



中国碳酸钙产业及其高值应用现状

李泽琼¹ 占华生² 王涵宇² 金 懿² 罗华明² 李 妍^{1*}

¹(北京科技大学材料科学与工程学院, 北京 100083)

²(北京金隅通达耐火技术有限公司, 北京 100043)

摘 要 作为具有高附加值的一种无机化合物,碳酸钙广泛应用于建筑材料、造纸、医药和食品等多个领域并在全世界经济体系中扮演着重要角色。随着中国市场经济持续增长、产业化发展加速,碳酸钙产品应用领域拓展至新能源电池隔膜涂层、优质药品填充剂与药用辅料、食品添加剂与加工助剂、高端涂料及橡胶制品补强剂等对材料性能要求极高的新兴领域。虽然目前中国是全球碳酸钙生产大国,但与发达国家相比,在技术水平和高值利用方面仍有提升空间。通过对碳酸钙产业在资源开采、产品市场及高值利用等方面进行充分的调研,对国内外该产业资源实际开采情况、产业市场规模变化、产品需求结构调整以及行业竞争态势等方面进行详细分析,全面综述了2014–2023年中国碳酸钙产业的发展态势及高值应用现状。通过与国外碳酸钙产业强国对比分析,指出了中国碳酸钙产业在技术创新和产业整合等方面存在的问题。基于中国丰富的矿产资源以及众多生产企业的优点,就未来中国碳酸钙行业高值利用发展给出相关建议。随着技术创新的推动和资源利用的优化,中国碳酸钙行业将逐步向高值应用转型,加速产业链的优化和升级,为行业的可持续发展提供坚实支撑。

关键词 碳酸钙;市场现状;高值利用;低碳环保

中图分类号:O613

文献标识码:A

文章编号:1000-0518(2025)03-0406-10

碳酸钙是一类重要的无机化合物,其产品主要应用于建筑、造纸、橡胶、塑料、油漆、医药、食品和化妆品等多个行业^[1]。随着全球经济的持续增长和产业结构的调整,碳酸钙市场需求持续增加^[2]。特别是在发展中国家,由于基础设施建设、制造业扩张等因素的推动,碳酸钙需求增长更为迅速。

自2014年起,中国一直稳居全球碳酸钙生产与消费大国的地位。由于许多西方国家的石灰石储量相当有限,且绝大多数西方国家禁止水泥的生产以及石灰石的开发,这使得他们对中国的重质碳酸钙等产品的需求日益增长,因此出口市场也一直保持乐观态势^[2-3]。但是,中国碳酸钙产业的技术水平和产能布局与发达国家仍然存在一定差异,市场中低端碳酸钙产能过剩,高端碳酸钙产品无法自给自足,每年仍需进口大量高质量碳酸钙^[4-5]。相比之下,国外碳酸钙企业的技术发展快,价值含量高,特别是在碳化工艺和改性剂配方与工艺上领先优势明显^[6-8]。

现在,中国正在逐渐从碳酸钙生产大国转变为生产强国。随着科技创新的推动和政策支持加大,中国碳酸钙行业逐渐重视其高值利用^[8-9],刺激相关产业链的发展,促进就业增长,推动经济的健康发展。尤其是将碳酸钙应用于医药和电子等高新技术产业,不仅可以为产业链带来新增长点,还能够提升产业的整体竞争力,促进产业的升级和跨越式发展^[10]。同时,考虑到环境保护和资源可持续利用的重要性,高值利用可以有效降低资源消耗和环境污染,推动产业向着更加清洁、高效和可持续的方向发展^[11]。

基于此,本文从资源开采、产品市场及高值利用3个方面综述了中国碳酸钙行业2014–2023年间的产业现状,重点对中国碳酸钙行业市场现状及产品高值利用的现状进行全面分析。并与国外发达国家的高值利用现状进行对比,根据国内的矿产资源以及生产企业特点,对未来中国碳酸钙行业高值利用发展新趋势进行研判。为中国碳酸钙资源优质优用,高效利用;碳酸钙产品绿色生产,技术创新;碳酸钙产业可持续发展提供发展建议。

2024-10-20 收稿;2025-01-31 接受

*E-mail: liyan2011@ustb. edu. cn

1 国内外碳酸钙产业现状

1.1 国内外碳酸钙资源储量及开采现状

目前,碳酸钙资源的主要来源为石灰石,石灰石的开采和加工为碳酸钙工业应用提供了原料基础。从资源储量来看,全球石灰石储量分布较为广泛,在欧亚大陆、北美地区、亚太地区以及拉美和非洲均分布着石灰石矿藏,这些地区丰富的地质构造和沉积环境,有利于石灰石的形成和富集。例如,美国、俄罗斯、印度、巴西、澳大利亚和中国等国家都拥有大量的石灰石资源^[11-12]。在全球范围内,石灰石的开采活动也广泛分布于上述资源丰富的国家和地区。中国在石灰石开采方面,相较于国外,除了具有得天独厚的资源储量优势外,在地质条件、开采成本和环保与可持续发展方面也具备显著优势。

在地质条件方面,中国石灰石矿床的地质条件总体相对稳定,多数矿层连续性好,埋藏深度适中。在南方的一些石灰石矿区,如江西、湖南等地,矿层呈大面积的层状分布,地层相对平缓,褶皱和断层较少,为露天开采提供了极有利的条件。而国外不少地区的石灰石矿地质构造复杂,如在欧洲阿尔卑斯山区,石灰石矿层受强烈的造山运动影响,褶皱、断层发育,矿层倾斜、扭曲严重,开采过程中不仅难以规划合理的采掘路线,而且在钻孔爆破时需要精确计算炸药用量和爆破角度,以防止山体崩塌和矿层破坏,大大增加了开采难度和安全风险^[12]。

