

高塔造粒技术在复合肥生产中的应用研究进展

孔亦周

(宝鸡秦东流体设备制造有限公司, 陕西 宝鸡 721000)

[摘要] 综述高塔造粒技术在复合肥生产中的研究进展与应用成效。高塔造粒复合肥具有养分均匀、物理性能优良、生产成本较低等特点。详细阐述高塔造粒工艺原理、关键设备(包括差动造粒机和制浆系统)的技术演进与创新,分析造粒塔结构设计、通风能力与产能提升之间的关系,并讨论原料适应性、配方要求及安全生产措施。目前,该技术已在国内广泛应用,支持年产千万吨级复合肥的生产,显著提升了行业技术水平与经济效益,为我国化肥工业的绿色升级与农业可持续发展提供了重要支撑。

[关键词] 高塔复合肥; 熔体造粒工艺; 球形颗粒三元复合肥; 差动造粒喷头; 差动造粒机; 造粒机切换支架

[中图分类号] TQ440.5 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2025) 10-0082-06

Research progress on the application of high tower granulation technology in the production of compound fertilizers

KONG Yizhou

(Baoji Qindong Fluid Equipment Manufacturing Co., Ltd., Baoji 721000, China)

Abstract: The research progress and application effectiveness of high tower granulation technology in the production of compound fertilizers are systematically reviewed. High tower granulation compound fertilizer has the characteristics of uniform nutrient distribution, excellent physical properties, and low production cost. The principle of high tower granulation process and the technological evolution and innovation of key equipment (including differential granulators and pulp systems) are elaborated in detail. The relationship between the design of granulation tower structure, ventilation capacity and production capacity improvement is analyzed, and the adaptability of raw materials, formulation requirements, and safety production measures are discussed. At present, this technology has been widely applied in China, supporting the production of compound fertilizers with an annual output of tens of millions of tons, significantly improving the industry's technological level and economic benefits, and providing important support for the green upgrading of China's fertilizer industry and the sustainable development of agriculture.

Key words: high tower compound fertilizer; melt granulation process; spherical particle ternary compound fertilizer; differential granulation nozzle; differential granulator; granulator switching bracket

我国作为农业大国,化肥生产量与使用量巨大。当前,化肥工业正处于产品升级、技术创新的关键时期,朝着深层次二次加工、农化服务以及科学施肥的方向发展。在此背景下,复合肥高塔造粒技术快速发展,高塔复合肥产品在农化领域占据重要地位。

1 高塔造粒技术概述

1.1 工艺原理

高塔熔体旋转喷淋造粒工艺先将物料加热至特定工艺温度,使物料呈熔融状态随后通过专用造粒喷头将料浆以液滴形式从造粒塔顶部喷出。在液滴

降落过程中,与造粒塔内的逆流空气进行充分接触换热,直至凝固形成圆球形固体颗粒。这一过程本质上是熔体液滴在降落时与冷媒换热,发生从液相到固相的相变。受熔体自身表面张力作用,液滴自然收缩为正圆球,工业产品尿素、硝酸铵等的颗粒生产便是典型工艺。球形颗粒产品具备诸多优势,如物理性能好、装卸时无扬尘、长期存放不结块、施工流动性佳、计量与混合便捷、方便二次加工(熔融或溶解)、适宜工业化大规模生产、颗粒均匀

[收稿日期] 2024-10-16; [修回日期] 2025-02-20

[作者简介] 孔亦周(1951-),男,山西汾阳人,公司总工程师。

度高且强度大等。

1.2 发展历程

上海化工研究院有限公司于20世纪末率先开展熔体法复合肥造粒技术的研发工作,该工艺最初应用于熔体法复合肥油冷造粒。率先将该工艺应用到工业化生产的肥料企业是深圳芭田生态工程股份有限公司(以下简称芭田公司),芭田公司2套油冷造粒装置成功投产,在复合肥行业引起了巨大震动,该工艺技术的先进性和实用性迅速被业内认可,之后便有了性价比更高的高塔复合肥造粒工艺,并快速得到普及。目前采用此工艺进行生产的厂家已达数百家,年生产规模达数千万吨。随着对复合配方及产量要求不断提升以及专业人士、设备供货商和生产用户的共同努力,该造粒工艺日臻完善,目前已能涵盖农化市场的各类配方,造粒小时产量可高达百吨以上。

