

ICS 91.100.30

P 59

备案号: J490—2015

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5330 — 2015

代替 DL/T 5330 — 2005

水工混凝土配合比设计规程

Code for mix design of hydraulic concrete



中国电力出版社官方微信



掌上电力书屋



155123.2656

定价: 18.00 元

2015-04-02 发布

2015-09-01 实施

国家能源局 发布

中华人民共和国电力行业标准

水工混凝土配合比设计规程

Code for mix design of hydraulic concrete

DL/T 5330 — 2015

代替 DL/T 5330 — 2005

主编机构：中国电力企业联合会

批准部门：国家能源局

施行日期：2015年9月1日

中国电力出版社

2015 北京

前 言

本标准根据《国家能源局关于下达 2012 年第二批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2012〕326 号）的要求修订。

DL/T 5330—2005《水工混凝土配合比设计规程》（以下简称原标准）自 2005 年颁布以来，在促进水工混凝土技术的发展，保证工程质量等方面起到了积极的作用。为了适应我国水电水利工程建设需要，与国内外同类标准的发展相协调，有必要对原标准进行修订。本标准在修订过程中，总结了我国工程建设中水工混凝土配合比设计的实践经验，既吸收了国内外同类标准中适合我国水工混凝土的有关内容，同时又突出了水工大体积混凝土的特点。

本标准与原标准相比，主要修订内容如下：

- 增加了英文目录；
- 取消了范围的相关内容；
- 增加了术语中对和易性的解释；
- 修改了混凝土配合比的计算步骤；
- 修改了符号 α 的含义；
- 增加了常态混凝土和碾压混凝土的初选水胶比；
- 取消了混凝土配合比水胶比与抗压强度关系的计算公式；
- 将混凝土配合比的计算和混凝土配合比设计的基本参数的章节顺序进行了调换。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业水电施工标准化技术委员会归口并负责解释。

本标准主要起草单位：长江水利委员会长江科学院

中华人民共和国电力行业标准
水工混凝土配合比设计规程

Code for mix design of hydraulic concrete

DL/T 5330—2015

代替 DL/T 5330—2005

*

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

北京九天众诚印刷有限公司印刷 3 月

*

2015 年 11 月第一版 2015 年 11 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 2.125 印张 51 千字

印数 0001—3000 册

*

统一书号 155123·2656 定价 18.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本标准参加起草单位：中国长江三峡集团公司
中国水利水电科学研究院
南京水利科学研究院

本标准主要起草人：杨华全 董 芸 李文伟 陈改新
陆采荣 王迎春 李家正 肖开涛
苏 杰 董维佳 严建军 彭尚仕
邝亚力 周世华 石 妍 陈 霞
林育强 李 响 王 磊 张建峰
张 亮

本标准主要审查人：许松林 汪 毅 宗敦峰 周厚贵
梅锦煜 郑 平 楚跃先 郭光文
孙来成 郑桂斌 吴国如 余 英
陈 宏 王文涛 康明华 谢凯军
席 浩 牛宏力 吴高见 向 建
朱明星 吕芝林 李光伟 张振宇

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会
标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

目 次

前言	I
1 总则	1
2 术语和符号	3
2.1 术语	3
2.2 符号	4
3 混凝土配制强度的确定	6
4 混凝土配合比的计算	8
5 混凝土配合比设计的基本参数	11
5.1 水胶比	11
5.2 用水量	12
5.3 骨料级配及砂率	14
5.4 外加剂及掺和料掺量	15
6 混凝土配合比的试配、调整和确定	17
6.1 试配	17
6.2 调整和确定	18
7 特殊要求的混凝土配合比设计	19
8 水工砂浆配合比设计	23
8.1 砂浆配合比设计的基本原则	23
8.2 砂浆配制强度的确定	23
8.3 砂浆配合比的计算	24
8.4 砂浆配合比的试配、调整和确定	26
本标准用词说明	27
引用标准名录	28
附：条文说明	29

Contents

Foreword	I
1 General provisions	1
2 Terms and symbols	3
2.1 Terms	3
2.2 Symbols	4
3 Determination of compounding strength	6
4 Calculation of mix proportion	8
5 Basic parameters of mix design of concrete	11
5.1 Water-cementitious material ratio	11
5.2 Water content	12
5.3 Aggregate gradation and fine-to-coarse aggregate ratio	14
5.4 Admixture and pozzolanic material content	15
6 Trial mix, adjustment and determination of mix	17
6.1 Trial mix	17
6.2 Adjustment and determination of mix	18
7 Mix design of special concrete	19
8 Mix design of hydraulic mortar	23
8.1 Basic principle of mix design of mortar	23
8.2 Determination of compounding strength of mortar	23
8.3 Calculation of mix of mortar	24
8.4 Trial mix, adjustment and determination of mix of mortar	26
Explanation of wording in this code	27
List of quoted standards	28
Additions: explanation of provisions	29

1 总 则

1.0.1 为规范水工混凝土配合比设计方法,满足设计与施工要求,确保混凝土工程质量且经济合理,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于水电水利工程水工混凝土及砂浆的配合比设计。

1.0.3 混凝土配合比设计的基本原则:

1 应根据工程要求、结构型式、施工条件和原材料状况确定各组成材料的用量,配制出既满足工作性、强度及耐久性等要求,又经济合理的混凝土。

2 混凝土配合比试验使用的原材料宜采用工程中实际使用的原材料。

3 在满足工作性要求的前提下,宜选用较小的用水量。

4 在满足强度、耐久性及其他要求的前提下,选用合适的水胶比。

5 宜选取最优砂率,即在保证混凝土拌和物具有良好的黏聚性并达到要求的工作性时用水量最小的砂率。

6 宜选用最大粒径较大的骨料及最佳级配。

1.0.4 进行混凝土配合比设计时,应收集水泥、掺和料、外加剂、砂石骨料及拌和用水等混凝土原材料,并按规范的要求进行相关性能试验。

1.0.5 进行混凝土配合比设计时,应明确下列要求:

1 混凝土强度等级及保证率。

2 混凝土的抗渗等级、抗冻等级等。

3 混凝土的工作性。

4 骨料最大粒径。

5 其他要求。

1.0.6 进行混凝土配合比设计时,应根据原材料的性能及混凝土的技术要求进行配合比计算,并通过试验室试配、调整后确定。室内试验确定的配合比尚应根据现场情况进行必要的调整。

1.0.7 进行混凝土配合比设计时,除应遵守本标准的规定外,还应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 水工混凝土 hydraulic concrete

用于水电水利工程的挡水、发电、泄洪、输水、排沙等建筑物,密度为 2400kg/m^3 左右的水泥基混凝土。

2.1.2 水工砂浆 hydraulic mortar

指与水工混凝土接触使用的水泥基砂浆,用于混凝土与基岩接触铺筑、混凝土浇筑升层间铺筑、混凝土施工中局部处理等。

2.1.3 大体积混凝土 mass concrete

混凝土结构物实体最小几何尺寸不小于 1m 的混凝土,或预计会因混凝土中胶凝材料水化引起的温度变化和收缩而导致有害裂缝产生的混凝土。

2.1.4 常态混凝土 conventional concrete

混凝土拌和物坍落度为 10mm~100mm 的混凝土。

2.1.5 碾压混凝土 roller compacted concrete

拌和物具有干硬性,利用振动碾振动压实的混凝土。

2.1.6 结构混凝土 structural concrete

用于水工建筑物中梁、板、柱、墙等配有钢筋的混凝土。

2.1.7 预应力混凝土 prestressed concrete

施加预应力且强度等级不低于 C30 的混凝土。

2.1.8 泵送混凝土 pumped concrete

在混凝土泵的压力推动下,能沿管道输送到浇筑地点进行浇筑的流动性混凝土。

2.1.9 喷射混凝土 shotcrete

利用压缩空气或其他动力,将按一定配合比拌制的混凝土混合料沿管路输送至喷头处,以较高速度喷射于受喷面,依赖喷射

过程中水泥与骨料的连续撞击，压密而形成的一种混凝土。

2.1.10 抗冲磨混凝土 abrasion resistant concrete

受含砂（石）水流冲刷，强度等级不低于 C35 的混凝土。

2.1.11 水下不分散混凝土 non-dispersible underwater concrete

掺加了抗分散剂后具有水下不分散性的混凝土。

2.1.12 掺和料 pozzolanic material

拌制混凝土或砂浆时掺入的粉煤灰、矿渣粉、磷渣粉、硅粉、石灰石粉、天然火山灰等矿物质材料。

2.1.13 掺和料掺量 pozzolanic material content

掺和料质量占水泥与掺和料质量之和的百分比。

2.1.14 胶凝材料 cementitious material

混凝土或砂浆中水泥及掺和料的总称。

2.1.15 用水量 water content

每立方米混凝土中的拌和水量（不包括骨料吸收的水）。

2.1.16 水胶比 water-cementitious material ratio

水泥混凝土或砂浆中拌和水（不包括骨料吸收的水）与胶凝材料的质量比。

2.1.17 砂率 fine-to-coarse aggregate ratio

混凝土中砂与砂石的体积比或质量比，本标准中非注明的一般均指体积砂率。

2.1.18 VC 值 vibrating compacted value

碾压混凝土拌和物在规定振动频率及振幅、规定表面压强下，振至表面泛浆所需的时间（以 s 计）。

2.1.19 和易性 workability

混凝土拌和物能保持组分均匀、不发生分层离析、泌水等现象，适于运输、浇筑施工作业，并能重获质量均匀、密实的混凝土的性能。

2.2 符 号

$f_{cu, 0}$ ——混凝土配制强度 (MPa);

$f_{cu, k}$ ——混凝土设计龄期的立方体抗压强度标准值 (MPa);

$f_{m, 0}$ ——砂浆配制强度 (MPa);

$f_{m, k}$ ——砂浆设计龄期的立方体抗压强度标准值 (MPa);

t ——概率度系数;

σ ——混凝土（砂浆）抗压强度标准差 (MPa);

$w/(c+p)$ ——水胶比;

m_w ——每立方米混凝土的用水量 (kg);

m_c ——每立方米混凝土的水泥用量 (kg);

m_p ——每立方米混凝土的掺和料用量 (kg);

m_s ——每立方米混凝土的细骨料用量 (kg);

m_g ——每立方米混凝土的粗骨料用量 (kg);

$m_{c, e}$ ——每立方米混凝土拌和物的质量假定值 (kg);

$m_{c, c}$ ——每立方米混凝土拌和物的质量计算值 (kg);

$m_{c, t}$ ——每立方米混凝土拌和物的质量实测值 (kg);

$m_{s, g}$ ——每立方米混凝土中骨料的总质量 (kg);

α ——每立方米混凝土中含有的空气体积 (m^3);

β ——外加剂的减水率 (以百分数表示);

P_m ——掺和料的掺量 (以百分数表示);

S_v ——体积砂率 (指砂的体积占骨料总体积的百分比);

S_m ——质量砂率 (指砂的质量占骨料总质量的百分比);

ρ_c ——水泥密度 (kg/m^3);

ρ_p ——掺和料密度 (kg/m^3);

ρ_s ——细骨料饱和面干表观密度 (kg/m^3);

ρ_g ——粗骨料饱和面干表观密度 (kg/m^3);

ρ_w ——水的密度 (kg/m^3);

δ ——混凝土配合比校正系数;

$V_{s, g}$ ——每立方米混凝土含砂、石的绝对体积 (m^3);

V_s ——每立方米砂浆含砂的绝对体积 (m^3).

