

化工机械工程 手册

余国琮 主编

中 卷

PROCESS EQUIPMENT ENGINEERING
HANDBOOK



化学工业出版社

化工机械工程手册

中 卷

余国琮 主编

化学工业出版社

·北 京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

化工机械工程手册. 中卷/余国琮主编. —北京: 化学工业出版社, 2002.12
ISBN 7-5025-4093-8

I. 化… II. 余… III. 化工机械-机械工程-技术手册 IV. TQ05-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 069918 号

化工机械工程手册

中 卷

余国琮 主编

责任编辑: 郭长生 张红兵 周国庆 李玉晖

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 蒋艳君

×

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

http: / www.cip.com.cn

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 95 字数 3260 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4093-8/TQ·1612

定 价: 188.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

《化工机械工程手册》编辑委员会

名誉主任	成思危	原化工部副部长	教授级高级工程师
顾问	璩定一	华东理工大学	教授
	时 钧	南京工业大学	教授 中国科学院院士
	汪家鼎	清华大学	教授 中国科学院院士
主任委员	余国琮	天津大学	教授 中国科学院院士
委 员	(以汉语拼音为序)		
	陈匡民	四川大学	教授
	戴树和	南京工业大学	教授
	邓 忠	原化工部化工机械研究院	教授级高级工程师
	樊丽秋	北京化工大学	教授
	俸培宗	化学工业出版社	社长 编审
	何升韬	原机械工业部行业发展司	教授级高级工程师
	贺匡国	大连理工大学	教授
	洪德晓	全国化工设备设计中心站	教授级高级工程师
	刘振东	原化工部生产协调司	教授级高级工程师
	路德扬	原中国化学工程总公司	高级工程师
	聂清德	天津大学	教授
	潘家祯	华东理工大学	教授
	钱颂文	华南理工大学	教授
	石 流	原化工部技术监督司	教授级高级工程师
	时铭显	中国石油大学	教授 中国工程院院士
	寿尔康	原中国化工装备总公司	教授级高级工程师
	孙腾良	原中国化工装备总公司	高级工程师
	汪希萱	浙江大学	教授
	王志文	华东理工大学	教授
	徐静安	上海化工研究院	院长 教授级高级工程师
	郁永章	西安交通大学	教授
	袁 纽	原化工部建设协调司	教授级高级工程师
	朱企新	天津大学	教授

化工机械工程手册

主 编

余 国 琮

主 稿 人 员

(以汉语拼音为序)

各部分主稿

戴树和 贺匡国 聂清德 潘家祯 汪希萱 朱企新

各篇主稿

曹桂馨	陈匡民	蒋静坪	蒋年禧	李宽宏	刘 丰
麦本熙	钱颂文	时铭显	寿尔康	童水光	汪大睪
王学松	王治方	王志文	吴德钧	徐静安	杨志才
郁永章	张光裕	赵忠祥	郑茂鼎	左 禹	

审 稿 人 员

(以汉语拼音为序)

陈丙晨	陈匡民	陈之航	戴干策	戴树和	傅秦生
高正中	韩学铨	何升韬	贺匡国	洪德晓	黄 洁
姜培正	焦书科	李培宁	林孔元	林瑞泰	刘志刚
聂清德	潘永康	潘永密	沈曾民	石教英	时铭显
孙之郭	汪希萱	王静康	王世昌	王喜忠	王正欧
王志文	武冠英	熊有伦	徐静安	许定宇	薛问亚
于福家	余国琮	郁永章	袁 伟	赵宗艾	郑家龙
朱利民	左 禹				

编 写 人 员

(以汉语拼音为序)

蔡 娥	蔡纪宁	蔡仁良	曹桂馨	陈伯根	陈国桓
陈杭飞	陈加印	陈匡民	陈隆道	陈希舒	陈显瑞
陈玄德	崔巍山	戴季煌	戴树和	丁信伟	董宗玉
范德顺	方长青	方善如	丰镇平	冯立成	冯连勋
冯 霄	付建平	干爱华	顾芳珍	顾兆林	郭有仪
胡金榜	胡志伟	华永利	黄 思	黄文龙	黄雪坤
黄 钟	江 楠	蒋静坪	蒋年禧	金德云	金 涛
金志强	康 勇	劳家仁	劳添长	黎廷新	李峻宇
李宽宏	李 明	李能宫	李勤凌	李尚仁	李斯特
李鑫纲	李 云	廖万彬	林建鸿	林渭勋	林友仰
林玉珍	刘 斌	刘 丰	刘芙蓉	刘小光	刘永忠
刘佑义	龙 红	芦秀海	马小明	马玉录	刘本熙
毛 羽	聂清德	潘家祯	齐连陞	钱惠林	麦颂文
任永祥	桑芝富	邵国兴	沈 红	沈庆根	时铭显
史惠祥	史铁林	寿尔康	宋德秋	孙士乾	孙晓明
唐梦奇	陶志良	童水光	万平玉	汪大翠	汪华林
汪希萱	王光耀	王普勋	王宽福	王淑兰	王秀云
王学松	王印培	王正东	王治方	王志文	魏 刚
吴德钧	吴小林	吴旨玉	夏祥华	夏兴祥	熊 蓉
徐效德	许劲晖	许鸣珂	许跃敏	轩建平	薛建设
闫康平	严大凡	杨卫民	杨友煦	杨志才	叶楚宝
尹谢平	应道宴	虞 军	郁永章	张伯良	张光裕
张 红	张劲军	张康达	张早校	赵宪忠	赵忠祥
赵宗艾	郑津洋	郑茂鼎	郑水英	郑卫京	朱企新
朱天霞	褚良银	宗润宽	邹伯敏	左 禹	

