

《水利水电施工》

丛 书

金定伯 编著

# 砂石料生产

水利电力出版社

——《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  
                                                    蒋元驹  
                                                    朱云祥  
                                                    葛文辉

责任编辑：孔令文

科技新书目：302-138

ISBN 7-120-01866-3/TV·676

定价：5.60 元

《水利水电施工》丛书

---

# 砂 石 料 生 产

翁定伯 编著

水利电力出版社

8  
S

声  
声  
及。  
叠

(京)新登字115号

### 内 容 提 要

本书分八章，从混凝土骨料特性、砂石生产的工艺、布置和设备、砂石骨料的堆存设施、生产检测、质量控制以及砂石料的粉尘和噪声防护等方面，简明而系统地介绍了天然骨料和人工骨料的生产技术及其在国内外的最新发展，并列举了大量解释性和实用性的参考图表。本书可供水利水电工程和大型混凝土工程施工、砂石生产的工人、干部和工程技术人员阅读，也可供研究、设计、教学人员参考。

《水利水电施工》丛书

砂 石 料 生 产

翁定伯 编著

\*

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

北京樱花印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 32开本 5.875印张 128千字  
1993年11月第一版 1993年11月北京第一次印刷

印数 0001—1490 册

ISBN 7-120-01866-3/TV·676

定价5.60元

## 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

## 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 (以姓氏笔画为序)

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 丁联臻 | 王万治 | 史梦熊 | 田 国 |
| 李文治 | 邴凤山 | 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 |
| 茹 智 | 陶芳轩 | 谈国良 | 徐曾衍 |
| 蒋元驹 | 曹述五 | 曹松润 | 董其林 |
| 顾振元 |     |     |     |

# 目 录

## 序

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第一章 概述 .....           | 1   |
| 第一节 混凝土骨料特性 .....      | 1   |
| 第二节 砂石生产的现状和发展 .....   | 5   |
| 第三节 砂石厂的种类和组成 .....    | 9   |
| 第二章 砂石厂的规模 .....       | 12  |
| 第三章 砂石的生产流程及工艺布置 ..... | 18  |
| 第一节 基本流程 .....         | 18  |
| 第二节 生产天然骨料的工艺流程 .....  | 28  |
| 第三节 人工骨料的工艺流程 .....    | 35  |
| 第四节 砂石厂的总体布置和实例 .....  | 40  |
| 第四章 砂石的生产设备 .....      | 51  |
| 第一节 破碎和磨碎设备 .....      | 51  |
| 第二节 筛分设备 .....         | 81  |
| 第三节 清洗、分级和脱水设备 .....   | 96  |
| 第四节 给料机和放料门 .....      | 105 |
| 第五章 砂石的储存设施 .....      | 119 |
| 第一节 储存设施的用途和类型 .....   | 119 |
| 第二节 容量和容积计算 .....      | 120 |
| 第三节 堆料场的型式和设备 .....    | 125 |
| 第四节 取料地弄 .....         | 130 |
| 第五节 受料和装车设施 .....      | 134 |
| 第六章 生产检测和质量控制 .....    | 139 |
| 第一节 取样、试样加工和粒径分析 ..... | 140 |
| 第二节 砂细度模数的测定和控制 .....  | 143 |

|     |                      |     |
|-----|----------------------|-----|
| 第三节 | 生产检测和控制 .....        | 148 |
| 第四节 | 质量控制 .....           | 151 |
| 第七章 | 砂石厂的投资、定员和骨料成本 ..... | 159 |
| 第一节 | 砂石厂的投资 .....         | 159 |
| 第二节 | 劳动定员 .....           | 163 |
| 第三节 | 砂石骨料的成本估算 .....      | 165 |
| 第八章 | 粉尘和噪声的防护 .....       | 173 |
| 第一节 | 防尘 .....             | 173 |
| 第二节 | 噪声防护 .....           | 176 |



