

铁路工程施工技术指南

TZ

TZ 210—2005

铁路混凝土工程施工技术指南

2005-09-22 发布

2005-09-22 实施

铁道部经济规划研究院 发布

铁路工程施工技术指南

铁路混凝土工程施工技术指南

TZ 210—2005

主编单位：铁道科学研究院

批准部门：铁道部经济规划研究院

施行日期：2005年9月22日

关于发布《客运专线铁路 路基工程施工技术指南》等五项 铁路工程施工技术指南的通知

经规标准〔2005〕110号

为满足客运专线铁路建设需要，根据《铁路工程建设标准管理办法》(铁建设〔2004〕143号)和《关于印发〈2005年铁路工程建设标准编制计划〉的通知》(铁建设函〔2005〕84号)的要求，铁道部经济规划研究院组织完成了《客运专线铁路路基工程施工技术指南》(TZ212—2005)、《客运专线铁路轨道工程施工技术指南》(TZ211—2005)、《客运专线铁路桥涵工程施工技术指南》(TZ213—2005)、《客运专线铁路隧道工程施工技术指南》(TZ214—2005)、《铁路混凝土工程施工技术指南》(TZ210—2005)的编制工作，现予发布，自发布之日起在铁路工程建设中推荐使用。施工企业应发挥自己的技术和管理优势，在上述施工技术指南基础上，研究制定更具体和系统的高标准企业施工标准。

各单位在使用过程中应结合工程实践，认真总结经验，积累资料。如果发现需要修改和补充之处，请将意见或建议及时反馈给我院。

以上技术指南由铁道部经济规划研究院、中国铁道出版社出版发行。

铁道部经济规划研究院
二〇〇五年九月二十二日

前 言

本技术指南是根据铁道部《关于印发〈2005年铁路工程建设标准编制计划〉的通知》(铁建设函〔2005〕84号)的要求进行编制的。

本技术指南在编制过程中,认真总结我国铁路建设的经验和教训,学习和借鉴国际先进标准,以施工质量验收标准为依据,重点对施工过程中的工艺、方法、措施和质量控制目标作出了规定,反映了工程施工的新技术、新材料、新工艺、新方法,突出了客运专线铁路的技术特点。本技术指南是客运专线铁路工程施工的指导性技术文件。

根据铁道部《铁路工程建设标准管理办法》(铁建设〔2004〕143号)关于铁路工程建设标准体系调整的要求,为鼓励技术创新,促进技术进步,指导施工企业根据自身技术、装备、管理水平和市场定位需要制订技术要求更高、针对性更强、内容更为具体的企业标准,编制了本技术指南。今后铁道行业将不再发布新的施工规范。本技术指南严格按照标准编制程序组织编制,分别对编制大纲、征求意见稿、送审稿、报批稿组织路内外专家进行了审查。

本技术指南共分12章,主要内容包括:总则、术语、施工前准备、试验室要求、模板工程、钢筋工程、混凝土工程、预应力混凝土工程、水下混凝土与喷射混凝土工程、冬期施工、夏(热)期施工、附加防腐蚀措施施工等,另有16个附录。

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,请及时将意见及有关资料寄交铁道科学研究院(北京市海淀区大柳树路2

号，邮政编码：100081)，并抄送铁道部经济规划研究院（北京市海淀区羊坊店路甲 8 号，邮政编码：100038），供今后修订时参考。

本技术指南主编单位：铁道科学研究院。

本技术指南参编单位：清华大学、中铁二局集团有限公司、中铁三局集团有限公司、中铁四局集团有限公司、中铁十二局集团有限公司。

本技术指南主要起草人：谢永江、陈肇元、倪光斌、薛吉岗、覃维祖、廉慧珍、唐南生、宿 万、黄直久、李启棣、贾耀东、仲新华、张 勇、郑新国、朱长华、王树伟、杨富民。

目 次

1	总 则	1
2	术 语	2
3	施工前准备	4
4	试验室要求	7
4.1	一般规定	7
4.2	试验室建设	8
4.3	试验室日常工作	8
4.4	试验室管理	9
5	模板工程	11
5.1	一般规定	11
5.2	钢材和焊条	11
5.3	模板设计	12
5.4	模板制作和安装	13
5.5	支（拱）架制作和安装	13
5.6	模板、支（拱）架的拆除	15
5.7	质量检验	16
6	钢筋工程	18
6.1	一般规定	18
6.2	钢筋加工	19
6.3	钢筋接头	21
6.4	钢筋安装	28
6.5	质量检验	30
7	混凝土工程	32
7.1	一般规定	32

7.2	混凝土原材料的选用	32
7.3	混凝土原材料的储存与管理	40
7.4	混凝土配合比的选定	41
7.5	混凝土搅拌	47
7.6	混凝土运输	48
7.7	混凝土浇筑	51
7.8	混凝土振捣	57
7.9	混凝土养护	59
7.10	混凝土拆模	61
7.11	混凝土缺陷处理	63
7.12	质量检验	63
8	预应力混凝土工程	67
8.1	一般规定	67
8.2	预应力筋及配件	67
8.3	锚具、夹具和连接器	68
8.4	管道	68
8.5	预应力材料的保护	69
8.6	预应力筋制作	69
8.7	施加预应力	70
8.8	后张孔道压浆	77
8.9	封锚	78
8.10	质量检验	79
9	水下混凝土与喷射混凝土工程	84
9.1	一般规定	84
9.2	水下混凝土	84
9.3	喷射混凝土	86
10	冬期施工	89
10.1	一般规定	89
10.2	混凝土的配制、搅拌和运输	90

10.3	混凝土的浇筑	90
10.4	混凝土的养护与拆模	91
10.5	混凝土的质量检验	93
11	夏(热)期施工	95
11.1	一般规定	95
11.2	混凝土的配制、搅拌和运输	95
11.3	混凝土的浇筑	96
11.4	混凝土的养护	96
11.5	质量检验	96
12	附加防腐蚀措施施工	98
12.1	一般规定	98
12.2	混凝土表面涂层	98
12.3	环氧涂层钢筋施工	100
12.4	钢筋阻锈剂的应用	102
附录 A	铁路混凝土结构设计使用年限级别	104
附录 B	环境类别及作用等级	105
附录 C	混凝土耐久性指标	108
附录 D	模板荷载	110
附录 E	钢筋接头类型	112
附录 F	胶凝材料抗硫酸盐侵蚀性能快速试验方法	114
附录 G	矿物掺和料及外加剂抑制碱—骨料反应有效性试验方法	116
附录 H	混凝土抗裂性试验方法	125
附录 J	混凝土电通量快速测定方法	127
附录 K	混凝土原材料及性能检验要求	129
附录 L	混凝土拌和物性能检验要求	133
附录 M	混凝土力学性能检验要求	134
附录 N	混凝土施工试件耐久性能检验要求	135
附录 P	实体混凝土质量检验要求	136

附录 Q 浆体稠度试验方法·····	137
附录 R 浆体泌水率和膨胀率试验方法·····	138
本技术指南用词说明·····	139
《铁路混凝土工程施工技术指南》条文说明 ·····	140

1 总 则

1.0.1 为统一铁路混凝土工程施工技术要求，加强施工管理，保证工程质量，制定本技术指南。

1.0.2 本技术指南适用于客运专线铁路混凝土（含素混凝土、钢筋混凝土和预应力混凝土）工程的施工。客货共线铁路有耐久性设计要求的混凝土工程也可参照执行。

1.0.3 混凝土工程施工应根据工程的设计使用年限级别、环境类别及作用等级以及混凝土的耐久性等方面的规定，依据相关技术标准、规范组织实施。混凝土工程的设计使用年限级别、环境类别及作用等级以及混凝土的耐久性指标参见附录 A、附录 B 和附录 C。

1.0.4 混凝土施工过程中，应合理选用性能优良、质量稳定的原材料，认真选定混凝土配合比，精心组织施工，加强与混凝土耐久性有关的过程控制（尤其要重视混凝土的养护）和质量检验。施工组织设计中应明确保证混凝土耐久性的具体措施。

1.0.5 混凝土工程施工前，应根据设计要求、工程规模以及工程管理的有关规定，在施工现场建立符合要求的试验室，并按相关规定开展试验检验工作。

1.0.6 混凝土工程施工除应符合本技术指南的要求外，尚应符合国家现行有关强制性标准的规定。

1.0.7 当工程的实际情况或实际施工条件达不到本技术指南的部分要求时，施工单位可结合工程及其所处环境的具体特点，如工程的重要性、环境作用的复杂性、材料劣化导致结构失效后果的严重性、使用过程中进行维修的可行性等，对相应条款进行修正和取代，并通过试验论证。

2 术 语

2.0.1 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。

2.0.2 混凝土结构耐久性 durability of concrete structure

在一定环境作用和预期的维护与使用条件下，结构及其部件能在预定的期限内维持其所需的最低性能要求的能力。

2.0.3 设计使用年限 designed service 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。设计使用年限应由业主或用户与设计人员共同确定，并满足有关法规的要求。

2.0.4 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（特别是混凝土的耐久性能）的矿物类产品，如粉煤灰、磨细矿渣粉、硅灰等，可以单一使用，也可复合使用。

2.0.5 胶凝材料 cementitious material, or binder

用于配制混凝土的水泥与粉煤灰、磨细矿渣粉或硅灰等活性矿物掺和料的总称。矿物掺和料掺量以其占胶凝材料总量的百分比计。

2.0.6 水胶比 water to binder ratio

混凝土配合比中用水量与胶凝材料总量之比。

2.0.7 混凝土的电通量 charge passed

在 60 V 直流恒电压作用下 6 h 内通过混凝土的电量。

2.0.8 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的最外缘所必需的混凝土最小距离。

2.0.9 腐蚀 deterioration

混凝土结构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）。

2.0.10 附加防腐蚀措施 additional protective measures

在采取改善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结构的耐久性的前提下需要进一步采取的其他措施。

3 施工前准备

3.0.1 针对设计、施工工艺和施工环境条件特点等因素，制定严密的包括混凝土耐久性能的施工组织设计，建立完善的施工质量保证体系和健全的施工质量检验制度，明确施工质量检验方法，并形成下列施工技术文件：

- 1 包含保障混凝土耐久性的施工组织设计；
- 2 混凝土施工质量保证体系及其验证制度；
- 3 混凝土原材料的质量要求及其检验方法；
- 4 落实混凝土配合比设计所提出的特殊要求的具体措施；
- 5 按照混凝土验收标准的要求对施工试件所做出的具体规定；
- 6 混凝土搅拌、运输、浇筑、振捣、养护等工序的施工质量控制措施及其检验方法；
- 7 预应力混凝土结构和连接缝施工的专门操作细则和质量检验方法；
- 8 实体混凝土质量检验评定方法；
- 9 设计和施工技术文件未明确的混凝土专项检查的方法、设备及标准。

3.0.2 筹建合格的现场试验室，提前开展原材料的调研和复检、混凝土配合比的选定以及混凝土工作性能、力学性能、长期耐久性能的试验检验工作。

3.0.3 根据本技术指南对有关试验检验、施工过程控制的要求，制定合理的试验检验和施工记录表格。

3.0.4 选择有代表性的重要混凝土结构或构件进行混凝土试浇筑，验证并完善混凝土的施工工艺，探索合理的施工工艺控制参

数。

3.0.5 确定并培训混凝土关键施工工序的操作人员和试验检验人员。

3.0.6 搜集、备齐下列技术标准。当下列标准和规范有新的修订版发布时，应以新版本为准：

硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥 (GB175)；

碳素结构钢 (GB700)；

低碳钢热轧圆盘条 (GB701)；

钢筋混凝土用热轧带肋钢筋 (GB1499)；

用于水泥和混凝土中的粉煤灰 (GB1596)；

预应力混凝土用热处理钢筋 (GB4463)；

碳钢焊条 (GB5117)；

混凝土外加剂 (GB8076)；

混凝土外加剂匀质性试验方法 (GB8077)；

混凝土搅拌机技术条件 (GB9142)；

钢筋混凝土用热轧光圆钢筋 (GB13013)；

钢筋混凝土用余热处理钢筋 (GB13014)；

木结构设计规范 (GBJ5)；

钢结构设计规范 (GBJ17)；

普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法 (GBJ82)；

预应力混凝土用钢丝 (GB/T5223)；

预应力混凝土用钢绞线 (GB/T5224)；

预应力混凝土用锚具、夹具和连接器 (GB/T14370)；

用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉 (GB/T18046)；

高强高性能混凝土用矿物外加剂 (GB/T18736)；

普通混凝土拌合物性能试验方法标准 (GB/T50080)；

普通混凝土力学性能试验方法标准 (GB/T50081)；

预应力混凝土铁路简支梁桥静载弯曲抗裂试验方法 (TB/T2092)；

铁路桥涵设计规范 (TB10002);
铁路混凝土强度检验评定标准 (TB10425);
铁路工程结构混凝土强度检测规程 (TB10426);
铁路组合钢模板技术规则 (TBJ 212);
铁路混凝土用骨料碱活性试验方法岩相法 (TB/T2922.1);
铁路混凝土用骨料碱活性试验方法砂浆棒法 (TB/T2922.3);
铁路混凝土用骨料碱活性试验方法岩石柱法 (TB/T2922.4);
铁路混凝土用骨料碱活性试验方法快速砂浆棒法 (TB/T
2922.5);
铁路混凝土工程预防碱—骨料反应技术条件 (TB/T 3054);
混凝土泵送剂 (JC473);
环氧树脂涂层钢筋 (JG 3042);
普通混凝土用砂质量标准及检验方法 (JGJ 52);
普通混凝土用碎石或卵石质量标准及检验方法 (JGJ 53);
混凝土拌合用水 (JGJ 63);
钢筋机械连接通用技术规程 (JGJ 107);
混凝土泵送施工技术规程 (JGJ/T 10);
预应力混凝土用金属螺旋管 (JG/T 3013);
预应力混凝土桥梁用塑料波纹管 (JT/T 529);
钢筋焊接及验收规程 (JGJ 18)。

4 试验室要求

4.1 一般规定

4.1.1 试验室须持有主管试验室的授权书，并经业主、监理以及授权单位共同验收。

4.1.2 试验室一般应具备如下试验检验能力：

- 1 水泥、矿物掺和料、外加剂、骨料、水的品质检验；
- 2 钢筋和预应力钢筋（丝）的品质检验；
- 3 混凝土拌和物性能检验；
- 4 混凝土力学性能检验；
- 5 混凝土耐久性能检验；
- 6 实体混凝土质量检验；
- 7 设计要求的其他检验。

4.1.3 试验室应配齐开展第 4.1.2 条规定的检验项目的试验设备，并按规定检定、检验合格。试验室应建立仪器设备档案和周期检定计划，定期校验试验设备，培训试验人员。

4.1.4 试验室应建立完善的质量保证体系，根据施工质量管理体系文件要求编写试验室质量手册，内容包括仪器设备管理制度、样品管理制度、工作制度、程序文件、作业指导书等。

4.1.5 试验室应采用规定的标准进行规范的试验，保证数据准确、科学，并按规定的表格清晰、完整地填写试验记录和试验报告。

4.1.6 试验室因条件所限无法开展第 4.1.2 条规定的少量项目的检验时，可委托有相应资质的单位检验。

4.1.7 试验室应建立良好的档案管理体系。

4.2 试验室建设

4.2.1 试验室的房屋面积应满足试验检验工作需要，布局合理。

4.2.2 工作室一般应设办公室、样品室、水泥室、砂石室、混凝土室、混凝土标养室、力学室、混凝土耐久性能试验室等。

4.2.3 工作室环境条件应满足试验检验标准和仪器设备的具体要求。水泥室温度应控制在 $20\text{℃} \pm 2\text{℃}$ ，湿度不低于 50%；混凝土标准养护室温度应控制在 $20\text{℃} \pm 1\text{℃}$ ，湿度不低于 95%。

4.2.4 试验检验仪器设备的精度必须满足相关标准的要求。

4.2.5 试验室应配备足够的试验人员。试验室技术负责人应具有中级技术职称，全部试验人员应持有上岗资格证书。

4.3 试验室日常工作

4.3.1 原材料检验

1 本着就地取材、尽量节约的原则，根据本技术指南的相关要求广泛开展调查研究，合理选用钢材、水泥、粗细骨料、外加剂、矿物掺和料及拌和用水等。选用原材料时，应考虑供货商的供应能力和质量保证等情况。

2 按本技术指南的规定和检验计划要求对进场原材料质量进行检验。无条件检验的项目应按检验频次要求进行送检，并将检验结果及时反馈给物资部门。

4.3.2 调配混凝土配合比

1 根据设计、施工要求以及原材料的品质情况，按本技术指南第 7 章的要求设计、试拌并确定混凝土配合比。

2 当混凝土原材料、施工工艺发生变化时，应根据本技术指南的要求重新选定混凝土配合比。

4.3.3 参与相关施工过程控制

1 施工过程中对进场原材料按已经审批的混凝土配合比要求和检测计划要求进行抽检。

2 混凝土开盘搅拌前检测砂、石料的含水量，并换算施工配合比，开出施工配合比通知单。

3 混凝土浇筑前和浇筑过程中，配合质量主管部门按规定抽检混凝土拌和物性能、力学性能和耐久性能，按规定制作混凝土强度、耐久性检验试件，并在规定的龄期进行试验检验。

4 当混凝土施工质量抽检结果出现不合格时，配合质量主管部门调查、分析原因，提出整改措施。必要时，可对质量问题的分析处理结果进行试验论证。

4.3.4 竣工资料的编制

1 混凝土施工过程中，及时对混凝土原材料的品质、拌和物性能、力学性能以及耐久性能的检验结果进行定期评定、分析。

2 及时汇总试验检验结果，并按有关档案管理要求进行整理、归档、签字、上报。

4.4 试验室管理

4.4.1 仪器设备管理

1 试验室要建立所有仪器设备档案，实行统一管理。

2 仪器设备、计量器具应定期自检或选择当地有资质的计量部门送检。自检应按检定规程进行，计量器具应符合国家标准要求。

3 仪器设备在搬运、维修和长期停用后，再次使用前应重新标定，用于测量和监控要求的软件在使用前应予以确认；仪器的维修、检定情况应及时填写在履历书上。

4 各种仪器设备须在试验室内放置整齐，并按要求分别粘贴合格（绿色）、准用（黄色）、停用（红色）标志。

5 检定合格的仪器方可投入使用。操作人员须经过技术培训，了解仪器的性能，熟悉操作方法，方可上机工作。

6 仪器设备的使用环境应满足相关标准和使用说明书的要

求。

7 在使用仪器设备的过程中，应及时妥善地做好仪器设备的维修、保养工作。

4.4.2 样品管理

1 试样取得后，应标明试样编号、取样地点、取样时间等内容，并及时将样品送交试验检测人员进行试验检验。

2 搬运试样时应轻拿轻放，防止破坏或损坏试样的几何形状，以免影响试验结果。

3 试验前需要进行加工的样品应严格按标准方法进行加工和制样。

4 所有试样经过试验检验后均需留样保存，保存期不少于一个月。

4.4.3 试验资料管理

试验室应收集各种技术标准、技术资料（包括业主、设计、监理、项目部等发放的文件），并以书面或电子文档形式对收到的文件进行分类、编目管理，做到易于识别，便于查找。要定期对文件进行评审，必要时予以修订并由授权人确认其适宜性。失效文件应及时从所有发放和使用场所撤回，或采取其他措施防止误用。

5 模板工程

5.1 一般规定

5.1.1 模板（含支架、拱架）应优先采用钢材制作，也可因地制宜，经过试验鉴定，选用其他材料制作。模板应符合下列规定：

1 保证混凝土结构和构件各部分设计形状、尺寸和相互间位置正确；

2 具有足够的强度、刚度和稳定性，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。

5.1.2 模板与混凝土相接触的表面应涂刷隔离剂。钢模板用隔离剂应同时具有防锈作用。模板使用后应按规定修整保存。

5.1.3 为保证钢筋的混凝土保护层质量，必要时可使用带透水衬里的模板。混凝土养护期间，当混凝土与环境之间的温差大于 20°C 时，宜采用保温模板。

5.2 钢材和焊条

5.2.1 模板、支架（拱架）及其他用途的钢材（条钢、钢板）宜采用 Q235 钢，其材质应符合现行国家标准《碳素结构钢》(GB 700) 的规定。

5.2.2 焊接用电焊条应与钢材强度相适应，焊条质量应符合现

行国家标准《碳钢焊条》(GB 5117) 的规定。

5.3 模板设计

5.3.1 设计模板时，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) 其他荷载（如隧道超挖、混凝土集中存放等）。

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。

5.3.2 计算时，应根据实际情况确定模板最不利荷载的组合，计算采用的荷载值应符合本技术指南附录 D 的规定。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现行国家标准《钢结构设计规范》(GBJ 17) 及《木结构设计规范》(GBJ 5) 的规定。

5.3.3 检算模板的倾覆稳定性时，其侧面所受风荷载可采用铁道部现行《铁路桥涵设计基本规范》(TB 10002.1) 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。倾覆稳定系数不得小于 1.5。

5.3.4 模板的计算挠度应符合下列规定：

- 1 建筑物外露表面和直接支承混凝土重力的模板（纵梁、横梁等）不得大于构件跨度的 $1/400$ ；
- 2 建筑物隐蔽表面的模板不得大于构件跨度的 $1/250$ ；
- 3 模板的弹性压缩或下沉量不得大于构件跨度的 $1/1000$ ；跨度大于 4 m 的钢筋混凝土梁式构件，其底模板应计算起拱高

度。

5.3.5 设计预应力混凝土构件用模板时，应考虑施加预应力后构件与模板、支架间位置的相互影响，如梁体的弹性压缩、徐变、上拱及支座螺栓或预埋件的位移等。

5.3.6 先张法预应力混凝土构件台座的端横梁，受力后的挠度不得大于 2 mm。

5.3.7 模板组装设计时，除应计算本技术指南第 5.3.1 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。

5.3.8 隧道衬砌模板宜采用走行式模板台车。台车长度不宜大于 12 m，台车模板厚度不宜过低，内部支架应根据隧道跨度、衬砌厚度等因素综合确定。

5.4 模板制作和安装

5.4.1 钢模板制作和安装应符合铁道部现行标准《铁路组合钢模板技术规则》(TBJ 212) 的规定。模板与混凝土的接触面应平整光滑。模板上的重要拉杆宜采用螺纹钢杆并配以垫圈。伸出混凝土外露面的拉杆宜采用端部可拆卸的钢丝杆。

5.4.2 钢筋混凝土薄壁结构宜采用垫块支撑两侧模板，临时性木撑应在混凝土浇筑过程中及时撤除。

5.4.3 当设计有要求或施工需要时，可在模板的隅角部位加设边宽为 25~50 mm 的三角棱条。

5.4.4 后张法预留孔道应符合设计要求，端部的预埋钢板应垂直于孔道中心线。

5.5 支（拱）架制作和安装

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

5.5.2 使用木材制作支（拱）架应符合下列要求：

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。

5.5.3 木构件节点的连接可采用接榫形式，并符合下列要求：

1 支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 30 cm，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。

5.5.4 支架的支承部分必须安置于可靠的基底（地基）上，并符合以下规定：

1 在一般地基（特别是湿陷性黄土）上直接安设支架时，应有防、排水措施。

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

5.5.5 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 加载后由于构件接头挤压所产生的非弹性变形（永久变形）挤压值。每个连接处的挤压值：木材与木材间为 1~3 mm；木材与钢材间为 1~2 mm。

3 由于恒载及静活载作用结构所产生的挠度。对于长跨度拱梁，还应计算拱趾承载后在水平方向移动而产生的附加挠度。

4 由于支撑基础下沉而产生的非弹性变形。

5.5.6 支（拱）架宜设置千斤顶、木楔、木马、砂筒或其他便于松动支撑构件的支垫，并应符合下列要求：

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 2 MPa。

2 木马应用质地良好的无节松木制成。

3 砂筒结构应经设计。加置在砂上的压力不应大于 10 MPa；砂筒内应采用质地坚硬、清洁并经筛选的干砂，其粒径宜为 0.315~0.630 mm；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。

4 为便于将来拆除支（拱）架，当设计有要求时，拱顶处可安置液压千斤顶。

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

5.5.7 预应力混凝土简支梁应按设计要求设置反拱，底模高程可按抛物线确定。

5.6 模板、支（拱）架的拆除

5.6.1 模板、支（拱）架的拆除期限应根据结构物特点、模板部位、混凝土所达到的强度以及混凝土与环境之间的温差来决定。不同部位混凝土拆模时的强度、混凝土与环境之间的温差应符合本技术指南第 7 章的规定。

5.6.2 模板、支（拱）架的拆除应符合下列要求：

1 模板的拆除应按设计的顺序进行。设计无规定时，应遵循先支后拆、后支先拆的顺序进行。

2 拆模时严禁抛扔模板。

3 支（拱）架的拆除应按拟定的程序进行。一般应分几个循环拆完，拆除量开始时宜小，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。在拟定拆除程序时，应注意以下几点：

- 1) 拆除前应在拆除设备上画好每次拆除量的标记。
- 2) 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。
- 3) 简支梁、连续梁宜从跨中向支座依次循环拆除；悬臂梁应先拆挂梁及悬臂的支架，再拆无铰跨内的支架。
- 4) 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 不允许采用猛烈敲打然后强扭等方法拆除模板、支架和拱架。

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。

5.7 质量检验

5.7.1 模板、支（拱）架安装完成后，在浇筑混凝土前以及浇筑过程中，应对模板、支（拱）架、钢筋骨架、预埋件及梁支座等加以检查。当发现问题时，应及时处理，并作记录。检查的主要内容包括下列各项：

- 1 模板的高程、位置及截面尺寸，施工的预留拱度；
- 2 模板、支架、支撑、支柱等结构的可靠程度；
- 3 拆除支架器具（如木楔、砂筒等）的装备状态；
- 4 桥梁支座、锚定螺栓、压浆管、塞子等预埋件的安装位置和高程；
- 5 隔离剂涂刷情况。

5.7.2 模板、支（拱）架的安装精度应符合设计要求。当设计无要求时，可按表 5.7.2 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 5.7.2 模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
		梁、柱、板、墙、拱	5	
2	表面平整度		5	2m 靠尺和塞尺不少于 3 处
3	高 程	基 础	± 20	测 量
		梁、柱、板、墙、拱	± 5	
4	模板的侧向弯曲	柱	$h/1000$	拉线尺量
		梁、板、墙	$l/1500$	
5	梁、柱、板、墙、拱两模板内侧宽度		$+10$ -5	尺量不少于 3 处
6	梁底模拱度		$+5$ -2	拉线尺量
7	相邻两板表面高低差		2	尺 量

注：1 h 为柱高；
2 l 为梁、板跨度。

5.7.3 浇筑混凝土前应检查模板内是否存在杂物、钢筋上是否存在油污、木模板是否用水湿润、模板之间是否存在缝隙和孔洞等，应及时清除模板内杂物或钢筋上的油污。当模板有缝隙和孔洞时，应予堵塞，不得漏浆。

5.7.4 除相关专业验收标准有特殊规定外，预埋件和预留孔洞的留置允许偏差和检验方法可参照表 5.7.4 的规定执行。

表 5.7.4 预埋件和预留孔洞的允许偏差和检验方法

序 号	项 目		允许偏差 (mm)	检 验 方 法
1	预留孔洞	中心位置	10	尺 量
		尺 寸	$+10$ 0	尺量不少于 2 处
2	预埋件中心位置		3	尺 量

6 钢筋工程

6.1 一般规定

6.1.1 钢筋混凝土结构用钢筋的品种应符合下列现行国家标准的规定：

- 1 《低碳钢热轧圆盘条》(GB 701)；
- 2 《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》(GB 13013)；
- 3 《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》(GB 1499)；
- 4 《钢筋混凝土用余热处理钢筋》(GB 13014)。

6.1.2 预制构件的吊环必须采用未经冷拉处理的Ⅰ级热轧光圆钢筋制作。

6.1.3 余热处理钢筋严禁用于铁路桥梁内。

6.1.4 热处理钢筋不得用作焊接和点焊钢筋。

6.1.5 钢筋的牌号、级别、强度等级、直径应符合设计要求。当需要代换时，应经设计单位同意，并符合下列规定：

1 不同级别、强度等级、直径的钢筋的代换，应按钢筋受拉承载力设计值相等的原则进行；

2 当构件受抗裂、裂缝宽度或挠度控制时，代换后应进行抗裂、裂缝宽度或挠度的验算；

3 钢筋间距、锚固长度、最小钢筋直径、根数等应满足有关专业设计规范要求；

4 重要受力构件不宜用Ⅰ级热轧光圆钢筋代换Ⅱ级热轧带肋钢筋；

5 有抗震要求的结构应符合抗震的有关规定。

6.1.6 钢筋在运输、储存过程中，应防止锈蚀、污染和避免压

弯。装卸钢筋时不得从高处抛掷。

钢筋（含加工完毕待安装的钢筋）应按厂名、级别、规格分批架空堆置在仓库（棚）内，并分类设立标牌。

6.2 钢筋加工

6.2.1 钢筋在加工弯制前应调直，并应符合下列规定：

- 1 钢筋表面的油渍、漆污、水泥浆和用锤敲击能剥落的浮皮、铁锈等均应清除干净；
- 2 钢筋应平直，无局部折曲；
- 3 加工后的钢筋，表面不应有削弱钢筋截面的伤痕；
- 4 当利用冷拉方法矫直钢筋时，钢筋的矫直伸长率：Ⅰ级钢筋不得大于2%，Ⅱ级、Ⅲ级钢筋不得大于1%。

6.2.2 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 所有受拉热轧光圆钢筋的末端应作成 180° 的半圆形弯钩，弯钩的弯曲直径 d_m 不得小于 $2.5d$ ，钩端应留有不小于 $3d$ 的直线段（图6.2.2—1）。

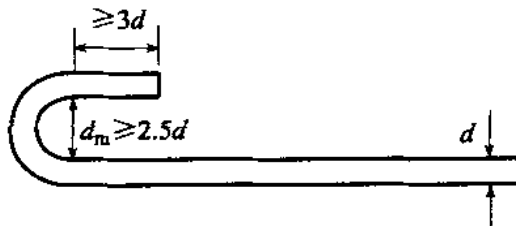


图 6.2.2—1 半圆形弯钩

- 2 受拉热轧带肋（月牙肋、等高肋）钢筋的末端应采用直角形弯钩，钩端的直线段长度不应小于 $3d$ ，直钩的弯曲直径 d_m 不得小于 $5d$ （图6.2.2—2）。

- 3 弯起钢筋应弯成平滑的曲线，其曲率半径不宜小于钢筋直径的10倍（光圆钢筋）或12倍（带肋钢筋）（图6.2.2—3）。

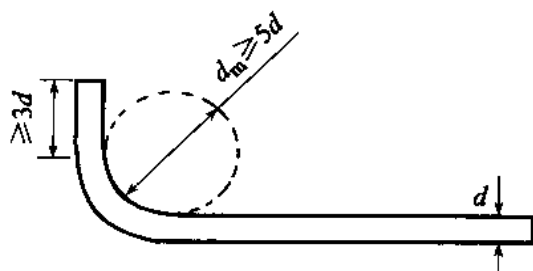


图 6.2.2—2 直角形弯钩

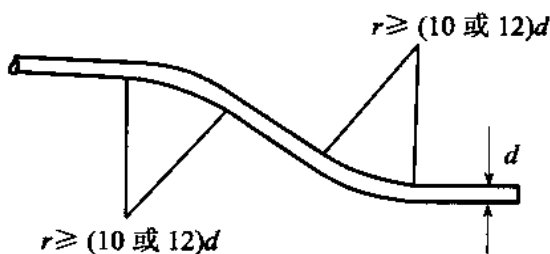


图 6.2.2—3 弯起钢筋

6.2.3 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 6.2.3）。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；弯钩平直部分的长度：一般结构不宜小于箍筋直径的 5 倍，有抗震要求的结构不应小于箍筋直径的 10 倍。

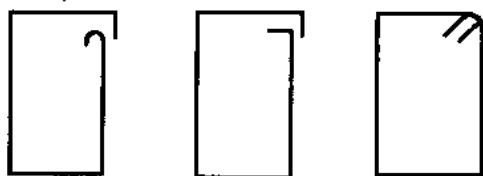


图 6.2.3 箍筋末端弯钩

6.2.4 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 II 级钢筋，应采用热弯工艺）。弯制钢筋宜从中部开始，逐步弯向两端，弯钩应一次弯成。

6.2.5 钢筋加工的允许偏差应符合表 6.2.5 的规定。

表 6.2.5 钢筋加工的允许偏差

序 号	名 称	允许偏差 (mm)
1	受力钢筋顺长度方向的全长	± 10
2	弯起钢筋的弯起位置	± 20

6.3 钢筋接头

6.3.1 热轧钢筋的接头应符合设计要求。当设计无要求时，应符合下列规定：

1 接头应采用闪光对焊或电弧焊连接，并以闪光对焊为主。以承受静力荷载为主的直径为 28~32 mm 带肋钢筋，可采用冷挤压套筒连接。

2 拉杆中的钢筋，不论其直径大小，均应采用焊接接头。

3 仅在确无条件施行焊接时，对直径 25 mm 及以下的钢筋方可采用绑扎搭接。

4 在钢筋密列的结构内，当钢筋间净距小于其直径的 1.5 倍或 30 mm（竖向）和 45 mm（横向）时，不得使用搭接接头。搭接接头的配置，在任何截面内都应与邻近的钢筋保持适当距离，并应符合本技术指南第 6.3.10 条和第 6.3.11 条的规定。

5 跨度大于 10 m 的梁不得采用搭接接头。

6 钢筋接头类型应符合本技术指南附录 E 的规定。

6.3.2 对于钢筋焊接接头的焊接工艺、参数、质量以及操作人员的培训、考试等要求，凡本技术指南未作规定的，均应符合国家现行标准《钢筋焊接及验收规程》(JGJ 18) 的有关规定。钢筋冷挤压套筒连接的技术要求应符合《带肋钢筋套筒挤压连接技术规程》(JGJ 108) 的有关规定。

6.3.3 冬期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℃。

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。

在困难条件下，对以承受静力荷载为主的钢筋，闪光对焊的环境气温可适当降低，最低不应低于 -10°C 。

冬期电弧焊接时，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。

6.3.4 采用闪光对焊接头时，应符合下列规定：

1 每批钢筋焊接前，应先选定焊接工艺和参数，按实际条件进行试焊，并检验接头外观质量及规定的力学性能。仅在试焊质量合格和焊接工艺（参数）确定后，方可成批焊接。

2 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。

3 每个闪光对焊接头的外观应符合下列要求：

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

外观检查不合格的接头，经剔出重焊后方可提交二次验收。

4 在同条件下（指钢筋生产厂、批号、级别、直径、焊工、焊接工艺和焊机等均相同）完成并经外观检查合格的焊接接头，以 200 个作为一批（不足 200 个也按一批计），从中切取 6 个试件，3 个做拉力试验，3 个做冷弯试验，进行质量检验。

5 对焊接头的抗拉强度不应低于该级别钢筋的规定值，并至少应有 2 个试件断于焊缝以外，且呈塑性断裂。

3 个拉力试件中，当有 1 个抗拉强度低于该级别钢筋的规定值，或有 2 个试件在焊缝处或热影响区（按接头每边 $0.75d$ 计算）脆性断裂时，应另取两倍数量（6 个）的接头试件重做试验。复试中当有 1 个试件的抗拉强度低于该级别钢筋的规定值，或有 3 个试件在焊缝处或热影响区脆性断裂时，则该批对焊接头

