

铅消费规律探索及中国需求预测

代 涛^{1,2)}, 文博杰^{1,2)}, 梁 靓^{3)*}, 姜含璐³⁾

1) 中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心, 北京 100037;

2) 中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

3) 中国地质大学(北京), 北京 100083

摘 要: 本文以全球发达国家近 100 年的铅消费历史为研究基础, 剖析了美国、英国、日本等典型国家的铅消费轨迹, 拟合了典型国家人均铅消费量的曲线方程, 发现其都具有“S”形消费规律。在此规律基础上, 标定了铅消费三个关键点: 起飞点、转折点、零增长点, 并给出了各个关键点与产业结构、城市化、汽车工业发展之间的内涵解释。运用“S”形消费规律, 对中国未来 20 年的铅需求进行预测, 预测了中国铅需求峰值位置, 及对应的铅需求量, 预测结果显示: 2022 年前后中国铅需求达到峰值, 届时铅需求量约为 590 万吨, 人均铅需求量为 4.13 kg, 随后铅消费开始缓慢下降。本文在中长期尺度上对中国铅需求进行定量预测, 为我国未来铅资源开发规模与冶炼产业结构调整提供宏观背景和依据。

关键词: 铅; 消费规律; “S”形; 需求预测

中图分类号: P618.42; F014.32 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2017.01.10

A Tentative Discussion on the Law of Lead Consumption and a Prediction of China's Lead Demand

DAI Tao^{1,2)}, WEN Bo-jie^{1,2)}, LIANG Liang^{3)*}, JIANG Han-lu³⁾

1) Research Center for Strategy of Global Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2) MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resources Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

3) School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083

Abstract: This paper, taking the global lead consumption of the developed countries in the past 100 years or so as the research foundation, analyzes the lead consumption trajectory of several typical countries such as the USA, The UK and Japan, and fits some curve equations for lead consumption per capita in typical countries, all of which follow the “S”-shaped consumption law. Based on this law, this paper calibrates three key points in the lead consumption curve, i.e., the take-off point, the turning point, and the zero-growth point, and explains the connotation between these key points and industrial structure, urbanization, and auto industry development. Using the “S”-shaped consumption law, this paper forecasts China's lead demand in the upcoming 20 years, and predicts China's lead demand peak and the corresponding demand. The results show that the peak of China's lead demand will be around the year 2022 when the lead demand is about 5.9 million tons and lead demand per capita is 4.13 kg, and then the lead consumption will begin to slow down. In this paper, China's lead demand is quantitatively predicted at the medium- and long-term scale, which provides the macro background and basis for China's lead resource industrial structure adjustment in the future.

Key words: lead; consumption law; “S”-shaped; demand prediction

本文由中国地质调查局地质调查项目(编号: 121201103000150015; 12120115057601)和国家国际科技合作专项项目“矿产资源需求预测和可供性分析技术研究”(编号: 2014DFG22170)联合资助。

收稿日期: 2016-03-01; 改回日期: 2016-04-20。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 代涛, 男, 1980 年生。副研究员。主要从事矿产资源经济方面研究。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。E-mail: eagledai@126.com。

*通讯作者: 梁靓, 女, 1991 年生。硕士研究生。主要从事矿产资源经济方面研究。E-mail: lliang0525@163.com。

在能源与矿产资源消费历史与规律以及需求预测研究中,主要侧重于对石油、天然气、铀等能源矿产,铁、铜、铝等大宗金属矿产,硫、磷、钾等大宗化工矿产的研究。能源的消费规律与预测研究最成熟,能源消费与经济发展具有极为密切的关系(Masih A M M and Masih R, 1997; 刘固望等, 2017),不仅在典型国家里得到了验证(Paul and Bhattacharya, 2004; Oh and Lee, 2004),还确定了顶点到来的时间与顶点位置(于汶加等, 2010; Wang et al., 2015; 王安建等, 2017),以此为基础,于汶加、王安建、王高尚等人(2012)还获得了“基于‘S’形模型的能源需求预测方法”的国家发明专利。中国地质科学院全球矿产资源战略中心对铁、铜、铝、锌等大宗金属矿产消费规律的研究较为成熟,发现消费具有“S”形规律(高芯蕊和王安建, 2010; 陈其慎等, 2010; 代涛等, 2015; 王安建等, 2016, 2017; 王高尚等, 2017),并提交了《中国需求展望报告》和《全球供需格局报告》两套系列报告(王安建和王高尚, 2011, 2012)。中化地质矿山总局和中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心(2013)对硫、磷、钾等大宗化工矿产消费规律的研究较为系统、全面,不但总结了全球及主要国家消费历史及规律,还给出了全球及主要国家的硫、磷、钾等大宗化工矿产的未来需求。