# 第一章 概 述

## 第一节 混凝土骨料的特性

在混凝土中，骨料占其总重量的80%以上。骨料所占的体积越多，水泥的用量就越少，混凝土的经济性也就越好。骨料的质量好坏，在很大程度上影响到混凝土的性能。因此，在组织砂石骨料生产时，要选用质地均匀，物理和化学性能稳定，结构细密，具有适当的强度、比重、热学性能和弹性模量的岩石作骨料的原石料。此外，骨料的性能在很大程度上与它的颗粒大小、形状、级配及表面状态有关。因此，除选用合适的料源外，还要求采用适当的工艺和设备，才能生产出质地优良的骨料。

砂石骨料有粗、细之分。一般把石子叫做粗骨料，砂子叫做细骨料。依照我国水工混凝土施工技术规范，细骨料的粒径范围为0.5~5mm，大于5mm的叫粗骨料。为了组成良好的级配，减少转运、搅拌、浇筑时分离，粗骨料要分成几个粒径级。水工混凝土多数是大体积混凝土，常采用四个粒径级，最大粒径为150mm（也有采用120mm的）。150mm以上的粗骨料，减少水泥并不明显，转运处理比较困难，施工中容易分离，实际上很少采用。在150~5mm的粒径范围内，习惯上把骨料分成四个粒径级，即150~80、80~40、40~20和20~5mm。为了简化称呼，分别把这四级骨料叫做大石、中石、小石和细石。

骨料有天然和人工两大类。多数河流上都有天然砂石料场，只要将采集的砂砾石进行适当的筛洗，即可用作混凝土

的粗细骨料。天然砂石因岩石经过长期的风化、运动、水流的冲刷以及石子间的辗转撞击、研磨等作用，一般外形圆整、表面光滑、质地坚硬，是比较理想的料源。如果当地有足够的合格天然砂石料场，一般总是优先考虑采用。但是天然砂石的原岩种类繁多、成因复杂、级配分布常不均匀，有时含有一些扁平、针状和软弱的颗粒。还有一些料场因沉积年代较久，表面风化、含有或粘附一些不稳定的化学物质和有害成分。有的砂石表面具有较大的吸水性。所有这些，或多或少地影响混凝土的性能。

天然砂石中的缺陷，有些是可以在生产中加以处理的，但可能使工艺过程复杂化而增加生产成本。水利水电工程的

表 1-1 细骨料（砂）的质量要求

| 项 目                     | 指 标        | 备 注                                           |
|-------------------------|------------|-----------------------------------------------|
| 天然砂中含泥量(%)<br>其中粘土含量(%) | < 3<br>< 1 | 1) 含泥量系指粒径小于0.08mm的细屑、淤泥和粘土的总量<br>2) 不应含有粘土团粒 |
| 人工砂中的石粉含量(%)            | 6~12       | 系指粒径小于0.15mm的颗粒                               |
| 坚固性(%)                  | <10        | 系指硫酸钠溶液法 5 次循环后的损失量                           |
| 云母含量(%)                 | < 2        |                                               |
| 轻物质含量(%)                | < 1        | 视比重小于2.0 g/cm <sup>3</sup>                    |
| 比重(g/cm <sup>3</sup> )  | >2.5       |                                               |
| 硫化物及硫酸盐含量(%)            | < 1        | 按重量折算成SO <sub>3</sub>                         |
| 有机质含量                   | 浅于标准色      | 如深于标准色，应配成砂浆进行强度试验                            |

注 本表引自(SDJ20>-82)《水工混凝土施工规范》。

特点是规模大，在工程附近并不是都能找到足够的质量符合要求的天然砂石料。有时遇到远距离的砂石运输和开采条件不好等因素，还不如在当地生产人工骨料来得经济。

人工骨料是用机械的方法将岩石破碎、磨碎制成的人工砂石料。由于人工砂石料可以选择适当的岩石作原石，岩种单一，级配可以控制，开采生产一般都能够常年进行，对环境的破坏小，所以越来越广泛地被国内外所采用。

人工粗骨料通常叫做碎石。碎石的颗粒形状主要受原石的岩性和破碎机的机型影响。一般地说，石灰岩、花岗岩制的碎石粒形好，而玄武岩、石英岩等高强度岩石的针片状多。用圆锥、锤式破碎机生产的碎石，粒形方整，而颚式破碎机生产的，针片状颗粒较多，且大多富集在细石中。棒磨机生产的人工砂，在粒形、级配方面都比较理想。人工骨料

