

冶金渣处理与利用
国际研讨会
(ISUS'99)
论文集

中国金属学会

1999年11月

北京

冶金渣处理与利用 国际研讨会

(ISUS'99)

论文集

中国金属学会
1999 年 11 月
北京

冶金渣处理与利用国际研讨会

(ISUS'99)

发起单位: 中国金属学会(CSM)
德国钢铁学会(VDEH)
德国冶金渣研究学会(FEHS)

主办单位: 中国金属学会

大会组委会名单

主 席: 仲增墉 (中国)

副主席: J.GEISELER (德国)

秘书长: 黄务淦 (中国)

委 员: H.F.MEYER (德国)
孙树杉 (中国)
杨景玲 (中国)
陈益民 (中国)
朱桂林 (中国)
任庆玉 (中国)
王建华 (中国)

前言

“冶金渣处理利用国际研讨会”于1999年11月16日-19日在北京召开，内容包括钢铁及其它冶金工艺过程形成的炉渣、尘泥和其它废渣的综合利用。这一主题不仅对资源的全面合理利用，而且对环境保护和经济持续发展至关重要。

会议共收到论文70篇并收入本论文集。这些论文来自12个国家和地区，其中国外22篇，中国48篇。其内容涉及有关冶金渣处理的新技术、新工艺和新设备以及高炉渣、钢渣和其它废弃物在各方面的利用。特别是用于水泥、混凝土掺合料、冶金炉料及钢渣肥料等方面。深入分析和讨论了有关冶金渣综合利用的经济和社会效益，这对环境保护、节能、二次资源的回收利用和增加新的建材品种都有指导意义。

会议组织委员会和文集编辑委员会借此机会，向为会议召开及文集出版作出贡献的各位专家和工作人员表示衷心的感谢！

“冶金渣处理利用国际研讨会”文集编辑委员会

1999年11月

冶金渣国际会议研讨会论文目录

第一部分 综论

- 冶金渣—创造美好未来的材料 J. Geiseler 德国(1)
- 中国钢铁渣利用的现状和发展方向 朱桂林、孙树杉 中国(9)
- 日本炼钢工业高炉渣与钢渣利用现状 T. Sakuraya 日本(15)
- 工业废渣在中国水泥工业中的应用 黄大能、方德瑞 中国(21)
- 从经济与生态角度看冶金渣的利用 H. F. Meyer 德国(26)
- 气冷炉渣的加工处理方法 M. Huning 德国(29)
- 炉渣加工处理方法、产品开发及市场营销 M. Makikyro 芬兰(35)
- 水泥生产用的立辊磨 H. —U. Schaefer 德国(44)
- 粒化高炉渣作为现代特种性能水泥的经济与生态资源
..... H. A. Broderson 德国(54)
- 采用华尔滋旋转窑工艺处理电炉粉尘 U. Merter 等德国(63)

第二部分 高炉矿渣的利用

- 高掺量矿渣的水泥在高性能混凝土中的利用 J. Geiseler 德国(71)
- 具有早强性能的高比例矿渣的水泥的开发 A. Ehrenberg 等德国(79)
- 抗腐蚀性好的早强矿渣水泥 M. Frigione 等意大利(87)
- 高炉水渣微粉的开发应用 蔡机敏 中国(96)
- 宝钢高炉渣微粉生产工艺及在砼中应用 李立森 王彩英 中国(101)
- 用攀钢高炉还原残渣生产水泥 嵇琳、陈益民、李在妙、任祥泰 中国(110)
- 利用高炉矿渣开发硅肥 汤章其 中国(116)
- 复合外加剂对高掺量矿渣水泥强度及孔结构影响
..... 李东旭、沈锦林、王玉江、吴学权 中国(119)
- 新型碱矿渣粘结剂性能与结构研究 孙家瑛、吴初航 中国(126)
- 免烧高炉水渣水泥的试验研究 王福川、安明哲、张林绪 中国(133)

第三部分 钢渣的综合利用

- 塔塔钢铁公司重复利用炼钢炉渣的经验 S. Chandra 等印度(138)
- 以炼钢副产品为原料生产水泥的抗腐蚀性 C. J. Shi 加拿大(153)
- 电弧炉渣用作沥青骨料 N. C. Jones 英国(160)
- 旨在综合利用钢渣的特性鉴定 H. Yoozbashizadeh 伊朗(166)
- 钢铁渣肥料 J. Geiseler 德国(172)
- 525[#]钢渣矿渣水泥的研究 李勇、孙树杉、王建华、朱桂林 中国(175)
- 发挥首钢优势,全方位综合利用工业废渣 徐鹏寿 中国(183)

