

《水利水电施工》

丛书

混凝土的砂石骨料

蒋元驹



——《水利水电施工》丛书——

主 编	中国水利学会施工专业委员会	纪云生
副 主 编	中国水利学会施工专业委员会	杨睦九
		蒋元骧
		朱云祥
		葛文辉

责任编辑 阎立波

科技新书目:192-117

ISBN 7-120-00684-3

TV·227 定价: 2.85元

《水利水电工程》丛书

混凝土的砂石骨料

蒋元驹

水利电力出版社

内 容 提 要

本书主要内容是：骨料的分类与品质评定标准，骨料品质与混凝土性能的关系，细骨料(砂子)的选择与应用，粗骨料的级配特征与选择应用，砂石骨料的现场质量波动与控制。本书选材比较丰富，实用性较强。

本书可供从事水利工程施工的设计、施工技术人员学习，也可供有关专业院校师生参考。

《水利水电施工》丛书

混凝土的砂石骨料

蒋元驹

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 4.25印张 90千字

1989年5月第一版 1989年5月北京第一次印刷

印数0001—3000册 定价2.85元

ISBN 7-120-00684-3/TV·227

水利科普丛书编审委员会名单

主任委员：史梦熊

副主任委员：董其林

委 员：	丁联臻	王万治	史梦熊
	田 园	李文治	邵凤山
	杨启声	张宏全	张林祥
	沈坤卿	陈祖安	陈春槐
	汪景琦	郑连第	郭之章
	赵珂经	茆 智	陶芳轩
	谈国良	徐曾衍	蒋元嗣
	曹述互	曹松润	董其林
	顾振元	(以姓氏笔划为序)	

6975-113

序

水是人类生存和社会生产必不可少的物质资源。水利工作的基本任务是除水害、兴水利，开发、利用和保护水资源，为工农业生产和人们的物质、文化生活创造必要的条件。普及水利科学技术知识，让更多的人了解和掌握水利科学技术，也是两个文明建设的内容之一。为此，针对水利战线职工和社会上不同文化程度读者的需要，分层次地编写出版水利科普读物是十分必要的。

为了帮助水利科技人员的知识更新，掌握一些现代科技知识，并使水利科技成果更广泛地得到推广应用，尽快地形成生产力；为了使广大农村水利工作人员，掌握一些实用的水利基础知识，并应用于生产实际；为了总结和宣传我国水利建设的伟大成就和悠久历史，介绍水利在四化建设和人民生活等方面的重要作用，激发广大人民群众和青少年热爱祖国江河、关心水利事业，我们组织编写了七套水利科普丛书，包括：《现代科技》丛书、《水利科技成果》丛书、《水利水电施工》丛书、《小水电技术》丛书、《农村水利技术》丛书、《中国水利史》小丛书、《水与人类》丛书。这些科普丛书将由水利电力出版社陆续出版。

编写和审定这些丛书时，力求做到以思想性和科学性为前提，同时注意通俗性、适用性和趣味性。由于我们工作经验不足，书中可能存在某些不妥和错误之处，敬请广大读者给予批评指正。

中国水利学会科普工作委员会

1984年7月

前 言

在当代土木建筑工程建设中,混凝土几乎成为不可缺少的材料。其应用范围之广,为其他材料所不及。房屋建筑、道路交通、桥梁隧洞、机场港湾、河工闸坝等等,无不应用混凝土。许多专家学者从不同应用角度,研究了各类混凝土的物理力学性能及其相应的工艺措施,取得了很大成就,直至今日,形成了专门的混凝土学科,使混凝土材料的应用,发展到新的高度。

混凝土与其他材料不同,它是多相复合材料,通过现场配制而成,其基本材料如水泥、砂子、石子、水、混合材、外加剂等,不同比例的组合就具有不同的性能,其中任何一种材料选择不当,控制失调,都将带来严重的质量问题,轻者会导致工程不能满足要求,重者会因质量低劣而失败。

近年来,我国在大规模建设中,不仅对混凝土学科的研究有很大的发展,而且在应用与工艺措施方面也有不少创新。不足之处是,在生产实践中,有些基本重要环节,没有给予必要的重视,如忽视砂石料的选择与合理应用,对砂石料的质量控制不严等等,因而,尚未达到预期的效果。鉴此,本书拟就砂石料的特性与选择应用,对混凝土物理力学性能的影响及其质量控制等进行阐述。由于资料多来自水利水电建设方面,因此内容偏重于大体积混凝土施工,对于其他类型工程的有关特性则未能涉及。限于水平,不足与错误之处在所难免,请读者给予批评指正。