高塔复合肥因颗粒外观圆润、养分均匀、可满足各种配方的量产需求,且省略了传统复合肥造粒能耗巨大的脱水干燥环节,故综合生产成本较低,性价比较高,受到众多农化企业的青睐,市场占有率持续扩大。同时,为应对原材料价格波动、降低生产成本,肥料企业对生产装置的产能提出更高要求,高塔复合肥工艺恰好可以满足这一需求,如直径18 m的造粒塔,产能从最初的700 t/d提升至目前的1 000 t/d,高氮配方甚至可超过1 200 t/d。国内众多上市肥料企业均受益于该工艺,其中拥有超过10座复合肥高塔的知名肥料企业也有不少家。

2 粒状高浓度复合肥的熔体造粒工艺

2.1 工艺研发背景

随着国内尿素、硝酸铵生产能力不断扩大,以及化肥使用者对科学施肥认识加深,单一养分的氮素化学肥料(如尿素、硝酸铵)已无法满足科学施肥的需求。熔体法复合肥造粒工艺将尿素或硝酸铵用于二次深加工,生产高浓度多元复合肥已成为农化市场发展的必然趋势。

2.2 工艺原理

上海化工研究院有限公司研发的熔体法制高浓度复合肥工艺^[1-6],以尿素或硝酸铵作为熔融载体,在混合装置中,将含磷、钾元素的粉体物质与熔融载体充分混合。在熔融液温度和机械搅拌的共同作用下,迅速复合形成具有一定流动性的氮、磷、钾元素均质复合的低温共熔体。之后借助差动造粒喷头将复合熔体以液滴的形式喷射到冷却媒介中进行换热固化。冷却媒介可以是与熔体互不相溶

的液体(如油),也可以是气体(如常温空气)。液滴在换热过程中,依靠自身表面张力收缩成正圆球颗粒。该工艺的核心技术在于制备流动性良好的复合熔体料浆,以及能够将熔体料浆以液滴形式喷出的差动造粒技术。

2.3 工艺分类及特点

高塔复合肥熔体造粒工艺主要分为尿基和硝基两大类。尿基工艺以尿素作为氮素基材和熔融载体,与磷、钾元素进行复合;硝基工艺则以硝酸铵为氮素基材和熔融载体与磷、钾元素实现复合。两种工艺在熔体造粒原理上基本相同,但硝基复合肥在安全方面有特殊要求:由于硝酸铵具有燃爆特性,已被国家纳入民爆管制物品系列,在农化市场不允许纯硝酸铵流通。然而硝酸铵农化效果显著,市场需求巨大,为此必须对农用硝酸铵进行改性处理使其彻底失去引爆能力。在硝酸铵熔融液中添加一定比例的阻爆类物质是最简单经济的改性方法,可有效抑制硝酸铵的热分解,改变其结晶相变温度,提高其化学稳定性,使其具备抗爆功能且不可还原。高塔硝基复合肥中添加的固体粉状物料(如磷酸铵类、硫酸铵类等)恰好具备这种抗爆功能,该安全高效的硝基复合工艺凭借优异的农化效果获得了市场的高度认可。

2.4 工艺完善与市场化

高塔复合肥造粒工艺的完善和市场化是在上海化工研究院有限公司、临沂市锐新肥料技术服务有限公司、郑州琨茂农业科技有限公司、芭田公司、史丹利农业集团股份有限公司、新洋丰农业科技股份有限公司、河南心连心化学工业集团股份有限公司等众多知名企业和业内专家以及设备制造商共同努力的结果。

3 造粒塔

3.1 工艺演进

高塔复合肥造粒工艺源自上海化工研究院有限公司的复合肥熔体造粒工艺。在油冷造粒工艺中,以有机质油作为颗粒固化的冷却介质,而高塔复合肥造粒工艺则采用空气作为冷却介质,即塔式空冷造粒,这与常见的尿素造粒方式相似。油冷工艺存在固体颗粒脱油工序烦琐、产量有限且生产成本较高等问题,因此很快被以空气为冷却介质的高塔熔体造粒工艺所取代。

