



T/CECS XXXX—2022

中国工程建设标准化协会标准

城市桥梁预应力施工技术标准

Technical standard for prestressed construction of municipal bridge

(征求意见稿)

中国计划出版社

中国工程建设标准化协会标准

城市桥梁预应力施工技术标准

Technical standard for prestressed construction of municipal bridge

T/CECS 5XX-2022

主编单位：中庆建设有限责任公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2022年XX月XX日

中国计划出版社

2022 北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2021 年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2021〕011 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结国内外研究成果和实践经验，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定了本标准。

本标准共分 8 章和 6 个附录。主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、材料、预应力筋制作与安装、施加预应力、孔道压浆及封锚、无粘结预应力及体外预应力等。

请注意本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会预应力工程专业委员会归口管理，由中庆建设有限责任公司负责具体技术内容的解释。在使用过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和建议寄送解释单位（地址：吉林省长春市净月开发区福祉大路 5888 号，邮编 130117），以供今后修订时参考。

本标准主编单位：

本标准参编单位：

本标准主要起草人员：

本标准主要审查人员：

目 次

1	总 则.....	1
2	术语和符号.....	2
2.1	术 语.....	2
2.2	符 号.....	3
3	基本规定.....	5
4	材料.....	6
4.1	有粘结预应力筋.....	6
4.2	无粘结预应力筋.....	7
4.3	锚具、夹具和连接器.....	7
4.4	预应力管道.....	10
4.5	压浆材料.....	11
4.6	材料保护.....	13
5	预应力筋制作与安装.....	15
5.1	预应力筋制作.....	15
5.2	预应力管道安装.....	16
5.3	预应力筋安装.....	17
5.4	锚具、连接器和锚垫板安装.....	18
6	施加预应力.....	20
6.1	一般规定.....	20
6.2	预应力筋张拉.....	22
6.3	预应力筋放张.....	25
7	孔道压浆及封锚.....	27
7.1	孔道压浆.....	27
7.2	封锚.....	29
8	无粘结预应力及体外预应力.....	31
8.1	无粘结预应力.....	31
8.2	体外预应力.....	32
附录 A	预应力损失测试方法.....	33
附录 B	预应力筋挤压锚制作记录表.....	34
附录 C	千斤顶标定试验.....	35
附录 D	预应力筋的摩擦系数和局部偏差对摩擦的影响系数.....	36
附录 E	压浆用水泥浆流动度试验.....	37
附录 F	压浆用水泥浆自由泌水率和自由膨胀率试验.....	38
	本标准用词说明.....	39
	引用标准名录.....	40
	条文说明.....	42

1 总 则

1.0.1 为加强城市桥梁预应力施工技术管理，统一施工技术标准，做到安全适用、技术先进、经济合理和确保工程质量，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于新建、改建和扩建的城市桥梁预应力施工。

1.0.3 城市桥梁预应力施工除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 先张法 pre-tensioned

混凝土浇筑前预先张拉预应力筋，待混凝土达到一定强度后切断预应力筋，通过预应力筋和混凝土的黏结力对混凝土施加预应力的方法。

2.1.2 后张法 post-tensioned

混凝土浇筑并达到一定强度后，张拉预应力筋施加预应力的方法。

2.1.3 预应力筋 prestressing tendon

用于混凝土结构构件中施加预应力的钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋等的总称。

2.1.4 有粘结预应力筋 bonded prestressing tendon

张拉后直接与混凝土粘结或通过对孔道进行压浆使之与混凝土粘结的一种预应力筋。

2.1.5 无粘结预应力筋 unbonded prestressing tendon

采用专用防腐润滑涂层和塑料护套包裹的单根预应力钢绞线或单根预应力纤维增强复合材料筋，布置在混凝土构件截面之内时，其与被施加预应力的混凝土之间可保持相对滑动的一种预应力筋。

2.1.6 锚具 anchorage

在后张法结构或构件中，用于保持预应力筋的拉力并将其传递到混凝土上所用的永久性锚固装置。

2.1.7 夹具 grip

在先张法构件施工时，用于保持预应力筋的拉力并将其固定在生产台座（或设备）上的临时性锚固装置；在后张法结构或构件施工时，在张拉千斤顶或设备上夹持预应力筋的临时性锚固装置（又称工具锚）。

2.1.8 连接器 coupler

用于连接预应力筋的装置。

2.1.9 锚垫板 bearing plate

后张预应力混凝土结构中，预埋在混凝土构件中或置于混凝土构件端部，用以承受锚具传来的预加力并传递给混凝土的部件。

2.1.10 预应力筋-锚具组装件 prestressing tendon-anchorage assembly

单根或成束预应力筋和安装在端部的锚具组配而成的受力单元。

2.1.11 应力松弛 stress relaxation

预应力筋受到一定的张拉力后，在长度保持不变的条件下，其应力随时间逐步降低的现象。

2.1.12 张拉控制应力 control stress for tensioning

预应力筋张拉时在张拉端所施加要求的应力值。

2.1.13 预应力损失 prestressing 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。

2.1.14 有效预应力 effective prestress

预应力损失完成后，在预应力筋中保持的应力值。

2.1.15 孔道压浆料 duct grouting material

由水泥、高性能减水剂、膨胀剂、矿物掺合料等多种材料干拌而成的混合料。它是由工厂制造生产的，在施工现场按一定比例与水搅拌均匀后，用于后张梁预应力孔道充填的压浆材料。

2.1.16 孔道压浆剂 duct grouting agent

由高性能减水剂、膨胀剂、矿物掺合料等多种材料干拌而成的混合剂。它是由工厂制造生产的，在施工现场按一定比例与水泥、水搅拌均匀后，用于后张梁预应力孔道充填的压浆材料。

2.1.17 质量证明文件 quality certificate document

随同进场材料、构配件、器具及半成品等一同提供用于证明其质量状况的有效文件。

2.2 符 号

A_p ——预应力筋的截面面积；

E_p ——实测预应力筋的弹性模量；

f_{pk} ——预应力筋极限强度标准值；

f_{pyk} ——预应力筋屈服强度标准值；

P ——预应力筋张拉端的张拉力；

P_p ——预应力筋的平均张拉力；

σ_{con} ——预应力筋张拉控制应力；

L ——预应力筋的长度；

x ——从张拉端至计算截面的孔道长度；

θ ——从张拉端至计算截面曲线孔道部分切线的夹角之和；

k ——孔道每米局部偏差对摩擦的影响系数；

μ ——实测预应力筋与孔道壁的摩擦系数；

ΔL_t ——预应力筋的理论伸长值；

ΔL_s ——预应力筋张拉的实际伸长值；

ΔL_1 ——从初应力至最大张拉应力间的实测伸长值；

ΔL_2 ——初应力以下的推算伸长值。

3 基本规定

3.0.1 施工单位应在施工前编制预应力工程专项施工方案。施工单位技术部门应组织本单位技术、安全、质量等部门的专业技术人员进行审核，合格后单位技术负责人签字。并由项目总监理工程师审核签字后，方可组织实施。

3.0.2 施工单位应做好逐级施工技术、安全交底。并应形成书面记录，交底资料应签字齐全，留存备查。

3.0.3 预应力工程施工时，施工单位应采取必要的安全防护措施，防止发生事故。

3.0.4 监理单位应做好进场原材料见证取样，管道定位平行检验，预应力张拉、孔道压浆旁站等监理工作。

3.0.5 预应力工程应组建专业化的作业队伍进行施工，作业队伍人员实行实名制管理，且管理人员和作业人员应相对固定。其作业人员应经过专门培训，合格后方可上岗。

3.0.6 原材料的品种、规格和性能应符合现行国家标准和设计要求。使用前应检验合格。

3.0.7 预应力筋张拉机具及压力表应符合现行国家标准的规定，并具有合格证件和铭牌标识。

3.0.8 预应力筋张拉和后张法孔道压浆宜采用信息化施工。

4 材料

4.1 有粘结预应力筋

4.1.1 预应力混凝土结构所采用的钢丝、钢绞线、螺纹钢筋的性能和质量，应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223、《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224、《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065 的规定。

4.1.2 预应力筋进场时，应对其质量证明文件、包装、标志和规格等进行检验；并应进行分批验收。

4.1.3 钢丝进场验收应符合下列规定：

1 钢丝的表面质量应逐盘检查，其表面不得有裂纹和油污，也不允许有影响使用的拉痕、机械损伤等；钢丝表面允许有浮锈，但不得有目视可见的锈蚀凹坑；钢丝表面允许存在回火颜色；

2 钢丝检验每批质量应不大于 60t，检验时应从每批钢丝中任取 3 盘，并从任一盘中任意一端截取试件进行拉伸试验和弯曲试验；试验结果如有一项不合格时，则该盘钢丝判为不合格；并再从该批未经检验的钢丝盘中取双倍数量的试件重做试验，如仍有一项不合格，则该批钢丝判为不合格。

4.1.4 钢绞线进场验收应符合下列规定：

1 钢绞线的表面质量应逐盘检查，其表面不得有油、润滑脂等物质；允许钢绞线表面有轻微浮锈，但不得有目视可见的锈蚀凹坑；钢绞线表面允许存在回火颜色；

2 钢绞线检验每批质量应不大于 60t，检验时应从每批钢绞线中任取 3 盘，并从每一盘中任意一端截取试件进行拉伸试验，试验结果如有一项不合格时，则该盘钢绞线判为不合格；并再从同一批未经检验的钢绞线盘中取双倍数量的试件重做试验，如仍有一项不合格，则该批钢绞线判为不合格。

4.1.5 螺纹钢筋进场验收应符合下列规定：

1 螺纹钢筋的表面质量应逐根检查，其表面不得有横向裂纹、结疤和折叠；钢筋的端部应平齐，不得影响连接器通过；

2 螺纹钢筋检验每批质量应不大于 60t，检验时应从每批中任取 2 根钢筋截取试件进行拉伸试验，试验结果如有一项不合格时，则应另取双倍数量试件重做试验，如仍有一项复试结果不合格，则该批钢筋判为不合格。

4.2 无粘结预应力筋

4.2.1 无粘结预应力筋采用无粘结预应力钢绞线时，其性能和质量应符合现行行业标准《无粘结预应力钢绞线》JG/T 161 的规定。

4.2.2 无粘结预应力钢绞线所使用的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 或其他类型钢绞线现行国家和行业相关标准的规定。

4.2.3 防腐润滑涂层宜采用防腐润滑脂制作，防腐润滑脂应符合现行行业标准《无粘结预应力筋用防腐润滑脂》JG/T 430 的规定。

4.2.4 无粘结预应力钢绞线的护套应采用一次连续挤塑成型的高密度聚乙烯树脂制作，其性能应符合现行国家标准《聚乙烯(PE)树脂》GB/T 11115 的规定。

4.2.5 无粘结预应力钢绞线的护套表面应光滑，无凹陷、无可见钢绞线轮廓、无明显褶皱、无气孔、无裂缝和无机械损伤缺陷。

4.3 锚具、夹具和连接器

4.3.1 锚具、夹具和连接器的性能和质量，应符合国家现行标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 和《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85 的规定。

4.3.2 锚具、夹具和连接器应按设计规定采用。并应具有可靠的锚固性能、足够的承载能力和良好的适用性，应能保证充分发挥预应力筋的强度，并安全地实现预应力张拉作业。

4.3.3 锚具、夹具和连接器进场时，应对其质量证明文件、型号、规格等进行检验，并应符合下列规定：

1 锚具、夹具和连接器检验批的划分：使用同一批原材料，采用同一种生产工艺一次投料生产的同一种规格的产品，锚具应不超过 2000 套为一个检验批，夹具和连接器应不超过 500 套为一个检验批；

2 外观检验：应从每批产品中抽取 5%且不应少于 10 套样品，其表面不应出现裂纹及锈蚀。如有 1 个零件不符合要求，则应对本批全部产品进行逐件检验，符合要求者判定该零件外观合格；

3 尺寸检验：应从每批产品中抽取 5%且不应少于 10 套样品，产品的尺寸及偏差应符合技术文件的规定。如有 1 个零件不符合规定，应另取双倍数量的零件重新检验；如仍有 1 个零件不符合要求，则应对本批产品进行逐件检验，符合要求者判定该零件尺寸合格；

4 硬度检验：对有硬度要求的锚具零件，应从每批产品中抽取 3%且不应少于 6 套样品（多孔夹片式锚具的夹片，每套应抽取 6 片）进行硬度检验，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；如有 1 个零件不符合规定，应另取双倍数量的零件重新检验；如仍有 1 个零件不符合要求，则应对本批产品进行逐件检验，符合要求者判定该零件硬度合格；

5 静载锚固性能试验：应在外观及硬度检验合格后的产品中按锚具（夹具、连接器）的成套产品抽样，每批抽样数量为 3 个组装件的用量，与相应规格和强度等级的预应力筋组装成 3 个预应力筋-锚具（夹具、连接器）组装件，进行静载锚固性能试验。3 个组装件中如有 2 个组装件不符合要求，应判定该批产品不合格；如有 1 个组装件不符合要求，应另取双倍数量的样品重做试验，如仍有不符合要求者，则应判定该批产品不合格。静载锚固性能试验方法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。

4.3.4 锚具、夹具和连接器用量不足检验批规定数量的 25%，且生产厂提供有效的锚具静载锚固性能试验合格的证明文件时，可不作静载锚固性能检验。

4.3.5 锚具应满足分级张拉、补张拉和放张等张拉工艺的要求；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；锚具的锚口摩擦损失率不宜大于 6%。锚口摩擦损失的测试方法见本标准附录 A。

4.3.6 夹具应具有可靠的自锚性能、良好的松锚性能，并能重复使用，可重复使用次数应不少于 300 次；使用过程中，应能保证操作人员的安全。

4.3.7 用于锚固直径为 15.20mm 钢绞线的锚具，锚板的最小直径和最小厚度应符合表 4.3.7 的规定。

表 4.3.7 锚板最小直径和最小厚度

锚具 孔数	锚板尺寸 (mm)		锚具 孔数	锚板尺寸 (mm)		锚具 孔数	锚板尺寸 (mm)	
	直径	厚度		直径	厚度		直径	厚度
1	48	48	10	156	58	18	206	75
3	91	50	11	166	58	19	206	75
4	102	50	12	166	60	20	226	80
5	112	50	13	170	63	21	226	80
6	126	52	14	176	65	22	226	80
7	126	52	15	186	68	23	226	85
8	136	55	16	196	70	24	235	85

9	146	55	17	196	73	25	245	85
---	-----	----	----	-----	----	----	-----	----

4.3.8 夹片式锚具的限位板的限位高度应与钢绞线的直径相匹配。限位板和工具锚应采用与工
作锚同一生产厂的配套产品。

4.3.9 锚垫板应无孔、无砂、无气孔、无孔隙、无裂纹及无其他缺陷。

4.3.10 锚垫板应具有足够的强度和刚度，长度应保证钢绞线在锚具底口处的最大折角不大于
4°，端面应设有锚具对中止口以及压浆孔或排气孔，压浆孔的内径宜不小于 20mm。采用封闭
罩时锚垫板上应设连接构造。

4.3.11 与锚固直径为 15.20mm 钢绞线的锚具配套用锚垫板最小结构尺寸、最小质量应符合设计
规定；设计未规定时，应符合表 4.3.10 的要求。

表 4.3.11 锚具配套用锚垫板尺寸及最小质量

锚具 孔数	端面 尺寸 (mm)	高度 (mm)	端面 直径 (mm)	高度 (mm)	质量 (kg)	锚具 孔数	端面 尺寸 (mm)	高度 (mm)	端面 直径 (mm)	高度 (mm)	质量 (kg)
1	80	-	-	-	-	14	245	210	250	210	12.6
3	130	100	130	110	2.4	15	265	245	265	245	13.5
4	145	110	145	120	3.2	16	265	250	265	245	14.4
5	160	125	160	130	4.0	17	285	270	275	265	15.3
6	180	155	180	150	4.8	18	285	275	285	280	16.2
7	180	155	180	150	4.8	19	285	275	285	280	16.2
8	195	175	195	160	6.4	20	300	285	300	290	18.0
9	205	190	208	160	7.2	21	300	285	300	290	21.0
10	210	210	220	180	8.0	22	300	285	300	290	22.0
11	210	210	235	190	8.8	23	330	300	330	300	23.0
12	235	210	235	190	9.6	24	330	300	330	300	24.0
13	235	210	235	190	9.6	25	330	300	330	300	25.0