书中不少资料选用了许多水利水电建设者及有关水电工

程局、设计院、科研院、高等院校的劳动成果，特致谢意。
本书承吕宏基高级工程师审校，纪云生高级工程师复审，特
表示衷心的感谢。

编 者

1986年12月16日于北京

目 录

序	
前 言	
概 论	1
第一章 骨料的分类与品质评定标准	3
第一节 分类	3
第二节 骨料品质的评定标准	12
第二章 骨料品质与混凝土性能的关系	35
第一节 大坝混凝土对骨料的一般要求	35
第二节 骨料与混凝土的力学性能	45
第三节 混凝土变形性能与骨料的关系	54
第四节 骨料的有害或不纯物质对混凝土性能的影响	63
第三章 细骨料(砂子)的选择与应用	75
第一节 砂子的细度模数特征	75
第二节 砂子、各种粒子的机能	79
第三节 砂子的选用	84
第四章 粗骨料(石子)的级配特征与选择应用	90
第一节 石子级配的评定标准	91
第二节 国外施工规范的推荐范围	96
第三节 粗骨料级配与水泥用量	101
第五章 砂石骨料的现场质量波动与控制	105
第一节 砂子细度模数与含水率的变化	105
第二节 粗骨料的破碎与分离	112
第三节 粗骨料的超逊径	117
第四节 现场的其他质量波动	120
参考文献	124

概 论

混凝土的砂石骨料占混凝土总体积80%左右。骨料的物理力学性能及其组合成份都直接或间接地影响着混凝土质量，特别是水工混凝土的体积庞大，所用的骨料粒径远大于工业民用建筑，其性能要求也比较复杂。根据现行的试验条件与标准，往往难于表达水工混凝土的真正物理力学性能与工作性能。由于长期以来对砂石骨料的研究不大重视，使坝工混凝土中出现的许多缺陷难于解释。实际上混凝土的各项性质与质量事故无不与骨料性质有关。概括起来可以列表如0-1。

从表中可以看出，如果要配制满足工程要求的混凝土，必须对骨料的性质给予足够的重视，坝工混凝土更是如此。当前混凝土坝中出现了不少裂缝，或是冻融剥蚀，或是抗风化能力差。人们多集中于研究提高混凝土抗拉强度及其变形能力，或是采用各种混合材或外加剂用以提高混凝土的物理力学性能。这些措施虽都取得一定的效果，但是如果骨料选择不当，仍将大大削弱其应有作用。

就经济方面来说，骨料的颗粒形状，表面组织结构，级配、最大粒径、抗破碎能力等，对混凝土的水泥用量都具有显著的影响，对防止大体积混凝土产生温度裂缝和干缩裂缝，也有密切关系。由于以往对骨料的性质重视不够，有关骨料方面的质量控制不严，致使混凝土质量劣化。为引起对这一方面问题的重视，编者汇集前人的研究成果以及我国工程实践经验，编成这本小册子，希望能对水工混凝土及其他

表 0-1

骨料品质与混凝土品质的相关性

混凝土性质	相 关 的 骨 料 品 质
强度(压与拉)	强度、表面组织结构、清洁度、级配颗粒形状、最大粒径
抗冻融	安定性、孔隙率、孔隙构造、透水性、饱和度、抗拉强度、组织构造、级配、最大骨料粒径、含泥量
抗干湿交替	孔隙构造、弹性模量
抗冷热	热膨胀系数
抗冲磨	硬度、韧性
干缩性能	弹性模量、颗粒形状、级配、清洁度、最大粒径、含泥量
热膨胀系数	热膨胀系数、弹性模量、级配
热传导系数	热传导系数、级配、最大粒径
比热	比热
极限拉伸值	骨料含量、骨料粒径
徐变	骨料含量、骨料粒径
单位重	比重、颗粒形状、级配、最大粒径
弹性模量	弹性模量、波桑比
碱骨料反应	碱骨料含量
工作度	韧性(主要指抗碎能力)、级配、最大粒径、含水量、砂率
经济性	颗粒形状、级配、最大粒径、再加工量、利用量

