UDC

中国土木工程学会标准

P T/CCES XX－20XX

**盾构隧道有粘结环向预应力衬砌**

**工程技术规程**

Technical specification for shield tunnel with bounded

circumferential prestressed lining

（征求意见稿）

2016–XX–XX 发布 2016–XX–XX 实施

中国土木工程学会 发布

**中国土木工程学会标准**

**盾构隧道有粘结环向预应力衬砌**

**工程技术规程**

Technical specification for shield tunnel with bounded

circumferential prestressed lining

批准部门：中国土木工程学会

施行日期：201×年×月×日

20xx 北 京

**前 言**

本规程根据《中国土木工程学会<关于发布2015年第一批学会标准编制计划的通知>》（土标[2015]4号文）的要求，由中铁隧道集团有限公司会同有关单位共同编制完成。

标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关标准，并在广泛征求意见的基础上，编制本规程。

本规程主要内容包括总则，术语、符号与参考标准，基本规定，设计，防水、排水施工，内衬混凝土施工，预应力锚索施工，检验与监测和六个附录。

本规程由中国土木工程学负责管理，由中铁隧道集团有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议，请反馈至中铁隧道集团有限公司（地址：河南省洛阳市老城区状元红路3号；邮政编码：471000），以便今后修订时参考。

本规程主编单位：中铁隧道集团有限公司

本规程参编单位：长江勘测规划设计研究有限责任公司

中国水利水电第七工程局成都水电建设工程有限公司

中铁隧道股份有限公司

本规程主要起草人员： 刘招伟 张传健 李正兵 常 翔 高存成

郑清君 李荣智 仲生星 翟俊勇 文小林

本规程主要审查人员：

目 次

[1 总 则 1](#_Toc460572679)

[2 术语、符号与参考标准 2](#_Toc460572680)

[2.1 术 语 2](#_Toc460572681)

[2.2 符 号 3](#_Toc460572682)

[2.3 参考标准 5](#_Toc460572683)

[3 基本规定 6](#_Toc460572684)

[4 设 计 7](#_Toc460572685)

[4.1 一般规定 7](#_Toc460572686)

[4.2 衬砌结构设计 8](#_Toc460572687)

[4.3 锚固系统设计 9](#_Toc460572688)

[4.4 灌浆设计 10](#_Toc460572689)

[4.5 防水与排水设计 11](#_Toc460572690)

[5 防水、排水施工 13](#_Toc460572691)

[5.1 一般规定 13](#_Toc460572692)

[5.2 盾构法隧道外衬防水 13](#_Toc460572693)

[5.3 垫层防、排水 14](#_Toc460572694)

[5.4 内衬接缝防水 15](#_Toc460572695)

[5.5 隧道渗漏水处理 16](#_Toc460572696)

[6 内衬混凝土施工 17](#_Toc460572697)

[6.1 一般规定 17](#_Toc460572698)

[6.2 钢筋制安 17](#_Toc460572699)

[6.3 预埋件安装 19](#_Toc460572700)

[6.4 模板制安 21](#_Toc460572701)

[6.5 混凝土浇筑 22](#_Toc460572702)

[6.6 养 护 25](#_Toc460572703)

[6.7 回填灌浆 25](#_Toc460572704)

[7 预应力锚索施工 27](#_Toc460572705)

[7.1 主要材料与设备 27](#_Toc460572706)

[7.2 穿 索 29](#_Toc460572707)

[7.3 张 拉 30](#_Toc460572708)

[7.4 预留槽回填 31](#_Toc460572709)

[7.5 孔道灌浆 32](#_Toc460572710)

[8 检验与监测 33](#_Toc460572711)

[8.1 一般规定 33](#_Toc460572712)

[8.2 检 验 33](#_Toc460572713)

[8.3 监 测 33](#_Toc460572714)

[附录A 钢绞线力学性能试验 35](#_Toc460572715)

[附录B 预应力钢绞线—锚具组装件静载试验 36](#_Toc460572716)

[附录C 锚具硬度检验 39](#_Toc460572717)

[附录D 张拉机具的配套标定 40](#_Toc460572718)

[附录E 环向预应力伸长值的计算 41](#_Toc460572719)

[附录F 各类附表 43](#_Toc460572720)

[本规程用词说明 54](#_Toc460572721)

[（条文说明） 55](#_Toc460572722)

Contents

[1 General Provisions 1](#_Toc460403473)

2 Terms、Symbols and Reference Standards 2

2.1 Terms 2

2.2 Symbols 3

2.3 Reference Standards 5

[3 Basic Repuirements 6](#_Toc460403478)

[4 Design 7](#_Toc460403479)

[4.1 General Requirements 7](#_Toc460403480)

[4.2 Lining Structure Design 8](#_Toc460403481)

[4.3 Anchoring System Design 10](#_Toc460403482)

[4.4 Grouting Design 10](#_Toc460403483)

[4.5 Waterproof and Drainage Design 11](#_Toc460403484)

[5 Waterproof and Drainage Construction 13](#_Toc460403485)

[5.1 General Requirements 13](#_Toc460403486)

5.2 Methods of Shield Tunnel Lining Waterproofing 13

5.3 Waterproof and Drainage of Mat Layer 14

[5.4 Lining Seams Waterproof 15](#_Toc460403489)

[5.5 Tunnel Seepage Treatment 16](#_Toc460403490)

6 Lined with Concrete Construction 17

6.1 General Requirements 17

6.2 Steel Production and Installation 17

6.3 Embedded Parts Installation 19

6.4 Manufacture and Installation 21

6.5 Concrete Placing 22

[6.6 Curing 25](#_Toc460403497)

[6.7 Backfill Grouting 25](#_Toc460403498)

7 Construction of Prestressed Anchor Rope 27

7.1 Major Materials and Equipment 27

7.2 Anchor Rope Through 29

7.3 Tension 30

[7.4 Backfill of Preformed Groove 31](#_Toc460403503)

7.5 Duct Grouting 32

[8 Inspection and Monitoring 33](#_Toc460403505)

[8.1 General Requirements 33](#_Toc460572712)

[8.2 Inspection 33](#_Toc460403506)

[8.3 Monitoring 33](#_Toc460403507)

[AppendixA Steel Wire Mechanics Performance Test 39](#_Toc460403511)

[AppendixB The static load test of prestressed steel strand - anchorage assembly parts 40](#_Toc460403512)

[AppendixC Anchorage hardness test 43](#_Toc460403513)

[AppendixD Calibration Matching of Tensioning machine 44](#_Toc460403514)

AppendixE Calculation of circumferential prestressed elongation value 45

[AppendixF All kinds of table 47](#_Toc460403516)

[Expanation of Wording in this code 58](#_Toc460403517)1

Addition:Explanation of Provisions

# 1 总 则

**1.0.1** 为了规范盾构隧道内衬有粘结环向预应力结构的设计、施工、检验、监测和验收，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量，制定本规程。

**1.0.2**  本规程适用于有粘结预应力盾构隧道内衬混凝土结构工程。

**1.0.3**  预应力衬砌施工过程中应制订合理施工方案，编制施工组织设计，做好技术交底，并应由预应力专业施工队伍进行施工，严格执行本规程规定的质量检查与验收制度。

**1.0.4** 盾构隧道有粘结环向预应力衬砌设计、施工、检验、监测和验收除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

# 2 术语、符号与参考标准

## 2.1 术 语

**2.1.1**  环锚 circular anchor

可做环向穿束，固定端和张拉端为一体的适用于隧道预应力混凝土衬砌的一种锚固体系。

**2.1.2**  预应力混凝土结构 prestressed concrete structure

配置受力的预应力筋，通过张拉或其他方法建立预应力的混凝土结构。

**2.1.3** 预应力钢绞线 prestillssing 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。

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

预应力钢绞线与锚具装配的受力单元。

**2.1.5**  有粘结预应力筋 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。

**2.1.6** 预留槽 preformed groove

为了放置环锚锚具，在内衬施工过程中事先预留的槽，预应力张拉完成后应予回填。

**2.1.7**  锚具 ancborage

将预应力筋的张拉力传递给被锚固介质的装置。

**2.1.8** 波纹管 bellows

用于混凝土浇筑过程中形成预应力筋孔道的波纹状管。

**2.1.9** 导向帽 guide cap

为达到顺利穿束而安装在锚束顶端的锥形锁紧装置。

**2.1.10** 孤形垫座 Arc pad

为达到槽外张拉而设置的楔形带弧形孔道的连接块组。

**2.1.11** 预应力锚固 prestressed anchorage

通过对预应力筋施加张拉力，使混凝土结构物达到稳定状态或改善其内部应力状况的技术措施。

**2.1.12** 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，确定预应力筋应施加的张拉荷载。

**2.1.13**  超张拉力 extra design tension

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

**2.1.14** 游动量 amount of movement

指环锚锚束张拉时环锚在槽内的移动量。

**2.1.15** 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，所产生的预应力筋的回缩值。

**2.1.16** 有效预应力 effective prestressing

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

**2.1.17**  预应力损失 prestressing loss

预应力筋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。

**2.1.18**  真空灌桨 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。

## 2.2 符 号

**2.2.1**  材料性能

E——预应力钢筋弹性模量；

f′cu——施加预应力时的混凝土立方体抗压强度；

fptk——预应力筋抗拉强度标准值；

**2.2.2**  作用、作用效应及承载力

M——弯矩设计值；

Mk、Mq——按荷载的标准组合、准永久组合计算的弯矩值；

Mcr——受弯构件正截面开裂弯矩值；

Mu——构件正截面受弯承载力设计值

Np——预应力筋及非预应力钢筋的合力；

Npe——预应力筋的总有效预加力；

V——剪力设计值；

Pm ——预应力筋超张拉力；

σcon——预应力筋的张拉控制应力；

Pj——张拉控制力，当超张拉时按超张拉取值；

σl1——锚具变形和预应力筋内缩引起的后张预应力损失值；

σl2——预应力筋的摩擦，包括与孔道壁之间、与张拉端锚口、在转向装置处的摩擦造成的预应力损失值；

σl4——预应力筋的应力松弛造成的预应力损失值；

σl5、σ'l5 ——混凝土的收缩和徐变造成的预应力损失值；

σpc、σ'pc——受拉区、受压区预应力筋合力点处的混凝土法向压应力。

**2.2.3** 几何参数

L——预应力筋长度；

 L ——预应力筋伸长值；

θ——预应力筋从张拉端至计算截面曲线孔道部分切线的夹角之和；

x——张拉端至计算截面的孔道长度；

a ——张拉端锚具变形和预应力筋内缩值。

**2.2.4** 计算系数及其他

n——同束预应力筋的钢丝或钢绞线根数；

k——钢绞线在孔道内偏摆系数；

μ——预应力筋与孔道壁的摩擦系数；

ηa ——锚具效率系数；

ρ、ρ——受拉区、受压区预应力筋和普通钢筋的配筋率；

αp ——预应力筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值。

## 2.3 参考标准

**1** 《建筑结构荷载规范》GB50009

**2**  《[混凝土凝土结构设计规范》GB50010](http://wenku.baidu.com/view/6e4418c6d5bbfd0a7956738d.html?from=search)）

**3** 《烟囱工程施工及验收规范》GB50078

**4**  《地下工程防水技术规范》GB50108）

**5**  《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204

**6**  《铜及铜合金板材》GB/T2040

**7**  《预应力混凝土用钢绞线》GB/T5224

**8**  《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T14370

[**9**  《建设工程项目管理规范](https://www.sogou.com/link?url=DSOYnZeCC_owkDvmYG0gMz-JrNZwwuWK0WrbcFr6B85K36ckka9xxLfW5nxAuzPGoUUujJ-mau-uLaNMGv04nw..&query=GB%2FT50326)》GB/T50326

**10**  《水利水电工程模板施工规范》DL/T5110

**11**  《钢筋机械连接通用技术规程》JGJ 107

**12**  《水工混凝土结构设计规范》SL191

**13**  《水工隧洞设计规范》SL279

**14**  《水工混凝土施工规范》SL677

**15**  《铁路隧道施工规范》TB10204

# 3 基本规定

**3.0.1**  隧道有粘结环向预应力衬砌设计应满足工程的安全和正常使用。根据工程稳定性和结构应力分析，进行衬砌结构、锚固系统、灌浆和防水与排水设计。

**3.0.2** 隧道有粘结环向预应力衬砌设计与施工采用新技术、新工艺、新材料、新设备，应按有关规定进行评审、备案。施工前应对新的或首次采用的施工工艺进行评价，制订专门的施工方案，并经监理单位核准。

**3.0.3**  隧道有粘结环向预应力衬砌工程中施工工艺，设计文件中应明确性能试验或生产性试验要求，以验证选定设计参数的合理性、完善施工工艺。

**3.0.4**  防排水设计与施工应以防、堵为主，实施防、堵、排、截相结合的原则。隧道建筑结构防排水的设计及建筑材料的选择，应充分考虑地区环境的影响。**3.0.5**  隧道有粘结环向预应力衬砌施工应编制施工组织设计，混凝土浇筑、预应力锚索施工应制定专项方案。施工前，应进行技术交底。对施工现场可能发生的危害、灾害与突发事件制订应急预案。应急预案应进行交底和培训，必要时应进行演练。

**3.0.6** 隧道有粘结环向预应力衬砌工程各工序的施工，应在前一道工序质量检查合格后进行。

**3.0.7** 在隧道有粘结环向预应力衬砌施工过程中，对隐蔽工程应进行验收，对重要工序和关键部位应加强质量检查或进行测试，并应做出详细记录，同时宜留存图像资。

**3.0.8** 隧道有粘结环向预应力衬砌施工使用的材料、产品和设备，应符合国家现行有关标准、设计文件和施工方案的规定。

**3.0.9** 材料、半成品和成品进场时，应对其规格、型号、外观和质量证明文件进行检查，并应按国家现行有关标准进行检验。

**3.0.10** 在质量检验、验收中使用的计量器具和检测设备，应经计量检定、校准合格后方可使用。

**3.0.11**  隧道有粘结环向预应力衬砌施工应根据设计要求进行监测，并实施动态设计和信息化施工。

# 4 设 计

## 4.1 一般规定

**4.1.1** 盾构隧道有粘结衬砌结构采用极限状态分析法设计。极限状态分为承载力极限状态和正常使用极限状态两类，计算和验算应符合下列规定：

**1**  对于各种荷载组合均应进行承载力极限状态计算，当有结构抗倾、抗滑和抗浮要求时，应进行稳定性验算；有抗震设防要求的部位尚应进行抗震承载力验算或采取构造设防措施。

**2** 除地震荷载组合可不进行正常使用极限状态验算外，其他荷载组合均应根据使用要求进行正常使用极限状态验算。

**3**  对分期施工或分期投入运行的结构应进行施工和运行各阶段的计算。

**4.1.2** 盾构隧道有粘结衬砌结构应根据所处环境条件满足相应的耐久性要求。隧道各部位（进口段、出口段、洞身埋藏段、洞身外露段等）应据环境条件按表4.1.2 分别确定其环境类别。

表4.1.2 隧道建筑物所处环境类别

|  |  |
| --- | --- |
| 环境类别 | 环境条件 |
| 一 | 有外部结构围护的正常室内环境 |
| 二 | 露天环境；长期处于水下或地下的环境 |
| 三 | 淡水水位变化区；有轻度化学侵蚀性地下水的地下环境；海水水下区 |
| 四 | 海水水位变化区；中度化学侵蚀性环境 |

**4.1.3**  有粘结环向预应力衬砌隧道，除应根据使用条件进行承载力计算及变形、抗裂、裂缝宽度和应力验算外，还应对施工阶段进行验算。

**4.1.4**  有粘结环向预应力衬砌隧道设计时，应按表4.1.2根据环境条件、工作阶段、使用要求，按表4.1.4确定裂缝控制等级：

**1**  一级：严格不出现裂缝的有粘结环向预应力衬砌隧道，按荷载效应标准组合计算时，隧道结构受拉边缘混凝土不应产生拉应力；

**2** 二级：一般要求不出现裂缝的有粘结环向预应力衬砌隧道，按荷载效应标准组合计算时，隧道结构受拉边缘混凝土拉应力不应超过混凝土抗拉强度的标准值。

表4.1.4 裂缝控制等级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 环境类别 | 荷载组合 | |
| 基本荷载组合 | 特殊荷载组合 |
| 一 | 二级 | 二级 |
| 二 | 一级 | 二级 |
| 三 | 一级 | 一级 |
| 四 | 一级 | 一级 |
| 五 | 一级 | 一级 |

