

doi: 10.12029/gc20220913001

车东,张照志,潘昭帅,王建平,赵元艺,邢恩袁. 2023. 钛矿资源禀赋及未来 10 年钛产品需求预测[J]. 中国地质, 50(4): 1058–1069.

Che Dong, Zhang Zhaozhi, Pan Zhaoshuai, Wang Jianping, Zhao Yuanyi, Xing Enyuan. 2023. Resource endowment and demand forecast of titanium products in the next 10 years[J]. Geology in China, 50(4): 1058–1069(in Chinese with English abstract).

钛矿资源禀赋及未来 10 年钛产品需求预测

车东¹,张照志¹,潘昭帅¹,王建平²,赵元艺³,邢恩袁³

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所,自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室,北京 100037;2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,地质过程与矿产资源国家重点实验室,北京 100083;3. 中国地质科学院矿产资源研究所,自然资源部盐湖资源与环境重点实验室,北京 100037)

摘要:【研究目的】中国钛资源较丰富,但多为共生型原矿,品位低,主要以原生钛(磁)铁矿型的形式存在。中国作为钛矿消费大国,对未来钛资源消费量预测的研究具有重要意义。【研究方法】本文从钛矿资源产业链出发,在综合分析中国钛矿地质特征、应用领域、工序现状和市场贸易的基础上,采用部门分析法、“S”形预测法、ARIMA 预测方法,对 2021—2030 年钛的消费量进行预测。【研究结果】根据预测结果得出如下认识:(1)中国钛白粉和钛精矿(TiO₂)的消费量将在 2027 年达到顶峰分别为 302.12 万 t 和 479.1 万 t;(2)海绵钛的消费量将在未来 10 年保持继续增长的趋势。【结论】通过展望钛矿资源产业发展方向,提出了确保钛矿产品稳定供应,引进先进技术和工艺装备,推动产业各环节的技术创新,将更高的环境和治理标准纳入生产环节中对策建议。

关键词:钛矿;消费结构;需求预测;“S”形预测法;灰色模型预测;矿产勘查工程

创 新 点:基于需求预测与 ARIMA 模型和“S”形模型预测相结合,对未来 10 年中国钛矿产的需求进行了预测。

中图分类号: F205; F416.1 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2023)04–1058–12

Resource endowment and demand forecast of titanium products in the next 10 years

CHE Dong¹, ZHANG Zhaozhi¹, PAN Zhaoshuai¹, WANG Jianping², ZHAO Yuanyi³, XING Enyuan³

(1. MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, Beijing 100083, China; 3. MNR Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environments, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: This paper is the result of mineral exploration engineering.

[Objective] China's titanium resources are relatively abundant, but they are mostly co-produced primary ores with low grades, mainly in the form of primary titanium (magnetite) iron ore type. As a major consumer of titanium ore, the study of future titanium

收稿日期: 2022–09–13; 改回日期: 2022–12–05

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20211405, DD20221694)资助。

作者简介: 车东,男,1992年生,博士生,主要从事资源产业经济研究;E-mail: 809340226@qq.com。

通讯作者: 张照志,男,1967年生,研究员,博士生导师,主要从事资源产业经济研究;E-mail: 1264124110@qq.com。

resource consumption projections is of great significance. **[Methods]** Based on a comprehensive analysis of the geological characteristics, application areas, current process and market trade of titanium ore in China, we adopt the sectoral analysis method, the "S" shaped forecasting method and the ARIMA forecasting method to forecast China's titanium consumption from 2021 to 2030. The forecast is based on sectoral analysis, the "S" shaped forecast method and the ARIMA forecast method. **[Results]** Based on the forecast results, the following observations were made: (1) the consumption of titanium dioxide and titanium concentrate (TiO_2) in China will peak at 3.02 million tons and 4.79 million tons respectively in 2027; (2) the consumption of titanium sponge will continue to grow in the next decade. **[Conclusion]** By looking ahead to the development direction of the titanium ore resource industry, suggestions are made to ensure a stable supply of titanium ore products, introduce advanced technology and process equipment, promote technological innovation in all aspects of the industry, and incorporate higher environmental and governance standards into the production chain, among other countermeasures.

Key words: titanium; structure of consumption; demand forecast; "S" shaped model forecasts; ARIMA model forecast; mineral exploration engineering

Highlights: Based on a combination of demand forecasts and ARIMA and "S" shaped model forecasts, demand for titanium minerals in China over the next 10 years are forecasted.

About the first author: CHE Dong, male, born in 1992, Ph.D. candidate, mainly engaged in resource industry economic research; E-mail: 809340226@qq.com.

About the corresponding author: ZHANG Zhaozhi, male, born in 1967, researcher, supervisor of doctor candidates, mainly engaged in resource industry economic research; E-mail: 1264124110@qq.com.

Fund support: Supported by the project of China Geological Survey (No.DD20211405, No.DD20221694).

1 引言

中国钛资源较丰富,多为共生型原矿,品位低。作为工业生产主要原料的钛精矿对外依赖程度高,长期维持在50%左右。钛白粉常年占据钛矿80%以上的消费量,主要应用于涂料、塑料、造纸等行业,其中涂料消费约占60%以上(贾翊等,2019)。海绵钛是钛材产业链中的中间产品,钛材是航空航天、航海船舶等战略新兴产业的重要材料(Cui et al., 2011;孙仁斌等,2019)。

钛主要应用于传统产业领域,目前国内学者针对钛矿资源需求相关的研究较少,邹建新(2011)根据钛白粉产量与经济发展之间的联系,预测2020年中国钛白需求量为300~400万t,2030年需求量为500~600万t;姚震和邓锋(2018)根据钛白粉的表现消费和GDP的近似线性相关性,预测2020年、2025年和2030年钛白粉需求量分别为301.4万t、408.9万t和556.1万t。吴晴(2021)通过3个样本国家消费量和人均GDP关系,预测中国2025年、2030年和2035年钛精矿(TiO_2)需求量分别为400万t、410万t和380万t。上述预测方法大多从产业规模增长率与GDP增长规律角度来分析,存在着样本参照国数

量较少,规律特征代表性不强的问题,未结合产业发展的角度进行预测。

在此背景下,本文系统总结了钛的地质、应用、供需和市场等资源特征,利用部门分析法、“S”形和ARIMA模型预测法,系统选取了样本参照国家,定量预测了中国钛精矿未来十年消费需求,旨在为钛白粉产业与钛矿相关产业的发展路径提供参考。

2 中国钛矿的资源特征

2.1 资源禀赋

根据《中国矿产资源报告(2021)》数据显示,截至2020年末,钛矿查明资源储量(TiO_2)为8.5亿t。自2004年之后,中国钛矿基础储量常年稳定在2亿t以上的水平(图1)。

