

附件 2

制药工业污染防治可行技术指南  
(征求意见稿)

# 前言

为贯彻执行《中华人民共和国环境保护法》，防治环境污染，完善环保技术工作体系，制定本指南。

本指南以当前技术发展和应用状况为依据，可作为制药工业（化学合成类、发酵类及制剂类）污染防治工作的参考技术资料。

本指南由环境保护部科技标准司提出并组织制订。

本指南起草单位：河北省环境科学研究院、中国环境科学研究院、江苏省环境科学研究院、清华大学。

本指南由环境保护部解释。

## 目录

前言 .....	1
1. 总则 .....	1
1.1 适用范围 .....	1
1.2 术语和定义.....	1
2. 生产工艺及污染物排放.....	1
2.1 生产工艺及产污环节.....	1
2.2 污染物排放.....	3
3. 制药工业污染防治技术.....	5
3.1 产品生产工艺过程污染预防技术 .....	5
3.2 水污染物末端治理技术 .....	9
3.3 大气污染物末端治理技术 .....	15
3.4 固体废物综合利用及处置技术 .....	20
4. 制药工业污染防治可行技术 .....	21
4.1 制药工业污染防治可行技术概述 .....	21
4.2 工艺过程污染预防可行技术.....	24
4.3 水污染物排放控制可行技术.....	25
4.4 大气污染物排放控制可行技术.....	35
4.5 固体废物处理处置可行技术.....	38
附录 A .....	39
(资料性附录) .....	39
制药工业典型产品工艺流程及排污节点.....	39
附录 B .....	48
制药工业代表性药物废水产生量及废水水质概况.....	48

## 1. 总则

### 1.1 适用范围

本指南适用于化学合成类、发酵类及制剂类制药工业企业，产品与药物结构相似的兽药生产企业可参照采用。

生物工程类、提取类、中药类制药工业企业的污染防治可行技术并未包含于本指南中。

### 1.2 术语和定义

#### 1.2.1 发酵类制药

指通过发酵的方法产生抗生素或其他的活性成分，然后经过分离、纯化、精制等工序生产出药物的过程，按产品种类分为抗生素类、维生素类、氨基酸类和其他类。其中，抗生素类按照化学结构又分为β—内酰胺类、氨基糖苷类、大环内酯类、四环素类、多肽类和其他。

#### 1.2.2 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的过程。

#### 1.2.3 制剂类制药

指用药物活性成分和辅料通过混合、加工和配制，形成各种剂型药物的过程。

## 2. 生产工艺及污染物排放

### 2.1 生产工艺及产污环节

#### 2.1.1 发酵类制药

发酵类制药生产工艺流程一般为：种子培养、微生物发酵、发酵液预处理和固液分离、提炼纯化、精制、干燥、包装等步骤。种子培养阶段通过摇瓶种子培养、种子罐培养及发酵罐培养连续的扩增培养，获得足够量健壮均一的种子投入发酵生产。发酵液预处理的主要目的是将菌体与滤液分离开，便于后续处理，通常采用过滤法处理。提取分从滤液中提取和菌体中提取两种不同工艺过程，产物提取的方法主要有萃取、沉淀、盐析等。产品精制纯化主要有结晶、喷雾干燥、冷冻干燥等几种方式。

典型的发酵类制药生产工艺流程及排污节点如图 1 所示。

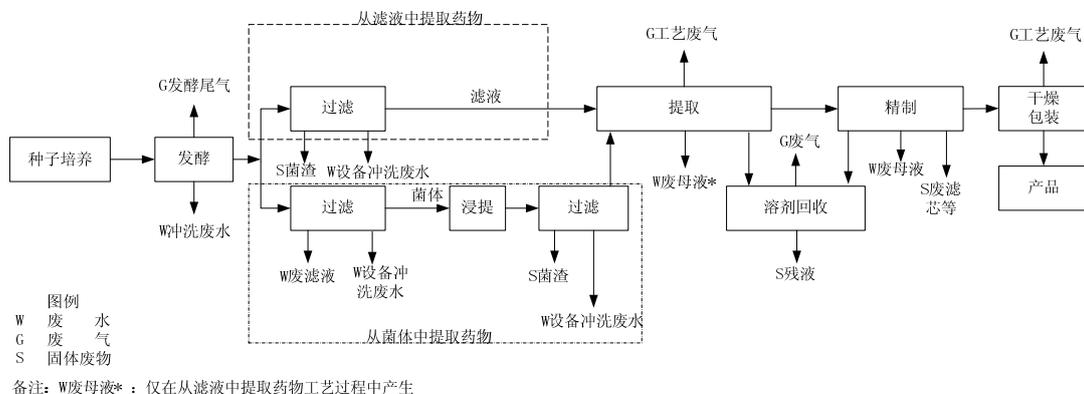


图 1 发酵类制药生产工艺及排污节点图

### 2.1.2 化学合成类制药

化学合成类制药生产过程主要以化学原料为起始反应物，化学合成类制药的生产工艺主要包括反应和药品纯化两个阶段。反应阶段包括合成、药物结构改造、脱保护基等过程。具体的化学反应类型包括酰化反应、裂解反应、硝基化反应、缩合反应和取代反应等。化学合成类制药的纯化过程包括分离、提取、精制和成型等。分离主要包括沉降、离心、过滤和膜分离技术；提取主要包括沉淀、吸附、萃取、超滤技术；精制包括离子交换、结晶、色谱分离和膜分离等技术；产品定型步骤主要包括浓缩、干燥、无菌过滤和成型等技术。

化学合成类制药生产工艺流程及排污节点见图 2。

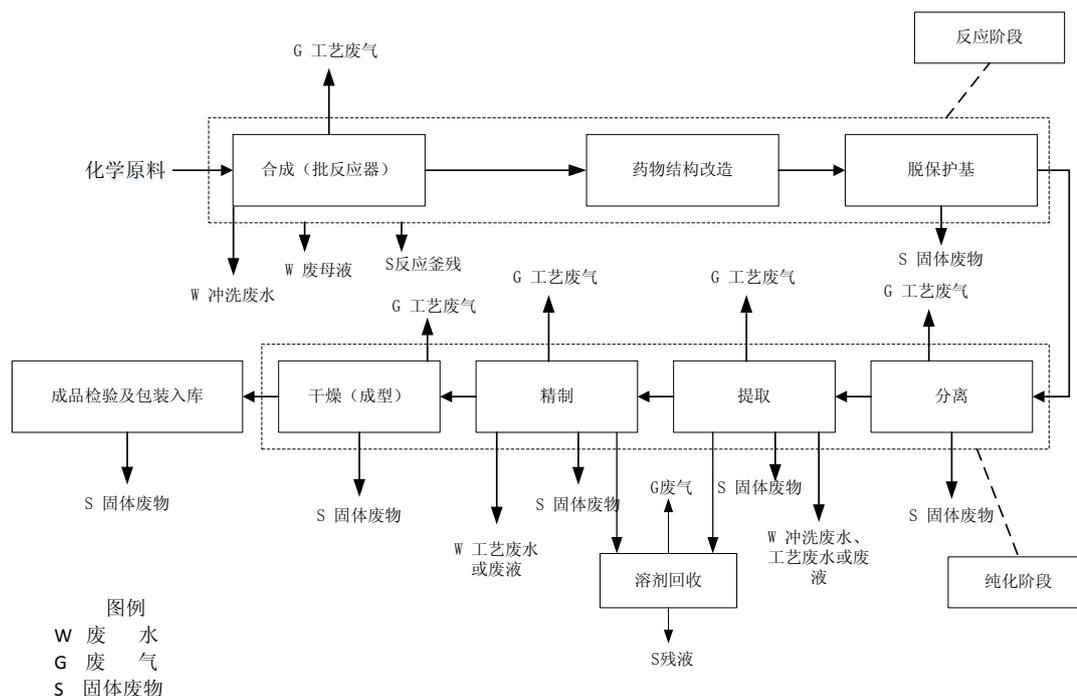


图 2 化学合成类制药生产工艺及排污节点

### 2.1.3 制剂类制药

制剂类药物生产工艺过程是通过混合、加工和配制，将具有生物活性的药品制备成成品。根据制剂的形态可分为固体制剂类、注射剂类及其他制剂类等三大类型。制剂类制药生产工艺流程及排污节点如图 3 所示。

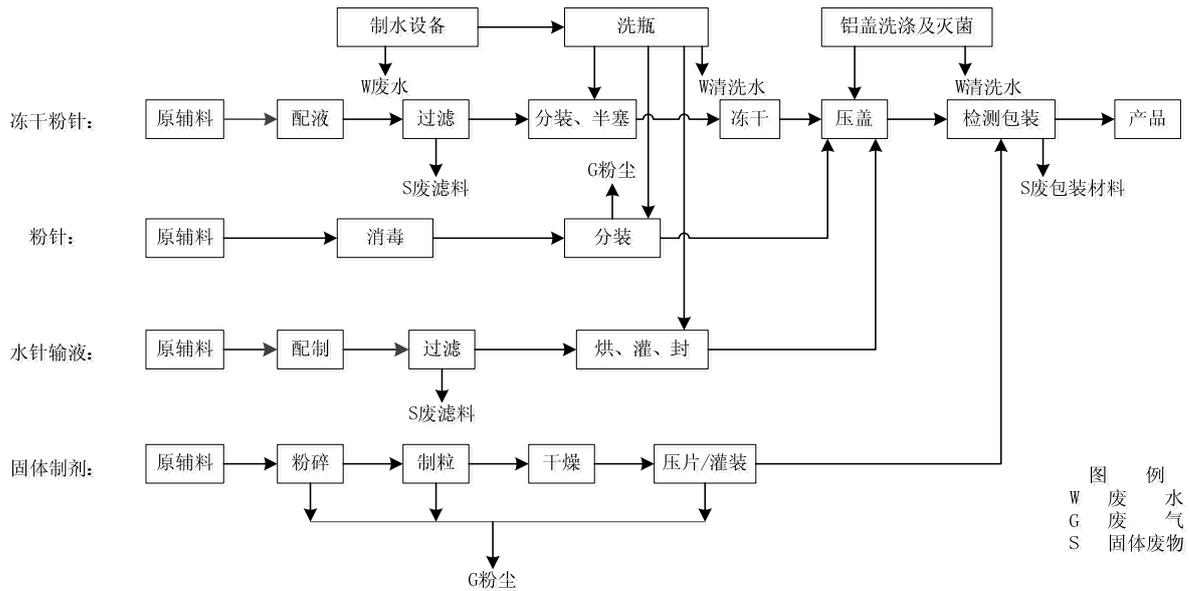


图 3 制剂类制药生产工艺及排污节点图

## 2.2 污染物排放

### 2.2.1 发酵类制药

#### 2.2.1.1 水污染物排放

发酵类制药废水大部分属高浓度废水，酸碱性和温度变化大、碳氮比低、绝大部分发酵类制药废水含氮量高、硫酸盐浓度高、色度较高，有的发酵母液中还含有抗生素分子及其它特征污染物，为废水处理带来一定难度。此外，生物发酵过程需要大量冷却水和去离子水，冷却水排污和制水过程排水占总排水量的 30%以上。发酵类制药废水主要污染物有 COD、BOD<sub>5</sub>、SS、pH、色度和氨氮等。发酵类制药废水来源及水质特点见表 1。

表 1 发酵类制药废水水质特点表

废水来源	水质特点	一般水质指标 (mg/L)
主生产过程排水	包括废滤液（从菌体中提取药物）、废发酵母液（从过滤液中提取药物）、其他废母液等。此类废水浓度高、硫酸盐及氨氮含量高，酸碱性和温度变化大、一般含药物残留，水量相对较小。	产品不同，指标差异也较大 COD>10000; BOD <sub>5</sub> /COD 在 0.3~0.5; SS:1000~6000
辅助过程排水	包括工艺冷却水（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，水环真空设备排水、去离子水制备过程排水、蒸馏（加热）设备冷凝水等。此类废水污染物浓度低，但水量大、季节性强企业间差异大。	COD≤ 100
冲洗水	包括容器设备冲洗水（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。其污染物浓度高、酸碱性和变化大。水环真空设备排水与此类水浓度相近。	COD:1000~10000
生活污水	与企业的人数、生活习惯、管理状态相关，但不是主要废水。	同一般生活污水

### 2.2.1.2 大气污染物排放

发酵类药物生产过程产生的废气主要包括发酵尾气、含溶剂废气、含尘废气、酸碱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开始产生抗生素时菌丝的气味，如直接排放，对厂区周边大气环境质量影响较大。有机溶剂废气主要产生于分离提取等生产工序。

### 2.2.1.3 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、过滤过程产生的粉尘；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。

## 2.2.2 化学合成类制药

### 2.2.2.1 水污染物排放

化学合成类制药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。水污染物包括常规污染物和特征污染物，即 TOC、COD、BOD<sub>5</sub>、SS、pH、氨氮、总氮、总磷、色度、急性毒性、挥发酚、硫化物、硝基苯类、苯胺类、二氯甲烷、总锌、总铜、总氰化物和总汞、总镉、烷基汞、六价铬、总砷、总铅、总镍等污染物。化学合成类制药废水来源及水质特点见表 2。

表 2 化学合成类制药废水来源及水质特点表

废水来源	水质特点	一般水质指标 (mg/L)
母液类	包括各种结晶母液、转相母液、吸附残液等，污染物浓度高，含盐量高，废水中残余的反应物、生成物等浓度高，有一定生物毒性、难降解。	COD 一般在数万，最高可达几十万；BOD <sub>5</sub> /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
冲洗废水	包括过滤机械、反应容器、催化剂载体、树脂、吸附剂等设备及材料的洗涤水。其污染物浓度高、酸碱性变化大。	COD:4000~10000 BOD <sub>5</sub> :1000~3000
辅助过程排水	包括循环冷却水系统排污，水环真空设备排水、去离子水制备过程排水、蒸馏（加热）设备冷凝水等。	COD≤100
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。	同一般生活污水

### 2.2.2.2 大气污染物排放

化学合成类制药企业主要废气污染源包括四部分：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；使用盐酸、氨水调节 pH 值产生的酸碱废气；粉碎、干燥排放的粉尘；污水处理厂产生的恶臭气体。排放的大气污染物主要有氯化氢、溶剂(丁酯，丁醇、二氯甲烷、异丙醇、丙酮、乙腈、乙醇等)、粉尘、NH<sub>3</sub>。

### 2.2.2.3 固体废物

化学合成类制药过程中产生的固体废物主要与化学合成制药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、精馏釜残、废滤芯（废滤膜）、粉尘、药尘、废药品等，产生的一般固体废物主要为废包装材料等。

### 2.2.3 制剂类制药

#### 2.2.3.1 水污染物排放

制剂类制药废水属中低浓度有机废水，水污染物主要有 pH、COD、BOD<sub>5</sub>、SS 等。制剂类制药废水来源及水质特点见表 3。

表 3 制剂类制药废水水质特点表

废水来源	水质特点	一般水质指标 (mg/L)
纯化水、注射用水制水设备排水	主要为酸碱废水	pH:1~12
包装容器清洗废水	此部分清洗废水污染物浓度很低，但水量较大	COD <100; SS <50
工艺设备清洗废水	该类废水 COD 较高，但水量较小	COD <1500; SS <150 BOD <sub>5</sub> /COD 一般 0~0.5
地面清洗废水	污染物浓度低	COD <400; SS <200
生活污水	与企业的人数、生活习惯、管理状态相关	COD ≤ 300; BOD <sub>5</sub> ≤ 200; SS ≤ 250; 氨氮 ≤ 40

#### 2.2.3.2 大气污染物排放

制剂类药物生产过程产生的废气主要为粉碎、过筛、制粒、干燥、总混、分装、填充等加工工序过程中产生的粉尘。

#### 2.2.3.3 固体废物

制剂类制药工业固体废物大部分为危险废物，主要为废制剂原料、废药品、废活性炭、废过滤材料等，涉及的一般废物主要为废包装材料等。

## 3. 制药工业污染防治技术

### 3.1 产品生产工艺过程污染预防技术

#### 3.1.1 原料使用污染预防技术

##### 3.1.1.1 原材料的替换

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或降低废物的毒性。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。

##### 3.1.1.2 使用无毒或低毒溶剂

应当避免在生产过程中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。尽量使用对人体无害的溶剂，包括乙酸、丙酮、苯甲醚、乙酸乙酯、乙醇、乙醚、甲酸乙酯、甲酸等。

