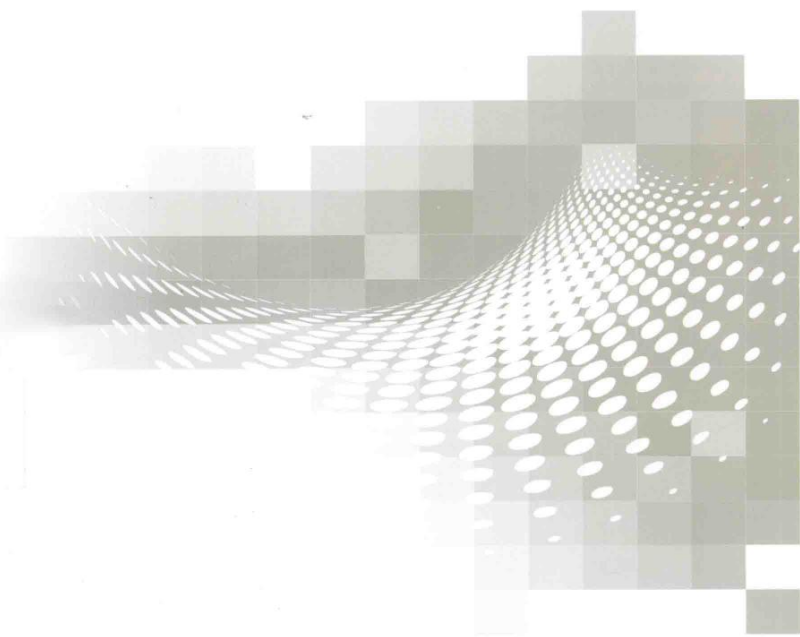


环境工程工学硕士研究生教学用书

ENVIRONMENTAL ENGINEERING
PROCESS DESIGN TUTORIAL

环境工程工艺设计教程

赵玉明 编著



中国环境出版社

环境工程工学硕士研究生教学用书

环境工程工艺设计教程

赵玉明 编著

中国环境出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

环境工程工艺设计教程/赵玉明编著. —北京: 中国环境出版社, 2013.9

ISBN 978-7-5111-1527-0

I. ①环… II. ①赵… III. ①环境工程—工艺设计—研究生—教材 IV. ①X505

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 176719 号

出版人 王新程

责任编辑 丁枚

文字编辑 赵楠婕

责任校对 尹芳

封面设计 金喆

出版发行 中国环境出版社

(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)

网 址: <http://www.cesp.com.cn>

电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn

联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)

010-67112735 (环评与监察图书出版中心)

发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京市联华印刷厂

经 销 各地新华书店

版 次 2013 年 12 月第 1 版

印 次 2013 年 12 月第 1 次印刷

开 本 787×1092 1/16

印 张 18 插页 2

字 数 420 千字

定 价 36.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

作者从事环境工程工作已有 30 年了,从事环境工程工学硕士研究生工艺设计教学工作也已经 14 年了。这 30 年,我国工业化进程不断加快,国家对于污染控制的投入越来越大,环境工程工学硕士研究生的数量也急剧增多。但回头望望,心中却是忐忑不安。由于工作原因,每年要跨入上百家企业的大门,许多工厂里污染控制设施稳定达标之艰难使人瞠目。如果将企业及管理部门监管的主观因素排除,再审视每年参加的几十项废水、废气等治理方案的评审,却有相当比例的方案需要做重大修改这一事实,就不难得出结论:污染控制设施的设计水平不高造成其处理效能低下,而设计水平低的原因显然与设计人员的水平密切相关。环境工程工学硕士研究生在三年的学习期间,绝大多数时间呆在课堂和实验室里,与实际工程接触过少;从本科一路学来,只知道各种污染控制单元或方法的优点,岂不知,美国管理学家彼得·圣吉(Peter M. Senge)提出的“水桶效应(Buckets effect)”早已告诉我们,一种工艺单元是否能够用于某个工艺流程中,受制于该工艺单元的局限性。

曾经有媒体记者采访环境工程界高端人士后撰文称污水处理专家为“魔术师”。但恰恰相反,环境工程工艺设计人员不能当“魔术师”,不能用“障眼法”对付“三废”,而要用最适用技术、最简单的方法,将污染物转化成为无害物质,消除工业、农业和第三产业的环境污染。

