

铁尾矿应用于预拌混凝土的技术研究

戴会生, 王 维

(天津港保税区航保商品砼供应有限公司, 天津 300451)

摘 要: 铁尾矿是钢铁厂选矿厂选矿后的固体废弃物形成的重要污染源, 堆存尾矿占用大量的土地, 营运费用高, 成为安全隐患, 导致资源的严重浪费。本文选取河北唐山地区首钢矿业公司水厂选矿厂的铁尾矿砂石进行系统研究, 通过大量的试验数据积累, 从技术质量角度进行配合比的优化, 在一定的试验基础上, 再通过试生产, 实际检验铁尾矿砂石和应用后的混凝土的工作性、力学性能及长期耐久性指标情况。同时, 通过一定数量的尾矿采购和运输供应, 测算材料成本和综合成本。铁尾矿砂石作为一种新材料在预拌混凝土中的应用不仅使生产应用企业获得可观的经济效益, 还收到了良好的社会效益。

关键词: 铁尾矿; 废弃物; 预拌混凝土; 配合比; 综合利用; 社会效益

中图分类号: U416.216

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1673-6478.2012.04.018

Iron Ore Tailings Application Study in Ready-Mixed Concrete

Dai Huisheng, Wang Wei

(Tianjin port free trade zone hangbao ready-mixed concrete Co. Ltd. Tianjin 300451 China)

Abstract: Iron ore tailings is a kind of solid waste after the steel mill and concentrating mill dressing. In china iron ore tailings resources is very rich but has been low utilization for a long time Iron tailings become an important source of pollution Stockpiling large areas of land occupied by tailings High operating costs so it become a security risk bring a serious waste of resources. This paper selects Tangshan Shougang Mining Company Water Concentrator area of iron tailings sand systematic studying First of all according to the current implementation standard of construction sand and gravel that ordinary concrete used to test iron tailings corresponding items using in ready mixed concrete. Through the large number of experimental accumulated data first from a technical point of view optimize mix design based on certain tests Iron sand tailings material as a new application in the ready-mixed concrete production and application of business not only can bring considerable economic benefits but also receive good social benefits. Consistent with the current policy of development of circular economy turning waste into wealth and comprehensive utilization of resources meanwhile also internationally such as in American LEED certification made some contributions.

Key words: iron ore tailings; waste; ready-mixed concrete; mix design; comprehensive utilization; social benefits.

作者简介: 戴会生(1976-), 男, 高级工程师, 从事混凝土的技术质量管理工作。E-mail: sirdongli@126.com

1 概述

矿产资源是人类生存和发展的重要物质基础之一,其主要特点是不可再生和短期内不可替代性。据统计,2006年我国矿业生产的尾矿已达到80亿吨以上,并呈逐年增加的趋势。尾矿不仅占用大量土地,而目也给人类生产、生活带来了严重污染和危害,现已受到全社会的广泛关注。随着钢铁工业的迅速发展,铁矿石尾矿在工业固体废弃物中占的比例也越来越大。据不完全统计,目前我国发现的矿产有150多种,开发建立了8000多座矿山,累计生产尾矿59.7亿吨,其中堆存的铁尾矿量占全部尾矿堆存总量的近1/3。破坏生态平衡等问题,现已受到了全社会的广泛关注。同时,随着矿产资源的大量开发和利用,矿石日益贫乏,尾矿作为二次资源也已受到世界各国的重视。目前我国尾矿的综合利用率仅为7%,从我国尾矿资源的实际出发,大力开展尾矿资源综合利用,实现资源开发与节约并举,提高资源利用效率,有着十分重要的经济意义和社会意义。铁尾矿严重污染环境,占用大量土地,尾矿处理的维护费用高,风险大。

2 研究背景和意义

尾矿属选矿后的废弃物,是工业固体废弃物的主要组成部分。凡有矿产资源且进行选矿加工的国家都有大量的尾矿产生。随着钢铁工业的迅速发展,铁矿石尾矿在工业固体废弃物中占的比例也越来越大。铁尾矿目前大都采用尾矿库集中堆放方式,但占用大量土地,对周围环境也有一定影响。多年来,国家对尾矿回收利用给予了相关的政策支持,例如《关于加强再生资源回收利用管理的通知》、《关于继续对部分资源综合利用产品等实行增值税优惠政策的通知》等。

