

本书简要阐述了环保产业和环保设备的内涵、外延及其国内外发展动向和趋势，并对废水、废气、固体废物处理以及噪声控制等若干典型设备的工作原理、结构特点、运行过程进行了介绍；同时也介绍了环保设备材料及防腐知识，标准设备与非标准设备的选用方法和设计原则，环境工程经济学的基本原理，环保工艺和设备的费用计算方法，以及计算机辅助设计在环保设备制图、仿真、数据处理方面的应用。

书中列出了若干题目，供学生（或学生小组）选择，以明确本课程设计的训练内容，使课堂教学与学生动手设计保持同步。题目强调设计、绘图、经济概算的过程训练，淡化结果的标准与一致性，诱导学生复习已学过的相关知识，使学生尽快熟悉设计、绘图、经济概算等环节，提高学生设计和创新兴趣。

本书适合作为高等院校环境工程专业的本科生教材，也可作为相关科技人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

环保设备及课程设计/周敬宣主编. —北京: 化学工业出版社, 2007.7

高等学校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-00690-5

I. 环… II. 周… III. 环境保护-设备-课程设计-高等学校-教材 IV. X505

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 097779 号

责任编辑: 满悦芝

装帧设计: 尹琳琳

责任校对: 周梦华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装订: 三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16½ 字数 432 千字 2007 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 26.00 元

版权所有 违者必究

前 言

当今，环保产业和环保公司蓬勃兴起，需要大量人才来选择、设计与开发环保设备。

国内众多院校的环境工程专业相关课程基本是以污染治理工艺为主，虽对废水、废气、固体废物、噪声的处理控制设备做了介绍，但内容比较分散，教学深度有限；学生虽学习了水工、土建制图，但在机械制图、机械设计与计算机辅助设计（CAD）方面训练不够，对机电设备知识缺乏系统了解，难以胜任环保设备选型、设计与改进工作。

编者结合自己的教学体会，综合有关设备方面的知识内容，编写了本教材，以达到在环保设备认知、选择、绘图、设计、计算方面加强对学生综合训练的目的，培养学生对新型环保设备的开发意识和设计欲望。

本书主要包括以下内容：

1. 简要阐述了环保产业和环保设备的内涵、外延及国内外发展动向和趋势，让学生从全局把握本学科的发展动态，明确本课程的地位。

2. 介绍了废水、废气、固体废物处理以及噪声控制等若干典型设备的工作原理、结构特点、运行过程，让学生对环保设备有一系统的了解，重点放在对设备的选型阐述上。

3. 介绍了环保设备材料及防腐知识，标准设备与非标准设备的选用方法和设计原则。

4. 简要复习了机械制图、机械设计知识；介绍了环境工程经济学的基本原理，环保工艺及设备的费用计算方法；介绍了计算机辅助设计在环保设备制图、仿真、数据处理方面的应用。以此扩大学生眼界，完善知识结构。

5. 列出了若干题目，可尽早供学生（或学生小组）选择，以明确本课程设计的训练内容，使课堂教学与学生动手设计保持同步。

学生（或学生小组）应认真完成具体题目，做到：①确定优化治理工艺；②对设备关键参数进行设计和计算；③（为节省时间）可只对工艺流程中的某一重要设备绘制1~2张设备总装图及2~3张零部件图；④对所设计的设备费用进行（静态与动态）测算；⑤学生（或学生小组）可相互检验与讨论对方的设计及图纸，写出修改意见与评价。

本教材的题目强调设计、绘图、经济概算的过程训练，淡化结果的标准与一致性，积极诱导学生复习已学过的相关知识，使学生尽快熟悉设计、绘图、经济概算等环节，提高学生设计和创新兴趣。

建议本课程在第5或第6学期开出。课内教学20~24学时，可利用环保设备商业动画教学软件在多媒体上演示，以表达设备的运行；课堂上机训练时间10~12学时；学生课下讨论研究时间18~20学时左右。其主要目的是使学生在设计、绘图能力的训练上下功夫。

本书由周敬宣教授组织编写并统稿，第3章由北京工商大学冯旭东副教授编写，其

余各章由厦门集美大学段金明博士、华中科技大学环境工程系胡国良、范红兵等同志编写，阳国柱教授提供了本书的相关设备制图。

本书在编写的过程中参考了多种资料，在此向有关作者致以谢忱。限于编者水平和经验不足，错误缺点恳请同行批评指正，以使本书的质量不断完善提高。

编 者
2007 年 7 月

目 录

第1章 绪论	1	6.2 沉淀池	126
1.1 环保产业、环保工业及环保设备的概念	1	6.3 活性污泥法污水处理设备	130
1.2 我国环保产业发展现状及前景	2	6.4 生物膜法处理设备	130
1.3 各类产品发展重点预测分析	3	6.5 厌氧生物处理设备	141
思考题	6	6.6 多功能组合式水处理设备	145
第2章 环保动力设备——泵与风机的选择	7	6.7 典型污水处理工程所用设备示例	147
2.1 泵与风机的分类及工作原理	7	思考题与习题	150
2.2 泵与风机的主要性能参数	10	第7章 噪声控制设备选用与设计	152
2.3 泵与风机的性能曲线	13	7.1 吸声降噪设计	152
2.4 泵与风机的选型	14	7.2 隔声设备	159
思考题与习题	28	7.3 消声器	168
第3章 环保设备材料及防腐	30	思考题与习题	181
3.1 设备材料的性能	30	第8章 固体废物处理与处置设备及其选用	183
3.2 常用金属材料	32	8.1 固体废物预处理设备及其选用	183
3.3 金属的腐蚀与预防	39	8.2 垃圾堆肥设备及其选用	196
3.4 常用非金属材料	44	8.3 固体废物焚烧设备及其选用	202
3.5 非金属材料的腐蚀与预防	49	8.4 垃圾填埋场设备及其选用	207
3.6 环保设备材料选择	53	思考题	210
思考题	54	第9章 计算机辅助设计及其在环保设备设计中的应用	211
第4章 环保设备技术经济分析	55	9.1 环保设备计算机辅助绘图技术	211
4.1 环保设备的技术经济指标	55	9.2 CAD技术概论及环保设备CAD系统实例	221
4.2 资金的时间价值理论及其应用	57	第10章 环保设备课程设计	228
4.3 环保设备设计的技术经济分析	62	10.1 环保设备课程设计的目的和要求	228
4.4 环保设备的经济分析方法	67	10.2 环保设备课程设计题目	229
思考题与习题	78	附录A 中华人民共和国环境保护行业标准——环境保护设备分类与命名(HJ/T 11—1996)	234
第5章 典型大气污染控制设备选用与设计	79	附录B 数字仿真技术	241
5.1 除尘装置	79	附录C 环保设备初步设计及制图示例	248
5.2 气态污染物净化设备	101	参考文献	257
5.3 烟气脱硫设备	117		
思考题与习题	122		
第6章 典型污水处理设备选用与设计	124		
6.1 格栅	124		

