

可持续发展背景下世界铝工业 发展现状、趋势及我国的对策

许国栋^{1,2}, 敖宏³, 余元冠¹

- (1. 北京科技大学 东凌经济管理学院, 北京 100083;
2. 北京有色金属研究总院 有色金属材料制备加工国家重点实验室, 北京 100088;
3. 中国铝业公司, 北京 100082)

摘要: 以可持续发展为背景, 综述世界和我国铝工业的发展现状, 探讨现代铝工业的发展趋势: 氧化铝和电解铝的生产由工业发达国家逐渐向发展中国家以及资源、能源丰富的国家转移; 现代铝工业的重心由原生铝向再生铝转移, 并呈现出一体化、国际化、集团化和生态化趋势。采用对比的方法, 从铝土矿资源、氧化铝生产、电解铝生产、再生铝生产及铝制品加工等方面比较了我国铝工业与世界铝工业发展存在的差距, 揭示了我国铝工业实现可持续发展面临的主要矛盾和影响因素, 并从资源、生产、加工和技术等环节提出了战略建议。

关键词: 铝土矿; 氧化铝; 电解铝; 再生铝; 可持续发展; 战略建议

中图分类号: C93

文献标志码: A

Current status and development trend of aluminum industry in world and strategy suggestions in China under background of sustainable development

XU Guo-dong^{1,2}, AO Hong³, SHE Yuan-guan¹

- (1. Dongling School of Economics and Management, University of Science and Technology Beijing,
Beijing 100083, China;
2. State Key Laboratory of Fabrication and Processing for Nonferrous Metals,
General Research Institute for Nonferrous Metals, Beijing 100088, China;
3. Aluminum Corporation of China, Beijing 100082, China)

Abstract: Under the background of sustainable development, an overview of aluminum industry current status of the world and China was provided, and the modern aluminum industry development trend was discussed and described as follows: alumina and electrolytic aluminum production areas are transferred from the developed countries to developing countries and countries that have plenty of resources and energy; modern aluminum industry puts more emphasis on the recycled aluminum than primary aluminum. Using comparison method, the differences of aluminum industry development, including alumina bauxite, aluminum oxide, electrolytic aluminum, recycled aluminum, and aluminum products processing, between China and the other countries, were put forward. The main contradiction and influencing factors of China aluminum industry sustainable development were pointed out. In the end, strategy suggestions were given, from aspects of bauxite resource, production, processing, technology and so on.

Key words: bauxite; alumina; electrolytic aluminum; recycled aluminum; sustainable development; strategy suggestion

自1987年世界环境与发展大会提出“可持续发展”概念以来,其理论研究和实践在各国蓬勃开展,可持续发展成为各国竞相采用的经济发展理念。1992年,联合国制订的《21世纪议程》旨在鼓励各国在发展的同时注意保护环境的可持续发展,将环境、经济和社会关注事项纳入一个单一政策框架,并对如何减少浪费和消费形态、促进可持续发展提出详细建议。

1994年3月,我国政府率先出台了《中国21世纪议程》,这是全世界第一部国家级“21世纪议程”,首次提出了中国可持续发展的战略目标和实施措施。进入21世纪后,伴随着经济的迅速发展,我国铝工业发展速度遥遥领先于世界其他国家,2010年原铝产量和消费量分别占全球近40%,我国成为名副其实的铝工业大国,但同时也带来了资源、能源和环境的巨大压力。在此情况下,揭示我国铝工业发展历程、研究其可持续发展具有一定的现实意义。

1 铝工业在国民经济中的重要地位

铝金属用途广泛。作为金属,铝在全世界的消耗量仅次于钢铁,是第二大基础金属材料。在国民经济建设和国防工业中具有举足轻重的地位和作用,成为现代经济的筋骨和工业起飞的基础。铝在世界各国尤其是工业发达国家经济发展中的地位显得越来越重要,在工业界被誉为万能金属,在国民经济和国防工业中的很多领域都得到了广泛应用^[1]。

铝工业与GDP密切相关。我国铝产量、消费量与GDP产出之间具有正相关关系,线性相关系数分别为0.98和0.933,经济发展也拉动了铝需求量的增加。1990—2010年间中国经济高速增长,铝消费量剧增。进入21世纪以来,铝消费量的增速远远大于GDP的增速^[2]。

铝工业的效益优势明显。铝工业是我国有色金属工业中社会贡献率最高的产业之一,2000年以来铝行业对总资产的贡献率超过10%,远远高于我国有色金属工业7%~8%的平均水平。

铝工业的产业关联度高。在我国现有124个行业中,有113个行业使用铝产品,占91%。根据投入产出比测算,原材料和装备制造业所消耗铝产品总量占全部消耗量的90.9%^[3]。我国经济将继续保持较高的增长率,一方面对铝工业的发展提供了巨大的需求空间,另一方面也将进一步巩固铝工业在国民经济中基础产业的地位。

2 我国与世界铝工业发展现状对比

进入21世纪以来,我国铝工业始终保持高速发展态势,原铝产量、消费量快速增长。目前,我国氧化铝、电解铝的产量和消费量占世界的35%~40%。我国铝工业总量规模稳居世界第一位,成为名副其实的铝工业大国,但还不是铝工业强国。下面从铝土矿、氧化铝、电解铝、再生铝和铝加工等方面对我国与世界铝工业进行比较分析和讨论。

2.1 铝土矿资源

世界铝土矿资源丰富,资源保证度很高,可开采、具备经济效益的铝资源可满足人类至少300 a的现有需求^[4]。据美国地质调查所(Mineral Commodity Summaries)提供的数据,2009年世界铝土矿储量约为270亿t,基础储量约为380亿t,世界铝土矿总资源量为550~750亿t。

世界铝土矿储量集中,产量集中度较高。世界铝土矿资源分布相对集中,按照2009年世界铝土矿储量由高到低排序,前8位的国家是几内亚(74亿t)、澳大利亚(58亿t)、越南(21亿t)、牙买加(20亿t)、巴西(19亿t)、印度(7.7亿t)、中国(7.5亿t)和圭亚那(7亿t),储量合计约占世界总储量的79.3%。我国铝土矿储量占世界总储量的2.8%,居世界第7位,见图1。

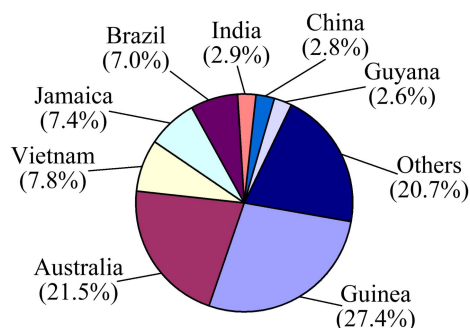


图1 2009年世界铝土矿储量分布图(数据来源于美国地质调查局)

Fig. 1 World bauxite reserves distribution in 2009 (Data from Mineral Commodity Summaries of USA)

我国铝土矿资源的特点是:总量少、人均资源占有量更低、资源相对贫乏;贫矿多、富矿稀、开发利用难度大;单一矿床少,共生、伴生矿床多,提取工艺复杂;分布范围广、区域不均衡。

