

上海市工程建设规范

后张预应力施工规程

Specification for post-tensioned
construction

DG/TJ08—235—2012

J12145—2012

2012 上海

上海市工程建设规范

后张预应力施工规程

Specification for post-tensioned
construction

DG/TJ08-235-2012

主编单位:上海市建筑科学研究院(集团)有限公司
上海建科预应力技术工程有限公司
上海建工集团股份有限公司
批准部门:上海市城乡建设和交通委员会
施行日期:2012年10月1日

2012 上海

上海市城乡建设和交通委员会文件

沪建交[2012]820号

上海市城乡建设和交通委员会 关于批准《后张预应力施工规程》为 上海市工程建设规范的通知

各有关单位：

由上海市建筑科学研究院(集团)有限公司等单位主编的《后张预应力施工规程》，经市建设交通委科技委技术审查和我委审核，现批准为上海市工程建设规范，统一编号为 DG/TJ08—235—2012，自 2012 年 10 月 1 日起实施。原《后张预应力施工规程》(DGJ08—235—1999)同时废止。

本规范由上海市城乡建设和交通委员会负责管理、上海市建筑科学研究院(集团)有限公司负责解释。

上海市城乡建设和交通委员会

二〇一二年七月十七日

前 言

本规程根据原上海市建设和交通委员会《关于印发(2008年上海市工程建设规范和标准设计编制计划)的通知》(沪建交[2008]470号)的要求,由上海市建筑科学研究院(集团)有限公司、上海建科预应力技术工程有限公司、上海建工集团股份有限公司等单位对《后张预应力施工规程》DGJ08-235-1999进行修订而成。

修订过程中,编制组总结了近年来上海市及国内其它地区后张预应力工程施工的实践经验和研究成果,开展了多项专题研究,参考了有关国际标准和国外先进标准,并与国内相关标准规范进行了协调,广泛征求了有关专家和各方面的意见,对具体内容进行了反复讨论和修改,并经审查定稿。

本规程主要内容有:总则、术语和符号、材料、施工机具、施工计算、制作与安装、混凝土浇筑、张拉与锚固、灌浆与封锚保护、体外预应力施工、钢结构预应力施工、施工管理、施工验收、附录等。

在规程执行过程中,请各单位结合工程实践,认真总结经验,并将意见和建议寄送上海市建筑科学研究院(集团)有限公司(地址:上海市宛平南路75号,邮编:200032)。

主 编 单 位:上海市建筑科学研究院(集团)有限公司
上海建科预应力技术工程有限公司
上海建工集团股份有限公司
参 编 单 位:上海市建筑构件制品有限公司
上海建工七建集团有限公司

上海建工一建集团有限公司

上海市城市建设设计研究总院

上海申佳金属制品有限公司

上海市机械施工有限公司

主要起草人员:张德锋 胡祖光 龚 剑

参加起草人员:吴 杰 王美华 周 涛 周 良 钟麟强

王绍义 郑钧雅 唐 喜 卜昌富 金剑亮

陈晓明 徐振峰

主要审查人员:钱寅泉 高承勇 邱锡宏 陆光间 陈韵兴

薛伟辰

上海市建筑建材业市场管理总站

二〇一二年五月

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术 语	(2)
2.2	符 号	(4)
3	材 料	(6)
3.1	预应力筋	(6)
3.2	涂层预应力筋	(14)
3.3	锚具、夹具和连接器	(17)
3.4	成孔材料	(21)
3.5	灌浆材料	(22)
3.6	材料存放	(22)
4	施工机具	(24)
4.1	制束机具	(24)
4.2	张拉机具	(25)
4.3	灌浆机具	(28)
4.4	设备的标定与维护	(29)
5	施工计算	(31)
5.1	一般规定	(31)
5.2	预应力筋下料长度	(31)
5.3	预应力筋张拉力	(33)

5.4	预应力损失	(35)
5.5	预应力筋张拉伸长值	(40)
5.6	局部受压验算	(41)
6	制作与安装	(43)
6.1	一般规定	(43)
6.2	预应力筋制作	(43)
6.3	预应力孔道成型	(44)
6.4	预应力筋穿束	(48)
6.5	无粘结预应力筋安装	(49)
6.6	质量要求	(50)
7	混凝土浇筑	(53)
7.1	一般规定	(53)
7.2	混凝土浇筑	(53)
7.3	养护与拆模	(54)
7.4	质量要求	(55)
7.5	混凝土缺陷修补	(55)
8	张拉与锚固	(56)
8.1	一般规定	(56)
8.2	张拉工艺	(57)
8.3	张拉操作	(58)
8.4	伸长值校核	(60)
8.5	质量要求	(61)

9	灌浆与封锚保护	(62)
9.1	一般规定	(62)
9.2	浆体制作	(63)
9.3	灌浆工艺	(64)
9.4	真空辅助灌浆	(65)
9.5	封锚保护	(66)
9.6	质量要求	(67)
10	体外预应力施工	(68)
10.1	一般规定	(68)
10.2	体外束的布置	(69)
10.3	体外预应力构造	(71)
10.4	施工和防护	(72)
11	钢结构预应力施工	(75)
11.1	一般规定	(75)
11.2	施工仿真计算	(75)
11.3	制作与安装	(76)
11.4	施加预应力	(78)
11.5	施工监测	(80)
11.6	防护和维修	(81)
12	施工管理	(82)
12.1	一般规定	(82)
12.2	施工配合	(83)

12.3	施工安全	(84)
12.4	质量控制	(86)
12.5	环境保护	(87)
13	施工验收	(88)
13.1	一般规定	(88)
13.2	验收记录	(89)
附录 A	各类锚具的组成部件及构造	(90)
附录 B	金属波纹管 and 塑料波纹管规格	(99)
附录 C	预应力损失测试方法	(101)
附录 D	预应力张拉申请单	(106)
附录 E	预应力张拉记录表	(107)
附录 F	浆体性能测试方法	(108)
附录 G	孔道灌浆记录表	(111)
附录 H	预应力分项工程质量验收记录	(112)
	本规程用词说明	(117)
	引用标准名录	(118)
	条文说明	(119)

CONTENTS

1	General	(1)
2	Terms and Symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(4)
3	Materials	(6)
3.1	Prestressing Steel	(6)
3.2	Coated Prestressing Steel	(14)
3.3	Anchorage, Grip and Coupler	(17)
3.4	Ducts	(21)
3.5	Grout Materials	(22)
3.6	Storage and Handling	(22)
4	Construction Equipment	(24)
4.1	Fabrication Equipment	(24)
4.2	Stressing Equipment	(25)
4.3	Grouting Equipment	(28)
4.4	Calibration and Maintenance	(29)
5	Construction Calculation	(31)
5.1	General	(31)
5.2	Required Length of Tendons	(31)
5.3	Stressing Force	(33)

5.4	Loss of Prestress	(35)
5.5	Elongation of Tendons	(40)
5.6	Calculation on Anchorage Zone	(41)
6	Fabrication and Installation	(43)
6.1	General	(43)
6.2	Tendon Fabrication	(43)
6.3	Duct Installation	(44)
6.4	Tendon Installation	(48)
6.5	Installation of Unbonded Tendons	(49)
6.6	Quality Requirements	(50)
7	Concrete Placement	(53)
7.1	General	(53)
7.2	Concrete Placing	(53)
7.3	Curing and Form Removing	(54)
7.4	Quality Requirements	(55)
7.5	Repair of Concrete Defects	(55)
8	Stressing and Anchoring	(56)
8.1	General	(56)
8.2	Stressing Procedure	(57)
8.3	Stressing Operation	(58)
8.4	Elongation Checking	(60)
8.5	Quality Requirements	(61)

9	Grouting and Anchorage Protection	(62)
9.1	General	(62)
9.2	Grout Mixing	(63)
9.3	Grouting Procedure	(64)
9.4	Vacuum Grouting	(65)
9.5	Anchorage Protection	(66)
9.6	Quality Requirements	(67)
10	Construction of External Post-tensioning	(68)
10.1	General	(68)
10.2	Layout of External Tendons	(69)
10.3	Detailing of External Post-tensioning	(71)
10.4	Construction and Protection	(72)
11	Construction of Prestressed Steel Structure	(75)
11.1	General	(75)
11.2	Simulating Calculation on Construction	(75)
11.3	Fabrication and Installation	(76)
11.4	Stressing	(78)
11.5	Construction Monitoring	(80)
11.6	Protection and Repair	(81)
12	Constuction Managment	(82)
12.1	General	(82)
12.2	Constuction Cooperation	(83)

12.3	Constuction Safety	(84)
12.4	Quality Control	(86)
12.5	Environmental Protection	(87)
13	Acceptance of Constuction	(88)
13.1	General	(88)
13.2	Acceptance Record	(89)
Appendix A	Components and Details of Anchorages ...	(90)
Appendix B	Dimension of Corrugated Metal and Plastic Ducts	(99)
Appendix C	Test Methods of Prestress Loss	(101)
Appendix D	Application Form for Stressing	(106)
Appendix E	Stressing Record Form	(107)
Appendix F	Test Methods of Grout Properties	(108)
Appendix G	Grouting Record Form	(111)
Appendix H	Quality Acceptance Form of Post-Tensioning	(112)
	Explanation of Words in This Specification	(117)
	List of Quoted Standards	(118)
	Explanation of Provisions	(119)

1 总 则

1.0.1 为了在上海地区预应力工程施工中,贯彻执行国家的技术经济政策,做到技术先进、安全适用、经济合理、确保质量,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于上海地区建筑工程和桥梁工程中后张预应力工程的施工与验收。

1.0.3 后张预应力工程的施工应由具有相应专业承包资质等级的施工单位承担。

1.0.4 后张预应力工程施工,除应符合本规程的规定外,尚应符合国家和上海市现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 后张法 post-tensioning method

在混凝土达到一定强度的构件或结构中,张拉预应力筋并用锚具永久固定,使混凝土产生预压应力的施工方法。

有粘结后张法需要在构件或结构中预留孔道,并在张拉锚固后灌浆;无粘结后张法是在构件或结构中预先铺设无粘结预应力筋,不需要留孔和灌浆。

2.1.2 预应力筋 prestressing steel

施加预应力用的单根或成束钢丝、钢绞线、螺纹钢筋和钢拉杆的总称。

2.1.3 有粘结预应力筋 bonded prestressing steel

张拉后直接与混凝土粘结或通过灌浆使之与混凝土粘结的一种预应力筋。

2.1.4 无粘结预应力筋 unbonded prestressing steel

表面涂防腐油脂并包护套后,与周围混凝土不粘结,靠锚具传递压力给构件或结构的一种预应力筋。

2.1.5 拉索 tension cable

由索体和锚具组成的受拉构件。索体可为钢丝束、钢绞线束或钢拉杆等。

2.1.6 锚具 anchorage

在后张法预应力构件或结构中,用于保持预应力筋的拉力并将其传递到构件或结构上所用的永久性锚固装置。

2.1.7 成孔材料 ducts

用于后张预应力混凝土构件预留孔道成形的材料,成孔用管材有金属波纹管(螺旋管)、塑料波纹管和钢管等。

2.1.8 锚固区 anchorage zone

从预应力构件或结构端部锚具下的局部高应力扩散到正常压应力的区段。

2.1.9 张拉控制应力 control stress for tensioning

预应力筋张拉时在张拉端所施加的应力值。

2.1.10 预应力损失 prestress loss

预应力筋张拉过程中和张拉后,由于材料特性、结构状态和张拉工艺等因素引起的预应力筋应力降低的现象。后张预应力损失包括:摩擦损失、锚固损失、弹性压缩损失、预应力筋应力松弛损失和混凝土收缩徐变损失等。

2.1.11 锚口摩擦损失 prestress loss due to friction at anchorage device

预应力筋在锚具及张拉端锚垫板喇叭口转角处由于摩擦引起的预应力损失。当夹片式锚具采用限位自锚工艺张拉时,夹片逆向刻划预应力筋引起的损失也属锚口摩擦损失。

2.1.12 变角张拉摩擦损失 prestress loss due to friction at deviated device

预应力筋在变角装置内转角处由于摩擦引起的预应力损失。

2.1.13 有效预应力 effective prestress

指扣除预应力损失后,在预应力筋中建立的应力。

2.1.14 体外预应力束 external prestressing tendon

布置在结构构件截面之外的预应力筋,仅在锚固区和转向块处与构件或结构相连接。

2.1.15 转向块 deviator

在腹板、翼缘或腹板翼缘交接处设置的混凝土或钢支承块，与梁段整体浇筑或具有可靠连接，以控制体外束的几何形状或提供改变体外束方向的手段，并将预加力传至结构。

2.1.16 预应力钢结构 prestressed steel structure

在钢结构设计、制造、安装、施工和使用过程中，采用人为方法引入预应力以提高结构强度、刚度和稳定性的各类钢结构。

2.1.17 零状态 zero state

预应力钢结构构件拼装后的零应力状态。

2.1.18 初始状态 initial state

钢结构预应力施加完毕后，在预应力和自重作用下的自平衡状态。

2.1.19 工作状态 loading state

钢结构投入使用后，在预应力、结构自重和外部荷载作用下的平衡状态。

2.1.20 质量控制 quality control

为了保证最终的工程质量，根据已批准的施工方案和质量保证文件，对工程各施工阶段进行连续监控的过程。

2.1.21 检验批 inspection lot

由同一的施工条件并有一定数量的材料或作业项目组成的基本检验单元。

2.2 符 号

A_p —— 预应力筋的计算截面积；

E_c —— 混凝土弹性模量；

E_p —— 预应力筋弹性模量；

- f_{ptk} —— 预应力筋抗拉强度标准值；
 f_{pyk} —— 预应力螺纹钢抗拉强度标准值；
 F_{con} —— 预应力筋张拉控制力；
 P_1 —— 预应力筋张拉端拉力；
 P_2 —— 预应力筋固定端拉力；
 P_m —— 预应力筋平均拉力；
 σ_{pe} —— 由预加应力产生的混凝土法向应力；
 σ_{con} —— 预应力筋张拉控制应力；
 σ_{pe} —— 预应力筋的有效应力；
 σ_{l1} —— 锚具变形和预应力筋内缩引起的预应力损失；
 σ_{l2} —— 预应力筋的摩擦损失；
 σ_{l3} —— 混凝土弹性压缩引起的预应力损失；
 a —— 锚具变形和预应力筋内缩值；
 μ —— 摩擦系数；
 κ —— 考虑孔道每米长度局部偏差的摩擦系数；
 θ —— 从张拉端至计算截面预应力筋曲线段两端切线的夹角；
 l —— 预应力筋孔道长度；
 L —— 预应力筋下料长度；
 l_f —— 预应力筋孔道反向摩擦影响长度；
 m —— 预应力筋孔道摩擦损失斜率；
 ΔL_p^c —— 预应力筋张拉时理论计算伸长值；
 ΔL —— 预应力筋张拉时实测伸长值；
 ΔL_1 —— 从初张拉力至最大张拉力之间的实测伸长值；
 ΔL_2 —— 初张拉力以下的推算伸长值。

3 材 料

3.1 预应力筋

3.1.1 预应力混凝土结构所采用的钢丝、钢绞线、螺纹钢筋等材料的质量和性能应符合现行国家标准的规定。其中钢丝应符合《预应力混凝土用钢丝》(GB/T 5223)的规定;钢绞线应符合《预应力混凝土用钢绞线》(GB/T 5224)的规定;螺纹钢筋应符合《预应力混凝土用螺纹钢筋》(GB/T 20065)的规定。

3.1.2 预应力钢结构所采用的钢丝束、钢绞线、钢拉杆等索体的质量和性能应符合下列规定:

1 钢丝束应符合现行行业标准《斜拉桥热挤聚乙烯高强钢丝拉索技术条件》(GB/T 18365)的规定;

2 钢绞线应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》(GB/T 5224)、现行行业标准《高强低松弛预应力热镀锌钢绞线》(YB/T 152)的规定;

3 钢拉杆应符合现行国家标准《钢拉杆》(GB/T 20934)的规定。

钢丝束、钢绞线等索体护套材料应采用高密度聚乙烯,其技术性能应符合现行行业标准《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》(CJ/T 297)的规定。

3.1.3 常用钢丝、钢绞线、预应力螺纹钢筋和钢拉杆的规格和力学性能见表 3.1.3-1、表 3.1.3-2、表 3.1.3-3 和表 3.1.3-4。

表 3.1.3—1 低松弛光圆及螺旋肋钢丝的规格和力学性能

公称直径 (mm)	直径允许偏差 (mm)	公称截面积 (mm ²)	每米参考重量 (g/m)	极限抗拉强度标准值 f_{ptk} (N/mm ²)	抗拉强度设计值 f_{py} (N/mm ²)	抗压强度设计值 f'_{py} (N/mm ²)	最大下总伸长率 δ (%)	应力松弛性能	
								初始应力相当于公称抗拉强度的百分数 (%)	1000h 后应力松弛率 (%)
								不小于	不大于
5.00	±0.05	19.63	154	1470 1570 1670 1770 1860	1040 1110 1180 1250 1320				
6.00	±0.05	28.27	222	1470 1570 1670 1770	1040 1110 1180 1250	410	3.5	60 70 80	1.0 2.5 4.5
6.25		30.68	241						
7.00		38.48	302						
8.00	±0.06	50.26	394	1470 1570	1040 1110				
9.00		63.62	499						
10.00		78.54	616	1470	1040				
12.00		113.10	888						

注：1. 各种规格的螺旋肋钢丝基圆直径允许偏差均为±0.05mm；

2. 钢丝弹性模量为 $(2.05 \pm 0.1) \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ，但不作为交货条件。

表 3.1.3-2 1×7 结构低松弛钢绞线的规格和力学性能

钢绞线结构	公称直径 (mm)	直径允许偏差 (mm)	公称截面积 (mm ²)	每米参考重量 (g/m)	极限抗拉强度标准值 f_{ptk} (N/mm ²)	抗拉强度设计值 f_{py} (N/mm ²)	抗压强度设计值 f_{py} (N/mm ²)	最大力下总伸长率 δ (%)	应力松弛性能	
									初始负荷相当于公称最大力的百分数 (%)	1000h 后应力松弛率 (%)
									不小于	不大于
1×7	12.7	+0.40 -0.20	98.7	775	1720	1220	390	3.5	60	1.0
					1860	1320				
			1960	1390						
	15.2		140	1101	1720	1220				
			1860	1320						
	1960	1390								
	15.7	150	1178	1770	1250	1860	1320			
	17.8	191	1500	1720	1220	1860	1320			
	21.60	285	2237	1770	1250	1860	1320	70	2.5	
								80	4.5	
(1×7) C	12.7	+0.40 -0.20	112	890	1860	1320				
	15.2		165	1295	1820	1290				
	18.0		223	1750	1720	1220				

- 注:1. 钢绞线弹性模量为 $(1.95 \pm 0.1) \times 10^5 \text{ N/mm}^2$, 但不作为交货条件;
 2. 极限强度标准值为 1960MPa 的钢绞线作为后张预应力配筋时, 应有可靠的工程经验。

表 3.1.3—3 预应力螺纹钢筋的规格和力学性能

公称直径 (mm)	公称截面积 (mm ²)	理论重量 (kg/m)	屈服强度标准值 f_{pyk} (N/mm ²)	极限抗拉强度标准值 f_{ptk} (N/mm ²)	抗拉强度设计值 f_{py} (N/mm ²)	抗压强度设计值 f'_{py} (N/mm ²)	最大力下总伸长率 A_{gt} (%)	应力松弛性能
								1000h 后应力松弛率 (%)
							不小于	不大于
18	254.5	2.11	785	980	650	410	3.5	3.0
25	490.5	4.10	830	1030	710			
32	804.2	6.65	930	1080	770			
40	1256.6	10.34	1080	1230	900			
50	1963.5	16.28						

注:1. 钢筋弹性模量为 $2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$;

2. 表中应力松弛率系初始应力为 80% 公称屈服强度下的值。

表 3.1.3—4 钢拉杆的规格和力学性能

强度级别	杆体直径 (mm)	屈服强度	抗拉强度	断后伸长率	断面收缩率	冲击吸收功 A_{KV}	
		R_{eH} (N/mm ²)	R_m (N/mm ²)	A (%)	Z (%)	温度 °C	J
不小于							
GLG345	20~210	345	470	21	—	0°C	34
						-20°C	
						-40°C	27
GLG460	20~180	460	610	19	50	0°C	34
						-20°C	
						-40°C	27

续表 3.1.3-4

强度级别	杆体直径 (mm)	屈服强度	抗拉强度	断后伸长率	断面收缩率	冲击吸收功 A_{KV}	
		R_{eH} (N/mm ²)	R_m (N/mm ²)	A (%)	Z (%)	温度℃	J
		不小于					
GLG550	20~150	550	750	17	50	0℃	34
						-20℃	
						-40℃	27
GLG650	20~120	650	850	15	45	0℃	34
						-20℃	
						-40℃	27

- 注:1. 钢拉杆由钢质杆体和连接件等组件组成,杆体屈服强度分为 345、460、550 和 650 四种强度级别,其代号由钢拉杆的汉语拼音字母 GLG 和代表杆体屈服强度值组成;
2. 钢拉杆的端头连接型式有螺纹连接的 U 型接头、O 型接头、单向绞螺纹接头、双向绞螺纹接头等;
3. 钢拉杆的普通螺纹应符合 GB/T 196 和 GB/T 197 中 7H/6g 的规定,梯形螺纹应符合 GB/T 5796 中的 8H/7e 的规定;
4. 根据钢拉杆的强度级别,对钢拉杆的杆体及组件可选用碳素结构钢、优质碳素结构钢、低合金高强度结构钢和合金结构钢等材料,其牌号及化学成分应分别符合 GB/T 700、GB/T 699、GB/T 1591 和 GB/T 3077 等标准的要求。

3.1.4 混凝土结构用预应力筋的品种、规格、强度等级和数量应符合设计要求。在施工中,当预应力筋需要代换时,应进行专门计算,并经原设计单位确认后实施。预应力筋的代换应符合下列规定:

- 1 同一品种同一强度级别、不同直径的预应力筋代换后,预**

应力筋的截面面积不得小于原设计截面面积；

2 同一品种不同强度级别或不同品种的预应力筋代换后，预应力筋的受拉承载力不得小于原设计承载力；

3 预应力筋代换后，总张拉力或总有效预拉力不得小于原设计要求。对预应力混凝土框架梁，预应力筋代换后梁端截面配筋尚应满足国家和上海市现行有关标准的抗震性能要求；

4 代换预应力筋的伸长率和屈强比不得小于原设计要求，应力松弛率不得大于原设计要求；

5 预应力筋代换后，构件中的预应力筋布置应满足设计规范的构造要求；代换后如锚固体系有变动，应重新验算锚固区的局部受压承载力。

3.1.5 混凝土结构用预应力筋进场时应分批验收，钢丝、钢绞线和螺纹钢验收时，除应按合同要求对其质量证明书、标志、包装和规格等进行检查外，尚应按本规程第 3.1.6～3.1.8 条规定进行检验。

3.1.6 钢丝进场验收应按下列规定进行检验：

1 钢丝的外观质量应逐盘(卷)检查，钢丝表面不得有油污、裂纹、机械损伤和目视可见的锈蚀麻点，表面允许有回火色和轻微浮锈；

2 钢丝的力学性能应按批抽样检验，每一检验批质量不应大于 60t。从同一批中抽取 5%，但不少于 3 盘，在每盘钢丝的两端取样进行抗拉强度、弯曲和伸长率的试验。当有一项试验结果不合格时，则该盘钢丝为不合格品；再从同批未试验过的钢丝盘中取双倍数量的试样重做试验，如仍有一项试验结果不合格，则该批钢丝判为不合格，也可逐盘检验取用合格品。

对设计文件中指定要求的钢丝应力松弛性能、疲劳性能、扭

转性能、锚头性能等,应在订货合同中注明交货条件和验收要求。

3.1.7 钢绞线进场验收应按下列规定进行检验:

1 钢绞线的外观质量应逐盘检查,钢绞线表面不得有油污、机械损伤和目视可见的锈蚀麻坑,允许有轻微浮锈;钢绞线的捻距应均匀,切断后不松散;

2 钢绞线的力学性能应按批抽样检验,每一检验批质量不应大于 60t。从同一批中任取 3 盘,在每盘中任意一端正常部位截取 1 根试件进行直径偏差和力学性能试验。如每批少于 3 盘,则应逐盘取样进行上述试验。试验结果如有一项不合格时,则该盘钢绞线为不合格品;再从该批未试验过的钢绞线中取双倍数量的试样进行复验,如仍有一项试验结果不合格,则该批钢绞线判为不合格,也可逐盘检验取用合格品。

对设计文件中指定要求的钢绞线应力松弛性能、疲劳性能和偏斜拉伸性能等,应在订货合同中注明交货条件和验收要求。

3.1.8 预应力螺纹钢筋进场验收应按下列规定进行检验:

1 螺纹钢筋的外观质量应逐根检查,钢筋表面不得有裂纹、结疤和折叠,其螺纹制作面不得有凹凸、擦伤或裂痕,端部应切割平整;

2 螺纹钢筋的力学性能应按批抽样检验,每一检验批质量不应大于 100t。从同一批中任取 2 根钢筋截取试件进行拉伸试验,当有一项试验结果不合格时,应取双倍数量的试件重做试验,如仍有一项复验结果不合格,则该批螺纹钢筋判为不合格。

3.1.9 混凝土结构用预应力筋的检验试验方法应按现行国家标准的规定执行。在对钢丝、钢绞线及螺纹钢筋拉伸试验时,应同时测定其弹性模量。

3.1.10 钢拉杆进场验收应符合下列规定:

1 应按合同要求对钢拉杆型号、标志、包装和质量证明书等进行检查；

2 钢拉杆的外观质量应逐套检查，钢拉杆表面应光滑、不允许有目视可见的裂纹、折叠、分层、结疤和锈蚀等缺陷。经机加工的钢拉杆组件表面粗糙度不应低于 Ra12.5，钢拉杆表面防护处理应符合合同规定；

3 钢拉杆的质量检验由供方技术质量监督部门进行，检验项目、取样数量和试验方法应符合现行国家标准《钢拉杆》(GB/T 20934)的有关规定。当设计单位或需方有要求时，应进行进场复验。

3.1.11 钢丝束索体进场验收应符合下列规定：

1 应对拉索出厂报告、质量证明书、检测报告以及品种、规格、色泽、数量等进行检查；

2 拉索外观质量应无破损、无明显折痕、无难于清除的污垢及明显色差；

3 拉索护套表面应圆整、光洁、无损伤，护套外径误差应符合有关规定；

4 锚具、销轴及其它连接件表面无损伤和锈蚀，螺纹不得有任何碰伤，锚圈和锚杯能自由旋合。

3.1.12 索体材料的弹性模量宜由试验确定。在未进行试验情况下，索体材料的弹性模量可按表 3.1.12 取值。

表 3.1.12 索体材料弹性模量

索 体 类 型	弹性模量(N/mm ²)
钢丝束	$(1.90\sim 2.00)\times 10^5$
钢绞线	$(1.85\sim 1.95)\times 10^5$
钢拉杆	2.06×10^5

3.1.13 索体材料的线膨胀系数宜由试验确定。在未进行试验情况下,索体材料的线膨胀系数可按表 3.1.13 取值。

表 3.1.13 索体材料线膨胀系数

索 体 类 型	线膨胀系数(/°C)
钢丝束	1.84×10^{-5}
钢绞线	1.32×10^{-5}
钢拉杆	1.20×10^{-5}

3.2 涂层预应力筋

3.2.1 涂层预应力筋按涂层材料可分为镀锌钢丝、镀锌钢绞线、环氧涂层钢绞线、无粘结钢绞线、缓粘结钢绞线等。涂层预应力筋应根据所应用的结构类型、环境类别、防腐蚀要求、与混凝土粘结状态等选用。

3.2.2 镀锌钢丝的规格和力学性能应符合现行国家标准《桥梁缆索用热镀锌钢丝》(GB/T 17101)的规定;镀锌钢绞线的规格和力学性能应符合现行行业标准《高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线》(YB/T 152)的规定。

环氧涂层钢绞线和缓粘结钢绞线的规格和力学性能应符合

现行国家标准《环氧涂层七丝预应力钢绞线》(GB/T 21073)和现行行业标准《缓粘结预应力钢绞线》(JG/T 369)的规定。

3.2.3 无粘结预应力筋的质量应符合现行行业标准《无粘结预应力钢绞线》(JG 161)的规定;制作无粘结预应力筋的钢绞线及防腐油脂的质量应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》(GB/T 5224)和现行行业标准《无粘结预应力筋专用防腐油脂》(JG 3007)的规定。

无粘结预应力筋的护套应采用挤塑型高密度聚乙烯管,其性能和质量应符合现行国家标准《聚乙烯(PE)树脂》(GB/T 11115)的规定。护套表面应光滑,无裂缝、凹陷、气孔及机械损伤等缺陷。

3.2.4 常用无粘结预应力筋的规格和性能要求见表 3.2.4。

表 3.2.4 无粘结预应力筋规格和性能

钢绞线			防腐润滑 脂质量 (g/m)	护套厚度 (mm)	摩擦系数	
公称直径 (mm)	公称截面 积(mm ²)	公称强度 (N/mm ²)			κ	μ
9.50	54.8	1720	32	0.8		
		1860				
		1960				
12.70	98.7	1720	43	1.0	0.003~0.004	0.04~0.10
		1860				
		1960				
15.20	140.0	1570	50	1.0	0.003~0.004	0.04~0.10
		1670				

续表 3.2.4

钢绞线			防腐润滑 脂质量 (g/m)	护套厚度 (mm)	摩擦系数	
公称直径 (mm)	公称截面 积(mm ²)	公称强度 (N/mm ²)			不小于	
15.20	140.0	1720	50	1.0	0.003~0.004	0.04~0.10
		1860				
		1960				
15.70	150.0	1770	53	1.0	0.003~0.004	0.04~0.10
		1860				

3.2.5 涂层预应力筋进场验收应符合下列规定：

涂层预应力筋进场时，除应按合同要求对其质量证明书、标志、包装和规格等进行检查外，尚应按下列规定进行检验：

1 钢丝和钢绞线的力学性能应按本规程第 3.1.6 条和第 3.1.7 条的要求进行复验；

2 镀锌钢丝、镀锌钢绞线和环氧涂层钢绞线的涂层表面应均匀、光滑、无裂缝；涂层的厚度、连续性和粘附力应符合国家现行有关标准的规定；

3 无粘结预应力钢绞线的外观质量应逐盘检查，润滑脂用量和护套厚度应按批抽样检验，每批重量不大于 60t，每批任取 3 盘，每盘各取 1 根试件。检验结果应符合现行行业标准《无粘结预应力钢绞线》(JT 161)的规定；

4 缓粘结钢绞线的涂层材料、厚度、缓粘结时间应符合设计文件中采用的有关标准的规定。

3.3 锚具、夹具和连接器

3.3.1 预应力筋用锚具和连接器应根据预应力筋品种、锚固要求和张拉工艺等配套选用。常用预应力筋的锚具选型见表 3.3.1。

表 3.3.1 锚具选型

预应力筋品种	张拉端	固定端	
		安装在结构外部	安装在结构内部
钢绞线	夹片锚具 压接锚具	夹片锚具 挤压锚具 压接锚具	压花锚具 挤压锚具
单根钢丝	夹片锚具 镦头锚具	夹片锚具 镦头锚具	镦头锚具
钢丝束	镦头锚具 冷(热)铸锚具	冷(热)铸锚具	镦头锚具
螺纹钢筋	螺母锚具	螺母锚具	螺母锚具
钢拉杆	螺母锚具 销轴式锚具	螺母锚具 销轴式锚具	螺母锚具 销轴式锚具

夹片锚具没有可靠措施时,不得用于预埋在混凝土中的固定端;压花锚具不得用于无粘结预应力筋;不同型号的锚具部件不得拼装使用。

各类锚具的组成部件及构造参见本规程附录 A。

3.3.2 预应力筋用锚具、夹具和连接器的质量和性能应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》(GB/T 14370)的规定。

3.3.3 预应力混凝土工程中锚具、夹具和连接器的应用,除应满足现行行业标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》

(JGJ 85)的要求外,尚应符合本规程第 3.3.4~3.3.14 条的规定。

3.3.4 锚具应满足分级张拉、补张拉和放松拉力等张拉工艺的要求。锚固多根预应力筋的锚具,除应具有整束张拉的性能外,尚应具有单根张拉的性能;用于承受低应力或动荷载的夹片式锚具应具有防松装置。

锚具的锚口摩擦损失率不宜大于 6%。

3.3.5 预应力筋用锚具的代换,应经原设计单位同意,并符合下列规定:

1 由于预应力筋品种代换,需要配套代换锚具时,应考虑代换前后锚具变形和预应力筋的回缩值以及锚口摩擦损失的差异;

2 较高强度等级预应力筋用锚具(夹具或连接器)可用于较低强度等级的预应力筋;较低强度等级预应力筋用锚具(夹具或连接器)不得用于较高强度等级的预应力筋。

3.3.6 夹具和预应力张拉中反复使用的工具锚应具有自锚、退锚和重复使用的性能,且主要锚固零件应具有良好的防锈性能。夹具和工具锚的可重复使用次数不宜少于 300 次。