应判为不合格。预应力钢筋与螺丝端杆闪光对焊接头拉伸试验结果，3个试件应全部断于焊缝之外，呈延性断裂。当试验结果有一个试件在焊缝或热影响区发生脆性断裂时，应从成品中再切取3个试件进行复验。当复验结果仍有一个试件在焊缝或热影响区发生脆性断裂时，应确认该批接头为不合格。

6 对焊接头的冷弯试验可用万能试验机、钢筋弯曲机或人工弯曲进行，芯棒直径应符合表 6.3.4 的规定。冷弯试验时，应将接头内侧的毛刺、卷边削平，焊接点应位于弯曲中心，绕芯棒弯曲至 90°。

表 6.3.4 对焊接头冷弯试验的芯棒直径

钢筋级别	I 级	II 级	III 级	IV 级
芯棒直径	2d	4d	5d	7d

注：1 d 为钢筋直径 (mm)；

2 直径大于 25 mm 的钢筋，芯棒直径应增加 1d。

当试件经冷弯后，在弯曲背面不出现裂缝，可判为冷弯试验合格。当 3 个冷弯试验中有 1 个试件不合格，应另取 6 个试件重做试验。当复试中仍有 1 个不合格时，则该批对焊接头应判为不合格。

6.3.5 热轧光圆钢筋和热轧带肋钢筋的接头采用搭接、帮条电弧焊接时，除应满足强度要求外，尚应符合下列规定：

1 搭接接头的长度、帮条的长度和焊缝的总长度应符合本技术指南附录 E 的规定。

2 搭接接头钢筋的端部应预弯，搭接钢筋的轴线应位于同一直线上。

3 帮条电弧焊的帮条，宜采用与被焊钢筋同级别、同直径的钢筋。当采用同级别、不同直径的钢筋作帮条，且被焊钢筋与帮条钢筋均为 I 级钢筋时，两帮条钢筋的直径应大于或等于被焊钢筋的 0.8d；当被焊钢筋与帮条钢筋为 II、III 级钢筋时，两帮

条钢筋的直径应大于或等于 $0.9d$ 。

帮条和被焊钢筋的轴线应在同一平面上。

4 焊缝高度 h 应等于或大于 $0.3d$ ，并不得小于 4 mm ；焊缝宽度 b 应等于或大于 $0.7d$ ，并不得小于 8 mm （图 6.3.5—1）。

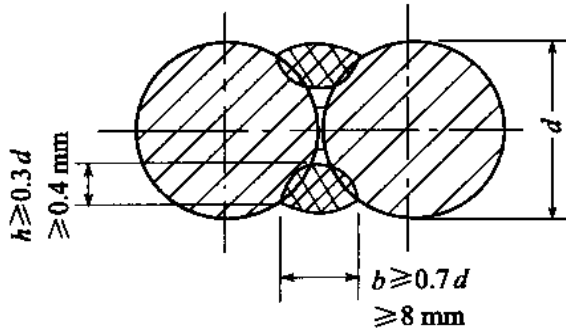


图 6.3.5—1 钢筋搭接、帮条焊接的焊缝

5 钢筋与钢板进行搭接焊时，搭接长度应等于或大于钢筋直径的 4 倍（I 级钢筋）或 5 倍（II 级钢筋）。焊缝高度 h 应等于或大于 $0.35d$ ，并不得小于 4 mm ；焊缝宽度 b 应等于或大于 $0.5d$ ，并不得小于 6 mm （图 6.3.5—2）。

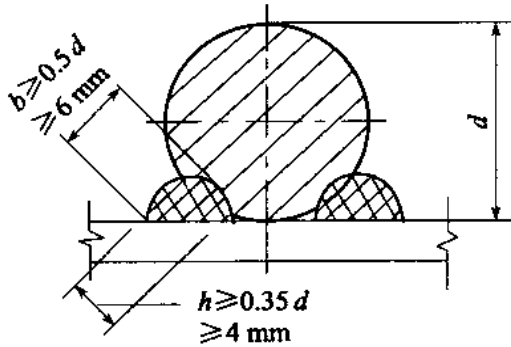


图 6.3.5—2 钢筋与钢板焊接的焊缝

6 在工厂（场）施行电弧焊接时，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。

7 电弧焊接用的焊条应符合设计要求。当设计无要求时，可按表 6.3.5 选用。

表 6.3.5 电弧焊接用焊条

焊条型号	药皮类型	电流种类
E4301 E4303 E4313	钛铁矿型 钛钙型 高钛钾型	交流或直流正、反接
E4315	低氢钠型	直流反接
E4316	低氢钾型	交流或直流反接
E5001 E5003	铁钛矿型 钛钙型	交流或直流正、反接
E5015	低氢钠型	直流反接
E5016	低氢钾型	交流或直流反接

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 20 mm 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。钢筋与钢板间进行搭接焊时，引弧应在钢板上进行。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。

6.3.6 每次改变钢筋级别、直径、焊条型号或调换焊工时，应预先用相同材料、相同焊接条件和参数，制作 2 个拉力试件。当试验结果均大于该级别钢筋的抗拉强度时，方可正式施焊。

6.3.7 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，其缺陷及尺寸的允许偏差应符合表 6.3.7 的规定。

表 6.3.7 电弧焊接钢筋接头的缺陷和尺寸偏差允许值

序 号	名 称	单 位	允许偏差值
1	帮条对焊接头中心的纵向偏移	mm	$0.5d$
2	接头处钢筋轴线的弯折	°	4
3	接头处钢筋轴线的偏移	mm	$0.10d$
		mm	3
4	焊缝高度	mm	$+0.10d$ 0
5	焊缝宽度	mm	$+0.10d$ 0
6	焊缝长度	mm	$-0.50d$
7	咬肉深度	mm	$0.05d$
		mm	0.5
8	在长 $2d$ 的焊缝表面上, 焊缝气孔及夹渣的数量和大小	个	2
		mm ²	6

注: 1 d 为钢筋的直径 (mm);

2 当表中的允许偏差在同一项目内有 2 个值时, 应按其中较严的数值进行控制。

6.3.8 采用电弧搭接焊、帮条焊的接头, 经外观检查合格后, 应取样进行拉伸试验, 并应符合下列规定:

1 在同条件下 (指钢筋生产厂、批号、级别、直径、焊工、焊接工艺和焊机等均相同) 的焊接接头, 以 200 个作为一批 (不足 200 个也按一批计), 从中切取 3 个试件做拉伸试验。

2 3 个钢筋接头试件的抗拉强度均不得小于该级别钢筋规定的抗拉强度。

3 3 个接头试件均应断于焊缝之外, 并应至少有 2 个试件呈延性断裂。

当有 1 个试件的抗拉强度小于规定值, 或有 1 个试件断于焊缝, 或有 2 个试件发生脆性断裂时, 应再取 6 个试件进行复验。当有 1 个试件复验的抗拉强度小于规定值, 或有 1 个试件断于焊

缝，或有 3 个试件呈脆性断裂时，应确认该批接头为不合格。

6.3.9 不同钢厂生产的不同批号、不同外形的钢筋相互之间或与预埋件（钢板、型钢、预留钢筋）焊接时，应预先进行焊接试验，经检验合格后方可正式施焊。

6.3.10 钢筋绑扎接头应符合下列规定：

1 受拉区内的 I 级光圆钢筋末端应做成彼此相对的弯钩（图 6.3.10），II 级带肋钢筋应做成彼此相对的直角弯钩。绑扎接头的搭接长度（由两钩端部切线算起）应符合表 6.3.10 的规定。在钢筋搭接部分的中心及两端共 3 处，应采用铁丝绑扎结实。

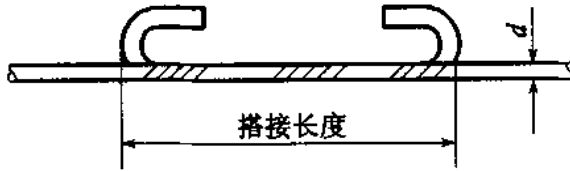


图 6.3.10 钢筋的绑扎接头

表 6.3.10 钢筋绑扎接头的最小搭接长度

序 号	钢 筋 级 别	受 拉 区	受 压 区
1	I 级钢筋	$30d$	$20d$
2	II 级钢筋	$35d$	$25d$

注：1 绑扎接头的搭接长度除应符合本表规定外，在受拉区不得小于 250 mm，在受压区不得小于 200 mm；

2 d 为钢筋直径（mm）。

2 受压光圆钢筋的末端，以及轴心受压构件中任意直径的纵向钢筋末端，可不作弯钩，但钢筋的搭接长度不应小于 $30d$ 。

6.3.11 钢筋接头应设置在钢筋承受应力较小处，并应分散布置。配置在“同一截面”内的受力钢筋接头的截面面积，占受力钢筋总截面面积的百分率，应符合下列规定：

1 闪光对焊的接头在受弯构件的受拉区不得超过 50%，在轴心受拉构件中不得超过 25%，在受压区可不受限制。

2 电弧焊接的接头可不受限制，但应错开。

3 绑扎接头在构件的受拉区不得超过 25%，在受压区不得超过 50%。

4 钢筋接头应避免钢筋弯曲处，距弯曲点不应小于 $10d$ 。

注：1 两钢筋接头相距在 $30d$ 以内，或两焊接接头相距在 50 cm 以内，或两绑扎接头的中距在绑扎长度以内，均视为同一截面，并不得小于 50 cm；

2 在同一根钢筋上应少设接头。“同一截面”内同一根钢筋上接头不得超过 1 个。

6.3.12 钢筋接头采用本技术指南未涉及的其他形式时，应经过试验论证并经有关部门认可，且其施工应符合《钢筋机械连接通用技术规程》(JGJ 107) 的相关规定。

6.3.13 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的规定。

6.4 钢筋安装

6.4.1 安装钢筋时，钢筋的位置和混凝土保护层的厚度应符合设计要求。

在多排钢筋之间，必要时可垫入短钢筋头或其他适当的钢垫，但短钢筋头或钢垫的端头不得伸入混凝土保护层内。

6.4.2 安装钢筋时，应采取有效措施，确保钢筋的混凝土保护层厚度满足设计要求。为此，可在钢筋与模板之间采用垫块支垫。垫块的强度、密实度不应低于本体混凝土的设计强度和密实度。垫块应互相错开，分散布置，并不得横贯保护层的全部截面。

6.4.3 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 0.7~2.0 mm 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 6.4.3);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。



(a) 箍筋位置正确

(b) 箍筋位置不正确

图 6.4.3 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。使用内部振动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。

6.4.4 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。

6.4.5 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,也不得变更保护层的规定厚度。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,不应造成施工接缝。

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

6.4.7 当设计或专业施工规范无规定时,钢筋安装的允许偏差应符合表 6.4.7 的规定。

表 6.4.7 钢筋安装的允许偏差

序 号	名 称	允许偏差	
1	钢筋总截面面积的偏差（指更换钢筋规格时）	-2%	
2	双排钢筋，其排与排间距的局部偏差	±5 mm	
3	同一排中受力钢筋间距的局部偏差	板、墙、大体积	±20 mm
		柱、梁	±10 mm
4	分布钢筋间距偏差	±20 mm	
5	箍筋间距偏差	绑扎骨架	±20 mm
		焊接骨架	±10 mm
6	弯起点的偏差（加工偏差 20 mm 包括在内）	±30 mm	
7	最外层钢筋的位置偏差	$c \geq 35$ mm	+10 -5 mm
		$25 \text{ mm} < c < 35$ mm	+5 -2 mm
		$c \leq 25$ mm	+3 -1 mm

注：c 为钢筋的混凝土保护层厚度。

6.5 质量检验

6.5.1 工地（厂）应对运进的钢筋进行检验，作为使用本批钢筋的使用依据。

6.5.2 经检验合格的钢筋在加工和安装过程中出现异常现象（如脆断、焊接性能不良或力学性能显著不正常等）时，应作化学成分分析。

6.5.3 当对钢筋质量或类别有疑问时，应根据实际情况进行抽样鉴定，并不得用于主要承重结构的重要部位。

6.5.4 在浇筑混凝土前，应对已安装好的钢筋、预埋件（钢板、锚固钢筋等）以及钢筋的混凝土保护层垫块进行检查。当发现不符合相关要求时，应及时纠正或返工。

6.5.5 热轧圆盘条、热轧光圆钢筋、热轧带肋钢筋和余热处理钢筋的检验应符合下列规定：

1 每批钢筋应由同一牌号、同一炉罐号、同一规格、同一交货状态组成，并不得大于 60 t。

2 检查每批钢筋的外观质量。钢筋表面不得有裂纹、结疤和折叠；表面的凸块和其他缺陷的深度和高度不得大于所在部位尺寸的允许偏差（带肋钢筋为横肋的高度）。测量本批钢筋的直径偏差。

3 在经外观检查合格的每批钢筋中任选两根钢筋，在其上各截取 1 组试样，每组试样各制 2 根试件，分别做拉伸（含抗拉强度、屈服点、伸长率）和冷弯试验。

热轧带肋钢筋应按规定增加反向弯曲试验项目。

4 当试样中有 1 个试验项目不符合要求时，应另取 2 倍数量的试件对不合格项目做第 2 次试验。当仍有 1 根试件不合格时，则该批钢筋应判为不合格。

6.5.6 钢筋机械接头的检验应符合《钢筋机械连接通用技术规程》(JGJ 107) 的规定。

7 混凝土工程

7.1 一般规定

7.1.1 混凝土工程正式施工前，施工单位应完成原材料的选定、复检工作，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。

7.1.2 重要混凝土结构施工前应进行混凝土试浇筑，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。

7.2 混凝土原材料的选用

7.2.1 水泥

1 水泥应选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥。在有充分实践经验证明可行的情况下，大体积混凝土也可选用矿渣硅酸盐水泥。水泥的混合材宜为粉煤灰或矿渣。有耐硫酸盐侵蚀要求的混凝土也可选用中级抗硫酸盐硅酸盐水泥或高级抗硫酸盐硅酸盐水泥。

2 水泥的技术要求除应满足国家标准的有关规定外，还应满足表 7.2.1 的规定。

表 7.2.1 水泥的技术要求

序号	项目	技术要求	备注
1	比表面积	$\leq 350 \text{ m}^2/\text{kg}$ (硅酸盐水泥、抗硫酸盐硅酸盐水泥)	按《水泥比表面积测定方法(勃氏法)》(GB/T 8074) 检验
2	80 μm 方孔筛筛余	$\leq 10.0\%$ (普通硅酸盐水泥)	按《水泥细度检验方法(80 μm 筛筛析法)》(GB/T 1345) 检验

续表 7.2.1

序号	项目	技术要求	备注
3	游离氧化钙含量	$\leq 1.0\%$	按《水泥化学分析方法》(GB/T 176) 检验
4	碱含量	$\leq 0.80\%$	
5	熟料中的 C_3A 含量	非氯盐环境下 $\leq 8\%$ ，氯盐环境下 $\leq 10\%$	按《水泥化学分析方法》(GB/T 176) 检验后计算求得
6	Cl^- 含量	不宜大于 0.10% (钢筋混凝土)	按《水泥原料中氯的化学分析方法》(JC/T 420) 检验
		$\leq 0.06\%$ (预应力混凝土)	

注：1 当骨料具有碱—硅酸反应活性时，水泥的碱含量不应超过 0.60%；
2 C40 及以上混凝土用水泥的碱含量不宜超过 0.60%。

7.2.2 矿物掺和料

1 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、磨细矿渣粉或硅灰。

2 粉煤灰的技术要求应满足表 7.2.2—1 的规定。

表 7.2.2—1 粉煤灰的技术要求

序号	名称	技术要求		备注
		C50 以下混凝土	C50 及以上混凝土	
1	细度 (%)	≤ 20	≤ 12	按《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T 1596) 检验
2	Cl^- 含量 (%)	不宜大于 0.02		按《水泥原料中氯的化学分析方法》(JC/T 420) 检验
3	需水量比 (%)	≤ 105	≤ 100	按《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T 1596) 检验
4	烧失量 (%)	≤ 5.0	≤ 3.0	按《水泥化学分析方法》(GB/T 176) 检验
5	含水率 (%)	≤ 1.0 (对于干排灰而言)		按《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T 1596) 检验
6	SO_3 含量 (%)	≤ 3		按《水泥化学分析方法》(GB/T 176) 检验
7	CaO 含量 (%)	≤ 10 (对于硫酸盐侵蚀环境)		

3 磨细矿渣粉的技术要求应满足表 7.2.2—2 的规定。

表 7.2.2—2 磨细矿渣粉的技术要求

序号	名称		技术要求	备注
1	MgO 含量 (%)		≤ 14	按《水泥化学分析方法》(GB/T 176) 检验
2	SO ₃ 含量 (%)		≤ 4	
3	烧失量 (%)		≤ 3	
4	Cl ⁻ 含量 (%)		不宜大于 0.02	按《水泥原料中氯的化学分析方法》(JC/T 420) 检验
5	比表面积 (m ² /kg)		350~500	按《水泥比表面积测定方法 (勃氏法)》(GB/T 8074) 检验
6	需水量比 (%)		≤ 100	按《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736) 检验
7	含水率 (%)		≤ 1.0	按《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046) 检验
8	活性指数 (%)	28d	≥ 95	按《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046) 检验

4 硅灰的技术要求应满足表 7.2.2—3 的规定。

表 7.2.2—3 硅灰的技术要求

序号	名称		技术要求	备注
1	烧失量 (%)		≤ 6	按《水泥化学分析方法》(GB/T 176) 检验
2	Cl ⁻ 含量 (%)		不宜大于 0.02	按《水泥原料中氯的化学分析方法》(JC/T 420) 检验
3	SiO ₂ 含量 (%)		≥ 85	按《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736) 检验
4	比表面积 (m ² /kg)		≥ 18000	
5	需水量比 (%)		≤ 125	
6	含水率 (%)		≤ 3.0	按《水泥化学分析方法》(GB/T 176) 检验
7	活性指数 (%)	28d	≥ 85	按《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736) 检验

7.2.3 细骨料

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，也可选用采用专门磨机机组生产的人工砂，不宜使用山砂，在不具备可靠冲洗条件的情况下不得使用海砂。

2 细骨料的颗粒级配（累计筛余百分率）应满足表 7.2.3—1 的规定。

表 7.2.3—1 细骨料的累计筛余百分率（%）

筛孔尺寸 (mm) \ 级配区	I 区	II 区	III 区
10.0	0	0	0
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

除 5.00 mm 和 0.63 mm 筛档外，细骨料的实际颗粒级配与表 7.2.3—1 中所列的累计筛余百分率相比允许稍有超出分界线，但其总量不应大于 5%。

3 细骨料的粗细程度按细度模数分为粗、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。

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

当所用细骨料的颗粒级配不符合表 7.2.3—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。

4 细骨料的吸水率应不大于 2%。细骨料的坚固性用硫酸钠溶液循环浸泡法检验。经 5 次循环后，试样的质量损失率应不超过 8%。

5 采用天然砂配制混凝土时，砂的有害物质的含量应符合表 7.2.3—2 的规定。

如发现砂中含有颗粒状的硫酸盐或硫化物杂质，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。

表 7.2.3—2 砂中有害物质含量限值

项 目	强 度 等 级		
	< C30	C30~C45	≥C50
含泥量 (%)	≤3.0	≤2.5	≤2.0
泥块含量 (%)	≤0.5		
云母含量 (%)	≤0.5		
轻物质含量 (%)	≤0.5		
Cl ⁻ 含量 (%)	≤0.02		
硫化物及硫酸盐含量 (折算成 SO ₃) (%)	≤0.5		
有机物含量 (用比色法试验)	颜色不应深于标准色。如深于标准色，则应按水泥胶砂强度试验方法，进行强度对比试验，抗压强度比不应低于 0.95		

6 细骨料的应采用砂浆棒法检验其碱活性，且砂浆棒的膨胀率应小于 0.10%，否则应按第 7.4.2 条的要求采取抑制碱—骨料反应的技术措施。

7 人工砂或混合砂的压碎指标值应小于 25%。经亚甲蓝试验判定后，人工砂或混合砂的石粉含量应符合表 7.2.3—3 的规定。

表 7.2.3—3 人工砂或混合砂中石粉含量限值

混凝土强度等级		< C30	C30~C45	≥C50
石粉含量 (%)	MB < 1.40	≤10.0	≤7.0	≤5.0
	MB ≥ 1.40	≤5.0	≤3.0	≤2.0

7.2.4 粗骨料

1 粗骨料应选用级配合理、粒形良好、质地均匀坚固、线膨胀系数小的洁净碎石，也可采用碎卵石，不宜采用砂岩碎石。

2 粗骨料的公称粒径不宜超过钢筋混凝土保护层厚度的 $2/3$ ，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（圆孔）不应大于 25 mm 。

3 粗骨料应采用二级或多级级配，其松散堆积密度应大于 1500 kg/m^3 ，紧密空隙率宜小于 40% ，吸水率应小于 2% （用于干湿交替或冻融环境条件下的混凝土应小于 1% ）。

4 当粗骨料为碎石时，碎石的强度用岩石抗压强度表示，且岩石抗压强度与混凝土强度等级之比不小于 1.5 。施工过程中碎石的强度可用压碎指标值进行控制，且应符合表 7.2.4—1 的规定。

若粗骨料为碎卵石，碎卵石的强度用压碎指标值表示，且应符合表 7.2.4—1 的规定。

表 7.2.4—1 粗骨料的压碎指标值（%）

混凝土强度等级	<C30			≥C30		
	沉积岩 (水成岩)	变质岩或深 成的火成岩	火成岩	沉积岩 (水成岩)	变质岩或深 成的火成岩	火成岩
碎石	≤16	≤20	≤30	≤10	≤12	≤13
碎卵石	≤16			≤12		

注：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，喷出的火成岩包括玄武岩和辉绿岩等。

5 粗骨料的坚固性用硫酸钠溶液循环浸泡法进行检验。经 5 次循环后，试样的质量损失率应符合表 7.2.4—2 的规定。

表 7.2.4—2 粗骨料的坚固性

结构类型	混凝土结构	预应力混凝土结构
质量损失率（%）	≤8	≤5

6 粗骨料的有害物质含量应符合表 7.2.4—3 的规定。

表 7.2.4—3 粗骨料的有害物质含量限值

项 目	强 度 等 级		
	<C30	C30~C45	≥C50
含泥量 (%)	≤1.0	≤1.0	≤0.5
泥块含量 (%)	0.25		
针、片状颗粒总含量 (%)	≤10	≤10	≤8
Cl ⁻ 含量 (%)	≤0.02		
硫化物及硫酸盐含量 (折算成 SO ₃) (%)	≤0.5		
碎卵石中有机质含量 (用比色法试验)	颜色不应深于标准色。当深于标准色时,应配制成混凝土进行强度对比试验,抗压强度比不应小于 0.95		

7 粗骨料的碱活性首先应采用岩相法进行检验。若粗骨料含有碱—硅酸反应活性矿物,其砂浆棒膨胀率应小于 0.10%,否则应按第 7.4.2 条的要求采取抑制碱—骨料反应的技术措施。不得使用具有碱—碳酸盐反应活性的骨料。

7.2.5 外加剂

1 外加剂应采用减水率高、坍落度损失小、适量引气、能明显改善或提高混凝土耐久性能的质量稳定产品。外加剂与水泥之间应有良好的相容性。

2 外加剂的性能应满足表 7.2.5 的要求。

表 7.2.5 外加剂的性能指标

序 号	项 目	指 标	备 注
1	水泥净浆流动度 (mm)	≥240	按《混凝土外加剂匀质性试验方法》(GB/T 8077) 检验
2	Na ₂ SO ₄ 含量 (%)	≤10.0	
3	Cl ⁻ 含量 (%)	≤0.2	
4	总碱量 (Na ₂ O+0.658K ₂ O) (%)	≤10.0	

续表 7.2.5

序号	项 目		指 标	备 注
5	减水率 (%)		≥ 20	按《混凝土外加剂》(GB8076) 检验
6	含气量 (%)	用于配制非抗冻混凝土时	≥ 3.0	
		用于配制抗冻混凝土时	≥ 4.5	
7	坍落度保留值 (mm)	30 min	≥ 180	按《混凝土泵送剂》(JC473) 检验
		60 min	≥ 150	
8	常压泌水率比 (%)		≤ 20	按《混凝土外加剂》(GB8076) 检验
9	压力泌水率比 (%)		≤ 90	按《混凝土泵送剂》(JC473) 检验
10	抗压强度比 (%)	3 d	≥ 130	按《混凝土外加剂》(GB8076) 检验
		7 d	≥ 125	
		28 d	≥ 120	
11	对钢筋锈蚀作用		无锈蚀	
12	收缩率比 (%)		≤ 135	
13	相对耐久性指标 (% , 200 次)		≥ 80	

注：坍落度保留值、压力泌水率比仅对于泵送混凝土用外加剂而言。

3 外加剂的匀质性应满足国家标准《混凝土外加剂》(GB 8076) 的规定。

7.2.6 水

1 混凝土拌和水应满足表 7.2.6 的规定。

表 7.2.6 拌和用水的品质指标

项 目	预应力混凝土	钢筋混凝土	素混凝土
pH 值	> 4.5	> 4.5	> 4.5
不溶物 (mg/L)	< 2000	< 2000	< 5000
可溶物 (mg/L)	< 2000	< 5000	< 10000
氯化物 (以 Cl^- 计)(mg/L)	< 500	< 1000	< 3500
硫酸盐 (以 SO_4^{2-} 计)(mg/L)	< 600	< 2000	< 2700
碱含量 (以当量 Na_2O 计)(mg/L)	< 1500	< 1500	< 1500

2 用拌和水和蒸馏水（或符合国家标准的生活饮用水）进行水泥净浆试验所得的水泥初凝时间差及终凝时间差均不得大于 30 min，其初凝和终凝时间尚应符合水泥国家标准的规定。

3 用拌和水配制的水泥砂浆或混凝土的 28 d 抗压强度不得低于用蒸馏水（或符合国家标准的生活饮用水）拌制的对应砂浆或混凝土抗压强度的 90%。

4 拌和水不得采用海水。当混凝土处于氯盐环境时，拌和水中 Cl^- 含量应不大于 200 mg/L。对于使用钢丝或经热处理钢筋的预应力混凝土，拌和水中 Cl^- 含量不得超过 350 mg/L。

5 养护用水除不溶物、可溶物可不作要求外，其他项目应符合表 7.2.6 的规定。不得采用海水养护混凝土。

7.3 混凝土原材料的储存与管理

7.3.1 混凝土用水泥、矿物掺和料等宜采用散料仓分别存储。袋装粉状材料在运输和存放期间应用专用库房存放，不得露天堆放，且应特别注意防潮。

7.3.2 水泥储运过程中，应符合下列规定：

1 装运水泥的车、船应有棚盖。

2 储存水泥的仓库应设在地势较高处，周围应设排水沟。

3 袋装水泥在装卸、搬移过程中不得抛掷。

4 水泥应按品种、强度等级分批堆垛，堆垛高度不宜大于 1.5 m。堆垛应架离地面 0.2 m 以上，并距离四周墙壁 0.2 ~ 0.3 m，或预留通道。

5 水泥不宜露天堆放，临时露天堆放时应上盖下垫。

6 储存散装水泥过程中，应采取降低水泥的温度或防止水泥升温。

7.3.3 当混凝土采用多级配粗骨料时，粗骨料应实行分级采购、分级运输、分级堆放、分级计量。

7.3.4 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、生产日期和进厂（场）日期。原材料堆放时应有堆放分界标识，以免误用。骨料堆场地面应进行硬化处理，并设置必要的排水设施。

7.3.5 混凝土原材料进场（厂）后，应及时建立“原材料管理台账”。台账内容包括进货日期、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。“原材料管理台账”应填写正确、真实、项目齐全。

7.4 混凝土配合比的选定

7.4.1 混凝土的配合比应根据混凝土原材料品质、设计强度等级、耐久性以及施工工艺对工作性的要求，通过试配、调整等步骤选定。配制的混凝土拌和物应满足施工要求，配制成的混凝土应满足设计强度、耐久性等质量要求。

7.4.2 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优质的粉煤灰、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。一般情况下，矿物掺和料掺量不宜小于胶凝材料总量的20%。当混凝土中粉煤灰掺量大于30%时，混凝土的水胶比不宜大于0.45。预应力混凝土以及处于冻融环境中的混凝土的粉煤灰的掺量不宜大于30%。

2 C30及以下混凝土的胶凝材料总量不宜高于 400 kg/m^3 ，C35~C40混凝土不宜高于 450 kg/m^3 ，C50及以上混凝土不宜高于 500 kg/m^3 。

3 不同环境条件下钢筋混凝土及预应力钢筋混凝土结构的混凝土的水胶比、胶凝材料用量应满足表7.4.2—1的规定。

4 不同环境条件下素混凝土结构的混凝土的水胶比、胶凝材料用量应满足表7.4.2—2的规定。

表 7.4.2—1 混凝土的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	设计使用年限级别					
		一 (100 年)		二 (60 年)		三 (30 年)	
		最大水胶比	最小胶凝材料用量	最大水胶比	最小胶凝材料用量	最大水胶比	最小胶凝材料用量
碳化环境	T1	0.55	280	0.60	260	0.65	260
	T2	0.50	300	0.55	280	0.60	260
	T3	0.45	320	0.50	300	0.50	300
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	0.60	260
	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
冻融破坏环境	D1	0.50	300	0.55	280	0.60	260
	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	320

表 7.4.2—2 混凝土的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	设计使用年限级别					
		一 (100 年)		二 (60 年)		三 (30 年)	
		最大水胶比	最小胶凝材料用量	最大水胶比	最小胶凝材料用量	最大水胶比	最小胶凝材料用量
碳化环境	T1、T2、T3	0.60	280	0.65	260	0.65	260
氯盐环境	L1、L2、L3	0.60	280	0.65	260	0.65	260

续表 7.4.2—2

环境类别	环境作用等级	设计使用年限级别					
		一 (100年)		二 (60年)		三 (30年)	
		最大水胶比	最小胶凝材料用量	最大水胶比	最小胶凝材料用量	最大水胶比	最小胶凝材料用量
化学侵蚀环境	H1	0.50	300	0.55	280	0.60	260
	H2	*	*	0.50	300	0.50	300
	H3	*	*	*	*	*	*
	H4	*	*	*	*	*	*
冻融破坏环境	D1	0.50	300	0.55	280	0.60	260
	D2	*	*	0.50	300	0.50	300
	D3	*	*	*	*	*	*
	D4	*	*	*	*	*	*
磨蚀环境	M1	0.55	280	0.60	260	0.65	260
	M2	0.50	300	0.55	280	0.60	260
	M3	*	*	0.50	300	0.50	300

注：“*”号表示不宜采用素混凝土结构。

5 当化学侵蚀介质为硫酸盐时，除了配合比参数应满足表 7.4.2—1 和表 7.4.2—2 的规定外，混凝土的胶凝材料还应满足表 7.4.2—3 的规定，且胶凝材料的抗蚀系数按附录 F 检验不得小于 0.8。

表 7.4.2—3 硫酸盐侵蚀环境下混凝土胶凝材料的要求

环境作用等级	水泥品种	水泥熟料中的 C ₃ A 含量 (%)	粉煤灰或磨细矿渣粉的掺量 (%)	最小胶凝材料用量 (kg/m ³)
H1	普通硅酸盐水泥	≤8	≥20	300
	中抗硫酸盐硅酸盐水泥	≤5	—	300
H2	普通硅酸盐水泥	≤8	≥25	330
	中抗硫酸盐硅酸盐水泥	≤5	≥20	300
	高抗硫酸盐硅酸盐水泥	≤3	—	300

续表 7.4.2—3

环境作用等级	水泥品种	水泥熟料中的 C ₃ A 含量 (%)	粉煤灰或磨细矿渣粉的掺量 (%)	最小胶凝材料用量 (kg/m ³)
H3、H4	普通硅酸盐水泥	≤6	≥30	360
	中抗硫酸盐硅酸盐水泥	≤5	≥25	360
	高抗硫酸盐硅酸盐水泥	≤3	≥20	360

6 混凝土中宜掺加符合本技术指南要求且能提高混凝土耐久性能的混凝土外加剂，优先选用多功能复合外加剂。

7 当骨料的碱—硅酸反应砂浆棒膨胀率在 0.10% ~ 0.20% 时，混凝土的碱含量应满足表 7.4.2—4 的规定；当骨料的碱—硅酸反应砂浆棒膨胀率在 0.20% ~ 0.30% 时，除了混凝土的碱含量应满足表 7.4.2—4 的规定外，还应在混凝土中掺加具有明显抑制效能的矿物掺和料和外加剂，并按附录 G 的方法一或方法二试验证明抑制有效。

表 7.4.2—4 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	*	3.0	3.0

注：1 “*”号表示混凝土必须换用非碱活性骨料。

2 混凝土的总碱含量包括水泥、矿物掺和料、外加剂及水的碱含量之和。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。

3 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。

4 处于含碱环境中的设计使用寿命为 30 年、60 年的混凝土结构，在限制混凝土碱含量的同时，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。

8 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%。

9 混凝土的人模含气量宜满足表 7.4.2—5 的规定。

表 7.4.2—5 混凝土含气量

环境条件	混凝土无抗冻要求	混凝土有抗冻要求		
		D1	D2、D3	D4
含气量 (%)	≥2.0	≥4.0	≥5.0	≥5.5

10 混凝土的坍落度宜根据施工工艺要求确定。在条件许可的条件下，应尽量选用低坍落度的混凝土施工。坍落度测定方法应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法》(GB/T 50080) 的规定。

7.4.3 混凝土的配合比可按下列步骤计算（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）、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，初步选定混凝土的水泥、矿物掺和料、骨料、外加剂、拌和水的品种以及水胶比、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 7.4.2 条的要求进行选定。

2 参照《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55) 的规定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和氯离子含量是否满足第 7.4.2 条的要求。如不满足，应重新选择原材料或调整计算配合比，直至满足要求为止。

3 采用工程中实际使用的原材料和搅拌方法，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、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 15L 以上。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基本接近的配合比 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，按规定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 1 d、3 d、28 d、56 d 时试压，试件的边长可选择 150 mm 或 100 mm（强度等级 C50 及以上的混凝土试件边长应采用 150 mm）；抗裂性对比试验可参照附录 H 规定的方法进行。

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成型一组或多组耐久性试件，按规定养护至规定龄期时进行试验。混凝土耐久性试件的制作及试验按《普通混凝土长期性能及耐久性能试验方法》(GBJ 82) 进行（其中抗冻性按快冻法），电通量试验方法参见附录 J。

7 根据上述不同配合比对应混凝土拌和物的性能、抗压强度、抗裂性以及耐久性能试验结果，按照工作性能优良、强度和耐久性满足要求、经济合理的原则，从不同配合比中选择一个最适合的配合比作为理论配合比。

8 采用工程实际使用的原材料拌和混凝土，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，对理论配合比进行校正（即以理论配合比中每项材料用量乘以校正系数后获得的配合比作为混凝土配合比）。校正系数按下式计算：

校正系数 = 实测拌和物表观密度 / 理论配合比拌和物表观密度

9 当混凝土的力学性能或耐久性能试验结果不满足设计或施工要求时，应重新根据第 7.4.2 条的要求选择混凝土配合比参数，并按照上述步骤重新试拌和调整混凝土配合比，直至满足要求为止。

