

机械力化学效应对钢渣性能的影响

陆雷, 温金保, 姚强

(南京工业大学材料科学与工程学院, 江苏 南京 210009)

摘要 通过胶凝性能实验,探讨了钢渣粉磨的机械力化学效应对钢渣性能的影响。结果表明:钢渣经过球磨之后,其水化性能大大提高,而且掺入一定量的泡花碱对钢渣进行双重激发,可以发现碱对钢渣也有一定的激发效果,其中机械力化学效应是影响钢渣水化性能的主导因素。

关键词 机械力化学;钢渣;抗压强度;碱激发

中图分类号 X757 **文献标识码** A **文章编号** 1000-6532(2005)05-0009-05

机械力化学是研究在给固体物质施加机械能时固体形态、结构等发生变化,并诱导其物理化学性质发生变化的一门学科。机械力化学是近年来发展起来的一门新兴学科,其理论涉及到固体力学、表面化学、应用化学、矿物加工、粉体科学等多学科多领域。

钢渣是炼钢时所产生的废渣,随着钢铁工业的发展,钢渣数量日益增多。对于钢渣的处理,最简单的办法是把钢渣用来铺路。据文献统计^[1],日本转炉渣利用率达 81%,主要用于填海和土建工程。这对于钢渣的利用并没有带来多大的经济效益,而将钢渣作为混合材生产钢渣水泥,处理钢渣量大,生产成本低,因此得到了广泛应用。但钢渣的活性矿物成分较低,因而生产出来的水泥性能

不如纯硅酸盐熟料水泥。为此,前人做了大量的研究工作,如采用碱激发^[2]、确定适宜的钢渣掺入量^[3]和石膏品种、添加外加剂^[4]以及提高粉磨细度^[5]等手段。

通过机械力化学效应对钢渣结构影响的研究表明,钢渣粉体通过行星磨进行强烈的机械碰撞、研磨作用,引起钢渣粉体颗粒粒度减小、比表面积增大以及比表面能增大,使得钢渣粉体产生一系列机械力化学效应,钢渣粉体的反应活性增强。因此,通过机械力研磨钢渣能够增强钢渣粉体的表面活性和反应活性,从而达到了机械力激发钢渣潜在活性的目的。本文对经过不同粉磨时间的钢渣粉体的水化活性和水化强度的变化来表征其性能的影响。

Comprehensive Recovery and Purification of Iron from Molybdenum Tailings Jinduicheng

DONG Sui-zhen

(Jinduicheng Molybdenum Industry Co., Hua County, Shanxi, China)

Abstract The practice of comprehensive recovery and purification for associated magnetite from tailings of Jinduicheng Molybdenum Mine was introduced briefly.

Key words Molybdenum tailings; Magnetite; Comprehensive recovery; Technical experiment

收稿日期 2004-12-27

作者简介: 陆雷 (1948 -), 男, 副教授, 主要从事材料工程新工艺与新技术的研究。

1 试验方法

按国家标准采用 1.414cm × 1.414cm × 1.414cm 模子对钢渣粉体进行净浆小试体强度实验,固定用水量(水灰比为 0.35),准确称取 120g 钢渣粉体,在标准条件下成型 24h 脱模 20℃ 水中养护,然后分别测定其 3d、7d 和 28d 抗压强度。

2 试验结果与讨论

2.1 机械力化学效应对纯莱钢钢渣水化性能的影响

表 1 是经过不同粉磨时间的山东莱钢钢渣净浆小试体抗压强度实验结果。由表 1 可知,未经行星磨粉磨的莱钢钢渣抗压强度极低,其 3d 抗压强度只有 0.196MPa,28d 抗压强度也只有 7.742MPa,但是经过行星磨粉磨之后,其各龄期抗压强度迅速增长,当粉磨到 10h 时,其抗压强度达最高值,其 3d、7d 和 28d 抗压强度分别为 11.956MPa、21.756MPa 和 25.872MPa,但随着粉磨的继续进行,其抗压强度反而有下降趋势。

表 1 莱钢钢渣小试体抗压强度实验结果

试样名称	粉磨时间/h	3d 强度/MPa	7d 强度/MPa	28d 强度/MPa
LS0	0	0.196	4.312	7.742
LS1	1	4.557	10.339	12.397
LS2	2	5.733	12.985	15.435
LS5	5	8.036	14.504	17.248
LS10	10	11.956	21.756	25.872
LS15	15	11.074	16.023	18.914

