

中华人民共和国能源行业标准

P

NB/T 35100—2017

---

# 水电工程覆盖层预应力锚索技术规范

Technical Code for Prestressed Anchor Cable on  
Overburden Layer of Hydropower Projects

2017 – 11 – 15 发布

2018 – 03 – 01 实施

---

国家能源局 发布

中华人民共和国能源行业标准

# 水电工程覆盖层预应力锚索技术规范

Technical Code for Prestressed Anchor Cable on  
Overburden Layer of Hydropower Projects

**NB/T 35100—2017**

主编部门：水电水利规划设计总院

批准部门：国 家 能 源 局

施行日期：2 0 1 8 年 3 月 1 日

2018 北 京

国家能源局  
公 告

2017 年 第 10 号

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

附件：行业标准目录

国家能源局

2017 年 11 月 15 日

## NB/T 35100—2017

附件：

行 业 标 准 目 录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	批准日期	实施日期
...						
34	NB/T 35100— 2017	水电工程覆盖层 预应力锚索技术 规范			2017 - 11 - 15	2018 - 03 - 01
...						



## 前 言

根据《国家能源局关于下达 2013 年第一批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2013〕235 号）的要求，规范编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内有关先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规范。

本规范的主要技术内容是：锚索设计、锚索施工、试验与监测、质量检查与验收、施工安全与环境保护。

本规范由国家能源局负责管理，由水电水利规划设计总院提出并负责日常管理，由能源行业水电勘测设计标准化技术委员会负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送水电水利规划设计总院（地址：北京市西城区六铺炕北小街 2 号，邮编：100120）。

本规范主编单位：中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司  
四川准达岩土工程有限责任公司

本规范主要起草人员：宋胜武 谢北成 杨俊志 冯杨文  
傅 涛 曾 勇 罗龙聪 张涌泉  
杨世伟 侯 锦 陈修星 刘 义  
张荣贵 张连明 刘义彬 谢会全  
张晓军 嵇红刚

本规范主要审查人员：魏志远 彭土标 王惠明 李福云  
王明涛 刘兴宁 宁华晚 黄天润  
王康柱 赵红敏 盛乐民 阳运生  
孔彩粉 任 奎 李 俊 李仕胜

NB/T 35100—2017

目 次

1 总则 ..... 1

2 术语 ..... 2

3 锚索设计 ..... 4

    3.1 一般规定 ..... 4

    3.2 锚索型式选择 ..... 5

    3.3 锚索结构 ..... 6

    3.4 锚索防护 ..... 9

4 锚索施工 ..... 11

    4.1 造孔 ..... 11

    4.2 锚索体制作 ..... 13

    4.3 锚索灌浆 ..... 15

    4.4 锚墩 ..... 16

    4.5 锚索张拉与锁定 ..... 16

    4.6 外锚头防护 ..... 18

5 试验与监测 ..... 19

    5.1 试验 ..... 19

    5.2 监测 ..... 19

6 质量检查与验收 ..... 21

    6.1 质量检查 ..... 21

    6.2 验收 ..... 21

7 施工安全与环境保护 ..... 23

    7.1 施工安全 ..... 23

    7.2 环境保护 ..... 24

本规范用词说明 ..... 25

引用标准名录 ..... 26

附：条文说明 ..... 27

## Contents

1	General Provisions .....	1
2	Terms .....	2
3	The Design of Anchor Cable .....	4
3.1	General Requirement .....	4
3.2	Lectotype of Anchor Cable .....	5
3.3	Structure of Anchor Cable .....	6
3.4	Protection of Anchor Cable .....	9
4	The Construction of Anchor Cable .....	11
4.1	Drilling Hole .....	11
4.2	The Manufacture of Anchor Cable .....	13
4.3	Grouting .....	15
4.4	Anchor Block .....	16
4.5	Tensioning and Locking of Anchor Cable .....	16
4.6	Protection of Outer Fixed End .....	18
5	The Experiment and Monitoring .....	19
5.1	Experiment .....	19
5.2	Monitoring .....	19
6	Quality Control and Acceptance .....	21
6.1	Quality Control .....	21
6.2	Acceptance .....	21
7	Safety Management During Construction and Environmental Protection .....	23
7.1	Safety Management During Construction .....	23
7.2	Environmental Protection .....	24
	Explanation of Wording in This Code .....	25
	List of Quoted Standards .....	26
	Addition: Explanation of Provisions .....	27



## 1 总 则

**1.0.1** 为规范水电工程覆盖层预应力锚索设计与施工技术要求，满足工程安全、质量和经济合理的要求，制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于覆盖层边坡预应力锚索设计、施工、试验与监测、质量检查与验收。

**1.0.3** 覆盖层边坡预应力锚索设计、施工，除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 覆盖层 overburden layer

覆盖在基岩之上的各种成因的堆积物、沉积物。

### 2.0.2 覆盖层预应力锚索 prestressed anchor cable on overburden layer

为限制覆盖层发生有害变形和位移的预应力锚索。

### 2.0.3 设计锚固力 design anchoring

根据锚固需要，考虑各种因素造成的预应力损失后确定的锚索中永久保存的荷载。

### 2.0.4 设计张拉力 design tension

根据锚固设计需要，并考虑一定的安全裕度和岩石流变、土体蠕变及钢材松弛等可能引起的预应力损失后，确定的每根锚索应施加的最小张拉荷载。

### 2.0.5 超张拉力 extra design tension

为消除施工时由于锚索与孔壁的摩擦、锚具的压缩和锚索的回缩而引起的预应力损失，采用的高于设计张拉力的张拉荷载。

### 2.0.6 锚索体 anchor cable

由预应力钢绞线及附件制作成的索状结构体。

### 2.0.7 拉力分散型预应力锚索 tensioned multiple-head prestressed anchor cable

在锚索体的内锚固段分散设置多个钢绞线组与胶结体黏结，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。

### 2.0.8 压力型预应力锚索 compression prestressed anchor cable

在锚索体的内锚固段端部设置一个承载板或其他形状的承载体，施加预应力后，承载体前面的胶结体处于受压状态的预应力

锚索。

**2.0.9 压力分散型预应力锚索**    compression – dispersion prestressed anchor cable

在锚索体的内锚固段分散设置多个承载板或其他形状的承载体，使预应力沿内锚固段分散传递至地层并且各承载体前面的胶结体处于受压状态的预应力锚索。

**2.0.10 自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索**    multi anchor head of corrosion resistant prestressed anchor cable

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，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。

**2.0.11 拉压复合型预应力锚索**    tension – compression combined prestressed anchor cable

在锚索体的内锚固段分散设置多个承载板或其他形状的承载体，各承载体上的钢绞线大致按均分设置为有黏结钢绞线与无黏结钢绞线，或者单根钢绞线在承载体前部是无黏结钢绞线、在后部是有黏结钢绞线，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。

## 3 锚 索 设 计

### 3.1 一 般 规 定

3.1.1 覆盖层预应力锚索设计应收集以下基本资料：

- 1 锚固工程边坡的安全级别，荷载组合和运行特征资料。
- 2 锚固区域地形地质资料。
- 3 边坡稳定分析成果。
- 4 施工条件。
- 5 有关材料的物理力学指标。

3.1.2 覆盖层预应力锚索设计应包括以下内容：

- 1 锚固深度、角度和范围。
- 2 锚固方式。
- 3 锚固力计算。
- 4 预应力锚索数量，布置方式。
- 5 预应力锚索结构。
- 6 锚索防护。
- 7 锚索监测。
- 8 锚固设计布置图和结构图，施工技术要求。

3.1.3 覆盖层预应力锚索布置应符合下列要求：

- 1 应能提供均匀的锚固力。
- 2 可按方形、梅花形、矩形或菱形布置，位于联系梁或框格梁区域的锚索宜按方形或矩形布置。
- 3 预应力锚索的轴线方向宜按最优锚固角布置。
- 4 相邻预应力锚索的锚固段位置宜错开布置。
- 5 锚索内锚固段应布置在基岩或密实覆盖层中。

3.1.4 覆盖层预应力锚索的总锚固力宜按照边坡稳定分析或应



力分析结果确定，预应力锚索的数量和单根预应力锚索设计锚固力应根据总锚固力和布置条件确定。

**3.1.5** 单根预应力锚索的设计张拉力应根据下列因素确定：

- 1 单根预应力锚索设计锚固力。
- 2 钢材松弛产生的应力损失。
- 3 被锚固覆盖层变形引起的应力损失。
- 4 锚固介质和胶结材料力学指标。
- 5 预应力锚索材料力学指标及其抗拉强度标准值的强度利用系数。

**3.1.6** 单根预应力锚索超张拉力应根据锚索与孔壁的摩擦、锚具压缩和锚索回缩引起的应力损失大小，以及钢绞线抗拉强度允许值确定。

**3.1.7** 对于水电工程 1 级永久边坡加固工程及其他重要工程，覆盖层预应力锚索宜进行锚索试验确定设计参数及施工工艺。

## **3.2 锚索型式选择**

**3.2.1** 覆盖层预应力锚索型式应根据锚固工程的使用年限、单根预应力锚索的设计张拉力、地质条件、边坡变形情况、建筑物受力情况及运行条件、锚索的布置及施工条件，经综合比较选定。

**3.2.2** 覆盖层预应力锚索内锚固方式宜选择胶结式，胶结材料宜选择水泥或水泥砂浆。在临时工程和应急抢险工作中，当单根预应力锚索的设计张拉力小于 1000kN，内锚固区为岩石抗压强度大于 60MPa 的完整围岩，需要迅速实现张拉或难以使用胶结式锚固方式时，可选择机械式锚固方式。

**3.2.3** 覆盖层预应力锚索内锚固方式为胶结式时，宜采用压力分散型或拉力分散型或拉压复合型。当设计张拉力小于 1 000kN，或计算的锚固段长度小于 8m 时，可采用拉力型。

**3.2.4** 覆盖层预应力锚索锚夹具的支撑体可选择锚墩、混凝土框格梁、混凝土护坡板、抗滑桩等。

3.2.5 覆盖层预应力锚索宜采用无黏结预应力锚索。

### 3.3 锚索结构

3.3.1 覆盖层预应力锚索应根据确定的锚索型式及设计张拉力进行结构设计，设计应主要包括下列内容：

1 确定钢绞线根数、锚索孔孔径、内锚段长度与结构、外锚头结构、编索方式、对中支架材料与位置、波纹管等防护材料、灌浆排气结构、止浆器、灌浆材料。

2 确定锚索外锚头与混凝土框格梁、混凝土护坡板、抗滑桩等结构的连接方式。

3.3.2 覆盖层预应力锚索的内锚固段、张拉段、外锚头以及各种连接部件应按等强度的原则进行结构设计。

3.3.3 覆盖层预应力锚索的每根钢绞线在设计张拉力作用下，钢绞线抗拉强度标准值的强度利用系数不宜大于 0.55；在超张拉力作用下，钢绞线抗拉强度标准值的强度利用系数不宜大于 0.63。根据地质勘察资料分析，对于覆盖层加固后还可能产生较大的变形和位移的边坡，设计时应适当降低预应力锚索钢绞线抗拉强度标准值的强度利用系数。