第 1 章 绪 论

众所周知，改革开放以来，随着我国国民经济的高速发展，环境污染问题已引起全社会的普遍关注。环境污染不仅对人类生活和健康产生巨大的危害，而且环境恶化也阻碍了社会经济的发展。因此，加强环境保护，实现经济可持续发展是我国长期坚持的一项基本国策。

保护生态环境，改善以人为中心的环境质量，已成为人类社会发展的一项重要内容，并形成人类共同追求的绿色环保产业浪潮。在这一形势下，环保机械工业异军突起迅猛发展而形成了一个新兴产业。我国十分重视环境保护，已把环保产业列为国民经济发展的新增长点之一。我国环境立法工作的加快和环境执法监督的加强，将为环保机械工业的发展创造良好的市场条件。

保护生态环境是我国的一项基本国策。我国政府先后颁布了《中国环境与发展十大对策》、《中国 21 世纪议程》、《中国环境保护白皮书》、《环境保护法》、《水污染防治法》、《大气污染防治法》、《固体废物污染环境防治法》和《关于环境保护若干问题的决定》等一系列法律、法规及相关文件。

根据 21 世纪议程确定的环保目标，到 2010 年，我国环境污染和生态破坏将得到基本控制，环境质量也将从总体上得到改善。但随着人口的增加、经济的发展，总的污染物生成量也会增大。到 2010 年，我国人口将达到 14.56 亿，届时，全国生活用煤、二氧化硅和烟尘排放量将分别比 1990 年增长 164.7%，169.5% 和 180%；生活污水和生活垃圾分别增长 311% 和 109.7%。为达到我国提出的防治目标，到 2010 年，工农业烟尘和废气处理率要达到 95%，生活垃圾无害化率要达到 30%，工农业废水重复利用率要达到 70%，工农业废物和粉煤灰利用率要分别达到 70% 和 50%。随着经济增长方式实行从粗放型向集约型转变，环境污染治理的重点也从单纯的末端管治向生产全过程控制转移。要大力推动清洁生产、清洁消费等新观念的普及和运用，指导环保企业更多地关注生产企业的技术改造和工艺、产品的重新设计；同时要着重发展回收、回用、循环、再生、无害化、减废等技术、设备和工艺。

我国对环保产业的界定，是指在国民经济结构中以防治环境污染，改善生态环境，保护自然资源为目的所进行的技术开发、产品生产、商业流通、资源利用、信息服务、工程承包、自然保护开发等活动的总称，是防治环境污染和保护生态环境的技术保障和物质基础。

我国环保产业由七大领域组成，即：环保产品生产、环保产品营销、环境工程设计施工、环境保护咨询服务、环保技术研究开发、资源综合利用与再生利用、生态恢复与生态农业。其中环保产品生产、资源综合利用和环保技术服务三部分是环保产业的主体部分，而环保机械工业又是环保产业的支柱行业，是促进我国环保产业迅速发展的主力军。按 1997 年环保产业的统计，环保机械工业产值占环保产业生产总值的 40%。环保机械行业服务的主要领域是：水及水污染处理、废弃物管理和循环利用、大气污染、消除噪声、环境事故处理或清理活动、环境评价与监测、环境服务、能源和城市环境美化等。

1.1 环保产业、环保工业及环保设备的概念

1.1.1 环保产业

环保产业是指以防止环境污染、改善生态环境、保护自然资源为目的所进行的诸如技术

开发、产品生产、商品流通、资源利用、信息服务、工程承包等经济活动并达到一定规模的总称。当前的环保产业主要是指环保设备制造业、环境工程建设和环境保护服务业及自然生态保护三大部分。

1.1.2 环保工业

所谓环保工业是指从事环境保护工业产品的科研、设计、研制、生产和销售的完整体系，不包括环境工程及软件服务、自然生态的内容。很明显，环保工业是环保产业的内容之一。

1.1.3 环保设备

环保设备是环境保护设备的简称，是以控制环境污染为主要目的的设备，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。

1.1.3.1 按设备的功能分类

环保设备按功能可分为水污染控制设备、大气污染控制及除尘设备、固体废物处理设备、噪声控制设备、环境监测及分析设备、采暖通风设备、热交换设备。

1.1.3.2 按设备的性质分类

(1) 机械设备 各种用于治理污染和改善环境质量的机械加工设备，如除尘器、机械式通风机、机械式水处理设备等。机械设备是目前环保设备中种类及型号最多、应用最普遍、使用最方便的环保设备。

(2) 仪器设备 包括大气监测、水质自动连续监测仪器、噪声监测仪器及环境工程实验仪器等四部分。

(3) 构筑物 为治理环境而用钢筋混凝土结构件、玻璃钢、钢结构或其他材料建造的设施。

1.1.3.3 按设备的构成分类

(1) 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。

(2) 成套设备 是以单体设备为主，由各种附属设备（如风机、电机等）组成的整体。

(3) 生产线 指由一台或多台单体设备、各种附属设备及其管线所构成的整体，如废旧轮胎回收制胶粉生产线。

环境保护设备的名称应能表示设备的功能和主要特点。它由基本名称和主要特征两部分组成，其中，基本名称表明设备控制污染的功能；主要特征表明设备的用途、结构特点、工作原理。

环保设备的分类详见附录 A 中华人民共和国环境保护行业标准——环境保护设备分类与命名（HJ 11—1996）。

1.2 我国环保产业发展现状及前景

近年来，环保产业的快速发展为环保机械制造业带来了良好的发展机遇，据中国环保机械行业协会介绍，我国“十一五”环境保护投资占 GDP 的比例将达到 1.4%~1.5%左右，投资总额大约在 1.3 万亿元，巨大的环保投资将为环保机械制造业构筑巨大市场。到 2010 年，我国环保产业总产值将达到 8800 亿元，约占同期年 GDP 的 3.4%。在这 8800 亿元的总产值中，资源综合利用产值是 6600 亿元，占 75%；环保装备产值 1200 亿元，占 13.6%；环境服务产值 1000 亿元，占 11.4%。我国的环保机械行业已经成为发展潜力巨大的朝阳产业。