另外,天津地区从2008年下半年开始,受举办

奥运会及地方资源开采的政策限制和治理公路超载措施的实施,砂石料的供应一度中断,并且价格飙升,致使一段时间内预拌混凝土的生产受到很大的影响,因此混凝土中的骨料的选择和购买引起了众多预拌混凝土生产企业的关注。当时,曾经四处调研,甚至选择使用了来自浙江舟山地区的碎石,碎石的质量并不好,但价格却居高不下。缘于此,若把铁尾矿用在预拌混凝土中,作为砂石骨料使用:

(1)可以大量消耗铁尾矿,为现有尾矿库腾出库容,减少对周围环境的污染。

(2)减少土地的占用量,节约耕地资源。

(3)可以降低建设工程造价,实现其自身价值。

(4)可以大量减少河砂和土石方的消耗量,避免破坏土地和环境。

(5)利用现有的优惠政策,达到文件规定的比例,使用铁尾矿砂石是最有可能符合税费减免的指标要求的举措,这样可以增强企业在市场上的竞争力,同时也为企业盈利增加增长点。

3 研究的内容及目标

3.1 研究的内容

由于不同地区的铁尾矿砂石的颗粒级配及成分不尽相同,同一地区的不同矿场的尾矿砂石也不尽相同,因此研究试验的主要内容为:

(1)通过检测试验,依据实测资料分析尾矿砂石的基本性能指标。

(2)进行预拌混凝土试验,研究各项参数对采用尾矿作为骨料的预拌混凝土的性能影响规律。

(3)进行成本对比和效益分析。也就是利用尾矿后的配合比综合成本与天然骨料配合比的成本分析。

3.2 研究的目标

(1)检验不同类型铁尾矿的各项性能指标,确定其能否作为预拌混凝土用砂石。

(2)采用尾矿作为骨料的预拌混凝土性能可否

满足普通或特殊混凝土的拌合物及长期耐久性指标要求。通过试验研究铁尾矿作为骨料的各项参数：如配比、性能等对预拌混凝土性能的影响规律。

(3) 通过技术经济分析，利用尾矿较天然骨料可否获得明显的经济收益。得到用于预拌混凝土骨料的铁尾矿的性能指标要求及最佳控制参数。

4 试验材料及性能

4.1 水泥

选用的水泥是天津振兴水泥有限公司正通牌 P.O42.5 水泥，依据 GB/T175—2007 标准，其性能

指标见表 1。

4.2 掺合料

4.2.1 粉煤灰

试验使用的粉煤灰为天津大港区产，依据 GB/T 1596—2005 标准，其性能指标见表 2。

4.2.2 粒化高炉矿渣粉

试验使用的矿粉为河北唐山产粒化高炉矿渣粉，依据 GB/T18046—2008 标准，其性能指标见表 3。

4.2.3 外加剂

选用天津市诺德建筑材料有限公司生产的蔡系高效减水剂。依据 JC473—2001 标准，其性能指标见表 4。

表 1 振兴水泥性能指标

指标	凝结时间		强 度				比表面 积	安定 性	碱含 量/%	氯离 子/%	氧化 镁/%	三氧化 硫/%	烧失 量/%
	初凝 /min	终凝 /min	抗压强度 /MPa		抗折强度 /MPa								
			3d	28d	3d	28d							
品种													
振兴1	2:48	4:56	23.6	51.8	5.9	9.5	345	合格	0.44	0.012	2.20	2.14	3.52
振兴2	2:35	4:50	24.8	55.2	6.1	9.8	362	合格	0.43	0.010	2.20	2.23	3.42

表 2 粉煤灰的性能指标

品种	细度(0.045方 孔筛筛余)/ %	需水比/%	烧失量/%	三氧化硫 含量/%	含水量/%	安定性	碱含量/%	氯离子 含量/%
粉煤灰	13.6	102	1.78	0.42	0.2	1.0	0.88	0.00

表 3 矿粉性能指标

品种	级别	活性指数/%		密度 /g.cm ³	比表面积 /m ² .kg	三氧化硫 /%	流动度比 /%	烧失量 /%	含水量	氯离子 /%	碱含量 /%
		7d	28d								
矿粉	S95	80	99	2.95	463	0.12	99	0.82	0.3	0.012	0.68

表 4 诺德(NDB)外加剂性能指标

名称	固含量 /%	减水率 /%	泌水率 /%	含气量 /%	水泥净 浆流 动度/mm	坍落度保留值/mm		抗压强度比/%			氯离 子含 量/%	碱含 量/%	密度/ g.ml	硫酸钠 含量/%	钢筋 锈蚀
						30min	60nim	3d	7d	28d					
NDB	40	20.5	64.0	3.4	208	208	192	103	107	105	0.14	3.34	1.190	2.72	无 锈 蚀

