复同意后才能实施代换。

5.0.4 预应力锚索施工工艺比较复杂，可能会与其他工程项目施工发生相互干扰。在编制施工组织设计时，应根据设计要求，制定详细的施工程序、工艺流程和作业指导书，使预应力工程施工安全、有序、保质、按计划进行。

5.0.5 预应力工程特别是岩体锚固，大都在经过开挖削坡后的高陡边坡上进行。如三峡水利枢纽五级船闸边坡，清江水布垭、广西龙滩、云南小湾水电站坝肩边坡，长江链子崖危岩体整治，其边坡高度均超过 100m。钻孔、锚索安装、张拉锁定、封孔灌浆等各工序施工，都是在排架上进行作业。如果排架的强度和稳定性在施工中发生问题，将导致极其严重的后果。为此，在制定施工方案时，应根据施工现场情况和排架所承受的实际荷载（如钻机的静荷载、动荷载、施工材料、作业人员等各类施工荷载组合情况），对排架进行设计。根据设计搭设的承重排架必须经有关安全部门检查，验收合格后才能投入使用。

5.0.6 预应力岩体锚固工程，通常被锚固岩体特性较为复杂，在前期地质勘探中难以全面揭示，施工过程中可能出现：

1 造孔过程中，原设计孔位无法成孔。

2 按原设计孔深，其锚固段岩体不能满足抗拔力的要求。

3 锚索张拉过程中，被锚固岩体出现严重的压缩变形。

出现以上情况应及时向有关单位反馈信息，以便进行动态设计，调整施工方案。

5.0.7 混凝土结构预应力锚索，无论采用有粘结钢绞线还是无粘结钢绞线，浇筑混凝土时下料、振捣都必须非常谨慎。下料时不得冲击预应力钢绞线、防护套管或仪器引伸线，严禁振捣器触及无粘结钢绞线、防护套管和仪器引伸线。否则可能造成：

1 无粘结钢绞线 PE 套管破损，导致其失效。

2 防护套管变形、破裂造成堵管，导致锚索无法安装。

3 仪器引线破断，将导致监测仪器失效。

5.0.8 锚墩和结构混凝土体是锚索张拉时及锁定后直接受力和传递预应力的结构体，锚墩尺寸及配筋可参考表 4。

表 4 锚墩尺寸及配筋参考表

级别 kN	底面积 m^2	顶面积 m^2	墩高 m	铺设钢筋网 mm
1000	0.8×0.8	0.4×0.4	0.4	二层φ8@100
2000	1.0×1.0	0.5×0.5	0.5	三层φ8@100
3000	1.2×1.2	0.6×0.6	0.6	四层φ8@100
注 1：混凝土强度等级 C30 以上。 注 2：如岩土性状较差时，底面积可放宽到 1.6m×1.6m。				

一般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，混凝土因强度较低导致张拉后徐变产生的预应力损失加大，甚至会在其端部沿预应力钢绞线位置产生裂纹。

5.0.9 岩体加固预应力锚索的张拉力是由其内锚段胶结体及其与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。

5.0.10 一般情况下，锚索张拉过程是正常安全的。但不排除因多种因素所致，可能出现下列情况：

1 预应力钢绞线断丝断股。其主要原因可能是预应力钢绞线存在材质缺陷，或张拉千斤顶、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。

2 夹片破裂。其主要原因可能是夹片存在质量缺陷。表现

特征是张拉中可闻到破裂声，甚至夹片飞出。

3 千斤顶漏油严重。其原因可能是千斤顶内密封圈老化破损。表现特征是正常加压时，压力表工作不正常或活塞不移动。

4 压力表不回零。其原因是压力表内弹簧失效或油路有问题。

锚索张拉中如出现上述情况之一，表明张拉系统已不能正常工作，应立即停机，查找原因，进行处理，如对张拉机具进行维修或更换新机具。若对张拉机具进行了修理，应重新进行配套标定后方可使用。

5.0.11 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，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。

5.0.12 锚索防护的胶结体密实程度，对混凝土结构预应力锚索的工作寿命有直接影响；对岩体预应力锚索，既对其锚固力有很大影响（内锚段），也对其工作寿命、安全性有直接影响。所以确保锚索胶结体密实非常重要，一般采用的方法有：

1 在浆液中加入适量的微膨胀剂，如 CM-2、AEA 等，其掺量可通过试验确定，一般为 8%～10%。

2 混凝土结构预应力锚索封孔灌浆时可采用真空灌浆工艺，以提高浆体水泥结石的密实度。

3 岩体预应力锚索孔道情况较为复杂，可根据具体情况采取经济有效的措施。如采用高压风吹干孔内集水，灌浆时适当加大灌浆压力，延长屏浆时间等。

5.0.13 预应力工程的试验、施工记录主要包括：

1 原材料的材质证明书、产品合格证、试验检验报告。

2 张拉机具的产品合格证、质量检验报告。

3 压力表、测力计的产品合格证、检验合格证、使用说明书。

4 千斤顶、压力表、测力计配套标定资料，如张拉力—压力表（测力计）读数关系曲线、计算公式等。

5 锚板、夹片的产品合格证、质量检验报告。

6 锚索孔道形成过程（钻孔或预埋管）的施工和质量检验记录。

7 预应力钢绞线性能试验、工艺试验、验收试验、破坏性试验记录、成果报告。

8 锚索制作过程中工序检验记录。

9 锚索安装记录。

10 锚索张拉监测记录。

11 锚索锁定后应力、应变监测记录。

12 锚索封孔灌浆（内锚段、张拉段）记录（含浆材配比）。

13 锚头防护记录（有粘结锚索含混凝土配合比，无粘结锚索含防护罩、防腐油脂）。

14 重大质量事故处理记录。

15 重要技术会议纪要。

16 施工图、技术文件、设计变更文件、监理文件。

17 施工日志、施工大事记。

18 其他有关记录。

各项记录的整理、归档工作应与预应力工程施工过程同步进行，必须做到记录真实、全面、准确、详实。

5.0.14 预应力工程施工工艺较为复杂，技术要求高。因此，在其开工前必须对参与施工的操作人员进行技术培训。尤其在使用新技术、新工艺、新材料和新设备时，技术培训更为重要。通过技术培训使施工操作人员切实掌握该项预应力工程的施工技术要求，熟悉安全操作技术规程和技能。承担施工技术，质量控制，锚索制作、安装、张拉、灌浆、现场记录等的作业人员必须持证上岗。没有经过培训或考核不合格者不得上岗操作，以确保预应力工程施工质量、安全。

5.0.15 预应力工程施工中应根据国家《环境保护法》规定，认真做好生态环境保护工作，特别是岩体锚固工程施工过程对环境影响较大，在制定预应力工程施工组织设计、施工技术方案时，应统筹考虑生态环境保护措施。从工程开工至竣工，根据每一道工序的具体情况，采取切实有效的技术措施进行生态环境保护。工程结束时，生态环境保护能持续改善、达标。

6 材料与设备

6.1 预应力钢绞线

6.1.1 水电水利预应力工程采用的预应力钢绞线为有涂层（无粘结）或无涂层（有粘结）高强低松弛钢绞线。低松弛钢绞线应满足在标准条件下试验 1000h，初载为最大负荷的 70%和 80%时，其松弛性分别不大于 2.5%和 3.5%。其生产工艺可分为标准型和压紧型，其强度级别可分为 1725MPa（250 级）、1860MPa（270 级）、1960MPa（290 级），其规格性能见表 5。

表 5 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_b 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 %	张拉力松弛初始负荷 %	1000h 松弛率
12.7	+0.40 −0.20	98.7	775	1720 1860 1960	≥170 ≥184 ≥193	≥153 ≥166 ≥174	3.5 L_0=500mm	60	≤1.0
15.2		140	1101	1720 1860 1960	≥241 ≥260 ≥274	≥217 ≥234 ≥247		70	≤2.5
15.7		150	1178	1720 1860 1960	≥258 ≥279	≥232 ≥251		80	≤4.5
17.8		190	1500	1860	≥353	≥294			

注 1：非比例伸长力 $\sigma_{p0.2}$ 不小于整根钢绞线公称最大力的 90%。

注 2：钢绞线弹性模量为（1.95±0.1）×10^5MPa。

6.1.2 预应力钢绞线进场后，首先应进行外观检验。本条规定了外观检验的基本标准即：每盘钢绞线的外包装应完整无损；钢

绞线表面无油渍、锈蚀、毛刺、损伤；直径偏差在±0.15mm 内；标准型钢绞线捻距为直径的 12～16 倍，压紧型钢绞线捻距为直径的 14～18 倍；伸直性能较好；涂层钢绞线的 PE 套管完整等。检验合格后方可验收入库，不合格的应拒收。以防止低劣质钢绞线进入施工程序，这是控制钢绞线质量的第一关。

所谓钢绞线的锈蚀是指黄锈、锈斑、锈坑等。黄锈、锈斑不会影响其力学性能，但有锈坑对钢绞线的力学性能有一定的影响，如使用此类钢绞线，需做力学性能检验。

6.1.3 钢绞线的材质证明书、产品合格证及试验检验报告，是钢绞线供货质量的原始凭证，也是对其材质进行复检的参照依据。供货商（厂家）应随供货批次向购买方提供相应资料，以利对所供钢绞线质量的检验和认定，工程完工后作为竣工资料存档。

6.1.4 预应力使用的钢绞线力学性能包括屈服强度、极限强度、延伸率、松弛率、弹性模量等。钢绞线力学性能见表 5。

6.1.5 钢绞线力学性能试验是判定其材质的最重要方法。即使供贷商（厂家）提供了相应的检验资料，钢绞线使用单位仍需进行该项检验，以验证其材质，确保所用钢绞线的质量符合设计要求。其检验内容和方法见附录 A。

6.1.6 无粘结钢绞线的油脂涂层与外包层共同保护所包裹的钢绞线不被有害介质腐蚀。同时涂料层在预应力钢绞线张拉过程中和锁定后，起着润滑钢绞线表面减少摩阻力的作用，使钢绞线在被锚固介质中能自由滑动。目前国内欧维姆公司生产的双层防护预应力钢绞线，其防腐层由环氧树脂喷涂和防腐油脂涂层共同构成。外包 PE 套管可阻止涂层油脂不被侵蚀和溢出，无粘结钢绞线的防腐油脂和 PE 套管质量要求如下：

