

# 新编水工混凝土 结构设计手册

钮新强

汪基伟 主 编

章定国

周 氏 主 审



中国水利水电出版社

[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

# 新编水工混凝土 结构设计手册

钮新强  
汪基伟 主 编  
章定国



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本手册依据《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008)编写,共14章,主要包括:水工混凝土结构材料,水工混凝土结构设计基本规定,素混凝土、钢筋混凝土与预应力混凝土结构各类构件的承载力、裂缝、挠度的计算方法、计算公式、实用计算图表及配筋构造规定,水工混凝土结构温度作用设计,非杆件体系结构的配筋计算和钢筋混凝土结构抗震设计等。

本手册具有技术标准新,内容丰富,图表齐全,计算与构造并重,并附有大量算例等特点,是水利系统从事水利水电工程结构与施工的工程技术人员常用的工具书,也可供水利水电工程结构科研、管理人员及水利水电专业大专院校师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

新编水工混凝土结构设计手册 / 钮新强, 汪基伟,  
章定国主编. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2010. 12  
ISBN 978-7-5084-8231-6

I. ①新… II. ①钮… ②汪… ③章… III. ①水工结构: 混凝土结构—结构设计—技术手册 IV.  
①TV331-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第253684号

书 名	新编水工混凝土结构设计手册
作 者	钮新强 汪基伟 章定国 主编 周氏 主审
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京中科印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 45.5印张 1079千字
版 次	2010年12月第1版 2010年12月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	158.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前言

## PREFACE

新制定的《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008)业已颁布实施,它替代了原并行使用的《水工钢筋混凝土结构设计规范》(SDJ 20—78)和《水工混凝土结构设计规范》(SL/T 191—1996)。

新颁布的 SL 191—2008 规范对 SDJ 20—78 和 SL/T 191—1996 规范进行了整合,对部分条文进行了合理的修订,补充了新的内容,反映了我国水工混凝土结构设计理论的研究成果和工程实践的积累。和原规范相比,SL 191—2008 规范在安全度水平、设计表达式、环境类别划分、材料强度取值、截面承载力计算、裂缝宽度控制与挠度计算等方面均有较大的改动。此外,还增加了具有水工特点的闸门门槽、水电站钢筋混凝土蜗壳、尾水管和坝内孔口的设计方法与构造要求。在这些改动中,改动最大的是结构构件安全度的表达:SL 191—2008 规范以系数固定的荷载效应表达式来考虑荷载的变异性,在规定材料强度与荷载取值的条件下,采用在多系数分析基础上以安全系数  $K$  表达的方式进行设计。

SL 191—2008 规范适用于水利水电工程中素混凝土、钢筋混凝土及预应力钢筋混凝土结构的设计,不适用于混凝土坝、碾压混凝土结构的设计。但对坝内孔口、闸门门槽,SL 191—2008 规范仍然是适用的。

为了帮助广大从事水利水电工程结构与施工的工程人员尽快熟悉并掌握 SL 191—2008 规范,提高设计效率,编者按照 SL 191—2008 规范编写了这本《新编水工混凝土结构设计手册》。它包括了混凝土结构的材料基本特性,水工混凝土结构配筋设计的基本原则,各类结构构件的配筋计算方法、计算公式和配筋构造以及相关的实用计算图表。

本手册将 SL 191—2008 规范中的各项规定用公式与文字的形式列出,并对其来源以及制定时的背景作了必要的说明和简明的介绍,对读者正确理解和使用规范将有所帮助。为提高设计效率,手册还按常规设计步骤,根据计算公式编入了相当数量的设计计算用表,具体列出了使用方法及步骤,并有相应的例题,使用方便。手册还包含了水工结构设计中一些专用的设计理论、配筋方法与构造要求,如非杆件体系混凝土结构配筋设计、钢筋混凝土结构

有限元分析、大体积混凝土的温度场与温度应力计算、配筋结构的温度裂缝控制及水工结构中预埋件的计算与构造等。

在手册的编制过程中，编者学习和参考了已出版的多种结构设计手册和有关专著，这些文献的丰富内容和优越的编排格式，给编者以很大的启发，手册中的部分图表也借鉴或吸收了其中的一些成果。在此，谨对这些文献的作者表示诚挚的谢意。

除主编外，参加本手册编写的还有丁小唐、冷飞、蒋林华等。

本手册的编写得到了长江勘测规划设计研究院、河海大学、中国水利水电出版社的有力支持，他们为手册的编写提供了良好的工作环境和条件，保证了编写任务的顺利完成，在此一并表示感谢。