表 1-2 细骨料（砂）的颗粒级配范围

| 筛孔直径     | 累计筛余(%)   |           |           |
|----------|-----------|-----------|-----------|
|          | 细 砂       | 中 砂       | 粗 砂       |
| 5        | 0         | 0~8       | 8~15      |
| 2.5      | 3~10      | 10~25     | 25~40     |
| 1.2      | 5~30      | 30~50     | 50~70     |
| 0.6      | 30~50     | 50~67     | 67~83     |
| 0.3      | 55~70     | 70~83     | 83~95     |
| 0.15     | 85~90     | 90~94     | 94~97     |
| 平均粒径(mm) | 0.31~0.36 | 0.36~0.43 | 0.43~0.66 |
| FM(细度模数) | 1.78~2.50 | 2.50~3.19 | 3.19~3.85 |

注 本表引自(SDJ17-78)《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》。

的料源一旦选定，就要求我们采用适当的工艺流程和设备，以生产优质的骨料。

人工骨料表面粗糙而富有棱角，它和水泥石的粘结性能好。由碎石制成的混凝土具有较高的抗拉强度。若用石灰岩碎石拌制混凝土，尚可降低线胀系数，有利于温度控制。但与表面光滑圆整的砾石相比，孔隙率约高 0~11%。这就要用较多的水泥砂浆去填充，也就是说要用较高的砂率和较多的水泥。此外，碎石的比表面积大，从湿润包裹表面的角度看，也要多用一些水泥砂浆，才能取得良好的和易性。

表 1-3 粗骨料的质量要求

| 项                     | 目                    | 指 标        | 备 注                   |
|-----------------------|----------------------|------------|-----------------------|
| 含泥量(%)                | 小石、细石<br>大石、中石       | <1<br><0.5 | 各粒径级均不应含有粘土团块         |
| 坚固性(%)                | 混凝土有抗冻要求<br>混凝土无抗冻要求 | <5<br><12  |                       |
| 硫酸盐及硫化物含量(%)          |                      | <0.5       | 按重量折算成SO <sub>3</sub> |
| 有机质含量                 |                      | 浅于标准色      | 如深于标准色，应进行混凝土强度对比试验   |
| 比重(g/m <sup>3</sup> ) |                      | >2.55      |                       |
| 吸水率(%)                |                      | <2.5       |                       |
| 针片状颗粒含量(%)            |                      | <15        | 碎石经试验论证可放宽至25%        |

- 注 1. 本表内容引自(SDJ20>-82)《水工混凝土施工规范》。  
 2. 含有活性骨料、黄锈等，须有专门试验论证。  
 3. 应严格控制各级骨料的超径和逊径含量。以原孔筛检验，超径<5%，逊径<10%。  
 4. 力学性能的要求和检验，可按国家建工总局标准(JGJ53-79)《普通混凝土用碎石或卵石质量标准及检验方法》中的有关规定进行。

无论是天然骨料还是人工骨料，都要求有良好的级配。级配是按一定的比例将不同粒径级的骨料加以配合。因此，在砂石生产中得把原来混合的骨料分成几个粒径级，一般采用筛分机和水力分级机或机械分级机进行分级。无论是筛分还是分级，都不可能按分界尺寸将骨料截然分开。一部分小于分界尺寸的颗粒遗留在筛上物中成为逊径骨料；一部分大于分界尺寸的颗粒混入下一级产品中成为超径骨料。这些超径和逊径骨料，实际上改变了骨料的预定级配。超径和逊径的含量波动将引起混凝土的性能变化。因此施工规范规定，按原孔筛检查的超径含量不超过5%，逊径含量不超过10%。此外，超径的最大值和逊径的最小值也有规定。砂石生产中要从各个环节上保证骨料的质量，使之符合水工混凝土对砂石骨料的质量技术要求（见表1-1～表1-4）。