读读本书,希望能提供帮助并给予启发。

环境工程领域之深奥,虽尽气力,仍难以圆满,衷心希望各位提出宝贵意见。

王利超、马堂文同学参加了本书的编撰,在此一并表示感谢。

编者

2013 年 5 月

目 录

第一章 设计基础	1
第一节 概述	1
第二节 环境工程工艺设计阶段	2
第三节 环境工程工艺设计步骤	5
第四节 环境工程工艺设计内容	10
第五节 环境工程设备	23
第六节 计算机绘图及环境工程图件	38
第二章 环境工程主要单元过程	46
第一节 单元操作	46
第二节 混凝、中和及化学沉淀	47
第三节 化学氧化与还原	52
第四节 蒸发析盐	56
第五节 离子交换与吸附	61
第六节 纳滤	68
第七节 萃取	73
第八节 吸收	84
第九节 冷凝	103
第十节 解吸、吹脱及汽提	111
第十一节 气态污染物的吸附	123
第三章 工业废水处理流程设计	136
第一节 概 述	136
第二节 化学沉淀法处理含铅废水工艺设计	144
第三节 树脂吸附法回收母液中 BIT 工艺设计	150
第四章 工业废气净化工艺设计	169
第一节 工业废气来源及排气量核算	169
第二节 工业废气处理流程设计步骤	175
第三节 工业废气处理方法分类	176
第四节 吸收法处理氨工艺设计	178
第五节 活性炭纤维吸附回收氯仿工艺设计	190

第五章 粉体净化工程工艺设计	199
第一节 概述	199
第二节 粉尘特性	200
第三节 粉体净化系统	208
第四节 除尘器类别与性能	212
第五节 除尘器的技术经济指标	223
第六节 除尘系统设计	227
第七节 气力输送	252
第八节 粉尘燃爆及防控措施	254
参考文献	265
附录 1 本书习题	267
附录 2 教学建议	275
附录 3 《环境工程项目基础设计说明书》编制大纲	276

第一章 设计基础

第一节 概 述

环境工程工艺设计是环境科学、污染控制技术与经济学相结合的一门技术学科。环境工程工艺设计必须依据国家的经济政策、技术政策和环境政策，最合理、最有效地利用国家的财富和资源，合理地采纳环境科学、污染控制技术、清洁生产工艺等方面的最新成就，设计成果要做到技术先进、经济合理。所谓技术先进是指污染控制单元应能够将生产单元产生的各类污染物净化至一定的排放标准，减少其对环境的影响的技术；污染控制单元在净化污染物时，需消耗资源、人力和动力，从而占用一定的生产成本，但如占用生产成本比例过高，则会影响生产经营活动的正常开展。因此，污染控制单元应在达到其技术指标前提下，以尽可能低的运行成本投入运行，这就是环境工程设计成果的经济合理性。

环境工程在多个方面与化学工程相类似，使用了大量的化工单元操作过程，不仅是化学和物理化学的处理单元，即使是生物处理单元，也大量应用了传质、传热、液固分离等基本化工单元过程。由此可见，在环境工程工艺设计方面大量借鉴和吸取化工工艺设计理论、方法和成果是非常必要的。另一方面，环境工程又与化学工程间存在巨大差异。首先是对象不同，化学工程物料为高含量、低杂质，物料特性主要取决于主含量物质的特性，物理化学特性明确而易量化，而环境工程面对的废水、废气、废渣，是由生产物料中所含杂质、未反应原料、副反应物和流失产物等组成，含量低、组分多、相互间影响大，呈现非常复杂的物理化学特性。其二，化学工程物料通常在较稳定的指标范围内运行，而环境工程面对的废水、废气、废渣污染源，其组分、浓度、流量、温度、酸碱度等常常变化非常大。因此，环境工程工艺设计相比之化学工程工艺设计，有更多的不确定因素，更复杂，必须更多地依赖于实验数据和工程经验。第三，环境工程项目的流程复杂，一个既含有有机物、又含有无机物的中等复杂程度的废水处理流程，可能就包含了物理、化学、物理化学和生物处理等单元过程，为了保证其能够达到预期的处理效率，对工艺设计的要求无疑将更高。