表 5 富斯乐(structuro300D1)外加剂性能指标

名称	固含量 /%	减水率 /%	泌水率 /%	含气量 /%	收缩率 比/%	凝结时间之差/min		抗压强度比/%			氯离子含 量/%	碱含 量/%	密度/ g.ml	PH 值	钢筋 锈蚀
						初凝	终凝	3d	7d	28d					
Structuro 300D1	18	23.5	35.8	2.4	103	+143	--	153	148	140	0.01	0.81	1.039	5.37	无 锈 蚀

表 6 富斯乐(structuro300D1)外加剂性能指标

名种	细度 模数	表观 密度 /kg.m ³	堆积 密度/ kg.m ³	含泥量 /%	泥块含量 /%	坚固性,天 然砂质量损 失率/%	轻物质以重 量百分比计 /%	云母含 量/%	有机物 比色法	内照射	外照射
										指数	指数
尾矿砂	3.0	2590	1560	0.5	0.0	0	0.0	0.0	合格	0.0	0.2

表 7 铁尾矿石检测结果

品种	颗粒 级配 /mm	含泥 量/%	泥块 含量 /%	片状 颗粒 含量 /%	表观 密度 /kg.m ³	堆积 密度 /kg.m ³	坚固 性质 质量损 失量/%	压碎 指标	有机 物	碱集料 反应膨 胀率 /%	空隙 率/%	内照	外照射
												射指 数	指数
尾矿石	5-25	0.2	0.0	0	2790	1520	0	5	合格	合格	40	0.1	0.3

广州富斯乐有限公司生产的缓凝高效减水剂 Structuro300D1, 依据 GB8076-2008 标准, 其性能指标见表 5。

4.3 骨料

本课题研究选用的铁尾矿来自于河北省唐山地区的首钢矿业公司水厂选矿厂, 该选矿厂隶属于首钢集团总公司首钢矿业公司, 始建于 1970 年, 地处河北省迁安市、迁西县交界处, 拥有固定资产 8.99 亿元, 具有年处理原矿石 1 800 万吨的生产能力, 是目前国内最大规模铁精粉生产企业, 也是首钢集团总公司高炉炼铁和首钢矿业公司球团、烧结的重要原料生产基地。近几年由于限产等原因, 实际年处理铁矿石 1 000 万吨左右, 铁精矿产量 330 万吨左右, 产生废弃物 800 余万吨。该矿厂距天津塘沽区约 200 千米, 社会上有较充足的汽运资源, 陆路运输便捷。

铁尾矿砂石来自于从“磁团聚重选”至“尾矿库”期间, 通过筛分或水洗得到, 减少了尾矿库的存储量。

4.4 铁尾矿砂石的物理力学性能指标

将铁尾矿砂石委托天津市塘沽区滨海建筑工程质量检测中心、天津市质量监督检验站第二十一站进行性能检验, 依据 JTGE42-2005、CECS48:93、GB6566-2001 标准, 综合检测结果见表 6。

5 铁尾矿砂石混凝土试验配合比设计

根据天津地区细集料长期供应情况, 决定尾矿砂比例为细集料的 40%, 总体细度模数控制在 2.6 左右。尾矿石粒形较规则, 趋于天然石料, 对混凝土拌合物性能影响较小, 且生产及使用量较大, 且设为试

验变量, 掺量以 10% 为量级由 0% 逐步提高至 100%。

首先选择天然砂石和铁尾矿砂石, 按系列水胶比配制混凝土, 采用现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》进行配合比设计。考虑在实际生产应用过程中的可能性, 水胶比定为 0.34~0.60, 胶凝材料的组成为普通硅酸盐水泥、粉煤灰和磨细矿渣粉。主要的检测指标为拌合物状态和抗压强度、抗渗性能以及抗氯离子扩散性能等, 不考虑混凝土的凝结时间和坍落度的经时损失。另外, 考虑经济及实用性, 掺合料取代率趋于我公司的实际生产情况, 即粉煤灰取代率均为 25%, 矿粉取代率均为 20%, 试拌 0.34~0.60 系列水胶比混凝土, 这样得到的数据对实际的指导意义更强。