2010 年我国铝土矿产量为 5 759 万 t, 占世界铝土矿总产量 24 816 万 t 的 23%; 而我国铝土矿资源仅占世界的 2.8%, 这样, 我国铝土矿资源消耗速度大大超过世界平均速度, 将比其他国家更快地走向衰竭。同时, 我国还要大量进口铝土矿, 是世界最大的铝土矿进口国。其次是美国、乌克兰、西班牙、爱尔兰、加拿大、德国、日本、法国和意大利等, 都是已完成工业化的国家。而出口量前 3 名的国家是印尼、牙买加和澳大利亚。由此, 也可以看出世界铝工业的转移状况。2006—2010 年我国铝土矿的进口量分别为 925.6、2 328.0、2 592.7、1 980.2 和 3 006.9 万 t。我国铝土矿石品位较低, 铝硅比(质量比)以 4~7 为主, 品位约为 46%; $m(\text{Al})/m(\text{Si}) > 9$ 的高铝硅比矿石数量少, 不到 20%, 见表 1^[1]。

表 1 我国不同铝矿石等级的比例分布^[1]

Table 1 Proportion of China aluminum ore grade ^[1]		
Aluminum ore grade	$m(\text{Al})/m(\text{Si})$	Mass fraction/%
Grade 1	≥ 12	1.5
Grade 2	12~9	17.0
Grade 3	9~7	11.3
Grade 4	7~5	27.9
Grade 5	5~4	18.0
Grade 6	4~3	8.3
Grade 7	3~2	1.5
Others	< 2	14.5

从环境方面看, 现在铝土矿开采业实现了“无痕开采”。据报告显示, 从 70 年前铝土矿生产以来, 铝土矿山计划复原的面积超过了铝土矿开采和基础设施用地面积的 90%, 铝土矿山开采已经达到采矿区(开采区)无痕迹化复原的阶段, 这是技术进步的结果, 也是可持续发展的要求。

2.2 氧化铝

世界铝工业的发展始于 19 世纪 80 年代。1888 年, 奥地利化学家 BAYER 发明了从铝土矿中提取氧化铝的工艺, 申报专利, 并在英国、法国、意大利、美国和德国建成了多家氧化铝厂, 开始了大规模生产氧化铝的历史。当时, 氧化铝的生产国都是较早进行工业化的国家。1980 年前后, 随着发达国家工业化的陆续完成, 世界氧化铝生产区域也发生了转移, 从经济发达国家转向有资源优势的国家和发展中国家。通过比较 1980 年和 2006 年世界主要氧化铝生产国的产

量变化(见表 2)^[5]可以看出: 氧化铝产量增加的国家, 大都拥有丰富的铝土矿资源, 如澳大利亚、巴西、印度和牙买加等, 这样既可减少铝土矿运杂费用, 又可延长产业链, 将资源优势变为经济优势。而氧化铝产量减少的国家, 主要是已完成工业化的发达国家, 如美国、日本、德国、法国和匈牙利等, 在完成工业化后, 铝的消费量减少, 从经济和环境方面考虑, 已不适宜在本国进行氧化铝生产。

表 2 主要氧化铝生产国 1980 年和 2006 年的产量变化(数据来源于英国地质调查)^[5]

Table 2 Change of alumina production in 1980 and 2006 in some countries (Data from mineral commodity summaries of England) (kt)^[5]

Aluminum bauxite resource	Country	In 1980	In 2006	Increase
Domestic production	Australia	7 246	18 312	11 066
	China	854	13 696	12 842
	Brazil	493	6 720	6 227
	India	500	3 080	2 580
	Jamaica	2 456	4 100	1 644
	Greece	494	510	16
	Guinea	708	555	-153
	Hungary	805	300	-505
	America	6 810	5 012	-1 798
	Japan	1 936	780	-1 156
Import from other counties	Germany	1 651	830	-821
	French	1 273	500	-773
	Italy	900	1 090	190
	Canada	1 202	1 477	275

氧化铝是铝土矿和原铝的中间环节, 其产、销量应视铝土矿产量和原铝的需求量来确定。我国虽然没有铝土矿资源优势, 但我国正在工业化进程的中期, 社会经济快速增长, 城市化率和基础建设不断加速, 因此需要大量生产(或进口)氧化铝以满足工业化的需要。印度和我国的情况类似。我国氧化铝的进口量一直维持较高的水平, 是世界最大的氧化铝进口国, 2006—2010 年的进口量分别为 694.1、512.1、460.3、515.9 和 431.2 万 t。

为应对越来越严峻的能源和环境问题, 氧化铝工业也不断寻求新的技术和解决方案。国际铝业协会制定的《Alumina Technology Roadmap(氧化铝技术指

南)2010》从技术、工艺、能源、成本及优先开展工作的领域等方面,对2030年的氧化铝工业提出了规划和预期目标^[6]。我国氧化铝行业最关心的前3个问题是:选矿技术(如低品位铝土矿处理)、节能和残余物处理。

我国铝工业实施可持续发展以来,氧化铝综合能耗逐年降低。2006—2010年每吨氧化铝的综合能耗(标煤)分别为802.7、868.1、794.4、659.4和632.4 kg。2010年减少CO₂排放2 200万t。

2.3 电解铝

1886年,美国霍尔(C. M. Hall)和法国埃鲁(L. T. Heroult)改进了电解铝的生产工艺,伴随发电工业的发展而形成产业规模,开创了熔盐电解氧化铝生产原铝的工业化时代。从历史上看,最初的原铝生产集中于大西洋两岸的北美和欧洲地区。二战之后,随着世界其他经济区的发展和工业规模的扩张,电解铝开始在非洲、亚洲、南美和大西洋等地区逐渐发展起来。1980年后伴随着氧化铝工业的区域性转移,电解铝陆续向能源或资源优势的区域转移,经济发达国家电解铝工业趋向萎缩或停顿(加拿大等少数电力资源丰富的国家除外)。在电解铝工业100多年的发展历程中,经历了两次大的转变,对全球范围内电解铝的生产消费影响巨大。第一次转变是电解铝消费从军用转为民用,促进了铝消费的飞速增长;第二次转变是电解铝的生产由消费地向资源丰富、电价低廉的地区转移。在过去的20年中,这种趋势非常明显。

现在,世界电解铝产地主要集中在北美、西欧、独联体、澳洲、拉美和中国等地,国际铝业协会(IAI)的25个成员国的原铝产量占全球的80%以上。其中实力较强的美铝、加铝、雷诺金属、凯撒铝、波西涅工业公司、瑞士铝、德国联合工业公司、俄铝和中铝9大跨国铝业公司,生产能力和年产量均占全世界原铝产能和产量的60%以上,集中度比较高。

从地域上来讲,我国属于电解铝的消费区,并不存在资源和能源优势。我国铝工业现在的发展阶段,相当于发达国家工业化完成前的快速增长阶段。进入界第一,并保持快速增长。图2所示为主要国家原铝消费量的变化情况。原铝消费量居前的国家有中国、美国、日本、德国和俄罗斯等。2009年由于国际金融危机的影响,我国原铝产量和消费量略有下降,2010年重新跃上高位,分别达到1 619.5和1 580.5万t的历史最高水平。美国和德国等国家由于进入了后工业化时代,铝消费呈下降趋势。其他国家由于完成了工业化进程,原铝消费量趋于平稳。

