

# 中国铜铝铅锌矿产资源开发利用现状 及安全供应战略研究

孙传尧<sup>1,2</sup>, 宋振国<sup>1,2</sup>, 朱阳戈<sup>1,2</sup>, 吴熙群<sup>1,2</sup>

(1. 北京矿冶科技集团有限公司, 北京 100160; 2. 矿物加工科学与技术国家重点实验室, 北京 102628)

**摘要:** 作为国民经济发展的重要基础原料, 铜、铝、铅、锌是消费量最大的有色金属。近十多年来, 中国铜、铝、铅、锌产量和消费量连续高居世界第一, 但矿山资源产量远不能满足国内的消费需要, 对外依存度居高不下。本文通过对中国铜、铝、铅、锌开发利用现状研究和未来需求预测, 分析了国内外资源及二次资源对其消费需求的保障程度, 据此制定铜、铝、铅、锌矿产资源安全供应战略, 从国内供应、境外开发、国际市场三方面, 在矿产品、再生金属以及精炼金属三个环节, 定量构建未来 20 年有色金属安全保障目标, 通过加大国内勘查开发力度、提高国内供应能力、坚持境内资源绿色可持续开发、加强二次资源回收、积极利用境外资源等多种途径, 保障有色金属资源安全。

**关键词:** 矿产资源; 有色金属; 安全供应; 铜、铝、铅、锌

**中图分类号:** F424      **文献标识码:** A

## Exploitation and Utilization Status and Safe Supply Strategy of Copper, Aluminum, Lead, and Zinc Resources in China

Sun Chuanyao<sup>1,2</sup>, Song Zhenguo<sup>1,2</sup>, Zhu Yangge<sup>1,2</sup>, Wu Xiqun<sup>1,2</sup>

(1. Beijing General Research Institute of Mining & Metallurgy Technology Group, Beijing 100160, China;

2. State Key Laboratory of Mineral Processing Science and Technology, Beijing 102628, China)

**Abstract:** As important raw materials for national economic development, copper (Cu), aluminum (Al), lead (Pb), and zinc (Zn) are the most consumed non-ferrous metals. China's Cu, Al, Pb, Zn production and consumption have consistently ranked first in the world for more than a decade, but the output of mining resources is far from meeting domestic consumption, which leads to a high degree of dependence on foreign resources. Based on exploitation and utilization status study and future demand forecast of Cu, Al, Pb, Zn in China, this paper analyzes the guarantee level of domestic, foreign, and secondary resources to the consumption demands, and formulates a safe supply strategy for Cu, Al, Pb, Zn resources. The safety guarantee target for Cu, Al, Pb, Zn metals in the next 20 years will be quantitatively constructed from the three sources of domestic supply, overseas development, and international trade, and from the three procedures of mineral products, recycled metals, and refined metals. Various strategic measures should be implemented to ensure the safety of Cu, Al, Pb, Zn metal resources, such as increasing domestic exploration and development, improving domestic supply capacity, adhering to green and sustainable development of domestic resources, strengthening secondary resource recovery, and actively utilizing overseas resources.

**Keywords:** mineral resources; non-ferrous metal; safe supply; copper, aluminum, lead, and zinc

收稿日期: 2018-12-15; 修回日期: 2019-01-22

通讯作者: 宋振国, 北京矿冶科技集团有限公司, 教授级高级工程师, 主要研究方向为矿产资源高效开发利用;

E-mail: songzhenguo@bgrimm.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“矿产资源强国战略研究”(2015-XZ-35)

本刊网址: www.ensci.cn

有色金属行业是我国经济发展的重要组成部分，有色金属矿产资源供应保障是经济可持续发展的基础。其中，铜、铝、铅、锌消费量占有色金属消费总量的95%以上，是重要的基础性有色金属资源，多年来一直存在国内资源难以保障消费需求、对外依存度高的问题。基于此，本文重点研究我国铜、铝、铅、锌矿产资源的开发利用现状及供需问题，为其安全供应提供借鉴。

## 一、我国铜铝铅锌矿产资源开发利用现状

### (一) 产量和消费量居世界第一位，进出口保持较快增长

中国是全球最大的有色金属生产国和消费国。2011—2016年中国及世界铜、铝、铅、锌等有色金属生产和消费量如表1和表2所示[1~6]。经测算，2016年我国铜、铝、铅、锌金属产量分别占全球产量的35.9%、56.0%、41.6%、45.6%，消费量分别占全球消费量的49.9%、54.5%、41.3%、48.1%。