## 4.2 衬砌结构设计

**4.2.1** 作用在衬砌上的荷载，按其作用状况可分为永久荷载、可变荷载和偶然荷载三类，各类荷载定义及内容应符合下列规定：

**1** 永久荷载：在结构使用期间，其值不随时间变化，或其变化与平均值相比可以忽略不计，或其变化是单调的并能趋于限值的荷载。包括衬砌自重、围土（岩）压力、预应力、设计条件下的内水压力(包括动水压力)以及稳定渗流情况下的地下水压力等。

**2** 可变荷载：在结构使用期间，其值随时间变化，且其变化与平均值相比不可以忽略不计的荷载。包括施工荷载、灌浆压力以及温度作用等。

**3** 偶然荷载：在结构设计使用年限内不一定出现，而一旦出现其量值很大，且持续时间很短的荷载。如地震荷载。

**4.2.2** 荷载组合和选用应切合实际，针对不同控制工况按承载能力和满足正常使用要求的检验分别进行合理选用，并按最不利组合进行设计。并符合下列要求：

**1**  作为偶然荷载的地震荷载不应与水锤压力、灌浆压力等荷载组合；

**2** 列入组合后的荷载有抵消其他荷载作用时，该荷载应选择较小值。

**4.2.3**  对于内水压力较高的双层衬砌隧道，当需要对内、外衬界面采取充水加压措施，以改善内衬受力条件时，应对充水压力进行充分论证，确保不会恶化外衬受力条件，同时对内、外衬界面采取可靠的充水加压与排气措施。

**4.2.4** 隧道结构设计由整体结构设计、横向结构设计和纵向结构设计三部分组成：

**1** 整体结构设计应包括隧道各段的抗滑稳定、抗浮稳定等。

**2** 横向结构设计应包括：隧道截面内力（或应力）、变形、截面强度（配筋或预应力配索）、裂缝控制、结构稳定性等。

**3** 纵向结构设计内容应包括：输水隧道地基纵向沉降变形、管段伸缩、管段接缝张开度等，对于地基条件复杂或特殊管段应包括纵向内力（或应力）、变形、强度、裂缝控制和结构稳定性等。

**4.2.5**  隧道结构计算一般采用结构力学方法进行，以横向结构计算为主，基于荷载结构模型进行。对于重要隧道必要时，如：地质条件复杂、与其它建筑物交叉、双洞近距离并行、地震工况等则应同时采用有限单元法进行分析计算。

**4.2.6**  对于穿越游荡性河床的隧道、地震区浅埋隧道、地形条件复杂隧道、地基纵向变形参数差别较大的隧道，应进行专门的纵向结构分析计算。

**4.2.7**  软土地基上的隧道纵向地基沉降变形，一般可采用分层总和法进行计算，必要时应采用非线性有限单元法进行对比分析；岩石地基上的输水隧道纵向变形应采用有限单元法进行纵向分析，重点分析地质缺陷部位和相邻隧道段岩性变化较大部位。

**4.2.8** 内衬应设置垂直隧洞轴线的环向永久伸缩缝或沉降缝，应为贯通缝，缝内设止水，缝间隔应根据温度荷载、地质条件和围土（岩）性状而定，但应为管片宽度的倍数，其最大间隔软基中不宜超过20m，岩基中不宜超过15m。

**4.2.9** 对于与始发竖井或与到达竖井邻接的洞段，以及地层性状有突变的洞段，环缝应按管片宽度的倍数逐渐加密。

**4.2.10** 当隧道内衬与外衬按单独受力结构设计时，在界面上敷设的弹性垫层应表面平顺、平整、牢固、无气囊、无破损、不鼓包、不下垂、接长不留空隙；同时应配套采取能排放内衬与外衬界面渗漏水的措施。

**4.2.11**  当输水隧道内衬与外衬为联合受力结构时，应采取如下构造措施：

**1** 外衬以及其手孔的内表面均应充分凿毛。

**2** 手孔预埋插筋，其中伸入内衬的直线段长不宜小于10倍内衬拉筋的直径，为满足锚固长度要求，伸入内衬的插筋应按直弯钩弯折。

**3** 回填手孔的混凝土强度等级不宜小于内衬混凝土强度等级。对于腰线以上手孔可采用快硬微膨胀混凝土回填，腰线以下手孔可与内衬一起现浇混凝土。

## 4.3 锚固系统设计

**4.3.1**  环向预应力混凝土衬砌，应将锚束施加的预应力值作为荷载之一，按结构力学方法进行结构内力及应力分析，必要时还应通过有限元计算或模型试验加以复核。

**4.3.2**  环向预应力混凝土衬砌，锚束与孔道管摩擦引起的预应力损失可按现行《混凝土结构设计规范》GB50010有关规定计算。

**4.3.3**  锚束材料应使用低松弛有粘结预应力钢绞线。设计时，钢绞线强度利用系数不宜大于0.75。

**4.3.4** 预应力锚束宜布置在靠近混凝土衬砌外缘。每断面宜采用整环锚束的布置方案。环形锚束间距应由计算确定，一般不宜大于500mm。

**4.3.5**  采用环锚锚具，环锚锚具应满足现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GBT14370的要求。每环锚束的预留槽宜错开布置。

**4.3.6**  预留槽及穿束孔道的位置与线型应准确，绑扎牢固，接头密封、平顺，严防漏浆。

**4.3.7**  环向预应力衬砌混凝土的强度等级不宜低于C40。当衬砌混凝土达到设计强度等级的75％时，方可进行环形锚束的张拉。

**4.3.8** 为使衬砌形成均匀的预压应力，应采用分序分级张拉方式，分序分级方式应以张拉过程中结构纵向拉应力不超过混凝土抗拉强度经计算分析确定。

**4.3.9**  环形锚束张拉完成后，应立即对孔道进行回填灌浆，对预留槽回填混凝土。回填材料宜具有微膨胀特性。

## 4.4 灌浆设计

**4.4.1**  内衬混凝土浇筑完成，混凝土强度达到70%设计强度以上后，应对顶拱进行回填灌浆。

**4.4.2**  回填灌浆的范围宜在顶拱中心角90°～120°以内，孔距和排距宜为2m左右，灌浆压力可采用0.2MPa～0.3MPa。

**4.4.3** 回填灌浆形成的水泥结石应饱满、密实，满足设计要求。

**4.4.4**  预应力张拉完成，应对预应力束孔道进行灌浆，孔道灌浆宜采用真空灌浆，排气管宜设置在孔道的最高点。

**4.4.5** 孔道灌浆前先回填预留槽，回填混凝土强度等级应与衬砌圈混凝土相同，宜掺适量对锚束无害的膨胀剂。

**4.4.6**  孔道灌浆用水泥浆的水灰比不应大于0.45，浆液搅拌3小时后，泌水率不宜大于2%，且不应不应大于3%，泌水应能在24h内全部重新被水泥浆吸收。浆体抗压强度不低于35MPa。

**4.4.7** 灌浆采用普通硅酸盐水泥，级别不低于42.5级，要求无结块，细度宜为通过80μm方孔筛的筛余量不大于5%。

## 4.5 防水与排水设计

**4.5.1** 应根据隧道沿线的工程、水文地质条件和环保要求、隧道衬砌的设计条件、运行要求，通过技术经济比较确定隧道的防水和排水设计。

隧道的防水和排水设计宜遵照“防、排、截、堵结合，因地制宜，综合治理”的原则，选择单独或综合处理措施。

**4.5.2**  隧道防、排水设计应根据工程特点及勘测资料进行，其设计内容应包括：

**1** 防水标准和设防要求；

**2** 防水混凝土抗渗等级；

**3** 防水层选用的材料及其技术指标；

**4** 工程细部构造的防水措施，选用的材料及其技术指标；

**5** 工程结构的防水系统，各种洞口工程防排水系统；洞身局部地段地表堵水、截水、排水系统。

**4.5.3** 隧道防水应以混凝土自防水为主体，以施工缝、变形缝防水为重点，并辅以注浆防水和防水层加强防水，满足结构使用功能。

**4.5.4** 隧道防水措施应符合下列规定：

**1** 隧道衬砌防水应充分利用混凝土结构的自防水能力，其抗渗等级应按照现行《水工混凝土结构设计规范》SL 191的有关规定选取。在有冻害地段或最冷月平均气温低于-15℃的地区，防水混凝土的抗渗等级还应适当提高。

**2** 防水混凝土结构的厚度不应小于30cm，裂缝宽度不得大于0.2mm，并不得贯通；迎水面主筋保护层厚度不宜小于5cm。

**3** 隧道施工缝应采用可靠的防水措施，变形缝应采用中埋式止水带加其它一至二种可靠的复合防水措施。

**4.5.5**  对于内衬与外衬单独受力的双层衬砌结构，在内衬与外衬界面应配套完善的渗漏水排放系统，并应符合下列要求：

**1** 在内衬与外衬分界面上，对应内衬分缝处应布置环向排水花管，用于收集界面的渗漏水，并就近排入内衬底部的排水总管。

**2** 在界面敷设弹性垫层时，采用的续长工艺，应不影响垫层沿纵向和沿环向的排水功能，所收集到的渗漏水应通过埋管就近排入排水总管。

**3** 当采用水泵抽排时，不宜与排空隧道积水共用同一套水泵排放渗漏水。

**4.5.6** 混凝土浇筑和回填灌浆时，应考虑防止渗漏水排放系统淤堵的措施。

# 5 防水、排水施工

## 5.1 一般规定

**5.1.1**  盾构法施工的隧道防排水应采取以防为主、防排结合的综合治理措施。

**5.1.2**  隧道内衬防水以内衬混凝土自防水为主，附以施工接缝防水。内衬和外衬间排水垫层、外衬结构施工缝排水花管施工与安装应符合设计要求。

**5.1.3** 隧道外衬和内衬防水应单独验收，防渗施工应符合设计要求。对渗漏点均要查明原因后，及时进行处理，处理后不得发生渗漏，以满足隧道安全运行要求。

## 5.2 盾构法隧道外衬防水

**5.2.1** 管片接缝防水密封的构造形式、截面尺寸和材料性能应符合设计要求，接缝密封防水施工验收合格后方可进行封闭施工。

**5.2.2**  外衬管片接缝螺栓孔应根据设计图纸要求进行防水处理。螺栓与垫圈之间、螺栓与螺孔之间的间隙应按图纸规定的材料制成环状垫圈垫于管片螺孔上，螺栓紧固力应达到设计要求。

**5.2.3**  管片接缝防水密封条（垫）粘贴前应对预留槽用钢丝刷、毛刷去除浮灰、油污等杂物，做好面层清理；防水密封条（垫）也必须擦净油、灰，以保证密封条（垫）与管片粘贴紧密可靠。

**5.2.4** 防水密封条（垫）粘贴按照管片型号套上相应的防水密封条（垫），严禁使用尺寸不符合要求及有质量缺陷的产品。

**5.2.5** 按设计在管片角隅处加贴自粘性橡胶薄片时，应不漏贴。自粘性橡胶薄片的厚度和长度按设计图纸严格控制，以免产生局部应力集中和影响槽内防水密封条（垫）的防水效果。

**5.2.6** 防水密封条（垫）应粘贴平整，不得有鼓起、超长和短缺现象。气温较低时，密封条（垫）粘贴前需经预热处理。

**5.2.7** 沉降缝、柔性接头等管片接缝防水处理应按设计图纸要求实施。

**5.2.8**  粘贴防水密封条（垫）后的管片堆放，应设置防雨措施。

**5.2.9** 管片在拼装前应逐块检查各拼装面上的防水材料是否完整无缺，位置是否正确，发现问题应及时修补。管片拼装时不得发生脱槽、扭曲等损坏防水材料的现象发生。封闭块拼装时应保持足够的封口尺寸，不得使防水密封条（垫）擦坏、变形。

## 5.3 垫层防、排水

**5.3.1** 复合土工布垫层材料应符合设计或规范要求，幅宽应符合设计施工要求，土工布应与格栅粘结应紧密，确保垫层整体敷设时各层不会分离。格栅为内衬渗水排水层，应具有良好的排水性能，垫层材料分批进场，每批除应有质量合格证书外，还须作外观检查，并须抽样作防水和透水性能检查。

**5.3.2** 垫层敷设应符合下列要求：

**1**  当采用粘胶将垫粘贴层在外衬管片时，粘胶不得满涂和整环状涂抹，不得堵塞外层土工布排水层的排水通道。

**2**  垫层分块铺设时，搭接处格栅应连续，不得断开；环状集水管宜采用复合土工布包裹。

**3** 敷设应平顺、表面平整、牢固、无气囊、无破损、不下垂、不鼓包，不应有空隙。

**4** 垫层敷设后，钢筋施工焊接作业不得烧坏垫层土工布，混凝土施工时拌合物不得撕裂损坏垫层，衬钢筋架设、观测仪器埋设等不得刮破垫层或导致垫层脱落。

**5.3.3**  垫层接长的拼接头应应符合下列要求：

**1**  垫层沿隧洞轴向应连续铺设。

**2**  垫层接头宽度不应小于10cm。

**3** 垫层的各层土工布和格栅应采用热焊连接，确保接缝完整，连接宽度不小于10cm。

**4**  接头不得堵塞外层土工布、格栅和内层土工布的排水通道。

**5.3.4** 垫层接长应按设计图纸要求的工艺实施，严防接头出现部分脱空，发致留下内、外渗水串漏的隐患。

**5.3.5** 安全监测电缆、导线穿过土工垫层时，应与所穿孔洞周边密封，不得有内、外衬渗水串漏现象。

**5.3.6** 排水管的连接排水管布置及与垫层连接施工应符合设计要求。

**5.3.7**  垫层粘贴完毕，经验收合格后，方可转入下一工序施工。

**5.3.8**  垫层破损或脱落属质量事故，应按设计要求的工艺进行处理，并经验收合格后，方可继续施工。

## 5.4 内衬接缝防水

**5.4.1** 内衬结构缝采取三重止水,由外向里,顺序为紫铜止水片、遇水膨胀橡胶止水条、聚硫密封胶封口，填缝材料为聚苯乙稀泡沫塑料板。内衬接缝防水施工应符合下列要求：

**1**  施工前应进行密封材料粘结试验。

**2** 施工缝面应清理与干燥。

**3**  预埋在先浇段的止水铜片，不得扭曲、歪斜；止水铜片表面应洁净，不得粘有油污或水泥砂浆。

**4** 遇水膨胀橡胶止水条应涂刷专用的缓胀剂防潮、防雨，并有人专门管理。

**5** 安装遇水膨胀橡胶止水条可采用粘结或射钉固定，粘贴一定牢靠，不得有空鼓现象；遇水膨胀橡胶止水条及安装界面应采用氯丁胶乳水泥砂浆涂刷。

**6**  粘贴填缝板应保留接缝内侧缝口。

**7**  后浇段混凝土浇筑拆模后，应对内侧缝口采用聚硫密封胶封口。

**5.4.2** 止水铜片应按设计要求成型，采用焊接方法接长；在先浇段安装时，埋设位置应准确，固定牢靠，混凝土浇筑时不得移位或变形。

**5.4.3** 遇水膨胀橡胶止水条可采用热接法粘合，操作人员应经专业培训。

**5.4.4**  聚硫密封胶封口施工前应合理选用专用工具，以保证封口施工质量；当采用挤出枪施工时，应根据接缝的宽度选用口径合适的挤出嘴，均匀嵌填，不得污染结构缝周边混凝土表面。

**5.4.5** 填缝板应双面满涂沥青粘贴在先浇段缝面上，施工期间不得脱落或鼓起。

**5.4.6** 对内衬每条结构施工缝的止水性能均应采用水压检查，压力应符合设计要求，对于检查发现有渗漏的接缝应进行处理。

**5.4.7** 对于隧洞内的回填灌浆孔、排气孔等应采用干硬水泥砂浆或环氧类砂浆回填，孔口不得有漏水现象；对预留槽回填，宜采用具有膨胀性能的混凝土，膨胀性混凝土性能指标应符合设计要求。

## 5.5 隧道渗漏水处理

**5.5.1**  在渗漏状态下，必须把大面积渗漏变成小面积渗漏或线漏，线漏变点漏；必要时，可考虑采取降水措施，然后再进行治理。

**5.5.2**  对于混凝土表面轻微渗水，可采用表面涂抹防水材料处理；对于集中渗漏部位，当漏水量较小、水压较低、孔眼较小时，可采用直接快速堵漏法，先用速凝材料堵漏，再用嵌缝密封材料封填；当漏水量较大时应考虑先引流，再封堵，待封堵材料达到设计强度后，再将排水孔封闭。

**5.5.3**  内衬混凝土出现严重渗漏时，宜采用凿除方法处理；若采用二次注浆处理，浆液不得堵塞排水垫层；渗漏处理完毕后，应作压水检查。

**5.5.4**  外衬接缝出现严重渗漏时，可采取衬外注浆、嵌填遇水膨胀止水条或其它密封材料处理措施。表面封闭处理可采用柔性防水材料，材料性能应符合设计要求。

# 6 内衬混凝土施工

## 6.1 一般规定

**6.1.1** 对于承受内压的隧道，内衬混凝土宜一次浇筑成型，减少施工接缝。

**6.1.2**  对有粘接预应力混凝土施工，施工前应进行详细的设计交底，合理组织钢筋布设和孔道预埋（预埋波纹管、注浆管、排气孔等），并开展工艺性试验，了解设计意图，掌握施工顺序。

**6.1.3**  水工混凝土配合比设计应满足设计文件和相应施工技术规范中有关混凝土的耐久性、抗渗性、强度、抗裂性等要求，同时应满足混凝土施工强度保证率、均质性指标及和易性要求。在满足和易性的条件下应减少混凝土用水量。

## 6.2 钢筋制安

**6.2.1**  钢筋加工应符合下列要求：

**1**  钢筋的表面应洁净，使用前应将表面油渍、漆污、锈皮、鳞锈等清除干净；

**2**  钢筋应平直，无局部弯折，钢筋中心线同直线的偏差不应超过其全长的1％；

**3**  钢筋调直宜采用机械调直或冷拉方法调直，钢筋调直后其表面不应有可见的伤痕。采用冷拉方法调直钢筋时，矫直冷拉率不得大于1％。

**4** 钢筋切割和弯折加工要符合国家现行行业标准《水工混凝土施工规范》SL677的规定。

**5**  切割和弯曲钢筋可在工厂或现场进行。弯曲应采用批准的标准方法和批准的机具来完成。不得采用加热弯曲。图纸上没有标明但已被弯曲或扭弯的钢筋不得使用。

**6.2.2** 钢筋安装应符合下列要求：

**1** 钢筋的安装位置、间距、保护层及各部分钢筋的大小尺寸，均应符合施工详图及设计文件的规定。

**2** 现场焊接或绑扎的钢筋网，其钢筋交叉的连接，应按设计文件的规定进行。现场焊接或绑扎钢筋应防止损伤垫层及土工布，垫层损伤后应立即进行修补，并经验收合格后方可继续进行。

**3**  钢筋保护层按施工详图要求布置与预留。混凝土预埋垫块强度不得低于衬砌设计强度。垫块埋设可采用铁丝并与钢筋扎紧，并应分散布置，互相错开。多排钢筋之间，应用短钢筋支撑以保证位置准确。

**4** 安装后的钢筋结构应有足够的刚性和稳定性。预先绑扎和焊接的钢筋网及钢筋骨架，在运输和安装过程中应采取措施，避免变形、开焊及松脱。

**5** 在钢筋架设安装后，应妥加保护，避免发生错动和变形，并应进行钢筋安装检查，合格后方可进行混凝土施工。

**6** 在混凝土浇筑过程中，应检查钢筋架立位置，如发生变动应及时矫正。严禁为方便混凝土浇筑擅自移动或割除钢筋。

**6.2.3**  钢筋接头加工应符合下列要求：

**1**  钢筋的接头应满足设计要求，并且符合现行《水工混凝土施工规范》SL677和《水工混凝土结构设计规范》中有关要求。钢筋焊接处的屈服强度应为钢筋屈服强度的1.25倍。

**2** 钢筋直径在28mm以下时，现场焊接可采用手工电弧焊(搭接)；直径在28mm以上时，可采用机械连接法(接驳器或挤压套筒连接等)。

采用机械连接时所使用的连接材料、工艺、规格及连接方法等应报批，并进行接头工艺试验。机械连接接头的设计、应用与验收应遵守现行国家行业标准《钢筋机械连接通用技术规程》JGJ107的规定。

