

# 中国铝的社会蓄积量及折旧再生指数分析

岳 强, 杜 岩, 王鹤鸣

(东北大学 国家环境保护生态工业重点实验室, 辽宁 沈阳 110819)

**摘 要:** 我国近些年来原铝产量和消费量快速增长, 铝土矿资源严重不足, 在很大程度上依赖于进口. 随着铝社会蓄积量的增大, 废铝资源将越来越多, 并在铝工业中发挥更大的作用. 通过对我国铝的社会蓄积量及其平均年龄、回收率、折旧再生指数等进行分析, 得到以下结果: 1990年~2010年铝的社会蓄积量从723万t增长到10355万t; 2010年铝制品的平均年龄约为4.3年, 折旧再生指数和铝的社会蓄积量回收率分别为0.0747 t/t和1.17%. 基于未来铝消费的3种情景进行了分析, 在情景3下: 预计我国铝的社会蓄积量在2035年达到最大值6亿t, 2055年稳定在5.7亿t; 铝制品平均年龄在2040年达到最大值(7.13年), 同年折旧再生指数达到最大值(0.79 t/t), 铝的社会蓄积量回收率也达到最大值(5.05%). 研究结果将为铝工业相关政策的制定提供一定的参考.

**关 键 词:** 铝; 废铝; 社会蓄积量; 平均年龄; 回收率; 折旧再生指数

中图分类号: TF 821

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2015)09-1297-05

## Analysis of Al-Contents in Social Stock and the Regeneration Index of Depreciated Aluminum Products in China

YUE Qiang, DU Yan, WANG He-ming

(State Environmental Protection Key Laboratory of Eco-Industry, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Corresponding author: YUE Qiang, E-mail: yueq@smm.neu.edu.cn)

**Abstract:** Aluminum production and consumption have increased quickly in China in recent years, while bauxite is in severely shortage and has to be imported from overseas. With the increment of aluminum social stock, the old scrap will become larger and play a greater role in aluminum industry. The social stock of aluminum, average age, old scrap recovery rate and regeneration index were analyzed. The results showed that social stock of aluminum in China increased from 7.23 million tons to 103.55 million tons in the period 1990~2010. The average age of aluminum products in social stock was about 4.3 years, and the regeneration index of depreciated aluminum products and recovery rate of aluminum social stock were 0.0747 t/t and 1.17 percent, respectively, in 2010. Three scenarios analysis for different aluminum consumption conditions were carried out, and under the third scenario: the amount of aluminum social stock will reach 6 hundred million tons in 2035 and keep constant at 5.7 hundred million tons in 2055. In the year 2040, the average age of aluminum products in social stock will reach its maximum value at 7.13 years, the regeneration index of depreciated aluminum products and recovery rate of aluminum social stock will also get their maximum value in the same year, and the values were 0.79 t/t and 5.05%, respectively. The analyzing results will give some references for the policy making of aluminum industry.

**Key words:** aluminum; aluminum scrap; social stock; average age; recovery rate; regeneration index of depreciated products

目前我国已成为世界最大的铝生产国和消费国. 然而, 随着产能和需求不断攀升, 中国铝工业

资源短缺问题日益凸显,矿石供保量严重不足.近几年我国铝土矿对外依存度均超过 50%.统计显示,中国铝土矿资源基础储量为 7 亿 t 左右,资源储备为 5.55 亿 t 左右,仅占世界总储量的 3%,且可开采的资源较少,品位低.这一因素进一步促使中国对进口铝土矿资源的依赖度逐渐加强<sup>[1]</sup>.

伴随着铝消费量的快速增加,铝社会蓄积量也快速增加,而铝社会蓄积量是折旧废铝的来源.可以预见:未来可供回收的废铝资源将越来越多,并将在铝工业中发挥更大的作用.因此,本文将对

我国铝的社会蓄积量及其平均年龄、回收率、折旧再生指数等进行分析.研究结果将为我国铝工业相关政策的制定提供一定的参考.

## 1 我国铝的社会蓄积量及平均年龄

我国 1990 年~2010 年原铝产量和消费量的变化如表 1 所示<sup>[2]</sup>,在此期间,原铝产量和消费量的年递增率已分别达到 15.90% 和 16.45%.

