

粒化高炉 矿渣细骨料混凝土

LIHUA GAOLU KUANGZHA XIGULIAO HUNNINGTU

■ 石东升 著



冶金工业出版社

www.cnmp.com.cn

粒化高炉矿渣细骨料混凝土

Concrete Using Granulated Blast Furnace Slag as Fine Aggregate

石东升 著

北 京

冶金工业出版社

2016

内 容 简 介

本书介绍了粒化高炉矿渣的物理、化学特性及作为混凝土细骨料的相关试验研究;系统论述了粒化高炉矿渣细骨料混凝土的配合设计方法、力学特性及耐久性能,为推广粒化高炉矿渣细骨料混凝土工程应用提供一定的参考。

全书共分8章,第1章为粒化高炉矿渣的特性;第2章为粒化高炉矿渣细骨料混凝土的配合设计;第3章为粒化高炉矿渣细骨料混凝土的抗压强度;第4章为粒化高炉矿渣细骨料混凝土的抗拉强度及弹性模量;第5章为粒化高炉矿渣细骨料混凝土结构构件强度特性;第6章为粒化高炉矿渣细骨料混凝土的干燥收缩;第7章为粒化高炉矿渣细骨料混凝土的冻融性能;第8章为粒化高炉矿渣细骨料混凝土配合设计的建议。

本书可供从事混凝土制备、研究及工业副产物开发、应用的工程技术人员、科研人员和高等院校土木工程专业本科生、研究生阅读或参考。

图书在版编目(CIP)数据

粒化高炉矿渣细骨料混凝土/石东升著. —北京:冶金工业出版社, 2016. 9

ISBN 978-7-5024-7320-4

I. ①粒… II. ①石… III. ①粒化—高炉—矿渣水泥—研究 IV. ①TQ172.71

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第213016号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 贾怡雯 美术编辑 吕欣童 版式设计 吕欣童

责任校对 禹蕊 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7320-4

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2016年9月第1版;2016年9月第1次印刷

169mm×239mm; 10.5印张; 203千字; 158页

45.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

高炉矿渣是冶炼生铁过程中所产生的固体副产物，根据排渣处理方式的不同，高炉矿渣可分为粒化高炉矿渣和高炉重矿渣两大类。从高炉排出的熔融状态矿渣自然流入冷却平台，在空气中慢慢冷却形成较致密、类似岩石的大块状物，称为高炉重矿渣。当熔融状态矿渣经水淬骤冷成粒状矿渣时，称为粒化高炉矿渣。目前我国，高炉矿渣的水淬率已达 80%。从化学成分来看，高炉矿渣是属于硅酸盐质材料，与水泥熟料有相似之处，其中粒化高炉矿渣由于水淬骤冷，熔融状态的矿渣凝固时来不及结晶形成以玻璃态为主的砂状颗粒，其具有较高的化学能，即具有一定的潜在水硬性。粒化高炉矿渣磨细后常用作水泥的混合料及混凝土的掺和料，由于粒化高炉矿渣的玻璃体含量高，在磨碎加工时对设备磨损较大且还要消耗大量能源。粒化高炉矿渣物理性质类似于天然砂，不用经过二次加工就可以直接代替天然砂用作混凝土的细骨料。

保护环境、节约资源是我国的基本国策，开展资源综合利用是实施节约资源和转变经济增长方式的具体体现，是发展循环经济、建设资源节约型和环境友好型社会的一项紧迫任务。钢铁工业是资源、能源消耗最多的行业，同时也是工业废弃物的排放大户。2014 年我国的生铁产量达到 7.14 亿吨，约占世界总产量的一半，每生产 1 吨生铁平均产生高炉矿渣约 450 千克，据此我国一年的高炉矿渣产量达到 3 亿吨。“十一五”以来，我国大中型钢铁企业普遍重视钢铁废渣的科学处理和资源化利用，并取得了较好的成绩。然而基于技术、经济等多方面的原因，目前我国钢铁废渣的总体利用率还不高，相对于发达国家

仍然有一定的差距。部分钢铁企业尤其是位于中西部地区的中小钢铁企业,钢铁废渣的利用率还比较低,造成了巨大的库存量,占据了大量土地资源,同时也对环境造成了一定的污染。另一方面,随着我国城市建设的快速发展,建筑规模逐年剧增,建筑用砂的需求量随之猛增,经过几十年的开采,天然砂资源已经大为减少或接近枯竭,砂资源短缺的问题日益突出,不少地区混凝土用砂的供需矛盾非常突出,同时由于大规模的采砂,对环境也造成巨大的破坏。因此,推广粒化高炉矿渣代替天然砂做混凝土细骨料,一方面可以拓展高炉矿渣的利用途径、加快钢铁废渣零排放进程,另一方面可以缓解建设用砂的供需矛盾,为创建资源节约型现代化社会提供技术支持。