能源、铁铜铝等金属矿产的需求模型预测都比较成熟(王安建等, 2008, 2010)。但是,铅作为大宗金属矿产,其消费历史及规律研究国内外尚没有成熟、权威的成果。目前,国际上对铅供需形势及格局的权威研究包括世界铅锌研究小组、美国地质调查局、世界金属统计等机构。其中,世界铅锌研究小组主要侧重于对全球及主要国家铅的短期供需形势分析,很少涉及中长期需求预测或格局判断;美国地质调查局则以铅资源及供应格局为重点,消费及全球格局变化分析偏少;而世界金属统计更侧重于储量、产量、消费、贸易、价格等基础数据的系统整理和统计,需求形势分析不足。国内在铅研究上较为有影响力的有安泰科,其定期发布年度铅供需形势分析报告,但主要以短期市场行为的供需形势分析为主(郭春桥, 2013),缺少中长期的形势预测和判断;其他研究机构在铅消费及供需形势的研究也未能形成有影响力的成果(代涛和于汶加, 2013)。本研究内容主要是对铅消费规律剖析及中长期需求预测,是中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心在能源、铁、铜、铝等大宗矿产基础上,运用“S”型规律进行中长期需求预测的继承。

1 数据来源与研究思路

1.1 数据来源

(1)1915—1973年英国、法国、德国、意大利、西班牙和日本等典型发达国家的铅消费数据来自于英国地质调查局(British Geological Survey)各年发布的“Statistical Summary of The Mineral Industry”;

(2)1974—2014年英国、法国、德国、意大利、西班牙和日等典型发达国家的铅消费数据来自于英国地质调查局(British Geological Survey)各年发布的“World Bureau of Metal Statistics”;

(3)1900—2014年美国的铅消费数据来自于U. S. Geological Survey(USGS);

(4)部分全球及典型国家铅产量、消费量及产业发展数据来自于International Lead and Zinc Study Group(ILZSG);

(5)中国部分铅产业相关数据来自于中国有色金属工业协会。

本研究数据来源主要来自于上述国内外权威机构,并对原始数据进行了比对、筛选、校正等工作,保证了基础数据的可靠性和真实性。

1.2 研究思路

本研究系统收集整理了全球10多个典型发达国家近100年的铅消费数据,以此为基础探索铅消费规律,以揭示影响铅资源需求的主导因素,根据中国的实际消费情况,运用铅消费“S”形规律模型,对中国铅需求进行预测,标定中国铅需求峰值的位置,给出峰值时的需求量,同时,通过部门需求预测的方式,对预测结果进行检验。搞清楚未来20年中国铅需求走势与峰值,对制定中国中长期铅资源开发、产业发展和规划布局有着重要的现实意义。

1.3 研究方法

本文研究方法是基于人均能源和矿产资源消费“S”形规律。人均能源和矿产资源消费与人均GDP的相关规律是矿产资源需求理论最重要的组成部分。从农业社会—工业社会—后工业化社会,人均资源消费与人均GDP呈现全周期“S”形变化关系,即农业社会人均资源消费呈低缓增长趋势,工业化发展阶段呈快速增长趋势,之后随着经济结构的转变、社会财富积累水平不断提高和基础设施日趋完善,各类资源的人均需求陆续达到顶点,不再增长,并趋于下降。资源消费的起飞点(矿产资源需求开始进入高增长期)、转折点(矿产资源需求增速减缓)和零增长点(矿产资源需求到达顶点)是“S”形模型三个重要转变点,对应于经济结构的重大转型期的开始。由于不同资源的性质和在国民经济

中的用途不同,“S”形曲线的形态和三个转变点的位置也不同。同时,由于不同国家工业化时代、经济发展模式以及消费理念的差异,造成“S”形曲线顶点高低的差异。以往研究成果为本文提供了重要参考,并奠定了科学的研究方法基础。

2 全球铅消费历史及消费规律探索

2.1 铅消费领域及中国消费结构

2014年,全球约86%的铅用于制作铅酸蓄电池,是最大的消费领域;其具有很好的延展性和抗腐蚀性,可用于电缆包皮及冶金工业设备的防腐衬里等,并与锑、锡、铋等配制成各种合金;在涂料和油漆中,铅白是一种普遍使用的白色染料;另外,还能制成光学性能好的铅玻璃,制造光学仪器。铅酸蓄电池是铅最重要的应用领域,汽车、摩托车、电动自行车等行业对铅的需求起着决定作用,随着全球汽车工业的不断发展,铅酸蓄电池用铅量处于增长趋势(图1)。但是,铅是重金属,受环境因素制约,在其它领域的用量呈下降趋势。

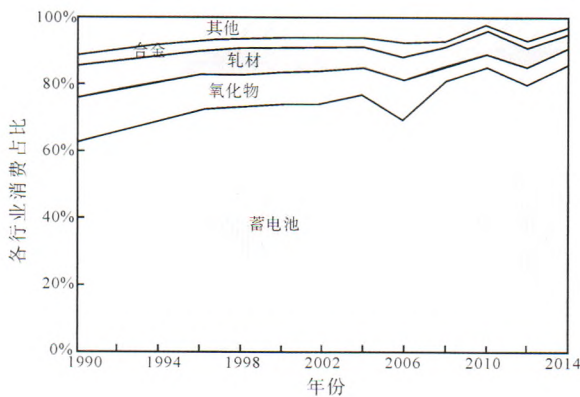


图1 1990—2014年全球各铅消费结构变化

(数据来源: 国际铅锌研究小组(ILZSG), 2013, 2014)