在开采成本方面,由于中国石灰石资源丰富且开采难度相对较低,开采成本具有明显优势。在设备购置和运营上,中国矿山企业大量采用国产设备,价格相对较低且维护方便。同时,劳动力资源充足,人力成本相对合理。例如,在中国中西部地区的石灰石矿山,劳动力成本仅为国外发达国家的几分之一甚至更低。此外,中国在能源供应方面也较为稳定且成本较低,在开采过程中的电力、燃油等能源消耗成本能得到有效控制。而一些北欧国家,由于劳动力短缺,开采作业需要支付高昂的人工费用^[13],而且对石灰石开采设备要求高,设备购置和维护成本大幅增加。

在环保与可持续发展方面,发达国家普遍执行极为严格的环保法规。美国对石灰石开采过程中的粉尘、岩尘和水分等有着严格的标准限制,根据美国材料与试验协会发布的 ASTM C737-22《煤矿粉化用石灰岩标准规范》,在煤矿中使用的石灰石粉,需使煤尘、岩尘、其他灰尘和水分的组合的不可燃含量不得低于所有松散灰尘的80%。德国的石灰石矿山,在开采结束后,企业必须按照规定将土地恢复到原有生态功能状态,这不仅耗费大量资金,还需要长期的监测与维护^[14]。中国政府出台了《矿产资源开采登记管理办法》《关于促进矿山资源合理利用和可持续发展的指导意见》和《关于促进矿产资源绿色开采的指导意见》等一系列产业政策,对石灰石开采行业进行宏观调控和规范管理,引导企业向规模化、集约化和绿色化方向发展。在粉尘治理上,大型矿山普遍配备了布袋除尘器、静电除尘器以及高效的喷雾降尘系统,使矿山作业区域的粉尘浓度远低于国家标准^[15](《大气污染物综合排放标准》(GB 16297)规定无组织排放的粉尘等大气污染物排放监控浓度限值一般要求颗粒物不超过1.0 mg/m³)。在生态修复方面,不少矿山在开采过程中同步开展土地复垦与植被恢复工作。

综上所述,中国石灰石在资源储备与开采难度方面相较于国外具有明显优势,这为中国碳酸钙行业的蓬勃发展提供了有力支撑,也使中国在国际碳酸钙市场竞争中占据有利地位。

1.2 国内外碳酸钙产业市场现状

1.2.1 国内外碳酸钙产业市场经济现状

全球碳酸钙工业生产已有170年的历史。近年来,随着建筑、造纸和塑料等行业的发展,碳酸钙的需求不断增加,据中国粉体网报道,2014–2023年期间,全球碳酸钙行业需求量从1.03亿吨增长至1.41亿吨,复合年增长率为3.54%,呈稳步增长态势。根据 Grand View Research, Inc. 的报告,到2025年,全球碳酸钙市场规模预计将达到342.8亿美元,在预测期间的年复合增长率为5.7%。目前,市场上主要的工业碳酸钙产品,根据生产方式的差异被划分为为重质碳酸钙(GCC)和轻质碳酸钙(PCC),重质碳酸钙与轻质碳酸钙在制备、性质及应用上存在差异。重质碳酸钙由天然碳酸钙矿石经机械粉碎、研磨制成,颗粒形状不规则、粒径大,密度为2.7~2.9 g/cm³。因成本低,常用于塑料、橡胶和造纸行业作填充剂,增加产品体积,降低成本;在建筑材料领域,也是生产水泥、混凝土的重要原料。而轻质碳酸钙是通过化

学方法,将石灰石煅烧、消化和碳化等工序制得,颗粒呈规则形状如纺锤形、立方形,粒径小,密度为 $2.4\sim 2.6\text{ g/cm}^3$,比表面积大。在橡胶、塑料中不仅是填充剂,更能起补强增白作用;在涂料中,可提高涂料的光泽度、遮盖力;此外,还广泛应用于油墨、医药和食品等对品质要求较高的领域。图 1A 和 1B 显示了全球重质碳酸钙和轻质碳酸钙生产能力分布情况^[16],其中,重质碳酸钙产量以欧美为首,轻质碳酸钙产量以中国为首。2022 年 12 月至 2023 年 12 月,多国碳酸钙价格如图 1C 所示(数据来源于 INTRATEC 网页全球碳酸钙价格监控 <https://www.intratec.us/chemical-markets/calcium-carbonate-price>)。对比可知,中国碳酸钙价格整体偏低,美国碳酸钙价格约为我国的 4~5 倍。2023 年,美国食品级碳酸钙的平均售价高达 1200 美元/吨。就工业级的碳酸钙而言,德国的售价为 380 美元/吨,比利时的售价为 366 美元/吨,整个北美的碳酸钙成交价 732 美元/吨。与此对应的是,中国工业级的碳酸钙售价为 132 美元/吨。由此可见,国内的碳酸钙产品大多处于低附加值状态,与美国高附加值碳酸钙产品价格差距较大,产品附加值提升空间巨大。

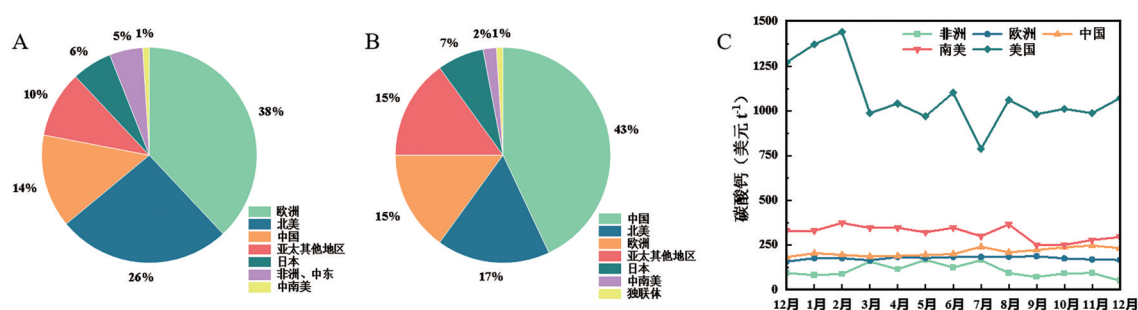


图 1 全球(A)重质碳酸钙、(B)轻质碳酸钙生产能力分布图和(C)2022 年 12 月–2023 年 12 月多国碳酸钙价格^[11]

