

首钢高炉渣微粉在混凝土中的应用

任中兴¹,许 桦²

(1. 首钢技术研究院,北京 100041;2. 首钢环境保护处,北京 100041)

摘要:综述了首钢高炉渣及其微粉的成分、粒度、微观结构,高炉渣微粉粒度及配比对混凝土性能的影响,以及在混凝土中配加高炉渣微粉的经济和社会效益等开发研究结果,提出了进口及国产设备生产首钢高炉渣微粉的建议。

关键词:高炉渣;微粉;混凝土

中图分类号:X705 **文献标识码:**B **文章编号:**1008-2271(2003)04-0162-02

德国、美国、日本等国家,已普遍推广高炉渣和熟料分别磨细,在混凝土中配加高炉渣微粉。国内对首钢、宝钢、武钢等高炉渣的开发利用,也进行了比较系统的研究^[1-3]。本文综合了首钢高炉渣微粉的有关开发研究资料,提出了一些看法和建议。

1 首钢高炉渣的性能

1.1 首钢高炉渣的化学成分

2000 年首钢炼铁厂高炉渣的平均化学成分见表 1。

表 1 首钢高炉渣的化学成分

成分	%	成分	%
CaO	37.41	FeO	0.41
SiO ₂	36.21	TiO ₂	0.6~1.2
Al ₂ O ₃	12.20	MnO	约 0.3
MgO	9.94	S	0.95

首钢高炉渣中的 TiO₂ 的含量与炉况有关,通常情况下,TiO₂ 含量一般为 0.6% 左右,但在高炉中后期,需要进行补炉时,渣中 TiO₂ 含量随之上升,可以达到 1.2%。渣中其它化学成分基本稳定,碱度波动不大。

由表 1 可以计算出首钢高炉渣的碱度系数 M 为 0.98,质量系数 K 为 1.58~1.59。

由化学成分来看,首钢高炉渣具有较高的活性,适宜做为高强度、高性能混凝土掺合料。

1.2 首钢高炉渣的粒度组成

首钢高炉渣的粒度组成见表 2。由表 2 看到,首钢高炉渣的粒度以小于 5 mm 粒级为主,集中分

布在 3~1 mm 之间。

表 2 首钢高炉渣的粒度组成

粒度 (mm)	>5	5~3	3~1	<1
重量 (%)	1	11	71	17

1.3 首钢高炉渣的结构

图 1 是高炉渣的光学显微镜下照片,照片中灰白色颗粒是高炉渣渣粒,黑色的是气孔,灰黑色的是制样时使用的胶结材料。由照片看到高炉渣渣粒呈不规则的块状结构,渣粒中分布着许多大小不等的气孔。物相组成以玻璃相为主,含量在 98% 以上,在光片上有较高的正突起,刻划硬度在 6 级以上。另外有少量的黄长石微晶及细小的金属铁颗粒。



图 1 首钢高炉渣的微观照片

2 首钢高炉渣微粉的性能

2.1 首钢高炉渣微粉的粒度组成

使用四川德高粉体工程科技开发有限公司研制的高速抛射超细粉碎机,产出的首钢高炉渣微粉的比表面积 388 m²/kg,密度 2.94 g/cm³,最大粒度为 34 μm,平均粒径为 9.02 μm,累积 10%、50%、90%、97% 的相应粒径分别为 1.22 μm、6.72 μm、

收稿日期:2003-05-22

作者简介:任中兴,1941 年生,男,河北临城县人,教授级高工,从事冶金废弃物综合利用研究。

16.75 μm、及 23.75 μm。此试样粒度呈连续分布,在 1 μm 以下,累积分布曲线斜率较小,1 μm 以上累积曲线斜率较大,在平均粒径附近出现了颗粒频率分布最大值。

2.2 高炉渣微粉的显微结构

图 2 是首钢高炉渣微粉的显微照片,其中的灰白色颗粒就是高炉渣微粉。在这些微粉的块状颗粒上很少发现气孔。这就说明,高炉渣中的气孔是渣粒强度的薄弱环节,在高炉渣破碎过程中,气孔间的隔墙破坏,照片中的碎块上留下了原有气孔的边缘。由于硬度较高,玻璃质的结构致密,高炉渣在粉碎机中主要经历的是破碎,而不是磨细。高炉渣微粉颗粒的形状很不规则,棱角清晰,边缘锐利。