Fig. 1 The change of consumption structure of the world's lead, 1990—2014 (source: International Lead and Zinc Study Group (ILZSG), 2013, 2014)

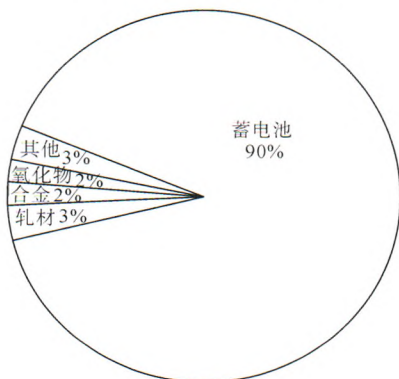


图2 2014年中国铅消费结构

(数据来源: 中国有色金属工业协会, 2015)

Fig. 2 The lead consumption structure in China, 2014 (source: China Nonferrous Metals Industry Association, 2015)

中国铅消费与全球及发达国家的消费结构类似,2014年90%用于铅酸蓄电池(图2),且占铅消费份额呈上升趋势。中国铅酸蓄电池主要用于汽车、电动自行车、UPS电源和摩托车,还有部分用于出口等,2014年汽车、电动车用铅酸蓄电池分别占铅酸蓄电池总量的35%、38%,共计超过70%(图3)。

2.2 全球铅消费格局及中国消费历史

1900—2014年,全球铅消费量从94万吨增长到1020万吨,增长了近10倍。全球铅消费共经历四个阶段(图4):第一阶段,二战前,处于缓慢增长阶段(1900—1946年),该阶段西方国家工业化刚起步,对资源消费较少;第二阶段,二战后,西方国家集中进入工业化过程,对资源需求持续拉动,处于稳定增长阶段(1946—1969年);第三阶段,该阶段发达国家完成工业化后,发展中国家还未能推动

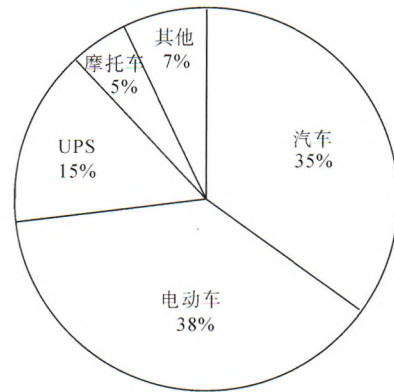


图3 2014年中国铅酸蓄电池消费结构

(数据来源: 中国有色金属工业协会, 2015)

Fig. 3 The lead-acid battery consumption structure in China, 2014 (source: China Nonferrous Metals Industry Association, 2015)

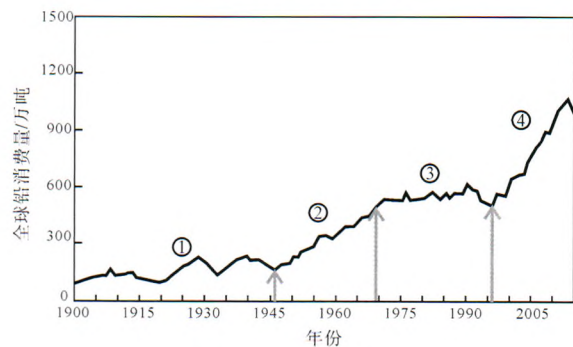


图4 1900—2014年全球铅消费历史

(数据来源: USGS, 2015; WMS, 2015)

Fig. 4 Global lead consumption history, 1900—2014 (source: United States Geological Survey(USGS), 2015; WMS, 2015)

①-二战前, 缓慢增长阶段; ②-二战后, 稳定增长阶段;

③-发达国家完成工业化, 低缓增长阶段;

④-中国工业化, 快速增长阶段

①Before the second world war, the slowly-deforming stage;

②After the second world war, the stabilized-increased stage;

③The developed countries completed industrialization, the lower growth stage; ④The rapidly growing stage with the coming of China's industrialization

资源消费的增长,处于缓慢增长阶段(1969—1998年);第四阶段,该阶段中国工业化高速发展,发展中国家对资源的拉动使得资源消费快速增长,处于快速增长阶段(1998—2014年)。

2000年以前,全球铅消费主要集中在美国、日本、韩国、德国、法国等发达国家。2000年以来全

球消费重心开始向中国、印度等新兴发展中国家转移,其中,中国铅消费增速增长最为迅速,2014年中国铅消费量420万吨,占全球41%。2000—2014年,中国铅消费增量占全球增量的94%,2015年来全球铅消费增量几乎全部来自中国,是全球消费的最强拉动力(图5);而大部分发达国家消费量已开

