

全球工业领域白银需求预测

景 锦^{1,2)}, 李鹏远^{2)*}, 李天骄²⁾

1)中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083; 2)中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037

摘 要: 在全球能源低碳转型的背景下, 白银不仅广泛应用于电子电气、钎焊合金等传统工业领域以及首饰银器和投资领域, 更是与光伏、电动汽车和 5G 技术等绿色清洁能源领域密切相关。本研究采用部门分析法分别预测在既定政策情景(STEPS)、宣布承诺情景(APS)和 2050 年净零排放情景(NZE)三种情景下光伏、电动汽车领域的白银需求, 并使用 ARIMA 模型分析传统工业领域需求, 预测至 2035 年全球白银需求。研究结果表明, 三种情景下, 2035 年工业领域对白银的需求量分别为 19 360 t、21 621 t 和 26 894 t。在中情景下(APS 情景)低碳领域白银需求量将在 2031 年超过传统工业领域白银需求量; 在高情景下(NZE 情景)低碳领域需求量将在 2024 年超过传统工业领域白银需求量。

关键词: 白银; 低碳技术; 需求预测; 部门分析法; ARIMA 模型

中图分类号: F416.1 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2022.112302

Forecast of Global Industrial Silver Demand

JING Jin^{1,2)}, LI Peng-yuan^{2)*}, LI Tian-jiao²⁾

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

2) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037

Abstract: In the context of global transition to low-carbon energy, silver is not only widely used in electrical and electronics, brazing alloys, and soldering and other traditional industrial, jewelry, and investment fields, but is also closely related to green and clean energy fields, such as photovoltaic solar energy, electric vehicles, and 5G technology. In this study, we used sector analysis to forecast silver demand in photovoltaic and electric vehicles under three scenarios: stated policies, announced pledges (APS), and net zero emissions by 2050 (NZE) scenarios. Additionally, we used the ARIMA model to analyze traditional industrial and forecast global industrial silver demands up to 2035. The results showed that under the three scenarios, the industrial silver demand in 2035 will be 19 360 t, 21 621 t, and 26 894 t. In the medium scenario (APS), the demand for silver in the low-carbon sector will exceed that in the traditional industrial sector in 2031. In the high scenario (NZE), the demand for silver in the low-carbon sector will exceed that in the traditional industrial sector by 2024.

Key words: silver; low-carbon technology; demand prediction; sector analysis method; ARIMA model

白银(Ag)是应用历史悠久的贵金属, 具有良好的延展性和柔韧性, 是导电性和导热性最好的金属。白银既具有商品属性也具有金融属性, 约 50% 以上应用于工业领域, 还应用于摄影、首饰银器和投资领域。在工业领域中, 低碳技术相关的光伏、

电动汽车等领域的应用成为白银需求新的增长点。根据世界白银协会数据, 2021 年, 全球光伏、汽车等低碳领域的白银消费量 5784 t, 占全球白银消费量的 17.89%。为了实现碳净零排放目标, 低碳转型已成为全球共识。随着全球光伏新增装机量的提升及电

本文由国家自然科学基金项目(编号: 92162321; 71991485; 71991480; 72088101)和中国地质调查局地质调查二级项目(编号: DD20221795)联合资助。

收稿日期: 2022-09-20; 改回日期: 2022-11-17; 网络首发日期: 2022-11-25。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 景锦, 女, 1996 年生。硕士研究生。主要研究方向为矿产资源战略。通讯地址: 100083, 北京市海淀区学院路 29 号中国地质大学(北京)。E-mail: jingjin9628@126.com。

*通讯作者: 李鹏远, 女, 1985 年生。博士, 副研究员。主要从事矿产资源战略研究。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。E-mail: hdlipengyuan2008@126.com。

动汽车产业的发展,预计将进一步带动全球白银需求的增长,那么由此带动的全球工业领域白银消费量2035年将达到多少成为一个值得关注的问题。

目前对于银矿资源的研究,国内外学者主要集中在对全球银矿资源现状和供需格局的分析。Li and Adachi(2018)利用 Hubbert 理论、韦伯分布和需求强度分析分别估算了全球银矿供给、回收供给和制造业需求。Grandell and Thorenz(2014)研究了全球白银的供需情况,并对具有增长潜力的太阳能光伏领域白银需求和回收进行详细定量分析。王家鹏等(2021)分析了全球银矿的供给与需求格局,成本与价格影响因素。张亮等(2016)分析了全球银矿的资源和应用现状,对全球银资源的供需状况、价格等因素变化趋势进行研究。陈兴荣(2014)对全球银矿资源格局及中国银矿资源的开发利用现状进行研究,根据 ARIMA 模型和灰色预测模型对中国制造业2014—2030年白银需求量进行预测。上述研究多为全球供需格局分析,少数针对白银需求预测的研究也仅是对中国白银制造业需求预测或使用需求强度法对全球白银制造业需求量进行整体预测,缺少对全球白银需求分领域预测,并且没有深入分析各领域未来发展趋势及原因,忽略了近年快速发展的低碳技术领域,缺乏对于全球白银工业消费各领域详细分析。

近年来,很多学者开展了矿产资源的需求预测研究,常用的需求预测方法可以概括为“S”形预测模型、灰色预测模型、神经网络模型、回归分析模型和 ARIMA 时间序列模型等数学模型法,部门分析法以及物质流分析法三类。代涛等(2017)运用人均铅需求量与人均 GDP 之前的“S”形消费规律,对中国未来 20 年的铅需求进行预测。柳群义(2019)依据“S”形模型,结合未来不同经济发展程度国家及主要经济体发展趋势,分析未来 15 年铜资源需求。郑明贵和袁雪梅(2018)运用灰色关联分析法分析铬矿需求影响因素,并构建灰色神经网络预测模型对中国 2020—2030 年铬矿需求量进行预测。王修等(2022)从工业产品角度切入,对中国钽资源消费数据与钽相关工业产品产量数据进行逐步回归分析建模,并设置三种增长情景假设,进而预测出 2021—2035 年中国钽资源需求量。吴晴等(2021)运用钒钢相关性法和基于 ARIMA 模型的部门需求预测法,预测未来 15 年中国钒矿产品的需求量。陈星全等(2021)利用部门消费预测法和行业需求趋势分析预测 2021—2035 年全球锆资源需求量。王晨阳等(2022)采用动态物质流分析方法计算了不同情景下纯电动乘用车的保有量和需求量,预测了纯电动乘