表 1 我国 1990 年~2010 年原铝产量和消费量

Table 1	Aluminum production and consumption in China during the period 1990~2010										万 t
变量	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
产量	85.43	96.25	109.60	125.15	149.84	186.97	190.07	217.86	243.53	280.89	298.92
消费量	83.68	98.50	132.80	135.00	153.70	168.50	175.00	211.50	242.54	292.59	353.27
变量	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	年递增率
产量	357.58	451.11	596.20	668.88	780.60	926.40	1 228.40	1 317.60	1 289.05	1 624.41	15.90%
消费量	354.54	415.20	517.76	619.09	711.86	838.00	1 197.90	1 179.21	1 380.00	1 749.00	16.45%

设定铝制品的平均使用寿命为 15 年<sup>[3-4]</sup>,参考《中国有色金属工业年鉴》<sup>[2]</sup>及文献<sup>[5]</sup>中给出的金属社会蓄积量的计算方法,得到我国铝社会蓄积量的变化如图 1 所示.

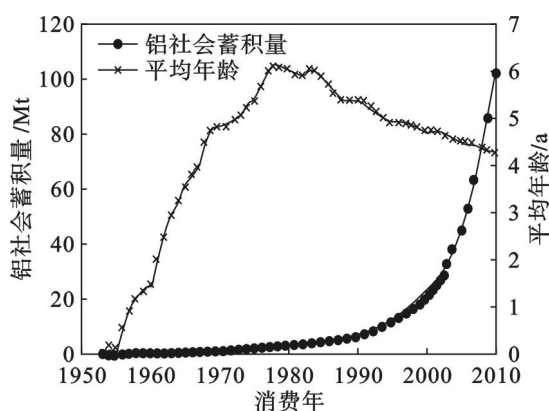


图 1 我国 1953~2010 年铝的社会蓄积量及其平均年龄  
Fig. 1 Variation of aluminum social stock and its average age in China in 1953~2010

由图 1 可见:2000 年之前的铝的社会蓄积量呈线性变化,增长率不是很大;2000 年之后蓄积量增长速度变大,说明在此之后我国对铝的需求量在快速增加.1990 年时铝的社会蓄积量为 723 万 t;2010 年时铝的社会蓄积量已达到 10 355 万 t.

根据社会蓄积量中制品平均年龄的计算公式<sup>[5]</sup>,图 1 中同时给出了我国铝社会蓄积量中铝制品平均年龄的变化.由图可见,平均年龄在 1978 年达到最大值,为 6.14 年;在这之后,平均年龄逐步下降,2010 年最小,为 4.34 年.从 1953

年到 1978 年我国铝的平均年龄一直增加,之后开始下降.1978 年刚好是改革开放,之前我国的铝工业产量很低且增速较慢,改革开放以后我国工业开始发展,铝工业也逐步发展起来,铝的产量及消费量与改革开放之前相比有较大提升,所以在这之后的一段时间社会蓄积量中铝制品平均年龄保持下降的趋势.2000 年以来,铝的消费量随年度呈现二次曲线递增关系,进入流通的铝大部分是新产生的铝,因此铝制品的平均年龄越来越小.

## 2 我国铝的折旧再生指数

铝的折旧再生指数定义为统计期内进入铝工业的折旧再生铝产量与同期内原铝的产量之比,即如式(1)所示:

$$\rho_u = \frac{\alpha M_{\tau-\Delta\tau}}{P_\tau} \quad (1)$$

式中: $\rho_u$  为折旧再生指数,t/t; $M_{\tau-\Delta\tau}$  为第  $\tau-\Delta\tau$  年度铝的消费量,t/a; $P_\tau$  为第  $\tau$  年度原铝的产量,t/a; $\alpha$  为废铝回收利用率,% .文献中给出“铝制品的平均使用年限按 15 年计算,废铝回收利用率为 72%”<sup>[6-8]</sup>.

根据折旧废铝资源量与铝的社会蓄积量,可定义第  $\tau$  年铝社会蓄积量的回收率为

$$R_\tau = Z_\tau / S_\tau \quad (2)$$

式中: $R_\tau$  为铝社会蓄积量回收率,% ; $Z_\tau$  为折旧废铝资源量(数值上等于  $M_{\tau-\Delta\tau}$ ),t/a; $S_\tau$  为铝的社

会蓄积量, t/a.

参考《中国有色金属工业年鉴》<sup>[2]</sup> 及上节中计算得到的铝社会蓄积量数值, 得到了我国再生铝指数及铝社会蓄积量回收率的变化, 见图 2.