本书的出版,得到了中国国家自然科学基金项目“粒化高炉矿渣作为混凝土细骨料的试验研究(批准号 51268041)”的支持,同时也得到了中国国家留学基金委西部地区人才培养特别项目及内蒙古自治区“草原英才”项目的支持,在此,向上述单位表示由衷的感谢。此外,内蒙古工业大学土木工学院的史勇老师、白明海老师以及硕士研究生黄伟韬、王安、丁晓宇、冯倩、刘强、张良、兰秉昇等同学参与了本书部分试验研究工作,在此也向他们表示感谢。最后,作者向给本书相关研究提供帮助的日本国立宇都宫大学名誉教授榊田佳寛博士、教授杉山央博士以及日本建筑学会粒化高炉矿渣细骨料混凝土施工指针修订工作委员会(日本建築学会高炉スラグ細骨材を用いるコンクリート施工指針改定ワーキンググループ)全体委员表示衷心的感谢。

作 者

2016年5月

目 录

1 粒化高炉矿渣的特性	1
1.1 高炉矿渣的生产工艺	1
1.2 粒化高炉矿渣的化学成分	2
1.3 粒化高炉矿渣细骨料的骨料特性	3
1.3.1 密度和含水率	3
1.3.2 筛分实验及颗粒显微摄影	4
1.3.3 压碎性能	5
1.4 粒化高炉矿渣细骨料品质调查	11
1.5 粒化高炉矿渣的环境影响	17
1.5.1 背景	17
1.5.2 粒化高炉矿渣环境安全性评估	18
1.6 本章小结	19
参考文献	20
2 粒化高炉矿渣细骨料混凝土的配合设计	22
2.1 试验概要	22
2.1.1 配合设计方法的考虑	22
2.1.2 试验内容	22
2.2 试验结果	26
2.2.1 试验 I	26
2.2.2 试验 II	31
2.3 分析与讨论	36
2.3.1 使用 AE 减水剂混凝土的工作性能 (水胶比 0.55 和 0.60)	36
2.3.2 使用高性能 AE 减水剂混凝土的工作性能 (水胶比 0.40)	39
2.3.3 使用高性能 AE 减水剂混凝土的工作性能 (水胶比 0.30)	41
2.3.4 使用高强度混凝土用高性能减水剂的混凝土工作性能 (水胶比 0.25, 0.24 和 0.20)	42
2.4 本章小结	45

参考文献	45
3 粒化高炉矿渣细骨料混凝土的抗压强度	46
3.1 试验 I	46
3.1.1 试验概要	46
3.1.2 试验结果	49
3.1.3 细骨料特性与混凝土抗压强度关系的讨论	61
3.2 试验 II	62
3.2.1 试验概要	62
3.2.2 试验结果	65
3.2.3 孔隙结构与强度发展的分析	69
3.3 本章小结	74
参考文献	75
4 粒化高炉矿渣细骨料混凝土的抗拉强度及弹性模量	77
4.1 试验概要	77
4.2 试验结果	77
4.2.1 试验 I	77
4.2.2 试验 II	80
4.3 试验结果的讨论	81
4.3.1 抗拉强度与养护条件	81
4.3.2 抗拉强度与抗压强度	82
4.3.3 弹性模量和抗压强度	82
4.4 本章小结	83
参考文献	84
5 粒化高炉矿渣细骨料混凝土结构构件强度特性	85
5.1 试验概要	85
5.1.1 试验要素	85
5.1.2 使用材料	87
5.1.3 混凝土的配合	88
5.2 试验结果及讨论	89
5.2.1 混凝土拌合物	89
5.2.2 结构构件混凝土养护期间的温度	90
5.2.3 抗压强度	92

