

中国混凝土与水泥制品协会

CCPA – S001

结构混凝土性能技术规范

Specification for Performance Requirements of Structural Concrete

中国混凝土与水泥制品协会

发布

中国混凝土与水泥制品协会

结构混凝土性能技术规范

Specification for Performance Requirements of Structural Concrete

主编单位：清华大学

参编单位：哈尔滨工业大学

中国建筑材料科学研究总院

中国铁道科学研究院

山东高速集团有限公司

青岛市胶州建设集团有限公司

批准单位：中国混凝土与水泥制品协会

发布日期：2012 年 03 月 01 日

中国建材工业出版社

2012 北 京

序

《结构混凝土性能技术规范》这部行业协会标准的正式出版，代表着中国混凝土与水泥制品协会标准化工作的一个里程碑，其意义不仅在于积极主动地参与行业标准化工作，发挥先进技术标准对行业技术进步和科技创新工作的促进和支撑作用，在市场化条件下，还是争取行业标准化工作话语权，引领和促进标准创新工作的竞争性行为，是行业协会工作的重要内容。

在政府管理的现行标准化工作体系内，有国家标准、行业标准、地方标准、企业标准。从工作层级上来看，国家标准的工作层级最高，但从标准的水平来看，先进企业的标准水平应该最高，这是由市场竞争机制所决定的。国家标准是最低市场准入标准，这是因为国家和行业标委会组织制定的标准是业内不同技术水平和不同利益主体相互之间妥协的产物。先进企业的标准水平最高，往往是因为其代表着行业先进技术水平，也代表着企业核心竞争力。中国地域广大，各地区资源环境条件和经济发展水平大不相同，相对于国标和行标，市场对于产品和服务的要求具有不同的特殊的和更高的要求。国际贸易或国际化工程建设和国内的重点工程中采用的标准都需要业主认可，不仅要满足国家标准的最低要求，而且要满足业主的更高要求，工程采用或制定的技术标准一般都高于国家标准或行业标准。

标准化工作是推进产业技术进步、实现结构调整和转型升级的重要抓手，是推动技术创新、实现科技成果转化成为生产力、提升我国产业核心竞争力的最有效的工作。但是，目前我国现行的标准化工作管理体制还存在一些弊端，一些标准化工作并没有代表行业先进生产力的发展诉求，甚至存在利用负责和参与标准制修订这一公权力谋取私利的现象。国家标准化工作主管部门最近提出了以企业

为主体开展标准化工作的思路，鼓励发展产业技术创新联盟标准，鼓励先进企业发展“领跑者”标准。这符合国家科技创新战略。技术标准创新应该是以企业为主体、市场为导向、产学研相结合的技术创新体系中的重要组成部分。实现科技创新引领发展不能没有标准创新的支撑。因此，发展创新联盟标准或“领跑者”标准，以先进技术标准引领行业创新发展，促进行业技术进步是对我国现行标准化工作体制的一种完善和改进。

中国混凝土与水泥制品协会正是在这样的认识基础上开展行业技术标准化工作，为生产企业、用户和工程业主提供反映国内外技术创新发展和工程技术实践的先进水平的标准。同时，也为国内相关技术标准的制修订提供一个更高的标杆，促进和引领行业创新发展。应该说，这是行业协会制定技术标准的责任和使命所在。

本标准的制订由陈肇元院士等一批行业资深专家领衔，在企业 and 科研单位的积极参与下历经3年多时间完成，并与相关国家标准的实施衔接，为我国水泥混凝土行业技术人员和相关业主设计和建造高耐久性混凝土结构提供了一份具有重要指导意义的技术文件，也为我国水泥混凝土材料和工程技术的创新发展设立了一个新的起点。标准的发布之日就是标准再创新发展的开始。我希望本标准的编制人员和参与单位，再接再厉，不断提高标准水平，始终保持和发挥本标准的引领与促进作用。

徐永模

中国混凝土与水泥制品协会会长
全国水泥制品标准化技术委员会主任委员
全国石材标准化技术委员会主任委员
全国混凝土标准化技术委员会副主任委员

前 言

本规范为配合《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的实施而制定。本规范本着“先进而可操作；可操作而不迁就落后”的原则，针对当前混凝土工程中存在的主要问题和现状，总结近年来国内外混凝土材料与工程技术发展的成功经验，按“混凝土工程”的理念，提出混凝土性能要求、原材料选择、配合比设计的原则、生产质量管理和施工实施的规定。

本规范中对于涉及混凝土结构耐久性的重要内容，一般列出题目，指明其在《混凝土结构耐久性设计规范》以及其他所引用的规范中已有说明的相关条文，不再赘述。

本规范只在涉及混凝土质量的基本问题上作原则性的规定，各地区可在本规范的原则指导下，结合各地区原材料资源、环境条件，制订更符合地方实际的详细规定或实施细则，并对具体问题进行具体分析和区别对待。

本规范由中国混凝土与水泥制品协会（CCPA）负责管理，由清华大学负责起草，中国混凝土与水泥制品协会科技工作委员会组织有关专家讨论、审定，由中国混凝土与水泥制品协会发布。本规范具体内容由中国混凝土与水泥制品协会科技工作委员会负责解释。

本规范主编单位：清华大学

本规范参编单位：哈尔滨工业大学

中国建筑材料科学研究总院

中国铁道科学研究院

山东高速集团有限公司

青岛市胶州建设集团有限公司

本规范主要起草人：陈肇元 廉慧珍 刘亚平

王 军	王 玲	李玉琳	张永秋
张国志	周新刚	郭保林	郭道胜
黄土元	阎培渝	葛 勇	韩小华
谢永江	路来军	路新瀛	颜碧兰
朱稚石	史才军	陈国义	黄政宇
何 真	李克非	李彦昌	

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	3
2.1	术语	3
2.2	符号	6
3	混凝土结构的使用环境条件与耐久性要求	7
3.1	使用环境条件	7
3.2	混凝土的最低强度等级与最大水胶比	7
3.3	不同环境中混凝土的性能要求	8
3.4	混凝土中 SO_3 、氯离子和碱含量的限制	11
4	“混凝土性能技术要求”文件的编制	12
4.1	一般规定	12
4.2	“混凝土性能技术要求”的主要内容	12
5	混凝土及其组成材料的质量要求	14
5.1	一般规定	14
5.2	水泥	14
5.3	矿物掺和料	15
5.4	对胶凝材料组成的限定范围	16
5.5	外加剂	16
5.6	对混凝土骨料的质量要求	17
5.7	拌和水和养护用水	18
6	混凝土配合比设计的原则	19
7	新拌混凝土	20
7.1	工作性及允许其波动的范围	20
7.2	含气量	20
7.3	混凝土温度	20

7.4 泌水	21
8 硬化混凝土	22
8.1 混凝土强度	22
8.2 混凝土强度的检测	22
8.3 混凝土耐久性指标及其检测	22
9 新拌混凝土的交货和验收	23
9.1 新拌混凝土的交货	23
9.2 新拌混凝土的验收	24
9.3 混凝土质量的验收	26
9.4 混凝土的合格性控制	26
10 混凝土的浇筑、振捣、拆模及养护	28
11 技术档案的建立和管理	29
附录 A (资料性附录) 盐结晶条件的混凝土抗蚀系数	30
附录 B (规范性附录) 结构混凝土内部温度跟踪养护试件 强度检测方法	32
本规范用词说明	34
引用标准名录	35
结构混凝土性能技术规范条文说明	37

1 总 则

1.1 制定本规范旨在为混凝土结构设计人员对混凝土结构进行耐久性设计和工程业主招标时编制“混凝土性能技术要求”文件提供依据，指导结构混凝土配合比的选择，规范混凝土的生产与使用，保证混凝土的性能满足工程使用要求，并在混凝土的生产和应用中贯彻资源节约和可持续发展的方针政策。

1.2 本规范适用于工业与民用建筑物、构筑物、桥梁、隧道等土木工程中现浇混凝土和预制构件混凝土，包括现场搅拌和预拌混凝土，但不包括其中的轻骨料混凝土、喷射混凝土、碾压混凝土、压蒸混凝土、纤维混凝土、水工混凝土以及用特殊骨料（特殊材质或粒径等）、特殊工艺制作或具有特殊用途的混凝土。

1.3 工程业主（建设方）应根据工程的功能需要、使用环境类别和环境作用等级、结构使用年限要求等，提出对混凝土结构基本性能要求，委托设计单位在设计中规定相应的混凝土材料技术性能要求，并编制“混凝土性能技术要求”文件。

1.4 施工单位应根据现场施工条件、季节、环境、工法等，按照设计单位规定的“混凝土性能技术要求”文件制定实施细则。

1.5 混凝土应在满足结构的承载能力和在服役环境中耐久性要求的前提下，满足施工条件下的工作性要求以及用户提出的其他合理要求。

1.6 混凝土生产单位应根据工程业主或工程设计方提出的“混凝土性能技术要求”书面文件和本规范的规定，提供符合合同约定的混凝土。

1.7 本规范为“混凝土性能技术要求”的编制者规定该文件的具体内容与编制方法，并规定结构混凝土技术性能的最低要求。“混凝土性能技术要求”的编制者可以从工程的具体条件和实际需

求出发，对混凝土的技术性能提出更高和更为详尽的要求。施工单位和混凝土生产者可以根据其生产与技术水平提出保证和改善混凝土技术性能的建议，与用户协商确定有关性能的技术要求。

1.8 本规范也为生产、检验、交付符合“混凝土性能技术要求”的混凝土规定相应的要求。

1.9 本规范对混凝土技术性能要求应与其他相关的国家和行业现行技术标准或规范中的有关规定一起，作为混凝土使用方和供应方协商制定技术条款的内容，并体现于合同的“规范清单”中。对于“规范清单”所列规范尚未包括而由合同双方协商的其他技术要求，应列入合同条款。

1.10 当工程合同选用本规范时，如有可靠的依据且通过专门的论证，并经工程建设主管部门批准，可局部更改或修正本规范中的规定，但应体现于合同中。

1.11 各地方可结合当地的环境、原材料特点和生产施工经验，在本规范框架与规定的原则基础上，编制更适合当地条件的地方性标准。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 混凝土的性能 (performance of concrete)

混凝土的性能指混凝土在具体工程中所表现的不同行为和效果 (例如混凝土的和易性、匀质性、开裂敏感性、耐久性等), 因使用条件和环境而有不同表现, 一般难以量化, 但可以根据工程性质和所处环境特点, 用有关参数的试验指标来评价。

2.1.2 混凝土的性质 (properties of concrete)

混凝土的性质指材料固有的本征特性, 可以在规定条件下, 用标准方法量化并检测, 用作混凝土材料设计时的对比、优选与合格性评定的参数与指标, 并以有关参数的试验指标 (test index) 作为耐久性设计对混凝土的技术要求。

2.1.3 “混凝土性能技术要求” (specification for concrete performance)

由工程业主 (建设方) 委托设计单位提交工程承包者 (含混凝土生产商) 有关混凝土技术性能或混凝土组成材料的技术文件, 作为招标和订货生产的依据。

2.1.4 预拌混凝土 (ready-mixed concrete)

在工厂集中生产, 通过运输供应到施工现场使用的新拌混凝土。

2.1.5 目标性能混凝土 (designed concrete, or performance-based concrete)

混凝土生产商按照工程业主 (建设方) 委托设计单位所提出的“混凝土性能技术要求”, 根据结构性能和功能以及施工工艺要求提出的混凝土性能指标为目标性能, 混凝土生产者依据本规范和双方约定的其他有关现行标准确定混凝土配合比和组成材料, 由此生产

出的符合目标性能要求的混凝土。

2.1.6 规定组成混凝土 (prescribed concrete)

混凝土用户 (工程的业主或其授权的承包商或施工方) 依据本规范和供需双方约定的其他现行标准, 规定混凝土主要组成材料, 混凝土生产者据此提供的符合规定组成要求的混凝土。

2.1.7 矿物掺和料 (mineral admixture, or supplementary cementitious materials)

以铝、硅、钙等的氧化物为主要成分, 并达到一定的细度, 掺入混凝土中能改善混凝土性能的矿物质粉状材料。

2.1.8 粉煤灰 (fly ash, 缩写 FA)

用煤粉炉发电的火电站由收尘装置得到的烟道灰, 不包括沸腾炉或循环流化床排出的烟道灰和炉底灰。

2.1.9 粒化高炉矿渣粉 (ground granulated blast furnace slag, 缩写 GGBS)

高炉炼铁排出的炉渣经水淬、粒化并磨细而制成的细粉状物, 简称矿渣粉, 不包括其他炉渣、冶金渣或其他矿物粉料。

2.1.10 胶凝材料 (cementitious material, or binder)

混凝土中的水泥与矿物掺和料的总称。

2.1.11 外加剂 (admixture)

在混凝土搅拌之前或拌制过程中加入的、用以改善新拌混凝土和 (或) 硬化混凝土性能的材料。

2.1.12 水胶比 (water to binder ratio, w/b)