3.3.4 内锚固段长度确定应符合下列规定：

- 1 胶结式内锚固段提供的黏结力应大于预应力锚索的超张拉力。
- 2 内锚固段长度应按下列公式计算：

$$L_1 = k \frac{P_m}{\pi DC} \quad (3.3.4-1)$$

式中： $L_1$ ——内锚固段长度（m）；

$P_m$ ——单根预应力锚索超张拉力（kN）；

$D$ ——锚索孔直径（mm）；

$k$ ——内锚固段安全系数；

$C$ ——胶结材料同孔壁的黏结强度（MPa）。

- 3 内锚固段长度应按下列公式进行复核：

$$L_1 = k \frac{P_m}{\pi d c_1 n} \quad (3.3.4-2)$$

式中： $c_1$ ——胶结材料与预应力钢绞线的黏结强度（MPa），可取 2.0；

$d$ ——单股预应力钢绞线直径（mm）；

$n$ ——单根锚索预应力钢绞线根数。

4 胶结式内锚固段安全系数可按表 3.3.4-1 的规定选取；无试验资料时，水泥浆、水泥砂浆胶结材料与围岩的黏结强度可按表 3.3.4-2 的规定选取，与周边土层的黏结强度可按表 3.3.4-3 的规定选取。

表 3.3.4-1 胶结式内锚固段安全系数

工程性质与锚孔方向	永久性锚索		临时性锚索	
	仰孔	俯孔	仰孔	俯孔
安全系数 $k$	2.0	1.5	1.6	1.2

表 3.3.4-2 水泥浆、水泥砂浆胶结材料与围岩的黏结强度

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

表 3.3.4-3 水泥浆、水泥砂浆胶结材料与周边土层的黏结强度

土层类别	N 值	黏结强度（MPa）
砂砾石土	10	0.10~0.20
	20	0.15~0.25
	30	0.25~0.30
	40	0.30~0.40
砂土	10	0.10~0.15
	20	0.15~0.20
	30	0.20~0.27
	40	0.28~0.32
	50	0.30~0.40

续表 3.3.4-3

土层类别		N 值	黏结强度 (MPa)
黏性土	软塑	—	0.02~0.04
	可塑	—	0.04~0.06
	硬塑	—	0.05~0.07
	坚硬	—	0.08~0.12

注：1 表中黏结强度为黏结段长 10m 的注浆体与土层间的平均极限黏结强度经验值。

2 N 值为标准贯入试验锤击数。

**3.3.5** 对于重要工程、地质条件复杂的锚固工程以及内锚固段位于覆盖层内的锚索，其内锚固段长度应通过现场拉拔试验进行验证。

**3.3.6** 内锚固段水泥浆、水泥砂浆胶结材料的 28d 抗压强度不应低于 35MPa，树脂材料的 28d 抗压强度不应小于 50MPa。内锚固段胶结体 7d 抗压强度不宜低于 30MPa。

**3.3.7** 拉力分散型预应力锚索、压力分散型预应力锚索和拉压复合型预应力锚索的内锚固段单元分级数量不宜大于 4 个，间距不宜小于 1m，宜根据内锚固段长度、锚固段地质条件、胶结材料抗压强度以及利于锚索体安装进行调整。

**3.3.8** 拉力分散型预应力锚索、压力分散型预应力锚索和拉压复合型预应力锚索的各锚固单元的承载体或承载板的强度应满足超张拉要求。

**3.3.9** 沿锚索的长度方向应安设对中隔离架，其材质可采用钢材制品或代用材料，不应含有对锚索有腐蚀性的物质。对中隔离架的外径应根据锚索孔直径大小、钢绞线的保护层厚度以及利于锚索体安装进行确定。隔离架上的孔道布置应满足锚索钢绞线、灌浆管、排气管的集束要求。对中隔离架厚度不宜小于 10mm。隔离架间距在内锚固段可为 0.75m~1.50m；自由段内，陡倾角锚索的对中隔离架间距不宜大于 3.00m，缓倾角锚索的对中隔离

架间距不宜大于 2.00m。

**3.3.10** 覆盖层预应力锚索灌浆应符合下列规定：

1 灌浆压力应根据孔深及孔壁岩土体情况确定。无试验值时可按 0.1MPa~0.5MPa 控制。

2 外锚头段在锚索张拉后应有回填灌浆措施。

**3.3.11** 有黏结预应力锚索封孔灌浆后，钢绞线的保护层厚度应大于 20mm；无黏结预应力锚索封孔灌浆后，钢绞线的保护层厚度应大于 10mm。

**3.3.12** 外锚头结构应符合下列规定：

1 外锚头应设置锚墩、承压板、工作锚及封孔保护等部件。观测锚索应设置锚固力测力装置。

2 外锚头各部件承载能力应与单根锚索超张拉力相匹配。

3 外锚头混凝土锚墩应保证传力均匀。锚墩型式和结构尺寸应根据单根锚索超张拉力、锚墩材料性质、锚索孔口周围地基承载力，通过计算确定。与混凝土框格梁、混凝土护坡板、抗滑桩连接的外锚头应验算锚墩结构承载力。

4 锚墩顶面应设置承压板，厚度不宜小于 20mm。承压板应垂直于锚索孔的轴线，其角度允许偏差宜为 $\pm 2^\circ$ 。

### 3.4 锚索防护

**3.4.1** 覆盖层预应力锚索设计时应考虑锚固区域环境对预应力材料的腐蚀。水和土对预应力锚索的腐蚀程度宜按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定进行判定。

**3.4.2** 覆盖层预应力锚索防护的分级与材料选用应符合表 3.4.2 的规定。

**3.4.3** 覆盖层预应力锚索应根据锚固区域环境对预应力锚索的腐蚀程度、预应力锚索的工作性质，按表 3.4.3 的规定进行防护设计。

**3.4.4** 当锚固区域的地层中含有易产生腐蚀的化学物质时，锚

表 3.4.2 预应力锚索防护分级与材料

防护分级	防 护 材 料
A 级	石灰水、防腐油等液态防护材料
B 级	凝胶、树脂、防锈油脂等塑态防护材料
C 级	水泥浆、水泥砂浆、波纹管等刚性防护材料

表 3.4.3 预应力锚索防护设计标准

环境对锚索的腐蚀程度	预应力锚索的工作性质	
	临时性预应力锚索	永久性预应力锚索
无腐蚀或弱腐蚀	A 级	C 级
中等腐蚀	B 级	C 级
强腐蚀	C 级	C 级

注：永久性预应力锚索的使用年限宜为 2 年以上，临时性预应力锚索的使用年限宜为 2 年以内。

索材料应采用无黏结预应力钢绞线，并采用波纹管与水泥浆或水泥砂浆防护。波纹管外水泥浆包裹厚度不应小于 10mm。

**3.4.5 锚索体防腐、防锈处理时**，所使用的材料及其外加剂中，不得含有硝酸盐、亚硫酸盐、硫氰酸盐，氯离子含量不得超过水泥重量的 0.02%。

## 4 锚索施工

### 4.1 造孔

**4.1.1** 覆盖层预应力锚索造孔宜采用跟管法以减少孔壁扰动，并应符合下列要求：

1 宜采用风动潜孔锤冲击回转钻进法，不得采用以清水为冲洗介质的钻进方法。

2 宜采用风动潜孔锤同步跟管法下入套管进行护壁；浅孔可采用管钻法或其他方法下入套管。

3 造孔过程中，遇岩体破碎或地下水渗漏严重使钻进受阻时，可采用固结灌浆进行处理后继续钻进。

**4.1.2** 护壁套管规格与造孔设备机具配置应符合下列规定：

1 护壁套管直径宜为 108mm~219mm。

2 风动潜孔锤同步跟管钻进造孔宜配置液压锚固工程钻机、同心或偏心跟管钻具、套管靴及套管、拔管机。选用偏心跟管钻具或同心跟管钻具宜经现场试钻确定。

3 采用管钻法下入套管时，宜配置液压锚固工程钻机、套管及套管钻头。

**4.1.3** 同步跟管造孔所用跟管钻具与套管的性能应符合下列规定：

1 套管级数与套管内径应满足跟管钻进深度、设计孔径以及锚索安装的需要，每级套管跟进深度宜经现场试钻确定。

2 套管壁厚宜大于 6mm，弯曲度不应超过 0.15%，屈服强度宜大于 500MPa；套管及套管接头不应有损伤及影响强度的缺陷存在；套管两端螺纹应采用左旋螺纹。

3 偏心、同心或组合式跟管钻具以及套管靴用钢材的屈服



强度宜大于 500MPa，冲击吸收能量  $KU_2$  值不宜小于 40J。

4 套管靴与套管间螺纹连接、套管靴与跟管钻具间的接触台肩面应能承受风动潜孔锤的冲击能量，其结构尺寸宜经现场试钻进行调整。

4.1.4 同步跟管造孔所用设备与机具的性能及规格应符合下列规定：

1 钻机宜选用液压动力头式，动力头输出扭矩宜大于 3000N·m。

2 钻具、钻杆及其接头用钢材的屈服强度宜大于 500MPa，断后伸长率不宜小于 12%。

3 钻杆长度与套管长度应根据钻机行程确定；钻杆直径不宜小于 89mm。

4 风动潜孔锤的规格型号应根据地层软硬、套管规格、套管跟进深度进行选定。

5 空压机额定风压和排量应满足风动潜孔锤工作用风和钻进排渣需要。

6 起拔套管的设备起拔力不宜小于 500kN。

4.1.5 同步跟管造孔作业时应遵守下列规定：

1 跟管钻进前，宜用比套管直径略大的钻头预先钻凿导向浅孔，并在孔口设置套管导向架。

2 跟管钻具下孔前应逐一检查风动潜孔锤、跟管钻头、套管及套管靴的完好情况及连接可靠性，应更换磨损、变形严重的钻具和套管。

3 钻进过程中，应按配管的编号顺序接长套管，加接钻杆应同步进行。

4 应遵循“短进尺、勤排渣”的原则，每钻进 0.5m～1.0m 宜用大风量进行排渣。

5 每钻进 5m～10m，宜停钻检查偏心钻头或扩孔体的收张状况。



6 每级套管跟进深度超过 40m 时，应更换套管靴和磨损严重的套管；深孔跟管钻进困难时，可更换成常规潜孔锤钻头钻进。

7 跟进套管至基岩或预定深度后，应将跟管钻头更换为常规钻头，继续钻进至设计孔深。

8 采取固结灌浆方法固壁时，灌浆施工应按现行行业标准《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。需拔出套管的锚孔应采取措施防止灌浆浆液将套管与孔壁黏结。