大体积混凝土的设计与施工有所裨益。

第一章 骨料的分类与品质评定标准

第一节 分 类

骨料可以根据其粒径、用途、品质、比重、成因等等进行分类。

(1) 根据粒径分类。狭义的区分,85%以上停留在5 mm筛上者称为粗骨料,8.5%通过5 mm筛者即称为细骨料。但在工程中应用,则以5 mm粒径为界,在5 mm以上者称为粗骨料,在5 mm粒径以下称为细骨料,实际在生产中由于粗骨料的逊径,以及骨料中含有石粉和粘土一类的物质,很难做到截然分开,因此在骨料中,规定了逊径和石粉等含量的允许范围。

(2) 根据用途分类。可分为构造用骨料,绝热和吸音用骨料,装修用骨料。

(3) 根据品质分类。可以分为高级混凝土用骨料,普通混凝土及简易混凝土用骨料。

(4) 根据比重分类。可以分为比重达3~8的重晶石、铁矿石等的重骨料,比重为2.6左右普通岩石形成的天然骨料与人工骨料,以及容重为400~800kg/m³的浮石、膨胀硅岩,膨胀矿渣等的轻骨料。

(5) 根据成因分类,可以分为天然骨料,如河砂、河卵石、山砂、山卵石、海砂、海卵石;人工骨料,如碎石、人工砂;工业副产品如高炉渣碎石等。

由于本书着重于水工大体积混凝土用骨料,因此不涉及

表 1-1

松散岩石粒度分类

建筑材料松散岩石			工程地质松散岩石颗粒划分表		
粒级名称	粒径(mm)		名 称	粒径 (mm)	
畜 石	>500		漂石(磨圆的)、块石(棱角的)		>200
				大 中 小	>800 800~400 400~200
卵石	极 粗	150~80	卵石(磨圆的)、碎石(棱角的)		200~20
	粗	80~40		极 大	200~100
	中	40~20		大	100~60
	细	20~5		中 小	60~40 40~20
砂粒	极 粗	5~2.5	圆 砾、角 砾		20~2
		2.5~1.2		粗	20~10
		1.2~0.6		中	10~5
	中	0.6~0.3		细	5~2
	微 细	0.3~0.15	砂 粒		2~0.05
	极 细	0.15~0.05		粗 中 细 极 细	2~0.5 0.5~0.25 0.25~0.10 0.10~0.05
粉粒	粗	0.05~0.01	粉 粒		0.05~0.005
	细	0.01~0.005		粗 细	0.05~0.01 0.01~0.005
粘 粒	<0.005		粘 粒		<0.005
			胶 粒		<0.002

与水工建筑和大体积混凝土无关的骨料，如重骨料、轻骨料、装饰、吸音、绝热等骨料。

一、砂石料的工程地质分类

根据《水利水电工程天然建筑材料勘察 规程》SDJ17-78(试行)^[1]，可对照表1-1，表1-2，表1-3。

表 1-2 砂 石 分 类 表

名 称	砾 的 含 量 (%)		
	>20(mm)	>10(mm)	> 2 (mm)
卵 石 及 碎 石	>50		
粗 砾		>50	
细 砾			>50

表 1-3 砂 分 类 表

序号	名 称	颗 粒 含 量 (%)					
		10~5 (mm)	>2.5 (mm)	>1.2 (mm)	>0.6 (mm)	>0.3 (mm)	>0.05 (mm)
1	极 粗 砂	<5	>50				
2	粗 砂	<8		>50			
3	中 砂	0			>50		
4	细 砂	0				>50	
5	极 细 砂	0					>50

二、颗粒形状的分类

骨料除了粒径以外，其颗粒形状对混凝土的用水量、和

易性等也有很大影响。但是骨料的形状是三度物体，表现其特征是相当困难的，其形状的形成，就砾石来说，决定于基岩的强度与耐磨性及磨损程度。对碎石来说，则决定于原岩石的强度、脆性、节理等因素。在美国有时使用以下的分类：

圆角的， 没有留下原始表面；

圆形的， 表面棱角几乎都消失了；

次圆的， 很大的磨损，表面积减少；

略带棱角的， 有些磨损，但表面未受损伤；

多角的， 几乎无磨损的迹象。

在英国的分类，可以参看表1-4^[3]

