



教育部 高职高专 规划教材

化工单元 操作实训

○ 刘爱民 陆小荣 主编



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

化工单元操作实训

刘爱民 陆小荣 主编

化学工业出版社
教材出版中心
·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

化工单元操作实训/刘爱民,陆小荣主编. —北京:
化学工业出版社, 2002.6
教育部高职高专规划教材
ISBN 7-5025-3661-2

I. 化… II. ①刘…②陆… III. 化工单元操作-高等学校: 技术学校-教材 IV. TQ02

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第027334号

教育部高职高专规划教材

化工单元操作实训

刘爱民 陆小荣 主编

责任编辑: 何 丽

责任校对: 李 丽 吴桂萍

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(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

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 9 字数 216 千字

2002年6月第1版 2002年6月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-3661-2/G·1002

定 价: 15.00 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

全国高等职业教育化工专业教材编审委员会

主任：赵杰民

副主任：张鸿福 李顺汀 田 兴 黄永刚 任耀生

基础化学组：李居参 赵文廉 宋长生
苏 静 胡伟光 初玉霞 丁敬敏 王建梅 张法庆
徐少华

数理基础组：于宗保 王绍良 王爱广
金长义 陈 泓 朱芳鸣 高 松 刘玉梅 杨 凌
董振珂 李元文 丛文龙 傅 伟

化工基础组：唐小恒 周立雪 秦建华
王小宝 张柏钦 张洪流 邢鼎生 张国铭 徐建良
周 健

化工专业组：刘德崢 陈炳和 杨宗伟
王文选 文建光 田铁牛 李贵贤 梁凤凯 卞进发
杨西萍 舒均杰 郑广俭

人文社科组：曹克广 霍献育 徐沛林
刘明远 曾悟声 马 涛 侯文顺 曲富军 高玉萍
史高锋 赵治军

工程基础组：丁志平 刘景良 姜敏夫
魏振枢 律国辉 过维义 吴英绵 章建民 张 平
许 宁 贺召平

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来，在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下，各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看，具有高职高专教育特色的教材极其匮乏，不少院校尚在借用本科或中专教材，教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此，1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》（以下简称《基本要求》）和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》（以下简称《培养规格》），通过推荐、招标及遴选，组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师，成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍，并在有关出版社的积极配合下，推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种，用5年左右时间完成。这500种教材中，专门课（专业基础课、专业理论与专业能力课）教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求，在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上，充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位，调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础，突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下，专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间，在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上，充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验，解决新形势下高职高专教育教材的有无问题；然后再用2~3年的时间，在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上，通过研究、改革和建设，推出一大批教育部高职高专规划教材，从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材，并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作，不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

本书根据2001年3月在天津召开的全国高等职业教育化工专业教材编审会议确定的《化工单元操作实训》教学基本要求编写的，重点介绍《流体流动与传热》、《传质与分离过程》课程的主要实验和化工单元典型设备（或装置）的基本操作技术。

本书从高等职业技术教育特点出发，根据化工生产岗位群的特点和化工单元操作等内容体系，采用北京东方仿真控制技术，力求由浅入深，通俗易懂，主次分明，侧重操作技能的训练，以适应高职院校化工工艺及相关专业实训教学的需要。

本书由刘爱民，陆小荣主编。第一、二章由刘爱民编写；第三章由陆小荣编写，第四章由陆清编写，南京化工职业技术学院王伟武主审。

本书在编审过程中，得到了全国石油和化工职业教育教学指导委员会和化学工业出版社的大力支持，编者所在学校亦给予各种方便和大力协助。北京东方仿真控制技术有限公司给予了热情的支持，评审组的专家给予指导和帮助，并提出了许多宝贵的意见。对此，编者一并表示衷心的感谢。