5.3 本章小结	100
参考文献	100
6 粒化高炉矿渣细骨料混凝土的干燥收缩	101
6.1 试验概要	101
6.1.1 试验要素	101
6.1.2 试验材料	102
6.1.3 混凝土的配合	103
6.1.4 测试内容及方法	104
6.2 试验结果	105
6.2.1 拌合物工作性能	105
6.2.2 抗压强度与弹性模量	106
6.2.3 干燥收缩及质量变化	107
6.3 试验结果的讨论	129
6.3.1 干燥收缩随时间变化的预测	129
6.3.2 干燥收缩率与质量减少率的关系	134
6.3.3 干燥收缩率最终值的讨论	136
6.4 本章小结	137
参考文献	137
7 粒化高炉矿渣细骨料混凝土的冻融性能	139
7.1 试验概要	139
7.1.1 试验要素	139
7.1.2 试验材料	139
7.1.3 混凝土的配合	140
7.1.4 测试内容及方法	140
7.2 试验结果	141
7.2.1 拌合物工作性能	141
7.2.2 冻融循环试验结果	142
7.2.3 自愈养护试验结果	146
7.3 混凝土冻融及自愈性能的微观分析	147
7.3.1 粒化高炉矿渣细骨料混凝土冻融特性的分析	147
7.3.2 粒化高炉矿渣细骨料混凝土自愈性能的分析	150
7.4 本章小结	152
参考文献	153

8 粒化高炉矿渣细骨料混凝土配合设计的建议	154
8.1 混凝土配合设计的步骤	154
8.2 粒化高炉矿渣细骨料混凝土配合设计几个问题的讨论	155
8.2.1 配合强度	155
8.2.2 水胶比	155
8.2.3 单位水量	156
8.3 粒化高炉矿渣细骨料混凝土材料特性的讨论	156
8.3.1 混凝土的密度	156
8.3.2 空气含量与抗冻性能	156
8.3.3 弹性模量	157
8.4 本章小结	158
参考文献	158

1 粒化高炉矿渣的特性

本章将对粒化高炉矿渣的性状进行讨论，重点描述粒化高炉矿渣细骨料特性实验，此外还讨论粒化高炉矿渣对环境的影响。

1.1 高炉矿渣的生产工艺

高炉矿渣是冶炼生铁时从高炉中排出的一种废渣。在高炉冶炼生铁时，从高炉加入的原料，除了铁矿石和燃料（焦炭）外，还要加入助熔剂。当炉温达到 $1400\sim 1600^{\circ}\text{C}$ 时，铁矿石发生还原反应生成生铁水和熔融的矿渣。高炉矿渣是由脉石、灰分和助熔剂等不能进入生铁中的杂质组成的，是一种易熔混合物。从化学成分来看，高炉矿渣是属于硅酸盐质材料。每生产 1t 生铁，高炉矿渣的排放量随着矿石品位和冶炼方法不同而变化，每生产 1t 生铁产生的高炉矿渣大约在 $0.3\sim 0.6\text{t}$ 。根据排渣处理方式的不同，高炉矿渣可分为粒化高炉矿渣和高炉重矿渣两大类。当熔融状态的高炉矿渣经水淬骤冷成粒状矿渣时，称为粒化高炉矿渣，而在空气中慢慢冷却形成较致密的大块状硬矿渣称为高炉重矿渣^[1]。粒化高炉矿渣的化学成分类似于普通硅酸盐水泥熟料，主要以玻璃态颗粒构成，具有潜在水硬性，物理性质类似于天然砂^[2]。粒化高炉矿渣主要用于水泥原料以及磨细后作为混凝土的掺合料^[3]。高炉重矿渣相对粒化高炉矿渣潜在水硬性要弱很多，物理性质类似于岩石，但同常用作建筑碎石的天然岩石比较，表面粗糙多孔、含水率大、强度低。目前高炉重矿渣主要代替天然碎石用于路基填埋等工程，也可作混凝土的粗骨料^[4]，但实际应用并不多。图 1-1 描述了高炉矿渣的生产流程。

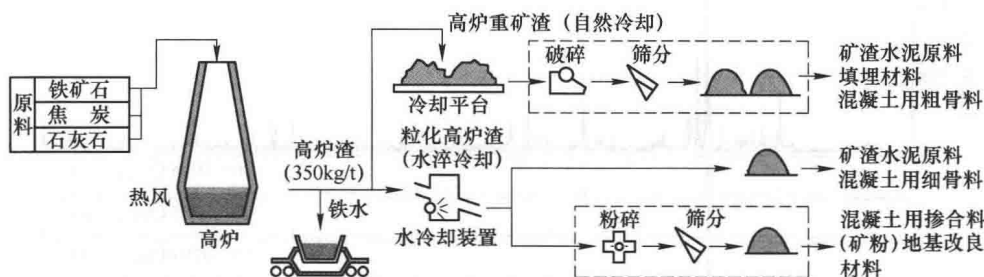


图 1-1 高炉矿渣的生产流程

1.2 粒化高炉矿渣的化学成分

粒化高炉矿渣的主要化学成分以 CaO 、 SiO_2 和 Al_2O_3 为主，根据铁矿石及辅助原料的不同，也可能含有少量的 MgO 、 FeO 、 MnO 、 Na_2O 、 K_2O 、 S 、 P_2O_5 等成分^[5]。表 1-1 给出了粒化高炉矿渣、普通硅酸盐水泥及常见岩石的化学组成分析示例。