**3**  焊接钢筋的接头，应将施焊范围内的浮锈、漆污、油渍等清除干净。

**4** 在负温下焊接钢筋时，应有防风、防雪措施。手工电弧焊应选用优质焊条，接头焊毕后应避免立即接触冰、雪。雨天干地露天焊接，应有可靠的防雨和安全措施。

**5** 焊接钢筋的工人应持证上岗。

**6** 钢筋接头应分散布置。配置在“同一截面内”的受力钢筋，其接头的截面面积不超过断面总面积的50％。

**6.2.4** 钢筋加工允许偏差应符合设计要求，如无规定时，钢筋加工允许偏差应符合表6.2.4的规定。

表6.2.4 加工后钢筋的允许偏差

|  |  |
| --- | --- |
| 偏差项目 | 允许偏差值 |
| 受力钢筋全长净尺寸的偏差 | ±10mm |
| 箍筋各部分长度的偏差 | ±5mm |
| 钢筋弯起点位置的偏差 | ±20mm |
| 钢筋转角的偏差 | 3° |

**6.2.5** 钢筋安装允许偏差应符合设计要求，如无规定时，钢筋加工允许偏差应符合表6.2.5的规定。

表6.2.5 钢筋安装的允许偏差

|  |  |
| --- | --- |
| 偏差项目 | 允许偏差 |
| 钢筋长度方向的偏差 | ±1/2净保护层厚 |
| 同一排中钢筋间距的偏差 | ±0.1间距 |
| 双排钢筋，其排与排间距的局部偏差 | ±0.1排距 |
| 钢箍间距的偏差 | 0.1箍筋间距 |
| 保护层厚度的局部偏差 | ±1/4净保护层厚 |

## 6.3 预埋件安装

**6.3.1** 伸缩缝的位置、间距、结构设施的材料、安装和埋设，应符合设计要求，固定止水的金属埋件不得穿过伸缩缝，并应遵照现行《水工混凝土施工规范》SL677的规定执行。

**6.3.2**  波纹管预埋安装应符合下列要求：

**1** 预应力筋管道的尺寸与安装位置应正确，定位后的管道应平顺，锚垫板应垂直于管道中心线。管道和接头应有足够的密封性，以确保浇筑时不渗漏和抽真空时不漏气。

**2**  波纹管安装，待底网钢筋及侧向钢筋绑扎好以后进行，应按图纸上每个管道位置正确安装，允许偏差为5mm。安装时，用定位钢筋将波纹管固定在分布钢筋上。定位钢筋与分布钢筋焊接，将波纹管上的控制环与定位钢筋焊接牢固，防止波纹管位置偏移或上浮。安装中，波纹管接长应采用专用波纹管接头，在搭接处外缘应用密封胶布缠紧。

**3**  波纹管道接头处的连接管宜采用大一个直径级别的同类管道，其长度宜为被连接管道内径的 5～7倍。连接时应不使接头处产生角度变化及在混凝土浇筑期间发生管道的转动或移位，并应缠裹紧密防止水泥浆的渗入。

**4** 塑料波纹管应采用专用焊接机进行热熔焊接或采用具有密封性能的塑料连接器连接。

**5**  当波纹管安装就位之后，应采取保护措施，防止水或其它杂物进入管道，保持管道位置、形状及外观。在电气焊操作时，严禁电气火花触及波纹管，焊渣不得堆落在波纹管表面。

**6** 浇筑混凝土时，混凝土料入仓不得直接冲击波纹管，振捣混凝土时不得冲击管道及锚具，同时要严防波纹管及锚具周边漏振。预应力混凝土结构内部的波纹管及锚具周边的混凝土应密实。

**7** 预埋套管安装完成后应进行质量检查，检查内容如下：

**1）**管口坐标位置的偏差、管轴局部偏差。

**2）**管道长度、管道直径。

**3）**管道畅通性、有无积水。

**6.3.3** 锚垫板安装应符合下列要求：

**1** 波纹管安装锚垫板时，波纹管与锚垫板的搭接长度不得小于30mm，搭接处外缘应用胶布缠紧，并用软钢丝绑扎在固定的锚垫板上。

**2** 在安装前应将螺旋筋套入，安装锚具后，螺旋筋紧贴锚垫板固定在钢筋上，锚垫板的管道出口端应与波纹管中心线垂直、同轴，端面的倾角均应符合设计要求，设计未规定时，同轴偏差不大于 2mm，锚具槽底面倾斜不得超过 0.5°。

**6.3.4** 伸缩缝止水材料施工应符合下列要求：

**1**  伸缩缝止水材料的尺寸及品种规格等，应符合设计要求。

**2** 当采用紫铜止水片时，紫铜片应作冷弯试验，180°时无裂缝，冷弯 0～60°时，连续张闭50次无裂缝，紫铜止水片的物理力学性能应符合表6.3.4的规定。

表6.3.4 紫铜止水片物理力学指标表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 材料名称 | 容重(kN/m3) | 抗拉极限(MPa) | 极限伸长率(％) | 熔点(℃) |
| 紫铜片 | 89 | >196 | 32 | 1083 |

**3**  金属止水铜片的厚度及宽度应满足设计要求，材料性能应符合现行《铜及铜合金板材》GB/T2040中规定的 T2(或T3)冷轧软纯铜板的要求。止水铜片表面应光滑平整，并有光泽，其浮皮、锈污、油漆、油渣均应清除干净，如有砂眼、钉孔，应予焊补，如有撕裂，应采用与翼缘等宽的母体材料进行单面搭接焊(如有条件时可进行双面搭接焊)，搭接长度不小于100mm，且四周接触面均须满焊。

**6.3.5** 伸缩缝止水片的安装应符合下列要求：

**1** 止水片应按设计位置跨缝对中进行安装，并用托架、卡具定位，确保在混凝土浇筑过程中不产生变形或位移。不得有拉筋、钢筋或其它钢结构与止水片相碰接。

**2** 止水铜片的衔接应按其不同厚度分别根据设计详图的规定，采取折叠、咬接或搭接，搭接长度不应小于 20cm，咬接或搭接应采取双面焊。

**3** 止水铜片的“十”字接头和“T”字形接头应由厂家按设计尺寸提供成型产品，确需在现场加工时，应严格控制焊接质量。

**4**  已埋入先浇混凝土块体内的止水片，应采取措施防止其变形移位和撕裂破坏，止水片伸出先浇块表面应不少于设计允许尺寸。在浇筑混凝土时，应清除止水片周围混凝土料中的大粒径骨料，并确保混凝土浇捣质量。

**5** 止水铜片的凹槽部位应用沥青麻丝填实，安装时应严格保证凹槽部位与伸缩缝位置一致，骑缝布置。埋入混凝土的两翼部分应与混凝土紧密结合，浇筑止水片附近混凝土时应辅以人工振捣密实，严禁混凝土出现蜂窝、止水片翻折等。

## 6.4 模板制安

**6.4.1** 模板安装前应对模板的强度和刚度进行检核计算，模板的结构应满足结构物的体形、构造、尺寸以及混凝土浇筑分层分块的要求，模板制作精度应满足设计要求和《水工混凝土施工规范》SL677要求。

**6.4.2** 模板设计应满足混凝土的浇筑顺序、浇筑速度、浇筑方式、施工荷载等施工措施控制要求。

**6.4.3** 模板制作应符合下列规定：

**1** 保证混凝土结构和构件各部分设计形状，尺寸和相互位置正确，具有足够的强度、刚度和稳定性，能可靠地承受隧道施工（本规程规定）的各项施工荷载，并保证变形在允许范围内。

**2**  面板板面平整、光洁、拼缝密合、不漏浆。

**3**  安装和拆卸方便、安全，标准化、系列化，并能多次使用。

**6.4.4** 隧道衬砌宜选用模板台车，圆形断面的隧道衬砌宜选用针梁模板等全断面模板台车。模板台车可根据施工需要设置附着式振动器。

**6.4.5** 移动模板在结构上应有足够的强度、刚度和稳定性，应配置有左右调节和移动走行装置，移动设备宜采用液压设备、卷扬机等。

**6.4.6** 移动模板采用的液压设备时应密封、不漏油，以避免污染钢筋和混凝土。

**6.4.7** 模板台车应有导向装置，配套轨道、针梁等设施应齐备。其安装允许偏差应与相应的模板安装允许偏差相同。

**6.4.8** 采用模板台车进行隧道混凝土衬砌，顶拱混凝土浇筑宜采用封拱器。

**6.4.9** 拆除模板台车时应符合下列要求：

**1** 直立面混凝土的强度不得小于0.8MPa。

**2**  围岩收敛后施作的混凝土，在拆模时混凝土能承受自重，并且表面和棱角不被损坏，洞径不大于10m的隧道顶拱混凝土强度达到5MPa时可折模，洞径大于10m的隧道顶拱混凝土需要达到折模的强度，应经过专门试验后确定。

**3**  当隧道混凝土衬砌结构承受围岩压力时，应经过计算和试验，确定混凝土需要达到的强度。

## 6.5 混凝土浇筑

**6.5.1** 选用的混凝土运输设备和运输能力，应与拌和、浇筑能力、仓面具体情况及钢筋、模板吊运的需要相适应。运输过程中转料及卸料时混凝土最大自由下落高度应控制在2m以内。混凝土运输应符合下列要求：

**1** 混凝土运输应连续、均衡、快速，运输过程中混凝土不得有骨料分离、漏浆、严重泌水、干燥以及坍落度过大变化现象，夏季运输设备应有遮阳设施。混凝土在运输过程中严禁加水。

**2** 采用混凝土泵运送混凝土时，应遵循现行《水工混凝土施工规范》SL677中的有关规定，泵送混凝土应连续，如因故中断时，应采取措施避免导管堵塞。在正常温度下，如间歇时间过久（超过45min)，应将留在导管内的混凝土排除，并加以清洗。

**3** 起重机吊运混凝土应根据浇筑仓面面积选用容积为1.5m3或3m3吊罐，生产率应满足允许混凝土暴露时间要求。卸料时混凝土自由下落高度不得大于2m。

**4** 采用其他机具运送混凝土时，应遵循《水工混凝土施工规范》SL677中的有关规定。当在竖井段运输采用真空溜筒时，应进行现场试验，确保不会出现影响混凝土质量的离析、堵管等现象，并经监理批准后方可采用。

**6.5.2** 混凝土浇筑应符合下列要求：

**1**  混凝土的浇筑应遵循现行《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204、《水工混凝土施工规范》SL677中的有关规定。

**2** 混凝土拌和站每班应检查各种原材料配合比。拌和时间应符合要求，每班应抽样检查。每一盘混凝土应抽样测定砂浆容量，其差值应不大于30kg/m3，用水洗分析法测定粗骨料在混凝土中所占的百分比，其差值不应大于10%。

**3** 混凝土入仓前应检查坍落度，在取样成型时，应同时测定坍落度，其值应在允许偏差范围内。

**4** 掺用引气剂的混凝土，每班应检查含气量，其变化范围应控制在±0.5%以内。

**5** 现场混凝土质量检验以抗压强度为主，每一浇筑块内同一强度等级混凝土试件的数量应符合设计及相应规范要求。

**6** 基岩面的浇筑仓和老混凝土上的迎水面浇筑仓，在浇筑第一层混凝土前，应先铺设一层2—3厘米的水泥砂浆；其他仓面若不铺水泥砂浆，应有专门论证。砂浆的水灰比应较混凝土的水灰比减少0.03—0.05。

**7**  混凝土的浇筑层厚度，应根据拌和能力、运输距离、浇筑速度、气温及振捣器的性能等因素确定。浇筑层的最大允许厚度，不应超过表6.5.2规定的数值；如采用低流态混凝土及大型强力振捣设备时，其浇筑层厚度应根据试验确定。

表6.5.2 混凝土浇筑最大厚度

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项次 | 振捣器类型 | | 浇筑层的最大允许厚度 |
| 1 | 插入式 | 电动、风动振捣器 | 振捣器工作长度的0.8倍 |
| 软轴振捣器 | 振捣器工作长度的1.25倍 |
| 2 | 表面振捣器 | 在无筋和单层钢筋结构中 | 250mm |
| 在双层结构钢筋中 | 120mm |

**8** 浇入仓内的混凝土应随浇随平仓，不得堆积。仓内若有粗骨料堆叠时，应均匀地分布于砂浆较多处，但不得用水泥砂浆覆盖，以免造成内部蜂窝。在倾斜面上浇筑混凝土时，应从低处开始浇筑，浇筑面应保持水平。

**9** 混凝土浇筑应保持连续性，如因故中止且超过允许间歇时间，则应按工作缝处理，若能重塑者，仍可继续浇筑混凝土。浇筑混凝土的允许间歇时间（自出料时算起到覆盖上层混凝土时为止）可通过试验确定。

**10**  混凝土浇筑过程中应注意观测模板上浮、变形情况，控制泵送压力，防止压力过大造成模板变形或跑模。

**6.5.3**  温度控制应符合下列要求：

**1** 在满足施工图纸要求的混凝土强度、耐久性和和易性的前提下，宜减少单位水泥用量。

**2** 高温季节施工时，混凝土最高浇筑温度不得超过28℃；低温季节施工时，混凝土的浇筑温度不低于5℃。

**3**  混凝土冬季施工措施应遵守现行《水工混凝土施工规范》SL677有关规定。

**6.5.4**  施工缝处理应符合下列要求：

**1** 本条的施工缝指正常分序施工，先浇混凝土暂停的浇筑面。

**2** 对施工缝面应使用压力水、风砂枪或人工打毛等加工成毛面，清除缝面上所有浮浆、松散物料及污染体，以露出粗砂粒或小石为准，但不得损伤内部骨料。

**3** 施工缝面冲毛、打毛后，应清洗干净，保持清洁、湿润，在浇筑上一层混凝土前，将层面松散物及积水清除干净后，均匀铺设一层厚2～3cm的水泥砂浆。砂浆等级应比同部位混凝土等级高一级，每次铺设砂浆的面积应与浇筑强度相适应，经铺设砂浆后30min内被混凝土覆盖为限。

