

台州市医化行业减污降碳协同 技术指南

台州市生态环境局

2024 年 9 月

目 录

前 言	1
1. 总则	2
1.1 适用范围	2
1.2 规范性引用文件	2
1.3 术语和定义	3
1.3.1 化学原料药制造业	3
1.3.2 化学原料药	3
1.3.3 医药中间体	3
1.3.4 发酵类制药	3
1.3.5 化学合成类制药	3
1.3.6 温室气体	3
1.3.7 减污降碳协同增效	3
1.3.8 减污降碳协同技术	3
1.3.9 购入使用电力、热力的碳排放	4
1.3.10 碳排放量	4
1.3.11 工业生产过程排放	4
1.3.12 废水厌氧处理过程排放	4
2. 台州市医化行业产排污碳情况	4
2.1 医化行业类型的划分及说明	4
2.2 医化行业产排污情况	4
2.2.1 生产工艺及产污环节	5
2.2.2 污染物排放情况	5
2.3 医化行业产排碳情况	10
2.3.1 生产设备及产碳环节	11
2.3.2 台州市碳排放情况	14
3. 医化行业污染防治技术	15
3.1 清洁生产技术	15
3.1.1 原料替换	15
3.1.2 物料输送	15
3.1.3 物料分离	16

3.1.4 设备清洗	18
3.1.5 溶剂回收	18
3.1.6 物料储存	19
3.2 污染治理技术	20
3.2.1 水污染治理技术	20
3.2.2 大气污染治理技术	29
3.2.3 固体废物防治技术	33
4. 医化行业节能降碳技术	34
4.1 工艺系统	34
4.1.1 发酵类	34
4.1.2 合成类	35
4.2 生产单元	35
4.2.1 反应系统	35
4.2.2 精馏系统	36
4.2.3 分离	36
4.2.4 浓缩结晶	36
4.2.5 干燥	37
4.2.6 资源综合利用	37
4.2.7 车间布置节能原则	37
4.2 生产设备	38
4.3 三废智慧化管理平台	39
4.4 公共工程	39
4.4.1 制冷系统	39
4.4.2 电气	40
4.4.3 给排水	41
4.4.4 建筑	43
4.5 管道	43
4.5.1 蒸汽凝结水系统	43
4.5.2 管道保温系统	44
4.6 能源管理系统	44
5. 医化行业减污降碳协同环节	45
6. 医化行业减污降碳协同技术	45

6.1 源头减废降碳技术	46
6.1.1 车间布置设计技术	46
6.1.2 原辅料替代技术	47
6.1.3 绿色能源利用技术	47
6.1.4 绿色工艺技术	49
6.2 过程减量控制技术	50
6.2.1 物料储存过程控制技术	50
6.2.2 物料输送过程控制技术	51
6.2.3 物料反应过程控制技术	52
6.2.4 物料分离过程控制技术	55
6.2.5 物料干燥过程控制技术	57
6.2.6 流程工业全过程控制技术	59
6.3 资源回收利用技术	59
6.3.1 溶剂回收利用技术	59
6.3.2 水资源回收利用技术	62
6.3.3 余热资源回收利用技术	64
6.4 末端高效治理技术	65
6.4.1 废水污染治理技术	65
6.4.2 大气污染治理技术	73
6.4.3 固体废物处置技术	75
7. 医化行业减污降碳协同增效评价指标体系	78
8. 指标核算及数据来源	83
8.1 指标解释及核算	83
8.1.1 单位污染物排放强度	83
8.1.2 污染物排放强度下降率	83
8.1.3 单位产值碳排放强度	83
8.1.4 碳排放强度下降率	84
8.1.5 生产原料绿色化	84
8.1.6 生产车间密闭化	84
8.1.7 工艺水平先进性	85
8.1.8 装备水平先进性	85
8.1.9 单位产值废水产生量	85

8.1.10 单位产值危险废物产生量	86
8.1.11 非道机械电气化	86
8.1.12 企业研究与试验发展(R&D)经费投入强度	87
8.1.13 废水高效处理率	87
8.1.14 废气高效处理率	87
8.1.15 废气处理设施运行性能	87
8.1.16 废气设施运行能耗强度	88
8.1.17 蒸汽冷凝水回用	88
8.1.18 化学溶剂回收	89
8.1.19 废盐资源化利用	89
8.1.20 绿色电力消费比例	89
8.1.21 减污降碳示范项目	90
8.1.22 碳排放管理体系	90
8.1.23 绿色低碳工厂建设	90
8.1.24 减污降碳相关荣誉	90
8.2 指数计算方法	90
8.3 数据来源	91
8.4 减污降碳协同水平分级	91
附录 敏感物料清单	92

前 言

为贯彻落实《减污降碳协同增效实施方案》《中共浙江省委浙江省人民政府关于深入打好污染防治攻坚战的实施意见》《浙江省减污降碳协同创新区建设实施方案》等文件要求，将减污降碳协同增效作为促进经济社会发展全面绿色转型的总抓手，协同推进降碳、减污、扩绿、增长，现参考国家相关技术政策、规范及指南编制要求，结合台州市医化行业实际情况和特殊性，特制定本指南。

本指南以当前技术发展和应用状况为依据，分析了台州市医化行业生产工艺及污染物与温室气体产排情况、污染防治技术、节能降碳技术、减污降碳协同环节、减污降碳协同技术、减污降碳协同评价指标，可为台州市医化行业开展减污降碳协同工作提供参考和借鉴。

本指南为首次发布，并适用于化学合成类、发酵类原料药制造和医药中间体制造行业。

将根据环境管理要求及技术发展情况适时修订，当本指南与国家、省新颁布的相关要求有冲突时，以新颁布的要求为准。

本指南由台州市生态环境局组织起草，台州市污染防治技术中心有限公司提供技术支撑。

本指南自颁发之日起试行。

1. 总则

1.1 适用范围

本指南适用于医药化工行业,包括化学原料和化学制品制造业、医药制造业。其中化学原料和化学制品制造业主要指化学合成类制造,医药制造业主要包括化学合成类、发酵类制药。产品与药物结构相似的中间体、兽药可参照执行。

1.2 规范性引用文件

本指南内容引用了下列文件中的条款。凡是注明日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本指南。凡是不注日期的引用文件,其有效版本适用于本指南。

GB/T 4754 国民经济行业分类

GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则

GB/T 33760 基于项目的温室气体减排量评估技术规范通用要求

GB 16297 大气污染物综合排放标准

GB 37822 挥发性有机物无组织排放控制标准

GB 8978 污水综合排放标准

GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准

GB 37823 制药工业大气污染物排放标准

DB33/ 310005 制药工业大气污染物排放标准

HJ1305 制药工业污染防治可行技术指南原料药(发酵类、化学合成类、提取类)和制剂类

GB/T 2589 综合能耗计算通则

HJ 858.1 排污许可证申请与核发技术规范 制药工业一原料药制造

HJ 2035 固体废物处理处置工程技术原则

HG/T 5902 化学制药行业绿色工厂评价要求

生态环境部〔2013〕31号 挥发性有机物(VOCs)污染防治技术政策

国科函社〔2014〕32号 大气污染防治先进技术汇编

生态环境部大气环境司〔2020〕制药工业挥发性有机物治理实用手册

浙江省生态环境厅〔2021〕浙江省低挥发性有机物含量原辅材料源头替代技术指南 总则

浙环函〔2022〕308号 浙江省减污降碳协同创新区建设实施方案

1.3 术语和定义

下列术语和定义适用于本指南。

1.3.1 化学原料药制造业

即国民经济行业分类和代码表医药制造业中化学药品原料药制造（C2710）。

1.3.2 化学原料药

指供进一步加工化学药品制剂所需的原料药，包括采用合成、提取、发酵等方法制备而成。

1.3.3 医药中间体

制药工业企业内生产用于药品生产的关键原料或半产品，或者专门生产以药品为主要用途的关键原料或产品；包括纳入医药工业统计制度中的所有医药中间体品种。

1.3.4 发酵类制药

通过发酵的方法产生抗生素或其他药物活性成分，然后经过分离、纯化、精制等工序生产出药物的过程。

1.3.5 化学合成类制药

采用一个化学反应或者一系列化学反应生产药物活性成分，然后经过分离、纯化、精制等工序生产出药物的过程。

1.3.6 温室气体

温室气体大气中吸收和重新放出红外辐射的自然和人为的气态成分，包括二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）、氢氟碳化物（HFCs）、全氟化碳（PFCs）、六氟化硫（SF₆）和三氟化氮（NF₃）等。

1.3.7 减污降碳协同增效

基于环境污染物和二氧化碳排放同根同源的特征，遵循降碳减污内在规律，通过控制方法协同、跨介质协同，以及多领域统筹、多要素统筹，企业采取源头减废降碳、过程减量控制、资源回收利用与末端高效治理等技术或手段，在减污和降碳两个领域工作的深度耦合和同频共振，实现提质增效。

1.3.8 减污降碳协同技术

企业以综合成本最小化为目标，在工业生产全过程中通过源头减废降碳、过程减量控制、资源回收利用与末端高效治理等技术或手段，同时控制污染物和二

氧化碳的排放，实现环境保护和碳排放减少的共同目标。

1.3.9 购入使用电力、热力的碳排放

购入使用电力、热力（蒸汽、热水）所对应的电力、热力生产环节产生的二氧化碳排放。

1.3.10 碳排放量

在生产运行阶段煤炭、石油、天然气等化石燃料（包括自产和外购）燃烧活动和工业生产过程等活动，以及因使用外购的电力和热力等所导致的二氧化碳排放量，表示为二氧化碳当量。

1.3.11 工业生产过程排放

原材料在生产过程中发生的除燃料燃烧之外的物理或化学变化产生的温室气体排放。

1.3.12 废水厌氧处理过程排放

生产过程中产生的工业废水在厌氧处理过程中产生的温室气体排放。

2. 台州市医化行业产排污碳情况

2.1 医化行业类型的划分及说明

本指南的医化行业主要是指从事化学原料药制造和医药中间体制造行业。台州医药制造企业主要生产化学原料药和中间体为主，生产的特点是产品品种多，生产过程复杂，使用的原辅料种类多、数量大。为更有针对性的对各细分类型的企业实施减污降碳协同增效提供技术指导，本指南根据地方行业特点，按照生产工艺类型划分，主要可分为发酵类制药、化学合成类制药，其中发酵类制药按产品种类分为抗生素类、维生素类、氨基酸类、其它类（如激素类、酶类）等，生产工艺流程一般包括种子培养、微生物发酵、分离（过滤）、提取、精制、干燥、包装等步骤；化学合成类制药按产品种类分为抗微生物感染类、心血管系统类、激素及影响内分泌类、维生素类、氨基酸类、神经系统类、呼吸系统类等。化学合成类制药典型的生产过程主要以化学原料、药物中间体为起始反应物，生产工艺主要包括反应合成和药品纯化两个阶段。

目前台州市大部分医化企业中，化学原料药和中间体制造兼营情况比较普遍，尤其是一些大、中型企业。

2.2 医化行业产排污情况

2.2.1 生产工艺及产污环节

典型的发酵类制药、化学合成类制药生产工艺流程及排污节点见图 2.2.1-1~2.2.1-2。

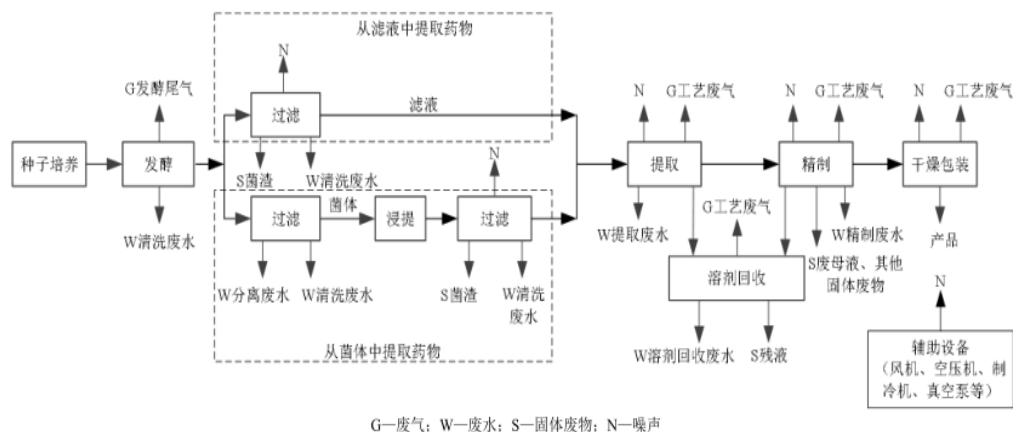


图 2.2.1-1 发酵类制药生产工艺流程及产污节点

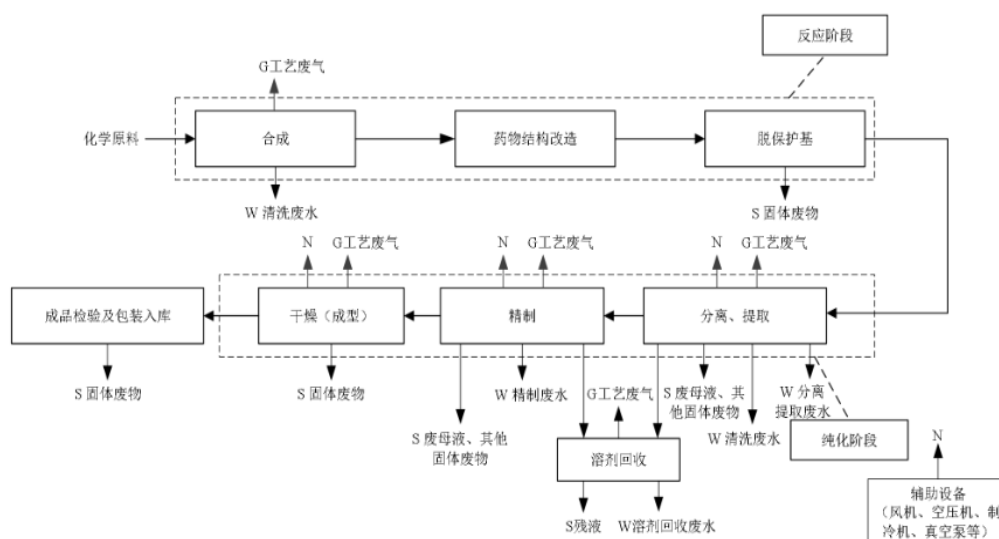


图 2.2.1-2 化学合成类制药生产工艺流程及产污节点

2.2.2 污染物排放情况

医化行业生产过程中产生的污染物包括水污染物、大气污染物、固体废物等。

2.2.2.1 合成类

一、水污染物

化学合成类生产废水大部分为高浓度有机废水，含盐量高，pH 值变化大，部分原料或产物具有生物毒性或难被生物降解，如酚类化合物、苯胺类化合物、重金属、苯系物、卤代烃等，使废水处理较难。水污染物主要包括常规污染物和特征污染物，其中常规类包括 TOC、COD、BOD₅、SS、pH、氨氮、总氮、总磷、

色度等，特征污污染类包括挥发酚、硫化物、硝基苯类、苯胺类、二氯甲烷、苯系物、AOX、氟化物等。

化学合成类生产废水来源及水质特点见下表。

表 2.2.2-1 化学合成类主要废水来源及特点

废水分类	废水来源	水质特点	主要污染因子浓度
主体工程生产废水	主要为工艺废水，如分层废水、过滤离心废水等	污染物浓度高，含大量残余的反应物、生成物，含盐量高，废水处理上有一定生物毒性、难降解	COD 一般在数万，最高可达几十万； BOD ₅ /COD 一般在 0.3 以下；含盐量一般在数千以上，最高可达数万，乃至几十万
辅助工程废水	循环冷却水系统排污、真空设备排水、去离子水制备过程排水、蒸馏（加热）设备冷凝水等	浓度低、水量大、季节性强、企业间差异大	COD≤100mg/L
冲洗水	过滤机械、反应容器、催化剂载体、树脂、吸附剂等设备及材料的洗涤水	污染物浓度高、酸碱变化大	COD:4000-10000 mg/L BOD ₅ :1000-3000 mg/L
生活污水	——	与企业的人数、生活习惯、管理状态相关，但不是主要废水	COD≤300 mg/L; BOD ₅ ≤200 mg/L; SS≤250 mg/L; 氨氮≤40 mg/L

二、大气污染物

化学合成类产生的废气种类主要包括有机废气、无机废气、恶臭和粉尘。其中有机废气主要来自蒸馏、蒸发浓缩工段产生的有机不凝气，合成反应、分离提取过程产生的有机溶剂废气，根据企业使用产生的有机挥发性物质不同，排放的大气污染物主要包括酯类、醇类、酮类、醚类、卤化烃、烷烃类、烯烃类等溶剂废气；无机废气主要来自使用酸、碱调节 pH 值时产生的酸性或碱性废气，排放的大气污染物主要包括氯化氢、硫酸烟雾、氨气等；恶臭主要来自于污水站、固废堆场等，粉尘主要来自于粉碎、干燥等工序。

化学合成类废气来源及排放特征见下表。

表 2.2.2-2 化学合成类主要废气来源及特征

废气来源	产污环节	污染物类型
反应过程	投料卸料	粉尘、有机废气、无机废气
	合成	有机废气、无机废气
后处理过程	溶剂回收	有机废气
	固液分离	有机废气、无机废气、恶臭
	干燥	有机废气、无机废气
	出料	粉尘、有机废气、无机废气

物料输送	输送泵	有机废气、无机废气
	真空泵	
辅助设施	污水处理站	恶臭气体、无机废气、沼气
	危险固废堆场	恶臭气体
物料储存	密闭储罐呼吸口	有机废气、无机废气
	非密闭储槽	有机废气、无机废气

三、 固体废物

化学合成类生产过程中产生的固体废物主要与各个工段可能采用的工艺技术有关,大部分为危险废物。生产中产生的危险废物主要有废催化剂、废活性炭、废溶剂、废酸、废碱、废盐、精馏残渣、废滤芯(废滤膜)、集尘灰、药尘、废药品等,产生的一般固体废物主要为废包装材料等。

2.3.2.2 发酵类

一、水污染物

发酵类制药废水大部分属高浓度废水,如含氮量高、含盐量高、色度高,酸碱性和温度变化大,碳氮比低,有的还含有抗生素分子及其它特征污染物,使废水处理较难。此外,生物发酵过程涉及大量冷却水和去离子水的使用,因此,冷却水排污和制水过程排水较大。发酵类制药废水主要污染物有 COD、BOD₅、SS、pH、色度和氨氮等。

发酵类制药废水来源及水质特点见下表。

表 2.2.2-3 发酵类制药主要废水来源及特点

废水分类	主要来源	水质特点	主要污染因子浓度
主体工程生产废水	废滤液(从菌体中提取药物)、废发酵液(从过滤液中提取药物)、其他废液等	废水浓度高、含盐量高,酸碱性和温度变化大、含药物残留、水量相对较小	COD>10000; BOD ₅ /COD 在 0.3-0.5; SS:1000-6000
辅助工程废水	工艺冷却水(如发酵罐、消毒设备冷却水等)、动力设备冷却水(如空压机冷却水、制冷剂冷却水等)、循环冷却水系统排污,去离子水制备过程排水、蒸馏(加热)设备冷凝水等	污染物浓度低、水量大、季节性强、企业间差异大	COD ≤ 100
冲洗水及水环泵排水	容器设备冲洗水(如发酵罐冲洗水等)、过滤设备冲洗水(如板框压滤机、转鼓过滤机等过滤设备冲洗水)、树脂柱(罐)冲洗水、地面冲洗水等	污染物浓度高、酸碱碱性变化大	COD:1000-10000
生活污水	——	与企业的人数、生活习惯、管理状态相关,但不是主要	COD ≤ 300; BOD ₅ ≤ 200; SS ≤ 250;

		废水	氨氮≤40
--	--	----	-------

二、大气污染物

发酵类药物生产过程产生的废气主要包括发酵尾气(工艺恶臭)、有机废气、含尘废气、无机废气及废水处理装置产生的恶臭气体。发酵尾气气量大,主要成分为空气和二氧化碳,同时含有少量培养基物质以及发酵后期细菌产生抗生素时的菌丝气味,直接排放对厂区周边大气环境质量影响较大。有机废气主要产生于分离提取等生产工序。

发酵类药物生产废气来源及排放特征见下表。

表 2.2.2-4 发酵类药物生产主要废气来源及特征

废气来源	产污环节	污染物类型
反应过程	发酵	发酵尾气(工艺恶臭)
	提取	有机废气、无机废气
	溶剂回收	有机废气
	干燥	含尘废气
物料输送	输送泵	有机废气、无机废气
	真空泵	
辅助设施	污水处理站	恶臭气体、无机废气、沼气
	危险固废堆场	恶臭气体
物料储存	密闭储罐呼吸口	有机废气、无机废气
	非密闭储槽	有机废气、无机废气

三、固体废物

发酵类药物生产过程产生的固体废物主要为:发酵工序产生的工艺废渣(菌丝体和残余培养基);脱色、过滤、分离等工序产生的废活性炭、废树脂等吸附过滤介质;粉碎、筛分、总混、包装、过滤过程产生的集尘灰;溶剂回收残液;污水处理站产生的废物(格栅截留物、污泥等)等。

2.3.2.3 废水及其污染物排放

(1) 废水排放情况

根据台州市统计分析,医药制造业的废水排放量为 1114.77 万吨,占 2022 年重点调查企业工业废水排放总量的 26.18%,如下图所示:

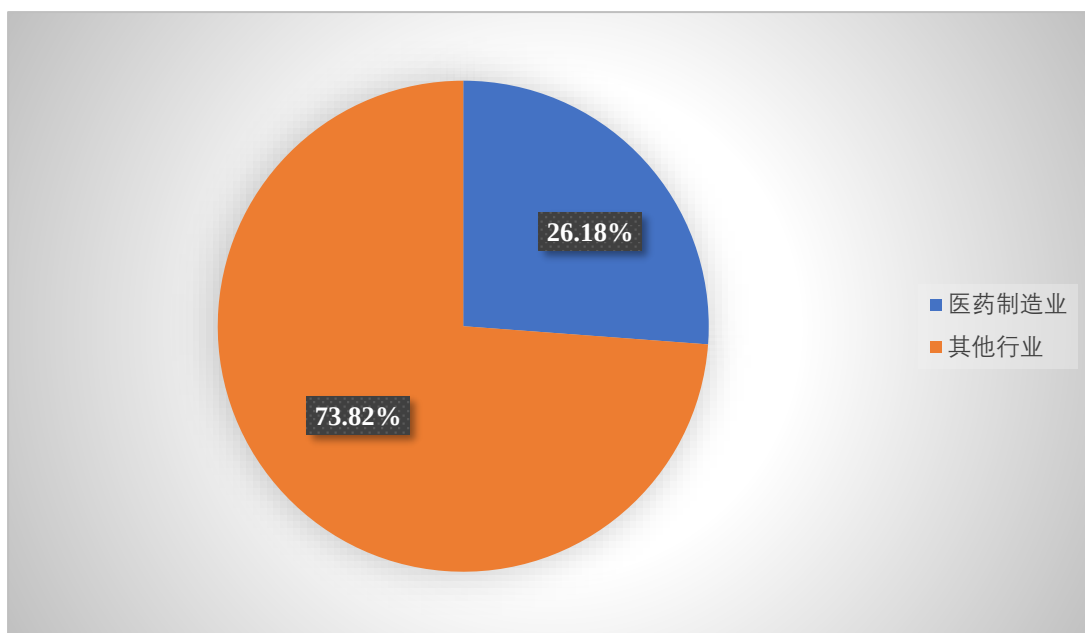


图 2.2.2-1 台州市 2022 年度医药制造行业废水排放量占比

(2) 化学需氧量排放量情况

全市医药制造业的化学需氧量排放量为 563.05 吨，占全市重点调查企业化学需氧量排放量的 45.5%，如下图所示：

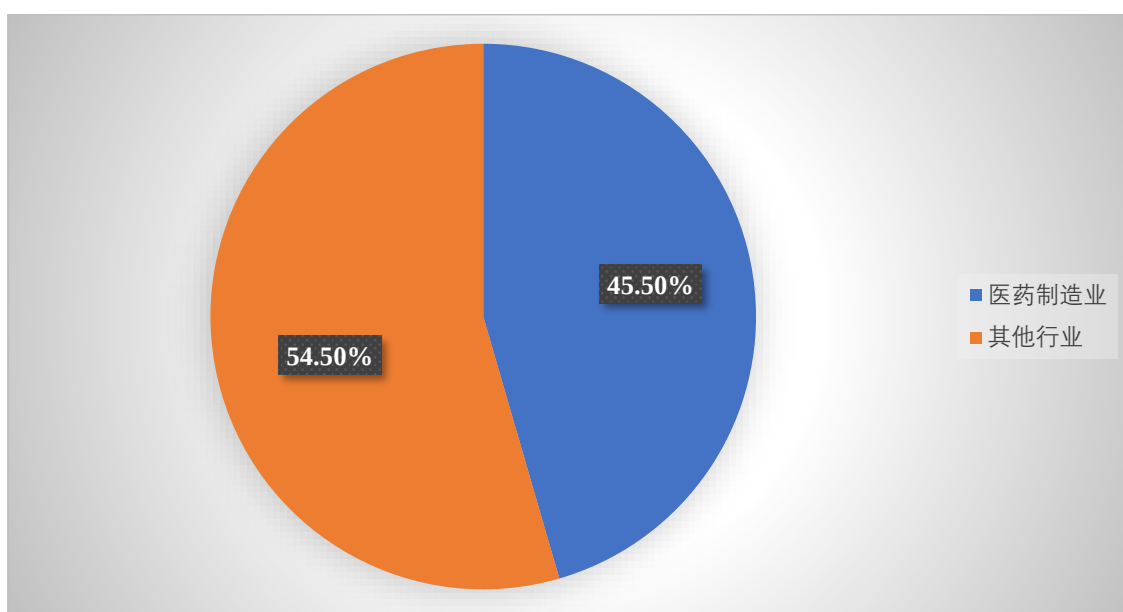


图 2.2.2-2 台州市 2022 年度医药制造行业化学需氧量排放量占比

(3) 氨氮产排

全市医药制造业的氨氮排放量为 10.41 吨，占全市重点调查企业氨氮排放量的 47%。如下图所示：

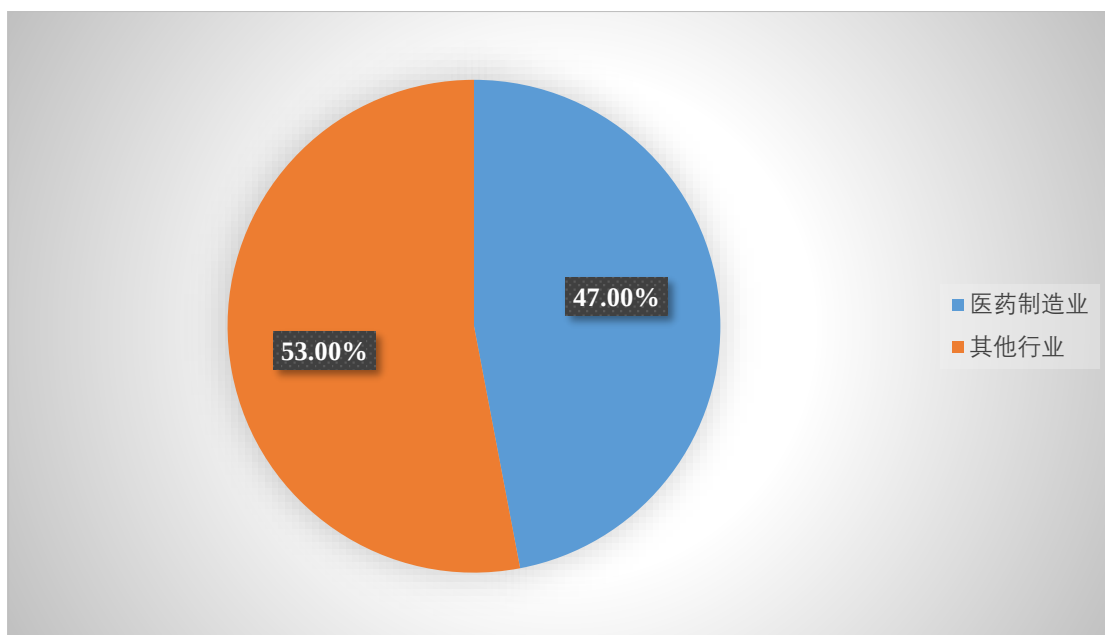


图 2.2.2-3 台州市 2022 年度医药制造行业氨氮排放量占比

2.3.2.4 废气污染物排放

从全市 VOCs 产生排放的行业分布情况看，全市挥发性有机物（VOCs）排放量最大的是 27 医药制造业，其挥发性有机物（VOCs）排放量为 10235.69 吨，占全市重点调查企业 VOCs 排放量 40.91%。详见下表。