综上所述，为了满足环境工程工艺要求，环境工程工艺设计人员应当要有扎实的污染控制方法学、化学、化工、防腐、生物、机械、材料、制图学、计算机应用等基础理论知识并能熟练地加以应用。不可忽视的是，面对如此复杂的各类污染源，没有一本教科书或设计手册能够说明和解答所有问题，因此，环境工程工艺设计人员应注意在实践中积累和应用知识，特别应努力吸取以往工程实例的经验和教训，从工程实践中增长经验和技巧，才能最终成长为一名优秀的环境工程工艺设计师。

第二节 环境工程工艺设计阶段

一、研究性实验与方案设计

环境工程项目方案设计 (schematic design) 的前提是建设单位的委托。

方案设计通常以研究性实验结果为依据,编制项目方案。如果是成熟工艺,也可以直接进行设计。

环境工程的对象(废水、废气等)其特点是水质、水量、气质变化大,不稳定,不同厂家生产的同一种产品排放的废水、废气也会有较大差别,一种处理工艺是否可行,仅仅通过文献调研远远不够,实验在许多情况是唯一可行和可靠的途径。从严格意义上说,如果没有同类工程实例,除了 COD 浓度适宜、BOD 与 COD 之比恰当的废水可以直接进行好氧化系统设设计外,包括混凝在内的环境工程工艺单元,都需经过实验,尤其是萃取、吸附、化学氧化、光催化氧化、微电解、膜分离等必须经实验,验证处理效果和二次污染物妥善处置的可行性,才能进入编制技术方案阶段。

研究性实验就是通常所称的“小试”。研究性实验主要目的是研究废弃物处理步骤及其规律,打通工艺路线,提出主要原辅材料、主要技术经济指标及工艺技术条件,编制工艺技术方案,为中试做技术准备。要求技术指标和工艺操作条件稳定、可靠,经济性合理,建立相应的工艺控制和分析方法。

研究性实验与生产性工程相比较,有以下几方面差异:

(1) 所用原料不同

研究性实验所用原料为实验用药剂纯度较高,多为化学纯,甚至为分析纯。实验用药剂纯度高、杂质少,简化了杂质对实验的影响,方便了对实验规律的研究,但带来的问题是不清楚杂质物质可能对实验的影响。

(2) 搅拌

搅拌对于很多化学过程有着至关重要的影响,例如对于混凝过程,需先高速搅拌,使混凝剂与废水在短时间内充分混合,然后减速搅拌,有利于絮凝体长大。研究性实验的反应容器多为各类烧杯,直径小,搅拌时搅拌轴心与搅拌叶尖刀线速度差别不大,物料混合较为均匀;而生产性工程装置直径大,搅拌时搅拌轴心与搅拌叶尖刀的线速度差别非常大,物料混合不均匀,将严重影响混凝效果。对于各类废水处理中的搅拌过程,还常常采用矩形的池子作为反应器,其物料混合特征更是与实验室实验相差巨大。

(3) 传热

同样,由于传热研究性实验的反应容器多为各类烧杯、交换柱等小直径容器,无论是采用夹套加热还是直接加热,传热距离短,温度均一所需时间短;而生产性工程装置直径大,反应体系内部温度梯度大,对于吸附—脱附这样的过程而言,在低浓度的吸附流出液与高浓度的脱附液间会形成较长的混合区,最终将缩小脱附液与流出液的浓度比,使吸附装置的经济指标下降。

除以上问题外,在加料方式、过滤、物料转移、过程控制等方面,研究性实验与生产

性工程装置也存在着巨大差异。实验室实验中,由于物料量小,加料基本采用手工,而在实际工业生产中,液体物料有机泵压送、真空泵抽吸、计量罐自流滴加等多种方式;气体物料有自身压力压送、抽吸等方式;粉状物料有机械输送加料、气力输送加料、人工加料等方式。在实验室实验中,过滤常采用各类滤纸、滤膜,而实际工业生产中,过滤材料有各种滤布、微孔金属、陶瓷、高分子材料等,过滤机械更是种类繁多、性能各异。这些差异的积累使得仅仅按实验室实验参数放大到工业规模后,往往无法重现实验的结果,形成所谓的“工程放大效应”。因此,研究性实验参数往往不能直接应用于工程设计。

为了了解这些差异,减小这些差异对工程设计的影响,就需要进行放大模拟试验,并以其结果,进行基础设计。

大型项目则需编制可行性研究报告。可行性研究报告主要内容有:

- 1) 项目兴建理由与目标。
- 2) 技术提供单位以往的研究基础和本项目研究进展。
- 3) 方案比选。包括场址方案、技术方案、设备方案、工程方案、原材料燃料供应方案、总图布置方案、场内外运输方案、公用与辅助工程方案等比选。
- 4) 劳动安全卫生与消防。环境工程内容有时会使用易燃易爆、有毒有害等原辅材料,因此同样应注意劳动安全卫生与消防问题。
- 5) 组织机构与人力资源配置。
- 6) 项目实施进度。
- 7) 财务评价。
- 8) 风险分析。由于环境工程项目应当尽量采用先进技术,因此可能会带来一些技术风险问题,应当加以阐述。
- 9) 研究结论与建议。对于设计方案,通常由建设单位委托管理部门组织评审,如通过了评审,即可以编制项目建议书,上报立项。

二、放大模拟试验与基础设计

基础设计(foundation design)是以放大模拟试验(中试)结果为依据,编制基础设计说明书。

放大模拟试验(中试)又称“生产性放大试验”。放大模拟试验是研究在一定规模设备中的操作参数和条件的变化规律,验证实验室工艺路线的可行性,解决在实验室阶段未能解决或尚未发现的问题,提供将研究成果应用到大规模的工业生产中所必需的数据。

放大模拟试验的目的,是为了最大限度地降低“工程放大效应”。

放大模拟试验应该具有一定规模。这是因为,同样的工艺目标,处理规模不同,所用的设备可以完全不同,其单元效率、成本甚至二次污染的情况都有可能不同。放大模拟试验规模一般可为实际工业生产的几十分之一,放大效用越显著的,放大倍数应当越小。

放大模拟试验应采用工业级原料以及在今后工业规模基本相同的设备,并配套全部辅助过程如输料、搅拌、加热、冷却、过程控制等。

放大模拟试验还应有一定的持续时间。这是因为,有些单元过程存在着积累性的损害影响,这些影响有时甚至是不可逆转的。例如,树脂吸附过程的脱附效率常随着工作次数

的增加逐渐降低,最终影响树脂的吸附能力而导致树脂失效;过滤材料以及超滤、纳滤、反渗透等膜分离过程,会由于微生物的滋生和机械杂质的堵塞使过滤材料及膜材料逐渐失效。因此,放大模拟试验必须有一定的持续时间,通过对试验期间过程效率-时间曲线的分析,最终判断相关工艺单元应用时工艺参数的稳定性和设备的可靠性。

放大模拟试验得到的试验数据,供编制基础设计说明书。

三、初步设计

在基础设计通过论证的基础上,开展初步设计 (preliminary design),包括编制初步设计说明书、绘制主要图纸及编制项目总概算。

各类图纸包括:带控制点工艺流程图、物料平衡图、设备布置图、管道布置图、关键非标设备总图、定型设备总图等。

初步设计由建设单位委托管理部门组织审查。

四、施工图设计

初步设计审查通过后,进入施工图设计 (construction drawing design) 阶段,其成果为详细的施工图纸、施工文字说明、主要材料汇总表及工程量表。

各类图纸包括:带控制点工艺流程图,蒸汽、空气等辅助管道系统图,物料平衡图,设备特征图,设备及换热器的热量平衡图。其中设备布置图包括首页图、设备布置图、设备支架图、管口方位图;管道图包括各类管道布置图、管段图、管架图、管件图;非标准设备图包括各类非标准设备总设备图及零部件图;定型设备图包括设备总图和零部件图等。

设计阶段中,可行性和计划任务书属设计前期工作。

表 1-1 工艺设计图样及其内容

初步设计	施工图设计	内容
工艺设计图		
全厂总工艺流程图、物料平衡图		全厂总工艺流程图、物料衡算结果
物料流程图		车间(装置)的物料流程、物料衡算、设备特征、换热器的热量衡算等
带控制点工艺流程图	带控制点工艺流程图、辅助管道系统图、蒸汽管系统图	车间(装置)或工段中主辅管道、生产设备、仪表、管件、阀门的配置
设备布置图	首页图、设备布置图、设备支架图、管口方位图	车间(装置)、工段中生产设备、操作平台等的具体位置和安装情况,支架、平台的详细结构
管道布置图	管道布置图、蒸汽管道布置图、管段图、管架图、管件图	车间(装置)、工段的管道、管件、阀门、管架及仪表检测点的位置,安装情况,管段、管件的详细结构
设备图		非定型总设备图及零部件、设备总图,部件、零件的结构形式、尺寸、材质、数量、技术要求等
非定型管件总设备图		
定型设备总图及零部件图		设备的主要结构形式、尺寸、技术特征