10 当混凝土的原材料品质、施工环境气温发生较大变化时，应及时对混凝土的配合比进行调整。

7.5 混凝土搅拌

7.5.1 搅拌混凝土前应严格测定粗细骨料的含水率，准确测定因天气变化而引起粗细骨料含水量的变化，以便及时调整施工配合比。一般情况下每班抽测 2 次，雨天应随时抽测。

7.5.2 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，应对计量设备进行校核。

7.5.3 应严格按照经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、矿物掺合料等）为 $\pm 1\%$ ；外加剂为 $\pm 1\%$ ；粗、细骨料为 $\pm 2\%$ ；拌合用水为 $\pm 1\%$ 。

7.5.4 混凝土原材料计量后，宜先向搅拌机投入细骨料、水泥和矿物掺和料，搅拌均匀后加水并将其搅拌成砂浆，再向搅拌机投入粗骨料，充分搅拌后再投入外加剂，并搅拌均匀。应根据具体情况制定严格的投放制度，并对投放时间、地点、数量的核准等做出具体的规定。

7.5.5 自全部材料装入搅拌机开始搅拌起，至开始卸料时止，延续搅拌混凝土的最短时间应经试验确定。表 7.5.5 规定的混凝土最短搅拌时间可供参考。

表 7.5.5 混凝土最短搅拌时间 (min)

搅拌机容器 (L)	混凝土坍落度 (mm)		
	< 30	30~70	> 70
≤ 500	1.5	1.0	1.0
> 500	2.5	1.5	1.5

- 注：1 搅拌掺用外加剂或矿物掺和料的混凝土时，搅拌时间应适当延长；
2 当使用搅拌车运输混凝土时，可适当缩短搅拌时间，但不应少于 2 min；
3 搅拌机装料数量不应大于搅拌机核定容量的 110%；
4 混凝土搅拌时间不宜过长，每一工作班至少应抽查 2 次。

7.5.6 搅拌机拌和的第一盘混凝土粗骨料数量宜用到标准数量的 $2/3$ 。在下盘材料装入前，搅拌机内的拌和料应全部卸清。搅拌设备停用时间不宜超过 30 min，最长不应超过混凝土的初凝时间。否则，应将搅拌筒彻底清洗后才能重新拌和混凝土。

7.5.7 冬期或夏（热）期搅拌混凝土可参考本技术指南第 10 和第 11 章的相关规定。

7.6 混凝土运输

7.6.1 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。当长距离运输混凝土时，宜采用搅拌车运输；近距离运输混凝土时，宜采用混凝土泵、混凝土料斗或皮带运输。在装运混凝土前，应认真检查运输设备内是否存留有积水，或内壁粘附的混凝土是否清除干净。每天工作后或浇筑中断 30 min 及以上时间再行搅拌混凝土时，必须再次清洗搅拌筒。

7.6.2 混凝土运输设备的运输能力应适应混凝土凝结速度和浇筑速度的需要，保证浇筑过程连续进行。运输过程中，应确保混凝土不发生离析、漏浆、严重泌水及坍落度损失过多等现象，运至浇筑地点的混凝土应仍保持均匀和规定的坍落度。当运至现场的混凝土发生离析现象时，应在浇筑前对混凝土进行二次搅拌，但不得再次加水。

7.6.3 采用机动车运输混凝土时，运输道路、车道板或行车轨道等设备应平顺、牢固。

7.6.4 用手推车运输混凝土时，道路或车道板的纵坡不宜大于 15%。用机动车运输混凝土时，混凝土的装载厚度不应小于 40 cm。用轻轨斗车运输混凝土时，轻轨应铺设平整，以免混凝土拌和物因斗车振动而发生离析。

7.6.5 用吊斗（罐）运输混凝土时，吊斗（罐）出口到承接面间的高度不得大于 2 m。吊斗（罐）底部的卸料活门应开启方便，并不得漏浆。

7.6.6 采用混凝土搅拌运输车运送已搅拌好的混凝土时，运输过程中宜以 $2\sim 4\text{r/min}$ 的转速搅动。当搅拌运输车到达浇筑现场时，应高速旋转 $20\sim 30\text{s}$ 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。

7.6.7 采用泵送混凝土时，除应按《混凝土泵送施工技术规范》(JGJ/T 10) 的规定进行施工外，还应符合下列规定：

1 泵送施工应根据施工进度安排，加强组织和调度安排，确保连续均匀供料。

2 混凝土泵的运输能力应与搅拌机械的供应能力相适应。

3 混凝土泵的型号可根据工程情况、最大泵送距离、最大输出量等选定。优先选用泵送能力强的大型泵送设备，以便尽量减小泵送混凝土的坍落度损失。

4 混凝土泵的位置应靠近浇筑地点。泵送下料口应能移动。当泵送下料口固定时，固定的间距不宜过大，一般不大于 3m 。不得用插入式振捣棒平拖混凝土或将下料口处堆积的混凝土推向远处。

5 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。

6 泵送混凝土时，输送管路起始水平管段长度不应小于 15m 。除出口处可采用软管外，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。

7 向下泵送混凝土时，管路与垂线的夹角不宜小于 12° 。

8 混凝土宜在搅拌后 60min 内泵送完毕，且在 $1/2$ 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，应采取特殊措施，防止混凝土坍落度损失过大。

9 泵送混凝土前，应先用水泥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，并不得吸入空气。

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 $4\sim 5\text{min}$ 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 45 min，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。

11 冬期施工时，应对输送管采取保温措施。夏期施工时，应将输送管遮盖、洒水、垫高或涂成白色。

7.6.8 用带式输送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 7.6.8 的规定。

表 7.6.8 传送带最大倾斜角度

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

- 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 1.2 m/s。

- 5 开始搅拌混凝土时，应考虑有 2% ~ 3% 的砂浆损失。

7.6.9 混凝土在倒装、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。当采用木制辅助器具时，应内衬铁皮。

7.6.10 运输混凝土过程中，应尽量减少混凝土的转载次数和运输时间。混凝土从加水拌和到入模的最长时间，应由试验室根据水泥初凝时间及施工气温确定，并宜符合表 7.6.10 的规定。

表 7.6.10 混凝土拌和物运输时间限值 (min)

气温 T (°C)	无搅拌运输	有搅拌运输
$20 < T \leq 30$	30	60
$10 < T \leq 20$	45	75
$5 \leq T \leq 10$	60	90

7.6.11 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），需要时应将运输混凝土的容器加上遮盖物或保温隔热材料。

7.7 混凝土浇筑

7.7.1 浇筑混凝土前，应做好如下准备工作：

1 制定浇筑工艺，明确结构分段分块的间隔浇筑顺序（尽量减少后浇带或连接缝）和钢筋的混凝土保护层厚度的控制措施。

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及杂物、泥块清除干净，并采取防、排水措施，按有关规定填写检查记录。对干燥的非黏性土基面，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本技术指南第 7.7.4 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，并指定专人作重复性检查，以提高钢筋的混凝土保护层厚度尺寸的质量保证率。

构件侧面和底面的垫块应至少为 4 个/ m^2 ，绑扎垫块和钢筋的铁丝头不得伸入保护层内。保护层垫块的尺寸应保证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，不得使用砂浆垫块。当采用细石混凝土垫块时，其抗渗能力和抗压强度应高于本体混凝土，且水胶比不大于 0.4。

5 对于桥梁、隧道或大体积混凝土结构，应在不同季节选择有代表性结构进行试浇筑，并通过测温或计算分析，事先确定施工过程中混凝土温度参数的合理控制值。

7.7.2 浇筑混凝土应符合下列一般规定：

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℃。宜尽可能安排在傍晚浇筑而避开炎热的白天，也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 当昼夜平均气温低于 5℃ 或最低气温低于 -3℃ 时，应按冬期施工处理，混凝土的入模温度不应低于 5℃。

3 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。

4 浇筑重要工程的混凝土时，应定时测定混凝土温度以及环境气温、相对湿度、风速等参数，并根据环境参数变化及时调整养护方式。

5 混凝土应分层进行浇筑，不得随意留置施工缝。其分层厚度（指捣实后厚度）应根据搅拌机的搅拌能力、运输条件、浇筑速度、振捣能力和结构要求等条件确定。表 7.7.2 中的数值可供参考，但混凝土最大摊铺厚度不宜大于 400 mm，泵送混凝土的最大摊铺厚度不宜大于 600 mm。

表 7.7.2 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动器型号等情况适当调整。

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或能重塑前浇筑完成上层混凝土。上下层同时浇筑时，上层与下层前后浇筑距离应保持 1.5 m 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或能重塑的时间。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。

当允许间歇时间已超过时，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，施工缝处应埋入适量的接茬片石、钢筋或型钢，并使其体积露出前层混凝土外一半左右。

7 新浇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 。

8 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。

9 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，发现有松动、变形、移位时应及时处理。

10 浇筑混凝土时，应填写混凝土施工记录。

7.7.3 自高处向模板内倾卸混凝土时，为防止混凝土离析，一般应满足下列要求：

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，应通过串筒、溜管或振动溜管等设施辅助下落；

3 串筒出料口距混凝土浇筑面的高度不宜超过 1m 。

7.7.4 在混凝土施工缝处接续浇筑新混凝土时，一般应满足下列要求：

1 应凿除处理层混凝土表面的水泥砂浆和松弱层。凿除时，处理层混凝土须达到下列强度：

- 1) 用水冲洗凿毛时, 须达到 0.5 MPa;
- 2) 用人工凿除时, 须达到 2.5 MPa;
- 3) 用风动机凿毛时, 须达到 10 MPa。

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 10~20 mm、水胶比比混凝土略小的 1:2 水泥砂浆, 或铺一层厚约 30 cm 的混凝土, 其粗骨料宜比新浇筑混凝土减少 10%。

3 对于素混凝土结构或钢筋稀疏的钢筋混凝土结构, 应在施工缝处补插锚固钢筋。钢筋直径不小于 16 mm, 间距不大于 20 mm。有抗渗要求的混凝土结构, 施工缝宜做成凹形、凸形或设置止水带。

4 施工缝为斜面时, 旧混凝土应浇筑成或凿成台阶状。

5 施工缝处理后, 须待处理层达到 1.2 MPa 后才能继续浇筑混凝土。当结构物为钢筋混凝土时, 处理层混凝土强度不得低于 2.5 MPa。混凝土达到上述抗压强度的时间宜通过试验确定。

7.7.5 浇筑大体积混凝土时, 一般应满足下列要求:

1 浇筑大体积混凝土应在一天中气温较低时进行。混凝土的浇筑温度(振捣后 50~100 mm 深处的温度)不宜高于 28℃。

2 浇筑大体积混凝土应沿高度均匀分段、分层浇筑。分段数目宜减少, 每段混凝土厚度应为 1.5~2.0 m。当横截面面积在 200 m² 以内时, 分段不宜大于 2 段; 当横截面面积在 300 m² 以内时, 分段不宜大于 3 段, 且每段面积不得小于 50 m²。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。

3 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，或在混凝土内埋设冷却管通水冷却。

4 在遇气温骤降的天气或寒冷季节浇筑大体积混凝土后，应注意覆盖保温，加强养护。

5 尽量减少浇筑层厚度，以便加快混凝土散热速度。

7.7.6 浇筑墩台混凝土时，一般应满足下列要求：

1 对墩台基底的处理，应符合下列规定：

- 1) 基底为非黏性土或干土时，应将其润湿；
- 2) 基面为岩石时，应加以润湿，并铺一层厚 20~30 mm 的水泥砂浆，然后于水泥砂浆凝结前浇筑第一层混凝土。

2 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。

3 浇筑大体积墩台基础混凝土时，除应满足第 11 章第 11.3 节的相关规定外，当大体积墩台基础混凝土的平截面过大，不能在前面混凝土初凝或能重塑前浇筑完成次层混凝土时，可分块进行浇筑。分块浇筑时应符合第 7.7.5 条第 2 款的规定。

4 采用滑升模板浇筑墩台混凝土时，应符合下列规定：

- 1) 宜采用低流动度或半干硬性混凝土。
- 2) 浇筑应分层、分段进行，各段应浇筑到距离模板上口不小于 10~150 mm 的位置为止。若为排柱式墩台，各立柱应保持进行一致。
- 3) 在滑升过程中须防止千斤顶或油管接头在混凝土或钢筋处漏油。
- 4) 每整体结构的浇筑应连续进行。若因故中途停工，应按施工缝处理。
- 5) 混凝土脱模时的强度宜为 0.2~0.5 MPa。

7.7.7 浇筑梁式结构混凝土时，一般应满足下列要求：

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。每片梁的浇筑时间最长不宜超过 6 h。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。梁身较高时可分两次或三次浇筑；梁身较低时可分为两次浇筑。分次浇筑时，宜先浇筑底板及腹板根部，其次浇筑腹板，最后浇筑顶板及翼板，同时应符合本技术指南关于分段的有关规定。

2 在支架上浇筑大跨度简支梁以及在基底刚性不同的支架上浇筑连续梁或悬臂梁时，应按下列方法之一进行：

- 1) 混凝土浇筑应加速，最初的浇筑层在浇完全梁时，仍应具有随支架沉降而变形的可塑性。
- 2) 浇筑前应先在支架上加置相当于全部梁体重量的荷载，当支架充分变形后，再随浇筑的进行逐渐卸载。
- 3) 当取得设计单位同意后，可将梁分段，并按规定顺序及要求浇筑。

3 浇筑先张构件时，应避免振动器碰撞预应力筋；浇筑后张结构时，应避免振动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。

7.7.8 在隧道、明洞、路堑等挖方作业面上浇筑混凝土时，应满足如下一般要求：

1 浇筑前，应清除坍塌的土石方和支撑材料。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混凝土拱时，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 16 m 及以内时，应一次连续浇完。

4 当混凝土或钢筋混凝土拱肋跨度大于 16 m 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，并应符合本技术指南第 7.7.4 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，且两相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，并符合本技术指南第 7.7.4 条的规定。

7 封顶时，应待两侧其他间隔槽浇完，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。封顶时的气温和混凝土的温度应作好记录。

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陷或其他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。

7.7.9 当浇筑与墙或柱（墩）整体连接（不设施工缝）的梁或板时，应待墙或柱（墩）的混凝土浇筑完毕并初步沉实 1~1.5 h 后，再接续浇筑梁或板的混凝土。

7.8 混凝土振捣

7.8.1 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，也可采用插入式振

捣器和附着式振捣器联合振捣。混凝土较黏稠时（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。

7.8.2 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。

7.8.3 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 50~100 mm，与侧模应保持 50~100 mm 的距离。

当振动完毕需变换振捣棒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动棒，不得将振捣棒放在拌和物内平拖。不得用振捣棒驱赶混凝土。

2 表面振动器的移动距离应能覆盖已振动部分的边缘。

3 附着式振动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 应避免碰撞模板、钢筋及其他预埋部件。

5 每一振点的振捣延续时间宜为 20~30 s，以混凝土不再沉落、不出现气泡、表面呈现浮浆为度，防止过振、漏振。

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

7 当采用振动台振动时，应预先作工艺设计。

7.8.4 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暴露于干旱地区的混凝土，尤其要注意施工抹面工序的质量保证。

7.9 混凝土养护

7.9.1 混凝土的养护包括自然养护和蒸汽养护。混凝土养护期间，应重点加强混凝土的湿度和温度控制，尽量减少表面混凝土的暴露时间，及时对混凝土暴露面进行紧密覆盖（可采用篷布、塑料布等进行覆盖），防止表面水分蒸发。暴露面保护层混凝土初凝前，应卷起覆盖物，用抹子搓压表面至少两遍，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。

7.9.2 混凝土的蒸汽养护可分静停、升温、恒温、降温四个阶段。静停期间应保持环境温度不低于 5°C ，浇筑结束 $4\sim 6\text{h}$ 且混凝土终凝后方可升温。升温速度不宜大于 $10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。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。降温速度不宜大于 $10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

7.9.3 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、潮湿养护，保证模板接缝处不至失水干燥。为了保证顺利拆模，可在混凝土浇筑 $24\sim 48\text{h}$ 后略微松开模板，并继续浇水养护至拆模后，再按表7.9.6的要求继续保湿养护至规定龄期。

7.9.4 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。

7.9.5 混凝土采用喷涂养护液养护时，应确保不漏喷。

7.9.6 混凝土终凝后的持续保湿养护时间可参照表7.9.6的规定执行。

表 7.9.6 不同混凝土潮湿养护的最低期限

混凝土类型	水胶比	大气潮湿 (RH \geq 50%), 无风, 无阳光直射		大气干燥 (RH $<$ 50%), 有风, 或阳光直射	
		日平均气温 T ($^{\circ}$ C)	潮湿养护期限 (d)	日平均气温 T ($^{\circ}$ C)	潮湿养护期限 (d)
胶凝材料 中掺有矿物 掺和料	≥ 0.45	$5 \leq T < 10$	21	$5 \leq T < 10$	28
		$10 \leq T < 20$	14	$10 \leq T < 20$	21
		$20 \leq T$	10	$20 \leq T$	14
	< 0.45	$5 \leq T < 10$	14	$5 \leq T < 10$	21
		$10 \leq T < 20$	10	$10 \leq T < 20$	14
		$20 \leq T$	7	$20 \leq T$	10
胶凝材料 中未掺矿物 掺和料	≥ 0.45	$5 \leq T < 10$	14	$5 \leq T < 10$	21
		$10 \leq T < 20$	10	$10 \leq T < 20$	14
		$20 \leq T$	7	$20 \leq T$	10
	< 0.45	$5 \leq T < 10$	10	$5 \leq T < 10$	14
		$10 \leq T < 20$	7	$10 \leq T < 20$	10
		$20 \leq T$	7	$20 \leq T$	7

注：大体积混凝土的养护时间不宜小于 28 d。

7.9.7 在任意养护时间，若淋注于混凝土表面的养护水温度低于混凝土表面温度，二者间温差不得大于 15°C 。

7.9.8 混凝土养护期间应注意采取保温措施，防止混凝土表面温度受环境因素影响（如曝晒、气温骤降等）而发生剧烈变化。养护期间混凝土的芯部与表层、表层与环境之间的温差不宜超过 20°C （截面较为复杂时，不宜超过 15°C ）。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。

7.9.9 混凝土在冬季和炎热季节拆模后，若天气产生骤然变化，应采取适当的保温（寒季）隔热（夏季）措施，防止混凝土产生过大的温差应力。

7.9.10 混凝土拆模后可能与流动水接触时，应在混凝土与流动的地表水或地下水接触前采取有效保温保湿养护措施养护，养护时间应比表 7.9.6 规定的时间有所延长（至少 14 d），且混凝土的强度应达到 75% 以上的设计强度。养护结束后应及时回填。

7.9.11 直接与海水或盐渍土接触的混凝土，应保证混凝土在强度达到设计强度等级以前不受侵蚀，并尽可能推迟新浇混凝土与海水或盐渍土直接接触的龄期，一般不宜少于 6 周。

7.9.12 当昼夜平均气温低于 5℃ 或最低气温低于 -3℃ 时，应按冬期施工处理。当环境温度低于 5℃ 时，禁止对混凝土表面进行洒水养护。此时，可在混凝土表面喷涂养护液，并采取适当保温措施。

7.9.13 对于严重腐蚀环境下采用大掺量粉煤灰的混凝土结构或构件，在完成规定的养护期限后，如条件许可，在上述养护措施基础上仍应进一步适当延长潮湿养护时间。

7.9.14 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、表层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。

7.9.15 混凝土养护期间，施工和监理单位应各自对混凝土的养护过程作详细记录，并建立严格的岗位责任制。

7.10 混凝土拆模

7.10.1 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 侧模应在混凝土强度达到 2.5 MPa 以上，且其表面及棱角不因拆模而受损时，方可拆除。

2 底模应在混凝土强度符合表 7.10.1 的规定后，方可拆除。

表 7.10.1 拆除底模时混凝土所需达到的强度

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。

7.10.2 混凝土的拆模时间除需考虑拆模时的混凝土强度应满足第 7.10.1 条的规定外，还应考虑拆模时混凝土的温度（由水泥水化热引起）不能过高，以免混凝土接触空气时降温过快而开裂，更不能在此时浇注凉水养护。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。

一般情况下，结构或构件芯部混凝土与表层混凝土之间的温差、表层混凝土与环境之间的温差大于 20°C （预应力箱梁和截面较为复杂时，温差大于 15°C ）时不宜拆模。大风或气温急剧变化时不宜拆模。在寒冷季节，环境温度低于 0°C 时不宜拆模。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。

7.10.3 拆模宜按立模顺序逆向进行，不得损伤混凝土，并减少模板破损。当模板与混凝土脱离后，方可拆卸、吊运模板。

7.10.4 当拆除拱架、拱圈及跨度大于 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。

7.10.5 拆除临时埋设于混凝土中的木塞和其他预埋部件时，不得损伤混凝土。

7.10.6 拆除模板时，不得影响或中断混凝土的养护工作。

7.10.7 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。

7.11 混凝土缺陷处理

7.11.1 混凝土拆模后，如表面有粗糙、不平整、蜂窝、孔洞、疏松麻面和缺棱掉角等缺陷或不良外观时，应认真分析缺陷产生的原因，及时报告监理和业主，不得自行处理。

7.11.2 当混凝土表面缺陷经分析不危及结构或构件的使用性能和耐久性能时，可采用经有关部门批准的技术方案进行修补处理。

7.11.3 混凝土表面缺陷修补后，修补或填充的混凝土应与本体混凝土表面紧密结合，在填充、养护和干燥后，所有填充物应坚固、无收缩开裂或产生鼓形区，表面平整且与相邻表面平齐，达到工程技术规范要求的相应等级及标准的要求。修补后混凝土的耐久性能应不低于本体混凝土。

7.11.4 除监理工程师批准外，用模板成型的混凝土表面不允许粉刷。

7.12 质量检验

7.12.1 混凝土原材料进厂（场）后，应按附录 K 的要求对水泥、矿物掺和料、骨料、外加剂、水的品种、规格、数量以及质量证明书等进行验收核查，向水泥供应商索要水泥熟料的化学成分和矿物组成、矿物掺和料种类和数量等资料，并对水泥供应商提供的上述资料进行确认，按规定取样复验。混凝土原材料的品质指标应满足第 7.2 节的相应要求。对于检验不合格的原材料，应按有关规定清除出厂（场）。

7.12.2 混凝土施工过程中，应按附录 K 的要求对水泥、矿物掺和料、骨料、外加剂、拌和水等主要原材料的品质进行日常批

量抽检，检验结果应满足第 7.2 节的相应要求。

7.12.3 在搅拌和浇筑混凝土过程中，应按附录 L 的要求采用专用设备对混凝土拌和物性能进行抽检，检验结果应满足混凝土配合比及本技术指南的相关规定要求。各种拌和物性能测定值与要求值之间的最大偏差宜控制为：坍落度 ± 20 mm，水胶比 ± 0.02 。新建搅拌站首次搅拌混凝土时，应按现行国家标准《混凝土搅拌机技术条件》(GB9142) 的规定对混凝土拌和物的匀质性进行检验。检验混凝土拌和物的匀质性时，可在搅拌机的卸料过程中，从卸料斗的 1/4 至 3/4 之间的部位取混凝土试样进行试验。其检测结果应符合下列规定：

- 1 混凝土拌和物应拌和均匀，颜色一致，不得有离析和泌水现象；
- 2 混凝土中砂浆密度两次测值的相对误差不应大于 0.8%；
- 3 单位体积混凝土中粗骨料含量两次测值的相对误差不应大于 5%。

7.12.4 在混凝土施工过程中，应按附录 M 和附录 N 的要求对混凝土的力学性能和耐久性能进行抽检，检验结果应满足设计和施工要求。

1 混凝土强度的检验评定应符合《铁路混凝土强度检验评定标准》(TB 10425) 的有关规定，但预应力混凝土、蒸养混凝土、喷射混凝土试件的试验龄期为 28 d，其他混凝土试件的试验龄期为 56 d。混凝土耐久性的检验评定应符合《铁路混凝土工程施工质量验收补充标准》(铁建设〔2005〕160 号) 的规定，混凝土试件的试验龄期为 56 d。

2 对用于施工过程控制的现场混凝土试件，应根据不同要求从同一盘混凝土或同一车运送的混凝土中取出，并在与实际结构相同的条件下成型和养护。

3 对用于强度评定和耐久性抽检的现场混凝土试件，应根据不同要求从同一盘混凝土或同一车运送的混凝土中取出，并在

与实际结构相同的条件下成型。当混凝土结构采用自然养护时，试件应在标准养护条件下养护到规定龄期进行试验；当混凝土结构采用蒸汽养护时，试件应先在与实际蒸养条件相同的条件下养护，再在标准养护条件下养护到规定龄期后进行试验。

7.12.5 在混凝土施工过程中，如更换水泥、外加剂、矿物掺和料等主要原材料，应重新进行混凝土配合比选定试验，并对新选定的配合比混凝土的拌和物性能、力学性能和耐久性能进行检验，检验结果应分别满足设计和施工要求。

7.12.6 混凝土拆模且养护结束后的实体混凝土的质量可按附录 P 的要求和下列途径进行检测：

1 应用肉眼或放大镜观察实体混凝土结构表面是否存在非外力裂缝。当混凝土表面出现非外力裂缝时，普通混凝土结构表面的裂缝宽度不得大于 0.20 mm。

2 当对实体混凝土强度有疑问时，可依据《铁路工程结构混凝土强度检测规程》(TB 10426—2004)，采用后装拔出法间接测定结构表层混凝土的抗压强度。测定宜在 56 d 左右的龄期进行，要求测得的强度均值不低于设计值或规定的数值。当不满足要求时，可用钻芯取样法进行校核。

3 采用钢筋保护层厚度检测仪测定现场混凝土保护层的实际厚度，要求钢筋的混凝土保护层实际厚度不低于设计值。当不满足要求时，可将混凝土保护层凿开实测。

4 当对实体混凝土耐久性有疑问时，可依据《铁路工程结构混凝土强度检测规程》(TB 10426—2004) 对钻芯取样的具体要求，在现浇混凝土实体结构上随机钻芯抽取混凝土芯样，测定实体混凝土的电通量。

7.12.7 钢筋保护层厚度检验的结构部位和构件数量，应符合下列要求：

1 钢筋保护层厚度检验的结构部位应由建设、监理、施工等各方根据结构构件的重要性共同选定。

2 对梁类、板类构件，应各抽取构件数量的 2% 且不少于 5 个构件进行检验。当有悬挑构件时，抽取的构件中悬挑梁类、板类构件所占比例均不宜小于 50%。

对选定的梁类构件，应对全部纵向受力钢筋的保护层厚度进行检验；对选定的板类构件，应抽取不少于 6 根纵向受力钢筋的保护层厚度进行检验。对每根钢筋，应在有代表性的部位测量 1 点。

3 可采用非破损或局部破损的方法检验钢筋的混凝土保护层厚度，也可采用非破损方法并用局部破损方法进行校准。当采用非破损方法检验时，所使用的检测仪器应经过计量检验，检验操作应符合相应规程的规定。钢筋保护层厚度检验的检测误差不应大于 1 mm。

7.12.8 混凝土表面缺陷修补后，可采用目测或用放大镜对接头进行外观检验。接茬面周边应看见挤出修补材料，不得留有缝隙。当对修补质量有怀疑时，可采用钻芯取样、金属敲击法等进行检验。

8 预应力混凝土工程

8.1 一般规定

8.1.1 本章适用于预应力混凝土结构的施工，内容包括采用预应力筋制作的预制构件和现浇混凝土结构。

8.1.2 除非本章另有规定，预应力混凝土工程中的混凝土原材料、配合比、施工以及质量检验等尚应符合本技术指南第7章的相应规定，模板和非预应力钢筋尚应符合本技术指南第5和第6章的相应规定。

8.1.3 预应力混凝土工程施工时，应采取必要的安全技术措施，防止发生事故。

8.2 预应力筋及配件

8.2.1 预应力筋及配件应符合下列要求：

1 预应力混凝土用钢丝应符合《预应力混凝土用钢丝》(GB/T 5223)的要求；

2 预应力混凝土用钢绞线应符合《预应力混凝土用钢绞线》(GB/T 5224)的要求，供应商应提供每批钢绞线的实际弹性模量值；

3 预应力用热处理钢筋应符合《预应力混凝土用热处理钢筋》(GB 4463)的要求；

4 钢配件用普通碳素钢应符合《碳素结构钢》(GB 700)的要求。

8.2.2 预应力筋进场时应分批验收。验收时，除应对其质量证明书、包装、标志和规格等进行检查外，尚须按第8.10节的要求。

求进行质量检验。

8.2.3 预应力筋的实际强度不得低于现行国家标准的规定。预应力筋的试验方法按现行国家标准的规定执行。新产品及进口材料的质量应符合相应现行国家标准的规定。

8.3 锚具、夹具和连接器

8.3.1 预应力筋锚具、夹具和连接器应具有可靠的锚固性能、足够的承载能力和良好的适用性，能保证充分发挥预应力筋的强度，安全地实现预应力张拉作业。锚具、夹具应符合设计要求，锚垫板应能安装密封盖帽，锚具产品应通过省、部级产品认证。锚具、夹具使用前应进行外观、硬度和静载锚固性能检查，并符合现行国家标准《预应力混凝土用锚具、夹具和连接器》(GB/T 14370)的规定。

8.3.2 预应力筋锚具应按设计要求采用。锚具应满足分级张拉、补张拉以及放松预应力的要求。用于后张结构时，锚具或其附件上宜设置压浆孔或排气孔，压浆应有足够的截面面积，以保证浆液的畅通。

8.3.3 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，且对操作人员的安全不造成危险。

8.4 管道

8.4.1 一般规定

1 在后张法预应力混凝土结构中，预应力筋的孔道宜由浇筑在混凝土中的金属波纹管或高密度聚乙烯波纹管制成，也可采取胶管抽芯、钢管抽芯及金属伸缩套管抽芯等方法预留。

2 浇筑在混凝土中的管道不允许有漏浆现象。管道应具有足够的强度，以使其在混凝土的重量作用下能保持原有的形状，且能按要求传递粘结应力。

8.4.2 管道材料及其性能要求

1 除本技术指南规定之外，管道材料应采用刚性或半刚性金属或高密度聚乙烯制成。

2 管道材料应具有一定的强度，以使其保持一定的形状，防止在搬运和浇筑混凝土过程中损坏；管道的材质不应与混凝土、预应力筋或水泥浆产生不良的化学反应。

金属管道宜尽量采用镀锌材料制作，并具有良好的柔韧性、耐磨性和绝缘性能，其性能应符合《预应力混凝土用金属螺旋管》(JG/T 3013) 的要求。

高密度聚乙烯波纹管的制作材料和管道性能应符合《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》(JT/T 529) 的要求。波纹管的波峰和纵向接缝处壁厚：对于内径 $\phi < 100$ mm 的管，壁厚不小于 2.0 mm；对于内径 $\phi \geq 100$ mm 的管，壁厚不小于 2.5 mm。

8.5 预应力材料的保护

8.5.1 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，必须安排定期的外观检查。

8.5.2 预应力筋和金属管道在仓库内保管时，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，不得直接堆放在地面上，必须采取垫以枕木并用苫布覆盖等有效措施，防止雨露和各种腐蚀性气体、介质的侵蚀。

8.5.3 锚具、夹具和连接器均应设专人保管。存放、搬运时均应妥善保护，避免锈蚀、沾污、遭受机械损伤或散失。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。

8.6 预应力筋制作

8.6.1 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，合适后方可成批下料。用作锚头的预应力筋下料切断后，端头应齐整，其同组长度差值不应大于长度的 $1/5000$ 。

8.6.2 预应力筋应采用切断机或砂轮锯切断，不得采用电弧切断，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。

8.6.3 钢丝编束应梳丝理顺，每隔 $1\sim 1.5\text{ m}$ 捆扎成束。搬运时，不得在地上拖拉。

8.6.4 预应力筋在储存、运输和安装过程中，应采取防锈或防损伤的措施。

8.6.5 高强钢丝锚头宜采用液压冷镦；冷拔低碳钢丝锚头可采用冷冲镦粗。钢筋宜采用电热镦粗，但Ⅳ级钢筋镦粗后应进行电热处理。

8.7 施加预应力

8.7.1 预应力设备选用及校验

1 张拉千斤顶在整拉整放工艺和单拉整放工艺中，单束初调及张拉宜采用穿心式双作用千斤顶。整体张拉和整体放张宜采用自锁式千斤顶，张拉吨位宜为张拉力的 1.5 倍，且不得小于 1.2 倍。张拉设备要配套标定、配套使用，配套标定期不得大于半年。标定应在国家授权的法定计量技术机构定期进行。

2 当采用张拉千斤顶预施应力时，千斤顶在张拉前必须经过校正，校正系数不得大于 1.05 。校正有效期为 1 个月，且横向张拉不超过 500 次张拉作业、纵向张拉不超过 200 次张拉作业。拆修更换配件后的张拉千斤顶必须重新校正，发现异常随时校验。与千斤顶配套使用的压力表应选择防振型产品，表面最大读数应为张拉力的 $1.5\sim 2.0$ 倍，精度不应低于 1.0 级。压力表首次使用前必须经过计量部门检定，检定周期为 1 周；当使用 0.4 级压力表时，检定周期可为 1 个月。压力表发生故障后必须

重新校验。

3 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定。

8.7.2 预应力筋的张拉控制应力和张拉程序应符合设计要求。在后张法预应力筋张拉前，应对孔道摩阻损失、扩孔段摩阻损失和锚口摩阻损失进行实际测定；在先张法折线配筋张拉前，应对折线筋摩阻损失进行实际测定；根据实测结果对张拉控制应力作适当调整后，再行确定。

8.7.3 混凝土应达到规定的强度等级和相应的弹性模量值后，方可施加预应力。

8.7.4 预施应力时，预应力筋、锚具和千斤顶应位于同一轴线上。

8.7.5 预应力筋的张拉控制应力应符合设计要求。当施工中预应力筋需要超张拉或计入锚圈口预应力损失时，张拉控制应力可比设计要求提高5%，但在任何情况下均不得超过设计规定的最大张拉控制应力。

预应力筋采用应力控制方法张拉时，应以伸长值进行校核，实际伸长值与理论伸长值的差值应符合设计要求。设计无规定时，实际伸长值与理论伸长值的差值应控制在6%以内，否则应暂停张拉，待查明原因并采取措施予以调整后，方可继续张拉。

8.7.6 采用先张法工艺生产预应力混凝土结构应满足下列要求：

1 先张法张拉台座应进行施工工艺设计，其强度、刚度及稳定性应能满足施工各阶段施工荷载的要求和施工工艺要求。

2 先张法墩式台座结构应符合下列要求：

1) 承力台座须具有足够的强度和刚度，其抗倾覆安全系数应不小于1.5，抗滑移系数应不小于1.3；

2) 横梁须有足够的刚度，受力后挠度应不大于2mm；

3) 应能有效防止在台座上铺放的预应力筋被沾污。

3 预应力筋安装应符合下列要求：

- 1) 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；
- 2) 预应力筋与锚固横梁宜采用张拉螺杆联接。