转炉钢渣代替部分熟料研究	朱重健、李长明、王俊波、孙桂英 中国(188)
提高渣钢品位,推进钢渣资源化	万喜老、刘福魁 中国(193)
转炉钢渣在烧结、建材行业中开发应用	孙健、刘浩 中国(197)
转炉钢渣用于烧结做原料的试验研究及生产应用	孙俊波 中国(207)
富镁低碱度钢渣的托勃莫莱石化	徐光亮、赖振宇、钱光人、杨世源、周歧雄 中国(214)
首钢道路用钢渣混合料的研究与应用	谢产庭、张集广、杨圣明、苏连生 中国(222)
电弧炉炉渣应用于混凝土工程可行性研究	Li Chen 等台湾 中国(231)
电炉钢渣应用技术研究	王涛 中国(242)
首钢转炉钢渣的综合利用	毕琳、曾维高、许福春 中国(256)
钢渣处理及综合利用	吴希哲 中国(260)
乌钢钢渣处理及综合利用	田敬东 中国(262)
开发炉渣资源的实用技术	谢怀党、陈世忠 中国(266)
钢渣的研究及综合利用	孙金玲、李玉信、邹方敏 中国(269)
钢渣的处理与应用	殷汝军 中国(272)

第四部分 尘泥、尾矿、粉煤灰、有色渣的利用

用铸造渣配制的无水泥细骨料混凝土	Stnisla Pavlenko 等俄罗斯(277)
转炉炼钢 OG 泥消化及烧结应用试验研究	任中兴、刘洪松、唐志勇、常兴旺 中国(284)
利用粉煤灰生产钢水颗粒保温剂 ...	金弘照、杨曼辉、项建中、丁劲光 中国(289)
科研先行变废为宝宝钢粉煤灰开发利用综述	孟光斌、顾文飞 中国(292)
用铜尾矿做原料烧制高铁硅酸盐水泥的研究	郭随华、冯培植、苏姣华、张洪滔等 中国(297)
利用赤泥制作釉面砖试验研究	关晓东 中国(304)
上海一钢厂冶金尘泥的处理	郑景涛 中国(309)
韶钢转炉尘泥利用工艺的改进	凤滨、肖彪 中国(315)
炼钢炼铁除尘污泥应用于烧结配料的实践	李玉信、邹方敏、孙金玲、张茂林 中国(320)
尾矿免烧砖生产工艺实践	李同宣、刘福运 中国(324)
铜尾矿在水泥熟料形成过程中的作用机理	徐琳琳 中国(327)
矿渣—硅灰水泥蒸后处理含铬钠低放废液	席耀忠 中国 B. E. Scheets 美国(331)

第五部分 处理工艺、设备和其他

- 液态渣处理获得钢渣高质量 J. Geiseler 等德国 (338)
- 改善电炉炼钢粉尘平衡减少粉尘发生量以提高经济效益
..... J. Geiseler 德国等 (345)
- 对液相还原 ROMELT 工艺产生的黑色冶金废物的加工
..... YuPokhvisnev 等俄罗斯 (349)
- 水泥生产中二氧化碳的排放 J. Geiseler 等德国 (355)
- 斗式提升机用于水泥工业渣的装卸一些问题与推荐解决办法
..... Y. P. Bafra 等印度 (363)
- 钢渣加工工艺的现状与发展 毕琳 中国 (368)
- 钢渣水泥厂的工艺设计特点 王建华 中国 (373)
- 重钢七厂转炉钢渣风淬技术 叶光扩、廖军 中国 (380)
- 钢渣水淬三十年 张六零、张润森 中国 (383)
- 首钢的转炉钢渣处理方法、加工技术和综合利用
..... 张集广、杨圣明、蒋运来、苏连生等 中国 (387)
- 冲渣水压对水渣的堆比重及粒度的影响 胡文凯、赵刚、陈雪峰 中国 (394)
- 底滤式水冲渣在南钢 5# 高炉上的应用与改进 王朝晖、刁岳川 中国 (400)
- 球状钢水液面覆盖剂的研究 王英林、王军、张丽娜、魏向东 中国 (404)
- 焦粉湿磨配煤炼焦 吴健、辛国章 中国 (409)
- 新型高效钢渣细碎机的研制及其应用 腾仁凯、王昭 中国 (414)
- 武钢钢渣处理工艺综述 王宏、甘万贵 中国 (417)
- 最新钢渣破碎专用设备 PEY 型液压保护鄂破和 PL 型立式冲击破碎机
..... 宋希敏、董百顺 中国 (421)

冶金渣—创造美好未来的材料

Jurgen geiseler

Forschungsgemeinschaft Eisenhüttensteine V, 德国

摘要

钢铁冶炼过程中产生的冶金渣作为胶凝材料, 道路施工骨料和肥料已有 100 多年的历史。与天然石子制成的产品不同的是, 渣产品节省资源并减少污染。由于全球每年产生 4 亿吨, 矿渣已成为再生材料。为了改善我们未来的环境, 我们必须在最高质量水平上使用所有的渣子, 我们必须克服所有利用渣产生中的各种阻碍。