依据中国自然资源部(2016)划分方案,钛矿类型划分为原生钛(磁)铁矿型、钛铁砂矿型、金红石型和金红石砂矿型4类。

2.1.1 原生钛(磁)铁矿型

矿床成因为岩浆分异作用,与基性岩关系密切(邓陈雄,2015;丁建华等,2020)。矿床规模巨大,钛矿品位(TiO_2)较低(一般为5%~10%),综合利用难度大,低于世界平均值(9%~13%)。此类型钛矿查明钛

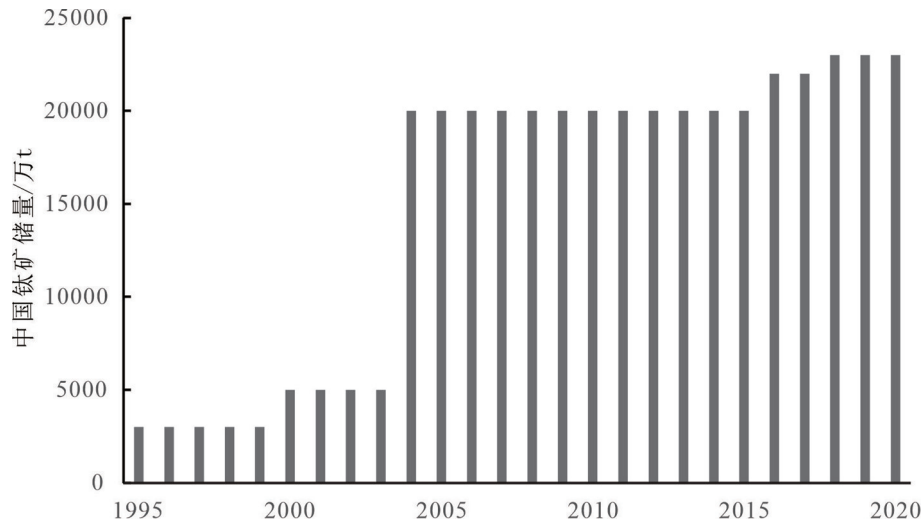


图1 中国1995—2020年钛矿储量(数据来源:USGS)

Fig.1 Reserves of titanium ore in China from 1995 to 2020 (data from USGS)

资源储量占全国总量的89%(吴贤和张健,2006)。

2.1.2 钛铁砂矿型

此类矿床为次生矿床,钛铁矿床中钛铁矿含量为5%~10%。分为残坡积风化壳砂矿、海滨砂矿和河流(河谷)冲积砂矿3类,大部分钛精矿品位(TiO_2)在48%~52%。矿区比较分散、规模小、原矿品位低(吴晴,2021)。

2.1.3 金红石砂矿型

此类矿床为次生矿床。该类砂矿床中,金红石品位(TiO_2)多在1%~2%。金红石砂型钛矿包括海滨砂矿和残坡积风化壳型。

2.1.4 金红石型

该类矿床主要赋存在基性变质岩系或沉积变质岩系中,是金红石型钛矿床的重要成因类型。中国大型金红石型钛矿床皆为此种矿床类型(邓陈雄,2015)。

中国钛资源较丰富,但多为共生型原矿,品位低,主要以原生钛(磁)铁矿型的形式存在,金红石型钛矿短缺。353个矿区中钒钛磁铁矿型为132个,占37.4%,基础储量为2.16亿t。钛铁砂矿型151个,占42.8%,基础储量为1992.62万t。金红石型36个,占10.2%,基础储量为33.55万t。金红石砂矿型34个,占9.6%,基础储量为46.63万t(图2,据2020年矿产资源储量通报)。

2.2 钛的产业与应用

钛的产业链中,上游产品分为钛白粉、海绵钛、

电焊条及其他(图3)。2020年钛精矿消费量(以 TiO_2 计)消费量为386万t,消费结构为钛白粉82%,海绵钛11%,电焊条2%,其他5%。其中钛白粉直接应用于下游的产业类型有涂料、塑料、造纸等部门。海绵钛的中游产品为钛材,主要为钛材和钛合金制品(黄淑梅等,2016)。在整个产业链中高耗能、高污染的钛白粉制备方法主要为硫酸法。

2.3 供应现状

2020年中国钛精矿产量(TiO_2)230万t,约占世界的32%。1981—2020年,中国钛精矿产量总体年均增幅10%,呈波动上升态势,近30年的时间里,产量增加了400倍。随着2002年中国有色金属工业协会钛业分会成立,2003年钛精矿产量出现了飞跃式增长。2008年产量为108万t,受全球经济危机的影响,2009年产量降低至90万t,2012年受房地产行业对钛白粉需求的影响,钛精矿产量呈现突破式上升。2016年由于“去产能”政策影响钛精矿产量有所下降,2017后开始逐步回升,2020年升至230万t(图4)。

2.4 消费现状

2020年中国钛精矿消费量386万t,同比增长1.3%,占世界消费量的46%。2000—2020年,中国钛精矿消费量呈快速上升态势,年均增幅9.83%(图5)。钛精矿最主要的两个消费领域为钛白粉和海绵钛,2020年钛白粉的消费量占总消费量的82%,海绵钛占总消费量的11%(图6)。近年来钛白粉需求基本维持稳定,2020年消费量为243万t,2010年

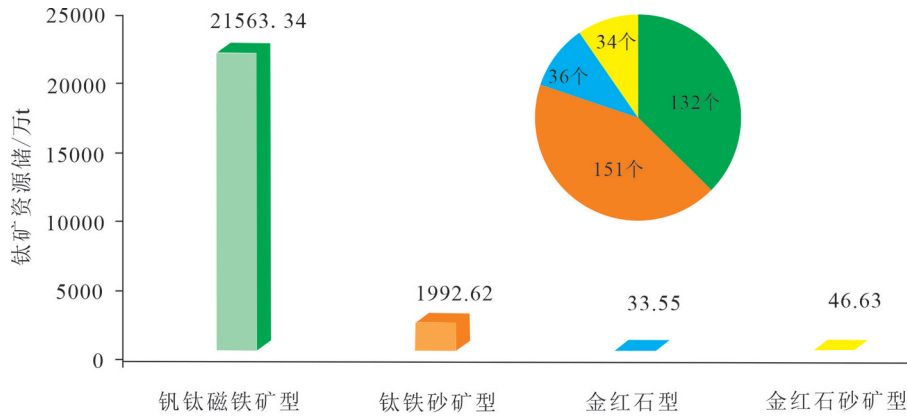


图2 2020年中国钛矿类型及矿区数量

Fig.2 Types and number of mining areas of titanium deposit in China in 2020

后消费量增长率呈现减缓趋势。中国钛白粉最大的消费市场是涂料行业,其景气度与下游房地产、汽车工业等终端消费市场密切相关(黄宋义,2019;孙哲宇等,2020)。

2.5 市场贸易与价格

2005—2012年,中国钛精矿进口量呈现逐年上升的趋势,2012年后稳定在140万t左右,对外依存度常年保持在40%以上(图7)。从进口来源国看,2006—2013年中国钛精矿进口来源国进口额前三位的分别是越南、澳大利亚、印度。2013年后越南产量下降,因为资源禁止出口的政策以及钛行业处于低谷期,导致越南国内很多矿山关停,随后对中国的出口量降低。2015年进口额前三名分别是印度、肯尼亚、澳大利亚。2015年后印度对中国出口量下降因为产量下降,受到了政府政策性限制开采的影响。2016—2020年,莫桑比克进口量常年位居进口国第一,澳大利亚常年稳定在前三名,最近中国与澳大利亚的外交政策,将直接影响钛精矿供应稳定程度。