4.3.12 与锚固直径为 15.20mm 钢绞线的锚具配套用锚下螺旋筋尺寸应符合设计规定；设计未规
定时，应符合表 4.3.11 的要求。螺旋筋直径偏差不应大于 4%，螺距偏差不应大于 10%。

表 4.3.12 锚具配套用锚下螺旋筋尺寸 (mm)

锚具 孔数	螺旋筋 直径	螺距	钢筋 直径	圈数	锚具 孔数	螺旋筋 直径	螺距	钢筋 直径	圈数
1	80	30	8	4	14	240	60	14	4
3	120	40	10	4	15	260	60	16	5
4	140	50	10	4	16	260	60	16	5
5	150	50	10	4	17	280	60	16	5
6	170	50	12	4	18	280	60	16	5
7	170	50	12	4	19	280	60	16	5
8	190	50	12	4	20	290	60	16	5
9	200	50	12	4	21	290	60	16	5
10	205	60	14	4	22	290	60	18	5
11	205	60	14	4	23	330	60	18	5
12	230	60	14	4	24	330	70	18	5
13	230	60	14	4	25	330	70	18	5

4.3.13 预应力筋用锚具产品应配套使用，同一结构或构件中应使用同一厂家的产品。工作锚不得作为工具锚使用。

4.4 预应力管道

4.4.1 后张法预应力混凝土结构的孔道成孔方式应符合设计规定。当设计无规定时，宜采用塑料波纹管、金属波纹管、钢管成孔。

4.4.2 管道材料及其性能应符合下列规定：

1 管道应具有足够的强度和刚度，以使其在搬运、安装和新浇混凝土的重力、浮力荷载以及振捣器激振力作用下能保持原有的形状，且能按要求传递黏结应力；

2 塑料波纹管的制作材料、性能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；

3 金属波纹管的性能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；

4 钢管的壁厚不应小于其内径的 1/50，且不应小于 2 mm 的平滑钢管；其应具有光滑的内壁可被弯曲适当的形状而不出现卷曲或被压扁。

4.4.3 管道进场检验应符合下列规定：

1 进场时除应按合同检查出厂合格证和质量保证书，核对其类别、型号、规格及数量外，尚应对其外观、尺寸、集中荷载下的径向刚度、荷载作用后的抗渗漏及抗弯曲渗漏等进行检验。检验试验方法应分别符合现行行业标准《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》JT/T 529 和《预应力混凝土用金属波纹管》JG 225 的规定；

2 管道应按批进行检验。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。金属波纹管每批应由同一钢带生产厂生产的同一批钢带所制造的产品组成，累计半年或 50000m 生产量为一批，取产量最多的规格；

3 检验时应先进行外观质量检验，合格后再进行其他指标的检验。当其他指标中有一项不合格时，应重新抽取双倍数量的试件，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。

4.5 压浆材料

4.5.1 孔道压浆所用原材料应符合下列规定：

1 水泥应采用性能稳定、强度等级不低于 42.5 级的低碱硅酸盐水泥或低碱普通硅酸盐水泥；其余性能应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的规定；

2 矿物掺和料的品种宜为 I 级粉煤灰、磨细矿渣粉或硅灰。I 级粉煤灰的技术要求应符合表 4.5.1-1 的规定；磨细矿渣粉的技术要求应符合表 4.5.1-2 的规定；硅灰的技术要求应符合表 4.5.1-3 的规定。

表 4.5.1-1 I 级粉煤灰技术要求

序 号	项 目	技术要求
1	细度	≤12%
2	氯离子含量	≤0.02%
3	需水量比	≤100%
4	烧失量	≤3.0%
5	含水率	≤1.0%（干排灰）
6	SO ₃ 含量	≤3.0%
7	游离 CaO 含量	≤1.0%

表 4.5.1-2 矿渣粉技术要求

序 号	项 目	技术要求
1	MgO 含量	≤14%
2	SO ₃ 含量	≤4.0%
3	烧失量	≤3.0%
4	氯离子含量	≤0.02%
5	比表面积	350m ² /Kg~500m ² /Kg
6	需水量比	≤100%
7	含水率	≤1.0%
8	活性指数 (28d)	≤95%

表 4.5.1-3 硅灰技术要求

序 号	项 目	技术要求
1	烧失量	≤6.0%
2	氯离子含量	≤0.02%
3	SO ₂ 含量	≥85%
4	比表面积	≥18000m ² /Kg
5	需水量比	≤125%
6	含水率	≤3.0%
7	活性指数 (28d)	≥85%

3 减水剂应采用高性能减水剂，其性能应与所用水泥具有良好的适应性；并应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 的规定；

4 膨胀剂宜采用硫铝酸钙类或硫铝酸钙-氧化钙类膨胀剂，且其碱含量不大于 0.75%的低碱膨胀剂；并应符合现行国家标准《混凝土膨胀剂》GB/T 23439 的规定；

5 水不应含有对预应力筋或水泥有害的成分，每升水中不得含有 350mg 以上的氯化物离子或任何一种其他有机物，宜采用符合国家卫生标准的清洁饮用水。

4.5.2 孔道压浆材料可分为孔道压浆料、孔道压浆剂配置的压浆料和普通压浆料。孔道压浆料和孔道压浆剂进场时，应对其产品合格证和出厂检验报告等进行检验。

4.5.3 孔道压浆料和孔道压浆剂进场检验应符合下列规定：

1 检验批划分：应由同一厂家、同一品种、同一型号的产品组成，孔道压浆料应不超过 100t 为一个检验批，孔道压浆剂应不超过 10t 为一个检验批。

2 孔道压浆料和孔道压浆剂的匀质性应符合表 4.5.3-1 的规定。

表 4.5.3-1 孔道压浆料和孔道压浆剂的匀质性指标

检验项目	取样频率	性能指标	试验方法
含水率	每批	≤3.0%	GB/T 18046
细度（0.080mm 方孔筛筛余量）	每批	≤6.0%	GB/T 8077
氯离子含量	每合同批	≤0.06%	GB/T 176

注：合同批为一个订货合同的总量。

3 用孔道压浆料和孔道压浆剂拌制出的浆体性能应符合表 4.5.3-2 的规定。

表 4.5.3-2 用孔道压浆料和孔道压浆剂拌制出的浆体性能指标

检验项目		取样频率	性能指标	试验方法
凝结时间（h）	初凝	每批	≥5	GB/T 1346
	终凝		≤14	
流动度（s）	初始		20±2	附录 E
	30min		≤26	
自由泌水率（%）	3h		≤1.0	附录 F
	24h		0	
自由膨胀率（%）	24h		≤2.0	附录 F
抗压强度（MPa）	7d		≥40	GB/T 17671
	28d	≥50		

4 检验时应从每批孔道压浆料（孔道压浆剂）中任取至少 10 袋，孔道压浆料取样量不应少于 25kg；孔道压浆剂取样量不应少于 100kg 水泥所需的预应力孔道压浆剂量。按本标准规定方法和项目进行试验，试验结果如有一项不合格时，则应从同一批中加倍取样，对该不合格项进行复验；复验仍不合格时，则该批产品判为不合格。

5 当压浆材料受潮或存放时间超过 3 个月时，应进行复验，并按复验结果使用。

4.6 材料保护

4.6.1 预应力材料应保持清洁，在存放和搬运过程中应避免机械损伤和锈蚀。如进场后需长时

间存放时，应定期进行外观检查。

4.6.2 预应力筋在仓库内保管时，仓库应干燥、防潮、通风良好、无腐蚀气体和介质；在室外存放时，时间不宜超过 6 个月，应垫起并设防雨棚。

4.6.3 预应力筋采用螺纹钢筋时，应避免碰伤螺纹，防止产生弯曲变形。

4.6.4 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、混淆和散失。其临时性的防护措施应不影响安装操作的效果和永久性防锈措施的实施。

4.6.5 波纹管应分类、分规格存放。金属波纹管的存放应符合本标准第 4.6.2 条的规定。塑料波纹管储存时应远离热源、油污和化学品污染源；室外存放时应垫起，并应有遮盖物，避免暴晒。

4.6.6 波纹管搬运时应采用非金属绳捆扎，不得抛摔或在地面上拖拉。吊装时，不得在其中部单点起吊。

4.6.7 压浆材料运输时应防止雨淋、暴晒，包装完好无损。储存时应置于干燥、通风、阴凉的场所。

5 预应力筋制作与安装

5.1 预应力筋制作

5.1.1 预应力筋下料长度应经计算确定，计算时应考虑结构的孔道长度或台座长度、锚（夹）具厚度、千斤顶长度、镦头预留量、冷拉伸长值、弹性回缩值、张拉伸长值和外露锚（夹）具的长度等因素。

5.1.2 钢丝束两端均采用镦头锚具时，钢丝下料宜采用等应力等长度下料的方法。同一束中各根钢丝长度的极差不应大于钢丝长度的 $1/5000$ ，且不应大于 5mm。当成组张拉长度不大于 10m 的钢丝时，同组钢丝长度的极差不得大于 2mm。

5.1.3 预应力筋下料场地应平整、洁净。下料时应采用砂轮锯或切断机切断，不得采用电弧或火焰切割。

5.1.4 预应力筋切断时，切割口应与预应力筋垂直，不应出现斜面，钢绞线不得散头。

5.1.5 无粘结预应力筋搬运和下料过程中，不应损伤其塑料护套。当出现局部轻微破损时，应及时采用外包防水聚乙烯胶带进行修补；严重破损的不得使用。

5.1.6 钢绞线挤压锚具制作应符合下列规定：

1 当采用挤压弹簧的摩擦衬套时，挤压前应检查挤压弹簧尺寸，其长度不应小于 61mm；

2 挤压锚具应采用配套的挤压机制作；制作时挤压锚具的外表面应均匀涂润滑介质；

3 挤压时，挤压弹簧的一端应与钢绞线平齐，应沿挤压套筒全长均匀分布。并观察压力表的数值，当采用额定油压 56MPa 的 GYJ-45 型挤压机时，挤压操作的压力表最大值宜为 28MPa~45MPa 之间；当采用额定油压 50MPa 的 GYJC-50 型挤压机时，挤压操作的压力表最大值宜为 22MPa~40MPa 之间；

4 挤压完成后，弹簧总长度的 90% 以上应被固定在挤压套筒内；预应力筋外端露出挤压套筒的长度不应小于 1mm；

5 宜从每一工作班制作的成型挤压锚中抽取至少 3 个试件，进行握裹力试验。

6 挤压锚具制作时，应逐根填写挤压锚具制作记录表，其格式可按本标准附录 B 采用。

5.1.7 钢绞线压花锚具应采用专用的压花机制作成型，梨形头尺寸和直线锚固段长度不应小于设计值，且其表面应清洁、无油污。若设计未规定时，可按表 5.1.7 的规定执行。

表 5.1.7 钢绞线压花锚具技术要求 (mm)

钢绞线公称直径	梨形头尺寸	锚固段长度
---------	-------	-------

15.20	$\geq 95 \times 150$	900
12.7	$\geq 80 \times 130$	700

5.1.8 钢丝镦头应符合下列规定：

- 1 钢丝镦头宜采用液压冷镦，镦头前应确认预应力钢丝的可镦性；
- 2 钢丝镦头要求头形圆整，不得有偏斜，不应出现横向裂纹；
- 3 钢丝镦头的头型直径不宜小于钢丝直径的 1.5 倍，高度不宜小于钢丝直径；
- 4 钢丝镦头的强度不得低于钢丝强度标准值的 98%。

5.1.9 预应力钢束由多根钢丝或钢绞线组成时，同一预应力钢束应采用同一厂家、同一品种、同一规格、同一批号的预应力筋。

5.2 预应力管道安装

5.2.1 预应力孔道设置应符合下列规定：

- 1 后张法预应力混凝土构件的孔道之间净间距不宜小于 50mm，且不宜小于孔道内径的 0.6 倍；孔道外壁至构件边缘的净间距不应小于 50mm；
- 2 对于预埋的塑料波纹管或金属波纹管，在竖直方向可将纵、横向预应力的两管道叠置；
- 3 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，其孔道的截面积宜为穿入预应力束截面积的 3 倍~4 倍；
- 4 凡施工时需要设置预拱度的后张法预应力混凝土构件，预留孔道也应随构件同时起拱。

5.2.2 预应力管道安装应符合下列规定：

- 1 预应力孔道应按设计规定的孔道坐标进行放样，并应采用焊接定位钢筋将管道牢固地固定于钢筋骨架内的设计位置，且在浇筑混凝土时不应出现管道上浮、侧移；
- 2 固定成孔管道用的定位钢筋间距，对于钢管不宜大于 1.0m，波纹管不宜大于 0.8m，位于曲线上的管道和扁形波纹管应适当加密，不宜大于 0.5m；
- 3 管道与普通钢筋重叠时，应移动普通钢筋，不得改变管道的设计坐标位置；
- 4 定位后的管道应平顺，其端部中心线应与锚垫板相垂直；
- 5 管道安装完毕后，其端口应采取可靠措施临时封堵，防止水或其他杂物进入；
- 6 后张预应力管道安装的允许偏差应符合表 5.2.2 的规定。

表 5.2.2 后张预应力管道安装允许偏差

项目	允许偏差 (mm)
----	-----------

管道坐标	梁长方向	±30
	梁高方向	±10
	梁宽方向	±10
管道间距	同排	±10
	上下层	±10

5.2.3 成孔管道的连接应密封，并应符合下列规定：

1 圆形波纹管接长时，可采用大一规格的同波型波纹管作为接头管，其长度宜为被连接管道内径的 3 倍~5 倍，且不宜小于 300 mm，两端旋入长度宜相等；连接时不应使接头处产生角度变化及在混凝土浇筑期间发生管道的转动或移位，且接头管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或套筒连接；

4 当采用真空辅助压浆工艺进行孔道压浆时，管道的所有接头应具有可靠的密封性能，并应满足真空度的要求。

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

1 当曲线孔道波峰和波谷的高差大于 300mm 时，且采用普通压浆工艺时，应在孔道波峰顶点部位设置排气孔，排气孔间距不宜大于 30m；

2 当排气孔兼作泌水孔或压浆孔时，其孔径一般不宜小于 20mm 的标准管或适宜的塑料管；

3 当排气孔兼作泌水孔时，其外接管伸出梁顶面高度不宜小于 300mm。

5.2.5 当采用减摩材料降低孔道摩擦阻力时，应符合下列规定：

1 减摩材料不应影响预应力筋、成孔管道和混凝土产生不利影响；

2 压浆前应将减摩材料清除干净。

5.3 预应力筋安装

5.3.1 当采取整束穿入孔道时应预先编束，编束时应逐根排列梳理顺直，防止缠绕，并应每隔 1m~1.5m 捆绑一次，使其绑扎牢固，顺直。

5.3.2 预应力筋安装时，其品种、级别、规格、数量必须符合设计要求。

5.3.3 先张法预应力施工时应选用非油质类模板脱模剂，并应避免沾污预应力筋。

5.3.4 配有折线预应力筋的先张法预应力混凝土梁的预应力筋安装宜自下而上进行，先穿直线

预应力筋，再穿折线预应力筋；折线预应力筋应通过转折器相应的槽口。

5.3.5 预应力筋安装应符合下列要求：

1 先穿束后浇筑混凝土时，浇筑之前，应全面检查孔道，并确认完好；浇筑混凝土时应定时抽动、转动预应力筋；

2 先浇筑混凝土后穿束时，孔道内应预先穿入其外径较管道内径小 7mm~10mm 的硬塑料管，并在混凝土初凝前窜动；

3 混凝土采用蒸汽养护时，预应力筋应在蒸汽养护结束后穿入孔道；

4 穿束后至孔道压浆完成应控制在下列时间以内，否则应对预应力筋采取防锈措施，直至压浆。

1) 空气平均相对湿度大于 70%或盐分过大时 7d；

2) 空气平均相对湿度 40%~70%时 15d；

3) 空气平均相对湿度小于 40%时 20d。

5.3.6 预应力筋安装的保护应符合下列要求：

1 预应力筋安装时，模板脱模剂不得沾污预应力筋；安装后，应将外露预应力筋擦拭干净并采取保护措施，其管道端部开口应密封，以防止水和湿气进入；

2 在任何情况下，在安装有预应力筋的附近进行电焊时，应对全部预应力筋采取保护措施，避免焊渣或接地电火花损伤预应力筋；

3 浇筑混凝土时，应采取适当措施避免振动器碰撞先张法的预应力筋、后张法的锚垫板、预应力管道、排气孔等损伤和移位。

5.4 锚具、连接器和锚垫板安装

5.4.1 锚具、连接器和锚垫板应按设计要求的位置和方向安装牢固；其锚下加强钢筋应按设计要求的位置绑扎牢固。

5.4.2 锚具的承压面应与预应力筋垂直。锚板与锚垫板的对中止口应对正，夹片的外露长度应一致。夹片式锚具安装时，锚具安装后应及时张拉。

5.4.3 内埋式固定端锚垫板不应重叠，锚具与锚垫板应贴紧。

5.4.4 采用连接器接长预应力筋时，应全面检查连接器的所有零件，并按产品技术手册要求操作。连接器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。

