

JTG

中华人民共和国行业推荐性标准

JTG/T 3650—2020

公路桥涵施工技术规范

Technical Specifications for Construction of Highway Bridges and Culverts

2020—06—18 发布

2020—10—01 实施

中华人民共和国交通运输部发布

中华人民共和国行业推荐性标准

公路桥涵施工技术规范

Technical Specifications for Construction of Highway Bridges and Culverts

JTG/T 3650—2020

主编单位：中交一公局集团有限公司

批准部门：中华人民共和国交通运输部

实施日期：2020 年 10 月 1 日

前 言

根据中华人民共和国交通运输部《关于下达 2016 年度公路工程行业标准制修订项目计划的通知》(交公路函〔2016〕234 号)的要求,由中交一公局集团有限公司作为主编单位,承担对《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50—2011)的修订工作。

本规范是对原《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50—2011)的全面修订,经批准以后以《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650—2020)颁布实施。

本规范修订的指导思想是:贯彻执行国家和交通运输部的有关技术政策;在总结桥涵工程施工实践经验并借鉴国外先进技术标准的基础上,吸纳技术成熟、工艺先进、经济合理、安全环保、节能减排的“四新”技术;更好地体现“安全、耐久、环保、节能减排、可持续发展”的桥涵工程建设理念,使规范真正起到保证工程的施工质量和施工安全、提高施工技术水平的作用。

修订原则:以省级公路桥梁施工企业的技术水平作为控制标准;总体框架不变,适当增加成熟的技术和工艺;注重条文的技术先进性、合理性和可操作性,强调对施工关键工序和关键过程的控制;借鉴国内外先进的技术标准;与相关的标准、规范和规程协调配套。

本次修订的主要内容为:

(1) 原规范的条文部分共 26 章,本次修订新增加了一章:第 18 章“钢混组合结构”。修订后条文部分共 27 章。原规范有 26 条术语,本次修订增加了 4 条,修订后为 30 条。原规范有 17 个附录,本次修订进行了适当调整,调整后为 11 个附录。

(2) 对有关章节的编排和内容作出了适当调整。将原规范第 19 章“钢桥”调整为本规范的第 8 章“钢结构工程”;将原规范第 8 章“钻(挖)孔灌注桩”的章名修改为本规范的第 9 章“灌注桩”;将原规范第 12 章“明挖地基”的章名修改为本规范的第 13 章“基坑”;将原规范第 13 章“扩大基础、承台与墩台”拆分调整为本规范的第 14 章“浅基础、承台”和第 15 章“桥墩、桥台”;将原规范第 14 章“砌体”的章名修改为本规范的第 16 章“圬工结构”;将原规范第 16 章“钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥”的章名修改为本规范的第 17 章“梁式桥”;将原规范斜拉桥中的“矮塔斜拉桥”修改为“部分斜拉桥”;将原规范第 20 章“海洋环境桥梁”的章名修改为

本规范的第 22 章“海上桥梁”；将原规范第 22 章“涵洞”和第 23 章“通道桥涵”合并调整为本规范的第 24 章“涵洞、通道”。

(3)“施工测量”一节中，适当增加了平面控制测量和高程控制测量的相关技术要求；将“GPS 测量”修改为“卫星定位测量”。

(4)“钢筋”一章中，取消了 HPB235、HRB335 两种钢筋，增加对 HRBF400、HRB500、HRBF500 等钢筋的施工技术要求。

(5)“模板、支架”一章中，增加了对支架是否预压的技术判定条件。

(6)“混凝土工程”一章中，增加了自密实混凝土的内容；对集料的指标作出了调整修改，同时按照最新的相关标准对部分原材料的指标进行了调整。

(7)“预应力混凝土工程”一章中，取消了普通松弛预应力筋的张拉程序；对判断一端张拉或两端张拉的条件进行了修改。

(8)“浅基础、承台”一章中，增加了预制安装承台的技术要求。

(9)“桥墩、桥台”一章中，增加了对高墩、预制安装墩台身和盖梁等的施工技术规范。

(10)“梁式桥”一章中，增加了对预制节段逐孔拼装、大节段钢箱梁安装的施工技术规范。

(11)“拱桥”一章中，取消了“装配式混凝土桁架拱和刚架拱”；将“无支架和少支架缆索吊装”修改为“无支架和少支架预制安装”。

(12)“斜拉桥”一章中，增加了对钢锚梁、钢锚箱等安装以及混合梁边跨现浇部分施工的技术规定。

(13)“悬索桥”一章中，取消了原规范对索鞍、索夹和主缆等制造方面的要求，统一执行行业产品标准的规定；增加了隧道锚施工和荡移法安装加劲梁的技术内容；对猫道承重索的安全系数取值作出了适当调整。

(14)“海上桥梁”一章中，增加了不锈钢钢筋的技术内容。

(15)“涵洞、通道”一章中，适当增加了混凝土管涵管节制作的相关内容。

(16)取消了原规范各章所列的质量标准，仅就施工过程中的质量控制要求进行规定，最终的分部、分项工程质量标准统一执行现行《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1)的规定。

本规范由田克平负责起草第 1、2、27 章，张志新负责起草第 3、6、17 章（其中第 17 章第 17.9 节由钟建锋负责起草），李文负责起草第 4、13 章，张利负责起草第 5、14 章，刘方华负责起草第 7、11、25 章，张丽惠负责起草第 8 章，田启军负责起草第 9 章，黄天贵负责起草第 10、23、26 章，刘大成负责起草第 12、15、24 章（其中第 15 章第 15.4 节由钟建锋负责起草），李鸿盛负责起草第 16、22 章，邓亨长负责起草第 18 章，邓运祥负责起草第 19 章，刘玉兰负责起草第 20 章，王中文负责起草第 21 章，李文负责起草附录 A、附录 B，张利负责起草附录 C，张志新负责起草附录 D、附录 E，刘方华负责起草附录 F、附录 G，张丽惠负责起草附录 H、附录 J，田启军负责起草附录 K、附录 L。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本规范主编单位中交一公局集团有限公司的日常管理组，联系人：张志新（地址：北京市朝阳区管庄周家井世通国际大厦，邮政编码：100024；电话：010-65168269，传真：010-65168085；电子邮箱：zhangzhixin@cfhec.com），以便下次修订时参考。

主 编 单 位： 中交一公局集团有限公司

参 编 单 位： 四川公路桥梁建设集团有限公司
湖南路桥建设集团有限责任公司
保利长大工程有限公司

主 编： 田克平

主要参编人员： 张志新 邓运祥 刘玉兰 王中文 黄天贵 张 利 李 文
刘大成 邓亨长 田启军 钟建锋 刘方华 张丽惠 李鸿盛

主 审： 张 鸿

参与审查人员： 袁 洪 陈彦君 林新元 李 松 田军祯 任文宏 程德宏
鲍卫刚 王国亮 钟建驰 韩 玉 张胜林 秦大航 庄卫林
朱玉龙 刘元炜 胡崇武 滕燕宁 杨 昀 单光炎 韩 彬
刘 硕

目次

1 总则	1
2 术语	3
3 施工准备和施工测量	7
3.1 施工准备	7
3.2 施工测量	9
4 钢筋	15
4.1 一般规定	15
4.2 加工	16
4.3 连接	18
4.4 绑扎与安装	22
5 模板、支架	25
5.1 一般规定	25
5.2 模板、支架设计	26
5.3 模板的制作与安装	29
5.4 支架的制作与安装	32
5.5 模板、支架的拆除	34
6 混凝土工程	36
6.1 一般规定	36
6.2 水泥	37
6.3 细集料	38
6.4 粗集料	40
6.5 水	44
6.6 外加剂	45
6.7 掺合料	45
6.8 配合比	46
6.9 拌制	50
6.10 运输	51
6.11 浇筑	52
6.12 养护	54
6.13 大体积混凝土、抗冻混凝土、抗渗混凝土和自密实混凝土	56
6.14 高强度混凝土	61
6.15 高性能混凝土	62

7 预应力混凝土工程	70
7.1 一般规定	70
7.2 预应力筋及制作	70
7.3 锚具、夹具和连接器	73
7.4 管道	76
7.5 混凝土浇筑	77
7.6 施加预应力	77
7.7 先张法	81
7.8 后张法	83
7.9 后张孔道压浆及封锚	88
7.10 无黏结预应力	95
7.11 体外预应力	96
8 钢结构工程	98
8.1 一般规定	98
8.2 材料	99
8.3 零件制造	100
8.4 组装	103
8.5 焊接	105
8.6 焊接检验	108
8.7 钢构件矫正	111
8.8 高强度螺栓连接副与摩擦面处理	112
8.9 试拼装	113
8.10 涂装	114
8.11 包装、存放与运输	115
8.12 工地连接	115
9 灌注桩	119
9.1 一般规定	119
9.2 钻孔灌注桩	120
9.3 岩溶、采空区和其他特殊地区的钻孔灌注桩	128
9.4 大直径、超长灌注桩	129
9.5 灌注桩后压浆	132
9.6 挖孔灌注桩	137
9.7 成孔、成桩检验	139
10 沉入桩	141
10.1 一般规定	141
10.2 桩的制作	141
10.3 桩的吊运、存放和运输	144
10.4 试桩与桩基承载力	144

10.5	沉桩	145
11	沉井	150
11.1	一般规定	150
11.2	制作	151
11.3	浮运、定位与着床	152
11.4	下沉与接高	154
11.5	基底检验与沉井封底	156
11.6	井孔填充与顶板浇筑	158
12	地下连续墙	159
12.1	一般规定	159
12.2	施工平台与导墙	159
12.3	地下连续墙施工	161
13	基坑	165
13.1	一般规定	165
13.2	土石围堰	166
13.3	基坑开挖	168
13.4	基坑降排水	171
13.5	基底处理	172
13.6	基底检验	174
14	浅基础、承台	175
14.1	一般规定	175
14.2	浅基础	175
14.3	承台	175
14.4	预制安装承台	180
15	桥墩、桥台	183
15.1	一般规定	183
15.2	桥墩	183
15.3	桥台	186
15.4	预制安装墩台身、盖梁	188
15.5	现浇墩台帽、盖梁、系梁和挡块	198
16	圬工结构	200
16.1	一般规定	200
16.2	材料	200
16.3	墩、台身圬工砌体	202
16.4	附属工程圬工砌体	204
16.5	后背回填	204
16.6	圬工砌体勾缝和养护	205

16.7	片石混凝土	206
17	梁式桥	207
17.1	一般规定	207
17.2	装配式梁、板预制安装	207
17.3	支架上现浇	214
17.4	移动模架逐孔现浇	215
17.5	悬臂浇筑	217
17.6	节段预制拼装	221
17.7	顶推	227
17.8	箱梁整孔预制安装	231
17.9	大节段钢箱梁安装	235
17.10	斜腿刚构	238
17.11	拓宽改建梁桥拼接施工	239
18	钢混组合结构	242
18.1	一般规定	242
18.2	钢构件安装	243
18.3	混凝土桥面板	247
18.4	组合节段制作与拼装	254
18.5	钢-混凝土接头	256
18.6	波形钢腹板梁	260
19	拱桥	264
19.1	一般规定	264
19.2	拱架	264
19.3	拱(支)架上现浇混凝土拱圈	267
19.4	无支架和少支架预制安装	268
19.5	转体施工	273
19.6	劲性骨架拱	276
19.7	钢管混凝土拱	277
19.8	悬臂浇筑	280
19.9	钢拱桥	281
19.10	石拱桥	282
19.11	拱上结构	285
19.12	施工控制	287
20	斜拉桥	289
20.1	一般规定	289
20.2	索塔	289
20.3	主梁	295
20.4	拉索	301

20.5	部分斜拉桥	304
20.6	无背索斜拉桥	305
20.7	施工控制	306
21	悬索桥	308
21.1	一般规定	308
21.2	锚碇	308
21.3	索塔	310
21.4	索鞍	311
21.5	猫道	312
21.6	主缆	315
21.7	索夹与吊索	317
21.8	加劲梁	318
21.9	自锚式悬索桥	321
21.10	施工控制	323
22	海上桥梁	325
22.1	一般规定	325
22.2	环氧树脂涂层钢筋	326
22.3	不锈钢钢筋	328
22.4	基础和墩台	330
22.5	钢管桩防腐蚀	331
22.6	混凝土附加防腐蚀	332
22.7	海上施工安全	334
23	桥面及附属工程	337
23.1	一般规定	337
23.2	支座	337
23.3	伸缩装置	341
23.4	桥面防水与排水	343
23.5	混凝土桥面铺装	344
23.6	钢桥面铺装	345
23.7	桥面防护设施	346
23.8	桥头搭板	347
24	涵洞、通道	349
24.1	一般规定	349
24.2	混凝土管涵	350
24.3	拱涵、盖板涵	351
24.4	箱涵	353
24.5	倒虹吸管	353
24.6	涵洞接长	354

24.7	波纹钢涵洞	355
24.8	顶进施工	358
24.9	通道的防水与排水设施	360
25	冬期、雨期和热期施工	362
25.1	一般规定	362
25.2	冬期施工	362
25.3	雨期施工	369
25.4	热期施工	370
26	安全施工与环境保护	373
26.1	一般规定	373
26.2	安全施工	373
26.3	环境保护	380
27	工程交工	382
附录A	焊接钢筋的质量验收内容和标准	384
附录B	钢筋机械连接接头的设计原则与性能等级	392
附录C	普通模板荷载计算	394
附录D	掺合料技术要求	396
附录E	混凝土配制强度计算	398
附录F	预应力筋平均张拉力的计算	399
附录G	后张预应力孔道摩阻损失的测试	400
附录H	焊接工艺评定	401
附录J	高强度螺栓连接抗滑移系数试验方法	405
附录K	泥浆各种性能指标的测定方法	407
附录L	试桩试验办法	409
	本规范用词用语说明	418

1 总则

1.0.1 为适应公路桥涵工程建设的需要，保证施工质量和施工安全，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于各级公路中新建、改建和扩建桥涵工程的施工。

1.0.3 特大型、特殊结构或特殊地区桥涵工程的施工，除应符合本规范的规定外，尚应就本规范未涉及的内容制定专用技术标准或专用技术条款指导施工。

条文说明：

“特大型”是指规模远超出一般桥涵工程，“特殊地区”一般指高原、高寒、冻土、沙漠等地区。对条文中所指的特大型、特殊结构或特殊地区的桥涵工程，其施工的某些特殊要求可能不被本规范的条文所包含，因此遇到这种情况时需要在本规范的基础上制定更详细的专用技术标准或专用技术条款指导施工。

1.0.4 公路桥涵工程施工应符合设计文件的规定，并应满足安全、耐久、环保和节能减排的要求。

条文说明：

施工是具体体现设计思想和设计意图的一个过程，符合设计文件的规定是公路桥涵工程施工的基本准则。

“安全”的要求在此有两方面的含义：一是在施工期间需要保证结构的安全和作业安全；二是桥涵工程交付运营后，正常使用状态下结构本身能在规定的寿命期内安全使用。

“耐久”是指桥涵工程结构需要满足设计规定的使用年限。

“环保”是指公路桥涵工程施工时，需要符合环境保护法等法律法规的要求。

“节能减排”是指节约能源和减少环境有害物排放，原规范仅提及“节能”，但“减排”亦不可或缺，故本次修订将其表述修改为“节能减排”。

1.0.5 公路桥涵工程施工应遵守国家建设工程质量方面的法律法规，建立健全质量

保证体系，明确质量责任，加强质量管理，保证工程质量。

1.0.6 公路桥涵工程施工应遵守国家安全生产的有关法律法规，建立健全安全生产管理体系，明确安全责任，严格执行安全操作规程，保障施工人员的职业健康，保证施工安全。

1.0.7 公路桥涵工程施工应遵守国家环境保护的有关法律法规，节约用地，少占农田，减少污染，保护环境。

1.0.8 公路桥涵工程施工宜推行标准化、工厂化、装配化和信息化施工，并应积极推广使用可靠的新技术、新工艺、新材料、新设备。

条文说明：

近年来的工程实践证明，采取标准化、工厂化、装配化和信息化施工，对于保证施工安全、增加结构耐久性、提升工程品质、做好节能减排和环保工作以及推进公路桥涵工程的工业化生产，均有积极作用，故本次修订增加了相应的规定。

1.0.9 公路桥涵工程施工除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 止水帷幕 curtain wall de-watering

用以减少渗流水量，减小地下水水力坡度，防止流沙、管涌、潜蚀等，在基坑边线外设置的隔水结构。

2.0.2 大直径灌注桩 large diameter pile

直径大于或等于 2.5m 的灌注桩。

2.0.3 超长灌注桩 super long pile

桩长大于或等于 90m 的灌注桩。

条文说明：

超过一定长度的钻孔灌注桩对施工的工艺及其他临时设施有特殊的要求，对其进行界定是为统一说法，避免引起定义上的混乱。需注意的是：本规范所界定的超长灌注桩的含义仅限于其施工的难度与普通长度的桩基有区别，而与桩的受力无关。

2.0.4 高强度混凝土 high strength concrete

强度等级 C60 及以上的混凝土。

2.0.5 高性能混凝土 high performance concrete

采用混凝土的常规材料、常规工艺，在常温下，以低水胶比、大掺量优质掺合料和严格的质量控制措施制作的，具有良好的施工工作性能且硬化后具有高耐久性、高尺寸稳定性及较高强度的混凝土。

2.0.6 大体积混凝土 mass concrete

体积较大的、可能由胶凝材料水化热引起的温度应力导致有害裂缝的结构混凝土。

条文说明:

本条术语引自《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2011)。

2.0.7 结构物的表面系数 surface factor of structure

结构物冷却面积 (m^2) 与结构体积 (m^3) 的比值。

2.0.8 高墩 high pier

高度大于或等于 40m 的桥墩。

2.0.9 大节段钢箱梁 large segmental of steel box girder

整跨安装或节段安装长度不小于 50m 的钢箱梁。

2.0.10 移动模架逐跨现浇法 span by span method with stepping formwork

采用可在墩台上纵向移动的支架及模板,在其上逐跨现浇梁体混凝土,并逐跨施加预应力的施工方法。

2.0.11 悬臂浇筑法 cast-in-place cantilever method

在以桥墩为中心的顺桥向两侧,采用专用设备对称平衡地逐段向跨中浇筑混凝土梁体,并逐段施加预应力的施工方法。

2.0.12 挂篮 movable suspended scaffolding

悬臂法浇筑混凝土梁体时,用于承受梁体自重及施工荷载,能逐段向前移动并经特殊设计的主要工艺设备。主要组成部分有承重系统、提升系统、锚固系统、行走系统、模板与支架系统。

2.0.13 施工缝 construction joint

因设计要求或施工需要分次浇筑,而在先、后浇筑的混凝土之间形成的接缝。

2.0.14 悬臂拼装法 balance cantilever erection method

在以桥墩为中心的顺桥向两侧,采用专用设备对称平衡地逐段向跨中拼装混凝土梁体预制块件,并逐段施加预应力的施工方法。

2.0.15 预制节段逐跨拼装法 segmental construction span by span

将预制好的梁体混凝土块件利用专用设备逐跨进行拼装，并逐跨施加预应力的施工方法。

2.0.16 支架 support

用于支承模板、结构构件或其他施工荷载的临时结构。

2.0.17 托架（牛腿） corbel

在桥梁某些部位施工时，利用预埋件与钢构件拼制联结而成的支架。

2.0.18 顶推施工法 incremental launching method

梁体逐段浇筑或拼装，在梁前端安装导梁，采用专用设备纵向顶推或牵引，使梁体到达各墩顶设计位置的施工方法。

2.0.19 预拱度 camber

为抵消梁、拱、桁架等结构在设计荷载及施工荷载作用下产生的位移（挠度），在施工或制造时所预留的与位移方向相反的校正量。

2.0.20 施工荷载 construction load

施工阶段施加在结构或构件上的临时荷载。

2.0.21 风缆系统 cable-stayed stability system

为保证永久结构或临时结构在施工过程中的稳定而进行专门设计的包括风缆及其附属设施的临时装置。

2.0.22 缆索吊装法 erection with cableway method

利用支承在索塔上的缆索，运输和安装桥梁构件的施工方法。

2.0.23 转体施工法 construction by swing method

利用地形地貌预制两个半孔桥跨结构，在桥墩或桥台上旋转就位跨中合龙的施工方法。

2.0.24 钢构件 steel member

组成钢桥的基本单元。其中整体节点、弦杆、斜杆、竖杆、纵梁、横梁、桥面板单元、底板单元、腹板单元、锚箱、箱形梁主梁、板梁主梁和独立编号的拼接板及节点板为主要钢构件；其余为次要钢构件。

2.0.25 零件 part

组成钢构件的最小单元。其中主要钢构件的盖板、腹板，箱形梁的顶板、底板、横隔板，板单元的面板、纵肋、横肋，拼接板，节点板及圆柱头焊钉为主要零件；其余为次要零件。

2.0.26 试拼装 test assembling

在批量加工生产前，为检验制造精度，选取有代表性的局部钢构件进行的拼装。

2.0.27 猫道 catwalk

为悬索桥上部结构施工需要而架设的，一般由缆索支承的空中施工通道。

2.0.28 空中纺线法 airspinning method

一种将单根钢丝在锚体之间往返编织而形成悬索桥主缆的架设方法。

2.0.29 预制平行钢丝索股法 shop-fabricated parallel wire strand method

以多根平行钢丝预制成带有锚头的索股，并将其从一端锚体向另一端锚体牵引就位锚固而形成悬索桥主缆的架设方法。

2.0.30 顶进施工法 jack-in construction method

利用千斤顶等设备将预制的箱形或圆管形构造物逐渐顶入路基，以构成立体交叉通道或涵洞的施工方法。

3 施工准备和施工测量

3.1 施工准备

3.1.1 桥涵工程施工前应熟悉设计文件，对结构设计尺寸和关键施工参数进行核对，且应由设计单位进行设计交底。

条文说明：

本次修订删除了原规范中“领会设计意图”的表述；增加了“对结构设计尺寸和关键施工参数进行核对”的要求；并将原规范中的“且宜由设计单位进行设计交底”修改为“且应由设计单位进行设计交底”，因为工程施工之前由设计单位向施工单位进行技术交底是工程建设中必不可少的一项程序。

3.1.2 应在对工程进行施工调查及现场核对后，根据设计要求、合同条件及现场情况等，编制实施性施工组织设计。

3.1.3 对技术复杂或危险性较大的分部分项工程，应制订安全可靠、技术可行、经济合理的专项施工方案。

条文说明：

本条依据 2018 年 3 月 8 日住房和城乡建设部令第 37 号发布的《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》，增加了“危险性较大的分部分项工程”的表述，同时将原规范中的“专项施工技术方案和专项安全技术方案”统一修改为“专项施工方案”。

3.1.4 对工程施工中所用的临时受力结构和大型临时设施，应进行专项设计与验算，明确质量和安全的验收标准，并应编制安装、使用、维护和拆除的作业方案。

条文说明：

“临时受力结构”主要指承重支架、作业平台、模板、悬浇挂篮、临时支挡、

各种围堰、栈桥或便桥等；“大型临时设施”主要指混凝土搅拌站、码头、梁板构件的预制场、钢筋加工制作厂房、库房等。这些结构和设施虽然是临时性的，但往往会对施工过程中的安全产生重要影响，故增加本条规定予以强调。

3.1.5 施工前应建立健全质量保证体系和质量管理体系，明确质量方针、质量目标和质量责任；同时应建立质量管理机构，制定质量管理制度和质量检测流程，提出质量保证措施，对工程的施工实施质量控制。

3.1.6 施工前应建立健全安全生产管理体系，落实安全责任，提出安全技术组织措施。对施工中存在的各种风险源应进行分析、评估，提出防范对策，制订必要的突发事件应急预案，使施工的全过程能安全地进行。

条文说明：

规定对各种风险源应进行分析、评估，并制订必要的突发事件应急预案，目的是防患于未然，保证施工的安全。

3.1.7 施工前应建立健全环保管理体系，制订保护环境、节能减排和文明施工的实施方案，减少工程施工过程中对环境的污染。

3.1.8 施工前应建立健全施工组织机构，施工人员的配备应满足工程施工的需要，并应在进场时对其进行岗前培训和技术、安全交底。

3.1.9 应根据工程的规模和有关规定，建立工地试验室。工地试验室配备的试验人员和试验仪器应满足工程施工的需要，且试验仪器应通过国家法定计量机构的检验标定。

3.1.10 水泥、砂、石、外加剂等施工原材料的选择应在工程开工前通过试验确定。各种原材料进场时，应按本规范的有关规定进行相应的质量检测和试验工作；进场后，应根据不同的品种、规格及用途分别妥善存放，对容易受潮、锈蚀的材料应有防雨、防潮或防锈的措施。

3.1.11 应结合工程的规模、工期、地形特点等情况，进行标准化施工的策划和实施，合理布置施工场地，所设置的各种临时设施应满足工程施工的需要及安全施工

的要求。开工前应完成现场的“四通一平”工作。

条文说明:

本条新增加了“进行标准化施工的策划和实施”的要求。“四通”是指水通、电通、路通、通信通;“一平”是指场地平整。

3.1.12 应根据工程施工的需要,配备足够的机械设备和生产工具,且应在施工前对施工机具进行安装调试。

3.1.13 对拟采用新技术、新工艺、新材料和新设备的工程项目,应提前做好试验研究和论证等工作。

3.2 施工测量

3.2.1 桥涵工程施工前应根据其结构形式、跨径及精度要求等编制施工测量方案,选定控制测量等级,确定测量方法。

3.2.2 施工前应由勘测设计单位对控制性桩点进行现场交桩,并应在复测原控制网的基础上,根据施工需要适当加密、优化,建立施工测量控制网。

3.2.3 对测量控制点,应编号绘于施工总平面图上,并应采取有效措施妥善保护。施工过程中,应对控制网(点)进行不定期的检测和定期复测,定期复测周期应不超过6个月,当对控制点的稳定性有疑问时,应及时进行局部或全面复测。

3.2.4 施工测量所用的仪器、设备等应经法定计量机构检定和校验,合格后方可使用。测量平差计算时宜采用通过科技鉴定认证的专业软件。

3.2.5 桥涵工程施工的平面控制测量应符合下列规定:

1 各等级平面控制测量,其最弱点点位中误差为 $\pm 50\text{mm}$,最弱相邻点间相对点位中误差为 $\pm 30\text{mm}$,最弱相邻点边长相对中误差应不大于表3.2.5-1的规定。

表 3.2.5-1 平面控制测量精度要求

测量等级	最弱相邻点边长相对中误差	测量等级	最弱相邻点边长相对中误差
二等	1/100000	四等	1/35000

三等	1/70000	一级	1/20000
----	---------	----	---------

2 桥梁工程的平面控制测量等级应不低于表 3.2.5-2 的规定,同时桥梁轴线精度尚应符合表 3.2.5-3 的规定。对特大跨径及特殊结构桥梁,应根据其施工允许误差,确定控制测量的精度和等级。

表 3.2.5-2 平面控制测量等级

多跨桥梁总长 L (m)	单跨桥梁跨径 L_K (m)	其他构造物	测量等级
$L \geq 3000$	$L_K \geq 500$	—	二等
$2000 \leq L < 3000$	$300 \leq L_K < 500$	—	三等
$1000 \leq L < 2000$	$150 \leq L_K < 300$	高架桥	四等
$L < 1000$	$L_K < 150$	—	一级

表 3.2.5-3 桥梁轴线相对中误差

测量等级	桥梁轴线相对中误差	测量等级	桥梁轴线相对中误差
二等	$\leq 1/150000$	四等	$\leq 1/60000$
三等	$\leq 1/100000$	一级	$\leq 1/40000$

