

文章编号: 1004-4051(2024)04-0032-07

DOI: 10.12075/j.issn.1004-4051.20240527

中国碲资源特征及勘查开发利用现状

王成辉^{1,2}, 赵晨辉¹, 李德先¹, 陈炳翰¹, 李 阳³,
刘金宇¹, 张能鑫¹, 方 勇¹

(1. 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 中国地质科学院矿产资源研究所,
北京 100037;

2. 自然资源部深地科学与探测技术实验室, 北京 100094;

3. 成都理工大学地球与行星科学学院, 四川 成都 610059)

摘 要: 碲(Te)是重要的战略性新兴产业矿产资源,在现代国防和工业及新兴领域具有广泛的用途。本文在《中国矿产地志·稀散金属矿卷》研编的基础上,对中国碲矿资源特征和勘查开发利用现状进行了系统梳理和总结,提出中国碲矿以伴生矿为主,独立碲矿床仅1个(四川大水沟);已查明碲矿资源储量集中分布在广东、江西和甘肃,3省碲资源量占全国资源总量的93.08%;伴生大型、超大型碲矿(大宝山、城门山、金川和白家咀子)具有较大的成矿潜力和找矿空间;目前,中国碲工业发展仍处于初级阶段,开发利用严重依赖于寄主矿床。随着太阳能电池、航空航天等技术的快速发展,碲矿资源需求将逐步加大,碲资源供应缺口即将来临。为了确保中国乃至全球碲资源的可持续供应,中国应加大碲资源的勘查力度,提高碲矿的提取技术,从而提高自身的碲产量和供应能力,推动碲产业的发展,减少对外依赖。这不仅有助于保障国家经济发展的需要,也有利于加速中国在碲相关产业领域的技术进步和国际竞争力的提升。

关键词: 碲矿; 关键矿产; 勘查成果; 开发利用; 发展趋势; 战略性新兴产业

中图分类号: TD-0; P622 **文献标识码:** A

Resource characteristics and current situation of exploration, development and utilization of tellurium in China

WANG Chenghui^{1,2}, ZHAO Chenhui¹, LI Dexian¹, CHEN Binghan¹, LI Yang³,
LIU Jinyu¹, ZHANG Nengxin¹, FANG Yong¹

(1. Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Ministry of Natural Resources; Institute of Mineral
Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. SinoProbe Laboratory, Ministry of Natural Resources, Beijing 100094, China;

3. College of Earth and Planetary Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: With the rapid development of technologies such as solar cells and aerospace, the demand for tellurium resources will gradually increase, and the supply gap of tellurium resources is approaching. Tellurium (Te) is an important mineral for strategic emerging industries and has a wide range of uses in modern national defense and industry as well as in emerging fields. Based on the research and

收稿日期: 2024-04-01 责任编辑: 赵奎涛

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“中国矿产地志”资助(编号: DD20221695, DD20190379, DD20160346)

第一作者简介: 王成辉(1982—),男,博士,研究员,主要从事金矿与稀土矿产研究, E-mail: 22871914@qq.com。

引用格式: 王成辉, 赵晨辉, 李德先, 等. 中国碲资源特征及勘查开发利用现状[J]. 中国矿业, 2024, 33(4): 32-38.

WANG Chenghui, ZHAO Chenhui, LI Dexian, et al. Resource characteristics and current situation of exploration, development and utilization of tellurium in China[J]. China Mining Magazine, 2024, 33(4): 32-38.

compilation of the *Geology of mineral resources in China volume of dispersed metals*, this paper further summarizes the characteristics of tellurium resources and the exploration, development and utilization in China, and concludes that the distribution of tellurium resources in China is relatively centralized, with one independent tellurium deposit (Dashugou, Sichuan) and four accompanying large-scale-extra-large tellurium mines (Daboshan, Chengmenshan, Jinchuan and Baijiazui), which have large potential for ore formation and room for finding ore. Although China's cumulative proven tellurium resources ranking first in the world, its tellurium industry development is still in its infancy compared to the rest of the world. Moreover, its development and utilization heavily rely on the exploitation of host deposits. Therefore, overcoming this limitation becomes a key focus for future exploration, development, and utilization of tellurium resources in China. To ensure sustainable supply of tellurium resources, China should intensify exploration efforts, develop mining technologies for tellurium deposits, promote the development of the tellurium industry, reduce external dependencies, and increase domestic tellurium production and supply capacity. This will not only meet the needs of national economic development but also accelerate technological progress and enhance international competitiveness in tellurium-related industries in China.