**4** 按设计图纸要求，加设止水措施。

**6.5.5** 施工冷缝处理应符合下列要求：

**1** 本条的冷缝指混凝土浇筑过程中，因故中止或延误、超过允许间歇时间的浇筑缝面。

**2** 在浇筑上一层混凝土前，将层面松散物及积水清除干净后，均匀铺设一层厚2～3cm的水泥砂浆，其等级应比同部位混凝土等级高一级，其后以30min内被混凝土覆盖为限。

**3** 拆模后，经检查确认为混凝土缺陷时，按设计要求或有关规范处理。

## 6.6 养 护

**6.6.1** 混凝土养护时间要按照设计要求执行，不宜少于14d，对重要部位和利用后期强度的混凝土以及有特殊要求的部位应延长养护时间。

**6.6.2** 混凝土养护可用洒水方式养护，养护要连续进行。采用养护剂养护时养护剂性能应符合国家现行行业标准JC901的有关规定。

## 6.7 回填灌浆

**6.7.1** 灌浆施工准备应符合下列要求：

**1** 灌浆用的水泥强度级别不应低于42.5级，细度宜为通过80μm的方孔筛的筛余量不大于5%。

**2**  内衬混凝土浇筑前，应预埋灌浆管，埋管应避让钢筋，但孔位偏差不得大于20cm；对埋管应妥加保护，防止污物进入。

**3** 每一衬砌段为一灌浆单元，其端部应在混凝土施工时封堵严实。

**4** 按设计图纸要求在接缝两侧的内衬分段端部，粘贴腻子型水膨胀橡胶条，严防因回填灌浆淤堵接缝渗水集水管。

**5** 回填灌浆应在衬砌混凝土达到70%设计强度以上后进行。

**6** 灌浆前就对衬砌混凝土的施工缝和混凝土缺陷等进行全面检查，把可能漏浆的部位先进行处理。

**6.7.2** 灌浆施工应符合下列要求：

**1** 灌浆前应清理预埋管，并防止损伤垫层土工布，如发现损伤土工布应及时修补，并经验收合格，防止浆液直接进入垫层。

**2** 灌浆时应按设计图纸的灌浆次序，先外后内的分序加密方式，采用“赶灌法”进行；每个灌浆孔依次安设排浆孔和进浆孔（第一个灌浆孔除外)。

**3** 各灌浆单元Ⅱ序孔灌浆必须在Ⅰ序孔灌浆完成后进行，间隔时间不得小于48小时。

**4** 灌浆时应密切监视内衬混凝土的变形，若有异常，及时记录和处理。

**5** 采用纯压式灌浆。灌浆压力：Ⅰ序孔采用0.1～0.2MPa，Ⅱ序孔采用0.2～0.3MPa。

**6** 浆液的水灰比宜为0.6或0.5。空隙大的部位应灌注水泥基混合浆液或回填高流态混凝土，使用水泥砂浆时，参砂量不宜大于水泥重量的200%。

**7** 在规定的设计压力下，灌浆孔停止吸浆（无排水垫层）或小于1L/min（有排水垫层），延续灌注10min，即可结束灌浆。

**8** 回填灌浆中应通过监测孔密切观察底部排水管，一旦发现排水管漏浆应立即停止灌浆，检查垫层是否漏浆并采取可靠措施防止浆液进入垫层。

**9** 回填灌浆因故中断时，应尽早恢复灌注，如中断时间超过30min，应将原注浆孔深度后恢复灌浆，若灌浆孔不吸浆则应重新钻孔进行灌注。

**10** 灌浆孔灌浆结束后应使用干硬性水泥砂浆或环氧砂浆封填密实，孔口压抹齐平。露出衬砌混凝土表面的埋管应割除。

**11** 回填灌浆检查应在该灌浆单元结束后7天后进行，采用钻孔或预留灌浆管检查，检查孔按设计图纸布置，孔数不小于总灌浆孔数的5%。

# 7 预应力锚索施工

## 7.1 主要材料与设备

**7.1.1**  环向预应力使用的钢绞线，应符合下列规定：

**1**  预应力钢绞线应采用无涂层高强低松弛标准型，其强度级别不低于1860MPa,钢绞线中每根钢丝应是通长无接头。

**2**  进场钢绞线的外观应按下列要求进行检验：外包装完整，表面无油污、锈蚀、毛刺、损伤；直径偏差±0.15mm；标准型钢绞线捻距为直径的12～16倍；伸直性能良好、无散头；外观检验合格后方能入库，并作详细记录。

**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；钢绞线的力学性能应符合现行GB/T5224的规定；钢绞线在起吊、运输、储存过程中应加以保护，不得冲撞、不应受损、并有防雨、防晒、防污染及防腐蚀的措施。

**4** 钢绞线力学性能试验项目应包括：抗拉强度、屈服强度、伸长率、松弛性能、弹性模量。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。

**5**  同一部位的预应力工程施工中，应采用同一品种、型号、规格和同一生产工艺制作的预应力钢绞线。若需要替换预应力钢绞线，应进行试验和论证。

**7.1.2** 环向预应力使用的锚具规定如下：

**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，其质量应符合现行GB/T14370的有关规定。同一部位的预应力工程，宜采用同一品种、型号、规格和同一生产工艺制作的锚具。若需替换锚具，应进行试验和论证。

**2**  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ηa 不小于0.95，实测极限拉力时的总应变εapu 不小于2.0 ％，且夹片未出现肉眼可见的裂纹或破碎，其计算见附录B。

**3** 进场入库的锚具应按下列规定进行检验：

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

**2）**硬度检查应从锚具总量中随机抽取5 ％，且锚板不少于5件，夹片不少于5副，按厂家提供的硬度范围进行测试，合格者方可投入使用，锚具硬度检验见附录C。

**4**  锚具进场验收合格后，使用前应进行外观检查。

**5**  与锚具相配套的锚垫板、偏转器、延长筒、承压板的材质及加工尺寸应符合要求。

**7.1.3** 环向预应力锚索使用的灌浆材料应符合下列要求：

**1**  浆材应采用普通硅酸盐水泥，其强度等级应不低于42.5，细度宜为通过80μm的方孔筛的筛余量不大于5%，不应采用火山灰水泥或矿渣水泥，其质量应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GBT175-2007的有关规定

**2** 浆液中的掺合料不应含有对锚索有腐蚀性的物质，其中氧离子的含量不应超过水泥重量的0.2‰。

**3** 浆液的配合比应通过试验确定，施灌时按规定制备浆体试件，其浆体抗压强度等级不应低于35MPa。

**4**  拌制浆液用水应符合饮用水标准。

**5**  浆液搅拌3小时后，浆液析水率应不大于2%，而且浆体应能在24小时内将析水全部吸收，流动度（坍落扩散500mm的时间）应≤40S。

**7.1.4** 预应力张拉机具，应符合下列要求：

**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，并具有通用性。

**2** 与张拉机具配套的压力表精度应不低于1.5级，张拉时压力表读数不超过表盘刻度的75％。应选用抗震数显压力表。

**3** 测力计应与锚具、张拉千斤顶相匹配，且性能稳定。永久使用的测力计，其耐久性应符合要求。

**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，而且每张拉超过1000次后，千斤顶、压力表也必须重新标定，如经检修应重新标定，张拉机具的配套标定见附录D。

**5**  预应力钢绞线锚具组装件静载试验的专用张拉机具，若标定使用次数少于20次，且未经检修或无异常，其标定期可以适当延长，但不应超过10个月。

**7.1.5**  预应力孔道灌浆设备，应符合下列要求：

**1** 选用的灌浆设备须与预应力锚索孔道灌浆的浆液类型、浓度及施灌强度相适应，并能保证稳定均匀连续灌浆。

**2**  制浆设备宜采用高速搅拌机，其转速一般在1000r/min以上。

**3**  选用的真空泵应能满足设计的真空度要求，宜采用水环式真空泵。

**4**  灌浆泵的排量应满足锚索孔道灌浆强度的需要，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％。

**5** 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。

**6**  施灌时宜采用灌浆自动记录仪，并测记浆压、流量、比重等。流量传感器的性能应符合：流量监测范围0-50L/min，分辨率0.1L/min;压力传感器的性能应符合：压力监测范围0-10MPa,分辨率0.01MPa。

**7** 灌浆泵配套的压力传感器、流量传感器、自动记录仪等应经校验合格方可使用。

## 7.2 穿 索

**7.2.1**  锚索制作应在专用车间或专用工作台上制作，应有良好的防水、防污、防磨损的措施。

**7.2.2**  钢绞线下料应采用砂轮切锯，切口应整齐，无散头现象，单根下料长度应以设计图纸为准。

**7.2.3**  锚索的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：

L=S+h1+h2 (7.2.3)

式中：

L—钢绞线下料长度，mm；

S—实测孔道长度，mm；

h1—孔道外张拉段钢绞线使用长度，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，张拉千斤顶的长度，工具锚板的厚度及其板外必要的安全长度之和，mm；

h2—孔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。

**7.2.4**  锚索应采用编帘分层组装的方法进行编束。

**7.2.5**  锚索编制完成后应妥善存放于用架管搭设的成品锚索临时存放平台，并登记、挂牌，标明钢绞线长度、编号、编制日期、编制人员等。存放平台应满足防潮、防水、防锈、防污染等要求。

**7.2.6** 锚索安装宜采用卷扬机牵引，人工辅助的方式进行。

**7.2.7** 锚索穿索时宜对锚索表面涂刷定量的石墨粉，以降低锚索与孔道的摩阻力。

## 7.3 张 拉

**7.3.1**  锚索张拉准备应按下列规定执行：

**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**  检查或加工张拉所需的台车，并固定牢靠，设置安全防护设施，挂警示牌。

**3**  张拉千斤顶、压力表、测力计应配套标定，绘制张拉力—压力表（测力计）读数关系曲线。

**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**  张拉机具操作人员定人定位持证上岗，非作业人员不得进入张拉作业区，千斤顶出力方向45°范围内严禁站人。

**7** 锚索张拉前应按设计要求进行生产性试验。

**7.3.2** 张拉辅助工具及千斤顶安装应按下列规定执行：

**1**  主动端钢绞线在安装弧形垫座部位应逐根涂抹黄油，并在弧形垫座孔内涂抹黄油。

**2**  工作夹片装好后应依次装入限位板、弧形垫座、套筒垫盘、张拉套筒、千斤顶、工具锚板、工具夹片等。

**3** 安装过程中钢绞线位置应逐孔对应穿入工作锚具、限位板、弧形垫座等辅助工具孔眼内, 不得发生交叉缠绕现象。

**4** 限位板有凹槽面应扣在工作锚具上。 弧形垫座按钢绞线编号顺序依次穿入,不应交叉入孔。

**5** 过渡块、张拉套筒、千斤顶装配应吻合对正,接合应紧密，无脱节歪斜现象。

**6**  工具夹片安装前应在外壁均匀涂抹少量退锚灵。装入锥孔后应逐个打紧。

**7**  工作锚具应安装平正、不倾斜，工作锚具宜安装在距喇叭管口30-35cm处。

**7.3.3** 锚索张拉应待回填浆液结石强度达到设计要求后进行，且周围混凝土施工对张拉无大的干扰。

**7.3.4** 锚索张拉应采用双控法，以控制张拉力为主，钢绞线伸长值为辅。

**7.3.5**  锚索张拉宜采用整体张拉法。锚索整束张拉前应进行单根绞线预紧，预紧力宜为0.2倍控制张拉力，预紧应使各股钢绞线受力均匀。

**7.3.6** 环向预应力锚索应按设计要求采用分序、分级张拉。

**7.3.7**  张拉加载及卸载应缓慢平稳，加载速率每分钟不宜超过0.1ócon，卸载速率每分钟不宜超过0.2ócon。

**7.3.8**  锚索张拉至设计应力待压力表稳定后锁定，持荷稳压时间不得小于10min，锚索是否需进行超张拉，宜通过实验确定。

**7.3.9** 锚索张拉每级加载后应同步测量其伸长值，锁定后应测量预应力钢绞线的内缩量。

**7.3.10**  锚索张拉过程中如遇到预应力钢绞线断丝、夹片出现可视裂纹、千斤顶严重漏油、混凝土出现裂纹、油泵压力表反应异常等情况之一，应立即停机检查。

**7.3.11**  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。

**7.3.12**  锚索张拉过程中若断丝超过2丝应退锚重新张拉。

**7.3.13** 环向预应力锚索张拉的伸长值计算见附录E。

**7.3.14**  锚索张拉过程中应做好施工记录，记录表参见附录F的表F.0.1。

## 7.4 预留槽回填

**7.4.1**  预留槽回填混凝土前应凿毛，并清理干净。

**7.4.2**  回填混凝土前应在槽内上下喇叭口处的孔道两端口埋设孔道灌浆管，并固定牢靠。

**7.4.3** 预留槽应采用C40以上混凝土进行回填，宜采用微膨胀混凝土。

**7.4.4** 预留槽内缘应铺设橡胶止水带。

**7.4.5**  回填混凝土应密实、表面平整、接缝严密。

## 7.5 孔道灌浆

**7.5.1**  孔道灌浆前准备应符合下列要求：

**1**  应采用纯水泥浆进行孔道真空灌浆，灌浆设备应具备压力和灌浆量自动记录功能，有关灌浆器材与设备应按此要求准备。

**2** 浇筑内衬混凝土同时，应在拱底预埋进浆管，拱顶预埋排气管嘴。

**3**  封填预留管道前，应采用高压风清洗预留管道，确保管道内畅通，无杂物堵塞。

**4** 灌浆前应进行生产性试验，以确定灌浆参数。

**7.5.2**  环锚孔道灌浆应下列要求：

**1**  暂时关闭预留管道顶端排气管嘴，预留管道底端灌浆管接进浆管，拱顶排气管嘴接真空泵管。灌浆开始时，先启动真空泵，对孔道形成设计要求的真空度,接着打开进浆管阀门进浆，并施加灌浆压力，待拱顶管嘴回浆比重与拱底进浆比重一致后，关闭预留槽低端进浆管和拱顶排气管嘴阀门。

**2** 预留槽高端管嘴接上进浆管后，打开拱顶排气管嘴阀门，启动真空泵，对孔道形成设计要求的真空度，接着打开进浆管阀门进浆，并施加灌浆压力；当拱顶管嘴回浆后，关闭拱顶排气管嘴阀门。

**3** 高端管嘴继续加压进浆直至不吸浆，延续灌注10min～30min后即可结束灌浆。

**7.5.3** 孔道灌浆因故中断时，应尽早恢复灌注，如中断时间超过30min，应将孔道冲洗干净后重新灌浆。

**7.5.4** 孔道灌浆过程中应采用灌浆自动记录仪，测记其压力、流量、比重等各项数据，并做好灌浆记录，计算孔道的理论灌浆量，并应与实际灌入量对比。

# 8 检验与监测

## 8.1 一般规定

**8.1.1**  承包单位应建立质量检验机构和质量管理体系及可追溯体系，明确检验与监测相关管理规定，实行全过程控制，确保工程施工质量。

**8.1.2** 检验与监测应与质量检测三级检查制度。施工中，班组必须做好各工序的施工记录，及时整理、分析，并作为验收依据。

**8.1.3**  环向预应力施工前，应首先按照«混凝土结构工程施工质量验收规范»、«水工混凝土施工规范»和设计施工技术要求对隧道内衬钢筋混凝土施工质量进行检查，检查合格后方可进行有粘结环向预应力施工。

## 8.2 检 验

**8.2.1** 环向预应力结构工程，应进行预应力筋性能试验。试验包括材料试验、锚索受力性能试验及验收试验。

**8.2.2** 材料试验应包括钢绞线力学性能试验、锚具硬度检验、锚具组装件试验。

**8.2.3**  锚索受力性能试验应具备代表性，其规模可视工程量大小按设计规定执行，一般按隧道分段作为试验段。

**8.2.4**  受力性能试验的条件、所用的预应力筋、张拉机具及施工工艺必须与实际工程相同。

**8.2.5**  验收试验应按设计要求随机抽样进行，其抽样数一般为 5%，但不得少于三束。验收试验的合格标准应由设计确定。

**8.2.6**  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。

**8.2.7** 环向预应力过结构施工过程应作好检查与检验记录。相关格式参见附录F。

## 8.3 监 测

**8.3.1**  环向预应力工程安全监测的内容、数量、部位和监测方法应按设计要求实施。一般包括锚索拉力监测、对应锚索部位的混凝土应变监测及钢筋应力监测，典型监测断面一般为锚索数量的0.5%～3%，锚索量多时取小值，且不得少于3个。

**8.3.2** 其它监测项目包括内外衬间渗透水压力监测、内外衬间接缝开度监测、分段接缝开度监测及渗漏水量监测。其数量和部位根据隧道运用特点分析确定。

**8.3.3**  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；监测报告及时发到业主、监理、设计单位，迅速反馈信息，进行动态设计，监控施工质量，调整施工工艺。

**8.3.4**  混凝土浇筑过程中应有专人对观测设施进行监护。

**8.3.5**  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。

**8.3.6**  施工期监测报告的主要内容包括：部位、项目、方法、仪器型号、规格和标定资料。施工期监测的原始资料应包括各类仪器监测值变化曲线图。

# 附录A 钢绞线力学性能试验

**（规范性附录）**

**A.0.1**  工程承包单位应对入库的钢绞线的抗压强度、屈服强度、伸长率进行试验。

**A.0.2**  试件制备一定符合下列要求：

**1** 从外观检验合格的钢绞线中取试件。钢绞线的批量在60t以下的，随机选取3盘取3根试件组成一个试验组；60t以上批量的，按60t一组组成试验组，不足60t的按60计。设计另有规定的应按设计要求执行。

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

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

**A.0.3** 试件检验应符合下列要求：

**1** 钢绞线的力学性能试验，须具有相应资质的实验检验机构进行。

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

**3** 被委托的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。报告中须提供所有委托检验项目的检验结果，并判定送检试件是否合格。

**A.0.4** 试验合格判定应符合下列要求

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

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

# 附录B 预应力钢绞线—锚具组装件静载试验

**（规范性附录）**

**B.0.1** 预应力钢绞线—锚具组装件静载试验应符合如下规定：

**1** 大型水电水利预应力工程，应根据设计要求进行预应力钢绞线—锚具组装件静载试验。

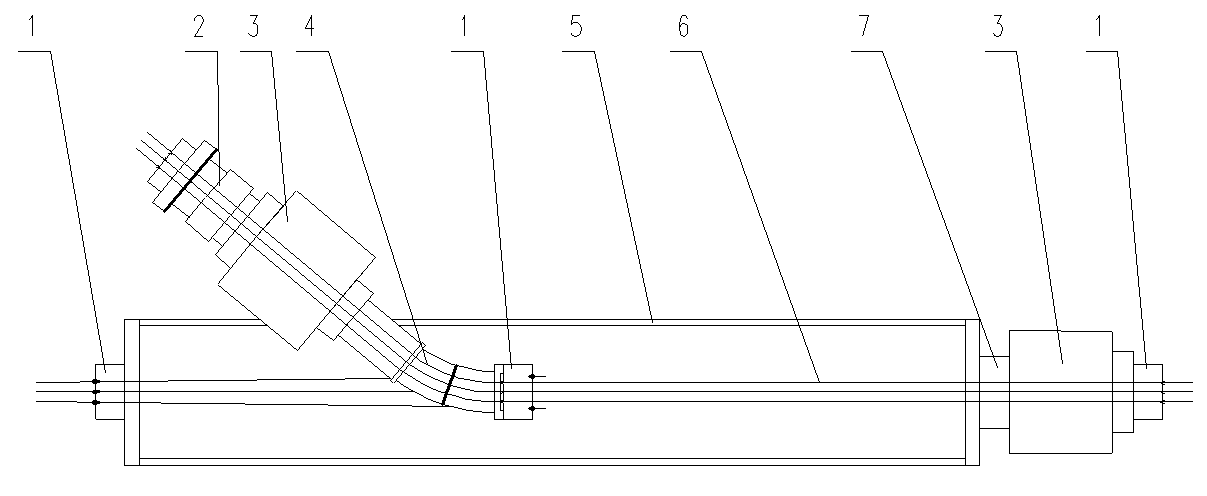
**2** 试验用的预应力钢绞线、锚具均为合格品，组装件应由锚具的全部零件与预应力钢绞线组成。其要求如下：

