

资源全球配置下的中国磷矿发展策略

崔荣国¹, 张艳飞², 郭娟¹, 郭振华¹, 肖宇评¹

(1. 自然资源部信息中心, 北京 100812; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要: 本文通过“S”形生长曲线模型法预测未来中国对磷矿资源的需求, 分高、低两种情形对我国未来磷矿需求进行了预测, 预测数据表明 2017—2050 年中国磷矿石累计需求量约为 $2.2 \times 10^9 \sim 2.7 \times 10^9$ t, 国内资源能够满足需求。同时, 通过资源与生产现状分析中国磷矿资源现状与需求之间的关系, 分析表明中国磷矿产能严重过剩, 以 4.7% 的资源供应全球超过 50% 的市场, 开发强度过高, 2050 年后磷矿或将成为中国的短缺资源。应当未雨绸缪, 在环境保护和资源开发协调的基础上通过严格控制国内产能和限产, 并充分利用资源的全球化配置来开发国外资源, 延长中国未来的磷矿资源持续供应, 进而保障粮食安全。

关键词: 磷矿; 不可再生; 磷肥; 累计需求; 短缺资源

中图分类号: TD9 **文献标识码:** A

Development Strategy of Phosphate Rock in China Under Global Allocation of Resources

Cui Rongguo¹, Zhang Yanfei², Guo Juan¹, Guo Zhenhua¹, Xiao Yuping¹

(1. Information Center of Ministry of Natural Resources of the PRC, Beijing 100812, China; 2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: In this paper, the sigmoid growth curve model is adopted to predict the future demand for phosphate rock resources in China under high- and low-demand scenarios. Data shows that the total demand for phosphate rocks in China will reach approximately 2.2–2.7 billion tons between 2017 and 2050. This demand can be met by domestic supply. At the same time, the relation between the status quo and demand of the phosphate rock resource is analyzed according to its current production status. Analysis shows that China's phosphorus resources have a serious overcapacity. With 4.7% of the world's phosphorus reserves, China is now supplying phosphorus rocks to more than 50% of the global market. The development intensity of China's phosphorus rocks is too high. In this way, China's phosphorus rock resources will become short after 2050. To guarantee a sustainable supply of China's phosphate rock resources in future and thus ensure food security, China should exercise strict control over domestic production capacity and limit production, and make the best of the global allocation of resources to develop foreign resources.

Keywords: phosphate rock; nonrenewable; phosphate fertilizer; cumulative demand; shortage resource

收稿日期: 2019-01-05; 修回日期: 2019-01-25

通讯作者: 张艳飞, 中国地质科学院矿产资源研究所, 助理研究员, 主要研究方向为资源经济与矿产资源战略; E-mail: zhyf1014@163.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“一带一路冶金产业国际合作研究”(2017-ZD-15-05-01)

本刊网址: www.enginsci.cn

一、前言

磷矿是地球上不可再生的非金属矿产资源，是生物细胞质的重要组成元素，也是植物生长必不可少的主要元素。因此，磷矿对于生命存在具有重要意义，同时也是保证粮食安全不可替代的矿产资源。因而，人类的发展离不开磷矿资源 [1]。

本文首先分析全球与中国磷矿的消费结构；其次通过“S”形生长曲线模型法预测未来中国对磷矿资源的需求；再次分析中国磷矿资源现状与需求之间的关系；最后提出中国磷矿资源发展的策略。本文对中国磷矿资源的需求预测指的是对满足中国国内有效需求的预测，不包含磷肥等相关产品的出口需求。

二、磷矿消费结构

磷元素自 1669 年发现以来被广泛应用于国防、航空、航天、化工、食品等行业，但主要还是应用于磷肥工业 [2]。

从世界范围来看，66% 的磷矿石用于生产浓缩的固体磷肥磷酸二铵 (DAP)、磷酸一铵 (MAP) 和重钙 (TSP)，6% 用于生产动物饲料，9% 用于食品工业，其余 19% 用于其他工业生产，如洗涤剂和金属表面处理 [3]。中国磷矿石主要用于生产磷肥，磷肥对农作物的增产起着重要作用。根据相关行业消耗估算：2017 年中国磷矿有 75.6% 用于制造磷肥，11.1% 用于生产黄磷，12.2% 用于制作动物饲料，出口占 0.6%，其他占 0.5%。与全球磷矿石消费结构相比，中国用于制造磷肥的磷矿石占比高于全球近 10 个百分点，动物饲料占比高于全球 6.2 个百分点，用于工业生产的比例较低。