3 大桥、特大桥以及特殊结构桥梁的平面控制测量坐标系,其投影长度变形值应不大于 10mm/km,投影分带位置不得选在桥址处。

4 当采用独立坐标系、抵偿坐标系时,应确认与国家坐标系的转换关系。

5 在布设平面控制点时,四等及以上平面控制网中相邻点之间的距离不得小于 500m;一级平面控制网中相邻点之间的距离在平原、微丘区不得小于 200m,重丘、山岭区不得小于 100m;最大距离应不大于平均边长的 2 倍。特大桥及特殊结构桥梁的每一端应至少埋设 3 个平面控制点。

6 平面控制测量应采用卫星定位测量、导线测量、三角测量或三边测量等方法进行。平面控制测量的技术要求应符合表 3.2.5-4~表 3.2.5-7 的规定。

表 3.2.5-4 卫星定位测量主要技术要求

测量等级	固定误差 a (mm)	比例误差系数 b (mm/km)	闭合环或附和线路边数
二等	≤ 5	≤ 1	≤ 6
三等	≤ 5	≤ 2	≤ 8
四等	≤ 5	≤ 3	≤ 10
一级	≤ 10	≤ 3	≤ 10

表 3.2.5-5 导线测量主要技术要求

测量等级	附(闭)合 导线长度(km)	边数	每边测距 中误差(mm)	单位权中误 差(")	导线全长 相对闭合差	方位角 闭合差
三等	≤18	≤9	≤±14	≤±1.8	≤1/52 000	≤ 3.6√n
四等	≤12	≤12	≤±10	≤±2.5	≤1/35 000	≤ 5√n
一级	≤6	≤12	≤±14	≤±5.0	≤1/17 000	≤ 10√n

注：1.表中 n 为测站数。

2.以测角中误差为单位权中误差。

3.导线网节点间的长度不得大于表中长度的 0.7 倍。

表 3.2.5-6 三角测量主要技术要求

测量等级	测角中误差 (")	起始边边长 相对中误差	三角形 闭合差(")	测回数		
				DJ1	DJ2	DJ6
二等	≤±1.0	≤1/250 000	≤3.5	≥12	-	-
三等	≤±1.8	≤1/150 000	≤7.0	≥6	≥9	-
四等	≤±2.5	≤1/100 000	≤9.0	≥4	≥6	-
一级	≤±5.0	≤1/40 000	≤15.0	-	≥3	≥4

表 3.2.5-7 三边测量主要技术要求

测量等级	测距中误差(mm)	测距相对中误差
二等	≤±9.0	≤1/330 000
三等	≤±14.0	≤1/140 000
四等	≤±10.0	≤1/100 000
一级	≤±14.0	≤1/35 000

条文说明：

2 “特大跨径桥梁”一般指单跨跨度 1000m 及以上的桥梁。表 3.2.5-2 中的“高架桥”是指跨越建筑物群、地质不良地段等中小跨径的旱地桥，该类型桥梁由于跨径较小，结构简单，施工测量条件相对较好，因此控制网精度要求适中，根据实际应用经验确定高架桥的平面控制测量的等级需要达到四等。

5 规定在布设平面控制点时，四等及以上平面控制网中相邻点之间的距离不得小于 500m，是因为一般的桥梁在进行平面控制测量时，点间距为 500m 比较适宜，太长不便于实际施工中使用的，太短则不利于控制导线测量的质量。“平均边长”是指相邻点间的平均距离，其值是根据各个等级适用的范围确定的。

3.2.6 桥涵工程施工的高程控制测量应符合下列规定：

1 同一工程项目应采用同一高程系统，并应与相邻工程项目的高程系统相衔接。桥位水准点的高程应与路线控制高程联测。

2 用于跨越水域和深谷的大桥、特大桥的高程控制网最弱点高程中误差为 $\pm 10\text{mm}$ 。

3 高程控制网每千米观测高差中误差应符合表 3.2.6-1 的规定，附和（环线）水准路线长度应小于表 3.2.6-1 的规定。

表 3.2.6-1 高程控制测量的技术要求

测量等级	每千米高差中数中误差 (mm)		附和或环线水准路线长度 (km)
	偶然中误差 M_{Δ}	全中误差 M_W	
二等	± 1	± 2	100
三等	± 3	± 6	10
四等	± 5	± 10	4

注：控制网节点间的长度应不大于表中长度的 0.7 倍。

4 桥梁工程的高程控制测量等级不得低于表 3.2.6-2 的规定。

表 3.2.6-2 高程控制测量等级

多跨桥梁总长 L (m)	单跨桥梁跨径 L_K (m)	其他构造物	测量等级
$L \geq 3000$	$L_K \geq 500$	—	二等
$1000 \leq L < 3000$	$150 \leq L_K < 500$	—	三等
$L < 1000$	$L_K < 150$	高架桥	四等

5 施工水准网中的各水准点，对于大桥和特大桥应构成连续闭合水准环。大桥和特大桥的每端应至少设置 2 个水准点，作为水准网的控制点。

6 高程控制测量应采用水准测量或三角高程测量的方法进行。高程控制测量的技术要求应符合表 3.2.6-3、表 3.2.6-4 的规定。

表 3.2.6-3 水准测量的主要技术要求

测量等级	往返较差、附和或环线闭合差 (mm)		检测已测测段高差之差 (mm)
	平原、微丘	重丘、山岭	
二等	$\leq 4\sqrt{l}$	$\leq 4\sqrt{l}$	$\leq 6\sqrt{L_i}$
三等	$\leq 12\sqrt{l}$	$\leq 3.5\sqrt{n}$ 或 $\leq 15\sqrt{l}$	$\leq 20\sqrt{L_i}$
四等	$\leq 20\sqrt{l}$	$\leq 6.0\sqrt{n}$ 或 $\leq 25\sqrt{l}$	$\leq 30\sqrt{L_i}$

注：计算往返较差时， l 为水准点间的路线长度 (km)；计算附和或环线闭合差时， l 为附和或环线的路线长度 (km)； n 为测站数。 L_i 为检测测段长度 (km)，小于 1km 时按 1km 计算。

表 3.2.6-4 光电测距三角高程测量的主要技术要求

测量等级	测回内同向观测 高差较差 (mm)	同向测回间 高差较差 (mm)	对向观测高差较差 (mm)	附和或环线闭合差 (mm)
四等	$\leq 8\sqrt{D}$	$\leq 10\sqrt{D}$	$\leq 40\sqrt{D}$	$\leq 20\sqrt{\sum D}$

注：D 为测距边长度 (km)。

条文说明：

5 在桥涵工程施工现场，施工机械和已完工程对施工测量的障碍和干扰较多，为了减少转测环节，方便使用，增加检核条件，因此规定“大桥和特大桥的每端应至少设置 2 个水准点”。

3.2.7 对与相邻工程项目接合处的平面位置和高程，应在施工前进行联测校核。

条文说明：

与相邻工程项目接合处的平面位置和高程，在以往的工程施工中经常有衔接不上情况，故规定“应在施工前进行联测校核”，目的是防止出现差错。

3.2.8 宽阔水域和海上桥梁的基础工程施工测量宜采用卫星定位测量，且宜在水域和海上建立专门的测量平台。

条文说明：

本次修订将原规范中的“GPS 测量”修改为“卫星定位测量”；并明确卫星定位测量适用于基础工程，因为基础工程的位置确定后，桥梁的其他工程采用常规测量方法就能进行施工放样。

3.2.9 宽阔水域和海上桥梁工程的卫星定位测量平面控制网宜分为首级网、首级加密网、一级加密网和二级加密网 4 个等级，一级和二级加密网的布设和使用应符合下列规定：

1 加密网应采用与全桥统一的坐标系统，且宜由三角形或大地四边形组成，并应一次完成网形设计、施测与平差。加密网应保证至少与最近的 2 个高级网点为起算点进行联测，任一加密网点应至少与另外 2 个控制点通视。加密网应按一级卫星定位测量精度施测，其精度应保证最弱相邻点点位中误差为 $\pm 10\text{mm}$ 。

2 控制网点应安全、稳定，在使用过程中应进行定期或不定期检测，当对控制

点的稳定性有疑问时,应及时进行局部或全面复测。加密网两次复测的间隔时间应不超过3个月。

3 宜每隔1.5km左右选择一个桥墩先行施工其基础,并应在该基础上设立稳固可靠且带有强制对中观测装置的测量控制点,作为桥梁其他墩台施工放样的基准点。

3.2.10 宽阔水域和海上桥梁工程的高程控制网应采用全桥统一的高程基准。对首级网点、首级加密网点和全桥高程贯通测量,应采用不低于国家二等水准测量的精度进行联测;对一级和二级加密网点,应采用不低于国家三等水准测量的精度进行联测。先行施工桥墩的高程控制宜采用卫星定位测量,其间的其他桥墩、桥塔及上部结构可根据跨海和跨宽阔水域贯通测量的成果,采用常规的高程测量方法进行测量。采用卫星定位进行高程测量时,应符合下列规定:

1 宜选用与桥位区大地水准面较密合的重力场模型,根据高程联测结果,采用曲面拟合法,求取先行施工桥墩或海中和宽阔水域中暂时无法进行水准测量的卫星定位测量点的高程异常值和正常高。当跨海水准贯通测量完成后,应根据贯通测量成果对正在施工桥墩的卫星定位测量高程值进行修正。

2 采用拟合法求得的卫星定位测量点的正常高,在其精度情况得到确认后可代替四等以下精度的水准测量或三角高程测量。

3.2.11 采用卫星定位测量中的实时动态测量系统进行宽阔水域、海上桥梁工程的施工放样测量时,基准站的设置及测量方法应符合所用产品的相应技术规定,测量精度应满足本规范的要求。

3.2.12 桥涵工程施工放样测量时,应对桥涵各墩台的控制性里程桩号、基础坐标、设计高程等数据进行复核计算,确认无误后再施测。

3.2.13 施工放样测量需设置临时控制点时,其精度应符合相应等级的精度要求,并应与相邻控制点闭合。

3.2.14 桥涵工程的施工测量除应符合本规范的规定外,尚应符合现行《工程测量规范》(GB 50026)和《公路勘测规范》(JTG C10)的规定。

4 钢筋

4.1 一般规定

4.1.1 桥涵工程中采用的普通钢筋应符合现行《钢筋混凝土用钢第 1 部分：热轧光圆钢筋》（GB/T 1499.1）、《钢筋混凝土用钢第 2 部分：热轧带肋钢筋》（GB/T 1499.2）、《钢筋混凝土用余热处理钢筋》（GB 13014）、《冷轧带肋钢筋》（GB/T 13788）的规定；环氧涂层钢筋应符合现行《钢筋混凝土用环氧涂层钢筋》（GB/T 25826）的规定；其他特殊钢筋应符合其相应产品标准的规定。

条文说明：

HPB235 热轧光圆钢筋和 HRB 335 螺纹钢已不再生产，故本次修订将 HPB235、HRB335 两种钢筋取消，采用 HPB300、HRB400、HRBF400、HRB500、RRB400 等 5 类钢筋，与设计规范保持一致。

条文中的“相应产品标准”，是指该产品相应的国家标准或行业标准。

4.1.2 钢筋应具有出厂质量证明书和试验报告单，进场时除应检查其外观和标志外，应按不同的钢种、等级、牌号、规格及生产厂家分批抽取试样进行力学性能检验，检验试验方法应符合现行国家标准的规定。钢筋经进场检验合格后方可使用。

4.1.3 钢筋分批检验时，可由同一牌号、同一炉罐号、同一尺寸的钢筋进行组批，每批的质量应不大于 60t，超过 60t 的部分，每增加 40t（或不足 40t 的余数）应增加一个拉伸和一个弯曲试验试样；钢筋的进场检验亦可由同一牌号、同一冶炼方法、同一浇注方法的不同炉罐号组成混合批进行，但各炉罐号的含碳量之差应不大于 0.02%，含锰量之差应不大于 0.15%。

4.1.4 钢筋在运输过程中应避免锈蚀、污染或被压弯；在工地存放时，应按不同品种、规格，分批分别堆置整齐，不得混杂，并应设立识别标志，存放的时间宜不超过 6 个月；存放场地应有防、排水设施，且钢筋不得直接置于地面，应垫高或堆置在台座上，顶部应采用合适的材料予以覆盖，防止水浸和雨淋。

4.1.5 在工程施工过程中,应采取适当的措施,防止钢筋产生锈蚀。对设置在结构或构件中的预留钢筋的外露部分,当外露时间较长且环境湿度较大时,宜采取包裹、涂刷防锈材料或其他有效方式,进行临时性防护。

4.1.6 钢筋的级别、种类和直径应按设计规定采用,当需要代换时,应得到设计认可。

4.1.7 预制构件的吊环,必须采用未经冷拉的热轧光圆钢筋制作,且其使用时的计算拉应力应不大于 65MPa。

条文说明:

规定本条的目的主要是为保证构件在吊装时的安全。因冷拉过的热轧光圆钢筋或未冷拉的带肋钢筋,其冷弯性能较差,用作吊环时易发生脆断,特别在冬季气温较低时更甚,故作此规定。吊环钢筋原规范采用 HPB235 钢筋,拉应力限值为 50MPa,现采用 HPB300 钢筋,故其拉应力限值相应修改为 65 MPa,与设计规范的规定保持一致。

4.2 加工

4.2.1 钢筋的表面应洁净、无损伤,使用前应将表面的油渍、漆皮、鳞锈等清除干净,带有颗粒状或片状老锈的钢筋不得使用。

4.2.2 钢筋应平直、无局部弯折,成盘的钢筋和弯曲的钢筋在加工前均应调直。采用冷拉方法调直钢筋时,HPB300 钢筋的冷拉率宜不大于 2%;HRB400 钢筋的冷拉率宜不大于 1%。

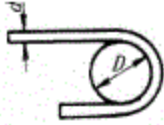
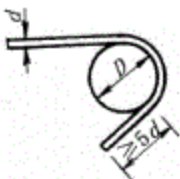
4.2.3 钢筋宜采用数控化机械设备在专用厂房中集中下料和加工,其形状、尺寸应符合设计的规定;加工后的钢筋,其表面不应有削弱钢筋截面的伤痕。

条文说明:

钢筋采用数控化机械设备在专用的厂房中集中下料和加工,近年来已得到了较好的普及应用。工程实践证明,这种做法对于保证工程的质量、提升工程的品质具有良好的促进作用,同时这也是标准化施工的具体体现,故本次修订将此项要求列入。

4.2.4 钢筋的弯制和端部的弯钩应符合设计要求,设计未要求时,应符合表 4.2.4 的规定。

表 4.2.4 受力主钢筋制作和末端弯钩形状

弯曲部位	弯曲角度	形状图	钢筋种类	弯曲直径 D	平直段长度
末端弯钩	180°		HPB300	$\geq 2.5d$	$\geq 3d$
	135°		HRB400 HRBF400 HRB500 RRB400	$\geq 5d$	$\geq 5d$
	90°		HRB400 HRBF400 HRB500 RRB400	$\geq 5d$	$\geq 10d$
中间弯折	$\leq 90^\circ$		各种钢筋	$\geq 20d$	—

注：采用环氧涂层钢筋时，除应满足表内规定外，当钢筋直径 $d \leq 20\text{mm}$ 时，弯钩内直径 D 应不小于 $5d$ ；当 $d > 20\text{mm}$ 时，弯钩内直径 D 应不小于 $6d$ ；平直段长度应不小于 $5d$ 。

条文说明：

本条所指钢筋主要是受力主筋。本次修订删除了 HPB235、HRB335 两种钢筋，增加了 HRBF400、HRB500 等钢筋。

4.2.5 箍筋的末端应做弯钩，弯钩的形状应符合设计规定。弯钩的弯曲直径应大于被箍受力主钢筋的直径，且 HPB300 钢筋应不小于箍筋直径的 2.5 倍，HRB400 钢筋应不小于箍筋直径的 5 倍。弯钩平直部分的长度，一般结构应不小于箍筋直径的 5 倍；有抗震要求的结构，应不小于箍筋直径的 10 倍。设计对弯钩的形状未规定时，可按图 4.2.5 a)、b) 加工；有抗震要求的结构，应按图 4.2.5 c) 加工。

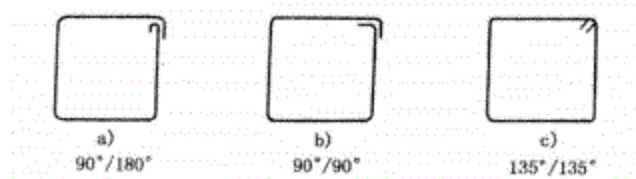


图 4.2.5 箍筋弯钩形式图

条文说明：

本条删除了 HPB235、HRB335 两种钢筋，分别代之以 HPB300、HRB400 钢筋。

4.2.6 钢筋加工的允许偏差应符合表 4.2.6 的规定。**表 4.2.6 钢筋加工的允许偏差**

项目	允许偏差 (mm)
受力钢筋顺长度方向加工后的全长	±10
弯起钢筋各部分尺寸	±20
箍筋、螺旋筋各部分尺寸	±5

4.3 连接

4.3.1 钢筋的连接宜采用焊接接头或机械连接接头。绑扎接头仅当钢筋构造复杂施工困难时方可采用，绑扎接头的钢筋直径宜不大于 28mm，对轴心受压和偏心受压构件中的受压钢筋可不大于 32mm；轴心受拉和小偏心受拉构件不应采用绑扎接头。

4.3.2 受力钢筋的连接接头应设置在内力较小区段，并应错开布置。对焊接接头和机械连接接头，在接头长度区段内，同一根钢筋不得有两个接头；对绑扎接头，两接头间的距离应不小于 1.3 倍搭接长度。配置在接头长度区段内的受力钢筋，其接头的截面面积占总截面面积的百分率，应符合表 4.3.2 的规定。

表 4.3.2 接头长度区段内受力钢筋接头面积的最大百分率

接头形式	接头面积最大百分率 (%)	
	受拉区	受压区
主钢筋绑扎接头	25	50
主钢筋焊接接头	50	不限制

注：1. 焊接接头和机械连接接头长度区段内是指 35d（d 为钢筋直径）长度范围内，但不得小于 500mm；绑扎接头长度区段内是指 1.3 倍搭接长度范围内。

2. 在同一根钢筋上宜少设接头。
3. 装配式构件连接处的受力钢筋焊接接头可不受此限制。
4. 接头部分钢筋的横向净距应不小于钢筋直径且不小于 25mm。

4.3.3 钢筋的焊接接头应符合下列规定：

- 1 钢筋的焊接接头宜采用闪光对焊，或采用电弧焊、电渣压力焊、气压焊，但电渣压

力焊仅可用于竖向钢筋的连接，不得用于水平钢筋和斜筋的连接。钢筋焊接的接头形式、焊接方法和焊接材料应符合现行《钢筋焊接及验收规程》(JGJ18)的规定，质量验收标准应按本规范附录 A 执行。

2 每批钢筋焊接前，应先选定焊接工艺和焊接参数，按实际条件进行试焊，并检验接头外观质量及规定的力学性能，试焊质量经检验合格后方可正式施焊。焊接时，对施焊场地应有适当的防风、雨、雪、严寒的设施。

3 电弧焊宜采用双面焊缝，仅在双面焊无法施焊时，方可采用单面焊缝。采用搭接电弧焊时，两钢筋搭接端部应预先折向一侧，两接合钢筋的轴线应保持一致；采用帮条电弧焊时，帮条应采用与主筋相同强度等级的钢筋，其总截面面积应不小于被焊接钢筋的截面积。电弧焊接头的焊缝长度，对双面焊缝应不小于 $5d$ ，单面焊缝应不小于 $10d$ (d 为钢筋直径)。电弧焊接与钢筋弯曲处的距离应不小于 $10d$ ，且不宜位于构件的最大弯矩处。

条文说明：

3 钢筋的连接接头如采用搭接或帮条电弧焊接而做成单面焊缝时，会产生偏心应力，对钢筋的受力不利，故需尽量采用双面焊缝。只有当钢筋布置密集，双面帮条设置困难，或由于其他原因无法进行双面焊接时，才允许做成单面搭接焊或单面帮条焊。

4.3.4 钢筋的机械连接宜采用镦粗直螺纹、滚轧直螺纹或套筒挤压接头，且适用于 HRB400、HRBF400、HRB500 和 RRB400 热轧带肋钢筋。各类接头的性能均应符合现行《钢筋机械连接技术规程》(JGJ 107) 的规定，并应符合下列规定：

1 钢筋机械连接接头的等级应选用 I 级或 II 级，接头的性能指标应符合本规范附录 B 的规定。

2 钢筋机械连接接头的材料、制作、安装施工及质量检验和验收，应符合现行《钢筋机械连接用套筒》(JG/T 163) 和《钢筋机械连接技术规程》(JGJ 107) 的规定。

3 钢筋机械连接件的最小混凝土保护层厚度，应符合设计受力主筋混凝土保护层厚度的规定，且不得小于 20mm ；连接件之间或连接件与钢筋之间的横向净距应不小于 25mm 。

4 连接套筒、锁母、丝头等在运输和储存过程中应采取防护措施，防止雨淋、沾污和损伤。

条文说明：

本条依据《钢筋机械连接技术规程》(JGJ 107-2016) 的规定，适用范围有所扩大，且不再限制钢筋直径。

1 《钢筋机械连接技术规程》(JGJ107-2016) 将机械连接接头分为 I、II、III 三个性能等级，考虑到桥涵结构基本上都要承受动力荷载并有各级抗震要求，所以规定应选用 I

级或 II 级的接头。

2 新颁布的《钢筋机械连接用套筒》(JG/T 163-2013) 已替换原行业标准《带肋直螺纹钢筋接头》(JG 171—2005) 和《滚轧直螺纹钢筋连接接头》(JG 163—2004), 故本款作出了相应修改。

4.3.5 钢筋机械连接接头在施工现场的检验与验收应符合下列规定:

1 应提交有效的型式检验报告, 以及连接件产品合格证、接头加工安装要求等相关技术文件。

2 钢筋连接工程开始前及施工过程中, 应对第一批进场钢筋进行接头工艺试验。进行工艺试验时, 每种规格钢筋的接头试件应不少于 3 个, 3 个接头试件的抗拉强度和残余变形均应满足本规范附录 B 的要求。

3 现场检验应进行外观质量检查和单向拉伸强度试验。

4 接头的现场检验应按验收批进行。同一施工条件下采用同一批材料的同等级、同形式、同规格接头, 以 500 个为一个验收批进行检验与验收, 不足 500 个时亦作为一个验收批。

5 对接头的每一个验收批, 应在工程结构中随机截取 3 个试件做抗拉强度试验, 当 3 个接头试件的抗拉强度符合相应等级要求时, 该验收批评定为合格; 如有 1 个试件的抗拉强度不合格, 应再取 6 个试件进行复检, 复检中如仍有 1 个试件试验结果不合格, 则该验收批评定为不合格。

6 在现场连续检验 10 个验收批, 其全部试件抗拉强度试验一次抽样均合格时, 验收批接头数量可扩大 1 倍。

4.3.6 钢筋直螺纹接头的连接安装应符合下列规定:

1 安装时可采用管钳扳手施拧紧固, 被连接钢筋的端头应在套筒中心位置相互顶紧, 标准型、正反丝型、异径型接头在安装后其单侧外露螺纹宜不超过 $2p$ (p 为螺纹的螺距); 对无法对顶的其他直螺纹连接接头, 应附加锁紧螺母、顶紧凸台等措施紧固。

2 安装完成后, 应采用扭力扳手校核其拧紧扭矩, 最小拧紧扭矩值应符合表 4.3.6 的规定。

表 4.3.6 直螺纹接头连接安装最小拧紧扭矩值

钢筋直径 (mm)	≤16	18~20	22~25	28~32	36~40	50
拧紧扭矩 (N·m)	100	200	260	320	360	460

注: 校核用扭力扳手的准确度级别可选用 10 级。

4.3.7 钢筋套筒挤压接头的连接安装应符合下列规定：

- 1 被连接钢筋的端部不得有局部弯曲、严重锈蚀和附着物。
- 2 钢筋端部应有挤压套筒后可检查钢筋插入深度的明显标记，钢筋端头与套筒长度中点的距离宜不超过 10mm。
- 3 应从套筒中心开始依次向两端挤压；挤压后，对压痕直径或套筒长度的波动范围应采用专用量规进行检验。
- 4 挤压连接后，压痕处的套筒外径应为原套筒外径的 0.80~0.90 倍，套筒长度应为原套筒长度的 1.10~1.15 倍，且套筒不应有可见裂纹。

4.3.8 钢筋的绑扎接头应符合下列规定：

- 1 绑扎接头的末端距钢筋弯折处的距离，应不小于钢筋直径的 10 倍，接头不宜位于构件的最大弯矩处。
- 2 受拉钢筋绑扎接头的搭接长度，应符合表 4.3.8 的规定；受压钢筋绑扎接头的搭接长度，应取受拉钢筋绑扎接头搭接长度的 0.7 倍。

表 4.3.8 受拉钢筋绑扎接头的搭接长度

钢筋类型	HPB300		HRB400、 HRBF400、 RRB400	HRB500
混凝土强度等级	C25	≥C30	≥C30	≥C30
搭接长度 (mm)	40d	35d	45d	50d

注：1.表中 d 为钢筋直径。

- 2.当带肋钢筋直径 d 大于 25mm 时，其受拉钢筋的搭接长度应按表中值增加 5d 采用；当带肋钢筋直径 d 小于或等于 25mm 时，其受拉钢筋的搭接长度可按表中值减少 5d 采用。
- 3.当混凝土在凝固过程中受力钢筋易受扰动时，其搭接长度应增加 5d。
- 4.在任何情况下，纵向受拉钢筋的搭接长度应不小于 300mm；受压钢筋的搭接长度应不小于 200mm。
- 5.环氧树脂涂层钢筋的绑扎接头搭接长度，受拉钢筋按表值的 1.5 倍采用。
- 6.两根不同直径钢筋的搭接长度，以较细的钢筋直径计算。

3 受拉区内 HPB300 钢筋绑扎接头的末端应做弯钩；HRB400、HRBF400、HRB500 和 RRB400 钢筋的绑扎接头末端可不作弯钩；直径不大于 12mm 的受压 HPB300 钢筋的末端可不作弯钩，但搭接长度应不小于钢筋直径的 30 倍。钢筋搭接处，应在其中心和两端用绑丝扎牢。

4 束筋施工时，其规格、数量、位置及锚固长度应符合设计要求。束筋的搭接接头应先从单根钢筋错开搭接，接头中距应为表 4.3.8 规定单根钢筋搭接长度的 1.3 倍；再用一根长

度为 $1.3(n+1)l_s$ 的通长钢筋进行搭接绑扎，其中 n 为组成束筋的单根钢筋根数， l_s 为单根钢筋搭接长度（图 4.3.8）。

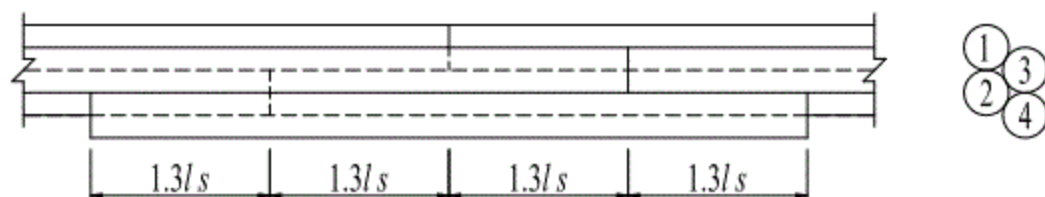


图 4.3.8 束筋的搭接

1、2、3-组成束筋的单根钢筋；4-通长钢筋

条文说明：

本条将 HPB235 钢筋修改为 HPB300 钢筋，取消了 HRB335 钢筋，增加了 HRBF400、HRB500 等钢筋，并对钢筋搭接长度按不同的混凝土强度等级作出了相应修改。

