

尾矿配制商品混凝土的应用研究

陈家珑 宋少民 路宏波

摘要:通过研究首钢迁安尾矿的材性,其尾矿人工砂石在普通商品混凝土、高密实混凝土及工程中的成功应用与满意效果,对解决天然砂资源短缺和尾矿资源的利用有积极的意义。

关键词:尾矿;建筑用砂;商品混凝土

中图分类号:TU 528.52 文献标识码:A 文章编号:1000-4726(2004)01-0042-03

RESEARCH ON APPLICATIONS OF COMMERCIAL CONCRETE PREPARED WITH TAILINGS

CHEN Jialong SONG Shaomin LU Hongbo

Abstract: The material performance of Qian'an tailings of the Capital Steel Co.Ltd. is studied. The successful application and satisfactory effect are obtained from the artificial sand and stone of its tailings in the ordinary commercial concrete, high dense concrete and its engineering, which has a positive meaning for solving the shortage of the natural sand resource and the utilization of the tailings resource.

Key words: tailings; sand for building; commercial concrete

混凝土结构的大量应用,消耗了大量的天然砂石资源。占混凝土体积70%以上的砂石骨料要依靠开山采矿、挖掘河床,全国每年建筑用砂石需30多亿t。以北京市为例,每年建设用砂石就要6400万t,其中用于商品混凝土的中、粗砂2002年需求量即为1400万t。北京市政府为治理大气污染,改善环境,已陆续关停北京市界内的天然砂石场;而2003年北京建筑开复工面积高达1亿m²,寻求替代资源迫在眉睫。

首钢矿业公司坐落于河北省迁安县内,因铁矿品位不高,因而采用以下工艺:采矿→剥岩(废弃岩石)→破碎→磁选(废弃磁滑轮碎石)→磨细→磁选(废弃尾矿砂)→磨细→磁选(废弃尾矿砂)→精矿粉。废弃岩石、废弃磁滑轮碎石占地堆放,目前已堆积约10亿t,而且还要以废弃岩石5500万t/年、废弃磁滑轮碎石134万t/年的速度继续排放。二次磨细的废弃物(尾矿砂)

混在一起水送堆坝存放,现已积存2.75亿t,目前还以700万t/年的速度继续排放,尾矿已造成大量占地,并污染环境。

首钢矿业公司距北京约200km,该公司有自备铁路线与货场,若利用晋煤东运的空返车皮运砂进京,在京东地区使用,价格上能与优质天然砂

竞争;使用单位还能享受免税优惠,在经济上是合理的,对其在技术上是否可行我们进行了研究。

1 研究内容

(1) 首钢迁安尾矿砂处理后做建筑用砂,原状废弃磁滑轮碎石做建筑用石的材性分析研究。

(2) 首钢迁安尾矿砂与天然砂进行商品混凝土同条件对比试验研究。

(3) 尾矿砂石高密实混凝土应用技术初步研究。

(4) 试点工程应用技术研究。

2 试验结果与分析

2.1 矿物组成和化学成分

首钢迁安尾矿砂的矿物组成和化学成分见表1、表2。处理后的尾矿砂做建筑用砂、原状废弃磁滑轮碎石做建筑用石完全符合《建筑用砂》(GB/T 14684-2001)、《建筑用卵石、碎石》(GB/T 14685-2001)的国家标准规定,见表3。

2.2 尾矿砂与天然砂进行商品混凝土同条件对比试验研究

2.2.1 试验方法与材料

(1) 试验方法

相同时间、相同成型与标准养护

表1 尾矿砂的矿物组成 %				
矿物	石英	长石	辉石	磁铁矿
含量	40	20	20	10

表2 尾矿砂的化学成分

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	SO ₃	烧失量
含量	72.12	4.40	0.21	12.87	1.10	1.10	2.90	3.77	0.36	1.08

表3 尾矿砂的材性分析

检验项目	检验结果	
	处理后尾矿砂	原状废弃磁滑轮碎石
颗粒级配/%	II 区中砂,级配合格,细度模数 2.8	5~25 mm 连续粒级
石粉含量(含泥量)/%	4.0	0.3
泥块含量/%	<0.6	<0.1
有机物	合格	合格
轻物质(按重量计)/%	0.1	—
云母/%	0	—
硫化物和硫酸盐(以 SO ₄ 计)/%	0.2	0.2
氯化物(以氯离子重量计)/%	0	—
压碎指标/%	21	8
坚固性/%	—	2
碱-集料反应	无潜在碱-集料反应	无潜在碱-集料反应
放射性	内照射指数(I_{in})	0.1
	外照射指数(I_{ex})	0.3