表 1-1 粒化高炉矿渣、普通硅酸盐水泥及常见岩石的化学组成（质量分数）示例

(%)								
化学组成	CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	FeO	S	MnO	P_2O_5
矿渣	41.7	33.8	13.4	7.4	0.4	0.8	0.3	<0.1
水泥	64.2	22.0	5.5	1.5	3.0	2.0	—	—
花岗岩	1.8	72.0	14.4	0.7	1.7	—	0.1	0.1
安山岩	5.8	59.6	17.3	2.8	3.1	—	0.2	—

由表 1-1 可以看出粒化高炉矿渣的化学成分和硅酸盐水泥类似，主要由 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 等氧化物构成。 CaO 和 SiO_2 对粒化高炉矿渣的活性具有重要影响，它们能与酸性氧化物反应生成硅酸二钙、硅酸三钙、铝酸三钙等。粒化高炉矿渣中 Al_2O_3 的含量虽然不及 CaO 和 SiO_2 多，但其也是影响粒化高炉矿渣活性的重要氧化物，它除了能通过反应生成硅铝酸钙外，还能以铝酸根的形式存在于玻璃体内。

图 1-2 所示为粒化高炉矿渣的 XRD 衍射波谱图，由 XRD 衍射结果可知粒化

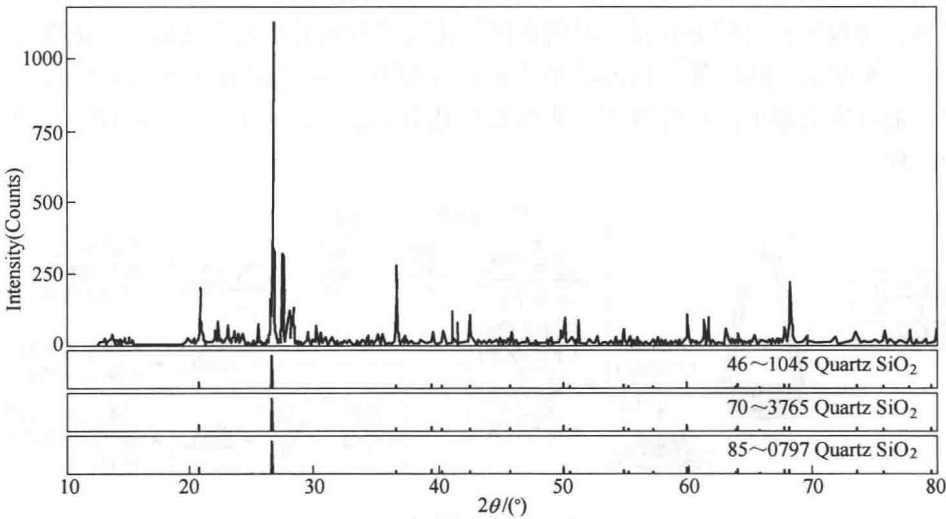


图 1-2 粒化高炉矿渣的 XRD 衍射波谱图

高炉矿渣的主成分为玻璃态物质, 晶体含量较少, 主要结晶是 SiO_2 , 其结晶度大约为 19%。图形下方是不同石英晶体的标准衍射波谱, 可以看出粒化高炉矿渣的衍射波谱与石英晶体非常相似。以上结果表明: 粒化高炉矿渣经水淬骤冷后玻璃体含量高, 结构带有较高的能量, 处于不稳定的状态, 具有潜在的活性。虽然天然砂的化学成分主要也是 SiO_2 , 但其矿物组成为结晶态的石英, 决定了天然砂在常温下是惰性材料, 不具有潜在的活性。

1.3 粒化高炉矿渣细骨料的骨料特性

由于粒化高炉矿渣的品质受原料及生产工艺影响较大, 为了使研究结果更具普遍性, 本研究选取了三个不同钢铁厂生产的粒化高炉矿渣 (分别标记为 SA、SB 和 SC) 和一种对比用天然河砂进行了骨料特性的试验测试。测试内容除了密度、含水率、骨料级配等细骨料的常规参数外, 还利用显微镜对细骨料进行了颗粒形状观察, 利用压碎试验间接测试了细骨料颗粒强度。