混凝土拌和物中骨料饱和面干含水量以外的用水量与胶凝材料用量的质量比。

2.1.13 浆骨比 (volume ratio of paste to aggregate)

混凝土拌和物中浆体体积和骨料体积的比值。

2.1.14 骨料表观密度 (apparent density of aggregate)

在常压条件下, 骨料内外连通的孔隙充水饱和而表面无吸附水的状态下, 骨料颗粒单位体积的质量。

2.1.15 环境作用 (environmental attack)

能引起结构材料性能劣化的环境因素，如温度、湿度及其变化和环境中各种有害物质等对混凝土结构的作用。将不同作用的环境划分成类，以便于混凝土结构耐久性设计之用，称作环境类别；每种类别环境按作用程度的轻重分成等级，称为作用等级。

2.1.16 氯离子的侵入性 (penetrability of chloride)

氯离子进入混凝土中的能力。

2.1.17 氯离子在混凝土中的扩散系数 (chloride diffusion coefficient in concrete)

表示氯离子在混凝土中扩散性大小的参数，反映氯离子在混凝土中的扩散速率。

2.1.18 混凝土温度跟踪养护 (temperature match conditioning, 缩写 TMC)

在混凝土构件内部埋置温度传感器，按所检测的混凝土内部温度，调节混凝土试件养护温度的养护制度。在此养护制度下指定龄期检测的试件强度，可代表该龄期混凝土构件相应部位混凝土的实际强度。

2.1.19 试配 (trial mix)

生产前按“混凝土性能技术要求”进行混凝土原材料选择与配合比优化的拌和试验。

2.1.20 一致性试验 (identity test)

当由多个单位供货或同一单位生产而批次不同时，用于确认所选择的某几个搅拌批量或装载量是否来自合格总体的试验。

2.1.21 合格性评定 (compliance assessment)

为确认混凝土是否满足设计及有关规范规定要求而进行的评定。

2.1.22 合格性试验 (compliance test)

为评价混凝土合格性而进行的验证性试验。

2.2 符 号

2.2.1 III-C……

表示环境类别和环境作用等级 (category of environment and exposure class)。罗马字符代表不同的环境类别; 大写英文字母定性地表示环境作用的严重程度, 严重性从 A 到 F 依次递增。

2.2.2 D_{RCM}

采用在外加电场作用下氯离子在混凝土中快速迁移 (rapid chloride migration) 的标准试验方法测得的氯离子扩散系数。

2.2.3 D_{NEL}

通过检测饱盐水混凝土试件电阻 (电导率), 并以此计算得到的氯离子在混凝土中的扩散系数。

2.2.4 C

按照 ASTM C1202 测得的混凝土试件在外加电场作用下通过试件的电量 (库仑)。

2.2.5 DF

抗冻耐久性指数。以试件经冻融循环 300 次后动弹性模量与初始弹性模量的比值表示; 当冻融循环次数不到 300 次而混凝土试件的动弹性模量已降到初始值的 60% 或质量损失已达到 5% 时, 则应以该循环次数 N 计算 DF 值, 并取: $DF = 0.6 \times N/300$ 。

2.2.6 w/b

水胶比。混凝土拌和物中骨料饱和面干含水量以外的用水量与胶凝材料用量的质量比。

3 混凝土结构的使用环境条件与耐久性要求

3.1 使用环境条件

3.1.1 混凝土结构的使用环境类别与作用等级应按《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T 50476) 中的规定划分。

3.1.2 环境类别分为:

(1) 没有冻融和化学腐蚀作用, 只有大气作用(二氧化碳、氧气、水及干湿循环等) 而引起的钢筋锈蚀的环境(I类);

(2) 冻融循环作用的环境(II类);

(3) 海水氯化物环境(III类);

(4) 除冰盐等其他氯化物环境(IV类);

(5) 硫酸盐及其他化学腐蚀环境(V类)。

与不同环境类别相应的环境条件见《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T 50476) 中的第3章。

3.1.3 不同环境作用等级划分如下:

(1) 轻微(A);

(2) 轻度(B);

(3) 中等(C);

(4) 严重(D);

(5) 很严重(E);

(6) 非常严重(F)。

不同环境作用等级条件的描述见《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T 50476) 中的第4、5、6、7各章。

3.2 混凝土的最低强度等级与最大水胶比

3.2.1 用于混凝土结构, 满足耐久性要求的混凝土最低强度等级

与最大水胶比见《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T 50476) 中的第 4、5、6、7 各章。

3.2.2 每立方米混凝土的胶凝材料用量控制见《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T 50476) 中的附录 B。

3.3 不同环境中混凝土的性能要求

与环境有关的混凝土性能可以用与结构耐久性有关的性质作为参数,在“混凝土性能技术要求”中对该参数的试验指标提出要求。

3.3.1 在没有冻融和化学腐蚀的一般环境中,当混凝土结构处于中等相对湿度(相对湿度 50% 左右)的条件下时,混凝土自然碳化 28d 的碳化深度宜小于等于 3mm;当混凝土长期持续处于水下、地下或相对湿度 80% 以上的环境时,可不作碳化检测,但应控制混凝土中的氯离子含量;当在水分供应充分的条件下使用具有碱活性的骨料时,应按《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T 50476) 严格控制混凝土中的碱含量。

3.3.2 在冻融循环作用环境中,对于重要工程和大型工程,混凝土的抗冻耐久性指数 DF 应不低于表 1 的规定。引气混凝土含气量与气泡间隔系数应符合《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T 50476) 中附录 C 的要求。

表 1 混凝土抗冻耐久性指数 DF (%)

设计使用年限	环境条件	严寒地区	寒冷地区	微冻地区
≥ 100 年	中度饱水	70	60	60
	高度饱水	80	70	60
	盐或化学腐蚀下冻融	85	80	70
50 ~ 100 年	中度饱水	60	50	45
	高度饱水	70	60	50
	盐或化学腐蚀下冻融	80	70	60

续表

设计使用年限	环境条件	严寒地区	寒冷地区	微冻地区
30 ~ 50 年	中度饱水	50	45	40
	高度饱水	65	60	50
	盐或化学腐蚀下冻融	75	65	55

注：对于厚度小于 150mm 的薄壁构件混凝土，表中的 DF 值宜增加 5%。

3.3.3 在氯化物环境中，除限制混凝土中氯离子的最大含量外，混凝土应按抗氯离子侵入性进行优化。对于 D 级以上的氯化物环境中的重要混凝土工程（设计使用年限超过 100 年），作为混凝土耐久性的控制标准，宜在设计中对不同构件（不同环境、部位、保护层厚度）提出指定龄期混凝土抵抗氯离子侵入的控制指标，用 RCM 法检测时，氯离子扩散系数 D_{RCM} 值可控制在 $\leq 5 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ ；当用电量法检测时，可控制电通量 $\leq 1000\text{C}$ （库仑）。用于混凝土材料的优选比较时，也可用 NEL 法检测，氯离子扩散系数 D_{NEL} 值可控制在 $\leq 3 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 。所说的指定龄期为混凝土的初始暴露时间。对钢管混凝土或沉箱、护套等有隔离性防护的混凝土，其氯离子扩散系数值可放宽或延长测试龄期。

3.3.4 在化学腐蚀环境中

3.3.4.1 应控制混凝土的抗硫酸盐腐蚀指标，对处于海水水位升降部位的桥墩、（斜拉桥的）立柱、下部埋置于含盐土壤中的电线杆、墙体等构件，还应检测其抗结晶腐蚀性能。可按《普通混凝土长期性能与耐久性能试验方法标准》（GB/T 50082）中抗硫酸盐试验方法检测，要求试件经干湿循环一定次数后，抗压强度不低于在淡水中同样干湿循环次数的对比试样的 85%，或用本规范附录 A 的方法检测。

3.3.4.2 除有化工厂污染的环境外，土中和水中其他化学腐蚀性物质主要有镁盐、侵蚀性 CO_2 。当有镁盐存在时，需做提高硫酸盐腐蚀作用等级的考虑。

3.3.4.3 在存在侵蚀性 CO_2 而地下水又具有流动性时, 宜采取全包的防 (或隔) 水措施。

3.3.5 在有盐结晶腐蚀和其他产生膨胀性腐蚀作用的环境, 宜掺入引气剂。

3.3.6 有关耐久性参数的检测方法和指标可从表 2 中选择, 应在混凝土结构设计文件的“混凝土性能技术要求”中予以规定, 供混凝土试配时优选原材料与配比使用, 并作为耐久性验收的依据。

表 2 推荐的混凝土材料有关耐久性的参数及其指标测定方法

耐久性能参数	试验方法	测试内容	参照规范/标准
抗冻耐久性 指数 DF	快速冻融试验	混凝土试件动弹性模量损失与质量损失	《普通混凝土长期性能与耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082)
氯离子扩散 系数 D_{RCM}	外加电场下氯离子快速迁移 RCM 试验	非稳态氯离子扩散系数	《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》JTG/T B07-01 或 NT Build 492 ¹
氯离子扩散 系数 D_{NEL}	电导率法	氯离子扩散系数	《混凝土结构耐久性设计与施工指南》CCES 01
混凝土渗透性 (电通量)	外加电场下电通量	电通量	ASTM C 1202 ²
混凝土含气量 及气泡间隔系数	含气量测定仪法	混凝土拌和物含气量	《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》(GB/T 50080)
	显微镜法	硬化混凝土气泡间隔系数	《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》(GB/T 50080)
水泥或胶凝材料 开裂敏感性	环约束收缩法	水泥或胶凝材料环形试件在标准干燥条件下开裂时间	《混凝土结构耐久性设计与施工指南》CCES01 或 ASTM C1581 ³

续表

耐久性能参数	试验方法		测试内容	参照规范/标准
混凝土抗硫酸盐腐蚀性指数	Na ₂ SO ₄ 溶液浸泡法	浸泡后膨胀率法	浸泡试件自由膨胀率	ASTM C 1012 ⁴
		强度差法	盐水干湿循环试件和淡水干湿循环试件抗压强度差	《普通混凝土长期性能与耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082)
	干湿循环盐结晶腐蚀法		半浸入盐溶液中的试件干湿循环后抗折强度损伤	附录 A

注：1. NT Build 492: Concrete, Mortar and Cement-Based Repair Materials; Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiments 混凝土、砂浆和水泥及修补材料：非稳态试验检测氯离子迁移系数。

2. ASTM C 1202: Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration; 混凝土抗氯离子侵入能力的电学指征标准试验方法。

3. ASTM C1581: Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained shrinkage; 检测砂浆和混凝土在约束条件下收缩导致开裂的龄期和产生的拉应力标准试验方法。

4. ASTM C 1012: Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution. 暴露在硫酸盐溶液的水硬性胶凝材料砂浆长度变化的标准试验方法。

3.4 混凝土中 SO₃、氯离子和碱含量的限制

混凝土中由胶凝材料、骨料或外加剂带入的 SO₃、氯离子与碱的最大含量（分别用每立方米混凝土中 SO₃、氯离子、以 Na₂O 当量计与胶凝材料的质量比表示）应满足《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T 50476) 中附录 B2 的规定。

4 “混凝土性能技术要求”文件的编制

4.1 一般规定

4.1.1 混凝土工程施工 60d 前，混凝土的使用者应向混凝土生产者（供应商）提交所需混凝土性能技术要求的书面文件。交与混凝土生产者的“混凝土性能技术要求”，一般应由工程业主（或能代表业主的代建承包商）指定的设计方负责，会同混凝土的使用人（工程施工方）共同编制，并邀请混凝土生产商共同讨论，以保证生产者提供的混凝土满足工程设计与施工的要求，并应符合本规范的规定。

4.1.2 “混凝土性能技术要求”应包含与混凝土性能有关的所有要求，除与强度、耐久性有关的性质的试验指标要求外，还应包括与混凝土施工各个环节以及与混凝土外观质量所需性能有关的要求。

4.1.3 一般情况下，“混凝土性能技术要求”中应明确规定混凝土的性能指标，并由混凝土生产者依据“混凝土性能技术要求”文件和相关规范标准，负责确定混凝土的组成和组成材料，生产符合规定性能要求的混凝土，并对生产的混凝土性能承担责任。特殊情况下，当工程业主或其代表依据本规范和其他合法标准，可在“混凝土性能技术要求”中规定混凝土的组成材料和配合比，并由生产者负责提供符合规定组成的混凝土，此时的混凝土生产者不对混凝土的性能承担责任，而应由提出“混凝土性能技术要求”的一方负责。在供求合同中应明确各方责任。

4.2 “混凝土性能技术要求”的主要内容

4.2.1 “混凝土性能技术要求”中应包括的基本内容有：

- 混凝土结构所处的环境类别与不同环境作用等级
- 混凝土强度等级与最大水胶比
- 混凝土的最大和最小胶凝材料用量
- 混凝土拌和物的施工性
- 骨料最大公称粒径
- 氯离子含量与碱含量
- 新拌混凝土入模温度
- 硬化混凝土在所处环境中的耐久性参数和指标
- 不同构件在不同季节的施工要求
- 必要时对拆模的要求