4.4 绑扎与安装

4.4.1 钢筋的绑扎应符合下列规定：

- 1 钢筋的交叉点宜采用直径 0.7~2.0mm 的铁丝扎牢，必要时可采用点焊焊牢。绑扎宜采取逐点改变绕丝方向的 8 字形方式交错扎结，对直径 25mm 及以上的钢筋，宜采取双对角线的十字形方式扎结。
- 2 结构或构件拐角处的钢筋交叉点应全部绑扎；中间平直部分的交叉点可交错绑扎，但绑扎的交叉点宜占全部交叉点的 40% 以上。
- 3 钢筋绑扎时，除设计有特殊规定者外，箍筋应与主筋垂直。
- 4 绑扎钢筋的铁丝丝头不应进入混凝土保护层内。

4.4.2 对集中加工、整体安装的半成品钢筋和钢筋骨架，在运输时应采用适宜的装载工具，并应采取增加刚度、防止其扭曲变形的措施。

条文说明：

在工程施工中，为加快施工进度，提高施工效率，经常有将钢筋加工成半成品或先形成骨架，再运输到现场进行整体安装的做法。但在运输过程中，半成品或骨架钢筋因刚度不足很容易产生变形，故规定“在运输时应采用适宜的装载工具，并应采取增加刚度、防

止其扭曲变形的措施”，目的是保证钢筋安装的最终精度。

4.4.3 安装钢筋时应符合下列规定：

- 1 钢筋的级别、直径、根数、间距等应符合设计的规定。
- 2 对多层多排钢筋，宜根据安装需要在其间隔处设立一定数量的架立钢筋或短钢筋，但架立钢筋或短钢筋的端头不得伸入混凝土保护层内。
- 3 半成品钢筋和钢筋骨架采用整体方式安装时，宜设置专用胎架或卡具等进行辅助定位，安装过程中应采取保证整体刚度及防止变形的措施。
- 4 当钢筋过密，将会影响到混凝土浇筑质量时，应及时与设计协商解决。

条文说明：

3 规定本款的目的与本规范第 4.4.2 条相同，亦是要保证钢筋安装的最终精度；设置专用胎架或卡具等进行辅助定位，能有效地保证钢筋的安装精度。

4.4.4 钢筋与模板之间应设置垫块，垫块的制作、设置和固定应符合下列规定：

- 1 混凝土垫块应具有不低于结构本体混凝土的强度，并应有足够的密实性；采用其他材料制作垫块时，除应满足使用强度的要求外，其材料中不应含有对混凝土产生不利影响的成分。垫块的制作厚度不应出现负误差，正误差应不大于 1mm。
- 2 用于重要工程或有防腐蚀要求的混凝土结构或构件中的垫块，宜采用专门制作的定型产品，且该类产品的质量同样应符合本条第 1 款的规定。
- 3 垫块应相互错开、分散设置在钢筋与模板之间，但不应横贯混凝土保护层的全部截面进行设置。垫块在结构或构件侧面和底面所布设的数量应不少于 4 个/m²，重要部位宜适当加密。
- 4 垫块应与钢筋绑扎牢固，且绑丝及其丝头均不应进入混凝土保护层内。
- 5 混凝土浇筑前，应对垫块的位置、数量和紧固程度进行检查，不符合要求时应及时处理，应保证钢筋的混凝土保护层厚度满足设计要求和本规范的规定。

条文说明：

钢筋的混凝土保护层厚度，对防止钢筋锈蚀、保证结构的耐久性具有重要的作用。本条就垫块的制作、设置和固定等方面作出了相应规定，其最终目的是保证钢筋的混凝土保护层厚度满足设计要求。

- 1 本款对混凝土垫块增加了“应具有不低于结构本体混凝土的强度”的要求。

4.4.5 钢筋骨架的焊接拼装应在坚固的工作台上进行，操作时应符合下列规定：

1 拼装前应按设计图纸放大样，放样时应考虑焊接变形的预留拱度。拼装时，在需要焊接的位置宜采用楔形卡卡紧，防止焊接时局部变形。

2 骨架焊接时，不同直径钢筋的中心线应在同一平面上，较小直径的钢筋在焊接时，下面宜垫以厚度适当的钢板。施焊顺序宜由中到边对称地向两端进行，先焊骨架下部，后焊骨架上部。相邻的焊缝应采用分区对称跳焊，不得顺方向一次焊成。

4.4.6 钢筋网的焊点应符合设计规定，当设计未规定时，应按下列要求进行焊接：

1 在焊接网的受力钢筋为 HPB300 或冷拉 HPB300 钢筋的情况下，当焊接网只有一个方向为受力钢筋时，网两端边缘的两根锚固横向钢筋与受力钢筋的全部交叉点必须焊接；当焊接网的两个方向均为受力钢筋时，沿网四周边缘的两根钢筋的全部交叉点均应焊接；其余的交叉点可焊接或绑扎一半，或根据运输和安装条件决定。

2 当焊接网的受力钢筋为冷拔低碳钢丝，而另一方向的钢筋间距小于 100mm 时，网两端边缘的两根钢筋的全部交叉点必须焊接，中间部分的焊点距离可增大至 250mm。

4.4.7 灌注桩钢筋骨架的制作、运输与安装应符合下列规定：

1 制作时应采取必要措施，保证骨架的刚度，主筋的接头应错开布置。大直径长桩的钢筋骨架宜在胎架上分段制作，且宜编号，安装时应按编号顺序连接。

2 应在骨架外侧设置控制混凝土保护层厚度的垫块，垫块的间距在竖向应不大于 2m，在横向圆周应不少于 4 处。

3 钢筋骨架在运输过程中，应采取适当的措施防止其变形。

4 钢筋骨架在安装时，其顶端应设置吊环。

4.4.8 绑扎或焊接的钢筋骨架和钢筋网不得有变形、松脱和开焊。

5 模板、支架

5.1 一般规定

5.1.1 模板宜采用钢材、胶合板或其他适宜的材料制作；支架宜采用钢材或常备式定型钢构件等材料制作。钢材的性能和质量应符合现行《碳素结构钢》（GB/T 700）的规定；胶合板的性能和质量应符合现行《混凝土模板用胶合板》（GB/T 17656）或现行《混凝土模板用竹材胶合板》（LY/T 1574）的规定；其他材料应符合其相应国家或行业标准的规定，常备式定型钢构件应符合该产品相应的技术规定。

条文说明：

“常备式定型钢构件”系指万能杆件、装配式公路钢桥中的贝雷桁片、钢管脚手架等钢构件。

5.1.2 模板和支架应符合下列规定：

- 1 模板和支架应具有足够的强度、刚度和稳定性，应能承受施工过程中所产生的各种荷载。
- 2 模板、支架的构造应简单、合理，结构受力应明确，安装、拆除应方便。
- 3 模板应能与混凝土结构或构件的特征、施工条件和浇筑方法相适应，应保证结构物各部位形状尺寸和相互位置的准确。
- 4 模板的板面应平整，接缝处应严密且不漏浆；模板与混凝土的接触面应涂刷隔离剂，但不得采用废机油等油料，且不得污染钢筋及混凝土的施工缝。
- 5 支架应稳定、坚固，应能抵抗在施工过程中可能发生的振动和偶然撞击。
- 6 支架不得与应急安全通道相连接。

条文说明：

本条是对模板、支架在设计、制作和使用时的基本要求。

5.1.3 模板和支架均应进行施工图设计，且经批准后方可用于施工。施工图设计应包括下列内容：

- 1 工程概况和工程结构简图；

- 2 结构设计的依据和设计计算书;
- 3 总装图和细部构造图;
- 4 制作、安装的质量及精度要求;
- 5 安装、拆除时的安全技术措施及注意事项;
- 6 材料的性能质量要求及材料数量表;
- 7 设计说明书和使用说明书。

条文说明:

规定本条的目的是保证工程质量和施工安全。模板失效、支架坍塌的现象在施工中时有发生,其原因多数是仅凭经验设置模板、支架,或盲目套用类似工程的做法,而不对模板、支架的构造和结构进行设计和受力计算,也不履行施工技术管理程序所致。故强调“模板和支架均应进行施工图设计,且经批准后方可用于施工”,此处的“经批准”一般指经监理工程师审核后批准。

5.1.4 在模板上设置的吊环应采用 HPB300 钢筋,严禁采用冷加工钢筋制作。每个吊环应按两肢截面计算,在模板自重标准值作用下,吊环的拉应力应不大于 65MPa。

条文说明:

禁止采用冷加工钢筋制作吊环,是因为这种钢筋在承受荷载时容易产生脆断,造成事故。

5.2 模板、支架设计

5.2.1 模板、支架的设计应根据工程结构形式、荷载情况、地基土类别、施工设备和材料性能等条件进行,且宜优先采用标准化、定型化的构件。

条文说明:

本次修订增加了模板、支架的设计“宜优先采用标准化、定型化的构件”的表述,这是因为标准化、定型化的构件用于组拼模板、支架可以提高施工效率,且受力较可靠。

5.2.2 模板的设计可按现行《建筑施工模板安全技术规范》(JGJ162)的规定执行,采用冷弯薄壁型钢时应符合现行《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB50018)的规定,采用定型组合钢模板时应符合现行《组合钢模板技术规范》(GB/T50214)的规定。

钢支架的设计应符合现行《钢结构设计标准》(GB50017)的规定。木模板和木支架的设计应符合现行《木结构设计标准》(GB50005)的规定。采用定型钢管脚手架作为支架材料时,支架的设计应分别符合现行《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ166)、《建筑施工门式钢管脚手架安全技术标准》(JGJ/T128)、《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ130)、《建筑施工承插型盘扣式钢管支架安全技术规程》(JGJ231)或《桥梁用蟹钳式三角钢管支架》(JT/T1107)的规定。采用其他材料的模板和支架的设计应符合其相应的专门技术规定。

条文说明:

由于支架及地基与基础的结构形式多种多样,并无统一的模式,而现行的国家标准和行业标准中均无专门的临时性结构的设计规范,故只能规定按永久结构的相关标准规范执行。需注意的是:虽然本次修订明确“模板的设计可按现行《建筑施工模板安全技术规范》(JGJ 162)的规定执行”,但需要根据桥涵工程的不同特点合理使用该规范的内容。

5.2.3 支架的地基与基础设计应符合现行《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363)的规定。

5.2.4 模板的构造要求应符合下列规定:

1 模板背面应设置主肋和次肋作为其支承系统,主肋和次肋的布置应根据模板的荷载和刚度要求进行。次肋的配置方向应与模板的长度方向相垂直,应能直接承受模板传递的荷载,其间距应按荷载数值和模板的力学性能计算确定;主肋应承受次肋传递的荷载,且应能起到加强模板结构的整体刚度和调整平直度的作用,支架或支撑的着力点应设置在主肋上。

2 模板的配板应根据配模面的形状、几何尺寸及支撑形式决定。配板时宜选用大规格的模板为主板,其他规格的模板作为补充;配板后的板缝应规则,不得杂乱无章。

3 对在墩柱、梁、板的转角处使用的模板及各种模板面的交接部分,应采用连接简便、结构牢固、易于拆除的专用模板。

4 当设置对拉螺杆或其他拉筋,需要在模板上钻孔时,应使钻孔的模板能多次周转使用,并应采取措施减少或避免在模板上钻孔。

5.2.5 支架的构造要求应符合下列规定:

1 支架的构造形式宜综合所采用的材料类别、所支承的结构及其荷载、地形及环境条件、地基情况等因素确定。

2 支架的立杆之间应根据其受力要求和结构特点设置水平和斜向等支撑连接杆件，增强支架的整体刚度和稳定性。

3 托架结构宜设置成三角形，且与预埋件的连接固定方式应可靠。

4 采用定型钢管脚手架材料作支架时，其构造应符合相应技术规范的规定。

条文说明：

2 立杆主要承受竖向荷载，在支架的立杆之间设置水平向和斜向的连接杆件，是增强支架整体刚度和稳定性的有效途径。如果支架的整体刚度不足、稳定性差，即使杆件的强度足够，亦有可能会造成变形过大甚至失稳，导致坍塌等事故。

4 原规范对碗扣式钢管脚手架的构造要求作了较为详细的规定，这是因为多年来碗扣式钢管脚手架的应用较为广泛，为使用方便而将其单独列出。但近年来除门式、扣件式和碗扣式外，其他类型的换代产品如盘扣式、蟹钳式等钢管脚手架用作桥涵工程的承重支架也在逐渐增多，这些钢管脚手架都有专门的标准，故本次修订统一规定如条文，不再对碗扣式钢管脚手架的构造要求作单独规定。

5.2.6 模板、支架的设计应考虑下列各项荷载，并按表 5.2.6 的规定进行荷载组合：

- 1 模板、支架自重；
- 2 新浇筑混凝土、钢筋、预应力筋或其他圬工结构物的重力；
- 3 施工人员及施工设备、施工材料等荷载；
- 4 振捣混凝土时产生的振动荷载；
- 5 新浇筑混凝土对模板侧面的压力；
- 6 混凝土入模时产生的水平方向的冲击荷载；
- 7 设于水中的支架所承受的水流压力、波浪力、流冰压力、船只及其他漂浮物的撞击力；
- 8 其他可能产生的荷载，如风荷载、雪荷载、冬季保温设施荷载、温度应力等。

表 5.2.6 模板、支架设计计算的荷载组合

模板、支架结构类别	荷载组合	
	强度计算	刚度验算
梁、板的底模板以及支承板、支架等	1+2+3+4+7+8	1+2+7+8
缘石、人行道、栏杆、柱、梁、板等的侧模板	4+5	5

基础、墩台等厚大结构物的侧模板	5+6	5
-----------------	-----	---

5.2.7 普通模板荷载计算应符合本规范附录 C 的规定。

5.2.8 验算模板、支架的刚度时，其最大变形值不得超过下列允许值：

- 1 结构表面外露的模板，挠度为模板构件跨度的 $1/400$ 。
- 2 结构表面隐蔽的模板，挠度为模板构件跨度的 $1/250$ 。
- 3 支架受载后挠曲的杆件（横梁、纵梁），其弹性挠度为相应结构计算跨度的 $1/400$ 。
- 4 钢模板的面板变形为 1.5mm ，钢棱和柱箍变形为 $L/500$ 和 $B/500$ （其中 L 为计算跨径， B 为柱宽）。

5.2.9 验算模板、支架在自重和风荷载等作用下的抗倾覆稳定性时，其抗倾覆稳定系数应不小于 1.3。

5.3 模板的制作与安装

5.3.1 模板的制作应符合下列规定：

- 1 钢模板应按批准的加工图进行制作，成品经检验合格后方可使用。组装前应对零部件的几何尺寸和焊缝进行全面检查，合格后方可进行组装。面板变形及整体刚度应符合本规范第 5.2.8 条的规定。
- 2 制作钢木组合模板时，钢与木之间的接触面应贴紧。面板采用防水胶合板的模板，除应使胶合板与背楞之间密贴外，对在制作过程中裁切过的防水胶合板茬口，应按产品的要求及时涂刷防水涂料。
- 3 木模板与混凝土接触的表面应刨光且应保持平整。木模板的接缝可制作成平缝、搭接缝或企口缝，当采用平缝时，应有防止漏浆的措施；转角处应加嵌条或做成斜角。
- 4 采用其他材料（高分子合成材料面板、硬塑料或玻璃钢）制作模板时，其接缝应严密，边肋及加强肋应安装牢固，并应与面板成一整体。

条文说明：

- 2 钢木组合模板是指背楞用钢材、面板用木材或防水胶合板的模板。对这种模

板，钢与木的紧密结合能保证其整体性好。

3 木模板的转角加嵌条或做成斜角（钝角），能使拆模时构造物的转角处不易损伤破裂，且较美观。

5.3.2 模板的安装应符合下列规定：

- 1 模板应按设计要求准确就位，且不宜与脚手架连接。
- 2 安装侧模板时，支撑应牢固，应防止模板在浇筑混凝土时产生移位。
- 3 模板在安装过程中，必须设置防倾覆的临时固定设施。
- 4 模板安装完成后，其尺寸、平面位置和顶部高程等应符合设计要求，节点联系应牢固。
- 5 梁、板等结构的底模板宜根据需要设置预拱度。
- 6 固定在模板上的预埋件和预留孔洞均不得遗漏，安装应牢固，位置应准确。

条文说明：

- 3 规定本款的目的，主要是为防止在模板安装过程中发生事故。

5.3.3 采用提升模板施工时，应设置脚手平台、接料平台、挂吊脚手及安全网等辅助设施。

5.3.4 采用翻转模板和爬升模板施工时，其结构应满足强度、刚度及稳定性要求。液压爬模应由专业单位设计和制造，并应有检验合格证明及操作说明书。施工应符合下列规定：

- 1 混凝土的强度应达到规定的数值后方可拆模并进行模板的翻转或爬架爬升。作用于爬模上接料平台、脚手平台和拆模吊篮的荷载应均衡，不得超载，严禁混凝土吊斗碰撞爬模系统。

- 2 模板沿墩身周边方向应始终保持顺向搭接。在施工过程中，应随时检查爬模的中线、水平位置和高程等，发现问题应及时纠正。

5.3.5 采用滑升模板时，除应符合现行《滑动模板工程技术标准》（GB/T50113）的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 模板的高度宜根据结构物的实际情况确定；模板的结构应具有足够的强度、刚度和稳定性；支承杆及提升设备应能保证模板竖直均衡上升。组装时应使各部尺寸的精度符合设计要求，组装完毕应经全面检查试验合格后，方可正式投入使用。

2 模板的滑升速度宜不大于 250mm/h，滑升时应检测并控制其位置。滑升模板的施工宜连续进行，因故中断时，宜在中断前将混凝土浇筑齐平，中断期间模板仍应继续缓慢地滑升，直到混凝土与模板不致粘住时为止。

条文说明：

2 原规范规定模板的滑升速度宜为 100~300mm/h，为保证施工安全，根据工程实践经验，将其调整为宜不大于 250mm/h。

5.3.6 模板制作、安装的精度应分别符合表 5.3.6-1 和表 5.3.6-2 的规定。

表 5.3.6-1 模板制作的允许偏差

项目			允许偏差（mm）
木 模 板 制 作	模板的长度和宽度		±5
	不刨光模板相邻两板表面高低差		3
	刨光模板相邻两板表面高低差		1
	平板模板表面最大的局部不平	刨光模板	3
		不刨光模板	5
	拼合板中木板间的缝隙宽度		2
榫槽嵌接紧密度		2	
钢 模 板 制 作	外形尺寸	长和高	+0， -1
		肋高	±5
	面板端偏斜		0.5
	连接配件（螺栓、卡子等）的 孔眼位置	孔中心与板面的间距	±0.3
		板端中心与板端的间距	+0， -0.5
		沿板长、宽方向的孔	±0.6
	板面局部不平		1
板面和板侧挠度		±1	

注：板面局部不平用 2m 靠尺、塞尺检测。

表 5.3.6-2 模板安装的允许偏差

项目		允许偏差 (mm)
模板高程	基础	±15
	柱、梁	±10
	墩台	±10
模板尺寸	上部结构的所有构件	+5, -0

	基础	±30
	墩台	±20
轴线偏位	基础	15
	柱	8
	梁	10
	墩台	10
装配式构件支承面的高程		+2, -5
模板相邻两板表面高低差		2
模板表面平整		5
预埋件中心线位置		3
预留孔洞中心线位置		10
预留孔洞截面内部尺寸		+10, -0

5.4 支架的制作与安装

5.4.1 支架的制作应符合下列规定：

- 1 支架宜采用标准化、系列化、通用化的钢构件制作拼装。
- 2 制作木支架时，两相邻立柱的连接接头宜分设在不同的水平面上，并应减少长杆件接头。主要压力杆的接长连接，宜使用对接法，并宜采用木夹板或铁夹板夹紧；次要构件的连接可采用搭接法。

条文说明：

1 支架主要有满布式支架、梁式支架及特殊支架等几大类，不论采用何种类型的支架，标准化、系列化、通用化都是简化制作拼装工序、加快进度、保证工程质量和施工安全的重要手段，因此推荐在实际施工中采用。

2 木支架的接头是受力的薄弱点，而且耗用材料多，故其接头需要尽量减少。相邻立柱的接头如设在同一水平面上，对承受水平方向的力不利，故规定“宜分设在不同的水平面上”。

5.4.2 支架的安装应符合下列规定：

- 1 支架应按施工图设计的要求进行安装。立柱应垂直，节点连接应可靠。
- 2 高支架应设置足够的斜向连接、扣件或缆风绳，横向稳定应有保证措施。
- 3 支架在安装完成后，应对其平面位置、顶部高程、节点连接及纵、横向稳定性进行全面检查，符合要求后，方可进行下一工序。

条文说明：

2 支架的稳定性是在设计和使用中需要引起高度重视的问题，尤其对高支架更需慎重。支架在构造上的不合理是导致其失稳的一个重要原因，因此需要加强水平向和斜向的必要连接，以增强其整体稳定性，保证施工安全。

5.4.3 支架宜根据其结构形式、所用材料和地基情况的不同，在施工前确定是否对其进行预压，并应符合下列规定：

1 对位于刚性地基上的刚度较大且非弹性变形可确定控制在一定范围内的支架，在经计算并通过一定审核程序，确认其满足强度、刚度和稳定性等要求的前提下，可不预压；但在施工过程中应对支架的材料和安装施工质量采取严格的管控措施。

2 对位于软土地基或软硬不均地基上的支架，宜通过预压的方式，消除地基的不均匀沉降和支架的非弹性变形。

3 对支架进行预压时，预压荷载宜为支架所承受荷载的 1.05~1.10 倍，预压荷载的分布宜模拟需承受的结构荷载及施工荷载。

4 对采用定型钢管脚手架作为承重杆件的满布式支架进行预压时，可按现行《钢管满堂支架预压技术规程》(JGJ/T194) 的规定执行。

条文说明：

本次修订对支架是否需要预压根据不同情况作了较为灵活的规定。

1 “位于刚性地基上”主要是指支架支承在桥涵工程的基础顶部、正式通车后的水泥混凝土路面或沥青混凝土路面顶部、以及其他经确认不会产生沉降的构筑物顶部；“刚度较大且非弹性变形可确定控制在一定范围内的支架”一般指采用大直径钢管或型钢等材料制作而成的支架。这类支架是将永久工程的结构物作为其支承的地基，其沉降几乎为零或小到可以忽略不计，所需计及的仅是支架本身的弹性变形和非弹性变形，故规定对此类支架“在经计算并通过一定审核程序，确认其满足强度、刚度和稳定性等要求的前提下，可不预压”。

2 位于软土地基或软硬不均地基上的支架，由于在其上加载后地基会产生不均匀沉降，进而将会对现场浇筑的混凝土结构物或安装的其他结构产生不利影响，严重者可能会产生过大的沉降甚至导致支架坍塌，故对此类支架需要进行预压，在正式施工前消除支架地基的不均匀沉降和支架的非弹性变形，以保证施工的安全。

5.4.4 支架应结合模板的安装一并考虑设置预拱度和卸落装置，并应符合下列规定：

1 设置的预拱度值，应包括结构本身需要的预拱度和施工需要的预拱度两部分。

2 施工预拱度应考虑下列因素：模板、支架承受施工荷载引起的弹性变形；受载后由于杆件接头的挤压和卸落装置压缩而产生的非弹性变形；支架地基在受载后的沉降变形。

3 专用支架应按其产品的要求进行模板的卸落；自行设计的普通支架应在适当部位设置相应的木楔、木马、砂筒或千斤顶等卸落模板的装置，并应根据结构形式、承受的荷载大小确定卸落量。

条文说明：

1 梁、板等结构在施工时所设置的预拱度一般包括两部分：①结构本身需要的预拱度；②施工需要设置的预拱度。前者是结构在规定的荷载作用下会产生挠度，为抵消该挠度对结构正常使用的影响，需要设置一预留拱度，该部分预拱度的具体量值一般按设计规范的规定进行计算；后者是在施工中，由于施工荷载的作用，使得模板、支架产生压缩、变形及地基的沉降等问题，为抵消模板、支架的弹性变形、非弹性变形和地基沉降的影响，则需要设置一定的预拱度，这一部分预拱度的量值一般需要通过计算或试验来确定。

5.5 模板、支架的拆除

5.5.1 模板、支架的拆除期限和拆除程序等应根据结构物特点、模板部位和混凝土所应达到的强度要求确定，并应严格按其相应的施工图设计的要求进行。

条文说明：

本条修订时在表述上作了一些调整，将“设计未要求时”的表述删除。本规范第 5.1.3 条已规定模板和支架均要进行施工图设计，而施工图设计中包含了需要明确拆除的要求，因此就不存在“设计未要求时”的情况，故作此调整。

5.5.2 非承重侧模板应在混凝土抗压强度达到 2.5MPa，且能保证其表面及棱角不致因拆模而受损坏时方可拆除。

条文说明：

为保证非承重的侧模板在拆模时混凝土表面及棱角不致因拆模而被损坏、断裂，或混凝土本身不能支持自重而变形、坍塌，这就要求拆模时混凝土的抗拉强度和抗剪强度要大于模板与混凝土间的脱模（黏结）力，其抗压强度则要求能支持其自重。

试验证明混凝土的抗拉强度一般为其抗压强度的 $1/10 \sim 1/16$ ，抗剪强度为抗压强度的 $1/4 \sim 1/6$ ，因此，为控制拆模时混凝土的抗拉强度和抗剪强度，拆模前需要测定其抗压强度。一般情况下，抗压强度达到 2.5MPa 时，能满足拆除模板时所需的各项强度。

5.5.3 芯模和预留孔道的内模，应在混凝土强度能保证其表面不发生塌陷或裂缝现象时，方可拆除。

5.5.4 钢筋混凝土结构的承重模板、支架，应在混凝土强度能承受其自重荷载及其他可能的叠加荷载时，方可拆除。

5.5.5 对预应力混凝土结构，在符合本规范第 5.5.2 条规定的条件下，其侧模应在预应力钢束张拉前拆除；底模及支架应在结构建立预应力后方可拆除。

5.5.6 模板、支架的拆除应遵循后支先拆、先支后拆的原则顺序进行。墩、台的模板宜在其上部结构施工前拆除。

5.5.7 拆除梁、板等结构的承重模板时，在横向应同时、在纵向应对称均衡卸落。简支梁、连续梁结构的模板宜从跨中向支座方向依次循环卸落；悬臂梁结构的模板宜从悬臂端开始顺序卸落。

条文说明：

卸落模板、支架时，总的原则要求是由变形最大处向变形最小或无变形处过渡，对称、少量、多次、逐渐完成，使结构物逐步承受荷载，其目的是为避免结构物在卸落模板、支架的过程中发生开裂等质量事故。

5.5.8 模板、支架拆除时，不得损伤混凝土结构。

6 混凝土工程

6.1 一般规定

6.1.1 本章适用于公路桥涵混凝土施工的原材料选择、配制、拌制、运输、浇筑和养护，预应力混凝土及水下混凝土等的特殊要求尚应分别符合本规范第7章和第9章的规定。

6.1.2 混凝土工程所用的各种原材料，均应符合现行国家标准或行业标准的规定，并应在进场时对其性能和质量进行检验。

6.1.3 在进行试配和质量检测时，混凝土的抗压强度应以边长为150mm的立方体标准试件测定，且应取其保证率为95%。试件应以同龄期者3个为一组，每组试件的抗压强度以3个试件测值的算术平均值（计算精确至0.1MPa）为测定值，当有1个测值与中间值的差值超过中间值的15%时，取中间值为测定值；当有2个测值与中间值的差值均超过15%时，该组试件无效。

6.1.4 混凝土的抗压强度，应以标准方式成型的试件置于标准养护条件下（温度 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不低于95%）养护28d所测得的抗压强度值（MPa）进行评定。对采用蒸汽养护的混凝土，其测试抗压强度的试件应先随构件同条件蒸汽养护，再转入标准条件下养护，累计养护时间应为28d。