不论是原铝的产量还是消费量,中国都为世界铝工业的发展作出了重要贡献,尤其是2000年以后。从《中国有色金属工业年鉴》^[7]统计数据来看,2000—2010年,世界原铝产量和消费量分别增长了1 609.83和1 504.02万t,中国的铝产量和消费增量分别为1 320.58 t和1 227.23万t,对世界增量的贡献率分别为82.0%和81.6%。由此可见,进入21世纪以来,拉动世界铝工业快速增长的主要因素是中国。图3所示为中国和世界原铝的产量和消费量变化情况。

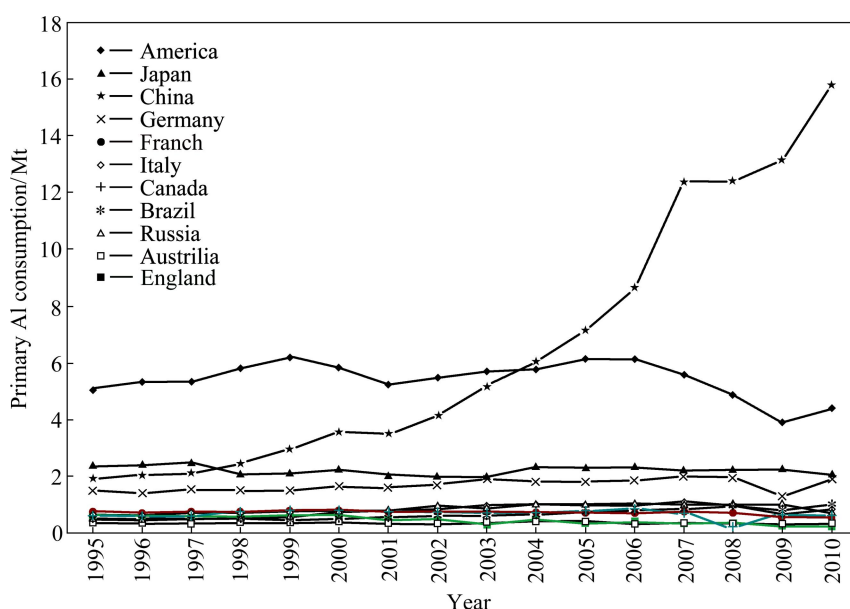


图2 世界主要国家原铝消费量曲线(数据来源:中国有色金属工业年鉴,1995—2011)

Fig. 2 Primary aluminum consumption curves in some countries (Data from Yearbook of Nonferrous Metals Industry of China in 1995—2010)

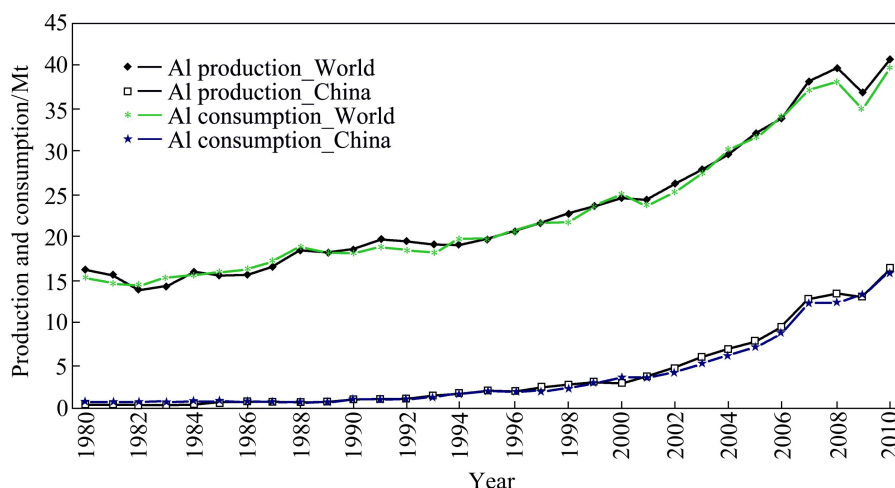


图3 中国和世界原铝的产量和消费量(数据来源: 中国有色金属工业年鉴, 1991—2011)

Fig. 3 Primary aluminum production and consumption in world and China (Data from Yearbook of Nonferrous Metals Industry of China in 1991—2010)

在原铝产量、消费量快速增加的同时, 我国铝工业通过实施技术革新和改进, 铝锭的综合交流电耗逐渐降低。2006—2010 年每吨原铝锭的耗电量分别为: 14 661、14 488、14 323、14 171 和 13 979 kW·h, 2010 年的耗电量数据已经达到国际先进水平。这是我国铝工业实施可持续发展的结果。

2.4 再生铝

从物质流动的方向看, 原生铝工业是一种单向流动的线性生产模式, 即“资源—生产—消费—废弃物排放”, 依靠的是高强度地开采和消耗资(能)源, 同时高强度地破坏生态环境。再生铝工业却把生产活动组织成一个“资源—生产—消费—再生资源”的反馈式流程, 最大限度地利用进入系统的物质和能量, 实现“低开采、高利用、低排放”, 以提高生产运行的质量和效益^[8]。从经济发展模式的角度来看, 原生铝工业属于传统经济的发展模式, 再生铝工业属于循环经济的发展模式, 是可持续发展理念在铝工业体系中的具体应用和体现^[9]。

同原铝相比, 再生铝具有耗能低(为原铝的 5%)、污染小(CO_2 及其他有害排放物的排放量大大减少)、生产成本低(只有熔炼加工)等优点, 生产 1 t 再生铝比原铝可节省水 10 t、固体材料 11 t、少排放 CO_2 0.8 t 和 SO_2 0.6 t, 在发达国家得到越来越广泛的应用^[10]。原因如下: 1) 由于资源的消耗量大, 可回收利用的废金属量大, 发展再生铝工业有充裕的资源基础; 2) 对资源耗竭的重视和技术进步因素, 也使发达国家更加

重视再生铝工业^[11]。发达国家率先建立了再生铝工业体系, 并获得良好的经济效益、环境效益和社会效益^[12]。国际铝业协会从资源消耗、水消耗、环境、健康和安等方面对再生铝工业提出了预期目标, 突出了可持续发展主题和循环经济理念。再生铝工业的崛起, 将大大减少现代铝工业对资源、能源的依赖, 减轻对环境的压力, 促进现代铝工业从以市场为导向的产品工业转变成以生态规律为准则的绿色工业^[13-14]。