9 锚孔终孔后宜使用压缩空气进行清孔。

10 锚孔经验收合格后，应及时安装锚索体。

4.1.6 管钻法下入套管宜遵守下列规定：

1 钻机回转器输出扭矩不宜小于  $4500\text{N} \cdot \text{m}$ 。

2 管钻的工艺参数宜经现场试钻确定。

3 管钻至基岩或预定深度后，可采用风动潜孔锤继续钻进至设计孔深。

4.1.7 除另有规定外，应在锚索体安装后起拔套管。拔管过程中应采取措施防止锚索体被套管向孔外带出。

4.1.8 覆盖层预应力锚索孔成孔质量应符合现行行业标准《水电水利工程预应力锚索施工规范》DL/T 5083 的有关规定。

## 4.2 锚索体制作

4.2.1 覆盖层锚索体宜由钢绞线，以及灌浆管、排气管、止浆器、土工布与细帆布护材、波纹护管等附件组成，附件应符合下列规定：

1 锚索灌浆管内径可为  $20\text{mm} \sim 25\text{mm}$ 。

2 止浆器应止浆可靠、便于安装。土工布与细帆布制成的止浆包外径不宜小于锚孔直径。

3 波纹护管直径应与锚索体直径相匹配。

**4.2.2** 拉力型预应力锚索、拉力分散型预应力锚索制作应符合下列要求：

1 有黏结拉力型预应力锚索钢绞线表面应清洗干净；应在锚固段与自由段结合部位，或锚索体的指定位置安装止浆器，并与锚索体密封固定。

2 无黏结拉力型预应力锚索锚固段的无黏结钢绞线护套剥除长度应与设计锚固段长度一致，裸线表面油脂应清洗干净，护套剥除的切口处应采取保护措施。

3 无黏结拉力分散型预应力锚索锚固段各组无黏结钢绞线护套剥除长度应符合设计要求，钢绞线应按分组由长至短依次顺直置于相应位置。

**4.2.3** 压力型预应力锚索、压力分散型预应力锚索承载体可分为挤压锚与钢板承载体、U型承载体。锚索体制作应符合下列要求：

1 挤压锚具的簧丝和锚套应按照产品使用规定缓慢旋转套入钢绞线，在专用挤压机上挤压成形P型挤压锚。簧丝不得折断，不得在簧丝缺段、缺失时挤压制作挤压锚。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。

2 U型体的每根无黏结钢绞线中点部位应置于专用顶压机圆弧顶头，顶压弯曲成U型钢绞线后置于U型承载体的弧形槽中，并应按照锚索结构装配各U型承载体及钢绞线、辅助支架、灌浆管。

**4.2.4** 拉压复合型预应力锚索制作除应符合本规范4.2.2条和4.2.3条的规定外，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黏结钢绞线与无黏结钢绞线，或者单根钢绞线在承载体前部是无黏结钢绞线、在后部是有黏结钢绞线。

2 应按照锚索结构装配有黏结钢绞线束、无黏结钢绞线束。

**4.2.5** 自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索制作除应符合本规范4.2.3条的规定外，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应嵌固于二者之间。

2 各组承载体之间应连接成一个整体。

4.2.6 分散型预应力锚索体制作时，应根据承载体分组，对各根钢绞线进行编号并标识，并应在安装锚具后与夹片锥孔编号进行对应。

4.2.7 在架空严重或浆液可能漏失严重的覆盖层进行锚索施工时，可在张拉段锚索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。

4.2.8 对于穿越断层、裂隙发育地层的锚孔在锚索安装前未采取固结灌浆处理的情形，制作锚索体时，宜在锚索锚固段设置止浆器，宜增设灌浆管。

4.2.9 无黏结预应力锚索采用波纹管保护时，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。

### 4.3 锚索灌浆

4.3.1 锚索灌浆浆液宜使用纯水泥浆。采用水泥砂浆时砂的粒径不宜大于 1.5mm。

4.3.2 覆盖层预应力锚索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 锚固段灌浆应连续进行。若因故中断，应采取措施处理，不得影响锚索灌浆质量。
- 3 陡倾角深孔灌浆时，可考虑水泥浆液柱压力。
- 4 达到灌浆结束条件时即可进行屏浆，屏浆压力宜为设计规定最大灌浆压力。
- 5 遇灌浆引起覆盖层变形时，应采取降低灌浆压力或其他措施进行处理。

**4.3.3 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 张拉段锚索体外裹土工布与细帆布时，张拉段灌浆应在其内进行。

**4.3.4 锚索灌浆过程中，遇注入量大且长时间难以达到灌浆结束条件时，可采取低压、浓浆、限流措施进行处理。**

**4.4 锚 墩**

**4.4.1 覆盖层上安装锚墩前，宜对锚墩底面覆盖层地基进行整平与压实处理。**

**4.4.2 覆盖层预应力锚索的锚墩宜采用现浇钢筋混凝土锚墩。**

**4.4.3 现浇钢筋混凝土锚墩施工应按下列规定执行：**

- 1 承压板开孔直径应与工作锚夹具相匹配，孔口导向钢管内径不应小于承压板开孔直径。
- 2 孔口导向钢管沿锚索体套入，深入孔内不宜小于 50cm，应与锚孔同心。
- 3 锚墩混凝土施工宜按现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T 5144 的规定执行。

**4.5 锚索张拉与锁定**

**4.5.1 锚索张拉准备工作应按下列要求执行：**

- 1 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、张拉分级荷载与油压、理论伸长值等。锚索安装在直线孔道的，宜按直线钢绞线类型计算预应力钢绞线伸长值。

2 应根据工作锚具尺寸、超张拉力选定测力计。

3 测力计、工作锚夹具应同步安装，并与承压板中心孔同心；应调整工作锚具夹片对称、顶面齐平，并轻轻敲紧。

**4.5.2** 覆盖层预应力锚索应按设计要求分区、分序、分期张拉。同一锚固区内的锚索应按分序跳束的顺序进行张拉。同一序次的锚索张拉，应先张拉试验锚索和安装测力计的锚索。锚索采用分期张拉时，第一期可先施加荷载至设计张拉力的 75%~90%，后期施加荷载的时机和大小应根据岩土体变形监测和锚索测力计监测情况确定。

**4.5.3** 锚索张拉方式应符合下列规定：

1 拉力型预应力锚索、压力型预应力锚索宜采用整索张拉的方式。整索张拉有困难时，可采用单根循环分级张拉方式。

2 分散型预应力锚索宜采用单根循环分级张拉方式或差异化整索张拉方式。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。差异化整索张拉方式应先单根张拉以差异荷载补足长钢绞线的伸长值后再进行整索张拉，并宜按分组单根预紧、荷载差异化分组单根张拉补足伸长值、分级整索张拉、锁定的工艺流程进行。

**4.5.4** 覆盖层预应力锚索张拉作业应符合下列规定：

1 锚索张拉时应先进行单根钢绞线预紧，钢绞线预紧时的伸长值应采用预紧力推算的伸长值。

2 千斤顶按分级荷载加载时，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。

3 张拉预应力钢绞线采用张拉力控制时，应以伸长值进行校核。实际伸长值应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。

4 对夹片式锚具，锚索张拉锁定后，夹片顶面应齐平。遇

夹片顶面相互错位大于 2mm 时，应退锚重新张拉。

**5** 应观察锚墩下陷、坡面变形情况并采取相应处理措施。

**6** 遇预应力钢绞线断丝，应停止张拉并按设计复核后提出的方案进行处理；遇夹片出现可视裂纹，应退锚予以更换后重新张拉锁定。

**4.5.5** 锚索张拉锁定后 7d 内，锚索预应力监测值低于设计张拉力值时，应进行补偿张拉。

**4.5.6** 覆盖层预应力锚索遇到难以加载至设计张拉力时，应按照设计复核后提出的方案进行处理。

## **4.6 外锚头防护**

**4.6.1** 外锚头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。

**4.6.2** 采用混凝土结构和环氧树脂砂浆封锚的外锚头锚具外的钢绞线留存长度可为 5cm~15cm，多余部分应使用砂轮切割机切除，不得使用电弧或乙炔焰切割。

**4.6.3** 外锚头部位的防护施工应遵守下列规定：

**1** 永久性预应力锚索外锚头封锚部位的锚墩混凝土接触面应凿毛并冲洗干净，锚具及钢绞线宜涂以防腐材料，混凝土保护层厚度不应小于 80mm。

**2** 防护罩内应充填预应力钢绞线专用防腐润滑脂，且应封闭严密。防护罩应可拆卸，可采用螺栓固定在承压板上，其接触面应采取防水措施。

**3** 水下锚索或水位变幅区锚索外锚头应进行防水处理。



## 5 试验与监测

### 5.1 试 验

5.1.1 重要的、规模大的覆盖层预应力锚索加固工程，或设计要求时，应进行锚索试验或生产性锚索试验。

5.1.2 锚索试验应包括下列内容：

1 验证本工程采用预应力锚索方法的技术可行性、施工效果可靠性、经济合理性。

2 推荐合理的预应力锚索结构、锚索设计技术参数等。

3 推荐合理的施工程序和施工工艺方法。

4 分析施工工效、工程造价等。

5.1.3 生产性锚索试验内容应包括锚索的施工程序、施工工艺方法。

5.1.4 锚索试验或生产性锚索试验应具有代表性，试验锚索数量不宜少于 3 束。

5.1.5 锚索试验的条件、锚索结构、锚夹具、张拉机具及施工工艺，应与工程实际相同。

5.1.6 试验锚索应安装测力计进行预应力监测。

5.1.7 锚索试验应按设计要求进行分级加载，并应同步测量记录荷载读数及锚索伸长值。

### 5.2 监 测

5.2.1 覆盖层预应力锚索原位监测的布置应符合下列规定：

1 应采用测力装置对预应力锚索进行原位监测。

2 监测仪器应布置在有代表性的地段或部位。

3 每个锚固区或每个监测断面的监测锚索数量不宜少于 3 束。

**5.2.2 覆盖层预应力锚索的施工期原位监测应符合下列规定：**

**1** 监测项目应包括预应力锚索张拉荷载、锁定后的预应力值变化的监测。

**2** 监测应从锚索张拉时开始，每级荷载应测读一次，锁定后应测读一次，此后 3d 以内每天监测不宜少于 2 次，3d 以后 7d 以内每天应监测 1 次，此后宜根据预应力值变化确定监测频次。当环境与边界条件发生变化时，应调整监测频次。设计有特殊要求时，应按其要求执行。

**5.2.3 覆盖层预应力锚索的运行期原位监测应符合下列规定：**

**1** 监测项目应包括预应力锚索的预应力值变化的监测。

**2** 运行期监测应接续施工期监测。

**3** 监测频次宜根据预应力值变化确定。

**5.2.4 覆盖层预应力锚索原位监测工作宜与边坡变形监测相结合，宜同步分析与反馈信息。**



## 6 质量检查与验收

### 6.1 质量检查

6.1.1 覆盖层预应力锚索施工过程中，质量检验或检查项目应包括以下内容：

- 1 钢绞线质量检验。
- 2 锚夹具质量检验。
- 3 锚孔成孔质量检查。
- 4 锚索制作与安装质量检查。
- 5 锚索灌浆施工质量检查。
- 6 锚墩混凝土施工质量检验。
- 7 锚索张拉施工质量检查。
- 8 外锚头防护施工质量检查。

6.1.2 覆盖层预应力锚索施工质量检查除应符合现行行业标准《水电水利工程预应力锚索施工规范》DL/T 5083 的有关规定外，还应包括以下内容：

- 1 张拉段锚索体外裹的土工布与细帆布的完好情况。
- 2 波纹管及其端部封闭的完好情况。
- 3 锚索入孔长度与外露长度。
- 4 锚墩与混凝土框格梁或其他结构的连接情况。
- 5 锚具外的钢绞线留存长度、钢绞线切除方式。

6.1.3 覆盖层预应力锚索工程的单根锚索质量应按现行行业标准《水电水利工程预应力锚索施工规范》DL/T 5083 的规定进行检查与评定。发现的质量缺陷应按要求处理。