我国有色金属消费强度连续多年处于高位。与先期工业化国家相比，我国单位GDP有色金属消费强度更高，铜、铝、铅、锌单位GDP消费量均为世界最高，人均消费量也较高。表3所示为2015年我国铜、铝、铅、锌的消费强度[5,7]。

我国有色金属进口量一直呈增长趋势，铜、铝、铅、锌矿产品进口量居世界第一，进口量居世界第一位的产品种类有：铜精矿、废杂铜、精炼铜、铝土矿、氧化铝、铅精矿和锌精矿。我国同时也是重要的铜、铝、铅、锌出口国，总出口量逐年增长，出口产品多以初级加工品或冶炼产品为主，产品附加值低。

### (二) 国内资源开发强度大，对外依存度高

我国铜、铝、铅、锌矿产资源产量增长快，开发强度大。表4列举了2016年我国铜、铝、铅、锌储量与矿产品产量占世界总量的比例[8,9]。表4中数据表明，我国铜、铝、铅、锌矿产资源开发强度高于全球总体开发强度，超过世界平均水平。

我国当前处于工业化中后期，矿产资源需求旺盛，尽管有色金属矿山产量逐年增加，但仍不能满足国内消费需要，国内铜、铝、铅、锌资源供应缺口呈扩大趋势，对国外资源依赖程度高。2011—2016年我国铜、铝、铅、锌的对外依存度如表5所示[9,10]。

### (三) 境外矿产资源权益及开发能力提高，但境外资源控制力不足

基于对境外资源的高度依赖，不少企业走出

表1 中国与世界铜、铝、铅、锌金属产量

×10<sup>4</sup>t(金属量)

年份	精炼铜		原铝		精炼铅		锌锭	
	中国	世界	中国	世界	中国	世界	中国	世界
2011年	516.3	1981.8	1813.5	4479.0	460.4	1033.6	521.2	1312.0
2012年	587.9	2035.8	2025.1	4633.0	459.1	1037.8	488.1	1263.5
2013年	666.7	2118.0	2315.5	4861.5	493.5	1068.8	528.0	1324.3
2014年	764.9	2248.0	2831.7	5310.9	470.4	1092.5	580.7	1350.8
2015年	796.9	2308.3	3151.8	5662.1	442.2	1059.4	611.6	1393.2
2016年	845.5	2354.5	3269.8	5837.4	460.4	1105.2	619.6	1357.2

表2 中国与世界铜、铝、铅、锌金属消费量

×10<sup>4</sup>t(金属量)

年份	精炼铜		原铝		精炼铅		锌锭	
	中国	世界	中国	世界	中国	世界	中国	世界
2011年	788.1	1956.6	1770.2	4267.3	430.0	1032.2	546.0	1255.3
2012年	889.6	2011.8	2025.8	4553.4	461.8	1040.0	539.6	1222.7
2013年	983.0	2098.1	2195.5	4606.4	446.7	1039.1	599.5	1315.1
2014年	945.0	2288.6	2700.0	5310.0	490.0	1089.8	635.0	1373.1
2015年	1135.3	2261.6	3106.8	5708.4	381.6	1002.6	648.8	1385.0
2016年	1164.2	2333.1	3161.5	5800.8	465.5	1126.6	669.3	1390.7

表 3 2015 年我国铜、铝、铅、锌消费强度

产品		消费量 / $\times 10^4$ t	人口数 / 万人	GDP 总量 / 亿美元	人均消耗 / (t/ 万人)	单位消耗 / (t/ 亿美元)
精炼铜	世界	2261.56	726231	740000	31.14	30.56
	中国	1135.31	137462	99863	82.59	113.69
	美国	178.90	32310	185690	55.37	9.63
原铝	世界	5708.43	726231	740000	78.60	77.14
	中国	3106.81	137462	99863	226.01	311.11
	美国	532.50	32310	185690	164.81	28.68
精炼铅	世界	1002.57	726231	740000	13.81	13.55
	中国	381.62	137462	99863	27.76	38.21
	美国	159.00	32310	185690	49.21	8.56
锌锭	世界	1384.97	726231	740000	19.07	18.72
	中国	648.74	137462	99863	47.19	64.96
	美国	93.10	32310	185690	28.81	5.01

表 4 2016 年我国铜、铝、铅、锌储量和矿产品产量占世界总量比例

 $\times 10^4$  t (金属量)