1 无粘结钢绞线的涂料层为专用防腐油脂，其质量的基本要求为：

1）在-20℃～+70℃条件下不流淌，不变硬变脆，有一定的韧性。

2）不含对钢绞线、混凝土有腐蚀性的有害化学成分。

3）在使用期内化学稳定性好。

4）对钢绞线有良好的防腐性能。

5）不透水，不吸湿，防水性好。

6）有良好的润滑性，摩阻力小。

7）有一定的密度，润滑油脂涂敷量不小于 50g/m。

2 PE 套管应具有以下性能：

1）在-20℃～+70℃条件下不脆化，不变形。

2）有良好的韧性和抗破损性。

3）对钢绞线、混凝土无腐蚀性。

4）有良好的防水性能。

5）厚度应为 1.0mm～1.2mm。

3 有关无粘结预应力钢绞线的规格性能见表 6。

表 6 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	套管					摩擦系数 μ	偏摆系数 k
				厚度		拉伸强度 MPa	弯曲屈服强度 MPa	断裂伸长率 %		
				一类 mm	二类以上 mm					
9.50	54.8	1720 1860 1960	≥32	≥0.7	≥1.0	≥30	≥10	≥600	0.04～0.10	0.003～0.004
12.70	98.7	1720 1860 1960	≥43							
15.20	140	1570 1670 1720 1860 1960	≥50							
15.70	150	1720 1860	53							

注 1：水电水利工程使用的无粘结预应力钢绞线套管厚度为二类以上。

注 2：结构使用环境类别见 GB/T 50010—2002 中表 3.4.1，一类为室内正常环境。

6.1.7 对预应力钢绞线的起吊、运输、储存，应制定具体的操作方案，指派技术熟练，认真负责的人员操作。

1 起吊钢绞线时，应用不会构成对其损伤的吊具、锁具。起吊中应注意观察其运行方向，避免被其他物体撞击。装卸时严禁碰撞、摔打。

2 钢绞线运输中，无论运距长短，都应有必要的防护措施，防止其被挤压、摩擦，损坏外包装或被雨淋，被油、尘土污染。

3 钢绞线储存场地应干燥，距地面 20cm 以上，有良好的防雨、防晒、防尘、防酸、防杂散电流等措施。

6.2 防 护 套 管

6.2.1 混凝土结构预应力锚索多采用埋管法成孔。有特殊防护要求的岩体锚索也可使用套管。金属螺旋管、高密度聚乙烯（HDPE）波纹管或钢管，其材质、直径、壁厚均应符合设计图纸和技术文件对其质量的要求。

6.2.2 本条规定套管内径应大于锚索直径 4mm 以上（大于隔离架直径 2mm 以上），是为了在锚索安装时能顺利穿过孔道，同时封孔灌浆时有利浆液充分顺畅流动，使孔内浆体充盈饱满。套管具有一定的刚度，不仅便于安装，更重要的是在浇筑混凝土时，在外荷作用下管线纵向、径向不会变形，保证管孔的线型和直径符合设计要求。

除设计有特殊要求外，一般锚索钢套管壁厚不小于 3mm。金属螺旋管壁厚不小于 0.3mm，其径向变形不大于内径的 15%。高密度聚乙烯（HDPE）波纹管壁厚分 2mm、2.5mm 和 3mm 三种，其最大的优点是能防氯离子侵入而产生电腐蚀，不导电可防杂散电流腐蚀。其型号规格见表 7。

表 7 SBG 塑料波纹管的型号规格

内径 mm	外径 mm	壁厚 mm
50	60	2
70	80	2
85	99	2
100	115	2
120	135	2.5
130	145	2.5
140	155	3
160	175	3

注 1：大波波距为 35mm。
注 2：μ取 0.12～0.14。
注 3：k 取 0.001～0.003。

6.2.3 预应力锚索套管安装时的连接方法，视套管管材而定。一般金属螺旋管采用缩接法，即采用与被接管材质相同的接头套管连接。接头套管的波形应与被接管相同，但管径应比被接管管径大 1 号。连接时被接管旋入接头管内的长度不小于 100mm。高密度聚乙烯（HDPE）波纹管宜采用对口同轴心熔焊连接，接口应设在波峰处，以免焊瘤影响穿索；钢管一般采用电弧焊连接。采用电弧焊或熔焊连接套管时，必须使管口对正，管内焊缝平滑，无错台、无焊瘤，管周焊缝严密，无夹渣砂眼。连接成形的套管应符合设计的线型及强度、刚度和防水性等质量要求。

6.2.4 本条规定的目的是为了使双层防护岩体锚索的高密度聚乙烯（HDPE）波纹管，在索体安装就位后完好无损，并具有防水、防腐蚀、抗老化的性能。

6.3 锚　　具

6.3.1 锚具指锚板和夹片的组合体。其机械性能包括硬度、静载锚固性能、动载锚固性能、疲劳性能及承受周期荷载性能等。

圆形锚板的几何尺寸包括直径、厚度、孔径、孔型、孔数及排列形式等；矩型锚板的几何尺寸包括其长、宽、厚、孔径、孔型、孔数及排列形式等。夹片的几何尺寸包括一副夹片的组合片数、一副夹片端面直径及与锚板孔眼的配合精度等。上述各项均应与设计要求相符。

锚具进场时，供货商（厂家）随供货批次提供的该批锚板、夹片的产品合格证、试验检验报告是其产品质量的原始凭证，也是其质量复检时的参照依据，所以不可缺少。

6.3.2 大型水电水利工程，预应力锚索施工均应进行预应力钢绞线—锚具组装件静载试验，以检验进场钢绞线与锚具组合的锚固性能是否符合设计要求。GB/T 14370—2000 中 5.2.1 规定“锚具的静载锚固性能应同时满足下列两项要求：$\eta_a \geqslant 0.95$；$\varepsilon_{apu} \geqslant 2.0\%$”；5.2.2 又规定“在预应力筋—锚具组装件达到实测极限拉力时，应当是由预应力筋断裂，而不应由锚具的破坏所导致”。其试验方法及η_a、ε_{apu}的计算见附录 B。

6.3.3 水电水利预应力工程设计使用寿命都比较长，所以锚具除了满足 6.3.2 规定的锚固性能外，其抗疲劳性能、耐久性也极为重要。锚具进场时供货商应提供符合设计张拉力的锚具的 200 万次疲劳性能试验和 50 次的周期荷载试验的最新资料（距供货时 1 年内），以确认本批锚具的抗疲劳性能是否符合设计和规范要求。

6.3.4 锚具进场后应经过外观检验、硬度检验，大型水电水利工程还应做静载锚固性能检验，合格后方能验收入库，以杜绝不合格锚具进入施工程序。

1 锚具外观检验非常重要。因其一个批次的数量较多，若逐副检验，工作量极大。采用适当比例的随机抽检，可以达到控制其外观质量的目的。当一个批次的锚具数量较多时，随机抽取其总量的 10%进行外观检验。当同一批次的锚具数量较少时，

应至少随机抽取 10 套进行外观检验。外观检验内容包括：锚板主端面光洁度，无油污、裂纹与损伤，外形尺寸与张拉千斤顶匹配等；夹片表面光洁度，无油污，齿牙均匀整齐，配套紧密，两端齐平，与锚板匹配情况等。上述检验合格后方能验收入库。

2 锚具的硬度检验，是其力学性能检验的重要项目。硬度不够或超过规定范围，均会严重影响其锚固性能。所以，进场的锚具必须复测其硬度。锚具硬度检验是在其外观检验合格后进行。为使硬度检验具有可靠性和代表性，本条规定从锚具总量中随机抽取 5%，且锚板应不少于 5 件，夹片不应少于 5 副，进行硬度复测。复测时的参考标准是厂家提供的该批锚具硬度范围。锚具硬度测试方法和合格判定见附表 C。

6.3.5 锚固体系的组成部件，除了锚板、夹片外，还有支承和传递张拉力的锚垫板（喇叭管）、承压板、螺旋筋等。这些部件的材质、几何尺寸均应符合设计要求，才能保证锚索施工质量。当设计没有明确规定时，可根据预应力锚索张拉力和锚板规格进行设计，或选用厂家与相应锚具配套的有关部件。

6.4 造 孔 设 备

6.4.1 岩体预应力锚固工程施工中，由于其工程环境、施工条件、地形、地质体极为复杂，造孔作业的难易程度差别很大。选用能适应工程环境和岩石特性、效率高、性能稳定的钻孔设备，在钻孔作业中将起到事半功倍的作用。

随着我国机械制造业水平的提高，优良的钻孔设备类型很多。选用钻孔设备应考虑的主要因素有：

1 整机对工程环境的适应性强。如各种气候条件、各种地形地质情况都能适用。

2 钻具性能好。如钻杆、钻头、冲击器的性能好、耐用，钻孔孔径符合设计要求。

3 机体质量较轻，可搬迁性好，安装、定位方便。

4 经济性好。如钻孔效率高，易于操作，价格适中，运行费用少等。

5 环境保护性能好。如有防尘、消声装置，排放的废气对环境影响小。

6.4.2 钻具主要包括钻杆、接头、钻头、冲击器等。钻具的导向机构如导向仪、扶正器等，可方便钻具定位，钻进中随时调整孔斜。钻具在钻进中运转平稳，有利于顺利钻进及孔道质量控制。

6.4.3 一般岩体锚索孔，在钻孔过程和终孔验收时均需借助测斜仪器。目前常用的测斜仪器有多点照相测斜仪、孔内电视测斜仪、经纬仪等。应根据工程的钻孔条件、孔径、孔深、孔向等实际情况对各种测斜仪器的性能进行比较，优先选用操作方便、测量耗时少、精度较高、示数直观、耐久性好、价格合理的测斜仪器。

6.5 张 拉 机 具

6.5.1 预应力锚索张拉机具，包括千斤顶、高压油泵、压力表、测力计等。目前市场上这些机具类型很多，各具特色。千斤顶（预紧、张拉）、高压油泵应根据工程实际选用，其原则是：