据统计, 自 1886 年铝的商业化生产以来, 全世界生产的原铝约 8 亿 t, 目前有 70% 仍在使, 这是循环经济价值的结果^[15]。发达国家重视再生铝的生产和使用, 铝的回收是一个朝阳产业, 德国等发达国家的废铝回收率达 70% 以上。包装业铝的循环年限为 0.6~2 a, 交通运输为 7~40 a, 建筑工程 10~50 a。其中, 交通运输和建筑行业铝的回收率为 90%~95%。通过技术运用、法律法规和回收系统, 德国、瑞士和新西兰等国家的废铝再生率已达到 90%^[16]。世界铝工业的发展趋势是, 再生铝在铝产量和消费量中的比例越来越高。图 4 所示为全球原铝和再生铝的产量及所占比例的变化情况^[17]。有研究预测, 日本、美国、欧洲和中国到 2050 年将把原生铝产量降低到现在的 60%、65%、30% 和 85%^[18], 同时提高再生铝的份额。

我国是世界上铝金属的生产和消费大国, 但对再生铝生产的重视不够, 再生铝的生产起步较晚, 再生铝的生产能力和工艺水平比较低, 产量也不高。2010 年我国再生铝产量与原铝产量的比例仅为 7.3%, 而全球这一比例的平均值为 19.4%, 我国与发达国家还有

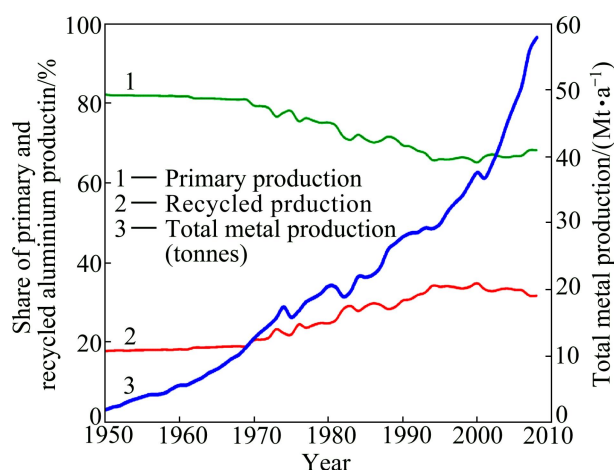


图 4 全球原铝和再生铝产量份额变化

Fig. 4 Change of global share of primary and recycled aluminum production

很大的差距^[19](图 5)。

我国再生铝与国外的差距除数量不足以外, 还在于: 再生铝企业生产规模小, 技术落后; 缺乏相关废旧物资回收的法律体系; 缺乏完善的废旧物资回收体系。图 6 所示为世界再生铝企业数的比较图^[17]。可见, 我国 2008 年的再生铝企业只有 71 家, 占世界总数的 4.53%, 这与我国原铝产量占世界产量的 39.7% 的数据相去甚远, 我国再生铝产业发展亟待提高。

2.5 铝加工

铝加工方面, 以美国、日本和德国为代表的发达

国家, 在 20 世纪末已基本完成了优胜劣汰、兼并重组的整合进程, 建立了跨国集团公司, 并进行全球化生产和经营, 如美铝公司、加铝公司和海德鲁公司等。其中最典型的是美铝公司, 几乎囊括了全部铝加工材品种, 在全世界各主要地区都设有分支机构; 而以日本和德国铝加工企业为代表, 引导世界铝加工向着高、精、尖方向发展。近几年世界铝加工工业的发展趋势是: 企业数量和规模不会有太大变化, 产能和产量也不会有太大增长, 而产品品种会不断增加, 产品质量会更加精益求精, 产品附加值更高, 更加节能环保。

发展中国家, 大都采取追赶战略和技术、装备引进, 因此, 其铝加工业的特点如下: 1) 加工装备更新换代快, 更新周期一般为 10 a 左右; 2) 工艺技术不断创新, 向节能降耗、精简连续、高速高效; 3) 产品结构调整及时; 4) 加工过程逐步实现自动化和现代化。

我国铝加工业紧密依靠技术并结合市场大踏步前进, 已经逐步完成了向现代化铝加工业的转变。我国铝加工材的重要特点是向高性能、高精度、节能、环保方向发展, 许多产品已成为国内外知名品牌, 在国内外市场上享有盛誉; 产品质量稳步提高, 产品标准水平已处于国际先进行列, 各主要铝材生产厂家除按国家标准生产外, 均能直接接受按世界先进国家标准要求的订货。我国铝加工材约有 300 种合金、1 500 个品种, 是世界上产品品种最丰富的国家之一。但与发达国家相比还有不小差距, 主要表现在: 1) 技术、装备水平相对滞后; 2) 综合技术水平低, 基础研究、科技创新和自主开发能力不强; 3) 综合技术经济指标

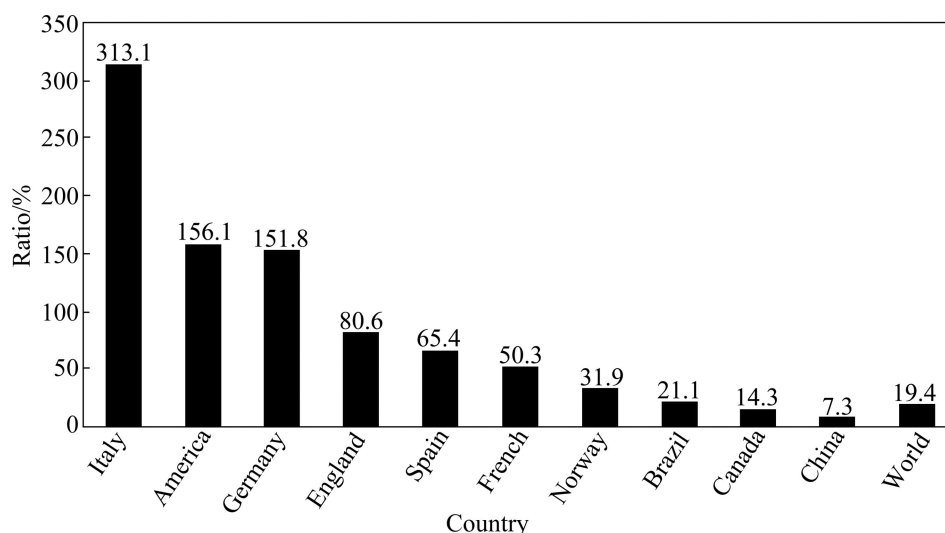


图 5 2010 年主要再生铝生产国家再生铝产量与原铝产量的比例(数据来源: 世界金属统计年鉴)

Fig. 5 Production ratio of recycled to primary aluminum in main countries that produce recycled aluminum in 2010 (Data from World Metal Statistics Yearbook)