Fig. 1 Global distribution of heavy calcium carbonate (A), light calcium carbonate (B) production capacity and (C) Multi-country calcium carbonate prices, 2022. 12–2023. 12^[11]

虽然中国的碳酸钙制造业历史不足 100 年,但在改革开放政策推动下,近年来产业迅速崛起,蓬勃发展。中商产业研究院发布的《2024–2029 年全球及中国碳酸钙市场发展趋势研究报告》显示,2023 年中国碳酸钙产值规模约 264.48 亿元(图 2A)。随着经济的不断增长和技术的不断创新,预计未来几年中国碳酸钙市场的增长率将保持稳定。据预测,2024 年中国碳酸钙产值规模将达 270.69 亿元。数据显示(图 2B),2023 年中国的碳酸钙生产总值已突破 3781 万吨,年均增幅为 2.6%。预测 2024 年中国碳酸钙产量将达 3845 万吨。

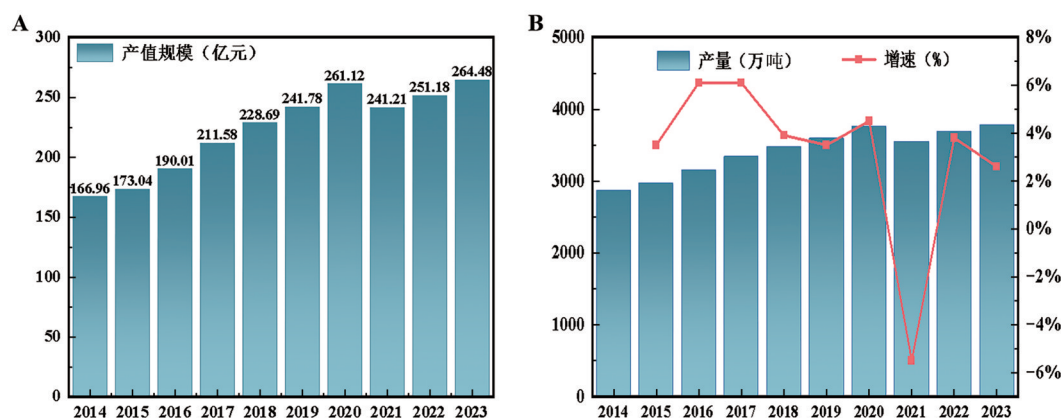


图 2 (A) 2014–2023 年中国碳酸钙产值规模变化情况及(B) 2014–2023 年中国碳酸钙产量变化情况

Fig. 2 Changes in the scale of China's calcium carbonate output value from 2014 to 2023 (A) and changes in China's calcium carbonate production from 2014 to 2023(B)

近10年来,中国一直保持世界上碳酸钙生产和消费第一大国的地位,轻质碳酸钙的生产和消费量均达到世界总量的50%以上,重质碳酸钙产量约占世界总产量的25%以上^[11]。图3显示,2022年中国的重质碳酸钙生产总值达到了2600万吨,占比64.5%,而轻质碳酸钙的生产总值则是1431万吨,占比35.5%。2014–2022年,重质碳酸钙和轻质碳酸钙产量均稳步上升,中国的重质碳酸钙产量明显超过轻质碳酸钙(数据来源于华经产业研究院)。

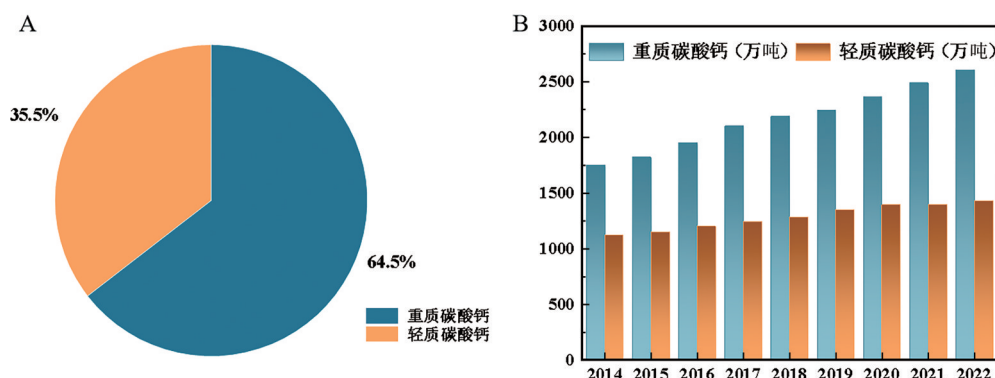


图3 (A) 2022年中国碳酸钙细分产品产量结构情况及(B) 2014–2022年中国碳酸钙细分产品产量变化情况

Fig. 3 Output structure of China's calcium carbonate sub-product production of 2022 (A) and changes in China's calcium carbonate sub-product production from 2014 to 2022 (B)

在塑料、建筑涂层、油漆、纸张、橡胶、颜色调配剂、粘合剂、封口胶、日常清洁、口香糖、食物、药物和航空科学等多个领域与行业中,碳酸钙这种新型材料都有所使用。图4A显示,在中国的碳酸钙下游应用领域中,2024年塑料行业和造纸业是最主要的使用领域,分别占比31%和30%,涂料行业占比约13%,橡胶(胶粘剂)行业占比约12%,建材、食品和医药均占比约3%,其他占比约5%。目前,中国已成为碳酸钙生产大国,但还不是碳酸钙生产强国。由于碳酸钙产品的分散度较大,性能稳定性差,远远不能满足市场需求,每年仍需进口几万吨来满足国内市场需求。近年来,中国碳酸钙行业进出口规模整体呈增长的趋势(图4B)。2023年,中国碳酸钙进口量10万吨,同比增长38.31%;出口量12.50万吨,同比下降18.87%。据预测,2024年中国碳酸钙进口量将达10.56万吨,出口量将达13.21万吨(数据来源于中商产业研究院)。