由于水平有限，书中一定存在缺点和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2001年12月

内 容 提 要

本书以化工各主要单元操作为主线、重点讲述《流体流动与传热》和《传质分离过程》课程的主要实验和化工单元典型设备（或装置）的操作技术。全书共分四章，包括流体输送单元操作实训、传热单元操作实训、传质单元操作实训、反应单元操作实训。每章内容包括：典型设备的结构及特点、单元操作的工艺过程（包括仿真和实际操作）、典型设备或装置的操作技术（包括仿真和仿现场实际操作）。各章中均附有复习与思考题。

本书可作为高职高专化工及相关专业（制药技术、高分子材料合成与加工、环境、石油、轻工等）的实训教材；也可供相关技术人员参考。

目 录

第一章 流体输送单元操作实训	1
第一节 输送管路与输送设备	1
一、管子、管件、阀门	1
二、管子的连接	1
三、管路拆装训练	3
四、离心泵与压缩机	5
第二节 流体流动与输送操作实训	7
一、流体阻力实验	7
复习与思考	13
二、流量计的校核	13
复习与思考	18
三、离心泵性能曲线测定	19
复习与思考	25
四、离心泵操作仿真	25
五、离心泵的开停车训练	28
六、离心泵的流量调节操作训练	30
七、离心泵常见故障及处理方法训练	31
复习与思考	32
八、液位控制操作训练	32
九、离心式压缩机操作训练	36
第二章 传热单元操作实训	42
第一节 传热操作实训	42
一、列管式换热器	42
二、传热实验	43
复习与思考	50
三、换热器操作仿真	50
四、列管式换热器的开、停车操作及事故处理方法训练	54
复习与思考	56
第二节 蒸发操作技术	56
一、循环型蒸发器	56
二、蒸发操作	57
第三章 传质单元操作实训	59
第一节 传质设备	59
一、板式塔	59
二、填料塔	61
第二节 精馏操作实训	61
一、精馏实验	61
复习与思考	67

二、精馏塔操作仿真	67
三、精馏塔操作训练	72
第三节 吸收操作实训	75
一、吸收实验	75
复习与思考	83
复习与思考	88
二、吸收解吸操作仿真	88
三、吸收塔操作训练	96
第四节 干燥操作实训	97
一、干燥设备	97
二、干燥实验	99
三、干燥操作训练	105
第四章 反应单元操作实训	107
第一节 反应设备	107
一、釜式反应器	107
二、固定床反应器	108
三、流化床反应器	109
第二节 反应器操作实训	110
一、连续流动反应器停留时间分布的测定	110
复习与思考	113
二、固定床反应器操作仿真	113
复习与思考	118
三、流化床反应器操作仿真	118
复习与思考	124
四、间歇釜式反应器操作仿真	124
五、釜式反应器操作训练	128
复习与思考	133
主要参考文献	134

第一章 流体输送单元操作实训

本章训练目标

- 掌握管路拆装的方法。了解离心泵和压缩机的结构、性能及特点。
- 掌握流体流动阻力的测定方法和流量计的校核方法。了解离心泵特性曲线的测定方法，正确使用离心泵。
- 掌握离心泵开停车的操作技术，流量调节技能。能正确分析故障产生的原因，并掌握如何防止和排除故障的方法。掌握液位压力的调节方法。
- 了解离心式压缩机开停车程序和正常操作及异常现象发生的原因及处理方法。

第一节 输送管路 with 输送设备

一、管子、管件、阀门

管子和各种管件、阀门等组合称之为管路。管路同一切机器设备一样，是化工生产中不可缺少的部分。化工管路在生产中的作用，主要是用来输送各种流体介质（如气体、液体等），使其在生产中按工艺要求流动，以完成各个化工过程。管子的连接需要各种管件，流体流量的控制和调节需要各种阀门。