3.3.7 永久留在混凝土结构或构件中的预应力筋连接器,应符合锚具的性能要求;在施工中临时使用并需拆除的预应力筋连接器,应符合夹具的性能要求。

3.3.8 锚垫板应具有足够的强度和刚度,且应设置锚具对中止口以及压浆孔或排气孔,压浆孔的内径不宜小于 20mm。与后张预应力筋用锚具或连接器配套的锚垫板和局部受压钢筋,在规定的局部承压试件尺寸和混凝土强度下,应满足传力性能要求。

3.3.9 锚具、夹具和连接器进场时,除应按合同要求核对其型号、规格和数量以及适用的预应力筋品种、规格和强度等级外,尚应核对产品质量保证书、锚固区传力性能检验报告以及锚具的锚

口摩擦损失测试报告或参数等文件。

3.3.10 锚具、夹具和连接器按合同验收后,尚应按下列规定进行进场检验:

1 外观检查:应从每批产品中抽取 2%且不少于 10 套样品,其外形尺寸应符合产品质量证明书所示的尺寸范围,且表面不得有裂纹和锈蚀。当有下列情况之一时,应对本批产品的外观逐套检查,合格者方可进入后续检验:

- 1) 当有 1 个零件不符合产品质量保证书所示的外形尺寸,且另取双倍数量的零件重做检查时,仍有 1 件不合格;
- 2) 当有 1 个零件表面有裂纹或夹片、锚孔锥面有锈蚀。

对配套使用的锚垫板和螺旋筋可按上述方法进行外观检查,但允许表面有轻度锈蚀。

2 硬度检查:对有硬度要求的锚具零件,应从每批产品中抽取 3%且不少于 5 套样品(多孔夹片式锚具的夹片,每套抽取 6 片)进行检验,每个零件测试 3 点,其硬度值应符合产品质量保证书的规定。当有 1 个零件的硬度不符合时,应另取双倍数量的零件重做检验,如仍有 1 个零件不合格,应对该批产品逐个检验,合格者方可使用或进入后续检验。

3 静载锚固性能试验:应从外观检查和硬度检验均合格的同批产品中抽取样品,与相应规格和强度等级的预应力筋组装成三束预应力筋—锚具组装件,进行静载锚固性能试验。如有一束组装件不符合要求时,应另取双倍数量的样品重做试验;若仍有一束组装件不符合要求,则该批产品判为不合格品。静载锚固性能试验应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》(GB/T 14370)的规定。

3.3.11 对于锚具用量较少的一般建筑工程和一般中、小桥梁工

程,如生产厂能提供有效的静载锚固性能试验合格的证明文件,可仅进行外观检查和硬度检验。

3.3.12 需做疲劳验算或有抗震要求的工程,当设计提出要求时,应按现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》(GB/T 14370)的规定进行疲劳性能或低周反复荷载性能试验。

3.3.13 锚具、夹具和连接器进场检验时,每个检验批的锚具不宜超过 2000 套,每个检验批的连接器和夹具不宜超过 500 套,获得第三方独立认证的产品,其检验批的批量可扩大 1 倍。检验合格的产品,在现场的存放期超过 1 年再使用时应进行外观检查。

3.3.14 预应力筋用锚具产品应配套使用,同一结构中应采用同一生产厂的产品,工作锚不得作为工具锚使用。夹片式锚具的限位板和工具锚宜采用与工作锚同一生产厂的配套产品。

3.3.15 预应力钢结构工程中应用的拉索锚具应符合下列规定:

1 冷铸锚具和热铸锚具的性能、质量与验收应符合现行行业标准《塑料护套半平行钢丝拉索》(CJ 3058)的规定;

2 挤压锚具、夹片锚具的性能、质量与验收应符合现行行业标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》(JGJ 85)的规定;

3 钢拉杆锚具的性能、质量与验收应符合现行国家标准《钢拉杆》(GB/T 20934)的规定。

3.3.16 拉索锚具及其组装件的极限承载力不应低于索体的最小破断力。钢拉杆接头的极限承载力应不低于杆体的最小破断力。

3.3.17 拉索锚具需要进行疲劳试验时,应按现行行业标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》(JGJ 85)和《塑料护套半平行钢丝拉索》(CJ 3058)的有关规定执行。

3.4 成孔材料

3.4.1 在后张预应力混凝土结构或构件中,预埋成孔用管材有金属波纹管(螺旋管)、塑料波纹管和钢管等。一般情况下可采用金属波纹管,施工周期较长时应选用镀锌金属波纹管;塑料波纹管宜用于曲率半径小、密封性能好以及抗疲劳要求高的孔道;钢管宜用于竖向分段施工的孔道。抽芯制孔用管材可采用钢管、塑料棒、压力气囊或夹布胶管等。

3.4.2 金属波纹管的规格和质量应符合现行行业标准《预应力混凝土用金属波纹管》(JG 225)的规定;塑料波纹管的制作材料、规格和质量应符合现行行业标准《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》(JT/T 529)的规定。

金属波纹管和塑料波纹管的规格可参见本规程附录 B。

3.4.3 成孔材料进场验收应符合下列规定:

1 成孔材料进场时,除应按合同要求核对其类别、型号、规格及数量外,尚应检查其出厂合格证和质量保证书等文件;

2 成孔材料应按批检验。金属波纹管每批应由同一批钢带生产的产品组成,累计半年或 50000m 生产量为一批,不足半年产量或 50000m 也作为一批的,则取产量最多的规格;塑料波纹管每批应由同一配方、同一生产工艺、同设备稳定连续生产的产品组成,每批数量应不超过 10000m;

3 检验时应先进行外观质量的检查,合格后再对其规格尺寸、集中荷载下的径向刚度、荷载作用后的抗渗漏及弯曲后抗渗漏等进行检验。当有不合格项时,应取双倍数量的试件对该不合格项进行复验;复验仍不合格时,则该批产品为不合格;

4 检验方法应符合现行行业标准《预应力混凝土用金属波

纹管》(JG 225)或《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》(JT/T 529)的规定。

3.4.4 对成孔材料用量较少的一般建筑工程和一般中小桥梁工程,如生产厂能提供有效的径向刚度和抗渗漏试验合格证明文件,可不作刚度、抗渗漏性能或密封性的进场复验。

3.5 灌浆材料

3.5.1 孔道灌浆材料可分为专用成品灌浆料、专用压浆剂配置的灌浆料和普通硅酸盐水泥,应根据工程的具体情况和重要程度合理选用。

3.5.2 孔道灌浆用水泥的强度等级不宜低于 42.5,其性能与质量应符合现行国家标准《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB 175)的规定。

3.5.3 孔道灌浆用外加剂应与水泥具有良好的相容性,且不得含有氯盐、亚硝酸盐或其它对预应力筋有腐蚀作用的成分,其质量及应用技术应符合现行国家标准《混凝土外加剂》(GB 8076)和《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119)的规定。

3.5.4 孔道灌浆用水泥、压浆剂以及专用成品灌浆料进场时应核对其产品合格证和出厂检验报告,并作进场复验。灌浆材料和拌合用水中不应含有对预应力筋有害的化学成分,其中氯离子的含量不应超过胶凝材料总质量的 0.06%。

3.6 材料存放

3.6.1 预应力筋应分类、分规格装运和堆放。在室外存放时,不得直接堆放在地面上,应垫枕木并用防水布覆盖。长期存放时应置于仓库内,仓库应干燥、防潮、通风良好、无腐蚀气体和介质。

在潮湿环境中存放,宜采用防锈包装产品、防潮纸内包装、涂敷水溶性防锈材料等。

预应力筋盘卷存放时,应确保其盘径不致过小而影响预应力筋的力学性能。

3.6.2 涂层预应力筋装卸时,宜采用柔性吊带或外包橡胶、尼龙等柔性材料的金属吊索,并应轻装轻卸,不得摔掷或在地上拖拉。应避免锋利物品损伤涂层或护套。

无粘结预应力筋存放时,严禁放置在受热影响的场所,且不得直接堆放在地面上;环氧涂层预应力筋不得存放在阳光直射的场所;缓粘结预应力筋的存放时间和温度应符合相关标准的规定。

3.6.3 钢拉杆在运输和贮存过程中,应避免碰撞,防止变形和锈蚀,并采取有效措施,保护钢拉杆的螺纹。

3.6.4 预应力筋用锚具、夹具和连接器,在贮存、运输及使用期间应采取措施避免锈蚀、沾污、遭受机械损伤等,不同厂家、不同时期的产品宜分别堆放,避免混淆和散失。

3.6.5 波纹管应分类、分规格堆放;室外存放时,应垫枕木并用防水布覆盖;搬运时,不得抛摔或在地面拖拉;吊装时,吊装工艺应确保波纹管不受损伤。

金属波纹管长期存放时,宜存放于仓库内,仓库应保持干燥,且有防潮、通风措施;塑料波纹管长期存放时,应远离热源和化学品污染源,并应有遮盖物避免暴晒,贮存期自生产之日起,一般不超过一年。

3.6.6 灌浆材料运输时应防止雨淋、暴晒,并保持包装的完好无损。贮存时应置于干燥、通风、荫凉的场所。

4 施工机具

4.1 制束机具

4.1.1 预应力筋用液压镦头器是制作高强钢丝镦头锚固端的设备,镦头机型号应与钢丝直径相匹配。镦头设备宜附有切筋器,切断的钢丝切头应平整。

4.1.2 预应力筋用挤压机是制作钢绞线埋入式固定端挤压锚的成型设备,主要有液压千斤顶、机架和挤压模等组成(图 4.1.2)。挤压机的缩径模具应与挤压套配套使用。

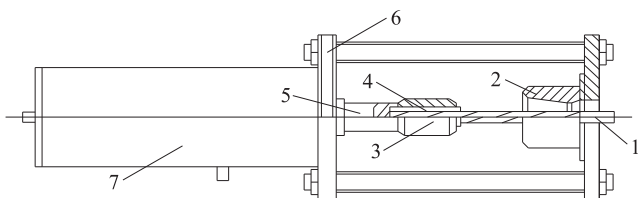


图 4.1.2 挤压机工作示意图

1—钢绞线;2—挤压模;3—挤压套;4—异形钢丝衬圈;5—顶杆;
6—机架;7—千斤顶

4.1.3 预应力钢绞线用压花机是制作预应力钢绞线埋入式梨形固定端的设备,主要由液压千斤顶、活塞杆、机架和夹具等组成(图 4.1.3)。钢绞线经压花机压成梨状,埋入混凝土中,并留一定粘结长度,构成预应力筋固定端。

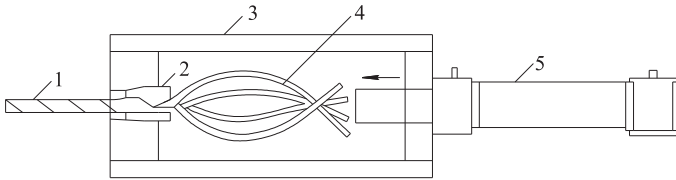


图 4.1.3 压花机工作示意图

1—钢绞线;2—夹具;3—机架;4—梨形头;5—千斤顶

4.1.4 电动圆盘砂轮切割机是工程中切割各种预应力筋的常用机具,圆盘砂轮切割机分为台式和手提式,可根据实际工程情况选用。

4.2 张拉机具

4.2.1 预应力用电动油泵是液压千斤顶和液压镦头器、固定端挤压机、固定端压花机等液压机具的动力源。电动油泵的额定压力和公称流量应与配套机具的要求相匹配。

4.2.2 电动油泵使用前,应逐台进行以下检验:

1 电气绝缘良好,接零良好、电气开关通断均正常;

2 空载运转正常后,测得的空载流量应不低于理论空载流量的 93%,且应不高于理论空载流量的 105%;

3 空载检验合格后应进行满载运行检验。油泵在额定工况下运转时,2min 内压力表的示值波动范围不应超过额定压力的 $\pm 2\%$;在额定工况下,油泵容积效率和总效率应符合相关标准的规定;二级变量泵变量阀的实际变量压力与设计变量压力的差值不应大于 1MPa;在额定压力下持荷 3min,各控制阀的总压力降不应大于 3MPa;

4 满载性能试验合格后应进行超载运行检验。超载检验过

程中,油泵不应有外渗漏、异常噪声,且不应有振动和升温等异常现象;

5 通过以上检验合格的油泵应作专门标识后使用。不合格的油泵应排除故障,重新检修合格后再准予使用。

4.2.3 电动油泵使用时,应符合以下要求:

1 预应力用电动油泵宜根据环境温度及使用压力选择不同牌号的液压油,液压油温度在 $-15^{\circ}\text{C}\sim 65^{\circ}\text{C}$ 范围内运动粘度应满足 $15\text{mm}^2/\text{s}\sim 50\text{mm}^2/\text{s}$,油液中固体颗粒污染等级不应高于 GB/T 14039 规定的一/19/16。应控制水和空气对工作介质的污染;

2 油泵在使用过程及存放中,应特别注意清洁,在油管拆装时,严禁将泥沙、污垢带入油管内及油箱中。液压油要定期更换,通常在半年或累计使用 500h 后应更换一次。加油或换油时,应使用钢丝网布过滤,保证油料清洁。油内不得渗入水分,避免造成锈蚀;

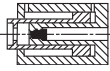
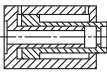
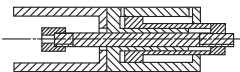
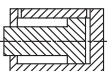

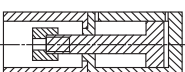
3 油泵中使用的密封件应与液压油及使用条件相适应。当采用聚氨脂材料制造的密封圈和防尘圈时,应注意防水、防潮,以延长使用寿命;

4 电源应设置可靠的零线和漏电保护装置,防止油泵电机外壳漏电伤人;

5 压力表刻度分格不大于 1MPa、精度不低于 1.6 级,量程不低于额定压力的 1.2 倍。压力表应采用防震型。

4.2.4 预应力用液压千斤顶可分为穿心式千斤顶和实心式千斤顶。穿心式千斤顶可分为前卡式、后卡式和穿心拉杆式;实心式千斤顶可分为顶推式、机械自锁式和实心拉杆式。工程中应根据预应力筋和锚具的种类加以选用,千斤顶的张拉力及行程应选择适当。千斤顶分类和示意图见表 4.2.4。

表 4.2.4 千斤顶分类和示意图

分 类		分类代号	示 意 图
穿 心 式 千 斤 顶	前卡式	YDCQ	
	后卡式	YDC	
	穿心拉杆式	YDCL	
实 心 式 千 斤 顶	顶推式	YDT	
	机械自锁式	YDS	
	实心拉杆式	YDL	

穿心式、顶推式和实心拉杆式千斤顶负载效率不应低于 95%，机械自锁式千斤顶负载效率不应低于 93%。长期运行性能试验前后，千斤顶负载效率的变化不应大于 3%。

4.2.5 液压千斤顶使用前，应逐台进行以下检验：

1 用额定压力相同的油管连接油泵和千斤顶后，进行空载试验。千斤顶空载试验的启动压力应不大于额定压力的 3%；千斤顶行程不得小于公称行程；不得有油液向外泄漏；

2 空载试验合格后应进行满载试验。在额定压力下，当采用降压法测量千斤顶内泄漏量时，5min 内压降值不应大于额定压力的 3%；当采用沉降法测量千斤顶内泄量时，5min 内活塞回

缩量不应大于 0.5mm。满载试验时应无油液向外泄漏；

3 满载试验合格后应进行超载性能试验。千斤顶在 1.25 倍额定压力下应无外泄漏，油缸无异常变形；卸荷后油缸应无残余变形，活塞表面无划伤；

4 通过以上检验合格的千斤顶应作专门标识后使用，不合格的千斤顶应排除故障，重新检修合格后再准予使用。

4.2.6 液压千斤顶使用时，应符合以下要求：

1 千斤顶与油泵处于同一油路，公称油压应一致，用油要求应相同；

2 千斤顶采用的密封件应与液压油及使用条件相适应。当采用聚氨脂材料制造的密封圈和防尘圈时，应注意防水、防潮，以延长使用寿命；

3 千斤顶操作具有的最小空间要求：直径方向应有不小于 10mm 空隙，长度方向上应大于张拉油缸完全伸出后千斤顶总长度和外露的预应力筋长度之和；

4 千斤顶和压力表应经过配套检验，并在检验有效期内。

4.3 灌浆机具

4.3.1 灌浆机具是在后张法预应力筋张拉后，向孔道里灌注浆体所用的设备。传统的灌浆机具包括灰浆搅拌设备和灌浆泵；真空灌浆机具包括真空泵、灰浆搅拌设备和灌浆泵等。

4.3.2 孔道灌浆应采用可连续作业的活塞式灌浆泵，活塞式灌浆泵应符合下列要求：

1 产品应经过技术鉴定，并具有出厂检验合格证书；

2 产品技术指标应符合现行相关标准的要求；

3 产品电器控制部分应具有防水、防震、防尘措施，输出压

力不应小于 0.6MPa,且使用前应进行空载运转试验,运转时间不应少于 30min,机器运转平稳、正常,无异常响声;

4 灌浆泵所配压力表的最小分度值应不大于 0.1MPa,最大量程应使实际工作压力在其 25%~75%的量程范围内,且压力表应经检验合格,并在有效使用期内;

5 灌浆泵宜与具有能连续搅拌功能的贮浆桶配套使用。

4.3.3 高速灰浆搅拌机应符合下列要求:

1 产品应经过技术鉴定,并具有出厂检验合格证书;

2 搅拌机的转速应不低于 1000r/min,搅拌叶的形状应与转速相匹配,其叶片的线速度不宜小于 10m/s,最高线速度宜限制在 20m/s 以内,且具备在规定时间内将浆体搅拌均匀的能力。

4.3.4 真空泵用于对预应力孔道抽真空,选用产品应能使密闭的预应力孔道产生 0.10MPa 负压力。所配真空表应经检验合格,并在有效使用期内。

4.4 设备的标定与维护

4.4.1 用于预应力施工的各种机具、设备及仪表,应由专人保管,定期保养和维护。张拉用千斤顶和压力表应配套标定,并配套使用。张拉设备的标定期限不应超过半年。

4.4.2 当施工过程中发生下列情况之一时,张拉设备应重新标定:

1 新千斤顶初次使用前;

2 标定后使用时间超过 6 个月;

3 使用过程中千斤顶或压力表出现异常情况;

4 千斤顶检修或更换配件后;

5 压力表更换后。

采用测力传感器测量张拉力时,测力传感器应按现行国家标准的相关规定每年送检一次。

4.4.3 千斤顶与压力表的配套标定,可用测力计或计量合格的压力试验机等方法。压力试验机和测力计的测力示值不确定度不应大于0.5%。标定时,千斤顶活塞的运行方向应与实际张拉工作状态一致,当采用压力试验机标定时,以压力试验机的读数为准。

4.4.4 各种机具设备及仪表的标定应在具有检测条件和资质的单位进行,并出具相应检测报告。千斤顶配套检验报告应包含张拉力与压力表读数之间的关系曲线。

5 施工计算

5.1 一般规定

5.1.1 预应力混凝土结构构件的张拉、运输及安装等应符合设计规定的工况,当施工工况与设计规定不符时,应按以下规定进行施工阶段验算:

1 施工阶段应进行承载能力极限状态和截面应力的验算,并符合现行相关规范的规定。

2 施工阶段验算时,应考虑预加力、构件自重及施工阶段荷载等,并将构件自重乘以动力系数。

3 建筑工程预应力混凝土构件吊装、运输时,动力系数可取1.5;构件翻转及安装过程中就位、临时固定时,动力系数可取1.2。当有可靠经验时,动力系数可根据实际受力情况和安全要求适当增减。

4 桥梁工程预应力混凝土构件在吊装、运输时,动力系数可取1.2或0.85,并可视构件具体情况作适当增减。

5.1.2 对荷载分批施加和采取分批张拉的预应力混凝土转换梁等构件,应分别对不同的荷载工况和张拉阶段进行施工验算。

5.1.3 对大跨度复杂预应力混凝土结构,宜对张拉过程中结构的内力和变形进行验算,确定优化的张拉顺序和施工控制参数。

5.2 预应力筋下料长度

5.2.1 后张法预应力混凝土构件和钢构件中采用钢绞线束夹片锚具时,钢绞线的下料长度 L 可按下列公式计算(图5.2.1):

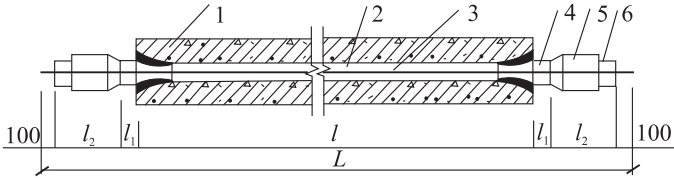


图 5.2.1 采用夹片锚具时钢绞线的下料长度

1—混凝土构件；2—预应力筋孔道；3—钢绞线；

4—夹片式工作锚；5—张拉用千斤顶；6—夹片式工具锚

1 两端张拉

$$L = l + 2(l_1 + l_2 + 100) \quad (5.2.1-1)$$

2 一端张拉

$$L = l + 2(l_1 + 100) + l_2 \quad (5.2.1-2)$$

式中 l —— 构件的孔道长度(mm)，对抛物线孔道，可按本规程第 5.2.3 条计算；

l_1 —— 夹片式工作锚厚度(mm)；

l_2 —— 张拉用千斤顶长度(含工具锚)(mm)，采用前卡式千斤顶时仅算至千斤顶体内工具锚处。

5.2.2 后张法混凝土构件中采用钢丝束镦头锚具时，钢丝的下料长度 L 可按预应力筋张拉后螺母位于锚杯中部计算(图 5.2.2)：

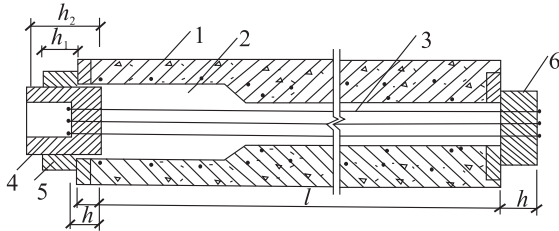


图 5.2.2 采用镦头锚具时钢丝的下料长度

1—混凝土构件；2—孔道；3—钢丝束；4—锚杯；5—螺母；6—锚板

$$L=l+2(h+s)-K(h_2-h_1)-\Delta L-c \quad (5.2.2)$$

式中 l —— 构件的孔道长度(mm),按实际尺寸;

h —— 锚杯底部厚度或锚板厚度(mm);

s —— 钢丝镦头留量(mm),对 ϕ^p5 取 10mm;

K —— 系数,一端张拉时取 0.5,两端张拉时取 1.0;

h_2 —— 锚杯高度(mm);

h_1 —— 螺母高度(mm);

ΔL —— 钢丝束张拉伸长值(mm);

c —— 张拉时构件的弹性压缩值(mm)。

5.2.3 构件中预应力筋按抛物线形状布置时,预应力筋在构件中的孔道长度按下式计算。对多曲线段或直线段与曲线段组成的预应力筋,孔道长度应分段计算,然后进行叠加。

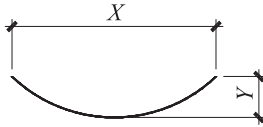


图 5.2.3 曲线孔道长度计算简图

$$l = \left(1 + \frac{8Y^2}{3X^2}\right)X \quad (5.2.3)$$

式中 Y —— 曲线孔道的垂度(矢高);

X —— 孔道水平投影长度。

5.2.4 钢结构中预应力拉杆、拉索下料长度的计算应符合本规程第 11.3.2 条的有关规定。

5.3 预应力筋张拉力

5.3.1 预应力筋的张拉控制力 F_{con} 应按下列公式计算:

$$F_{con} = \sigma_{con} \cdot A_p \quad (5.3.1)$$

式中 σ_{con} —— 预应力筋的张拉控制应力。若设计图纸上标明的

是锚下张拉控制应力,则需计入锚圈口预应力损失,两者相加即为张拉控制应力;

A_p ——预应力筋的截面面积。

5.3.2 预应力筋的张拉控制应力 σ_{con} 应符合设计要求;当设计未规定时,应符合下列要求:

1 钢丝、钢绞线

$$\sigma_{con} \leq 0.75 f_{ptk} \quad (5.3.2-1)$$

2 预应力螺纹钢筋

$$\sigma_{con} \leq 0.85 f_{pyk} \quad (5.3.2-2)$$

3 钢结构拉索

$$\sigma_{con} \leq 0.60 f_{ptk} \quad (5.3.2-3)$$

钢丝、钢绞线的张拉控制应力不应小于 $0.4 f_{ptk}$;预应力螺纹钢筋的张拉控制应力不宜小于 $0.5 f_{pyk}$ 。

5.3.3 在混凝土结构施工中,当预应力筋需超张拉或需计入锚圈口预应力损失时,其最大张拉控制应力:对钢丝和钢绞线为 $0.8 f_{ptk}$ (f_{ptk} 为预应力筋抗拉强度标准值),对预应力螺纹钢筋为 $0.95 f_{pyk}$ (f_{pyk} 为预应力螺纹钢筋的屈服强度标准值)。

5.3.4 预应力筋中建立的有效预应力值 σ_{pe} ,可按下列公式计算:

$$\sigma_{pe} = \sigma_{con} - \sum_{i=1}^5 \sigma_{li} \quad (5.3.4)$$

式中 $\sum_{i=1}^5 \sigma_{li}$ ——各项预应力损失之和。

在混凝土结构施工中,对钢丝和钢绞线,其有效预应力 σ_{pe} 值不宜大于 $0.65 f_{ptk}$,也不宜小于 $0.4 f_{ptk}$;对预应力螺纹钢筋,其有效预应力值 σ_{pe} 不宜大于 $0.80 f_{pyk}$ 。

5.3.5 钢结构预应力施工中,应根据设计要求、施工工艺及施工仿真计算结果等综合确定拉索的初始张拉力。

5.4 预应力损失

5.4.1 在施工阶段,后张法预应力损失包括孔道摩擦损失、锚固损失、弹性压缩损失等。对预应力筋在锚口处有弯折的锚具还计入锚口摩擦损失,变角张拉时应考虑变角张拉摩擦损失。

锚口摩擦损失和变角张拉摩擦损失宜根据实测数据确定。锚口摩擦损失和变角张拉摩擦损失的测定可按本规程附录 C 执行。

5.4.2 预应力筋与孔道壁之间的摩擦引起的预应力损失 σ_{l2} ,宜按下列公式计算(图 5.4.2):

$$\sigma_{l2} = \sigma_{\text{con}} [1 - e^{-(kx + \mu\theta)}] \quad (5.4.2-1)$$

当 $(kx + \mu\theta) \leq 0.2$ 时, σ_{l2} 可按下列近似公式计算:

$$\sigma_{l2} = (kx + \mu\theta)\sigma_{\text{con}} \quad (5.4.2-2)$$

式中 k —— 考虑孔道每米长度局部偏差的摩擦影响系数,可按表 5.4.2 选用;

x —— 张拉端至计算截面的孔道长度(m),可近似取该段孔道在纵轴上的投影长度;

μ —— 预应力筋与孔道壁之间的摩擦系数,可按表 5.4.2 选用;

θ —— 张拉端至计算截面曲线孔道部分切线的夹角(rad)。

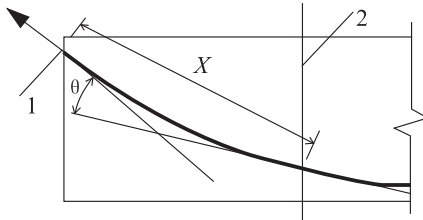


图 5.4.2 孔道摩擦损失计算

1—张拉端;2—计算截面

对多种曲率或直线段与曲线段组成的孔道,应分段计算孔道摩擦损失。

空间曲线束可按平面曲线束公式计算, θ 角取空间曲线包角, x 取空间曲线弧长。

表 5.4.2 预应力筋与孔道壁间的摩擦系数

孔道成型方式	k 值	μ 值	
		钢绞线、钢丝束	预应力螺纹钢筋
预埋金属波纹管	0.0015	0.20~0.25	0.50
预埋塑料波纹管	0.0015	0.14~0.17	0.45
预埋钢管	0.0010	0.25	—
预埋铁皮管	0.0030	0.35	0.40
抽芯成型	0.0015	0.55	0.60
无粘结预应力筋	0.0040	0.09	—

注:摩擦系数也可根据实测数据确定。

5.4.3 对重要的预应力建筑工程,应在现场测定实际的孔道摩擦损失;桥梁工程预应力张拉前,宜对不同类型的孔道进行至少一个孔道的摩擦损失测试。测试时根据张拉端拉力 P_1 与实测固定端拉力 P_2 ,可按下列公式计算出实测的 μ 值:

$$\mu = \frac{-\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) - kx}{\theta} \quad (5.4.3)$$

当实测孔道摩擦损失与计算值相差较大,导致张拉力相差大于 5% 时,应调整张拉力,或采取减少摩擦损失的有效措施,以建立与设计要求相符的有效预应力值。

孔道摩擦损失的测定可按本规程附录 C 执行。

5.4.4 张拉端锚固时由于锚具变形和预应力筋内缩引起的预应力损失值 σ_{l1} ,可按不同的预应力筋线形分别计算。

1 直线预应力筋的锚固损失,可按下列式计算:

$$\sigma_{l1} = \frac{a}{l} E_p \quad (5.4.4-1)$$

式中 a —— 张拉端锚具变形和预应力筋的内缩量(mm),可按表 5.4.4 采用。当需要实测预应力筋的内缩量时,可按本规程附录 C 的规定执行;

l —— 张拉端至固定端的距离(mm);

E_p —— 预应力筋的弹性模量。

表 5.4.4 锚具变形和预应力筋的内缩量 a (mm)

锚 具 类 别			a
支承式 锚具	钢丝束镦头锚具	螺母缝隙	1
		每块后加垫板的缝隙	1
	螺母锚具(用于螺纹钢筋)		1
夹片式锚具		有顶压时	5
		无顶压时	6~8

注:1. 表中的锚具变形和预应力筋内缩量也可根据实测数据确定;

2. 其他类别的锚具变形和预应力筋内缩量应根据实测数据确定。

块体拼成的结构,其预应力损失尚应计及块体间填缝的预压变形。当采用水泥砂浆或环氧树脂砂浆为接缝材料时,每条接缝的预压变形值可取为 1mm。

2 曲线或折线预应力筋的锚固损失,应根据孔道反向摩擦影响长度范围内的预应力筋总变形值等于预应力筋内缩值的变形协调原理计算(图 5.4.4-1),即

$$a = \frac{\omega}{E_p} \quad (5.4.4-2)$$

式中 ω —— 锚固损失影响区段的应力图形面积。

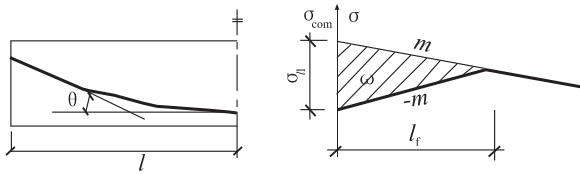


图 5.4.4-1 锚固损失计算

1) 对抛物线形预应力筋, 张拉端锚固损失可按下列公式计算:

$$\sigma_{l1} = 2ml_f \quad (5.4.4-3)$$

$$l_f = \sqrt{\frac{aE_p}{m}} \quad (5.4.4-4)$$

$$m = \frac{\sigma_{con}(kl + \mu\theta)}{l} \quad (5.4.4-5)$$

式中 m —— 孔道摩擦损失斜率;

l_f —— 孔道反向摩擦影响长度(mm)。

当 $l_f \leq l$ 时, 跨中处 $\sigma_{l1} = 0$;

当 $l_f > l$ 时, 跨中处 $\sigma_{l1} = 2m(l_f - l)$

2) 对由正、反抛物线组成的预应力筋, 锚固损失消失于曲线反弯点外的情况(图 5.4.4-2), 张拉端锚固损失可按下列公式计算:

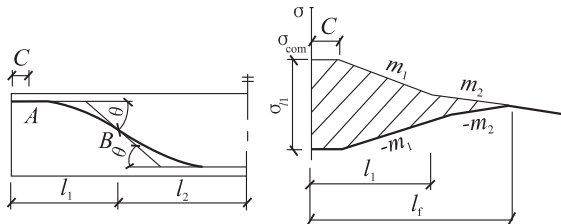


图 5.4.4-2 锚固损失消失于反弯点外的计算

$$\sigma_{t1} = 2m_1(l_1 - c) + 2m_2(l_f - l_1) \quad (5.4.4-6)$$

$$l_f = \sqrt{\frac{aE_p - m_1(l_1^2 - c^2)}{m_2}} + l_1^2 \quad (5.4.4-7)$$

$$m_1 = \frac{\sigma_A(kl_1 - kc + \mu\theta)}{l_1 - c} \quad (5.4.4-8)$$

$$m_2 = \frac{\sigma_B(kl_2 + \mu\theta)}{l_2} \quad (5.4.4-9)$$

3) 对折线形预应力筋, 锚固损失消失于折点外的情况(图 5.4.4-3), 张拉端锚固损失可按下列公式计算:

$$\sigma_{t1} = 2m_1l_1 + 2\sigma_1 + 2m_2(l_f - l_1) \quad (5.4.4-10)$$

$$l_f = \sqrt{\frac{aE_p - m_1l_1^2 - 2\sigma_1l_1}{m_2}} + l_1^2 \quad (5.4.4-11)$$