5.4.5 采用螺母锚固的支承式锚具，安装前应逐个检查螺纹的匹配性，确保张拉和锚固过程中

顺利旋合拧紧。

6 施加预应力

6.1 一般规定

6.1.1 预应力张拉设备与压力表的选用应符合下列规定：

1 先张法预应力筋宜采用单根初调、整束整拉整放和补张拉工艺；单根初调工序宜采用穿心式千斤顶；整束整体张拉和放张宜采用自锁式千斤顶；

2 后张法预应力筋应整束张拉；对平行排放的预应力钢绞线束，当能确保各根预应力钢绞线不受叠压影响时，也可逐根张拉；但应考虑逐根张拉时预应力损失对控制应力的影响；

3 预应力筋张拉宜选用智能化张拉设备，千斤顶额定张拉力宜为预应力筋最大张拉力的 1.2 倍~1.5 倍，压力传感器的额定荷载不应小于最大张拉力的 1.2 倍，位移传感器的额定量程不应小于单次张拉最大伸长值的 1.2 倍，张拉机油泵额定油压宜为使用油压的 1.4 倍，油泵容量宜为张拉千斤顶总输出油量的 1.5 倍以上；

4 与千斤顶（挤压机）配套使用的压力表宜采用防震型，压力表外壳公称直径不小于 150mm，其精确度等级宜为 0.4 级，且不应低于 1.0 级，最小分度值不应大于 0.5 MPa，量程应在工作最大油压的 1.25 倍~2.0 倍之间。

5 智能化张拉设备的压力传感器应符合现行行业标准 JJG 391 或 JJG 455 的规定，示值精度不应大于 0.5%；位移传感器应符合现行行业标准 JJF 1305 的规定，示值精度不应大于 0.5%。

6.1.2 预应力张拉设备与压力表的标定应符合下列规定：

1 张拉用的千斤顶与压力表应配套标定、配套使用，标定应在经国家授权的法定计量技术机构定期进行，千斤顶标定试验见本标准附录 C；

2 压力传感器、位移传感器应安装在千斤顶上，并与相应的主、辅机控制系统配套标定，使用中不可互换。

2 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；当处于下列情况之一时，应重新进行标定：

- 1) 千斤顶使用时间超过 6 个月；
- 2) 千斤顶张拉次数超过 300 次；
- 3) 使用过程中千斤顶或压力表出现异常现象；
- 4) 千斤顶检修或更换配件后；

3 压力表的计量检定应符合国家有关标准的规定；压力表的检定周期一般不超过 6 个月；

4 当采用测力传感器测量张拉力时,测力传感器的检定周期应按国家相关检定规程的规定每年至少送检一次。

6.1.3 预应力筋的张拉控制应力应符合设计规定。当施工中需要对预应力筋实施超张拉时,调整后的预应力筋的最大张拉控制应力 σ_{con} 应符合下列规定:

$$1 \text{ 预应力钢丝、钢绞线} \quad \sigma_{con} \leq 0.80f_{ptk} \quad (6.1.3-1)$$

$$2 \text{ 预应力螺纹钢筋} \quad \sigma_{con} \leq 0.90f_{pyk} \quad (6.1.3-2)$$

式中: σ_{con} ——预应力筋张拉控制应力;

f_{ptk} ——预应力筋极限强度标准值;

f_{pyk} ——预应力筋屈服强度标准值。

6.1.4 预应力筋采用应力控制方法张拉时,应以伸长值进行校核。实际伸长值与理论伸长值的差值应符合设计规定;设计未规定时,其偏差应控制在 $\pm 6\%$ 以内,否则应暂停张拉,待查明原因并采取措施予以调整后,方可继续张拉。对环形筋、U形筋等曲率半径较小的预应力束,其实际伸长值与理论伸长值的偏差宜通过试验确定。

6.1.5 预应力筋的理论伸长值 $\Delta L_L(\text{mm})$ 可按式(6.1.5-1)计算:

$$\Delta L_L = \frac{P_p L}{A_p E_p} \quad (6.1.5-1)$$

式中: P_p ——预应力筋的平均张拉力(N),直线筋取张拉端的拉力;两端张拉的曲线筋,按式(6.1.5-2)计算;

L ——预应力筋的长度(mm);

A_p ——预应力筋的截面面积(mm^2);

E_p ——实测预应力筋的弹性模量(MPa)。

$$P_p = \frac{P(1 - e^{-(kx + \mu\theta)})}{kx + \mu\theta} \quad (6.1.5-2)$$

式中: P ——预应力筋张拉端的张拉力(N);

x ——从张拉端至计算截面的孔道长度(m);

θ ——从张拉端至计算截面曲线孔道部分切线的夹角之和(rad);

k ——孔道每米局部偏差对摩擦的影响系数,参见本标准附表D;

μ ——实测预应力筋与孔道壁的摩擦系数,当无试验数据时,可参见本标准附表D。

6.1.6 预应力筋张拉时，应先调整到初应力，该初应力宜为张拉控制应力 σ_{con} 的10%~25%，伸长值应从初应力时开始量测。预应力筋的实际伸长值除量测的伸长值外，尚应加上初应力以下的推算伸长值，预应力筋张拉的实际伸长值 ΔL_s (mm)可按式(6.1.6-1)计算。

$$\Delta L_s = \Delta L_1 + \Delta L_2 \quad (6.1.6-1)$$

式中： ΔL_1 ——从初应力至最大张拉应力间的实测伸长值(mm)；

ΔL_2 ——初应力以下的推算伸长值，可采用相邻级的伸长值(mm)。

6.1.7 预应力筋张拉时，张拉力加载速度不应大于30 MPa/min。张拉力达到初应力时，持荷时间不宜小于0.5min；张拉力达到2倍初应力时，持荷时间不宜小于0.5min；张拉力达到张拉控制应力时，持荷时间不应小于5min。锚固时，应匀速回顶，锚固时间不宜小于0.5min。

6.1.8 智能张拉预设张拉信息后，应一键启动完成自动张拉，自动生成并存储张拉数据且不可更改。数据格式符合附录A。

6.1.9 预应力混凝土构件施加预应力后应对梁体弹性上拱值进行实测。

6.2 预应力筋张拉

6.2.1 预应力筋张拉时的环境温度不宜低于-15℃。

6.2.2 预应力筋张拉时，构件混凝土强度、弹性模量及龄期应符合设计规定；设计未规定时，同条件养护的混凝土试件立方体抗压强度应不低于设计强度等级值的80%，弹性模量应不低于混凝土28d弹性模量的80%，且混凝土龄期不应小于5d。

6.2.3 预应力筋的张拉顺序应符合设计规定；设计未规定时，应符合下列规定：

- 1 三向预应力体系应按先纵向、次横向、后竖向顺序进行梁体预应力筋的张拉；
- 2 箱形梁的纵向预应力筋尚应遵循先腹板、次顶板、后底板的张拉顺序；
- 3 预应力筋应按先上后下、先中后边、先长后短，并分级、匀速左右对称张拉。

6.2.4 预应力筋的张拉程序应符合设计要求。当设计无具体要求时，其张拉程序应符合下列规定：

- 1 对先张法预应力结构构件，预应力筋的张拉程序应符合表6.2.4-1的规定；

表 6.2.4-1 先张法预应力筋张拉程序

预应力筋和锚具类别		张拉程序
钢丝、钢绞线	夹片式等具有自锚性能的锚具	0→初应力→ σ_{con} （持荷5min锚固）
	其他锚具	0→初应力→ $1.05\sigma_{con}$ （持荷5min）→0→ σ_{con} （锚固）

螺纹钢筋	螺母锚固锚具	0→初应力→1.05σ _{con} (持荷 5min)→0.9σ _{con} →σ _{con} (锚固)
------	--------	---

注：张拉螺纹钢筋时，应在超张拉并持荷 5min 后放张至 0.9σ_{con} 时再安装模板、普通钢筋及预埋件等。

2 对后张法预应力结构构件，预应力筋的张拉程序应符合表 6.2.4-2 的规定。

表 6.2.4-2 后张法预应力筋张拉程序

预应力筋和锚具类别		张拉程序
钢绞线	夹片式等具有自锚性能的锚具	0→初应力→σ _{con} (持荷 5min 锚固)
	其他锚具	0→初应力→1.05σ _{con} (持荷 5min)→σ _{con} (锚固)
螺纹钢筋	螺母锚固锚具	0→初应力→σ _{con} (持荷 5min)→0→σ _{con} (锚固)

6.2.5 先张法预应力筋的张拉应符合下列规定：

- 1 先张法的台座应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 的规定。
- 2 张拉前应对台座、横梁及张拉设备进行详细检查，符合安全和工艺要求后方可进行操作；
- 3 预应力筋与锚固横梁间的连接，宜采用张拉螺杆；
- 4 预应力筋张拉工艺应符合设计要求，设计无要求时宜采用单束初调，使相互之间的应力一致，再整体张拉的工艺；
- 5 配有折线预应力筋时宜先单束初调直线预应力筋，再单束初调、整体张拉折线预应力筋，最后整体张拉直线预应力筋；
- 6 用整体张拉工艺张拉过程中，应使活动横梁与固定端横梁始终保持平行；
- 7 预应力筋张拉完毕后的位置与设计值偏差不得大于±5mm，同时不得大于构件截面最短边边长的 4%；
- 8 先张法预应力筋无黏结段的位置与设计值偏差不得大于±20mm；其无黏结段长度的允许偏差不得大于±10mm；
- 9 预应力筋张拉完毕后，宜在 4 h 内浇筑混凝土，浇筑混凝土与张拉预应力筋时的环境温度差不宜超过 10℃。

6.2.6 后张法预应力筋张拉端的设置应符合设计规定；当设计未规定时，应符合下列规定：

- 1 直线预应力筋长度不大于 20m 时，可在一端张拉；大于 20m 的直线预应力筋或曲线预应力筋，应采用两端张拉。
- 2 当同一截面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；
- 3 预应力筋采用两端张拉时，宜两端同时张拉，或先在一端张拉锚固后，再在另一端补足

预应力值进行锚固。

6.2.7 后张法预应力筋的张拉应符合下列规定：

1 预应力筋张拉前，宜对不同类型的孔道进行至少一次孔道的摩阻测试，通过测试所确定的 μ 值和 k 值宜用于对设计张拉控制应力的修正；孔道摩阻损失测试方法见本标准附录 A；

2 预应力筋张拉前，应对构件的外观和尺寸以及锚垫板后的混凝土密实性进行检查，并将孔道中的灰浆清理干净；

3 千斤顶安装时，工具锚应与前端的工作锚对正，工具锚与工作锚之间的各根预应力筋不得错位、扭绞；

4 预应力筋张拉时，千斤顶与预应力筋、锚具的中心线位于同一轴线上；采用两端同时张拉时，应保持两端操作同步；

5 预应力筋达到张拉控制应力后持荷。持荷过程中应随时观察压力表读数，及时补压；持荷结束后方可锚固。

6.2.8 锚固阶段张拉端预应力筋的回缩量应符合设计要求。当设计无具体要求时，应符合表 6.2.8 的规定。

表 6.2.8 张拉端预应力筋的回缩量限值

锚具类别		回缩量限值 (mm)
支承式锚具 (螺母锚具、镦头锚具等)	螺母缝隙	1
	每块后加垫板的缝隙	1
夹片式锚具		5

6.2.9 夹片式锚具的预应力筋锚固后，夹片顶面宜平齐，其相互间的错位不宜大于 2mm，且不应大于 3mm。

6.2.10 预应力筋张拉锚固后，锚下的有效预应力应符合设计张拉控制应力，两者的相对偏差应不超过 $\pm 5\%$ ，且同一断面中的预应力束其有效预应力的不均匀度应不超过 $\pm 2\%$ 。

6.2.11 预应力筋张拉应避免预应力筋断丝或滑移；当发生断丝或滑移时，应符合下列规定：

1 对先张法预应力混凝土构件，浇筑混凝土后预应力筋断丝或滑移数量不应超过表 6.2.11-1 的规定；

表 6.2.11-1 先张法预应力筋断丝或滑移数量规定表

预应力筋种类	项目	规定值
钢丝、钢绞线	同一构件内断丝数不应超过钢丝总数的百分比	1%

螺纹钢筋	断筋或滑移	不允许
------	-------	-----

2 对后张法预应力混凝土构件，预应力筋断丝或滑移的数量不应超过表 6.2.11-2 的规定。

表 6.2.11-2 后张法预应力筋断丝或滑移数量规定表

预应力筋种类	项 目	规定值
钢绞线	每束钢绞线断丝或滑丝	1 丝
	每个断面断丝之和不超过该断面断丝总数的百分比	1%
螺纹钢筋	断筋或滑移	不允许

6.2.12 后张法预应力筋张拉锚固后，如遇特殊情况需卸锚时，应采用专门的设备和工具。

6.2.13 后张法预应力筋锚固后的外露部分宜采用机械方法切割，其外露长度不宜小于预应力筋直径的 1.5 倍，且不应小于 30mm。

6.2.14 预应力筋张拉施工安全应符合下列规定：

1 下料时应将钢绞线盘卷装在防护架内，从盘卷中央逐步抽出；

2 张拉区域禁止非工作人员进入，并应设置明显警示牌；张拉作业时，在千斤顶后端应设置防护架；

3 张拉作业时操作应平稳均匀，预应力筋的正面严禁站人或穿越；测量伸长值时，操作人员应站在侧面进行操作；

4 千斤顶不得超载和超出规定的行程，移运张拉油泵时应将压力表拆下另行携带转移；

5 钢绞线锚固后发现断、滑丝及伸长值超标问题，需要卸荷重新张拉时应有专人巡视监护，在张拉作业区域内，防止其他人员靠近。

6.3 预应力筋放张

6.3.1 预应力筋放张之前，应将限制位移的侧模板、翼缘模板或内模板拆除。

6.3.2 预应力筋放张时构件混凝土强度、弹性模量及龄期应符合设计规定；设计未规定时，应符合本标准第 6.2.2 条的规定。

6.3.3 预应力筋的放张顺序应符合设计规定；设计未规定时，应分阶段、对称、相互交错地放张。

6.3.4 放张应采用千斤顶分数次单独或整体放张，并符合设计要求。

6.3.5 先张法预应力筋放张时，宜缓慢放松锚固装置，使各根预应力筋同时缓慢放松。

6.3.6 放张后预应力筋的切断顺序，应由放张端开始，依次切向另一端。

6.3.7 对钢丝、钢绞线，应采用机械切割的方式进行切断；对螺纹钢筋，可采用乙炔-氧气切割，但应采取必要的措施防止高温对其产生不利影响。

7 孔道压浆及封锚

7.1 孔道压浆

7.1.1 预应力筋张拉锚固后，孔道应尽早压浆，且应在 48h 内完成，否则应采取避免预应力筋锈蚀的措施。

7.1.2 孔道压浆宜采用孔道压浆料或孔道压浆剂配制的水泥浆液进行压浆。

7.1.3 孔道压浆用水泥浆的性能应符合设计要求。当设计无要求时，对预应力混凝土梁应符合下列规定：

1 水泥浆的强度等级不应低于构件混凝土强度的 80%，且不应低于 M40，宜掺入阻锈剂；

2 水泥浆应有良好的和易性，水胶比应小于 0.33；水泥浆初凝时间不小于 5h，终凝时间不大于 14h；

3 采用普通压浆工艺时，初始流动度宜控制在 14s~18s，30 min 流动度不宜大于 22s；采用真空辅助压浆工艺时，初始流动度宜控制在 18s~22s，30 min 流动度不宜大于 26s；流动度试验见本标准附录 E；

4 3h 自由泌水率宜为 0，且不应大于 1%，泌水应在 24h 内全部被水泥浆吸收；24h 自由膨胀率，采用普通压浆工艺时不应大于 4%，采用真空辅助压浆工艺时不应大于 2%；自由泌水率和自由膨胀率试验见本标准附录 F；