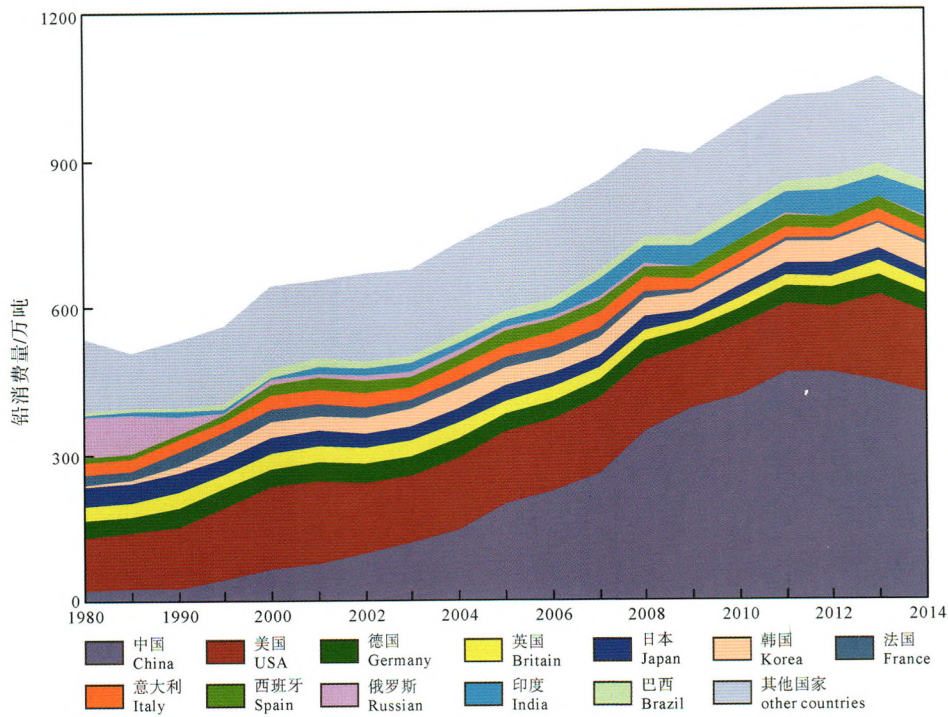


图5 1980—2014年全球及主要国家精炼铅消费量(数据来源: WMS, 2015)

Fig. 5 The world's major countries refined lead consumption, 1980—2014 (source: WMS, 2015)

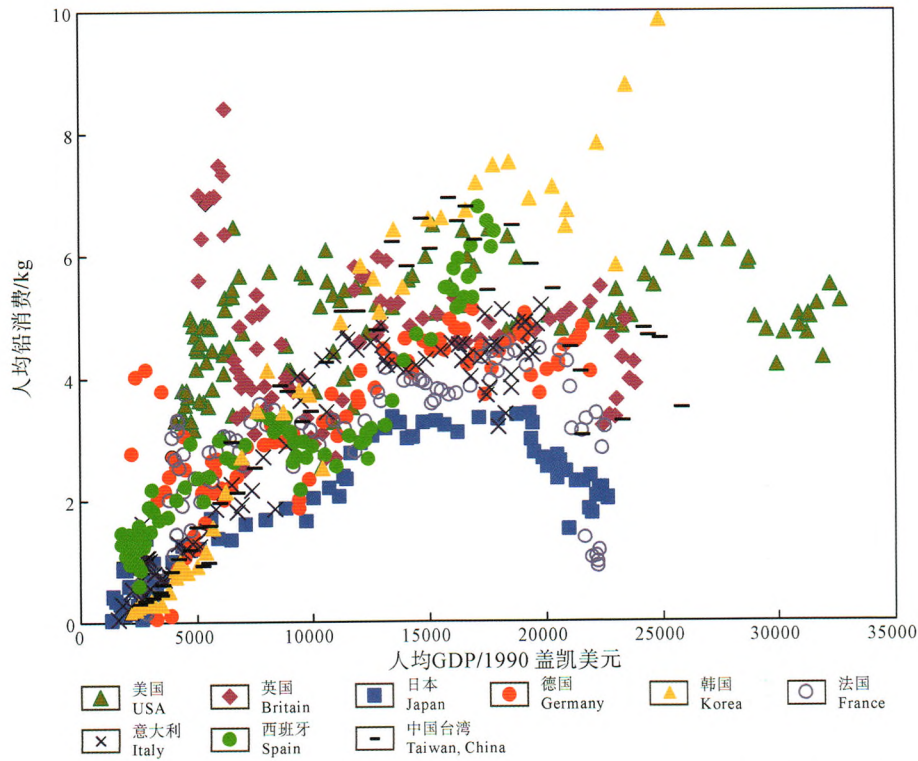


图6 典型国家1900年以来人均铅消费轨迹(数据来源: WMS, 2015; 格罗宁根增长和发展中心(GGDC), 2015)