此外，在“混凝土性能技术要求”中还应提出混凝土生产者提供的混凝土须符合本规范规定的混凝土性能最低要求与合格性评定要求，或者更高的要求。

4.2.2 根据工程的具体特点和需要，可在“混凝土性能技术要求”中规定其他技术要求，例如：

- 混凝土绝热温升或胶凝材料水化放热过程
- 特殊的骨料类型、氯离子扩散系数等耐久性参数
- 混凝土不同龄期抗压强度、抗冻性、抗化学腐蚀性、含气量
- 缓凝或早强要求
- 混凝土耐磨性
- 混凝土抗折、劈裂抗拉或弯拉强度
- 混凝土弹性模量
- 混凝土自由膨胀、收缩率及限制膨胀、收缩率

5 混凝土及其组成材料的质量要求

5.1 一般规定

5.1.1 混凝土除力学性质及拌和物的工作性必须满足设计和施工要求外，还应根据结构物所处环境条件，选择性地满足设计或本规范所规定的如抗碳化性、抗氯离子侵入性、抗冻性、耐蚀性、体积稳定性等耐久性指标要求。除大体积混凝土外，如有抗裂性要求，可用环收缩法检测胶凝材料的开裂敏感性。环收缩法测试胶凝材料开裂敏感性的方法见《混凝土结构耐久性设计与施工指南》CCES 01（2005 年修订版）附录 A1；也可参考 ASTM C1581。

5.1.2 混凝土及其组成材料的质量要求除应符合本规范有关规定外，对本规范未涉及的内容，可选择符合现行国家标准关于混凝土原材料、技术性能指标、生产及施工等的有关规定。

5.2 水 泥

5.2.1 水泥品种与强度等级应根据设计、施工要求以及工程所处环境条件确定；普通混凝土结构宜选用通用硅酸盐水泥；有特殊需要时，也可选用其他品种水泥；对于有抗渗、抗冻融要求的混凝土，宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥；处于潮湿环境的混凝土结构，使用碱活性骨料时，宜采用低碱水泥。对于严重环境作用（D 级或 D 级以上）下的混凝土，宜采用硅酸盐水泥与大掺量矿物掺和料一起配制或采用复合水泥或专用水泥。对大体积等易开裂的混凝土结构，不宜选用早强水泥。

5.2.2 所选用的水泥应满足现行有关水泥标准的最低要求。此外，还应根据工程需要，对水泥提出以下要求：

5.2.2.1 一般情况下，硅酸盐水泥、抗硫酸盐硅酸盐水泥比表面

积 $\leq 350\text{m}^2/\text{kg}$ ，其他通用硅酸盐水泥 $80\mu\text{m}$ 方孔筛筛余宜不大于 10% 并不小于 2%。

5.2.2.2 对水泥中碱含量的限制。对持续接触水的构件，当所用骨料具有碱活性时，如不掺用矿物掺和料，硅酸盐水泥碱含量应在 0.30% ~ 0.60% 范围内。

5.2.2.3 拌制混凝土时的水泥温度不宜大于 65°C 。

5.2.2.4 水泥强度值应满足以下要求：

$$f_{c,28} = f_{c,k} + 3S + 2.45$$

式中 $f_{c,28}$ ——水泥 28d 强度 (MPa)；

$f_{c,k}$ ——水泥强度标准值 (MPa)；

S ——标准差 (MPa)。

注：出厂前一个月内的标准差 S 应 $\leq 1.5\text{MPa}$ 。

5.2.3 水泥应按不同的品种、强度等级分别存储于专用的仓罐。如发现有结块现象或试配混凝土时原配合比明显不适用，则应对其质量进行复验，并按复验的结果使用。水泥强度比出厂强度下降 10%，即视为储存过期。

5.2.4 购买水泥时，购销合同中应包含买方对产品的技术要求和卖方相应的承诺，还应把产品说明作为合同附件。产品说明中应包括的主要内容为：水泥品种和强度等级，熟料矿物组成，混合材品种和掺量，水泥比表面积或 $80\mu\text{m}$ 筛的筛余量，水泥化学成分（烧失量、 SO_3 含量、以 Na_2O 当量计的碱含量、氯离子含量），石膏品种和掺量，标准稠度用水量，实测强度及检测期间标准差，水化热，水泥储存有效期（强度下降不低于 10% 的时间期限）。

5.3 矿物掺和料

5.3.1 矿物掺和料应选用品质稳定的产品。矿物掺和料的品种宜为粉煤灰、粒化高炉矿渣粉或硅灰，亦可使用沸石岩粉、天然火山灰、石灰石粉。

5.3.2 环境温度低于 15°C 并持续接触含硫酸盐的水，或者因某种

原因混凝土中有残留 SO_3 时，不宜掺用石灰石粉；有冻融循环作用的氯盐、除冰盐或海水环境中的混凝土，不得使用含石灰石粉的通用硅酸盐水泥以及含石灰石粉的矿物掺和料（如粒化高炉矿渣粉）。

5.3.3 对于有降低混凝土温升及提高抗裂性要求的混凝土，矿渣粉比表面积不宜大于 $420\text{m}^2/\text{kg}$ ，并宜与粉煤灰以小于 1:1 的比例复掺使用，或者掺量大于 70%。

5.4 对胶凝材料组成的限定范围

混凝土胶凝材料中的矿物掺和料用量（必须计入水泥中已有的混合材料掺量）占胶凝材料总量的比值应根据工程特性及其所处环境通过试验确定。不同环境下对磨细矿渣、粉煤灰及其复合的掺量见《混凝土结构耐久性设计规范》（GB/T 50476）附录 B1 的条文说明。

5.5 外加剂

5.5.1 外加剂包括各种减水剂、引气剂、缓凝剂、早强剂、防冻剂等及其复合产品。外加剂的匀质性及其他指标应满足相应的国家标准和行业标准，外加剂对混凝土结构有害成分的限值应满足《混凝土外加剂应用技术规范》（GB 50119）的规定。

5.5.2 选用外加剂时，应进行与胶凝材料的相容性、新拌混凝土工作性、混凝土强度、耐久性等试验，确定混凝土中外加剂品种、复配组成与掺量。掺引气剂时需注意引气剂与其他外加剂的相容性，引气剂宜后掺。

5.5.3 受冻融、化学腐蚀尤其是干湿循环作用的混凝土中，不应掺用无机盐类的早强剂、防冻剂或掺有含碱金属盐和氯盐的各种减水剂、泵送剂等。

5.5.4 单用减水剂时，混凝土的含气量宜 $< 3\%$ ；当混凝土需要引气时，易掺入引气剂，引气剂应与减水剂、胶凝材料的相容性好。

5.6 对混凝土骨料的质量要求

5.6.1 细骨料

5.6.1.1 细骨料应选用满足国家现行标准要求、质地均匀坚固、吸水率低（一般 $\leq 2\%$ ，用于冻融环境时 $\leq 1\%$ ）、空隙率小（松散堆积空隙率 $\leq 45\%$ ）、洁净的天然砂（含泥量 $\leq 3\%$ ），也可选用机械化生产的人工砂，在有盐冻的环境，石灰石粉含量应 $< 3\%$ ；使用山砂时须经过专门论证，宜保证混凝土浆骨比不超过限值。

5.6.1.2 砂的含石量超过标准要求时，可将其计入石子用量中。

5.6.1.3 严格检验砂中氯离子含量，防止使用未处理达标的海砂，或在开采、运输、堆放和生产过程中遭受海水或其他氯盐污染的砂。原则上禁用海砂。

5.6.1.4 当采用人工砂或混合砂配制混凝土时，人工砂及混合砂的压碎指标值应 $< 25\%$ ；经亚甲蓝试验判定后，人工砂及混合砂的石粉含量应符合国家现行标准的规定。

5.6.1.5 应要求砂石供应商供应水洗的骨料；为了稳定混凝土试配时砂石料的含水量和温度，砂石料进场后应储存于封闭或可避雨、遮阳的半封闭料仓内。

5.6.2 粗骨料

5.6.2.1 粗骨料质量应满足现行国家标准的规定。石子吸水率应 $< 1\%$ 。

5.6.2.2 粗骨料最大公称粒径应不超过结构钢筋混凝土保护层厚度的 $3/4$ （在严重腐蚀环境条件下不宜超过混凝土保护层厚度的 $1/2$ ），且不得超过钢筋最小间距的 $3/4$ 。配制强度等级C50及以上混凝土时，粗骨料最大公称粒径不宜大于25mm。（泵送混凝土用的粗骨料最大粒径还应符合《混凝土泵送施工技术规程》（JGJ/T 10）的规定），不同构件、钢筋保护层厚度不同时可按《混凝土结构耐久性设计规范》（GB/T 50476）附录B3的规定取值。

5.6.2.3 应充分重视骨料的级配和粒形，采用粒形好的单粒级碎

石，两级配或三级配分别投料。级配后粗骨料的松堆空隙率应 $\leq 42\%$ 。泵送混凝土用粗骨料中的针、片状含量应 $< 7\%$ ，压碎指标 $\leq 10\%$ 。当用于自密实混凝土或重要工程（设计使用年限 ≥ 100 年）时，针、片状颗粒含量宜 $\leq 5\%$ 。

5.6.2.4 配制坍落度低于 100mm 的混凝土时，碎石或卵碎石的压碎指标应符合《混凝土结构耐久性设计规范》（GB/T 50476）附录 B3 的规定。配制低流动性的塑性混凝土或低塑性混凝土时，岩石抗压强度宜大于混凝土配制强度的 1.2 倍，或碎石压碎指标 $\leq 10\%$ ；当配制 C60 以下的泵送混凝土时，对普通石子可不要求强度。

5.6.3 对处于环境温度低于 15℃ 并持续接触水并有多余 SO_3 存在和有冻融循环作用的、环境中的混凝土，要限制石灰石粉的含量；使用石灰石质的骨料时，需进行低温下抗硫酸盐侵蚀试验。

5.7 拌和水和养护用水

5.7.1 拌和用水宜采用可饮用水。当采用其他来源的水时，水的品质应符合《混凝土用水标准》（附条文说明）（JGJ 63）中有关混凝土拌和水和养护水的规定。

5.7.2 养护用水除不溶物、可溶物可不作要求外，其他项目应符合《混凝土用水标准》（附条文说明）（JGJ 63）的规定。养护用水不得采用海水。

6 混凝土配合比设计的原则

6.1 按“混凝土性能技术要求”选择原材料和配合比各参数。

6.2 按最小浆骨体积比（即最小用水量或胶凝材料总量）原则，尽量减小浆骨体积比。对于泵送混凝土，不同等级混凝土最大浆骨比可按表 3 选择，或按《混凝土结构耐久性设计规范》（GB/T 50476）附录 B1 对胶凝材料的限定范围，由试配拌和物工作性确定。

表 3 不同等级混凝土最大浆骨比和用水量

强度等级	1m ³ 混凝土中 最大浆体体积 ¹ (m ³)	最大用水量 ² (kg/m ³)
C30 ~ C50 (不含 C50)	≤0.32	≤170
C50 ~ C60 (含 C60)	≤0.35	≤160
C60 ~ C80 (不含 C60)	≤0.38	≤150

注：1. 对于 C30 以下的混凝土，还要限制最小胶凝材料用量；

2. 指砂子饱和面干状态，混凝土的单方用水量，不包括砂子内部的水分。

6.3 混凝土配合比宜采用绝对体积法计算，骨料应采取饱和面干的表观密度计算。

6.4 计算砂、石松堆空隙率时，应使用饱和面干状态的表观密度和松堆密度。饱和面干状态的界定见《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》（JGJ 52）。

6.5 混凝土生产时，根据骨料的实际含水量与饱和面干含水量的差值调整拌和物中的用水量。

7 新拌混凝土

7.1 工作性及允许其波动的范围

7.1.1 新拌混凝土的流动性应以坍落度或坍落扩展度表示。坍落度适用于塑性和流态混凝土拌和物，坍落扩展度适用于高流态混凝土拌和物。其试验方法应按现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》（GB/T 50080）的规定进行。

7.1.2 应根据结构特点、施工工艺确定对新拌混凝土流动性的要求，避免盲目要求大坍落度，新拌混凝土坍落度可有一定范围的波动。例如塑性混凝土表示为 (80 ± 10) mm；泵送混凝土表示为 (180 ± 20) mm；自密实混凝土坍落扩展度表示为 (600 ± 100) mm，等等。坍落度损失的控制要求可视工程需要，在“混凝土性能技术要求”中予以规定。

7.1.3 测定混凝土的工作性，宜在混凝土浇筑时进行；对于预拌混凝土，应在出厂和工地交货时进行。测定方法应符合《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》（GB/T 50080）的规定。