对本手册中存在的错误和不足，恳请读者与同行专家批评指正。

编者

2010年11月31日

# 目 录

前言		一、环境类别	65
第一章 水工混凝土结构材料	1	二、化学侵蚀性分类	65
第一节 水泥	1	三、混凝土保护层厚度	65
一、通用水泥	1	四、配筋混凝土耐久性的基本要求	66
二、特种水泥及其用途	4	五、混凝土的抗渗等级	67
第二节 集料	5	六、混凝土的抗冻等级	68
一、细集料	5	七、结构型式、表层防护及配筋方式	69
二、粗集料	6	第五节 钢筋混凝土结构的一般构造	
第三节 外加剂与掺合料	8	规定	69
一、外加剂	8	一、建筑物的分缝	69
二、掺合料	16	二、钢筋的锚固	70
第四节 混凝土	22	三、钢筋的接头	72
一、混凝土的定义和分类	22	四、纵向受力钢筋的最小配筋率	74
二、水工混凝土的特点	24	第三章 素混凝土结构构件设计	77
三、混凝土的配合比	25	第一节 素混凝土结构构件的设计要求	77
第五节 钢筋	35	一、一般设计原则	77
一、热轧钢筋	35	二、设计计算内容	77
二、预应力混凝土用钢绞线	37	三、构造钢筋	77
三、预应力混凝土用消除应力钢丝	40	第二节 素混凝土结构构件承载力计算	77
四、预应力混凝土用钢棒	42	一、受压构件	77
五、预应力混凝土用螺纹钢	45	二、受弯构件	87
六、余热处理钢筋	46	三、局部受压	89
第二章 水工混凝土结构设计基本规定	47	第四章 钢筋混凝土受弯构件承载力计算	
第一节 极限状态及水工建筑物级别	47	及构造规定	91
一、极限状态	47	第一节 梁、板的构造尺寸	91
二、水工建筑物级别	48	一、板的构造尺寸	91
第二节 材料强度和作用(荷载)取值	50	二、梁的构造尺寸	93
一、混凝土的强度与其他物理力学特性	50	第二节 受弯构件正截面受弯承载力	
二、钢筋的强度与弹性模量	53	计算	94
三、作用(荷载)	57	一、一般规定	94
第三节 设计表达式	58	二、计算公式及其适用条件	96
一、承载能力极限状态	58		
二、正常使用极限状态	62		
第四节 结构耐久性要求	64		

三、计算公式的应用 .....	99	第四节 偏心受压构件正截面受压承载力及配筋计算用表 .....	308
第三节 受弯构件正截面受弯承载力及配筋计算用表 .....	113	一、偏心距增大系数 $\eta$ 值计算用表 .....	308
一、适用范围 .....	113	二、对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面受压承载力计算用表 .....	314
二、单筋矩形截面梁(板)正截面受弯承载力及配筋计算用表 .....	113	第五节 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算 .....	337
三、双筋矩形截面梁正截面受弯承载力及配筋计算用表 .....	227	一、计算公式及适用条件 .....	337
四、单筋 T 形截面梁正截面受弯承载力及配筋计算用表 .....	235	二、计算公式的应用 .....	338
第四节 受弯构件斜截面受剪承载力计算 .....	243	第六节 双向偏心受压构件正截面受压承载力计算 .....	339
一、受弯构件斜截面受剪承载力计算公式及其应用 .....	243	一、验算公式及其应用 .....	339
二、梁斜截面受剪承载力及配筋计算用表 .....	249	二、对称配筋矩形截面双向偏心受压构件正截面受压承载力近似计算 .....	340
三、间接加载时附加横向钢筋计算 .....	262	第七节 偏心受压构件的配筋构造 .....	342
第五节 板、梁的配筋构造 .....	264	一、纵向钢筋 .....	342
一、板的配筋构造 .....	264	二、箍筋 .....	343
二、梁的配筋构造 .....	271	三、纵向受力钢筋的接头 .....	344
第五章 钢筋混凝土受压构件承载力计算及构造规定 .....	277	四、基础插筋 .....	344
第一节 受压构件的截面形式与尺寸 .....	277	五、框架柱节点的配筋构造 .....	345
一、受压构件的截面形式与截面尺寸 .....	277	第六章 钢筋混凝土受拉构件承载力计算及构造规定 .....	347
二、受压构件计算长度 $l_0$ .....	280	第一节 受拉构件正截面受拉承载力计算 .....	347
第二节 轴心受压构件正截面受压承载力计算 .....	280	一、计算公式及适用条件 .....	347
一、计算公式及适用条件 .....	280	二、计算公式的应用 .....	349
二、计算公式的应用 .....	281	三、例题 .....	351
三、矩形截面普通箍筋轴心受压构件正截面受压承载力计算用表 .....	283	第二节 偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算 .....	352
第三节 偏心受压构件正截面受压承载力计算 .....	293	一、计算公式及适用条件 .....	352
一、计算公式及其适用条件 .....	293	二、计算公式的应用 .....	353
二、不对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面受压承载力计算 .....	295	第七章 钢筋混凝土受扭构件承载力计算及构造规定 .....	355
三、对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面受压承载力计算 .....	304	第一节 钢筋混凝土纯扭构件承载力 .....	355
四、I 形截面偏心受压构件正截面受压承载力计算 .....	307	一、矩形截面纯扭构件受扭承载力 .....	355
		二、T 形和 I 形截面纯扭构件受扭承载力计算 .....	357
		三、纯扭构件受扭承载力计算用表 .....	358
		第二节 钢筋混凝土弯、剪、扭构件	