### 3.1.1.3 减少发酵过程含氮物质、硫酸盐等物质的使用

发酵过程中为满足发酵微生物次级代谢过程的特定要求，一般控制发酵的 C/N 为 4 左右，废发酵液中的  $BOD_5/N$  一般在 1~4 之间，与废水处理微生物的营养要求（好氧 20:1，厌氧（40~60）：1）相差甚远，加之硫酸铵、氨水等高含氮物质的使用导致发酵废水氮源过剩，严重影响后续污水生物治理过程中水处理微生物的生长与代谢，不利于提高废水生物处理的负荷和效率。同时，发酵过程中为保证菌种的营养或发酵条件，需要加入硫酸盐辅料，致使废水中的硫酸盐浓度过高，抑制后续厌氧生物处理过程中产甲烷菌的活性，影响厌氧生化处理的效果。

鼓励在制药生产过程中采用新技术、新工艺，以减少含氮物质、含硫酸盐辅料、含磷物质、重金属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 药品分离提取工艺过程污染预防技术

制药过程中常采用的药物分离提取技术有溶剂萃取法、直接沉淀法和离子交换吸附法。为减少污染物排放、提高产品收率、降低生产成本，近年来开发了一些新的产品回收工艺，例如膜分离法、双水相萃取法等药物提取分离技术。

#### 3.1.2.1 溶剂萃取法技术

采用有机溶剂回收活性药剂或产品，从混合物中制得很少量的产品需经过多种溶剂萃取。采用溶剂萃取工艺，少量未被回收的有机溶剂进入废水或逸散至空气中，对环境造成污染。

#### 3.1.2.2 直接沉淀法技术

采用含钙、铜或锌等金属溶液，使产品以金属盐的形式沉淀下来，然后过滤，从剩余固体物中提取药品。

#### 3.1.2.3 离子交换吸附法

先采用离子交换树脂和活性炭等固体材料吸附产品，再采用溶剂洗脱、浓缩、结晶等方法提取药物，溶剂采用蒸馏法回收。

#### 3.1.2.4 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，降低试剂消耗量。在萃取分离柠檬酸、提取抗生素、提取生物碱等医药化工中得到应用。

#### 3.1.2.5 双水相萃取技术

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；所需的有机溶剂剂量大幅减少，同时降低了废液和废渣的排放量。

#### 3.1.2.6 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。

#### 3.1.2.7 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。

#### 3.1.2.8 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。

#### 3.1.2.9 移动式连续离子交换分离技术

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。

#### 3.1.2.10 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，所填装的色谱柱柱床均匀、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。

### 3.1.3 纯水制备工艺过程污染预防技术

#### 3.1.3.1 离子交换树脂技术

离子交换树脂法树脂再生频率较高，再生剂的使用量较大，且产生酸碱废水。

#### 3.1.3.2 二级反渗透技术

反渗透（Reverse Osmosis）制水技术是利用高分子材料经过特殊工艺制成的半透膜（即反渗透膜），用高压泵对水施加一定的压力使水分子通过一层反渗透膜，从而获得纯净水。而溶解在水中的绝大部分无机盐（包括重金属）、有机物以及细菌、病毒等无法透过反渗透膜，留在浓缩水中被排放掉。在多级流程中，将第一级的净化水作为第二级的进水，各级浓缩液可以单独排出，也可循环至前面各级作为进水。

### 3.1.3.3 反渗透+电子混床（EDI）技术

反渗透是一种借助于选择透过（半透过）性膜的工力能以压力为推动力的膜分离技术。经过反渗透处理的水，为进一步提高水质，除去溶解在水中的微量元素和 CO<sub>2</sub> 等，可增加 EDI 处理。EDI 是一种将离子交换技术、离子交换膜技术和离子电迁移技术相结合的纯水制造技术，通过使用由离子膜、离子交换树脂组成的基本单元——膜组件，在直流电的作用下，无需使用酸碱对树脂进行再生，即可连续不断地长期运行，稳定可靠地制出电阻率高达 18MΩ/cm 的超纯水。

### 3.1.4 工艺节水技术

#### 3.1.4.1 减少清洗水的用量

- （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。
- （4）采用便于回收利用或处理处置的材料，在固体制剂类药品生产过程中，最终包装采用铝板，尽量避免药瓶的使用，减少洗瓶废水。

#### 3.1.4.2 超声波洗瓶工艺

超声波洗瓶机利用超声波粗洗及高压水多级重洗，使瓶子达到洁净要求，设备运行稳定，有利于减少玻璃瓶破损率，西林瓶利用率可达到 100%，生产能力是毛刷洗瓶机的 3~4 倍，用水量较毛刷洗瓶机减少 1/4。

#### 3.1.4.3 负离子空气洗瓶技术

负离子空气清洗技术是利用产生的负离子风吸附尘埃上的静电去除粉尘，从而达到清洗的目的，该技术是一种干洗技术，节水、节能、环保、不使用清洗剂，无污染。负离子空气洗瓶较水清洗瓶费用降低 60% 以上。适用于塑料瓶清洗，不适用于玻璃瓶。

#### 3.1.4.4 三合一无菌制剂生产技术

“制瓶-灌装-封口”三合一无菌灌装技术，是专门为无菌要求极高的行业发展起来的塑料容器内进行液体无菌灌装的生产技术。在无菌状态下，单机完成制瓶、灌装、封口三项工序，无需洗瓶，有助节约水和能源消耗，可节约动力部分投资，设备占地面积小，且成品内在质量高且稳定可靠，单位产品生产成本下降 20%。适用于无菌制剂塑料容器的吹塑制瓶、灌装、封口全过程。

### 3.1.5 有机溶剂回收系统污染预防技术

目前我国制药生产过程中药物提取、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。

#### 3.1.5.1 减少无组织排放技术

生产过程中应采用密闭设备、密闭式操作、密闭原料输送管道，产品、有机溶剂从生产设备到储存区均为密闭的管道输送。具体措施有：溶剂回收工段选用密闭设备生产，减少无组织排放，降低有机溶剂的挥发量；泵的轴密封采用双机械密封和非石棉填料密封；在关键

部位安装气密密封的阀门；搅拌器采用油密封；原料储存过程中，对于易挥发的原料，采用内浮顶储罐。

#### 3.1.5.2 真空泵尾气污染防治技术

真空泵尾气经冷凝、碳纤维吸附回收溶剂后排放，真空泵废水送精馏塔回收有机溶剂。

#### 3.1.5.3 蒸馏塔顶不凝气污染防治技术

蒸馏塔顶不凝气、储罐呼吸阀排气、生产过程中逸散的溶剂废气均收集、经冷凝器回收溶剂后排放，冷凝器宜选用三级冷凝器。

#### 3.1.5.4 有机溶剂脱水渗透汽化膜污染防治技术

渗透汽化膜技术是一种以有机混合物中组分蒸发压差为推动力，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，可减少能耗，提高溶剂回收率。适用于有机溶剂的脱水。

#### 3.1.6 工艺过程污染防治新技术

鼓励开发、应用超临界萃取技术、连续逆流循环、大孔树脂吸附等高效活性物质提取分离技术，研究酶法、生物转化、膜技术、结晶技术、手性技术等绿色环保、节能降耗的关键性、共性产业化技术和装备。

### 3.2 水污染物末端治理技术

制药废水常用的处理技术大多为物化—生物法联用工艺。

#### 3.2.1 物化处理技术

物化处理主要作为生物处理工序的预处理或后处理工序。

##### 3.2.1.1 混凝沉淀/气浮法处理技术

混凝沉淀/气浮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。

混凝沉淀/气浮是应用最为广泛的物化处理工艺，一般用于高悬浮物废水预处理和后处理。

##### 3.2.1.2 电解法处理技术

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。

电解法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。

适用于难降解废水的预处理。

##### 3.2.1.3 微电解（Fe-C）法处理技术

微电解（Fe-C）法是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。

COD 去除率 20~50%，可改善废水的可生化性。具有无需投加药剂，投资小，运行费用

低的特点。

适用于难降解废水提高可生化处理性的预处理，在中性或偏酸性条件下应用。

#### 3.2.1.4 Fenton 试剂氧化法处理技术

Fenton 试剂由亚铁盐和过氧化氢组成，利用  $\text{Fe}^{2+}$  催化  $\text{H}_2\text{O}_2$  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  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ 。

氧化能力强、反应时间短、效果相对稳定、适用范围较大。COD 去除率能够达到 60% 以上。

可用于难降解废水的预处理或废水深度处理。

#### 3.2.1.5 臭氧氧化法处理技术

臭氧氧化法是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。

适用于含异味和恶臭、含有酚、氰等污染等物质废水的处理，可用于难降解废水的预处理或废水深度处理。

#### 3.2.1.6 吸附过滤法处理技术

当流体与多孔固体接触时，流体中某一组分或多个组分在固体表面处产生积蓄的现象称为吸附；通过过滤介质的表面或滤层截留水体中悬浮固体和其他杂质的过程称为过滤。常用滤料有石英砂、无烟煤、石榴石粒、白云石粒、活性炭等。

悬浮物去除率 90% 以上，运行费用相对较高。

适用于废水深度处理。

#### 3.2.1.7 蒸氨法处理技术

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，蒸出的氨汽采用酸或水吸收，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。

适宜于含高浓度氨氮废水、含低沸点物质废水的预处理。

#### 3.2.1.8 吹脱法处理技术

吹脱法去除氨氮是利用  $\text{NH}_3$  与  $\text{NH}_4^+$  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。

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。

适用于含高氨氮废水和含低沸点、易挥发物质废水的预处理，不宜在水温较低时使用。

#### 3.2.1.9 汽提法处理技术

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气相转移，从而达到脱离水中污染物的目的。

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。

适用于含高氨氮废水和含低沸点、易挥发物质废水的预处理。

### 3.2.1.10 多效蒸发处理技术

多效蒸发过程中，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。

该法盐去除率 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。适用于高含盐废水处理。

### 3.2.1.11 刮板薄膜蒸发处理技术

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。

## 3.2.2 厌氧生物处理技术

### 3.2.2.1 升流式厌氧污泥床（UASB）处理技术

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。

用于处理制药废水，COD 负荷一般 3~10kg/m<sup>3</sup>·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 1000 mg/L 以下。

### 3.2.2.2 厌氧颗粒污泥膨胀床（EGSB）处理技术

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。

适用于处理高浓度且具有一定生物毒性的有机废水。

### 3.2.2.3 厌氧流化床（AFB）处理技术

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 2000~3000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>，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。

厌氧流化床有机容积负荷高，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。

### 3.2.2.4 复合式厌氧污泥床（UBF）处理技术

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。

该法处理效率高，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。

适用于处理高浓度且含盐较低的有机废水。

#### 3.2.2.5 厌氧内循环反应器（IC）处理技术

IC 反应器高径比一般可达 4~8，反应器的高度达到 20 m 左右。整个反应器由第一厌氧反应室和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。

IC 反应器容积负荷 10~30 kg/m<sup>3</sup>·d，抗冲击负荷能力高，COD 去除率 60~80%。

适用于处理污染物以碳氢化合物为主的高浓度有机废水。

#### 3.2.2.6 折流板反应器（ABR）处理技术

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。多用于水解酸化，有效改善废水的可生化性。

适用于处理可生化性较差的高浓度难降解有机废水。

#### 3.2.2.7 水解酸化处理技术

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，投资及运行费用低。

适用于难降解有机废水的预处理。

#### 3.2.2.8 两相厌氧反应器处理技术

两相厌氧工艺就是人为地将水解酸化菌群和产甲烷菌群分别设置在两个不同的反应器中，使产酸相反应器和产甲烷反应器均处于最优工况，总体负荷比单相工艺有明显提高。

两相厌氧工艺运抗冲击负荷能力强，COD 去除率可达 80%以上，能够处理高硫酸盐废水，产酸段对硫酸盐的去除率可达 70%以上。

适用于处理悬浮物浓度高的或含硫酸根、重金属等有毒物质及难降解物质的高浓度有机废水。

### 3.2.3 好氧生物处理技术

#### 3.2.3.1 传统活性污泥法处理技术

活性污泥法是在曝气条件下，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。

传统活性污泥法具有工艺稳定，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。

#### 3.2.3.2 接触氧化法处理技术

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。

该法固定微生物种类多、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。

### 3.2.3.3 吸附生物降解法处理技术（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。

适用于处理浓度较高、难降解、水质水量变化较大的有机废水。

### 3.2.3.4 曝气生物滤池（BAF）处理技术

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。

曝气生物滤池有机负荷高，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。

### 3.2.3.5 间歇曝气活性污泥法（SBR）及其变形工艺（CASS、ICEAS、UNITANK、CAST 等）处理技术

间歇曝气活性污泥法（SBR）是一种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。

间歇曝气活性污泥法具有无需回流、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。

适合处理水质、水量波动较大的有机废水处理。

### 3.2.3.6 膜生物反应器（MBR）处理技术

膜生物反应器（MBR）组合工艺是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。

该法占地面积小，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。

### 3.2.3.7 氧化沟法处理技术

氧化沟是平面呈椭圆环形或环形跑道式的活性污泥处理构筑物，因其构筑物呈封闭的沟渠而得名。普通氧化沟属低负荷延时活性污泥法。常用曝气转刷充氧和推动水流，保持污泥的悬浮状态。目前，已在普通氧化沟工艺技术的基础上，开发出多种类型氧化沟新工艺，如奥贝尔（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）等。

氧化沟工艺处理效果稳定、耐冲击负荷能力强，可实现生物脱氮，但存在占地面积大、

动力效率低等问题。

适用于各种可生化降解的有机废水处理。

### 3.2.3.8 生物流化床法处理技术

生物流化床处理技术是借助流体（液体、气体）使表面生长着微生物的固体颗粒（粒径 0.2~0.5 mm 的载体）呈流态化，同时降解废水中有机污染物的处理技术。

该法具有容积负荷大、抗冲击负荷、设备紧凑、占地面积小但动力消耗大、操作较复杂等特点。

适用于各种可生化降解的有机废水处理。

## 3.2.4 新技术

### 3.2.4.1 移动床生物膜反应器 MBBR 处理技术

MBBR 工艺原理是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，从而提高了处理效果。

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。

适用于现有污水处理厂升级改造。多级联用可处理高浓度废水，具有一定脱氮效果好。

### 3.2.4.2 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。

#### （1）光合细菌（Photosynthetic Bacteria, PsB）

光合细菌是能进行不放氧光合作用的一大类细菌总称，能有效去除废水中的有机物、氮、磷和硫化物。工艺简单，处理成本低，运行稳定，作为副产物的菌体可进行综合利用。

#### （2）基因工程菌

是指将所需的某一供体生物的遗传物质 DNA 分子提取出来，在离体条件下切割后，把它与作为载体的 DNA 分子连接起来，导入某一受体细胞中，让外来的遗传物质在其中进行正常的复制和表达，从而获得的新物种菌。在常规生物处理方法中接种基因工程菌，可加强对难降解有机污染物的去除，强化处理效果。

### 3.2.4.3 新型生物脱氮技术

#### （1）同时硝化反硝化

当硝化与反硝化反应在同一个反应器中同时进行时，称为同时硝化反硝化（SND, Simultaneous Nitrification and Denitrification）。与传统生物脱氮技术相比，SND 技术具有节省反应器体积、缩短反应时间和节省碱度等优点。

#### （2）亚硝酸型（短程）硝化反硝化

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%。对于低 C/N 的高氮废水，采用此技术进行脱氮具有一定的可行性。

技术的关键在于如何形成亚硝化菌群的富集。

### (3) 厌氧氨氧化

厌氧氨氧化 (ANAMMOX, Anaerobic AmmoniumOxidation) 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，对于解决可生化性差的高氨氮废水脱氮问题具有重要的现实意义。