**1）**锚具零件不得带有影响实验效果的物质。

**2）**预应力钢绞线等长、平行，受力不小于3m。

**3）**试件不少于3套。

**B.0.2** 实验用的预应力钢绞线、锚具，其组装方式须与工程实际相一致（如图B.0.2）。



1、锚具（含工作夹片） 2、测力计 3、千斤顶

4、弧形垫座组件 5、台座 6、钢绞线 7、测力计

图B.0.2 环锚组装件装配示意图

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

**B.0.4**  试验加载程序应符合下列要求：

**1** 试件制作、试验程序及方法按照GB/T14370执行。

**2** 加载应按预应力钢绞线强的标准的20%、40%、60%、80%分四级。加载速率以为100MPa/min。

**3** 当达到80%强度标准值时，应持荷1h，随后继续加载直至破坏。

**B.0.5** 测试内容包括以下内容：

**1** 应测得试件极限拉力Fapu及其总应变**ε**apu。

**2** 各根预应力钢绞线与锚具之间的相对位移。

**3** 锚板、夹片之间的相对位移。

**4** 当加载至预应力钢绞线抗拉强度标准值的80%并持荷1h后，锚板、夹片的变形及钢绞线的伸长值。

**5** 试件的破坏部位与破坏形式。

**6** 限位板应能限制工作锚板张拉端钢绞线回缩量不超过6mm。

**7** 在弧形垫座下端锚索布置传感器，工具锚后布置测力器，测定同一工况下的测力值，用以检测弧形垫座的摩阻损失，要求其摩阻损失不得高于6%。

**B.0.6** 提出试验成果，试验成果包括如下内容：

**1** 应提出锚固效率系数和总应变。

**1）**锚具效率系数计算公式：

 （B.0.6-1）

式中：

——预应力钢绞线—锚具组装件静载试验测得的锚具效率系数；

——预应力钢绞线—锚具组装件实测极限拉力；

——预应力钢绞线的效率系数，其取值见表2.1；

——按预应力钢绞线试件实测破断荷载平均计算的预应力 钢绞线的实际极限抗拉力。

表B.0.6 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 |
|  | 1.00 | 0.99 | 0.98 | 0.97 |

**2)**总应变****计算公式如下：

**** （B.0.6-2）

式中：

**** ——预应力钢绞线—锚具组装件达到实测极限拉力时的总应变；

****——预应力钢绞线—锚具组装件的预应力钢绞线实测伸长值，mm;

**** ——预应力钢绞线—锚具组装件的预应力钢绞线计算长度，mm。

**2**  判定标准应符合下列要求：

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

**2）**如有一套试件满足2.6.2.1的条件，应取双倍数量的试件重做。若仍有一套不满足2.6.2.1的条件，则该批锚具为不合格。

**3）**弧形垫座孔道摩阻损失不得超过6%。

**4）**工作锚板张拉端钢绞线回缩量不超过6mm。

# 附录C 锚具硬度检验

**（规范性附录）**

**C.0.1**  应在每批入库的锚板和夹片中抽取总量的5%，且锚板不少于5件，夹片不少于5副，做硬度抽样。

**C.0.2**  测试前应用硬度标准校正硬度计，随后将锚具和检测的夹片擦净，锚板中心打点处刨光进行测打。

**C.0.3**  采用洛氏硬度计测试，在锚板中心测打3点，在夹片背面中心线上测打3点，如符合厂家出厂标准值即为合格。

**C.0.4**  检验合格判定：当所有被检验的锚板和夹片的硬度值均合格时，判定该批锚板和夹片为合格品。如有一件不合格，则需取双倍数量重做检验，如仍有一件不合格，则应对该批锚板、夹片进行逐件检验，合格后方可入库。

# 附录D 张拉机具的配套标定

**（规范性附录）**

**D.0.1** 预应力工程锚索张拉前，所有张拉机具应进行配套标定。

**D.0.2** 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.0.3**  张拉机具配套标定前的准备工作：

**1** 将待标定的千斤顶、压力表、测力计擦拭干净。

**2** 千斤顶、压力表、测力计进行配套编号、标示、登记。

**3** 张拉机具送检中装卸、运输严防碰撞、摔打、损伤。

**D.0.4** 张拉机具配套标定：

**1** 张拉机具配套标定应由具备相应资质的检验机构进行。

**2** 张拉机具配套标定成果应包括：

**1)**千斤顶的张拉力—压力表读数关系曲线图（含对应关系数值表）。

**2)**千斤顶主动张拉力—压力表读数关系计算公式。

**3)**千斤顶被动张拉力—压力表读数关系计算公式。

**4)**张拉机具配套标定过程中发现的有关问题。

**3** 标定的设备额定张拉力应大于2倍的锚索设计张拉力。

# 附录E 环向预应力伸长值的计算

**（规范性附录）**

**E.0.1**  环向预应力锚索理论伸长值计算公式：



式中：

△L——环向预应力锚索伸长值，mm；

P ——预应力钢绞线始端张拉力，N；

E ——预应力钢绞线的弹性模量，MPa；

A ——预应力钢绞线的截面积，mm2；

L1 ——预应力钢绞线工具锚起始端面至弧形垫座起始端面直线段计算长度，mm；

L2 ——预留槽内锚索直线段长度外加工作锚厚度后的长度，mm；

r1 ——弧形垫座的半径，mm；

r2 ——缓曲线的半径，mm；

r3 ——圆曲线半径，mm；

u1 ——弧形垫座的摩阻系数；

u2 ——缓曲线的摩阻系数；

u3 ——圆曲线的摩阻系数，一般取u3= u2 ；

****——弧形垫座圆心角弧度；

****——缓曲线的圆心角弧度；

****——圆曲线的圆心角弧度。

环向锚索伸长值计算示意图如5-1：

**E.0.2** 实际伸长值计算公式：

△L=△L1+△L2

式中：

△L——锚索实际伸长值，mm；

△L1——从初应力至最终应力的实测伸长值，包括多级张拉总伸长值，mm；

△L2——初应力下的推算伸长值，mm；

**E.0.3** 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及夹片回缩值，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之和减去多级夹片回缩值之和即为初始应力到最终应力之间的实测伸长值。

**钢绞线伸长示意图**

图5-1 环向预应力伸长值计算示意图。

# 附录F 各类附表

**（资料性附录）**

**表F-1 预应力筋单元工程质量评定表**

施工单位： 合同编号：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位工程编码或名称 | | |  | | 工程部位 | |  | |
| 分部工程编码或名称 | | |  | | 预应力筋编号 | |  | |
| 单元工程编码或名称 | | | 内衬预应力张拉 仓 | | 张拉吨位（KN） | |  | |
| 预应力筋类型 | | |  | | 施工时段 | |  | |
| 序号 | 项 目 | | 质 量 标 准 | | | | | 质量等级 |
| 1 | 管道 | |  | | | | |  |
| 2 | 预应力筋材质 | |  | | | | |  |
| 3 | 编束穿束 | |  | | | | |  |
| 4 | 机具安装 | |  | | | | |  |
| 5 | 预紧 | |  | | | | |  |
| 6 | Δ张拉 | |  | | | | |  |
| 7 | 锚具槽浇筑 | |  | | | | |  |
| 8 | Δ灌浆 | |  | | | | |  |
| 9 | 封锚保护 | |  | | | | |  |
| 评定意见 | | | | | 单元工程质量等级 | | | |
| 工序质量 ，主要工序——张拉、灌浆两工序质量 ；工序质量优良率 % | | | | |  | | | |
| 施工单位 | | 年 月 日 | | 监理单位 | | 年 月 日 | | |

注：带Δ为主要检测项

**表F-2 预应力筋束编制工序质量评定表**

合同编号：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位工程编码或名称 | | | |  | | | | | 施工单位 | | | |  | |
| 分部工程编码或名称 | | | |  | | | | | 单元工程量 | | | |  | |
| 单元工程编码或名称 | | | |  | | | | | 检验日期 | | | | 年 月 日 | |
| 预应力  筋编号 | 设计  张拉力  （KN） | | 预应力筋锚索编制 | | | | | | | | | | | |
| 级别 | | 规格 | 下料长度（m） | 去皮清洗、  除锈情况 | | | 编制后截面面积 | | 铅丝捆绑  间隔(mm) | | 导向帽、牵引头是否正确安装 |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  |  |  | | |  | |  | |  |
| 评 定 意 见 | | | | | | | | | | | 单元工程质量等级 | | | |
| 主要检查项目 质量标准，一般检查项目 质量标准。 | | | | | | | | | | |  | | | |
| 施工  单位 | | 年 月 日 | | | | | | 监理  单位 | | | 年 月 日 | | | |

**表F-3 预应力筋束编制工序质量三检表**

合同编号：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位工程编码或名称 | | |  | | | | | 施工单位 | | | |  | |
| 分部工程编码或名称 | | |  | | | | | 单元工程量 | | | |  | |
| 单元工程编码或名称 | | |  | | | | | 检验日期 | | | | 年 月 日 | |
| 预应力  筋编号 | 设计  张拉力  （KN） | 预应力筋锚索编制 | | | | | | | | | | | |
| 级别 | | 规格 | | 下料长度（mm） | 去皮清洗、  除锈情况 | | 编制后截面面积 | | 铅丝捆绑  间隔(mm) | | 导向帽、牵引头是否正确安装 |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |  |
| 初检意见： | | | | | 复检意见： | | | | | 终检意见： | | | |

**表F-4 预应力锚索张拉许可证**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位工程名称 | |  | | | 单元工程量 | | | |  | | |
| 分部工程名称 | |  | | | 施工单位 | | | |  | | |
| 单元工程名称 | |  | | | 施工部位 | | | |  | | |
| 单元工程编码 | |  | | | 施工时段 | | | | 年 月 日至 月 日 | | |
| 施工依据 | |  | | | | | | | | | |
| 锚索编号 | |  | 设计张拉力(kN) | | | |  | | | 锚索类型 |  |
| 油泵编号 | |  | 孔口高程 | | | |  | | | 孔口桩号 |  |
| 序号 | 检查项目 | | | 检查情况 | | | | | | | |
| 1 | 拱顶回填灌浆 | | |  | | | | | | | |
| 2 | 张拉设备 | | |  | | | | | | | |
| 3 | 张拉设备率定 | | |  | | | | | | | |
| 4 | 油泵操作人员 | | |  | | | | | | | |
| 5 | 张拉技术（安全）交底 | | |  | | | | | | | |
| 6 | 张拉异常情况处理预案 | | |  | | | | | | | |
| 7 | 其他 | | |  | | | | | | | |
| 备注 |  | | | | | | | | | | |
| 承建  单位 | 年 月 日 | | | | | 监理单位 | | 年 月 日 | | | |

**表F-5 测力计安装张拉过程考证表**

施工单位： 合同编号：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位工程编码或名称 | |  | | | | | | | 单元工程编码或名称 | | | | |  | | | | | 工程标段 | | | |  | | | | |
| 分部工程编码或名称 | |  | | | | | | | 监测仪器编号 | | | | |  | | | | | 工程部位 | | | |  | | | | |
| 预应力筋编号 |  | 预应力筋长度（m） | | | |  | | | | 理论伸长值计算系数（1/AE） | | | | | | |  | | 设计张拉力（KN） | | | | | |  | | |
| 千斤顶型号 |  | | | 千斤顶活塞直径 | | | |  | | 油泵型号 | |  | | 压力表准备度等级 | | | | |  | | 压力表量程 | | | | |  | |
| 张拉分级 | 压力表读数（MPa） | | 张拉力（KN） | | 加荷时间（min） | | 实际伸长值（mm） | | 理论仲长值（mm） | | 稳压时间（min） | | 锚索测力计观测值 | | | | | | | | | | | | | | 张拉锁定损失 |
| 初值 |  | |  | |  | |  | |  | |  | | 弦一 | | 弦二 | 弦三 | | 弦四 | | 平均值 | | 温度 | | 张拉力（kn） | | |
| 1 |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  |  | |  | |  | |  | |  | | |  |
| 2 |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  |  | |  | |  | |  | |  | | |  |
| 3 |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  |  | |  | |  | |  | |  | | |  |
| 4 |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  |  | |  | |  | |  | |  | | |  |
| 5 |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  |  | |  | |  | |  | |  | | |  |
| 超张 |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  |  | |  | |  | |  | |  | | |  |
| 补拉 |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  |  | |  | |  | |  | |  | | |  |
| 锁定 |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  |  | |  | |  | |  | |  | | |  |
| 锁定后24小时 |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  |  | |  | |  | |  | |  | | |  |
| 锁定后48小时 |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  |  | |  | |  | |  | |  | | |  |
| 锁定后72小时 |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | · | |  | |  | |  | |  | | |  |
| 施工记录 |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

观测： 记录： 校核： 审核： 监理单位： 张拉日期：

**表F-6 预应力筋管道灌浆工序质量评定表**

施工单位： 合同编号：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位工程编码或名称 | | | |  | | | | 施工部位 | | |  | |
| 分部工程编码或名称 | | | |  | | | | 检验日期 | | |  | |
| 单元工程编码或名称 | | | |  | | | | 水泥品种、级别 | | |  | |
| 外加剂名称 | | | |  | | | | 外加剂掺量 | | |  | |
| 水灰比 | | | |  | | | | 稠度 | | |  | |
| 泌水率 | | | |  | | | | 真空度 | | |  | |
| 孔号 | 灌浆时间(min) | | 灌浆压力（Mpa） | | 水灰比 | 水泥浆用量 | | | 屏浆时间（min） | | 压浆强度Mpa  (28天) | 质量评价 |
|  |  | |  | |  |  | | |  | | 共取样  组，分别为： |  |
|  |  | |  | |  |  | | |  | |
|  |  | |  | |  |  | | |  | |
|  |  | |  | |  |  | | |  | |
|  |  | |  | |  |  | | |  | |
|  |  | |  | |  |  | | |  | |
|  |  | |  | |  |  | | |  | |
|  |  | |  | |  |  | | |  | |
|  |  | |  | |  |  | | |  | |
|  |  | |  | |  |  | | |  | |
|  |  | |  | |  |  | | |  | |
|  |  | |  | |  |  | | |  | |
|  |  | |  | |  |  | | |  | |
|  |  | |  | |  |  | | |  | |
|  |  | |  | |  |  | | |  | |
|  |  | |  | |  |  | | |  | |
|  |  | |  | |  |  | | |  | |
| 评 定 意 见 | | | | | | | | | | | 工程质量等级 | |
| 主要检查项目全部符合质量标准，检查灌浆 点，合格 点，合格率 ％ | | | | | | | | | | |  | |
| 施工单位 | | 年 月 日 | | | | | 监理单位 | | | 年 月 日 | | |

**表F-7 预应力筋管道灌浆工序质量三检表**

施工单位： 合同编号：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位工程编码或名称 | | |  | | | 施工部位 | | |  | |
| 分部工程编码或名称 | | |  | | | 检验日期 | | |  | |
| 单元工程编码或名称 | | |  | | | 水泥品种、级别 | | |  | |
| 外加剂名称 | | |  | | | 外加剂掺量 | | |  | |
| 水灰比 | | |  | | | 稠度 | | |  | |
| 泌水率 | | |  | | | 真空度 | | |  | |
| 孔号 | 灌浆时间(min) | 灌浆压力（Mpa） | | 水灰比 | 水泥浆用量 | | 屏浆时间（min） | | 压浆强度Mpa  (28天) | 质量评价 |
|  |  |  | |  |  | |  | |  |  |
|  |  |  | |  |  | |  | |
|  |  |  | |  |  | |  | |
|  |  |  | |  |  | |  | |
|  |  |  | |  |  | |  | |
|  |  |  | |  |  | |  | |
|  |  |  | |  |  | |  | |
|  |  |  | |  |  | |  | |
|  |  |  | |  |  | |  | |
|  |  |  | |  |  | |  | |
|  |  |  | |  |  | |  | |
|  |  |  | |  |  | |  | |
|  |  |  | |  |  | |  | |
|  |  |  | |  |  | |  | |
| 初检意见： | | | | 复检意见： | | | | 终检意见： | | |

**表F-8 锚具槽混凝土浇筑工序质量评定表**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位工程名称 | | |  | | 单元工程量 |  |
| 分部工程名称 | | |  | | 施工单位 |  |
| 单元工程名称、部位 | | |  | | 检验日期 | 年 月 日至 年 月 日 |
| 项目 | 检查项目 | | 质量标准 | | | 检验记录 |
| 1 | 锚具槽凿毛清理 | |  | | |  |
| 2 | 止水带安装 | |  | | |  |
| 3 | 模板稳定性，刚度和强度 | |  | | |  |
| 4 | 模板表面 | |  | | |  |
| 5 | 入槽砼料 | |  | | |  |
| 6 | 砼振捣 | |  | | |  |
| 7 | 砼养护 | |  | | |  |
| 8 | 表面平整要求 | |  | | |  |
| 9 | 麻面蜂窝狗洞 | |  | | |  |
| 10 | 表面裂缝 | |  | | |  |
| 11 | 深层及贯穿裂缝 | |  | | |  |
| 评定意见 | | | | | | 工序质量等级 |
| 主要检查项目符合 质量标准，一般检查项目 质量标准。 | | | | | |  |
| 施工单位 | | 年 月 日 | | 监理单位 | | 年 月 日 |