表 1-4 粗骨料颗粒的级配范围

| 最大粒径<br>(mm) | 级 配 (%) |       |       |       |       |        |
|--------------|---------|-------|-------|-------|-------|--------|
|              | 5~20    | 5~40  | 20~40 | 20~60 | 40~80 | 80~150 |
| 40           | 45~60   | ~     | 40~55 | ~     | ~     | ~      |
| 60           | 35~50   | ~     | ~     | 50~65 | ~     | ~      |
| 80           | 25~35   | ~     | 25~35 | ~     | 35~50 | ~      |
| 80           | ~       | 50~65 | ~     | ~     | 35~55 | ~      |
| 150          | 15~25   | ~     | 15~25 | ~     | 25~35 | 30~45  |
| 150          | ~       | 30~40 | ~     | ~     | 25~35 | 30~45  |

## 第二节 砂石生产的现状和发展

建国40年来，我国主要的水利水电工程共生产浇筑了近1亿m<sup>3</sup>的混凝土，供应了约2亿t的砂石骨料。一般大型工

程砂石生产的月处理能力约10~30万t，特大的葛洲坝工程的月总处理能力达80万t。

砂石骨料多数采用天然砂石料，早期的有新安江、三门峡、刘家峡、丹江口等工程；近期的有葛洲坝、白山、龙羊峡、安康、铜街子等工程。由于天然砂石级配并不都是理想的，分布也不均匀，简单的筛洗是不能满足混凝土质量要求的。为了充分利用料源，减少弃料，近来的砂石加工厂常设有闭路生产的破碎筛分设备，对级配进行人工调整。简易的筛洗系统如今在大工程已不多见。

随着水利水电工程向河流的上中游发展，由于河道坡陡流急，工程附近的天然砂石料场常常贮量不足，粒径偏粗，加之交通不便，越来越多的工程采用了人工骨料。建国初期的狮子滩、上犹江、流溪河等水电工程都是采用碎石作粗骨料。利用棒磨机制砂则始于1966年的映秀湾工程，后来乌江渡、大化、渔子溪II级等相继采用，以乌江渡的人工骨料厂规模最大，月处理能力可达25万t。人工骨料受自然条件影响小，还可利用工程弃渣作原石料，变废为利，一举两得。映秀湾和乌江渡南岸的人工骨料系统，全部利用弃渣作原石。巴西伊泰普工程的1200万 $m^3$ 混凝土，也是大部分利用明渠开挖的石渣生产人工骨料。

在人工骨料生产工艺上，近期出现了两项引人瞩目的新技术。一项是间断—连续运输系统，就是在采石场采用间歇式工作的挖掘机、装载机采装，自卸汽车运输，在采石场作业面用半移动式的粗碎设备进行初步加工，然后用胶带机将半成品送往砂石加工厂生产骨料。半移动式的粗碎设备可用履带搬运车背着在采石场作业面搬迁。这种设备做得非常牢固，不怕飞石砸击。由于用胶带机代替了汽车运输，大大节

省了线路建设和运输费用。另一项新技术是溜槽、溜井运输系统。在高差比较大(一般在100m以上)的采石场,爆破后的岩石通过溜井(槽)运往加工厂。美国德沃歇克和日本的大渡坝,它们的粗碎、中碎都直接设在溜井下端的山洞里。图1-1是德沃歇克坝地下碎石厂的剖面图。爆破后采装的岩石,由9m<sup>3</sup>的挖掘机采装,90t的自卸汽车运到采石场中心直径6m的溜井中。溜井的容量约7000t,它既是运输设施,又是生产调节储仓。通过板式给料机向旋回机给料破碎。破碎后的岩石用胶带机运出洞外处理。这两项工艺的共同特点是缩短采石场到粗碎厂的运输距离,节约公路开拓和运输费用。

人工骨料生产中的超径大块石处理,常是老大难问题之一。乌江渡工程采取加密钻孔和微差挤压爆破的方法,使超径大块石含量降低到1%以下。近来发展的液压破石锤,使得超径大块石的处理经济方便地得到了解决。

颚式破碎机的优点是进料尺寸大,但处理能力低。旋回破碎机的处理能力高,但进料尺寸小,机体高大而笨重。近来发展的颚式旋回机兼有颚式机进口大,旋回机处理能力高的优点,特别适用于水利水电工程非粘性中硬岩石的粗碎设备。