1 能与锚索设计张拉力相匹配。千斤顶的标称张拉力应比锚索设计张拉力大500kN～1000kN。

2 能适用各种预应力工程类型，如岩体锚索、结构混凝土锚索的张拉施工。

3 技术先进，性能稳定。近期，生产的前卡式千斤顶和2500kN 内卡式千斤顶，与穿心式千斤顶相比，每束锚索至少可节省 0.5m～1.0m。

4 体积小、质量轻、强度高、密封性能好、可靠性高，操作方便安全。如广西柳州市几家公司生产的轻量化千斤顶和高压油泵，其体积和质量与同类型传统产品相比小而轻，且性能更加优良，各种轻量化张拉千斤顶见表 8、表 9、表 10。

表 8　几种轻量化穿心式张拉千斤顶技术参数表

型号 \ 项目		公称张拉力 kN	公称油压 MPa	张拉活塞面积 m^2	回程活塞面积 m^2	回程油压 MPa	穿心孔径 mm	张拉行程 mm	主机质量 kg	主机外形尺寸		最小工作空间 $B\times E$ mm^2	钢绞线预留长度 mm
										长度 mm	直径 mm		
YCW	250B	2480	54	4.592×10^{-2}	2.802×10^{-2}	<25	140	200	164	380	344	1270×220	590
	400B	3956	52	7.607×10^{-2}	4.592×10^{-2}	<25	175	200	270	400	432	1320×265	620
YDC	2500B	2500	57	4.369×10^{-2}	2.578×10^{-2}		138	200	148	351	342	1050×220	550
	4000B	4000	53	7.611×10^{-2}	4.595×10^{-2}		175	200	240	375	432	1150×270	600

注：B 为千斤顶作用宽度，E 为千斤顶作用高度。

表 9　几种轻量化内卡式张拉千斤顶技术参数表

型号 \ 项目		公称张拉力 kN	公称油压 MPa	张拉活塞面积 m^2	回程活塞面积 m^2	回程油压 MPa	穿心孔径 mm	张拉行程 mm	主机质量 kg	主机外形尺寸（长度×直径） mm	最小工作空间（长 A×高 C） mm	钢绞线预留长度 mm	配备锚具规格
YCW	150B	1492	50	2.980×10^{-2}	1.380×10^{-2}	25	120	250	108	$370\times\phi285$	1250×190	570	OVM15-7～3
YCW	250B	2480	54	4.5925×10^{-2}	2.803×10^{-2}	<25	140	200	164	$380\times\phi344$	1270×220	590	OVM15-12～6
YDC	1500N-1000	1493	54	2.765×10^{-2}	1.155×10^{-2}	25	10	100	116	$285\times\phi305$		200	HVM15-A-3、4、5、6、7
	1500N-200							200	146	$385\times\phi305$			
	2500N-100							100	217	$289\times\phi399$			HVM15-A-6、7、8、9、10、11、12、13
	2500N-200	2462	50	4.924×10^{-2}	2.922×10^{-2}	25		200	263	$389\times\phi399$	1000	200	
YDN	1500-200	1500	51	2.969×10^{-2}	1.714×10^{-2}		131	200	195	$444\times\phi325$	900×200	280	VLM15-7、6、5、4、3
	2500A-200	2500	51	4.752×10^{-2}	2.395×10^{-2}		160	200	335	$480\times\phi390$	1000×300	300	VLM15-12、11、10、9、8、7、6

表 10　几种轻量化扁形张拉千斤顶技术参数表

项目 / 型号	公称张拉力 kN	公称油压 MPa	张拉活塞面积 m^2	回程活塞面积 m^2	回程油压 MPa	张拉行程 mm	主机质量 kg	主机外型尺寸（长度×直径） mm	钢绞线预留长度 mm
YDB1000–160	2×509	49	$2\times1.039\times10^{-2}$	$2\times4.712\times10^{-2}$		160	123	590×450×225	720
YDB1000–160	1000	50	$2\times10.38\times10^{-3}$	$2\times5.36\times10^{-3}$		160	112	403×465×225	720
YDB1000–150	1000	55	1.9×10^{-2}	8.95×10^{-2}	≤25	150		460×150×406	

6.5.2　锚索的张拉力值在没有测力计的情况下是靠压力表提供的。不同的预应力工程，锚索的设计张拉力值从几百千牛到上万千牛，对压力表的性能、精度都有较高要求。工程实践证明，刻度压力表的精度和灵敏度偏低，而耐压抗震数显压力表的瞬间所测应力值比同级刻度压力表要精确 3%～10%。故本条规定压力表精度不应低于 1.5 级，量程等于或大于 60MPa，有条件时应优先选用抗震数显压力表，以使锚索各级张拉力值的显示更直观、更精确。

6.5.3　预应力工程施工中，测力计主要用于：

1　预应力钢绞线—锚具组装件静载试验监测。

2　锚索生产性工艺试验监测。

3　摩阻试验监测。

4　验收试验监测。

5　破坏性试验监测。

6　锚索应力应变监测。

上述监测中，测力计都是与锚具、千斤顶配套使用的。所以本条规定测力计与锚具、千斤顶相匹配。同时测力计的性能（耐温、抗震）应稳定，在工程施工区域温差变化范围内能正常工作。

用于锚索应力应变监测的仪器，还应特别注意其耐久性，以确保在设计规定的监测期内能有效工作。

6.5.4 张拉机具包括千斤顶、高压油泵、压力表、测力计等。由于千斤顶、高压油泵属液压设备，压力表、测力计为测力计量器具，是相互配套使用的，易损伤、易失效、易污染、维修较困难。为使其技术性能处于完好状态，无论在使用期间或闲置存放时均应指派业务素质好、认真负责的人员专职保管。入库时应进行分类登记建档，分类妥善存放，进行适当防护，按照一般规定进行定期维护。存放 6 个月后再次使用或新购机具首次使用或标定后连续使用满 6 个月，都必须进行配套标定，以使张拉机具在锚索张拉时处于最佳工作状态并确保安全，从而能准确真实地反映锚索张拉效果。

6.5.5 大型水电水利工程的预应力锚索施工中，预应力钢绞线—锚具组装件静载试验的专用张拉机具，一般比该工程施工用张拉机具的公称张拉力大 2000kN 左右。通常置放于专用张拉台座附近，很少移动。同时因其使用次数少，张拉机具的出力系统、测量仪表不会受到外力影响，能够保持标定时的状态。在其首次标定后使用时间达到 6 个月（包括非工作状态置放），应对张拉机具及配套仪表进行空载和带负荷检查，如运行正常，压力表能正常回零，可将其标定期延长至 10 个月。

6.6 灌 浆 设 备

6.6.1 水电水利工程预应力锚索施工中灌浆设备包括浆液搅拌机、灌浆泵及其配套的压力表、管阀、输浆管等。选用时应充分考虑其技术特性和下列因素：

1 能满足不同类型和不同浓度浆液的灌注。

2 能满足灌浆强度（如群孔联灌）的要求。

3 能适应高陡边坡、地下洞室和各类结构混凝土锚索孔道的灌浆要求。

4 能够稳定、均匀和连续灌浆。

6.6.2 以往预应力工程施工中使用的制浆机大多为低速搅拌机，其转速仅 30r/min 左右，所制浆液均匀性、流动度和可灌性不够理想。近年来市场上已有高速搅拌机，其转速可达 1200r/min 左右，该种机型的性能弥补了低速搅拌机的不足，应优先选用。

6.6.3 用于预应力锚索孔道灌浆的灌浆泵有活塞式和螺杆式。螺杆式灌浆泵的最大特点是给浆均匀、压力稳定，既可灌纯水泥浆，又能灌水泥砂浆。

由于水电水利工程预应力锚索灌浆管路铺设受地形、地貌影响较大，灌浆压力沿程损失的因素多。因此，要求实际灌浆压力应大于最大设计灌浆压力的 1.5 倍，并保持相对稳定，其压力波动范围应小于设计灌浆压力的 20%，否则可能影响锚索孔道灌浆的质量。

6.6.4 为了保证灌浆时能准确显示灌浆压力，灌浆泵所配的压力表必须经当地计量部门检验合格方能使用。输灌管耐压强度应不低于灌浆压力的 2 倍。

7 锚 索 施 工

7.1 成 孔

7.1.1 水电水利工程岩质边坡加固、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，按设计要求的程序、部位、孔径、孔深采用钻机造孔。

1 本款规定的目的是，使岩锚钻孔的孔距、排距达到设计要求的精度，以确保每根锚索的锚固范围符合设计规定。若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，应报经有关单位同意，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。群锚效应经验计算公式：

$$D=1.5\sqrt{L\times d/2} \qquad (3)$$

式中：

D——锚索最小间距，m；

L——锚索长度，m；

d——孔径，m。

2 本款规定是为了从钻孔操作方面确保钻孔精度。经验证明，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 后停机，再次对钻具的倾角、方位角进行校核调整，这样才能有效防止起始钻进中的偏差。一般情况下每钻进 5m～10m 应测量一次孔斜，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。

3 为保证岩锚孔道质量，除终孔的孔轴偏差符合设计规定外，还应使孔道顺直性好、孔壁无错台、无松动碎石，以免

影响锚索安装，增大锚索张拉时的摩擦阻力和降低有效锚固力。

4 本款规定是为了保证岩锚的有效锚固段长度和终孔直径符合设计要求。由于岩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，会造成锚索安装无法达到设计要求的深度，仰孔超深须大于浆体沉缩量。终孔孔径达不到设计尺寸，会使锚索无法送进孔道，或锚索的胶结体直径过小，不能完全包裹索体，且与孔壁的粘着力减小，影响锚索的锚固力。部分水电工程岩锚造孔允许偏差值见表 11。

表 11 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	倾角允许偏差	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 2% 对穿锚不大于孔深 1%	
三峡工程永久船闸	1000 3000（观测）	＜10			端头锚不大于孔深 2% 对穿锚不大于孔深 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 2% 不大于孔深 0.8%	≤2°
广西龙滩工程导流洞	端头 2000			≤20	不大于孔深 2%	≤2°
清江隔河岩水电站高边坡	端头 2000	＜10			不大于孔轴 ±2°	