序

“化工机械”这一名词在我国是“化工设备与机器”的惯用简化代词，国外多称为“化学过程装备”（chemical process equipment）。故“化工机械”实质上是指包括化工设备与机器的“化工装备”。

“化工机械工程”（也可称为“化工装备工程”），属于工程学科，它的对象是化工及化工类型生产过程中的装备，学科内容主要是化工装备的工程总体设计、制造技术以及运行控制管理等。

化工机械工程和化学工程两个学科领域是相互依存与密切相关的。化学工程是将原料或化学半成品经过化学过程（包括生化过程）或物理过程以改变其组成、结构与性质而成为有用产品。而化工机械工程则是使化学工程通向实现生产产品的桥梁。随着近代科学与工程技术的发展，化学工程与化工机械工程已不仅只为化学工业服务，它们已渗透到诸如环境、生物、资源、能源、材料、信息等高新技术与新兴工业，已成为这些新科技以及现代化的石油、冶金、轻工、医药、食品等工业不可缺少的技术与装备。为了广义的表达化学工程及化工机械工程在各类生产过程中的适用性与广泛性，国内外亦有分别改称为过程工程（process engineering）及过程装备工程（process equipment engineering），但其学科内容实质仍如上所述。

1996年化学工业出版社出版的《化学工程手册》（第二版）序言中曾提及该手册“重点在于化工过程的基本理论及其应用，有关化工设备与机器的设计计算，化工出版社正在酝酿另外编写一部专用手册”，即当时已考虑到编写《化工机械工程手册》作为互相补充的姊妹手册。这一想法在征求意见时，得到化工机械学术界、工业界和高等学校“化工设备与机器”专业广大教师的热烈回应与积极支持，并希望本手册能全面涵盖本学科从基础到应用的全部内容，因此从1997年起开始本手册的筹备与编写工作。1998年教育部将“化工设备与机器”专业改为“过程装备与控制工程”，本手册随之亦作相应调整，加强了控制技术部分的内容，以便与专业教学配合，同时亦符合发展方向。

化工机械工程是建立在多学科交叉与多种技术集成的基础上。化工设备与机器（以下简称化工装备）的工程设计是以化工工艺的计算结果为依据。在工程设计中涉及到的强度计算、结构设计、流体输送与热力过程等方面，需要有固体力学、流体力学、工程热力学以及传热、传质的基础。由于化工装备所处理的都是化学物质，有时且在高压、高真空、高温、低温以及有强腐蚀介质等苛刻工况条件下进行操作，在选择材料时需要有充分的材料学知识。在具体进行各类化工装备的整体与部件结构设计时，还需要了解其操作原理，以沟通与协调工艺计算与工程设计的衔接，即还需具有化学工程中单元操作与反应工程的基本知识。化工装备的工程设计还包括运行中的检测仪表及自动控制技术，也需要有这方面足够的基础。在化工装备的制造中，有时要用到一些特殊的专门制造技术，如热套式、绕带式及多层包扎式的高压容器，有防腐蚀衬里或非金属的换热器、塔器、反应器、泵以及压缩机等。化工机械工程还包括在生产过程中化工装备的运行与控制管理。

基于上述考虑，本手册由六个部分组成：第一部分是化工机械工程理论基础，包括固体力

学和机器动力学、流体力学、工程热力学和传热、传质基础；第二部分是化工机械工程材料，包括金属、非金属材料、腐蚀及其防护技术；第三部分是压力容器和管道；包括容器及其附件的强度计算与结构设计，以及管道设计；第四部分是过程机器和设备，包括各类化工机器和设备的整体和部件的结构设计与相应计算，以及环保、生化新兴工业中的化工装备；第五部分是化工机械制造安装和管理，包括制造、安装、维修、故障诊断和失效分析等。第六部分是控制工程和计算机应用，包括电工电子基础、控制工程和计算机应用。每一部分中又分若干篇，每篇又分若干章。由于本手册篇幅较大，分上、中、下三卷出版。

本手册的每一部分均请有关专家负责组稿与审定。各部分的负责人分别为：第一部分南京大学戴树和教授，第二部分华东理工大学潘家祯教授，第三部分大连理工大学贺匡国教授，第四部分天津大学聂清德教授和朱企新教授，第五、六部分浙江大学汪希萱教授。化学工业出版社郭长生和张红兵两位编审为本手册的责任编辑，在编辑本手册过程中做了大量的工作。

本手册的各篇、章均请高等学校、研究院所和产业部门专家撰写，总数达百余名；先后组织审稿会达六次之多，并随时调整框架，修改内容，以保证质量，力求能反映化工机械工程的学科体系。因此本手册是一部集体创作，也可以说是多年来我国在化工机械工程这一学科领域的教学、科研、设计和运行经验的结晶，体现了当代我国化工机械工程学科的水平。

