

工厂废弃物循环利用工艺与设备集成设计

赵桂林 张岩 杨锴 杜泽 窦丁

中联西北工程设计研究院有限公司 陕西 西安 710077

摘要: 文章聚焦工厂废弃物循环利用工艺与设备集成设计。先对工厂废弃物分类并分析特性, 阐述循环利用工艺设计原则与流程。接着介绍固体、液体、气体废弃物循环利用关键工艺, 包括处理方式与资源回收途径。还探讨关键设备选型及设备集成设计要点, 强调协同联动、优化布局。旨在实现工厂废弃物高效资源化利用, 降低处理成本, 减少环境污染, 推动工业可持续发展。

关键词: 工厂废弃物; 循环利用工艺; 设备集成设计

引言: 工业快速发展使工厂废弃物大量产生, 若处理不当, 会造成资源浪费与环境污染。工厂废弃物分类复杂, 涵盖固体、液体、气体, 且特性各异, 处理难度大。合理设计循环利用工艺与设备集成, 对提升资源回收率、降低处理成本、减少二次污染意义重大。本文深入探讨工厂废弃物循环利用工艺设计原则、流程及关键工艺, 同时开展设备集成设计研究, 为工厂废弃物处理提供理论支持与实践指导。

1 工厂废弃物分类与特性分析

1.1 工厂废弃物的分类

工厂废弃物是工业生产过程中产生的各类废弃物质的总称, 其分类需结合生产工艺、废弃物形态及后续处理方式, 遵循“分类清晰、便于回收、兼顾环保”的原则。按物理形态可分为固体废弃物、液体废弃物和气体废弃物三大类, 这也是工业废弃物最基础、最常用的分类方式。固体废弃物包括生产过程中产生的废渣、碎屑、废弃包装物等, 如机械加工中的金属碎屑、化工生产中的废渣等; 液体废弃物主要为生产废水、废液, 涵盖工艺废水、清洗废水及废弃溶剂等; 气体废弃物则以生产过程中排放的废气为主, 包含粉尘、有害气体及惰性气体等。另外, 按危害程度可辅助分为一般废弃物和危险废弃物, 其中危险废弃物需单独分类、特殊处理, 避免造成环境污染^[1]。科学合理的分类是后续特性分析、循环利用及无害化处理的前提, 能大幅提升废弃物处理效率, 降低处理成本。

1.2 各类废弃物的特性分析

各类工厂废弃物因来源、成分不同, 呈现出截然不同的特性, 直接决定其循环利用方式和处理难度。固体废弃物整体特性表现为体积大、形态稳定, 成分复杂多样, 部分含有可回收利用的金属、塑料等资源, 如钢铁厂的钢渣富含钙、铁等元素, 而化工废渣可能含有毒

有害成分, 具有腐蚀性、毒性等特性, 需特殊处置。液体废弃物的核心特性是流动性强、易渗透, 成分差异显著, 部分废水含有可回收的有机溶剂、重金属离子等, 如电镀废水含铬、镍等重金属, 而高浓度有机废水可通过处理回收能源; 同时, 液体废弃物易造成水体、土壤污染, 处理过程需注重防渗漏、防扩散。气体废弃物的特性是扩散性强、不易收集, 部分废气含有可回收利用的组分, 如冶炼废气中的二氧化硫可回收制备硫酸, 而有毒有害气体如甲醛、苯等, 具有刺激性、腐蚀性, 不仅污染空气, 还会危害人体健康, 处理需侧重净化和回收同步。

2 工厂废弃物循环利用工艺设计原则与流程

2.1 工艺设计原则

工厂废弃物循环利用工艺设计需遵循“环保优先、资源高效、经济可行、适配生产”四大核心原则, 确保工艺设计科学合理、切实可行。环保优先原则是首要前提, 工艺设计需符合国家及地方环保标准, 确保废弃物处理过程中无二次污染, 避免对水体、土壤、空气造成危害, 同时满足污染物排放达标要求。资源高效原则强调最大化回收利用废弃物中的可用资源, 提升资源回收率和利用效率, 减少资源浪费, 实现废弃物的资源化价值最大化^[2]。经济可行原则要求工艺设计兼顾处理效果与成本控制, 优先选用成熟、低成本、易操作的工艺技术, 避免过度投入, 确保工艺运行的经济性和可持续性。适配生产原则指工艺设计需结合工厂自身生产工艺、废弃物产生类型及排放量, 与生产流程无缝衔接, 避免对正常生产造成影响, 同时具备一定的灵活性和扩展性, 可适应未来生产规模及废弃物成分的变化。