Fig. 6 Since 1900 the typical countries of Lead consumption per capita (source: WMS, 2015; the Groningen Growth and Development Centre(GGDC), 2015)

始减少。

2.3 典型发达国家铅消费规律探索

从长尺度看全球铅消费历史, 美国、英国、德国、日本等发达国家已跨过消费峰值期, 消费量呈减少趋势。本文选择了美国、英国、日本、德国、法国、意大利、西班牙、韩国和中国台湾等 9 个典型国家(地区), 也是历史上主要的铅消费国, 具有代表性。

铅消费符合人均矿产资源消费的“S”形规律, 伴随人均 GDP 的不断增长, 人均铅消费量呈缓慢增长—快速增长—到达顶点—缓慢下降的趋势(图 6)。根据美国、英国、德国、日本等国家的经验, 人均 GDP 在 7 000~8 000 美元之间(PPP, 1990 年盖凯美元, 下同), 人均铅消费处于转折点, 此时国家的二产比例达到峰值, 汽车工业开始快速发展; 人均 GDP 在 15 000~17 000 美元之间, 人均铅消费到达顶点, 相对应的, 也是这些国家大规模生产和使用汽车的时期, 汽车产量到达峰值期, 与此同时, 该时期国家的城市化进程达到较高水平, 城市化率多在 65%~75%之间(图 7)。

美国的铅消费规律比较特殊, 铅消费顶点出现在人均 GDP 8 000~10 000 美元之间。美国此阶段正处于 20 世纪四、五十年代的二战时期, 当时美国大量出口军用汽车、战车和子弹等, 到欧洲战场, 拉动了铅酸蓄电池和铅需求快速增长, 致使铅消费顶点较其他国家提前到来。排除战争因素, 美国铅消费轨迹也符合“S”形规律, 人均铅消费顶点同样出现在人均 GDP 15 000~17 000 美元之间。

2.4 铅消费“S”形理论模型构建

人均铅消费与人均 GDP 从一相对稳态到另一相对稳态的“S”形轨迹, 可采用趋势分析方法, 给出人均铅消费量与人均 GDP 之间的趋势关系方程。

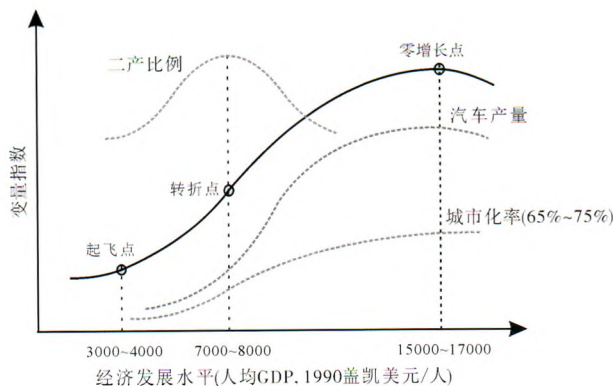


图 7 人均铅消费“S”形曲线内涵关系解释

Fig. 7 Per capita consumption of lead on the “S” shaped curve relationship explanation

首先给出人均铅消费 E 与人均 GDP G 的拟合方程:

$$\sum_{k=1}^j a_k \frac{d^k E}{dG^k} = f(E, G) \quad (1)$$

这里 a_k 为待定常数, $j=2$, $f(E, G)$ 为 E 与 G 的多项式或周期性函数。

然后基于对已有数据的分析, 给出上式简略具体方程形式为:

$$\frac{dE}{dG} + \sigma_1 (E - E_i)^2 + \sigma_2 = 0 \quad (2)$$

这里 σ_1 、 σ_2 为待定常数, $\sigma_1 \sigma_2 < 0$; 且曲线在转折点 $P_i(G_i, E_i)$ 处有方程:

$$\frac{\Delta^2 E}{\Delta G^2} = \frac{\Delta}{\Delta G} \frac{\Delta E}{\Delta G} = 0 \quad (3)$$

方程(2)式的解为双曲正切函数:

$$E - E_i = A \tanh(\alpha(G - G_i)) \quad (4)$$

其中 A 为双曲正切函数的幅值, 单位与 E 相同,

$\alpha = \sqrt{-\sigma_1 \sigma_2}$ 为待定常数。

方程(4)式描述了曲线在起飞点前及顶点后平坦时的情况。当曲线为非平坦时方程(4)式则成为:

$$E - E_i = A \frac{\exp(\alpha_1(G - G_i)) - \exp(-\alpha_3(G - G_i))}{2 \cosh(\alpha_2(G - G_i))} \quad (5)$$

这里 α_1 、 α_2 、 α_3 为指数常数, 单位与 G^{-1} 相同。

运用以上模型对典型国家铅消费轨迹进行模拟, 得出各国家的铅消费“S”形模拟方程, 例如:

美国:

$$P = 4.7 + 4.7 \frac{\exp[0.00025(G - 5580)] - \exp[-0.00035(G - 5580)]}{2 \cosh[0.00035(G - 5580)]}$$

