

环保设备 制造工艺学



高明军 主编

HUANBAO SHEBEI
ZHIZAO GONGYIXUE

中国环境出版社

环保设备制造工艺学

高明军 主编

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

环保设备制造工艺学/高明军主编. —北京: 中国环境出版社, 2016.2

ISBN 978-7-5111-2716-7

I. ①环… II. ①高… III. ①环境保护—设备—生产 工艺 IV. ①X505

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第036469号

出版人 王新程
责任编辑 葛莉 董蓓蓓
责任校对 尹芳
封面设计 彭杉

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)
010-67113412 (教材图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2016年2月第1版
印 次 2016年2月第1次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 16.75
字 数 358千字
定 价 38.00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

环 保 设 备 工 程 系 列 教 材

专家委员会

主 任 周 琪

副 主 任 胡洪营 燕中凯 沈建

委 员 韩 伟 王家廉 赵由才 蒋文举 李彩亭 宁平

编写委员会

主 任 周 琪

副 主 任 王振波 张俊丰 吴向阳 关杰

编 委 王德义 刘迎云 丁 成 胡钰贤 傅海燕 胡献国
黄河清 郑天柱 张宝安

编写人员 王宗明 戴友芝 解清杰 周明远 高明军 吕俊文
金建祥 王守信 代智能 唐志国 孟冠华 殷 进
孙治谦 黄 妍 李 潜 戴 珏 贺笑春 张晓文
全桂香 冯国红 阳艾利 马培勇 陈宜华 林鹏飞
肖利平 张 波 袁 昊 杨启霞 邓钦文 沈 丹
盛广宏 王建军 张秀霞 耿春香 刘 芳 远 野
武智瑛 张立娟 宋 扬 邵 暖

本书编写组

主 编 高明军

副 主 编 马 军 冯国红 代智能

参编人员 王宗明 高丽兵 傅海燕 金建详

袁 昊 杜存臣 殷 进 练建军

邓志毅 马培勇 唐国志 张 德

张丽娟 宋 扬

序

为适应国家大力发展绿色经济、低碳经济、环保技术等重要战略性新兴产业的需要,2012年教育部将环保设备工程专业正式列为《普通高等学校本科专业目录(2012年)》中的特色专业,一批高等院校陆续设置了该专业。2013年,国内较早设置环保设备工程专业的9所高校在中国石油大学(华东)召开了“首届全国环保设备工程专业(方向)课程建设及人才培养研讨会”,共同探讨环保设备工程专业的定位、学科体系和支撑体系建设、教材体系构架等关键问题,教育部环境科学与工程专业教学指导委员会、环境保护部宣教司、中国环保产业协会以及部分环保企业的领导和专家出席了会议。这次研讨会的召开标志着新专业建设开启了有组织、规范化的合作探索模式。其后又分别于2014年11月在湘潭大学、2015年1月在江苏大学召开了第二届、第三届全国环保设备工程专业建设研讨会,环保设备工程专业建设在稳步推进。

2015年1月,教育部环境科学与工程教学指导委员会批准建立了“教育部环境科学与工程教学指导委员会环保设备工程专业建设小组”,负责制定本专业的战略发展规划、教学质量国家标准、教学规范以及开展课程建设、教材建设等方面的工作。通过新专业的顶层设计,将极大提升专业建设的科学性和规范性。其后在2015高校环境类课程教学系列报告会期间,设置了环保设备工程专业分会场讨论系列教材的建设和专业的发展。卓有成效的交流与研讨工作对该专业获得社会的广泛认知和认可、吸引更多高校参与到新专业建设中来都起到了重要的推动作用。

环保设备工程专业特色教材体系建设是历届专业研讨会的主题之一。在连续召开的三次专业建设研讨会上,相关高校在全面研究已有相近专业培养方案、课程体系和教材体系的基础上,逐步确立了环保设备工程专业的核心教材体系,组建了由中国环境出版社作为总协调的全国环保设备工程专业教材编委会,启

