

## 钢铁渣的综合利用现状及发展趋势

刘洋, 张春霞

(钢铁研究总院 先进钢铁流程与材料国家重点实验室, 北京 100081)

**摘要:**近年来我国积极探索钢铁渣综合利用技术, 力争开发一些生产流程简单、成本较低、社会需求量大、的新产品。本文在对比论述国内外钢铁渣利用现状的基础上, 总结出我国钢铁渣现有应用主要集中在建材方面, 在农业方面还没有应用。同时, 基于国内外研究热点提出钢铁渣在农业应用产品、生态修复产品及高附加值建材方面为综合利用发展趋势, 并分别对其进行简要介绍, 为我国钢铁渣高附加值利用提供参考。

**关键词:**钢铁渣; 综合利用率; 现状; 发展趋势; 农业应用

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2019.02.004

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2019)02-0021-05

随着我国钢铁工业的快速发展, 钢铁炉渣的产生量大幅增加, 累积堆存的炉渣也大幅增加。长期堆存的炉渣风化后产生大量粉尘, 污染空气; 未经处理或处理不当的炉渣长期淋滤后能缓慢解离出有毒、有害元素和物质, 随雨雪水流入地表水体或渗入土壤, 污染水源; 炉渣集中堆放大量成分进入土壤会使土质改变、土壤结构破坏, 污染土壤。合理的钢铁渣应用, 既对环保有重要意义, 同时能够带来显著的经济效益<sup>[1]</sup>。

### 1 钢铁渣利用现状

德国及欧洲部分国家、日本、美国的高炉渣利用率早已达到 100%, 转炉渣也已经有较高的利用率。钢铁渣利用率一直较低, 仅 2005 年至 2014 年末利用的高炉渣累积已达 4.57 亿 t<sup>[2-4]</sup>, 高炉渣的综合利用率虽逐年提升, 但最高也只有 82%, 而转炉渣的综合利用率则从未突破 30%, 见图 1。

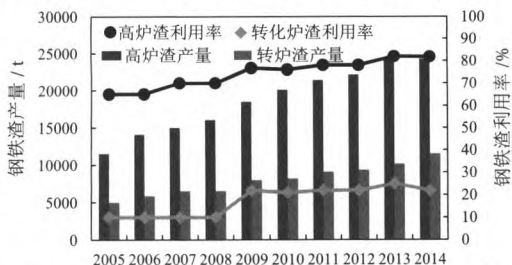


图 1 2005~2014 年我国钢铁渣产量及综合利用率  
Fig.1 Production and comprehensive utilization rate of iron and steel slag in China from 2005 to 2014

### 2 钢铁渣利用途径

将中国<sup>[3]</sup>、德国<sup>[5]</sup>、日本<sup>[6]</sup>、美国<sup>[7-8]</sup>2013 年高炉渣、转炉渣的主要用途及所占比例作图, 见图 2<sup>[3, 5-8]</sup>、图 3<sup>[3, 5-8]</sup>。

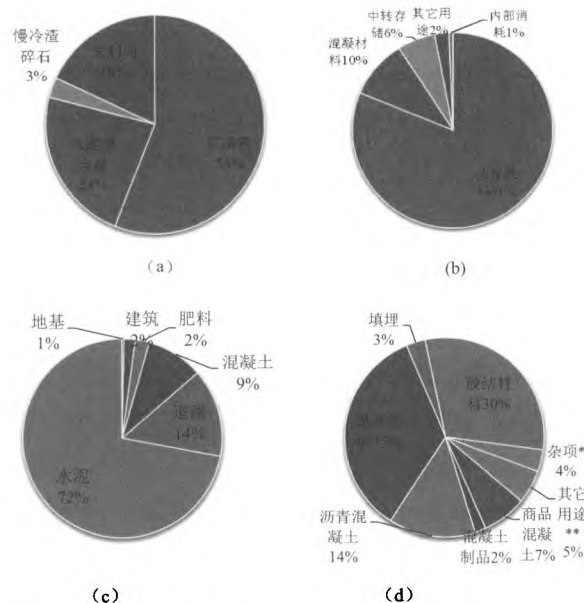


图 2 2013 年中、德、日、美四国高炉渣利用途径及所占比例

Fig.2 Utilization and proportion of blast furnace slag in China, Germany, Japan and the United States in 2013

a. 中国; b. 德国; c. 日本 (\* 其他主要包括肥料、土壤调理剂等); d. 美国 (\* 用做铁路道碴、屋顶骨料、绝缘/矿物棉或土壤调理剂, \*\* 包括高炉返回料及其他用途)