利用HHI作为评估集中度的指标(数值放大10000倍)(石冬莲等,2013),构建分类标准(表1),2006—2020年中国钛精矿进口市场的HHI平均值为2000,2008年达到最高值3600,钛精矿进口市场集中度较高,进口国的规模分布不均匀。从平均值看整体上判断为“高寡占II型”。

2012年中国钛精矿($TiO_2 > 50\%$, $Fe_2O_3 > 30\%$)年平均价格达到最高为1874.96元/t,2012年后价格逐渐降低,2015年达到最低值为528元/t,随后呈现波动上升的趋势(图8)。2020年主流进口钛矿价格也呈上涨态势,年底价格较年初上涨50美金/t左右。价格上涨原因是新冠疫情影响导致供应减少。2020年中国钛精矿市场动态为0.38,近15年中国市场动态指标值在0.38~0.46,处于较大的波动程度。

综上所述,虽然中国钛矿资源储量逐年增长,优质金红石型矿仍然缺乏,对外依存度较高。中国钛矿需求大,国内供应能力不足,需求缺口须由进口来弥补,近两年对外依存度在45%左右,同时进口来源国集中,钛矿产品价格波动程度较大等因素增加了贸易的风险性,未来的钛精矿的供需形势面临较大的挑战。

3 中国钛需求预测

3.1 预测方法介绍

本文采用部门分析法,按钛白粉、海绵钛、其他消费三个部门进行预测。部门消费预测法是在预测各部门发展趋势基础上将需求量加和从而预测出矿产资源的需求总量的一种方法,部门需求预测

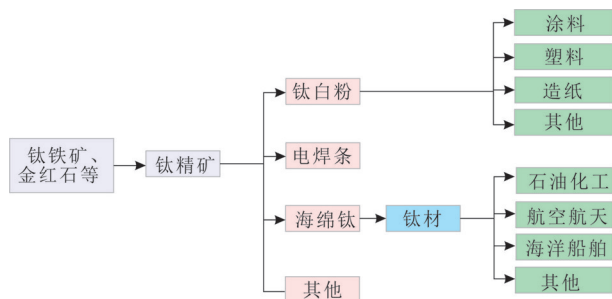


图3 钛产业链流程

Fig.3 The process of titanium industry

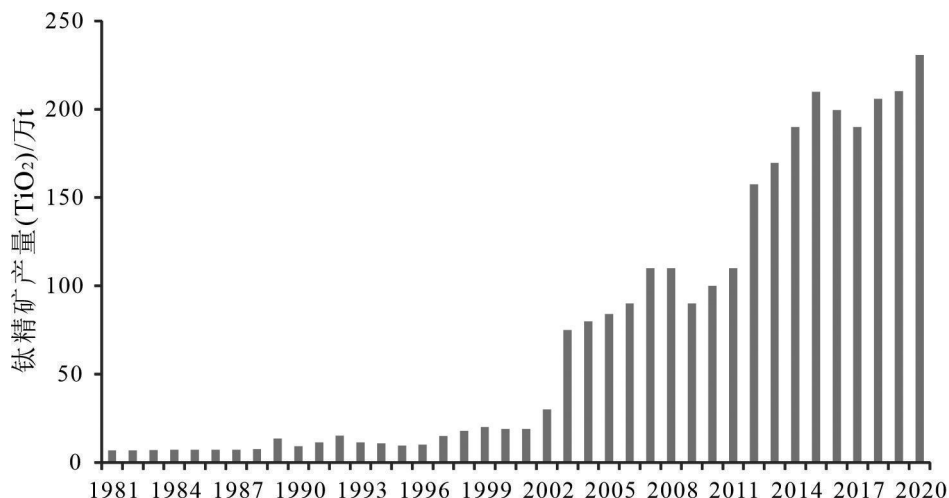


图4 1981—2020年中国钛精矿产量(数据来源:USGS)

Fig.4 Production of titanium concentrate in China from 1981 to 2020 (data from USGS)

法适用于消费集中于某些部门的矿种(赵琪等, 2016; 赵汀等, 2017; 崔晓林, 2017; 张照志等, 2017)。“S”型模型采用函数的形式定量地分析了需求与经济变量函数关系的模型,反映了资源和能源消费的周期规律,在铝、粗钢、能源等大宗矿产和商品的需求预测中取得了比较准确的验证(王安建等, 2010; Wang et al., 2015; Zhang et al., 2016; Gao et al., 2019)。ARIMA模型是运用时间序列的过去式、当期值及之后扰动项的加权来显示时间序列变化规律的一种模型(Lasheras et al., 2015)。

其中钛白粉消费量采用“S”形预测法,海绵钛的下游产业分为石油化工、航空航天、海洋船舶、其

他领域,以上4个领域分ARIMA模型进行预测。预测各个消费部门钛材需求量,利用比例系数换算成海绵钛需求量。再根据钛白粉和海绵钛的比例反算出钛精矿需求量。为便于分析,钛矿产品的数据均按照折合TiO₂的量进行分析。

3.2 钛白粉需求预测

世界范围内钛精矿90%以上的消费应用于钛白粉,中国钛白粉的历年消费量占到钛矿消费量的80%左右。选取美国、加拿大、英国、法国、奥地利、意大利、荷兰、澳大利亚、日本、韩国和中国具有代表性的国家的较长尺度数据(1950—2020年),对钛白粉的消费规律进行探讨和预测。在选取的10个

