

非标准设备设计手册

FEIBIAOZHUN SHEBEI SHEJISHOUCE

第三册

国防工业出版社

内 容 简 介

本手册共分第一、二、三、四册出版。

第一册内容包括非标准设备设计概论，一般设计计算资料，常用零件等；第二册包括各种机械传动，各种轴承，导轨设计，润滑与润滑器等；第三册包括液压传动及其元件，气动及其元件液体静压轴承与静压导轨，密封，电气器件等；第四册包括简易数控机床，机械手，送料机构，常用槽罐及其加热与冷却，泵与风机，仪表等。

手册中的标准资料，是以国标、部标为依据。有部分标准截至手册出版前，尚为草案、报批稿，待正式批准后，以正式标准为准。

本手册可供从事非标准设备设计和技术改造的广大工人、技术人员及干部使用和参考。

非标准设备设计手册

第 三 册

岑军健 赵菊初 张秉政 等 编

周玉璞 张妙杭

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张59¹/₂ 插页2 1398千字 印数：00,001—31,000册

1983年12月第一版 1983年12月第一次印刷

统一书号：15034·2167 定价：11.55元

前 言

在机械制造业中，无论是筹建新厂或对老厂进行技术改造，非标准设备的设计与制造都是一项必不可少的工作。而且这项工作直接关系到建厂的速度，以及工厂的生产效率和产品质量。非标准设备的范围很广，品种繁多，设计中所牵涉的知识和资料比较广泛。为了解决这方面资料的零乱、分散和不足的问题，我们搜集、整理了机械制造工厂中，非标准设备设计的常用资料，并总结了我们的制造非标准设备和技术改造中的实践经验，编写成这套《非标准设备设计手册》。

为了使手册更好地为广大工人、技术人员和干部服务，在选材和编写中，力争通俗易懂，使用方便，解决实际问题，尽量减少理论性的论述和公式的推算，多采用可直接用于设计的结论、表格、经验数据和简化计算等；同时收集了常用的标准产品和元件（如泵、阀、轴承、电气器件、电机和仪表等）；手册中还编入了“滚珠丝杠传动”、“液体静压轴承和静压导轨”、“机械手”、“简易数控机床”等章，以利于新技术的应用和推广。

参加本手册编写工作的有山西柴油机厂的部分技术人员和该厂工人大学非标专业全体师生，以及五机部第六设计院有关人员。各章编者名单附于章末。在搜集资料、编写和审定书稿的整个过程中，得到了渭阳柴油机厂、内蒙一机厂、江麓机械厂、吉林柴油机厂、541、542工程指挥部、一机部机电研究所、广州机床研究所、内江机床电器研究所、一机部情报所、铁岭橡胶研究所、上海机电设计院、华东工程学院、吉林工业大学、天津大学等一百多个工厂、科研设计单位及高等院校的大力支援和协助，在此表示衷心感谢！

由于我们政治思想和技术业务水平所限，手册中可能存在不少缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

编 者

一九七八年四月

目 录

第十九章 液压传动

- 一、液压传动的基本知识 1
 - 1 液体的重度、密度和比重 1
 - 2 压力 1
 - 3 压力、流量与功率的关系 2
 - 4 巴斯噶原理 2
 - 5 层流和紊流 3
 - 6 流体的机械能 3
 - 7 柏努利方程式 4
 - 8 气穴和气蚀 5
 - 9 液压冲击 5
- 二、液体通过孔道和缝隙的计算 5
 - 1 圆管通道 5
 - 2 薄壁节流孔 6
 - 3 两平行壁间隙 6
 - 4 圆环通道 7
 - 5 偏心圆环通道 7
 - 6 圆环放射流动通道 7
 - 7 倾斜壁渐大通道 8
 - 8 圆锥体与圆孔构成的通道 8
 - 9 等长台阶圆柱体与圆孔构成的通道 8
 - 10 锥体与锥孔构成的通道 9
- 三、液压油 9
 - 1 液压油的主要性质 9
 - 2 对液压油的要求 11
 - 3 常用液压油 12
- 四、液压系统图图形符号 13
- 五、常用液压阀 25
 - 1 压力控制阀 25
 - 2 流量控制阀 29
 - 3 方向控制阀 31
- 六、油缸 34
 - 1 油缸的种类 34
 - 2 油缸的结构 35
 - 3 油缸的设计计算 38

- 4 油缸主要零件的公差及光洁度 40
- 七、液压传动设计 40
 - 1 主要工作参数的确定 40
 - 2 确定循环方式 41
 - 3 液压传动系统图的拟定 42
 - 4 液压管道设计 52
 - 5 油箱设计 57
 - 6 滤油器 59
 - 7 蓄能器 61
- 八、液压系统的故障及其排除方法 62

第二十章 油泵及油马达

- 一、油泵 64
 - 1 齿轮泵 64
 - 2 叶片泵 65
 - 3 柱塞泵 66
 - 4 变量泵 66
 - 5 油泵的效率、功率和扭矩计算 71
- 二、油马达 72
- 三、各种类型油泵和油马达 73
 - 1 齿轮泵 76
 - 2 螺杆泵 88
 - 3 叶片泵 90
 - 4 柱塞泵 110
 - 5 油马达 122
 - 6 电液脉冲马达 128