动了《环保设备工程专业系列教材》的编写工作。经过三年来教材的探讨与编写,《环保设备工程专业系列教材》即将陆续出版。相信随着这一专业特色教材体系的逐渐完善,对于专业教育的课程体系乃至专业人才培养定位、培养规格都将起到极为重要的支撑作用,也必将吸引越来越多的院校和行业企业参与到这一新兴专业的建设中来。

感谢中国环境出版社为环保设备工程专业建设与发展所做出的贡献。早在2012年环保设备工程专业批准设置之初,中国环境出版社便积极参与到新专业建设工作中来,在环保设备工程专业的课程建设与人才培养方面开展了一系列卓有成效的工作,搭建的校际交流及教材建设平台为新专业建设起到了重要的桥梁和纽带作用。应该说,中国环境出版社作为国家行业出版社,为环保新兴产业人才的培养做了一件非常有意义的事情。

感谢教育部环境科学与工程教学指导委员会、环保部宣教司、中国环保产业协会以及相关行业企业,正是在他们的大力支持和指导下,环保设备工程专业才能够得以健康、快速的发展。感谢教育部环境科学与工程教学指导委员会副主任委员、同济大学周琪教授,秘书长、清华大学胡洪营教授对新专业建设给予了专业的指导。感谢同济大学周琪教授、赵由才教授,四川大学蒋文举教授、中国环保产业协会燕中凯主任对教材大纲进行的认真审定,提出了许多建设性意见,使得教材在结构框架和知识点上有了准确的定位和把握。感谢开设新专业的各高校教师在教材编写中的通力合作以及提出的建议和意见。

作为战略性新兴产业相关的环保设备工程专业的人才培养是关乎环保产业发展源动力的关键,今天我们所做的一切必将引领这个行业的人才走向,我们的责任和担子无比重大,在环境保护部的大力支持下,在教育部教学指导委员会、行业协会和各校通力合作下,我们必将推动环保设备工程专业的健康、快速发展。

专业四年,囿于其间,寥寥数语,序不尽言!

环保设备工程系列教材编委员

前 言

随着中国制造 2025 计划的提出与实施,我国制造业由制造大国向制造强国快速迈进,环保装备制造同样迎来空前机遇,对环保设备的制造工艺提出了更高的要求。环保设备制造工艺学是环保设备工程专业的主要专业课之一,为适应该专业课的教学要求编写了本教材。

教育部高等学校环境科学与工程类专业教学指导委员会和中国环境出版社联合主办了多次环保设备工程专业人才培养与教材编写研讨会,会上分别对本书的编写提纲、结构编排、内容选取等方面进行了充分的讨论。教材编写力求汲取国内外环保设备制造工艺有关教材、专著的精华,希望做到深入浅出,阐明基本概念,注重内容的科学性、系统性和应用性。本书不仅供环境相关专业的学生学习使用,也可为相关工程技术人员提供参考。

全书共分为七章,第一章介绍金属材料类设备制造方法;第二章论述加工质量问题;第三章系统讲述机械加工工艺规程;第四章讨论设备装配及组装工艺;第五章探讨设备制造的质量检验问题;第六章详细介绍典型环保设备零部件的制造工艺;第七章介绍非金属材料类设备的制造方法。

本书由以下人员合作完成了编写及修改工作:烟台大学高明军、广州黑马科技有限公司马军、太原科技大学冯国红和高丽兵、厦门理工大学代智能和傅海燕、中国石油大学王宗明、盐城工学院金建祥、上海第二工业大学袁昊、常州工程职业技术学院杜存臣、扬州大学殷进、安徽工业大学练建军、湘潭大学邓志毅、南华大学张德、合肥工业大学马培勇和唐志国、河北环境工程学院张立娟和宋扬。