用车产业发展引起的镓、钨和锗 3 种稀土元素的未来需求量、报废量和潜在回收量。

本研究对人均白银消费量与人均 GDP 的关系进行探讨,发现“S”形消费规律对白银来说并不适用,因此采用部门分析法与 ARIMA 模型相结合的方法对全球工业领域白银需求进行预测。部门分析法是按消费结构划分消费部门,通过对各部门发展趋势的层次分析和判断,预测矿产资源的总体需求(王安建等,2010)。文章结合清洁能源技术发展,对光伏、电动汽车等低碳领域 2022—2035 年白银需求进行预测,使用 ARIMA 模型对白银工业传统领域需求量进行中长期的定量预测。将白银工业需求细分为更多领域,研究低碳领域和传统领域的发展趋势及白银需求,提出对未来白银工业领域发展的认识。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本研究应用的数据分别有白银各领域历史消费量数据,光伏领域的光伏装机容量,电动汽车领域的全球轻型汽车和电动汽车销量等。其中,1995—2021 年全球白银消费结构历史数据以及工业各领域历史消费数据来自世界白银协会(Silver Institute, 简称“SI”)。2021 年全球白银总消费量为 32 335 t,除 2009 年全球金融危机和 2020 年全球新冠肺炎疫情影响较大导致全球白银需求量降低,整体处于缓慢增长态势(图 1)。白银是工业属性很强的贵金属,其工业领域应用涉及钎焊合金、电子电气、光伏、汽车、5G 技术等,2021 年全球工业领域白银的消费量达到 15 807 t(图 2)。

2005—2021 年全球光伏装机容量历史数据来自国际可再生能源署(IRENA),2005 年全球太阳能总装机量为 4.55 GW,新增装机量为 1.49 GW,到 2021 年总装机量为 848.40 GW,新增装机容量为 134.11 GW,光伏装机量增长迅速(图 3)。2030、2040 年全球总装机容量数据来自国际能源署(International Energy Agency, 简称“IEA”)。

1995—2021 年全球轻型汽车销量历史数据来自于世界汽车组织(OICA),2005—2021 年电动汽车历史销量和 2025、2030 年电动汽车销量预测数据来自于国际能源署。2005 年,全球汽车销量 6 297.28 万辆,全球电动汽车迈出向低碳技术发展的第一步,销售 1900 辆。在新型冠状病毒和半导体短缺等供应链面临挑战的情况下,2021 年汽车总销量 7 564.81 万辆,电动汽车销量 675.75 万辆,占汽车总销量的 8.93%(图 4)。

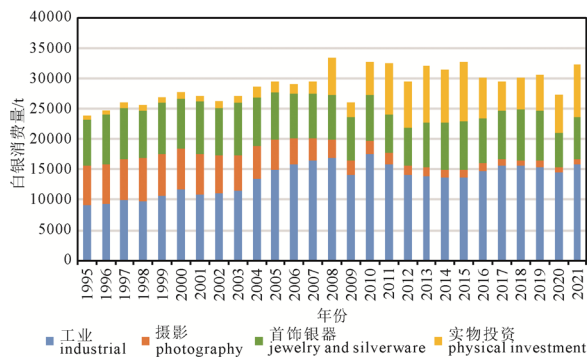


图1 1995—2021年全球白银消费量历史
(数据来源: SI, 2022a)

Fig. 1 History of global silver consumption from 1995 to 2021 (data source: SI, 2022a)

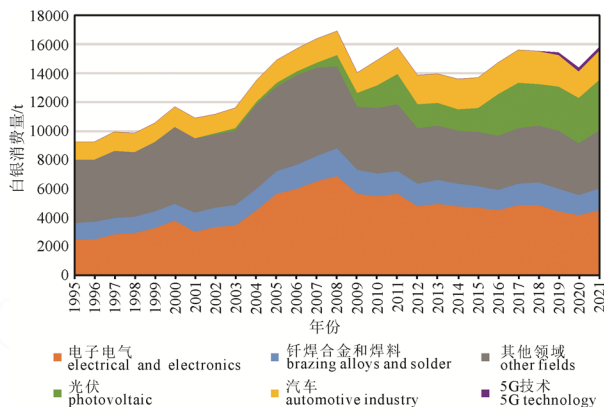


图2 1995—2021年全球工业领域白银消费结构变化
(数据来源: SI, 2022a)

Fig. 2 Change in silver consumption structure in global industry from 1995 to 2021 (data source: SI, 2022a)

1.2 研究方法

白银工业消费领域包括光伏、电动汽车等低碳技术领域以及钎焊合金、电子电气等传统领域。

在低碳技术领域白银预测方面,根据各应用部门未来发展规划及单位用银量进行测算,划分情景和测算方式如下:

本研究根据国际能源署(IEA, 2022)划分的未来低碳技术发展情景预测 2035 年之前全球工业领域白银需求量。IEA 综合考虑世界各国情况、资源、技术和可选择政策的多样性,将未来发展预测分为三个不同情景:①既定政策情景(STEPS):该情景反映了当前政策设置,根据世界各国已宣布的政策进行评估预测;②宣布承诺情景(APS):该情景假设世界各国政府已做出的气候承诺都全部按时实现;③2050 年净零排放情景(NZE):该情景设定全球能源领域在 2050 年实现净零二氧化碳排放。

本研究将对光伏和电动汽车领域进行分情景讨论,由于 5G 领域用银的电子设备和单位用银量数据较难获得,因此根据世界白银协会公布的 5G 领域白银消费量增速进行推算,不划分为 STEPS、

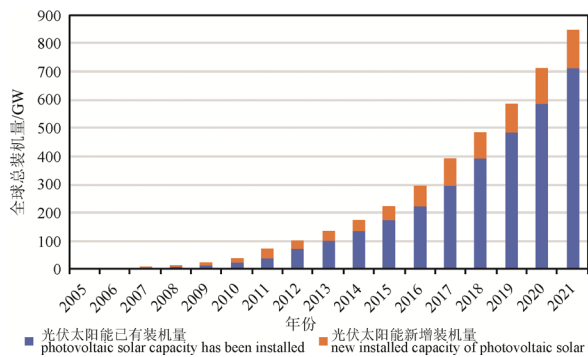


图3 2005—2020年全球光伏太阳能装机量
(数据来源: IRENA, 2022)

Fig. 3 Global photovoltaic solar installed capacity from 2005 to 2020 (data source: IRENA, 2022)

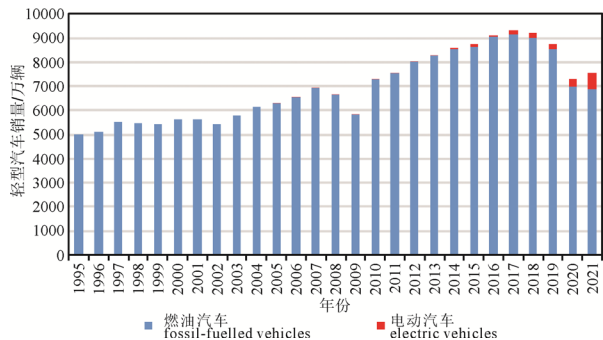


图4 1995—2021年全球轻型汽车销量
(数据来源: OICA, 2021; IEA, 2022)

Fig. 4 Global light vehicle sales from 1995 to 2021 (data source: OICA, 2021; IEA, 2022)