中细碎部分近来基本上都采用了闭路生产工艺,由于闭路,无论人工骨料还是天然砂石级配调整,都可以做到按需生产,无需顾虑级配的不平衡。

在国外的筛分机市场上,陆续出现了超宽筛、折线筛、球击筛面筛和橡胶筛面,使得筛分布置简化,筛分能力和筛分效率提高、噪声低、不塞孔。棒磨机以其工作可靠,产品稳定,级配均匀,控制容易而著称。自从德沃歇克坝采用旋

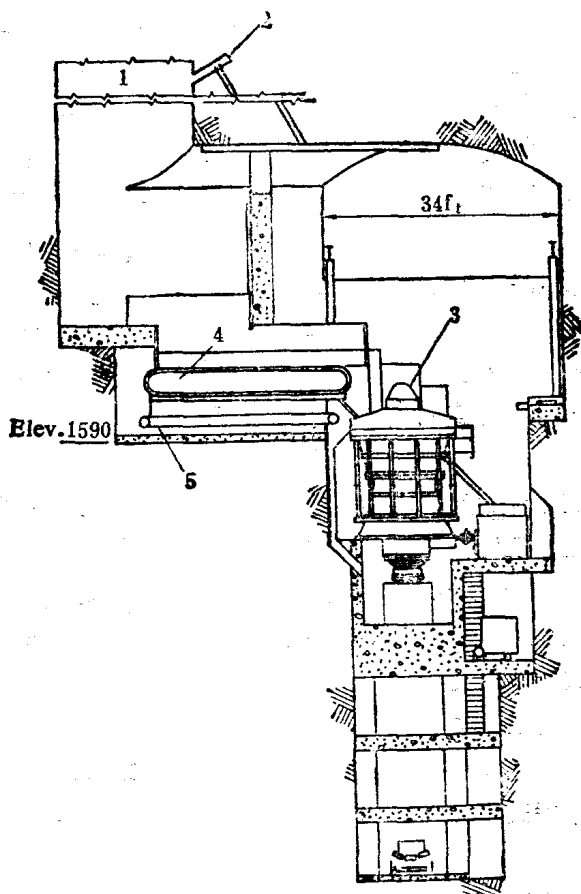


图 1-1 美国德沃歇克坝地下碎石厂剖面图

1—竖井；2—声纳装置；3—旋回破碎机；4—重板给料机；  
5—胶带机

回圆盘破碎机制砂以后，近来又发展了超细碎破碎机。这种设备以其高产、低能耗、低钢耗等优点，大有取代棒磨机的趋势。

从成品骨料出厂到混凝土拌和，要经历很多次转运，粗



骨料的破碎、分离和污染总是难免的。虽然层层设防，但总是防不胜防，不如在配料之前作一次性的质量处理来得简单、经济。因此，现在较多的是采用二次冲洗和二次筛分来改善和弥补砂石骨料的质量。

我国水电上得少、上得慢，关键在速度。减少砂石厂的土建和安装工作量，加速砂石系统的建设是发展水电的措施之一。因此砂石加工厂应尽量采用半移动或组装式的设备，用钢管和预制混凝土管代替现浇的钢筋混凝土地弄。

### 第三节 砂石厂的种类和组成

#### 一、砂石厂的种类

砂石厂按其所处理原石料的规模、种类，服务的对象和机动性能，有多种类型，大体上可归纳如图1-2。

#### 二、砂石厂的组成

砂石厂的主要设施及其相互关系如框图1-3所示。各种类型砂石厂的组成不尽相同，但可根据需要利用一些基本设施进行组配。早期的砂石生产常采取一条龙的工艺，中经几十个生产环节，任何一台设备或环节的卡塞，都可能引起整个系统停产。近来许多砂石厂在主要生产设施之间设置调节料堆（仓），把系统分割成几个相对独立的生产单元，可按各自的工作制度组织生产。这样，一般短时的故障，相互间不受影响。

框图1-3只表示了主要的生产设施。其他如骨料的运输设施，风、水、电、热供应，通讯、试验、检测和控制，器