收稿日期: 2017-12-06

作者简介: 刘洋 (1985-), 女, 博士, 主要从事冶金环保研究。

从图 2 中可见, 各国的高炉渣主要利用途径为水泥、混凝土、混凝土制品及路基。我国高炉渣的主要利用途径为矿渣粉占约占总量的 56%, 水泥混合料占 23% 左右, 慢冷渣碎石约 3%。日本有约 2% 左右的高炉渣用作肥料, 美国有部分高炉渣用作土壤调理剂, 我国暂且没有高炉渣作为农业产品应用。

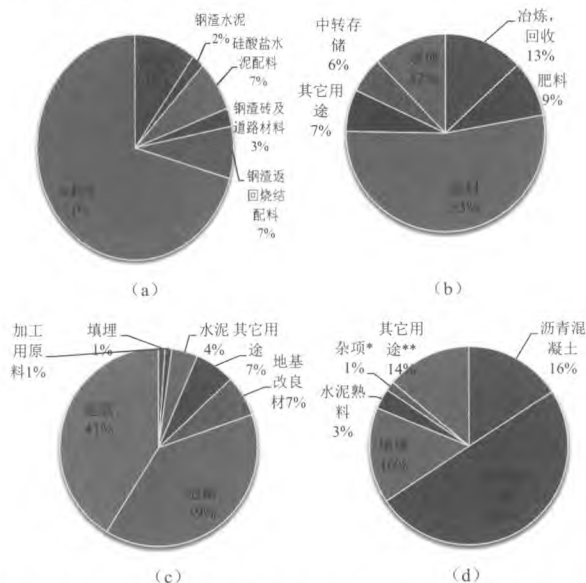


图 3 2013 年中、德、日、美四国炼钢渣利用途径及所占比例

Fig. 3 Utilization and proportion of steelmaking slag in China, Germany, Japan and the United States in 2013

a. 中国; b. 德国; c. 日本 (\* 其他主要包括肥料、土壤调理剂等); d. 美国 (\* 用做铁路道碴、屋顶骨料、绝缘/矿物棉或土壤调理剂, \*\* 包括高炉返回料及其他用途)

从图 3 中可见, 我国钢渣的主要利用途径有五方面: 钢渣粉、钢渣水泥、硅酸盐水泥配料、钢渣砖及道路材料、钢渣返回烧结配料, 主要应用途径集中在建材工业, 场内循环应用, 利用途径较多, 但利用的量有待提高, 在农业中仍然没有利用。而德国、日本、美国的转炉渣都有在农业上的应用, 尤其是德国用于肥料的量占总量的 9% 左右。

从高炉渣及转炉渣的应用可以看出, 各国钢铁渣主要用作基础建材方面, 日本、德国、美国还有部分钢铁渣用于农业应用产品, 而我国在此方面还没有应用统计。

### 3 钢铁渣综合利用发展趋势

钢铁渣资源化利用问题具有一定的复杂性, 应从提高钢铁渣综合利用率, 拓宽钢铁渣应用途径, 开发高附加值产品等方面着手研究。从国内外研究热点方向来看, 钢铁渣综合利用发展趋势集中在以下几方面:

#### 3.1 开发农业应用产品

钢铁渣的主要含有大量的  $\text{CaO}$ 、 $\text{SiO}_2$  和  $\text{MgO}$  及少量的  $\text{Fe}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{P}$ 、 $\text{S}$  等植物生长、土壤肥力所需元素。日本、美国、德国等, 在农业生产中使用钢铁渣已经有上百年历史经验。我国在炉渣农业应用方面研究起步较晚, 通过多年的施用实践证明将钢铁渣应用于农业生产能够取得很好的效果。钢铁渣在农业方面的应用, 主要作为硅肥、土壤改良剂或微量元素肥料使用。