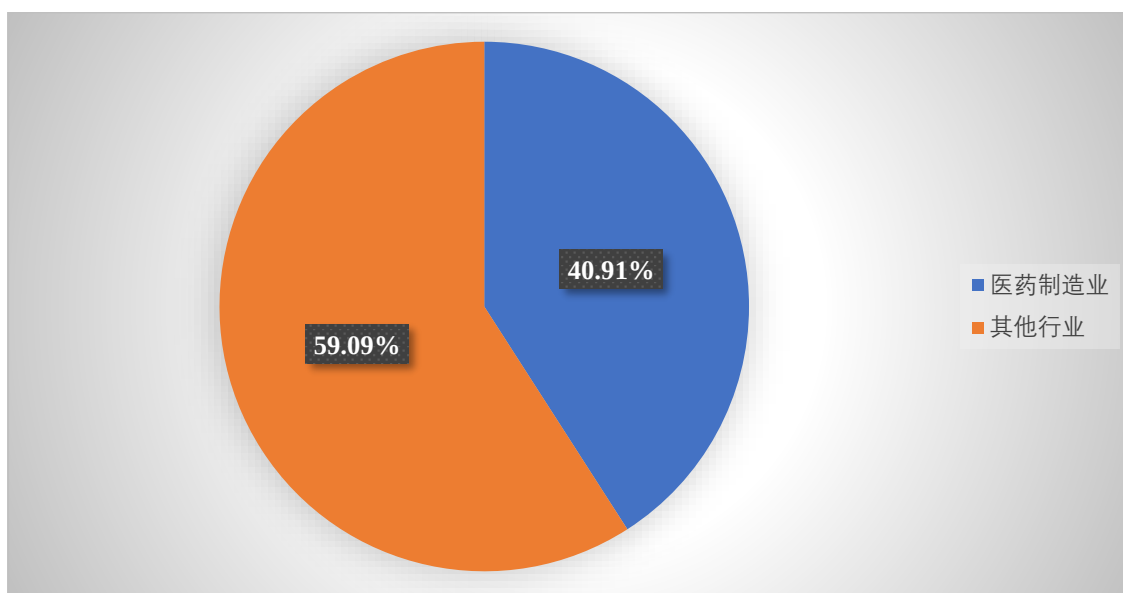


图 2.2.2-4 台州市 2022 年度医药制造行业 VOCs 排放量占比

2.3 医化行业产排碳情况

台州是全国唯一的国家级化学原料药出口基地，化学原料药出口占全省的 1/3、全国的 1/10，是全世界原料药采购的“超级市场”，在国内外具有较高的知名

度和影响力。台州还先后获得国家生物医药科技兴贸创新基地、国家级循环化改造示范试点、国家新型工业化产业示范基地等荣誉。化学原料药作为我国医药工业的重要组成部分，是能源消耗最大的领域，约 80% 的能源消耗发生在化学原料药生产过程中。在“双碳”目标推动下，医化行业须加快推进减污降碳协同增效，推动行业绿色低碳高质量发展。

2.3.1 生产设备及产碳环节

原料药生产过程主要包括发酵、合成、提取、分离纯化、精制、干燥、包装等单元操作，采用的工艺设备有发酵罐、反应釜、结晶罐、冻干机等。工艺辅助系统主要包括工艺用水制备、制冷、溶剂回收等，采用的设备有精馏塔、纯化水机组、纯蒸汽发生器等。公用工程系统主要包括供水、供气（汽）、供电、供热、空气净化、环保治理等，采用的设备有锅炉、冷水机组、空调系统、空压机组、真空机组等。

原料药企业生产中主要使用的一次能源有煤、天然气等，二次能源有电力、蒸汽、燃油、煤气、沼气等。煤、天然气和燃油主要是产生蒸汽等热能或电力，部分用于危废、废气的焚烧处理。蒸汽主要用于加热、灭菌、消毒等，电力主要用于拖动、加热、制冷、照明等。

重点耗能工序：大宗原料药发酵，清洗消毒灭菌，加热反应，冷却反应，大规模提取，溶剂回收，干燥，三废处置等。

重点耗能设备：反应釜、发酵罐及附属搅拌系统，结晶罐，干燥器，精馏塔，离心机，消毒灭菌设备，纯化水机组，纯蒸汽发生器，蒸汽管网，锅炉，冷水机组，空调系统，空压机组，真空机组，制氮机组，蓄热式热力焚化炉(RTO)，废水处理系统、废气净化处理系统，菌渣干化系统等。

（一）发酵类

发酵类制药是制药工业中能源消耗最大的类别之一。消耗的能源包括一次能源煤炭，二次能源蒸汽、电等。生产特点基本比较相似，一般都需要经过菌种筛选、种子制备、微生物发酵、发酵液预处理和固液分离、提取纯化、精制、干燥、包装等步骤，其生产工艺主要产碳节点如下：

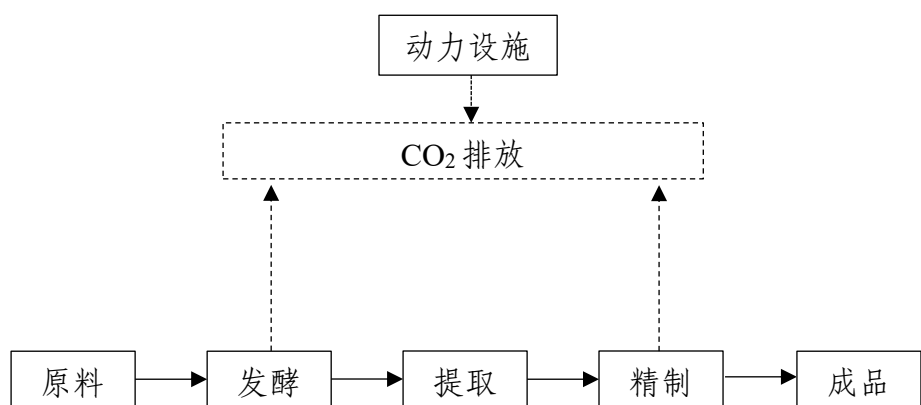


图 2.3.1-1 发酵类制药生产工艺流程及产碳节点

发酵环节的主要设备为发酵罐和种子罐，以及原料（培养基）调制、蒸煮、灭菌、冷却、通气调节、除菌、搅拌等附属设备。发酵周期长，涉及的工艺和附属设备功率大、能耗高，因此，是发酵类制药工业能源消耗最大的工艺环节。通过实施发酵动力系统和能量系统的优化，采用新型发酵搅拌器，以及大功率设备的变频改造等措施，可达到节能效果。发酵罐及原料消毒灭菌后的高温泛汽和冷凝水，以及发酵过程罐体冷却用的冷却水，可以通过回收系统的改造加以循环利用。

精制环节干燥工艺中需要消耗大量的蒸汽，蒸汽余热也可通过收集，通过换热装置回收进行循环利用。

（二）化学合成类

化学合成类药物具有品种多、更新快、生产工艺复杂等特点，生产所需的原辅材料种类繁多，产量一般不大，产品质量要求严格，基本采用间歇生产方式，其原辅材料和中间体不少是易燃、易爆、有毒性的物品。其生产过程的主要工序及产碳节点可以归纳为：

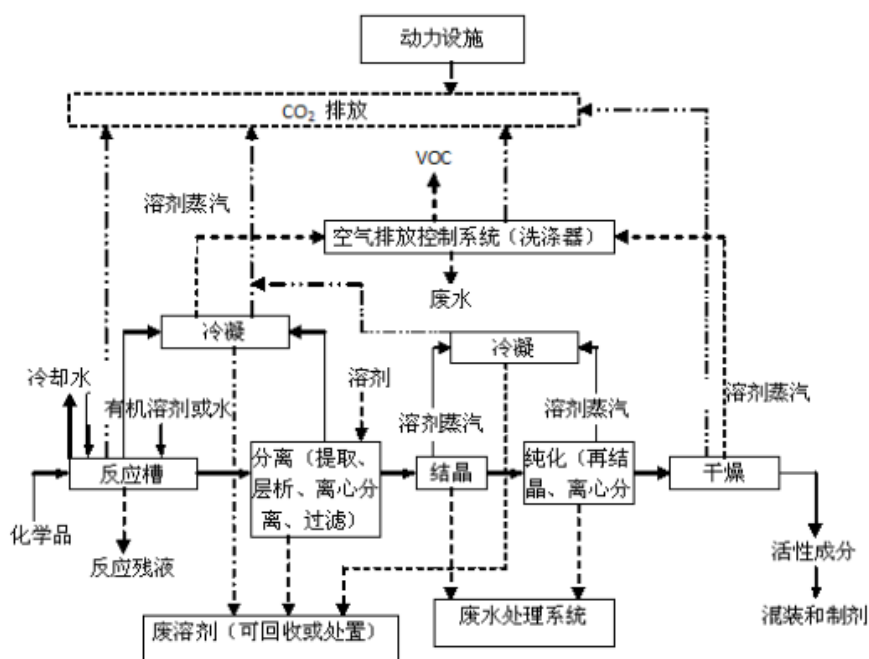


图 2.3.1-2 化学合成制药生产工艺流程及产碳节点

(1) 反应

化学合成是根据配方，按部就班地实现各种反应条件，来完成反应器中的化学反应，进行产品生产。反应过程中，通过加热或冷却及持续搅拌等来控制温度，并释放出含有机溶剂的废气。

(2) 分离

分离是指从反应液中获得产品粗品的过程。分离的方法较多，如液液分离中常用的提取和蒸馏，液固分离中常用的离心和过滤。不同的分离方法，能源资源消耗、污染物的产生情况差异较大。

(3) 精制

制取高纯度的合格成品的过程。精制的方法较多，如固体成品常用的结晶和干燥、液体成品常用的精馏。不同的精制方法，能源资源消耗、污染物的产生情况差异较大。

典型化学合成制药企业电和蒸汽平衡图如下所示：

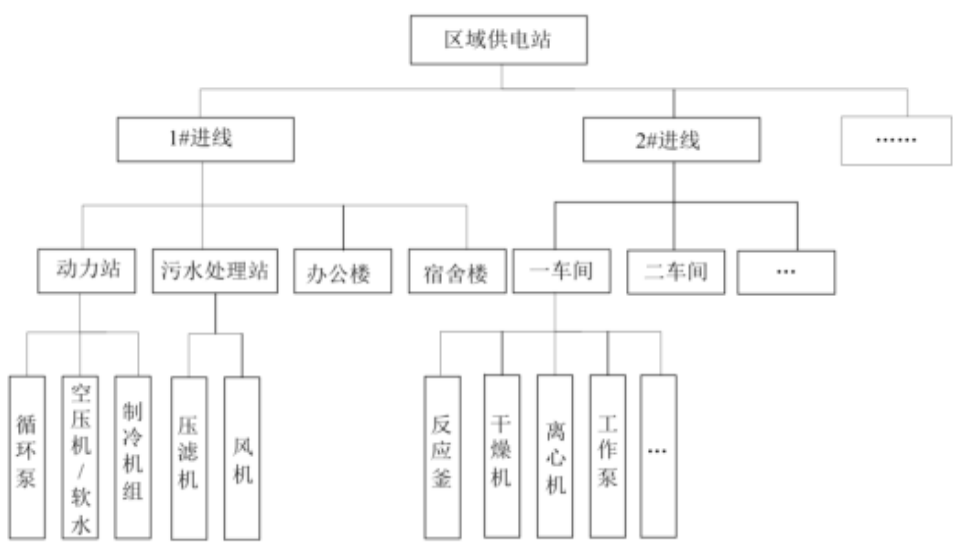


图 2.3.1-3 化学合成制药企业电平衡图



图 2.3.1-4 化学合成制药企业热平衡图

2.3.2 台州市碳排放情况

根据《工业其他行业企业温室气体排放核算方法与报告指南》（试行），工业其他行业企业温室气体排放来源包括：化石燃料燃烧 CO_2 排放（固定源及移动源）、碳酸盐使用过程 CO_2 排放、废水厌氧处理 CH_4 排放、 CH_4 回收与销毁量、 CO_2 回收利用量、净购入电力/热力隐含的 CO_2 排放等。结合医化行业实际情况，医化行业温室气体排放源主要包括燃料燃烧排放、碳酸盐使用过程排放、购入和输出电力排放、购入和输出热力排放。

根据台州市统计分析，2022 年度医药制造业温室气体排放量在所有行业中最大，共排放 232.87 万吨，占比 26.53%，如下图所示：

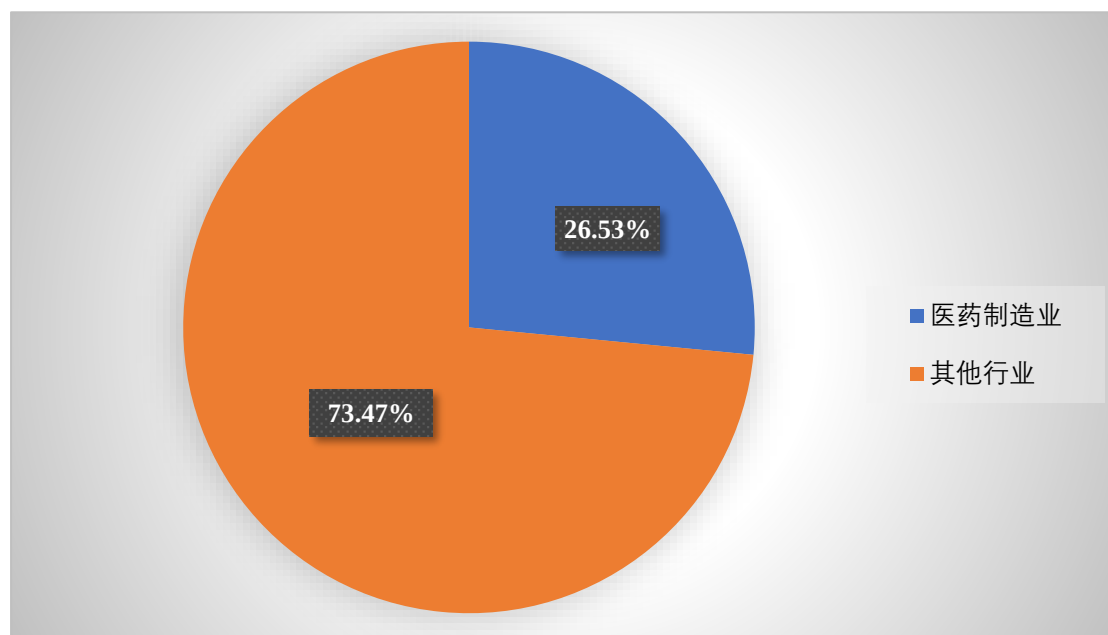


图 2.3.2-1 台州市 2022 年度医药制造行业温室气体排放占比

3.医化行业污染防治技术

3.1 清洁生产技术

3.1.1 原料替换

生产过程中避免使用对人体有致癌性或可能引起神经中毒、畸变等不可逆毒性，以及对环境造成危害的溶剂。应当采用无毒无害或低毒、低害的原料替代高毒和难以去除高毒的原料，以减少废物的产生量和降低废物的毒性。如在化学合成中，空气接触氧化替代氧化剂氧化；用水质洗涤液取代其他溶剂、溶液；选择毒性低的或活性保持时间长的、不易流失的催化剂等；使用未经暴露（氧化、蒸发）和无杂质与未受到污染的原料；设备清洗时应选用不腐蚀设备且本身易被清除的清洁剂等。鼓励在发酵生产过程中采用新技术、新工艺，减少含氮物质、含硫酸盐辅料、含磷物质等影响后续污染治理过程及造成二次污染的物质使用。

3.1.2 物料输送

物料输送系统主要包括投料、转料，输料过程中因跑冒滴漏问题易产生废气和废水污染。目前，常用的投料方式和转料方式，具体见表 3.1.2-1。

表 3.1.2-1 常用的投料方式和转料方式

输料过程	技术名称	技术原理	技术特点	备注
投料	储罐-管道化-计量装置-投料	在储罐区和车间反应釜之间实现管道化送料，并设流量计量装置，物料计量后输送至反应釜	自动化水平较高、废气产生量较少，但投资成本相对较高	适用于液体类物料
	储罐-中间罐-高位槽-投料	在生产车间外设中间储罐，储罐区物料管道化泵送至中间储罐，再泵送至车间反应釜的高位槽，由高位槽计量后投料	物料计量精确度较高，但相较储罐区直接管道化投料增加中间环节，增加废气产生量	适用于液体类物料
	桶装-正压-投料	对桶装物料泵正压输送（输送介质），将物料通过管道输送至反应釜	投资成本低，但密闭化程度低，但相较桶装-负压泵投料，废气污染较小	适用于少量投料的液体类物料
	密闭式重力流投料	在直接投料的基础上增加一个加料设备，并进行密闭化改进，加料时打开反应系统连接废气收集系统的阀门，使物料在重力作用下自动加入至反应系统	能有效收集加料过程逸出的废气	适用于固体类物料
	真空上料式投料	通过压缩空气使真空发生器产生高真空，产生负压状态，从而实现物料被吸入反应系统	具有混合均匀、结构简单、体积小、能实现自动化和密闭化控制、废气便于收集等优点。但相比其他投料技术产生的废气量较大	适用于固体类物料
转料	密闭重力流转料	利用接料反应釜和送料反应釜的高位差，使物料通过重力流作用到达接料反应釜	具有节能、废气排放小等优点，但是对反应车间层高要求足够高	适用于各种物料
	管道正压泵转料	对送料反应釜施加正压气源（输送介质），将物料通过管道输送至接料反应釜	可以一点对多点输送，具有输送量大，输送距离长，操作稳定的优点，且相对负压输料方法，正压式输料造成的环境污染较小	适用于液体物料
	中转罐（桶）-正压泵转料	对送料反应釜施加正压气源（输送介质），将物料通过管道输送至中转罐（桶）	投资成本低，但相较中转罐（桶）-负压泵投料，废气污染较小	适用于液体物料

3.1.3 物料分离

医化行业生产过程中常采用的物料分离提取技术包括液膜分离法、双水相萃

取法等，具体介绍如下：

（1）液膜分离技术

液膜分离技术利用混合物各种成分渗透性能的差异来实现分离、浓缩或是提纯。在液膜法中提取和解吸同时完成，提高了分离效率，降低溶剂消耗量。

（2）双水相萃取分离技术

双水相萃取技术依据物质在两相间的选择性分配，从发酵液中直接提取药物，工艺简单，收率高，避免了发酵液的过滤预处理和酸化操作；不会引起药物活性的降低；所需的有机溶剂量大幅减少，同时降低了废液和废渣的排放量。

（3）酶促、无溶剂技术

酶促、无溶剂技术使得生产抗生素类等药品的原辅材料种类和数量均发生了变化，主要表现在：使原辅材料种类大幅减少，并提高了原辅材料的利用效率；不再使用有毒有害、易燃、易爆化学危险品，从而消除了这些化学品在运输、贮藏和使用过程中可能对环境造成的危害，从源头有效地控制了污染物的产生。

（4）无机陶瓷组合膜分离技术

无机陶瓷膜是以氧化铝、氧化钛、氧化锆等材料经特殊工艺制备而成的多孔非对称膜，其过滤精度涵盖微滤和超滤，可根据物料的粘度、悬浮物含量选择不同孔径的膜，以达到澄清分离的目的。利用超滤、纳滤等无机陶瓷组合膜的选择性分离实现料液不同组分的分离、精制与浓缩，具有耐酸、耐碱、耐有机溶剂、耐高温高压、再生能力强、分离效率高等特点，可代替板框过滤等传统工艺设备。适用于各类制药工业生产过程的分离、精制与浓缩，尤其是发酵类制药。

（5）纳滤分离浓缩技术

纳滤是介于超滤与反渗透之间的一种膜分离技术，可对小分子有机物与水、无机盐等进行分离，使脱盐和浓缩过程同时进行。具有常温无破坏、低成本、收率高等特点。适用于各种制药生产中的分离、精制与浓缩。

（6）移动式连续离子交换技术

移动式连续离子交换系统是由一个带有多个树脂柱的圆盘和一个多孔分配阀组成，通过圆盘的转动和阀口的转换，使分离柱在一个工艺循环中完成吸附、水洗、解吸、再生的全部工艺过程。与传统固定床式离子交换柱法相比，可节约

树脂和洗涤水用量，洗脱剂消耗相应减少，产品总收率有所提高，单位产品原料消耗减少。适用于制药过程分离及精制工艺。

(7) 高效动态轴向压缩工业色谱技术

动态轴向压缩色谱采用活塞装柱，并在操作过程中保持柱床压缩状态，所填充的色谱柱柱床均匀、性能稳定、密度高、柱效高、柱性能的再现性好。与传统多次结晶工艺相比，单位产品溶剂消耗减少，产品质量提高，单位产品运行成本下降。适用于理化性质相近的天然产物和生物大分子产品的分离制备。

3.1.4 设备清洗

反应釜、离心机等设备清洗可优先考虑采用减少清洗水量的方法，如下：

- 1、采用阀门、喷头等设施控制设备清洗水用量，选用耗水少、效率高的清洗喷头。
- 2、用刮板及刮水器，采用用水量最少、效率高的清洗方法等。
- 3、用最终漂洗水作为下一轮的预洗水。

3.1.5 溶剂回收

目前我国医化行业生产过程中提取、精制大多采用溶剂萃取工艺，其中结晶、蒸馏等工段会产生大量含有有机溶剂的工艺废气，在此过程中如采取有效控制和回收措施，不但可减少生产过程中有机废气的产生和排放，而且可提高有机溶剂的循环利用率。目前，常用的溶剂回收技术主要包括冷凝技术和膜分离技术。

1、冷凝技术

当冷凝器的温度低于其露点温度时将发生冷凝。由于易挥发性有机化合物的露点温度高于空气的露点温度，故当对溶剂蒸汽进行冷凝时，大部分的溶剂蒸汽会被冷凝成液态而达到回收溶剂的目的。影响冷凝效果的因素主要是液膜厚度和气流速度，液膜厚度越薄，流速越大，冷凝效果越好。该技术操作简单、安全可靠，适用广泛，回收溶剂含杂质少，但是投资高、操作费用高。一般适用于气体中浓度大于 5000mg/m³ 的有机废气。

2、膜分离技术

膜分离技术即选用人工合成的或天然的膜材料为分离介质，根据 VOCs 和空气在膜内渗透速率的差异，来实现两者的分离。膜分离可以同时使用多种多张膜，

不同的膜能够分离掉不同的有机溶剂，因此采用多种膜多层膜之后就能既全面又彻底的将多种有机溶剂统统回收。该技术工艺复杂，但对一些化学性质奇异的剧毒有机溶剂的回收，效果更理想。

3.1.6 物料储存

医化生产用物料或半成品常以储罐的形式储存，按储罐结构分类，可分为固定顶储罐、浮顶储罐、球形储罐等。

1、固定顶储罐

固定顶储罐(也称拱顶罐)指罐顶为球冠状、罐体为圆柱形的一种钢制容器。拱顶储罐制造简单、造价低廉，所以在国内外许多行业应用最为广泛，最常用的容积为 1000-10000m³，目前，国内拱顶储罐的最大容积已经达到 30000m³。