3 混凝土配制强度的确定

3.0.1 混凝土的强度等级应按混凝土设计龄期立方体抗压强度标准值划分，强度等级采用符号 C 加设计龄期下角标再加立方体抗压强度标准值表示，若设计龄期为 28d，可省略下角标。混凝土设计龄期立方体抗压强度标准值系指按照标准方法制作养护的边长为 150mm 的立方体试件，在设计龄期用标准试验方法测得的具有设计保证率的抗压强度，以 N/mm² 或 MPa 计。

3.0.2 混凝土配制强度按下式计算：

$$f_{cu,0} = f_{cu,k} + t\sigma \quad (3.0.2)$$

式中： $f_{cu,0}$ ——混凝土配制强度 (MPa)；

$f_{cu,k}$ ——混凝土设计龄期立方体抗压强度标准值 (MPa)；

t ——概率度系数，由给定的保证率 P 选定，其值按表 3.0.2 选用；

σ ——混凝土立方体抗压强度标准差 (MPa)。

表 3.0.2 保证率和概率度系数关系

保证率 P (%)	70.0	75.0	80.0	84.1	85.0	90.0	95.0	97.7	99.9
概率度 系数 t	0.525	0.675	0.840	1.0	1.040	1.280	1.645	2.0	3.0

3.0.3 当设计龄期为 28d 时，抗压强度保证率 P 为 95%。其他龄期混凝土抗压强度保证率应符合设计要求。

3.0.4 混凝土抗压强度标准差 σ ，宜按同品种混凝土抗压强度统计资料确定。

- 1 统计时，混凝土抗压强度试件总数应不少于 30 组。
- 2 根据近期相同抗压强度、生产工艺和配合比基本相同的混凝土抗压强度资料，混凝土抗压强度标准差 σ 按下式计算：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^2 - nm_{f_{cu}}^2}{n-1}} \quad (3.0.4)$$

式中： $f_{cu,i}$ ——第 i 组试件抗压强度 (MPa)；

$m_{f_{cu}}$ —— n 组试件的抗压强度平均值 (MPa)；

n ——试件组数。

- 3 当混凝土设计龄期立方体抗压强度标准值小于或等于 25MPa，其抗压强度标准差 σ 计算值小于 2.5MPa 时，计算配制抗压强度用的标准差应取不小于 2.5MPa；当混凝土设计龄期立方体抗压强度标准值等于或大于 30MPa，其抗压强度标准差计算值小于 3.0MPa 时，计算配制抗压强度用的标准差应取不小于 3.0MPa。
- 3.0.5** 当无近期同品种混凝土抗压强度统计资料时，标准差 σ 值可按表 3.0.5 取用。施工中应根据现场施工时段强度的统计结果调整标准差 σ 值。

表 3.0.5 标准差 σ 选用值

设计龄期混凝土抗压 强度标准值 (MPa)	≤15	20~25	30~35	40~45	≥50
混凝土抗压强 度标准差 σ (MPa)	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5

4 混凝土配合比的计算

4.0.1 混凝土配合比计算应以饱和面干状态骨料为基准。

4.0.2 混凝土配合比应按下列步骤进行计算：

- 1 按 3.0.2 计算混凝土的配制强度 $f_{cu,0}$ 。
- 2 根据配制强度和设计允许的最大水胶比限值初选水胶比，根据施工要求的和易性选定用水量，并计算出混凝土的胶凝材料用量。
- 3 选取砂率，计算细骨料和粗骨料的用量，并提出供试配用的计算配合比。
- 4 通过试验和调整，根据配制强度、混凝土耐久性要求和允许的最大水胶比限值选定水胶比，确定每立方米混凝土材料用量和配合比。

4.0.3 混凝土的胶凝材料用量 ($m_c + m_p$)、水泥用量 (m_c) 和掺和料用量 (m_p) 按下式计算：

$$(m_c + m_p) = m_w / [w / (c + p)] \quad (4.0.3-1)$$

$$m_c = (1 - P_m)(m_c + m_p) \quad (4.0.3-2)$$

$$m_p = P_m(m_c + m_p) \quad (4.0.3-3)$$

式中： m_c ——每立方米混凝土水泥用量 (kg)；
 m_p ——每立方米混凝土掺和料用量 (kg)；
 m_w ——每立方米混凝土用水量 (kg)；
 P_m ——掺和料掺量 (%)；
 $w / (c + p)$ ——水胶比。

4.0.4 粗、细骨料用量由已确定的用水量、水泥（胶凝材料）用量和砂率，根据“体积法”或“质量法”计算。

1 体积法：基本原理是混凝土拌和物的体积等于各组成材料

的绝对体积与空气体积之和。

1) 每立方米混凝土中粗、细骨料的绝对体积为：

$$V_{s,g} = 1 - \left(\frac{m_w}{\rho_w} + \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_p}{\rho_p} + \alpha \right) \quad (4.0.4-1)$$

细骨料用量：

$$m_s = V_{s,g} S_v \rho_s \quad (4.0.4-2)$$

粗骨料用量：

$$m_g = V_{s,g} (1 - S_v) \rho_g \quad (4.0.4-3)$$

式中： $V_{s,g}$ ——砂、石的绝对体积 (m^3)；

m_w ——每立方米混凝土用水量 (kg)；

m_c ——每立方米混凝土水泥用量 (kg)；

m_p ——每立方米混凝土掺和料用量 (kg)；

m_s ——每立方米混凝土细骨料用量 (kg)；

m_g ——每立方米混凝土粗骨料用量 (kg)；

α ——每立方米混凝土中含有的空气体积 (m^3)；

S_v ——体积砂率 (%)；

ρ_w ——水的密度 (kg/m^3)；

ρ_c ——水泥密度 (kg/m^3)；

ρ_p ——掺和料密度 (kg/m^3)；

ρ_s ——细骨料饱和面干表观密度 (kg/m^3)；

ρ_g ——粗骨料饱和面干表观密度 (kg/m^3)。

2) 粗骨料各级石子用量按选定的级配比例计算。

2 质量法：基本原理是单位体积混凝土拌和物的质量等于各组成材料质量之和。

1) 每立方米混凝土拌和物的质量计算时可按表 4.0.4 选用，混凝土拌和物每立方米的实际质量应通过试验确定。

表 4.0.4 每立方米混凝土拌和物的假定质量

混凝土种类	粗骨料最大粒径				
	20mm	40mm	80mm	120mm	150mm
普通混凝土 (kg/m ³)	2380	2400	2430	2450	2460
引气混凝土 (kg/m ³)	2280 (5.5%)	2320 (4.5%)	2350 (3.5%)	2380 (3.0%)	2390 (3.0%)

注: 1 适用于骨料表观密度为 2600kg/m³~2650kg/m³ 的混凝土。

- 2 骨料表观密度每增减 100kg/m³, 混凝土拌和物质量相应增减 60kg/m³; 含气量每增减 1%, 混凝土拌和物质量相应增减 1%。
- 3 表中括号内的数字为引气混凝土的含气量。

每立方米混凝土中骨料总质量:

$$m_{s,g} = m_{c,e} - (m_w + m_c + m_p) \quad (4.0.4-4)$$

细骨料用量:

$$m_s = m_{s,g} S_m \quad (4.0.4-5)$$

粗骨料用量:

$$m_g = m_{s,g} - m_s \quad (4.0.4-6)$$

式中: $m_{s,g}$ ——每立方米混凝土中骨料总质量 (kg);

$m_{c,e}$ ——每立方米混凝土拌和物的质量假定值 (kg);

m_w ——每立方米混凝土用水量 (kg);

m_c ——每立方米混凝土水泥用量 (kg);

m_p ——每立方米混凝土掺和料用量 (kg);

m_s ——每立方米混凝土细骨料用量 (kg);

m_g ——每立方米混凝土粗骨料用量 (kg);

S_m ——质量砂率。

2) 各级粗骨料用量按选定的级配比例计算。

4.0.5 混凝土配合比计算成果应制表列出每立方混凝土各组成材料的用量和比例。

5 混凝土配合比设计的基本参数

5.1 水胶比

5.1.1 混凝土的水胶比应根据设计对混凝土性能的要求和环境水侵蚀类型, 通过试验确定, 并应符合 DL/T 5144《水工混凝土施工规范》、DL/T 5241《水工混凝土耐久性技术规范》的规定。

5.1.2 当无试验资料时, 不掺掺和料的常态混凝土的初选水胶比可按表 5.1.2 选取; 掺掺和料时混凝土的最大水胶比应根据掺和料的品种适当调整, 并通过试验确定。

表 5.1.2 不同强度等级的常态混凝土初选水胶比

28d 设计龄期混凝土抗压强度标准值 (MPa)	水胶比
$f_{cu,k} \leq 20$	0.45~0.60
$20 < f_{cu,k} \leq 30$	0.40~0.55
$30 < f_{cu,k} < 50$	0.35~0.45
$f_{cu,k} \geq 50$	< 0.35

- 注: 1 本表适用于使用 42.5 强度等级的通用硅酸盐水泥、中热硅酸盐水泥、不掺掺和料的混凝土, 水胶比的选择还应考虑所用水泥的强度等级、掺和料品种及掺量、外加剂品种及掺量、骨料品种等因素。
- 2 当使用 32.5 强度等级的矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥, 以及低热硅酸盐水泥时, 混凝土水胶比宜适当降低; 当使用 52.5 通用硅酸盐水泥时, 混凝土水胶比宜适当增大; C50 以上混凝土宜采用 42.5 及以上强度等级通用硅酸盐水泥或中热硅酸盐水泥。
- 3 当设计龄期大于 28d 时, 混凝土水胶比宜适当增加。

5.1.3 当无试验资料时, C₉₀15~C₉₀25 碾压混凝土的初选水胶比可按表 5.1.3 选取。

表 5.1.3 不同强度等级的碾压混凝土初选水胶比

90d 设计龄期混凝土抗压强度标准值 (MPa)	水胶比
$f_{cu,k} \leq 15$	0.50~0.55
$15 < f_{cu,k} \leq 20$	0.45~0.50
$f_{cu,k} \geq 25$	< 0.45

注: 1 本表适用于使用 42.5 强度等级的通用硅酸盐水泥或中热硅酸盐水泥掺和料用量 40%~60%左右的碾压混凝土。

2 当使用 32.5 强度等级的矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥时, 混凝土水胶比宜适当降低。

5.2 用水量

5.2.1 混凝土用水量应根据骨料最大粒径、掺和料和外加剂的品种及掺量, 采用初选混凝土用水量进行试拌。选择满足和易性要求的最小用水量。

5.2.2 常态混凝土用水量:

1 水胶比在 0.40~0.65 范围, 当无试验资料时, 其初选用水量可按表 5.2.2 选取。

表 5.2.2 常态混凝土初选用水量表 (kg/m^3)

混凝土坍落度 (mm)	卵石最大粒径				碎石最大粒径			
	20mm	40mm	80mm	150mm	20mm	40mm	80mm	150mm
10~30	160	140	120	105	175	155	135	120
30~50	165	145	125	110	180	160	140	125
50~70	170	150	130	115	185	165	145	130
70~90	175	155	135	120	190	170	150	135

注: 1 本表适用于细度模数为 2.6~2.8 的天然中砂。当使用细砂或粗砂时, 用水量需增加或减少 $3\text{kg}/\text{m}^3 \sim 5\text{kg}/\text{m}^3$ 。