6.1.5 公路桥涵混凝土宜使用非碱活性集料，当条件不具备必须使用时，其他材料中的碱含量及混凝土中的最大总碱含量应符合本规范的规定。

条文说明：

碱集料反应对一些地区的桥梁结构物曾造成过严重的破坏，特别是近年来部分水泥的含碱量增加及含碱外加剂的应用使得混凝土含碱量剧增，往往会超过引发碱集料反应的临界值。混凝土含碱量在超过临界值后会导致化学反应，使混凝土结构发生不均匀膨胀、裂缝、抗压强度和弹性模量下降等不良现象，从而危及结构安全，缩短工程的使用寿命。为了避免这种危害的发生，在条件具备时，公路桥涵的混凝土结构中需尽量使用非碱活性集

料，但就现状而言，要完全做到这一点尚存在一定困难，故需要对结构混凝土中的最大碱含量进行总量控制。

6.2 水泥

6.2.1 桥涵工程采用的水泥应符合现行《通用硅酸盐水泥》(GB 175)的规定，水泥的品种和强度等级应通过混凝土配合比试验选定，且其特性应不会对混凝土的强度、耐久性和工作性能产生不利影响。当混凝土中采用碱活性集料时，宜选用含碱量不大于 0.6% 的低碱水泥。

条文说明：

我国的水泥按《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)的分类有：硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥等。其中矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥等四种硅酸盐水泥允许掺入 20% 以上的不同矿物混合物等量取代熟料，掺加后其性能随之产生变化。为了有效控制混凝土的质量，当采用掺入外加剂与掺合料来配制桥涵结构的混凝土时，适用的水泥一般为硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥；大体积混凝土适用的水泥为中热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥。对于粉煤灰硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥，不需要再掺入相应的矿渣、粉煤灰。

水泥含碱量的控制主要是从碱集料反应的角度考虑。工程实践中发现有的结构混凝土的开裂是由于水泥的高含碱量所引起的收缩所致，为防止碱促进混凝土的开裂，根据现行《通用硅酸盐水泥》(GB 175)的规定及公路桥涵结构使用的实际情况，规定了当混凝土中使用碱活性集料时，水泥的含碱量宜不大于 0.6% 的要求，水泥的碱含量按氧化钠当量计 ($\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$)，这个碱含量的限值是国际上公认的安全指标。

6.2.2 水泥进场时，应附有生产厂的品质试验检验报告等合格证明文件，并应按批次对同一生产厂、同一品种、同一强度等级及同一出厂日期的水泥进行强度、细度、安定性和凝结时间等性能的检验，散装水泥应以每 500t 为一批，袋装水泥应以每 200t 为一批，不足 500t 或 200t 时，亦按一批计。当对水泥质量有怀疑或受潮或存放时间超过 3 个月时，应重新取样复验，并应按其复验结果使用。水泥的检验试验方法应符合现行《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30) 的规定。

6.2.3 公路桥涵混凝土工程宜采用散装水泥，散装水泥在工地应采用专用水泥罐储存；采

用袋装水泥时，在运输和储存过程中应防止受潮，且不得长时间露天堆放，临时露天堆放时应设支垫并覆盖。不同品种、强度等级和出厂日期的水泥应分别按批存放。

6.3 细集料

6.3.1 细集料宜采用级配良好、质地坚硬、颗粒洁净的河砂；当河砂不易得到时，可采用符合规定的其他天然砂或机制砂；细集料不得采用海砂。细集料的技术指标应符合表 6.3.1 的规定。

表 6.3.1 细集料技术指标

项目			技术要求		
			I 类	II 类	III类
有害物质限量	云母（按质量计，%）		≤1.0	≤2.0	
	轻物质（按质量计，%）		≤1.0		
	有机物		合格		
	硫化物及硫酸盐（按 SO ₃ 质量计，%）		≤0.5		
	氯化物（以氯离子质量计，%）		≤0.01	≤0.02	≤0.06
天然砂	含泥量（按质量计，%）		≤1.0	≤3.0	≤5.0
	泥块含量（按质量计，%）		0	≤1.0	≤2.0
机制砂	MB 值≤1.4 或快速法试验合格	MB 值	≤0.5	≤1.0	≤1.4 或合格
		石粉含量（按质量计，%）	≤10.0		
		泥块含量（按质量计，%）	0	≤1.0	≤2.0
	MB 值>1.4 或快速法试验不合格	石粉含量（按质量计，%）	≤1.0	≤3.0	≤5.0
		泥块含量（按质量计，%）	0	≤1.0	≤2.0
坚固性	硫酸钠溶液法试验，砂的质量损失（%）		≤8		≤10
	机制砂单级最大压碎指标（%）		≤20	≤25	≤30
表观密度（kg/m ³ ）			≥2500		
松散堆积密度（kg/m ³ ）			≥1400		
空隙率（%）			≤44		
碱集料反应			经碱集料反应试验后，试件应无裂缝、酥裂、胶体外溢现象，在规定试验龄期的膨胀率应小于 0.10%		

注：1.砂按产源分为天然砂、机制砂两类；按技术要求分为 I 类、II 类、III 类。

2.石粉含量系指机制砂中粒径小于 75μm 的颗粒含量。

3.当工程有要求时，含水率和饱和面干吸水率应采用实测值。

- 4.砂中不应混有草根、树叶、树枝、塑料、煤块、炉渣等杂物。
- 5.当对砂的坚固性有怀疑时，应做坚固性试验。
- 6.当碱集料反应不符合表中要求时，应采取抑制碱集料反应的技术措施。

条文说明：

本条按《建设用砂》(GB/T14684—2011)的规定对相关技术指标进行了修改。本次修订取消了原规范表 6.3.1 中注 1 “Ⅰ类宜用于强度等级大于 C60 的混凝土；Ⅱ类宜用于强度等级 C30~C60 及有抗冻、抗渗或其他要求的混凝土；Ⅲ类宜用于强度等级小于 C30 的混凝土和砌筑砂浆”的要求；并将原规范表 6.3.1 中的注 2 修改为现注 1 “砂按产源分为天然砂、机制砂两类”。

6.3.2 细集料宜按同产地、同规格、连续进场数量不超过 400m³ 或 600t 为一验收批，小批量进场的宜以不超过 200m³ 或 300t 为一验收批进行检验；当质量稳定且进料量较大时，可以 1000t 为一验收批。检验内容应包括外观、筛分、细度模数、有机物含量、含泥量、泥块含量及机制砂的石粉含量等；必要时尚应对坚固性、有害物质含量、氯离子含量、碱活性及放射性等指标进行检验。检验试验方法应符合现行《公路工程集料试验规程》(JTG E42)的规定。

6.3.3 砂的分类应符合表 6.3.3 的规定。

表 6.3.3 砂的分类

砂组	粗砂	中砂	细砂
细度模数	3.7~3.1	3.0~2.3	2.2~1.6

注：细度模数主要反映全部颗粒的粗细程度，不完全反映颗粒的级配情况，混凝土配制时应同时考虑砂的细度模数和级配情况。

6.3.4 细集料的颗粒级配应符合表 6.3.4-1 的规定，级配类别应符合表 6.3.4-2 的规定。

表 6.3.4-1 细集料的颗粒级配

细集料的分类	天然砂			机制砂		
级配区	1 区	2 区	3 区	1 区	2 区	3 区
方孔筛	累计筛余 (%)					
4.75mm	10~0	10~0	10~0	10~0	10~0	10~0
2.36mm	35~5	25~0	15~0	35~5	25~0	15~0
1.18mm	65~35	50~10	25~0	65~35	50~10	25~0

600 μm	85~71	70~41	40~16	85~71	70~41	40~16
300 μm	95~80	92~70	85~55	95~80	92~70	85~55
150 μm	100~90	100~90	100~90	97~85	94~80	94~75

注：1.表中除 4.75mm 和 600 μm 筛档外，其余可略有超出，但各级累计筛余的超出值总和应不大于 5%。

2.对砂浆用砂，4.75mm 筛孔的累计筛余量应为 0。

表 6.3.4-2 级配类别

类别	I 类	II 类	III 类
级配区	2 区	1、2、3 区	

条文说明：

细度模数相同而级配不同的砂，会具有不同的混凝土配制性质。有关资料表明，合格粒径与良好级配的集料可使混凝土用水量降低约 20%，有可能减小收缩值约 100×10^{-6} 。因此，条文列入了各种级配区的级配，如表 6.3.4-1 所示，其中 1 区基本属于粗砂范畴，2 区基本属于中砂范畴，3 区基本属于细砂范畴。为了保证混凝土结构物的质量，重要工程的混凝土用砂通常选用中砂，细度模数一般为 2.9~2.6。

按《建设用砂》(GB/T14684—2011)的规定对相关技术指标进行了修改，增加了表 6.3.4-2。

6.4 粗集料

6.4.1 粗集料宜采用质地坚硬、洁净、级配合理、粒形良好、吸水率小的碎石或卵石，其技术指标应符合表 6.4.1 的规定。

表 6.4.1 粗集料技术指标

项目	技术要求		
	I 类	II 类	III 类
碎石压碎指标 (%)	≤ 10	≤ 20	≤ 30
卵石压碎指标 (%)	≤ 12	≤ 14	≤ 16
坚固性 (硫酸钠溶液法试验质量损失值, %)	≤ 5	≤ 8	≤ 12
吸水率 (%)	≤ 1.0	≤ 2.0	
针片状颗粒总含量 (按质量计, %)	≤ 5	≤ 10	≤ 15
含泥量 (按质量计, %)	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 1.5

泥块含量（按质量计，%）		0	≤0.2	≤0.5
有害物质 限量	有机物	合格		
	硫化物及硫酸盐 （按 SO ₃ 质量计，%）	≤0.5	≤1.0	
岩石抗压强度（水饱和状态，MPa）		火成岩≥80；变质岩≥60；水成岩≥30		
表观密度（kg/m ³ ）		≥2600		
连续级配松散堆积空隙率（%）		≤43	≤45	≤47
碱集料反应		经碱集料反应试验后，试件应无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象， 在规定试验龄期的膨胀率应小于 0.10%		

注：1. 粗集料中不应混有草根、树叶、树枝、塑料、煤块、炉渣等杂物。

- 混凝土强度等级为 C60 及以上时应进行岩石抗压强度检验，其他情况下，如有必要也可进行岩石的抗压强度检验。岩石的抗压强度除应满足表中要求外，其抗压强度与混凝土强度等级之比对于 C60 及以上的混凝土，应不小于 2，其余应不小于 1.5。岩石强度首先应由生产单位提供，工程中可采用压碎值指标进行质量控制。
- 当粗集料中含有颗粒状硫酸盐或硫化物杂质时，应进行专门检验，确认能满足混凝土耐久性要求后，方可采用。
- 采用卵石破碎成碎石时，应具有两个及以上的破碎面，且其破碎面应不小于 70%。
- 卵石和碎石混合使用时，压碎值应分别按卵石和碎石控制。

条文说明：

本条按《建设用卵石、碎石》（GB/T14685—2011）的规定对相关技术指标进行了修改。

对表 6.4.1 中的注作了下列修改：删除了原表注 1“Ⅰ类宜用于强度等级大于 C60 的混凝土；Ⅱ类宜用于强度等级 C30~C60 及有抗冻、抗渗或其他要求的混凝土；Ⅲ类宜用于强度等级小于 C30 的混凝土和砌筑砂浆”的要求；对原表注 3 进行了修改（现为注 2）；增加了现表注 5“卵石和碎石混合使用时，压碎值应分别按卵石和碎石控制”的规定，放宽了对卵石应用的限制，以充分利用资源。

6.4.2 当混凝土结构物处于不同环境条件下时，粗集料坚固性试验的结果除应符合表 6.4.1 的规定外，尚应符合表 6.4.2 的规定。

表 6.4.2 粗集料的坚固性试验

混凝土所处环境条件	在硫酸钠溶液中循环 5 次后的质量损失（%）
寒冷地区，经常处于干湿交替状态	<5
严寒地区，经常处于干湿交替状态	<3
混凝土处于干燥条件，但粗集料风化或软弱颗粒过多	<12

混凝土处于干燥条件，但抗疲劳、耐磨、 抗冲击要求高或强度等级大于 C40	<5
---	----

注：有抗冻、抗渗要求的混凝土用硫酸钠法进行粗集料坚固性试验不合格时，可再进行直接冻融试验。

6.4.3 粗集料的颗粒级配应符合表 6.4.3 的规定。粗集料宜根据混凝土最大粒径采用连续两级配或连续多级配。单粒粒级宜用于组合成满足要求的连续粒级；亦可与连续粒级混合使用，改善其级配或配成较大粒度的连续粒级。

表 6.4.3 粗集料的颗粒级配

公称 粒级 (mm)		累计筛余 (按质量计, %)											
		方孔筛筛孔边长尺寸 (mm)											
		2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5	53.0	63.0	75.0	90.0
连续粒级	5~16	95~100	85~100	30~60	0~10	0							
	5~20	95~100	90~100	40~80		0~10	0						
	5~25	95~100	90~100		30~70		0~5	0					
	5~31.5	95~100	90~100	70~90		15~45		0~5	0				
	5~40		95~100	70~90		30~65			0~5	0			
单粒粒级	5~10	95~100	80~100	0~15	0								
	10~16		95~100	80~100	0~15								
	10~20		95~100	85~100		0~15	0						
	16~25			95~100	55~70	25~40	0~10						
	16~31.5		95~100		85~100			0~10	0				
	20~40			95~100		80~100			0~10	0			
	40~80					95~100			70~100		30~60	0~10	0

条文说明：

本条按《建设用卵石、碎石》(GB/T14685—2011) 的规定对粗集料的颗粒级配进行了修改，修改后包含 5 个连续粒级、7 个单粒粒级。

粗集料的级配和粒径不好，必然要加大混凝土的胶凝材料总量和用水量，从而增加混凝土的收缩、增加混凝土的渗透性等不良性。为了提高混凝土的耐久性，要求采用良好的级配，粗集料的良好级配需要使孔隙小、水泥用量少、不易离析及和易性好。连续级配粗集料的分级尺寸互相衔接，每级均占一定数量，天然卵石属此种级配，拌制混凝土时和易性较好，不易发生离析；单粒粒级的集料分级尺寸不相衔接，拌制混凝土时用水泥多，易

离析，捣固亦较困难，故一般不考虑采用单粒级配。本次修订将原规范“不宜采用单粒级或间断级配配制，必须使用时，应通过试验验证”的规定修改为“单粒级宜用于组合成满足要求的连续粒级；亦可与连续粒级混合使用，改善其级配或配成较大粒度的连续粒级”。

6.4.4 粗集料最大粒径宜按混凝土结构情况及施工方法选取，但最大粒径不得超过结构最小边尺寸的 $1/4$ 和钢筋最小净距的 $3/4$ ；在两层或多层密布钢筋结构中，最大粒径不得超过钢筋最小净距的 $1/2$ ，同时不得超过 75.0mm 。混凝土实心板的粗集料最大粒径不宜超过板厚的 $1/3$ 且不得超过 37.5mm 。泵送混凝土时的粗集料最大粒径，除应符合上述规定外，对碎石不宜超过输送管径的 $1/3$ ，对卵石不宜超过输送管径的 $1/2.5$ 。

条文说明：

粗集料最大粒径的规定，主要是为防止集料过大被卡在钢筋的间隙、施工运输设备内，同时也为了保证混凝土结构物的密实度和外观质量。

6.4.5 施工前应对所用的粗集料进行碱活性检验，在条件许可时宜避免采用有碱活性反应的粗集料，必须采用时应采取必要的抑制措施。

6.4.6 粗集料的进场检验组批应符合本规范第 6.3.2 条的规定。检验内容应包括外观、颗粒级配、针片状颗粒含量、含泥量、泥块含量、压碎值指标等，必要时尚应对坚固性、有害物质含量、氯离子含量、碱活性及放射性等指标进行检验。检验试验方法应符合现行《公路工程集料试验规程》(JTG E42) 的规定。

条文说明：

原规范对粗集料的检验试验方法虽然采用《公路工程集料试验规程》(JTG E42-2005) 的规定，但在执行过程中，粗集料的压碎值指标成为其中最突出的问题，因该规程的检验试验方法更多考虑的是沥青混凝土和水泥混凝土路面工程中使用的粗集料，而对结构混凝土中使用的粗集料较少顾及，且其在检验压碎值指标时的试验荷载为 400kN ，与国家标准和其他行业标准中采用 200 kN 的试验荷载有着较大的区别，使得桥涵工程结构混凝土中的粗集料压碎值指标要求偏高，难以达到规定的指标要求。本次修订经与《公路工程集料试验规程》(JTG E42-2005) 修订编制组协调后达成共识，在该规程中对粗集料压碎值的检验试验方法作出了调整，增加了结构混凝土中粗集料的压碎值检验试验方法，其试验荷载为 200 kN ，如此则与《建设用卵石、碎石》(GB/T14685—2011) 中的检验试验方法相一致。但由

于新修订的行业标准《公路工程集料试验规程》尚未正式颁布实施，因此在执行本条规定时，对于粗集料压碎值的检验试验方法，可以暂按《建设用卵石、碎石》(GB/T14685—2011)的规定采用。

6.4.7 粗集料在生产、运输与储存过程中，不得混入影响混凝土性能的有害物质。粗集料应按品种、规格分别堆放，不得混杂。在装卸及储存时，应采取措施，使集料颗粒级配均匀，并保持洁净。

6.5 水

6.5.1 符合国家标准的饮用水可直接作为混凝土的拌制和养护用水；当采用其他水源或对水质有疑问时，应对水质进行检验。水的品质指标应符合表 6.5.1 的规定。

表 6.5.1 混凝土用水的品质指标

项目	拌制用水			养护用水
	预应力混凝土	钢筋混凝土	素混凝土	
pH 值	≥5.0	≥4.5	≥4.5	≥4.5
不溶物 (mg/L)	≤2000	≤2000	≤5000	-
可溶物 (mg/L)	≤2000	≤5000	≤10000	-
氯化物 (以 Cl^- 计, mg/L)	≤500	≤1000	≤3500	≤3500
硫酸盐 (以 SO_4^{2-} 计, mg/L)	≤600	≤2000	≤2700	≤2700
碱含量 (mg/L)	≤1500	≤1500	≤1500	≤1500

注：1. 对设计使用年限为 100 年的结构混凝土，氯离子含量不得超过 500 mg/L；对使用钢丝或经热处理钢筋的预应力混凝土，氯离子含量不得超过 350 mg/L。

2. 碱含量按 $\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$ 计算值表示。采用非碱活性集料时，可不检验碱含量。

条文说明：

本条的主要依据为《混凝土用水标准》(JGJ63—2006)的相关规定。

6.5.2 混凝土用水尚应符合下列规定：

- 1 水中不应有漂浮明显的油脂和泡沫，且不应有明显的颜色和异味。
- 2 严禁采用海水用于结构混凝土的拌制和养护。

6.5.3 混凝土用水的检验试验方法应符合现行《混凝土用水标准》(JGJ 63)的规定。

6.6 外加剂

6.6.1 公路桥涵工程使用的外加剂，与水泥、矿物掺合料之间应具有良好的相容性。

6.6.2 所采用的外加剂，应是经过具备相关资质的检测机构检验并附有检验合格证明的产品，且其质量应符合现行《混凝土外加剂》（GB8076）的规定。外加剂使用前应按现行《混凝土外加剂》（GB8076）的规定进行复验，复验结果满足要求后方可用于工程中。外加剂的品种和掺量应根据使用要求、施工条件、混凝土原材料的变化等通过试验确定。

条文说明：

不同品种的外加剂有其各自的特性，故需要根据使用要求、工程材料和施工条件等因素，通过试验确定其品种及适宜的掺量。

6.6.3 采用膨胀剂时应符合下列规定：

1 在公路桥涵混凝土工程中采用的膨胀剂，其性能应符合现行《混凝土膨胀剂》（GB/T 23439）的规定。

2 膨胀剂的品种和掺量应通过试验确定。

3 掺入膨胀剂的混凝土宜采取有效的持续保湿养护措施，且宜按不同结构和温度适当延长养护时间。

6.7 掺合料

6.7.1 掺合料应保证其产品品质稳定，来料均匀。掺合料应由生产单位专门加工，进行产品检验并出具产品合格证书。掺合料的技术要求应符合本规范附录 D 的规定。

条文说明：

2006 年交通部以交公便字[2006]02 号文颁布了《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》，该指南对公路混凝土工程中最常用的 10 类 19 种外加剂和 4 类掺合料，从主要品种、使用范围、性能指标、施工注意事项、检验要求到质量监控等各个环节均有较详细的规定。在公路桥涵的混凝土工程中使用掺合料（包括外加剂）时，通常按该指南的内容进行应用。

6.7.2 混凝土中需要掺用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰等掺合料时，其掺入量应在使用前通过试验确定。

6.7.3 掺合料在运输与储存中，应有明显标识，严禁与水泥等其他粉状材料混淆。

6.8 配合比

6.8.1 混凝土的配合比应以质量比表示，并应通过计算和试配选定。试配时应采用施工实际使用的材料，配制的混凝土拌合物应满足和易性、凝结时间等施工技术条件；制成的混凝土应满足配制强度、力学性能和耐久性能的设计要求。

条文说明：

混凝土所用的各种原材料质量差异很大，故配合比除要按规定进行设计计算外，更重要的是需要通过实际配制试验确定。

6.8.2 普通混凝土的配合比，可按现行《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55)的规定进行设计，并应通过试配确定。混凝土的试配强度，应根据设计强度等级，并考虑施工条件的差异和变化以及原材料质量可能的波动，按本规范附录 E 计算确定。混凝土的坍落度和工作性能宜根据结构物情况和施工工艺要求确定。通过设计和试配确定的配合比，应经批准后方可使用，且应在混凝土拌制前将理论配合比换算为施工配合比。

6.8.3 混凝土进行耐久性设计时，环境类别和作用等级、原材料的选用、配合比设计等均应符合现行《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310)的规定。不同强度等级混凝土的最大水胶比、胶凝材料用量宜符合表 6.8.3 的规定。

表 6.8.3 混凝土的最大水胶比和胶凝材料用量

混凝土强度等级	最大水胶比	最小水泥用量 (kg/m ³)	最大胶凝材料用量 (kg/m ³)
C25	0.55	275	400
C30	0.55	280	
C35	0.50	300	
C40	0.45	320	450
C45	0.40	340	

C50	0.36	360	480
C55	0.32	380	500
C60	0.30	400	530

注：1.表中数据适用于最大粗集料粒径为 20mm 的情况，粒径较大时可适当降低胶凝材料用量，粒径较小时可适当增加胶凝材料用量。

2. 大掺量矿物掺合料混凝土的水胶比应不大于 0.42。
3. 引气混凝土的胶凝材料用量与非引气混凝土要求相同。
4. 封底、垫层及其他临时工程的混凝土，可不受本表的限制。

条文说明：

原规范最大水胶比、最小水泥用量及最大氯离子含量的指标，是根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62-2004) 表 1.0.7 对结构混凝土耐久性的基本要求拟定的。本次修订主要依据《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310-2019) 的规定，并参照《混凝土结构耐久性设计标准》(GB/T 50476-2019) 和《铁路混凝土结构耐久性设计规范》(TB 10005-2010) 的规定，对相关指标作了相应调整。

新颁布的《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310-2019) 代替《公路工程混凝土结构防腐技术规程》(JTG/T B07-01-2006)，在耐久性设计要求中将公路桥涵混凝土结构及构件所处的环境类别划分成 7 类，作用等级分为 6 种，同时规定了各类环境作用下混凝土强度等级的最低要求、原材料选择以及耐久性设计的控制指标。

6.8.4 混凝土处于不同环境与作用等级时，矿物掺合料的掺用量宜按表 6.8.4 的规定选用。

表 6.8.4 混凝土中的矿物掺合料用量

混凝土类型	环境类别与作用等级		水胶比	粉煤灰 (%)	磨细矿渣粉 (%)
钢筋混凝土	一般环境	I	≤ 0.4	≤ 30	≤ 50
			> 0.4	≤ 20	≤ 30
	冻融环境	II	≤ 0.4	≤ 30	≤ 40
			> 0.4	≤ 20	≤ 30
	近海或海洋氯化物环境/除冰盐等其他氯化物环境	III/IV	≤ 0.4	30~50	50~80
			> 0.4	20~40	30~60
	盐结晶环境	V	≤ 0.4	≤ 40	≤ 50
			> 0.4	≤ 30	≤ 40
	化学腐蚀环境	VI	≤ 0.4	30~50	40~60
			> 0.4	20~40	30~50
	磨蚀环境	VII	≤ 0.4	≤ 30	≤ 40
			> 0.4	≤ 20	≤ 30

预应力混凝土			≤30	≤50
--------	--	--	-----	-----

注: 1. 表中用量值为矿物掺合料占胶凝材料质量的百分比。

2. 本表仅限于硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。

3. 以硫酸盐为主的化学腐蚀环境和近海、海洋氯化物环境, 宜掺用粒化高炉矿渣粉。

4. 近海或海洋氯化物环境下, 矿物掺合料复掺时取单掺的最大值。

5. 采用普通硅酸盐水泥、矿渣水泥时, 应将水泥中原有的矿物掺合料与配置混凝土时加入的矿物掺合料用量一并计算。

条文说明:

本条为新增, 主要依据新颁布的《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310-2019) 的规定。

6.8.5 在混凝土中掺入外加剂时, 除应符合本规范第 6.6 节的规定外, 尚应符合下列规定:

- 1 在钢筋混凝土和预应力混凝土中, 均不得掺用氯化钙、氯化钠等氯盐。
- 2 减水剂宜采用聚羧酸类减水剂。
- 3 各种外加剂中的氯离子总含量宜不大于混凝土中胶凝材料总质量的 0.02%, 硫酸钠含量宜不大于减水剂干重的 15%。
- 4 从各种组成材料引入的氯离子总含量(折合氯盐含量) 应不超过表 6.8.5 规定的限值。
- 5 掺入引气剂的混凝土, 其含气量应按不同环境类别和作用等级确定。

表 6.8.5 混凝土中游离氯离子含量最大限值 (%)

环境类别与作用等级	钢筋混凝土	预应力混凝土
II、III、IV	0.10	0.06
I-B、I-C、V、VI	0.20	
I-A、VII	0.30	

注: 1. 表中氯离子含量以胶凝材料质量百分数计。

2. 环境类别和作用等级应符合现行《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310) 的规定。

条文说明:

本条按新颁布的《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310-2019) 的规定进行了修改。

6.8.6 除应对由各种组成材料带入混凝土中的碱含量进行控制外, 尚应控制混凝土的总碱含量。每立方米混凝土的总碱含量, 对一般桥涵宜不大于 3.0kg/m^3 , 对特大桥、大桥和重要桥梁宜不大于 2.1kg/m^3 。当混凝土结构处于受严重侵蚀的环境时, 不得使用有碱活性反应的

集料。

条文说明：

混凝土中产生碱集料反应一般认为有三个必备条件：集料具有碱活性、混凝土中总碱量大于 3.0 kg/m^3 、结构处在有足够湿度的环境中。在三个条件共同作用下混凝土会发生碱集料反应，对此施工中需要特别引起重视，严加控制。混凝土总碱含量宜不超过 3.0 kg/m^3 ，是防止碱集料反应的一个重要临界控制指标，而对特大桥、大桥、重要桥梁的混凝土含碱量则需要更加严格一些，但原规范中“对特大桥、大桥和重要桥梁不宜大于 1.8 kg/m^3 ”的规定，在当前天然砂、石资源相对缺乏的情况下较难做到，故本次修订参照《铁路混凝土结构耐久性设计规范》(TB 10005-2010)的规定，将其调整为“对特大桥、大桥和重要桥梁宜不大于 2.1 kg/m^3 ”。