5 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。如广西龙滩工程左岸高边坡岩锚施工中，上述情况时有发生。比较成熟而有效的措施是，先对施钻岩体进行固结灌浆（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，再继续进行钻孔作业。又如山西太

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，后将山体做全面灌注水泥砂浆再行钻孔。在遇到岩性软弱而难以成孔时，可视具体情况使用大扭矩钻机采取跟管法钻进成孔，其孔径应符合设计要求。

6 钻孔中遇到的异常情况，如塌孔、卡钻、掉钻等，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，以便有针对性地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。

7 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。为了解和掌握岩锚区域及各锚索孔位的地质特征，在岩锚钻孔过程中应按照设计的要求，注意收集钻机的钻进速度、返渣数量、成分及地下水情况，采用孔内电视观测，进行地质编录和绘制施工地质图表，以使所有锚索的内锚固段都能达到设计要求的岩层及深度。

8 为使封孔浆体与孔壁围岩良好结合，终孔后应视孔壁围岩性状，采用适当方法清孔。一般坚硬岩体可用压力水冲孔，软弱岩体宜采用压缩空气冲孔。

9 由于岩锚孔道所处环境复杂，成孔后若不及时安装锚索或将孔口临时封堵，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。

7.1.2 岩锚孔口应按下列要求进行处理：

1 岩锚孔道验收合格后，一般应先安装锚索，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临时固定。用水泥砂浆或细石混凝土将套管外壁与孔壁之间的缝隙充填密实，以防浇筑锚墩混凝土时漏浆。锚墩建基面上的石渣、浮土、松动石块应切实清理冲洗干净，以利锚墩混凝土与岩面的紧密结合。

2 锚垫板下螺旋筋、锚墩混凝土及其内部的加强筋，都是

锚索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，才能使其满足锚索张拉和锚固的安全需要。

规定锚垫板与套管必须正交，误差不得超过 0.5°，是为了减小锚索张拉时的摩阻损失或防止锚索被剪切破坏。

3 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。规定锚墩模板安装误差控制范围，是为了锚墩位置及外形尺寸符合设计要求。

4、5 锚墩混凝土体是岩体锚索张拉时及锁定后的支承体和锚固端，是岩锚体系的重要组成部分，其施工质量应予充分重视并应做到：

1）锚墩混凝土配合比必须由具备相应资质的检测机构试验确定。

2）混凝土所用水泥、外加剂、砂石骨料必须是经过检验合格的材料。

3）混凝土浇筑必须按照 DL/T 5144 中有关规定的程序和要求进行施工。

4）尤其要做好锚墩混凝土的养护工作。

7.1.3 水电水利预应力混凝土结构工程类型很多，其锚索孔道的材料由设计确定，一般均采用预埋管法成孔。

1 工程实践表明，结构体积大、混凝土入仓强度高的大坝弧形门闸墩、船闸升船机闸室底部、水电站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（HDPE）波纹管。其特点是施工简便，有利于确保孔道线型符合设计要求。一般埋管法成孔安装精度可参照表 12。

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缩节管套接或电弧焊接。采用电弧焊接时，将两连接管轴心重合临时固定。施焊后管内焊缝应平滑，无凸出管壁的焊瘤。管外周边焊缝应均匀、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，应按设计要求将其与预埋钢管一并焊接牢固。预埋钢管应按设计位置敷设、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，应将所有孔口临时封闭严密，以防混凝土浇筑时漏浆堵孔。

表 12 预应力锚索孔道管安装精度参考表 mm

项目名称	弧门闸墩		隧洞		引水渡槽			
	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	间距局部偏差
					高差	左右偏移		
允许偏差值	±8	±10	±10	±15	±10	±10	±5	±10

3 预埋金属螺旋管应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。连接时被接管应旋进套管内 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，接缝两侧封宽宽度不小于 30mm。高密度聚乙烯（HDPE）波纹管安装时，可采用接头管套接或熔焊法连接，其密封要求与金属螺旋管相同。

4 为保证混凝土结构锚索孔道质量，在安装时应采取以下措施：

1）按照锚索的设计位置及线型，在相应的结构钢筋上测量并明显标出其轴线沿程各坐标点，作为孔道管安装进行空间定位的依据。

2）对于金属螺旋管或高密度聚乙烯（HDPE）波纹管，应沿孔管全长设置定位钢筋或井形定位支架，钢管应敷设在型钢定位支架上，以确保孔道管线型并使其得到牢固支撑。

3）金属螺旋管和高密度聚乙烯（HDPE）波纹管敷设时，应用细铁丝将其与定位钢筋或井形支架绑扎牢固，钢管应与其支架点焊固定。

4）避免金属螺旋管被电火花灼伤，若在其附近进行电弧焊作业，应用阻燃物覆盖防护。

5　压力隧洞混凝土衬砌和大直径混凝土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、锚具槽安装时有可靠的支承设施，应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。

6　本款规定旨在通过混凝土浇筑前对孔道管的全面检查、处理、封堵孔口，混凝土浇筑时对孔管的严格监护等措施，预防堵孔事故的发生。

7　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除，是保证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，应将其两端孔口临时封闭，以防异物落入孔内。

7.2 锚 索 制 作

7.2.1 为确保预应力锚索制作质量，一般大型水电水利预应力工程均应设置具有良好防雨、防尘、防污染设施的专用锚索加工车间。若预应力工程量较小或施工现场无合适场地时，也应设置有防雨、防污染功能的锚索制作工作台。不得在没有任何防护措施的场地上进行锚索制作。

7.2.2 锚索制作前，应按照设计的孔深和拟采用的张拉工艺操作要求，将钢绞线的长度算出，即为下料长度。

1 端头锚索：包括岩体端头锚（其 $S=S_1+S_2$）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。S_1 为岩体内实测孔道长度，S_2 为岩体外锚墩内实测孔口管长度。

2 对穿锚索：包括岩体对穿锚索（其 $S=S_1+2S_2$）和混凝土结构对穿锚索。当采用一端张拉时，张拉端的 h 值大于固定端的 h 值。

当锚索安装有测力计时，应另加测力计高度。为使钢绞线下料长度清晰，应制表列计。

7.2.3 本条规定钢绞线断料必须使用切割机切割，是因为使用电弧或乙炔焰切割钢绞线，会使切割部位在切割时受高温加热而改变其物理力学性能，故严禁使用。另外，雷雨时在露天进行钢绞线割切作业，可能发生触电、雷击事故，故必须禁止。

7.2.4 本条规定是为了使锚索两端钢绞线头比较整齐，安装工作锚板、工具锚板时易于操作，也有利张拉时进行安全防护。

7.2.5 为使无粘结索体与锚固段及外锚头的胶结材料良好粘结，编索前须将其 PE 套管剥除，装上止油套，用清洗剂洗净油脂，随后涂刷水溶性防护剂进行防护。为便于施工采取定尺生产，

在无粘结钢绞线加工过程中将锚固段、外锚头部分不加涂层，仅涂水溶性防护剂。

7.2.6 锚索体的结构型式一般由设计确定。当采用编帘法集束时，应按照规定的排列顺序，在编索架上将钢绞线平顺排列，使其一端对齐并用 22 号铅丝编帘。编距一般端部为 0.9m～1.0m，其余为 1.5m～2.0m，再按顺序卷帘扎束。采用隔离架编索时，隔离架间距应按设计要求设置，一般为 1.5m～2.0m，误差不大于±50mm。隔离架平面应与每根钢绞线垂直，并用细铅丝将二者绑牢，扎头应向内。

7.2.7 本条规定的目的是确保编好的锚索的端部钢绞线头整齐。通长平顺不扭结，绑扎牢固，使其在安装过程中不散索。

7.2.8 岩锚有粘结端头锚索体内，设有内锚段进出浆管和张拉段进出浆管。其长度和在索体中的排列位置，一般设计有明确规定。

1 有粘结锚索内锚固段进出浆管口位置：

1）俯孔（含倾角在 15° 以内）有粘结锚索的进浆管下口应距锚索下端不大于 200mm，出浆管口应置于止浆环下端面 20mm。

2）仰孔有粘结锚索的进浆管出口应置于止浆环上端面 100mm，出浆管的上口距孔底 50mm。

2 有粘结锚索张拉段进出浆管口位置：

1）俯孔进浆管出口距止浆环上端面的距离不应大于 200mm，出浆管下口应置于工作锚下端面 20mm～30mm。

2）仰孔进浆管出口应置于工作锚板上端面 20mm～30mm，出浆管的上口应距止浆环下端面 50mm。

3 岩锚无粘结端头锚索内，只设有进出浆管各一根：

1）俯孔进浆管出口至索体下端距离不大于 200mm，出浆管下口应置于工作锚板下端面 20mm～30mm；

2）仰孔进浆管出口应置工作锚板上端面 20mm～30mm，出浆管上口距孔顶 50mm。

4 岩锚对穿锚索一般是一端设进浆管，另一端设出浆管，可直接在孔口设置。

7.2.9 岩锚有粘结端头锚索的内锚固段与张拉段分界处设置止浆环，是为了有效控制内锚固段长度，确保其灌浆质量。制索时应按设计要求将止浆环穿入索体，使其下端面置于内锚固段的上端面，其尺寸误差不大于±50mm。将止浆环端面调整至与各根钢绞线垂直后，用环氧砂浆把止浆环与索体密封固定，使其在穿索时不发生位移，并能有效止浆。止浆环耐压强度应大于设计灌浆压力。

7.2.10 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，万一锚索发生质量问题，可以很快查出原因。

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。为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，制索时必须对每一根钢绞线进行编号，且每根钢绞线两端编号应相同。同时，还应用透明胶布对编码进行保护，以防因摩擦而脱落。

7.2.11 本条规定的目的是为了使验收合格的锚索得到妥善的防护，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。

7.3 锚索运输、安装

7.3.1 锚索运输应根据索体特性、长度、重量以及运距、运量、道路状况等编制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 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。同时亦应防止锚索体（尤其是无粘结锚索）在运输中受到摩擦或损伤。

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，应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 本条规定的目的是为确保锚索在车辆长距离运输中得到全面良好的防护，防止索体与车厢板面发生相互摩擦或被挤压损伤。