三、磷矿需求预测

(一) 现状

1. 全球磷矿资源分布

世界磷矿资源分布十分广泛，但分布不均衡，世界磷矿资源主要分布在非洲、北美、亚洲、中东、南美等的 60 多个国家和地区，其中非洲是世界上磷矿资源最富集的地区，集中了世界上 80% 以上的磷矿。据美国地质调查局 (USGS) 统计，截至

2017 年年底，世界磷矿储量为 7×10^{10} t，同比增长 2.9%。磷矿储量在 1×10^9 t 以上的国家或地区有：摩洛哥和西撒哈拉、中国、阿尔及利亚、叙利亚、巴西、南非、沙特、埃及、约旦、澳大利亚、美国和芬兰，占世界储量的比重合计为 96.6%。其中，摩洛哥和西撒哈拉储量为 5×10^{10} t，占世界磷矿总量的 71.4% [4]，主要分布在摩洛哥的西部；中国磷矿占世界磷矿总量的 4.7%。

2. 全球磷矿生产

全球磷矿生产的集中度很高，2017 年磷矿石产量为 2.63×10^8 t，同比增长 3.1%。据 USGS 统计，磷矿石产量超过 1×10^6 t 的国家 (地区) 有 19 个；超过 1×10^7 t 的国家 (地区) 有 4 个，分别是：中国为 1.4×10^8 t，占世界磷矿石总产量的 53.2%；美国为 2.77×10^7 t，占世界磷矿石总产量的 10.5%；摩洛哥和西撒哈拉为 2.7×10^7 t，占世界磷矿石总产量的 10.3%；俄罗斯为 1.25×10^7 t，占世界磷矿石总产量的 4.8%。以上四个国家 (地区) 磷矿石产量合计约为 2.07×10^8 t，约占世界总产量的 78.8%。根据 USGS 的数据测算，全球生产磷矿石平均品位在 30%~31%，多数国家平均品位也在 30% 左右。其中俄罗斯、巴西、南非、芬兰和多哥在 35% 左右；美国、澳大利亚等国家品位低于 30%。2017 年，全球磷矿资源储采比为 266，能够很好地保障全球需求。

3. 国内磷矿石消费

中国是世界上最大的磷矿石消费国，主要用于磷肥生产。进入 21 世纪以来，中国磷肥产量快速增长 (见图 1) [4]，2000 年磷矿石的自给率为 66.5%，2008 年为 95.6%，2009 年从净进口变为净出口，2016 年，中国磷肥产量的 15.8% 用于出口，中国生产的磷肥不仅能够满足国内需求，还大量出口满足其他国家的需求，为全球粮食产量的增长作出了重大贡献。

(二) 磷矿需求预测

从需求增长情况看，中国磷矿石消费增长主要来自国内磷肥生产。一方面中国耕地普遍缺磷，国内农业保持较快发展；另一方面周边国家或地区对中国磷肥出口的需求量大。

“引进国际先进农业科学技术计划”项目 (“948”项目) 预测，2010—2050 年中国每年磷肥 (折

P_2O_5 100%，下同) 需求量为 $1.1 \times 10^7 \sim 1.2 \times 10^7$ t，每年需要磷矿石(折 P_2O_5 30%，下同) $3.85 \times 10^7 \sim 4.2 \times 10^7$ t，未来 42 年(2009—2050 年) 中国用于生产磷肥的磷矿累计需求量为 $1.8 \times 10^9 \sim 2 \times 10^9$ t。孙小虹等预测中国磷肥需求峰值预计在 2020—2025 年到来，届时磷矿石需求总量将达到 7×10^7 t 左右 [5]。

本文在分析 1990 年以来中国粮食产量与化肥施用量关系、化肥施用量与磷肥施用量关系、人口与粮食产量关系的基础上，运用“S”形生长曲线模型对中国磷矿石需求进行了预测。分析表明，2000 年以来，中国粮食产量与化肥施用量的比例基本在 10:1~11:1 之间，且比较稳定；化肥施用量中 P_2O_5 所占比例约为 1/4，且呈缓慢增长态势；人均粮食产量波动增长，由 2000 年的 365 kg/人降至 2001 年的 355 kg/人，后来又增加至 2016 年的 446 kg/人(见图 2)。