Keywords: tellurium; critical mineral; exploration result; development and utilization; development trend; strategic emerging industry

0 引言

碲是目前地学界公认的八种分散元素之一,由奥地利人缪勒(Müller F J)于1782年在萨拉特纳发现,1798年德国著名的矿物学家克拉普罗特(Klaproth M H)将其命名为 tellurium(来自于拉丁文 tellus,即“地球”之意),元素符号定为 Te。碲的克拉克值仅 0.01×10^{-6} 或更低^[1],在地壳中绝大部分都分散到硫化物矿物的晶格中,只有在硫浓度明显降低的场合,才有可能形成独立的碲矿物。由于碲是亲地幔地核、高挥发分、水溶性差、易富集于硫化物的元素,碲含量高是岩体源岩中含有幔源组分的标志^[2],与碲相关的矿床其成因也与深部岩浆活动或地幔密切相关。

碲的用途广泛,除了应用于冶金、石油、电子、玻璃、陶瓷、医药、化工等传统领域,在光伏电池、电脑芯片、红外探测等新能源、新材料等新兴产业中也有广泛的应用,全球对碲资源的需求量越来越大。中国碲资源丰富,作为全球主要的碲生产国,碲资源的开发利用及保护对中国乃至全球都有着重要的意义。

本文在《中国矿产地质志·稀散金属矿卷》研编的基础上,对中国碲矿资源特征和勘查开发利用情况进行了系统梳理和总结,并对未来碲产业的发展趋势进行了初步分析,以期对中国碲资源的合理利用提供基础数据支撑。

1 中国碲矿的资源特征

中国碲矿资源居世界前列,拥有全球仅有的独立碲矿床——四川省石棉县大水沟碲矿。目前,中国已查明碲矿产地63处,其中,独立碲矿1处(图1)。中国伴生碲矿资源较为丰富,分布在广东、江西、甘

肃、陕西等16个省(区),资源储量主要集中于广东、江西和甘肃3省(表1),分别占全国碲矿资源储量的37.95%、32.76%和22.37%,3省资源储量之和占中国资源储量的93.08%。矿床类型以热液型多金属矿床、矽卡岩型铜矿床和岩浆铜镍硫化物型矿床为主,分别占中国伴生碲储量的44.77%、43.89%和11.34%^[3]。据统计,广东曲江大宝山铜多金属矿(占全国伴生碲储量的37.95%)、江西九江城门山铜矿(占比32.76%)、甘肃白家咀子(占比9.97%)和金川铜镍矿(占比12.35%)为中国4个大型、超大型伴生碲矿床,这4个矿床碲资源储量之和为中国伴生碲资源储量的93.08%。

根据自然资源部全国矿产资源储量统计数据,2020年中国碲矿资源储量3 024.50 t,集中分布在江西和甘肃两省,两省碲资源储量分别占到全年总储量的61.17%(1 850.00 t)和36.68%(1 109.51 t)。

2 中国碲矿的开发利用现状

2.1 碲的工业要求

虽然碲在热液型多金属矿床、矽卡岩型铜矿床和铜镍硫化物矿床中多有分布,但是碲无独立的工业指标。常见的铜镍矿石和其他矿石中伴生碲的工业指标见表2。

2.2 碲的开发利用现状

中国的碲矿产业链目前尚不完整且规模相对较小。大多数企业停留在原料级产品和低附加值产品的加工阶段,如制备安全塞、保险丝、焊锡、铅字等。然而,中国有望通过进一步的研究和发展,完善这一产业链。2013年3月1日,国家发展和改革委员会批准建设攀西国家战略资源创新开发试验区,旨在