关键词

高炉渣, 钢渣, 渣产品, 道路施工, 肥料, 渣棉, 渣球团, 粒化渣, 泡沫渣, 铺路石, 水泥

渣子的产生

渣子的产生是金属生产工艺的一个整体部分, 根据本次会议的主题, 本文将重点涉及钢铁工艺中的渣子, 渣子中含有冶金工艺炉料中的非金属成分或在工艺中被氧化的成分。

渣子的来源是铁矿石, 焦炭, 废钢, 造渣剂如石灰, 石灰石和白云石等。但渣子不是由燃烧工艺所产生的, 燃烧工艺产生灰份。渣子有不同的功能, 在冶金工艺中, 它们必须为冶金反应提供足够的媒介, 冶金反应之后, 渣子经历了适宜的热处理, 最终被固化和冷却。加工处理之后, 冶金渣应与天然资源材料相似, 在许多应用领域中它们应满足相同的标准和规范。

几十年来, 渣子是典型的副产品, 它是伴随钢和铁主产品而普遍产生的副产品[1][2][3]。

位于西半球希腊的物理学家 Aristotle 在公元前 350 年就提到过炼铁渣的利用, 当时他提出铁渣可用于医药治疗不同疾病, 如创伤。之后的几个世纪更多的作者提到过铁渣的利用, 如制马赛克或甚至炮弹。但冶金渣大规模利用还是在当代钢铁工艺的发展之后。高炉炼铁, 平炉, 电炉和转炉炼钢都产生大量的渣子, 这需要进行研究和进一步努力为此些渣子创造多种应用的领域。

今天, 炼钢工艺被认为包括三个阶段: 还原阶段, 炼钢阶段和二次冶金阶段。这三个阶段分别产生了高炉渣, 转炉渣和电炉渣, 及二次冶金处理渣。液态渣可以进行一些热处理。冶金渣可以产生多种产品 (见表 1)。

高炉渣是气冷或水淬, 转炉渣和电炉渣一般是气冷, 渣子的碱度 (CaO/SiO_2) 大于 2 时很难产生玻璃体。二次冶金处理的渣子一般的碱度都大于 2, 并逐渐气冷却。根据化学成分不同, 特钢冶炼渣固化成玻璃体或晶体材料, 热处理后, 这些不同种类的渣子进行机械加工后成为不同的渣产品。

表 1. 钢铁生产所生产的矿渣种类

矿渣类型	来源
块渣	在空气中逐渐冷却形成结晶高炉渣和钢渣
泡沫或膨胀渣	加入少量水缓冷形成部分玻璃体, 部分结晶体的高炉渣
渣棉	使用气体或蒸汽形成玻璃体, 毛状的固化高炉渣
水淬渣	在水淬设备中加入大量的水, 对高炉渣进行快速冷却, 渣固化后形成有潜在水化特性的玻璃体产品
矿渣珠	高炉渣快速或缓冷, 其粗颗粒的特征像泡沫渣, 细珠的特性像水淬渣
浇注铺路石	将高炉渣浇入模具中, 慢慢冷却

渣子的特性

表 2 是高炉渣 (BF_s), 转炉渣 (BOS_s), 电炉渣 (EAf_s) 和二次冶金工艺渣 (SMP_s) 的一般化学成分。

表 2 冶金渣一般化学成分 (重量%)

成分	渣类型			
	BF_s	BOS_s	EAf_s	SMP_s
CaO	36 - 42	48 - 54	25 - 35	30 - 52
CaO _{free}	-	1 - 10	0 - 4	1 - 10
SiO ₂	35 - 39	11 - 18	8 - 18	8 - 23
Al ₂ O ₃	8 - 12	1 - 4	3 - 10	3 - 20
MgO	4 - 12	1 - 4	3 - 9	6 - 12
Fe _{tot}	<0.5	14 - 19	20 - 30	0.5 - 12
Mn _{tot}	<0.5	1 - 4	2 - 5	0.5 - 3
Na ₂ O	<0.5	-	-	-
K ₂ O	<0.7	-	-	-
S	1.2 - 1.6	-	-	-
CaO/SiO ₂	1.0 - 1.2	2.8 - 4.4	1.7 - 4.0	1.4 - 5.5

硅酸钙的溶解形成了渣子, 高炉渣中还额外包括大约 (重量) 10% 的 MgO 和 Al₂O₃, 由于是还原过程, 渣中的铁一般低于 0.5% (重量), 与高炉渣相反, 转炉和电炉渣是在氧化条件下形成的, 所以其全铁含量要大得多。转炉渣的碱度在 3.5 左右, 大于电炉渣碱度 (大约 2)。二次炼钢渣一般碱度较高, 在 4—5 之间并且氧化铁含量较低。