对磷矿石的需求预测首先要对磷肥施用需求量进行预测，再通过磷矿石中制作磷肥的占比来推测磷矿石的需求。在预测时，需设定粮食产量与化肥施用量的比例，同时根据图 3 中磷肥施用量与化肥施用量的变化趋势设定 2020 年、2030 年、2035 年、2050 年磷肥施用量占化肥施用量的比例分别为 26.5%、27%、27.5%、27.5%。本文在预测磷矿石需求时分为两种情景，一是低情景需求预测，预测中国经济发展对磷矿石的最低需求；二是高情景需求预测，预测中国经济发展对磷矿石较高的需求。

1. 低情景需求预测

假定中国粮食产量与化肥施用量的比例为 11:1，通过“S”形生长曲线模型预测中国的磷肥施用需求量(见图 3)，再通过磷肥在中国磷矿石中的消费比例来估测中国 2020 年磷矿石需求量为 6.745×10^7 t、2030 年为 7.309×10^7 t、2035 年为

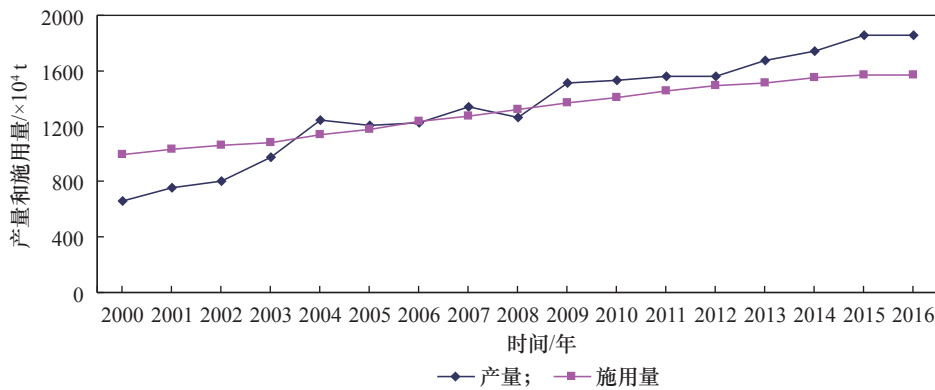


图 1 中国磷肥产量与施用量对比

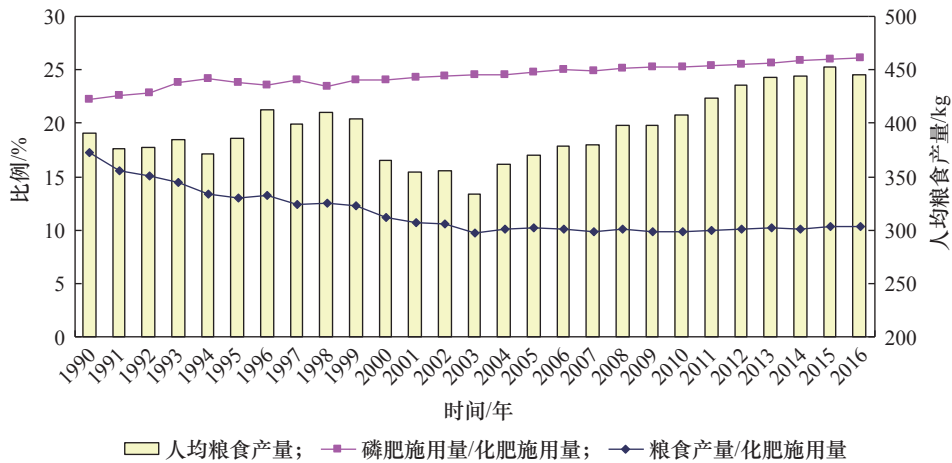


图 2 人均粮食产量、磷肥施用量 / 化肥施用量、粮食产量 / 化肥施用量变化情况

7.556×10^7 t、2050年为 8.333×10^7 t。同时计算出2017—2050年中国磷矿石累计需求量约为 2.2×10^9 t。

2. 高情景需求预测

假定中国粮食产量与化肥施用量的比例为10:1,通过“S”形生长曲线模型预测中国的磷肥施用需求量(见图3),再通过磷肥在中国磷矿石中的消费比例来估测中国2020年磷矿石需求量为 7.42×10^7 t、2030年为 8.774×10^7 t、2035年为 8.905×10^7 t、2050年为 1.07×10^8 t。同时计算出2017—2050年中国磷矿石累计需求量约为 2.7×10^9 t。