2.2 机械力化学与碱共激发对莱钢钢渣水化性能的影响

掺入 6% 的二水石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)以及分别掺入 1%、2% 和 3% 的泡花碱($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)与莱钢钢渣进行共同粉磨,通过净浆小试体实验得到其抗压强度结果如表 2 所示。由表 2 可知,当 $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 掺入量为 1% 时,粉磨到 10h 时钢渣各龄期抗压强度达到最大值,其 3d、7d 和 28d 强度值分别为 12.152MPa、30.870MPa 和 36.407MPa,当 $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 掺入量为 2% 和 3% 时,粉磨到 5h 时钢渣各龄期抗压强度达到最大值。与未经球磨钢渣的抗压强度相比,球磨之后其强度都有显著增长,说明机械力的施加在碱性条件下同样能激发钢渣的活性,产生机械力化学效应。对比掺入泡花碱 $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 与未掺入 $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 的抗压强度,可以发现,其 3d、7d 抗压强度变化不是很明显,但 28d 抗压强度却有较大的增长,最大值由 25.872MPa 增长到 36.554MPa,这就说明 $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 对钢渣起到了碱激发的作用。可见,钢渣在机械力与碱的双重激发作用下,其活性大大提高。

2.3 机械力化学与碱对莱钢钢渣和矿渣复合物水化性能的影响

以莱钢钢渣、矿渣、泡花碱和二水石膏为原料按一定配比进行高能球磨,然后对经过不同粉磨时间的粉体物料进行净浆小试体实验,实验结果如表 3 所示。由表 3 结果可知,随着粉磨时间的延长,其各龄期抗压强度总

表 2 莱钢钢渣掺入 $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 的小试体抗压强度实验结果/MPa

粉磨时间/h	掺入 1% $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$			掺入 2% $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$			掺入 3% $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$		
	3d	7d	28d	3d	7d	28d	3d	7d	28d
0	1.715	7.448	10.388	2.009	8.820	12.348	0.686	4.900	8.575
1	5.537	12.789	15.974	5.586	15.141	18.032	5.537	7.938	11.123
2	7.987	18.424	22.099	9.849	21.805	25.970	8.526	18.865	22.442
5	8.820	20.580	24.500	10.878	24.353	36.554	9.800	21.707	32.585
10	12.152	30.870	36.407	12.348	23.520	28.224	12.152	19.600	24.500

表 3 莱钢钢渣与矿渣复合物掺加 $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 的小试体抗压强度实验结果

粉磨时间 /h	莱钢钢渣 /%	矿 渣 /%	二水石膏 /%	泡花碱 /%	3d 抗压强度 /MPa	7d 抗压强度 /MPa	28d 抗压强度 /MPa
0	31	61	6	2	2.205	10.241	14.308
1	31	61	6	2	5.831	22.393	23.324
2	31	61	6	2	10.241	24.010	30.037
5	31	61	6	2	11.319	25.725	37.338
10	31	61	6	2	12.838	24.451	28.812

体上呈现先递增后下降的趋势 ,与未经行星磨粉磨复合物的抗压强度相比 ,其增长幅度比较大 3d 抗压强度将近达到6 倍 7d 和 28d 抗压强度也都不低于 2 倍 ,说明机械力的研磨和碱的掺入使复合物发生了质的改变 ,即使其发生了机械力化学效应与碱激发效应。

2.4 粉磨时间与泡花碱对钢渣水化性能影响的水平分析

前面研究了不同粉磨时间以及掺入不同量的泡花碱对钢渣水化性能的影响 ,由分析可发现 粉磨时间不同 ,钢渣的各龄期抗压强度不同 ,而且随着 $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 掺入量的不同 ,钢渣的各龄期抗压强度也不同 ,这就说明这两个因素都对钢渣的水化性能有影响 ,因而可以利用正交实验设计来对其因素水平进行分析。由于本实验中两个因素的水平数不等 ,故采用拟水平法 如表 4 所示。考察的指标为钢渣的各龄期抗压强度值 ,选用正交表 $L_{25}(5^6)$ 进行试验 ,其结果见表 5。