2 采用人工砂, 用水量增加 $5\text{kg}/\text{m}^3 \sim 10\text{kg}/\text{m}^3$ 。

3 采用 I 级粉煤灰时, 用水量可减少 $5\text{kg}/\text{m}^3 \sim 10\text{kg}/\text{m}^3$ 。

4 采用外加剂时, 用水量应根据外加剂的减水率作适当调整, 外加剂的减水率应通过试验确定。

2 水胶比小于 0.40 的混凝土以及采用特殊成型工艺的混凝土用水量应通过试验确定。

5.2.3 坍落度大于 90mm 的混凝土的用水量宜按下列步骤计算:

1 以表 5.2.2 中坍落度 90mm 的用水量为基础, 按坍落度每增大 20mm 用水量增加 $5\text{kg}/\text{m}^3$, 计算出未掺外加剂时的混凝土用水量。

2 掺外加剂时的混凝土用水量可按式计算:

$$m_w = m_{w0}(1 - \beta) \quad (5.2.3)$$

式中: m_w ——掺外加剂时混凝土用水量 (kg/m^3);

m_{w0} ——未掺外加剂时混凝土用水量 (kg/m^3);

β ——外加剂减水率。

3 外加剂的减水率应通过试验确定。

5.2.4 碾压混凝土用水量: 水胶比在 0.40~0.70 范围, 当无试验资料时, 其初选用水量可按表 5.2.4 选取。

表 5.2.4 碾压混凝土初选用水量表 (kg/m^3)

碾压混凝土 VC 值 (s)	卵石最大粒径		碎石最大粒径	
	40mm	80mm	40mm	80mm
1~5	120	105	135	115
5~10	115	100	130	110
10~20	110	95	120	105

注: 1 本表适用于细度模数为 2.6~2.8 的天然中砂, 当使用细砂或粗砂时, 用水量需增加或减少 $5\text{kg}/\text{m}^3 \sim 10\text{kg}/\text{m}^3$ 。

2 采用人工砂, 用水量增加 $5\text{kg}/\text{m}^3 \sim 10\text{kg}/\text{m}^3$ 。

3 采用 I 级粉煤灰时, 用水量可减少 $5\text{kg}/\text{m}^3 \sim 10\text{kg}/\text{m}^3$ 。

4 采用外加剂时, 用水量应根据外加剂的减水率作适当调整, 外加剂的减水率应通过试验确定。

5.3 骨料级配及砂率

5.3.1 粗骨料按粒径依次分为 5mm~20mm、20mm~40mm、40mm~80mm、80mm~150mm 四个粒级。水工大体积混凝土宜使用最大粒径较大的骨料，粗骨料最佳级配（或组合比）应通过试验确定，以紧密堆积密度较大时的级配为宜。当无试验资料时，可按表 5.3.1 选取。

表 5.3.1 石子组合比初选表

混凝土种类	级配	石子最大粒径 (mm)	卵石 (小:中:大:特大)	碎石 (小:中:大:特大)
常态混凝土	二	40	40:60:0:0	40:60:0:0
	三	80	30:30:40:0	30:30:40:0
	四	150	20:20:30:30	25:25:20:30
碾压混凝土	二	40	50:50:0:0	50:50:0:0
	三	80	30:40:30:0	30:40:30:0

注：表中比例为质量比。

5.3.2 混凝土配合比宜选取最优砂率。最优砂率应根据骨料品种、品质、粒径、水胶比和砂的细度模数等通过试验选取。当无试验资料时，可按以下初选砂率试验确定：

1 常态混凝土坍落度小于 10mm 时，砂率应通过试验确定；混凝土坍落度为 10mm~60mm 时，砂率可按表 5.3.2-1 初选并通过试验最后确定；混凝土坍落度大于 60mm 时，砂率可通过试验确定，也可在表 5.3.2-1 的基础上按坍落度每增大 20mm、砂率增大 1% 的幅度予以调整。

表 5.3.2-1 常态混凝土砂率初选表 (%)

骨料最大粒径 (mm)	水胶比			
	0.40	0.50	0.60	0.70
20	36~38	38~40	40~42	42~44
40	30~32	32~34	34~36	36~38
80	24~26	26~28	28~30	30~32
150	20~22	22~24	24~26	26~28

注：1 本表适用于卵石、细度模数为 2.6~2.8 的天然中砂拌制的混凝土。

2 砂的细度模数每增减 0.1，砂率相应增减 0.5%~1.0%。

3 使用碎石时，砂率需增加 3%~5%。

4 使用人工砂时，砂率需增加 2%~3%。

5 掺用引气剂时，砂率可减小 2%~3%；掺用粉煤灰时，砂率可减小 1%~2%。

2 碾压混凝土的砂率可按表 5.3.2-2 初选并通过试验最后确定。

表 5.3.2-2 碾压混凝土砂率初选表 (%)

骨料最大粒径 (mm)	水胶比			
	0.40	0.50	0.60	0.70
40	32~34	34~36	36~38	38~40
80	27~29	29~32	32~34	34~36

注：1 本表适用于卵石、细度模数为 2.6~2.8 的天然中砂拌制的 VC 值为 3s~7s 的碾压混凝土。

2 砂的细度模数每增减 0.1，砂率相应增减 0.5%~1.0%。

3 使用碎石时，砂率需增加 3%~5%。

4 使用人工砂时，砂率需增加 2%~3%。

5 掺用引气剂时，砂率可减小 2%~3%；掺用粉煤灰时，砂率可减小 1%~2%。

5.4 外加剂及掺和料掺量

5.4.1 外加剂掺量按胶凝材料质量的百分比计，应通过试验确定，并应符合国家和行业现行有关标准的规定。

5.4.2 掺和料的掺量按胶凝材料质量的百分比计，应通过试验确定，并应符合国家和行业现行有关标准的规定。

5.4.3 有抗冻要求的混凝土，应掺用引气剂，其掺量应根据混凝土的含气量要求通过试验确定，混凝土的最小含气量应参照 DL/T5241 确定。混凝土的含气量不宜超过 7%。

6 混凝土配合比的试配、调整和确定

6.1 试 配

6.1.1 混凝土的拌和，应按 DL/T 5150 《水工混凝土试验规程》进行。

6.1.2 在混凝土试配时，每盘混凝土的最小拌和量应符合表 6.1.2 的规定，当采用机械拌和时，其拌和量不宜小于拌和机额定拌和量的 1/4。

表 6.1.2 混凝土试配的最小拌和量

骨料最大粒径 (mm)	拌和物数量 (L)
20	15
40	25
≥80	40

6.1.3 按照配合比设计成果进行试拌，根据坍落度或 VC 值、含气量、泌水、离析等情况判断混凝土拌和物的工作性，对初步确定的用水量、砂率、外加剂掺量等进行适当调整，选择坍落度最大（或 VC 值最小）时的砂率作为最优砂率；用最优砂率试拌确定满足工作性要求的用水量，然后提出混凝土试验用的配合比。

6.1.4 混凝土强度试验配合比应基于初选确定的水胶比进行不少于 3 个掺和料掺量和 3~5 个水胶比的组合，进行混凝土立方体抗压强度试验。

6.1.5 根据强度试验结果，建立不同掺和料掺量时混凝土抗压强度与水胶比的关系曲线或相关方程式，计算出不同掺和料掺量时

混凝土配制强度相对应的水胶比，按照工作性、强度及经济合理的原则选择合适的掺和料掺量及对应的水胶比。必要时还应根据混凝土设计指标要求进行变形和耐久性能验证试验。

6.2 调整和确定

6.2.1 经试配确定配合比后，尚应按下列步骤进行校正：

1 按确定的材料用量用下式计算每立方米混凝土拌和物的质量：

$$m_{c,c} = m_w + m_c + m_p + m_s + m_g \quad (6.2.1-1)$$

2 按下式计算混凝土配合比校正系数 δ ：

$$\delta = \frac{m_{c,t}}{m_{c,c}} \quad (6.2.1-2)$$

式中： δ ——配合比校正系数；

$m_{c,c}$ ——每立方米混凝土拌和物的质量计算值（kg）；

$m_{c,t}$ ——每立方米混凝土拌和物的质量实测值（kg）；

m_w ——每立方米混凝土用水量（kg）；

m_c ——每立方米混凝土水泥用量（kg）；

m_p ——每立方米混凝土掺和料用量（kg）；

m_s ——每立方米混凝土细骨料用量（kg）；

m_g ——每立方米混凝土粗骨料用量（kg）。

3 按校正系数 δ 对配合比中每项材料用量进行调整，即为调整的设计配合比。

6.2.2 按调整后的混凝土配合比进行性能试验，所有性能均满足设计要求时的配合比即为确定的配合比。

6.2.3 当使用过程中遇下列情况之一时，应调整或重新进行配合比设计：

- 1 对混凝土性能指标要求有变化时。
- 2 混凝土原材料品种、质量有明显变化时。

7 特殊要求的混凝土配合比设计

7.0.1 特殊要求的混凝土的配合比设计应遵循常态混凝土的配合比设计程序进行。

7.0.2 预应力混凝土配合比设计应符合下列规定：

1 宜选用强度等级不低于 42.5 强度等级的硅酸盐水泥、中热硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥；不宜使用矿渣硅酸盐水泥或火山灰质硅酸盐水泥。

2 应选用质地坚硬、级配良好的中粗砂。

3 应选用连续级配骨料，骨料最大粒径不应超过 40mm。

4 不宜掺用氯离子含量超过水泥质量 0.02% 的外加剂。

5 混凝土早期强度应能满足施加预应力的要求。

7.0.3 泵送混凝土配合比设计应符合下列规定：

1 应选用连续级配骨料，骨料最大粒径应满足输送设备要求，混凝土输送管最小内径宜符合表 7.0.3-1 的规定。

表 7.0.3-1 混凝土输送管最小内径要求

粗骨料最大粒径 (mm)	输送管最小内径 (mm)
25	125
40	150

2 应掺用坍落度经时损失小的泵送剂或高性能减水剂、引气剂等。

3 宜掺用粉煤灰等活性掺和料。

4 水胶比不宜大于 0.60。

5 胶凝材料用量不宜低于 300kg/m³。

6 砂率宜为 35%~45%。

7 不同入泵坍落度或扩展度的混凝土,其泵送高度应符合表 7.0.3-2 的规定。

表 7.0.3-2 混凝土入泵坍落度与泵送高度关系表

最大泵送高度 (m)	50	100	200	400	400 以上
入泵坍落度 (mm)	100~140	150~180	190~220	230~260	—
入泵扩展度 (mm)	—	—	—	450~590	600~740

7.0.4 喷射混凝土配合比设计应符合以下规定:

1 水泥用量应较大。

2 干法喷射水泥与砂石的质量比宜为 1:4.0~1:4.5,水胶比宜为 0.40~0.45,砂率宜为 45%~55%;湿法喷射水泥与砂石的质量比宜为 1:3.5~1:4.0,水胶比宜为 0.42~0.50,砂率宜为 50%~60%。

3 用于湿法喷射的混合料拌制后,应进行坍落度测试,其坍落度宜为 80mm~120mm。

4 当掺用钢纤维时,钢纤维的直径宜为 0.3mm~0.5mm;钢纤维的长度宜为 20mm~25mm,且不得大于 25mm;钢纤维的掺量宜为干混合料质量的 3.0%~6.0%。

7.0.5 抗冲磨混凝土配合比设计应符合以下规定:

1 宜选用大于等于 42.5 强度等级的中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥、硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。