4 张拉应符合下列要求：

- 1) 张拉前，应对台座、横梁及各项张拉设备进行详细检查，符合要求后方可进行操作。
- 2) 预应力筋张拉宜采用单束初调、整体张拉工艺。
- 3) 张拉宜先进行直线预应力筋初调，再初调和张拉折线预应力筋，最后张拉直线预应力筋。
- 4) 预应力筋放张应在梁体混凝土强度和弹性模量符合设计要求，且混凝土龄期不少于 72 h 时进行，放张应采用楔块放张工艺，并符合设计要求。
- 5) 同时张拉多根预应力筋时，应预先调整其初应力，使相互之间的应力一致；张拉过程中，应使活动横梁与固定横梁始终保持平等，并应抽查力筋的预应力值，其偏差的绝对值不得超过按一个构件全部力筋预应力总值的 5%。
- 6) 预应力筋张拉完毕后，与设计位置的偏差不得大于 5 mm，同时不得大于构件最短边长的 4%。
- 7) 预应力筋的张拉程序应符合设计要求。
- 8) 张拉时，预应力筋的断丝数量不得超过表 8.7.6 的规定。

表 8.7.6 先张法预应力筋断丝限制

类 别	检 查 项 目	控 制 数
钢丝、钢绞线	同一构件内断丝数不得超过钢丝总数的	1%
钢 筋	断 筋	不容许

5 预应力筋张拉完毕后，宜在 4h 内浇筑混凝土。

6 放张应符合下列要求：

- 1) 预应力筋放张时的混凝土强度和弹性模量应符合设计规定。
- 2) 预应力筋的放张顺序应符合设计要求。设计未规定时，应分阶段、对称、相互交错地放张。在力筋放张之前，应将限制位移的侧模、翼缘模板或内模拆除。
- 3) 多根整批预应力筋的放张可采用砂箱法或千斤顶法。用砂箱法放张时，放砂速度应均匀一致；用千斤顶法放张时，放张宜分数次完成。单根钢筋采用拧松螺母的方法放张时，宜先两侧后中间，不得一次将一根力筋松完。
- 4) 钢筋放张后，可用乙炔—氧气切割，但应采取措施防止烧坏钢筋端部。钢丝放张后，可用切割、锯断或剪断的方法切断；钢绞线放张后，可用砂轮锯切断。

长线台座上预应力筋的切断顺序，应由放张端开始，逐次切向另一端。

8.7.7 采用后张法工艺生产预应力混凝土结构应满足下列要求：

1 预应力筋预留孔道的尺寸与位置应正确，孔道应平顺，端部的预埋钢垫板应垂直于孔道中心线。

2 管道安装应符合下列要求：

- 1) 管道和其接头应有足够的密封性，以防止水泥浆渗漏及抽真空时漏气。
- 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模板内的设计位置，使得管道在混凝土浇筑期间不产生位移。固定各种成孔管道用的定位钢筋的间距，对于钢管不宜大于 1m，对于波纹管不宜大于 0.8m，对于胶管不宜大于 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同类管道，其长度宜为被连接管道内径的 5~7 倍。连接时应不使接头处产生角度变化，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，防止水泥浆渗入。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。
- 4) 管道与锚垫板之间应采用同一材料、同一规格的连接头连接，连接后用密封胶封口。
- 5) 在需设置排气管处，管道与排气管应采用带有排气管的密封连接器连接，其密封性能应满足真空度要求。
- 6) 所有管道均应设压浆孔，在最高点设排气孔，需要时还应在最低点设排水孔。压浆管、排气管和排水管应是最小内径为 20 mm 的标准管或适宜的塑性管，与管道之间的连接应采用金属或塑料结构扣件，长度应足以从管道引出结构物以外。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。
- 7) 管道在模板内安装完毕后，应将其端部盖好，防止水或其他杂物进入。
- 8) 梁体管道位置的允许偏差见表 8.7.7—1。

表 8.7.7—1 梁体管道安装位置的允许偏差

项 次	检 查 项 目		允许偏差 (mm)	检 查 方 法
1	坐 标	梁长方向	30	尺 量
		梁高方向	6	
		梁宽方向	6	
2	间 距	同 排	6	尺 量

3 预应力筋安装应符合下列要求：

- 1) 预应力筋可在浇筑混凝土之前或之后穿入管道。对钢

绞线，可将一根钢束中的全部钢绞线编束后整体装入管道中，也可逐根将钢绞线穿入管道。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，无水和其他杂物。

2) 预应力筋安装后的保护

对在混凝土浇筑及养生之前安装在管道中但在规定时限内没有压浆的预应力筋，应采取防止锈蚀等措施，直至压浆。

不同暴露条件下，未采取防腐蚀措施的力筋，安装后至压浆时的容许间隔时间如下：

空气平均相对湿度大于 70% 或盐分过大时	7 d
空气平均相对湿度 40% ~ 70% 时	15 d
空气平均相对湿度小于 40% 时	20 d

力筋安装在管道中后，应将管道端部开口密封以防止湿气进入。采用蒸汽养护时，在养护完成之前不应安装力筋。

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他损坏。

- 3) 对在混凝土浇筑之前穿束的管道，力筋安装完成后，应进行全面检查，以查出可能被损坏的管道。在混凝土浇筑之前，应将管道上一切非有意留的孔、开口或损坏之处修复，并应检查力筋能否在管道内自由滑动。

4 张拉应符合下列要求：

- 1) 对力筋施加预应力之前，应对构件的外观和尺寸进行检查。构件的外观和尺寸符合质量标准要求时才能张拉。张拉时，构件的混凝土强度应符合设计要求。设计未规定时，混凝土强度不应低于设计强度等级值的 75%。

- 2) 预应力筋的张拉顺序应符合设计要求。当设计未规定时,可采取分批、分阶段对称张拉。
- 3) 应使用能张拉多根钢绞线或钢丝的千斤顶同时对每一钢束中的全部力筋施加应力,但对扁平管道中不多于4根的钢绞线除外。
- 4) 预应力筋张拉端的设置应符合设计要求。当设计无具体要求时,应符合下列规定:

对曲线预应力筋或长度大于等于25m的直线预应力筋,宜在两端张拉;对长度小于25m的直线预应力筋,可在一端张拉。

曲线配筋的精轧螺纹钢筋应在两端张拉,直线配筋的可在一端张拉。

当同一截面中有多束一端张拉的预应力筋时,张拉端宜分别设置在构件的两端。预应力筋采用两端张拉时,可先在一端张拉锚固后,再在另一端补足预应力值进行锚固。

- 5) 后张预应力筋的张拉应符合设计要求。预施应力宜按预张拉、初张拉和终张拉三个阶段进行。
- 6) 后张预应力筋断丝及滑移不得超过表8.7.7—2的控制数。

表 8.7.7—2 后张预应力筋断丝、滑移限制

类 别	检 查 项 目	控 制 数
钢丝束和钢绞线束	每束钢丝断丝或滑丝	1 根
	每束钢绞线断丝或滑丝	1 丝
	每个断面断丝之和不超过该断面钢丝总数的	1%
单根钢筋	断筋或滑移	不容许

注: 1 钢绞线断丝系指单根钢绞线内钢丝的断丝。

2 超过表列控制数时,原则上应更换。当不能更换时,在许可的条件下,可采取补救措施,如提高其他束预应力值,但须满足设计对各阶段极限状态的要求。

- 7) 预应力筋在张拉控制应力达到稳定后方可锚固。预应力筋锚固后的外露长度不宜小于 30 mm。一般情况下, 锚固完结并经检验合格后即可切割端头多余的预应力筋, 严禁用电弧切割, 宜用砂轮机切割。切割时, 不得损伤锚具。

必要时, 应对锚圈口及孔道摩阻损失进行测定, 张拉时予以调整。

- 8.7.8 预应力筋张拉及放松时, 均应填写施工记录。

8.8 后张孔道压浆

- 8.8.1 后张预应力筋张拉后, 孔道应尽早压浆。

8.8.2 压浆前, 应对孔道进行清洁处理。抽芯成型的混凝土空心孔道应冲洗干净, 并使孔壁完全湿润; 金属管道必要时亦应冲洗, 以清除有害材料; 孔道内可能发生的油污等, 可采用已知对预应力筋和管道无腐蚀作用的中性洗涤剂或皂液用水稀释后进行冲洗。冲洗后, 应使用不含油的压缩空气将孔道内的所有积水吹出。

- 8.8.3 孔道灌浆材料的配制及性能应符合下列要求:

1 浆体宜用净浆, 孔道空隙较大时也可采用细砂砂浆。浆体中一般应掺入适量减水剂、缓凝剂或引气剂等外加剂, 也可掺入粉煤灰以提高浆体的工作性和密实性, 加入钢筋阻锈剂以提高浆体的防护性能, 加入微膨胀剂以保证浆体的密实性, 但不得加入铝粉或含有氯化物等有害成分的外加剂。浆体的水胶比应低于本体混凝土, 且不大于 0.35。

2 浆体应具有流动性好、不泌水、无收缩、可灌时间满足施工工艺要求的性能。在施工环境温度下, 浆体在 6 h 内应保持可灌性, 并基本不泌水。即使早期有少许泌水, 在密封状态下 24 h 内应能被浆体重新吸收。浆体终凝时间不大于 24 h。

3 浆体的性能测试应包括流动度、流动度的延时变化与温

度敏感性、压力引起的最大泌水量以及强度发展速率等。灌浆料的流动度应在施工前和施工中采用附录 Q 规定的方法进行测定。

8.8.4 浆体自拌制至压入孔道的延续时间，视浆体的性质和气温情况而定，一般在 30~45 min 范围内。应采用搅拌速度大于 700 r/min 的高速搅拌设备，在使用前和压注过程中连续对浆体进行搅拌。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。

8.8.5 灌浆需在预应力筋穿入孔道后 48 h 以内和张拉后 24 h 以内完成，否则应采取专门的并经过实践验证的可靠措施，确保孔道中的预应力筋体系在完成灌浆工序前不出现锈迹。

8.8.6 预应力管道压浆宜采用真空辅助压浆工艺。压浆时，对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。压浆宜先压注下层孔道。压浆泵应采用连续式；同一管道压浆应连续进行，一次完成。管道出浆口应装有三通管，确认出浆浓度和进浆浓度一致时，方可封闭保压。压浆前，管道真空度应确定在 $-0.06 \sim -0.10$ MPa 之间。为保证管道中充满浆体，关闭出浆口后，应保持不小于 0.5 MPa 的一个稳压期，该稳压期不宜少于 2 min。当孔道较长或采用一次压浆时，最大压力宜为 1.0 MPa。梁体竖向预应力筋孔道压浆的最大压力可控制在 0.3~0.4 MPa。压浆应达到孔道另一端饱满和出浆，并应达到排气孔排出与规定稠度相同的水泥浆为止。

8.8.7 压浆过程中及压浆后 48 h 内，结构混凝土的温度不得低于 5℃，否则应采取保温措施。当气温高于 35℃ 时，压浆宜在夜间进行。

8.8.8 孔道压浆应填写施工记录。

8.9 封 锚

8.9.1 压浆结束后，应及时对需封锚的锚具进行封闭。应先将锚具周围冲洗干净，并对梁端混凝土凿毛，然后设置钢筋网浇筑

封锚混凝土。

8.9.2 锚具和预应力筋封闭防护前须按设计要求对锚具和预应力筋做防锈和防水处理。

8.9.3 封锚混凝土宜采用水泥基聚合物混凝土，强度应符合设计规定。当设计无要求时，混凝土的水胶比应不大于本体混凝土的相应值，混凝土的强度应不低于本体混凝土的相应值。封锚后还应采取可靠的防护措施，以防止环境水和其他有害介质渗入接缝。

8.9.4 必须严格控制封锚后的梁体长度。

8.10 质量检验

8.10.1 在对预应力混凝土工程的质量进行检验时，除了对其与钢筋混凝土工程相同的项目进行检验外，尚应对预应力筋、张拉机具、锚夹具的质量以及预应力钢材编束、孔道预留、施加预应力、孔道压浆等项目的施工质量进行检验。

8.10.2 光面钢丝、刻痕钢丝和螺旋肋钢丝的检查

1 每批钢丝由同一牌号、同一规格、同一交货状态的钢丝组成，并不得大于 30 t。

2 钢丝的外观检查应从每批中抽查 10%，但不少于 3 盘。钢丝表面不得有裂纹、小刺、机械损伤、氧化铁皮和油迹，也不得有肉眼可见的麻坑，但允许有浮锈；回火钢丝允许有回火颜色。

3 力学性能的抽样检查应从经外观检查合格的钢丝中任选总盘数的 10%（不少于 3 盘）取样送检。应从选定钢丝盘的两端各截取 1 组试样，分别进行拉力（含伸长率）和反复弯曲性能试验。当有 1 项试验结果不符合规定时，则该盘钢丝判为不合格，并应从未检查过的钢丝盘中取 2 倍数量的试样，进行不合格项目的复验。当仍有 1 项试验结果不合格时，则该批钢丝判为不合格。每批钢绞线应进行弹性模量检验。

4 松弛性能应由厂方提供试验报告。

8.10.3 钢绞线的检验

1 每批钢绞线应由同一牌号、同一规格、同一交货状态的钢绞线组成，并不得大于 30 t。

2 钢绞线应从每批中任选 3 盘进行表面质量、直径偏差和捻距的外观检查及力学性能的试验。如每批小于 3 盘，应逐盘检查。

3 力学性能的抽样检验应在选定的各盘端部正常部位截取 1 根试样，进行拉力（整根钢绞线的最大负荷、屈服负荷、伸长率）试验。当试验结果有 1 项不合格时，除该盘判为不合格外，还应从未试验过的钢绞线盘中取 2 倍数量的试样进行复验。当仍有 1 项不合格时，则该批钢绞线判为不合格。

4 松弛性能可由厂方提供试验报告。

8.10.4 热处理钢筋的检验

1 每批热处理钢筋应由同一外形截面尺寸、同一热处理工艺和同一炉罐号的钢筋组成，并不得大于 30 t。

2 应从每批热处理钢筋中选取 10%（不少于 15 盘）进行表面质量和尺寸偏差的检查，表面不得有肉眼可见的裂纹、结疤和折叠，允许有凸块，但不得超过横肋的高度，且不得沾有油污。

3 力学性能的抽样检验应从每批热处理钢筋中任选总盘数的 10%（不少于 15 盘）进行力学性能抽样检验。当试验结果有 1 项不合格时，除该盘判为不合格外，应再从未检验过的钢筋中抽取 2 倍数量的试样进行不合格项目复验。当仍有 1 项不合格时，则该批钢筋判为不合格。

4 松弛性能可由厂方提供试验报告。

8.10.5 精轧螺纹钢筋的检验

应分批进行检验，每批重量不大于 100 t，对表面质量应逐根目视检查，外观检查合格后，在每批中任选 2 根钢筋截取试件

进行拉伸试验。试验结果如有 1 项不符合标准规定的要求时，则另取双倍数量的试件重做全部各项试验。如仍有 1 根试件不合格，则该批钢筋判为不合格。

拉伸试验的试件不允许进行任何形式的加工。

8.10.6 锚具、夹具和连接器进场验收

1 锚具、夹具和连接器进场时，除应按出厂合格证和质量证明书核查其锚固性能类别、型号、规格及数量外，还应按下列规定进行验收：

- 1) 外观检查：应从每批中抽取 10% 的锚具且不少于 10 套，检查其外观和尺寸。如有 1 套表面有裂纹或超过产品标准及设计图纸规定尺寸的允许偏差，则应另取双倍数量的锚具重做检查。如仍有 1 套不符合要求，则应逐套检查，合格者方可使用。
- 2) 硬度检验：应从每批中抽取 5% 的锚具且不少于 5 套，对其中有硬度要求的零件做硬度试验，对多孔夹片式锚具的夹片，每套至少抽取 5 片。每个零件测试 3 点，其硬度应在设计要求范围内。如有 1 个零件不合格，则应另取双倍数量的零件重做试验。如仍有 1 个零件不合格，则应逐个检查，合格者方可使用。
- 3) 静载锚固性能试验：对大桥、特大桥等重要工程，当质量证明书不齐全、不正确或质量有疑点时，经上述两项试验合格后，应从同批中抽取 6 套锚具（夹具或连接器）组成 3 个预应力筋锚具组装件，进行静载锚固性能试验。如有一个试件不符合要求，则应另取双倍数量的锚具（夹具或连接器）重做试验。如仍有 1 个试件不符合要求，则该批锚具（夹具或连接器）判为不合格品。

对用于其他桥梁的锚具（夹具或连接器）的进场验收，其静载锚固性能可由锚具生产厂家提供试验报告。

2 验收批的划分：在同种材料和同一生产工艺条件下，锚具、夹具应以不超过 1000 套组为一个验收批；连接器以不超过 500 套组为一个验收批。

8.10.7 金属螺旋管的检验

1 金属螺旋管进场时，除应按出厂合格证和质量保证书核对其类别、型号、规格及数量外，还应对其外观、尺寸、集中荷载下的径向刚度、荷载作用后的抗渗漏及抗弯曲渗漏等性能进行检验。工地自行加工制作的管道亦应进行上述检验。检验方法可参照现行《预应力混凝土用金属螺旋管》(JG/T 3013) 的规定。

2 金属螺旋管应按批进行检验。每批应由同一钢带生产厂生产的同一批钢带所制造的金属螺旋管组成，累计半年或 50 000 m 生产量为一批，不足半年产量或不足 50 000 m 也可作为一批处理。

3 当检验结果有不合格项目时，应以双倍数量的试件对该不合格项目进行复验。复验仍不合格时，则该批产品为不合格。

8.10.8 高密度聚乙烯波纹管的检验

1 高密度聚乙烯波纹管进场时，生产厂家应提供试验报告、质量保证书和合格证。承包人除应按出厂合格证和质量保证书核对其类别、型号、规格及数量外，还应对其外观形状、主要尺寸及密封性能进行检测。检验方法、取样数量、检验内容和顺序及质量要求按《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》(JT/T 529) 的有关规定执行。

2 高密度聚乙烯波纹管应按批进行检验。在同一配方、同一生产工艺、同设备稳定连续生产的一定数量的产品为一批，每批数量不超过 10 000 m。

3 当检验结果有不合格项目时，应取双倍数量的试件对该不合格项目进行复验。复验仍不合格时，则该批产品判为不合格。

8.10.9 预应力筋制作安装的允许偏差可参照表 8.10.9—1 及表 8.10.9—2 的规定。

表 8.10.9—1 先张预应力筋制作安装允许偏差

项	目	允许偏差 (mm)
锚头钢丝同束长度相对差	束长 > 20 m	L/5 000 及 5
	束长 6~20 m	L/3 000
	束长 < 6 m	2
力筋张拉后的位置与设计位置之间偏位		4% 构件最短边长及 5

表 8.10.9—2 后张预应力筋制作安装允许偏差

项	目	允许偏差 (mm)
管道坐标	梁长方向	30
	梁高方向	10
管道间距	同 排	10
	上 下 层	10

8.10.10 预应力混凝土结构用混凝土的原材料、拌和物性能、力学性能、耐久性能的检验以及实体混凝土质量的检验应符合本技术指南第 7.12 节的规定。预应力混凝土结构表面不得出现裂缝。

8.10.11 预应力后张梁孔道压浆前，应对浆体的流动性、泌水率、凝结时间、体积膨胀率等进行检验，检验结果应满足设计要求。浆体的流动性按附录 Q 进行检验，体积膨胀率按附录 R 进行检验。压浆时，每一工作班应对浆体的流动度进行检验。每一工作班应留取不少于 3 组的 $70.7\text{ mm} \times 70.7\text{ mm} \times 70.7\text{ mm}$ 立方体试件和 $40\text{ mm} \times 40\text{ mm} \times 160\text{ mm}$ 棱柱体试件，标准养护 28 d，检查其抗压强度和抗折强度，作为评定压浆材料质量的依据。压浆后应从检查孔抽查压浆的密实情况。如有不实，应及时处理和纠正。

8.10.12 预应力混凝土构件的静载抗裂性试验，应符合铁道部现行《预应力混凝土铁路简支梁桥静载弯曲抗裂试验方法》(TB/T 2092) 的规定。

8.10.13 预应力混凝土构件制成后，应按有关规定填写制造技术证明书。

9 水下混凝土与喷射混凝土工程

9.1 一般规定

9.1.1 本章适用于在原材料、施工工艺和质量检验与普通混凝土工程有所区别的水下混凝土与喷射混凝土工程施工。

9.1.2 除非本章另有规定，水下混凝土与喷射混凝土工程施工还应符合本技术指南的其他相关规定。

9.1.3 水下混凝土与喷射混凝土工程施工应符合设计要求。必要时，应制定必要的施工方案。

9.2 水下混凝土

9.2.1 配制水下混凝土的原材料和配合比应符合下列规定：

1 混凝土的配制强度应较在一般配制强度的基础上再提高10%~20%；

2 选择配合比时，应同时按数种不同流动度的要求选定；

3 胶凝材料用量不宜小于 350 kg/m^3 ，水泥或胶凝材料的初凝时间不宜小于2h；

4 粗骨料的最大粒径不应大于导管内径的 $1/4$ 或钢筋净距的 $1/4$ （仅有单层钢筋时，则最大粒径不应大于钢筋净距的 $1/3$ ），且不宜大于60mm；

5 混凝土的坍落度宜为180~220mm，在可能与水接触的最初浇筑阶段，坍落度可适当减小。

9.2.2 水下混凝土应具有足够的流动性和良好的和易性，且在浇筑过程中不应发生离析或泌水过多等现象。

9.2.3 搅拌和运输混凝土的能力应与浇筑速度相适应，搅拌地

点应靠近浇筑地点。

9.2.4 承重、水较深、浇筑面积较大的结构或混凝土强度、密度、匀质性要求较高的水下混凝土，应采用竖向导管法浇筑。

当水下混凝土浇筑面积较大时，应使用数根导管同时浇筑。导管的数量、安放位置及浇筑速度，应根据结构的具体条件确定。

每根导管的作用半径应视导管管径而定。当管径为 250 mm 时，作用半径可为 3~3.5 m。当围堰内有桩或柱时，导管的作用半径宜减小。

水下混凝土每小时的浇筑数量，应使每根导管均有适当的埋入深度，且不宜小于 0.25 m。

浇筑水下混凝土的导管不应漏水，内壁光滑。装配好的导管在使用前，应通过充水、加压的方式进行检查。

9.2.5 准备工作经检查合格后，方可开始浇筑。水下混凝土的浇筑应在不受水流影响的环境中进行。开始浇筑时，导管底端与浇筑基面的距离，应能使混凝土顶着球塞或其他隔水物沿导管流入水中，同时将导管内的水、空气和球塞或其他隔水物排出管外。混凝土应在导管底端形成锥体。导管底端埋入混凝土内的长度不宜小于 1.0 m，但钻孔桩以外的水下混凝土（如封底混凝土等）埋入混凝土内的深度应为 0.8 m。继续浇筑的混凝土不应再与水接触。

9.2.6 当浇筑的基面不在同一水平面而呈阶梯形或斜面时，应从低洼处开始浇筑，待大致浇平后再全断面浇筑。

9.2.7 水下混凝土浇筑不得中途间歇。每根导管的间歇时间应根据具体情况确定，但不宜大于 30 min。

9.2.8 浇筑混凝土时的流动距离、流动坡度、导管理入深度、浇筑速度和基坑内混凝土面升高等情况，应随时检查，及时调整。

9.2.9 导管应沿竖向徐徐提升，每次提升高度应与混凝土浇筑

速度相适应，且导管内应经常具有足够高度的混凝土。

9.2.10 浇筑过程中基坑内的水位应保持不变。

9.2.11 水下混凝土顶面的流动坡度宜在 1:5 以下。当流动坡度较大时，应增加导管底端在混凝土内的埋入深度，同时应加快浇筑速度，或改用流动度较大的混凝土。

9.2.12 浇筑完毕的水下混凝土顶面，可略高于设计高程。顶面松软层凿除后，仍应达到设计高程。

9.2.13 当围堰封底抽水时，水下混凝土的强度应视其厚度及所受水压大小确定，但不应小于 10 MPa。

9.2.14 水下混凝土的质量检查应符合下列要求：

1 当设计有要求时，应从硬化后的混凝土层中钻取试件，检查混凝土的抗压强度、匀质性及混凝土与基底的结合情况。试件的平均强度不应低于水下混凝土的设计强度等级。

2 当采用无损检测方法检查时，应符合有关规定。

9.3 喷射混凝土

9.3.1 配制喷射混凝土的原材料和配合比应符合下列规定：

1 喷射混凝土应采用普通硅酸盐水泥，必要时可采用特种水泥。

2 喷射混凝土所用细骨料的细度模数应大于 2.5，其余指标应符合本技术指南第 7.2.3 条的有关规定。

3 喷射混凝土所用粗骨料的粒径不宜大于 16 mm，粗骨料宜采用连续粒级级配，其余指标应符合本技术指南第 7.2.4 条的有关规定。

4 湿喷混凝土所用液体速凝剂应进行与水泥相容性和速凝效果检验，其掺量不宜超过水泥重量的 5%。水泥净浆初凝时间不应大于 5 min，终凝时间不应大于 10 min。

5 喷射混凝土亦可按需要掺入其他外加剂，其掺量应通过试验确定。

6 喷射混凝土的配合比应满足设计强度和喷射工艺的要求，并通过试验确定。下列数据可供选择：

- 1) 灰骨比宜为 1:4~1:5；
- 2) 水灰比宜为 0.40~0.50；
- 3) 砂率宜为 45%~60%。

7 湿喷混凝土的胶凝材料用量不宜小于 400 kg/m^3 ，混凝土拌和物的坍落度宜为 80~130 mm。

9.3.2 喷射混凝土宜采用强制式搅拌机搅拌，其搅拌时间不得小于 1.5 min。

9.3.3 喷射混凝土宜随拌随用。混凝土在运输、存放过程中不得淋雨、浸水及混入杂物。混凝土拌和物的停放时间不得大于 30 min。

9.3.4 喷射混凝土作业应符合下列要求：

1 应分段、分层自下而上顺序喷射，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。

2 一次喷射厚度可根据喷射部位和设计要求的厚度确定。当设计无要求时，可按表 9.3.4 选用。

表 9.3.4 一次喷射厚度 (mm)

喷射部位	掺速凝剂 (中性)	不掺速凝剂
边 墙	70~100	50~70
拱 部	50~60	30~40

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

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

5 喷射拱部时，混凝土的回弹率不应大于 25%。喷射边墙时，混凝土的回弹率不应大于 15%。湿喷作业时，粉尘含量不得大于 2 mg/m^3 。

6 喷在岩面上的混凝土表面应无滑移下坠现象。

7 喷射作业的环境温度不得低于 5℃。

9.3.5 喷射混凝土终凝 2 h 后，应进行湿润养护。养护时间不得小于 14 d。

9.3.6 喷射混凝土的质量检查应符合下列规定：

1 喷射过程中应及时检查喷层厚度。当表面有松动、开裂、下坠、滑移等现象时，应及时清除重喷。

2 喷射混凝土与岩层的粘结情况可用锤敲击检查。当有空鼓、脱壳时，一般应及时凿除，洗净重喷，或采用压浆法重填。

3 喷射过程中应及时检查混凝土的回弹率和实际配合比。

4 每喷射 50~100 m³ 混凝土应制作不小于 1 组的强度检查试件，不足 50 m³ 时也应制作 1 组试件。当材料或配合比变更时，应分别制作试件。

5 喷射混凝土强度检查试件可采用喷大板切割法制作。当不具备切割条件时，也可采用边长为 150 mm 的立方体无底试模，在其内喷射混凝土制作试件。试件成型的喷射方向应与边墙相同。当对强度有怀疑时，可采用凿方切割方法或钻芯取样法制作试件。

10 冬期施工

10.1 一般规定

10.1.1 当环境昼夜平均气温（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，混凝土施工应符合本章有关规定。

10.1.2 除非本章另有规定，冬期混凝土工程施工还应符合本技术指南的其他相关规定。

10.1.3 冬期施工期间，当用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥配制混凝土，且其抗压强度达到设计强度的30%前，混凝土均不得受冻。当混凝土抗压强度未达到 5MPa 前，也不得受冻。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%。

10.1.4 进入冬期施工前，应预先做好下列准备工作：

1 根据年度计划和施工组织设计，确定冬期施工的工程项目。大跨度拱桥、高架桥、隧道洞口附近及零小分散工程，不宜安排在冬期施工。

2 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。

3 落实有关工程材料、防寒物资、能源和机具设备。

4 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。

10.1.5 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。

10.1.6 冬期钢筋加工应符合本技术指南第 6 章的有关规定。

10.2 混凝土的配制、搅拌和运输

10.2.1 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，尽可能保证混凝土的人模温度不低于 5℃。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。

10.2.2 混凝土宜选用较小的水胶比和较小的坍落度。

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。

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℃。

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。

混凝土搅拌时间宜较常温施工延长 50% 左右。

10.2.3 骨料中不得混有冰雪、冻块及易被冻裂的矿物质。

10.2.4 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。

10.2.5 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。

10.3 混凝土的浇筑

10.3.1 混凝土浇筑前，应清除模板及钢筋上的冰雪和污垢。当环境气温低于 -10℃ 时，应将直径大于或等于 25 mm 的钢筋和金属预埋件加热至正温。

10.3.2 新、旧混凝土施工缝的清理工作应符合本技术指南第 7.7.4 条的有关规定。

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 1.5 m 范围内的旧混凝土和长度在 1.0 m 范围内的外露钢筋（预埋件）进行防寒保温。

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。

当混凝土需加热养护时，混凝土和地基接触面的温度不得低于 2℃。

当浇筑负温早强混凝土时，对于用冻结法开挖的地基，或在冻结线以上且气温低于 -5℃ 的地基，应做隔热层。

10.3.3 混凝土应采用分层连续的方法浇筑，分层厚度不得小于 20 cm。

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

10.3.5 喷射混凝土作业区的环境气温和进入喷射机的材料温度不应低于 5℃。已喷射混凝土的强度未达到 5 MPa 前不得受冻。

10.3.6 预应力混凝土的孔道灌浆应在正温下进行，其强度达到 25 MPa 前不得受冻。

10.4 混凝土的养护与拆模

10.4.1 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℃，细薄截面结构不宜低于 10℃。

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

1 所采用的保温措施应使混凝土的温度下降到 0℃ 以前达到本技术指南第 10.1.3 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。

3 位于基坑中的混凝土，当地下水位较高时，可待顶面混凝土初凝后，采用放水淹没的方法养护。但当基坑地下水位超出混凝土顶面的高度小于冰层厚度时，不得放水养护。

10.4.3 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，养护制度应通过试验确定，并应符合下列规定：

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

2 用蒸汽加热法养护的混凝土，当采用快硬硅酸盐水泥、硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥时，养护温度不得高于 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

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

4 恒温养护结束后，表面系数等于或大于 6 m^{-1} 的结构，降温速度不得大于 $15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ；表面系数小于 6 m^{-1} 的结构，降温速度不得大于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

10.4.4 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 $50\sim 110\text{ V}$ 。当每立方米混凝土内钢筋用量不大于 50 kg 时，工作电压也可采用 $120\sim 220\text{ V}$ ，严禁采用工作电压大于 380 V 的电源。

4 养护过程中应观察混凝土表面的温度。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。

10.4.5 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。

10.4.6 拆除模板和保温层应符合下列规定：

1 当混凝土已达到本技术指南第 7.10.1 条的强度要求，并符合本技术指南第 10.1.3 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。

10.5 混凝土的质量检验

10.5.1 定期检测水、外加剂及骨料加入搅拌机时的温度，以及混凝土搅拌、浇筑时的环境温度，每一工作班至少检测 4 次。

10.5.2 混凝土养护温度的检测次数应符合下列规定：

1 当采用蓄热法养护时，在养护期间至少每 6 h 检测 1 次。

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

10.5.3 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 3 min。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。

10.5.4 冬期施工的混凝土除应按本技术指南第 7 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。

10.5.5 以上检测均应作记录。

11 夏（热）期施工

11.1 一般规定

11.1.1 当昼夜平均气温高于 30°C 时，混凝土工程的施工应符合本章的有关规定。

11.1.2 除非本章另有规定，夏（热）期混凝土工程施工还应满足本技术指南的其他相关规定。

11.2 混凝土的配制、搅拌和运输

11.2.1 原材料贮存、降温要求：

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 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作为拌和水的一部分。

3 水泥进入搅拌机的温度不宜大于 40°C 。

11.2.2 混凝土配合比设计应考虑坍落度损失。混凝土中可掺加减水剂以减少水泥用量；掺用粉煤灰取代部分水泥，以减少水泥用量。

11.2.3 搅拌站料斗、储水器、皮带运输机、搅拌楼都要尽可能采取遮阳措施，尽量缩短搅拌时间。应经常测定混凝土的坍落度，调整混凝土的配合比，以满足施工所必须的坍落度要求。

11.2.4 混凝土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。

11.2.5 宜尽可能在棚内或气温较低的晚上或夜间搅拌混凝土，以保证混凝土的人模温度满足设计要求。当设计未规定时，混凝土的人模温度不宜高于 30°C 。

11.2.6 宜采用混凝土运输搅拌车运输混凝土。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。

11.3 混凝土的浇筑

11.3.1 夏（热）期浇筑混凝土前，应作好充分准备，备足施工设备，保证连续进行浇筑。混凝土从搅拌机到入模的传递时间及浇筑时间要尽量缩短，并尽快开始养护。

11.3.2 混凝土浇筑宜选在一天温度较低的时间内进行。

11.3.3 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湿，但在浇筑时不能有附着水。

11.3.4 应加快混凝土的修整速度。修整时，可用喷雾器喷少量水防止表面裂纹，但不准直接往混凝土表面洒水。

11.3.5 混凝土浇筑前应将模板或基底喷水润湿。浇筑宜连续进行。

11.4 混凝土的养护

11.4.1 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，用浸湿的粗麻布覆盖，并经常洒水，保持潮湿状态最少 7 d。当条件许可时，也可采取在混凝土表面喷雾降温、湿润空气等养护措施，在模板底部采取预先冷却的技术措施等。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。

11.4.2 混凝土拆模后的洒水养护宜用自动喷水系统和喷雾器。湿养护应不间断，不得形成干湿循环。

11.4.3 大体积混凝土应提前养护，且养护时间不应少于 28 d。

11.5 质量检验

11.5.1 混凝土浇筑与养护时，环境温度每日检查 4 次，并作好检查记录。当温度超过热期规定的要求时，混凝土拌和时应采取

有效降温、防晒措施，以保证混凝土的浇筑质量，否则应停止施工。

11.5.2 混凝土热期施工除应留标准条件下养护的试件外，还应制作相同数量的试件，并将其置于与结构相同的环境条件下养护，检查混凝土强度以指导施工。

11.5.3 在混凝土浇筑前，应通过试验确定在最高气温条件下混凝土分层浇筑的覆盖时间，施工时应严格控制，不得超过。

11.5.4 在混凝土的浇筑过程中，应严格控制缓凝剂的掺量，并检查混凝土的凝结时间，以防因缓凝剂掺量不准造成危害。

12 附加防腐蚀措施施工

12.1 一般规定

12.1.1 附加防腐蚀措施施工应满足设计要求。当设计无要求时，应满足本章的相应要求。

12.1.2 当采用本技术指南未涉及的附加防腐蚀措施施工时，应在设计认可的前提下，参照相关措施的技术要求先期进行试用，经过总结、论证后方可正式施工。

12.2 混凝土表面涂层

12.2.1 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。

12.2.2 涂装工艺应符合下列规定：

1 不得随意变更设计确定的涂料品种牌号。当特殊情况需要变更时，应由设计部门重新设计和选定相应的涂料品种，且不得降低设计使用年限要求。

2 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。

3 对各种进场涂料应取样检验及保存样品，并按现行国家标准《涂料比重测定法》(GB 1756)和《涂料固体含量测定法》(GB 1729)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。