第三节 环境工程工艺设计步骤

一、了解生产工艺及污染源、污染物状态和性质

污染物的性质、排放量、排放方式等与生产工艺密切相关。充分了解生产工艺及污染源、污染物状态和性质，可以最大限度地回收资源，减少污染物的排放及处理量；可以合理地设计操作方式、处理流程、降低运行成本；可以合理地布置处理设施，减少对工艺装置的干扰。

1. 原辅材料调查

任何一种生产过程的转化效率不会是 100%，生产中所使用的原料常常不能够完全转化为产品，可能转变成副反应物或被分解等。根据物质不灭定律，其未转化为产品的原料在生产过程中以各种形式进入到废气、废水或固体废弃物中，成为污染物质。另一方面，生产过程常常使用的大量辅助性原料如溶剂、酸碱调节剂、催化剂等，虽不参与反应，但会有过程损耗如流失、回收损失和分解损失等，损耗的部分同样最终进入废气、废水和固体废弃物，成为污染因子。因此，对生产过程所使用的各类原辅材料进行调查分析是必要的。

在工程分析中，对各类原辅材料的调查分析应注重两个问题：一是其理化性质、毒性，二是其消耗。

理化性质、毒性的调查范围，不仅包括生产过程将使用的各类原辅材料，还包括中间产物和产品。所以应给出其规范的名称、分子式、分子量、危险货物编号（危规号）、外观与性状、密度、熔点、沸点、溶解性、饱和蒸汽压、可燃性、爆炸极限、闪点、稳定性、毒性指标等。应特别注意给出溶解性、饱和蒸汽压、在与其他物质接触或高温条件下的稳定性、分解产物等。因此物质的溶解性关系到该物质在废水中的最低浓度；而有机物如有机溶剂的挥发损失和冷凝损失都与其饱和蒸汽压相关；某些物质与其他物质接触时会发生激烈的化学反应，某些物质在高温或其他条件下易分解甚至放出有毒有害气体等，易引起次生或伴生环境风险。

对于物质的毒性，除了对人体一般性毒害的定性描述外，还应给出半数致死量（LD₅₀）、半数致死浓度（LC₅₀）等毒性指标、“三致”性等特殊毒性参数。

在对生产过程所使用的各类原辅材料的调查中，如有拟使用或在生产过程中可能产生持久性有机污染物（POPs）、消耗臭氧层物质（ODS）、易制毒类及其他国际和国内禁用或严格控制使用、生产的化学品，须逐一标明。

各类原辅材料的消耗首先应根据可行性研究报告给出拟定单耗和年用量，同时，应计算出其理论消耗。

理论消耗是在最适宜条件下，假设原料完全转变为产品得到的。在实际生产中，由于各种生产过程的工艺条件、效率等很难达到理想条件，原料在生产过程中不能被完全利用，就有了化学反应的转化率、物理过程的转变率和产品收率。显然，这些效率越高，原料的

利用率就越高,原料的拟定消耗也就越接近于理论消耗。通过工程分析计算出的这些数据,是核定各类污染源源强和评估建设项目清洁生产水平的依据。

2. 工业设备及其运行时的环境特征

设备在工作时会产生和排放各类污染物,我们将生产设备在工作时产生、排放污染物的方式、种类和特点称为该设备运行时的环境特征。常见化工设备的环境特征见表 1-2,常用环境工程单元的环境特征见表 1-3。

表 1-2 常见化工设备的环境特征

设备/工艺	排污工况	排污方式	排放的污染物
压力反应器	卸压	间歇	放空气体
连续式生产设备	在中修、大修时需吹扫、清洗等	间歇	吹扫废气和清洗废水
间歇式生产设备	常需清洗	间歇	设备清洗废水
各种固液分离设备	凡在有机相中的固液分离过程	间歇	有机溶剂挥发形成的无组织排放
连续式干燥设备、气力输送系统	物料全部经过分离系统,工艺分离系统与尾气净化系统常合为一体	连续	粉尘
间歇式干燥设备	蒸汽挥发时夹带粉尘	间歇	粉尘
蒸馏、精馏	冷凝器后排气	连续	不凝气
真空设备	排气、排水	连续	尾气、废水