5 水泥浆中氯离子含量不应超过胶凝材料总量的 0.06%；

7.1.4 孔道压浆宜采用智能化压浆设备，设备的性能及称量精度应符合下列规定：

1 搅拌机的转速不应低于 1 000r/min，搅拌叶的线速度宜为 10m/s~20m/s。其叶片的形状应与转速相匹配，且应能满足在规定的时间内搅拌均匀的要求；

2 用于临时储存浆液的储料罐亦应具有搅拌功能，且应设置网格尺寸不大于 1.2mm×1.2mm 的过滤网；

3 压浆机应采用活塞式可连续作业的压浆泵，不得采用风压式压浆泵进行孔道压浆；

4 与压浆泵配套使用的压力表宜采用防震型，压力表外壳公称直径不小于 100mm，精确度等级不应低于 1.6 级，最小分度值不应大于 0.05MPa，标度范围宜为 0~2.5MPa；压力表应在经主管部门授权的法定计量机构定期进行校验；

5 采用真空辅助压浆工艺时，真空泵应能达到 0.10MPa 的负压力；

6 在配制浆液拌和物时，各种材料称量误差不超过±1%（均以质量计）。计量器具均应经

法定计量检定合格，且在有效期内。

7.1.5 搅拌工艺应符合下列规定：

- 1 搅拌前，应先清洗施工设备。清洗后的设备内不应有残渣和积水；
- 2 水泥浆搅拌操作顺序为：首先在搅拌机中先加入实际拌和水用量的 80%~90%，开动搅拌机，均匀加入除水泥外的全部压浆材料，边加入边搅拌，然后均匀加入全部水泥；全部粉料加入后再搅拌 2min；然后加入剩余的 10%~20%的拌和水，继续搅拌 2min；
- 3 水泥浆搅拌均匀后，现场进行出机流动度试验，每 10 盘进行一次检测，流动度符合标准后，即可通过过滤网进入储料罐；浆液在储料罐中应继续搅拌，置于储浆罐的浆液应持续搅拌，以保证浆液的流动性；
- 4 水泥浆应随拌随用，水泥浆从拌制到压入孔道的时间间隔一般不宜超过 40min。对于因延迟使用导致的流动度降低的水泥浆，不得通过额外加水来增加其流动度。

7.1.6 孔道压浆工艺应符合下列规定：

- 1 压浆孔、排气孔和泌水孔端部应安装阀门；
- 2 压浆前应采用密封罩或水泥浆等对锚具夹片空隙和其他可能漏浆处封堵，待封堵料达到一定强度后方可压浆；
- 3 压浆前应对孔道进行清洁处理。对抽芯成型的孔道应冲洗干净并使孔壁完全湿润；金属和塑料管道在必要时亦应冲洗清除附着于孔道内壁的有害材料。对孔道内可能存在的油污等，可采用已知对预应力筋和管道无腐蚀作用的中性洗涤剂或皂液，用水稀释后进行冲洗；冲洗后，应使用不含油的压缩空气将孔道内的所有积水吹出；
- 4 对预应力混凝土梁以上下分层设置的孔道，压浆顺序应自下而上进行，对曲线孔道和竖向孔道应从最低点的压浆孔压入，由最高点的排气孔排气或泌水；
- 5 水泥浆液压入梁体孔道之前，应首先开启压浆泵，使浆液从压浆嘴排出少许，以排除浆管道中的空气、水和稀浆；当排出的浆液流动度和储浆装置的流动度一致时，方可压入梁体孔道。
- 6 压浆应连续、缓慢、均匀地进行，不得中断，并应将所有最高点安装在排气孔的阀门依次一一打开和关闭，使孔道内排气通畅；
- 7 对水平或曲线孔道，压浆的压力宜为 0.5MPa~0.7MPa；对超长孔道，最大压力不宜超过 1.0MPa；对竖向孔道，压浆的压力宜为 0.3MPa~0.4MPa；压浆的充盈度应达到孔道另一端饱满且排气孔排出与规定流动度相同的水泥浆为止，关闭出浆口阀门后，应保持不小于 0.5MPa 且不少于 3 min 的稳压期；水泥浆终凝后，方可拆卸压浆阀门；

8 对采用真空辅助压浆工艺时，在压浆前应对孔道进行抽真空，真空度宜稳定在 $-0.08\text{MPa}\sim-0.10\text{MPa}$ 范围内；真空度稳定后，应立即开启孔道压浆端的阀门，同时启动压浆泵进行连续压浆；

9 压浆中途发生故障、不能连续一次压满时，应立即用压力水将孔道冲洗干净，故障处理后再压浆；

10 压浆及压浆后5d内，梁体及环境温度不得低于 5°C ，否则应采取保温措施，并按冬期施工的要求处理，浆液中可适量掺用引气剂、水溶性有机化合物类防冻剂，但不得掺用无机盐类防冻剂；浆液温度宜在 $5^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间，当环境温度高于 35°C 时，压浆应选择温度较低时施工，如在夜间进行；

11 压浆后应从拆除阀门的压浆孔和出浆孔检查压浆的密实情况，如有不实，应及时进行补压浆处理，以保证孔道完全密实。

7.1.7 压浆时，每一工作班应随机制作留取不少于3组，尺寸为 $70.7\text{mm}\times 70.7\text{mm}\times 70.7\text{mm}$ 的试件，标准养护28d，进行抗压强度试验，作为质量评定的依据。对在压浆后28d内需要移动的预制梁，应留置不少于1组同条件养护试件。

注：1 一组试件由6个试件组成；

2 抗压强度为一组试件的平均值，当一组试件中抗压强度最大值或最小值与平均值相差超过20%时，应取中间4个试件强度的平均值。

7.1.8 压浆后预制梁移梁时，水泥浆强度应符合设计要求；当设计无要求时，水泥浆强度应大于设计强度的75%，且不应低于C30。

7.1.9 孔道压浆应填写施工记录。记录项目应包括：压浆材料、配合比、压浆日期、搅拌时间，出机初始流动度、浆液温度、环境温度、稳压压力及时间，采用真空辅助压浆工艺时尚应包括真空度。

7.2 封锚

7.2.1 孔道压浆完毕，经检查无不饱满情况，水泥浆已凝固后，应及时进行封锚作业。

7.2.2 封锚混凝土应符合设计要求。当设计无要求时，宜采用水胶比较梁体混凝土小的补偿收缩混凝土，其强度、耐久性应不低于梁体混凝土。

7.2.3 后张梁封锚施工应符合下列规定：

1 封锚前应对锚具、锚垫板表面及外露钢绞线用聚氨酯防水涂料进行防水处理；预应力筋

保护层厚度应符合设计要求；

2 应将锚板和锚垫板表面的黏浆铲除干净，封锚处的混凝土应进行凿毛处理；浮浆、灰渣等杂物应清理干净；

3 封锚钢筋应绑扎牢固，且钢筋保护层符合设计要求；

4 封锚模板宜采用定型钢模板，模板支撑应牢固；

5 封锚混凝土应捣固密实，无蜂窝麻面，及时抹面压光，封锚后混凝土面与梁端面的错台不超过 2mm；

6 封锚混凝土应进行保湿保温养护，养护时间不得少于 7d；

7 养护结束后，应按设计要求进行防水处理。设计未规定时，应对封锚处混凝土面及施工缝（梁体侧宽度为 10cm 范围）采用水泥基渗透结晶型防水涂料进行防水处理。

7.2.4 封锚混凝土应按批留置试件，每批至少 2 组（1 组标准养护，1 组随梁同条件养护）。

7.2.5 封锚后移梁时，当设计无要求时，封锚混凝土强度不得低于设计强度的 50%。

8 无粘结预应力及体外预应力

8.1 无粘结预应力

8.1.1 无粘结预应力筋的下料长度应经计算确定。下料宜采用砂轮锯切割，且宜采用先粗后精，长度略大于计算长度的二次下料法。

8.1.2 无粘结预应力筋在运输、存放和安装过程中应采取可靠措施，防止对其产生损伤。

8.1.3 无粘结预应力筋的铺放与安装应符合下列规定：

1 铺放前应检查其规格、数量，以及是否有破损，并应在逐根确认其端部组配件可靠无误后，方可铺放；

2 安装时应按设计规定的位置，采用定位支撑钢筋控制其位置，并保持其顺直、牢固，浇筑混凝土时，不应出现移位和变形；

3 当与普通钢筋或其他预埋件有重叠时，不应将无粘结预应力筋的垂直位置抬高或压低；

4 无粘结预应力筋集束布置时，同一束的各根预应力筋应保持平行走向，防止相互扭绞；

5 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 张拉端的锚垫板应固定牢固，且应保持张拉作用线与锚垫板面相垂直。

8.1.4 无粘结预应力筋施加预应力之前，应清理锚垫板面，并应检查锚垫板后面的混凝土质量，符合要求后方可进行张拉。张拉应符合本标准第6章的规定。

8.1.5 无粘结预应力筋设计为两端张拉时，宜采取两端同时张拉工艺。

8.1.6 当采用应力控制方法张拉时，无粘结预应力筋的应力增长速度不宜大于500MPa/min，并应符合本标准第6.1.4条规定。

8.1.7 无粘结预应力筋的防护应符合下列规定：

1 张拉完毕后，应及时对锚固区进行保护处理，应采用防腐油脂通过灌注孔将张拉形成的空腔灌注密实；将多余的预应力筋切割后，应先在锚具部位套上内涂防腐油脂的塑料封端罩，再采用细石混凝土或微膨胀砂浆进行封堵；

2 对不能使用细石混凝土或微膨胀砂浆进行封堵的部位，应将锚具全部涂以与无粘结预应力筋涂料层相同的防腐油脂，并采用具有可靠防腐和防火性能的保护罩将锚具全部密封。

8.2 体外预应力

8.2.1 体外预应力材料应符合下列规定：

1 体外预应力筋所使用的钢绞线，其质量应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的规定；

2 体外预应力束的保护套管应采用高密度聚乙烯管或镀锌钢管。保护套管在使用期应有可靠的耐久性；保护套管应与预应力筋和防腐材料具有良好的兼容性，且应能抵抗运输、安装和使用过程中所受的各种作用力而不被损坏；

3 防腐材料在加工、运输、安装及张拉过程中，应能保持其稳定性、柔性且不产生裂缝，并在所要求的温度范围内不流淌；

4 体外预应力束的锚固体系可采用后张锚固体系或体外预应力束专用锚固体系，其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。

8.2.2 体外预应力束保护套管的安装应连接平滑且完全密封，束的线形和安装误差应符合设计要求。在穿束过程中应防止保护套管受到机械损伤，严禁在混凝土面上拖拽预应力筋。

8.2.3 在转向块鞍座出口处应进行倒角处理形成圆滑过渡；转向块的偏转角制造误差应小于 1.2° ，安装误差应小于 5%；也可采用可调节的转向块。

8.2.4 体外预应力束的锚固区和转向块应与主体结构同时施工，预埋的锚固件及管道的位置应符合设计要求；体外预应力束的端部应垂直于承压板。

8.2.5 体外预应力束的张拉顺序应按设计规定进行，张拉时应保证结构或构件受力均匀和对称，以免发生侧向弯曲或失稳。

8.2.6 体外预应力束张拉锚固后，应对其锚具及外露预应力筋进行防腐处理。处于腐蚀环境时，应设置全密封防护罩。对不要求更换的体外预应力束，可在防护罩内灌注环氧砂浆或其他防腐材料；对可更换的体外预应力束，应在防护罩内灌注专用防腐油脂或其他可清洗的防腐材料。

8.2.7 当采用高密度聚乙烯管的体外预应力束直接暴露在太阳辐射中时，护套材料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。

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

附录 A 预应力损失测试方法

A. 0. 1 锚口摩擦损失的测试

采用千斤顶测试时，可在张拉台上或用一根直孔道钢筋混凝土柱进行。两端均用锥形锚时，其测试步骤如下：

1 两端同时充油，压力表数值均保持 4MPa；然后将甲端封闭作为被动端，乙端作为主动端，张拉至控制吨位。设乙端控制吨位为 N_a 时，甲端相应吨位为 N_b ，则锚口摩阻力：

$$N_0 = N_a - N_b \quad (\text{B.1-1})$$

克服锚圈口摩阻力的超张拉系数：

$$n_0 = \sqrt{\frac{N_a}{N_b}} \quad (\text{B.1-2})$$

测试反复进行 3 次，取平均值。

2 乙端封闭，甲端张拉，同样按上述方法进行 3 次，取平均值；

3 两次的 N_0 和 n_0 平均值，再予以平均，即为测定值。

A. 0. 2 孔道摩阻损失的测试

采用千斤顶测试曲线孔道摩阻时，测试步骤如下：

1 梁的两端装千斤顶后同时充油，保持一定数值（约 4MPa）。

2 甲端封闭，乙端张拉。张拉时分级升压，直至张拉控制应力。如此反复进行 3 次，取两端压力差的平均值。

3 仍按上述方法，但乙端封闭，甲端张拉，取两端 3 次压力差的平均值。

4 将上述两次压力差平均值再次平均，即为孔道摩阻力的测定值。如两端为锥形锚，上述测定值应扣除锚口摩阻力。

附录 B 预应力筋挤压锚制作记录表

表 B 预应力筋挤压锚制作记录表

工程名称				结构部位			构件编号			
挤压时间		年 月 日 时		至 年 月 日 时						
材 料	钢绞线	规格型号			生产厂					
		出厂时间			单根长度			共计根数		
	锚具	规格型号			生产厂					
		出厂时间			挤压数量			报废数量		
设 备	挤压机	型 号			额定油压			挤压机活 塞面积		
	油 泵	型 号			压力表精 确 度等级			压力表最 小分度值		
挤压记录：										
编 号	压力 表 读 数	编 号	压力 表 读 数	编 号	压力 表 读 数	编 号	压力 表 读 数	编 号	压力 表 读 数	
检查钢绞线外露长度：										
检查弹簧外露长度：										
备注：										

监理工程师：

项目质量检查员：

复核：

记录：

附录 C 千斤顶标定试验

C.0.1 标定试验的设备应符合下列规定：

- 1 标定时千斤顶、压力表、张拉油泵应配套，压力表应在检定有效期内。
- 2 标定试验用反力架应有足够的强度和刚度，在试验荷载下的变形不得超过 1.5mm。

C.0.2 千斤顶空载启动，活塞伸出额定行程的 60%后，按照图 C.0.2 所示安装好千斤顶、测力传感器，并安装好压力表及张拉油泵后，试压 3 次。每次加压至最大使用压力的 110%，并持荷 5min，其压力下降不超过 3%时，即可进行正式标定。

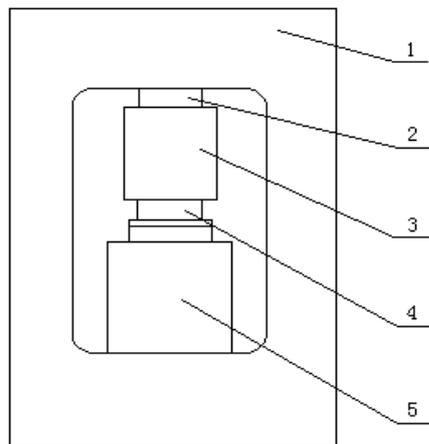


图 C.0.2 千斤顶标定试验布置图

1-反力架；2、4-钢垫板；3-测力传感器；5-千斤顶

C.0.3 千斤顶的标定方法：

- 1 计算分级加载的级差。将最大使用压力的 110%分成 10 级，并取整。
- 2 启动张拉油泵，缓慢地分级加载，记录相应的测力传感器读数。
- 3 加载至最大试验压力后，缓慢卸载至 0，千斤顶活塞回缩至测力传感器上的钢垫板与反力架脱离，转动千斤顶 120° ，重复步骤 2。
- 4 按照步骤 2、3 加载三次，取其平均值，采用最小二乘法回归计算千斤顶标定方程和相关系数。

C.0.4 试验结果合格的判定：

- 1 与标定方程对应的相关系数不小于 0.9999。
- 2 千斤顶负载效率大于 98%，则按 98%采用；负载效率在 95%~98%之间，则按实际数采用；负载效率小于 95%，则该千斤顶不能使用。

