

◆新质生产力与产业态势◆

浅析磷石膏综合利用规模化、高质化之路

杨再银^{1,2}, 何涛^{1,2}, 熊凡^{1,2}, 杨佳钰^{1,2}, 安然^{1,2}, 杨美欣^{1,2}

(1. 建筑材料工业技术情报研究所, 北京 100024; 2. 中国建筑材料联合会石膏建材分会, 北京 100024)

[摘要] 简要介绍2024年我国磷石膏产生及利用现状, 分析我国磷石膏综合利用存在的问题, 如消纳场景萎缩, 难以突破地域限制; 无害化预处理和综合利用成本高, 产学研用结合不够深入; 指标设置不规范、指标设置不足, 资源化利用产品标准缺乏; 磷石膏鼓励利用政策和税收优惠措施发力不足, 中端原料制备下游综合利用产品的企业无法享受税收政策优惠。指出未来磷石膏规模化、高质化利用重点产品是石膏路基材料、矿山回填材料、矿井充填材料、Ⅱ型无水石膏、石膏基高分子填料, 分析重点产品对磷石膏的消纳量及优势。为解决磷石膏综合利用难题, 提出引导磷石膏企业走规模化、高质化路线的建议。

[关键词] 磷石膏; 综合利用; 无害化处理; 存在问题; 重点产品; 建议

[中图分类号] X781

[文献标志码] A

[文章编号] 2097-4566 (2026) 03-0001-05

Path to large-scale and high-quality utilization of phosphogypsum

YANG Zaiyin^{1,2}, HE Tao^{1,2}, XIONG Fan^{1,2}, YANG Jiayu^{1,2}, AN Ran^{1,2}, YANG Meixin^{1,2}

(1. Institute of Technical Information for Building Materials Industry, Beijing 100024, China; 2. Gypsum Building Materials Branch, China Building Materials Federation, Beijing 100024, China)

Abstract: The current status of phosphogypsum generation and utilization in China in 2024 is introduced. The existing problems in comprehensive utilization of phosphogypsum are analyzed, such as shrinking disposal scenarios, difficulties in overcoming regional limitations; High costs of harmless pretreatment and comprehensive utilization, insufficient integration of industry, academia, research, and application; Non-standardized and inadequate indicator settings, lack of standards for resource utilization products; Ineffective phosphogypsum utilization policies and tax incentives, enterprises producing downstream comprehensive utilization products from intermediate raw materials unable to benefit from tax policy incentives. It identifies key products for large-scale, high-quality phosphogypsum utilization in the future, including gypsum roadbed materials, mine backfill materials, mine filling materials, type II anhydrite gypsum, and polymer-filled gypsum materials. Their consumption of phosphogypsum and advantages are analyzed. To address the challenges of comprehensive utilization of phosphogypsum, recommendations are proposed to guide phosphogypsum enterprises toward large-scale, high-quality utilization pathways.

Key words: phosphogypsum; comprehensive utilization; harmless treatment; existing problems; key products; suggestion

2024年我国磷石膏产生量约8 600万t, 利用量约5 300万t, 综合利用率达到了61.6%, 同比增长了6个百分点^[1], 磷石膏历史堆存量约9亿t。2024年我国磷石膏用于水泥缓凝剂的利用量最多, 为1 660万t; 其次为矿山矿井充填修复, 利用量为1 580万t, 第三大利用途径是石膏建材, 利用量为1 480万t。这三大应用领域磷石膏用量占磷石膏总利用量的89%, 在路基材料、制硫酸联产水泥、

土壤改良等方面也有一定应用。目前新能源行业发展势头正盛, 磷酸可用于生产磷酸铁锂电池, 因此, 磷酸产量逐年增加, 磷石膏的排放量也随之增加, 对环保和综合利用造成了很大压力。