环保机械制造业是环保产业的主体，主要包括大气污染治理设备、水污染治理设备、垃圾处理设备等。环保机械作为机械工业中富有活力的新兴行业，不仅是机械工业实现振兴的

新增长点，也是我国机械工业优化产业结构调整中重点发展的领域。经过十多年的发展，我国环保机械行业的产品结构、性能和质量得到显著改善，国产环保设备已趋于成熟。其中，电除尘和布袋除尘技术居世界先进水平行列；污水处理可全部完成处理工艺设备和配套设备的生产，有些技术设备已打入国际市场。

中央提出建设资源节约型、环境友好型社会的发展方针，用经济杠杆调节环境保护的相关利益分配，开发新能源，鼓励生产和消费环境友好型的产品等，为环保机械制造业、污水废气处理装备制造制造业营造了巨大的环保市场。

近年我国环保机械行业以年均15%左右的速度递增，2005年全国环保机械行业的产值达到600亿元以上，其中机械系统归口的400多家企业年产值210亿元。环保机械市场需求量还在不断增长，电除尘器、袋式除尘器、火电厂燃煤烟气脱硫设备、新型工业锅炉、城市污水处理设备、城市生活垃圾处理设备，一直是当前环保市场的热销产品，受到市场的青睐。中国环保机械市场的需求总量将会有很大发展空间。业内人士预测，全国需安装烟气脱硫装置的装机容量为2670万千瓦，若全部利用国外技术建造，需投资267亿~320.4亿元；若全部采用国产化设备，仅需投资178.36亿元。

有关机构还对我国环保机械市场未来几年的发展做了以下分析：如果2001~2010年国家环保投资占同期国民生产总值的1.3%，市场对环保机械的需求量约为4100亿元人民币；如果2006~2010年国家环保投资占同期国民生产总值的1.7%，市场对环保机械的需求量约为3200亿元人民币。

由于环保机械行业各企业归口不一，统计存在一定的难度，相关专家为“十一五”期间的环保机械行业市场需求做了这样的预测：2010年环保机械产值将达1200亿元，比去年翻一番。“十一五”期间，环保机械的市场需求领域将不断拓展，主要需求将体现在如下8个方面：污染防治重点工程；实施《中国21世纪议程优先项目计划》；基础设施、基础工业和支柱产业重点建设中的环境保护设施建设；重点企业、老工业基地技术改造；资源综合利用；国际市场；绿色技术和绿色产品开发；中外环保企业合作。

目前我国中小环保机械企业的发展还面临着技术工艺落后、设备相对陈旧和科技人才匮乏等诸多问题。大部分中小环保机械企业缺乏融资渠道，资金不足的矛盾十分突出，根本没有能力拿出足够的资金用于技术改造；此外，受环保市场竞争无序和企业资金紧张等方面因素的影响，大部分中小环保机械企业运行较为艰难，企业没能很好地重视人才培养与引进等工作，使一些企业出现了人才断档和青黄不接的状况，部分技术人员已无法适应科技发展形势和企业创新的需要；许多中小环保机械企业不积极掌握当今产业发展的信息，已跟不上市场发展形势，产品开始落伍。

为此技术创新决定着我国中小环保机械企业今后的生存和发展。为实现我国“十一五”环境目标，中国环境保护投资需要1.4万亿元，其中包括：实施危险废物处置工程、城市污水处置工程、垃圾无害化处理工程、燃煤电厂脱硫工程、重要生态功能保护区和自然保护区建设工程、农村小康环保行动工程和环境能力建设工程等国家重点环保工程。在我国当前这种大规模、高速度建设环境设施的阶段，相关单位更应采取相关政策，为环保技术及设备的发展创造良好的政策条件，确保环保机械行业的发展适应环保事业的需要。

1.3 各类产品发展重点预测分析

1.3.1 空气污染治理设备

空气污染防治设备的发展重点是提高现有产品的品种和质量，加速引进开发烟气脱硫成

套设备技术，形成一定生产能力。

(1) 电除尘器 严格控制常规电除尘器生产厂数量，通过专业化调整解决供需缺口。进一步研制生产电除尘器微机控制系统，确保最佳运行状况，通过 CAD 优化设计，开发 80 万~100 万千瓦火电机组配套静电除尘器；并大力开发黑色冶金、有色冶金、水泥建材、煤化工、化工等行业所需提供的特种电除尘器，以及满足高温、高压、高湿、防腐、防爆等特殊要求的产品。

(2) 袋式除尘器 重点解决耐高温、耐腐蚀、耐折性好的滤料，在此基础上发展每小时处理风量在 10 万立方米以上的大型产品，满足耐温 250℃ 以上、寿命达三年以上的基本性能要求。

(3) 烟气脱硫设备 要确定适合我国国情的脱硫设备发展方向，通过引进技术和消化吸收、建立示范工程项目，形成大型电站配套烟气脱硫设备的生产能力。根据大气污染防治法规的实施要求，进一步发展工业锅炉、炉窑配套的适用型脱硫设备或简易型脱硫设备。

(4) 有毒有害气体处理设备 发展高效节能催化燃烧和碳纤维回收利用等有机废气治理设备和工业有毒气体、恶臭气体的治理设备。

(5) 汽车尾气污染防治设备 根据汽车工业污染控制目标，经推广采用无铅汽油、电控燃油喷射、三元催化转化器、二次空气引入或废气再循环等先进技术或产品，以轿车和轻型车为控制重点，并朝着催化剂涂覆、陶瓷或金属载体及转换器组装专业化生产的方向发展。

(6) 洁净燃气汽车、混合动力汽车及配套系统 低能耗、低（零）排放、低噪声的洁净燃气汽车和混合动力汽车，既是汽车产业的重要发展方向，又符合合理利用能源和保护环境的迫切要求。我国在样车研究和配套系统方面取得了多项成果，为其产业化做了必要准备。近期产业化的重点是：强化天然气和液化石油气单燃料发动机技术，逐步实现加气站的设计、设备制造、汽车改装部件制造的规模化生产；完善液化石油气、汽油、压缩天然气、柴油等混合燃料发动机技术，选择有条件的汽车厂改建混合动力汽车整车装配生产线；在若干个城市建立洁净燃气汽车和混合动力汽车示范工程。