矿种	储量		产量		储量占比 / %	产量占比 / %
	中国	世界	中国	世界		
铜	2800	72000	185.1	2074.7	3.9	8.9
铅	1700	8800	233.8	480.1	19.3	48.6
锌	4000	22000	471.1	1230.2	18.2	38.3
铝土矿 *	98000	2800000	6861.6	27497.0	3.5	25.0

注: \* 铝土矿为矿石量。

表 5 2011—2016 年我国铜、铝、铅、锌对外依存度

%

金属	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年
铜	64.0	62.4	58.4	71.4	65.8	64.1
铝	56.5	52.8	78.6	40.3	47.6	40.4
铅	18.5	13.4	16.2	8.7	12.9	12.7
锌	30.6	9.8	11.9	14.3	24.4	25.0

注: 对外依存度 = 金属净进口量 (不含废旧金属) / 金属消费量。

去参与境外矿产资源勘查开发, 取得了一定量有价值的矿业权和矿产地。据不完全统计, 中国企业在境外已经拥有权益铜资源量  $1 \times 10^8$  t、权益铝土矿资源量  $2 \times 10^9$  t、权益铅、锌资源量  $5 \times 10^7$  t 以上。在此基础上, 已形成了一定规模的铜、铝、铅、锌权益产能。但是, 中国矿业公司在资源性资产配置方面, 无论是资源种类、禀赋状况还是资源总量与世界矿业发达国家相比差距明显 [11,12]。总体上, 中国对全球资源的控制力还比较弱, 境外权益资源产量占进口资源量的比例低, 这成为中国经济和社会可持续发展的不安全因素。

#### (四) 再生有色金属产量显著提高, 循环利用率与发达国家有较大差距

近年来, 中国再生有色金属产量一直保持着持续增长的态势, 特别是铜、铝和铅二次金属回收与生产发展迅速, 这在很大程度上弥补了境内有色金属矿产资源不足的缺陷。表 6 所列为 2010—2016 年中国再生铜、铝、铅、锌金属产量 [1~6], 到 2016 年, 铜、铝、铅再生金属产量分别占其金属总产量的 26.1%、19.3%、36.0%, 为满足国内有色金属消费需求做出了一定贡献。当前美国等西方发达国家铜、铝、铅、锌的循环再生比例已超过 60%, 有的国家

甚至已没有处理原生矿的冶炼厂。中国再生有色金属利用率与发达国家相比差距明显。造成这一现象的原因,除了有色金属再生产业自身的因素之外,还与当今中国工业化程度及社会发展阶段有关。

### (五) 铜铝铅锌产业结构有待进一步调整

长期以来,中国铜、铝、铅、锌产业结构不尽合理,加工、冶炼、选矿、采矿产能呈“倒三角形”结构。近年来国家有关部门从宏观调控角度推行了系列政策严控新增产能、加快退出过剩产能和落后产能,促进有色金属工业调结构、促转型、增效益。但是总体上国内铜、铝、铅、锌矿产资源开发规模仍无法满足冶炼加工产能,而冶炼加工初级产品又有一定比例用于出口,产业结构还有待进一步完善。

## 二、我国铜铝铅锌需求预测及资源可供性分析

### (一) 需求预测

中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心对一百年来主要工业化国家的矿产资源消费规律进行了研究,提出了人均矿产资源消费量与人均GDP的“S”形曲线关系[13]。中国经济已从中高速发展转向高质量发展阶段,根据“S”形曲线理论,有色金属消费总量在一段时期内还将保持增长,铜、铝、铅、锌作为重要的基础原材料,未来仍将是消费需求重点。总体判断,中国对有色金属的需求将在2025至2030年达到峰值,在此之前对金属矿产资源需求仍为刚性,但需求增幅趋缓。

全球矿产资源战略研究中心、有色金属工业协

会等采用“S”曲线预测法、消费强度预测法等不同预测方法分别对中国未来铜、铝、铅、锌消费量进行了预测,得到的铜、铝、铅、锌消费量峰值预测结果如表7所示[14,15]。不同预测机构和预测方法对消费需求的预测存在一定差异,但总体上我国铜、铝、铅、锌消费量将长期保持在较高水平。