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。

## 3.3 大气污染物末端治理技术

### 3.3.1 制药粉尘废气处理技术

制药企业的含尘废气主要产生于干燥、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。

#### 3.3.1.1 旋风除尘处理技术

旋风除尘技术是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。

该技术投资成本低，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。

适用于粒径  $> 8\mu\text{m}$  的制药粉尘治理。

#### 3.3.1.2 袋式除尘处理技术

袋式除尘技术是利用纤维织物的过滤作用对含尘气体进行净化。

该技术适用范围广，除尘效率  $> 99\%$ 。收集的粉尘可作为原料回收或固体废物处置。

适用于粒径  $> 1\mu\text{m}$  的制药粉尘治理。

#### 3.3.1.3 水膜除尘处理技术

水膜除尘技术是指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。

该技术投资、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。

适用于粒径  $> 5\mu\text{m}$  的制药粉尘治理。

### 3.3.2 有机废气处理技术

制药企业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。

有机废气常见的处理工艺有两类：一类是破坏性方法，如燃烧法等主要用于处理无回收价值或有一定毒性的气体；另一类是非破坏性的，即吸收法、吸附法、冷凝法。新发展的处理技术包括生物法、脉冲电晕法、臭氧分解法、等离子体分解法等。

### 3.3.2.1 冷凝法处理技术

冷凝法是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。

该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。

适用于高浓度、沸点大于 38℃ 的有机废气的治理。

### 3.3.2.2 吸附回收处理技术

吸附法是指使用活性炭、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。

该技术净化效率>95%，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。

适用于浓度< 8000 mg/m<sup>3</sup>、湿度< 50%的有机废气的治理。

### 3.3.2.3 吸收法处理技术

吸收法是指使用溶液、溶剂或清水吸收废气中的目标成份，使其与废气分离的方法。

该技术适用范围广，对废气浓度限制较小，产生的废溶剂、溶液、废水需要进一步回收或处理，避免造成二次污染。

适用于较大风量、尤其是含有颗粒物的有机废气的治理。

### 3.3.2.4 燃烧法处理技术

燃烧法是指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。

该技术净化效率高，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，燃烧后的废气易形成二次污染。

适用于中、高浓度且无回收价值或有一定毒性的有机废气的治理。

### 3.3.2.5 催化燃烧法处理技术

催化燃烧法是指在催化剂的作用下，使废气中有机成份在温度较低条件下氧化成 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 的方法。

该技术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。

适用于各种浓度、无回收价值的有机废气的治理。

### 3.3.2.6 吸附+催化燃烧处理技术

吸附+催化燃烧技术是结合吸附净化，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<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O。

该技术对大风量，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。

适用于低浓度、无回收价值的有机废气的治理。

### 3.3.3 发酵尾气处理技术

发酵制药过程中会产生发酵尾气，主要含 CO<sub>2</sub>、水蒸汽和部分发酵代谢产物。目前，国内企业针对发酵尾气的处理方法不多，尾气一般直接排空，生产方式比较粗放。有些企业采用 NaClO 和水喷淋两级吸收法，取得了一定的治理效果。

#### 3.3.3.1 两级喷淋吸收法处理技术

两级吸处理技术采用 NaClO 和水作为吸收剂对发酵尾气进行两级喷淋吸收治理。

该技术对发酵尾气浓度限制较小；产生的废吸收液可能造成二次污染，需要进一步处理。适用于发酵尾气的治理。

### 3.3.4 酸碱废气处理技术

在制药生产过程中，调节 pH 值和其他使用盐酸、氨水的工序，会有氯化氢和氨的部分挥发，产生酸碱废气。

#### 3.3.4.1 吸附法处理技术

吸附法是指使用适当的吸附剂对酸碱废气进行物理吸附，使其从废气混合物中分离的方法。

该技术净化效率> 95%，但废吸附剂处理不当，会造成二次污染。适用于中、高浓度酸碱废气的治理。

#### 3.3.4.2 酸碱吸收法处理技术

酸碱吸收法是指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。

该技术适用范围广，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。

适用于较大气量酸碱废气的治理。

#### 3.3.4.3 冷凝法处理技术

原理同前，适用于高浓度 HCl 废气的治理。

#### 3.3.4.4 降膜法处理技术

降膜法是指以水为吸收剂，用降膜式吸收器吸收 HCl 废气。

该技术吸收效率高、吸收强度高、操作稳定、控制方便。适用于高浓度 HCl 废气的治理。

### 3.3.5 恶臭气体处理技术

制药企业恶臭气体主要产生于生产环节和污水处理系统，产生的恶臭气体以硫化氢、甲硫醇和氨等为主要成份。常用的恶臭气体处理技术包括吸收法、吸附法、生物法和土壤法。

#### 3.3.5.1 吸收法处理技术

原理同前，该技术适用于大风量、以水溶性恶臭成份为主的恶臭气体的治理。

### 3.3.5.2 吸附法处理技术

原理同前，该技术适用于多组分恶臭气体的治理。

### 3.3.5.3 生物法处理技术

生物法是指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，溶于水中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  $H_2O$  和  $CO_2$  等稳定的无机物。

该技术运行管理简单，处理成本低，无二次污染，但效果不够彻底、稳定。

适用于成份以水溶性为主、易生物降解的恶臭气体的治理。

### 3.3.5.4 土壤法处理技术

土壤法是指利用土壤中生存的微生物，在臭气通过土壤时将其成分吸附并降解的技术。

该技术管理简单，运行费用低，无二次污染，但易受自然条件的限制。

适用于成份易降解的恶臭气体的治理。

### 3.3.6 沼气净化技术

废水的厌氧处理会产生大量沼气。沼气中含有  $H_2S$ ，含量最高可达 2% 左右，如果直接用做燃料，会对环境造成污染，且将对输气管道、贮气柜和用气设备造成严重腐蚀，因此，沼气在贮存和利用之前必须经过脱硫处理。沼气脱硫后可综合利用用于沼气锅炉供热或沼气发电。

#### 3.3.6.1 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。

该技术脱硫效率高，工艺过程简单，能耗低，但需要及时更换填料以确保效果。

适用于气量较小、硫化氢浓度  $< 5 g/m^3$  的沼气净化。

#### 3.3.6.2 湿法脱硫处理技术

湿法脱硫是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。

该技术运行费用低，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。

适用于高浓度含硫沼气的净化。

### 3.3.7 大气污染物治理新技术

#### 3.3.7.1 有机废气生物处理技术

有机废气生物处理技术是指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  $CO_2$ 、 $H_2O$  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。

该技术适用于低浓度有机废气的治理，该方法操作简便，处理成本低，无二次污染，处

理效率较高。

### 3.3.7.2 有机废气脉冲电晕法处理技术

脉冲电晕法基本原理是通过前沿陡峭、脉宽窄（纳秒级）的高压脉冲电晕放电，能在常温、常压下获得非平衡等离子体，即产生大量高能电子和  $O$ 、 $\cdot OH$  等活性粒子，与有害分子进行氧化降解反应，使污染物最终转化为无害物。

该技术工艺流程简单、产生污染少，但投资较大，不宜用于处理含有易燃易爆成份的有机废气。

### 3.3.7.3 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  $CO_2$ 、 $H_2O$ ，达到净化、脱臭及杀灭细菌的目的。

该技术适用于中低浓度有机废气、恶臭气体的治理，该技术工艺流程简单、操作简便，无二次污染产生，处理成本低。

### 3.3.7.4 低温等离子体分解法处理技术

低温等离子体是继固态、液态、气态之后的物质第四态，当外加电压达到气体的放电电压时，气体被击穿，产生包括电子、各种离子、原子和自由基在内的混合物。低温等离子体降解污染物是利用这些高能电子、自由基等活性粒子与废气中的污染物反应，激活、电离、裂解污染物各组分，使之在极短的时间内发生分解，并产生后续等一系列反应，已达到消除各种污染物的目的。

该技术适用于中低浓度有机废气、恶臭气体的治理，工艺流程简单、产生污染较小，运行成本不高，但投资较大，不宜用于处理含有易燃易爆成份和湿度较大的有机废气。

### 3.3.7.5 低温等离子体分解+催化氧化法处理技术

该技术将低温等离子体分解和催化氧化法处理技术结合，以提高有机废气的处理效率。催化氧化是指使用合适的催化剂，以空气、氧气、臭氧等为氧化剂进行氧化反应，使有机物反应生成  $CO_2$  和  $H_2O$  等无机物的方法。

该技术污染物去除率高，但投资费用较高。

该技术适用于处理大气量、中低浓度的废气，不宜用于处理含有易燃易爆成份的有机废气。

### 3.3.7.6 光催化氧化处理技术

光催化氧化技术是在外界可见光的作用下发生催化作用，光催化氧化反应是以半导体及空气为催化剂，以光为能量，将有机物降解为  $CO_2$  和  $H_2O$ 。在光催化氧化反应中，通过紫外光照射在催化剂上产生电子空穴对，与表面吸附的水份 ( $H_2O$ ) 和氧气 ( $O_2$ ) 反应生成氧化性很活泼的羟基自由基 ( $\cdot OH$ ) 和超氧离子自由基 ( $O_2^{\cdot -}$ 、 $O^{\cdot -}$ )。能够把各种有机废气、恶臭气体在光催化氧化的作用下还原成二氧化碳 ( $CO_2$ )、水 ( $H_2O$ ) 以及其他无毒无害物质，同时具有除臭、消毒、杀菌的功效。

该技术适用于有机废气、恶臭气体的净化，工艺简单、能耗低、易操作、无二次污染，但运行成本较高。

#### 3.3.7.7 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，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。处理效率> 90%。

### 3.4 固体废物综合利用及处置技术

#### 3.4.1 发酵菌渣的处置技术

发酵菌渣包括菌丝体和残余培养基，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。

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。

目前，对抗生素菌渣的处理，还在寻求妥善的处置途径。许多制药企业开展了抗生素菌渣无害化处置和不同用途的研究，例如用青霉素菌渣制抗生素发酵原料（代替豆饼粉）的研究；抗生素菌渣无害化处理后制菌体蛋白做饲料添加剂的研究；利用酶催化降解青霉素菌渣中残留青霉素后制粒烘干制成有机肥的研究；利用新型干化技术及设备对发酵菌渣进行干化制成有机肥的研究；另还开展了抗生素菌渣干燥后焚烧发电、制造复合燃料、生产工业原料等实验室研究。

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。

#### 3.4.2 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。

#### 3.4.3 其他废物

制药企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。目前，国内较大规模企业基本按危险废物处置上述废物，但一些企业也存在着不规范弃置的问题。

#### 3.4.4 新技术

##### 3.4.4.1 灭活+内循环厌氧反应器（IC）处理技术

利用微生物代谢过程中产生的酶类降解菌渣中的抗生素，从而达到菌渣中抗生素无害化目的，实现菌渣灭活处置。利用 IC 厌氧处理工艺，将预处理后的菌渣与废水混合后进行厌氧处理。

#### 3.4.4.2 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。

#### 3.4.4.3 高温灭活+烘干造粒处置技术

用高温灭菌,不仅可杀死一般的细菌、真菌等微生物,对芽胞、孢子也有杀灭效果,是最可靠、应用最普遍的物理灭菌法。”高温灭活+烘干造粒”处置后的的菌渣经鉴别后如非危险废物可用于生产有机肥。