##### (1) 硅肥

硅是农作物生长的必需元素, 它有增产效果、抗倒伏能力、增强作物抗虫害作用。日本、韩国将高炉渣粉碎磨细到一定粒度即可当作硅肥施入田地<sup>[20-21]</sup>。高炉渣施用于多种土质及作物上, 均取得良好的效果: 例如分别在白浆土、生草棕壤、冲击性草甸土中施入高炉渣, 使小麦籽实产量分别增加 15.6%~66.1%, 7.0%~34.4%, 3.8%~9.5%<sup>[22]</sup>; 水稻应用实践显示<sup>[23-24]</sup>, 施加炉渣硅肥可以使水稻产量增加 12.5%~15.5%; 在淤泥中甘蔗施用炉渣可使其产量及含糖量分别增加 68% 和 79%, 同时周围的截根植物均大幅增产<sup>[25]</sup>。

##### (2) 土壤改良剂

对于酸性土壤的改良, 一般选用施加石灰来调节酸性土壤 pH 值、改善其内部结构等, 但长年累月施用石灰会引起土壤中硅、镁、钙等元素失衡, 影响农作物的质量和产量。钢铁渣中富含钙、镁、硅等元素, 既可以使酸性土壤得到改善, 又可以补充土壤中的营养元素, 有利于作物增产。Geiseler J, Kuehn M 在文献<sup>[26]</sup>中提到, 炉渣被用做石灰肥施用于酸性较轻的土壤。在文献<sup>[27-28]</sup>中提及高炉渣用作石灰肥, 能有效缓解并修复土壤酸化。

钢铁渣用于农田重金属污染土壤改良的研究较多, 例如: Larsson M. A.<sup>[29]</sup> 用高炉渣降低田地

的钒生物活性; Hassan O. A. B. 和 Allan M. L. 用高炉渣来修复铬污染的田地<sup>[30-31]</sup>。QIU Hao 等通过盆栽试验得到转炉渣能明显降低复合重金属(Pb, Cd, Cu 和 Zn)污染的酸性土壤中全部重金属元素的生物活性<sup>[32]</sup>。中外许多学者发现在施用转炉渣后土壤中的 Pb, Cd, Cu 和 Zn 的生物活性被明显抑制, 污染土壤得到有效改良<sup>[33-37]</sup>。

### (3) 微量元素肥

现如今制约农作物生长的因素已经由 N、P、K 转为 Zn、Mn、Fe、B、Mo 等微量元素, 微量元素肥料的重要性逐渐被人们重视。钢铁渣中含有相当的 Mn、Fe 等有利于作物生长的微量元素, 向高温熔融渣中添加作物生长必需的 Zn、Mo、B 等矿物粉末, 能够合成具有缓释效果的复合微量元素肥料。在缺乏微量元素的土地中施加, 可以补充其缺失的营养元素, 利于植物生长<sup>[38-39]</sup>。

## 3.2 开发生态修复产品

### (1) 污水处理剂

钢铁渣本身具有较好的多孔结构和较大的比表面积, 且其水溶液又具有强碱性, 能够与水中的金属阳离子形成氢氧化物沉淀。使用原钢渣或改性钢渣吸附废水中重金属离子的研究成果有很多, 例如: 处理含铬废水<sup>[40-41]</sup>, 对  $\text{Cr}^{6+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$  的去除率受 Ph 值变化影响较小一直稳定 99% 以上; 处理含铅废水<sup>[41-42]</sup>, 对  $\text{Pb}^{2+}$  的吸附去除效果显著。

### (2) 海洋修复材料

人工鱼礁是人类为改善近海生态环境在海中设置的构造物。利用钢铁渣复合材料制造鱼礁既能满足耐腐蚀、可塑性强的特点, 同时能够避免普通混凝土鱼礁原料成本高, 内部碱性强不利于藻类附着及鱼类增殖的缺点<sup>[43-45]</sup>。我国相关研究起步较国外晚<sup>[43]</sup>, 但鞍钢及北京科技大学等单位的研究已取的良好效果<sup>[43-44]</sup>。

### (3) 问题土地修复材料

我国有大面积以  $\text{Cl}^-$  为主且含  $\text{SO}_4^{2-}$  等多种离子的高含盐量盐渍土, 工程建设时需对其处理, 用固化剂固化盐渍土是重要的处理方法, 钢铁渣粉固化剂既能吸收  $\text{Cl}^-$ , 又能吸引  $\text{Na}^+$  进入硅酸盐骨架, 进而减轻  $\text{Cl}^-$  和  $\text{Na}^+$  对土壤的危害<sup>[46-48]</sup>。