式中

$$m_1 = \sigma_{\text{con}}k$$

$$\sigma_1 = \sigma_{\text{con}}(1 - kl_1)\mu\theta$$

$$m_2 = \sigma_{\text{con}}(1 - kl_1)(1 - \mu\theta)k$$

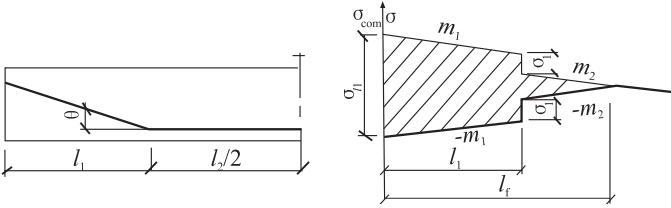


图 5.4.4-3 锚固损失消失于折点外的计算

5.4.5 后张法构件分批张拉时, 由构件弹性压缩引起的预应力损失平均值 σ_{t3} (N/mm^2), 可按下列公式计算:

$$\sigma_{t3} = 0.5E_p \frac{\sigma_{\text{pc}}}{E_c} \quad (5.4.5)$$

式中 E_p 、 E_c —— 分别为预应力筋、混凝土的弹性模量;

σ_{pc} —— 预应力筋合力点的混凝土压应力, 此时张拉力

应扣除张拉阶段预应力损失,可取 $0.9F_{\text{con}}$;对后张法构件不包括第一批预应力筋的张拉力。

5.5 预应力筋张拉伸长值

5.5.1 预应力筋的理论张拉伸长值 ΔL_p^c ,可按下列公式计算:

$$\Delta L_p^c = \frac{P_m L_p}{A_p E_p} \quad (5.5.1-1)$$

$$P_m = \frac{P_1(1 - e^{-(kx + \mu\theta)})}{kx + \mu\theta} \quad (5.5.1-2)$$

式中 P_m ——从张拉端至计算截面预应力筋的平均拉力;

L_p ——预应力筋的实际长度(mm);

A_p ——预应力筋的截面面积(mm^2);

E_p ——预应力筋的弹性模量。

5.5.2 对多曲线段或直线段与曲线段组成的曲线预应力筋,理论张拉伸长值应分段计算后叠加:

$$\Delta L_p^c = \sum \frac{(\sigma_{i1} + \sigma_{i2})L_i}{2E_p} \quad (5.5.2)$$

式中 L_i ——第 i 段预应力筋长度;

σ_{i1} 、 σ_{i2} ——分别为第 i 段两端预应力筋的应力。

5.5.3 预应力筋的实测张拉伸长值,应在建立初拉力后开始测量。实测伸长值 ΔL 可按下列公式计算:

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 - \Delta a - \Delta b - \Delta c \quad (5.5.3)$$

式中 ΔL_1 ——从初拉力至最大张拉力之间的实测伸长值(mm);

ΔL_2 ——初拉力以下的推算伸长值(mm),可用图解法(图 5.5.3)或算法确定;

Δa ——千斤顶体内的预应力筋张拉伸长值(mm);

Δb —— 张拉过程中工具锚和固定端工作锚楔紧引起的
预应力筋内缩值(mm)；

Δc —— 张拉阶段构件的弹性压缩值(mm)，对一般后张
预应力构件 Δc 可不计。

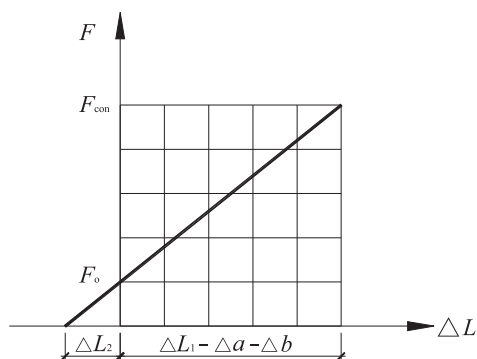


图 5.5.3 预应力筋推算伸长值计算示意

5.6 局部受压验算

5.6.1 后张预应力混凝土锚固区局部受压承载力验算，应符合下列规定：

1 采用普通锚垫板时，应根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010)的有关规定进行局部受压承载力验算，并配置相应的局部受压加强钢筋；计算局部受压面积时，锚垫板的刚性扩散角宜取 45° ；

2 采用铸造锚垫板时，若配套选用的锚垫板和局部加强钢筋以及锚垫板的布置、混凝土强度等级、局部承压面尺寸和构造措施等符合所用产品的技术参数要求，且生产厂商能提供产品的锚固区传力性能试验合格报告，可不进行局部受压承载力验算；若工程中锚固区实际条件不满足所用产品技术要求时，应根据现

行国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010)的有关规定进行局部受压承载力验算。

5.6.2 后张预应力混凝土锚固区局部受压加强钢筋可采用螺旋筋或网片筋,并应符合下列规定:

1 宜采用带肋钢筋,其体积配筋率不应小于 0.5%;

2 螺旋筋的圈内直径宜大于锚垫板对角线长度或直径,且螺旋筋的圈内径所围面积与锚垫板端面轮廓所围面积之比不应小于 1.25,螺旋筋应与锚具对中,螺旋筋首圈钢筋距锚垫板的距离不宜大于 25mm;

3 网片筋的钢筋间距不宜大于 150mm,首片网片筋至锚垫板的距离不宜大于 25mm,网片筋之间的距离不宜大于 150mm。

5.6.3 钢结构预应力锚固节点应满足局部承压强度和刚度要求,必要时应采取设置加劲肋、加劲环或加劲构件等构造措施。锚固节点的验算应符合现行国家标准《钢结构设计规范》(GB 50017)的有关规定;考虑地震作用时,应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》(GB 50011)等相关标准的规定进行抗震验算。

6 制作与安装

6.1 一般规定

6.1.1 预应力筋制作前,应完成预应力材料的抽检和进场验收。制作预应力筋的设备应处于良好工作状态。

6.1.2 混凝土结构中预应力筋的制作宜在现场完成,当现场不具备制作条件或预应力筋用量较少时,可在工厂加工制作并编号,然后送至现场安装。

钢结构中拉索的制作应符合本规程第 11.3 节的有关规定。

6.1.3 预应力筋制作或安装时,不得采用加热、焊接、或电弧切割。在预应力筋近旁对其他部件进行气割或焊接时,应防止预应力筋受焊接火花或接地电流的影响。

6.2 预应力筋制作

6.2.1 预应力筋应采用砂轮锯或切断机下料,下料长度应经计算确定,下料场地应平整、洁净。

6.2.2 钢绞线挤压锚具应采用配套的挤压机制作,并应符合使用说明书的规定。挤压时,在挤压模内腔或挤压套筒外表面应涂刷润滑油,采用的摩擦衬套应沿挤压套筒全长均匀分布。

6.2.3 钢绞线压花锚具应采用专用的压花机制作成型,梨形头和直线锚固段长度不应小于设计值,且其表面应无污物。若设计未规定时,可按表 6.2.3 的规定执行。

表 6.2.3 钢绞线压花锚具参数

钢绞线种类	梨形头尺寸	锚固段长度(mm)	示 意 图
$\Phi^s 15.2$	$\geq 95 \times 150$	900	
$\Phi^s 12.7$	$\geq 80 \times 130$	700	

6.2.4 采用钢丝束锚头锚具时,应确认该批预应力钢丝的可锚性。钢丝锚头的头型直径应为钢丝直径的 1.4~1.5 倍,高度应为钢丝直径的 0.95~1.05 倍。钢丝锚头的强度应不低于钢丝母材强度标准值的 98%。钢丝束两端采用锚头锚具时,应采用等长下料法。

6.2.5 钢丝编束、张拉端锚头锚具安装和钢丝锚头宜同时进行。钢丝的一端先穿入锚具并锚头,另一端按张拉端的顺序分别编扎内外圈钢丝。

6.2.6 无粘结预应力筋固定端制作时,应除去锚固部分的塑料护套层和油脂。护套端部应用水密性胶带或热收缩塑料密封。

6.2.7 制作好的钢绞线束,应按规格、型号、长度编号挂牌,分别堆放在垫木上,或放在室内,表面盖上油布。需装车运输的可卷成内径不小于 2.0m 的圆盘。制作好的钢绞线束应及时穿入孔道内。

6.3 预应力孔道成型

6.3.1 后张法预留孔道的内径宜比预应力束外径及需穿过孔道的连接器外径大 6mm~15mm,且孔道的截面面积应不小于预应力筋截面面积的 2 倍。

塑料波纹管刚度受温度影响较大,在高温环境下或水化热很

高的大体积混凝土中采用塑料波纹管成孔时,应采取可靠措施确保塑料波纹管成孔质量。

6.3.2 预留孔道间距和预应力筋保护层厚度应符合设计要求;当设计无具体要求时,应符合下列规定:

1 预制构件中预留孔道之间的水平净间距不宜小于 50mm,且不宜小于粗骨料最大粒径的 1.25 倍;孔道壁至构件边缘的净间距不宜小于 30mm,且不宜小于孔道外径的一半。

2 现浇混凝土结构中预留孔道在竖直方向的净间距不应小于孔道外径,水平方向的净间距不宜小于孔道外径的 1.5 倍,且不应小于粗骨料最大粒径的 1.25 倍;从孔壁算起的混凝土保护层厚度,梁底不宜小于 50mm,梁侧不宜小于 40mm。

建筑工程中裂缝控制等级为三级的预应力混凝土梁,从孔壁算起的混凝土保护层厚度,梁底不宜小于 60mm,梁侧不宜小于 50mm。

3 当有可靠经验并能保证混凝土浇筑质量时,预留孔道可水平并列贴紧布置,但并排的数量不应超过 2 束。

6.3.3 预埋管道的定位应符合下列规定:

1 预埋管道应按设计规定的坐标位置进行定位,并与定位钢筋绑扎牢固,且在混凝土浇筑期间不产生移位;

2 当预埋管道与普通钢筋位置冲突时,应移动普通钢筋,不得改变管道的设计坐标位置;

3 定位钢筋直径不宜小于 10mm,间距不宜大于 1.0m。对扁形波纹管、塑料波纹管或线形曲率较大处的管道,定位钢筋间距宜适当缩小;

4 定位后的预埋管道应平顺,其端部的中心线应与锚垫板相垂直;

5 凡施工时需要预先起拱的构件,预埋管道应随构件同时起拱。

6.3.4 预埋管道的连接应密封,并应符合下列规定:

1 圆形金属波纹管接长时,可采用大一规格的同波型波纹管作为接头管,接头管的长度宜取其直径的4~5倍,且不宜小于300mm,两端旋入长度宜相等,且两端应采用防水胶带密封;

2 塑料波纹管接长时,可采用塑料焊接机热熔焊接或采用专用连接管;

3 钢管连接可采用焊接连接、承插连接或套筒连接。

6.3.5 预应力孔道应根据工程特点设置排气孔、泌水孔及灌浆孔,排气孔可兼作泌水孔或灌浆孔,并应符合下列规定:

1 孔道端部的锚垫板上宜设置灌浆孔,灌浆孔直径不宜小于20mm;

2 当曲线孔道波峰和波谷的高差大于300mm时,应在孔道波峰处设置排气孔,排气孔间距不宜大于30m;

3 对竖向孔道,灌浆孔应设置在孔道下端;对超高的竖向孔道,宜分段设置灌浆孔;

4 排气管或泌水管与波纹管连接时,可在波纹管上开洞,覆盖海绵垫和塑料弧形压板并与波纹管扎牢,再用增强塑料管插在弧形压板的接口上,且伸出构件顶面不宜小于300mm(图6.3.5)。

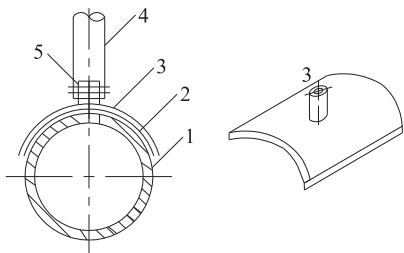


图 6.3.5 泌水管留设

1—波纹管;2—海绵垫片;3—塑料弧形压板;4—塑料管;
5—铁丝绑扎

6.3.6 采用胶管抽芯成孔时,胶管内应插入芯棒或充入压力水增加刚度;采用钢管抽芯成孔时,钢管表面应光滑、焊接接头应平顺,且浇筑混凝土后,应陆续转动钢管。抽芯时间应通过试验确定,以混凝土抗压强度达到 $0.4\text{MPa}\sim 0.8\text{MPa}$ 为宜,且抽拔时不得损伤结构混凝土。抽芯后,应采用通孔器或压力、压水等方法对孔道进行检查,如发现孔道堵塞或有残留物或与邻孔有串通,应及时处理。

6.3.7 竖向预应力混凝土结构采用钢管成孔时应采用定位支架固定,每段钢管的长度应根据施工分层浇筑高度确定。钢管接头处宜高于混凝土浇筑面 $500\text{mm}\sim 800\text{mm}$,钢管开口处应采用堵头临时封口。

6.3.8 钢管桁架中预应力筋用钢套管保护时,每隔 $2\text{m}\sim 3\text{m}$ 应采用定位支架或隔板居中固定。

钢桁架在工厂分段制作时,应预先将钢套管安装在钢管弦杆内,再在现场的拼装台上用大一号同型钢套管连接或采用焊接接头。钢套管的灌浆孔可采用带内螺纹的接头管焊在套管上。

6.3.9 预应力筋、预留孔道、锚垫板及螺旋筋等安装定位后,应

采取可靠措施临时封闭锚垫板喇叭口、灌浆孔、排气管及泌水管，防止混凝土浇筑时漏浆、堵塞孔道。

6.4 预应力筋穿束

6.4.1 预应力筋可在浇筑混凝土前或浇筑混凝土后穿入孔道，应根据结构特点、施工条件和工期要求等综合确定。

6.4.2 穿束的方法可采用人力、卷扬机或穿束机单根穿或整束穿。对超长束、特重束、多波曲线束等宜采用卷扬机整束穿，束的前端应装有穿束网套或特制的牵引头，并保持预应力筋顺直，且仅前后拖动，不得扭转。采用穿束机逐根将钢绞线穿入孔道时，应保证其在孔道内不发生相互缠绕。

6.4.3 预应力筋宜从内埋式固定端穿入。当固定端采用挤压锚具时，从孔道末端至锚垫板的距离应满足成组挤压锚具的安装要求；当固定端采用压花锚具时，从孔道末端至梨形头的直线锚固段不应小于设计值。预应力筋从张拉端穿出的长度应满足张拉设备的操作要求。

6.4.4 当采用先穿束工艺时，严禁电火花烧伤管道内的预应力筋，严禁利用钢筋骨架作电焊回路，避免预应力筋被退火而降低强度。发现被电焊灼伤，有焊疤或受热褪色的预应力筋应予更换。

6.4.5 竖向孔道的穿束，宜采用单根由上向下控制放盘速度穿入孔道，也可采用整束由下向上牵引工艺，牵引夹持必须坚固可靠。

6.4.6 混凝土浇筑前穿入孔道的预应力筋，应采取防锈保护措施。当无防锈保护措施时，预应力筋穿入孔道至灌浆的时间间隔应符合下列规定：

- 1 环境相对湿度大于 60% 或处于近海环境地区，不宜超

过 14d；

2 环境相对湿度不大于 60%时，不宜超过 28d。

6.4.7 采用后穿束工艺时，混凝土终凝前应用通孔器清孔；采用先穿束工艺时，应逐孔抽动已穿入孔道的预应力束，防止漏浆堵塞孔道。

对采用蒸汽养护的预制构件，预应力筋应在蒸汽养护结束后穿入孔道。

6.5 无粘结预应力筋安装

6.5.1 无粘结预应力筋在现场搬运和铺放过程中，不得损伤其塑料护套。当出现轻微破损时，应采用防水聚乙烯胶带进行缠绕封闭。每圈胶带搭接宽度不应小于胶带宽度的 1/2，缠绕层数不应少于 2 层，缠绕长度超过破损长度 30mm。严重破损的无粘结预应力筋应予以更换。

6.5.2 平板中无粘结预应力筋的定位，应符合下列规定：

1 应按设计规定的坐标位置进行定位，并与定位钢筋绑扎牢固，且在混凝土浇筑期间不产生移位和变形；

2 当与楼板中普通钢筋或其它管线位置冲突时，不得将预应力筋的位置抬高或降低；

3 定位钢筋直径不宜小于 10mm，间距不宜大于 2.0m。无粘结预应力筋的平面位置，宜在楼板底模上涂刷油漆予以标示；

4 定位后无粘结预应力筋的线形应保持顺直，其端部中心线应与锚垫板相垂直。

6.5.3 平板中无粘结预应力筋带状布置时，应采取可靠的固定措施，保证同束中各根无粘结预应力筋具有相同的矢高。

6.5.4 双向预应力平板中，宜先铺设竖向坐标较低方向的无粘

结预应力筋；在双向预应力筋交叉点处，当后铺方向无粘结预应力筋的竖向坐标低于先铺方向无粘结预应力筋时，应从其下方穿过。

双向无粘结预应力筋的底层筋，在跨中处宜与板底双向钢筋的上层筋处在同一高度。

6.5.5 无粘结预应力筋张拉端的锚垫板可固定在端部模板上，或利用短钢筋与四周钢筋焊牢。

当张拉端采用凹入式做法时，可采用塑料穴模或其他穴模成型。

6.5.6 无粘结预应力筋固定端的锚垫板应事先组装好，按设计要求的位置可靠固定。

6.5.7 梁中集束布置无粘结预应力筋的定位，应符合下列规定：

- 1 应采用钢筋支架控制其坐标位置，支架间距宜为 1.0m~1.5m。同一束中各根预应力筋宜保持平行走向，防止相互扭绞；
- 2 无粘结预应力束的水平净间距不宜小于 50mm，集束至构件边缘的净间距不宜小于 40mm。

6.5.8 对竖向、环向或螺旋形布置的无粘结预应力筋，应有定位支架或其他构造措施控制其坐标位置。

6.5.9 当板上开洞时，板内被孔洞阻断的无粘结预应力筋可分两侧绕过洞口铺设。无粘结预应力筋至洞口的距离不宜小于 150mm，水平偏移的曲率半径不宜小于 6.5m，洞口四周应配置构造加强钢筋。

6.6 质量要求

6.6.1 预应力筋的制作质量应符合下列要求：

- 1 当钢丝束两端采用镦头锚具时，同一束中钢丝长度的最

大偏差不应大于钢丝长度的 1/5000,且不得大于 5mm;当成组张拉长度不大于 10m 的钢丝时,同组钢丝长度的最大偏差不得大于 2mm;

2 钢丝锚头尺寸不应小于规定值,头型应圆整端正,锚头不得出现横向裂纹;

3 钢绞线挤压锚具成型后,钢绞线外端应露出挤压头 1mm~5mm;

4 钢绞线压花锚具的梨形头尺寸和直线锚固段长度不应小于设计值,其表面不得有污物。

6.6.2 预应力筋的安装质量应符合下列要求:

1 预应力筋安装时,其品种、级别、规格与数量必须符合设计要求;

2 施工过程中应避免电火花损伤预应力筋,受损伤的预应力筋应予以更换或切除;

3 预应力孔道的规格、数量、位置和形状以及灌浆孔、排气兼泌水管的设置应符合设计和施工要求;

4 锚固区埋件和加强筋应符合施工详图的要求;

5 建筑工程预应力筋束形(孔道)控制点的竖向位置偏差应符合表 6.6.2-1 的规定,并做出检查记录;

表 6.6.2-1 建筑工程预应力筋束形(孔道)安装允许偏差(mm)

构件截面高度或厚度(mm)	$h \leq 300$	$300 < h \leq 1500$	$h > 1500$
允许偏差	± 5	± 10	± 15

6 桥梁工程预应力管道安装的允许偏差应符合表 6.6.2-2 的规定,并做出检查记录;

表 6.6.2—2 桥梁工程预应力管道安装的允许偏差 (mm)

项	目	允许偏差(mm)
管道坐标	梁长方向	±30
	梁高方向	±10
管道间距	同排	±10
	上下层	±10

7 预应力孔道或无粘结预应力筋应铺设平顺,端部锚垫板应垂直于孔道中心线或无粘结预应力筋;

8 预应力孔道或无粘结预应力筋及端部锚垫板和螺旋筋的定位应牢固,浇筑混凝土时不应出现移位和变形,孔道接头应密封良好且不得漏浆;

9 内埋式固定端的锚垫板不应重叠,锚具与锚垫板应贴紧;

10 预埋管道或无粘结预应力筋护套应完好,局部破损处应采用防水胶带修补。

7 混凝土浇筑

7.1 一般规定

7.1.1 混凝土浇筑前,应对预埋管道的定位以及管道连接处、预埋管与锚垫板连接处、锚垫板上喇叭口和灌浆孔、排气管和泌水管等部位的密封性进行检查,并进行隐蔽工程验收,当确认合格后方可浇筑混凝土。

7.1.2 预应力混凝土中氯离子含量不应超过水泥用量的 0.06%,且不得使用含氯离子的外加剂,预应力混凝土的强度等级应符合设计要求,且不宜低于 C40。

7.1.3 混凝土浇筑时,宜多留置 1~2 组同条件养护试块,用于判定预应力张拉时混凝土的实际强度等级。同条件养护试块应置于施工现场,与结构或构件同环境、同条件养护。

7.1.4 施工缝和后浇带的施工应符合下列要求:

- 1 预应力混凝土中的施工缝应与预应力筋轴线垂直;
- 2 通过后浇带的预应力筋可采用连接器连接、两端预应力筋交叉搭接或增设附加预应力筋的连接方式;
- 3 后浇带封闭前,应采取对后浇带处外露预应力筋的保护措施;
- 4 后浇带的混凝土强度等级宜提高一级。

7.2 混凝土浇筑

7.2.1 混凝土浇筑应符合下列规定:

- 1 宜根据结构或构件的形式,选用插入式、附着式或平板式

振动器进行振捣；

2 严禁直接对准预留孔道下料，并避免振动器直接接触预埋波纹管、无粘结预应力筋和锚具预埋件等；

3 对箱梁腹板与底板及顶板连接处的承托、张拉端和固定端以及其它配筋密集部位，应采取有效措施加强振捣，保证混凝土浇筑密实；

4 对无粘结预应力混凝土板，浇筑过程中不得踩踏无粘结预应力筋、定位支架钢筋以及锚固端预埋件等。

7.2.2 混凝土浇筑过程中，应随时检查预应力结构模板、支撑、预留孔道、固定端垫板和张拉端锚垫板的稳固性，发现有松动、变形、移位和孔道漏浆时应及时处理。

7.3 养护与拆模

7.3.1 混凝土浇筑后应及时进行保湿养护，保湿养护可采用洒水、覆盖、喷涂养护剂等方式。选择养护方式应考虑现场条件、环境温湿度条件、结构特点、技术要求、施工操作等因素。

7.3.2 混凝土养护方式确定后，应根据工程特点制定具体的养护方案，具体养护方案和方法应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》(GB 50666)等相关标准的有关规定。

7.3.3 混凝土强度达到 $1.2\text{N}/\text{mm}^2$ 前，不得在其上踩踏、堆放荷载；混凝土强度达到 $2.5\text{N}/\text{mm}^2$ 前，不得在其上安装模板、支架及脚手架等。

7.3.4 预应力混凝土结构的侧模宜在张拉前拆除，且拆除时的混凝土强度应能保证其表面及棱角不受损坏。

预应力混凝土结构的底模及其支撑应在预应力筋张拉完成、且孔道灌浆强度达到设计要求后方可拆除。当设计未规定时，应

在预应力张拉完成且灌浆强度达到 15MPa 后拆除。

7.4 质量要求

7.4.1 预应力混凝土构件表面应平整、不得有露筋现象,预应力张拉端和固定端混凝土应密实,不得有蜂窝、空洞等质量缺陷。

7.4.2 混凝土质量检验应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204)的有关规定。

7.5 混凝土缺陷修补

7.5.1 锚固区混凝土出现疏松、蜂窝等质量缺陷时,应凿除胶结不牢固部分的混凝土至密实部位,用钢丝刷清理,支设模板,浇水湿润并接浆后,采用比原混凝土强度等级高一级的细石混凝土浇筑并振捣密实,且养护不少于 7 天。缺陷修补区域的混凝土强度达到设计值后,方可进行预应力张拉。

7.5.2 预应力筋孔道出现堵塞时,应确定孔道堵塞位置并凿开孔道,清除漏浆,修复孔道。凿除部位的修补应符合本规程第 7.5.1 条的要求。

7.5.3 混凝土缺陷修补后,填充的混凝土应与本体混凝土表面紧密结合,无收缩开裂和空鼓,表面平整且与相邻表面平齐。混凝土缺陷信息、缺陷修整方案、修补过程等技术资料应及时归档。

8 张拉与锚固

8.1 一般规定

8.1.1 张拉用的设备和仪表应满足预应力筋张拉的要求,张拉设备和仪表应经过配套标定,并在有效使用期内。

当现场设备和技术等条件具备时,宜优先采用智能张拉工艺和方法。

8.1.2 预应力筋张拉时,混凝土强度和弹性模量应符合设计要求;当设计无具体要求时,应符合下列规定:

1 混凝土的强度不应低于设计强度等级的 80%,且不应低于所用锚具产品技术手册要求的混凝土强度最低值;

2 弹性模量不应低于混凝土 28d 弹性模量的 80%。在未测定混凝土弹性模量时,现浇混凝土结构施加预应力时的龄期:对后张预应力混凝土板不宜少于 5d,对后张预应力混凝土梁不宜少于 7d。

在建筑工程中,为防止混凝土出现早期裂缝而施加预应力时,可不受上述限制,但必须满足局部受压承载力的要求。

8.1.3 预应力筋张拉前,应计算所需张拉力、压力表读数、理论伸长值,明确张拉顺序和程序,并填写张拉申请单报监理审批。张拉申请单可按本规程附录 D 采用。

8.1.4 预应力张拉过程中,质量监督人员应进行旁站监督,确保张拉数据的真实、可靠。

8.2 张拉工艺

8.2.1 预应力筋的张拉方式应符合设计要求；当设计无具体要求时，应符合下列规定：

1 直线预应力筋和预应力螺纹钢可采取一端张拉方式，但长度不超过 35m。直线无粘结预应力筋，一端张拉时长度不超过 40m；

2 对曲线预应力筋，应根据施工计算结果采取两端张拉或一端张拉方式。当锚固损失的影响长度小于或等于 $L/2$ (L 为预应力构件的跨度) 时，应采用两端张拉方式；当锚固损失的影响长度大于 $L/2$ 时，可采取一端张拉方式；

3 当同一构件中有多束一端张拉的预应力筋时，张拉端宜分别交错设置在结构或构件的两端；

4 预应力筋两端张拉时，宜两端同时张拉，也可在一端张拉锚固后，另一端补足预应力值后再进行锚固。

8.2.2 对特殊预应力构件或预应力筋，应根据设计和施工要求采取专门的张拉工艺，如分阶段张拉、分批张拉、分级张拉、分段张拉、变角张拉等。

8.2.3 有粘结预应力筋应整束张拉锚固。对直线形或扁平管道中平行排放的有粘结预应力钢绞线束，在各根钢绞线不受叠压影响时，也可采用小型千斤顶逐根张拉锚固，但应考虑逐根张拉预应力损失对控制应力的影响。

8.2.4 对多波曲线预应力筋，可采取超张拉回缩技术来提高内支座处的有效预应力值并降低锚具下口的应力，但最大张拉控制应力不得超过本规程第 5.3.3 条的规定。

8.2.5 预应力筋的张拉顺序，应符合设计要求，并应避免出现对

结构不利的应力状态；当设计无具体要求时，应符合下列规定：

- 1 预应力筋的张拉顺序应根据结构受力特点、施工方便及操作安全等因素确定；
- 2 预应力筋的张拉顺序，应遵循对称张拉原则；
- 3 对现浇预应力混凝土楼盖，宜先张拉楼板、次梁的预应力筋，后张拉主梁的预应力筋；
- 4 对预制屋架等平卧叠浇构件，应从上而下逐榀张拉。

8.3 张拉操作

8.3.1 锚具安装前，应清理锚垫板端面的混凝土残渣和喇叭口内的杂物，同时去除预应力筋表面的浮锈和灰浆，并检查锚垫板后混凝土的密实性。如该处混凝土有空鼓现象，应在张拉前修补且张拉时其强度达到设计要求。

8.3.2 锚具安装时锚板应对中，夹片应均匀打紧且外露一致；工具锚安装孔位与工作锚孔位排列一致，防止钢绞线在千斤顶内交叉。

采用螺母锚固的支撑式锚具，安装时应逐个检查螺纹的配合情况，保证在张拉和锚固过程中能顺利旋合拧紧。

8.3.3 张拉设备安装时，对直线预应力筋，应使张拉力的作用线与预应力筋中心线重合；对曲线预应力筋，应使张拉力的作用线与预应力筋中心线末端的切线重合。

8.3.4 张拉设备应吊挂在稳固的支架上，并可调节位置，便于推动张拉设备靠拢锚具和孔道对中；为便于自动退卸工具锚，可在工具锚夹片上涂上少量的润滑剂。

8.3.5 预应力筋的张拉程序，应符合设计要求；当设计未规定时，可按下列程序张拉：

1 当不需超张拉时,预应力筋的张拉程序为:

0→初应力→2 倍初应力→ σ_{con} (持荷 2min~5min 锚固)

2 当采用超张拉方法减少预应力损失时,预应力筋的张拉程序为:

1)对于可调节式锚具

0→初应力→2 倍初应力→ $1.05\sigma_{\text{con}}$ (持荷 2min~5min 锚固)
→ σ_{con} (锚固)

2)对于不可调节式锚具

0→初应力→2 倍初应力→ $1.03\sigma_{\text{con}}$ (持荷 2min~5min 锚固)

注:桥梁工程预应力筋张拉锚固时,持荷时间取为 5min。

8.3.6 预应力筋张拉的初拉力与预应力筋的线形及长度有关,直线预应力筋的初拉力可取为 10%~15%张拉控制力,曲线预应力筋和超长预应力筋的初拉力可取为 10%~25%张拉控制力。

8.3.7 预应力筋张拉时,可按张拉程序量测各级张拉力对应的伸长值,其中 2 倍初拉力与初拉力对应的伸长值之差,可作为 0→初拉力间的伸长值,然后将量测的各级伸长量叠加即为实测总伸长值。

量测方法所含的预应力筋长度应与计算值一致;若以量测千斤顶工具锚处油缸伸出量来计算实测伸长值时,应扣除千斤顶工具锚与工作锚锚板之间的钢绞线伸长量。

8.3.8 当预应力筋伸长量较大,千斤顶张拉行程不够时,应采用分级张拉、分级锚固方式,下一级张拉初始压力表读数应为上一级最终的压力表读数。

8.3.9 在预应力筋张拉、锚固过程中及锚固完成后,均不得大力敲击或振动锚具。预应力筋锚固后需要放松时,对夹片式锚具宜采用专门的设备和工具;对支撑式锚具可采用张拉设备缓慢

放松。

8.3.10 张拉时发现以下情况应停止张拉,且在查明原因并采取措施后方可继续张拉:

- 1 预应力筋断丝、滑丝或锚具碎裂;
- 2 混凝土出现裂缝或破碎,锚垫板陷入混凝土;
- 3 孔道中有异常声响;

4 达到张拉力后,伸长值明显不足;或张拉力不足,预应力筋已被拉动并继续伸长。

8.3.11 预应力筋张拉时,应填写张拉记录表,对张拉力、压力表读数、张拉伸长值、异常现象等做出详细记录。张拉记录表应包含以下内容:张拉日期、构件名称、混凝土实际强度、张拉压力表值、理论计算伸长值、实测伸长值、偏差率。其格式可按本规程附录 E 采用。

8.4 伸长值校核

8.4.1 采用应力控制方法张拉时,应校核预应力筋的张拉伸长值。实测伸长值与理论计算伸长值的偏差不应超过 $\pm 6\%$ 。如超过允许偏差,应查明原因并采取措施后方可继续张拉。必要时,宜现场进行孔道摩擦系数的测定,并根据实测结果调整理论计算伸长值。

8.4.2 预应力筋理论伸长值应按本规程第 5.5 节的有关规定进行计算,计算张拉伸长值所用的摩擦系数和预应力筋的弹性模量宜采用实测值。

8.5 质量要求

8.5.1 预应力筋的张拉质量应符合下列要求：

1 预应力筋实测张拉伸长值与理论计算伸长值相对偏差不应超过 $\pm 6\%$ 。

2 预应力筋张拉锚固后实际建立的预应力值与设计规定检验值的相对偏差不应超过 $\pm 5\%$ 。

3 张拉过程中，预应力筋断丝或滑丝的数量不得超过表 8.5.1 的规定。

表 8.5.1 预应力筋断丝、滑丝限值

预应力筋类别	检 查 项 目	控 制 数 量	
		建筑工程	桥梁工程
钢丝 钢绞线	每个截面断丝之和不超过该截面钢丝总数的百分比	3%	1%
	每根钢绞线断丝或滑丝	1 丝	
螺纹钢筋	断筋或滑移	不允许	