4 各种涂料的使用应按产品说明书规定的方法进行。

5 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。

6 涂装前应在表干区、表湿区各找 10 m^2 面积的试验区，按第 12.2.1 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/m^2) 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 3 个点，用拉脱式涂层粘结力测试仪测定其涂层的粘结强度。各种测定值均应作记录。

7 当涂层粘结强度不能达到 1.5 MPa 时，应按第 6 款的要求，另找 20 m^2 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论证。

8 涂装应在无雨的天气进行。涂装过程中应作好施工记录。

12.2.3 涂层的质量控制与检查应符合下列要求：

1 施工过程中，应对每一道工序进行认真检查。

2 应按设计要求的涂装道数和涂膜厚度进行施工，随时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 涂装施工过程中应随时注意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 涂装后应进行涂层外观目视检查。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 50 m^2 面积随机检测 1 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为止。

12.3 环氧涂层钢筋施工

12.3.1 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现行行业标准《环氧树脂涂层钢筋》(JG 3042)的有关规定,不符合质量与验收标准者不得使用。

12.3.2 采用环氧涂层钢筋的混凝土应为优质混凝土,可同时掺加钢筋阻锈剂,但不得与外加电流阴极保护联合使用。

12.3.3 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他合适的塑料套筒。

12.3.4 环氧涂层钢筋的包装、标志、搬运和存放除应符合行业标准《环氧树脂涂层钢筋》(JG 3042)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,宜采用集装箱运输环氧涂层钢筋。

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,不得在地上或其他钢筋上拖曳、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、盐雾和大气的影晌。

12.3.5 在整个施工过程中,应随时检验环氧涂层缺陷,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 25 mm^2 的涂层缺陷的总面积不得超过钢筋表面积的0.1%。

12.3.6 架立环氧涂层钢筋时,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、塑料或其他材料包裹。同一构件中，环氧涂层钢筋与无涂层钢筋不得有电连接。

12.3.7 环氧涂层钢筋架立后，不宜在其上行走，应防止工具或重物跌落其上，并应规定可移动设备的位置，以免损伤环氧涂层钢筋。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。

12.3.8 浇筑混凝土时，宜采用附着式振动器振捣密实。当采用插入式振动器时，应用塑料或橡胶包覆振动器，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构件的外露环氧涂层钢筋应采取措施，避免阳光曝晒。

12.3.9 环氧涂层钢筋验收应符合下列规定：

1 直径不大于 20 mm 的环氧涂层钢筋宜 2 t 为一验收批，直径大于 20 mm 的环氧涂层钢筋宜 4 t 为一验收批；

2 每一验收批应随机至少抽取 1 根环氧涂层钢筋进行涂层厚度、连续性和柔韧性的复检；

3 每米环氧涂层钢筋上涂层缺陷总面积最大不得超过钢筋表面积的 0.05%。

12.3.10 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 180~300 μm 。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 μm 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。

12.3.11 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 25 mm^2 或长度大于 50 mm ，其中不包括钢筋剪切端头的修补面积；
- 2) 1 m 长度内有 3 个点上，即使每个点的面积小于 25 mm^2 或长度小于 50 mm ；
- 3) 环氧涂层钢筋切下并弯曲的一段上，涂层有 6 个以上的损伤点。

2 环氧涂层钢筋在搬运、加工、焊接、架立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 2 h 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 $180\text{ }\mu\text{m}$ 。

12.4 钢筋阻锈剂的应用

12.4.1 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。

12.4.2 施工前应按下列要求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。

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

12.4.4 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。

12.4.5 在特殊情况下，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。

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

附录 A 铁路混凝土结构设计使用年限级别

表 A 铁路混凝土结构设计使用年限级别

设计使用年限级别	设计使用年限
一	100年
二	60年
三	30年

附录 B 环境类别及作用等级

B.0.1 铁路混凝土结构所处环境类别分为碳化环境、氯盐环境、化学侵蚀环境、冻融破坏环境和磨蚀环境。不同类别环境的作用等级可按表 B.0.1—1、表 B.0.1—2、表 B.0.1—3、表 B.0.1—4、表 B.0.1—5 所列环境条件特征进行划分。

表 B.0.1—1 碳化环境

环境作用等级	环境条件特征
T1	室内年平均相对湿度 < 60%
	长期在水下（不包括海水）或土中
T2	室外环境
	室内年平均相对湿度 $\geq 60\%$
T3	水位变动区
	干湿交替

注：当钢筋混凝土薄型结构的一侧干燥而另一侧湿润或饱水时，其干燥一侧混凝土的碳化作用等级应按 T3 级考虑。

表 B.0.1—2 氯盐环境

环境作用等级	环境条件特征
L1	长期在海水水下区
	离平均水位 15 m 以上的海上大气区
	离涨潮岸线 100~300 m 的陆上近海区
L2	离平均水位 15 m 以内的海上大气区
	离涨潮岸线 100 m 以内的陆上近海区
	海水潮汐区或浪溅区（非炎热地区）
L3	海水潮汐区或浪溅区（南方炎热地区）
	盐渍土地区露出地表的毛细吸附区
	遭受氯盐冷冻液和氯盐化冰盐侵蚀部位

表 B.0.1—3 化学侵蚀环境

化学侵蚀类型		环境作用等级			
		H1	H2	H3	H4
硫酸盐侵蚀	环境水中 SO_4^{2-} 含量 (mg/L)	≥ 200 ≤ 600	> 600 ≤ 3000	> 3000 ≤ 6000	> 6000
	强透水性环境土中 SO_4^{2-} 含量 (mg/kg)	≥ 2000 ≤ 3000	> 3000 ≤ 12000	> 12000 ≤ 24000	> 24000
	弱透水性环境土中 SO_4^{2-} 含量 (mg/kg)	≥ 3000 ≤ 12000	> 12000 ≤ 24000	> 24000	—
盐类结晶侵蚀	环境土中 SO_4^{2-} 含量 (mg/kg)	—	≥ 2000 ≤ 3000	> 3000 ≤ 12000	> 12000
酸性侵蚀	环境水中 pH 值	≤ 6.5 ≥ 5.5	< 5.5 ≥ 4.5	< 4.5 ≥ 4.0	—
二氧化碳侵蚀	环境水中侵蚀性 CO_2 含量 (mg/L)	≥ 15 ≤ 40	> 40 ≤ 100	> 100	—
镁盐侵蚀	环境水中 Mg^{2+} 含量 (mg/L)	≥ 300 ≤ 1000	> 1000 ≤ 3000	> 3000	—

- 注：1 对于盐渍土地区的混凝土结构，埋入土中的混凝土遭受化学侵蚀；当环境多风干燥时，露出地表的毛细吸附区内的混凝土遭受盐类结晶侵蚀。
- 2 对于一面接触含盐环境水（或土）而另一面临空且处于干燥或多风环境中的薄壁混凝土，接触含盐环境水（或土）的混凝土遭受化学侵蚀，临空面的混凝土遭受盐类结晶侵蚀。
- 3 当环境中存在酸雨时，按酸性环境考虑，但相应作用等级可降一级。

表 B.0.1—4 冻融破坏环境

环境作用等级	环境条件特征
D1	微冻地区 + 频繁接触水
D2	微冻地区 + 水位变动区
	严寒和寒冷地区 + 频繁接触水
	微冻地区 + 氟盐环境 + 频繁接触水
D3	严寒和寒冷地区 + 水位变动区
	微冻地区 + 氟盐环境 + 水位变动区
	严寒和寒冷地区 + 氟盐环境 + 频繁接触水
D4	严寒和寒冷地区 + 氟盐环境 + 水位变动区

注：严寒地区、寒冷地区和微冻地区是根据其最冷月的平均气温划分的。严寒地区、寒冷地区和微冻地区最冷月的平均气温 t 分别为： $t \leq -8^\circ\text{C}$ 、 $-8^\circ\text{C} < t < -3^\circ\text{C}$ 和 $-3^\circ\text{C} \leq t \leq 2.5^\circ\text{C}$ 。

表 B.0.1—5 磨蚀环境

环境作用等级	环境条件特征	
M1	风蚀（有砂情况）	风力等级 ≥ 7 级，且年累计刮风时间大于 90 d
M2	风蚀（有砂情况）	风力等级 ≥ 9 级，且年累计刮风时间大于 90d
	流冰冲刷	被强烈流冰撞击、磨损、冲刷（冰层水位下 0.5 m~冰层水位上 1.0 m）
M3	风蚀（有砂情况）	风力等级 ≥ 11 级，且年累计刮风时间大于 90 d
	泥砂冲刷	被大量夹杂泥砂或物体磨损、冲刷

附录 C 混凝土耐久性指标

C.0.1 混凝土的耐久性一般包括混凝土的抗裂性、护筋性、耐腐蚀性、抗冻性、耐磨性及抗碱—骨料反应性等。混凝土耐久性指标应根据结构的设计使用年限、所处的环境类别及作用等级等确定。

C.0.2 混凝土耐久性的一般要求：

1 混凝土的电通量应满足表 C.0.2 的规定。

表 C.0.2 混凝土的电通量

设计使用年限级别		—(100年)	二(60年)、三(30年)
56d电通量(C)	<C30	<2000	<2500
	C30~C45	<1500	<2000
	≥C50	<1000	<1500

2 混凝土的抗裂性应通过对比试验。

3 钢筋的混凝土保护层厚度应满足表6.0.10的规定。

4 混凝土的抗碱—骨料反应性能应符合下列规定：

- 1) 骨料的碱—硅酸反应砂浆棒膨胀率或碱—碳酸盐反应岩石柱膨胀率应小于0.10%；
- 2) 当骨料的碱—硅酸反应砂浆棒膨胀率在0.10%~0.20%时，混凝土的碱含量应满足表7.4.2—4的规定；当骨料的砂浆棒膨胀率在0.20%~0.30%时，除了混凝土的碱含量应满足表7.4.2—4的规定外，混凝土中还应掺加具有明显抑制效能的矿物掺和料和外加剂，并经试验证明抑制有效。

C.0.3 对于氯盐环境下的钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土结

构，混凝土的耐久性除应满足第 C.0.2 条的规定外，还应满足表 C.0.3 的规定。

表 C.0.3 氯盐环境下混凝土的电通量

设计使用年限级别	一(100年)		二(60年)、三(30年)	
环境作用等级	L1	L2、L3	L1	L2、L3
56 d 电通量(C)	<1000	<800	<1500	<1000

C.0.4 对于化学侵蚀环境下的混凝土结构，混凝土的耐久性除应满足第 C.0.2 条的规定外，还应满足表 C.0.4 的规定。

表 C.0.4 化学侵蚀环境下混凝土的电通量

设计使用年限级别	一(100年)		二(60年)、三(30年)	
环境作用等级	H1、H2	H3、H4	H1、H2	H3、H4
56 d 电通量(C)	<1200	<1000	<1500	<1000

C.0.5 对于冻融破坏环境下的混凝土结构，混凝土的耐久性除应满足第 C.0.2 条的规定外，还应满足表 C.0.5 的规定。

表 C.0.5 冻融破坏环境下混凝土的抗冻性

设计使用年限级别	一(100年)	二(60年)	三(30年)
环境作用等级	D1、D2、D3、D4	D1、D2、D3、D4	D1、D2、D3、D4
抗冻等级(56 d)	≥F300	≥F250	≥F200

C.0.6 对于磨蚀环境下的混凝土结构，混凝土的耐久性除应满足第 C.0.2 条的规定外，混凝土的耐磨性事先应通过对比试验。

C.0.7 处于严重腐蚀环境下的混凝土结构，尚应根据设计的规定采取必要的附加防腐蚀措施。

附录 D 模板荷载

D.0.1 竖向荷载计算应符合下列规定：

1 模板及支架的密度：按设计图纸计算，钢材的密度可取 7800 kg/m^3 ，木材的密度可取 750 kg/m^3 。

2 新浇筑混凝土的密度：粗骨料为卵石或碎石时可取 2500 kg/m^3 ，为其他骨料时可根据实际确定。

3 钢筋混凝土的密度可取 2600 kg/m^3 。

4 人及运输机具作用在模板或支架铺板上的荷载：

1) 对模板及直接支承模板的拱架（或梁的楞木），可取 2.5 kPa ；

2) 对支承拱架（或梁的楞木），可取 1.5 kPa ；

3) 对支架立柱或支承拱架的其他结构构件，可取 1.0 kPa ；

4) 对模板、铺板的板材或直接支承这些板材的梁，除上述规定外，还应加算双轮手推车的荷载 2.5 kN ，或其他运输机具的荷载不小于 1.3 kN 。

5 振捣混凝土时产生的荷载（在没有第 D.0.1 条第 4 款荷载时才计算，例如在计算梁的底模板时），可采用 2 kPa 。

6 滑升模板与混凝土之间的摩阻力：钢模板可按 $1.5 \sim 2.0 \text{ kPa}$ 计；木模板可按 2.5 kPa 计。

D.0.2 水平荷载计算应符合下列规定：

1 新浇筑混凝土对模板的侧压力，可按表 D.0.2—1 的规定计算。

2 倾倒混凝土时因振动产生的荷载，可按表 D.0.2—2 的规定计算。

表 D.0.2—1 浇筑混凝土侧压力 (MPa)

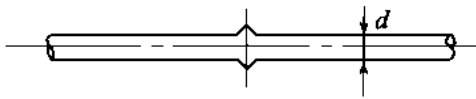
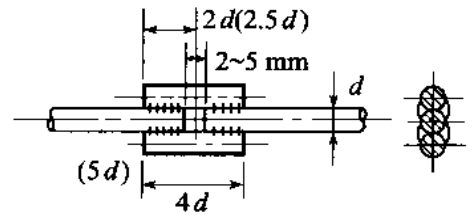
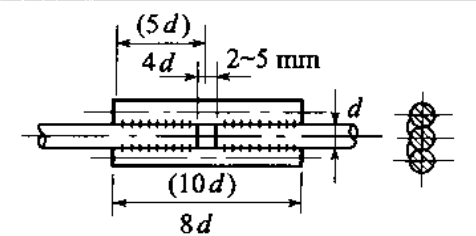
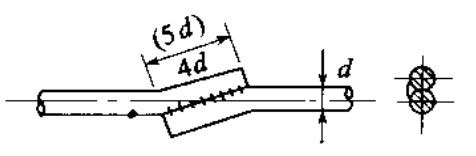
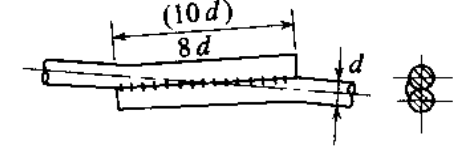
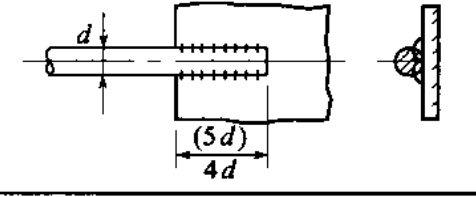
序号	施工条件	混凝土浇筑速度 v (m/h)			
		0	0.81	0.57	1.80
1	大体积及一般混凝土工程	19.0		$72v / (v + 1.6)$	
2	柱、墙混凝土工程, 坍落度大于 10cm 或泵送混凝土一次浇筑到顶, 并用强力振捣	19.0	$\frac{61v}{v + 0.4}$		$\frac{72v}{v + 1.6}$
3	外部振捣器	50.0		$\frac{61v}{v + 0.4}$	
4	水下混凝土	$28v$ ($v \geq 0.25$ m/h)			
5	液压滑升模板	$72v / (v + 1.6)$			

表 D.0.2—2 倾倒混凝土时因振动产生的水平荷载

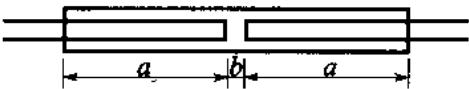
序号	浇筑混凝土的方法	作用于侧模的水平荷载 (kPa)
1	用溜槽、串筒或导管直接流出	2.0
2	用容积为 0.2 m^3 以下的运输器具直接倾倒	2.0
3	用容积为 $0.2 \sim 0.8 \text{ m}^3$ 的运输器具直接倾倒	4.0
4	用容积为 0.8 m^3 以上的运输器具直接倾倒	6.0

附录 E 钢筋接头类型

表 E

序号	接头类型	接头简图	适用范围	
			钢筋类别	钢筋直径 (mm)
1	闪光对焊		I ~ III 级 钢筋 IV 级钢筋	10 ~ 40 10 ~ 25
2	双面焊缝 帮条焊		I ~ III 级 钢筋	10 ~ 40
3	单面焊缝 帮条焊		I ~ II 级 钢筋	10 ~ 40
4	双面焊缝 搭接焊		I ~ II 级 钢筋	10 ~ 40
5	单面焊缝 搭接焊		I ~ II 级 钢筋	10 ~ 40
6	钢筋与钢 板搭接焊		I ~ II 级 钢筋	10 ~ 40

续表 E

序号	接头类型	接头简图	适用范围	
			钢筋类别	钢筋直径 (mm)
7	冷挤压套筒连接		Ⅱ～Ⅲ级 钢筋	28～32

- 注：1 在无条件的进行序号 2、4 的双面焊缝电弧焊时，可采用序号 3、5 的单面焊缝电弧焊。
- 2 表中的帮条或搭接长度值，不带括弧的数字适用于Ⅰ级钢筋，括弧中的数字适用于Ⅱ、Ⅲ级钢筋。
- 3 采用序号 2～5 的电弧焊时，焊缝长度不应小于帮条或搭接长度，焊缝高度 h 及焊缝宽度 b 应按本技术指南图 6.3.5—1 测量；当采用序号 6 焊接时， h 及 b 应按本技术指南图 6.3.5—2 测量。
- 4 采用冷挤压套筒连接时，环境气温不应低于 -10°C 。待接钢筋端部伸进套筒内的长度 a 需经试验确定，两根待接钢筋在套筒内的间距一般为 $4\sim 6\text{mm}$ 。

附录 F 胶凝材料抗硫酸盐侵蚀性能 快速试验方法

F.0.1 适用范围

本试验根据胶凝材料胶砂试体浸泡在硫酸钠溶液中的抗折强度与洁净饮用水中的同龄期抗折强度之比计算抗蚀系数，以比较水泥或胶凝材料的抗硫酸盐侵蚀的性能。

F.0.2 试验设备及材料

1 加压成型机：试体成型采用小型千斤顶压力机，最大荷重必须在 15 kN 以上；

2 抗折机：试体破型采用小型电动抗折机，加荷速度为 0.8 N/s；

3 模型：试体尺寸为 10 mm × 10 mm × 60 mm 的三联试模，试模应由不锈钢材制造；

4 球形拌和锅：直径 200 mm，高 70 mm，厚度 1~2 mm；

5 标准砂：质量应符合《水泥强度试验用标准砂》(GB 178)的要求；

6 拌和水：蒸馏水。

F.0.3 温、湿度

1 实验室温度为 17℃ ~ 25℃，相对湿度大于 50%，所用试验原材料温度应与室温相同；

2 养护箱温度 20℃ ± 3℃，相对湿度大于 90%；

3 浸泡前养护水的温度 50℃ ± 1℃；

4 侵蚀液温度 20℃ ± 3℃。

F.0.4 试验步骤

1 试体成型：称取胶凝材料共 100 g（工程水泥和矿物掺和

料用量应按照配合比进行计算), 标准砂 250 g, 拌和均匀后加入 50 g 蒸馏水, 湿拌 3 min, 将胶砂分别装入 6 个三联模内。把带有模芯、模套的试模放到小型千斤顶压力机上加压到 8 MPa 压力下保持 5 s, 然后取出试模, 刮平, 编号, 放入养护箱养护 24 h \pm 2 h, 脱模。

2 试体的养护: 脱模后的试体放入 50 $^{\circ}$ C 水中养护 7 d。

3 试体的浸泡: 将试体分成两组, 一组 9 块放入 20 $^{\circ}$ C 饮用水中养护, 一组 9 块放入 3% 的 Na_2SO_4 侵蚀溶液中浸泡。试体在浸泡过程中, 每天一次用 1 NH_2SO_4 溶液滴定以中和试体在溶液中释放出的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 边滴定边搅拌使溶液的 pH 值保持在 7.0 左右。

试体在 Na_2SO_4 溶液中浸泡时, 每条试体需有 200 mL 的侵蚀溶液, 液面至少高出试体顶面 10 mm。为避免蒸发, 容器必须加盖。

4 试体破型: 试体在 20 $^{\circ}$ C 饮用水中养护 28 d, 以及在侵蚀性溶液中养护 28 d 后, 取出并用小型抗折机进行抗折试验。其中, 试体支点跨距 50 mm, 支撑圆柱直径 5 mm, 加荷速度控制在 0.8 N/s。

破型前, 须擦去试体表面的水分和砂粒, 清除支点圆柱表面粘着的杂物。试体放入抗折支点上时, 应使侧面与圆柱接触。

F.0.5 试验结果计算

1 试体的极限抗折强度 (MPa) 系由破坏荷载乘以 0.75 得到, 抗折强度计算到 0.01 MPa。

2 剔去 9 块试体破坏荷载的最大值和最小值, 以其余 7 个试体抗折强度的平均值作为该组试体的抗折强度。

3 水泥胶砂的抗蚀系数以同龄期的水泥胶砂试体分别在侵蚀溶液中浸泡和在 20 $^{\circ}$ C 饮用水中养护的抗折强度之比, 以 k 表示, 计算精确到 0.01。

F.0.6 结果判定

抗蚀系数大于 0.8 时, 判定水泥胶砂抗硫酸盐侵蚀性能合格。

附录 G 矿物掺和料及外加剂抑制碱—骨料 反应有效性试验方法

G.1 方 法 一

G.1.1 原 理

将具有碱—硅酸反应活性的骨料与硅酸盐水泥、工程实际使用的矿物掺和料或外加剂制成砂浆试件，在 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 1 mol/L NaOH 溶液中养护。若砂浆试件 28 d 龄期时的长度膨胀率不大于 0.10% ，则将矿物掺和料及外加剂抑制混凝土的碱—硅酸反应评定为有效。

G.1.2 主要试验设备及材料

- 1 比长仪：量程为 $275\sim 300\text{ mm}$ ，精度为 0.01 mm 。
- 2 恒温水浴或烘箱：温度为 $80\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 3 硅酸盐水泥：42.5级 P·I 型硅酸盐水泥，碱含量不大于 0.80% 。当水泥的碱含量小于 0.80% 时，应通过外加 NaOH（分析纯）的方式使水泥的碱含量达到 0.80% 。
- 4 试模和测头：试件尺寸为 $25\text{ mm} \times 25\text{ mm} \times 280\text{ mm}$ 的三联试模，试模两端正中留有孔，用于安装不锈钢测头。

G.1.3 实验室温度和湿度

实验室温度为 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ （特别说明的除外），相对湿度大于 50% 。

G.1.4 试验步骤

- 1 骨料的制备。粗骨料应全部破碎至 5 mm 以下，细骨料应将大于 5 mm 的部分破碎至 5 mm 以下，将骨料筛分后分级洗净烘干后备用。

2 称料。将置于 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境中存放 24 h 后的原材料按骨灰比为 2.25:1 的比例进行称料（一组 3 个试件应称取骨料 900 g，水泥、矿物掺和料和外加剂共计 400 g）。其中矿物掺和料与外加剂的用量应参照工程配合比进行计算，骨料的各级配用量应按照表 G.1.4 进行称取，用水量应以 10 次/6 s 时砂浆流动度为 105~120 mm 进行控制。

表 G.1.4 骨料级配表

筛孔尺寸 (mm)	5.0~2.5	2.5~1.25	1.25~0.63	0.63~0.315	0.315~0.16
分级质量 (%)	10	25	25	25	15
分级质量 (g)	90	225	225	225	135

3 搅拌。按 GB/T 17671 规定的程序搅拌砂浆。

4 成型。将砂浆分两层装入试模内。试模装入砂浆后先用小刀来回划匀胶砂（装入第二层砂浆时，划入深度应透过第一层砂浆的表面），然后用捣棒在试模内顺序往返各捣压 20 次。捣压完毕，将试件表面抹平、编号并标明测定方向。

每组试件按上述方法制作 3 条试件。

注：当工程中仅是粗骨料具有碱-硅酸反应活性时，只取粗骨料按上述要求成型一组试件；当工程中仅是细骨料具有碱-硅酸反应活性时，只取细骨料按上述要求成型一组试件；当工程用粗、细骨料均具有碱-硅酸反应活性时，应分别取粗、细骨料按上述要求成型 2 组试件。

5 拆模。试件成型后应放入标准养护室内养护 $24\text{ h} \pm 2\text{ h}$ ，取出试模并小心将试件脱模。

6 预养护。拆模后的试件应迅速放入 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的水溶液中预养 $24\text{ h} \pm 2\text{ h}$ 。

7 养护与测长。将经过预养护的试件进行初长测试后迅速放入 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、1 mol 的 NaOH 养护液中进行养护（养护容器中试件养护液的体积与试件的体积比应为 4:1），分别在 3 d、7 d、14 d、21 d、28 d 龄期时测量试件的长度。试件长度的测量时间（从养护液中取出起计）应控制在 15 s 以内。每次测量时，应仔细观察试件表

面的变化情况，包括变形、裂缝、表面沉积物或渗出物等。

G.1.5 结果计算与处理

1 试件长度膨胀率按下式计算：

$$\Sigma_t = \frac{L_t - L_0}{L_0 - 2\Delta} \times 100 \quad (\text{G.1.5})$$

式中 Σ_t ——试件在第 t 天龄期时的长度膨胀率（%），精确至 0.01%；

L_t ——试件在第 t 天龄期时的长度（mm）；

L_0 ——试件的初长（mm）；

Δ ——测头的长度（mm）。

2 当单个试件的长度膨胀率与同组 3 个试件长度膨胀率的算术平均值之差符合下述两种情况之一的要求时，取 3 个试件长度膨胀率的算术平均值作为试件长度膨胀率：

- 1) 当平均值小于或等于 0.05% 时，单个试件长度膨胀率与平均值之差的绝对值均小于 0.01%；
- 2) 当平均值大于 0.05% 时，单个试件长度膨胀率与平均值之差均小于平均值的 20%。

3 当单个试件的长度膨胀率与 3 个试件长度膨胀率的算术平均值之差不符合上述要求时，去掉 3 个试件长度膨胀率的最小值，取剩余 2 个试件长度膨胀率的算术平均值作为该组试件的长度膨胀率。

G.1.6 结果评定

当工程中仅是粗骨料具有碱—硅酸反应活性时，若取粗骨料按本方法试验的 28 d 龄期试件长度膨胀率小于 0.10%，则将矿物掺和料或外加剂抑制混凝土碱—硅酸反应评定为有效。

当工程中仅是细骨料具有碱—硅酸反应活性时，若取细骨料按本方法试验的 28 d 龄期试件长度膨胀率小于 0.10%，则将矿物掺和料和外加剂抑制混凝土碱—硅酸反应评定为有效。

当工程中粗、细骨料均具有碱—硅酸反应活性时，若分别取

粗、细骨料按本方法试验的 28 d 龄期试件长度膨胀率均小于 0.10%，则将矿物掺和料和外加剂抑制混凝土碱—硅酸反应评定为有效。

G.2 方 法 二

G.2.1 仪器设备

- 1 骨料破碎机：颚式破碎机，圆盘粉碎机；
- 2 试验筛：0.16 mm、2.5 mm、5 mm 和 10 mm 试验筛；
- 3 天平：最大称量为 1000 g，感量为 1 g 的天平；
- 4 试模和测头：试件尺寸为 40 mm × 40 mm × 160 mm 的三联试模，试模两端正中留有 小孔，用于安装不锈钢测头，测头尺寸应与小孔尺寸吻合；
- 5 胶砂搅拌机：符合 GB 3350.1—1982 规定；
- 6 胶砂振动台：符合 GB 3350.2—1982 规定；
- 7 水泥胶砂流动度测定仪：符合 GB/T 2419 规定；
- 8 量筒、刮刀和捣棒等通用工具；
- 9 养护容器：不锈钢、聚丙烯或聚氯乙烯容器，能密封、耐碱和耐高温；
- 10 养护箱：混凝土加速养护箱，控温范围 10℃ ~ 100℃，可在 80℃ ± 2℃ 保持恒温；
- 11 测长仪：精度达到 0.01 mm 的测量工具，测量范围为 175 ~ 200 mm。

G.2.2 试验用材料

1 水泥：比较掺和料抑制碱—硅酸反应（ASR）膨胀的能力时，采用硅酸盐水泥，水泥碱含量按 $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$ 计算值表示，应小于 0.6%，按照 GB/T 750 测定的水泥压蒸膨胀值应小于 0.02%。用于判断实际混凝土配比的 ASR 安全性时，使用工程用水泥进行试验。

2 骨料：使用工程骨料。

3 掺和料：工程混凝土中使用的各种掺和料。

4 试剂：分析纯 KOH 和 NaOH 试剂，也可用分析纯 KOH 和化学纯 NaOH。

5 水：满足 JGJ 63 要求。

G.2.3 试验参数

1 试件尺寸：40 mm × 40 mm × 160 mm。

2 骨料粒径及级配：

- 1) 当相对比较掺和料抑制细骨料 ASR 膨胀的能力时，采用工程原级配砂。
- 2) 当相对比较掺和料抑制粗骨料 ASR 膨胀的能力时，将粗骨料破碎成表 G.2.3 的级配。

表 G.2.3 粗骨料粒径及级配

粗骨料粒径 (mm)	0.16~2.5	2.5~5.0	5.0~10
各级配所占比例 (%)	30	40	30

3) 当评价实际工程混凝土配合比安全性时，将细骨料中大于 2.5 mm 的部分先破碎成 0.16~2.5 mm，并与小于 2.5 mm 的部分混合均匀后用于试验。粗骨料全部破碎成 2.5~10 mm 的颗粒。粗、细骨料均按实际配合比称取。

3 胶骨比： $(\text{水泥} + \text{掺和料}) / \text{骨料} = 1:4$ 。当使用工程混凝土配合比时，按实际配合比。

4 用水量：按照 GB/T 2419 测定胶砂流动度达到 105~120 mm 时的用水量。当使用工程混凝土配合比时，按实际配合比。

5 碱含量：比较掺和料抑制 ASR 膨胀的能力时，外加分析纯 KOH 调整硅酸盐水泥中的总碱含量（当量 Na_2O 含量）为 1.5%；当使用工程混凝土配合比时，采用工程用水泥，不外加碱。

水泥碱含量调整方法：将分析纯 KOH 先溶于水，以成型溶液的形式加入水泥中。外掺 KOH 的量应根据水泥的碱含量、掺和料取代水泥量和试验使用的水胶比计算。每 100 mL 成型溶液应加入 KOH 的量为

$$m_{\text{KOH}} = \frac{(1.5\% - R) \times (1 - X)}{0.658 \times \frac{94}{112} \times N \times \frac{W}{B}} \times 100 \quad (\text{G.2.3})$$

式中 m_{KOH} ——每 100 mL 成型溶液中加入的 KOH 量 (g)；
 R ——水泥碱含量；
 N ——KOH 纯度；
 X ——掺和料取代水泥百分率；
 W/B ——水胶比。

6 养护溶液：养护溶液为 1 mol/L NaOH 溶液，养护溶液体积与试件体积应满足 (4 ± 0.5) 倍。

7 养护温度：80 ℃，最大波动范围为 ± 2 ℃。

8 试验周期：28 d。

G.2.4 试验方法与步骤

1 试件配比和制备

进行相对比较掺和料抑制细骨料 ASR 膨胀能力的试验时，每盘混合料中水泥与掺和料总量为 375 g，其中掺和料含量按不同水泥取代量计算。称取细骨料 1500 g。拌和水量按照混合料的胶砂流动度达到 105~120 mm 来计算。

进行相对比较掺和料抑制粗骨料 ASR 膨胀能力的试验时，每盘混合料中水泥与掺和料总量为 375 g，其中掺和料含量按不同水泥取代量计算。称取破碎过的粗骨料共 1500 g，其中 0.16~2.5 mm 的骨料 450 g，2.5~5.0 mm 的骨料 600 g，5.0~10 mm 的骨料 450 g。拌和水量按照混合料的胶砂流动度达到 105~120 mm 来计算。

当评价工程实际混凝土配合比的安全性时，按实际配合比进

行配制。如按实际配合比中的用水量无法成型时，可调整加水量，参照 GB/T 2419 控制混合料的流动度为 105~120 mm。

2 试件成型和成型养护

成型试验室的温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度应不低于 50%。试验时，将（水泥 + 掺和料）放入砂浆搅拌机内先干拌 0.5 min；再一次性加入拌和水，搅拌 1 min；将按比例称好的骨料加入搅拌锅中，一同搅拌 3 min 至均匀；将搅拌好的混合料倒入三联试模，捣实。然后在振动台上振动 2 min，将试件刮平、编号。

试件成型后在养护室养护 (24 ± 2) h，然后脱模并擦净试件测头，用湿布盖好试件。

3 试件预养护

将试件放入 80°C 水中预养护 (24 ± 2) h。

4 测基准长度 (L_0)

用测长仪测每条试件的长度，作为试件的基准长度，精确至 0.01 mm。测量时，将养护容器一次一个地从养护箱中取出，打开养护容器，从养护容器中一次一个地取出试件，迅速用抹布擦干试件表面和测头表面，并用测长仪测定试件的长度，此长度即为试件的基准长度。每次从 80°C 水中取出试件到测量完成必须控制在 15 s 之内。

5 试件养护和长度测定 (L_t)

试件测完基准长度后，立即放入 80°C 、1 mol/L NaOH 溶液中养护，自试件放入 NaOH 溶液中养护算起，至 7 d、14 d、21 d 和 28 d 时取出，按照上述方法测试件的长度。当养护溶液减少时需补充 1 mol/L NaOH 溶液。28 d 后如需要继续测定，可安排每 14 d 测定一次。每次测试件长度时，应仔细观察每一试件表面的变化情况，包括变形、裂缝和渗出物等，并做好记录。

注：1 mol/L NaOH 溶液需提前 12 h 以上放入养护箱中，以确保试件测定基准长度时 NaOH 溶液的温度已达 $80^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ，测完基准长度的试件可以马上放入 NaOH 溶液中养护。

G.2.5 结果计算与处理

试件膨胀率 Σ_t 按照下式计算：

$$\Sigma_t = \frac{L_t - L_0}{L_0 - 2\Delta} \times 100 \quad (\text{G.2.5})$$

式中 Σ_t ——试件第 t 天的膨胀率 (%)；

L_t ——养护第 t 天龄期时试件长度 (mm)；

L_0 ——试件的基准长度 (mm)；

Δ ——测头的长度 (mm)。

某配比试件膨胀率为该组 3 条试件膨胀率的算术平均值。

3 条试件的测定值离散性应符合下列要求：当平均膨胀值小于 0.040% 时，每一试件的膨胀率与平均值之差应不超过 0.008%；当平均膨胀率大于 0.040% 时，每一试件的膨胀率应不超过平均值的 20%。否则，应视为结果无效。

当 3 条试件的膨胀率均大于 0.040% 时，取 3 个试件膨胀率的算术平均值为试件的膨胀率，不考虑测定值的离散性。

G.2.6 结果判定

1 判定掺和料抑制 ASR 膨胀能力的效果时，膨胀率小于 0.040% 的，为抑制 ASR 膨胀有效；膨胀率小的，抑制 ASR 膨胀的能力强。

2 判定混凝土配合比的 ASR 安全性时，若试件 28d 膨胀率不大于 0.040%，该混凝土配合比对 ASR 安全；反之，该配合比有发生 ASR 膨胀的可能，应结合以往工程经验与其他试验进一步确定。