APS、NZE 三种情景。

光伏领域的白银主要用于光伏太阳能电池中,根据新增装机容量和电池载银量来确定需求量。根据 IEA 报告(IEA, 2021)发布的未来光伏装机容量预测出新增装机容量。根据世界白银协会(SI, 2020a)公布的 2022—2035 年每片光伏电池银浆消耗量变化情况,得到载银量年均增长率。将增加 1 GW 装机容量的白银消费量作为单位容量电池载银量,结合载银量年均增长率计算得到未来单位容量电池载银量,计算公式如下:

$$D_i = K_{i-1} \times e \times N_i \quad (1)$$

式中: D_i ($i=2022, 2023, \dots, 2035$) 为第 i 年白银需求量, K_i ($i=2022, 2023, \dots, 2035$) 为第 i 年单位容量电池载银量, e 为载银量年均增长率, N_i ($i=2022, 2023, \dots, 2035$) 为第 i 年全球新增装机容量。

汽车领域中,根据 IEA 汽车发展报告(IEA, 2022)数据预测出未来各类型汽车销量,与对应汽车载银量相乘,得到汽车领域对白银的需求量,计算公式为:

$$D_i = S_{ij} * P_j \quad (2)$$

式中: D_i ($i=2022, 2023, \dots, 2035$) 为第 i 年白银需求量, S_i ($i=2022, 2023, \dots, 2035$) 为第 i 年汽车销量;

j 是汽车类型, 分为电动汽车和燃油汽车两类, P_j 为不同类型汽车载银量。

在传统领域白银预测方面, 选择 ARIMA 模型即差分自回归移动平均模型进行预测, 主要通过选择合适的数学模型来近似描述记录的时间序列数据, 通过研究分析, 达到预测和控制的目的(吴怀宇, 2004)。在 ARIMA(p, d, q)模型中, p 为自回归阶数, d 为时间序列平稳的差分次数, q 为移动平均阶数。其表达式为:

$$y_t = \mu + \varphi_1 y_{t-1} + \varphi_2 y_{t-2} + \cdots + \varphi_p y_{t-p} - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \cdots - \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (3)$$

式中: μ 为常数项, $\varphi_i (i=1, 2, \cdots, p)$ 是自回归模型参数, $\theta_j (j=1, 2, \cdots, q)$ 是移动平均模型参数, ε_t 是残差项。

ARIMA 模型预测是利用 EViews 软件对样本时间序列进行处理。通过对时间序列平稳化处理、ADF 单位根检验和自相关系数、偏自相关系数检验, 残差白噪声检验等步骤, 选择合适的模型, 获得预测结果。

2 全球白银消费现状

2.1 全球白银消费历史及结构

全球白银消费各领域发展情况各不相同。受数字化革命影响, 摄影领域白银消费量发生重大变化(SI, 2022a)。由于胶片相机的广泛使用, 摄影领域消费量于 1999 年达到历史最高值 7078 t, 占白银总消费量的 27.30%。到 2000 年之后胶片逐渐被数码相机和手机所代替, 白银消费量也大幅下降。近年来, 白银摄影领域的消费量主要集中在医疗行业的 x 光片的使用, 2021 年全球摄影领域白银消费量为 892 t, 占比仅为 2.76%。首饰银器领域的消费量处于波动状态, 受经济、白银价格、社会变动等因素影响较大。1995 年全球白银首饰银器消费量 7369 t, 占总消费量的 30.82%; 到 2021 年消费量降为 6968 t, 占比降至 21.55%。白银具有投资保值和抗通胀的作用, 银条、银币和银质纪念章等实物投资近年来持续增长, 1995 年仅有 812 t, 到 2021 年消费量增加到 8668 t, 占比增至 26.81%(图 1)。

2.2 白银工业领域消费历史及结构

工业领域是白银消费的主力军, 根据世界白银协会(SI, 2022a)数据, 全球工业领域白银消费量由 1995 年的 9198 t 增至 2008 年的 16 912 t, 在消费总量中的占比由 38.48%增长至 50.54%。随后工业领域白银消费量呈现波动变化, 维持在 14 000~16 000 t (图 2)。但在工业领域内部, 消费结构发生重大变化。2008 年之前, 钎焊合金、电子电气、其他领域的消费量占主要地位, 约占消费总量的 86%; 之后

与低碳技术相关的光伏、汽车和电动汽车、5G 领域快速发展(Smirnova, 2021), 从 2008 年的 2408 t 增至 2021 年的 5784 t, 消费占比也由 14.24%增至 36.59%。这期间, 低碳技术领域白银消费增长率为 7.53%, 相比于工业领域的增长率 2.10%, 低碳技术对于白银需求呈现出快速增长模式。

全球各个国家相继确立“碳中和”目标, 为实现低碳未来, 需要大规模过渡到低碳技术阶段。随着脱碳和电气化的发展, 人们越来越关注各种金属在绿色能源技术中发挥的关键作用。2005 年之前应用白银的低碳技术领域发展缓慢, 电动汽车、光伏等行业白银消费量不足 1%, 因此本文只对 2005 年之后低碳技术白银需求量进行分析。

3 全球白银工业需求发展趋势及预测

3.1 低碳技术领域

3.1.1 光伏领域

光伏太阳能电池分为晶硅电池和薄膜电池。白银一般作为导体浆料使用于晶硅电池中, 在太阳能电池板的前后两侧形成导电层(中国光伏产业协会, 2021)。

目前, 世界电力需求的持续增长和可再生能源的发展, 带动光伏太阳能装机量的提升, 预计在预测期内光伏装机量持续增长(图 3)。其中中国、欧洲、美国和日本是光伏市场发展的中坚力量。中国作为光伏第一大市场, 2021 年总装机容量为 306.40 GW。保守情况下 2030 年中国总装机容量将超过 850 GW(中国光伏产业协会, 2021)。2021 年美国能源部表明到 2030 年, 预计太阳能发电装机容量将达到 760~1000 GW, 光伏发电将提供美国 40%的电力(DOE, 2021)。欧洲光伏协会表示 2030 年总装机容量将达到 672 GW, 可再生能源发电量占比达到 45%(SolarPower Europe, 2022)。根据日本经济产业省报告, 到 2030 年日本装机容量将达到 117.6 GW, 可再生能源发电量占比达到 36%~38%, 其中光伏发电量占 14%~16%, 成为可再生能源的“主力军”, 2050 年光伏发电量达到 30%(METI, 2021)。

光伏市场装机容量的持续提升, 带动光伏中白银消费的快速增长。2005 年全球光伏太阳能白银消费量为 226 t, 占工业领域的 1.52%; 2021 年消费量达到 3 536 t, 占比增长至 22.37%。光伏太阳能是可再生能源中关键低碳发电技术, 根据 IEA 发布的《世界能源展望》报告(IEA, 2021)得到 2040 年之前全球光伏太阳能总装机容量目标, 本文以此作为光伏太阳能未来总装机容量预测依据(表 1)。

在清洁能源倡议和各个国家政策的共同作用

表 1 不同情景下 2020 年、2030 年、2040 年全球总装机容量(数据来源: IEA, 2021)

