

中华人民共和国行业标准

铁建设〔2010〕241号

铁路混凝土工程施工技术指南

Technical guide for constructional of railway

concrete engineering

2010—12—08 发布

2010—12—08 实施

中华人民共和国铁道部 发布

中华人民共和国行业标准

铁路混凝土工程施工技术指南

**Technical guide for constructional of railway
concrete engineering**

主编单位：中铁三局集团有限公司

批准部门：中华人民共和国铁道部

施行日期： 2010 年 12 月 8 日

2010 年·北京

前 言

本技术指南是根据铁道部《关于印发 2009 年铁路工程建设标准编制计划的通知》（铁建设函〔2009〕34 号）的要求，在《铁路混凝土工程施工技术指南》（TZ210-2005）的基础上，充分吸纳京津、武广、郑西、合宁、合武、石太、东南沿海、沪宁等高速铁路的建设、运营经验编制而成的。

本技术指南的编制工作紧紧把握铁路工程总体技术路线，坚持高起点、高标准，通过原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新，形成了符合我国国情、路情，具有自主知识产权的中国铁路混凝土工程施工技术标准。本指南以施工质量验收标准为依据，重点对施工过程中的工艺、工法、质量保证措施作出了规定，反映了工程施工的新技术、新材料、新工艺、新设备，充分体现了我国铁路工程的技术特点和施工控制要求。

本技术指南由 13 章组成，包括总则、术语、基本规定、模板工程、钢筋工程、混凝土工程、预应力工程、特殊混凝土（砂浆）、防腐蚀强化措施施工、砌体工程、冬期施工、夏期施工、环境保护和劳动安全卫生，另有 7 个附录。

本技术指南的主要内容如下：

1. 落实“六位一体”建设管理要求,对质量、安全、工期、投资控制、环境保护和技术创新提出了针对性管理措施。

2. 反映建设目标标准化管理内涵，为管理制度、人员配备、现场管理、过程控制标准化提供了配套性标准规定。

3. 强调现代化施工管理手段应用，从积极推广机械化、工厂化、专业化、信息化施工角度明确了指导性原则要求。

4. 体现全方位全过程质量控制理念，在源头控制、过程控制、细节控制方面明确了建设各方的关键性工作内容。

5. 突出工程结构安全性、可靠性、耐久性和系统使用功能等方面的质量目标要求，保证高速铁路安全平稳运营。

6. 梳理分析了混凝土工程施工中的易发质量通病，制定了针对性控制措施。

7. 规定了模板和支撑体系应进行施工设计的要求，确保其强度、刚度、稳定性和连接可靠性。

8. 增加了钢筋机械连接接头（滚轧直螺纹和镦粗直螺纹接头）的加工、安装、连接内容和 HRB400 钢筋有关要求。

9. 提出了进场骨料含泥量超标、级配不合格时，必须进行冲洗、筛分并经检验合格方可使用的要求。

10. 明确了原材料品质在合格基础上发生波动时，可仅对外加剂用量、粗骨料分级比例、砂率进行适当调整的规定。

11. 增加了 C40 及以下强度等级混凝土可采用卵石的规定，以充分利用现有资源。

12. 规定了混凝土中三氧化硫的含量限值，细化了不同环境条件下的矿物掺和料用量范围，保证结构的耐久性。

13. 统一了混凝土的投料顺序、搅拌时间等技术要求。

14. 对有含气量要求的混凝土，规定了必须采取减水剂和引气剂双掺方式进行配制的要求。

15. 细化了新旧混凝土结合面凿毛处理的具体技术要求。

16. 完善了预应力混凝土结构压浆和封锚（端）的工艺要求。

在执行本技术指南过程中，希望各单位结合工程实践，认真总结经验，积累资料。如发现需要修改和补充之处，请及时将意见和有关资料寄交中铁三局集团有限公司（太原市迎泽大街 269 号，邮政编码：030001），并抄送铁道部经济规划研究院（北京市海淀区北蜂窝路乙 29 号，邮政编码：100038），供今后修订时参考。

本技术指南由铁道部建设管理司负责解释。

主编单位：中铁三局集团有限公司。

参编单位：中国铁道科学研究院、中铁十二局集团有限公司。

主要起草人：张宇宁 常乃超 薛吉岗 谢永江 黄直久 张俊兵
周 元 王 金 朱长华 唐南生 安明喆 许镇国
仲新华 李化建 王保江 郑新国 张明龙 王秀芬
赵永刚

主要审定人：安国栋 苏全利 米 隆 吴明友 薛育秀 傅 锋
王森鹤 崔丽红 李启棣 钱树青 宿 万 章国辉
李小和

目 次

1 总 则	1
2 术 语	3
3 基本规定	8
4 模板工程	10
4.1 一般规定	10
4.2 模板设计	11
4.3 模板制作和安装	12
4.4 模板的拆除	14
5 钢筋工程	16
5.1 一般规定	16
5.2 钢筋加工	17
5.3 钢筋连接	18
5.4 钢筋安装	24
6 混凝土工程	27
6.1 一般规定	27
6.2 混凝土拌和站	27
6.3 混凝土原材料的选用	29
6.4 混凝土原材料的储运与管理	38
6.5 混凝土配合比的选定	38
6.6 混凝土搅拌	44
6.7 混凝土运输	45
6.8 混凝土浇筑	47
6.9 混凝土振捣	51
6.10 混凝土养护	53
6.11 混凝土拆模	55
7 预应力工程	56
7.1 一般规定	56

7.2	预应力筋、锚具、夹具和连接器.....	57
7.3	预应力孔道.....	58
7.4	预应力材料的保护.....	60
7.5	预应力筋制作和安装.....	61
7.6	施加预应力.....	62
7.7	孔道压浆.....	66
7.8	封锚（端）.....	69
8	特殊混凝土（砂浆）.....	71
8.1	一般规定.....	71
8.2	大体积混凝土.....	71
8.3	纤维混凝土.....	76
8.4	喷射混凝土.....	78
8.5	特细砂混凝土.....	82
8.6	补偿收缩混凝土.....	82
8.7	无砂透水混凝土.....	84
8.8	气密性混凝土.....	85
8.9	纤维增强砂浆（活性粉末混凝土）.....	86
8.10	桥梁支座砂浆.....	88
9	防腐蚀强化措施施工.....	91
9.1	一般规定.....	91
9.2	混凝土表面涂层.....	91
9.3	环氧涂层钢筋施工.....	92
9.4	钢筋阻锈剂的应用.....	95
9.5	阴极保护.....	96
9.6	外包钢板保护.....	97
10	砌体工程.....	101
10.1	一般规定.....	101
10.2	石料与混凝土预制块.....	101
10.3	砂浆.....	103
10.4	浆砌施工.....	103

10.5 干砌施工	106
11 冬期施工	108
11.1 一般规定	108
11.2 钢筋施工	109
11.3 混凝土施工	109
11.4 砌体施工	113
12 夏期施工	115
12.1 一般规定	115
12.2 混凝土施工	115
12.3 砌体施工	116
13 环境保护和劳动安全卫生	117
13.1 一般规定	117
13.2 防止水土污染和流失	117
13.3 防止空气和噪声污染	118
13.4 劳动安全卫生	118
附录 A 混凝土泵输出量和所需搅拌运输车数量的计算方法	119
附录 B 千斤顶校准试验方法	120
附录 C 后张法预应力筋实测伸长值修正和理论伸长值精确计算	122
附录 D 大体积混凝土浇筑体施工阶段温度应力与收缩应力的计算方法	125
附录 E 大体积混凝土浇筑体表面保温层的计算方法	134
附录 F 砌体工程所用石料的类别、规格和质量要求	136
附录 G 砂浆配合比设计、试件制作、养护及抗压强度取值	137
本指南用词说明	141
《铁路混凝土工程施工技术指南》条文说明	142

1 总 则

1.0.1 为指导铁路混凝土与砌体工程施工，统一主要技术要求，加强施工管理，保证工程质量，制定本技术指南。

1.0.2 本指南适用于铁路混凝土与砌体工程施工。

1.0.3 铁路混凝土与砌体工程施工必须执行国家法律法规及相关技术标准，严格按照设计文件施工，满足工程结构安全性、耐久性及功能要求，保证在设计使用年限内正常使用。

1.0.4 建设各方应加强管理制度、人员配备、现场管理和过程控制等标准化管理，实现质量、安全、工期、投资效益、环境保护、技术创新等建设管理目标。

1.0.5 铁路混凝土与砌体工程施工应积极推行机械化、工厂化、专业化、信息化等现代化施工手段，保证工程质量，保障施工安全。

1.0.6 铁路混凝土与砌体工程应严格控制原材料品质，合理设计配合比，加强施工工艺控制，严格试验检测，保证工程质量。

1.0.7 铁路混凝土与砌体工程施工应加强现场管理，规范现场布置，提高文明施工水平。混凝土拌和站、钢筋加工场等临时工程的规划、设计和建设，应符合节约用地、节省投资、节能环保、永临结合、合理使用的原则。

1.0.8 铁路混凝土与砌体工程施工应及时掌握气象、水文和地质灾害等相关信息，重视对自然灾害的识别评估、规划预防、监测应急、工程治理工作，有效减少自然灾害及其影响。

1.0.9 铁路混凝土与砌体工程施工应认真执行国家关于节约资源、节约能源、减少排放的法规和技术标准，结合工程特点和环境条件，制定技术措施。

1.0.10 铁路混凝土与砌体工程施工的各类人员应经过专门培训，合格后方可上岗。

1.0.11 铁路混凝土与砌体工程施工资料的收集和整理工作应与工程进度同

步进行，做到系统、完整、真实、准确，保证其具有有效的利用价值和完备的质量责任追溯功能，并应按有关规定做好资料的归档管理工作。

1.0.12 对于本指南未涉及的新技术、新工艺、新设备、新材料，应另行制定补充标准。

1.0.13 铁路混凝土与砌体工程施工除应符合本指南外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 混凝土结构 concrete structure

以混凝土为主制成的结构，包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等。

2.0.2 现浇混凝土结构 cast-in-situ concrete structure

在现场浇筑而成的混凝土结构。

2.0.3 预制混凝土构件 precast concrete member

采用专用模具在预制场（厂）预先制作完成的混凝土构件。

2.0.4 混凝土结构的耐久性 durability of concrete structure

在预定作用和预期的维护与使用条件下，混凝土结构及构件在设计使用年限内保持其适用性和安全性的能力。

2.0.5 设计使用年限 design working life

设计人员用以作为结构耐久性设计依据并具有足够安全度或保证率的目标使用年限。

2.0.6 模板 form

使混凝土浇筑成型，并能在混凝土达到一定强度前承受混凝土自重的临时性结构。

2.0.7 模板支架 form support

直接承受模板传来的荷载并保证模板空间位置正确、将荷载传递给地基或承力结构的支承体系，简称为支架。支架受力后的内力、变形符合拱的特征或支架形式为拱形的称为拱架。

2.0.8 脚手架 scaffold

施工期间提供支承作业人员、施工工具和堆放材料等荷载的以及加强整体性的临时性高处作业平台。

2.0.9 模板工程 formwork

支承所浇筑混凝土的整个系统，包括与混凝土表面直接接触的模板面板和支撑杆件，以及相关的连接件和剪刀撑等。

2.0.10 钢筋闪光对焊 flash butt welding of reinforcing steel bar

将两钢筋安放成对接形式，利用电阻热使接触点金属熔化，产生强烈飞溅，形成闪光，迅速施加顶锻力完成的一种压焊方法。

2.0.11 钢筋电弧焊 arc welding of reinforcing steel bar

以焊条作为一极，钢筋为另一极，利用焊接电流通过产生的电弧热进行焊接的一种熔焊方法。

2.0.12 钢筋机械连接 rebar mechanical splicing

通过钢筋与连接件的机械咬合作用或钢筋端面的承压作用，将一根钢筋中的力传递至另一根钢筋的连接方法。

2.0.13 钢筋的混凝土保护层最小厚度 minimum concrete cover to reinforcement

为防止钢筋锈蚀从混凝土表面到最外层钢筋最外缘所必需的混凝土最小厚度。

2.0.14 矿物掺和料 mineral admixtures

在混凝土搅拌过程中加入的具有一定细度和活性的用于改善新拌和硬化混凝土性能（特别是耐久性能）的矿物类产品，如粉煤灰、磨细矿渣粉、硅粉等，可以单一使用，也可复合使用。

2.0.15 胶凝材料 cementitious material, or binder

用于配制混凝土的水泥和矿物掺和料的总称。

2.0.16 水胶比 water to binder ratio

混凝土拌和物中的总用水量与胶凝材料总量的质量比。

2.0.17 碱活性骨料 alkaline reaction aggregate

在一定条件下会与混凝土中的碱发生化学反应，导致混凝土结构产生膨

胀、开裂、甚至破坏的骨料。

2.0.18 电通量 passed electric charge

在 60V 直流恒电压作用下 6h 内通过混凝土规定截面积的总电量。

2.0.19 氯离子扩散系数 chloride diffusion coefficient

描述混凝土孔隙水中氯离子从高浓度区向低浓度区扩散过程的参数。

2.0.20 混凝土抗冻等级 resistance class to freezing-thawing of concrete

描述混凝土抵抗冻融循环破坏能力的指标。

2.0.21 气泡间距 air bubble spacing

硬化混凝土中相邻气泡边缘之间距离的平均值。

2.0.22 抗硫酸盐结晶破坏等级 resistance class to sulphate physical attack of concrete

描述混凝土抵抗硫酸盐结晶破坏能力的指标。

2.0.23 腐蚀 (deterioration)

材料与周围的环境因素发生物理、化学或电化学反应而受到的渐进性损伤与破坏。对钢材则称为锈蚀 (corrosion)。

2.0.24 防腐蚀强化措施 enhanced protective measures

在采取提高混凝土密实性和增加钢筋的混凝土保护层厚度等常规措施仍不足以保证混凝土结构耐久性的前提下所需要进一步采取的其它防腐蚀措施。

2.0.25 干硬性混凝土 concrete of dry consistency

混凝土拌和物的坍落度小于 10mm 且须用维勃稠度 (S) 表示其稠度的混凝土。

2.0.26 补偿收缩混凝土 shrinkage-compensating concrete

由膨胀剂或膨胀水泥配制的自应力为 0.2MPa~1.0MPa 的混凝土。

2.0.27 蓄热法 thermos method

混凝土浇筑后, 利用原材料加热及水泥水化热的热量, 通过适当保温延

缓混凝土冷却，使混凝土冷却到 0℃ 以前达到预期要求强度的施工方法。

2.0.28 暖棚法 tent heating method

将被养护的混凝土构件或结构置于搭设的棚中，通过加热棚内空气使混凝土处于正温环境下养护的方法。

2.0.29 电加热法 electric heat method

冬期浇筑的混凝土利用电能加热养护，包括电极加热、电热毯、工频涡流、线圈感应和红外线加热法。

2.0.30 施工缝 construction joint

在混凝土浇筑过程中，因设计要求或施工需要分段浇筑而在先、后浇筑的混凝土之间形成的接缝。

2.0.31 先张法 pre-tensioned

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

2.0.32 后张法 post-tensioned

混凝土浇筑并达到一定强度后，张拉预应力筋施加预应力的方法。

2.0.33 锚具 anchorage

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

2.0.34 夹具 grip

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

2.0.35 连接器 coupler

用于连接预应力筋的装置。

2.0.36 锚垫板 bearing plate

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

2.0.37 工序 constructional procedure

施工过程中具有相对独立特点的作业活动，或由必要的技术间歇或停顿分割的作业活动，是施工过程的基本单元。

3 基本规定

3.0.1 建设各方应严格执行国家和铁道部现行有关建设管理办法和本指南的管理规定。

3.0.2 建设各方应制定项目管理规划，重点加强混凝土原材料质量、配合比设计、模板及支架安装、预应力施工等的控制，并注重混凝土的浇筑、振捣和养护等细节的管理。

3.0.3 建设各方应建立健全质量保证体系，对工程施工质量进行全过程控制，落实质量责任终身追究制度。

3.0.4 建设各方应建立健全安全生产管理体系，严格执行相关铁路工程施工安全技术规程的规定，设置专门安全管理机构，配备专职安全管理人员，落实安全生产责任制，保证工程施工安全。

3.0.5 建设各方应建立并持续改进环境管理体系，制定并实施环境管理计划，有效减少施工对环境的影响。

3.0.6 建设单位应制定混凝土拌和站和工程试验室的验收制度并组织进行验收,加强对混凝土与砌体原材料质量、冬期施工等的专项检查。当使用商品混凝土时，建设单位应组织对供应商的拌和站进行评估验收。

3.0.7 勘察设计单位应在设计文件中明确结构设计使用年限、环境类别及作用等级、混凝土耐久性指标等，明确钢筋连接方式和接头位置等有关施工技术要求。混凝土工程施工前应对结构所处化学侵蚀环境、氯盐环境等复核确认。

3.0.8 监理单位应重点做好原材料进场验收、配合比审批、关键工序旁站监理等工作。

3.0.9 施工单位应做好逐级技术交底，对混凝土拌和、浇筑、振捣、养护、钢筋连接、预施应力、孔道压浆等编制作业指导书，明确作业标准和工艺要

求。

3.0.10 混凝土与砌体工程施工应根据工程类型、施工条件、工期要求、气象水文条件等因素，按照技术先进、安全适用、节能环保的原则合理配置机械设备，积极推进机械化施工。

3.0.11 混凝土拌制、钢筋加工、小型构件预制等应采用工厂化生产。

3.0.12 钢筋工程、混凝土工程、预应力工程等关键工序应组建专业化的作业队伍进行施工，管理和作业人员应相对固定。

3.0.13 混凝土与砌体工程施工应建立相应的信息管理系统，保证工程施工管理信息传递及时、可靠有效。

3.0.14 混凝土与砌体工程施工应按照铁道部现行《铁路工程施工组织设计指南》的规定编制施工组织设计，加强控制工程、重难点及高风险工程的管理。

3.0.15 混凝土与砌体工程施工现场管理应符合铁道部现行《铁路建设项目现场管理规范》（TB10441）的相关规定，合理布置生产区、辅助生产区、办公生活区等，并考虑防洪、防火、防爆、防地质灾害等要求。

3.0.16 混凝土与砌体工程施工现场应按照《铁路建设项目现场安全文明标志》的规定设置安全文明标志。

3.0.17 混凝土与砌体工程施工应结合项目规模和特点，按照铁道部现行《铁路建设项目工程试验室管理标准》（TB10442）的规定设置工程试验室，满足工程质量控制要求。

3.0.18 混凝土与砌体工程施工应重视职业健康和劳动卫生保护，制定管理计划并进行有效控制，防止发生职业健康安全事故。

3.0.19 混凝土与砌体工程施工应结合工程特点和施工环境进行危险源辨识，对重大危险源应编制应急预案，并按规定组织培训和演练。

3.0.20 混凝土与砌体工程施工前应提前开展原材料的调研、混凝土配合比的选定和试验等工作。

4 模板工程

4.1 一般规定

4.1.1 模板及支（拱）架应根据设计文件、施工技术方案的施工工艺等要求进行施工设计。

4.1.2 模板及支（拱）架应优先采用钢材制作，也可因地制宜，选用其它材料制作。模板及支（拱）架应符合下列规定：

- 1 应保证混凝土结构和构件各部分设计形状、尺寸和相互间位置正确。
 - 2 应具有足够的强度、刚度和稳定性，连接牢固，能承受新浇筑混凝土的重力、侧压力及施工中可能产生的各项荷载。
 - 3 接缝不漏浆，制作简单，安装方便，便于拆卸和多次使用。
 - 4 能与混凝土结构和构件的特征、施工条件和浇筑方法相适应。
- 4.1.3** 模板及支（拱）架的钢材应按国家现行标准《钢结构设计规范》（GB 50017）的规定选用，宜优先采用 Q235 钢。
- 4.1.4** 焊接用电焊条应与钢材强度相适应，焊条质量应符合国家现行标准的规定。
- 4.1.5** 模板与脚手架之间不应互相连接。
- 4.1.6** 模板与混凝土相接触的表面应涂刷隔离剂。模板使用后应按规定修整保存。
- 4.1.7** 在浇筑混凝土前，应对模板及支（拱）架进行验收。
- 4.1.8** 施工过程中应对模板及支（拱）架进行检查和维护，发生异常情况时应及时处理。
- 4.1.9** 模板及支（拱）架安装与拆除的顺序及安全措施应符合施工技术方案的規定。

4.2 模板设计

4.2.1 模板及支（拱）架设计应计算下列荷载：

1 竖向荷载

- 1) 模板自身的重力。
- 2) 新浇筑混凝土的重力。
- 3) 钢筋（包括预埋件）的重力。
- 4) 施工人员和机具设备的重力。
- 5) 振捣混凝土时产生的荷载。
- 6) 其它荷载。

2 水平荷载

- 1) 新浇筑混凝土对模板的侧压力。
- 2) 倾倒混凝土时因振动产生的荷载。
- 3) 风荷载。
- 4) 流水压力和静水压力。
- 5) 其它荷载。

4.2.2 模板及支（拱）架设计采用的荷载设计值应符合现行国家或行业标准的规定。

4.2.3 模板及支（拱）架设计应根据实际工况确定模板最不利荷载组合。

4.2.4 模板及支（拱）架设计时，承重钢结构及木结构的强度设计值、弹性模量值及设计计算方法应符合国家现行标准《钢结构设计规范》（GB50017）及《木结构设计规范》（GB50005）的规定。

4.2.5 模板及支（拱）架的构件倾覆稳定系数不得小于 1.5。

4.2.6 模板及支（拱）架的刚度应符合下列规定：

1 结构外露表面和直接支承混凝土重力的模板（纵梁、横梁等）计算挠度不得大于构件跨度的 1/400，并满足混凝土构件表面平整度、结构线型的要

求。

2 结构隐蔽表面的模板计算挠度不得大于构件跨度的 $1/250$ 。

3 模板及支（拱）架的弹性压缩或下沉量不得大于构件跨度的 $1/1000$ 。

4.2.7 模板的构造应能保证拆模前预埋件、预留孔的位置精度要求。

4.2.8 梁式结构的底模应根据结构类型和设计要求设置起拱或反拱量。

4.2.9 预应力混凝土结构用模板应考虑施加预应力后构件与模板、支（拱）架间位置的相互影响，如构件的弹性压缩、徐变、上拱及支座螺栓或预埋件的位移等。

4.2.10 模板及支（拱）架组装设计时，除应计算第 4.2.1 条的荷载外，尚应计算组拼后的吊装、拆模荷载，并应注明支点及吊点位置。吊环应经计算确定。

4.2.11 模板及支（拱）架的地基应有足够的承载能力，必要时通过试验确定。地基处理和基础应按现行国家或行业标准设计，并应有防、排水或防冻胀措施。

4.3 模板制作和安装

4.3.1 模板和支（拱）架构件进场后应进行验收，符合相关标准后方可使用。

4.3.2 模板及其预埋件、预留孔应符合设计和工艺要求。

4.3.3 当设计有要求或施工需要时，可在模板的隅角部位加设三角棱条。

4.3.4 支（拱）架结构的立面或平面均应安装牢固，能抵抗振动或偶然撞击作用，并应在两个互相垂直的方向对支（拱）架的立柱加以固定。

4.3.5 使用木材制作支（拱）架时应符合下列规定：

1 承受弯曲力矩或横向受压的杆件，不应采用木材制作，并应减少杆件间的连接数目。

2 长杆件应减少连接接头。

3 压力杆件纵向连接应采用对接法，并扣以硬木或钢制的夹板。搭接法仅可用于次要杆件的连接。

4 两相邻立柱的连接接头应分设在不同的水平面上。

4.3.6 木构件节点的连接可采用接榫形式，并符合下列规定：

1 支（拱）架节点处宜使用钢夹板，并用螺栓夹紧。

2 当杆件截面已按节点处的承压面积确定时，宜使用钢或硬木制作的承托垫板夹紧。

3 在木材承受剪力处，不宜设置齿状连接。当需采用齿状连接时，其接合长度不得小于 30cm，并应考虑木材干燥时发生开裂的可能性。

4 扒锯钉仅可作为临时连接或不计算受力的加固连接件。

4.3.7 支（拱）架的支承部分应安设于可靠的地基和基础上，并应符合下列规定：

1 在地基（特别是湿陷性黄土）上直接安设支（拱）架时，应有防、排水措施。

2 在冻胀性土的地基上，应保证在施工期间土经受冻融循环作用时结构仍能保持设计位置。

4.3.8 支（拱）架预留施工拱度时，应考虑下列因素：

1 支（拱）架承受全部荷载时的弹性变形。

2 由于静活载和冲击荷载产生的弹性变形。

3 加载后由于构件接头挤压所产生的非弹性变形。

4 由于基础沉降而产生的非弹性变形。

4.3.9 支（拱）架宜设置千斤顶、木楔、砂筒或其它便于松动支撑构件的支垫，并应符合下列规定：

1 木楔宜使用刨光的硬木，其倾斜度不宜大于 1：2；两楔接触面的压力不宜大于 2MPa。

2 砂筒结构应经设计确定。加置在砂上的压力不应大于 10MPa；砂筒内应采用质地坚硬、清洁并经筛选的干砂，其粒径宜为 0.315mm~0.630mm；砂筒在使用前应加置设计荷载（必要时可增加 20%~50%的安全富余）进行预压；砂筒上的空隙应采用不易开裂且富有伸缩性的油灰填塞。

3 用于支垫的千斤顶要具有自锁装置。

4 跨度为 10m 及以上的拱或跨度为 24m 及以上的梁不得使用木楔支垫。

4.3.10 后张法预应力混凝土简支梁底模和侧模应根据设计要求和实际张拉力、混凝土弹性模量及上拱度数据，预设反拱及预留压缩量。

4.3.11 为消除支（拱）架非弹性变形，确定模板立模高程，现浇混凝土结构的支（拱）架在正式使用前应预压。

4.3.12 模板及支（拱）架在使用过程中应定期进行检查。

4.4 模板的拆除

4.4.1 模板及支（拱）架的拆除时间应根据结构物特点、模板部位、混凝土强度、混凝土的温度及温差、混凝土带模养护时间、天气状况以及其它养护要求等条件综合确定，并符合各专业标准的有关要求。

4.4.2 模板的拆除应按设计的顺序进行。设计无规定时，宜按立模顺序逆向进行。

4.4.3 当拆除拱架、跨度大于 8m 梁式结构的模板或特殊设计的模板时，应按设计要求的程序及措施进行，并应符合下列规定：

1 支（拱）架的拆除一般应分几个循环拆完，拆除量开始宜小，以后逐渐增大；在纵向应对称均衡拆除，在横向应同时一起拆除。

2 在拆除前应在拆除部位画好每次拆除量的标记。

3 拆除满布式拱架时，可从拱顶向拱脚依次循环拆除；拱式拱架可在两支座处同时均匀拆除。

4 简支梁、连续梁宜从跨中向支座依次循环拆除。

5 拆除拱架时，应设专人用仪器观测拱圈挠度和墩台变化情况，并详细记录，另设专人观察是否有裂缝现象。

4.4.4 当模板与混凝土脱离后，方可拆卸、吊运模板，严禁采用猛烈敲打然后强扭等方法拆除模板、支（拱）架，严禁抛扔模板。

4.4.5 模板、支（拱）架拆除后，应及时对其进行维修整理，并分类妥善存放。

4.4.6 拆除模板和临时埋设于混凝土中的木塞及其它预埋部件时不得损伤混凝土。

5 钢筋工程

5.1 一般规定

5.1.1 混凝土结构用钢筋的牌号、规格、接头连接方式及部位应符合设计要求和国家现行标准的规定。

5.1.2 预制混凝土构件的吊环应符合设计要求。吊环材料不得采用冷拉处理钢筋。

5.1.3 钢筋在运输和储存过程中应上盖下垫，防止锈蚀、污染和变形。装卸钢筋时不得从高处抛掷。

5.1.4 钢筋加工应设置专用加工场地。场内钢筋应按牌号、炉罐号、规格、检验状态分别标识存放。

5.1.5 预埋件和钢配件（含钢筋机械连接套筒）应符合下列规定：

1 所用钢板、型钢及圆钢的材质和规格应符合设计要求及国家现行标准的规定。

2 防腐处理应满足设计要求。

3 运输和储存过程中应分类包装、标识，码放整齐，不得混淆和锈蚀。

5.1.6 焊工必须有相应的特种作业操作证，并应在规定的范围内进行焊接操作。

5.1.7 在正式钢筋焊接之前，参与该项施焊的焊工应进行现场条件下的焊接工艺试验，并经质量检验合格后，方可正式作业。当改变钢筋牌号、规格、炉罐号、焊条型号或调换焊接设备、焊工时，应重新进行现场条件下的焊接工艺试验，并经质量检验合格后，方可正式作业。

5.1.8 环氧涂层钢筋的储存、加工、连接、安装应符合本指南第 9.3 节的规定。

5.2 钢筋加工

5.2.1 钢筋加工前应清除表面的油渍、漆污、水泥浆和用锤敲击能剥落的浮皮、铁锈等。钢筋应平直，无局部折曲。当钢筋需要调直时，调直后的钢筋表面不应有削弱钢筋截面的伤痕。

5.2.2 钢筋的弯制和末端的弯钩应符合设计要求。当设计无要求时，应符合下列规定：

1 所有受拉光圆钢筋（HPB235）的末端应制成 180° 的半圆形弯钩，弯钩的内径不得小于 $2.5d$ ，钩端应留有不小于 $3d$ 的直线段（图 5.2.2-1）。

2 受拉带肋（月牙肋、等高肋）钢筋的末端应采用直角形弯钩，弯钩的内侧半径不得小于 $2.5d$ （HRB335）或 $3.5d$ （HRB400），钩端应留有不小于 $3d$ （HRB335）或 $5d$ （HRB400）的直线段（图 5.2.2-2）。

3 弯起钢筋应弯成平滑的曲线，HPB235 钢筋的最小曲率半径应为 $10d$ ，HRB335 钢筋的最小曲率半径应为 $12d$ ，HRB400 钢筋的最小曲率半径应为 $14d$ （图 5.2.2-3）。

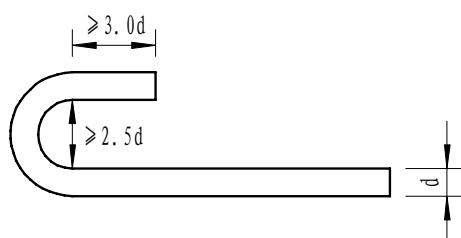


图5.2.2-1 半圆形弯钩

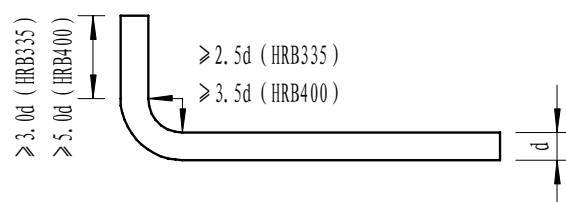


图5.2.2-2 直角形弯钩

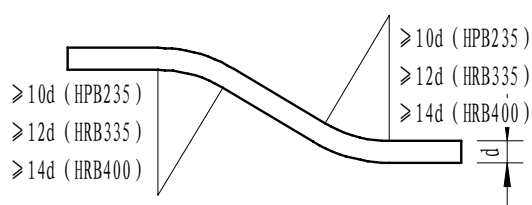


图5.2.2-3 弯起钢筋

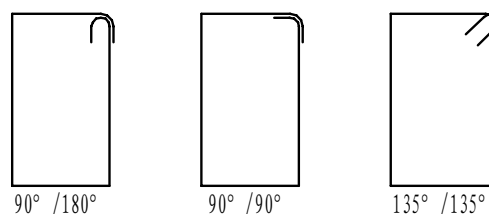


图5.2.3 箍筋末端弯钩

5.2.3 用光圆钢筋制成的箍筋，其末端应有弯钩（半圆形、直角形或斜弯钩）（图 5.2.3）。弯钩的弯曲内直径应大于受力钢筋直径，且不应小于箍筋直径的

2.5 倍。对一般结构，箍筋弯钩的弯折角度不应小于 90° ，弯钩平直部分的长度不宜小于箍筋直径的 5 倍。对有抗震设防要求的结构构件，圆形箍筋的接头必须采用焊接，焊接长度不应小于 10 倍箍筋直径；矩形箍筋端部应有 135° 弯钩，弯钩伸入核心混凝土的平直部分长度不应小于 20cm。

5.2.4 钢筋宜在常温状态下加工，不宜加热（梁体横隔板锚固钢筋若采用 HRB335 钢筋，应采用热弯工艺）。弯制钢筋宜从中部开始，逐步弯向两端，应一次弯成。

5.2.5 机械连接的钢筋应采用专用机具进行加工并应符合下列规定：

1 钢筋机械连接施工前应按规定进行现场条件下的工艺检验，检验合格后方可进行批量生产。

2 加工后的连接套筒和丝头应进行保护，不得损坏丝扣，丝扣上不得粘有水泥浆等污物。

5.3 钢筋连接

5.3.1 钢筋连接可分为焊接连接、机械连接和绑扎连接三种。钢筋机械连接接头和焊接连接接头的类型及质量应符合国家和铁道部现行有关标准的规定。

5.3.2 钢筋连接方式、接头位置应符合设计要求。当设计无要求时，应符合下列规定：

1 钢筋纵向接头应优先采用闪光对焊连接。当缺乏闪光对焊条件时，可采用电弧焊。钢筋接头采用搭接或帮条电弧焊时，宜采用双面焊缝；双面焊缝困难时，可采用单面焊缝。

2 轴心受拉及小偏心受拉杆件中的钢筋接头均采用焊接连接。

3 以承受静力为主（动应力幅不大于 35MPa）的混凝土结构钢筋可采用机械连接，但当机械连接不能满足连接件之间的横向净距小于 25mm 时，不

得采用机械连接。

5.3.3 钢筋接头应设置在承受应力较小处，并应分散布置。“同一连接区段”内有接头的受力钢筋截面面积占受力钢筋总截面面积的百分率，应符合设计要求。当设计无要求时，应符合下列规定：

- 1 焊接接头在受弯构件的受拉区不得大于 50%，轴心受拉构件不得大于 25%。
- 2 机械连接接头的受弯构件不应大于 50%，轴心受拉构件不得大于 25%。
- 3 绑扎接头在构件的受拉区不得大于 25%，在受压区不得大于 50%。
- 4 钢筋接头应避开钢筋弯曲处，距弯曲点的距离不得小于钢筋直径的 10 倍。
- 5 在同一根钢筋上应少设接头，“同一连接区段”内，同一根钢筋上不得超过一个接头。
- 6 “同一连接区段”长度：焊接接头或机械连接接头为 $35d$ （ d 为纵向受力钢筋的较大直径）且不小于 500mm，绑扎接头为 1.3 倍搭接长度且不小于 500mm。凡接头中点位于该连接区段长度内的接头均属于同一连接区段。
- 7 当施工中分不清受拉区或受压区时，接头设置应符合受拉区规定。

5.3.4 钢筋焊接应符合下列规定：

- 1 各种焊接材料应分类存放、妥善管理，并应采取防止锈蚀、受潮变质的措施。
- 2 雨天、雪天不宜在现场进行施焊；必须施焊时，应采取有效遮蔽措施。焊后未冷却接头不得碰到冰雪。
- 3 在现场进行闪光对焊或电弧焊，当风速超过 7.9m/s 时，应采取挡风措施。
- 4 焊机应经常维护保养和定期检修，确保正常使用。

5.3.5 钢筋闪光对焊应符合下列规定：

1 除正式焊接之前进行焊接工艺试验外，每个焊工均应在每班工作开始时，先按实际条件试焊 2 个对焊接头试件，并做冷弯试验，待其结果合格后方可正式施焊。

2 钢筋牌号、直径在表 5.3.5-1 范围内时，可采用“连续闪光焊”；超出表 5.3.5-1 范围，且钢筋端面较平整，宜采用“预热闪光焊”；超出表 5.3.5-1 范围，且钢筋端面不平整，宜采用“闪光—预热闪光焊”。

表 5.3.5-1 可连续闪光焊的钢筋

钢筋牌号	钢筋直径 (mm)
HPB235	8~20
HRB335	6~40
HRB400	6~40

3 连续闪光焊所能焊接的钢筋上限直径，还应根据焊机容量、钢筋牌号等具体情况而定，并应符合表 5.3.5-2 规定。

表 5.3.5-2 连续闪光焊钢筋上限直径

焊机容量 (KV·A)	钢筋牌号	钢筋直径 (mm)
160 (150)	HPB235	20
	HRB335	22
	HRB400	20
100	HPB235	20
	HRB335	18
	HRB400	16
80 (75)	HPB235	16
	HRB335	14
	HRB400	12
40	HPB235	10
	HRB335	
	HRB400	

4 闪光对焊时，应选择合适的调伸长度、烧化留量、顶锻留量以及变压器级数等焊接参数。连续闪光焊时的留量应包括烧化留量、有电顶锻留量和无电顶锻留量；闪光—预热闪光焊时的留量包括：一次烧化留量、预热留量、二次烧化留量、有电顶锻留量和无电顶锻留量。

5 变压器级数应根据钢筋牌号、直径、焊机容量以及焊接工艺方法等具体情况选择。

6 采用电动机凸轮传动对焊机或气、液压传动对焊机进行大直径钢筋焊接时，宜首先采取锯割或气割方式对钢筋端面进行平整处理，然后采取预热闪光焊工艺。

7 闪光对焊接头的外观质量应符合下列规定：

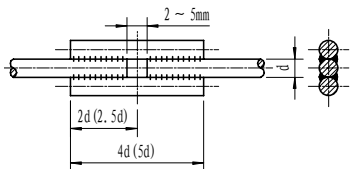
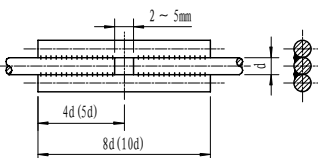
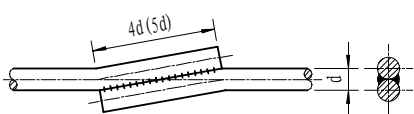
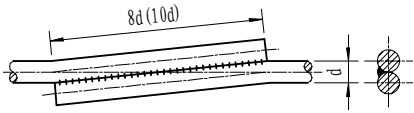
- 1) 接头周缘应有适当的镦粗部分，并呈均匀的毛刺外形。
- 2) 钢筋表面不得有明显的烧伤或裂纹。
- 3) 接头弯折的角度不得大于 3° 。
- 4) 接头轴线的偏移不得大于 $0.1d$ ，且不得大于 2mm 。

5.3.6 采用电弧焊接头时除应满足强度要求外，尚应符合下列规定：

1 在加工场进行电弧焊接时，均应采用双面焊缝，仅在脚手架上施焊时，方可采用单面焊接。

2 不同牌号、直径钢筋帮条的长度、搭接的长度应符合表 5.3.6-1 的规定。

表 5.3.6-1 搭接焊或帮条焊接头构造

序号	接头类型	接头构造图	钢筋牌号	帮条长度
1	双面焊缝 帮条焊		HPB235	$\geq 4d$
			HRB335	$\geq 5d$
			HRB400	
2	单面焊缝 帮条焊		HPB235	$\geq 8d$
			HRB335	$\geq 10d$
			HRB400	
3	双面焊缝 搭接焊		HPB235	$\geq 4d$
			HRB335	$\geq 5d$
			HRB400	
4	单面焊缝 搭接焊		HPB235	$\geq 8d$
			HRB335	$\geq 10d$
			HRB400	
			HRB335	$\geq 5d$
			HRB400	

注：在无条件进行序号 1、3 的双面焊缝电弧焊时，可采用序号 2、4 的单面焊缝电弧焊。

- 3 焊缝长度不应小于帮条或搭接长度。
- 4 钢筋搭接、帮条焊接的焊缝计算厚度 h 应不小于 $0.3d$ ，焊缝宽度 b 应不小于 $0.8d$ （图 5.3.6）。

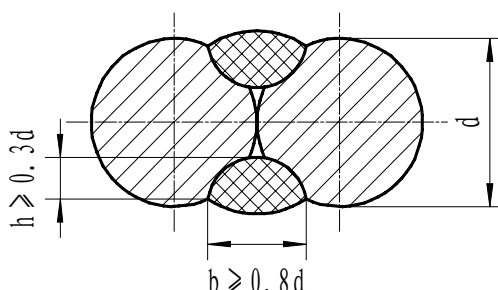


图 5.3.6 钢筋搭接、帮条焊接的焊缝

- 5 搭接接头钢筋的端部应预先折向一侧，搭接钢筋的轴线应位于同一直线上。
- 6 帮条和被焊钢筋的轴线应在同一平面上。
- 7 焊条的质量应符合国家现行标准的有关规定。其型号应根据设计要求确定，当设计无要求时，可按表 5.3.6-2 选用。

表 5.3.6-2 钢筋电弧焊焊条型号

钢筋牌号	焊条型号
HPB235	E4303
HRB335	E4303
HRB400	E5003

- 8 焊接地线应与钢筋接触良好，不得因接触不良而烧伤主筋。
- 9 帮条与被焊钢筋间应采用 4 点固定；搭接焊时，应采用 2 点固定。定位焊缝应离帮条端部或搭接端部 20mm 以上。
- 10 焊接时应在帮条或搭接钢筋的一端引弧，并应在帮条或搭接钢筋端头上收弧，弧坑应填满。第一层焊缝应有足够的熔深，主焊缝与定位焊缝应熔合良好。
- 11 采用电弧搭接焊、帮条焊的接头，应逐个进行外观检查，并应符合下

列规定：

- 1) 用小锤敲击接头时，钢筋发出与基本钢材同样的清脆声。
- 2) 电弧焊接接头的焊缝表面应平顺，无缺口、裂纹和较大的金属焊瘤和其它缺陷。

5.3.7 钢筋绑扎连接应符合下列规定：

1 光圆钢筋末端应作成彼此相对的 180° 弯钩（图 5.3.7），带肋钢筋应作成彼此相对的 90° 弯钩。在钢筋搭接部分的中心及两端共三处，应采用铁丝绑扎结实。

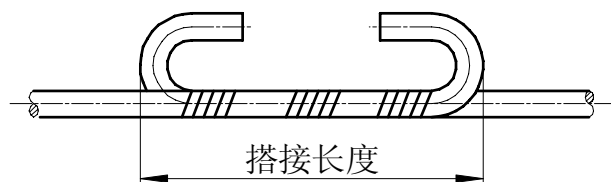


图 5.3.7 钢筋的绑扎连接

2 绑扎接头的最小搭接长度应符合表 5.3.7 的要求。

表 5.3.7 钢筋绑扎接头的最小搭接长度

钢筋类别	受拉区		受压区	
	$<C30$	$\geq C30$	$<C30$	$\geq C30$
光圆钢筋 HPB235 级	$35d$	$30d$	$25d$	$20d$
带肋钢筋 HRB335 级	$45d$	$35d$	$35d$	$25d$
带肋钢筋 HRB400 级	$55d$	$40d$	$40d$	$30d$

注：1 d 为钢筋直径，C30 为混凝土强度等级。

2 绑扎接头的搭接长度除应符合本表规定外，且在受拉区不得小于 300 mm，在受压区不得小于 200 mm。

3 对环氧树脂涂层的带肋钢筋，其最小搭接长度应按相应数值乘以系数 1.25 取用。

4 对有抗震设防特殊要求的结构构件，其受力钢筋的最小搭接长度应按有关抗震设计规范进行加长。

5.3.8 钢筋机械连接接头试件实测抗拉强度应不小于被连接钢筋抗拉强度标准值，且具有高延性及反复拉压性能。接头的变形性能应符合表 5.3.8 的规定。

表 5.3.8 接头的变形性能

检验项目		性能要求
单向拉伸	残余变形(mm)	$u_0 \leq 0.14 (d \leq 32)$ $u_0 \leq 0.16 (d > 32)$
	最大力总伸长率 (%)	$A_{sgt} \geq 6.0$
高应力反复拉压	残余变形(mm)	$u_{20} \leq 0.3$
大变形反复拉压	残余变形(mm)	$u_4 \leq 0.3$ 且 $u_8 \leq 0.6$

注： u_0 ——接头试件加载至 $0.6 f_{yk}$ 并卸载后在规定标距内的残余变形；

u_{20} ——接头经高应力反复拉压 20 次后的残余变形；

u_4 ——接头经大变形反复拉压 4 次后的残余变形；

u_8 ——接头经大变形反复拉压 8 次后的残余变形；

A_{sgt} ——接头试件的最大力总伸长率；

d ——钢筋公称直径。

5.4 钢筋安装

5.4.1 钢筋的牌号、规格、数量、位置和混凝土保护层的厚度均应符合设计文件的要求。

5.4.2 为保证混凝土保护层厚度，应在钢筋与模板之间采用垫块支垫。垫块应符合下列规定：

1 垫块互相错开，分散布置，不得横贯保护层的全部截面；垫块数量不得少于 4 个/m²，绑扎垫块和钢筋的铁丝头不得伸入保护层内。

2 保护层垫块的尺寸应保证钢筋混凝土保护层厚度的准确性，其形状（宜为工字形或锥形）应有利于钢筋的定位。

3 垫块的耐久性和抗压强度应不低于构件本体混凝土，且细石混凝土水胶比不大于 0.4。

4 不得采用砂浆垫块。

5.4.3 钢筋骨（网）架宜先行预制，并应有足够的刚度，必要时可补入辅助钢筋或在钢筋的某些交叉点处焊牢，但不得在主筋上起弧。

5.4.4 焊接网和焊接骨架的焊点，应符合设计要求；当设计无要求时，应按下列规定进行焊接：

1 焊接骨架的所有钢筋相交点必须焊接。

2 当焊接网片只有一个方向受力时，受力主筋与两端边缘的两根锚固横向钢筋的全部相交点必须焊接；当焊接网两个方向受力时，则四周边缘的两根钢筋的全部相交点均应焊接；其余的相交点可间隔焊接。

5.4.5 绑扎和焊接的钢筋骨（网）架，在运输、安装和浇筑混凝土过程中不得有变形、开焊或松脱现象，并应符合下列规定：

1 在钢筋的交叉点处，应用直径 0.7mm~2.0mm 的铁丝，按逐点改变绕丝方向（8 字形）的方式交错扎结，或按双对角线（十字形）方式扎结。

2 除设计有要求外，梁、柱等结构中钢筋骨架的箍筋应与主筋垂直围紧（图 5.4.5）；箍筋与主筋交叉点处应以铁丝绑扎；梁柱等构件拐角处的交叉点应全部绑扎；中间平直部分的交叉点可交错扎结。