1.3.1 密度和含水率

表 1-2 列出了密度及含水率的相关测试结果。从测试结果可知, 无论是饱和面干燥状态密度还是绝对干燥密度, 粒化高炉矿渣细骨料均比普通河砂要大; 而饱和面干燥状态含水率, 三个不同钢铁厂生产的粒化高炉矿渣细骨料有着较大差异。

表 1-2 密度和含水率

细骨料种类	粒化高炉矿渣			天然砂
	SA	SB	SC	
饱和面干燥状态密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	2.71	2.61	2.63	2.57
饱和面干燥状态含水率/%	0.39	1.27	1.48	1.68
绝对干燥密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	2.70	2.57	2.60	2.53

粒化高炉矿渣细骨料的颗粒形状不规则、存在大量针状片状颗粒, 使用常规的饱和面干燥状态判定试模进行细骨料饱和面干燥状态判定存在一定的困难, 直接导致了饱和面干燥状态含水率测定的不准确性^[6]。表 1-3 列出了不同机构对本实验中粒化高炉矿渣的饱和面干燥状态的密度及含水率的测定结果, 从表中数据可知, 不同机构的测定结果有较大差异。

表 1-3 不同机构粒化高炉矿渣密度含水率测定结果

测定者	SA		SB		SC	
	饱和面干燥密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	含水率 /%	饱和面干燥密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	含水率 /%	饱和面干燥密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	含水率 /%
本书作者	2.71	0.39	2.61	1.27	2.63	1.48

续表 1-3

测定者	SA		SB		SC	
	饱和面干燥密度 /g·cm ⁻³	含水率 /%	饱和面干燥密度 /g·cm ⁻³	含水率 /%	饱和面干燥密度 /g·cm ⁻³	含水率 /%
生产者	2.78	0.42	2.66	1.47	2.60	2.80
第三方测定	2.76	0.77	2.67	0.70	2.52	2.50

1.3.2 筛分实验及颗粒显微摄影

对三种不同厂家生产的粒化高炉矿渣细骨料（SA、SB 和 SC）和一种天然河砂进行了测试，图 1-3 所示为筛分试验的结果，和天然河砂比较，这三种粒化高炉矿渣级配稍差，粒径 1.2mm 以上和 0.3mm 以下的颗粒较少，约 70%以上的颗粒集中在 0.3~1.2mm 范围中。表 1-4 为自然堆积状态空隙率和细度模数的测试结果，由于粒化高炉矿渣级配较差、颗粒不规则，自然堆积状态空隙率要大于天然砂；由于粒化高炉矿渣中粒径 1.2mm 以上颗粒含量少，造成细度模数小于天然砂。从筛分曲线来看，这三种粒化高炉矿渣均属于中砂，颗粒级配符合混凝土用砂标准^[7-10]。

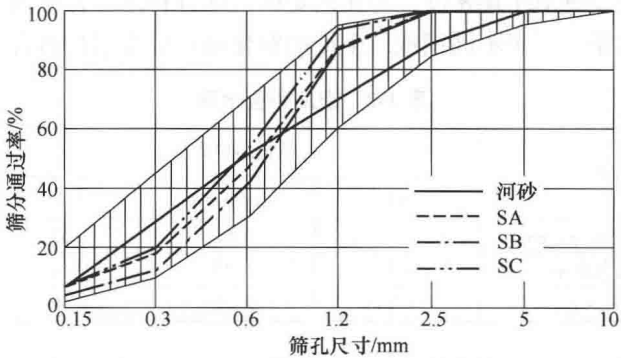


图 1-3 筛分试验结果

表 1-4 细骨料的堆积空隙率及细度模数

细骨料	粒化高炉矿渣			河 砂
	SA	SB	SC	
堆积空隙率/%	39.1	38.7	39.8	33.2
细度模数	2.42	2.57	2.28	2.52

图 1-4 所示为粒化高炉矿渣与天然砂的显微摄影照片。从照片可知，三种粒化高炉矿渣颗粒形状不规则、存在尖锐凸起及小的空洞，而天然河砂颗粒光滑饱满、形状接近于球体。