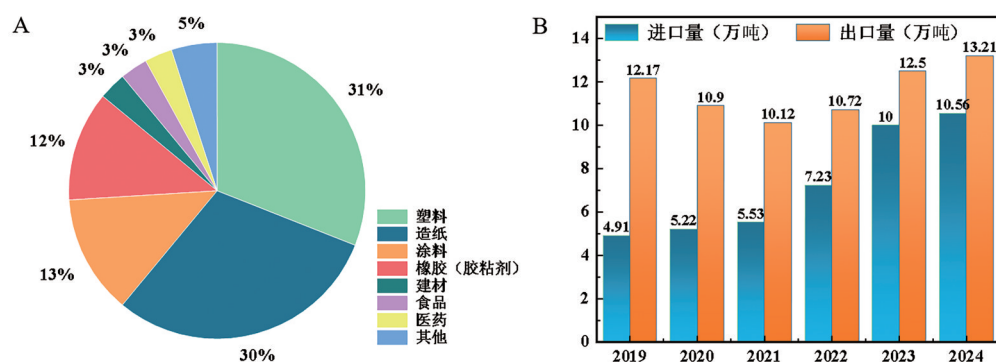


图4 (A)中国碳酸钙下游应用领域占比情况及(B)2019–2024年中国碳酸钙进出口量情况

Fig. 4 Percentage share of downstream applications of calcium carbonate in China (A) and China's calcium carbonate import and export volume from 2019 to 2024 (B)

1.2.2 国内外碳酸钙产业市场竞争格局现状

目前,全球碳酸钙市场呈现出多元化竞争格局,少数大型企业占据重要地位,生产主要集中在美国、欧洲、日本及中国等国家和地区。其中,美国的碳酸钙市场由少数主要参与者主导,如法国益瑞石集团

(Imerys)、美国矿物技术集团(Minerals Technologies Inc.)和欧米亚(Omya)等;欧洲的碳酸钙企业则以技术和质量著称,如总部位于比利时的Lhoist集团,这些企业凭借强大的研发能力、稳定可靠的产品质量、精良的仪器和良好的品牌信誉,在全球市场中竞争优势明显^[17]。据贝哲斯的调研数据,2023年轻质碳酸钙市场的Top3企业为Minerals Technologies、Omya以及Imerys,其营收份额总计占比32.08%。这些国外企业占据了国内大部分高端市场,价格普遍比国产同类产品高1~3倍。在高端产品领域,如医药级沉淀碳酸钙、用于高端塑料和橡胶制品的高性能碳酸钙等,欧美日等发达国家和地区的企业技术领先,产品质量和性能优越,占据着全球高端市场的较大份额。而在中低端产品市场,如普通的工业级碳酸钙,由于生产技术相对成熟,市场竞争较为激烈,产品价格和成本成为竞争的重要因素。

目前,中国的碳酸钙总产能和产量在全球范围内均处于领先地位,但是企业的平均规模却远低于发达国家的平均标准。中国碳酸钙企业数量众多,约1000家,其中重钙厂家500多家。大部分企业规模较小,竞争力不强,主要集中于浙江、江西、广西、安徽、广东和河北等省份^[18]。随着环保压力的增大,产业集聚和产业转移势在必行,生产重心逐渐向中国中西部地区转移,广西、安徽等地区成为产业转移发展的主要承接地。在低端和中低端产品市场,中国企业凭借成本优势和不断提升的产品质量,已经占据了主导地位。但在高端产品市场,如用于电子、医药和高端涂料等领域的纳米碳酸钙、活性碳酸钙等,中国企业与国外企业相比仍存在一定差距。同时,中国的公司过于依赖外部的科技援助,而忽视了本土的学习与吸纳,其独立的创新及产品开发的实力相对较弱,且存在大量的低质量的重复性建设,这使得其市场上的核心竞争优势显著减弱。据粉体网报道,中国目前有30多家纳米碳酸钙生产厂家,每年产量达100余万吨,但中国实际上对纳米碳酸钙的需求在200余万吨,市场对高端的纳米碳酸钙产品依然有100余万吨缺口,目前还需要大量进口^[7]。欧、美、日本等发达地区的碳酸钙制造技术和方法展示了大规模、自动化、智能化以及节能的现代生产特性(有些国家已经实施了无人工厂)。在国际上,许多先进的公司在矿产资源的开发和整合、产品的创新研究、国际市场的拓展以及新的工艺和技术的运用方面,都远超过中国的碳酸钙制造公司。近年来,中国企业综合竞争实力持续提升,一批实力较强的本土企业也相继涌现,中高端产品市场份额明显提升,高端产品市场正逐步打破外资企业或其在华企业的垄断局面。广西华纳新材料科技有限公司、广西桂林金山化工有限责任公司、山西兰花华明纳米材料有限公司和广东恩平纳米碳酸钙生产基地等优势企业^[19],在产品的质量水平和性价比方面与国际品牌的差距也日益缩小,甚至在部分领域逐渐替代了国际品牌。

2 国内外碳酸钙产业高值利用现状

2.1 国外碳酸钙产业高值利用现状

低附加值的碳酸钙产品通常未经深度加工、品质相对单一,价格低廉。在建筑行业,常被用于生产普通混凝土,能有效增加混凝土的体积,降低生产成本,同时提升其强度与耐久性。在造纸工业里,低附加值碳酸钙作为填充剂,可提高纸张的不透明度与白度,改善纸张外观,满足普通书写纸、新闻纸等对纸张质量要求相对不高的产品生产需求。此外,在一些对材料性能要求较低的塑料制品,如普通的塑料包装袋、农膜等生产中,它也作为填充材料使用,起到降低成本的作用,为这些行业提供了经济实用的原料选择。