G.2.7 报告

1 当评定掺和料抑制 ASR 膨胀的能力时，试验报告应至少包括如下内容：

- 1) 试验水泥的品种、碱含量；
- 2) 掺和料的品种及掺量；
- 3) 骨料来源及碱活性检验结果；

- 4) 试件的水胶比及流动度；
- 5) 试件 28 d 龄期的膨胀率；
- 6) 试件外观变化情况，包括有无裂缝、有无变形、有无渗出物等；
- 7) 判定结论。

2 当判定混凝土配合比的 ASR 安全性时，试验报告应至少包括如下内容：

- 1) 混凝土所用各种原材料的品种及来源，包括水泥、掺和料、外加剂、粗骨料和细骨料等；
- 2) 粗、细骨料碱活性检验结果；
- 3) 工程混凝土配合比；
- 4) 试件 28 d 龄期的膨胀率；
- 5) 试件外观变化情况，包括有无裂缝、有无变形、有无渗出物等；
- 6) 判定结论。

附录 H 混凝土抗裂性试验方法

H.0.1 适用范围

本方法通过考察受约束的混凝土圆环试件在规定的养护条件下的开裂趋势来评价混凝土的抗裂性。本方法也可用于评价影响混凝土开裂趋势的各种变量，如不同的水泥品种、掺和料、外加剂及其掺量和水灰比（水胶比）等。本方法经过改进，也可用以评价其他影响混凝土开裂的因素，例如养护时间、养护方法、蒸发速率和温度等。此外，试件的尺寸及养护条件也可以根据具体情况改变。

H.0.2 试件制备

试件标准模具见图 H.0.2，包括内环、外环和底座。浇筑成的试件尺寸为：内径 305 mm，外径 425 mm（即壁厚 60 mm），

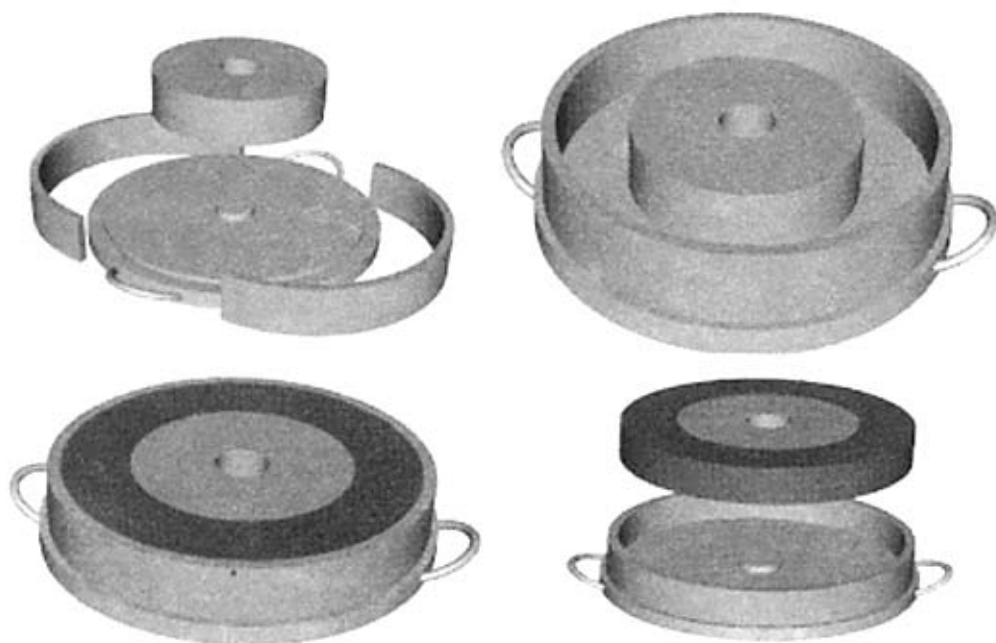


图 H.0.2 混凝土环装置的模具示意图

高度 100 mm。每组圆环试件至少浇筑 3 个。搅拌混凝土前，宜筛除粗骨料中大于 20 mm 的颗粒，按规定配合比配制、搅拌混凝土。经振动成型后养护一定时间，拆去外模，将试件连同模具内环一起移入养护室或置于规定温度、湿度的环境中。

H.0.3 试验

试验前可在试件外侧面粘贴应变片，用来记录试件收缩时受到模具内环约束而产生的拉应变，并监测试件出现开裂的时间，定时观测试件顶面和外侧面的开裂情况和裂缝宽度。

H.0.4 试件抗裂性能的评价准则为：

混凝土抗裂性能以试件侧面的开裂程度进行判定。试件侧面裂缝宽度越小，开裂出现的时间越晚，混凝土的抗裂性能越好。

附录 J 混凝土电通量快速测定方法

J.0.1 适用范围

1 本方法通过测定混凝土在直流恒电压作用下的电量值来评价原材料和配合比混凝土的氯离子渗透性能，也可用来间接评价混凝土的密实性。

2 本试验方法适用于直径为 95~102 mm，厚度为 51 mm ± 3 mm 的素混凝土芯样。

3 本试验方法不适用于掺亚硝酸钙的混凝土。掺其他外加剂或表面处理过的混凝土，当有疑问时，应进行氯化物溶液的长期浸渍试验。

J.0.2 试验设备及材料

1 仪器设备应满足下列要求：

- 1) 直流稳压电源，可输出 60 V 直流电压，精度为 ±0.1 V；
- 2) 带有注液孔的塑料或有机玻璃试验槽；
- 3) 20 目铜网；
- 4) 数字式直流表，量程 20 A，精度为 ±1.0%；
- 5) 真空泵，真空度可达 133 Pa 以下；
- 6) 真空干燥器，内径不小于 250 mm。

2 试验应采用下列材料：

- 1) 用分析纯试剂配制的 3.0% 氯化钠溶液；
- 2) 用分析纯试剂配制的 0.3 mol/L 氢氧化钠溶液；
- 3) 硅橡胶或树脂密封材料。

J.0.3 试验步骤

1 在规定的 56 d 试验龄期前，对预留的试块进行钻芯制件，试件直径为 95~102 mm，厚度为 51 mm ± 3 mm，试验时以

3 块试件为一组。

2 将试件暴露于空气中至表面干燥，以硅橡胶或树脂密封材料涂于试件侧面，必要时填补涂层中的孔道以保证试件侧面完全密封。

3 测试前应进行真空饱水。将试件放入 1000 mL 烧杯中，然后一起放入真空干燥器中，启动真空泵，数分钟内真空度达 133 Pa 以下，保持真空 3 h 后，维持这一真空度并注入足够的蒸馏水，直至淹没试件。试件浸泡 1 h 后恢复常压，再继续浸泡 $18\text{ h} \pm 2\text{ h}$ 。

4 从水中取出试件，抹掉多余水分，将试件安装于试验槽内，用橡胶密封环或其他密封胶密封，并用螺杆将两试验槽和试件夹紧，以确保不会渗漏，然后将试验装置放在 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的流动冷水槽中，其水面宜低于装置顶面 5 mm，试验应在 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温室内进行。

5 将质量浓度为 0.3% 的氯化钠和 0.3 mol/L 的氢氧化钠溶液分别注入试件两侧的试验槽中，注入氯化钠溶液的试验槽内的铜网连接电源负极，注入氢氧化钠溶液的试验槽中的铜网连接电源正极。

6 接通电源，对上述两铜网施加 60 V 直流恒电压，并记录电流初始读数，通电并保持试验槽中充满溶液。开始时每隔 5 min 记录一次电流值，当电流值变化不大时，每隔 10 min 记录一次电流值，当电流变化很小时，每隔 30 min 记录一次电流值，直至通电 6 h。

J.0.4 试验结果计算

1 绘制电流与时间的关系图。将各点数据以光滑曲线连接起来，对曲线作面积积分，或按梯形法进行面积积分，即可得到试验 6 h 通过的电量。

2 取同组 3 个试件通过的电量的平均值，作为该组试件的电通量。当 3 个试件中有 1 个超过平均值的 15% 时，取另 2 个试件的平均值作为该组试件的电通量。当 3 个试件中有 2 个超过平均值的 15% 时，该次试验无效。

续表 K

检 验 项 目		进 场 检 查		复 检		批 量 抽 检	
		项 目	频 次	项 目	频 次	项 目	频 次
细 骨 料	坚固性	✓		✓	②使用同厂家、同品种、同规格产品达一年者		不足 400m ³ (或 600 t) 时也需检验一次。其中有机物含量每 3 月检验一次
	云母含量	✓		✓		✓	
	轻物质含量	✓		✓		✓	
	有机物含量	✓		✓		✓	
	硫化物及硫酸盐含量	✓		✓			
	Cl ⁻ 含量	✓		✓			
	碱活性	✓		✓			
	石粉含量	✓		✓			
	压碎指标	✓		✓			
粗 骨 料	颗粒级配	✓	同上	✓	下列任一情况为一批, 每批检验一次: ①任何新选料源; ②使用同厂家、同品种、同规格产品达一年者	✓	连续供应同厂家、同规格的粗骨料 400 m ³ (或 600 t) 产品检验一次, 不足 400m ³ (或 600 t) 也需检验一次
	岩石抗压强度	✓		✓			
	吸水率	✓		✓			
	紧密空隙率	✓		✓			
	压碎指标	✓		✓		✓	
	坚固性	✓		✓			
	针片状颗粒含量	✓		✓		✓	
	含泥量	✓		✓		✓	
	泥块含量	✓		✓		✓	
	硫化物及硫酸盐含量	✓		✓			
	Cl ⁻ 含量	✓		✓			
有机物含量 (碎卵石)	✓	✓					
碱活性	✓	✓					
水	pH 值			✓	下列任一情况为一批, 每批检验一次:	✓	同一水源的涨水季节检验一次
	不溶物含量			✓		✓	
	可溶物含量			✓		✓	

续表 K

检 验 项 目		进 场 检 查		复 检		批 量 抽 检	
		项 目	频 次	项 目	频 次	项 目	频 次
水	氯化物含量			√	①任何新水源； ②同一水源的水使用达一年者	√	
	硫酸盐含量			√		√	
	碱含量			√		√	
	凝结时间			√			
	抗压强度比			√			
外 加 剂	匀质性	√	更换料源或每批进货时核查供应商提供的报告。	√	下列任一情况为一批，每批检验一次： ①任何新选货源； ②使用同厂家、同批号、同品种产品达6个月者		同厂家、同批号、同品种产品每50t检验一次，不足50t也需检验一次
	水泥净浆流动度	√		√			
	Na ₂ SO ₄ 含量	√		√			
	Cl ⁻ 含量	√		√			
	碱含量	√		√			
	减水率	√		√		√	
	坍落度保留值	√		√			
	常压泌水率比	√		√		√	
	压力泌水率比	√		√			
	含气量	√		√		√	
	凝结时间差	√		√		√	
	抗压强度比	√		√		√	
	对钢筋的锈蚀作用	√		√			
相对耐久性指标	√	√					
收缩率比	√	√					
粉 煤 灰	细 度	√	同 上	√	下列任一情况为一批，每批检验一次： ①任何新选货源；	√	同厂家、同批号、同品种产品每120t检验一次，不足120t
	烧失量	√		√		√	
	含水率	√		√			
	需水量比	√		√		√	

续表 K

检验项目		进场检查		复检		批量抽检	
		项目	频次	项目	频次	项目	频次
粉煤灰	SO ₃ 含量	✓		✓	②使用同厂家、同批号、同品种产品达3个月者		也需检验一次。
	CaO 含量	✓		✓			
	碱含量	✓		✓			
	Cl ⁻ 含量	✓		✓			
磨细矿渣粉	比表面积	✓	同上	✓	下列任一情况为一批，每批检验一次： ①任何新选货源； ②使用同厂家、同批号、同品种产品达3个月者	✓	同厂家、同批号、同品种产品每120t检验一次，不足120t也需检验一次。
	烧失量	✓		✓		✓	
	氧化镁含量	✓		✓			
	SO ₃ 含量	✓		✓			
	Cl ⁻ 含量	✓		✓			
	含水率	✓		✓			
	需水量比	✓		✓		✓	
	碱含量	✓		✓			
	活性指数	✓		✓			
硅灰	烧失量	✓	同上	✓	下列任一情况为一批，每批检验一次： ①任何新选货源； ②使用同厂家、同批号、同品种产品达3个月者	✓	同厂家、同批号、同品种产品每30t检验一次，不足30t也需检验一次。
	Cl ⁻ 含量	✓		✓			
	SiO ₂ 含量	✓		✓			
	比表面积	✓		✓		✓	
	需水量比	✓		✓		✓	
	含水率	✓		✓			
	活性指数	✓		✓		✓	

附录 L 混凝土拌和物性能检验要求

表 L

检 验 项 目	频 次
增实因素（仅对干硬性混凝土而言）	①搅拌站首盘混凝土 ②在浇筑地点每 50 m ³ 混凝土取样检验一次 ③每班或每一单元结构物至少 2 次
水 胶 比	
坍 落 度	
含 气 量	
入模温度	
泌 水 率	每班至少 1 次
匀 质 性	新建搅拌站（楼）首次搅拌混凝土前或使用周期达一年时

附录 M 混凝土力学性能检验要求

表 M

	检 验 项 目	检 验 频 次
钢筋混凝土及素混凝土结构	同条件养护试件脱模抗压强度	每班、每一结构部位至少各 1 组 每 100 m ³ 混凝土至少各 1 组
	同条件养护试件抗压强度	
	28 d 或 56 d 标准养护试件抗压强度	
预应力梁	同条件养护试件脱模抗压强度	每件预制梁至少各 1 组
	同条件养护试件初张拉时抗压强度	
	同条件养护混凝土终拉/放张时抗压强度	
	同条件养护试件抗压强度	每件预制梁至少 2 组
	标准养护试件 28 d 或 56 d 抗压强度	每件预制梁至少 4 组
	同条件养护试件初张拉时弹性模量	每件预制梁至少各 1 组
	同条件养护试件终拉/放张时弹性模量	
	标准养护试件 28 d 或 56 d 弹性模量	
其他预应力构件（轨枕、轨道板、管桩、电杆、接触网支柱等）	同条件养护试件脱模抗压强度	每班至少各 1 组 每 100 m ³ 混凝土至少各 1 组
	同条件养护试件脱模弹性模量	
	28 d 或 56 d 同条件养护转标准养护试件抗压强度	
	28 d 或 56 d 同条件养护转标准养护试件弹性模量	
	28 d 或 56 d 标准养护试件弹性模量	

附录 N 混凝土施工试件耐久性能检验要求

表 N

序 号	检 验 项 目	频 次
1	抗渗性 (当需要时)	同标段、同施工工艺、同配合比混凝土至少进行一次抽检 每 5 000 m ³ 混凝土取样检验一次
2	电通量	
3	抗冻性 (当需要时)	

附录 P 实体混凝土质量检验要求

表 P

检 验 项 目	检 验 频 次
表面裂缝宽度	每一结构或构件不少于 3 处，每处不少于 10 点 混凝土小于 1 m ³ 的单个构件不少于 5 个点
混凝土保护层厚度	
电 通 量	同标段、同施工工艺、同配合比混凝土至少进行一次抽检
气孔间距系数（当需要时）	每 20 000 m ³ 混凝土抽检一次

附录Q 浆体稠度试验方法

Q.0.1 容器如图 Q.0.1。

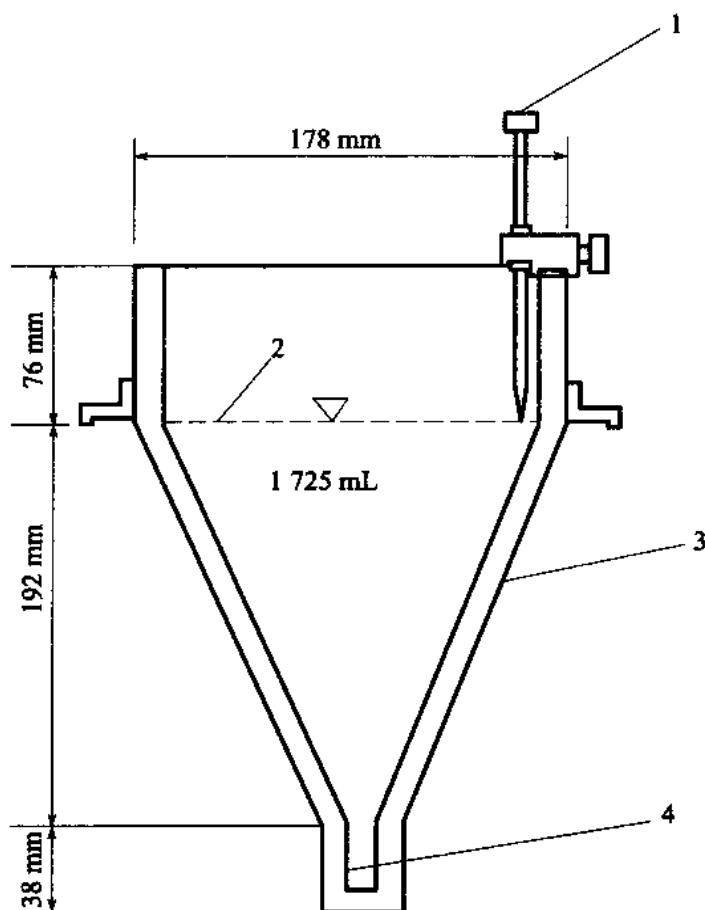


图 Q.0.1 水泥浆稠度试验漏斗

1—点测规；2—水泥浆表面；
3—不锈钢制 3 mm 厚；4—流出口（内径 13 mm）

Q.0.2 稠度试验方法

先将漏斗调整放平，关上底口活门，将搅拌均匀的水泥浆倾入漏斗内，直至表面触及点测规下端。打开活门，让水泥浆自由流出，水泥浆全部流完时间（s），称为水泥浆的稠度。

附录 R 浆体泌水率和膨胀率试验方法

R.0.1 容器

试验容器如图 R.0.1，用有机玻璃制成，带有密封盖，高 120 mm，置放于水平面上。

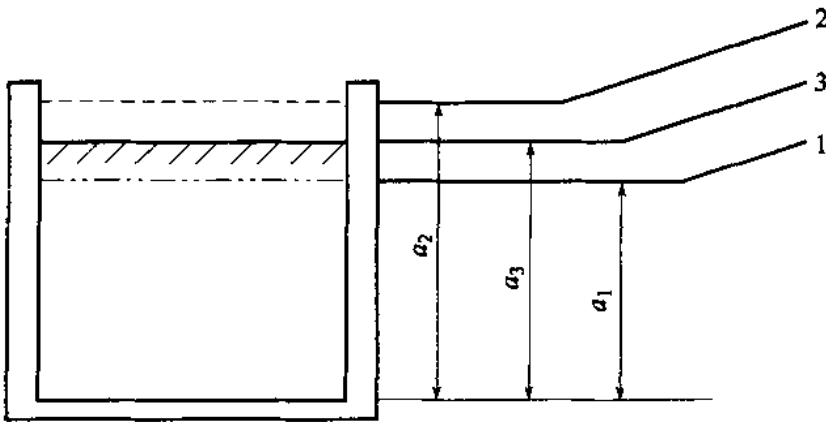


图 R.0.1 水泥浆泌水率和膨胀率试验

1—最初填灌的水泥浆面；2—水面；3—膨胀后的水泥浆面

R.0.2 试验方法

往容器内填灌水泥浆约 100 mm 深，测填灌面高度并记录下来，然后盖严。置放 3 h 和 24 h 后量测其离析水水面和水泥浆膨胀面，然后按下列公式计算泌水率及膨胀率：

$$\text{泌水率} = \frac{100(a_2 - a_3)}{a_1} (\%)$$

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

本技术指南用词说明

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，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

(2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

(3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”；

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制依据，存在的问题以及在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 现行铁路混凝土结构施工规范主要考虑如何确保结构承载力（强度）的安全性，较少顾及由于施工引起的材料性能劣化对结构安全性与适用性的影响。混凝土结构耐久性不足，不仅会增加使用过程中的修理费用，影响工程的正常使用，而且会过早结束结构的使用年限，严重浪费资源。为使混凝土结构设计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，特编写本技术指南供施工人员参考。

1.0.7 由于工程所处环境条件的复杂性以及施工环境条件的多变性，混凝土工程的施工工艺参数不能一成不变。科学的施工方法应是结合工程实际情况制订相应的施工细则，本技术指南提出的施工技术参数可供参考。在有确凿实践经验的前提下，施工单位可自行提出替代本技术指南的相关技术条款。

3.0.1 混凝土施工是一项系统工程。为了确保混凝土的施工质量及其耐久性，必须重视混凝土的施工前准备。在制定混凝土施工技术细则时，必须建立完善的施工质量保证体系和健全的施工质量检验制度，明确施工质量检验方法。在混凝土施工组织设计中，应重点提出保障混凝土耐久性等内容的技术条款。

3.0.2 混凝土施工前的另一件重要准备工作就是制定混凝土配

合比。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。

3.0.4 为了防止混凝土早期产生裂缝，施工过程中需要对混凝土的升温过程以及混凝土与环境之间的温差进行控制。因此，在正式浇筑混凝土前，施工单位应选择有代表性的结构或构件进行试浇筑，测试并确定混凝土的内部升温曲线，为正确指导施工奠定基础。

3.0.5 混凝土的施工质量说到底还是由人来控制的。每一个关键工序操作人员的施工水平、试验人员的操作等皆可对混凝土的施工质量带来一定影响。因此，施工前，有关单位应开展不同层次的技术培训工作，要求相关人员持证上岗。

4.1.1 施工现场建设一个合格的试验室，是确保施工质量、加强施工质量控制和验收的重要保证。施工单位应根据设计要求、工程规模以及施工管理要求，在施工现场建立试验室。根据铁路工程施工管理多年来的经验，建立并完善对施工现场新建试验室的验收制度，对保证试验室的建设水平是非常必要的。

4.1.2 一般说来，现场试验室应具有对混凝土原材料、钢筋和预应力钢筋（丝）、混凝土拌和物性能、混凝土力学性能、混凝土耐久性能、实体混凝土质量进行检验的能力。因此，建设现场试验室时，应结合工程性质以及施工单位自身条件等情况，有选择地建立上述试验条件，并配齐相关试验设备。特殊试验项目可以外委有资质的单位检验。

5.1.1 本条规定“模板（含支架、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，根据我国《森林法》，工程施工过程中应严格控制森林资源的开发利用。因此，大力推广使用钢模板，尽量控制使用木模板，是铁路施工企业不可推卸的责任。但是，鉴于现阶段还不能完全离开使

用木材，故对采用木材制作模板做了一些必要的规定，实际应用时，可根据各地区情况选择采用。

5.2.1 Q235 钢材主要力学性能要求分别见说明表 5.2.1—1 和说明表 5.2.1—2。

说明表 5.2.1—1 Q235 钢材拉伸和冲击性能

牌 号	等 级	拉 伸 试 验					冲击试验	
		屈服点 σ_s (MPa) 不小于		抗拉强度 σ_b (MPa)	伸长 $\delta_{5\%}$ 不小于		温度 ($^{\circ}\text{C}$)	V 型冲击功 (J) (纵向) 不小于
		钢材厚度 (直径) (mm)			钢材厚度 (直径) (mm)			
≤ 16	$> 16 \sim 40$	≤ 16	$> 16 \sim 40$					
Q235	A	235	225	375 ~ 460	26	25	—	—
	B						20	27
	C						0	27
	D						-20	27

说明表 5.2.1—2 Q235 钢材冷弯弯曲性能

牌 号	钢材厚度或直径 (mm)	试样宽度 b (mm)	冷 弯 角 度 ($^{\circ}$)	弯 心 直 径	
				纵 a	横 $1.5a$
Q235	≤ 60	$2a$	180	纵 a	横 $1.5a$

注：1 a 为钢材厚度或直径。

2 进行拉伸和弯曲试验时，钢板和钢带应取横向试样，伸长率允许比上表降低 1%（绝对值）。型钢应取纵向试样。

3 A 级钢的冷弯试验仅在需方有要求时进行。当冷弯试验已合格时，抗拉强度上限可不作为交货条件。

4 厚度或直径大于 20 mm 的钢材做冷弯试验时，试样应经单面刨削，使其厚度达到 20 mm，弯心直径应符合本表规定，未加工面应在外侧。如试样未经刨削，弯心直径应按本表所列数值增加一个试样厚度 a 。

5.3.2 常用树种木材的强度设计值及弹性模量和钢材、普通螺栓、手工焊缝的强度设计值按国家标准《木结构设计规范》(GBJ 5) 及《钢结构设计规范》(GBJ 17) 取值并分别列于说明表 5.3.2—1~6。

说明表 5.3.2—1 常用树种木材的强度设计值和弹性模量 (MPa)

强度等级	组别	适用树种	抗弯 f_m	顺纹抗压及承压 f_c	顺纹抗拉 f_t	顺纹抗剪 f_v	横纹承压 $f_{c,90}$			弹性模量 E ($\times 10^4$)
							全表面	局部表面及齿面	拉力螺栓垫板下面	
TC17	A	柏木	17	16	10	1.7	2.3	3.5	4.6	1.0
	B	东北落叶松		15	9.5	1.6				
TC15	A	铁杉、油杉	15	13	9	1.6	2.1	3.1	4.2	1.0
	B	鱼鳞云杉、西南云杉		12	9	1.5				
TC13	A	油松、新疆落叶松、云南松、马尾松	13	12	8.5	1.5	1.9	2.9	3.8	1.0
	B	红皮云杉、丽江云杉、红松、樟子松		10	8.0	1.4				0.9
TC11	A	西北云杉、新疆云杉	11	10	7.5	1.4	1.8	2.7	3.6	0.9
	B	杉木、冷杉		10	7.0	1.2				
TB20	—	栎木、青冈、柞木	20	18	12	2.8	4.2	6.3	8.4	1.2
TB17	—	水曲柳	17	16	11	2.4	3.8	5.7	7.6	1.1
TB15	—	锥栗(栲木)、桦木	15	14	10	2.0	3.1	4.7	6.2	1.0

- 注：1 当计算木构件端部（如接头处）的拉力螺栓垫板时，木材横纹承压强度设计值应按“局部表面及齿面”一栏的数值采用；
- 2 当采用原木时，若验算部位未经切削，其顺纹抗压和抗弯强度设计值和弹性模量可提高 15%；
- 3 当构件矩形截面的短边尺寸不小于 150 mm 时，其抗弯强度设计值可提高 10%；
- 4 当采用湿材时，各种木材的横纹承压强度设计值和弹性模量，以及落叶松木材的抗弯强度设计值宜降低 10%。

1 常用树种木材的强度设计值及弹性模量。

在不同使用条件下，尚应采用说明表 5.3.2—2 的调整系数。

说明表 5.3.2—2 木材强度设计值和弹性模量调整系数

项 次	使用条件	调整系数	
		强度设计值	弹性模量
1	露天结构	0.90	0.85
2	在生产性高温影响下，木材表面温度达 40℃ ~ 50℃	0.80	0.80
3	恒荷载验算	0.80	0.80
4	木构筑物	0.90	1.00
5	施工荷载	1.30	1.00

注：1 当仅有恒荷载或恒荷载所产生的内力超过全部荷载所产生内力的 80% 时，应单独以恒荷载进行验算；

2 当若干条件同时出现时，表列各系数应连乘。

2 木材斜纹承压的强度设计值：

当 $\alpha \leq 10^\circ$ 时 $f_{ca} = f_c$

当 $10^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ 时

$$f_{ca} = \frac{f_c}{1 + \left(\frac{f_c}{f_{c,90}} - 1 \right) \frac{\alpha - 10^\circ}{80^\circ} \sin \alpha}$$

式中 α ——作用力方向与木纹方向的夹角 ($^\circ$)；

f_c ——木材顺纹承压的强度设计值 (N/mm^2)；

$f_{c,90}$ ——木材横纹承压的强度设计值 (N/mm^2)；

f_{ca} ——木材斜纹承压的强度设计值 (N/mm^2)，可根据 f_c 、 $f_{c,90}$ 和 α 数值从说明图 5.3.2—1 查得，并见例题。

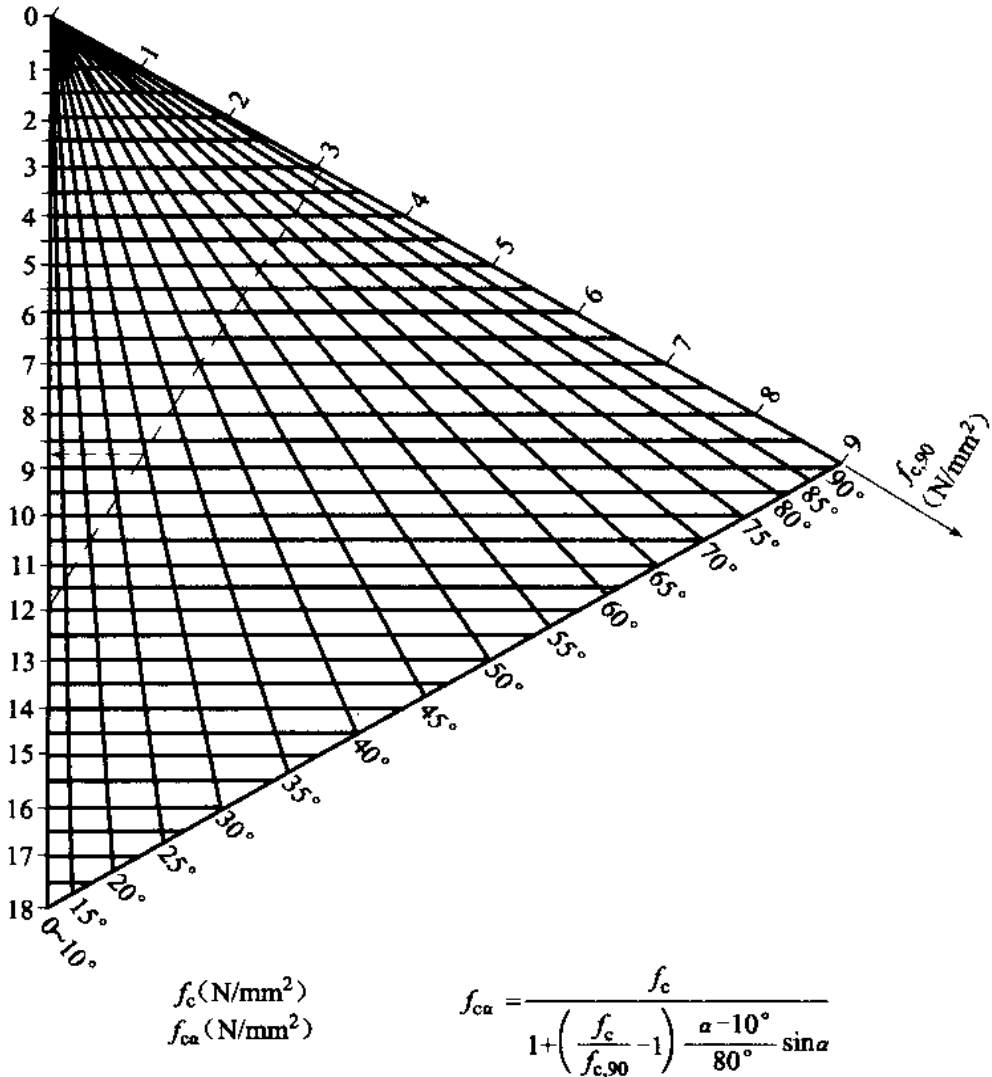
3 单、双齿连接 (说明图 5.3.2—2 和说明图 5.3.2—3) 的承压应力：

$$\sigma_c = N/A_c \leq f_{cu}$$

式中 σ ——承压应力设计值 (N/mm^2);

N ——轴心压力设计值 (N);

A_c ——齿的承压面积 (mm^2), 双齿连接的承压面面积应取两个齿承压面面积之和。



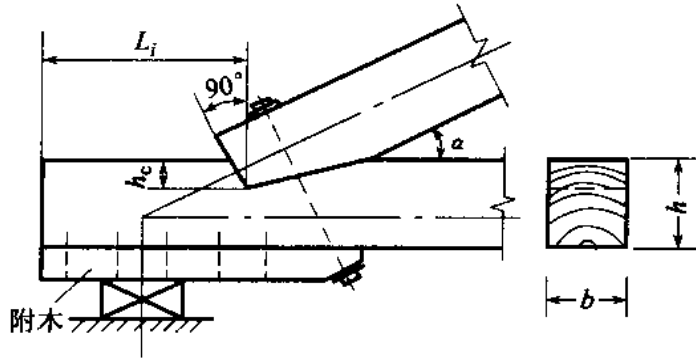
说明图 5.3.2—1 木材斜纹承压强度设计值

例: 鱼鳞云杉 $f_c = 12 \text{ N}/\text{mm}^2$

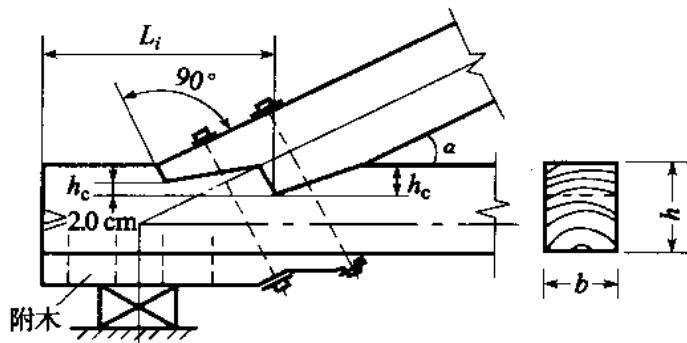
若取 $f_{c,90} = 3.1 \text{ N}/\text{mm}^2$

查得 $f_{c,30} = 8.83 \text{ N}/\text{mm}^2$

(如图中虚线所示)



说明图 5.3.2—2 单齿连接图



说明图 5.3.2—3 双齿连接图

4 单、双齿连接的受剪应力:

$$\tau = V/A \leq \varphi_v f_v$$

式中 τ ——受剪应力设计值 (N/mm^2);

V ——剪力设计值 (N);

A_v ——受剪面的面积 (mm^2), $A_v = l_v \cdot b_v$ (双齿连接仅验算第二齿的受剪面, 但 V 值应取全部剪力);

l_v ——受剪面的计算长度 (mm), 单齿取值不得大于 8 倍齿深 h_c , 双齿连接不得大于 10 倍齿深 h_c ;

b_v ——受剪面的宽度 (mm);

f_v ——顺纹抗剪强度设计值 (MPa);

φ_v ——考虑沿剪面长度剪应力分布不匀的强度降低系数, 可按说明表 5.3.2—3 采用。

说明表 5.3.2—3 单、双齿连接强度降低系数

l_v/h_c		4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0
φ_v	单齿	0.95	0.89	0.77	0.70	0.64	—
	双齿	—	—	1.00	0.93	0.85	0.71

5 钢材、普通螺栓、手工焊缝的强度设计值应符合说明表 5.3.2—4~说明表 5.3.2—6 的规定。

说明表 5.3.2—4 钢材强度设计值

应力种类	符 号	Q235 钢
抗拉、抗压和抗弯	f	215
抗剪	f_v	125
端面承压 (刨光顶紧)	f_{cc}	320

说明表 5.3.2—5 普通螺栓连接强度设计值

应力种类		符 号	Q235 钢
螺 栓	抗 拉	f_t^b	170
	抗 剪	f_v^b	130
构 件	抗 压	f_c^b	305

说明表 5.3.2—6 手工焊缝强度设计值

焊缝种类	应力种类	符 号	Q235 钢
对接焊缝	抗 压	f_c^w	215
	抗拉和抗弯	f_t^w	185
	抗 剪	f_v^w	125
角 焊 缝	抗拉、抗压和抗剪	f_t^w	160