6 铁尾矿对混凝土性能的影响规律

6.1 坍落度/扩展度影响规律

将混凝土拌合物的状态作为分析对象, 比较相同水胶比不同铁尾矿掺加量时的坍落度和扩展度, 见图 1。

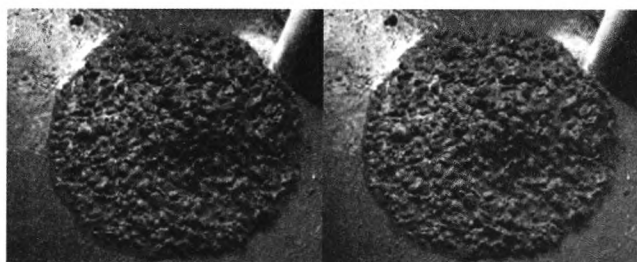


图 1 铁尾矿混凝土拌合物状态图

(1) 同一水胶比, 随着尾矿石用量的增大, 坍落度无明显变化, 或变化较小。扩展度也表现出类似的特点。说明铁尾矿石的颗粒级配与我公司在用的天然碎石相差无几。

(2) 随着水胶比的增大, 扩展度变小, 这个规律与天然碎石拌制的混凝土相同。也就是说随着用水量的增加和胶凝材料的减少, 混凝土拌合物的自

身流动性能变弱。

(3) 从整体的粘聚性来看, 低水胶比的混凝土较高水胶比的拌合物粘稠, 保水性能更好, 高水胶比的混凝土则容易出现泌水。这个规律与天然砂石混凝土的影响规律相同。

(4) 铁尾矿砂石拌制的混凝土同天然砂石混凝土一样, 通过使用一定比例的矿物掺合料和一定性能的外加剂, 均可获得大流动性的混凝土, 满足预拌混凝土的生产和施工性能要求。

(5) 固定外加剂的配方, 通过调整掺加量可部分满足拌合物的状态需要。通过调整外加剂的配方, 可保证混凝土的拌合物性能满足生产需要。

(6) 利用现有的原材料, 以拌合物状态为考核指标, 不便确定铁尾矿石的最佳使用量。从试验的数据可见: 在保证无泌水, 混凝土的流速正常的前提下, 流动性和粘聚性均较好, 可满足施工要求。但水胶比较大的除外, 指水胶比为 0.58 和 0.60 时的情况不理想, 这个水胶比在实际生产时一般为 C10 和 C15 等级的混凝土, 主要用于垫层施工, 对性能要求不高, 可不作为重点考虑。

(7) 应用尾矿砂石的混凝土的流动性比普通砂石混凝土差, 是由于铁尾矿砂石颗粒粗糙, 多棱角, 内摩擦力较大。

6.2 物理力学性能影响规律

通过混凝土立方体抗压强度系列试验的数据分析可见:

(1) 以铁尾矿砂石为部分骨料的混凝土同天然砂石作为骨料的混凝土的抗压强度与水胶比呈反比例关系, 即: 水胶比越小, 抗压强度越高。即天然砂石与铁尾矿砂石保持一样的影响规律。本试验中明显可见水胶比为 0.48 的抗压强度值比 0.46 的值还要高, 其原因是由于本试验的工作量较大, 试验周期较长, 以及占用较多的人力和养护室空间, 因此, 使用了两个批次的水泥。强度异常是水泥批次间

强度的差异所致。

(2) 相同水胶比的情况下,不同的尾矿石掺加量对混凝土 28d 抗压强度值的影响没有明显的规律可循,说明该铁尾矿石的粒型、级配与在用的天然碎石相当,无明显差异,对混凝土的影响类似。

(3) 本研究并未独立设置空白对比样,而是以长期生产统计的天然砂石作为骨料的混凝土抗压强度直接作为参考。经与之比较,采用尾矿砂石的混凝土抗压强度普遍略高于天然砂石混凝土,但均在 15% 以内。这可能是因为尾矿砂石的自身硬度较高和含泥量较低的缘故。

(4) 早期的抗压强度只是作为试验的参考数据,因为当前混凝土的验收主要是以 28d 龄期为准,在此,对早期的数据不做分析。

6.3 其他性能影响

(1) 抗渗性能

抗渗性能作为长期耐久性指标之一,使用的比较多。本研究选择具有代表性的几个配合比,采用逐级加压法对混凝土的抗水渗透性能进行检测。试验情况:对试件进行密封和安装后,水压从 0.1 MPa 开始,以后每隔 8 h 增加 0.1 MPa 水压,加压至 1.2 MPa 并恒压 8 h 后停止。

上述试验结果:试件均未透水,满足 P10 等级的抗渗指标要求,可满足较高的混凝土抗渗性能需求。常见的混凝土抗渗等级一般不高于 P8。

(2) 抗氯离子渗透性能

由于天津塘沽地区靠近渤海湾,在耐久性设计中经常会遇到防腐的指标要求,因此本课题研究采用快速氯离子迁移系数法(RCM 法)进行氯离子扩散系数的测定,采用的仪器为中国建筑科学研究院建筑材料研究所研制的六通道的氯离子扩散系数和氯离子电通量联合测定仪,