**表F-9 锚具槽混凝土浇筑工序质量三检表**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位工程名称 | |  | | 单元工程量 | |  |
| 分部工程名称 | |  | | 施工单位 | |  |
| 单元工程名称、部位 | |  | | 检验日期 | | 年 月 日至 年 月 日 |
| 项目 | 检查项目 | 质量标准 | | | | 检验记录 |
| 1 | 锚具槽凿毛清理 |  | | | |  |
| 2 | 止水带安装 |  | | | |  |
| 3 | 模板稳定性，刚度和强度 |  | | | |  |
| 4 | 模板表面 |  | | | |  |
| 5 | 入槽砼料 |  | | | |  |
| 6 | 砼振捣 |  | | | |  |
| 7 | 砼养护 |  | | | |  |
| 8 | 表面平整要求 |  | | | |  |
| 9 | 麻面蜂窝狗洞 |  | | | |  |
| 10 | 表面裂缝 |  | | | |  |
| 11 | 深层及贯穿裂缝 |  | | | |  |
| 初检意见： | | | 复检意见： | | 终检意见： | |

**表F-10 预留锚具槽混凝土浇筑开仓证**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 致：  我部下述工程混凝土浇筑准备工作已就绪，请贵方审批。 | | | | | |
| 单 位 工 程 | |  | | 分 部 工 程 |  |
| 单元工程名称 | |  | | 单元工程编号 |  |
| 申  报  意  见 | 主要工序 | | 具 备 情 况 | | |
| 备料情况 | |  | | |
| 基面清理 | |  | | |
| 模板支立 | |  | | |
| 止水带安装 | |  | | |
| 细部结构 | |  | | |
| 混凝土系统准备 | |  | | |
| 备 注 | |  | | |
| 承 包 人：  项目经理：  日 期： 年 月 日 | | | | | |
| 监理机构：  监理工程师：  日 期： 年 月 日 | | | | | |

**表F-11 预应力筋孔道灌浆许可证**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 致：  我部下述工程混凝土浇筑准备工作已就绪，请贵方审批。 | | | | | |
| 单 位 工 程 | |  | | 分 部 工 程 |  |
| 单元工程名称 | |  | | 单元工程编号 |  |
| 申  报  意  见 | 主要工序 | | 具 备 情 况 | | |
| 设备情况 | | 灌浆设备完好，满足施工要求 □ | | |
| 设备作人员 | | 操作人员已培训，能熟练操作 □ | | |
| 备料情况 | | 材料齐全，满足施工要求 □ | | |
| 孔道检查情况 | | 经检查孔道通畅，已验收合格 □ | | |
| 灌浆技术（安全）交底 | | 交底齐全，已培训 □ | | |
| 灌浆异常情况处理预案 | | 处理预案已上报 □ | | |
| 备 注 | |  | | |
| 承 包 人：  施工单位：  日 期： 年 月 日 | | | | | |
| 监理机构：  监理工程师：  日 期： 年 月 日 | | | | | |

# 本规程用词说明

**1** 为了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，非这样做不可的用词：

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用词：

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，在条件允许时首先这样做的用词：

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用词，采用“可”。

**2** 本规范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”。

**中国土木工程学会标准**

**盾构隧道有粘结环向预应力衬砌**

**工程技术规程**

# （条文说明）

目录

[1 总 则 57](#_Toc460572723)

[3 基本规定 58](#_Toc460572724)

[4 设 计 60](#_Toc460572725)

[4.1 一般规定 60](#_Toc460572726)

[4.2 衬砌结构设计 60](#_Toc460572727)

[4.3 锚固系统设计 61](#_Toc460572728)

[4.4 灌浆设计 62](#_Toc460572729)

[4.5 防水与排水设计 63](#_Toc460572730)

[5 防水、排水施工 65](#_Toc460572731)

[5.1 一般规定 65](#_Toc460572732)

[5.2 盾构法隧洞外衬防水 65](#_Toc460572733)

[5.3 垫层防、排水 65](#_Toc460572734)

[5.4 内衬接缝防水 66](#_Toc460572735)

[5.5 隧洞渗漏水处理 66](#_Toc460572736)

[6 内衬混凝土施工 67](#_Toc460572737)

[6.1 一般规定 67](#_Toc460572738)

[6.2 钢筋制安 67](#_Toc460572739)

[6.3 预埋件安装 68](#_Toc460572740)

[6.4 模板制安 68](#_Toc460572741)

[6.5 混凝土浇筑 69](#_Toc460572742)

[6.6 养 护 69](#_Toc460572743)

[6.7 回填灌浆 69](#_Toc460572744)

[7 预应力锚索施工 69](#_Toc460572745)

[7.1 主要材料与设备 69](#_Toc460572746)

[7.2 穿 索 75](#_Toc460572747)

[7.3 张 拉 75](#_Toc460572748)

[7.4 预留槽回填 79](#_Toc460572749)

[7.5 孔道灌浆 80](#_Toc460572750)

[8 检验与监测 81](#_Toc460572751)

[8.1 一般规定 81](#_Toc460572752)

[8.2 检 验 81](#_Toc460572753)

[8.2 监 测 82](#_Toc460572754)

1 总 则

**1.0.2** 本规程适用于有粘结预应力盾构隧道内衬混凝土结构工程。根据南水北调穿黄盾构隧道有粘结预应力衬砌的设计和施工实践，有粘结预应力一般适用于有一定内压的盾构内衬混凝土结构工程。

3 基本规定

**3.0.1** 隧道有粘结环向预应力衬砌设计应把保护工程的安全和正常使用放在重要位置。采用预应力设计，主要目的是保持隧道和衬砌的稳定，改善工程结构的应力分布，根据不同的条件，采用可靠的技术措施，充分利用隧道和衬砌的承载能力，因地制宜地进行设计工作，保证工程安全可靠、技术先进、经济合理。

3.0.2 隧道有粘结环向预应力衬砌技术是发展中的技术，由于其独特的经济效益，应用领域和范围将越来越广泛。为保证工程质量，充分发挥隧道有粘结环向预应力衬砌技术的优越性，积极推进新技术的发展具有重要的经济意义。

近年来预应力工程施工材料、设备、工艺技术有了长足发展，预应力工程施工中除了要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，还需努力研究开发更好更新更先进的技术、工艺、材料、设备。为保证工程施工质量和施工安全，若采用研发中的或尚广泛采用的新技术、新工艺、新材料、新设备之前，可先进行必要的试验论证，并经相关部门或专家鉴定批准。

**3.0.3** 重要的预应力衬砌工程施工工艺，在正式进行施工前或材料入库验收前，可根据设计和标准要求进行必要的试验检验，如混凝土施工工艺试验、钢绞线力学性能试验、锚具及锚固性能检验等，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，南水北调中线工程穿黄隧洞等，都成功进行了性能试验和工艺试验，其试验成果很好的指导了预应力工程施工。

同时，还应进行水泥、砂石骨料材质检验，混凝土、水泥浆配合比试验等。工程验收前进行验收试验，使预应力工程施工中的质量控制难点、技术操作要点，在工程施工前通过各项试验检验得到有效解决，通过验收试验使工程质量得到进一步验证。

根据试验结果反馈的信息，调整相应的设计参数，实现动态设计，调整施工方案。

**3.0.5** 施工组织设计和施工技术方案应按程序审批，对涉及隧道结构安全和人身安全的内容，应有明确的规定和相应的措施，确保施工人员安全。施工组织设计内容包括编制依据、编制范围及设计概况，工程概况，总体施工组织安排，施工总平面布置及大、小临时工程，控制工程及重点工程的施工方案，施工方案，资源配置，管理措施等。

重要或关键施工工序应制定专项方案/施工工艺细则和应急救援预案。

鉴于预应力工程施工的复杂性，在其施工前由业主或临理工程师主持召开相关单位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、工程特点、各工艺或工序间的相互关系等，进行全面、详细的交底，澄清疑难问题，对保证预应力工程能有序、安全、顺利施工至关重要。

**3.0.9** 为了使预应力工程所用的材料和设备必须是合格的产品，要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、质量检测方法、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。

# 4 设 计

## 4.1 一般规定

**4.1.1** 按照《混凝土结构设计规范》GB50010及有关行业混凝土结构设计规范的规定，普通钢筋混凝土及预应力钢筋混凝土结构均应按极限状态分析法设计。

**4.1.2** 结构的裂缝控制和耐久性要求与结构所处环境条件有关，对比国标GB50010-2010及水利行业标准SL191-2008对环境条件的区分，结合隧道工程特点，将环境条件类别分为五类。

**4.1.3** 有粘结环向预应力衬砌隧道，预应力筋布置不恰当时，张拉过程中会造成局部开裂，张拉荷载分级和分序不欠当，可能产生环向裂缝，这些情况均应在设计中考虑。

**4.1.4** 有粘结预应力衬砌隧道一般用于承受高内压的环境，对裂缝控制要求较高，因此不允许出现裂缝，在基本荷载组合下，对二类以上环境条件下要求不出现拉应力；在特殊荷载组合下，对三类以上环境条件下也要求不出现拉应力。《混凝土结构设计规范》GB50010对受弯构件使用阶段抗裂验算作了如下规定：混凝土结构的裂缝控制等级划分如下：一级：严格要求不出现裂缝的构件，亦即在荷载短期效应组合下不得出现裂缝的构件；二级：一般要求不出现裂缝的构件 其抗裂要求为在荷载短期效应组合下可产生一定程度的拉应力；三级：使用阶段允许出现裂缝的构件 要求其在载荷作用下的最大裂缝宽度不超过0.2mm。

## 4.2 衬砌结构设计

**4.2.1** 参照《建筑结构荷载规范》GB5009的规定，将荷载分为永久荷载、可变荷载和偶然荷载三类。

**4.2.2** 荷载组合应切合实际，如作为偶然荷载的地震荷载不应与水锤压力、灌浆压力等荷载组合，列入组合后有抵消其他荷载作用时，该荷载应选择较小值。对不同控制工况应认真分析和选用不同的荷载组合。

对不同的荷载组合应考虑最不利的组合情况，以保证衬砌结构在各种工况下的安全。

**4.2.3** 对内压较高的双层衬砌隧道，内、外侧界面有水压力时，对内衬结构有利，但对外衬结构不利，因此要求充水压力可控，排气措施是充水压力均匀作用的要求。

**4.2.5** 结构力学方法是隧道衬砌结构设计的常用方法，有大量的工程实践经验，按该方法设计的大多数隧道运行正常，有一定的安全裕度。但对复杂条件下的隧道，采用有限元法进行分析计算更能反应实际情况。4.2.6 对游荡性河道，因河床冲淤变化造成隧道上覆土厚度变化，隧道竖向荷载发生变化，地震时，因地震波传播存在相位差，隧道沿纵向产生的地震荷载分布不一致，沿纵向的地质条件变化大等情况下，隧道会产生不均匀的沉降或抬升，产生纵向应力或分段接缝张开的情况，需进行专门的分析。

**4.2.7** 分层总和法是软土地基上的隧道纵向地基沉降变形的常用方法，对冲淤变化、地震等条件下的隧道，必要时可采用非线性有限单元法进行分析，如南水北调中线穿黄隧洞工程就采用了有限单元法进行分析，通过建立土体、外衬管片及内衬的三维有限元模型，重点分析接缝错动量和张开量。岩石地基上的输水隧道，宜建立三维有限单元法模型，分析地质缺陷和岩性变化对结构的影响。

**4.2.8** 永久伸缩缝或沉降缝设置的目的是避免出现环向裂缝，其间隔根据围土（岩）地基对混凝土结构约束条件确定。

**4.2.9** 与竖井相邻的洞段，因竖井质量相对较大，有较大竖向沉降变形，而隧洞竖向变形相对小，接头处存在差异沉降；在地震作用下，竖井刚度大，隧洞刚度小，接头处存在差异变形。采用环缝加密措施可较好适应隧洞与竖井间的差异沉降或者变形。

**4.2.10** 本条对内外衬单独受力结构设计中弹性垫层提出要求，不鼓包、不下垂的要求是防止内衬结构厚度不足；对隧洞内、外衬结构，内衬与外衬界面的水压力大小将影响结构受力状态，因此要求有完善的排放内衬与外衬界面渗漏水措施，确保内、外衬间水压可控。

**4.2.11** 本条对内外衬联合受力结构设计中内、外衬砌间构造措施提出要求，其主要措施是在内、外衬间设置插筋连接，插筋预埋于螺栓手孔中，形成剪力键使内、外衬联合受力。

## 4.3 锚固系统设计

**4.3.1** 对于环形锚束式预应力混凝土衬砌，可将对环形锚束施加的张拉力做为荷载之一与内水压力、外水压力和其他荷载一起作为永久荷载按结构力学方法进行衬砌结构的内力及应力分析。对一些重要工程还可以用有限元分析法或模型试验对衬砌中的预应力大小、预应力保持程度及在内压力作用下衬砌中的应力状态进行复核。

**4.3.2** 环向预应力衬砌工程的环形锚束是绕在衬砌周围的预应力筋。当锚束张拉时，预应力沿周围孔道的预应力损失是很大的，所以如何计算孔道的摩阻损失是十分关键的问题。GB50010—2010第10.2.4条对预应力钢筋与孔道之间的摩擦引起的预应力损失，给出了计算方法，孔道间的摩擦系数也在该条中给出了采用值，其摩阻损失可按该规定确定。对重要工程，宜通过试验确定摩擦系数。

**4.3.3** 关于预应力混凝土衬砌中环形锚束张拉控制应力的允许值，GB50010—2010第10.1.1规定“预应力筋的张拉控制应力σcon应符合下列规定： 1消除应力钢丝、钢绞线σcon≤0.75 fptk”。本条按该条文确定。

**4.3.4** 为了取得较好的预应力效果，方便施工，预应力锚束尽可能靠外侧布置，但必须满足预应力筋保护层厚度的要求。锚束间距不大于500mm，是尽可能保证对衬砌形成均匀的预压应力。

**4.3.5** 环锚锚具只需一个张拉槽，锚束无需交叉入槽，孔道布置平顺，累积包角小，不存在锚固端的局部挤压应力。为避免张拉槽在一个方位出现，对张拉槽以采用逐环左、右、上、下错开布置方式为宜。

**4.3.6** 预留槽的施工质量，关系到锚固效果，也关系到预应力保持。不仅要确定合理的位置，选择良好的体型，施工质量也是至关重要的。

**4.3.7** 由于环形锚束分布于衬砌中，当锚束张拉时，衬砌的某些部位将产生较大的挤压应力，再加上预留槽附近应力条件也比较复杂，所以要求衬砌混凝土的设计强度不宜低于C40。锚束张拉时，衬砌混凝土的强度也应达到设计值的75％以上。

**4.3.8** 环形锚束的张拉工艺和张拉程序十分重要，它关系到衬砌中的预应力形成和预应力保持。张拉分序分级不合理时，宜产生混凝土环向裂缝，因此要求计算分析张拉过程中的结构纵向拉应力，其值不超过混凝土抗拉强度。对一个工程而言，锚束数量是很多的。例如穿黄隧洞，共布置锚束18433束，如此数量的锚束，如果不通过试验确定合理的张拉工艺和张拉程序，对衬砌的预应力的影响也是可想而知的。

**4.3.9** 张拉完成的锚束在高应力状态下易加速腐蚀，及时对孔道灌浆可尽快使锚束位于碱性环境下，对锚束防腐有利。预留槽回填混凝土无预压应力，回填具有微膨胀的材料可避免新、老混凝土接缝面张开，减少回填混凝土开裂。

## 4.4 灌浆设计

**4.4.1** 回填灌浆的目的是充填混凝土浇筑时可能在顶拱形成的空腔，保证预应力锚索孔道不架空，并有利于锚索防腐。

**4.4.2** 回填灌浆范围和孔距、排距参照《水工隧洞设计规范》SL279—2002确定，考虑到外衬为管片结构，灌浆压力不宜过大，采用0.2～0.3MPa。

**4.4.3** 回填灌浆形成的水泥结石是否饱满、密实，可采用地质雷达扫描和钻孔取芯检查等手段。

**4.4.4** 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。排气管设置在孔道最高点时，排气效果较好，孔道顶端易充填密实。

**4.4.5** 对预应力隧道，运行期将有拉应力增量，因此对回填混凝土强度等级也提出较高要求。

**4.4.6** 对浆液比重和泌水率提出要求的目的是确保浆体的饱满度和密实度。有粘结预应力衬砌结构考虑钢绞线与混凝土完全粘接，因此对灌浆结石体强度提出要求。

## 4.5 防水与排水设计

**4.5.1** 隧道的水害是由洞内、洞外的多种因素引起的，所以不可能单靠单一的办法就能得到很好的解决。根据多年来隧道治水的经验，隧道防排水应采取“防、排、截、堵结合，因地制宜，综合治理”的原则。与现行《地下工程防水技术规范》GB50108提出的防水原则一致。