陈家珑,1949年9月生,北京市人,北京建筑工程学院建材试验室,主任,高级工程师,100044。
收稿日期:2003-07-21

条件,利用相同水泥、粗骨料、外加剂、粉煤灰等材料和相同掺量配合比拌制5个不同水灰比的天然砂和人工砂混凝土,对比混凝土拌合物的坍落度、和易性及3d、7d、28d抗压强度。

(2) 试验材料

水泥:32.5级普通水泥;28d抗压强度为46.8 MPa。

石子:卵碎石;公称粒径为5~25 mm,针片状含量为6.0%;含泥量为0.6%;泥块含量为0.3%。

外加剂:泊林达外加剂厂产BLD-3泵送剂。

粉煤灰:Ⅱ级。

天然砂:中砂;细度模数为2.6;含泥量为3.0%;泥块含量为1.0%;堆积密度为1448 kg/m³。

首钢尾矿人工砂:细度模数为2.5;石粉含量为4.4%;泥块含量为0.8%;堆积密度为1488 kg/m³。

2.2.2 试验结果

两种混凝土拌合物的和易性没有明显区别,流动性坍落度值见表4,粘聚性和保水性均为良好。坍落度损失基本相同。

TT代表天然砂配制的混凝土,WT代表尾矿人工砂配制的混凝土,两者的和易性和抗压强度试验结果见表4。

2.2.3 试验结果分析与结论

(1) 以同条件对比拌制的尾矿人工砂混凝土拌合物的和易性,基本上与天然砂混凝土相同;而尾矿人工砂混凝土的抗压强度高于天然砂混凝土,最高为22%,最低为5%(表4),平均抗压强度高12%。这说明使用尾矿人工砂配制商品混凝土可节约水泥,降低成本。

(2) 用32.5级普通水泥和尾矿人工砂,可配制出C10至C55强度等级的商品混凝土;而对比的天然砂只能配制出C10至C50商品混凝土。

(3) 人工砂混凝土与天然砂混凝土早期抗压强度(3d)相差不多,但随着时间的延长,人工砂混凝土的抗压强度逐步高于天然砂混凝土(图1),且不同水灰比的配合比试验结果均如此,规律非常明显。这种现象说明人工砂混凝土长期抗压强度可能更高于天然砂混

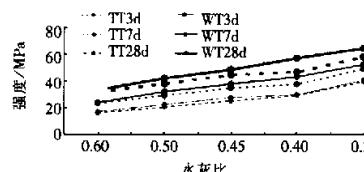


图1 不同龄期抗压强度试验结果对比分析图
凝土,对混凝土的耐久性是有利的。

(4) 人工砂混凝土的单位用水量略高于天然砂混凝土。

2.3 尾矿砂石高密实混凝土应用技术研究

2.3.1 技术路线

设计混凝土配合比时,特别是在低水灰比情况下,混凝土中的水泥用量大,容易引起混凝土的“富贵病”(体积稳定性不好,易开裂),降低耐久性。从这一点出发,降低水泥用量和单位用水量、用水胶比代替水灰比作为控制强度的指标,是混凝土配合比设计的主要方向,也是高密实混凝土要解决的主要问题。本研究主要依据台湾科技大学黄兆龙教授骨料致密堆积的技术路线,减小水泥用量和用水量,同时利用尾矿砂石作为骨料,研究尾矿砂石高密实混凝土的配制与性能。