- 注: 1 上述强度设计值适用于以概率理论为基础的极限状态设计方法, 用分项系数的设计表达式进行计算。
 2 采用工地手工焊缝时的强度设计值应乘以 0.9 的折减系数。
 3 单面连接的单角钢:
 1) 按轴心受力计算强度和连接应乘以 0.85。
 2) 按轴心受压计算稳定性:
 等边角钢 $0.6 + 0.0015\lambda$, 但又不大于 1.0;
 短边相连的不等边角钢 $0.5 + 0.0025\lambda$, 但又不大于 1.0;
 长边相连的不等边角钢不大于 0.7。
 λ 为长细比。对中间无联系的单角钢压杆, 应按最小回转半径计算。
 当 $\lambda < 20$ 时, 取 $\lambda = 20$ 。
 4 钢材弹性模量 E 按 $206 \times 10^3 \text{ MPa}$ 计算。

6.1.2 本条引自现行国家标准《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB 50204) 的规定。

6.1.3 本条系参照下列资料制订：

(1) 铁道部铁科技〔1987〕167号《关于颁发20锰硅钢筋焊接疲劳性能和粘结性能技术鉴定证书的通知》中“铁道部技初87005号鉴定意见之(三)：高压穿水处理对20MnSi钢筋的疲劳性能不利，不宜用作承受疲劳荷载为主的铁路桥梁使用的钢筋”。

(2)《20锰硅钢筋焊接疲劳性能的试验研究》(铁道部科学研究院桥梁室，夏子敬、庄军生、张士臣，1985年3月)中指出：试验表明，经高压穿水处理后的20锰硅钢筋，由于表面形成淬火组织，疲劳强度降低。因此，对承受以疲劳荷载为主的铁路桥梁，禁止使用经高压穿水处理过的20锰硅钢筋。

(3)《20锰硅钢筋焊接疲劳性能的试验研究》(《铁道建筑》1989年12期)指出：穿水钢筋的屈服强度和极限强度提高，接近Ⅲ级钢，但表面形成了淬火层，组织发生相变甚至出现微裂纹，这将导致疲劳强度降低。

(4)《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》(TB 10002.3—99)第3.2.1条注2“禁止使用经高压穿水处理过的Ⅱ级钢筋。”

因铁路桥梁是以承受疲劳荷载为主的结构，故本条规定“余热处理钢筋严禁用于铁路桥梁内”。

6.1.4 本条引自《预应力混凝土用热处理钢筋》(GB 4463)中关于“本标准适用于预应力混凝土经过热处理的螺纹钢；不适用于焊接和点焊用的钢筋”的规定。

6.2.3 箍筋弯钩直(内)径和直线段(平直部分)长度按现行《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB 50204)修订。

6.2.4 “弯钩应一次弯成”的规定，是指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。

6.3.1 第1款系根据《大直径20MnSi钢筋挤压接头的疲劳特性及设计参数研究》科研成果所作的规定。试验共制作了63个 $\phi 28$ mm 20MnSi钢筋挤压接头试件，在疲劳试验机上对试件进行了静力、疲劳性能试验。试验结果见说明表6.3.1—1~4。

说明表 6.3.1—1 单向拉伸试验结果

试验编号	A—9	A—23	A—24	A—18	A—16	A—13	平 均	合格标准
$E_{0.7}$ (GPa)	308	278	280	283	233	206	265	≥ 211
$E_{0.0}$ (GPa)	246	251	246	274	236	169	237	≥ 189.9
μ (mm)	0.035	0.011	0.063	0.016	0.006	0.136	0.045	≤ 0.3
ϵ_v	0.02	0.102	0.10	0.12	0.054	0.254	0.108	≥ 0.04
f_{msl}^0	606.2	576.0	610.0	578.0	606.0	568.0	590.0	≥ 529
失效部位	滑 移	母材断	母材断	母材断	滑 移	滑 移		

说明表 6.3.1—2 高应力反复拉压试验

试验编号	A—3	A—25	A—1	平 均	合格标准
E_1 (GPa)	217.8	233	235	228.6	
E_{20} (GPa)	211.1	234	215	226	
$E_{20}:E_1$	0.97	1.00	0.915	0.96	≥ 0.85
μ_{20} (mm)	0.21	0.018	0.111	0.113	≤ 0.3
f_{msl}^0 (MPa)	573	573	569		均 ≥ 490
失效部位	滑 移	母材断	滑 移		

说明表 6.3.1—3 大变形反复拉压试验

试件编号	A—15	A—2	A—14	平 均	合格标准
μ_4 (mm)	0.072	0.116	0.182	0.123	≤ 0.30
μ_8 (mm)	0.115	0.127	0.205	0.149	≤ 0.6
f_{msl}^0 (MPa)	558	565	562		均 ≥ 490
失效部位	滑 移	滑 移	母材断		

说明表 6.3.1—4 挤压接头疲劳试验结果

试件编号	σ_{\max} (MPa)	σ_{\min} (MPa)	N (万次)	试件断口
A—7	180	30	245	未断
A—8	180	30	223	未断
A—27	200	50	258	母材断于第 4 道压痕处
A—32	210	60	348	未断
A—44	215	65	167.6	母材断于第 3 道压痕处套筒一端破裂
A—31	220	70	76.6	母材断于第 4 道压痕处
A—39	220	70	89.6	母材断于第 4 道压痕处
A—34	240	90	63.4	母材断于第 4 道压痕处

通过对试验结果的分析, 结论如下:

(1) 用经试验研究优化后的模宽、挤压力和每侧挤压道数挤压的试件, 其静力力学性能满足《带肋钢筋套筒挤压连接技术规程》(JGJ 108—96) 中 A 级接头的性能要求。

(2) 在 97.7% 的保证率下, 应力幅为 150 MPa 的疲劳强度为 192.3 MPa。

铁道部建设管理司于 2000 年 11 月主持召开的该科研成果评审会议认为: “该项目提出的 600 kN、4 道 18 mm 压痕的技术参数, 在国内首次达到 $\phi 28$ mm 20MnSi 钢筋挤压接头在压力幅度 150 MPa、上限应力 180 MPa 的条件上经受 200 万次循环加载的疲劳强度, 能满足铁路桥梁工程的设计要求。”

为确保安全和逐渐积累经验, 本技术指南规定“以承受静力荷载为主的直径为 28~32 mm 的带肋钢筋, 可采用冷挤压套筒连接”。

6.3.3 本条系根据《冬期施工负温下钢筋焊接允许最低温度的试验研究——疲劳试验》科研成果制订的。该试验采用 II 级钢直径为 12 mm 和 20 mm 两种带肋钢筋, 分别在 +5℃ 和 -10℃ 环境

温度下各焊接搭接焊试件 30 组，采用Ⅱ级钢直径为 20 mm 和直径为 25 mm 两种带肋钢筋，分别在 +5℃ 和 -10℃ 环境温度下各焊接闪光对焊试件 30 组，分别按《钢筋焊接接头试验方法》(JGJ 27—86)进行力学性能、接头工艺性能、接头显微硬度和金相组织及疲劳性能影响试验。

试验结果表明：

(1) 在 -10℃ 环境温度下施焊的钢筋焊接接头，其力学性能与在 +5℃ 环境温度下施焊的钢筋焊接接头基本相同，均符合《钢筋焊接及验收规范》(JGJ 18—96)的有关规定，且焊件拉伸试验断口均在焊件热影响区以外，并呈延性断裂。

(2) 在 -10℃ 环境温度下施焊的闪光对焊接头，其工艺性能与在 +5℃ 环境温度下施焊的闪光对焊接头基本相同。

在焊接环境温度为 +5℃ 时，搭接焊接头热影响区奥氏体晶粒度在 2~3 级，而焊接环境温度为 -10℃ 时为 4~5 级，明显较前者细小；在其焊缝组织中，焊接环境温度为 +5℃ 时，先共析铁素体晶粒度大致为 6~7 级，而焊接环境温度为 -10℃ 时为 7~8 级，也明显较前者细小，且前者针状铁素体也较后者大。

对两组对焊接头金相组织观察可见，焊接环境温度为 +5℃ 时，热影响区奥氏体晶粒度与焊接环境温度为 -10℃ 时的热影响区奥氏体晶粒度相差不大，都在 2~3 级之间；焊缝组织晶粒度都为 5 级，差异不大。

疲劳性能试验取 $\phi 20$ mm 和 $\phi 50$ mm 的Ⅱ级螺纹钢筋分别制作在 +5℃ 和 -10℃ 环境温度下的闪光对焊接头试件共 4 组，对试件的疲劳性能进行对比试验研究。试验结果见说明表 6.3.3。

通过对试验结果的分析，结论如下：

(1) $\phi 25$ mm 20MnSi 钢筋闪光对焊试件，相应于 200 万次的疲劳强度均大于《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》(TB 10002.3—99)规定的钢筋容许应力。

说明表 6.3.3 4 组试件的疲劳试验结果

序号	型号	焊接形式	环境温度	ρ	97.7% 保证率下的回归方程	相关系数 γ	标准差 S	2×10^6 次 疲劳应力幅 $\Delta\sigma$ (MPa)	σ_{\max} (MPa)	σ_{\min} (MPa)
1	$\phi 20$ II 级 螺纹钢	闪光 对接焊	-10℃	0.2	$\lg N = 16.3317 - 4.8524 \lg(\Delta\sigma)$	-0.9612	0.06198	116.7	145.9	29.2
2	$\phi 20$ II 级 螺纹钢	闪光 对接焊	+5℃	0.2	$\lg N = 12.0805 - 3.0323 \lg(\Delta\sigma)$	-0.7367	0.1924	80.5	100.6	20.1
3	$\phi 25$ II 级 螺纹钢	闪光 对接焊	-10℃	0.2	$\lg N = 30.4037 - 10.916 \lg(\Delta\sigma)$	-0.8138	0.1889	161.4	205.1	41.0
4	$\phi 25$ II 级 螺纹钢	闪光 对接焊	+5℃	0.2	$\lg N = 45.8496 - 17.7147 \lg(\Delta\sigma)$	-0.9240	0.1336	170.8	213.5	42.7

(2) $\phi 20$ mm 20MnSi 钢筋闪光对焊试件相应于 200 万次的疲劳强度不能满足《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》(TB 10002.3—99) 规定的钢筋容许应力的要求。但是在补充试件的试验中, 仍有试件达到了上述设计规范的要求。这说明试件疲劳性能的不稳定性, 同时也说明试件的疲劳性能还可以进一步提高。

铁道部建设管理司于 2000 年 11 月主持召开的《冬期施工负温下钢筋焊接允许最低温度的试验研究》科研成果评审会议认为: “该项目提出的在 -10°C 环境温度下施焊的焊接接头力学性能与工艺性能符合《钢筋焊接及验收规程》(JGJ 18—96) 的有关规定, 其各部位显微硬度和金相组织变化情况与在 $+5^{\circ}\text{C}$ 环境温度下施焊的差异不大。因此, 在 -10°C 温度下施焊的焊接接头可用于疲劳不控制的结构”。

6.3.4 按《钢筋焊接及验收规程》(JGJ 18) 补充。

6.3.5 为保证搭接焊钢筋能位于同一轴线, 故规定焊接前应对钢筋端部进行预弯。“常用焊条型号”系摘自《钢筋焊接及验收规程》(JGJ 18)。

6.3.8 本条按《钢筋焊接及验收规程》(JGJ 18) 补充。

6.4.4 “交叉点处焊牢, 但不得在主筋上起弧”, 因为工地安装钢筋采用的电弧焊不宜与点焊混淆, 所以用电弧焊时应有防止烧伤主筋的措施, 不允许在主筋上起弧。

7.2.1 长期以来, 混凝土的质量常以 28 d 强度作为主要衡量指标, 并在工程界逐渐形成了单纯追求强度的倾向, 以为加大水泥用量和采用早强水泥总能有利于质量, 并排斥使用粉煤灰等矿物掺和料和引气剂, 这些都对混凝土结构的耐久性带来极为不利的影 响。对于现代混凝土来说, 提高强度比较容易, 而耐久性则急待改善。为此, 施工人员应该深入了解耐久混凝土的特点, 并在混凝土结构施工过程中对混凝土原材料的选用与混凝土配合比参数严加控制。

我国通用水泥按国家标准的规定有六个品种。(1) 硅酸盐水泥，有 P·I 和 P·II 两个编号，其中 P·I 无任何掺加的矿物混合材料，P·II 允许有不超过 5% 的活性矿物混合材料；(2) 普通硅酸盐水泥，允许以 5% ~ 15% 的矿物混合材料等量取代硅酸盐熟料；(3) 矿渣硅酸盐水泥，在生产水泥时允许以 20% ~ 70% 的粒化高炉矿渣作为矿物混合材料等量取代硅酸盐熟料，由于矿渣硬度比熟料大，共同磨细时，水泥中的矿渣颗粒太粗，矿渣的潜在活性不能充分发挥；(4) 火山灰质硅酸盐水泥，允许有 20% ~ 50% 的火山灰质材料作为矿物混合材料等量取代熟料；(5) 粉煤灰硅酸盐水泥，允许有 20% ~ 40% 的粉煤灰等量作为矿物混合材料取代熟料，粉煤灰也属于火山灰质材料，但因其需水量小、抗裂性好，不同于其他火山灰质材料，故单列一个品种；(6) 复合硅酸盐水泥，用两种以上矿物混合材料以总量 20% ~ 40% 取代硅酸盐熟料。

当用户使用加有上述矿物混合材料的混合水泥时，往往不清楚所加入的矿物混合材料质量与掺和工艺，所以为了有效控制混凝土的质量并发挥矿料的作用，在配制耐久混凝土时宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，并将矿料以掺和料的形式作为配制混凝土时的单独组分加入混凝土拌和料中。但当工程的水泥用量很大时，最好由生产水泥的厂家根据用户的订货要求，直接供应所需矿物品种和掺量并满足规定性能指标的水泥，以降低混凝土配制过程中的复杂程度。

硅酸盐水泥由原材料烧制的熟料与适量石膏（硫酸钙）磨细而成，熟料中的主要成分有硅酸三钙（ C_3S ）、硅酸二钙（ C_2S ）、铝酸三钙（ C_3A ）和铁铝酸四钙（ C_4AF ）等。 C_3S 是水泥早期强度的主要来源，水化速度较快，水化发热量较大。 C_2S 是水泥后期强度的主要来源，水化速度很慢，水化发热量最小。 C_3A 的水化最快，水化放热量最大，水化物强度最低，干缩最大。同一品种和强度等级（28 d 强度）的水泥，由于熟料中 C_3A 和 C_3S 含

量、水泥细度、 SO_3 含量、碱含量的不同，其与水发生作用后释放的水化热和流变性能，以及硬化后的早期强度、后期强度增长率、抗裂性以及抗化学腐蚀等性能都会有较大差别。不同厂家生产的水泥产品，甚至同一厂家的不同批产品，性能上可能有很大差异。相同品种和强度等级的水泥，在相同配合比和相同试验条件下进行抗裂性试验时，所得出的开裂时间和开裂宽度，能相差一倍的并不少见。

选择水泥时不能以强度作为惟一指标，不能认为强度高的水泥就一定好。发达国家的水泥标准中，对于水泥的强度要求，不仅规定了最低值，而且也规定了最高值的限制，强度超过规定的也不合格。而我国水泥标准中则没有最高值的限制，客观上起到了误导厂家和用户片面强调强度的作用，尤其受到经济利益和片面追求施工进度的驱使，过分追求早期强度而牺牲耐久性质量。在我国目前的生产工艺条件下，提高水泥强度（尤其是早期强度）的主要措施，实际上只是增加水泥中的 C_3A 与 C_3S 含量并提高水泥的比表面积，导致水化速率过快、水化热大、混凝土收缩大、抗裂性下降、混凝土的微结构不良、抗腐蚀性差。实践经验也普遍表明，早期强度很高的混凝土在 14 d 以后的强度几乎就不再增长，长期强度甚至还有可能倒缩。水泥中 C_3A 的 3 d 水化热量约为 C_3S 的 3.7 倍和 C_2S 的 17.7 倍，7 d 水化热量则分别约为 C_3S 的 7 倍和 C_2S 的 37 倍； C_3A 的收缩率大约是 C_3S 和 C_2S 的 3 倍；而环境中的化学腐蚀介质对混凝土的侵蚀对象主要就是 C_3A 和硅酸盐矿物水化物中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。

对水泥含碱量的控制，以往主要从控制碱—骨料反应的角度提出要求。但工程实践发现，不管是否有活性骨料存在，碱的影响首先表现在增加混凝土的开裂倾向。美国垦务局的 R. Burrows 对此做过大量的工程调查和试验研究，并发现在有的露天混凝土开裂板中，尽管有活性骨料且水泥具有高含碱量，但开裂处却没有碱—骨料反应产物，混凝土也并没有膨胀，说明这种开裂首先

是由于水泥的高含碱量所引起的收缩所致而不是碱—骨料反应。其他国家也有类似的研究和工程报道。Burrows 建议，为防止碱促进混凝土的开裂，水泥中的碱含量应不超过 0.6% Na_2O 当量。近年来，为限制水泥和外加剂中的含碱量，在工程实践中又发现含碱量太低时会使大坍落度（如大于 160 mm）混凝土的泌水性增加。当使用较大掺量的矿物掺和料，或水泥中的 C_3A 含量或同时 C_3S 含量也低时，水泥中的含碱量上限可适当放宽。本技术指南将上限放宽到 0.8%。

尽可能降低胶凝材料中硅酸盐水泥用量的目的是提倡加大矿物掺和料的用量，减少水泥用量大所带来的负面影响。强度和组分相同但配比不同的混凝土，其中性能最优的一般应是硅酸盐水泥用量最少的一种。混凝土早期强度越高，对混凝土长期性能越不利，在早期也越易开裂，所以要慎用早强水泥。由于过分强调混凝土强度或为了保险而多用水泥，会对耐久性带来不良后果。

为了便于控制混凝土中矿物掺和料的质量与数量，宜选用纯硅酸盐水泥与自选的矿物掺和料混合作为胶凝材料。这是由于普通水泥中一般都已掺入了矿物混合料，而且掺量和品种不明。如果是矿渣水泥，因矿渣硬度比熟料的硬度大，水泥熟料与矿渣共同粉磨后，矿渣显得过粗。例如比表面积为 $300 \text{ m}^2/\text{kg}$ 的矿渣水泥，其中矿渣的比表面积只有约 $250 \text{ m}^2/\text{kg}$ ，既不能发挥矿渣的潜在活性，又使矿渣水泥容易泌水，不利于混凝土的抗渗和抗冻。如果能确知水泥中已掺入的矿物混合料品种和掺量，就有利于混凝土配合比的设计，可将水泥中已有的混合料一并计入混凝土掺和料的总量。

为改善混凝土的抗裂性，要控制硅酸盐水泥中的 C_3A 含量，而且 C_3S 的含量也不宜过高。有文献报道， C_3A 能与氯化物生成水化氯铝酸钙 ($\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)，可消耗一部分引起钢筋锈蚀的自由氯离子，故对氯盐环境下的混凝土有利。但有 SO_4^{2-} 存在时，这种水化产物是不稳定的，会转化成膨胀性的水化硫铝酸

钙，所以不能指望 C_3A 会减缓氯离子对钢筋的侵蚀。对于 C_3A 含量高的水泥能否用于海水环境有不同见解。我国海港混凝土结构防腐蚀规范规定， C_3A 含量为 6% ~ 12%，并对此有详细说明。美国 ACI 规范规定海水中 C_3A 应小于 10%。

7.2.2 使用矿物掺和料首先是为了混凝土的耐久性需要，而不是单纯地出于降低混凝土成本。认为强度高的混凝土需要减少其矿物掺和料的用量，这其实是一种误解。例如美国加州大学曾在一幢 6 层楼的剪力墙和基础的加固工程中，分别用 160 kg/m^3 水泥、 195 kg/m^3 粉煤灰（粉煤灰掺量 67%）和 195 g/m^3 水泥、 195 kg/m^3 粉煤灰（粉煤灰掺量 50%）配制混凝土，用水量只有 118 kg/m^3 ，28 d 抗压强度分别达到相当于我国立方体强度 37.6 MPa 和 45.9 MPa。清华大学在深圳地铁足尺模型试验中，用 45% 粉煤灰、10% 矿渣和 45% 硅酸盐水泥配制的混凝土，胶凝材料总量 400 kg，各组试件 28 d 强度均在 54 MPa 以上。

低水胶比的矿物掺和料混凝土，其优良性能往往受到现行标准试验方法的掩盖而不能体现。例如粉煤灰混凝土的强度发展较慢，对温度和湿度比较敏感，对它采用与普通水泥混凝土相同的标准试验方法成型、养护并检测其强度、抗冻和抗盐冻的性能往往会给出不符合实际的结果。在实际工程中，普通硅酸盐水泥混凝土在养护时的温度较高，其 28 d 强度实际要低于室内标准养护得出的强度，而掺粉煤灰的混凝土正好相反。大量工程现场调查均表明，粉煤灰混凝土的室内标准试验结果和现场条件下的实际表现缺乏一致性，比如室内快速抗冻标准试验结果认为不良的粉煤灰混凝土，在现场的严酷冻融环境条件下却表现良好。但是大掺量矿物掺和料混凝土的水胶比必须要低。

国内外大量研究表明，为有效改善混凝土抗化学侵蚀性能（如氯化物侵蚀、碱-骨料反应、硫酸盐侵蚀），粉煤灰最佳替代量一般应在 20% 以上。现行粉煤灰分级标准的缺点是同时用细度、需水量比和烧失量作为分级的主要标准，而将烧失量很小、

需水量比稍小于 100% 而只是细度不符合一级标准的粉煤灰降到二级，这样并不利于发挥粉煤灰的效用。粉煤灰的品质，应首先注重烧失量和需水量，而细度不必过于苛求。一般说来，粉煤灰的烧失量越大，含碳量越高，混凝土的需水量就大；用电收尘方法收取的灰越细，所含玻璃微珠越多，含碳量低，需水量也小，但产量很少。实际工程选用粉煤灰时，因条件所限不得不采用烧失量较大的粉煤灰时，必须经过混凝土拌和物性能和耐久性试验证明可行，且 C50 级以下混凝土用粉煤灰的烧失量不得大于 8%，C50 级及以上混凝土用粉煤灰的烧失量不得大于 5%。发电厂的三、四级灰的产量最大，但收取的灰因团聚颗粒和多孔玻璃体含量较多而比表面积较大，需水量较大。国内中南大学等不少单位研究用磨细粉煤灰，打开团聚颗粒，在工程实践中取得很好效果。粉煤灰的最大掺量可到 50% 或更多，以不超过胶凝材料总量 60% 为宜。用比表面积来表征粉煤灰的细度并不能完全反映粉煤灰的颗粒细度，后者还可用筛析法表示。

单独粉磨矿渣用于配制混凝土，可使磨细矿渣的细度至少达到和熟料相同。矿渣越细，活性越高。对于高细度的磨细矿渣，在一定掺量范围内，混凝土的强度随掺量的增大而提高，但是混凝土的温升、化学收缩和自收缩也随矿渣掺量的增加而增加；从减少混凝土收缩开裂的角度考虑，这时的磨细矿渣比表面积以不超过 $450 \text{ m}^2/\text{kg}$ 为宜。矿渣的活性和火山灰质材料不同，具有自身水硬性，但需要水泥水化产物中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和石膏的激发，在矿渣掺量增大到一定数量以后，由于混凝土中的水泥量减少，矿渣水化的速度因缺少足够的激发物而降低，相应的水化热和自收缩就减小。所以当掺量超过约 75% 以后，可以采用高细度的矿渣。

在水灰比不变的情况下，掺入硅灰可明显提高混凝土强度，但需水量随硅灰掺量而增加。硅灰对提高混凝土抗化学腐蚀性有显著效果。但其高活性不仅不会降低混凝土的温升，反而使温升

提前，不利于减小温度变形，并且增大混凝土自收缩。硅灰的价格也比较贵，最好和其他需水量小的矿物掺和料复合使用。

还有其他一些矿物掺和料具有较高的活性，并能提高混凝土抗侵入和抗化学侵蚀的能力，如磨细天然沸石岩因其特殊的结构作用，抗碱—骨料反应和抗硫酸盐侵蚀能力很强，但这些材料大多有较大的需水性，因此掺量有限。为了避免自收缩和温度应力，也不宜磨得过细。

根据现行矿物掺和料的品质水平情况，粉煤灰、磨细矿渣粉的氯离子含量均不应大于 0.02%。考虑到混凝土的总氯离子含量还有限制（见第 7.4.2 条），当工程上不得不采用氯离子含量大于 0.02% 的粉煤灰、磨细矿渣粉时，必须严格控制混凝土的总氯离子含量满足要求。

7.2.3~7.2.4 我国混凝土质量不如欧美等发达国家的重要原因之一，在于对骨料粒形和级配的不够重视和骨料的质量较差。虽然我国也有关于骨料产品质量的强制性标准，但是目前生产供应的骨料很少有真正符合标准的。和水泥一样，在骨料的质量中，我国工程界比较看重的也只是与混凝土强度有关的骨料强度和含泥量等指标，而忽视骨料粒形和级配的重要性，以为后者不过是多费点水泥的问题，甚少从耐久性的角度去重视骨料的质量。一般天然骨料的强度，对于目前常用的混凝土强度等级（C70 以下）来说其实是足够的，而骨料的其他性能如吸水率、热膨胀系数等对混凝土耐久性则有重要影响。吸水率大的骨料，配制的混凝土会有较大的长期收缩，影响混凝土的抗裂性。砂岩骨料的吸水率可为石灰岩和石英岩的 20 倍左右，配制的混凝土 1 年收缩率约为后者的 4 倍和 3 倍。与卵石相比，碎石混凝土的骨料与浆体的界面有较好的结合，抗裂性也好些。粗骨料的最大粒径较小时，混凝土的抗渗性提高。当耐久性作为主要因素考虑时，骨料的最大粒径宜取小一些。

粗骨料的级配和粒形不好，必然要加大混凝土的胶凝材料总

量和用水量，不仅增加混凝土收缩，而且会增加混凝土的渗透性和有害介质在混凝土中的扩散系数。为了提高耐久性，必然要同时采用低水胶比和低用水量。西方发达国家混凝土的用水量都较少，先进的混凝土技术可将用水量减少到 130 kg/m^3 以下并依然有很好的泵送性，其中的一个关键就是骨料的级配和粒形好，不存在粗骨料的针、片状颗粒问题。所以配制混凝土的骨料都要经过粒形和级配的严格选择，应尽可能拒绝采用颚式破碎机生产的粗骨料。

粗骨料石子即使在采石场加工后有良好的级配，但在运输过程中也会遭到破坏。西方国家多采用分级供应石子，到搅拌站再进行级配。改变我国现有的骨料生产方式，首先要用户提出要求。

骨料的堆积密度和表观密度是骨料级配的反映，堆积密度越大，则级配越好，空隙率越小。对粗骨料来说，40%左右的空隙率应该是最基本要求，这只是我国 20 年前骨料的一般水平。针、片状颗粒含量反映粗骨料粒形的优劣，现行铁路行业标准容许针、片状颗粒的含量最大可到 10%，这一水准实在过低。实践证明，针、片状颗粒含量最好不大于 5%。考虑到目前要求粗骨料针、片状颗粒含量不大于 5% 还有难度，本技术指南暂定为不大于 10%。

为了保证混凝土浇筑的通畅，骨料的粒径应不超过钢筋最小间距和保护层厚度的 $3/4$ ，后者同时也是为了保证混凝土保护层抗渗性的需要。目前在施工中为了少用水泥，往往尽可能增大石子粒径，一些商品预拌混凝土由于大批量生产也极少变换石子粒径，而设计人员在施工图的钢筋净间距上又常忽略施工的实际情况与需要，于是混凝土浇筑时的钢筋通过性就很差，造成混凝土浇筑质量不匀，钢筋下方形成缝隙，并在保护层外表面沿水平钢筋或箍筋的下方位出现裂缝，这些均要予以充分重视。

7.2.5 外加剂是混凝土的重要组成部分。在混凝土中合理掺加

具有减水率高、坍落度损失小、适量引气、能明显改善或提高混凝土耐久性能的质量稳定产品十分必要。目前，由于外加剂品种繁多，产品质量参差不齐，选用时，一定要注意不同外加剂的使用功能、特点。表 7.2.5 所列的性能指标是铁路混凝土常用外加剂的基本要求。施工中若需要采用其他具有特殊功能的外加剂，其性能还应满足现行国家标准《混凝土外加剂》(GB 8076) 和有关行业标准的相关要求，且混凝土的性能应通过试验确定。

7.4.1~7.4.2 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标准《铁路混凝土强度检验评定标准》(TB 10425) 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，最好按 56 d 龄期作为混凝土标准强度的验收龄期。

提出混凝土最大水胶比和最小胶凝材料用量的限值，是混凝土设计施工标准中为保证混凝土耐久性的常用做法。本技术指南用胶凝材料用量取代水泥用量，用水胶比取代水灰比作为控制混凝土耐久性的一个主要指标。在以往按强度设计的混凝土配合比设计方法中，首先是按混凝土强度等级计算水灰比。而现在按耐久性要求的设计方法中，首先要根据环境作用等级选择水胶比。如果满足本技术指南表 7.4.2—3 的最大水胶比和最小胶凝材料总量的限制，混凝土的强度一般是足够而且有余的。实际上，混凝土的强度等级与耐久性之间并不一定存在相关性，比如在硅酸盐水泥中掺入粉煤灰并保持水胶比不变，则 28 d 强度往往有所降低，而抗氯盐侵入的能力却能成倍增加。在混凝土中加入引气剂后，强度也会受到影响，但抗冻融等多种耐久性能有极

大改善。很高强度的混凝土，水灰（胶）比很低，如果硅酸盐水泥用量又较大，不但倾向于开裂，而且工作性能往往较差，反过来又会对混凝土的耐久性能带来负面影响。

过大的水灰比（水胶比）特别不利于使用矿物掺和料混凝土的内部微结构发展，同时影响混凝土的耐久性与强度。与硅酸盐水泥相比，粉煤灰和矿渣掺和料对混凝土强度的贡献受水胶比的影响较大，尤其是粉煤灰对水胶比更为敏感。只有在低水胶比（如小于 0.4 或 0.42）的前提下，粉煤灰的作用才得以充分发挥而不是相反。对于普通硅酸盐混凝土，也要强调水胶比的限值。目前我国水泥的实际活性比 20 多年前高出约两个等级，比如现在的 42.5 级水泥大体相当于水泥标准修订前的 525 号水泥，又相当于 1979 年以前硬练标准的 600 号水泥。因此配制相同强度等级的混凝土，现在的水灰（胶）比就会加大而不利于混凝土的耐久性。由于水泥强度提高，要想配制出强度低于 25 MPa 或 30 MPa 而同时又要水胶比不能高到影响耐久性的 C20 级混凝土实际上是不可能的。

减少单方混凝土中胶凝材料用量有利于降低混凝土的渗透性，减少收缩量，所以必须有最高用量的限制。我国对低水胶比混凝土的胶凝材料用量过去一直偏高，甚至有高到 550 kg/m^3 以上的，其主要原因就在于骨料不好。美国 AASHTO 规程规定胶凝材料用量不应超过 475 kg/m^3 。

将拌和水的最大用量作为控制混凝土耐久质量要求的一种标志，要比用最大水胶比（或水灰比）更为适宜。依靠水胶比的控制尚不能解决混凝土中因浆体用量过大而引起收缩和水化热增加的负面影响。在高性能混凝土中，减少浆体量，增加骨料所占的比例，又是提高混凝土抗渗性或抗氯离子扩散性的重要手段。如果控制拌和水用量，则可同时控制浆体用量（浆骨比），就有可能从多个方面体现耐久性的需要。但是这方面的工程经验和研究积累还较少，尤其是国内目前供应的骨料级配与粒形普遍很

差，不得不用过量的浆体填充，所以本技术指南仍以水胶比作为混凝土耐久性要求的最主要综合指标。但为了保证重要工程的耐久性质，应该同时对混凝土拌和水的用量作出限制，对于水胶比很低的混凝土一般不宜超过 150 kg/m^3 ，这就需要从以下几个方面采取措施：选用具有良好级配和粒形的粗骨料，尽可能降低骨料中的含泥量，采用优质外加剂和低需水量的矿物掺和料，降低混凝土拌和料的温度。在日本的标准中，要求各种混凝土的每方用水量最多不超过 175 kg 。

在混凝土中掺入一定量的矿物掺和料，可以有效改善和提高混凝土工作性和耐久性。如大体积混凝土中宜掺用大掺量粉煤灰等矿物掺和料。海洋和近海环境中受氯盐侵蚀的配筋混凝土，亦应采用较大掺量矿物掺和料的混凝土。粉煤灰抗氯盐侵入的能力不亚于矿渣，如能同时加入少许硅灰效果更好。普通硅酸盐水泥中虽然也允许掺入 $6\% \sim 15\%$ 的矿物掺和料，但掺量很少，意义不大。单纯用硅酸盐水泥配制的混凝土，即使水灰比较低，其抗侵入的能力也比较差，只有加入较大掺量的粉煤灰、矿渣或一定量的硅灰以后，才能获得根本的改善。国外甚至有研究资料认为，对设计寿命为 75 年的海洋混凝土结构，如果单纯采用硅酸盐水泥为胶凝材料，则需有 C60 级的混凝土和 100 mm 厚度的保护层；若掺入 60% 矿渣或 30% 粉煤灰，则仅需 50 mm 保护层厚度的 C40 级（掺矿渣）或 C50 级（掺粉煤灰）混凝土；若掺量分别增至 70% 或 40% ，所需强度等级还可进一步降低。但是粉煤灰的良好作用，必须有低水胶比作为前提。

硅酸盐水泥混凝土抗硫酸盐、酸等化学侵蚀的能力很差。硅酸盐水泥水化产物中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 不论在强度上还是在化学稳定性上都很弱，在硫酸盐腐蚀条件下容易分解，遇软水还会溶解，是混凝土耐久性上的薄弱环节。在混凝土中加入适量的矿物掺和料对于提高混凝土抵抗盐、酸等化学腐蚀介质的能力有很大的作用。以往的观点认为：“ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 呈碱性，对防止钢筋锈蚀有利。

混凝土中掺入的粉煤灰、硅灰等火山灰材料可与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生火山灰反应，会消耗 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 并降低混凝土的碱度，因而不利于防锈，所以需对粉煤灰等矿物掺和料的掺量加以严格限制”。但是研究表明，火山灰反应形成的致密水化产物改善了混凝土的微结构，只要水胶比较低，通过火山灰反应不但可提高混凝土抗水、酸和盐类侵蚀的耐久性，而且在防止钢筋锈蚀的能力上也有提高。