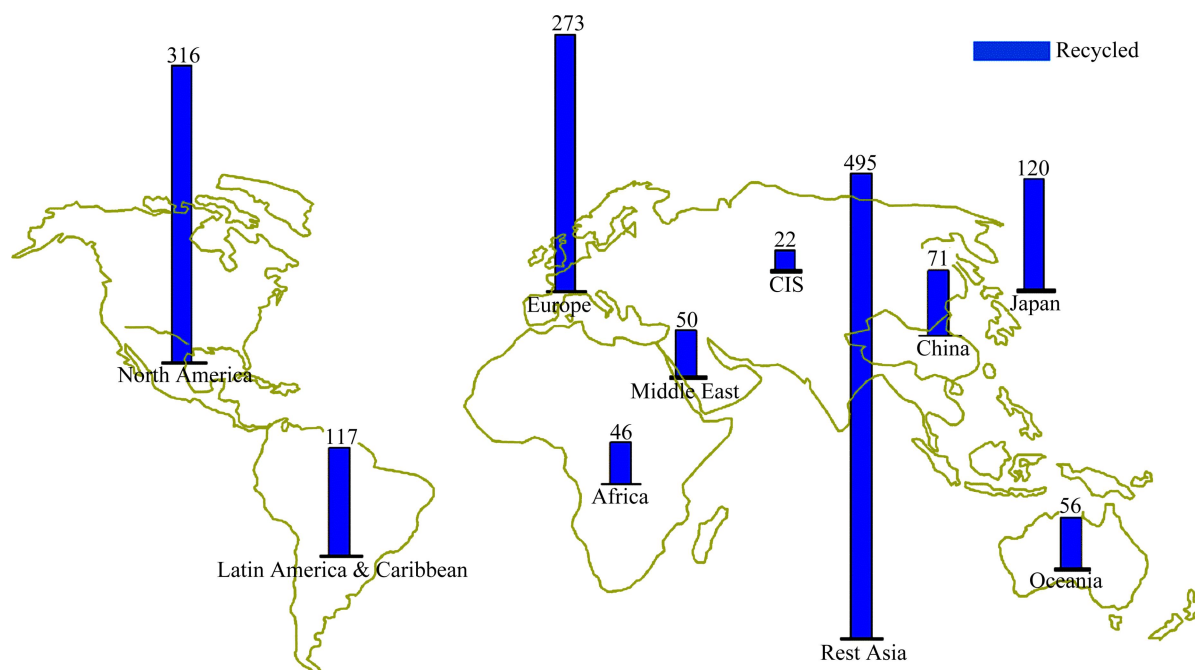


图 6 2008 年世界再生铝企业数比较

Fig. 6 Number of recycled aluminum plants in world in 2008

不高、生产效率低、成本高、经济效益不明显; 4) 产品品种较全, 但质量有待提高; 5) 再生铝的回收、加工和应用不足^[20]。

我国铝加工企业数目虽多, 但生产集中度较低, 规模小, 除中国铝业公司外, 未形成高水平的现代化大型铝业集团, 缺乏市场竞争力。国外铝加工企业的生产规模多在 30 万 t 以上, 而我国铝加工企业达 1 300 多家, 平均规模仅为 0.17 万 t, 加工能力在 1 万 t 以上的不到 30 家。我国铝加工产品结构不合理, 表现为普通铝加工材生产能力过剩, 而高精度铝板带、箔材和军品材生产能力不足, 每年国内消费约 40 万 t 高精度铝板带全部需要进口^[21]。

2.6 人均原铝消费

铝的消费量, 取决于多种因素, 主要有国民经济增长、城市化进程、工业规模以及传统和新兴产业对铝的需求。例如, 近几年, 除传统产业(汽车制造业与建筑业)对铝的需求量大幅增加外, 一些新兴产业(可再生能源工业, 特别是太阳能电池)对铝的需求也有拉动作用, 且处于高速增长期。陈晨等^[22]研究了世界经济增长阶段与矿产资源消费需求之间的关系和规律, 预测 2035 年全球铝消费量将达 6 898 万 t。

人均铝消费量是一个国家现代化程度和工业化程度的重要标志。我国虽然原铝的产量和消费量占世界

第一, 但人口基数大, 人均铝消费量并不大, 2010 年的数据约为 11.8 kg, 低于德国、加拿大、日本、意大利、澳大利亚和美国等发达国家的水平(见图 7)。

3 铝工业与可持续发展

3.1 世界铝工业可持续发展方略

1987 年在日本召开的世界环境与发展大会上, 可持续发展理论被首次提出, 其通用定义为“可持续发展是既满足当代人的需求又不危及后代人满足其需求的发展”, 并得到了国际社会的广泛共识。传统意义上, 铝工业属于大量消耗资源和能源的基础工业。每生产 1 t 原铝, 需要消耗 2 t 氧化铝(4~6 t 铝土矿), 消耗电能 15 000 kW·h, 消耗热能 62 GJ, 并且造成大量污染。因此, 实现铝工业的可持续发展意义重大。

自从 1992 年世界环境与发展大会后, 国际铝协规划了世界铝工业未来发展的模板和框架, 而后发出了全球铝工业可持续发展的倡议, 要求所有成员单位都为实现全球可持续发展进程的连贯性做出各自的贡献^[23]。他们选取一些特定的运行指标, 制定了一系列非强制性目标, 用以激励全球铝工业在经济、环境、社会、健康和人身安全方面进行坚持不懈的改善^[24]。全球铝工业可持续发展运动代表了国际铝业协会现有

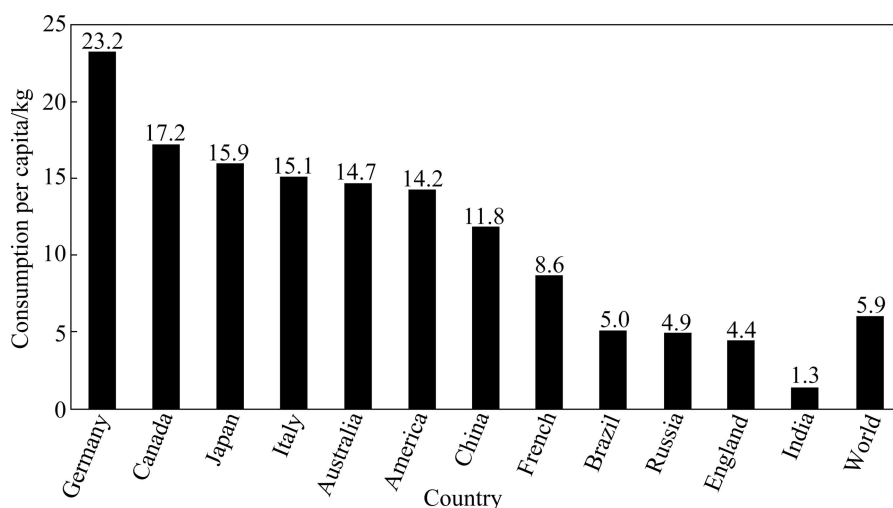


图 7 2010 年主要国家的人均原铝消费量(数据来源: 有色金属统计)

Fig. 7 Primary aluminum consumption per capita in some countries in 2010 (Data from Nonferrous Metals Statistics)

活动计划的进一步发展, 将着眼于显著改善全球铝工业的运行状况^[25]。

为实现铝工业的可持续发展, 世界各国均采取措施, 从资源、能源、技术、排放和使用等方面对铝工业进行调控。尤其是 2008 年金融危机的到来, 首先使全球成本最高的中国、北美和欧洲铝工业受到冲击。继美国铝业公司决定将年产量降低 35 万 t 后, 海德鲁公司宣布计划关闭 Karmoeey 铝厂的一条生产线, 中国也关闭氧化铝产能 40% 左右^[26]。同时, 全球经济增速的放缓, 也压制了铝产品的消费。金融危机后的 2010 年, 中国和全球的原铝产量和消费量双双跃上历史新台阶, 全球铝业的可持续发展也摆在了世人面前。