1 磷石膏综合利用存在问题

1) 消纳场景萎缩

目前磷石膏资源化利用产品多为普通石膏建材、水泥缓凝剂等低附加值产品, 同质化严重, 还

收稿日期: 2025-12-10

作者简介: 杨再银(1980—), 男, 新疆玛纳斯人, 正高级工程师, 中国建筑材料联合会石膏建材分会秘书长。

通信作者: 何涛(1995—), 男, 江苏如皋人, 工程师, 研究方向为固废综合利用、标准制修订等。

面临脱硫石膏、柠檬酸石膏等其他工业副产石膏的竞争；另外，受房地产行业萎缩影响，建材产品需求缩减，市场需求量不足，竞争愈发激烈^[2]。

磷石膏建材产品的消费市场还受到运输距离影响，难以突破地域限制。我国磷化工企业主要集中在云、贵、川、鄂等西南部地区，距离东部建材产品消耗量大的市场路途遥远。受制于运输费用高等因素，磷石膏建材产品运费往往高于出厂价，如贵州某企业以磷石膏制备水泥缓凝剂，每吨成本约30元，运费却超过百元。另外，磷石膏资源化利用途径中生态修复和矿井充填用量占比约为22.7%，制备石膏建材和水泥缓凝剂等低附加值产品占比为51.6%，磷石膏资源化利用产生的经济效益较差，资源化利用产业难以持续发展，应当推广磷石膏制备 α 高强石膏、制硫酸联产水泥、路基材料、高分子填料等高值化产品的规模化应用。

2) 绿色技术支撑不足

磷石膏中含有游离酸、有机物和可溶磷等杂质，成分复杂多变。无害化预处理和综合利用需要根据实际情况具体分析设计工艺，对企业的工艺技术水平 and 资金成本提出了高要求。上游磷矿和工艺不同也会导致下游排放的磷石膏品位和杂质波动，给消纳单位的无害化预处理工艺增加了难度。当前磷石膏预处理工艺仍以中和、水洗、浮选、球磨、煅烧和添加改性材料为主，处理成本偏高，导致下游产品市场竞争力弱，需对预处理工艺开展综合性评估，重点考量其技术可行性与经济适用性之间的协同关系。需要系统推进磷酸绿色生产、磷石膏低成本除杂净化、大掺比利用等关键共性技术攻关。

磷石膏排放企业在与科研院所、高校研究机构等单位的产学研用方面结合还不够深入，不同形态磷、有机物、氟等有害组分对材料性能的作用机制与影响规律还未彻底摸清。有条件的地区可因地制宜开展磷石膏在路基材料、土壤改良、矿山修复等领域の中试研究与应用。加强对现有磷石膏库垂直阻隔、水平覆盖、污染物固化稳定化的综合管控和协同生态修复技术研究，研发关键防渗阻隔材料及其在高盐强酸/碱环境中的固化稳定化技术。

3) 标准体系仍待完善

现行的关于磷石膏及其资源化利用的标准约26项，如GB/T 23456—2025《磷石膏》、GB/T 32124—2024《磷石膏的处理处置规范》等，这些标准对于磷石膏的资源化利用起到了一定的促进作用，但也存在针对性不足、资源化利用产品标准缺

乏等问题。在磷石膏建材领域，虽有不同建材产品标准，但缺乏配套的石膏建材产品工程应用标准，造成磷石膏难以被大规模利用。另外，在石膏路基材料、石膏基矿井充填材料、石膏基矿山回填材料、石膏高分子填料等磷石膏综合利用新领域还缺乏相应的产品标准和应用规范标准。磷石膏资源化利用是一项系统工程，涉及化工、建材、建筑、农业等多个行业^[3]，以及生态环境部、住房和城乡建设部、国家发展和改革委员会、工业和信息化部、国家税务总局等多个政府管理部门，我国磷石膏资源化利用的发展进程较短，实践经验有限，磷石膏资源化利用在权责划分、财税政策、应用技术、资金支持等方面存在产业间、部门间沟通协作不畅的问题，推动磷石膏资源化利用阻力较大。