2 应选用质地坚硬、含石英颗粒多、清洁、级配良好的中粗砂。

3 应选用质地坚硬的天然卵石或人工碎石,天然骨料最大粒径不宜超过 40mm,人工骨料最大粒径可为 80mm,当掺用钢纤

维时混凝土骨料最大粒径不宜大于 20mm。

4 应掺用高效减水剂,宜优先选用低收缩的高性能减水剂,有抗冻要求的应论证加入引气剂的必要性。

5 宜掺用 I 级粉煤灰、硅粉等活性掺和料,掺和料用量应通过试验确定。

7.0.6 水下不分散混凝土配合比设计应符合以下规定:

1 水泥:普通硅酸盐水泥,强度等级为 42.5 或 52.5。

2 骨料:应选用质地坚硬、清洁、级配良好的骨料。粗骨料采用一级配天然卵石或人工碎石,粒径为 5mm~20mm。细骨料宜用水洗河砂,细度模数为 2.6~2.9。

3 抗分散剂按生产厂推荐的掺量掺入。掺入抗分散剂后应使混凝土达到的质量标准见表 7.0.6。

表 7.0.6 掺抗分散剂水下不分散混凝土的性能要求

试验项目		性能要求
泌水率 (%)		<0.5
含气量 (%)		<4.5
坍落度 (mm)	30s	230±20
	2min	230±20
坍扩展度 (mm)	30s	450±20
	2min	450±20
抗分散性	水泥流失量 (%)	<1.5
	悬浊物含量 (mg/L)	<150
	pH 值	<12
凝结时间 (h)	初凝	≥5
	终凝	≤30

表 7.0.6 (续)

试验项目		性能要求
水下成型试件与空气中成型试件 抗压强度比 (%)	7d	>60
	28d	>70
水下成型试件与空气中成型试件 抗压强度比 (%)	7d	>50
	28d	>60

8 水工砂浆配合比设计

8.1 砂浆配合比设计的基本原则

8.1.1 砂浆的技术指标要求应与其接触的混凝土的设计指标相适应。

8.1.2 砂浆所使用的原材料应与其接触的混凝土所使用的原材料相同。

8.1.3 砂浆应与其接触的混凝土所使用的掺和料掺量相同，减水剂的掺量为混凝土掺量的 70% 左右；当掺引气剂时，其掺量应通过试验确定，以含气量达到 7%~9% 时的掺量为宜。

8.1.4 采用体积法计算每立方米砂浆各项材料用量。

8.2 砂浆配制强度的确定

8.2.1 砂浆的强度等级应按砂浆设计龄期立方体抗压强度标准值划分。砂浆的强度等级采用符号 M 后加设计龄期下角标再加立方体抗压强度标准值表示，砂浆设计龄期立方体抗压强度标准值系指按照标准方法制作养护的边长为 70.7mm 的立方体试件，在设计龄期用标准试验方法测得的具有设计保证率的抗压强度，以 N/mm^2 或 MPa 计。

8.2.2 砂浆配制抗压强度按下式计算：

$$f_{m,0} = f_{m,k} + t\sigma \quad (8.2.2)$$

式中： $f_{m,0}$ ——砂浆配制抗压强度 (MPa)；

$f_{m,k}$ ——砂浆设计龄期的立方体抗压强度标准值 (MPa)；

t ——概率度系数，由给定的保证率 P 选定，其值按表

3.0.2 选用;

σ ——砂浆立方体抗压强度标准差 (MPa)。

8.2.3 当设计龄期为 28d 时, 抗压强度保证率 P 为 95%。其他龄期砂浆抗压强度保证率应符合设计要求。

8.2.4 砂浆抗压强度标准差 σ , 宜按同品种砂浆抗压强度统计资料确定。

1 统计时, 砂浆抗压强度试件总数应不少于 25 组。

2 根据近期相同抗压强度、生产工艺和配合比基本相同的砂浆抗压强度资料, 砂浆抗压强度标准差 σ 按下式计算:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{m,i}^2 - nm_{f_m}^2}{n-1}} \quad (8.2.4)$$

式中: $f_{m,i}$ ——第 i 组试件抗压强度 (MPa);

m_{f_m} —— n 组试件的抗压强度平均值 (MPa);

n ——试件组数。

3 当无近期同品种砂浆抗压强度统计资料时, 标准差值可按表 8.2.4 取用。施工中应根据现场施工时段抗压强度的统计结果调整标准差值。

表 8.2.4 标准差选用值

设计龄期砂浆抗压强度标准值 (MPa)	≤10	15	≥20
砂浆抗压强度标准差 (MPa)	3.5	4.0	4.5

8.3 砂浆配合比的计算

8.3.1 可选择与其接触混凝土的水胶比作为砂浆的初选水胶比。

8.3.2 砂浆配合比设计时用水量可按表 8.3.2 确定。

表 8.3.2 砂浆用水量参考表

水泥品种	砂子细度	稠度 (mm)	用水量 (kg/m ³)
普通硅酸盐水泥	粗砂	40~60	270
	中砂		280
	细砂		310
矿渣硅酸盐水泥	粗砂		275
	中砂		285
	细砂		315

注: 砂浆稠度每增、减 10mm、用水量相应增、减 8kg/m³~10kg/m³。

8.3.3 砂浆的胶凝材料用量 ($m_c + m_p$)、水泥用量 (m_c) 和掺和料用量 (m_p) 分别按式 (8.3.3-1)、式 (8.3.3-2)、式 (8.3.3-3) 计算:

$$m_c + m_p = \frac{m_w}{w/(c+p)} \quad (8.3.3-1)$$

$$m_c = (1 - P_m)(m_c + m_p) \quad (8.3.3-2)$$

$$m_p = P_m(m_c + m_p) \quad (8.3.3-3)$$

式中: m_c ——每立方米砂浆水泥用量 (kg);

m_p ——每立方米砂浆掺和料用量 (kg);

m_w ——每立方米砂浆用水量 (kg);

$w/(c+p)$ ——水胶比;

P_m ——掺和料掺量。

8.3.4 砂子用量由已确定的用水量和胶凝材料用量, 根据体积法计算。

$$V_s = 1 - \left(\frac{m_w}{\rho_w} + \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_p}{\rho_p} + \alpha \right) \quad (8.3.4-1)$$

$$m_s = \rho_s V_s \quad (8.3.4-2)$$

式中： V_s ——砂的绝对体积 (m^3)；

m_w ——每立方米砂浆用水量 (kg)；

m_c ——每立方米砂浆水泥用量 (kg)；

m_p ——每立方米砂浆掺和料用量 (kg)；

α ——每立方米混凝土中含有的空气体积，一般为 0.07~0.09 (m^3)；

ρ_w ——水的密度 (kg/m^3)；

ρ_c ——水泥密度 (kg/m^3)；

ρ_p ——掺和料密度 (kg/m^3)；

ρ_s ——砂子饱和面干表观密度 (kg/m^3)；

m_s ——每立方米砂浆砂用量 (kg)。

8.3.5 砂浆配合比计算成果应列表列出每立方砂浆各组成材料的用量和比例。

8.4 砂浆配合比的试配、调整和确定

8.4.1 按照配合比设计成果进行试拌，固定水胶比，调整用水量直至达到设计要求的稠度。由调整后的用水量得出砂浆抗压强度试验配合比。

8.4.2 砂浆抗压强度试验配合比应基于初选确定的水胶比进行 3~5 个水胶比的混凝土立方体抗压强度试验。

8.4.3 根据设计龄期抗压强度试验结果，建立抗压强度与水胶比（或砂灰比）的关系曲线或相关方程式，计算出与砂浆配制强度 ($f_{m,0}$) 相对应的水胶比（或砂灰比），确定的水胶比宜比接触的混凝土水胶比低 0.03~0.05。

8.4.4 按确定的水胶比计算出每立方米砂浆中各组成材料用量及比例，并经试拌后确定。

本标准用词说明

为便于在执行本标准条文时区别对待，对于要求严格程度不同的词说明如下：

- 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 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

引用标准名录

《水工混凝土施工规范》DL/T 5144

《水工混凝土试验规程》DL/T 5150

《水工混凝土耐久性技术规范》DL/T 5241

中华人民共和国电力行业标准

水工混凝土配合比设计规程

DL/T 5330 — 2015

条文说明

目 次

1 总则	31
2 术语和符号	32
3 混凝土配制强度的确定	34
4 混凝土配合比的计算	37
5 混凝土配合比设计的基本参数	38
5.1 水胶比	38
5.2 用水量	40
5.3 骨料级配及砂率	43
5.4 外加剂及掺和料掺量	50
6 混凝土配合比的试配、调整和确定	53
7 特殊要求的混凝土配合比设计	56
8 水工砂浆配合比设计	58
8.1 砂浆配合比设计的基本原则	58
8.2 砂浆配制强度的确定	58
8.3 砂浆配合比的计算	60
8.4 砂浆配合比的试配、调整和确定	60

1 总 则

1.0.3 本条规定了混凝土配合比设计的基本原则。水胶比是决定混凝土强度、耐久性及其他性能的主要配合比参数，而满足强度、耐久性等性能要求的水胶比有时是一致的，而有时又是不一致的。为了节约水泥，在满足强度、耐久性及其他性能要求的前提下宜采用合适的水胶比。

1.0.6 室内试验与现场情况有一定差别，本条强调室内试验确定的配合比应在现场进行复核试验并进行必要的调整。

2 术语和符号

2.1.1 水工混凝土的定义,是根据水电水利工程的特点和结构要求,结合新中国成立以来几十年的工程设计与施工经验,同时参考国外的一些技术标准而提出的。

2.1.3 美国混凝土学会 ACI 116R—00 *Cement and Concrete Terminology* 对于大体积混凝土的定义是“各向尺寸都较大,以致需要采取温控措施以解决水化热及随之引起的体积变形,从而最大限度地减少开裂的混凝土”。该学会还认为,结构最小尺寸大于 0.6m,即应考虑水化热引起的混凝土体积变化与开裂问题。

日本建筑学会 JASS 5—2004 *Japanese Architectural Standard Specification for Reinforced Concrete Work* 的定义是“结构断面尺寸在 0.8m 以上,同时水化热引起的混凝土内部最高温度与外界气温之差预计超过 25℃ 的混凝土称为大体积混凝土。”

国际预应力混凝土协会 *FIP Recommendations: Design and Construction of Concrete Sea Structures* (4th Ed., 1985) 规定:“凡是混凝土一次浇筑最小尺寸大于 0.6m,特别是水泥用量大于 400kg/m³ 时,应考虑采用水化热低的水泥或采取其他降温散热措施。”

JGJ 55—2011《普通混凝土配合比设计规程》的定义是“体积较大的、可能由胶凝材料水化热引起的温度应力导致有害裂缝的结构混凝土”。

GB 50496—2009《大体积混凝土施工规范》的定义是“混凝土结构物实体最小几何尺寸不小于 1m 的大体量混凝土,或预计会因混凝土中胶凝材料水化引起的温度变化和收缩而导致有害裂缝产生的混凝土”。