#### 3.4.4.4 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。

### 4. 制药工业污染防治可行技术

#### 4.1 制药工业污染防治可行技术概述

制药工业污染防治可行技术包括工艺过程污染预防可行技术、水污染物排放控制可行技术、大气污染物排放控制可行技术、固体废物处置可行技术。

发酵类制药工业污染防治可行技术组合见图 4。

化学合成类制药工业污染防治可行技术组合见图 5。

制剂类制药工业污染防治可行技术组合见图 6。

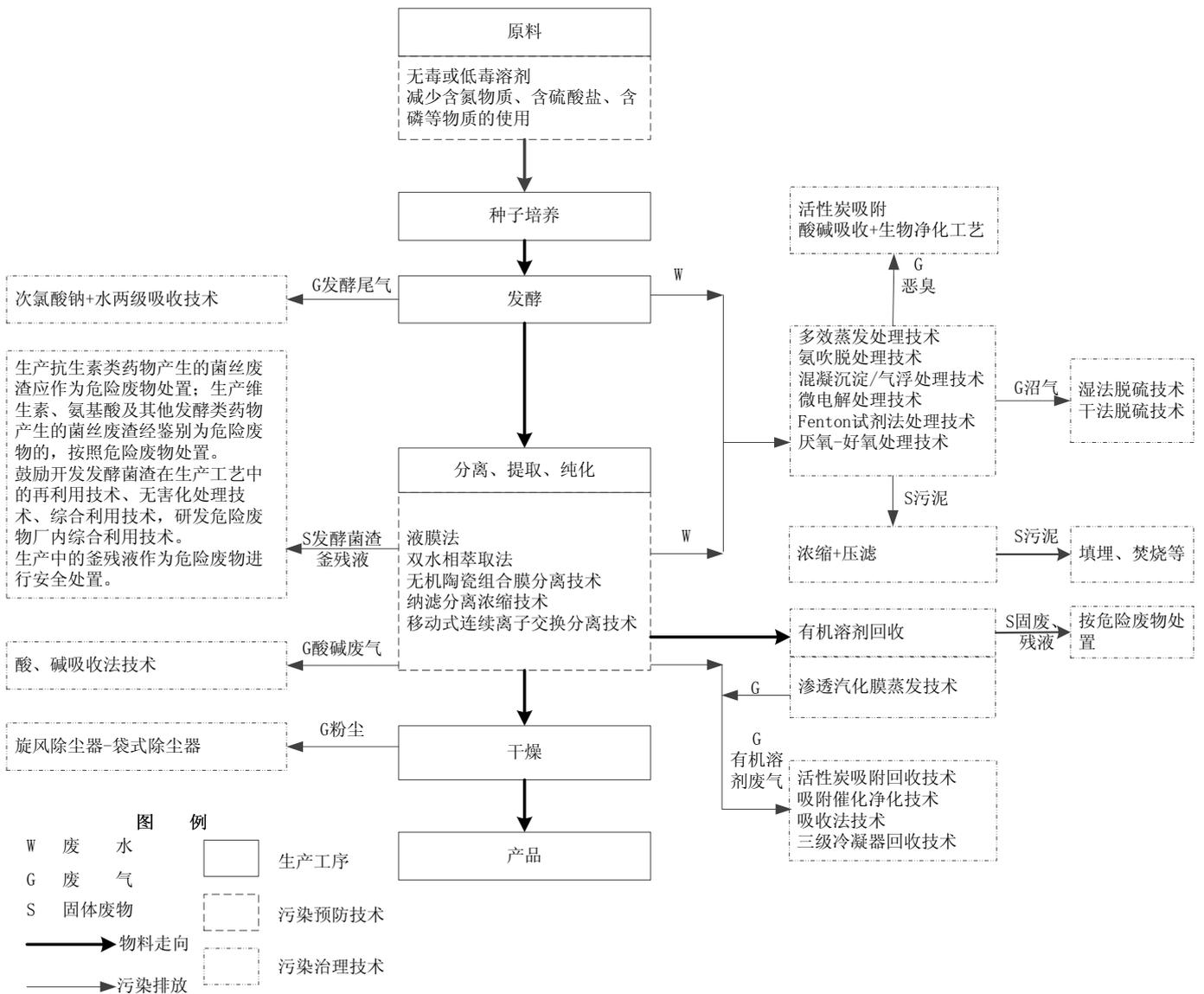


图 4 发酵类制药工业污染防治可行技术组合

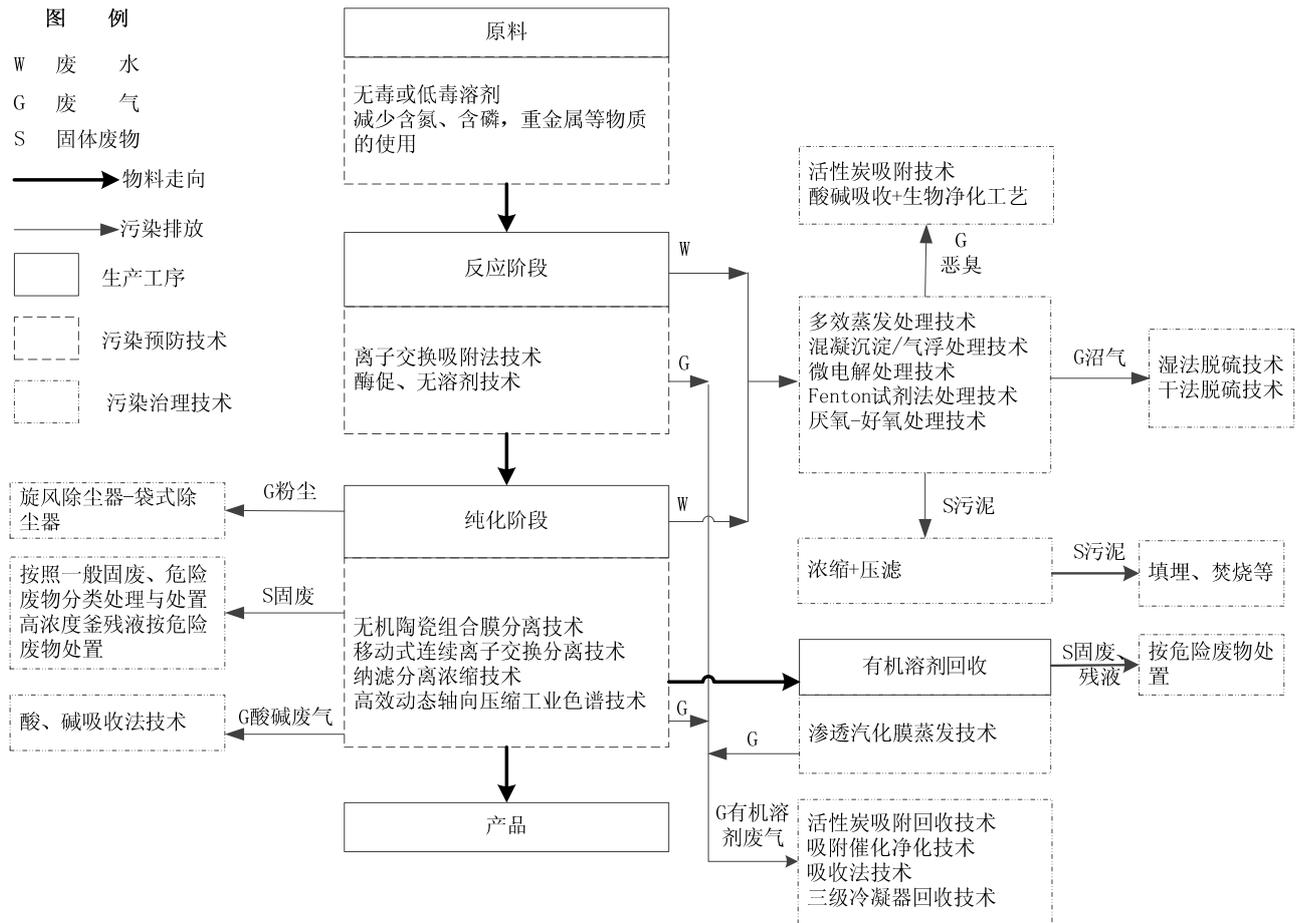


图 5 化学合成类制药工业污染防治可行技术组合

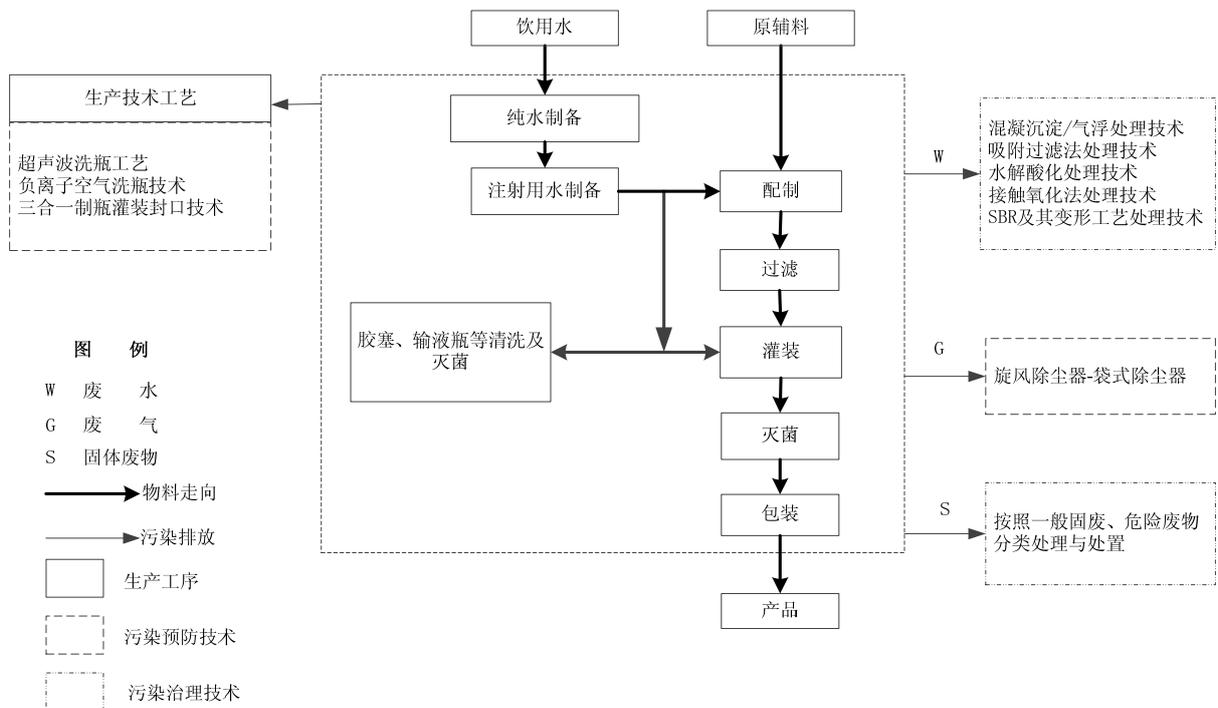


图 6 制剂类制药工业污染防治可行技术组合

## 4.2 工艺过程污染预防可行技术

### 4.2.1 原料使用污染预防可行技术

制药工业原料使用污染预防可行技术见表 8。

**表 8 制药工业原料使用污染预防可行技术**

可行技术	目的	技术适用性
使用无毒、无害或低毒、低害的“环境友好型”原料	减少废物的产生量或降低废物的毒性，防止或减少有毒有害物质进入环境	所有化学合成类、发酵类制药企业
鼓励在制药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、重金属等物质的使用	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	所有化学合成类、发酵类制药企业

### 4.2.2 药品分离提取工艺过程污染预防可行技术

制药工业生产药品分离提取精制工艺过程污染预防可行技术见表 9。

**表 9 制药工业生产药品分离提取工艺过程污染预防可行技术**

可行技术	目的	技术适用性
采用离子交换吸附法、液膜法、双水相萃取法、酶促、无溶剂技术、无机陶瓷膜组合膜分离技术、纳滤分离浓缩技术、移动式连续离子交换分离技术、高效动态轴向压缩工业色谱技术等清洁、无污染或低污染的生产工艺	减少溶剂使用量；减少废水产生量，降低能源消耗	生产过程中的分离、提取精制与浓缩

### 4.2.3 纯水制备工艺过程污染预防可行技术

制药工业纯水制备工艺过程污染预防可行技术见表 10。

**表 10 制药工业纯水制备工艺过程污染预防可行技术**

可行技术	目的	技术适用性
采用二级反渗透，或反渗透+电子混床(EDI)工艺	降低酸碱废水的产生量	纯水制备过程

### 4.2.4 工艺节水可行技术

制药工业工艺节水可行技术见表 11。

**表 11 制药工业工艺节水可行技术**

可行技术	目的	技术适用性
选用耗水少、效率高的清洗喷头、阀门等设备	减少冲洗水用量	制药生产车间
采用刮板及刮水器清洗方法		制药生产车间
用最终漂洗水作为下一轮的预洗水		制药生产车间
药品包装采用铝板		含有固体制剂产品的生产车间
采用超声波洗瓶工艺	减少洗瓶水量，降低玻璃瓶破损率	玻璃瓶清洗工序
采用负离子空气清洗技术	不使用清洗剂，节水、节能	塑料瓶清洗工序
采用三合一无菌灌装技术	节水、节能	塑料容器内液体灌装工序

#### 4.2.5 有机溶剂回收系统污染预防可行技术

制药工业有机溶剂回收系统污染预防可行技术见表 12。

**表 12 制药工业有机溶剂回收系统污染预防可行技术溶剂**

可行技术		目的	技术适用性
无组织排放	采用密闭设备、密闭式操作、密闭原料输送管道，产品、有机溶剂从生产设备到储存区均为密闭的管道输送	减少无组织排放	适用于生产过程
	泵的轴封采用双机械密封、非石棉填料密封		控制泵的轴封泄漏
	在关键部位选用气密封阀门		控制阀门无组织排放
	搅拌器采用油密封		控制搅拌器密封泄漏
	对于易挥发的原料采用内浮顶储罐，储罐呼吸气应由管道引至处理设施处理后排放，夏季采用降温措施		控制原料储存过程泄漏
有机溶剂回收	真空泵尾气采用经碳纤维吸附蒸发、冷凝回收溶剂后排放	降低有机溶剂的挥发量	有机溶剂回收过程
	有机溶剂脱水采用渗透汽化膜技术		
	真空泵废水中的有机溶剂送精馏塔回收		

#### 4.2.6 污染防治技术注意事项

- (1) 加强节水管理，减少各种损失。废水分类收集、分质处理。
- (2) 对产生散发有毒有害物质的工艺设备，要加强维护，保持设备完好，杜绝跑、冒、滴、漏。
- (3) 完善风险防范措施，编制风险应急预案。

#### 4.3 水污染物排放控制可行技术

##### 4.3.1 基本原则

制药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，针对制药废水宜采用“分类收集、分质处理”基本原则。

(1) 废水宜分类收集、分质处理；高浓度废水、含有药物活性成份的废水应进行预处理。企业向工业园区的公共污水处理厂或城镇排水系统排放废水时，应按法律规定达到国家或地方规定的排放标准。

(2) 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) 含有药物活性成份的废水，应进行预处理灭活。

(4) 高含盐废水宜进行除盐处理后，再进入污水处理系统。

(5) 可生化降解的高浓度废水应进行常规预处理，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。

(6) 毒性大、难降解废水应单独收集、单独处理以消除生物毒性或改善可生化性后，

再与其他废水混合处理。

(7) 含氨氮高的废水宜物化预处理，回收氨氮后再进行生物处理。

### 4.3.2 发酵类水污染物排放控制可行技术

#### 4.3.2.1 可行技术路线

发酵类制药水污染物排放控制可行技术工艺流程见图 7。

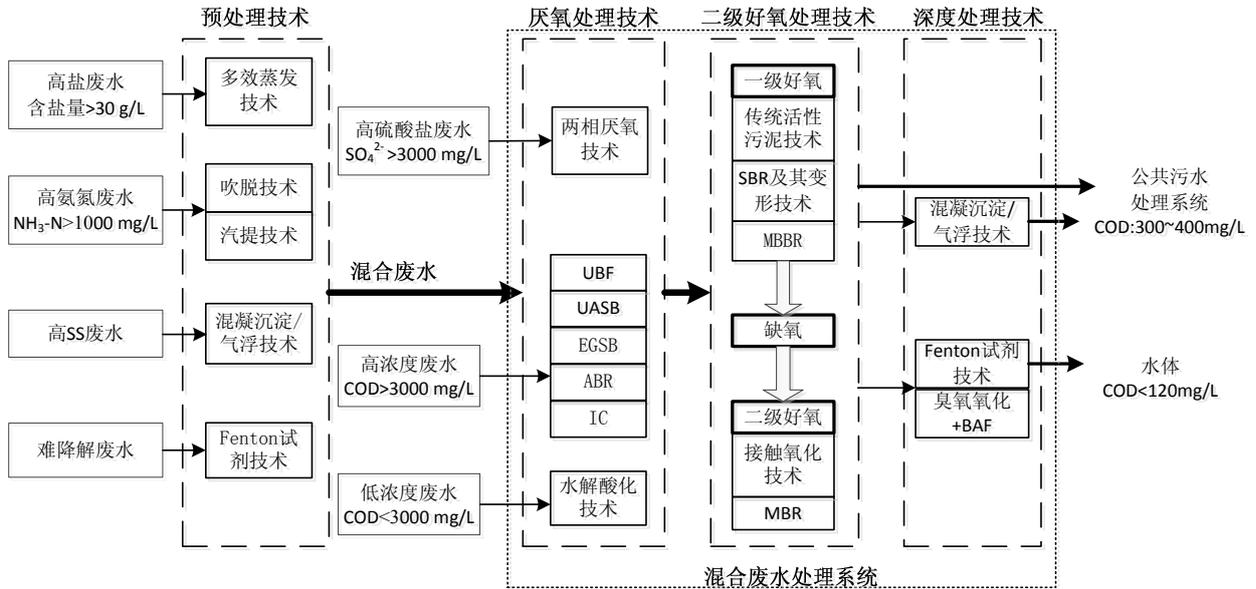


图 7 发酵类水污染物排放控制可行技术工艺流程

发酵类制药废水属高浓度废水，水质复杂，图 7 发酵类水污染物排放控制可行技术工艺流程为推荐的工艺路线组合。工程实践中，可根据废水的水质特征、处理后水的去向、排放标准，进行技术经济比较后确定可行技术工艺路线，或通过实验等方式确定其他可行的技术。

#### 4.3.2.2 可行技术及排放水平

发酵类制药工业水污染物排放可行技术及排放水平见表 13。

表 13 发酵类制药工业水污染物排放可行技术及排放水平

序号	名称	适用情况（混合废水污染物浓度）	可行控制技术	排放水平
1	高硫酸盐废水污染控制可行技术	含盐量: > 30 g/L	多效蒸发预处理后，冷凝液进入混合废水处理系统	盐去除率 > 95%
		$SO_4^{2-}$ > 3000 mg/L	两相厌氧	$SO_4^{2-}$ 去除率 > 70%
2	高氨氮废水污染控制可行技术	氨氮 > 1000 mg/L	吹脱或汽提预处理后，进入混合废水处理系统	氨氮去除率 60~90%
3	难降解废水污染控制可行技术	可生化性差， $BOD_5/COD < 0.3$	Fenton 试剂等高级氧化技术预处理后，进入混合废水处理系统	预处理后废水 $BOD_5/COD > 0.3$
4	高 SS 废水污染控制可行技术	SS > 500 mg/L	混凝沉淀/气浮预处理后，进入混合废水处理系统	SS 去除率 > 90%

序号	名称	适用情况（混合废水污染物浓度）	可行控制技术	排放水平
5	混合废水污染控制可行技术	高浓度废水 COD > 3000 mg/L	厌氧+二级好氧+混凝沉淀/气浮技术	COD:300~400 mg/L
			厌氧+二级好氧+Fenton 试剂技术（臭氧氧化+BAF 技术）	COD < 120 mg/L
		低浓度废水 COD < 3000 mg/L	水解酸化+二级好氧生化处理+混凝沉淀/气浮技术	COD:300~400 mg/L
			水解酸化+二级好氧生化处理+Fenton 试剂技术（臭氧氧化+BAF 技术）	COD < 120 mg/L

### 4.3.3 化学合成类水污染物排放控制可行技术

#### 4.3.3.1 可行技术路线

化学合成类水污染物排放控制可行技术工艺流程见图 8。

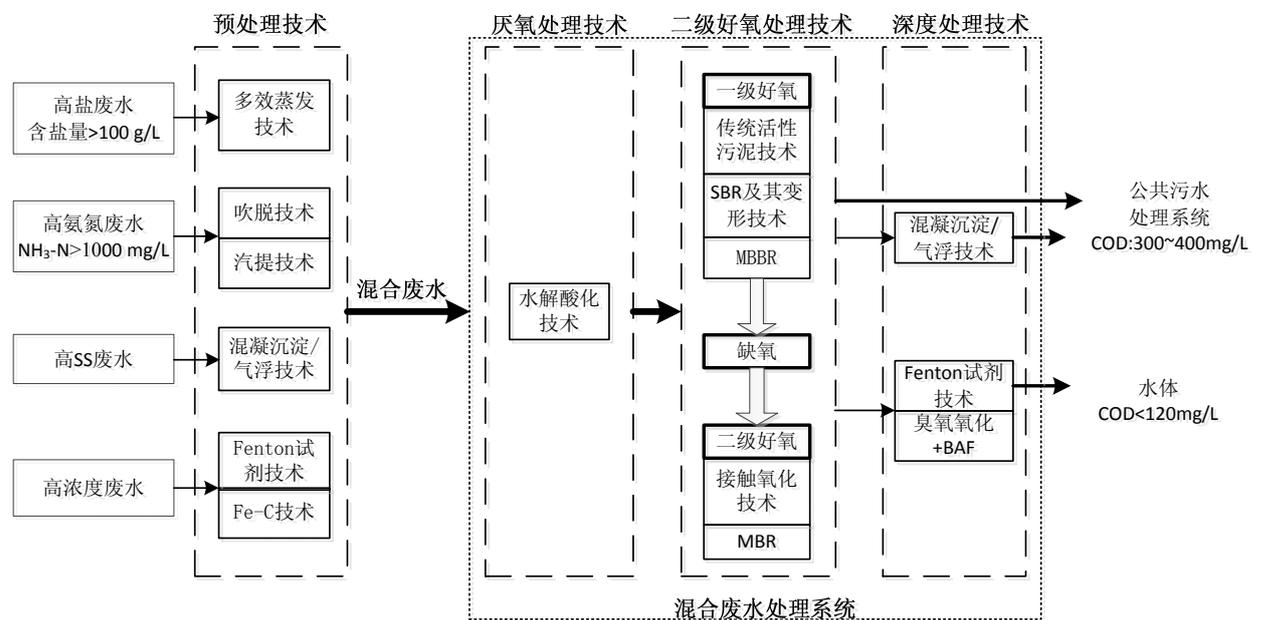


图 8 化学合成类水污染物排放控制可行技术工艺流程

化学合成类废水大部分为高浓度有机废水，部分原料或产物具有生物毒性或难被生物降解。图 8 化学合成类水污染物排放控制可行技术工艺流程为推荐的工艺路线组合。工程实践中，可根据废水的水质特征、处理后水的去向、排放标准，进行技术经济比较后确定可行技术工艺路线，或通过实验等方式确定其他可行的技术。