注：1. 钢绞线断丝系指单根钢绞线内钢丝的断丝，钢绞线钢丝数量等于钢绞线根数与每根钢绞线钢丝数量的乘积；

2. 对预应力混凝土板，其截面宽度应按每跨计算。

4 预应力筋应在张拉控制应力处于稳定状态后进行锚固，锚固阶段张拉端锚具变形和预应力筋的内缩值，应符合设计要求和本规程表 5.4.4 的规定。

5 预应力筋锚固后，夹片顶面应平齐，其相互间的错位不宜大于 2mm，且露出锚具外的长度不应大于 4mm。

6 后张法预应力筋张拉后，不应出现对结构有害的裂缝。

8.5.2 预应力张拉后，预应力构件的反拱、侧向弯曲及轴向压缩等限值应符合设计要求及其它相关规定。

9 灌浆与封锚保护

9.1 一般规定

9.1.1 后张法有粘结预应力筋张拉完成并经检查合格后,孔道应尽早灌浆,且宜在 48h 内完成,以免预应力筋锈蚀或松弛。

9.1.2 灌浆前应全面检查预应力筋孔道、灌浆孔、排气孔、泌水管等是否畅通,并清除孔道内杂物和积水。对抽芯成型的孔道,可采用压力水对孔道进行冲洗;对预埋管成型的孔道,可采用压缩空气清孔。

9.1.3 灌浆设备的配备必需满足连续工作的要求,应根据灌浆高度、孔道长度和形态等条件选用合适的灌浆泵。灌浆泵应配备计量校验合格的压力表和流量计。灌浆前应检查灌浆设备、输浆管和阀门的可靠性。

9.1.4 孔道灌浆前,应对锚具夹片空隙和其它可能漏浆处采用高标号水泥浆或结构胶等材料进行封堵,待封堵材料达到一定强度后方可灌浆。

采用真空辅助灌浆时,应先将张拉端多余钢绞线切除,并用无收缩砂浆或专用灌浆密封罩将端部封闭。

9.1.5 孔道灌浆应填写施工记录。记录项目包括:灌浆材料、配合比、灌浆日期、搅拌时间、出机初始流动度、环境温度、灌浆压力和灌浆情况等,采用真空辅助灌浆工艺时尚应包括真空度。孔道灌浆施工记录可按本规范附录 G 填写。

9.1.6 制浆和灌浆过程中,质量监督人员应进行旁站监督,确保灌浆后孔道内浆体饱满、密实。

9.2 浆体制作

9.2.1 孔道宜采用专用成品灌浆料或专用压浆剂配置的浆体进行灌浆。且灌浆前应对浆体进行试配,当试配浆体性能指标符合要求后,方可制备生产用浆体。

9.2.2 灌浆用浆体的性能应符合设计要求;当设计无具体要求时,应符合表 9.2.2 的规定:

表 9.2.2 孔道灌浆用浆体性能指标与试验方法

项 目		性能指标	试验方法与标准
水胶比(%)		0.30~0.35	《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB/T 1346)
凝结时间(h)	初凝	≥ 4	
	终凝	≤ 24	
流动度(s)	初始流动度	14~22	附录 F
	30min 流动度	≤ 30	
泌水率(%)	24h 泌水率	0	附录 F
	3h 钢丝间泌水率	≤ 0.1	
自由膨胀率(%)	24h	0~3	附录 F
抗压强度(MPa)	7d	≥ 30	《建筑砂浆基本性能试验方法标准》(JGJ/T 70)
	28d	≥ 45	
对钢筋的锈蚀作用		无锈蚀	《混凝土外加剂》(GB 8076)

9.2.3 在施工现场配制生产用浆体时,灌浆料、水泥和压浆剂、水等材料的称量应精确到 $\pm 1\%$ (均以质量计)。计量器具应经法

定计量检定合格,并在有效使用期内。

9.2.4 灌浆用浆体的搅拌及制备应符合下列规定:

1 浆体应采用高速机械搅拌机搅拌,并宜在 5min 内将浆体搅拌均匀;

2 浆体制作加料顺序宜为水、外加剂和水泥。当采用成品灌浆料时,应先加水后加灌浆料;

3 搅拌均匀的浆体,应经过网格尺寸不大于 3.0mm × 3.0mm 的筛网过滤置于储浆桶内,储浆桶也应具有搅拌功能。

9.2.5 浆体自拌制完成至灌入孔道的延续时间不宜超过 40min,且在使用前和灌浆过程中应连续搅拌。对因延迟使用导致流动度降低的浆体,应采取二次搅拌措施,不得通过加水的方式增加浆体流动度。

9.3 灌浆工艺

9.3.1 灌浆顺序宜先灌下排孔道,后灌上排孔道。对于曲线预应力孔道,浆体应从锚垫板或孔道最低点的灌浆孔灌入,由最高点的排气孔或泌水孔排出,并应设置防止浆体回流的阀门。

9.3.2 灌浆应缓慢、连续进行,直至排气孔排出与灌浆孔相同稠度的浆体后,将排气孔按浆体流动方向依次封闭,当孔道灌满并全部封闭后,应再继续加压至 0.5MPa~0.7MPa,稳压 2min~5min 后封闭灌浆孔。待浆体初凝后方可拆除端部进浆孔和出浆孔阀门。

9.3.3 同一孔道灌浆作业应一次完成,不得中断,并保持排气通顺。发生孔道阻塞、串孔或因故障中断灌浆时,应及时用压力水冲洗孔道或采取其他措施重新灌浆。

9.3.4 灌浆过程中,灌浆泵内不得缺浆。在灌浆泵暂停工作时,

输浆管喷嘴与灌浆孔不得脱离,以避免空气进入孔道影响灌浆质量。

9.3.5 灌浆时,每一工作班组应至少留取 3 组边长为 70.7mm 的立方体试块,标准养护 28d 后进行抗压强度试验,作为质量评定的依据。

9.3.6 采用连接器连接的多跨连续预应力筋的孔道灌浆,应在连接器分段的预应力筋张拉后及时分段灌注,不得在各分段全部张拉完毕后一次连续灌浆。

9.3.7 竖向孔道灌浆应自下而上进行,并应设置阀门,阻止浆体回流。为确保灌浆密实性,灌浆后应采用重力补浆措施。

9.3.8 对超长、超高的预应力孔道,宜采用多台灌浆泵接力灌浆,从前置灌浆孔灌浆直至后置灌浆孔冒浆后,后置灌浆孔方可续灌。

9.3.9 灌浆过程中及灌浆后 48h 内,预应力结构或构件的温度及环境温度不得低于 5℃。当温度低于 5℃时,应采取保温措施,并按冬期施工的要求处理,浆体中可适量掺入引气剂,但不得掺用防冻剂;当环境温度高于 35℃时,灌浆宜在夜间进行。

9.3.10 灌浆结束后,应及时清洗灌浆泵、拌浆机、管道及阀门等。

9.4 真空辅助灌浆

9.4.1 真空辅助灌浆除采用传统的灌浆设备外,还需配备真空泵及其配件等。

9.4.2 真空辅助灌浆的孔道应具有良好的密封性,宜采用塑料波纹管成孔。

9.4.3 真空辅助灌浆操作应符合下列规定:

1 灌浆孔和排气孔应设置阀门,灌浆泵应设置在灌浆孔侧,真空泵应设置在排浆孔侧;

2 灌浆前应关闭所有排气阀和进浆阀门。启动真空泵后,孔道内的真空度达到 $-0.06\text{MPa}\sim-0.10\text{MPa}$ 并保持稳定,然后启动灌浆泵开始灌浆。灌浆过程中,真空泵应保持连续工作;

3 浆体通过排浆观察孔时,应关闭通向真空泵的阀门和真空泵,并开启排浆阀;当排出浆体稠度与进浆一致时,方可关闭排浆阀,并继续灌浆;

4 保持灌浆压力不小于 0.5MPa ,并稳压 $2\text{min}\sim 5\text{min}$ 后关闭灌浆泵;待浆体初凝后,方可拆除端部进浆孔和出浆孔的阀门。

9.5 封锚保护

9.5.1 后张法预应力筋锚固后的外露部分宜采用机械方法切割。预应力筋的外露长度不宜小于其直径的1.5倍,且不宜小于 30mm 。

9.5.2 锚具封闭保护应符合设计要求;当设计无具体要求时,应符合下列规定:

1 凸出或内凹穴模内的锚具应采用与预应力结构构件相同强度等级的细石混凝土或无收缩防水砂浆封闭保护;

2 凸出式锚具的保护层厚度不应小于 50mm ,外露预应力筋的混凝土保护层厚度:处于一类环境时,不应小于 20mm ;处于二、三类易受腐蚀环境时,不应小于 50mm ;

3 锚具封闭前应将周围混凝土界面凿毛并冲洗干净,凸出式锚具封锚应配置钢筋网片;

4 后张无粘结预应力筋锚具封闭前,锚具和夹片应涂防腐油脂,并设置封端塑料盖帽封闭。对处于二类、三类环境条件

下的无粘结预应力筋及其锚固系统应达到全封闭保护状态。

9.6 质量要求

9.6.1 灌浆用浆体的配合比通过试验确定后,施工中不得任意更改。施工现场灌浆作业时,应进行浆体初始流动度试验,每10盘进行一次检测,且每次作业至少测试两次,测试结果应在规定的范围内。

9.6.2 灌浆时留取的边长为70.7mm的立方体浆体试块,标准养护28d的抗压强度应不低于40MPa。对于后张有粘结预制构件,应在浆体强度达到规定要求后方可移运和吊装。

9.6.3 孔道灌浆后,应检查孔道上凸部位灌浆的密实性;如有空隙应采取人工补浆措施。补浆应采用与灌浆相同的浆体,补浆高度不应小于400mm;补浆应连续进行,直至浆体表面稳定为止。

9.6.4 孔道内的浆体应饱满、密实。当有疑问时,可采取局部凿开、钻孔检查或无损探测等方法,但不得影响结构安全。

9.6.5 灌浆完成后,孔道的泌水管、灌浆孔、排气孔等应切割平整,并用水泥浆补平。

9.6.6 锚具封闭后,封锚混凝土或砂浆应密实、无可视裂纹。

10 体外预应力施工

10.1 一般规定

10.1.1 体外预应力体系由预应力束(包括预应力筋、外套管及防腐材料等)、锚固装置、转向装置和减震装置等组成。主要体系有单根无粘结钢绞线体系、多根有粘结钢绞线束体系、无粘结钢绞线束多层防腐体系、热挤聚乙烯高强钢丝和热挤聚乙烯高强钢绞线成品束体系等,可根据结构特点、体外束作用及防腐蚀要求等选用。

10.1.2 体外束的预应力筋应满足下列要求:

1 预应力筋的性能和质量应符合本规程第 3.1、3.2 节的要求;

2 折线预应力筋尚应按偏斜拉伸试验方法确定其力学性能。体外束预应力筋可选用钢绞线、无粘结钢绞线、镀锌钢绞线或环氧涂层钢绞线等。

10.1.3 体外束的外套管应采用高密度聚乙烯管(HDPE)或镀锌钢管,并符合下列规定:

1 外套管及连接接头应完全密闭防水,在使用期内有可靠的耐久性;

2 外套管应与预应力筋和防腐材料具有兼容性,且能抵抗运输、安装和使用过程中所受的各种作用力而不被损坏;

3 镀锌钢管的壁厚不宜小于管径的 $1/40$,且不应小于 2mm;高密度聚乙烯管的壁厚宜为 2mm~5mm;

4 当应用于有防火要求的环境时,外套管自身还应具有耐

火性。

10.1.4 体外束的防腐材料应满足下列要求：

1 水泥基灌浆料在施工过程中应按本规程第 9.3 节的要求灌满外套管,连续包裹预应力筋全长,并使气泡含量最小；

2 工厂制作的成品体外束,其防腐材料在体外束加工制作、运输、安装和张拉等过程中,应能保持稳定性、柔性和无裂纹,并在所要求的温度范围内不流淌；

3 防腐材料的耐久性能应与体外束所处的环境类别和相应设计使用年限的要求相一致。

10.1.5 体外束的锚固体系必须与束体的形式和组成相匹配,可采用常规后张锚固体系或体外束专用锚固体系,其性能和质量应符合本规程第 3.3 节的要求。

对于有整体调束要求的钢绞线夹片式锚固体系,可采用锚具外螺母支撑力方式。对低应力状态下的体外束,其锚具夹片应装有防松装置。

10.1.6 体外预应力锚具应满足分级张拉及调索补张拉预应力筋的要求,对于有换束要求的体外预应力体系,体外束、锚固装置及转向器均应考虑便于更换束体的可行性要求。

10.1.7 体外预应力束的张拉控制应力值 σ_{con} 不宜超过 $0.6f_{ptk}$,且不应小于 $0.4f_{ptk}$;当要求部分抵消由于应力松弛、摩擦、分批张拉等因素产生的预应力损失时,张拉控制应力限值可提高 $0.05f_{ptk}$ 。

10.2 体外束的布置

10.2.1 体外预应力束布置应使结构对称受力,并符合下列规定：

1 对矩形、T 型或 I 字形截面梁,体外束应布置在梁腹板的

两侧；对箱形截面梁，体外束应对称布置在梁腹板的内侧；

2 体外预应力束的束形宜与荷载标准组合工况下的弯矩图相匹配，可选用直线、双折线或多折线等布置方式。

10.2.2 体外束锚固区和转向块的设置应根据体外束的设计线型确定，并符合下列规定：

1 对多折线体外束，转向块宜布置在距梁端 $1/4 \sim 1/3$ 跨度的范围内，必要时可增设中间定位转向块；

2 体外束锚固点与转向块之间或两个转向块之间的自由段长度不宜大于 8m，超过该长度时宜设置减振装置，减振装置应与结构主体可靠连接；

3 体外预应力束的锚固点，宜位于梁端截面的形心轴以上。对多跨连续梁采用多折线体外束时，可在中间支座或其它部位增设锚固点。锚固区应进行可靠的计算分析及细部构造设计。

10.2.3 体外束在每个转向块处的转折角不宜大于 15° ，转向块鞍座处最小曲率半径可按表 10.2.3 采用，体外束与鞍座的接触长度宜由计算确定。

表 10.2.3 转向块鞍座处最小曲率半径

钢绞线	最小曲率半径(m)
$7\phi^{15}\text{mm}$	2.0
$12\phi^{15}\text{mm}$	2.5
$19\phi^{15}\text{mm}$	3.0
$27\phi^{15}\text{mm}$	4.0
$37\phi^{15}\text{mm}$	5.0

注：钢绞线根数为表列数值的中间值时，可按线性内插法确定。

10.2.4 体外预应力束与转向块之间的摩擦系数 μ ，可按表

10.2.4 取值。

表 10.2.4 转向块处摩擦系数 μ

体外束/套管	μ 值
光面钢绞线/镀锌钢管	0.20~0.25
光面钢绞线/HDPE 塑料管	0.15~0.20
无粘结预应力筋/钢套管	0.08~0.12
热挤聚乙烯成品束/钢套管	0.10~0.15
无粘结平行带状束/钢套管	0.04~0.06

10.3 体外预应力构造

10.3.1 体外束的锚固端宜设置在梁端隔板或腹板外凸块处,应保证传力可靠,且变形符合设计要求。体外束的端部应垂直于承压板,曲线段的起点至张拉锚固点的直线长度不宜小于 600mm。

10.3.2 体外束的转向块应能保证预应力可靠地传递给结构主体。在矩形、工字形或箱形截面混凝土梁中,可采用通过隔梁、肋梁或独立的转向块等型式实现转向。转向块处的钢套管鞍座应预先弯曲成型,埋入混凝土中。

10.3.3 对不可更换的体外束,在锚固端和转向块处与结构相连的固定套管可与束体外套管合并为同一套管。对可整体更换的体外束,在锚固端和转向块处,体外束套管应与结构相连的鞍座套管分离且相对独立;对单根更换的体外束,预应力筋与外套管应能分离。

10.3.4 混凝土梁加固用体外束的锚固端构造可采用下列做法:

- 1 采用钢板箍或钢构件直接将预应力传至框架柱上;

2 采用钢垫板先将预应力传至端横梁,再传至框架柱上;必要时可在端横梁内侧粘贴钢板并在其上焊圆钢,使体外束由斜向转为水平向。

10.3.5 混凝土梁加固用体外束的转向块构造可采用下列做法:

1 在梁底部横向设置双悬臂的短钢梁,并在钢梁底焊有圆钢或带有圆弧曲面的转向垫块;

2 在梁两侧的次梁底部设置半圆形 U 形钢卡。

10.3.6 钢结构中的体外束锚固端构造可采用锚固盒、锚垫板和管壁加劲肋、半球形钢壳体等形式。体外束弯折处宜设置鞍座,在鞍座出口处应形成圆滑过渡。

10.3.7 桥梁加固的锚固端及转向块设置可利用原结构横隔梁或新增横隔梁,新增横隔梁应与原结构有可靠的连接构造,保证体外预应力作用有效地传递至原结构主体。

10.3.8 对有灌浆要求的体外预应力体系,体外预应力锚具或其附件上宜设置灌浆孔或排气孔。灌浆孔的孔位及孔径应符合灌浆工艺的要求。

10.4 施工和防护

10.4.1 新建工程体外束的锚固区和转向块应与主体结构同时施工。预埋锚固件与转向管道及转向器的位置和方向应严格符合设计要求,节点区域混凝土必须振捣密实。

10.4.2 体外束外套管的安装应保证连接平滑和完全密闭防水,束体线形和安装误差应符合设计要求,在穿束过程中应防止束体护套受到机械损伤。

10.4.3 在混凝土加固工程中,体外束锚固端的孔道可采用静态开孔机成孔。在箱梁底板、顶板或腹板等加固工程中,体外束锚

固块的做法为局部凿开底板或顶板并植入锚筋,绑焊钢筋和锚固件,再浇筑端块混凝土。

10.4.4 在钢结构中,张拉端锚垫板应垂直于预应力束中心线,与锚垫板接触的钢管与加劲肋端切口的角度应准确,表面应平整。锚固区的所有焊缝应符合现行国家标准《钢结构设计规范》(GB 50017)的规定。

桥梁钢箱梁端部锚固区段可采用灌注混凝土的做法,以提高局部抗压承载力。体外束在穿过非转向节点钢板横隔梁时,应设置过度钢套管,过度钢套管应定位准确。

10.4.5 体外束的张拉顺序应符合设计规定,张拉时应保证结构或构件对称均匀受力,避免发生侧向弯曲或失稳,必要时可采取分级循环张拉方式。

在加固工程中,若体外束的张拉力较小,也可采取横向张拉或机械调节方式。

10.4.6 体外束张拉应采取以张拉力控制为主、伸长值校核的方法。实测伸长值与计算伸长值的偏差不应超过 $\pm 6\%$;锚固后实际建立的预应力值与设计规定检验值的偏差不应超过 $\pm 5\%$ 。超过时,应查明原因并采取措施予以调整。

应对张拉力、压力表读数、张拉伸长值及异常现象等做出详细记录,必要时对张拉过程进行测试。

10.4.7 使用过程中完全暴露于空气中的体外预应力束,其防腐措施应符合下列规定:

1 对刚性外套管,应具有可靠的防腐蚀性能,在使用一定时期后应重新涂刷防腐蚀涂层;

2 对高密度聚乙烯等塑料外套管,应保证长期使用的耐老化性能,必要时进行更换。

10.4.8 体外束的锚具应设置全密封防护罩,对不要求更换的体外束,可在防护罩内灌注水泥浆或其他防腐蚀材料;对可更换的体外束应保留必要的预应力筋长度,在防护罩内灌注油脂或其他可清洗的防腐蚀材料。

10.4.9 当体外束有防火要求时,应涂刷防火涂料,并按设计要求采取其他可靠的防火措施。

体外预应力束防护完成后,应按设计要求安装固定减振装置。

11 钢结构预应力施工

11.1 一般规定

11.1.1 钢结构预应力施工前,施工单位应根据结构特点、现场施工条件和钢构总装方案等编制拉索安装和张拉方案,报总包和监理单位审批。

施工单位绘制的施工详图应经原设计单位确认。

11.1.2 施工前对运至现场的成品拉索,应按合同要求和相关标准对其品种、规格、外观、数量进行验收,包括检查索体包装外观、核对出厂合格证、铭牌以及产品质量保证书、检测报告等。

11.1.3 施工前应对支撑结构或边缘构件上用于拉索锚固的索端节点安装质量、位置坐标、几何尺寸等进行检查验收,验收合格后方可进行拉索安装施工。

11.1.4 为确保预应力钢结构的安装精度及张拉过程中结构的安全,并使张拉完成后结构初始状态与设计要求相符,应对复杂和空间预应力结构体系张拉过程中结构的变形和索力进行监测。

11.2 施工仿真计算

11.2.1 预应力钢结构施工过程有三种不同状态:零状态、初始状态和工作状态。预应力张拉完成后,索力和结构形状参数等应符合设计初始态的要求。

11.2.2 若设计单位提供结构工作状态的技术参数和技术要求,施工单位应通过计算确定结构的设计初始状态,包括索力和结构几何形状参数等。当张拉时结构荷载工况与设计初始态不一致

时,应通过计算确定结构的施工初始状态。

11.2.3 实现预应力钢结构初始状态有三种计算分析方法:顺序循环法、倒装法和无应力法。分析时应根据预应力钢结构的类型和自身特点合理选用。

11.2.4 对复杂和空间预应力钢结构体系,应采用模拟张拉的虚拟张拉技术,进行各施工阶段和施工条件下的组合工况分析,确定优化的张拉顺序和方案。

张拉方案确定后,应对预应力张拉过程进行仿真计算分析,以确定各施工阶段的张拉索力和结构形状参数,作为预应力张拉、施工监测和质量控制的依据。

11.2.5 施工过程仿真计算分析应符合下列要求:

- 1 应建立预应力拉索与钢结构共同作用的整体有限元分析模型,并考虑支撑构件刚度及结构变形对索力的影响;
- 2 选用合理的预应力模拟方法,并考虑拉索几何非线性的影响;
- 3 拉索采用分批、分级张拉时,应考虑各索间的相互影响。

11.3 制作与安装

11.3.1 拉索制作方式分为工厂预制和现场制作。钢丝束拉索和钢拉杆拉索应采用工厂预制,其制作和质量应符合现行相关规范和产品标准的要求。钢绞线拉索可以工厂预制也可在现场制作组装,其索体材料和配套锚具应符合现行相关标准的规定。

拉索锚固体系构造参见附录 A4。

11.3.2 拉索制作长度应根据结构设计初始态下的索长、索力和索端节点板长度等确定;拉索调节量宜根据拉索制作误差、结构安装误差、计算分析误差及环境温度误差等综合确定。

11.3.3 钢丝束索体宜优先采用应力状态下标记、下料,也可经弹性伸长换算进行无应力状态下料。

钢丝束、钢绞线下料时,应考虑环境温度对索长的影响,并采取相应的补偿措施。

11.3.4 钢丝束和钢绞线拉索进行无应力状态下料时,应考虑拉索自重挠度等因素的影响,可取 $200\text{N}/\text{mm}^2 \sim 300\text{N}/\text{mm}^2$ 的张拉应力。

11.3.5 成品拉索制作长度允许偏差应符合表 11.3.5 的规定:

表 11.3.5 成品拉索制作长度允许偏差

钢丝束、钢绞线		钢 拉 杆	
拉索长度 L(m)	允许偏差(mm)	杆体长度 L(m)	允许偏差(mm)
≤ 50	± 15	≤ 5	± 5
$50 < L \leq 100$	± 20	$5 < L \leq 10$	± 10
> 100	$\pm L/5000$	> 10	± 15

11.3.6 对较长的钢丝束、钢绞线等成品拉索应成盘运输,成盘弯曲半径应大于 20 倍索体直径。当拉索两端索头不同时,应将先安装的索头盘卷在外,后安装的索头盘卷在内。

11.3.7 现场制索和组装拉索时,应采取相应措施,保证拉索内各股预应力筋平行分布。

11.3.8 拉索在制作和安装过程中,应预防腐蚀、受热、磨损及雨水进入索体和锚具内部,且不得损伤索体保护层和索端锚头及螺纹,不得堆压弯折和扭转索体。

11.3.9 拉索安装方法应根据布索方式、索长、索重、索的刚柔程度、起重设备和现场施工条件等综合确定,并符合安装方案和整体工程对拉索安装工艺的要求。拉索牵引安装到位后,必须有效

锚固。

11.3.10 为确保拼装精度和满足质量要求,安装台架应具有足够的支撑刚度。预应力张拉后,结构支座反力会发生变化,支座处的台架在设计、制作和吊装时应采取有针对性的措施。

11.3.11 当采用起重机进行拉索的吊装和安装时,拉索宜成盘或成捆整体吊装,且应绑扎牢固;当拉索展开吊装时,应采取措施避免索体和锚具直接在地面或支架平台上拖动及空中无控制摆动。

11.3.12 拉索安装完成后,应采取防护措施防止对拉索产生损坏。在索体周边严禁进行焊接、切割作业。

11.4 施加预应力

11.4.1 预应力张拉方法、张拉顺序、张拉程序以及张拉力应符合张拉方案 and 设计要求;张拉时,结构的形态、荷载工况、支撑条件及支座约束条件应与张拉方案和施工模拟计算相一致。

11.4.2 与拉索相连的钢构节点构造、拉索锚具形式及其构造应满足张拉工艺的要求;当不满足时,施工单位应提出合理的构造措施,报设计单位确认。

11.4.3 应根据张拉力的大小,选择合适的张拉机具,并设计合理的张拉工装。张拉设备与仪表、测力传感器等应进行计量标定,并在有效使用期内。

11.4.4 张拉前应搭设预应力张拉作业平台,作业平台应不影响结构张拉变形;

对影响结构张拉变形的支撑、平台等,应在张拉前予以脱离。

11.4.5 拉索张拉时可直接用千斤顶与配套校验的压力表监控拉索的张拉力,也可用安装在索头处的测力传感器或其他测力装

置同步监控拉索的张拉力。

11.4.6 拉索张拉应遵循对称、同步、缓慢匀速的加载原则,且边张拉边旋紧调节装置,保证张拉过程中拉索与端节点始终有效连接,避免由于张拉工装和机具的失常或操作失误引发安全事故。

11.4.7 拉索张拉前,应确定以索力控制为主或结构变形控制为主的原则。对结构重要部位宜进行索力和变形双控,并规定索力和结构变形的允许偏差。

11.4.8 为弥补拉索调节装置中螺牙间隙引起的预应力损失,可采取超张拉措施。超张拉值应根据调节装置的旋紧方式和拉索长度等综合确定。

11.4.9 张拉时张拉千斤顶和油泵位置不应存在较大高差,否则应调整油泵上的压力表值,以弥补高差引起的千斤顶和油泵之间的油压差异,或在千斤顶的进油口增设压力表。

11.4.10 张弦梁、张弦拱、张弦桁架的拉索张拉还应满足下列要求:

1 在钢结构拼装完成且拉索安装到位后,进行拉索预紧,预紧力宜取初始态索力的 10%~20%;

2 张拉过程中应保证结构的平面外稳定。对平面张弦结构宜在两榀结构间联系杆件安装完毕,并形成具有一定空间稳定体系后,再将拉索张拉至设计索力。倒三角形截面形式的张弦结构可单榀张拉至设计索力;

3 张弦结构拉索张拉时宜使支座滑动,以释放对下部支撑结构的推力。

11.4.11 当风力大于四级或雨雪天气、或环境温度高于 50℃或低于-5℃时,不应进行预应力张拉。

11.4.12 拉索张拉时应做好详细记录。记录应包括:测量记录、

日期、时间和环境温度、索力、拉索伸长和结构变形的测量值。

11.4.13 在索力、结构位移调整完成后,对钢绞线拉索夹片式锚具应采取防松措施,使夹片在低应力动载下不松动。对钢丝拉索索端的铸锚连接螺纹、钢拉杆拉索索端的锚固螺纹,应检查螺纹咬合丝扣数量和螺母外侧丝扣长度是否满足设计要求,并应在螺纹上加装防松装置。

11.5 施工监测

11.5.1 监测单位应根据结构特点、钢构安装方案、拉索张拉顺序和施工仿真计算结果,制定详细的监测方案,报设计和监理单位审批。监测内容包括:张拉过程中和张拉完成后的索力、结构控制点的变形以及支座水平位移等参数。

11.5.2 索力采用压力传感器或频率式索力仪进行测量,压力传感器用于拉索张拉阶段索力的测定,频率式索力仪用于已完成张拉的拉索索力测定。拉索索力实测值与理论计算值误差应不超过 $\pm 10\%$,且符合设计要求。

11.5.3 监测结构变形的测点应布置在结构有代表性的控制点处,测点设置应牢固可靠并便于施工过程中的监测。

11.5.4 当需要监测钢结构的应力时,应采用可靠的应变计和数据采集仪进行测量,测点应布置在有代表性构件的控制截面处。

11.5.5 张拉完成后,应对监测结果进行分析,并与仿真计算值 and 设计要求进行比较,超过时应查明原因并加以修正。

对于大型复杂预应力钢结构,当部分监测结果超过设计规定时,应对实测索力、结构变形、钢结构应力等控制参数进行综合评价,判断是否满足设计要求。

11.6 防护和维修

11.6.1 预应力钢结构拉索体系应根据所处的环境与结构特点等条件采取相应的防腐蚀和耐老化措施。其防腐蚀措施包括索体防腐蚀、锚固区自防腐蚀和传力节点防腐蚀。

11.6.2 索体的普通防腐蚀可对高强钢丝或钢绞线进行镀锌、镀铝、环氧喷涂处理或对裸索体包裹护套,索体的多层防护可对经防腐蚀处理后的高强钢丝或钢绞线索体外再包裹护套。对特殊的腐蚀环境,宜根据具体情况采取相应防腐蚀措施。

11.6.3 锚固区锚头按机械零件标准采用镀层防腐蚀或喷涂防腐涂料,对可换索头应灌注专用防腐蚀油脂进行防护,锚固区与索体应全长封闭。室外拉索的下锚固区应采取设置排水孔或承压螺母上开设排水槽等排水措施。

11.6.4 传力节点按机械零件标准采用镀层防腐蚀或定期涂刷防腐涂料。

11.6.5 当拉索体系中外露的塑料护套有耐老化要求时,应在制作时采用双层塑料,内层添加抗老化剂和抗紫外线成分,外层满足建筑色彩要求。

11.6.6 索体防火宜采用钢管内布索、钢管外涂敷防火涂料保护的办。当拉索体系中外露的塑料护套有防火要求时,应在塑料护套中添加阻燃材料或外涂满足塑料防火要求的特殊涂料。外露的索体、锚头和传力节点应涂刷防火涂料。

11.6.7 应定期对预应力钢结构拉索体系及其防护涂层进行检查,对出现损伤的索体和防护层应及时修复;应定期对索力进行监测,当量测索力与设计值相差大于 $\pm 10\%$ 时,应采取合理措施及时予以调整或补偿。

12 施工管理

12.1 一般规定

12.1.1 承担预应力工程施工的单位应具备相应的资质等级,并具有健全的质量管理体系、施工质量控制和检验制度。

12.1.2 施工项目部的机构设置和人员组成,应满足预应力工程施工管理的需要。施工操作人员应经过培训,并具备各自岗位需要的基础知识和技术水平,特殊工种的作业人员必须持证上岗。

12.1.3 预应力工程施工前,应由建设单位组织设计、施工和监理等单位对预应力图纸进行交底和会审。由施工单位完成的预应力深化设计文件应经原设计单位确认。

12.1.4 预应力施工单位应根据设计文件、工程总体进度计划和施工顺序的要求,结合结构特点和现场施工条件,制定具体的预应力专项施工方案,并经总承包和监理单位审核批准后组织实施。

对施工难度和危险性大的预应力工程项目,宜制定专项安全施工方案,并采取相应的安全技术措施。

12.1.5 施工单位应认真执行安全生产责任制,对预应力施工过程中可能发生的危害、灾害与突发事件制定应急预案,应急预案应进行交底和培训,必要时应进行演练。

12.1.6 施工过程中,预应力施工单位应根据工程总体进度计划,进行以下施工组织工作:

1 合理安排好材料的订购、进场、检验计划,且进场前应完成材料的抽检和复试工作;

- 2 合理安排好设备进场计划,且进场前应完成设备的配套标定工作,并确保设备处于完好的工作状态;
- 3 合理安排好劳动力的配置,确保工程的进度和质量;
- 4 加强与建设单位、监理单位和总承包单位的协调和配合,确保工程的顺利进行。