7.2 含气量

新拌混凝土的含气量按气压法测定，具体方法参照《普通混凝土长期性能与耐久性能试验方法标准》（GB/T 50082）。

7.2.1 在实验室测定新拌混凝土的含气量时，除自密实混凝土外，测试前均应在标准振动台上振动，振动时间按成型要求确定。对于现场泵送和高频振捣的混凝土，应检测泵送和振捣过程所造成的含气量损失，以判断所用引气剂品种的适用性和适宜掺量。

7.3 混凝土温度

夏季施工时，混凝土入模温度不得超过 30°C 或满足设计要

求。冬季施工应按相应规范适当提高混凝土拌和物温度，并注意采取综合蓄热法施工。冬季施工混凝土中宜减少矿物掺和料用量，并降低水胶比。

7.4 泌 水

混凝土拌和物在浇筑过程中不得出现严重泌水或泌浆。

8 硬化混凝土

8.1 混凝土强度

检测混凝土强度的试块为边长 150mm 的立方体标准试件，当使用非标准尺寸试件时，其实测强度应乘以按现行有关规范规定的换算系数。

8.2 混凝土强度的检测

8.2.1 混凝土强度的检测，应按现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》（GB/T 50081）的规定进行。

8.2.2 混凝土强度除应按《混凝土强度检验评定标准》（GB/T 50107）规定分批进行合格评定外，还应对一个统计周期内配合比基本一致的相同等级、养护条件和龄期的混凝土强度进行统计分析，计算强度均值（ $m_{f_{cu}}$ ）、标准差（ σ ）及强度保证率（ P ），确认企业的生产管理水平；统计数据应不少于 30 组。

8.3 混凝土耐久性指标及其检测

根据工程特点选择有关混凝土耐久性的试验指标，在混凝土试配时作为优选原材料和配合比的依据，但进行性能比较时必须采用相同的试验方法，非数理统计按相应的规定计算。

9 新拌混凝土的交货和验收

9.1 新拌混凝土的交货

9.1.1 质保资料

预拌混凝土搅拌站在供应混凝土前应及时向施工单位提供如下质保资料：企业营业执照和资质证书，正常情况下搅拌站生产混凝土强度标准差，所供应混凝土配制强度；在供应混凝土时应提供：混凝土强度试验报告、设计要求的混凝土耐久性有关参数指标实验报告、混凝土出厂合格证、混凝土匀质性指标及其他商定的检测项目检验结果。在质保资料中应针对所供应混凝土的配制特点，说明为保证混凝土质量在施工各环节应注意的事项和要求。

9.1.2 交货单

每批混凝土运送到工地时都应有交货单，交货单应包括下列详细资料：

- 工程名称及订货单位
- 预拌混凝土生产单位（或企业）的名称和地点
- 交货单的序列号
- 生产即混凝土开盘的日期和时间
- 运输车辆的车牌号或运输工具的标识
- 发车时间、到达时间、运输距离
- 卸货的始末时间
- 所采用的技术标准或引用文件名称
- 混凝土配制强度实测值（范围）
- 混凝土拌和物设计用水量和水胶比、胶凝材料与砂石的饱和面干表观密度
- 混凝土拌和物允许的坍落度范围

- 该车次的混凝土供应量 (m^3)、累计至该车次的混凝土供应总量 (m^3)、订货数量 (m^3)

- 供需双方确认手续 (签字)

9.1.3 对目标性能混凝土, 交货单还应包含以下详细资料:

- 强度等级和配制强度
- 适用于暴露环境作用的等级
- 氯盐含量
- 施工性目标值
- 规定要求的混凝土原材料和配合比参数限定范围
- 规定要求的特殊性能
- 骨料最大公称粒径
- 混凝土的表观密度

9.1.4 对于规定组成混凝土, 交货单还应包含以下详细资料:

- 混凝土详细组成与配合比
- 工作性范围或目标值
- 骨料最大公称粒径、砂石松堆空隙率
- 其他

9.2 新拌混凝土的验收

9.2.1 需方在供应方交货时, 应指定专人及时对供应方所交付的预拌混凝土质量、数量进行确认, 并在供应方提供的交货单上签字。

9.2.2 混凝土到达施工现场后, 根据要求进行相关的性能检测, 包括温度、坍落度、流动性、体积稳定性 (是否泌水、离析)、含气量、用水量等, 满足要求才能用于浇筑。拌和物交货前的质量责任在供应方; 一旦交货合格后, 工程上所出现的质量问题, 如: 开裂、蜂窝、砂线、空洞等缺陷, 责任在施工方。

9.2.3 混凝土到达现场验收合格后, 应及时浇筑入模, 严禁向运输车筒体内加水。混凝土从搅拌机中卸出到浇筑完毕的持续时间不宜超过 120min。

9.2.4 混凝土送到工地后，由混凝土搅拌站代表、施工单位代表及监理方指定的取样见证人在合同商定的地点进行交货检验，交货检验按下列规定进行：

检验项目：混凝土拌和物的温度、和易性（流动性、粘聚性、保水性）、含气量等；有条件时应检测拌和物单方实际用水量；按下述规定取样制作混凝土试件，用标准养护或现场结构部位相同养护方法，测试其强度和有关耐久性参数指标：

- 混凝土取样应在混凝土送到交货地点后 20min 内完成，所有检查试件的制作应在 40min 内完成
- 每批试样应随机地从一辆混凝土车中抽取，而且应在混凝土卸料过程中卸料量达 1/4 至 3/4 之间时取样
- 每批试样量应满足混凝土质量检验项目所需成型试件量的 1.5 倍，且不宜少于 0.04m^3
- 强度试验用试样的取样频次应符合每 100 立方米相同配合比的混凝土，取样不得少于一次，一个工作班拌制的同配合比的混凝土不足 100m^3 时，取样也不得少于一次的要求。但当该配合比连续供应量大于 1000m^3 时，可按 200m^3 混凝土取样不少于一次
- 抗氯离子侵入性试验用试样的取样频次：每 500 立方米同配合比的混凝土取样不得少于一次，并制作试件两组，其中一组标准养护，一组现场同部位、同方法养护，每一工作班拌制混凝土不足 500m^3 时，也应制作两组试件；对重大工程（设计使用年限大于 100 年），必要时应在构件内预埋温度传感器，按测定的温度变化对试样进行混凝土温度跟踪养护，方法见本规范附录 B
- 除强度指标和拌和物工作性外，混凝土的其他性能应满足合同中规定的设计要求。抗硫酸盐侵蚀性试验的试样、氯离子扩散系数试验的试样以同一配合比、同一浇筑部位取样不少于两次，同一浇筑部位一次性浇筑超过 1000m^3 混凝土

土取样应增加一次

9.3 混凝土质量的验收

9.3.1 混凝土工程验收主要以新拌混凝土交货时所取试件按要求养护至规定龄期的检测指标为依据。

9.3.2 对无近期承载要求的构件的强度可按 60d 或 90d 龄期验收，但对处于有化学腐蚀性环境的构件，各项指标都需根据构件接触环境作用的时间确定验收龄期。

9.3.3 北方地区冬季施工必须采取蓄热措施。受冻前混凝土的强度应 $\geq 10\text{MPa}$ 。

9.3.4 在冻融环境中，应在开始受冻前尽量提早完成混凝土的浇筑，开始受冻时的龄期应视当时气温而定，应至少提前 1 个月浇筑完毕。

9.3.5 对要求控制裂缝的混凝土结构，在不掺加缓凝剂的情况下，可控制混凝土 12h 抗压强度 $\leq 6\text{MPa}$ 或 24h 抗压强度 $\leq 10\text{MPa}$ 。

9.3.6 对于重要工程（例如设计使用年限 100 年以上）的大体积混凝土（例如混凝土构件最小断面尺寸超过 30cm），宜采用混凝土温度跟踪养护试件的性能指标作为重要参比。混凝土温度跟踪养护技术见本规范附录 B。跟踪养护预埋传感器部位必须包括钢筋的混凝土保护层。

9.3.7 混凝土工程的验收日期应在合同的技术条款中规定。

9.4 混凝土的合格性控制

9.4.1 生产性试拌

对重要工程拟采用的配合比宜在拟采用的生产线上进行试生产，按设计要求的项目检测，例如坍落度、坍落扩展度、泌水性、含气量、凝结时间、温度、抗压强度、氯化物侵入性和吸水性等。试验和试拌宜至少在建筑工程浇筑混凝土前 60d 或其他规定的时间完成。

9.4.2 工程预浇筑

必要时，采用认可的配合比和拟采用的设备进行模拟性浇筑。模拟性浇筑时，用于配制、搅拌、运输和振捣混凝土的机具在各方面都应与实际工程中采用的一致；配筋及采用的模板均应与正式用于工程的相同；要确认能够取得满意的密实度和表面平整度。浇筑后的混凝土采用与工程中拟采用的相同方式进行养护，监测所浇筑混凝土的温度变化，记录混凝土的最高温度和环境温度，计算最大温差值。

9.4.3 混凝土配合比的确认

将生产性试拌和工程浇筑试验都满足规定要求的混凝土配合比确认为混凝土试配时选定的配合比。

10 混凝土的浇筑、振捣、拆模及养护

10.1 施工人员应严格按照施工规程及浇筑方案规定的浇筑顺序进行浇筑，以保证结构中混凝土的匀质性。

10.2 使用振捣棒时，需根据拌和物不同的流动性确定振捣棒插入间隔、振捣时间长短，不可用振捣棒平拖拌和物；一般浇筑厚度应在振捣棒有效长度的 1.25 倍之内，一次浇筑厚度不得大于 500mm，振捣上面一层混凝土时，振捣棒应插入至下一层内 50mm 以上。水平构件的振捣宜采用平面振捣器。

10.3 拆模时间除考虑构件必须达到一定强度外，还应注意不得造成混凝土降温速率过快和造成混凝土内外温差大于 20°C 。降温速率一般不能大于 $3^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 。

10.4 混凝土的养护包括温度 and 湿度的控制，应从浇筑前就开始控制混凝土的温度，当环境温度高于 30°C 时，要注意模板的降温，或浇筑成型后在空气中喷雾降温；如在浇筑混凝土前没有降温措施，则不可用凉水养护；当环境温度低于 0°C 时，要注意保温蓄热。

10.5 应尽早采取保湿的措施，且不可中断。对大掺量矿物掺和料的混凝土，保湿养护期应不少于 7d，否则拆模后应及时采取表面隔离防护措施；对受冻融、腐蚀作用的大掺量矿物掺和料混凝土，保湿养护时间应大于等于 14d。

11 技术档案的建立和管理

11.1 混凝土生产者除做常规记录外，应增加以下内容：

- (1) 生产时的天气状况和现场温、湿度；
- (2) 水泥、掺和料和砂石料温度、胶凝材料开裂敏感性；
- (3) 当使用有混合材料的水泥时，混合材的种类和掺量；
- (4) 砂石料表观密度和松堆密度、松堆空隙率、含泥量和泥块含量等；
- (5) 必要时的混凝土降温或保温措施；
- (6) 运输到达现场时间、混凝土温度和坍落度经时变化；
- (7) 已进行售后服务内容及效果，预留试件情况。

11.2 甲方和监理方应留存以下施工记录副本。

- (1) 混凝土浇筑部位、构件尺寸、浇筑高度、施工缝位置；
- (2) 施工时间（年、月、日、时）；
- (3) 施工期间气候：气温，相对湿度（晴雨）；
- (4) 养护制度、养护方式、养护期温控方法和制度；
- (5) 构造筋的直径、间距、部位和数量（原设计中是否有，是否有补设）；
- (6) 混凝土浇筑和振捣情况（方式、方法）；
- (7) 是否出现裂缝，长度、深度（是否有渗漏）、出现的时间、部位；
- (8) 裂缝分布草图；
- (9) 是否有其他特殊情况；
- (10) 监理姓名、当班情况。

附录 A

(资料性附录)

盐结晶条件的混凝土抗蚀系数

A.1.1 采用水泥胶砂试模 ($40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 160\text{mm}$) 成型, 骨料最大粒径应小于 10mm 。

A.1.2 试件标准养护 28d, 之后置于烘箱中, 在 80°C 下烘干 48h。烘干结束后将试件在干燥环境中冷却到室温。

A.1.3 将干燥后的试件垂直半浸泡于 $5\% \text{Na}_2\text{SO}_4$ 溶液中 (试件 70mm 在溶液中, 90mm 在空气中), 在非覆盖条件下浸泡 16h, 控制试验室温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $60\% \pm 5\%$ 。之后将试件取出擦干表面垂直 (浸泡一侧朝下) 放入烘箱中立即升温, 并在 $(120 \pm 10)\text{min}$ 内从室温升至 80°C , 并恒温 5h。烘干结束后从烘箱中取出试件自然冷却 1h。浸泡时混凝土试件之间需保持 10mm 以上的距离, 烘干时混凝土试件之间需保持 20mm 以上的距离, 并且烘箱应具有良好的通风功能, 以便水蒸气能及时排除箱体外。以浸泡 16h、升温 2h、 80°C 恒温 5h 和自然冷却 1h 作为 1 次循环, 共循环 30 次或达到规定的次数。整个试验中不得掉换混凝土试件的浸泡方向。对比试件应浸泡在清洁水中 (可饮用水), 并按上述制度进行干湿循环。