矿物质的含量对使用性能非常重要, 高炉渣的玻璃体对高炉水淬渣的潜在水化性能至关重要。自然冷却的高炉渣形成黄长石和镁硅钙石。钢渣中主要含有硅酸二钙, 铁酸二钙和方铁体, 一般还含有游离氧化物, 特别是游离氧化钙, 如渣中含有较高的 MgO (≥3%), 在特殊情况下, 可能会含有游离氧化镁。由于与水反应后它们的体积会加倍, 所以这些矿物质极大地影响着渣子的利用。

根据过去大量的研究结果，目前有许多种处理钢渣方法以使其具有足够稳定性。钢渣的体积稳定性可以其游离氧化物多少来评判，但使用 FEHS 开发的试验方法或其他方法来确定其稳定性更可靠一些。

图 1 显示了使用蒸汽试验方法游离氧化钙所引起的转炉渣体积增加的发展趋势，蒸汽试验方法已引入欧洲标准。

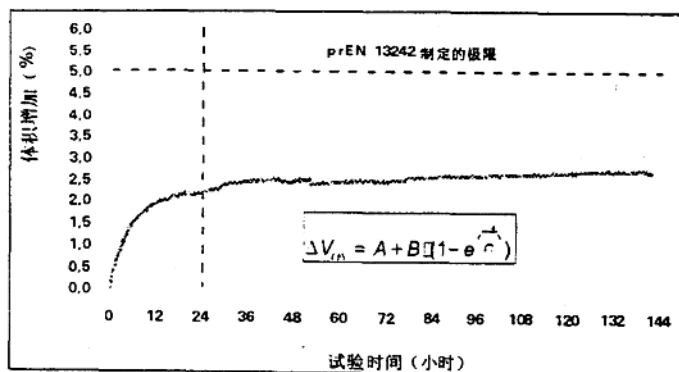


图 1 根据 PREN13242 蒸汽试验方法对转炉渣进行的试验

将渣样倒入一个圆柱形容器中，通蒸汽 24 或 168 小时，其体积增加量不得超过表 3 中的极限值

表 3 钢渣骨料的最大膨胀值 (prEN13242, prEN13043) [4][5]

钢渣类型	最大膨胀		试验时间 (小时)	类别
	用于沥青混合物的骨料	用于非粘性混合物的骨料		
转炉/电炉渣 (MgO≤5.0%)	3.5	5	24	V _A
转炉/电炉渣 (MgO>5.0%)	3.5	5	168	
转炉/电炉渣 (MgO≤5.0%)	6.5	7.5	24	V _B
转炉/电炉渣 (MgO>5.0%)	6.5	7.5	168	
转炉/电炉渣 (MgO≤5.0%)	10	10	24	V _C
转炉/电炉渣 (MgO>5.0%)	10	10	168	

注：钢渣骨料稳定性性能记录满意的可以不进行试验

从表 3 中可以看出，用于沥青层中的允许值低于或等于非粘性层中的允许值，由于在不同的欧洲国家实行不同的道路施工方法，相关国家应根据相应经验[4][5]选择需要的类别。在水利工程中特别是用于河床施工，钢渣必须在室温下水中浸泡 20 天或根据欧洲标准草案在沸腾的水中浸泡 8 小时，这期间剥落的百分比作为渣子的体积稳定性结果。

冷却时，硅酸二钙会引起渣子的破碎，当然目前可以防止渣子的破碎。过去经常破碎的高炉渣目前很少出现此类破碎。虽然钢渣中有硅酸二钙但其中的 P_2O_5 等使钢渣比较稳定，今天仅仅二次炼钢渣和特钢钢渣会出现此类破碎。

渣子的孔隙率是对渣子的使用有非常影响的另一个性能，粘度影响着孔隙率，由于渣子的粘度测量是非常复杂的，现专门开发了一个精确计算粘度的模式。

在人们日常还没有谈及渣子的环境兼容性时，我们已对钢渣进行了环境兼容性的研究，从研究中得知环境的兼容性与材料中各元素总含量无关，而与元素渗出量的多少有关。

根据德国渗出方法 DIN38414—S4[7]不同冶金渣的渗出值与德国饮用水规范(2)进行比较的结果见表4。其结果显示如果使用得当高炉渣和钢渣不影响环境(8)。根据实际条件下的研究可以确认，高炉渣和钢渣可以用于许多的应用领域，但在静止和不流动的水中不能使用高炉渣。