常用管材分为金属管和非金属管两大类。金属管包括有缝钢管、无缝钢管、铸铁管、合金管、有色金属管等；非金属管有陶瓷管、塑料管、橡胶管等。

管路中除管子外，为满足工艺生产等需要，管路中还有许多其他构件，如弯头、三通、异径管、法兰、阀门等，通常称这些构件为管路附件，简称管件。管件是组成管路不可缺少的部分，其作用为改变流体流动方向，连接管路支管，改变管径，堵塞管路和延长管路。

管路中用作调节流量，切断或切换管路以及对管路起安全、控制作用的管件，通常称为阀门。

二、管子的连接

管路的连接包括管道与管道的连接，管道与各种管件、阀门及设备接口等处的连接。目前普遍采用的连接方式有：法兰连接、螺纹连接、焊接及承插式连接等。

（一）法兰连接

如图 1-1 所示。这是一种可拆式的连接。由法兰盘、垫片、螺栓和螺母等零件组成。法兰盘与管道是固定在一起的。这种连接简单、便宜、牢固且严密，多用于无缝钢管和有色金属管路的连接等。

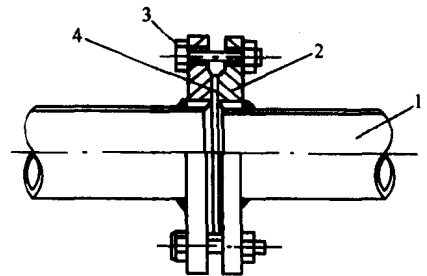


图 1-1 法兰连接

1—管子；2—法兰盘；3—螺栓螺母；4—垫片

(二) 螺纹连接

如图 1-2 所示。管路中的螺纹连接大多用于自来水管路及一般生活用管路和机器润滑油管路中。这种连接方法可以拆卸，但没有法兰连接那样方便。密封可靠性也较低，因此使用压力和使用温度不宜过高。螺纹连接主要由管箍和各种带内螺纹的管件以及为拆卸方便的活络管接头等组成，如图 1-3 所示。

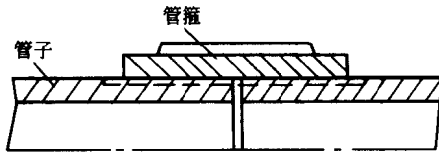


图 1-2 螺纹连接

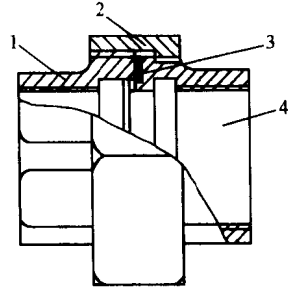


图 1-3 活络管接头
1, 4—带内螺纹的管节；
2—活套节；3—垫片

螺纹连接的管道端部应加工外螺纹，利用螺纹与管箍、管件和活管接头配合固定。其密封则主要依靠锥管螺纹的咬合和在螺纹之间加敷的密封材料来达到。常用的密封材料是白漆加麻丝或四氟膜，缠绕在螺纹表面，然后将螺纹配合拧紧。密封的材料还可以用其他填料和涂料代替。