## 3.3 生产高附加值建材

### (1) 矿棉板

矿渣棉是以高炉渣炉渣为主要原料(约 80% ~ 90%), 加入白云石、萤石等成分, 与焦炭燃料一起加热熔化后, 采用喷吹或离心等方法制成的一种白色棉丝状矿物纤维。这样矿渣棉具有质轻、保温、隔声、隔热和防震等性能。矿渣棉可用作保温材料、吸音材料和防火材料等, 用它加工的成品广泛用于冶金、机械、建筑、化工及交通等部门<sup>[49]</sup>。

### (2) 微晶玻璃

水淬高炉渣是具有很高潜在活性的玻璃体结构材料, 且资源丰富, 可用于制成炉渣微晶玻璃<sup>[50-53]</sup>。国外早在 20 世纪初期就开始了高炉渣微晶玻璃的开发研究, 以高炉渣为主要原料, 添加适当辅助原料, 成功生产出性能优良的高炉渣微晶玻璃。近年来, 我国加大了对高炉渣微晶玻璃的研究力度, 一些高校、钢铁企业也成功试制了高炉渣微晶玻璃, 高炉渣加入量达到 50% - 95%, 利用率较高, 提高了高炉渣附加值, 开发前景广阔。

### (3) 透水砖

透水砖是一种新型的绿色环保建材, 它具有良好渗水性及保水性, 能有效缓解城市由于地面铺装覆盖不透水的路砖带来的“城市荒漠化”及“热岛效应”, 有利于保持城市水平衡。钢铁渣在适合的工艺下能够合成透水系数好, 抗压强度高的透水砖, 该类砖既能有效改善城市排水, 又有较强的经济性<sup>[54-56]</sup>。

## 4 结 论

近年来我国积极探索钢铁渣综合利用技术, 力争开发一些生产流程简单、成本较低、社会需求量的新产品, 使研究成果能得到普遍应用, 最终朝着使钢铁渣元素价值最大化, 生态效益显著化利用方向发展, 综上所述可见:

(1) 中国、日本、德国、美国四国的钢铁渣主要用作基础建材生产。

(2) 日本、德国、美国均有部分钢铁渣用于农业应用产品, 而我国在此方面还没有统计报道, 因此钢铁渣应用在农业应用方面将会是我国一大发展方向。

(3) 开发生态修复产品、生产高附加值建材也是很有经济价值及环保意义的方向。

钢铁渣在我国是一种尚未完全开发利用的资源,其综合利用不仅可以减轻环境负担,还能够创造可观的经济效益,是循环经济、可持续发展的必由路径,是钢铁企业创收、挖潜的必争环节。