3.2 颗粒成粒原理及影响因素

从喷孔射出的熔融液呈细流状态,受细流运动的速度、在空气中的波动特性、空气阻力以及熔液

自身黏度和表面张力等因素影响,会迅速断裂形成一定体积范围内的液滴。液滴收缩冷却后成为固态球状颗粒,其体积决定了成品颗粒的圆球直径。液滴从熔融状态转变为固体状态的过程,就是在造粒塔内从顶部向塔底降落的过程,在此过程中,液滴需与塔内常温空气充分热交换以实现冷却相变。液滴体积(即颗粒圆球直径)决定了其从液态到固态所需时间,而造粒塔的有效高度则决定了液滴降落时间。由此可知,在造粒塔有效高度确定的情况下,液滴体积会受到限制;在造粒塔通风能力确定时,产量也会受到限制。若颗粒粒径超出造粒塔冷却能力,内部未完全冷却固化,落地后可能出现破碎、变形或黏附在造粒塔底部的情况,“黏塔底事故”一旦发生,必须立即停产处理。

3.3 造粒塔的设计发展

早期复合肥造粒塔缺乏设计先例,只能参照尿素造粒塔的部分设计依据。经过20多年的实践探索,复合肥造粒塔^[7-10]的设计已逐渐成熟。国内具备设计资质和设计业绩的单位有许多家,造粒塔的直径、高度以及通风面积等参数,能够满足不同产能复合肥生产的需求。根据产量不同,塔的直径已发展到22 m以上,塔的高度达到120 m以上。为实现大产能,必须对高塔的进风、出风能力进行相应提升。通风能力是衡量高塔制造能力的核心指标。以18 m造粒塔为例,早期进风面积仅80 m²,随着产能提升,目前进风面积已增至280 m²甚至更大。

4 制浆工艺及设备

4.1 制浆工艺重要性

高塔复合肥熔体造粒的制浆工艺对熔体的质量要求,直接关系到生产的连续性以及成品颗粒的比例,进而影响企业的经济效益和生存发展。能够连续稳定地产出合格料浆,尤其是使用同一套设备满足不同配比料浆的制备需求,是整个高塔复合肥熔体造粒工艺的关键所在。制浆工艺涵盖原料来源、输送、处理、配比、熔体升温、混合及乳化等多个环节,由塔下至塔上数十套设备组成一个庞大系统,其核心任务是为造粒喷头提供符合工艺要求、具有良好流动性的液态混合料浆。

4.2 制浆工艺要求

在生产过程中,制浆工艺须满足多方面要求:在原料采购环节,要确保各种原材料的理化特性以及粉体细度符合标准;原料处理时,应保证熔体料浆中不可溶固相物质的几何尺寸在工艺规定范围

内;原料配比必须精确控制熔体料浆中各种物质的比例;混合槽及搅拌装置须保证熔体混合的快速性、均质性和连续性;混合槽内部的蒸汽加热结构要维持熔体料浆的工艺温度和流动性;同时,要保证所有装置布局合理、工作连续,具备安全可靠,拥有可靠的故障排除能力和措施,这一点对于硝基复合肥工艺尤为重要。此外,还需综合考虑工艺及装置的环保、防腐、保温、安全防爆、清洁作业、设备检修与更换,以及装置质量对造粒塔承重的影响等因素。

4.3 制浆工艺研发历程

制浆工艺^[11-12]的研发历经多个阶段:原材料准备从早期的小包装拆袋发展为吨包,拆包方式也由手工逐渐转变为机械拆包,不仅降低了拆包成本,还减少了包装袋纤维进入造粒喷头的风险;原材料的去杂、上塔和计量工作,如今已能更好地满足产能和环保要求;早期的粉体加热装置已被在混合槽内设置蒸汽盘管加热并搅拌的熔体制备装置所取代;为了避免缩二脲的产生,早期的尿素熔体输送工艺已被颗粒尿素经斗提机提升至塔顶在塔上熔融的工艺所取代;高塔造粒工艺为了能够生产出平衡肥配方,从早期的单一混合槽发展为一混二混多混合槽配置;原料处理更加精细;大流量物料斗提机^[13]输送上塔以及无轴螺旋输送机得到广泛应用;熔融槽的槽体直径从早期的1.6 m扩大到目前的2.6 m,混合加热容器的体积相比早期提高了很多;搅拌强度从早期的端点速度3 m/s提升至目前的12 m/s,搅拌叶片结构从单一直浆发展为有导流桶的多层组合螺旋搅拌桨叶;高转速剪切混合(乳化)设备的应用,显著提高了熔体的均质性和流动性。