(三) 焊接连接

焊接连接是一种不可拆连接结构。它是用焊接的方法将管道和各管件、阀门直接连成一体。这种连接密封非常可靠。结构简单，便于安装，但给清理检修工作带来不便。

管路的焊接有对焊、搭焊、带衬环的对焊、加管箍的焊接等，如图 1-4 (a)~(d) 所示。可根据管路材料和施工要求合理选择。

焊缝焊接质量的好坏直接影响连接强度和密封质量，对于焊接质量要求可按有关技术规定进行检查。为保证焊缝质量，可用 X 光拍片和试压方法检查。

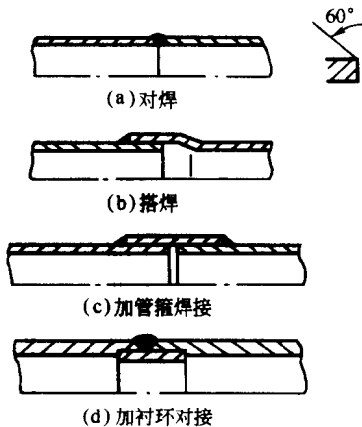


图 1-4 焊接连接

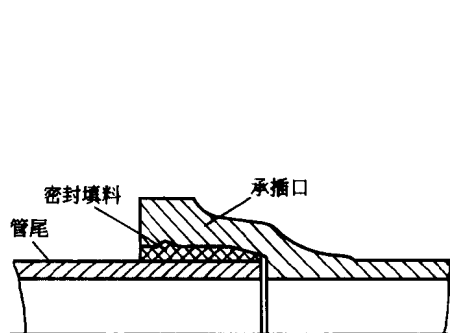


图 1-5 承插式连接

(四) 承插式连接

如图 1-5 所示。对于铸铁管道和非金属管道（如水泥、陶瓷等），由于采用上述连接方法比较困难，在密封要求不高的情况下可采用这种方法连接。它的管口是特制的，管端套入后，在承插处的空隙中填入密封材料（常用的如麻、水泥、铅等填料）以达到密封。

三、管路拆装训练

(一) 训练目的

熟悉可拆式组装管路的安装过程，并掌握其安装技术。

(二) 训练内容

管路的布置是由设备的布置而确定，要正确的布置和安装管路，必须明确生产工艺的特点和操作条件的要求，遵循管路布置和安装的原则，绘制出配管图。

管路的组装方式大致可分为两类：一类是可拆式，即用法兰、丝扣、填料等方法连接；另一类是不可拆式，主要是采用焊接方法连接。本节重点介绍可拆式。

可拆式在组装时，先将管路按现场位置分成若干段组装。然后从管路一端向另一端固定接口逐次组合；也可以从管路二端接口向中间逐次组合。但在组合过程中，必须经常检查管路中心线的偏差，尽量避免因偏离过大而造成最后合拢的接口处错口太大的毛病。本训练的管路系统一定，在拆除后安装恢复原样，以此训练管路安装的基本技能。

管路的安装工作包括：管路安装、法兰和螺纹接合、阀门安装、孔板的安装和试压。

1. 管路安装

管路的安装应得保证横平竖直，水平管其偏差不大于 15mm/10m，但其全长不能大于 50mm，垂直管偏差不能大于 10mm。

2. 法兰与螺纹接合

法兰安装要做到对得正、不反口、不错口、不张口。紧固法兰时要做到：未加垫片前，将法兰密封面清理干净，其表面不得有沟纹；垫片的位置要放正，不能加入双层垫片；在紧螺栓时要按对称位置的秩序拧紧，紧好之后螺栓两头应露出 2~4 扣；管道安装时，每对法兰的平行度、同心度应符合要求。

螺纹接合时管路端部应加工外螺纹，利用螺纹与管箍、管件和活管接头配合固定。其密封则主要依靠锥管螺纹的咬合和在螺纹之间加敷的密封材料来达到。常用的密封材料是白漆加麻丝或四氟膜，缠绕在螺纹表面，然后将螺纹配合拧紧。

3. 阀门安装

阀门安装时应把阀门清理干净，关闭好进行安装，单向阀、截止阀及调节阀安装时应注意介质流向，阀的手轮便于操作。

4. 孔板安装

孔板一般安装在水平直管上。若必须安装在竖管上，液体流向应是由下向上，对于气体和蒸汽应是由上向下。孔板前后应有必要的直管段，前段须有 15~20d 的直管段，孔板后须有 5d 的直管段（d 为管子内直径），以保证测量准确，在管段内不得开孔，应尽量避免焊口。