表 1-3 常见环境工程单元的环境特征

工艺	排污工况	排污方式	排放的污染物
吸附	脱附剂为有机溶剂时的冷凝回收	连续	不凝气
萃取	分层分离	间歇	萃取剂流失进入萃取项
含挥发性物质废水处理	整个收集、输送和处理过程	连续	无组织排放源

3. 产污环节及源强核算

对建设项目工艺流程进行分析,是为了找出流程中全部的污染物产生环节,为进一步查清源强提供依据。

一般来说,一个工业产品的生产过程是由一个或多个工艺单元构成的,这些单元按其原理,可分为物理过程和化学过程两大类,在实际工艺流程中,常常既有物理过程又有化学过程。

工业生产中的产污环节按生产过程可分为原料投放时、生产过程中和仓储过程中的产污环节。按污染物的种类可分为废气、废水、固体废弃物和噪声等。

在工程分析中,首先要绘制流程框图(大型项目一般用装置流程图的方式说明生产过程),按工艺流程中的单元过程顺序逐一阐述,说明并图示主要原辅料投加点和投加方式。工艺流程中有化学反应过程的,应列出主化学反应方程式、主要副反应方程式和主要工艺参数,明确主要中间产物、副产品及产品产生点、污染物产生环节和污染物的种类(按废

水、废气、固废、噪声分别编号)、物料回收或循环环节。工艺流程说明、工艺流程及产污环节图和污染源一览表,应做到文、图、表统一。

污染源分布和污染物类型及排放量是各专题评价的基础资料,必须按建设过程、运营过程两个时期,详细核算和统计,根据项目评价需要,一些项目还应对服务期满后(退役期)影响源源强进行核算。因此,对于污染源分布应根据已经绘制的带产污环节的生产工艺流程图及列表逐个给出各污染源中各种污染物的排放强度、浓度及数量,完成污染源核算。

二、确定操作方式

环境工程设施的操作方式主要确定两个问题,其一是连续操作还是间歇操作;其二是是否与生产设施同步。

环境工程工艺单元按操作方式可分为连续操作(continuous operation)或间歇操作(intermittent operation)。如过滤、化学氧化/还原过程、萃取、离子交换与吸附等为间歇操作过程;膜分离、生化处理等过程为连续操作过程;混凝、化学沉淀等视采用的设备,可以为间歇操作也可以为连续操作。如果生产设施的操作方式与拟采用的环境工程设施的操作方式不一致,应当增加必要的调节设施如调节池等进行缓冲。

污染控制设施的操作方式或周期是否采取与生产工艺操作相同的方式,可根据污染物处理周期的长短考虑。例如,生产装置为连续生产,但废水量很小,很短的时间即可处理完毕,则污染控制设施的生产操作方式可采取间歇式,以一定容量的调节池暂时接纳、均化停机时间的废水;反之,若生产装置为间歇生产,但在某个时间段废水量很大或较难处理,处理流程很长,亦可设置较大容量的调节池进行调节、均质,并采取运行操作较稳定的连续操作方式的污染控制设施为好。

三、选择单元过程及设备

根据实验、经验或文献调研,选择合理的处理单元或单元组合,构成处理工艺。

选择恰当的单元过程,以及为完成该单元过程所需的设备。同一工艺目的或要求可用不同的工艺单元完成。例如,去除有机物(COD)可以用混凝、化学氧化/还原、吸附、萃取、生化法等,到底采用哪一种工艺单元才合理呢?对于固液分离,沉淀、过滤、离心分离、气浮等单元都可以完成。同一工艺单元也可以用不同的方式和设备实现,如过滤可以分为重力过滤、真空过滤和压力过滤等方式,各种过滤方式都有多种可选设备,如压力过滤用滤布过滤、颗粒层过滤器、微孔过滤器、纤维球过滤器等完成。在选择时,要考虑单元或设备的效率、成本以及对下一工艺步骤的影响等因素;还要考虑物料的理化性质如腐蚀性、黏度、细度、气味、易燃易爆性、浓度、单位时间产生量等。进一步地,还要综合考虑所需的原料来源、厂方的技术、经济状态、人员素质、环境管理部门的要求、气候条件及其他影响因素等。