英国:

$$P = 2.7 + 2.7 \frac{\exp[0.00023(G - 4500)] - \exp[-0.00023(G - 4500)]}{2 \cosh[0.00025(G - 4500)]}$$

德国:

$$P = 1.7 + 1.7 \frac{\exp[0.00033(G - 4905)] - \exp[-0.0003(G - 4905)]}{2 \cosh[0.0003(G - 4905)]}$$

日本:

$$P = 1.8 + 1.8 \frac{\exp[0.00015(G - 7983)] - \exp[-0.00015(G - 7983)]}{2 \cosh[0.00019(G - 7983)]}$$

其中, G 为人均 GDP(1990 GK\$), P 为人均精炼铅消费量(kg/人)。

3 不同情境下的中国铅需求预测

3.1 未来的经济发展情境

根据上文总结的铅消费规律, 在进行中国未来铅需求预测时, 先设定了预测期内中国人均 GDP 增速, 进而求得未来各时段的人均 GDP 的值。本文设定未来各时段的人均 GDP 增速分别为: 2015—2020 年为 6%~7%; 2020—2025 年为 4%~6%; 2025—2030 年为 3%~5%; 2030—2035 年为

表 1 未来 20 年中国经济增长趋势及不同情境下各时段的人均 GDP

Table 1 Over the next 20 years economic growth trend and per capita GDP in each period under different situation in China

年份	2014	2015	2020	2025	2030	2035
GDP 增速/%			6~7	4~6	3~5	3~5
参考情景 (人均 GDP, 盖凯美元/人)		10 291	13 597	16 998	20 619	25 047
高增长情境 (人均 GDP, 盖凯美元/人)	9 966	10 339	14 052	18 420	23 440	29 727
低增长情境 (人均 GDP, 盖凯美元/人)		10 243	13 155	15 675	18 117	21 071

3%~5%。根据未来经济社会发展趋势, 设定了参考情景、高增长情景、低增长情境三种未来经济发展, 求得未来各时段不同情境下的人均 GDP 的值(表 1)。

3.2 需求预测结果及分析

2014 年, 中国铅消费近 90%用于铅酸蓄电池, 在铅酸蓄电池消费中汽车占 35%、电动自行车占 38%、UPS 占 15%、摩托车占 5%, 出口及其他占 7%。当前, 中国汽车行业尚有较大发展空间, 铅酸蓄电池虽存在环境问题, 但相比其他电池稳定性更好和价格更低廉, 未来短期内很难被大规模替代, 将是未来铅需求最主要拉动力; 除汽车以外, 铅酸蓄电池其他应用和出口已较成熟与稳定, 未来铅需求将持平或缓慢下降。与此同时, 氧化铅、铅合金、铅材等受环境因素的影响, 未来也将缓慢下降, 并逐步被替代。

在不考虑铅酸蓄电池被锂电池、燃料电池等新型电池替代条件下。根据上文设定的三种不同的未来经济发展情境, 运用人均铅消费“S”形模型对中国未来铅需求进行预测, 预测结果分别为:

参考情景下, 到 2022 年中国铅需求达到峰值, 届时中国铅需求量为 594 万吨, 人均铅需求量为 4.13 kg; 此情景下, 2020 年、2025 年、2030 年、2035 年中国铅需求量分别为 590 万吨、574 万吨、502 万吨、467 万吨。

高增长情景下, 到 2021 年中国铅需求达到峰值, 届时中国铅需求量为 612 万吨, 人均铅需求量为

为 4.26 kg; 此情景下, 2020 年、2025 年、2030 年、2035 年中国铅需求量分别为 611 万吨、587 万吨、522 万吨、489 万吨。

低增长情景下, 到 2024 年中国铅需求达到峰值, 届时中国铅需求量为 569 万吨, 人均铅需求量为 3.93 kg; 此情景下, 2020 年、2025 年、2030 年、2035 年中国铅需求量分别为 560 万吨、558 万吨、483 万吨、445 万吨(图 8)。

上述铅需求预测结果是设定在铅酸蓄电池不被替代得出的值, 考虑到未来锂电池、燃料电池等新型电池替代铅酸电池这个大趋势, 本文对中国铅需求的预测值进行了敏感性分析, 结果表明: 未来每有 10%的铅酸蓄电池被替代, 铅需求预测值将呈 8%~9%的速度减少。

4 结论及讨论

(1)铅消费符合“S”形规律, 经济社会发展与锌消费关系密切, 伴随人均 GDP 的不断增长, 人均锌消费量呈缓慢增长—快速增长—到达顶点—缓慢下降的趋势。在人均 GDP 在 15 000~17 000 美元时, 铅消费达到峰值; 但是, 由于铅消费领域主要为铅酸蓄电池, 受第二次世界大战的影响, 美国铅消费顶点出现在 20 世纪四五十年代的人均 GDP 8 000~10 000 美元时, 当时美国大量出口军用汽车、战车和子弹等到欧洲战场, 拉动铅酸蓄电池和铅需求快速增长, 排除战争因素, 美国人均铅消费顶点同样出现在人均 GDP 15 000~17 000 美元之间。