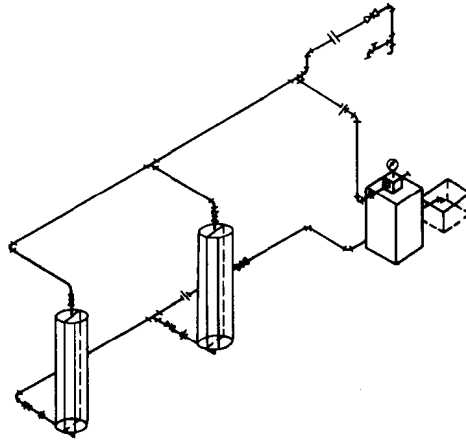
5. 水压试验

管路安装完毕后，应作强度与严密度试验，试验是否有漏气或漏液现象。管路的操作压力不同，输送的物料不同，试验的要求也不同。当管路系统是进行水压试验，试验压力（表

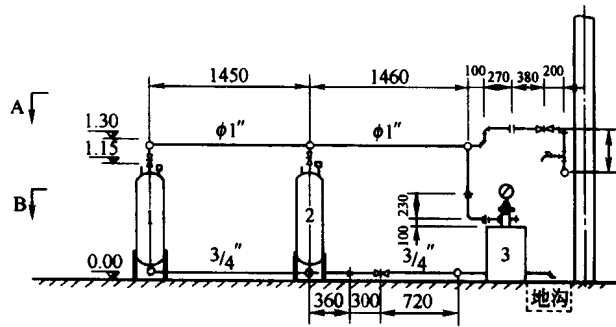
压) 为 294kPa, 在试验压力下维持 5min, 未发现渗漏现象, 则水压试验即为合格。

(三) 训练装置

管路训练装置如图 1-6 所示。也可在配有管路的其他装置上进行, 但包括管路安装的基本内容, 以便学生掌握其技术。



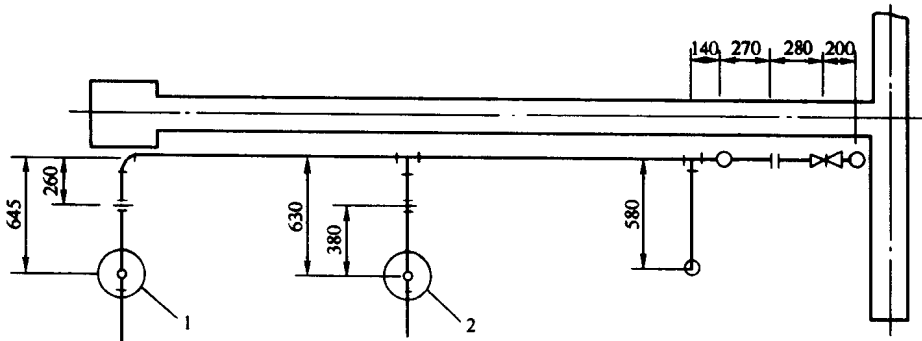
(a) 管路装置



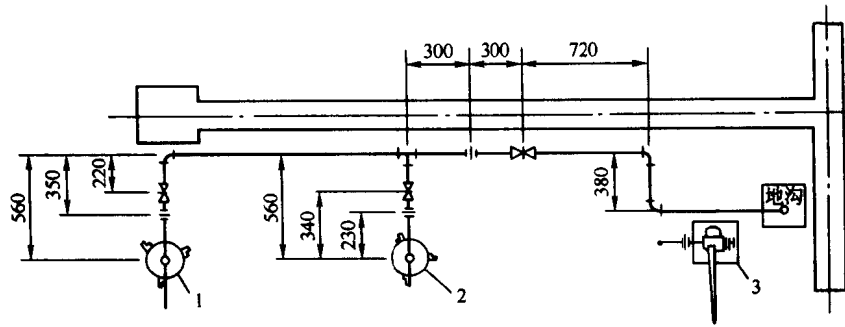
立面图

(b) 管路拆装配管

1, 2—容器; 3—手摇式泵



A—A 平面图



B—B 平面图

图 1-6 管路训练装置

(四) 训练要求

- (1) 对实际装置的管路尺寸进行测绘并画出安装配管图。
- (2) 在教师指导和配合下，学生亲自动手安装，要求掌握管子、阀门、管件等安装的基本技术。
- (3) 安装中要注意安全。完毕后进行总结、鉴定和评分。