承载力计算 .....	377	一、预应力混凝土结构的基本概念 .....	450
一、剪、扭构件受剪、受扭承载力计算 .....	377	二、施加预应力的方法 .....	451
二、矩形截面剪扭构件受剪扭承载力计算 用表 .....	379	三、预应力混凝土的材料 .....	451
三、弯、剪、扭构件承载力计算 .....	396	四、预应力混凝土常用的锚固体体系 .....	452
四、受扭构件配筋构造要求 .....	396	<b>第二节 预应力筋张拉控制应力及预     应力损失 .....</b>	<b>462</b>
<b>第八章 局部受压和受冲切承载力计算     及构造规定 .....</b>	<b>398</b>	一、预应力筋张拉控制应力 .....	462
<b>第一节 局部受压承载力计算及配筋         构造 .....</b>	<b>398</b>	二、预应力损失及预应力损失组合 .....	462
一、截面要求 .....	398	<b>第三节 预应力混凝土结构构件的         计算要求 .....</b>	<b>467</b>
二、局部受压承载力 .....	398	一、计算内容 .....	467
<b>第二节 受冲切承载力计算及配筋         构造 .....</b>	<b>400</b>	二、截面几何特征值及截面混凝土与钢筋 应力计算 .....	<b>467</b>
一、不配置受冲切箍筋或弯起钢筋板的受 冲切承载力 .....	400	三、先张法构件预应力钢筋预应力传递 长度和预应力传递长度范围内预应 力钢筋的实际应力 .....	<b>469</b>
二、配置受冲切箍筋或弯起钢筋板的受冲 切承载力 .....	401	四、先张法构件锚固区及预应力钢筋抗拉 强度设计值 .....	<b>470</b>
三、矩形截面柱基础的受冲切承载力 .....	405	<b>第四节 预应力混凝土受弯构件承载         力计算 .....</b>	<b>470</b>
<b>第九章 钢筋混凝土结构构件正常使用     极限状态验算 .....</b>	<b>406</b>	一、正截面承载力计算的一般规定 .....	470
<b>第一节 正常使用极限状态验算的         原则 .....</b>	<b>406</b>	二、正截面受弯承载力计算 .....	471
<b>第二节 正截面抗裂验算 .....</b>	<b>406</b>	三、斜截面受剪承载力计算公式及其应用 .....	473
一、正截面抗裂验算公式 .....	406	<b>第五节 预应力混凝土受拉构件承载         力计算 .....</b>	<b>474</b>
二、截面几何特征值的计算 .....	407	一、轴心受拉构件 .....	474
<b>第三节 正截面裂缝宽度控制 .....</b>	<b>411</b>	二、偏心受拉构件 .....	475
一、控制原则 .....	411	<b>第六节 预应力混凝土构件抗裂、裂         缝宽度及挠度验算 .....</b>	<b>476</b>
二、最大裂缝宽度计算 .....	412	一、抗裂验算 .....	476
三、非杆件体系钢筋混凝土结构的裂缝 控制 .....	441	二、正截面裂缝宽度验算 .....	478
四、减小裂缝宽度的措施 .....	441	三、挠度验算 .....	480
<b>第四节 受弯构件挠度验算 .....</b>	<b>442</b>	<b>第七节 预应力混凝土构件施工阶段         验算 .....</b>	<b>481</b>
一、受弯构件挠度验算的原则 .....	442	一、施工阶段截面应力验算 .....	481
二、钢筋混凝土受弯构件刚度计算公式 .....	442	二、后张法构件锚固区局部受压验算 .....	482
三、允许出现裂缝的钢筋混凝土受弯构件 刚度计算用表 .....	442	<b>第八节 预应力混凝土构件的构造         规定 .....</b>	<b>483</b>
<b>第十章 预应力混凝土结构 .....</b>	<b>450</b>	一、一般规定 .....	483
<b>第一节 概述 .....</b>	<b>450</b>	二、先张法预应力混凝土结构构件的构造	