该类储罐一般适用于挥发性较低或不挥发的物料储存，大部分医化企业使用的都是固定顶储罐。

2、浮顶储罐

浮顶储罐是由漂浮在介质表面上的浮顶和立式圆柱形罐壁所构成。浮顶随罐内介质储量的增加或减少而升降，浮顶外缘与罐壁之间有环形密封装置，罐内介质始终被内浮顶直接覆盖，减少介质挥发。浮顶罐可分为外浮顶和内浮顶，内浮顶罐就是在拱顶罐的基础上里面加一层内浮盘漂在液面上面，外浮顶罐就是罐顶随着液面上下浮动。

浮顶储罐一般适用于挥发性物料储存，周转较频繁的低挥发性物料宜优先考虑浮顶储罐方式储存。

3、球形储罐

用于储存气体、液化气体或液体介质的球形容器称作球形储罐，简称球罐。其优点是易于大型化、占地面积小、操作管理和检修方便等。但球罐的制造、焊接和组装要求很严，检验工作量大，制造费用较高。

该类储罐一般适用于储存容量较大有一定压力的液体，一般用于石化企业。

4、减少储罐溶剂挥发的其它技术

储罐储存、卸料、出料等过程会产生一定的溶剂挥发，造成大气污染。目前常用以下技术以减少溶剂挥发损失。一是平衡管技术。在要求储罐进行严格密闭

式运行的同时，物料装卸料过程罐内压力会产生变化，为消除因压力变化产生的呼吸废气，在储罐和槽车之间设置气相平衡管，采用气相平衡原理使呼吸尾气形成闭路循环，从而避免废气外排；二是**氮封+呼吸阀技术**。储罐平时储存或出料过程中，因温度变化或罐内物料变化等导致罐内压力变化，会产生呼吸废气。氮封系统联合呼吸阀技术，能自动调节罐内压力的变化。其中氮封系统和呼吸阀的作用分别是根据设置的压力自动补充氮气和排出废气（至废气处理系统），确保系统内压力平衡，以此避免废气直接外排，造成大气污染；三是**储罐表面冷却技术**。在夏季高温的情况下，罐内挥发性物料更容易挥发损失，若在储罐表面做好保温措施的同时，给予适当的降温处理，比如喷淋降温等，则能减少废气产生。

3.2 污染治理技术

3.2.1 水污染治理技术

医药化工生产废水的特点是有机物含量高、成分复杂多变且多含杂环类等难降解或对微生物有抑制性物质，色度一般较深、含盐量多数较高，有的生化性很差，且间歇排放，属难处理的工业废水，这些废水宜采用“分类收集、分质预处理、后进行综合处理”的原则：

- 1、高含盐废水宜进行除盐处理后，再进入污水处理系统。
- 2、难生化降解的高浓度废水应进行强化预处理，提高可生化处理性。
- 3、含高悬浮物的废水宜单独物化预处理后，再进行生物处理。
- 4、含氨氮高的废水宜物化预处理，再进行生物处理。
- 5、含磷高的废水宜物化预处理，降低磷浓度后再进行生物处理。
- 6、含有活性生物成分（如病原性微生物等）的废水宜进行灭活预处理。
- 7、高色度的废水宜进行预处理后进行生物处理。

8、烷基汞、总镉、六价铬、总铅、总镍、总汞、总砷等水污染物应在车间处理达标后，再进入污水处理系统。

3.2.1.1 废水预处理技术

1) 含高盐废水预处理技术

高盐废水预处理技术的应用原理和技术特点具体见表 3.2.1-1。

表 3.2.1-1 高盐废水预处理技术的原理和特点

技术名称	应用原理	技术特点	备注
多效蒸发处理法	利用一次蒸发使废水沸腾汽化的二次蒸汽作为下一个蒸发器的热源，连续多级串联加热，废水与二次蒸汽呈逆行串联浓缩，与单效蒸发相比，可节省40-50%的能量	盐去除率 95%以上，能耗高、运行费用大，且生成的残液或渣应按危险废物处置	——
MVR 机械浓缩蒸发	利用高效蒸汽压缩机压缩蒸发产生的二次蒸汽，把电能转换成热能，提高二次蒸汽的焓，被提高热能的二次蒸汽打入蒸发室进行加热，以达到循环利用二次蒸汽已有的热能，从而可以不需要外部新鲜蒸汽，依靠蒸发器自循环来实现蒸发浓缩的目的	具有节能、环保、自动化程度高、占地面积小、热效率高等优点。比传统蒸发器节省 80%以上的能源，节省 90%以上的冷凝水，减少 50%以上的占地面积	适合含多种热敏感性物料、起泡性物料的蒸发浓缩
电吸附除盐污水回用技术	该技术中原水通过提升泵进入精密过滤器去除 10 μ m 以上的残留固体悬浮物和沉淀物后，进入电吸附（EST）模块，水中溶解性盐类被吸附在电极上，从而净化水质	系统除盐率为 60%-90%，使用寿命 $\geq$ 10 年。除了可以选择性除盐，同时对废水中的痕量有机物和氨氮污染物也有较好的去除效果	可根据电压调节来控制除盐率在 60%-90%范围内变化

2) 高氨氮废水预处理技术

高氨氮废水预处理技术的应用原理和技术特点具体见表 3.2.1-2。

表 3.2.1-2 高氨氮废水预处理技术的原理和特点

技术名称	应用原理	技术特点	备注
蒸氨法	以水蒸汽作为蒸馏热源，并加入氢氧化钠溶液分解废水中固定铵，将氨蒸出，蒸出的氨气采用酸或水吸收，蒸完氨的废水送后续生化处理装置处理	氨氮去除率高，投资较大，可回收氨	适宜于含低沸点物质的高氨氮废水
吹脱法	利用 NH_3 与 NH_4^+ 间的动态平衡，通过调整 pH 至碱性，使氨氮主要以游离氨形态存在，然后再进行曝气吹脱，从而达到去除氨氮的目的	不宜在水温较低时使用该技术。氨氮去除率可达 60-90%。从废水中脱离的氨和挥发性有机物需采取吸收、吸附等手段进行回收	适宜于含低沸点、易挥发物质的高氨氮废水
汽提法	工作原理与吹脱法相同，只是使用的介质不同，汽提法使用的介质是水蒸气，使载气与废水充分接触，导致废水中的溶解性气体和某些挥发性物质向	氨氮去除率可达 60-90%。从废水中脱离的氨和挥发性有机物需采取吸收、吸附等手段进行回收	

技术名称	应用原理	技术特点	备注
	气相转移，从而达到脱除水中污染物的目的		
折点氯化法	向废水中通入氯气，使废水中氨完全转化为氮气	对氨氮的去除率高、效果稳定。存在二次污染、药剂投加量大等缺点，通常在折点氯化法前先使用吹脱法进行预处理，这样可以减少加氯量、降低处理成本	——
刮板薄膜蒸发处理法	采用固定刮板薄膜蒸发、浓缩、结晶、回收硫酸铵、硝酸铵作肥料或回用	适用于铵盐含量高达 5-10% 的废水	——
同步硝化反硝化脱氮技术（SND）	与传统生物脱氮技术相比，即将硝化与反硝化反应在同一个反应器中同步进行，同时实现脱氮的作用	节省缺氧池或至少减少它的容积，不需要复杂的好氧/缺氧区组合控制和相关的测控装置	——
亚硝酸型（短程）硝化反硝化脱氮技术	短程硝化反硝化是利用亚硝酸菌和硝酸菌生物特性的差异，在特定的环境条件下使硝酸菌的生长受到抑制，将硝化过程控制在亚硝化阶段，然后直接进行反硝化	短程硝化反硝化可节约生物脱氮所需碳源 40%。技术的关键在于如何形成亚硝化菌群的富集	——
厌氧氨氧化脱氮技术	厌氧氨氧化（ANAMMOX, AnaerobicAmmoniumOxidation）是在缺氧条件下，以亚硝酸氮为电子受体，利用自养菌将氨氮直接氧化为氮气而实现脱氮的过程	与传统生物脱氮技术相比，该技术可减少耗氧、降低能耗和节省可观的中和药剂。技术关键在于有效解决厌氧氨氧化菌种来源、菌体增殖和持留问题	——

3) 高有机废水预处理技术

目前，针对高浓有机废水处理技术的研发较多，技术应用现也日渐成熟，常用的技术包括电解法、微电解（Fe-C）法、传统 Fenton 试剂氧化法及改良技术等，各种技术的应用原理和技术特点具体见表 3.2.1-3。

表 3.2.1-3 高浓有机废水预处理技术的原理和特点

技术名称	应用原理	技术特点	备注
电解法	利用极板间发生的氧化还原反应产生电解断键、电解凝聚气浮或沉降三种作用，对废水进行预处理	具有良好的混凝效果，色度、COD 去除率高，同时可提高废水的可生化性	——

技术名称	应用原理	技术特点	备注
微电解 (Fe-C) 法	基于电化学中的电池反应, 通过氧化还原反应和铁离子对絮体的电附集、混凝、吸附、过滤等综合作用来处理废水	无需投加药剂, 投资小, 运行费用低, COD 去除率 20-50%, 可改善废水的可生化性	适用中性或偏酸性条件
传统 Fenton 试剂氧化法	Fenton 试剂由亚铁盐和过氧化氢组成, 利用 Fe^{2+} 催化 H_2O_2 产生高氧化还原电位的羟基自由基 ($\cdot\text{OH}$), 将废水中的有机物氧化为 CO_2 和 H_2O	氧化能力强、反应时间短、效果相对稳定、适用范围较大, 但铁污泥量较多。COD 去除率能够达到 60% 以上	——
流化床 Fenton 试剂氧化法	在传统 Fenton 试剂氧化法的基础上, 利用流化床的方式使三价铁大部分以结晶或沉淀披覆在流化床单体上, 形成同相及异相催化反应	相对在传统 Fenton 试剂氧化法, 该技术铁污泥减量约有 70%	——
电解还原 Fenton 试剂氧化法	在传统 Fenton 试剂氧化法的基础上, 电解还原 $\text{Fe}(\text{III})$ 使其循环利用	相对在传统 Fenton 试剂氧化法, 该技术铁污泥减量约有 80%, 但能耗高, 反应条件苛刻	——
优势菌强化生物处理技术	优势菌技术是将某一种或几种特定的微生物菌群投加到某一生物反应器中, 使其在数量或质量上形成优势菌群, 从而达到提高处理能力和效果的目的。目前已有应用的有光合细菌、基因工程菌等	处理能力和效果得到强化, 其中光合细菌法的工艺简单, 处理成本低, 运行稳定, 作为副产物的菌体还可进行综合利用。基因工程菌, 可更有针对性地提高对某种难降解有机污染物的去除能力和效果	适用于难降解有机废水处理

4) 涉重废水预处理技术

涉重金属废水预处理技术的应用原理和技术特点具体见表 3.2.1-4。

表 3.2.1-4 涉重废水预处理技术的原理和特点

技术名称	应用原理	技术特点	备注
化学沉淀法处理技术	通过向废水中投加化学药剂, 使其与水中的某些溶解物质产生反应, 生成难溶于水的盐类沉淀, 从而使污染物分离除去的方法。常用的化学药剂有氢氧化钠和硫化钠等。	处理效果好, 但是工艺流程较长、控制复杂、污泥量大	各种金属氢氧化物或硫化物沉淀的 pH 值不同, 选取各自的最佳沉淀的 pH 范围才能取得最佳沉淀效果
化学法+膜分离法处	在碱性状态下, 形成金属氢氧化物沉淀, 再采用膜分离技术	该技术省去沉淀池和污泥池, 占	——

理法	截留沉淀并收集重金属。	地少，节省工程总投资；具有污泥量少、运行费用低等特点。	
化学还原法	在酸性（pH 2.5-3.0）条件下，加入一定量的还原剂（如亚硫酸氢钠）将废水中的六价铬还原成低毒的三价铬，再调整 pH 值至 8-9.5，使其以氢氧化铬形态沉淀去除	可消除含铬废水的毒性，具有稳定、可靠、易于实现自动控制等特点	主要适用于含铬废水的处理

5) 高磷废水预处理技术

高磷废水预处理技术的应用原理和技术特点具体见表 3.2.1-5。

表 3.2.1-5 高磷废水预处理技术的原理和特点

技术名称	应用原理	技术特点
化学沉淀法	通过投加化学药剂，使废水中的磷转化为不溶性磷酸盐沉淀物，从而去除废水中的磷。常用的化学药剂有铝盐、铁盐和钙盐	磷浓度在 100mg/L 以上时，除磷效果稳定，操作简单。但会产生大量污泥，污泥处理难度较大，易造成二次污染。
改性活性炭吸附法	利用吸附剂优越的表面性能（比表面积大、孔隙率高），通过沉积、络合、离子交换、吸附等作用，实现对废水中磷的去除	该技术对低浓和高浓磷均可适用。占地面积小、吸附速度快、操作简单等优点

6) 高 SS 水预处理技术

常见的高悬浮物废水预处理主要为混凝沉淀/气浮法。该法通过投加混凝剂使水中难以自然沉淀的胶体物质以及细小的悬浮物聚集成较大的颗粒，然后用沉降法或气浮法予以分离。该法悬浮物去除率 90%以上。

7) 高色度水预处理技术

常见的高色度废水预处理技术主要为微电解法、传统 Fenton 试剂技术及改良技术。其应用原理和技术特点具体见表 3.2.1-6。

表 3.2.1-6 高色度废水预处理技术的原理和特点

技术名称	应用原理	技术特点
传统 Fenton 试剂技术	该技术的实质是利用 H_2O_2 在 Fe^{2+} 的催化作用下生成具有高反应活性的羟基自由基（ $\cdot OH$ ），由于 $\cdot OH$ 与水中溶解性有机物发生强烈的氧化反应，而 Fe^{2+} 形成的絮凝胶体能有效包裹、卷捕氧化成的小分子物质、悬浮物，达到去除色度的目的	具有设备简单、操作简便、反应快速、高效、可产生絮凝澄清等优点，但存在 H_2O_2 和 Fe^{2+} 的利用率不高、运行成本高的缺点

技术名称	应用原理	技术特点
	的	
流化床 Fenton 试剂氧化法	在传统 Fenton 试剂氧化法的基础上, 利用流化床的方式使三价铁大部分以结晶或沉淀披覆在流化床单体上, 形成同相及异相催化反应	——
电解还原 Fenton 试剂氧化法	在传统 Fenton 试剂氧化法的基础上, 电解还原 Fe (III) 使其循环再利用	——
微电解法	在不通电的情况下, 利用填充在废水中的微电解材料自身产生 1.2V 电位差对废水进行电解处理, 在处理过程中产生的新生态 [H]、Fe ²⁺ 等能与废水中的许多组分发生氧化还原反应, 能破坏有色废水中的有色物质的发色基团或助色基团, 甚至断链, 而达到降解脱色的作用	具有反应速率快、作用有机污染物质范围广、工艺流程简单、使用寿命长、投资成本低、运行成本低、处理效果稳定等优点

8) 含生物活性成分废水预处理技术

常见的含生物活性成分废水预处理的技术主要为高温消毒灭菌技术、臭氧 O₃ 消毒灭菌技术和紫外线消毒灭菌技术。其应用原理和技术特点具体见表 3.2.1-7。

表 3.2.1-7 含生物活性成分废水预处理技术的原理和特点

技术名称	应用原理	技术特点	备注
高温消毒灭菌技术	高温对微生物有明显的致死作用, 利用高温使菌体变性或凝固, 酶失去活性, 而使细菌死亡	医化行业排出的含生物活性成分废水中, 大多数的病毒及细菌在 65℃-80℃左右, 加热 30 分钟-60 分钟就可将其杀死口	——
臭氧消毒灭菌	臭氧在水中产生氧化能力极强的单原子氧 (O) 和羟基 (OH), 羟基 (OH) 对各种致病微生物有极强的杀灭作用, 单原子氧 (O) 具有强氧化能力, 对各种病毒、细菌均有很强的杀灭能力	具有反应快、投量少; 适应能力强, 在 pH5.6-9.8、水温 0-37℃范围内, 臭氧消毒性能稳定; 无二次污染; 能改善水的物理和感官性质, 有脱色和去嗅去味作用。但无持续消毒功能、只能现场生产使用、臭氧消毒法设备费用较高、耗电较大	——
紫外线消毒	利用特殊设计的高功率、高强	杀菌速度快, 效果好, 不产	适用于

技术名称	应用原理	技术特点	备注
灭菌	度和长寿命的 C 波段紫外光发生装置产生的强紫外光照射流水, 使水中的各种细菌、病毒、寄生虫、水藻以及其他病原体受到一定剂量的紫外 C 光辐射后, 其细胞组织中的 DNA 结构受到破坏而失去活性, 从而杀灭水中的细菌、病毒以及其它致病体, 达到消毒杀菌和净化的目的	生任何二次污染, 属于国际上新一代的消毒技术。但要求水中悬浮物浓度较低, 以保证良好的透光性	出水悬浮物浓度小于 10mg/L 的污水

3.2.1.2 综合处理技术

医化废水经预处理后可一定程度降低污染物浓度, 提高可生化性, 再与其它低浓废水混合处理, 目前医化行业常用的综合废水处理技术应用原理、技术特点和应用范围, 具体见表 3.2.1-8。

表 3.2.1-8 综合废水预处理技术的原理和特点

技术名称	应用原理	技术特点	备注
吸附生物降解法处理 (AB 法)	AB 法是吸附-再生工艺的简称, A 段以高负荷或超高负荷运行, 污泥负荷是普通活性污泥的数倍以上; B 段以低负荷运行	AB 工艺污染物去除效果好, 出水水质稳定, 抗冲击负荷能力强, 具有良好的除磷效果, 投资及运转费用较低, 污泥产率高	适用于浓度较高、难降解、水质水量变化较大的有机废水处理
SBR (及其改良工艺)	按间歇曝气方式来运行的活性污泥污水处理技术, 其技术核心是 SBR 反应池, 集均化、初沉、生物降解、二沉等功能于一体, 无污泥回流系统, 运行上按时间顺序间歇操作。CASS 和 ICEAS 在反应器进水端增加生物选择器, 可实现连续进水。UNITANK 系统由 3 个矩形池组成, 可以通过时间及空间上的控制及曝气、搅拌的控制, 使 3 个池内形成好氧、缺氧或者厌氧环境, 实现多种工艺目的, 如: 碳源有机物的去除、脱氮或者除磷	无需回流、操作灵活、占地少、投资省、运行稳定、基质去除率高、出水效果好、脱氮除磷效果好等优点	能同时脱氮除磷。且适合处理水质、水量波动较大的高氮有机废水处理
氧化沟 (及其变形工艺)	利用沟内溶解氧分布的不均匀性, 通过合理的设计, 使沟中产生交替循环的好氧区和缺氧区,	氧化沟工艺处理效果稳定、耐冲击负荷能力强、较经济, 但除氮效	适用于各种可生化降解的有机废水

技术名称	应用原理	技术特点	备注
贝尔 (Orbel) 型氧化 沟、卡鲁 塞尔氏氧 化沟、交 替工作型 (包括三 沟式氧化 沟))	从而达到脱氮的目的	果有限, 除磷不明显	处理
厌氧颗粒 污泥膨胀 床 (EGSB) 处理法	EGSB 反应器中维持高的上升流速, 颗粒污泥处于膨胀悬浮状态, 从而保证废水中的有机物与厌氧污泥充分接触, 大分子有机物通过微生物代谢转化为小分子物质, 如二氧化碳和甲烷	EGSB 反应器对于硫酸根、氨氮等有毒物质的承受能力较强。处理制药废水时有机容积负荷一般高于 UASB, COD 去除率可达 50-90%, 占地面积小, 抗冲击负荷能力强	适用于同时属于高浓度有机和生物毒性的废水处理
厌氧流化床 (AFB) 处理法	厌氧流化床一般为柱状反应器, 内装细而轻的载体 (粒径小于 1mm), 比表面积可高达 2000-3000m ² /m ³ , 采用固体颗粒流态化技术, 促进了生物膜与废水界面的更新, 具有较强的有机物净化能力	有机容积负荷高, 耐冲击负荷, 能耗大, 运行成本较高	适用于处理高浓度且具有一定生物毒性、含盐较低的有机废水
升流式厌氧污泥床 (UASB) 处理法	在厌氧条件下, UASB 反应器通过沉淀性能好、生物活性高的颗粒或絮状污泥与废水的充分混合, 利用微生物的代谢, 达到去除有机物质效果	进水悬浮物一般要求控制在 1000mg/L 以下。 COD 负荷一般 3-10kg/m ³ ·d, COD 去除率 50-90%, 产生的沼气可收集利用, 投资较低, 但抗冲击能力较差	适用于高浓度有机废水处理, 进水悬浮物一般控制在 1000mg/L 以下
复合式厌氧污泥床 (UBF) 处理法	UBF 反应器下部有污泥床层, 中上部安装固定填料, 污水以升流式与床体污泥、填料上生物膜不断接触反应, 其中有机物得到吸附、分解。UBF 反应器具有厌氧污泥和生物膜相结合的特点	处理效率高, 占地面积小, 适应性强, 处理制药废水时有机负荷一般介于 UASB、EGSB 反应器之间	适用于含盐较低的有机废水处理
厌氧内循环反应器 (IC) 处	IC 反应器高径比一般可达 4-8, 反应器的高度达到 20m 左右。整个反应器由第一厌氧反应室和	IC 反应器容积负荷 10-30kg/m ³ ·d, 抗冲击负荷能力高, COD 去除率	适用于处理污染物以碳氢化合物为

技术名称	应用原理	技术特点	备注
理法	第二厌氧反应室叠加而成。每个厌氧反应室的顶部各设一个气、固、液三相分离器	60-80%	主的高浓度有机废水
折流板反应器 (ABR) 处理法	ABR 反应器中使用一系列垂直安装的折流板, 使水流在反应器内的流径和总长度增加, 生物固体被有效的截留在反应器内, 从而达到较好的处理效果	ABR 具有较强的耐浓度冲击能力和对毒物冲击适应能力, 稳定性好; 构造简单、能耗低、投资省	适用于处理可生化性较差的高浓度难降解有机废水
高浓度复合生化反应器	结合“叠片展开式蜂窝状微生物载体技术”、“厌氧缺氧高效搅拌技术”、“填料生物膜-活性污泥复合技术”和“曝气池泡沫控制和消除技术”	生物载体包装、运输和仓储方便, 费用低。适用于 COD 不高于 5000mg/L 的难降解有机废水, COD 容积负荷约为 1.5kgCOD/(m ³ ·d)	适用于可生化性较差的高浓度难降解有机废水处理及回用
传统活性污泥法处理法	在曝气条件下, 利用活性污泥的生物凝聚、吸附和氧化作用, 分解去除污水中有机污染物的处理技术	具有工艺稳定, 有机物去除率高等优点, 但容积负荷较低, 占地面积、基建投资和动力消耗大, 抗冲击负荷能力较差	适用于处理净化程度和稳定性要求较高的低浓度有机废水
接触氧化法处理法	在曝气池中装入填料, 利用填料表面生长的生物膜和悬浮活性污泥中微生物的联合作用净化污水	固定微生物种类多、食物链长, COD 去除率一般较高, 可达 90-95%, 氨氮硝化作用较强, 对于难降解有机物也有一定处理效果	适用于在较低负荷下处理出水指标要求较高的低浓度有机废水
膜生物反应器 (MBR) 处理	将高效微滤或超滤膜分离技术与传统生物处理法结合在一起的处理技术, 以膜组件取代传统二沉池, 以达到更好的固液分离效果	占地面积小, 耐冲击负荷强, 污泥产量少。COD 去除率较一般处理工艺高, 在 90%以上	适用于出水水质要求较高的有机废水处理
曝气生物滤池 (BAF) 处理法	BAF 集生物氧化和截留悬浮固体于一体, 污水通过滤料层, 水体含有的污染物被滤料层截留或吸附, 并被滤料上附着的生物降解转化, 同时所产生的污泥保留在过滤层中	有机负荷高, 占地面积小。对进水悬浮物要求较严, 反冲洗水量较大	适用于有机废水深度处理, 进水悬浮物要求一般小于 60mg/L
水解酸化处理法	水解酸化工艺能够将不溶性有机物水解为溶解性有机物, 将难生物降解的大分子物质转化为易生物降解的小分子物质, 从而改善废水的可生化性	水解酸化对 COD 的去除率不一定很高, 但可使废水的可生化性显著提高, 抗冲击负荷能力强, 停留时间短, 投资	适用于高浓度有机废水生化处理的厌氧前处理

技术名称	应用原理	技术特点	备注
		及运行费用低	
臭氧氧化法	用臭氧作氧化剂对废水进行净化和消毒处理的方法	优点是反应迅速，流程简单。缺点是目前生产臭氧的电耗仍然较高，同时需要加强对气水接触方式和接触设备的研究，提高臭氧的利用率	适用于含有酚、氰等物质的高毒害废水。也适用于难降解废水的预处理
移动床生物膜反应器 MBBR 处理技术	通过向反应器中投加一定数量的悬浮载体，每个载体内外均具有不同的生物种类，这样每个载体都为一个小微型反应器，使硝化反应和反硝化反应同时存在，填料在反应器内混合液回旋翻转的作用下自由移动，从而提高了	MBBR 反应器既具有传统生物膜法耐冲击负荷、泥龄长、剩余污泥少的特点，又具有活性污泥法的高效性和运转灵活性	多级联用可处理高浓度废水，同时具有一定脱氮效果好

3.2.2 大气污染治理技术

医化生产过程中产生的废气包括无机废气、有机废气、恶臭(含发酵废气)、沼气和含尘气体。各类废气污染物治理技术不同，具体如下：

3.2.2.1 无机废气处理技术

医化生产过程中，调节 pH 值和其他使用盐酸、氨水等的工序，会有氯化氢、氨等的部分挥发，产生无机废气。针对无机废气的治理，常用的技术包括冷凝法处理技术、酸碱吸收法处理技术、降膜法处理技术，具体见表 3.2.2-1。