表4 不同种渣渗出值(mg/l)与德国饮用水规范进行比较

成分	渣类型					德国饮用水规范
	BFs	GBs	BOSs	EAfs	SMPs	
AS	0.00	<0.001	<0.001	<0.01	0.001	0.01
Cd	<0.0001	<0.0005	<0.0001	<0.0005	0.0002	0.005
Cr	<0.002	0.001	0.006	<0.01	0.002	0.05
Cu	<0.001	0.001	0.001	<0.002	<0.001	3#
F	0.47	0.2	2.0	<0.5	2.0	1.5
Hg	<0.0005	<0.0005	<0.0006	<0.0005	<0.0005	0.001
Ni	<0.002	<0.002	<0.002	0.005	0.003	0.05
Pb	<0.001	<0.001	0.001	<0.002	0.02	0.04
SO ₄	168	30	<20	<15	70	240
Zn	<0.01	<0.002	0.01	<0.01	0.01	5#
PH	11.0	10.0	12.1	11.5	12.0	6.5-9.5

高炉渣和钢渣的化学成分和矿物成分与天然石子很相似，所以许多的应用领域也是相似的。在德国根据孔隙率的大小高炉渣被分为A、B和C三个等级[9]，其主要技术性能见表5。高炉渣，钢渣与玄武岩，花岗岩和其它天然石子有着类似的性能，不同之处是钢渣的密度大，运输过程中作为沥青骨料时沥青用料的确方面应考虑钢渣密度大的特点[10]。

表5 钢铁渣的主要技术性能

特 性	骨 料 类 型							德国骨料规范
	BFs-A	BFs-B	BFs-C	BOFs	EAfs	玄武岩	花岗岩	
容重(g/cm ³)	>2.4	>2.1	>2.1	3.0-3.7	3.2-3.8	2.8-3.1	2.6-2.8	
抗冲击性 SZ _{W12} (%)	48-25	55-34	--	10-26	10-26	9-20	12-27	
强度(N/mm ²)	--	--	--	>100	>100	250-400	160-240	
抗风化 ↓ 吸水率(%) ↓ 抗冻融变化 <5mm(%)	<4.0	<6.0	<8.0	0.3-1.0	0.3-1.0	0.3-1.0	0.3-1.1	<0.5
抗抛光性(PSV)	50-60	45-56	--	48-60	50-62	45-56	45-58	--

渣子的利用

渣子可被用于不同的领域。空气冷却高炉渣和钢渣在道路施工中的使用已非常有经验并已有较长的历史。在钢厂附近地区，高炉渣和钢渣一般是道路、地面和机场施工最重要的骨料。空气冷却和水淬高炉渣中的混合物发生的碳酸盐反应和水化反应使其具有明显的特性，这些反应增加了强度提高了道路承载力，如加入转炉渣此特性会更明显。

图 2 是空气冷却，水淬或成珠的高炉渣与转炉渣的混合物，该研究不但经过了实验室试验而且还经过了现场试验。

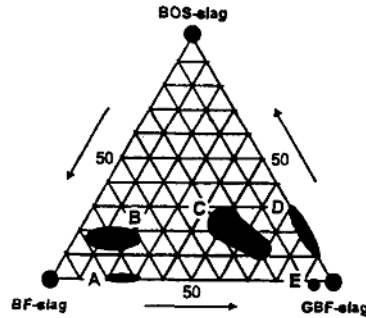


图 2， 高炉渣，水淬渣和钢渣混合物

高炉渣，水淬渣和钢渣的最佳比例，混合物的细度，特别是水淬渣和活性剂（如石灰）的细度可加速硬化。

一个专门的欧洲标准将包括许多不同种类的自硬性矿渣混合物。

由于泡沫渣的容重仅有大约 1g/cm^3 或更低，它对改善沼泽土壤承载力是一个特别适宜的材料，而且块状泡沫渣和水淬高炉渣能作为混凝土的骨料，少量的磨细高炉渣可被用做氧化钙肥料，它可与其它中和性药剂相媲美。渣棉和泡沫渣过去被用于隔热材料。

水泥生产是水淬高炉渣传统的应用领域。

表 6 摘录了含有水淬高炉渣水泥的有关欧洲水泥标准[11]，并将最重要的特性概述表中。

表 6， 水泥中渣的重量百分比（PrEN197-1, 1998[11]）

名称	符号	熟料	高炉渣 硅质粉煤灰	火山灰或	外加剂
波特兰矿渣水泥	CEM II/A-S	80-94	6-20	--	0-5
	CEM II/B-S	65-79	21-35	--	0-5
波特兰复合水泥	CEM II/A-M	80-94	6 - 20		0-5
	CEM II/B-M	65-79	21 - 35		0-5
矿渣水泥	CEM III/A	35-65	36-65	--	0-5
	CEM III/B	20-34	66-80	--	0-5
	CEM III/C	5-19	81-95	--	0-5
复合水泥	CEM V/A	40-64	18-30	18 - 30	0-5
	CEM V/B	20-39	31-50	31 - 50	0-5