随着新科技与新兴工业以及化学工程的发展，对化工机械工程将会不断提出新的要求，如特大型高参数装备、微型装备、大功率的高转速装备、多个过程合一的装备，装备的智能控制，以及从实验室结果直接模拟放大到生产装置而不需要经过中间试验等。因此化工机械工程要依靠相邻学科不断的加强本身的工程科学基础及新技术的研究以及其实际应用，促进化工装备的创新，使本学科继续向前发展。

《化工机械工程手册》在国内外均属首次编写，缺乏参考。故其框架内容可能仍有不妥之处，尚请有关专家、读者予以批评指正。

最后，作为主编，我对为编写本手册做出贡献的所有专家们表示衷心的感谢和敬意。

中国科学院院士 天津大学教授

余国琮

2002年10月

内 容 提 要

《化工机械工程手册》被新闻出版总署列为“九五”国家重点图书。由中国科学院院士余国琮教授主编，百余名化工机械专家参与编审工作，分上、中、下三卷出版。

《手册》按照化工机械工程学科体系和相关工程知识，设置内容框架。上卷为化工机械的理论基础，包括固体力学、机器动力学、流体力学、工程热力学等力学基础，传热、传质过程原理，以及结构材料，压力容器和管道等技术基础。中卷为化工过程机器和设备，包括泵、压缩机、工业汽轮机、换热设备、加热炉、精馏和吸收塔、萃取设备、干燥设备、结晶设备、膜器件、机械分离设备、粉碎机械、团聚造粒和分级设备、固体物料储仓和输送机械、搅拌和混合设备、反应器、制冷、低温设备和热泵、工业废物处理设备等。下卷为化工机械的工业务实和相关工程内容，包括化工机械制造安装和管理、控制工程和计算机应用等。

结构材料部分，从化工环境条件角度，叙述材料的变质、损坏、改进和防护方法以及选用，并总结了化工机械材料在工业实践中的应用经验。压力容器和管道部分，主要根据最新国家规范和工业实践，介绍筒形、球形和卧式容器的结构、应力分析计算和设计，以及管道及其组成件的布置和计算。化工过程机器和设备部分，重点阐述化工机器、设备的结构类型和零部件，以及设计计算等。化工机械制造安装和管理部分，叙述化工机械的制造、维修和安装技术特点和要点，并介绍现代设备可靠性分析、状态诊断和安全评定技术。控制工程和计算机应用部分，叙述过程控制的原理和计算机硬件、软件和语言知识，以及控制技术在化工机械运转连续化、自动化中的应用，以及计算机辅助设计、计算机辅助分析在化工机械设计、运转和控制中的应用。

《手册》采集了化工机械领域的全部专业知识，反映了化工机械科研、设计和运转的实践经验，立足学科，面向工程实际；取材力求反映近年来化工机械的新技术、新材料和新动向；在内容和编排上考虑了与姊妹篇《化学工程手册》的衔接和一致。

《手册》的读者对象为相当于大学和大学毕业水平的化工机械工作人员，兼适合于教学、科研、设计、生产和管理人员应用。

总 篇 目

(各篇目录详见该篇文前页)

上 卷

第 1 部分 理论基础

- | | | | |
|-------|----------|-------|-------|
| 第 1 篇 | 固体力学 | 第 4 篇 | 工程热力学 |
| 第 2 篇 | 振动和机器动力学 | 第 5 篇 | 传热和传质 |
| 第 3 篇 | 流体力学 | | |

第 2 部分 化工机械材料

- | | | | |
|-------|---------------------|--------|-----------|
| 第 6 篇 | 化工机械材料的性能特点 | 第 9 篇 | 化工机械用其他材料 |
| 第 7 篇 | 化工机械用金属材料 | 第 10 篇 | 化工机械防腐蚀技术 |
| 第 8 篇 | 化工机械用非金属材料 and 复合材料 | | |

第 3 部分 压力容器和管道

- | | | | |
|--------|------|--------|---------|
| 第 11 篇 | 压力容器 | 第 12 篇 | 管道及其组成件 |
|--------|------|--------|---------|

中 卷

第 4 部分 化工过程机器和设备

- | | | | |
|--------|-----------|--------|-------------|
| 第 13 篇 | 泵、真空泵 | 第 22 篇 | 机械分离设备 |
| 第 14 篇 | 压缩机和工业汽轮机 | 第 23 篇 | 粉碎机械 |
| 第 15 篇 | 换热设备 | 第 24 篇 | 团聚造粒和分级设备 |
| 第 16 篇 | 加热炉 | 第 25 篇 | 固体物料储仓和输送机械 |
| 第 17 篇 | 精馏和吸收塔 | 第 26 篇 | 搅拌和混合设备 |
| 第 18 篇 | 萃取设备 | 第 27 篇 | 反应器 |
| 第 19 篇 | 结晶设备 | 第 28 篇 | 制冷、低温设备和热泵 |
| 第 20 篇 | 干燥设备 | 第 29 篇 | 工业废物处理设备 |
| 第 21 篇 | 膜器件 | | |

下 卷

第 5 部分 化工机械制造安装和管理

- | | | | |
|--------|-------------|--------|-------------|
| 第 30 篇 | 化工机械制造和安装 | 第 33 篇 | 化工机械维修技术 |
| 第 31 篇 | 质量控制和检验 | 第 34 篇 | 可靠性分析 |
| 第 32 篇 | 状态监测和故障诊断技术 | 第 35 篇 | 失效分析和缺陷安全评定 |