6.8.7 泵送混凝土的配合比宜符合下列规定：

1 胶凝材料用量宜不小于 300 kg/m^3 。水泥宜选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥；细集料宜采用中砂，且其通过 $300\mu\text{m}$ 筛孔的颗粒含量宜不少于 15%，砂率宜为 35%~45%；粗集料宜采用连续级配，其针片状颗粒含量宜不大于 10%，粗集料的最大公称粒径与输送管径之比应符合表 6.8.7 的规定。

2 应通过试验掺用适量的泵送剂或减水剂，且宜掺用矿物掺合料。

3 试配时应考虑坍落度经时损失。

表 6.8.7 粗集料的最大公称粒径与输送管径之比

粗集料品种	泵送高度(m)	粗集料的最大公称粒径与输送管径之比
碎石	<50	$\leq 1:3.0$
	50~100	$\leq 1:4.0$
	>100	$\leq 1:5.0$
卵石	<50	$\leq 1:2.5$
	50~100	$\leq 1:3.0$
	>100	$\leq 1:4.0$

条文说明：

本条参照《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2011)的规定作了相应调整。

6.9 拌制

6.9.1 混凝土的配料宜采用自动计量装置，各种衡器的精度应符合要求，计量应准确。计量器具应定期标定，迁移后应重新进行标定。拌制混凝土所用的各项固体原材料应按质量进行计量投料，水和液体外加剂可按体积进行计量投料，配料数量的允许质量偏差应符合表 6.9.1 的规定。

表 6.9.1 配料数量的允许质量偏差

材料类别	允许偏差（%）	
	现场拌制	预制场或集中搅拌站拌制
水泥、干燥状态的掺合料	±2	±1
粗、细集料	±3	±2
水、外加剂	±2	±1

条文说明：

本条将原规范的“拌制混凝土所用的各项材料应按质量投料”修改为“拌制混凝土所用的各项固体原材料应按质量进行计量投料，水和液体外加剂可按体积进行计量投料”。

6.9.2 外加剂应以稀释溶液加入，其稀释用水和原液中的水量，应从拌和加水量中扣除。加入搅拌筒的外加剂溶液应充分溶解，并搅拌均匀。掺合料应采用与水泥相同的输送、计量方式加入。

条文说明：

本条将原规范的“外加剂宜以稀释溶液加入”修改为“外加剂应以稀释溶液加入”。

6.9.3 混凝土应采用机械拌制。拌制时，自全部材料装入搅拌筒开始搅拌至开始出料的最短搅拌时间，应按搅拌机产品说明书的要求和混凝土搅拌的技术要求经试验确定。

6.9.4 混凝土拌合物应搅拌均匀、颜色一致，不得有离析和泌水现象，对在施工现场集中拌制的混凝土，应检测其拌合物的均匀性。检测时，应在搅拌机的卸料过程中，从卸料流的 1/4～3/4 之间部位取试样进行试验，试验结果应符合下列规定：

- 1 混凝土中砂浆密度两次测值的相对误差应不大于 0.8%。
- 2 单位体积混凝土中粗集料含量两次测值的相对误差应不大于 5%。

6.9.5 混凝土搅拌完毕后，应按下列要求检测混凝土拌合物的各项性能：

- 1 混凝土拌合物的坍落度及其损失，宜在搅拌地点和浇筑地点分别取样检测，每一工作

班或每一单元结构物应不少于两次，评定时应以浇筑地点的测值为准。当混凝土拌合物从搅拌机出料起至浇筑入模的时间不超过 15min 时，其坍落度可仅在搅拌地点取样检测。

2 必要时，尚宜对工作性能、泌水率及含气量等混凝土拌合物的其他指标进行检测。

6.10 运输

6.10.1 运输能力应与混凝土的凝结速度和浇筑速度相匹配，应使浇筑工作不间断且混凝土运到浇筑地点时仍能保持其均匀性及适宜浇筑的坍落度。混凝土的运输宜采用搅拌运输车，或在条件允许时采用泵送方式输送，对寒冷、严寒或炎热的天气情况，搅拌运输车的搅拌罐和泵送管应有保温或隔热措施；采用吊斗或其他方式运输时，运距宜不超过 100m 且不得使混凝土产生离析。

条文说明：

混凝土拌合物运输时间过长，将增加离析和降低坍落度，从而影响拌合物的质量，故混凝土运到浇筑地点时需要仍能保持其均匀性及适宜浇筑的坍落度。本次修订增加了“对寒冷、严寒或炎热的天气情况，搅拌运输车的搅拌罐和泵送管应有保温或隔热措施”的规定。

6.10.2 采用搅拌运输车运输混凝土时，途中应以 2~4r/min 的慢速进行搅动，卸料前应采用快挡旋转搅拌罐不少于 20s。混凝土运至浇筑地点后发生离析、泌水或坍落度不符合要求时，应进行第二次搅拌，二次搅拌时不宜加水，确有必要时，可同时加水、相应的胶凝材料和外加剂并保持其原水胶比不变；二次搅拌仍不符合要求时，不得使用。

条文说明：

混凝土在运输过程中出现离析等现象时，允许进行二次搅拌，但不能采用改变水胶比的办法进行处理，因为这样会降低混凝土的强度等性能。

6.10.3 混凝土采用泵送方式时应符合下列规定：

1 混凝土的供应宜使输送混凝土的泵能连续工作，泵送的间歇时间宜不超过 15min。在泵送过程中，受料斗内应具有足够的混凝土，应防止吸入空气产生阻塞。

2 输送管应顺直，转弯处应圆缓，接头应严密不漏气。

3 向低处泵送混凝土时，应采取必要措施，防止混凝土离析或堵塞输送管。

6.11 浇筑

6.11.1 浇筑混凝土前应进行下列准备工作：

- 1 应根据待浇筑结构物的情况、环境条件及浇筑量等制订合理的浇筑工艺方案，工艺方案应对施工缝设置、浇筑顺序、浇筑工具、防裂措施、保护层等的控制等作出明确规定。
- 2 应对支架、模板、钢筋和预埋件等进行检查，模板内的杂物、积水及钢筋上的污物应清理干净。模板如有缝隙或孔洞时，应堵塞严密且不漏浆。
- 3 应对混凝土的均匀性和坍落度等性能进行检测。

6.11.2 自高处向模板内倾卸混凝土时，应防止混凝土离析。直接倾卸时，其自由倾落高度宜不超过 2m；超过 2m 时，应通过串筒、溜管（槽）或振动溜管（槽）等设施下落；倾落高度超过 10m 时，应设置减速装置。

6.11.3 混凝土应按一定的厚度、顺序和方向分层浇筑，且应在下层混凝土初凝或能重塑前浇筑完成上层混凝土；上下层同时浇筑时，上层与下层的前后浇筑距离应保持 1.5m 以上；在倾斜面上浇筑混凝土时，应从低处开始逐层扩展升高，并保持水平分层。混凝土分层浇筑厚度宜不超过表 6.11.3 的规定。

表 6.11.3 混凝土分层浇筑厚度

振捣方式		浇筑层厚度 (mm)
采用插入式振动器		300
采用附着式振动器		300
采用表面振动器	无筋或配筋稀疏时	250
	配筋较密时	150

条文说明：

混凝土一般是分层浇筑，但为使上下层成为整体，避免形成冷接缝，浇筑上层时插入式振动器需要伸入到下层一定深度（50~100mm），同时下层混凝土仍要保持一定的塑性，因此需要在下层混凝土初凝或重塑以前浇筑完成上层混凝土。重塑试验方法：用插入式振动器靠自重插入混凝土中，振动 15s 后，周围 100mm 内能泛浆，并在拔出振动器时不留空洞者，即认为能重塑。

6.11.4 采用振动器振捣混凝土时，应符合下列规定：

- 1 插入式振动器的移位间距应不超过振动器作用半径的 1.5 倍，与侧模应保持 50~

100mm 的距离，且插入下层混凝土中的深度宜为 50~100mm。

2 表面振动器的移位间距应使振动器平板能覆盖已振实部分不小于 100mm。

3 附着式振动器的布置距离，应根据结构物形状和振动器的性能通过试验确定。

4 每一振点的振捣延续时间宜为 20~30s，以混凝土停止下沉、不出现气泡、表面呈现浮浆为度。

6.11.5 混凝土的浇筑宜连续进行，因故中断间歇时，其间歇时间应小于前层混凝土的初凝时间或能重塑时间。混凝土的运输、浇筑及间歇的全部时间宜不出表 6.11.5 的规定；超出时应按浇筑中断处理，并应留置施工缝，同时应作出记录。

表 6.11.5 混凝土的运输、浇筑及间歇的全部允许时间 (min)

混凝土强度等级	气温 $\leq 25^{\circ}\text{C}$	气温 $> 25^{\circ}\text{C}$
$\leq \text{C}30$	210	180
$> \text{C}30$	180	150

注：当混凝土中掺有促凝剂或缓凝剂时，其允许时间应通过试验确定。

条文说明：

混凝土的浇筑工作在正常情况下需要连续进行，但遇到停电、搅拌机故障、下雨等意外情况时，有可能会中断浇筑，间歇时间如超过已浇筑前层混凝土的初凝时间或能重塑时间，则需要按工作缝处理。如不做处理继续浇筑，上下两层或前后两段结合不好，浇筑振动还会破坏下层刚凝结的混凝土，影响混凝土的整体质量。“允许时间”是指从混凝土加水搅拌起计，包括拌和及运输时间、前层混凝土浇筑时间和后一层混凝土浇筑振捣时间。

6.11.6 施工缝的位置应在混凝土浇筑之前确定，且宜设置在结构受剪力和弯矩较小且便于施工的部位。对施工缝的处理应符合下列规定：

1 施工缝处混凝土表面的光滑表层、松散层应予凿除，凿毛的最小深度应不小于 8mm。对施工缝处混凝土的强度，当采用水冲洗凿毛时，应达到 0.5MPa；人工凿除时，应达到 2.5MPa；采用风动机凿毛时，应达到 10MPa。

2 经凿毛处理后的混凝土面，新混凝土浇筑前，应采用洁净水冲洗干净。

3 对重要部位及有抗震要求的混凝土结构或钢筋稀疏的钢筋混凝土结构，宜在施工缝处补插适量的锚固钢筋，补插的锚固钢筋直径可比结构主筋小一个规格，间距宜不小于 150mm，插入和外露的长度均不宜小于 300mm；有抗渗要求的混凝土，其施工缝宜做成凹形、凸形或设置止水带；施工缝为斜面时应浇筑成或凿成台阶状。

条文说明：

1 凿除松弱层的目的，是为避免影响混凝土的整体强度。所谓“松弱层”，“松”是指“松动、松散”，“弱”是指“达不到规定强度的混凝土”。本次修订对凿毛的深度进行了量化规定，以方便执行。条文根据凿除机具和方法规定了凿毛时施工缝处混凝土应达到的强度，是为了避免结构混凝土受到损伤。

3 施工缝的抗剪强度较差，在重要部位和有抗震要求的施工缝处插埋锚固钢筋，是为增强其抗剪强度。本次修订具体规定了补插锚固钢筋的规格、间距、插入和外露的长度等，以方便执行。斜面凿成台阶状是为了防止滑移，增强抗剪力。

6.11.7 在环境相对湿度较小、风速较大的条件下浇筑混凝土时，应采取适当措施防止混凝土表面过快失水。浇筑混凝土期间，应随时检查支架、模板、钢筋、预应力管道和预埋件等的稳固情况，并应及时填写混凝土施工记录。新浇筑混凝土的强度达到 2.5 MPa 之前，不得使其承受行人、运输工具、模板、支架及脚手架等荷载。

6.12 养护

6.12.1 对新浇筑混凝土的养护，应根据施工对象、环境条件、水泥品种、外加剂或掺合料以及混凝土性能等因素，制订具体的养护方案，并严格实施。

6.12.2 混凝土浇筑完成后，应在其收浆后尽快予以覆盖并洒水保湿养护。对于硬性混凝土、高强度和高性能混凝土、炎热天气浇筑的混凝土以及桥面等大面积裸露的混凝土，应加强初始保湿养护，具备条件的可在浇筑完成后立即加设棚罩，待收浆后再予以覆盖和洒水养护，覆盖时不得损伤或污染混凝土表面。

6.12.3 混凝土表面有模板覆盖时，应在养护期间使模板保持湿润。拆除模板后，仍应对混凝土进行覆盖和洒水养护，直至达到规定的养护期限；尤其在低温、干燥或大风环境下拆除模板时，应采取必要的覆盖、保温等措施，防止混凝土表面产生裂缝。

条文说明：

在低温、干燥或大风环境下拆除模板时，外界的不良环境会使混凝土的内表温差过大或使混凝土的表面过快失水，从而导致混凝土的表面出现裂纹，严重者会产生裂缝，故需要采取必要的措施予以防止。

6.12.4 混凝土的养护严禁采用海水。混凝土的洒水保湿养护时间应不少于 7d，对重要工程或有特殊要求的混凝土，应根据环境湿度、温度、水泥品种以及掺用的外加剂和掺合料等情况，酌情延长养护时间，并应使混凝土表面始终保持湿润状态。当气温低于 5℃时，应采取保温养护措施，不得向混凝土表面洒水。当采用喷洒养护剂对混凝土进行养护时，所使用的养护剂应不会对混凝土产生不利影响，且应通过试验验证其养护效果。

条文说明：

水仍然是混凝土最好的养护剂。决定混凝土养护所需时间的原则，是以混凝土获得正常强度、停止养护后表面不再产生干缩裂纹时为标准，正常强度值大小与水泥品种、气候条件及养护方法有关。规定“洒水保湿养护时间应不少于 7d”是根据《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204—2015)确定的。为了保证养护质量，要求混凝土表面始终处于湿润状态而非干湿交替状态。当气温低于 5℃时，混凝土的水泥水化凝结速度大为降低，其中的水分也不易蒸发出来，混凝土不会发生脱水（失水）现象，故不能向混凝土表面洒水，而需要覆盖保温，以加快混凝土中水泥水化凝结速度。

6.12.5 新浇筑的混凝土与流动的地表水或地下水接触时，应采取临时防护措施，保证混凝土在 7d 以内且强度达到设计强度的 50% 以前，不受水的冲刷侵袭；当环境水具有侵蚀作用时，应保证混凝土在 10d 以内且强度达到设计强度的 70% 以前，不受水的侵袭。混凝土处于冻融循环作用的环境时，宜在结冰期到来 4 周前完成浇筑施工，且在混凝土强度未达到设计强度等级的 80% 前不得受冻，否则应采取技术措施，防止发生冻害。

条文说明：

在混凝土未达到一定强度之前，与流动的地表水或地下水接触的混凝土结构有被冲刷、侵蚀的危险，需要采取如临时排水、堵塞水流、设置防水围堰、设置防水层或其他防水措施。混凝土强度达到设计强度的 50% 和 7d 时间的规定，是考虑到此时混凝土已有抗水流冲刷的能力；如果水的流速过大，使用缓凝性水泥或水温低，则临时防水时间需要酌予延长。条文中提及的侵蚀性地下水，系指一般有海水渗入的地下水；如果地下水含有硫酸盐等侵蚀性较强的物质，则除按条文规定的时间和混凝土强度要求外，结构混凝土尚可能需要采用抗硫酸盐水泥。

6.13 大体积混凝土、抗冻混凝土、抗渗混凝土和自密实混凝土

6.13.1 大体积混凝土在选用原材料和进行配合比设计时，应按降低水化热温升的原则进行，

并应符合下列规定：

1 宜选用低水化热和凝结时间长的水泥品种。粗集料宜采用连续级配，细集料宜采用中砂。宜掺用可降低混凝土早期水化热的外加剂和掺合料，外加剂宜采用缓凝剂、减水剂；掺合料宜采用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉等。

2 进行配合比设计时，在保证混凝土强度、和易性及坍落度要求的前提下，宜采取改善粗集料级配、提高掺合料和粗集料的含量、降低水胶比等措施，减少单方混凝土胶凝材料中的水泥用量。

3 大体积混凝土进行配合比设计及质量评定时，可按 60d 龄期的抗压强度控制。

条文说明：

本条为桥涵工程大体积混凝土在选用原材料、进行配合比设计时需要遵循的一般原则。

3 由于矿物掺合料的影响，掺加矿物掺合料的混凝土强度增长时间的关系曲线与普通混凝土的关系曲线有较大的出入，与普通混凝土不同的是，掺加粉煤灰等矿物掺合料的混凝土标准养护 28d 后，强度仍有较大的增长，因此其强度按 60d 龄期取值是合理的。

6.13.2 大体积混凝土的施工应提前制订专项施工方案，并应对混凝土采取温度控制措施。大体积混凝土的浇筑、养护和温度控制应符合下列规定：

1 施工前应根据原材料、配合比、环境条件、施工方案和施工工艺等因素，进行温控设计和温控监测设计，并应在浇筑后按该设计要求对混凝土内部和表面的温度实施监测和控制。对大体积混凝土进行温度控制时，应使其内部最高温度不高于 75°C ，内表温差不大于 25°C ，混凝土表面与大气温差不大于 20°C 。

2 大体积混凝土可分层、分块浇筑，分层、分块的尺寸宜根据温控设计的要求及浇筑能力合理确定；当结构尺寸相对较小或能满足温控要求时，可全断面一次浇筑。

3 分层浇筑时，在上层混凝土浇筑之前应对下层混凝土的顶面作凿毛处理，且新浇混凝土与下层已浇筑混凝土的温差宜小于 20°C ，并应采取措施将各层间的浇筑间歇期控制在 7d 以内。

4 分块浇筑时，块与块之间的竖向接缝面应平行于结构物的短边，并应在浇筑完成拆模后按施工缝的要求进行凿毛处理。分块施工所形成的后浇段，应在对大体积混凝土实施温度控制且其温度场趋于稳定后方可浇筑；后浇段宜采用微膨胀混凝土，并应一次浇筑完成。

5 大体积混凝土的浇筑宜在气温较低时进行，但混凝土的入模温度应不低于 5°C ；热期施工时，宜采取措施降低混凝土的入模温度，且其入模温度宜不高于 28°C 。

6 大体积混凝土的温度控制宜按照“内降外保”的原则，对混凝土内部采取设置冷却

水管通循环水冷却,对混凝土外部采取覆盖蓄热或蓄水保温等措施进行。在混凝土内部通水降温时,进出口水的温差宜小于或等于 10°C ,且水温与内部混凝土的温差宜不大于 20°C ,降温速率宜不大于 $2^{\circ}\text{C}/\text{d}$;利用冷却水管中排出的降温用水在混凝土顶面蓄水保温养护时,养护水温度与混凝土表面温度的差值应不大于 15°C 。

7 大体积混凝土采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥时,其浇筑后的养护时间宜不少于 14d,采用其他品种水泥时宜不少于 21d。在寒冷天气或遇气温骤降天气时浇筑的混凝土,除应对其外部加强覆盖保温外,尚宜适当延长养护时间。

条文说明:

1 大体积混凝土在浇筑初期水泥产生大量水化热,内部温度迅速升高,体积膨胀,在凝结后混凝土表面就会出现开裂,而新浇筑的混凝土底部虽然由于受基岩或先期混凝土的约束随即产生压应力,但在混凝土硬化后期冷却收缩时,将产生拉应力,且拉应力将大于升温膨胀产生的压应力值。当拉应力超过混凝土的极限抗拉应力时,就会在其内部产生裂缝,并可能发展成为贯穿裂缝,对结构造成较大的危害,因此大体积混凝土的施工需要进行温度控制,使内部的最高温度及内表温差控制在设计要求以内。

2 大体积混凝土的浇筑是否分层或分块,需要考虑能否满足温控的要求、浇筑能力的大小及施工工艺等因素综合确定,本规范对此未作硬性规定。

3 混凝土浇筑的间歇期越短,则各层混凝土的龄期差越小,对结构越有利,因此,在大体积混凝土的浇筑施工中,需要加强施工的组织管理,使其间歇期尽可能缩短。

4 在结构相对薄弱的部位设置后浇段,对防止因拉应力过大而产生温度应力裂缝是必要的;要求后浇段在先行施工混凝土的温度场趋于稳定后再浇筑,是为使其不承受额外的拉应力。

6 “内降外保”是大体积混凝土实施温度控制的基本原则,其目的是使混凝土的内部温度与外表温度之间的差值不致偏离过大,过大则将产生温度应力裂缝,进而发展成贯通裂缝。蓄水保温一般利用内部冷却降温的循环水,因经内部循环后的水,其温度能基本满足外表混凝土保温的要求。

6.13.3 有抗冻性要求的混凝土,应符合下列规定:

1 宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,不宜使用火山灰质硅酸盐水泥;粗集料宜选用连续级配,并应进行坚固性试验。

2 抗冻混凝土的配合比设计除应符合本规范第 6.8 节的规定外,同时应进行抗冻融性能试验。混凝土抗冻性试验方法应符合现行《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30)的规定。

3 位于水位变动区有抗冻要求的混凝土,其抗冻等级指标应不低于表 6.13.3-1 的规定。

表 6.13.3-1 水位变动区混凝土抗冻等级选定标准

结构物所在地区	海水环境	淡水环境
严重受冻地区(最冷月的月平均气温低于 -8°C)	F350	F250
受冻地区(最冷月的月平均气温在 $-4\sim-8^{\circ}\text{C}$ 之间)	F300	F200
微冻地区(最冷月的月平均气温在 $0\sim-4^{\circ}\text{C}$ 之间)	F250	F150

注:试验过程中试件所接触的介质应与结构物实际接触的介质相近。

4 有抗冻要求的混凝土宜掺入适量引气剂,同时宜掺入减水剂,其拌合物的适宜含气量应符合表 6.13.3-2 的规定。

表 6.13.3-2 有抗冻要求的混凝土拌合物含气量控制范围

集料最大粒径(mm)	含气量范围(%)	集料最大粒径(mm)	含气量范围(%)
10.0	5.0~8.0	31.5	3.5~6.5
20.0	4.0~7.0	40.0	3.0~6.0
25.0	3.5~7.0		

注:1. 泵送混凝土含气量应控制在 5.0%~7.0%。

2. 当要求的含气量为某一定值时,其检测结果与要求值的允许偏差范围应为 $\pm 1.0\%$;当含气量要求值为某一范围时,检测结果应满足规定范围的要求。

条文说明:

本条主要参照《水运工程混凝土质量控制标准》(JTS 202-2-2011)的规定拟定。

6.13.4 有抗渗要求的混凝土应符合下列规定:

1 混凝土的抗渗等级应符合设计规定。

2 水泥宜采用普通硅酸盐水泥;粗集料宜选用连续级配,其最大粒径宜不大于 40.0mm;细集料宜采用中砂。抗渗混凝土宜掺用外加剂和矿物掺合料;粉煤灰应采用 F 类,并不应低于 II 级。

3 胶凝材料总量宜不小于 $320\text{kg}/\text{m}^3$;砂率宜为 35%~45%;最大水胶比应符合表 6.13.4 的规定。

表 6.13.4 抗渗混凝土最大水胶比

抗渗等级	最大水胶比	
	C25~C30 混凝土	C30 以上混凝土
P6	0.60	0.55

P8~P12	0.55	0.50
P12 以上	0.50	0.45

4 掺引气剂的抗渗混凝土，应做含气量试验，其含气量宜控制在 3%~5%之间。

5 混凝土抗渗性试验方法应符合现行《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30)的规定。试配时要求的抗渗水压值应比设计值提高 0.2MPa。

条文说明：

本条参照《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2011)的规定作了相应调整。

6.13.5 自密实混凝土应符合下列规定：

1 自密实混凝土宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥；粗集料宜采用连续级配或采用两个及以上单粒粒级组成的连续级配，最大公称粒径宜不大于 20mm，对形状复杂或有特殊要求的结构，最大公称粒径宜不大于 16mm；细集料宜采用中砂；矿物掺合料宜采用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉和硅灰。

2 进行配合比设计时，应充分考虑自密实混凝土的流动性、抗离析性、填充性、浆体用量、体积稳定性及其相互关系。

3 自密实混凝土的配合比设计宜采用绝对体积法，水胶比宜小于 0.45，胶凝材料用量宜控制在 400~550kg/m³，砂率宜为 46%~52%，用水量宜控制在 150~200kg/m³，并宜掺加高效减水剂或高性能减水剂。

4 自密实混凝土的自密实性能、要求及适用条件应符合表 6.13.5 的规定。自密实混凝土拌合物的性能试验方法、试件成型方法等应符合现行《自密实混凝土应用技术规程》(JGJ/T 283)的规定。

表 6.13.5 自密实混凝土的自密实性能、要求及适用条件

自密实性能	性能指标	技术要求	性能等级	适用条件	重要性
填充性	坍落扩展度 (mm)	550~655	SF1	无筋或少筋结构、泵送混凝土结构、无须长距离水平流动的竖向结构	控制指标
		650~755	SF2	一般的钢筋混凝土结构	
		750~850	SF3	结构紧密的竖向构件、形状复杂的结构 (集料最大粒径宜不大于 16mm)	
	扩展时间 T_{500} (s)	≥2	VS1	一般的钢筋混凝土结构	
		<2	VS2	配筋较多或有较高外观要求的钢筋混凝土结构	

间隙 通过性	坍落扩展度 与J环扩展度 差值 (mm)	$25 < PA1 \leq 50$	PA1	钢筋净距 80~100mm	可选指标
		0~25	PA2	钢筋净距 60~80mm	
抗离析性	离析率 (%)	≤ 20	SR1	流动距离小于 5m、钢筋净距大于 80mm 的薄板结构或竖向结构	
		≤ 15	SR2	流动距离大于 5m、钢筋净距大于 80mm 的竖向结构；或流动距离小于 5m、钢筋 净距小于 80mm 的竖向结构（流动距离大 于 5m 时 SR 值宜小于 10%）	
	粗集料振动 离析率 (%)	≤ 10	f_m		

注：1 钢筋净距小于 60mm 时宜进行浇筑模拟试验；对钢筋净距大于 80mm 的薄板结构，或钢筋净距大于 100mm 的其他结构可不作间隙通过性指标要求。

2 高填充性（坍落扩展度指标为 SF2 和 SF3）的自密实混凝土，应有抗离析性要求。

3 当对抗离析试验结果有争议时，以离析率筛析法试验结果为准。

5 用于浇筑自密实混凝土的成型模板应拼装紧密，不得漏浆。新浇混凝土对模板的侧压力应按流体计算。

6 自密实混凝土应采用集中搅拌方式生产，搅拌时间应不少于 60s。

7 自密实混凝土浇筑时的最大水平流动距离应根据浇筑部位的具体情况确定，且最大宜不超过 7m。混凝土的最大自由倾落高度，浇筑基础、实心墩、承台等无筋或少筋结构时，宜不大于 9m；浇筑薄壁墩、梁等钢筋较密的结构时，宜不大于 5m，超过时应采用串筒、溜槽或溜管等辅助装置进行浇筑。

8 自密实混凝土的养护方案应根据混凝土的性能、现场条件、环境温度和湿度、结构特点、技术要求、施工操作等因素综合确定，养护时间应不少于 14d。

条文说明：

本条为新增，规定了自密实混凝土配合比设计、生产、施工的主要内容和要求，主要依据《自密实混凝土应用技术规程》（JGJ/T 283-2012）拟定。

6.14 高强度混凝土

6.14.1 本节适用于按常规工艺生产的 C60 及以上强度等级混凝土的施工。

6.14.2 高强度混凝土原材料的选用应符合下列规定：

1 水泥宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。

2 细集料除应符合本规范第 6.3 节的规定外,尚宜选用质地坚硬、级配良好的中砂,细度模数应为 2.6~3.0,含泥量应不大于 2.0%,泥块含量应不大于 0.5%;配制 C70 及以上强度等级混凝土时,含泥量应不大于 1.5%,且不应有泥块存在,必要时应冲洗后使用。