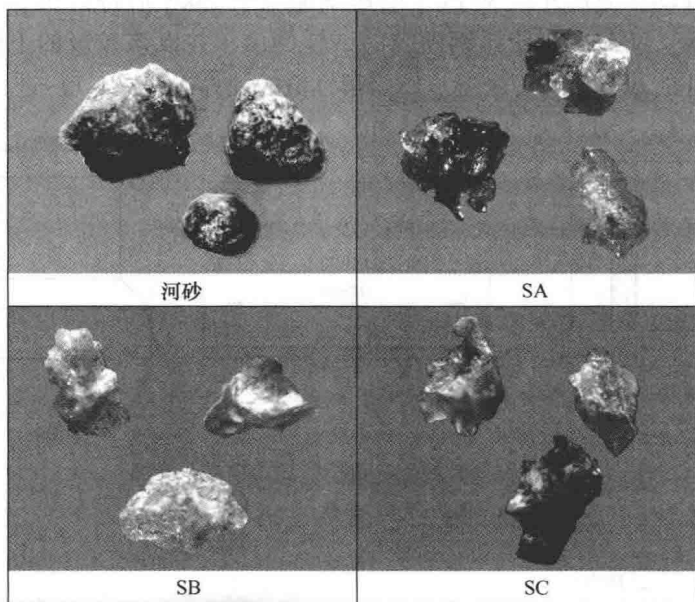


图 1-4 粒化高炉矿渣及河砂的显微摄影照片

1.3.3 压碎性能

细骨料的品质对于混凝土的性能至关重要，其中细骨料颗粒自身的强度对混凝土强度有一定的影响。由于细骨料颗粒几何尺寸太小，目前还没有直接测量细骨料颗粒强度的方法，一般多采用压碎指标值法（筒压法）试验间接测定，利用压碎指标值来评价。压碎指标值法最早是英国规范 BS 812—Part 110 《Method of determination of aggregate crushing value》提出的，中国国家标准 JGJ 52—2006 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》和 GB/T 14684—2011 《建设用砂》也包含了关于混凝土细骨料压碎指标值试验的内容。

1.3.3.1 基于规范的压碎指标性能试验

图 1-5 所示为 GB/T 14684—2011 《建设用砂》中规定的压碎指标值试验所用模具示意图，该模具由钢制圆筒、底盘和加压块组成。图 1-6 所示为压碎指标值试验模具组装示意图，图 1-7 所示为压碎指标值试验照片。

根据 GB/T 14684—2011 《建设用砂》的规定，测定压碎指标值时首先将试样烘干至恒重，待冷却至室温后，将大于 5mm 和小于 0.315mm 的颗粒剔出，然后再将剩下的颗粒按 0.315~0.630mm、0.630~1.25mm、1.25~2.5mm 和 2.5~5.0mm 分成四个粒级，分别取样将其放置在圆筒内、并将试料表面平整，之后将加压块放入圆筒内，均匀旋转一周使之与试样充分接触。将装好的试样放置在

压力机上，开动压力机并以 500N/s 的速率加载至 25kN 后持荷 5s，然后再以相同的速率卸荷。卸荷后将受压钢模内的试样倒出，并以该粒级的下限筛进行筛分，称出试样的通过量和筛余量。压碎指标值的计算按式 (1-1) 进行。