1.3.2 水污染治理设备

根据我国“十一五”期间环境建设的重点内容，水污染防治设备发展方向及重点如下所述。

(1) 城市污水处理设备 以日处理 20 万吨城市污水处理设备为市场主导产品，在格栅、曝气、刮泥吸泥、污泥提升及脱水、污泥沼气发电等设备制造上达到国外 2000 年初水平，重点解决成套性、防腐性能、仪表自控系统、节能指标、钢耗等方面存在的不足。同时，要发展居民小区污水处理设备、氧化沟和氧化塘处理清污机械、强化曝气设备、污泥处理设备。按照有关技术政策，加速发展 10 万吨/日以下的中小型城市污水处理成套设备进程。

(2) 工业废水处理设备 重点发展水处理单元设备专业化生产规模，并做好标准化、系列化及质量控制工作。重点发展以下专用处理设备：多功能组合式水处理设备；高浓度有机废水处理设备（用于轻工、医药、发酵、屠宰加工、造纸废水等领域）；表面处理废水、废液及有色金属采矿、冶金废水处理设备；废水深度处理、净化、消毒设备；中水处理利用成套设备；含油废水处理、油田净化设备；煤矿地下水及高浊度含盐废水的处理净化设备；膜处理、微滤净化处理设备。

1.3.3 固体废物处理处置设备

我国固体废物处理和资源化综合利用装备将会有较快的发展，产品品种至 2010 年增长到 650 种，其中一些目前尚属于空白的设备将推向市场，并在废弃物处理和资源综合利用

工业中发挥重要作用。近期产业化的思路是：选择废弃物材料、尾矿微晶玻璃、新型轻质建材、有用矿物与金属提取等产品与技术，建立一批有代表性、技术起点高、综合效益显著、达到一定规模的产业化示范工程，逐步形成适用、先进的资源化成套设备及工艺。同时对工业固体废物整体利用建立完善的管理办法和技术标准，按资源化、最小量化和无害化管理的要求建立矿山尾矿整体利用管理系统。

重点发展的产品如下。

(1) 生活垃圾处理成套设备 在2010年将继续开发垃圾焚烧成套设备，研制生产不同类型焚烧废热回收或发电设备，垃圾堆肥成套设备。要重点解决垃圾分选专用设备的性能可靠性问题。

(2) 有毒有害废物处理设备 根据工业发达国家采用高温氧化法处理工业有毒有害废物的成功经验，发展有毒有害废物密闭式储运设备、专用高温氧化焚烧系统成套设备。

(3) 工业废物回收利用设备 发展废钢铁、废贵金属、化工废液、废旧橡胶、废塑料回收利用设备；包括固体废物的收集、分选、清洗、破碎、打包、运输、回收等一系列单体设备或组合设备。发展废旧电器处理成套设备和粉煤灰建材设备。

1.3.4 噪声与振动设备

① 随着我国城市对人居环境的要求不断提高，城市中的工业污染源也在走向外迁、规范和集中的阶段，所以工业污染源的噪声与振动控制会从以往的环境治理的主导地位，退居到较次要的地位。就环境噪声而言，城市道路和城市铁路噪声将成为环境治理的重点，声屏障和隔声窗将可能成为治理手段中的热点产品。从开放式声屏障、局部封闭、全封闭声屏障到高效隔声窗及通风隔声窗，各种各样的新型隔声、吸声材料都可能使用到这些产品中去，新的研究课题和实用技术将使噪声与振动控制行业创造出经济、实用、美观大方和具有高声学性能的相关产品。

② 由于我国正处于经济成长期和土木建设阶段，大量的建筑不断涌现，这些建筑中有许多是安装集中式空调的，为保证使用时不污染声环境，就必须安装消声器。所以生产大量空调消声器是噪声与振动控制行业的又一热点。改进传统空调消声器的材料、结构和进一步提高其消声性能，是摆在噪声与振动控制行业面前的又一新任务。

③ 传统住宅的内墙是采用砖墙，隔声性能较好。近年来，不得不用轻质隔墙代替砖墙，可是其隔声性能总不能尽人意。研制高隔声性能的轻质隔墙是噪声控制的新课题，噪声与振动控制行业要从开发新材料、新型隔声结构入手，尽快解决这一问题。

④ 在现有住宅内，特别是高层住宅内，建筑配套设备如水泵、冷冻机、电梯等对住宅内的住户都可能造成噪声和振动污染。控制这些设备的噪声和振动对住宅的影响，是噪声与振动控制行业义不容辞的责任。

⑤ 超低噪声冷却塔的研发和生产，一直是噪声与振动控制行业的追求，应该说，冷却塔的噪声在各方面的努力下，有一定程度的降低，然而离使用实际的要求尚有相当距离，这是噪声与振动控制行业进一步努力的目标。

⑥ 生产低噪声产品，从声源来降低噪声是噪声与振动控制行业的长期愿望。为此，他们也进行了一些努力，取得了一些成绩，但是与国外相比差距还较大，这仍是要努力的方向。

⑦ 从我国噪声与振动控制行业生产的产品来讲，其原理和技术上与国外产品差距并不大，但是从质量上，特别是工艺水平上尚有差距。解决这一问题，进一步改进加工工艺是重要的环节。另外，提高厂家整体管理水平，加大产品技术含量也是重要的途径。这从我国某些公司不断扩大生产规模、提高产品质量的成长过程也可以得到充分证明。

⑧ 噪声与振动控制行业的发展，必须依靠科学技术。采用新技术、新工艺、新材料，制造质量好、能耗低、价格合理的适合市场需求的产品，是噪声与振动控制行业追求的目标。当前，噪声与振动控制行业在产品的标准化、系列化和通用化方面还有许多工作要做，只有做好这些工作后，才可能提高噪声与振动控制行业的整体水平。

1.3.5 环境监测仪器仪表

环境监测仪器仪表是环保机械行业中一个重要分支。按主要产品，环境监测仪器仪表可分为5大类11个小类76个系列，现有产品品种620个。其中大气污染监测仪器占48%，水质污染监测仪器占38%，噪声测量仪器占5%，污染源监测仪器占9%。这些仪器大多数是国际上20世纪90年代的水平。特别的，我国污水处理厂需要的仪器仪表基本上仍是靠进口。到2010年，我国环境监测仪器品种将由2000年的720种增至1000余种。