四、中国磷矿发展存在的问题

(一) 开发强度过大,后继资源不足

2017年,中国磷矿的储采比仅为24,不足全球的10%,中国以4.7%的资源供应了全球53.2%的需求,资源开采强度过大,不利于资源的可持续利用。同时,中国磷矿储采比也是全球主要磷矿资源国家中下降最快的,主要是资源相对较贫乏,2010年以来下降了58.6%,是全球平均下降水平的2倍多(见表1)。近年来,国内虽然也发现了一批新的资源,但仍然难以平衡储采比例。

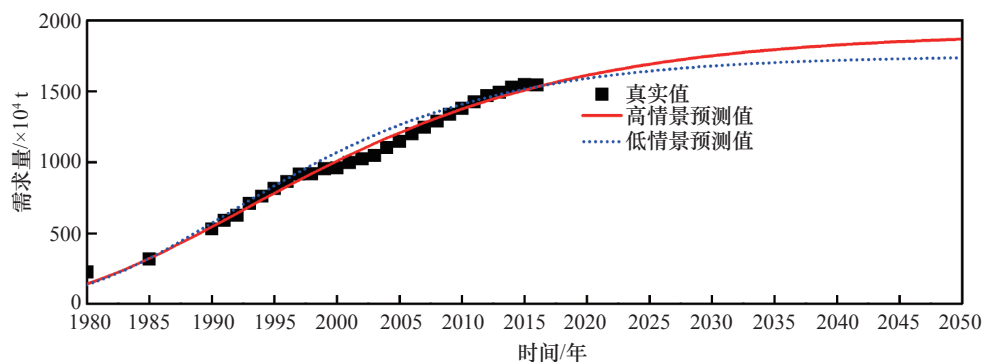


图3 中国磷肥施用需求量预测

表1 全球主要磷矿资源国家储采比

国家/地区	2010年	2017年	变化率/%
摩洛哥和西撒哈拉	1923	1852	-3.7
中国	57	24	-58.6
阿尔及利亚	1100	1692	53.8
巴西	62	309	400.0
南非	652	833	27.8
美国	54	36	-32.7
全球	369	266	-27.9

(二) 资源分布集中,产能严重过剩

中国磷矿资源主要分布在中西部地区的湖北、云南、贵州、四川、湖南五省,其中以湖北、云南和贵州最多,三省的查明资源储量占全国储量近六成。富磷矿石($P_2O_5 \geq 30\%$)储量也集中在湖北、云南、贵州三省。从地理位置上看,除了湖北宜昌濒临长江外,云南和贵州都属于内陆省份,不利于运输。而磷肥消费区集中在东北和东部地区,由此形成“南磷北运”“西磷东调”[6]的格局。长距离的运输和较高的运输费,给磷肥企业的原料供给和产品成本带来较大的影响。2017年,中国磷矿石产量为 1.2×10^8 t,是目前国内有效需求的2倍以上,根据本文对磷矿石需求的预测表明中国目前磷矿石的产能严重过剩。

另外,中国磷矿开发利用及后加工产业发展还存在集中度低、浪费较大、污染环境、引发地质灾害和税负较重等方面的问题[7,8]。

五、中国磷矿发展的策略

(一) 严控产能

磷是农作物生长必不可少且不可替代的三大营

养元素之一。磷矿资源是中国重要的战略资源，在国家粮食生产安全中占有极其重要的地位。因此，保护磷矿资源，实现其可持续供应，关系中国的粮食安全。

目前，磷矿石产量呈现供大于需的局面，而且产能仍在增加，磷肥等产品大量出口。因此，应严控磷矿石及磷肥的新增产能，并淘汰技术落后部分产能，提高磷矿工业发展的技术含量 [9]。一是大幅提高环境准入门槛，减少磷矿石开采和磷肥加工的新增产能；二是通过工艺要求淘汰落后产能，淘汰技术含量低、污染严重的产能，研发高附加值产品和容易为粮食作物吸收的肥料；三是进一步完善磷矿五省联动监管机制，加快提高生产集中度或成立磷矿企业联盟，规范磷矿开发秩序和限产。