规定 .....	483
三、后张法构件的构造规定 .....	484
第九节 设计实例 .....	486
一、先张法预应力混凝土梁设计 .....	486
二、后张法预应力混凝土屋架下弦杆 设计 .....	495
<b>第十一章 钢筋混凝土结构构件</b>	
<b>设计</b> .....	499
<b>第一节 钢筋混凝土深受弯构件的设计</b>	
<b>计算及构造规定</b> .....	499
一、正截面受弯承载力计算 .....	499
二、斜截面受剪承载力计算 .....	500
三、深梁局部受压承载力验算 .....	501
四、深受弯构件的裂缝控制和挠度验算 .....	501
五、深受弯构件的配筋构造 .....	501
<b>第二节 钢筋混凝土叠合式受弯构件</b>	
<b>设计计算及构造规定</b> .....	505
一、施工阶段不加设支撑的叠合式受弯 构件承载力计算 .....	505
二、施工阶段有可靠支撑的叠合式受弯 构件承载力计算 .....	507
三、叠合式受弯构件的裂缝控制和挠度 验算 .....	507
四、叠合式受弯构件的构造要求 .....	509
<b>第三节 牛腿</b> .....	511
一、牛腿的作用与分类 .....	511
二、立柱独立牛腿 .....	512
三、壁式连续牛腿 .....	525
<b>第四节 墙</b> .....	527
一、墙的设计方法 .....	527
二、墙的构造要求 .....	528
<b>第五节 弧形闸门支座</b> .....	529
一、弧门支座的配筋设计 .....	529
二、弧形闸门支座附近的闸墩受拉区裂缝 控制及配筋设计 .....	531
<b>第六节 传力预埋件与吊环</b> .....	532
一、传力预埋件及其分类 .....	532
二、传力预埋件的一般构造要求 .....	534
三、传力预埋件的计算及计算用表 .....	536
四、吊环 .....	543

<b>第十二章 水工混凝土结构温度作用</b>	
<b>设计</b> .....	545
<b>第一节 温度作用设计的原则及参数</b>	
<b>确定</b> .....	545
一、温度作用设计原则 .....	545
二、温度作用的有关参数确定 .....	546
三、混凝土热学特性指标 .....	548
<b>第二节 大体积混凝土结构的温度</b>	
<b>计算</b> .....	550
一、热传导方程及边值条件 .....	550
二、温度场计算 .....	552
<b>第三节 大体积混凝土温度应力计算</b> .....	567
一、温度应力的概念 .....	567
二、徐变温度应力有限单元法计算 原理 .....	569
<b>第四节 大体积混凝土温度抗裂验算</b>	
<b>及温控标准</b> .....	572
一、大体积混凝土温度抗裂验算 .....	572
二、大体积混凝土温度控制标准 .....	573
<b>第五节 温度钢筋的配置</b> .....	574
一、温度钢筋的计算 .....	574
二、温度钢筋的构造配置 .....	575
<b>第六节 框架结构的温度作用设计</b> .....	576
一、框架结构温度作用设计要点 .....	576
二、温度作用下框架结构的内力计算方法 简介 .....	577
<b>第十三章 非杆件体系结构的配筋计算</b> .....	592
<b>第一节 概述</b> .....	592
一、水工建筑物中的非杆件体系结构 .....	592
二、非杆件体系结构的配筋计算方法 .....	592
<b>第二节 按弹性应力图形配筋</b> .....	594
一、《水工混凝土结构设计规范》 (SL 191—2008) 的规定 .....	594
二、主拉应力在配筋方向的投影 .....	595
<b>第三节 按钢筋混凝土有限单元法</b>	
<b>配筋</b> .....	596
一、有限单元法的一般分析过程与钢筋 混凝土有限单元法的特点 .....	596
二、单元模型 .....	598
三、混凝土多轴向强度及强度准则 .....	604

四、裂缝模拟与单元破坏后的模拟	612	一、配筋计算	641
五、混凝土本构关系	614	二、配筋构造要求	641
六、钢筋与混凝土的黏结滑移	623	第四节 桥跨结构的抗震设防	642
七、钢筋混凝土有限元计算的一般原则	625	一、桥跨结构抗震设防的一般规定	642
第四节 工程实例	626	二、梁式桥跨结构的抗震措施	642
一、实例一(大坝冲沙孔孔口配筋)	626	三、拱式桥跨结构的抗震措施	643
二、实例二(例 12-2-3 岩基上底板的温度配筋)	630	四、竖向支承结构的抗震设防	643
<b>第十四章 钢筋混凝土结构抗震设计</b>	633	附录一 钢筋的计算截面面积表	645
第一节 钢筋混凝土结构构件抗震设计的一般规定	633	附录二 平面图形的几何力学特性	648
一、抗震设防要求	633	附录三 等截面单跨梁的内力与变位	651
二、抗震结构的材料	633	附录四 对称水平曲梁内力计算	670
三、结构抗震承载力设计表达式	634	附录五 等截面连续梁弹性内力和挠度	672
四、抗震结构钢筋的锚固与连接	634	附录六 矩形双向板内力与挠度按弹性理论计算	689
第二节 钢筋混凝土框架的抗震设防	634	附录七 等截面刚架弯矩和支座反力计算公式	704
一、设计原则	634	附录八 考虑刚架剪切变形及节点刚性影响的刚架计算	712
二、框架梁	634	参考文献	717
三、框架柱	636		
四、框架梁柱节点	639		
第三节 钢筋混凝土铰接排架柱的抗震设防	641		