第 6 部分 控制工程和计算机应用

- | | | | |
|--------|---------|--------|-------|
| 第 36 篇 | 电工、电子技术 | 第 38 篇 | 计算机应用 |
| 第 37 篇 | 控制工程 | | |

索引

第 13 篇 泵、真空泵

主稿 寿尔康 化工设备装备公司 教授级高级工程师
编写 寿尔康 化工设备装备公司 教授级高级工程师
郁永章 西安交通大学 教授
审稿 孙之郭 中国寰球化学工程公司 教授级高级工程师

第 1 章 泵的类型和主要性能参数	13-5	2.2 主要零部件结构	13-13
1 泵的类型	13-5	2.2.1 叶轮	13-13
2 化工用泵的特点和性能参数	13-5	2.2.2 蜗室和导叶	13-14
2.1 特点和用途	13-5	2.2.3 泵壳	13-14
2.2 主要性能参数	13-6	2.2.4 密封环	13-15
2.2.1 流量	13-6	2.2.5 泵轴	13-15
2.2.2 排出压力	13-6	3 离心泵特性	13-15
2.2.3 压力差 (扬程)	13-6	3.1 基本方程	13-15
2.2.4 吸入压力	13-7	3.1.1 速度三角形	13-15
2.2.5 汽蚀余量	13-7	3.1.2 欧拉方程	13-16
2.2.6 介质温度	13-7	3.2 离心泵的相似	13-16
2.2.7 转速	13-8	3.2.1 相似定律	13-16
2.2.8 功率	13-8	3.2.2 比转速	13-17
3 特性和适用范围	13-9	3.2.3 型式数 K	13-17
第 2 章 离心泵	13-9	3.3 能量损失和效率	13-17
1 工作原理和适用范围	13-9	3.3.1 能量损失	13-17
1.1 工作原理	13-9	3.3.2 效率	13-18
1.2 特点和适用范围	13-9	3.4 汽蚀	13-19
1.2.1 特点	13-9	3.4.1 汽蚀现象和原因	13-19
1.2.2 适用范围	13-9	3.4.2 泵运行工况和汽蚀	13-19
2 结构	13-10	3.4.3 汽蚀比转数	13-19
2.1 主要结构型式	13-10	3.4.4 汽蚀的防止措施	13-20
2.1.1 卧式单级单吸离心泵	13-10	3.5 特性和特性曲线	13-20
2.1.2 卧式单级双吸离心泵	13-10	3.5.1 特性曲线	13-20
2.1.3 卧式多级离心泵	13-10	3.5.2 比例定律	13-20
2.1.4 立式离心泵	13-12	3.5.3 切割定律	13-21
2.1.5 液下泵	13-12	3.5.4 液体黏度对特性的影响	13-22
2.1.6 管道泵	13-12	3.5.5 工作范围	13-22
2.1.7 自吸式离心泵	13-13	4 主要几何参数	13-22
		5 相似设计	13-24

第 3 章 轴流泵	13-24
1 工作原理及其特性	13-24
1.1 工作原理	13-24
1.2 水力特性	13-25
1.2.1 基本方程	13-25
1.2.2 性能特点和性能曲线	13-25
1.2.3 调节特性	13-26
2 结构	13-26
2.1 类型	13-26
2.2 主要部件	13-27
3 主要几何参数	13-28
3.1 叶轮转速	13-28
3.2 叶轮外径	13-28
3.3 叶片数和叶栅稠密度	13-28
3.4 叶片截面的翼型	13-28
3.5 导流器	13-29
第 4 章 混流泵	13-29
1 工作原理和适用范围	13-29
2 结构	13-30
3 水力特性	13-30
3.1 性能特点	13-30
3.2 调节特性	13-31
4 主要几何参数	13-31
第 5 章 部分流泵	13-32
1 工作原理和适用范围	13-32
2 结构	13-33
2.1 类型	13-33
2.2 结构	13-34
3 水力特性	13-34
3.1 基本方程	13-34
3.2 流量和截止流量	13-35
3.3 特性曲线	13-35
3.4 吸入性能	13-36
3.5 效率	13-36
3.6 调节特性	13-36
4 主要几何参数	13-36
第 6 章 旋涡泵	13-37
1 工作原理和适用范围	13-37
2 类型和结构特点	13-38
2.1 类型	13-38
2.2 结构特点	13-38
3 水力特性	13-39
4 主要几何参数	13-40