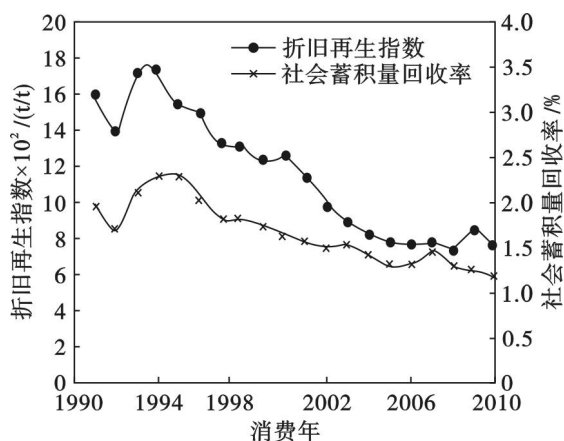


图2 我国1991年~2010年铝的折旧再生指数和铝的社会蓄积量回收率

Fig. 2 Regeneration index of depreciated aluminum products and recovery rate of social stock in China in 1991~2010

由图2可见: 1) 折旧再生指数从1994年开始逐年降低, 2000年~2007年以来快速下降. 出现这种状况的原因是2000年之前铝产量呈线性增长, 增长较缓慢; 2000年~2007年铝产量增长速度明显加快(2008年, 2009年由于受全球金融危机影响, 2008年铝产量增加不多, 2009年有所下降), 近乎二次曲线增长. 铝产量的增长速度超过报废铝制品的增长速度, 因此铝的折旧再生指数呈下降趋势. 2) 我国现阶段铝的社会蓄积量回收率很小, 并且1995年以后总体上是逐年降低的. 社会蓄积量回收率很小是因为现阶段铝社会蓄积量的基数已经很大, 而报废的铝量却还保持着15年前的增长速度. 因此现阶段社会蓄积量回收率很小. 铝的社会蓄积量回收率能够从一定程度上反映出我国废铝回收量与社会蓄积量之间的关系<sup>[9]</sup>.

### 3 我国铝的社会蓄积量及其平均年龄的情景分析

#### 3.1 铝社会蓄积量的情景分析

本文基于3种情景开展了分析:

情景1: 我国原铝消费量在2015年、2020年、2025年和2030年分别为2 600万t、3 900万t、5 500万t和7 400万t<sup>[10]</sup>, 之后依旧在逐步增加;

情景2: 2030年左右我国已经完成工业化, 铝

的消费水平基本稳定;

情景3: 2020年后, 我国原铝消费增长放缓, 2025年左右原铝消费需求达到顶点, 消费需求约为4 200万t, 而后原铝消费缓慢下降, 2040年原铝消费需求下降到3 800万t左右<sup>[11]</sup>.

以上3种情景下铝消费量的变化如图3所示.

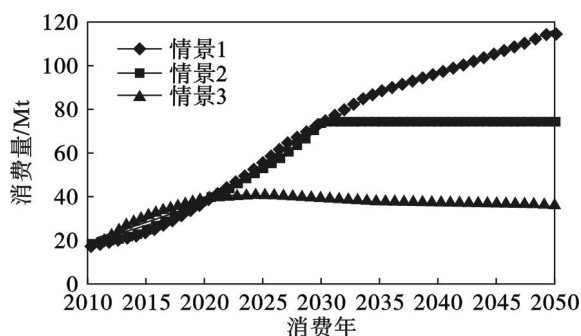


图3 3种情景下铝的消费量变化

Fig. 3 Variation of aluminum consumption under the three scenarios

根据以上3种情景, 可得到我国铝社会蓄积量的变化, 如图4所示. 从图4中可以看出:

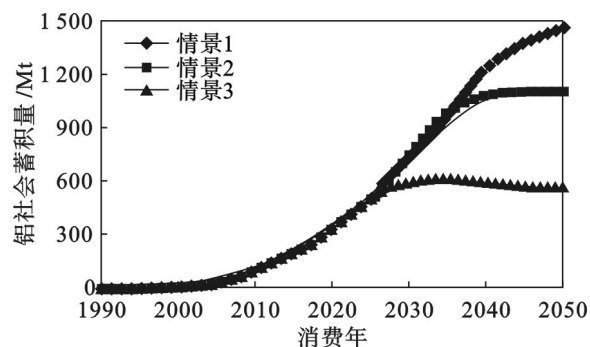


图4 三种情景下我国铝社会蓄积量的变化

Fig. 4 Variation of aluminum social stock in China under the three scenarios

1) 在2025年左右, 情景3与其他两种假设情景出现分歧, 情景3中铝的社会蓄积量逐渐走向稳定; 2035年左右另外两种假设也开始出现分歧, 情景2中铝的社会蓄积量开始缓慢增长并逐步稳定; 情景1中铝的社会蓄积量依旧不断增加.