**4.5.2** 本条规定的目的是使防排水设计规范化，使隧道工程建设从设计阶段开始就对防排水有明确的要求，为确保工程正常使用打下良好的基础。

**4.5.3** 隧道采取防水应充分利用混凝土结构的自防水能力。施工缝和变形缝是防水的薄弱环节，应作为重点。

**4.5.4** 《水工混凝土结构设计规范》SL191对不同环境条件下的混凝土抗渗等级有较明确的规定，本条规定按该规范采用。

混凝土防水，除了要求混凝土致密、孔隙率小、开放性孔隙少以外，还需要有一定的厚度，以抵抗压力水的渗透，考虑到现场施工不利因素及钢筋混凝土中钢筋的引水作用，把混凝土衬砌的最小厚度定为30cm。规定迎水面主筋保护层厚度是从耐久性方面考虑。

隧道施工缝和变形缝是防水的薄弱环节，对变形缝设多道防水措施的目的是增加防水的可靠性。

**4.5.5** 对内、外衬单独受力的双层衬砌结构，渗漏水压力会影响结构承载性能，因此要求有完善的渗漏水排放系统。

内衬接缝是防水的薄弱环节，对应内衬接缝处应布置环向排水花管，可及时收集由接缝排出的渗漏水，具有针对性。

在界面敷设的排水弹性垫层，存在局部断开或者淤堵时，会形成局部压力升高，影响隧道承载性能，因此要求续长工艺不影响垫层沿纵向和沿环向的排水功能。

当采用水泵抽排渗漏水时，水量一般较小，运行期按水量情况间断起停，而排空隧道积水的设备一般水量较大，检修期连续运行。因此不宜与排空隧道积水共用同一套水泵。

**4.5.6** 回填灌浆和混凝土浇筑时，水泥浆具有一定的扩散性，可能进入渗漏水系统，造成淤堵，因此应采取措施预防。

# 5防水、排水施工

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 盾构法施工的隧道防排水应采取以防为主、防排结合的综合治理措施。主要内容有：管片本体防水、管片接缝防水、垫层排水、内衬接缝排水、隧道渗漏处理等内容。

**5.1.3** 有关防水标准，可按《地下工程防水技术规范》GB50108-2001防水等级参照执行，对于设计有明确要求的，应执行设计规定。

## 5.2 盾构法隧洞外衬防水

**5.2.1** 管片接缝材料应由有资质的工厂生产的定型产品，厂方应按施工图所示的管片型号、尺寸和设计特性生产，并经检验合格，方可应用在工程中。

**5.2.2～5.2.8** 管片防水作业前的运输、堆放、翻身等工作时，均不得损坏管片防水槽等关键部分，防水材料在管片上粘贴后，在运输时，也不得损坏，发现问题应及时修补才能进入隧洞安装；对于遇水膨胀橡胶材料，在其安装前应做好防水保护。

**5.2.9** 管片拼装时，必须保护防水材料不被损坏，并严防脱槽、扭曲、移位现象发生。在管片拼装封闭块时，为防止封闭块管片插入时损坏防水水密封条（垫），可在密封条（垫）涂以减摩剂，一经发现损坏防水密封材料，轻则就地修补，至达到规定要求，重则拆下重新调换、粘贴，以确保管片接缝防水。当施工遇到各种原因需暂停施工时，对于遇水膨胀橡胶材料应涂以缓膨剂。

## 5.3 垫层防、排水

**5.3.1～5.3.3** 借鉴穿黄隧洞双层衬砌型式，选用格栅型复合土工布作为防排水弹性垫层。两侧土工布由于其弹性模量低，是实现内、外衬独立受力的保证；此外外侧土工布用于排放外衬渗漏水，内侧格栅用于排放内衬渗漏水，再通过排水花管汇集后就近排入车道平台下方的排水总管，可防止排水层形成水压。因此应重视土工布和土工膜材料的质量，并在施工中采取相应措施，按设计要求的工艺敷设，保持其完好。

**5.3.4～5.3.8** 要确保防排水弹性垫层的完好，严防内衬钢筋架设、观测仪器埋设、过程穿过垫层、刮破垫层、电焊烧坏垫层或使垫层脱落，一旦发现垫层破损或脱落，应按设计要求的工艺进行处理，并经验收合格后，方可继续施工。除此之外，还应查明原因，采取有效措施，防止类似情况再度发生。垫层应逐个衬段敷设，经验收合格后，方可进行下一衬段施工。

## 5.4 内衬接缝防水

**5.4.1** 内衬结构缝通常是防水的薄弱环节，为此采取三重止水，应严格按本条文规定的工艺要求，正确实施，混凝土浇筑过程应确保止水铜片两翼与混凝土良好结合，充分达到防渗效果。

**5.4.2** 止水铜片在先浇段端头预埋，必须正确埋设，固定牢靠，钢筋或埋管均需避让止水铜片，不得使铜片扭曲、移位或变形，更不得穿破。衬段端部封头模板布置时，应采取措施，确保止水铜片完整。

**5.4.6** 工程实践经验表明，衬砌接缝是内水外渗的主要途径，为加强对内水外渗的防范，确保每条接缝满足水密要求，提出水压检查，以便发现渗漏及时处理。

**5.4.7** 对于承受内压较大的水工隧洞，应注意后期施工孔洞密封性能，对施工孔洞专门进行处理。

## 5.5 隧洞渗漏水处理

**5.5.1-5.5.4** 地下工程渗漏处理的原则是：“堵排结合，因地制宜，刚柔并济，综合治理”，本规程条文中所提到的处理渗漏的基本方法，是许多工程的经验总结。

# 6 内衬混凝土施工

## 6.1 一般规定

**6.1.1** 对于承受内水压力的隧洞，减少施工接缝是必要的施工措施，进一步减少后期的防水处理。

**6.1.2** 预应力混凝土由于有预应力筋，一般情况下整体配筋率较小，但在预留槽及衬砌段端部位置，由于防裂钢筋或加强钢筋的设计，导致局部钢筋较为密集，对于施工中安装存在一定难度，且由于各种预埋管道较多，会造成安装工艺复杂，应在正式施工前掌握工艺标准及工序衔接，提高施工效率。

**6.1.3**  对于预应力混凝土，除满足其设计指标外，还应满足内压条件下的有关标准，混凝土配合比设计以设计指标、施工和易性和经济性三项内容进行综合优选。要采取综合措施改善混凝士的孔隙结构，提高密实性、抗冻融、抗渗透、抗裂以及抗环境侵蚀的能力。

## 6.2 钢筋制安

**6.2.1** 本条文中钢筋除锈宜采用除锈机、风砂枪等机械除锈，钢筋数量较少时可采用人工除锈，除锈后的钢筋应尽快使用。对于有锈皮和鳞锈的钢筋必须处理并应重新鉴定，视损伤程度决定降级使用或剔除不用。

钢筋不允许加热打弯是因为通过热处理，钢筋的物理性质就会发生变化，屈服强度降低，脆性增加，不能满足施工技术要求。

**6.2.2** 本条文内容引自SL677规范的规定。在施工中经常遇到钢筋安装位置不准确导致钢筋保护层不足的问题，所以要在钢筋上绑扎垫块。同时不得为了模板施工或浇筑混凝土方便而移除或割除钢筋。

钢筋长期暴露可能会导致扎丝生锈、松动，钢筋移位。钢筋长期暴露界限一般为7～10天，特殊环境下时限更短，在施工时要根据实际情况界定。

**6.2.3** 本条文中要求焊工持证上岗是提高焊接质量的一项重要手段，钢筋焊接人员要在考试合格项目范围内从事焊接工作。

6.2.4 本条文中钢筋加工安装的允许误差表摘自《水工混凝土施工规范》SL677-2014。

## 6.3 预埋件安装

**6.3.1** 本条文在执行时建议安排责任心强的人员进行监督检查，严格按照设计及规范要求执行，因为一旦预埋件漏装或安装没有达到设计要求就埋入混凝土中，处理起来比较困难。

**6.3.2** 预埋波纹管的位置对预应力筋张拉效果有较大影响，提出安装施工的有关要求，对于后穿束的预应力施工，施工过程中会造成一定比例的波纹管进浆或堵塞现象，在后期处理难度较大，最好的办法是预防为主。

**6.3.4~6.3.5** 现场连接铜止水片的方法有搭接、对接等，规范推荐搭接双面氧焊，通过试验接头处经过高温烧烤、熔化，材质发生了变化（变硬、变脆），抗拉时断口均在接头两侧一定的范围内，所以规定搭接宽度应大于20mm这是最低限制。

## 6.4 模板制安

**6.4.2** 本条文中规定模板的整体设计还要符合施工因素的影响和要求，实施时要结合实际情况进行模板台车设计。

**6.4.4** 模板台车是移动模板的一种，由门架结构、大块模板、调整机构(液压或螺杆)、行走机构等组成的隧道二衬混凝土整体移动设备。

隧洞的衬砌断面尺寸在较长的里程区间内一般变化不大或者没有变化，采用模板台车施工在保证施工质量的前提下，可实现模块化生产，减少立模时间，加快施工速度。同时采用模板台车能保证洞内车辆及人员的安全通行，不影响其他工序施工。所以隧洞衬砌应优选模板台车。

**6.4.5** 本条文要求隧道模板台车要具备的基本要素。

**6.4.8** 封拱器是隧洞衬砌浇筑顶拱混凝土时使用的一种装置。事先将其固定在顶拱模板上，封拱时将混凝土泵管与封拱器连接，可以方便有效地使顶拱混凝土浇满。

**6.4.9** 条文中直立面混凝土的强度不得小于0.8MPa，参照《烟囱工程施工及验收规范》GB50078-2008确定。隧洞衬砌拆模强度要求，是参考《铁路隧道施工规范》TB10204-2002确定的。

## 6.5 混凝土浇筑

**6.5.1~6.5.2** 此两项条文是参照规范SL677-2014并结合实际施工经验确定的，属于执行强制性条文有关规定。

**6.5.3** 最高浇筑温度，主要考虑到最高浇筑温度是施工现场的主要温控指标，必须明确并加以严格控制。另外当浇筑温度过高时，混凝土会出现一种假凝现象，影响浇筑质量。

## 6.6 养 护

**6.6.1** 现在大多数大中型水利水电工程均在混凝土中掺用了粉煤灰等掺和料，为有利于表面散热和后期强度增长，最新规范要求无论采用何种水泥，养护时间均不宜少于14d，对于重要部位，宜适当延长养护时间，且养护的连续性即不允许时干时湿，避免混凝土水份蒸发、冷空气袭击、表面干湿变化而产生裂缝。

## 6.7 回填灌浆

**6.7.1** 回填灌浆机械设备要具备电脑显示和自动记录功能，这样施工人员可以参照实时数据准确及时调整灌浆参数，达到设计及规范要求的灌浆效果。

6.7.2 本条文参照《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》DL/T5418-2012结合南水北调穿黄隧洞回填灌浆施工实践制订。在灌浆过程中要严格按照配合比配制浆液，宜采用比重秤检查浆液比重。

# 7 预应力锚索施工

## 7.1 主要材料与设备

**7.1.1** 水电水利隧洞环向预应力工程采用的钢绞线为无涂层（有黏结）高强低松弛钢绞线。

**1** 低松弛钢绞线要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模拉型。其规格性能见说明表7.1.1。

说明表7.1.1低松弛钢绞线规格及力学性能表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 钢绞线  结构 | 钢绞线公称直径  Da / mm | 公称抗拉  强度  Rm / MPa | 整根钢绞线最大力  Fm /kN  ≥ | 整根钢绞线最大力的最大值  Fm.max / kN  ≤ | 0.2%屈服力  Fp0.2 / kN  ≥ | 最大力总生产率  (L≥500mm)  Agt / %  ≥ | 应力松弛性能 | |
| 初始负荷相当于实际最大力的百分数 / % | 1000h应力松弛率r /%  ≤ |
| 1×7 | 15.20  （15.24） | 1470 | 206 | 234 | 181 | 3.5 | 70  80 | 2.5  4.5 |
| 1450 | 220 | 248 | 194 |
| 1460 | 234 | 262 | 206 |
| 9.50  （9.53） | 1720 | 94.3 | 105 | 83 |
| 11.10  （11.11） | 128 | 142 | 113 |
| 12.70 | 170 | 190 | 150 |
| 15.20  （15.24） | 241 | 269 | 212 |
| 17.80  （17.78） | 327 | 365 | 288 |
| 18.90 | 1820 | 400 | 444 | 352 |
| 15.70 | 1770 | 266 | 296 | 234 |
| 21.60 | 504 | 561 | 444 |
| 9.50  （9.53） | 1860 | 102 | 113 | 89.8 |
| 11.10  （11.11） | 138 | 153 | 121 |
| 12.70 | 184 | 203 | 162 |
| 15.20  （15.24） | 260 | 288 | 229 |
| 15.70 | 279 | 309 | 246 |
| 17.80  （17.78） | 355 | 391 | 311 |
| 18.90 | 409 | 453 | 360 |
| 21.60 | 530 | 587 | 466 |
| 9.50  （9.53） | 1960 | 107 | 118 | 94.2 |
| 11.10  （11.11） | 145 | 160 | 108 |
| 12.70 | 193 | 213 | 170 |
| 15.20  （15.24） | 274 | 302 | 241 |
| 1×7 I | 12.70 | 1860 | 184 | 203 | 162 |
| 15.20  （15.24） | 260 | 288 | 229 |
| (1×7) C | 12.70 | 1860 | 208 | 231 | 183 |
| 15.20  （15.24） | 1820 | 300 | 333 | 264 |
| 18.00 | 1720 | 384 | 428 | 338 |

**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，检验合格后方可入库，不合格的应拒收，以防止低劣质钢绞线进入施工程序，也是控制钢绞线的第一关。

**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，也是材质复检的参照依据。供货商（厂家）应随供货批次向购买方提供相应资料，以利于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。预应力工程使用的钢绞线力学性能试验项目应包括抗拉强度、屈服强度、延伸率、松弛率、弹性模量等，钢绞线力学性能见表V。

**4** 钢绞线力学性能检验是判定其材质的重要方法。即使供货商（厂家）提供了相应的检验资料，钢绞线使用单位仍须进行该项检验，以验证其材质，使所用钢绞线的质量符合实际要求。其检验内容和方法见附录。

**5** 本条规定是为了同一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。在特殊情况下确需要替换预应力钢绞线，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时替换。

**7.1.2** 锚具指锚板和夹片的组合体，其力学性能包括硬度、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。环锚一般采用矩形锚具，以下各项应与设计要求相符：几何尺寸包括长、宽、厚、孔径、孔型、孔数及排列形式等；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。

**1** 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、实验检验报告是其产品质量的原始凭证，也是其质量复检的参照依据，所以不可缺少。为了同一部位使用的锚具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替换，须通过锚固性能试验论证，并报经有关单位审查批复同意后才能实时替换。

**2** 环向预应力工程所用锚具应按附录2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。其锚固性能应满足GB/T14370-2007中规定的下列要求：锚具效率系数ηa≥0.95，实测极限拉力时的总应变εapu≥2.0 ％。预应力筋—锚具组装件的破坏形式应是预应力钢绞线丝的断裂（单根或多根），锚具零件的变形不应过大或碎裂。其试验方法及计算见附录2。

**3** 锚具进场后经过外观检验、硬度检验、静载锚固性能试验，合格后方能投入使用，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。当一个批次较多时随机抽取其总量的10％进行外观检验。当一个批次较少时，可至少随机抽取10套进行外观检验。外观检验的内容：锚板主端面光洁度、是否镀锌、无油污、无裂缝与损伤，外形尺寸与张拉设备匹配等；夹片表面光洁度、无油污、齿牙均匀整齐、配套紧密、两端齐平、与锚板的匹配情况等。上述检验合格后方能投入使用。

**2）**锚具的硬度检验是其机械性能检验的重要项目，硬度不够或超过规定范围，均会严重影响锚固性能。所以，进场锚具须复测其硬度。锚具硬度检验是在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 ％，且锚板不少于5件，夹片不少于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的硬度范围。锚具硬度检验方法和合格判定见附录Ⅲ。

**4** 库存较久的锚具，由于环境因素或保管不善可能产生锈蚀，如一般轻微锈蚀，不会影响其锚固性能，因此使用时仅做外观检查即可，如有严重锈蚀则按7.1.7规定进行检验。

**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喇叭管、螺旋筋等这些部件的材质、几何尺寸均应符合设计要求，才能达到锚索施工质量。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。

**7.1.3** 为使锚索与混凝土结构黏结成一个整体，其黏结强度应符合设计要求，锚固体所处的环境，或混凝土结构性能的要求，锚索孔道灌浆用材的强度和性能满足设计要求。

**1** 环向预应力孔道灌浆一般采用强度等级为42.5或52.5的普通硅酸盐水泥拌制的纯水泥浆。由于火山灰和矿渣水泥泌水性较大，易干缩，易堵管，故本条规定不予采用。

**2** 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，且对化学腐蚀性极为敏感。所以防护灌浆浆材使用的水泥以及增加可灌性获得微膨胀而在浆液中掺入添加剂，不能含有氧化物、硫化物及硝酸盐等对锚索有腐蚀作用的物质，故须检测水泥中的氯离子的含量，如超过0.2‰，该水泥不可用于锚索孔道灌浆。

**3** 锚索孔道灌浆的浆液配比通过试验确定。为了检验浆体结石的强度，可在灌浆施工现场取样制作浆体的试块，试块采用7.07×cm7.07×cm7.07cm立方体试模制作。在孔道灌浆过程中，在水泥品种和浆液配合比不变的情况下，每个设计单元制模一组（3个）。其试件抗压强度应符合设计要求。