高炉矿渣水泥硬化过程的均匀性要好于波特兰水泥，并且，其抗硫酸盐性，抗海水侵蚀性，抗海水或盐中氯化物的浸透性更好些。高炉渣水泥与含有碱金属类硅酸盐的骨料有较好的兼容性。今天，非常重要的高炉渣水泥生产消耗的能源大大低于波特兰水泥生产所消耗的能源。如果添加 75%（重量）的水淬渣，矿渣水泥生产所消耗的能源仅为波特兰水泥生产所消耗能源的 38%。另外，生产过程中的排放也少，如二氧化碳排放。高炉渣水泥优越的性能使得在某些国家用磨细水淬高炉渣作为添加剂替代混凝土中的高炉渣水泥。根据欧洲水泥标准的规定，高炉渣水泥中水淬渣的含量可高达 95%（重量）。混凝土中很少使用如此高的磨细水淬渣作为外加剂。

最后，还有两个应用领域，高炉水淬渣或破碎重矿渣可用于喷砂研磨剂，高炉渣可用于玻璃生产的原材料。

钢渣主要有三个应用领域，用于肥料，循环利用材料及建筑工艺的骨料。

德国 60 年代用于肥料生产的钢渣每年都在 300 万吨以上，但由于矿石中含磷量较高而钢渣中含磷量较低，所以钢渣被迫停止用于磷肥生产。目前高炉渣，转炉渣和二次冶金渣被用于氧化钙类的肥料生产，不久将被列入欧洲标准。

表 7 列举了德国肥料规范中钢铁渣用于肥料的情况。即使目前，碱金属磷酸盐肥料的生产中也使用转炉渣，只不过要加一些化学工业的磷酸盐。

表 7 钢铁渣生产肥料

高炉渣生产氧化钙肥料	钢渣生产氧化钙肥料
高炉渣氧化钙肥料	
颗粒状高炉渣氧化钙肥料	转炉渣氧化钙肥料
用于森林的颗粒状高炉渣氧化钙肥料	颗粒状转炉渣氧化钙肥料
加磷或钾的高炉渣氧化钙肥料	二次冶金渣氧化钙肥料
	加磷的转炉渣氧化钙肥料
	加钾的转炉渣氧化钙肥料
	加磷或钾的颗粒状 二次冶金渣氧化钙肥料
磷肥	磷钾肥
碱金属磷酸盐	磷/钾肥+转炉渣或高炉渣氧化钙

过去另一个非常重要的领域是转炉渣作为配料返回烧结厂或高炉，但由于对热金属中磷的含量有较高的要求，此应用可能性在过去 20 年中大大降低了。所以在建筑业不同领域中的应用可能是转炉渣最重要的应用。

在需要高承载力和耐磨道路项目中以及水路施工中，钢渣比天然骨料和其它相竞争的材料有更多的优点。但有必要进一步研究和开发以提高钢渣的体积稳定性，降低由于水化和其它剥蚀反应生产的细粉量，改善其环境行为，特别是减少浸出率。

实验室和实际操作研究了一些不同的措施，这些改善措施的影响是并发的。例如，对如何降低会造成剥蚀和水化的成分而改善体积稳定性进行了许多研究。虽然固态渣风化处理是最广泛使用的方法，但所造成的细粉又是骨料标准中加以限制的。而且细粉增加了表面反应物的浸出对环境造成不利的影响。所以改善体积稳定性可以减少细粉的产生并改善其环境性能。

在某些钢厂中，体积稳定性在风化之前就已经改善了，这是通过控制喷吹过

程和某些熔剂率来实现的。然而最好的结果是出炉后对液态渣进行处理，从而使渣中游离氧化钙和游离氧化镁的含量达到某些应用领域的要求，该方法可以用于处理所有的渣子，处理后的渣子被进一步加工后可用于道路施工甚至可用于混凝土骨料。

图 3 和图 4 是 1998 年德国对高炉渣，钢渣，包括特钢渣和二次冶金渣的统计结果，高炉渣中（783 万吨）大约 40%是空气冷却渣用于道路施工，少量用于肥料，另外 2.7%的水淬渣也用于此领域。大约 56%是水淬渣，用于水泥生产。钢渣（550 万吨）主要用于公路（23.1%），道路（17.4%），水路（5.3%）施工骨料和其它用途的松散材料（25.9%），其合计为 71.7%，剩余的 17.1%返回高炉，5.4%用于化肥生产，仅有 5.8%——主要是粉碎钢渣不得不被抛弃。