5 其他设备

5.1 塔底收料结构

早期的塔底锥斗收料结构逐渐被塔底圆盘收料结构^[14-15]所取代,塔底圆盘收料结构在防黏塔底和物料收集方面具有更好的实用性能。

5.2 计量包装与码垛

目前,计量包装基本实现了自动化甚至无人化操作,成品堆包工作大多由码垛机器人替代人工码垛。部分大型肥料企业在货物转运环节也大量使用了无人叉车机器人,极大地提高了生产效率。

5.3 仓储与冷却

许多大型公司已实现仓储无人化自动化管理。出塔后续冷却大多采用无尘水冷与常规风冷相结合的方式,有效解决了大产量颗粒冷却不均匀、不充

分以及易结块的难题。

5.4 筛分与防结块工艺

随着产量提升筛分装置能力和效率不断提高；颗粒防结块工艺持续发展，在提升防结块效果的同时明显降低了成本。

6 造粒装置的创新改进

宝鸡秦东流体设备制造有限公司（原宝鸡建光流体设备厂）作为国内熔体造粒装置及技术的专业供应商，于1998年应邀参与了上海化工研究院有限公司该工艺中造粒装置的研发工作。由于熔体法复合肥工艺的三元素物质在熔融复合过程中，黏度比纯尿素熔液大数千甚至数万倍，且含有大量固相悬浮颗粒，传统的尿素喷淋造粒设备无法满足生产需求。在上海化工研究院有限公司及众多业内人士的支持下，经过两年努力，于2000年完成差动造粒原理的研究，并成功开发出工业化大生产装置。目前国内高塔复合肥工艺所使用的造粒装置均基于该差动原理和结构。除差动造粒机和差动造粒喷头外，还同步研发了适应快速更换造粒机的切换装置，我们将差动造粒喷头、差动造粒机和造粒机切换支架统称为差动造粒装置^[16-19]，下面简述宝鸡的差动造粒装置。

6.1 差动造粒喷头

差动造粒喷头外形与传统尿素造粒喷头相似，但内部结构和工作原理差异显著。它由外喷篮和内刮刀两部分组成，分别通过造粒机的内轴和外轴驱动。其研发历程如下：从早期仅适用于生产流动性好的高氮配方，发展到如今可满足包括所有平衡肥配方在内的复合熔体造粒；在同样18 m造粒塔的条件下，产能增加近1倍，在造粒塔通风能力保障的前提下，年产量从早期的20万t提升至现在的40万t；原料适应性不断增强，从只能使用精细原材料发展为可适应所有原料；造粒机进料模式从主动压力进料优化为自流刮刀涡流吸入方式，进料能力大幅度提升；为提高产量和合格率，喷篮锥体斜度由早期的12°逐渐减小至目前的7°，甚至更小；刮刀结构及功能不断改进，从叶片的数量到叶片的宽度、从径向离心到横向布料、从直筋板到L筋板以及螺旋刮刀结构和复合布料结构等，所有的改动都是为了适应工艺的要求，合理的内件结构显著提升了差动造粒的性能；配合喷篮的直径、高度、角度、孔数和孔径等参数不断优化，确保产量和合格率满足工业化大生产要求；同时操作转速从原来的内圈慢外圈快，发展到大部分配方内圈快外圈慢，