附录 D 预应力筋的摩擦系数和局部偏差对摩擦的影响系数

D.0.1 有粘结预应力筋与孔道壁的摩擦系数和孔道每米局部偏差对摩擦的影响系数，如表 D.0.1 所示。

表 D.0.1 摩擦系数 μ 值和偏差系数 κ

管道成型方式	κ	μ	
		钢绞线、钢丝束	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	0.15~0.20	0.45
预埋铁皮管	0.0030	0.35	0.40
预埋钢管	0.0010	0.25	—

注：摘自行业标准：公路桥涵施工技术规范 (JTG/T 3650—2020)。北京：人民交通出版社股份有限公司，2020。

D.0.2 无粘结预应力钢绞线与护套壁的摩擦系数和护套每米局部偏差对摩擦的影响系数，如表 D.0.2 所示。

表 D.0.2 摩擦系数 μ 值和偏差系数 κ

无粘结预应力筋	κ	μ
$d \leq 15.2\text{mm}$ 的钢绞线	0.004	0.09

注：摘自行业标准：无粘结预应力混凝土结构技术规程 (JGJ 92—2016)。北京：中国建筑工业出版社，2016。

附录 E 压浆用水泥浆流动度试验

E.0.1 试验仪器

- 1 流动度测试仪：流动锥，其装置如图 E.0.1 所示。
- 2 流动锥的校准：1 725mL \pm 5mL，水流出的时间应为 8.0s \pm 0.2s。

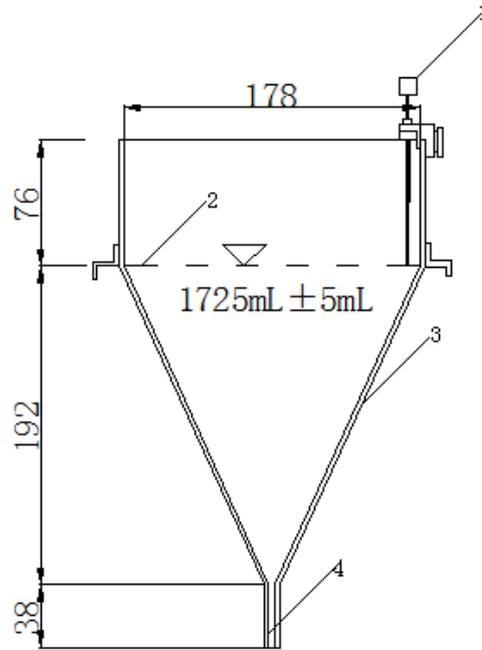


图 E.0.1 流动锥装置示意图（尺寸单位：mm）

1-点测规；2-水泥浆浆体表面；3-不锈钢制容器（壁厚 3 mm）；4-流出口（内径 13 mm）

E.0.2 流动度试验方法

测定时，应将漏斗调整水平，封闭底口，将搅拌均匀的水泥浆倾入漏斗内，直至表面触及点测规下端（1 725mL \pm 5mL 水泥浆）；开启底口，使水泥浆自由流出，浆体全部流完时间（s）称为压浆水泥浆的流动度。

附录 F 压浆用水泥浆自由泌水率和自由膨胀率试验

F.0.1 试验容器

试验容器如图 F.0.1，容器采用 1000mL 的量筒，或者采用直径为 60mm、高为 500mm 的底部封闭的透明玻璃管。

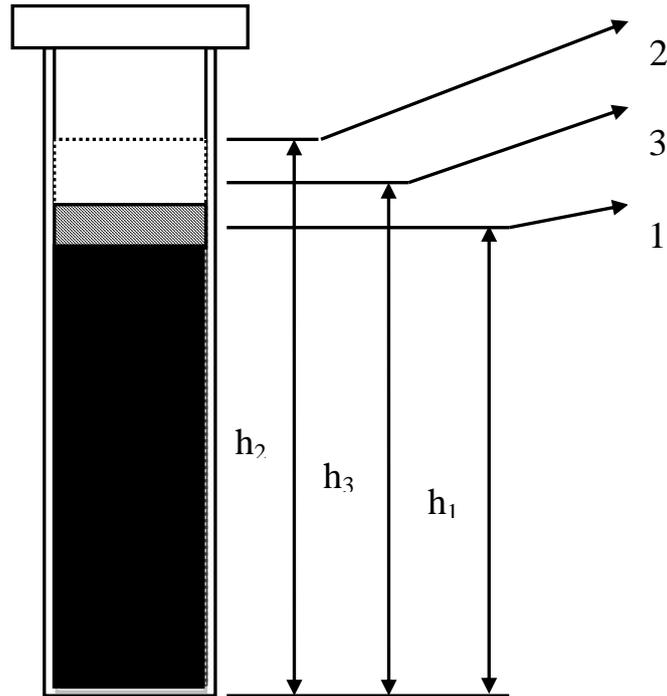


图 F.0.1 自由泌水率和自由膨胀率试验

1-最初填灌的浆体表面；2-水面；3-膨胀后的浆体表面

F.0.2 试验方法

将搅拌均匀的浆体缓慢注入试验容器中，装入浆体体积 $800\text{mL} \pm 10\text{mL}$ 。浆体注入后，使用保水薄膜密封容器上口，静置于水平面上。静置 1min 后记录浆体高度 h_1 ，静置 24h 后量测其离析水水面高度 h_2 和浆体膨胀面的高度 h_3 。然后按一下公式计算泌水率及膨胀率：

$$\text{泌水率 (\%)} = \frac{h_2 - h_3}{h_1} \times 100\% \quad (\text{F.0.2-1})$$

$$\text{膨胀率 (\%)} = \frac{h_3 - h_1}{h_1} \times 100\% \quad (\text{F.0.2-2})$$

本标准用词说明

1 为了便于执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

4) 表示允许有选择，在一定条件下可以这样做的用词：

采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 2 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119
- 3 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 4 《水泥基灌浆材料应用技术规范》 GB/T 50448
- 5 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666
- 6 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 7 《预应力混凝土用钢丝》 GB/T 5223
- 8 《预应力混凝土用钢绞线》 GB/T 5224
- 9 《混凝土外加剂》 GB 8076
- 10 《聚乙烯(PE)树脂》 GB/T 11115
- 11 《预应力筋锚具、夹具和连接器》 GB/T 14370
- 12 《预应力混凝土用螺纹钢筋》 GB/T 20065
- 13 《混凝土膨胀剂》 GB/T 23439
- 14 《城市桥梁工程施工与质量验收规范》 CJJ 2
- 15 《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》 CJ/T 297
- 16 《混凝土用水标准》 JGJ 63
- 17 《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》 JGJ 85
- 18 《无粘结预应力混凝土结构技术规程》 JGJ 92
- 19 《无粘结预应力钢绞线》 JG/T 161
- 20 《预应力混凝土用金属波纹管》 JG 225
- 21 《无粘结预应力筋用防腐润滑脂》 JG/T 430
- 22 《公路桥涵施工技术规范》 JTG/T 3650
- 23 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》 JTG 3362
- 24 《公路桥梁预应力钢绞线用锚具、夹具和连接器》 JT/T 329
- 25 《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》 JT/T 529
- 26 《公路工程 预应力孔道灌浆料(剂)》 JT/T 946
- 27 《铁路后张法预应力混凝土梁管道压浆技术条件》 TB/T 3192

中国工程建设标准化协会标准

城市桥梁预应力施工技术标准

T/CECS 5XX-2022

条文说明

制订说明

《城市桥梁预应力施工技术标准》T/CECS 5XX-2022，经中国工程建设标准化协会 2022 年 XX 月 XX 日以第 XX 号公告批准、发布。

本标准制定过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了近年来我国城市桥梁预应力施工的实践经验和研究成果，同时参考了国内外先进技术法规、技术标准，许多单位和学者进行的卓有成效的试验和研究，为本次制定提供了极有价值的参考资料。

为便于广大施工、监理、质检、设计、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《城市桥梁预应力施工技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是条文说明不具备与标准正文同等的效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

1 总 则

1.0.1 城市桥梁预应力施工的专业性较强、技术含量较高、施工工艺较复杂，且近年来预应力施工技术发展快，需要有一本施工技术标准来规范我国城市桥梁预应力施工作业，提高预应力施工质量，推动预应力技术的发展。

1.0.3 城市桥梁预应力施工的环节多，影响工程质量的因素多，所以采用的标准就会很多。既有国家标准又有行业标准，本标准难以一一详列。本标准有规定的应遵照本标准执行；本标准无规定的应按照现行国家、行业有关标准的规定执行。

2 术语和符号

本章给出本标准有关章节引用的 17 个术语。

在编写本章术语时，参考了现行国家标准《工程结构设计基本术语标准》GB/T 50083、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《预应力筋锚具、夹具和连接器》GB/T 14370，以及现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 等标准中的相关术语。

本标准的术语是从城市桥梁预应力施工的角度赋予其涵义的，不一定是其理论涵义，可能与其他标准中的解释也不尽一致。列出术语及其解释的主要目的是为了在工程中统一其内容、界定其范围，避免产生理解上的不同甚至歧义。同时，还给出了相应的推荐性英文术语，英文术语不一定是国际通用的标准术语，仅供参考。

3 基本规定

3.0.1 根据住房和城乡建设部《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》(建办质〔2018〕31号)的要求和多项现行国家标准的规定,编制、审查并认真实施施工方案是施工单位控制预应力分项工程质量和安全的基本措施之一。因此本标准将是否按照相关规定编制施工方案列为验收的一般规定。

3.0.3 安全防护措施包括三个方面的内容:作业人员的人身安全、操作设备的安全和结构物的安全。为保证施工作业安全地进行,就需要采取必要的安全防护措施。

3.0.5 预应力分项工程的质量对结构的安全起着举足轻重的作用。专业化作业队伍长期承担预应力施工,具有丰富的施工实践经验,是保证预应力工程质量的首要条件。作业队伍人员实行实名制管理,有利于掌握作业人员的技能水平,能有针对性地加强作业人员的培训,切实提高他们的技能水平,确保工程质量。由于预应力工程技术要求高,应对作业人员进行培训,使尽快地、更准确地掌握施工技术标准,避免因对施工技术标准存在理解上的片面性导致操作上的随意性而影响工程质量。

3.0.8 信息化已在预应力张拉和压浆两个关键工序中得到了普遍应用,主要是在施工过程中能自动采集相关数据和参数,对有效地控制预应力施工质量具有良好效果,值得推广应用。故规定了本条文。

4 预应力材料

4.1 有粘结预应力筋

4.1.2 预应力筋进场时，每一合同批应附有质量证明书，质量证明书应注明供方名称、产品名称、标记、规格、强度级别、批号、执行标准、重量及件数、需方名称、试验结果、发货日期、质量检验部门印记。

4.1.3~4.1.5 这 3 条是根据相关产品标准和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 制定的。

1 预应力筋的进场验收分为产品规格与数量验收、外观检查及抽样检验三部分内容。前二项为施工单位自检项目。抽样检验则由施工单位取样员取样经监理单位见证员见证后送交具有检测试验资质的单位进行材质检验。

2 我国国务院在 1984 年 2 月 27 日发布的《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》中明确规定基本物理量中只有质量，没有重量，并且慎重地注明：“人民生活 and 贸易中，质量习惯称为重量。”故用“每批质量”来表述。每批钢丝是由同一牌号、同一规格、同一加工状态的钢丝组成。每批钢绞线是由同一牌号、同一规格、同一生产工艺捻制的钢绞线组成。每批螺旋纹钢筋是由同一炉号、同一规格、同一交货状态的钢筋组成。

4.2 无粘预应力筋

4.2.1 目前我国城市桥梁工程常用的无粘结预应力筋为无粘结预应力钢绞线。因此对其进行了规定。

4.2.2 无粘结预应力钢绞线所使用的钢绞线除了常用的符合《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 规定的钢绞线，还有符合《高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线》YB/T 152 规定的镀锌钢绞线，符合《单丝涂覆环氧涂层预应力钢绞线》GB/T 25823 规定的环氧涂层钢绞线，故规定为“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 或其他类型钢绞线现行国家和行业相关标准的规定。”

4.2.5 本条是根据现行行业标准《无粘结预应力钢绞线》JG/T 161 相关条款制定的。规定了无粘结预应力钢绞线的外观质量要求。

4.3 锚具、夹具和连接器

4.3.1 与预应力筋用锚具相关的国家现行标准有《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 和《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85。前者系产品标准，主要是生产厂家生产、质量检验的依据；后者是锚具、夹具和连接器的产品工程应用的依据，包括设计选用、进场检验、工程施工等内容。

4.3.3 本条是根据现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 相关条款制定的。锚具、夹具和连接器进场时，每一合同批应附有产品合格证、产品说明书和装箱单。需对产品合格证进行检验。产品合格证应注明产品型号和规格，适用的预应力筋品种、规格、强度等级，产品批号，出厂日期，有签字盖章的质量合格文件，厂名、厂址。

1 锚具、夹具和连接器出厂时，生产厂已按现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 的规定进行了组批并进行了出厂检验，进场的产品是在生产厂家出厂检验合格的基础上进行的验证性复验，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，将锚具的检验批规定为不超过 2000 套。将夹具、连接器的检验批统一规定为不超过 500 套。

4 本规范要求“对硬度有要求的锚具零件，应进行硬度检验”，这类零件诸如夹片式锚具的锚板、夹片，支承式镦头锚具的锚杯和锚板等。生产厂家应在产品合格证（或产品技术手册）上注明零件的设计硬度范围，一般工作锚板硬度为 20HRC~32HRC，工作夹片硬度为 79.5HRA~84HRA。测定位置及硬度范围作为复验的依据，如无明确规定时，夹片宜在背面或大头端面，锚板宜在锥孔小头端面。每个零件测试 3 点，取后 2 点的平均值作为该零件的硬度值。对多孔夹片式锚具的夹片，因是在同一生产工艺下调质的产品，一般情况下其硬度的变化幅度不会太大。当有工程应用经验，认为质量有保证的产品，每套锚具多于 6 片夹片时，抽取 6 片即可。

4.3.4 本条系参考国家现行标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85 相关条款制定的。静载锚固性能试验工作，费工、费时、经费开支较大，也是进场验收最后把关的工作。购货量大的工程进行此项工作是必要的，购货量小的工程可能会造成试验费用负担过重，鉴于目前国内锚具、夹具和连接器的加工工艺非常成熟，产品的质量水平已经比以往明显提高，其质量稳定，因此，对锚具、夹具和连接器用量不足检验批规定数量 25%的，可由生产厂提供有效的锚具静载锚固性能试验合格的证明文件，作为进场验收的依据。这样不仅可以节约大量的检测成本，同时鼓励和促进企业生产并提供质量有保证的产品，对工程质量提高和社会成本的降低均有积极的意义。“有效的锚具静载锚

固性能试验合格的证明文件”是指试验时间不超过 1 年，且由具有相应资质的检测单位提供的试验报告（或正本复印件）。

4.3.5 本条系参考国家现行标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 和《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 相关条款制定的。锚具应具备多次张拉及卸载的工艺性能，保证锚具能满足预应力筋分级张拉分级锚固、卸载重张拉等工程实际需要。单根张拉工艺性能，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可重复使用次数的要求。张拉端锚具处的预应力筋由孔道伸入喇叭口时将有一个转角，安装锚具后再次出现一个转角，因而张拉时在转角处均会产生摩擦损失；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而引起张拉应力的损失，上述损失统称为锚口摩阻损失。锚口摩阻损失集中在锚口，降低了预应力混凝土结构或构件的有效预应力，所以应设法降低该值，且应计入设计计算中。锚口摩阻损失的大小应由生产厂通过产品体系试验获得并明示，如果实际测试所得的锚口摩阻损失率大于 6%，则应由设计人员对设计结果进行验算确认或调整张拉控制应力。

4.3.7 本条是根据现行行业标准《公路桥梁预应力钢绞线用锚具、夹具和连接器》JT/T 329 相关条款制定的。规定了用于锚固直径为 15.20mm 钢绞线的锚具的锚板最小直径和最小厚度要求。目前我国大跨度城市桥梁使用锚具的孔数超过了 19 孔，故本标准对于锚具的最小直径和最小厚度的规定扩大到 25 孔，已基本满足城市桥梁的需要。

4.3.8 限位板放置在千斤顶与锚具之间，其作用是在钢绞线张拉时锚具的夹片可放松，在锚固时夹片可有效地跟进并锚紧。限位板的限位高度越小，夹片逆向刻划预应力筋而引起张拉应力的预应力损失越大；限位板的限位高度越大，预应力筋的内缩量越大，从而引起的预应力损失越大；进而降低了预应力混凝土结构或构件的有效预应力。故在限位板使用之前应测量钢绞线直径，并选用对应的限位高度的限位板。限位板的限位高度可查阅供应商提供的产品技术手册中限位板的限位高度与钢绞线直径对照参数表。不同生产厂的产品其设计参数是有区别的，特别是夹片式锚具，因此应配套使用。