2) 情景1中, 我国铝的社会蓄积量不断增长, 这种情况是非常危险的, 同时也是不期望的. 因为过大的铝社会蓄积量是由过高的铝产量及其过快增长带来的, 生产这些铝将消耗大量的铝土矿、能源等, 产生大量的废弃物, 这种状况在实际工作中是无法接受的, 我国的资源环境也将面临巨大的压力; 情景2中, 铝社会蓄积量在2040年左右趋于稳定, 但是最终的社会蓄积量已经超过10亿t, 这个数值也是偏大的, 虽然相比于情景1中铝的社会蓄积量不会继续增长, 但是就目前的



情况来看形成 10 亿 t 的社会蓄积量生产过程中带来的资源环境压力也是无法承受的,因此情景 2 的结果在实际工作中也是不期望的;情景 3 中,2020 年之前的增长速度较快,之后逐渐变缓,在 2035 年铝的社会蓄积量达到最大值约 6 亿 t,之后缓慢下降. 根据铝的消费预测来看,预计在 2055 年我国铝的社会蓄积量能够到达最终的稳定阶段(5.7 亿 t 左右). 3 种情景中情景 3 是能够被接受且期望实现的.

### 3.2 铝社会蓄积量平均年龄的走势分析

根据以上 3 种情景,可得到我国铝社会蓄积量中金属制品平均年龄的变化,如图 5 所示. 从图 5 中可以看出:

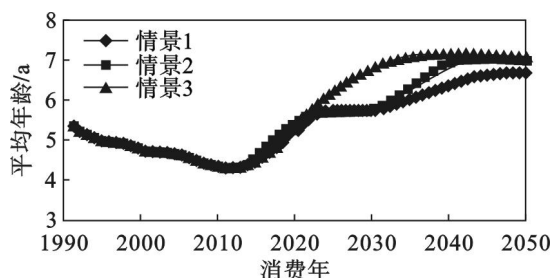


图 5 3 种情景下我国铝社会蓄积量中铝制品平均年龄变化

Fig. 5 Variation of average age of products in a aluminum social stock in China under the three scenarios

1) 在 3 种情景分析中有一点是相似的:现阶段我国社会蓄积量中的铝制品正处在最年轻的阶段,之后我国铝制品的平均年龄开始逐渐增长. 3 种情景中,2011 年之后的增长速度各不相同,平均年龄的增长速度与铝的消费量的变化有一定的关系. 情景 3 中铝的消费量增长速度是最慢的,并且在 2025 年之后还有所减少,情景 1 和情景 2 中铝的消费量增长速度大于情景 3,因此情景 3 中平均年龄增长速度明显大于其他两种情景.

2) 情景 1 中社会蓄积量中铝制品平均年龄一直在不断增加并没有达到稳态阶段. 情景 2 和情景 3 平均年龄都逐渐趋于稳定,但是趋于稳定的方式不同:情景 2 中铝制品的平均年龄是在不断增长中趋于稳定的;而情景 3 中在 2040 年平均年龄达到最大值 7.13 年,之后又有所减小,稳定在 7.0 年左右.

## 4 我国铝折旧再生指数的展望分析

情景 3 是比较期望实现的,未来铝消费量增加不是很明显,相应地铝工业给资源环境的压力

就小些. 在情景 3 下,我国铝的折旧再生指数和铝社会蓄积量回收率的变化如图 6 所示.