表 3.2.2-1 无机废气处理技术的原理和特点

技术名称	应用原理	技术特点	适用对象
冷凝法处理技术	利用物质在不同温度下不同饱和蒸汽压的性质，降低系统温度或提高系统压力，使处于蒸汽状态的污染物从废气中冷凝分离出来的方法	所需设备操作条件简单，回收物质纯度高，但废气处理效率不高	适宜高浓度 HCl 废气治理
降膜法处理技术	以水为吸收剂，用降膜式吸收器吸收 HCl 废气	吸收效率高、吸收强度高、操作稳定、控制方便	适宜高浓度 HCl 废气治理
酸碱吸收法处理技术	使用酸性或碱性吸收液吸收废气中的碱性或酸性成份，使其与废气分离的方法	适用范围广，对废气浓度限制较小；但产生的废吸收液可能造成二次污染，需要进一步处理	适宜较大气量无机废气治理

3.2.2.2 有机废气处理技术

医化生产过程产生的有机废气主要来自于合成、提取和精制等生产工序的反应、萃取分离、溶剂蒸馏回收以及输送、存储等过程，根据废气污染物的组分和性质、浓度、温度等不同，适用的处理技术不同，具体见表 3.2.2-2。

表 3.2.2-2 有机废气处理技术的原理和特点

技术名称	应用原理	技术特点	适用对象
直接燃烧法处理技术	将废气中的有机物作为燃料烧掉或将其在高温下进行氧化分解的方法	净化效率高，可回收一部分热量，但不能对有机废气进行回收，而且需消耗一定的能源，处理含氯废气时燃烧后的废气易形成二噁英二次污染	适宜中、高浓度且无回收价值或有一定毒性的有机废气治理
催化燃烧法处理技术（RCO）	在催化剂的作用下，使废气中有机成份在温度较低条件下氧化成 CO ₂ 和 H ₂ O 的方法	可以降低有机废气的起始燃烧温度，但不能对废气中有机成份进行回收	适宜各种浓度、无回收价值的有机废气治理
吸附+脱附催化燃烧处理技术	结合吸附净化，脱附再生并浓缩有机废气和催化燃烧的原理，即将有机废气通过活性炭吸附达到净化空气的目的，当活性炭吸附饱和后再利用热空气脱附使活性炭得到再生，脱附出浓缩的有机物被送往催化燃烧床进行燃烧，有机物被氧化成 CO ₂ 和 H ₂ O	对大风量，低浓度有机废气净化效率高，燃烧产生的热量可回收利用，但不能对废气中有机成份进行回收	适宜低浓度、无回收价值的有机废气治理
蓄热氧化燃烧技术（RTO）	将蓄热体加热后通入空气，将由燃烧室出来的高温气体热量蓄留，并预热进入蓄热床的有机废气，使预热到一定温度的有机废气在燃烧室发生氧化反应，生产二氧化碳和水，达到废气净化的目的	具有净化效率高、设备简单、自动化程度高、操作方便，不存在氮氧化物污染等优点，但投资成本较高	适用于气体流量大、废气成分变化大，中浓、高浓有机废气治理
吸附法	使用活性炭、碳纤维等合适的吸附剂对废气中有机成份进行物理吸附，使其从废气混合物中分离的方法	具有结构简单、性能稳定、维护管理容易、适用范围广等特点，但废吸附剂如果处理不当，会造成二次污染	适宜浓度< 8000mg/m ³ 、湿度< 50%的有机废气处理
吸收法	使用溶液、溶剂或清水吸收废气中的目标成份，使废气污染物从气相	对废气浓度限制较小，产生的废溶剂、	适宜较大风量、尤其是含

技术名称	应用原理	技术特点	适用对象
	转移到液相，而达到净化目的	溶液、废水需要进一步回收或处理，避免造成二次污染	有颗粒物的水溶性有机废气处理
冷凝法	利用物质在不同温度下的饱和蒸汽压不同，通过降低温度或提高压力，使蒸汽状态的废气中挥发性有机成份冷凝分离出来的技术	所需设备操作条件简单，回收物质纯度高，但废气处理效率不高，该技术常采用多级组合形式或作为燃烧、吸附等净化方法的前处理	适宜高浓度、沸点大于38℃的有机废气预处理
有机废气生物处理技术	利用附着在滤料介质中的微生物吸附分解废气中的有机物，将其转化为 CO ₂ 、H ₂ O 和细胞物质等的方法。有机废气的生物处理可分为生物滤池法、生物滴滤法和生物洗涤法	操作简便，处理成本低，无二次污染，处理效率较高	适用于低浓度有机废气的治理

3.2.2.3 恶臭及沼气气体处理技术

医化生产过程中产生的恶臭气体主要来自生产环节和污水处理系统，如发酵废气等。沼气主要来自污水站污泥厌氧阶段产生。常用的恶臭及沼气气体处理技术包括生物法、低温等离子法、NaClO+水吸收法、臭氧分解等，具体见表 3.2.2-3。

表 3.2.2-3 恶臭及沼气气体处理技术的原理和特点

技术名称	应用原理	技术特点	适用对象
生物法处理技术	利用生物的代谢活动，使恶臭物质氧化降解为无臭物质。恶臭污染物与水接触，溶于水转化为液相中的分子或离子。溶液中的恶臭成份被微生物吸附、吸收，恶臭成分从水中转移至微生物体内。进入微生物细胞中的有机物在各种细胞内酶的催化作用下，被微生物氧化分解，最终转化为 H ₂ O 和 CO ₂ 等稳定的无机物	运行管理简单，处理成本低，无二次污染，但效果不够彻底、稳定	适宜以水溶性为主、易生物降解的恶臭气体治理

技术名称	应用原理	技术特点	适用对象
NaClO+水吸收处理技术	采用 NaClO 和水作为吸收剂对发酵尾气进行两级喷淋吸收治理	浓度限制较小，产生的废吸收液可能造成二次污染，需要进一步处理	可适宜发酵尾气治理
臭氧分解法处理技术	臭氧分解法是利用高能臭氧气体的强氧化作用裂解有机废气、恶臭气体成份的化学键，使其降解转变成低分子化合物，如 CO ₂ 、H ₂ O，达到净化、脱臭及杀灭细菌的目的	工艺流程简单、操作简便，无二次污染产生，处理成本低	适用于中低浓度有机废气、恶臭气体的治理
吸收法处理技术	技术原理和特点同前。适宜大风量、以水溶性恶臭成份为主的恶臭气体治理		
吸附法处理技术	技术原理和特点同前。适宜多组分恶臭气体治理		
干法脱硫处理技术	通过含有氧化铁的填料层，其中硫化氢与氧化铁反应生成硫化铁的一种脱除硫化氢的方法	脱硫效率高，工艺过程简单，能耗低，但需要及时更换填料以确保效果	适宜气量较小、硫化氢浓度 <5g/m ³ 的沼气净化
湿法脱硫处理技术	以碱性溶液为吸收剂，加入载氧体催化剂，在脱硫塔内与沼气废气逆流接触吸收并氧化其中的硫化氢，产生单质硫，而后在再生设备中利用空气中的氧将被还原的催化剂氧化，恢复催化活性，循环利用	运行费用低，脱硫效率高，但操作管理要求较高，产生的废吸收液可能造成二次污染	适宜高浓度含硫沼气废气的净化
沼气生物脱硫技术	沼气生物脱硫技术是指含硫沼气中的硫化氢在微生物的作用下氧化生成单质硫，从沼气中脱除的技术。生物脱硫技术包括生物过滤法、生物吸附法和生物滴滤法	该技术产生污染少，能耗低，不需要催化剂和氧化剂，处理效率 > 90%，但过程不易控制，条件要求苛刻	适用于低浓度含硫沼气的处理

3.2.2.4 含尘废气处理技术

医化生产过程产生的含尘废气主要来自干燥、压片、填充等生产工序，常用治理技术包括旋风式除尘技术、袋式除尘技术、水膜除尘技术等。各技术原理、特点和适用对象，具体见表 3.2.2-4。

表 3.2.2-4 含尘废气处理技术的原理和特点

技术名称	应用原理	技术特点	适用对象
------	------	------	------

旋风除尘处理技术	利用旋转的含尘气流所产生的离心力，将颗粒污染物从气体中分离出来的技术	投资成本低，可用于处理高温、高压、腐蚀性含尘气体；除尘效率 70-90%，可与其他技术联合使用	适宜粒径 > 8 μm 的制药粉尘治理
袋式除尘处理技术	利用纤维织物的过滤作用对含尘气体进行净化	适用范围广，除尘效率 > 99%。收集的粉尘可作为原料回收或固体废物处置	适宜粒径 > 1 μm 的制药粉尘治理
水膜除尘处理技术	粉尘颗粒通过与水雾碰撞、凝聚成大颗粒后被除掉，或通过惯性和离心力作用被捕获	投资、运行成本低，能够捕集易燃易爆物；除尘效率 70-90%，可与其他技术联合使用	适宜粒径 > 5 μm 的制药粉尘治理
静电除尘技术	含有粉尘颗粒的气体，在高压电场作用下，由于阴极发生电晕放电、气体被电离，带负电的气体离子，在电场力的作用下，向阳板运动，在运动中与粉尘颗粒相碰，则使尘粒荷以负电，荷电后的尘粒在电场力的作用下，亦向阳极运动，到达阳极后，放出所带的电子，尘粒则沉积于阳极板上，而达到除尘目的	净化效率高，能够捕集 0.01 微米以上的细粒粉尘；阻力损失小，和旋风除尘相比，用电少；允许操作温度高；处理气体范围量大；可实现操作自动化；净化效率受气体温度和湿度影响	对粉尘比电阻有要求，一般适宜的比电阻范围为 $10^4\text{-}10^{11}$ $\Omega\cdot\text{cm}$

3.2.3 固体废物防治技术

3.2.3.1 发酵菌渣处置技术

发酵菌渣包括菌丝体和残余培养基，根据国家相关法规政策，要求生产抗生素类药物产生的菌丝废渣应作为危险废物处置；生产维生素、氨基酸及其他发酵类药物产生的菌丝废渣经鉴别为危险废物的，应作为危险废物处置。经鉴别不属于危险废物的发酵菌渣，目前常用处置方式为干燥加工处理后作为饲料或饲料添加剂，或作为肥料进行综合利用。

对发酵菌渣的处理主要是以下两种技术：

1) 热水解+菌渣、污泥联合厌氧消化集成技术

热水解处理使菌渣中部分有机物发生溶解和水解，大幅削减菌渣中的抗生素残留和凯式氮，有效减轻对厌氧消化的影响。热水解后的菌渣与废水处理产生的剩余污泥联合进行固体化厌氧消化，将有机质转化为沼气，并彻底消除抗生素残

留，沼渣经鉴别后如非危险废物，可用于生产有机肥。

2) 菌渣炭化处置技术

菌渣通过干燥、干馏、活化、冷凝、再燃烧、尾气处理等工艺过程，每百公斤干菌渣可以生产 60 公斤活性炭，10 公斤焦油，从而实现药渣资源化利用。应用示范于青霉素或土霉素菌渣无害化、资源化的处置。

目前对发酵菌渣的处理技术还较少，也不是很成熟，鼓励开发发酵菌渣在生产工艺中的再利用技术，以及无害化处理技术、综合利用技术。

3.2.3.2 污泥处理处置技术

废水处理过程中产生的剩余污泥脱水技术包括：浓缩、压滤脱水、真空脱水、干化等。经脱水后的污泥按照《国家危险废物名录》和《危险废物鉴别标准》进行识别或鉴别，非危险废物的按一般废物处置。

3.2.3.3 废溶剂处理处置技术

成分较简单的废溶剂建议优先考虑综合利用，现有的综合利用方法主要是溶剂再生和燃料利用。溶剂成分简单且主要成分比例较高的一般采用蒸馏(精馏)、过滤、简单蒸发、离心、吹脱(气提)等分离法对溶剂进行再生；有些废溶剂中含高热值的可燃性物质，可作为燃料使用。即按一定的配制规则混合调配或将废物与煤或者燃料油混合调配成燃料，用于共焚烧时的补充燃料。

3.2.3.4 其他废物处置技术

医化行业产生的其他废物还包括：高浓度釜残液，废药品、废试剂原料、含有或者直接沾染危险废物的废包装材料、废滤芯（膜），除尘设施捕集的不可回收的药尘，废活性炭等。按国家相关政策法规，上述废物均为危险废物。一般送危险废物处置厂焚烧处理，鼓励有条件的企业自建气、液、固一体化的焚烧装置。

4.医化行业节能降碳技术

4.1 工艺系统

4.1.1 发酵类

1.根据发酵系统用气工况，应合理配置压缩机单台供气能力及供气压力，应使空气压缩机在最佳工况范围内运行，减少波动，寻求供气和需求的平衡，合理选择压缩空气输送风速和管道管径及阀门、弯头的配置，减少风阻管损，可设置

压缩空气自动空气疏水阀排水，提高分水效果，减少分液排气漏气损耗。

2.应设置换热设备充分回收空压机高温排气热能。

3.发酵工艺应选择高效菌种，优先采用连消技术，加强热量循环利用，减少消毒蒸汽消耗量；好氧发酵应合理运用喷旋通气技术，充分利用发酵空气能量，减少搅拌功率。

4.可通过管线系统配置，合理利用发酵灭菌后冷却热水的余热，减少循环冷却塔用量，减少水分蒸发。

5.应采用高传热性能结构的发酵罐及高效空气分布器内件（如射流装置、环形进气管）、优化搅拌形式和转速，优化气液比例设置，提高溶氧水平。可采用流体动力学模拟等现代手段优化发酵罐结构，提高发酵罐综合节能效率。

4.1.2 合成类

1.尽可能选择低毒环境相容性好、污染小、安全、易生物降解的工艺原料路线，采用低能耗、反应收率高、副反应少、反应条件温和、三废产生量少的合成工艺路线。

2.可通过结合主要元素分析，实现一定范围内元素的循环利用和产业上下游延伸，按照减量化、再利用、循环化的要求进行设计、补链，实现产业链上下游的耦合和一体化，减少了中间环节的资源排放浪费，实现产业节能减排。

3.宜首先选择绿色溶剂，如水、超临界流体、离子液体等，其次考虑高适用性、回收能耗低的溶剂，减少或避免有机溶剂分离提纯能耗及 VOC 等碳排。

4.宜采用全流程或部分生产连续化生产工艺，包括连续化反应、精馏、吸附、脱附、分层分离、浓缩、结晶、干燥等技术，通过热交换方式实现工艺系统内能量回收、循环利用。

5.对于整个工艺能量平衡系统，可采用夹点技术对换热网络单元进行优化、合理匹配和设置换热设施，提高能源转换效率。

4.2 生产单元

4.2.1 反应系统

1.根据反应特点宜采用连续化反应器便于能量交换利用，可选择釜式串联、固定床、管道式、微通道连续流反应器等新型反应工艺设备。反应条件适宜的可

考虑采用微通道反应器，利用微通道反应器超高的传质传热效率，减少溶剂等物料的配比，减少反应时间、减少能量消耗，提高反应效率和反应选择性。

2.对于复杂反应，可通过选择活性高、选择性好，反应条件温和的催化剂，加快主反应速率，抑制副反应，提高目的产物的收率，减少分离成本。

3.反应釜设计宜采取热力学分析、流体模拟等现代设计手段，根据反应机理、流体介质理化特性，优化反应釜几何尺寸设置，配置节能型搅拌结构形式及电机，取得最佳反应收率和合理功率配置。

4.2.2 精馏系统

1.精馏系统可通过设置预热器、中间热交换器等方式，利用塔顶介质热量用于塔原料预热或再沸器加热热源；多组分精馏分离可考虑采用连续多塔精馏工艺，耦合利用各塔物料冷热量在精馏系统的能量平衡利用和回收。

2.宜结合场地、规模情况选择采用蒸发式冷却器、风冷式冷却器在工艺精馏系统的应用，减少循环水使用量。

3.低沸点溶剂可适加压精馏，减少高品质冷热源的使用。

4.可采用热泵技术回收实现精馏系统的热量回收，实现系统内能量的循环利用。

5.优化精馏工艺，精馏塔应从节能的角度选取较小的回流比。

4.2.3 分离

1.液液萃取在工艺条件允许情况下宜选择采用塔式或离心萃取机等高效连续萃取设备，提高混合萃取、再分离效果。

2.根据需分离物质的不同分子尺寸或分子和膜材料之间的溶解扩散性能差异，可采用合适的膜材料进行分离、提纯、除杂。

3.固液悬浮液分离可先考虑重力沉降浓密设备进行澄清分离，减少后续机械分离能耗。

4.两种非互溶性液体的分离可采用设置一级或多级静止分层器利用密度差进行自动分离分切，减少动力消耗。工艺条件允许的可考虑采用旋液分离器等低能耗分离设备进行液体澄清、固体颗粒的洗涤分离、液液分离。

4.2.4 浓缩结晶

1.工艺物料、母液等蒸发浓缩应优先采用多效蒸发浓缩器、MVR 蒸发器等高效节能装备，充分利用系统产生的冷凝水、二次汽及乏汽的热能。

2.在工艺生产允许的情况下，可选择集蒸发浓缩、结晶、分液于一体的新型连续结晶设备。

3.下一道工序需干燥的固体湿物料，宜根据物料性质选择采用离心甩干、压力过滤、压榨、制粒等方式降低、稳定物料的湿含量，便于传热，减少干燥能耗。

4.2.5 干燥

物料的干燥应选择采用总热效率高、单位蒸发量耗能低的节能型干燥器，当被加热介质允许，干燥系统优选采用传导给热干燥器；对于采用热风干燥的系统，宜根据大气湿度情况采用适当方法降低大气湿度，并宜设置热交换器或热泵回收废气带走的热量。

4.2.6 资源综合利用

1.应进行工艺系统冷热量计算分析，做好内部反应热、余热余压等综合平衡利用，可采用废热锅炉、蒸汽冷凝水闪蒸、热交换、节流膨胀等技术回收热、冷量。

2.液氮、液氨、液氯、液化天然气等液化气体的气化工序宜设置冷量回收设施。

3.空气压缩机、工业气体压缩机宜设置油气热量双回收方式回收气体压缩过程产生的热量。

4.2.7 车间布置节能原则

1.车间布置应遵循原材料运输、公用工程供应及生产工艺流程的顺序，以保证生产的连续顺畅且合理，使原料到产品的路径最短，以节约能源。

2.车间设备布置时应考虑利用位差垂直流布局，以节约动力及投资费用。

3.对经常发生联系的设备应尽量就近布置，便于操作，并减少管线布置的长度和输送能耗。

4.无洁净要求和环境温度要求的生产厂房，在满足生产操作及安全的条件下宜考虑采用半敞开或全敞开布局，节约通风能耗。

5.根据精馏塔高度等规格及塔顶物料采出情况，可考虑采用塔顶冷凝器一体

化布置方案，减少回流冷凝液的输送能耗。

4.2 生产设备

1.设备设计选型应选择采用《国家工业和信息化领域节能技术装备推荐目录》的设备，严禁采用《高耗能落后机电设备（产品）淘汰目录》内的机电设备及《淘汰落后安全技术装备目录（2015 年第一批）》、《淘汰落后安全技术工艺、设备目录（2016 年）》、《淘汰落后安全技术工艺、设备目录（2021 年）》工艺技术和设备。

2.对机械负载经常变化的电气传动系统，应采用调速运行的方式加以调节，调速运行方式主要有变频调速、变极调速、电磁调速和调压调速，应根据系统特点和条件通过综合经济分析比较后确定，功率在 200kw 及以上，宜采用高压电动机，恒负载连续运行，功率在 250kw 及以上，宜采用同步电机（如选用磁悬浮空压机、磁悬浮冷水机组等），电机选用宜采用符合现行国家能效标准 2 级能效及以上的电动机。

3.泵类及液体输送系统指标应不低于《清水离心泵能效限定值及节能评价值》（GB19762）、《离心泵、混流泵与轴流泵系统经济运行》（GB/T13469）的相关要求。

4.泵的电机应尽可能采用变频电机，选择运行参数合适、节能型泵是简单、有效、切实可行的节能方法，应依据设计计算来分析管网和负荷特性，依据设计要求的流量和压力参数来选泵。泵的流量和扬程应有 10%~20%的富余量。当流量较大时，宜考虑多台并联运行，并联合数不宜过多，一般不超过 3 台，并设置一台变频泵。多台泵并联运行时，应选择同型号泵。多台并联运行的泵，应考虑部分台数运行时，系统工作状态点变化对泵工作点的影响，并采取应对措施。

5.换热器应根据系统特点和条件通过综合经济分析比较，优先选用高效、低压降的螺旋缠绕管新型换热器、板式换热器、螺旋板式换热器，提高换热效率，减少能耗。

6.项目压缩机选用应达到《容积式空气压缩机能效限定值及节能评价值》（GB19153）中 2 级及以上能效要求。

7.乙二醇冷冻机、离心冷水机组等大功率（250-300KW 以上）设备采用 10kV

高压电机，提高电机效率，减少变压及线路损耗，节约电能。

8.冷冻机、冷水机组能源效率（COP）/（W/W）应达到《冷水机组能效限定值及能源效率等级》（GB19577）中的2级及以上指标要求。

9.燃气有机热载体炉宜采用富氧燃烧技术，促使燃烧完全，降低空气过剩系数。宜设置换热设备回收烟气热能。

10.有机热载体炉热效率应符合《有机热载体炉运行能效限额及监测技术要求》（DB33/T974）中表1运行能效准入值的要求。

11.应用场景为连续运行且带减速机、藕合器的传动系统，可采用低速直驱和高速直驱式永磁电机。

4.3 三废智慧化管理平台

建设三废处理设施数字化管控平台，利用大数据、云计算、互联网等新一代信息技术，建立工业三废智慧管理平台，形成感知、监测、预警、应急等能力，实现全方位三废排放数据的过程检测、监控、统计和考核，对泵、阀门、风机、转刷、搅拌、刮泥机等用电设备进行智能化动态管控和能耗分析智能化调节，提高节能环保效率，实现节能减碳的目标。

4.4 公共工程

4.4.1 制冷系统

1.制冷设备的选用

冷水机组应选择符合《冷水机组能效限定值及能效等级（GB19577）》规定的2级能效及以上的。综合考虑项目全天用能情况，合理设置冰/水/冰浆蓄冷（峰运行），采用夜间制冷，白天供冷，降低装机容量的设置。宜综合利用企业蒸汽凝结水、二次蒸汽通过溴化锂吸收式制冷机组制冷。制冷系统设计应与企业用能统一考虑，有效利用热回收系统能量制冷。应选择采用蒸发冷却式冷水（热泵）一体化机组制冷。有条件的地方可选择采用太阳能制冷系统，太阳能空调制冷技术途径包括：太阳能转换为热能，利用热能供热制冷；太阳能转换为电能，利用电能驱动相关设备。

2.供冷供热输配系统方案

供冷供热输配系统宜根据供应系统和用能单元布置情况进行节能比较后选

择集中供冷供热输配方式或分布式供热、供冷输配系统，减少输送能耗，提高供冷供热稳定性。供热系统应根据工艺生产要求，配置不同温度等级的供热供冷系统；防止“高热低用”。

4.4.2 电气

1.供配电系统节能设计

优化供配电系统的布局，降低线损率，变配电系统采取集中和就地补偿相结合的补偿方式，无功补偿采用集中无功补偿方式，应采用专用无功补偿柜，由智能化控制器根据用电负荷的变化，实时进行自动补偿，功率因数达到0.95以上，变压器应设置在负荷中心，以缩短管线，减少线损。

网络配置包括力求电网相间平衡，应选用低能耗导线，减小线网损失，对于200kw及以上的大电机，宜采用高压直驱，提高电能利用率。

变配电间应加强通风降温条件，以控制变压器的工作温度，减少变压器损耗。

变配电间设置应尽量接近负荷中心，可通过设置区域开关站、变配电所等方式，减少线路的损耗。甲乙类火灾类别的车间用电宜由区域变电所供电，丙类及以下火灾类别的建筑物内部设变配电间供建筑本身及附近设施供电。

2.变压器的选择和布置

应选用高效节能型变压器，容量配置应使变压器的实际负荷接近设计的最佳负荷，减少变压器能耗，变压器设计优化，空载损耗低，达到《电力变压器能效限定值及能效等级》（GB20052）中2级能效及以上要求，变压器容量负载率宜控制在75-85%的运行状态。

3.照明系统设计

工作场所的照度标准值符合《建筑节能与可再生能源利用通用规范》（GB55015）的相关规定。建筑及道路照明应采用节能型灯具。

各生产场所在照明设计时要充分考虑利用自然光，建筑物开窗面积和室内表面反射系数应符合《建筑采光设计标准》（GB/T50033）的规定。

设计应根据使用场所和周围环境对照明的要求及不同光源的特点，选择合理的照明方式。在保证照明质量的前提下，优先选用光效高、显色性好的光源及配光合理、安全高效的灯具。按照绿色照明的要求，照明系统（除特殊需要外）的灯具均采用LED节能型灯具，以降低电力消耗。光源显色指数 $R_a > 60$ ，

色温应在3300K~5300K之间。各房间的采光系数或采光窗地面积比符合《建筑采光设计标准》GB/T50033的规定。光源类型为LED灯，功率因数不小于0.93。主要功能间照度标准及照明功率密度依据GB55015要求执行。照明系统控制宜分区控制，时空、光控结合的方式。

1.电气再生能源的应用

路灯应优先采用光伏太阳能路灯。项目设计应合理设置光伏发电系统，宜在非甲乙类易燃易爆建筑物楼顶空地安装太阳能光伏发电系统。

2.电气系统的控制

水泵、风机及电热设备应采取节能自动化控制措施。对于建筑空调系统、给排水系统、电梯以及生产用电设备，主要应通过合理科学的控制方式以及采用变频等节能设备来达到电气节能的目标。季节性负荷、工艺负荷卸载时，为其单独设置的变压器应具有退出运行措施。在提高自然功率因数的基础上，应在负荷侧合理设置集中与就地无功补偿设备，保证最大负荷时功率因数不低于0.9，低负荷时不产生过补偿，针对用电设备的非线性负荷产生高次谐波，损害电能质量，根据系统条件和特点采取安装滤波器、调谐电抗器、保持三相负载/电压平衡等措施抑制高次谐波；针对用电设备的冲击负荷及波动负荷，引起电压波动、闪变，应采取增加供电设备容量、增大导线的截面、缩短供电半径、构成合理的负荷矩、减少供电阻抗引起的电压损失等措施限制冲击和波动。