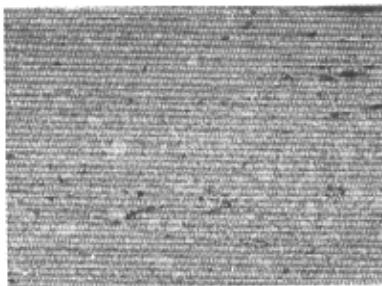


图 2 高炉渣微粉的显微结构

2.3 首钢高炉渣微粉的活性指数

高炉渣微粉的活性指数是:以 50% 高炉渣微粉掺加 50% 水泥试样的强度与纯硅酸盐水泥同龄期试样抗压强度的比值,它能够直接反映高炉渣微粉的使用效果。在水泥中掺加高炉渣微粉,7 d 时的抗压降低,但是能够提高 28 d 时混凝土的抗压强度。而且高炉渣微粉的粒度越细,28 d 抗压强度提高越明显^[1]。

3 使用首钢高炉渣微粉做混凝土

掺加料的试验研究

3.1 高炉渣微粉的细度

使用同一种水泥,在掺加比例等相似的试验条件下,细粒度高炉渣微粉可以明显提高混凝土的抗压强度;渣粉越细,混凝土早期强度越高,但对后期强度的影响逐渐变小。试验指出,比表面积 400 ~ 600 m²/kg 的高炉渣微粉可用作 C40 ~ C50 常规混凝土的掺加料,比表面积 600 ~ 700 m²/kg 的高炉渣微粉可配制 C80 高强度混凝土,比表面积 800 ~ 1 000 m²/kg 的高炉渣微粉可用于 C80 以上的超高

强度混凝土配制。目前国内对 C40 混凝土的需求量较大,应当着重研究比表面积 400 ~ 600 m²/kg 的高炉渣微粉的生产工艺及设备。

3.2 高炉渣微粉在混凝土中的掺加量

相关试验数据证明,随着高炉渣微粉掺加量的增加,坍落度及扩展度增加,混凝土的早期(3 d、7 d)抗压强度明显降低,14 d 以后同一种细度不同微粉比例试样抗压强度数值的差异明显缩小,28 d 以后基本达到一致。使用 525 水泥时,比表面积 400 m²/kg 的高炉渣微粉的掺加量控制在 25% ~ 45% 之间为宜。

3.3 外加剂的选择

以高炉渣微粉作掺加料生产高强度混凝土的过程中,还必须同时使用复合高效外加剂。试验结果证实,JG-2,UNF,NF,F₃ 等萘系、萘磺酸甲醛缩合物钠盐等外加剂,使用量在 1.5% ~ 2% 时,完全可以保证混凝土强度达到要求^[1]。

4 掺加高炉渣微粉的混凝土性能及在工程中的应用

在混凝土中配入高炉渣微粉等活性掺加料,可以改善混凝土的颗粒级配,提高微细颗粒含量,提高细颗粒分散度,在搅拌过程中细微颗粒能够较均匀地分散在混凝土中填充混凝土中的孔隙和毛细孔通道,降低混凝土中的孔隙率、改善孔结构、增加混凝土的密实度;可以与水泥水化过程中析出的 Ca(OH)₂ 产生二次水化反应,生成低碱度 C-S-H 水化产物,提高混凝土后期强度;能够大幅度降低混凝土凝固过程中产生的水化热,减少热效应产生的裂缝;总之,在混凝土中配加高炉渣微粉能够强化混凝土过渡层强度,生产高强度、高性能(抗冻性能好、抗化学腐蚀性好等)的混凝土。

自 1996 年以来,首钢高炉渣微粉做为混凝土掺加料,先后在首都重大工程,如首都国际机场停车楼 C50、C60 高性能混凝土,首都国际机场一号桥低碱、耐磨混凝土,北京通产大厦 C45S8 大体积混凝土及沙滩后街综合楼的 C35S8 免震捣自密实混凝土施工中应用,各项技术指标都达到了设计要求。

5 看法及建议

5.1 高炉渣微粉的生产经济效益

据建筑行业人士推算,北京市预拌混凝土的年需求量为 450 万 m³ 以上,高强混凝土的用量越来越

(下转第 166 页)