第 7 章 往复泵	13-41
1 工作原理和适用范围	13-41
2 主要性能参数	13-42
2.1 理想工作过程 and 实际工作过程	13-42
2.2 流量	13-42
2.3 流量脉动的消除方法	13-43
2.4 性能特点和性能曲线	13-44
2.5 吸入性能	13-45
2.6 调节特性	13-45
3 结构	13-46
3.1 类型	13-46
3.2 主要部件	13-47
3.2.1 液缸	13-47
3.2.2 吸、排液阀	13-48
3.2.3 柱塞（活塞）	13-48
4 主要几何参数	13-49
第 8 章 转子泵	13-49
1 工作原理和特点	13-49
2 旋转活塞泵	13-50
2.1 工作原理和适用范围	13-50
2.2 主要性能参数	13-51
2.3 结构	13-52
2.4 主要几何参数	13-53
3 单螺杆泵	13-54
3.1 工作原理和适用范围	13-54
3.2 主要性能参数	13-55
3.3 结构	13-56
3.4 主要几何参数	13-57
3.5 性能换算	13-57
4 双螺杆泵	13-57
4.1 工作原理和适用范围	13-57
4.2 结构	13-58
4.3 主要性能参数	13-59
5 三螺杆泵	13-59
5.1 工作原理和适用范围	13-59
5.2 结构	13-60
5.3 性能参数	13-61
5.4 主要几何参数	13-61
5.5 流量计算	13-62
5.6 性能换算	13-62
6 齿轮泵	13-62
6.1 工作原理和适用范围	13-62
6.2 结构	13-62
6.3 主要性能参数	13-62
6.4 化工齿轮泵	13-64

7	挠性管泵	13-64
7.1	二作原理和适用范围	13-64
7.2	结构	13-65
7.3	主要性能参数	13-66
8	罗茨泵	13-67
8.1	工作原理和适用范围	13-67
8.2	结构	13-68

第 9 章 计量泵

1	往复式计量泵	13-69
1.1	类型	13-69
1.1.1	柱塞式计量泵	13-69
1.1.2	隔膜式计量泵	13-69
1.1.3	隔套(管)式计量泵	13-72
1.1.4	隔罩式计量泵	13-72
1.1.5	波纹管式计量泵	13-72
1.1.6	分体式液压计量泵	13-72
1.2	吸、排液阀和轴封	13-73
1.3	流量调节机构	13-74
1.3.1	改变行程的流量调节机构	13-74
1.3.2	改变柱(活)塞往复次数的流量调节机构	13-77
1.3.3	改变行程和往复次数的双重调节机构	13-77
1.4	驱动方式	13-77
1.4.1	电动机驱动	13-77
1.4.2	电磁驱动	13-78
1.4.3	液压驱动	13-78
1.5	流量脉动的消除方法	13-78
1.6	检漏方法	13-78
2	旋转式计量泵	13-79
2.1	齿轮式计量泵	13-79
2.2	挠性管计量泵	13-80

第 10 章 特殊泵

1	不堵塞泵	13-81
1.1	通道式叶轮离心泵	13-81
1.2	螺旋离心泵	13-82
1.3	其他不堵塞叶片泵	13-83
1.4	实际物料和清水的性能换算	13-84
2	射流泵	13-85
2.1	工作原理	13-85
2.2	射流泵装置的基本形式	13-86
2.3	基本参数和性能曲线	13-86
2.4	主要构件的型式和尺寸	13-87
2.5	应用	13-88
3	挠性叶轮泵	13-88

3.1	工作原理	13-88
3.2	结构	13-89
3.3	特点和应用	13-90
4	迷宫螺旋泵	13-91
4.1	工作原理	13-91
4.2	性能参数和特性曲线	13-91
4.3	结构	13-92
4.4	特点和适用范围	13-93

第 11 章 泵的轴封和无泄漏泵

1	旋转轴密封	13-93
1.1	机械密封	13-93
1.1.1	组成和工作原理	13-93
1.1.2	特点	13-94
1.1.3	基本型式和适用范围	13-94
1.1.4	主要特性参数	13-96
1.1.5	泵密封腔的空腔尺寸	13-100
1.1.6	化工流程泵对机械密封的要求	13-100
1.1.7	应用示例	13-101
1.1.8	机械密封的材料组合	13-105
1.1.9	辅助系统	13-105
1.1.10	常用材料	13-111
1.2	软填料密封	13-115
1.2.1	组成和主要性能参数	13-115
1.2.2	主要结构型式和用途	13-115
1.2.3	品种、性能和适用范围	13-116
1.2.4	化工用泵对软填料密封的要求	13-118
1.2.5	主要尺寸和技术要求	13-118
1.3	动力密封和停车密封	13-119
1.3.1	叶轮密封	13-119
1.3.2	螺旋密封和迷宫螺旋密封	13-120
1.3.3	停车密封	13-120
1.4	填函往复密封	13-121
1.4.1	软填料往复密封	13-121
1.4.2	唇型填料往复密封	13-122
1.4.3	间隙密封	13-122
2	无泄漏泵	13-123
2.1	屏蔽泵	13-123
2.2	磁力驱动泵	13-124
2.3	容积式无泄漏泵	13-126

第 12 章 泵材料选用

1	金属泵的材料选用	13-127
1.1	离心式化工流程泵的材料选用	13-127
1.1.1	API 610—1995 对泵材料的要求和有关规定	13-127
1.1.2	GB 3215 标准对泵材料的要求和有关	

规定	13-128
1.2 化工用往复泵的材料选用	13-135
1.3 计量泵的材料选用	13-138
1.4 部分腐蚀性介质用泵的选材	13-138
2 非金属泵及其材料	13-139
2.1 塑料泵	13-139
2.2 玻璃钢泵	13-141
2.3 衬胶泵	13-141
2.4 陶瓷泵	13-142
2.5 玻璃泵	13-143
2.6 石墨泵	13-143
第 13 章 泵装置	13-143
1 泵装置的组成	13-143
2 泵的安装位置	13-144
3 泵的运行调节	13-144
3.1 离心泵的调节	13-144
3.2 旋涡泵的调节	13-145
3.3 混流泵的调节	13-146
3.4 轴流泵的调节	13-146
3.5 往复泵的调节	13-146
4 泵传动方式和原动机功率	13-146
第 14 章 真空泵	13-147
1 类型和应用	13-147
1.1 类型	13-147
1.2 主要性能参数	13-148