4 本款规定是对无粘结锚索搬运和装卸中的防护提出的要求。对无粘结锚索无论使用何种搬运装卸方式，都必须有严密有效的防护措施，保护锚索体不被碰撞、挤压、摩擦，防止预应力钢绞线 PE 套管破损。

7.3.2 本条规定旨在防止锚索在施工现场待安装存放期间被损伤或被污染。

7.3.3 锚索安装前对索体做全面检查，是控制锚索施工质量的重要措施之一，其目的是：

1 防止锚索穿错孔号。

2 防止锚索安装中出现困难或在张拉时出现意外。

3 确保岩锚内锚固段的灌浆顺利，并能保证质量。

4 确保测试仪器的有效性。

7.3.4 在地质条件复杂的部位，锚孔验收后为防止孔道发生变化应尽快安装锚索。如超过 24h 未下索，则应对孔道进行通畅检查。

7.3.5 无粘结锚索安装前，应对钢绞线逐根仔细检查其 PE 套

管的完好情况。发现有 PE 套管破损的，若其范围较小，必须认真修补完整；破损范围较大的，必须予以更换。只有锚索的全部钢绞线 PE 套管完好，才能进行安装。

7.3.6 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。若锚索安装中被反复拖动，可能造成：

1 锚索的止浆环被损伤，降低或失去止浆功能。

2 扰动孔壁岩石，从而发生堵孔或塌孔，造成锚索无法安装到位。所以要求锚索安装应一次放索到位。

7.3.7 采用双层防护的岩体锚索，其特点是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连接起来，用防水胶布对每个接头缝进行严格密封，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。放索中应保持索体与套管同步，严防二者相互错动。

7.3.8 岩体端头锚索安装到位后，应检查止浆环的有效性。其方法有：

1 气囊式止浆环，可采用给气囊充气加压检查。

2 其他结构止浆环，可采用向内锚固段充水加压检查。

如果止浆环存在问题，可采用辅助密封措施加以处理。

7.3.9 本条规定是为了避免锚索外露部分在相关工序施工中被雨水、尘土、混凝土、水泥浆及其他有害物质污染、腐蚀。

7.3.10 混凝土结构预应力锚索安装应按下列要求执行：

1 如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。

1）对有粘结锚索，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（HDPE）波纹管套在索体上，可用防水胶带把所有接头缝密封好，待检查

无误后按照设计线型将其安装就位固定。

2）若采用无粘结锚索，安装时可将锚索直接绑扎在定位支架上。

采用上述方法安装时，锚索位置、两端锚垫板、锚垫板下螺旋筋均应符合设计对其材质、规格、安装精度的要求。孔外钢绞线长度应满足张拉施工操作要求。

2 本款规定是为了 P 型挤压锚、H 型压花锚或 BM 型锚与结构钢筋的牢固连接，以确保混凝土浇筑过程中索体不变形移位。

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

7.3.11 压力引水隧洞预应力衬砌中，如采用环形预应力锚固体系（简称 HM 锚），锚索的张拉包角为 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。其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，必须通过计算环形锚索的张拉伸长值来确定。

7.3.12 本条规定是为了在锚索安装之后，其两端孔外的长度满足张拉工艺的操作需要，使张拉作业安全、顺利进行。

7.4 张　　拉

7.4.1 锚索张拉准备包括生产、技术、设备、人员等方面的工作。

1 为使预应力锚索张拉作业安全、无干扰，锚索张拉前应将作业区范围内所有与张拉操作无关的材料、设备撤离。同时与张拉作业有干扰的其他施工项目也应停止施工，以确保锚索张拉

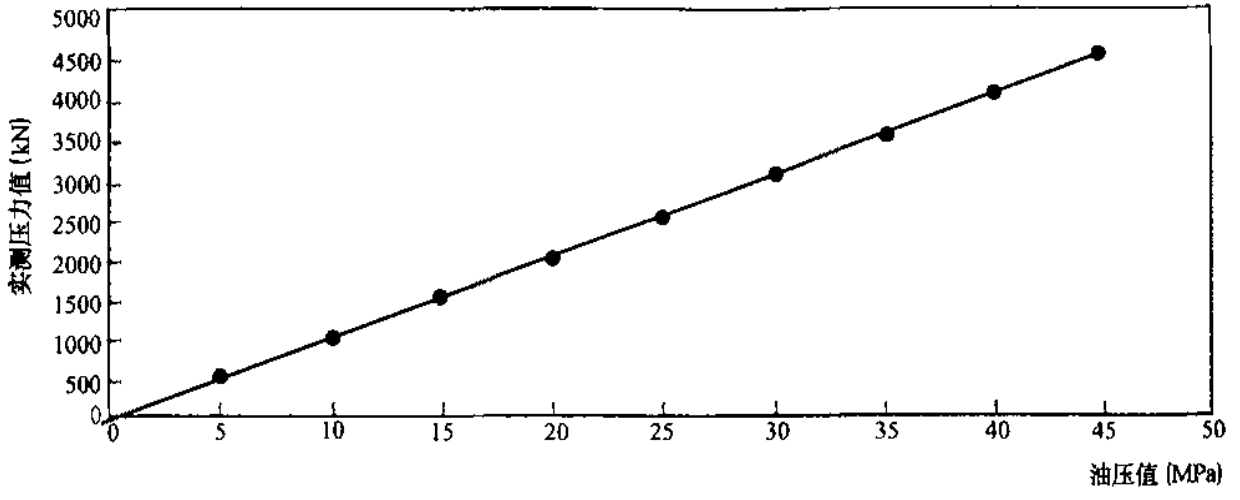
工作顺利进行。

2 锚索张拉前应将原有或重新搭建的脚手架、作业平台的稳定性、可靠性进行全面检查，同时对安全网、防护栏杆、动力、照明电源线路及其控制开关进行认真检查。如有安全隐患等问题，应在张拉作业前整改完毕。

3 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和人身安全。而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，在张拉前必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。锚索张拉时运用计算公式，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。如三峡水利枢纽工程升船机上闸首预应力锚索，张拉用的千斤顶与压力表（测力计）均进行了配套标定。图 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 13 是千斤顶张拉力（主动）—压力表读数标定表。图 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。其标定方法见附录 D。

表 13 千斤顶张拉力（主动）—压力表读数标定表

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



注 1：千斤顶型号： YCW500A，千斤顶编号： 0213，压力表编号： 20304504。

注 2：千斤顶张拉力（主动） Y=99.57X–10.95，千斤顶（被动） Y=102.47X+14.43

图 1　千斤顶与压力表配套标定关系曲线

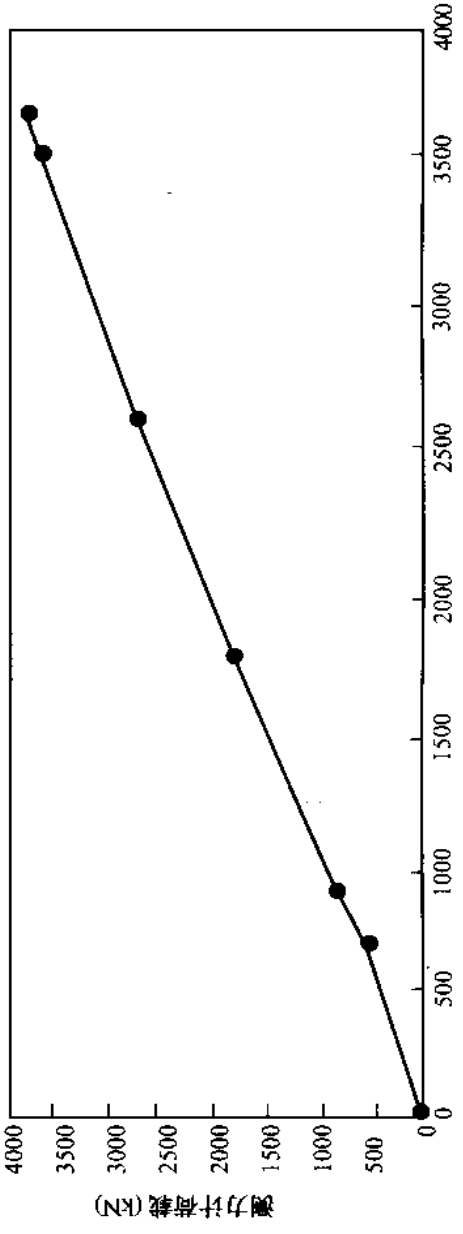


图 2　监测锚索 SM2-3-19 号千斤顶与测力计配套标定关系曲线

4 为使锚索张拉作业顺利进行，在张拉机具运抵工地后，应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，发现问题应立即处理。只有在张拉机具运行正常可靠后才能进行正式安装。

5 监测孔测力计的安装位置是结构上的要求，本款规定测力计安装应与孔轴同心，其目的是为了防止产生偏心。

6 预应力锚索张拉施工质量要求高，也存在一定的不安全因素，因此要求操作人员须经专门培训，了解并掌握所从事的工种专业知识和操作技能，作业时能准确操作。同时还要熟悉锚索张拉的安全操作、预防和排除故障的方法，以便在发生意外情况时能妥善处理排除故障。培训后经过考试合格，取得上岗证才能上岗。为确保施工安全，本款强调了非作业人员不得进入张拉作业区，特别是千斤顶出力方向严禁站人，以防不测。

7.4.2 锚索张拉是预应力施工中的关键工序，在锚索张拉过程中一般采取的程序：一是直接张拉到设计的控制应力，即 $0\rightarrow\sigma_{con}$；二是超张拉至 $n_1\sigma_{con}$ 或 $n_2\sigma_{con}$ 持荷稳压 T_{min} 后，再降至设计张拉应力 σ_{con} 锁定。实际工程中亦有采取一次性超张拉的方法，即 $0\rightarrow n_2\sigma_{con}$ 进行锁定，此法为一次性提高预应力锚索的张拉控制应力。采取超荷载张拉要比不超荷载张拉所建立的预应力松弛损失小。采用上述张拉程序的目的是为了抵消锚索锁定后的预应力松弛损失，以满足设计要求的锚固应力值。为使锚索在张拉过程中充分调整应力，无论采取何种张拉程序都应坚持分级加载，并同步测量其相应的伸长值，但不得一次张拉到设计控制应力。当锚索张拉到设计控制应力后，最终的稳压时间应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。