2.1.4 常态混凝土的定义,既考虑了水电水利行业的习惯称谓,

也与国际上的术语一致,类似于建工行业定义的塑性混凝土。

2.1.5 碾压混凝土为超干硬性混凝土,是利用土石筑坝的机械进行运输、摊铺和振动压实施工的混凝土。所以,碾压混凝土定义为利用振动碾振动压实的混凝土。

2.1.6 结构混凝土是相对于大体积混凝土而言,断面尺寸较小,含钢筋较多的混凝土。

2.1.7 预应力混凝土,是按照结构设计要求,对钢筋施加预应力,其强度等级最低为 C30 的混凝土。

2.1.8 泵送混凝土是流动性混凝土的一种,必须要满足泵送施工的工艺要求,即要求有较好的可泵性。泵送施工时的坍落度不宜低于 140mm。

2.1.9 喷射混凝土的定义参考了 GB 50086—2001《锚杆喷射混凝土支护技术规范》。喷射混凝土不是依赖振捣密实,而是在高速喷射时,由水泥与骨料的反复连续撞击而使混凝土压密。

2.1.10 抗冲磨混凝土是指过水的水工建筑物遭受水流速度不小于 12m/s,且水中会有悬移质和推移质磨蚀作用、强度等级不低于 C35 的混凝土。

2.1.11 水下不分散混凝土是指掺用抗分散外加剂配制的通过管道在水下施工不易分散,具有较好黏聚性的混凝土。

2.1.16 水工混凝土中一般都掺用各种矿物掺和料,水胶比用符号 $w/(c+p)$ 表示,其中 p 是单词 pozzolantic 的首字母。当不掺掺和料时,水胶比即为过去惯用的水灰比 w/c ,当仅掺粉煤灰时,水胶比也可用 $w/(c+f)$ 表示。

2.1.17 混凝土配合比设计中,用体积法计算各项材料用量时的砂率为体积砂率,用质量法计算各项材料用量时的砂率为质量砂率。

3 混凝土配制强度的确定

3.0.1 强度分级的名称，过去叫“标号”，DL/T 5057—1996《水工混凝土结构设计规范》和 DL 5108—1999《混凝土重力坝设计规范》已改为“强度等级”。

强度分级符号过去是以符号“R”（Resistance）和立方体抗压强度（以 kg/cm^2 计）的数值在右上角加符号“#”表达，如 R200#、R150#等。根据国家和国际通用的规定，建筑材料强度，均以英文名称的第一个字母加强度标准值来表达。故混凝土强度等级以英文混凝土 Concrete 的第一个字母“C”及其后面的立方体抗压强度标准值来表达，如 C15、C20 等。因建工系统混凝土均采用 28d 龄期，因而在强度等级符号上不再注明龄期值，C15、C20 系指 28d 龄期的立方体抗压强度标准值为 15MPa、20MPa。水工大体积混凝土普遍采用 90d 龄期或 180d 龄期，DL/T 5057—2009《水工混凝土结构设计规范》和 DL 5108—1999《混凝土重力坝设计规范》中尽管采用了强度等级的概念，但均没有规定非 28d 设计龄期混凝土强度分级的符号表示，只有 DL/T 5144—2001《水工混凝土施工规范》采用在 C 后加龄期下角标再加立方体抗压强度标准值表示，如 $C_{90}15$ 、 $C_{180}15$ 系指 90d 或 180d 龄期的强度标准值为 15MPa。

3.0.2 根据国家标准和有关规定，材料强度统一用符号“ f ”（force）表达，混凝土立方体抗压强度以符号“ f_{cu} ”表示，其中“cu”是英文立方体 cube 的缩写。而混凝土立方体抗压强度标准值以符号“ $f_{\text{cu},k}$ ”表达，其中 k 是标准值的意思。

标号改为强度等级后，混凝土强度计量单位改用国际单位制表示，一般以 $1\text{N}/\text{mm}^2=10^6\text{N}/\text{m}^2$ （MPa）作为混凝土强度的计量单

位，读作“牛顿每平方米”或“兆帕”。本标准中强度计量单位采用 MPa 表达。

DL/T 5144—2001《水工混凝土施工规范》规定，混凝土的配制强度按下式计算：

$$f_{\text{cu},0} = f_{\text{cu},k} + t\sigma \quad (1)$$

现行国家标准及国内各行业混凝土配合比设计及混凝土生产管理，均采用以标准差 σ 为主要参数的计算方法。混凝土配制强度都采用公式（1）的形式。因适用于工民建工程的 JGJ 55—2011《普通混凝土配合比设计规程》，混凝土强度保证率均采用 95%，对应的概率度系数 t 值为 1.645，故采用现行的材料强度符号后，混凝土配制强度的计算公式为：

$$f_{\text{cu},0} = f_{\text{cu},k} + 1.645\sigma \quad (2)$$

水电水利工程结构复杂，不同工程部位有不同保证率（ P ）要求。如大体积混凝土一般要求 P 为 80%，体积较大的钢筋混凝土工程要求 P 为 85%~90%，薄壁结构工程要求 P 为 95%等。不同的保证率要求，必须采用不同的 t 值。本条已给出了不同保证率要求时的 t 值取用表。

3.0.3 水工混凝土中的结构混凝土、抗冲磨混凝土等的设计龄期通常为 28d，根据混凝土强度等级的定义，当按 28d 龄期设计时，其抗压强度保证率值 P 均为 95%；其他龄期混凝土抗压强度保证率应按 DL/T 5144《水工混凝土施工规范》和设计要求确定。

3.0.4 本条规定了按统计方法确定混凝土强度标准差 σ 值的原则。

3.0.5 当无近期同品种混凝土强度统计资料时，本条给出了不同强度混凝土的标准差参考值，统一了不同设计龄期混凝土强度的标准差参考值。

GB 50204—2002《混凝土结构工程施工质量验收规范》第 7 章配合比设计规定“混凝土应按国家现行标准 JGJ 55《普通混凝土配合比设计规程》的有关规定，根据混凝土强度等级、耐久性

和工作性等要求进行配合比设计”，正文和条文说明中均没有给出混凝土强度标准差参考值。JGJ 55—2011《普通混凝土配合比设计规程》4.0.2规定“当没有近期的同一品种、同一强度等级混凝土强度资料时，其强度标准差可按下表（表1）取值”。

表1 标准差 σ 值

混凝土强度等级	$\leq C20$	C20~C45	C50~C55
σ (MPa)	4.0	5.0	6.0

与本条规定的标准差参考值比较，其取值偏大，不能反映现代混凝土生产和施工的质量管理水平，造成材料的浪费，不利于降低施工成本；且按强度等级分类的范围较粗，可操作性不强。

DL/T 5144—2001《水工混凝土施工规范》6.0.2给出了设计龄期90d的混凝土强度标准差参考值，也没有给出其他设计龄期的强度标准差参考值。水工大体积混凝土施工期长，混凝土的受力时间晚，为了利用混凝土的后期强度，有时按90d或180d等龄期设计，本条给出的不同设计龄期的混凝土强度标准差参考值，均参照DL/T 5144—2001《水工混凝土施工规范》中规定的设计龄期为90d的强度标准差选用。

根据CECS 104:99《高强混凝土结构技术规程》的规定：当缺乏可靠的强度统计数据时，C50和C60混凝土的配制强度应不低于强度等级值的1.15倍；C70和C80混凝土的配制强度应不低于强度等级值的1.12倍。按此规定，当强度保证率为95%时，C50、C60、C70、C80混凝土的最小标准差分别为4.5MPa、5.5MPa、5.1MPa、5.8MPa，本条给出的强度标准值大于50MPa时强度标准差取5.5MPa是合适的。

4 混凝土配合比的计算

4.0.1 配合比计算时，以骨料饱和面干状态为基准，是水工混凝土配合比设计的特点之一，也是水工混凝土配合比设计与建工混凝土配合比设计不同之处，比较符合水工混凝土施工的实际情况。

5 混凝土配合比设计的基本参数

5.1 水 胶 比

5.1.1 混凝土的水胶比除应满足设计强度等级要求外，还应满足设计规定的抗渗、抗冻等级的要求。在选择水胶比时，还应考虑最低胶凝材料用量的要求，DL/T 5144—2001《水工混凝土施工规范》规定，大体积内部常态混凝土的胶凝材料用量不宜低于 $140\text{kg}/\text{m}^3$ ，水泥熟料含量不宜低于 $70\text{kg}/\text{m}^3$ 。NB/T 35026—2014《混凝土重力坝设计规范》规定碾压混凝土总的胶凝材料用量不宜低于 $140\text{kg}/\text{m}^3$ ，水泥熟料用量不宜低于 $50\text{kg}/\text{m}^3$ 。

5.1.2 原标准中 7.0.3 条中式 (7.0.3-1) 是将前苏联专家保罗米提出来的公式 $R_{28}=AR_c(c/w-B)$ 中灰水比 c/w 变换成胶水比 $(c+p)/w$ 而来的。大量试验资料表明，水工混凝土强度与灰水比 c/w 成线性关系，而与胶水比 $(c+p)/w$ 呈非线性关系。式 (7.0.3-1) 可变换为：

$$f_{cu,0} = Af_{ce} \left[\frac{c}{w} \left(\frac{1}{1-k} \right) - B \right]$$

其中 k 为掺和料掺量，所以 $f_{cu,0}$ 是 c/w 和 k 的函数，是一个二元非线性函数，仅当掺和料掺量一定时，即 k 为常数时，公式简化为保罗米公式是适用的。所以式 (7.0.3-1) 的使用有一定局限性。目前水工混凝土中粉煤灰、矿渣粉、磷渣粉、天然火山灰、石灰石粉等掺和料的应用越来越广泛，该公式的使用越来越受限制，在本标准中取消了该公式，提出了不同设计强度等级的混凝土初选水胶比范围，作为混凝土配合比计算的参考。

水工混凝土使用的掺和料（如粉煤灰、矿渣粉、磷渣粉、硅粉、石灰石粉、天然火山灰等）品种较多，活性也不同，对混凝土抗压强度的影响不同，再加上掺和料掺量的影响，对采用不同掺和料、不同强度等级的混凝土选择的水胶比，难以给出一个统一的范围，表 5.1.2 中给出的不掺掺和料的混凝土初选水胶比仅供参考，掺掺和料的混凝土根据所掺入掺和料的活性对水胶比进行调整。

表 2、表 3 中的数据为三峡、银盘、水布垭、索风营、构皮滩、白鹤滩水电站等工程常态混凝土强度试验结果的平均值，供试验参考，试验所用水泥为 42.5 中热硅酸盐水泥，掺和料为 I 级粉煤灰。

水工混凝土一般都掺用掺和料，其中以掺粉煤灰最为普遍。根据试验结果，在粉煤灰掺量较低时，对混凝土的抗冻性影响不大，当粉煤灰掺量较大时，混凝土的抗冻性显著降低。掺和料对混凝土的性能影响与掺和料品种及掺量有关，因此，在进行掺掺和料的混凝土配合比设计时，应根据所掺掺和料的品种及掺量适当调整水胶比，并通过试验确定。

表 2 不同工程的常态混凝土 28d 抗压强度试验结果（不掺粉煤灰）

水胶比	抗压强度 (MPa)						平均值 (MPa)
	三峡	银盘	水布垭	索风营	构皮滩	白鹤滩	
0.35	51.3	58.5	49.7	54.5	48.4	53.3	52.6
0.40	36.7	52.8	41.6	46.1	45.3	50.6	45.5
0.45	35.8	44.2	36.9	39.0	41.3	43.2	40.1
0.50	28.7	36.2	31.3	36.3	37.4	35.1	34.2
0.55	27.6	31.1	27.5	32.2	27.4	28.9	29.1

表3 不同工程的常态混凝土 28d 抗压
强度试验结果 (掺 25% 粉煤灰)