且内圈转速达到或超过45 Hz。

6.2 差动造粒机

由于熔体法复合肥工艺的物料特性，传统的硝酸铵或尿素喷淋造粒设备无法满足生产要求。为满足高黏度、含有大量固相悬浮颗粒的熔融物料在塔式旋转喷淋造粒工艺中的产量、粒径、合格率、颗粒强度、粉尘排放等指标要求，以及工业化生产对单机连续工作时间的要求，成功研发了差动造粒机，并获得多项国家专利。差动造粒机具有内轴和外轴两个工作主轴，内轴驱动造粒喷头，外轴驱动布料机构，二轴同心设置，通过各自的传动机构以工艺所需的旋转方向和速度工作。差动造粒技术及装置的研发，使熔体法复合肥造粒工艺取得成功，先后荣获包括国家发明二等奖在内的多项大奖。其研发经历了从早期的油冷造粒到高塔造粒；进料方式从中心进料转变为侧进料，从直连进料发展为常压漏斗进料；传动方式从单电机差动传动发展为双电机差动传动；电机功率从早期的4.0 kW提升到7.5 kW，甚至15.0 kW；自第8代造粒机开始，取消了早期的下部动密封结构；造粒机不断升级换代，目前使用的是第9代造粒机；电器控制方面，从原来的现场控制发展到DCS总控室控制。

6.3 造粒机切换支架

化工高塔造粒工艺采用旋转喷淋造粒设备，由差动造粒机和造粒机切换支架组成。切换支架是一种1开1备制的快速切换装置，2台相同的造粒机分别挂装在可旋转、可升降的支架上，互为工作和备用，可随时切换工作位置。这种设备配置方法源于尿素造粒装置机组，目前广泛应用于塔式尿素和复合肥熔体喷淋工艺。高塔复合肥熔体造粒工艺的快速切换支架大多采用类似工作原理，仅在几何尺寸和提升造粒机的动力结构方式上有所差异。由于熔体法复合肥工艺物料的特殊性，喷孔易被堵塞，影响成品合格率和造粒产量，甚至引发物料黏塔壁等恶性事故，因此需要频繁更换喷头。尤其是在生产高黏度配方时，几乎每2 h就需更换一次，这就更加凸显了造粒机切换装置的关键性和重要性。其研发历程从早期的手拉葫芦提升造粒机方式，发展为电动葫芦提升，再到电动液压提升；为满足硝酸铵安全生产要求，研发出硝基工艺专用的造粒机切换支架；根据用户需求，开发出全自动旋转切换支架；切换造粒机的时间从早期的10 min缩短到现在一名操作工在3 min内即可完成；从1开1备制的支架发展为1开2备制，甚至1开3备制的旋转切换支

架以及带有清洗装置的旋转切换支架。

7 生产管理与操作

经过20余年的实践积累，高塔复合肥生产工艺在多个维度上取得了显著进步。在技术研发层面，业内专家的不懈努力与专用设备的持续升级，使工艺不断优化。随着业内人员的广泛流动，先进的操作技术和工艺得以在行业内迅速传播，促进了整体生产水平的提升。如今，共享先进的工艺技术、操作技术以及工艺装备已成为行业共识，众多企业积极将前沿技术应用于生产实践，推动了行业的技术革新。在肥料生产实践中，平衡肥和高钾肥的操作经验日益丰富，为优化生产工艺提供了有力支撑。同时，高塔复合肥用户对生产管理和先进设备的认知不断深化，促使企业制定更为合理的生产制度和保障措施，确保生产工艺稳定运行。这些因素共同作用，使得高塔复合肥生产工艺管理和操作不断完善，生产成本逐步降低，为企业创造了更可观的经济效益，也增强了高塔复合肥在市场上的竞争力。

7.1 影响造粒效果的因素

在实际生产过程中，即便使用相同的造粒装置、配比和产量设定，不同用户和操作工艺仍可能导致造粒效果出现显著差异。深入剖析这些差异产生的原因，主要涉及原料、制浆、具体操作以及造粒装置等多个方面。

7.2 制浆工艺与设备的关键作用

制浆工艺和设备在提高造粒质量方面起着核心作用。稳定、高效的制浆过程是确保生产连续性和成品颗粒质量的基础。合理的制浆工艺能够保证熔体的均匀性和流动性，为后续造粒环节提供优质的物料。因此，选择具备良好业绩的装置供应商和工艺提供者成为解决熔体制浆连续性及其均质性问题的关键举措。这些供应商和工艺提供者往往拥有成熟的技术和丰富的经验，能够根据企业的实际需求，提供定制化的解决方案，有效提升制浆系统的稳定性和可靠性。