3.光伏储能系统

在条件允许的情况下可考虑建设光伏储能系统。由于光伏输出功率具有很强的波动性、随机性，光伏电力的不稳定性严重制约了光伏电力的接入和输送。储能技术可以实现削峰填谷、负荷跟踪、调频调压、电能质量治理等功能。光伏储能系统还可以在光伏电站遇到弃光限制发电时将多余电能存入储能电池内，光伏发电量低于限幅值或晚上用电高峰时通过储能逆变器将电池内电能送入电网，储能系统参与电网削峰填谷，储能系统还可利用峰谷电价差创造经济效益，提高系统自身的调节能力，作为解决可再生能源发电接入电网的一种有效支撑技术。

4.4.3 给排水

1.供水系统

应合理分区设置供水管网系统，减少输送管道损失；选取经济流速做好系统水力计算，降低输送泵输送功率。

循环供水系统，可根据用水点不同的水压要求，分设高低压供水系统，减少高压供水系统供水量。

生产生活加压提升设备宜选择变频恒压供水设备（带稳压罐）；循环水泵应采用高效离心泵、双吸泵，根据工况情况 设置一定的变频电机；应选择新型节能型冷却塔，优先选用无填料喷雾 推进式冷却塔、水轮驱动风机冷却塔、节水消雾冷却塔；冷却风机宜选择永磁直驱电机。

主要管材选择，给排水系统管材在室内尽可能选用国家推荐的 聚丙烯 PPR给水管，UPVC（不耐温）、HDPE及ABS排水管等新型优质塑料管材，减少阻力，节省能源。

选用的卫生洁具应符合《节水型生活用水器具》的要求，卫生洁具及配件采用节水型，洗手盆龙头可采用红外感应龙头，小便器冲洗阀可采用感应式冲洗阀，坐便器可采用6L两档水箱，蹲便器可采用液压脚踏阀。淋浴热水尽可能采用太阳能热水系统制备。厂区绿化宜采用雨水回用、中水回用系统。绿化浇灌可采用节水微喷灌系统。

2.提高水利用率

根据用水工况，应考虑分质供水，设置中水回用设施；

循环水系统可采用电化学循环水处理技术、加化学药剂等，减少补水量和排水量；冷却水循环水比例应达到98%以上。

可采用干湿结合闭式循环塔、循环冷却水空冷节水装置消雾塔等设施节水。

3.可再生能源在供水系统的应用

根据GB 55015要求，应设置太阳能热水系统，考虑空气源热泵制备生活热水等可再生能源供热系统。

对主要车间的用汽设备如空调、工艺间接加热器所产生的低压冷凝水，宜采用间接换热制备热水回收热量后，降温后的冷凝水可回用至循环水补水或锅炉制汽系统等。

4.智慧用水管理体系

应设置供用水计量体系和在线监测系统，强化生产用水管理。建设智慧用水管理系统，构建工业水处理大数据管理平台及工业供水设施及管道漏损报警平台。

耗能大的循环水泵和风机应实行变频智能控制，变频调速器内置PID调节运算功能，应能按需自动调速，实现管网水压实时调节的平稳恒定。

4.4.4 建筑

1.建筑主要节能标准：新建、扩建和改建建筑以及既有建筑节能改造工程的建筑节能与可再生能源建筑应用系统的设计、施工、验收及运行管理，应全面执行 GB 55015、GB 51245、GB50189、JGJ26、JGJ134、JGJ75 等规范标准的规定要求。

2.建筑节能设计要求与措施：建筑应选取合理的建筑朝向，建筑应有利于自然通风和冬季日照，建筑的主朝向宜选择本地区最佳朝向，且宜避开冬季主导风向。建筑设计应遵循被动节能措施优先的原则，充分利用天然采光、自然通风，采取合理的窗墙比，结合围护结构保温隔热和遮阳措施，降低建筑用能需求。建筑形体宜规整紧凑，避免过多的凹凸变化。应合理布局能源设备机房位置，缩短能源供应输送距离。

4.5 管道

4.5.1 蒸汽凝结水系统

1.应采用闭式蒸汽凝结水回收装置收集管道蒸汽凝结水，不应通过管道蒸汽凝液排放管排放，可采用疏水自动加压器（冷凝水自动泵）、高压凝结水喷射器等实现蒸汽凝结水的输送回收，闭式蒸汽凝结水回收装置应设置自动化控制系统，实现自动监测、连锁、报警及自动化调节功能。

2.根据蒸汽温度压力及疏水阀位置选择合适的疏水阀，对于外管道伴管蒸汽疏水及沿蒸汽管网疏水宜选用热静力式疏水阀。

3.可参考《石油化工工艺装置管径选择导则》（SH/T3035）要求选去安全、经济的管道流速，减少阻力损失。

4.外管道连接除阀门及车间进出口需要设置必要的法兰连接外，应采用焊接为主，避免泄漏。

5.高低温管线的保温保冷的选择计算及结构要求可依据《设备及管道绝热技术通则》(GB/T4272)、《设备及管道绝热设计导则》(GB/T8175)等要求进行,绝热结构的外保护层应有效防止雨水进入绝热层内。

4.5.2 管道保温系统

1.供热介质设计温度高于 50℃的管道、设备、阀门应予保温,保温层厚度在工艺无特殊要求时,应以经济厚度法计算保温层厚度,当经济厚度偏小并且散热损失超过最大允许散热损失时,应用最大允许热损失量的厚度公式进行校核。

2.为防止和减少冷介质及载冷介质在生产和运输过程中冷损失或温度升高的管道必须保冷,保冷厚度的计算为减少冷量损失的保冷层应采用经济厚度法计算厚度。

3.应采用节能型管托,做好隔热、隔冷,避免产生热、冷桥效应。

4.伴热管道:伴热管道设计安装可参照《石油化工管道伴热和夹套管设计规范》(SH/T3040)执行。特殊介质管道考虑伴热形式时,在保证伴热效果的情况下,应根据介质温度情况合理选用热水、蒸汽、导热油等伴热介质或者电伴热的形式。蒸汽疏水阀后凝结水应集中回收,每根蒸汽伴管应单独设置疏水阀,伴热蒸汽应从高点引入。

4.6 能源管理系统

1.企业宜构建智慧能源监控平台,实现以下主要功能:实现各用能单位的水、电、冷热、气等的能耗数据的全覆盖实时监测、统计分析。实现对主要耗能公用辅助设备及主要能耗工艺设备的动态监控,智能化诊断分析,为优化用能提出合理的能效提升措施。实现全方位三废排放数据的过程检测、监控、统计和考核,进行碳排统计、分析、计算。实现碳核算管理,为企业碳资产、碳交易提供支撑。

2.企业应将能源消耗计划任务分解到各个生产部门车间,使节能工作责任明确,促进企业能源管理稳定发展。

3.能源计量:自控仪表配置在满足工艺控制要求的前提下同时需考虑节能降耗控制减排要求,根据《用能单位能源计量器具配备和管理通则》(GB17167)要求,进行能源计量设施配置,对使用能源应进行三级计量配备,包括能源进出企业、主要次级用能单位、主要用能设备,除安装一级计量装置外,对用电量大于

或等于 10kw 的次级用能单位和用电量大于等于 100kw 主要用电设备(含用能单元)分别安装相应的二级和三级计量装置。应用精度高,量程比高的气体流量计用于仪表空气总管计量,可采用量程范围不同的流量计并联扩大量程比,或提高投资采用热式质量流量计。

5. 医化行业减污降碳协同环节

减污降碳协同方式主要包括源头减废降碳、过程减量控制、资源回收利用、末端高效治理等,实现医化行业全方位的绿色低碳转型升级,具体环节及措施见下表。

表 5.1-1 医化行业减污降碳协同环节

协同方式	协同环节	具体措施
源头减废降碳	车间布局	车间布置设计技术
	源头替代	原辅料替代技术
	能源结构	光伏发电、购买绿电等绿色能源利用技术
	生产工艺	采用合成生物学技术、酶催化、手性合成等绿色工艺
过程减量控制	储存过程	浮顶储罐、平衡管、氮封系统等减少储罐溶剂挥发的技术
	输送过程	储罐管道化计量投料、密闭式重力流投料、真空上料式投料、密闭重力流转料、管道正压泵转料等技术
	反应过程	连续流反应器技术、管式反应器技术等技术
	分离过程	膜分离、移动式连续离子交换分离等技术
	干燥过程	“离心/压滤-洗涤-干燥”三合一、真空、闪蒸干燥等技术
	工业过程	泄露检测与修复等技术
资源回收利用	溶剂回收利用	精馏、渗透汽化膜、冷凝技术等技术
	水资源回收利用	蒸汽冷凝水回收利用、浓水回收利用、高浓度废水资源化利用等技术
	余热资源回收利用	RTO 烟气余热回收利用、危废焚烧余热回收利用等技术
末端高效治理	废水处理	多相蒸发脱盐技术、空气悬浮风机技术、磁悬浮离心鼓风机综合节能技术等
	废气处理	蓄热 RTO 废气处理系统、大孔树脂吸附分离技术等
	固废处理	发酵菌渣处置、低温干燥技术、废活性炭再生技术等

6. 医化行业减污降碳协同技术

6.1 源头减废降碳技术

6.1.1 车间布置设计技术

(1) 技术特点介绍

车间以生产控制自动化、工艺流程密闭化、物料输送管道化、车间设计系统化、厂房设施一体化为总体要求，采用位差垂直流布局或密闭化设计，单元操作自动模块化、生产数据信息化和数字化，一方面可有效节约动力及投资费用，另一方面实现“投料-反应-分离-干燥-出料”全流程密闭化、管道化，有效减少了污染物排放。布置还应遵循原材料运输、公用工程供应及生产工艺流程的顺序，以保证生产的连续顺畅且合理，使原料到产品的路径最短，以节约能源，同时减少了环境风险。

(2) 技术适用范围

适用于化学原料药及医药中间体制造企业生产车间布置设计。

(3) 技术应用情况

某制药企业投资约 8000 万元，进行现代化多功能柔性生产车间建设，采用垂直重力流设计，液体物料管道输送、真空上料机等进行固体物料气流输送、投料隔离器+重力流模式进行物料输送，选用先进的 DCS 控制系统以及自动化 TCU 精准控温装置等，实现全流程密闭化、管道化，有效减少了废水、VOCs 等污染物的产生，企业初步测算可减少二氧化碳排放 1522 吨/年。

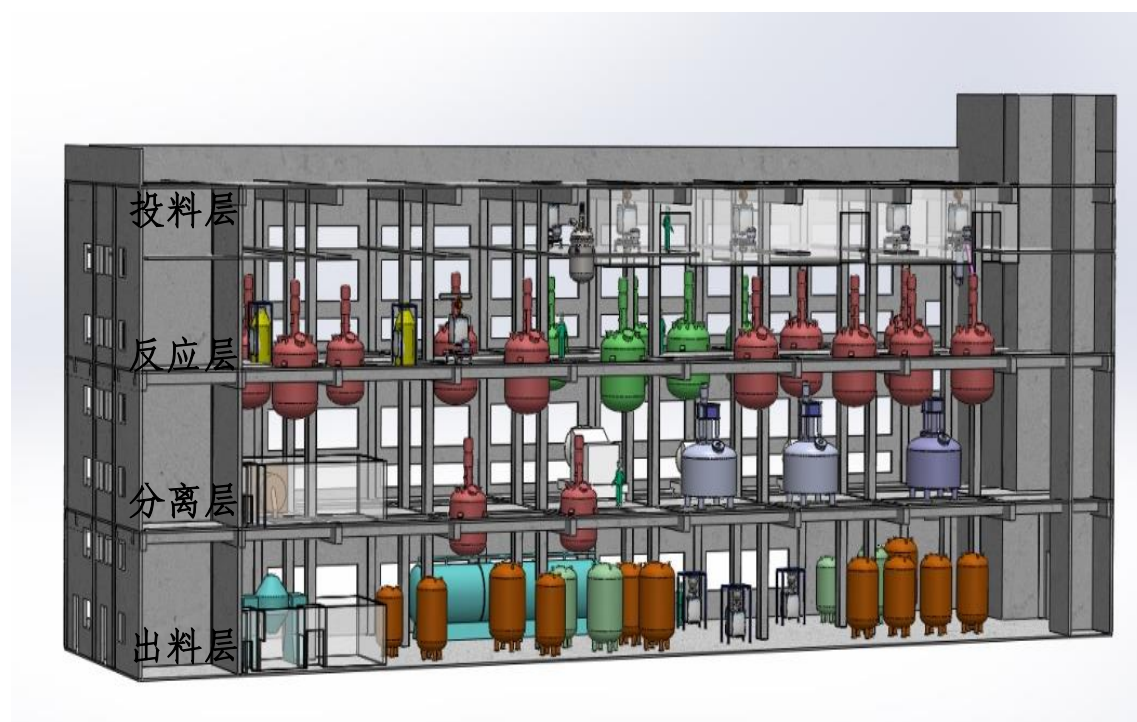


图 6.1.1-1 垂直重力流设计图

6.1.2 原辅料替代技术

(1) 技术特点介绍

应采用无毒、无害或低毒、低害的原辅料替代高毒和难以去除高毒的原辅料，以减少废物的产生量或降低废物的毒性。

可采取以下替代技术措施：

- a) 发酵类制药中维生素 C 生产结晶过程可采用水提取替代甲醇提取；
- b) 设备清场、消毒宜使用季铵盐、灭菌杀孢子剂等消毒剂，尽量减少甲醛的使用；
- c) 催化剂宜选择毒性低或活性持久的、不易流失的催化剂；
- d) 设备清洗时宜选用不腐蚀设备且本身易被清除的清洁剂；
- e) 宜使用无毒或低毒的环境友好型溶剂，尽量减少卤代烃和芳香烃的使用。

生产过程应减少含氮物质、含硫酸盐辅料、含磷物质、重金属等的使用，降低生产废水中的氨氮、硫酸盐、磷浓度，提高厌氧生化处理效果。

在工艺开发阶段应优先选择三类溶剂，控制二类溶剂，尽量避免或不使用一类溶剂。

(2) 技术适用范围

适用于化学原料药及医药中间体制造企业原辅物料选择，尤其是溶剂(介质)的替换原则。

(3) 技术应用情况

以阿司匹林的合成为例，采用水杨酸和醋酸酐为原料，分别在浓硫酸、吡啶、乙酸钠等催化剂的作用下制取阿司匹林，采用单因素法考察了反应温度和反应时间对产物收率的影响。实验发现以浓硫酸为催化剂，反应最佳条件为 75℃反应 30 分钟；以吡啶为催化剂时，在 80℃下反应 30 分钟可得到最大量的产物；而在乙酸钠催化下，只需在 55℃反应 50 分钟便可得到最高收率的阿司匹林。同时，通过比较不同催化剂的反应性能，发现在最佳反应条件下乙酸钠的催化效率最高，采用乙酸钠替代浓硫酸、吡啶作为阿司匹林的合成的催化剂，不仅有效提高了产物收率，减少了废物的产生，同时也大大降低了反应温度，节约了能源。

6.1.3 绿色能源利用技术

(1) 技术特点介绍

通过调整厂内能源使用结构，利用办公楼/厂房屋顶使用光伏发电，光伏发电是利用半导体界面的光生伏特效应而将光能直接转变为电能的一种技术。这种技术的关键元件是太阳能电池。太阳能电池经过串联后进行封装保护可形成大面积的太阳电池组件，再配合上功率控制器等部件就形成了光伏发电装置，可以为办公、员工日常办公供电。

此外，还可直接通过交易购买绿色电力，绿色电力是指在生产电力过程中，二氧化碳排放量为零或趋近于零，相较于其他方式（如火力发电）产生的环境污染较少或没有的电力。绿电的主要来源包括太阳能、风能、生物质能、地热能和海洋能（如潮汐能）等，这些能源是可再生的、清洁的，并且在发电过程中不会产生或很少产生环境污染。

(2) 技术适用范围

光伏发电适用于医化企业办公楼屋顶、仓库屋顶、停车场等场景，绿电电力交易则适用于所有医化企业。

(3) 技术应用情况

某制药企业建成 1.6MW 分布式光伏电站，并接入智慧光伏管理系统，依托电力大数据，加强微电网能源智慧运营管理，合理调度使用新能源，对光伏电站开展运行监测、故障预警、绿电/绿证交易等工作，实现企业屋顶光伏管理及智慧运维，提升光伏电站发电效率和能源管理水平。项目实施后，每年可减少二氧化碳排放 600t。



图 6.1.3-1 屋顶光伏发电示意图

6.1.4 绿色工艺技术

6.1.4.1 酶催化技术

(1) 技术特点介绍

酶催化技术替代化学法技术，原材料消耗少、毒性低，产生污染小。酶法制备头孢氨苄可避免使用二氯甲烷、丙酮和 2-萘酚等有机溶剂；相同规模的 6-APA 酶法生产可分别减少约 40%COD_{Cr}、10%NH₃-N 产生量，无总磷产生，减少硫酸雾挥发，原料消耗量降低约 65%。

(2) 技术适用范围

该技术适用于 6-氨基青霉烷酸（6-APA）、7-ADCA 、7-氨基头孢烷酸（7-ACA）、脱乙酰-7-氨基头孢烷酸（D-7ACA）、头孢西丁酸、头孢氨苄、头孢拉定、阿莫西林、头孢克洛、头孢丙烯、头孢羟氨苄等原料药产品及医药中间体生产的反应合成工序。

(3) 技术应用情况

某药业公司采用酶催化绿色工艺，配套生产设备管道化、密闭化、局部自动化改造，与化学合成法工艺对比，酶催化工艺步骤缩短两步，减少生产能耗和物料，可实现吨产品碳排放量下降约 36%。

某药业股份公司他汀类药物绿色合成关键技术应用标杆项目，采用生物催化技术，全新研发的他汀手型侧链合成工艺路线，实现他汀类药物的绿色高效清洁

生产。项目投产后，单位产品可减少蒸汽用量 30%，减少电力用量 17%，减少溶剂用量 40%，很好实现经济效益和环境效益的共赢。

6.1.4.2 发酵液直通工艺

(1) 技术特点介绍

可省去反萃、结晶等工序，物料、能耗大幅降低。采用发酵液直通工艺生产 7-ADCA，可省去丁酯提取、共沸结晶等高能耗、高污染的生产工序，能耗降低约 30%，COD_{Cr} 产生量减少约 25%。

(2) 技术适用范围

技术适用于以发酵液为原料直接生产 7-ADCA、6-APA 等产品。

(3) 技术应用情况

某制药公司开发了以发酵液直接生产的新工艺，打破了新菌种推广应用过程的瓶颈，省去原生产工艺多个高能耗、高污染的生产工序，大大减少了能耗、物料。

6.2 过程减量控制技术

6.2.1 物料储存过程控制技术

6.2.1.1 储罐气相平衡管技术

(1) 技术特点介绍

在储罐和槽车之间设置气相平衡管，采用气相平衡原理使呼吸尾气形成闭路循环，消除因压力变化产生的呼吸气，避免废气外排。

(2) 技术适用范围

适用于挥发性物料装卸。

6.2.1.2 储罐氮封-呼吸阀技术

(1) 技术特点介绍

储罐平时储存或出料过程中，因温度变化或罐内物料变化等导致罐内压力变化，会产生呼吸废气。氮封系统联合呼吸阀技术，能自动调节罐内压力的变化。其中氮封系统和呼吸阀的作用分别是根据设置的压力自动补充氮气和排出废气（至废气处理系统），确保系统内压力平衡，以此避免废气直接外排，造成大气污染。

(2) 技术适用范围

适用于挥发性物料储存。

6.2.1.3 浮顶罐储存技术

(1) 技术特点介绍

浮顶储罐是由漂浮在介质表面上的浮顶和立式圆柱形罐壁所构成。浮顶随罐内介质储量的增加或减少而升降，浮顶外缘与罐壁之间有环形密封装置，罐内介质始终被内浮顶直接覆盖，减少介质挥发。浮顶罐可分为外浮顶和内浮顶，内浮顶罐就是在拱顶罐的基础上里面加一层内浮盘漂在油面上面，外浮顶罐就是罐顶随着油面上下浮动。

(2) 技术适用范围

一般适用于挥发性物料储存，周转较频繁的低挥发性物料宜优先考虑浮顶储罐方式储存。

6.2.2 物料输送过程控制技术

6.2.2.1 储罐-管道化-计量装置-投料技术

(1) 技术特点介绍

在储罐区和车间反应釜之间实现管道化送料，并设流量计量装置，物料计量后输送至反应釜，自动化水平较高、废气产生量较少。

(2) 技术适用范围

适用于液体类物料。

6.2.2.2 密闭式重力流投料技术

(1) 技术特点介绍

在直接投料的基础上增加一个加料设备，并进行密闭化改进，加料时打开反应系统连接废气收集系统的阀门，使物料在重力作用下自动加入至反应系统。能有效收集加料过程逸出的废气。

(2) 技术适用范围

适用于固体类物料。

6.2.2.3 真空上料式投料技术

(1) 技术特点介绍

通过压缩空气使真空发生器产生高真空，产生负压状态，从而实现物料被吸入反应系统，具有混合均匀、结构简单、体积小、能实现自动化和密闭化控制、

废气便于收集等优点。

(2) 技术适用范围

适用于各类物料。

6.2.2.4 密闭重力流转料技术

(1) 技术特点介绍

利用接料反应釜和送料反应釜的高位差,使物料通过重力流作用到达接料反应釜。具有节能、废气排放小等优点,但是对反应车间层高要求足够高。

(2) 技术适用范围

适用于各种物料。

6.2.2.5 管道正压泵转料技术

(1) 技术特点介绍

对送料反应釜施加正压气源(输送介质),将物料通过管道输送至接料反应釜,可以一对多点输送,具有输送量大,输送距离长,操作稳定的优点,且相对负压输料方法,正压式输料造成的环境污染较小。

(2) 技术适用范围

适用于液体物料

6.2.3 物料反应过程控制技术

6.2.3.1 连续流反应器技术

(1) 技术特点介绍

采用连续流反应器,取代合成的批次(间歇)反应,具有高效的传质传热效率,缩短反应时间。比如应用连续流反应器技术生产美罗培南药物,物料用量减少约 40%,污染物产生量减少 30%以上。

(2) 技术适用范围

该技术适用于原料药产品及医药中间体生产的反应合成工序。

(3) 技术典型案例

某公司喹诺酮原料药及关键中间体绿色工艺项目,通过研发创新采用微通道反应器工艺,该工艺技术比传统合成工艺具有更高的反应速率和选择性,缩短反应步骤 3-4 步,合成的关键中间体合成效率从 75%提升到 95%,降低生产成本,同时微通道反应器高效的热能传质性能可以降低能耗,减少废物的产生和排放,减少副反应的发生,提高生产安全性。微通道反应器工艺技术相比传统化学合成

工艺，每吨产品可减少碳排放 30%以上。

某制药集团公司采用采用微通道连续流反应器用于甲硝唑、氨茶碱、水飞蓟宾葡甲胺等产品合成反应。微通道的尺寸通常在微米到毫米级别，这样可以增加反应所需的表面积，并减小反应过程中的传质和传热阻力，可以使反应物充分混合，同时，其可以控制反应条件，减少副反应的发生并提高产品收率，预计可提高 5%-10%的产品收率，节约 30%的能源。企业投产相关产品 120 吨，预计减少 12 吨副产物和废料，节约 33.47tce 能耗，减少碳排放 90.37 吨。

6.2.3.2 管式反应器技术

（1）技术特点介绍

一种呈管状、长径比很大的连续操作反应器。与传统釜式反应器相比,管式反应器比表面积大，传质和换热效率高，可实现停留时间的精确控制，易实现分段控温。

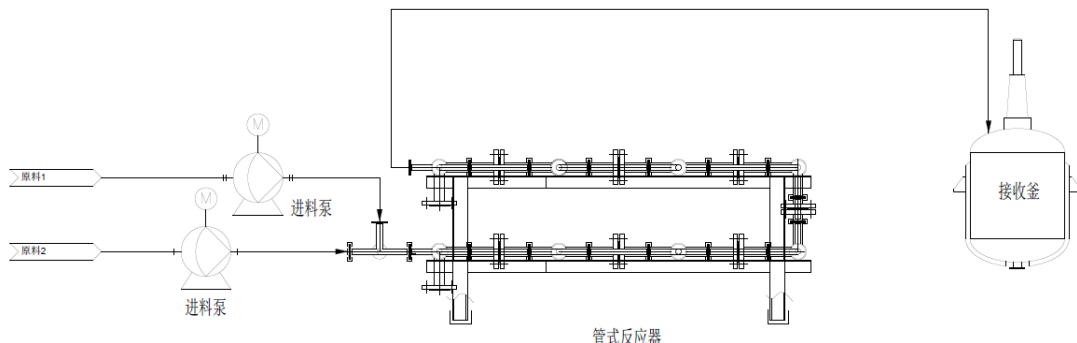
（2）技术适用范围

该技术适用于原料药产品及医药中间体生产的反应合成工序，对要求转化率较高或有串联副反应的场合尤为适。

（3）技术典型案例

某企业使用新型管式反应器代替釜式反应器进行硝化反应，达到提高批收率、减少能耗的目的。

将原料按一定比例定量均匀加入，在管道内进行有效混合反应后得到成品，管式反应由于是连续化进料，可相对减少反应时间；由于大大降低了在线反应量，因此提高安全性；按比例定量进料，反应更充分，因此可提高收率、降低能耗。



硝化反应为十八大危险工艺之一，原方案为釜式反应器，为控制反应速度，需分多次少量加入反应原料，批反应时间约 24h,且收率只能做到 78%左右。

该企业硝化反应采用管式反应器项目后，批反应时间缩短至 13h，批收率提高至 83%，按照计算，和原有技术相比较，管式反应器的利用实现了节能（节电）18150KW.h/年，产量增加 10T/年。对应经济效益为节约支出 1.5 万元/年，增加收益 400 万元/年，减碳 10.55 吨/年，实现了目标期望内的经济效益，详见下表。