图 1 中国碲矿产地分布图

Fig. 1 Distribution map of tellurium production areas in China

表 1 中国碲矿产地一览

Table 1 List of tellurium production areas in China

序号	省(区、市)	市	县	矿产地	主矿种	矿种组合	矿床类型	成矿时代	碲矿规模
1	安徽	六安市	金寨县	银水寺	Pb、Zn	Pb、Zn、Mo、Ag、Ga、Se、Te、In	矽卡岩型	燕山期	小型
2	安徽	铜陵市	铜陵县	铁山头	Cu	Cu、Fe	矽卡岩型	燕山期	小型
3	安徽	铜陵市	铜陵县	新桥	Au	Au	矽卡岩型	燕山期	小型
4	福建	龙岩市	上杭县	紫金山	Au、Cu	Cu、Au、Te	陆相火山岩型	燕山期	小型
5	甘肃	定西市	岷县	寨上	Au	Au	浅成中-低温热液型	燕山期	小型
6	甘肃	金昌市	金川区	金川	Cu、Ni	Cu、Ni、PGE、Se、Te	岩浆型	加里东期	大型
7	甘肃	金昌市	永昌县	白家咀子	Cu、Ni	Cu、Ni、Co、Pt、Se、Te、Au	岩浆型	加里东期	大型
8	甘肃	酒泉市	肃北蒙古族自治县	黑山	Cu、Ni	Cu、Ni、Co、PGE、Au、Ag、Se、Te、Cr、Pd、Zn、As、Bi、Te	岩浆型	华力西期	矿点
9	甘肃	酒泉市	肃北县	霍勒扎德盖	Au	Au、Te	岩浆热液型	燕山期	小型
10	广东	汕头市	澄海区	莲花山	W	W、Cu、Sn、B	岩浆热液型	燕山期	小型
11	广东	韶关市	曲江区	大宝山	Cu、Pb、Zn	Cu、Mo、Fe、Pb、Zn、S、Bi、Cd、Ga、In、Se、Te、Tl、Re、Ag、Au	斑岩-矽卡岩型	燕山期	超大型
12	广东	韶关市	始兴县	石人嶂	W	W、Te	岩浆热液型	燕山期	小型
13	广西	贺州市	八步区	水岩坝	W	W、As、Sb、Se、Te	岩浆热液型	华力西期	小型
14	河北	承德市	宽城县	峪耳崖	Au	Au	岩浆热液型	燕山期	中型