太阳能光伏总装机容量/GW	2020 年	2030 年	2040 年
既定政策情景(STEPS)	710.70	25 450	4 516
宣布承诺情景(APS)	710.70	3 063	6 232
2050 年净零排放情景(NZE)	710.70	4 956	10 980

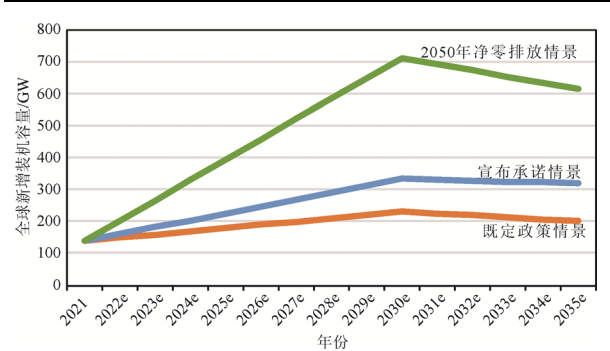


图 5 2021—2035 年全球光伏新增装机容量预测
Fig. 5 Forecast of global newly installed PV capacity from 2021 to 2035

下, 光伏太阳能电池板的安装量将在未来继续增加; 但是由于各地光伏太阳能电池板安装完善, 市场需求增长速度将会逐步降低。结合全球未来总装机容量, 得到 2022—2035 年全球新增装机容量, 其中 2022—2030 年全球新增装机容量将持续增长; 2030—2035 年光伏市场逐渐趋于饱和, 全球新增装机量虽略有下滑, 但全球总装机容量稳定上升(图 5)。

由于银价较高, 银浆在光伏电池片成本中占比较高, 为了降低光伏太阳能成本, 目前主要通过多主栅技术以及减小栅线宽度等方式进行工艺优化, 降低银浆消耗量(中国光伏产业协会, 2021)。根据世界白银协会发布的数据, 2019 年银浆消耗量为 111 mg/片, 预计到 2024 年银浆消耗量为 80 mg/片, 2028 年为 65 mg/片, 2028 年以后电池片载银量稳定

在 65 mg/片左右(SI, 2020a)。由此可得银浆消耗量在 2019—2024 年、2024—2028 年的年均增长率为 -6.34%、-5.06%, 2028 年之后银浆消耗保持稳定。

根据公式(1)计算得到全球光伏领域白银需求预测(表 2): 2035 年全球光伏白银需求量在既定政策情景(STEPS)下为 3396 t, 在宣布承诺情景(APS)下为 5413 t, 在 2050 年净零排放情景(NZE)下为 10 413 t。

3.1.2 汽车领域

白银广泛应用于汽车电子系统的开关、继电器和保险丝等组件的电触点中, 用来连接电子元件; 还应用在玻璃的导电浆料和陶瓷线中, 用于汽车玻璃除雾和除霜; 以及与半导体技术相关的发动机装置、制动防抱死系统等电子元件和控制单元。由于这些电子元件和控制单元在电动汽车中需求更大, 因此电动汽车对白银的需求量大于内燃机汽车, 2021 年汽车领域白银消费量 1941 t (SI, 2021b)。

根据 IEA 公布的全球电动汽车产量数据进行推算, 2035 年之前全球轻型汽车产量仍保持增长, 但增速放缓。电动汽车市场作为能源转型、实现绿色低碳可持续发展的关键部分(IEA, 2022), 政府持续的政策支持更是推动了电动汽车快速发展。中国新能源汽车进入加速发展新阶段, 计划到 2025 年新能源汽车销售量占比达到 20%, 至 2035 年新能源汽车成为中国主流产品, 汽车产业实现电动化转型(工信部, 2020)。日本政府准备在 2035 年实现轻型乘用车中传统燃油汽车的停售(METI, 2020)。美国白宫提出在 2030 年美国轻型乘用车中电动汽车销售份额将超过 50%(The White House, 2021)。欧盟委员会提出了到 2030 年欧洲至少拥有 3000 万辆零排放车辆, 而到 2050 年几乎所有汽车都将实现零排放的愿景(European Commission, 2020)。电动汽车不断普及的同时, 若电动车和充电桩的比例达到 10:1,

表 2 全球光伏太阳能未来白银需求量预测
Table 2 Forecast of future silver demand for global solar photovoltaic energy

	2025 年			2030 年			2035 年		
	STEPS	APS	NZE	STEPS	APS	NZE	STEPS	APS	NZE
全球新增装机容量/GW	179	224	393	230	333	711	200	318	612
单位容量电池载银量/(t/GW)		20.03			17.00			17.00	
载银量年均增长率		-5.06%			/			/	
预测白银需求量/t	3555	4277	6939	3564	4922	9927	3396	5413	10 413

表 3 2025 年、2030 年、2035 年全球轻型汽车销量
Table 3 Global light vehicle sales in 2025, 2030, and 2035

单位: 万辆	2025 年		2030 年		2035 年	
	EV	Total	EV	Total	EV	Total
既定政策情景(STEPS)	1765	12 415	2795	13 813	4 610	15 368
宣布承诺情景(APS)	2233	12 972	4703	13 469	9 090	13 985
2050 年净零排放情景(NZE)	3243	12 972	8081	13 469	11 188	13 985

则充电站等辅助基础设施需求的增多也推动白银需求逐年增长(IEA, 2022)。

不同车型的汽车载银量差别较大, 其中轻型汽车领域载银量最多, 而其他车型载银量远低于轻型汽车, 可以忽略不计(SI, 2021b)。受数据可得性影响, 本文只对轻型汽车白银需求进行测算。

根据推算出的不同情景下 2035 年之前全球轻型汽车销量(表 3), 可以看出未来全球汽车总销量基本缓慢增长, 但电动汽车所占的比例将会持续扩大。在宣布承诺情景(APS)下, 2025 年、2030 年和 2035 年全球电动汽车销量占比分别为 17%、35%和 65%, 电动汽车销量将在 2035 年超过内燃机汽车。

轻型汽车领域中, 一辆电动汽车(包括 BEV 和 PHEV)的平均载银量为 25~50 g, 一辆燃油汽车(包含油电混动汽车)的平均载银量为 15~34 g(SI, 2021b)。根据不同车型中载银量的不同, 将汽车白银需求量也划分为高、中、低三种情况。根据公式(2), 预测得到全球汽车白银消费量范围区间(图 6), 在中需求情景下, 2035 年全球汽车银需求量在既定政策情景(STEPS)下为 4365 t; 在宣布承诺情景(APS)下为 4608 t, 在 2050 年净零排放情景(NZE)下为 4881 t。由于中情景是基于各国政府的未来气候承诺而做出的预测, 相比于低情景在国家当前政策基础上预测、高情景在 2050 年实现净零碳排放的目标, 中情景下的白银需求量更符合实际情况。