	调整前	调整后
产品收率（%）	78	83
项目单步总碳排放量（t/a）	47.25	36.70
项目预期降碳效率（%）	20	
项目实际降碳效率（%）	23	
项目预期收益（万元/年）	350	
项目实际收益（万元/年）	401.50	
项目总成本（万元/年）	50	

6.2.3.3 新型生物反应器和高效节能生物发酵技术

（1）技术特点介绍

1）发酵用压缩空气新型冷却及能量利用技术：空压机制取压缩空气，出口空气降温由水冷转为风冷的技术改造。压缩空气制取方式采用轴流式风机及两台电动离心机供应，其出口温度为 185℃，为满足工艺要求，需降温至 110℃左右。该技术采用风冷替代水冷的冷却方式，被加热的空气作为烘干发酵菌渣的加热剂，即提高了有效热能二次利用，也可节省循环水量。

2）新型气升式二次补气发酵技术：增加发酵罐高度，利用文丘里管的喷射搅拌作用代替搅拌电机，可省去发酵罐搅拌电动机，克服了普通的气升式发酵罐内的导流筒只有导流作用、不能调节温度的难题。本技术的导流筒具有调温和导流两种作用，并且为双面换热，高效节能；同时，导流桶中上部增加二次补气环管，管内空气向下喷射，利用发酵罐内循环液把此部分空气带回到空气喷嘴处，再与发酵液混合向上喷入气升桶，提高发酵液溶氧率和空气利用率，从而降低生产成本。

根据发酵行业实际情况，采用新型生物反应器和高效节能生物发酵新技术后，吨产品能耗由 1tce 降到 0.8tce，实现能耗降低 20%。

（2）技术适用范围

该技术适用于原料药产品发酵工序。

(3) 技术应用情况

某企业年产 300 吨阿维菌素生产线。主要技改内容：生物反应器导流筒气流搅拌代替机械搅拌、发酵罐内冷却管代替外盘管、加高发酵罐罐体、风冷替代水冷制备压缩空气技术。节能技改投资额 7196 万元，建设期 1 年。吨阿维菌素节能 95.4tce，按年 300t 阿维菌素生产能力，年节能 28621tce，年可取得节能经济效益 2290 万元，投资回收期 3 年。

6.2.4 物料分离过程控制技术

6.2.4.1 无机陶瓷组合膜分离技术

(1) 技术特点介绍

采用无机陶瓷组合膜分离工艺替代传统的板框过滤工艺，适用于抗生素、维生素等产品生产，产品收率提高约 5%，后提取工艺中溶剂使用量减少约 85%，无需使用絮凝剂，原料消耗量降低约 20%。废水产生量减少 50%以上，COD_{Cr} 和 BOD₅ 产生量减少 10%以上。

(2) 技术适用范围

适用于各类制药工业生产过程的分离、精制与浓缩，尤其是发酵类制药。

(3) 技术应用情况

某年产红霉素 3000 吨的某制药企业，采用超滤、纳滤等无机陶瓷膜分离工艺代替传统的板框过滤工艺，收率提高 4%，单位产品原料消耗减少 20%，节电 30%，节煤 10%以上，絮凝剂使用量减少 100%，废水产生量下降 50%以上，COD 消减和 BOD 消减 10%以上。



6.2.4.2 纳滤分离浓缩技术

(1) 技术特点介绍

纳滤工艺可对小分子有机物与水、无机盐等进行分离，使脱盐和浓缩过程同时进行。与传统三效降膜减压蒸发浓缩技术相比，浓缩工序生产成本下降 70%

以上；生产过程不使用蒸汽，能源消耗低；设备占地面积减少约 70%。

（2）技术适用范围

适用于各种制药生产中的分离、精制与浓缩。如维生素 C、红霉素等产品生产。

（3）技术应用情况

某年产 2 万吨维生素 C 的制药企业，原工艺采用超滤、连续树脂交换产出的药液经三效降膜减压蒸发系统蒸发浓缩到 40%，再经二级强制外循环浓缩装置进行浓缩处理。传统的三效降膜减压蒸发机组耗汽量大，系统故障率、噪音大，产生的凝水量多，环保处理量大。连续纳滤系统改变了传统的浓缩方式，膜通量选择性大，操作连续，系统运行稳定，生产过程不使用蒸汽，能源消耗低，节能效果明显，单位产品浓缩工序生产成本下降 70%以上，产品质量稳定，同时设备占地面积减少 70%。



6.2.4.3 移动式连续离子交换分离技术

（1）技术特点介绍

该技术采用连续式自动旋转离子交换系统，产品成分和浓度保持稳定，可同时去除或者分离具有不同特性的物质。与传统固定床式离子交换柱法相比，树脂用量减少 50%以上，洗涤水用量可节约 20%以上，酸液消耗量降低约 10%，碱液消耗量降低约 65%，产品总收率提高。

（2）技术适用范围

该技术适用于维生素 C、赖氨酸等产品生产的分离及精制工序

（3）技术应用情况

某年产 2 万吨维生素 C 的制药企业，采用移动式连续离子交换系统替代原

有传统固定床式离子交换工艺。与传统固定床式离子交换柱法相比，树脂和洗涤水用量可节约 20%以上，洗脱剂消耗相应减少，单位产品原料消耗减少达 8%左右，产品总收率也有所提高，达到了减少原料消耗、降低产品成本的目标。

6.2.4.4 高效动态轴向压缩工业色谱技术

(1) 技术特点介绍

该技术采用活塞装柱，并在操作过程中保持柱床压缩状态。与传统多次结晶工艺相比，溶剂消耗量降低 30%~60%，产品收率提高 20%以上，生产成本下降 20%以上。

(2) 技术适用范围

该技术适用于天然产物和生物大分子（多肽、蛋白质等）的分离制备

(3) 技术应用情况

浙江某制药企业采用制备型液相色谱系统替代多次结晶工艺，单位产品溶剂正庚烷和甲醇的消耗分别减少 52%和 36%，收率提高 20%，产品质量达到美国药典标准。

6.2.5 物料干燥过程控制技术

6.2.5.1 “离心/压滤-洗涤-干燥”三合一技术

(1) 技术特点介绍

三合一技术是一种集成了离心/压滤、洗涤和干燥三个主要工艺步骤的技术。能够在同一台设备内连续完成离心/压滤、洗涤和干燥的全过程。这种设计有效防止了人为污染，保证了产品质量，同时提高了生产效率和降低了生产成本。是一种高效、环保、节能的固液分离技术。

(2) 技术适用范围

适用于主要用于医药、化工等工业企业的固液分离操作。

(3) 技术应用情况

某企业离心/压滤-洗涤-干燥”三合一设备投入，实现了设备集成，将过滤机、洗涤机、干燥机结合在一起，减少传输、装卸环节，节约 3%-5%传输能源；结合自动控制系统完成密闭操作，配合冷凝设备实现溶剂原位回收，与前后生产环节形成管道化、密闭化，整体减少 21.4%VOCs 排放。

6.2.5.2 闪蒸干燥机技术

(1) 技术特点介绍

集干燥、粉碎、筛分于一体的新型连续式干燥设备，特别适用于滤饼状、膏糊状、稀泥浆状物料的烘干。热空气由入口管以切线方向进入干燥室底部的环隙，并螺旋状上升，同时，物料由加料器定量加入塔内，并与热空气进行充分热交换，较大较湿的物料在搅拌器作用下被机械破碎，湿含量较低及颗粒度较小的物料随旋转气流一并上升，输送至分离器进行气固分离，成品收集包装，而尾气则经除尘装置处理后排空。

（2）技术适用范围

特别适用于滤饼状、膏糊状、稀泥浆状物料的烘干。

（3）技术应用情况

某企业利用真空进行减压蒸发，减少蒸汽用量，提高产品收率，实施温度精准控制；闪蒸干燥有效控制产品水分和细度，保证产品的湿含量及细度均匀一致，提高产品合格。相比普通干燥节约 2%干燥能耗，减少约 800 吨二氧化碳排放；同时提高 2%产品合格率，减少 71.24 吨废品，按单位产品能耗 5.04tce/t 计算，每年节约 359.04tce 能量消耗，减少 969.41 吨二氧化碳排放。

6.2.5.3 单锥真空干燥机技术

（1）技术特点介绍

单锥真空干燥机技术是一种新型高效的粉粒体混合干燥设备，其工作原理是利用真空泵将容器内的空气抽除，降低容器内的压力，使物料中的水分在低温下迅速蒸发，从而达到干燥的目的。该设备采用立式结构，下料干净无残留。

（2）技术适用范围

广泛应用于精细化工与制药行业。

6.2.5.4 双锥真空干燥机技术

（1）技术特点介绍

该技术为双锥形的回转罐体，罐内在真空状态下，向夹套内通入蒸汽或热水进行加热，热量通过罐体内壁与湿物料接触。湿物料吸热后蒸发的水汽，通过真空泵经真空排气管被抽走。由于罐体内处于真空状态，且罐体的回转使物料不断的上下、内外翻动，故加快了物料的干燥速度，提高干燥效率，达到均匀干燥的目的。

（2）技术适用范围

广泛应用于制药、化工、食品、染料等行业。

6.2.6 流程工业全过程控制技术

6.2.6.1 泄漏检测与修复(LDAR)技术

(1) 技术特点介绍

通过常规或非常规检测手段,检测或检查密封点,并在一定期限内采取有效措施修复泄漏点,对工业生产全过程物料泄漏进行控制的系统工程。开展 LDAR 工作包括但不限于项目建立、现场检测和泄漏修复 3 个步骤。非首次开展 LDAR 工作包括但不限于现场检测和泄漏修复 2 个步骤。企业应基于上述工作结果至少编制首轮报告和年度报告,各个步骤应符合相应的质量保证与控制要求。若企业因开停工、检维修以及改扩建等原因发生密封点变更的,应重新对变更部分进行建档信息修订,并开展现场检测和泄漏修复工作。

(2) 技术适用范围

适用于工业企业设备与管线组件、废气收集系统输送管道组件挥发性有机物泄漏检测与修复。

(3) 技术应用情况

某制药企业开展了泄漏检测与修复(LDAR)技术,检测点位共 14089 个,可达点数为 13969 个,不可达点数为 120 个。泄点位为 40 个,泄漏率为 0.28%。经过对泄点位采取相应修复措施,成功修复了 37 个泄漏点,泄漏率降到了 0.02%,泄漏损失率降低了 92.8%;复检前 40 个点位泄漏量 324.5kg,复检后排放量 94.6kg,减排率为 70.8%。年估算排放量为 3735.2kg,年估算减排量为 1270.7kg,可有效加强无组织废气管控。

6.3 资源回收利用技术

6.3.1 溶剂回收利用技术

6.3.1.1 渗透汽化膜技术

(1) 技术特点介绍

渗透汽化膜技术是一种以有机混合物中组分蒸汽压差为推动力,依靠各组分在膜中的溶解与扩散速率不同来实现混合物分离的过程。应用于有机溶剂的脱水,比恒沸精馏法节能 50%~70%,溶剂回收率达到 97%以上。

(2) 技术适用范围

适用于有机溶剂的脱水和回收利用。

(3) 技术应用情况

某集团采用渗透汽化膜技术，通过气态进入压缩机，达到预定温度后和压力后进入膜组件。进料流经串联的膜器，原料中的水分和极少量有机溶剂经膜组件由膜上游侧渗透至膜渗透侧，最后产品水含量不大于 0.5%，产品经热交换器利用原料液冷却后进入产品冷却器，进一步冷却至 35℃以下，送到储罐，提高了进料液温度，节省了能耗蒸发器底部设计连续排残液系统，膜渗透侧采用抽真空加冷凝的方式以形成膜进料侧和渗透侧两侧组分的蒸汽分压差，渗透蒸汽在真空机组抽吸下进入冷凝器。冷凝后的渗透液收集在渗透液储罐。每年约减少 694.04 吨二氧化碳排放，预计回收 1266.8 吨溶剂。

此外，另外某制药企业采用 1000 吨/年的渗透汽化膜装置，替代原有的上塔脱水工艺，预计每天可以减少 0.6 吨煤，每年可以减少 180 吨煤，相当于减少 126 吨标煤。溶剂回收率达到 97%以上。

6.3.1.2 冷凝技术

(1) 技术特点介绍

通过将温度控制在有机溶剂的冷凝点以下，将有机尾气中有机溶剂冷凝回收，是回收溶剂的较好的方法。该法常与其它方法（如吸附、吸收等）联合使用。有机尾气通过前两级冷凝器，其中的溶剂由气态变为液态，再经过三级冷凝器，将其温度降为室温及以下（减少因温度高于室温而造成的挥发），收集入有机溶剂储罐。冷凝器中极少量不凝气体和所有有机溶剂储罐的排气（储罐呼吸气）入尾凝器进行深冷凝，冷凝成液体后收集。

(2) 技术适用范围

适用于处理高浓度、低风量的有机尾气，且其中的有机溶剂成分比较单一、沸点相差较大。

(3) 技术应用情况

某企业通过改造真空管路，建立液氮深冷系统，使真空尾气中的有机溶剂回收率大于 95%。

6.3.1.3 精馏塔技术（间歇、连续）

(1) 技术特点介绍

一种利用混合物中各组分挥发度（沸点）的差异，使混合物在液态和气态之间反复进行质量交换，以达到分离目的的操作。它是工业上应用极为广泛的一种多组分混合物的分离方法。液体混合物中的组分挥发度（沸点）不同。当液体混

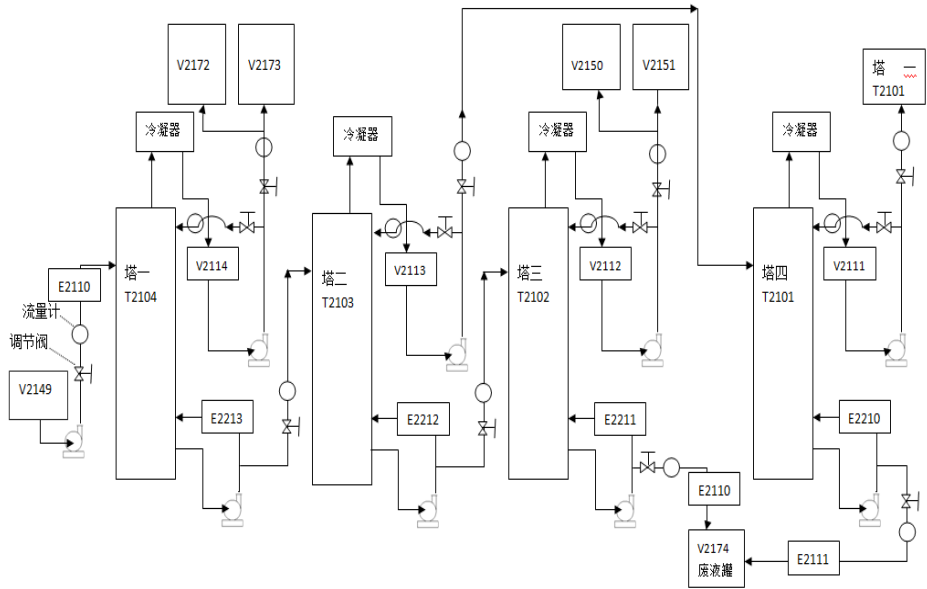
合物被加热时，低沸点的组分更容易挥发变为气体，而高沸点的组分则相对较难挥发。在精馏塔中，通过加热和冷凝的连续操作，使低沸点组分从塔顶蒸出，高沸点组分则留在塔釜中。

(2) 技术适用范围

适用于化工、制药等行业的精馏工艺。

(3) 技术应用情况

某企业原 ATS-6 回收甲基叔丁基醚和回收 BUA，采用间歇塔，处理效率低，能耗高，且为手动操作。现改为四塔连续精馏，提高了溶剂回收率，降低能耗的同时又能实现自控操作，增加溶剂回收量 242 吨/年，减少蒸汽用量 2662 吨/年，减少二氧化碳排放量 761.33 吨/年



6.3.1.4 自热回用精馏技术 (SHRT)

(1) 技术特点介绍

自回热精馏节能技术 (SHRT)，是将精馏系统塔顶的低温蒸汽通过压缩机压缩，提高其温度及压力后送往再沸器加热塔釜料液并放热冷凝，系统运行仅通过压缩机维持精馏过程的能量平衡，系统利用少量电能提高塔顶蒸汽的热品位，高效回收了塔顶蒸汽的汽化潜热，减少塔釜料液加热的外加能源需求，降低了塔顶冷却水耗量，实现精馏过程节能经济运行，能耗仅为传统精馏工艺的 60%~80%。

(2) 技术适用范围

适用于化工、制药等行业的精馏工艺。

(3) 技术应用情况

某企业采用高效、节能的自回热精馏 (SHRT) 技术, 能够提高 5-15% 溶剂回收效率, 节约 30% 能源。SHRT 系统把塔顶低温蒸汽通过蒸汽压缩机压缩、提高其温度、压力后再在沸器中冷凝将热量传递给塔底物料, 仅通过压缩机来维持精馏系统的能量平衡。

6.3.1.5 超重力床回收技术

(1) 技术特点介绍

超重力床是一种带有填充物的旋转床, 通过高速旋转产生的离心力来实现超重力环境。这种超重力环境使得气液两相在转子内形成比表面积很大而又不断更新的气液界面, 极大地强化了传递过程。通过气液以逆向喷雾方式经转子, 进行物料传质, 从而实现高效的分离提纯。

(2) 技术适用范围

适用于乙醇、甲醇等有机溶剂的回收及产品分离提纯。

(3) 技术应用情况

某企业将 ATS-6 高锂水脱溶、ATS-9 回收甲醇, L-1 回收乙醇、R-3 回收乙腈由原先的釜式蒸馏改为超重力床回收, 减少蒸汽消耗, 提高回收溶剂的质量和回收率, 实现自控操作。增加溶剂回收量 144.21 吨/年, 减少蒸汽用量 961.4 吨/年, 减少二氧化碳排放量 274.96 吨/年

6.3.2 水资源回收利用技术

6.3.2.1 蒸汽冷凝水回收利用技术

(1) 技术特点介绍

冷凝水回收系统回收蒸汽系统排出的高温冷凝水, 可最大限度地利用冷凝水的热量, 节约用水, 节约燃料。对工厂的节能降耗, 提高经济效益有显著的作用。

(2) 技术适用范围

适用于医化企业蒸汽冷凝水回收。

(3) 技术应用情况

某企业冷凝水收集槽采用碳钢储槽, 企业新增 1 台 15m³ 碳钢储槽, 同时增加冷凝水回用路线, 将冷凝水回用到车间中和分层、水洗等工序, 提高蒸汽冷凝水储存能力的同时, 增加了蒸汽冷凝水的去向, 极大地提高了蒸汽冷凝水的利用量, 减少了新鲜水取水量。

某公司对厂区管网进行改造,将蒸汽下排水和纯化水制水的浓水进行收集收,回用于车间冷却补水、废弃喷淋塔补水和三废药剂用水等工序,从而实现减少废水的目的。

某企业将车间蒸汽冷凝水经总管统一收集(400吨/天),通过回流泵循环降温冷却后回用至各区域(RTO前喷淋塔/RTO急冷塔/RTO后处理喷淋塔/各车间废气喷淋塔/各车间循环水池等),以此来减少自来水资源消耗量,从而减少废水总排污量。

6.3.2.2 浓水回收利用改造技术

(1) 技术特点介绍

浓水回收利用改造技术是一项重要的环保和节能技术。通过采用浓水浓缩、离子交换、混合处理、中水回用和反渗透等技术,可以实现对浓水,尤其是RO浓水的有效处理和回收利用。此外,如符合冷却循环水水质标准,也可以直接排放至循环冷水系统直接回收利用。

(2) 技术适用范围

适用于医化企业纯水制备过程中产生浓水回收利用

(3) 技术应用情况

某企业配备了1套6t/h纯化水制备系统,采用“机械过滤+活性炭过滤+二级反渗透+紫外线灭菌”工艺制备纯化水供生产使用,该装置产水率可达75%以上。制纯化水产生的浓水直接排入污水处理站,这极大浪费了水资源,同时也增加了废水处理费用,企业对浓水进行收集后回用。反渗透浓水指标远低于冷却循环水水质控制指标,完全可以作为循环水补水使用。因此企业拟采购1台10m³碳钢储罐,并配备必要的不锈钢管道、阀门等零部件,将浓水收集后用于冷却循环水补水。

6.3.2.3 高浓度废水资源化利用技术

(1) 技术特点介绍

一个综合性的处理过程,旨在通过一系列技术手段实现废水中资源的回收与再利用,同时减少环境污染。即通过多种工艺手段,实现了废水中有益资源的回收与再利用,减少了环境污染,提高了水资源的利用效率。

(2) 技术适用范围

适用于医化企业高浓度废水处理。

(3) 技术应用情况

某公司通过研发溴化钠回收技术，在前段对生产车间含溴废水进行单独收集、处理，通过刮板浓缩、精制提取、烘干等处理流程，对废水中的溴化钠进行回收，可实现年产 500 吨溴化钠产品，增加经济效益 700 万元/年。某公司研发的
高浓度废水分类提纯技术，采用氢溴酸、双氧水代替溴素、氯仿溶剂和恶臭物料吡啶，在实施中采用先进的生产装置和自控设施，从高浓废水中提纯七水合硫酸镁、对甲苯磺酸钠等物质，制成七水硫酸镁联产产品进行回收利用，增加经济效益 1300 万元/年。

6.3.3 余热资源回收利用技术

6.3.3.1 RTO 烟气余热利用综合节能技术

(1) 技术特点介绍

企业采用余热锅炉对废气燃烧的热量进行回收，生产出蒸汽或热水供厂内使用。在 RTO 炉中，有机废气通过高温氧化反应，同时产生大量高温废气。这些高温废气经过 RTO 余热锅炉时，其中的热量被回收利用，用于产生蒸汽或热水，从而实现了余热的回收利用。每年可节省外购蒸汽，减少二氧化碳排放量，可节约蒸汽成本。

(2) 技术适用范围

适用于医化企业利用生产过程中产生的有机废气中的余热，用于生产蒸汽或热水，提高能源利用效率。

(3) 技术应用情况

某公司通过在 RTO 增加余热锅炉，实现利用多余热量产生蒸汽，并接入公司管网利用，从而减少外购蒸汽量，实现减污降碳。项目实施可实现节约用气 7920 吨/年，减少二氧化碳排放 2265.12 吨/年。



6.3.3.2 危废焚烧余热回收利用技术

(1) 技术特点介绍

该技术是在危险废物焚烧过程中，通过有效地回收和利用产生的余热，实现资源的再利用，降低能耗，并减少对环境的污染。

(2) 技术适用范围

适用于配套危废焚烧装置的医化企业

(3) 技术应用情况

某公司在实施处置企业产生的液体危险废物及高浓度废水的同时，通过开展废液焚烧炉余热回收项目，回收利用焚烧余热，每年可产生蒸汽 3.15 万吨，相当于回收余热 8.31 万 GJ/年，减少碳排放 9141 吨/年，可节约蒸汽成本 667.8 万元/年。

6.4 末端高效治理技术

6.4.1 废水污染治理技术

6.4.1.1 MVR 机械浓缩蒸发技术

(1) 技术特点介绍

利用高效蒸汽压缩机压缩蒸发产生的二次蒸汽，把电能转换成热能，提高二次蒸汽的焓，被提高热能的二次蒸汽打入蒸发室进行加热，以达到循环利用二次蒸汽已有的热能，从而可以不需要外部新鲜蒸汽，依靠蒸发器自循环来实现蒸发浓缩的目的。相比于传统三效蒸发器，蒸汽能耗节省了二分之一。

(2) 技术适用范围

该技术适用于高含盐制药废水除盐、废水深度处理及中水回用。采用该技术

时,进水 COD_{Cr} 浓度小于等于 450mg/L,固含量小于等于 0.3%,蒸发温度 105℃左右。 COD_{Cr} 去除率可达 93%以上。产生的有机废气可采用水吸收或酸吸收、吸附等方法处理后达标排放。

(3) 技术应用情况

某企业新增 MVR 替代原有三效除盐系统以增加高盐废水处理量及降低能耗。MVR 系统建成后,废水经过预处理,调节 PH 至中性后,再进入 MVR 蒸发结晶系统进行蒸发结晶,经过出料泵输送至稠厚器增稠后进入盐离心机离心分离出结晶,结晶出盐去干燥,离心母液返回 MVR 蒸发结晶系统。

MVR 替代三效除盐系统降低能耗项目实施后预计节省高盐废水处置系统运行成本 1122.52 万元/年,其中节省蒸汽消耗成本 146.02 万元/年,降低碳排放量 0.2744t/d,实现了降碳增效。



6.4.1.2 多效浓缩技术

(1) 技术特点介绍

利用一次蒸发使废水沸腾汽化的二次蒸汽作为下一个蒸发器的热源,连续多级串联加热,废水与二次蒸汽呈逆行串联浓缩,与单效蒸发相比,可节省 40-50% 的能量。

(2) 技术适用范围

该技术适用于含盐量大于 30g/L 的分离提取、精制、溶剂回收等工序产生的高含盐制药废水处理。根据蒸发的效数(大于等于 1)不同,蒸汽用量不同。盐的去除率可达 95%以上。产生的有机废气可采用水吸收或酸吸收、吸附等方法处

理后达标排放。

(3) 技术应用情况

某企业采用了三效浓缩系统，将高浓度废水进行多级浓缩，使废水中的有用物质得到回收，同时降低了废水排放量。通过优化工艺参数，该企业实现了废水的高效处理，提高了资源利用率。与传统处理方法相比，多效浓缩技术的能耗降低了约 30%以上。同时，废水排放量也大幅减少，降低了对环境的污染。

6.4.1.3 低温常压多相分离蒸发 (MPS)

(1) 技术特点介绍

该技术主要利用废水中不同物质的物理化学性质，通过控制物理化学过程与反应条件来实现传质与分离的目的。经过多年的研究与开发，该技术可以有效的分离废水中的盐类、有机物、VOC(可挥发性有机物)来实现废水的回收与减量。该技术的一体化设备占地极小，可实现自动化运行与无人值守，可以有效的利用低温余热或废热来降低运行成本。