1 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，故不宜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未发现裂纹（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而引起先张索预应力损失的相互影响。

2　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，为了减少预应力损失，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。锚固力损失值计算参考式为：

$$\Delta\sigma = EL/\lambda$$

式中：

$\Delta\sigma$——锚固应力损失，MPa；

λ——锚固时钢绞线回缩值，mm；

L——锚索体张拉段长度，mm；

E——钢绞线弹性模量，MPa。

3　预应力工程实践经验表明，当锚索长度超过 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，工程完工后运行正常。

4 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，岩体锚索张拉时有实测伸长值大于理论计算值 10%或小于 5%的；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 6%或小于 6%的。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，届时必须停机检查处理。伸长值的理论计算公式见式（E.1）、式（E.2），实际伸长值的计算公式见式（E.4）。

至于计算式中预应力钢绞线的弹性模量 E 的取值，有采用厂家提供数据的，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。

5 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，预紧力一般为 $0.2\sigma_{con}$～$0.3\ \sigma_{con}$。预紧过程中应特别注意不可遗漏，所有预应力钢绞线全部预紧完毕后，即可进行整束张拉。

6 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 至 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，故分为 10 级加载张拉。

7 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。而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，因此，实

际工程中应视具体情况选用。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应控制在+5% σ_{con} 或-3% σ_{con} 范围内较妥。

8 锚索张拉过程中应采取缓慢加载，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应缓慢。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，故须严格操作工艺，确保预应力施工质量。

9 由于锚具摩阻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，否则就应放张退锚调换夹片，重新安装后再行张拉。

10 为严格控制预应力锚索张拉质量，锚索张拉均采取张拉力控制与伸长值校核的双控措施。在每级加载后须同步量测其伸长值；锚索锁定后要量测预应力钢绞线的滑移量，再用式（E.4）计算实际伸长值，并与同级荷载下的理论计算伸长值进行比较，根据 7.4.2 中第 4 款的规定，判断张拉质量是否符合规范和设计要求，并认真做好记录。

7.5 防　　护

7.5.1 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硬化过程中不遭爆破影响，必须在作业区内采取控制爆破。为确保施工安全，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。但实施前应进行试验验证。

7.5.2 锚索张拉完毕后，封锚前需将其工作锚板外 30mm 以外的预应力钢绞线用切割机切除。为确保预应力区不受损伤，切勿使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，影响锚固端的质量。

7.5.3 有粘结锚索封孔灌浆的目的，一是对索体进行永久防护；二是将施加的预应力传递至被锚固介质。因此，做好封孔灌浆质量控制极为重要。

1 本款规定的目的是为了有粘结锚索永久防护灌浆能顺利进行，也是控制灌浆质量的措施之一。因此，锚索永久防护前必须对进、出浆管（排气管）的通畅性进行认真检查。

2 为使锚索与岩体或混凝结构粘结成一个整体，其粘结强度能达到设计要求及锚固体所处环境的要求或混凝土结构性能的要求，锚索孔道灌注的浆材强度和性能必须满足设计要求。一般浆材采用强度等级为 42.5 或 52.5 普通硅酸盐水泥拌制的纯水泥浆。当孔道管空隙较大时，为节省水泥、减少浆液沉缩量，可采用水泥砂浆，但其强度应符合设计要求，一般不应低于 M35 级。

3 锚索张拉锁定后，预应力钢绞线处于高应力状态下极易腐蚀，且对化学腐蚀极为敏感。所以防护灌浆浆材使用的水泥以及为增加可灌性和获得微膨胀而在浆液中掺入的添加剂，均不得含有氯化物、硫化物及硝酸盐等对锚索有腐蚀作用的物质。

4 锚索封孔灌浆质量的好坏，浆液配比是极为重要的因素之一。采用强度等级为 52.5 硅酸盐水泥拌制纯水泥浆灌注时，水灰比宜为 0.3～0.4；采用水泥砂浆灌注时，水灰比宜为 0.4～0.5，其流动度为 120mm～170mm，3h 泌水率宜为 2%。水泥砂浆所用的细砂，最大粒径不大于 3mm，含泥量不大于 1%，其用量应控制在 30%以内为宜，制浆用水水质应符合混凝土拌和用水的要求。

5 采用高速搅拌机制浆，能使浆液的流动性提高，增加其均匀性和可灌性。当前国产 SNS 灌浆系列机械性能较好，三缸高压泵额定压力 12.4MPa，垂直输送距离达 80m，水平输送距离达 300m，能满足高陡边坡锚固施工的要求。为获得较好的灌浆效果，一般采用间歇灌浆或反复屏浆的工艺。灌浆压力一般采用 0.5MPa～0.7MPa 为宜。目前国内外工业民用建筑和交通桥梁预

应力锚索封孔灌浆采用真空灌浆工艺，使灌注的浆液水泥结石密实性更好。如在东深供水三期扩建工程中的大型薄壳双向预应力混凝土输水渡槽，纵向预应力锚索封孔灌浆时采用真空灌浆工艺，取得了很好的效果。

6　内锚固段灌浆时，应对排水、出浆情况进行认真观察，随时测试排浆浆液的比重，当排出浆液比重与进浆的比重相同时即可进行屏浆。为使孔道内浆体密实，屏浆压力应高于正常灌浆压力，并适当延长屏浆时间。一般屏浆压力为 0.3MPa～0.4MPa，屏浆时间约为 30min。

7　岩锚工程中当采用有粘结锚索时，张拉完毕后为避免索体过久地暴露于大气中，一般情况下锚索张拉锁定后 3d 内应进行防护灌浆。为确保灌浆效果，灌注前应冲孔、排除孔内积水，灌浆完毕待浆体凝固后应进行饱满度检验。如沉缩量过大或因孔壁漏浆导致孔道内浆体结石不够饱满，就必须进行补灌。

8　在内锚固段和张拉段灌浆过程中，为了检验浆体水泥结石的强度，应在灌浆施工现场取样制备浆体的试块，试块采用 7.07cm×7.07cm×7.07cm 立方体试模制作。单孔灌浆时应制模 1 组（3 个）；群孔灌浆施灌过程中，在水泥品种和浆液配合比不变的情况下，每天至少制模 1～2 组。

7.5.4　水电水利预应力加固工程受环境条件的影响，加之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，稍不注意就会造成严重后果，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，为使新老混凝土结合良好，锚墩混凝土或结构混凝土表面应认真凿毛、冲洗、湿养。浇筑混凝土前必须将锚板、预留的预应力钢绞线洗刷干净，混凝土浇筑完毕后应进行 7d～14d 的养护。

在某种意义上来说，无粘结锚索的外锚头防护要求比有粘结锚索更严。一般可采用可拆卸金属塑料防护罩加注防腐油脂。实际工程中亦有采用混凝土和钢筋混凝土结构，其管理维护比较简

单。在高陡边坡锚索的外锚头使用金属防护罩，其后期管理和维护非常困难，一般不采用。

水工隧洞混凝土衬砌采用预应力环锚时，须进行槽外张拉作业。当锚索张拉完毕后，应及时用混凝土回填锚具槽。填槽前应将混凝土壁面凿毛、冲洗干净，并涂刷粘结剂，待恢复过槽钢筋网后用与衬砌圈强度等级相同的无收缩细石混凝土回填。需要强调回填混凝土必须振捣密实，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地结合。

7.5.5 在高温季节，为使灌浆作业顺利进行，应避免浆液因气温过高而降低流动度。经验证明，当浆液温度超过 40℃就难以施灌。冬季日平均气温低于+5℃时，浆液流动度亦明显降低，甚至出现管线冻胀，故需采取有效的防寒保温措施。

8 试 验 与 监 测

8.1 试　　验

8.1.1　本条规定中提及的重要加固工程，是指与大坝、厂房、溢洪道、开关站等工程有关的边坡。一旦边坡失事将直接影响枢纽工程的安全运行。结构预应力工程是指大型弧门闸墩、引水发电隧洞、调压井、输水渡槽等。上述工程均应在开工前进行预应力锚索的基本性能试验，但中小型预应力工程或临时性加固工程可以借鉴类似工程的经验，不必进行全套试验。至于预应力钢绞线—锚具组装件静载试验和验收试验，可按本标准有关规定或设计的要求进行。

8.1.2　材料试验除进场的钢绞线力学性能与无粘结钢绞线油脂化学稳定性、锚具硬度检验外，还应对防护套管进行检验。上述试验如承包商无此检验能力，应委托当地有资质的检验机构进行试验。试验、检验方法见附录 A、附录 C。

8.1.3　受力性能试验的目的在于验证设计参数，完善施工工艺及张拉设备性能，保证锚具的可靠性。工程实践经验表明，岩体锚固一般试验索不少于 3 束，结构预应力均以单元工程作为试验段。如清江隔河岩和天生桥一级水电站引水隧洞、小浪底水库排沙洞，室外、洞内都做了大量的试验；东深供水三期扩建工程特大型渡槽，做了一节 24m 全跨及 2 节 6m 半跨组合成 36m 长的 1∶1 现场试验模型。由于大型弧门闸墩预应力拉锚在国内 1000MW 级水电站大坝已有很多的工程实例，并取得了丰富的经验，如果新建的预应力工程仍沿用以往工程所使用的材料和工艺，可以引用类似工程的参数。

8.1.4 如果试验区的岩性不一或混凝土结构类型与实际工程有差异，那么得出的试验成果也就没有代表性，是毫无意义的。因此，预应力锚索受力性能试验中所使用的材料、锚索的结构、张拉力、张拉设备及试验中采用的施工工艺都必须与实际工程相同。这样试验的成果才具有代表性、科学性，才能对工程具有指导意义，故必须选择对实际工程具有代表性的部位和结构进行试验。

8.1.5 预应力工程运行工况全靠安装在外锚头上的测力计数据提供，因而做锚索受力性能试验时，测力计必须与千斤顶、压力表配套标定，以测力计读数为准。施工阶段和长期运行阶段均通过测力计监测获得预应力变化情况，因此，保证测力计稳定可靠是十分重要的。