4) 税收优惠发力不足

2021年12月，财政部、税务总局发布了《关于完善资源综合利用增值税政策的公告》（以下简称“40号公告”），系统归纳了磷石膏综合利用增值税优惠的范围及规定，该项政策的发布对加快磷石膏综合利用步伐，推动磷石膏综合利用行业持续发展发挥了较好作用，但随着磷石膏利用产业链不断延伸，“40号公告”在执行中逐步暴露出一些滞后问题。全部以磷石膏为原料加工的 α 高强石膏、建筑石膏、Ⅱ型无水石膏虽已列入“资源综合利用产品和劳务增值税优惠目录”中（2022年版，以下简称“目录”），但由于此3种产品都不是终端产品，实际是作为磷石膏利用产业链下游产品的原料，进而加工成如纸面石膏板、石膏条板、石膏砌块、塑料钙基填料等各种产品。因此，在实际执行中存在两个关键问题：一是将这3种原料产品和其他最终产品一并列入目录，容易造成地方财税部门理解偏差、执行困难；二是购买用磷石膏加工的 α 高强石膏、建筑石膏、Ⅱ型无水石膏等中端原料制备下游综合利用产品的企业无法享受此税收优惠政策优惠，导致磷石膏综合利用终端企业产品无明显经济性优势，缺乏积极性，一定程度上阻碍了磷石膏有效综合利用，更重要的是严重制约了磷石膏的规模化应用。其他地方政府磷石膏鼓励利用政策和税收优惠措施也有类似问题。

2 未来磷石膏规模化、高质化利用重点产品

2.1 石膏路基材料

石膏路基材料是以工业副产石膏（质量分数大于50%）、水硬性石膏改性剂、水泥等按一定比例配制成的一种道路基层新材料，适用于道路工程施

工中稳定道路基层与底基层。

基层是路面的承重层,起到将路面传下来的荷载扩散到面层和路基结构中的作用。路基材料应具有强度高、刚度好、应力扩散能力强、水稳定性高等特点^[4]。我国路基材料一般采用水泥混凝土、废渣混合料、碎石混合料等材料,这类材料的缺点是由于凝结时间较快而产生收缩裂纹,这不仅影响基层材料本身的性能,同时还会导致路面开裂,使得道路往往达不到规定的使用年限^[5]。我国每年在公路建设领域消耗砂石等材料30亿~40亿t,严重破坏了自然和生态环境,且生产过程中消耗了大量能源,造成了极大的碳排放。

使用工业副产石膏作为路基材料不仅可以大量消纳工业副产石膏,减少传统材料的用量,节能减排,保护绿水青山,变废为宝,更可以降低公路建设成本,延长公路使用寿命。目前,贵州磷化(集团)有限责任公司、湖北昌耀新材料股份有限公司、湖北科创奇纳米科技有限公司等30多家企业生产并试点应用了磷石膏基层材料,全国有200多条石膏基层材料的应用试点。2023年全行业道路基层用石膏材料总产量约1 000万t,在湖北、贵州、云南、山东等省高速公路、一级公路、二级公路和市政公路建设中都有广泛的应用,项目综合利用产能达到3 000万t以上,产值年增长率为20%。

目前,道路基层用石膏材料技术相对稳定成熟,市场需求量巨大且价格低廉。2023年全国新增公路8.20万km,若50%采用石膏道路基层材料,可消纳工业副产石膏约4.1亿t,比传统道路基层材料减少费用支出80亿~160亿元,具有非常好的发展前景和经济价值。

据估算,每吨石膏路基材料比传统路基材料节省成本66.7%~75.0%;由于磷石膏轻集料及其制备的稳定层密度较小,因此需要相同工程方量的前提下,采用磷石膏基材料可以大幅度降低运输成本;同时对磷石膏的利用也可以减少企业对磷石膏库的维护费用,大幅度降低砂石开采以及后期的矿山修复成本。

石膏路基材料还具有生态效益,相比页岩陶粒,100万t/a磷石膏轻集料项目可节约标准煤15.73万t/a,减少碳排放(折CO₂)446.23万t/a;相比传统水稳层,100万m³磷石膏轻集料稳定层项目每年节约标准煤5.6万t,减少碳排放(折CO₂)24.66万t。

2.2 矿山回填材料

经无害化处理的磷石膏可作矿山回填材料,以

钢渣为碱性激发剂,水化产生C-S-H凝胶、钙矾石晶体,反应剩余的大量石膏作为主体起骨料充填作用,石膏被相互搭接交织的水化产物包裹,并充填其中的空隙,形成较为致密的结构,从而产生强度^[6]。云南云天化股份有限公司突破了磷石膏无害化技术难题,自主研发形成了改性磷石膏药剂复配与小掺量固固混合装备集成技术,用于云龙磷矿修复治理项目,累计回填改性磷石膏约1 200万t,并进一步在桃树磷矿及双哨磷矿生态修复治理项目中应用。