### 6.2 验收

6.2.1 覆盖层预应力锚索验收宜分为单根锚索验收、锚索工程

完工验收。

**6.2.2** 单根锚索的验收宜与其质量评定合并进行，宜由监理工程师组织施工单位进行。验收时宜具备以下资料：

- 1 原材料、中间产品等各项质量检查记录、试验成果。
- 2 各工序质量检查与评定结果。
- 3 单根锚索质量缺陷处理结果。
- 4 单根锚索预应力监测资料。

**6.2.3** 覆盖层预应力锚索工程完工验收应在该工程部位设计的所有锚索已施工完成且质量评定合格后进行，宜由项目法人或监理工程师组织设计、施工单位进行。验收时宜具备以下资料：

- 1 单根锚索质量评定表。
- 2 预应力监测资料。
- 3 施工技术报告及竣工图。
- 4 覆盖层变形监测资料。
- 5 合同约定的其他文件。

**6.2.4** 对高陡边坡预应力锚索的验收应在张拉后及时进行。

## 7 施工安全与环境保护

### 7.1 施 工 安 全

7.1.1 应根据施工现场实际进行危险源辨识、风险评价并制定相应措施和应急预案。

7.1.2 在滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害隐患区域施工时，应加强观测和预警，发现异常情况应按应急预案组织撤离。

7.1.3 覆盖层边坡施工区应做好边坡截、排水系统，施工时应防止大量水流渗入覆盖层内。

7.1.4 覆盖层边坡施工脚手架平台搭设时，应确保排架结构安全，应设置脚手架与边坡的连接件以及拉护绷绳，应设置安全应急绿色通道。脚手架平台的设计、搭设应符合现行行业标准《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》JGJ 130 的有关规定。

7.1.5 施工承重排架、脚手架的使用应遵守下列规定：

1 在脚手架上进行电焊、气焊作业时，应有防火措施和专人看守。

2 作业层施工均布活荷载不得超过安全允许值。

3 排架临空面、施工通道应设置安全防护网或其他防护措施。

4 排架上布设的风管、水管、浆管应固定。

5 排架上所有电线应采用绝缘物与排架钢管、扣件隔开。

6 应经常检查排架杆件、剪刀撑等支撑以及脚手架与边坡的连接件的设置和连接状况，并进行维护。

7 应设置安全标志牌。

7.1.6 造孔作业应有降尘措施，作业人员应配戴粉尘防护用品。

7.1.7 锚索安装过程中，应采取措施预防锚索体弯曲回弹伤人。

**7.1.8** 覆盖层边坡预应力锚索张拉时，应观察锚墩下陷、坡面变形情况，采取相应措施防止覆盖层边坡发生较大变形。

## **7.2 环 境 保 护**

**7.2.1** 预应力锚固工程施工区、生产设施区现场应设置污水废浆处理系统。

**7.2.2** 施工便道与孔位清理的渣土、钻孔产生的岩屑不得随意堆弃，应运至指定的地点堆放和处理。

**7.2.3** 有毒有害材料应按照规定使用，应采取保护措施防止伤人、污染环境。

**7.2.4** 对无黏结钢绞线去除的护套及油脂弃料，应进行处理，不得随意弃置。

**7.2.5** 在居民密集区，锚索钻孔施工应设置隔音降噪装置。

**7.2.6** 在林区和有防火要求的区域作业时，应制定防火应急措施。

## 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

- 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 《水电水利工程预应力锚索施工规范》DL/T 5083
- 《水工混凝土施工规范》DL/T 5144
- 《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》DL/T 5148
- 《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》JGJ 130

中华人民共和国能源行业标准

水电工程覆盖层预应力锚索技术规范

**NB/T 35100—2017**

条 文 说 明

## 制 定 说 明

《水电工程覆盖层预应力锚索技术规范》NB/T 35100—2017，经国家能源局 2017 年 11 月 15 日以第 10 号公告批准发布。

本规范制定过程中，编制组在广泛调查、深入研究的基础上，总结了覆盖层预应力锚索设计、施工等方面的实践经验，同时吸收了近年来所取得的相关科技成果，并征求了设计、施工、科研等单位的意见。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《水电工程覆盖层预应力锚索技术规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行说明。但是，本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。



## 目 次

1	总则	30
3	锚索设计	31
3.1	一般规定	31
3.2	锚索型式选择	32
3.3	锚索结构	34
3.4	锚索防护	38
4	锚索施工	41
4.1	造孔	41
4.2	锚索体制作	43
4.3	锚索灌浆	47
4.4	锚墩	48
4.5	锚索张拉与锁定	49
4.6	外锚头防护	51
5	试验与监测	52
5.1	试验	52
5.2	监测	53
6	质量检查与验收	54
6.1	质量检查	54
6.2	验收	54
7	施工安全与环境保护	55
7.1	施工安全	55
7.2	环境保护	55

## 1 总 则

**1.0.1** 覆盖层边坡具有结构松散、透水性强、抗变形能力弱等特性，覆盖层预应力锚索存在锚孔造孔困难、注浆工艺复杂、锚索张拉难度大和对荷载保持要求高等不同于岩质边坡锚索的技术特点。目前没有专门适用于覆盖层预应力锚索的技术规范，为规范覆盖层预应力锚索的设计和施工，满足工程安全、质量和经济合理的要求，制定本规范。

**1.0.2** 非水电工程的覆盖层预应力锚索设计与施工可参照执行。

### 3 锚 索 设 计

#### 3.1 一 般 规 定

**3.1.1** 覆盖层是否采用预应力锚索进行加固，以及锚索的数量、锚索的承载能力、锚索的长度、锚索的方位等锚索设计内容，与锚固工程的建筑物级别、荷载组合和运行特征、锚固区域地形地质资料密切相关。

锚固区域地形地质资料主要有：锚固工程部位的地质平面剖面图、锚固区覆盖层的范围、类型和边界条件、锚固工程所涉及部位的岩土体物理力学性质、参数及可能失稳滑面的  $c$  值和  $\varphi$  值、被锚固区域的地下水资料和地下水水质及腐蚀性等。

锚固工程部位的地质平面剖面图、锚固区覆盖层的范围和边界条件是确定锚固范围、加固深度的基础资料。锚固工程所涉及部位的岩土体物理力学性质及参数和可能失稳滑面（滑带）的  $c$  值和  $\varphi$  值是覆盖层边坡稳定分析的基础资料，决定预应力锚索加固数量。对覆盖层边坡，主要了解和掌握滑动面或破坏面的位置、产状和滑动方向；对建筑物加固，要掌握影响稳定和内部应力恶化的各种荷载和运行方式；对锚固介质，要掌握所处的环境条件及物理和化学特性，从而正确确定设计参数，优化锚索布置和施工方法。

**3.1.4~3.1.5** 单根锚索提供锚固力的大小，主要由锚固介质的力学强度、锚索体采用的材料和张拉设备的张拉能力决定。

当锚固介质力学强度较低，质量不好，岩体破碎、软弱时，进行固结灌浆或增设其他结构措施以增大锚固段的锚固力。

锚索体材料是制约单根锚索锚固力的一个重要因素。确定锚索体材料数量时，要考虑一定安全裕度，即在设计张拉力条件

下，材料强度利用值与材料抗拉强度标准值比值不大于要求的强度利用系数。锚索体材料数量确定后，再根据编索方式、隔离架大小、有无波纹管等确定钻孔直径。

确定单根预应力锚索的设计张拉力时，要考虑可能发生的预应力损失。影响预应力损失的主要因素有：锚索材料的徐变性质、被锚固介质的流变特性、锚索张拉锁定后钢绞线回缩量的大小、锚索与孔壁的摩擦和锚夹具之间的接触情况等。在上述预应力损失中，锚索的回缩量大小、锚索与孔壁摩擦以及锚夹具的接触变形利用超张拉能克服，而锚索材料的徐变和锚固介质的流变属时间效应，设计时予以考虑。钢材的徐变影响仅占预应力值的1%，此值变幅不大，而大部分预应力损失来源于覆盖层的流变特性，所以覆盖层预应力锚索着重考虑被锚固介质的流变。除此以外，正在向外变形的土坡加固，要考虑由于边坡变形造成的应力增加。覆盖层预应力锚索设计时，关于应力损失量的考虑，对于一般性工程，根据经验或工程类比法确定；对于重要工程，通过试验确定。

**3.1.7 覆盖层预应力锚索设计**主要涉及锚固段的锚固力、适宜的防腐结构及造孔等施工工艺等。每个工程的地质条件和地质参数精确选取是很难做到的，给覆盖层预应力锚索设计带来困难。为了优化设计，保证锚固工程经济、合理、运行安全，对于水电工程1级永久边坡加固工程及其他重要工程，覆盖层预应力锚索在开工前布置一定数量的试验性锚索，以合理确定设计张拉力、超张拉力及可能产生的预应力损失，测定被锚固土体可能产生的压缩变形、锚索预应力损失，确定合适的锚索结构型式与参数，验证合适的锚索施工工艺等，以确定或验证主要设计参数的合理性和可靠性。根据试验结果，调整预应力锚索的各项设计参数。

## **3.2 锚索型式选择**

**3.2.1 覆盖层预应力锚索的结构体系**由外锚固段（外锚头）、张

拉段（自由段）和内锚固段（内锚头）三部分组成。锚索型式可划分为如下类型：

1 按内锚固段与围岩的结合方式可划分为胶结式内锚固段和机械式内锚固段；按使用的胶结材料可划分为水泥或水泥砂浆胶结式内锚固段和树脂胶结式内锚固段。

2 胶结式内锚固段按受力条件可划分为拉力型、压力型、拉力分散型、压力分散型和拉压复合型。

3 按锚索所使用的钢绞线材料可划分为有黏结预应力锚索和无黏结预应力锚索。

3.2.3 内锚固段长度的确定是在假定胶结材料与孔壁的剪应力沿孔壁均匀分布条件下进行计算的。光弹试验结果表明，锚固段沿孔壁的剪应力呈倒三角形分布，其分布是不均匀的，且沿锚固段长度迅速递减，并不是锚固段越长其抗拔力越大。水泥浆与孔壁的黏结强度和其与孔壁接触面积的关系（见图 3-1），说明当锚固段长到一定程度，拉拔力提高并不显著。因此，锚固段不宜过长。国际预应力混凝土协会实用规范（FIP）也特别规定，锚固段长度不宜超过 10m。如果 10m 的锚固段长度尚不能满足工程需要，可采用改善锚固段结构的办法，提高锚固力。