环境监测仪器仪表的发展重点是提高现有产品档次，提高水平，提高可靠性和智能化及精密度，并根据环境管理污染源总量控制的要求，把新一代环境监测仪器及自动采样、数据采集处理系统等新技术产品推向市场。开发生产污水流量测量及比例采样、COD、BOD、总悬浮物酸度、总磷、总氮、氨、氰化物、挥发酚、矿物油以及烟尘烟气等在线自动检测仪器系统；大气环境及水源地水中典型污染物的连续自动检测仪器及系统；规模化生产污染事故应急监测仪及报警器、便携式现场快速直读型测量仪等。

按类别重点发展的产品是水质环境监测仪器及系统、大气环境监测仪器及系统、污染源监测仪器（汽车尾气、烟气等监测系统）、噪声监测仪器。

思 考 题

1. 阐述环保产业、环保工业、环保设备的内涵及相互关系。
2. 环保设备如何分类？
3. 结合当前国内外环保产业、环保设备的发展现状及发展趋势，谈谈开发新型环保设备的必要性。

第2章 环保动力设备——泵与风机的选择

泵与风机是提供流体流动动力的流体机械。通常把提高液体机械能的机械称为泵，把提高气体机械能的机械称为风机。

环保领域中，给水排水、采暖通风、垃圾气力输送等都离不开泵或风机。例如：泵是废水处理中的关键设备之一，常被人比作废水处理工艺流程中的“心脏”。在废水处理运行过程中，泵一旦出现故障，往往会使整个处理系统停止工作。风机也广泛应用于输送气体、产生高压气体和获得真空。泵和风机装置的用途和使用条件千变万化，而泵和风机的种类又十分繁多，故应合理地选择其类型或型式，以保证整个系统安全经济运行。

本章在简要地介绍泵及风机的分类、工作原理、主要性能参数及性能曲线的基础上，对泵和风机的选用进行了重点探讨。

2.1 泵与风机的分类及工作原理

2.1.1 泵与风机的分类

泵与风机的应用广泛、种类繁多，常根据科研、生产等需要从以下几个方面进行分类。

2.1.1.1 按泵产生的压力分类

- (1) 低压泵 全压小于 2MPa。
- (2) 中压泵 全压在 2~6MPa 之间。
- (3) 高压泵 全压大于 6MPa。

2.1.1.2 根据泵与风机的结构与工作原理分类

(1) 叶片式泵与风机 依靠装在主轴上的叶轮旋转，由叶轮上的叶片对流体作功，从而使流体获得能量。根据流体在叶轮内的流动方向和所受力的性质不同叶片式泵与风机又分为：离心式、轴流式及混流式三种形式。叶片式泵和风机是环境工程中最常用的一种。

(2) 容积式泵与风机 利用机械内部的工作室容积周期性的变化来吸入或排出流体。根据其结构不同，可分为往复式、回转式两种。往复式机械借活塞在汽缸的往复作用使缸内容积反复变化，以吸入和排出流体，如蒸汽活塞泵等。回转式机械是通过机壳内的转子或转动部件旋转时，转子与机壳之间的工作容积发生变化来吸入和排出流体，如齿轮泵、罗茨鼓风机等。

(3) 其他类型的泵与风机 无法归入叶片式或容积式的各类泵与风机，如射流泵、水锤泵、真空泵等。

2.1.1.3 按风机产生的风压分类

- (1) 通风机 全压小于 14.709kPa。
- (2) 鼓风机 全压在 14.709~294kPa 之间。
- (3) 压缩机 全压大于 294kPa。
- (4) 真空泵 将低于大气压强的气体从容器设备内抽出的机械。

2.1.1.4 通风机中最常用的离心风机分类

- (1) 按所产生的风压不同分类

低压离心式通风机：全压 $\leq 980.6\text{Pa}$ 。

此乃试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

中压离心式通风机： $980.6\text{Pa} < \text{全压} \leq 2941.8\text{Pa}$ 。

高压离心式通风机： $2941.8\text{Pa} < \text{全压} < 14709\text{Pa}$ 。

低压和中压风机大都用于通风换气及排尘系统和空气调节系统。高压风机则用于一般锻造设备的强制通风及某些气力输送系统。根据风机的特性还可分为防爆风机（由有色金属制成）、防腐风机（由塑料或玻璃钢制成）、高温风机等。