2.2 工艺设计流程

工厂废弃物循环利用工艺设计是一个系统、连贯的过程, 整体流程分为五个核心环节, 各环节紧密衔接、

协同作用,确保工艺设计的科学性和可操作性。第一步是废弃物调研与分析,全面排查工厂各类废弃物的产生源头、排放量、成分、特性及危害程度,明确可回收利用资源及处理难点,形成详细的调研分析报告,为后续设计提供依据。第二步是工艺方案选型,结合调研结果,依据设计原则,筛选适配的循环利用工艺技术,对比不同方案的处理效果、成本、能耗等,确定最优工艺方案。第三步是工艺参数设计,根据选定的工艺方案,明确各处理单元的参数设置,如反应温度、压力、处理时间等,确保各单元协同运行,达到预期处理效果。第四步是工艺路线优化,对设计的工艺路线进行模拟测试,排查存在的问题,优化流程布局,减少能耗和污染物排放,提升工艺运行效率。第五步是方案论证与完善,组织专业人员对工艺设计方案进行论证,结合意见修改完善,形成最终的工艺设计方案,为后续设备集成、工程施工提供指导。

3 工厂废弃物循环利用关键工艺设计

3.1 固体废弃物循环利用工艺

固体废弃物循环利用工艺以“分类处理、分级回收”为核心,结合废弃物特性,设计差异化的回收利用流程,实现资源最大化回收。首先对固体废弃物进行预处理,通过分拣、破碎、筛分等工序,分离出可直接回收的物质,如金属碎屑、塑料颗粒等,去除杂质和有毒有害组分,为后续处理奠定基础。对于可资源化利用的工业废渣,采用破碎、研磨、提纯等工艺,提取其中的有用成分,如钢渣用于生产建材、煤矸石用于发电或制砖,实现废渣的二次利用。对于有机固体废弃物,如食品加工废渣、秸秆等,采用发酵、堆肥等工艺,制备有机肥料或生物燃气,实现能源和资源的双重回收。对于危险固体废弃物,需单独采用固化/稳定化工艺,降低其毒性和腐蚀性,再进行安全处置或资源化利用,避免造成二次污染。整个工艺过程需注重能耗控制和污染物减排,确保处理后的废弃物达标排放,回收资源符合相关质量标准。

3.2 液体废弃物循环利用工艺

液体废弃物循环利用工艺核心是“净化回收、分级利用”,根据液体废弃物的成分和污染程度,设计针对性的处理流程,实现废水、废液的资源化回收和循环使用。首先进行预处理工序,通过格栅、沉淀、过滤等方式,去除液体废弃物中的悬浮杂质、颗粒物等,降低后续处理难度。对于含重金属离子的废水,采用化学沉淀、离子交换、膜分离等工艺,去除重金属离子,净化后的废水可循环用于生产清洗、绿化等,回收的重金属

可重新用于生产。对于高浓度有机废水,采用厌氧发酵、好氧生化等工艺,降解有机污染物,产生的沼气可作为能源回收利用,处理后的废水达到排放标准后循环使用或排放。对于废弃溶剂类废液,采用蒸馏、精馏等工艺,提纯回收溶剂,重新用于生产过程,减少溶剂消耗^[3]。工艺设计中需设置废水回用系统,实现水资源的循环利用,同时配备废水处理应急装置,应对突发污染情况。

3.3 气体废弃物循环利用工艺

气体废弃物循环利用工艺以“净化回收、梯级利用”为核心,结合气体废弃物的成分和浓度,设计高效的回收利用流程,实现废气的资源化利用和达标排放。先进行预处理,通过除尘、脱硫、脱硝等工序,去除气体废弃物中的粉尘、二氧化硫、氮氧化物等污染物,避免对后续回收工艺造成影响。对于含有可回收组分的废气,如冶炼废气中的二氧化硫、化工生产中的二氧化碳等,采用吸附、吸收、催化转化等工艺,回收有用组分,二氧化硫可制备硫酸,二氧化碳可用于食品加工、化工合成等。对于含有可燃组分的废气,如工业尾气中的甲烷、氢气等,采用收集、净化、燃烧等工艺,回收热能或转化为电能,实现能源回收利用。对于惰性气体废气,采用净化、压缩等工艺,提纯后循环用于生产过程,减少惰性气体消耗。工艺设计中需注重气体收集效率,避免废气泄漏,同时配备尾气净化应急装置,确保废气达标排放,兼顾资源回收和环保要求。

4 工厂废弃物循环利用设备集成设计

4.1 关键设备选型与介绍

4.1.1 固体废弃物处理设备

固体废弃物处理设备选型需结合预处理、资源化利用等工艺环节,优先选用高效、节能、环保、易操作的设备,确保设备性能与工艺需求适配。分拣设备选用自动化分拣机,可根据固体废弃物的材质、大小等进行精准分拣,提高分拣效率,减少人工投入,适用于金属、塑料、纸张等可回收废弃物的分离。破碎设备选用颚式破碎机、冲击式破碎机等,根据废弃物硬度调整破碎力度,将大块固体废弃物破碎至合适粒度,便于后续研磨、提纯等工序,广泛应用于废渣、废弃包装物等的处理。筛分设备选用振动筛,通过不同孔径的筛网,分离出不同粒度的固体废弃物,确保后续工艺处理效果,适配破碎后的废渣、碎屑等处理。另外,对于危险固体废弃物,选用固化/稳定化设备,通过添加固化剂将危险废弃物转化为稳定形态,降低其危害性;有机固体废弃物处理选用发酵罐,实现有机废弃物的发酵降解,回收生物燃气或有机肥料,所有设备均需符合环保标准,具备