考虑到环境承载能力及我国目前有色金属矿山的生产情况,预计未来10~15年铜、铝、铅、锌采选行业产能规模维持现有水平或略有增加。铜、铝、铅再生金属产量预计将有较大幅度的提高。据此预测当有色金属需求达到峰值时我国铜、铝、铅、锌矿山、冶金和再生金属产量及其对预测消费量的保证程度如表8所示[14~16]。届时铜、铝、铅、锌仍有较大的消费缺口,需要通过国际市场购买、境外开发和产业转移等方式获得。

### (二) 资源可供性分析

#### 1. 国内资源可供性

我国铜、铝、铅、锌矿产资源静态保障年限都比较低(见表9),难以保证经济和社会发展的需要。如果按实际消费量测算,保障年限更低,资源约束对中国经济发展的影响越来越大。表9测算的数据为静态保证年限[6,17],我国铜、铝、铅、锌资源还有较大的找矿潜力,随着地质勘探程度的增加,国内铜、铝、铅、锌可利用资源量可能还会有较大幅度的提升。但总体上国内铜、铝、铅、锌矿产资源难以满足消费需求,部分需要依赖境外矿产资源。

#### 2. 国际资源及二次资源可供性

总体来说,全球的铜、铝、铅、锌资源比较丰富,保障程度较高[18]。随着全球矿产资源勘探技

表6 2010—2016年我国再生铜、铝、铅、锌金属产量

×10<sup>4</sup>t

金属	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年
铜	162.0	180.0	190.8	215.6	225.5	229.7	220.9
铝	400.0	440.0	482.6	527.3	447.8	577.6	629.8
铅	136.3	140.4	136.6	150.7	153.1	155.2	166.3
锌	17.5	17.3	11.5	21.5	21.3	23.2	21.4

表7 我国铜、铝、铅、锌消费量峰值及时间预测结果

×10<sup>4</sup>t

预测方法	精炼铜	精炼铝	精炼铅	精炼锌
“S”曲线预测法	1500 (2025年)	3300 (2025年)	820 (2030年)	1050 (2030年)
消费强度预测法(2030年)	1300	4300	550	770

表 8 我国铜、铝、铅、锌消费需求峰值保证度分析

金属	时间 / 年	矿山产量 /×10 <sup>4</sup> t	再生金属 (国内) /×10 <sup>4</sup> t	预测需求量 /×10 <sup>4</sup> t	一次资源 保证度 /%	国内再生资源 保证度 /%	总保证度 /%
铜	2025	200	300~400	1500	13.3	20.0~26.7	33.3~40.0
铝	2030	900	600~900	4300	20.9	14.0~20.9	34.9~41.8
铅	2030	300	200~300	820	36.6	24.4~36.6	61.0~73.2
锌	2030	530	30~60	1050	50.5	2.9~5.8	53.4~56.3

表 9 我国铜、铝、铅、锌资源静态保障年限

矿种	基础储量	矿山产量	静态保障年限 * / 年
铜 /×10 <sup>4</sup> t	2621.0	185.1	14.2
铅 /×10 <sup>4</sup> t	1808.6	233.7	7.7
锌 /×10 <sup>4</sup> t	4439.1	471.0	9.4
铝土矿 /×10 <sup>8</sup> t	10.1	0.69	14.6

注: \* 以 2016 年产量为计算基数。

术的发展与地质勘探投资的加大,全球铜、铝、铅、锌矿产资源探明储量增长速度也在加快。尽管全球资源丰富,但如前所述,中国对海外资源控制力还较弱。

随着全球有色金属消费的稳步增长,有色金属社会蓄积量也在不断增加,在承载有色金属消费的终端产品生命周期结束后,可供回收利用的废旧金属资源也将越来越多。受经济发展水平和回收利用技术制约,目前中国再生有色金属资源在短时间内还无法像发达国家那样形成大规模循环利用的局面。根据铜、铝、铅、锌等产品的生命周期,预测未来 15 年内再生有色金属铜、铝、铅、锌产量均会保持持续增长。再生资源将在 2020 年以后发挥越来越大的作用。

### 三、我国铜铝铅锌安全供应战略

根据未来中国经济社会发展愿景,结合中国铜、铝、铅、锌消费预测,从国内供应、境外开发、国际市场三方面,在矿产品、再生金属以及精炼金属三个环节,定量构建未来 20 年铜、铝、铅、锌安全保障目标。同时通过加大国内勘查开发力度,提高国内供应能力,坚持境内资源绿色可持续开发,加强二次资源回收,积极利用境外资源等多种途径,保障铜、铝、铅、锌资源供应安全。具体战略措施如下所述。