## 参考文献:

- [1] 朱广宇. 钢铁渣处理的意义和综合利用 [J]. 化学工程与装备, 2015(3):237-238.
- [2] 朱桂林, 杨景玲, 郝以党, 等. 我国钢铁渣综合利用“十一五”现状和“十二五”展望 [J]. 中国钢铁业, 2011(7):12-17.
- [3] 中国废钢铁应用协会冶金渣开发利用工作委员会, 2013 年钢铁渣综合利用基本情况 [J]. 中国废钢铁, 2014, 01:21.
- [4] 中国废钢铁应用协会冶金渣开发利用工作委员会, 2013 年 -2014 年全国钢铁渣数据统计表 [J]. 中国废钢铁, 2015, 01:36.
- [5] Euro Slag Association. Statistic Data (Blast furnace and steel) 2014 [DB/OL]. <http://www.euroslag.org/products/statistics/2014/>
- [6] 鐵鋼スラグ協会. 平成 26 年, 鉄鋼スラグ統計年報 (平成 25 年度実績): 東京, 日本, 鐵鋼スラグ協会, 12-25.
- [7] American Iron and Steel Institute, 2014, Annual statistical report: Washington, DC, American Iron and Steel Institute, 115-120.
- [8] Slag Cement Association, 2014, U.S. slag cement shipments: Farmington Hills, MI, Slag Cement Association. [DB/OL] <http://www.slagcement.org/News/Shipments.html>. Accessed January 30, 2017
- [9] 朱晓丽, 周美茹. 水淬高炉矿渣综合利用途径 [J]. 中国资源综合利用, 2005 (7): 8.
- [10] 王明玉, 刘晓华, 隋智通. 冶金废渣的综合利用技术 [J]. 矿产综合利用, 2003 (3): 28.
- [11] 诸铮. 高炉矿渣的处理和利用 [J]. 科技情报开发与经济, 2005 (6): 126.
- [12] 王廷顺. 粒化高炉渣在混凝土中的应用 [J]. 鞍钢技术, 2003 (5): 41.
- [13] 杨合, 赵苏. 高炉渣在建材领域的应用 [J]. 矿产保护与利用, 2004 (2): 47.
- [14] 汪涛. 高炉矿渣微粉的开发与利用 [J]. 淮南职业技术学院学报, 2003, 3 (8): 87.
- [15] Huiting Shen, E. Forssberg. An overview of recovery of metals from slags [J]. Waste Management, 2003, 23: 933.
- [16] 中国水泥网, 2015 年 1-6 月水泥行业利润数据简评 [DB/OL]. <http://index.ccement.com/>
- [17] 王琳, 孙本良, 李成威. 钢渣处理与综合利用 [J]. 冶金能源, 2007, 26(4):54-57.
- [18] 任奇, 王颖杰, 李双林. 钢渣处理与综合利用技术 [J]. 钢铁研究, 2012, 40(1):54-57.
- [19] U.S. Geological Survey. Iron and Steel Slag Statistics and Information [DB/OL] [http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron & steel slag/](http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron&steelslag/)
- [20] 傅云荣. 含硅化合物作肥料的研究 [J]. 湖北化工, 1996 (4): 52.
- [21] Segawa, Hirosh I, A kizuki. Process for producing potassium silicate fertilizer and apparatus for practicing said process: America, US4313753A [P]. 1982.
- [22] 朱淇, 陈恩凤. 钢铁炉渣的性质及施用于不同土类中对农作物的作用 [J]. 土壤学报, 1963, 11(1):70.
- [23] 杨丹. 几种工矿废渣在水稻土中硅素肥料效应的研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2004.
- [24] 宋业文, 舒红, 李东雷, 等. 高炉废渣在水稻施肥上的利用 [J]. 环境保护, 1999, 3:43.
- [25] Narayan K. Savant, Gaspar H. Korndörfer, Lawrence E. Datnoff, et al. Silicon nutrition and sugarcane production: A review [J]. Journal of Plant Nutrition, 1999, 22(12):1853-1903.
- [26] Geiseler J., Kuehn M. 钢铁渣肥料 [C]. 冶金渣处理与利用国际研讨会文集, 北京: 中国金属学会, 1999.
- [27] Crane, F. H. A comparison of some effects of blast furnace slag and of limestone on an acid soil [J]. I. Amer. Soc. Agron, 1930, 22:968.
- [28] Carter, O.R., Collier, B.L. Davis, F.L. Blast furnace slags as agriculture liming materials [J]. Agron. J., 1951, 43:430.
- [29] Larsson M A, Stijn B, Erik S, et al. Vanadium bioavailability in soils amended with blast furnace slag [J]. Journal of Hazardous Materials, 2015, 296:158-165.
- [30] Hassan O A B. Remediation of Chromium-Contaminated Soil using blast Furnace Slag [J]. International Journal of Sustainable Development & Planning, 2011, 6(1):81-90.
- [31] Allan M L, Kukacka L E. Blast furnace slag-modified grouts for in situ, stabilization of chromium-contaminated soil [J]. Waste Management, 1995, 15(3):193-202.
- [32] Qiu Hao, Gu Haihong, HE Er-Kai, WANG Shi-Zhong and QIU Rong-Liang. Attenuation of Metal Bioavailability in Acidic Multi-Metal Contaminated Soil Treated with Fly Ash and Steel Slag [J]. PEDOSPHERE (土壤圈 (英文版)), 2012, 22(4):544-553.
- [33] Gu Haihong, Li Zhongwei, Yu Qiang. A Review of the Effects of Steel Slag on Remediation of Heavy Metal Contaminated Acidic Soil [J]. Chinese Agricultural Science

Bulletin, 2012, 28(20):243-249.

[34] Haihong G U, Fuping L I, Guan X, et al. Remediation of Steel Slag on Acidic Soil Contaminated by Heavy Metal[J]. Asian Agricultural Research, 2013(5):100-104.

[35] Zhu L, Wu Y, Jin Q, et al. Advancement in Research on Application of Steel Slag in Treatment of Mild to Moderate Heavy Metal Contaminated Acidic Soil[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2014.