7.3 造粒喷头的决定性影响

造粒喷头作为造粒过程的关键设备，其设计和制作质量直接决定了造粒质量和产量。一个设计合理、制作精良的造粒喷头能够使熔体均匀地分散成液滴，确保颗粒的形状规则、粒径均匀。喷头的结构参数，如喷孔的大小、数量和分布方式，以及喷头的角度和旋转速度等，都会对造粒效果产生重要影响。因此，企业在选择造粒喷头时，应充分考虑

自身的生产需求和工艺特点，选择合适的喷头型号以及供货商，在当今设备供货领域价格内卷的大形势下，用户选择超低价格的商品是不可能在产量和质量上得到保障的，在付出相当代价后很多用户已经认识到只有高合格率的造粒喷头才能给用户带来经济效益，逐渐认识到了选择喷头供货商的重要性。

7.4 熔体内杂质问题解决措施

熔体内杂质问题是影响造粒效果的关键因素之一，同时也是企业面临的一大难题。优质原材料通常能够有效减少杂质含量，提升造粒效果，但在当前激烈的市场竞争环境下，价格因素使得多数企业不得不选择价格较低的劣质原料。这在一定程度上增加了熔体内杂质的含量，导致造粒过程中出现颗粒不均匀、喷头堵塞等问题。值得庆幸的是，通过用户和业内人员的共同努力，一系列应对措施逐渐形成。例如在原料预处理环节加强除杂工艺，采用先进的过滤技术和设备有效降低杂质含量；优化造粒喷头的结构和工艺参数，提高造粒喷头对杂质的适应能力，从而在一定程度上缓解使用劣质原料对生产的不利影响。

7.5 优化造粒工艺参数

为了实现良好的造粒效果，企业需要深入研究并掌握配比与原材料的关系、熔体的温度、造粒量与造粒喷头的匹配、熔体黏度、转速等关键工艺参数。不同的原材料和产品配方对这些参数有不同的要求，企业应根据自身的生产条件和产品特点，制定一套适合本企业的造粒工艺和操作规程。通过精确控制这些参数，能够有效提高造粒的稳定性和一致性，提升产品质量。例如，通过实验和数据分析，确定不同配方下的喷头结构以及最佳熔体温度和转速组合，确保在生产过程中能够获得理想的颗粒形态和性能。

7.6 可视化监控提升生产管理水平

可视化现场作业中控室大屏的应用为生产管理带来了新的变革。通过在生产现场安装各类传感器和监控设备，将关键生产数据和设备运行状态实时传输至中控室大屏，操作人员可以直观地监控各主要岗位的工作情况。这种可视化监控方式不仅能够及时发现生产过程中的异常情况，如设备故障、参数波动等，而且能为操作人员提供准确的数据支持，便于他们及时调整生产参数，确保生产稳定运行。同时可视化监控系统还可以对历史数据进行存储和分析，为企业的生产管理决策提供有力依据，帮助企业优化生产流程、提高生产效率。

8 结束语

随着市场对高塔复合肥产品的农化效果和性价比广泛认可,高塔复合肥工艺已成为符合我国国情的重要肥料生产技术。它为生产企业带来了显著的社会和经济效益,有力地推动了我国农化服务的发展。高塔复合肥工艺及设备的每一次改进都是紧密结合生产实践、顺应市场需求的结果,其发展离不开国家对农业的大力支持;业内专家的辛勤钻研为技术创新提供了智力支持;而高塔复合肥用户的信任和支持则是推动技术不断进步的重要动力。在未来,随着行业的持续发展,相信高塔复合肥技术将在生产管理和操作方面不断创新优化,为我国农化产业的发展注入新的活力,为农业的可持续发展做出更大的贡献,同时为企业自身的发展壮大提供有力的保障。

[参考文献]

[1] 上海化工研究院.高浓度颗粒状尿基氮钾复合肥料的制造方法:CN99127008.8[P].2001-01-24.
[2] 化学工业部上海化工研究院.颗粒状高浓度氮钾复合肥料的制造方法:CN1280972[P].2001-01-24.
[3] 上海化工研究院.颗粒氮钾复混肥料的制造方法:CN00127679.4[P].2004-11-10.
[4] 上海化工研究院.一种制造氮磷钾复混肥料的方法:CN01126805.0[P].2003-03-26.