表 4 因素与水平

水平	A 球磨时间/h	B $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 掺入量/%
1	0	1
2	1	2
3	2	3
4	5	2
5	10	3

通过表 5 计算各个水平下的指标之和 (K)及其平均值 (K') ,然后计算极差 (R) ,最后对极差进行修正 (R') 5 水平因素 A 的修正指数为 0.40 3 水平因素 B 的修正指数为 0.52。修正原理为：

表 5 正交试验结果

实验号	A 球磨时间/h	B 泡花碱掺入量/%	抗压强度/MPa		
			3d	7d	28d
1	0	1	1.715	7.448	10.388
2	0	2	2.009	8.820	12.348
3	0	3	0.686	4.900	8.575
4	0	2	2.009	8.820	12.348
5	0	3	0.686	4.900	8.575
6	1	1	5.537	12.789	15.974
7	1	2	5.586	15.141	18.032
8	1	3	5.537	7.938	11.123
9	1	2	5.586	15.141	18.032
10	1	3	5.537	7.938	11.123
11	2	1	7.987	18.424	22.099
12	2	2	9.849	21.805	25.970
13	2	3	8.526	18.865	22.442
14	2	2	9.849	21.805	25.970
15	2	3	8.526	18.865	22.442
16	5	1	8.820	20.580	24.500
17	5	2	10.878	24.353	36.554
18	5	3	9.800	21.707	32.585
19	5	2	10.878	24.353	36.554
20	5	3	9.800	21.707	32.585
21	10	1	12.152	30.870	36.407
22	10	2	12.348	23.520	28.224
23	10	3	12.152	19.600	24.500
24	10	2	12.348	23.520	28.224
25	10	3	12.152	19.600	24.500

$R'A = 5^{1/2} \times RA \times 0.40$

$R'B = 5^{1/2} \times RB \times 0.52$

将其计算结果列于表 6。

根据表 6 中的极差数据可以发现 ,对于莱钢钢渣 ,因素 A 的影响大于因素 B 的影响 ,说明对莱钢钢渣各龄期抗压强度起主导

作用的因素是粉磨时间。而且证明机械力激活莱钢钢渣比碱激活莱钢钢渣效果要好。根据表 6 中数据可以得到莱钢钢渣主要影响因素与指标的关系,结果如图 1 所示。从图 1 可以看出,在粉磨到 2h 时,莱钢钢渣的各龄期抗压强度增长速度最快,2h 之后,强度虽有增长,但增长速度比较缓慢,在粉磨到 10h

时 3d、7d 抗压强度达到最大值,而 28d 抗压强度在粉磨到 5h 时达到最大值,泡花碱的掺入量对莱钢钢渣的各龄期抗压强度虽有影响,但影响不是很大,从图 1 中可以看出,泡花碱的掺入量 2% 最为适宜。经综合比较,掺入 2% 的泡花碱粉磨到 5h 时对莱钢钢渣的激发效果最佳。

表 6 正交试验计算结果

项 目		K ₁ '	K ₂ '	K ₃ '	K ₄ '	K ₅ '	R	R'
3d	A	1.421	5.557	8.947	10.035	12.230	10.809	9.668
	B	7.242	8.134	7.340			0.892	1.037
7d	A	6.978	11.789	19.953	22.540	23.422	16.444	14.708
	B	18.022	18.728	14.602			4.126	4.798
28d	A	10.447	14.857	23.785	32.556	28.371	22.109	19.775
	B	21.874	24.226	19.845			4.381	5.094