[36] Haihong G U, Fuping L I, Guan X, et al. Remediation of Steel Slag on Acidic Soil Contaminated by Heavy Metal[J]. Asian Agricultural Research, 2013(5):100-104.

[37] Yang G, Li H, Long T, et al. Research on Remediation Mechanism of Heavy Metal Soil by Steel Slag Based Solidification Agent[J]. Non-Metallic Mines, 2016.

[38] 张悦. 由含钛高炉渣合成固态复合肥的研究[D]. 沈阳: 沈阳, 东北大学, 2008.

[39] 吴志宏. 利用钢铁渣合成无机微量营养元素肥料的应用基础研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2006.

[40] 马岩. 钢渣处理 Cr(VI) 废水的试验研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2010.

[41] 马少健, 刘盛余, 胡治流, 等. 钢渣吸附剂对铬和铅重金属离子的吸附特性研究[J]. 有色矿冶, 2004, 20(4):57-59.

[42] 张龙强. 钢渣处理含铅、镉废水的性能研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2015.

[43] 王中杰, 倪文, 伏程红, 等. 钢渣-矿渣基绿色人工鱼礁混凝土的制备[J]. 矿产综合利用, 2012(5):39-43.

[44] 李琳琳, 李晓阳, 苏兴文, 等. 钢渣制备高强度人工鱼礁混凝土[J]. 金属矿山, 2012, 41(3):158-162.

[45] 高橋, 達人, 藪田, 和哉. 鉄鋼スラグ利材化技術(環境調和型鉄鋼技術小特集)[J]. Nkk 技報, 2002:43-48.

[46] Yin Cheng, Hao Yu, Bao-lin Zhu, 等. 矿渣固化氯盐渍土强度变化规律试验研究[J]. Journal of Zhejiang University-SCIENCE A, 2016, 17(5):389-398.

[47] 刘诚斌, 纪洪广, 刘娟红, 等. 矿渣复合胶凝材料固化滨海盐渍土的试验研究[J]. 建筑材料学报, 2015, 18(1):82-87.

[48] TASONG, W. A. Utilisation of ground granulated blast furnace slag to prevent sulphate attack of lime-stabilised clay soil[J]. Stabilized Soils, 1999.

[49] 苏兴文, 李晓阳, 解斌. 利用熔融高炉渣生产高质量矿棉板的应用[J]. 中国废钢铁, 2015 (1): 23.

[50] 陈进利. 利用高炉渣制备微晶玻璃的研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2009.

[51] 蒋伟锋. 高炉水渣综合利用 -- 用高比例高炉水渣制造微晶玻璃[J]. 中国资源综合利用, 2003 (3):28.

[52] 许淑惠. 矿渣微晶玻璃产品的研究与开发[J]. 玻璃与搪瓷, 2002 (2):51.

[53] 刘智伟, 孙业新, 种振宇, 李志峰. 利用高炉矿渣生产微晶玻璃的可行性分析[J]. 山东冶金, 2006, 28:49.

[54] 张学臣, 程卫国, 郭军辉, 等. 一种自洁式透水砖及其制备方法[P]. 中国: CN 101445340 B, 2011.

[55] 高翠莲. 一种添加钢渣的路面铺设用透水砖[P]. 中国: 105330324A. 2016.

[56] 郝洪顺, 徐利华, 张作顺, 等. 高炉矿渣二次资源合成绿色无机材料的研究进展[J]. 材料导报, 2010, 24(21):97-100.

## Comprehensive Utilization Situation and Development Trend of Iron and Steel Slag in China and Abroad

Liu Yang, Zhang Chunxia

(State Key Laboratory of Advanced Steel Processing and Products, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing, China)

**Abstract:** In recent years, China has actively explored the comprehensive utilization technology of steel slag, and has been striving to develop new products with simple production process, lower cost and larger social demand. In this paper, based on the contrast of utilization situation of iron and steel slag at home and abroad, it concludes that the existing application of iron and steel slag in China is mainly focused on building materials, and there are not applications in agriculture. Based on hot spots of domestic and foreign researches, trends of comprehensive utilization are iron and steel slag application in agriculture products, ecological restoration products and the development of high value-added building materials is proposed and briefly introduced. It provides reference for the high added-value utilization of steel slag in China.

**Keywords:** Iron and steel slag; Comprehensive utilization; Utilization situation; Development trend; Agricultural application