#### 4.3.3.2 可行技术及排放水平

化学合成类制药工业水污染物排放可行技术及排放水平见表 14。

表 14 化学合成类制药工业水污染物排放可行技术及排放水平

序号	名称	适用情况（混合废水污染物浓度）	可行控制技术	排放水平
1	高含盐废水污染控制可行技术	含盐量 > 100 g/L	多效蒸发预处理后，进入混合废水处理系统	盐去除率 > 95%
2	高氨氮废水污染控制可行技术	氨氮 > 1000 mg/L	吹脱或汽提预处理后，进入混合废水处理系统	氨氮去除率 60~90%
3	高 SS 废水污染控制可行技术	SS > 500 mg/L	混凝沉淀/气浮预处理后，进入混合废水处理系统	SS 去除率 > 90%
4	高浓度废水污染控制可行技术	可生化性差， $BOD_5/COD < 0.3$	Fe-C 技术预处理后，进入混合废水处理系统	预处理 COD 去除率 20~50% $BOD_5/COD > 0.3$
			Fenton 试剂等高级氧化技术预处理后，进入混合废水处理系统	预处理 $BOD_5/COD > 0.3$
5	混合废水污染控制可行技术	—	水解酸化+二级好氧生化处理+混凝沉淀/气浮技术	COD:200~500 mg/L
			水解酸化+二级好氧生化处理+Fenton 试剂技术（臭氧氧化+BAF 技术）	COD < 120 mg/L

#### 4.3.4 制剂类水污染物排放控制可行技术

##### 4.3.4.1 可行技术路线

制剂类水污染物排放控制可行技术工艺流程见图 9。

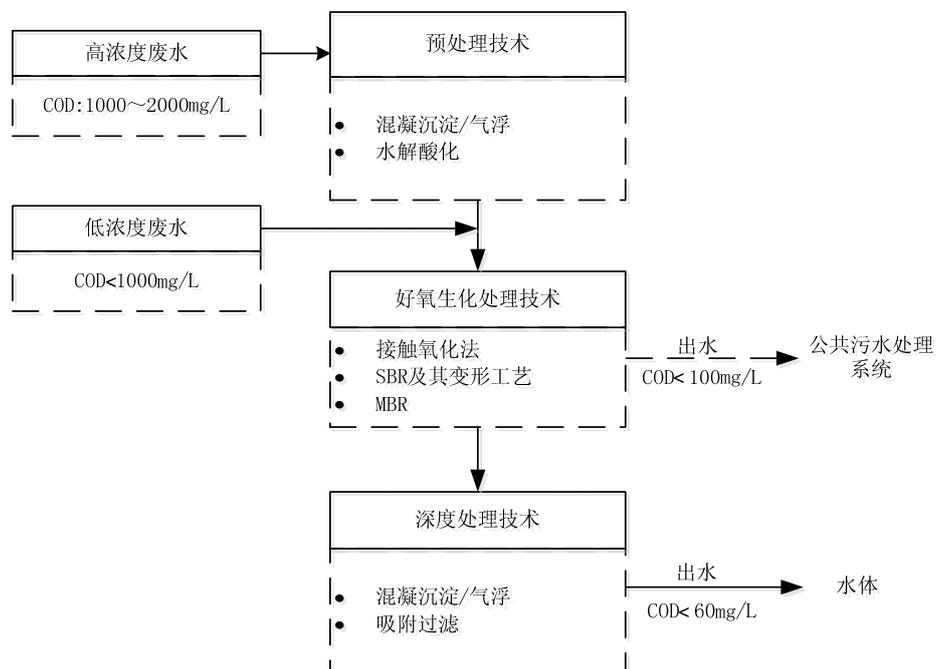


图 9 制剂类水污染物排放控制可行技术工艺流程

图 9 制剂类水污染物排放控制可行技术工艺流程为推荐的工艺路线组合。工程实践中，可根据废水的水质特征、处理后水的去向、排放标准，进行技术经济比较后确定可行技术工艺路线，或通过实验等方式确定其他可行的技术。对于季节性生产，间歇性产生废水时亦可选用完备的物化处理工艺组合。

#### 4.3.4.2 可行技术及排放水平

制剂类制药工业水污染物排放可行技术及排放水平见表 15。

**表 15 制剂类制药工业水污染物排放可行技术及排放水平**

可行技术	适用情况（混合废水污染物浓度） (mg/L)	排放水平 (mg/L)
好氧技术	COD<1000	COD<120
好氧技术+ 深度处理技术	COD<1000	COD<60
预处理技术+ 好氧技术	1000≤COD<2000	COD<120
预处理技术+ 好氧技术+ 深度处理技术	1000< COD <2000	COD<60

#### 4.3.5 各单元技术可行工艺参数

##### 4.3.5.1 混凝沉淀/气浮法处理技术

###### (1) 可行工艺参数

药剂投加量： PAC 投加量 1~25‰，PAM 投加量 2-10 mg/L；

混凝沉淀法混凝时间：15~30 min，沉淀时间：25~55 min；

气浮法反应时间：5~10 min，气浮时间：10~25 min。

###### (2) 污染物削减和排放

悬浮物的去除率 90%以上。

###### (3) 二次污染及防治措施

沉淀污泥或气浮的浮渣与剩余活性污泥一并处理处置。

###### (4) 技术适用性

适用于悬浮物浓度较高的废水或后续生物处理对悬浮物要求较严格的废水。

##### 4.3.5.2 吸附过滤法处理技术

###### (1) 可行工艺参数

常用无烟煤和石英砂双层滤料，滤层厚度一般 1.1~1.2 m，滤速 8~10 m/s。为提高反洗效果，常辅以表面冲洗或压缩空气冲洗。

###### (2) 污染物削减和排放

悬浮物的去除率 90%以上。

###### (3) 二次污染及防治措施

反冲洗废水回流至废水处理站前段处理。

(4) 技术适用性

适用于悬浮物浓度较低废水，如经生化处理后的制剂类制药废水的深度处理。

#### 4.3.5.3 臭氧氧化处理技术

(1) 可行工艺参数

臭氧投加量 20~30 mg/L,接触时间 1~2h。

(2) 污染物削减及排放

可生化性可提高到  $BOD_5/COD > 0.3$ ，COD 去除率可达 50%。

(3) 技术适用性

适用于作为预处理和深度处理技术。

#### 4.3.5.4 多效蒸发处理技术

(1) 可行工艺参数

根据蒸发的效数不同，蒸汽用量不同。

(2) 污染物削减和排放

盐的去除率 95%以上。

(3) 二次污染及防治措施

蒸发残渣及残液按危废处置。

(4) 技术适用性

适用于盐含量  $> 30 \text{ g/L}$  的废水。

#### 4.3.5.5 微电解 (Fe-C) 法处理技术

(1) 可行工艺参数

停留时间 120~240 min。铁碳比 1~5:1，为防止铁碳结块，可曝气。

(2) 污染物削减及排放

可生化性可提高到  $BOD_5/COD > 0.3$ ，COD 去除率 20~50%。

(3) 技术适用性

适用于合成制药废水生化处理前的预处理，提高废水的可生化性。

#### 4.3.5.6 Feton 试剂氧化法处理技术

(1) 可行工艺参数

摩尔浓度  $Fe^{2+} : H_2O_2 = 1:3$ ，pH:2~4，停留时间:2~5 h。

(2) 污染物削减及排放

COD 去除率可达 60%以上。

### (3) 技术适用性

适用于发酵类及化学合成类制药废水生化处理前的预处理和生化后的深度处理,是达到排放水体标准的有效方法。

#### 4.3.5.7 吹脱法处理技术

##### (1) 可行工艺参数

停留时间 0.5~1.5 h, pH 8~11, 塔高 6 米时, 气液比 2200~2300, 布水负荷率 $\leq 180 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 。

##### (2) 污染物削减和排放

氨氮去除率 60-90%。

##### (3) 二次污染及防治措施

用于处理废水时,易产生酸、碱性恶臭气体,可采用水吸收或酸吸收的方法处理后排放。

##### (4) 技术适用性

适用于  $\text{NH}_3\text{-N}$  浓度高于  $5000 \text{ mg/L}$  的废水。吹脱效果随 pH 值上升而提高,水温低时吹脱效果低。

该技术也适用于两相厌氧工艺中产酸相出水中硫化氢的脱除。

#### 4.3.5.8 汽提法处理技术

##### (1) 可行工艺参数

蒸汽用量  $200\sim 300 \text{ kg/t}$  废水。

##### (2) 污染物削减及排放

氨氮 $\leq 15 \text{ mg/L}$ 。

##### (3) 技术适用性

适用于氨氮 $>5000 \text{ mg/L}$  以上的废水。

#### 4.3.5.9 水解酸化处理技术

##### (1) 可行工艺参数

COD 容积负荷高于  $2 \text{ kg/m}^3\cdot\text{d}$ ,HRT 一般大于 12; 池内可填装填料,推荐采用弹性立体填料,填装率 30~50%; 可适量曝气,但应保证  $\text{DO} < 0.5 \text{ mg/L}$ 。

##### (2) 污染物削减及排放

COD 去除率 20%以上,可提高废水的可生化性。

##### (3) 技术适用性

适用于难降解有机废水的预处理。

#### 4.3.5.10 升流式厌氧污泥床 (UASB) 处理技术

##### (1) 可行工艺参数

中温（35~40℃）条件下，COD 容积负荷 5~10 kg/m<sup>3</sup>·d。

常温条件下，COD 容积负荷 3~5 kg/m<sup>3</sup>·d。

(2) 污染物削减和排放

COD 去除率 50~90%。

(3) 二次污染及防治措施

沼气脱硫后可作为燃料利用，沼气产生量少时不宜作为燃料，需设火炬处理。

(4) 技术适用性

UASB 通常要求进水中 SS 含量 < 1000 mg/L，适用于高浓度制药废水。

#### 4.3.5.11 厌氧颗粒污泥膨胀床（EGSB）处理技术

(1) 可行工艺参数

常温条件下（20~30℃），反应器的容积负荷：3~8 kgCOD<sub>Cr</sub>/m<sup>3</sup>·d。

中温条件下（35~40℃），反应器的容积负荷：5~12 kgCOD<sub>Cr</sub>/m<sup>3</sup>·d。

进水 pH: 6.5 以上；COD<sub>Cr</sub>:N:P = 100~500:5:1；SS < 2000 mg/L；SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> < 2000 mg/L；COD<sub>Cr</sub> = 3000~30000 mg/L；严格控制重金属、氰化物、酚类等物质进入反应器。

(2) 污染物削减和排放

COD 去除率 50~90%。

(3) 二次污染及防治措施

沼气脱硫后可作为燃料利用。

(4) 技术适用性

适用于容积负荷高，需较强抗冲击负荷能力的。

#### 4.3.5.12 折流板反应器（ABR）处理技术

(1) 可行工艺参数

中温条件下，COD 容积负荷 5~30 kg/m<sup>3</sup>·d。

(2) 污染物削减及排放

COD 去除率 60~80%。

(3) 技术适用性

可用于处理高浓度制药废水，也可作为水解酸化池或两相厌氧反应的产酸段。

#### 4.3.5.13 厌氧内循环反应器（IC）处理技术

(1) 可行工艺参数

中温条件下，COD 容积负荷一般在 10 kg/m<sup>3</sup>·d 以上。

(2) 污染物削减及排放

COD 去除率 50~80%。

(3) 技术适用性

可用于处理污染物以碳氢化合物为主的高浓度制药废水,也适合需较强抗冲击负荷能力的情况。

#### 4.3.5.14 两相厌氧反应器处理技术

(1) 可行工艺参数

产酸及硫酸盐还原厌氧反应器: 中温条件, COD 容积负荷可达  $4 \text{ kg/m}^3\cdot\text{d}$  以上,  $\text{SO}_4^{2-}$  容积负荷可达  $2 \text{ kg/m}^3\cdot\text{d}$  以上。

出水采用沼气吹脱: 气水比大于 5, 吹脱反应时间 30~40 min。

产甲烷厌氧反应器: COD 容积负荷  $3\sim 4\text{kg/m}^3\cdot\text{d}$ 。

(2) 污染物削减及排放

产酸段经气体吹脱后对硫酸盐的去除率在 70%以上。两相厌氧工艺 COD 去除率 90%以上。

(3) 技术适用性

两相厌氧反应器除了适用于高浓度制药废水外,尤其适用于高硫酸盐废水。

(4) 二次污染及防治

在处理高硫酸盐废水时,吹脱产生的含高浓度硫化氢的沼气需经脱硫处理后,一般采用湿法化学脱硫或生物脱硫。

#### 4.3.5.15 复合式厌氧流化床 (UBF) 处理技术

(1) 可行工艺参数

中温条件下, COD 容积负荷  $5\sim 10\text{kg COD /m}^3\cdot\text{d}$ 。

(2) 污染物削减及排放

COD 去除率 50~90 %。

(3) 技术适用性

适用于高浓度废水处理。

#### 4.3.5.16 接触氧化法处理技术

(1) 可行工艺参数

COD 容积负荷一般  $1\text{kg/m}^3\cdot\text{d}$  以下, 出水溶解氧  $2\sim 3 \text{ mg/L}$ 。推荐采用组合填料, 填料装填率 50~70%。

(2) 污染物削减及排放

COD 去除率 60~90%。

(3) 技术适用性

适用于 COD 浓度在 2000 mg/L 以下的废水。

#### 4.3.5.17 间歇曝气活性污泥法（SBR）及其变形工艺（CASS、ICEAS、UNITANK）处理技术

(1) 可行工艺参数

COD 容积负荷  $1\sim 2\text{ kg/m}^3\cdot\text{d}$ ，出水溶解氧控制在 2 mg/L 左右。

(2) 污染物削减及排放

COD 去除率 50~80%。

(3) 技术适用性

适用于 COD 浓度在 3000 mg/L 以下的废水。

#### 4.3.5.18 膜生物反应器（MBR）处理技术

(1) 可行工艺参数

污泥浓度一般 6-10g/l，污泥负荷  $0.1\sim 0.2\text{ kgCOD}_{\text{Cr}}/\text{kgVSS}\cdot\text{d}$ 。

(2) 污染物削减及排放

COD 去除率 50-90%。

(3) 技术适用性

适用于出水要求较高的好氧生物处理工艺。

#### 4.3.5.19 移动床膜生物反应器 MBBR 处理技术

(1) 可行工艺参数

容积负荷  $1.5\sim 2\text{ kg COD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ ， $\text{DO}_2\sim 3\text{ mg/L}$ ，消化速率  $0.02\sim 0.03\text{ kgNH}_3\text{-N}/\text{kgDS}\cdot\text{d}$