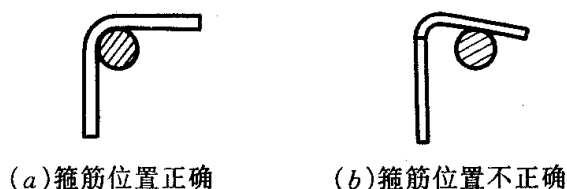


图 5.4.5 箍筋的位置

3 根据安装需要可配以必要数量的架立钢筋。

4 当柱中竖向钢筋采用搭接接头时，角部钢筋的弯钩面应与模板成 45° 角，其余部位钢筋的弯钩面应与模板成 90° 角。使用内部振捣器浇筑小截面混凝土柱时，弯钩与模板的夹角不得小于 15° 。

5 柱中箍筋接头的两端应向柱内弯曲。柱中箍筋的接头应设在与柱的角部主筋相交处，并应沿竖直方向交错布置。

5.4.6 安装钢筋骨（网）架时，应保证其在模型中的正确位置，不得倾斜、

扭曲，也不得改变保护层的规定厚度。在混凝土浇筑过程中安装钢筋骨（网）架时，不应妨碍浇筑工作正常进行，也不应造成施工缝。

5.4.7 钢筋骨（网）架经预制、安装就位后，应进行检查，作出记录并妥善保护，不得在其上行走和递送材料。

6 混凝土工程

6.1 一般规定

6.1.1 混凝土工程正式施工前应完成原材料的选定和检验工作，并应充分考虑试验周期和可能出现的原材料变化，尽早开展混凝土配合比的选定工作。

6.1.2 重要的混凝土结构施工前宜进行混凝土试浇筑，以便对混凝土配合比、施工工艺、施工机具的适应性进行检验，对有代表性的混凝土结构内部混凝土温升过程进行测定，发现问题及时调整。

6.1.3 混凝土工程所用原材料应按铁道部现行的相关施工质量验收标准进行进场验收，合格后方可使用。

6.1.4 当粗、细骨料的含泥量或泥块含量超标时应采用专用设备进行冲洗。

6.1.5 冬期和夏期混凝土施工应制定专门的施工技术措施。

6.2 混凝土拌和站

6.2.1 拌和站应根据工程规模、分布特点、环境条件、工艺要求、经济运距和施工组织要求等进行设置。场区规划应综合考虑施工生产情况，合理划分拌和作业区、材料计量区、材料库及运输车辆停放区、办公生活区。

6.2.2 拌和站的生产能力应满足最大批次混凝土数量需要。拌和设备宜采用双套配置，应能满足工程结构混凝土连续浇筑作业的施工要求。

6.2.3 拌和站的设备配置应能满足铁路混凝土质量控制要求，并应具有产品质量证明文件且状态良好，计量仪器应检定合格且在有效期内。

6.2.4 拌和站应严格按照设备安装技术标准进行设备安装，设备安装必须稳固可靠，并应采取必要的防风、防雨、防雷电措施。

6.2.5 拌和站应积极运用信息化管理手段，对混凝土的生产组织、材料管理、

试验管理、混凝土质量控制等过程进行管理。

6.2.6 拌和站应按规定设置专职试验人员，配备必要的设施和设备，满足试验检测工作需要。

6.2.7 拌和站应有完善的管理制度，管理制度应包括下列内容：

- 1 岗位责任制。
- 2 工作程序与质量管理制度。
- 3 试验检测管理制度。
- 4 仪器设备操作规程，计量检定、校准、保养、维修管理制度。
- 5 拌和站安全、环保管理制度。
- 6 物资管理制度。
- 7 资料、档案管理制度等。

6.2.8 拌和站场内布置应符合下列规定：

- 1 原材料场地应进行表面硬化，行车道路应能满足重载车辆通行要求。场地排水应设施完善、排水畅通，无明显积水或坑洼现象。
- 2 粗、细骨料应按“待检区”和“合格区”分别存放，不同品种和规格的粗、细骨料用隔离墙分离，并根据需要设置冲洗或筛分设施。
- 3 “合格区”的粗、细骨料应采用棚架遮挡，棚架的强度和刚度应满足使用要求，并根据需要设置夏期降温和冬期保温的辅助设施。
- 4 水泥、外加剂、矿物掺和料应妥善保管，防止受潮、变质。使用散装水泥时，应设水泥储存罐。散装水泥按不同厂家、品种、标号、批次分罐保存。
- 5 各种原材料应在醒目位置进行质量检验状态标识，标识内容包括材料名称、产地、规格、数量、进料时间、检验状态、试验报告号、检验批次等。
- 6 安全、消防、环保设施应齐全有效，标识规范、齐全、醒目。

6.2.9 拌和站正式启用之前应进行拌和工艺试验和混凝土匀质性测试。拌和

站应经验收合格方可投产。

6.3 混凝土原材料的选用

6.3.1 水泥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，混合材宜为矿渣或粉煤灰。不宜使用早强水泥。C30 以下混凝土，可采用矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥。2 氯盐环境下，应采用氯离子含量低的水泥，不宜使用抗硫酸盐硅酸盐水泥。

3 当为硫酸盐化学侵蚀环境时，应选择熟料中 C_3A 含量低的水泥，严重腐蚀环境下，所用水泥熟料中 C_3A 的含量应小于 6%，胶凝材料的抗蚀系数不得小于 0.80。

4 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的技术要求应满足表 6.3.1 的规定。其他品种水泥应满足《通用硅酸盐水泥》（GB175）的规定。

表 6.3.1 水泥的技术要求

序号	检验项目	技术要求	检验方法
1	比表面积	$300\text{m}^2/\text{kg}\sim 350\text{m}^2/\text{kg}$	按 GB/T8074 检验
2	凝结时间	初凝 $\geq 45\text{min}$ ，终凝 $\leq 600\text{min}$ （硅酸盐水泥终凝 $\leq 390\text{min}$ ）	按 GB/T1346 检验
3	安定性	沸煮法合格	按 GB/T1346 检验
4	强度	符合 GB175-2007 表 3 的规定	按 GB/T17671 检验
5	烧失量	$\leq 5.0\%$ （P·O）； $\leq 3.5\%$ （P·II）； $\leq 3.0\%$ （P·I）	按 GB/T176 检验
6	游离 CaO 含量	$\leq 1.0\%$	按 GB/T176 检验
7	MgO 含量	$\leq 5.0\%$	按 GB/T176 检验
8	SO ₃ 含量	$\leq 3.5\%$	按 GB/T176 检验
9	Cl ⁻ 含量	$\leq 0.06\%$	按 GB/T176 检验
10	碱含量	$\leq 0.80\%$	按 GB/T176 检验
11	助磨剂种类及掺量	符合 GB175-2007 第 5.2 条规定	检查产品质量证明文件
12	石膏种类及掺量	符合 GB175-2007 第 5.2 条规定	
13	混合材种类及掺量	符合 GB175-2007 第 5.2 条规定	

14	熟料中的 C ₃ A 含量	≤8%	按 GB/T21372 相关规定检验
----	--------------------------	-----	--------------------

6.3.2 矿物掺和料应选用品质稳定的产品，其品种宜为粉煤灰、磨细粉煤灰、磨细矿渣粉、硅灰或几种掺和料复配而成的复合掺和料。矿物掺和料的技术要求应符合表 6.3.2-1～表 6.3.2-3 的规定。使用其它新型掺和料，混凝土耐久性须经试验合格并履行评审程序后，方可使用。

表 6.3.2-1 粉煤灰的技术要求

序号	检验项目	技 术 要 求		检验方法
		C50 以下混凝土	C50 及以上混凝土	
1	细度	≤25.0%	≤12.0%	按 GB1596 检验
2	需水量比	≤105%	≤95%	按 GB1596 检验
3	烧失量	≤8.0%	≤5.0%	按 GB/T176 检验
4	Cl ⁻ 含量	≤0.02%		按 GB/T176 检验
5	含水量	≤1.0%		按 GB1596 检验
6	SO ₃ 含量	≤3.0%		按 GB/T176 检验
7	CaO 含量	≤10%		按 GB/T176 检验
8	游离 CaO 含量	≤1.0%		按 GB/T176 检验

注：当混凝土所处环境为严重冻融破坏环境时，所采用粉煤灰的烧失量不宜大于 3.0%。

表 6.3.2-2 磨细矿渣粉的技术要求

序 号	检验项目	技 术 要 求	检验方法
1	密度	≥2.8g/cm ³	按 GB/T208 检验
2	比表面积	350 m ² /kg～500 m ² /kg	按 GB/T8074 检验
3	流动度比	≥95%	按 GB/T18046 检验
4	烧失量	≤3.0%	按 GB/T18046 检验
5	MgO 含量	≤14.0%	按 GB/T176 检验
6	SO ₃ 含量	≤4.0%	按 GB/T176 检验
7	Cl ⁻ 含量	≤0.06%	按 GB/T176 检验
8	含水量	≤1.0%	按 GB/T18046 检验
9	7d 活性指数	≥75%	按 GB/T18046 检验
	28d 活性指数	≥95%	按 GB/T18046 检验

表 6.3.2-3 硅灰的技术要求

序号	检验项目	技术要求	检验方法
1	烧失量	$\leq 6\%$	按 GB/T176 检验
2	比表面积	$\geq 18000 \text{ m}^2/\text{kg}$	按 GB/T18736 检验
3	需水量比	$\leq 125\%$	按 GB/T18736 检验
4	28d 活性指数	$\geq 85\%$	按 GB/T18736 检验
5	Cl ⁻ 含量	$\leq 0.02\%$	按 GB/T176 检验
6	SiO ₂ 含量	$\geq 85\%$	按 GB/T176 检验
7	含水量	$\leq 3.0\%$	按 GB1596 检验

注：硅灰掺量一般不超过胶凝材料总量的 8%，且宜与其它矿物掺和料复合使用。

6.3.3 细骨料的选用应符合下列规定：

1 细骨料应选用级配合理、质地均匀坚固、吸水率低、空隙率小的洁净天然河砂，也可选用采用专门机组生产的人工砂，不得使用海砂。

2 细骨料按细度模数分为粗、中、细 3 种规格，其细度模数分别为：

粗砂 3.7~3.1

中砂 3.0~2.3

细砂 2.2~1.6

3 配制混凝土时宜优先选用中砂。当采用粗砂时，应提高砂率，并保持足够的胶凝材料用量，以满足混凝土的和易性；当采用细砂时，宜适当降低砂率。

4 如发现砂中含有颗粒状的硫酸盐或硫化物杂质时，应进行专门检验，确认其能满足混凝土的耐久性要求时方能采用。

5 当所用细骨料的颗粒级配不满足表 6.3.3-1 的要求时，应采取经试验证明能确保工程质量的技术措施后，方允许使用。

表 6.3.3-1 细骨料的累计筛余百分数（%）

级配区 公称粒径（mm）	I 区	II 区	III 区
5.00	10~0	10~0	10~0
2.50	35~5	25~0	15~0

1.25	65~35	50~10	25~0
0.63	85~71	70~41	40~16
0.315	95~80	92~70	85~55
0.160	100~90	100~90	100~90

注：除 5.00 mm 和 0.63 mm 筛档外，细骨料的实际颗粒级配与上表所列的累计筛余百分率相比允许稍有超出分界线，但超出总量不应大于 5%。

6 细骨料的砂浆棒膨胀率宜小于 0.10%。当细骨料的砂浆棒膨胀率大于等于 0.20%且小于 0.30%时，除混凝土的碱含量应满足表 6.3.2 的规定外，还应采取掺加矿物掺和料等抑制碱—骨料反应的技术措施，并经试验证明抑制有效。当细骨料的砂浆棒膨胀率为 0.30%及以上时，不得使用。对于梁体、轨道板和轨枕等重要结构，细骨料的砂浆棒膨胀率应小于 0.20%。细骨料不得具有碱—碳酸盐反应活性。细骨料的碱活性应按 TB/T2922 进行检验,首先对骨料的矿物组成和类型进行检验，当无碱—碳酸盐反应活性时，应采用砂浆棒法检验碱—硅酸反应活性。

7 细骨料的其他技术要求应满足表 6.3.3-2 的规定。

表 6.3.3-2 细骨料的技术要求

序号	检验项目		技术要求			检验方法
			<C30	C30~C45	≥C50	
1	颗粒级配		符合表 6.2.3-1 的规定			按 JGJ52 检验
2	含泥量		≤3.0%	≤2.5%	≤2.0%	按 JGJ52 检验
3	泥块含量		≤0.5%			按 JGJ52 检验
4	云母含量		≤0.5%			按 JGJ52 检验
5	轻物质含量		≤0.5%			按 JGJ52 检验
6	有机物含量		浅于标准色			按 JGJ52 检验
7	压碎指标（人工砂）		<25%			按 JGJ52 检验
8	石粉含量 （人工砂）	MB<1.40	≤10.0%	≤7.0%	≤5.0%	按 JGJ52 检验
		MB≥1.40	≤5.0%	≤3.0%	≤2.0%	按 JGJ52 检验
9	吸水率		≤2%；≤1%（冻融环境）			按 JGJ52 检验
10	坚固性		≤8%			按 JGJ52 检验
11	硫化物及硫酸盐含量		≤0.5%			按 JGJ52 检验
12	Cl ⁻ 含量		≤0.02%			《铁路混凝土工程施工质量验收标准》 (TB10424-2010) 附录 C

8 处于冻融破坏环境下，细骨料中的含泥量不应大于 2%，当细骨料的含泥量或泥块含量超标时应采用专用设备进行冲洗。

9 硫酸盐和硫化物折合 SO_3 含量不宜超过胶凝材料质量的 0.5%。

10 砂中粒径大于 5mm 的颗粒含量不宜大于 5%，否则在混凝土试配时应扣除超出限量的石子，并计入粗骨料。

6.3.4 粗骨料的选用应符合下列规定：

1 粗骨料应选用级配合理、粒形良好、质地均匀坚固、线胀系数小的洁净碎石或碎卵石。C40 以下强度等级混凝土也可采用卵石。

2 粗骨料应由二级或多级级配组成。

3 粗骨料的最大公称粒径不宜超过钢筋的混凝土保护层厚度的 2/3（在严重腐蚀环境条件下不宜超过钢筋的混凝土保护层厚度的 1/2），且不得超过钢筋最小间距的 3/4。配制强度等级 C50 及以上预应力混凝土时，粗骨料最大公称粒径不应大于 25mm，轨道板混凝土用粗骨料的最大公称粒径不应大于 20mm。

4 粗骨料的颗粒级配应符合表 6.3.4-1 的规定。

表 6.3.4-1 粗骨料的颗粒级配

级配情况	公称粒径 (mm)	累积筛余，按质量 (%)								
		筛孔边长尺寸 (mm)								
		2.36	4.75	9.5	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5	53
连续级配	5~10	95~100	80~100	0~15	0	—	—	—	—	—
	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
单粒级	10~20	—	95~100	85~100	—	0~15	0	—	—	—
	16~31.5	—	95~100	—	85~100	—	—	0~10	0	—
	20~40	—	—	95~100	—	80~100	—	—	0~10	0

5 粗骨料的压碎指标值应符合表 6.3.4-2 的规定。

表 6.3.4-2 粗骨料的压碎指标值 (%)

混凝土强度等级	<C30			≥C30		
岩石种类	沉积岩	变质岩或深成的火成岩	喷出的火成岩	沉积岩	变质岩或深成的火成岩	喷出的火成岩
碎石	≤16	≤20	≤30	≤10	≤12	≤13
卵石	≤16			≤12		

注：1 沉积岩（水成岩）包括石灰岩、砂岩等，变质岩包括片麻岩、石英岩等，深成的火成岩包括花岗岩、正长岩、闪长岩和橄榄岩等，火成岩包括玄武岩和辉绿岩等。

2 压碎指标值不符合规定时，应通过试验，建立岩石抗压强度与压碎指标值的对应关系，确认岩石抗压强度与混凝土强度等级之比不小于 1.5 且混凝土的力学性能及耐久性能满足要求后，方可使用。

6 粗骨料的碱活性技术要求应符合第 6.3.3 条的规定。

7 粗骨料的其它技术要求应符合表 6.3.4-3 的规定。

表 6.3.4-3 粗骨料的技术要求

序号	检验项目	技术要求			检验方法
		<C30	C30~C45	≥C50	
1	颗粒级配	应符合表 6.2.4-1 的规定			不同粒径混合后按 JGJ52 检验
2	针片状颗粒总含量	≤10%	≤8%	≤5%	不同粒径混合后按 JGJ52 检验
3	含泥量	≤1.0%	≤1.0%	≤0.5%	不同粒径分别按 JGJ52 检验
4	泥块含量	≤0.2%			不同粒径分别按 JGJ52 检验
5	岩石抗压强度	母岩与混凝土强度等级之比不应小于 1.5			不同粒径分别按 JGJ52 检验
6	吸水率	<1%（干湿交替或冻融环境） <2%（其它环境）			不同粒径分别按 JGJ52 检验
7	紧密空隙率	≤40%			不同粒径混合后按 JGJ52 检验
8	坚固性	≤8%（混凝土结构） ≤5%（预应力混凝土结构）			不同粒径混合后按 JGJ52 检验
9	硫化物及硫酸盐含量	≤0.5%			不同粒径分别按 JGJ52 检验
10	Cl ⁻ 含量	≤0.02%			不同粒径分别按《铁路混凝土工程施工质量验收标准》（TB10424-2010）附录 C 检验
11	有机物含量（卵石）	浅于标准色			不同粒径分别按 JGJ52 检验

注：同料源的粗骨料，其含泥量、泥块含量按进场不同粒径分别检验的方法，其余检验项目采用不同粒径混合后检验的方法。

8 处于冻融破坏环境下，粗骨料中的含泥量应低于 0.5%，当粗骨料的含

泥量或泥块含量超标时应采用专用设备进行冲洗

9 硫酸盐和硫化物折合 SO_3 含量不宜超过胶凝材料质量的 0.5%。

10 磨蚀环境下的混凝土宜选择硬质耐磨粗骨料。

6.3.5 减水剂

1 减水剂应选用质量稳定的产品，减水剂与水泥及掺和料之间应具有良好的相容性。当将不同功能的多种外加剂复合使用时，外加剂之间以及外加剂与水泥之间应有良好的适应性。

2 高效减水剂的技术要求应符合表 6.3.5-1 的规定，聚羧酸系减水剂的技术要求应符合表 6.3.5-2 的规定，减水剂的匀质性应符合国家现行标准《混凝土外加剂》（GB8076）的规定。

表 6.3.5-1 高效减水剂的技术要求

序号	检验项目		技术要求		检验方法
			标准型	缓凝型	
1	减水率		$\geq 20\%$		按 GB8076 检验
2	含气量		$\leq 3.0\%$		按 GB8076 检验
3	常压泌水率比		$\leq 20\%$		按 GB8076 检验
4	压力泌水率比（用于配制泵送混凝土时）		$\leq 90\%$		按 JC473 检验
5	抗压强度比	1d	$\geq 140\%$	/	按 GB8076 检验
		3d	$\geq 130\%$	/	按 GB8076 检验
		7d	$\geq 125\%$	$\geq 125\%$	按 GB8076 检验
		28d	$\geq 120\%$	$\geq 120\%$	按 GB8076 检验
6	60min 坍落度保留值（用于配制泵送混凝土时）		/	$\geq 150\text{mm}$	按 JC473 检验
7	凝结时间差	初凝	$-90\text{ min} \sim +120\text{ min}$	$> +90\text{ min}$	按 GB8076 检验
		终凝		/	
8	硫酸钠含量（按折固含量计）		$\leq 10.0\%$		按 GB/T8077 检验
9	Cl-含量（按折固含量计）		$\leq 0.6\%$		按 GB/T8077 检验
10	碱含量（按折固含量计）		$\leq 10\%$		按 GB/T8077 检验
11	收缩率比		$\leq 125\%$		按 GB8076 检验

注：1 按 GB 8076 进行检验的项目，其混凝土坍落度控制值为 $80\text{mm} \pm 10\text{mm}$ 。

2 抽检试验用水泥宜为工程用水泥。

表 6.3.5-2 聚羧酸系减水剂的技术要求

序号	检验项目		技术要求			检验方法
			早强型	标准型	缓凝型	
1	减水率		≥25%			按 GB8076 检验
2	含气量		≤3.0%			按 GB8076 检验
3	常压泌水率比		≤20%			按 GB8076 检验
4	压力泌水率比（用于配制泵送混凝土时）		≤90%			按 JC473 检验
5	抗压强度比	1d	≥180%	≥170%	/	按 GB8076 检验
		3d	≥170%	≥160%	/	按 GB8076 检验
		7d	≥145%	≥150%	≥140%	按 GB8076 检验
		28d	≥130%	≥140%	≥130%	按 GB8076 检验
6	60min 坍落度保留值(用于配制泵送混凝土时)		/	≥130mm	≥150mm	按 JC473 检验
7	凝结时间差	初凝	-90 min～+90min	-90 min～+120min	>+90min	按 GB8076 检验
		终凝			/	
8	甲醛含量（按折固含量计）		≤0.05%			按 JG/T223 检验
9	硫酸钠含量（按折固含量计）		≤5.0%			按 GB/T8077 检验
10	Cl-含量（按折固含量计）		≤0.6%			按 GB/T8077 检验
11	碱含量（按折固含量计）		≤10%			按 GB/T8077 检验
12	收缩率比		≤110%			按 GB8076 检验

注：1 按 GB 8076 进行检验的项目，其混凝土坍落度控制值为 $80\text{mm} \pm 10\text{mm}$ 。

2 抽检试验用水泥宜为工程用水泥。

6.3.6 引气剂应选用质量稳定且引入气泡细小、分布均匀、能明显提高混凝土抗冻性能的产品。引气剂与减水剂、水泥之间均应有良好的相容性。引气剂的技术要求应符合表 6.3.6 的规定。

表 6.3.6 引气剂的技术要求

序号	检验项目	技术要求	检验方法
1	减水率	$\geq 6\%$	按 GB8076 检验
2	含气量	$\geq 3.0\%$	按 GB8076 检验

3	常压泌水率比		≤70%	按 GB8076 检验
4	1h 含气量经时变化		-1.5%~+1.5%	按 GB8076 检验
5	抗压强度比	3d	≥95%	按 GB8076 检验
		7d	≥95%	按 GB8076 检验
		28d	≥90%	按 GB8076 检验
6	凝结时间差	终凝	-90min~+120min	按 GB8076 检验
		初凝		按 GB8076 检验
7	收缩率比		≤125%	按 GB8076 检验
8	相对耐久性指数（200 次）		≥80%	按 GB8076 检验
9	28d 硬化混凝土气泡间距系数		≤300μm	《铁路混凝土工程施工质量验收标准》（TB10424-2010）附录 E

6.3.7 水

1 混凝土拌和用水可采用饮用水，不得采用海水，当使用其他来源的水时，其技术要求应满足表 6.3.7 的规定。

2 除不溶物、可溶物可不作要求外，养护用水其它技术要求应符合表 6.3.7 的规定。养护用水不得采用海水。

3 回收重复利用水的 pH 值、氯化物含量、硫酸盐含量和碱含量应符合表 6.3.7 的规定。

表 6.3.7 拌和水的技术要求

序号	检验项目	技术要求			检验方法
		预应力混凝土	钢筋混凝土	素混凝土	
1	pH 值	>6.5	>6.5	>6.5	按 JGJ63 检验
2	不溶物含量	<2000mg/L	<2000mg/L	<5000mg/L	按 JGJ63 检验
3	可溶物含量	<2000mg/L	<5000mg/L	<10000mg/L	按 JGJ63 检验
4	氯化物含量	<500mg/L <350mg/L（用钢丝或 热处理的钢筋）	<1000mg/L	<3500mg/L	按 JGJ63 检验
		<200mg/L（混凝土处于氯盐环境下）			
5	硫酸盐含量	<600mg/L	<2000mg/L	<2700mg/L	按 JGJ63 检验
6	碱含量	<1500mg/L	<1500mg/L	<1500mg/L	按 GB/T176 检验
7	抗压强度比(28d)	≥90%			按 JGJ63 检验

8	凝结时间差	≤30min	按 JGJ63 检验
---	-------	--------	------------

6.4 混凝土原材料的储运与管理

6.4.1 混凝土用散装水泥、矿物掺和料应采用散料仓分别存储。袋装水泥、矿物掺和料应用专用库房存放。水泥及矿物掺和料的储运尚应符合下列规定：

- 1 装运水泥、矿物掺和料的车、船应具有棚盖。
- 2 水泥、矿物掺和料在储运过程中应采取防潮措施，避免受潮。
- 3 散装水泥储存过程中，应采取降低水泥的温度或防止水泥升温措施。
- 4 袋装水泥、矿物掺和料仓库应设在地势较高处，周围应设排水沟。
- 5 袋装水泥及矿物掺和料在装卸、搬移过程中不得抛掷。
- 6 袋装水泥、矿物掺和料应按品种、规格分批码放，码放高度不宜大于 1.5m。堆垛应架离地面 0.2m 以上，并距离四周墙壁 0.2m~0.3m 或预留通道。

6.4.2 混凝土用粗骨料应分级采购、分级运输、分级堆放、分级计量。

6.4.3 混凝土外加剂应采用仓库储存，冬期应采取保温措施以防止外加剂受冻或出现低温结晶现象。

6.4.4 不同混凝土原材料应有固定的堆放地点和明确的标识，标明材料名称、品种、生产厂家、生产日期和进场日期。原材料堆放时应有堆放分界标识，以免误用。

6.4.5 混凝土原材料进场后，应及时建立原材料管理台帐，台帐内容应包括进货日期、材料名称、品种、规格、数量、生产单位、供货单位、质量证明书编号、试验检验报告编号及检验结果等。原材料管理台帐应填写正确、真实、项目齐全。

6.5 混凝土配合比的选定

6.5.1 混凝土的配合比应根据设计使用年限、环境条件和施工工艺等，通过

试配、调整等步骤选定，并应充分考虑原材料、施工工艺、环境条件可能出现的变化进行备用配合比选定。混凝土配合比选定试验的检验和计算项目应符合表 6.5.1 的规定。混凝土的耐久性指标应按铁道部现行标准《铁路混凝土工程施工质量验收标准》(TB10424-2010) 附录 D 确定。当设计对混凝土的耐久性指标有更高要求时，其配合比的要求应另行研究确定。

表 6.5.1 混凝土配合比选定试验的检验和计算项目

序号	检验项目	试验方法	备注
1	坍落度或维勃稠度	《普通混凝土拌和物性能试验方法标准》(GB/T50080)	基本试验检测项目
2	泌水率		
3	抗压强度	《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T50081)	
4	抗裂性	《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》(GB/T 50082)	
5	电通量	《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》(GB/T 50082)	
6	含气量	《普通混凝土拌和物性能试验方法标准》(GB/T50080)	引气混凝土
7	弹性模量	《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T50081)	预应力混凝土
8	抗冻性	《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》(GB/T50082)	冻融破坏环境
9	气泡间距系数	《铁路混凝土工程施工质量验收标准》(TB10424-2010) 附录 E	冻融、盐结晶破坏环境
10	氯离子扩散系数	《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》(GB/T 50082)	氯盐环境
11	56d 抗硫酸盐结晶干湿循环次数	《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》(GB/T 50082)	盐结晶破坏环境
12	抗蚀系数	《铁路混凝土工程施工质量验收标准》(TB10424-2010) 附录 F	化学侵蚀环境
13	抗渗性	《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》(GB/T 50082)	隧道衬砌混凝土、梁体混凝土
14	碱含量	水泥、矿物掺和料、外加剂及水的碱含量之和	基本计算项目
15	三氧化硫含量	水泥、矿物掺和料、外加剂及水的碱含量之和	
16	氯离子含量	水泥、矿物掺和料、粗骨料、细骨料、外加剂及水的碱含量之和	

6.5.2 选定混凝土配合比应遵循下列基本规定：

1 为提高混凝土的耐久性，改善混凝土的施工性能和抗裂性能，混凝土中应适量掺加粉煤灰、磨细矿渣粉或硅灰等矿物掺和料。不同矿物掺和料的掺量应根据混凝土的性能通过试验确定。

2 单位体积混凝土的胶凝材料最大用量宜满足表 6.5.2-1 的要求。

表 6.5.2-1 单位体积混凝土的胶凝材料最大用量 (kg/m³)

混凝土强度等级	成型方式	
	振动成型	自密实成型
<C30	360	/
C30~ C35	400	550
C40~C45	450	600
C50	480	/
>C50	500	/

3 不同环境作用下混凝土中矿物掺和料用量可按表 6.5.2-2 选择。

表6.5.2-2 不同环境作用下混凝土中矿物掺和料用量范围 (%)

环境类别	矿物掺和料种类	水胶比	
		≤0.40	>0.40
碳化环境	粉煤灰	≤40	≤30
	磨细矿渣粉	≤50	≤40
氯盐环境	粉煤灰	30~50	20~40
	磨细矿渣粉	40~60	30~50
化学侵蚀环境	粉煤灰	30~50	20~40
	磨细矿渣粉	40~60	30~50
盐类结晶破坏环境	粉煤灰	≤40	≤30
	磨细矿渣粉	≤50	≤40
冻融破坏环境	粉煤灰	≤30	≤20
	磨细矿渣粉	≤40	≤30
磨蚀环境	粉煤灰	≤30	≤20
	磨细矿渣粉	≤40	≤30

注：1 本表规定的掺量是指单掺一种矿物掺和料时的适宜掺量范围。当采用双掺时，其掺量可参考本表并经过试验确定。

2 本表规定的矿物掺和料的掺量范围仅限于使用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥的混凝土。

3 对于预应力混凝土结构，粉煤灰的掺量不宜超过30%。

4 严重氯盐环境与化学侵蚀环境下，粉煤灰的掺量应大于 30%，或磨细矿渣粉的掺量大于 50%。

4 不同环境条件下混凝土结构的最大水胶比和最小胶凝材料用量应符合设计要求，当设计无要求时，应符合表 6.5.2-3 的规定。当为硫酸盐化学侵蚀环境时，胶凝材料的抗蚀系数应按《铁路混凝土工程施工质量验收标准》附录 F 的方法试验，不得小于 0.80。

表6.5.2-3 混凝土最大水胶比和最小胶凝材料用量 (kg/m³)

环境类别	环境作用等级	使用年限级别		
		一（100 年）	二（60 年）	三（30 年）
碳化环境	T1	0.55, 280	0.60, 260	0.60, 260
	T2	0.50, 300	0.55, 280	0.60, 260
	T3	0.45, 320	0.50, 300	0.55, 280
氯盐环境	L1	0.45, 320	0.50, 300	0.50, 300
	L2	0.40, 340	0.45, 320	0.45, 320
	L3	0.36, 360	0.40, 340	0.40, 340
化学侵蚀环境	H1	0.50, 300	0.55, 280	0.55, 280
	H2	0.45, 320	0.50, 300	0.50, 300
	H3	0.40, 340	0.45, 320	0.45, 320
	H4	0.36, 360	0.40, 340	0.40, 340
盐类结晶破坏环境	Y1	0.50, 300	0.55, 280	0.55, 280
	Y2	0.45, 320	0.50, 300	0.50, 300
	Y3	0.40, 340	0.45, 320	0.45, 320
	Y4	0.36, 360	0.40, 340	0.40, 340
冻融破坏环境	D1	0.50, 300	0.55, 280	0.55, 280
	D2	0.45, 320	0.50, 300	0.50, 300
	D3	0.40, 340	0.45, 320	0.45, 320
	D4	0.36, 360	0.40, 340	0.40, 340
磨蚀环境	M1	0.50, 300	0.55, 280	0.60, 260
	M2	0.45, 320	0.50, 300	0.50, 300
	M3	0.40, 340	0.45, 320	0.45, 300

注： 1 盐类结晶破坏环境下，混凝土的含气量宜大于 4.0%，硬化混凝土气泡间距系数应小于 300μm。

2 冻融破坏环境下，硬化混凝土气泡间距系数应小于 300μm。

3 预应力混凝土含气量宜为 2.0%~4.0%。

5 混凝土中的碱含量应符合设计要求。当设计无要求的时，混凝土的碱含量应符合表 6.5.2-5 的规定。

表6.5.2-5 混凝土最大碱含量 (kg/m³)

设计使用年限级别		一 (100 年)	二 (60 年)	三 (30 年)
环境条件	干燥环境	3.5	3.5	3.5
	潮湿环境	3.0	3.0	3.5
	含碱环境	2.1	3.0	3.0

注： 1 混凝土的碱含量是指混凝土各种原材料的碱含量之和。其中，矿物掺和料的碱含量以其所含可溶性碱量计算。粉煤灰的可溶性碱量取粉煤灰总碱量的1/6，矿渣粉的可溶性碱量取矿渣粉总碱量的1/2，硅灰的可溶性碱量取硅灰总碱量的1/2。

2 干燥环境是指不直接与水接触、年平均空气相对湿度长期不大于 75%的环境；潮湿环境是指长期处于水下或潮湿土中、干湿交替区、水位变化区以及年平均相对湿度大于 75%的环境；含碱环境是指直接与高含盐碱地、海水、含碱工业废水或钠（钾）盐等接触的环境；干燥环境或潮湿环境与含碱环境交替变化时，均按含碱环境对待。

3 对于含碱环境中的混凝土结构，当其设计使用年限为100年时，除了混凝土的碱含量应满足本表要求外，还应使用非碱活性骨料；当其设计使用年限为30年、60年时，在限制混凝土碱含量的同时，还应应对混凝土表面作防水、防碱涂层处理，否则应换用非碱活性骨料。

6 当骨料的砂浆棒膨胀率大于等于 0.20%且小于 0.30%时，除混凝土碱含量应满足表 6.3.2 的规定外，还应采取抑制碱—骨料反应的技术措施，并经试验证明抑制有效。当抑制无效时，可采取更换碱含量较低的水泥、增加矿物掺和料掺量或掺加具有抑制碱—骨料反应功效的外加剂等技术措施。抑制碱—骨料反应有效性试验应按照《铁路混凝土工程施工质量验收标准》（TB10424-2010）附录 G 进行。

7 钢筋混凝土结构的混凝土氯离子总含量不应超过胶凝材料总量的 0.10%，预应力混凝土结构的混凝土氯离子总含量不应超过胶凝材料总量的 0.06%。

8 混凝土中三氧化硫的最大含量不应超过胶凝材料总量的 4.0%。

9 引气混凝土的入模含气量宜满足表 6.5.2-6 的规定。

表6.5.2-6 混凝土入模含气量

环境条件	冻融破坏环境			盐类结晶破坏环境
	D1	D2、D3	D4	Y1、Y2、Y3、Y4
含气量 (%)	≥4.0	≥5.0	≥6.0	≥4.0

注： 1 本表中的含气量是针对非预应力混凝土而言。

2 预应力混凝土含气量宜为 2.0%~4.0%。

10 在满足施工工艺条件的情况下，宜尽量选用低流动性的混凝土施工。

6.5.3 混凝土的配合比可按下列步骤计算、试配和调整：

1 核对供应商提供的水泥熟料的化学成分和矿物组成、混合材种类和数量等资料，并根据设计要求，初步选定水泥、矿物掺和料、骨料、外加剂、拌和水以及水胶比、胶凝材料总用量、矿物掺和料和外加剂的掺量。当设计无明确要求时，可根据第 6.5.2 条的要求进行选定。

2 计算单方混凝土中各原材料组分用量，并核算单方混凝土的总碱含量、三氧化硫含量和氯离子总含量是否满足第 6.5.2 条的要求。否则应重新选择原材料或调整计算的配合比，直至满足要求为止。计算时，以干燥状态骨料为基准，矿物掺和料和外加剂的掺量均以胶凝材料总量百分率计，外加剂中的水计入混凝土用水量。

3 通过适当调整混凝土外加剂用量或砂率，调配出坍落度、含气量、泌水率、凝结时间、表观密度符合要求的混凝土配合比。试拌时，每盘混凝土的最小搅拌量应在 15 L 以上，且不少于搅拌机容量的 1/4。该配合比作为基准配合比。

4 适当改变基准配合比的水胶比、胶凝材料用量、矿物掺和料掺量、外加剂掺量或砂率等参数，调配出拌和物性能与要求值接近的配合比 3~5 个。

5 按要求对上述不同配合比混凝土制作力学性能和抗裂性能对比试件，养护至规定龄期时进行试验。其中，抗压强度试件每种配合比宜制作 4 组，标准养护至 1d、3d、28d、56d 时试压。强度等级 C50 以下的混凝土试件边长可选择 150mm 或 100mm，C50 及以上的混凝土试件边长应采用 150mm。

6 从上述配合比中优选出拌和物性能和抗裂性优良、抗压强度适宜的一个或多个配合比各制作一组或多组耐久性试件，养护至规定龄期时进行试验。

7 根据上述不同配合比对应混凝土的拌和物性能、力学性能、抗裂性以及耐久性能试验结果，按照工作性能优良、力学性能和耐久性满足要求、经

济合理的原则，从不同配合比中优选一个配合比。

8 采用优选的配合比拌和混凝土，测定混凝土的表观密度。根据实测拌和物的表观密度，求出校正系数，对该配合比进行校正，形成理论配合比。

校正系数按下式计算：

校正系数 = 实测拌和物表观密度/优选配合比拌和物表观密度

6.5.5 施工前对砂、石含水率进行测定，根据测定结果对理论配合比进行计算，确定施工配合比。

6.5.6 当混凝土的原材料品质、施工工艺发生较大变化时，应重新进行配合比选定试验。

6.5.7 当施工工艺及环境条件未发生明显变化，原材料的品质在合格的基础上发生波动时，可对混凝土外加剂用量、粗骨料分级比例、砂率进行适当调整，调整后的混凝土拌和物性能应与理论配合比一致。

6.6 混凝土搅拌

6.6.1 搅拌混凝土前应测定粗、细骨料的含水率，及时调整施工配合比。每工班至少抽测一次，雨天应增加抽测次数。

6.6.2 搅拌混凝土应采用强制式搅拌机，计量器具应定期检定。搅拌机经大修、中修或迁移至新的地点后，应对计量器具重新进行检定。每一工班正式称量前，应对计量设备进行检查。

6.6.3 按照批准的施工配合比准确称量混凝土原材料，其最大允许偏差应符合下列规定（按重量计）：胶凝材料（水泥、矿物掺和料等） $\pm 1\%$ ；外加剂 $\pm 1\%$ ；粗、细骨料 $\pm 2\%$ ；拌和用水 $\pm 1\%$ 。

6.6.4 混凝土原材料计量后，宜先向搅拌机投入骨料、水泥和矿物掺和料，搅拌均匀后，加水和液体外加剂（引气混凝土应同时加入引气剂），直至搅拌均匀为止。粉体外加剂应与矿物掺和料同时加入。水泥的入机温度不应大

于 70℃。

6.6.5 混凝土的搅拌时间为全部材料装入搅拌机开始至搅拌结束所用时间，混凝土延续搅拌时间应根据配合比和搅拌设备情况通过试验确定，但最短搅拌时间不宜少于 2min。

6.7 混凝土运输

6.7.1 混凝土宜采用内壁平整光滑、不吸水、不渗漏的运输设备进行运输。当运输距离较长时，宜采用搅拌运输车运输；当运输距离较近时，宜采用混凝土泵、混凝土料斗或皮带机运输。在装运混凝土前，应认真检查运输设备内是否存留有积水，内壁粘附的混凝土是否清除干净。

6.7.2 采用混凝土搅拌运输车运送混凝土时，运输过程中宜以 2r/min~4r/min 的转速搅动；当搅拌运输车到达浇筑现场时，应高速旋转 20s~30s 后再将混凝土拌和物喂入泵车受料斗或混凝土料斗中；运输车每天使用完后应清洗干净。

6.7.3 采用混凝土泵输送混凝土应符合下列规定：

1 混凝土泵送施工应根据施工进度要求，加强组织和调度，确保连续均匀供料。

2 混凝土泵的输运能力应与混凝土的供应能力相适应。

3 混凝土泵的型号可根据混凝土数量、最大泵送距离、最大输出量等选定，可参照附录A进行计算确定。

4 配置输送管时，应缩短管线长度，少用弯头。输送管应平顺，内壁光滑，接口不得漏浆。

5 泵送混凝土时，输送管路起始水平管段长度不应小于 15m。除出口处外，输送管路的其它部位均不得采用软管。输送管路应用支架、吊具等加以固定，不应与模板和钢筋接触。

6 泵送混凝土前，应先用同水胶比的水泥砂浆或与泵送混凝土配合比相同、但粗骨料减少 50%的混凝土通过管道。当用活塞泵泵送混凝土时，泵的受料斗内应具有足够的混凝土，防止吸入空气。

7 向下泵送混凝土时，管路与垂线的夹角不宜小于 12° 。

8 混凝土泵的位置宜靠近浇筑地点。泵送下料口应能移动。当泵送下料口固定时，固定的间距不宜大于3m。不得用插入式振捣器平拖混凝土，也不得用插入式振捣器将下料口处堆积的混凝土推向远处。

9 搅拌后的混凝土应在 1/2 初凝时间内入泵，并在初凝前浇筑完毕。在交通拥堵和气候炎热等情况下，应采取措施防止混凝土坍落度损失过大。

10 应保持连续泵送混凝土，必要时可降低泵送速度以维持泵送的连续性。如停泵时间超过 15min，应每隔 4min~5min 开泵一次，正转和反转两个冲程，同时开动料斗搅拌器，防止料斗中混凝土离析。如停泵超过 45min 或混凝土出现离析现象时，宜将管中混凝土清除，并清洗泵机。

6.7.4 采用皮带机运送混凝土应符合下列规定：

1 传送带的倾斜度不应超过表 6.7.4 的规定。

2 混凝土卸于传送带上和由传送带卸下时，应通过漏斗等设施，保持垂直下料。

3 传送带上应设置刮刀等设备。

4 传送带运转速度不应超过 1.2m/s。

5 开始搅拌混凝土时，应考虑有 2%~3%的砂浆损失。

表6.7.4 传送带最大倾斜角度

混凝土坍落度 (mm)	最大倾斜角度	
	向上运送	向下运送
<40	18°	12°
40~80	15°	10°
>80	通过工艺试验确定	

6.7.5 混凝土在转运、分配或倾注时，应采用滑槽、串筒或漏斗等金属类器

具辅助进行。

6.7.6 运输混凝土过程中，应尽量减少混凝土的转运次数和运输时间。混凝土从加水拌和到入模的最长时间，应由试验室根据混凝土初凝时间及施工气温确定。

6.7.7 混凝土运输设备的运输能力应适应混凝土凝结时间和浇筑速度的需要，保证浇筑过程连续进行。运输过程中，应采取有效措施保证运至浇筑地点的混凝土仍保持均匀和规定的坍落度。

6.7.8 为了避免日晒、雨淋和寒冷气候对混凝土质量的影响，防止局部混凝土温度升高（夏季）或受冻（冬季），需要时应对运输容器采取遮盖或保温隔热措施。

6.8 混凝土浇筑

6.8.1 浇筑混凝土前，应做好下列准备工作：

1 制定浇筑工艺，明确结构分段分块的间隔浇筑顺序，尽量减少后浇带或施工缝。

2 根据结构截面尺寸大小研究确定必要的降温防裂措施。

3 将基础上松动的岩块、杂物及泥块清除干净，并采取防、排水措施。对干燥的非粘性土基面，应用水湿润；对未风化的岩石，应用水清洗，但其表面不得积水。在旧混凝土面上接续浇筑新混凝土时，基面准备工作应符合第6.8.4条的规定。

4 仔细检查模板、支架、钢筋、预埋件的紧固程度和保护层垫块的位置、数量等，以确保钢筋的混凝土保护层厚度尺寸满足要求。

6.8.2 浇筑混凝土应符合下列基本规定：

1 在炎热气候条件下，混凝土入模时的温度不宜超过 30℃。应避免模板和新浇混凝土受阳光直射，控制混凝土入模前模板和钢筋的温度以及附近的

局部气温不超过 40℃。宜安排在傍晚开始浇筑，不宜在早上浇筑以免气温升到最高时加剧混凝土内部温升。

2 当工地昼夜平均气温连续 3d 低于 5℃或最低气温低于-3℃时，应按冬期施工办理，混凝土的入模温度不应低于 5℃。

3 新浇混凝土入模温度与邻接的已硬化混凝土或岩土、钢筋、模板介质间的温差不得大于 15℃。与新浇筑混凝土接触的已硬化混凝土、岩土介质、钢筋和模板的温度不得低于 2℃。

4 在相对湿度较小、风速较大的环境条件下，可采取场地洒水、喷雾、挡风等措施，或在此时避免浇筑有较大暴露面积的构件。

5 混凝土应分层浇筑，分层厚度（指捣实后厚度）应根据搅拌与运输能力、浇筑速度、振捣能力和结构特点等条件确定。泵送混凝土的最大摊铺厚度不宜大于600mm，其它混凝土最大摊铺厚度不宜大于400mm。

在新浇筑完成的下层混凝土上再浇筑新混凝土时，应在下层混凝土初凝前浇筑完成上层混凝土。上下层同时浇筑时，上层与下层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，保持水平分层。

6 混凝土浇筑应连续进行。当因故间歇时，其间歇时间应小于前层混凝土的初凝时间。对不同混凝土的允许间歇时间应根据环境温度、水泥性能、水胶比和外加剂类型等条件通过试验确定。

当超过允许间歇时间时，应按浇筑中断处理，同时应留置施工缝，并作出记录。施工缝的平面应与结构的轴线相垂直。

7 在浇筑混凝土过程中或浇筑完成时，如混凝土表面泌水较多，须在不扰动已浇筑混凝土的条件下，采取措施将水排除。继续浇筑混凝土时，应查明原因，采取措施，减少泌水。

8 浇筑混凝土期间，应设专人检查支架、模板、钢筋和预埋件等的稳固

情况，当发现有松动、变形、移位时，应及时处理。

6.8.3 自高处向模板内倾卸混凝土时，为防止混凝土离析所采取的措施应符合下列规定：

1 从高处直接倾卸时，混凝土自由倾落高度不宜超过 2m，以不发生离析为度。

2 当倾落高度超过 2m 时，应采用串筒、溜管或振动溜管等辅助设施进行混凝土浇筑。

3 串筒出料口距混凝土浇筑面的高度不宜超过 1m。

6.8.4 施工缝连接方式应符合设计要求。设计无具体要求时，对于素混凝土结构，应在施工缝处埋设直径不小于 16mm 的连接钢筋。连接钢筋埋入深度和露出长度均不应小于钢筋直径的 15d，间距不大于 20cm，使用光圆钢筋时两端应设半圆形标准弯钩，使用带肋钢筋时可不设弯钩。