1.3 应用范围	13-149
1.4 真空技术应用范围	13-149
2 机械式真空泵	13-150
2.1 往复真空泵	13-150
2.1.1 结构和工作原理	13-151
2.1.2 性能参数	13-152
2.1.3 往复真空泵系列	13-153
2.2 油封回转式真空泵	13-153
2.2.1 旋片式真空泵	13-153
2.2.2 滑阀式真空泵	13-156
2.2.3 真空泵油（液）	13-157
2.3 液环式真空泵	13-158
2.4 罗茨真空泵	13-160
3 喷射类真空泵	13-161
3.1 喷射式真空泵	13-161
3.1.1 水蒸气喷射真空泵	13-161
3.1.2 空气喷射真空泵	13-164
3.1.3 水喷射真空泵	13-165
3.2 油扩散泵	13-165
3.3 油增压泵	13-169
3.4 扩散泵油（液）	13-169
4 真空系统	13-169
4.1 基本组成和要求	13-169
4.2 典型真空系统	13-170
4.3 真空系统计算	13-170
4.4 真空压力检测仪表	13-172
参考文献	13-173

第 1 章 泵的类型和主要性能参数

1 泵的类型

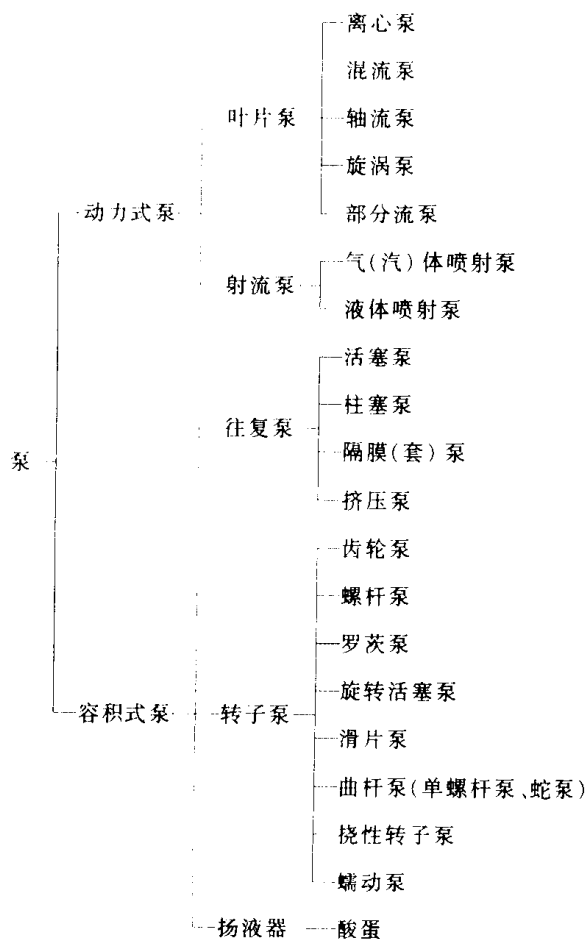
泵是一种输送液体的机器。它以一定的方式将来自原动机的机械能传递给进入（吸入或灌入）泵内的被送液体，使液体的能量（位能、压力能或动能）增大，依靠泵内被送液体与液体接纳处（即输送液体的目的地）之间的能量差，将被送液体压送到液体接纳处，从而完成对液体的输送。泵的类型可按以下方式分类。

(1) 依据泵向被送液体传递能量的方式分类

① 动力式泵 泵连续地将能量传递给被送液体，使其速度（动能）和压力能（位能）均增大（主要是速度增大），然后再将其速度降低，使大部分动能转换为压力能，被送液体以升高后的压力实现输送。

② 容积式泵 泵在周期性的改变泵腔容积的过程中，以作用和位移的周期性变化将能量传递给被送液体，使其压力直接升高到所需的压力值后实现输送。

(2) 以能量传递方式分类



(3) 依据泵的用途分类

① 水泵 输送的液体为水，如：供水泵、排水泵、灌溉泵、消防泵污水泵等。

② 工业泵 输送各种工业生产所需的液体物料（也包括工艺用水），如：化学工业用泵、石油工业用泵、水电站用泵、矿山用泵、建筑用泵、船舶用泵、航空用泵、航天用泵、核工业用泵、食品工业用泵、造纸工业用泵等。

2 化工用泵的特点和性能参数

2.1 特点和用途

化工用泵是用于化工（包括石油化工）生产中，输送所需各种液体物料的泵，如化工生产中的进料泵、回流泵、循环泵、注入泵、冲洗泵、放料泵、产品输送泵……等。表 13.1-1 所列的各类泵，只要其性能、结构、材料、制造和检验等方面都能满足化工生产的要求，都可作为化工用泵。