**4**  本条规定是为了防止水中有害物质对锚索产生腐蚀作用。

**5** 为了提高浆液性能，保证锚索孔道灌浆的浆液饱满度，孔道灌浆前应进行浆液泌水率试验。其试验结果必须符合设计要求。

**7.1.4**  预应力张拉机具，包括千斤顶、高压油泵、压力表、测力计等。

**1** 环向预应力一般采用穿心式千斤顶（预紧、张拉），千斤顶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**2倍**。高压油泵能与选用的千斤顶匹配，以体积小、重量轻、强度高、可靠性高、操作方便安全为原则。

**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。由于刻度压力表的精度和灵敏度偏低，而耐震压力抗震数显表的瞬间所测应力值比同级刻度压力表要精确。固本条规定压力表精度不应低于1.5级，量程等于或大于60MPa，应选用锚索设计张拉力显示值不应超过表盘读数的75%的耐震抗震数显压力表。

**3** 环向预应力施工中，测力计主要用于：

**1）**预应力钢绞线—锚具组装件静载试验检测；

**2）**锚索生产性工艺试验检测；

**3）**摩阻试验检测；

**4）**破坏性试验检测；

**5）**锚索应力检测；

**6）**验收试验检测；

上述检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，同时测力计的耐温性、抗震性、耐久性应稳定，以达到在设计规定的监测期内能有效工作。

**4** 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，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，所以无论是在使用期间或闲置期间存放时须指派认真负责的人员专职保管。入库时要进行分类登记建档，分类存放，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，或新机首次使用，或标定后连续使用6个月，都必须进行配套标定。由于环向预应力张拉的使用频率高和强度大，所以当标定未满6个月，但张拉达到1000束后，千斤顶、压力表也必须重新标定，如经检修应重新标定，以使张拉机具在锚索张拉时处于最佳工作状态，从而准确真实反映锚索张拉效果和保证其安全性能。

**5** 环向预应力钢绞线—锚具组装件静载试验一般配有专用张拉机具。通常很少移动和使用，张拉机具的处理系统，测量仪表不会受到外力影响，能够保持标定时状态。首次标定达到6个月后，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，其标定期可以适当延长，但不应超过10个月。

**7.1.5** 孔道灌浆设备的适当选取和性能的稳定性是确保孔道灌浆质量的主要前提。

**1** 锚索孔道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。选用时需考虑其技术特性和下列因素：

1. 能满足设计要求的灌浆类型和浆液浓度的灌注；
2. 能满足灌浆强度的要求；
3. 能够稳定、均匀和连续灌浆；
4. 搬运方便，操作简单。

**2** 制浆设备宜采用高速搅拌机，其转速可达1200r/min，所制备的浆液比一般低速搅拌机要均匀、流动性好、可观性强。

**3** 由于真空灌浆能够提高浆液灌注的饱满度，提高灌浆质量，且水环式真空泵操作简单、工作效率搞、实用性强，故本条规定环向预应力宜采用水环式真空泵进行真空辅助灌浆。

**4** 灌浆泵的排量应满足锚索孔道灌浆强度的需要，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％，否则可能影响锚索孔道灌浆质量。

**5** 为了在灌浆时能准确显示灌浆压力，灌浆泵所配的压力表须经当地计量部门检验合格方能使用。输浆管耐压强度不低于灌浆压力的2倍。

**6** 由于自动记录仪在灌浆过程中对灌浆各项数据监测更精确，故施灌时宜采用灌浆自动记录仪，并测记浆压、流量、比重等。流量传感器的性能应符合：流量监测范围0-50L/min，分辨率0.1L/min;压力传感器的性能应符合：压力监测范围0-10MPa,分辨率0.01MPa。

**7**  为使孔道灌浆所使用的压力传感器、流量传感器、自动记录仪等测控仪器在灌浆施工过程中能及时、准确显示所测数据，其使用前须经有关检测机构进行校验合格，并出具检验合格证和参数调整表。

## 7.2 穿 索

**7.2.1** 环向预应力工程，一般设置有防雨、防尘、防污染设施的专用锚索加工车间，但若隧洞运输距离长、吊装不方便、运输困难等因素，也可直接在隧洞设置有防水、防潮、防污染的工作平台。不得在没有任何防护措施的场地上进行锚索制作。

**7.2.2**  本条规定钢绞线下料须用砂轮切割机，是因为使用电弧或乙炔焰切割钢绞线，会使其且各部位在切割时受高温加热而改变其物理力学性能，故不可使用。

**7.2.3** 锚索下料前，按照锚索的设计尺寸及张拉工艺操作需要，将钢绞线的长度算出，即为下料长度。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，可制表列计。

**7.2.4** 本条规定锚索采用编帘分层组装的方法进行编束，是为了是锚索的整体性强，在安装过程中不会相互交错，以便于锚索张拉时受力均匀。

**7.2.5** 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。

**7.2.6** 锚索安装宜采用卷扬机牵引，人工辅助的方式进行。

**7.2.7** 由于环向预应力比一般直线预应力的孔道摩阻大，影响锚索在穿索时困难。石墨粉一般用于工业润滑，同时对预应力锚固力没有影响，为了降低锚索与孔道的摩阻，故在锚索穿索时宜对锚索表面涂刷定量的石墨粉，以利于提高穿索效率，还可降低孔道摩阻系数。

## 7.3 张 拉

**7.3.1** 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，以使锚索张拉作业顺利进行。

**2** 锚索张拉前对原有或重新搭建的作业台车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等进行认真检查。如有安全隐患等问题，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或测力计准确提供预应力锚索的张拉力值至关重要。为此，在张拉前须对所使用的机具进行配套标定，并提供千斤顶张拉力—压力表读数关系曲线及其计算公式。

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

**5** 监测孔锚索测力计的安装位置是结构上的要求，本款规定测力计安装与孔轴同心，其目的是为了方式张拉时产生偏心。

**6** 环向预应力锚索张施工质量要求较高，也存在在一定的不安全因素，因此要求操作人员须经专门的培训，使其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。为了施工安全，本款强调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** 锚索张拉前按设计要求进行生产性试验，是为了验证设计参数，起到优化预应力施工工艺的作用，使环向预应力锚索张拉过程中可能遇到的各类问题得到真实体现和合理的处理的处理措施。

**7.3.2** 张拉辅助工具及千斤顶安装精度是预应力张拉质量保证的前提：

**1** 由于主动端的钢绞线在弧形垫座部位角度变换比较大，钢绞线与弧形垫座的摩擦阻力大，故本款规定主动端绞线在安装弧形垫座部位应逐根涂抹黄油，并在弧形垫座孔内抹油，来降低其摩阻力。

**2** 由于环向预应力张拉安装部件多，安装复杂，必须一次安装到位。所以各部件的安装顺序不得错乱，从而提高工作效率。

**3** 本款规定钢绞线与工作锚具及千斤顶的各部件不得交叉入孔，是为了防止锚索在张拉过程中钢绞线受力不均，而造成断丝。

**4** 限位板的凹槽面是为了防止锚索在张拉过程中钢绞线向外伸长时，夹片有足够的空间回弹，但又不至于脱落。弧形垫座的孔号与钢绞线编号对应，是为了防止交错而安装不到位。

**5** 环向预应力锚索张拉过程中为了保证张拉力在环向轴线上，故本款要求过渡块、张拉套筒、千斤顶装配应吻合对正,接合应紧凑,无脱节歪斜现象。

**6** 由于锚索在张拉完成锁定后，千斤顶几个辅助部件要拆除，为了防止张拉力大时工具夹片与工具锚板锁太紧而不宜脱落，故工具夹片安装前在外壁均匀涂抹少量退锚灵。装入锥孔后逐个打紧是为了将安装好的各个部件故定，防止其松动而歪斜或脱落。

**7** 环向预应力的工作锚具在张拉过程中随着张拉力的增大而产生游动，工作锚具安装平正不倾斜，是为了锚索张拉过程中锚具游动平稳、受力均匀不偏心。工作锚具安装在距喇叭管口25-35cm处，也是为了锚具在游动的过程中有足够的空间，以免造成空间不足，张力过大，而造成孔口处的混凝土出现裂纹。

**7.3.3** 由于环向预应力张拉力大，且内衬混凝土壁较薄，为了确保锚索张拉时对混凝土造成破坏，所以本条规定待回填灌浆经检查达到设计要求，且周围混凝土施工对张拉无大的干扰方可张拉，以避免质量和安全事故。

**7.3.4** 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，混凝土结构预应力锚索张拉时有实测值大于理论计算伸长值的等于或小于6%的情况。这可能是由于张拉机具出现故障等原因。伸长值理论计算公式见附录5。

**7.3.5** 为使各股钢绞线在张拉时受力均匀，采用单孔千斤顶对钢绞线进行逐股预紧，预紧力一般为0.1～0.2，预紧过程中要注意不可遗漏，所有预应力钢绞线全部预紧完毕后，即可进行整束张拉。当无法进行整束张拉时，在征得监理工程师同意后，可采用单根分级循环、反复张拉，直至各股钢绞线应力均匀。

**7.3.6** 环向与应力锚索分序是为了分段混凝土在张拉过程中受力均匀，避免局部混凝土单独受力和出现纵向拉应力。张拉过程中分级加载的级数与锚索长度、设计张拉力、孔道质量及张拉方式有关。由于环向预应力弧形垫座及孔道摩阻较大，机具拆装频率高、复杂，不宜分级过多，以避免张拉段的钢绞线疲劳和磨损而出现断丝。

**7.3.7** 锚索张拉过程中采取缓慢加载，其目的是为了索体充分调整应力，使之受力均匀。同样锚索卸载时也要缓慢。如果采取快速降载可能会导致混凝土受瞬时荷载冲击，而造成混凝土结构裂纹。

**7.3.8** 对锚索索施加预应力的过程中，采用分级张拉持荷稳压的目的是为了使索体能充分调整应力，各股钢绞线受力均匀，从而降低锚索锁定后的应力损失。

**7.3.9** 为控制与应力锚索张拉质量，锚索张拉均采取张拉力为主与伸长值校核的双控措施。在每级加载后要同步量测其伸长值；锚索锁定后要量测预应力钢绞线的滑移量，再用附录V中式（V2)计算实际伸长值，与同级荷载下理论计算伸长值进行比较，根据7.3.4规定的判断张拉质量是否符合规范和设计，并认真作好记录。

**7.3.10** 一般情况下，锚索张拉过程中是正常安全的。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。其主要原因可能是预应力钢绞线存在材质缺陷，张拉千斤顶、油压表或油泵出现故障。其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** 混凝土裂纹。其主要原因可能是喇叭口的质量缺陷、张拉机具工作异常、工作锚具安装不到位导致预应力集中等。其表现特征为预留槽上下口混凝土出现可见的细微裂纹或混凝土掉块。

**3** 夹片破裂。其主要原因可能是夹片存在质量缺陷。其表现特征是张拉中可听到破裂声，甚至有夹片弹出。

**4** 千斤顶严重漏油。其原因可能是千斤顶内密封圈老化或破损。表现特征是正常加压时，压力表工作不正常、活塞不移动或明显可见喷油。

**5** 压力表不回零。其原因是压力表内弹簧失效或油路问题。

锚索张拉中如出现上述情况之一，表明张拉系统已不正常工作，此时需要立即停机、查找原因、进行处理，如对张拉机具进行维修或更新机具。若张拉机具进行了修理，要重新进行配套标定后，方可使用。

**7.3.11** 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，致使锚索张拉效果受到影响。所以锚索张拉过程中夹片错牙不能过大，否则要放张退锚调换夹片，重新安装后再行张拉。

**7.3.12** 锚索钢绞线断丝超过两丝直接影响该束锚索的锚固性能，而环向预应力锚索张拉时极易断丝，所以从操作上应严格按照设计要求执行，否则若断丝超过两丝须退锚重新穿索张拉。

**7.3.13** 环向预应力锚索张拉记录，是工程竣工及运行期可追溯的重要技术档案资料。其内容包括：

**1** 张拉机具及其标定资料；

**2** 所采用的张拉程序、工艺及技术措施；

**3** 安全操作技术措施；

**4** 分级加载、持荷稳压；

**5** 个及张拉力及其对应的实测伸长值；

**6** 稳压锁定、回缩量；

**7** 张拉过程中的监测记录 ；

**8** 张拉过程中的异常情况；

**9** 实测伸长值与理论伸长值比较；

**10** 质量签证记录。

**7.3.14** 由于环向预应力的特殊性，根据设计要求的不同，单元划分与岩锚也有所不同。环向预应力锚索一般以混凝土的一个浇筑段内所有锚索作为一个单元，其达标要求以先单束后整段的原则进行判定。其张拉伸长值计算及达标要求参见附录E

## 7.4 预留槽回填

**7.4.1** 为了保证新老混凝土结合讲好，所以预留槽回填前应凿毛，并清理干净。

**7.4.2** 预留槽回填前在槽内上下喇叭口处埋设孔道灌浆管，其目的是为孔道灌浆预留进浆通道，埋设的管咀应固定牢靠，若在回填过程中脱落，须重新埋设并清理干净后重新回填。

**7.4.3** 预留槽内缘铺设橡胶止水带是为了保证预留槽的密封性和防水性。

**7.4.4** 预留槽混凝土的配合比一般采用隧洞内衬混凝土统一等级，选用微膨胀混凝土的目的也是为了让预留槽增强与原内衬混凝土结合。

**7.4.5** 预留槽回填应严格按照设计要求单独制模，选用合理的振捣器材，以确保回天质量。

## 7.5 孔道灌浆

**7.5.1** 孔道灌浆前准备

**1** 环向预应力孔道灌浆的设备和材料的选取是灌浆质量保证的重要前提，所以其材料和设备应能够满足设计要求。

**2** 环向预应力采用灌浆时，由于浆液在顶拱处容易形成气室，在拱顶处预埋排气管嘴，以利于连接真空泵及排气。

**3** 环向预应力孔道的畅通和干净直接影响灌浆质量的好坏，为了保证灌浆质量，一般在灌浆前，再次采用高压风扫孔，确保孔内畅通，无杂物堵塞。

**4** 由于环向孔道预应力张拉后的的孔内情况复杂，所以在孔道灌浆工作开始前应进行生产性试验，已验证灌浆参数和优化施工工艺。

**5** 孔道灌浆前检查预留槽回填质量有无空鼓、漏风、强度是否符合设计要求，主要目的是为了防止在孔道灌浆过程中出现漏气导致孔道内不能形成真空，以及在灌浆过程中出现漏浆等特殊情况。

**7.5.2** 环向孔道灌浆一般采用从两端向中间赶浆的方法进行，所以在灌浆时的各个步骤非常重要，每一步都直接影响灌浆质量。孔道灌浆屏浆10min～30min是为了增强孔道内浆液的饱满度，以确保孔道灌浆的质量。

**7.5.3** 孔道灌浆过程中一般是正常的，但因停电、机器故障等诸多因素可能会出现灌浆中断。当出现异常中断时应尽快恢复灌浆，若时间太长孔内的浆液会流动性降低、固化、初凝等，从而导致恢复灌浆无法灌入造成堵管，所以本条规定如中断时间超过30min，应将孔道冲洗干净后方能重新灌浆。

**7.5.4** 为加强锚固工程质量监控，对对封孔灌浆这种隐蔽工程施工全过程的各项质量数据全面、及时、准确地掌控，本条规定封孔灌浆采用灌浆自动记录仪记录是必要的。

# 8 检验与监测

## 8.1 一般规定

**8.1.1** 检验与监测是质量控制的重要手段，承包单位按照国家、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。根据GB/T50326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检验与监测工作，对预应力工程施工实行全程监控。

**8.1.2** 三级检查制度是施工过程中质量控制的关键手段。在施工中应严格执行三检制度，确保工程施工质量。

**9.1.3** 本条规定是为了确保环向预应力施工前混凝土的施工质量能够满足设计8要求，避免在预应力施工过程中对混凝土的结构安全造成影响。所以若混凝土的施工质量检查不合格时，严禁进行环向预应力施工。

## 8.2 检 验

**8.2.1** 重要的环向预应力衬砌结构工程，预应力筋性能存在一旦问题，将直接影响工程的安全运行，因此要求进行预应力筋性能试验。

**8.2.2** 锚具组装件试验，可参考有关规范或设计的要求进行。本条规定的试验检验如承包商无此能力，可委托当地有资质的检验机构进行。

**8.2.3** 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，检验锚具的可靠性。结构预应力均以单元工程作为试验段，如南水北调中线穿黄隧洞做了地面2节地下一节1:1现场模型试验，大规模施工前还进行了生产性试验。

**8.2.4** 如果试验区的结构与实际工程有差异，那么得出的试验成果也就没有代表性，意义不大。因此，预应力锚索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要与实际工程相同。 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，故须选择对实际工程具有代表性的部位和结构进行试验。

**8.2.5** 目前我国各行业预应力工程验收试验抽样数量不够一致。验收试验可视工程规模大小由设计确定，但抽样数量都不宜少于3束。

**8.2.6** 预应力工程无论是性能试验、验收试验，在试验工作结束后均需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，包括试验部位、时间、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

**8.3.1** 环向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。监测数据还可为工程验收提供支撑依据。

**8.3.2** 渗透水压力监测对盾构隧道衬砌结构较为重要，因为外衬为管片拼装结构，过大的内、外衬间水压力将危及管片结构的结构安全。渗漏水量的大小可评估内衬防水体系效果，必要时进行检修维护。

**8.3.3** 本条规定强调了监测工作要与锚索张拉同时进行，主要是测得结构的应力、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。

**8.3.4** 混凝土浇筑过程中混凝土下料和振捣不当，均容易破坏监测仪器，因此要求有专人对观测设施进行监护。

**8.3.5** 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，还需对监测资料作全面、详细的移交。在运行过程中如有仪器发生故障、失效要及时修复，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，要设法尽快修复或更换。

**8.3.6** 施工期定期的监测报告，其内容宜详细、全面。