节能降耗、运行稳定的特点。

4.1.2 液体废弃物处理设备

液体废弃物处理设备选型需结合废水、废液的处理工艺，针对不同污染类型和处理需求，选用高效、稳定的处理设备，确保处理后液体达标回收或排放。预处理设备选用格栅、沉淀池、过滤机等，格栅用于去除液体中的大块杂质，沉淀池通过重力沉淀去除悬浮颗粒物，过滤机进一步净化液体，降低后续处理负荷。含重金属废水处理选用离子交换器、膜分离器等，离子交换器通过树脂吸附去除重金属离子，膜分离器利用膜的选择性渗透，实现重金属与水的分离，回收重金属资源。高浓度有机废水处理选用厌氧发酵罐、好氧反应器等，厌氧发酵罐在无氧环境下将有机污染物降解为沼气，好氧反应器在有氧条件下进一步降解有机污染物，确保废水达标。废弃溶剂回收选用蒸馏塔、精馏塔等，通过蒸馏、精馏过程提纯溶剂，重新用于生产，设备选型需注重处理效率和能耗控制，同时配备废水检测设备，实时监控处理效果。

4.1.3 气体废弃物处理设备

气体废弃物处理设备选型需结合废气的成分、浓度及回收利用需求，优先选用净化效果好、资源回收率高、能耗低的设备，确保废气达标排放和资源化利用。预处理设备选用除尘器，包括布袋除尘器、静电除尘器等，布袋除尘器适用于粉尘浓度较高的废气处理，静电除尘器适用于高温、高湿废气中的粉尘去除，有效降低废气中的粉尘含量。脱硫脱硝设备选用脱硫塔、脱硝反应器等，脱硫塔通过喷淋吸收法去除废气中的二氧化硫，脱硝反应器采用催化转化法去除氮氧化物，确保废气中硫、氮污染物达标排放。可回收组分回收设备选用吸附塔、吸收塔等，吸附塔通过吸附剂吸附废气中的有用组分，如二氧化碳、有机溶剂蒸汽等，吸收塔通过吸收液吸收废气中的可回收成分，实现资源回收。可燃废气处理选用燃烧炉、余热回收锅炉等，燃烧炉将可燃废气燃烧分解，余热回收锅炉回收燃烧产生的热能，用于发电或供暖，设备运行需注重安全性和稳定性，配备废气在线监测设备，实时监控废气排放指标。

4.2 设备集成设计

工厂废弃物循环利用设备集成设计核心是“协同联动、优化布局、高效节能”，将各类废弃物处理设备按照工艺流程进行系统集成，实现设备间的无缝衔接，提升整体处理效率，降低运行成本。首先进行设备布局设计，结合工厂生产厂区规划、废弃物产生源头及工艺流程，合理规划设备摆放位置，缩短废弃物输送距离，减少能耗和输送过程中的污染泄漏，固体、液体、气体废弃物处理设备分区布局，避免相互干扰。其次进行设备协同设计，通过控制系统将各环节设备联动起来，实现自动化运行，如预处理设备与后续资源化利用设备联动，根据废弃物处理量和成分变化，自动调整设备运行参数，确保各设备协同高效运行^[4]。同时，整合资源回收设备与无害化处理设备，实现“回收优先、处置兜底”，对于可回收利用的废弃物，通过集成设备完成回收、提纯、再利用，对于无法回收的废弃物，通过无害化处理设备达标处置。此外，配备统一的控制系统和监测系统，实时监控各设备运行状态、处理效果，及时排查设备故障，优化设备运行参数，确保整个设备系统稳定、高效、环保运行，适配工厂循环利用工艺需求，实现废弃物资源化利用最大化。

结束语

工厂废弃物循环利用工艺与设备集成设计是工业可持续发展的关键环节。通过科学分类与特性分析，遵循合理设计原则与流程，采用针对性关键工艺，并精心选型与集成设备，可实现废弃物高效资源化利用。这不仅有助于缓解资源短缺压力，还能降低环境污染，提升企业经济效益与环境效益。未来，需持续优化工艺与设备，推动工厂废弃物循环利用向更高水平发展。

参考文献

- [1]张弟,罗卫平.一种高层外置废弃物升降打包处理一体装置的设计[J].福建农机,2024(1):39-42,54.
- [2]张琳娜.基于循环经济的化工园区固体废弃物综合利用研究[J].生态与资源,2024,(12):54-56.
- [3]郭少卿,张腾,李小宋,等.化工制药废弃物处理与资源化利用技术[J].清洗世界,2025,41(04):68-70.
- [4]谢晓灵.生物医药化工废弃物资源化利用技术探索与实践[J].广东化工, 2024, 51(24):100-102.