# 第一章 水工混凝土结构材料

## 第一节 水 泥

### 一、通用水泥

水工混凝土结构工程中通用的水泥有硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥等。

#### (一) 通用水泥的组分

《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)规定的通用水泥的组分见表1-1-1。

表 1-1-1 通用水泥的组分

品种	代号	组 分				
		熟料+石膏	粒化高炉矿渣	火山灰质混合材料	粉煤灰	石灰石
硅酸盐水泥	P·I	100	—	—	—	—
	P·II	$\geq 95$	$\leq 5$	—	—	—
		$\geq 95$	—	—	—	$\leq 5$
普通硅酸盐水泥	P·O	$\geq 80$ 且 $< 95$	$> 5$ 且 $\leq 20$			
矿渣硅酸盐水泥	P·S·A	$\geq 50$ 且 $< 80$	$> 20$ 且 $\leq 50$	—	—	—
	P·S·B	$\geq 30$ 且 $< 50$	$> 50$ 且 $\leq 70$	—	—	—
火山灰质硅酸盐水泥	P·P	$\geq 60$ 且 $< 80$	—	$> 20$ 且 $\leq 40$	—	—
粉煤灰硅酸盐水泥	P·F	$\geq 60$ 且 $< 80$	—	—	$> 20$ 且 $\leq 40$	—
复合硅酸盐水泥	P·C	$\geq 50$ 且 $< 80$	$> 20$ 且 $\leq 50$			

表中各组分材料均应符合《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)和《用于水泥中的粒化高炉矿渣》(GB/T 203—2008)、《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T 1596—2005)、《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046—2008)、《用于水泥中的火山灰质混合材料》(GB/T 2847—2005)等标准的相关规定。

#### (二) 通用水泥的技术要求

##### 1. 化学指标

《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)规定,通用水泥的化学指标应符合表1-1-2所列要求。

表 1-1-2 通用水泥的化学指标

品 种	代号	不溶物 (质量分数)	烧失量 (质量分数)	三氧化硫 (质量分数)	氧化镁 (质量分数)	氯离子 (质量分数)
硅酸盐水泥	P·I	≤0.75	≤3.0	≤3.5	≤5.0 <sup>①</sup>	≤0.06
	P·II	≤1.50	≤3.5			
普通硅酸盐水泥	P·O	—	≤5.0			
矿渣硅酸盐水泥	P·S·A	—	—	≤4.0	≤6.0 <sup>②</sup>	
	P·S·B	—	—		—	
粉煤灰硅酸盐水泥	P·F	—	—	≤3.5	≤6.0 <sup>②</sup>	
火山灰质硅酸盐水泥	P·P	—	—			
复合硅酸盐水泥	P·C	—	—			

① 如水泥压蒸试验合格，水泥中氧化镁含量（质量分数）允许放宽至 6.0%。

② 如水泥中氧化镁含量（质量分数）大于 6.0%，需进行水泥压蒸安定性试验并合格。

### 2. 碱含量

水泥中碱含量为选择性指标，用  $\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$  计算值表示。

### 3. 物理指标

(1) 强度。《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007) 规定，不同品种、不同强度等级的通用硅酸盐水泥，不同龄期的强度应符合表 1-1-3 所列要求。

表 1-1-3 通用水泥强度

品种	强度等级	抗压强度 (MPa)		抗折强度 (MPa)	
		3d	28d	3d	28d
硅酸盐水泥	42.5	≥17.0	≥42.5	≥3.0	≥6.5
	42.5R	≥22.0		≥4.0	
	52.5	≥23.0	≥52.5	≥4.0	≥7.0
	52.5R	≥27.0		≥5.0	
	62.5	≥28.0	≥62.5	≥5.0	≥8.0
	62.5R	≥32.0		≥5.5	
普通硅酸盐水泥	42.5	≥17.0	≥42.5	≥3.5	≥6.5
	42.5R	≥22.0		≥4.0	
	52.5	≥23.0	≥52.5	≥4.0	≥7.0
	52.5R	≥27.0		≥5.0	
矿渣硅酸盐水泥 火山灰质硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥 复合硅酸盐水泥	32.5	≥10.0	≥32.5	≥2.5	≥5.5
	32.5R	≥15.0		≥3.5	
	42.5	≥15.0	≥42.5	≥3.5	≥6.5
	42.5R	≥19.0		≥4.0	
	52.5	≥21.0	≥52.5	≥4.0	≥7.0
	52.5R	≥23.0		≥4.5	