（二）充分利用国际资源

磷矿资源具有不可再生性的特点，而且中国人口众多，对粮食的需求将会持续增长，因此对磷矿的高需求将会一直持续且不断增长。按照目前的磷矿石耗竭速度，2050年后，中国的磷矿将会成为短缺资源，直接威胁国家的粮食安全。因此，应提前谋划，开展国际合作，充分发挥资源全球化配置的便利性，充分利用国际资源，减缓中国磷矿资源的耗竭速度，为保障未来的粮食安全奠定基础。

中国、摩洛哥和撒哈拉的磷矿资源合计占全球磷资源的3/4以上。借鉴国外钾肥行业的经验，两国若能建立磷酸盐资源战略联盟，加强合作，形成优势互补，对于产业的发展具有现实意义。为避免在国际合作中出现国内企业恶性竞争的情况，国内企业应当以企业联盟或共同组建跨国公司等形式在磷矿资源比较丰富的国家开发加工利用资源，将资源优势转化为经济优势，即能提高资源所在地人民的生活水平，又能解决中国磷矿资源的可持续发展问题。

六、结语

2017—2050年中国磷矿石累计需求量约为

$2.2 \times 10^9 \sim 2.7 \times 10^9$ t，国内资源能满足需求。目前产能远高于国内需求，以4.7%的资源供应全球一半以上的市场，储采比下降过快，开发强度过大，因此应当未雨绸缪，通过严格控制产能并限产和充分利用国际资源等方式来延长中国未来的磷矿资源供应时间。

参考文献

- [1] 李维, 高辉, 罗英杰, 等. 国内外磷矿资源利用现状、趋势分析及对策建议 [J]. 中国矿业, 2015, 24(6): 6-10.
Li W, Gao H, Luo Y J, et al. Status, trends and suggestions of phosphorus ore resources at home and abroad [J]. China Mining Magazine, 2015, 24(6): 6-10.
- [2] 孔亮志, 黎荫厚. 磷矿资源分析 [J]. 中国地质, 1988 (1): 17-20.
Kong L Z, Li Y H. Phosphorus ore analysis [J]. Geology of China, 1988 (1): 17-20.
- [3] 国土资源部信息中心. 世界矿产资源年评2016 [M]. 北京: 地质出版社, 2016.
Information Center of Ministry of Land and Resources. World mineral resources annual review 2016 [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2016.
- [4] 中华人民共和国国家统计局. 2001—2017年中华人民共和国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2001—2017.
National Bureau of Statistics of the PRC. Statistical yearbook of People's Republic of China (2001—2017) [M]. Beijing: China Statistics Press, 2001—2017.
- [5] 孙小虹, 陈春琳, 王高尚, 等. 中国磷矿资源需求预测 [J]. 地球学报, 2015, 36(2): 213-219.
Sun X H, Chen C L, Wang G S, et al. The prediction of phosphate rock demand in China [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2015, 36(2): 213-219.
- [6] 张苏江, 夏浩东, 唐文龙, 等. 中国磷矿资源现状分析及可持续发展建议 [J]. 中国矿业, 2014, 23(S2): 8-13.
Zhang S J, Xia H D, Tang W L, et al. Current status and sustainable development of phosphorite resources in China [J]. China Mining Magazine, 2014, 23(S2): 8-13.
- [7] 常苏娟, 朱杰勇, 刘益, 等. 世界磷矿资源形势分析 [J]. 化工矿物与加工, 2010, 39(9): 1-5.
Chang S j, Zhu J Y, Liu Y, et al. Situation of the world's phosphate resources [J]. Industrial Minerals & Processing, 2010, 39(9): 1-5.
- [8] 靳利飞, 周海东. 中国磷矿资源开发利用形势分析及可持续发展对策研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(S1): 417-420.
Jin L F, Zhou H D. Research on exploitation and utilization and sustainable development of phosphate resources in China [J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(S1): 417-420.
- [9] 聂开省. 资源与环境约束下的中国磷矿资源需求探析 [J]. 低碳世界, 2016 (22): 42-43.
Nie K S. The analysis of resource and environmental constraints of China's phosphate resources demand situation [J]. Low Carbon World, 2016 (22): 42-43.