6.8.5 在混凝土施工缝处接续浇筑新混凝土时，应符合下列规定：

1 应凿除已浇筑混凝土表面的水泥砂浆和松弱层，凿毛后露出的新鲜混凝土面积不低于 75%。凿毛时，混凝土强度应符合下列规定：

1) 用人工凿毛时，不低于 2.5MPa。

2) 用风动机等机械凿毛时，不低于 10MPa。

2 经凿毛处理的混凝土面应用水冲洗干净，但不得存有积水。在浇筑新混凝土前，对垂直施工缝宜在旧混凝土面上刷一层水泥净浆，对水平施工缝宜在旧混凝土面上铺一层厚 10mm~20mm、比混凝土水胶比略小的胶砂比为 1:2 的水泥砂浆，或铺一层厚约 30cm 的混凝土，其粗骨料宜比新浇筑混凝土减少 10%。

3 施工缝为斜面时，旧混凝土应浇筑成或凿成台阶状。

6.8.6 浇筑大体积混凝土时，尚应符合本指南第 8 章的规定。

6.8.7 浇筑墩台、涵洞混凝土时，应符合下列规定：

- 1 基底为非粘性土或干土时，应按设计要求进行基底处理。
- 2 基面为岩石时，应加以润湿，并铺一层厚 20mm~30mm 的水泥砂浆，然后于水泥砂浆凝结前浇筑第一层混凝土。
- 3 对一般墩台及基础混凝土，应在整个平截面范围内水平分层进行浇筑。
- 4 浇筑大体积墩台基础混凝土时，应满足本指南第 8.2 节的相关规定。

6.8.8 浇筑梁式结构混凝土时，应符合下列规定：

- 1 梁体混凝土应采用快速、稳定、连续、可靠的浇筑方式在全梁范围内水平分层连续浇筑成型。当梁的平面面积较大时，也可采用斜向分段、水平分层的方法连续浇筑。
- 2 浇筑先张构件时，应避免振捣器碰撞预应力筋；浇筑后张结构时，应避免振捣器碰撞预应力筋的管道、预埋件等。应经常检查模板、管道、锚固端垫板及支座预埋件等，以保证其位置及尺寸符合设计要求。

6.8.9 在隧道、明洞、路堑、大跨度拱肋浇筑混凝土时，应符合下列基本规定：

- 1 浇筑前，应清除坍塌和松散的土石方及支撑材料。当坍塌地段的支撑不易清除时，位于浇筑断面以外的支撑经检查并作记录后，可留于坍塌体内，但浇筑断面以内不得留有支撑。
- 2 浇筑隧道拱圈等长筒形拱混凝土时，应视具体情况按其长度方向分节浇筑，且分节界面应与拱的纵向轴线垂直。
- 3 当连续浇筑拱肋或拱圈时，应自两拱脚向拱顶对称浇筑。当混凝土或钢筋混凝土拱肋或拱圈的跨度在16m及以下时，应一次连续浇完。
- 4 当混凝土或钢筋混凝土拱肋跨度大于16m时，应沿拱的跨度方向分段浇筑。各分段的界面应与拱肋中心线垂直。

两邻接浇筑段之间应预留间隔槽，其位置应设在拱架节点外，并应避免开

拱肋间的横撑、隔板以及梁上的杆件。

拱肋的分段段数、分段位置、浇筑顺序以及间隔槽的宽度，均应符合设计要求。

5 各分段内的混凝土应一次浇完。当因故中断再接续浇筑混凝土时，新旧混凝土的接合面应垂直于拱的中心线，并应符合第6.8.5条的规定。

当接续浇筑混凝土时，已浇筑的混凝土面应加以修凿或凿成阶梯形（当拱的截面厚度过大时），并与拱中心线垂直。

6 预留间隔槽中的混凝土，应待各段混凝土浇完，且两邻段混凝土至少硬化7d后，方可由拱脚向拱顶依次对称浇筑。浇筑时，应尽量采用坍落度较小的混凝土，并符合第6.8.5条的规定。

7 封顶时，应待两侧其它间隔槽浇完，且已浇筑混凝土温度接近拱的设计浇筑温度时，方可浇筑拱顶间隔槽中的混凝土。应对封顶时的气温和混凝土的温度作好记录。

8 当浇筑大跨度钢筋混凝土拱肋时，已安装的纵向钢筋不应由于拱架沉降或其它原因而发生变形现象。钢筋接头应符合设计要求，且不应使用沿拱肋全长的通长钢筋。

9 当浇筑大跨度拱肋或拱圈混凝土时，可在征得设计部门同意后，采用分层浇筑法浇筑。

6.8.10 当浇筑与墙或柱（墩）整体连接（不设施工缝）的梁或板时，应按设计规定的方案进行。

6.9 混凝土振捣

6.9.1 混凝土浇筑过程中，应随时对混凝土进行振捣并使其均匀密实。振捣宜采用插入式振捣器垂直点振，或采用插入式振捣器和附着式振捣器联合振捣。混凝土坍落度较小时（如采用斗送法浇筑的混凝土），应加密振点分布。

预应力混凝土箱梁宜采用侧振并辅以插入式振捣器振捣成型。

6.9.2 混凝土振捣过程中，应避免重复振捣，防止过振。应加强检查模板支撑的稳定性和接缝的密合情况，防止在振捣混凝土过程中产生漏浆。

6.9.3 采用机械振捣混凝土时，应符合下列规定：

1 采用插入式振捣器振捣混凝土时，插入式振捣器的移动间距不宜大于振捣器作用半径的1.5倍，且插入下层混凝土内的深度宜为50mm~100mm，与侧模应保持50mm~100mm的距离。

当振动完毕需变换振捣器在混凝土拌和物中的水平位置时，应边振动边竖向缓慢提出振捣器，不得将振捣器放在拌和物内平拖。不得用振捣器驱赶混凝土。

2 表面振捣器的移动距离应能覆盖已振动部分的边缘。

3 附着式振捣器的设置间距和振动能量应通过试验确定，并应与模板紧密连接。

4 对有抗冻要求的引气混凝土，不应采用高频振捣器振捣。

5 应避免碰撞模板、钢筋及其它预埋部件。

6 每一振点的振捣延续时间以混凝土不再沉落，表面呈现浮浆为度，防止过振、漏振。

7 对于箱梁腹板与底板及顶板连接处的承托、预应力筋锚固区以及施工缝处等其它钢筋密集部位，宜特别注意振捣。

8 当采用振动台振动时，应预先进行工艺设计。

6.9.4 混凝土振捣完成后，应及时修整、抹平混凝土裸露面，待定浆后再抹第二遍并压光或拉毛。抹面时严禁洒水，并应防止过度操作影响表层混凝土的质量。寒冷地区受冻融作用的混凝土和干旱地区的混凝土，应特别加强施工抹面工序的质量控制。

6.10 混凝土养护

6.10.1 自然养护时，混凝土浇筑完成后应立即进行覆盖，防止表面水分蒸发。暴露面混凝土初凝前，应卷起覆盖物，用抹子搓压表面至少二遍，使之平整后再次覆盖，此时应注意覆盖物不要直接接触混凝土表面，直至混凝土终凝为止。混凝土自然养护期间，应重点加强混凝土的湿度和温度控制，养护龄期应符合本指南的相关规定。

6.10.2 蒸汽养护时，混凝土静停环境温度不应低于 5°C ，浇注结束 $4\text{h}\sim 6\text{h}$ 且混凝土终凝后方可升温；混凝土周围蒸汽的升、降温速度不宜大于 $10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。恒温期间混凝土内部温度不宜超过 60°C ，最大不得超过 65°C ，恒温养护时间应根据构件脱模强度要求、混凝土配合比情况以及环境条件等通过试验确定。蒸汽养护的预制梁脱模后的保温保湿养护时间不少于 14d 。蒸汽养护的预制轨道板脱模后的保温保湿养护时间不少于 10d 。

6.10.3 混凝土养护应包括一定的带模养护时间。混凝土带模养护期间，应采取带模包裹、浇水、喷淋洒水或通蒸汽等措施进行保湿、保温养护。

6.10.4 混凝土去除表面覆盖物或拆模后，应对混凝土采用蓄水、浇水或覆盖洒水等措施进行潮湿养护，也可在混凝土表面处于潮湿状态时，迅速采用麻布、草帘等材料将暴露面混凝土覆盖或包裹，再用塑料布或帆布等将麻布、草帘等保湿材料包覆（裹）。包覆（裹）期间，包覆（裹）物应完好无损，彼此搭接完整，内表面应具有凝结水珠。有条件地段应尽量延长混凝土的包覆（裹）保湿养护时间。对于墩身等混凝土结构可采用塑料薄膜包裹、墩顶蓄水装置加湿的方式进行养护。

6.10.5 混凝土采用喷涂养护液养护时，应确保养护液对混凝土结构表面不产生侵蚀、不会造成混凝土表面色差，并应确保不漏喷。

6.10.6 混凝土拆模后，应及时对新暴露的混凝土表面进行保湿养护。混凝土浇筑完毕后的保湿养护最短时间应满足表 6.10.6 的规定。

表6.10.6 不同混凝土保湿养护的最低期限

水胶比	大气潮湿(RH ≥50%), 无风, 无阳光直射		大气干燥(20%≤RH <50%), 有风, 或阳光直射		大气极端干燥(RH<20%), 大风, 大温差	
	日平均气温 T (°C)	养护时间 (d)	日平均气温 T (°C)	养护时间 (d)	日平均气温 T (°C)	养护时间 (d)
>0.45	5≤T<10	21	5≤T<10	28	5≤T<10	35
	10≤T<20	14	10≤T<20	21	10≤T<20	28
	T≥20	10	T≥20	14	T≥20	21
≤0.45	5≤T<10	14	5≤T<10	21	5≤T<10	28
	10≤T<20	10	10≤T<20	14	10≤T<20	21
	T≥20	7	T≥20	10	T≥20	17

注：大体积混凝土的养护时间不宜小于 28d。

6.10.7 养护期间，养护水温与混凝土表面温度之差不得大于 15℃。

6.10.8 在曝晒、气温骤降等情况下，应采取保温措施防止混凝土表面温度受环境因素影响而发生剧烈变化。养护期间混凝土的芯部与表面、表面与环境之间的温差不得超过 20℃ (轨道板、预应力箱梁不得超过 15℃)。大体积混凝土施工前应制定严格的养护方案，控制混凝土内外温差满足设计要求。

6.10.9 混凝土在冬期或夏期拆模后，若天气产生骤然变化时，应采取适当的保温（冬期）或隔热（夏期）措施，防止混凝土产生过大的温差应力。

6.10.10 混凝土拆模后可能与流动水接触时，养护时间应比表 6.10.6 规定的时间至少延长至 14d，且混凝土的强度应达到设计强度的 75%以上。

6.10.11 直接与海水或盐渍土接触的混凝土，其强度应达到设计强度，且养护时间不少于 6 周。

6.10.12 当环境温度低于 5℃时，禁止对混凝土表面进行洒水养护，但应采取保温、保湿养护。

6.10.13 混凝土养护期间，应对有代表性的结构进行温度监控，定时测定混凝土芯部温度、表面温度以及环境的气温、相对湿度、风速等参数，并根据混凝土温度和环境参数的变化情况及时调整养护制度，严格控制混凝土的内外温差满足要求。

6.11 混凝土拆模

6.11.1 混凝土拆模时的强度应符合设计要求。当设计未提出要求时，应符合下列规定：

1 非承重模板应在混凝土强度达到2.5MPa以上，且其表面及棱角不因拆模而受损时，方可拆除。

2 承重模板应在混凝土强度达到表6.11.1的规定后，方可拆除。

表 6.11.1 拆除底模时所需混凝土强度

结构类型	结构跨度	达到混凝土设计强度的百分率（%）
板、拱	≤ 2	50
	2~8	75
	> 8	100
梁	≤ 8	75
	> 8	100
悬臂梁（板）	≤ 2	75
	> 2	100

3 芯模或预留孔洞的内模应在混凝土强度能保证构件和孔洞表面不发生塌陷和裂缝时，方可拆除。

6.11.2 拆模时混凝土的温度不能过高，以免混凝土接触空气时降温过快而开裂。混凝土内部开始降温以前不得拆模。

6.11.3 结构或构件芯部混凝土与表面混凝土之间的温差、表面混凝土与环境之间的温差大于 20℃（预应力箱梁和截面较为复杂的结构温差大于 15℃）时不得拆模。大风或气温急剧变化时不应拆模。在炎热和大风干燥季节，应采取逐段拆模、边拆边盖的拆模工艺。

6.11.4 拆除模板时，不得影响或中断混凝土的养护工作。

6.11.5 拆模后的混凝土结构应在混凝土达到100%的设计强度后，方可承受全部设计荷载。

7 预应力工程

7.1 一般规定

7.1.1 预应力筋用锚具、夹具和连接器应根据预应力筋品种、锚固要求和张拉工艺等配套选用，其性能应符合设计要求和相关标准的规定。

7.1.2 后张法制梁台座和先张法张拉台座应针对施工工艺进行设计。其强度、

刚度、稳定性和构造应能满足预应力筋张拉及放张、混凝土浇筑及养护、模板安装及拆除等施工各阶段施工荷载和施工操作要求。

7.1.3 预应力工程应依照设计要求的施工顺序施工，并应考虑各施工阶段偏差对结构安全度的影响。对大跨度预应力工程应进行施工监测，并采取相应调整措施。

7.2 预应力筋、锚具、夹具和连接器

7.2.1 预应力筋、锚具、夹具和连接器的品种、规格、质量应符合设计要求和国家现行标准的规定。

7.2.2 预应力筋应平顺，不得有弯折；表面不应有裂纹、小刺、机械损伤、氧化铁皮和油污等。

7.2.3 夹片式锚具的锚具夹片回缩量不应大于 6mm，锚具的锚口摩阻和喇叭口摩阻损失合计不宜大于 6%。

7.2.4 锚具应满足分级张拉、补张拉以及放松预应力筋的要求。用于后张结构时，锚具或其附件上宜设置压浆孔或排气孔，压浆孔的孔位及孔径应符合压浆工艺要求，且应有与压浆管连接的构造。采用封闭罩时锚具或其附件上应设连接构造。

7.2.5 夹具应具有良好的自锚性能、松锚性能和重复使用性能。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，且能保证操作人员的安全。

7.2.6 锚具、夹具和连接器所使用的材料性能指标不低于 45 号钢的要求，并应符合设计要求，有机械性能和化学成分合格证明书、质量保证书。

7.2.7 用于锚固直径 $\phi 15.2\text{mm}$ 钢绞线的锚具，1~21 孔锚板的最小直径和最小厚度应符合表 7.2.7 的规定，22 孔及以上锚板可参照设计文件执行。

表 7.2.7 1~21 孔锚板的最小直径和最小厚度

锚具 孔数	锚板尺寸 (mm)		锚具 孔数	锚板尺寸 (mm)		锚具 孔数	锚板尺寸 (mm)	
	直径	厚度		直径	厚度		直径	厚度
1	48	48	8	136	55	15	186	68
2	86	50	9	146	55	16	196	70
3	91	50	10	156	58	17	196	73
4	102	50	11	166	58	18	206	75
5	112	50	12	166	60	19	206	75
6	126	52	13	170	63	20	226	80
7	126	53	14	176	65	21	226	80

7.2.8 用于锚固直径 $\phi 15.2\text{mm}$ 钢绞线的锚具，锚板最外侧锥孔大口外边缘的锚板边缘距离不小于表 7.2.8 的规定。

表 7.2.8 锚板最外侧锥孔大口外边缘的锚板边缘最小距离

孔数	最小距离
1~5 孔	11.0mm
6~12 孔	13.0mm
13~17 孔	15.0mm
18~21 孔	17.0mm

7.2.9 夹片式锚具的限位板槽深应和钢绞线的直径相匹配，限位板和工具锚应采用同生产厂的配套产品，不得分别使用不同生产厂的产品。

7.2.10 锚具、夹具和连接器使用前应按批次和数量抽样检验外观和外形尺寸、硬度和静载锚固性能。工作锚和工具锚不得互相代替使用。

7.2.11 锚垫板应有足够的刚度和强度，长度应保证钢绞线在锚具底口处的最大折角不大于 4° ，端面的平面度不应大于 0.5mm ，端面应设有锚具对中凹口。

7.3 预应力孔道

7.3.1 后张法预应力混凝土结构的孔道成孔方式应符合设计要求。当设计无要求时，可采用金属波纹管、塑料波纹管、橡胶棒（管）、钢管成孔。

7.3.2 管道材料及其性能应符合下列规定：

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

递粘结应力。

- 2 管道的材质不应与混凝土、预应力筋或水泥浆有不良的化学反应。
- 3 管道和接头应有足够的密封性，防止浆体渗漏及抽真空时漏气。
- 4 孔道成型用圆形管道的内径应至少比预应力筋或连接器的轮廓直径大 6mm，其内截面积应不小于预应力筋截面积的 2.5 倍。
- 5 钢管的壁厚不应小于其内径的 1/50，且不宜小于 2mm。

7.3.3 管道安装应符合下列规定：

1 管道的尺寸与位置应准确，管道应平顺，端部的预埋锚垫板应垂直于孔道中心线，绑扎应牢固，并确保浇筑混凝土时管道不上浮、旁移。

2 管道安装前，应按设计规定的管道坐标进行放样，并应采用定位钢筋固定法将管道牢固地置于钢筋骨架内的设计位置。定位钢筋的结构形式、位置、数量应符合设计要求，设计无要求时，宜符合下列规定：

- 1) 定位钢筋在专用胎卡具上焊成井字形。
- 2) 每侧钢筋和管道间隙 2mm。
- 3) 定位钢筋的间距，对于钢管不宜大于 1m，对于金属波纹管、塑料波纹管、橡胶棒不宜大于 0.5m，对于曲线管道宜适当加密。

3 金属管道接头处的连接管宜采用大一个直径级别的同材质管道，其长度宜为被连接管道内径的 5~7 倍，且不小于 300mm，两端旋入长度应大致相等；橡胶棒接头可用同直径铁皮管连接，铁皮管长度不小于 300mm；高密度聚乙烯波纹管应采用专用焊接机进行焊接，或采用本身具有密封性能且带有观察管的塑料结构连接器连接。连接时应不使接头处产生角度变化，在混凝土浇筑期间不应使管道发生转动或移位，并应缠裹紧密，防止漏浆。

4 管道与锚垫板之间应采用与管道接头同一材料同一规格的连接头连接，连接后用密封胶封口，并加强固定，连接段不应下垂。

5 所有管道均应设压浆孔，在管道最高点设排气孔，需要时还应在管道

最低点设排水孔。压浆管、排气管和排水管应满足下列规定：

1) 材质应符合设计要求，设计未要求时，宜采用最小内径为 20mm 的金属管或增强塑料管，长度应足以从管道引出结构物以外。

2) 压浆管、排气管和排水管与管道之间的连接采用金属或塑料密封连接器。

3) 所有管道的压浆孔、抽气孔应设在锚座上，排气孔应设在锚具的附件上。

4) 当采用真空辅助压浆工艺时，其密封性能应满足真空度要求。

6 管道在模板内安装完毕后，应将其端部盖好，防止水或其它杂物进入。

7.4 预应力材料的保护

7.4.1 预应力材料必须保持清洁，在存放和搬运过程中应避免机械损伤和锈蚀。如进场后需长时间存放时，必须定期进行外观检查。预应力筋采用螺纹钢筋时，应避免碰伤螺纹，防止产生弯曲变形。

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

7.4.3 锚具、夹具和连接器应按不同规格挂牌整齐堆放在通风良好的仓库中。在成品堆放、运输、装卸和施工期间严禁碰撞、踩压、摔掷和拖拉，并要避免锈蚀、沾污、散失。临时性的防护措施应不影响安装操作的效果和永久性防锈措施的实施。

7.4.4 波纹管应分类、分规格存放。金属波纹管的存放应符合第 7.4.2 条的规定。塑料波纹管储存时应远离热源和化学品的污染，并应避免暴晒。

金属波纹管吊装时，不得在其中部单点起吊；搬运时，不得抛摔或拖拉。

7.4.5 预应力筋及配件安装后的保护应符合第 7.6.10 条的规定。

7.5 预应力筋制作和安装

7.5.1 预应力筋下料长度应经计算确定。计算时应考虑结构的孔道长度或台座长度、锚夹具厚度、千斤顶长度、镦头预留量、冷拉伸长值、弹性回缩值、张拉伸长值和外露长度等因素。首次使用应经试验，符合要求后方可成批下料。预应力筋下料切断后，端头应齐整，其同束内长度相对差值不应大于计算下料长度的 $1/5000$ ，且其极差不得大于 5mm 。

7.5.2 预应力筋应采用砂轮锯切断，不得采用电弧或气焊切断，也不得使预应力筋经受高温、焊接火花或接地电流的影响。钢绞线下料后不得散头。下料场地应平整、洁净。

7.5.3 预应力钢绞线编束时，梁体同一张拉截面上的钢绞线束应由同一厂家、同一品种、同一规格、同一批号的钢绞线组成。编束时应先梳理顺直，每隔 $1\text{m}\sim 1.5\text{m}$ 捆扎成束。制束及移运时防止变形、碰伤和污染。

7.5.4 预应力钢丝束采用镦头锚具时，应首先确认该批预应力钢丝的可镦性。钢丝镦头的头型尺寸：直径应为 $1.4d\sim 1.5d$ ，高度应为 $0.95d\sim 1.05d$ （ d 为钢丝公称直径）。冷镦头的强度应不低于钢丝母材强度的 97% 。高强钢丝镦头宜采用液压冷镦。

7.5.5 预应力螺纹钢筋端部螺母必须旋入足够的长度，螺纹钢筋应露出端部螺母；当采用连接器接长预应力螺纹钢筋时，应确保两端均旋至连接器中央。

7.5.6 配有折线预应力筋的先张法预应力混凝土梁的预应力筋安装宜自下而上进行，先穿直线预应力筋，再穿折线预应力筋；折线预应力筋应通过转折器相应的槽口。

7.5.7 后张法预应力混凝土构件的预应力筋可在浇筑混凝土之前或之后穿入管道，但采用蒸汽养护时，在养护完成之前不应安装力筋。穿束前，应检查锚垫板和孔道，锚垫板应位置准确，孔道内应畅通、无水和其它杂物。钢绞线应编束后整体装入管道中。

7.5.8 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，修复管道损坏的部位，并封闭锚垫板喇叭口、排气管口。

7.5.9 锚具定位及连接器安装应符合下列规定：

- 1 锚具和连接器应按设计规定的位置、方向和形状安装、固定，并配置锚固区加强钢筋。
- 2 锚具的承压面应与预应力筋垂直。
- 3 预应力筋需接长时，应保证连接器在张拉方向上有足够的移动空间。
- 4 内埋式锚固端锚垫板不应重叠，锚具与锚垫板应贴紧。
- 5 锚具安装时与锚垫板应对中，夹片应击紧且缝隙均匀。

7.5.10 预应力筋安装后的保护应符合下列规定：

- 1 对在混凝土浇筑或养生之前安装在孔道中但未在规定时限内压浆的预应力筋，应采取防锈措施，直至压浆。
- 2 不同暴露条件下，未采取防锈措施的预应力筋在安装后至压浆时的容许间隔时间应符合表 7.5.10 规定，否则应采用镀锌钢绞线。

表 7.5.10 预应力筋容许暴露时间

暴露条件	时间
空气平均相对湿度大于 70%或盐份过大时（近海环境）	7d
空气平均相对湿度 40%~70%时	15d
空气平均相对湿度小于 40%时	20d

- 3 预应力筋安装在孔道中后，应采取适当的方式，保护外露预应力筋，后续工程施工中应避免预应力筋、管道、锚垫板及锚具损伤和移位。
- 4 在任何情况下，在安装有预应力筋的构件附近进行电焊时，应对全部预应力筋和金属件进行保护，防止溅上焊渣或造成其它损坏。

7.6 施加预应力

7.6.1 预应力设备选用及校准应符合下列规定：

- 1 对同一束预应力筋，应采用相应吨位的千斤顶整束张拉；对扁平管道

中不多于 4 根的钢绞线，也可采用小型千斤顶逐根张拉。

2 先张法预应力混凝土构件单束初调、整拉整放工艺的单束初调工序宜采用穿心式千斤顶；整体张拉和整体放张宜采用自锁式千斤顶。

3 千斤顶额定张拉力宜为预应力筋张拉力的 1.2~1.5 倍，最大行程宜按预应力筋的伸长量加初始张拉时预留行程量计算。张拉油泵额定油压宜为使用油压的 1.4 倍，油泵容量宜为张拉千斤顶总输油量的 1.5 倍以上。

4 与千斤顶配套使用的压力表宜采用防振型，其精度等级不低于 1.0 级，最小刻度值不大于 1MPa，表盘直径大于 15cm，表盘量程应在工作最大油压的 1.25~2.0 倍之间。

5 压力表的计量检定应符合国家有关标准的规定。

6 千斤顶校准方法见本指南附录 B，千斤顶校准周期应符合下列规定：

- 1) 千斤顶首次使用前必须经过校准。
- 2) 千斤顶使用一个月。
- 3) 千斤顶张拉作业达 300 次。
- 4) 千斤顶经过大修，或漏油严重，经拆修以后。

7 压力表校准周期应符合下列规定：

- 1) 1.0 级压力表校准周期为一周，0.4 级压力表校准周期为一个月。
- 2) 压力表用于张拉作业达 300 次。
- 3) 更换用油规格、使用超过允许偏差、发现异常故障（张拉时预应力筋多次断裂、伸长值相差过大等）时。

8 当采用测力传感器计量张拉力时，测力传感器应按国家相关检定规程规定的检定周期（1 年）送检，千斤顶和压力表不再作配套标准。

7.6.2 后张法预应力混凝土结构、折线配筋先张法预应力混凝土结构在施加预应力前应进行预应力损失试验，并由设计单位根据试验结果调整张拉控制应力，同时还应根据实测摩阻损失、预应力筋弹性模量精确计算预应力筋理

论伸长值。

7.6.3 预应力损失试验的方法、频次应符合设计要求。

7.6.4 预应力筋张拉前，应计算所需初拉力、张拉控制力，相应的压力表读数、张拉伸长值，并明确张拉顺序和程序。预应力筋的初拉力、张拉控制力应符合设计要求。

7.6.5 预应力筋的张拉应从零拉力加载至初拉力，测量伸长值初读数，再分级以均匀速度加载并测量伸长值至张拉控制力，达到张拉控制力后，宜持荷 2 分钟。当成孔管道为塑料波纹管时，达到张拉控制力后，宜持荷 2min~5min。

7.6.6 预施应力值以压力表读数为主，以预应力筋伸长值作校核，并应符合下列规定：

1 实际伸长值与理论伸长值的差值应符合设计要求，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。

2 理论伸长值的计算应采用实测预应力筋弹性模量、孔道摩阻系数。

3 实测伸长值的修正与理论伸长值的精确计算方法见本指南附录 C。

7.6.7 后张法预制梁终张拉和先张法预制梁放张完成后应对梁体弹性上拱值进行实测。

7.6.8 预应力筋张拉或放张时的环境温度不宜低于 0℃。

7.6.9 先张法预应力混凝土构件的张拉应符合下列规定：

1 张拉前应对台座、横梁及张拉设备进行详细检查，符合安全和工艺要求后方可进行操作。

2 预应力筋的张拉顺序应符合设计要求。

3 预应力筋张拉工艺应符合设计要求，设计无要求时宜采用单束初调、整体张拉工艺。

4 配有折线预应力筋时宜先单束初调直线预应力筋，再单束初调、整体张拉折线预应力筋，最后整体张拉直线预应力筋。

5 用整体张拉工艺张拉过程中，应使活动端横梁与固定端横梁始终保持平行。

6 在浇筑混凝土前发生断丝或滑脱的预应力筋必须予以更换。

7 预应力筋张拉完毕后的位置与设计值偏差不得大于 5mm，同时不得大于构件最短边长的 4%。

8 预应力筋张拉完毕后，宜在 4h 内浇筑混凝土，浇筑混凝土与张拉预应力筋时的环境温差不宜超过 20℃。

7.6.10 先张法预应力混凝土构件的放张应符合下列规定：

1 预应力筋放张时混凝土强度、弹性模量和龄期应符合设计要求。放张之前应将限制构件位移的模板拆除。

2 预应力筋的放张顺序应符合设计要求。设计无要求时，应分阶段、对称、相互交错地放张。

3 放张应采用楔块或千斤顶整体放张，并符合设计要求。

4 预应力筋的放张速度不宜过快。

5 放张后预应力筋的切断顺序，应由放张端开始，逐次切向另一端。

7.6.11 后张法预应力混凝土构件的张拉应符合下列规定：

1 预施应力之前，应对构件的外观和尺寸以及锚垫板后的混凝土密实性进行检查，并将孔道中的灰浆清理干净。

2 预应力筋的张拉程序应符合设计要求。集中预制的混凝土箱梁宜按预张拉、初张拉和终张拉三个阶段进行，集中预制的 T 梁宜按初张拉和终张拉二个阶段进行。

3 各阶段预施应力时的混凝土强度、弹性模量和龄期应符合设计要求。

4 预应力筋的张拉顺序应符合设计要求。

5 预应力筋张拉端的设置应符合设计要求。

6 预施应力时，锚垫板、锚具和千斤顶应位于同一轴线上。采用两端张

拉时，预施应力过程中应保持两端同步，并且两端的伸长量基本一致。

7 预应力筋在张拉控制应力达到稳定后方可锚固。锚固完结并经检验合格后即可切割端头多余的预应力筋，切割端头多余预应力筋应符合第 7.5.2 条规定，切割后的外露长度不宜小于其直径的 1.5 倍，且不宜小于 30mm。

8 后张法预应力构件的预应力筋断丝或滑脱数量不得超过预应力筋总数的 5%，并不得位于结构的同一侧，且每束内断丝不得超过一根。

7.7 孔道压浆

7.7.1 压浆原材料应符合下列规定：

1 水泥应采用性能稳定、强度等级不低于 42.5 级的低碱硅酸盐或低碱普通硅酸盐水泥（混合材仅为粉煤灰或矿渣），水泥熟料中 C_3A 含量不应大于 8%；其余性能应符合国家现行标准《通用硅酸盐水泥》（GB175）的规定，不应使用其它品种的水泥。

2 矿物掺和料的品种宜为 I 级粉煤灰、矿渣粉或硅灰。

3 梁体孔道压浆应采用高效减水剂，减水剂的性能应与所用水泥具有良好的适应性。减水剂的减水率不应小于 20%，其它指标应符合国家现行标准《混凝土外加剂》（GB8076）的规定。外加剂匀质性按《混凝土外加剂匀质性试验方法》（GB/T8077）进行检验。

4 压浆材料中不应含有高碱（总碱量不应超过 0.75%）膨胀剂或以铝粉为膨胀源的膨胀剂。严禁掺入含氯盐类、亚硝酸盐类或其它对预应力筋有腐蚀作用的外加剂。

5 压浆材料中总氯离子含量不应超过胶凝材料总量的 0.06%。

7.7.2 孔道压浆浆体的强度、流动度、凝结时间、泌水率、膨胀率、含气量等性能应符合设计要求。当设计无要求时，对预应力混凝土梁应符合下列规定：

28d 强度：抗压 $\geq 50\text{MPa}$ ，抗折 $\geq 10\text{MPa}$ ；30min 流动度 $\leq 30\text{S}$ ；凝结时间：初凝 $\geq 4\text{h}$ ，终凝 $\leq 24\text{h}$ ；泌水率：24h 自由泌水率 0，压力泌水率 $\leq 3.5\%$ ；24h 自由膨胀率 0~3%；含气量 1%~3%。

7.7.3 孔道压浆前，应事先对采用的压浆材料进行试配验证。各种材料的称量应准确到 $\pm 1\%$ （均以质量计）。水胶比不应超过 0.33。

7.7.4 施工设备及称量精度应符合下列规定：

1 搅拌机的转速不低于 1000r/min，桨叶的最高线速度限制在 15m/s 以内。桨叶的形状应与转速相匹配，并能满足在规定的时间内搅拌均匀的要求；压浆机采用连续式压浆泵，其压力表的最小分度值不应大于 0.1MPa，最大量程应使实际工作压力在其 25%~75%量程范围内；储料罐应带有搅拌功能；过滤网空格不应大于 3mm \times 3mm；如选用真空辅助压浆工艺，真空泵应能达到 0.092MPa 的负压力。

2 在配制浆体拌和物时，各组分的称量应准确到 $\pm 1\%$ （均以质量计）。计量器具均应经法定计量检定合格，且在有效期内使用。

7.7.5 搅拌工艺应符合下列规定：

1 搅拌前，应先清洗设备。清洗后的设备内不应有残渣、积水。在压浆材料由搅拌机进入储料罐时，应经过滤网。

2 浆体搅拌操作顺序为：首先在搅拌机中先加入实际拌和水用量的 80%~90%，开动搅拌机，均匀加入除水泥外的全部压浆材料，边加入边搅拌，然后均匀加入全部水泥。全部粉料加入后再搅拌 2min；然后加入剩余的 10%~20%的拌和水，继续搅拌 2min。

3 搅拌均匀后，现场进行出机流动度试验，出机流动度范围应为 18S \pm 4S，每 10 盘进行一次检测，流动度符合标准后，即可通过过滤网进入储料罐。浆体在储料罐中应继续搅拌，以保证浆体的流动性。

4 对于因延迟使用导致流动度降低的浆体，不得通过加水来增加其流动

度。

7.7.6 压浆工艺应符合下列规定：

- 1 压浆前应清除梁体孔道内的杂物和积水。
- 2 压浆前，应采用密封罩或水泥浆等对锚具夹片空隙和其它可能漏浆处封堵，待封堵料达到一定强度后方可压浆。
- 3 压浆顺序先下后上，曲线孔道和竖向孔道宜从最低点的压浆孔压入，由最高点的排气孔排气或泌水。
- 4 浆体压入梁体孔道之前，应首先开启压浆泵，使浆体从压浆嘴排出少许，以排除压浆管路中的空气、水和稀浆。当排出的浆体流动度和搅拌罐中的流动度一致时，开始压入梁体孔道。
- 5 梁体纵向或横向孔道压浆的最大压力不宜超过 0.6MPa，当孔道较长或采用一次压浆时，最大压力宜为 1.0MPa；梁体竖向孔道压浆的压力宜为 0.3MPa~0.4MPa。压浆充盈度应达到孔道另一端饱满并于排气孔排出与规定流动度相同的浆体为止。关闭出浆口后，应保持 0.50MPa~0.60MPa 且不少于 3min 的稳压期。
- 6 应优先选用真空辅助压浆工艺。压浆前应首先进行抽真空，使孔道内的真空度稳定在-0.06MPa~-0.08MPa 之间。真空度稳定后，应立即开启管道压浆端阀门，同时开启压浆泵进行连续压浆。
- 7 同一孔道压浆应连续进行，一次完成。从浆体搅拌到压入梁体的时间不应超过 40min。
- 8 压浆后应从压浆孔和出浆孔检查压浆的密实情况，如有不实，应及时补灌，以保证孔道完全密实。
- 9 对于连续梁或者进行压力补浆时，应让孔道内水—浆悬液自由地从出口端流出。再次泵浆，直到出口端有均质浆体流出，0.5MPa 压力下保持 5min。此过程应重复 1~2 次。

7.7.7 终张拉完毕，应在 48h 内进行孔道压浆。移动预制混凝土构件时压浆强度必须符合设计要求，设计无要求时压浆强度应大于设计强度的 75%。

7.7.8 压浆时梁体、浆体及环境温度应符合下列规定：

1 压浆时的浆体温度应在 $5^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间，压浆时及压浆后 3d 内，梁体及环境温度不低于 5°C ，否则应采取保温措施，以满足要求。

2 在环境温度高于 35°C 时，应选择温度较低的时间（如夜间）压浆。

7.8 封锚（端）

7.8.1 孔道压浆完毕，经检查无不饱满情况，浆体已凝固后，应及时进行封锚（端）作业。

7.8.2 封锚（端）所用材料和质量应符合设计要求。设计无要求时，宜采用水胶比较梁本体混凝土小的干硬性混凝土或补偿收缩混凝土，其强度、耐久性应不低于梁本体混凝土。无砟轨道板封锚混凝土必须符合设计和相关标准的规定。

7.8.3 预应力混凝土梁封锚（端）施工应符合下列规定：

1 后张梁封锚（端）前应对锚具、锚垫板表面及外露钢绞线用聚氨酯防水涂料进行防水处理。预应力筋保护层厚度应符合设计要求。

2 折线配筋先张梁梁底转折器切割后外露面涂刷防锈剂，凹穴部分应采用与梁体混凝土色泽一致的环氧树脂混凝土封堵，其抗压强度不应低于设计要求，且不低于 40MPa 。

3 后张梁绑扎封锚（端）钢筋之前，应将锚垫板表面和锚环上的粘浆铲除干净，封锚（端）处的混凝土应进行凿毛处理，浮浆、灰渣等杂物应清理干净。

4 混凝土应捣固密实，无蜂窝麻面，及时抹面压光，封锚（端）后混凝土面与梁端面的错台不超过 2mm 。

5 封锚（端）混凝土应进行保湿保温养护，养护结束后，应按设计要求进行防水处理。

8 特殊混凝土（砂浆）

8.1 一般规定

8.1.1 特殊混凝土（砂浆）所用原材料和施工要求除符合本章规定外，尚应符合本指南第 6 章的有关规定。

8.1.2 特殊混凝土（砂浆）的施工应根据设计文件、施工条件及水文、地质、气象等不同情况，制定相应的施工技术措施，必要时在施工前进行工艺试验或模拟研究以保证工程质量。

8.1.3 特殊混凝土（砂浆）原材料的选择，应贯彻因地制宜、就近取材的原则。

8.2 大体积混凝土

8.2.1 大体积混凝土主要指混凝土结构实体最小几何尺寸不小于 1m，或预计会因混凝土中水泥水化引起的温度变化和收缩导致有害裂缝产生的混凝土。

8.2.2 配制大体积混凝土用材料宜符合下列规定：

- 1 水泥应优先选用质量稳定有利于改善混凝土抗裂性能， C_3A 含量较低、 C_2S 含量相对较高的水泥。
- 2 细骨料宜使用级配良好的中砂，其细度模数宜大于 2.3。
- 3 采用非泵送施工时粗骨料的粒径可适当增大。
- 4 应选用缓凝型的高效减水剂。

8.2.3 大体积混凝土配合比应符合下列规定：

- 1 大体积混凝土配合比的设计除应符合设计强度等级、耐久性、抗渗性、体积稳定性等要求外，尚应符合大体积混凝土施工工艺特性的要求，并应符合合理使用材料、降低混凝土绝热温升值的原则。

- 2 混凝土拌和物在浇筑工作面的坍落度不宜大于 160mm。
- 3 拌和水用量不宜大于 170kg/m^3 。
- 4 粉煤灰掺量应适当增加，但不宜超过水泥用量的 40%；矿渣粉的掺量不宜超过水泥用量的 50%，两种掺和料的总量不宜大于混凝土中水泥重量的 50%。
- 5 水胶比不宜大于 0.55。

8.2.4 当设计有要求时，可在混凝土中填放片石（包括经破碎的大漂石）。填放片石应符合下列规定：

- 1 可埋放厚度不小于 15cm 的石块，埋放石块的数量不宜超过混凝土结构体积的 20%。
- 2 应选用无裂纹、无水锈、无铁锈、无夹层且未被烧过的、抗冻性能符合设计要求的石块，并应清洗干净。
- 3 石块的抗压强度不低于混凝土的强度等级的 1.5 倍。
- 4 石块应分布均匀，净距不小于 150mm，距结构侧面和顶面的净距不小于 250mm，石块不得接触钢筋和预埋件。
- 5 受拉区混凝土或当气温低于 0°C 时，不得埋放石块。

8.2.5 大体积混凝土施工方案应包括下列主要内容：

- 1 大体积混凝土的模板和支架系统除应按国家现行标准进行强度、刚度和稳定性验算外，还应结合大体积混凝土的养护方法进行保温构造设计。
- 2 模板和支架系统在安装或拆除过程中，必须设置防倾覆的临时固定措施。
- 3 大体积混凝土结构温度应力和收缩应力的计算，参照附录 D 进行。
- 4 施工阶段温控指标和技术措施的确定。
- 5 原材料优选、配合比设计、制备与运输计划。
- 6 混凝土主要施工设备和现场总平面布置。

- 7 温控监测设备和测试布置图。
- 8 混凝土浇筑顺序和施工进度计划。
- 9 混凝土保温和保湿养护方法，其中保温覆盖层的厚度可根据温控指标的要求，参照附录 E 的方法计算。
- 10 主要应急保障措施。
- 11 岗位责任制和交接班制度，测温作业管理制度。
- 12 特殊部位和特殊气候条件下的施工措施。

8.2.6 大体积混凝土结构的温度、温度应力及收缩应进行试算，预测施工阶段大体积混凝土浇筑体的温升峰值，芯部与表层温差及降温速率的控制指标，制定相应的温控技术措施。对首个浇筑体应进行工艺试验，对初期施工的结构体进行重点温度监测。温度监测系统宜具备自动采集、自动记录功能。

8.2.7 大体积混凝土的浇筑应符合下列规定：

1 混凝土的入模温度（振捣后 50mm～100mm 深处的温度）不宜高于 28℃。混凝土浇筑体在入模温度基础上的温升值不大于 45℃。

2 大体积混凝土工程的施工宜采用分层连续浇筑施工（图 a）或推移式连续浇筑施工（图 b）。应依据设计尺寸进行均匀分段、分层浇筑。当横截面面积在 200m² 以内时，分段不宜大于 2 段；当横截面面积在 300m² 以内时，分段不宜大于 3 段，且每段面积不得小于 50m²。每段混凝土厚度应为 1.5m～2.0m。段与段间的竖向施工缝应平行于结构较小截面尺寸方向。当采用分段浇筑时，竖向施工缝应设置模板。上、下两邻层中的竖向施工缝应互相错开。

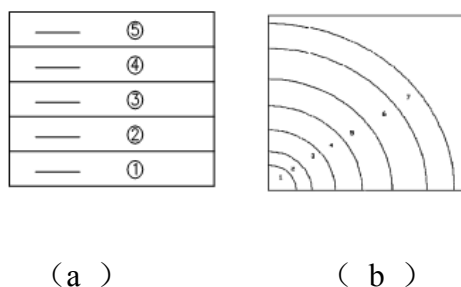


图 8.2.7 大体积混凝土施工

3 当采用泵送混凝土时，混凝土浇筑层厚度不宜大于 500mm；当采用非泵送混凝土时，混凝土浇筑层厚度不宜大于 300mm。

4 大体积混凝土施工采取分层间歇浇筑混凝土时，水平施工缝设置除应符合设计要求外，尚应根据混凝土浇筑过程中温度裂缝控制的要求、混凝土的供应能力、钢筋工程的施工、预埋管件安装等因素确定。

5 大体积混凝土在浇筑过程中，应采取措施防止受力钢筋、定位筋、预埋件等移位和变形。

6 大体积混凝土浇筑面应及时进行二次抹压处理。

8.2.8 大体积混凝土在每次混凝土浇筑完毕后，除按普通混凝土进行常规养护外，还应及时按温控技术措施的要求进行保温养护，并应符合下列规定：

1 保湿养护的持续时间，不得少于 28d。保温覆盖层的拆除应分层逐步进行，当混凝土的表层温度与环境最大温差小于 20℃时，可全部拆除。

2 保湿养护过程中，应经常检查塑料薄膜或养护剂涂层的完整情况，保持混凝土表面湿润。

3 在大体积混凝土保温养护中，应对混凝土浇筑体的芯部与表层温差和降温速率进行检测，当实测结果不满足温控指标的要求时，应及时调整保温养护措施。

4 大体积混凝土拆模后应采取预防寒流袭击、突然降温和剧烈干燥等养护措施。

8.2.9 大体积混凝土宜适当延迟拆模时间，当模板作为保温养护措施的一部分时，其拆模时间应根据温控要求确定。

8.2.10 大体积混凝土施工遇炎热、冬期、大风或者雨雪天气等特殊气候条件下时，必须采用有效的技术措施，保证混凝土浇筑和养护质量，并应符合下列规定：

1 在炎热季节浇筑大体积混凝土时，宜将混凝土原材料进行遮盖，避免

日光曝晒，并用冷却水搅拌混凝土，或采用冷却骨料、搅拌时加冰屑等方法降低入仓温度，必要时也可采取在混凝土内埋设冷却管通水冷却。混凝土浇筑后应及时保湿保温养护，避免模板和混凝土受阳光直射。条件许可时应避开高温时段浇筑混凝土。

2 冬期浇筑混凝土，宜采用热水拌和、加热骨料等措施提高混凝土原材料温度，混凝土入模温度不宜低于 5℃。混凝土浇筑后应及时进行保温保湿养护。

3 大风天气浇筑混凝土，在作业面应采取挡风措施，降低混凝土表面风速，并增加混凝土表面的抹压次数，及时覆盖塑料薄膜和保温材料，保持混凝土表面湿润，防止风干。

4 雨雪天不宜露天浇筑混凝土，当需施工时，应采取有效措施，确保混凝土质量。浇筑过程中突遇大雨或大雪天气时，应及时在结构合理部位留置施工缝，尽快中止混凝土浇筑；对已浇筑还未硬化的混凝土立即进行覆盖，严禁雨水直接冲刷新浇筑的混凝土。

8.2.11 大体积混凝土施工现场温控监测应符合下列规定：

1 大体积混凝土浇筑体内监测点的布置，应以能真实反映出混凝土浇筑体内最高温升、芯部与表层温差、降温速率及环境温度为原则。

2 监测点的布置范围以所选混凝土浇筑体平面图对称轴线的半条轴线为测试区，在测试区内监测点的布置应考虑其代表性按平面分层布置；在基础平面对称轴线上，监测点不宜少于 4 处，布置应充分考虑结构的几何尺寸。