续表 1

序号	省(区、市)	市	县	矿产地	主矿种	矿种组合	矿床类型	成矿时代	碲矿规模
15	河北	邯郸市	涉县	符山	Fe	Fe、Cu、Ni、Te、Se	矽卡岩型	燕山期	小型
16	河北	邯郸市	武安县	东方红	Fe	Fe、Co、Ni、Cu、Se、Te	矽卡岩型	燕山期	小型
17	河北	唐山市	迁西县	金厂峪	Au	Au	岩浆热液型	燕山期	中型
18	河北	邢台市	沙河县	中关	Fe	Fe、Co、Cu、Ni、Se、Te	矽卡岩型	燕山期	矿点
19	河北	张家口市	崇礼县	东坪	Au	Au	岩浆热液型	华力西期	中型
20	河南	三门峡市	灵宝市	大湖	Au	Au	岩浆热液型	燕山期	中型
21	河南	三门峡市	灵宝市	金渠沟	Au	Au、Pb、Cu、Ag、S、Te	岩浆热液型	燕山期	小型
22	河南	三门峡市	灵宝市	文峪	Au	Au	岩浆热液型	燕山期	中型
23	河南	三门峡市	灵宝市	杨砦峪	Au	Au	岩浆热液型	燕山期	中型
24	黑龙江	哈尔滨市	宾县	明礼	Pb、Zn	Pb、Zn、Fe、W、Mo、Au、 Ag、Cd、In、Te	矽卡岩型	印支期	小型
25	黑龙江	黑河市	爱辉区	三道湾子	Au	Au、Ag、Te	岩浆热液型	燕山期	中型
26	黑龙江	黑河市	逊克县	翠宏山	Fe	Fe、Mo、W、Zn、Cu、Pb、 Sn、Cd、In、Se、Te、Re	矽卡岩型	燕山期	小型
27	黑龙江	鸡西市	鸡东县	五星	Pt、Pd	PGE、Cu、Co、Se、Te、Ni	岩浆型	喜马拉雅期	矿点
28	黑龙江	双鸭山市	宝清县	老柞山	Au	Au、As、Te	岩浆热液型	燕山期	小型
29	黑龙江	伊春市	嘉荫县	乌拉嘎	Au	Au	岩浆热液型	燕山期	小型
30	湖北	黄石市	大冶市	鸡冠咀	Au、Cu	Cu、Au、Ag、Fe、Mo、Te、 Se、Ga	斑岩-矽卡岩型	燕山期	小型
31	湖北	黄石市	大冶市	铜山口	Cu	Cu、Mo、Ag、Se、Te、Re	斑岩-矽卡岩型	燕山期	小型
32	湖北	黄石市	阳新县	鸡笼山	Au、Cu	Au、Cu	矽卡岩型	燕山期	小型
33	湖北	黄石市	阳新县	李家湾	Cu	Cu、Au、Ag、Mo、S、Se、 In、Cd	矽卡岩型	燕山期	小型
34	湖南	郴州市	桂阳县	柳塘岭	Pb、Zn	Pb、Zn、Ag、Mn、Te、Cd、 Ga、Tl、In	岩浆热液型	华力西期	矿点
35	湖南	郴州市	苏仙区	柿竹园	Sn、W	W、Sn、Mo、Bi	矽卡岩型	燕山期	小型
36	湖南	衡阳市	常宁市	康家湾	Pb、Zn	Pb、Zn、Cd、In、Ge、Co、 Se、Tl、Te、Bi、Ag	岩浆热液型	燕山期	小型
37	湖南	衡阳市	衡东县	鸭公塘	Pb、Zn	Au、Pb、Zn、Cu	斑岩-矽卡岩型	燕山期	小型
38	湖南	怀化市	新晃县	方家屯客寨	Hg	Hg、Se、Te	浅成中-低温 热液型	燕山期	矿点
39	湖南	永州市	江永县	铜山岭	Cu、Pb、Zn	Cu、Pb、Zn、W、Mo、Ag、 Bi、Cd、Te、Ga	斑岩-矽卡岩型	燕山期	小型
40	吉林	吉林市	磐石市	红旗岭	Cu、Ni	Cu、Ni、Se、Te	岩浆型	华力西期	矿点
41	吉林	通化市	通化县	赤柏松	Cu、Ni	Cu、Ni、Co、Se、Te、S	岩浆型	晋宁期	小型
42	江西	赣州市	于都县	安前滩	W	W、Mo、Cu、Bi	岩浆热液型	燕山期	小型
43	江西	赣州市	于都县	盘古山	W	W、Bi、Te	岩浆热液型	燕山期	小型
44	江西	九江市	九江县	城门山	硫铁矿、Cu	Cu、S、Pb、Zn、Cd、 Te、Ga	斑岩-矽卡岩型	燕山期	超大型
45	辽宁	丹东市	凤城市	白云	Au	Au、Ag	岩浆热液型	印支期	小型
46	辽宁	葫芦岛市	连山区	新台门	Mo、Zn	Mo、Pb、Zn	斑岩型	燕山期	矿点
47	辽宁	葫芦岛市	连山区	杨家杖子	Mo	Mo、Pb、Zn	矽卡岩型	燕山期	矿点
48	内蒙古	乌兰察布盟	四子王旗	小南山	Cu、Ni	Cu、Ni、Co、Pt、Pd、Se	岩浆热液型	华力西期	矿点
49	山东	临沂市	平邑县	归来庄	Au	Au、Ag、Cu、Pb、Zn、 Te、Sb	岩浆热液型	燕山期	中型
50	山东	威海市	乳山市	英格庄	Au	Au、Te	岩浆热液型	燕山期	小型
51	山东	烟台市	福山区	王家庄	Cu	Cu、Zn、Ag、Cd、Se、 Te、Ge	岩浆热液型	燕山期	矿点
52	陕西	商洛市	洛南县	黄龙铺	Mo	Pb、Mo、Fe、Re、Te、Se	矽卡岩型	印支期	中型
53	陕西	商洛市	雒南县	石家湾	Mo	Mo、Ga、Se、Te、S	斑岩型	燕山期	中型