我国矿山生态修复历史欠账多、问题积累多、现实矛盾多,且面临“旧账”未还、又欠“新账”的问题。据遥感调查监测数据,截至2018年年底,全国矿山开采占用损毁土地约360万hm²。其中,正在开采的矿山占用损毁土地约133万hm²,历史遗留矿山占用损毁土地约227万hm²。依据安徽六国化工股份有限公司的伯乐矿坑项目矿坑容积80万m³可容纳磷石膏约180万t和矿坑平均深度10m估算,全国现有矿坑容积可消纳磷石膏超过百亿吨。

2.3 矿井充填材料

贵州省是磷石膏综合利用的主要省份,近年来,每年磷石膏地下矿井充填利用量稳定在数百万吨以上,占总利用量的44%以上。例如,2019年贵州省磷石膏地下矿井充填利用量为180.1万t,占总利用量的44.0%。2020年,贵州开磷集团股份有限公司的磷石膏综合利用总量为931.6万t,其中用于矿井充填的量占综合利用总量的34.62%。2023年,贵州磷化(集团)有限责任公司井下充填满磷石膏342万t,占全年总利用量的46.5%。

以磷石膏年产生量9 000万t计算,若2025年综合利用率提升至65%,年需消纳磷石膏5 850万t。根据近几年发展趋势,云、川、鄂等省在矿井充填领域的磷石膏用量逐年增加,若地下充填满磷石膏占比提升至30%~40%,则该领域年消纳磷石膏量可达1 755万~2 340万t。因此,未来地下采矿充填材料领域年消纳磷石膏量有望从当前的数百万吨增长至2 000万t以上,占年新增产生量的25%~30%,同时逐步消纳历史堆存磷石膏。

2.4 II型无水石膏

II型无水石膏又称β型硬石膏,或称不溶性硬石膏。天然二水石膏或工业副产二水石膏在360~1 000℃温度下煅烧后磨细即得中温煅烧石膏,也被称为水硬性石膏。磷石膏中残余的有机磷和部分活性较高的可溶性无机磷化合物在高温下(一般温

度越高,分解速度越快、分解越完全)会部分或全部分解或转化为难溶性的或活性较低的其他磷酸盐类物质(如焦磷酸钙等),对石膏产品基本性能的影响较小,此时,若根据所生产产品的用途配套应用一些改性外加剂技术,就会得到所需要的优质石膏产品。因此,可采用高温煅烧方法,使磷石膏脱水转化为Ⅱ型无水石膏,采用高效复合外加剂激发其活性,使其具有几乎与高强石膏相比拟的后期强度,具有极好的质量稳定性以及较高的抗水性能,成为配置优质高性能石膏砂浆的基料。

《2025年国务院政府工作报告》首次对“好房子”做出界定:安全、舒适、绿色、智慧。石膏材料具有防火、不易开裂、隔音、pH适中、生物可溶解性等诸多优点,是建设“好房子”名副其实的“好材料”。2025年3月31日,住房和城乡建设部发布强制性工程建设规范GB 55038—2025《住宅项目规范》,围绕隔声限值,新标准将卧室、起居室楼板的撞击声隔声性能指标从“不应大于75 dB”提升为“不应大于65 dB”。由此隔音垫将成为很多新建和改造住宅楼地面的标配,传统隔音垫采用水泥基地面找平材料和隔音垫结合,由于水泥基材料化学收缩值大的特性,难免会产生开裂质量通病。德国室内地面和墙面基本都是石膏基砂浆产品,其中以Ⅱ型无水和半水复合相抹灰石膏应用非常普遍。欧洲发达国家石膏基自流平砂浆用水量17%左右,干密度约为2 000 kg/m³,是住宅市场主流的地面找平材料。国内Ⅱ型无水石膏基自流平砂浆正处于起步阶段,绝大多数以半水石膏基砂浆为主。“好房子”政策和强制性工程建设规范GB 55038—2025的实施为Ⅱ型无水石膏的发展和應用带来了广阔的市场空间。