3.1.3 5G 领域

5G 技术是移动通信技术的重大变革, 为经济社会绿色发展提供了网络化、数字化、智能化的技术手段, 已成为推动社会节能减排的重要引擎(孟月, 2022)。5G 相关的电子设备, 如半导体、片石多层陶瓷电容器、微型机电系统等设备都会消耗不同

数量的银(SI, 2020b)。从智能手机到物联网再到电动汽车, 5G 几乎覆盖了生活中使用的所有电子设备。随着基础设施的升级和电子设备的使用增加, 未来 5G 赋能产业的应用范围不断扩大、程度不断深化、水平不断提高(胡世良, 2022), 将增加 5G 设施中白银的消费量。

2021 年全球 5G 白银消费量为 300 t。5G 领域白银消费量 2025 年前按照年均增速 13.5%预测, 2025 年 5G 白银需求量达到 498 t; 2025 年之后按照年均增速 7.5%预测, 2030 年、2035 年的 5G 领域白银用银量分别达到 715 t 和 1028 t。

3.2 传统领域

白银传统工业领域分为电子电气领域、钎焊合金与焊料领域和其他领域(SI, 2022a)。

由于银的高导电性, 电子电气领域白银应用消费量较大的是触控面板、薄膜开关、柔性印刷电路板和发光二极管等, 被广泛地用于制造消费电子、工业设备、国防和航空航天等行业的各类电子产品(SI, 2021a)。科技和互联网蓬勃发展, 电子设备的广泛使用, 电子电气领域白银消费逐渐增长, 2021 年白银消费量为 4479 t, 占全球工业领域白银消费量的 28.33%。

在钎焊合金及焊料领域, 白银主要应用于基础设施的密封和管道连接、暖通空调系统的密封、汽车中的耐高温钎焊合金、电子产品的回流焊技术、组装发光二极管和珠宝的焊料(SI, 2022b)。随着基础设施建设、空调和汽车的普及, 2021 年白银消费量为 1484 t, 占全球白银工业消费量的 9.39%。

其他领域: 除了电子电气和钎焊合金外, 白银还有很多消费领域, 包括环氧乙烷催化剂、医疗设备和 3D 打印机等(SI, 2022a)。白银作为环氧乙烷的催化剂使用, 环氧乙烷(EO)是生产乙二醇的重要原料, 近年作为环氧乙烷催化剂的银的消费量强劲增长(CRU, 2016)。在医学方面, 银纳米粒子具有抗菌、抗癌、抗病毒等多种生物活性, 生物合成的纳米粒子用于敷料、涂层、载药等方面的技术研发近来取得长足进展(艾重阳等, 2020), 有很好的应用前景。2021 年消费量为 4060 t, 占全球白银工业消费量的 25.68%。

基于 1995—2021 年白银传统领域历史消费数据, 构建 ARIMA 模型推算出电子电气领域、钎焊合金及焊料领域和其他领域的未来发展趋势以及白银需求量, 得到未来传统领域全球白银需求总量。应用 Eviews 软件选择合适模型(表 4)得到 2022—2035 年各领域白银需求量预测结果(图 7)。

电子电气领域: 电子电气领域产品发展较为成

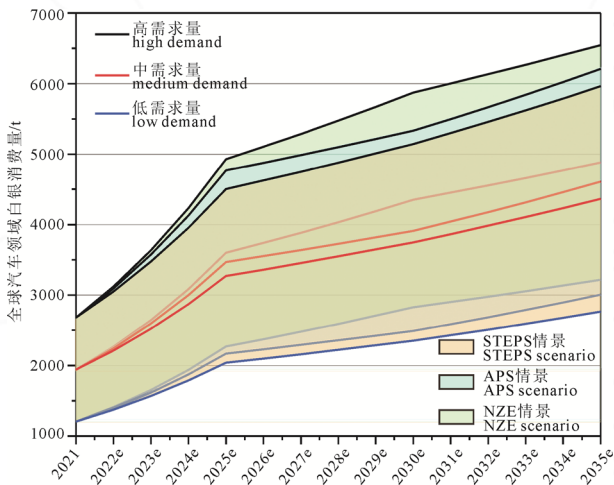
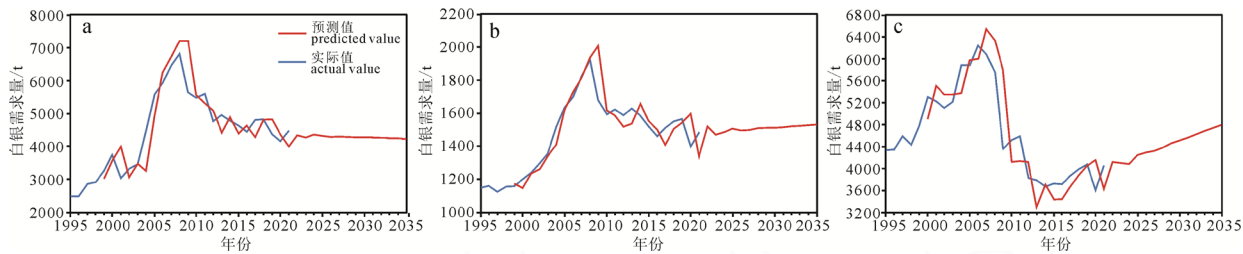


图 6 全球 2021—2035 年汽车领域白银需求量预测
Fig. 6 Forecast of global silver demand in the automotive sector from 2021 to 2035



a—电子电气领域; b—钎焊合金及焊料领域; c—其他领域。
a—electrical and electronics; b—brazing alloys and solder; c—other fields.

图 7 ARIMA 模型各领域需求量预测

Fig. 7 ARIMA model demand forecast in each sector

表 4 模型描述

Table 4 Model description

领域	选择模型	平均相对误差
电子电气领域	ARIMA(2, 2, 0)	8.06%
钎焊合金及焊料领域	ARIMA(2, 2, 0)	4.34%
其他领域	ARIMA(3, 2, 0)	7.92%

熟, 2025 年、2030 年、2035 年全球白银需求量分别为 4322 t、4283 t、4241 t(图 7a), 可以看出电子电气领域整体基本保持平稳趋势, 略有下降可能是因为含银产品技术优化减少白银消费量。

钎焊合金及焊料领域: 近年来基础设施建设扩张和汽车强劲需求, 都促使白银消费量在钎焊合金及焊料的使用中不断增长(SI, 2022b)。而钎焊领域中银焊料价格相对较高, 性能高、价格低的无银焊料开始受到人们的青睐, 但由于无银焊料性能局限性, 只能替代一部分银焊料(陈强和谢贵生, 2020), 因此无银焊料的发展会降低白银在钎焊合金及焊料领域需求的增长速度, 导致未来白银需求量增长幅度较小。2025 年、2030 年、2035 年钎焊合金与焊料领域的全球白银需求量分别为 1508 t、1512 t、1531 t(图 7b)。