3 沿混凝土浇筑体厚度方向，应布置外表、底面和中心温度测点，其余测点布设间距不宜大于 600mm。

4 大体积混凝土浇筑体芯部与表层温差、降温速率、环境温度及应变的测量，在混凝土浇筑后，每昼夜应不少于 4 次；入模温度的测量，每台班不少于 2 次。

5 混凝土浇筑体的表层温度，宜以混凝土表面以内 50mm 处的温度为准。

6 测量混凝土温度时，测温计不应受外界气温的影响，并应在测温孔内至少留置 3min。根据工地条件，可采用热电偶、热敏电阻等预埋式温度计检测混凝土的温度。

7 测温过程中宜及时描绘出各点的温度变化曲线和断面的温度分布曲线。

8.3 纤维混凝土

8.3.1 钢纤维混凝土的原材料应符合下列规定：

- 1 钢纤维的种类、规格、质量应符合设计要求。
- 2 配制钢纤维高强混凝土宜选用质地坚硬、级配良好的河砂，其细度模数不宜小于 2.4。
- 3 粗骨料应选用质地坚硬、级配良好的石灰岩、花岗岩、辉绿岩等碎石或碎卵石，粒径不宜大于 20mm 和钢纤维长度的 2/3。
- 4 当粗骨料粒径大于 20mm 时，应选用适宜的纤维，并经试验检测达到设计要求后方可使用。

8.3.2 钢纤维混凝土配制应符合下列规定：

- 1 钢纤维混凝土应满足结构设计对强度等级（包括抗压强度、抗拉强度、弯曲韧度比等）的要求。
- 2 钢纤维混凝土的钢纤维体积率应根据设计要求确定；当设计无要求时，不应小于 0.35%；对高强度（抗拉强度不低于 1000MPa）的异形钢纤维不应小于 0.25%；钢纤维预应力混凝土中钢纤维用量宜为 80kg/m³。
- 3 钢纤维混凝土的水胶比不宜大于 0.50，对于耐久性为主要要求的钢纤维混凝土不得大于 0.45，每方混凝土的水泥用量（或胶凝材料总用量）不宜

小于 360kg。

4 钢纤维混凝土的稠度可参照同类工程对普通混凝土所要求的稠度确定，其坍落度值可比相应普通混凝土要求值小 20mm，其维勃稠度值与相应的普通混凝土要求值相同。

8.3.3 钢纤维混凝土搅拌应符合下列规定：

- 1 钢纤维混凝土宜采用带有布料装置的纤维混凝土专用搅拌机搅拌。
- 2 搅拌工艺应确保钢纤维在拌和物中分散均匀，不产生结团，宜优先采用将钢纤维、水泥、粗细骨料先干拌而后加水湿拌的方法。

3 钢纤维混凝土投料顺序、搅拌方法和搅拌时间应通过现场匀质性试验确定。其搅拌时间应较普通混凝土适当延长 1min~2min。

8.3.4 钢纤维混凝土浇筑方法应保证钢纤维的分布均匀性和结构的连续性。

8.3.5 合成纤维混凝土用纤维的种类、规格、质量应符合设计要求。

8.3.6 合成纤维混凝土配制应符合下列规定：

1 合成纤维的体积率应符合设计要求；设计无要求时，宜在 0.05%~0.3% 的范围内选取。

2 合成纤维混凝土的坍落度可比普通混凝土相应要求降低。当坍落度不满足要求时，可调整外加剂或在保持水胶比不变的条件下适当增加用水量。

8.3.7 合成纤维混凝土施工应符合下列规定：

1 合成纤维混凝土搅拌时间应通过现场搅拌试验确定，并应较普通混凝土规定的搅拌时间适当延长 40s~60s，以确保纤维在混凝土拌和物中分散均匀。

2 采用平板振捣器捣实，振捣时间为 20s 左右并无可见空洞为止。

3 混凝土接近初凝时方可进行抹面，抹面应光滑，抹面时不得加水，抹面次数不宜过多。

8.4 喷射混凝土

8.4.1 喷射混凝土宜优先选用湿喷工艺。

8.4.2 喷射混凝土原材料应符合下列规定：

1 喷射混凝土应采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，必要时可采用特种水泥。

2 喷射混凝土所用细骨料细度模数应大于 2.5，砂中小于 0.075mm 的颗粒应不大于 20%。

3 喷射混凝土所用粗骨料最大粒径不宜大于 16mm，当使用短纤维时，最大粒径不宜大于 10mm，并宜采用连续粒级。

4 速凝剂应采用质量稳定的产品，其与水泥应有良好的相容性，性能指标应符合相关标准的规定。速凝剂的掺量不宜大于水泥用量的 5%。**5** 喷射混凝土可根据需要掺入其它外加剂，其掺量通过试验确定。

8.4.3 喷射混凝土的配合比设计应根据原材料性能、喷射工艺和设计要求通过试验选定，并应符合下列规定：

1 胶骨比宜为 1:4~1:5。

2 水胶比宜为 0.40~0.50。

3 砂率宜为 45%~60%。

4 水泥用量不宜小于 400kg/m³。

8.4.4 喷射混凝土宜采用强制式搅拌机搅拌，其搅拌时间应不小于 1.5 min。当掺用纤维时，其搅拌时间应通过现场匀质性试验确定。喷射混凝土拌和物宜随拌随用，停放时间不得大于 30min。在运输、存放过程中不得淋雨、浸水及混入杂物。

8.4.5 喷射混凝土前，应对受喷岩面进行处理，检查机具设备和风、水、电等管线路，并试运转。

8.4.6 喷射混凝土作业应符合下列规定：

1 应分段、分层由下而上顺序喷射，每段长度不宜大于 6 m。当岩面有较大凹洼时应先将凹洼处喷平。喷在岩面上的混凝土表面应无滑移下坠现象。一次喷射厚度可根据喷射部位经现场试验确定。

2 喷嘴宜与喷射面垂直，其间距宜为 0.6m~1.8m。喷嘴应连续、缓慢作横向环形移动，喷层厚度应均匀。

3 分层喷射时，后层混凝土应在前层混凝土终凝 1h 后，先用风、水清洗喷层表面后再喷射。

4 喷射过程中应检查混凝土的回弹率。喷射混凝土的回弹率侧壁应不大于 15%，拱部应不大于 25%。

5 喷射作业的环境温度不得低于 5℃；喷射混凝土作业区内应具有良好通风和照明条件。喷射作业时粉尘含量不得大于 2mg/m³。

6 喷射作业完成后应及时进行厚度检测，不符合要求要及时补喷。

8.4.7 钢纤维喷射混凝土施工应符合下列规定：

1 采用钢纤维喷射混凝土做初期支护时，应根据围岩地质条件确定喷层厚度；应满足围岩的地质条件、变形量级和工程类型要求的韧度指标。喷层厚度不宜大于 150mm。

2 用于喷射混凝土的钢纤维，应根据喷射工艺特点确定其施工参数，并满足下列规定：

1) 钢纤维不得有明显的锈蚀和油渍及其它妨碍钢纤维与水泥粘结的杂质；钢纤维内含有的因加工不良造成的粘连片、表面严重锈蚀的纤维、铁锈粉等杂质的总重量不应超过钢纤维重量的 1%。

2) 钢纤维断面直径(或等效直径)应为 0.3mm~0.8mm，长度应为 20mm~35mm，并不得大于输料软管以及喷嘴内径的 0.7 倍，长径比为 30~80，长度偏差不应超过长度公称值的±5%。

3) 钢纤维抗拉强度应符合设计要求。

4) 钢纤维掺量的设计应考虑到喷射时钢纤维混凝土各组分回弹率不同的影响, 以喷射到岩面上的钢纤维混凝土中钢纤维的实际含量作为依据。钢纤维喷射混凝土的钢纤维实际含量不宜大于 $78.5\text{kg}/\text{m}^3$ (体积率 1.0%)。最小含量可依据钢纤维的长径比参照表 8.4.7 选用。

表 8.4.7 钢纤维混凝土中钢纤维的最小实际含量要求

钢纤维的长径比	40	45	50	55	60	65	70	75	80
最小实际含量(kg/m^3)	65	50	40	35	30	25	20	20	20
最小实际体积率	0.83	0.64	0.51	0.45	0.38	0.32	0.25	0.25	0.25

5) 钢纤维喷射混凝土的强度等级应满足设计要求。

6) 钢纤维喷射混凝土用骨料应采用连续级配, 粗骨料最大粒径不宜大于 10mm, 砂率不应小于 50%。

7) 钢纤维喷射混凝土的原材料中宜加入矿渣粉或粉煤灰等活性掺和料。设计无要求时, 矿渣粉的掺量可为水泥重量的 5%~15%, 粉煤灰的掺量可为水泥重量的 15%~30%。掺和料掺量的选择应通过试验确定。

8) 钢纤维喷射混凝土宜采用无碱速凝剂, 其掺量应根据试验确定, 通常为水泥用量的 2%~5%; 如掺入高效减水剂或增塑剂, 其品种和剂量应通过试验确定, 并应经现场试喷检验。

3 钢纤维喷射混凝土的配合比设计应遵循下列原则:

- 1) 根据钢纤维喷射混凝土抗压强度要求确定水胶比。
- 2) 根据弯曲韧度比和弯拉强度要求确定钢纤维掺量。
- 3) 根据和易性和输料性能确定水、水泥及外加剂用量。
- 4) 根据骨料粒径和级配、砂的细度及和易性确定砂率。

4 钢纤维喷射混凝土的搅拌应符合下列规定:

- 1) 钢纤维称量允许偏差按重量计为 $\pm 1\%$ 。
- 2) 钢纤维喷射混凝土的搅拌工艺应确保钢纤维在拌和物中分散均匀, 不产生结团, 宜优先采用将钢纤维、水泥、粗细骨料先干拌后加水湿拌的方法,

且干拌时间不得少于 1.5min；也可采用先投放水泥、粗细骨料和水，在拌和过程中分散加入钢纤维的方法，必要时采用钢纤维播料机均匀地分散到混合料中，不得成团。

3) 钢纤维混凝土的搅拌时间应通过现场匀质性试验确定，并应较普通混凝土规定的搅拌时间延长 1min~2min。采用先干拌后加水的搅拌方式时，干拌时间不宜少于 1.5min，搅拌时间不宜小于 3min。

5 在钢纤维喷射混凝土的表面宜再喷射一层厚度为 10mm 的水泥砂浆，其强度等级不应低于钢纤维喷射混凝土。

8.4.8 合成纤维喷射混凝土施工应符合下列规定：

- 1 喷射混凝土中的合成纤维宜采用聚丙烯纤维。
- 2 合成纤维应具有良好的耐酸、碱性和化学稳定性，并经改性处理，具有良好的分散性，不结团。
- 3 合成纤维抗拉强度应符合设计要求；当设计无要求时，长度宜为 12mm~19mm。
- 4 合成纤维掺量应通过试验确定。在无特殊要求情况下，常用掺量为 $0.8\text{ kg/m}^3 \sim 1.2\text{ kg/m}^3$ 。
- 5 搅拌时间宜为 4min~5min。搅拌完成后随机取样，如纤维已均匀分散成单丝，则混凝土可投入使用，若仍有成束纤维，则至少延长搅拌时间 30s 才可使用。
- 6 喷射合成纤维混凝土的水胶比宜为 0.35~0.45。

8.4.9 喷射混凝土养护应符合下列规定：

- 1 喷射混凝土终凝 2h 后，应喷水养护，时间不得少于 14d。
- 2 气温低于 5℃ 时不得喷水养护。

8.4.10 喷射混凝土的作业场所应有防冻保温措施；喷射混凝土作业环境温度和拌和物进入喷射机的温度均不应低于 5℃。

8.5 特细砂混凝土

8.5.1 特细砂混凝土不得用于梁、拱、轨道板和有抗冲刷、抗磨（水位变化范围）、抗冻和抗腐蚀要求的工程。配制 C30 及以上强度等级的混凝土，宜采用特细砂与中粗砂（人工砂）组成的混合砂。

8.5.2 特细砂混凝土所用砂细度模数应为 0.7~1.5，不允许含有泥块；其它材料指标应符合本指南第 6.3 节的相关规定。

8.5.3 特细砂混凝土的配制应符合下列规定：

- 1 应采用低砂率，其用砂量可较中、细砂混凝土减少 15%~30%。
- 2 宜配制低流动性混凝土。配制坍落度大于 50mm 的特细砂混凝土时，应采取措施严格控制单位用水量，并对混凝土各项性能进行试验确认。
- 3 宜采用级配良好、空隙率小的粗骨料。
- 4 宜掺加机制砂，以改善混凝土性能。

8.5.4 特细砂混凝土搅拌时间应比中、细砂混凝土延长 1min~2min。

8.5.5 特细砂混凝土应在终凝前适时进行第二次压实抹面。

8.5.6 特细砂混凝土在终凝后应立即进行保湿养护，养护开始时间不宜迟于浇筑完成后 12h，养护时间不少于 14d。

8.6 补偿收缩混凝土

8.6.1 补偿收缩混凝土宜用于混凝土结构自防水、工程接缝填充、采取连续施工的超长混凝土结构、大体积混凝土等工程。以钙钒石作为膨胀源的补偿收缩混凝土，不得用于长期处于环境温度高于 80℃ 的钢筋混凝土工程。

8.6.2 补偿收缩混凝土所用原材料除应符合本指南第 6.3 节规定外，还应符合下列规定：

- 1 细骨料宜选用细度模数大于 2.5 的中砂。
- 2 膨胀剂技术要求应符合国家现行标准《混凝土膨胀剂》（JC476）的规

定，并与水泥进行相容性试验。不得使用高碱膨胀剂（总碱量超过膨胀剂质量 0.75%）或以铝粉为膨胀源的膨胀剂。

8.6.3 补偿收缩混凝土配制除应符合本指南第 6.5 节的相关规定外，尚应符合下列规定：

1 补偿收缩混凝土的配合比设计应满足设计所需的强度、膨胀性能、耐久性能等技术指标和施工工艺性能要求。

2 补偿收缩混凝土应根据混凝土使用的环境条件选择适宜的膨胀剂，其掺量应根据设计要求的限制膨胀率经试验后确定，配合比试验的限制膨胀率应比设计值高 0.005%。

3 补偿收缩混凝土宜采用较大的砂率，较小的坍落度，混凝土水胶比不宜大于 0.50。

4 补偿收缩混凝土限制膨胀率指标和最小胶凝材料用量应符合表 8.6.3 的规定。

表 8.6.3 补偿收缩混凝土的限制膨胀率指标和最小胶凝材料用量

用 途	限制膨胀率 (10^{-4})	限制收缩率 (10^{-4})	最小胶凝材料 用量 (kg/m^3)
	水中 14d	空气中 28d	
用于补偿混凝土收缩	≥ 1.5	≤ 3.0	300
用于后浇带、膨胀加强带和工程接缝填充	≥ 2.5	≤ 3.0	350

8.6.4 补偿收缩混凝土在搅拌时应注意投料顺序，宜先投入细骨料、胶凝材料、膨胀剂，搅拌均匀后投入粗骨料，搅拌一定时间再投入其它外加剂和水直至搅拌均匀。其搅拌时间应通过现场工艺试验确定。

8.6.5 施工补偿收缩混凝土的模板及支（拱）架应有足够的强度和刚度，能够承受混凝土补偿收缩产生的应力。

8.6.6 补偿收缩混凝土的浇筑应符合下列规定：

1 浇筑前应制定浇筑计划，检查膨胀加强带和后浇带，其设置应符合设

计要求，浇筑部位应清理干净。

2 当施工中因遇到雨、雪、冰雹需留施工缝时，对新浇混凝土部分应立即用塑料薄膜覆盖；当出现混凝土已硬化的情况时，应先在其上铺设 30mm～50mm 厚的同配合比无粗骨料的膨胀水泥砂浆，再浇筑混凝土。

3 当超长的板式结构采用膨胀加强带取代后浇带时，应根据所选膨胀加强带的构造形式，按规定顺序浇筑。间歇式膨胀加强带和后浇式膨胀加强带浇筑前，应将先期浇筑的混凝土表面清理干净，并充分湿润。

4 板式结构混凝土应在终凝前采用机械或人工的方式，对混凝土表面进行多次抹压。

8.6.7 补偿收缩混凝土在浇筑完成后应及时进行潮湿保水养护，有条件时应采用蓄水养护。在硬化过程中必须加以保护，其暴露面保湿养护时间不得低于 14d。冬期施工养护时，混凝土表面不得直接洒水，可用塑料薄膜进行保温保湿养护。

8.6.8 补偿收缩混凝土应适当延迟拆模时间，其拆模时间不宜早于 3d；冬期施工时，构件拆模时间应延长至 7d 以上。

8.7 无砂透水混凝土

8.7.1 无砂透水混凝土用粗骨料针、片状颗粒含量不应大于 5%。

8.7.2 无砂透水混凝土配制水泥用量宜为 $250\text{kg/m}^3 \sim 350\text{kg/m}^3$ ，粗骨料用量宜为 $1400\text{kg/m}^3 \sim 1600\text{kg/m}^3$ ，水胶比不宜大于 0.50。

8.7.3 无砂透水混凝土应采用强制式搅拌，适当延长搅拌时间。

8.7.4 无砂透水混凝土在浇筑时不得采用强烈振捣或夯实。

8.7.5 无砂透水混凝土应加强早期养护，混凝土浇筑完成后及时用塑料薄膜覆盖表面并开始洒水养护。养护时间不宜少于 7d。

8.8 气密性混凝土

8.8.1 气密性混凝土的透气系数应符合设计或相关标准要求；当设计无要求时，透气系数应不大于 $1.0 \times 10^{-11} \text{cm/s}$ 。

8.8.2 气密性混凝土原材料应符合下列规定：

1 选用级配合理、质地均匀坚固、吸水率低、空隙率小的洁净天然河砂，砂的细度模数不宜小于 2.6。

2 选用坚固性优良、含泥量小、连续级配、坚硬耐久的石子，石子的最大粒径应不大于 31.5mm，针片状颗粒含量应不大于 8%。

8.8.3 气密性混凝土的配合比设计应符合下列规定：

1 应掺加硅灰、粉煤灰或复合掺和料。

2 混凝土的水胶比不宜大于 0.45，胶凝材料用量不宜小于 330kg/m^3 。

3 配制气密性混凝土砂率不宜小于 36%，在满足混凝土其它性能指标的条件下尽可能选择较大的砂率。

4 混凝土拌和物的含气量不宜大于 2%。

5 二衬泵送混凝土坍落度宜为 180mm~220mm，罐车运输、吊斗提升的混凝土坍落度宜为 80mm~120mm。

8.8.4 气密性混凝土施工应符合下列规定：

1 投料顺序宜先将水泥、掺和料、细骨料干拌 1.5min，至拌和均匀后加入粗骨料、水、外加剂，再搅拌 1.5min~2min 至混凝土均匀一致为止。

2 应采用机械振捣。采用插入式振捣器振捣时，应采用斜向振捣，不宜采用垂直振捣。

3 浇筑完毕后应及时进行保温保湿养护，避免或尽量减少混凝土裂纹。连续养护时间不得少于 28d，并应避免在 5℃ 以下施工。

8.8.5 气密性混凝土施工缝必须严格按设计要求进行处理。施工缝应严密平整，不得有蜂窝、空洞、疏松裂缝等现象。

8.9 纤维增强砂浆（活性粉末混凝土）

8.9.1 纤维增强砂浆所用原材料和主要性能指标应符合设计要求。

8.9.2 纤维增强砂浆配制应符合下列规定：

1 配合比设计时应根据设计使用年限、环境类别及作用等级、设计强度等级等条件，依据有关规定选定材料力学性能指标与耐久性指标。

2 配合比设计时应遵循下列原则：

1) 选用低水化热和较低含碱量的水泥，避免使用早期强度高的水泥和高 C_3A 含量的水泥。

2) 选用优质高效减水剂，用低的拌和用水量。

3) 在材料组成中宜掺入适量优质矿物掺和料。

4) 水胶比应控制在 0.2 以下，坍落度宜控制在 80mm~120mm。

8.9.3 纤维增强砂浆的拌和及运输应符合下列规定：

1 纤维增强砂浆应选用立轴行星式搅拌机拌和，搅拌速度应不低于 45r/min。

2 在配制纤维增强砂浆拌和物时，超细活性粉末或复合掺和料、水泥均以干燥状态的质量计，称量应准确到 $\pm 1\%$ ；骨料采用干燥骨料，用量按质量计，称量应准确到 $\pm 1.5\%$ ；水、外加剂用量按质量计，称量应准确到 $\pm 0.5\%$ 。

3 投料顺序应为砂、钢纤维、水泥、超细活性粉末或复合掺和料、水、外加剂，干料先预搅拌 4min，加水、外加剂再搅拌 3min 以上，总搅拌时间不得短于 7min。

4 运输设备采用斗车、吊斗等，运输距离一般不宜超过 500m，运输时间与静停时间累加不超过 20min，运输过程拌和物表面需覆盖，防止水分散失。

8.9.4 纤维增强砂浆的浇筑应符合下列规定：

1 拌和物浇筑宜从构件的一侧浇筑，逐步向另一侧移动。对于纤维增强砂浆用量小于 $0.1m^3$ 的单个构件，应一次浇筑成型。

2 应根据构件的结构形式与形状确定纤维增强砂浆振捣方式。小型薄壁构件以台式振捣为主，辅助插入式振捣；复杂形状或大截面密配筋构件一般以插入式振捣为主、附着式振捣器为辅配合使用，钢筋密集部位宜加强侧振或采用小直径插入式振捣棒加强振捣。

3 纤维增强砂浆自加水搅拌时起，至浇筑前时间不宜超过 30min。

4 纤维增强砂浆应一次装满模具，连续浇筑，应具有良好的密实度。

5 构件在浇筑过程中，应随机抽样制作试件。试件应随构件或同条件下振动成型，并随构件同条件养护。

8.9.5 纤维增强砂浆搅拌、运输、浇筑及构件静停应在 10℃ 以上的环境下进行。当环境平均气温低于 10℃ 或最低气温低于 5℃ 时，应按冬期施工办理，砂浆入模温度宜控制在 10℃~30℃。

8.9.6 纤维增强砂浆构件养护分静停、初养、终养及自然养护等四个阶段，蒸汽养护时温度宜采用自动控制系统。养护应符合下列规定：

1 静停：在静停区域成型面表面用塑料薄膜覆盖。静停环境温度应不低于 18℃、相对湿度不低于 60%，静停时间不少于 6h。

2 初养：静停完毕的构件搬运至养护窑或养护坑，成型面表面需用塑料薄膜覆盖；通过蒸汽或散热器加热养护间内环境温度，升温速度应控制在 12℃/h 以内，升温至 45℃ 保持恒温 24h（或同条件养护试件抗压强度达到 30 MPa 时间为准），再以 15℃/h 以内的速度降温至构件表面温度与环境温度相差不超过 20℃ 时，可以出窑（或坑）拆模；初养过程环境相对湿度应保持在 70% 以上。

3 终养：拆模后的构件搬运至养护窑或养护坑，码垛进行蒸汽养护；终养过程分为升温、恒温、降温三个阶段，升温速度不应大于 12℃/h，降温速度不应大于 15℃/h；恒温温度应控制在 75℃±5℃，恒温养护时间不应少于 48 h（或同条件养护试件抗压强度达到设计强度为准）；撤除保温设施时，构

件表面温度与环境温度之差不应超过 20℃。

4 自然养护：构件终养结束后需自然养护，环境平均气温高于 10℃时，应对构件进行洒水养护，时间不应少于 7d；当环境平均气温低于 10℃或最低气温低于 5℃时，应按冬期施工办理，采取保温措施。

8.9.7 纤维增强砂浆构件拆模不得损坏构件外观和造成构件主体损伤。拆模时构件温度与环境温差不得大于 20℃。采用蒸汽养护工艺时，拆模时同条件试件抗压强度不宜低于 30MPa，且成型结束至蒸汽养护开始时间不宜超过 48h。

8.10 桥梁支座砂浆

8.10.1 桥梁支座砂浆分自流平砂浆和干硬性砂浆两类。

8.10.2 桥梁支座砂浆的原材料应符合下列规定：

- 1 自流平砂浆原材料质量应符合设计及相关标准的要求。
- 2 干硬性砂浆原材料质量应符合本指南第 6.3.1、6.3.3、6.3.5、6.3.7 和 8.6.2 条的规定。

8.10.3 桥梁支座砂浆施工准备应符合下列规定：

- 1 施工前应制定施工技术方案，并经审查批准。
- 2 应准备搅拌机具、灌浆设备、模板及养护物品等。
- 3 灌注前应将与灌注材料接触的支座底部和混凝土基础表面清理干净，不得有碎石、浮浆、浮灰、油污和脱模剂等杂物。灌注前 24h，混凝土基础表面应充分湿润，灌注前 1h，清除积水。

- 4 模板顶部标高应高出支座底座上表面 50mm。

8.10.4 桥梁支座砂浆材料的配制应符合下列规定：

- 1 所需材料的配料称量偏差，按重量计不得超过±1%。
- 2 应采用立轴式砂浆搅拌机拌和，搅拌时间不少于 3min。

3 拌和地点应靠近灌注地点。

4 现场使用时，严禁在水泥基灌浆材料中掺入任何外加剂、外掺料。

8.10.5 自流平砂浆进行灌注时应符合下列规定：

1 灌注施工不易直接灌入时，宜采用高位流槽辅助施工。

2 经检测合格的砂浆宜静止 3min 后，从一侧灌浆，直至另一侧溢出为止。不得从相对两侧同时进行灌浆。

3 灌注开始后，必须连续进行，不能间断，并尽可能缩短灌浆时间。

4 灌注层厚度不宜超过 100mm。

5 砂浆灌注宜高出支座 5mm，停止灌注后应观察砂浆是否有下沉分层现象。

6 灌注结束后，采用麻袋或草垫进行覆盖，砂浆凝结后，及时洒水养护，养护时间不得低于 3d。

7 气温高于 35℃时，应采取降温措施，降低砂浆干料和拌和水温度，砂浆灌注时入模温度不得大于 30℃；如锚固螺栓孔较大，可先灌注锚栓孔，然后灌注平面支座垫石。

8 冬季低温条件或负温条件下施工时，宜用电热毯对支座进行预加热和覆盖；支座砂浆干料不能长时间直接置于寒冷环境下，必须做好保温措施，拌和可用温水，但水温不得超过 50℃，入模温度不得小于 20℃。

9 制作同条件下的检查试件，强度满足设计要求后，才能拆除千斤顶支点。

8.10.6 干硬性砂浆施工时应符合下列规定：

1 应清除支承垫石表面粉尘、油污和其它污垢等不利于粘结的物质，并用清水湿润基面至饱和，但铺砂浆时不得有积水。

2 T 梁落梁前，先在支承垫石顶面铺一层 20mm~30mm 厚的干硬性无收缩砂浆，砂浆顶面铺成中间略高于四周的形状。

3 相应锚栓孔内也捣满干硬性砂浆；具体铺设厚度根据支座标高确定。

4 砂浆施工完后应及时洒水养护。冬季施工时应采取保温措施，确保砂浆不受冻。

8.10.7 自流平砂浆达到拆模时间后，砂浆表面温度和环境温度差不得大于20℃。

9 防腐蚀强化措施施工

9.1 一般规定

9.1.1 防腐蚀强化措施施工应满足设计要求。当设计无要求时，应满足本章的相关规定。

9.1.2 当采用本指南未涉及到的防腐蚀强化措施施工时，应经过试验并履行相关评审程序后方可用于正式施工。

9.2 混凝土表面涂层

9.2.1 混凝土表面涂层涂装前应对混凝土表面进行处理。用水泥砂浆或与涂层涂料相容的填充料修补蜂窝、露石等明显的缺陷，用钢铲刀清除表面碎屑及不牢固的附着物。用汽油等适当溶剂抹除油污，最后应用清洁水冲洗，使处理后的混凝土表面无露石、蜂窝、碎屑、油污、灰尘及不牢附着物等。

9.2.2 涂装工艺应符合下列规定：

- 1** 涂料及辅料必须有产品出厂检验合格证书，且应在有效期内使用。
- 2** 对各种进场涂料应取样检验及保存样品，并应按国家现行标准《涂料比重测定法》(GB1756)和《涂料固体含量测定法》(GB1729)的有关规定测定涂料的比重、固体含量和湿膜与干膜厚度的关系。
- 3** 各种涂料的使用应按产品说明书规定的方法进行。
- 4** 涂装方法应根据涂料的物理性能、施工条件、涂装要求和被涂结构的情况进行选择。宜采用高压无气喷涂，当条件不允许时，可采用刷涂或滚涂。
- 5** 涂装前应在表干区、表湿区各找 10m² 面积的试验区，按第 9.2.1 条的要求处理表面，按涂层系统设计的配套涂料要求进行涂装试验。涂装试验时，应测定各层涂料耗用量(L/m²)和湿膜的厚度，涂层经 7d 自然养护后用显微镜

式测厚仪测定其平均干膜厚度。随机找三个点，用拉脱式涂层粘结力测试仪测定其涂层的粘结强度。各种测定值应作记录。

6 当涂层粘结强度不能达到 1.5MPa 时，应按上述第 5 款的要求，另找 20m² 试验区重做涂装试验。如果仍不合格，应重新做涂层配套设计并经试验验证。

7 涂装应在无雨的天气进行。涂装过程中应做好施工记录。

9.2.3 涂层的质量控制应符合下列规定：

1 施工时，应对每一道工序进行质量检查。

2 应按设计要求和经试验验证的涂装道数和涂膜厚度进行施工，用湿膜厚度仪检查湿膜厚度，以控制涂层的最终厚度及其均匀性。

3 涂装施工时应检查涂层湿膜的表面状况，当发现漏涂、流挂等情况时，应及时进行处理。每道涂装施工前应对上道涂层进行检查。

4 涂装完成后应进行涂层外观检查。涂层表面应均匀，无气泡、裂缝等缺陷。

5 涂装完成 7d 后，应进行涂层干膜厚度测定。每 50m² 面积随机检测一个点，测点总数应不少于 30 个。平均干膜厚度应不小于设计干膜厚度，最小干膜厚度应不小于设计干膜厚度的 75%。当不符合上述要求时，应根据情况进行局部或全面补涂，直至达到要求的厚度。

9.3 环氧涂层钢筋施工

9.3.1 采用环氧涂层钢筋的混凝土，不得采用外加电流阴极保护。

9.3.2 环氧涂层钢筋的原材料、加工工艺、质量检验方法及验收标准应符合国家现行标准《环氧树脂涂层钢筋》（JG3042）的有关规定。

9.3.3 环氧涂层钢筋的包装、标志、搬运和存放除应符合国家现行标准《环氧树脂涂层钢筋》（JG3042）的有关规定外，尚应符合下列规定：

1 环氧涂层钢筋施工中应减少吊装次数，宜采用集装箱运输。

2 环氧涂层钢筋的吊装应采用不损伤环氧涂层的绑带、麻绳索及多吊点的刚性吊架，或坚固的多点承托，接触环氧涂层钢筋的区域应设置垫片，不得在地上和其它钢筋上拖曳、掉落或承受冲击荷载。

3 环氧涂层钢筋堆放时，其与地面之间应架空并设置保护性支承，各捆环氧涂层钢筋之间应用垫木隔开，支承的间距和垫木的间距应小到足以防止成捆钢筋的下垂，成捆堆放层数不得超过 5 层，无涂层钢筋与环氧涂层钢筋应分别堆放。

4 环氧涂层钢筋现场存放期不宜超过 6 个月。当环氧涂层钢筋在室外存放的时间需要 2 个月以上时，应采取保护措施，避免阳光、盐雾和大气的影

9.3.4 环氧涂层钢筋的每道施工工序均应检验环氧涂层缺陷，严格限制环氧涂层钢筋出现过多的缺陷，每米涂层钢筋上小于 25mm^2 的涂层缺陷总面积不得超过钢筋表面积的 0.1%。

9.3.5 剪切与冷弯环氧涂层钢筋时，所有接触环氧涂层钢筋的支座和芯轴等接触区均应配尼龙套筒或其它合适的塑料套筒。

9.3.6 绑扎环氧涂层钢筋时，不得采用无涂层钢筋。支承环氧涂层钢筋的垫块和绑扎环氧涂层钢筋的铁丝应采用尼龙、环氧、塑料或其它材料包裹。同一构件中，环氧涂层钢筋与无涂层钢筋不得有电连接。

9.3.7 环氧涂层钢筋绑扎后，不宜在其上走行人员和施工机具，施工作业必需时应采取可靠的保护措施，并应防止工具或重物跌落其上，以免损伤环氧涂层。浇筑混凝土前，应检查环氧涂层钢筋的涂层，尤其是剪切端头处，如有损伤应及时修补，待修补材料固化后，方可浇筑混凝土。

9.3.8 浇筑混凝土时，宜采用附着式振捣器振捣密实。当采用插入式振捣器时，应用塑料或橡胶包覆振捣器，防止振捣混凝土过程中损伤环氧涂层。现场多次浇筑成整体或预制混凝土构件的外露环氧涂层钢筋应采取措施，避免

阳光曝晒。

9.3.9 环氧涂层钢筋的涂层厚度、连续性和柔韧性应符合下列规定：

1 固化、无破损的环氧涂层厚度应为 $180\mu\text{m}\sim 300\mu\text{m}$ 。在每根被测钢筋的全部厚度记录值中，应有不少于 95% 的厚度记录值在上述规定范围内，且不得有低于 $130\mu\text{m}$ 的厚度记录值。

2 应在进行弯曲试验前检查环氧涂层的针孔数，每米长度上检测出的针孔数不应超过 4 个，且不得有肉眼可见的裂缝、孔隙、剥离等缺陷。

3 环氧涂层钢筋弯曲后，应检查弯曲外凸面的针孔数，每米长度上检查出来的针孔数不应超过 4 个，且不得有肉眼可见的裂缝、孔隙、剥离等缺陷。

9.3.10 环氧涂层的修补应符合下列规定：

1 在环氧涂层的任一点上，当涂层脱开、剥离或损伤到下列程度时，不得修补和使用：

1) 一点上的面积大于 25mm^2 ，或长度大于 50mm，其中不包括钢筋剪切端头的修补面积。

2) 1m 长度内有 3 个点以上，即使每个点的面积小于 25mm^2 ，或长度小于 50mm。

3) 环氧涂层钢筋剪切或弯曲影响区涂层有 6 个点以上的损伤。

2 环氧涂层钢筋在搬运、加工、焊接、绑扎过程中造成的涂层损伤应按下列规定进行修补：

1) 加工过程中受到剪切、锯割或工具切断时的切断头，与焊接烧伤及热影响区，均应在切断或损伤后 2h 内及时修补。

2) 修补应采用环氧涂层钢筋生产厂家提供的材料。

3) 修补前，应除尽不粘着的涂层和修补处的锈迹。

4) 当修补时的环境相对湿度大于 85% 时，应以电热吹风机适当加热。

5) 修补时，涂抹修补材料与已有牢固涂层的搭接范围应适当，不宜使

已有的牢固涂层过量增厚。

6) 修补涂层厚度不得少于 $180\ \mu\text{m}$ 。

9.4 钢筋阻锈剂的应用

9.4.1 下列情况下宜在混凝土中掺加钢筋阻锈剂：

- 1 因条件所限，混凝土构件的保护层偏薄。
- 2 因条件所限，混凝土氯离子含量超过规定。
- 3 恶劣环境中的重要工程，要求进一步提高混凝土的护筋性。

9.4.2 施工前应按下列规定对钢筋阻锈剂的品质进行确认：

- 1 钢筋阻锈剂对混凝土的主要物理、力学性能无不利影响。
- 2 钢筋阻锈剂能有效抑制钢筋脱钝，防止钢筋锈蚀。
- 3 钢筋阻锈剂在混凝土中能长期保持稳定。

9.4.3 使用钢筋阻锈剂应事先经过试配和适应性试验；钢筋阻锈剂与其它外加剂联合使用时，在搅拌时需首先加入钢筋阻锈剂后再加入其它外加剂，搅拌时间可延长 $1\text{min}\sim 3\text{min}$ ，以便钢筋阻锈剂能在混凝土中均匀分布。

9.4.4 在氯盐环境中，掺入型（粉剂）钢筋阻锈剂的用量（ kg/m^3 混凝土）应是结构使用年限内侵入混凝土中钢筋表面氯盐量（以 NaCl 计， kg/m^3 混凝土）的 1.2 倍。

9.4.5 混凝土拌和物的氯化物含量超过规定值需掺加阻锈剂时，应进行阻锈剂掺量的验证试验，并应将预期渗入氯化物含量加上该混凝土拌和物已有的氯化物含量，作为验证试验所采用的氯化物掺量。

9.4.6 掺钢筋阻锈剂的混凝土可与环氧涂层钢筋、混凝土表面涂层等联合使用。

9.5 阴极保护

9.5.1 钢筋混凝土结构的阴极保护方案应由设计单位专项设计，被保护混凝土结构的施工以及保护设施的安装、测试、通电、试运行均应在专业技术人员监督下进行，施工人员应经过严格的岗前培训。

9.5.2 采用阴极保护作为防腐蚀强化措施的混凝土结构，不得采用砂浆棒膨胀率大于或等于 0.10% 的碱—硅酸盐反应活性骨料。

9.5.3 采用阴极保护作为防腐蚀强化措施的混凝土结构，阴极保护区钢筋应绑扎牢固、连接紧密。在浇筑混凝土前应按设计要求对阴极保护区钢筋电连接性能进行检测，当设计无要求时可采用直流可变极性电阻测量技术，测量值应稳定且电阻小于 $1\ \Omega$ 或电位差小于 1mV 。

9.5.4 监测传感器和所有电缆及其接头应固定和采取保护措施，防止在混凝土浇筑和振捣时遭到破坏和干扰。电缆与钢筋的连接方法应保证电缆与钢筋之间长期的电阻小于 $0.01\ \Omega$ 。

9.5.5 当阳极安装在混凝土结构中时，绝缘垫片和固定件要具有足够的刚度，确保阳极就位准确、牢固；在浇筑混凝土过程中应对阳极和阴极之间的电阻进行监测。防止在浇筑混凝土和振捣时发生阳极和钢筋（阴极）短路。

9.5.6 混凝土浇筑完毕拆除模板后应对混凝土结构阴极保护区钢筋之间的电连续性、预埋电缆的联结性以及保护区与非保护区的绝缘性进行检测。

9.5.7 电源设备的验收及安装应符合下列规定：

1 阴极保护工程选用的电源设备及器材应符合现行有关标准及规范的规定，电器设备应有铭牌、质量证明文件等相关资料。

2 阴极保护电源设备到达现场后，应按装箱单检查主体设备和零配件，主体设备和零配件应完整，电源设备的技术文件、图纸、说明书应齐全。

3 应按照技术标准对阴极保护电源设备的交流输入特性、漂移特性、负荷特性、防干扰能力、流经参比电极的电流、防雷击余波性能、过流短路保

护和复位、自动报警等指标逐项检查，不合格者不得使用。

4 阴极保护电源设备的安装应按设计和产品说明书进行，应保证电源设备的通风和散热；接线时电源电压应与设备额定电压相符；接线时应根据设计图纸核对交直流电压的关系，输出电源的极性应正确。

5 安装完毕后应将设备积尘清理干净。

9.5.8 阴极保护阳极所敷设的材料种类、数量、分布、连接方式应符合设计要求。阳极安装时应当注意避免阳极系统与任何钢筋、预埋金属构件等发生短路。

9.5.9 在阳极系统表面实施任何覆盖层、表面封闭剂前，应测量阳极与阴极之间的电阻和电位差以确定是否存在短路。

9.5.10 强制电流和牺牲阳极保护装置安装完毕后应及时做好调试工作，强制电流阴极保护调试时，其电源设备给定电压应由小到大，连续可调。

9.5.11 采用强制电流阴极保护时，阴极保护电位应符合设计的相关规定。调试保护电位以极化稳定后的保护电位为准，其极化时间不得少于 3d。

9.5.12 竣工的阴极保护装置，在交接验收时应提交下列技术文件：

1 施工图纸。

2 设备制造厂商提供的说明书、试验报告、产品合格证、安装图纸等技术文件。

3 安装技术记录。

4 调试试验记录、保护电位参数。

5 隐蔽工程记录（电缆铺设、阳极装置等）。

9.6 外包钢板保护

9.6.1 外包钢板应满足国家现行标准《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板》（GB/T3274）的质量要求。对于环境作用等级为 D4 级严重腐蚀环境的混

凝土结构外包钢板应采用耐候钢板，其质量应满足《焊接结构用耐候钢》(GB/T 4172) 的要求。

9.6.2 外包钢板施工方法分为预埋外包和粘结外包，在建混凝土结构外包钢板施工可采用预埋外包，已建混凝土结构外包钢板施工可采用粘结外包。

9.6.3 环境作用等级为 D3、D4 级严重腐蚀环境的外包钢板厚度不得小于 6mm。环境作用等级为 M3 级严重腐蚀环境的外包钢板厚度不得小于 8mm。

9.6.4 外包钢板焊接所用焊条应符合国家现行标准的规定，焊条的型号应与被焊钢材相适应。

9.6.5 预埋外包施工应符合下列规定：

- 1 为增加钢板与混凝土的粘结力应适当设置锚固筋，锚固筋的数量及锚固长度应以保证钢板与混凝土粘结牢固为原则。
- 2 预埋外包钢板的安装精度应符合设计要求。当设计无要求时可按表 9.6.5 的要求进行检验。检验结果不满足要求时，应及时调整或返工。

表 9.6.5 预埋外包钢板安装允许偏差和检验方法

序号	项 目		允许偏差 (mm)	检验方法
1	轴线位置	基础	15	尺量每边不少于 2 处
		其它结构	5	
2	表面平整度		5	2m 靠尺和塞尺不少于 3 处
3	边缘与模板密贴度		2	塞尺检查不少于 5 处

- 3 浇筑混凝土前应清理钢板与混凝土接触面，保证接触面不得有油污、锈蚀、水渍。
- 4 拆除模板后应及时对外包钢板表面进行防锈处理，钢板边缘与混凝土交接处应用聚氨酯防水涂料给予封闭。

9.6.6 粘结外包施工应符合下列规定：

- 1 粘结外包一般采用混凝土浇筑粘结和化学灌浆粘结两种方式，也可采用经设计单位确认的其它粘结方式。
- 2 混凝土浇筑粘结外包应符合下列规定：

1) 混凝土浇筑粘结外包应采用补偿收缩混凝土浇筑，其强度等级和耐久性不低于本体混凝土。

2) 新浇筑混凝土各截面最小尺寸应不小于 10cm，并内设防裂钢筋网片。为增加外包钢板、新浇筑混凝土、本体混凝土结构间的粘结力宜采用植筋焊接的方式适当设置锚固筋，锚固筋的数量及锚固长度应以保证各界面粘结牢固为原则。

3) 浇筑混凝土前应对本体混凝土表面进行凿毛，并冲洗、吹干后涂刷界面剂。

4) 新浇筑混凝土外露面应设置排水坡，并采用聚氨酯防水涂料封闭。

5) 外包钢板外表面应及时进行防锈处理。

3 化学灌浆粘结外包应符合下列规定：

1) 当采用化学灌浆粘结外包时，其浆液组成在工程应用前应进行试配，选择可灌性好、收缩小、粘结强度高、固化时间可调整、耐久性好且无毒的浆液。浆液固化后其与混凝土的粘结强度应高于被粘结混凝土的抗拉强度和抗剪强度。

2) 结构面应清理干净，按设计在混凝土粘钢位置测放打磨控制线，待打磨工作完成后补加外包钢位置线。

3) 打磨掉粘结位置混凝土表面的浮层直至露出坚实新结构面，剥落、空鼓、蜂窝、腐蚀等劣化现象的部位应予以剔除，裂缝部位应进行封闭处理。粘结位置应保证粘结面平整，四周打磨出小圆角。粘结前粘结面应用钢丝刷刷毛并用压缩空气吹净。

4) 钢板粘接面须进行除锈和粗糙处理，用砂轮磨光机打磨出金属光泽，打磨纹路应与钢材受力方向垂直，然后用棉丝沾丙酮擦拭干净。

5) 粘结前在混凝土表面涂刷一薄层浆液，然后将外包钢板与粘结面密贴、固定。

6) 用环氧胶泥将钢板四周封闭，留出排气孔，并在有利灌浆处贴置灌浆嘴（一般选择位置较低处，间距 2m ~3m）。

7) 待浆嘴粘牢后可进行试压，以 0.2MPa~0.4MPa 的压力将浆体压入，当排气孔出浆后将排气孔封闭，压力控制在 0.2MPa~0.4Mpa， 并保压 10min 以上方可停止灌浆。

8) 在浆体固化并强度满足要求前，外包钢板应保持固定状态，不得对其进行锤击、焊接。

9) 外包钢板外表面应及时进行防锈处理。

10 砌体工程

10.1 一般规定

10.1.1 基础砌体施工前，应按有关规定处理和检查基坑。

10.1.2 砌体变形缝、泄水孔和防水层的设置，应符合设计规定。

10.1.3 基础砌体的砌筑，当基底为岩层或混凝土时，应先将基底表面清洗、湿润，再坐浆砌筑；当基底为土质时，可直接坐浆砌筑。

10.1.4 砌体工程的石料应质地坚硬，不易风化，无裂纹。石料表面的污渍应清除。当使用有层理的石料时，层理应与受力方向垂直。

10.1.5 冬期或夏期砌体施工除应满足本章规定外，还应满足本指南第 11、12 章的相关规定。

10.2 石料与混凝土预制块

10.2.1 石料应按照加工程度分为下列几种：

1 片石形状不受限制，但其中部厚度不得小于 15 cm。用作镶面的片石宜表面平整、尺寸较大，边缘厚度不得小于 15cm。

2 块石：形状大致方正，无锋棱凸角，顶面及底面大致平整，厚度不得小于 20cm，长度及宽度不得小于其厚度。用作镶面的块石外露表面应稍加修凿，凹入深度不得大于 2cm；由外露面向内修凿的进深不得小于 7cm；但尾部的宽度和厚度不得大于修凿部分。镶面丁石的长度不得小于顺石宽度的 1.5 倍(图 10.2.1-1)。

3 料石：厚度不得小于 20cm，且不小于长度的 1/3；宽度不得小于厚度；长度不得小于宽度的 1.5 倍。丁石长度应比相邻顺石宽度大 15cm。由外露面向内修凿的进深不得小于 10cm，且修凿面应与外露表面垂直，每 10cm 应凿切 4~5 条纹。当料石镶面的外露表面有细凿边缘时，中部可不修凿，但突出部分不

得大于 2cm, 周围细凿边缘的宽度应为 3cm~5cm。当外露面为无细凿边缘的镶面石时, 石料正面应为粗凿面, 凹入深度不得大于 1.5cm(图 10.2.1-2)。