铝工业在自身实现可持续发展的同时, 也带动和促进了其他工业的可持续发展。交通工具上使用铝, 大大减轻了整车质量, 从而节约了大量能源、降低了气体排放。如车辆减轻 100 kg, 累计可节省能源 150 GJ, 减少 CO₂ 排放 8.5 t^[27]。

3.2 我国铝工业可持续发展方略

1992 年 6 月, 我国政府在巴西里约世界首脑会议上签署了环境与发展宣言, 承诺要走可持续发展之路, 并制定了可持续发展指导原则和实施蓝图。我国未来 50 年可持续发展的具体目标, 可表述如下^[28]: 到 2050 年, 每单位 GDP 的能量和资源消耗所创造的价值, 在 2006 年的基础上要分别提高 15 和 20 倍; 到 2050 年, 中国要依次通过 3 条倒 U 型曲线, 实现从左侧到右侧的逆转; 争取在 2030 年, 实现人口自然增长率的零增

长; 争取在 2040 年, 实现能源和资源消耗速率的零增长; 争取在 2050 年, 基本实现生态环境退化速率的零增长。

近年来, 我国有关部门对铝工业进行了适当的宏观调控^[29]。主要有: 2004 年将电解铝项目资本金比例由 20% 及以上, 调整到 35% 及以上; 同年 10 月, 商务部发文禁止年产能 10 万 t 以下的铝冶炼厂直接进口氧化铝。

2005 年 9 月, 国务院通过了《铝工业发展专项规划》和《铝工业产业发展政策》, 在指导原则上体现了走新型工业化道路的要求。

2006 年对电解铝行业实行差别电价, 并下调或取消原铝等未经深加工的铝产品的出口退税。

2007 年 7 月部分铝制品出口退税被撤消, 并开始对部分铝产品征收 15% 出口税; 提出铝市场准入条件, 对建设规模及能耗提出要求。

2008 年 8 月 20 日起, 对一般贸易项下出口的铝合金征收出口暂定关税, 暂定税率为 15%。

2009 年 5 月 11 日, 国务院公布《有色金属产业调整和振兴规划》, 对铝产业集中度、氧化铝、电解铝、能耗、终产品、再生铝等做出了规定。

通过这些调控政策的实施, 我国铝工业产业结构得到了优化, 污染严重的铝自焙电解槽基本被淘汰, 部分规模小、能耗高、技术装备水平落后的企业也逐步退出了市场; 氧化铝、电解铝产能、产量快速增长; 铝加工材产量创历史新高, 世界先进的铝加工技术与装备相继落户我国, 产品结构得到一定程度的优化,

已由铝加工产品的净进口国变成净出口国。这些调控政策的出台和实施,有效地降低了能源和资源消耗,保护了环境,保证了我国铝工业的健康发展,同时,也促进了铝工业与其他行业之间的协调,促进了国民经济和社会的和谐发展。有数据表明,我国铝工业消耗的电力能源占全社会的4%,但创造的GDP却不到1%^[30]。因此,实现我国铝工业的可持续发展已迫在眉睫。

3.3 未来铝工业发展趋势

金属铝已经超越了传统意义上的金属概念,由于其质量轻、资源丰富和可回收再生等优越性能,正在成为一种“绿色”的基础材料,与全球可持续发展理念相呼应。对国际铝工业发展规律的研究表明:铝工业是可持续发展的储能工业,是“朝阳产业”。未来铝工业的发展有如下几大主要趋势^[31]:

1) 一体化趋势。能源+资源的一体化趋势明显,即在一个区域内部或一个企业集团内部,尽可能延长铝工业的产业链,这样更容易掌控资源和生产过程,并有助于节约成本。

2) 集团化趋势。形成综合优势,增加市场竞争力,实现规模效益。

3) 国际化趋势。铝工业资源、能源、技术和市场的国际化趋势明显,国际范围内的竞争更加激烈,竞争的结果将使铝的制造成本和使用成本降低。

4) 生态化趋势。未来铝工业更加重视节约资源和能源、减少污染排放,使铝工业成为真正的生态工业。这里提到的“生态化”,就是可持续发展的具体表现,也是按照可持续发展理论发展铝工业的结果。

4 结论与建议

4.1 我国铝工业实现可持续发展的影响因素

通过以上对比和分析,可以看出:我国铝土矿资源与世界相比,储量少、品位低、开采成本较高、后期加工困难、耗能高,这是制约我国铝工业可持续发展的首要因素。从铝土矿开采、氧化铝产量和电解铝产量3个环节来看,本环节的产品占世界的比例均高于上一环节产品(即本环节的原材料)占世界的比例,我国铝土矿和氧化铝均需要进口。

1) 铝土矿资源与铝土矿产量。我国铝土矿储量占世界总储量的2.8%,属于铝土矿资源相对匮乏的国

家。人均铝土矿占有量约500 kg,相当于全球人均水平的10%。2010年我国铝土矿产量为2 700万t,占世界铝土矿总产量的13.3%。这样,我国资源的消耗速度将大大超过世界平均速度,提前走向衰竭。

2) 铝土矿产量与氧化铝产量。2010年,我国氧化铝产量为3 109万t,占世界总产量8 665万t的35.9%。与世界总产量的13.3%的铝土矿产量相比,铝土矿供应有较大缺口。2010年我国铝土矿进口量为3 006.96万t。

3) 氧化铝产量与原铝产量。2010年我国原铝产量为1 619.5万t,占世界总产量4 079.5万t的39.7%。与我国氧化铝产量占世界35.9%相比,还需要进口氧化铝,同时消耗大量能源。我国是世界最大氧化铝进口国,2010年进口量431.22万t。

此外,我国原铝消费总量与人均消费量、再生铝产量与原铝产量的比例关系也不协调:

4) 原铝消费总量与人均消费量。我国原铝消费量和产量基本持平,均占世界总量的39.7%,而人均原铝消费量仅为11.8 kg,与发达国家相比有较大差距。

5) 再生铝产量与原铝产量。世界铝工业发展趋势是越来越重视再生铝的生产和利用,而我国再生铝的利用率远远落后于发达国家,甚至落后于世界平均水平。

在我国实行铝工业可持续发展的进程中,应重视和认真研究以上几种关系。

4.2 主要结论

通过以上我国与世界铝工业的对比研究,得出如下结论:

1) 现代铝工业的发展趋势是“两个转移”:氧化铝和电解铝的生产区域由工业发达国家(地区)向发展中国家或资源和能源优势明显的国家(地区)转移;现代铝工业的重心逐渐由原生铝工业向再生铝工业转移。

2) 我国成为世界铝工业的主要生产基地和用户市场。我国虽然不具有资源和能源优势,但我国作为世界最大的发展中国家,是近10 a来铝工业发展最快的国家。原铝产量、消费量约占世界总量的40%,中国是世界铝工业发展的主要驱动力,中国市场增量对世界增量的贡献度在82%左右。