四、离心泵与压缩机

(一) 离心泵

1. B (IS) 型单级单吸悬臂式离心泵

B 型泵按最新标准改为 IS 型，是一种最常用的离心泵，可用于输送清水或与水性质相近的清洁液体。输送流量的范围为 $4.5 \sim 360 \text{m}^3/\text{h}$ ，扬程为 $8 \sim 98 \text{m}$ (液柱)。该泵结构简单，操作方便，通用性大。

B (IS) 型泵有甲、乙两种型号，它们的性能完全一样，仅泵壳的拆卸不同，前者泵壳从前面拆开，后者从后面拆卸。

B (IS) 型泵有几种变型，如 BL 型和 BZ 型等。这种泵的泵体直接连接在电动机的专用法兰上，省掉了泵轴、轴承、托架、联轴器等。如图 1-7 所示。

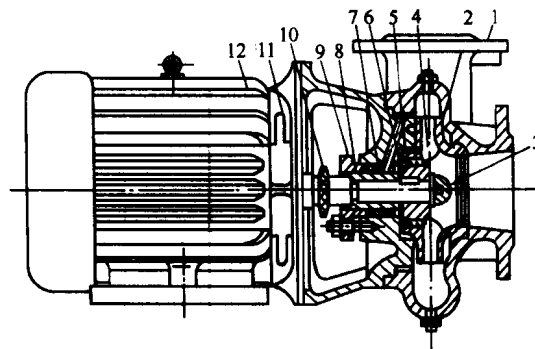


图 1-7 BZ 型泵结构图

- 1—泵体；2—叶轮；3—叶轮螺母；4—外舌止退垫片；5—密封环；6—键；
7—填料环；8—填料压盖；9—护轴套；10—挡水圈；11—直联架；12—电动机

2. Sh 型双吸离心泵

Sh 型泵是单级、双吸、泵壳中开的离心泵。主要用于输送水或物理、化学性质类似水的液体。流量为 $126 \sim 12500 \text{ m}^3/\text{h}$ ，扬程范围自 $9 \sim 140 \text{ m}$ 。

Sh 型泵的吸入口及排出口均在泵轴中心线的下方，成水平方向（见图 1-8），与轴线成垂直位置。泵盖的分开面在轴心线上方，成水平方向，便于揭开检查泵内全部零件，无需拆卸进水、排出管路及原动机。

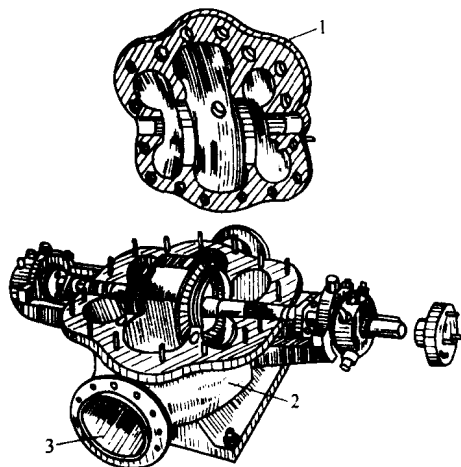


图 1-8 Sh 型泵拆卸后的视图

1—泵盖；2—泵座；3—进水口

3. Y 型油泵

Y 型卧式离心油泵主要用于输送不含固体颗粒的石油及其产品。流量为 $6.25 \sim 500 \text{ m}^3/\text{h}$ ，扬程在 $60 \sim 603 \text{ m}$ （液柱）之间。

Y 型泵有悬臂式、两端支承式及多级节段式等三种结构型式。泵的入口和出口均处在与泵轴垂直方向上。目前生产的 Y 型油泵，除了卧式的以外，还有立式（YT 型）、浸没式（YC 型）和管道式（YG 型）等。