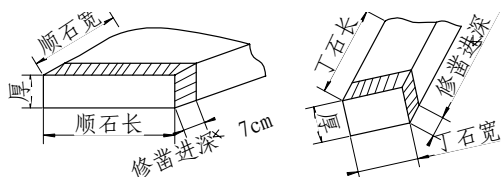


图 10.2.1-1 镶面块石中的丁石及顺石

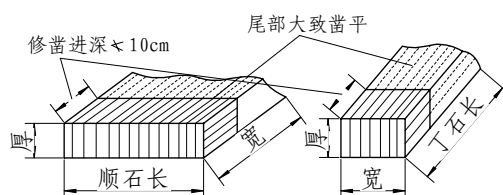


图 10.2.1-2 料石

- 4 漂石: 中部厚度不得小于 15cm, 其中圆蛋形及薄片状者不得使用。
- 5 砌体工程所用石料的类别、规格和质量要求应符合本指南附录 F 的规定。

10.2.2 石料强度等级应以边长为 70mm 的立方体试件在浸水饱和状态下的抗压极限强度表示。当采用边长为 100mm 或 50mm 的立方体试件时, 其抗压极限强度应分别乘以 1.14 或 0.86 的换算系数。石料的强度等级分为 MU120、MU100、MU90、MU80、MU70、MU60、MU50、MU40 和 MU30。

10.2.3 石料的强度等级应符合设计要求。当设计无要求时, 应符合下列规定:

- 1 片石、块石不应小于 MU50, 用于相关工程的片石不应小于 MU30。
- 2 料石(包括拱石)不应小于 MU60。

10.2.4 浸水和潮湿地区主体工程的石料软化系数, 不应小于 0.8。

10.2.5 在最冷月平均气温低于 -15℃ 或在 -5℃~-15℃ 的地区使用的石料, 采用直接冻融法进行抗冻性试验时, 其抗冻性指标应分别符合冻融循环 25 次或 15 次的要求。当采用硫酸钠浸泡法时, 其浸泡试验指标应符合干湿循环不小于 5 次的要求。

10.2.6 当相关工程采用漂石代替片石时, 其石质及规格应符合片石规定。

10.2.7 混凝土预制块的强度等级应符合设计要求。

10.3 砂浆

10.3.1 砌体工程所用砂浆的强度等级应符合设计要求。

砂浆强度等级应按边长为 70.7mm 的立方体试件，在标准条件下养护 28 d 的抗压极限强度表示。砂浆强度等级分为 M20、M15、M10。

10.3.2 砂浆的配合比应通过试验确定。砂浆配合比设计、试件制作、养护及抗压强度取值应符合本指南附录 G 的规定。

10.3.3 砂浆中所用水泥应符合国家现行标准《通用硅酸盐水泥》(GB175) 的质量要求，细骨料、外加剂、掺和料、水等原材料应符合铁道部现行《铁路混凝土工程施工质量验收标准》(TB10424-2010) 中 C30 以下混凝土的有关质量要求。

10.3.4 砂浆应具有适当的流动性和良好的和易性。砂浆的稠度应以砂浆稠度仪测定的下沉度表示，宜为 10mm~20mm。

10.3.5 砂浆应机械拌和，并应随拌随用。当在运输或储存过程中发生离析、泌水现象时，砌筑前应重新拌和。

10.4 浆砌施工

10.4.1 砂浆石砌体的砌筑应符合下列规定：

- 1 砌筑施工宜采用立样架挂线法控制尺寸、位置和平整度。
- 2 砌体应采用挤浆法分层、分段砌筑。分段位置宜设在沉降缝或伸缩缝处，两相邻段的砌筑高差不得大于 120cm，分层水平砌缝应大致水平。各砌块的砌缝应互相错开，砌缝应饱满。
- 3 各砌层应先砌外圈定位砌块，并与里层砌块交错连成一体。定位砌块宜选用表面较平整且尺寸较大的石料，定位砌缝应满铺砂浆，不得镶嵌小石块。
- 4 定位砌块砌完后，应先在圈内底部铺一层砂浆，其厚度应使石料在挤

压安砌时能紧密连接，且砌缝砂浆密实、饱满。砌筑腹石时，石料间的砌缝应互相交错、咬搭，砂浆密实。石料不得无砂浆直接接触，也不得干填石料后铺灌砂浆；石料应大小搭配，较大的石料应以大面为底，较宽的砌缝可用小石块挤塞。挤浆时可用小锤敲打石料，将砌缝挤紧，不得留有孔隙。

10.4.2 浆砌片石的砌缝，应符合下列规定：

1 定位砌块表面砌缝的宽度不得大于 4cm，砌体表面与三块相邻石料相切的内切圆直径不得大于 7cm，两层间的错缝不得小于 8cm，每砌筑 120cm 高度以内应找平一次，见图 10.4.2。

2 填腹部分的砌缝宜减小，在较宽的砌缝中可用小石块塞填。

10.4.3 块石砌筑可不按同一厚度分层，但每砌筑 70cm~120cm 高度后应找平一次。两层之间的错缝，不得小于 8cm(图 10.4.3)。

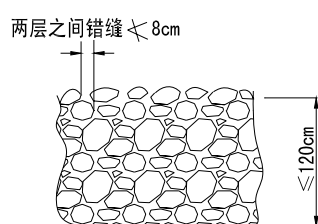


图 10.4.2 镶面片石

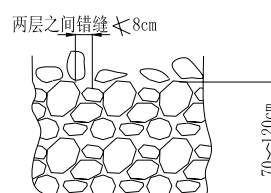


图 10.4.3 砌筑块石

10.4.4 用块石填腹时，水平砌缝宽度不得大于 3cm，竖向砌缝不得大于 4cm。填腹石的砌缝应彼此错开。

镶面石宜用一顺一丁或两顺一丁方式砌筑，砌缝宽度不得大于 3cm。

10.4.5 镶面料石的砌筑应符合下列规定：

- 1 镶面石应水平分层砌筑，每层中相邻石块间的砌缝应竖直。
- 2 镶面石层每层高度宜固定不变，也可向上逐层递减。
- 3 每一层镶面石应用一丁一顺的方式砌筑。
- 4 相邻层中垂直砌缝相错不得小于 10cm。在丁石的上层或下层，均不得有垂直砌缝。当错缝确有困难时，丁石顶面或底面一侧的错缝可稍小，但不得小于 4cm。

5 镶面石砌缝的宽度应为 1.5cm~2.0cm。

10.4.6 料石砌体应符合下列规定：

1 在砌筑镶面石处，先铺一层比砌缝稍厚的砂浆，顺序安砌料石，随即填塞垂直砌缝并捣实。

2 每层镶面石均应从砌体的转角部分开始安砌，并应首先安砌角石。

3 每层镶面石砌成后再填砌腹石，腹石应与镶面石大致同高。当用混凝土填腹时，可先砌筑数层镶面石后，再浇筑混凝土。镶面石层数应视填腹混凝土的侧压力而定，以不超过 3 层为宜。

10.4.7 对于重力式挡土墙等仰斜建筑物宜随砌筑随夯填土方。当有反滤层时，反滤层应与回填土同步施工。

10.4.8 混凝土预制块的砌筑除应符合设计要求外，尚应符合浆砌料石砌筑的规定。

10.4.9 当石料缺乏而又有漂石可利用时，小桥涵的河床铺砌及路基挡护工程的基础和护坡等浆砌工程，可采用漂石代替片石。

漂石可不劈开使用，使用前应用水冲净。

当用漂石铺砌护坡工程时，宜采用砂浆栽砌法；其它工程可采用砂浆平砌法。

漂石宜用挤浆法分行咬口砌筑，不得采用各层单个漂石一砌到顶的砌筑方法。砌筑时应将漂石的大面朝下、漂石间应靠近，但不得直接接触。

10.4.10 砌体表面的勾缝，应符合设计要求，并应在砌体砌筑时留出 2cm 深的空缝。勾缝可采用凹缝或平缝。勾缝所用的砂浆强度，不得小于砌体所用的砂浆强度。当设计不要求勾缝时，应随砌随用灰刀刮平砌缝。

10.4.11 砌体砌筑完毕应及时覆盖，并经常洒水保持湿润，常温下养护期不得少于 7d。

10.4.12 砌体的砂浆未达到设计强度前，不得承受全部设计荷载。

10.4.13 混凝土预制块的预制施工应符合本指南第 6 章的有关规定。

10.5 干砌施工

10.5.1 砌筑干砌体(干砌片石、干砌混凝土块、干栽砌漂石和笼装石块等)前,应将基底土夯实。干砌时底层、顶面、边缘宜使用较大石块砌筑,石块应相互交错咬接靠紧,空隙应用碎石填实。石块外露露面应稍加修整。

反滤层宜采用碎石、卵石、角砾或粗砂等渗水材料,不得采用非渗水性土代替。

10.5.2 干栽砌漂石用于河床、渠道或护坡上时,除应断面整齐,栽砌紧密,互相错缝和同层(排)漂石大小一致外,尚应符合下列规定:

- 1 栽砌漂石护坡应选用扁形和易于衔接的漂石,其长轴线应垂直斜坡。
- 2 漂石应长卧扁立。分层立砌时,接缝应错开。当漂石不易互相衔接时上下邻层应向相反方向略为倾斜(图 10.5.2-1)。

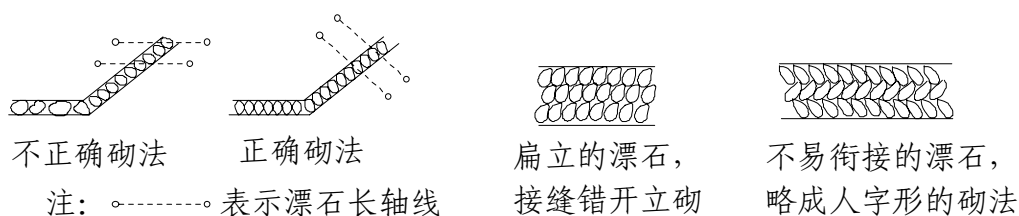


图 10.5.2-1 栽砌漂石纵断面

3 漂石铺底可采用横砌(即漂石长径垂直于水流方向)或纵砌(即漂石长径平行于水流方向)(图 10.5.2-2)。

4 栽砌时,应由下游砌向上游,同排漂石应互相夹紧,略向下游倾斜,不得砌成逆水砌缝(图 10.5.2-3)。

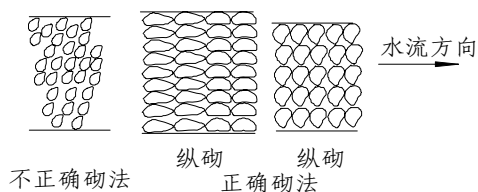


图 10.5.2-2 栽砌漂石平面

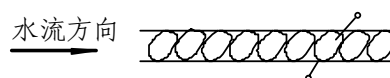


图 10.5.2-3 栽砌漂石纵断面

5 栽砌漂石的底部宜铺设 15cm 厚的反滤层。护坡背后的反滤层应随砌随夯填。

10.5.3 护岸工程可采用铁丝笼盛装石块。石块、铁丝笼的规格、尺寸、投放顺序和地点应符合设计要求。

11 冬期施工

11.1 一般规定

11.1.1 当工地昼夜平均气温（最高和最低气温的平均值或当地时间 6 时、14 时及 21 时室外气温的平均值）连续 3d 低于 5°C 或最低气温低于 -3°C 时，混凝土与砌体施工应按冬期施工办理。

11.1.2 冬期施工期间，混凝土强度达到设计强度的 40% 之前，不得受冻；浸水冻融条件下的混凝土开始受冻时，其强度不得小于设计强度的 75%；砌体砂浆强度达到设计强度的 70% 前，不得受冻。

11.1.3 进入冬期施工前，应收集工地气象台（站）历年气象资料，设置工地气象观测点，建立观测制度，及时掌握气象变化情况；落实有关工程材料、防寒物资、能源和机具设备；编制冬期施工方案及技术措施，对有关人员进行技术交底或培训。

11.1.4 冬期施工应根据工程类别、气象资料、材料来源和工期等要求，通过热工计算及经济分析，选择下列两类施工方法：

- 1 在养护期间不需对混凝土加热的蓄热法、掺外加剂法和综合法。
- 2 在养护期间需利用外部热源对混凝土加热的暖棚法、蒸汽加热法、电热法和热综合法。

11.1.5 冬期施工期间，当混凝土与环境之间的温差大于 20°C 时，宜采用保温模板。

11.1.6 混凝土与砌体工程冬期施工期间，应采取有效的防火、防滑等安全保证措施。

11.1.7 冬期混凝土与砌体工程施工除应符合本章规定外，尚应满足本指南的其它相关规定。

11.2 钢筋施工

11.2.1 钢筋冷弯温度不宜低于 -20°C ，当温度低于 -20°C 时，不得对 HRB335、HRB400 钢筋进行冷弯操作。

11.2.2 钢筋的闪光对焊宜在室内进行，焊接时的环境气温不宜低于 0°C 。钢筋应提前运入车间，焊毕后的钢筋应待完全冷却后才能运往室外。

11.2.3 冬期钢筋的闪光对焊宜采用预热—闪光焊或闪光—预热—闪光焊工艺。钢筋端面比较平整时，宜采用预热—闪光焊；端面不平整时，宜采用闪光—预热—闪光焊。钢筋直径变化时焊接工艺应符合表 11.2.3 的规定。

表 11.2.3 钢筋负温闪光对焊焊接工艺

钢筋级别	直径 (mm)	焊接工艺
HPB235	12~14	预热—闪光焊
HRB335 HRB400	≥ 16	预热—闪光焊或闪光—预热—闪光焊

11.2.4 钢筋的电弧焊接应有防雪、防风及保温措施，并应选用韧性较好的焊条。焊接后的接头严禁立即接触冰雪。

11.2.5 钢筋的电弧焊接宜采取分层控温施焊。热轧钢筋焊接的层间温度宜控制在 $150^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ 。应根据钢筋牌号、直径、接头形式和焊接位置选择焊条和焊接电流。焊接时应采取防止产生过热、烧伤、咬肉和裂缝等措施。

11.3 混凝土施工

11.3.1 冬期混凝土施工应专门进行配合比选定试验。混凝土宜选用较小的水胶比和较小的坍落度。

11.3.2 冬期混凝土施工应定期检测水、外加剂及骨料加入搅拌机时的温度，以及混凝土拌和、浇筑、养护时的环境温度，每一工作班至少检测 4 次。

11.3.3 搅拌混凝土前，应先经过热工计算，并经试拌确定水和骨料需要预热的最高温度，保证混凝土的出机温度不低于 10°C ，入模温度不低于 5°C 。

11.3.4 混凝土原材料预热应符合下列规定：

1 水泥、矿物掺和料、外加剂等可在使用前运入暖棚进行自然预热，但不得直接加热。

2 当需要对水进行加热处理时，水的加热温度不宜高于 80℃。当骨料不加热时，水可加热至 80℃ 以上，但搅拌时应先投入骨料和已加热的水，拌匀后再投入水泥。

3 当加热水尚不能满足要求时，可将骨料均匀加热，其加热温度不应高于 60℃。片石混凝土掺用的片石可预热。

4 当拌制的混凝土出现坍落度减小或发生速凝现象时，应重新调整拌和料的加热温度。

11.3.5 骨料中不得混有冰雪、冻块及易被冻裂的矿物质。

11.3.6 搅拌设备宜安装在气温不低于 10℃ 的厂房或暖棚内。搅拌混凝土前及停止搅拌后，应用热水冲洗搅拌机鼓筒。

11.3.7 混凝土搅拌时间宜较常温施工延长 50% 左右。

11.3.8 混凝土的运输容器应有保温设施。运输时间应缩短，并尽量减少中间倒运环节。

11.3.9 混凝土浇筑应符合下列规定：

1 混凝土浇筑前，应清除模板及钢筋上的冰雪和污垢。

2 混凝土浇筑应采用分层连续的方法浇筑，分层厚度不得小于 20cm。

3 采用加热养护的整体结构，当混凝土的养护温度高于 40℃ 时，应预先确定混凝土的浇筑顺序和施工缝的位置。

11.3.10 混凝土施工缝的处理除应符合本指南第 6.8.4 条、6.8.5 条的规定外，尚应符合下列要求：

1 当旧混凝土面和外露钢筋（预埋件）暴露在冷空气中时，应对距离新、旧混凝土施工缝 1.5m 范围内的旧混凝土和长度在 1.0m 范围内的外露钢筋（预埋件）进行防寒保温。

2 当混凝土不需加热养护、且在规定的养护期内不致冻结时，对于非冻胀性地基或旧混凝土面，可直接浇筑混凝土。

3 当混凝土需加热养护时，新浇筑混凝土与邻接的已硬化混凝土或岩土介质间的温差不得大于 15°C ；与混凝土接触的地基面的温度不得低于 2°C 。

11.3.11 混凝土开始养护时的温度应按施工方案通过热工计算确定，但不得低于 5°C ，细薄截面结构不宜低于 10°C 。

11.3.12 当室外最低气温高于 -15°C 时，地下工程或表面系数（冷却面积和体积的比值）不大于 15m^{-1} 的工程应优先采用蓄热法养护，并应符合下列规定：

1 所采用的保温措施应使混凝土的温度下降到 0°C 以前达到第 11.1.2 条规定的强度。

2 混凝土浇筑成型后，应立即防寒保温。保温材料应按施工方案设置，并保持干燥。应对结构的边棱隅角加强覆盖保温，迎风面应采取防风措施。

11.3.13 当用蓄热法养护不能达到要求时，可采用外部热源加热法养护，养护温度应通过试验确定，并应符合下列规定：

1 整体浇筑表面系数等于或大于 6m^{-1} 的结构，升温速度不得大于 $15^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ；浇筑表面系数小于 6m^{-1} 的结构，升温速度不得大于 $10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

2 用蒸汽加热法养护的混凝土，当采用硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥时，养护温度不得高于 60°C 。

3 采用电热法养护的混凝土，当结构的表面系数小于 15m^{-1} 时，养护温度不宜高于 40°C ；当结构的表面系数大于 15m^{-1} 时，养护温度不宜高于 35°C 。

4 恒温养护结束后，表面系数等于或大于 6m^{-1} 的结构，降温速度不得大于 $10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ；表面系数小于 6m^{-1} 的结构，降温速度不得大于 $5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

11.3.14 当采用电热法养护混凝土时，应符合下列规定：

1 所有混凝土外露面覆盖后，方可通电加热。

2 必须采用交流电源，电极的布置应保证混凝土的温度均匀。当达到

设计强度的 50%时，应停止通电加热。

3 工作电压宜采用 50V~110V。当每 m^3 混凝土内钢筋用量不大于 50kg 时，工作电压也可采用 120V~220V，严禁采用工作电压大于 380V 的电源。

4 养护过程中应观察混凝土表面的湿度。当表面开始干燥时，应暂停通电，并以温水湿润混凝土表面。

5 掺用减水剂的混凝土，应经试验确认电热法养护对其强度无影响后，方可采用。

11.3.15 当采用暖棚法养护混凝土时，棚内底部温度不得低于 5°C ，且混凝土表面应保持湿润；采用燃煤加热时，应将烟气排出棚外。

11.3.16 拆除模板和保温层应符合下列规定：

1 当混凝土已达到本指南第 6.11.1 条的强度要求，并符合第 11.1.2 条的抗冻强度规定后，方可拆除模板。

2 混凝土与环境的温差不得大于 15°C 。当温差在 10°C 以上但低于 15°C 时，拆除模板后的混凝土表面宜采取临时覆盖措施。

3 采用外部热源加热养护的混凝土，当养护完毕后的环境气温仍在 0°C 以下时，应待混凝土冷却至 5°C 以下且混凝土与环境之间的温差不大于 15°C 后，方可拆除模板。

11.3.17 混凝土养护温度的检测频次，应符合下列规定：

1 当采用蓄热法养护时，在养护期间至少每 6h 检测一次。

2 当采用蒸汽或电热法养护时，在升、降温期间每 1h 检测一次，在恒温期间每 2h 检测一次。

3 室外气温及施工环境温度应每昼夜定时、定点观测 4 次。

11.3.18 混凝土养护温度的检测方法应符合下列规定：

1 在结构隅角、突出、迎风和细薄部位应均匀留置测温孔，孔深可根据养护方法及结构尺寸确定。测温孔应编号并绘图。

2 当采用蓄热法养护时，测温孔应设在易于散热的部位；当采用外部热源加热养护时，测温孔应在离热源不同的位置分别设置；大体积结构的测温孔应在表面及内部分别设置。

3 检测混凝土温度时，测温计不应受外界气温的影响，并应在测温孔内至少留置 3min。根据工地条件，可采用热电偶、热敏电阻等预埋式温度计检测混凝土的温度。

11.3.19 冬期施工的混凝土除应按本指南第 6 章的规定制作标准混凝土试件外，尚应根据养护、拆模和承受荷载的需要，增加与结构同条件养护的施工试件不少于 2 组。此种试件应在解冻后方可试压。

11.4 砌体施工

11.4.1 砌体冬期施工常用的施工方法，可按养护期间是否加热分为以下两类：

- 1** 在养护期间不加热的蓄热法和负温砂浆法。
- 2** 在养护期间需要利用外部热源加热的暖棚法。

11.4.2 冬期施工砂浆的配制及砌筑应符合下列规定：

1 砂浆宜在暖棚内机械拌制，搅拌时间不宜小于 2min。砂浆稠度宜较常温适当增大，不得二次加水调整砂浆和易性。

2 根据施工方法、环境气温，应通过热工计算确定砂浆砌筑温度，并不得低于 5℃。

3 根据热工计算需将砂和水加热时，加热温度应符合第 11.3.4 条的规定。

4 砌体所用的石料、混凝土预制块和砂应清除冰雪冻块，并宜根据工程进度将其提前运入棚内。石料和混凝土预制块表面与砂浆的温差不宜大于 20℃。

5 砂浆应采用保温容器运送，中途不宜倒运。砂浆应随拌随用，每次拌

量宜在 0.5h 内用完。已冻结的砂浆不得使用。

12 夏期施工

12.1 一般规定

12.1.1 当昼夜平均气温高于 30℃时，混凝土与砌体工程的施工应按夏期施工办理。

12.1.2 夏期混凝土与砌体工程施工除符合本章规定外，尚应满足本指南的其它相关规定。

12.2 混凝土施工

12.2.1 原材料储存、降温应符合下列规定：

1 应对水泥、砂、石的储存仓、料堆等进行遮阳防晒处理，或在砂石料堆上喷水降温，以便降低原材料进入搅拌机的温度。

2 可采用冷却装置冷却拌和水，并对水管及水箱加遮阳和隔热设施，也可在拌和水中加碎冰冷却，碎冰应作为拌和水进行质量控制和计量。

3 水泥进入搅拌机的温度不宜大于 40℃。

12.2.2 混凝土配合比设计应考虑坍落度损失，宜选用水化热较低的水泥。当掺用缓凝型减水剂时，可根据气温适当增加坍落度。

12.2.3 拌和生产线应尽可能采取遮阳、降温措施，尽量缩短搅拌时间。

12.2.4 宜采用混凝土搅拌运输车运输混凝土，混凝土运输容器应设防晒设施，尽量缩短运输时间。运输混凝土过程中宜慢速搅拌混凝土，不得在运输过程加水搅拌。

12.2.5 采用泵送混凝土时，应将输送管遮盖、洒水、垫高或涂成白色。

12.2.6 混凝土从搅拌到入模的时间及浇筑时间要尽量缩短，并尽快开始养护。

12.2.7 宜在夜间或气温较低的时段搅拌和浇筑混凝土，保证混凝土的入模温度满足设计要求。当设计无要求时，混凝土的入模温度不宜超过 30℃。混凝土入模前模板和钢筋的温度以及附近的局部气温不宜超过 40℃。

12.2.8 浇筑场地应遮荫，以降低模板、钢筋的温度；也可在模板、钢筋和地基上喷水以降温和，但在浇筑时不能有附着水。

12.2.9 混凝土浇筑完毕后的表面平整或抹面应尽快完成，抹面时可用喷雾器喷少量水防止表面裂纹，但不得直接往混凝土表面洒水。

12.2.10 混凝土浇筑完后，表面应立即覆盖清洁的塑料膜，初凝后撤去塑料膜，用浸湿的土工布覆盖，再加盖一层塑料膜，保持潮湿状态最少 7d。也可采取在混凝土表面喷雾降温、湿润空气等养护措施。当条件许可时，在模板底部采取预先冷却等技术措施。保湿养护期间，应采取遮阳和挡风措施，以控制温度和干热风的影响。

12.2.11 混凝土拆模后的洒水养护宜用自动喷水系统和喷雾器。保湿养护应不间断，不得形成干湿循环，养护时间应符合本指南表 6.10.6 的规定。

12.3 砌体施工

12.3.1 砂浆宜选用水化热较低的水泥。当掺用缓凝型减水剂时，可根据气温适当增加稠度。

12.3.2 砂浆运输容器应设防晒设施，运输时间应缩短。砂浆应随拌随用。

12.3.3 砌体砌筑前基底应喷水润湿。

12.3.4 砌体砌筑宜避开气温较高的时段。气温较高时，砌块应采取洒水降温措施。

12.3.5 砌体砌筑完毕后，应及时覆盖保湿养护，养护时间不少于 7d。保湿养护期间，应适当增加洒水次数。

13 环境保护和劳动安全卫生

13.1 一般规定

13.1.1 混凝土与砌体工程施工的环境保护应严格控制污染源，保护生态环境，并符合国家有关环境保护的法律法规要求。

13.1.2 混凝土与砌体工程施工组织设计应按设计要求，并结合工程实际，对在施工中可能造成的环境破坏和不利影响提出具体预防措施并付诸实施。施工完成后，应及时清理施工垃圾，做到文明施工。

13.1.3 施工现场安全生产应重点控制人和物的不安全行为和状态，实现有序施工，预防和控制工程安全与质量事故的发生，同时加强人员的职业健康教育，预防职业病的发生。

13.2 防止水土污染和流失

13.2.1 混凝土与砌体工程施工中，应按当地政府部门的要求，妥善处理好废渣、废水等的排放。清洗机械设备的废水、废油以及生活污水不得直接排放于溪流、湖泊或其它水域中，也不得排泄于饮用水源附近的土地上，以防止污染水质和土地。

13.2.2 混凝土拌和站应设置集水池、沉淀池和污水过滤池，排放水应经过无害化处理。车辆在拌和站内应定点停放，运输做到不洒、不漏，临近市区作业，出入车辆应清洗车轮。

13.2.3 施工生产和生活用地应本着保护耕地的原则，科学用地，节约用地，少占农田。

13.2.4 施工生产和生活用地使用结束后应按要求做好复耕工作。

13.3 防止空气和噪声污染

13.3.1 施工机械运输组装场地、材料加工厂、混凝土拌和站等临时设施宜远离居民区并处于下风区。如无法满足时，应采取适当的防尘、防噪声等保护措施。

13.3.2 在城镇居民地区施工时，施工场地和运输线路应利用地形尽量避开噪声和振动敏感区，由机械设备和工艺操作所产生的噪声不应超过国家规定的建筑施工临界噪声排放标准，否则应采取消声或隔音措施。

13.3.3 在施工现场进行钢筋加工时，应设置钢筋废料专用收集槽，并在加工场地四周采取防止噪音扩散的围蔽措施。

13.3.4 工程用的粉末材料，不得散装散卸。在露天堆存时，应防止飞尘和遇水流失。

13.4 劳动安全卫生

13.4.1 施工现场的各项施工安全管理制度应齐全，管理机构应健全，责任到人，并符合铁道部现行《铁路工程施工安全技术规程》（TB10301~TB10306）的规定。蒸汽养护、预应力筋张拉等特殊工艺应制定专项安全操作规程，并按操作规程正确操作。

13.4.2 施工作业人员应身体健康，并定期进行身体检查。凡患有不宜从事某项施工作业疾病的人员，不得从事该项工作。

13.4.3 特种作业人员必须经专业培训，考核合格后持证上岗。各类作业人员均应按规定进行安全教育培训。

13.4.4 施工作业场所应根据作业的条件与危险程度，选用符合国家、专业标准并具有产品合格证和使用说明书的防护用品。

13.4.5 施工现场应设置安全防护设施。进入施工现场的人员，应按规定使用劳动保护用品。

附录 A 混凝土泵输出量和所需搅拌运输车数量的计算方法

A.1 混凝土泵输出量的计算

混凝土泵的实际平均输出量，可根据混凝土泵的最大输出量、配管情况和作业效率，按下式计算：

$$Q_1 = Q_{\max} \cdot \alpha \cdot \eta \quad (\text{A.1})$$

式中 Q_1 ——每台混凝土泵的实际平均输出量 (m^3/h)；

Q_{\max} ——每台混凝土泵的最大输出量 (m^3/h)；

α ——配管条件系数。可取 0.8~0.9；

η ——作业效率。根据混凝土搅拌运输车向混凝土泵供料的间断时间、拆装混凝土输出管和布料停歇等情况，可取 0.5~0.7。

A.2 每台混凝土泵所需配备搅拌运输车数量的计算

当混凝土泵连续作业时，每台混凝土泵所需配备的混凝土搅拌运输车台数，可按下式计算：

$$N = \frac{Q_1}{V} \left(\frac{L}{S} + T_t \right) \quad (\text{A.2})$$

式中 N ——混凝土搅拌运输车台数 (台)；

Q_1 ——每台混凝土泵的实际平均输出量 (m^3/h)；

V ——每台混凝土搅拌运输车的容量 (m^3)；

S ——混凝土搅拌运输车平均行车速度 (km/h)；

L ——混凝土搅拌运输车往返距离 (km)；

T_t ——每台混凝土搅拌运输车总计停歇时间 (h)。

附录 B 千斤顶校准试验方法

B.0.1 校准试验的设备应符合下列规定：

1 校准时千斤顶、压力表、张拉油泵必须配套，压力表应在校准有效期内。

2 校准试验用反力架应有足够的强度和刚度，在试验荷载下的变形不得超过 1.5mm。

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

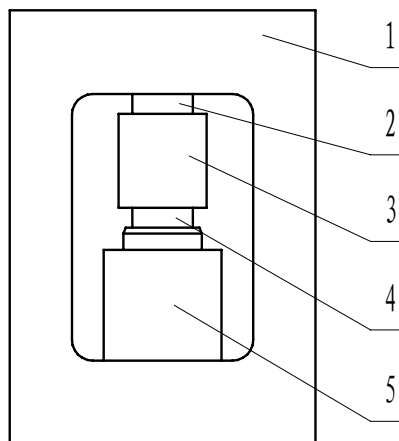


图 B.0.2 千斤顶校准试验布置图

1—反力架，2、4—钢垫板，3—测力传感器，5—千斤顶

B.0.3 千斤顶的校准方法：

1 计算分级加载的级差。将最大使用压力的 110%分成 10 级，并取整。

2 启动油泵，缓慢地分级加载，记录相应的测力传感器读数。

3 加载至最大试验压力后，缓慢卸载至 0 压力，千斤顶活塞回缩至测力传感器上的钢垫板与反力架脱离，转动千斤顶 120° ，重复步骤 2。

4 按照步骤 2、3 加载三次，取其平均值，采用最小二乘法回归计算千

千斤顶校准方程和相关系数。

B.0.4 试验结果合格的判定：

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

附录 C 后张法预应力筋实测伸长值修正和理论伸长值精确计算

C.0.1 后张法预应力筋伸长值应从张拉至初拉力时开始测量，预应力筋实际伸长值 ΔL_A 可按式（C.0.1）计算：

$$\Delta L_A = \Delta L_1 + \Delta L_2 - \Delta L_3 - \Delta L_4 \quad (\text{C.0.1})$$

式中 ΔL_1 ——从初拉力至最大张拉力间千斤顶活塞的实测伸长值；

ΔL_2 ——初拉力以下的推算伸长值，可采用相邻级的伸长值；

ΔL_3 ——两端工具锚夹片的实测回缩值；

ΔL_4 ——其它需要扣除的压缩值。

C.0.2 预应力筋理论伸长值应根据预应力筋受力状态分段计算。预应力筋理论伸长值 ΔL_B 可按式（C.0.2）精确计算：

$$\Delta L_B = \Delta L_5 + \Delta L_6 \quad (\text{C.0.2})$$

式中 ΔL_5 ——工作锚之间的预应力筋理论伸长值；

ΔL_6 ——工作锚至工具锚的预应力筋理论伸长值。

C.0.3 工作锚之间的预应力筋理论伸长值的计算应采用实测预应力筋弹性模量、孔道摩阻系数。对于由多个直线段和曲线段组成的预应力筋，应分段计算后累加，分段方法见图 C.0.3。

任意直线段或曲线段的预应力筋理论伸长值 ΔL_5^i 可按（C.0.3-1）计算：

$$\Delta L_5^i = \frac{\bar{P}_i x_i}{A_y E_y} \quad (\text{C.0.3-1})$$

式中 \bar{P}_i ——预应力筋的平均张拉力；

x_i ——预应力筋的计算长度（m）；

A_y ——预应力筋的截面面积；

E_y ——预应力筋实测弹性模量。

预应力筋的平均张拉力 \bar{P}_i 可按 (C.0.3-2) 计算：

$$\bar{P}_i = \frac{P_i}{kx_i + \mu\theta_i} \left[1 - e^{-(kx_i + \mu\theta_i)} \right] \quad (\text{C.0.3-2})$$

式中 P_i ——预应力筋的张拉力；

x_i ——预应力筋的计算长度 (m)；

θ_i ——预应力筋的曲线孔道切线夹角(rad)，对于直线段 $\theta_i=0$ ；

k ——实测的管道每米局部偏差对摩擦的影响系数；

μ ——实测的预应力筋与管道壁间的摩擦系数。

预应力筋理论伸长值 ΔL_5^i 还可按 (C.0.3-3) 计算：

$$\Delta L_5^i = \frac{\sigma_i x_i}{E_y (kx_i + \mu\theta_i)} \left[1 - e^{-(kx_i + \mu\theta_i)} \right] \quad (\text{C.0.3-3})$$

式中 σ_i ——预应力筋的应力；其余符号同前。

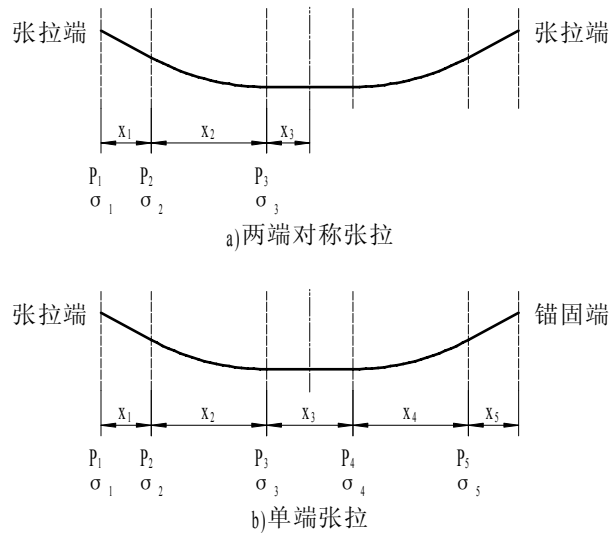


图 C.0.3 预应力筋分段计算示意图

注：1 预应力筋的计算长度宜取实际长度，不宜取投影长度。

2 P_1 、 σ_1 分别为锚下控制力和锚下控制应力。

C.0.4 计算工作锚至工具锚的预应力筋理论伸长值 ΔL_6 时应采用实测预应力筋弹性模量，并分别计算预应力筋的两端。计算公式为：

$$\Delta L_6 = \frac{FL_0}{E_y A_y} \quad (\text{C.0.4})$$

式中 F ——预应力筋的锚外张拉力；

L_0 ——张拉前工作锚至工具锚的预应力筋实测长度；其余符号同前。

附录 D 大体积混凝土浇筑体施工阶段温度应力与收缩应力的计算方法

D.1 混凝土的绝热温升

D.1.1 水泥的水化热可按下式计算：

$$Q_t = \frac{1}{n+t} Q_0 t \quad (\text{D.1.1-1})$$

式中 Q_t ——在龄期 t 天时的累积水化热 (kJ/kg)；

Q_0 ——水泥水化热总量 (kJ/kg)；

t ——龄期 (d)；

n ——常数，随水泥品种、比表面积等因素不同而异。为便于计算可将上式改写为：

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{n}{Q_0} + \frac{t}{Q_0} \quad (\text{D.1.1-2})$$

根据水泥水化热“直接法”试验测试结果，以龄期 t 为横坐标， t/Q_t 为纵坐标画图，可得到一条直线，此直线的斜率为 $1/Q_0$ ，即可求出水泥水化热总量 Q_0 。

其值亦可根据下式进行计算：

$$Q_0 = \frac{4}{7/Q_7 - 3/Q_3} \quad (\text{D.1.1-3})$$

D.1.2 胶凝材料水化热总量

通常 Q 值是在水泥、掺和料、外加剂用量确定后根据实际配合比通过试验得出。当无试验数据时，可考虑根据下述公式进行计算：

$$Q = k Q_0 \quad (\text{D.1.2-1})$$

式中 Q ——胶凝材料水化热总量 (kJ/kg)；

k——不同掺量掺和料水化热调整系数，其值取法参见表 D.1.2。

表 D.1.2 不同掺量掺和料水化热调整系数

掺量*	0	10%	20%	30%	40%
粉煤灰 (k_1)	1	0.96	0.95	0.93	0.82
矿渣粉 (k_2)	1	1	0.93	0.92	0.84

*注：表中掺量为掺和料占总胶凝材料用量的百分比。

当现场采用粉煤灰与矿粉双掺时，k 值按照下式计算：

$$k = k_1 + k_2 - 1 \quad (\text{D.1.2-2})$$

式中 k_1 ——粉煤灰掺量对应系数；

k_2 ——矿粉掺量对应系数。

D.1.3 混凝土的绝热温升

因水泥水化热引起混凝土的绝热温升值可按式计算：

$$T(t) = \frac{WQ}{C\rho}(1 - e^{-mt}) \quad (\text{D.1.3})$$

式中 $T(t)$ ——混凝土龄期为 t 时的绝热温升 ($^{\circ}\text{C}$)；

W ——每 m^3 混凝土的胶凝材料用量 (kg/m^3)；

C ——混凝土的比热，一般为 $0.92 \sim 1.0$ ($\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$)；

ρ ——混凝土的质量密度， $2400 \sim 2500$ (kg/m^3)；

m ——与水泥品种、浇筑温度等有关的系数， $0.3 \sim 0.5(\text{d}^{-1})$ ；

t ——混凝土龄期 (d)。

D.2 混凝土收缩值的当量温度

D.2.1 混凝土收缩的相对变形值可按式计算：

$$\varepsilon_y(t) = \varepsilon_y^0(1 - e^{-0.01t}) \cdot M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdots M_{11} \quad (\text{D.2.1})$$

式中 $\varepsilon_y(t)$ ——龄期为 t 时混凝土收缩引起的相对值；

ε_y^0 ——在标准试验状态下混凝土最终收缩的相对值，取 4.0×10^{-4} ；

M_1 、 M_2 、 \cdots 、 M_{11} ——考虑各种非标准条件的修正系数，可按表 D.2.1 取

用。

表 D.2.1 收缩值不同条件影响修正系数

水泥品种	M ₁	水泥细度 (m ² /kg)	M ₂	水胶比	M ₃	胶浆量	M ₄	养护时间 (d)	M ₅	环境相 对强度 (%)	M ₆
低热水泥	1.10	400	1.13	0.4	1.0	25	1.2	2	1.11	30	1.18
普通水泥	1.0	500	1.35	0.5	1.21	30	1.45	3	1.09	40	1.1
—	—	—	—	—	—	45	2.55	7	1	70	0.77
—	—	—	—	—	—	50	3.03	10	0.96	80	0.7
—	—	—	—	—	—	—	—	14-180	0.93	90	0.54

续表 D.2.1

— r	M ₇	$\frac{E_s F_s}{E_c F_c}$	M ₈	减水剂	M ₉	粉煤灰 掺量 (%)	M ₁₀	矿粉掺 量 (%)	M ₁₁
0	0.54	0.00	1.00	无	1	0	1	0	1
0.1	0.76	0.05	0.85	有	1.3	20	0.86	20	1.01
0.2	1	0.10	0.76	—	—	30	0.89	30	1.02
0.3	1.03	0.15	0.68	—	—	40	0.90	40	1.05
0.4	1.2	0.20	0.61	—	—	—	—	—	—
0.5	1.31	0.25	0.55	—	—	—	—	—	—
0.6	1.4	—	—	—	—	—	—	—	—
0.7	1.43	—	—	—	—	—	—	—	—

注：r——水力半径的倒数，为构件截面周长(L)与截面积(F)之比， $r = 100L/F \text{ (m}^{-1}\text{)}$ ；

$E_s F_s / E_c F_c$ ——广义配筋率， E_s 、 E_c ——钢筋、混凝土的弹性模量(N/mm²)， F_s 、 F_c ——钢筋、混凝土的截面积(mm²)；

粉煤灰(矿渣粉)掺量——指粉煤灰(矿渣粉)掺和料重量占胶凝材料总重的百分数。

D.2.2 混凝土收缩相对变形值的当量温度可按式计算

$$T_y(t) = \varepsilon_y(t) / \alpha \quad (\text{D.2.2})$$

式中 $T_y(t)$ ——龄期为 t 时，混凝土收缩值当量温度；

α ——混凝土的线膨胀系数，取 1.0×10^{-5} 。

D.3 混凝土的弹性模量

D.3.1 混凝土的弹性模量可按式计算：

$$E(t) = \beta E_0 (1 - e^{-\varphi t}) \quad (\text{D.3.1-1})$$

式中 $E(t)$ ——混凝土龄期为 t 时，混凝土的弹性模量 (N/mm²)；

E_0 ——混凝土的弹性模量，一般近似取标准条件下养护 28d 的弹性模量，可按表 D.3.1-1 取用；

β ——掺和料修正系数，该系数取值应以现场试验数据为准，在施工准备阶段和现场无试验数据时，可参考下述方法进行计算

$$\beta = \beta_1 \cdot \beta_2 \quad (\text{D.3.1-2})$$

式中 β_1 ——粉煤灰掺量对应系数，取值参见表 D.3.1-2；

β_2 ——矿粉掺量对应系数，取值参见表 D.3.1-2；

ϕ ——系数，应根据所用混凝土试验确定，当无试验数据时，可近似地取 $\phi=0.09$ 。

表 D.3.1-1 混凝土在标准养护条件下龄期为 28 天时的弹性模量

混凝土强度等级	混凝土弹性模量 (N/mm ²)
C25	2.28×10^4
C30	3.0×10^4
C35	3.15×10^4
C40	3.25×10^4

表 D.3.1-2 不同掺量掺和料弹性模量调整系数

掺量	0	20%	30%	40%
粉煤灰 (β_1)	1	0.99	0.98	0.96
矿渣粉 (β_2)	1	1.02	1.03	1.04

D.4 温升估算

D.4.1 浇筑体内部温度场计算可采用有限单元法或一维差分法。

D.4.2 有限单元法

有限单元法可使用成熟的商用有限元计算程序或自编的经过验证的有限元程序。

D.4.3 一维差分法

采用一维差分法，可将混凝土沿厚度分许多有限段 $\Delta x(\text{m})$ ，时间分许多有限段 $\Delta t(\text{h})$ 。相邻三点的编号为 $n-1$ 、 n 、 $n+1$ ，在第 k 时间里，三点的温度 $T_{n-1,k}$ 、 $T_{n,k}$ 及 $T_{n+1,k}$ ，经过 $\Delta t(\text{h})$ 时间后，中间点的温度 $T_{n,k+1}$ ，可按差分

式求得：

$$T_{n,k+1} = \frac{T_{n-1,k} + T_{n+1,k}}{2} \bullet 2a \frac{\Delta t}{\Delta x^2} - T_{n,k} \left(2a \frac{\Delta t}{\Delta x^2} - 1 \right) + \Delta T_{n,k} \quad (\text{D.4.3-1})$$

式中 α 为混凝土导温系数，取 $0.0035\text{m}^2/\text{h}$ 。

浇筑第一层时取相应位置温度为初始温度，混凝土入模温度为混凝土初始温度，当达到混凝土上表面时，可假定上表面边界温度为大气温度。

混凝土内部热源在 t_1 和 t_2 时刻之间散热所产生的温差：

$$\Delta T = T_{\max} (e^{-mt_1} - e^{-mt_2}) \quad (\text{D.4.3-2})$$

在混凝土与相应位置接触面上的散热温升可取 $\Delta T/2$ 。

D.5 温差计算

D.5.1 混凝土浇筑体的芯部与表层温差可按下式计算：

$$\Delta T_1(t) = T_m(t) - T_b(t) \quad (\text{D.5.1})$$

式中 $\Delta T_1(t)$ ——龄期为 t 时，混凝土浇筑体的芯部与表层温差（℃）；

$T_m(t)$ ——龄期为 t 时，混凝土浇筑体内的最高温度，可通过温度场计算或实测求得（℃）；

$T_b(t)$ ——龄期为 t 时，混凝土浇筑体内的表层温度，可通过温度场计算或实测求得（℃）；

D.5.2 混凝土浇筑体的综合降温差可按下式计算：

$$\Delta T_2(t) = \frac{1}{6} [4T_m(t) + T_{bm}(t) + T_{dm}(t)] + T_y(t) - T_w(t) \quad (\text{D.5.2})$$

式中 $\Delta T_2(t)$ ——龄期为 t 时，混凝土浇筑体在降温过程中的综合降温（℃）；

$T_m(t)$ ——龄期为 t 时，混凝土浇筑体内的最高温度，可通过温度场计算或实测求得（℃）；

$T_{bm}(t)$ 、 $T_{dm}(t)$ ——龄期为 t 时，其块体上、下表层的温度（℃）；

$T_y(t)$ ——龄期为 t 时，混凝土收缩当量温度（℃）；

$T_w(t)$ ——混凝土浇筑体预计的稳定温度或最终稳定温度，（可取计算龄期 t 时的日平均温度或当地年平均温度）（℃）。

D.6 温度应力计算

D.6.1 自约束拉应力的计算可按式计算：

$$\sigma_z(t) = \frac{\alpha}{2} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta T_{li}(t) \cdot E_i(t) \cdot H_i(t, \tau) \quad (\text{D.6.1-1})$$