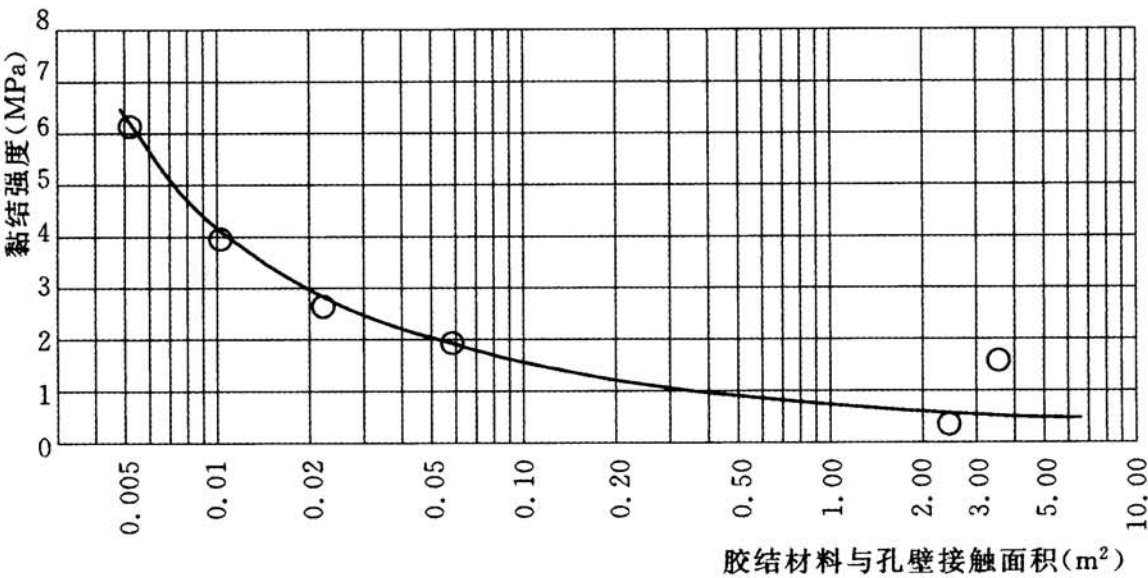


图 3-1 水泥浆与孔壁的黏结强度和其与孔壁接触面积的关系

为了提高内锚固段的锚固效果，内锚固段部位的孔壁尽可能粗糙。为了缩短内锚固段长度，也可采取扩孔措施。为了提高锚索体（钢绞线）与胶结材料的握裹力，也可以改变锚索内锚固段的结构型式，如设置承载板，钢绞线弯成钩状，加密隔离架分段缩径或采用压力型、压力分散型及其他型式的内锚固段。

**3.2.5** 预应力锚索用钢绞线包括无涂层和涂层高强低松弛钢绞线，有标准型或模拔型，采用抗拉强度为 1860MPa(270 级)、1960MPa(290 级) 的钢绞线。

钢绞线的技术参数参见《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的规定。无黏结钢绞线为用防腐润滑脂和护套涂包的钢绞线，其规格和性能参见《无黏结预应力钢绞线》JG 161 的规定。

覆盖层预应力锚索推荐采用无黏结预应力钢绞线作为锚索材料。当覆盖层胶结较好、密实、强度较高，预应力锚索施加后不会产生明显的应力松弛，或边坡变形不明显、预应力锚索施加后不会产生明显的应力增加时，才能采用有黏结钢绞线作为锚索材料。

### 3.3 锚索结构

**3.3.1** 随着预应力锚固技术的不断发展，锚索类型由单一的拉力型发展为拉力分散型、压力型、压力分散型和拉压复合型。各种锚索类型的结构不同，适用条件也不同，锚索的耐久性也与锚索结构设计相关。因此，锚索结构设计十分重要，不仅要合理地选择锚索材料、计算需要的锚固力、合理地确定设计张拉力和锚索类型，而且还要根据地质条件、锚索重要程度做好防护设计。

**3.3.3** 预应力锚索钢材强度利用系数问题是预应力锚索设计中最关键的问题。《水电工程预应力锚固设计规范》DL/T 5176—2003 第 6.2.7 条规定，进行预应力锚索设计时，在设计张拉力作用下，钢材强度的利用系数宜为 0.60~0.65。《水工预应力锚固设计规范》SL 212—2012 第 4.2.2 条规定，预应力锚



索采用预应力钢绞线时，钢材强度的利用系数不宜大于 0.60。《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086—2015 第 4.6.9 条规定，临时预应力钢绞线张拉控制应力  $\sigma_{\text{con}} \leq 0.60 f_{\text{ptk}}$ （钢绞线强度的利用系数为 0.60），永久预应力钢绞线张拉控制应力  $\sigma_{\text{con}} \leq 0.55 f_{\text{ptk}}$ （钢绞线强度的利用系数为 0.55）。

《水工预应力锚固设计规范》SL 212—2012 修订时，共统计了 127 个锚固工程的钢材强度利用系数的采用情况，其中可以收集到或根据设计张拉力和采用的锚固材料数量分析得到钢材强度利用系数指标的有 92 个工程。经统计、分析，34 个边坡锚固工程锚索材料的平均强度利用系数为 0.60；16 个坝基和坝体加固工程的锚索材料平均强度利用系数为 0.61；9 个地下厂房加固工程的锚索材料平均强度利用系数为 0.50；31 个预应力闸墩的锚索材料平均强度利用系数为 0.67；2 个水工隧洞混凝土衬砌环形锚索材料强度利用系数均采用 0.75。已建工程锚索材料强度利用系数采用情况见表 3-1。

表 3-1 已建工程锚索材料强度利用系数采用情况表

加固项目	统计工程数量	平均强度利用系数	工程采用的最大值	工程采用的最小值	说明
边坡锚固	34	0.599	0.650	0.510	收集 43 个工程资料，可以分析计算有强度采用系数的工程 34 个
坝基、坝体加固	16	0.612	0.690	0.380	—
地下建筑物加固	9	0.529	0.570	0.480	—
预应力闸墩加固	31	0.665	0.705	0.570	—
水工隧洞环形锚索	2	0.750	0.750	0.750	—

钢材强度利用系数不宜过高，主要原因有以下几点：

(1) 由于锚索均由多股钢绞线组成，尤其是高吨位锚索，数十股钢绞线张拉时，其各股钢绞线受力是不均匀的，统计吉林省

白山、吉林省丰满、黑龙江省镜泊湖和河南省黄河小浪底等 4 个工程所使用的锚索，各股钢绞线的受力不均匀系数为 0.40～1.67。根据三峡水利枢纽预应力锚索的观测结果，1000kN 级预应力锚索受力不均匀系数为 0.91～1.09，3000kN 级为 0.84～1.16。当采用压力分散型、拉力分散型预应力锚索时，由于锚索中钢绞线的长度不一致，锚索锁定后，短的锚索在同样变形条件下受力较大，长的受力小些，因此要处理好强度利用系数采用值。

(2) 锚索受力较大，在长期高应力状态下工作的锚索，有应力腐蚀的可能。

(3) 边坡、地下工程加固中，因受地质条件的影响，不可预见的因素较多，锚索受力条件具有不确定性，要留有一定的安全裕度。覆盖层预应力锚索地质条件相对较差，锚索更易受到腐蚀性物质的侵蚀，受力条件也更为不利，其安全裕度相对加大。

(4) 当遇边坡有较大变形或受分部开挖影响变形增加较大时，考虑降低材料强度利用系数。

综合以上考虑，覆盖层预应力锚索在设计张拉力作用下，钢绞线抗拉强度标准值的强度利用系数不大于 0.55；在超张拉力作用下，钢绞线抗拉强度标准值的强度利用系数不大于 0.63。根据地质勘察资料分析，当岩土体加固后还可能产生较大的变形和位移时，要降低预应力钢材的强度利用系数。

**3.3.4 胶结材料沿孔壁的摩阻力与钢材和胶结材料的握裹力分布**是不均匀的，且沿孔壁呈三角形分布，如拉力型锚索的分布为锚固段上端大并向孔底逐渐衰减，至孔底其数值已很小。尽管如此，目前多数工程仍可在假定胶结材料沿孔壁的摩阻力和钢材与胶结材料的握裹力均匀分布的条件下，采用式 (3.3.4-1) 计算确定锚固段长度。因为式 (3.3.4-1) 的计算结果是控制性的，只要参数选择合理，是可以作为设计使用的。



因为锚固段胶结材料与孔壁的摩阻力分布近似呈三角形，且沿孔壁衰减，至孔底其摩阻力已经很小，即便延伸锚固段长度，增加的摩阻力亦非常小，所以锚固段加长，锚固力提高值并不明显。从经济角度出发，靠增加锚固段长度来提高锚固力十分不经济，因此锚固段不宜过长。国际预应力锚固协会编制的实用规范（FIP）规定锚固段长度不宜超过 10m。考虑到覆盖层预应力锚索一般吨位不大，锚固段地质条件较差，根据工程统计数据，本规范规定锚固段长度不宜超过 8m。

相对而言，压力分散型锚索或拉力分散型锚索的锚固段应力分布比较均匀，则可以更大限度地发挥锚固段的承载能力，本标准 3.3.4 条中内锚固段长度指拉力型锚索内锚固段长度，所以对于压力分散型、拉力分散型、拉压分散型锚索，内锚固段长度根据内锚头数量相应减少。

**3.3.7** 拉力分散型或压力分散型锚索的设计张拉力是分散在每个锚固单元的，划分的锚固单元级数越多，锚固段受力越均匀，但级数越多，锚固段的结构越复杂，所以要做好锚固段的结构设计，合理确定每个锚固单元的承载能力，并保证整根锚索的总锚固力达到设计要求。内锚固单元数量不大于 4 个，间距不小于 1m。

**3.3.9** 对中隔离架是锚索结构中的重要部件，其作用为分隔钢绞线并集束，以及使锚索体在孔内居中。为了减少张拉时的预应力损失，减少与孔壁的摩擦，提高锚固效果，钢绞线按一定规律编束并设置对中隔离架，以保证钢绞线在钻孔中顺直、居中、不扭曲、不交叉，并有足够的保护层厚度。锚索体隔离架直径过小，将影响锚索体在孔内的居中；隔离架直径过大，则易受孔壁擦挂阻碍，必然影响下索。锚索隔离架一般使用模具成型的塑料隔离架，无合适规格塑料隔离架且需用量不大时，亦临时制作使用钢制隔离架。隔离架对应的钢绞线、灌浆管、排气管的孔位要一致。为了保证下锚顺利，对倾角较陡的锚索，隔离架间距不大

于 3m；对同水平方向夹角小于  $45^\circ$  的锚索，隔离架间距不大于 2m。为了保证封孔灌浆效果，隔离架中预留灌浆管和排气管通道。

**3.3.10** 预应力锚索张拉完成后及时回填灌浆并适时封闭外锚头的主要目的是为了加强防护，防止钢绞线和锚具的锈蚀。

**3.3.11** 碱性的水泥浆体是预应力锚索防腐蚀的良好介质，为了有效地防护预应力锚索，要保证预应力钢绞线的水泥浆体保护层有一定厚度。

**3.3.12** 承压板平面应与锚孔轴线或孔口导向套管中心线正交，以避免张拉时承压板附近的钢绞线可能因偏斜而受到损伤。

### 3.4 锚索防护

**3.4.1** 预应力锚索接触的介质为岩体或土体，在岩体和土体中多含地下水，其成分千差万别，相当一部分地下水含有对钢材具有腐蚀性的物质，易使锚索受到化学腐蚀、静电腐蚀等。此外，预应力锚索施加张拉力后，预应力材料处于高应力状态，在含腐蚀物质环境下，极易使预应力锚索受到应力腐蚀，从而降低了锚索的使用寿命。因此，锚索的防腐蚀是十分重要的。

锚固区内环境对预应力锚索的腐蚀不仅应考虑对胶结材料的腐蚀，还要考虑对预应力钢材的腐蚀。对上述两种材料的腐蚀程度一般划分为弱腐蚀、中等腐蚀和强腐蚀。

腐蚀程度的判定可参照《水力发电工程地质勘察规范》GB 50287—2016 附录 K “环境水对混凝土腐蚀评价” 中环境水对混凝土腐蚀程度分级、环境水对混凝土腐蚀性的判定标准；《岩土工程勘察规范》GB 50021—2001 第 12 章 “水和土腐蚀性的评价” 中水对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价、水对钢结构腐蚀性评价和土对钢结构腐蚀性评价。