其他领域: 基于目前环氧乙烷催化剂的消费量快速增长以及医疗行业良好的应用前景, 其他领域预测需求量呈增长趋势, 2025 年、2030 年、2035 年全球白银其他领域需求量分别为 4253 t、4513 t、4800 t(图 7c)。

将各领域预测结果汇总可以得到全球传统领域需求量(图 8), 2025 年、2030 年、2035 年需求量

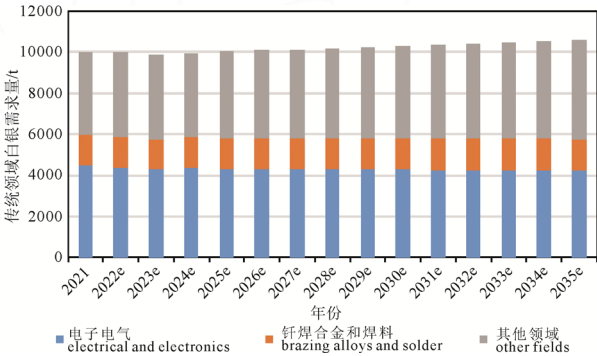


图 8 全球传统领域白银需求量预测

Fig. 8 Forecast of global demand for silver in traditional sectors

为 10 082 t、10 308 t、10 572 t, 2022—2035 年需求量增长较少。环氧乙烷催化剂和医疗行业的增长填补了电子电气领域白银需求的减少, 传统领域白银需求量整体保持平稳状态。

3.3 工业领域预测结果与讨论

综合上述低碳技术和传统工业两大领域预测结果, 得到全球工业领域白银需求量。由于需求增量最大的低碳技术领域的技术路径存在较大的不确定性, 根据 STEPS、APS 和 NZE 三种情景对未来全球白银需求量进行讨论(表 5)。

在既定政策情景(STEPS)下, 全球 2025 年、2030 年、2035 年工业领域总需求分别为 17 432 t、18 684 t、19 360 t。此情景下低碳领域发展比较缓慢, 直到 2035 年都未超过传统领域白银需求量。

在宣布承诺情景(APS)下, 2025 年、2030 年、2035 年工业领域总需求分别为 18 543 t、20 594 t、

表 5 全球白银工业领域总需求量预测

Table 5 Forecast of global industrial demand for silver

单位: t		2021 年	2024 年	2025 年	2030 年	2031 年	2035 年
	传统领域	10 023	9 938	10 082	10 308	10 354	10 572
既定政策情景 (STEPS)	低碳领域	5 778	6 865	7 350	8 376	8 443	8 788
	总需求量	15 800	16 803	17 432	18 684	18 797	19 360
宣布承诺情景 (APS)	低碳领域	5 778	7 716	8 461	10 286	10 421	11 049
	总需求量	15 800	17 654	18 543	20 594	20 775	21 621
2050 年净零排放 情景(NZE)	低碳领域	5 778	10 462	11 962	17 161	16 979	16 322
	总需求量	15 800	20 400	22 043	27 469	27 334	26 894

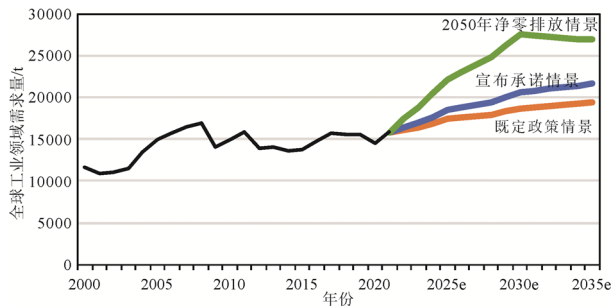


图9 全球白银工业领域预测需求量

Fig. 9 Global industrial silver demand forecast

21 621 t。此情景下全球低碳领域白银需求量在2031年超过传统领域需求，低碳技术需求量占比超过50%，说明未来白银需求在绿色能源领域有较大发展空间。

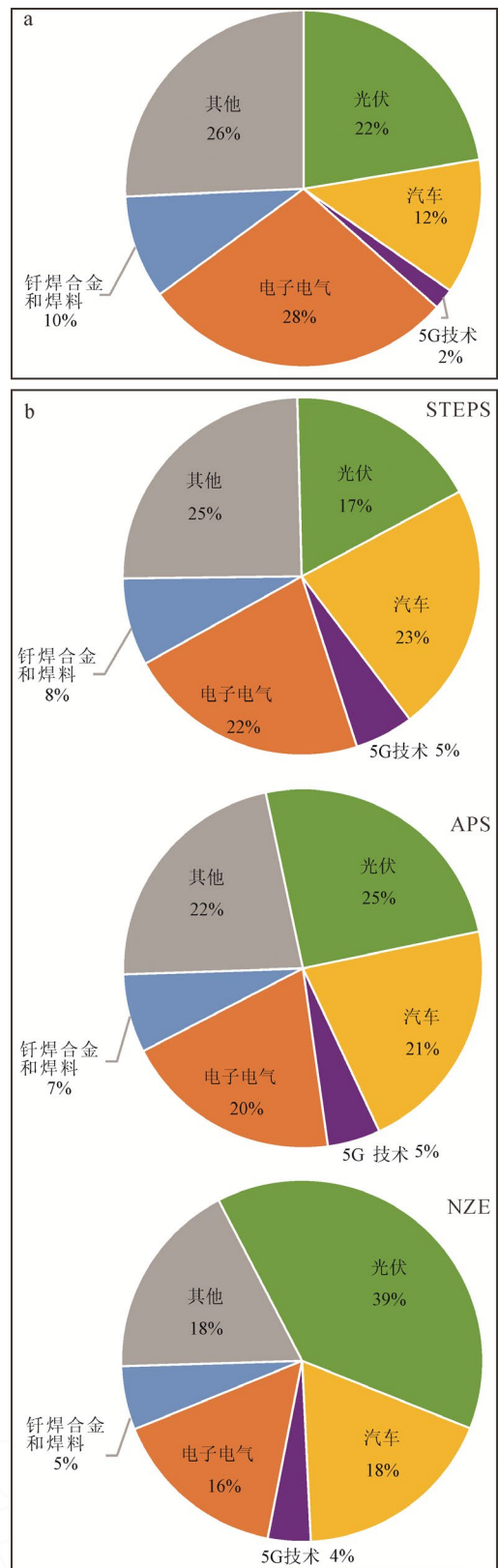
在2050年净零排放情景(NZE)下，2025年、2030年、2035年工业领域总需求分别为22 043 t、27 469 t、26 894 t。此情景下低碳技术领域需求量在2024年超过传统领域，占比超过50%，且在2035年占比达到61%。未来在实现2050年全球净零二氧化碳排放目标下，白银低碳领域展现出强劲需求增长。

1995—2021年全球工业领域白银消费量由9 198 t增长至15 807 t，年均增长率为2.10%。全球工业领域需求量在三种情景下都呈增长趋势，2022—2035年全球白银需求量年均增长率在既定政策情景下为1.43%，在宣布承诺情景下为2.15%，在2050净零排放情景下为3.39%(图9, 10)。