在编写本书过程中，参阅并引用了国内外有关教材、著作及论文研究成果，在此对上述有关作者表示衷心的感谢。同时向给予本书编写指导和支持的老师 and 朋友们表示最诚挚的谢意！

由于作者学识水平有限、编写时间仓促，书中疏漏和错误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者
2016 年 2 月

目 录

绪 论	1
思考题	4
参考文献	4
第一章 金属材料类设备制造方法概述	5
第一节 毛坯料加工	5
第二节 机床切削加工	12
第三节 壳体成型加工	18
第四节 焊接	25
第五节 表面处理	38
思考题	46
参考文献	46
第二章 机械加工质量	47
第一节 概述	47
第二节 工艺系统的几何误差	53
第三节 工艺系统的变形误差	62
第四节 影响表面质量的因素	74
第五节 机械加工中的振动	79
思考题	84
参考文献	85
第三章 机械加工工艺规程	87
第一节 概述	87
第二节 零件结构工艺性分析和毛坯的选择	96
第三节 工件定位基准选择	103
第四节 工件的定位与装夹	110
第五节 零件加工工艺路线的制定	119

第六节 加工余量与工序尺寸确定	127
思考题	138
参考文献	140
第四章 设备装配及组装工艺	141
第一节 概述	141
第二节 装配尺寸链分析	146
第三节 装配方法及工艺流程	149
第四节 设备组装工艺	159
思考题	164
参考文献	165
第五章 设备制造的质量检验	166
第一节 质量检验的基本要求	166
第二节 无损检测技术	177
第三节 质量检验实验	191
思考题	198
参考文献	198
第六章 典型环保设备零部件的制造	199
第一节 轴的加工	199
第二节 箱体的加工	207
第三节 列管式换热器的制造	216
第四节 储罐的制造	225
第五节 塔设备的制造	229
思考题	235
参考文献	236
第七章 非金属材料类设备的制造方法	237
第一节 概述	237
第二节 工程塑料类设备的成型工艺	238
第三节 玻璃钢类设备的成型工艺	245
第四节 环保设备制造工艺实例	250
思考题	255
参考文献	255

绪 论

一、环保设备制造业的现状和机遇

(一) 环保设备的类型

环保设备是水污染治理设备、空气污染治理设备、固体废物处理处置设备、噪声与振动控制设备、放射性与电磁波污染防护设备的总称。

1. 按设备的构成分类

(1) 单体设备

单体设备是环保设备的主体,如各种除尘器、单体水处理设备等。单体设备按其动力性又可分为机械类环保设备和容器类环保设备。

1) 机械类环保设备。机械类环保设备一般是指主要由运动机械零部件构成的设备,可分为通用设备和专用设备。

通用设备是指若干生产行业可以通用的机械类设备,也称为标准设备或定型设备,是按照国家标准或行业标准的规定成系列生产的,有各种规格牌号,可以在市场上直接购买。如电动机、水泵、风机、空压机、离心机等。

专用设备是指主要在环境保护行业使用的机械类设备,也称为非标准设备(非标设备)或非定型设备,这些专用设备产品没有形成统一的系列和规格,需要根据处理工艺的要求,专门进行设计和制造,如减振台架、焚烧炉、生物转盘等。随着专用设备制造水平的提高,标准化程度也日益提高,有些专用设备已经颁布了行业标准或国家标准,形成了系列生产,有各种规格牌号,可以在市场上直接购买。如格栅、搅拌机、刮泥机、加药机、臭氧发生器、曝气器、各种消声器、各种除尘器等。

2) 容器类环保设备。容器类环保设备一般是指没有运动部件的静止设备,主要是指设备的外部壳体。容器类环保设备是环境保护工程中应用极其普遍的一大类设备。按其承压情况可分为常压容器和中低压容器两类,它们都属于内压容器(容器内部介质压力大于外界压力)。