如在北方高寒地区,通常的生化池受气候条件限制,不能全年正常运行,如果改成塔形生化反应器,则有利于保温。

在选择单元过程及设备阶段和确定辅助过程及设备阶段中,必须进行大量的物料和设备选型计算。

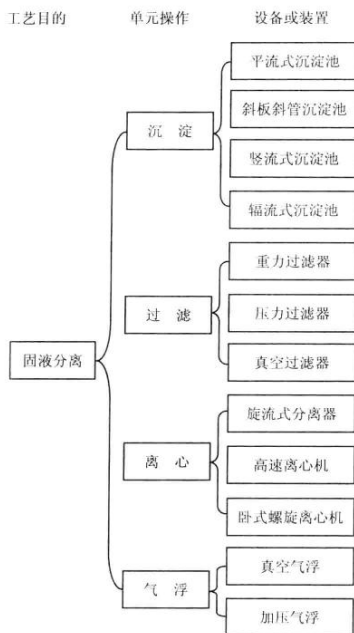


图 1-1 用于固液分离的不同单元及不同设备或装置

四、确定辅助过程及设备

通常组成一个完整的单元过程，需要主反应器（main reactor）和辅助系统（auxiliary system）两大部分。

主反应器包括：反应器、分离器等设备和水工构筑物。

辅助系统包括：物料输送系统（materials handling system）、储配料系统（feed proportioning system）、加热冷却系统（heater and cooling system）、过程控制系统（process control system）等。

一个完整的单元过程的各系统如图 1-2 所示，一个或数个这样的单元过程构成一个工艺流程。

物料输送系统中，液体的输送方式有泵送、负压抽送、气体压送、重力自流等；气体的输送方式有风机抽吸、空气压缩机压力输送等；固体的输送方式有机械输送（各种提升机、螺旋输送机、皮带输送机）、水力输送、气力输送（真空抽吸或压送）、人工搬运等（见表 1-4）。

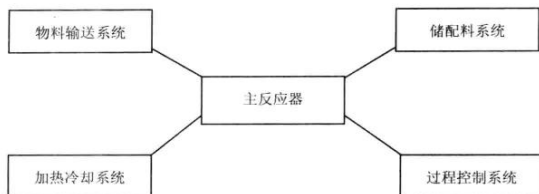


图 1-2 单元过程的构成

表 1-4 各种介质的输送方式及动力设备

介质	输送方式		动力设备
液体	压力输送		泵
	负压输送		真空泵
气体	气体压送		空压机
	重力自流		重力
	压力输送		风机、空压机
	负压输送		风机
	机械输送		皮带输送机、螺旋输送机、提升机
固体	气力输送	压力输送	空压机
		负压输送	风机
	水力输送	压力输送	泵

储配料系统主要指原辅材料储罐、高位槽、计量罐、配料罐、缓冲储器等。缓冲储器起中间过渡作用，有时也起中间均质作用，如吸附、离子交换过程的中间容器。储配料系统的操作可以选择人工液位控制加料、计算机控制计量泵加料、计算机控制全自动配料、加料系统加料等。

加热、冷却系统有各种不同的加热方式如蒸汽加热、电加热、热媒体加热或直接加热等；传热方式和设备也有多种多样。冷却方式有水冷却、空气冷却、自然冷却等。

过程控制系统包括数据采集（data capture）和控制部分（control portion），主要对象有温度、压力、酸碱度、料位、成分等采样、测量、控制装置等，可以分为间断采样和在线控制两类。按控制水平，又可以分为现场仪表显示、人工控制、电动仪表远传控制和计算机控制，如 DCS 系统等。

五、确定设备的相对高低位置

设备的相对高低位置影响连续操作程度、设备规格和数量、动力消耗、厂房展开面积、劳动生产率等，都会最终影响处理设施的工艺流程和运行费用。当各单元间不需要很大的压力差时，可采用一次提升，然后逐级利用重力流使物料从上一单元自流向下一单元；在设计废水处理设施尤其是生物化学处理装置中，不同的废水提升方式将形成不同的工艺流程，设计时应仔细考虑这个问题。

第四节 环境工程工艺设计内容

一、工艺流程图设计

所谓工艺流程图,是通过图解方式,描述整个工艺过程、使用的设备、设备间的关系(主要和辅助)和衔接、相对位差等。在废水处理过程中,工艺流程图可以表现废水中污染物和能量发生的变化及流向、采用的单元过程及设备,还可以在此基础上通过图解的形式进一步表示出管道流程(piping flow)和计量—控制流程(measure-control flow)。