(1) 加强国内资源勘查,建立新的矿产资源开发利用和储备基地。继续加大勘探投入,进一步加

强国内重点成矿地带的普查与勘探,提高资源探明率,增加国内后备有色金属矿产资源。继续加强现有大型矿山周边和深部的二轮找矿,摸边探底,增加资源量,延长矿山服务年限。提高铜、铝、铅、锌重点矿区高级别资源量的详查力度,推进查明资源储量升级,切实增加可利用的资源量。

(2) 深化与资源丰富国家的共赢合作开发,提高海外资源开发比重。研究世界铜、铝、铅、锌矿产资源的分布及供给能力,重视境外优势资源国家的互补互惠和优化配置,寻求建立稳固的矿产资源战略合作关系。建立全球资源储、产、运、贸、供需与市场信息网络,形成多元化的矿产资源进口渠道。

(3) 加快技术创新步伐,切实提高境内资源开发利用水平。建立符合我国发展需求和矿产资源特色、具备国际竞争力的工程技术创新体系,通过技术创新推动相关产业的结构调整和转型升级,推动铜、铝、铅、锌工业生产智能化发展,提高中国铜、铝、铅、锌矿产资源领域可持续发展和资源供应能力。

(4) 重视资源开发过程中的环境保护,推动资源产业绿色发展。加强矿产资源开发周期内的环境影响评价,合理有序开采生态脆弱地区的矿产资源。实施“源头预防、清洁生产、末端治理”的生产全过程综合防控。开展土地复垦与生态恢复工作,加强污染土壤修复及矿区生态环境重建。

(5) 大力发展二次资源回收利用产业,建立并完善资源循环经济体系。开发废旧金属资源循环先

进生产工艺并推进其产业化,提高再生金属比例和废旧金属资源循环利用率,大幅降低中国对境外资源的依赖,构建有色金属资源循环经济。

(6) 培育具有国际竞争力的“探-采-选-冶”一体化的国际化大型矿产资源企业集团。支持不同类型矿产资源企业之间、矿产资源公司与金融公司、矿山资源公司与勘探公司之间以及上下游企业间的联合,鼓励跨行业联合,鼓励市场机制下的国内、国际并购和兼并重组,提高全球铜、铝、铅、锌矿产资源的掌控能力,提高对国际市场供求关系、特别是价格的影响力。

(7) 建立并完善我国铜、铝、铅、锌矿业资本市场体系。促进矿业市场与资本市场的结合,改变中国矿业权传统交易模式,增加风险勘探融资渠道,通过发展成熟的矿业资本市场体系,提高中国在全球矿业资本市场上的话语权。

(8) 充分发挥国家宏观调控功能,建议有关部门针对境内资源勘查与开发、二次资源循环利用和境外资源开发及产能合作制定相关鼓励政策。

#### 四、结语

铜、铝、铅、锌作为重要的基础原材料,其在中国的产量和消费量已连续十几年位居世界首位,但国内矿山产量难以满足消费需求,对外依存度高。总体判断,中国有色金属消费总量在一段时期内还将保持增长,国内矿产资源难以满足消费需求,仍需要大量依赖境外矿产资源。为了满足中国经济发展对铜、铝、铅、锌矿产资源的需求,需要同时通过加大国内勘查开发力度,提高国内供应能力,坚持境内资源绿色可持续开发,加强二次资源回收,积极利用境外资源等多种途径,保障有色金属资源安全。

#### 参考文献

- [1] 中国有色金属工业协会. 中国有色金属工业年鉴2012 [R]. 北京: 中国有色金属工业协会, 2012.  
China Nonferrous Metals Industry Association. The yearbook of nonferrous metals industry of China (2012) [R]. Beijing: China Nonferrous Metals Industry Association, 2012.
- [2] 中国有色金属工业协会. 中国有色金属工业年鉴2013 [R]. 北京: 中国有色金属工业协会, 2013.  
China Nonferrous Metals Industry Association. The yearbook of nonferrous metals industry of China (2013) [R]. Beijing: China Nonferrous Metals Industry Association, 2013.