3 粗集料宜选用质地坚硬、级配良好、无风化颗粒的碎石。其质量指标除应符合本规范第 6.4 节的规定外,粗集料的最大粒径尚不宜大于 25.0mm,含泥量应不大于 0.5%,泥块含量应不大于 0.2%,针片状颗粒含量宜不大于 5.0%;配制 C80 及以上强度等级混凝土时,最大粒径宜不大于 20.0mm。

4 外加剂的性能应符合本规范第 6.6 节的规定。所采用的减水剂应为高效减水剂或高性能减水剂,其掺量应根据试验确定。

5 掺合料可选用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉和硅灰等,粉煤灰等级应不低于 II 级,其技术条件应符合本规范第 6.7 节的规定,掺量应根据试验确定。

6 拌制与养护用水应符合本规范第 6.5 节的规定。

条文说明:

1 本次修订取消了原规范“水泥宜选用强度等级不低于 52.5 级的硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥”的限制。

2~3 本次修订参照《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2011)的规定,对集料的相关指标作了相应调整。

5 本款增加了“粉煤灰等级应不低于 II 级”的规定。

6.14.3 高强度混凝土的配合比应有利于减少温度收缩、干燥收缩和自身收缩引起的体积变形,避免早期开裂,配合比设计除应符合本规范第 6.8 节的规定外,尚应符合下列规定:

1 配制高强度混凝土所用砂率及所采用的外加剂和矿物掺合料的品种、掺量等,均应通过试验确定。

2 高强度混凝土的水泥用量宜不大于 500kg/m^3 ,胶凝材料总量宜不大于 600kg/m^3 。

3 当采用 3 个不同的配合比进行混凝土强度试验时,其中一个应为基准配合比,另外两个配合比的水胶比宜较基准配合比分别增加和减少 0.02~0.03。

4 高强度混凝土的设计配合比确定后,尚应采用该配合比进行不少于 6 次的重复试验进行验证,其平均值应不低于配制强度。

6.14.4 高强度混凝土的施工技术要求除应符合本章普通混凝土的规定外,尚应符合下列规定:

1 混凝土应采用强制式搅拌机拌制,不得采用自落式搅拌机搅拌。配料数量的允许偏差

应符合本规范表 6.9.1 中预制场或集中搅拌站拌制的规定。

2 应准确控制用水量，粗、细集料的含水率应及时测定，并应按测定值调整用水量和集料用量，不得在拌合物出机后再加水。

3 搅拌混凝土时高效减水剂或高性能减水剂宜采用后掺法，且宜制成溶液后再加入，并应在混凝土用水量中扣除溶液用水量。加入减水剂后，混凝土拌和料在搅拌机中继续搅拌的时间宜不少于 30s。

4 高强度混凝土的入模温度应根据环境状况和结构所受的内、外约束程度加以限制。保湿养护的时间应不少于 7d。

6.15 高性能混凝土

6.15.1 本节适用于高性能混凝土的原材料选用、配合比设计、拌制、浇筑和养护施工。

6.15.2 高性能混凝土的原材料和配合比除应符合本规范的规定外，尚应符合现行《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310) 的规定。

6.15.3 配制高性能混凝土时，应选用优质水泥和级配良好的优质集料，同时应掺加与水泥相匹配的高性能减水剂或高效减水剂及优质掺合料。

6.15.4 水泥宜选用品质稳定、标准稠度需水量低、强度等级不低于 42.5 的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，不宜采用矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥，亦不宜采用早强水泥。水泥的技术要求除应符合现行《通用硅酸盐水泥》(GB 175) 的规定外，尚应符合表 6.15.4 的规定。

表 6.15.4 水泥技术要求

项目	技术要求	检验标准
比表面积 (m^2/kg)	≤ 350 (硅酸盐水泥、抗硫酸盐硅酸盐水泥)	《水泥比表面积测定方法勃氏法》(GB/T 8074)
游离氧化钙含量 (%)	≤ 1.5	《水泥化学分析方法》(GB/T 176)
碱含量 (%)	≤ 0.60	
熟料中的 C_3A 含量 (%)	≤ 8 ; 海水环境下 ≤ 5	按《水泥化学分析方法》(GB/T 176) 检验后计算求得
氯离子含量 (%)	≤ 0.03	《水泥化学分析方法》(GB/T 176)

6.15.5 细集料宜选用级配良好、质地均匀坚固、吸水率低、空隙小、细度模数 2.6~3.2 的洁净天然中粗河砂，或符合要求的机制砂，不得使用山砂和海砂。细集料的技术要求除应符合本规范第 6.3 节的规定外，其有害物质含量的限值尚应符合表 6.15.5 的规定。

表 6.15.5 细集料中有害物质含量限值

项目	有害物质含量限值		
	混凝土强度等级		
	<C30	C30~C45	≥C50
含泥量 (%)	≤3.0	≤2.5	≤2.0
泥块含量 (%)	≤0.5		
云母含量 (%)	≤0.5		
轻物质含量 (%)	≤0.5		
氯离子含量 (%)	<0.02		
有机物含量	合格		
硫化物及硫酸盐含量 (按 SO ₃ 质量计, %)	≤0.5		

注：对可能处于干湿循环、冻融循环下的混凝土，细集料的含泥量应小于 1.0%。

6.15.6 粗集料宜选用质地均匀坚硬、粒形良好、级配合理、线胀系数小的洁净碎石或卵石，不宜采用砂岩加工成的碎石，且应采用连续两级配或连续多级配。粗集料的技术要求除应符合本规范第 6.4 节的规定外，其压碎指标尚应不大于 10%；坚固性试验结果失重率对钢筋混凝土结构应小于 8%，对预应力混凝土结构应小于 5%。粗集料的吸水率应小于 2%，当用于干湿循环、冻融循环下的混凝土时应小于 1%。粗集料的最大粒径宜不超过 26.5mm（大体积混凝土除外），且不得超过保护层厚度的 2/3。粗集料中有害物质含量的限值应符合表 6.15.6 的规定。

表 6.15.6 粗集料中有害物质含量限值

项目	有害物质含量限值		
	混凝土强度等级		
	<C30	C30~C45	≥C50
含泥量 (%)	≤1.0		≤0.5
泥块含量 (%)	≤0.25		
针片状颗粒含量 (%)	≤7		
硫化物及硫酸盐含量 (按 SO ₃ 质量计, %)	≤0.5		
氯离子含量 (%)	<0.02		

有机物含量（比色法）	合格
------------	----

6.15.7 外加剂应选用高性能减水剂、高效减水剂或复合减水剂，并应选择减水率高、坍落度损失小、适量引气、与水泥之间具有良好的相容性、能明显改善或提高混凝土耐久性能且质量稳定的产品。引气剂或引气型外加剂应有良好的气泡稳定性。用于提高混凝土抗冻性的引气剂、减水剂和复合外加剂中均不得掺有木质磺酸盐组分，并不得采用含有氯盐的防冻剂。外加剂的性能指标应符合表 6.15.7 的规定。

表 6.15.7 外加剂性能指标

项目		指标	检验标准
硫酸钠含量（%）		≤5.0	《混凝土外加剂匀质性试验方法》 （GB/T8077）
碱含量（Na ₂ O+0.658K ₂ O，%）		≤10.0	
氯离子含量（%）		≤0.02	《混凝土外加剂》（GB 8076）
减水率（%）		≥25	
常压泌水率比（%）		≤20	
压力泌水率比（%）		≤90	《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》 （GB/T 50080）
抗压强度比（%）	3d	≥160	《混凝土外加剂》（GB 8076）
	7d	≥150	
	28d	≥140	
收缩率比（%）		≤110	
相对耐久性指标（200次，%）		≥80	

注：1. 表中压力泌水率比仅适用于泵送混凝土用外加剂。

2. 高性能混凝土用外加剂，应保证配制的混凝土具有适宜施工的坍落度保留值与凝结时间，满足混凝土耐久性要求的含气量。

6.15.8 矿物掺合料应选用品质稳定、来料均匀的粉煤灰、粒化高炉矿渣粉和硅灰等。所用掺合料的技术要求除应符合本规范第 6.7 节的规定外，尚应分别符合表 6.15.8-1～表 6.15.8-3 的规定。

表 6.15.8-1 粉煤灰技术要求

项目	技术要求		检验标准
	C50 以下混凝土 (Ⅱ级粉煤灰)	C50 及以上混凝土 (Ⅰ级粉煤灰)	
细度（%）	≤ 25	≤ 12	《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 (GB/T 1596)
需水量比（%）	≤ 105	≤ 95	

含水率（%）		≤1.0		《水泥化学分析方法》（GB/T 176）
烧失量（%）		≤8.0	≤5.0	
SO ₃ 含量（%）		≤3.0		
CaO 含量（%）		≤10		
游离 CaO 含量（%）		F 类粉煤灰≤1.0 C 类粉煤灰≤4.0		
氯离子含量（%）		≤0.06		
活性指数（%）	7d	≥75	≥80	
	28d	≥85	≥90	
安定性（雷氏夹沸煮后增加距离，mm）		C 类粉煤灰≤5.0		《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》（GB/T 1346）

注: 1. 粉煤灰中的 CaO 含量大于 5% 时, 应经试验证明其安定性合格。

2. 预应力高性能混凝土或浪溅区的钢筋混凝土应采用 I 级粉煤灰或烧失量不大于 5%、需水量比不大于 100% 的 II 级粉煤灰。

表 6.15.8-2 粒化高炉矿渣粉技术要求

项目	技术要求	检验标准
比表面积 (m ² /kg)	350~450	《水泥比表面积测定方法勃氏法》(GB/T 8074)
需水量比 (%)	≤ 100	《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736)
含水率 (%)	≤ 1.0	《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T
烧失量 (%)	≤ 3.0	《水泥化学分析方法》(GB/T 176)
SO ₃ 含量 (%)	≤ 4	
MgO 含量 (%)	≤ 14	
氯离子含量 (%)	≤ 0.06	
28d 活性指数 (%)	≥ 95	《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T

表 6.15.8-3 硅灰技术要求

项目	技术要求	检验标准
比表面积 (m ² /kg)	≥ 15000	《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736)
需水量比 (%)	≤ 125	
含水率 (%)	≤ 3.0	
烧失量 (%)	≤ 6.0	《水泥化学分析方法》(GB/T 176)
氯离子含量 (%)	≤ 0.10	

SiO ₂ 含量 (%)		≥85	《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736)
活性指数 (%)	3d	≥90	
	7d	≥95	
	28d	≥115	

条文说明:

6.15.4~6.15.8 这 5 条是对高性能混凝土所用的水泥、集料、外加剂和矿物掺合料等原材料品质的要求, 施工中选用这些材料时需要严格按条文的规定执行和控制, 因为原材料的品质不佳将难以配制出质量优良的高性能混凝土。

本次修订参照《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB / T18736-2017)、《矿物掺合料应用技术规范》(GB / T 51003-2014)、《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T1596-2017)、《砂浆和混凝土用硅灰》(GB / T 27690-2011)、《海港工程高性能混凝土质量控制标准》(JTS 257-2-2012) 等标准的规定, 对部分相关指标作出了修改。

6.15.9 高性能混凝土的配合比应根据原材料品质、设计强度等级、耐久性以及施工工艺对工作性能的要求, 通过计算、试配和调整等步骤确定。进行配合比设计时应符合下列规定:

1 对不同强度等级混凝土的胶凝材料总量应进行控制, C40 以下宜不大于 400kg/m³; C40~C50 宜不大于 450 kg/m³; C60 及以上的非泵送混凝土宜不大于 500 kg/m³, 泵送混凝土宜不大于 530 kg/m³; 且胶凝材料浆体体积宜不大于混凝土体积的 35%。

2 水胶比应根据混凝土的配制强度、抗氯离子渗透性能、抗渗性能和抗冻性能等要求确定。在满足混凝土工作性能的前提下, 宜降低用水量, 并控制在 130~160 kg/m³。

3 混凝土中宜适量掺加优质的粉煤灰、粒化高炉矿渣粉或硅灰等矿物掺合料, 用以提高其耐久性、改善其施工性能和抗裂性能, 其掺量宜根据混凝土的性能要求通过试验确定, 且宜不小于胶凝材料总量的 20%。当混凝土中粉煤灰掺量大于 30%时, 混凝土的水胶比不得大于 0.45; 在预应力混凝土及处于冻融环境的混凝土中, 粉煤灰的掺量宜不大于 30%, 且粉煤灰的含碳量宜不大于 2%。对暴露于空气中的一般构件混凝土, 粉煤灰的掺量宜不大于 20%, 且单方混凝土胶凝材料中的硅酸盐水泥用量宜不小于 240kg。

4 对耐久性有较高要求的混凝土结构, 试配时应进行混凝土和胶凝材料抗裂性能的对比试验, 并从中优选抗裂性能良好的混凝土原材料和配合比。

5 混凝土中宜适量掺加符合本规范表 6.15.7 规定的外加剂, 且宜选用质量可靠、稳定的多功能复合外加剂。

6 冻融环境下的混凝土宜采用引气混凝土。冻融环境作用等级 D 级及以上的混凝土必

须掺用引气剂；对处于其他环境作用等级的混凝土，亦可通过掺加引气剂（含气量不小于4%）提高其耐久性。混凝土的抗冻耐久性指数应符合现行《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》（JTG/T 3310）的规定。

7 处于近海环境或海洋氯化物环境、除冰盐等其他氯化物环境下的混凝土结构，其混凝土抗氯离子渗透性能应符合现行《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》（JTG/T 3310）的规定。

8 对混凝土中游离氯离子的总含量控制，应符合本规范第6.8.5条的规定。

9 对混凝土中总碱含量的控制，应符合本规范第6.8.6条的规定。

10 混凝土的坍落度宜根据施工工艺的要求确定，条件允许时宜选用低坍落度的混凝土。

条文说明：

本条规定了高性能混凝土配合比设计与配制的一般原则。本次修订对原条文的内容进行了适当修改，主要依据来源于《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》（JTG/T 3310-2019）、《混凝土结构耐久性设计与施工指南》（CCES 01-2004）、《海港工程高性能混凝土质量控制标准》（JTS 257-2-2012）等的相关规定。

6.15.10 高性能混凝土的施工对原材料的质量应严格控制，并应保证配料设备称量准确。所有混凝土原材料，除水可按体积计外，其余均应按质量进行称量，集料称量的允许偏差应为±2%，其他原材料称量的允许偏差应为±1%。

6.15.11 高性能混凝土的搅拌应采用搅拌效率高且均质性好的卧轴式、行星式或逆流式强制式搅拌机。搅拌时，宜先投入细集料和掺合料干拌均匀，再加水泥和部分拌和用水搅拌，最后加入粗集料、外加剂溶液及余额拌和用水，搅拌至均匀为止。上述每一阶段的搅拌时间均应不少于30s，总搅拌时间应比常规混凝土延长40s以上。混凝土中掺加钢筋阻锈剂溶液时，拌合物的搅拌时间应延长1min，采用粉剂时应延长3min。

条文说明：

因高性能混凝土的拌合物比较黏稠，为保证其搅拌均匀，故需要采用性能良好、搅拌效率高的搅拌机，且投料的顺序与常规混凝土相比需有所区别，并适当延长搅拌时间。

6.15.12 高性能混凝土浇筑前，应根据工程特点和施工环境条件确定浇筑方案，并应认真检查钢筋的混凝土保护层垫块的位置、数量及其紧固程度。在结构或构件侧面和底面所布置的垫块数量应不少于4个/m²，用于绑扎垫块和钢筋的绑丝头不得伸入混凝土保护层内。

垫块的尺寸应能保证混凝土保护层厚度的准确性，其形状宜为工字形或截头锥形且应有利于钢筋的定位；高性能混凝土的结构或构件中不得采用普通砂浆垫块，当采用细石混凝土制作时，其抗腐蚀的能力和强度应高于结构或构件本体混凝土，且水胶比应不大于 0.40。对钢筋的净混凝土保护层厚度，其施工的允许误差应为正偏差，对现浇结构其最大允许误差应不大于 10mm，对预制构件应不大于 5mm。

条文说明：

钢筋的混凝土保护层厚度，是指箍筋外缘至混凝土表面的距离。保护层厚度的施工偏差不能出现负误差，这是高性能混凝土与常规混凝土的不同之处，在执行条文时需重视。

6.15.13 高性能混凝土的入模温度宜不超过 28℃，新浇混凝土与已浇并硬化混凝土或岩土介质之间的温差应不大于 20℃，混凝土表面的接触物与混凝土表面温度之差应不大于 15℃。高性能混凝土的浇筑应连续进行，在振捣过程中应控制混凝土的均匀性和密实性，同时应在浇筑及静置过程中采取防止裂缝的有效措施，对混凝土的沉降及塑性干缩产生的表面裂纹，应及时予以处理。混凝土的振捣应采用高频振捣器，且宜采用二次振捣及二次抹面的方式施工；每点的振捣时间宜不超过 30s，并应防止过振和过度抹面，严禁通过洒水辅助抹面。

条文说明：

高性能混凝土浇筑时对振捣质量的控制是施工中的一项重要工作，既要保证振捣均匀密实，又要防止过度振捣。这需要预先制订振捣方案、加强现场的施工管理及采取适宜的措施来予以保证。

6.15.14 新浇筑的混凝土应及早养护，并应减少暴露时间，防止表面水分的蒸发；终凝后，应立即开始对混凝土进行持续潮湿养护。洒水养护时不得采用海水，应采用淡水。当缺乏淡水时可采用养护剂喷涂养护，养护剂应符合现行《水泥混凝土养护剂》（JC 901）的规定。持续潮湿养护在养护期内不应间断，且不得形成干湿循环，在常温下养护应不少于 14d，气温较低时应适当延长潮湿养护的时间。

条文说明：

养护对任何混凝土都是至关重要的，而高性能混凝土的质量更依赖于其养护的质量，特别是对氯离子渗透性能的影响十分明显。在执行本条对高性能混凝土进行养护时，需要注重以下几个方面：及时；保持适当的温度、湿度；时间。

6.15.15 高性能混凝土的质量除应进行常规检验外，尚应对其耐久性质量进行检验。耐久性质量应根据不同要求和处于不同环境作用下的工程，对混凝土的拌合物及实体结构分别进行相应的检验。质量检验的结果应符合设计的规定，同时应符合本规范的相关规定；当质量检验评定结果不合格时，应委托专门的咨询机构就其耐久性质量进行评价，并应按其评价结论采取措施进行处理。耐久性的质量检验应符合下列规定：

1 对高性能混凝土的拌合物，宜进行抗渗、抗冻和电通量等耐久性指标的检验；对引气混凝土，尚应抽检其含气量。抗渗、抗冻和电通量检验的试验方法应符合现行《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》（JTG E30）的规定，高性能混凝土的 56d 龄期电通量应不大于 1000C。检验结果应满足设计和经批准的施工配合比的要求。

2 实体结构在拆模且养护结束后，应对钢筋的混凝土保护层厚度，保护层混凝土的密实性、渗透性等进行检验。必要时，可从实体结构的混凝土中取芯制作试件，测定混凝土的含气量和气泡间距系数、抗冻等级或耐久性指数、氯离子扩散系数等指标。

3 高性能混凝土的保护层厚度，宜采用专用的钢筋保护层厚度检测仪进行无损检测；当对保护层厚度检测结果有怀疑时，可采用局部破损的方法进行复核，但复核结束后应对破损部位进行及时修复。

4 保护层混凝土的密实性宜采用标准预埋件的拔出试验或回弹仪试验，通过测定表层混凝土的强度并间接估计其质量。测定宜在达到 28d 龄期时进行，测得的强度平均值应不低于预先规定的数值。采用回弹仪测定时，应在试验室内通过标定对比试验确定。

5 高性能混凝土的渗透性检验宜采用混凝土渗透性测试仪，测定结构物表层混凝土的抗渗性，其结果应不低于设定值。

条文说明：

对高性能混凝土，主要是对耐久性质量指标的检验，且分为对混凝土拌合物的抽检及对实体结构混凝土的检验。

2 对实体结构混凝土主要检验其混凝土保护层厚度、密实性和渗透性三项指标，因该三项指标是混凝土耐久性的具体标志。钻芯取样测定混凝土的含气量和气泡间距系数、抗冻等级或耐久性指数、氯离子扩散系数等指标，只有在对上述三项指标有怀疑时方进行。

7 预应力混凝土工程

7.1 一般规定

7.1.1 本章适用于预应力混凝土现浇结构和预制构件的施工。

7.1.2 预应力混凝土工程中的钢束张拉和后张孔道压浆宜采用信息化施工。

条文说明：

信息化已在预应力混凝土工程的施工中特别是在张拉和压浆两个关键工序中得到普遍应用，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混凝土工程的质量具有良好效果，值得推广应用，故本次修订增加了本条规定。

7.1.3 预应力混凝土工程施工时，应采取必要的安全防护措施，防止发生事故。

条文说明：

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。

7.2 预应力筋及制作

7.2.1 预应力混凝土结构所采用的钢丝、钢绞线、螺纹钢筋等材料的性能和质量，应符合现行国家标准的规定。钢丝应符合现行《预应力混凝土用钢丝》(GB/T5223)的规定；钢绞线应符合现行《预应力混凝土用钢绞线》(GB/T5224)的规定；螺纹钢筋应符合现行《预应力混凝土用螺纹钢筋》(GB/T20065)的规定。有涂层的预应力筋应符合相应的现行国家标准的规定。进口材料的性能和质量应符合合同规定标准的要求。

条文说明：

公路桥涵预应力混凝土结构主要采用钢丝、钢绞线和螺纹钢筋三大类产品作为

预应力筋，本条对不同材料明确了需要分别符合相应国家标准的规定。

7.2.2 预应力筋进场时应分批验收，验收时，除应按合同要求对其质量证明书、包装、标志和规格等进行检查外，尚应按下列规定进行检验：

1 钢丝分批检验时每批质量应不大于 60t。检验时应先从每批中抽查 5% 且不少于 5 盘，进行表面质量检查，如检查不合格，则应对该批钢丝逐盘检查。在表面质量检查合格的钢丝中抽取 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。试验结果如有一项不合格，则不合格盘报废，并从同批未试验过的钢丝盘中取双倍数量的试样进行该不合格项的复验；如仍有一项不合格，则该批钢丝为不合格。

2 钢绞线分批检验时每批质量应不大于 60t。检验时应从每批钢绞线中任取 3 盘，并从每盘所选的钢绞线端部正常部位截取一组试样进行表面质量、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，则不合格盘报废，并再从该批未试验过的钢绞线中取双倍数量的试样进行该不合格项的复验；如仍有一项不合格，则该批钢绞线为不合格。

3 螺纹钢筋分批检验时每批质量应不大于 100t。对表面质量应逐根目视检查，外观检查合格后在每批中任选 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，则应另取双倍数量的试件重做全部各项试验；如仍有一根试件不合格，则该批钢筋为不合格。

4 预应力筋的实际强度不得低于现行国家标准的规定。预应力筋的检验试验方法应按现行国家标准的规定执行，用作拉伸试验的试件，不得进行任何形式的加工。在对预应力筋的拉伸试验中，应同时测定其弹性模量。

5 对特大桥、大桥或重要桥梁工程中使用的钢丝、钢绞线和螺纹钢筋，进场时应按上述规定进行检验；对预应力材料用量较少的一般桥梁工程，其预应力钢材的力学性能，可仅进行抗拉强度检验，或由生产厂提供力学性能试验报告。

条文说明：

为保证用于工程中的预应力材料的品质能达到相应国家标准的要求，在进场时对其进行质量验收是有必要的。

5 “重要桥梁工程”是指高速公路和一级公路上、国防公路上及城市附近交通繁忙公路上的桥梁。“用量较少”的含义是指其用量远少于验收批的质量，如不足正常验收批的 20%。“一般桥梁工程”是指二级及以下等级公路中的中、小桥，且设计无特殊要求的桥梁工程。

7.2.3 预应力筋应保持清洁，在存放和搬运过程中应避免使其产生机械损伤和有害的锈蚀。进场后的存放时间宜不超过 6 个月，且宜存放在干燥、防潮、通风良好、无腐蚀气体和介质的仓库内；在室外存放时，不得直接堆放在地面，应支垫并遮盖，防止雨露和各种腐蚀性介质对其产生不利影响。

7.2.4 预应力筋制作时的下料应符合下列规定：

1 下料长度应通过计算确定，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、锚头预留量、冷拉伸长值、弹性回缩值、张拉伸长值和张拉工作长度等因素。

2 钢丝束两端采用锚头锚具时，宜采用等长下料法对钢丝进行下料。

3 预应力筋的下料，应采用切断机或砂轮锯切断，严禁采用电弧切割。

条文说明：

3 如采用电弧切断预应力筋，在高温下将使预应力筋的抗拉强度降低，故予以禁止。

7.2.5 高强钢丝的锚头宜采用液压冷锚，锚头前应确认钢丝的可锚性。钢丝锚头的强度不得低于钢丝强度标准值的 98%。

7.2.6 制作挤压锚时，应符合下列规定：

1 模具与挤压锚应配套使用，挤压锚具的外表面应涂润滑介质，挤压力和挤压操作应符合产品使用说明书的规定。

2 挤压后的预应力筋外端应露出挤压套筒 2~5mm。

3 应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。

4 钢绞线压花锚挤压成型时，表面应清洁、无油污，梨形头的尺寸和直线段长度应不小于设计值。

5 环氧涂层钢绞线不得用于制作压花锚。

条文说明：

1 不同生产厂生产的挤压锚具的尺寸是有差异的，挤压力亦有差异，因此模具与挤压锚需要配套使用。

3 对成型的挤压锚抽取试件做握裹力试验，目的是检验其可靠性。

4 钢绞线压花锚具是依靠梨形花头及直线段裸露的钢绞线与混凝土的黏结而锚

固的，因此钢绞线的表面需要保持清洁，不能有污物，更不能有油脂，否则将会影响其锚固性能。

5 规定“环氧涂层钢绞线不得用于制作压花锚”，是因为其锚固力不能满足锚固的要求。

7.2.7 预应力筋由多根钢丝或钢绞线组成且当采取整束穿入孔道内时应预先编束，编束时应将钢丝或钢绞线逐根理顺，防止缠绕，并应每隔 1~1.5m 捆绑一次，使其绑扎牢固、顺直。

条文说明：

编束时梳理顺直，能防止钢丝或钢绞线在穿束、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，有的钢丝或钢绞线达不到张拉控制应力，而有的则可能被拉断。

7.3 锚具、夹具和连接器

7.3.1 锚具、夹具和连接器应按设计规定采用，其性能和质量应符合现行《预应力筋用锚具、夹具和连接器》(GB/T14370) 的规定。

7.3.2 锚具应满足分级张拉、补张拉以及放松预应力的要求；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性能；锚具的锚口摩阻损失率宜不大于 6%。

条文说明：

本条对“锚口摩阻损失率宜不大于 6%”的规定是针对生产厂的锚具产品提出的要求，而不是针对施工操作的，在锚具材料订货及进场检验时，需作为一项重要指标进行控制。

7.3.3 夹具应具有良好的自锚性能、松锚性能和安全的重复使用性能，主要锚固零件应具有良好的防锈性能，可重复使用的次数应不少于 300 次。需敲击才能松开的夹具，必须保证其对预应力筋的锚固没有影响，且对操作人员的安全不造成危险。

7.3.4 在混凝土结构或构件中的永久性预应力筋连接器，应符合锚具的性能要求；

用于先张法施工且在张拉后还需进行放张和拆卸的连接器,应符合夹具的性能要求。

7.3.5 锚垫板应具有足够的强度和刚度,且宜设置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。与后张预应力筋用锚具或连接器配套的锚垫板和局部加强钢筋,在规定的局部承压试件尺寸及混凝土强度下,应满足传力性能要求。

条文说明:

本条对锚垫板和锚下的局部加强钢筋(如螺旋筋)的性能提出了要求,并强调需要与锚具或连接器配套使用,新的国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》(GB/T 14370-2015)已将锚垫板和螺旋筋作为锚具或连接器配套的产品。传力性能是指:通过传力性能试验检验,预加力从锚具通过垫板传递到混凝土结构时的局部承压区的性能,实际上就是对预应力体系的性能要求。锚固区传力性能试验一般在产品定型时由生产厂委托有资质的检测机构进行。

7.3.6 锚具、夹具和连接器进场时,应按合同核对其型号、规格和数量,以及适用的预应力筋品种、规格和强度等级,且生产厂应提供产品质保书、产品技术手册、锚固区传力性能型式检验报告,以及夹片式锚具的锚口摩阻损失测试报告或参数。产品按合同核对无误后,应按下列规定进行进场检验:

1 外观检验:应从每批产品中抽取 2%且不少于 10 套样品,检验表面裂纹及锈蚀情况。表面不得有裂纹及锈蚀。当有 1 个零件不符合要求时,本批全部产品应逐件检验,符合要求者判定该零件外观合格。对配套使用的锚垫板和螺旋筋可按上述方法进行外观检验,但允许表面有轻度锈蚀。

2 尺寸检验:应从每批产品中抽取 2%且不少于 10 套样品,检验其外形尺寸。外形尺寸应符合产品质保书所示的尺寸范围。当有 1 个零件不符合规定时,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,则本批全部产品应逐件检验,符合要求者判定该零件尺寸合格。

3 硬度检验:应从每批产品中抽取 3%且不少于 5 套样品(对多孔夹片式锚具的夹片,每套抽取 6 片),对其中有硬度要求的零件进行硬度检验,每个零件测试 3 点,其硬度应符合产品质保书的规定。当有 1 个零件不合格时,应另取双倍数量的零件重做检验;如仍有 1 个零件不合格,则应对本批产品逐个检验,合格者方可使用或进入后续检验。

4 静载锚固性能试验:应在外观检验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成 3 个预应力筋—锚具组装件，进行静载锚固性能试验。如有 1 个试件不符合要求，则应另取双倍数量的样品重做试验；如仍有 1 个试件不符合要求，则该批锚具为不合格。静载锚固性能试验方法应符合现行《预应力筋用锚具、夹具和连接器》(GB/T14370) 的规定。

5 对特大桥、大桥和重要桥梁工程中使用的锚具产品，应进行上述 4 项检查和检验；对锚具用量较少的一般中、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，则可仅进行外观检验和硬度检验。

6 进场检验时，同种材料、同一生产工艺条件下、同批进场的产品可视为同一验收批。锚具的每个验收批宜不超过 2000 套；夹具、连接器的每个验收批宜不超过 500 套；获得第三方独立认证的产品，其验收批可扩大 1 倍。检验合格的产品，在现场的存放期超过 1 年，再用时应进行外观检验。

条文说明：

本条所指的进场检验，实际上是对生产厂已进行产品出厂检验合格后的复验，复验有 4 项主要内容：外观检验、尺寸检验、硬度检验和静载锚固性能试验。

5 “锚具用量较少”的含义为锚具的用量远少于验收批的数量，如不足正常验收批的 20%；“一般中、小桥梁工程”是指二级及以下等级公路中的且设计无特殊要求的中、小桥梁；“有效的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，且由具有资质的检测单位提供的检验报告。

7.3.7 锚具、夹具和连接器在存放、搬运及使用期间均应妥善防护，避免锈蚀、沾污、遭受机械损伤、混淆和散失，临时性的防护措施应不影响其安装和永久性防腐的实施。

7.3.8 预应力筋用锚具产品应配套使用，同一结构或构件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。

条文说明：

预应力筋用锚具、夹具、连接器、锚垫板和螺旋筋等产品，是生产厂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，因此需要配套使用。规定“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的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”。不同生产厂的产品的设计参数是有区别的，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，因此需要配套使用。

7.4 管道

7.4.1 在后张有黏结预应力混凝土结构或构件中，预应力筋的孔道宜由浇筑在混凝土中的刚性或半刚性管道构成，或采取钢管抽芯、胶管抽芯及金属伸缩套管抽芯等方法进行预留。设置于混凝土中的刚性或半刚性管道不应有漏浆现象，且应具有足够的强度和刚度，应能在浇筑混凝土重力的作用下保持原有的形状，并能按要求传递黏结应力。

7.4.2 管道的性能要求应符合下列规定：

1 刚性管道应是壁厚不小于 2mm 的平滑钢管，且应具有光滑的内壁并可被弯曲成适当的形状而不出现卷曲或被压扁；半刚性管道应是波纹状的金属管或高密度聚乙烯塑料管，且金属波纹管宜采用镀锌钢带制作，壁厚宜不小于 0.3mm。

2 金属波纹管的性能和质量应符合现行《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、性能和质量应符合现行《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》(JT/T529) 的规定。

条文说明：

1 要求金属波纹管采用镀锌钢带制作，是基于提高管道及预应力筋的防锈蚀性能来考虑的。规定平滑钢管的壁厚不小于 2mm 和金属波纹管的壁厚不小于 0.3mm 的理由是：防止空管在安置和浇筑混凝土的过程中变形和挠曲；抵抗较高的压浆压力；防止由于特殊的环境造成管道损坏。

7.4.3 管道的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《预应力混凝土用金属波纹管》(JG 225) 和《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》(JT/T529) 的规定。

2 管道应按批进行检验。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，每批数量应不超过 50000m；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验，合格后再进行其他指标的检验。当其他指标中有不合格项时，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，该批产品为不合格。

7.4.4 波纹管在搬运时应采用非金属绳捆扎，或采用专用框架装载，不得抛摔或在地面上拖拉。波纹管在存放时应远离热源及可能遭受各种腐蚀性气体、介质影响的地方，存放时间宜不超过 6 个月，在室外存放时不得直接堆于地面，应支垫并遮盖。

7.5 混凝土浇筑

7.5.1 浇筑混凝土前，除应符合本规范第 6.11.1 条的规定外，尚应对预埋于混凝土中的锚具、管道和钢筋等进行全面检查验收，符合要求后方可开始浇筑。

7.5.2 浇筑混凝土时，宜根据结构或构件的不同形式选用插入式、附着式或平板式等振动器进行振捣。对箱梁腹板与底板及顶板连接处的承托、预应力筋锚固区及其他预应力钢束与钢筋密集的部位，应采取有效措施加强振捣；对先张构件应避免振动器碰撞预应力筋；对后张结构应避免振动器碰撞预应力筋的管道、预埋件等。浇筑过程中应随时检查模板、管道、锚固端垫板等的稳固性，保证其位置及尺寸符合设计要求。

7.5.3 用于判断现场预应力混凝土结构或构件强度的混凝土试件，应置于现场与结构或构件同环境、同条件养护。

7.6 施加预应力

7.6.1 预应力张拉用的机具设备和仪表应符合下列规定：

1 预应力筋的张拉宜采用穿心式双作用千斤顶，整体张拉或放张宜采用具有自锚功能的千斤顶；张拉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，标定精度应不低于 1.0 级。张拉机具设备应与锚具产品配套使用，并应在使用前进行校正、检验和标定。

2 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,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) 使用时间超过 6 个月;
- 2) 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情况;
- 4) 千斤顶检修或更换配件后。

3 采用测力传感器测量张拉力时,测力传感器应按相关国家标准的规定每年送检一次。

条文说明:

2 张拉设备(千斤顶、油泵和压力表等)标定后,即确定相互之间的关系曲线,这种关系曲线对应于特定的一套张拉设备,故需要配套标定、配套使用。由于千斤顶主动工作和被动工作时,压力表读数与千斤顶输出力之间的关系是不同的,因此在标定时,活塞的运行方向要求与实际张拉工作状态一致。

7.6.2 施加预应力之前,施工现场的准备工作及结构或构件需达到的要求应符合下列规定:

1 施工现场已具备经批准的张拉顺序、张拉程序和施工作业指导书,经培训掌握预应力施工知识和正确操作的施工人员,以及能保证操作人员和设备安全的防护措施。

2 锚具安装正确,结构或构件混凝土已达到要求的强度和弹性模量(或龄期)。

7.6.3 对预应力筋施加预应力时,应符合下列规定:

1 千斤顶安装时,工具锚应与前端的工作锚对正,工具锚和工作锚之间的各根预应力筋不得错位、扭绞。实施张拉时,千斤顶与预应力筋、锚具的中心线应位于同一轴线上。

2 预应力筋的张拉顺序和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或计入锚圈口预应力损失时,可比设计规定提高 5%,但在任何情况下不得超过设计规定的最大张拉控制应力。

3 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。

4 预应力筋的理论伸长值 ΔL_L (mm) 可按式 (7.6.3-1) 计算：

$$\Delta L_L = \frac{P_p L}{A_p E_p} \quad (7.6.3-1)$$

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，计算方法应符合本规范附录 F 的规定；

L ——预应力筋的长度(mm)；

A_p ——预应力筋的截面面积(mm²)；

E_p ——预应力筋的弹性模量(N/mm²)。

5 预应力筋张拉时，应先调整到初应力 σ_0 ，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 (7.6.3-2) 计算：

$$\Delta L_s = \Delta L_1 + \Delta L_2 \quad (7.6.3-2)$$

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(mm)，可采用相邻级的伸长值。

6 预应力筋张拉控制应力的精度宜为 $\pm 1.5\%$ 。

7 预应力筋的锚固，应在张拉控制应力处于稳定状态下进行。锚固阶段张拉端锚具变形、预应力筋的回缩量 and 接缝压缩值，应不大于设计规定或不大于表 7.6.3 所列容许值。

表 7.6.3 锚具变形、预应力筋回缩和接缝压缩容许值

锚具、接缝类型		变形形式	容许值 ΔL_R (mm)
钢制锥形锚具		预应力筋回缩、锚具变形	6
夹片式锚具	有顶压时	预应力筋回缩、锚具变形	4
	无顶压时		6
镦头锚具		缝隙压密	1
带螺帽锚具的螺帽缝隙		缝隙压密	1~3
每块后加垫板的缝隙		缝隙压密	2
水泥砂浆接缝		缝隙压密	1
环氧树脂砂浆接缝		缝隙压密	1

注：带螺帽锚具采用一次张拉锚固时， ΔL_R 宜取 2~3mm；采用二次张拉锚固时， ΔL_R 可取 1mm。

8 张拉锚固后,建立在锚下的实际有效预应力与设计张拉控制应力的相对偏差应不超过 $\pm 5\%$,且同一断面中预应力束的有效预应力的不均匀度应不超过 $\pm 2\%$ 。

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放松装置松开;对支撑式锚具可采用张拉设备缓慢地松开。

10 预应力筋在实施张拉或放张作业时,应采取有效的安全防护措施,预应力筋两端的正面严禁站人和穿越。

11 预应力筋张拉、锚固及放松时,均应填写施工记录。

12 施加预应力时宜采用信息化数据处理系统对各项张拉参数进行采集。

条文说明:

2 对于后张法结构或构件,设计通常会给出锚下的预应力筋的张拉控制应力,如果要实施超张拉或计入锚固口的预应力损失,就需要对其最大张拉应力进行控制。因为张拉如超过设计规定的最大张拉控制应力,则其钢束预应力筋的安全储备为零,对结构是非常不利的。

3 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 $\pm 6\%$ 的规定,故此类力筋需要通过试验确定其实际控制伸长值。

4 式(7.6.3-1)及附录F为后张法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, $P_p=P$, L 为预应力筋长度,得公式 $\Delta L_t=PL/(A_p E_p)$;对由多曲线组成的曲线预应力筋,或由直线与曲线混合组成的预应力筋,其伸长值一般为分段计算,然后叠加。

5 最初张拉时各根预应力筋的松紧、弯曲程度不一定一致,所以初应力时的伸长值不能采用量测方法,而需要采用推算的方法。推算时,通常采用相邻级的伸长值,例如初应力 σ_0 为 $10\% \sigma_{con}$ 时,其伸长值采用由 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,然后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,还需要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 $10\% \sim 25\%$ 的范围,但在实际张拉操作中,需要根据实际情况进行取舍:钢束长度在 30m 以下时,初应力一般取 $10\% \sim 15\%$;钢束长度为 $30 \sim 60\text{m}$ 时,取 $15\% \sim 20\%$;钢束长度大于 60m 时,取上限 25% 控制应力作为初应力;钢束长度过长(如超过 100m)时, 25% 的上限亦有可能达不到初应力的目的,

对这种情况，则需要通过现场试验来确定其初应力的大小。

9 预应力筋锚固后，如需放松，无论后张法或先张法，都需要使用专门的设备缓慢地放松，如此规定是为了保证施工的安全。

10 本款的规定主要是为保证施工的安全，防止发生人员伤亡事故。

12 信息化数据处理系统能对各项张拉参数进行自动采集，且能保证各项数据的准确性和可靠性，有利于对施工质量进行有效控制。

7.7 先张法

7.7.1 先张法的墩式台座结构应符合下列规定：

1 承力台座应进行专门设计，并应具有足够的强度、刚度和稳定性，其抗倾覆安全系数应不小于 1.5，抗滑移系数应不小于 1.3。

2 锚固横梁应有足够的刚度，受力后挠度应不大于 2mm。

7.7.2 预应力筋的安装宜自下而上进行，并应采取措施防止其被台座上涂刷的隔离剂污染。预应力筋与锚固横梁间的连接，宜采用张拉螺杆。

7.7.3 先张法预应力筋的张拉除应符合本规范第 7.6 节的相关规定外，尚应符合下列规定：

1 张拉前，应对台座、锚固横梁及各项张拉设备进行详细检查，符合要求后方可进行操作。

2 同时张拉多根预应力筋时，应预先调整其单根力筋的初应力，使相互之间的应力一致，再整体张拉。张拉过程中，应使活动横梁与固定横梁始终保持平行，并应检查预应力筋的预应力值，其偏差的绝对值不得超过按一个构件全部预应力筋预应力总值的 5%。

3 先张法预应力筋的张拉程序应符合设计规定；设计未规定时，其张拉程序可按表 7.7.3-1 的规定进行。

表 7.7.3-1 先张法预应力筋张拉程序

预应力筋种类		张拉程序
钢丝、钢绞线	夹片式等具有自锚性能的锚具	低松弛预应力筋：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	$0 \rightarrow \text{初应力} \rightarrow 1.05\sigma_{\text{con}} (\text{持荷 } 5\text{min}) \rightarrow 0.9\sigma_{\text{con}} \rightarrow \sigma_{\text{con}} (\text{锚固})$
------	--

注：1.表中 σ_{con} 为张拉时的控制应力值，包括预应力损失值。

2.超张拉数值超过本规范第 7.6.3 条规定的最大超张拉应力限值时，应按该条规定的限制张拉应力进行张拉。

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

4 张拉时，预应力筋的断丝数量不得超过表 7.7.3-2 的规定。

表 7.7.3-2 先张法预应力筋断丝限制

预应力筋种类	检查项目	控制数
钢丝、钢绞线	同一构件内断丝数不得超过钢丝总数的百分比	1%
螺纹钢筋	断筋	不容许

5 预应力筋张拉完毕后，其位置与设计位置的偏差应不大于 5mm，同时应不大于构件最短边长的 4%，且宜在 4h 内浇筑混凝土。

条文说明：

3 本次修订删除了表 7.7.3-1 中的普通松弛预应力筋，因此类材料多年来已不采用，亦不再生产。使用夹片式等具有自锚性能的锚具时，在力筋按 $1.05\sigma_{\text{con}}$ 施行超张拉后，由于该类锚具具有自锚性能，在千斤顶回程时力筋即被锚固而不便放松回零，故规定低松驰力筋从初应力分级张拉至 σ_{con} 且持荷 5min 后即锚固。初应力程序的目的是在多根预应力筋同时张拉时，调整其每根预应力筋的应力，使其一致。表 7.7.3-1 中注 2 的规定主要是为安全起见，以避免预应力筋被拉过屈服点或屈服强度。

7.7.4 先张法预应力筋的放张应符合下列规定：

1 预应力筋放张时构件混凝土的强度和弹性模量（或龄期）应符合设计规定；设计未规定时，混凝土的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%，当采用混凝土龄期代替弹性模量控制时应不少于 5d。

2 在预应力筋放张之前，应将限制位移的侧模、翼缘模板或内模拆除。

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、均匀、对称、相互交错地放张。

4 多根整批预应力筋的放张，当采用砂箱放张时，放砂速度应均匀一致；采用千斤顶放张时，放张宜分数次完成；单根钢筋采用拧松螺母的方法放张时，宜先两侧后中间，并不得一次将一根力筋松完。

5 放张后, 预应力筋在构件端部的内缩值宜不大于 1.0mm。

6 预应力筋放张后, 对钢丝和钢绞线, 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, 但应采取必要措施防止高温对其产生不利影响。

7 长线台座上预应力筋的切断顺序, 应由放张端开始, 依次向另一端切断。

条文说明:

1 工程实践表明, 放张时仅强调强度而忽视混凝土的弹性模量的做法对构件而言是不利的, 故混凝土的弹性模量亦需要作为一项控制指标, 且规定在不低于28d弹性模量的80%时才能进行放张作业, 即预应力筋能否放张需要由构件混凝土的强度和弹性模量两项指标进行双控制。对混凝土的弹性模量, 在工地试验室对该指标进行试验检测时较为复杂, 存在一定困难, 因此也可以龄期代替弹性模量指标。其理由为: 对混凝土早期抗压强度和弹性模量的试验研究表明, 混凝土的弹性模量随龄期单调增长, 与龄期呈指数函数关系, 但其增长速度渐减并趋于收敛, 混凝土的强度等级越高, 则早期弹性模量发展越快, 但差异不是很大, 且其变异系数有随龄期的增长而减小的趋势。通常情况下, C40混凝土3d弹性模量约为28d弹性模量的84%, 7d弹性模量能达到28d弹性模量的95%; C50混凝土3d弹性模量约为28d弹性模量的90%, 7d弹性模量能达到28d弹性模量的95%。因此, 通过对混凝土龄期的控制代替对弹性模量的控制是可行的。但采用多长的龄期进行控制, 这既要满足弹性模量的要求, 同时也要防止早期混凝土长时间不放张或不张拉而导致开裂, 规定不少于5d是适宜的。

3~4 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。

7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。

7.8 后张法

7.8.1 采用金属或塑料管道构成后张预应力混凝土结构或构件的孔道时, 应符合下列规定:

1 管道的规格、尺寸应符合设计规定, 且其内横截面积应不小于预应力筋净截面积的 2 倍; 对长度大于 60m 的管道, 宜通过试验确定其面积比是否可以进行正常的压浆作业。

2 管道应按设计规定的坐标位置进行安装,并应采用定位钢筋固定,使其能牢固地置于模板内的设计位置,且在混凝土浇筑期间不产生位移。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。固定各种成孔管道用的定位钢筋的间距,对钢管宜不大于 1.0m,波纹管宜不大于 0.8m;位于曲线上的管道和扁平波纹管应适当加密。定位后的管道应平顺,其端部的中心线应与锚垫板相垂直。

3 管道接头处的连接管宜采用大一级直径的同类管道,其长度宜为被连接管道内径的 5~7 倍。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,并应缠裹紧密,防止水泥浆的渗入。塑料波纹管应采用专用焊接机进行热熔焊接或采用具有密封性能的塑料结构连接器连接。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。

4 所有管道均应在每个顶点设排气孔,以及需要时在每个低点设排水孔,在每个顶点和两端设检查孔。压浆管、排气管和排水管应是最小内径为 20mm 的标准管或适宜的塑性管,与管道之间的连接应采用金属或塑料结构扣件,长度应足以从管道引出结构物以外。

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。

条文说明:

1 管道内横截面积的大小与穿束的难易程度和是否能正常压浆作业有关,既不能过小亦不能过大,过小时穿束与压浆均较困难,过大则会削弱结构或构件的正常断面,因此需要采用适宜的内横截面积。

3 管道的接头如处理不当,很容易造成漏浆,因此连接管需要具有一定长度,并需要有足够的密封性能,以防止水泥浆浸入。

4 压浆孔用于将浆液注入管道内;排气孔则用于排出空气、水、浆液和泌水。在管道的每个低点设置排水孔能防止水的积存,排水孔需要保持开放直至压浆开始。压浆孔和排气孔的位置与浆体流动的方向、管道的倾斜度、锚具和接头及允许的压浆压力有关,在某些情况下,两者可以互换,使其能用以压浆和再次压浆。本次修订增加了设置检查孔的规定,目的是在压浆完成后能通过其对某些重点部位的密实性进行检查,如发现压浆不密实,则需要补压浆或其他后续处理。

7.8.2 采用胶管抽芯法制孔时,胶管内应插入芯棒或充以压力水增加刚度;采用钢管抽芯法制孔时,钢管表面应光滑,焊接接头应平顺。抽芯时间应通过试验确定,以混凝土抗压强度达到 0.4~0.8MPa 时为宜,抽拔时不得损伤结构混凝土。抽芯后,

应采用通孔器或压气、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。

7.8.3 预应力筋的安装应符合下列规定：

- 1 预应力筋可在浇筑混凝土之前或之后穿入孔道，穿束前应检查锚垫板和孔道，锚垫板的位置应准确。孔道内应畅通，无水和其他杂物。
- 2 宜将一根钢束中的全部预应力筋编束后整体穿入孔道中，整体穿束时，束的前端宜设置穿束网套或特制的牵引头，应保持预应力筋顺直，且仅应前后拖动，不得扭转。对钢绞线，可采用穿束机逐根将其穿入孔道内，但应保证其在孔道内不发生相互缠绕。
- 3 对在混凝土浇筑之前安装在孔道中但在表 7.8.3 的规定时限内未压浆的预应力筋，应采取防止锈蚀或其他防腐蚀措施，直至压浆。

表 7.8.3 未采取防腐蚀措施的预应力筋在安装后至压浆时的容许间隔时间

暴露条件	安装后至压浆时的容许间隔时间 (d)
空气湿度大于 70% 或盐分过大时	7
空气湿度为 40%~70% 时	15
空气湿度小于 40% 时	20

4 预应力筋安装在管道中后，应将管道端部开口密封防止湿气进入。采用蒸汽养护混凝土时，在养护完成之前不应安装预应力筋。

5 在任何情况下，当在安装有预应力筋的结构或构件附近进行电焊作业时，均应对全部预应力筋、管道和附属构件进行保护，防止溅上焊渣或造成其他损坏。

6 对在混凝土浇筑之前穿束的管道，预应力筋安装完成后，应进行全面检查，查出可能被损坏的管道。在混凝土浇筑之前，应将管道上所有非有意留的孔、开口或损坏之处修复，并应在浇筑混凝土过程中随时检查预应力筋能否在管道内自由移动。

条文说明：

1~2 在混凝土浇筑之前或浇筑之后穿束，将预应力筋逐根穿入或编束后整体装入管道中，这些方式都是允许的，但需要优先采用编束后整体穿入的方法，因为梳理编束后能有效防止预应力筋之间的相互缠绕，而单根穿入时存在相互缠绕的可能性。

3 尽可能缩短穿束与压浆之间的间隔时间，有利于防止预应力筋产生锈蚀或其他腐蚀，使其力学性能保持不变。

4 预应力筋装入管道后, 湿气的大量进入将会使其加速锈蚀, 故规定如条文。

5 被电火花损伤的钢丝或钢绞线在张拉时可能会产生断裂, 管道则会因溅上焊渣出现孔洞而在浇筑混凝土时漏浆, 故需要对其进行保护。

7.8.4 锚具、夹具和连接器在安装前, 应擦拭干净, 安装时应符合下列规定:

1 锚具和连接器的安装位置应准确, 且应与孔道对中。锚垫板上设置有对中止口时, 应防止锚具偏出止口。安装夹片时, 应使夹片的外露长度基本一致。

2 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, 应保证在张拉和锚固过程中能顺利旋合拧紧。

条文说明:

1 锚垫板上的对中止口可以保证锚具与垫板的对中, 有利于锚具和预应力筋的受力, 但如使锚板偏出止口, 则反而会形成不利的支撑状态。

2 凡利用螺母锚固的锚具, 一般是张拉至规定控制应力时在负荷状态下拧紧螺母, 所以在安装锚具之前需要逐个检查螺纹的配合情况, 保证在张拉锚固时能顺利拧紧。

7.8.5 后张法预应力筋的张拉和锚固应符合下列规定:

1 预应力张拉之前, 宜对不同类型的孔道进行至少一个孔道的摩阻测试, 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, 对长度大于 60m 的孔道宜适当增加摩阻测试的数量。摩阻损失的测试方法宜符合本规范附录 G 的规定。

2 张拉时, 结构或构件混凝土的强度、弹性模量 (或龄期) 应符合设计规定; 设计未规定时, 混凝土的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%, 当采用混凝土龄期代替弹性模量控制时应不少于 5d。

3 预应力筋的张拉顺序应符合设计规定; 当设计未规定时, 宜采用分批、分阶段的方式对称张拉。

4 预应力筋应整束张拉锚固。对扁平管道中平行排放的预应力钢绞线束, 在保证各根钢绞线不会叠压时, 可采用小型千斤顶逐根张拉, 但应考虑逐根张拉时预应力损失对控制应力的影响。

5 预应力筋张拉端的设置应符合设计要求; 当设计未要求时, 应符合下列规定:

1) 对钢束长度小于 20m 的直线预应力筋可在一端张拉; 对曲线预应力筋或钢束长度大于或等于 20m 的直线预应力筋, 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 两端张拉时, 各千斤顶之间同步张拉力的允许误差宜为 $\pm 2\%$ 。

7 后张预应力筋的张拉程序应符合设计规定; 设计未规定时, 可按表 7.8.5-1 的规定进行。

表 7.8.5-1 后张法预应力筋张拉程序

锚具和预应力筋类别		张拉程序
夹片式等具有自锚性能的锚具	钢绞线束、钢丝束	低松弛力筋: $0 \rightarrow \text{初应力} \rightarrow \sigma_{\text{con}}$ (持荷 5min 锚固)
其他锚具	钢绞线束	$0 \rightarrow \text{初应力} \rightarrow 1.05\sigma_{\text{con}}$ (持荷 5min) $\rightarrow \sigma_{\text{con}}$ (锚固)
	钢丝束	$0 \rightarrow \text{初应力} \rightarrow 1.05\sigma_{\text{con}}$ (持荷 5min) $\rightarrow 0 \rightarrow \sigma_{\text{con}}$ (锚固)
螺母锚固锚具	螺纹钢筋	$0 \rightarrow \text{初应力} \rightarrow \sigma_{\text{con}}$ (持荷 5min) $\rightarrow 0 \rightarrow \sigma_{\text{con}}$ (锚固)

注: 1. 表中 σ_{con} 为张拉时的控制应力, 包括预应力损失值。

2. 两端同时张拉时, 两端千斤顶升降压、画线、测伸长等工作应基本一致。

3. 超张拉数值超过本规范第 7.6.3 条规定的最大超张拉应力限值时, 应按该条规定的限值进行张拉。

8 后张预应力筋断丝及滑移的数量不得超过表 7.8.5-2 的控制数。

表 7.8.5-2 后张预应力筋断丝、滑移限制

类别	检查项目	控制数
钢丝束、钢绞线束	每束钢丝断丝或滑丝	1 根
	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钢丝总数的百分比	1%
螺纹钢筋	断筋或滑移	不容许

注: 1. 钢绞线断丝系指单根钢绞线内钢丝的断丝。

2. 超过表列控制数时, 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, 如提高其他束预应力值, 但必须满足设计各阶段极限状态的要求。

9 预应力筋在张拉控制应力达到稳定后方可锚固。对夹片式锚具, 锚固后夹片顶面应平齐, 其相互间的错位宜不大于 2mm, 且露出锚具外的高度应不大于 4mm。锚固完毕并经检验确认合格后方可切割端头多余的预应力筋, 切割时应采用砂轮锯, 严禁采用电弧进行切割, 同时不得损伤锚具。