(2)运用双曲正切函数, 对典型发达国家的铅消费曲线进行模拟, 得出了各个国家人均铅消费的“S”形模拟方程; 在此基础上, 标定了铅人均消费“S”形曲线的起飞点、转折点和零增长点(峰值点), 即起飞点位于 3 000~4 000 美元时、转折点在 7 000~8 000 美元时、零增长点位于 15 000~17 000 美元时; 并对三个点的位置给出了内涵解释, 与二产比例、汽车工业发展和城市化率有着内在关系。

(3)预测参考情境下, 在 2022 年前后中国铅需求量达到峰值, 届时中国铅需求量为 594 万吨, 人均铅需求量为 4.13 kg; 之后开始趋于平稳并缓慢下降; 与此同时, 中国人均铅需求已经跨过转折点,

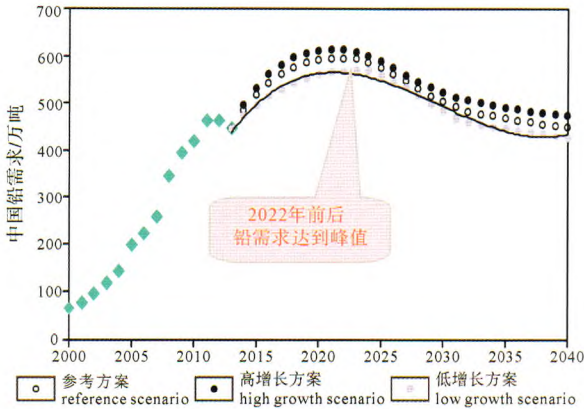


图 8 1990—2040 年不同情境下中国铅需求量
Fig. 8 China's lead demand in different situation, 1990—2040

增速开始放缓,未来中国汽车制造业仍有较大的发展空间,是铅需求的最大拉动力;除此以外,其他应用领域或已较成熟,趋于稳定,或受环境因素影响,将缓慢减少并逐步被替代。

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (Nos. 121201103000150015 and 12120115057601), and International S&T Cooperation Program of China (No. 2014DFG22170).

参考文献:

- 陈其慎,王高尚,王安建. 2010. 铜、铝需求“S”形规律的三个转变点剖析[J]. 地球学报, 31(5): 659-665.
- 代涛,陈其慎,于汶加. 2015. 全球锌消费及需求预测与中国锌产业发展[J]. 资源科学, 37(5): 951-960.
- 代涛,于汶加. 2013. 中国未来铅锌资源安全形势分析[J]. 矿业研究与开发, 33(6): 116-121.
- 高蕊蕊,王安建. 2010. 基于“S”规律的中国钢需求预测[J]. 地球学报, 31(5): 645-652.
- 郭春桥. 2013. 2012年锌市场分析及2013年展望[J]. 中国铅锌锡铋, (1): 21-33.
- 刘固望,王安建. 2017. 工业部门的终端能源消费“S”形模型研究[J]. 地球学报, 38(1): 30-36.
- 王安建,代涛,刘固望. 2016. GDP增速的“S”形演变轨迹——增速放缓背景下的中国矿产资源需求趋势[J]. 地球学报, 37(5): 563-568.
- 王安建,王高尚,陈其慎,于汶加,周凤英,韩淑琴,闫强,张照志,牛建英,汪莉丽,耿诺. 2008. 能源与国家经济发展[M]. 北京:地质出版社.
- 王安建,王高尚,陈其慎,于汶加. 2010. 矿产资源需求理论与模型预测[J]. 地球学报, 31(2): 137-147.
- 王安建,王高尚,周凤英. 2017. 能源和矿产资源消费增长的极限与周期[J]. 地球学报, 38(1): 3-10.
- 王安建,王高尚. 2011. 全球矿产资源与战略研究[R]. 北京:中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心.
- 王安建,王高尚. 2012. 全球矿产资源与战略研究[R]. 北京:中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心.
- 王高尚,代涛,柳群义. 2017. 全球矿产资源需求周期与趋势[J]. 地球学报, 38(1): 11-16.
- 于汶加,王安建,王高尚,闫强,陈其慎. 2012. 基于“S”形模型的能源需求预测方法[P]. 中国专利: CN102646216A.
- 中国有色金属工业协会. 2015. 中国有色金属工业汇编[R]. 北京:中国有色金属工业协会.
- 中化地质矿山总局,中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心. 2013. 化工矿产资源战略研究报告[R]. 北京:中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心.