式中 $\sigma_z(t)$ ——龄期为 t 时，因混凝土浇筑体芯部与表层温差产生自约束拉应力的累计值（MPa）；

$\Delta T_{li}(t)$ ——龄期为 t 时，在第 i 计算区段混凝土浇筑体芯部与表层温差的增量（℃）。可按下式计算：

$$\Delta T_{li}(t) = \Delta T_{li}(t) - \Delta T_{li}(t-j) \quad (\text{D.6.1-2})$$

j ——为第 i 计算区段步长（d）；

$E_i(t)$ ——第 i 计算区段，龄期为 t 时，混凝土的弹性模量（N/mm²）；

α ——混凝土的线膨胀系数；

$H(\tau, t)$ ——在龄期为 τ 时产生的约束应力，延续至 t 时（天）的松弛系数，可按表 D.6.1 取值。

表 D.6.1 混凝土的松弛系数表

$\tau=2$ 天		$\tau=5$ 天		$\tau=10$ 天		$\tau=20$ 天	
t	$H(\tau, t)$		$H(\tau, t)$		$H(\tau, t)$		$H(\tau, t)$

2	1	5	1	10	1	20	1
2.25	0.426	5.25	0.510	10.25	0.551	20.25	0.592
2.5	0.342	5.5	0.443	10.5	0.499	20.5	0.549
2.75	0.304	5.75	0.410	10.75	0.476	20.75	0.534
3	0.278	6	0.383	11	0.457	21	0.521
4	0.225	7	0.296	12	0.392	22	0.473
5	0.199	8	0.262	14	0.306	25	0.367
10	0.187	10	0.228	18	0.251	30	0.301
20	0.186	20	0.215	20	0.238	40	0.253
30	0.186	30	0.208	30	0.214	50	0.252
∞	0.186	∞	0.200	∞	0.210	∞	0.251

在施工准备阶段，最大自约束应力也可按下式计算：

$$\tau_{z\max} = \frac{\alpha}{2} \cdot E(t) \cdot \Delta T_{l\max} \cdot H(\tau, t) \quad (\text{D.6.1-3})$$

式中 $\tau_{z\max}$ ——最大自约束应力 (Mpa)；

$\Delta T_{l\max}$ ——混凝土浇筑后可能出现的最大芯部与表层温差 (°C)；

$E(t)$ ——与最大芯部与表层温差 $\Delta T_{l\max}$ 相对应龄期 t 时，混凝土的弹性模量 (N/mm²)；

$H(\tau, t)$ ——在龄期为 τ 时产生的约束应力，延续至 t 时 (天) 的松弛系数，可按表 D.6.1 取值。

D.6.2 外约束拉应力可按下式计算：

$$\sigma_x(t) = \frac{\alpha}{1-\mu} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta T_{2i}(t) \cdot E_i(t) \cdot H_i(t_1) \times R_i(t) \quad (\text{D.6.2-1})$$

式中 $\sigma_x(t)$ ——龄期为 t 时，因综合降温差，在外约束条件下产生的拉应力 (MPa)；

$\Delta T_{2i}(t)$ ——龄期为 t 时，在第 i 计算区段内，混凝土浇筑体综合降温差的增量 (°C)，可按下式计算：

$$\Delta T_{2i}(t) = \Delta T_2(t-j) - \Delta T_2(t) \quad (\text{D.6.2-2})$$

μ ——混凝土的泊松比，取 0.15；

$R_i(t)$ ——龄期为 t 时，在第 i 计算区段，外约束的约束系数，可按下式计算：

$$R_i(t) = 1 - \frac{1}{\cos\left(\beta_i \cdot \frac{L}{2}\right)} \quad (\text{D.6.2-3})$$

$$\beta_i = \sqrt{\frac{C_x}{HE(t)}};$$

L ——混凝土浇筑体的长度 (mm);

H ——混凝土浇筑体的厚度，该厚度为块体实际厚度与保温层换算混凝土虚拟厚度之和 (mm);

C_x ——外约束介质的水平变形刚度 (N/mm^3)，一般可按下表取值：

表 D.6.2 不同外约束介质下 C_x 取值 (10^{-2}N/mm^3)

外约束介质	软粘土	砂质粘土	硬粘土	风化岩、低标号素混凝土	C10 级以上配钢筋混凝土
C_x	1~3	3~6	6~10	60~100	100~150

D.7 控制温度裂缝的条件

D.7.1 混凝土抗拉强度可按下式计算：

$$f_{tk}(t) = f_{tk} (1 - e^{-\gamma t}) \quad (\text{D.7.1-1})$$

式中 $f_{tk}(t)$ ——混凝土龄期为 t 时的抗拉强度标准值 (N/mm^2);

f_{tk} ——混凝土抗拉强度标准值 (N/mm^2)，取值参见表 D.7.1-1;

γ ——系数，应根据所用混凝土试验确定，当无试验数据时，可近似地取 $\gamma=0.3$;

$$\sigma_z \leq \lambda f_{tk}(t) / K \quad (\text{D.7.1-2})$$

$$\sigma_x \leq \lambda f_{tk}(t) / K \quad (\text{D.7.1-3})$$

式中 K ——防裂安全系数，取 $K=1.15$ 。

λ ——掺和料对混凝土抗拉强度影响系数， $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2$ ，取值参见表 D.7.1-2。

表 D.7.1-1 混凝土抗拉强度标准值 (N/mm²)

符号	混凝土等级			
	C25	C30	C35	C40
f_{tk}	1.78	2.01	2.20	2.39

表 D.7.1-2 不同掺量掺和料抗拉强度调整系数

掺量	0	20%	30%	40%
粉煤灰 (λ_1)	1	1.03	0.97	0.92
矿渣粉 (λ_2)	1	1.13	1.09	1.10

附录 E 大体积混凝土浇筑体表面保温层的计算方法

E.1 混凝土浇筑体表面保温层厚度的计算

E.1.1 混凝土表面的保温层厚度可按下式计算：

$$\delta = \frac{0.5 h \lambda_i (T_b - T_q)}{\lambda_0 (T_{\max} - T_b)} \cdot K_b \quad (\text{E.1.1})$$

式中 δ —混凝土表面的保温层厚度 (m)；

λ_0 —混凝土的导热系数 [W/(m.k)]

λ_i —第 i 层保温材料的导热系数 [W/(m.k)]；

T_b —混凝土浇筑体表面温度 (°C)

T_q —混凝土达到最高温度 (浇筑后 3-5 天) 的大气平均温度 (°C)

T_{\max} —混凝土浇筑体内的最高温度 (°C)

h —混凝土结构的实际厚度 (m)；

计算时可取 $T_b - T_q = 15^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$

$T_{\max} - T_b = 20^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$

K_b —传热系数修正值，取 1.3~2.3，见表 E.1.1

表 E.1.1 传热系数修正值 K_b

保温层种类	K_1	K_2
由易透风材料组成，但在混凝土面层上再铺一层不透风材料	2.0	2.3
在易透风保温材料上铺一层不易透风材料	1.6	1.9
在易透风保温材料上下各铺一层不易透风材料	1.3	1.5
由不易透风的材料组成（如：油布、帆布、棉麻毡、胶合板）	1.3	1.5

注：1 K_1 值为风速 $\leq 4\text{m/s}$ 情况。

2 K_2 值为风速 $> 4\text{m/s}$ 情况。

E.2 保温层相当于混凝土虚拟厚度的计算

E.2.1 多种保温材料组成的保温层总热阻（考虑最外层与空气间的热阻）可按下式计算：

$$R_s = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\beta_\mu} \quad (\text{E.2.1})$$

式中 R_s —保温层总热阻 ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$);

δ_i —第 i 层保温材料厚度 (m);

λ_i —第 i 层保温材料的导热系数 [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$];

β_μ — 固体在空气中的传热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$], 可按表 E.2.1 取值。

表 E.2.1 固体在空气中的传热系数

风速 (m/s)	β_μ		风速 (m/s)	β_μ	
	光滑表面	粗糙表面		光滑表面	粗糙表面
0	18.4422	21.0350	5.0	90.0360	96.6019
0.5	28.6460	31.3224	6.0	103.1257	110.8622
1.0	35.7134	38.5989	7.0	115.9223	124.7461
2.0	49.3464	52.9529	8.0	18.4261	138.2954
3.0	63.0212	67.4959	9.0	140.5955	151.5521
4.0	76.6124	82.1325	10.0	152.5139	164.9341

E.2.2 混凝土表面向保温介质传热的总传热系数 (不考虑保温层的热容量), 可按下列式计算:

$$\beta_s = \frac{1}{R_s} \quad (\text{E.2.2})$$

式中 β_s —总传热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$];

R_s —意义同前。

E.2.3 保温层相当于混凝土的虚拟厚度, 可按下列式计算:

$$h' = \frac{\lambda_0}{\beta_s} \quad (\text{E.2.3})$$

式中 h' —混凝土的虚拟厚度 (m);

β_s —总传热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$];

λ_0 —混凝土的导热系数 [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$].

按保温层相当于混凝土的虚拟厚度, 进行大体积混凝土浇筑体温度场及温度应力计算, 验证保温层厚度是否满足温控指标的要求。

附录 F 砌体工程所用石料的类别、规格和质量要求

F.0.1 砌体工程所用石料的类别、规格和质量要求应符合表 F.0.1 的规定。

表 F.0.1 砌体工程所用石料的类别、规格和质量要求

序号	类 别	形 状	规格和质量要求
1	片石	形状不规则	石块中部厚度不小于 15cm，长度及宽度不小于厚度。
2	块石	形状规则，大致方正	稍加修整，厚度不得小于 20cm，长度及宽度不小于厚度。丁石的长度应比相邻顺石宽度大 15cm。
3	料石	形状规则的六面体	经粗加工，表面不允许凸出，凹入深度不大于 2cm，厚度不小于 20cm，宽度不小于厚度，长度不小于厚度 1.5 倍。外露面向内修凿进深不得小于 10cm，且修凿面应与外露面对垂直，每 10cm 应凿切 4~5 条纹。丁石的长度应比相邻顺石宽度大 15cm。

附录 G 砂浆配合比设计、试件制作、养护及抗压强度取值

G.0.1 砂浆配合比设计应符合下列规定：

1 砂浆的配合比强度，可按下式确定：

$$f_{m,o} = f_2 + 0.645\sigma \quad (\text{G.0.1-1})$$

式中 $f_{m,o}$ —砂浆的试配强度(MPa)，精确至 0.1MPa；

f_2 —砂浆设计强度等级值(MPa)；

σ —砂浆现场强度标准差(MPa)，精确至 0.01MPa。

2 砂浆现场强度标准差应按下式确定：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{m,i}^2 - N\mu_{f_m}^2}{N-1}} \quad (\text{G.0.1-2})$$

式中 $f_{m,i}$ —统计周期内同一品种砂浆第 i 组试件的强度(MPa),精确至 0.1MPa；

μ_{f_m} —统计周期内同一品种砂浆 N 组试件强度的平均值(MPa),精确至 0.1MPa；

N —统计周期内同一品种砂浆试件的总组数， $N \geq 25$ 。

当不具有近期统计资料时，其砂浆现场强度标准差 σ 可按表 G.0.1-1 取用。

表 G.0.1-1 砂浆强度标准差 σ 选用值

σ 砂浆强度 值(MPa) 等级 施工水平	M10.0	M15.0	M20.0
优良	2.00	3.00	4.00
一般	2.50	3.75	5.00
较差	3.00	4.50	6.00

3 砂浆的水胶比应按下式计算：

$$\frac{W}{C} = \frac{0.71f_{ce}}{f_{m,o} + 0.71 \times 0.91f_{ce}} \quad (\text{G.0.1-3})$$

式中 $\frac{W}{C}$ —砂浆的水胶比;

0.71、0.91—回归系数;

f_{ce} —水泥 28d 抗压强度实测值(MPa),精确至 0.1 MPa;

当无水泥实测强度数据时, f_{ce} 值可按下式确定:

$$f_{ce} = \gamma_c f_{ce,k} \quad (\text{G.0.1-4})$$

式中 γ_c —水泥强度等级 28d 抗压强度标准值的富余系数,该值应按实际统计资料确定。无统计资料时 γ_c 取 1.0;

$f_{ce,k}$ —水泥 28d 抗压强度标准值(MPa)。

4 砂浆的用水量可按表 G.0.1-2 选用。

表 G.0.1-2 砂浆用水量

砂浆用水 量(kg/m ³) 下沉度(mm)	砂规格		
	粗砂	中砂	细砂
10~20	200~210	210~230	220~240

5 砂浆的水泥用量可按下式计算:

$$m_c = \frac{m_w}{W/C} \quad (\text{G.0.1-5})$$

式中 m_c —砂浆的水泥用量(kg/m³);

m_w —砂浆的用水量(kg/m³)。

6 砂浆的最大水胶比应符合表 G.0.1-3 中的规定。

表 G.0.1-3 砂浆的最大水胶比

砂浆所处的环境条件	所在地区最冷月平均气温		
	低于-15℃	-15℃~-5℃	高于-5℃
受水流冲刷、冰冻作用的砂浆	0.55	0.60	0.65
最低冲刷线以下的地下部分, 不受水流			

作用的地上部分及不致遭受冰冻作用的砂浆	0.60	0.65	0.70
---------------------	------	------	------

7 砂浆的砂用量，采用重量法确定时，应按下式计算：

$$m_s = m_{mp} - m_w - m_c \quad (\text{G.0.1-6})$$

式中 m_s —砂浆的砂用量(kg/m^3)；

m_{mp} —砂浆拌和物假定重量；其值可取 $1950\text{kg}/\text{m}^3 \sim 2100\text{kg}/\text{m}^3$ 。

8 砂浆配合比的试配、调整与确定：

1)砂浆试配时，应采用工程中使用的材料，按计算配合比进行试拌，测定其拌和物的稠度；当不能满足要求时，应在保证水胶比不变的条件下相应调整用水量或砂用量，直至符合要求为止。然后提出砂浆基准配合比。

2)砂浆试配时至少采用 3 个不同的配合比。其中 1 个为按前述方法得出的基准配合比，另外 2 个的水胶比，宜较基准配合比分别增加或减少 0.05，其用水量与基准配合比基本相同。

3)当不同水胶比的砂浆拌和物稠度与要求值相差超过允许偏差时，可以增、减用水量进行调整。

4)3 个不同配合比经调整后，每种配合比至少制作 1 组(6 块)试件，经标准养护至 28d 试压，并选定符合强度要求且水泥用量较少的砂浆配合比为确定的砂浆配合比。

G.0.2 砂浆试件的制作应符合下列规定：

1 每组试件应为 6 块，将拌好的砂浆分 2 层(每层厚度约为 40mm)装入涂过矿物油的有底试模内，试模尺寸应为：70.7mm×70.7mm×70.7mm。

2 用捣棒(直径 20mm，长为 200mm 的钢棒，其底部加工成平面，质量为 $493\text{g} \pm 5\text{g}$)对每层砂浆沿螺旋方向均匀插捣 25 次。第二层插捣完毕后，可用抹刀沿模壁插数次，使砂浆高出试模顶面 6mm~8mm。

3 砂浆试件成型后 0.5h~1h，再用抹刀刮掉多余砂浆，并抹平表面。

G.0.3 砂浆试件的养护应符合下列规定:

- 1 试件表面抹平后应予覆盖,并在 $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 条件下静养 $24\text{h}\pm 1\text{h}$ 脱模。
- 2 脱模后,试件应即送入养护室养护。养护室内的温度为 $20^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$,相对湿度 90%以上。养护到规定龄期后,取出进行抗压强度试验。

G.0.4 试件的试压及抗压强度取值应符合下列规定:

- 1 试件取出后,应及时进行试压。加压方向应垂直于捣实方向。试件与压力机接触面应洁净无砂粒,加荷速度应为 0.3MPa/s 。
- 2 砂浆的抗压强度应按下列公式计算:

$$f_m = \frac{F}{A} \quad (\text{G.0.4})$$

式中 f_m —砂浆抗压强度(MPa),精确至 0.1MPa;

F —破坏总荷载(N);

A —试件承压面积(mm^2);

取每组 6 块试件的试验结果的算术平均值作为测定值。当 6 块试件中的最大值或最小值与平均值的差大于 20%时,以中间的 4 块试件的试验结果的平均值作为该组试件的抗压强度值。当一组试件经剔除后不足 4 个测试值时,则该组试验结果无效。

本指南用词说明

执行本技术指南条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

(1) 表示很严格，非这样作不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

(2) 表示严格，在正常情况下均应这样作的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

(3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样作的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

《铁路混凝土工程施工技术指南》条文说明

本条文说明系对重点条文的编写依据、存在的问题以及执行中应注意的事项等予以说明。为了减少篇幅，只列条文号，未抄录原条文。

1.0.1 为使混凝土结构能够适应我国现代化建设的需要，有利于可持续发展的战略需求，真正做到安全、适用、经济、合理，特编写本指南供施工人员参考。混凝土工程在铁路工程中占有很大比重，对保证整体工程质量至关重要，因此必须要统一主要施工要求，加强施工管理。砌体工程主要用在铁路相关工程或附属工程中，为方便使用，一并纳入了本指南编制范围。

1.0.2 本指南适用的铁路混凝土包括素混凝土、钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土，以及铁路常用的特殊混凝土和特殊砂浆，砌体工程包括石砌体和混凝土预制块砌体。

1.0.3 工程施工是实现设计意图和形成工程实体的过程，也是最终决定工程质量和保证使用功能的重要阶段。设计要求的混凝土与砌体结构的强度、耐久性能、使用功能等应通过施工阶段的质量控制得到满足。

1.0.5 机械化、工厂化、专业化、信息化等现代化施工手段是实现标准化管理的重要支撑，在混凝土工程施工中应积极采用。

1.0.6 原材料品质、配合比设计、施工工艺控制（包括拌和、运输、浇筑、养护、预应力等）和试验检测管理是控制混凝土施工质量的重点工作，必须在施工管理中严格控制。

1.0.9 铁路工程施工点多线长、施工期较长，原材料开采与存放、污水（物）排放、施工噪声等对生态环境的影响很大。施工单位应在施工前制订有效的环保方案，施工期内最大限度地减少对环境的影响，施工结束后给予必要的恢复，切实做好环境保护和水土保持工作，保证国民经济的可持续发展。设计有要求的更应该全面按设计文件办理。

1.0.10 由于铁路的建设标准高、技术要求高、质量目标高，应该对参与建设的各方人员进行培训，使建设各方尽快地、更准确地掌握标准，应用好标准，避免因对标准存在理解上的片面性导致操作上的随意性而影响工程质量。

1.0.11 工程施工中的各类质量检测报告、检查验收记录和其它工程技术资料，是体现工程质量状况和各方负责人的基础文件，应按照国家现行标准《建设工程文件归档整理规范》（GB/T50328）和铁道部现行《铁路建设项目资料管理规程》（TB10443-2010）等标准或文件的规定认真填写，完整归档，便于追溯。

1.0.13 铁路工程施工过程中的环节多、影响工程质量的因素多，所以采用的标准规范就会很多。既有技术标准又有管理标准、既有国家标准又有行业标准、甚至还有国际标准和国外标准，本指南难以一一详列。一般情况下可根据工程实际情况，确定各种标准规范的采用与否。但是对于施工过程中涉及到的、现行国家和铁道行业标准中有强制性执行要求的标准或标准条文则必须贯彻执行。

2.0.1~2.0.37 术语的解释不一定是其理论涵义，可能与其它标准中的解释也不尽一致。列出术语及其解释的主要目的是为了在工程施工中统一其内容、界定其范围，避免产生理解上的不同甚至歧义。

2.0.16 水胶比对于一组配合比来说是固定的,不论是理论配合比还是施工配合比都是同一数值。计算水胶比总用水量时应包括拌和水、粗细骨料所含水和液体外加剂含水量，胶凝材料的含水量一般忽略不计。

3.0.19 混凝土工程施工现场应采取必要的安全防护措施，确保施工安全。对可能发生的各种危害和灾害，应制订应急预案。对施工过程中可能的突发事件，如停水、断电、道路运输中断、主要设备损坏、模板质量安全事故等，还应制订相应的专项应急预案。各项设备、设施和安全防护措施应符合相关强制性标准的规定。

3.0.20 混凝土施工前的一项重要准备工作就是选定混凝土配合比。由于在进行混凝土配合比调配试验时，混凝土的耐久性试验周期一般在 2~3 个月以上，因此，施工单位在进场并筹建完现场试验室后，应尽早开始混凝土配合比的调配试验工作。

4.1.2 本条规定模板和支（拱）架应优先采用钢材制作，主要是由于钢模板坚固、耐用，可多次重复使用，钢模表面平整光滑，易于浇筑外表美观的混凝土结构物，同时也是环境保护和国民经济可持续发展的需要。

4.2.1 模板侧面所受风荷载和水压力可采用铁道部现行《铁路桥涵设计基本规范》（TB10002.1）的规定，其受风面积可按实际情况计算，风速可按施工期内当地预计的最大风速计算。

4.2.11 岩土工程勘察一般应遵循国家现行标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021）的规定。对于湿陷性黄土地区，还应遵循《湿陷性黄土地区建筑规范》（GB50025）的规定；对于软土地区，还应遵循《软土地区工程地质勘察规范》（JGJ83）的规定；对于冻土地区，还应遵循《冻土工程地质勘察规范》（GB 50324）的规定。

一般地基（和软弱地基）和基础宜按国家现行标准《建筑地基基础设计规范》（GB50007）、《建筑地基处理技术规范》（JGJ79）设计；湿陷性黄土的地基和基础宜按《湿陷性黄土地区建筑规范》（GB50025）设计；冻胀性土的地基和基础宜按《冻土地区建筑地基基础设计规范》（JGJ118）设计；膨胀性土地地区的地基和基础宜按《膨胀土地区建筑技术规范》（GBJ112）设计；桩基础宜按《建筑桩基技术规范》（JGJ 94）设计。

4.3.8 静活载指人及运输机具作用在支架上的荷载，冲击荷载指振捣混凝土产生的荷载。构件接头挤压所产生的非弹性变形是永久变形，每个连接处的挤压值可为：木材与木材间为 1 mm~3mm；木材与钢材间为 1 mm~2mm。

预留施工拱度（ f ）=支（拱）架承受全部荷载时的弹性变形（ f_l ）

- 由于静活载和冲击荷载产生的弹性变形 (f_2)
- +加载后由于构件接头挤压所产生的非弹性变形 (f_3)
- +由于基础下沉而产生的非弹性变形 (f_4)

当采用预压的方法消除 f_3 、 f_4 后, 预留施工拱度 f 的计算不应计入此两项。

5.1.4 应采取可靠措施, 保证钢筋进场及施工过程中能够区分不同的强度等级和牌号, 避免混用。加工后的成品钢筋应尽快使用, 不宜长期存放。加工后可能存在牌号标识缺失的情况, 应制订合理的成品钢筋堆放、使用措施, 以确保不会混用。

5.2.1 钢筋除锈的方法可采用除锈机、风砂枪等机械方法, 也可采用人工除锈。除锈后的钢筋不应长期存放, 应尽快使用。除锈后如发现有严重的钢筋表面缺陷, 如麻坑、斑点等, 可能会影响到钢筋力学性能及其它应用性能, 应对该批钢筋按相关标准规定重新检验性能指标, 并根据检验结果处理该批钢筋。

钢筋无局部折曲, 一般指钢筋中心线同直线的偏差不应超过全长的 1%。

5.2.3 国家现行标准《铁路工程抗震设计规范》(GB50111-2006) 第 7.3.2 条第 7 款规定: “圆形箍筋的接头必须采用焊接, 焊接长度不应小于 10 倍箍筋直径; 矩形箍筋端部应有 135°弯钩, 弯钩的直段长度不应小于 20cm”。第 7.5.14 条规定: “.....矩形箍筋端部应有 135°弯钩, 弯钩伸入核心混凝土的直段长度不应小于 20cm”。

5.2.4 钢筋的弯折应一次到位, 对于弯折过度的钢筋, 不得回弯。如果一次弯钩不到位, 再调整弯曲部分或内径时, 会使钢筋受到损伤或隐伤, 严重的甚至断裂。对于多根钢筋 (特别是箍筋) 共同弯折的情况, 弯折后应及时分开各根钢筋, 以便于绑扎、安装施工。

5.3.1 铁道部现行《铁路混凝土工程钢筋机械连接技术暂行规定》规定的钢筋机械连接接头有滚轧直螺纹接头、镦粗直螺纹接头、套筒挤压接头, 本指

南中规定焊接连接接头有闪光对焊接头、电弧焊接头；电弧焊接头按接头钢筋的构造分为搭接电弧焊接头和帮条电弧焊接头，按焊缝分布分为单面焊缝和双面焊缝。

5.3.2 由于钢筋连接的形式对钢筋的应力传递和结构的受力性能有一定影响，故在具体的结构中采用哪种连接形式应由设计指定。

第 2 款系根据国家现行标准《混凝土结构设计规范》（GB 50010-2002）第 9.4.2 条：“轴心受拉及小偏心受拉杆件(如桁架和拱的拉杆)的纵向受力钢筋不得采用绑扎搭接接头”。

6.2.9 《混凝土搅拌站（楼）》（GB/T10171）第 6 章规定了搅拌站的试验包括空运转试验、性能试验、可靠性试验，第 6.4 节性能试验中，规定了加载试验、理论生产率测试、组分动态精度测试、混凝土匀质性测试、整机能耗及主要机构功率的测试、瞬时超载能力测试、供水装置性能测试、噪声测试、粉尘浓度测试、混凝土试块强度试验共计 10 项。其中混凝土匀质性测试在拌和站每次安装调试后都要进行。

6.3.1 铁路混凝土中掺和料多为粉煤灰和矿渣粉，为了使混凝土中矿渣粉与粉煤灰添加总量可控，所用水泥中的混合材宜为矿渣粉或粉煤灰。水泥颗粒过细，水泥熟料中 C_3A 含量过高，水泥的水化速度过快，水化热集中释放，导致混凝土收缩增大、抗裂性降低，对混凝土耐久性不利。因此，应该对水泥的比表面积及 C_3A 含量加以限制。《通用硅酸盐水泥》（GB175）中用比表面积来评价普通硅酸水泥的细度，规定了最小比表面积，本规范对硅酸盐水泥与普通硅酸盐水泥比表面积的上限进行限制，规定为不大于 $350m^2/kg$ 。水泥中的碱含量过高不仅容易引发混凝土的碱—骨料反应，而且增加混凝土的开裂倾向，不宜采用碱含量过高的水泥。考虑到对混凝土入模温度的要求，本指南中虽然未对水泥入仓温度进行控制，但实际施工过程中应对水泥的入仓温度进行限制。

硫酸盐对混凝土的化学腐蚀是一个长期的过程，研究表明胶凝材料 28d 抗蚀系数往往大于 1，因此，将胶凝材料抗蚀系数的龄期修改为 56d。

6.3.2 基于技术可行性和经济性，铁路混凝土工程中所用的掺和料以矿渣粉、粉煤灰为主，也可使用硅灰。在一些特殊场合，必须使用新型矿物掺和料，如煅烧高岭土、沸石粉、碳酸盐类掺和料或硅质掺和料，应由试验证明掺这些掺和料混凝土的耐久性满足要求，并要通过部级评审方可使用。

采用烧失量大的粉煤灰配制的混凝土工作性差（坍落度损失大、不易捣实）、强度效应差（波特兰效应降低）以及耐久性差（封孔固化和致密效应降低）。因此，对粉煤灰的烧失量应予重点控制。粉煤灰中未燃烧颗粒对外加剂具有很大的吸附作用，尤其对引气剂，冻融环境下应严格控制粉煤灰中的烧失量，严重冻融破坏环境下混凝土所用粉煤灰烧失量不宜大于 3.0%。硫酸根离子、CaO 与 C₃A 会生成钙矾石，钙矾石体积膨胀会导致混凝土的破坏，应选择低钙粉煤灰。

矿渣粉越细，活性越高，其收缩也随之增加。从减少混凝土收缩开裂方面考虑，磨细矿渣粉的比表面积以不超过 500m²/kg 为宜，最好不超过 450m²/kg。生产和销售磨细矿渣粉时，如果掺有石灰石粉，应当说明其掺量。

在水灰比不变的情况下，掺入硅灰可明显提高混凝土的强度、抗化学腐蚀性和耐磨性，但由于硅灰活性高，不利于减少温度变形，并且增大混凝土自收缩，因此，当有特殊需要需使用硅灰时，宜与其他矿物掺和料同时掺用，且其掺量不宜过大，一般不超过胶凝材料的 8%。

在低于 5℃、有硫酸盐存在并与水接触的环境中，碳酸钙可生成没有强度的膏状水化碳硫硅酸钙（硅灰石膏，thambsite）。在硫酸盐侵蚀环境下，不得使用石灰石粉作为掺和料。

6.3.3~6.3.4 采用专门机组生产的人工砂，具有很好的粒形，且因在磨制前已被清洗，故其含泥量较低，可以用来配制高性能混凝土。山砂是由开挖山体

浅层风化岩经筛选而得，含泥量高、风化严重，故不提倡使用。海砂中的有害物氯离子虽然可用淡水冲洗除去，但目前冲洗成本高，质量控制困难，因此，本指南中规定不得使用。

人工砂中的石粉不同于粘土、泥块，少量石粉在混凝土中有调整和易性、提高混凝土韧性的有利作用。本指南对人工砂和混合砂的石粉含量的规定主要参考国家现行标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法》（JGJ52-2006）制定。

骨料的有害物含量对混凝土的耐久性影响较大，应加以控制。原《铁路混凝土与砌体工程施工规范》（TB10210-2001）规定了粗、细骨料有害物含量的相关要求。但为了确保有耐久性要求混凝土的耐久性，本指南对粗、细骨料中有害物质含量限值的部分指标提出了较原《铁路混凝土与砌体工程施工质量验收标准》（TB10424—2003）更高的要求。

水、混凝土中的碱、活性骨料是发生碱—骨料反应的三个必要条件。为预防混凝土发生碱—骨料反应，处于潮湿环境中的混凝土结构应尽量采用砂浆棒或岩石柱膨胀率小于 0.10% 的非碱活性骨料。

粗骨料在运输和装卸过程中，其级配可能发生变化。为了确保骨料具有良好的级配，一个有效又可行的技术措施是采用多级配石，如采用二级配石或三级配石。使用过程中可通过对粗骨料实行分级采购、分级存贮、分级计量，配合比试配时再确定各级配石的具体用量，以使骨料具有尽可能小的空隙率，从而降低混凝土的胶凝材料用量。降低粗骨料空隙率的另一个有效措施是采用反击式、锤式破碎机生产骨料，可以获取更多球形粒形的骨料产品。用这种骨料配制的混凝土，其工作性可以得到进一步的改善，因而也是骨料生产工艺改进的一个方向。

根据铁路混凝土用粗骨料应采用二级或三级级配，并应分级采购、分级运输、分级堆放、分级计量的要求。为加强粗骨料质量的过程控制，完善控

制流程，特提出混凝土用粗骨料的含泥量、泥块含量应分级检验，不合格的分级骨料不得用于混凝土施工。当由粗骨料的含泥量、泥块含量引发工程质量争议时，可按使用分级比例混合后骨料的泥块含量、含泥量是否满足技术要求，对工程质量进行判定。

混凝土的耐磨性决定于它的强度与硬度，特别是面层混凝土的强度与硬度。磨蚀环境下宜采用高 C_3S 的水泥，除此之外，骨料的强度和硬度是影响磨蚀环境下混凝土的关键，磨蚀环境下，宜选择硬质骨料，如花岗岩、闪长岩等。

6.3.5 掺外加剂是制备高性能混凝土的关键技术之一。外加剂的性能品质、匀质性和与水泥的相容性是成功配制高性能混凝土的基本条件。由于目前外加剂品种繁多，产品质量参差不齐，市场管理又比较混乱，选用时，一定要注意不同外加剂的使用功能、特点。外加剂不但要与基准水泥还应与工程所用水泥具有良好的相容性。

本指南规定减水剂的含气量不大于 3.0%，其目的是确保生产减水剂时采取先消泡再引气的工艺。目前部分减水剂生产厂家在生产减水剂过程中未采用先消泡后引气的工艺，导致混凝土中引入了大量直径大且不稳定的劣质气泡，造成混凝土含气量经时损失大，不能保证混凝土抗冻性的要求，且混凝土表面气孔较多。对于引气混凝土应采取减水剂和引气剂双掺的技术措施。为了减少由于收缩而引起的混凝土开裂，结合目前高效减水剂的生产技术水平，本指南中将高效减水剂的收缩率比规定为不大于 125%。

6.3.6 提高混凝土的耐久性，尤其是抗冻性，引气剂起到十分重要的作用。混凝土中掺入少量引气剂后，就能使每方混凝土中引入数千亿个微小气泡，使混凝土的抗冻融性能大大提高。国内外大量研究表明，混凝土中掺加引气剂后，对混凝土的工作性和匀质性有所提高。引气剂不仅能减少混凝土的用水量，降低泌水率，更重要的是混凝土引气后，水在拌和物中的悬浮状态更加

稳定，因而可以改善骨料底部浆体泌水、沉陷等不良现象。因此适量引气是配制抗冻高性能混凝土的重要手段之一。引气剂所引气泡的直径及稳定性对混凝土的性能影响很大，因此，选择引气剂时，要检测引气混凝土的气泡间隔系数，研究表明，当混凝土中气泡间距系数小于 $300\mu\text{m}$ 时，混凝土抗冻性较高。引气剂的掺量一般为减水剂掺量的 1% 左右，掺量小，现场直接掺入时较难计量，针对这一情况，可对引气剂进行稀释，如按 1: 99（引气剂：水）比例进行稀释后再掺入。

6.3.7 国家现行标准《混凝土用水标准》（JGJ63）对拌和水中有害物含量和拌和水对混凝土凝结时间和强度的影响要求作出了具体规定。拌和水的碱含量是新增要求，主要是为了控制混凝土的可溶性总碱含量，具体指标参考《混凝土用水标准》（JGJ63）制定。

混凝土的水化产物只有在碱性条件下才能稳定存在，所用拌和水如果酸性较强不利于水化产物的稳定，将拌和水的 pH 值由“ ≥ 4.5 ”调整为“ ≥ 6.5 ”。

6.5.1~6.5.2 混凝土配合比选定的好坏，直接关系到结构物的寿命和整个工程的经济效益。

混凝土的配制强度系按铁道部现行《铁路混凝土强度检验评定标准》（TB10425）的规定。混凝土强度标准差应由强度等级相同，且混凝土配合比和施工工艺条件基本相同的混凝土标准试件经统计求得。考虑到目前混凝土生产单位的质量管理水平，强度标准差取中等水平。

混凝土的早期强度越高，混凝土早期开裂的可能性越大。为了克服混凝土的这一不足，充分发挥矿物掺和料的后期火山灰效应，宜按 56d 龄期作为混凝土标准强度的验收龄期。

混凝土的抗裂性对于抵抗环境作用侵蚀甚为重要，我国现行标准中还没有对水泥（胶凝材料）或混凝土抗裂性检验的规定。通过传统的混凝土干燥收缩试验所获得的收缩数据，并不能全面评价混凝土的抗裂性能，因为后者

还取决于混凝土的抗拉强度、弹性模量特别是徐变或约束状态下的应力松弛能力。采用收缩时受约束的环形试件和平板试件来评定混凝土的抗裂性可在一定程度上克服这些缺点，而且方法简便，但不能用作定量分析，只能用于不同原材料和配比混凝土之间的相对比较。

本指南明确了不同环境条件下、不同水胶比混凝土矿物掺和料的掺量范围，特别指出的是表 6.5.2-2 中所列矿物掺和料掺量是单掺一种矿物掺和料的掺量。当水胶比大 (>0.4)，矿物掺和料掺量应减少；当水胶比小 (≤ 0.4)，矿物掺和料掺量应增大。以矿渣和粉煤灰为代表的掺和料赋予混凝土高工作性能、高耐久性、高体积稳定性，已经达成共识，因此矿物掺和料已经成为铁路混凝土的必要组分。考虑到矿物掺和料对混凝土力学性能的影响，在碳化环境、氯盐环境、冻融破坏环境、盐类结晶破坏环境以及磨蚀环境对矿物掺和料掺量规定了最大值，根据不同水胶比对掺和料掺量进行不同限值的规定。在化学侵蚀与氯盐环境下，矿物掺和料能够大幅度地提高混凝土的抗蚀性，在混凝土制备时必须添加矿物掺和料，本指南规定了矿物掺和料的掺量范围，给出了矿物掺和料的最低掺量，要求在氯盐环境和化学侵蚀环境性的混凝土必须添加矿物掺和料。矿物掺和料的掺量主要参考美国《混凝土结构设计规范》(ACI 318) 与《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T 50476)。

配合比设计是确保混凝土耐久性最关键的环节，水胶比与最小胶凝材料用量限值是保证混凝土耐久性所需要的抗渗性与力学性能的重要技术参数。由于混凝土拌合时的用水量在其浇注成型后被水化结合的很少，大量游离水随后成为混凝土的薄弱环节，给混凝土的开裂和耐久性带来不利影响。近年来，从机理到工程应用都可以证实，控制混凝土拌合物最大用水量可以有效地改善其各项性能。

碳化环境：混凝土碳化，一方面与 CO_2 在混凝土中的扩散速度密切相关，其取决于混凝土的孔隙率和孔隙结构，即取决于混凝土的水胶比；另一方面

还与混凝土吸收 CO_2 的能力有关，这主要取决于混凝土内 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的储备，而混凝土中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的数量由胶凝材料中 CaO 含量决定。碳化环境下，当采用能够减水的掺和料配制混凝土时，这种混凝土也具有较强的抗碳化能力，但对于水胶比较大的混凝土，矿物掺和料掺量不宜过大。

氯盐环境：海工工程实践表明，低水胶比的掺加掺和料混凝土比同水胶比的硅酸盐水泥混凝土具有更高的抗氯盐侵蚀性能，因此，氯盐环境下，不宜单独使用硅酸盐水泥作为胶凝材料。严重腐蚀的氯盐环境下宜采用大掺量掺和料混凝土（胶凝材料中含有较大比例的粉煤灰、磨细矿渣和硅灰等矿物掺和料，需要采取较低的水胶比和特殊施工措施的混凝土），大掺量掺和料的混凝土应配合良好的养护和保护措施。除与冻融破坏环境耦合外，掺和料的掺量宜在 40% 以上。

化学侵蚀环境：提高混凝土耐硫酸盐化学侵蚀的主要技术措施有三条，即第一是选择耐硫酸盐性能良好的水泥，主要是水泥熟料矿物中 C_3A 的含量尽量少，如高抗硫水泥 C_3A 含量 $\leq 3\%$ ，中抗硫水泥 C_3A 含量 $\leq 5\%$ ；第二是掺加矿物掺和料，一般掺量不得少于 40%，随着掺和料掺量的增加，混凝土耐蚀性能提高；第三是通过掺加高效减水剂，降低混凝土的单方用水量，提高混凝土抗渗性和强度。也有研究表明，引气能有效抑制或减缓混凝土在硫酸盐化学侵蚀和硫酸盐结晶引起的膨胀，即显著降低硫酸盐结晶造成的混凝土抗折强度降低及表面剥蚀。在硫酸盐较为富集的情况下，石灰石与硫酸盐在较低的温度下易产生碳硫硅钙石破坏，因此，化学侵蚀环境下，不得使用石灰石作为掺和料。

盐类结晶破坏环境：干湿交替情况下，水中的 SO_4^{2-} 浓度如大于 200mg/L，或土中 SO_4^{2-} 浓度大于 1000mg/kg，就有可能损害混凝土。地下水、土中的硫酸盐渗入到混凝土的内部，并在一定条件下使得毛细孔水溶液中硫酸盐浓度不断积累，当超过饱和浓度时就会析出盐结晶而产生很大的压力，导致混凝

土破坏。采用适当引气可以适当释放硫酸盐结晶破坏压力。因此，盐类结晶破坏环境下，宜使用引气混凝土。

冻融破坏环境：多年来的工程实践表明，提高混凝土抗冻性的技术途径有两方面，其一是提高混凝土的密实度或强度；其二是适当引气。引气混凝土具有较高抗冻性的事实已被证实。但也有实践表明高强混凝土用于严重冻融环境即使不引气也没有发生破坏。考虑到引气不仅能够提高混凝土的抗冻性，而且能够改善混凝土的工作性能；另外，高强混凝土粘度大、施工困难。本指南规定了冻融环境下，混凝土的含气量要求。气泡大小与气泡稳定性是评价引气剂的主要指标，本指南提出了采用气泡间距系数来控制引入到混凝土内部的气泡质量，从而确保混凝土中所引入的气泡微细、均匀、稳定。

磨蚀环境：混凝土的抗磨蚀性能主要取决于混凝土的强度、骨料的强度、硬度和韧性，这就对磨蚀环境下混凝土的原材料提出了特殊的要求，尤其是骨料和胶凝材料方面。参照 ACI201.2R-08、欧洲标准和水工混凝土相关标准对磨蚀环境下，原材料、掺和料最大掺量限值以及水胶比、最低强度等级和胶凝材料用量应予以规定。ACI 201.2R-08 建议混凝土采用较低的水胶比（小于 0.45），以便改善表面砂浆的强度和耐磨性。《水工建筑物抗冲磨防空蚀混凝土技术规范》（DL/T5207）中提出抗磨蚀混凝土水胶比应小于 0.4，宜掺加硅灰，且应同时掺加补偿早期收缩的膨胀剂或减缩剂。

本指南对混凝土最大水胶比和最低胶凝材料用量的要求基本上与国内外混凝土规范的规定基本相同，唯一不同的是，将低强度等级为 C25 的混凝土最低胶凝材料用量由 240kg/m^3 修改为 260kg/m^3 。

混凝土中氯离子含量是指混凝土中各种原材料带进混凝土的氯离子总含量。当氯离子含量在钢筋周围达到某一临界值时，钢筋的钝化膜开始破坏，丧失对钢筋的保护作用，钢筋开始锈蚀。在氯盐环境下，环境中的氯离子还会不断地渗入到混凝土内部，聚集到钢筋表面，混凝土原材料中的氯离子含

量应尽可能地小；对于预应力混凝土结构，由于预应力筋对氯盐腐蚀非常敏感，更容易发生腐蚀，应该更严格控制混凝土中氯离子含量。为保证混凝土的耐久性，本指南对钢筋混凝土和预应力混凝土的氯离子含量限值分别提出要求。关于引起钢筋锈蚀的氯离子临界值尚未有明确的量值，较为统一的认识是占胶凝材料质量的 0.35%-1%。也有规范是用每方混凝土中氯离子含量来限制，如日本土木学会编写的《混凝土标准规范》规定，一般钢筋混凝土和后张预应力混凝土，混凝土中氯离子总量小于 0.6kg/m^3 ；对于耐久性要求特别高的钢筋混凝土和后张预应力混凝土，在可能发生盐害和电腐蚀的场合以及采用先张预应力混凝土的场合，混凝土中氯离子总量应小于 0.3kg/m^3 。日本《预拌混凝土》（JIS 5308）中规定，混凝土的氯化物含量，在卸货地点，氯离子含量必须小于 0.3kg/m^3 ；但在得到购货者同意时，可在 0.6kg/m^3 以下。美国《固定式离岸混凝土结构设计与施工指南》（ACI 357）规定：混凝土拌和物中可溶性氯离子总含量不得超过胶凝材料质量的 0.1%（钢筋混凝土）和 0.06%（预应力混凝土）。本指南对氯离子控制指标与 ACI 357 一致。

混凝土中过量的硫酸根离子，在铝酸三钙（ C_3A ）剩余以及有水存在的情况下，会发生反应，延迟生成钙矾石。由于钙矾石在形成过程中，体积膨胀，导致硬化混凝土开裂，这一反应也被称为内部硫酸盐腐蚀。防止钙矾石延迟生成的主要途径是降低养护温度，限制水泥中硫酸盐和 C_3A 含量，避免混凝土在使用阶段与水接触。本指南将混凝土中 SO_3 含量限制在胶凝材料的 4% 以下。

掺外加剂是制备高性能混凝土的关键技术之一。外加剂的性能品质、匀质性和与水泥的相容性是成功配制高性能混凝土的基本条件。由于目前外加剂品种繁多，产品质量参差不齐，市场管理又比较混乱，选用时，一定要注意不同外加剂的使用功能和特点。外加剂不但要与基准水泥还应与工程所用水泥具有良好的相容性。

适量引气能够提高混凝土的抗冻性能，同时能够改善混凝土的其他性能。混凝土引气的方式有两种，一种是掺加引气型减水剂，一种是减水剂和引气剂双掺。客运专线高性能混凝土前期施工采用掺加引气型减水剂的方式引气，但在过程中发现掺加引气型减水剂引入的气泡质量较差，混凝土结构物表面气孔较多。本次修订在参考国内外相关标准的基础上，明确引气混凝土采用减水剂和引气剂双掺的方式引气，控制减水剂的含气量不大于 3.0%。为了减少由于收缩而引起的混凝土开裂，结合目前高效减水剂的生产技术水平，本指南中将高效减水剂的收缩率比规定为不大于 125%。

对于非主体结构混凝土用外加剂，也可采用满足国家现行标准《混凝土外加剂》（GB8076）和有关行业标准的相关规定的产品。

非引气混凝土的抗冻性能主要与水胶比（强度）有关，另外与浆体含量也有一定关系，但即使是 C60 级的高强混凝土，在严重的冻融条件下也难免冻蚀，只有水胶比非常低、强度高达 C80 级的超高强混凝土才是例外。所以，只有引气才是提高混凝土抗冻能力的最有效手段。其次，矿物掺和料对混凝土抗冻性有一定影响，宜通过试验确定。通常情况下，掺加硅粉有利于抗冻；在低水胶比前提下，适量掺加粉煤灰和矿渣对抗冻能力的影响也不大，但应严格控制粉煤灰的品质，特别要尽量降低粉煤灰的烧失量，后者对含气量有很大影响。

6.5.5 根据京沪高速铁路及各客运专线混凝土实施情况，混凝土用粗骨料的级配以及细骨料的细度模数在一定范围内会产生波动，引气剂、减水剂的使用效果受混凝土材料品质波动、环境温度的变化等因素影响较大。因此，混凝土配合比可根据实际检测情况对分级骨料的比例、砂率、引气剂和减水剂掺量进行适当调整。具体要求如下：

分级骨料的比例调整：骨料品质应满足本指南的要求，调整配合比混凝土坍落度应在原理论配合比设计坍落度 $\pm 10\text{mm}$ 范围内，调整配合比混凝土含

气量应满足本指南入模含气量的要求，且调整配合比混凝土出机含气量与原配合比混凝土设计出机含气量之差在±0.5%范围内。

砂率的调整：骨料品质应满足本指南的要求，砂率调整范围不得超过 1%，调整配合比混凝土坍落度应在原理论配合比设计坍落度±10mm 范围内，调整配合比混凝土含气量应满足本指南入模含气量的要求，调整配合比混凝土出机含气量与原配合比混凝土设计出机含气量之差在±0.5%范围内。