A.1.4 Na_2SO_4 溶液的浓度为 $(1.044 \pm 0.001)\text{g}/\text{cm}^3$ (20°C)。每周检测并调整 Na_2SO_4 溶液浓度 1 次。当缺乏化学试验条件时, 可以采用精密液体密度计测试 Na_2SO_4 溶液密度, 并调整至 $1.044\text{g}/\text{cm}^3$ 。当 Na_2SO_4 溶液中无混凝土试件时, 应加以覆盖以防止溶液中水分蒸发引起浓度变化。 Na_2SO_4 溶液的量应为混凝土体积量的 3 倍 (以浸入溶液中混凝土的体积计)。

A.1.5 将分别用盐溶液干湿循环和清水干湿循环的试件 30 次的试件, 用两点加载的方式检测其抗折强度 (参见附图 A.1)。试验方法、步骤按《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081) 进行。

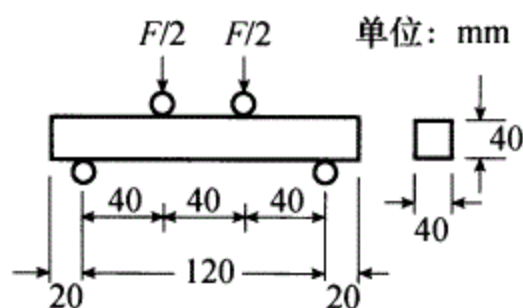


图 A.1 三等分抗折强度试验示意

A.1.6 混凝土抗蚀系数的结果按下式计算：

$$k = \frac{f_r}{f_0}$$

式中 k ——强度耐蚀系数（%）；

f_r —— n 次循环后受硫酸盐腐蚀的一组混凝土试件的抗折强度平均值，计算至 0.1 MPa；

f_0 ——与受硫酸盐腐蚀试件同龄期的标准养护的一组对比混凝土试件的抗折强度平均值，精确至 0.1 MPa。

以三个试件的算术平均值作为该组试件的抗压强度。如果三个测定值中的最大值或最小值中有一个与中间值的差值超过中间值的 15%，则将最大值及最小值一并舍除，取中间值作为该组试件的抗压强度值。如最大值和最小值与中间值的差均超过 15%，则此组试验作废。

附录 B

(规范性附录)

结构混凝土内部温度跟踪养护试件强度检测方法

B.1 原 理

混凝土在浇筑后内部温度上升,过去一般在 3~5d 可达到峰值,而现今混凝土一般在 2d 左右就会出现温峰,最高温度远远超过实验室标准养护的温度。由于混凝土内部温度的变化,胶凝材料的水化历程不同,对抗压强度的增长有很大影响。使用硅酸盐和普通硅酸盐水泥时,当养护温度超过 60℃ 后,混凝土的相对强度将随龄期而下降;但当掺用矿物掺和料时,则养护温度越高,混凝土强度越高;温度历程不同,混凝土强度发展趋势也有差别。如果跟踪结构中混凝土温度,调整混凝土试件养护水的温度,则该试件抗压强度可用以评价该检测龄期的结构内部的混凝土抗压强度,可发现不同部位的混凝土实际强度是不同的。这种养护方法称为温度跟踪养护 (TMC, Temperature Match Condition),如图 B.1 所示。

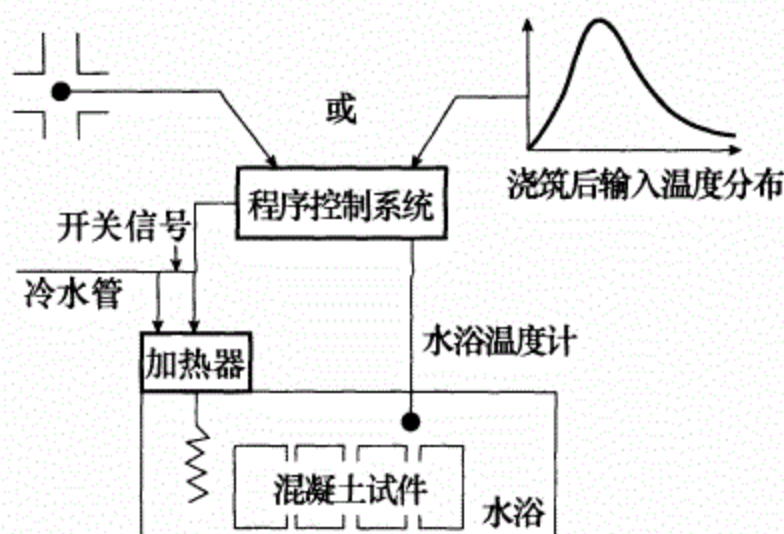


图 B.1 温度跟踪养护装置示意

TMC 的试件除检测抗压强度外,可按要求检测混凝土其他指标,得到现场结构内部混凝土性能实际发展过程的信息。

B.2 方 法

在混凝土结构内埋设温度传感器定期读取温度数据，控制养护箱的温度与之同步。对耐久性来说，保护层混凝土质量最重要，因此可按保护层和中心混凝土温度分别养护试件。

目前国内已有自动测定温度和控制温度的设备，用于混凝土试件跟踪养护。也可由人工控制和调节。跟踪期可根据设计要求的龄期确定。

B.2.1 传感器位置应视构件受力情况埋设，例如梁，宜埋设于保护层内的钢筋表面；大体积混凝土至少应埋设于距表面层内 50mm 处、中心点、与其他构件或基底接触处等。

B.2.2 埋设传感器时应注意与钢筋接触部位的绝缘。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 对表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

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

引用标准名录

下列文件对于本规范的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本规范。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

GB/T 2420 水泥抗硫酸盐侵蚀快速试验方法

GB 8076 混凝土外加剂

GB/T 8077 混凝土外加剂匀质性试验方法

GB/T 14902 预拌混凝土

GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法标准

GB/T 50081 普通混凝土力学性能试验方法标准

GB/T 50082 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准

GB/T 50107 混凝土强度检验评定标准

GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范

GB 50164 混凝土质量控制标准

GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范

GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计规范

GB/T 50733 预防混凝土碱骨料反应技术规范

GB 50666 混凝土结构工程施工规范

CCES 01（2005 年修订版） 混凝土结构耐久性设计与施工指南

DL/T 5150 水工混凝土试验规程

JGJ/T 10 混凝土泵送施工技术规范

JGJ 52 普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准

JGJ/T 63 混凝土用水标准

JTG/TB07-01 公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范

JTJ 275 海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范

中国混凝土与水泥制品协会标准

结构混凝土性能技术规范

CCPA-S001

条文说明

目 次

1	总则	39
2	术语和符号	41
3	混凝土结构的使用环境条件与耐久性要求	45
4	“混凝土性能技术要求”文件的编制	51
5	混凝土及其组成材料的质量要求	52
6	混凝土配合比设计的原则	57
8	硬化混凝土	59
10	混凝土的浇筑、振捣、拆模及养护	60
11	技术档案的建立和管理	62

1 总 则

1.1 耐久性设计与安全性设计不同之处在于安全性设计只考虑材料的力学性质，而耐久性设计则必须考虑结构所处环境作用下的材料性能随时间的演变。因此《混凝土结构耐久性设计规范》（GB/T 50476）中规定，在设计文件中要提出《混凝土材料技术要求》。混凝土并不是一种最终的产品，必须用到处于一定环境中的具体工程后才能完成最终的产品——混凝土结构。亦即从原材料选择、配合比的确定、生产制备，直到浇筑、振捣、拆模及养护（包括温度和湿度的控制）完毕，才能完成“混凝土工程”的全过程。因此，不同于以往只对混凝土材料性能的要求，提出“混凝土工程”的理念。在本规范中规定按“混凝土性能技术要求”提交满足合同约定要求的混凝土以外，还对涉及混凝土工程在施工中后续部分的实施的要求。

1.3 ~ 1.8 混凝土结构的质量由建设单位、设计单位、施工单位和材料供应单位各方共同保证。有关各方对混凝土材料的要求应根据工程特点和需要，并考虑当地资源条件和混凝土材料的特性和规律，共同协商确定。在工程设计开始之前，由建设单位（业主）主持，会同设计、材料和施工方面的专家根据工程性质和环境特点确定对混凝土结构性能和质量的基本要求以及对混凝土材料的技术要求，作为招标的内容之一。定标后，由设计方在设计中规定相应的混凝土材料技术性能要求，并编制“混凝土性能技术要求”文件。

1.9 建设部第 81 号令《实施工程建设强制性标准监督规定》的条文释义中说，“标准与科学技术发展密切相连，标准应当与科学技术同步，适时将科学技术纳入到标准中去。科学技术是提高标准制定质量的关键环节。反过来，如果新技术、新工艺、新材料得不到推行，就难以获取实践的检验，也不能验证其正确性，纳入到标准

中也会不可靠。为此给出适当条件允许其发展，是建立标准与科学技术桥梁的重要机制。”如果对重大工程仍机械地使用标准中的最低要求，则应负有责任，正如英国标准中所述：“遵照英国标准不能免除其法律责任”。

1.10 《国家标准化法》将标准或规范分为三类：国家法律、行政法规、技术标准。与建筑规范有关的法律以国家主席令颁布，例如国家主席第91号令《中华人民共和国建筑法》、第94号令《中华人民共和国防震减灾法》、其他如《招标、投标法》、《合同法》、《标准化法》等等；与建筑有关的行政法规以国务院令或建设部令颁布，例如国务院第293号令《建设工程勘察设计管理条例》，建设部第68号令《工程建设违法违纪行为处罚办法》、建设部第81号令《实施工程建设强制性标准监督规定》等，又如《建设工程质量管理条例》以及《强制性标准》或条文，等等。此二者本身就是法律或具有法律效力。而技术标准或规范本身都不是法律，只有将其收入具有法律效力的合同中时，才与合同一起具有法律效力。

2 术语和符号

2.1.1、2.1.2 混凝土依原材料和配合比的不同而具有力学、物理和化学的本征特性 (inherent property), 可以量化而在实验室按标准的条件和方法检测出其指标, 例如强度、变形性、抗冻性、抗渗性、抗化学侵蚀性等。尽管并非真值, 这些试验指标 (test index) 所表征的混凝土的性质却是固有的、内在的, 可用于同类相比。因为有统一标准, 所以不同实验室之间也可以相互比较。过去在教科书中都称之为混凝土的性质 (properties)。现在混凝土的“性能” (performance) 实际上指的是处在一定环境中和一定荷载条件下才会有的表现和行为, 在实验室中无法量化和检测, 例如施工性、匀质性、耐久性。其中施工性, 包括流动性、保水性、黏聚性、经时性、抗堵塞性等, 在实验室中除流动性外, 其他难以量化和检测; 耐久性具有工程性质和环境的针对性, 没有脱离工程的一般的耐久性, 但是进行耐久性设计时, 可以根据工程特点、构件种类和环境作用, 用与结构耐久性有关的混凝土性质作为参数, 提出对其试验指标的要求, 例如对于接触水的一般环境, 北方可以用抗冻性、南方可以用抗渗性; 对要求抗裂性的工程, 可以用胶凝材料的开裂敏感性进行对比优化, 等等。为便于设计的操作, 现将性质和性能统称之为性能, 列于设计文件中。

2.1.7 凡是掺入混凝土中颗粒细度和水泥细度相当或更细的矿物材料, 都属于矿物掺和料, 包括膨胀剂, 都会参与水泥浆体微结构的形成, 都应当计入胶凝材料, 至于是“活性的”还是“惰性的”, 并没有绝对的界限, 被认为是活性掺和料的粉煤灰, 水化2年后的化学反应率最多也不过25%左右; 被认为是惰性的石英砂, 磨到水泥细度后, 等量取代10%水泥比等量取代5%水泥时, 其标准胶砂强度还可

能高些，因为那些细颗粒参与了水泥浆体微结构的形成，因此，不再细分为活性还是惰性。

2.1.8 粉煤灰在英国叫做 Pulverized fuel ash，很明确地称作粉煤灰；美国叫的 fly ash 实际上也是特指粉煤灰。对于循环流化床的灰渣则叫做 CFBC ash (circulating fluidized bed combustion ash)。燃煤电站的煤粉炉内的燃烧温度可高达约 $1300 \sim 1600^{\circ}\text{C}$ ，其收尘的粉煤灰含有一定量的玻璃微珠，在混凝土中具有减水和抗收缩的效用；而沸腾炉或循环流化床锅炉燃烧温度不超过 1000°C ，其收尘的灰烬中不能形成玻璃微珠，需水量比煤粉炉的粉煤灰需水量大得多；而且燃煤粉电站使用循环流化床的目的是用于半干法脱硫而不是燃煤发电，其所排灰中含有不定量的 SO_3 和 CaCO_3 ；同时，能从烟道排出的由收尘器收集的灰，由于很细而不能在炉内循环燃烧，往往含碳量较大。这些都会对使用时产生一定的问题，需要另行规定，在此不包括在粉煤灰之中。循环流化床燃煤脱硫后从炉底排放的废渣含碳量很低，质软易磨，具有自身水硬性，其在通用水泥中的掺量需考虑不造成 SO_3 总量超过 3.5%。此外，煤粉炉发电的电厂使用循环流化床半干法脱硫后的粉煤灰中不仅含有 SO_3 和 CaCO_3 ，而且其中的 SO_3 大部分为亚硫酸钙，更不能直接用作混凝土的掺和料。目前有一些经营厂家把凡是电厂排放的灰都当成粉煤灰出售，易引起误用，特在此说明。