4.3.10 本条对锚垫板的性能提出了要求，锚垫板喇叭口段的转角大时，预应力筋的转角也大，张拉过程中将发生较大的预应力摩擦损失，所以控制锚垫板喇叭口处钢绞线的转角限值 $\theta \leq 4^\circ$ ，应注意该角度并不等于喇叭口的锥角的一半。并强调了锚垫板上有对中止口，主要是易于保证锚具与锚垫板对中，有利于张拉及锚具和预应力筋的受力。

4.3.11 本条是根据现行行业标准《公路桥梁预应力钢绞线用锚具、夹具和连接器》JT/T 329 相关条款制定的。规定了用于锚固直径 15.20mm 钢绞线锚具的锚垫板最小结构尺寸和最小质量

要求。

4.3.12 本条是根据现行行业标准《公路桥梁预应力钢绞线用锚具、夹具和连接器》JT/T 329 相关条款制定的。规定了用于锚固直径 15.20mm 钢绞线锚具的锚下螺旋筋尺寸及螺旋筋直径、螺距允许偏差的技术要求。

4.3.13 预应力筋用锚具、锚垫板和螺旋筋等产品，是通过锚固区荷载传递试验得到的能够保证其工作性能和安全性的匹配性组合，并能在工程应用中保证锚固区的性能，因此应配套使用。规定在同一结构或构件中应采用同一生产厂的产品，主要是为了保证受力一致以及在工程产生质量问题后产品的可追溯性。由于工作锚和工具锚的设计性能不同，工作锚的重复使用会导致其锚固效率降低，形成工程隐患，故规定工作锚不得作为工具锚使用。

4.4 预应力管道

4.4.1 本条借鉴了现行行业标准《铁路混凝土工程施工技术指南》（铁建设[2010]241号）7.3.1 条的规定，并结合我国城市桥梁工程实践稍有改动。当施工图设计无孔道成孔方式规定时，在条件允许时应首先采用塑料波纹管成孔，其次采用金属波纹管成孔，后采用钢管成孔。主要是基于塑料波纹管具有摩阻力小、密封性能好、耐腐蚀、弯曲韧性好等优点，以及提高管道及预应力筋的防锈蚀性能来考虑的。

4.4.2 本条规定了管道材料及其性能。与塑料波纹管相关的现行行业标准为《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》JT/T 529。与金属波纹管相关的现行行业标准为《预应力混凝土用金属波纹管》JG 225。为防止管道在安置和浇筑混凝土的过程中变形和挠曲；以及防止由于特殊的环境造成管道损坏。故规定平滑钢管的壁厚不应小于其内径的 1/50，且不宜小于 2 mm。

4.5 压浆材料

4.5.1 本条参照现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 和《铁路后张法预应力混凝土梁管道压浆技术条件》TB/T 3192 的相关条款制定的。孔道压浆所用原材料的普通硅酸盐水泥、硅酸盐水泥配制的水泥浆泌水率较小，是很好的压浆材料。通过试验可适当掺入优质硅灰、粉煤灰和矿渣，都有利于减少水泥浆体泌水和离析，提高了水泥浆体的工作性和密实性。水泥浆中掺入外加剂可改善其稠度、泌水率、膨胀率、初凝时间、强度等特性，但预应力筋在高应力状态下对腐蚀较为敏感，故水泥和外加剂中均不能含有对预应力筋有害的化学成分，特别是氯离子的含量应严格控制。实际上，本条对后张孔道压浆所用原材料品质的要求与高性能

混凝土所用原材料的品质要求是一致的。

4.5.2 本条参照现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 和《铁路后张法预应力混凝土梁管道压浆技术条件》TB/T 3192 的相关条款制定的。孔道压浆一般采用素水泥浆。专用压浆料、专用压浆剂配置的压浆料和普通压浆料三种压浆材料供选择使用。专用孔道压浆料是指由水泥、高性能减水剂、膨胀剂和矿物掺合料等多种材料干拌而成的混合料，在施工现场按一定比例加水并搅拌均匀后，用于充填后张预应力孔道的压浆材料；专用孔道压浆剂是指由高性能减水剂、膨胀剂和矿物掺合料等多种材料干拌而成的混合剂，在施工现场按一定比例与水泥、水混合并搅拌均匀后，用于充填后张预应力孔道的压浆材料。所谓专用，是指专门用于后张预应力孔道的压浆，且均应由工厂化制造生产。专用压浆料和专用压浆剂进场时，应对其产品合格证和出厂检验报告等进行检验。

4.5.3 氯离子对预应力筋有极强的腐蚀破坏作用。由于在恶劣环境条件下后张预应力结构孔道压浆及锚具封锚的质量和耐久性要求高，在参考国家现行标准《建筑工程预应力施工规程》CECS 180: 2005、《混凝土结构耐久性设计与施工指南》CCES 01—2004（2005 年修订版）和现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的基础上，本条对用于后张预应力孔道压浆的压浆料（压浆剂）压浆材料的氯离子含量作了详细规定。

4.6 材料保护

4.6.4 本条是根据现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 相关条款制定的。主要对锚具、夹具和连接器的运输和贮存进行了详细规定。

4.6.5 本条系参考国家现行标准《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》JT/T 529 和《建筑工程预应力施工规程》CECS 180 的相关条款制定的。金属波纹管在现场容易因潮湿环境发生锈蚀，所以应妥善保管，防止锈蚀，防止油污、泥土等污染。此外，油污和泥土会影响波纹管与混凝土之间的黏结力，变形的管道影响预应力筋的穿束和张拉时的摩擦阻力，所以应予以避免。塑料波纹管在高温下的刚度急剧退化，故应避免高温环境。

4.6.6 本条是参考现行行业标准《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》JT/T 529 和《预应力混凝土用金属波纹管》JG 225 的相关条款制定的。主要规定了波纹管搬运和吊装的技术要求。

5 预应力筋制作与安装

5.1 预应力筋制作

5.1.1 本条系参考国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的相关规定，并稍有改动。计算下料长度时，一般需考虑预应力筋在结构的孔道长度或台座长度、锚夹具厚度、张拉千斤顶长度、预应力筋外露锚夹具的长度、锚头的预留量、冷拉伸长值、弹性回缩值、张拉伸长值等因素。对于需要进行孔道摩擦系数测试的预应力筋，尚需考虑压力传感器等的长度。

5.1.2 本条是根据现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 有关条款制定的。当钢丝束两端均采用锚头锚具时，为了使钢丝束中每根预应力钢丝的长度尽量相等，张拉时应力均匀。需采用等应力等长度下料的方法。下料时的应力值一般可采用 300MPa (N/mm^2)，例如直径 5mm 的预应力钢丝 ($A_y=19.63\text{mm}^2$)，就需要在 6kN ($300 \times 19.63 \approx 6\text{kN}$) 的拉力下量出需要的长度，然后放松、切断。等应力等长度下料一般可用细钢筋冷拉设备，一次完成开盘、调直及应力下料工作。当在夏季下料时，尚需考虑温度变化的影响，不同时间、不同温度下料的钢丝，应分别堆放和编束。

5.1.3 预应力筋属于高碳钢，局部受高温焊渣或火焰切割的铁水后急冷会使预应力筋变脆，且预应力筋截面也可能受到了损伤。极易造成张拉时脆断，故应避免。

5.1.4 本条是参考了文献《长春大街一惠工路高架桥 P 型锚具施工质量控制》(张洪军, 2003) 的研究成果。主要是以防止钢丝墩头头形偏斜或挤压套挤压时头部倾斜。钢绞线切断前，可在距切割口两侧各 5cm 处用铅丝绑牢，以防钢绞线头松散。

5.1.5 本条是根据现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 有关条款制定的。无粘结预应力筋塑料护套破损，会影响预应力筋的全长封闭性，同时一定程度上也会影响张拉阶段的摩擦损失，故需保护其塑料护套。试验资料表明，无粘结预应力筋塑料护套出现局部轻微破损，经过修补后，其张拉伸长值与完好的无粘结预应力筋张拉伸长值相同。因此，塑料护套出现局部轻微破损的无粘结预应力筋，允许修补后使用。对于塑料护套轻微破损处，可采用外包防水聚乙烯胶带进行修补，每圈缠绕胶带的搭接宽度应大于胶带宽度的 $1/2$ ，缠绕层数不少于 2 层，而且缠绕长度超过破损长度 30mm 。

5.1.6 本条参考了现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666、文献《长春大街一惠工路高架桥 P 型锚具施工质量控制》(张洪军, 2003) 和 OVM 挤压锚具产品说明书，规定了挤压

锚具制作的质量要求。

1 主要因挤压弹簧脆性大，装运过程中可能发生折断，所以挤压前应检查挤压弹簧尺寸，若发现长度偏短，则不能使用。

2 挤压锚具的性能受到挤压机的挤压模具技术参数影响，不同厂家生产的挤压锚具尺寸有微小差异，如果不配套使用，尽管其挤压油压及制作后的尺寸参数符合要求，也会出现性能不满足要求的情况；挤压锚具挤压时，挤压套筒外表面可涂油脂或喷涂二硫化钼润滑剂。

3 通常的摩擦衬套有异形挤压弹簧和内外带螺纹的管状衬套两种，不论采用何种摩擦衬套，挤压时均需保证套筒握裹预应力筋区段内摩擦衬套均匀分布，以保证可靠的锚固性能。挤压时的压力表最大数值是反映挤压锚与钢绞线连接质量的间接指标，当低于最低挤压的压力值时，挤压锚有可能在受力状态下从钢绞线上滑脱，产生预应力失效质量事故，而一旦出现滑脱质量事故，很难采取补救措施。目前我国城市桥梁常用的预应力钢绞线公称直径为 15.20mm，强度级别为 1860 MPa，截面面积 140mm^2 。我国现行国家标准《混凝土结构设计规范》4.2.3 条规定，“常用的预应力钢绞线抗拉强度设计值为 1320MPa”。当不考虑挤压锚端钢绞线与混凝土的粘结力和预应力钢绞线与孔道壁的摩擦时，挤压锚的拉力值为 $P=1320 \times 140 / 1000 = 184.8(\text{kN})$ 。将其代入参考文献《长春大街—惠工路高架桥 P 型锚具施工质量控制》的回归方程： $y = -1.9197 + 6.8276x$ 中，求出挤压时压力表读数 $x \approx 28\text{MPa}$ 。挤压机的额定油压为 56MPa，为了安全起见，取额定油压的 80%，即 $56 \times 80\% \approx 45\text{MPa}$ 。故当采用额定油压 56MPa 的 GYJ-45 型挤压机时，挤压操作的压力表最大值宜为 28MPa~45MPa 之间。额定油压 50MPa 的 GYJ-50 型挤压机活塞面积为 $10.03 \times 10^{-3}\text{m}^2$ ，而额定油压 56MPa 的 GYJ-45 型挤压机的挤压机活塞面积 $7.85 \times 10^{-3}\text{m}^2$ 。挤压时压力表读数为 $28 \times 7.85 \times 10^{-3} / 10.06 \times 10^{-3} \approx 22\text{MPa}$ ；为了安全起见，取额定油压的 80%，即 $50 \times 80\% \approx 40\text{MPa}$ 。故当采用额定油压 50MPa 的 GYJ-50 型挤压机时，挤压操作的压力表最大值宜为 22MPa~40MPa 之间。

4 本款规定了挤压弹簧固定在挤压套筒内的长度和预应力筋外端露出挤压套筒的长度。这是因为挤压锚具与钢绞线锚固完全依靠挤压弹簧将力从钢绞线传递到挤压套筒，如果挤压弹簧实际工作长度与设计工作长度之间的差值过大；或如果钢绞线外端露出挤压套筒的长度不足，则将无法保障应力传递而会导致钢绞线与挤压锚具握裹力不足，会造成挤压套筒滑脱的质量事故。

5 对成型的挤压锚具抽取试件做握裹力试验，其目的是检验挤压锚具挤压的可靠性。

5.1.7 钢绞线压花锚具是依靠梨形头及直线段裸露的钢绞线与混凝土的粘结作用而锚固。其锚固性能主要取决于梨形头尺寸和直线段长度。梨形头尺寸和直线段长度应符合设计要求，设计

未规定时，一般情况下对直径为 15.2mm 和 12.7mm 的钢绞线，梨形头的长度分别不小于 150mm 和 130mm，梨形头的最大直径分别不小于 95mm 和 80mm，梨形头前的直线锚固段长度得大于产品技术手册参数要求的最小值。一般情况下对直径为 15.2mm 和 12.7mm 的钢绞线，梨形头的直线锚固段长度分别不小于 900mm 和 700mm。但也得要求钢绞线的表面应保持清洁，不能有污物，更不能有油脂，否则也将会影响其锚固性能。

5.1.8 钢丝束采用镦头锚具时，锚具的效率系数主要取决于镦头的强度，而镦头强度与采用的工艺及钢丝的直径有关。液压冷镦时由于冷作硬化，镦头的强度提高，但脆性增加，且容易出现裂纹，影响强度发挥，因此需事先确认钢丝的可镦性，以确保镦头质量。

5.1.9 本条参考了现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 和《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的相关条款制定的。同一束的不同厂家、规格、品种、批号的预应力筋，其限位板的规格尺寸会略有差异，这种差异对预应力钢束传力锚固的影响比较大；同一束的同一厂家、规格、品种、不同批号的预应力筋，实测弹性模量可能有一定差异，用在同一束内可能会引起单根钢绞线的应力差异。故需作此规定。

5.2 预应力管道安装

5.2.1 本条系参考国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的相关条款制定的。规定了后张预应力孔道布置及预留孔道的内径要求。

1 对于后张法预应力混凝土构件，预应力孔道的水平净距，既需要保证混凝土中最大骨料在浇筑混凝土时能顺利通过，同时也要考虑曲线孔道张拉预应力筋时，出现的局部挤压应力不致造成孔道间混凝土的剪切破坏，预留孔道间不致串孔（预埋钢管除外）等。故规定了“后张法预应力混凝土构件的孔道之间净间距不宜小于 50mm，且不宜小于孔道内径的 0.6 倍”。吉林省、黑龙江省等城市桥梁工程所处 IV 类（除冰盐等其他氯化物环境）环境，根据现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 第 9.1.1 条规定“最外侧钢筋的混凝土保护层厚应不小于 30mm”。第 9.3.7 条规定“T 形、I 形截面梁或箱形截面梁的腹板两侧，应设置直径为 6~8mm 的纵向钢筋”，城市桥梁工程实践统计表明，一般采用 8mm。第 9.4.1 条规定“预应力混凝土 T 形、I 形截面梁和箱形截面梁腹板内应分别设置直径不小于 10mm 和 12mm 的箍筋，且应采用带肋钢筋”。预应力混凝土 T 形、I 形截面梁腹板内箍筋内边缘距构件边缘不小于 48mm，预应力混凝土箱形截面梁腹板内箍筋内边缘距构件边缘不小于 50mm。因预应力孔道

在箍筋内侧，故规定了“孔道外壁至构件边缘的净间距不应小于 50mm”。

3 预应力筋需接长时，应保证连接器在张拉方向上有足够的移动空间。故规定了“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”。管道内横截面积的大小与穿束的难易程度、预应力损失值以及是否能正常压浆作业有关。既不能过小亦不应过大，过小则穿预应力束与孔道压浆均较困难，当孔道的预应力筋填充量超过 50%，也就是孔道的截面积小于穿入预应力束截面积的 2 倍，这时对于钢丝和钢绞线来说，预应力筋与孔道壁之间的摩擦系数（ μ ）值迅速增大，预应力损失将增大，跨中有效预应力将减小，影响结构安全。过大则会削弱结构或构件的正常断面，压浆时也将产生更多的气泡。因此应采用适宜的内横截面积，故规定了“孔道的截面积宜为穿入预应力束截面积的 3 倍~4 倍”。

5.2.2 本条系参考国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的相关条款制定的。

1 一般设计图纸中所给出的预应力钢束形为预应力筋中心的位置，确定支托钢筋位置时尚需考虑管道或无粘结应力筋束的半径。当浇筑混凝土时，预留孔道定位不牢固可能会发生管道上浮、移位，影响建立预应力的效果。为确保孔道成型质量，管道安装后应采用火烧丝（捆绑丝）与钢筋支托绑扎牢靠，必要时点焊压筋等措施。