锚固设计前，测定地下水和岩土中腐蚀性物质含量后，对被锚固介质的腐蚀程度进行认定，然后再进行预应力锚索防护设计。

**3.4.3** 根据国内外已建锚固工程的经验，按锚索的工作年限和环境条件，规定了预应力锚索的防护标准。工程实践表明，采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥的刚性防护是十分有效且简便易行的防护手段。

**3.4.4** 根据已建工程经验，当锚固区地下水发育且具有腐蚀性时，最有效的办法就是在锚固之前对围岩进行灌浆，减少锚固区域围岩的透水性，例如，安徽省梅山水库大坝基础加固、湖南省双牌水电站坝基加固和陕西省石泉水库大坝加固等工程均在锚索施工前进行了灌浆处理，有效地减轻了对预应力锚索的腐蚀。

对于松散覆盖层、地下水丰富地区、地下水有腐蚀地区、为增强锚索防腐性能，推荐采用有波纹管的锚索结构；当锚固区域的地层中含有易产生腐蚀的化学物质时，锚索防腐条件更差，一般采用无黏结预应力钢绞线作为锚索材料，并加设波纹管，管内充填水泥浆或水泥砂浆，管外水泥浆包裹厚度不小于 10mm。

无黏结预应力钢绞线是用防腐润滑脂和护套涂包的钢绞线，增强了对钢绞线的防护。防护性能更优的环氧涂层无黏结预应力钢绞线是专门生产的防腐型预应力材料，在钢绞线表面喷涂一层防腐材料，外层加设塑料套管，钢绞线之间充满防腐油脂。环氧涂层无黏结预应力钢绞线基本结构见图 3-2，环氧涂层无黏结预应力钢绞线包裹材料厚度见表 3-2。

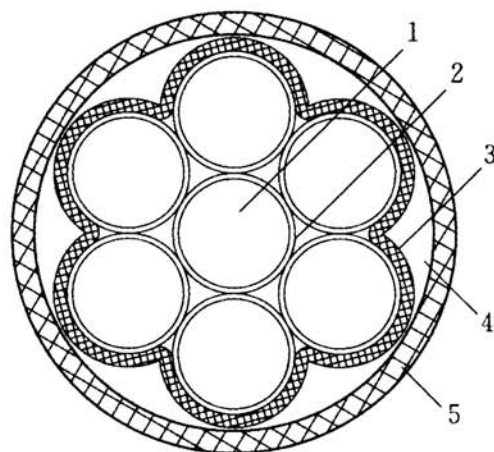


图 3-2 环氧涂层无黏结预应力钢绞线基本结构图

- 1—PC 钢绞线；2—环氧树脂涂膜；  
3—聚乙烯层；4—润滑脂；  
5—PE 护套

表 3-2 环氧涂层无黏结预应力钢绞线包裹材料厚度表

钢绞线	标准外径 (mm)	涂膜式包裹厚度 (mm)			标准润滑脂涂 敷量 (g/m)
		环氧树脂涂膜	聚乙烯层	PE 护套	
7 股钢丝绞合	20.0	0.1	0.6	1.0	36.0

**3.4.5** 张拉后已处于高应力状态的预应力锚索，在环境中的硝酸盐、亚硫酸盐、硫氰酸盐及氯离子等化学物质的电化学腐蚀下，其腐蚀过程可能会加速，所以锚索体防腐、防锈处理时要求将硝酸盐、亚硫酸盐、硫氰酸盐及氯离子等含量控制在 0.02% 以内。

## 4 锚索施工

### 4.1 造 孔

**4.1.1** 覆盖层预应力锚索造孔工艺方法：按凿岩方式可分为冲击、回转、冲击回转；按冲洗介质分为清水、泥浆、空气；按护壁方式分为套管（同步跟管、管钻）、泥浆。覆盖层造孔过程中，由于地层破碎、松散，孔壁易坍塌，常遇退出钻具即塌孔的情况，使钻进严重受阻，此类地层常用的有效方法是风动潜孔锤驱动套管同步跟进护壁；深部破碎岩体的跟管护壁施工较为困难，工效亦降低，一般采用固结灌浆等处理措施。

覆盖层中大块石阻碍跟管时，采用小口径钻具在大块石中预钻孔道为跟管钻具提供碎岩的临空面。

**4.1.2** 按照跟管钻具结构，跟管方法分为同心跟管法和偏心跟管法。偏心跟管法的有效通路为套管管靴内径；同心跟管法的有效通路为环状扩孔钻头内径，比套管管靴内径小 8mm~10mm。为获得较大的有效通路，多采用偏心跟管法。常见的套管管靴通孔孔径参见表 4-1。

表 4-1 套管管靴通孔孔径 (mm)

套管规格	φ89	φ108	φ127	φ146	φ168	φ178	φ194	φ219	φ245	φ273
管靴通路	φ69	φ86	φ102	φ120	φ138	φ147	φ165	φ184	φ205	φ230

**4.1.3** 受套管直径、套管材质、地层摩阻力等因素影响，覆盖层单级跟管深度为 40m 左右。根据实际需要，深厚覆盖层需跟管钻进时，可采用两级或多级套管结构，如偏心跟管法采用 φ219—φ178—φ146 三级套管或者 φ168—φ127 两级套管。常见套管用钢管的力学性能参见表 4-2 以及《钻探用无缝钢管》GB/T

9808 的规定。

表 4-2 钢管力学性能

钢级	抗拉强度 (MPa)	规定非比例延伸强度 (MPa)	断后伸长率 (%)
DZ50	$\geq 700$	$\geq 500$	$\geq 12$
DZ55	$\geq 750$	$\geq 550$	$\geq 12$
DZ60	$\geq 780$	$\geq 600$	$\geq 12$
DZ65	$\geq 800$	$\geq 650$	$\geq 12$
STM-R780	$\geq 780$	$\geq 520$	$\geq 15$

跟管钻具、套管靴的强度、韧性要满足钻进造孔需要，其加工用钢材可参考《合金结构钢》GB/T 3077 的规定进行选取。

**4.1.4** 覆盖层预应力锚索孔造孔多使用分体式液压动力头式钻机。分体式钻机的动力泵站、操纵台、动力头三大结构件是分体式的，具有搬迁、安装方便、可远距离操纵的优点。

为减少钻杆体连接处的破坏几率，增强钻杆承受扭矩的能力，多采用无接头的一体式  $\phi 89\text{mm}$  钻杆。此钻杆在两端镦厚处加工公母螺纹，钻杆与钻杆直接连接，不必另配公母接头来接长，由于钻杆体连接处数的大幅减少，相应的破坏几率得以大幅减少。

风动潜孔锤钻进深孔遇跟管驱动力不足、排渣困难时，一般采用电动或油动高压空气压缩机。

**4.1.5** 开孔时，为控制钻具的倾角及方位角，要采取措施保证钻机就位的准确性、稳固性，使钻机回转器输出轴中心轴线方位角、倾角与锚孔轴线方位角、倾角一致。钻进 20cm~30cm 后校核角度，控制好孔深 20m 以内的孔道偏差。

覆盖层预应力锚索锚固段置于满足锚固设计要求的岩土层内，最好锚固在基岩内。造孔过程中，发现设计孔深处的岩土体不宜作为锚固段时，研究改善锚固段岩土体质量或增加孔深的



措施。

**4.1.6** 与风动潜孔锤同步跟管法下入套管相比，管钻法下入套管对钻机的功率要求更大。因此，选择合适的钻机设备、套管及套管钻头，并进行现场试钻，确定施工工艺参数是必要的。

**4.1.7** 工程实践中，某些工程项目规定锚索钻孔所跟套管在锚索施工完成后不再拔出。

## 4.2 锚索体制作

### 4.2.1 关于锚索体组装件：

(1) 排气管内径一般同锚索灌浆管内径相同或稍小。锚索灌浆管要能耐压，不准使用再生塑料。灌浆管路系统耐压值不低于设计灌浆压力的 1.5 倍。

(2) 锚索锚固段止浆器要求具有良好的止浆功能，与孔壁接触的部分有较强的耐磨性能。锚索锚固段止浆器主要有橡胶止浆塞、土工布与细帆布止浆包等类型。在实际施工中，土工布与细帆布止浆包使用较为方便，考虑其无弹性膨胀可能对止浆效果的影响，多制作得比锚孔孔径略大。

**4.2.2** 采用有黏结钢绞线时，拉力型锚索体的内锚固段和张拉段均会被黏结在锚孔内。此类锚索多在锚固段与张拉段交界处安设止浆器，采用两期灌浆工艺，第一期灌浆形成内锚固段，张拉后再进行第二期灌浆，将张拉段锚索体保护在胶结体中。编索时应按要求设置止浆器、灌浆管、排气管，参见图 4-1。

对于采用无黏结钢绞线制作的无黏结拉力型锚索、拉力分散型锚索，因钢绞线受力时在护套内伸缩而无关护套外部的胶结介质，故采用全孔一次灌浆工艺，不必设置止浆器。无黏结拉力型锚索结构参见图 4-2，拉力分散型锚索结构参见图 4-3。