(2) 按用途不同分类

一般用途离心通风机（代号缩写为 T）：用于一般通风换气，输送清洁空气或与空气性质相近的气体。

排尘离心通风机（代号缩写为 C）：用于排送含有灰尘的空气，如砂轮磨铰、锯屑、刨花以及气力输送等。

煤粉离心通风机（代号缩写为 M）：用于热电厂输送煤粉。

锅炉离心通风机（代号缩写为 G）：以及锅炉引风机：用于热电站和其他工业蒸汽锅炉送风及排烟。送风的称通风机，排烟的称引风机。

矿井离心通风机（代号缩写为 K）：用于矿井通风换气，在风机进风口都有进气室和节流装置。

防腐离心通风机（代号缩写为 F）：用于排送腐蚀性气体。

防爆离心通风机（代号缩写为 B）：用于排送易燃易爆气体，如石油、化工等气体。此类风机的叶轮与机壳大多为有色金属材料，如铝等制造。

高温离心通风机（代号缩写为 W）：用于排送温度 200°C 以上的气体，主要用于冶金、电站、化工等部门。

工业炉通风机（代号缩写为 GY）：用于工业炉鼓风。

空调通风机（代号缩写为 KT）：用于空气调节。

冷却通风机（代号缩写为 L）：用于工业冷却通风。

特殊风机（代号缩写为 TE）：为个别特殊用途设计的离心通风机。

2.1.2 泵和风机的的工作原理

2.1.2.1 离心式泵与风机

离心式泵与风机的主要结构部件是叶轮和机壳。机壳内的叶轮固定安装于由电动机拖动的转轴上。当电动机带动叶轮旋转时，机壳内流体便获得能量。

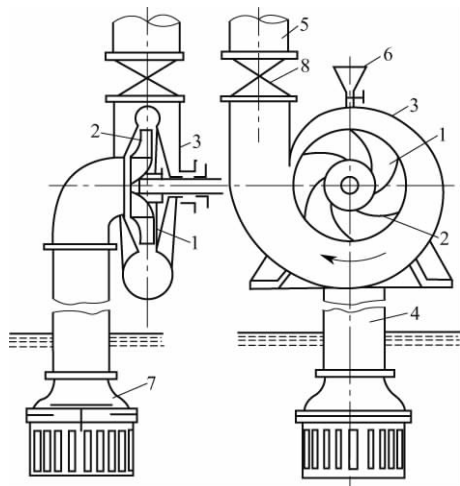


图 2-1 离心泵工作简图

1—叶轮；2—叶片；3—泵壳；4—吸入管；
5—压出管；6—引水漏斗；7—底阀；8—阀门

如图 2-1 所示的离心式泵，旋转的流体将在惯性离心力作用下，从中心向叶轮边缘流去，其压力不断增高，最后以很高的速度流出叶轮进入泵壳内，若此时开启出口阀门，流体将由压出管排出，这个过程称为压出过程。这是流体在泵中唯一能获得能量的过程，与此同时，由于叶轮中心的流体流向边缘，在叶轮中心形成了低压区，当它具有足够低的压力或具有足够的真空时，流体将在吸水池液面压力（一般是大气压）作用下、经过吸入管进入叶轮，这个过程称为吸入过程。叶轮不断旋转，流体就会不断地被压出和吸入，形成了泵的不断工作。

离心通风机主要有机壳、叶轮（包括轮毂、

叶片、前盘、后盘等),如图 2-2 所示。叶轮是由叶片和连接叶片的前盘及后盘组成的。叶轮后盘装在转轴上。机壳一般都用钢板制成的阿基米德螺线状的箱体(输送腐蚀性较强的气体时可用玻璃钢作箱体),通常采用焊接结构,有时也用铆接,并支承于支架上。当原动机(一般用电动机)带动叶轮转动时,叶片间的气体也随叶轮旋转而获得离心力,并从叶片之间的出口处被甩出。被甩出的气体挤入机壳,于是机壳内的气体压强增高,最后由出口排出。气体被甩出后,叶轮中央则形成负压。由于入口呈负压,使外界的气体在大气压力的作用下立即补入。由于叶轮不停地旋转,气体便不断地排出和补入,从而达到了风机连续输送气体的目的。可见,离心通风机是一种借助叶轮带动气体旋转时产生的离心力把能量传递给气体的机械,其结构简单,制造方便。

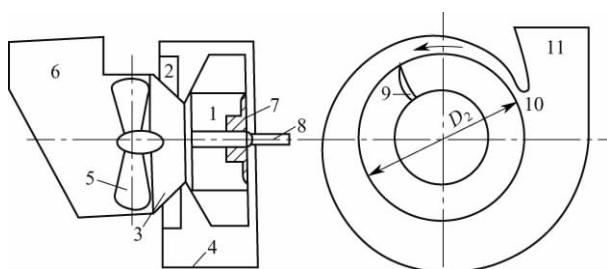


图 2-2 离心通风机结构示意图

1—叶轮；2—稳压器；3—集流器；4—机壳；5—调节器；
6—进风箱；7—轮毂；8—主轴；9—叶片；10—舌；11—扩散器

离心式泵与风机和其他形式相比,具有效率高、性能可靠、流量均匀、易于调节等优点,特别是可以制成各种压力和流量的泵与风机以满足不同的需要,所以应用最为广泛。在环境工程中,离心泵与风机应用最为广泛。离心泵适于输送水、腐蚀性液体及悬浮液,不适于输送黏度大的物料。离心泵提供的压头范围和适用的流量范围都很大。冶金化工厂的液体输送所用的泵,有 80%~90%是采用离心泵。离心泵不适用于周期脉动供料。送风机、引风机等也大多用离心式风机。

2.1.2.2 轴流式泵与风机

如图 2-3 所示,当原动机驱动浸在流体中的叶轮旋转时,轮内流体就相对叶片做绕流运动。根据升力定理和牛顿第三定律可知,绕流流体会对叶片作用一个升力,而叶片也会同时给流体一个与升力大小相等方向相反的反作用力,称为推力,这个叶片推力对流体做功,使流体的能量增加,并沿轴向流出叶轮、经过导叶等,进入压出管路。与此同时,叶轮进口处的流体被吸入。只要叶轮不断地旋转,流体就会源源不断地被压出和吸入,形成轴流式泵与风机的连续工作。

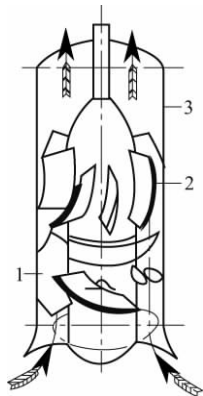


图 2-3 轴流泵简图

1—叶轮；2—导流器；3—泵壳

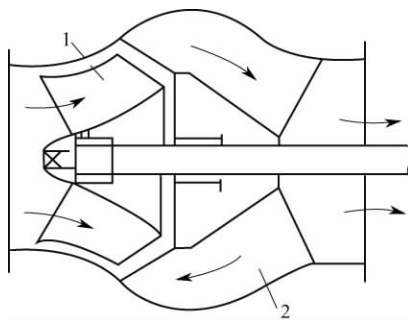


图 2-4 混流式泵简图

1—叶轮；2—导叶

轴流式泵与风机具有结构紧凑，外形尺寸小，重量轻等特点。轴流式泵与风机适用于大流量、低压头的场合。

2.1.2.3 混流式泵与风机

如图 2-4 所示，混流式泵与风机团流体是沿介于轴向与径向之间的圆锥面方向流出叶轮，工作原理是部分利用叶型升力、部分利用惯性离心力的作用，故称为混流式泵与风机。其流量较大、压头较高，是一种介于轴流式与离心式之间的叶片式泵与风机。