[5] 上海化工研究院.一种以硝酸铵为原料的氮磷钾复混肥料的生产方法:CN200510027619.2[P].2007-01-10.
[6] 深圳市芭田生态工程股份有限公司.高塔造粒生产颗粒复合肥料的方法及设备:CN03139601.1[P].2004-02-18.
[7] 武汉理工大学.出风口可调式造粒塔装置:CN200520099043.6[P].2007-07-11.
[8] 武汉理工大学.塔壁内置式造粒塔装置:CN200520099042.1[P].2007-07-11.
[9] 武汉理工大学.一种具有二次风冷及粉尘吸附功能的复合肥造粒塔:CN202111556961.7[P].2022-03-15.
[10] 武汉理工大学.一种具有二次风冷及粉尘吸附功能的复合肥造粒塔:CN202123190930.2[P].2022-07-29.
[11] 三门峡昊博化工工程有限公司.一种复合肥料浆混合搅拌轴及混合设备:CN202420372341.0[P].2024-10-15.
[12] 杨建民.一种熔体法复合肥料浆混合制浆设备:CN201320108328.6[P].2013-09-04.
[13] 唐山胜达机械有限公司.钢丝绳芯胶带斗式提升机:CN03264297.0[P].2004-08-04.
[14] 三门峡昊博化工工程有限公司.一种高塔复合肥造粒机用转臂式收料机:CN202222484313.1[P].2023-04-04.
[15] 山东省临沂科威机械有限公司.复合肥造粒高塔底部收料圆盘内刮料机:CN201310349852.7[P].2013-11-20.
[16] 建光液体设备厂.造粒机支架:CN91223029.0[P].1992-05-27.
[17] 孔亦周.差动双速旋转造粒机及造粒方法:CN00106184.4[P].2000-10-04.
[18] 孔亦周.用于差动旋转造粒的造粒喷头:CN200510096010.0[P].2006-04-26.
[19] 宝鸡秦东流体设备制造有限公司.造粒机切换装置:CN202420415891.6[P].2024-12-17.

(上接第28页)

3.2.5 推进重点用能设备更新改造,淘汰落后产能设备

全面推广节能技术,鼓励企业实施节能技术改造、技术创新和新技术应用,推动工业窑炉、锅炉、压缩机、风机、泵等重点用能设备系统节能改造升级,支持磷及磷化工、新能源电池材料等行业实施能源梯级利用、余热余压回收利用和工业锅炉改造。

3.3 工作建议

3.3.1 强化组织领导

深入贯彻落实国家“双碳”要求,高位推动磷化工全产业链绿色低碳发展工作,统筹解决园区建设、技术创新、资金整合、产业配套等工作执行中遇到的困难和问题,积极争取各类扶持资金,持续推动产业高质量发展。

3.3.2 加大要素保障

一是进一步梳理并完善支持磷化工产业发展的各项政策措施,用好上级产业专项资金、产业发展基金和融资资金等政策。二是加强能耗指标、用地、用电、用气(汽)、用水等要素保障工作。三

是加强科技创新服务,支持企业延伸、拓展磷化工全产业链,打造全国磷化工绿色转型发展基地。

3.3.3 改善投资环境

依法规范行政审批行为,简化行政审批程序,不断完善政府的经济调节和公共服务职能,提高服务效率和服务水平。不断优化投资和发展软环境,营造高效、廉洁的政务环境,和谐、稳定的周边环境,以优质的服务和良好的配套设施,聚力打造投资兴业洼地。

4 结束语

福泉市作为我国重要的磷化工产业基地之一,在实现全产业链绿色低碳转型方面既具备显著的资源优势与产业集群基础,也面临着多重挑战。福泉市的探索实践表明,通过技术创新、产业耦合与政策引导协同发力,推动磷化工产业向精细化、高端化、绿色化方向转型,是实现资源型地区工业高质量发展与落实“双碳”目标的有效路径,其经验对于同类资源型城市及化工产业集群的绿色低碳发展具有重要的参考与借鉴价值。