续表 1

序号	省(区、市)	市	县	矿产地	主矿种	矿种组合	矿床类型	成矿时代	碲矿规模
54	四川	甘孜藏族自治州	丹巴县	杨柳坪	Pt、Ni	Pt、Pd、Au	岩浆热液型	华力西期	小型
55	四川	雅安市	石棉县	大水沟	Te	Te、Bi、Se、Au、Ag	浅成中-低温热液型	燕山期	中型
56	四川	雅安市	石棉县	钟家	硅石	硅石、Te	岩浆热液型	燕山期	矿点
57	新疆	阿尔泰地区	富蕴县	喀拉通克	Cu、Ni	Cu、Ni、Au、Ag、Co、Pt、Pd、Se、S、Te	岩浆型	华力西期	小型
58	云南	楚雄彝族自治州	姚安县	姚安	Au	Au	矽卡岩型	喜马拉雅期	小型
59	云南	楚雄彝族自治州	元谋县	朱布	Pt、Pd、Cu、Ni	PGE、Cu、Ni、Au、Ag、Te	岩浆型	华力西期	矿点
60	云南	大理白族自治州	鹤庆县	北衙	Au	Au、Fe、Cu	矽卡岩型	喜马拉雅期	小型
61	云南	红河哈尼族彝族自治州	金平县	白马寨	Cu、Ni	Ni、Cu、Co、PGE、Au、Ag、Te	岩浆型	燕山期	矿点
62	浙江	杭州市	淳安县	木瓜岭	Hg	Hg、Se、Te	浅成中-低温热液型	燕山期	小型
63	浙江	丽水市	遂昌县	治岭头	Au、Ag	Au、Ag、Pb、Zn、黄铁矿、Te	陆相火山岩型	燕山期	小型

资料来源:文献[4]~文献[6]。

表 2 碲的一般工业要求

Table 2 Industrial indicators of tellurium

单位: Te/%

项目	矿石品位
铜、镍矿石中	0.000 2~0.000 6
自然硫矿床中	0.001 0~0.020 0
含铜黄铁矿矿石中	0.001 0~0.016 0
含铜黄铁矿中	0.010 0~0.080 0
铜钼硫化物矿床中	0.000 8~0.005 0
铜、钼矿石中	0.030 0
铜、铅、锌矿石中	0.001 0
辉钴矿、碲化物-硒化物型的矿石中	0.000 2~0.000 7
各类型低温碲金矿床中	0.001 0~0.010 0

资料来源:文献[7]。

重点开发攀西地区的钒钛磁铁矿、稀土和碲铋资源。这一举措为中国碲产业的发展提供了新的契机。依托攀西地区丰富的碲铋资源储量,中国有望研究碲铋新材料技术,并向高尖端、高附加值的碲铋功能材料方向转型。这些材料可以广泛应用于军事武器装备、感光器、野外用电池、激光制导、绿色制冷等领域。具体来说,四川省石棉县的大水沟独立碲铋矿床的碲平均品位约为 0.1%^[8],远景储量超过 2 000 t^[9]。虽然矿山资源储量在 1 000 t 左右,但目前还不具备大规模开采的条件。根据估算,中国未计入储量的碲矿资源约为 10 000 t,具有巨大的潜力。