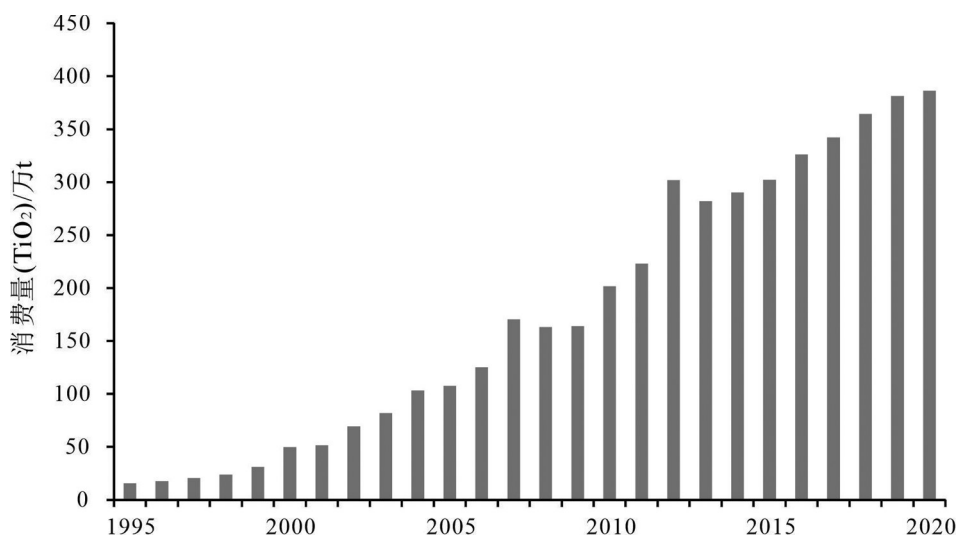


图5 1995—2020年中国钛精矿消费量(数据来源:USGS)

Fig.5 Consumption of titanium concentrate in China from 1995 to 2020 (data from USGS)

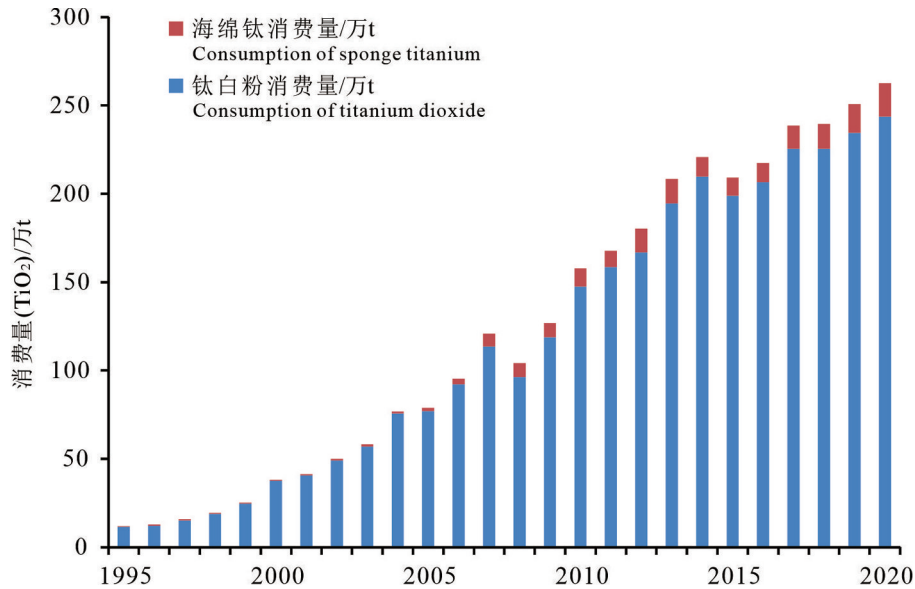


图6 1995—2020年中国钛白粉和海绵钛消费量

Fig.6 Consumption of titanium dioxide and titanium sponge in China from 1995 to 2020

样本国中,钛白粉消费量与人均GDP呈现出“S”形的演化规律,可大致分为三类:韩国、日本、澳大利亚为“低S形”,钛白粉人均消费量峰值集中在1.07~1.32 kg/人;荷兰、奥地利、法国为“中S形”,钛白粉人均消费量峰值集中在2.01~2.7 kg/人;英国、加拿大和美国为“高S形”,钛白粉人均消费量峰值集中在3.15~4.25kg/人。除美国外,其余样本国人均钛白粉达到峰值的人均GDP均集中于19900~23200美元(1990盖凯美元)(图9,表2)。

随着中国城市化率的提升,中国涂料市场对钛白粉的需求将进一步扩大,但人口老龄化严重,新

生儿出生比例不及预期的现状下,真正对钛白粉的消费不会带来爆发式增长。钛白粉行业本身属于高耗能、高污染行业,中国钛白粉产能预计不会出现英国和加拿大的高增长场景。在低场景下,中国人均GDP达到样本国家人均钛白粉消费峰值区间时,对应的人均钛白粉消费量为2.01~2.25 kg/人(表3)。除此之外,在考虑中国经济增速稳定和产业稳步升级及环保政策的背景下,笔者认为钛白粉的生产和消费峰值将近一步降低,中国人均钛白粉消费量将低于历史样本数据即拟合后人均消费量为1.69~1.87 kg/人,即新业态场景。笔者进而得出未

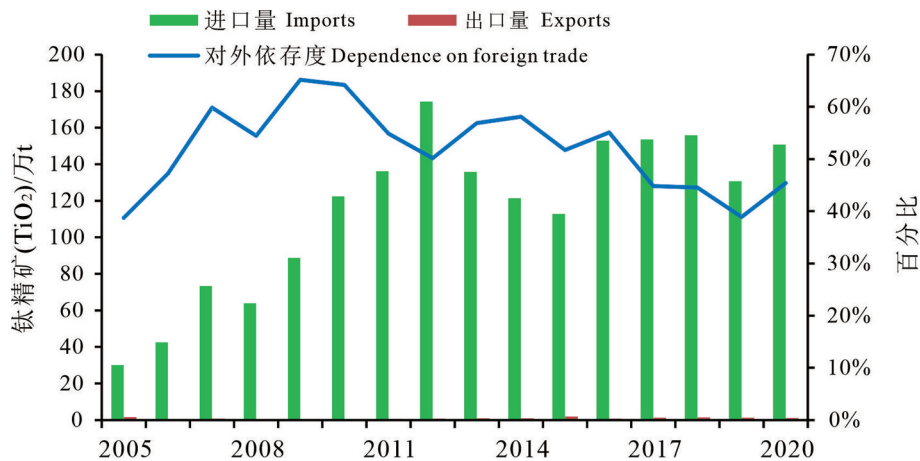


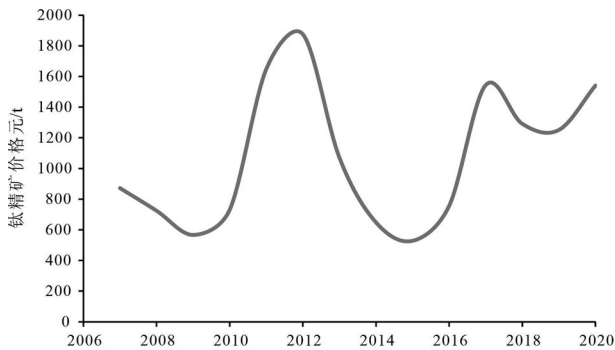
图7 2005—2020年中国钛精矿贸易情况(数据来源: CBC金属网、USGS)