引气剂掺量的调整：调整配合比混凝土坍落度应在原理论配合比设计坍落度±10mm 范围内，调整配合比混凝土含气量应满足本指南入模含气量的要求，调整配合比混凝土出机含气量与原配合比混凝土设计出机含气量之差在±0.5%范围内。调整配合比混凝土凝结时间与原理论配合比混凝土凝结时间之差应在±60min 范围之内。

减水剂掺量的调整：减水剂掺量调整范围为胶材用量的±0.1%，调整配合比混凝土坍落度应在原理论配合比设计坍落度±10mm 范围内，调整配合比混凝土含气量应满足本指南入模含气量的要求，调整配合比混凝土出机含气量与原配合比混凝土设计出机含气量之差在±0.5%范围内。调整配合比混凝土凝结时间与原理论配合比混凝土凝结时间之差应在±60min 范围之内。

6.6.2 采用强制式搅拌机拌制的混凝土质量比较均匀，搅拌机的功率大、效率高，混凝土拌和物的质量也相对稳定。采用电子计量系统也是为了保障拌和物的质量稳定。

6.7.7 混凝土的运输时间也可参考说明表 6.7.7 的规定。

说明表 6.7.7 混凝土拌和物运输时间限值（min）

施工时段最高气温（℃）	无搅拌运输	有搅拌运输
>30	30	60
≤30，>20	45	75
≤20，>10	60	90
≤10，≥5	60	105
<5	30	60

6.8.2 混凝土温度控制的原则是：1） 升温不要太早和太高；2） 降温不要太快；3） 混凝土中心和表面之间、新老混凝土之间以及混凝土表面和气温之间的温差不要太大。温度控制的方法和制度要根据气温（季节）、混凝土内部温度、构件尺寸、约束情况、混凝土配合比等具体条件来确定，不能不管条件采取千篇一律的方式和方法。在气温很高的夏季，如果对混凝土的温升不加控制，即使掺用了矿物掺和料，温升也会很高，而且到达温峰的时间很快，这时就不宜在浇筑后的升温阶段采取保温措施来减小温差，而应该遏制温度的上升，比如对模板进行预冷，并在浇筑过程中不间断冷却模板。

混凝土的入模温度宜根据气温调整。降低入模温度对控制混凝土的裂缝非常重要。同样的混凝土，入模温度高的其温升值要比入模温度低的大许多。在气温很高时，更应采取措施设法降低混凝土的入模温度。但是如果入模温度降得太多，则接触气温的表面比内部硬化得快，等到内部升温而膨胀时，表面产生拉应力容易开裂。因此冬天用热混凝土比夏季用冷混凝土有利。夏季在降低入模温度的同时，还要冷却模板并注意使混凝土表面避免日晒。

混凝土的分层厚度可参考说明表6.8.2中的数值。

说明表 6.8.2 混凝土的浇筑层厚度

振捣方法		浇筑层厚度（cm）
插入式振动		振捣器作用部分长度的 1.25 倍
表面振动	无筋或配筋稀疏的结构	25
	配筋较密的结构	15
附着式振动		30

注：表列规定可根据结构物和振捣器型号等情况适当调整。

6.10.1 传统的观点认为，只有大坝那样的水工结构才是施工时需要控制内部温升的大体积混凝土，但实践表明，由于现代水泥的强度和细度增加以及混凝土水胶比的降低，不仅高层建筑的基础底板和大型设备基础需要控制混凝土内部温度，而且一些墙、柱和梁也会因混凝土的温升引起严重开裂。我国冶金建筑规定了截面最小尺寸在 1m 以上的构件混凝土为大体积混凝土，混凝

土裂缝专家王铁梦提出应当将 1m 改成 0.8m，而欧洲一些资料则认为截面厚度 300mm 及以上的墙、板就应专门考虑施工阶段的温度和裂缝控制。实际情况也说明以 300 mm 作为大体积混凝土的界限是比较适宜的。

6.10.3 、6.10.6 混凝土掺加矿物掺和料后，早期的强度发展速度有所放慢，对温度和湿度的敏感程度显著，应特别注意带模养护时间。混凝土带模养护周期与环境温度、混凝土 3d 和 28d 强度比有关，有条件时应尽量延长带模养护时间。对于较大厚度的构件，由于水化热会使温度持续升高，如果气温不是过低，则在浇筑后的初始几小时内宜散热（但仍要保湿，如用薄膜覆盖），在炎热气候下有塑料薄膜覆盖时可在薄膜外面适当喷洒凉水。当混凝土表面已结硬或处于降温阶段则要保温覆盖以降低降温速率，使混凝土表面与内部和大气的温差不要过大。水胶比低的混凝土，浇筑一结束就要保持混凝土中水分不受损失，对水平构件应立即用塑料薄膜紧密覆盖表面，对垂直构件要立即封住顶面并在混凝土达到一定强度时及早松开模板，从顶面注水养护。

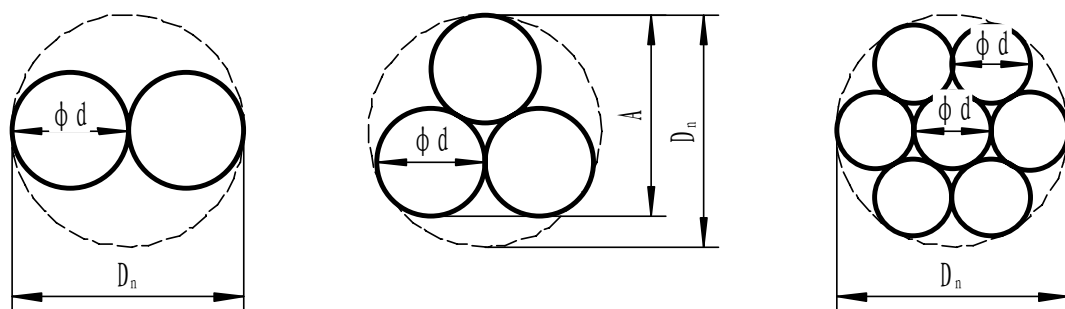
6.10.8、6.10.13 混凝土养护期间，应对有代表性的结构进行温度监控，定时测定混凝土中心温度、表面温度以及环境的气温、相对湿度、风速等参数，并根据混凝土温度和环境的变化情况及时调整养护制度，严格控制混凝土的内外温差。控制混凝土的各种温差主要是为了防止温差过大引起混凝土产生裂缝。混凝土养护要注意湿度和温度两个方面。养护不仅是浇水保湿，还要注意控制混凝土的温度变化。在湿养护的同时，应该保证混凝土表面温度与内部温度和所接触的大气温度之间不出现过大的差异。采取保温和散热的综合措施，可以防止温降和温差过大。混凝土温度控制的原则是：① 升温不要太早和太高；② 降温不要太快；③ 混凝土中心和表面之间、新老混凝土之间以及混凝土表面和大气之间的温差不要太大。温度控制的方法和制度要根据气温（季节）、混凝土内部温度、构件尺寸、约束情况、混凝土配合比等具体条件来确定。

6.11.2~6.11.3 拆模时，混凝土应具有一定的强度，表面及棱角不能因为拆模而受损，其不同结构对拆模时混凝土应具备的强度要求不一致，因此，拆模强度应满足相关专业规范的要求。大风或气温急剧变化时不宜拆模。混凝土内部开始降温以前以及混凝土内部温度最高时不得拆模。拆除模板或撤除保温防护后，如表面温度骤降，混凝土就可能会产生龟裂。只有当混凝土任何部位的温度都处于逐渐下降状态时才能撤除保温防护。大体积混凝土不能降温过快，因为当混凝土内外存在温差时，表面骤冷的混凝土产生裂缝的可能性很大。混凝土采用干热保温时，必须补充足够的水分。

7.1.1 预应力筋锚具通常与预应力钢材配套使用，制造商设计生产的锚具，都是针对特定的预应力筋开发的，所以必须配套使用。成套锚具包括锚板、夹片、锚垫板和螺旋筋等，并应遵守其相应的限制规定。有些工程的环境条件特别，应注意常规锚具的适用性问题，比如锚具的使用环境温度。

7.1.3 预应力工程中，结构的施工顺序与施加预应力的关系影响构件内建立的预应力，且影响结构中非预应力构件，所以，必须按施工组织设计规定施工，准确实现设计意图。大跨度预应力结构，对施工偏差较敏感，过大的偏差进而可能影响结构的安全度，如果设计单位或建设单位认为有必要，可进行必要的施工阶段结构的监测。

7.2.9 为防止用错限位板，在使用之前应测量钢绞线直径，并和限位板上的标记核对。钢绞线的直径应用分度值为 0.02mm 的量具测量。 1×2 结构钢绞线的直径应测量说明图 7.2.9-a) 所示的 D_n 值， 1×3 结构的钢绞线应测量说明图 7.2.9-b) 所示的 A 值， 1×7 结构钢绞线直径应测量说明图 7.2.9-c) 所示的 D_n 值。在同一截面不同方向上测量两次取平均值。



a) 1×2结构钢绞线外形示意图

b) 1×3结构钢绞线外形示意图

c) 1×7结构钢绞线外形示意图

说明图 7.2.9 钢绞线外形示意图

7.3.2 为了保证灌浆质量，管道的直径至少应比预应力筋直径大 6mm~10mm，且当预应力筋是成束张拉时，管道的面积至少应大于预应力筋面积的 2.5 倍，通常可取 3~4 倍。

7.3.3 定位钢筋有两种形式，一是井字形，管道穿入井字内，四个方向依靠钢筋限位；二是十字形，管道靠在十字处，用钢筋绑扎铁线固定。第二种形式在混凝土浇筑时极易被振捣器破坏，造成管道上浮、旁移，从而增大孔道摩擦系数。

圆截面金属波纹管的连接采用大一规格的管道连接，其工艺成熟，现场操作方便，但必须保证两端旋入长度尽量一致。扁形金属波纹管无法采用旋入连接工艺，通常也可采用更大规格的扁管套接工艺。塑料波纹管采用热熔焊接工艺或专用连接套管均有质量保证。

锚垫板尾部与波纹管的连接处容易出现脱开、漏浆等问题，所以应特别重视，采用可靠的连接和封闭措施，防止混凝土浇筑时出现移位或滑脱。

完整良好的成孔质量是张拉和灌浆质量保证的前提条件之一。灌浆时，从一端注入的水泥浆往前流动，并同时孔道内的空气从另一端排除，但由于孔道往往呈起伏状，水泥浆不可能象竖向孔道从下往上灌浆一样将孔道截面充满，所以难免出现水泥浆流过而空气未被往前挤压滞留于管道内的情况。当空气滞留于管道内时，将出现灌浆缺陷，形成所谓的月牙缺陷，还可能被泌出的水充满，非常不利于预应力筋的防腐。所以，规定曲线孔道波峰部位设置排气管兼泌水管，该管不仅可排除空气，还可以将泌水集中排除在孔道

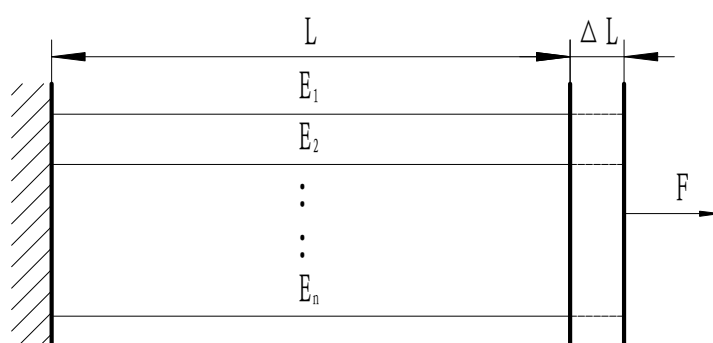
外。采用金属管或增强塑料管，可以防止混凝土浇筑过程中出现排气管压扁。增强塑料管不应采用 PVC 和再生塑料管，通常可采用钢丝增强塑料管以及壁厚不小于 2mm 的聚乙烯管。

7.4.4 金属波纹管在现场容易因潮湿环境发生锈蚀，所以应妥善保管，防止锈蚀，防止油污、泥土等污染。此外，油污和泥土会影响波纹管与混凝土之间的粘结力，变形的管道影响预应力筋的穿筋和张拉时的摩擦阻力，所以应予以避免。塑料波纹管在高温下的刚度急剧退化，故应避免高温环境。

7.5.1 极差指同组钢丝中最长和最短钢丝的差值。

7.5.2 高强预应力钢材属于高碳钢，局部受高温后急冷会使金属变脆易断。制作时应避免焊接或接地电火花损伤预应力筋表面，也不允许周边气割钢材时，高温铁水流淌在预应力筋表面。严禁预应力筋作为电焊接地线。

7.5.3 为了保证梁体同一截面不同位置的预应力的对称和均衡，同一截面上的预应力筋应采用同一厂家、同一规格、同一品种、同一批号的产品。对于同一厂家、同一规格、同一品种、同一批号的不同检验批，实测弹模可能有一定差异，用在同一束内可能会引起单根钢绞线的应力差异，但这种差异不会大到超出钢绞线抗拉计算强度 f_p 。分析如下：



说明图 7.5.3 钢绞线伸长计算模型图

如说明图 7.5.3，设同一束的 n 根钢绞线的弹模分别为 E_1, E_2, \dots, E_n ，面积为 A （误差不记），长度为 l （误差不记），在张拉力 F 作用下伸长值为 Δl 。则有：

对于任一根钢绞线，均有： $\frac{\Delta l}{l} = \frac{F_j}{E_j A} = \frac{\sigma_j}{E_j} = k$ ($j=1,2, \dots, n$),①

式中 F_j 为单根钢绞线上分配的张拉力， $F_j = \sigma_j A$ ($j=1,2, \dots, n$),②

由①得： $\sigma_j = kE_j$ ，代入②得： $F_j = kE_j A$ ($j=1,2, \dots, n$),③

又有： $F = \sum_{j=1}^n F_j = \sum_{j=1}^n kE_j A = kA \sum_{j=1}^n E_j$ ，④

由④可得： $k = \frac{F}{A \sum_{j=1}^n E_j}$ ⑤

钢绞线平均应力： $\bar{\sigma} = \frac{F}{nA}$ ⑥

钢绞线平均弹模： $\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n E_j$ ⑦

将⑥、⑦代入⑤得： $k = \frac{\bar{\sigma}}{\bar{E}}$ ⑧

将⑧代入①，则得任一根钢绞线的应力为： $\sigma_i = kE_j = \frac{E_j}{\bar{E}} \bar{\sigma}$ ⑨

因弹模误差引起的单根钢绞线应力相对平均应力的误差为：

$\delta = \frac{\Delta \sigma_i}{\sigma} = \left(\frac{1}{\bar{E}} \Delta E_j - \frac{E_j}{\bar{E}^2} \Delta \bar{E} \right)$ ⑩

国家现行标准《预应力混凝土用钢绞线》(GB/T5224-2003)第7.3.5条规定，钢绞线弹性模量为 $195\text{GPa} \pm 10\text{GPa}$ ，则全体钢绞线服从 $N(195, 10^2)$ 的正态分布，任一钢束则是全体钢绞线母体的简单随机子样，即同一钢束中的每根钢绞线独立同分布，且和母体概率分布相同。则对任一束钢绞线，有：

$$\bar{E} = 195\text{GPa}, \Delta E = 10\text{GPa}, \Delta \bar{E} = \sqrt{\frac{100}{n}} = \frac{10}{\sqrt{n}}。$$

设 $n=8$ ， $E_i=195\text{GPa}$ ，则 $\delta = \frac{10}{195} - \frac{195}{195^2} \times \frac{10}{\sqrt{8}} = 0.033$ ，即由于弹模波动造成的

单根钢绞线应力相对单束钢绞线平均应力的误差为3.3%。

铁道部现行《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》

(TB10002.3-2005) 第 3.2.3 条规定预应力筋抗拉计算强度 $f_p=0.9f_{pk}$, 第 6.4.1 条规定钢绞线的设计锚下控制应力 $\sigma_{con}\leq 0.8f_{pk}$ 。考虑应力误差, 则 $\sigma_{con}=0.8\times 1.037f_{pk}=0.830f_{pk}<f_p$ 。因此, 不同弹模的钢绞线编至一束时是安全的。

但同一束钢绞线必须用同一厂家、同一规格、同一品种、同一批号的产品, 因为不同厂家、规格、品种、批号的产品, 其限位板的规格尺寸会略有差异, 这种差异对预应力钢束传力锚固的影响比较大。

7.5.4 钢丝束采用镦头锚具时, 锚具的效率系数主要取决于镦头的强度, 而镦头强度与采用的工艺及钢丝的直径有关。冷镦时由于冷作硬化, 镦头的强度提高, 但脆性增加, 且容易出现裂缝, 影响强度发挥; 大直径的钢丝采用冷镦很难满足强度要求。

7.5.5 预应力螺纹钢筋的张拉锚固或连接接长, 全靠螺母锚具的螺纹部分传递预应力, 故应保证其有足够多的螺纹参与工作, 所以规定本条。

7.5.7 预应力筋穿入孔道, 根据其与混凝土浇筑的关系分为先穿束和后穿束。混凝土浇筑前将预应力筋穿入管道内的工艺方法称为先穿束, 而待混凝土浇筑完毕再将预应力筋穿入孔道的工艺方法称为后穿束。一般情况下, 先穿束工艺占用工期, 而且预应力筋在孔道内时间较长, 在环境湿度较大的南方地区或雨季比较容易造成预应力筋的锈蚀, 进而影响孔道摩擦, 甚至影响预应力筋的力学性能; 而后穿束工艺可在混凝土强度达到设计强度后施加预应力前, 将预应力筋穿入孔道, 所以预应力筋在孔道内的时间较短, 而且张拉后立即灌浆, 其对预应力筋的锈蚀影响可忽略, 同时不占用结构施工工期, 有利于加快施工速度, 是较好的工艺方法。对一端为锚固端, 另一端为张拉端的预应力筋, 宜采用先穿束工艺; 而可两端张拉的预应力筋, 宜采用后穿束工艺。

将钢绞线逐根穿入孔道可能造成扭曲, 增大松弛量减小整束的平均弹性模量, 增大伸长值, 不宜提倡。

7.5.9 本条是锚具安装工艺及质量控制规定，主要是保证锚具及连接器能够正常的工作，不致因安装质量问题出现不必要的性能降低。比如，锚具与承压面不垂直时，会导致锚具和预应力筋受力异常，容易造成预应力筋滑脱或提前断裂。

7.5.10 外露预应力筋如果没有采取保护措施，在后续混凝土浇筑施工中容易受混凝土的污染，而且长时间暴露于空气中，容易生锈；而锚垫板喇叭口和排气管口敞开时，容易造成养护水或雨水进入孔道，造成预应力筋和管道的锈蚀，影响张拉摩擦和钢材的力学性能；同时位于张拉槽内的锚垫板喇叭口不封闭时，甚至可造成混凝土进入，进而影响预应力筋的张拉。由于预应力系分项工程，其预应力筋及管道等安装后，仍有大量的后续工程在同一工位上进行，如果保护不当，很容易造成已安装工程的破损、移位等问题，影响工程质量，故应采取认真措施对完成工作进行保护。

混凝土浇筑前穿入孔道内的预应力筋，须经过混凝土浇筑、养护等过程，预应力筋在孔道内时间较长，在环境湿度较大的南方地区或雨季比较容易造成预应力筋的锈蚀，进而影响孔道摩擦，甚至严重的会影响预应力筋的力学性能。因对管道成孔质量的担心，普遍采用先穿束工艺，现场预应力筋的锈蚀情况比较严重，有必要进行必要的限制。空气中的盐分对钢筋的锈蚀，主要是氯盐中的氯离子引起钢筋钝化膜的破坏。防锈措施有：封闭管道各个可能的开口，包括端部锚垫板喇叭口、排气兼泌水管口等，此外对外露于锚垫板外的预应力筋采用防水塑料布等进行缠绕封裹也能有效的防止预应力筋的锈蚀。

7.6.1 在一般情况下，对同一束预应力筋，应采取整束张拉，使各根预应力筋建立的应力比较均匀。在一些特殊情况下（如千斤顶吨位不足、张拉端局部受压承载力不够、张拉端预应力筋长度不够或张拉空间受限制等），对扁锚束、直线束或弯曲角度不大的单波曲线束，可采取单根张拉。

根据国家现行标准《通用计量术语及定义》(JJF1001),校准是“一组操作,其第一步是在规定条件下确定由测量标准提供的量值与相应示值之间的关系,这里测量标准提供的量值与相应示值都具有测量不确定度,第二步则是用此信息确定从示值与所获得测量结果的关系”,校准属于测量的范畴;检定是“查明和确认测量仪器符合法定要求的程序,它包括检查、加标记和/或出具检定证书”,检定属于法制计量和计量管理的范畴。二者的详细区别可参见说明表 7.6.1-1。

说明表 7.6.1-1 检定和校准的比较

序号	项目	检定	校准
1	效力	具有法制性,政府执法行为	不具法制性,企业技术行为
2	依据	检定规程,分国家、地区、部门三种	校准规范,也可是检定规程的有关部分。国家、地区、部门、企业均可制定
3	内容	全面确定计量特征,判别合格性	仅确定示值误差,不判别合格性
4	证件	合格:检定证书(合格级别) 不合格:检定结果通知书	校准证书,给出示值误差值和校准不确定度(或等别)
5	应用	按规程规定的允许误差考虑不确定度。使用方便,但效率低	按校准不确定度考虑不确定度,一般使用示值进行修正,使用不便,但效率高

JJF1001 和 ISO 等国内或国际标准中均没有校验这一术语的定义,但已被广泛应用。国内在《产品质量检验机构计量认证技术考核规范》(JJF1021-1990)及其它一些文件资料中规定:在没有检定规程时,应由企业编写校验方法进行校验。在 ISO9001:1994 标准的 4.11(中文版)中也多处出现校验。

但校验一词在 ISO9001 规范(中文版)的演变中已经被校准代替。ISO9001:2000 和 ISO9001:2008 标准的第 7.6 条关于监视和测量设备的控制中叙述为:“.....对照能溯源到国际或国家标准的测量标准,按照规定的时间间隔或在使用前进行校准和(或)检定(验证)。当不存在上述标准时,应记录校准或检定(验证)的依据”。

VIM(国际标准化组织、国际电工委员会第 99 号指南(2007)“国际计量学词汇-基础通用的概念和相关术语”)中将“提供客观证据证明测量仪器满足规定的要求”称为验证。

标定一般有两个涵义：一是使用标准的计量仪器对所使用仪器的准确度（精度）进行检测是否符合标准；二是用一定的试验方法，确定仪器或测量系统的输入—输出关系，赋予仪器或测量系统分度值，确定仪器或测量系统的静态特性指标，消除系统误差。可见，标定和校准的涵义相同。

综上所述，检定和校准是国家现行标准《通用计量术语及定义》(JJF1001)的明确定义的术语；校验虽然在国内广泛应用，却没有明确的术语定义，且ISO9001 规范（中文版）的演变中已由校准代替校验；标定也是在国内广泛应用却没有明确的术语定义；校验和标定的涵义与校准相同。因此，本规范采用校准这一术语。

《弹簧管式精密压力表及真空表检定规程》(JJG49-1999)规定精密表的准确度等级和允许误差为：

说明表 7.6.1-2 精密表的准确度等级和允许误差

准确度等级	允许误差%（按测量上限的百分数计）
0.06	± 0.06
0.1	± 0.1
0.16	± 0.16
0.25	± 0.25
0.4	± 0.4
0.6	± 0.6

精密表的检定周期一般不超过一年。

《弹簧管式一般压力表压力真空表及真空表检定规程》(JJG52-1999)规定压力表的准确度等级和允许误差为：

说明表 7.6.1-3 压力表的准确度等级和允许误差

准确度等级	允许误差%（按量程的百分数计算）			
	零位		测量上限的 (90~100) %	其余部分
	带止销	不带止销		
1	1	± 1	± 1	± 1
1.6 (1.5)	1.6	± 1.6	± 2.5	± 1.6
2.5	2.5	± 2.5	± 4	± 2.5

4	4	±4	±4	±4
注：使用中的 1.5 级压力表允许误差按 1.6 级计算，准确度等级可不更改。				

压力表的检定周期一般不超过半年。

7.6.5 初拉力值（实测伸长值的测量起点）与预应力筋的长度、预应力筋线形以及张拉设备有关，预应力筋越长，测量起点应越高，初拉力值越大。达到最大张拉力后的持荷，对保证张拉力和伸长值的稳定有明显效果。

关于初拉力值（即实测伸长值的测量起点），《客运专线预应力混凝土预制梁暂行技术条件》（铁科技〔2004〕120 号）第 3.3.15 条、《客运专线铁路 CRTS II 型板式无砟轨道混凝土轨道板（有挡肩）暂行技术条件》（科技基〔2008〕173 号）第 3.3.5 条均规定为 20%张拉力，《公路桥涵施工技术规范》（JTJ041-2000）第 12.8.3 条规定为张拉控制应力的 10%~15%。

7.6.6 施工中通常是测量千斤顶活塞行程来推算预应力筋伸长值，实测伸长值即指实测的千斤顶活塞行程。实测伸长值是从初拉力开始起算，未包含初拉力以下部分伸长值，但包含工具锚或工作锚（单端张拉）夹片的回缩量，以及梁体的压缩等等，需要对实测伸长值修正。修正后的伸长值称为实际伸长值。

7.6.8 低温张拉预应力筋，容易出现预应力筋脆断情况，故规定此条。

7.6.9 先张预应力筋张拉后，如果环境温度发生变化，其预应力筋内的应力将发生变化，温度升高时应力将降低，温度降低时应力将提高。所以，应尽量选择与预应力筋张拉时温度相近的时段浇筑混凝土，以避免出现预应力值的波动，影响构件内建立的预应力值。固定长度的钢绞线受温差影响的应力变化计算如下：

钢绞线在温差作用下的长度变化量： $\Delta l = l \cdot \varepsilon \cdot \Delta t \cdots \cdots \cdots \textcircled{1}$

钢绞线长度变化引起的应力变化量： $\Delta \sigma = \frac{\Delta l}{l} E = \varepsilon \cdot E \cdot \Delta t \cdots \cdots \cdots \textcircled{2}$

钢绞线的张拉控制应力： $\sigma = 0.75 f_{pk} = 0.75 \times 1860 = 1395 \text{MPa} \cdots \cdots \cdots \textcircled{3}$

钢绞线受温差影响的应力变化：

$$\frac{\Delta\sigma}{\sigma} = \frac{\varepsilon \cdot E \cdot \Delta t}{1395} = \frac{1.2 \times 10^{-5} \times 1.95 \times 10^5 \cdot \Delta t}{1395} \times 100\% = 0.1677 \Delta t \% \cdots \cdots \textcircled{4}$$

当温差 $\Delta t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时， $\frac{\Delta\sigma}{\sigma} = 0.1677 \times 20 = 3.35\%$ ；

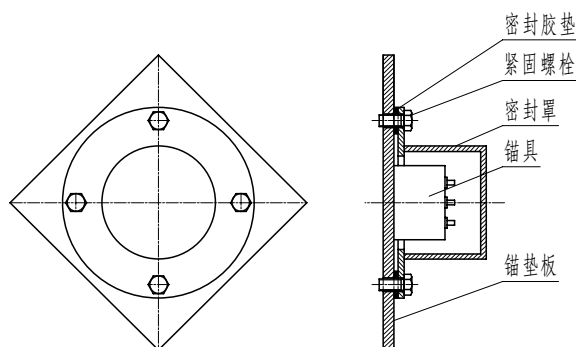
当温差 $\Delta t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时， $\frac{\Delta\sigma}{\sigma} = 0.1677 \times 30 = 5.03\%$ 。

7.6.10 砂箱一般用于现浇梁脱底模，在先张梁施工中，因砂箱在重复使用时的预应力损失较大，不宜采用；单根钢筋拧松螺母的方法效率低，安全性差，是落后工艺，因此限定放张采用楔块或千斤顶。

为防止过快的放张速度对梁体混凝土造成冲击破坏，必须对放张速度加以限制。

7.6.11 考虑到锚具正常工作及可能的热影响，本条对预应力筋外露部分长度作出了规定。切割位置不宜距离锚具太近，同时也不应影响构件安装。

7.7.6 锚具夹片空隙会产生负压力，使水泥浆沿空隙产生回流，因此必须进行封堵。封堵料应有一定强度以抵抗灌浆时的压力。密封罩的构造和安装见说明图 7.7.6。



说明图 7.7.6 密封罩示意图

8.2.1 大体积混凝土的定义，目前世界各国解释不尽一致，该条引用了《大体积混凝土施工技术规范》（GB/T50496-2009）第 2.1.1 条术语解释的定义。

8.2.2 为在大体积混凝土施工中降低混凝土因水泥水化热引起的温升，达到降低温度应力和保温养护费用的目的，该条对水泥的品质进行了规定。

8.2.3 随着粉煤灰掺量的增加，混凝土的抗拉强度会降低，虽然粉煤灰掺量的增加对降低水化热能够起到一定的作用，但和其损失的抗拉强度相比，后者仍是主要因素。

由于大体积混凝土施工时所采用的外加剂对于硬化混凝土的收缩会产生很大的影响，所以对于大体积混凝土施工时采用的外加剂其收缩值应作为一项重要指标必须加以控制。

大体积混凝土的施工工艺特性主要是指由于大体积混凝土在施工过程中的方法不同、要求不同、地域环境不同，体积的大小不同等因素导致其施工工艺各具特性。但就其拌和物的特性而言应满足良好的流动性，不泌水，合理的凝结时间以及坍落度损失小等基本要求；在混凝土制备前，除进行常规配合比试验外，必要时对同一类型结构，应进行如水化热、泌水率、可泵性等对大体积混凝土控制裂缝所需的技术参数的试验，必要时其配合比设计应当通过试泵送。

8.2.4 一般情况下，大体积混凝土不允许填充片石。在设计有要求的情况下，大体积混凝土可按设计要求填放一定比例的片石。片石混凝土可用于路隧过渡段或桥隧过渡段等填心结构或其它设计填充性非结构性混凝土工程中。

8.2.5 根据大体积混凝土的特点和工程实践经验对大体积混凝土施工方案规定了十二个方面的主要内容，有关安全管理与文明施工还应遵守国家现行有关的规定。其中“大体积混凝土浇筑体施工阶段温度应力和收缩应力的计算方法”，可参照本指南附录 D 的计算方法进行，有条件时，宜按有限单元法或其它方法进行更加细致地计算分析。

大体积混凝土抗裂是一个综合性问题。只有设计单位与施工单位的密切配合，在结构的防裂设计，材料选用、施工工艺、温控等方面采取综合技术措施才能有效地解决这一问题。而大量工程的成功经验对结构设计优化温控和防裂措施具有很好的借鉴作用。

大体积混凝土施工现场总平面布置应满足大体积混凝土连续浇筑对道路、水、电、专用施工设备等的需要，并加强现场指挥和调度，尽量缩短混凝土的装运时间，控制合理的入模温度，提高设备的利用率。

大体积混凝土的供应应满足混凝土连续施工的需要，一般情况下连续供应能力不宜低于单位时间所需量的 1.2 倍。采用多家供应商供料时，应制订统一的技术标准，确保质量可靠。需在施工现场添加料时，应派专人负责，并按批准的方案严格操作，严禁任意加水或添加外加剂。

大体积混凝土施工应尽可能增加装备投入和进行信息化管理，提高工效，进入现场的设备（包括测温监控设备），在浇筑混凝土前应进行全面的检修和调试，确保设备性能可靠，以满足大体积混凝土连续浇筑的需要，施工中宜指定专人负责维护管理。

关于保温层厚度的确定，本指南在附录 E 中给出了计算方法。它是根据热交换原理，假定混凝土的中心温度向混凝土表面的散热量，等于混凝土表面保温材料应补充的发热量，并把保温层厚度虚拟成混凝土的厚度进行计算。但应指出的是现场应根据实测温度进行及时调整。

大体积混凝土与普通混凝土施工在许多方面不同，更应加强组织协调管理和岗前培训工作，明确岗位职责，责任到人，落实技术交底，遵守交接班制度。

8.2.6 本条确定了大体积混凝土在施工方案阶段应做的试算分析工作，对大体积混凝土浇筑块体在浇筑前应进行温度、温度应力及收缩应力的验算分析。其目的是为了确定温控指标（温升峰值、芯部与表层温差、降温速度、混凝土表层与环境温差）及制定温控施工的技术措施（包括混凝土原材料的选择、混凝土拌制、运输过程及混凝土养护的降温和保温措施，温度监测方法等），以防止或控制有害裂缝的发生，确保施工质量。温差以不超过 20℃为宜，这一要求适用于最小边尺寸在 1m~3m 范围内的大体积混凝土，该规定要严于国

家现行标准《大体积混凝土施工技术规范》(GB/T50496-2009)温差不超过 25℃ 要求。

在控制大体积混凝土裂缝的措施方面，理论研究远远滞后于工程实践，迄今为止，对于大体积混凝土温度场变化和温度裂缝产生的规律性，还缺乏系统的研究，混凝土温度及温度应力的计算还不够精确；在防止大体积混凝土开裂问题上，也是考虑外部因素比较多，而在提高混凝土本身材料的特性以及开发新的混凝土品种上研究得很少。在桥梁建设当中，属于大体积混凝土的温控防裂只采取了少量几项措施，包括掺粉煤灰、加减水剂和采用冷却水管。但这远远是不够的，大体积混凝土的温控要从材料就开始做起，再加上合适的施工措施，才能达到避免开裂的目的。通过查寻资料及现场调查，特别是在冷却水管的设计上，管材、管径、埋设方式、间距、通水温度、通水速率等都是凭经验，没有一套行之有效的方法可以解决这些问题。目前，对桥梁大体积混凝土的温度控制研究还不是很多，在工程实践中，很多概念、标准也不统一，这给施工及质量控制带来一定的难度。这就需要桥梁建设者从材料、机理、施工、监测等各个方面进行研究，争取早日制定出一套适用于交通工程的大体积混凝土温控防裂施工技术。

8.2.7 分层连续浇筑施工或推移式连续浇筑施工是目前大体积混凝土施工中普遍采用的方法，本条规定了应优先采用。工程实践中也有称其为“全面分层、分段分层、斜面分层”、“斜向分层、阶梯状分层”、“分层连续，大斜坡薄层推移式浇筑”等，本条强调连续浇筑施工，不留施工缝，确保结构整体性强。分层连续浇筑施工的特点，一是混凝土一次需要量相对较少，便于振捣，易保证混凝土的浇筑质量；二是可利用混凝土层面散热，对降低大体积混凝土浇筑体的温升有利；三是可确保结构的整体性。

对于实体厚度一般不超过 2m、浇筑面积大、工程总量较大，且浇筑综合能力有限的混凝土工程，宜采用推移式连续浇筑法。

对超厚（一般大于 2m）大体积混凝土允许设置水平施工缝分层施工，并规定了水平施工缝设置的一般要求。已有的试验资料和工程经验表明，设置水平施工缝施工能有效地降低混凝土内部温升值，防止混凝土内外温差过大。当在施工缝的表层和中间部位设置间距较密、直径较小的抗裂钢筋网片后，可有效地避免或控制混凝土裂缝的出现或开展。

本条对分层间歇浇筑混凝土时施工缝的处理作了一般规定，防止因间歇时间过长产生“冷缝”。层间的间歇时间是以混凝土的初凝时间为准的。关于混凝土的初凝时间，在国际上是以贯入阻力法测定，以贯入阻力值为 3.5MPa 时为混凝土的初凝标准，所以应经试验确定，试验地点宜在施工现场，试验方法可见国家现行标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》(GB/T50080)、《滑动模板工程技术规范》(GB50113)。当层面间歇时间超过混凝土初凝时间时，应按施工缝处理。

在大体积混凝土浇筑过程中，受力钢筋、定位筋、预埋件等易受到干扰，甚至移位和变形，应采取有效措施固定。大体积混凝土因为泵送混凝土的水胶比一般比较大，表面浮浆和泌水现象普遍存在，不及时清除将会降低结构混凝土的质量，为此，在施工方案中应事先规定具体做法，以便及时清除混凝土表面积水。

大体积混凝土由于混凝土坍落度较大，在混凝土初凝前或混凝土预沉后在表面采用二次抹压处理工艺，并及时用塑料薄膜覆盖，可有效避免混凝土表面水份过快散失出现干缩裂缝，控制混凝土表面非结构性细小裂缝的出现和开展，必要时，可在混凝土终凝前 1 h~2h 进行多次抹压处理，在混凝土表层配置抗裂钢筋网片。

8.2.8 本条规定了应采用在大体积混凝土养护中已广泛使用且效果明显的保温保湿养护方法。根据以往的施工经验，在大体积混凝土养护过程中采用强制或不均匀的冷却降温措施不仅成本相对较高，而且管理不善易使大体积混

凝土产生贯穿性裂缝。

保温养护是大体积混凝土施工的关键环节。保温养护的主要目的是通过减少混凝土表面的热扩散，从而降低大体积混凝土浇筑体的里外温差值，降低混凝土浇筑体的自约束应力，其次是降低大体积混凝土浇筑体的降温速率，延长散热时间，充分发挥混凝土强度的潜力和材料的松弛特性，利用混凝土的抗拉强度，以提高混凝土承受外约束应力时的抗裂能力，达到防止或控制温度裂缝的目的。同时，在养护过程中保持良好温度和防风条件，使混凝土在适宜的温度和湿度环境下养护，故本条对保温养护措施所应满足的条件作了规定。即施工人员应根据事先确定的温控指标的要求，来确定大体积混凝土浇筑后的养护措施。

具有较好保温性能的材料可以用于混凝土的保温养护中。在大体积混凝土施工时，可因地制宜地采用保温性能好而又便宜的材料用在大体积混凝土的保温养护中，条文中列举了施工中常见的而且又比较便宜的材料。

现场实测是大体积混凝土施工中的一个重要环节，根据监测数据指导养护工作，确保混凝土不出现过大的温度应力，从而控制裂缝的产生。

对于高层建筑转换层的大体积混凝土施工，由于在高空中组织施工条件相对地面或地下较差，应加强保温构造设计和养护工作。必要时，封闭加热施工，以满足温控指标的要求，确保工程质量。

从以往的施工经验看，大体积混凝土结构若长时间暴露在自然环境中，易因收缩产生微裂缝，影响混凝土的外观质量，故对此作了相应的规定。

8.2.9~8.2.10 规定了拆模时间的要求和应采用的措施，国内外的工程实践证明，早期因水泥水化热使混凝土内部温度很高，过早拆模时混凝土的表面温度较低，会形成很陡的温度梯度，产生很大的拉应力，极易形成裂缝。因此有条件时应延迟拆模时间，延缓降温，充分发挥混凝土的应力松弛效应，增加对大体积混凝土的保温保湿养护时间。

8.2.11 大体积混凝土施工需在温度监测数据指导下进行。对同类混凝土结构，在前期施工过程中，温度监测系统宜具有自动采集、自动记录和无线传输功能。在取得一定经验数据后或在自动监控采集确有一定困难的情况下，亦可采取简易手动方式埋管单点采集测量，但也要考虑到测量数据代表性，数据采集点位设置和频率应满足本条规定。

在温度监测点的设置上，因多数大体积混凝土工程具有对称轴线，可选择轴线半侧为测试区；如实际工程不对称，可根据经验及理论计算结果选择有代表性温度测试位置，并视情况在块体中心、变截面处及预计会产生较大应力的位置布置应变传感器。环境温度监测点可根据结构物及养护等具体情况确定。

8.3 常用的纤维混凝土主要有钢纤维混凝土和合成纤维混凝土等。钢纤维混凝土适用于对抗拉、抗剪、弯拉强度和抗裂、抗冲击、抗疲劳、抗震、抗爆等性能要求较高的工程或部位；合成纤维混凝土适用于非结构性裂缝控制，以及对弯曲韧性和抗冲击性能有一定要求的工程或部位。

8.3.1 在对粗、细骨料做出明确技术要求的同时，考虑到将钢纤维掺到混凝土拌和料中时，随着纤维掺量的提高其稠度会显著降低。为了得到所需要的稠度，增加单位用水量会影响钢纤维混凝土强度和质量，而使用优质高效减水剂或引气剂才是提高质量的有效途径。为了保证工程质量，对所用减水剂和引气剂的质量必须严格检查，并经试验合格后方可使用。

8.3.2 钢纤维混凝土的配合比设计必须满足设计要求的拌和物性能和硬化混凝土性能。钢纤维混凝土的强度设计值由结构设计要求确定，通常为抗压强度、抗拉强度（或弯拉强度）、弯曲韧度比。弯曲韧度比是衡量钢纤维混凝土质量的一项重要指标。为提高钢纤维混凝土的韧性，应选用与混凝土握裹力较高的钢纤维。

钢纤维混凝土的抗拉强度、抗剪强度、韧度以及与钢筋的粘结强度等力

学性能都与钢纤维体积率有关。

混凝土的抗压强度主要取决于水胶比、水泥强度等级以及粗骨料种类。确定钢纤维混凝土的水胶比可采用与普通混凝土相同的方法，按国家现行标准《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ55)给出的公式计算。最大水胶比和水泥用量的规定是根据国内的应用情况，并参照国外规范确定的。水胶比过大或水泥用量过低，虽然可能满足抗压强度的要求，但由于钢纤维周围未能充满砂浆而影响对抗拉、抗折、韧性和抗裂性能等的提高。由于钢纤维混凝土属细石混凝土，故水泥用量较多。因水泥用量过多，混凝土收缩大，对抗裂不利，故亦应限制用量。

在混凝土中加入钢纤维后，拌和料比普通混凝土干涩，测得的坍落度值减小 20mm 左右。因此，本条规定当采用坍落度作为钢纤维混凝土稠度指标时，坍落度的取值可比普通混凝土坍落度值小 20mm，当采用维勃稠度作钢纤维混凝土的稠度指标时，可与相应的普通混凝土取相同值。

8.3.3 搅拌是保证钢纤维在混凝土中均匀分布的重要环节，因此，本条规定宜采用机械搅拌。搅拌时要防止产生下述四种情况：纤维结团、纤维产生弯曲或折断、搅拌机因超负荷而停止运转、出料口堵塞。

选择适宜的投料顺序和方法以及适当延长搅拌时间，有益于钢纤维在混凝土中均匀分布，从而提高钢纤维混凝土的质量。

8.3.4 施工时应尽量缩短运送钢纤维混凝土的时间和距离，以避免运输中的振动使钢纤维下沉，影响拌和料的均匀性。

与普通混凝土一样，浇筑和振捣是施工中的重要环节，直接影响钢纤维混凝土的整体性和致密性。如果拌和物稠度相同，则浇筑和振捣钢纤维混凝土所需的能量与普通混凝土相近，因此，振捣工具可参照普通混凝土的施工要求选择。

由于钢纤维混凝土的早期强度较高，应加强早期湿养护并保持一定的养

护温度。

8.3.6 试验和工程经验表明，在常用掺量下，纤维混凝土抗压强度与基体强度相比几乎保持不变，故合成纤维混凝土试配时，可不考虑纤维对混凝土抗压强度的影响，按同条件的普通混凝土根据有关规范的规定确定配合比。

合成纤维的体积率宜在 0.05%~0.3% 的范围内选取，也可根据工程要求通过试验或工程经验确定掺量。用于防止早期收缩裂缝时，常采用的纤维体积率为 0.1%。当掺率较大时，抗压强度和弹性模量有小幅降低。对于桥面防水层结构中的保护层纤维混凝土，常用的合成纤维为聚丙烯纤维和聚丙烯晴纤维。如设计无规定，聚丙烯纤维网的掺量为 1.8kg/m^3 左右，聚丙烯晴纤维的掺量为 1kg/m^3 左右。

8.3.7 采用机械搅拌和适当延长搅拌时间有利于纤维在混凝土分散均匀。为防止混凝土抹面时纤维从混凝土中拔出，特规定合成纤维混凝土接近初凝时方可进行抹面，抹面应光滑，抹面时不得加水，抹面次数不宜过多。

8.4.1 从环境保护、作业条件、人员职业健康等方面考虑，对于在隧道掌子面这样的较封闭空间进行喷射混凝土作业，宜采用湿喷工艺；而在隧道以外边坡防护工程等较开阔场地条件下，也可采用其它喷射工艺。

8.4.2 喷射混凝土的质量与水泥品种和标号关系密切，硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥含有较多的 C_3A 和 C_3S ，凝结时间快，特别是与速凝剂有良好的相容性，应优先选用。特种水泥系指喷射水泥、超早强水泥、抗硫酸盐水泥、低碱水泥和高铝水泥等。喷射水泥是一种速凝、早强水泥；超早强水泥主要指快硬铝酸盐水泥，当用于喷射混凝土时，需掺用专用的早强速凝剂；当存在硫酸盐侵蚀时，应选用抗硫酸盐水泥；当骨料与水泥中的碱可能发生反应时，应选用低碱水泥；当需要喷射混凝土有较高的早期强度时，可选用硫铝酸盐水泥；当用于耐火结构时，应选用高铝水泥。

规定细骨料的细度模数应大于 2.5，是为了保证混凝土的强度和减少喷射

混凝土硬化后的收缩。

粗骨料的粒径和级配对混合料在管内的顺利输送、混凝土的密实性、经济性及回弹率都有重要影响，因此应使用级配良好的粗骨料。

用于喷射混凝土的外加剂主要为速凝剂。根据需要还可以使用增粘剂和高效减水剂等外加剂。速凝剂的使用效果和最佳掺量除与其本身的性能有关外，还受水泥品种、强度等级、新鲜程度、施工温度和混凝土水胶比的影响。因此，使用速凝剂前，应进行与水泥相容性和速凝效果的检验。检验的主要项目包括水泥掺入速凝剂后的初、终凝时间，早期和后期（28d）强度的损失。

掺入增粘剂则能显著降低粉尘度和减少回弹；掺入高效减水剂可减少混凝土用水量，提高混凝土早期和后期强度。所掺外加剂应对混凝土的强度及与岩体的粘结力基本无影响；对混凝土和钢材无腐蚀作用；吸湿性差，易于保存；不污染环境，对人体无害。

8.4.3 规定水泥与骨料的灰骨重量比为 1:4~1:5，主要是考虑既能满足混凝土强度要求，又可减少回弹损失。水泥用量过少，回弹量大，初期强度发展缓慢；水泥用量过多，既不经济，又增加混凝土的收缩。水胶比对混凝土强度和回弹损失有重要影响，当水胶比在 0.40~0.50 范围时，混凝土强度较高，喷射中回弹和粉尘均较少。