国际权威机构也发布了全球白银工业领域需求预测相关的报告。世界白银协会对2030年之前的全球工业领域白银需求进行了预测，认为在未来电子科技和白银领域新兴应用的发展下，2030年工业领域白银需求量将达到25 000 t左右(SI, 2021a)，介于本文预测的宣布承诺情景20 594 t和2050净零排放情景27 469 t之间。但在世界白银协会发布的另外一份报告中，未来十年光伏、汽车和5G技术相关低碳领域年均消费量为4000 t左右(Smirnova, 2021)，而本文预测在中情景下，未来十年低碳领域白银消费量将达到8254 t。本文预测白银低碳领域需求量高于世界白银协会预测值，是因为根据IEA设定的未来发展情景，结合各个国家做出的气候承诺和政策中光伏、汽车等领域发展趋势来预测白银消费量。综合来看，本文充分考虑了未来低碳领域和传统工业领域的发展趋势，并将未来增量最大的低碳领域需求划分为高中低三种部署情景进行预测，研究得到的工业领域白银需求量预测较合理。

4 认识与结论

本文运用部门分析法，将白银工业部门分为低



a—2021年全球白银工业领域消费结构；b—2035年STEPS、APS、NZE情景全球白银工业领域消费结构。

a—global industrial silver consumption structure in 2021;

b—global industrial silver consumption structure in 2035 under STEPS, APS and NZE scenarios.

图10 2021年、2035年全球白银工业领域消费结构对比
(数据来源: SI, 2022a 及本文预测)

Fig.10 Comparison of global industrial silver consumption structure in 2021 and 2035

(data source: SI, 2022a and prediction in this study)

碳领域和传统领域, 研究未来中长期白银工业领域的需求量, 得出结论:

(1)2022—2035 年间全球工业领域需求量在三种情景下都呈增长趋势。在既定政策情景(STEPS)下, 工业领域白银保持增长趋势, 2035 年白银工业需求量达到 19 360 t; 宣布承诺情景(APS)下, 同样是保持稳定增长趋势, 需求量增长速度大于既定政策情景, 2035 年全球工业需求量达到 21 621 t; 2050 年净零排放情景(NZE)下, 白银工业需求量将在 2030 年达到峰值, 需求量为 27 469 t, 之后白银需求呈缓慢下降趋势, 2035 年需求量降至 26 894 t。

(2)传统领域中电子电气需求略有下降, 但由于其他领域中环氧乙烷催化剂和医学领域白银需求量增长, 所以整体保持平稳趋势。低碳领域白银需求量增长迅速, 在宣布承诺情景下, 低碳领域将在 2031 年超过传统领域需求; 在 2050 年净零排放情景下, 低碳领域将在 2024 年超过传统领域需求量, 因此, 未来低碳领域必将是白银需求的关键部分, 推动整体工业需求量增长。

(3)2021 年银矿供应量为 25 587 t, 白银回收利用达到 5382 t, 全球白银总供应量合计 31 017 t, 白银 2021 年总消费量为 32 627 t, 供应基本可以满足消费。未来随着工业领域白银需求量大幅增长, 但全球银矿资源储量达 53 万 t, 预计并不会出现银矿资源供应不足的局面, 但未来在铅锌矿、铜矿、金矿的开采中需将银矿统筹考虑, 从而保障未来白银产业的供应安全。

Acknowledgements:

This study was supported by National Natural Science Foundation of China (Nos. 92162321, 71991485, 71991480 and 72088101), and China Geological Survey (No. DD20221795).

参考文献:

- 艾重阳, 赵茜茜, 吴宛芹, 刘冠闻, 师俊玲. 2020. 生物合成的银纳米粒子医学应用潜力[J]. 生命科学, 32(6): 630-640.
- 陈强, 谢贵生. 2020. 一种无银焊料与银焊料的焊接性能对比[J]. 铁道机车与动车, (4): 5-8.
- 陈星全, 屈金芝, 张艳松, 武丽丽, 王兰. 2021. 2021—2035 年世界锗矿产品供需形势分析[J]. 中国矿业, 30(3): 37-42.
- 陈兴荣. 2014. 全球与中国银矿资源现状及白银需求定量预测研究[D]. 北京: 中国地质大学.
- 代涛, 文博杰, 梁靓, 姜含璐. 2017. 铅消费规律探索及中国需求预测[J]. 地球学报, 38(1): 61-68.
- 工信部. 2022. 新能源汽车产业发展规划(2021—2035 年)[EB/OL]. [2022-07-31]. https://wap.miit.gov.cn/cms_files/filemanager/1226211233/attach/20224/73d4bf7a9abf4e1994b0fd211986641f.pdf.
- 胡世良. 2022. 实施 5G “三化” 策略加快 5G 规模化发展[J]. 通

信世界, (15): 23-25.

- 柳群义. 2019. 基于“S”形模型的全球铜需求分析[J]. 中国矿业, 28(10): 61-68.
- 孟月. 2022. 5G 创新助力绿色低碳发展[J]. 通信世界, (12): 14-15.
- 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.
- 王晨阳, 汪鹏, 汤林彬, 陈玮, 陈伟强. 2022. 碳中和背景下中国电动车产业稀土需求预测[J]. 科技导报, 40(8): 50-61.
- 王家鹏, 吴龙, 张洪川. 2021. 全球白银资源供需格局与价格影响因素分析[J]. 中国矿业, 30(S1): 1-4.
- 王修, 李天骄, 王安建, 刘冲昊, 范凤岩. 2022. 基于主要工业产品产量的我国钽资源需求预测[J]. 矿业研究与开发, 42(6): 191-196.
- 吴怀宇. 2004. 时间序列分析与综合[M]. 武汉: 武汉大学出版社.
- 吴晴, 张照志, 潘昭帅, 张泽南, 徐恒逸. 2021. 2020—2035 年我国钒需求预测[J]. 中国矿业, 30(5): 48-56.
- 张亮, 杨卉芹, 冯安生, 赵军伟, 谭秀民. 2016. 全球银矿资源概况及供需分析[J]. 矿产保护与利用, (5): 44-48.
- 郑明贵, 袁雪梅. 2018. 基于灰色神经网络的中国 2020—2030 年铬矿需求预测[J]. 资源开发与市场, 34(6): 747-752.
- 中国光伏行业协会. 2021. 中国光伏产业发展路线图[EB/OL]. [2022-04-02]. http://www.chinapv.org.cn/road_map/1016.html.