(2) 凝结时间、安定性和细度。《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007) 规定，通用水

泥的凝结时间、安定性和细度应符合表 1-1-4 所列要求。

表 1-1-4 通用水泥的凝结时间、安定性和细度

项目		硅酸盐水泥		普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥	粉煤灰硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥	复合硅酸盐水泥
		P·I	P·II	P·O	P·S	P·F	P·P	P·C
凝结时间	初凝 (min)	≥45						
	终凝 (min)	≤390		≤600				
安定性		沸煮法合格						
细度	比表面积 (m <sup>2</sup> /kg)	≥300			—			
	方孔筛筛余	—			80μm 方孔筛筛余≤10%或 45μm 方孔筛筛余≤30%			

### (三) 通用水泥的特点和选用

#### 1. 通用水泥的特点

各种通用水泥的特点见表 1-1-5。

表 1-1-5 通用水泥的特点

品 种	特 点
硅酸盐水泥	优点：强度高，快硬早强，抗冻性、耐磨性和不透水性好。 缺点：水化热高，耐腐蚀差
普通硅酸盐水泥 (普通水泥)	与硅酸盐水泥相似，早期强度增进率、抗冻性、耐磨性稍有下降，抗硫酸盐侵蚀能力有所增强
矿渣硅酸盐水泥 (矿渣水泥)	优点：水化热低，抗硫酸盐侵蚀能力强、耐热性好。 缺点：早期强度低，保水性和抗冻性差
粉煤灰硅酸盐水泥 (粉煤灰水泥)	优点：保水性好，水化热低，抗硫酸盐侵蚀能力强，后期强度增长高，需水性和干缩性较小，抗裂性较好。 缺点：早期强度低，抗冻性差。早期强度比火山灰水泥还低
火山灰质硅酸盐水泥 (火山灰水泥)	优点：保水性好，水化热低，抗硫酸盐侵蚀能力强。 缺点：早期强度低，需水性大，干缩率大，抗冻性差
复合硅酸盐水泥 (复合水泥)	比矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥有较高的早期强度，易于成型，配制的混凝土耐久性不及用普通水泥配制的混凝土

#### 2. 通用水泥的选用

通用水泥可根据混凝土所处环境条件或工程特点按表 1-1-6 所列适用范围选用。

表 1-1-6 通用水泥的适用范围

混凝土所处环境条件或工程特点		优先选用	可以选用	不得或不宜选用
环境条件	普通气候环境中的混凝土	普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥 火山灰质硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥	
	干燥环境中的混凝土	普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥
	高湿度环境中或永远处于水下的混凝土	矿渣硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥 火山灰质硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥	
	严寒地区的露天混凝土 寒冷地区处于水位升降范围内的混凝土	普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥
	严寒地区处于水位升降范围的混凝土	普通硅酸盐水泥		矿渣硅酸盐水泥 火山灰质硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥
	受侵蚀性环境水或侵蚀性气体作用的混凝土	根据侵蚀介质的种类和浓度等具体条件按专门（或设计）规定选用		
工程特点	厚大体积混凝土	粉煤灰硅酸盐水泥 矿渣硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥 火山灰质硅酸盐水泥	硅酸盐水泥 快硬硅酸盐水泥
	要求快硬的混凝土	硅酸盐水泥 快硬硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥 矿渣硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥
	高强（>C60 级）混凝土	硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥 矿渣硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥
	有抗渗要求的混凝土	普通硅酸盐水泥 火山灰质硅酸盐水泥		矿渣硅酸盐水泥
	有耐磨性要求的混凝土	硅酸盐水泥 普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥

## 二、特种水泥及其用途

在水工混凝土结构工程中，常用的特种水泥品种和用途见表 1-1-7。

表 1-1-7 特种水泥的品种和用途

水 泥 品 种	用 途
快硬硅酸盐水泥 (快硬水泥)	快硬水泥的标号以 3d 抗压强度表示，分为 325、375 及 425 等 3 个标号。 主要适用于要求早期强度高的工程，如抢修工程、冬季施工工程和制作高强度混凝土预制构件等
快凝快硬硅酸盐水泥 (双快水泥)	双快水泥的标号按 4h 抗压强度确定，分为双快—150、双快—200 等 2 个强度等级。 主要适用于机场跑道、桥梁、隧道和涵洞等紧急抢修工程，以及冬季施工和堵漏等工程
中热硅酸盐水泥 低热硅酸盐水泥 低热矿渣硅酸盐水泥	中热水泥和低热水泥强度等级为 42.5 级；低热矿渣水泥强度等级为 32.5 级。 主要适用于要求水化热较低的大坝和大体积混凝土工程。中热硅酸盐水泥和低热硅酸盐水泥适用于溢流面和水位变化区等要求较高耐磨性和抗冻性的部位；低热矿渣硅酸盐水泥适用于大坝和大体积建筑物的内部及水下工程等