常压容器只承受容器内介质的静压力,或介质工作压力低于 0.1 MPa,一般不设上盖,主要用来储存物料或作为常压反应器的壳体。其筒体形状有方形、矩形及圆筒形等;其底部形状有平底、锥底及盆底等。常压容器在环保设备中应用最为普遍,常被冠以槽、罐、

箱、器、池、塔等名称,诸如各种水池、水箱、储泥池、隔油池、气浮池、药剂储罐以及处理设备的外壳等。

中低压容器需承受较高的介质工作压力。低压容器的工作压力为 $0.1\sim 1.6\text{ MPa}$;中压容器的工作压力为 $1.6\sim 10\text{ MPa}$ 。形状主要是带封头的圆筒形,也有球形的;低压容器应用较普遍,如气浮装置中的溶气罐、除尘装置的外壳等。中压容器应用较少,如湿式氧化反应器、反渗透装置等。

容器类环保设备大多是非标设备,工程中要根据处理工艺的要求逐一进行设计和制造。我国已经对容器的零部件制定了一系列的标准,如封头、法兰、支座、人孔、视镜、液面计等;某些容器也已经有了标准化系列,如反应釜、换热器、储罐等。

(2) 成套环保设备

成套设备指以单体设备为主体,同时包含各种附属设备(如风机、电动机等),如烟气脱硫除尘成套设备、各种污水处理成套设备等。

2. 按制造设备的材料分类

环保设备按照制造的材料分为金属材料类环保设备和非金属材料类环保设备两大类。常用的金属材料主要包括各种碳钢型材和板材、不锈钢板等,其中机械类环保设备几乎都是金属材料的,容器类环保设备大部分是金属材料的;非金属材料主要包括玻璃钢、工程塑料、橡胶、陶瓷等,多用于制造容器类环保设备。有些环保设备既有金属材料又有非金属材料。环保设备制造工艺随着制造材料的不同,存在的差异也很大。

(二) 环保设备制造业现状及发展趋势

进入 21 世纪,我国环保设备制造业得到了快速发展,从事环保设备设计、制造、安装的环境工程公司不断发展壮大。但是,与欧美等发达国家相比,我国的环保设备制造业的核心竞争能力和科技创新能力还不够强,尤其在核心技术、基础技术和关键环节上落后于国际先进水平,产品结构总体上处于中低端品质,品牌效应不强。

我国环保设备制造业正面临两大挑战:一方面,激烈的国际环保设备市场竞争,使我国的环保设备制造工艺升级面临紧迫而严峻的挑战;另一方面,伴随着我国污染物排放标准的不断提高,对环保设备的设计和制造工艺要求也日益提高。应对这些挑战,环保设备制造技术人才的培养是关键。培养大批应用型和创新型环保设备制造人才,对我国高校环保设备工程专业教育来说既是严峻的挑战,又是难得的发展机遇。

当前,在环保设备制造工艺教学过程中,要坚持以教师为主导、以学生为主体的指导思想;要引入互动式课堂讨论,激励学生的学习主动性,培养学生勇于探索、积极思考、不断创新的能力;要积极推进高校卓越工程师培养方案的实施,促进环保设备制造企业参与人才培养过程,加强实践教学环节,培养高端环保设备制造业急需的工艺人才。

二、环保设备制造工艺学的研究对象

环保设备制造工艺学,是以环保设备制造中的工艺问题为研究对象的一门应用性制造技术学科。所谓制造工艺,是将各种原材料、半成品制成环保设备的方法和过程的总称;所谓应用性制造技术学科,是指在深入总结生产实践的基础上,建立关于制造技术的系统性理论和科学思维方法,用于解决制造工艺问题的学科。

环保设备制造工艺学的内容范围较广,包括设备零部件的毛坯制造、机械加工、热处理、设备成型加工、产品的装配和组装等过程。尽管环保设备制造工艺学涉及的行业和产品种类很多,但是研究的工艺问题都可归纳为质量、生产率和经济性三个方面。