8.1.6 目前我国水电水利系统预应力工程验收试验抽样数量不够一致。试验应视工程规模大小由设计确定，但抽样数量都不少于 3 束。

8.1.7 本条规定是基于工序上的需要。特别是高陡边坡如不及时进行验收，脚手架无法拆除。同样，坝肩边坡预应力加固工程如不及时验收，将影响其开挖进度。一般验收试验应由有关人员确定试验锚束后，结合其张拉施工进行。

8.1.8 如果锚固区的地质条件确实复杂，同时锚索结构与常规的不同，为验证设计参数、检验并完善施工工艺应做破坏性试验。破坏性试验锚索数量应由设计确定，一般不少于 3 束。其设计张拉力以内的张拉工艺、加载分级、稳压时间均与实际工程相同。当加载至设计张拉力并经稳压后，再继续加载至锚固段发生连续位移或预应力钢绞线被拉断，即可认定锚索已达到破坏状态。这里还应强调在进行上述各级加载张拉时，应同步量测其相应伸长值，并做好详细记录。

8.1.9 锚索的锚固力破坏性试验，应在锚固区以外选择与锚固区的岩性基本相同且有代表性的部位进行。因为如在锚固区内进

行锚索的锚固力破坏性试验，一旦试验部位岩层产生抬动，其整体性遭到了破坏就难以处理，同时对锚固区的锚索布置和施工带来不利的影响。

8.1.10 预应力工程无论是性能试验、验收试验或破坏性试验，在试验工作结束后均应提出详细的试验报告，作为工程质量评定的依据和竣工验收的资料。

一般试验报告的内容，应包括试验部位、数量，试验所用材料、机具，试验项目、过程，试验成果分析，试验结论。

8.2 监　　测

8.2.1 预应力工程通过监测可对其安全运行情况作出评价，并可防患于未然；在岩锚施工过程中通过施工期的监测可以进行动态设计，调整施工程序，改进施工工艺。原位监测数量应视工程规模确定。东深供水三期扩建工程 4.3km 大型薄壳双向预应力渡槽，24m 跨试验段纵向预应力锚索 1000kN 级共 10 束，其中 3 束安装测力计；横向 U 型 500kN 级无粘结预应力锚索共 60 束，其中 4 束安装测力计，经一年多监测取得了大量有用数据。三峡水利枢纽升船机上闸首混凝土结构共设置 3000kN 级预应力锚索 657 束，其中 56 束为监测束，占锚索总量的 8.5%。

8.2.2 本条规定强调了监测工作必须与锚索张拉同时进行，主要是测得被锚固岩体、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。

8.2.3 预应力工程监测工作，通常分为施工期监测和运行期监测两个阶段。这两个阶段的监测工作，可能会由两个单位来承担。故在其交接时，除了在现场进行实地交接外，还应对监测资料做全面、详细的移交。在运行过程中如有仪器发生故障、失效应及

时修复，以便继续进行观测。由于外界或仪器本身的原因造成测力计失效的，应设法尽快修复或更换。

8.2.4 阶段性和定期性的监测报告，其内容应做到详细、全面，并对预应力工程安全运行情况作出评价。

9 质 量 与 安 全

9.1 质　　量

9.1.1　承包单位应严格遵守国家、地方政府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。应按照 GB/T 50326 中有关项目质量控制的要求，坚持“质量第一”的方针，切实做好原材料、半成品及施工工序的质量检查。同时应根据 ISO9001：2000 标准建立健全质量管理体系，对预应力工程施工实行全程监控，并保持质量控制体系持续有效运行。

9.1.2　工程实践表明，预应力工程施工中对预应力钢绞线及锚具的检查、检验十分重要，必须严格按其检验内容和要求进行，坚决杜绝不合格的产品进入工地，以免给工程带来隐患。本条强调了三个方面：钢绞线的外观和力学性能检验；防护套管的规格和性能检验；锚具的外观、硬度及锚固性能检验。认真做好预应力钢绞线及锚具的检验，是预应力工程施工质量控制的基本要求。

9.1.3　水电水利工程预应力锚索的孔位、孔深、孔径、孔斜、方位角（或弧线坐标、包角）等技术参数及其允许偏差，一般设计都有明确要求。成孔过程中应按设计规定进行质量检查和控制。当设计对锚索孔道的某些技术参数的允许偏差没有明确要求时，可参照 7.1 的规定进行检查和控制。

9.1.4　预应力工程施工中锚索制作质量的好坏，将直接影响其安装、内锚段控制、张拉及防护的质量。本条对影响锚索制作质量的关键因素，如下料长度、绑扎间距、进出浆管内口位置控制尺寸、止浆环安装位置、对穿锚索钢绞线两端编号及索体存放等

做了具体规定，其目的是确保锚索制作质量符合设计要求。

9.1.5 本条对锚索运输中的支点（吊点）间距和弯曲半径作出规定，一是防止其运输中支点（吊点）因间距过大而产生变形、散索；二是防止因索体弹力过大，给运输作业人员造成不安全隐患。锚索（尤其是无粘结锚索）采用车辆运输时的防护，应给予充分重视，以避免其在运输中造成损坏。

9.1.6 预应力工程施工实践证明，锚索安装前对其技术参数和整体情况，如钢绞线的顺直性、无粘结钢绞线的 PE 护套完整性、止浆环的有效情况及进出浆管的通畅性等进行核查，可有效防止锚索穿错孔号，杜绝有缺陷的索体被送入孔道，确保孔道灌浆顺利进行。

对索体安装就位后的孔口管（喇叭管）、孔轴是否同心，与锚垫板的垂直度，以及 P 型挤压锚、H 型压花锚、BM 型锚的固定情况进行检查，是为了防止索体在混凝土浇筑过程中发生位移，确保其质量能够满足设计和规范要求。

9.1.7 水电水利工程岩体预应力锚固施工，由于被锚固岩体的地质情况比较复杂，孔道形成后，会因地下水、地应力作用或其他因素影响而导致其变形、塌孔、堵塞等，所以孔道验收后应尽快安装锚索。如果孔道验收 24h 后再安装锚索，则在其安装前应对孔道的孔径、孔深和通畅性进行核查。如有问题应采取有效措施进行处理，使其达到设计要求后，再安装锚索。

锚索安装后应检查止浆环的有效性，其检查方法见 7.3.8，以及索体、孔口管和孔轴的同心情况。

9.1.8 某些有特殊要求的预应力混凝土结构，因其结构型式或施工程序的需要，通常先安装锚索后浇筑混凝土。有粘结锚索预先将套管套到索体上并将套管接头进行密封，然后将其安装到定位支架上。其检查的重点是：索体沿线设计控制点的坐标值；锚垫板的安装精度；孔口外钢绞线的长度；套管接头的密封情况及整体完好情况。

特殊结构的锚索，如 P 型挤压锚、H 型挤压花锚、BM 型锚，应检查其与结构钢筋的连接是否牢固。

9.1.9 锚索张拉是预应力工程施工的关键工序，张拉前应着重检查：张拉系统，内锚段浆体、锚墩和结构混凝土强度，张拉力—压力表读数关系曲线与计算公式。上述各项都符合规范和设计要求时才能进行张拉。

9.1.10 锚索张拉过程中，专职质量检查人员应对每一个环节进行检查，发现问题及时研究处理。重点检查的内容是：

1 锚索张拉程序即锚索布置区内对各个锚索实施张拉的先后秩序，是否符合设计要求和 7.4.2 中第 1～3 款的规定。

2 单根钢绞线预紧是否符合 7.4.2 中第 5 款的规定，检查有无遗漏以及锚索各钢绞线预紧力的均一情况。

3 锚索整束张拉加载分级是否符合设计要求和 7.4.2 中第 6 款的规定；超张拉应力是否符合设计要求和 7.4.2 中第 7 款的规定。

4 各级加载张拉后的稳压时间，是锚索在张拉过程中逐步调整自身应力所必须的，应按设计或 7.4.2 中第 6 款的规定控制。一般锚索张拉不得采用一次性张拉到设计张拉力的做法，以免锁定后其应力损失过大而降低永存张拉荷载。

5 锚索整束张拉过程的加载速率和张拉结束后的卸载速率，7.4.2 中第 8 款做了明确规定。若加载速率过快，将影响其张拉质量；卸载速率过快，可能对索体产生冲击荷载，导致发生安全事故。

6 锚索张拉时，量测其伸长值是控制张拉质量的重要措施。张拉实测伸长值与理论计算伸长值的偏差应符合 7.4.2 中第 4 款的规定。否则应暂停张拉，分析查找原因，采取措施后才能继续张拉。

7 锚索锁定后，夹片端部应齐平。若有错牙，应符合 7.4.2 中第 9 款的规定。

8 锚索锁定后，应测记其安装荷载是否满足设计要求。

9.1.11～9.1.12 岩锚及混凝土结构锚中，无论是有粘结锚索还是无粘结锚索，张拉锁定后都应尽快对其进行封孔灌浆。主要检查内容有：

1 封孔灌浆前：

1）灌浆系统：包括浆液搅拌机、灌浆泵、压力表、管阀、输浆管、压力水管、高压风管、动力照明线路及控制开关的技术性能等，通过试运行检查，确认其可靠后，方能投入生产。

2）浆材：包括水泥品种、级别及安定性，砂的细度模数、最大粒径、含水量及含泥量，外加剂的品种、形态、特性及使用方法。

3）浆液（水泥净浆或水泥砂浆）的配合比试验报告及实用配合比。高温季节和低温季节（日平均气温低于+5℃）的浆液温度及温控措施。

2 封孔灌浆过程中：

1）岩锚的内锚段及张拉段、结构混凝土预应力锚索孔道灌浆所用浆液的比重及温度。

2）岩锚内锚段、张拉段及结构混凝土锚索孔道施灌过程中的灌浆压力。如果结构混凝土或岩锚中的对穿锚索孔道，采用真空灌浆时应检查其真空度。

3）当孔道出浆管的排浆比重与进浆比重相同时，进行屏浆的压力和屏浆时间。

4）俯孔或缓倾孔在屏浆结束 24h 后，可通过观察出浆管存留浆体情况，判断其孔道浆体的饱满度；仰孔屏浆结束时可通过观测出浆管的压力来判断，若出浆口压力大于出浆管段的浆柱压力，即可认定该孔道浆体是饱满的。重要工程应通过仿真试验。