(2) 污染物削减及排放

COD 去除率 50-90%， $\text{NH}_3\text{-N}$  去除率 50% 以上。

(3) 技术适用性

适用于作为中低浓度废水的一级好氧技术。

#### 4.3.5.20 曝气生物滤池（BAF）处理技术

(1) 可行工艺参数

气水比 15:1，停留时间 4h 以上，反冲洗周期一般 15~30 天。

(2) 污染物削减及排放

COD 去除率 30~50%。

(3) 技术适用性

适用于处理悬浮物浓度较低的废水，多用于废水深度处理。

#### 4.3.6 污染防治技术注意事项

(1) 在废水进出口安装在线监测装置，对废水中 COD、氨氮进行在线监测，用长期监测数据指导工艺操作。

(2) 记录各处理设施的运行参数，如停留时间、曝气量、药剂投加量等。

(3) 废水管线和处理设施需进行防渗处理，防止有害污染物进入地下水；生产区和污水治理区初期雨水进行收集并治理。

#### 4.4 大气污染物排放控制可行技术

大气污染物排放控制可行技术见表 15。

表 15 大气污染物排放控制可行技术

序号	名称	适用情况	可行技术	排放水平
1	含尘废气污染控制可行技术	尘粒粒径 $\geq 1 \mu\text{m}$	旋风除尘+袋式除尘技术	除尘效率 $> 99\%$ ，浓度 $< 100 \text{mg/m}^3$
2	有机废气污染控制可行技术	有机废气浓度 $< 8000 \text{mg/m}^3$ 、湿度 $< 50\%$	活性炭吸附回收技术	有机废气去除率 $> 95\%$
		有机废气浓度 $< 8000 \text{mg/m}^3$ 、湿度 $< 50\%$	活性炭纤维吸附回收技术	有机废气去除率 $> 98\%$
		有机废气浓度 $< 2000 \text{mg/m}^3$ 、湿度 $< 50\%$	吸附+催化燃烧处理技术	有机废气去除率 $> 96\%$
		高浓度有机废气 $> 5000 \text{mg/m}^3$ 、沸点 $< 38^\circ\text{C}$	三级冷凝回收处理技术	有机废气去除率 $> 98\%$
		高浓度有机废气 $< 5000 \text{mg/m}^3$	低温等离子体分解+催化氧化法处理技术	有机废气去除率 $> 98\%$
3	发酵尾气污染控制可行技术	制药发酵尾气治理	两级喷淋吸收法	处理效率 $> 95\%$
4	酸碱废气污染控制可行技术	酸、碱废气浓度 $> 2000 \text{mg/m}^3$	酸碱吸收法	处理效率 $> 90\%$
5	恶臭气体污染控制可行技术	污染物浓度 $< 8000 \text{mg/m}^3$	活性炭吸附法	处理效率 $> 95\%$
		污染物浓度 $> 2000 \text{mg/m}^3$	酸碱吸收+生物净化工艺	处理效率 $> 99\%$
		污染物浓度 $< 5000 \text{mg/m}^3$	生物法	处理效率 $> 95\%$
6	沼气脱硫可行技术	低含硫沼气， $\text{H}_2\text{S} < 5000 \text{mg/m}^3$	干法脱硫处理技术	处理效率 $> 99\%$ ， $\text{H}_2\text{S} < 20 \text{mg/m}^3$
		高含硫沼气	湿法或生物+干法脱硫处理技术	处理效率 $> 99.5\%$ $\text{H}_2\text{S} < 20 \text{mg/m}^3$

##### 4.4.1 制药粉尘废气排放控制可行技术

采用旋风除尘预处理+袋式除尘处理技术。

旋风除尘器可捕集  $8 \mu\text{m}$  以上的颗粒，除尘效率 $> 80\%$ ；袋式除尘器可清除粒径 $> 1 \mu\text{m}$  的尘粒，除尘效率 $> 99\%$ 。

该组合总除尘效率 $> 99\%$ ，粉尘排放浓度 $< 100 \text{mg/m}^3$ 。

#### 4.4.2 有机废气排放控制可行技术

##### 4.4.2.1 活性炭吸附回收处理技术

采用活性炭等强吸附性材料作为吸附剂，对有机废气进行吸附处理，废气浓度过高时可选择多级组合吸附技术。

适用于浓度 $<8000\text{ mg/m}^3$ ，湿度 $<50\%$ 的有机废气治理。吸附层厚度，一般在 $50\sim 600\text{ mm}$ 之间，气体流速 $0.6\sim 1\text{ m/s}$ ；压力损失、过滤面积根据风量大小确定，以处理风量 $10000\text{ m}^3/\text{h}$ 计算，压力损失 $550\sim 600\text{ Pa}$ ，过滤面积 $5\sim 6\text{ m}^2$ 。

污染物削减率 $>95\%$ ，排放浓度符合《大气污染综合排放标准》二级标准。

##### 4.4.2.2 活性炭纤维吸附回收处理技术

采用活性炭纤维作为吸附剂，对有机废气进行吸附、解吸。

适用于浓度 $<8000\text{ mg/m}^3$ ，湿度 $<50\%$ 的有机废气治理。活性炭纤维比表面积最大可达 $2500\text{ m}^2/\text{g}$ ，微孔的体积占总孔体积的 $90\%$ 以上；脱附温度在 $120\sim 150\text{ }^\circ\text{C}$ 之间。对于连续排放废气可使用多个装置循环进行吸附、解吸。

污染物消减率 $>98\%$ ，排放浓度符合《大气污染综合排放标准》二级标准。

##### 4.4.2.3 吸附+催化燃烧处理技术

采用活性炭、碳纤维等材料作为吸附剂，对有机废气吸附、脱附浓缩后，采用催化燃烧法对有机废气进行净化处理。

适用于浓度 $<2000\text{ mg/m}^3$ ，湿度 $<50\%$ 的有机废气治理。吸附温度 $30\sim 50\text{ }^\circ\text{C}$ ，脱附温度 $100\sim 120\text{ }^\circ\text{C}$ ，吸附、脱附运转周期 $20\sim 30\text{ h}$ ，催化燃烧温度在 $200\sim 400\text{ }^\circ\text{C}$ 之间，压力总损失 $1500\sim 2000\text{ Pa}$ 。燃烧产生的热量经换热器换热后可用于脱附工段。

污染物削减率 $\geq 96\%$ 。排放浓度符合《大气污染综合排放标准》二级标准。

##### 4.4.2.4 三级冷凝回收处理技术

适用于高浓度有机废气的治理。一般一级冷凝器温度控制在 $10\sim 15\text{ }^\circ\text{C}$ ，用于去除废气中的水蒸气，去除效率 $>80\%$ 。二级、三级冷凝器温度根据有机废气成份的物理性质确定，二级冷凝处理效率 $>95\%$ ，三级冷凝处理效率 $>90\%$ ，总去除率 $>98\%$ 。

##### 4.4.2.5 低温等离子体分解+催化氧化法处理技术

该技术使用两台催化氧化塔，废气通过一级氧化塔后进入低温等离子箱体，经等离子箱处理后进入二级氧化塔进行处理，并在氧化塔和低温等离子箱前后均设置喷淋塔。

低温等离子箱最大功率 $15\sim 35\text{ kw}$ ，压力损失 $<2000\text{ Pa}$ ，运行工况常温、常压，所有电器开关、按钮均应采用防爆型。催化氧化塔工作压力 $\leq 0.1\text{ MPa}$ ，流速 $1.0\sim 1.1\text{ m/s}$ 。该系统总去除率 $>98\%$ 。

#### 4.4.3 发酵尾气排放控制可行技术

采用次氯酸钠和水两级喷淋吸收处理技术。

次氯酸钠喷淋液 pH 值控制在 $7.5\sim 9.0$ 之间。

处理效率 $75\sim 90\%$ 。

#### 4.4.4 酸碱废气排放控制可行技术

采用酸碱喷淋吸收处理技术。

采用 NaOH 等碱性吸收液处理酸性废气，pH 值控制在 8~10 之间；采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 等酸性吸收液处理碱性废气，pH 值控制在 3~5 之间。

处理效率> 90%。

#### 4.4.5 恶臭排放控制可行技术

##### 4.4.5.1 吸附处理技术

采用颗粒活性炭、活性炭纤维等强吸附性材料作为吸附剂，对恶臭气体进行吸附处理，适用于浓度<8000 mg/m<sup>3</sup> 的恶臭废气的治理。吸附层厚度，一般在 50~600 mm 之间，气体流速 0.6~1 m/s；压力损失、过滤面积根据风量大小确定。

处理效率> 95%。

##### 4.4.5.2 酸碱吸收+生物净化处理技术

使用 NaOH、NaCO<sub>3</sub> 或 NaClO 作为吸收液对恶臭气体进行预处理后再利用生物填料塔进行处理。

酸性吸收液 pH 值控制在 3~5 之间，碱性吸收液 pH 值控制在 8~10 之间。废气在生物填料层停留时间 30 s~2 min，可通过延长停留时间增加污染物的去除率。生物填料采用抗生物降解、耐酸碱的高效生物滴滤填料。生物填料层进口增湿不小于 95%，在生物滤池中填料与生物固体的水份含量一般高于 40%。

处理效率> 99%。

##### 4.4.5.3 生物法处理技术

采用生物滴滤形式对恶臭气体进行处理。

废气在填料层停留时间大于 40s，生物填料采用抗生物降解、耐酸碱的高效生物滴滤填料，使用寿命 10 年以上，填料空隙率 90%，比表面积 380m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>，工作压降<250 Pa/m。药剂使用少量的 N、P 无机盐。

处理效率>95%。

#### 4.4.6 沼气脱硫排放控制可行技术

##### 4.4.6.1 干法脱硫处理技术

采用装填 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等固体脱硫剂的脱硫塔进行沼气脱硫，为提高净化效果，可采用 2 级脱硫塔串联脱硫。

脱硫塔高、径比为 2~3。接触时间在 50~300 s，脱硫剂床层的阻力为 1226~2452 Pa/m。

处理效率>99%，H<sub>2</sub>S 排放浓度< 20 mg/m<sup>3</sup>。

##### 4.4.6.2 湿法脱硫处理技术

采用 NaOH 或 NaCO<sub>3</sub> 作为吸收液，脱硫塔内与沼气逆流接触吸收气体中的 H<sub>2</sub>S。

吸收液 pH 值控制在 8~10 之间。

处理效率> 95%。

对于高浓度含硫沼气可采用湿法+干法联合处理技术，处理效率> 99.5%

#### 4.4.7 污染防治技术注意事项

(1) 厌氧生化池、集泥池、浓缩池、污泥脱水机房和污泥堆放间等产生恶臭的设施位于环境敏感区域或附近有环境敏感点时，应采取微负压设计。

(2) 沼气利用时制定安全管理制度。在消化池、储气柜、脱硫间周边划定重点防火区，并配备消防安全设施；非工作人员未经许可不得进入厌氧消化管理区内；在可能的泄漏点设置甲烷浓度超标及氧亏报警装置。

### 4.5 固体废物处理处置可行技术

#### 4.5.1 发酵菌渣处置可行技术

根据国家相关法规政策，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，按照危险废物处置。

鼓励开发发酵菌渣在生产工艺中的再利用技术、无害化处理技术、综合利用技术，研发危险废物厂内综合利用技术。

#### 4.5.2 剩余污泥处置可行技术

##### 4.5.2.1 污泥脱水可行技术

废水处理过程中产生的剩余污泥脱水可行技术：浓缩+压滤。

##### (1) 可行工艺参数

污泥浓缩池水力停留时间 12~24 h。压滤脱水前应投加阳离子 PAM，以提高污泥的凝聚性。

##### (2) 处理效果

污泥经浓缩池含水率由初始的 99%~99.5%降至为 97%~98%，压滤后的污泥含水率为 80%以下。

##### (3) 二次污染及防治技术

污泥脱水间产生的恶臭气体应收集，经处理后排放。处理方法见恶臭气体可行技术。

##### 4.5.2.2 污泥处置可行技术

废水处理过程中产生的剩余污泥经脱水后，应按照《国家危险废物名录》和《危险废物鉴别标准》进行识别或鉴别，非危险废物按一般废物处置。

#### 4.5.3 污染防治技术注意事项

(1) 高浓度釜残液不得排入废水处理系统，应按危险废物处置。

(2) 废药品、废试剂原料、含有或者沾染危险废物的废包装材料、废滤芯（膜）、废树脂等应作为危险废物处置。

(3) 除尘设施捕集的不可回收的药尘，应作为危险废物处置。

(4) 鼓励药物生产过程中产生的废活性炭再生回用，不能回用的应作为危险废物处置。

## 附录 A

### (资料性附录)

#### 制药工业典型产品工艺流程及排污节点

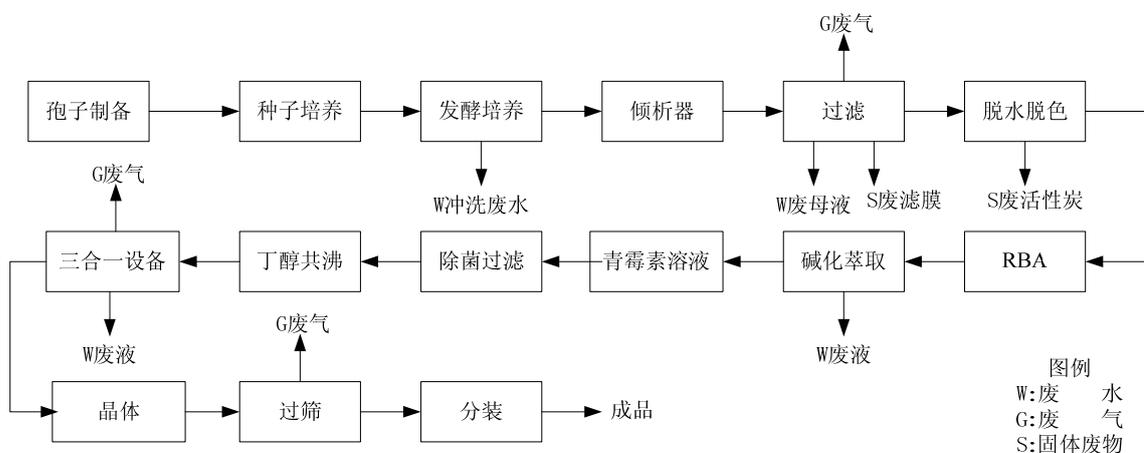
##### A.1 发酵类制药工业典型产品工艺流程及排污节点

发酵类药物分类及其代表性药物见表 A.1。

**表A.1 发酵类药物分类及其代表性药物一览表**

制药企业类型	类别	代表性药物	
发酵类	抗生素类	β-内酰胺类药物	青霉素 G 钾、青霉素 G 钠、青霉素 V 钾
		四环类药物	四环素、盐酸四环素、土霉素、金霉素
		氨基糖苷类药物	庆大霉素、卡那霉素、卡那霉素碱、单硫酸卡那霉素、核糖霉素、妥布霉素、硫酸妥布拉霉素、西索米星(西梭霉素)、大观霉素、硫酸大观霉素、新霉素、硫酸链霉素、双氢链霉素
		大环内酯类	红霉素
		多肽类	去甲万古霉素、多粘菌素 E、环孢素、平阳霉素
		其他类	正定霉素、丝裂霉素、派来霉素、阿霉素、表阿霉素、制霉菌素、灰黄霉素、利福霉素钠、依微菌素、阿维菌素、表阿维菌素、富表氨基阿维菌素、莫能菌素、林可霉素
	维生素类	盐酸羟钴胺、维生素 B <sub>12</sub> 、腺苷辅酶维生素 B <sub>12</sub> 、维生素 C-90、维生素 B <sub>1</sub> 盐酸盐、维生素 C-97、维生素 C 钠、维生素 D <sub>2</sub> 、维生素 C、维生素 E 醋酸酯、维生素 E 粉	
	氨基酸类	L-谷氨酸钠、L-谷氨酸、L-丝氨酸、L-苏氨酸、L-缬氨酸、L-赖氨酸、L-盐酸赖氨酸	
其他类	氢化可的松、辅酶 A		