References:

- CHEN Qi-shen, WANG An-jian, WANG Gao-shang. 2010. Analysis on the Three Transition Points for Steel and Cement Demand “S”-Shape Rules[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(5): 653-658(in Chinese with English abstract).
- China Chemical Geology and Mine Bureau, Research Center for Strategy of Global Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences. 2013. Chemical Mineral Resources Strategy Research Report[R]. Beijing: Research Center for Strategy of Global Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese).
- China Nonferrous Metals Industry Association. 2015. The year-book of nonferrous metals industry of China[R]. China Nonferrous Metals Industry Association(in Chinese).
- DAI Tao, CHEN Qi-shen, YU Wen-jia. 2015. Global zinc consumption and demand forecast and development of China's zinc industry[J]. Resources Science, 37(5): 951-960(in Chinese with English abstract).
- DAI Tao, YU Wen-jia. 2013. Analysis on Security Situation of China's Lead-zinc Resources in the future[J]. Mining R&D, 33(6): 116-121(in Chinese with English abstract).
- GAO Xin-rui, WANG An-jian. 2010. The Prediction of China's Steel Demand Based on S-shaped Regularity[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(5): 645-652(in Chinese with English abstract).
- GGDC. 2015. The Conference Board Total Economy Database[EB/OL]. [2016-01-22]. <https://www.conference-board.org/data/economydatabase/index.cfm?id=27762>.
- GUO Chun-qiao. 2013. 2012 Zinc Market Analysis and 2013 Outlook[J]. Zhong Guo Qian Xin Xi Ti, (1): 21-33(in Chinese).
- International Lead and Zinc Study Group. 2013. Review and outlook for Copper, Nickel, Lead and Zinc[R]. ILZSG.
- International Lead and Zinc Study Group. 2014. Zinc Annual Review 2013[R]. ILZSG.
- LIU Gu-wang, WANG An-jian. 2017. S-curve Model of End-use Energy Consumption in Industrial Sector[J]. Acta Geoscientica Sinica, 38(1): 30-36(in Chinese with English abstract).
- MASIH A M M, MASIH R. 1997. On the Temporal causal relationship between energy consumption, real income, and prices: Some evidence from Asian-energy dependent NIGs based on a multivariate cointegration/vector error-correction approach[J]. Journal of Policy Modeling, 19(4): 417-440.
- OH W, LEE K. 2004. Causal relationship between energy consumption and GDP revisited: The case of Korea 1970-1999[J]. Energy Economics, 26(1): 51-59.
- PAUL S, BHATTACHARYA R N. 2004. Causality between energy consumption and economic growth in India: A note

- on conflicting results[J]. *Energy Economics*, 26(6): 977-983.
- U. S. Geological Survey(USGS). 2015. Lead and Zinc[R]. New York: Mineral Commodity Summaries.
- WANG An-jian, DAI Tao, LIU Gu-wang. 2016. "S"-curve Model of GDP Growth Rates: China's Demand Trend for Mineral Resources in the Background of Slowdown GDP Growth Rates[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 37(5): 563-568(in Chinese with English abstract).
- WANG An-jian, WANG Gao-shang, CHEN Qi-shen, YU Wen-jia, YAN Kun, YANG Hai-bo. 2015. S-curve Model of Relationship Between Energy Consumption and Economic Development[J]. *Natural Resources Research*, 24(1): 53-64.
- WANG An-jian, WANG Gao-shang, CHEN Qi-shen, YU Wen-jia, ZHOU Feng-ying, HAN Shu-qin, YAN Qiang, ZHANG Zhao-zhi, NIU Jian-ying, WANG Li-li, GENG Nuo. 2008. Energy and national economic development[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- WANG An-jian, WANG Gao-shang, CHEN Qi-shen, YU Wen-jia. 2010. The Mineral Resources Demand Theory and the Prediction Model[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 31(2): 137-147(in Chinese with English abstract).
- WANG An-jian, WANG Gao-shang, ZHANG Jian-hua, ZHOU Feng-ying, HAN Shu-qin, CHEN Xuan-hua, YIN Xiu-lan, HAN Mei. 2002. Mineral Resources and National Economic Development[M]. Beijing: Earthquake Press(in Chinese).
- WANG An-jian, WANG Gao-shang, ZHOU Feng-ying. 2017. The Limits and Cycles of the Growth of Energy and Mineral Resources Consumption[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 38(1): 3-10(in Chinese with English abstract).
- WANG An-jian, WANG Gao-shang. 2011. Global Mineral Resources and Strategic Studies[R]. Beijing: Research Center for Strategy of Global Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese).
- WANG An-jian, WANG Gao-shang. 2012. Global Mineral Resources and Strategic Studies[R]. Beijing: Research Center for Strategy of Global Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese).
- WANG Gao-shang, DAI Tao, LIU Qun-yi. 2017. Cycles and Trends of Global Mineral Resources Demand[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 38(1): 11-16(in Chinese with English abstract).
- World Bureau of Metal Statistics(WMS). 2015. Lead and Zinc, Yearbook of World Metal Statistics[R]. United Kingdom: World Bureau of Metal Statistics.
- YU Wen-jia, WANG An-jian, WANG Gao-shang, YAN Qiang, CHEN Qi-shen. 2012. Energy demand forecasting method based on "S" type model[P]. China Patent: CN102646216A(in Chinese).