水胶比	抗压强度 (MPa)						平均值 (MPa)
	三峡	银盘	水布垭	索风营	构皮滩	白鹤滩	
0.35	37.2	49.3	46.4	57.6	45.7	46.5	47.1
0.40	31.2	44.4	36.5	48.0	42.5	42.7	40.9
0.45	29.5	35.9	31.8	43.7	38.4	34.2	35.6
0.50	22.4	32.4	26.0	39.4	35.4	26.3	30.3
0.55	20.5	25.8	21.0	32.5	25.4	22.4	24.6

5.1.3 碾压混凝土一般都掺 50%~65% 的掺和料, 设计龄期一般为 90d 或 180d。

表 4 中的数据为三峡、龙滩、喀腊塑克、阿海、沙沱水电站等工程碾压混凝土强度试验结果的平均值。试验所用水泥为 42.5 普通硅酸盐水泥或中热硅酸盐水泥, 掺和料为 I 级粉煤灰。

表 4 不同工程的碾压混凝土 90d 抗压
强度试验结果 (掺 55% 粉煤灰)

水胶比	抗压强度 (MPa)					平均值 (MPa)
	三峡	龙滩	喀腊塑克	阿海	沙沱	
0.40	—	32.6	36.8	31.7	—	33.7
0.45	34.3	30.7	34.8	28.6	34.4	32.6
0.50	28.1	26.3	31.1	24.4	30.8	28.1
0.55	22.9	25.5	28.4	21.0	26.2	24.8

5.2 用水量

5.2.2 混凝土用水量受配制混凝土原材料品种与性能等因素影响, 在本标准的修订中, 系统地进行了混凝土用水量和最佳砂率

的关系试验。使用长江天然骨料和花岗岩人工骨料混凝土用水量和最佳砂率试验结果见表 5 及表 6。

表 5 天然骨料混凝土用水量、砂率、强度关系

级配	水胶比	用水量 (kg/m ³)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	抗压强度 (MPa)		和易性			推荐值	
					28d	90d	棍度	抹平	离析	砂率 (%)	用水量 (kg/m ³)
二	0.60	152	40	70	34.3	40.7	好	好	轻	34~36	145
	0.60	149	38	80	34.7	41.9	好	好	轻		
	0.60	146	36	60	36.1	42.9	较好	较好	轻		
	0.60	144	34	80	36.5	43.3	较差	较差	较轻		
	0.60	142	32	75	35.8	42.3	差	差	严重		
	0.50	150	36	90	42.1	45.2	好	好	轻	32~34	145
	0.50	148	34	65	42.6	42.9	好	较好	轻		
	0.50	145	32	80	43.0	46.5	较差	较差	较轻		
	0.50	142	30	90	41.8	42.8	差	差	严重		
	0.45	151	37	80	36.8	48.9	好	好	轻		
	0.45	148	34	68	42.7	54.6	好	好	轻	32	145
	0.45	145	32	60	45.2	57.8	较好	较好	较轻		
0.45	142	30	87	44.8	57.0	较差	较差	严重			
三	0.50	126	29	72	38.2	45.1	好	好	轻	26~28	125
	0.50	123	27	74	40.3	46.8	较好	较好	轻		
	0.50	120	25	96	40.5	47.0	较差	较差	较轻		
	0.50	115	23	103	39.3	45.3	差	差	严重		
四	0.50	112	26	72	42.5	45.8	好	好	轻	22~24	110
	0.50	110	24	70	45.3	47.9	好	好	轻		
	0.50	107	22	75	45.4	48.1	较好	较好	较轻		
	0.50	105	20	80	44.5	47.2	差	较差	严重		

表6 人工骨料混凝土用水量、砂率、强度关系

级配	水胶比	用水量 (kg/m ³)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	抗压强度 (MPa)		和易性			推荐值	
					28d	90d	棍度	抹平	离析	砂率 (%)	用水量 (kg/m ³)
二	0.60	182	42	80	33.4	37.0	好	好	轻	38~40	180
	0.60	179	40	61	35.7	38.2	好	好	轻		
	0.60	176	38	60	34.6	37.6	较好	较好	较轻		
	0.60	173	36	72	33.6	36.4	差	差	严重		
	0.50	179	40	65	42.6	47.5	好	好	轻	36~38	175
	0.50	176	38	70	44.2	51.1	好	好	轻		
	0.50	173	36	77	44.0	50.9	较好	较好	较轻		
	0.50	170	34	62	43.3	48.6	差	差	严重		
	0.45	179	39	71	49.7	54.0	好	好	轻	35~37	175
	0.45	175	37	62	51.0	57.6	好	好	轻		
	0.45	173	35	63	50.9	51.5	好	较好	较轻		
	0.45	170	33	75	49.0	55.9	差	较差	严重		
三	0.50	156	35	50	39.6	50.2	好	好	轻	31~33	150
	0.50	152	33	55	43.1	51.7	好	好	轻		
	0.50	149	31	56	43.0	51.6	较好	好	较轻		
	0.50	147	29	65	41.2	50.2	差	较差	严重		
四	0.50	146	32	50	38.2	49.5	好	好	轻	28~30	140
	0.50	143	30	51	41.4	51.7	好	好	轻		
	0.50	138	28	50	41.7	52.3	较好	较好	较轻		
	0.50	134	26	49	40.9	50.2	差	较差	严重		

从表中试验结果可以看出:

(1) 人工骨料混凝土用水量比天然骨料混凝土用水量高 30kg/m³ 左右, 砂率增加 4%~6%。

(2) 骨料级配不同时, 混凝土单位用水量差别较大, 从二级

配到三级配, 混凝土用水量减少 20kg/m³~25kg/m³, 砂率减少 5%~6%; 从三级配到四级配, 混凝土用水量减少 10kg/m³~15kg/m³, 砂率减少 3%~4%。

5.2.4 碾压混凝土 VC 值的大小应合适, 既能承受住振动碾在其上行走不陷落, 又不能过于干硬, 以免振动碾难以甚至无法将其碾压密实。过去碾压混凝土 VC 值一般为 10s±5s, 现代的碾压混凝土倾向于采用较小的 VC 值, 一般 3s~7s 较合适。天然骨料和人工骨料碾压混凝土 VC 值与单位用水量的关系见图 1。

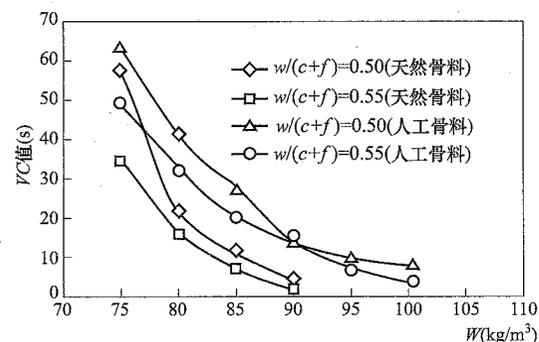


图1 碾压混凝土 VC 值与单位用水量关系曲线

使用外加剂能有效地改善混凝土的各种性能, 大中型水电水利工程均掺外加剂。近年来, 高效减水剂和引气剂得到了普遍应用, 大大降低了混凝土用水量和胶凝材料用量。I 级粉煤灰也有一定的减水效果, 优质 I 级粉煤灰的减水率可达 10% 左右。高效减水剂、引气剂、I 级粉煤灰联合掺用可使混凝土的用水量减少 30% 以上。

5.3 骨料级配及砂率

5.3.1 水工大体积混凝土所用骨料粒径较大, 一般分级生产和堆贮, 各级骨料的最佳级配(或组合比)可根据石子紧密堆积密度试验结果, 并考虑抗分离能力选定。若骨料级配良好, 则空隙率和总的比表面积都较小, 可减少填充骨料空隙的灰浆量, 相应降

低单位用水量和胶凝材料用量,使混凝土的性能得到改善。

对天然骨料和花岗岩人工骨料进行了二、三、四级配堆积密度试验,试验结果见表7。

表7 骨料堆积密度试验结果

骨料种类	级配 (小:中:大:特大)	堆积密度 (kg/m ³)	密实堆积密度 (kg/m ³)	空隙率 (%)
人工 骨料	40:60	1500	1760	36.0
	60:40	1440	1730	37.0
	50:50	1480	1750	36.3
	45:55	1480	1750	36.2
	25:25:50	1480	1780	35.3
	30:20:50	1520	1820	34.0
	20:30:50	1500	1760	36.1
	30:30:40	1530	1810	34.2
	25:25:20:30	1540	1820	33.8
	30:20:25:25	1520	1790	34.7
	20:20:30:30	1530	1790	35.0
天然 骨料	40:60	1680	1890	29.5
	60:40	1690	1870	29.8
	50:50	1690	1880	29.5
	45:55	1690	1890	29.6
	25:25:50	1700	1930	28.2
	30:20:50	1730	1970	26.5
	20:30:50	1670	1920	28.8
	30:25:45	1730	1940	27.7
	22.5:22.5:20:30	1860	2090	23.1
	25:25:20:30	1900	2120	22.0
	30:20:25:25	1880	2170	19.9
	20:20:30:30	1890	2110	22.2

从表7的试验结果可以看出,当粗骨料级配为二级配时,无论是花岗岩人工骨料还是天然骨料,当小石与中石的比例为40:60时,堆积密度最大,而空隙率最小。当粗骨料级配为三级配时,对于花岗岩人工骨料和南村坪天然骨料,当小石:中石:大石的比例为30:20:50和30:30:40时,堆积密度最大而空隙率最小。当粗骨料为四级配时,表中所列几种级配的堆积密度及空隙率除个别级配外差别不大。

对于碾压混凝土,一般选用粗骨料(最大粒径80mm)级配为小石:中石:大石比例为30:40:30,这时堆积密度略小,但抗分离能力较强,我国许多已建和在建碾压混凝土工程的粗骨料均选用此比例。

5.3.2 混凝土配合比宜选取最优砂率。最优砂率是在满足和易性要求下,单位用水量较小、混凝土拌和物密度较大时所对应的砂率。

1 常态混凝土砂率的确定参见表5及表6。

2 碾压混凝土最佳砂率的确定,可以通过考察拌和物VC值或振实密度来确定,VC值和振实密度与砂率的关系曲线分别见图2和图3。

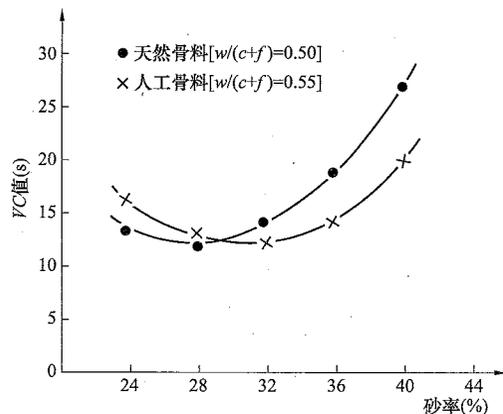


图2 碾压混凝土VC值与砂率关系曲线

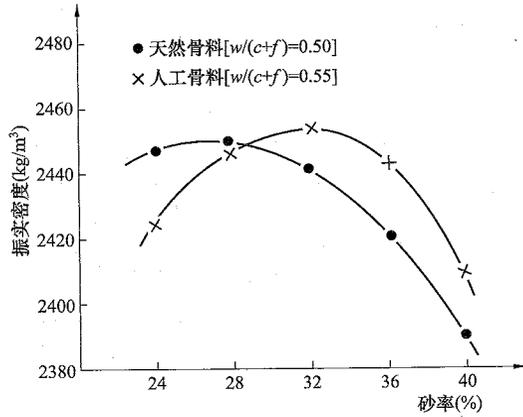


图3 碾压混凝土振实密度与砂率关系曲线

由图2、图3可以看出,在水胶比和胶凝材料用量保持不变的条件下,VC值与砂率的关系呈曲线变化,VC值有极小值,亦即砂率有最优值。天然骨料碾压混凝土砂率的最优值在28%左右,人工骨料碾压混凝土的最优值在32%左右。拌和物振实密度与砂率也呈曲线变化,密度有极大值,亦即砂率有最佳值。同样地,天然骨料碾压混凝土砂率的最优值在28%左右,人工骨料碾压混凝土的最优值在32%左右。这两种方法都可以用来确定最佳砂率。为了减少骨料分离和保证碾压混凝土的可碾性,碾压混凝土的砂率宜比常态混凝土大3%~5%。