2 管道定位钢筋支托的间距与预应力筋重量和管道自身刚度有关。一般曲线预应力筋的关键点（如最高点、最低点和反弯点等位置）需要有定位的支托钢筋，其余位置的定位钢筋可按等间距布置。

6 预留孔道的位置，也就是预应力筋的位置，如果孔道位置不正确，就使预应力筋位置偏移，张拉后直接影响建立预应力的效果，并影响截面的承载力和抗裂性能，影响构件质量，在预制节段构件中，如果各个节段的孔道位置不对，拼装后的孔道就不能成一直线，不仅穿预应力筋困难，而且会产生较大的摩阻力，影响张拉力的准确。严重者预应力筋无法穿入，造成节段报废。本款按梁长方向、梁高方向、梁宽方向设定了管道坐标的允许偏差；按照同排、上下层管道设定了管道间距的允许偏差。施工时应严格加以控制。

5.2.3 圆截面波纹管的连接采用大一规格同波型的管道连接，其工艺成熟，现场操作方便，但保证两端旋入长度尽量一致。波纹管宜采用同一厂家生产的产品，以便与接头管波纹匹配。扁形波纹管无法采用旋入连接工艺，通常也可采用更大规格的扁管套接工艺。不论采用何种连接方式，管道的接头处理不当，很容易造成漏浆，因此连接管应具有一定长度，并应有足够的密封性能防止水泥浆渗入。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。也可采用热熔焊接工艺或专用连接套管均能保证质量。锚垫板尾部与波纹管的连接处容易出现脱开、

漏浆等问题，所以应特别重视，采用可靠的连接和封闭措施，防止混凝土浇筑时波纹管出现移位或滑脱。

5.2.4 采用普通压浆工艺时，从一端压入的水泥浆往前流动，并同时孔道内的空气从另一端排出。当预应力孔道呈起伏状时，易出现水泥浆流过但空气未被往前挤压而滞留于管道内的情况；曲线孔道中的浆体由于重力下沉、水分上浮会出现泌水现象；当空气滞留于管道内时，将出现压浆缺陷，还可能被泌出的水充满，不利于预应力筋的防腐，波峰与波谷高差越大这种现象越严重。所以，本条规定曲线孔道波峰部位设置排气管兼泌水管，该管不仅可排除空气，还可以将泌水集中排除在孔道外。其作法是可在波纹管上开口，覆盖海绵垫和带嘴的塑料弧形压板并与波纹管扎牢，再接增强塑料管，且伸出梁顶面高度不宜小于 300mm；其孔径应能保证浆液畅通，一般不宜小于 20mm。为保证留孔质量，波纹管也可先不开孔，在外接管内插一根钢筋；待孔道压浆前，再用钢筋打穿波纹管。

5.2.5 对于表面生锈的预应力筋，孔道摩擦引起的预应力损失比较大，英国学者 C. B. WILBY 的研究表明，预应力筋与孔道壁之间的摩擦系数 μ 值可能至少是干净的预应力筋的 1.5 倍，影响了有效预应力。如果有效地给生锈的预应力筋涂上减摩材料，可有效降低孔道摩擦阻力，对 μ 值可以乘一个 0.6 的减小系数。这样有利于提高有效预应力。通常的后张有粘结预应力孔道减摩材料可选用石墨粉、复合钙基脂加石墨、工业凡士林加石墨等。减摩材料会降低预应力筋与孔道压浆料的粘结力，压浆前应清除。

5.3 预应力筋安装

5.3.1 当预应力钢束编束时，梳理顺直，可防止预应力筋在穿束、张拉时由于互相缠绕紊乱而导致的受力不均匀现象；当受力不均匀时，将使有的预应力筋达不到张拉控制应力，而有的则可能被拉断。故需作此规定。

5.3.2 预应力筋的品种、级别、规格、数量由设计单位根据国家现行相关标准选择，并经结构设计计算确定，任何一项参数的变化都会直接影响预应力混凝土的结构的承载能力、抗裂性能、挠度以及锚固区承载能力等，因此必须符合设计要求。故本条必须严格执行。

5.3.3 以保证预应力筋在混凝土中可靠地锚固，防止预应力筋与混凝土间粘结力不足而使预应力筋滑动，丧失预应力。故作此规定。

5.3.5 预应力筋的穿束工艺可分为先穿束和后穿束，其中在混凝土浇筑前将预应力筋穿入管道内的工艺方法称为“先穿束”，而待混凝土浇筑完毕再将预应力筋穿入孔道的工艺方法称为“后

穿束”。一般情况下，先穿束会占用工期，而且预应力筋穿入孔道后至张拉并压浆的时间间隔较长，在环境湿度较大的南方地区、雨季或是蒸汽养护的后张法预应力构件容易造成预应力筋的锈蚀，从而影响孔道摩擦，甚至影响预应力筋的力学性能；而后穿束时，预应力筋穿入孔道后至张拉压浆的时间间隔较短，可有效防止预应力筋锈蚀，同时不占用结构施工工期，有利于加快施工速度，是较好的工艺方法。但对一端为埋入端，另一端为张拉端的预应力筋，只能采用先穿束工艺。而两端张拉的预应力筋，最好采用后穿束工艺。后穿束工艺时，为防止混凝土浇筑过程中波纹管漏浆堵孔，孔道内应预先穿入其外径较管道内径小 7mm~10mm 的硬塑料管，并在混凝土初凝前窜动。本条规定主要考虑预应力筋在施工阶段的防锈，有关时间限制是根据国内外相关标准及我国工程实践经验提出的。

5.3.6 预应力筋、管道、排气管等安装后，后续仍有大量的工序在同一工位或其周边进行，特别是浇筑混凝土的振动器振捣，如果不采取合理的措施进行保护，很容易造成已安装的预应力筋管道的破损、移位、损伤以及预应力筋污染等问题，影响工程质量。例如，外露预应力筋需采取保护措施，否则容易受混凝土污染等。

5.4 锚具、连接器和锚垫板安装

5.4.1~5.4.3 这 3 条是根据《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 相关条款，并结合我国工程实践经验提出的锚具安装工艺及质量控制规定，主要是保证锚具及连接器能够正常工作，不致因安装质量问题出现锚具及预应力筋的非正常受力状态。例如锚具的承压面与预应力筋不垂直时，会导致锚具和预应力筋受力异常，容易造成预应力筋滑脱或提前断裂。安装的锚具也要及时张拉，否则受混凝土养生水等的影响夹片锈蚀，导致预应力锚口损失增大，影响有效预应力。

5.4.4 后张法使用连接器，不论单根或多根型式的连接器，都应放置密封罩筒，以切实保证张拉预应力筋时不会出现事故（如滑丝等）。如先张法使用连接器，则多为单根型式的连接器，张拉事故可能危及人身安全。所以，对任何连接器都要求具有良好的质量，施工工人都应经过培训，安装操作应认真，严格执行每一项操作规定。

5.4.5 利用螺母锚固的锚具，一般都是张拉至规定拉力时，在带负荷状态下拧紧螺母。所以要求在安装锚具之前逐个检查螺纹的配合情况，保证在张拉锚固时螺母能顺利拧紧。

6 施加预应力

6.1 一般规定

6.1.1 本条系参考国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的相关条款制定的，规定了预应力张拉设备、压力表、压力传感器和位移传感器的选用原则。

1 先张法由于预应力筋松紧程度不一定一致，一般初始长度相差较大，为了防止预应力筋受力不均匀，整束张拉时可以先单根预调初应力。

2 一般情况下，同一束后张法预应力筋应采取整束张拉，使各根预应力筋建立的应力均匀。只有在能够确保预应力筋张拉没有叠压影响时，才允许采用逐根张拉工艺，如平行排放的直线束、只有平面内弯曲的扁锚束以及弯曲角度较小的平行编排的短束等。

6.1.2 本条系参考国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的相关条款制定的，规定了预应力张拉设备与压力表的检验和标定要求。

1 张拉设备（千斤顶、油泵及压力表等）应配套标定，以确定压力表读数与千斤顶输出力之间的关系曲线。这种关系曲线对应于特定的一套张拉设备，故配套标定后应配套使用。

2 千斤顶的活塞运行方向不同，其内摩擦也有差异，所以规定千斤顶活塞运行方向应与实际张拉工作状态一致。考虑到目前实际工程中预应力张拉的次数较以往增加较多，故规定了千斤顶使用 300 次后应进行重新标定，与现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的规定一致。

6.1.3 设计方所给张拉控制力是指千斤顶张拉预应力筋的张拉力值。由于施工现场的情况往往比较复杂，而且可能存在设计未考虑的额外影响因素，可能需要对张拉控制力进行适当调整，以建立设计要求的有效预应力。在实际施工时，为了部分抵消由于应力松弛、摩擦、分批张拉、预应力筋与张拉台座之间的温差等因素产生的预应力损失，而需要进行超张拉的预应力筋，或为了提高构件在施工阶段的抗裂性能而在使用阶段受压区内设置的预应力筋；从充分利用高强度的预应力筋，可以适当提高张拉应力，但为了避免产生过大的松弛损失，同时也防止施工阶段预应力筋断裂，在任何情况下，预应力筋的最大控制应力，对预应力钢丝和钢绞线不应超过

$0.80f_{ptk}$ ；对预应力螺纹钢筋不应超过 $0.90f_{pyk}$ 。

6.1.4 预应力筋张拉时，由于不可避免地受到各种因素的影响，包括千斤顶等设备的标定误差导致的千斤顶的拉力偏差、张拉操作的控制偏差、孔道摩擦力变化、预应力筋实际截面积或弹性模量的偏差等，会使得预应力筋的有效预应力与设计值产生差异，从而出现预应力筋实测张拉伸长值与计算伸长值之间的偏差。张拉预应力筋的目的是建立设计要求的有效预应力，而伸长值校核是为了判断张拉质量是否达到设计规定的要求。如果各项参数都与设计相符，一般情况下张拉伸长值的偏差在±5%范围内是合理的，美国和日本规范的容许误差就是±5%的规定。但考虑到实际工程的测量精度及预应力筋材料参数的偏差等因素，适当放松了对伸长值偏差的限值，将其最大偏差放宽到±6%，这也是基于工程实践提出的，对保证张拉质量是有效的。但对某些特殊部位（如索塔的拉索锚固区）且曲率半径较小的预应力束，工程实践表明其预应力筋的实际伸长值与计算伸长值的相对偏差不能满足±6%的规定，故规定此类预应力筋宜通过试验确定其实际控制伸长值。

6.1.5 条文中式(6.1.5-1)及(6.1.5-2)为预应力筋张拉理论伸长值的精确计算公式，公式中考虑了孔道局部偏差的摩阻影响和曲线孔道的摩阻影响。当预应力筋为直线且无摩阻影响时， $P_e=P$ ， L 为预应力筋长度，得公式 $\Delta L_L=PL/(A_p E_p)$ ；对由多曲线组成的曲线预应力筋，或由直线与曲线组成的预应力筋，其伸长值宜分段计算，然后叠加。预应力筋理论伸长值的计算应采用实测预应力筋弹性模量、预应力筋与孔道壁的摩擦系数。

6.1.6 最初张拉时各根预应力筋的松紧、弯直程度不一定一致，所以初应力时的伸长值不宜采用量测方法，而宜采用推算的方法。推算时，可采用相邻级的伸长值，例如初应力为 $10\% \sigma_{con}$ 时，其伸长值可采用由10%张拉到20%的伸长值。预应力筋张拉时，一般先张拉到初应力后再正式分级张拉和量测预应力筋伸长值，而量测的伸长值并未包括从零张拉到初应力时的伸长值，因此，在确定实际伸长值时，除量测的伸长值外，还应计入初应力时的伸长值，以便与理论伸长值相对应。对初应力的确定，条文给出了一个10%~25%的范围，但在实际的张拉操作中，应根据工程实际情况进行取舍。

6.2 预应力筋张拉

6.2.1 工程实践表明，当预应力构件所处环境温度低于 -15°C 时，张拉预应力筋容易出现预应力筋脆性断裂情况，故规定此条。

6.2.2 过早地对混凝土施加预应力，会造成过大的徐变变形，使预应力筋的预应力下降。因此有必要控制张拉时混凝土的龄期和弹性模量。另一方面，先张法预应力筋一般是靠粘结力来锚

固的，过低的混凝土强度相应的粘结强度也较低，造成预应力筋的传递长度增加，也会出现局部裂缝。而后张法构件可能因局部受压应力过大而引起混凝土损伤，甚至导致开裂。因此规定了张拉或放张时的混凝土最低强度值。混凝土龄期不应小于 5d，这是因为预加应力时，混凝土加载龄期愈短，徐变系数越大，混凝土收缩应变越大，混凝土收缩和徐变引起预应力筋的预应力损失越大。收缩和徐变在 7d 内发展速度较快，以后逐渐减慢；但考虑到目前国内工程建设对工期的要求，7d 的受力龄期往往很难保证，所以提出了不应小于 5d 的受力龄期要求。当张拉预应力筋是为防止混凝土早期出现的收缩裂缝时，可不受有关混凝土强度限值、弹性模量及龄期的限制，但应符合局部受压承载力的规定。本条对预应力筋张拉或放张时混凝土强度及弹性模量与现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的规定一致。若设计对此有明确要求，则应按设计要求执行。

6.2.3 预应力筋张拉应严格按照设计提供的张拉顺序进行，设计未提供时，应根据结构受力特点，能获得准确的张拉力，构件不致出现裂纹或翘曲，尽量减少预应力筋与孔道间的摩擦损失，并须保证安全作业。预应力筋张拉时要考虑以下原则：

1 受弯构件在受拉区和受压区均配有预应力筋时，为防止张拉过程中混凝土产生过大的拉应力，导致混凝土发生裂缝，应分区进行张拉，先张拉受压区的，再张拉受拉区的。

2 预应力筋张拉时应避免构件截面偏心受压过大。先张拉靠近截面形心轴部位的钢束；再张拉距截面形心轴较远部位的钢束。

3 预应力筋张拉时应避免构件扭转与侧弯，对称张拉是一个重要原则。对张拉比较敏感的预应力混凝土构件，如 T 形、I 形截面梁，若不能对称张拉，也应尽量做到逐步渐进的施加预应力。其具体做法为：当构件截面平行配置两束预应力筋不能同时张拉时，其张拉力相差不应大于设计值的 50%，即先将第一束张拉 0~50%的张拉力，再将第二束张拉 0~100%的张拉力，最后将第一束张拉 50%~100%的张拉力。

6.2.4 本条参考了现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 和《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的相关规定，并稍有改动。由于《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224-2003 标准修订时取消了 I 级松弛钢绞线；《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223-2014 标准修订时也取消了普遍松弛品种的预应力钢丝；故取消了预应力钢丝、预应力钢绞线的普通松弛预应力筋张拉程序。以及我国多年工程实践表明，后张法预应力钢丝已很少在工程中采用，是属于淘汰的落后工艺，因此只规定了后张法预应力钢绞线和预应力螺纹钢筋的张拉程序。试验研究成果表明，当张拉控制应力相同时，停 5min 再锚固比达到张拉控制应力停 2min 再锚固的预应力筋松弛损失要小。故规定了持荷 5min 再锚固，与现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650

的规定一致。张拉螺纹钢筋时，应在超张拉并持荷 5min 后放张至 $0.9\sigma_{con}$ 时再安装模板、普通钢筋及预埋件等，以确保施工安全。

6.2.5 本条参考了现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 和《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F80/1 的相关条款制定的。

4 先张法由于预应力筋松散，初始长度相差较大，整束张拉时应先预调初应力，使相互之间的应力一致。

7 先张法预应力构件，施工时应采取措施减小张拉后预应力筋位置与设计位置的偏差。

8 先张法预应力筋一般在梁的两端设置无黏结段，无黏结段需要用隔离套管与混凝土隔开，使预应力失效。无黏结段的位置和长度关系到主梁的内力，故规定了“其位置和长度的允许偏差值”。

9 试验研究表明，先张法预应力筋张拉后的锚下有效预应力随温度升高而降低，随温度降低而提高。因此应尽量选择与预应力筋张拉时温度相近的时段浇筑混凝土，以避免出现预应力值的波动，影响构件内建立的预应力值。要将温差控制在一定范围内，一般不超过 10°C 。