典型发酵类药物品种生产工艺及排污节点见图 A.1~图 A.4。



**图 A.1 青霉素 G 钾生产工艺及排污节点图**

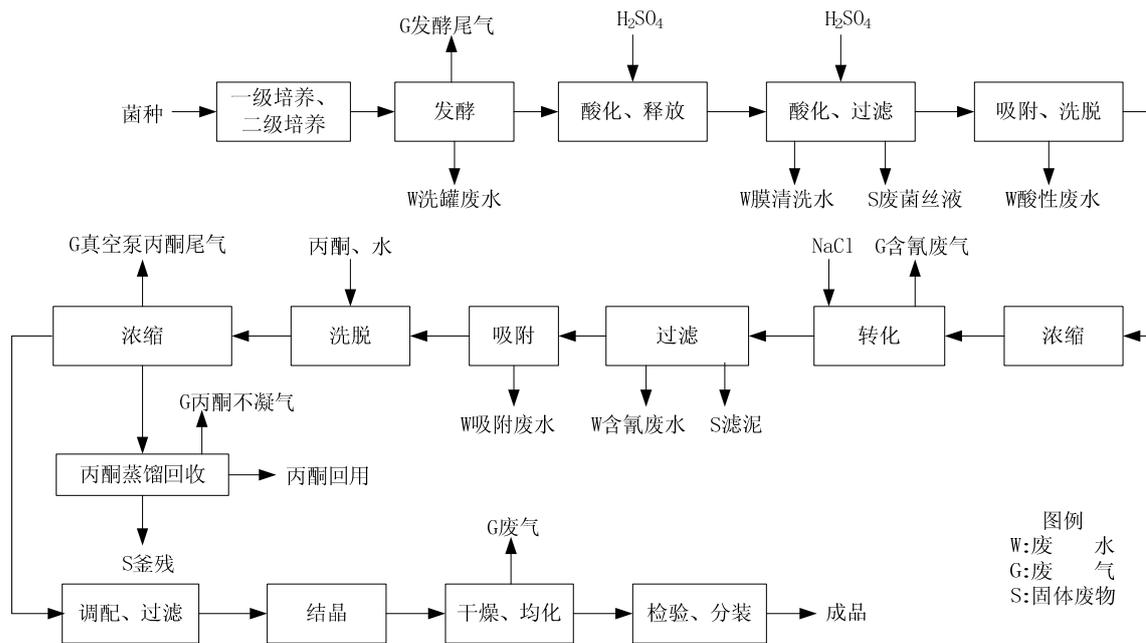


图 A.2 维生素 B<sub>12</sub> 生产工艺及排污节点图

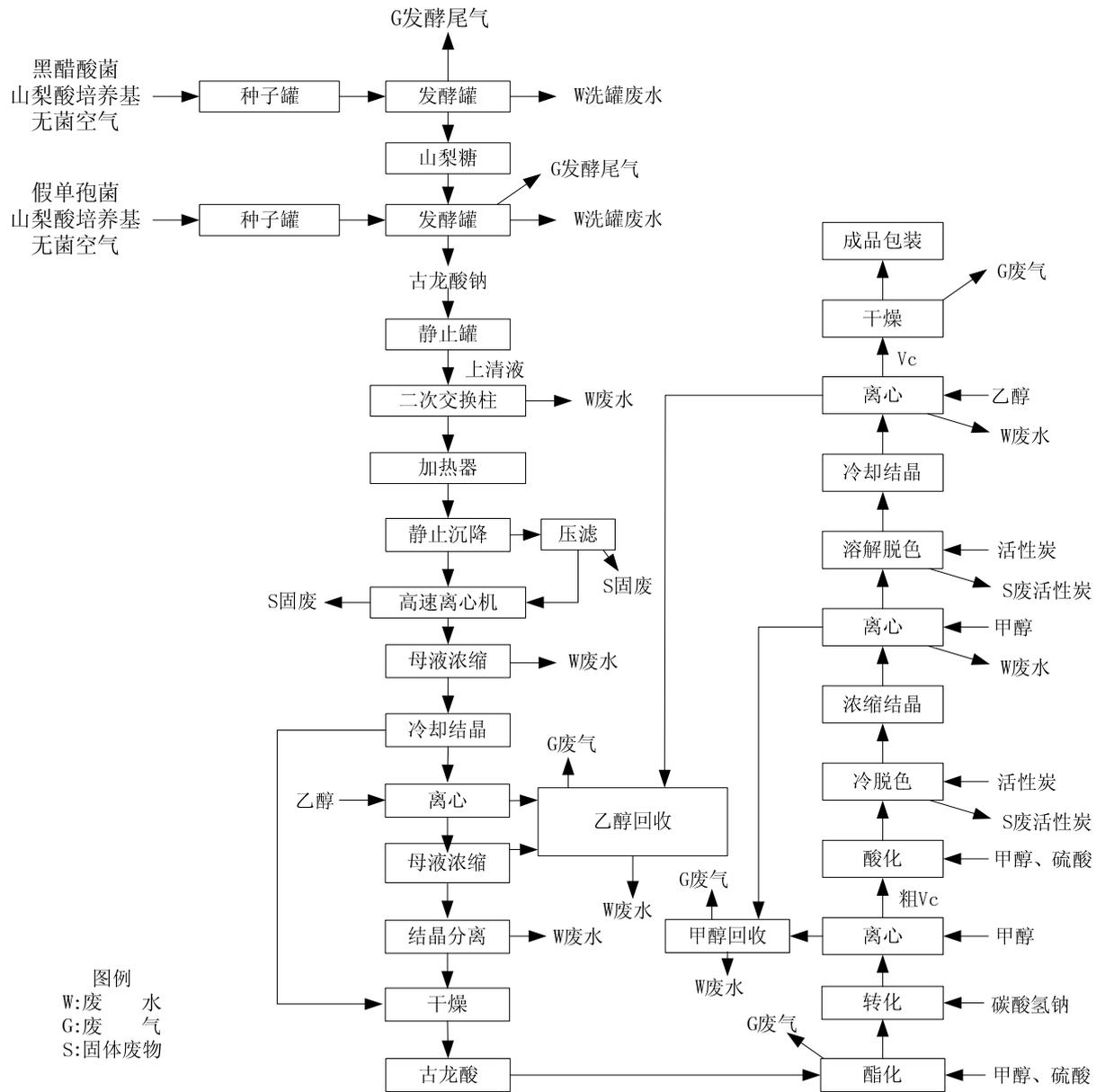


图 A.3 维生素 C 生产工艺及排污节点图

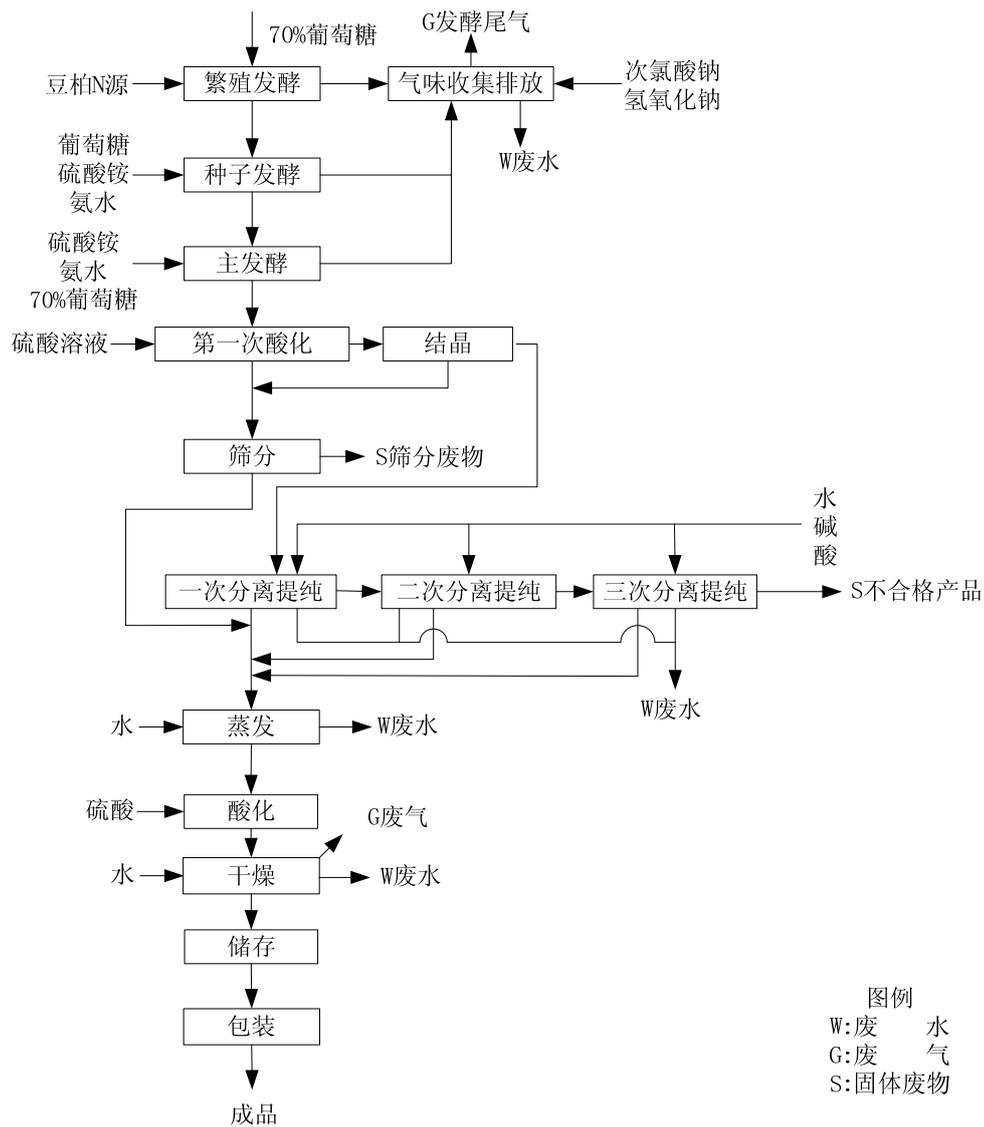


图 A.4 L-赖氨酸生产工艺及排污节点图

## A.2 化学合成类

化学合成类药物分类及其代表性药物见表 A.2。

表A.2 化学合成类药物分类及其代表性药物一览表

制药企业类型	类别	代表性药物	
化学合成类	抗微生物感染类	$\beta$ -内酰胺类药物	阿莫西林
			头孢拉定
		磺胺类药物	磺胺嘧啶
		氯霉素类药物	氯霉素
		呋喃类药物	呋喃唑酮
	心血管系统类	辛伐他汀	
	激素类	氢化可的松	
	维生素类	维生素 B <sub>1</sub>	
		维生素 E	
	氨基酸类	甘氨酸	
	神经系统类	安乃近	
		阿司匹林	
		布洛芬	
		咖啡因	
	呼吸系统类	愈甘醚	
其他类	盐酸赛庚啶		