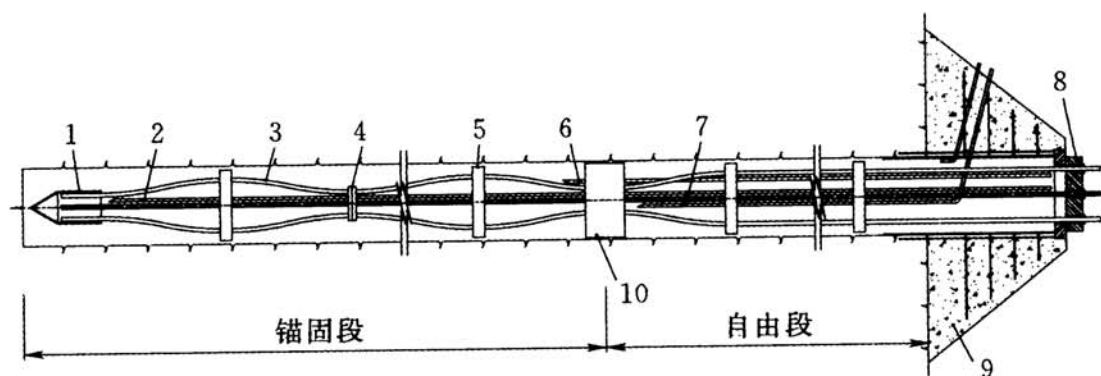


图 4-1 有黏结拉力型锚索结构示意图

1—导向帽；2—锚固段注浆管；3—有黏结钢绞线；4—扎丝；5—隔离架；6—锚固段排气管；7—张拉段注浆管；8—锚具；9—锚墩；10—止浆器

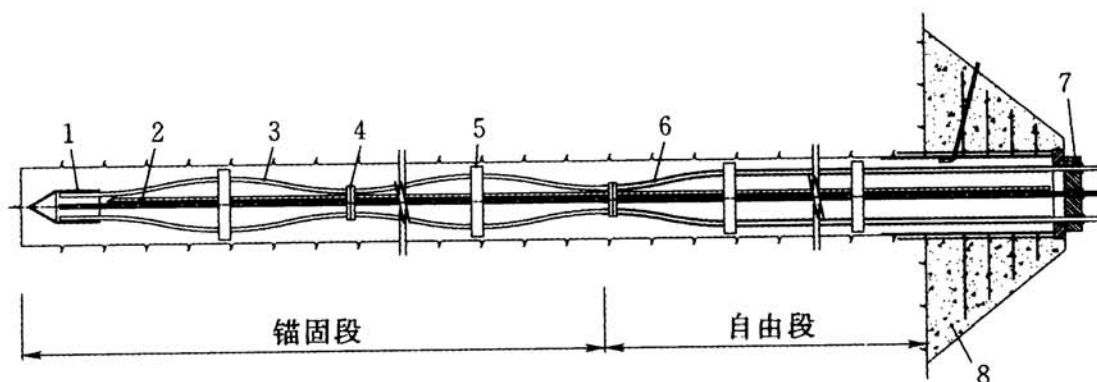


图 4-2 无黏结拉力型锚索结构示意图

1—导向帽；2—注浆管；3—有黏结钢绞线；4—扎丝；5—隔离架；  
6—无黏结钢绞线；7—锚具；8—锚墩

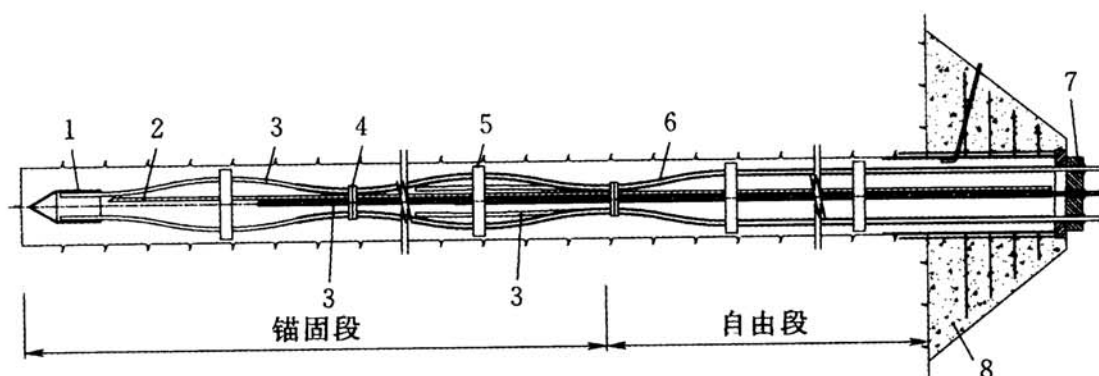


图 4-3 拉力分散型锚索结构示意图

1—导向帽；2—注浆管；3—有黏结钢绞线；4—扎丝；5—隔离架；  
6—无黏结钢绞线；7—锚具；8—锚墩



### 4.2.3 关于压力型预应力锚索、压力分散型预应力锚索制作：

1 承载板式压力型锚索及压力分散型锚索钢绞线内锚固端通常使用 P 型挤压锚，是主要承载、传力构件。鉴于 P 型挤压锚对压力型预应力锚索和压力分散型预应力锚索至关重要，P 型挤压锚要求采用有资质的厂家的定型产品。P 型挤压锚的抗拔性能要求检验合格。挤压锚制作时，将挤压锚部位的无黏结钢绞线护套剥除并清洗干净，按照操作说明书将簧丝、挤压套旋转套入钢绞线，严格控制挤压过程，确保成形的挤压锚抗拔力不低于钢绞线抗拉强度。由于钢绞线直径和 P 型锚挤压机型号不同，挤压时的工作压力及挤压后的 P 型锚直径亦不同。工程实践表明，P 型锚具用于  $\phi 15.20\text{mm}$  钢绞线挤压时，操作油压为  $42\text{MPa} \sim 45\text{MPa}$ ，挤压后 P 型锚直径不大于  $30.6\text{mm}$ 。P 型锚挤压后，其预应力钢绞线外端应露出挤压套不少于  $2\text{mm}$ 。测量挤压后 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。装配过程中，更换折断的簧丝不可短段填接，以免挤压时不能延展而影响锚固，严禁在簧丝缺段或缺失时挤压制作 P 型锚。承载板式压力分散型锚索结构参见图 4-4。

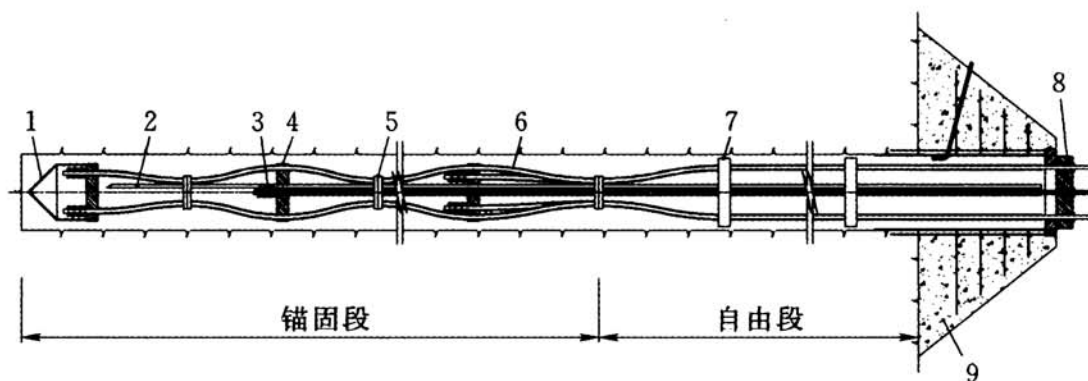


图 4-4 承载板式压力分散型锚索结构示意图

1—导向帽；2—注浆管；3—挤压锚；4—承载板；5—扎丝；6—无黏结钢绞线；  
7—隔离架；8—锚具；9—锚墩

### 2 覆盖层中布置小吨位锚索时，一般选用 U 型压力分散型

锚索。U 型压力分散型锚索是将无黏结钢绞线顶压弯曲后置于 U 型承载体的弧形槽中，因此单根钢绞线下料长度为锚索体长度的 2 倍，参见图 4-5。

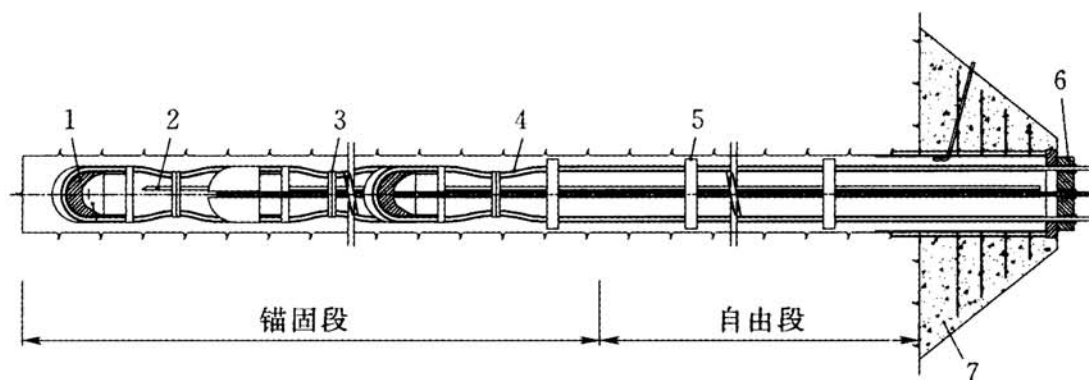


图 4-5 U 型压力分散型锚索结构示意图

1—U 型承载体；2—注浆管；3—扎丝；4—无黏结钢绞线；  
5—隔离架；6—锚具；7—锚墩

**4.2.4** 自由式拉压复合型预应力锚索的锚固段部分设置为有黏结钢绞线与无黏结钢绞线，或者单根钢绞线在承载体前部是无黏结钢绞线，在后部是有黏结钢绞线，施加预应力时，各承载体周围的胶结体处于受拉与受压的复合状态。使胶结体处于受压状态的钢绞线束由钢绞线、挤压头（P 型锚）和承载板构成。

**4.2.5** 自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索在分类上属于压力分散型锚索。该锚索采用单孔多锚头防腐型结构，锚索内锚固段设置两个或两个以上承载体，每组承载体由承载板与辅助板组成，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，其基本组成为：单锚头、承载板、辅助板、无黏结钢绞线等，参见图 4-6。该锚索具有改善锚固段应力集中、有效防腐、全孔一次注浆、可进行二次张拉等特点，增强了对复杂地层的适应性。

**4.2.6** 分散型预应力锚索由于钢绞线长短不等，张拉时伸长值

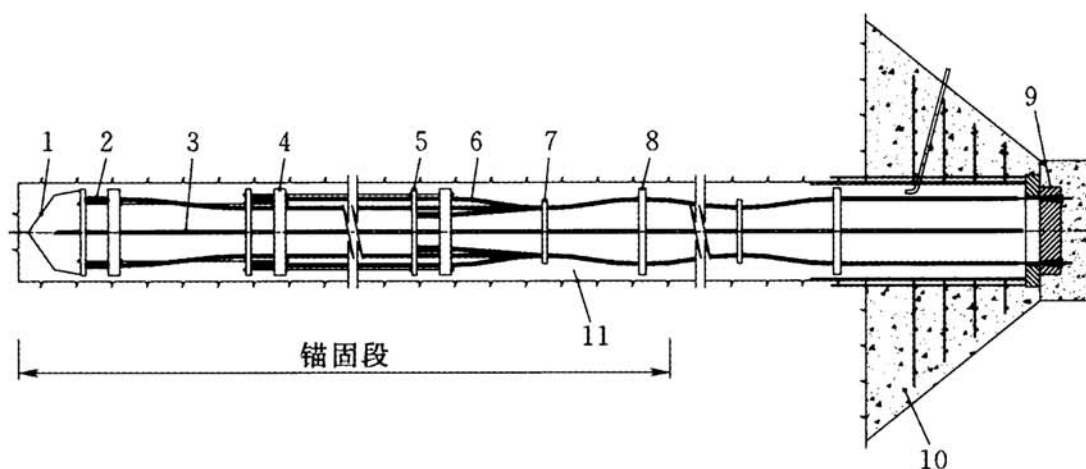


图 4-6 自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索结构示意图

- 1—导向帽；2—单锚头；3—灌浆管；4—承载板；5—辅助板；  
6—无黏结钢绞线；7—扎丝；8—隔离架；9—ESM 锚具；  
10—锚墩；11—锚孔

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，故应对钢绞线进行标识，以便张拉识别。可采用在钢绞线孔口端涂颜色或刻痕迹的方式予以标识。

**4.2.7** 小湾水电站左岸饮水沟 2 号山梁堆积体边坡治理工程中，为防止锚索灌浆浆液渗漏严重，在锚索张拉段采用了包裹土工布和细帆布的方法。

**4.2.8** 对于穿越断层、裂隙发育地层的锚孔在下索前未采取固结灌浆处理的情形，在锚索灌浆时易出现灌浆长时间难以达到灌浆结束条件的情况，甚至堵管，故增设灌浆管以作备用和补救。为确保锚固段灌浆质量，在锚索锚固段设置止浆器。

### 4.3 锚索灌浆

**4.3.1** 锚索灌浆通常灌注纯水泥浆液。灌注水泥砂浆的，掺入水泥浆液中的砂粒径不大于 1.5mm，以免堵管而影响浆液的灌入。浆液水灰比通过试验确定，纯水泥浆液的水灰比采用 0.38~

0.45，水泥砂浆的水灰比采用 0.40～0.50。浆液流动性要好，流淌直径不小于 150mm。浆液温度保持在 5℃～40℃，因为当浆液温度超过 40℃就难以施灌，气温低于 5℃时浆液流动度亦明显降低。