目前,全球碳酸钙产业在高值利用方面已取得显著进展,在医药、食品、电子和化妆品等多领域均展现出不可或缺的价值。通过提升各应用行业产品的性能、降低成本、赋予特殊功能或满足环保需求等多维度作用,碳酸钙不仅实现了自身从传统原料向高值化材料的转型,还极大地推动了相关产业的创新发展与升级,充分展现了这一丰富资源在全球工业体系中的潜在价值与发展潜力。

高端碳酸钙产品在国际上广泛应用于多个行业,比较重要的有5个行业。1)制药行业:在制药行业,高纯度的碳酸钙可作为药物的载体或填充剂^[19],用于生产胃酸中和剂、钙补充剂等。2)食品添加剂:食品级碳酸钙作为营养强化剂和抗结剂广泛用于食品制造,例如面包、饼干和饮料等。根据欧米亚的官方说明,碳酸钙不仅有助于增强食物的防凝固性,也有助于优化烘烤、膨胀、谷物及各种饮品的口感与颜色。纳米碳酸钙被日本白石公司用于开发海鲜酱产品,它赋予了海鲜酱独特的口感,提升了酱的

硬度,使其变得更加柔软,并延长了保质期。3)化妆品行业:在化妆品领域,碳酸钙被广泛应用于粉底和粉饼的填充剂,以提升产品的流动性和粘性,同时调整护肤品和化妆品的pH值。此外,它还能作为一种调控粘度的成分加入到化妆品中,以确保产品的质感和稳定性。4)化工行业:在化学领域,碳酸钙在深度处理后被应用到各个方面,例如氯化钙被大量使用于清洁和消毒,碘酸钙被广泛应用于去除异味、抗菌和制造药品。5)新能源行业:在新型能源领域,英美等国正在探索使用碳酸钙储藏太阳能的方法。这些技术都极大地拓宽了碳酸钙的应用领域,将普通的工业原材料转化为具有高额价值的产品。

2.2 中国碳酸钙产业高值利用现状

目前,中国碳酸钙资源高值化利用程度不高,碳酸钙功能材料的开发利用仍主要集中在初级阶段,深加工仅限于干法细磨和较低层次的改性,没有与下游需求紧密对接,“优质低用”现象较为严重。相较于发达国家,中国的碳酸钙行业的集中度较低,企业结构的矛盾更为明显,存在着企业数量众多、平均产能偏低以及污染源过多的问题。中国拥有将近1000家的碳酸钙生产公司,对于拥有丰富财力和强大实力的大中型碳酸钙公司,他们能够优化其深度加工技术,并对设备进行升级,从而制造出各种类型的中高端碳酸钙粉。然而,中国大部分是小规模的碳酸钙公司或者是经济能力较弱的公司。这些生产企业在项目开发过程中,前期对资源品质掌握不够,缺乏对市场和客户的分析,采用与生产区内已有企业类似的生产工艺技术。后期进入市场,盲目追求扩大产能,导致资源开发利用同质化严重。局限于低价竞争,未能高效利用资源,实现产品的高附加值,因此这些小型公司在未来的市场竞争中可能会面临不利的局面^[20-21]。

自2019年起,受到疫情影响,全球经济的增长速度开始放缓,由于各国技术和产品趋向一致,使得全球市场的竞争愈发激烈。如今,国际上对于高端碳酸钙产业关键技术和设备的限制更为严苛,无疑给那些需要其产品的公司带来了新的挑战。然而,这也为中国的高端碳酸钙产业带来了新的机会。如2019-2022年期间,中国普通碳酸钙出口平均单价的快速提升,出口产品附加值同步增加,产品结构有所调整,不过高端产品市场的占比仍需进一步提高^[22]。随着中国经济的快速发展和产业结构的不断升级,碳酸钙产品的高值利用已经成为推动行业发展和提升竞争力的关键因素之一。目前,中国对于高级纳米碳酸钙、超微细碳酸钙等产品的研发在持续加速;在医药、食品等领域的高值利用也处于开发和增长阶段,比如在药品中作为补钙剂,在食品行业作为干燥剂、稳定剂;另外,开发新型表面活性剂以改善碳酸钙粉体的性质也是中国碳酸钙行业迫切需要解决的问题。以下对高端塑料行业、绿色建材行业、制药行业和食品行业进行具体阐述。

高端塑料行业 随着人们对塑料制品性能要求的不断提高,碳酸钙在高端塑料制品中的应用越来越广泛。如在汽车零部件、电子电器外壳等工程塑料中添加适量的高性能碳酸钙^[22],可降低成本的同时,提高制品的尺寸稳定性、耐热性和机械强度。

绿色建材行业 在环保政策趋严的背景下,绿色建材市场需求旺盛。碳酸钙可用于生产环保型涂料、壁纸和人造板材等建筑装饰材料,不仅能提高产品的性能和质量,还能降低对环境的影响。例如,在水性涂料中添加精细加工的碳酸钙,可改善涂料的遮盖力和耐洗刷性;在人造板材中使用改性碳酸钙,可提高板材的强度和防潮性能。

制药行业 经调研,中国有近100余个药品具有补钙作用,添加的钙盐类型有:碳酸钙、牡蛎碳酸钙、葡萄糖酸钙、醋酸钙、枸橼酸钙、乳酸钙和氯化钙等。另外,碳酸钙还能够被用作抗酸剂进行治疗,并且可以作为填充剂来制备药物辅助剂,同时在分散片的制备过程中发挥缓冲和分散的辅助性质,甚至还能够被用作包衣材料^[23]。