2.5 磷石膏基高分子填料

将磷石膏作为无机填料制备磷石膏基高分子复合材料技术主要采用界面改性剂对磷石膏表面进行包覆,使其表面通过物理吸附或化学键合偶联剂分子形成有机分子膜层,提高与高分子基体的界面相容性。改性后的磷石膏可直接作为填料,通过螺杆加工与聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)等高分子塑料混合制备复合材料。经实验研究发现,改性后的磷石膏提高了自身的完整度,改善了高分子材料与磷石膏的相容性和物理缠结程度,改性后的磷石膏基高分子复合材料的弯曲强度和冲击强度均有所提高。

目前国内主要采用Ⅱ型无水石膏与聚丙烯材料

混合制备石膏高填充中空板,通过加工制成无水石膏包装箱。该产品具有防水、防潮、安全、可回收等特点,并具有价格优势,具有广阔的市场前景。

市场应用主要体现在以下方面:

(1) 替代部分碳酸钙塑料中空板及母粒。2023年,我国塑料中空板市场销售额约400亿元,预计2025年可达500亿元以上。塑料中空板主要应用于包装领域,基本上以碳酸钙和滑石粉为填充料,最大填充量为50%,而石膏高填充中空板填充量达到65%以上,未来填充量可达70%以上,每吨成本较现有碳酸钙塑料中空板低1 000~2 000元。石膏生产的母粒价格也明显低于现有母粒,具有巨大的成本和价格优势,如能替代20%市场份额,市场销售额可达50亿~100亿元,消纳工业副产石膏100万t以上。

(2) 替代部分纸包装箱。我国是世界上最大的纸浆和纸制品生产和消费国,2023年纸浆进口金额为178亿美元。2023年,我国纸箱主要原材料瓦楞纸产量为2 862.8万t,以石膏高填充中空板制作的包装箱具有防水、防潮、强度高的特性,在蔬菜水果冷链运输中有明显优势,可以替代大部分冷链运输用纸箱。2023年宜昌市当地农产品包装市场规模达10亿元,工业品包装市场规模近100亿元。在宜昌周边300 km范围内,包装市场规模达数百亿元,如能替代10%的市场份额,销售额可达数十亿元。以石膏高填充中空板替代纸箱,可以有效实现内循环,节约外汇,减少森林砍伐,实现绿色可持续发展。

(3) 替代部分泡沫箱。石膏高填充中空板复合珍珠棉后做成的包装箱,保温性能良好,可以折叠运输,同泡沫箱相比,价格更低、强度更好、运输成本更低,更加绿色环保。在水产品、冷冻产品的包装上可替代大部分泡沫箱。

3 结语

为解决磷石膏综合利用难题,引导磷石膏企业走规模化、高质化路线可以从以下4点入手。

1) 拓宽应用场景,丰富产品类别

国内常见的墙板主要有石膏墙板和加气混凝土墙板。石膏墙板耗材主要是建筑石膏、水、电力和天然气。加气混凝土墙板耗材主要是石英砂、水泥、石灰和钢筋。石英砂和钢筋的原料是天然砂和金属,都是不可再生资源,开采和生产都会对环境造成污染和破坏。在湖北、云南、贵州、四川等磷石膏集中产区,地方政府除了推广磷石膏在建材领域的应用,在保证环境安全的前提下,还应鼓励磷

石膏用于道路材料、生态修复等大宗消纳领域,积极探索磷石膏在土壤改良、井下充填等方面的应用。

当前我国建筑行业下行,磷石膏建材利用势必面临较大空间萎缩的压力,因此必须转换思路,探索磷石膏多途径应用场景。首先,加快推进磷石膏加工产品Ⅱ型无水石膏替代碳酸钙作塑料钙基材料的研究应用,提高其高值化利用水平。其次,在环境岩土工程中的应用如淤泥固化、河道护坡、渠沟的衬砌与防渗、软基处理等方面,促进磷石膏与其他固废协同处理处置,提高固废原位资源化利用率。

2) 加强技术推广应用,实施全流程消纳

磷矿、磷酸企业应合理开发磷矿资源,严格执行《关于磷矿资源合理开发利用“三率”指标要求(试行)》,有效提高磷精矿品位,源头降低磷石膏产生强度。新建、改扩建湿法磷酸装置宜采用半水-二水法等绿色先进磷酸生产工艺,有效提高磷石膏品质。新建湿法磷酸项目需配套建设磷石膏在线预处理装置;到2025年,各省市现有湿法磷酸企业磷石膏在线预处理设施装备配套率达到60%。