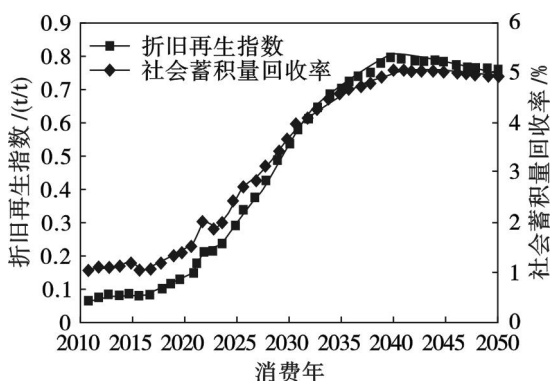


图 6 我国铝的折旧再生指数和铝社会蓄积量回收率变化

Fig. 6 Variation of regeneration index of depreciated aluminum products and recovery rate of aluminum social stock in China

从图 6 可以看出:

1) 折旧再生指数( $\rho_u$ )不断增加而后稍有降低,2025 年前  $\rho_u$  增速较缓,2025 年~2040 年间  $\rho_u$  增速加快,2040 年之后  $\rho_u$  稍有降低. 2025 年时折旧再生指数将达到 0.30 t/t.

2) 折旧再生指数与社会蓄积量回收率具有一定的同步性. 在不考虑废杂铝出口的情况下,折旧再生指数在 2040 年将达到最大值(0.79 t/t); 铝的社会蓄积量回收率在 2040 年也将达到最大值(5.05%).

要实现情景 3,我国铝工业应提高铝资源的使用效率,减少铝资源的浪费,同时尽可能提高单位在役铝创造的 GDP 值等<sup>[12-13]</sup>.

## 5 结 论

1) 1990 年~2010 年我国铝的社会蓄积量从 723 万 t 增长到 10 355 万 t.

2) 在情景 3 下:在 2035 年我国铝的社会蓄积量将达到最大值 6 亿 t 左右,之后将缓慢下降,预计在 2055 年稳定在 5.7 亿 t.

3) 现阶段我国社会蓄积量中铝制品的平均年龄在 4.3 年左右,未来将稳定在 7.0 年左右.

4) 在情景 3 下:我国 2025 年对铝工业折旧再生指数将达到 0.3 t/t,在 2040 年达到最大值 0.79 t/t.

### 参考文献:

- [1] 中研网. 我国铝土矿却比较匮乏, 对外依存度较高[EB/OL]. (2014-08-04) [2014-08-15]. <http://www.chinairn.com/news/20140804/174433505.shtml>.

- (ChinaIRN. Bauxite is insufficient and highly depended on importing in China [EB/OL]. (2014-08-04) [2014-08-15]. <http://www.chinairn.com/news/20140804/174433505.shtml>.)
- [2] 中国有色金属工业年鉴编委会. 中国有色金属工业年鉴 1991-2011 [M]. 北京: 中国印刷总公司, 1992-2012. (Editorial Board of China Nonferrous Metals Industry Yearbook. China nonferrous metals industry yearbook 1991-2011 [M]. Beijing: China General Print Company, 1992-2012.)
- [3] Melo M T. Statistical analysis of metal scrap generation: the case of aluminium in Germany [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 1999, 26(2): 91-113.
- [4] 岳强, 王鹤鸣, 陆钟武. 中国 2003 年至 2007 年铝循环分析 [J]. 资源科学, 2010, 32(3): 472-477. (Yue Qiang, Wang He-ming, Lu Zhong-wu. Analysis of the aluminum cycle in China during the period 2003-2007 [J]. *Resources Science*, 2010, 32(3): 472-477.)
- [5] 岳强, 陆钟武. 关于金属物质社会蓄积量的分析 [J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2009, 30(6): 845-848, 852. (Yue Qiang, Lu Zhong-wu. Analysis of social stocks of metallic substance [J]. *Journal of Northeastern University: Natural Science*, 2009, 30(6): 845-848, 852.)
- [6] Hatayama H, Yamada H, Daigo I, et al. Dynamic substance flow analysis of aluminum and its alloying elements [J]. *Journal of the Japan Institute of Metals*, 2006, 70(12): 975-980.
- [7] Plunkert P A. Aluminum recycling in the United States in 2000 [EB/OL]. (2009-08-10) [2012-01-16]. <http://pubs.usgs.gov/circ/c1196w/c1196w.pdf>.
- [8] Chen W Q, Shi L, Qian Y. Substance flow analysis of aluminium in mainland China for 2001, 2004 and 2007: exploring its initial sources, eventual sinks and the pathways linking them [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2010, 54(9): 557-570.
- [9] Brunner P H, Rechberger H. Practical handbook of material flow analysis [M]. Boca Raton: Lewis Publishers, 2004.
- [10] 许国栋, 敖宏, 余元冠. 我国原铝消费规律研究及消费量预测 [J]. 中国管理信息化, 2013, 16(11): 31-36. (Xu Guo-dong, Ao Hong, She Yuan-guan. Study on the aluminium consumption rule and consumption forecasting in China [J]. *China Management Informationization*, 2013, 16(11): 31-36.)
- [11] 邱哲生. 中国原铝消费现状分析及未来消费需求预测 [D]. 昆明: 云南大学, 2010. (Qiu Zhe-sheng. The Chinese primary aluminum consumption analysis and future consumption demand forecasting [D]. Kunming: Yunnan University, 2010.)
- [12] Yue Q, Wang H M, Lu Z W, et al. Analysis of anthropogenic aluminum cycle in China [J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2014, 24(4): 1134-1144.
- [13] Liu G, Müller D B. Addressing sustainability in the aluminum industry: a critical review of life cycle assessments [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2012, 35: 108-117.