(一) 保证和提高产品的质量

产品质量包括整台设备的装配精度、使用性能、使用寿命和可靠性,以及零件的加工精度和加工表面质量。

(二) 提高劳动生产率

提高劳动生产率的方法如下:

- 1) 提高切削用量,采用高速切削、高速磨削和重磨削。
- 2) 改进工艺方法,创造新工艺,例如,利用锻压设备实现少切削加工,对高强度、高硬度的难切削材料采用非传统加工等。
- 3) 提高自动化程度,实现高度自动化。例如,采用数控机床、加工中心、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统等。

(三) 降低成本

降低成本的措施包括:合理选择原材料,应用新材料,提高材料利用率;合理使用和改进现有加工设备;节约人、财、物资源等。

总之,环保设备制造工艺的制定应在满足质量要求的前提下,不断提高劳动生产率和降低成本。能以优质、高效、低耗的工艺去完成零件的加工及产品的装配和组装,这样的工艺才是合理的。

三、本课程的学习目的和方法

环保设备制造工艺学是环保设备工程专业的一门核心专业课。通过该课程的学习,使学生掌握制造工艺规程制订技能及解决实际工艺问题的基本能力;通过深入学习制造工艺技术理论,并紧密结合典型环保设备零部件的制造工艺分析和生产实际进行工艺规程制订和关键工序的设计。

本课程最显著的特点是实践性强、涉及知识面广。学习本课程应注意以下两点。

(1) 坚持理论与实践相结合的思想, 抓住质量、效率与成本的工艺平衡点

本学科的理论来自生产和科研实践, 而工艺理论的发展又促进和指导生产的发展。学习工艺学的目的在于应用, 在于提高工艺水平。因此, 要多下工厂、多实践, 要重视试验、生产实习和专业实习。有了一定的感性认识, 就容易理解和掌握工艺学的概念、理论和方法。在学习过程中, 要着重理解和掌握基本理论及其在生产中的应用, 并通过互动式课堂讨论, 变被动学习为主动学习。还应加强课程设计环节, 通过应用掌握工艺理论。

(2) 树立制造工艺系统的观点, 探索多学科综合运用与创新的工艺理论

各学科间相互渗透、融合、互补和促进, 是现代工艺理论发展趋势。环保设备制造工艺涉及各类制造方法和过程, 如从毛坯制造、热处理到机械加工、表面处理、装配和组装、加工设备、工艺装备, 还涉及产品设计、电子、信息、经济管理等学科。因此, 要树立制造工艺系统的观点, 要了解现代制造技术的新成就、发展方向, 以扩大视野, 开阔思路, 不断提高和创新工艺理论。

思考题

0-1 简述环保设备的类型及特点。

0-2 简述环保设备制造工艺学的概念及其研究对象。

0-3 简述环保设备制造工艺学的学习目的和方法。

参考文献

- [1] 金兆丰. 环境工程设备[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [2] 陈家庆. 环保设备原理与设计[M]. 北京: 中国石化出版社, 2006.
- [3] 郑修本. 机械制造工艺学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991.
- [4] 赵元吉. 机械制造工艺学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.
- [5] 陈明. 机械制造工艺学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

第一章 金属材料类设备制造方法概述

用于制造环保设备的材料十分广泛，可以划分为金属材料和非金属材料两大类，两者相比，金属材料类环保设备占绝大多数。环保设备的材料不同，制造方法也不同。本章着重介绍了金属材料类设备的常用制造方法。

第一节 毛坯料加工

一、钢材预处理

环保设备钢材的预处理主要包括净化、矫形和涂保护底漆等。

矫形是对钢材在运输、吊装或存放过程中所产生的变形进行矫正的过程。涂保护底漆主要是在钢材表层涂上一层保护涂料，目的是提高钢材的耐腐蚀性、防止氧化、延长零部件及装备的使用寿命。