2.3.2 试验原料与方法

(1) 原材料

水泥:32.5级普通水泥;28d抗压强度40.6 MPa。

粉煤灰:Ⅱ级。

减水剂:BLD高效泵送剂,减水率20%。

尾矿砂:表观密度2730 kg/m³;堆积密度1520 kg/m³;细度模数2.8;石粉含量4%。

磁滑轮碎石:表观密度2780 kg/m³;堆积密度1530 kg/m³;含泥量0.3%;针片状含量4%。

(2) 试验方法

1) 试验室配合比试验

首先确定致密堆积参数 α 和 β , $\alpha=$ 粉煤灰/(粉煤灰+砂),以堆积密度最大时确定; $\beta=($ 粉煤灰+砂 $)/($ 粉煤灰+砂+石 $)$,以堆积密度最大时确定。然后在不同 n 值和水胶比下,依据相关公式设计满足和易性和强度要求的配合比。

2) 致密堆积参数试验

通过试验,得到最佳的 α 值为11%; β 值为53%。

3) 试验结果

高密实混凝土试验室配合比设计见表5,试验结果见表6。

2.3.3 试验数据与分析

试验表明,尾矿砂石高密实混凝土配合比具有砂率高、水泥用量小的特点,用水量较天然砂石高密实混凝土高的原因主要是尾矿砂的颗粒形状棱角多。

表4 TT和WT混凝土的和易性与抗压强度试验结果

试件编号	水灰比	砂率/%	坍落度/mm	抗压强度/MPa			28d强度比/%
				3d	7d	28d	
TT-10	0.60	45.0	170	16.2	23.3	31.7	100
WT-10			165	16.9	23.7	33.2	105
TT-20	0.50	43.0	200	20.4	28.9	37.8	100
WT-20			200	22.1	32.0	41.9	111
TT-30	0.45	41.0	210	25.0	34.7	44.4	100
WT-30			200	27.5	37.6	48.2	109
TT-40	0.40	39.0	230	29.0	37.4	46.4	100
WT-40			195	29.5	42.9	56.7	122
TT-50	0.35	37.0	210	39.4	48.8	57.6	100
WT-50			200	40.5	52.1	63.4	111

表5 试验配合比

序号	水胶比	砂率/%	水/(kg/m ³)	水泥/(kg/m ³)	砂/(kg/m ³)	石/(kg/m ³)	粉煤灰/(kg/m ³)	外加剂/(kg/m ³)
1	0.55	46	196	284	878	1039	74	4.3
2	0.46	47	177	260	898	1003	121	5.2
3	0.43	47	174	310	882	980	98	5.2
4	0.40	49	166	325	894	918	91	4.8
5	0.39	48	161	328	883	936	86	5.8

表6 试验结果

序号	坍落度/mm	抗压强度/MPa			抗渗等级
		3d	7d	28d	
1	190	19.0	26.0	32.2	>P12
2	190	20.8	28.7	34.5	>P12
3	210	25.0	32.9	41.5	>P12
4	230	19.0	37.2	44.3	>P12
5	200	14.7	34.5	48.0	>P12

2.3.4 机理探讨

(1) 关于尾矿砂中的石粉

对于尾矿砂中含有一定量的石粉，工程界有一定的顾虑，担心会影响混凝土的强度和变形。通过大量的试验表明，当亚甲蓝试验MB值不大于1.4时认为粉料主体是石粉，而石粉不同于粘土，可填充结构空隙，优化孔结构，起到微集料效应，且与水泥基材料相容性良好，对混凝土强度是有利的。试验还证明，MB值不大于1.4、石粉含量不大于7%时，收缩并无明显增大。

(2) 关于和易性

尾矿砂由于其生成条件与表面特征，保水性不如天然砂，在配制普通泵送混凝土时应注意避免泌水。由于高密实混凝土配合比中砂率高，有足够的粉料(粉煤灰、石粉)且用水量较低，有效地克服了尾矿砂保水性差这一缺点。另外由于水泥用量小，坍落度损失得到很好的抑制。

(3) 关于高密实混凝土的强度

高密实混凝土并没有因为水泥用量小而影响强度，这主要是由于：结构高密实堆积，孔隙率低；水泥只起界面粘结作用，不过多填充孔隙，水泥的强度效益得以提高；粉煤灰的掺量以填满空隙为好，避免过多掺加对早期强度的影响；低水胶比充分保证了混凝土28d强度；尾矿砂洁净、多棱角，机械咬合力高，对强度有利。