垦的土地上建设发电厂、水泥厂等重型建筑，在复垦后的场地上还可建住宅楼、办公楼、幼儿园、学校等。

(2) 恢复地貌，植树绿化：塌陷区充填复垦后，根据原来区域地貌特征，结合区域景观特点，恢复原有地貌，恢复植被，及时进行植树绿化，逐步恢复、提高区域生态系统功能，固持水土，维持区域生态平衡。北京西山采煤塌陷区其主要受损特征是形成高低不平的丘陵地貌。这类塌陷区的治理模式是围山转绿色工程，即将坡地修整为围绕塌陷区盆地的水平梯田，在盆地底部挖塘蓄水或打井灌溉，使复垦后的塌陷区成为浇灌型保水保土农果相间的农林复合生态系统。由于废弃矿地表土层已经破坏，存在限制植物生长的物质，缺乏营养元素，生物资源较差。因此，对废弃矿地进行恢复时，首先要使土地表面稳固，控制污染。具体做法：覆盖土壤，对土壤进行物

理处理，添加营养物质，去除有害物质，筛选适宜的先锋植物种类，间种适生的乡土树种等^[2]。

(3) 结合旅游经济，开展小流域综合治理：京西采煤区一般在植被较好山体的山坡下或半山坡，由于充填复垦后的塌陷区及平整后的煤矸石山与区域山体、地貌有一定差异，因此，为减少充填复垦后的塌陷区发生滑坡或水土流失，应结合矿区周围情况和区域旅游经济的发展，统一规划，进行小流域综合治理，发展区域旅游经济，恢复区域生态功能。

参考文献：

- [1] 杨修,高林,吴刚.矿山废弃地复垦的理论与技术[M].见:赵景柱,欧阳志云,吴刚编.社会-经济-自然复合生态系统可持续发展研究.北京:中国环境科学出版社.1999.130-134.
- [2] 任海,彭少麟.恢复生态学导论[M].第2版.北京:科学出版社,2002.14,34.

(上接第163页)

多。将高炉渣磨细到4 000~8 000 cm²/g，掺量可达到20%~45%。水泥的综合价为380元/t，以C60混凝土为例，采用磨细高炉渣，水泥用量可降至340 kg/m³。仅此一项，每立方米混凝土可比原来降低成本13.20元。普通混凝土中掺入磨细高炉渣也有同等的经济效益。北京市有50%的混凝土添加高炉微粉，每年可以降低成本2 970万元以上。

5.2 高炉渣微粉的生产社会效益

国内外的实践证明，在混凝土生产中使用1 t磨细粒状高炉渣可以代替1 t硅酸盐水泥，大约减少1 t CO₂污染。每年使用60万t高炉渣微粉，替代60万t水泥，相当于北京燕山水泥厂大约一年的产量，但可以减少60万t CO₂排放，对建设绿色首都大有好处。

在混凝土中配加细粒高炉渣做掺合料，可以填充水泥颗粒间的空隙，参加胶凝材料的水化反应，提高混凝土的密实度，改善混凝土的过渡层结构，提高混凝土的抗渗性、耐久性和抗腐蚀性。可广泛用于大面积地下结构混凝土、高层结构、水工工程（水坝）、桥梁、港口等建设项目。在普通混凝土施工中可以减少水泥用量，符合国家“绿色高性能混凝土”方针。

5.3 建议采用两条腿走路的方式推进高炉渣微粉的生产

首钢高炉渣微粉的应用研究已获成功，国内外均在推广使用水泥及混凝土掺加高炉渣微粉技术，投资兴建大规模的高炉渣微粉生产厂有许多经验可供借鉴。建议尽快引进国内外先进磨细设备及财政贷款，建设首钢高炉渣磨细生产线。此办法的优点是设备生产能力大，综合能耗低，但首期投入较大，短期内难以实现。

目前可以以振动磨、管磨机、高速抛射超细粉碎机为基础，研究开发有国内自主产权的高炉渣细磨设备。这些设备虽然年产在10万t以下，但投资少，见效快，便于推广。研制成功后可以与现有水泥细磨工艺配套，生产矿渣水泥。也可以建搅拌站，把高炉渣微粉产品直接用于混凝土，减少微粉的运输环节。

参考文献：

- [1] 李立森,王彩英.宝钢高炉微粉生产工艺及在混凝土中的应用[C].冶金渣处理与利用国际研讨会论文集.1999.101-108.
- [2] 蔡机敏.高炉渣微粉的开发应用[C].冶金渣处理与利用国际研讨会论文集.1999.96-100.
- [3] 巴恒静.高强混凝土显微结构与性能的研究[C].中国硅酸盐学会工艺岩石学第六届学术年会论文汇编.1996.