4. F 型耐腐蚀离心泵

F 型泵是单级单吸悬臂式耐腐蚀离心泵，用于输送不含固体颗粒、有腐蚀性的液体。扬程的范围为 $10 \sim 105 \text{ m}$ （液柱），流量为 $2 \sim 400 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

F 型泵有前开门和后开门两种结构，前开门结构的泵从前面泵盖拆开，可不动泵座；后开门

结构的泵可不动前面的吸入管线，移动机座即可拆开泵盖。

F 型泵根据不同的使用要求，轴封部分有软填料密封（代号为“0”）、单端面机械密封（代号为“1”）及双端面机械密封（代号为“2”）等三种型式。

F 型泵的轴套采用耐腐蚀材料制造，采用耐腐的垫圈，以免介质漏入轴套内使泵轴受腐蚀。口环间隙比水泵稍大，机械密封采用大弹簧（涂四氟乙烯等）结构，以免弹簧腐蚀而引起机械密封失灵而漏损。同时 F 型泵在操作时，应避免在小流量或关闭出口阀时运转，以防止液体温度因叶轮搅动而升高，加剧腐蚀。

目前，由于新的耐腐蚀材料不断被采用，出现如塑料泵、玻璃泵、陶瓷泵等耐腐蚀离心泵。

5. 多级泵

多级泵的种类很多，如 D 型、GD 型单吸多级分段式离心水泵和 DA 型、DY 型单吸多级离心水泵。这些泵主要应用于输送高扬程液体。

另外，还有 DG 型中低压锅炉给水泵和 DG 型高压锅炉给水泵。这种泵的最高扬程可达 35 MPa ，转速在 400 r/min 以上，功率达 $5 \times 10^4 \text{ kW}$ ，采用合金制造，圆筒形双层套壳结构。这也是近代超高压大容量离心泵的结构特点，因此，其技术水平和造价是很高的。

(二) 压缩机

1. 往复式压缩机

往复式压缩机由机座、中间接筒、气缸、曲轴、连杆、十字头、活塞杆、活塞、填料箱、气阀、飞轮及润滑、冷却、调节控制系统和附属管线等组成。种类通常有：空气压缩

机、氢气循环压缩机、三列立式氧气压缩机、氨压缩机、V型空压机、W型空压机等。

2. 离心式压缩机

由于输送介质、压力、排气量的不同，离心压缩机有许多种规格，但其结构大致相同。

离心压缩机按结构大致可分为水平剖分型、筒型、等温型三种，见图 1-9 所示。

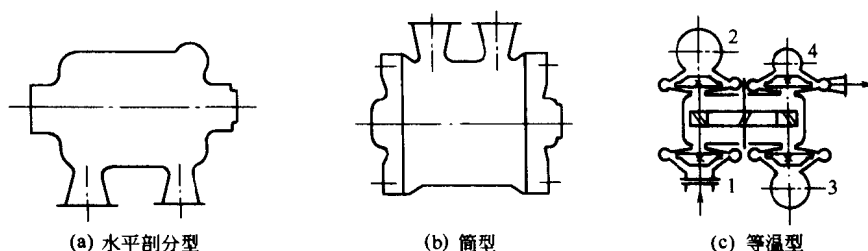


图 1-9 离心压缩机类型

水平剖分型 此类型气缸被剖分为上、下两部分，一般用于空气压缩机以及氨、丙烷、丙烯、乙烯等冷冻压缩机。

筒型 也就是垂直剖分型，筒形气缸里装入上、下剖分的隔板和转子，气缸两侧端盖用螺栓紧固。由于气缸是圆筒形的，抗内压能力强，对温度和压力所引起的变形也较均匀。主要用于汽油改质、脱硫等石油精制装置的循环机和其他石油化工用的循环机，最高工作压力可达 70MPa。