3) 在全球可持续发展的背景下,我国必须考虑铝工业的可持续发展问题;我国铝工业可持续发展问题解决好了,也是对世界铝工业可持续发展的重要贡献。

我国铝工业的主要矛盾有:资源短缺且质量不高、能源供应不足、再生铝利用率不高、大规模生产对我国水资源、环境和生态等造成巨大压力。

4) 实现我国铝工业可持续发展的战略建议应以可持续发展为理论依据和指导,从铝土矿开采、氧化铝生产、电解铝生产、铝加工和再生铝体系的推广等多方面来提出,同时考虑资源、能源、环境和社会经济发展等多方面因素。

4.3 我国铝工业可持续发展的战略建议

影响我国铝工业可持续发展的因素很多,主要分为两大类:一类是促进因素,如我国经济发展、市场需求、城市化进程和新兴行业的发展等;另一类是制约因素,如资源、能源、环境和技术等。下面从制约因素方面提出一些建议。

1) 关于铝土矿资源^[32-33]:①利用当前国外出现的良好矿业投资环境,参与国际矿业的合作和竞争,最大限度地利用国外铝土矿资源,如可到南美、南非和澳大利亚等寻求合作。②加强国内铝土矿资源的保护性开发,加强技术研发,采用新工艺,提高铝土矿资源的利用率。积极利用废铝资源,推进节能减排,把污染化为有用资源,变废为宝,延长矿山服务年限。③调整相关政策,降低税率,鼓励原料进口。④实行必要的铝资源战略储备。

2) 关于氧化铝和电解铝生产^[34-35]:①积极实施“走出去”战略,采取兼并、重组和联合建厂的办法,将氧化铝向资源优势区域转移,将电解铝向能源优势区域转移,有效降低成本。②积极开展技术开发和科技创新,开发氧化铝和电解铝生产的新技术、新工艺和新装备,以降低资源和能源消耗,取得经济效益最大化。研究解决我国中低品位铝土矿资源的低成本、低能耗生产氧化铝技术问题。③鼓励电解铝企业由扩大生产规模转向提高产业集中度,由“做大”向“做强”转变,与上下游企业进行联合重组,实现规模效益、产业链延伸和与煤电行业的联营,提高核心竞争力^[36]。

3) 关于铝的加工制造^[37-38]:①按照市场经济机制,加快调整产业结构,走大型化、集团化和专业化发展道路,使企业结构得到改善。②引进国外先进的加工制造装备,提高生产能力,提高生产精度和产品质量,提高加工精度和质量,不断满足国内外对高端铝产品的需要。③研究铝液净化、晶粒细化、铸造、轧制、挤压、锻压和表面处理等环节的先进技术,探

讨各种高端铝产品的加工技术,达到节能、降耗和环境友好的目标。

4) 关于再生铝工业^[39-40]:①建设以再生铝为中心的循环经济体系,实现铝资源的循环使用,不仅可以降低对矿产资源和能源的依赖,还能减少对生态环境的污染。②完善和规范国内废铝回收系统和网络,加大回收力度,进一步提高废铝回收率。③积极采用先进的再生铝生产技术,大胆引进国外先进的再生铝生产及检测设备,提高设备装备水平,特别重视废铝熔炼前的拆解、检测和分类等环节^[41]。④加强相关政策法规的制定,鼓励和支持再生铝工业的发展。

5) 关于环境保护:环境问题贯穿于铝工业产业链各主要环节,是继资源和能源之后决定铝工业发展的制约性因素。应采取如下措施保护环境:①加大再生铝产量,利用金属铝的可循环使用特性,提高总效率、降低对环境的污染和破坏。②通过立法、税收和政策调控等手段,提高环境保护标准,征收资源税、能源税和CO₂排放费,使传统铝工业实现转型,促进铝行业的有序发展。

REFERENCES

- [1] 肖亚庆. 中国铝工业技术发展[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007: 5-16.
XIAO Ya-qing. China's aluminum industry technology development [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2007: 5-16.
- [2] 陈建宏, 永学艳, 杨立兵. 中国铝消费量与 GDP 产出关系的实证研究[J]. 辽宁工程技术大学学报: 社会科学版, 2009, 11(3): 246-248.
CHEN Jian-hong, YONG Xue-yan, YANG Li-bing. Empirical research on relationship of China's aluminum consumption and GDP output [J]. Journal of Liaoning Technical University: Social Science Edition, 2009, 11(3): 246-248.
- [3] 李建文. 关于我国电解铝工业发展的研究[J]. 经济问题, 2008(3): 124-126.
LI Jian-wen. Research on China's electrolytic aluminum industry development [J]. Economic Problems, 2008(3): 124-126.
- [4] International Aluminum Institute. Third bauxite mine rehabilitation survey [EB/OL]. [2004-06-08]. <http://www.world-aluminum.org>.
- [5] 陈 祺, 关慧勤, 熊 慧. 世界铝工业资源—铝土矿、氧化铝开发利用情况[J]. 世界有色金属, 2007(1): 27-33.
CHEN Qi, GUAN Hui-qin, XIONG Hui. Explore and use of world aluminum industry resource: alumina bauxite and aluminum oxide [J]. World Nonferrous Metals, 2007(1): 27-33.