## 第二节 集 料

续表

水 泥 品 种	用 途
低热微膨胀水泥	强度等级为 32.5 级。 适用于要求水化热较低和要求补偿收缩的大体积混凝土，以及要求抗渗和抗硫酸盐侵蚀的工程，也允许用于一般地上构筑物
抗硫酸盐硅酸盐水泥 (抗硫酸盐水泥)	分为中抗硫酸盐水泥和高抗硫酸盐水泥等两类，分为 32.5 和 42.5 等 2 个强度等级。 适用于同时受硫酸盐侵蚀、冻融和干湿作用的海港工程，水利工程以及地下工程
铝酸盐水泥	类型有 CA-50、CA-60、CA-70 及 A-80 型等几种。 主要适用于抢修、抢建、对抗硫酸盐侵蚀和冬季施工等有特殊要求的工程；还可用于配制耐火材料以及配制石膏矾土膨胀水泥、自应力水泥等
膨胀水泥	膨胀水泥的品种很多，如硅酸盐膨胀水泥、石膏矾土膨胀水泥和明矾石膨胀水泥等。 用于补偿收缩混凝土结构工程、防渗层及防渗混凝土，构件的接缝及管道接头，结构的加固与修补，固结机器底座和地脚螺栓等
自应力水泥	自应力水泥有硅酸盐自应力水泥、铝酸盐自应力水泥和硫铝酸盐自应力水泥。 适用于制造自应力钢筋混凝土压力管等
快硬硫铝酸盐水泥 快硬铁铝酸盐水泥	分为 42.5、52.5、62.5 和 72.5 等 4 个强度等级。 主要用于配制早强、抗冻、抗渗和抗硫酸盐侵蚀等混凝土，如冬季施工、浆锚、拼装、地质固井、抢修、堵漏、水泥制品以及一般建筑工程

## 第二节 集 料

### 一、细集料

细集料是指粒径小于 5mm 的集料。工程中一般将细集料称为“砂”。

#### 1. 砂的分类

细集料按其成因可分为天然砂 (natural sand) 和人工砂 (manufactured sand) 两大类。

天然砂是岩石在海、河、湖等天然水域中经水流冲刷形成的或山间岩体风化后形成的、粒径小于 5mm 的岩石颗粒。天然砂包括海砂、河砂、湖砂和山砂等几类。

河砂 (包括江砂) 经流水长期冲刷，颗粒圆滑洁净，是一般工程经常采用的细集料；海砂也较洁净，但常混有贝壳碎片而且氯盐含量高，应当冲洗后使用；山砂多带棱角，含泥和软弱颗粒较多。

人工砂是人工破碎的、粒径小于 5mm 的岩石颗粒。人工砂包括机制砂和混合砂两类。

机制砂是除土处理后经机械破碎、筛分制成的岩石颗粒 (不包括软质岩、风化岩石的颗粒)；混合砂由机制砂和天然砂混合而成。

按细度模数的大小，砂分为粗砂、中砂、细砂和特细砂四种。粗砂的细度模数  $FM=3.7\sim 3.1$ ，中砂的细度模数  $FM=3.0\sim 2.3$ ，细砂的细度模数  $FM=2.2\sim 1.6$ ，特细砂的

细度模数  $FM=1.5\sim 0.7$ 。

水工混凝土宜使用中砂，人工砂细度模数  $FM=2.8\sim 2.4$ 。使用山砂、粗砂、特细砂时应经过试验论证。

## 2. 技术要求

砂的表观密度应大于  $2500\text{kg}/\text{m}^3$ ，堆积密度大于  $1350\text{kg}/\text{m}^3$ ，空隙率小于  $47\%$ 。

经碱集料反应试验后，由砂制备的试件应无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象，在规定的试验龄期内膨胀率应小于  $0.1\%$ 。

《普通混凝土用砂石质量及检验方法标准》(JGJ 52—2006) 规定，砂的颗粒级配应符合表 1-2-1 所列要求。

表 1-2-1 砂的颗粒级配 (累计筛余) %

方 筛 孔	级 配 区		
	1	2	3
5.00mm	10~0	10~0	10~0
2.50mm	35~5	25~0	15~0
1.25mm	65~35	50~10	25~0
630 $\mu\text{m}$	85~71	70~41	40~16
315 $\mu\text{m}$	95~80	92~70	85~55
160 $\mu\text{m}$	100~90	100~90	100~90