在各个领域中,碲都有着广泛的应用。在冶金工业中,碲的用量占应用总量 78%^[10],碲可以增强钢

的机械加工性能,提高不锈钢、低碳钢的加工成品率。在石油和化学工业中,碲的用量占应用总量 12%,碲可用作石油裂解催化剂的添加剂以及制取乙二醇的催化剂。在电子和电化工业中,碲的用量占应用总量 8%,主要用于感光器。碲和一些碲化物是半导体材料,超纯碲单晶是新型的红外材料。在玻璃工业中,氧化碲可作为玻璃的着色剂。此外,碲的有机化合物具有抗肿瘤和抑制白血病细胞增殖等医药应用。碲化镉薄膜太阳能电池相比传统的单晶硅太阳能电池具有成本低、弱光性更好等优势。通过进一步的技术研究和开发,中国有望将碲矿资源转化为更多高附加值的产品,推动碲矿产业链的发展。

3 中国碲产业现状及其在世界上的地位

中国是全球最大的碲资源国、消费国和生产国,国内碲产业发展较快。根据统计,截至 2019 年底,全球碲产量为 470 t^[11],其中,中国碲产量为 290 t,占全球总产量的 61.70%;日本、俄罗斯、瑞典、加拿大、保加利亚、南非等国家碲产量占 38.3%。

碲的价格每年都有波动,2012 以来,碲(99.95%)的价格呈下降趋势。2012—2013 年,太阳能光伏系统出现并网延迟现象,一些 2010 年安装的设备到 2011 年、2012 年也未能并网,并且太阳能发电上网电价补贴政策项目的大量减少,光伏市场在高速发展后出现回落,导致光伏电池产能严重过剩,多家太阳能电池制造商申请破产或减产,碲价格下跌。

近年来,铜铟镓硒(CIGS)薄膜太阳能电池行业

增长迅速,这进一步挤压了碲化镉(CdTe)薄膜太阳能电池的市场空间。这种趋势对碲化镉以及碲的价格都产生了影响。由于CIGS薄膜太阳能电池具有高效率 and 轻薄灵活等优点,因此在市场上受到了广泛认可并迅速发展。与此同时,碲作为碲化镉薄膜太阳能电池的主要成分之一,其需求受到了影响,价格也相应受到了压制。市场竞争的激烈使得碲化镉薄膜太阳能电池制造商不得不努力降低成本以维持竞争力,这导致了对碲的需求减少,进而影响了碲的市场价格。虽然如此,碲化镉薄膜太阳能电池在一些特定应用场景中仍然保持一定市场份额,但其市场受到了更大程度的挑战。

中国是精制碲的主要生产国,主要从铜阳极泥和铅、镍、贵金属和锌冶炼过程中产生的残渣中回收碲。2019年底,云南省政府宣布拍卖170 t从废弃的泛亚金属交易所出产的碲,起拍价为43美元/kg,总成交价为734万美元,并于2019年12月成交。2020年,由于对太阳能生产项目的投资增加,中国对太阳能电池板的CdTe需求有所增加。一家中国公司的碲产量从2019年的每月1 t增加到每月6 t。2020年前6个月,中国的CdTe出口也增长了6%,达到300 t以上。

2020年全球阳极泥中的碲含量与2019年基本保持不变。一家美国阳极泥生产商至少将其阳极泥的一部分运往墨西哥进行处理和精炼。2020年8月之前,美国碲的月均价格普遍下降,从1月份的65美元/kg左右降至8月份的55美元/kg左右,此后价格在9月份回升至60美元/kg左右。