2.1.2.4 真空泵

真空式气力输送系统和真空式排水系统中，要利用真空泵抽吸空气，使管路保持一定的真空度，一般真空度可高达 85%。常用的真空泵是水环式真空泵。

水环式真空泵实际上是一种压气机，它抽取容器中的气体将其加压到高于大气压，从而能够克服排气阻力将气体排入大气。

水环式真空泵的结构如图 2-5 所示。

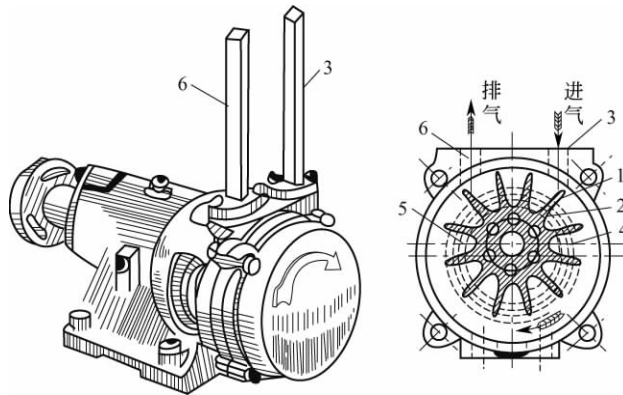


图 2-5 水环式真空泵结构示意图

1—叶轮；2—水环；3—进气管；4—吸气口；5—排气口；6—排气管

水环式真空泵的工作原理是星状叶轮偏心地装在圆筒形的工作室内，当叶轮在原动机的带动下旋转时，原先灌满工作室的水被叶轮甩至工作室内壁，形成一个水环，水环内壁上部与轮毂相切，下部形成一个月牙形的气室。右半个气室顺着叶轮旋转方向，使两叶片之间的空间容积逐渐增大，压力降低，因此将气体从吸气口吸入；左半个气室顺着叶轮旋转方向，使两叶片之间的空间容积又逐渐减小，增加空间吸入气体的压力，使其从排气口排出。叶轮每旋转一周，月牙形气室使两叶片之间的空间容积周期性改变一次，从而连续地完成一个吸气和一个排气过程。叶轮不断地旋转，便能连续地抽排气体。真空泵在工作时应不断补充水，用来保证形成水环和带走摩擦引起的热量。

2.2 泵与风机的主要性能参数

泵与风机的主要性能参数有：流量、能头、功率、效率、转速、比转速、允许吸上真空高度、允许汽蚀余量等。在泵与风机的铭牌上，一般都标有这些参数的具体数值，以说明泵与风机在最佳或额定工作状态时的性能，现做以下介绍。

2.2.1 流量

流量是指单位时间内泵或风机输送的流体量，常用体积流量 Q 表示，单位为 m^3/s 或 m^3/h 。

2.2.2 能头

2.2.2.1 泵的能头

泵的能头称为扬程，其定义为：泵所输送的单位重量流体从进口至出口的能量增值。也就是单位重量的流体通过泵所获得的有效能量。常用 H 表示，单位为米流体柱，常简写为 m 。工程上，泵习惯用扬程作参数。

图 2-6 中，以泵轴中心线所在的水平面为基准面，设泵进口和出口处分别为断面 1-1 与 2-2，则扬程的数学表达式可写为

$$H = E_2 - E_1 \quad (2-1)$$

式中， E_2 为泵出口断面 2-2 处液体的总能头， m ； E_1 为泵进口断面 1-1 处液体的总能头， m 。

由流体力学知，液体总能头由压力能头 ($p/\rho g$)，速度能头 ($v^2/2g$) 和位置能头 (z) 三部分组成，故：

$$E_2 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (2-2)$$

$$E_1 = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 \quad (2-3)$$

式中， p_2 、 p_1 为泵 2、1 断面中心处的液体压力， N/m^2 ； v_2 、 v_1 为泵 2、1 断面上液体的平均流速， m/s ； z_2 、 z_1 为泵 2、1 断面中心到基准面的距离， m ； ρ 为被送液体的密度， kg/m^3 。

因此，由式(2-1)~式(2-3) 可得出泵的扬程：

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) \quad (2-4)$$

2.2.2.2 风机的能头

风机的能头称为全压（或称压头），包括静压和动压。全压指单位体积气体流过风机的能量增量，用符号 p 表示，单位为 Pa 或 mmH_2O ^①。

风机的全压计算公式为：

$$p = \left(p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} \right) - \left(p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} \right) \quad (2-5)$$

式中， p_1 、 p_2 为风机进口和出口断面处气体的压力， Pa ； v_1 、 v_2 为风机进口和出口断面处气体的平均速度， m/s ； ρ 为气体密度， kg/m^3 。

式(2-5) 中，风机的动压为：

$$p_d = \frac{\rho v_2^2}{2} \quad (2-6)$$

风机的静压 p_j 定义为风机全压减去风机出口动压，假设 $z_1 = z_2$ 时有：

$$p_j = (p_2 - p_1) - \frac{\rho v_1^2}{2} \quad (2-7)$$

从上式看出，风机的静压，不是风机出口的静压 p_2 ，也不是风机出口与进口的静压差

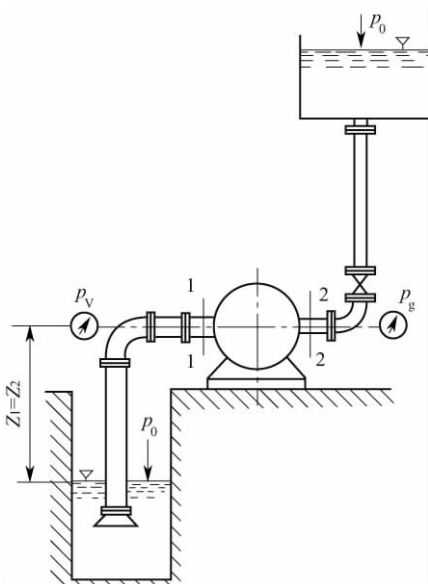


图 2-6 扬程的确定

① 1mmH₂O=9.80665Pa。

($p_2 - p_1$)。对于风机来说,被输送气体的流速相对较高,以至动压头(速度压头)在总压(水)占有相当的比重,而静压头(压强水头)较小。

2.2.3 功率与效率

功率是指泵或风机的输入功率,也就是电动机传到泵或风机轴上的功率,又称轴功率,用 N 表示,单位为 kW。效率是泵或风机总效率的简称,指泵或风机的输出功率与输入功率之比的百分数,为表示输入的轴功率 N 被流体利用的程度,用符号 η 表示,即

$$\eta = \frac{N_e}{N} \times 100\% \quad (2-8)$$

式中, N_e 为泵或风机的输出功率,又称有效功率,它表示单位时间内通过泵或风机的流体所获得的总能量, kW。

泵的有效功率为:

$$N_e = \frac{\rho Q H}{102} \quad (2-9)$$

风机的有效功率为:

$$N_e = \frac{Q \cdot p}{1000} \quad (2-10)$$

式(2-9)和式(2-10)中, ρ 为输送流体的密度, kg/m^3 ; Q 为流体的流量, m^3/s ; H 为扬程, m; p 为压头(也称全压), Pa。