(2) 技术适用范围

适用于医化企业废水处理、溶液浓缩和盐提取等工序

(3) 技术应用情况

某公司生产抗生素类药物，需要排放大量有机废水，主要含有甲醇、焦油，少量二氯甲烷等组分。目前常规处理方法是采用反应釜负压蒸馏，蒸发温度高，容易结焦，管理操作困难，能耗巨大。采用 MPS 蒸发浓缩设备，大大节省蒸汽能耗，较釜式蒸馏下降 50%以上，且直接对废水蒸发浓缩，去除焦油固体，蒸发冷凝出水全部回用于车间，浓缩焦油委外处置，降低操作难度。

6.4.1.4 多相蒸发脱盐技术系统 (MPED)

(1) 技术特点介绍

该技术是一种高效的脱盐技术，它基于多效蒸发原理，通过多级蒸发和冷凝过程，将含盐水中的盐分分离出来，得到淡水。多相蒸发除盐设备通过多级蒸发和冷凝过程，充分利用前一蒸发器产生的二次蒸汽作为后一蒸发器的热源，从而显著减少对外界能源的需求。与其他脱盐技术相比，MPED 技术能够更有效地利用能源，降低能耗。

(2) 技术适用范围

适用于医化企业废水处理、溶液浓缩和盐提取等工序

(3) 技术应用情况

某公司采用全新的低能耗、短流程、全密闭的多相蒸发脱盐技术系统 (MPED) 处理高盐废水 (盐浓度约 100000mg/L), 有效分离废水中盐类、有机物、VOCs, 实现废水的回收与减量。MPED 能够有效利用低温余热或废热来维持运行, 其吨废水处理蒸汽用量较原有粗放式蒸发釜蒸发方式下降 30%-70%, 污水处理耗能极大削减; 减污效果更好, 出水盐、有机物浓度更低 (盐浓度低于 200mg/L, 高沸物削减至 0.1%以下); 能够综合利用 80%的污水处置过程废气, 有效降低相关废气的处置能耗; 全程自动化, 无需人力值守。

6.4.1.5 高效蒸发-上流式厌氧污泥床 (UASB)-循环式活性污泥法 (CASS) 组合技术

(1) 技术特点介绍

高效蒸发-上流式厌氧污泥床 (UASB)-循环式活性污泥法 (CASS) 组合技术的主要特点是: 利用多效蒸发作为高盐分预处理技术, 一方面可以降低废水中盐分的浓度, 同时蒸发结晶后所产生的结晶盐经离心机脱水后收集钠盐, 定期外卖, 蒸馏出的溶剂收集后精馏分离回用到生产中。蒸发的废水经冷凝管、水射器进入调节池, 和其他废水一起进行后续处理。利用 UASB 强大的厌氧功能, 将废水中大分子的有机污染降解为小分子有机物, 然后利用 CASS 技术达到降低 COD 的同时去除氮磷。该组合技术的发展是预处理-厌氧-好氧组合工艺的体现, 在国内处于领先的水平。

(2) 技术适用范围

适用于发酵类制药、部分化学合成类制药废水的处理。

(3) 技术应用情况

该技术与传统活性污泥法相比较, 对化学需氧量去除率可提高 25%以上, 能源节约 25%。

6.4.1.6 水解酸化预处理-膜生物反应器 (MBR)-气浮组合技术

(1) 技术特点介绍

该技术是膜生物反应器 (MBR), 是膜技术与污水生物处理技术有机结合的一种新型、高效的废水处理工艺。中空纤维膜的应用取代二沉池, 进行固液分离, 充分利用膜的高效截留作用, 保持菌种活性, 并可以延长大分子污染物在反应器内的停留时间。水解酸化是当前废水处理的比较流行的一种预处理技术,

是在兼氧或非严格厌氧的环境下，通过微生物的水解及产酸发酵等作用，将复杂的大分子有机物转为简单有机物等产物的过程。水解酸化属非甲烷化的厌氧生化过程，通过这一过程使废水中一些难生化降解的物质转化为易降解物，以利于后续的生化处理。气浮则是后续深度处理技术，基本原理就是向废水中通入空气，并以微小气泡形式从水中析出成为载体，使废水中的乳化油、微小悬浮颗粒等污染物质粘附在气泡上，随气泡一起上浮到水面，形成泡沫-气、水、颗粒（油）三相混合物，通过收集泡沫或浮渣达到分离杂质的目的。

（2）技术适用范围

适合化学合成类、发酵类制药废水处理过程末端深度处理。

（3）技术应用情况

该技术与传统活性污泥法相比较，对化学需氧量去除率可提高 15%以上，能源节约 25%。

6.4.1.7 内循环厌氧反应器（IC）-生物接触氧化-氧化沉淀

（1）技术特点介绍

本技术的本质属于厌氧-好氧组合技术，厌氧反应器采用内循环厌氧反应器（IC），好氧生物处理采用生物接触氧化法，后续处理采用氧化沉淀方法进一步提高出水水质。IC 是第三代超高效厌氧生物反应器，实际上由 2 个上下重叠的上流式厌氧污泥反应器（UASB）串连组成，下部为高负荷区，用产生的沼气作为动力，实现了下部混合液的内循环，使废水获得强化的预处理。上部为低负荷区，对废水继续进行后处理。这种结构能够创造良好的微生物群体的生长环境，提高单位容积内的生物量和生物种类，实现反应液的内循环和生物搅拌，强化了传质作用，加速了有机底物从废水中向微生物细胞的传递过程。IC 反应器克服了 UASB 处理中低浓度（COD 在 1500~2000mg/L 以下）废水时负荷高和大量产气造成的污泥流失问题，不仅适用于中、低浓度废水的处理，而且处理高浓度废水时，其运行负荷及处理能力也比 UASB 更强。

（2）技术适用范围

适合化学合成类、发酵类制药生产过程中、高浓度废水的处理。

（3）技术应用情况

该技术与传统活性污泥法相比较，对化学需氧量去除率可提高 10%以上，能源节约 10%。

6.4.1.8 化学氧化-厌氧-好氧生物组合技术

(1) 技术特点介绍

本技术属于厌氧-好氧组合技术的变型，化学氧化技术置于前面是利用过氧化氢、 KMnO_4 等强化学氧化剂对废水进行预先氧化处理，然后进入常规的高效厌氧-好氧生物组合技术。厌氧-好氧生物组合技术是制药废水处理技术的主流，不同企业采用工艺的不同主要在于厌氧反应器 and 好氧反应器选择的不同。当前高效厌氧反应器包括厌氧序批间歇式反应器（ASBR）、厌氧流化床（AFB）、膨胀颗粒污泥床（EGSB）、内循环反应器（IC）、折流板反应器（ABR）、生物膜气升悬浮床（BAS）等厌氧反应器，通过采用新型反应器可增加有机质与生物膜的传递速率，提高净化效果。好氧工艺的选择比较多，但使用最多的是生物接触氧化法或者 SBR 及其变形 CASS 系统等。

(2) 技术适用范围

适合化学合成类药物的高浓度有机废水。

(3) 技术应用情况

该技术与传统活性污泥法相比较，对化学需氧量去除率可提高 15%以上，能源节约 15%。

6.4.1.9 混凝-厌氧-好氧组合技术

(1) 技术特点介绍

厌氧-好氧集成技术是制药废水处理技术的主流技术，包括厌氧-好氧活性污泥法（A/O），厌氧-缺氧-好氧活性污泥法（A²/O）、厌氧-二级好氧活性污泥法（A/O²、或 AAO）等。废水厌氧生物处理是利用厌氧微生物的代谢过程，在无需提高氧气的情况下把有机物转化为无机物和少量的细胞物质，这些无机物主要包括大量的沼气和₂O。厌氧生物处理技术现已广泛应用于世界范围内各种工业废水的处理，特别是高浓度有机废水的处理，处理效果较好，BOD 去除率可达 90%以上，COD 去除率可达 70%~90%。各企业在实际应用中可以采用不同的厌氧反应器和好氧反应器进行组合。

本技术采用混凝作为预处理技术。混凝法是常规的废水化学处理法之一，通过向废水中投加混凝剂，使其中的胶粒物质发生凝聚和絮凝而分离出来，达到净化废水的目的。

(2) 技术适用范围

(3) 技术应用情况

[illegible]

6.4.1.10 空气悬浮风机技术

(1) 技术特点介绍

空气悬浮离心鼓风机(单级高速离心风机)是一种全新概念鼓风机,它采用"超高速直联电机"、"空气悬浮轴承"和"高精度单级离心式叶轮"三大核心高端科技,开创了高效率、高性能、低噪音、低能耗风机新纪元。空气悬浮风机比罗茨风机节能 16.04%。

(2) 技术适用范围

该技术可适用于医化企业污水站好氧池配套设施改造升级。

(3) 技术应用情况

某园区医化企业污水处理站淘汰罗茨真空机组更换为空气悬浮风机,电机功率从 200KW/h 降低至 120KW/h,减少能耗同时提升废水溶氧浓度,每年约节电 50 万度。



空气悬浮离心式鼓风机实施图

6.4.1.11 磁悬浮离心鼓风机综合节能技术

(1) 技术特点介绍

磁悬浮鼓风机采用磁悬浮轴承技术，消除摩擦，无需润滑；高速电机直驱技术，省却机械传动损失；利用智能管理模式，根据工况进行风量、风压调整、防喘振、防过载及异常工况下的操作，高度智能化，降低了操作和维护要求。无机械损耗，核心部件可回收；比罗茨风机节能 30%，负压比水环节能 40%。

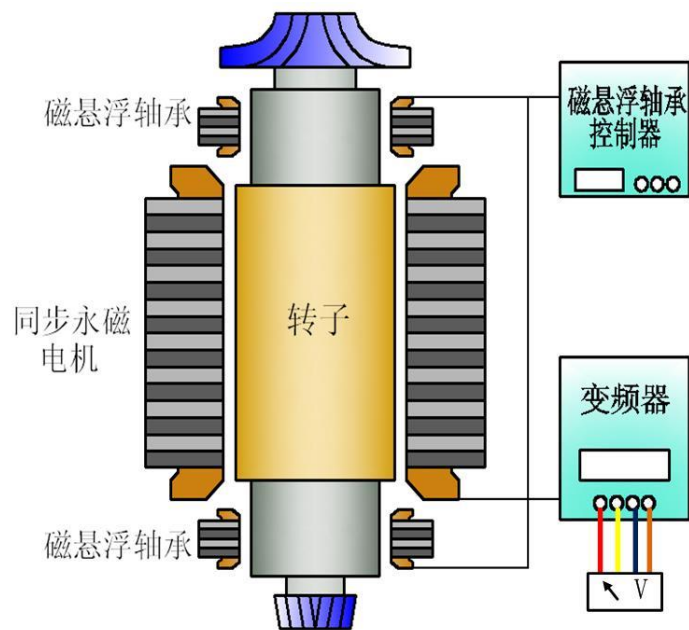
(2) 技术适用范围

该技术可适用于医化企业污水站好氧池配套设备改造升级。

(3) 技术应用情况

某公司日生产废水约 6000m³，初期污染雨水约 220m³/d，混合废水化学需氧量（COD）约在 4500mg/L。采用好氧生物处理，处理后废水水质可达到：化学需氧量（COD）120mg/L 以下，目前出水水质基本稳定在 40mg/L，低于一级排放标准。污水站建设规模为 300 m³/h，建设初期采用 7 台（4 用 3 备）罗茨风机，每台风机风量为 100 m³/min，压力为 80kPa，配套电机额定功率为 250kW，实际耗电功率约为 220kW，4 台罗茨风机总耗电量每小时约为 880kW。主要技改内容：在现有污水处理系统基础上，用 8 台磁悬浮离心式鼓风机替换掉原有罗茨风机。主要设备为“磁谷”磁悬浮离心式鼓风机 8 台。技改投资总额 350 万元，年节能

量 646tce，年减排量 1706tCO₂。每年可获得社会和经济效益为年节约电费 183.6 万元，投资回收期 1.9 年。



磁悬浮离心式鼓风机原理简图

6.4.2 大气污染治理技术

6.4.2.1 RTO 焚烧炉治理技术

(1) 技术特点介绍

RTO 是将有机废气进行燃烧净化处理，利用蓄热体对待处理废气进行换热升温、对净化后排气进行换热降温。典型的技术路线为“吸附浓缩+RTO”。两室蓄热燃烧装置的 VOCs 去除率可达 90%以上，多室或旋转式蓄热燃烧装置的 VOCs 去除率可达 95%以上。热回收效率可达 90%以上。燃烧室温度一般应高于 760℃，废气停留时间不宜低于 0.75s。RTO 的设计与运行管理应符合 HJ1093 要求。

(2) 技术适用范围

该技术适用于废气成分变化较大的中、高浓度工艺废气治理。采用燃烧的方法使废气中的 VOCs 污染物反应转化为二氧化碳、水等物质，并利用蓄热体对燃烧产生的热量蓄积、利用。低浓度的无组织废气收集后，宜采用吸附技术进行预浓缩，再经 RTO 治理。采用固定换热床的 RTO 装置宜设计不少于三室，技术参数应满足 HJ1093 的相关要求。该技术不适合易自聚化合物（苯乙烯等）、硅烷类

化合物、含氮化合物、含卤素化合物的治理。此外，适用于污水站厌氧废气的处理。

(3) 技术应用情况

某企业建设了三室蓄热陶瓷热力焚烧 RTO 炉，利用自动控温系统、变频控制，三个陶瓷能量回用体，实现节能净化。节约 20%-30% 的天然气，约 3340Nm³。VOCs 去除率可保证达 90% 以上，热回收效率可达 90% 以上。

6.4.2.2 大孔树脂吸附分离工艺技术

(1) 技术特点介绍

含有机溶剂的尾气经预处理（过滤、洗涤、降温等方法）后，经风机加压进入树脂吸附器，其中的有机溶剂被吸附剂吸附下来，净化达标气体排空。

吸附剂用饱和蒸汽进行脱附。蒸汽由吸附器顶部进入，反向穿过吸附剂，将被吸附的有机物脱附出来并带出吸附器进入冷凝器；在冷凝器中，有机物和水蒸汽的混合物被冷凝下来流入分水箱，通过重力分层，分层后有机物予以回收。吸附床完成脱附并经闭路循环降温再生后，切换回吸附状态，从而完成一个操作循环。整个过程吸附床连续交替、循环运行。

(2) 技术适用范围

适用于 VOCs 废气治理和有机废气处理，如制药、医药中间体领域 VOCs 非极性溶剂的回收处理。

(3) 技术应用情况

某公司采用树脂吸附、蒸汽脱附工艺处理 VOCs 废气，对尾气中所含有的有机成分或者是需要去除的有害成分进行吸附分离，使处理后的尾气达到排放标准，可实现溶剂回收 160 吨/年，减少 VOCs 排放量 160 吨/年，减少碳排放 5360 吨/年，减少后续液碱（30%）的消耗量 400 吨/年，相应减少外购成本 40 万/年。

6.4.2.3 沼气净化再利用技术

(1) 技术特点介绍

该技术采用先进的沼气收集、预处理和净化技术，确保沼气的安全利用。同时，设施内部设有安全监测和报警系统，一旦发现异常情况可及时采取措施进行处理。通过对沼气的再利用处理，实现了废弃物的资源化利用，减少了温室气体的排放和环境污染。

(2) 技术适用范围

适用于医化企业污水站厌氧系统的沼气二次利用。

(3) 技术应用情况

某企业利用 HIC 厌氧塔产生的沼气当做能源进行二次利用，处理水量按照 250 吨/天计，HIC 厌氧系统每降解 1kgCOD 可产生甲烷约 0.3m³(标准状态下)，年综合利用沼气量 3.4 万 m³(标准状态下)，减少碳排放 213.4t/a

6.4.3 固体废物处置技术

对生产过程产生的固废、残液、脚料应采用工艺措施实现固废综合利用。

6.4.3.1 发酵菌渣处置技术

(1) 技术特点介绍

发酵菌渣包括菌丝体和残余培养基，根据国家相关法规政策，要求生产抗生素类药物产生的菌丝废渣应作为危险废物处置；生产维生素、氨基酸及其他发酵类药物产生的菌丝废渣经鉴别为危险废物的，应作为危险废物处置。经鉴别不属于危险废物的发酵菌渣，目前常用处置方式为干燥加工处理后作为饲料或饲料添加剂，或作为肥料进行综合利用。

对发酵菌渣的处理主要是以下两种技术：

1) 热水解+菌渣、污泥联合厌氧消化集成技术

热水解处理使菌渣中部分有机物发生溶解和水解，大幅削减菌渣中的抗生素残留和凯式氮，有效减轻对厌氧消化的影响。热水解后的菌渣与废水处理产生的剩余污泥联合进行固体化厌氧消化，将有机质转化为沼气，并彻底消除抗生素残留，沼渣经鉴别后如非危险废物，可用于生产有机肥。

2) 菌渣炭化处置技术

菌渣通过干燥、干馏、活化、冷凝、再燃烧、尾气处理等工艺过程，每百公斤干菌渣可以生产 60 公斤活性炭，10 公斤焦油，从而实现药渣资源化利用。应用示范于青霉素或土霉素菌渣无害化、资源化的处置。

目前对发酵菌渣的处理技术还较少，也不是很成熟，鼓励开发发酵菌渣在生产工艺中的再利用技术，以及无害化处理技术、综合利用技术。

(2) 技术适用范围

适用于发酵制药的发酵菌渣的处置。

6.4.3.2 废溶剂处理处置技术

(1) 技术特点介绍

成分较简单的废溶剂建议优先考虑综合利用,现有的综合利用方法主要是溶剂再生和燃料利用。溶剂成分简单且主要成分比例较高的一般采用蒸馏(精馏)、过滤、简单蒸发、离心、吹脱(气提)等分离法对溶剂进行再生;有些废溶剂中含高热值的可燃性物质,可作为燃料使用。即按一定的配制规则混合调配或将废物与煤或者燃料油混合调配成燃料,用于焚烧时的补充燃料。

(2) 技术适用范围

适用于制药工业企业废溶剂的处置。

(3) 技术应用情况

某企业开发废溶剂综合利用与减污降碳技术,淘汰厂区内原有的 20 吨/小时燃煤锅炉,改建为生产项目配套数台醇基锅炉项目,实现甲醇溶剂作为醇基燃料自用,可实现二氧化碳减排量 3000 吨/年。

6.4.3.3 污泥脱水烘干一体化技术

(1) 技术特点介绍

污泥脱水烘干一体化技术是一种高效的污泥处理工艺,它通过将脱水和烘干两个主要处理步骤集成在一起,实现对污泥的高效、连续处理。结合了脱水和烘干两个关键步骤,通过优化处理流程和设备设计,实现了污泥的高效处理。该技术不仅降低了处理成本,还提高了污泥处理的效率和环保性。

(2) 技术适用范围

适用于制药等工业污泥脱水干化。

(3) 技术应用情况

某公司、某集团等企业采用污泥脱水烘干一体化系统,间歇式人工下卸料投入连续性脱水设备,并将脱水之后的污泥进入全密闭化污泥干化机进行烘干,全流程均密闭化管道收集,大大减少了污泥质量和体积,减少后续运输、处理能耗。

6.4.3.4 基于高温水源热泵的污泥低温真空脱水干化一体化技术

(1) 技术特点介绍

集成物料脱水和干化工序,基于低温真空干化原理,一次性大幅降低污泥含水率,同时降低污泥热干化的热源温度及汽化温度。应用高温水源热泵技术,保证设备在低温状态运行,实现污水中低品位热能高效回收利用及高温供水,促进污水资源化、能源化。

(2) 技术适用范围

适用于工业制药等污泥脱水干化。

(3) 技术应用情况

某企业处理污泥规模为 164 吨/天，安装了 2 台制热量为 1690 千瓦的高温热泵机组，单位污泥处理能耗由原来的 269.2 千瓦时/吨降低至 165 千瓦时/吨，实现节能量 1922 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 5113 吨/年。投资额为 800 万元，投资回收期为 1.6 年。

6.4.3.5 废盐资源化利用技术

(1) 技术特点介绍

①多级碳化工艺：引入冶金炉的高效连续处理技术，预处理干燥后的废盐进入多级碳化炉，在无氧及缺氧条件下使有机物碳化，彻底去除工业废盐中的大分子与长碳链有机物，处理后的固体盐 $\text{TOC} \leq 50\text{ppm}$ ；②膜精制：将碳化后的固体盐进行溶解后，通过陶瓷硅碳化膜过滤分离后，再加入药剂进行精制除杂，去除重金属等杂质并进一步降低有机物含量，调节出精制盐水；③冷冻蒸发分盐：除杂后的精制盐水进入冷冻蒸发系统，通过冷冻结晶器-多效蒸发器-多效蒸发器的系统循环交替生产，将氯化钠、硫酸钠等工业盐进行分离，最终制备出满足《再生工业盐》《无水硫酸钠》标准的工业盐产品，处理后的盐 $\text{TOC} \leq 10\text{ppm}$ 。

(2) 技术适用范围

适用于医化企业氯化钠、硫酸钠等废盐的处置

(3) 技术应用情况

某公司年产 2 万吨废盐再生项目避免了该部分工业盐进行生产采购，故减少了该部分工业盐进行生产的能耗。传统 2 万吨/年工业盐生产中，能耗合计折算成碳排放 11061 吨。本项目将废盐综合利用，年耗能折算仅为碳排放 5810 吨，较传统项目可减少 5251 吨。

6.4.3.6 废活性炭再生利用技术

(1) 技术特点介绍

在医化企业的精制工序中，活性炭常被用于脱色、除杂和提纯等过程。这些活性炭经过多次吸附反应后，内部产生的化学变化和结构变化会导致其活性降低，比表面积下降，进而成为废活性炭。本技术在一定条件下，通过物理或化学方法将已经吸附在活性炭上的污染物进行脱附，同时恢复活性炭的吸附性能，使其能

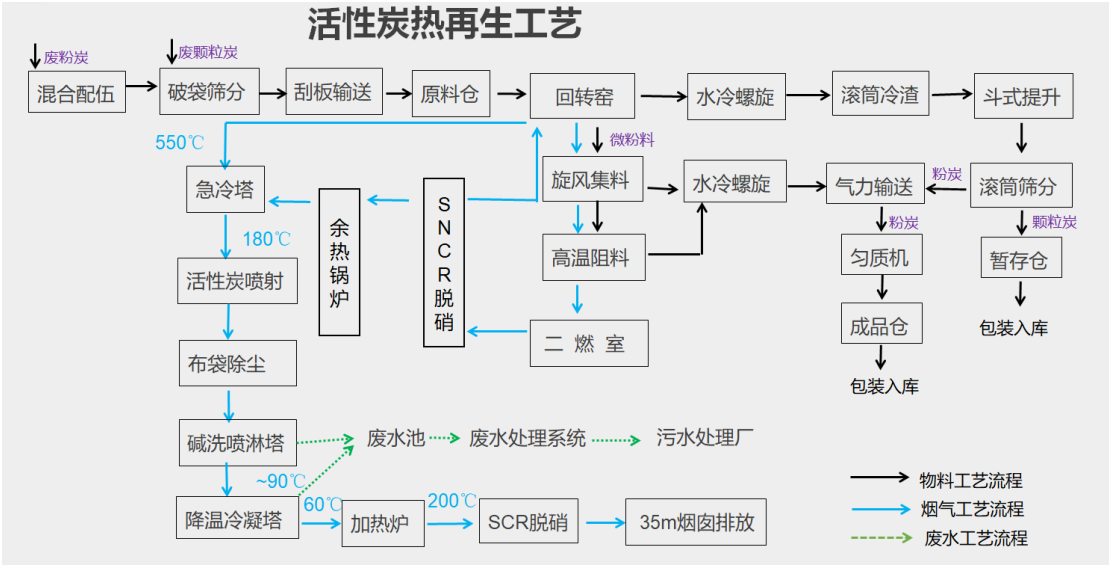
够再次用于吸附过程。这种技术不仅能够有效降低活性炭的使用成本，还能够减少废弃物的产生，对环境保护和资源再利用具有重要意义。

(2) 技术适用范围

适用于医化企业精制工序脱色使用的废活性炭处置

(3) 技术应用情况

浙江某药业有限公司年产废活性炭 300 吨，利用废活性炭再生利用技术，按照再生得率 33%算，可得再生炭成品 100 吨（绝干算），这样再生处置可减少 800 吨木材资源消耗，同时可减少二氧化碳约 1000 吨。



某公司热再生法处理废活性炭工艺流程

7. 医化行业减污降碳协同增效评价指标体系

评价体系的构建主要遵循以下几方面原则：一是多环境要素考量，不再局限于常规大气污染物和二氧化碳协同减排，而是扩展到水、土、固废等多环境要素，统筹水、气、固废（土壤）、温室气体等多领域减排要求，提升多要素协同控制水平；二是涉及全过程，考虑源头管理、工业生产、资源循环、末端处理全过程，尽可能围绕重点任务或薄弱环节选取表征指标，全方位协同推进降碳、减污、扩绿、增长；三是技术相关性，充分考虑医化行业减污降碳技术与评价体系的相关性，技术的可复制、可推广性，提升企业污染防治与碳排放治理能力；四是多领域减排贡献，要能反映出减污降碳技术全方位应用后对多领域减污降碳协同效果的贡献情况。

基于内涵逻辑及构建原则，确定台州市医化行业减污降碳协同增效评价体

系，如表 7-1 所示，其中一级指标 6 个，常规性二级指标 24 个。评价指标分为定性指标与定量指标，定量指标分正向和负向性指标，正向指标随指标值的增大，评价结果越趋近于领跑值，负向指标则相反。

指标体系中 6 个一级指标充分吸纳《减污降碳协同增效实施方案》、《浙江省减污降碳协同创新区建设实施方案》相关要求，结合台州市医化行业特点，较为全面地覆盖原料药及中间体制造企业运营过程减污降碳技术实施情况，全面考虑绿色低碳发展水平、源头协同管控水平、过程减量控制水平、末端高效治理水平、资源循环利用水平以及管理协同能力水平 6 个方面。从源头协同管理、过程减量控制、末端高效治理等行业特点方面突出医化企业生产过程减污降碳的着力点，在末端治理中区别于现有指标体系中的单位能耗污染物排放量等指标，增加了废气治理过程中环保设施运行的性能和能耗强度；以资源综合利用，过程减量控制等维度呈现以减污为主要手段达到协同降碳目标的技术路径。最后，通过设置绿色低碳发展指标评价医化企业减污降碳成效。