Fig.7 Trade of titanium concentrate in China from 2005 to 2020 (data from <https://www.cbcie.com> and USGS)

表1 以HHI值为基准的市场结构分类标准

Table 1 Classification standard of market structure based on HHI value

市场结构	寡占型				竞争性	
	高寡占I型	高寡占II型	低寡占I型	低寡占II型	竞争I型	竞争II型
HHI	HHI \geq 3000	3000>HHI \geq 1800	1800>HHI \geq 1400	1400>HHI \geq 1000	1000>HHI \geq 500	HHI<500

图8 2005—2020年中国钛精矿(TiO₂>50%, Fe₂O₃>30%)价格
(数据来源: CBC金属网)Fig.8 Prices of titanium concentrate (TiO₂>50%, Fe₂O₃>30%) in China from 2005 to 2020 (data from <https://www.cbcie.com/>)

来十年钛白粉人均消费量(图10)和钛白粉消费总量(图11,表4)。

3.3 海绵钛需求预测

2020年中国海绵钛表观消费量为18.8万t,同比增长了16%(吴晴,2021)。钛材领域的消费与战略新兴产业息息相关,在未来十年将保持增长趋势。2020年石油化工、航空航天、海洋运输、工程及其他领域消费分别占比50.8%、18.4%、10.6%和20.2%(崇霄霄等,2020)。

石油化工领域是钛材最主要的消费领域,主要分为氯碱行业、纯碱行业等(雷让岐等,2011)。随

着国家对高新技术产业的鼓励支持,化工企业生产线升级改造和设备更新换代,钛材的需求量将继续保持增长趋势,根据ARIMA(0,1,0)预测模型,中国石油化工领域2025年、2030年折算后TiO₂需求量分别为16.67万t、26.15万t(图12a)。航空航天领域是钛材消费的重要领域,与全球50%钛材应用于航空领域相比,中国航空用钛材的比例在2020年仅为18.41%,有巨大的发展空间。在考虑军用和民用航空航天领域的巨大需求下,根据ARIMA(0,1,1)模型预测2025年、2030年折算后TiO₂需求量分别为9.31万t、19.95万t(图12b)。船舶与海洋工程领域产业作为战略性新兴产业,钛合金的重要程度不言而喻。根据ARIMA(0,1,0)预测模型,对中国船舶和海洋工程领域预测2025年、2030年折算后TiO₂需求量分别为2.99万t、5.67万t(图12c)。其他领域包括电力行业、医用钛材、体育休闲等作为国民经济的重要领域,根据ARIMA(0,1,0)预测模型,预测2025年、2030年折算后TiO₂需求量分别为9.52万t、11.34万t(图12d)。

综上,预测中国2025年、2030年海绵钛折算成TiO₂需求量分别为38.49万t、57.10万t,总体为上升趋势。作为钛最主要的消费领域,中国83%的钛精矿用于钛白粉生产,预计未来十年虽仍然保持在80%的比例,给予下降5%的能耗减排阈值,认为消

表2 样本国家S形划分

Table 2 S-shaped division of sample countries

类型	人均消费量	人均GDP	样本国家与到达年份
高S形	3.15~4.25	19900~23200	英国(1995—1998)、加拿大(2000—2004)
中S形	2.01~2.70	20800~23100	荷兰(2002—2005)、奥地利(1997—2000)、法国(2001—2004)
低S形	1.07~1.32	21000~23200	韩国(1998—2001)、日本(1995—1998)、澳大利亚(1997—2000)

表3 不同场景下参照国选取表

Table 3 Selection table of reference countries in different scenarios

预测增长模式	到达时间峰值时间	预计人口数/亿人	人均消费量峰值(kg/人)	预测值/万t
高增长场景(英国)	2025年	14.16	3.15~4.25	444.47~601.82
中增长场景(法国)	2026年	14.17	2.56~2.70	362.75~382.59
低增长场景(荷兰)	2027年	14.17	2.01~2.25	297.57~319.8

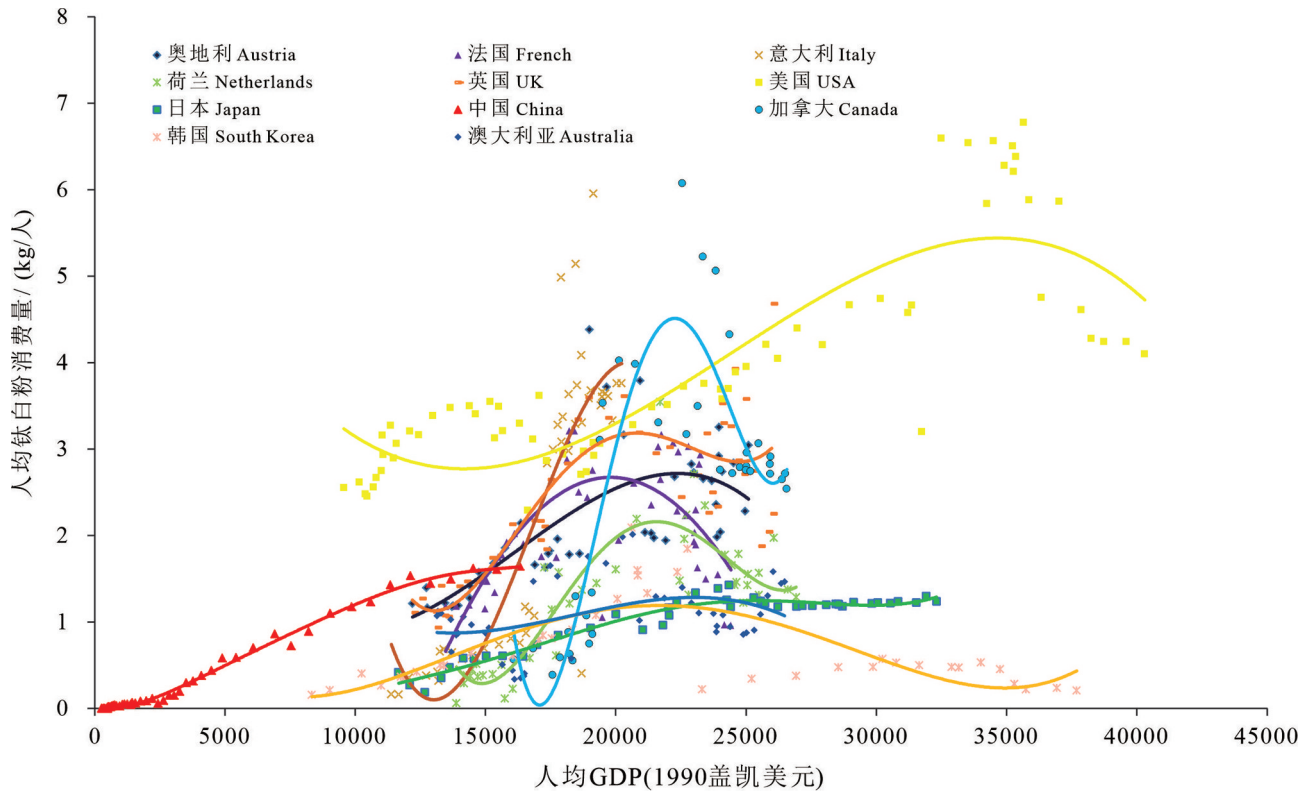


图9 人均钛白粉消费量和人均GDP关系图(数据来源:USGS)