References:

- AI Chong-yang, ZHAO Xi-xi, WU Wan-qin, LIU Guan-wen, SHI Jun-ling. 2020. Medical applications of biological silver nanoparticles[J]. Chinese Bulletin of Life Sciences, 32(6): 630-640(in Chinese with English abstract).
- CHEN Qiang, XIE Gui-sheng. 2020. Comparison of welding properties between a silver-free solder and a silver solder[J]. Railway Locomotive and Motor Car, (4): 5-8(in Chinese with English abstract).
- CHEN Xing-quan, QU Jin-zhi, ZHANG Yan-song, WU Li-li, WANG Lan. 2021. Analysis of the global germanium resource supply and demand situation from 2021 to 2035[J]. China Mining Magazine, 30(3): 37-42(in Chinese with English abstract).
- CHEN Xing-rong. 2014. The status and quantitative prediction of silver resources in the world and China[D]. Beijing: China University of Geosciences(in Chinese with English abstract).
- China Photovoltaic Industry Association. 2021. China PV industry development roadmap[EB/OL]. [2022-04-02]. http://www.chinapv.org.cn/road_map/1016.html(in Chinese).
- CRU. 2016. Prospects for silver demand in ethylene oxide and photovoltaics[R]. London: CRU Consulting.
- DAI Tao, WEN Bo-jie, LIANG Liang, JIANG Han-lu. 2017. A Tentative Discussion on the Law of Lead Consumption and a Prediction of China's Lead Demand[J]. Acta Geoscientia Sinica, 38(01):61-68(in Chinese with English abstract).
- DOE. 2021. Solar futures study[R]. Washington D.C.: U.S. Department of Energy.
- European Commission. 2020. Sustainable and smart mobility strategy—putting European transport on track for the future[EB/OL]. [2022-04-02]. <https://eur-lex.europa.eu/re>

- source.html?uri=cellar:5e601657-3b06-11eb-b27b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF.
- GRANDELL L, THORENZ A. 2014. Silver supply risk analysis for the solar sector[J]. *Renewable Energy*, 69: 157-165.
- HU Shi-liang. 2022. Implement the "three industrialization" strategy to accelerate the large-scale development of 5G[J]. *Communications World*, (15): 23-25(in Chinese).
- IEA. 2021. World energy outlook 2021[EB/OL]. [2022-06-01]. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>.
- IEA. 2022. Global electric vehicle outlook 2022[EB/OL]. [2022-06-15]. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>.
- IRENA. 2022. Renewable capacity statistics 2022[EB/OL]. [2022-06-01]. <https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022>.
- LI Wen-hua, ADACHI T. 2018. Evaluation of long-term silver supply shortage for c-Si PV under different technological scenarios[J]. *Natural Resource Modeling*, 32(1): e12176.
- LIU Qun-yi. 2019. Global copper demand analysis based on the S-shape model[J]. *China Mining Magazine*, 28(10): 61-68(in Chinese with English abstract).
- MENG Yue. 2022. 5G innovation boosts green and low-carbon development[J]. *Communications World*, (12): 14-15(In Chinese).
- METI. 2020. 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 [EB/OL]. [2022-08-01]. <https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012-2.pdf>(in Japanese).
- METI. 2021. Outline of strategic energy plan[EB/OL]. [2022-06-10]. https://www.enecho.meti.go.jp/en/category/others/basic_plan/pdf/6th_outline.pdf.
- Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. 2022. New energy vehicle industry development plan (2021—2035)[EB/OL]. [2022-07-31]. https://wap.miit.gov.cn/cms_files/filemanager/1226211233/attach/20224/73d4bf7a9abf4e1994b0fd211986641f.pdf(in Chinese).
- OICA. 2021. Sales statistics[DB]. French: The International Organization of Motor Vehicle Manufacturers.
- SI. 2020a. Silver's important role in solar power[EB/OL]. [2022-4-13]. https://www.silverinstitute.org/wp-content/uploads/2020/06/SilverSolarPower_CRU2020.pdf.
- SI. 2020b. Silver's role in a future 5G connected world[EB/OL]. [2022-03-03]. <https://www.silverinstitute.org/wp-content/uploads/2017/05/5GSilver.pdf>.
- SI. 2021a. Silver in printed & flexible electronics[EB/OL]. [2022-03-03]. https://www.silverinstitute.org/wp-content/uploads/2021/05/content/uploads/2021/05/SilverElectronics_MmktTR2021v.pdf.
- SI. 2021b. Silver's growing role in the automotive industry[EB/OL]. [2022-04-12]. https://www.silverinstitute.org/wp-content/uploads/2021/01/SilverAutomotive_MmktTR2021.pdf.
- SI. 2022a. World Silver Surveys[EB/OL]. [2022-04-01]. <https://www.silverinstitute.org/all-world-silver-surveys/>.
- SI. 2022b. Silver in brazing and solder alloy materials[EB/OL]. [2022-08-10]. https://www.silverinstitute.org/wp-content/uploads/2022/06/SilverInBrazingAndAlloyMaterials_MmktTR2022.pdf.
- SMIRNOVA M. 2021. Silver's clean energy future[EB/OL]. [2022-04-02]. <https://www.sprott.com/insights/silvers-clean-energy-future/>.
- SOLARPOWER EUROPE. 2022. Global market outlook for solar power[EB/OL]. [2022-06-11]. https://api.solarpowereurope.org/uploads/Solar_Power_Europe_Global_Market_Outlook_report_2022_2022_V2_07aa98200a.pdf.
- THE WHITE HOUSE. 2021. President Biden announces steps to drive American leadership forward on clean cars and trucks[EB/OL]. [2022-08-10]. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/08/05/fact-sheet-president-biden-announces-steps-to-drive-american-leadership-forward-on-clean-cars-and-trucks/>.
- 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 Chen-yang, WANG Peng, TANG Lin-bin, CHEN Wei, CHEN Wei-qiang. 2022. Forecast of rare earth demand driven by electric vehicle industry in China: 2010-2060[J]. *Science & Technology Review*, 40(8): 50-61(in Chinese with English abstract).
- WANG Jia-peng, WU Long, ZHANG Hong-chuan. 2021. Analysis on the supply and demand pattern of global silver resources and the influencing factors of price[J]. *China Mining Magazine*, 30(S1): 1-4(in Chinese with English abstract).
- WANG Xiu, LI Tian-jiao, WANG An-jian, LIU Chong-hao, FAN Feng-yan. 2022. The forecast of tantalum resource demand based on the output of major industrial products in China[J]. *Mining Research and Development*, 42(6): 191-196(in Chinese with English abstract).
- WU Huai-yu. 2004. Time series analysis and synthesis[M]. Wuhan: Wuhan University Press(in Chinese).
- WU Qing, ZHANG Zhao-zhi, PAN Zhao-shuai, ZHANG Ze-nan, XU Heng-yi. 2021. Forecast of China's vanadium resource demand from 2020 to 2035[J]. *China Mining Magazine*, 30(5): 48-56(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Liang, YANG Hui-peng, FENG An-sheng, ZHAO Jun-wei, TAN Xiu-min. 2016. Study on general situation and analysis of supply and demand of global silver resource[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, (5): 44-48(In Chinese with English abstract).
- ZHENG Ming-gui, YUAN Xue-mei. 2018. Demand forecasting of China's chrome ore from 2020 to 2030 based on grey neural network[J]. *Resource Development & Market*, 34(6): 747-752(in Chinese with English abstract).