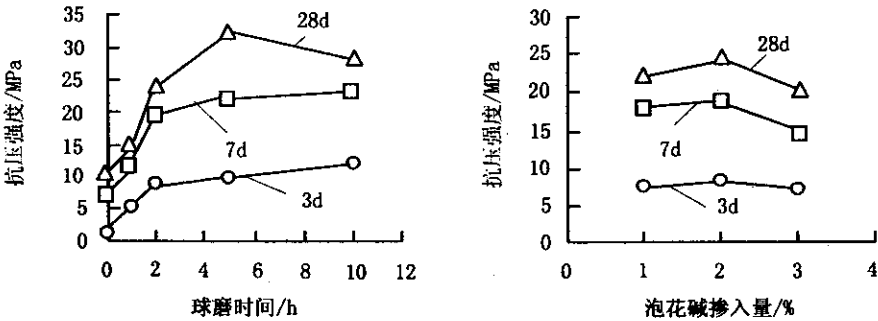


图 1 莱钢钢渣主要影响因素与指标的关系

3 结 论

- 1. 钢渣水化性能实验表明,钢渣经过机械球磨之后,其水化性能得到明显改善,表现为各龄期抗压强度都有显著增长。说明钢渣通过机械力粉磨能产生机械力化学效应,使钢渣性能得到改善。
- 2. 掺入泡花碱对钢渣的水化性能研究表明,与纯钢渣相比,其 28d 抗压强度有较大增长,说明机械力与碱能共同激发钢渣的活性。其中,对钢渣水化性能影响起主导作用的是机械力的粉磨作用。
- 3. 通过掺入一定量的矿渣与钢渣进行配

- 比,研究了其复合物的水化性能,与纯钢渣相比,其 28d 抗压强度有明显增长,说明钢渣和矿渣复合物在泡花碱的激发下,其水化性能得到改善。这主要是泡花碱在钢矿渣中充当了骨架网络的作用,水解的水化硅酸钙和铝酸钙凝胶在网络中起到了镶嵌和填充作用。
- 参考文献:
- [1] 单志峰. 国内外钢渣处理技术和综合利用技术的发展分析[J]. 工业安全与防尘, 2000(2): 27~32.
 - [2] 钱光人. 碱度对少熟料低碱度钢渣水泥强度的促进作用[J]. 西南工学院学报, 1997, 12(4): 17~20.

渣罐底吹搅拌混合特性的模型研究

王明玉, 张林楠, 张力, 涂赣峰, 隋智通

(东北大学材料与冶金学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘要 渣罐内添加剂的混匀行为对含钛高炉渣中钙钛矿的析出和长大存在重要影响。本文在底吹渣罐水模型的基础上,测定了粘度、气体流量对熔池底吹搅拌混匀时间的影响。结果表明,粘度相同时,随底吹气体搅拌能密度增大,溶液混匀时间缩短;搅拌能密度相同时,随溶液的粘度增大,溶液的混匀时间变长。回归出了水模型溶液的混匀时间与搅拌功率密度和粘度的关系方程式,并在此基础上计算出了25t熔渣的混匀时间表达式。

关键词 含钛高炉渣;混匀时间;搅拌功率密度;粘度

中图分类号 X757 **文献标识码** A **文章编号** 1000-6532(2005)05-0013-04

1 前言

含钛高炉渣中 TiO_2 含量高达 20% ~ 22%,然而这部分渣中的钛资源至今仍未经济、合理、大量利用,不仅造成资源的巨大浪费,而且严重污染环境。为解决这一问题,

根据“选择性富集、选择性长大、选择性分离”^[1~2]的技术路线,采取向熔渣中喷吹气体来氧化熔渣、提高氧位以达到富集、长大钙钛矿的目的,而熔渣在氧化过程中会放出一定热量^[3],从而会使熔渣的粘度发生变化。同时为了促进钙钛矿的析出和长大,需向熔渣

- [3] 万勇敏, 张少明, 等. 用机械力化学原理提高水泥混合材掺量[J]. 南京化工大学学报, 1998, 20(2): 66 ~ 68.
- [4] 李东旭, 付兴华, 吴学权. 复合外加剂对钢渣水泥性能的影响[J]. 南京化工学院学报, 1994

(16): 68 ~ 72.

- [5] 温金保, 陆雷. 粉磨细度对钢矿渣无熟料水泥性能的影响[J]. 沈阳化工学院学报, 2002, 16(4): 276 ~ 279.

The Influence of Mechanochemical effect on characteristics of Steel Slag

LU Lei, WEN Jin-bao, YAO Qiang

(Nanjing University of Technology, Nanjing, Jiangsu, China)

Abstract The influence of mechanochemical effect on characteristics of steel slag was investigated by cementitiousness test. Results show that hydrate characteristics of steel slag were increased after ball milling. Although addition of $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ can activate steel slag, but mechanochemical effect is main factor influencing hydrate characteristics of steel slag.

Key words Mechanochemical force; Steel slag; Compressive strength; Alkali activation

收稿日期 2005-01-10

基金项目 国家自然科学基金重点项目(50234040)

作者简介 王明玉(1976 -),男,博士生,主要从事二次资源综合利用研究。