Fig.9 Relationship between per capita titanium dioxide consumption and per capita GDP(date from USGS)

费量将会出现缓慢下跌的趋势。海绵钛在战略新兴领域应用广泛,预测未来消费占比将提升至10%。按钛白粉和海绵钛占钛精矿消费量的90%计算,则2025年、2027年和2030年中国钛精矿(TiO_2)的需求量分别约为466万t、479万t、462万t(表5)。

4 对策建议

(1)中国钛矿资源以共伴生矿为主,矿石品位低,钛矿需求大,国内供应能力不足(丁建华等,2020)。高品位优质钛矿需求缺口需进口来弥补,短时间内很难改变。从进出口贸易来看,进口集中程度高,由于进口量会受到进口国的资源、地缘政治和运输等因素的影响,存在供应风险(孙仁斌等,2019)。基于此应降低进口集中度,重点关注“一带一路”沿线及中非合作论坛框架内国家的开发。中国钛资源总量丰富,拥有巨大的开发潜质,若引进或发明突破性的选冶技术,钛资源的安全程度将得到进一步保障(王欢等,2021)。

(2)钛白粉作为钛资源消费主要集中的领域,中国低端硫酸法钛白粉产能过剩,氯化法技术并不成熟(崇霄霄等,2020)。国产钛铁矿中, FeO 占比高,硫酸法提炼钛白粉的过程中,会产生大量的硫酸亚铁造成极大的环境压力。但国外钛铁矿中为 Fe_2O_3 占比高,产生的环境污染较小。随着国家环保政策进一步推进,国内钛白粉行业未来势必将面临大规模升级改造。目前来看,除重视开发高端专用型钛白粉外,更要关注钛白粉产品经济性和环保性等方面。在建筑材料领域,如果能开发出替代钛白粉的环保产品,将减少生产能耗和污染排放。

(3)钛材消费量主要应用于石油化工领域,目前正处在结构性过剩的产能调整期。航空、医疗等领域内高端钛合金产品供应不足。在高端钛材制造领域,不断加大技术和方法的革新,缩短加工环节,提高生产效率,将成为未来发展的主流方向。

(4)随着经济新业态的到来,钛白粉消费量将在2030年前达到峰值,随即产业能耗将逐步降低,海绵钛将继续保持增长的趋势。另外以钛酸锂、钙

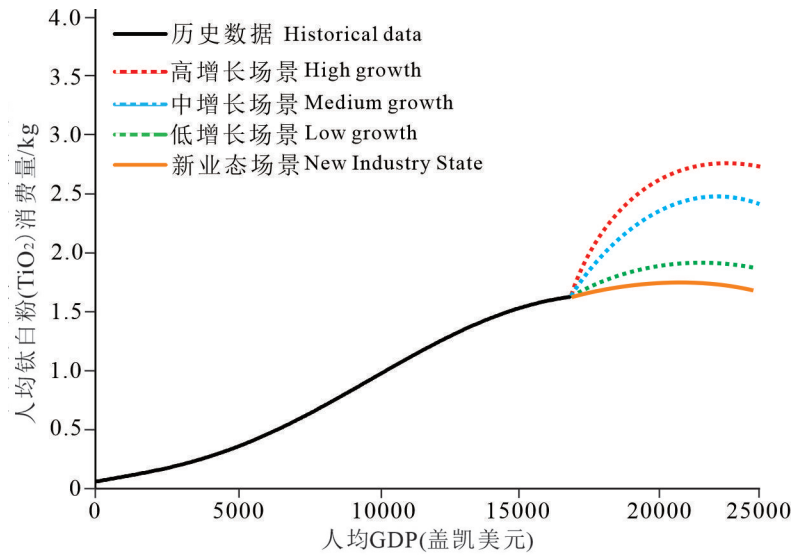


图10 人均钛白粉消费量和人均GDP模拟图

Fig.10 Simulation of per capita titanium dioxide consumption and per capita GDP

钛矿、核电、风电等钛材为代表的新能源材料将越来越受到重视。

5 结 论

(1)运用“S”形预测法,预测了未来十年中国在高、中、低三种经济增速下的钛白粉消费量(以 TiO_2 计)。高情景的峰值时间为2025年,消费量为517.29万t;中情景的峰值时间为2026年,消费量为

375.69万t;低情景峰值时间为2027年,消费量为321.12万t;未来十年的消费呈现出先继续增长,后缓慢下降的趋势。

(2)通过ARIMA模型预测未来十年中国海绵钛的消费量(以 TiO_2 计),在2025和2030年分别为38.49万t和57.10万t,海绵钛主要应用于战略新兴产业领域,该领域在未来将保持稳定快速增长态势。

(3)运用部门分析法综合得出,中国钛精矿(以

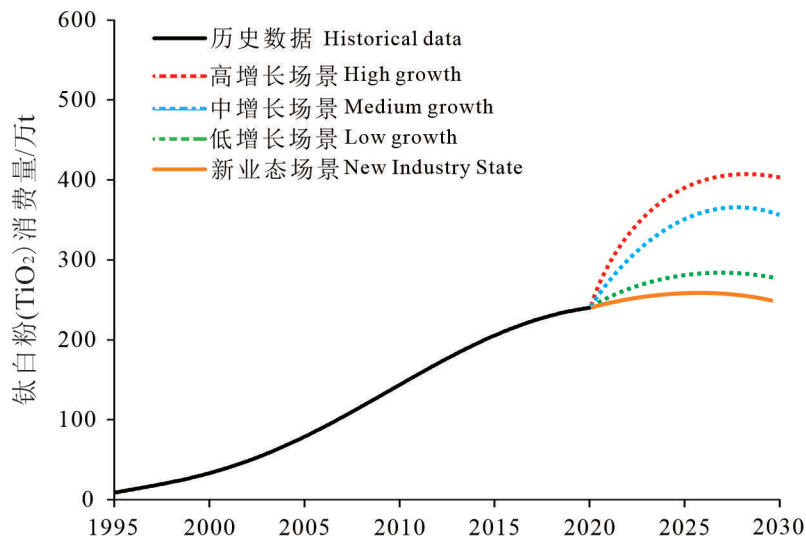


图11 未来十年钛白粉消费量模拟图

Fig.11 Simulation of titanium dioxide consumption in the next decade

表4 不同场景下未来十年钛白粉消费量(万t)预测

Table 4 Forecast of titanium dioxide consumption in the next decade under different growth model (ten thousand tons)