12.2 施工配合

12.2.1 预应力分项工程施工应与主体结构施工密切配合,做到工序合理,施工方便,节省工期、降低成本。

12.2.2 在多层和高层建筑工程中,现浇预应力混凝土楼面结构与预应力张拉的施工顺序,应根据结构平面尺寸、施工进度和气候条件等,选用逐层浇筑与逐层张拉、数层浇筑与顺向张拉或数层浇筑与逆向张拉施工方案。采用数层浇筑与顺向张拉方案时,下层张拉时上层结构的混凝土强度应达到 C15。

12.2.3 大面积单层和多层现浇预应力混凝土结构的施工段划分,应根据结构平面布置特点和约束情况、超长预应力筋施工和预应力损失、大面积混凝土施工和收缩变形以及模板支撑系统投入量等情况综合确定。施工顺序宜从中间施工段开始向两侧拓展,以减少预应力筋张拉时受周围结构约束的影响。

12.2.4 模板安装和拆除的配合应符合下列要求:

- 1 对现浇预应力混凝土结构的支架体系,应制定合理的搭设方案,并进行力学验算;
- 2 现浇预应力混凝土梁、板底模的起拱高度应符合设计要求。当设计未规定时,宜为梁、板跨度的 $1/1000\sim 3/1000$;
- 3 现浇预应力混凝土梁的侧模应在波纹管铺设后安装,梁的端模应在端埋件安装后封闭;

4 模板的拆除应符合本规程第 7.3.4 条的相关规定。

12.2.5 钢筋安装的配合应符合下列要求：

1 柱的竖向钢筋和梁的负弯矩钢筋应按照预应力梁柱节点构造详图中的位置安装，并留出锚垫板的安装空间；

2 普通钢筋安装时应避让预应力筋或预应力管道；当无法避让必须切割受力钢筋时，应征得设计单位同意；梁腰筋间的拉筋应在预埋管道安装后绑扎；

3 普通钢筋、暗埋管线不得改变无粘结预应力筋的标高；

4 预埋管道或无粘结预应力筋铺设后，在无防护措施情况下，其周围不得进行电焊等作业。

12.2.6 混凝土浇筑阶段的配合应符合本规程第 7.1、7.2 节的相关规定。

12.3 施工安全

12.3.1 预应力工程施工应实行逐级安全技术交底制度。施工前，项目技术负责人应将有关安全施工的技术要求向施工作业班组、作业人员作出详细说明，并由双方签字确认；班组长应向班组作业人员进行安全技术措施交底。项目安全员负责对施工现场安全生产进行监督检查。

12.3.2 预应力工程施工单位应建立安全生产教育制度。新进员工入场前必须完成公司、项目部、班组三级安全教育，未经安全教育的人员不得上岗作业。

12.3.3 预应力工程施工单位应认真执行安全生产检查制度。对检查过程中发现的安全问题，应及时出具整改通知单，对存在严重问题的违章人员应依照奖罚制度进行处理。

12.3.4 施工人员进入施工现场，应戴安全帽，高空作业应系安

全带,且不得乱放工具和物件。

12.3.5 现场放线和断料的预应力钢绞线或钢丝,应设置专用场地和放线架,避免放线时钢丝、钢绞线跳弹伤人。

12.3.6 预应力施工作业处严禁上下交叉同时作业,必要时应设置安全护栏和安全警示标志。

12.3.7 预应力施工时应搭设可靠的操作平台和安全挡笆,利用已有脚手架进行作业时,应检查脚手架是否安全,铺板是否可靠。在悬挑部位进行作业的人员应佩带安全带。雨天张拉时,应架设防雨棚。

12.3.8 张拉作业区应设置明显的警戒标志,非作业人员不得随意进入作业区。

12.3.9 张拉时应严格执行在张拉千斤顶两侧操作的规定,千斤顶后面严禁站人,且不得用脚踩踏预应力筋等。

在测量预应力筋伸长值或拧紧锚具螺帽时,应停止张拉,作业人员必须站在千斤顶侧面操作。

12.3.10 液压千斤顶支撑必须与构件端部接触密合,位置准确对称。如需增加垫块,应保证其支脚稳定和受力均匀,并应有防止倾覆的技术措施。

12.3.11 张拉时必须服从统一指挥,严格按照安全技术交底要求操作,压力表读数和千斤顶行程不得超过规定值,发现预应力筋断丝或滑丝、锚具碎裂、混凝土出现裂缝或破碎,锚垫板陷入混凝土等异常情况时,应停止张拉。

12.3.12 孔道灌浆时操作人员应配备口罩、防护手套和防护眼镜,防止浆液喷溅伤人。

12.3.13 所有电器设备使用前应进行安全检查,及时更换或消除隐患;意外停电时,应立即关闭电源开关,严防电器设备受潮

漏电。

电气设备的金属外壳,应接地或接零,电气设备所用保险丝的额定电流应与其负荷容量相符,且不得用其它金属线代替。

12.3.14 采用行灯作为照明施工时,其电压不得超过 36V;在潮湿或金属结构内施工时,行灯电压不得超过 12V。

12.3.15 钢结构拉索安装时,应在相应工作面上设置安全网,作业人员必须系安全带。户外作业时,宜在风力不大的情况下进行。在安装过程中应注意风速和风向,采取安全防护措施避免拉索发生过大的摆动。有雷电时,必须停止作业。

12.3.16 预应力施工人员应遵守施工现场有关安全生产的规定。

12.4 质量控制

12.4.1 预应力工程应严格按照设计图纸、施工方案和本规程的规定进行施工。

12.4.2 预应力工程各工序的施工,应在前一道工序质量检查合格后进行;未经检验或已经检验定为不合格的,严禁进行下道工序的施工。

12.4.3 预应力工程施工质量应由施工班组自检、施工单位项目质量检查员复检及监理工程师监控三级把关。对检查中发现的质量问题,应及时采取纠正措施。

预应力分项工程检验批质量检查应按本规程附录 H 作出记录。

12.4.4 预应力工程施工过程中,应对隐蔽工程应进行验收;对后张预应力筋的张拉过程、灌浆过程等重要工序应加强质量检查,并作出见证记录。

12.5 环境保护

12.5.1 施工项目部应针对工程具体情况,制定施工环境保护计划,落实责任人员,并组织实施。

12.5.2 施工过程中,对施工设备和机具维修、运行、存储过程中的漏油,应采取有效的隔离措施,不得直接排放。漏油应统一收集并进行无害化处理。

12.5.3 现场灌浆用的水泥及其它灌浆材料应采取防水、防潮措施,并密闭存放管理。

12.5.4 现场制浆时应采取扬尘控制措施;制浆和灌浆过程中产生的污水和废浆应进行回收处理,不得直接排放。

12.5.5 施工过程中产生的建筑垃圾应进行分类处理,施工现场严禁焚烧各类建筑垃圾和废弃物品。

12.5.6 夜间施工应办理相关手续,并采取减少声、光等污染的措施。

13 施工验收

13.1 一般规定

13.1.1 预应力混凝土结构分项工程施工质量验收,应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204)和本规程的规定执行;预应力钢结构分项工程施工质量验收尚应符合现行行业标准《索结构技术规程》(JG/J 257)等相关标准的规定。

13.1.2 根据施工工艺,预应力分项工程可划分为制作与安装、张拉与锚固、灌浆与封锚等三个检验批。每个检验批的范围,可按楼层、变形缝或施工段划分。

13.1.3 预应力分项工程检验批的质量验收,应由监理工程师组织施工单位(含分包单位)项目质量检查员进行,并按检验批质量验收统一用表做出记录(见附录 H)。

13.1.4 检验批合格质量应符合下列规定:

1 主控项目和一般项目的质量经抽样合格(主控项目和一般项目的划分见表 H);

2 具有完整的施工操作依据和质量检查记录。

13.1.5 预应力分项工程的质量验收,应由监理工程师组织施工单位(含分包单位)项目技术负责人进行,并按预应力分项工程质量验收统一用表做出记录(见附录 H)。

13.1.6 预应力分项工程质量验收合格应符合下列规定:

1 分项工程所含的检验批均符合合格质量的规定;

2 分项工程验收资料完整并符合验收要求。

13.2 验收记录

13.2.1 预应力分项工程质量验收时,应提供下列文件和记录:

1 验收文件

- 1) 预应力分项工程设计文件、竣工图、图纸会审记录、设计变更文件;
- 2) 预应力分项工程施工组织设计、技术交底记录;
- 3) 预应力筋质量保证书和进场复验报告;
- 4) 无粘结预应力筋质量保证书和进场复验报告;
- 5) 预应力筋用锚具质量保证书和进场复验报告;
- 6) 成孔材料质量保证书和进场复验报告;
- 7) 张拉设备配套标定报告;
- 8) 灌浆材料配合比试验报告、浆体试块强度试验报告。

2 验收记录

- 1) 预应力筋及预留孔道安装隐蔽工程验收记录;
- 2) 无粘结预应力筋安装隐蔽工程验收记录;
- 3) 预应力张拉记录;
- 4) 孔道灌浆记录;
- 5) 检验批质量验收记录。

13.2.2 预应力分项工程施工验收,除检查相关文件、记录外,尚应进行外观抽查。

13.2.3 当提供的文件、记录以及外观抽查结果均符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规程》(GB 50204)和本规程的要求时,即可进行验收。

A. 1.3 扁型锚具锚固体系

扁型锚具锚固体系由扁型锚具、夹片和扁型锚垫板(也称铸铁喇叭管)组成,适用于楼板及桥面横向预应力等。

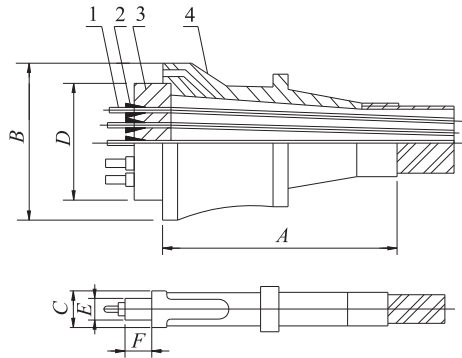


图 A. 1.3 扁型锚具锚固体系

1—钢绞线;2—夹片;3—锚板;4—锚垫板

A. 1.4 固定端锚固体系

固定端锚具类型有:挤压锚具、压花锚具、U型锚具等。

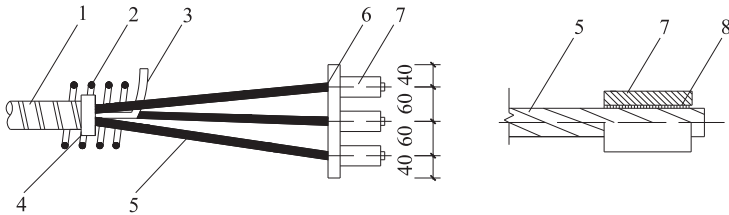


图 A. 1.4-1 挤压锚固定端

1—波纹管;2—螺旋筋;3—排气管;4—约束圈;

5—钢绞线;6—锚垫板;7—挤压锚具;8—异形钢丝衬圈

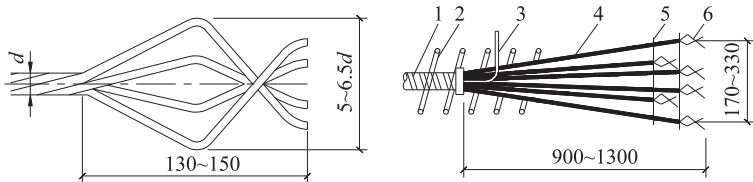


图 A. 1. 4-2 压花锚固定端

1—波纹管;2—螺旋筋;3—排气管;4—钢绞线;5—构造钢筋;
6—压花锚具

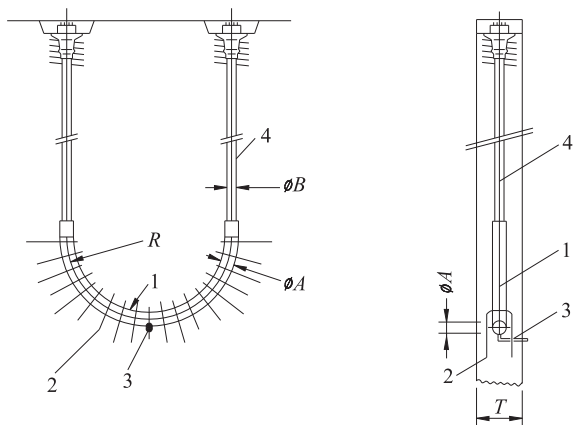


图 A. 1. 4-3 U形锚具

1—环形波纹管;2—U形加固筋;3—灌浆管;4—直线波纹管
A. 1. 5 钢绞线连接器

钢绞线连接器分为单根钢绞线连接器和多根钢绞线连接器两种。

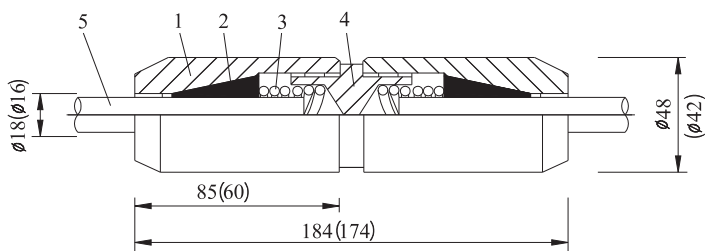


图 A. 1. 5-1 单根钢绞线连接器

- 1—带内螺纹的加长锚环；2—夹片；3—弹簧；
4—带外螺纹的连接头；5—钢绞线

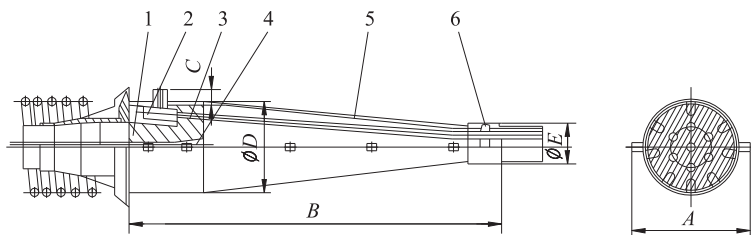
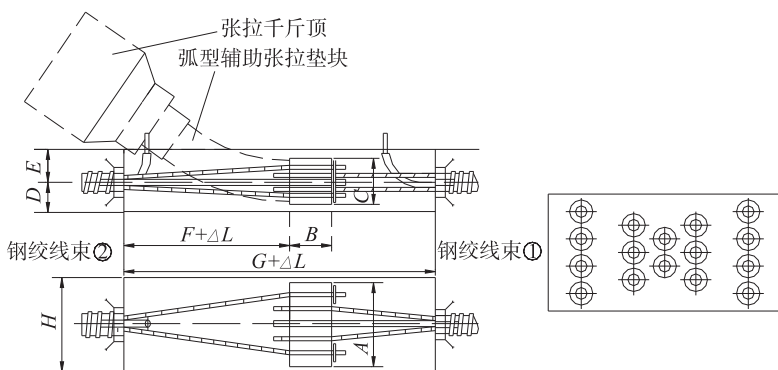


图 A. 1. 5-2 多根钢绞线连接器

- 1—连接体；2—挤压锚具；3—钢绞线；4—夹片；5—保护罩；
6—约束圈

A. 1. 6 环锚

HM 型环锚, 又称游动锚具, 应用于圆形结构的环状钢绞线束, 或使用在两端不能安装普通张拉锚具的钢绞线上。环形锚具使用的钢绞线首尾锚固在一块锚板上, 张拉时需加变角块在一个方向进行张拉(图 A. 1. 6)。



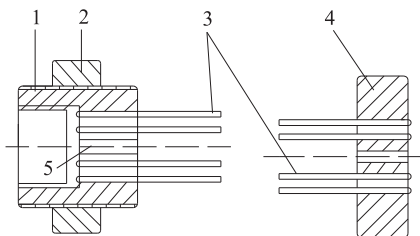
(a) HM 型环锚

(b) 环锚锥孔

图 A. 1. 6 HM 型环形锚具

A. 2 钢丝束锚固体系

锚头锚具适用于锚固任意根钢丝束。常用的墩头锚具分为 A 型与 B 型。A 型由锚杯与螺母组成,用于张拉端;B 型为锚板,用于固定端。



(a) A 型锚杯

(b) B 型锚板

图 A. 2 墩头锚固体系

1—锚杯;2—螺母;3—钢丝束;4—锚板;5—排气孔

A.3 粗钢筋锚固体系

A.3.1 预应力螺纹钢筋锚固体系

预应力螺纹钢筋锚具是利用与该钢筋螺纹匹配的特制螺母锚固的一种支承式锚具。预应力螺纹钢筋锚具包括螺母与垫板，螺母分为锥面螺母和锥面螺母，垫板也相应分为平面垫板与锥面垫板。

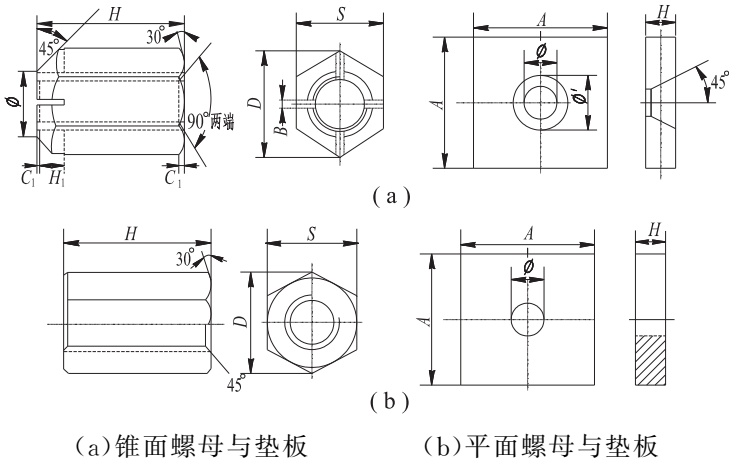


图 A.3.1 预应力螺纹钢筋锚具

A.3.2 预应力螺纹钢筋连接器

预应力螺纹钢筋连接器见图 A.3.2。

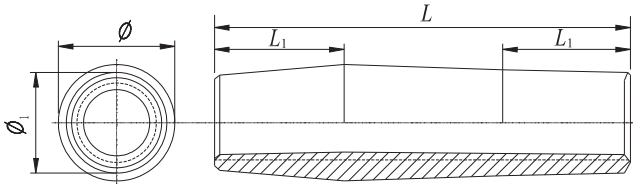


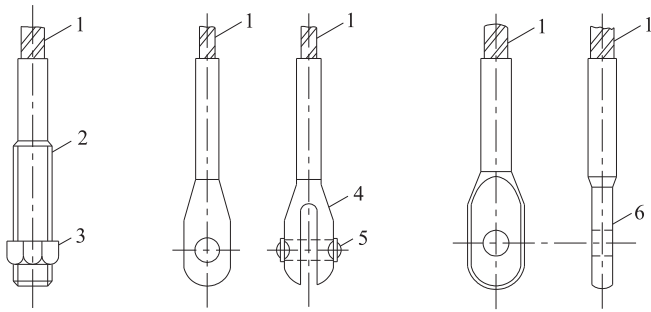
图 A.3.2 预应力螺纹钢筋连接器

A.4 拉索锚固体系

拉索锚固体系是在钢绞线夹片锚具、钢丝束锚头锚具与钢拉杆锚具的基础上发展起来的,主要有钢绞线压接锚具、钢丝束冷(热)铸锚头锚具、钢绞线拉索锚具和钢拉杆锚具等。

A.4.1 钢绞线压接锚具

钢绞线压接锚具是利用液压钢索套压机将套筒径向压接在钢绞线端的一种握裹式锚具。



(a) 螺杆端头 (b) 叉耳端头 (c) 耳板端头

图 A.4.1 钢绞线压接锚具

1—钢绞线;2—螺杆;3—螺母;4—叉耳;5—轴销;6—耳板

A.4.2 冷铸锚头锚具

冷铸锚头锚具的构造是其筒体内锥形段灌注环氧铁砂,当钢丝受力时,借助楔形原理,对钢丝产生夹紧力。钢丝穿过锚板后在尾部锚头,形成抵抗拉力的第二道防线。

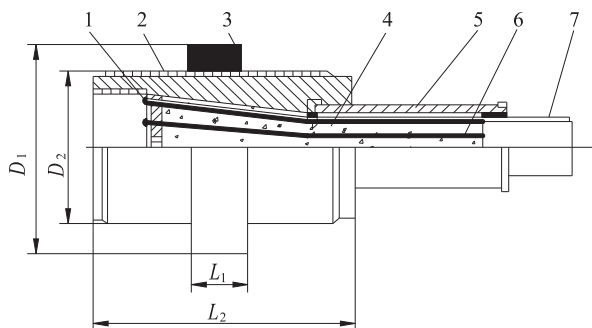


图 A. 4. 2 冷铸镢头锚具

1—镢头锚板；2—筒体；3—螺母；4—环氧铁砂；5—延长筒；
6—钢丝；7—热挤 PE 钢索

A. 4. 3 热铸锚具

热铸锚具的构造与冷铸锚大体相同，差别在于采用低熔点的合金充填锚杯中钢丝间的空隙，液体合金冷却后锚住索体。

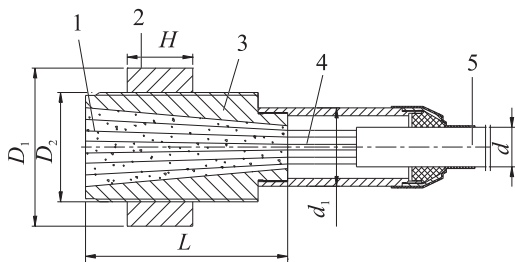


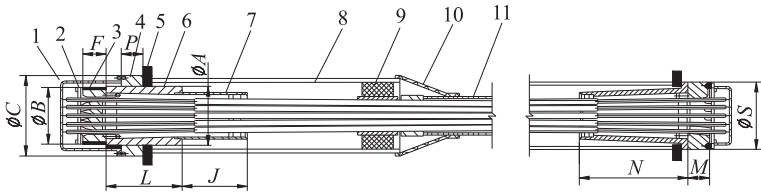
图 A. 4. 3 热铸锚具

1—热铸料；2—螺母；3—锚杯；4—高强钢丝；5—索体

A. 4. 4 钢绞线拉索锚具

钢绞线拉索锚具的构造见图 A. 4. 4。张拉端锚具：对于短索可在锚板外缘加工螺纹，配以螺母承压；对于索长调整量大的长

索,需要用带支承筒的锚具,锚板位于支承筒顶面,支承筒依靠外螺母支承在锚垫板上;为了防止低应力状态下夹片松动,设有防松装置。固定端锚具:可省去支承筒与螺母。拉索锚具内一般灌注油脂或石蜡等,对抗疲劳要求高的锚具一般灌注粘结料。



(a)张拉端构造

(b)固定端构造

图 A. 4. 4 钢绞线拉索锚具

- 1—保护罩;2—防松装置;3—夹片锚具;4—螺母;5—锚垫板;
6—支撑筒;7—索导管;8—预埋管;9—减振装置;10—护罩;
11—索体

A. 4. 5 钢拉杆锚具

钢拉杆—锚具组装件由两端耳板、钢拉杆、调节套筒、锥形锁紧螺母等组成。两端耳板与结构支撑点用轴销连接。钢拉杆可由多根接长,端头有螺纹。调节套筒既是连接器,又是锚具,内有正反牙。钢拉杆张拉时,收紧调节套筒,使钢拉杆建立预应力。

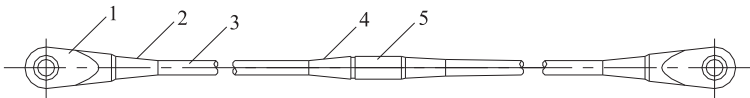


图 A. 4. 5 钢拉杆锚具组装件

- 1—耳板;2、4—锥形锁紧螺母;3—钢拉杆;5—调节套筒

附录 B 金属波纹管 and 塑料波纹管规格

表 B.0.1 圆形金属波纹管规格(mm)

管内径	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	96	102	108	114	120
允许偏差	±0.5															
最小钢带厚度	标准型	0.28			0.30				0.35				0.40			
	增强型	0.30			0.35			0.40			0.45		0.50			

注：当有可靠工程经验时，金属波纹管的钢带厚度可进行适当调整。

表 B.0.2 扁形金属波纹管规格(mm)

		适用于 ϕ 12.7 预应力钢绞线				适用于 ϕ 15.2 预应力钢绞线		
内短轴	长度	20				22		
	允许偏差	+1.0				+1.5		
内长轴	长度	52	65	78	60	76	90	
	允许偏差	±1.0				±1.5		
最小钢带厚度	标准型	0.30	0.35	0.40	0.35	0.40	0.45	
	增强型	0.35	0.40	0.45	0.40	0.45	0.50	

表 B.0.3 圆形塑料波纹管规格(mm)

管内径	50	60	75	90	100	115	130
管外径	63	73	88	106	116	131	146
允许偏差	±1.0			±2.0			
管壁厚	2.5			3.0			

表 B.0.4 扁形塑料波纹管规格(mm)

内短轴	长度	22					
	允许偏差	+0.5					
内长轴	长度	41	55	72	90		
	允许偏差	±1.0					
管壁厚	标准值	2.5			3.0		
	允许偏差	+0.5					

附录 C 预应力损失测试方法

C.1 孔道摩擦损失测试方法

采用千斤顶测试孔道摩擦损失时,应配置压力传感器或精密压力表对张拉力进行度量,测力系统的不确定度不应大于 1%。测试步骤如下:

C.1.1 梁的两端安装千斤顶后同时张拉,压力表读数保持一定数值(约 4MPa);

C.1.2 一端固定,另一端张拉。张拉时分级升压,直至张拉控制拉力($0.70F_{ptk} \sim 0.80F_{ptk}$)。如此反复进行 3 次,取两端传感器或精密压力表压力差的平均值;

C.1.3 仍按上述方法,但调换张拉端和固定端,取测得的两端 3 次压力差的平均值;

C.1.4 将上述两次压力差平均值再次平均,即为孔道摩擦损失的测定值;

C.1.5 如果两端锚垫板扩孔段与预埋管道连接处预应力筋弯折形成摩擦损失时,上述测定值应考虑锚口摩擦损失的影响。

C.2 锚口摩擦损失测试方法

锚口摩擦损失测定应在张拉台座或留有直孔道的混凝土试件上进行,张拉台座或混凝土试件长度不应不小于 3m。锚具、千斤顶、传感器、预应力筋应同轴(图 C.2)。张拉力采用压力传感器度量,测力系统的不确定度不应大于 1%。

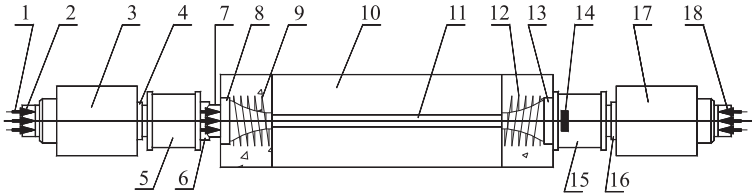


图 C.2 锚口摩擦损失测试装置

- 1—预应力筋;2、18—工具锚;3—主动端千斤顶;
 4、16—对中垫圈;5—主动端传感器;6—限位板;
 7—工作锚(含夹片);8、13—锚垫板;9、12—螺旋筋;
 10—混凝土试件(台座);11—试件中预埋管道;
 14—钢质约束环;15—被动端传感器;17—被动端千斤顶

在混凝土试件上测试时,试件预留孔道应顺直,且直径应比锚垫板小口内径稍大,试件锚固区配筋及构造钢筋应按设计要求配置。测试步骤如下:

C.2.1 两端同时张拉,压力表读数保持一定数值(约 4MPa);

C.2.2 一端固定,另一端张拉至控制拉力($0.70F_{ptk} \sim 0.80F_{ptk}$)。设张拉端传感器测得的控制拉力为 P_1 时,固定端传感器相应读数为 P_2 ,则锚口摩擦损失为:

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (C.2.2)$$

测试反复进行 3 次,取平均值。

C.2.3 如两端均安装被测锚具应调换张拉端,同样按上述方法进行 3 次,取平均值的 1/2 为锚口摩擦损失;

C.3 变角张拉摩擦损失测试方法

C.3.1 测试用的组装件应由变角装置、预应力筋组成,组装件中各根预应力筋应等长,初应力应均匀。

C.3.2 混凝土承压构件或张拉台座及试验装置安装(图 C.3.2)应符合下列规定:

- 1 张拉台座或混凝土承压构件的长度不应小于 3m;
- 2 变角装置、千斤顶、压力传感器、预应力筋应同轴;
- 3 测力系统的不确定度不应大于 1%。



图 C.3.2 变角张拉摩擦损失测试装置

- 1—工具锚;2—压力传感器 1;3—千斤顶;4—变角装置;
5—锚板;6—压力传感器 2;7、9—钢垫板;8—台座(试件);
10—固定端锚具

C.3.3 试验加载步骤应符合下列规定:

- 1 加载速度不宜大于 200MPa/min;
- 2 试验时应分别按 $0.70F_{ptk}$ 、 $0.75F_{ptk}$ 、 $0.80F_{ptk}$ 三级加载, 每级持荷时间不应少于 1min, 并应记录两端压力传感器的读数。

C.3.4 变角张拉摩擦损失率按下式计算:

$$\delta = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100\% \quad (\text{C.3.4})$$

式中 δ —— 变角张拉摩擦损失率;

P_1 —— 压力传感器 1 测得的拉力(N);

P_2 —— 压力传感器 2 测得的拉力(N)。

C.3.5 取三级加载测得的摩擦损失率的平均值作为测试结果。

C.4 锚具变形和预应力筋内缩值测试方法

锚具变形和预应力筋内缩值可采用直接测量法或间接测量法。测试时采用的锚具、张拉机具及附件应配套。张拉控制力 N_{con} 宜在范围 $0.70F_{ptk} \sim 0.80F_{ptk}$ 内取用,张拉力采用压力传感器度量,测力系统的不确定度不应大于 1%;测量长度的量具,其标距的不确定度不应大于标距的 0.2%。

C.4.1 直接测量法应符合下列规定:

1 测试在台座或混凝土试件上进行,台座或混凝土试件长度不应不小于 3m。锚具、千斤顶、预应力筋应同轴(图 C.4.1);

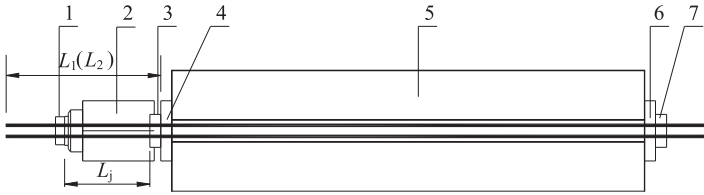


图 C.4.1 直接测量法测试装置

1—工具锚;2—千斤顶;3—张拉端锚具;4、6—锚垫板;
5—台座(试件);7—固定端锚具

2 当拉力达到控制力并持荷待伸长值稳定后,记录张拉控制力 N_{con} (N)、预应力筋在锚垫板外的长度 L_1 (mm)、预应力筋在张拉端锚具与工具锚之间的长度 L_j (mm);当千斤顶回油至完全放松时,记录预应力筋在锚垫板外的长度 L_2 (mm);

3 锚具变形和预应力筋内缩值可按下列公式计算:

$$a = L_1 - L_2 - \Delta l \quad (\text{C.4.1-1})$$

$$\Delta l = \frac{N_{con} \cdot L_j}{E_p A_p} \quad (\text{C.4.1-2})$$

式中 a —— 锚具变形和预应力筋内缩值(mm);

Δl —— 在张拉控制力下,张拉端锚具和千斤顶工具锚之间
预应力筋的理论伸长值(mm);

E_p —— 预应力筋弹性模量(N/mm²)。

4 对多孔夹片式锚具,应至少测量 3 根预应力钢绞线,并取其平均值;同一规格的锚具应测量 3 个,并取其平均值作为该规格锚具的变形和预应力筋内缩值。

C. 4. 2 间接测量法应符合下列规定:

1 测试在台座或混凝土试件上进行,台座或混凝土试件长度不应不小于 3m。锚具、千斤顶、压力传感器、预应力筋应同轴(图 C. 4. 2);

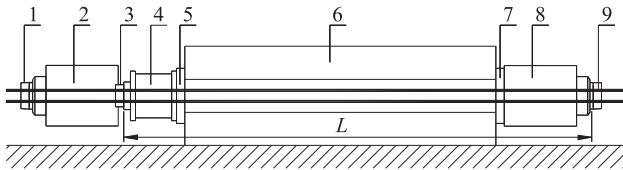


图 C. 4. 2 间接测量法测试装置

1—工具锚;2、8—千斤顶;3—张拉端锚具;4—压力传感器;
5、7—锚垫板;6—台座(试件);9—固定端锚具

2 当拉力达到控制力并持荷待伸长值稳定后,记录张拉端传感器读数 P_1 (N);张拉端千斤顶完全回油卸载后记录张拉端传感器读数 P_2 (N);

3 锚具变形和预应力筋内缩值可下列公式计算:

$$a = \frac{(P_1 - P_2)(L + 30)}{E_p A_p} \quad (\text{C. 4. 2})$$

式中 L —— 预应力筋在张拉端锚具和固定端锚具之间的长度
(mm);