**4.3.2** 锚索灌浆时可采用灌浆自动记录仪测记灌浆压力、流量、比重等灌浆参数。压力表、压力计、流量计、比重计、记录仪要满足锚索灌浆参数测记需要，使用检定或校验合格的产品。

现行行业标准《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》DL/T 5148 中对屏浆的定义为“灌浆段的灌浆工作达到结束条件后，为使已灌入的浆液加快凝固、提高强度，继续使用灌浆泵对灌浆孔段内施加压力的措施”。为提高锚固段胶结体强度等性能，当锚固段灌浆达到结束条件后进行屏浆，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 20min～30min，即可结束灌浆。

**4.3.4** 未采取固结灌浆处理的破碎或渗水孔段，锚索灌浆易出现灌浆长时间难以达到灌浆结束条件的情况，故安装锚索前，最好对孔周岩土体进行固结灌浆处理。

## **4.4 锚 墩**

**4.4.1** 锚墩位移或变形是锚索预应力损失的影响因素之一，锚墩建基面清面施工质量要引起高度重视。覆盖层边坡的承载能力较差，除加大锚墩底面尺寸、设置联系梁等措施加以改善外，对锚墩底面覆盖层进行整平与压实也有着重要意义。

**4.4.3** 为避免钢绞线受到来自承压板中心孔边沿及孔口导向钢管内侧边沿的顶触损伤，故承压板中心孔孔径要略大于工作锚具最外圈钢绞线孔的包络圆直径，孔口导向钢管内径不小于承压板中心孔孔径。各厂家锚具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，承压板中心孔孔径多根据所选用的锚具尺寸予以确定。

## 4.5 锚索张拉与锁定

### 4.5.1 锚索张拉准备工作主要有：

(1) 预应力钢绞线理论伸长值的计算。安装在曲线孔道的锚索按曲线钢绞线类型计算预应力钢绞线伸长值；安装在直线孔道的锚索，为使计算简化，可不考虑锚索体钢绞线被捆扎成枣核状而形成的微曲线，按直线钢绞线类型计算预应力钢绞线伸长值。对于多曲线组合型预应力钢绞线，其张拉伸长值要分段计算，然后叠加。

预应力钢绞线理论伸长值按下式计算：

$$\Delta L = \frac{P_j L}{AE} \quad (4-1)$$

式中： $\Delta L$ ——预应力钢绞线伸长值（mm）；

$P_j$ ——预应力钢绞线的平均张拉力（N）；

$L$ ——预应力钢绞线的张拉长度（mm）；

$A$ ——预应力钢绞线的截面积（mm<sup>2</sup>）；

$E$ ——预应力钢绞线的弹性模量（MPa）。

对于直线钢绞线，预应力钢绞线的平均张拉力取张拉端的张拉力  $P$  值；对于曲线钢绞线，平均张拉力按下式计算：

$$P_j = \frac{P[1 - e^{-(kx + \mu\theta)}]}{kx + \mu\theta} \quad (4-2)$$

式中： $P$ ——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）；

$x$ ——从张拉端至计算截面的孔道长度（m）；

$\theta$ ——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；

$\mu$ ——预应力钢绞线与孔道壁的摩擦系数。

无实测值时，预应力钢绞线的弹性模量按《预应力混凝土用

钢绞线》GB/T 5224 的规定取值  $(195 \pm 10) \times 10^3 \text{ MPa}$ 。

(2) 布置有测力计的锚索先安装测力计，再安装工作锚具，且均与锚索孔道对中。为满足工作锚具的传力和测力计的测力要求，根据工作锚具的尺寸来确定测力计的内、外径。根据已建工程经验，测力计与工作锚具是否与锚索孔道、承压板中心孔同心，对测力计的测力数值影响较大。

**4.5.3** 锚索张拉方式包括整索张拉和单根张拉。拉力型预应力锚索、压力型预应力锚索的各根钢绞线等长，采用整索张拉方式；分散型锚索钢绞线的长度不等，采用单根循环分级张拉方式，确保各根钢绞线均匀受载。

一根分散型锚索由多组承载体组成，各根钢绞线长度不等，不能直接采用整索张拉方式。根据施工需要，先差异化补足伸长值后再进行整索张拉。其工艺流程为：单根预紧→荷载差异化分组单根张拉补足伸长值→ $25\%P$ （根据情况可跳过此级）→ $50\%P$ → $75\%P$ → $100\%P$ → $110\%P$ （ $P$  为设计张拉力）。

与单根张拉相比，采用差异化整索张拉可缩短分散型锚索张拉时间，加快锚索张拉进度。分散型锚索的每组钢绞线要准确标记并识别，以便正确进行差异化张拉。

**4.5.4** 锚索张拉前，根据锚索吨位、钢绞线根数、孔深、张拉分级荷载以及张拉力-压力表（测力计）读数关系曲线，计算各级荷载时的油压值以及钢绞线的理论伸长值，指导张拉作业。

锚索张拉按分级加载进行，由零逐级加载至超张拉力，稳压后锁定。锚索张拉分级荷载可为设计张拉力的  $25\%$ 、 $50\%$ 、 $75\%$ 、 $100\%$ 。分级荷载的持荷稳压时间为  $2\text{min} \sim 5\text{min}$ 。张拉至设计锁定荷载的持荷稳压时间不少于  $10\text{min}$ 。

最大张拉力未超过预应力钢绞线强度标准值的  $75\%$ ，钢绞线处于弹性变形，其理论伸长值与承受的张拉力成正比，故可用钢绞线的伸长值来校核张拉力。《水电水利工程预应力锚索施工规范》DL/T 5083 规定，当岩土体锚索张拉实测伸长值与理论



计算伸长值的偏差率大于+10%或小于-5%时，停机检查，待查明原因并采取相应措施后，方可恢复张拉。

对夹片式锚具，锚索张拉锁定后，夹片顶面要齐平，其相互间的错位大于2mm时，将影响夹片实际夹持钢绞线的效果，钢绞线回缩量将增大，要退锚重新张拉。退锚采用退锚器进行。

#### 4.6 外锚头防护

**4.6.1** 外锚头实现对锚索张拉荷载的锁定，一旦受损，严重时亦可导致锚索失效，因此，采取措施保护外锚头是必须的。混凝土结构封锚、环氧树脂砂浆封锚常用于长期防护；有观测需要和特殊要求的锚索先采用金属或塑料防护罩进行短期防护。

**4.6.2** 锚索张拉锚固经确认合格后，方可切割露于锚具之外的钢绞线多余部分，切割后钢绞线的外露长度为5cm~15cm，一般可取10cm。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。

**4.6.3** 预应力锚索工程锚固完成后，外锚头裸露时间过长易造成外锚头腐蚀，不利于预应力的保持，防护措施要及时实施。

## 5 试验与监测

### 5.1 试 验

**5.1.1~5.1.3** 有关锚索的试验通常有锚索试验、生产性锚索试验。锚索试验一般在工程可行性研究阶段或招标设计阶段进行，为预应力锚索设计提供客观依据；生产性锚索试验与锚索施工相结合，在施工前或施工初期进行，验证锚索的施工设计、施工工艺方法。进行何种试验，主要按设计文件、合同文件的要求执行。

根据《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086—2015 的规定，预应力锚杆的验收试验是检验锚杆的抗拉承载力、筋体受拉自由段长度和蠕变率的一种方法，是从初始荷载分级加载至最大荷载，进行每级加荷、持荷、卸荷的循环。预应力锚索参照预应力锚杆的验收试验方法进行循环加荷、持荷、卸荷的张拉时，一是工作锚具上先不安装夹片，以免夹片锁紧而难以卸荷；二是锚索长度超过 40m 后，在设计张拉力工况下钢绞线伸长值将可能大于 200mm，超过常规千斤顶的张拉行程，使得验收试验难以一次性加载至最大试验荷载。另外，分散型预应力锚索因钢绞线长度不等，亦使得其验收试验难以实施。因此，可在实施条件完备时，根据实际需要进行预应力锚索的验收试验。

**5.1.6** 锚索张拉时，压力表测得的荷载与测力计测得的荷载有一定差值。鉴于测力计安装数量有限以及测力计读数易受安装、气温等多种因素影响，根据工程经验，以压力表读数控制张拉力，以测力计读数进行监测与校核。张拉锁定后，通过测力计读数监测锚索预应力变化。



## 5.2 监 测

**5.2.1** 本规范仅考虑覆盖层预应力锚索的监测，锚固工程监测按照国家现行有关标准的规定执行。

**5.2.2** 覆盖层预应力锚索的施工期原位监测工作要与预应力锚索张拉同步进行，及时反馈信息，进行动态设计、施工。

**5.2.4** 边坡变形监测有多点位移计、边坡变形监测点等方法，通过分析边坡变形监测数据，判断边坡预应力的变化情况以及锚固效果。

## 6 质量检查与验收

### 6.1 质量检查

**6.1.1** 预应力锚索施工的全过程、各工序都得按规定进行控制，以确保工程的施工质量。

### 6.2 验收

**6.2.1** 根据《水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准 第一部分：土建工程》DL/T 5113.1 的有关规定，可按单根预应力锚索进行划分，则单根预应力锚索可划为一个单元工程。因此，覆盖层预应力锚索可按单根进行质量评定与验收。

**6.2.4** 在高陡边坡施工预应力锚索，大多都得搭设施工承重排架。锚索张拉锁定后，未验收前，不便拆除施工排架及通道，若等待验收时间过长，整个锚索工程施工需要投入的排架钢管及资金数量积压就会越大。为合理周转利用排架钢管与资金等资源，需及时验收高陡边坡预应力锚索。

## 7 施工安全与环境保护

### 7.1 施 工 安 全

**7.1.1** 施工前，调查、辨识施工现场危险源，进行安全风险评价，采取必要措施进行控制，确保施工安全，这是安全管理的基本要求。

**7.1.3** 覆盖层边坡多松散、架空，若大量水流渗入，易引发滑塌，危及施工安全。因此，要有相应的措施防止大量水流渗入覆盖层内。

**7.1.4** 边坡预应力锚索施工作业一般在施工承重排架（含脚手架）平台上进行。施工排架要根据现场情况和实际载荷进行结构设计，计算纵向（横向）水平杆等受弯构件的强度和连接扣件的抗滑承载力、立杆的稳定性、与坡面连接件的强度、立杆地基承载力。

边坡排架搭设时要严格按构造设计要求设置与坡面连接件以及拉护绷绳（钢绳）等，防止排架向坡外倾翻，危及人员生命和财产安全。

**7.1.5** 在排架上作业时，要合理安排上、下层交错施工，防止竖向上同一截面的施工均布活荷载超过结构设计允许值，危及排架安全。

**7.1.8** 覆盖层边坡承载条件差，预应力锚索张拉时，可能出现锚墩下陷、坡面变形情况，要密切观察，及时采取措施，确保安全。

### 7.2 环 境 保 护

预应力锚固工程施工要结合施工区、生产设施区的特点，有针对性地做好环境保护工作，防止由于工程施工造成施工区及比邻地区的环境污染和破坏。