食品行业 2017年1月1日起,中国执行《食品添加剂碳酸钙(包括轻质和重质碳酸钙)》(GB1886.214-2016),新的标准适用于沉淀制得的食物添加剂轻质碳酸钙和粉碎石灰石、方解石以及牡蛎壳制得的食物添加剂重质碳酸钙,碳酸钙的应用领域得到进一步扩宽。此外,应用领域大幅延伸,有营养强化剂、疏松剂、增加稳定剂和加工助剂等。例如,广西桂玛生物科技有限公司,现拥有食品添加剂碳酸钙生产线两条,年产能达到10万吨;复配添加剂生产线2条,年产能约1万吨。近2年有关食品碳酸钙生产线建设的相关报道也逐渐增加。比如,2019年石丰新材料科技有限公司借助黑龙江林口县的优质方解石

资源,成功开发了一个年产15万吨食品和药品级轻质碳酸钙的生产项目^[24-25]。

3 中国碳酸钙产业高值利用发展建议

3.1 提高企业准入门槛,筛选优质企业

在全球经济一体化的背景下,国际市场竞争日益激烈,各行业对碳酸钙产品的质量和性能要求不断提高。为了推动中国碳酸钙产业高值化发展,提高碳酸钙企业门槛至关重要。虽然,中国碳酸钙矿产资源丰富,但一些企业过度依赖资源投入、采用粗放式开采和生产方式,不仅会造成资源浪费,还会加速资源枯竭。通过提高企业准入门槛,淘汰低产能、规模效益差和缺乏创新能力的企业,筛选出具有一定实力和规模的企业,有利于加强对矿产资源的整合与管理,实现资源的合理配置和有序开发。中国广西、江苏和浙江等地都已出台了矿山整合以及碳酸钙行业准入规则等政策举措,小企业在艰难中求生存或退出,实力雄厚的大集团仍在拿矿、拿地和拿项目,延伸产业链,走高端路线^[25]。这些企业更有能力进行产业链延伸和资源储备,保障企业自身以及整个产业的资源供应稳定,避免因小企业的无序竞争和资源争夺出现产业发展不稳定问题。并且这些企业有能力加大研发投入,生产出符合高端市场需求的碳酸钙产品,满足如高端塑料、电子材料和医药等领域对高品质碳酸钙的严格要求,进一步拓展市场空间,提升在国际市场中的竞争力,打破国外高端碳酸钙产品的垄断,提高我国碳酸钙产品的国际市场份额。

3.2 紧跟国家政策,加快产业技术创新

2023年12月29日,《产业结构调整指导目录(2024年本)》由国家发改委公布,该目录对于碳酸钙的分类做出了明显的改变。在原先的《产业结构调整指导目录(2019年本)》中,碳酸钙被全面归入限制类,但是目前“碳酸钙(颗粒度100 nm及以下)”被明确列入限制类,“超细重质碳酸钙(粒径5 μm)”被列入鼓励类,而“2万吨/年以下普通级碳酸钙”则被剔除。这一变更体现了中国对碳酸钙行业高值化发展的鼓励和对高端产品的支持^[9,22]。在当前经济与环境协同发展的大背景下,碳酸钙企业紧跟国家政策导向、加速产业技术创新以推动高值化发展,已成为行业转型升级的关键路径。紧密对接下游需求,推动产品从中低档初加工产品向多元化的精深加工、多功能化和系列化产品方向转型升级。一方面,大力研发纳米碳酸钙制备技术,精准控制粒子的粒径、晶型和表面性质^[26],使其在高端塑料、电子材料和生物医药等领域展现出独特的性能优势,提升产品附加值。另一方面,深入探索碳酸钙的表面改性技术,采用新型的有机或无机改性剂,增强碳酸钙与基体材料的相容性与分散性,拓展其在涂料、橡胶等行业的应用深度与广度。

3.3 强化绿色体系构建工作

强化碳酸钙产业绿色体系构建工作是实现该产业可持续发展的核心任务。企业需全面升级环保设施。对于废气处理,引入高效的布袋除尘器、脱硫脱硝装置以及挥发性有机物(VOCs)治理设备,严格控制粉尘、二氧化硫、氮氧化物以及VOCs等污染物的排放,使其达到甚至优于国家和地方的环保标准。在废水处理方面,构建完善的循环水系统,通过物理、化学和生物处理工艺相结合,对生产废水进行深度净化和循环利用,减少新鲜水的取用,实现废水零排放或微排放。针对废渣处理,积极探索综合利用途径,将其转化为建筑材料、道路基层材料或其他高附加值产品,如利用碳酸钙废渣生产环保型砖块、水泥添加剂等,从而实现废渣的减量化、无害化和资源化。同时,碳酸钙产业绿色体系构建还应涵盖产品全生命周期管理。从产品设计阶段开始,考虑原材料的绿色环保属性、生产过程的能耗与排放以及产品使用后的回收利用性。研发和生产绿色环保型碳酸钙产品,满足市场对绿色产品的需求。并且,建立健全产品回收与再利用机制,鼓励企业与下游用户合作,对废旧碳酸钙产品或含有碳酸钙的废弃物进行回收处理,提取其中的有用成分,实现资源的二次利用,进一步降低产业对环境的影响,提升整个碳酸钙产业的绿色竞争力与可持续发展水平。

4 结论与展望

中国碳酸钙产业近年来取得了长足的发展,其生产规模和技术水平不断提升,已经成为中国化工领

域的重要组成部分。伴随着中国经济的飞速进步以及建筑、橡胶、塑料和涂装等基础领域的持续扩张,对于碳酸钙的需求每年都在上升。但是,中国碳酸钙在食品、医药、化妆品和环保等高新领域的应用与发达国家仍存在差距,如食品领域,碳酸钙纯度、杂质控制以及功能多样性上,我国产品难以企及。医药方面,产品精细化程度不足,粒径、晶型控制不够精准,高端产品研发滞后。化妆品领域,碳酸钙分散性与稳定性欠佳,表面处理技术落后,影响产品质感与亲肤性。环保领域,环境修复应用和环保材料性能上,中国在材料吸附效率、稳定性等方面有较大提升空间,相关产品和技術也更为匮乏。目前,针对中国的碳酸钙企业特点,结合国家最新的产业政策,中国碳酸钙产业正积极开展高值应用研究,探索碳酸钙在新兴领域的应用潜力,推动行业向着高端化、精品化的方向发展。中国是世界上石灰石矿资源丰富的国家之一,资源条件可谓得天独厚,研究高值利用不仅有助于提升碳酸钙产品的附加值,还有助于推动未来产业转型升级,实现经济效益和社会效益的双赢。