综合式(2-8)~式(2-10), 可得出泵或风机的轴功率的计算公式:

$$N = \frac{\rho Q H}{102 \eta} = \frac{Q \cdot p}{1000 \eta} \quad (2-11)$$

2.2.4 转速

转速是指泵或风机叶轮每分钟的转数,单位为 r/min。它是影响泵与风机性能的一个重要因素,当转速变化时,泵或风机的流量、扬程(或压头)、功率等都要发生变化。转速可采用手持机械转速表或闪光测速仪进行测量。

2.2.5 比转数

比转数是一个既反映泵与风机的几何特征,又与其工作性能相联系的相似特征数,用泵与风机最佳工况时的流量、扬程(全风压)及转速三者组成的算式表示。泵的比转数记为 n_s , 其式为:

$$n_s = 3.65 \frac{n \sqrt{Q/j}}{(H/i)^{3/4}} \quad (2-12)$$

式中, Q 为泵的流量, m^3/s ; H 为泵的扬程, m; n 为泵轴转速, r/min; i 为叶轮级数; j 为首级叶轮吸入口数。

风机的比转数 n_y 的计算公式为:

$$n_y = \frac{n \sqrt{Q/j}}{p_0^{3/4}} \quad (2-13)$$

式中, p_0 为进口为标准状态(大气压力为 101325 Pa, 温度为 20°C 的状态)时, 风机所产生的全风压, Pa; n 为风机轴转速, r/min。

在选用泵和风机时,可以利用比转数。人们在已知所需设计流量、压头以后,常希望所选用的泵或风机在高效率下工作,故可依某原动机(如电机)的转数先算出所需要的比转数,从而初步定出可以采用的泵或风机型号。

2.2.6 允许吸上真空高度和允许汽蚀余量

允许吸上真空高度和允许汽蚀余量都是泵的汽蚀性能参数,它们的大小均由制造厂用试

验方法确定。若允许吸上真空高度愈小或允许汽蚀余量愈大，则泵的抗汽蚀性能就愈差，运行中泵内愈易发生汽蚀。

所谓汽蚀是指泵内反复出现液体汽化和凝聚过程，使金属表面材料受到破坏的现象。汽蚀发生时大量气泡的产生使液流的过流断面面积减小，流动损失增大，导致泵内流量减小，扬程变小，效率降低，性能恶化。严重时造成液流间断，泵的工作中断。另外，气泡反复凝结破裂时产生局部水击和化学腐蚀，使叶轮和壳体壁受到破坏，泵的使用寿命缩短，同时产生振动和噪声。在泵的运行中，通常都要求掌握不同工况下泵的允许吸上真空高度或允许汽蚀余量，以设法防止汽蚀的发生。

允许吸上真空高度是指水泵内部开始发生汽蚀时，泵入口处用所送液体柱高度表示的最大真空值（记为 $H_{s\max}$ ）减去 0.3 的安全量后所得的数值（记为 $[H_s]$ ），即 $[H_s] = H_{s\max} - 0.3$ 。若运行泵的入口处吸上真空高度 $H_s \leq [H_s]$ ，则泵内就不会发生汽蚀。允许汽蚀余量是指泵的临界汽蚀余量 Δh_{\min} ，加上 0.3 的安全量后得到的数值，记为 $[\Delta h]$ ，即 $[\Delta h] = \Delta h_{\min} + 0.3$ 。

2.3 泵与风机的性能曲线

泵与风机的扬程、流量以及所需的功率等性能显然是互相影响的，所以通常用以下三种形式来表示这些性能之间的关系：

- ① 泵或风机所提供的流量和扬程的关系，用 $H = f_1(Q)$ 来表示；
- ② 泵或风机所提供的流量和所需外加功率之间的关系，用 $N = f_2(Q)$ 来表示；
- ③ 泵或风机所提供的流量与设备本身效率之间的关系，用 $\eta = f_3(Q)$ 来表示。

上述三种关系常以曲线形式绘在以流量 Q 为横坐标的图上，这些曲线称为性能曲线。

性能曲线有理想和实际性能曲线两种。理想性能曲线是在无限多的且无限薄的叶片和不计流动损失情况下得出的。实际性能曲线考虑了实际运行时的机内损失，包括水力损失、容积损失和机械损失。图 2-7 对理论性能曲线进行分析，然后转化成实际的性能曲线。图中采用流量 Q 与扬程 H 组成的直角坐标系，纵坐标上还标注了功率 N 和效率 η 的尺度。

根据理论流量和扬程的关系式，可以绘出一条 Q_T-H_T 曲线。以向后叶型的叶轮为例，这是一条下倾的直线，如图 2-7 之 II。如按无限多叶片的欧拉方程，可绘制一条 $Q_{T8}-H_{T8}$ 的关系曲线，这是一条位于曲线 II 上方的曲线，即曲线 I。机内存在水力损失，流体必将消耗部分能量来克服流体阻力。这部分损失应从 II 曲线中扣除，于是就得出曲线 III。除水力损失之外，还应从曲线 II 扣除泵与风机的容积损失。容积损失是以泄露流量 q 的大小来估算的。当泵或风机的结构不变时， q 值与扬程的平方根成比例，因而能够作出一条 $q-H$ 关系曲线见图 2-7 的左侧。曲线 IV 就是从曲线 III 中扣除相应的 q 值之后得出的泵与风机的实际性能曲线，即 $Q-H$ 曲线。流量-功率曲线表明泵或风机的流量与轴功率之间的关系，因为：轴功率 N 是理论功率与机械损失之和。根据这一关系，在图 2-7 中绘制出

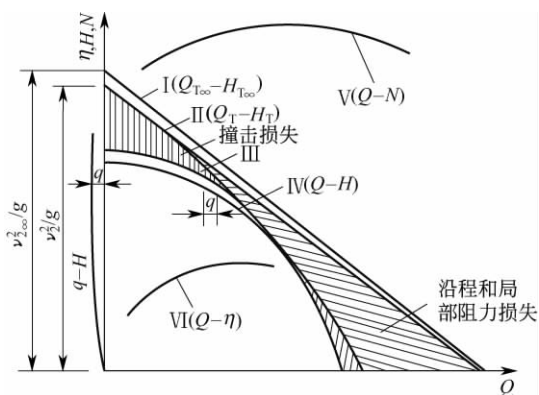


图 2-7 离心泵或风机性能曲线分析