- [6] International Aluminum Institute. Alumina technology roadmap 2010 [M]. London: New Zealand House, 2011: 9–12.
- [7] 中国有色金属工业协会. 中国有色金属工业(2011)年鉴[M]. 北京: 中国有色金属工业年鉴社, 2011: 582–691.
China Nonferrous Metals Industry Association. The yearbook of nonferrous metals industry of China (2011) [M]. Beijing: China Yearbook of Nonferrous Metals Industry Press, 2011: 582–691.
- [8] 安锦如. 浅析铝工业现状及未来发展趋势[J]. 甘肃冶金, 2005(9): 22–24.
AN Jin-ru. Analysis on current situation and development trend of aluminum industry [J]. Gansu Metallurgy, 2005(9): 22–24.
- [9] ATHERTON J. Life cycle management: Declaration by the metals industry on recycling principles [J]. Metals Industry, 2006(11): 1–2.
- [10] 张 城, 李一夫, 陈 东, 刘立伟. 中国再生铝产业的发展现状、发展机遇及挑战[J]. 四川有色金属, 2010(4): 6–10
ZHANG Cheng, LI Yi-fu, CHEN Dong, LIU Li-wei. The status, opportunities and challenges of recycled aluminum industry in China [J]. Sichuan Nonferrous Metals, 2010(4): 6–10.
- [11] 张小瑜. 国际有色金属市场回顾与展望[J]. 世界有色金属, 2007(7): 36–40.
ZHANG Xiao-yu. Retrospect and prospect of world nonferrous metals market [J]. World Nonferrous Metals, 2007(7): 36–40.
- [12] LEROY C. Provision of LCI data in the European aluminum industry methods and examples [J]. Int J Life Cycle Assess, 2009, 14(S): s10–s44.
- [13] 王亚平. 我国铝工业发展新格局及对策建议[J]. 经济研究参考, 2007, 35: 34–39.
WANG Ya-ping. New patterns and suggestions on China's aluminum industry development [J]. Economic Research, 2007, 35: 34–39.
- [14] 沈贤春. 循环经济对现代铝工业的启示[J]. 轻金属, 2005(1): 3–6.
SHEN Xian-chun. Circular economy enlightenment to modern aluminum industry [J]. Light Metals, 2005(1): 3–6.
- [15] DAS S K. Aluminum recycling: Economic and environmental benefits [J]. Light Metal Age, 2010(2): 42–46.
- [16] 苏鸿英. 全球铝回收工业现状及发展趋势[J]. 世界有色金属, 2005(3): 58–59.
SU Hong-ying. Status and development trend of global recycling aluminum industry [J]. World Nonferrous Metals, 2005(3): 58–59.
- [17] 董春明. 全球铝的再生利用: 可持续发展的基石[J]. 资源再生, 2010(2): 10–13.
DONG Chun-ming. Global aluminum recycling: A cornerstone of sustainable development [J]. Resource Recycling, 2010(2): 10–13.
- [18] HATAYAMA H, DAIGO I, MATSUNO Y. Assessment of the recycling potential of aluminum in Japan, the United States, Europe and China [J]. Materials Transactions, 2009, 50(3): 650–656.
- [19] 薛亚洲, 张 涛, 郭艳红. 我国再生铝产业发展的思考[J]. 中国矿业, 2010, 19(9): 4–7.
XUE Ya-zhou, ZHANG Tao, GUO Yan-hong. Thoughts about recycled aluminum industry in China [J]. China Mining Magazine, 2010, 19(9): 4–7.
- [20] 刘静安. 浅谈中国铝及铝合金材料产业发展战略(3)[J]. 铝加工, 2006(1): 1–7.
LIU Jing-an. China development strategy of aluminum and aluminum alloy industry (3) [J]. Aluminum Processing, 2006(1): 1–7.
- [21] 敖 宏, 邓 超. 全球化大背景下我国资源型企业发展战略的完善[J]. 中央财经大学学报, 2008(10): 67–71.
AO Hong, DENG Chao. Improvement of resource enterprise development strategy in context of globalization [J]. Journal of Central University of Finance, 2008(10): 67–71.
- [22] 陈 晨, 周进生, 王高尚. 全球铝需求分析预测[J]. 世界有色金属, 2010(1): 54–56.
CHEN Chen, ZHOU Jin-sheng, WANG Gao-shang. Analysis of the global aluminum demand forecast [J]. World Nonferrous Metals, 2010(1): 54–56.
- [23] International Aluminum Institute. The aluminum industry's sustainable development report [R]. London: The Swallow House Group of Companies, 2002: 2–26.
- [24] 伯特 J·蔡斯. 铝工业对可持续发展的响应[C]//2002 年中国国际铝业研讨会论文集. 北京: 中国有色金属工业协会, 2002: 8–15.
CHASE R J. Aluminum industry responds to sustainable development [C]// Proceedings of China International Aluminum Conferences in 2002. Beijing: China Nonferrous Metals Industry Association, 2002: 8–15.
- [25] HARRIS D. The aluminum industry and sustainability [J]. Aluminum International Today, 2002(6): 3–7.
- [26] 庾莉萍. 全球金融危机下的中外铝业[J]. 轻金属, 2009(4): 3–7.
YU Li-ping. China and foreign aluminum industry under the global financial crisis [J]. Light Metals, 2009(4): 3–7.
- [27] CELOTTI Y. Aluminum in the rail transport industry [J]. Alluminio E Leghe, 2010(4): 79–81.
- [28] 牛文元. 可持续发展理论的基本认知[J]. 地理科学进展, 2008, 27(3): 1–6.
NIU Wen-yuan. Basic knowledge of the theory of sustainable development [J]. Progress in Geography, 2008, 27(3): 1–6.
- [29] 赵 铸. 2009 年国内铝市场及铝电联营区域发展方向分析[J]. 轻金属, 2009(3): 3–7.
ZHAO Zhu. Development direction analysis on aluminum market and aluminum-electricity region in 2009 [J]. Light Metals, 2009(3): 3–7.

- [30] WANG Xiao-wu, GAO Li-rong, HUA Ben. Resources conservation—The alternative scenarios for Chinese aluminum industry [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2008, 52(10): 449–457.
- [31] 熊维平. 中国铝工业 60 年回顾与展望[J]. 中国有色金属, 2009, 20: 32–35.
- XIONG Wei-ping. Retrospect and prospects of 60 years aluminum industry in China [J]. China Nonferrous Metals, 2009, 20: 32–35.
- [32] 曲献通. 21 世纪我国铝土矿资源可持续发展战略[J]. 世界采矿快报, 2000, 6(1/2): 32–35.
- QU Xian-tong. China's sustainable development strategy on aluminum bauxite resources in 21st century [J]. World Mining Express, 2000, 6(1/2): 32–35.
- [33] 王恭敏. 解决我国有色金属资源严重短缺的对策[J]. 世界有色金属, 2004(5): 4–8.
- WANG Gong-min. Solution strategy for serious shortage of nonferrous metal resources in China [J]. World Nonferrous Metals, 2004(5): 4–8.
- [34] 陈绚柱. 对我国铝工业发展战略的思考[J]. 世界有色金属, 2008(3): 9–13.
- CHEN Xuan-zhu. Research on China aluminum industry development strategy [J]. World Nonferrous Metals, 2008(3): 9–13.
- [35] 张伦和, 何静华, 张颖. 我国氧化铝工业现状及发展对策[J]. 轻金属, 2006(2): 3–7.
- ZHANG Lun-he, HE Jing-hua, ZHANG Ying. Situation and development strategy on China's aluminum oxide industry [J]. Light Metals, 2006(2): 3–7.
- [36] 范振林, 马苗卉. 我国铝土矿资源可持续开发的对策建议[J]. 国土资源, 2009(11): 53–55.
- FAN Zhen-lin, MA Zhuo-hui. Strategy suggestions for sustainable development of China's aluminum bauxite resources [J]. Land and Resources, 2009(11): 53–55.
- [37] 赵世庆. 对我国铝加工产业发展战略的浅见与建议[J]. 铝加工, 2006(3): 1–6.
- ZHAO Shi-qing. Suggestions on China aluminum processing industry development [J]. Aluminum Processing, 2006(3): 1–6.
- [38] 刘静安, 罗昭敏. 现代铝及铝加工业的发展特点及国内外发展水平对比[J]. 铝加工, 2009(3): 38–45.
- LIU Jing-an, LUO Zhao-min. Development and characters of modern aluminum and aluminum processing, and contrast of development level between domestic and foreign [J]. Aluminum Processing, 2009(3): 38–45.
- [39] 戴自希. 世界再生金属生产现状与趋势[J]. 中国有色冶金, 2005(6): 14–20.
- DAI Zi-xi. World production status and trends of recycled metals [J]. China Nonferrous Metals Metallurgy, 2005(6): 14–20.
- [40] 张伦和. 我国再生铝产业现状及发展对策[J]. 轻金属, 2009(6): 3–6.
- ZHANG Lun-he. Situation and development strategy on China's recycling aluminum industry [J]. Light Metals, 2009(6): 3–6.
- [41] SHERRY W. Secondary aluminum industry in China [J]. Aluminum, 2007(5): 45–46.

(编辑 陈卫萍)