湿喷混凝土的水泥用量会影响混凝土的和易性和粘聚性，从而影响混凝土在喷射管道中的输送及回弹率的高低，在对湿喷混凝土水泥用量作出规定的前提下，结合原材料、湿喷设备、作业要求等具体要求，调整混凝土坍落度以利于湿喷的实施。实践证明，坍落度 8mm~13mm 时较利于湿喷的实施，在施工过程中可供参考。

8.4.4 拌制喷射混凝土必须使用强制式搅拌机，规定一定的搅拌时间是为了保证混凝土的均质性，否则，不仅将影响喷射混凝土的速凝效果，并将使强度值有较大的离散。

喷射混凝土拌和物在运输、存放过程中，坍落度损失较快，为保证湿喷作业顺利进行和喷射混凝土施工质量，规定过程停放时间不得大于 30min，其在运输、存放过程中不得淋雨、浸水及混入杂物。

8.4.6 为减少回弹损失，一次喷射的混凝土厚度既不宜太薄，也不宜过厚，否则将影响喷射混凝土的粘结力，造成隔离层或因自重过大而坠落。

国家现行标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB50086) 中要求喷射混凝土的回弹率，边墙不应大于 15%，拱部不应大于 25%。回弹率的测定方法是：按标准操作喷射 $0.5\text{ m}^3 \sim 1.0\text{ m}^3$ 的混凝土，在长度 3.0m 的侧壁或拱部喷 10cm 厚的喷层，用铺在地面上的彩条塑料布或钢板收集回弹物，称重后换算为体积与全部喷出混凝土体积的比值。

喷射作业机旁的粉尘容许浓度应小于 $2\text{mg}/\text{m}^3$ 。测定条件是：在洞内停止通风的环境中，开始喷射作业 5min 后，距喷射点 5m 处的测定值。

在低温下进行喷射混凝土作业，混凝土凝结时间显著延长，使一次喷射厚度减少，并使回弹率增大。同时，喷射混凝土在低温下硬化，强度增长缓慢。为了保证喷射作业具有良好的工作条件，使混凝土在冬期施工中的强度能得到正常发展，在本条中作出了喷射作业环境温度不应低于 5°C 的规定。

8.4.7 围岩内应力大和内应力变化大的地段，变形量大，素混凝土容易开裂、掉块，掺入一定量的钢纤维或聚合物纤维，可以改善喷射混凝土的抗拉、抗压及抗剪性能，增加喷层的柔性和抗裂性。钢纤维喷射混凝土的一个主要特点是具有良好的韧性，即在基体混凝土开裂后产生较大塑性变形时能保持承载力不明显降低，可适应岩爆和大变形情况下的应力释放，具有吸收变形的能力。作为初期支护，控制一定程度的开裂是允许的，而钢纤维混凝土的韧性可使与岩面紧密贴合的喷层不但具有一定的柔性，而且在与围岩共同变形过程中持续有效地提供支护抗力，从而有效地适应和控制围岩的变形。

钢纤维等效直径是指非圆形截面按面积相等的原则换算成圆形截面的直

径。钢纤维长径比是指长度对直径（或等效直径）的比值。钢纤维过长容易堵管，应根据输料软管及喷嘴内径来确定钢纤维的最大长度。

钢纤维最小掺量是根据散布在混凝土中的钢纤维“最小重叠值”（minimum fiber overlap）要求计算的“最大平均间距 S”（maximum average spacing value）确定的，旨在保证钢纤维在混凝土分布的均匀性。比利时环境和基础部有关文件推荐，取 $S=0.4l_f$ 即可保证钢纤维有足够的重叠。

据此可计算钢纤维的最小掺量

$$\omega_{\min} = \frac{6162}{\alpha^3 \lambda f^2} \qquad \qquad \qquad (\text{说明 } 8.4.7)$$

式中 ω_{\min} ——钢纤维最小掺量（kg/m³）；
S——钢纤维最大平均间距。

新加坡的地铁工程考虑到喷射混凝土的工艺特点，参照公式 $S=0.4l_f$ 的计算结果，并规定了最小掺量不小于 20 kg/m³，其值一并示于说明表 8.4.7-1 中。

说明表 8.4.7-1 钢纤维最小掺量（kg/m³）

l_f/d_f	40	45	50	55	60	65	70	75	80
$\alpha=0.45$	43	34	28	23	19	16	14	13	11
$\alpha=0.40$	61	48	39	32	27	23	20	18	16
新加坡地铁	65	50	40	35	30	25	20	20	20

欧洲喷射混凝土规范推荐的砂石料级配如说明表 8.4.7- 2，可供参考。

说明表 8.4.7-2 钢纤维最小掺量（kg/m³）

ISO 筛径（mm）		0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	11.2	16
筛量 （重量，%）	上限	12	26	50	72	90	100	100	100	100
	下限	4	11	22	37	55	73	90	100	100

钢纤维喷射混凝土的原材料中加入硅粉等活性掺和料，有利于提高强度、密实度和耐久性，增加黏稠性，减少回弹，改善后期强度；同时可以改善物料可泵性，减少管道和机械磨耗，防止离析、堵管。

根据国外的情况看，钢纤维混凝土的强度等级至少是 C25，强度等级过低被认为是不经济的。从我国近年来喷射混凝土技术的发展，特别是湿喷技术的推广和各类外掺剂、混合材的成功应用来看，将钢纤维喷射混凝土的强

度等级的基准定为 C25 是合适而必要的。

钢纤维喷射混凝土施工一个特别需要注意的问题就是钢纤维喷射混凝土的搅拌工艺，钢纤维混凝土的投料、搅拌过程中要尽可能使钢纤维在混凝土基体中均匀分布，或按所要求的方向排列，以保证材料的均质性和方向性。

钢纤维混凝土宜用水平轴型强制式搅拌机搅拌，当钢纤维掺率较高、稠度较大时，搅拌机需较大的功率，搅拌时要防止纤维结团、纤维产生弯曲或折断、搅拌机因超负荷而停止运转、出料口堵塞。为避免超载，钢纤维喷射混凝土一次搅拌量不宜大于搅拌机额定搅拌量的 80%。

投料顺序和方法与施工条件及钢纤维形状、长径比、体积率等有关，为确保钢纤维在拌和物中分散均匀、不结团，一般采用将钢纤维、水泥、粗细骨料先干拌后加水湿拌的方法，且干拌时间不得少于 1.5min；或采用先投放水泥、粗细骨料和水，在拌和过程中分散加入钢纤维的方法，必要时采用播料机将钢纤维均匀地分散到混合料中，不管哪种方式，钢纤维喷射混凝土整体搅拌时间比一般喷射混凝土要延长 1min~2min。

8.4.8 合成纤维喷射混凝土中的纤维主要有聚丙烯纤维、聚乙烯纤维、尼龙纤维、玻璃纤维、碳纤维等，其品种、规格较多，但施工中主要使用的合成纤维为聚丙烯纤维，是由丙烯（ $\text{CH}_3\text{—CH=CH}_2$ ）聚合而成的高分子化合物，是一种结构规整的结晶性聚合物。聚丙烯不溶于水，耐热性良好，在 121°C ~ 160°C 连续耐热，熔点为 160°C ~ 170°C ，是一种非极性的聚合物，有良好的绝缘性能，介电常数为 2.25，有较好的化学稳定性。聚丙烯几乎不融于水，与大多数化学品，如酸、碱和有机溶剂接触不发生作用，其物理性能良好，抗拉强度 $3.3 \times 10^7 \text{ Pa}$ ~ $4.14 \times 10^7 \text{ Pa}$ ，洛氏硬度 R82~R110，因此聚丙烯纤维混凝土所用的长度一般在 5mm~50mm 范围内，因此可称为丙纶短丝。聚丙烯纤维是直接拉丝制成的聚丙烯单丝纤维的束状集合体，每一束中有许多根纤维单丝，在投入搅拌时自动分散开来，增加了纤维与混凝土的表面结合力以及

纤维单丝之间的互斥力（分散性）。

杜拉纤维是经过改性和特殊表面处理的聚丙烯单丝纤维，其物理、化学性能非常良好，施工便利，但目前仍处于推广应用阶段。

聚乙烯纤维因弹性模量低、受荷分担的应力也小，至今还很少用于复合材料。玻璃纤维混凝土暴露大气中一段时间后，其强度和韧性会有大幅度下降，即由早期的高强度、高韧性向普通混凝土退化，加之其耐碱性不过关，现主要用于结构加固。碳纤维具有抗拉强度和弹性模量很高、化学性质稳定、与混凝土粘结的优点，但由于碳纤维生产成本低，应用受到一定限制。现场操作人员对尼龙纤维（聚酰胺）混凝土普遍感觉是其施工性能优于普通混凝土，掺入尼龙纤维可显著地降低混凝土的干缩值，但对抗折、抗压、轴压及应力应变性能与普通混凝土无明显差别，抗渗、阻锈性能有显著改善，从而提高了混凝土的耐久性，但因为它与聚丙烯纤维相比价格昂贵，所以推广与应用受到限制。

聚丙烯纤维是非腐蚀的化学填充物，它对矿质、酸碱基质和无机盐有很好的化学阻抗作用，故聚丙烯纤维有效地阻止了混凝土的塑性收缩和龟裂。

延长搅拌时间不会影响纤维的分布和强度。聚丙烯纤维加强混凝土是机械作用而不是化学作用，它的加入不需要附加水和改变原来的混凝土配合比，也不影响其它掺和料、外加剂的加入。

8.4.9 喷射混凝土的收缩变形比现浇混凝土大，主要原因是喷射混凝土中细骨料的成分较多，水泥用量较大，以及含有速凝剂。为使水泥充分水化，减少或防止混凝土的不正常收缩裂缝，在喷射混凝土终凝 2h 后，应立即进行湿润养护。

喷射混凝土早期水化较快，水化热较高，当环境温度比较低时如果再喷水养护，容易因温差产生较大应力造成混凝土表面开裂。因此当环境温度低于 5℃ 时不宜在喷水养护。在施工过程中应采取措施保证一定的环境温度。

8.5.1 近年来为充分利用资源，解决供需矛盾，特细砂混凝土应用越来越多，特别是在我国重庆和河南地区已有了比较成熟的应用经验。2004 年重庆制定了地方标准《特细砂混凝土应用技术规程》（DB50/5028-2004）。

在铁路混凝土工程中，特细砂不宜单独作为细骨料配制 C30 以上强度等级的混凝土，但近年来有研究和工程实践证明，采用细度模数不小于 1.0 的特细砂与中粗砂（包括机制砂）组成细度模数不低于 1.6 的混合砂，能够配制强度等级达 C50 及以上的混凝土，这也是特细砂资源有效利用方式之一。但由于特细砂混凝土耐久性能不稳定，因此限制其在高速铁路梁、拱、轨道板、高墩台和有抗冲刷、抗磨（水位变化范围）、抗冻、抗渗及抗腐蚀要求的工程中的应用。

8.5.3 配制特细砂混凝土，如果套用中砂混凝土的砂率，不仅水泥用量增多，而且混凝土强度不易提高，收缩也会增大，混凝土裂缝会增加。在石子粒径和空隙率固定情况下，适当增大石子的用量，减小砂率，减少砂浆用量，可以降低混凝土骨料的总比表面积，节约水泥等胶凝材料用量，减少收缩，避免混凝土早期裂缝的产生。所以特细砂混凝土宜采用低砂率，其砂率应比《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ55）要求的中砂砂率低 15%~30 %。这就是配制特细砂混凝土时的低砂率原则。

特细砂混凝土配合比设计步骤基本与普通混凝土相同，所不同的是，在计算特细砂混凝土的粗、细骨料用量时宜采用砂浆剩余系数法计算。其计算公式为

$$G_0 = \frac{1000}{1 + K \cdot \frac{P}{1-P}} \cdot \gamma_g \quad (\text{说明 8.5.3-1})$$

$$S_0 = (1000 - G_0/\gamma_g - C_0/\gamma_c - W_0/\gamma_w)\gamma_s \quad (\text{说明 8.5.3-2})$$

式中 G_0 —— 特细砂混凝土的粗骨料用量 (kg/m^3)；

S_0 —— 特细砂混凝土的细骨料用量 (kg/m^3)；

P —— 粗骨料的紧密孔隙率 (%)；

γ_g —— 粗骨料的表观密度 (g/cm^3)；

γ_c —— 水泥的密度 (g/cm^3)；

γ_s —— 细骨料的表观密度 (g/cm^3)；

γ_w —— 水的密度 (g/cm^3)。

特细砂混凝土砂浆剩余系数 K 可按说明表 8.5.3 选用。

说明表 8.5.3 特细砂混凝土砂浆剩余系数 K

粗骨料规格 (mm) 混凝土稠度	5~10	5~20	5~40	5~80
5~20s(干硬性混凝土)	1.30~1.35	1.20~1.25	1.15~1.20	1.10~1.15
10~30mm(塑性硬性混凝土)	1.35~1.40	1.25~1.30	1.20~1.25	1.15~1.20
30~50mm(塑性硬性混凝土)	1.40~1.45	1.30~1.35	1.25~1.30	1.20~1.25
50~70mm(塑性硬性混凝土)	1.45~1.50	1.35~1.40	1.30~1.35	1.25~1.30

为了保证混凝土的和易性、保水性及粘聚性，提高混凝土强度，特细砂混凝土在进行配合比设计时宜采用低砂率，其砂率宜为中、细砂混凝土砂率的 85%~70%。

8.5.4 特细砂混凝土粘度较大，不容易搅拌均匀，因此在搅拌投料时要考虑投料顺序，一般情况下要先对粗、细骨料搅拌后再投入胶凝材料和水，并比拌制中、细砂混凝土时延长搅拌时间 1 min~2min。

8.5.5 特细砂混凝土容易表面失水而出现收缩，为避免混凝土表面出现裂纹，在混凝土浇筑完成后终凝之前要进行二次压实抹面。

8.5.6 特细砂混凝土容易在施工初期因养护不及时而引发混凝土表面出现裂纹等质量问题，因此本条特别强调了特细砂混凝土养护的及时性。

8.6.1 本条明确了补偿收缩混凝土的主要使用场合。对膨胀源是钙钒石的补偿收缩混凝土使用条件进行了规定。因为钙钒石在 80℃ 以上可能分解，所以从安全性考虑，规定膨胀源是钙钒石的补偿收缩混凝土使用环境温度不高于

80℃；膨胀源是氢氧化钙的补偿收缩混凝土可不受此限制，在施工过程中要予以注意。

8.6.2 补偿收缩混凝土砂率一般较高，因此宜选用细度模数 2.6~3.1 的中砂为细骨料；不宜选用砂岩类山砂、机制砂、海砂，此类砂对补偿收缩混凝土的限制膨胀率影响比较大。

膨胀剂直接参与并影响水泥水化过程，在选择使用膨胀剂时，要注意与水泥有良好的相容性并保证混凝土基本的力学性能、工作性能和耐久性能，因而在铁路施工中不能用高碱膨胀剂或以铝粉为膨胀源的膨胀剂。

8.6.3 补偿收缩混凝土常用膨胀剂有硫铝酸钙类、硫铝酸钙-氧化钙类、氧化钙类等，施工过程中应根据微膨胀混凝土使用环境、部位、设计要求选择合适的膨胀剂种类和掺量，否则应用不当会严重影响混凝土耐久性能和使用功能。硫铝酸钙类、硫铝酸钙-氧化钙类膨胀剂配制的微膨胀混凝土，其膨胀源、水化产物是钙矾石，不能用于长期环境温度在 80℃ 以上的工程；用氧化钙类膨胀剂配制的微膨胀混凝土，其膨胀源是氢氧化钙，不能用于海水或有侵蚀性水的工程。

补偿收缩混凝土的限制膨胀率不像强度那样取决于水胶比大小，而与单位膨胀剂用量大致成正比关系，以往单纯使用百分比掺量确定膨胀剂用量，当混凝土强度等级较低或水泥用量较少时，会出现膨胀剂实际用量不足，而导致膨胀率偏低，达不到补偿收缩的目的。

补偿收缩混凝土的需水量比普通混凝土大约 10%~15%，在保持坍落度、水胶比、减水剂掺量不变的情况下，随着内掺膨胀剂的增加，混凝土的限制膨胀率增加，混凝土强度下降，而坍落度损失增大，为此在进行补偿收缩混凝土配合比设计时，宜减少混凝土单位用水量，采用较大砂率和较小的坍落度。有时为调节其工作性能，可掺加缓凝减水剂和粉煤灰、矿粉等掺和料。

表 8.6.3 中的限制膨胀率指标是根据国家现行标准《混凝土外加剂应用技

术规程》（GB50119）的规定确定的。需要指出的是，在特殊条件下使用大膨胀率混凝土时，应事先进行必要的试验研究。单位胶凝材料用量是根据单位用水量和水胶比确定。一般来说，C25～C40 的补偿收缩混凝土的单位胶凝材料用量为 $300 \text{ kg/m}^3 \sim 450 \text{ kg/m}^3$ 时，可获得结构致密及较佳的补偿收缩效果。研究表明，胶凝材料中掺和料过多会降低膨胀性能，因此在进行配合比设计时，要合理确定和调整水泥、掺和料、膨胀剂比例，确保设计要求的限制膨胀率。考虑到现场条件和室内试验对混凝土限制膨胀率的影响不同，在室内进行混凝土配合比试验时，其限制膨胀率要比设计值高 0.005%，即如果设计限制膨胀率为 0.02% (2.0×10^{-4})，则配合比设计时要考虑的限制膨胀率应为 0.025%。

8.6.4 补偿收缩混凝土的搅拌方式和搅拌时间对拌和物的均匀性、含气量及工作性能都有较大的影响，一般而言，膨胀剂与水泥同时投入为好，搅拌时间不得小于 3min。

8.6.5 补偿收缩混凝土在三向受力（受限制或受约束）状态下，由于自身的膨胀产生自应力，为抵抗这种应力，模板要有足够的强度和刚度，模板支撑一定要结实和牢靠。对于超长结构混凝土和大体积混凝土，模板承受的应力更大，施工时严加注意。

8.6.6 出于保证混凝土质量和施工面洁净的目的，施工遇到雨雪时，应该对新浇筑的混凝土进行覆盖养护。许多工程实例证明，万一出现施工“冷缝”，采用膨胀砂浆接缝的措施比较可靠。终凝前对混凝土表面进行多次压实抹面是为了消除塑性裂纹。

8.6.7 补偿收缩混凝土前期水化较快，有研究表明，在成型 24h 时，补偿收缩混凝土有大量塑性收缩和自身收缩已经产生，内部微观结构已初步形成，毛细孔结构已经封闭，因此混凝土在浇筑完成后应及时进行养护。如果补偿收缩混凝土养护工作做不好，其收缩会比普通混凝土还要严重。早期养护不仅

对强度增长至关重要，更重要的是确保获得需要的膨胀率。补偿收缩混凝土混凝土在 14d 内其膨胀性是一直增长的，因此要求养护时间不少于 14d。冬期养护如果直接在表面洒水，可能会导致冻害致使混凝土表面裂纹，因此需保温保湿养护。

8.6.8 新浇筑的混凝土既没有足够的强度，也没有建立起有效的膨胀，不能够抵御突然降温或振动、冲击的破坏力，同时为控制混凝土表面和内部的温差，防止表面出现裂缝，要适当延迟拆模时间以便于对混凝土强度进行保护，一般不早于 3d；在冬期施工时，因温度较低，混凝土强度增长相对缓慢，为使混凝土在早期具有足够的强度，达到正常的补偿收缩效果，安全起见，混凝土拆模宜延长至 7d 以上。

8.7.1 无砂透水混凝土中在粗骨料相互接触而形成的双凹粘结面上，水泥浆厚度越厚，粘结点越多，粘结就越牢固。如粗骨料中针片状颗粒含量过多，则会减少水泥胶结层与粗骨料的粘结面积，同时受力时易产生应力集中，从而降低混凝土的强度。

8.7.2 要使无砂透水混凝土骨料的每个颗粒为水泥浆包裹，又要保证混凝土内部存在孔隙，主要通过控制骨灰比和水胶比来实现。对于特定的某一骨料和骨灰比，存在一个狭窄的最佳水胶比。若水胶比低于该最佳值，则水泥浆不能均匀地包裹在粗骨料外面，若水胶比过高，则水泥浆将从骨料颗粒间流走，大量试验表面对于无砂透水混凝土具有代表性的水胶比介于 0.38~0.52 之间。

水泥用量可在保证最佳用水量的前提下，适当增加用量，这样能够增加骨料周围水泥浆膜层的稠度和厚度，可有效地提高无砂透水混凝土的强度。但水泥用量过大会使浆体增多，孔隙率减少，降低透水性。同时水泥用量受骨料粒径的影响，如果骨料的粒径较小，骨料的比表面积较大，则应适当增加水泥用量。通常无砂透水混凝土的水泥用量在 $250\text{kg}/\text{m}^3 \sim 350\text{kg}/\text{m}^3$ 范围内。

8.7.3 无砂透水混凝土是干硬性混凝土，由于水泥浆的稠度较大且数量较少，为保证水泥浆能够均匀地包裹在骨料上，应采用强制式搅拌机搅拌，同时搅拌时间适当延长。

8.7.4 无砂透水混凝土在浇筑时不得采用强烈振捣或夯实，否则会将水泥浆沉积，破坏混凝土结构的均匀性，并在底部形成不透水层。

8.7.5 无砂透水混凝土由于存在大量孔隙，易失水，干燥快，所以必须加强早期养护，浇筑后用塑料薄膜覆盖表面并开始洒水养护。

8.8.2 细骨料对混凝土的气密性影响很大，含细粉过多会增大混凝土的收缩，对施工缝有不利影响，含泥量过多增大混凝土的吸水率，降低混凝土的密实性和强度。因此对细骨料的级配和含泥量必须严格控制。

混凝土拌和物浇筑以后，固体颗粒处于不稳定平衡状态，由于固体的重力作用而下沉，水份被排挤上升，开始形成一系列通水管路，待石子颗粒又继续下沉，迫使水份停留在石子下部及周围，形成较大的孔隙及水泥颗粒之间形成微细孔隙，造成互相联通的网状组织，石子粒径越大，所形成的孔隙也越多，其结果是混凝土的抗渗性能也越差。同时针片状颗粒的存在也会影响混凝土拌和物的工作性能，进而影响混凝土的密实性，因此在气密性混凝土中控制石子粒径、针、片状颗粒含量和采用多级配是提高混凝土密实性的有效措施之一。

8.8.3 合理的配合比是确保混凝土气密性能的关键，应严格控制混凝土配合比设计参数。硅灰、粉煤灰和减水剂等掺和料及外加剂的加入可以改善混凝土的微观结构，降低混凝土的孔隙率，改善混凝土的孔结构，从而提高混凝土的密实性、抗渗性和耐腐蚀性。

水胶比是控制混凝土密实性的主要因素，水胶比越高，其自由水蒸发后留下的空隙也就越多，混凝土的透气系数也就越大。因此在气密性混凝土中，水胶比的控制对混凝土的气密性有着极其重要的作用。试验表明，混凝土的

水胶比宜小于 0.4, 不得超过 0.45, 否则混凝土透气系数难以满足设计要求(一般 $K \leq 1.0 \times 10^{-11} \text{cm/s}$)。

砂率对混凝土拌和物的性能及硬化混凝土的性能有很大的影响, 大量的试验表明, 在一定的砂率范围内, 随着砂率的增大, 混凝土的透气系数逐渐减小。因此配制气密性混凝土砂率以不小于 36%为宜, 在满足混凝土其它性能指标的条件下尽可能选择较大的砂率, 以提高混凝土的气密性能。

随着混凝土拌和物含气量的增大, 混凝土的气密性能逐渐降低, 透气系数逐渐增大, 为满足混凝土的气密性能要求, 混凝土拌和物的含气量不宜大于 2%。

8.8.4 为确保混凝土拌和物的均匀性、硬化混凝土的密实性, 本条对混凝土的搅拌、运输、振捣和养护作了相应的规定。

8.8.5 施工缝是隧道衬砌最薄弱的部位, 试验研究表明, 其透气性能至少较本体混凝土高出 13 倍。为了保证衬砌的整体气密效果, 必须加强对施工缝的处理, 一般常用的处理方法有喷涂 JCL 水泥浆、设置止水带、喷涂环氧树脂等方法。

8.9.1 原材料中, 为了扩大纤维增强砂浆原材料来源, 铁道科学研究院进行了河砂与石英砂的对比试验研究。试验表明, 使用级配良好、洁净的中粗河砂可以制备出各项性能指标均符合要求的纤维增强砂浆。

8.9.2 纤维增强砂浆的配合比设计时, 应进行抗压强度、抗折强度、弹性模量、电通量和抗冻性试验。由于电通量在一定程度上能够反映纤维增强砂浆的抗渗性, 所以抗渗等级与电通量两个指标只保留了电通量。

影响纤维增强砂浆强度的主要因素是超细活性粉末材料与单方用水量。超细活性粉是提供纤维增强砂浆抗压强度的关键, 从材料本身性能(需水量比、含水率)、对纤维增强砂浆的耐久性(氯离子含量、 SO_3 含量、烧失量)等提出了纤维增强砂浆专用复合掺和料的技术要求, 活性指数是基于大幅度

提高 1d 强度且 保持 28d 强度不降低而提出的。铁道科学研究院进行的试验研究表明，采用硅灰、粉煤灰、磨细矿渣粉等常用掺和料，经过粒度优化设计，再辅以化学激发剂等，也能制备出抗压强度达到 150MPa，弹性模量达 47GPa 的纤维增强砂浆材料。从经济性与原材料来源广泛性角度考虑，纤维增强砂浆也可选用其它满足要求的掺和料。

为减少单方用水量，配制纤维增强砂浆时要使用高效减水剂。试验证明，为达到好的使用效果，使用于纤维增强砂浆中的减水剂在参考聚羧酸系高性能减水剂中非缓凝型 I 类外加剂性能指标的基础上，其个别指标中可有所调整，如将减水率提高到 30%左右等。

8.10.1 为了提高铁路桥梁支座安装精度，加快安装速度和延长使用寿命，大流动度和微膨胀性的水泥基灌注材料得以广泛应用。其中自流平砂浆具有流动性、膨胀性好，强度高和易于施工控制等特点；除大流动性砂浆外，目前干硬性砂浆在 T 梁架梁过程中仍得到广泛应用，并具有施工简便、性能稳定等优点。为了使这两项技术在实际使用中都充分发挥效益，做到技术先进，保证质量，提高工效，本节内容对两种砂浆都作出规定。

8.10.2 支座水泥基自流平砂浆流动度试验按国家现行标准《混凝土外加剂应用技术规范》（GB50119）中砂浆流动度的试验进行，因为水泥基灌注材料是砂浆，所以采用砂浆流动度的截锥形圆模。当流动度大于 260mm 时砂浆可以达到自流平，半小时流动度保留值大于 230mm 时砂浆仍然有流动性。

砂浆强度试验按国家现行标准《水泥胶砂强度试验方法》（GB/T17671）(ISO 法)进行。因为水泥基灌注砂浆的性能特点为大流动度、自流平，要求早强及高强，因此其中进行的改动是在成型时不用振动，搅拌好的灌浆材料直接灌入试模；弹性模量试验方法按《普通混凝土力学性能试验方法标准》（GB/T50081）进行。

砂浆竖向膨胀率试验可按国家现行标准《混凝土外加剂应用技术规范》

（GB50119）附录 C 进行。

8.10.3 施工准备中的施工机具及物品主要分为 3 类。第 1 类为搅拌机具，包括机械搅拌时的砂浆搅拌机及人工搅拌时的搅拌槽、铁铲等。第 2 类为灌浆设备，包括高位漏斗（容积大于 0.2m^3 ）、支架、流槽、灌浆管、管接头及砂浆泵。第 3 类为模板及养护物品，包括模板、脱模剂、塑料薄膜、草袋、岩棉被等。

8.10.5 本条对支座安装采用重力式自流平灌注施工作了规定，对于大多数铁路支座使用重力式自流平法即可满足施工的要求。当支座底座宽度超过 1m 时或锚固螺栓孔较大、混凝土表面沟槽较多者，应采用高位流槽辅助施工。冬季施工时，也可采用其它方法养护。

9.5.1 钢筋混凝土阴极保护从 1973 年首次应用至今已有 30 多年的历史，目前在发达国家已作为一种经济有效的防腐蚀技术用于受盐污染钢筋混凝土结构物的修复和保护，我国在工程上的应用处于发展阶段。采用阴极保护可以控制盐污染环境中氯离子导致的钢筋混凝土结构的腐蚀破坏。目前阴极保护应用范围列于说明表 9.5.1。

说明表 9.5.1 阴极保护应用范围

可保护的结构物种类	钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土
适用的环境条件	盐污染大气、海水潮差浪溅区、土壤环境
可保护的结构物	使用除冰盐的桥面和停车场楼板，处于氯化物环境的桥梁下部结构、海洋工程上部和下部结构、跨海大桥的下部结构，与海水或含盐水接触的结构物

根据被保护混凝土结构所处环境特点，阴极保护分为暴露于大气中的钢筋混凝土结构阴极保护、水和土壤中的钢筋混凝土结构阴极保护。根据阴极保护技术特点，阴极保护又分为强制电流阴极保护、牺牲阳极阴极保护或二者相结合的保护。

9.5.2 阴极保护可能会对被保护的结构物、辅助设施或邻近结构物造成不良影响，在阴阳极之间通以电流进行阴极保护时，混凝土中正负离子在电场作用下分别向阴极或阳极做定向迁移，阳极和阴极上发生的电化学反应产生新的

物质，将导致混凝土内部特别是钢筋周围化学环境发生改变。这种改变是否对钢筋混凝土结构产生不良的影响，这是采用阴极保护时需要考虑的问题。目前认识到可能引起的不良影响主要有预应力钢丝的氢脆、钢筋与混凝土界面强度降低以及诱发含碱活性骨料混凝土结构的碱—骨料反应。因此，要求阴极保护应由专业设计单位进行设计，并对骨料碱活性进行了要求。

9.6 外包钢板保护的主要目的是阻止在冻融环境条件下水对混凝土结构的浸入，以及在磨蚀条件下，冰、砂、石、冲击水对混凝土结构的破坏。上述条件下的外包钢板保护措施在青藏铁路工程中得到应用，并取得了一定的防护效果。因此本指南确定环境作用等级为 D3、D4、M3 级严重腐蚀环境的混凝土结构可采用外包钢板保护作为防腐蚀强化措施。

10.2.4 石料的软化系数指石料在含水饱和状态下的抗压极限强度与石料在干燥状态下的抗压极限强度的比值，这是检验石料受水流和风化影响的一个重要指标。

10.2.5 抗冻性指标指石料在含水饱和状态下经过 -15°C 或 $-5^{\circ}\text{C}\sim-15^{\circ}\text{C}$ 的冻结与融化的循环次数。经试验后的石料应无明显损伤（裂缝、脱层），强度不应低于试验前的 0.75 倍。

石料的抗冻性试验应以直接冻融法为主，如因设备能力所限也可采用硫酸钠浸泡法。当采用硫酸钠浸泡法时，其浸泡试验指标应符合干湿循环不小于 5 次的要求。

10.3.2 根据铁道部建设司科研项目《新标准水泥强度等级对铁路混凝土强度的影响试验研究》的科研成果，对本条及附录 G 进行了修订。

10.3.4 根据《新标准水泥强度等级对铁路混凝土强度的影响试验研究》科研成果并结合铁路砌石砂浆施工经验，将砂浆下沉度由 40mm~70mm 改为 10mm~20mm。

相关工程的直观法检查，一般为用手将砂浆捏成小团，以指缝不出浆，

松手后不松散为度。

11.1.1 参照国家现行标准《混凝土结构工程施工及验收规范》（GB50204—2002），结合铁路工程施工的特点，将“昼夜平均气温……”改为“昼夜平均气温连续 3d……”。

11.1.2 本条明确了冬期施工混凝土和砂浆的受冻临界强度要求，保证混凝土达到受冻临界强度前不受冻是冬期施工的质量控制重点，必要采取严密可靠的措施予以保证。

11.3.1~11.3.6 规定冬季搅拌混凝土应具有一定的出机温度和入模温度，主要是担心混凝土早期受冻。当施工现场存在机械运输困难、运距较长等问题时，应适当提高混凝土的出机温度，以保证混凝土在运输过程中不致被冻坏。为使混凝土达到必要的出机温度和入模温度，通常需要对拌和水或骨料进行预热，或两者都加热。加热拌和水是最有效的办法，不但容易做到，而且加热水所消耗的能量仅是同质量骨料的四分之一。但拌和水的加热程度要适当，且应保证每盘混凝土之间温度相差不太悬殊。为避免发生速凝或假凝现象，太热的水不要直接与水泥或外加剂接触。为此，可采用加热水与骨料先行拌和的搅拌工艺制度。骨料加热前可用帆布等物进行覆盖，加热时可采用蒸汽或热水管等热源，应避免直接使用蒸汽进行喷射。骨料的温度一定要相当均匀，否则直接影响拌和物的质量稳定。

为保证混凝土的拌制温度，应通过热工计算和实际试拌结果来确定各种组成材料的加热温度。从材料的热学特点来看，水的比热约为砂、石的 5 倍，而水的加热又简便，且水质稳定，温度易于控制，热量不易散失，经济有效，因此，首先应将水加热。但加热的温度不宜超过 80℃，以防水泥出现速凝现象，影响和易性和后期强度；当骨料不加热时，水也可加热至 80℃以上，但投料顺序应调整，以免 80℃以上的水直接与水泥接触。

当环境温度较低，仅加热拌和用水不足以满足要求时，可再对砂、石加

热，但其加热温度不应高于 60°C 。因温度过高水分损失加大，骨料的吸水率增加，将影响拌和物的和易性。同时，也应防止骨料局部灼热而遭到破坏，影响混凝土强度。

骨料中的冰雪、冻块难于在搅拌机内短时融化，将影响混凝土质量。因此，规定含有冰雪和冻块的骨料不得投入搅拌机内。

冬期施工的热工计算可按国家现行标准《建筑工程冬期施工规程》（JGJ104）的附录 B 进行。

11.3.12~11.3.16 养护制度分为预养期、升温期、恒温期、降温期 4 个阶段。当混凝土浇筑完成后，至湿热养护之前的室温养护期为预养期，预养时间的长短视施工及环境等条件而定。

混凝土温度从预养期升高到规定恒温温度的阶段，称为升温期。升温速度随结构的表面系数而异。当表面系数大于或等于 6m^{-1} 时，升温速度不得大于 $15^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，表面系数小于 6m^{-1} 时，不得大于 $10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。若升温速度过快，将引起混凝土强度的较大损失。

恒温期应根据水泥品种和结构的表面系数而异。电热法养护属于高温干热型，温度过高易出现局部过热脱水现象。

当采用蒸汽养护法时，按照《预制后张法预应力混凝土铁路简支梁》（TB1496）、《先张法预应力混凝土铁路桥简支梁技术条件》（TB/T2484）和《铁路桥涵施工规范》（TB10203）的规定，养护温度不得超过 60°C 。

恒温期结束后，混凝土温度降至环境温度的阶段，称为降温期。在降温期内，如结构中出现温度梯度，将引起体积收缩并产生内应力。当降温速度过快，将破坏混凝土的整体性，并影响其耐久性。因此，根据结构不同的表面系数，规定了混凝土的降温速度。当表面系数等于或大于 6m^{-1} 的结构，降温速度不得大于 $10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ；当表面系数小于 6m^{-1} 时，其降温速度不得大于 $5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

鉴于直流电会引起电解、锈蚀或电极表面放出气体形成屏蔽等问题，因

此，规定电热法必须采用交流电。

电热时，水泥将随温度增长而加速水化反应，同时电阻值也随之增大。当混凝土强度达到设计强度的 50% 时，其电阻值将增大几倍。为避免影响混凝土质量和浪费电能，故规定电热养护时仅宜达设计强度的 50%。

暖棚法养护采用燃煤加热时，所产生的二氧化碳会加速混凝土的碳化。在封闭的棚内，碳化程度将比室外高出 5 倍。因此，棚内应经常换气，或将加热设备的排气管引出棚外。

11.3.18 检测混凝土温度的方法可概括为后置式、预埋式和非接触式。

后置式系在混凝土构件的适当部位预留 10mm~12mm 孔洞，其深度视构件尺寸和量测要求而定。测温时在孔内放置温度计。

预埋式系在混凝土构件的适当部位将康铜——铜或铬镍——镍铜热电偶的接点或其它热敏电阻元件预埋于混凝土中，通过联接的电位差计，直接测读各点的温度。

非接触式系通过红外技术直接读取混凝土表面的温度。鉴于此法简单方便，宜通过不断试用、总结经验，创造条件逐步推广。

12.2.3 搅拌生产线包括搅拌站料斗、出水器、皮带运输机、搅拌楼等。搅拌时间应尽量缩短，但是不能少于 2min。

12.2.7 气温较低的时段一般指一天之中除上午 10 时至下午 16 时之外的时段以及阴雨天气等。

混凝土的入模温度宜根据气温调整。降低入模温度对控制混凝土的裂缝非常重要。同样的混凝土，入模温度高的其温升值要比入模温度低的大许多。在气温很高时，更应采取措施设法降低混凝土的入模温度。但是如果入模温度降得太多，则接触气温的表面比内部硬化得快，等到内部升温而膨胀时，表面产生拉应力容易开裂。夏季在降低入模温度的同时，还要冷却模板并注意使混凝土表面避免日晒。在高温下拌和、浇筑和养护会损害混凝土的质量

和耐久性，过热会使坍落度损失过快，拌和物用水量增大。因此，炎热天气施工对混凝土的最高温度和浇筑作业应有限制。美国垦务局规范建议，在炎热干旱气候条件下，混凝土的入模温度不宜大于 27℃，一般条件下应控制入模温度不大于 32℃，甚至规定在部分地区的酷热季节禁止浇筑混凝土。降低混凝土拌和物温度的主要措施有：①用冷水或冰水；②冷却水泥温度；③用冷却水喷洒、浸泡或冷风降低骨料温度；④对搅拌和运输设备进行遮荫、隔热处理；⑤夜间浇筑。

12.3.4 气温较高的时段一般指一天之中上午 10 时至下午 16 时之间的时段等。

A.0.3 千斤顶校准方程是根据数理统计理论计算的力值和压力表示值之间的拟合方程，并不得外推使用。

A.0.4 负载效率是指千斤顶输出力值与理论力值之比。国家计量检定规程《液压千斤顶》（JJG 621-2005）是以负载效率为千斤顶计量性能指标，并规定用于结构工程和桩基工程的千斤顶负载效率不得小于 93%。

铁路规范长期使用千斤顶校验系数。《铁路混凝土工程施工技术指南》（TZ210-2005）第 8.7.1 条、《预应力混凝土铁路桥简支梁静载弯曲试验方法及评定标准》（TBT2092-2003）第 2.3.2 条、《客运专线预应力混凝土预制梁暂行技术条件》第 3.3.11 条均规定千斤顶校验系数不得超过 1.05。

本指南考虑了和国家计量检定规程的一致性，将校验系数换算为负载效率。对应关系见说明表 A.0.4：

说明表 A.0.4 千斤顶校验系数和负载效率系数的换算关系

校验系数	负载效率
1.08	93%
1.05	95%
1.02	98%

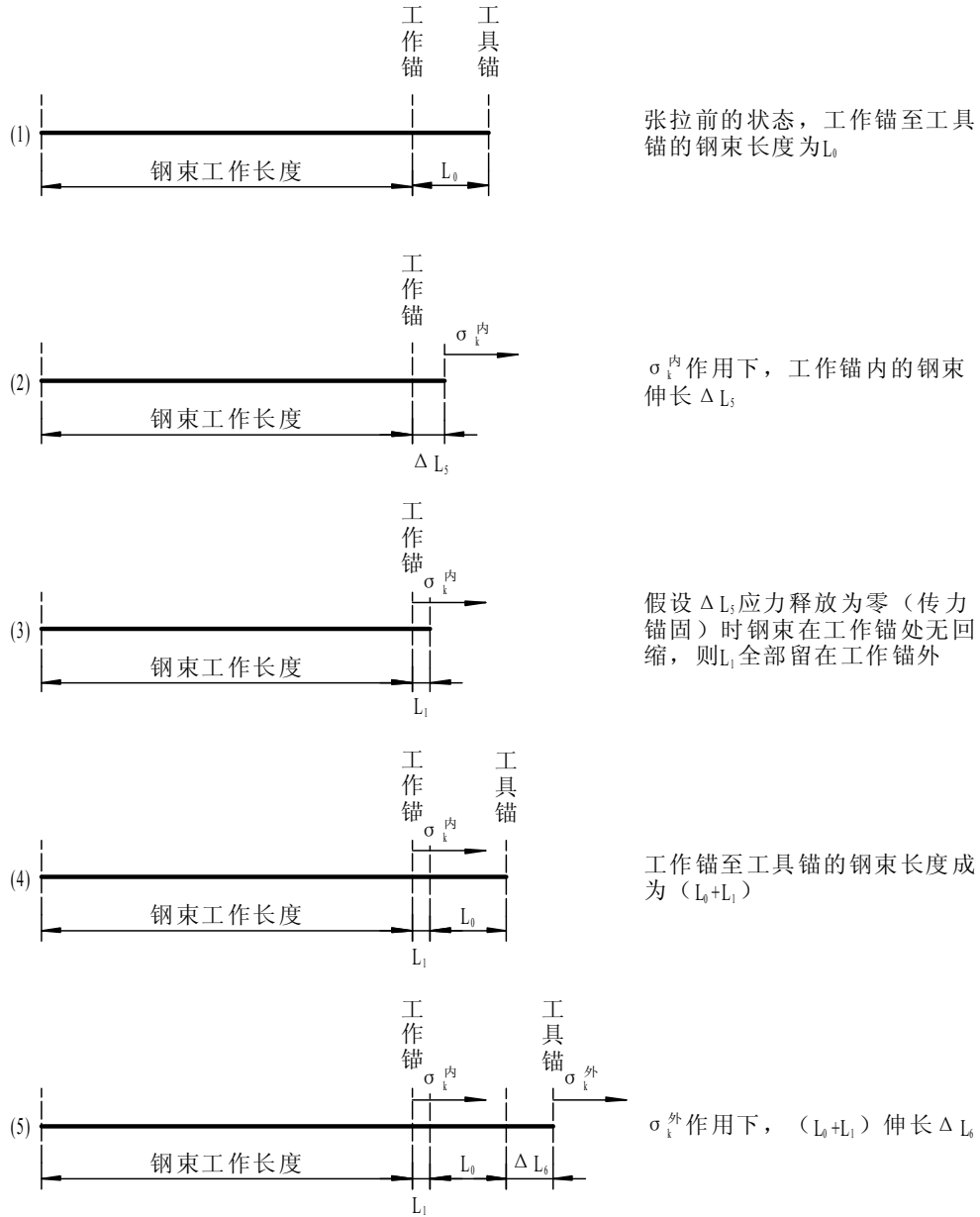
由此表可知，本指南的规定相对于 JJG 621-2005 的规定严格。

B.0.1 初拉力前各根（束）预应力筋的松紧、弯直程度不一致，伸长值和张拉力不是线性关系，所以初拉力前的伸长值不宜采用量测的方法，而宜采用推算的方法。推算时，可采用相邻级的伸长值。例如初应力 σ_0 为 $10\%\sigma_{con}$ 时，其伸长值可采用由 10%张拉到 20%的伸长值。

其它需要扣除的压缩量一般有锚具、梁体的弹性压缩，钢绞线传力锚固时的回缩等。根据实际情况决定是否扣除，如铁路预制梁最大跨度 32m，梁体的弹性压缩量很小，就可以不扣除；而对于大跨度桥梁，则有必要考虑梁体的弹性压缩量的影响。钢绞线传力锚固时的回缩需要通过孔道摩阻试验数据来推算，通常不扣除。

预应力筋实际伸长值的计算在《公路桥涵施工技术规范》（JTJ041-2000）第 12.8.3 条中规定为量测的伸长值加上初应力以下的推算伸长值。对后张法构件，在张拉过程中产生的弹性压缩值一般可省略。

B.0.4 钢束张拉时工作锚外的伸长值变化可分解成说明图 B.0.4 所示步骤：



说明图 B.0.4 钢束张拉时工作锚外的伸长值分解图

注： $\sigma_k^{\text{外}}$ ——预应力筋锚外控制应力，

$\sigma_k^{\text{内}}$ ——预应力筋锚下控制应力。

更精确的计算方法如下：

- 1 计算工作锚以内的预应力筋理论伸长值 ΔL_5 。
- 2 计算 ΔL_5 在零拉力时的长度 L_1 ：

$$L_1 = \frac{E_y}{\sigma_k^{\text{内}} + E_y} \Delta L_5 \quad (\text{说明 B.0.4-1})$$

式中 $\sigma_k^{\text{内}}$ ——预应力筋的锚下控制应力；

E_y ——预应力筋实测弹性模量。

3 计算张拉至张拉控制拉力后的工作锚至工具锚的预应力筋在零拉力时的长度 L_2 :

$$L_2 = L_0 + L_1 \quad (\text{说明 B.0.4-2})$$

4 计算工作锚至工具锚的预应力筋理论伸长值 ΔL_6 :

$$\Delta L_6 = \frac{\sigma_k^{\text{外}} L_2}{E_y} \quad (\text{说明 B.0.4-3})$$

式中: $\sigma_k^{\text{外}}$ ——预应力筋的锚外张拉控制应力。

5 预应力筋理论伸长总值为:

$$\Delta L_B = L_1 + \Delta L_6 \quad (\text{说明 B.0.4-4})$$

由于此方法的计算结果和正文所述误差很小,在 0.1mm 级。为简化计算过程,采用直接分段计算伸长值相加的方法。

F.0.1 为了保证砌体施工的质量,结合当前我国铁路工程的施工特点,列出了砌体工程主要石料的类别、规格和质量要求,卵石未列。

G.0.1 砂浆的试配强度 $f_{m,0}$ 、砂浆现场强度标准差 σ 计算公式及 σ 取值系完全套用《建筑砂浆配合比设计规程》(JGJ/T98)提出的公式和取值,经专题试验研究验证适合于铁路砂浆使用。

为了保证砌体工程的耐久性,对不同环境条件下使用的砂浆配合比设计时的最大水胶比做了规定,按照原《铁路混凝土与砌体工程施工规范》(TB10210—2001)中表 5.8.5 最大水胶比的指标要求来办理。

G.0.2 砂浆试件的制作方法系经专题试验研究验证,该方法匀质性较好,易于保证砂浆试件制作质量。

G.0.3 养护条件要求为标准养护室的温度和湿度。