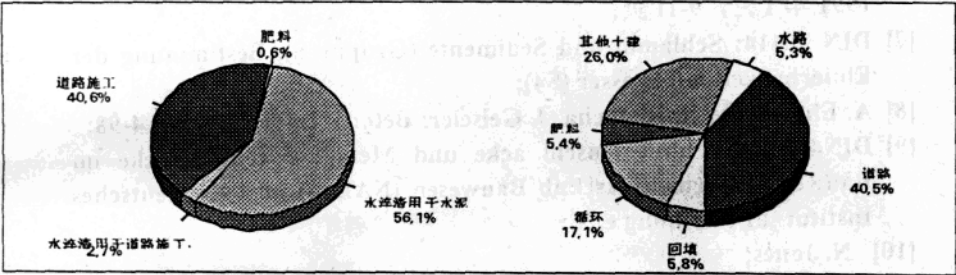


图 3. (左) 1998 年高炉渣在德国的利用 (总利用量 783 万吨)

图 4. (右) 1998 钢渣在德国的利用 (总利用量 550 万吨)

从这些数据可以看出钢铁渣的利用率非常高，其它国家也有相类似的数据，但是我们将继续为还未利用的哪些渣子开发应用领域，并尽可能提高渣子的质量和经济水平。

但是至今为止的利用率强调了冶金渣是已获确认的材料，为了创造美好的未来，必须在全球范围内利用。冶金渣节省自然资源，降低能耗和二氧化碳排放，可以生产具有特性的水泥和可以生产具有较高耐磨性能的骨料。

冶金渣是对环境友善的最好例子，每个人特别是经常引用“可持续发展”口号的人应该支持此项利用。

但如果冶金渣仍被歧视为“废物”，此目标是不会达到的。任何真诚地为美好未来贡献力量的人应该使用此项钢铁工业中已被确认的材料。

在任何时候钢铁工业都是一个循环利用的先锋，废钢的循环利用和早期高水平的利用渣产品就是许多例子中的两例，我们不应该满足于过去的成绩，应继续在较高水平更规范地利用冶金渣。

到目前为止所取得的成绩主要归功于钢铁工业强烈的愿望，即在较经济的基础上解决或防止自己生产中所造成的问题，最近许多年来，政府尽力越来越多地规范冶金渣的使用，这些规范必须不阻碍渣产品的使用。我们认为如将渣产品命名为“废物”则妨碍了渣产品的利用，因为在与自然资源产品的竞争中“废物”影响了渣产品在市场上的形象。欧洲废物目录，经济合作和开发组织废物清单都已做了修改，不再将渣产品列入其中[13]，但在一些国家我们必须去说服有关部门遵循这些国际决定。

参考文献

- [1] 高炉渣和钢渣利用信息日, 欧共体委员会, 1988年1月27日, liege, Palais des Congres;
- [2] J. Geiseler: 废物管理, 16卷, 1-3号, 59-63页, 1996年;
- [3] J. Geiseler: 渣谱集, 第二版, Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh), Verlag Stahleisen GmbH 编辑;
- [4] prEN 13242: 用于土建和道路施工中非黏结和水工黏结性材料的骨料, 欧洲标准委员会, 布鲁塞尔;
- [5] prEN13043: 用于道路, 机场和其他交通地面的沥青混合物和表面整修的骨料, 欧洲标准委员会, 布鲁塞尔;
- [6] J. Geiseler, M. Kuhn, D. Mudersbach: Forschungsinstituts 报告, 1991年1月, 9-11页;
- [7] DIN 38414: Schlamm und Sedimente (Gruppe S), Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S4);
- [8] A. Ehrenberg, R. Bialucha, J. Geiseler: Beton - Informationen 4-98;
- [9] DIN4301: Eisenhüttenschläcke und Metallschläcke im Bauwesen, Normen Ausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.;
- [10] N. Jones;
- [11] prEN 197-1: 水泥 - 第一部分: 普通水泥的组成, 规范和执行标准, 哥本哈根, 1998年9月10-11日 (CEN/TC51 二十四次会议);
- [12] A. Ehrenberg, J. Geiseler: Beton-Informationen 4 - 97;
- [13] OECD.

中国钢铁渣利用的现状和发展方向

冶金部建筑研究总院 朱桂林 孙树杉

摘要: 中国每年排出钢铁渣约 5700 万吨,利用率为 81%。钢渣主要用于炼铁烧结矿原料、生产钢渣水泥、作道路基层材料、配烧水泥熟料、作砖和砌块等。粒化高炉矿渣作水泥混合材和混凝土掺合料。为了提高钢铁渣的活性采用单独粉磨使钢铁渣的比表面积在 $400 \text{ m}^2/\text{kg}$ 以上可生产大掺量矿渣硅酸盐水泥和高标号钢渣水泥及高性能混凝土掺合料。这是钢铁渣高价值利用、节能、降耗、有利于环境保护的重要途径,具有巨大经济效益和社会效益。