化工生产的各种化工过程都是在一定的压力和温度下进行的，且参与各化工过程的液体物料也是多种多样、性能各异，如：含有固体颗粒或悬浮物，有腐蚀性、易燃易爆、高黏度等，因此化工用泵的品种和规格很多。按照化工生产的特点，对化工用泵提出以下不同于一般泵类的要求。

① 泵的流量、排出压力，NPSH 以及泵的耐温、耐压能力等都必须满足化工工艺的要求。

② 泵必须具有良好的密封性，其轴封的泄漏量应在允许的范围之内，必要时应采用无泄漏结构。

③ 泵的结构必须适应被送液体的特性，以正常、顺利地输送各种化工液体物料，并应从结构上消除或减少温度应力、腐蚀疲劳、应力腐蚀等引起泵失效。

④ 泵的材料应符合被送液体化工物料的化学性质和化工生产操作工况。

⑤ 泵的易损件（如轴承等）的寿命应满足化工生产长期、连续运行的要求。

⑥ 泵必须便于安装、拆检和维修。

⑦ 泵应具有较高的效率。

⑧ 泵的设计、选材、制造和检验应遵照有关的标准和规范。

随着化工生产装置规模的不断扩大，对其使用的机械设备提出了更高的要求，在化工用泵中发展出了适合大型化工装置使用的化工流程泵。

称作化工流程泵,它不仅为了区别于一般化工用泵,更重要是表示它是构成整个化工生产流程不可缺少的组成部分,与化工生产的工艺设备具有同样的重要性。为此,对化工流程泵在性能、结构、选材、制造和检验等方面都提出了如下不同于一般化工用泵的要求。

① 在离心式化工流程泵的性能方面 对其扬程允差,在偏差带同为 7% 时,化工流程泵专用标准要求达到 $\pm 3.5\%$ ^[1];而一般离心泵标准为 $\pm 3.5\%$ ^[2];对以固定转速的原动机驱动的离心式化工流程泵,要求在更换新的叶轮后,其扬程可增大 5%。上述规定,即使离心式化工流程泵的排出压力达到化工过程的要求,保证化工生产正常进行;又保证了泵的流量满足化工生产的需要,达到产量指标。

② 在结构方面 对离心泵的口环间隙,化工流程泵专用标准是具体规定了允许的最小间隙^[1],而离心泵标准是规定了间隙的范围^[3];在轴承寿命方面:对离心泵轴承的基本额定寿命,专用标准规定为 25000 小时;而一般离心泵标准为 17500 小时^[3]。上述规定,可保证离心式化工流程泵达到长期连续运行。

综上所述,化工流程泵是一种要求更为严格和具体的化工用泵。化工流程泵需按化工流程泵的专用标准设计、制造和检验^[1,4,5]。在一般情况下,化工流程泵的售价高于一般化工用泵。

2.2 主要性能参数

2.2.1 流量

单位时间由泵排出的液体量,可用体积或质量计量。以体积计量时,常用单位为: m^3/h , L/h , m^3/s , L/s ;以质量计量时,常用单位为: t/h , kg/h , kg/s 。

质量流量和体积流量的换算关系为

$$Q_V = \frac{Q_M}{\rho}$$

式中 Q_V ——泵的体积流量;

Q_M ——泵的质量流量;

ρ ——被送液体的密度, kg/m^3 。

按照化工生产工艺的需要和对制造厂的要求,化工用泵的流量有以下几种表示方法。

(1) 正常操作流量

在化工生产正常操作工况下,达到其规模产量时,所需要的流量。

(2) 最大需要流量和最小需要流量

当化工生产工况发生变化时,所需的泵流量的最大值和最小值。

(3) 泵的额定流量

由泵制造厂确定并保证达到的流量。此流量应等于或大于正常操作流量,并充分考虑最大、最小流量

而确定。一般情况下,泵的额定流量大于正常操作流量,甚至等于最大需要流量。

(4) 最大允许流量

制造厂根据泵的性能,在结构强度和驱动机功率允许范围内而确定的泵流量的最大值。此流量值一般应大于最大需要流量。

(5) 最小允许流量

制造厂根据泵的性能,在保证泵能连续、稳定的排出液体,且泵的温度、振动和噪声均在允许范围内而确定的泵流量的最小值。此流量值一般应小于最小需要流量。

2.2.2 排出压力

排出压力是指被送液体经过泵后,所具有的总压力能(单位: MPa)。它是泵能否完成输送液体任务的重要标志,对于化工用泵其排出压力可能影响到化工生产能否正常进行。因此,化工用泵的排出压力是根据化工工艺的需要确定的。

根据化工生产工艺的需要和对制造厂的要求,排出压力主要有以下几种表示方法。

(1) 正常操作压力

化工生产在正常工况下操作时,所需的泵排出压力。

(2) 最大需要排出压力

化工生产工况发生变化时,可能出现的工况所需的泵排出压力。

(3) 额定排出压力

制造厂规定的、并保证达到的排出压力。额定排出压力应等于或大于正常操作压力。对于叶片式泵应为最大流量时的排出压力。

(4) 最大允许排出压力

制造厂根据泵的性能、结构强度、原动机功率等确定的泵的最大允许排出压力值。最大允许排出压力值应大于或等于最大需要排出压力,但应低于泵承压件的最大允许工作压力。

2.2.3 压力差(扬程)