2.1.9 “矿渣粉”特指磨细的水淬高炉矿渣，而“矿粉”则指的是矿物粉末，例如有人把天然沸石岩、硅灰和石膏共同磨细，就叫“矿粉”。近年来有人在生产矿渣粉时，掺入石灰石、粉煤灰、砂子、石膏等共同磨细，可叫做矿粉。

2.1.10、2.1.12 为避免误解，现以胶凝材料用量取代传统的水泥用量，以水胶比取代传统的水灰比，作为混凝土配合比的参数，用做判断混凝土密实性或耐久性的一项宏观指标。

2.1.11 外加剂的用量很小，在配制混凝土时，不计入胶凝材料总量，而膨胀剂在混凝土中参与水泥水化，其用量计入配合比中，故不应算作外加剂；某些防冻剂，含有作为有效成分载体的粉煤灰等

矿物掺和料，则应扣除其有效成分后计入配合比中，购买防冻剂时应了解其有效成分含量。

2.1.13 浆骨（体积）比是影响混凝土体积稳定性的主要因素，当水胶比一定时，水泥用量或用水量都可代表浆骨比。使用浆骨（体积）比这一术语是考虑到按体积法计算混凝土配合比之用。

2.1.14 骨料面干的饱和含水量在混凝土拌和物中不会析出，故不影响拌和物的工作性，也不参与水泥的水化，但在硬化混凝土中，当水分因蒸发和水泥水化消耗而减少后，骨料内部所含的水即可析出，有利于对界面处的养护；如果骨料含水不饱和，甚至绝干，则在混凝土拌和物中就要吸水，含水率变化，造成混凝土浇筑和振捣过程控制的困难。从世界范围来看，骨料都经过水洗，故对供料都要求骨料含水饱和（不需面干），只要测出骨料面干的饱和含水率，就很容易测出表面吸附的自由水量，则可大大方便于生产中用水量的控制。实际上我国在 20 世纪 60 年代以前也都是采用饱和面干方法测骨料的表观密度，现今，我国除水利工程以外，其他均采用绝干法测骨料表观密度，国外均采用饱和面干状态。为了提高我国混凝土质量控制水平，必须改变这种落后的、不科学的现状。

2.1.15 环境作用等级只表示同类环境作用下的作用程度，不同环境下的作用等级之间没有可比性。

2.1.16、2.1.17 氯离子侵入（to penetrate）混凝土主要有三种方式：当混凝土中的孔径大于 100nm 时，含有氯离子水因混凝土中毛细孔的毛细作用而与水一起被吸入（to be sucked）；继而在水压力驱动下随水的渗透（permeating）而侵入，符合 Darcy 定律；在混凝土中孔径小于 100nm 的孔中，水已经不能流动，只在孔壁吸附着单层水，当混凝土处于氯盐溶液的环境时，在混凝土内外氯盐浓度差的驱动下，氯离子会沿混凝土中孔壁的水膜向内部迁移，即扩散，符合 Fick 定律。混凝土渗透性（permeability）很低时，氯离子仍能在其中扩散，因此氯离子扩散系数可用于评价密实混凝土的抗渗性，也能评价混凝土抵抗腐蚀性介质侵入的能力。

2.1.18 英文 Temperature Match Conditioning (缩写 TMC) 引自 Swee Liang Mark (Australia), Kazuyuki Torii (Japan), “Strength Development of High strength Concretes with and without Silica Fume under the Influence of high Hydration Temperatures” (Cement and Concrete Research, 1995 No. 25. 8)。原文直译为温度匹配调节。按所检测的混凝土内部温度调节预留试件养护水温度, 则该试件强度可反映结构内部相应部位混凝土实际强度, 但是养护水温度的调节是滞后于混凝土温度变化的, 因此现译成“温度跟踪养护”。构件中混凝土内部各处温度是有差别的, 设计人员宜根据构件受力情况规定温度传感器埋置的部位。

3 混凝土结构的使用环境条件与耐久性要求

3.1.1 ~ 3.1.3 根据混凝土材料的劣化机理对环境作用进行分类,即一般环境、冻融环境、海洋氯化物环境、除冰盐等其他氯化物环境和化学腐蚀环境,环境类别用罗马字符 I ~ V 表示;将环境作用按其对混凝土结构的腐蚀影响程度定性地划分成 6 个等级,用大写字母 A ~ F 表示。一般环境的作用等级从轻微到中度 (I-A、I-B、I-C),其他环境的作用程度则为中度到极端严重。但应注意,对于不同环境类别中相同的等级 (如 I-C、II-C、III-C),由于腐蚀机理不同而不可相比,在结构耐久性设计的要求或做法上也会有所差异。

与各个环境作用等级相对应的具体环境条件,见《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T 50476) 中的第 4、5、6、7 各章。

(1) 一般环境 (I 类) 是指仅有正常的大气 (二氧化碳、氧气等) 和温、湿度 (水分) 作用,不存在冻融、氯化物和其他化学腐蚀物质的影响。一般环境对混凝土结构的腐蚀主要是碳化和大气中氧气和水分引起的钢筋锈蚀。混凝土呈高度碱性,钢筋在高度碱性环境中具有化学稳定性。当空气中的二氧化碳扩散到混凝土内部时,会与混凝土内的碱性水化产物发生化学作用 (碳化) 并降低混凝土的碱度。碳化虽可增加混凝土密实性,但当碳化缓慢地发展到钢筋表面附近时,会使钢筋表面失去稳定性,在氧气与水分的作用下发生锈蚀。此外,碳化收缩还会和干燥收缩叠加增加混凝土的开裂敏感性,增大氧气和水向钢筋表面迁移的通道;碳化速率最快的相对湿度是 50% 左右,而相对湿度达 70% 以上时,钢筋锈蚀才会加速 (图 3.1); 在 I 类环境中,当常年相对湿度低于 70% 时,主要是碳化作用,钢筋锈蚀发生很慢;当完全浸没于水下时,碳化无法进行,而因供氧不足,钢筋锈蚀也难以发

生。这都属于轻微的腐蚀程度。有干湿交替的环境是Ⅰ类环境中属于中等腐蚀程度。

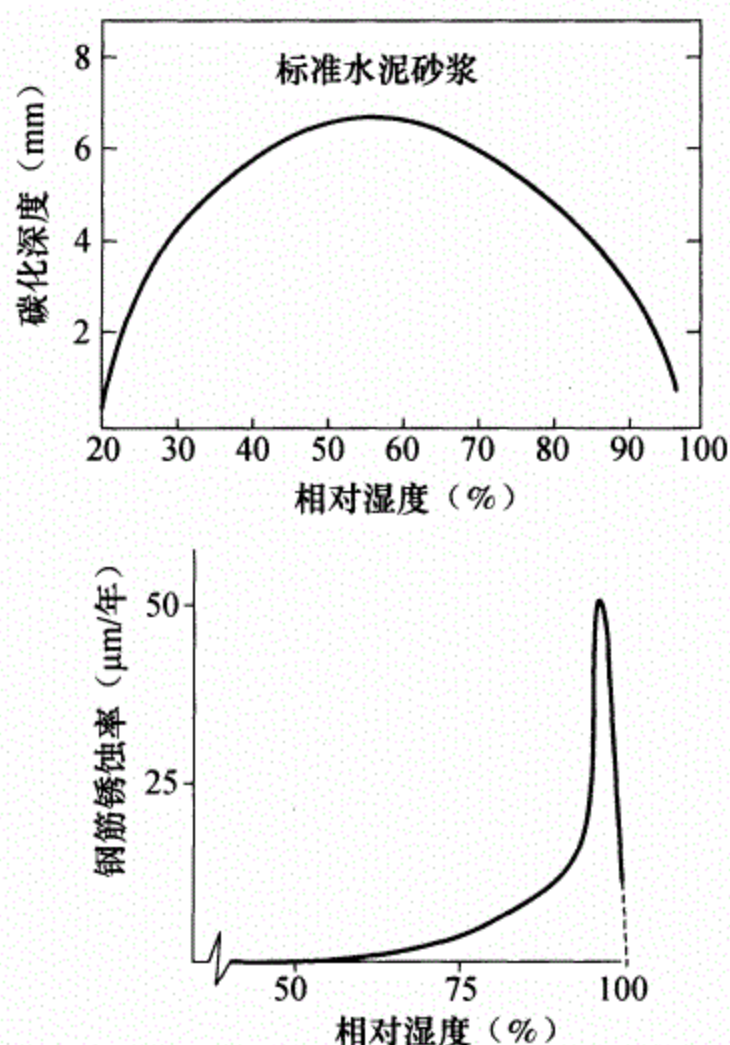


图 3.1 碳化和钢筋锈蚀的湿度条件

(2) 冻融环境 (Ⅱ类) 主要引起混凝土的冻蚀。当混凝土表面接触环境中的水分时, 在冻融循环循环的作用下可使表层混凝土内部孔隙水的饱和程度不断增加; 当孔隙饱和含水冰冻时体积膨胀, 会混凝土发生内部或表层的冻蚀和损伤。如果水中含有盐分, 会加重损伤程度。所以冰冻地区与雨、水接触的露天混凝土构件应按冻融环境考虑。反复冻融造成混凝土保护层损伤还会间接促使钢筋锈蚀。在影响混凝土抗冻性的因素中, 寒冷季节冻融循环次数比大气的最低温度更为重要, 因此在寒冷地区, 往往结构物的向阳面比背阴面更容易冻坏。

(3) 海洋、除冰盐等氯化物环境 (Ⅲ类和Ⅳ类) 中的氯离子

可从混凝土表面迁移到混凝土内部。当侵入到钢筋表面的氯离子浓度积累到一定浓度（临界浓度）后，也能破坏钢筋的稳定性并引发锈蚀。氯离子引起的钢筋锈蚀要比一般环境下单纯的碳化锈蚀严重得多，是耐久性设计的重点问题。

（4）化学腐蚀环境（V类）对混凝土的腐蚀主要是土、水中的硫酸盐、酸等化学物质和大气中的硫化物、氮氧化物等与混凝土发生化学作用的结果，但也有盐结晶那样的物理作用所引起的破坏，例如在下部埋设于含盐土中的电线杆、柱、墙等构件，土中的含盐水可因混凝土中孔隙的毛细作用上升到地面以上一定的高度，在空气中水分不断蒸发和盐不断侵入，当混凝土孔中的盐浓度达到过饱和时，就会析出结晶而产生很大的压力，损害混凝土构件。

（5）确认环境作用一般根据地质勘探部门钻探的勘察报告，但是由于岩土工程和混凝土结构工程之间的行业隔离，造成岩土工程对混凝土结构的认识有差距，所得结论往往只根据酸碱度分析，常得出错误的结论。例如在某勘察报告中，有一段氯离子含量已达5000mg/L以上，对混凝土结构中钢筋腐蚀性应当属于“很严重”（E级），而该报告却认为属于“弱腐蚀性”，而对属于“严重”（D级）的氯离子含量为1192mg/L和2362mg/L，反而评价为“中等”。因此要注意的是不能使用勘察报告中关于土中化学成分对混凝土结构腐蚀程度影响的结论，而是要根据其数据自己分析判断。

3.2 混凝土的耐久性和强度本来并无必然的关系，但是保证混凝土耐久性首先要求混凝土的密实度，影响混凝土密实度和强度的主要因素却都是水胶比。在对混凝土验收时，难以检测混凝土的水胶比，检测强度却很容易，可从混凝土强度基本判定混凝土的水胶比。因此用混凝土的最低强度等级和最大水胶比作为混凝土试配的参数可以进行双控。

3.2.1 按《混凝土结构耐久性设计规范》（GB/T 50476）中的第4、5、6、7各章关于最低强度等级和最大水胶比的规定，须二者同时满足。有关条文解释见该规范条文说明。素混凝土结构不存在

钢筋锈蚀问题，所以在一般环境和氯化物环境中可按较低的环境作用等级取用混凝土所需的最低强度。一般环境下的温湿度变化也会引起混凝土风化、损伤，所以素混凝土的强度等级也需有最低的保证。

3.2.2 对胶凝材料总量规定最大值和最小值是为了控制混凝土的浆骨比。在混凝土水胶比一定、砂石比一定的前提下，浆骨比是影响混凝土体积稳定性、施工性和混凝土密实性的主要因素。浆骨比越小，体积稳定性越好，但是太小时，不能满足施工的要求，而且会因混凝土微结构的不良而降低混凝土的密实性，影响结构耐久性。