（一）净化

净化处理的主要是对钢板、管子和型钢在划线、切割、焊接加工之前，和钢材经过切割、坡口加工、成型、焊接之后清除其表面的锈、氧化皮、油污和熔渣等。

1. 作用

净化处理的作用主要体现在三个方面：①提高喷涂件的抗腐蚀能力。实验证明，除锈的质量直接影响钢材的腐蚀速度。不同的除锈方法对钢材的保护寿命也不同，例如抛丸或喷丸除锈后涂漆的钢板比自然风化后经钢丝刷除锈涂漆的钢板耐腐蚀，寿命要长5倍之多。另外，铝、不锈钢制造的零件应先进行酸洗，再进行钝化处理，以形成均匀的金属保护膜，提高其耐腐蚀性能。②提高焊缝处的焊接质量。尤其是坡口处进行净化处理，清除锈、氧化物、油污等，可以有效保证焊接质量。例如，铝及合金、低合金高强钢，特别是目前广泛使用的钛及其合金的焊接，必须进行焊前的严格清洗，才能保证焊接质量及耐腐蚀性能。③提高下道工序的配合质量。例如，下道工序需要进行喷镀、搪瓷、衬里的设备以及多层包扎式和热套式高压容器的制造，净化处理是很重要的一道工序。

2. 方法

局部维修等净化处理可使用手工净化即手工用纱布、钢丝刷或手提砂轮打磨，该方法劳动强度大、效率低。在现代专业化的生产中主要使用喷砂法、抛丸法和化学净化法等净化处理方法。

(1) 喷砂法

喷砂法是目前国内常用的一种机械净化方法，主要用于型材（如钢板）和设备大表面的净化处理。可除锈、氧化皮等，使之形成均匀的有一定粗糙度的表面。效率较高但粉尘大，对人体有害，应在封闭的喷砂室内进行。砂砾为均匀石英砂，压缩空气的压力一般为0.5~0.7 MPa，喷嘴受冲刷磨损较大，常用硬质合金或陶瓷等耐磨材料制成。

(2) 抛丸法

抛丸法的主要特点是改善了劳动条件，易实现自动化，对材料表面质量控制方便，环境污染小。根据表面粗糙度的不同要求，可通过选择抛丸机的型号、数量和安装分布位置来实现抛丸处理。抛丸设备配有一套钢丸回收除尘系统。例如，对不锈钢表面的抛丸处理，可使表面产生压应力，提高抗应力腐蚀的能力。

(3) 化学净化法

金属表面的化学净化处理主要是对材料表面进行除锈、除污物，然后可以进行氧化、磷化及钝化处理，后者即是在除锈、除污物的基础上根据不同材料，将清洁的金属表面经化学作用（氧化、磷化、钝化处理）形成保护膜，以提高防腐蚀能力和增加金属与漆膜的附着力。

(二) 矫形

矫形方法有机械矫正和火焰矫正。矫形除了要矫正由于钢材在运输、吊装或存放过程中的不当所产生的较大变形外，有些精度要求较高的设备，对保存较好的供货钢材也需要矫形，因为供货时的平面度要求有时不能满足实际制造的要求。

机械矫正方法主要是冷矫，机械矫正方法及其适用范围见表 1-1。

表 1-1 机械矫正方法及其适用范围

矫正方法	适用范围
手工矫正	操作简单、劳动强度大、质量不高，适用于设备无法矫正的场合
拉伸机矫正	适用于薄板瓢曲矫正、型材扭转矫正及管材的矫直
压力机矫正	适用于板材、管材、型材的局部矫正，校正精度一般为 1.0 mm/m
辊式矫板机	适用于钢板的矫正，矫正精度为 1.0~2.0 mm/m
斜辊矫管机	适用于管材、棒材的矫正，有不同的结构形式
型钢矫正机	适用于型钢的矫正

当钢材变形较大、设备能力不足时，可用火焰矫正法。火焰矫正法的原理是用可燃气体的火焰加热被矫正的变形部位（通常加热金属纤维较长的部位），被加热部位的金属受