4 碲在新兴产业发展中的应用及趋势

战略性新兴产业一般指那些在经济和社会长期发展中具有重要引领和带动作用的产业。这些产业具有知识技术密集、资源利用高效、成长潜力巨大、综合效益显著等特征。在中国,战略性新兴产业被视为产业升级的核心,也被认为是未来产业发展的主要增长引擎。党中央、国务院高度重视培育和发展战略性新兴产业,2010年10月,国务院印发《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》(国发〔2010〕32号),提出了中国战略性新兴产业概念,确定了培育和发展重点方向,标志着中国战略性新兴产业正式启动。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》明确提出:“着眼于抢占未来产业发展先机,培育先导性和支柱性产业,推动战略性新兴产业融合化、集群化、生态化发展,战略性新兴产业增加值占GDP比重超过17%”。

4.1 碲在产业发展中的应用转变

根据国家统计局发布的《战略性新兴产业分类(2018)》,战略性新兴产业包括新一代信息技术、高端装备制造、新材料、生物、新能源汽车、新能源、节能环保、数字创意、相关服务业九大产业^[12]。近年来,稀散金属在新兴产业发展迅速,特别是镓、锗、铟、硒、碲,在光伏电池、电脑芯片、红外探测等新能源、新材料等战略性新兴产业得到了广泛应用^[13]。

自20世纪50年代开始,碲及其化合物逐渐广泛应用于多个领域,主要包括太阳能、热电制冷、电子、合金和橡胶等行业。随着科学技术的不断进步,碲的应用领域已经从传统的冶金和石油化工产业转向了半导体、薄膜太阳能、红外探测等新兴产业。目前,碲在新兴产业的消费占比已经达到了约80%。碲具有优异的性能,在太阳能电池领域,特别是碲化镉用于太阳能电池中,能够大幅提高光能转化效率。因此,碲作为一种具有重大战略意义的新能源材料,正受到越来越多的关注和应用。2023年,全球碲消费量占比为:光伏行业40%,热电生产工业30%,冶金工业15%,化工橡胶业5%,其他10%^[14]。根据《“十四五”可再生能源发展规划》,到2030年中国风电和太阳能发电总装机容量达到12亿kW,该规划可能会进一步增加太阳能行业对碲化镉薄膜太阳能电池板的需求。

4.2 碲在世界主要国家中的应用

全球碲消费国主要包括中国、美国、加拿大、德国、墨西哥等国家。碲是一种稀有金属元素,作为半导体材料在光电子学和能源领域具有重要应用。作为太阳能电池的关键材料之一,碲化镉在能源转换领域发挥着重要作用。同时,碲也被应用于其他领域,如制冷、热电装置、合金制造等。中国拥有丰富的碲矿资源,应当加强其开发、利用和保护。

随着全球能源结构的调整和对清洁能源的需求增加,太阳能等可再生能源的重要性日益凸显。碲化镉薄膜太阳能电池因其高效率、稳定性和低成本而备受关注,是未来太阳能电池技术的重要发展方向之一。但需注意的是,碲的生产与环境保护需求密切相关,应采取科学合理的生产方式,减少对环境的负面影响。目前,世界上生产太阳能电池的公司主要有美国First Solar LLC和德国的Antec Solar Energy AG。Antec Solar计划扩大太阳能电池产量至25 MW/a, First Solar计划扩大太阳能电池产量至100 MW/a。

中国近80%的碲消费主要用于新兴产业,如薄膜太阳能、半导体和红外探测等领域。中国太阳能

行业发展迅速,碲化镉薄膜太阳能电池因其成本低廉、光电转换效率高和稳定性好等特点而备受关注。尽管碲化镉的制备存在环境问题,但其研究和应用仍是当前光伏领域的焦点之一。值得注意的是,制约太阳能电池 CdTe 基材发展的关键因素之一是碲的生产。据估算,到 2030 年,制造太阳能电池的碲需求量将超过目前全球的碲产量,达到 400~500 t。因此,制造太阳能电池的 CdTe 材料对碲的需求将继续增强,成为未来碲需求的主要拉动力。