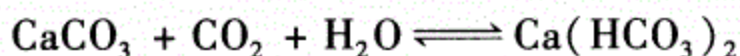
3.3.1 混凝土传统的标准碳化试验是将试件标准养护到 28d，置于 CO_2 浓度为 20%、相对湿度 $65\% \pm 5\%$ 、温度 $20^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 的碳化箱中强制碳化 1 个月。在实际工程中，没有任何构件养护到 28d，只要拆除模板、停止养护后，混凝土内湿度下降到一定程度，碳化就开始。实验表明，用现行标准的普通水泥配制水灰比为 0.5 的混凝土，保湿养护 3d，在自然条件下 28d 的碳化深度可不超过 3mm。掺用矿物掺和料后，即使减小水胶比，在相同条件下的碳化深度也会增大，必须采取晚拆模板，或拆模后及时养护并延长养护龄期，或隔离空气的措施，或者在模板内侧使用透水织物衬里以增强混凝土表面，等等。本条对规定的 28d 的碳化深度不超过 3mm 的限制是对结构混凝土而言，即混凝土浇筑 28d 后现场检测的自然碳化深度。当现场留有与构件混凝土用相同龄期、方法和制度养护或表面处理的试件时，也可以用以检测碳化深度。当构件持续处于潮湿环境时，则不必考虑碳化问题。

3.3.3 在氯化物作用的环境中，混凝土配合比需按抗氯离子侵入性进行优化，在本文中对检测氯离子侵入性的方法给出了三种建议：RCM 法、NEL 法、库仑电量法（ASTM1202）。三种方法各有利弊。库仑电量法操作方便、快捷，试验周期短，可较清楚地用以作为混凝土抗渗性指标的相对比较，但是对水胶比大于 0.6 和小于

0.4 的混凝土量测结果则不可靠；RCM 法在试验后劈开试件检查氯离子迁移的深度，结果直观，但是每个试样试验周期长需 3 ~ 4d 甚至 7d，而且试验结果离散性大；NEL 法在机理上较清楚，试验周期只需几分钟，可同时进行多个试样的试验，结果离散性稍小，但是对操作技术要求较高。由于是用于进行混凝土原材料和配合比的优化，用户可选择其中一种使用。不同方法检测结果相互之间不可比。三种方法的试样处理，除 NEL 法需真空饱盐外，其他两种都需真空饱水。目前尚无对氯离子扩散系数与混凝土耐久性相关关系的成熟结论，为了可靠并可操作起见，在本规范中，只对设计使用年限为 100 年以上的混凝土结构提出对用不同方法检测的氯离子扩散系数指标的限定值，检测龄期应根据构件接触腐蚀性环境的时间确定，列入“混凝土性能技术要求”的文件中。所有指标只用于混凝土试配时优化，而不作为设计使用寿命计算的依据。

3.3.4 试验指标主要用于优化混凝土，具体方法可根据工程和所处环境的特点选择。现行检测混凝土抗压强度都采用单轴受压，所检测的结果对混凝土内部缺陷敏感性较差，因此检测混凝土在化学腐蚀环境作用下的损伤程度，最好采用抗折强度。为了便于实验者选择，现推荐哈尔滨工业大学提供的方法（见本规范附录 A）试用，也可采用《普通混凝土长期性能与耐久性能试验方法标准》（GB/T 50082）推荐的方法。其他方法如可操作，也可用于优化材料时使用，但须说明所用方法。希望今后在实际工程中积累经验，发现问题，不断完善。

地下水中 CO_2 的腐蚀是与混凝土中水泥水化生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 碳化成的碳酸钙反应，生成可溶的 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ：



这是个可逆反应，如果地下水不流动或流动性很差，则发生可逆反应，这时的 CO_2 为平衡 CO_2 ，反应不继续发生，腐蚀只限于表面；当地下水有流动性时， $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 会不断生成而被带走，腐蚀会继续发生；如果地下水中有 CO_2 ，同时又存在与之相平衡的

$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ，则对混凝土无腐蚀性；只有存在过量 CO_2 ，扣除平衡 CO_2 后的 CO_2 才是有腐蚀性的，称作腐蚀性（或侵蚀性） CO_2 。

3.3.6 在本规范表 2 中，推荐了几种有关耐久性参数的指标和检测方法，都可以选用为原材料和配合比优选时的对比。希望在暂时借用国外的几个标准后，结合我国实际，不断进行对比、总结和积累经验，为今后标准的修订提供借鉴。

3.4 混凝土中的氯离子含量，可对所有原材料的氯离子含量进行实测，然后加在一起确定；也可以从新拌混凝土和硬化混凝土中取样化验求得。氯离子能与混凝土胶凝材料中的某些成分结合，所以从混凝土中取样测得的水溶氯离子量会低于测自原材料中的数值。为偏于安全，对重要工程也可用酸溶值按上表中的限制控制。混凝土氯离子含量的测试方法见《混凝土结构耐久性设计规范》（GB/T 50476）附录 D。

对于骨料无活性且处于干燥环境条件下的混凝土构件，控制混凝土中含碱量是因为碱对水泥的水化和开裂敏感性有影响。矿物掺和料带入混凝土中的碱可按水溶性碱的含量计入，当无检测条件时，对粉煤灰，可取粉煤灰中总碱量的 $1/6$ ，对磨细矿渣可取 $1/2$ 。对于使用有潜在活性的骨料并常年处于潮湿环境条件的混凝土构件，可参考加拿大标准 CSA C23.2-27A 针对不同使用年限构件提出的具体要求，包括硅酸盐水泥的最大含碱量、矿物掺和料的最低用量，以及粉煤灰掺和料中的 CaO 最大含量。

4 “混凝土性能技术要求”文件的编制

4.1.3 为了避免缺少对材料的深层了解而误导，并能使生产者按原材料波动和构件特性生产符合设计要求性能的混凝土，在西方国家，越来越多地区趋向于以目标性能的混凝土提出要求。这种做法有利于混凝土质量的控制；如果由混凝土用户提出规定组成混凝土的要求，则混凝土技术性能由提出规定组成的用户负责。在“混凝土性能技术要求”中不能指定混凝土各种原材料的品牌与供应商。但对用量很大的关键性材料，可以对使用质量可靠的品牌提出建议，并对其可靠性及后果负责。

4.2 在编制“混凝土性能技术要求”时，应考虑以下条件：

(1) 所处环境类别与作用等级；

(2) 结构物的尺寸：内部混凝土温度、内外温差、混凝土失水速率等，会影响混凝土结构物的体积稳定性，混凝土要有不同的原材料和配合比的选择；

(3) 混凝土施工时的现场环境与气候条件：对混凝土的温度控制、湿养护要求、拆模时间等；

(4) 是否有预应力配筋：混凝土强度发展、徐变等性质和养护方法及制度、拆模时间等；

(5) 构件混凝土表面的质量：是指如抹面、清水、饰面层的要求以及对表面缺陷等的限制，与混凝土施工性与施工要求有关；

(6) 骨料最大公称粒径：与钢筋的混凝土保护层最小厚度、构件截面最小宽度、钢筋最小间距、泵管直径等有关；

(7) 粗骨料矿物成分的特殊要求：与冻融环境、硫酸盐环境有关，不同材质还可能会有不同价格而涉及定额问题。

5 混凝土及其组成材料的质量要求

5.1 一般规定是指对混凝土质量控制的性能指标要求，涉及耐久性参数的指标应根据工程所处环境有选择性地提出。由于当前混凝土普遍水胶比较低，传统上 C40 以下混凝土的抗渗性指标都能达到，而 C40 以上混凝土检测抗渗性都难以透水，对有抗渗性要求混凝土，可以用氯离子扩散系数的检测取代抗渗性试验。

5.2 原材料的相关标准（国家或行业）只是产品标准，主要用于控制原材料的匀质性和无毒、无害性，不能用强度作为优质原材料，如水泥、砂石、外加剂等的评价标准，质检合格出厂的产品未必能符合混凝土工程的需要，在选购时必须根据工程需要契约的质量要求，尤其要杜绝未经质检合格的产品；优质产品的指标应是产品的匀质性与具有符合工程要求的性能。

（1）目前水泥厂为了提高水泥强度和掺量，普遍采取提高粉磨程度的办法，致使水泥过细。水泥颗粒级配合适时， $10\mu\text{m}$ 以下的颗粒水化很快，只对早期强度起作用，应控制其含量不大于 10%；占 90% 的 $30\sim 80\mu\text{m}$ 的颗粒保持后期强度持续增长，其作用是对早期出现的缺陷随水泥水化的进展而可得到自愈，由于水化水泥的强度和体积稳定性都不如未水化颗粒的，一些粗的未水化的颗粒还可起稳定体积作用并对强度做贡献。如果水泥太细，后期强度还有可能倒缩，而且对抗拉强度、开裂敏感性和抗冻性都有显著影响，规定 $80\mu\text{m}$ 方孔筛筛余的下限和比表面积上限，主要是为了控制水泥不要过细。

（2）水泥出厂温度过高时会给施工控制造成无法解决的麻烦，除了凝结时间不正常、与外加剂相容性很差外，还可能造成混凝土的缺陷。

（3）只对在有水的环境中使用有碱活性骨料的混凝土所用水

泥，规定碱含量的上限；对骨料没有碱活性的混凝土，即使用在潮湿的环境如地下、水下、海底等工程时，也可以不控制水泥含碱量；在干燥环境下，即使使用活性骨料，也不会发生碱骨料反应的破坏，可以不控制水泥含碱量；但在干燥环境下对抗裂有较高要求的工程，也应控制含碱量。

5.3.1 本条文中所列的几种矿物掺和料是已有行业标准的。但由于天然矿物中大多含有黏土质矿物，含有一定量铝、硅、钙等成分的工业废渣种类繁多，不同工业废渣中必然会残留有原矿的主要成分，对水泥和混凝土会有不同的影响，不能只做抗压强度试验就确定其是否可用。在采用无相关标准的矿物掺和料时，必须做充分的试验研究。

对于当前用量最大的粉煤灰，现行粉煤灰标准等级的划分使用户误解为“Ⅰ级灰的质量最好”，以致造成Ⅰ级灰供不应求而影响工程进度，使用不当时还会影响混凝土的质量，如因Ⅰ级灰太细，用于大坍落度混凝土易于泌浆，反而增加因养护不当而产生开裂的敏感性。为了追求Ⅰ级灰，不少人想用磨细的方法提高粉煤灰的“活性”，但实际上粉煤灰的比表面积增加后，其活性增加得很少。有的粉煤灰经过粉磨后因打开了团聚颗粒而使比表面积有所下降，就有人就为了追求低需水量而磨细粉煤灰。尽管厂家可得到Ⅰ级灰的销售利润，而从增加能源消耗的角度来看，是得不偿失的。用户也不必为了省一点减水剂而追求粉煤灰的磨细。实践表明，粉煤灰质量中最重要的是烧失量。目前我国有大量烧失量很低只是细度稍粗，需水量比稍大的粉煤灰使用后混凝土质量很好。Ⅰ灰级应当主要用于要求大幅度减小水胶比的高强混凝土中。一般情况下，应优先使用那些烧失量不大于5%的Ⅱ级灰，甚至统灰。粉煤灰在混凝土中的主要作用不在于化学反应活性，而是促进水泥的水化，取代未水化水泥颗粒以保持混凝土体积的稳定性和强度。

除粉煤灰和矿渣粉外，我国对天然沸石岩粉的研究和应用均较成熟，在天然火山灰或天然沸石岩储量大而矿渣和粉煤灰资源不足的地方，可以通过使用高效减水剂解决其需水量较大的问题，并控制掺量不大于 30%，有利于混凝土抗化学腐蚀性的提高。在我国，石灰石粉的使用研究还不是很成熟，行动还不能走在研究的前面，如果一旦出现什么问题，将会付出很大代价。加拿大标准规定石灰石粉掺量不大于 5%，欧洲标准限制在 10% 以下。建议我国在干燥的地方例如房屋室内使用，且掺量不宜超过 20%。

5.3.3 对石灰石粉的限定是因在 15℃ 以下的有水的环境中，由于内部或外部硫酸盐的存在， CaCO_3 会和水化硅酸钙及 SO_3 反应生成水化碳硫硅酸钙使混凝土软化。

5.3.4 磨细矿渣比表面积越大，水化越快，越不利于降低混凝土温升，在低水胶比下自收缩也越大，故大体积混凝土使用的磨细矿渣比表面积不宜超过 $400\text{m}^2/\text{kg}$ ；否则可与粉煤灰复合掺用，矿渣粉和粉煤灰的比例宜小于 1:1。当用于地下或水下工程时，比表面积大于 $400\text{m}^2/\text{kg}$ 的矿渣粉掺量大于 75% 后，因浆体中作为矿渣激发的组分相对不足，矿渣水化反应受限，则自收缩和水化热可减小。