参 考 文 献

- [1] 程海波, 陈学思, 肖海华, 等. 多臂聚乳酸对线型聚乳酸结晶的促进作用[J]. 应用化学, 2010, 27(7): 754-758.
CHENG H B, CHEN X S, XIAO H H, et al. Promotion of crystallization in linear polylactide by multiarm-polylactide[J]. Chin J Appl Chem, 2010, 27(7): 754-758.
- [2] 雷恩. 青海石灰岩资源特征及高值化利用建议[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2021(2): 9-11.
LEI E. Characteristics and suggestions of Qinghai limestone resources for high-value utilization[J]. China Non-metallic Mining Ind, 2021(2): 9-11.
- [3] 曾令威, 卢乐民, 梁逸昊, 等. 重质碳酸钙应用于建筑涂料中的研究进展[J]. 当代化工, 2023, 52(11): 2761-2766.
ZENG L W, LU L M, LIANG Y H, et al. Research progress of application of heavy calcium carbonate in architectural coatings[J]. Contemporary Chem Ind, 2023, 52(11): 2761-2766.
- [4] 张哲轩, 周洋, 李润丰, 等. 纳米碳酸钙——生产、改性和应用[J]. 材料导报, 2023, 37(z2): 154-163.
ZHANG Z X, ZHOU Y, LI R F, et al. Nano-CaCO₃: production, modification and application[J]. Mater Reports, 2023, 37(z2): 154-163.
- [5] 田健, 刘旻, 胡攀, 等. 我国碳酸钙产业发展与资源梯级高值高效利用思考[J]. 矿产保护与利用, 2020, 40(6): 109-116.
TIAN J, LIU M, HU P, et al. China's calcium carbonate industry development and resource ladder high value and efficient utilization[J]. Conservation Utilization Mineral Resources, 2020, 40(6): 109-116.
- [6] 郭佳, 牛博, 王文利, 等. 中国重质碳酸钙产业现状与资源高效开发利用[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2024(1): 7-11.
GUO J, NIU B, WANG W L, et al. Current situation of heavy calcium carbonate industry in China and efficient development and utilization of resources[J]. China Non-metallic Mining Ind, 2024(1): 7-11.
- [7] 肖小兵, 吴平飞, 王振. 不同种类碳酸钙粉体在轻型纸中的应用[J]. 山东化工, 2024, 53(10): 208-210.
XIAO X B, WU P F, WANG Z. Application of different kinds of calcium carbonate in tissue paper[J]. Shandong Chem Ind, 2024, 53(10): 208-210.
- [8] 方苍舟, 杜仁忠, 苏宁. 超细重质碳酸钙干法加工技术与设备简评[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2010(5): 48-51.
FANG C Z, DU R Z, SU N. A brief review of ultrafine heavy calcium carbonate dry processing technology and equipment[J]. China Non-metallic Mining Ind, 2010(5): 48-51.
- [9] 胡攀, 田健, 于宗敏, 等. 我国县域碳酸钙产业高质量发展研究:以广西壮族自治区兴业县为例[J]. 中国矿业, 2022, 31(4): 23-30.
HU P, TIAN J, YU Z M, et al. Research on the high-quality development of calcium carbonate industry in China's counties: taking Xingye County of Guangxi Zhuang Autonomous Region as an example[J]. J China Mining Magazine, 2022, 31(4): 23-30.
- [10] 刁润丽, 赵伟普. 改性纳米碳酸钙的应用研究进展[J]. 佛山陶瓷, 2018, 28(8): 4-6.
DIAO R L, ZHAO W P. Progress in the application research of modified calcium carbonate nanoparticles[J]. Foshan Ceram, 2018, 28(8): 4-6.
- [11] 李开潮, 毛建华, 刘丽平. 贺州碳酸钙产业高质量发展研究与对策[J]. 石材, 2022(6): 56-62.
LI K C, MAO J H, LIU L P. Research and countermeasures for high-quality development of hezhou calcium carbonate