4 同一规格的锚具应测量 3 个,并取其平均值作为该规格锚具的变形和预应力筋内缩值。

附录 D 预应力张拉申请单

工程名称：

总包单位：

编号：

序号	项 目	检 验 结 果	备 注
1	预应力钢材力学性能试验		
2	锚环、夹片硬度及静载试验		
3	混凝土强度试验		
4	穿束质量检查		
5	锚口清理检查		
6	锚固区混凝土质量检查		
7	设备标定资料检查		
9	张拉操作平台检查		
10	其它		
构件名称/编号：			
施工技术负责人： 年 月 日			
总包单位意见：			
项目技术负责人： 年 月 日			
监理单位意见：			
总/专业监理工程师： 年 月 日			

附录 F 浆体性能测试方法

F.1 流动性试验

F.1.1 试验仪器

1 浆体流动度是通过测量一定体积的浆体从一个标准尺寸的流锥仪中流出的时间确定,流锥仪装置如图 F.1.1 所示。

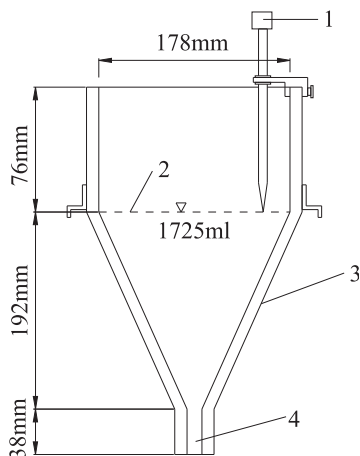


图 F.1.1 流锥仪示意图

1—点测规;2—浆体表面;3—不锈钢制容器(壁厚 3mm);

4—流出口(内径 13mm)

2 流锥仪的校准:1725mL \pm 5mL,水流出时间应为 8.0s \pm 0.2s。

F.1.2 试验方法

测定时,先将流锥仪调整放平,关上底口活门,将搅拌均匀的

浆体倾入漏斗内,直至表面触及点测规下端;打开活门,让浆体自由流出,记录浆体全部流出的时间(s)。

F. 1.3 测试结果

用流锥仪测定浆体流动度,连续做三次试验,取其平均值作为浆体的流动度。

F.2 浆体自由泌水率和自由膨胀率试验

F. 2.1 试验仪器

试验仪器如图 F. 2. 1 所示,用有机玻璃制成,带有密封盖,高 120mm,放置于水平面上。

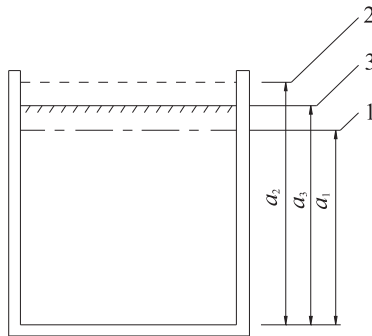


图 F. 2. 1 浆体泌水率和膨胀率试验容器示意图

1—最初填灌的浆体面;2—水面;3—膨胀后的浆体面

F. 2.2 试验方法

往容器内填灌浆体约 100mm 深,量测填灌面高度并记录,然后盖严。放置 3h 和 24h 后量测其离析水水面和浆体膨胀面,然后按下列公式计算泌水率和膨胀率。

$$\text{泌水率} = \frac{100(a_2 - a_3)}{a_1} (\%) \quad (\text{F. 2. 2-1})$$

$$\text{膨胀率} = \frac{100(a_3 - a_1)}{a_1} (\%) \quad (\text{F. 2. 2-2})$$

F. 3 钢丝间泌水率试验

F. 3. 1 试验仪器

试验仪器如图 F. 3. 1 所示,用有机玻璃制成,带有密封盖,内径为 100mm,高为 160mm。在容器中间置入一根 7 丝钢绞线。钢绞线在容器顶露出的高度为 10mm~30mm。

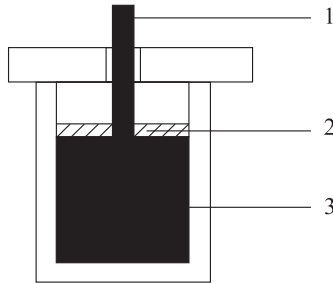


图 F. 3. 1 钢丝间泌水试验示意图

1—7 ϕ 5 钢绞线;2—静止一段时间后的泌水;3—浆体

F. 3. 2 试验方法

试验容器置于水平面上,将搅拌均匀的浆体注入容器中,注入浆体体积约 800ml,并记录浆体准确体积。然后将密封盖盖严,并在中心位置插入钢绞线至容器底部。静置 3h 后用吸管吸出浆体表面的离析水量,移入 10ml 的量筒内,测量泌水量 V_1 。

$$\text{泌水率} = \frac{V_1}{V_0} \times 100\% \quad (\text{F. 3. 2})$$

式中 V_1 ——浆体上部泌水的体积;

V_0 ——测试前浆体的体积。

附录 H 预应力分项工程质量验收记录

表 H.1 预应力筋制作与安装检验批质量验收记录

工程名称				验收部位		
施工单位				项目经理		
检查项目			质量要求		自检记录	监理检查
主控项目	1	预应力筋品种、级别、规格和数量	必须符合设计要求			
	2	锚固区局部加强构造	必须符合施工详图要求			
	3	预应力筋有无损伤	严禁电火花或接地电流损伤预应力筋			
一般项目	1	预应力筋下料	①应采用砂轮锯或切断机切断； ②钢丝等长下料长度 l 的最大偏差 $\leq l/5000$ 。			
	2	固定端锚具制作	①钢绞线外端应露出挤压锚具 $1\text{mm} \sim 5\text{mm}$ ； ②钢绞线压花锚具的梨形头尺寸应符合设计要求，表面不得有污物； ③钢丝墩头尺寸不应小于设计值。			

续表 H.1

检查项目		质量要求	自检记录	监理检查
一般项目	3	预应力筋孔道留设	①金属(塑料)波纹管规格和定位钢筋间距应符合施工详图要求; ②波纹管应定位牢固,接头密封,管壁完好; ③灌浆、排气兼泌水管的埋设位置应正确,并可靠固定。	
	4	无粘结预应力筋铺设	线形顺直,定位牢靠,护套完好	
	5	预应力筋束形(孔道)控制	束形(孔道)控制点的竖向位置允许偏差:截面高度 $h \leq 300\text{mm}$ 时 $\pm 5\text{mm}$, $300\text{mm} < h \leq 1500\text{mm}$ 时 $\pm 10\text{mm}$, $h > 1500\text{mm}$ 时 $\pm 15\text{mm}$ 。	
	6	锚固区埋件安装	①端部锚垫板应垂直于束形(孔道)中心线; ②内埋式固定端锚垫板不应重叠,锚具与锚垫板应贴紧; ③螺旋筋或钢筋网片应居中放置。	
自检评定	项目质量检查员: _____ 年 _____ 月 _____ 日		验收结论 专业监理工程师: _____ 年 _____ 月 _____ 日	
	工长	_____		班长

表 H.3 预应力筋孔道灌浆与封锚检验批质量验收记录

工程名称				验收部位		
施工单位				项目经理		
检查项目			质量要求		自检记录	监理检查
主控项目	1	孔道灌浆密实性	预应力孔道内的浆体应饱满密实			
	2	无粘结预应力系统密封性	①无粘结预应力筋端头和锚具夹片处应符合密封要求； ②对二类、三类环境，无粘结预应力系统应符合全密封要求。			
	3	锚具封闭保护	①外露预应力筋的保护层厚度：对一类环境应不小于 20mm；对二类和三类易受腐蚀的环境应不小于 50mm； ②凸出式锚固端锚具的保护层厚度应不小于 50mm。			
一般项目	1	预应力筋端头切割	①切割方法不得损伤预应力筋； ②切割后的预应力筋保留长度不宜小于其直径的 1.5 倍，且不应小于 30mm。			
	2	灌浆用浆体水胶比	灌浆用浆体的水胶比及其性能指标应符合设计要求			
	3	浆体试块强度	灌浆用浆体标准养护 28d 的抗压强度不应小于 40MPa			
	4	封锚混凝土	封锚混凝土应密实，周边无裂纹			
自检评定	项目质量检查员：			验收结论	专业监理工程师： 年 月 日	
	工长		班长			

表 H.4 _____ 分项工程质量验收记录

工程名称		结构类型	
施工单位		项目经理	
分包单位		分包项目经理	
序号	检验批部位、区段	施工单位 检查评定结果	监理(建设)单位 验收结论
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
检查 结论	项目技术负责人： 年 月 日	验收 结论	总/专业监理工程师： 年 月 日

本规程用词说明

1 为了便于在执行本规程条文时区别对待,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、规范执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223
- 2 《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224
- 3 《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065
- 4 《钢拉杆》GB/T 20934
- 5 《环氧涂层七丝预应力钢绞线》GB/T 21073
- 6 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370
- 7 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 8 《钢结构设计规范》GB 50017
- 9 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 10 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- 11 《无粘结预应力钢绞线》JG 161
- 12 《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85
- 13 《预应力混凝土用金属波纹管》JG 225
- 14 《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》JT/T 529
- 15 《预应力用电动油泵》JG/T 319
- 16 《预应力筋用液压镦头器》JG/T 320
- 17 《预应力用液压千斤顶》JG/T 321
- 18 《建筑工程预应力施工规程》CECS180
- 19 《预应力钢结构技术规程》CECS21
- 20 《索结构技术规程》JG/J 257
- 21 《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50

上海市工程建设规范

后张预应力施工规程

DG/TJ08-235-2012

条文说明

2012 上海

目 次

1	总 则	(121)
2	术语和符号	(122)
2.1	术 语	(122)
2.2	符 号	(122)
3	材 料	(123)
3.1	预应力筋	(123)
3.2	涂层预应力筋	(124)
3.3	锚具、夹具和连接器	(125)
3.4	成孔材料	(130)
3.5	灌浆材料	(131)
3.6	材料存放	(131)
4	施工机具	(132)
4.1	制束机具	(132)
4.2	张拉机具	(133)
4.3	灌浆机具	(134)
4.4	设备的标定与维护	(134)
5	施工计算	(135)
5.1	一般规定	(135)

5.2	预应力筋下料长度	(135)
5.3	预应力筋张拉力	(136)
5.4	预应力损失	(136)
5.5	预应力筋张拉伸长值	(139)
5.6	局部受压验算	(141)
6	制作与安装	(143)
6.1	一般规定	(143)
6.2	预应力筋制作	(143)
6.3	预应力孔道成型	(144)
6.4	预应力筋穿束	(145)
6.5	无粘结预应力筋安装	(147)
6.6	质量要求	(148)
7	混凝土浇筑	(149)
7.1	一般规定	(149)
7.2	混凝土浇筑	(149)
7.3	养护与拆模	(149)
7.4	质量要求	(150)
7.5	混凝土缺陷修补	(150)
8	张拉与锚固	(151)
8.1	一般规定	(151)
8.2	张拉工艺	(152)

8.3	张拉操作	(153)
8.4	伸长值校核	(155)
8.5	质量要求	(155)
9	灌浆与封锚保护	(156)
9.1	一般规定	(156)
9.2	浆体制作	(156)
9.3	灌浆工艺	(158)
9.4	真空辅助灌浆	(158)
9.5	封锚保护	(159)
9.6	质量要求	(160)
10	体外预应力施工	(161)
10.1	一般规定	(161)
10.2	体外束的布置	(161)
10.3	体外预应力构造	(162)
10.4	施工和防护	(163)
11	钢结构预应力施工	(164)
11.1	一般规定	(164)
11.2	施工仿真计算	(165)
11.3	制作与安装	(167)
11.4	施加预应力	(168)
11.5	施工监测	(169)

11.6	防护和维修	(170)
12	施工管理	(171)
12.1	一般规定	(171)
12.2	施工配合	(172)
12.3	施工安全	(173)
12.4	质量控制	(174)
12.5	环境保护	(175)
13	施工验收	(176)

CONTENTS

1	General	(121)
2	Terms and Symbols	(122)
2.1	Terms	(122)
2.2	Symbols	(122)
3	Materials	(123)
3.1	Prestressing Steel	(123)
3.2	Coated Prestressing Steel	(124)
3.3	Anchorage, Grip and Coupler	(125)
3.4	Ducts	(130)
3.5	Grout Materials	(131)
3.6	Storage and Handling	(131)
4	Construction Equipment	(132)
4.1	Fabrication Equipment	(132)
4.2	Stressing Equipment	(133)
4.3	Grouting Equipment	(134)
4.4	Calibration and Maintenance	(134)
5	Construction Calculation	(135)
5.1	General	(135)

5.2	Required Length of Tendons	(135)
5.3	Stressing Force	(136)
5.4	Loss of Prestress	(136)
5.5	Elongation of Tendons	(139)
5.6	Calculation on Anchorage Zone	(141)
6	Fabrication and Installation	(143)
6.1	General	(143)
6.2	Tendon Fabrication	(143)
6.3	Duct Installation	(144)
6.4	Tendon Installation	(145)
6.5	Installation of Unbonded Tendons	(147)
6.6	Quality Requirements	(148)
7	Concrete Placement	(149)
7.1	General	(149)
7.2	Concrete Placing	(149)
7.3	Curing and Form Removing	(149)
7.4	Quality Requirements	(150)
7.5	Repair of Concrete Defects	(150)
8	Stressing and Anchoring	(151)
8.1	General	(151)
8.2	Stressing Procedure	(152)

8.3	Stressing Operation	(153)
8.4	Elongation Checking	(155)
8.5	Quality Requirements	(155)
9	Grouting and Anchorage Protection	(156)
9.1	General	(156)
9.2	Grout Mixing	(156)
9.3	Grouting Procedure	(158)
9.4	Vacuum Grouting	(158)
9.5	Anchorage Protection	(159)
9.6	Quality Requirements	(160)
10	Construction of External Post-tensioning	(161)
10.1	General	(161)
10.2	Layout of External Tendons	(161)
10.3	Detailing of External Post-tensioning	(162)
10.4	Construction and Protection	(163)
11	Construction of Prestressed Steel Structure	(164)
11.1	General	(164)
11.2	Simulating Calculation on Construction	(165)
11.3	Fabrication and Installation	(167)
11.4	Stressing	(168)
11.5	Construction Monitoring	(169)

11.6	Protection and Repair	(170)
12	Constuction Managment	(171)
12.1	General	(171)
12.2	Constuction Cooperation	(172)
12.3	Constuction Safety	(173)
12.4	Quality Control	(174)
12.5	Environmental Protection	(175)
13	Acceptance of Constuction	(176)

1 总 则

1.0.1 预应力分项工程施工专业性强、技术含量高、施工工艺复杂,需要有一本体现最新施工技术成果和经验的规程来指导预应力工程的施工,以提高预应力工程的施工质量,推动预应力技术的发展。

1.0.2 本条规定了本规程的适用范围。主要适用于上海地区建筑工程和桥梁工程中后张预应力的施工与验收。桥梁工程包括城市道路桥梁、公路桥梁和城市轨道交通桥梁。

近年来,我国预应力钢结构在材料、结构体系和施工技术等方面取得了令人瞩目的技术进步,本规程在总结国内众多大型工程施工经验和研究成果基础上,增加钢结构预应力施工一章。

1.0.3 预应力分项工程的施工质量对结构的安全起着举足轻重的作用。具有预应力专项资质的施工单位长期承担预应力工程的施工,具有丰富的施工实践经验,同时也具备相应的技术能力,是保证预应力工程质量的首要条件。

目前我国预应力工程专业承包企业资质分为二级和三级两类。二级企业可承担各类预应力工程的施工;三级企业可承担单项合同额不超过企业注册资本金 5 倍且跨度在 30m 以内、连续跨度总长度 100m 以内的预应力工程的施工。

1.0.4 后张预应力工程的施工涉及面广,不仅包括预应力专项工程施工内容,还涉及其他方面内容,如钢筋工程、混凝土工程、模板工程等。因此,凡本规程有规定者,应遵照执行;凡本规程无规定者,尚应按照国家 and 上海市现行有关标准的规定执行。

2 术语和符号

2.1 术语

本规程的术语是从后张预应力施工的角度赋予其涵义的,但涵义不一定是术语的定义。同时还给出了相应的推荐性英文术语,该英文术语不一定是国际上通用的标准术语,仅供参考。

2.2 符号

本节给出了规程各章节中常用的符号及其含义,力求与上海市工程建设规范《预应力混凝土结构设计规程》(DGJ08-69-2007)相一致,尽量避免与已用的符号混淆。

3 材 料

3.1 预应力筋

3.1.1 在预应力混凝土结构工程中,由于其强度高、性能好,近年来主要采用低松弛钢丝、钢绞线和螺纹钢筋三大类产品的预应力筋,普通松弛预应力筋和冷加工钢筋工程中应用很少,因此不再列入本规程。另外因为钢绞线具有强度高、柔性好、与混凝土握裹性能好以及施工方便等优点,是混凝土结构中预应力筋的主要应用品种。同时为适应不同施工工艺和经济性要求,也列入钢丝、预应力螺纹钢筋等品种,以供选用。

3.1.2 预应力钢结构中使用的拉索材料主要有钢丝束、钢绞线、钢拉杆等,除钢拉杆为硬索外,其余均为软索。

早期预应力钢结构中,钢绞线组装索应用较多。拉索材料采用无粘结预应力钢绞线,锚具则在夹片锚和挤压锚基础上予以改造。近年来,拉索材料从钢绞线组装索向高强钢丝束和钢拉杆等成品索发展,钢丝表面防腐蚀从镀锌处理到环氧喷涂和镀锌铝处理。钢丝束成品索的索体一般由 1670 级 $\phi 5$ 或 $\phi 7$ 高强镀锌钢丝束平行扭绞而成,外包双层 PE 防护;索头由锚具、调节装置和连接件组成,其中锚具分为冷铸锚和热铸锚,鉴于建筑美观性和简化节点构造等原因,热铸锚是主要形式。钢拉杆成品索由杆体、调节装置和连接件构成,各部件之间通过螺牙连成整体,鉴于热处理和运输方便,单根杆体长度不超过 12m。

3.1.3 本条列出了混凝土和钢结构中常用预应力材料如钢丝、钢绞线、预应力螺纹钢筋和钢拉杆的规格和主要力学性能指标,

其内容取自相应的现行国标或行业标准,以方便用户使用。

对于强度级别为 1960MPa 和直径为 21.6mm 的钢绞线,当作后张预应力配筋时,应注意其与锚夹具的匹配性,且经检验并确认锚夹具性能及工艺可靠后方可在工程中应用。

3.1.4 预应力筋的代换,应不降低预应力构件的承载力、延性和抗裂性能,同时应满足预应力筋布置和锚固区局部受压承载力的要求。

3.1.5~3.1.9 这些条文系依据产品标准和《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204)编写。预应力筋的进场验收分为产品规格与数量验收、外观检查及抽样试验三部分内容。前两项为施工单位自检项目。抽样试验则由施工单位取样经监理单位见证后送交具有检测试验资质的单位进行材质检验。

对同批预应力筋分数次送到一个施工现场或不同施工现场的情况,如有可靠证据证明是同批材料,则不必再做试验。

预应力筋产品质量证明书应注明:供方名称、地址和商标、规格、强度级别、需方名称、合同号、质量、产品标记、执行标准、出厂日期、技术监督部门印记等。在产品标牌上应注明供方名称、商标标记、规格、强度级别、执行标准等。

3.1.12、3.1.13 索体材料的弹性模量和线膨胀系数宜由试验方法确定,本条中各种材料的弹性模量和线膨胀系数是参照《预应力钢结构技术规程》(CECS21:2006)和《索结构技术规程》JG/J 257 综合确定的。

3.2 涂层预应力筋

3.2.1、3.2.2 涂层预应力筋是在裸露的预应力筋表面涂(镀)一层防腐材料或无粘结材料制成。近年来,这类新材料得到较大

的发展。

镀锌钢丝和镀锌钢绞线是从桥梁工程需要发展起来的,逐步推广应用到建筑工程中的体外索和拉索等。无粘结预应力筋是从无粘结预应力混凝土结构需要发展起来的,也可应用于体外索、拉索等。

环氧涂层钢绞线是通过环氧喷涂使每根钢丝周围形成一层环氧保护膜,是一种新型防腐蚀钢绞线,对各种腐蚀环境具有高耐腐蚀性。

缓粘结钢绞线是用缓慢凝固的特种树脂涂料敷在钢绞线上,并外包压波的塑料护套制成。这种新型涂层钢绞线张拉时具有无粘结预应力筋的特点,固化后成为有粘结预应力筋,具有较大的发展前景。该产品在日本等国已有成熟的使用经验,国内正在推广应用。

3.2.3 无粘结预应力筋的质量包括钢绞线本身的质量和涂包质量两部分,应分别进行检验。现行行业标准《无粘结预应力钢绞线》(JG 161)加强了原材料的检验,规定了护套材料应采用高密度聚乙烯,并修改了护套厚度,对一、二类环境统一取 1.0mm。

3.2.5 涂层预应力筋的质量证明书中,除附有预应力筋的试验数据外,应附有涂层和护套的检验数据。进场验收时,涂层和护套的检验可在监理工程师见证下由施工单位自检。

3.3 锚具、夹具和连接器

3.3.1 预应力筋用锚具按锚固方式不同,分为夹片式(单孔和多孔夹片锚具)、支承式(螺母锚具、镦头锚具)、握裹式(挤压锚具、压花锚具)和组合式(冷铸镦头锚、冷铸夹片锚、热铸镦头锚)等;按锚固部位可分为张拉端锚具和固定端锚具。由于锥塞式锚具

(钢质锥形锚具)在工程中应用很少,不再列入本规程。

工程中锚具、夹具和连接器选用时,可根据结构类型、工程环境条件、预应力筋的品种、产品技术性能、张拉施工方法和经济性等因素综合确定。表 3.3.1 是锚具选用表,夹具和连接器的选用原则同锚具,不再单独列出。

在混凝土结构中,预应力钢绞线张拉端优先选用夹片式锚具;内埋式固定端宜选用挤压锚具,对有粘结预应力钢绞线也可选用压花锚具。由于不同厂家生产的锚具外形相似,但夹片的锥度、选型有细微差别,配套性强,因此不同厂家生产的锚具部件不得组装使用,以免影响锚固效果。

随着预应力拉索的发展,钢丝束铸锚体系得到广泛应用。单根钢绞线压接锚具的端部具有螺纹,张拉方便,锚固损失小,在小型拉索中采用较多。

3.3.2 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》(GB/T 14370)是锚具产品的国家标准,是生产厂在生产中控制锚具、夹具和连接器产品质量的依据。工程中应用的锚具、夹具和连接器的性能应满足国家标准的要求。

3.3.4 本条规定了锚具应具备多次张拉和卸载的工艺性能,保证锚具能满足预应力筋分级张拉锚固、卸载后重新张拉等工程实际需要。单根张拉的工艺性能,有利于满足特殊情况下采用逐根张拉的需要,并有利于滑丝情况下的卸锚和补张拉。当工程中反复张拉锚固次数较多时,应由用户向厂家提出具体重复次数要求,或直接采用工具锚。

张拉端预应力筋由孔道伸入喇叭管有一个转角,安装锚具后再出现一个转角,因而在张拉时出现摩擦损失。当采用限位自锚张拉工艺时,尚存在由于夹片逆向刻划预应力筋引起的预应力损

失,统称为锚口摩擦损失。锚口摩擦损失集中在锚口,直接降低预应力构件的有效预加力,应设法降低该值,并计入设计计算中。如果实测的锚口摩擦损失率大于6%,应通知设计单位,并由设计单位对设计结果进行验算确认或调整张拉控制力。

3.3.5 适用于高强度预应力筋用锚具,可适用于低强度预应力筋;但适用于低强度预应力筋用锚具,不得用于高强度预应力筋。这样规定主要是为了确保预应力筋锚固的安全、可靠。

3.3.6 需大力敲击才能松开的夹具,必须在放松预应力筋后,确认对构件或工作锚具没有影响、且对操作人员安全不造成危险时才允许使用。同时由于夹具生产成本较高,属于可重复使用的工具产品,对其最低使用次数做出明确规定。

3.3.8 锚固区传力性能试验是用来检验预加力从锚具通过锚垫板传递到混凝土结构时的局部受压性能。实际工程中时常出现由于锚垫板和螺旋筋等配套产品质量问题,引起局部受压区混凝土劈裂、崩裂或锚垫板破坏等。本条即是为了解决锚具使用中的实际工程问题而规定的内容。本规程要求锚具生产厂必须在锚具产品的型式检验中,完成锚具、锚垫板、螺旋筋等配套产品在要求的混凝土强度和尺寸下的锚固区传力性能试验,并提出相关合格报告。

3.3.9 锚具产品包括锚具(或夹具、连接器)、锚垫板、螺旋筋等。生产厂应将产品验收所需的技术参数在产品质量保证书上明确注明,作为进场复验的依据。锚固区传力性能试验在产品定型时由厂家委托具有资质的检测机构进行,并出具检验报告。

3.3.10 本条根据《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85—2010编写。锚具进场验收主要做三项检验工作:外观检查、硬度检验和静载锚固性能试验。外观检查从每批产品抽

取 10% 修改为 2%；硬度检查主要针对有硬度要求的锚具零件，抽取数量修改为从每批产品中抽取 3% 且不少于 5 套样品。锚具的静载锚固性能，由预应力筋—锚具组装件静载试验测定的锚具效率系数 (η_a) 和达到实测极限拉力时组装件中预应力筋的总应变 (ϵ_{apu}) 确定。现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》(GB/T 14370) 不再将锚具划分为 I 类和 II 类，而是要求所有锚具的静载锚固性能均达到原规范 I 类锚具的要求，即锚具效率系数 (η_a) 不应小于 0.95，预应力筋的总应变 (ϵ_{apu}) 不应低于 2.0%。

3.3.11 静载锚固性能试验是锚具进场验收最后的把关工作，但需花费一定的时间和费用。锚具用量大的工程进行此项工作是必须的，但对锚具用量较少的一般建筑工程和一般中小桥梁工程，为节约试验时间和费用，提出了锚具静载锚固性能试验简化验收办法。

为便于在实际工程中执行，本规程做如下补充规定：

1 设计单位无特殊要求的建筑工程可作为一般建筑工程；一般桥梁工程是指设计无特殊要求的二级及以下等级公路中的中小桥梁；

2 多孔夹片锚具不大于 200 套或钢绞线用量不大于 30t，可界定为锚具用量较少的工程；

3 生产厂提供的由专业检测机构测定的静载锚固性能试验报告，应与供应的锚具为同条件同系列产品，有效期一年，并以生产厂有严格的质保体系、产品质量稳定为前提；

4 如厂家提供的单孔和多孔夹片锚具的夹片是通用产品，对一般建筑工程可采用单孔锚具静载锚固性能试验考核夹片质量。

单孔夹片锚具、新产品锚具以及设计文件中有明确要求的仍

按正常规定做静载锚固性能试验。

3.3.13 锚具(或夹具、连接器)进场检验是在产品出厂检验合格的基础上进行的复验,鉴于目前国内锚具、夹具及连接器产品的质量水平已经比以往明显提高,并考虑在保证质量的前提下尽量简化进场检验的原则,将锚具的检验批统一规定为 2000 套,不再区分单孔锚具和多孔锚具,而连接器一般用量较少,仍规定 500 套为一个组批。经第三方独立认证的产品,由于其质量保证体系比较健全,厂家的产品质量保证能力较强,本着鼓励优质产品,降低社会成本的原则,在保证产品质量的前提下,经第三方独立认证的产品允许将验收批扩大 1 倍。

3.3.14 预应力筋用锚具、锚垫板、螺旋筋等产品是生产厂家通过锚固区传力性能试验得到的能保证其正常工作性能和安全性的匹配性组合,因此规定锚具、锚垫板、螺旋筋等产品应配套使用。当采用不同厂家的产品组合应用时,所采用的替代产品设计参数如与原厂家产品设计参数一致时,可不进行锚固区传力性能试验。

在同一个构件中不允许采用不同厂家的产品,主要是为了保证工程质量,并在工程出现质量问题时,便于确认责任。

在实际工程中,出现过将工作锚作为工具锚使用的情况,由于工作锚和工具锚的性能不同,工作锚的重复使用会造成其锚固效率降低,形成安全隐患。

不同厂家的产品设计参数有区别,特别是夹片式锚具,张拉时限位板的限位槽深度直接影响预应力的施加效果,因此必须配套使用,或保证其有关参数与原厂家相同。

3.3.15 冷铸锚具是将钢丝端部镦成球形,将铁屑与环氧树脂搅拌后浇铸入锚杯,与钢丝凝固后形成锚塞。冷铸锚具的抗疲劳性

能好,但有老化问题。

热铸锚具是采用低熔点合金浇铸的锚具。其主要原料是铜铝合金,将低熔点的合金加热后充填入锚杯,达到锚固拉索的目的。

3.3.16 拉索锚具起锚固拉索的作用,是一个重要的结构部件。拉索的拉力通过锚具传到结构构件上,锚具的强度应符合拉索断裂后锚具和连接件均不断裂的准则。

3.4 成孔材料

3.4.1 金属波纹管是由薄钢带用卷管机经压波后卷成,具有重量轻、刚度好、弯折方便、连接简单、与混凝土粘结好等优点,已普遍使用。塑料波纹管具有密封性好、柔性好、摩擦损失小、耐疲劳、不导电、可弯成小曲率等优点,在桥梁工程中得到较多的应用,有较大的发展前景。

3.4.2~3.4.4 金属波纹管的钢带厚度、波高和咬口质量是关键控制指标。双波金属波纹管的弯曲性能优于单波金属波纹管。

波纹管经运输和存放可能出现伤痕、变形、锈蚀、污染等,因此使用前应进行外观质量检查。

在一般建筑工程和一般中小桥梁工程中,如波纹管用量较少,且生产厂能提供有效的径向刚度和抗渗漏试验合格证明文件,可不做刚度、抗渗漏性能或密封性的进场复验。

3.5 灌浆材料

本规程提供专用成品灌浆料、专用压浆剂配制的灌浆料和普通硅酸盐水泥三种灌浆材料,供用户选择使用。

预应力孔道专用成品灌浆料是指由水泥、高效减水剂、微膨胀剂和矿物掺合料等多种材料干拌而成的混合料,在施工现场按比例加水搅拌均匀后使用;专用压浆剂是指由高效减水剂、微膨胀剂和矿物掺合料等多种材料干拌而成的混合剂,在施工现场按比例与水泥、水混合并搅拌均匀后使用。

对孔道灌浆所用水泥和外加剂数量较少的一般建筑工程和一般中小桥梁工程,如使用单位提供近期采用的相同品牌、型号的水泥和外加剂的检验报告,也可不做水泥和外加剂性能的进场复验。

3.6 材料存放

材料存放是保证工程中预应力材料的质量、性能以及工程质量的重要举措,实际工程中往往给以忽略,因此应加以重视。

本节系根据国内工程经验并参考国际预应力协会有关预应力材料管理资料编写的。

4 施工机具

4.1 制束机具

4.1.1~4.1.4 预应力筋制作过程中,使用的机具有:电动圆盘砂轮切割机、预应力筋用液压镦头器、预应力筋用挤压机、预应力钢绞线用压花机等。

液压镦头器主要由油嘴、顺序阀、镦头活塞、夹紧活塞、镦头活塞回程弹簧、夹紧活塞回程弹簧、壳体、锚环、夹片和镦头模组成,在预应力工程领域常用液压镦头器为 LD 系列(图 4.1.1)。其中 $\phi 5$ 预应力钢丝的镦头,采用 LD10 型镦头器; $\phi 7$ 预应力钢丝的镦头,采用 LD20 型镦头器。

液压镦头器工作原理是:油液先进入外油缸,推动夹紧活塞,使夹片夹紧钢丝;当压力升至顺序阀开启油压后,油液再进入油缸,推动镦头活塞,对钢丝进行冷镦。

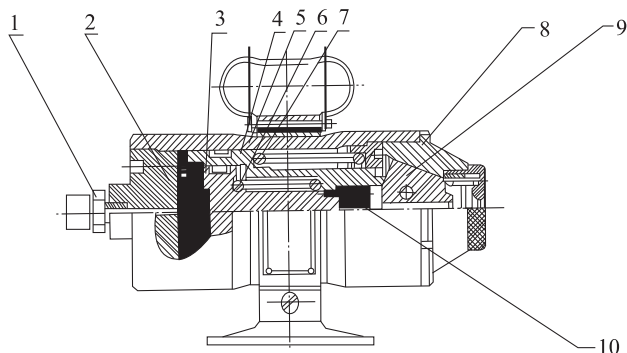


图 4.1.1 镦头器构造图

1—油嘴;2—顺序阀;3—镦头活塞;4—夹紧活塞;5—壳体;