关键词: 钢铁渣 成份 钢渣水泥 水泥熟料 烧结矿原料 砖和砌块 水泥混合材 混凝土掺合料

1 前言

六十年代初,中国的钢铁企业大多数采用弃渣工艺,钢渣基本没有利用。高炉渣一部份采用池式法水淬成粒,供水泥厂作掺合料使用,一部份气冷后经破碎筛分作混凝土和道路碎石使用。少量生产矿渣棉和膨胀矿渣轻骨料,生产矿渣砖和矿渣砌块。

六十年代中期开始研究钢铁渣的处理工艺和综合利用。由于高炉渣池式法水淬对环境造成污染,被钢铁企业淘汰,逐步改造为炉前水淬工艺,该工艺简单,对环境污染小,很快被推广使用。随着水泥工业快速发展,对粒化高炉矿渣的需求增大,钢铁企业的高炉矿渣基本上全部水淬供水泥厂使用。

同时对钢渣的处理工艺和综合利用也作了大量的试验研究和工程实践,取得了显著成绩。

钢渣的处理工艺有:热泼堆存、水淬、热闷、风淬等。

钢渣的利用途径有:作水泥、作砖和砌块、作炼铁烧结矿原料、道路基层材料、配烧水泥熟料等。

随着钢铁渣资源化及综合利用工作深入发展,一些钢铁企业组建了冶金渣处理利用公司以专门从事这项工作。国家为鼓励工业渣综合利用,发布了配套的资源综合利用优惠政策,进一步促进了该项工作的发展。

2 钢铁渣利用现状

中国钢铁企业每年排出固体废弃物 1.43 亿吨。利用率为 42%。其中钢渣为 1595 万吨,利用率为 79%;高炉渣 4091 万吨,利用率为 83%。

2.1 钢渣

2.1.1 钢渣的化学成分

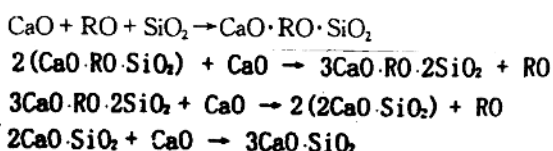
钢渣的化学成分主要有 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 MnO 、 P_2O_5 、 $f-\text{CaO}$ 。其成分数据见表 1。

表 1 钢渣的化学成分 %

厂 名	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	FeO	MnO	P_2O_5	$f-\text{CaO}$
首都钢铁公司	15.86	22.37	3.88	44.00	10.04	7.30	1.11	1.31	0.80
本溪钢铁公司	15.99	12.29	3.00	41.14	9.22	7.34	1.34	0.56	0.80
唐山钢铁公司	13.38	12.73	2.54	40.30	9.05	14.06	1.88	1.40	0.84
太原钢铁公司	14.22	7.26	2.86	49.80	9.29	13.29	1.06	0.56	1.57
鞍山钢铁公司	12.15	8.79	3.29	45.37	7.98	18.40	2.31	0.72	0.95
马鞍山钢铁公司	15.55	5.19	3.84	43.15	3.42	19.22	2.31	4.08	3.56
临汾钢铁公司	18.52	4.72	4.76	48.14	6.90	10.66	1.60	1.13	1.23

2.1.2 钢渣的矿物组成

钢渣的矿物组成主要取决于化学成分。根据碱度 $\text{CaO}/(\text{SiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5)$ 可分为橄榄石渣、蔷薇辉石渣、硅酸二钙渣、硅酸三钙渣。在冶炼过程中随着碱度的提高,则依次发生下列取代反应:



式中 RO 代表 2 价金属(一般为 Mg^{+2} 、 Fe^{+2} 、 Mn^{+2})氧化物连续固溶体。

钢渣的主要矿物常为: C_2S 、 C_3S 、 CRS 、 C_3RS_2 和 C_7PS_2 (纳盖斯密特石)。

2.1.3 钢渣的结构

经大量试验研究可知,钢渣慢冷或急冷其结构均为晶体结构,不出现玻璃体,这和高炉矿渣有很大区别。

2.1.4 钢渣的利用

2.1.4.1 钢渣水泥

冶金部建筑研究总院从六十年代开始进行钢渣水泥的试验研究、生产、标准制订和推广。目前全国钢渣水泥年产量约 300 万吨。在工业建筑、民用建筑、道路工程、机场道面、大型水库等大体积混凝土工程中普遍应用已有 25 年的历史。

钢渣由于含有与硅酸盐水泥熟料相同的硅酸二钙(C_2S)和硅酸三钙(C_3S),含量在 50% 以上,由于它是在 1500°C 以上温度下生成因此称为过烧熟料。由于钢渣中 C_2S 的含量较多,水泥的后期强度持续增长。如水泥的 7 天抗压强度为 35MPa,28 天为 51.3MPa,360 天为 62.4MPa,10 年为 110MPa。