年份	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
高增长	289.02	372.30	454.48	504.65	517.29	513.36	510.37	508.27	503.47	450.29
中增长	269.89	290.21	310.42	324.78	346.32	375.69	374.46	367.79	361.52	352.96
低增长	259.02	271.92	284.98	302.47	317.21	319.85	321.12	316.87	313.61	297.31
新业态	254.02	263.92	272.98	287.47	300.21	301.85	302.12	299.87	295.61	278.31

表5 钛精矿消费量预测值(万t)

Table 5 Predicted value of consumption of titanium concentrate (ten thousand tons)

年份	2021	2022	2023	2024	2025	2016	2027	2018	2029	2030
钛白粉	254.02	263.92	272.98	287.47	300.21	301.85	302.12	293.87	284.61	278.31
海绵钛	26.70	29.16	31.91	34.97	38.49	42.24	45.16	49.38	53.82	57.10
钛精矿需求量	383.58	401.47	418.97	443.91	466.75	473.81	479.10	478.00	472.70	462.90

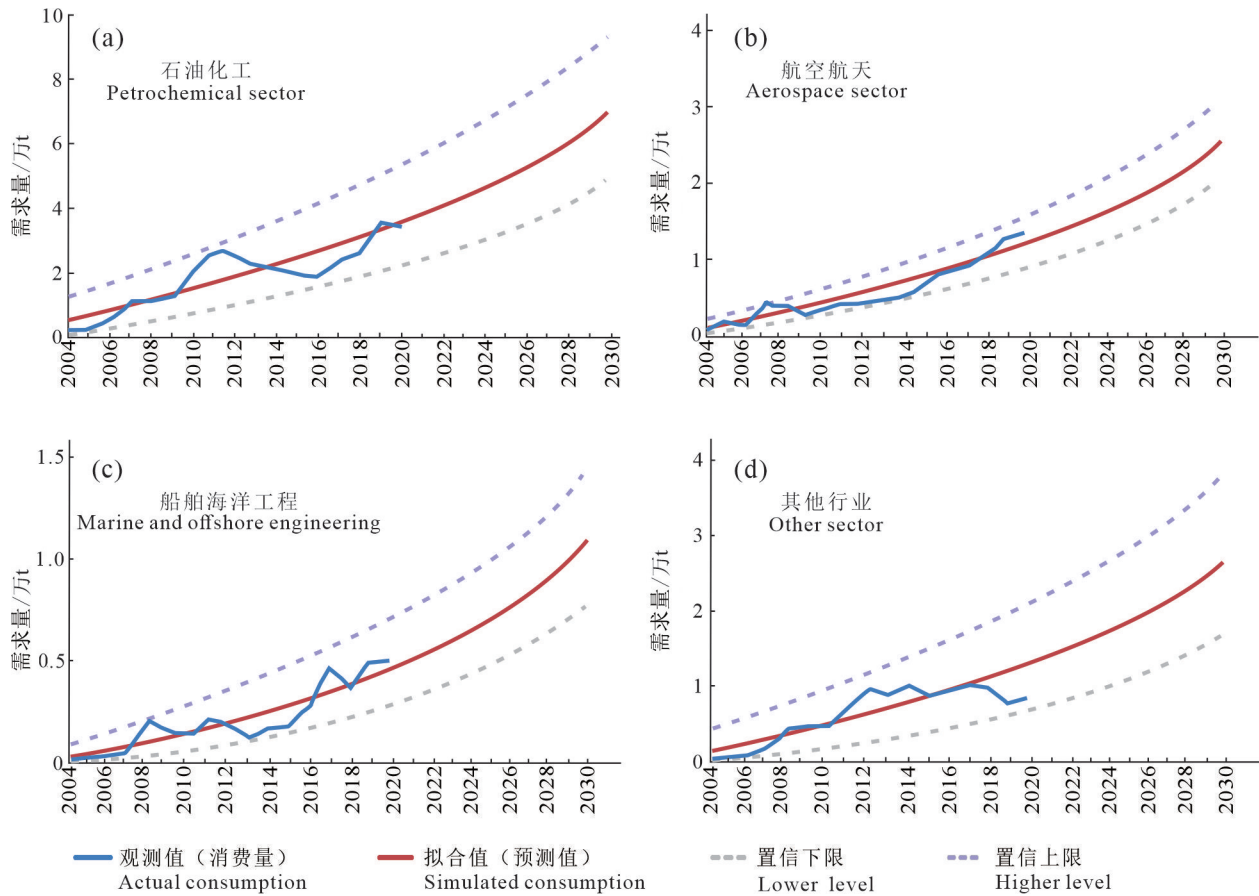


图12 钛材在不同领域的消费预测图

Fig.12 Forecasted consumption of titanium in different sectors

TiO₂计)预计在2027年消费量达到顶峰为479.1万吨,随后将出现缓慢下降的趋势。

Reference

- Chong Xiaoxiao, Luan Wenlou, Wang Fengxiang, Qiu Tiedong, Zhang Wanyi. 2020. Overview of global titanium resources and the trend of titanium consumption in China[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 40(2): 162–170 (in Chinese with English abstract).
- Cui C, Hu B M, Zhao L, Liu S. 2011. Titanium alloy production technology, market prospects and industry development[J]. Materials and Design, 32(3): 1684–1691.
- Cui Xiaolin. 2017. Demand Forecast and Supply and Demand Analysis of Lithium Resources in China[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Deng Chenxiong, Yin Wanzhong, Yin Linlin, Fu Yafeng. 2015. Beneficiation experiments of ilmenite ore from Vietnam[J]. Metal Mine, 3: 84–88 (in Chinese).
- Ding Jianhua, Zhang Yong, Li Lixing, Li Houmin. 2020. Metallogenic geological characteristics and titanium resources potential in China[J]. Geology in China, 47(3): 627–644 (in Chinese with English abstract).
- Gao X R, Wang A J, Liu G W, Liu C H, Yan K. 2019. Expanded S–curve model of a relationship between crude steel consumption and economic development: Empiricism from case studies of developed economies[J]. Natural Resources Research, 28(2): 547–562.
- Huang Shumei, Wang Yuan, Guo Wei, Wang Yunfeng, He Lei, Tang Hongwei, Fu Yaofeng. 2016. Supply and demand situation and trend of global titanium industry—review of reports from 31st annual conference of International Titanium Association (I) [J]. Titanium, 33(2): 7–11 (in Chinese).
- Huang Songyi. 2019. A preliminary analysis of the comprehensive recycling utilization of the chlorination residue in the production of titanium dioxide by chlorination process[J]. Mechanical and Electrical Engineering Technology, 48(8): 180–182 (in Chinese with English abstract).
- Jia Hong, Lu Fusheng, Hao Bin. 2019. Report on China titanium industry progress in 2018[J]. Titanium, 36(3): 42–49 (in Chinese).
- Lasheras F S, Juez F, Sánchez A S, Krzemień A, Fernández P R. 2015. Forecasting the Comex copper spot price by means of neural networks and arima models[J]. Resources Policy, 45: 37–43.
- Lei Rangqi, Ma Honghai, Li Zhong. 2011. Technological development and market outlook on titanium in chemical industry in China[J]. Materials China, 30(6): 51–63 (in Chinese with English abstract).
- Shi Donglian, Xu Yang, Yu Anhua. 2013. Research on the market structure optimization of our bank industry[J]. Journal of Xi'an Petroleum University, 22(2): 28–32 (in Chinese with English abstract).
- Sun Renbin, Wang Qiushu, Yuan Chunhua, Zhang Chao, Zhang Xingang, Ba Teer. 2019. Analysis of global titanium resources situation[J]. China Mining Magazine, 28(6): 1–6 (in Chinese with English abstract).