按照《天津市钢筋混凝土桥梁耐久性设计规程》DB/T29-165-2006 的规定:不需要采取其他措

表 8 抗氯离子渗透指标

环境作用等级抗侵入指标	D	E	F
抗氯离子侵入(56d龄期), 库伦	<1200	<800	<800
氯离子扩散系数 DRCM (28d龄期), 10-12m ² /s	<7	<4	<4

施,即可符合 D 级甚至以上级别的防腐蚀要求。

(3) 对碱含量的影响

经过委托天津市建筑材料质量检测中心检验,该尾矿砂石属碱-硅酸盐反应非活性集料,可用于所有建设工程中,不会发生碱-骨料反应,不影响碱含量的评估。

(4) 放射性

经过天津市建筑材料质量检测中心 2009 年的抽检,检测结果为:内照射指数 0.4,外照射指数 0.8,符合《建筑材料放射性核素限量》(GB6566-2001)的有关要求。

7 实际生产应用情况

在一定量的试验数据基础上,首先在小型建筑工程中应用,并且铁尾矿砂石的掺加比例从低到高,逐渐积累经验,以建设工程的质量安全为前提。随着应用项目的增多,混凝土应用的强度等级逐渐提高,从 C10 到 C50 均应用了铁尾矿砂石。先是非泵送混凝土,后应用于大量的泵送混凝土,效果较好,并未发生因混凝土粘聚性和流动性差而导致泵送过程中的堵管现象,但存在泌水现象,适当提高天然砂的比例可改善。抗压强度和抗渗等级均满足设计标准和验收规范。

应用的专业领域主要是工业与民用建筑,从基础灌注桩到梁、板、柱,均可采用。据不完全统计,本公司 2009 年使用铁尾矿石约 14 万吨,使用铁尾矿砂约 8 万吨。近三年累计使用尾矿超过 50 万吨。

由于铁尾矿砂石自身有不同于天然砂石的颜色,考虑对混凝土外观的影响,未在清水混凝土当中应用。铁尾矿砂石是经过水洗和筛分的,到达本公司的料场存储较短的时间,仍然含水率较高,在冬季会结冰,不能正常使用,影响这个季节对尾矿砂石的生产消耗量。

8 效益分析

(1) 可以大量消耗铁尾矿,为现有尾矿库腾出库容,减少对周围环境的污染。

(2) 减少尾矿库对土地的占用量,节约耕地资源,可以更好地发展农业。

(3) 可以降低建设工程造价,在保证一定的企业盈利水平的前提下,可以实现其自身价值。

(4) 利用尾矿砂石之后,生产混凝土的过程中将节省一部分天然砂石料的消耗,可以大量减少河砂和土石方的消耗量,避免破坏土地和环境,还人类青山绿水。

(5) 在倡导节能减排,发展循环经济的当今时代,能够发挥良好的先锋模范带头作用,以技术引领行业发展,并且符合国际上倡导的绿色、节能理念。

9 结论

大量的铁尾矿砂石的应用,可以大大消减尾矿库的容量,为社会减轻压力,在节能减排,发展循环

经济方面,为营造资源节约型、环境友好型社会可以做出突出的贡献。有技术研究作为基础,更有较大的空间回报社会,产生良好的社会效益。

通过对应用铁尾矿砂石的混凝土材料成本进行分析可知:由于尾矿石较天然碎石有着价差,不考虑调整配合比的情况下仍然能够降低单方混凝土的材料成本,若按照现在的财税政策执行,经济效益相当可观。

参考文献:

- [1] 张淑会,等.我国铁尾矿的资源现状及其综合利用[J].材料与冶金学报,2004,3(4):241-245.
- [2] 苏更.铁尾矿料在公路工程中的应用[J].内蒙古公路与运输,2007,(1):29-32.
- [3] 田俊海.节能减排技术在混凝土搅拌站中的应用方法[J].交通节能与环保,2012,6(2).
- [4] 田景松,杨荣俊,王海波.北京地区铁尾矿砂在水泥混凝土中的资源化利用技术研究[J].科技导航,2008,(5):33-45.
- [5] 金家康,孙宝臣.浅谈铁尾矿综合利用的现状和问题[J].山西建筑,2008,34(14):26-27.
- [6] 赵芸平,等.尾矿砂石混凝土配合比设计研究[J].混凝土,2009,8:91-93.