6—镦头活塞回程弹簧；7—夹紧活塞回程弹簧；8—锚环；

9—夹片；10—镦头模

挤压机工作原理是：千斤顶的活塞杆推动挤压套通过喇叭形模具，使挤压套直径变细挤压簧脆断并嵌入挤压套与钢绞线中，形成牢固的挤压头。操作时注意的事项：

- 1)检查钢绞线、挤压簧、挤压套、挤压模是否配套，不同厂家的挤压簧、挤压套、挤压模不能混用；
- 2)挤压的钢绞线在切割时注意断面整齐，不得歪斜；
- 3)挤压时，应在挤压套外表面及挤压模内锥孔均匀涂一些具有润滑作用的物质，并使活塞杆与挤压模对中；
- 4)挤压时钢绞线要顶紧、对中；
- 5)当压力超过额定油压仍未挤压时，应停止挤压，更换挤压模。

压花机工作原理是：将钢绞线插入活塞杆端部孔内并夹紧，向油缸中供油使活塞杆伸出，当压力足够大时可把钢绞线压散成梨状。为保证压花后几何尺寸符合要求，在正式投入压花作业前，必须进行压花试件检验。

4.2 张拉机具

4.2.1~4.2.3 预应力用电动油泵是预应力液压机械的动力源。油泵按工作原理可分为齿轮泵和柱塞泵，柱塞泵按柱塞位置可分为轴向柱塞泵和径向柱塞泵；按照油泵的流量特性可分为定量泵和变量泵；按照油路数量可分为单路供油和双路供油。油泵的额定压力和公称流量应满足配套机具的要求。

油泵的检验和验收应符合现行行业标准《预应力用电动油泵》(JG/T 319)的要求。

4.2.4~4.2.6 预应力用液压千斤顶由电动油泵提供动力,完成预应力张拉、锚固作业。

液压千斤顶的检验和验收应符合现行行业标准《预应力用液压千斤顶》(JG/T 321)的要求。

4.3 灌浆机具

4.3.1~4.3.4 制浆及灌浆设备是确保灌浆密实的重要工具,但目前市场品种很多,质量参差不齐,应选用质量好的合格产品,并加强保养,使其处于良好的工作状态。

4.4 设备的标定与维护

4.4.1~4.4.4 对设备进行经常性维护、保养,可以使设备处于良好状态。通过对多种吨位及型号千斤顶的检验数据统计表明:正常使用条件下,半年检验一次可以保证张拉力的精度。

5 施工计算

5.1 一般规定

5.1.1 为确保预应力混凝土结构构件在张拉、运输及安装阶段的安全,应对其施工阶段进行验算。

在施工阶段计算中应当尽可能全面地考虑到各种荷载。预应力构件吊装验算时,构件自重应乘以动力系数。在不同龄期施加预应力时,应考虑相应阶段的混凝土强度等级和施加的预应力值。在施工过程中发生体系转换时,应考虑体系转换对内力的影响。

5.1.2、5.1.3 对荷载分批施加的预应力混凝土转换梁等构件,宜根据荷载的施加程度分批张拉预应力筋,使施工过程中转换梁的变形和应力控制在合理范围内。

对大跨度复杂预应力混凝土结构,宜对张拉过程中结构的内力和变形进行验算,确保结构在施工过程中的安全。

5.2 预应力筋下料长度

本节列出了两种典型的预应力筋下料长度计算公式。如果预应力筋固定端埋设位置、张拉设备、锚具和施工工艺等有变化,则应按实际情况调整算式。

当钢绞线固定端采用内埋式挤压锚具或压花锚具时,其下料长度应算至锚具内埋的位置。

当采用变角张拉装置时,应增加预应力筋的下料长度。

5.3 预应力筋张拉力

为了准确建立设计所需的有效预应力值,在预应力筋张拉前,设计单位应提供各项预应力损失计算值。

施工中,如遇到设计中未考虑的预应力损失(如锚口摩擦损失、变角张拉摩擦损失、弹性压缩损失等)或设计中预应力损失(如锚固损失、孔道摩擦损失、预应力筋松弛损失等)取值偏低,则应采取超张拉措施。

若设计图纸上标明的是锚下张拉控制应力,则需计入锚圈口预应力损失,两者相加即为张拉控制应力。值得注意的是:当预应力筋需超张拉或需计入锚圈口预应力损失时,其最大张拉控制应力不应超过本规程第 5.3.3 条的规定;超过时预应力筋的安全度降低,张拉时容易拉断发生安全事故。

5.4 预应力损失

5.4.1 后张法预应力损失可分为施工阶段损失和长期损失。施工阶段损失包括孔道摩擦损失、锚固损失、弹性压缩损失等,对预应力筋在锚口有弯折的锚具还应计入锚口摩擦损失,变角张拉时应考虑变角张拉摩擦损失。长期损失则包括预应力筋应力松弛损失和混凝土收缩徐变损失等。

1 预应力筋的应力松弛损失,可按下列公式计算:

1) 预应力钢丝、钢绞线

对普通松弛级

$$\sigma_{l4} = 0.4 \left(\frac{\sigma_{\text{con}}}{f_{\text{ptk}}} - 0.5 \right) \sigma_{\text{con}}$$

对低松弛级

当 $\sigma_{\text{con}} \leq 0.7f_{\text{ptk}}$ 时

$$\sigma_{l4} = 0.125 \left(\frac{\sigma_{\text{con}}}{f_{\text{ptk}}} - 0.5 \right) \sigma_{\text{con}}$$

当 $0.7f_{\text{ptk}} \leq \sigma_{\text{con}} \leq 0.8f_{\text{ptk}}$ 时,

$$\sigma_{l4} = 0.2 \left(\frac{\sigma_{\text{con}}}{f_{\text{ptk}}} - 0.575 \right) \sigma_{\text{con}}$$

2) 预应力螺纹钢筋

$$\sigma_{l4} = 0.03\sigma_{\text{con}}$$

注: 当 $\sigma_{\text{con}}/f_{\text{ptk}} \leq 0.5$ 时, 预应力筋的应力松弛损失值可取为零。

2 混凝土收缩和徐变引起的预应力损失值 σ_{l5} 可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010) 第 10.2.5 条进行计算。

5.4.2 后张法孔道摩擦损失, 采用国内外通用的公式计算。对多种曲率或直线段与曲线段组成的孔道, 宜分段计算孔道摩擦损失。

预应力筋与孔道壁间的摩擦系数 k 与 μ 值, 主要根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010) 和现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50) 的规定, 并参考国内外工程实测数据, 给出了一定的幅度, 以便结合实际工程选用。

为减少孔道摩擦损失, 可采取的措施有: 提高孔道成型质量; 防止预应力筋表面锈蚀; 增大孔道直径; 涂水溶性润滑剂, 但随后应采用清水冲洗干净。

5.4.3 为准确建立设计要求的预应力值, 对重要的预应力建筑工程, 应在现场实测孔道的摩擦损失; 桥梁工程预应力张拉前, 宜对不同类型的孔道进行至少一个孔道的摩擦损失测试。如果实测孔道摩擦损失与设计值相差较大, 导致张拉控制力偏差超过 $\pm 5\%$, 则应调整预应力筋的张拉控制力。

5.4.4 张拉端预应力锚固时的锚具变形和预应力筋内缩量, 系

根据我国多年来对各类锚具测试数据和使用经验确定,与工程实际情况比较吻合。对直线预应力筋,其内缩值对锚固损失的影响较大,应严格控制。有时为了减少张拉端锚下应力值,可将内缩值适当放大。

直线预应力筋的锚固损失计算公式没有考虑孔道反向摩擦的影响。当孔道摩擦影响系数 k 值较大时,应考虑孔道反向摩擦的影响,张拉端锚固损失比(5.4.4-1)公式计算值增大,但对跨中处锚固损失的影响较小。在简支构件中,跨中弯矩起控制作用,(5.4.4-1)公式是适用的。

对曲线或折线预应力筋,由于孔道反向摩擦的作用,其锚固损失在张拉端最大,沿预应力筋长度逐步减小,直至消失。根据预应力筋在锚固损失影响区段的总变形与预应力筋内缩相协调的原理,列出锚固损失基本公式 $a = \omega / E_p$ (ω 为锚固损失影响区段的应力图形面积)。只要记住上述基本公式,不论预应力筋线形如何变化以及预应力筋沿长度方向扣除孔道摩擦损失后的应力如何变化,都可以计算锚固损失影响区段的应力图形面积 ω ,推导出锚固损失的影响长度 l_f 公式,再求出锚固损失 σ_{l1} 值。

为简化曲线预应力筋锚固损失的计算方法,假定①预应力筋沿长度方向扣除孔道摩擦损失后的张拉力指数曲线为直线变化;②正、反摩擦损失斜率 m 相等。实际上,当正、反摩擦系数相等时,反摩擦损失斜率小于正摩擦损失斜率,两者不相等。简化为相等后,其计算值约大 5%,偏于安全。

锚固损失计算时,一定要注意计算公式中各参数的单位,否则可能导致计算结果不正确。在采用公式 $\sigma_{l2} = (kx + \mu\theta)\sigma_{con}$ 计算孔道摩擦损失时,预应力筋长度单位应为 m,转角应为弧度;在计算其它参数时,预应力筋长度单位可取为 mm,以便与预应力筋弹

性模量中长度单位的量纲保持一致。

5.4.5 后张法构件的预应力筋同时张拉时,混凝土弹性压缩值在锚固前完成,不产生弹性压缩损失。后张法构件的预应力筋分批张拉时,应考虑后批张拉产生的混凝土弹性压缩对先批张拉预应力筋引起的预应力损失。采用(5.4.5)公式计算的值是弹性压缩损失平均值,预应力筋张拉力增加值相同,施工方便。也可分批计算弹性压缩损失值分别加在先张拉预应力筋内,使每束预应力筋建立的应力一致;但每束张拉力不同,施工较复杂。

对曲线配筋的后张预应力梁,可近似按轴心受压计算弹性压缩值;当弹性压缩损失值很小时,可忽略不计。

5.5 预应力筋张拉伸长值

5.5.1 预应力筋张拉伸长值的计算公式系根据预应力筋在弹性阶段的应力与应变成正比确定。从高强度低松弛钢丝和钢绞线的应力应变曲线中可以看出,预应力筋的比例极限(弹性范围)等于或稍高于 $0.8f_{ptk}$,施工中张拉控制应力最大值不大于 $0.8f_{ptk}$, (5.5.1-1)公式的计算结果是准确的。

为了简化张拉伸长值的计算,预应力筋的张拉力取张拉端拉力与计算截面扣除孔道摩擦损失后的拉力平均值,其计算误差不大于0.5%,对一般工程是许可的。孔道摩擦系数 k 与 μ 值是波动的。施工中如遇到孔道弯折较多、孔道直径较小等应增大 k 和 μ 值。

预应力筋的弹性模量波动范围为3%~5%,对计算张拉伸长值的影响较大。根据现行国家标准,对钢丝 $E_p=(2.05\pm 0.1)\times 10^5$ MPa,对钢绞线 $E_p=(1.95\pm 0.1)\times 10^5$ MPa,可供参考。预应力钢丝束和钢绞线束使用时存在同束各根长度参差不齐和应力

不均匀现象,导致钢丝束和钢绞线束 E_p 比单根钢丝和钢绞线 E_p 低 2%~3%。对重要的预应力混凝土结构,弹性模量应事先测定。

近年来,在有些工程的特殊部位配有曲率半径小于 3m 的预应力筋。张拉时不但孔道摩擦系数显著增加,而且紧贴孔道的钢绞线与外侧钢绞线的应力相差较大,应力较大的钢绞线会超过钢材的比例极限,(5.5.1-1)公式已不适用。该类结构设计时,张拉控制力应降至 $0.60f_{ptk} \sim 0.65f_{ptk}$,以保证张拉过程中每根预应力筋的应力在比例极限内。

5.5.2 对多曲线段或直线段与曲线段组成的预应力筋,张拉伸长值应分段计算较为准确。

(5.5.2)公式计算的总 ΔL_p^c 值,可采用列表法先求出各分段点扣除孔道摩擦损失后的预应力筋的应力,再逐段计算 ΔL_p^c 值,或编制软件计算更为方便。

5.5.3 预应力筋张拉实际伸长值是以测量数据为基数,增加初拉力以下的推算伸长值,并扣除有关附加伸长得值。为了获得准确的实际伸长值,应注意以下几点:

1 初拉力取值,应使预应力筋完全绷紧。根据国内工程实际经验,对直线预应力筋宜为张拉力的 10%~15%,对曲线预应力筋宜为张拉力的 15%~25%。

2 初拉力以下的推算伸长值,系根据弹性范围内张拉力与伸长值成正比用计算法或图解法确定。对有粘结预应力筋,由于其在孔道内可活动,张拉力与摩擦力成正比,上述推算方法是适用的。但是,对无粘结预应力筋,张拉时首先要克服较大的摩擦力才能伸长,如仍采用上述方法推算初拉力以下的伸长值,必然偏大,尤其对超长筋更为明显。因此,对无粘结预应力筋,初拉力应取低值,以减少推算伸长值误差。必要时,可测定超长无粘结

预应力筋初拉力以下的实际伸长值。

3 扣除有关附加伸长值,包括千斤顶体内的预应力筋伸长值、张拉端工具锚和固定端工作锚楔紧引起的预应力筋内缩值、构件弹性压缩值等。但应注意:①张拉端工作锚楔紧引起的预应力筋内缩值是锚固后发生的,不得扣除;②前卡式千斤顶内工具锚滑移值不得漏扣;③对平均预压应力较小的构件,其弹性压缩值可略去不计。

4 因克服锚口摩擦损失与变角张拉摩擦损失而增加的张拉力,已在张拉端锚口处抵消,不应计算张拉伸长值。

5 钢绞线束采取单根张拉时,其张拉伸长值应取单根张拉伸长值的平均值。

5.6 局部受压验算

无论对混凝土结构或是钢结构来说,预应力作用都是通过节点施加到结构上的,张拉端局部承压破坏将导致预应力作用失效,并且会发生安全事故。特别是对钢结构预应力和无粘结预应力混凝土结构,预应力一直作用在端部节点上。因此,锚固节点构造和局部承压验算非常重要。

5.6.1、5.6.2 对预应力混凝土结构或构件锚固区的局部受压验算提出具体要求。以往工程中,没有对锚垫板提出明确的技术性能要求,其产品生产和质量控制处于无序状态,厂家为了降低成本,通常采取减小锚垫板的尺寸和配套螺旋筋的规格等措施,造成工程中局部受压质量事故频出,影响了工程质量。条文要求锚固区传力性能试验合格,间接规定了锚垫板的产品质量要求,同时规定了局部加强钢筋的构造要求。

局部受压加强钢筋是指预应力锚固区的间接钢筋,包括螺旋

筋和网片筋等。当工程实际条件不满足锚具的产品技术参数要求而进行专门设计时,主要是由设计人员对局部加强钢筋、混凝土强度等级进行调整,必要时也可对锚垫板进行专门设计,并由设计人员提出是否进行试验。

5.6.3 对钢结构中预应力锚固节点的构造提出具体要求。对加劲肋、加劲环或加劲构件,应根据其受力状况和支撑条件,参照国家标准《钢结构设计规范》(GB 50017)的相应规定进行验算,重点保证其局部受压强度、刚度和局部稳定的要求,当加劲肋、加劲环或加劲构件的受力或支撑条件复杂,可采用有限元方法分析,以全面了解锚固节点的实际受力状态。

对重要、复杂或新型节点,可以通过模型试验验证节点的受力性能。

通过板件焊接形成的节点,由于焊缝密集,容易产生焊接残余应力,影响连接强度。采用铸钢节点可有效保证节点的强度,避免节点破坏,但应考虑制作加工和施工安装的便利。

6 制作与安装

6.1 一般规定

6.1.1 预应力钢筋进场时,应检查其产品合格证、出厂检验报告,预应力钢筋的数量和规格是否符合设计要求等。预应力钢筋使用前应按进场的批次和产品的抽样检验方案抽取试样作力学性能检查,其质量应符合现行国家标准的规定。

6.1.3 高强预应力钢材属于高碳钢,局部高温后会使得材料性能发生变化,因此切割时应使用砂轮切割机,不得使用电弧切割。制作时应避免焊接电火花损伤预应力筋表面,也不允许周边气割钢材时,高温铁水流淌在预应力筋表面。严禁将预应力筋作为电焊接地线。

6.2 预应力筋制作

6.2.2 各厂家生产的挤压锚具尺寸有微小差异,因此,挤压力也有差异,应采用配套的挤压机挤压。挤压时,挤压套外表面可涂油脂等润滑剂。挤压锚具与锚垫板宜采用机械式固定方式。

6.2.4 钢丝镦头时端面应平整,钢丝应插到镦头器穴模底部,并注意钢丝不能偏入夹片缝隙中,以免夹扁钢丝。为保证钢丝等长下料,可采用穿入钢管内或放入角钢槽内的限位法下料。也可采用第一次逐根下料,第二次捆扎成束后用砂轮切割机精确等长下料。

6.2.7 钢绞线成盘运输时盘径过小会使外圈钢绞线产生过大的初拉应力,不便成盘及放盘,但盘径过大又不便运输。

6.3 预应力孔道成型

6.3.1、6.3.2 预留预应力孔道是制作后张构件的关键工序,预留孔道质量的好坏对预应力筋的穿束和张拉是否顺利有很大关系。孔道形状有直线、曲线和折线三种。孔道成型的基本要求是:孔道的尺寸与位置应正确,孔道应平顺,接头不漏浆,以防孔道堵塞。孔径尺寸确定的原则是应便于灌浆,一般预应力筋的截面积不宜超过孔道截面面积的 50%,孔道间距应便于浇筑混凝土。

塑料波纹管的刚度在高温下降低很多,因此在高温环境下或水化热很高的大体积混凝土中采用塑料波纹管成孔时,应采取可靠措施防止孔道变形或堵塞。

6.3.3 预埋管道采用支架钢筋定位,波纹管支架钢筋的间距,与预应力筋数量和波纹管自身刚度有关,对先穿束且钢绞线根数较多的波纹管支架间距取较小值。一般曲线预应力筋的关键点如最高点、最低点和反弯点等应直接点焊钢筋支架,其余点可按等距离布置支架。波纹管安装后应采用钢丝与支架钢筋绑扎牢靠,必要时点焊压筋,形成井字形钢筋支架,防止波纹管上浮。波纹管使用时应尽量避免反复弯曲,以防管壁开裂,同时应防止电焊火花烧伤管壁。波纹管安装后检查管壁有无破损,接头是否密封等,并及时用管片和胶带修补。

6.3.4 波纹管宜采用同一厂家生产的产品,以便与接头管波纹管匹配。波高应满足规定要求,以免接头管处波纹管扁平而拉脱。波纹管的连接处应用多道胶带包缠封闭,以免漏浆。塑料波纹管在现场应少用接头甚至不用接头,直接整根预埋。必要时可采用塑料热熔焊接或采用专用连接管连接。

6.3.5 对后张法预应力混凝土结构中预留孔道的灌浆孔及泌水管等的间距和位置要求,是为了保证灌浆质量。灌浆孔、排气及泌水孔间距与孔道成型材料、曲线形状及灌浆孔构造有关。波纹管上安装塑料弧形压板时,可先在波纹管上开孔,也可先安装塑料弧形压板,待混凝土浇筑后再凿孔进行灌浆。塑料波纹管可采用专用的防渗漏灌浆嘴。

6.3.6 胶管抽芯一般采用有 5~7 层帆布夹层,壁厚 6mm~7mm 的普通橡胶管;钢管抽芯用于直线孔道,钢管应光滑平直、无锈蚀、无局部凹陷和焊疤等突出物。采用胶管或钢管抽芯法制孔时,抽管时间应根据水泥品种、水灰比、气温和养护方法等条件,通过试验确定。一般抽管原则是能顺利抽出来的孔道不坍塌,故抽管时间在混凝土初凝后至终凝前进行为合适。

6.3.7 竖向预应力孔道底部必须安装灌浆和止回浆用的单向阀,钢管接长宜采用丝扣连接。

6.3.8 本条根据钢管桁架中预应力孔道采用钢套管成型的工程实践经验编写。

6.3.9 混凝土浇筑前,应临时封闭锚垫板喇叭口、灌浆孔、排气管及泌水管,防止混凝土浇筑时漏浆,造成孔道堵塞。

6.4 预应力筋穿束

6.4.1 先穿束法是预应力筋在混凝土浇筑前穿入孔道,优点是穿束方便、且不宜造成孔道堵塞;缺点是自穿入孔道至张拉和灌浆时间较长,预应力筋容易锈蚀。后穿束法是预应力筋在混凝土浇筑后穿入孔道,优点是预应力筋不易锈蚀;缺点是穿束难度大,且易造成孔道堵塞。因此,应根据工程具体条件综合确定。

6.4.2 对长度不大于 60m、且不多于 3 跨的多波曲线束,可采用

人力单根穿。对于长度大于 60m 的超长束、多波束、特重束宜采用卷扬机前拉后送分组穿或整束穿。当超长束需要人力穿束时，可在梁的跨度中间段受力钢筋相对较少的部位设置助力段，利用大一号波纹管移出 1.5m 的空隙段，便于人工助力穿束；穿束完成后，将移出的波纹管复位。以上穿束方法，应根据孔道波形、长度与孔径，以及预应力筋表面状态、具体施工条件等灵活应用。对穿束困难的孔道，应适当增大预留孔道直径。

6.4.5 在竖向孔道中，采用整束由下向上牵引方法进行穿束是比较安全的，应优先采用。

6.4.6 混凝土浇筑前穿入孔道的预应力筋，经历混凝土浇筑、养护等过程，预应力筋在孔道内时间较长，容易引起预应力筋锈蚀，进而影响孔道摩擦力，严重的甚至会影响预应力筋的力学性能；由于以往相关规范中没有相应的限制规定，加上对孔道成孔质量的担心，工程中普遍采用先穿束工艺，预应力筋锈蚀情况比较严重，有必要进行适当的限制。本条时间间隔规定考虑了建筑工程和市政工程的特点，适当延长了时间间隔，同时也是对采用后穿束工艺的一种鼓励。防锈措施有：封闭管道的各个开口，包括端部锚垫板喇叭口、灌浆口、排气口或泌水管口等，此外对外露预应力筋采用防水胶布进行封裹。

6.4.7 当采取后穿束留孔时，为防止混凝土浇筑过程中波纹管漏浆堵孔，宜采用通孔器通孔；当采取先穿束留孔时，宜在混凝土浇筑过程中拉动预应力筋疏通孔道。若对留孔质量把关严格，浇筑混凝土时又得到有效保护，可免除通孔工序。

6.5 无粘结预应力筋安装

6.5.2、6.5.3 板内控制无粘结筋曲线坐标的定位钢筋,通常可用 $\phi 12$ 钢筋制作,避免施工时踩踏变位。

6.5.4 在双向平板中,无粘结预应力筋有两种铺设方法。一种是按编排顺序由下而上铺设,即首先计算交叉点处双向预应力筋的竖向坐标,确定最下方的预应力筋先铺设,依次编排出所有预应力筋的铺设顺序,这种铺设方法不需要交叉穿束,但铺设顺序没有规律,会影响施工进度。另一种是先铺设某一方向预应力筋(跨中最低点在下方),后铺方向的预应力筋在交叉点处的竖向坐标低于先铺方向预应力筋时,从先铺方向预应力筋下方穿过,这种铺设方法在交叉点处存在穿束,但条理清晰,易于掌握,且铺设速度快。为保证双向板内曲线无粘结预应力筋的矢高,又兼顾防火要求,应对无粘结预应力筋与板底和板面双向钢筋的交叉重叠关系确认后定出合理铺设方式。

6.5.5 在无粘结预应力筋张拉端,如预应力筋与锚垫板不垂直,易发生断丝。张拉端凹入混凝土端面时,采用塑料穴模的效果优于泡沫块或木盒等方法。

6.5.6 无粘结预应力筋埋入混凝土内的固定端通常采用挤压锚。当混凝土截面较小或钢筋较密时,多个挤压锚位置宜错开,避免重叠放置,影响混凝土浇筑密实。

6.5.7 铺设多根成束无粘结预应力筋时,出现各根之间相互扭绞现象,影响预应力筋的张拉效果。工程实践表明,可采用逐根铺设,最后合并成束方法。

6.5.9 本条是根据国内外工程经验作出的规定。当板上开洞对结构受力性能有较大影响时,应通过计算采取必要的加强措施。

6.6 质量要求

关于预应力筋制作及安装的质量要求,本节归纳为以下几点:

1 预应力筋的品种、级别、规格和数量对保证预应力结构构件的抗裂性能及承载力至关重要,故必须符合设计要求;

2 预应力筋的端部挤压锚、压花锚、镦头锚的制作质量应可靠;

3 预应力筋若遇电火花损伤,容易在张拉阶段脆断,故应避免。施工时应避免将预应力筋作为电焊的一极,受电火花损伤的预应力筋应予以更换。

4 预应力束形(孔道)直接影响建立预应力的效果,并影响结构构件的承载力和抗裂性能,故对束形(孔道)控制点的竖向位置允许偏差要求较高,应符合设计要求,并事先通过节点翻样图确认。在施工过程中如遇实际情况不能满足坐标要求,经设计单位复核认可后方可变更。

5 浇筑混凝土时,预留孔道定位不牢固会发生移位,影响建立预应力的效果。

6 预应力筋(孔道)位置应固定牢靠,管壁应完好无损,接头应密封良好;

7 张拉端和固定端构造应符合施工详图的要求;锚垫板应与预应力筋(孔道)垂直,且不得重叠。

8 无粘结预应力筋铺设应满足线形顺直、定位牢固和护套完好的要求。

7 混凝土浇筑

7.1 一般规定

7.1.2 预应力混凝土结构严禁使用含氯化物的水泥。预应力混凝土若使用海砂,应经净化处理,合格后方可使用,其氯离子含量不得大于其质量的 0.02%。

7.1.3 混凝土在制备和浇筑过程中,应在混凝土浇筑地点随机取样,取样与试件留置应符合相关规范要求;多留置的同条件养护试件主要作为后张法构件施加预应力的依据。

7.1.4 混凝土结构后浇带应按设计和规范要求留置,后浇带区域模板及支撑系统、混凝土浇筑、节点处理、后浇带封闭等应根据施工技术方案确定。预应力筋的布置、连接及密封方法应保证预应力的可靠传递。

7.2 混凝土浇筑

7.2.1、7.2.2 混凝土的浇筑顺序及方法应能使结构张拉端混凝土充分密实,并可靠传递预压应力;浇筑过程中应对预应力筋及预埋件等采取保护措施;锚固区、张拉端等配筋密集部位,可采取小型振动棒辅助振捣、加密振捣点、延长振捣时间等方法加强振捣,必要时可采取附着振动器或表面振动器振捣。

7.3 养护与拆模

7.3.1 养护是为了防止预应力张拉前混凝土产生裂缝,确保预应力混凝土的力学性能和施工质量,因此应加强混凝土湿度和湿度的控制。各种养护方式可单独使用,也可组合使用。

7.3.2 混凝土浇筑前,施工单位应根据工程特点和现场环境条件,制定详细的养护方案,并在混凝土浇筑后加以实施。

7.3.3 混凝土在未获得一定强度时,不得破坏其结构。实际操作中,可通过经验和混凝土强度规律曲线进行判定。

7.3.4 预应力混凝土梁的侧模宜在张拉前拆除,以利于预压应力的建立,同时可观察张拉前梁面有无裂缝现象。预应力梁的底模及支撑系统的拆除,应在施工方案中予以明确。后浇带所在跨的模板及支撑系统在其混凝土合龙前,不应因相邻跨模板及支撑拆除而改变构件的设计受力状态;后浇带混凝土浇筑后,强度达到设计要求且预应力张拉完成后其底模和支撑方可拆除。

7.4 质量要求

混凝土浇筑是影响结构施工质量的重要环节,混凝土内部应密实,不得有蜂窝、空洞等,表面应平整、不得有露筋现象,且不得出现贯穿性的裂缝。质量检验应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204)的规定进行。

7.5 混凝土缺陷修补

7.5.1 考虑锚固区混凝土出现疏松、蜂窝等质量缺陷可能对结构安全性、耐久性产生不利影响,因此其修补宜制定技术方案,并按照控制程序严格实施。

7.5.2 孔道堵塞是后张预应力施工中常见病害之一,处理起来非常麻烦,首先要确定孔道堵塞的位置,然后凿开堵塞处的孔道、清除漏浆、修复孔道,并用强度等级高一级的细石混凝土修补凿开的部位,当修补混凝土强度达到设计值后进行张拉和灌浆。

7.5.3 本条规定了混凝土结构缺陷修补后观感要求,以及保证可追溯的档案资料管理要求。

8 张拉与锚固

8.1 一般规定

8.1.1 预应力张拉设备和仪表应根据预应力筋种类、锚具类型和张拉力合理选用。选用千斤顶的额定张拉力宜为所需张拉力的1.5倍,且不得小于1.2倍;与千斤顶配套使用的压力表应选用防振型产品,其最大读数应为张拉力的1.5~2.0倍。张拉设备行程一般不受限制,如锚具对重复张拉有限制时,应选用合适行程的张拉设备。

智能张拉是近年发展起来的一种新的张拉技术,在我国部分地区后张预应力工程中开始试用,具有精度高、操作方便等优点,并可避免人工误差和数据造假,但其可靠性以及适用性还有待加强。本规程建议当技术和设备等条件具备时,可在工程中优先采用。

8.1.2 预应力张拉力是由锚固区传递给结构,因此张拉时实体结构混凝土应达到设计要求的强度等级,满足锚固区局部受压承载力的要求。

早龄期施加预应力的构件由于弹性模量较低,会产生较大的压缩变形和徐变,因此本规程规定预应力张拉条件为混凝土强度和弹性模量两项指标双控。鉴于混凝土弹性模量的测试比较复杂,而研究表明:强度等级C40及以上的混凝土5d弹性模量均能达到其28d弹性模量的85%以上,因此可以通过对混凝土龄期的控制替代对弹性模量的控制。本规程规定:张拉时预应力混凝土楼板龄期不宜少于5d,预应力混凝土梁龄期不宜少于7d。

8.1.3 张拉申请单包括以下内容:工程名称、构件名称/编号、张拉应具备条件的检验结果、总包单位和监理单位的审批意见等。

8.1.4 张拉过程是确保预应力工程施工质量的关键环节。目前预应力张拉过程中还存在一些质量隐患,如现场作业人员责任意识不强,出现张拉操作不规范、甚至张拉不到位等现象。因此,质量监督人员应加强旁站监督,确保张拉数据的真实可靠和工程的安全。

8.2 张拉工艺

8.2.1 直线预应力筋可采取一端张拉方式。曲线预应力筋锚固时由于孔道反向摩擦的影响,张拉端锚固损失最大,沿构件长度逐步减至零。当锚固损失的影响长度 $l_1 > L/2$ (L 为构件跨度) 时,张拉端锚固后预应力筋的应力等于或小于固定端的应力,应采取一端张拉;当 $l_1 \leq L/2$ 时,应采取两端张拉,但对简支构件或采取超张拉措施满足固定端拉力后,也可改用一端张拉。

8.2.2 分阶段张拉是指在后张预应力结构中,为了平衡各阶段的荷载,采取分阶段施加预应力的方法。分批张拉是指不同束号预应力筋先后错开张拉的方法。分级张拉是指同一束号预应力筋按不同程度张拉的方法。分段张拉是指多跨连续梁分段施工时,通长的预应力筋需要逐段张拉的方法。

变角张拉工艺是指张拉作业受到空间限制,需要在张拉端锚具前安装变角块,使预应力筋改变一定的角度后进行张拉的工艺。经实际测试,变角 $10^\circ \sim 25^\circ$ 时,应超张拉 $2\% \sim 3\%$;变角 $25^\circ \sim 40^\circ$ 时,应超张拉 5% ,弥补预应力损失。

8.2.3 在一般情况下,对同一束预应力筋,应采取整束张拉方式,使各根预应力筋建立的应力比较均匀。对扁锚预应力束、直

线束或弯曲角度不大的单波曲线束,允许采取单根张拉方式,但单根张拉引起的预应力损失应在张拉时予以考虑。

8.2.4 超张拉回缩技术是在多跨曲线预应力筋张拉实践中总结出来的。通过超张拉提高内支座处的应力,随后锚固时增大回缩值,降低张拉端的应力,从而使预应力筋沿梁的长度方向建立的应力比较均匀。

8.2.5 预应力筋的张拉顺序应使混凝土不产生超应力、构件不扭转与侧弯、结构不变位等,因此,对称张拉是一个重要原则。同时,还应考虑到尽量减少张拉设备的移动次数。

当构件截面平行配置的两束预应力筋不同时张拉时,其张拉力相差不应大于设计值的50%,即先将第1束从0张拉至50%设计拉力,再将第2束从0张拉至100%设计拉力,最后将第1束从50%张拉至100%设计拉力。

8.3 张拉操作

8.3.1 锚垫板端面、喇叭管内和预应力筋表面应清理干净,保证张拉和锚固质量,防止出现断丝和滑移现象。锚垫板后混凝土不密实,会导致张拉时局部承压破坏。因此,张拉前应进行检查。