- Sun Zheyu, Xia Yuan, Zhou Lei, Wang Wanqing, Wang Gang, Xu Xuchen. 2019. Status and development of titanium dioxide industry in China[J]. Coating and Protection, 41(7): 33–41 (in Chinese with English abstract).
- Wang Anjian, Wang Gaoshang, Chen Qishen, Yu Wenjia. 2010. The mineral resources demand theory and the prediction model[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(2): 137–147 (in Chinese with English abstract).
- Wang A J, Wang G S, Chen Q S, Yu W J, Yan K, Yang H B. 2015. S–curve model of relationship between energy consumption and economic development[J]. Natural Resources Research, 24(1): 53–64.
- Wang Huan, Ma Bing, Jia Lingxiao, Yu Yang, Hu Jiaxiu, Wang Wei. 2021. Role, supply and demand analysis and suggestions of critical minerals in clean energy transformation under carbon neutralization target[J]. Geology in China, 48(6): 1720–1733 (in Chinese with English abstract).
- Wu Qing. 2021. Demand of Titanium Ore Product in China from 2021 to 2035[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Wu Xian, Zhang Jian. 2006. Distribution and characteristics of Titanium resources in China[J]. Titanium Industry Progress, 23(6): 8–12 (in Chinese).
- Yao Zhen, Deng Feng. 2018. Discussion on the evolution and development trend of titanium resources industry in China[J]. Metal Mine, 504(6): 61–64 (in Chinese).
- Zhao Qi, Huang Chong, Li Ying, Chen Xin. 2016. Analysis of trend of the magnesite demand in China[J]. China Mining Magazine, 25(12): 38–42 (in Chinese).
- Zhao Ting, Qin Pengzhen, Wang Anjian, Wang Gaoshang, Li Jianwu, Liu Chao, Liu Yifei. 2017. An analysis of gallium ore resources demand trend and the thinking concerning China's gallium industry development[J]. Acta Geoscientica Sinica, 38(1): 77–84 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Z Z, Jiang G Y, Wang X W, Zhang J F. 2016. Development and utilization of the world's and China's bulk mineral resources and their supply and demand situation in the next twenty years[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 90(4): 1370–1417.
- Zhang Zhaozhi, Wang Xianwei, Zhang Jianfeng, Jiang Guangyu, Fan Qingdong. 2017. The prediction of molybdenum mineral demand and supply in China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 38(1): 69–76 (in Chinese with English abstract).

Zou Jianxin. 2011. Review of the development of titanium dioxide industry in China and market prospect in the next 20 years[J]. Titanium, 28(3): 1-5 (in Chinese).

附中文参考文献

崇霄霄, 栾文楼, 王丰翔, 邱铁栋, 张万益. 2020. 全球钛资源现状概述及我国钛消费趋势[J]. 矿产保护与利用, 40(2): 162-170.

崔晓林. 2017. 中国锂矿资源需求预测及供需分析[D]. 北京: 中国地质大学(北京).

邓陈雄, 印万忠, 殷琳琳, 付亚峰. 2015. 越南某钛铁砂矿选矿试验[J]. 金属矿山, 3: 84-88.

丁建华, 张勇, 李立兴, 李厚民. 2020. 中国钛矿成矿地质特征与资源潜力评价[J]. 中国地质, 47(3): 627-644.

黄淑梅, 王源, 郭薇. 2016. 全球钛工业供需现状及发展趋势——第31届国际钛协会年会报告综述(I)[J]. 钛工业进展, 33(2): 7-11.

黄宋义. 2019. 浅谈氯化法钛白粉生产过程产生的氯化渣资源化综合利用[J]. 机电工程技术, 48(8): 180-182.

贾翔, 逯福生, 郝斌. 2019. 2018年中国钛工业发展报告[J]. 钛工业进展, 36(3): 42-49.

雷让岐, 马鸿海, 李忠. 2011. 中国化工用钛技术开发和市场前景[J]. 中国材料进展, 30(6): 51-63.

石冬莲, 许旻, 余安华. 2013. 我国银行业市场结构优化研究[J]. 西安石油大学学报, 22(2): 28-32.

孙仁斌, 王秋舒, 元春华, 张潮, 张鑫刚, 巴特尔. 2019. 全球钛资源形

势分析[J]. 中国矿业, 28(6): 1-6.

孙哲宇, 夏渊, 周磊. 2020. 中国钛白粉行业发展现状分析[J]. 涂层与防护, 41(7): 33-41.

王安建, 王高尚, 陈其慎. 2010. 矿产资源需求理论与模型预测[J]. 地球学报, 31(2): 137-147.

王欢, 马冰, 贾凌霄, 于洋, 胡嘉修, 王为. 2021. 碳中和目标下关键矿产在清洁能源转型中的作用、供需分析及其建议[J]. 中国地质, 48(6): 1720-1733.

吴晴. 2021. 2021—2035年中国钛矿产品需求预测[D]. 北京: 中国地质大学(北京).

吴贤, 张健. 2006. 中国的钛资源分布及特点[J]. 钛工业进展, 23(6): 8-12.

姚震, 邓锋. 2018. 中国钛矿资源产业演变与发展趋势探讨[J]. 金属矿山, 504(6): 61-64.

赵琪, 黄翀, 李颖, 陈昕. 2016. 中国菱镁矿需求趋势分析[J]. 中国矿业, 25(12): 38-42.

赵汀, 秦鹏珍, 王安建, 王高尚, 李建武, 刘超, 刘毅飞. 2017. 镓矿资源需求趋势分析与中国镓产业发展思考[J]. 地球学报, 38(1): 77-84.

张照志, 王贤伟, 张剑锋, 江光宇, 范青东. 2017. 中国钨矿资源供需预测[J]. 地球学报, 38(1): 69-76.

邹建新. 2011. 中国钛白产业发展回顾及未来20年市场展望[J]. 钛工业进展, 28(3): 1-5.