5.4 混凝土的胶凝材料除水泥中的硅酸盐水泥外，还包括水泥中作为辅助性胶凝材料的混合材料（如粉煤灰、火山灰、矿渣、石粉、沸石岩粉等）以及配制混凝土时掺入的矿物掺和料（粉煤灰、磨细矿渣、硅灰、石粉等）。矿物掺和料的掺量应视工程性质、环境和施工条件而选择。对于完全处于地下和水下的工程，尤其是大体积混凝土如基础底板、咬合桩或连续浇筑的地下连续墙、海水中的桥梁桩基、海底隧道底板或有表面处理的侧墙以及常年处于干燥环境（相对湿度 60% 以下）的构件等，矿物掺和料可以用到最大限量；长年处在相对湿度为 60% ~ 90%、无化学腐蚀和冻融循环一般环境中的构件，对构件断面小、保护层厚度小、水胶比较大（例如大于 0.5）、强度等级较低的构件，粉煤灰

掺量不宜大于 20%，矿渣掺量不宜大于 30%。如果采取延长湿养护时间或其他增大钢筋的混凝土保护层密实度措施，则可超过以上限制。

5.5 外加剂没有好和不好之分，选用时应当根据工程特点和混凝土的实际需要，按性能和经济性综合进行评价。

5.6.1.2 对大于 5mm 但小于粗集料最大公称粒径的部分，需测试该部分的压碎值和吸水率等关键指标，若满足粗集料要求，可将该部分计入粗集料用量；对粒径超过粗集料最大公称粒径或不满足粗集料其他技术要求的部分，必须过筛剔除。

5.6.1.3 钢筋混凝土结构不得使用海砂配制。一般工程由于取材条件限制不得不使用海砂时，除应严格控制混凝土中的氯离子量符合 3.4 条的规定外，混凝土的水胶比应低于 0.45，强度等级不宜低于 C40，并应适当加大构件的混凝土保护层厚度或使用化学阻锈剂。日本因资源问题，都是用海砂，但是其海砂淡化处理已产业化。我国目前尚未形成产业和严格的管理体系，不宜放开海砂的使用。

5.6.1.5 目前一般都供应湿砂，其含水量都超过饱和面干的含水量，只要测出该砂饱和面干的体积，在生产时就很容易测出其附加含水率，比购进干砂有利于混凝土生产的质量控制。因此日本和西方发达国家都用封闭仓储存砂子，避免其水分流失；对经水洗工艺供应的石子，也不希望其水分流失很快。如目前暂时做不到，也应避免风吹、日晒，流失水分或受到污染、夏季温度升高、冬季冻结。

5.6.2.3 骨料的粒形和级配是影响混凝土质量至关重要的因素。理想级配的骨料松堆孔隙率可达到 38% 以下，可得到最小的浆骨比（最小的用水量和水泥用量），既经济，又可使混凝土收缩最小，体积稳定。目前我国骨料生产总体上工艺落后，骨料粒形差、级配不良，松堆孔隙率普遍大于 45%，最高可达到 50% 以上，以致混凝土单方水泥用量约比西方国家的多用几十千克。退一步讲，即使骨

料在生产时经过合格的级配，而在装卸、运输过程中的离析也会破坏已有的均匀级配。西方国家使用的骨料都供应单粒级碎石，生产时两级配或三级配，分级上料，甚至再加上细骨料全级配。国内企业和工程的经验表明，使用两级配的石子后，用水量、水泥用量可减少约 20%。

6 混凝土配合比设计的原则

6.1 “混凝土配合比设计”实际上就是配合比四参数——水胶比、浆骨比、砂石比、掺和料掺量的选择。现在，在《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T 50476)中根据环境作用规定了用于不同环境的混凝土的最大水胶比，就能以其为基础，选择同时满足强度要求的几个水胶比进行试配；有了最小和最大胶凝材料用量的规定就能选择合适的浆骨比，然后按照最紧密堆积的原则，就可以根据施工性的要求确定砂石比（砂率）。

6.2 混凝土浆骨比影响混凝土拌和物的施工性能和耐久性。实际上在水胶比一定的条件下，浆骨比小（即骨料用量大）时，混凝土的弹性模量较大，体积稳定，但强度有所降低。最小的浆骨比可以保证混凝土的体积稳定性和经济性，因此对浆骨比要限制其最大值；确定了浆骨比后，当强度有所降低时，可用水胶比进行调整，即浆骨比是主要矛盾；但是如果浆骨比过小，则会影响拌和物的施工性能和硬化混凝土的耐久性，因此还要规定最小胶凝材料用量，即还要限定浆骨比的最小值。由于首先要确定水胶比，胶凝材料用量或用水量的大小就意味着浆骨比的大小。在《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T 50476)中已有最小的和最大的胶凝材料用量的规定，为了更方便配合比的计算，本规范表3中给出了 1m^3 混凝土中最大浆体体积比和最大用水量的要求，也就限定了最小和最大浆骨比，或最大和最小胶凝材料用量。只要至少做到粗骨料两级配，稍加改善骨料质量，要达到表3的要求是没有困难的，如果能严格要求骨料质量，表中限制的要求并不高，但是混凝土质量会有很大的提高。

6.3 混凝土的配合比是按混凝土各原材料紧密堆积的原则计算出的每立方米混凝土中各原材料的用量。计算方法叫做绝对密实体积

法，简称绝对体积法。由于各原材料各自表观密度相对波动不大，计算出的混凝土表观密度（容重）也波动不大，为了简便，我国多年使用“假定容重法”。但是混凝土掺用较大量矿物掺和料时（有时还不止一种），矿物掺和料的密度和水泥密度差别较大，用“假定容重法”计算出的混凝土中各材料用量体积总合将不是 1m^3 ，尽管试配时根据实测容重调整，但是也与实际不符。因此凡是掺用矿物掺和料的混凝土，应当采用绝对体积法计算。

6.4 按照绝对体积法的原则，用水量不考虑原材料吸水，因此各原材料（水泥除外）都必须是饱和面干的。砂石则必须满足饱和面干的。美国等西方国家和日本都是用饱和面干的砂石，只有中国的建筑工程采用绝干基。在试配时烘干砂子测出含水率，从用水量中扣除后，以致原设计用水量都不够，这对混凝土生产控制造成困难。因此从混凝土试配到现场控制都需改成饱和面干基。碎石做到饱和面干时，还可以解决使用密度较小的玄武岩类石子时，因吸水率大而带来用水量控制的困难。

8 硬化混凝土

8.3.5 混凝土的早期强度越高，开裂敏感性越大。德国为控制早期裂缝提出 12h 抗压强度不超过 6MPa 的要求；我国专家黄士元实验表明混凝土 24h 抗压强度不超过 10MPa 左右，或 28d 抗压强度不超过 50MPa，可以大大降低开裂的风险。

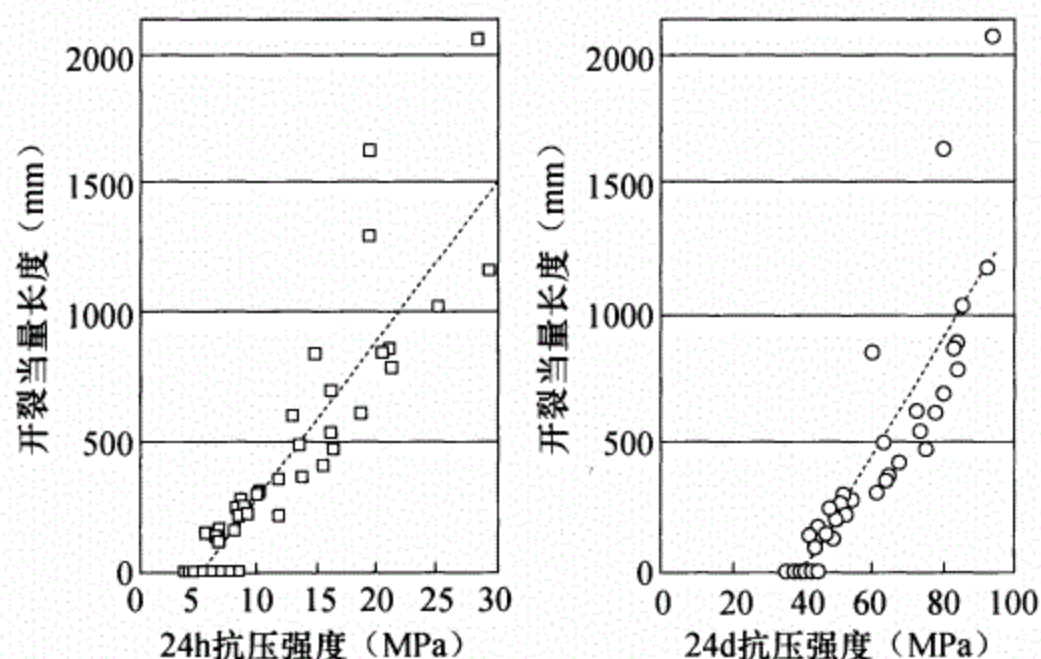


图 8.1 混凝土结构开裂敏感性和早期强度的关系

10 混凝土的浇筑、振捣、拆模及养护

10.1 交货时所提供的质保资料中，对于目标性能混凝土，只需提交拌和物性质及硬化后混凝土的性质检验报告、混凝土生产中的标准差（或变异系数）；为了便于现场检验拌和物水胶比，尚需提供拌和物的水胶比和用水量、胶凝材料表观密度和砂石饱和面干的表观密度，当需要时，可向供货方索取配合比报告。对于规定组成的混凝土，应提供混凝土组成及配合比的详细资料；该混凝土在使用中的问题，由规定组成者负责。

10.3 据国外有关资料报道，当快速冷却使混凝土内外温差超过 20°C 时，会造成混凝土表面开裂。因此美国、加拿大等国控制混凝土温差都是 20°C 。工程实践中表明，混凝土的早期表面开裂影响因素复杂，即使混凝土内外温差低于 20°C ，也未必不产生表面裂缝，因此在此处将现行有关规范中规定的 25°C 改为 20°C 。降温速率过快时，即使内外温差不大，也可因使混凝土瞬间急剧变形产生的冲击性的应力而开裂。但是造成混凝土早期开裂的因素很复杂，国外有的规定降温速率为 $2^{\circ}\text{C}/\text{d}$ ，但是也有降温 $5^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 而不裂的情况。我国现有规范规定为 $2^{\circ}\text{C}/\text{d}$ ，工程实践证明 $3^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 比较保险。

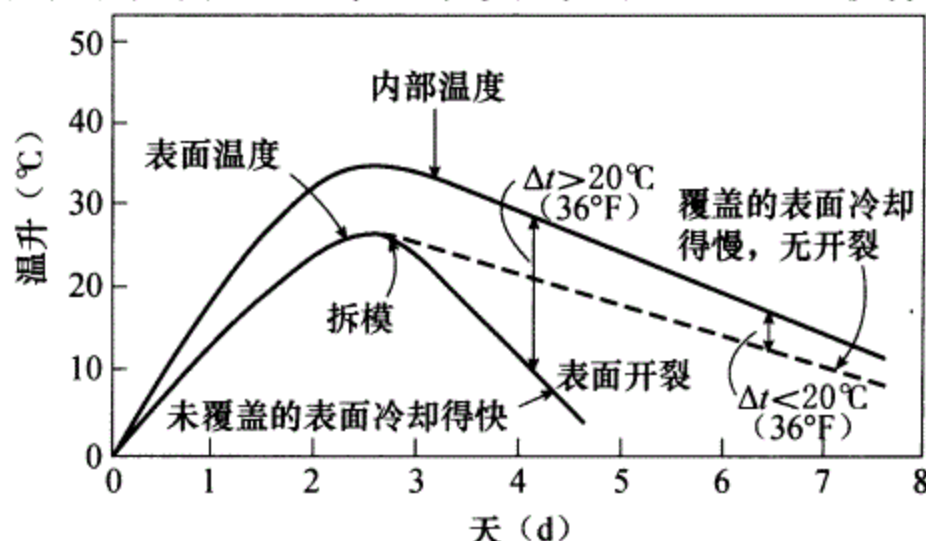


图 10.3 混凝土冷却速率、内外温差对开裂的影响

10.5 不能把对混凝土的养护看成只是“及时浇水”，还应当包括温度控制；湿度控制也不只是浇水，应当根据季节和天气情况采取具体的控制技术。例如对水灰比大的混凝土，或大掺量掺和料的混凝土就可不浇水，只要能及时保持内部水分不流失即可；对大面积构件尤其要注意浇筑完毕立即保湿，冬季保温以蓄热，夏季宜采用上空喷雾以降温 and 保湿。

11 技术档案的建立和管理

混凝土结构耐久性设计的使用年限是包括维护、修补乃至加固在内的使用年限的，技术档案的保存和管理对结构物的长期监测与维护、维修非常重要。退一步来说，对施工过程控制和混凝土结构物质量的诊断也是重要依据。在此之前，常发生出现质量事故或疑问时无法分析判断的情况，主要是因为技术档案资料不全。技术档案的建立必须真实、详尽，严禁造假。