是指单位体积的液体经由泵得到的有效能量(单位 MPa),是被送液体经过泵后获得的能量增加量。此能量增加量与泵吸入压力之和,为泵的排出压力。泵吸入压力为被送液体的状态所决定,因此,压力差是泵能否达到要求的排出压力,完成输送液体的主要因素。压力差 Δp 表示为

$$\Delta p = p_2 - p_1$$

式中 Δp ——泵的压力差, MPa;

p_1 ——泵的吸入压力, MPa;

p_2 ——泵的排出压力, MPa。

叶片式泵以扬程 H 表示被送液体经过泵后的能量增加量, 扬程为单位质量的液体经过泵后获得的有效能量, 单位为 m 。叶片泵以扬程表示被送液体经过泵后的能量增加量; 主要是叶片泵计算的需要。实际上化工厂生产操作是测定泵的吸入和排出压力来判断和确定泵的运行工况, 叶片泵的性能试验也是测定吸入和排出压力, 计算其压力差再换为泵的扬程。叶片式的扬程为

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + (z_2 - z_1)$$

式中 u_1 ——泵吸入口液体流速, m/s ;
 u_2 ——泵排出口液体流速, m/s ;
 z_1 ——泵吸入口压力表基准面至泵基准面的垂直距离, m ;
 z_2 ——泵排出口压力表基准面至泵基准面的垂直距离, m ;
 g ——重力加速度。

除非进行泵性能试验, 一般可应用下式进行换算。

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g}$$

扬程是叶片泵的关键性能参数。因为扬程直接影响叶片泵的排出压力, 这一特点对化工用泵非常重要。根据化工工艺需要和对制造厂的要求, 对泵的扬程提出以下要求。

(1) 正常操作扬程

化工生产正常工况下, 泵的排出压力和吸入压力所确定的泵扬程。

(2) 最大需要扬程

化工生产工况发生变化, 可能需要的最大排出压力 (吸入压力未变) 时泵的扬程。

化工用叶片泵的扬程应为化工生产中需要的最大流量下的扬程。

(3) 额定扬程

是额定叶轮直径、额定转速、额定吸入和排出压力下叶片泵的扬程。是由泵制造厂确定并保证达到的扬程, 且此扬程值应等于或大于正常操作扬程。一般取其值等于最大需要扬程。

(4) 关闭扬程

叶片泵流量为零时的扬程。为叶片泵的最大极限扬程, 一般以此扬程下的排出压力确定泵体等承压件的最大允许工作压力。

泵的压力差 (扬程) 是泵的关键特性参数, 泵制造厂应随泵提供以泵流量为自变量的流量-压差 (扬程) 曲线。

2.2.4 吸入压力

指进入泵的被送液体的压力, 在化工生产中是由化工生产工况决定的。泵吸入压力值必须大于被送液体在泵送温度下的饱和蒸气压, 低于饱和蒸气压泵将产生汽蚀。

对于叶片式泵, 因其压力差 (扬程) 决定于泵的叶轮直径和转速, 当吸入压力变化时, 叶片泵的排出压力随之发生变化。因此叶片泵的吸入压力不能超过其最大允许吸入压力值, 以避免泵的排出压力超过允许最大排出压力, 而引起泵超压损坏。

对于容积泵, 由于其排出压力决定于泵排出端系统的压力, 当泵吸入压力变化时, 容积式泵的压力差随之变化, 所需功率也随之变化, 因此, 容积式泵的吸入压力不能太低, 以避免因泵压力差过大而超载。

泵的铭牌上都标有泵的额定吸入压力值, 以控制泵的吸入压力。

2.2.5 汽蚀余量

为防止泵发生汽蚀, 在其吸入液体具有的能量 (压力) 值的基础上, 再增加的附加能量 (压力) 值。称此附加能量为汽蚀余量。

在化工生产装置中, 多采用增加泵吸入端液体的标高, 即利用液柱的静压力作为附加能量 (压力), 单位以米液柱计。在实际应用中有必需汽蚀余量 NPSH_r 和有效汽蚀余量 NPSHA 。

(1) 必需汽蚀余量 NPSH_r

实质是被送流体经过泵入口部分后压力降, 其数值是由泵本身决定的。其数值越小表示泵入口部分的阻力损失越小。因此, NPSH_r 是汽蚀余量的最小值。

选用化工用泵时, 被选泵的 NPSH_r 必须满足被送液体的特性和泵安装条件的要求。订购化工用泵时, NPSH_r 也是重要的采购条件。

(2) 有效汽蚀余量 NPSHA

表示泵安装后, 实际得到的汽蚀余量, 此值系由泵的安装条件决定的, 与泵本身无关。

NPSHA 值必须大于 NPSH_r 。一般为 $\text{NPSHA} \geq \text{NPSH}_r + 0.5\text{m}$ 。

2.2.6 介质温度

是指被输送液体的温度。化工生产中液体物料的温度, 低温可达 -200°C , 高温可达 500°C 。因此, 介质温度对化工用泵的影响较一般泵类更为突出, 是化工用泵的重要参数之一。化工用泵的质量流量与体积流量的换算, 压差与扬程的换算, 泵制造厂以常温清水进行性能试验的结果与输送实际物料时, 泵的性能换算、汽蚀余量的计算等, 必然要涉及介质的密