注 砂的实际颗粒级配与表中所列数字相比，除 5.00mm 和 630 $\mu\text{m}$  筛挡外，可以略有超出，但超出总量应少于  $5\%$ 。

《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144—2001) 规定，砂的含泥量等技术指标应符合表 1-2-2 所列要求。

表 1-2-2 砂的技术要求

项 目	天然砂	人工砂	备 注	
石粉含量 (%)	—	6~18	碾压混凝土为 10%~22%	
含泥量 (%)	用于 $\geq C_{90}$ 30 和有抗冻要求的混凝土	$\leq 3$	—	
	用于 $< C_{90}$ 30 的混凝土	$\leq 5$	—	
泥块含量	不允许	不允许		
坚固性 (%)	用于有抗冻要求的混凝土	$\leq 8$	$\leq 8$	5 次循环后的质量损失
	用于无抗冻要求的混凝土	$\leq 10$	$\leq 10$	5 次循环后的质量损失
表观密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$\geq 2500$	$\geq 2500$		
硫化物及硫酸盐含量 (%)	$\leq 1$	$\leq 1$	折算成 $\text{SO}_3$ (按质量计)	
有机物含量	浅于标准色	不允许		
云母含量 (%)	$\leq 2$	$\leq 2$		
轻物质含量 (%)	$\leq 1$	—		

## 二、粗集料

粗集料是指粒径大于 5mm 的集料。工程中一般将粗集料称为“石”。



1. 分类和规格

粗集料分卵石和碎石两种。卵石是由自然风化、水流搬运和分选、堆积形成的粒径大于 5mm 的岩石颗粒。碎石是天然岩石或卵石经机械破碎、筛分制成的粒径大于 5mm 的岩石颗粒。

粗集料按卵石、碎石粒径尺寸分为单粒级和连续粒级两种规格。亦可根据需要采用不同单粒级卵石、碎石混合成特殊粒级的卵石、碎石。

粗集料的最大粒径：不应超过钢筋净距的 2/3、构件断面最小边长的 1/4 或素混凝土板厚的 1/2。

少筋或无筋混凝土结构，应选用较大粒径的粗集料。

施工中，宜将粗集料按粒径大小分成下列几种组合：

- (1) 最大粒径为 40mm 时，分成  $D_{20}$ 、 $D_{40}$  两级；
- (2) 最大粒径为 80mm 时，分成  $D_{20}$ 、 $D_{40}$ 、 $D_{80}$  三级；
- (3) 最大粒径为 150 (120) mm 时，分成  $D_{20}$ 、 $D_{40}$ 、 $D_{80}$ 、 $D_{150}$  ( $D_{120}$ ) 四级。

应严格控制各级集料的超、逊径含量。以圆孔筛检验时，超径含量应少于 5%，逊径含量应少于 10%；以超、逊径筛检验时，超径含量应为零，逊径含量应少于 2%。

采用连续级配或间断级配粗集料时，应由试验确定。

各级集料应避免分离， $D_{150}$ 、 $D_{80}$ 、 $D_{40}$  和  $D_{20}$  分别采用中径 115mm、60mm、30mm 和 10mm 的方孔筛检测时，筛余量应控制在 40%~70% 范围内。

使用含有活性集料、黄锈和钙质结核的粗集料时，必须进行专门试验论证。

粗集料表面应洁净，如有裹粉、裹泥或被污染等应清除后方可使用。

2. 技术要求

石的表观密度应大于 2550kg/m<sup>3</sup>，堆积密度大于 1350kg/m<sup>3</sup>，空隙率小于 47%。

经碱集料反应试验后，由粗集料制备的试件应无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象，在规定的试验龄期内膨胀率应小于 0.1%。

在水饱和状态下，火成岩粗集料的抗压强度应不小于 80MPa，变质岩粗集料的抗压强度应不小于 60MPa，水成岩粗集料的抗压强度应不小于 30MPa。

《普通混凝土用砂石质量及检验方法标准》(JGJ 52—2006) 规定，粗集料的颗粒级配应当符合表 1-2-3 所列要求。

表 1-2-3

粗集料颗粒级配 (累计筛余)

%

级配情况	公称粒径 (mm)	方 孔 筛 筛 孔 边 长 (mm)											
		2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5	53.0	63.0	75.0	90.0
连续粒级	5~10	95~100	80~100	0~15	0								
	5~16	95~100	85~100	30~60	0~10	0							
	5~20	95~100	90~100	40~80	—	0~10	0						
	5~25	95~100	90~100	—	30~70	—	0~5	0					
	5~31.5	95~100	90~100	70~90	—	15~45	—	0~5	0				
	5~40	—	95~100	70~90	—	30~65	—	—	0~5	0			