典型化学合成类药品种生产工艺及排污节点见图 A.5~图 A.11。

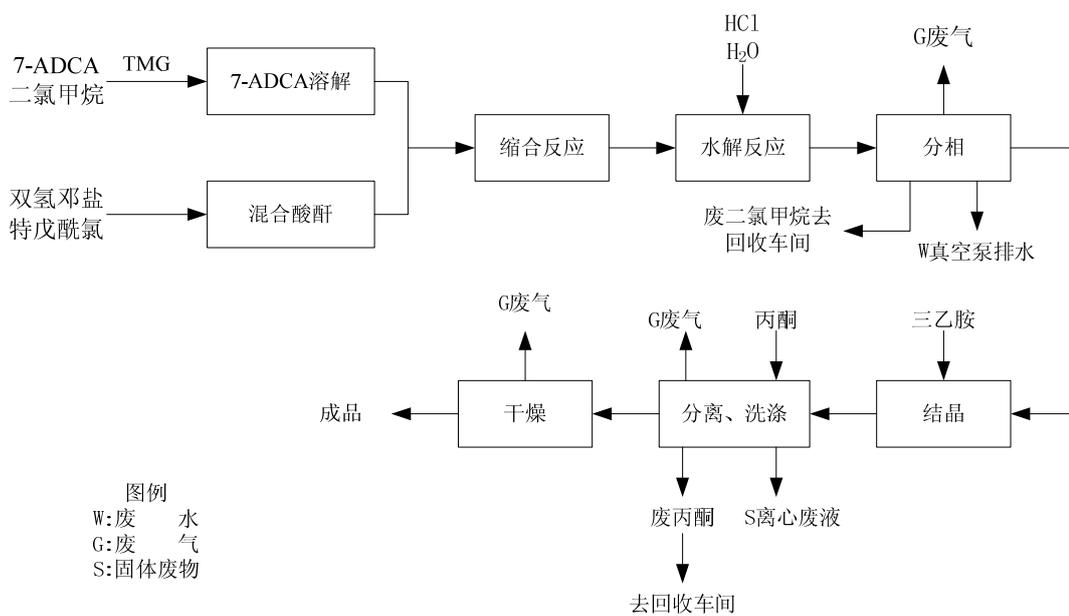


图 A.5 头孢拉定制药生产工艺及排污节点图

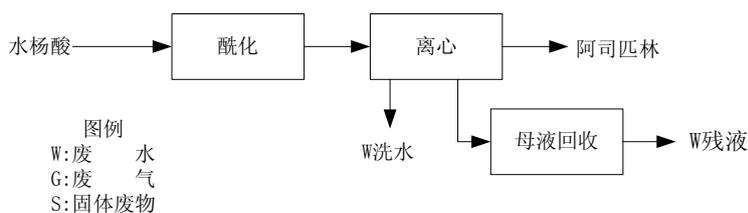


图 A.6 阿司匹林制药生产工艺及排污节点图

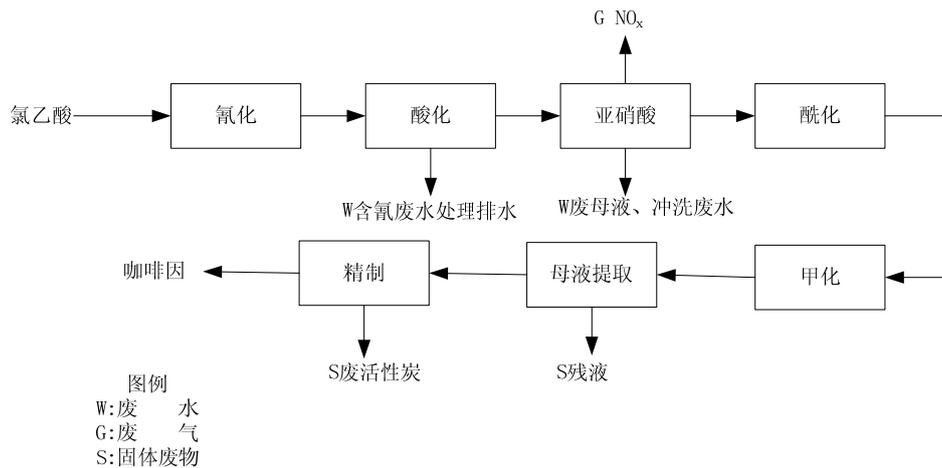


图 A.7 咖啡因生产工艺及排污节点图

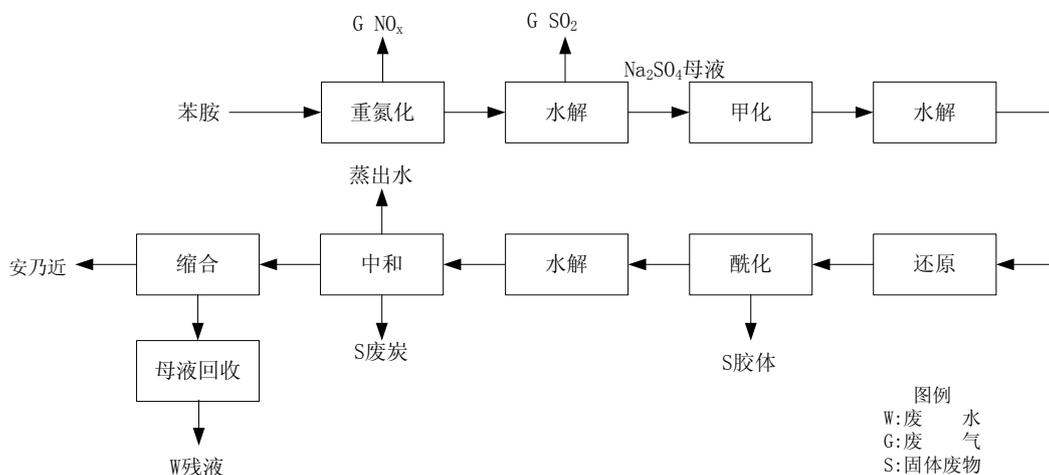


图 A.8 安乃近制药生产工艺及排污节点图

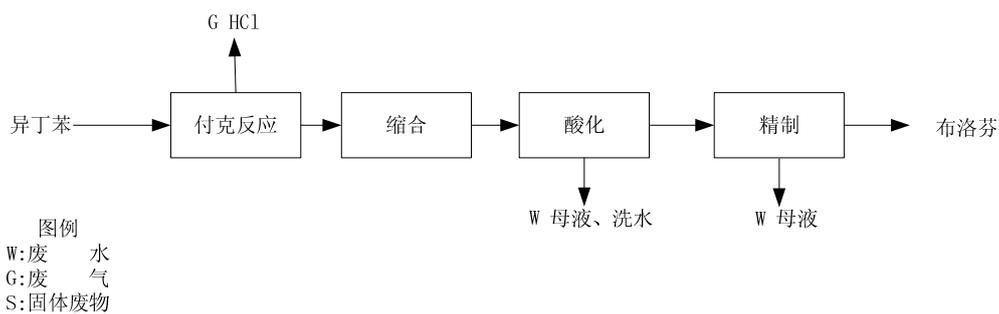


图 A.9 布洛芬制药生产工艺及排污节点图

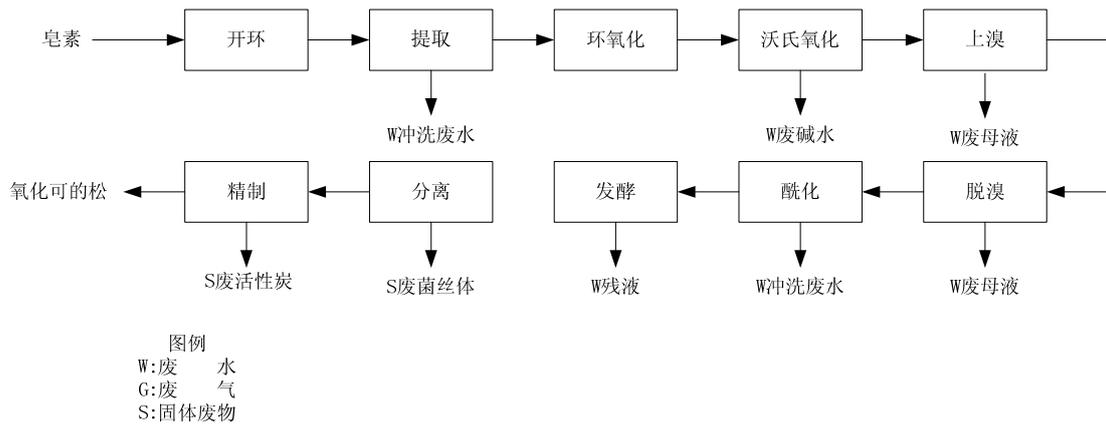


图 A.10 氢化可的松生产工艺及排污节点图

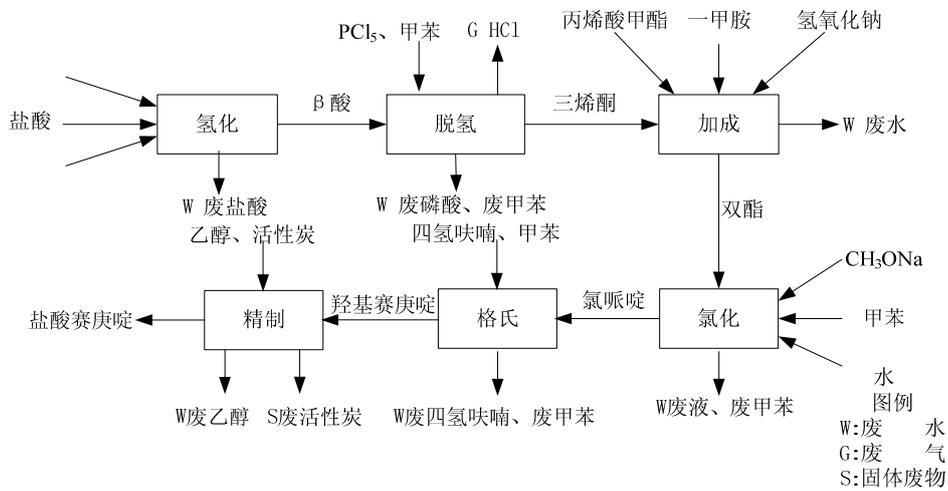


图 A.11 盐酸赛庚啶制药生产工艺及排污节点图

### A.3 制剂类

制剂类药物分类及其常见剂型见表 A.3。

表A.3 制剂类药物分类及其常见剂型一览表

制药企业类型	类别	剂型		
制剂类	常规固体制剂	片剂		
		胶囊		
		颗粒剂		
	注射剂	溶液型注射剂	以水为溶剂	水针 输液
			以油为溶剂	
			以乙醇为溶剂	
		无菌粉末注射剂	粉针剂	
			冻干粉针剂	
	其他制剂	软膏剂、眼膏剂、凝胶剂		
		栓剂		
		气（粉）雾剂、喷雾剂		
透皮制剂				

典型制剂类药品种生产工艺及排污节点见图 A.13~图 A.15。

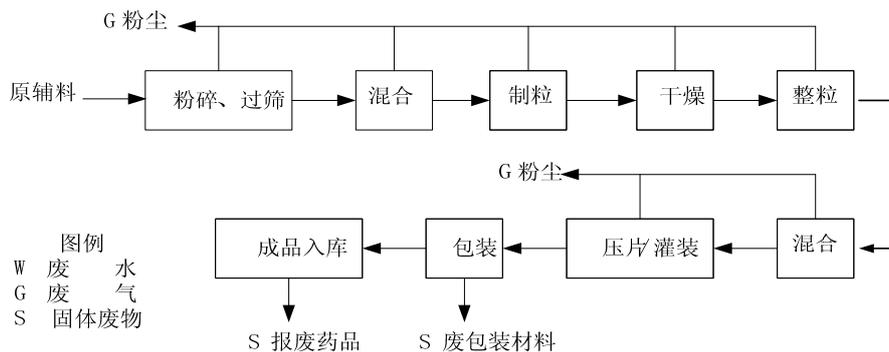


图 A.13 固体制剂类制药生产工艺及排污节点图

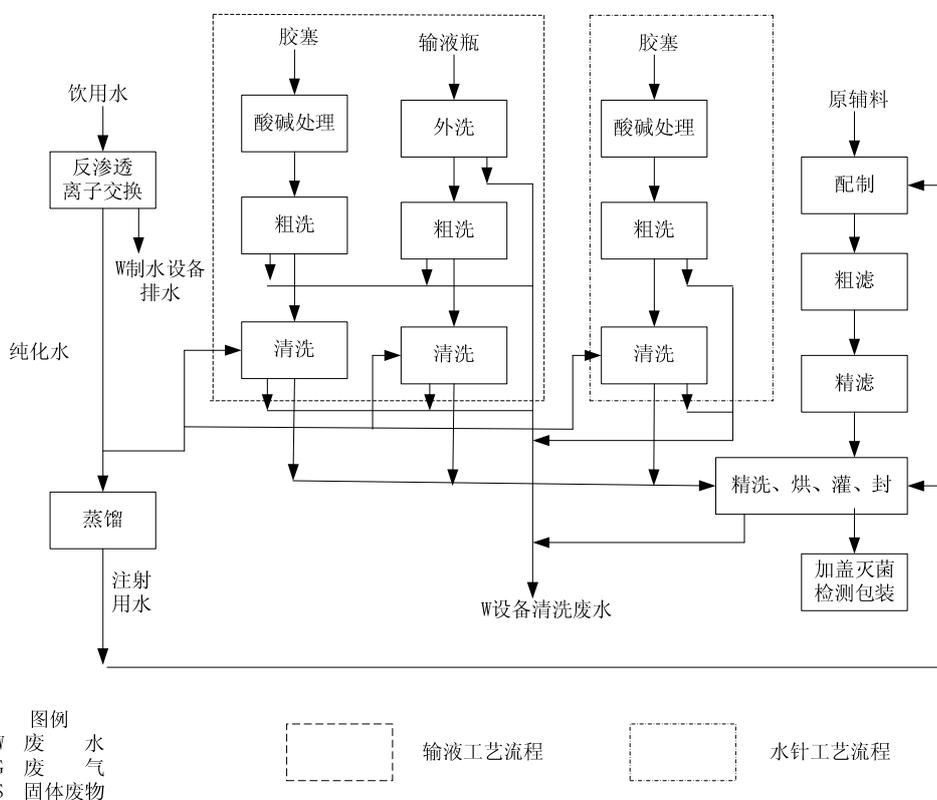


图 A.14 水针、输液注射剂类制药生产工艺及排污节点图

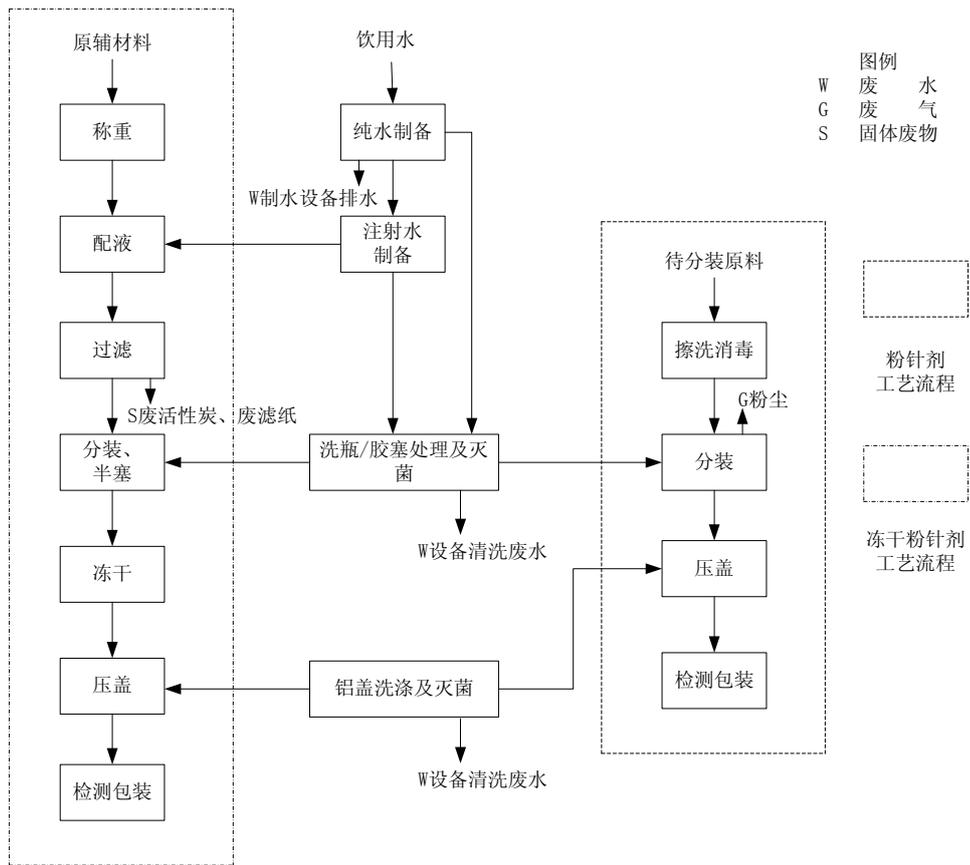


图 A.15 粉针、冻干粉针注射剂类制药生产工艺及排污节点图

## 附录 B

(资料性附录)

### 制药工业代表性药物废水产生量及废水水质概况

#### B.1 发酵类

发酵类制药生产代表性药物废水排放量可参考表 B.1，发酵类抗生素、维生素及氨基酸类制药废水水质概况可参考表 B.2

**表B.1 发酵类制药生产代表性药物废水排放量**

序号	药物类别		代表性药物	单位产品排水量 (m <sup>3</sup> /t)
1	抗生素	β-内酰胺类	青霉素	800-1100
			头孢菌素	1500-2100
			其他	960-1320
		氨基糖苷类	链霉素、双氢链霉素	1160-1600
			庆大霉素	5200-7150
			大观霉素	1200-1650
			其他	2400-3300
		大环内酯类	红霉素	680-900
			麦白霉素	600-800
			其他	680-900
其他类	洁霉素、阿霉素、利福霉素等	4800-6600		
2	维生素	维生素 C	240-330	
		维生素 B12	92000-126500	
		其他	24000-33000	
3	氨基酸	谷氨酸	60-90	
		赖氨酸	40-60	
		其他	160-220	
4	其他		1200-1650	

**表B.2 发酵类抗生素、维生素及氨基酸类制药废水水质概况**

污染因子 (mg/L)		pH	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	硫酸盐	氨氮
药物类别							
抗 生 素 类	β-内酰胺类	3-7	15000-26000	3000-7000	1100-3400	500-1000	100-360
	氨基糖苷类	4-7	5000-13000	3000-5000	1000-4000	500-800	30-160
	大环内酯类	3-7	5000-13000	2500-5600	1000-3000	200-800	40-150
	其他类	4-9	4000-15000	1000-4000	500-3000	150-300	50-100
维生素类		3-9	1000-14000	260-3500	100-3150	100-1000	80-420
氨基酸类		5.5-7	2500-5600	1600-2900	400-2500	100-2000	120-350

发酵类抗生素生产过程产生的废水污染物浓度高、水量大，废水中所含成份主要为发酵残余物、破乳剂和残留抗生素效价及其降解物，还有抗生素提取过程中残留的各种有机溶剂和一些无机盐类等。其废水成份复杂、碳氮营养比例失调（氮源过剩），含有大量硫酸盐，废水带有较重的颜色和气味，悬浮物含量高，易产生泡沫，含有难降解物质和有抑菌作用的抗生素，并且有毒性等，这类废水难生化降解。

发酵类维生素生产废水污染物浓度高，废水中主要含有有机污染物，另外还含有氮、磷及硫酸盐等，与抗生素废水相比，这类废水可生化性相对要好。

发酵类氨基酸主要排放的废水为发酵罐气体洗涤水、蒸发气洗涤水和树脂洗涤水，水中含有蛋白、糖等。某些具有副产品生产能力的氨基酸生产企业，废水还部分来源于副产品车间蒸发结晶工序及制肥车间等，废水中主要含有氨氮等。

## B.2 化学合成类

化学合成类制药生产代表性药物废水排放量可参考表 B.3.

表B.3 化学合成类制药生产代表性药物废水排放量

序号	药物种类	代表性药物	单位产品排水量(m <sup>3</sup> /t 产品)
1	维生素类	维生素 E	45
		维生素 B <sub>1</sub>	3400
2	神经系统类	安乃近	88
		阿司匹林	30
		咖啡因	248
		布洛芬	120
3	半合成类	阿莫西林	240
		头孢拉定	1200
4	氨基酸类	甘氨酸	401
5	抗感染类	氯霉素	1000
		磺胺嘧啶	280
		呋喃唑酮	2400
6	呼吸系统类	愈创木酚甘油醚	45
7	心血管系统类	辛伐他汀	240
8	激素及影响内分泌类	氢化可的松	4500
9	其他类	盐酸赛庚啶	1894

## B.3 制剂类

按照不同剂型可将制剂类分为片剂、胶囊剂、颗粒剂、水针、大输液、小输液、粉针、冻干粉、和其他制剂共计九大类，每种剂型生产过程中废水排放量可参考表 B.4.

表B.4 制剂类制药工业不同剂型产品废水排放量

序号	药物类别	排水量
1	片剂 (250 mg、125 mg、100 mg、50 mg)	8.8 m <sup>3</sup> /万片
2	胶囊剂 (250 mg、125 mg、100 mg、50 mg)	8.6 m <sup>3</sup> /万粒
3	颗粒剂 (125 mg、50 mg)	8.9 m <sup>3</sup> /万袋
4	水针 (装量<50 ml)	15 m <sup>3</sup> /万支
5	大输液 (装量>250 ml)	20 m <sup>3</sup> /万瓶
6	小输液 (装量:50~250 ml)	9.2 m <sup>3</sup> /万瓶
7	粉针 (规格 0.5 g、1.0 g)	6.27 m <sup>3</sup> /万支
8	冻干粉 (80 mg、50 mg、250 mg)	5.3 m <sup>3</sup> /万支
9	其他制剂	10 m <sup>3</sup> /单位产品(以万计)