- [3] 中国有色金属工业协会. 中国有色金属工业年鉴2014 [R]. 北京: 中国有色金属工业协会, 2014.  
China Nonferrous Metals Industry Association. The yearbook of nonferrous metals industry of China (2014) [R]. Beijing: China Nonferrous Metals Industry Association, 2014.
- [4] 中国有色金属工业协会. 中国有色金属工业年鉴2015 [R]. 北京: 中国有色金属工业协会, 2015.  
China Nonferrous Metals Industry Association. The yearbook of nonferrous metals industry of China (2015) [R]. Beijing: China Nonferrous Metals Industry Association, 2015.
- [5] 中国有色金属工业协会. 中国有色金属工业年鉴2016 [R]. 北京: 中国有色金属工业协会, 2016.  
China Nonferrous Metals Industry Association. The yearbook of nonferrous metals industry of China (2016) [R]. Beijing: China Nonferrous Metals Industry Association, 2016.
- [6] 中国有色金属工业协会. 中国有色金属工业年鉴2017 [R]. 北京: 中国有色金属工业协会, 2017.  
China Nonferrous Metals Industry Association. The yearbook of nonferrous metals industry of China (2017) [R]. Beijing: China Nonferrous Metals Industry Association, 2017.
- [7] 中华人民共和国国家统计局. 国际统计年鉴 2016 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.  
National Bureau of Statistics of the PRC. International statistical yearbook 2016 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2016.
- [8] 中华人民共和国国土资源部信息中心. 世界矿产资源年评 [M]. 北京: 地质出版社, 2017.  
Information Center of Ministry of Land and Resources of the PRC. World mineral resources annual review [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017.
- [9] 朱玉柱, 陈孝劲. 中国矿产资源对外依存度研究 [J]. 中国矿业, 2015 (S2): 47-51.  
Zhu Y Z, Chen X J. The study on foreign degree of dependency of Chinese mining industry [J]. China Mining Magazine, 2015 (S2): 47-51.
- [10] 杨兵. 中国有色金属矿产对外依存度与资源可供性之辨析 [J]. 矿产勘查, 2013, 4(1): 8-11.  
Yang B. Analysis and discussion on dependency of overseas market and supply of China non-ferrous metals resources [J]. Mineral Exploration, 2013, 4(1): 8-11.
- [11] 燕凌羽, 王安建, 陈其慎, 等. 跨国矿业公司发展战略研究及对中国的启示 [J]. 黄金, 2012 (10): 1-5.  
Yan L Y, Wang A J, Chen Q S, et al. Study on development strategy of multinational mining corporations and its implications for China [J]. Gold, 2012 (10): 1-5.
- [12] 燕凌羽, 王安建, 陈其慎, 等. 世界大型矿业公司发展历程浅析 [J]. 中国矿业, 2012, 21(5): 8-12.  
Yan L Y, Wang A J, Chen Q S, et al. Analysis of the development course of large international mining companies [J]. China Mining Magazine, 2012, 21(5): 8-12.
- [13] 王安建, 王高尚, 陈其慎, 等. 矿产资源需求理论与模型预测 [J]. 地球学报, 2010, 31(2): 137-147.  
Wang A J, Wang G S, Chen Q S, et al. The mineral resources demand theory and the prediction model [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, 31(2): 137-147.
- [14] 李颖, 陈其慎, 柳群义, 等. 中国海外矿产资源供应安全评价与形势分析 [J]. 资源科学, 2015, 37(5): 900-907.

- Li Y, Chen Q S, Liu Q Y, et al. An indicator system for overseas mineral resource supply security and analysis of the security situation for China's overseas resource supply [J]. *Resources Science*, 2015, 37(5): 900–907.
- [15] 马茁卉. 我国铅资源供需形势及保证程度研究 [J]. *中国矿业*, 2013 (S1): 12–16.
- Ma Z H. Study on China's lead resource supply and demand situation and the guarantee degree [J]. *China Mining Magazine*, 2013 (S1): 12–16.
- [16] 中华人民共和国工业和信息化部. 有色金属工业发展规划 (2016—2020 年) [J]. *有色冶金节能*, 2016, 32(6): 1–10. Ministry of Industry and Information Technology of the PRC. Development planning of nonferrous metals industry (2016—2020) [J]. *Energy Saving of Nonferrous Metallurgy*, 2016, 32(6): 1–10.
- [17] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴2017 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2017. National Bureau of Statistics of the PRC. *China statistical yearbook 2017* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2017.
- [18] 齐海, 郝晓晴, 安海忠, 等. 主要矿产品国际供需形势分析 [J]. *资源与产业*, 2013, 15(6): 18–34. Qi H, Hao X Q, An H Z, et al. Global supply and demand situation of main minerals products [J]. *Resources & Industries*, 2013, 15(6): 18–34.