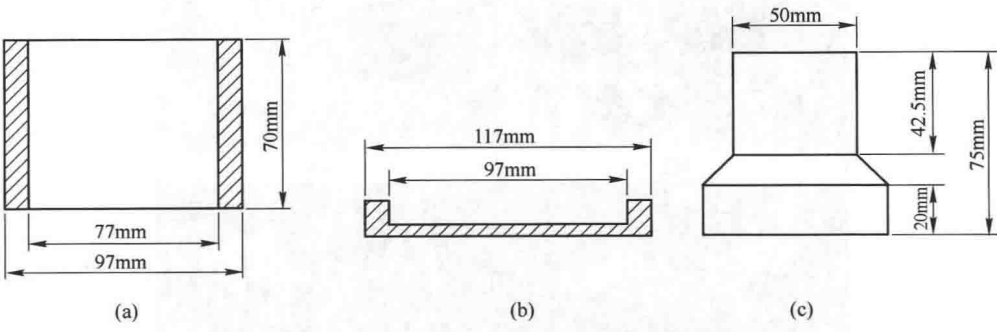


图 1-5 细骨料压碎指标值试验模具示意图

(a) 圆筒；(b) 底盘；(c) 加压块

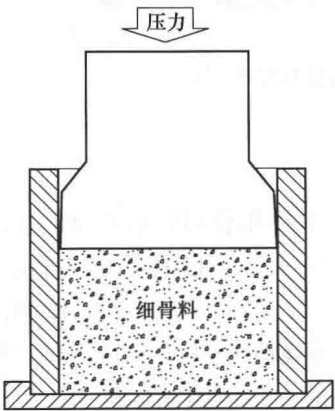


图 1-6 模具组装示意图

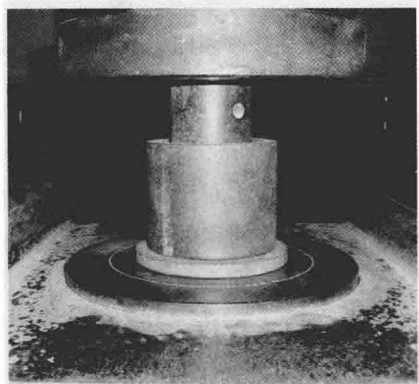


图 1-7 压碎指标值试验照片

$$Y_i = \frac{G_2}{G_1 + G_2} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 Y_i ——第 i 单级砂样压碎指标，%；
 G_1 ——试样的筛余量，g；
 G_2 ——通过量，g。

以三份试验结果的算术平均值作为各单级砂样测定值。取最大单粒级压碎指标作为其压碎指标值。

表 1-5 显示了三种粒化高炉矿渣和对比用天然河砂的压碎指标值测试结果。从试验结果可知，粒化高炉矿渣的压碎指标值远大于天然砂，尤其是大粒径颗粒，例如 2.5~5mm 颗粒组三种粒化高炉矿渣单级压碎指标值分别达到了 90%、

92%和 93%，天然砂仅为 17%，二者最大相差了 4.4 倍，而 0.315~0.630mm 颗粒组，三种粒化高炉矿渣单级压碎指标值分别为 14%、14%和 19%，天然砂为 10%，二者相差很小，说明颗粒越小其抵抗压碎的能力越强。

表 1-5 细骨料压碎指标值试验结果

筛孔尺寸/mm	单级压碎指标值/%			
	粒化高炉矿渣			天然河砂
	SA	SB	SC	
2.50~5.00	90	92	93	17
1.25~2.50	76	84	87	15
0.63~1.25	41	53	60	17
0.315~0.63	14	14	19	10
最终压碎指标值/%	90	92	93	17

总的来说，不同产地的粒化高炉矿渣的压碎指标值基本一致，且都远远大于天然砂的压碎指标值。这说明粒化高炉矿渣的坚固性没有天然砂好，其更容易被压碎。在各单级试样的压碎指标值中，在相同荷载作用下，粒化高炉矿渣和天然砂大颗粒的压碎指标值相差很大，随着颗粒粒径的不断减小，二者之间的差距也越来越小。分析上述试验现象产生的原因，主要是因为粒化高炉矿渣经水淬骤冷后在其颗粒表面形成了大量的孔隙，使其内部结构存在缺陷，加之颗粒形状不规则，降低了颗粒的结构稳定性，所以相对于天然砂，粒化高炉矿渣颗粒的坚固性较差。

1.3.3.2 扩展压碎指标性能试验

随着建筑技术的发展，混凝土的强度越来越高，对混凝土的原料要求也越来越高。目前工程中常用的混凝土强度在 C20~C100 范围之内，也就是混凝土中的骨料和水泥石需要承受 20~100MPa 的压强，而通常的压碎指标试验中对细骨料施加的压强仅为 6.4MPa，为了拓展粒化高炉矿渣在高强度高性能混凝土中的应用，本研究中加大压碎指标值实验压力，考察高炉矿渣细骨料颗粒在高压强下的破碎性能。试验中采用的压力值为 100kN、200kN、300kN、400kN、500kN 和 600kN，对应的压强大致在 25~150MPa，基本覆盖工程中用混凝土的抗压强度。试验中试料分两种情况，一种是与规范一致、采用分级试料，另一种采用不分级试料。由于研究对象的三种粒化高炉矿渣中 2.5~5.0mm 级的颗粒含量非常少，基本在 5%以内，且在 25kN 压力下压碎指标值已大于 90%，故在本实验中仅对 0.315~0.630mm、0.630~1.25mm 和 1.25~2.5mm 三个粒级试料进行测试。