指标体系部分定量指标均参照行业平均水平、调研结果和专家咨询情况设置基准值和领跑值水平，主要参考以临海医化园区 2023 年度行业前 20%水平作为领跑值，以 2023 年度行业前 80%水平作为基准值，小于基准值情况下得分为 0，大于或等于领跑值则得满分，处于基准值和领跑值区间范围内按计算规则取得分。其余部分指标参考《化学原料药制造业清洁生产评价指标体系》(2020 年版)、《化学制药行业绿色工厂评价》(2021 版)、《浙江省绿色低碳工厂建设评价导则(2024 版)》的等要求以及李可心等的研究。当各项指标均达到领跑值时，台州市医化行业减污降碳协同增效综合指数(Index of Taizhou's Pharmaceutical industry for synergies in Environmental protection and Carbon reduction, IPEC)得分为满分 100 分。

表 7-1 台州市医化行业减污降碳协同增效评价指标体系

序号	一级指标	二级指标	赋分要求	分值	领跑值	基准值	权重
1	绿色低碳发展水平 (20)	单位主要污染物排放强度	单位产值主要污染物（化学需氧量、氨氮、氮氧化物、二氧化硫、VOCs）排污权总量。根据企业排放强度赋分，达到行业领跑值及以上为满分。	6	0.5kg/万元 ⁽¹⁾	1.5kg/万元 ⁽¹⁾	0.06
2		污染物排放强度下降率	单位污染物排放强度年下降率。根据企业排放强度下降率赋分，达到领跑值及以上为满分。	4	3% ⁽³⁾	0% ⁽³⁾	0.04
3		单位碳排放强度	单位产值二氧化碳排放量。根据企业碳排放强度赋分，达到行业领跑值及以上为满分。	6	0.5t/万元 ⁽¹⁾	1t/万元 ⁽¹⁾	0.06
4		碳排放强度下降率	单位产值碳排放强度年下降率。根据企业排放强度下降率赋分，达到领跑值及以上为满分。	4	3% ⁽³⁾	0% ⁽³⁾	0.04
5	源头协同管控水平 (20)	生产原料绿色化	禁止使用Ⅰ类敏感物料、限制使用Ⅱ类敏感物料。根据Ⅰ类、Ⅱ类敏感物料使用种类情况占总原辅物料使用种类数量的比例赋分，其中Ⅰ类敏感物料种类数需乘系数5，达到领跑值及以上为满分。	4	5% ⁽³⁾	20% ⁽³⁾	0.04
6		生产车间密闭化	企业实现工艺流程密闭化、物料输送管道化、生产车间布置垂直流或压力流。按符合要求的车间数占比赋分，达到领跑值及以上为满分。	6	100% ⁽³⁾	50% ⁽³⁾	0.06
7		工艺水平先进性	企业采用合成生物学技术、绿色催化剂（酶催化、手性催化等）、微化工技术等绿色工艺，按使用绿色工艺的在产产品产能赋分，达到领跑值及以上为满分。	4	20% ⁽³⁾	0% ⁽³⁾	0.04

8		装备水平先进性	使用下卸料离心机、多功能一体式压滤机、单锥干燥机等密闭性好的设备。各车间安装分布式控制系统（DCS）、安全联锁系统（SIS）等智能控制。按符合要求的车间数占比赋分，达到领跑值及以上为满分。	6	100% ⁽³⁾	50% ⁽³⁾	0.06
9	过程减量控制水平（15）	单位产值废水产生量	每单位产值所产生的废水排放量。根据企业当年单位废水排放量赋分，达到领跑值及以上为满分。	4	2t/万元 ⁽¹⁾	3.5t/万元 ⁽¹⁾	0.04
10		单位产值危险废物产生量	每单位产值所产生危险废物量。根据企业当年单位危险废物产生量赋分，达到领跑值及以上为满分。	4	40kg/万元 ⁽¹⁾	150kg/万元 ⁽¹⁾	0.04
11		非道机械电气化	厂区非道路移动机械的新能源机械占比。根据新能源非道机械占比赋分，达到领跑值及以上为满分。	2	50% ⁽³⁾	0% ⁽³⁾	0.02
12		企业研究与试验发展（R&D）经费投入强度	研究与试验发展经费占销售收入的比值。根据企业当年研发投入水平赋分，达到领跑值及以上为满分。	5	4% ⁽³⁾	2.5% ⁽³⁾	0.05
13	末端高效治理水平（16）	废水高效处理率	废水排放口小时均值浓度排放情况。根据在线数据统计赋分，达到领跑值及以上为满分。	4	99.5% ⁽¹⁾	99% ⁽¹⁾	0.04
14		废气高效处理率	废气排放口小时均值浓度排放情况。根据在线数据统计赋分，达到领跑值及以上为满分。	4	99.5% ⁽¹⁾	99% ⁽¹⁾	0.04
15		废气处理设施运行性能	蓄热式热力焚化炉（RTO）运行性能。根据实际使用年数赋分，其中多套 RTO 设施按平均值，达到领跑值及以上为满分。	4	5 年 ⁽³⁾	15 年 ⁽³⁾	0.04
16		废气处理设施运行能耗强度	废气处理设施运行过程每万立方废气处理用于助燃消耗天然气、柴油、液化气等使用量。根据每万立方废气处理所消耗的折合标准煤量赋分，达到领跑值及以上为满分。	4	5kgec/万 m ³ ⁽³⁾	10kgec/万 m ³ ⁽³⁾	0.04

17	资源循环利用水平 (13)	蒸汽冷凝水回用	企业开展蒸汽冷凝水回收利用的生产车间情况。根据回收利用生产车间占比赋分，达到领跑值及以上为满分。	2	100% ⁽³⁾	80% ⁽³⁾	0.02
18		化学溶剂回收	企业开展化学溶剂回收利用（溶剂回收率 70%以上）的生产车间情况。按符合要求的车间数占比赋分，达到领跑值及以上为满分。	4	100% ⁽²⁾	80% ⁽²⁾	0.04
19		废盐资源化利用	企业废盐资源化利用量占总处置量的比例。按资源化利用量占比赋分，达到领跑值及以上为满分。	4	50% ⁽³⁾	0% ⁽³⁾	0.04
20		绿色电力消费	绿色电力用量与当年电力总消耗量的比值。根据企业绿色电力占比赋分，达到领跑值及以上为满分，若绿电消费比例超过 10%则系数为 2。	3	5% ⁽³⁾	0% ⁽³⁾	0.03
21	管理协同能力水平 (16)	减污降碳示范项目	企业入选省、市级减污降碳协同标杆或示范项目数量。根据入选项目数赋分，每个 2 分，其中省级系数为 1.5。	4	2 项	0 项	0.04
22		碳排放管理体系	企业确定碳排放管理责任部门，制定碳排放管理制度，激励各部门为减少碳排放做出贡献，得 2 分；项目已开展碳评价，得 2 分；开展温室气体排放报告工作，得 2 分。	6	3 项	0 项	0.06
23		绿色低碳工厂建设	企业获评数字化车间/智能工厂、绿色低碳工厂、绿色工厂等，每项赋分 2 分，其中省级系数为 1.5，国家级系数为 2。	4	2 项	0 项	0.04
24		减污降碳相关荣誉	企业获评可体现减污降碳水平的相关荣誉，每项赋分 2 分，其中省级系数为 1.5，国家级系数为 2。	2	1 项	0 项	0.02

注：（1）部分定量指标主要参照临海医化园区 2023 年度前 20%为领跑值，即满分值，2023 年度前 80%为基准值，即 0 分值。（2）参考《化学原料药制造业清洁生产评价指标体系》（2020 年版）。（3）数据来源于参考文献、咨询业内专家及调研所得。

8. 指标核算及数据来源

8.1 指标解释及核算

8.1.1 单位污染物排放强度

单位污染物排放强度指企业单位工业产值主要污染物（化学需氧量、氨氮、氮氧化物、二氧化硫、VOCs）排污权总量。

$$P_{(单位产值污染物排放强度)} = \frac{P_{(主要污染物排放量)}}{P_{(工业总产值)}}$$

式中： $P_{(单位产值污染物排放强度)}$ ——在一定计量时间内，企业单位产值使用主要污染物排污权的量，t/万元；

$P_{(主要污染物排放量)}$ ——评价期间，企业主要污染物（化学需氧量、氨氮、氮氧化物、二氧化硫、VOCs）排污权总量，未实施的项目对应的排污权总量可不计入，t；

$P_{(工业总产值)}$ ——在一定计量时间内，企业工业总产值，万元。

8.1.2 污染物排放强度下降率

污染物排放强度下降率是企业单位工业产值污染物排放强度年下降率。

$$C_{(污染物排放强度下降率)} = \frac{C_{(去年污染物排放强度)} - C_{(当年污染物排放强度)}}{C_{(去年污染物排放强度)}}$$

式中： $C_{(污染物排放强度下降率)}$ ——企业单位产值污染物排放强度年下降率；

$C_{(当年污染物排放强度)}$ ——企业当年单位产值主要污染物排放强度，t/万元；

$C_{(去年污染物排放强度)}$ ——企业去年单位产值主要污染物排放强度，t/万元。

8.1.3 单位产值碳排放强度

单位碳排放强度指企业单位产值二氧化碳排放量。

$$P_{(单位产值碳排放强度)} = \frac{P_{(二氧化碳排放量)}}{P_{(工业总产值)}}$$

式中： $P_{(单位碳排放强度)}$ ——在一定计量时间内，企业单位工业产值所排放的二氧化碳量，t/万元；

P (二氧化碳排放量) ——在一定计量时间内, 企业二氧化碳排放总量, t;

P (工业总产值) ——在一定计量时间内, 企业工业总产值, 万元。

8.1.4 碳排放强度下降率

碳排放强度下降率是企业单位碳排放强度年下降率。

$$C_{(\text{碳排放强度下降率})} = \frac{C_{(\text{去年碳排放强度})} - C_{(\text{当年碳排放强度})}}{C_{(\text{去年碳排放强度})}}$$

式中: C (碳排放强度下降率) ——企业单位工业产值碳排放强度年下降率;

C (当年碳排放强度) ——企业当年单位产值二氧化碳排放量, t/万元;

C (去年碳排放强度) ——企业去年单位产值二氧化碳排放量, t/万元。

8.1.5 生产原料绿色化

生产原料绿色化是指企业新、改、扩项目禁止使用 I 类敏感物料、限制使用 II 类敏感物料, 根据在产产品 I 类、II 类敏感物料使用种类数量占原辅物料使用种类总数的比例赋分。

$$Y_{(\text{生产原料绿色化})} = \frac{Y_{(\text{I类和II类敏感物料使用种类总量})}}{Y_{(\text{原辅物料使用种类总数})}}$$

式中: Y (生产原料绿色化) ——企业在产产品 I 类、II 类敏感物料使用情况的综合评价值;

Y (I 类和 II 类敏感物料使用种类数量) ——企业在产产品 I 类、II 类敏感物料使用种类数量, 其中 I 类敏感物料计量时需乘以系数 5, 种;

Y (原辅物料使用种类总数) ——企业在产产品所使用的原辅物料种类总数, 可以环评文件为依据, 种。

备注: 在产产品特指已完成项目环保“三同时”验收的产品, 下同。

8.1.6 生产车间密闭化

生产车间密闭化是指企业采用垂直流、压力流或密闭化设计的生产车间占比, 车间设备布置时应考虑利用位差垂直流布局, 以节约动力及投资费用。

$$C_{(\text{生产车间密闭化})} = \frac{C_{(\text{密闭化车间})}}{C_{(\text{生产车间总数})}}$$

式中： $C_{(生产车间密闭化)}$ ——企业生产车间垂直流、压力流或密闭化的综合评价价值，即符合密闭化设计要求的车间数占比；

$C_{(密闭化车间)}$ ——企业实现工艺流程密闭化、物料输送管道化、生产车间布置垂直流或压力流的生产车间数量，个；

$C_{(生产车间总数)}$ ——企业全厂主要生产车间数量，个。

8.1.7 工艺水平先进性

工艺水平先进性是指企业采用合成生物学技术、绿色催化剂（酶催化、手性催化等）、微化工技术等绿色工艺，根据涉及绿色工艺的产品产能占比赋分。

$$G_{(工艺水平先进性)} = \frac{G_{(绿色工艺产品产能)}}{G_{(全厂产品产能)}}$$

式中： $G_{(工艺水平先进性)}$ ——企业在产产品绿色工艺采用情况的综合评价价值；

$G_{(绿色工艺产品产能)}$ ——企业涉及合成生物学技术、绿色催化剂（酶催化、手性催化等）、微化工技术等绿色工艺的在产产品批复产能，t；

$G_{(全厂产品产能)}$ ——企业全厂在产产品批复产能，t。

8.1.8 装备水平先进性

装备水平先进性是指企业生产车间使用下卸料离心机、多功能一体式压滤机、单锥干燥机等密闭性好的设备，安装分布式控制系统（DCS）、安全联锁系统（SIS）等智能控制，根据符合要求的生产车间占比赋分。

$$G_{(装备水平先进性)} = \frac{G_{(装备水平先进的车间)}}{G_{(生产车间总数)}}$$

式中： $G_{(装备水平先进性)}$ ——企业生产车间装备水平的综合评价价值；

$G_{(装备水平先进的车间)}$ ——企业全厂使用下卸料离心机、多功能一体式压滤机、单锥干燥机等密闭性好的设备，安装了分布式控制系统（DCS）、安全联锁系统（SIS）等智能控制的生产车间数量，个；

$G_{(生产车间总量)}$ ——企业全厂主要生产车间数量，个。

8.1.9 单位产值废水产生量

单位产值废水产生量是指在一定计量时间内，企业单位工业产值废水产生量

(即排放量)。

$$U_w = \frac{C_w}{Q}$$

式中： U_w ——单位产值废水产生量，t/万元；

C_w ——在一定计量时间内，企业生产产品产生的废水总量，可以在线排放量统计，t；

Q (工业总产值)——在一定计量时间内，企业工业总产值，万元。

8.1.10 单位产值危险废物产生量

单位产值危险废物产生量是指在一定计量时间内，企业单位工业产值所产生的固体废物（包括：高浓度釜残液、基因工程药物过程中的母液、发酵产生的未资源化利用的菌丝废渣、提取未综合利用的药渣、报废药品、过期原料、废吸附剂、高沸物、未综合利用的废盐、废活性炭、废催化剂及溶剂、含有或者直接沾染危险废物的废包装材料、废滤芯（膜）等）产生量。

$$U_s = \frac{C_s}{Q}$$

式中： U_s ——单位产值危险废物产生量，t/万元；

C_s ——在一定计量时间内，企业生产产品产生的危险废物总和，t；

Q (工业总产值)——在一定计量时间内，企业工业总产值，万元。

8.1.11 非道路机械电气化

非道路机械电气化是厂区非道路移动机械的新能源机械占比。根据新能源机械占比赋分，达到领跑值及以上为满分。

$$FX_{(\text{非道路机械电气化})} = \frac{X_{(\text{新能源机械})}}{F_{(\text{厂区非道路移动机械})}}$$

式中： FX (非道路机械电气化)——企业非道路移动机械的新能源机械比例，%；

X (新能源机械)——在一定计量时间内，企业非道路移动机械的新能源机械数量，台；

F (厂区非道路移动机械)——在一定计量时间内，企业厂区非道路移动机械总数，台。

8.1.12 企业研究与试验发展(R&D)经费投入强度

企业研究与试验发展(R&D)经费投入强度是指在一定计量时间内,企业研发经费支出与销售收入的比例。

$$P = \frac{R}{X}$$

式中: P (R&D) ——企业研发经费支出与销售收入的比例, %;

R (研发经费) ——在一定计量时间内, 企业研发经费投入, 万元;

X (销售收入) ——在一定计量时间内, 企业产品销售收入, 万元。

8.1.13 废水高效处理率

废水高效处理率指企业废水排放口污染物在线排放达标率。

$$W = \frac{C}{Z}$$

式中: W——企业废水排放口污染物在线排放达标率, %;

C——在一定计量时间内, 废水排放口污染物小时均值超标个数, 个;

Z——在一定计量时间内, 废水排放口污染物小时均值有效获取总数, 个。

8.1.14 废气高效处理率

废气高效处理率指企业废气排放口污染物在线排放达标率。

$$Q = \frac{C}{Z}$$

式中: Q——企业废气排放口污染物在线排放达标率, %;

C——在一定计量时间内, 废气排放口污染物小时均值浓度超标个数, 个;

Z——在一定计量时间内, 废气排放口污染物小时均值有效获取总数, 个。

8.1.15 废气处理设施运行性能

废气处理设施运行性能是主要考虑企业蓄热式热力焚化炉(RTO)运行的稳定性、安全性。根据实际使用年数赋分(以第一次竣工环境保护验收时间起计算, 不满一年的按月份百分比计, 见下表), 其中多套 RTO 设施则按投入使用的年数的平均值进行计算, 用于应急使用的 RTO 处理设施则不计入。

表 8.1.15-1 RTO 实际使用年数赋分规则

使用年限	赋分规则
5	4
6	3.8
7	3.6
8	3.4
9	3.2
10	3
11	2.4
12	1.8
13	1.2
14	0.6
15	0

8.1.16 废气设施运行能耗强度

废气设施运行能耗强度指废气处理过程每万立方废气处理所消耗天然气、柴油、液化气的量。

$$R = \frac{E}{V}$$

式中：R——末端治理设施每万立方废气处理所消耗天然气、柴油、液化气的量折合标准煤量，kgce/万 m³；

E——在一定计量时间内，企业末端废气治理设施全年消耗天然气、柴油、液化气的量折合标准煤量，kgce；其中，吨标煤=（化石燃料实物量（t）*化石燃料低位热值（GJ/t））*1000/（（7000Kcal/t*4.1816（KJ/Kcal）），常见化石燃料特性参数缺省值如下：柴油 43.33 GJ/吨、天然气 389.31 GJ/万Nm³、液化石油气 47.31 GJ/吨等，详见《工业其他行业企业温室气体排放核算方法与报告指南》（试行）附件 2；

V——在一定计量时间内，企业末端废气治理设施(这里指 RTO)全年废气处理总量，以在线数据统计，万 m³。

8.1.17 蒸汽冷凝水回用

蒸汽冷凝水回用是指企业回收蒸汽系统排出的高温冷凝水，可最大限度地利用冷凝水的热量，节约用水，节约燃料，根据企业开展蒸汽冷凝水回收利用的生产车间的占比赋分。

$$Z_{(\text{蒸汽冷凝水回用})} = \frac{C_{(\text{蒸冷凝水汽回用车间})}}{C_{(\text{生产车间总数})}}$$

式中： $Z_{(\text{蒸汽冷凝水回用})}$ ——企业生产车间蒸汽冷凝水回用情况的综合评价价值；

$C_{(\text{蒸汽冷凝水回用车间})}$ ——企业开展蒸汽冷凝水回收利用的生产车间数量，个；

$C_{(\text{生产车间总数})}$ ——企业全厂涉及蒸汽冷凝水产生的主要生产车间数量，个。

8.1.18 化学溶剂回收

化学溶剂回收是指企业开展化学溶剂回收利用（溶剂回收率 70%以上）的生产车间数量占比情况，根据生产车间占比赋分。

$$H_{(\text{化学溶剂回收})} = \frac{C_{(\text{化学溶剂回收车间})}}{C_{(\text{生产车间总数})}}$$

式中： $H_{(\text{化学溶剂回收})}$ ——企业生产车间化学溶剂回收利用情况的综合评价价值；

$C_{(\text{化学溶剂回收车间})}$ ——企业开展化学溶剂回收利用（溶剂回收率 70%以上）的生产车间数量，个；

$C_{(\text{生产车间总数})}$ ——企业全厂涉及化学溶剂使用的主要生产车间数量，个。

8.1.19 废盐资源化利用

废盐资源化利用是指在一定时间内，废盐资源化综合利用总量与实际处置总量之比的百分率。

$$Y = \frac{G1}{G0}$$

式中：式中： Y ——废盐资源化利用，%；

$G1$ ——在一定计量时间内，企业自身或委托资源化综合利用废盐的量，t；

$G0$ ——在一定计量时间内，企业废盐产生或处置总量，t。

8.1.20 绿色电力消费比例

绿色电力消费比例是指企业购入或使用电力总量的绿色电力占比，绿色电力是指利用特定的发电设备，如风机、太阳能光伏电池等，将风能、太阳能等可再生的能源转化成电能。

$$L_{(\text{绿色电力消费比例})} = \frac{N_{(\text{绿色电力消耗量})}}{N_{(\text{电力总消耗量})}}$$

式中： $L_{(\text{绿色电力消费比例})}$ ——企业绿色电力消耗量占电力消耗总量的比例；
若绿电消费比例超过 10% 则系数为 2。

$N_{(\text{绿色电力使用量})}$ ——在一定计量时间内，企业全厂绿色电力的消耗量，如光伏发电、风力发电、直接购买绿色电力，万千瓦时；

$N_{(\text{电力总消耗量})}$ ——在一定计量时间内，企业全厂电力总消耗量，万千瓦时。

8.1.21 减污降碳示范项目

减污降碳示范项目是指企业入选省、市级减污降碳协同标杆或示范项目。根据入选项目数赋分，市级减污降碳协同标杆或示范项目以市局相关文件、指南、汇编为准，省级减污降碳协同标杆或示范项目以正式发布文件为准，如入选省级减污降碳协同标杆项目，可乘系数 1.5 赋分。

8.1.22 碳排放管理体系

碳排放管理体系指企业确定碳排放管理责任部门，制定碳排放管理制度，持续改进碳排放管理绩效，激励各部门为减少碳排放做出贡献；对新、改、扩项目环评阶段需按要求开展碳评价；企业按要求开展温室气体排放报告工作。

8.1.23 绿色低碳工厂建设

绿色低碳工厂建设是指企业获评数字化车间/智能工厂、绿色低碳工厂、绿色工厂等情况，根据获评的数量和等级赋分，以正式发布文件为准，其中省级系数为 1.5，国家级系数为 2。

8.1.24 减污降碳相关荣誉

企业获评可体现减污降碳水平的相关荣誉，每项赋分 2 分，以正式发布文件为准，其中省级系数为 1.5，国家级系数为 2。

8.2 指数计算方法

按照上述计算方法逐一计算评价指标表（表 7-1）中每个单项指标值，然后与该指标的权重相乘后加和，即为台州市医化行业减污降碳协同指数（IPEC）综合评价结果。企业减污降碳协同增效指数计算公式(1)如下。

$$IPEC = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^{l_i} w_{ij} P_{ij} \right) \quad (1)$$

式中： $IPEC$ ——台州市医化行业减污降碳协同增效指数； n ——一级指标的个数； li ——第 i 个一级指标下二级指标的个数； w_{ij} ——第 i 个一级指标下第 j 个二级指标的权重； P_{ij} ——第 i 个一级指标下第 j 个二级指标计算参数的评价价值。

P_{ij} 的计算方法如式(2)所示。

$$P_{ij} = \begin{cases} \frac{100 * X}{\frac{Z_{ij}-Z_{min,ij}}{Z_{max,ij}-Z_{min,ij}}} \times 100 \\ \frac{Z_{min,ij}-Z_{ij}}{Z_{min,ij}-Z_{max,ij}} \times 100 \\ 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中， Z_{ij} 为第*i*个一级指标下第*j*个二级指标计算参数的实际值， $Z_{max,ij}$ 为该指标领跑值， $Z_{min,ij}$ 为该指标的基准值，各变量单位见表7-1。当 $Z_{max,ij}$ 表现优于领跑值时， Z_{ij} 为100；当 $Z_{max,ij}$ 未达到基准值水平时， Z_{ij} 取0；当 Z_{ij} 处于二者之间时，区分正负向指标并采用距离比值法来计算得分。当部分指标 $Z_{max,ij}$ 触发系数，则需乘系数 X 。

8.3 数据来源

企业的工业总产值、产品产量、污染物产排量、能耗及各种资源的综合利用量等，以年报或考核周期报表为准。

8.4 减污降碳协同水平分级

根据医化企业减污降碳协同指数得分情况，将企业划分为3档，具体见下表所示。

表8.4-1 医化企业减污降碳协同水平等级

维度	等级	指数得分	说明
减污降碳协同水平	一档	90分及以上	企业减污降碳协同水平在所处医化行业中处于较高水平
	二档	75~90分	企业减污降碳协同水平在所处医化行业中处于中等水平
	三档	75分以下	企业减污降碳协同水平在所处医化行业中处于较低水平

附录 敏感物料清单

根据《台州市医药产业环境准入指导意见》的相关要求，敏感物料类别和物质名称如下：

I类：乙硫醇、甲硫醇、硫化氢、甲硫醚、苯、光气（气态）、四氯化碳、1,2-二氯乙烷、1,1-二氯乙烯、1,1,1-三氯乙烯。

II类：吡啶类、丙烯腈、苯乙烯、吗啉、四氢噻酚、苯硫酚、特戊酰氯、溴素、氯化亚砷、二甲基亚砷、一氯甲烷、溴乙烷、氯仿、三氯乙烯、三氯甲烷、二氯乙烯、四氯乙烯、巯基物（恶臭）、一甲胺、二甲胺、三甲胺、三氯氧磷、三氯化磷、三溴化磷、五氧化磷、三甲基氯硅烷、四氯化钛、氯甲酸乙酯、戊醇、苯磺酰氯、氯甲基甲醚、甲基叔丁基醚、丙烯酸酯、三氧化二砷、二氯乙酸乙酯、二氯乙酸甲酯、异氰酸甲酯、硝基苯、环氧丙烷、乙酸乙烯酯、环氧氯丙烷、三氟化硼、烯丙胺（3-氨基丙烯）、氯甲酸三氯甲酯、苯胺、苯酚、氯气（液氯）、氰化氢（气态）、三氧化硫（气态）、氟化氢（气态）。