10 切割后预应力筋的外露长度应不小于 30mm, 且应不小于 1.5 倍预应力筋直径。锚具应采用封端混凝土保护, 当需长期外露时, 应采取防止锈蚀的措施。

条文说明：

1 本款增加了“对长度大于60m的孔道宜适当增加摩阻测试的数量”的规定。

2 对本款的解释见本规范第7.7.4条第1款。

3 后张法多根（束）预应力筋张拉时，张拉的合力作用线需要处在结构或构件的核心截面以内，以防止截面产生过大的偏心受压和边缘拉力，因此，张拉需要分批、分阶段、对称地进行。

4 在各种预应力体系中，对同一束中的预应力筋均需要采用整束张拉锚固的方式，以使所建立的预应力达到均匀。对扁平管道中平行排放的预应力筋，因不会产生相互叠压，故允许采用单根张拉，但单根张拉时会产生分批张拉预应力损失，因此在确定张拉力时需要将此损失计算在内。

5 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，因此，是否采用两端张拉，主要依照锚固损失的影响长度来确定。原规范本款的第1项规定了对确定一端张拉或两端张拉的计算原则，但在执行过程中普遍反映不好掌握，故本次修订将其修改为按不同钢束长度来确定一端张拉或两端张拉。

7 对本款的解释见本规范第7.7.3条第3款。

10 预应力筋锚固后的外露长度，主要是考虑热影响不波及锚固部位，以及外露部分不影响构件的安装。

7.8.6 对长度较小的竖向或横向预应力钢束，可采用低回缩锚具。低回缩锚具的张拉和锚固施工要求宜符合相应产品标准的规定。

条文说明：

对长度较小的钢束而言，张拉后的力筋伸长值本身就不大，而回缩又抵消了大部分的伸长，导致在结构或构件中建立的有效预应力偏低甚至过小，因此部分生产厂根据这种情况，研究开发了低回缩锚具。工程实践证明，这种低回缩锚具的应用较好地解决了短钢束有效预应力偏低甚至过小的问题，值得推广应用，故本次修订增加了本条规定。

7.9 后张孔道压浆及封锚

7.9.1 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。

条文说明：

后张预应力孔道压浆的目的，主要是防止预应力筋锈蚀，并通过凝结后的浆体将预应力传递至混凝土结构中。对防锈蚀而言，孔道的压浆越早越好，同时也能防止预应力筋的松弛，使构件尽快安装。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能做到的。

7.9.2 后张预应力孔道应采用专用压浆料或专用压浆剂配制的浆液进行压浆。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 的低碱硅酸盐或低碱普通硅酸盐水泥，水泥的性能要求应符合本规范第 6.15.4 条的规定。

2 外加剂应与水泥具有良好的相容性，且不得含有氯盐、亚硝酸盐或其他对预应力筋有腐蚀作用的成分。减水剂应采用高效减水剂或高性能减水剂，且应满足现行《混凝土外加剂》(GB 8076)中高效减水剂一等品的要求，其减水率应不小于 20%。

3 矿物掺合料的品种宜为 I 级粉煤灰、粒化高炉矿渣粉或硅灰，并应符合本规范第 6.15.8 条的规定。

4 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。

5 膨胀剂宜采用钙矾石系或复合型膨胀剂，不得采用以铝粉为膨胀源的膨胀剂或总碱量 0.75% 以上的高碱膨胀剂。

6 压浆材料中的氯离子含量应不超过胶凝材料总量的 0.06%，比表面积应大于 350m²/kg，三氧化硫含量应不超过 6.0%。

条文说明：

“专用压浆料”是指由水泥、高效减水剂或高性能减水剂、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；“专用压浆剂”是指由高效减水剂或高性能减水剂、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。“专用”是指专门用于后张预应力孔道的压浆，且均由工厂化制造生产。采用专用压浆材料的目的是，在于其更能保证后张孔道压浆的质量、可靠性和耐久性。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。近年来通过推广采用专用压浆材料对后张预应力孔道的压浆，在保证工程质量方面取得了良好效果，

故本次修订将原规范条文中的“宜采用”修改为“应采用”。

7.9.3 采用压浆材料配置的浆液，其性能应符合表 7.9.3 的规定。

表 7.9.3 后张预应力孔道压浆浆液性能指标

项目		性能指标	检验试验方法/标准
水胶比		0.26~0.28	《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》（GB/T1346）
凝结时间（h）	初凝	≥5	
	终凝	≤24	
流动度（25℃）（s）	初始流动度	10~17	《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》（JTG E30）
	30min 流动度	10~20	
	60min 流动度	10~25	
泌水率（%）	24h 自由泌水率	0	
	3h 钢丝间泌水率	0	
压力泌水率（%）	0.22MPa（孔道垂直高度≤1.8m 时）	≤2.0	
	0.36MPa（孔道垂直高度>1.8m 时）		
自由膨胀率（%）	3h	0~2	
	24h	0~3	
充盈度		合格	
抗压强度（MPa）	3d	≥20	《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》（GB/T17671）
	7d	≥40	
	28d	≥50	
抗折强度（MPa）	3d	≥5	
	7d	≥6	
	28d	≥10	

注：1.有抗冻性要求时，宜在压浆材料中掺用适量引气剂，且含气量宜为 1%~3%。

2.有抗渗性要求时，抗氯离子渗透的 28d 电通量指标宜小于或等于 1500C。

条文说明：

为保证后张预应力孔道压浆的质量和耐久性，所用压浆浆液的性能需要具备以下特征：①具有高流动度；②不泌水，不离析，无沉降；③适宜的凝结时间；④在塑性阶段具有良好的补偿收缩能力，且硬化后产生微膨胀；⑤具有一定的强度。

原规范对后张预应力孔道压浆浆液的性能指标提出了较高的技术要求，通过几年来的推广应用和工程实践，证明这些技术要求在实际工程中不仅能做到，而且对

提高桥梁预应力混凝土结构的安全性、可靠性和耐久性，保证工程质量，均具有良好的促进作用，故本次修订除将流动度、泌水率、压力泌水率、自由膨胀率和充盈度等相关参数指标的试验方法统一修改为符合现行《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30)的规定外，对压浆浆液性能指标仍保留了原规范的规定。执行本条规定时需要注意的是：在实际施工中，压浆浆液的性能指标不能仅满足强度的要求，而是表7.9.3中所列的所有指标均需要满足。

7.9.4 用于后张孔道压浆的设备性能应符合下列规定：

- 1 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，其叶片的线速度宜不小于 10m/s，最高线速度宜限制在 20m/s 以内，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 3mm 的过滤网。
- 3 压浆机应采用活塞式可连续作业的压浆泵，其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。不得采用风压式压浆泵进行孔道压浆。
- 4 真空辅助压浆工艺中采用的真空泵应能达到 0.10MPa 的负压力。

条文说明：

采用性能良好的设备是保证压浆质量的重要手段和前提，因此在实际施工时需要选择满足性能要求的制浆设备和压浆设备。

- 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，故要使用前者，不能使用后者。

7.9.5 孔道压浆前的准备工作应符合下列规定：

- 1 应在工地试验室对压浆材料加水进行试配验证，各种材料的称量（均以质量计）应精确到±1%。经试配的浆液其各项性能指标均满足表 7.9.3 的要求后方可用于正式压浆。
- 2 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。
- 3 应对压浆设备进行清洗，清洗后的设备内不应有残渣和积水。

7.9.6 压浆时，对曲线孔道和竖向孔道应从最低点的压浆孔压入；对水平直线孔道可从任意一端的压浆孔压入；对结构或构件中以上下分层设置的孔道，应按先下层后上层的顺序进行压浆。同一孔道的压浆应连续进行，一次完成。压浆应缓慢、均匀地进行，不得中断，并应将所有最高点的排气孔依次一一打开和关闭，使孔道内排气通畅。

条文说明：

因为空气和水的密度较压浆浆液小，压浆时由最低的压浆孔压入，能使空气和水聚集在上面，逐步由最高点的排气孔排除。如从高点压入，则空气易窜入浆液内形成气塞，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。

7.9.7 浆液自拌制完成至压入孔道的延续时间宜不超过 40min，且在使用前和压注过程中应连续搅拌，对因延迟使用所致流动度降低的水泥浆，不得通过额外加水增加其流动度。

条文说明：

压浆材料加水拌制成浆液后，需要尽快使用，如延续时间过久，其流动度将会降低，增加压注时的压力，且不易密实。规定浆液在压注前和压注过程中要连续搅拌，是为防止其流动度降低。

7.9.8 对水平或曲线孔道，压浆的压力宜为 0.5~0.7MPa；对超长孔道，最大压力宜不超过 1.0MPa，当超过时可采用分段的方式进行压浆；对竖向孔道，压浆的压力宜为 0.3~0.4MPa。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。关闭出浆口后，宜保持一个不小于 0.5MPa 的稳压期，该稳压期的保持时间宜为 3~5min。

条文说明：

压浆泵需要的压力，以能将浆液压入并充满孔道孔隙为原则，一般在出浆口需要先后排出空气、水、稀浆及浓浆，为保证孔道压浆的充盈度符合要求，需要保持不小于 0.5MPa 的压力 3~5min 后再对压浆口进行封闭。对 3~5min 的稳压时间，当孔道长度小于 60m 时，一般取中间值或下限；孔道长度大于或等于 60m 时，则需取

上限。本次修订增加了“对超长孔道，最大压力宜不超过 1.0MPa，当超过时可采用分段的方式进行压浆”的表述，是指对于如长度超过 100m 的孔道，从一端向另一端压浆时，有可能会产生过大的压力而导致事故，故采用分段压浆的方式是可行的，既能满足施工要求，又能保证压浆的质量和施工安全。

7.9.9 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 $-0.06 \sim -0.10\text{MPa}$ 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。

条文说明：

真空辅助压浆技术的原理是：压浆前在出浆口采用真空泵抽吸预应力孔道中的空气，使孔道内达到 $-0.06 \sim -0.10\text{MPa}$ 的真空度，然后在孔道的另一端采用压浆泵将水泥浆液压入孔道中，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。

7.9.10 压浆时，每一工作班应制作留取不少于 3 组尺寸为 $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 160\text{mm}$ 的试件，标准养护 28d，进行抗压强度和抗折强度试验，作为评定质量的依据。试验方法应按现行《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》（GB/T17671）的规定执行；质量检验评定方法应符合《公路工程质量检验评定标准第一册土建工程》（JTG F80/1—2017）附录 M 的规定。

条文说明：

原规范对水泥浆的质量检验评定未作明确规定，主要参照水泥混凝土的检验评定方法，本次修订予以明确。

7.9.11 压浆过程中及压浆后 48h 内，结构或构件混凝土的温度及环境温度不得低于 5°C ，否则应采取保温措施，并应按冬期施工的要求处理，浆体中可适量掺用引气剂，但不得掺用防冻剂。当环境温度高于 35°C 时，压浆宜在夜间进行。

条文说明：

温度对压浆的影响主要有两个方面：

其一是对浆液流动度的影响。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℃ 左右时），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，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℃ 左右时），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浆体中的水，导致自由水减少，浆液的流动性将大幅度降低。

其二是对浆体强度的影响。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，浆体的强度增长缓慢。当温度降至 0℃ 及以下时，浆体中的水大多数已结冰，水泥颗粒不能继续水化，强度停止增长，且孔隙内的水分结冰会引起膨胀而作用在孔隙毛细管的内壁，导致浆体内部的结构遭到破坏，已经获得的强度亦受到损失，在反复冰融的情况下，浆体内部的微裂将逐渐扩大，使其强度逐渐降低。

7.9.12 压浆后应通过检查孔抽查压浆的密实情况，如有不实，应及时进行补压浆处理。

7.9.13 压浆完成后，应及时对锚固端按设计要求进行封闭保护或防腐处理，需要封锚的锚具，应在压浆完成后对梁端混凝土凿毛并将其周围冲洗干净，设置钢筋网浇筑封锚混凝土；封锚应采用与结构或构件同强度的混凝土并应严格控制封锚后的梁体长度。长期外露的锚具，应采取防锈措施。

条文说明：

后张预应力筋的锚具一般布置在结构或构件的端部，是受环境影响较大的部位，且锚具又处于高应力状态，因此对其进行封闭保护是非常重要的一项工作。

7.9.14 对后张预制构件，在孔道压浆前不得安装就位；压浆后，应在浆液强度达到规定的强度后方可移运和吊装。

条文说明：

本条是针对将构件安装就位后再压浆的错误施工方法的一项限制性规定。

7.9.15 孔道压浆宜采用信息化数据处理系统对相关参数进行采集，并填写施工记

录，记录的项目宜包括压浆材料、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、压浆量、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。

条文说明：

信息化数据处理系统应用于孔道压浆时对相关施工参数进行采集，所采集数据的准确性、可靠性均有保证，对孔道压浆的质量能实施有效控制，故提出此项要求。

7.10 无黏结预应力

7.10.1 无黏结预应力所采用的材料应符合下列规定：

1 无黏结预应力筋的性能和质量应符合现行《无粘结预应力钢绞线》(JG/T161)的规定；制作无黏结预应力筋的钢绞线，其质量应符合现行《预应力混凝土用钢绞线》(GB/T5224)的规定。

2 无黏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《聚乙烯 (PE) 树脂》(GB/T11115) 的规定。护套表面应光滑，无裂缝、凹陷、可见钢绞线轮廓、气孔及机械损伤等缺陷。

3 防腐润滑脂应符合现行《无粘结预应力筋用防腐润滑脂》(JG/T 430) 的规定。

7.10.2 无黏结预应力筋的下料长度应经计算确定。下料宜采用砂轮锯成束切割，且宜采用先粗后精、略长于计算长度的二次下料法。无黏结预应力筋在运输、存放和安装过程中应采取可靠措施，防止对其产生任何损伤。

7.10.3 无黏结预应力筋的铺放和安装应符合下列规定：

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

2 安装时应按设计规定的位置，采用定位钢筋控制定位，并应保持其顺直、牢固，浇筑混凝土时不应出现移位和变形。

3 当与其他构件位置有矛盾时，不应将无黏结预应力筋垂直位置抬高或降低。

4 当集束配置多根无黏结预应力筋时，应保持平行走向，宜适当增加分丝器，防止其相互扭绞。

条文说明：

当集束配置多根无黏结预应力筋时，如出现相互扭绞将会影响到预应力张拉的

效果，故需要保持平行走向；增加分丝器能避免扭绞。

7.10.4 无黏结预应力筋的张拉和防护应符合下列规定：

1 施加预应力之前，应对结构或构件进行检验，符合要求后方可进行张拉。张拉应符合本规范第 7.6 节和第 7.8 节的规定。

2 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全部灌注密实。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。

3 对不能使用细石混凝土或微膨胀砂浆封堵的部位，应将锚具全部涂以与无黏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。

7.11 体外预应力

7.11.1 体外预应力所采用的材料应符合下列规定：

1 体外预应力筋选用高强度低松弛预应力钢绞线时，其性能和质量应符合现行《预应力混凝土用钢绞线》（GB/T 5224）的规定。

2 体外束的外套管选用高密度聚乙烯管或镀锌钢管时，其性能和质量应符合相应产品标准的规定。外套管和连接接头应完全密闭防水，在使用期应有可靠的耐久性；外套管应与预应力筋和防腐蚀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 防腐蚀材料的耐久性能应与体外束所处的环境类别和使用年限一致；防腐蚀材料在加工、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。

7.11.2 外套管的安装应连接平滑且应完全密封，在安装过程中应防止外套管受到机械损伤。

7.11.3 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和方向应符合设计规定。

7.11.4 体外预应力束的端部应垂直于承压板，穿束时应采取保护措施，严禁在混凝土面上拖拽预应力筋，防止损坏其保护层而减弱防腐能力。

7.11.5 体外预应力束的张拉顺序应严格按设计规定进行，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。

7.11.6 体外预应力束张拉完成后，应对其锚具设置全密封防护罩，并应在防护罩内灌注油脂或其他可清洗的防腐蚀材料。

8 钢结构工程

8.1 一般规定

8.1.1 本章适用于工厂化制造并在现场安装的公路桥梁钢结构工程的施工。

8.1.2 钢结构在制造前，制造厂应对设计图进行工艺性审查，且应绘制加工图，编制制造工艺；当需要修改设计时，应取得原设计单位的同意，并应签署设计变更文件。

条文说明：

由制造厂对设计文件和设计图进行工艺性审查并转化为加工图，将结构分解为钢构件和零件，是桥梁钢结构制造前需要履行的一项必要的程序。编制制造工艺的目的是使钢结构的生产加工更加符合实际情况，制造厂对设计文件进行的工艺性审查内容主要包括：选用钢材的品种规格是否能够满足供货条件；工厂现有的设备和条件是否满足生产加工的需要；钢构件是否标准化、通用化，以减少工装的制造量；焊缝布置是否合理以及焊接变形对质量的影响；钢构件发送单元是否符合运输条件；制造数量、质量要求、发送方法是否明确。

8.1.3 钢结构的制造应按确定的加工图和制造工艺进行。制造及验收应使用经检定合格的计量器具，并按有关规定进行操作。

条文说明：

加工图及工艺文件是钢结构制造的依据，因此制造需要按确定的加工图和制造工艺进行。桥梁钢结构的制造，其零件和构件的精确度要求较高，若制造时使用的计量器具精度不符合要求，极易发生工地无法安装的事故。

8.1.4 钢结构的制造宜推广采用数字化、自动化和信息化的先进技术、工艺和设备。

条文说明：

随着技术的发展，特别是信息技术的日新月异，各种数字化、自动化和信息化的手段不断增强，BIM 技术、三维建模、数控设备以及工业机器人已在制造业和工程建设领域中越来越多地得到应用。本规范鼓励和提倡在桥梁钢结构的制造中积极推广应用这些先进的技术、工艺和设备，以提高效率，保证制造精度和工程质量。

8.2 材料

8.2.1 制造钢结构桥梁所用材料的品种、规格、性能等应符合设计文件的要求和现行国家标准的规定。进场材料除应有生产厂家的质量证明书外，制造厂还应按相关标准的规定对其进行抽样检验，检验合格后方可使用。

8.2.2 钢材应按同一厂家、同一材质、同一板厚、同一出厂状态，每 10 个炉（批）号抽验一组试件。若订货为探伤钢板，尚应抽取每种板厚的 10%（至少一块）进行超声波探伤。

8.2.3 进口钢材产品的质量应符合设计和合同规定标准的要求，并应进行进口商检及按规定标准进行抽样检验，检验不合格的钢材不得使用。

8.2.4 当钢材表面有锈蚀、麻点或划痕等缺陷时，其深度不得大于该钢材厚度允许偏差值的 1/2。钢材表面的锈蚀等级应符合现行《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》（GB/T8923.1）规定的 C 级及 C 级以上。钢材端边或断口处不应有分层、夹渣等缺陷。

8.2.5 焊接材料原则上应与设计选用的钢材相匹配。焊接材料的质量及检验应符合现行国家和行业相关标准的规定。制造厂首次使用的焊接材料应按相关标准进行化学成分和熔敷金属力学性能检验；同一型号焊接材料在更换厂家后，首个批号亦应进行化学成分和熔敷金属力学性能检验。

条文说明：

规定对首次使用的焊材进行化学成分和熔敷金属力学性能试验，是为了保证焊材满足使用要求。

8.2.6 涂装材料的质量及检验应符合现行国家标准的规定。每个品种的涂装材料应

按不同生产批号各抽取一组样品进行检验，检验结果中有某项指标存在争议时，允许在该批涂装材料中再随机抽取一个样品，重新进行检验。

8.2.7 高强度螺栓连接副材料的质量及检验应符合现行《钢结构用高强度大六角头螺栓》(GB/T1228)、《钢结构用高强度大六角螺母》(GB/T1229)、《钢结构用高强度垫圈》(GB/T1230)、《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》(GB/T1231)及《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》(GB/T3632)的规定。

8.2.8 圆柱头焊钉、焊接瓷环材料的质量及检验应符合现行《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》(GB/T10433)的规定。

8.2.9 钢结构工程材料的存放和管理应符合下列规定：

- 1 焊接材料的管理应符合现行《焊接材料质量管理规程》(JB/T3223)的规定。
- 2 涂装材料应存放在专用仓库内，涂装时不得使用超出保质期的涂料。
- 3 高强度螺栓连接副进场后应按包装箱上注明的批号、规格分类存放保管，不得混淆；在室内应架空存放，不得直接置于地面上，并应采取措施防止受潮生锈。高强度螺栓连接副在安装使用前不得任意开箱。

条文说明：

3 本款规定了高强度螺栓连接副在保管过程中需要注意的事项，目的是保证高强度螺栓连接副能同批使用，且在使用时尽可能保持出厂状态，以使扭矩系数或紧固轴力不发生变化。

8.3 零件制造

8.3.1 放样、作样及号料应符合下列规定：

- 1 放样、作样及号料应根据加工图和工艺文件进行，应预留制作和安装时的焊接收缩余量及切割、刨边和铣平等加工余量。
- 2 对形状复杂、在图中不易确定尺寸的零件，应通过放样校对或利用计算机作图校对后确定。
- 3 放样或号料应严格按配料单指定的钢料材质、规格进行；当钢料不平直或有锈蚀、油漆等污物时，应矫正清理后再放样或号料。号料外形尺寸的允许偏差应为 $\pm 1\text{mm}$ 。

条文说明：

直接在钢板上划出零件的切割线称为放样。当相同零件数量较大时，用薄铁皮或硬纸板制作样板，用来在钢板上划出切割线位置，此项工作称为作样。利用下料样板在钢板上划出零件切割线称为号料。

8.3.2 切割与剪切应符合下列规定：

1 钢板在下料前应进行辊平、抛丸除锈、除尘及涂防锈底漆等处理。主要受力零件下料时，应使钢板的轧制方向与其主要应力方向一致；当钢板的纵横向力学性能相近，并满足设计要求时，可不受此限。

2 切割前应将钢料表面的浮锈、污物清除干净。钢料应放平、垫稳，割缝下面应留有空隙。切割工艺应根据其评定试验结果编制，切割表面不应产生裂纹。

3 零件宜采用精密（数控、自动、半自动）切割下料。在数控切割下料编程时除应考虑焊接收缩量之外，尚应考虑切割热变形的影响；剪切仅可用于次要零件或剪切后仍需加工的零件；手工气割仅可用于工艺特定的或切割后仍需加工的零件。

4 采用剪切工艺时，钢板厚度宜不大于 12mm，剪切边缘应平整，无毛刺、反口、缺肉等缺陷。剪切的尺寸允许偏差应为 $\pm 2\text{mm}$ ，边缘缺棱应不大于 1mm，型钢端部垂直度应不大于 2mm。采用手工气割时，其尺寸的允许偏差应为 $\pm 2\text{mm}$ 。

5 精密切割表面硬度应不超过 HV350，切割面垂直度应不大于 0.05 倍板厚，且不大于 2.0mm。主要零件的切割边缘表面不应有崩坑，表面粗糙度 Ra 应不大于 25 μm 。

条文说明：

3 “工艺特定”是指不能采用自动或半自动切割的零件。

5 工程实例和试验表明，精密切割面的质量达到规定，硬度不超过 HV350 时，钢材（热轧或正火状态）的疲劳强度和其他力学性能不低于加工时的水平。

8.3.3 矫正和弯曲应符合下列规定：

1 零件矫正前，剪切的反口应修平，切割的挂渣应铲净。

2 零件矫正宜采用冷矫，冷矫时的环境温度宜不低于 -12°C 。矫正后的零件表面不应有明显的凹痕或损伤。

3 采用热矫时，温度应控制在 $600\sim 800^{\circ}\text{C}$ 。矫正后零件温度应缓慢冷却，降至室温以前，不得锤击钢料或用水急冷。

4 主要受力零件冷作弯曲时，环境温度宜不低于 -5°C ，内侧弯曲半径不得小于板厚的 15 倍，小于者应热煨，热煨的加温温度、高温停留时间、冷却速率应与所加工

钢材的性能相适应。冷作弯曲后的零件边缘不得产生裂纹。

5 板件矫正平面度在每米范围内应小于或等于 1mm。

6 U 形肋可采用辊轧或弯曲成型。

条文说明：

2 对冷矫正和冷弯曲的最低环境温度进行限制，是为了保证钢材在低温加工时，不致产生冷脆裂。在低温下钢材进行矫正或弯曲而脆断比冲孔和剪切加工更敏感，故环境温度限制较严。

3 热矫温度的控制是指低于此温度时不要进行热矫正。实践证明，加工温度低于 700℃时，加工困难；低于 600℃加工，钢材容易出现蓝脆。

4 冷矫正和冷弯曲的最小半径是为了保证成型后的外观质量和防止产生裂纹而规定的。

8.3.4 零件机加工应符合下列规定：

1 零件边缘的加工深度应不小于 3mm，当边缘硬度不超过 HV350 时，加工深度不受此限；加工面的表面粗糙度 Ra 不得大于 25 μm；顶紧加工面与板面垂直度偏差应小于 0.01 倍板厚，且不得大于 0.3mm。

2 零件应根据预留加工量及平直度要求，两边均匀加工，并应磨去边缘的飞刺、挂渣，使端面光滑匀顺。

条文说明：

1 规定“零件边缘的加工深度应不小于 3mm”，是为了消除切割加工对钢材造成的冷作硬化和热影响区的不利影响。

8.3.5 制孔应符合下列规定：

1 螺栓孔应钻制成正圆柱形，孔壁表面粗糙度 Ra 应不大于 25 μm，孔缘应无损伤和不平，且无刺屑。螺栓孔不得采用冲孔、气割孔。

2 螺栓孔孔径的允许偏差应符合表 8.3.5-1 的规定；孔距允许偏差应符合表 8.3.5-2 的规定，有特殊要求的孔距偏差应符合设计文件的规定。

表 8.3.5-1 螺栓孔孔径加工允许偏差

螺栓直径	螺栓孔径 (mm)	允许偏差 (mm)	
		孔径	孔壁垂直度
M20	22	+0.7 0	板厚 $t \leq 30\text{mm}$ 时，不大于 0.3； 板厚 $t > 30\text{mm}$ 时，不大于 0.5

M22	24	+0.7 0	
M24	26	+0.7 0	
M27	29	+0.7 0	
M30	33	+0.7 0	
>M30	>33	+1.0 0	

表 8.3.5-2 螺栓孔距允许偏差

项目		允许偏差 (mm)		
		主要钢构件		次要钢构件
		桁梁构件	板梁主梁	
两相邻孔距		± 0.4	± 0.4	$\pm 0.4 (\pm 1.0)^b$
同一孔群任意两孔距		± 0.8	± 0.8	$\pm 0.8 (\pm 1.5)^b$
多组孔群两相邻孔群中心距		± 0.8	± 1.5	$\pm 1.0 (\pm 1.5)^b$
两端孔群中心距	$l \leq 11m$	± 0.8	$\pm 4.0^a$	± 1.5
	$l > 11m$	± 1.0	$\pm 8.0^a$	± 2.0
孔群中心线与构件中心线的横向偏移	腹板不拼接	2.0	2.0	2.0
	腹板拼接	1.0	1.0	—
构件任意两面孔群纵、横向错位		1.0	—	—

注：*连接支座的孔群中心距允许偏差。

^b括号内数值为附属结构的允许偏差。

条文说明：

本次修订在表8.3.5-2中增加了“同一孔群任意两孔距”的要求，目的是提高现场安装精度。

8.4 组装

8.4.1 组装前，应熟悉图纸和工艺文件，并按图纸核对零件编号、外形尺寸和坡口方向，确认无误后方可组装。

8.4.2 对采用埋弧焊、CO₂ 气体保护焊及低氢型焊条手工焊等方法焊接的接头，在组装前应将待焊区域的铁锈、氧化皮、污垢、水分等有害物清除干净，使其表面露出金属光泽。清除范围应符合图 8.4.2 的规定。