表8和表9分别为国内部分坝高在100m以上的碾压混凝土坝所用的配合比参数。

掺加高效减水剂、引气剂和I级粉煤灰的人工骨料混凝土可采用表10所列的用水量和砂率进行试拌。

表8 部分碾压混凝土坝体内部三级配混凝土配合比

坝名	建成年份	强度等级	水胶比	用水量 (kg/m³)	水泥用量 (kg/m³)	粉煤灰用量 (kg/m³)	粉煤灰掺量 (%)	砂率 (%)	石子组比 (大:中:小)	减水剂 (%)	引气剂 (%)	VC值 (s)	备注
天生桥二级	1984	C ₉₀ 15W4	0.55	77	56	84	60	34	30:40:30	0.40	—	15±5	525普通水泥
普定	1993	C ₉₀ 15	0.55	84	54	99	65	34	30:40:30	0.85	—	10±5	
江垭	1999	C ₉₀ 15W8F50	0.58	93	64	96	60	33	30:30:40	0.40	—	7±4	木钙
棉花滩	2001	C ₁₈₀ 15W2F50	0.60	88	59	88	60	34	30:40:30	0.60	—	5~8	
甘肃龙首	2001	C ₉₀ 15W6F100	0.48	82	60	111	65	30	35:35:30	0.90	0.045	5~7	天然骨料
新藏石门子	2001	C ₉₀ 15W6F100	0.55	88	56	104	65	31	35:35:30	0.95	0.010	6	天然骨料
大朝山	2002	C ₉₀ 15W4F25	0.48	80	67	100	60	34	30:40:30	0.75	—	3~10	凝灰岩+磷矿渣
三峡三期围堰	2003	C ₉₀ 15W8F50	0.50	83	75	91	55	34	30:40:30	0.60	0.050	1~8	花岗岩

表 8 (续)

坝名	建成年份	强度等级	水胶比	用水量 (kg/m ³)	水泥用量 (kg/m ³)	粉煤灰 用量 (kg/m ³)	粉煤灰 掺量 (%)	砂率 (%)	石子组 合比 (大:中:小)	减水剂 (%)	引气剂 (%)	VC值 (s)	备注
索风营	2006	C ₉₀ 15W6F50	0.55	88	64	96	60	32	35:35:30	0.80	0.012	3~8	灰岩
百色	2006	C ₁₈₀ 15W2F50	0.60	96	59	101	63	34	30:40:30	0.80	0.015	3~8	
大花水	2007	C ₉₀ 15W6F50	0.55	87	71	87	55	33	40:30:30	0.70	0.020	3~5	
光照	2008	C ₉₀ 20W6F100	0.48	76	71	87	55	32	35:35:30	0.70	0.20	4	
龙滩高程 250m 以下	2009	C ₉₀ 20W6F100	0.42	84	90	110	55	33	30:40:30	0.60	0.020	5~7	灰岩
龙滩高程 250~342m		C ₉₀ 15W6F100	0.46	83	75	105	58	33	30:40:30	0.60	0.020	5~7	
思林	2009	C ₉₀ 15W6F50	0.50	83	66	100	60	33	35:35:30	0.70	0.015	3~5	
平均值			0.50~ 0.55	85	65		55~65	32~ 34					

表 9 部分碾压混凝土坝体迎水面二级配混凝土配合比

坝名	建成年份	强度等级	水胶比	用水量 (kg/m ³)	水泥用量 (kg/m ³)	粉煤灰 用量 (kg/m ³)	粉煤灰 掺量 (%)	砂率 (%)	石子组 合比 (中:小)	减水剂 (%)	引气剂 (%)	VC值 (s)	备注
普定	1993	C ₉₀ 20W8F100	0.50	94	85	103	55	38	60:40	0.85	—	10±5	
江垭	1999	C ₉₀ 20W12F100	0.53	103	87	107	55	36	55:45	0.50	—	7±4	木钙
棉花滩	2001	C ₁₈₀ 20W8F50	0.55	100	82	100	55	38	50:50	0.60	—	5~8	
甘肃 龙首	2001	C ₉₀ 20W8F100	0.43	88	96	109	53	32	60:40	0.70	0.050	6	天然骨料
新疆石 门子	2001	C ₉₀ 20W8F100	0.50	95	86	104	55	31	60:40	0.95	0.010	6	天然骨料
大朝山	2002	C ₉₀ 20W8F50	0.50	94	94	94	50	37	50:50	0.70	—	3~10	凝灰岩+ 磷石膏
三峡三 期围堰	2003	C ₉₀ 15W8F50	0.50	93	84	102	55	39	60:40	0.60	0.030	1~8	花岗岩
索风营	2006	C ₉₀ 20W8F100	0.50	94	94	94	50	38	60:40	0.80	0.012	3~8	灰岩
百色	2006	C ₁₈₀ 20W10F50	0.50	108	91	125	58	38	55:45	0.80	0.015	3~8	
大花水	2007	C ₉₀ 20W8F100	0.50	98	98	98	50	38	60:40	0.70	0.020	3~5	
光照	2008	C ₉₀ 20W12F100	0.45	86	105	86	45	38	55:45	0.70	0.025	4	
龙滩	2009	C ₉₀ 20W12F150	0.42	100	100	140	58	39	60:40	0.60	0.020	5~7	
思林	2009	C ₉₀ 20W8F100	0.48	95	89	109	55	39	55:45	0.70	0.020	3~5	
平均值			0.45~ 0.50	95	92		50~55	38~ 39					

表 10 人工骨料混凝土用水量和砂率参考值

混凝土种类	二级配		三级配		四级配		备注
	用水量 (kg/m ³)	砂率 (%)	用水量 (kg/m ³)	砂率 (%)	用水量 (kg/m ³)	砂率 (%)	
常态混凝土	120~130	36	100~110	31	85~95	28	水胶比 0.55, 坍落度 30~50mm, 高效减水剂, 引气剂 (含气量 4.5% ~ 5.5%), 掺 20%~40% I 级粉煤灰
碾压混凝土	85~95	37~39	75~85	32~34	—	—	水胶比 0.55, VC 值 (10±5) s, 高效减水剂, 引气剂 (含气量 4.5% ~ 5.5%), 掺 40%~60% I 级粉煤灰

5.4 外加剂及掺和料掺量

5.4.1 外加剂在现代混凝土中使用越来越普遍。而其掺量则因所用的品种、性能不同而异, 可参照国家现行行业标准 DL/T 5100《水工混凝土外加剂技术规程》及有关产品标准, 通过试验确定。

5.4.2 近年来在水工混凝土中使用粉煤灰等掺和料较为普遍。混凝土中掺和料掺量应通过试验确定, 并满足现行有关行业标准的规定。如 DL/T 5055《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》、DL/T 5387《水工混凝土掺用磷渣粉技术规范》、DL/T 5273《水工混凝土掺用火山灰质材料技术规范》、DL/T 5304《水工混凝土掺用石灰石粉技术规范》、NB/T 35026《混凝土重力坝设计规范》、DL/T 5057《水工混凝土结构设计规范》、GB/T 50662《水工建筑物抗冰冻设计规范》等对掺和料最大掺量都有规定。水电水利工程混凝土中粉煤灰、磷渣粉、天然火山灰质材料应符合表 11~表 13 的规定, 超过此限量, 应通过试验论证。

表 11 粉煤灰取代水泥的最大限量 (%)

混凝土种类		硅酸盐水泥	42.5 普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥 (P·S·A)
重力坝碾压混凝土	内部	70	65	40
	外部	65	60	30
重力坝混凝土	内部	55	50	30
	外部	45	40	20
拱坝碾压混凝土		65	60	30
拱坝常态混凝土		40	35	20
结构混凝土		35	30	—
面板混凝土		35	30	—
抗侵蚀混凝土		25	20	—
预应力混凝土		20	15	—

注: 1 本表适用于 F 类 I、II 级粉煤灰, F 类 III 级粉煤灰的最大掺量应当适当降低, 降低幅度应通过试验论证确定。

2 中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥混凝土的粉煤灰最大掺量与硅酸盐水泥混凝土相同; 低热矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥混凝土的粉煤灰最大掺量与矿渣硅酸盐水泥 (P·S·A) 混凝土相同。

3 本表所列的粉煤灰最大掺量不包含代砂的粉煤灰。

表 12 磷渣粉最大掺量 (%)

混凝土种类		硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥 (P·S·A)
重力坝碾压混凝土	内部	65	60	40
	外部	60	55	30
重力坝常态混凝土	内部	50	45	30
	外部	35	30	20
拱坝碾压混凝土		60	55	30
拱坝常态混凝土		35	30	20
面板混凝土		30	25	—
结构混凝土		30	25	—
抗冲磨混凝土		25	20	—

注: 中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥混凝土的磷渣粉最大掺量与硅酸盐水泥混凝土相同; 低热矿渣硅酸盐水泥混凝土的磷渣粉最大掺量与矿渣硅酸盐水泥 (P·S·A) 混凝土相同。

表 13 天然火山灰质材料取代水泥的最大限量 (%)

混凝土种类		硅酸盐水泥、中热硅酸盐水泥、 低热硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥
重力坝碾压混凝土	内部	60	55
	外部	55	50
重力坝常态混凝土	内部	45	40
	外部	30	25
拱坝碾压混凝土		55	50
拱坝常态混凝土		30	25

5.4.3 掺用引气剂是提高混凝土抗冻性能的有效措施，其掺量应通过试验确定。

6 混凝土配合比的试配、调整和确定

6.1.3 本条规定了最优砂率的确定原则。

6.1.4 本条规定混凝土试配时根据不同掺和料掺量分别采用不同的水胶比（一般为 3~5 个）进行强度试验，以获得不同掺和料掺量下强度—水胶比关系曲线。在这些水胶比变化范围内，混凝土拌和物的坍落度可能会有所波动，若用变动砂率调整无法实现时，亦允许适当增、减用水量来调整。

6.1.5 根据不同掺和料掺量下不同水胶比所对应的强度，建立混凝土抗压强度与胶水比的关系曲线或相关方程式，从曲线上读出或采用关系式计算出混凝土配制强度 ($f_{cu,0}$) 相对应的胶水比，再换算成水胶比。

以某工程 C25、C30 混凝土的配合比设计为例，首先根据规范计算其配置强度分别为 31.6MPa、37.4MPa，再选定用水量和砂率，确定 4 个水胶比 0.35、0.40、0.45、0.50，3 个粉煤灰掺量 15%、25%、35% 计算混凝土配合比进行试拌，不同水胶比、不同粉煤灰掺量下混凝土抗压强度见表 14，建立混凝土抗压强度与胶水比的关系曲线见图 4，混凝土抗压强度与胶水比的回归关系式见表 15。选择混凝土的粉煤灰掺量 25%，采用表 15 中的关系式计算或从图 4 的曲线图中均可得出 28d 抗压强度为 31.6MPa、37.4MPa 时对应的水胶比分别为 0.46 和 0.41。