图 1-8 所示为分级细骨料扩展压碎指标值试验结果，具体用各级筛分通过率表征。从试验结果可知，无论是河砂还是粒化高炉矿渣随着试验压力的增大，各

级筛分通过率均有增加的趋势。在相同试验压力下，粒化高炉矿渣各级筛分通过率均大于天然河砂，例如，试验压力为 100kN 时，粒径 0.630~1.25mm 的分级颗粒，筛孔规格 0.63mm 时河砂的通过率为 23%、粒化高炉矿渣的通过率在 55%~58%，筛孔规格 0.315mm 时河砂的通过率为 9%、粒化高炉矿渣的通过率在 25%~28%，筛孔规格 0.125mm 时河砂的通过率为 4%、粒化高炉矿渣的通过率在 11%~16%，粒化高炉矿渣的各级筛分通过率达到天然河砂的 2.4~4.0 倍，而测试中来自不同工厂的三种粒化高炉矿渣却没有明显的差异。另外的 0.315~1.25mm 和 1.25~2.5mm 两个粒级试料测试结果与 0.630~1.25mm 组基本相同。

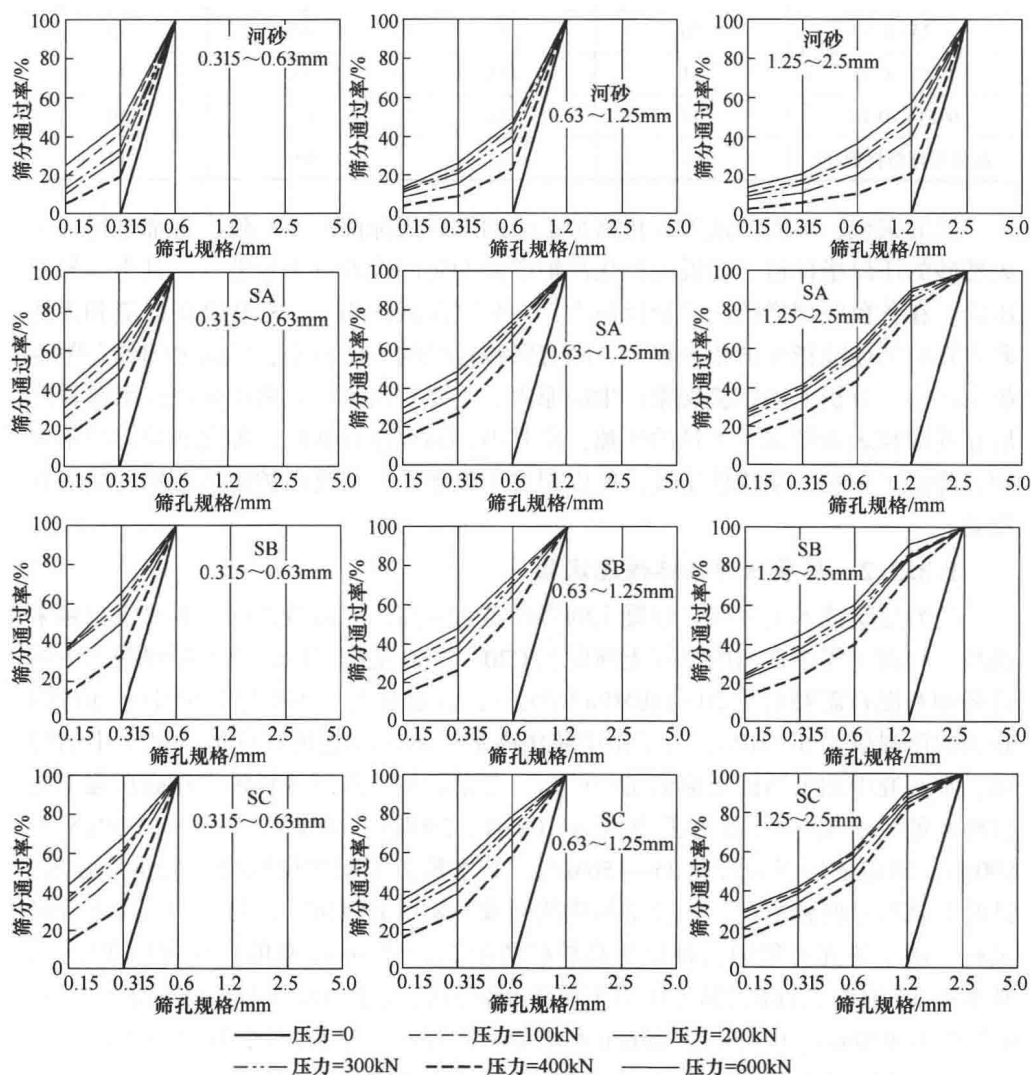


图 1-8 分级细骨料扩展压碎指标值试验结果