8.3.3 张拉端锚具安装对中可保证千斤顶安装对中;张拉力作用线与预应力束中心线重合可以保证预应力筋轴向受拉,防止张拉时预应力筋剪断。

8.3.5 鉴于低松弛预应力筋性能好且能大量供应,普通松弛预应力筋在工程中很少应用,因此本条是低松弛预应力筋的张拉工艺,普通松弛预应力筋的张拉工艺不再列入。

是否需要超张拉取决于设计要求和施工工艺,但最终目的是张拉锚固后锚下应力达到设计要求。若张拉工艺增加了设计未

考虑的预应力损失,则应进行超张拉。

本条中可调节式锚具是指:张拉过程中,可以调节张拉控制力的锚具,如镦头锚、螺母锚具等;不可调节式锚具是指:张拉过程中,不能调节张拉控制力的锚具,如具有自锚性能的夹片式锚具等。

本条对张拉持荷时间进行了调整,对预应力长束来说,持荷时间太短不利于调整预应力筋的松弛和均匀性。建筑工程多跨(大于3跨)或长束(大于60m)预应力筋、桥梁工程预应力筋,张拉时持荷时间可取5min;建筑工程一般预应力筋,张拉时持荷时间可根据跨数和长度取2min~5min,跨数多、长度长时取大值。

普通松弛预应力筋的张拉程序可按本条超张方法的规定执行,以减少或补偿预应力筋的松弛损失。

8.3.6、8.3.7 开始张拉时各根预应力筋尚未处于绷紧状态,而且由于摩擦阻力的存在,只有当张拉力达到一定值后预应力筋才能完全绷紧受力。因此,0→初拉力间的伸长值不宜采用量测方法,而宜采用推算的方法。采用两倍初拉力与初拉力对应的伸长值差来确定预应力筋初拉力下的伸长值,较推算值具有直观易行,并且可将原始记录直接填入表式等优点。

对曲线和超长预应力筋的初拉力,条文给出了一个(10%~25%)张拉控制拉力的范围,但在实际张拉操作中,应根据具体情况进行取舍:预应力筋长度30m以下时,初拉力宜取为10%~15%;预应力筋长度30m~60m时,初拉力宜取为10%~20%;预应力筋长度大于60m时,初拉力宜取上限25%;预应力筋长度超过100m时,25%的上限值也可能达不到初拉力的目的,宜通过现场的试验来确定其初拉力的大小。另外,对于成孔质量较差,孔道摩擦较大的情况,初拉力宜适当提高。

8.3.9 预应力筋张拉、锚固过程中及锚固完成后,均不得大力敲击或振动锚具;预应力筋锚固后,如需要放松,必须使用专门的设备缓慢地放松。上述规定主要是为了保证施工的安全。

8.4 伸长值校核

8.4.1 张拉伸长值校核可以综合反映预应力孔道的成孔质量、张拉力是否达到设计要求以及预应力筋的质量是否有异常等。如孔道出现局部堵塞,张拉力可以达到设计值,但实测伸长值会偏短;若成孔质量不好,摩擦损失会增大,实测伸长值也会偏短。因此,对实测伸长值的异常应引起足够的重视。

8.5 质量要求

关于预应力筋张拉质量要求,本节归纳为下列几点:

1 预应力筋张拉时,混凝土强度应符合设计要求,并对混凝土弹性模量或龄期也有一定要求;

2 预应力筋的张拉力、张拉顺序及张拉工艺应符合设计和施工方案的要求;

3 预应力筋张拉以应力控制为主,伸长值校核为辅,张拉伸长值允许偏差为 $\pm 6\%$;

4 预应力筋张拉至控制应力时,应有足够的持荷时间。张拉锚固后,锚下建立的有效预应力与设计值的偏差不应超过 $\pm 5\%$;

5 预应力筋张拉过程中,应采取措旆,防止出现断丝或滑丝现象。

9 灌浆与封锚保护

9.1 一般规定

9.1.1 灌浆及封锚能够保护预应力筋和锚具不受侵蚀,并使预应力筋和混凝土构件结合成一体。处于高应力状态的预应力筋易被腐蚀,应尽早进行灌浆。

9.1.2 孔道及排气和泌水孔的畅通是保证灌浆密实的前提条件。灌浆前应对孔道及泌水和排气孔进行检查,若孔道堵塞,应采取措施使孔道疏通后才能灌浆。

9.1.3 常用灌浆泵有柱塞式、挤压式、螺杆式三种。本条强调灌浆泵应配备压力表,主要是通过压力值掌握灌浆是否处于正常状态。

9.1.4 锚具夹片空隙会产生负压力,使浆体沿空隙产生回流,因此必须进行封堵。封堵材料应有一定强度以抵抗灌浆时的压力。

9.1.6 严格按灌浆流程操作是确保灌浆质量的关键。鉴于目前预应力施工队伍技术水平参差不齐,部分施工人员责任心不强,应对施工现场制浆和灌浆过程进行旁站监督。

9.2 浆体制作

9.2.1 灌浆材料是确保预应力孔道灌浆密实的关键,宜优先选用强度高、泌水率小、流动性好、微膨胀或无收缩的灌浆材料。

在满足流动度和可灌性的条件下,成品灌浆料和专用压浆剂配制的灌浆料具有水胶比低、泌水率小、微膨胀以及施工质量容易控制等优点,但成本较高。对于重大和重要工程、特种工程,建

议采用专用成品灌浆料或专用压浆剂配制的灌浆料,以降低浆体水胶比和泌水率,提高灌浆质量和密实度。

当采用水泥作为灌浆料时,宜选用品质优良、强度等级不低于 42.5MPa 普通硅酸盐水泥配制的水泥浆,并添加适量的外加剂。

灌浆料应先进行实验室试配,合格后方可在施工现场应用。

9.2.2 良好的浆体性能是保证灌浆质量的重要前提之一。本条规定大幅度提高了浆体性能指标要求,目的是降低浆体的泌水率、提高灌浆的密实度,并保证浆体硬化后能提供与预应力筋良好的粘结力。

浆体泌水对灌浆质量是不利的,除非通过良好的工艺和施工管理,将泌出的水全部排出孔道外。所以,应尽量降低浆体的泌水率,最好泌水率降为 0。浆体的适度膨胀有利于提高灌浆的密实性,但过度的膨胀可能造成孔道开裂,反而影响预应力工程质量,故应控制其自由膨胀率。

试验表明 28d 强度不低于 M40 的浆体可有效地提供对预应力筋的防护并提供足够的粘结力。浆体稠度可采用国际上通用的流锥法进行测定。

9.2.4 采用高速搅拌机(一般为 1000rpm 以上)制浆,一方面提高劳动效率,减轻劳动强度,同时有利于充分搅拌均匀,获得性能良好的浆体。但搅拌时间过长,将降低浆体的流动性。浆体采用滤网过滤,可清除搅拌中未被充分散开的颗粒,有利于提高灌浆质量。

9.2.5 浆体制成后应尽快灌入预应力孔道,若延续时间过久,将降低其流动度,增加灌浆时的压力,且不宜密实。浆体在使用前和灌浆过程中应连续搅拌,是为了防止其流动度降低。对因延迟

使用导致流动度降低的浆体,应采取二次搅拌措施,不得通过加水的方式增加其流动度,是为了防止浆体水胶比加大,并由此增大泌水率及改变浆体的性能。

9.3 灌浆工艺

9.3.1~9.3.4 灌浆顺序的安排应避免相互串孔现象,条文中提出了先下后上的原则。当发生孔道阻塞、串孔或因故障中断灌浆时,应及时将第一次灌入的浆体排出,以免孔道内留有空气,影响灌浆质量。

为保持孔道灌浆的密实度,将孔道灌满后的稳压时间提高至2min~5min,当孔道较短时取下限,孔道较长时(大于60m)取上限。

灌浆过程中泵内缺浆及输浆管喷嘴与灌浆孔脱开都会使空气进入孔道,影响灌浆质量,因此应避免上述情况出现。

9.3.8 多台灌浆泵接力灌浆方法主要用于超长或超高的预应力孔道灌浆,当灌浆泵压力不足时,也可采用多台灌浆泵接力灌浆。接力泵应遵循“从前置灌浆孔灌入直至后置灌浆孔冒出相同稠度的浆体,后置灌浆孔方可续灌”的原则,以免空气残留在孔道内。

9.3.9 高温灌浆时,由于水分蒸发及水泥水化加速使浆体稠度增加很快,降低了浆体的流动度,不利于灌浆质量的保证。低温灌浆时容易出现浆体的冻害,应采取抗冻保温措施。

9.4 真空辅助灌浆

9.4.2 塑料波纹管常温下刚度大、密封性好,为保证孔道的真空度,真空辅助灌浆宜采用塑料波纹管成孔。

9.4.3 真空辅助灌浆时在预应力孔道的一端采用真空泵抽吸孔

道中的空气,使孔道内形成 $-0.06\text{MPa}\sim-0.10\text{MPa}$ 的真空度,然后在孔道的另一端采用灌浆泵进行灌浆。真空辅助灌浆技术的优点:

1 在真空状态下,孔道内的空气、水分以及混在浆体中的气泡被消除,增强了浆体的密实度;

2 孔道在真空状态下,减小了由于孔道高低弯曲而使浆体自身形成的压头差,便于浆体充盈整个孔道,尤其是一些异形关键部位;

3 真空辅助灌浆的过程是一个连续且迅速的过程,缩短了灌浆时间。

4 采用真空辅助灌浆工艺时,宜采用专用成品灌浆料或专用压浆剂配置的浆体,能显著提高灌浆的密实度。

真空辅助灌浆有固定的操作程序,严格按照规定操作执行才能保证灌浆质量。

9.5 封锚保护

9.5.1 锚具外多余预应力筋常采用机械方法切割。实际工程中,也可采用氧-乙炔焰切割方法切割多余的预应力筋,但为了确保锚具正常工作及考虑切断时热影响可能波及锚具部位,应对锚具采取降温等措施。考虑到锚具正常工作及可能的热影响,本条对预应力筋外露部分长度做出了规定。切割不宜距锚具太近,同时也不应影响构件安装。

9.5.2 锚具的封闭保护是一项重要的工作,主要是保证预应力结构的耐久性、抗火及防止机械损伤。后张预应力筋的锚具布置在构件端部,处于室外环境影响较大的部位,且锚具又处于高应力状态,封锚保护十分重要。封锚包括两部分内容:其一是锚具

防腐蚀处理,其二是锚具封闭处理。

9.6 质量要求

9.6.1 实际灌浆前,一般应根据构件孔道形式、灌浆方法,材料性能、灌浆设备等条件由试验来确定浆体的配合比。试配时测定其流动度、泌水率、自由膨胀率及抗压强度等指标。对构件数量较少,且有成熟的配比参数时可不做浆体配比试验。

9.6.2 当灌浆浆体达到一定强度后,浆体与预应力筋有一定的粘结,此时移动构件或拆除底模,将会减轻锚具的受力,有利于预应力构件的安全。

9.6.3 孔道灌浆后,应通过观察孔检查灌浆的密实性,如有不实,应及时进行补浆处理。

9.6.4 当对孔道灌浆密实度有疑问时,在征得有关各方同意且采取可靠技术措施后,可采取钻孔、局部凿开等方法检查孔道密实情况。

10 体外预应力施工

10.1 一般规定

10.1.1 体外预应力体系的选用应综合考虑结构类型、环境腐蚀程度、有无调节索力和换索要求、有无防火要求等因素,宜选用技术可靠且经济指标合理的体系。

10.1.2~10.1.4 这三条是对体外束预应力筋、外套管以及防腐蚀材料的一般要求,不同体系的体外束均应满足各条相应的规定。

10.1.5 体外束锚固体体系的重要性体现在预应力完全由锚固体体系来传递,如果锚固作用失效,则预应力效应完全丧失。因此,体外束锚固体体系除应严格符合本规程第 3.3 节的要求外,还应注意防腐蚀保护、防松装置等要求。

10.1.7 体外预应力结构张拉控制应力不宜定得太高,主要原因有:(1)体外预应力结构由于结构变形会引起体外束应力的增加;(2)较低应力工作状态下的体外束,对结构的可靠性有利。特别是在体外预应力加固工程中,既有结构的力学性能指标离散性较大;(3)较低的应力有利于减小应力腐蚀。此外,在转向块与体外束的接触区域,由于横向挤压力的作用和体外束弯曲后产生的内应力,预应力筋的强度将有所降低。

10.2 体外束的布置

10.2.1 预应力束形布置与荷载标准组合工况的弯矩相一致,可以最大程度发挥预应力的作用效应,但对多种线型的体外束组合

应用时或设计有特殊要求时,可不受此限制。

10.2.2 体外束的锚固点与转向块之间或两个转向块之间的自由段长度不宜过长,目的在于避免振动效应与振动磨损。美国和英国等有关规范对此有类似规定。在建筑工程中如振动不明显,可适当放宽。

为了使体外预应力束获得较大矢高和预应力效应,在梁的负弯矩区域,体外束应设在中和轴之上,并有合理的偏心距。锚固点应保证传力可靠且张拉施工方便,因此设在梁端或中间支座较为合理。

10.2.3 体外束的强度降低与弯折角成正比,与弯折曲率半径成反比,同时受转向块处接触长度的影响。为了避免预应力筋的强度降低而影响结构的可靠性,本条对弯折角和弯折曲率半径给出了限制。

10.3 体外预应力构造

10.3.1、10.3.2 锚固端和转向块的构造设计应符合传力可靠和变形较小的原则,取体外束的破断荷载作为标准荷载进行相应节点承载力的验算。

10.3.4、10.3.5 这两条是关于体外束用于混凝土结构加固构造设计的几种常用做法,可根据具体结构形式和被加固构件的情况,合理采用或另行设计。

10.3.6 体外束用于钢结构中,节点设计和构造较为复杂,而且不同的工程有其各自特殊性,本条在总结国内工程经验的基础上,仅提供了一般性做法。

10.4 施工和防护

10.4.1 体外束的线型是否准确,取决于锚固区和转向块管道的定位是否准确,因此要求采取可靠的定位措施,保证预埋件位置准确。

10.4.2 体外束外套管的安装应连接平滑,符合设计线型和误差要求,目的是保证摩擦力影响最小,且建立准确的预应力值。完全密闭性是进行体外束外套管灌浆施工的要求。

10.4.3 采用体外束加固混凝土结构时,应采取静态开孔设备,避免使用振动较大的冲击钻等设备,必要时可在端块中设置与预应力方向垂直的短筋,以增强抗剪能力。

10.4.4 钢结构体外束的锚固端施工时,节点板的尺寸与角度应准确,焊缝应牢靠,以满足体外索张拉要求。

10.4.5 体外束的张拉,应严格遵守对称受力原则,以避免构件侧向弯曲或失稳。

10.4.7~10.4.9 体外束的耐久性必须有可靠保证。在结构的设计使用年限内,可以进行必要的维修、重新防护或更换。锚固体系的防护应从构造设计本身给与可靠保证。

体外束的可监测与可换束等特点在设计中使用中应予考虑,但必须对其可行性和结构正常使用的影响有充分考虑,且不应降低体外预应力体系的整体耐久性能。

体外束有防火要求时,应采取切实可行、有效的防火措施。

11 钢结构预应力施工

11.1 一般规定

预应力钢结构是人为在钢结构承重体系中引入预应力以提高其结构承载力,增强结构刚度及稳定性,改善结构其它属性的结构体系。近年来,将现代预应力技术与空间结构相结合衍生出丰富的预应力空间钢结构体系,包括张弦结构(张弦梁、张弦桁架、张弦网格)、斜拉结构、预应力桁架、索桁架、索拱、索网、索穹顶、弦支穹顶及杂交结构等,提高了结构的功能与效益。

在预应力钢结构中,拉索是施加预应力的主要材料。拉索由索体和索头构成,其中索头包括锚具、连接件和调节装置。索体主要类型有钢丝束、钢绞线和钢拉杆等;锚具的主要类型有冷铸锚、热铸锚和压接锚;连接件主要形式有锚栓式、螺杆式和耳板式;调节装置主要类型有套筒式、螺杆式和螺母式。拉索通过连接件与结构连接。

钢结构预应力施工不仅是纯粹的制作、安装和张拉工艺,而是系统性和全过程性的施工技术。具体体现在:分析和工艺的结合、钢构节点、索头和张拉机具的结合、钢构和拉索施工的结合以及从分析到制作、安装和张拉的全过程施工控制。

11.1.1 预应力施工是钢结构总体施工中的重要工序,拉索安装与张拉穿插在钢构总装过程中,需相互密切配合。因此预应力施工方案应根据钢构总体安装方案、并结合现场施工条件合理确定。

11.1.3 钢构的安装精度直接关系到拉索安装质量及工程进度。

若钢构安装误差较大,可能导致拉索无法安装到位,或者即使能够安装,安装后结构受力性能与设计偏差较大,影响结构使用期间的安全。因此拉索安装前,需对固定拉索的钢构预埋件位置进行测量验收,满足要求后方可进行拉索的安装。

11.1.4 对预应力钢结构工程,不仅要重视结构的最终状态,而且也要关注结构的成型和张拉过程。

施工过程中对结构的状态(“力”和“形”)进行监测,可以判断结构实际状态与阶段控制目标是否一致,以便及时调整,确保施工完成后结构的状态满足设计要求。

11.2 施工仿真计算

11.2.1 预应力钢结构状态要素是指索力和结构几何形状。

1 零状态:是指加工放样后的构件集合体。零状态时不存在预应力,不存在外部荷载和自重作用;

2 初始状态:是指结构安装后仅在预应力和自重作用下自平衡状态,不存在外部荷载作用。

3 工作状态:是指结构投入使用后在预应力、恒荷载及活荷载作用下达到的平衡状态。

钢结构预应力施工的目标是实现设计规定的初始状态,即结构初始状态的位形和内力。

11.2.2 由于大跨空间预应力钢结构是最近 10 年才在我国得到迅速发展和应用,加之预应力钢结构设计与施工联系紧密,目前尚未有明确统一规定设计单位需提供结构的何种状态。

若设计单位提供结构工作状态的技术参数和技术要求,施工单位应通过计算确定结构的初始状态。考虑到设备、人力及经济等因素,施工过程是逐步实施的,不可能一步到位,因此施工时的

状态一般与设计提供的状态是不一致的,需进行状态转换,以期在拉索安装和预应力张拉完成后结构状态达到设计初始状态的要求。

11.2.3 预应力钢结构施工过程仿真分析方法有顺序循环法、倒装法和无应力法三种。

1 顺序循环法:分析步骤与实际预应力张拉顺序完全相同,根据循环张拉的拉力增量可将顺序循环法分为足量循环张拉法、等量递增循环张拉法和变量递增循环张拉法;

2 倒装法:是逆向计算以初始状态为出发点,逐一安装索并张拉,以张拉力(控制点位移)为控置量,当索全部安装并张拉完成后即达到设计状态。

3 无应力法:依据索工作状态可以计算得到索无应力长度。把按无应力长度制作的索全部安装后,它的索力和位移在使用阶段荷载下就是使用阶段荷载的控制力和控制位移,在施工阶段荷载下就是施工阶段荷载的控制力和控制位移。因结构是弹性的,求解结果唯一,和索张拉次序无关。

实际工程中,应根据预应力钢结构的类型和自身特点选用合理的分析方法。

11.2.4、11.2.5 对预应力钢结构来说,在预应力施加过程中,结构的形状和内力分布不断发生变化,为了对整个施工过程中结构的性能有一个全面的了解,需要进行全过程施工仿真分析,掌握关键施工阶段结构的状态,制定和优化施工方案、提供拉索的张拉力等施工参数和监控依据,确保施工安全。

由于预应力钢结构受力后变形大、与相连构件相关性大,为了使仿真计算结果更接近实际情况,应建立预应力拉索与钢结构共同作用的整体有限元分析模型,并考虑拉索几何非线性的影响

以及拉索分批、分级张拉相互间的影响。

11.3 制作与安装

11.3.1 拉索是钢结构施加预应力的主要材料,拉索材料有组装索和成品索两种。组装索制作方便,可在工厂或现场制作,且制作精度要求低、制作费用经济,早期预应力钢结构中多采用钢绞线组装索;但组装索端部构造复杂,美观性、整体性和防腐蚀性能差。成品索制作质量、整体力学性能、防腐性能及美观性大大提高,近年来钢丝束和钢拉杆成品索在预应力钢结构中广泛应用;但成品索需在工厂预制,长度制作精度要求高,且制作工艺复杂。

11.3.2 由于张拉后预应力状态下的索长与安装零状态下的索长存在较大差别,若拉索根据零状态下的索长进行制作,索长调节装置就要适应结构变形、拉索弹性伸长、索长制作误差以及结构安装误差等对索长的影响,可能导致调节范围不够,以至于拉索施工张拉力不足或者可调螺杆锚固长度不够,甚至难以挂索。因此应根据设计初始态下的索长和索力以及索端节点板长度等确定拉索制作长度,根据拉索制作误差、结构安装误差、计算分析误差及环境温度误差等综合确定调节装置的调节量。

11.3.3、11.3.4 拉索制作时,为精确测量其制作长度,一般采用在一定应力下测量。因此,拉索施工单位提供给制作单位的拉索制作长度是基于一定索力的制作长度。由于拉索自重会产生一定的挠度和内力,拉索制作时还应考虑拉索自重、环境温度、锚固效率等的影响。

11.3.6、11.3.7 拉索在工厂制作后,一般卷盘出厂,卷盘的盘径与运输方式有关。现场组装拉索,特别注意对各索股防护涂层的保护,并采取必要的措施,保证各索股受力均匀。

11.3.8 为保证拉索安装时不使索头螺纹及 PE 护套受到损伤,可随运输车附带纤维软带。在雨季进行拉索安装时,应注意不损伤索头的密封,以免索头进水。

11.4 施加预应力

11.4.1 近年来拉索在公共建筑,特别在大跨度空间预应力钢结构中得到了广泛应用。经过近十几年的实践,也积累了一些拉索施工经验。对拉索张拉,不同于一般预应力混凝土梁板结构张拉,由于拉索所拉的结构相对较柔,应注意除了满足拉索的基本张拉力外,还要控制结构或构件的变形。另外,由于钢结构的分单元、分阶段安装,导致拉索的分阶段张拉。又由于拉索张拉使结构杆件间产生相互影响,更需要在整体结构建模计算分析的基础上结合拉索的构造及张拉特点,采取虚拟与现实张拉技术,科学指导空间预应力钢结构中的拉索张拉,并加强张拉过程的监控,必要时调整张拉力。

因此应严格按照施工方案进行张拉,且张拉时荷载工况、支撑及支座约束条件应与施工模拟计算相一致,以便与计算分析结果进行对比,确保张拉完成后结构的状态达到设计要求。

11.4.2、11.4.3 张拉工装和千斤顶须与索端节点相适应,保证张拉时可轻松旋动索头调节装置,从而使张拉力有效地传递至结构上。制定张拉方案时,施工单位应对索端节点构造是否满足张拉工艺要求进行核实,若不能满足,应提出合理的构造措施或改进张拉工装使其与索端节点相匹配,满足张拉工艺要求。

11.4.4 张拉前,对阻碍结构张拉变形的支撑、平台应主动脱空,脱空距离应保持在张拉变形影响之外;对结构上较重的堆置物或吊挂物,张拉前也应清除,确保预应力张拉效果。

11.4.8 超张拉值可参考下述规定执行：

- 1 长度大于 60m 的拉索,可不超张拉；
- 2 长度小于 60m 时,应根据调节装置的旋紧方式确定超张拉比例,索长取低值,索短取高值；
- 3 对于旋紧套筒的调节装置,宜超张拉 3%~5%；对于旋紧螺杆的调节装置,宜超张拉 1%~3%；对于旋紧螺母的调节装置,可不超张拉。

11.4.10 张弦梁、张弦拱及张弦桁架平面外的刚度很小,张拉时应确保结构平面外稳定。通常是先将拉索预紧,然后在两榀平面张弦结构间安装联系杆件,形成具有一定空间稳定体系后,再将拉索张拉至设计索力。

11.4.13 拉索张拉锚固后,夹片锚外侧应安装防松压板并压牢。在螺杆的螺母外侧,应有 2~3 牙外露,必要时在螺母上设止动螺栓。

11.5 施工监测

11.5.1 预应力钢结构的变形与拉索的拉力是相辅相成的,可以通过结构的变形计算出拉索的拉力。在预应力张拉过程中,结合仿真计算结果,对结构变形监测可以保证预应力施工安全。

11.5.2~11.5.4 施工监测内容除结构控制点的变形和索力外,还应根据设计要求和工程具体情况,确定是否监测钢结构控制截面应力和结构支座水平位移等参数,监控点设置应可靠并便于监测。

11.5.5 监测结果与仿真分析结果会有一定的偏差,偏差可能会超过允许值。产生偏差的原因主要有:设计参数误差、施工误差、测量误差、结构分析模型近似等。因此,应查明原因并加以修正。

对于复杂空间结构,应对实测索力、结构变形、钢结构应力等控制参数进行综合评价,判断张拉效果是否达到设计和规范要求。

11.6 防护和维修

11.6.1、11.6.2 室外拉索的防护要求较严,尤其是索头部位。当有消防要求时,室内拉索必须考虑满足防火的基本要求。室外拉索的防腐主要考虑防止雨水侵蚀,以及密封材料的老化。拉索索体防腐蚀方式有:

- 1 钢丝镀层加整索挤塑护套;
- 2 单根钢绞线镀(涂)层;
- 3 单根钢绞线镀(涂)层加挤塑护套;
- 4 单根钢绞线镀(涂)层加整索高密度聚乙烯护套。

拉索防腐方式可根据使用条件和结构主要性能等因素组合选用。必要时可考虑换索要求。

11.6.3、11.6.4 锚固区锚头和传力节点等部件的防腐蚀可参照钢结构的防腐蚀要求处理,室外索头不宜采用冷镀锌处理。

11.6.5 塑料中常掺碳粉以增强抗老化性能。

11.6.6 当室内拉索采用塑料护套时,其防火可参照电线电缆的防火涂料做法,并得到消防管理部门的认可。

12 施工管理

12.1 一般规定

12.1.1 承担预应力工程施工的单位除应具备相应的资质等级外,还应具备健全的质量管理体系、施工质量控制和检验制度,这对防止违法分包、违法挂靠以及保证预应力工程的施工质量至关重要。

12.1.2 预应力分项工程施工应实行培训和上岗证制度。对预应力施工操作人员(如预应力筋制作、安装、张拉、灌浆等人员)的技术要求比较高,其技术素质直接影响到施工的质量和安,因此上岗前应进行培训,使其达到各自岗位所需的技术水平。

12.1.3 预应力设计和施工专业性较强。通过图纸会审,使施工单位和监理单位在领会设计意图的同时,对施工配合、质量检查和工程验收等方面达成共识。

深化设计图是原设计图纸的翻样图和构造详图,其预应力筋的数量和线性参数应符合原设计要求,节点构造应满足建筑外形要求以及局部承压验算要求,因此深化设计应经原设计单位审核确认。

12.1.4 专项施工方案的具体内容应针对施工对象和施工条件确定。对常规工程应力求简明;对大型工程应重点突出施工组织;对采用新技术的工程应重点突出施工方法。专项施工方案应包括以下内容:

- 1 编制依据;
- 2 工程概况、施工顺序、工艺流程;

3 施工方法,包括预应力筋制作、孔道留设、预应力筋安装、预应力筋张拉、孔道灌浆和封锚等;

4 材料采购与检验、设备配备与标定;

5 施工进度与劳动力安排、材料供应计划;

6 有关工序的配合要求;

7 施工质量要求与质量保证措施;

8 施工安全要求与安全保证措施;

9 文明施工的具体措施;

10 施工现场管理组织机构;

11 施工资料编制的具体要求。

12.1.6 预应力工程施工组织主要是成立专项施工项目经理部,明确组织机构、部门和人员的职能,根据工程总体进度计划安排以及质量和安全要求,合理组织人力、材料、设备、技术等生产要素,完成施工组织设计中制定的质量、进度、安全等目标。

施工过程中,还应加强与建设单位、监理单位和总承包单位的协调和配合,确保工程的顺利进行。

12.2 施工配合

12.2.1 预应力分项工程施工包括制作与安装、张拉与锚固、灌浆与封锚三个主要工序,施工穿插在结构主体施工过程中。预应力结构的底部支撑必须待张拉和灌浆后方能拆除,而且张拉时混凝土强度需达到设计值,因此预应力施工应与主体结构施工密切配合,使工序合理、节省工期、降低成本。

12.2.2 编制多层和高层现浇预应力混凝土施工方案时,首先应考虑结构混凝土施工和预应力筋张拉两道工序的顺序关系。本条三种施工顺序是在大量工程实践中总结出来的,实用性强。其

中多层现浇结构由于平面尺寸较大,大多选用“逐层浇筑、逐层张拉”的施工顺序;高层现浇结构由于平面尺寸较小、施工速度快,宜选用“数层浇筑、顺向张拉”的施工顺序。

12.2.3 大面积现浇预应力混凝土结构的施工段划分,应根据结构平面形状,并综合考虑模板、混凝土、预应力等施工要求确定。分段施工可减少结构间的约束力。施工顺序宜从中间施工段向四周推进,有利于减小预应力张拉受侧向约束的影响。

12.2.4 预应力混凝土梁的跨度大,尤其是对于高支模的预应力混凝土转换梁由于其自重大,若模板支架设计或搭设不合理,会引起倒塌事故和人身伤亡,应特别引起重视,必要时应编制专项施工方案。

预应力混凝土梁的侧模宜在张拉前拆除,以利于预压应力的建立,同时可观察张拉前梁面有无裂缝现象。预应力混凝土梁的底模与支架,应在预应力筋张拉和灌浆后拆除。

12.2.5 普通钢筋、预应力筋或预应力孔道的施工配合,一是要解决两者位置冲突问题,二是要解决合理安装次序问题。基本原则是:普通钢筋应避让预应力筋,必要时预应力筋也可适当调整。为此,事先应根据设计图纸绘制节点部位普通钢筋与预应力筋排列详图,并在施工中严格执行。

12.3 施工安全

随着《中华人民共和国安全生产法》和国务院《建设工程安全生产管理条例》的颁布实施,国家和地方政府对工程安全问题愈加重视,规定施工企业必须具备两证“施工许可证”和“安全许可证”方可从事土木工程的施工。为此,本规程将施工安全作为单独一节进行编写。

预应力施工专业性强,需要专门的机具和人员。安全问题除了进行安全生产教育、安全技术交底、安全生产检查等制度建设外,还应从支模与拆模过程、制作与安装过程、张拉和灌浆过程以及张拉机具和电器设备的使用等预应力施工全过程进行监督。

“安全第一、预防为主”是工程施工中安全生产的基本方针,必须严格贯彻执行。每一个施工人员应遵循“不伤害自己,不伤害他人,不被他人伤害”的原则,严格遵守施工现场的一切安全规定,并积极做好各项安全防护工作。

预应力工程施工不仅要求施工人员遵守相关的安全规定,还应服从总承包单位的安全管理。尤其是预应力施工时往往与其他工种形成交叉作业,相互间的施工配合应在总承包单位的统一协调下进行。

12.4 质量控制

12.4.1 按图施工是工程施工的基本原则,其中也包括设计单位签发的设计变更单和经现场监理单位批准的施工方案。

12.4.3、12.4.4 预应力分项工程的施工质量应由施工班组自检、施工单位项目质量检查员复检、监理工程师监控三级控制。应对后张法预应力分项工程实行见证张拉和灌浆制度。见证张拉和灌浆是指预应力筋张拉和灌浆时,监理工程师或建设单位代表在现场监督检查张拉过程和灌浆过程是否按施工方案和规范进行,张拉和灌浆参数是否满足要求等。见证张拉和灌浆后,见证各方应在张拉记录和灌浆记录上签字确认。

附录 H 所列的预应力分项工程检验批质量验收记录表,是质量控制的基本资料。其检查项目包括主控项目和一般项目;检查记录包括施工单位自检记录和监理单位复查记录。对预应力筋

张拉记录表、预应力孔道灌浆记录表,本规程给出样表格式,各单位可参考使用。

12.5 环境保护

12.5.1~12.5.6 随着经济的发展,环境保护日益得到广泛的关注和重视。在预应力分项工程施工中,环境保护应从施工机具的使用和维护、灌浆材料的贮存、制浆过程、灌浆过程、噪声控制、光污染控制等方面进行管理和控制,以达到绿色施工、保护环境的目标。

13 施工验收

本章是根据现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》(GB 50300)和《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204)编写的。预应力张拉前,预应力施工单位应填写张拉申请单并附混凝土强度试压报告和千斤顶标定记录,经监理工程师批准后实施。预应力施工单位完成每项检验批工作后,应填写检验申请单并附有关检查资料等,经监理工程师组织有关人员验收后,填写统一的检验批质量验收记录表,签字盖章。

预应力分项工程质量验收,除所含的检验批全部合格外,应重点强调验收资料完整和准确,以便顺利通过验收。预应力分项工程宜单独验收,也可与主体结构同时验收。

预应力钢结构分项工程施工质量验收除参照本规程外,尚应符合现行行业标准《索结构技术规程》(JG/J 257)等相关标准的规定。

后张预应力施工规程

上海市建筑建材业市场管理总站

上海市建筑建材业市场管理总站