(上接第 1296 页)

可从微观角度对炉内物料运动流型和瞬态特性进行分析研究。

2) COREX 竖炉内部存在三种类型的流动区域: 活塞流区、准停滞区以及沟流区。

3) 计算获得炉内颗粒的瞬态速度分布, 存在两种类型的速度波: 装料过程引发的向下传播的速度波和底部排料引发的向上传播的速度波。

4) COREX 竖炉内颗粒法向应力随时间的变化较小, 竖炉底部导流锥顶部存在较强的应力区, 而无导流锥竖炉底部中心存在最强应力区, 而沟流区的应力最弱。

#### 参考文献:

- [1] Anameric B, Kawatra S K. Direct iron smelting reduction processes [J]. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 2008, 30(1): 1-51.
- [2] Kumar P P, Garg L M, Gupta S S. Modelling of COREX process for optimisation of operational parameters [J]. *Ironmaking Steelmaking*, 2006, 33(1): 29-33.
- [3] Qu Y X, Zou Z S, Xiao Y P. A comprehensive static model for COREX process [J]. *ISIJ International*, 2012, 52(12): 2186-2193.
- [4] Li H F, Luo Z G, Zou Z S, et al. Mathematical simulation of burden distribution in COREX melter gasifier by discrete element method [J]. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 2012, 19(9): 36-42.
- [5] 孙俊杰, 周恒, 罗志国, 等. COREX 熔化气炉风口回旋区 CFD + DEM 数值模拟 [J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2013, 34(6): 824-827, 844. (Sun Jun-jie, Zhou Heng, Luo Zhi-guo, et al. Numerical simulation of COREX raceway by coupling between CFD and DEM [J]. *Journal of Northeastern University: Natural Science*, 2013, 34(6): 824-827, 844.)
- [6] Han L H, Luo Z G, Zhou X L, et al. Influence of burden distribution on temperature distribution in COREX melter gasifier [J]. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 2013, 20(3): 30-35.
- [7] Li Q, Feng M X, Zou Z S. Validation and calibration approach for discrete element simulation of burden charging in pre-reduction shaft furnace of COREX process [J]. *ISIJ International*, 2013, 53(8): 1365-1371.
- [8] Lee Y J. A scaled model study on the solid flow in a shaft type furnace [J]. *Powder Technology*, 1999, 102(2): 194-201.
- [9] Zhou H, Zou Z S, Luo Z G, et al. Analyses of solid flow in latest design COREX shaft furnace by physical simulation [J]. *Ironmaking Steelmaking*, 2015, 42(3): 209-216.
- [10] Zhou Z Y, Zhu H P, Yu A B, et al. Discrete particle simulation of solid flow in a model blast furnace [J]. *ISIJ International*, 2005, 45(12): 1828-1837.
- [11] Natusi S, Nogami H, Ueda S, et al. Simultaneous three-dimensional analysis of gas-solid flow in blast furnace by combining discrete element method and computational fluid dynamics [J]. *ISIJ International*, 2011, 51(1): 41-50.
- [12] Zhou Z Y, Zhu H P, Wright B, et al. Gas-solid flow in an ironmaking blast furnace-I: discrete particle simulation [J]. *Powder Technology*, 2011, 208(1): 72-85.
- [13] Kou M Y, Wu S L, Du K P, et al. DEM simulation of burden distribution in the upper part of COREX shaft furnace [J]. *ISIJ International*, 2013, 53(6): 1002-1009.
- [14] Kou M Y, Wu S L, Shen W, et al. Distribution of particle descending velocity in the COREX shaft furnace with DEM simulation [J]. *ISIJ International*, 2013, 53(12): 2080-2089.