表 1-4 颗粒形状的分类(BS812)

圆 形	完全水磨损或完全磨损	河和海滨砾石；沙漠、海滨和风吹砂
不规则的	天然不规则或部分磨损形成，有圆形边。	砾石，地上或地下燧石
片 状 的	材料厚度较其两面尺寸要小	片状岩石
角 形 的	在粗糙平面相交处形成的加工较好的边	各种碎石、岩屑、碎砂渣
细 长 的	普通角状材料，长度较其他两个方向大得多	
片状和细长的	长比宽大得多，宽比厚又大得多	

我国对骨料的形状、分类，不论水工混凝土施工规范(SDJ207-82)还是水工混凝土试验规程(SD105-82)，仅仅对针片状做了规定，其具体含义，类似英国标准的第5、6项，即“设每一颗粒的最大尺寸为长度，第二尺寸为宽

度，最小尺寸为厚度，则针状颗粒为长度大于宽度3倍者，片状颗粒为厚度小于宽度1/3者”^[4]。严格说来，对骨料的颗粒形状，仅以针片状含量评定，并不能充分反映对混凝土物理力学性能及工作性能的影响，只不过是针片状易于表达，而且能反映一部分骨料的品质而已。

三、表面特征的分类

骨料的表面特征，对混凝土的抗弯、抗压、界面结合等性能均有很大关系，目前对骨料表面特征的划分还没有很好的办法，即以粗糙度而言，国外学者对此做了不少评定方法的观测，其成果还很散乱，没有得到圆满的结果，现仅以英国标准^[5]，列表如1-5，以供参考。

表 1-5 骨料表面结构举例（BS812第一部分，1975）

类别	表面结构	特 性	实 例
1	玻 璃 质	贝壳状裂痕	黑硅石、玻璃状渣
2	光 滑	由于水的磨损或成层断裂，或细颗粒岩石使其光滑	砾石、燧石、板岩、大理石及一些流纹岩
3	粒 状	破裂或均匀的圆颗粒	砂石、鱼面状岩
4	粗 糙	细或中等颗粒岩石的粗糙断面，不含可见结晶成份	玄武岩、致密长石斑岩、石灰石
5	结 晶	含可见结晶成份	花岗岩、辉长岩
6	蜂 窝 状	具有可见的孔或空穴	浮石、泡沫矿渣等

四、成因的分类

一般分为天然骨料和人工骨料。天然骨料主要指河川中沉积的砂或砾石。河川对砂砾石具有侵蚀、搬运、沉积三大作用,沉积颗粒的大小分类与河流的底流速和流态具有相关关系,可参见表1-6。粒径与河水的流态也有关系,在河流的弯曲部,大颗粒多位于底流速大的上游,在涡流处,细砂位于产生上升水流处,除转向部形成的横断浅滩外,细砂位于浅水的地方,水由深向浅处转流时,粗砂位于转向点,纵向浅滩的下端,含有最小颗粒;堆砂的垂直分布,粗砂主要堆积于底部;由于天然砂石料具有因河川流速与流态的分布差别,因此采用天然砂石就难免产生某些颗粒的过剩与不足问题。例如我国的丹江口工程等就产生了细砂不足的问题,而桓仁工程则产生了细砂过剩的问题。至于砾石级配中产生某级不足或过剩的情况,差不多用天然砂石料的工程都是难以避免的,因此在勘探砂石料源时,仅考虑储量是不够的,必须考虑各种不同粒径砂石料的分布情况,不同粒径骨料的开采与使用之间大体相互平衡问题。有的工程在施工过程中,由于忽视了这一点,临时发现特大骨料储量不够,不得不多用细骨料,增加了水泥用量,甚至需另辟料场;有的发现中细骨料不足,不得不另设碎石系统。

山砂和山砾石也属于天然骨料,此类骨料的最大缺点是

表 1-6 砂砾石的粒径与底流速的关系

砂砾石的粒径 (mm)	粘土淤泥 <0.06	细 砂 0.5~1.0	粗砂 2.5	小石 10	中石 40	大石 100	特大石 170	巨石 370
底流速(cm/s)	8~15	20	25	50	100	150	200	300