表 14 某工程混凝土抗压强度

编号	水胶比	粉煤灰掺量 (%)	抗压强度 (MPa)	
			7d	28d
P-1	0.35	15	32.3	48.0

表 14 (续)

编号	水胶比	粉煤灰掺量 (%)	抗压强度 (MPa)	
			7d	28d
P-2	0.40	15	28.2	45.4
P-3	0.45	15	22.9	37.1
P-4	0.50	15	17.5	30.3
P-5	0.35	25	28.1	46.5
P-6	0.40	25	25.4	42.7
P-7	0.45	25	22.1	34.2
P-8	0.50	25	14.5	26.3
P-9	0.35	35	26.1	42.4
P-10	0.40	35	22.3	38.1
P-11	0.45	35	18.0	30.4
P-12	0.50	35	12.7	23.8

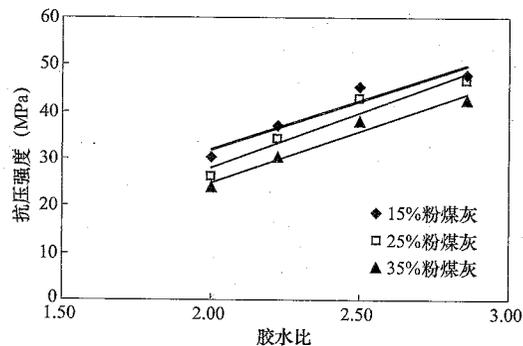


图 4 混凝土抗压强度与胶水比的关系曲线

表 15 混凝土抗压强度 f_c 与胶水比 $(c+p)/w$ 的关系

粉煤灰掺量 (%)	龄期	回归方程	相关系数 r
15	28d	$f_c=20.94 (c+p)/w-9.96$	0.960
25	28d	$f_c=23.63 (c+p)/w-19.16$	0.969
35	28d	$f_c=21.84 (c+p)/w-18.62$	0.980

水工大体积混凝土多以 90d 龄期的强度为设计标准, 其他设计龄期的混凝土可参考表 16 和表 17 的混凝土抗压强度增长率换算为 90d 龄期的强度。表 16 和表 17 是根据三峡、构皮滩、索风营、溪洛渡、白鹤滩等工程的试验数据统计的混凝土强度增长率, 表中列出了不同粉煤灰 (I 级粉煤灰) 掺量对强度的影响。

表 16 常态混凝土强度增长率 (%)

水泥品种	粉煤灰掺量	7d	28d	90d	180d
普通硅酸盐水泥	0	80.2	100	118	127
	20	75.0	100	131	145
	30	70.7	100	133	155
中热硅酸盐水泥	0	73.6	100	117	120
	20	67.9	100	129	141
	30	61.6	100	141	156
	40	55.7	100	155	164
低热硅酸盐水泥	0	48.1	100	134	146
	20	38.1	100	145	161
	30	36.0	100	148	171
	40	43.2	100	176	205

表 17 碾压混凝土强度增长率 (%)

水泥品种	粉煤灰掺量	7d	28d	90d	180d
普通硅酸盐水泥	30	71.4	100	119	131
	40	65.8	100	132	147
	50	65.3	100	139	160
	60	62.9	100	143	177
中热硅酸盐水泥	30	70.3	100	132	162
	40	66.7	100	140	165
	50	62.5	100	144	173
	60	57.6	100	151	199

7 特殊要求的混凝土配合比设计

7.0.1 特殊要求的混凝土的配合比设计原理、方法、步骤与常态混凝土一致。

7.0.4 本条规定预应力混凝土不宜使用矿渣硅酸盐水泥和火山灰质硅酸盐水泥，是因为其早期强度低，难以满足早期施加预应力的要求。根据 JTJ 275—2000《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》的规定，不宜掺用氯离子含量超过水泥质量 0.02% 的外加剂。预应力混凝土配合比的设计应能满足早期施加预应力的要求，一般要求 5d 龄期强度不低于设计强度的 80%。

7.0.5 本条对泵送混凝土所用的原材料和配合比参数的选择作了一些特殊规定：

(1) 混凝土输送管最小内径要求、混凝土入泵坍落度与泵送高度关系与 JGJ/T 10—2011《混凝土泵送施工技术规程》的规定是相同的。

(2) 泵送混凝土掺用泵送剂或缓凝高效减水剂，能够有效减少用水量，增加流动性，降低在泵送中产生的泌水和离析现象。在夏季高温施工和长距离泵送时，应选用坍落度经时损失小的外加剂。

(3) 工程实践表明，泵送混凝土掺加 I 级粉煤灰和 II 级粉煤灰能有效地降低在混凝土输送过程中产生的对管壁的摩阻力，改善其可泵性。

(4) 泵送混凝土水胶比不宜过大，胶材用量不宜过少，砂率不宜过低，否则混凝土易离析或干涩，黏聚性差，不利于泵送。

7.0.6 本条对喷射混凝土的配合比设计作了一些特殊规定：

(1) 为了满足强度要求，降低回弹率，喷射混凝土的水泥用

量应较大。

(2) 规定水泥与骨料的比例，主要是考虑既满足喷射混凝土的强度要求，又可减少回弹率。实践证明，当砂率低于 50% 时，管路易堵塞；若砂率高于 60%，则不仅会降低喷射混凝土强度，也会增加收缩。

(3) 用于湿法喷射的混合料拌制后，应进行坍落度测试，其坍落度宜为 80mm~120mm。

(4) 当掺用钢纤维时，钢纤维的直径宜为 0.3mm~0.5mm；钢纤维的长度宜为 20mm~25mm，且不得大于 25mm；钢纤维的掺量宜为干混合料质量的 3.0%~6.0%。

8 水工砂浆配合比设计

8.1 砂浆配合比设计的基本原则

8.1.1 水工砂浆用于水工建筑物的基岩处理和水工混凝土层间处理和局部处理, 为保证水工建筑物的整体性, 水工砂浆的技术指标要求应与接触混凝土的技术指标要求相同, 主要包括强度和耐久性等技术指标。

8.1.2 为保证水工砂浆与接触混凝土在凝结硬化过程中原材料的相容性, 以及硬化后性能的均一性, 要求水工砂浆使用与接触混凝土相同的原材料。

8.1.3 掺和料的品种或掺量不同, 砂浆的强度增长规律就不同, 为保证水工砂浆与接触混凝土具有相近的强度增长规律, 规定水工砂浆应使用与接触混凝土相同的掺和料品种及掺量。调查结果表明, 水工砂浆的减水剂掺量为混凝土掺量的 70% 左右时, 两者的减水率相近, 因此规定, 水工砂浆的减水剂掺量为混凝土掺量的 70% 左右。调查和研究结果表明, 当水工砂浆的含气量达到 7%~9% 时, 具有较好的抗冻耐久性, 因此规定水工砂浆的引气剂掺量以使砂浆的含气量达到 7%~9% 的掺量为准, 引气剂的引气效果与温度、原材料等因素密切相关, 因此引气剂的掺量需通过试验确定。

8.1.4 砂浆配合比的设计, 原则上与混凝土相同, 可采用体积法计算每立方米各项材料用量。

8.2 砂浆配制强度的确定

8.2.1 根据国家和国际通用的规定, 建筑材料强度均以英文名称

的第一个字母加强度标准值来表达。故砂浆强度等级以英文砂浆 Mortar 的第一个字母“M”及其后面的立方体抗压强度标准值来表达, 如 M15、M20 等。因建工系统砌筑砂浆均采用 28d 龄期, 因而在强度等级符号上不再注明龄期值, M15、M20 系指 28d 龄期的立方体抗压强度标准值为 15MPa、20MPa。水工砂浆的技术指标要求与接触混凝土相同, 而水工大体积混凝土普遍采用 90d 或 180d 龄期, 因此参照 3.0.1 中水工混凝土强度等级符号的表示方法, 水工砂浆的强度等级采用符号 M 加设计龄期下角标再加立方体抗压强度标准值表示, 若设计龄期为 28d, 则省略下角标, 如 M₉₀15、M15。

8.2.2 根据国家标准和有关规定, 材料强度统一用符号“*f*”表达, 砂浆立方体抗压强度以符号“*f_m*”表达, 其中“m”是英文砂浆 mortar 的缩写。而砂浆立方体抗压强度标准值以符号“*f_{m,k}*”表达, 其中 k 是标准值的意思。

过去, 砂浆配合比设计中没有砂浆配制强度的概念, 而要设计出满足设计强度标准值的砂浆配合比, 砂浆的配制强度应考虑实际生产管理中的标准差。现行国家标准和国内各行业砂浆配合比设计及生产管理, 均采用以标准差 σ 为主要参数的计算方法。砂浆的配制强度计算公式如下:

$$f_{m,0} = f_{m,k} + t\sigma \quad (3)$$

因水电水利工程结构复杂, 不同工程部位有不同保证率 (*P*) 要求, 必须采用不同的 *t* 值。本条给出了不同保证率要求时的 *t* 值取用表。

8.2.3 根据建筑材料强度等级的定义, 当按 28d 龄期设计时, 其抗压强度保证率值 *P* 均为 95%; 其他龄期砂浆抗压强度保证率应按设计要求确定。

8.2.4 本条规定了按统计方法确定砂浆强度标准差 σ 值的原则。当无近期同品种砂浆强度统计资料时, 本条给出了不同强度砂浆的标准差参考值。本条统一了不同设计龄期砂浆强度的标准差参考值。

8.3 砂浆配合比的计算

8.3.1 水工砂浆的水胶比，不宜大于接触混凝土的水胶比。因此可选择接触混凝土的水胶比作为砂浆的初选水胶比。

8.3.2 砂浆用水量受原材料品种与性能等因素影响，近年来，高效减水剂和引气剂得到了普遍应用，降低了砂浆的用水量和胶凝材料用量。掺和料中 I 级粉煤灰也有一定的减水效果。在砂浆的配合比设计中需通过试拌，根据稠度调整砂浆用水量。在砂浆用水量参考表中给出了稠度随用水量增减的规律。

8.3.3 水工砂浆配合比计算方法中加入了掺用掺和料时的计算方法，使其更具有普遍性。

8.3.4 过去使用质量法计算砂浆配合比，通过容重法设计的配合比，最后还需调整配合比以符合实际的砂浆质量。本标准通过确定砂浆的用水量和水胶比，由体积法计算出用砂量，可省略配合比的调整过程。

8.4 砂浆配合比的试配、调整和确定

8.4.1 本条规定了通过试拌确定砂浆强度试验配合比的方法。

8.4.2 本条规定砂浆试配时采用不同的水胶比（一般为 3 个~5 个）进行强度试验，以获得强度—水胶比（灰砂比）关系或曲线。在这些水胶比变化范围内，砂浆稠度可能会有所波动，通过适当增、减用水量来调整。

8.4.3 根据不同水胶比所对应的强度，按线性比例关系或作图法求出与 8.2.2 确定的配制强度 $f_{m,k}$ 对应的水胶比，或选出试验强度中的一个所对应的水胶比，该强度值应等于或稍大于砂浆的配制强度 $f_{m,k}$ 。