在整个工艺设计中,工艺流程图设计是最先开始,最后完成。

在可行性研究阶段可先定性地画出工艺流程示意图,其目的是确定工艺路线、采用的处理单元和设备,为物料计算提供依据。在初步设计阶段,应根据物料计算和初步的设备计算(选定容积型定型设备和非标设备的形式、台数、主要尺寸,计量和储存设备的容积、台数),画出物料和动力(水、汽、压缩空气、真空等)的主要流程、管线和流向箭头、必要的文字注释等,为车间布置设计提供依据。在施工图设计阶段,继续进行设备设计(包括所有技术问题,如过滤面积、传热面积、加热冷却剂用量等),并根据最终计算结果和设备布置设计完成工艺流程图,施工图阶段的工艺流程图上,必须画出所有的设备、仪表等。

二、物料计算

1. 基本概念

物料计算(material calculation)是环境工程设计中的基本计算。

物料计算建立在物料衡算(material balance)的基础上,通过物料计算得出进入和离开设备的物料(原料、中间产品、成品)的成分、重量和体积,即设计由定性转入定量阶段,可进行能量计算、设备计算(确定设备的容量、套数、主要尺寸和材料)、工艺流程设计和管道计算等。

通过物料计算,可以考察工艺可行性。例如通过计算看转化率、去除率是否符合设计要求;核算经处理后的尾水、尾气是否达到排放标准。

根据物料计算,还可进一步计算出原料消耗定额、消耗量,汇总成原料的综合消耗表,在表中除给出物料量外,还应根据该原料的工业品规格给出实际消耗量,以便计算运输量。例如氢氧化钠是常用的原料之一,通常都采用浓度为30%液碱,因此最后应计算出30%液碱的用量。原辅材料消耗定额作为运行成本的一部分,同时其消耗量也是设备计算的一个依据。

根据物料计算,还可以得出水、电、蒸汽、压缩空气、真空、其他惰性气体、冷介质等公用工程消耗量。

物料计算中最基本的和最重要的是物料衡算计算。

物料衡算可以是对过程的总的物质平衡计算,也可以是对一个单元过程或一台设备的

局部物质平衡计算。在环境工程领域，还常进行针对某特定物质如有毒有害物质、重金属或某个元素等的衡算。

物料衡算可以是针对现有的生产设备和装置，利用实际运行时测定的数据，计算出其他不能直接测定的数据，建立起整个生产过程的数字化模型；也可以是为了设计新的设备、单元或装置，根据设计任务，先作物料衡算，再计算能量平衡求出设备或过程的热负荷，从而确定设备规格、数量等。

化工单元过程指包含有物理化学变化的化学生产基本操作，例如有关物料流动的操作如管道输送、泵道输送、风机输送等；有关传质过程的操作如蒸发、蒸馏、吸收、吸附、萃取等；有关机械过程的操作如固液分离、气固分离、固体物料的粉碎等。这些过程也是环境工程中最基本的工艺单元过程。

无论进行何种层次的物料衡算，均需要如下基本数据和条件：

输入输出物料的速率、组分、浓度，单位应当统一；物料发生物理变化时的变化率（吸收率、吸附率等）；当有化学反应发生时，应明确反应转化率和产物；有多个化学反应同时发生时，应获得各反应的比例等。

2. 物料衡算

过程或单元的物料衡算，如下图所示。



图 1-3 过程或单元物料平衡

根据质量守恒定律（即进入一个系统的全部物料量必等于离开系统的全部物料量），再加上过程中的损失量和在系统中的积累量。可列出等式：

$$\sum G_1 = \sum G_2 + \sum G_3 + \sum G_4 \quad (1-1)$$

式中： $\sum G_1$ ——输入物料量总和；
 $\sum G_2$ ——输出产物量总和；
 $\sum G_3$ ——物料损失量总和；
 $\sum G_4$ ——物料积累量总和。

对于稳定的连续过程，系统内物料积累量总和可以视为零，上式可以写成：

$$\sum G_1 = \sum G_2 + \sum G_3 \quad (1-2)$$

特定物质或元素的物料衡算，可按下式进行计算：

$$\sum W_i X_{w_i} = \sum W D_i X_{D_i} + \sum W F_i X_{F_i} \quad (1-3)$$

式中： W_i ——含特定物质或元素的 i 种原料的量；
 X_{w_i} ——特定物质或元素的原料在 W_i 中的浓度；
 $W D_i$ ——含特定物质或元素的 i 种产物的量；