不同掺和料在不同腐蚀性介质作用下的合适掺量和效果并不完全相同。矿渣的效果通常很好，加入少量的硅灰一般都能起到比较显著的作用，粉煤灰和另外一些火山灰质材料因其本身的 Al_2O_3 含量有波动，效果差别较大，并非都是掺量越大越好。因此，当单独掺加粉煤灰等火山灰质掺和料时，应当通过实验确定其最佳掺量。在西方，抗硫酸盐水泥或高抗硫酸盐水泥都是硅酸盐类的水泥，只不过水泥中 C_3A 和 C_3S 含量不同程度地减少。当环境中的硫酸盐含量非常高时，最好是采用不含硅酸盐的水泥，如石膏矿渣水泥或矾土水泥。铁道科学研究院的研究人员在青藏铁路建设前，在该铁路沿线（环境条件为高盐渍、温差大、干燥）埋设了大量的使用不同水泥和不同配合比的混凝土桩体试件，10年后取出观察，除了低水灰比的矾土水泥之外，包括抗硫酸盐水泥在内的其他混凝土试件全部腐烂崩散。但是非硅酸盐类水泥的使用条件和配合比以及养护等都有特殊要求，需通过试验确定使用。

限制混凝土中的氯离子含量，在国内外各种标准中都有规定，但在具体量值上多有差别。国外有的标准规定，普通钢筋混凝土内的氯离子限量为0.4%（占混凝土中胶凝材料总量的重量比），这对一般混凝土而言，已经接近甚至超过干湿交替环境下引起钢筋锈蚀的氯离子临界浓度。美国ACI混凝土结构设计规范规定，钢筋混凝土的氯离子量应不超过0.3%，但如环境干燥可到1%。如果混凝土将处在海水等氯盐环境下工作，则应不超

过 0.15%，对于预应力混凝土均不许超过 0.06%。由于钢筋锈蚀的氯离子临界浓度可在 0.17%~2.5% 之间的很大范围内变化并与胶凝材料种类和数量以及水胶比和保护层厚度等因素有关，很难对混凝土定出一个统一的氯离子量限值。对于不同质量的混凝土氯离子含量应该有所不同，设计时可结合工程特点灵活对待。当工程的使用环境有外界氯离子侵入时，必须从严控制混凝土生产时从原材料带入的氯离子总量，本技术指南限定为胶凝材料重的 0.1%。

参考美国 ACI319/318R-39 的规定，这里所指的氯离子是混凝土成型后硬化混凝土中的水溶氯离子量，测试龄期为 28 d 或 4~6 周之间。一般用酸溶氯离子表示的是混凝土中的氯离子总量，数值上略大于水溶值。我国沿海地区的混凝土用砂中往往带有氯盐，在混凝土质量合格验收中，还应在竣工混凝土中取芯检测氯离子量作为必须的内容。

混凝土的含气量对混凝土的性能产生较大影响。在混凝土中掺加适量引气剂后，搅拌混凝土时可在混凝土中产生大量的球形微孔（孔径多小于 200 μm ）。这些均布的微小封闭气孔可阻断混凝土中连通的毛细孔通路，降低毛细水的渗透作用，并可吸收、缓冲因冻融或化学腐蚀等原因所造成的混凝土内部膨胀压力。这类气孔不同于混凝土施工中因搅拌或震捣不当而裹入的不规则大孔气泡或甚至开放的气孔而成为混凝土中的缺陷。引气剂在欧美、日本等国家的使用非常普遍。人们在混凝土中使用引气剂的初衷最主要是为了提高普通混凝土的抗冻性。但是，大量研究表明，混凝土中引入的微小气泡还可减少盐冻引起的表面剥落，显著提高混凝土抗硫酸盐腐蚀的性能，减少由碱—骨料反应引起的膨胀，并还可改善混凝土的拌和物性能和施工性能，降低混凝土的用水量和混凝土的热扩散性，减少泌水，从而提高混凝土的匀质性和稳定性。鉴于一般情况下混凝土的含气量大约在 1% 左右，本技术指南提出，当混凝土没有抗冻要求时，混凝土的含气

量至少要不应低于 2%。

当混凝土有抗冻要求时，《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(CCES 01—2004) 规定不同混凝土的含气量应满足说明表 7.4.2—1 的要求。

说明表 7.4.2—1 混凝土含气量 (%)

环境条件 骨料最大粒径 (mm)	混凝土 高度饱水	混凝土 中度饱水	盐或化学 腐蚀下冻融
10	7.0	5.5	7.0
15	6.5	5.0	6.5
25	6.0	4.5	6.0
40	5.5	4.0	5.5

可以看出，当混凝土的饱水度不同时，有抗冻要求混凝土的含气量的要求是不同的。当骨料的粒径为 40 mm 时，若混凝土中度饱水（类似与 D1 环境），混凝土的含气量应不小于 4%；若混凝土高度饱水或处在盐冻或化学腐蚀环境（类似与 D4 环境）条件下，混凝土的含气量应不小于 5.5%。因此，本技术指南提出有抗冻要求的混凝土的含气量的最小值应满足说明表 7.4.2—2 的要求。

说明表 7.4.2—2 混凝土含气量

环境条件	混凝土无抗冻要求	混凝土有抗冻要求		
		D1	D2、D3	D4
含气量 (%)	≥2.0	≥4.0	≥5.0	≥5.5

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 那样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。

骨料的最大粒径不同，混凝土的含气量要求也有所不同。混凝土的含气量是指气泡体积占混凝土体积的份额，但气泡只存在于浆体中，骨料最大粒径大时，浆体体积相对就小，如混凝土含气量相同，浆体体积越小则浆体中气泡含量越大，混凝土强度损失也越大，因此混凝土中含气量应随骨料最大粒径的增大而减小。

混凝土的引气效果除与含气量有关外，尚与气泡直径大小及其分布有关。所以除了提出含气量要求（通常 4% ~ 6%）外，还常提出其他的参数要求，包括气泡间距系数，气泡比表面积、单位长度的气泡个数等。在北美，认为具有良好抗冻性能的引气混凝土，其气泡间距系数应不大于 $200 \mu\text{m}$ ，气泡的比表面积应不小于 24 mm^{-1} ，每 10 mm 长的气泡数应在 0.59 ~ 0.79 倍的含气量百分数之间。在北欧，对引气混凝土的质量要求有的并不是用含气量表示，而是规定浆体内不同气泡的体积与气泡系的比表面积，例如丹麦具有 100 年设计寿命的 Great Belt Link 跨海桥隧工程规定：（1）浆体内的粗气泡（指混凝土浇筑振捣过程中裹入的气泡）含量不超过 7%；（2）引气发生的气泡（定义为弦长小于 0.35 mm 的气泡）应在浆体的 8% ~ 20% 之间；（3）气泡系的比表面积应大于 25 mm^{-1} 。国外的多数标准一般规定含气量，并附加提出气泡间距系数的要求。混凝土中掺入引气剂后，在混凝土内形成大量封闭的、直径在 μm 数量级的均布微细球形气泡，可切断连通的毛细孔，能缓冲混凝土中的水冻结或化学腐蚀而产生的膨胀压力。气泡间距系数是混凝土引气后形成的各个气泡边缘之间的距离平均值，反映气泡的数量。美国标准规定，抗冻混凝土的气泡间距系数不得小于 $200 \mu\text{m}$ ，德国则为 $250 \mu\text{m}$ 。

现场混凝土的含气量受混凝土输送、振捣和施工环境条件等影响，国内外的经验都表明：为了保证引气质量，必须要从现场混凝土取样测试而不能单纯依靠实验室内制作的试件。要同时有新拌混凝土的含气量测试和硬化混凝土的含气量、比表面积和气泡间距系数等的测定。国外对新拌混凝土采取每车预拌混凝土到现场后就取一个试样，然后等混凝土浇筑就位刮平后再立即从表层混凝土中取样（每 10 车混凝土一个）；硬化混凝土从顶面取芯样，如果连续测试满足要求，可以免除继续对硬化混凝土的测试。

7.4.3 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合比混凝土之间的相对比较。

7.5.2 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。

7.5.5 表 7.5.5 系按国家标准《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB 50204—92) 中表 4.3.2 中的规定，并结合实际，简化了表内数据，以搅拌机出料量取代了搅拌机容积。

7.6.6 国产混凝土搅拌运输车的搅拌正常速度为 $6 \sim 12 \text{ r/min}$ ，搅动转速为 $2 \sim 4 \text{ r/min}$ 。

7.6.7 泵送混凝土尽管坍落度很大，但浇筑和振捣方式同样对混凝土质量有很大影响。目前我国施工现场由于管理水平和工人技术水平的限制，往往不重视泵送混凝土浇筑和振捣要求，比较常见的是施工操作人员从混凝土下料口周围拖着振捣棒驱动混凝

土拌和料移向远处而不是及时移动下料口，这样会严重影响混凝土的匀质性，并造成不同部位混凝土在收缩等性能上的巨大差异。

7.7.1 用细石混凝土制作混凝土保护层垫块的质量难以检测，尺寸和放置位置不易控制，因此应尽量采用工程塑料定位夹或纤维特种砂浆制作的定型产品。不同位置的钢筋可使用形状各异的产品，定位准确，施工方便，价格也不贵，这在工业发达国家使用已非常普遍。

7.7.2 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。

7.9.1 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

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。我国冶金建筑部门规定截面最小尺寸在 1 m 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 1 m 改成 0.8 m，而欧洲一些资料则认为截面厚度 300 mm 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。

7.9.6 混凝土养护包括湿度和温度两个方面，养护不仅是浇水，还要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，防止温降和温差过大。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致过大。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。

7.10.2 一般情况下，结构或构件芯部混凝土与表层混凝土之间的温差、表层混凝土与环境之间的温差大于 20℃（构件截面较为复杂时，温差大于 15℃）时，混凝土内就会产生较大的温差应力，且有可能超过混凝土的抗拉强度，导致混凝土开裂。若没有确凿的工艺试验证据，当上述温差不能满足要求时，最好不要拆模。大风或气温急剧变化时不宜拆模。

7.12.4 长期以来，混凝土的质量常以 28 d 强度作为主要衡量指标，并在工程界逐渐形成了单纯追求强度的倾向，以为加大水泥用量和采用早强水泥总能有利于质量，这些都对混凝土结构的

耐久性带来极为不利的影晌。对于现代混凝土来说，提高强度比较容易，而耐久性则急待改善。混凝土的早期强度越高，混凝土早期开裂的可能性就越大，不利于混凝土的耐久性能。掺加矿物掺和料后，混凝土的早期强度增长速度有所放慢，对保证混凝土的耐久性能有利。所以，从评定混凝土强度指标是否合格角度，最好按 56 d 龄期作为混凝土标准强度的验收龄期。但从现有混凝土的评定体系及施工管理方面看，全部按 56 d 龄期要求还不现实，故规定预应力混凝土、喷射混凝土、蒸汽养护混凝土的抗压强度标准条件养护试件的试验龄期为 28 d，其他混凝土抗压强度标准条件养护试件的试验龄期为 56 d。这对混凝土结构的耐久性、施工单位组织施工都是有利的。

8.1.3 预应力混凝土工程施工时，应特别注意加强安全技术防护措施。安全防护措施包括三个方面的内容：作业人员的人身安全、操作设备的安全以及结构物本身的安全。为保证施工作业安全地进行，应制定安全作业操作细则，创造良好的工作环境。实际上，为预应力混凝土工程施工提供良好的工作环境也是保证最终产品优质的前提。施工前，要对所有工作人员进行必要的培训，使之掌握安全操作所需的知识和技能。冷拉或张拉预应力筋时，应由专人负责指挥，严禁任何人站在千斤顶的后方，或踏踩、碰撞预应力筋；量测力筋的伸长值及拧紧螺母时，应停止开动千斤顶或卷扬机；孔道压浆时，作业人员应佩戴防护眼镜，以防灰浆喷出而射伤眼睛。

8.2.1 国家技术监督局于 1995 年分别发布了钢丝和钢绞线的新标准《预应力混凝土用钢丝》(CB/T 5223—1995) 和《预应力混凝土用钢绞线》(GB/T 5224—1995)，故本技术指南中予以采用，这是因为作为预应力钢筋抗拉强度设计值的条件屈服点只有其抗拉强度的 0.75 倍，利用率较低；热处理钢筋仍按《预应力混凝土用热处理钢筋》(GB 4463—84) 执行。

在本技术指南施行期间，如上述国家标准有修改时，应相应

采用新标准执行。

除大桥等重要工程外，在一般桥梁工程中使用的预应力筋可仅对抗拉强度进行试验，如果对某厂的产品经常使用，证明质量有保证，经有关方面同意后，可不一定屡次、每批都进行全部力学性能复验，而由生产厂家提供试验报告，因此条文中对预应力筋力学性能检验办法有一定的灵活性。但对预应力筋的外观质量以及冷拉钢筋、冷拔低碳钢丝和精轧螺纹钢的力学性能，不论用于何种工程，均应按规定在进场时进行严格检验。

根据现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》(GB/T14370)的规定，锚固性能不可靠或承载能力不够的锚具、夹具和连接器不得用于预应力混凝土结构。

8.4.2 条文中要求金属管道宜尽量采用镀锌材料制作，是基于提高管道及力筋的防锈蚀性能来考虑的。

8.6.1 对同一束中各根钢丝下料长度的相对差值的规定，只有当钢丝束两端采用镦头锚具时才应符合这一规定，当一端采用镦头锚具时无此要求。钢丝束两端采用镦头锚具时，同束钢丝长度的相对差值对钢丝的张拉控制应力是否均匀关系很大，因此下料长度需特别严格控制。

8.6.2 如用电弧切断预应力筋，在高温下将使力筋的抗拉强度降低，故规定此条文。

8.6.3 编束时，梳理顺直，可防止钢丝或钢绞线在穿束、张拉时由于互相缠绕紊乱而导致的受力不均匀现象。当受力不均匀时，将使有的钢丝达不到张拉控制应力，而有的则可能被拉断。

8.6.5 预应力钢材镦粗头的方法和机具是根据其硬度和直径大小来决定的。硬度较低、直径较小的冷拔低碳钢丝，可采用人工或电动冷镦器，也可使用小型液压冷镦器；高强钢丝因其硬度较高，一般宜采用最大镦头力为 450 kN 的液压冷镦器。

8.8.1 预应力钢束孔道压浆的目的，主要是防止预应力筋锈蚀，并通过凝结后的水泥浆将预应力传递至混凝土结构中。对防锈蚀

而言，孔道压浆越早越好，而且可防止力筋的松弛，使构件尽快安装。

8.8.2 压浆前将孔道用高压水冲洗，可冲走杂物并将孔道内壁予以湿润，还可防止干燥的孔壁吸收水泥浆中的水分而降低浆液的流动度；对于金属管道亦有必要进行冲洗以清除管道内可能的杂物。中性洗涤剂或皂液必须对预应力筋和管道无腐蚀作用，方可用于清洗管道内可能发生的油污。曲线孔道内低凹处的积水，可用不含油的压缩空气排除。

8.8.4 水泥浆拌制好后，应尽快使用，如延续时间过久，将降低其流动度，增加压注时的压力，且不易密实。条文规定在压注前和压注过程中应经常搅动，是为防止水泥浆沉淀泌水、过快地降低流动度。

8.8.6 因为空气和水的密度较水泥浆小，压浆时由最低的压浆孔压入，可使空气和水聚集在水泥浆上面，逐步由最高点的排气孔排除，如从高点压入，则空气易窜入水泥浆内形成气塞，阻碍水泥浆的流动，并在水泥浆凝结后产生气孔。

先压注下层孔道的好处是下层的预应力筋抗弯力矩较大，先压浆，使其松弛损失少一些，对结构较为有利。

8.10.7 本条3款是参照《预应力混凝土用金属螺旋管》(JG/T 3013—94)的有关条款制定的。为加强对管道的检验，保证工程质量，故规定此条文。

9.2.1 由于浇筑水下混凝土存在深水、浅水或水流速度大小，以及是否渗进泥浆等不同的复杂情况，为确保工程质量，配制强度应较普通配制强度提高10%~20%。

9.2.14 目前无损检测方法广泛用于钻孔桩水下混凝土的质量检测，甚至规定每根钻孔桩均应检查。其方法有超声法、大应变法、小应变法（此法目前仅限于桩深50m以内）等。

9.3.1 用湿喷法喷射混凝土的施工方法能大幅度减少回弹和粉尘，既有利于节约能源，也有利于环境保护，更有利于劳动保

护，这些优越性已在工程实践中得到证明。这种方法在我国现已广泛应用。考虑到国内推广湿喷法的机具和适应湿喷法的液体速凝剂均日趋成熟，本技术指南推荐优先采用湿喷。

优先采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥的理由，是因为这两种水泥与速凝剂的相容性好，能速凝、快硬，后期强度也较高。矿渣硅酸盐水泥凝结硬化较慢，早期强度较低，但该种水泥抗硫酸盐侵蚀性能比普通水泥好。

“特种水泥”系指喷射水泥、超早强水泥、抗硫酸盐水泥或高铝水泥等。喷射水泥是一种速凝、早强水泥。超早强水泥主要指快硬型硫铝酸盐水泥，当用于喷射混凝土时，需掺加专用的早强速凝剂。当存在硫酸盐侵蚀时，应选用抗硫酸盐水泥。当用于耐火结构时，应选用高铝水泥。

9.3.2 优先选用强制式搅拌机，规定一定的搅拌时间是为了保证混凝土的匀质性，特别是在无湿喷条件下采用干喷时，对加入速凝剂的混合料进行均匀的拌和尤为重要，否则，不仅将影响喷射混凝土的速凝效果，而且会导致强度值有较大的离散。

9.3.3 混凝土拌和物在运输、存放过程中，一般都会有一定程度的坍落度损失。为保证湿喷混凝土的顺利进行和喷射混凝土施工质量，故作此规定。当无湿喷条件而采用干喷法喷射混凝土时，更应引起重视。由于砂、石中含有一定水分，掺入速凝剂的拌合料停放时间较长时，水泥会发生预水化，不仅影响混凝土的速凝效果，使回弹增多，而且会导致混凝土强度的明显降低。因此，干喷法施工时，混合料的停放时间更要从严控制，建议不超过 20 min。

9.3.4 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。

9.3.5 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 2 h 后，应立即进行湿润养护。

9.3.6 实践证明，由于其受喷面积较小，喷射成型边长为 100 mm 的立方体试件，往往四角欠密实，难以反映实际情况，而边长为 150 mm 的立方体无底试模，因其受喷面积相对较大，故其成型效果较好。本技术指南建议喷射混凝土采用边长为 150 mm 的无底试模。

10.1.1~10.1.4 参照国家标准《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB 50204—92)，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 3 d……”

10.2.1~10.2.5 规定冬季搅拌混凝土应具有一定的出机温度，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，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合的搅拌工艺制度。

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，否则将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℃。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，也应防止骨料因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现行国家标准《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB 50204—92) 的附录三进行。

10.4.1~10.4.6 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 6 m^{-1} 时，升温速度不得大于 $15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ；表面系数小于 6 m^{-1} 时，不得大于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。若升温速度过快，将引起混凝土强度的较大损失。

恒温期随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，湿度过高易出现局部过热脱水现象。

当采用蒸汽养护法时，按照铁道部现行国家标准《预制后张法预应力混凝土铁路简支梁》(TB 1496)、《先张法预应力混凝土铁路桥简支梁技术条件》(TB/T 2484) 和《铁路桥涵施工规范》(TB 10203) 的规定，养护温度不得超过 60℃。

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。若降温速度过快，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。当表面系数小于 6 m^{-1} 时，其降温速度不得大于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

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，本技术指南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。

10.5.1~10.5.5 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 10~12 mm 的孔洞，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他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。

B.0.1 在表 B.0.1—3 中，相应列出地质环境条件特征，以便于在勘测、设计和施工时查明侵蚀介质来源。现对 5 种侵蚀类型及其相应的地质环境条件特征阐明如下：

一、硫酸盐侵蚀

根据我国地质背景特征，可分为石膏地层和含盐地层两类硫酸盐侵蚀。

1. 石膏地层

根据我国含膏岩系地质条件的差异，还可分为海相和陆相两种石膏地层：

(1) 海相石膏地层

这种石膏层产生于一套不纯的，以白云岩为主的碳酸盐地层

中。石膏层的层位、厚度、矿物成分和化学成分都较稳定。石膏是一种强酸强碱盐。它的溶解度低，标准状态下溶解度为每升 2.09 g，其饱和溶液的 pH 值为 7，硫酸根离子浓度为 1 166 mg/L。这类石膏层中水溶性钾、钠的硫酸盐含量低，约为 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 的 0.05% ~ 0.5%。所以钾、钠硫酸盐溶解补充的硫酸根离子约为 115 ~ 1 055 mg/L 左右。此外，石膏在含有钾、钠盐的水溶液中，其溶解度略有升高，使环境水总硫酸根离子浓度最高可达 2 500 mg/L 左右。一般情况下，硫酸根离子浓度在 1 000 ~ 2 000 mg/L 之间，最为常见。

石膏层在地下深处可能逐渐过渡为硬石膏。深埋隧道及地下工程，需同时防止硬石膏水化膨胀造成混凝土构筑物的破坏。典型工程例子有成昆铁路百家岭隧道和邯长铁路神头隧道。

(2) 陆相石膏地层

陆相石膏层产于红色岩层中。石膏层顶、底面或层间常有薄层的不纯白云岩。含膏层层位、膏层厚度、矿物成分和化学成分在纵向和横向均变化较大。膏层常成豆状、囊状、透镜状分散，处于一套红色碎屑岩（粉砂岩、粉砂质泥岩）中。此类石膏常含有不定数量的钙芒硝或芒硝等水溶性硫酸盐，所以环境水中硫酸根离子浓度常超出 2 000 mg/L，个别情况下达 8 000 mg/L。pH 值也略偏碱性，常在 7 ~ 8 之间，个别情况下略高于 8，可出现强硫酸盐侵蚀。典型工程实例有成昆铁路沙木拉打隧道。

2. 含盐地层

这是一种含多种盐类的陆相红色地层，故可称为复合含盐地层。根据我国地质条件，这类地层的含盐矿物主要为硫酸盐（石膏、硬石膏、钙芒硝、芒硝）、氯化物（岩盐）及碳酸盐（碳酸钠）等。盐类产于多层次的杂色（红色、紫色、灰绿色、黄褐色）碎屑岩层（如泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩）中。杂色碎屑岩在剖面上重复次数愈多，含盐的可能性愈大。由于钾、钠水溶性盐的含量占有重要地位，故环境水明显呈碱性，pH 值常介于

8~9 之间，个别可大于 9。侵蚀性离子如 Na^+ 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 等的总浓度，可分别高达 10 000 mg/L 以上。高矿化度是这类环境水的重要特征之一。由于 pH 值高，硫酸根离子侵蚀作用的起始浓度条件也相应提高（详见本条条文说明第六点）。环境水中钠离子含量高，还有助于碱—骨料反应作用的产生。氯离子含量高，能促进钢筋混凝土中钢筋的电化学锈蚀。在干湿交替环境下，盐类结晶的物理风化作用对混凝土的破坏也经常发生。典型工程例子有成昆铁路南段的黑井隧道、法拉隧道中坝隧道等 20 余座隧道。

二、盐类结晶侵蚀

干旱地区盐渍土及滨海平原局部盐碱土，可根据含盐性质分为两大类，即以含碱土金属硫酸盐为主的盐渍土和以含碱金属碳酸盐为主的盐碱土，其环境水的溶解固体可高达每升数万毫克以上，水质呈明显碱性，pH 值介于 8~12 之间。所谓盐类结晶侵蚀，系指在水位变化范围内或干湿循环区内的混凝土，在潮湿状态下，通过毛细作用吸进各种可溶性盐溶液，在干燥条件下经蒸发、浓缩而析晶。这一过程使毛细管产生很大结晶压力而导致混凝土破坏。这种主要由物理作用引起的侵蚀破坏，其速度远比化学侵蚀破坏快。这种破坏范围集中于干湿交替部位，而处在水下或潮湿土壤中的混凝土则完整无损（至少外观如此）。这种干旱或半干旱地区的盐渍土、盐碱土常呈大面积分布。前述的石膏地层、含盐地层与此类环境不同，只局限于一定地层带内，随地层的递变而迅速消失。反映在环境水化学成分变化上，也是跳跃式的，一种水质类型瞬即转变为另一种类型。而盐渍土、盐碱土环境则是面状分布，在一定区域内，其矿物组分和环境水化学成分都是较稳定的。

三、酸性侵蚀

酸性侵蚀与富含硫化矿物的黑色岩层有密切关系。

黑色岩层的黑色素一般由有机质或分散状微粒黄铁矿等硫化

矿物构成。以有机质染色为主的岩层，如炭质页岩、沥青质岩层（页岩、灰岩），外观呈黑色，略带油脂光泽；以分散状微粒黄铁矿污染为主的岩层（如各种碎屑岩、碳酸盐岩），外观呈暗灰色或暗黑色，无光泽。由两种黑色素共同染色的黑色岩层，也广泛存在。煤系地层中，黑色岩层最为发育。非煤系地层的黑色岩层，在不同地质时代、不同地区都曾出现，其分布更为广泛，故可用黑色岩层一词概括。它们的特点是富含以黄铁矿、白铁矿为主的硫化矿物。当岩层为富含游离氧的地表水或地下水淋滤时，因硫化物的氧化作用和水解作用而形成具有强烈侵蚀性的硫酸型酸性环境水。在有色金属的硫化物矿床、矿田、矿脉中，硫化矿物更为丰富，种类更为繁多，不但地域分布广泛，而且它们常具有良好的结晶习性和金属光泽，容易为人们察觉，不像黑色岩层中的硫化矿物那样常被忽视。

这类地质条件下的环境水，水质 pH 值介于 1.5~6.5 之间，以 2~6 范围最为常见；硫酸根离子在每升数百毫克至每升数千毫克之间。pH 值与硫酸根离子浓度低，而侵蚀性强是这类环境水的重要特征之一。这类环境水化学特征受围岩的地质构造、岩性、岩石孔隙率及水补给条件影响很大。最显著特点是：当围岩条件不变时，侵蚀性离子（ H^+ ， SO_4^{2-} ）浓度将随时间发展逐渐下降。这一趋势在富含碳酸盐岩夹层或透镜体的黑色岩层最为明显。若围岩再次受到扰动，如地震、地表或地下工程开挖等时，侵蚀性离子会再次升高，称为二次峰值现象。典型工程例子有：枝柳铁路的罗依溪隧道、红砂溪隧道、湘黔铁路的大江口二号隧道、滇黔铁路羊肠支线的乐所隧道等。

四、二氧化碳侵蚀

这类侵蚀本质上是碳酸型侵蚀。

这种侵蚀类型是在腐殖土（淤泥、土壤）及低矿化度的河水或地下水环境中形成的。腐殖土是一种富含有机物的淤泥、土壤或泥炭的堆积物。有机物的分解，导致水中富含游离二氧化碳和

各种腐殖酸。腐殖酸对混凝土的侵蚀作用，目前还未查明，但碳酸型酸性水的侵蚀作用是众所周知的。这类环境水的 pH 值介于 5~6 之间，呈弱酸性，侵蚀性离子浓度低，矿化度一般都在 500 mg/L 以下。理论上，大气中 CO_2 分压约为 $10^{-3.5}$ atm，这时 CO_2 达饱和的环境水，其 pH 值约为 5.7 左右。在淤泥或土壤中，若有机物得到充分分解，则局部封闭性孔隙中 CO_2 分压大于 $10^{-3.5}$ atm。南京土壤研究所对云南腐殖土中 CO_2 含量的测定表明，当土壤孔隙 CO_2 分压局部接近 1 atm 时，局部孔隙溶液的 pH 值将下降至 4 左右。所以我们把这类环境水的 pH 值定为 5~6.5 是符合一般情况的。在长江、珠江三角洲及大湖湖滨区的软土，南方雨量充沛地区的河流及植被发育的多雨山区，都会有这类环境水出现。当环境水中重碳酸根 (HCO_3^-) 含量小于 1.5 mmol/L (或毫克当量) 时，即认为该环境水对混凝土具有溶出性侵蚀。典型工程例子有：某大坝坝前基础廊道，福州市闽江第一码头混凝土柱基，京九铁路岐岭隧道。

五、镁盐侵蚀

环境水中镁盐侵蚀常与硫酸侵蚀并存。当环境水中 Mg^{2+} 离子浓度大于 1000 mg/L 时，即认为该环境水具有镁盐侵蚀。这是干旱地区盐渍土、盐湖、盐田及海水在特殊情况下镁盐（主要为硫酸镁和氯化镁）局部集中时的环境。镁离子浓度常在 950~8000 mg/L 之间。若没有特殊的浓缩条件，盐湖、盐田和海水的镁离子浓度一般是达不到每升数千毫克的。在非干旱地区，当硫酸型酸性环境水流经白云岩地层时，岩层被溶解和侵蚀，环境水中镁离子含量也可达到 900~1000 mg/L (如罗依溪隧道)。若构筑物存在干湿交替条件，则在旱季或局部干燥气候条件下镁离子浓度会上升，再加上环境水中同时存在其他硫酸盐组分，有可能同时产生盐类结晶侵蚀。目前我国还未见典型镁盐侵蚀的工程例子报道。

六、表 B.0.1—3 中硫酸盐侵蚀和酸性侵蚀均以硫酸根离子

(SO_4^{2-}) 浓度为判定依据, 但数值各不相同, 这是以工程实例和地质环境条件的化学热力学分析为根据的。

众所周知, SO_4^{2-} 离子对混凝土的破坏作用是巨大的。但对其破坏作用的认识, 不能仅局限于它与钙离子结合生成石膏, 与水化铝酸钙结合生成钙矾石上。因为 SO_4^{2-} 离子对硬化水泥浆的主要矿物 (水化硅酸钙、水化铝酸钙) 的侵蚀, 以及钙矾石的生成, 是受水溶液的 pH 值及钙离子浓度制约的。

硫酸根离子侵蚀作用与 pH 值及钙离子浓度的关系, 可依下列水泥浆体矿物稳定的热力学浓度方程或侵蚀试验研究得知:

1. 当仅考虑 pH 值对水化硅酸钙的侵蚀时, SO_4^{2-} 离子侵蚀作用起始浓度, 可按下述方程计算:

$$\lg[\text{SO}_4^{2-}] = 2\text{pH} + A$$

2. 同时考虑 pH 值与钙离子浓度的影响时, 硫酸根离子侵蚀作用起始浓度为:

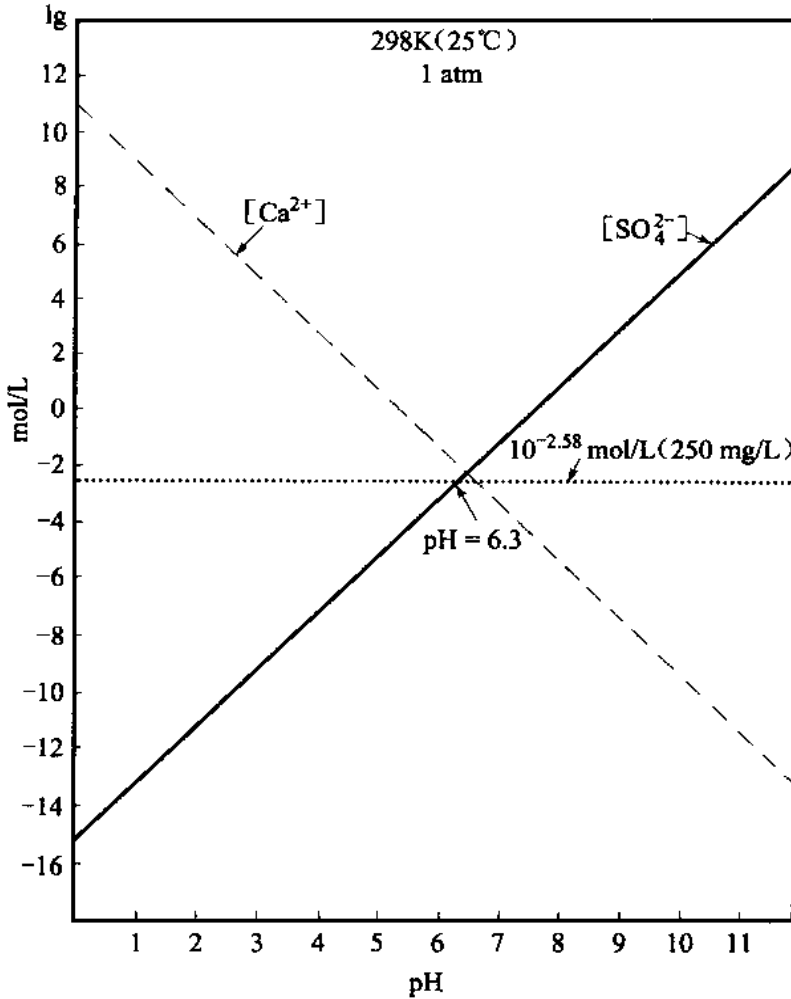
$$\lg[\text{SO}_4^{2-}] = 4\text{pH} + \lg[\text{Ca}^{2+}] + B$$

上两式中的 A、B 为常数, 可按化学侵蚀反应计量方程中的反应物和产物的热力学数据计得。说明图 B.0.1 绘出了标准状态下 [298 K (25℃), 1 atm] 混凝土中水化硅酸钙受侵蚀时, SO_4^{2-} 离子起始浓度、 Ca^{2+} 离子浓度与 pH 的关系。

由说明图 B.0.1 可知, 当 $\text{pH} < 6.3$ 时, 混凝土中水化硅酸钙受侵蚀所要求的硫酸根离子浓度可小于 250 mg/L。随 pH 值上升, 硫酸根离子的侵蚀起始浓度也提高。上述侵蚀类型, 由于环境水的 pH 不同, 侵蚀程度的判定指标也就不同。

七、在含盐地层和盐渍土环境条件下, 氯离子的含量都很高。如库若公路 K418 + 790 和 K420 + 215 处的公路涵洞, SO_4^{2-} 离子浓度分别为 8400 mg/L 和 3408 mg/L, 相应的氯离子浓度分别为 34928 mg/L 和 7376 mg/L。有人认为, 该处因氯离子浓度高, 因而没有硫酸根离子侵蚀现象。这种例子, 在西北地区和西南地区都十分常见。但应指出这种环境水的 pH 值都在 8 以上。

在碱性的条件下，硫酸根离子侵蚀的起始浓度将随 pH 值上升而升高。因此碱性、高矿化度的环境水中，氯离子对 SO_4^{2-} 离子的侵蚀是否有抑制作用，目前仍然是一个有待查证的问题。



说明图 B.0.1 混凝土受侵蚀时 $[\text{SO}_4^{2-}]$ 、 $[\text{Ca}^{2+}]$

八、有关混凝土的抗侵蚀的工程措施

1. 设防水层

包括预注浆、衬砌前围岩注浆、回填注浆、衬砌内注浆、衬砌后围岩注浆等防水层。基础工程也可用夯实黏土层加以隔水、防水。

2. 降低环境水的侵蚀性

采用石灰层降低环境水的酸度，或利用非侵蚀性环境水与侵

蚀性环境水合流，以稀释侵蚀性离子浓度等。

3. 排 水

包括引流排水、深沟排水、暗管排水等。

4. 换 填 土

对高矿化度环境水可通过更换大孔隙土，以破坏毛细管作用。

5. 设防护层

在混凝土表面使用各种防护涂料。

6. 增加工程结构断面和增加钢筋保护层厚度。

以上各类工程措施，在铁路工务部门都曾不同程度有效使用过，但今后还有待总结经验和加强研究。使用上述一种或多种措施时，均应针对工程结构的类型、特点及工程场址的地质环境条件，进行勘测设计，不可盲目套用，以免工程费用增加而又达不到预期目的。