等温型 此种压缩机是为了能在较小的动力下对气体进行高效的压缩，把各级叶轮压缩的气体通过级间冷却器冷却后再导入下一级的一种压缩机。

第二节 流体流动与输送操作实训

一、流体阻力实验

(一) 实验目的

• 学习直管摩擦系数 λ 、管件阻力系数 ζ 、管路阻力损失的测定方法；了解 $\lambda-Re$ 、 $\zeta-Re$ 的变化规律；学习 U 形压差计及涡轮流量计的使用方法。

• 测定流体流过直管时的摩擦阻力，并绘制摩擦系数 λ 与雷诺数 Re 的变化关系曲线图。

• 测定流体流过某一部件时的局部阻力，并绘制 ζ 与雷诺数 Re 的变化关系曲线图。

(二) 实验原理

流体在管道内流动时，由于流体的粘性作用和涡流的影响会产生阻力。流体在直管内流动阻力的大小与管长、管径、流体流速和管道摩擦系数有关，它们之间存在如下关系。

$$h_f = \frac{\Delta p_f}{\rho} = \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2} \quad (1-1)$$

$$\lambda = \frac{2d \Delta p_f}{\rho l u^2} \quad (1-2)$$

或

$$\lambda = \frac{2d(\rho_A - \rho) gR}{\rho l u^2}$$
$$Re = \frac{du\rho}{\mu} \quad (1-3)$$

式中 Δp_f ——直管阻力引起的压力降, Pa;

d ——管内径, m;

u ——流速, m/s;

ρ_A ——指示液密度, kg/m³;

ρ ——流体的密度, kg/m³;

μ ——流体的粘度, Pa·s。

直管摩擦系数 λ 与雷诺数 Re 之间有一定的关系, 这个关系一般用曲线来表示。在实验装置中, 直管段管长 l 和管径 d 都已固定。若水温一定, 则水的密度 ρ 和粘度 μ 也是定值。所以本实验实质上是测定直管段流体阻力引起的压力降 Δp_f , 与流速 u (或流量) 之间的关系。

根据实验数据和式 (1-2) 可计算出不同流速下的直管摩擦系数 λ ; 用式 (1-3) 计算对应的 Re , 从而整理出直管摩擦系数与雷诺数的关系, 绘出 λ 与 Re 的关系曲线。

对于局部阻力

$$h_f = \zeta \frac{u^2}{2} \quad (1-4)$$

则
$$\zeta = \frac{2\Delta p_f}{\rho u^2} \quad (1-5)$$

或
$$\zeta = \frac{2(\rho_A - \rho) gR}{\rho u^2} \quad (1-6)$$

ζ 称为局部阻力系数, 它与流体流过的管件的几何形状以及流体的 Re 有关, 当 Re 达到一定数值以后, ζ 与 Re 数无关, 成为定值。

或者可以近似的认为局部阻力的损失相当于某个长度的直管引起的损失。

$$h_f = \lambda \frac{l_e u^2}{d 2}$$

式中, l_e 为管件的当量长度, 由实验测得。

(三) 实验流程

实验流程如图 1-10 所示。

设备参数

光滑管: 玻璃管, 管内径 = 20mm, 管长 = 1.5m, 绝对粗糙度 = 0.002mm。

粗糙管: 镀锌铁管, 管内径 = 20mm, 管长 = 1.5m, 绝对粗糙度 = 0.2mm。

突然扩大管: 细管内径 = 20mm, 粗管内径 = 40mm。

孔板流量计: 开孔直径 = 12mm, 孔流系数 = 0.62。

(四) 实验仿真

1. 实验步骤

第一步 开泵

如图 1-11 所示, 因为离心泵的安装高度比水的液面低, 因此不需要灌泵。直接点击电源开关的绿色按钮接通电源, 就可以启动离心泵, 开始实验。