2.3.5 试验结论

(1) 尾矿砂、磁滑轮碎石可以用于配制高性能混凝土，同时采用高密实混凝土技术可以很好地解决人工砂石混凝土的泌水问题。

(2) 尾矿砂石高密实混凝土可以大幅度降低水泥用量，较普通商品混凝土可降低成本15元/m³以上。

(3) 高密实混凝土设计适合尾

矿砂石的特点，在砂石资源日益短缺的形势下，具有广阔的推广价值。

2.4 试点工程应用技术研究

2002年11月我们在首钢迁安矿山破碎站挡墙工程进行工程试验。该工程设计混凝土强度等级为C25，泵送混凝土施工，泵送高度为18m，施工期日平均温度低于5℃。

2.4.1 试验用材料

水泥品种：普通硅酸盐水泥，强度等级32.5。

人工砂：同试验室试验用尾矿砂。

磁滑轮碎石：同试验室试验用，连续级配为5~25mm，石粉含量为1.0%。

粉煤灰：Ⅱ级。

防冻高效减水剂：减水率大于20%，粉剂。

2.4.2 施工工艺

加料顺序：砂、粉煤灰、水泥(拌和20s)→石(拌和20s)→水(拌和60s)→减水剂(拌和60s)。

2.4.3 配合比设计

采用了高密实混凝土试验室配合比设计的第1和2号配合比。两个配合

比都属于低水泥用量，尤其适合大体积混凝土施工，与该工程原用混凝土配合比比较，节约水泥150kg/m³左右。1号配合比和易性很好，试验室试验坍落度大于180mm，用于挡墙工程6m以上部位；2号配合比和易性良好，水泥用量更低，尤其适用于大体积混凝土工程，用于挡墙工程6m以下厚大部位。

2.4.4 试验结果

工程试验结果见表7。

表7 工程试验结果

序号	坍落度/mm	抗压强度/MPa			抗渗等级
		3d	7d	28d	
1	180	15.8	22.0	38.4	>P12
2	175	10.2	23.9	42.2	>P12

工程现场混凝土和易性均为良好，可泵性好，混凝土表面质量优良。

3 尾矿砂石特点与社会效益分析

3.1 尾矿砂石的特点

天然砂石质量不稳定是目前影响混凝土质量的一个重要问题。在质量保证方面，尾矿砂石有着突出的特点：

(1) 尾矿生产主工艺控制十分严格，其

原矿成分稳定，保证了尾矿砂石的材质和质量的稳定；(2)矿山有严格的管理和技术力量很强的化验室，能有效地控制尾矿砂石的生产质量；(3)产品集中，产地固定，便于经营部门、使用部门和质检部门的监督检查，甚至索赔，做到有专人负责。这些都是目前天然砂石所不具备的。

3.2 社会经济效益分析

(1) 通过尾矿利用，可以安排部分下岗职工转产。

(2) 在加强国土整治，合理利用土地资源、矿产资源方面意义重大。

(3) 减少了尾矿排放量，减轻了对环境的污染，为保护滦河水质做出了贡献，环境效益明显。

(4) 矿业公司方面的经济效益，以年产100万t尾矿砂石测算，减少尾矿排放量100万t，从而降低管道磨损，降低电耗、设备消耗，每年节省尾矿运输费用100万元。每年少占用尾矿库容量70万m³，减少了占地，延长尾矿库使用年限，估算节资90万元。合计190万元。

(5) 从迁安运砂至北京，尾矿砂价格现在基本与天然砂持平，具备了规模应用的条件。今后随着天然砂价格的继续提高，必将体现出价格优势。

(6) 使用单位的经济效益，以对比混凝土配合比分析，其水泥用量为445kg，仅节约水泥一项就达160kg/m³以上，即可降低成本40元以上，再加上尾矿砂石比迁安地区外购天然砂石节约成本4元/m³左右，以及混凝土外加剂等其他因素，总计混凝土成本可降低35元/m³以上。

与商品混凝土搅拌站相比，C20至C40高密实混凝土成本可降低15元/m³以上，以使用100万t尾矿砂石计算，可配制混凝土53万m³，降低成本795万元。同时使用采矿废石、选矿尾矿达到30%的企业，还可享受免增值税的优惠政策，效益更加明显。年生产使用100万t尾矿砂石，总计经济效益为985万元。

参考文献

- 迟培云,等.现代混凝土技术.上海:同济大学出版社,2002