中国是全球碲资源消费和生产的主要国家之一。随着新能源和新材料领域的快速发展,中国的碲产业也在不断壮大。作为重要的原材料,碲在国内外的需求量预计将持续增加。总体而言,未来中国对碲资源的需求量将呈现稳步增长的趋势。

5 结 语

1)中国碲资源丰富,以伴生矿为主,但目前国内缺乏专门的矿产研究单位对碲矿产资源进行系统评价。大多数企业也没有实现碲生产的产业化,这导致了許多碲资源的浪费,例如广东大宝山矿和甘肃金川铜镍矿。尽管主要矿种的开发利用已有超过半个世纪的历史,但伴生碲矿的利用仍然处于完全空白的状态。

2)碲是一种重要的材料,被广泛应用于航空航天领域,如太阳能电池、红外线探测器等。目前,国内虽然基本能够满足自身需求,并且出口了部分含碲废碎料和初级产品,但随着碲需求的增长,供应缺口将迅速出现。

3)随着中国经济的持续发展和产业结构的升级,对碲等战略性稀缺资源的需求将会持续增加,这将对碲资源的开发和利用提出更高的要求。因此,有必要加快国内碲资源的评估和开发利用,以确保能够满足未来的需求,并实现碲资源的可持续利用。

参考文献(References):

[1] 刘英俊,曹励明,李兆麟,等.元素地球化学[M].北京:科学出版社,1984.

- [2] 陈光远,孙岱生,邵伟,等.胶东郭家岭花岗闪长岩成因矿物学与金矿化[M].武汉:中国地质大学出版社,1993.
- [3] 中国地质矿产信息研究院.中国矿产[M].北京:中国建材工业出版社,1993.
- [4] 李德先,王登红,等.中国矿产地质志·稀散金属矿卷[M].北京:地质出版社,2024(待出版).
- [5] 中国矿产地质志项目办公室.中国矿产地质志省级矿产地质志研编技术要求[R].2016.
- [6] 徐志刚,陈毓川,王登红,等.中国成矿区带划分方案[M].北京:地质出版社,2008.
- [7] 《矿产资源工业要求参考手册》编委会.矿产资源工业要求参考手册[M].北京:地质出版社,2021.
- [8] 陈毓川,毛景文,骆耀南,等.四川大水沟碲(金)矿床地质和地球化学[M].北京:原子能出版社,1996.
- [9] 邢翔,郭建秋.碲的应用及其资源分布[J].矿产保护与利用,2009,29(3): 19-22.
XING Xiang, GUO Jianqiu. Application of tellurium and its resources distribution[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2009, 29(3): 19-22.
- [10] 邢翔,郭建秋.碲的作用、分布及其开发利用[J].科技创业,2008(12): 184-185, 187.
XING Xiang, GUO Jianqiu. Function, distribution and development of tellurium[J]. Pioneering with Science & Technology Monthly, 2008(12): 184-185, 187.
- [11] U. S. Geological Survey. Mineral commodity summaries[M]. 2020.
- [12] 梅燕雄,裴荣富,魏然,等.关键矿产与能源资源安全[J].中国矿业,2022,31(11): 1-8.
MEI Yanxiong, PEI Rongfu, WEI Ran, et al. Critical minerals and energy resources security[J]. China Mining Magazine, 2022, 31(11): 1-8.
- [13] 王登红.试论稀散金属矿产与新质生产力[J/OL].中国矿业: 1-11[2024-04-07].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3033.TD.20240308.1251.002.html>.
WANG Denghong. Discussion on the dispersed metals resources and new quality productivity[J/OL]. China Mining Magazine: 1-11[2024-04-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3033.TD.20240308.1251.002.html>.
- [14] 符亚洲,黄栗诚,李嘉荣,等.碲的地球化学与碲资源研究现状[J].矿物岩石地球化学通报,2022,42(4): 741-754.
FU Yazhou, HUANG Sucheng, LI Jiarong, et al. Status of researches on the geochemistry of tellurium and tellurium resources[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2022, 42(4): 741-754.