5）当孔道浆体不饱满时，应采取另设进浆管或从出浆管

对孔道进行补充灌浆。补充灌浆的浆液配比、灌浆压力、屏浆压力及屏浆时间，应根据实际情况另行确定。

6）灌浆中取样制作试件，以备检验其强度。

9.1.13 外锚头防护的结构型式，有粘结锚索或非监测用的无粘结锚索（包括环形锚索），一般采用混凝土结构；监测用的无粘结锚索，采用金属（塑料）防护罩加注防腐油脂。应检查的内容有：

1 混凝土结构封锚：

1）工作锚板外钢绞线的留长及切除方法应符合 7.5.2 的规定。

2）工作锚板、夹片端部及钢绞线上的污物清除情况。

3）封锚范围内老混凝土面凿毛、冲洗和湿润情况。

4）封锚混凝土所用的材料，如水泥、砂石骨料、水、外加剂的质量情况，混凝土配合比的试验报告及实用配合比。

5）封锚模板的安装精度、固定情况，钢筋绑扎（焊接）及固定情况。

6）封锚混凝土的浇筑、振捣、养护情况，拆模后的外观；混凝土的取样试件制备情况。

2 金属（塑料）防护罩封锚：

1）同条文说明中 9.1.13 第 1 款的 1）、2）。

2）制作防护罩所用材料的材质（包括耐久性）、防护罩的结构尺寸应满足设计要求。

3）防护罩内灌注的防腐油脂的化学成分，不得含有对锚头有腐蚀作用的物质。耐温性能适应使用环境的气温条件。耐久性能满足设计使用期的要求。

4）防护罩及其安装的密封性非常重要，其内注入防腐油脂后，不应出现渗漏。

5）防护罩内灌注防腐油脂应充盈，罩内不得留有空隙。

3 环向锚索的锚头处在锚具槽内，封锚混凝土回填时，需要特别强调锚具槽的新老混凝土结合面不得出现任何缝隙，因此必须严格按照 7.5.4 中第 2 款的规定进行施工。

9.1.14 岩体锚固施工中，当孔道浆体结石（或树脂固化）尚未达到一定强度时，如果受到爆破震动，将会影响浆体结石的完整性，削弱甚至破坏浆体与锚索及孔壁围岩之间的粘结力，从而严重影响锚固效果。所以在边开挖边锚固的施工部位，必须严格执行 7.5.1 的规定。

9.1.15 水电水利预应力工程中，为在施工期或运行期对锚索或被锚固体进行应力、应变监测，在观测索安装监测仪器及配套设施，如测力计和应力、应变、无应力计及其引伸线路。为确保其有效性，在锚索施工全过程，均应对这些仪器及配套设施的安装位置、精度及保护措施进行检查。

9.1.16 水电水利工程预应力锚索施工过程的质量检查、检验记录主要有以下几方面：

1 钢绞线、套管、锚具的质量检查、检验记录。

2 水泥、砂石骨料、水、外加剂的质量检查、检验记录。

3 张拉机具的配套标定成果。

4 测力计、压力表的校验资料。

5 锚索孔道成孔（钻孔或预埋管）质量检验记录。

6 锚索制作检验记录。

7 锚索安装检验记录。

8 锚索张拉记录（包括张拉程序、加载分级、张拉力、实测伸长值与理论计算伸长值之间的偏差、夹片跟进、安装荷载）。

9 锚索锁定后的应力、应变监测记录。

10 灌浆设备（搅拌机、灌浆泵）的技术性能检查记录。

11 与灌浆泵配套的压力表检验记录。

12 浆液配合比、浆液比重及温度记录。

13 封孔灌浆（内锚段、张拉段）检查记录，包括灌浆压力、

屏浆压力、屏浆时间、孔道浆体饱满度、补充灌浆情况等。

14 外锚头防护检查记录：

1）混凝土结构封锚：混凝土配合比，模板、钢筋安装，混凝土浇筑及养护。

2）金属（塑料）防护罩封锚：防护罩材质及结构尺寸、安装密封性能、防腐油脂质量及灌注饱满度。

15 质量事故处理记录。

16 其他有关质量方面的记录。

以上记录应及时整理，并按单元工程进行汇总。

9.1.17 预应力工程施工完毕后，负责质量检查的部门（人员）应及时编写质量检查报告，其主要内容包括：

1 工程名称、施工部位、施工时间。

2 工程设计单位、施工单位、监理单位。

3 工程施工依据，质量检查及等级评定依据。

4 工程施工简况。

5 工程施工质量检查情况。

6 重大质量事故处理专题报告。

7 工程质量等级评价。

9.2 安 全

9.2.1 预应力工程开工前，承包单位应按照 GB/T 50326 的规定和《职工安全健康管理体系审核规范》（原国家经贸委 2001 年 12 月 20 日第 30 号公告）中的有关要求，建立施工项目安全管理体系。在施工过程中应严格执行原国家电力公司《水电建设工程安全文明生产管理规定》（国水电［2001］162 号文）、《安全生产工作规定》及国家、地方政府有关职业安全健康的法律、法规和相关要求。加强安全管理，坚持“遵守法规、以人为本、安全第一、预防为主”的职业安全健康方针，防止各类安全事故的发生。

9.2.2 在编制预应力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。

9.2.3 为确保预应力工程施工安全和作业人员的身体健康，专职安全检查人员在注册安全监理工程师的协助下，对施工现场进行安全检查，发现隐患应及时提出整改意见。对于重大安全隐患，应要求限期完成整改，并在整改期间进行督促检查，使安全生产处于受控状态。

9.2.4 预应力工程施工自始至终都存在一定的不安全因素。为确保施工安全工作处于有效管理状态，必须定期对所制定的各项安全生产制度和安全岗位责任制的贯彻执行情况进行检查。尤其要检查承包单位的领导和施工人员对安全生产制度、安全岗位责任制的掌握情况及安全意识。

9.2.5 岩锚施工区域的自然环境比较复杂。刚开挖后的高陡边坡或洞室围岩，尤其是工程地质和水文地质条件较为复杂的边坡或洞室围岩，可能存在一些松动块石或边坡孤石。特别是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。必要时应在作业区的上方适当位置设置具有一定抵抗力的挡石排或柔性拦石网，以消除安全隐患。

9.2.6 本条对预应力工程施工中进行现场安全检查的主要内容做了具体规定。这些内容也可作为施工现场专职安全检查人员行使其职责、进行安全监督检查的内容。

9.2.7 本条规定是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必须做好自身的安全及健康防护工作。

9.2.8 本条是根据以往预应力锚索张拉过程中曾发生的安全事故教训而作出的规定，必须严格执行。

9.2.9 预应力工程施工过程中应认真做好有关施工安全的记录，其主要内容有：

1 对员工进行安全技术培训记录。

2 施工安全工作会议记录。

3 专职安全检查人员进行例行安全检查记录。

4 注册安全监理工程师或业主组织的安全检查记录。

5 安全隐患整改记录。

6 重大安全事故处理记录。

10 环 境 保 护

10.0.1 预应力工程施工应按 ISO14001：1996《环境管理体系—规范及使用指南》及原《国家电力公司水电建设工程安全文明生产管理规定》（国电［2000］162 号文），建立并保持承包工程项目的环境管理体系。通过对施工环境因素的控制实现体系持续运行并不断改进，使工程施工期间能保持或持续改善环境状况，达到规定的生态环境保护要求。

10.0.2 预应力工程施工期间，工程项目负责人应向作业人员宣传国家环境、文物保护法规、政策和有关保护措施。增强环保意识，自觉地搞好现场文明施工。实行规范化、职责明确的环境管理，使环保工作和文明施工制度化、科学化，使施工区域保持良好的环境状态。施工中如发现文物古迹，应及时向当地文物管理部门报告，并做好现场保护。

10.0.3 岩体锚固工程施工中的弃渣不得随意倾倒，应按业主指定地点堆放，并按要求进行分层填压。如工程承包合同中有规定，施工区被剥离植被的坡面应恢复植被，如种植草皮等美化环境，避免边坡坍塌和水土流失。

10.0.4 本条规定选配的造孔设备应有消声和捕尘装置，作业人员应备带个人劳保防护用品。地下洞室作业时应加强通风，输入新鲜空气，洞内氧气按体积计算不应少于 20%，人均拥有新鲜空气 $3m^3/min$。当游离 SiO_2 超过 10%以上时，粉尘含量最高允许浓度不得大于 $2mg/m^3$（按质量计）。施工产生的污、废水不得任意向地表、水系排放，应经处理达标后方可排入江河。

10.0.5 锚索防护灌浆和锚墩混凝土施工中须防止水泥飞扬，影响大气质量，弃浆、污水处理见 10.0.4 的条文说明。

10.0.6 预应力锚索施工中的废弃物，如剥下的无粘结钢绞线的

PE 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，不得随意掩埋和倾倒入江河，以免污染土壤和水体。应按规定对其进行分类，该掩埋的掩埋，应焚烧的焚烧。

10.0.7　预应力工程施工完毕后，须进行场地清理、平整，力求恢复原貌，保持良好的生态环境。

11 验　　收

11.0.1　水电水利预应力工程施工有其特殊性，无论是主体工程还是附属工程，因其专业性较强，一旦施工结束后须进行交工验收或竣工验收。属于交工验收的，应由业主组织设计、施工等有关单位进行验收；如属竣工验收，应按照 DL/T 5123 的规定组织验收。

本条所规定的验收条件是属强制性的，应具备的条件缺一不可。

11.0.2　预应力工程验收时，承包单位必须提供系统、全面、准确的资料，它既是工程的技术验收资料，又是技术档案、史料，可作为将来预应力锚固工程定期安全检查的主要依据；当工程在运行中出现异常现象时，可从有关资料中查找当时设计、施工中的情况，以便分析原因，提出相应的处理措施。本条提及的所有资料应按档案归档要求进行整理。