- industry[J]. *Stone*, 2022(6): 56-62.
- [12] 刘宝树, 郝志刚, 马永山, 等. 中国碳酸钙行业60年发展历程回顾及趋势分析[J]. *无机盐工业*, 2020, 52(10): 37-43.
- LIU B S, HAO Z G, MA Y S, et al. Review of the 60-year development history and trend analysis of China's calcium carbonate industry[J]. *Inorg Chem Ind*, 2020, 52(10): 37-43.
- [13] 袁长江, 申锡坤, 杨晓, 等. 碳酸钙矿石及其产品质量指标研究[J]. *中国非金属矿工业导刊*, 2023(4): 53-56.
- YUAN C J, SHEN X K, YANG X, et al. Research on calcium carbonate ore and its product quality index[J]. *China Non-metallic Mining Ind*, 2023(4): 53-56.
- [14] 杜越天. 国外矿山生态修复管理经验借鉴与启示[J]. *中国国土资源经济*, 2024, 37(12): 19-25, 76.
- DU Y T. Reference and enlightenment from foreign mine eco-restoration management experience[J]. *Nat Resource Economics China*, 2024, 37(12): 19-25, 76.
- [15] 李见成. 矿山环保新智慧——SDT矿山粉尘治理系统技术[J]. *国土资源科普与文化*, 2022(2): 28-31.
- LI J C. New wisdom of mine environmental protection——SDT mine dust control system technology[J]. *Sci Cult Popularization Nat Resources*, 2022(2): 28-31.
- [16] 何彦芳, 赵侣璇, 冯媛, 等. 广西碳酸钙产业高质量发展生态环境保护对策建议[J]. *无机盐工业*, 2023, 55(7): 25-31.
- HE Y F, ZHAO L X, FENG Y, et al. Countermeasures and suggestions for high-quality development of calcium carbonate industry and ecological environment protection in Guangxi[J]. *Inorg Chem Ind*, 2023, 55(7): 25-31.
- [17] 颜鑫, 卢云峰. 碳化活化一体化纳米碳酸钙生产新工艺[J]. *无机盐工业*, 2018, 50(12): 47-50.
- YAN X, LU Y F. New process of nano calcium carbonate production with carbonization and activation integration[J]. *Inorg Chem Ind*, 2018, 50(12): 47-50.
- [18] 厉琨. 国内碳酸钙技术现状与发展前景[J]. *军民两用技术与产品*, 2018(22): 134.
- LI K. Calcium carbonate technology status quo and development prospect in China[J]. *Dual Use Technol Prod*, 2018(22): 134.
- [19] 徐鹏金. 重质碳酸钙应用现状及发展趋势[J]. *中国粉体工业*, 2016(5): 1-3.
- XU P J. Heavy calcium carbonate application status and development trend[J]. *China Powder Ind*, 2016(5): 1-3.
- [20] 伊跃军, 马亚梦, 谭秀民, 等. 我国重质碳酸钙产业现状及发展建议[J]. *矿产保护与利用*, 2015(3): 71-75.
- YI Y J, MA Y M, TAN X M, et al. China's heavy calcium carbonate industry status quo and development proposals[J]. *Conserv Util Mineral Resources*, 2015(3): 71-75.
- [21] 田伟, 童泽凡, 陈春玉. 球形纳米碳酸钙的研究应用[J]. *非金属矿*, 2024, 47(4): 103-106.
- TIAN W, TONG Z F, CHEN C Y. Research and application of spherical nano-calcium carbonate[J]. *Non-Met Mines*, 2024, 47(4): 103-106.
- [22] 刘亚雄. 日本纳米碳酸钙生产工艺及产品介绍[J]. *无机盐工业*, 2021, 53(12): 80-84.
- LIU Y X. Introduction to the production process and products of calcium carbonate nanoparticles in Japan[J]. *Inorg Chem Ind*, 2021, 53(12): 80-84.
- [23] 黄彩娜. 广西碳酸钙产业集群成长期发展研究[J]. *科技创业*, 2021, 34(2): 17-22.
- HUANG C N. Guangxi calcium carbonate industry cluster growth period development research[J]. *Technol Rev*, 2021, 34(2): 17-22.
- [24] 张利芳. 湖南宜章县高质量发展碳酸钙产业的调查与思考[J]. *新丝路*, 2020(10): 15-16.
- ZHANG L F. Survey and reflections on the high-quality development of calcium carbonate industry in Yizhang county, Hunan province[J]. *New Silk Road*, 2020(10): 15-16.
- [25] 甘合智, 张海殷, 莫英桂. 基于NQI的广西碳酸钙产业高质量发展思考[J]. *山东化工*, 2022, 51(10): 75-77.
- GAN H Z, ZHANG H Y, MO Y G. Reflection on the high-quality development of calcium carbonate industry in Guangxi based on NQI[J]. *Shandong Chem Ind*, 2022, 51(10): 75-77.
- [26] 张深强. 高纯超细碳酸钙的产业化研究[J]. *中国化工贸易*, 2022(16): 49-51.
- ZHANG S Q. Industrialization of high purity ultrafine calcium carbonate[J]. *China Chem Trade*, 2022(16): 49-51.

Status Quo of Calcium Carbonate Industry and High-Value-Added Application in China

LI Ze-Qiong¹, ZHAN Hua-Sheng², WANG Han-Yu², JIN Yi², LUO Hua-Ming², LI Yan^{1*}

¹(School of Material Science and Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

²(BBMG Tongda Refractory Technology Co., Ltd., Beijing 100043, China)

Abstract Calcium carbonate, a high-value-added inorganic compound, is extensively utilized across a wide array of industries, including building materials, paper, pharmaceuticals, and food. It plays a crucial role in the global economic system. With the continuous growth of China's market economy and the acceleration of industrial development, the applications of calcium carbonate products have expanded into emerging fields such as new-energy battery diaphragm coatings, high-quality pharmaceutical fillers and excipients, food additives and processing aids, and reinforcing agents for high-end coatings and rubber products. These emerging fields have extremely high requirements for material performance. Despite China being the world's largest producer of calcium carbonate, when compared with developed countries, there is still room for improvement in terms of technological levels and high-value-added utilization. Through in-depth research on the calcium carbonate industry in aspects of resource mining, product market, and high-value-added utilization, and a detailed analysis of the actual resource-mining situations both at home and abroad, changes in the industrial market scale, adjustments in the product demand structure, and the industry competition landscape, we have comprehensively reviewed the development of China's calcium carbonate industry and the current state of high-value-added applications from 2014 to 2023. By making comparisons and conducting analyses with foreign powerhouses in the calcium carbonate industry, this study points out the problems existing in China's calcium carbonate industry regarding technological innovation and industrial integration. Considering the abundant domestic mineral resources and the characteristics of a large number of production enterprises, relevant suggestions are put forward for the future development of the high-value-added utilization of China's calcium carbonate industry. With the promotion of technological innovation and the optimization of resource utilization, China's calcium carbonate industry will gradually shift towards high-value-added applications, accelerate the optimization and upgrading of the industrial chain, and offer strong support for the sustainable development of the industry.

Keywords Calcium carbonate; Market status; High-value-added utilization; Low carbon and environmental protection

Received 2024-10-20; Accepted 2025-01-31