通过对上游磷石膏排放企业进行技术改造,减少杂质种类和含量,采用无害化预处理技术等措施,建设一批规模化示范处理生产线,如磷石膏无害化预处理生产线、磷石膏制 α 型高强石膏生产线和磷石膏生产Ⅱ型无水石膏生产线等,强化行业标杆引领,提升磷石膏原料质量,为下游的综合利用清除障碍,推动磷石膏的高效高质规模化综合利用。

3) 加快关键标准制定,多层次完善标准体系

磷石膏的综合利用涉及建材、工业、农业、生态保护等多个方面,虽然我国现有国家标准GB/T 32124—2024《磷石膏的处理处置规范》,但该标准仅针对不同用途磷石膏预处理后性能指标提出要求(以满足下游产业需求),限制性成分和磷石膏或其他相关产品标准大同小异,未对涉及的磷石膏综合利用新产品提出具体的产品指标要求。因此,亟须立项制定磷石膏制 α 高强石膏、石膏路基材料、石膏基矿山回填材料、石膏基矿井充填材料和高分子填料等新产品标准及应用规范标准。另外,可针对磷石膏的排放、收集、运输、储存、安全环保、设施设备、分析检验等方面制定总体性、基础性、通用性、具有普遍指导意义的国家标准或行业标准,还可制定《磷石膏制备绿色建材产品评价》等相关综合评价标准,在社会、生态、经济效益方面给出相应最优化指标分析,以最佳效益引导磷石膏综合利用企业清洁绿色利用。

当前我国正通过构建“地方标准+行业标准+团体标准”三位一体的标准体系,全面完善磷石膏综合利用规范框架:一方面依托地方标准细化区域适用性要求,如四川省针对磷石膏路基填筑制定专项技术指标;另一方面通过行业标准统一技术门槛;同时鼓励团体标准快速响应创新需求。这种多层次标准协同机制,既保障了基础安全底线,又为技术标准迭代和产业升级提供了弹性空间。

4) 调整税收优惠政策,提高行业积极性

当前《关于完善资源综合利用增值税政策的公告》中对于下游石膏终端产品中磷石膏原料的掺量要求达到最低40%的比例可享受70%的退税政策优惠。这一规定对于大规模高掺量的磷石膏综合利用产品不利,如磷石膏路基材料、磷石膏矿井充填材料等产品的磷石膏比例可达到80%,同等质量内消纳了更多的磷石膏,应当享受更多的退税优惠。因此,建议将磷石膏利用比例分级,按级别享受不同等级的政策优惠,最高甚至可以100%退税。

【参考文献】

- [1] 崔荣政,修学峰,王臣.我国磷石膏综合利用现状及“十五五”发展思考和建议[J].生态产业科学与磷氟工程,2025,40(11):1-6.
CUI R Z, XIU X F, WANG C. Current situation of comprehensive utilization of phosphogypsum in China and thoughts and suggestions for its development during the “15th Five-Year Plan” period [J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2025, 40(11): 1-6.
- [2] 杨再银.中国工业副产石膏利用现状及“十四五”展望[J].硫酸工业,2021(7):1-4,23.
YANG Z Y. Utilization status of industrial by-product gypsum in China and its prospect in the 14th Five-Year Plan [J]. Sulphuric Acid Industry, 2021(7): 1-4, 23.
- [3] 崔荣政,王臣,修学峰.2023年我国磷石膏综合利用情况及产业发展现状分析[J].生态产业科学与磷氟工程,2024,39(11):1-6.
CUI R Z, WANG C, XIU X F. Analysis of comprehensive utilization and industrial development status of phosphogypsum in China in 2023 [J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2024, 39(11): 1-6.
- [4] 孟维正.改良磷石膏钛石膏路用性能的研究[D].成都:西南交通大学,2019.
- [5] 韦煜.磷石膏胶凝路基材料改性机理试验研究[J].西部交通科技,2021(3):65-67.
- [6] 朱志伟,何东升,陈飞,等.磷石膏预处理与综合利用研究进展[J].矿产保护与利用,2019,39(4):19-25.
ZHU Z W, HE D S, CHEN F, et al. Research Progress on Pretreatment and Comprehensive Utilization of Phosphogypsum [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2019, 39(4): 19-25.