6.2.6 本条参考了现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的相关条款制定的。

1 直线预应力筋宜采取一端张拉。曲线预应力筋锚固时由于孔道反向摩擦的影响，张拉端的预应力损失最大，并沿构件长度逐步减小至零。当锚固损失的影响长度 $l_f \geq L/2$ (L 为构件长度) 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 $l_f \leq L/2$ 时，应采取两端张拉。

3 工程实测证明，两端同时张拉与一端张拉锚固，再在另一端补足张拉力进行锚固，预加应力效果基本相同。

6.2.8 实际工程中，由于锚具种类、张拉锚固工艺及千斤顶的卸荷速度等各种因素的影响，回缩量可能有较大波动，导致实际建立的预应力值出现较大偏差。因此，应控制锚固阶段张拉端预应力筋的回缩量。当设计对张拉端预应力筋的回缩量有具体要求时，应按设计要求执行。在现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 中已给出了预应力筋的回缩量测试方法。

6.2.10 预应力筋张拉锚固后，实际建立的预应力值与量测时间有关。相隔时间越长，预应力损失值越大，故检验值应由设计通过计算确定。预应力筋张拉后实际建立的预应力值对结构受力性能影响很大，应予以保证。施工中可以用应力测定仪器直接测定张拉锚固后预应力筋的应力值。

6.2.11 预应力工程的重要目的是通过配置的预应力筋建立设计希望的准确的预应力值。然而，

张拉阶段出现预应力筋的断丝，可能意味着，其材料、加工制作、安装及张拉等一系列环节中出现了问题。同时，由于预应力筋断丝或滑移对结构构件的受力性能影响极大，因此，规定应限制其断丝或滑移的数量。先张法预应力构件在浇筑混凝土前发生断丝或滑移的预应力筋应予以更换。当后张法预应力构件中的预应力筋超过表列规定值时，原则上应更换；当不能更换时，在许可的条件下，可采取补救措施，如提高位于结构同一侧的其他束预应力筋的控制应力值，不但应符合本标准第 6.1.3 条的要求，而且还须满足设计各阶段极限状态的要求。本条虽然设在预应力筋张拉一节中，但其控制的不仅是张拉质量，同时也是对材料、制作、安装等工序的质量要求。

6.2.12 后张法预应力筋张拉锚固后，处于高应力工作状态，对其简单直接放松张拉力，可能会造成很大的危险，因此规定应采用专门的设备和工具放张。

6.2.13 锚具外多余预应力筋常采用砂轮锯(无齿锯)或机械切断机切断。如机械切割有困难，也可采用氧-乙炔焰切割，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，应采取锚具降温等措施。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作出了规定。切割位置不宜距离锚具太近，同时也不应影响构件安装。

6.3 预应力筋放张

6.3.3 先张法构件放张的原则，就是要防止在放张过程中构件发生翘曲、裂纹及预应力筋断折等现象，如果采用骤然切断的方法，会使构件两端受到冲击力而出现裂纹，均匀地放松能防止发生这些现象。

6.3.4 过去我国在先张法预应力筋放张施工中，采用过砂箱放张，工程实践表明，因砂箱在重复使用时的预应力损失较大，近些年已不在采用这种方法进行预应力放张，是淘汰的落后工艺；单根钢筋拧松螺母的方法效率低，安全性差，也是淘汰的落后工艺。因此限定采用千斤顶的方法进行预应力筋放张。

6.3.5 为了防止过快的放张速度对梁体混凝土造成冲击破坏，也对放张速度加以了限制。

6.3.6 对放张后预应力筋的切断顺序作了规定，由放张端开始依次切向另一端，是为防止切断过程中发生预应力筋自行拉断现象。

7 孔道压浆及封锚

7.1 孔道压浆

7.1.1 预应力孔道压浆的目的主要有两个：一是防止预应力筋锈蚀。二是为预应力筋与结构混凝土之间提供有效的粘结，使之形成整体，以便将预应力有效的传递给周围的混凝土。预应力筋张拉后处于高应力状态，对腐蚀非常敏感，所以孔道压浆越早越好，且使预应力筋松弛损失少一些，对结构较为有利。一般预应力混凝土构件，在张拉完毕，停 10h 左右观察预应力筋和锚具稳定后，即可切割锚具外多余预应力筋、封锚头准备压浆。条文规定张拉锚固后的 48h 内完成孔道的压浆在实际施工中是可以做到的。

7.1.2 本条参照现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 和《铁路后张法预应力混凝土梁管道压浆技术条件》TB/T 3192 的相关条款制定的。孔道压浆推荐采用孔道压浆料或孔道压浆剂配制的水泥浆液进行压浆的目的在于其更能保证预应力孔道压浆的可靠性和耐久性。从而更能保证孔道压浆的质量。

7.1.3 本条系参考国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《铁路混凝土工程施工技术指南》（铁建设[2010] 241 号）的相关条款制定的。

1 对压浆质量应强调其密实性，因为密实的水泥浆能为预应力筋提供可靠的防腐保护。而水泥浆与预应力筋之间的粘结力同时也是预应力筋与混凝土共同工作的前提。水泥浆强度高，粘结力高，意味着其密实度高，对预应力筋的防腐保护是有利的。考虑水泥浆强度与预应力梁体混凝土强度的变化适度，相匹配。且 C40 的水泥浆强度可有效提供对预应力筋的防护并提供足够的粘结力。并结合国内城市桥梁工程实践。故规定了水泥浆的强度等级不应低于构件混凝土强度的 80%，且不低于 C40。预应力筋是隐蔽于预应力混凝土梁体内，并且处于高应力工作状态下，一旦受到腐蚀则锈蚀过程会发展很快，有时在并无表象出现时，即会发生脆断破坏，因而极其危险。预应力筋是预应力结构中最主要的受力部件，一旦断裂常会招致结构突然破坏。例如：1953 年英国建成的 Ynys-Gwas 桥梁，是一座预应力混凝土节段拼装梁桥，于 1985 年突然倒塌，当时桥上并无车辆，随后英国的运输与道路研究实验室（TRRL）对倒塌的桥梁进行了研究，发现桥梁倒塌是由于预应力筋锈蚀所致。1992 年比利时横跨须耳德（Scheldt）河上的一座后张法预应力混凝土桥也是因预应力筋锈蚀而坠毁。后张法预应力混凝土桥出现事故的主要原因，在于预应力筋孔道的压浆质量得不到保证，再一些是由于锚具失效造成的损坏。1992 年英国运输部鉴于发生于 1960 年的两座人行桥事故与 1985 年威尔士境内一座公路桥的事故，

以及随后对 9 座预应力混凝土节段拼装桥梁的检测结果，发布了暂时在设计中停止采用后张法预应力混凝土桥的禁令。过了 4 年，在颁布了新的后张法预应力桥设计与特殊检测方法的文件以后，才恢复采用后张法预应力混凝土桥。吸取国外预应力混凝土桥梁倒塌的教训制订了孔道压浆的水泥浆宜掺入阻锈剂。

2 良好的水泥浆性能是保证压浆质量的重要前提之一，故本款规定压浆用水泥浆水胶比的限值。其目的是保证水泥浆的稠度满足压浆施工要求的前提下，尽量降低水泥浆的泌水率、有利于提高压浆的密实度，以获得饱满、密实的压浆效果。

3 水泥浆流动度是以 1725mL 漏斗中水泥浆的流锥时间(S)表述的。流动度大意味着水泥浆黏稠，其流动性差；流动度小意味着水泥浆稀，其流动性好。合适的流动度指标是顺利压浆的重要前提，采用普通压浆工艺时，因有空气阻力，压浆阻力较大，需要较小的流动度，而采用真空压浆工艺时，由于孔道抽真空处于负压，浆体在孔道内的流动比较容易，因此可以选择较大的流动度指标。故分普通压浆和真空辅助压浆工艺给出不同的流动度控制建议指标 14s~18s 和 18s~22s 是根据工程实践经验提出的。

4 水泥浆中泌出的水在孔道内没有排除时，会形成压浆质量缺陷，容易造成高应力下的预应力筋腐蚀。所以，需要尽量降低水泥浆的泌水率，最好将泌水率降为 0。当有水泌出时，应将其排除，1%左右的泌水一般可被水泥浆吸收，并给予一定的安全储备。水泥浆的适度膨胀有利于提高压浆密实性，提高压浆饱满度，但过度的膨胀率可能造成孔道破损，反而影响预应力工程质量，故应控制其膨胀率，本标准用自由膨胀率来控制，并考虑普通压浆工艺和真空压浆工艺的差异。

5 水泥浆中的氯离子会腐蚀预应力筋，而预应力筋对腐蚀非常敏感，故水泥和外加剂中均不能含有对预应力筋有害的化学成分，特别是氯离子的含量需严加控制，计算水泥浆中的氯离子含量时，应包含水、掺合料、水泥及骨料中的氯离子。

7.1.4 本条系参考国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的相关条款制定的。

1 性能良好的设备是保证压浆质量的重要前提之一。应采用专用的高速搅拌机（一般为 1000r/min 以上）搅拌水泥浆，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水泥及外加剂等材料，获得性能良好的水泥浆。

2 水泥浆采用 1.2mm×1.2mm 滤网过滤，可清除搅拌中未被充分散开的颗粒，可降低压浆压力，并提高压浆质量。

3 压浆泵有活塞式和风压式两类，后者可能使空气窜入水泥浆中产生气孔，故条文规定应

使用前者，不得使用后者。

4 本款强调压浆泵应配备校验合格的压力表，规定了压力表外壳公称直径、精确度等级、标度范围（量程范围）、最小分度值等。主要是通过压力表值掌握压浆是否处于正常状态。

7.1.5 本条系参考现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 和《铁路混凝土工程施工技术指南》（铁建设[2010] 241 号）的相关条款制定的。水泥浆搅拌均匀、流动度试验合格后，应尽快使用。在使用过程中对浆液应连续搅拌，是防止其流动度降低。如延续时间过久，将降低其流动度，增加压注时的压力，且不易密实。对于因延迟使用导致的流动度降低的水泥浆，可额外加外加剂来增加其流动度。当水泥浆中掺有缓凝剂且有可靠工程经验时，水泥浆拌合后至压入孔道的时间可适当延长。

7.1.6 本条系参考国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的相关条款制定的。

2 锚具夹片空隙会产生负压力，使水泥浆沿空隙产生回流，因此应进行封堵。封堵料应有一定强度以抵抗压浆时的压力。

4 因为空气和水的密度比水泥浆的密度小，压浆时由最低点的压浆孔压入，可使空气和水聚集在上面，逐步由最高点的排气孔排除；如从最高点压入，则空气易窜入水泥浆液内形成气塞，阻碍压浆浆液的流动，并在其凝结后产生气孔。先压注下层孔道的好处是下层的预应力筋抗弯力矩较大，先压浆，使其松弛损失少一些，对结构较为有利。

7 压浆泵需要的压力，以能将水泥浆液压入并充满孔道孔隙为原则，一般在出浆口应先后排出空气、水、稀浆及浓浆。为保证孔道压浆的充盈度符合要求，在关闭出浆口后，应保持不小于 0.5MPa 的压力。如果压力过小，不能保证孔道内水泥浆液的密实性。并且不少于 3 min 的稳压时间，然后再对压浆口进行关闭。

8 真空辅助压浆技术是为提高孔道压浆质量开发的新技术，目前已逐步应用于后张预应力混凝土结构，并取得了一定的效果。其原理是在压浆作业之前，首先将孔道密封，用真空泵在孔道的一端抽出孔道中的空气，使预应力孔道形成“真空”，其孔道内的真空度达到负压 $-0.08\text{Mpa} \sim -0.1\text{Mpa}$ ，保持该真空度，然后在孔道的另一端采用压浆泵将水泥浆液连续均衡地压入孔道中，以此提高孔道压浆的充盈度和密实度。但需指出的是真空压浆并不能解决压浆的所有质量问题，工程实践证明，在孔道的两端高差较大时，真空压浆的效果甚至要差于采用常规压浆工艺的效果，即孔道最高点的顶部仍有可能会出现空洞；在孔道有倾角时，在倾角处浆体会产生先流现象。因此，尽管采用了真空辅助压浆工艺，仍需对其工艺进行严格控制，方能获得良好的压浆效果。

9 本款规定了一般性的压浆操作工艺要求。对因故尚未压完的孔道，应采用压力水冲洗该孔道，并采取措施后再行压浆。

10 温度对压浆的影响主要有两个方面：其一是对水泥浆液流动度的影响。通常情况下，温度对初始流动度无明显影响，但对 30min 后的流动度有明显影响，且不同温度条件下其影响程度亦不同。常温时（如 10℃左右），水泥的水化速度较慢，随着时间的延长，高性能减水剂仍然在发挥其减水功能，水泥浆液中自由水增多，流动性的变化幅度较小；而在高温时（如 50℃左右），随着时间的延长，水泥的水化速度较常温时相同时间内的水化量多，由于水化作用会消耗水泥浆体中的水，导致自由水减少，水泥浆液的流动性将大幅度降低。其二是水泥浆体强度的影响。水泥浆液的硬化在于水泥的水化作用，周围的环境温度对水泥的水化速度影响显著，温度升高则水化速度加快；温度降低则水化速度亦降低，水泥浆体的强度增长缓慢；当温度降至 4℃以下，水泥水化所需的水即开始膨胀，这对于脆弱的新形成的水泥晶体可能产生永久性的损害。当温度降至 0℃以下时，为进行水化所需的水结冰了，化学反应就不能继续下去，强度停止增长，且孔隙内的水份结冰会引起膨胀而作用在空隙毛细管的内壁，导致水泥浆体内部的结构遭到破坏。已经获得的强度亦受到损失，在反复冻融的情况下，水泥浆体内部的微裂将逐渐扩大，使其强度逐渐降低。当孔道压浆进行冬期施工时，水泥浆中可适量掺入引气剂、水溶性有机化合物类防冻剂，可改善其流动度和耐久性等，高应力状态的预应力筋对腐蚀非常敏感，故规定了不得掺入铝粉或含有氯化物、硝酸盐等对预应力筋有害成分的无机盐类防冻剂。因此，为保证压浆水泥浆液的性能指标及压浆的质量和耐久性，应严格执行条文的规定。

7.1.9 压浆质量的检测比较困难，详细填写有关压浆记录，有利于压浆质量的把控和今后的检查。压浆记录内容一般包括压浆日期、水泥品种、强度等级、配合比、压浆压力、压浆量、压浆起始和结束时间、浆液温度、环境温度，以及压浆出现的异常情况及处理情况等。如采用真空辅助压浆工艺时尚应包括真空度。

7.2 封锚

7.2.2 封锚混凝土应遵照设计要求执行。设计无要求时，推荐采用比梁体混凝土水胶比小，不低于梁体混凝土强度、耐久性的补偿收缩混凝土。

7.2.3 后张预应力筋的锚具一般布置在结构的端部，是受环境影响较大的部位，且锚具又处于高应力状态，因此锚具应封闭妥善保护。通常采用先涂防腐材料，然后再浇注混凝土予以封闭的措施，两者不可分割。防止锚具及垫板受侵蚀。为此，应遵照设计要求执行，并且需满足

本条的规定。

8 无粘结预应力及体外预应力

8.1 无粘结预应力

8.1.3 当集束配置多根无粘结预应力筋时，如出现相互扭绞将会影响到预应力张拉的效果，故应保持平行走向。

8.1.5 当采取在一端张拉锚固，在另一端补足张拉力锚固工艺代替无粘结预应力筋两端同时张拉工艺时，需观测另一端锚具夹片有无移动，经论证无误，可以达到基本相同的预应力效果后，方可以使用。

8.1.6 本条是根据现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 相关条款制定的。无粘结预应力筋的应力增长速度宜控制在 500MPa/min 内。

8.2 体外预应力

8.2.2 体外预应力束保护套管安装应连接平滑，符合设计线形和误差要求，目的是保证摩擦力影响最小，且建立准确的预应力值。完全密封是进行体外预应力束保护套管灌浆的施工要求。

8.2.3 在转向块鞍座出口处应进行倒角处理形成圆滑过渡，主要是为了避免预应力体外束出现尖锐的转折使其受到损伤，以及减小体外预应力束的摩阻损失。

8.2.4 体外预应力束的线形是否准确，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。

8.2.5 体外预应力束的张拉，应严格遵守对称受力原则，必要时可采取分级循环张拉方式，以避免构件侧向弯曲或失稳。

8.2.6~8.2.8 体外预应力束的耐久性应有可靠保证。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。