第二十一章 液压元件及液压站

- 一、压力阀 134
 - 1 技术规格 134
 - 2 外形尺寸 143
- 二、节流阀 169
 - 1 技术规格 169
 - 2 节流阀外形尺寸 174
- 三、方向阀 194

1	方向阀型号说明	194
2	电磁换向阀和电液换向阀	196
3	液动换向阀	246
4	手动换向阀	252
5	转阀	265
6	机械操纵换向阀(行程滑阀)	267
7	单向阀	269
8	压力表开关	277
四、同步阀282		
1	技术规格	282
2	外形尺寸	283
五、油缸285		
1	TGI 系列伸缩式套筒液压缸	285
2	DG 型车辆用油缸	286
3	DA、DB 型车辆用油缸	288
六、蓄能器290		
1	皮囊式蓄能器	290
2	活塞式蓄能器	291
七、滤油器292		
1	网式滤油器	292
2	线隙式滤油器	293
3	烧结式滤油器	294
八、压力继电器295		
1	DP 型压力继电器	295
2	PF 型压力继电器	296
3	PF-S 型压力继电器	298
九、液压站299		
1	液压站的结构、技术规格及型号说明	299
2	液压站外形尺寸	301
3	JK 系列液压集成块	302
4	液压站的使用及订货注意事项	334

第二十二章 气动及其元件

一、气动设计的基本知识336		
1	气动的优缺点	336
2	气动设备的分类	336
3	气动系统图图形符号	338
4	气动的基本回路	339
5	气缸设计计算	341
二、气缸343		
1	QGA 型气缸	343
2	QGB 型气缸(带缓冲装置)	345

3	双活塞回转气缸(QH 型)	350
三、气动控制阀351		
1	压力控制阀	351
2	流量控制阀	352
3	方向控制阀	354
四、气动附件(气动三联装)380		
1	分水滤气器(QSL型)	380
2	调压阀(QTY型)	381
3	油雾器(QIU型)	382

第二十三章 液体静压轴承与静压导轨

一、液体静压轴承384		
1	液体静压轴承的优缺点	384
2	静压轴承的承载原理	384
3	静压轴承的类型、结构特点及应用	385
4	静压轴承结构设计	389
5	节流器的结构参数与材料	392
6	供油装置设计要点	395
7	静压轴承的计算	396
8	静压轴承系列设计参数	410
9	静压轴承的设计程序	429
二、液体静压导轨431		
1	概述	431
2	各种静压导轨的结构原理、特点与应用	432
3	节流器的结构原理、特点及应用	435
4	静压导轨的结构设计	439
5	静压导轨的调整与使用	441
6	静压导轨的计算	441
7	静压导轨的设计计算举例	449

第二十四章 管道联接件

一、管接头的类型及特点460		
二、管接头462		
1	扩接管接头	462
2	焊接管接头	482
3	卡套式管接头	508
4	软管管接头	525
5	旋转式管接头	546
6	法兰盘接头	550
三、管件553		

1 内外螺纹接头553
 2 管夹及螺堵566

第二十五章 密封

一、密封的基本概念578
 1 密封的原理和方法578
 2 密封件的分类580
 3 各种密封材料的适用条件及其选择581
 4 设计密封装置时应考虑的因素582

二、O形橡胶密封圈584
 1 O形橡胶密封圈的主要优缺点584
 2 O形橡胶密封圈的适用条件585
 3 O形橡胶密封圈外观质量标准585
 4 O形橡胶密封圈的规格、公差、安装沟槽形式及尺寸586
 5 O形橡胶密封圈用挡圈595

三、U形夹织物橡胶密封圈 (HG4-336-66)598
 1 适用条件598
 2 U形夹织物密封圈尺寸598
 3 支承环599

四、V形密封圈601
 1 V形夹织物橡胶密封圈 (HG4-337-66)601
 2 V形塑料密封圈606

五、Y形橡胶密封圈 (HG4-335-66)609
 1 适用条件609
 2 规格尺寸609
 3 使用说明611
 4 油缸活塞密封和活塞杆密封用Y形密封圈及槽的尺寸611

六、L形橡胶密封圈 (HG4-331-66)613
 1 适用条件613
 2 规格尺寸613
 3 使用说明614

七、J形密封圈615
 1 J形橡胶密封圈 (HG4-332-66)615
 2 J形无骨架橡胶油封 (HG4-338-66)616
 3 骨架式橡胶油封 (HG4-692-67)618

八、活塞环621
 1 适用条件621
 2 规格尺寸621

3 活塞环数量623
 4 活塞环的材料和技术要求623

九、防尘圈623

1 J形防尘密封圈623
 2 三角形防尘密封圈624
 3 骨架式防尘密封圈 (DKI型)625
 4 组合防尘圈626

十、填料密封626

1 填料箱结构及尺寸627
 2 螺栓直径及摩擦功率的计算627
 3 盘根的选用628

十一、密封胶及其应用631

1 液态密封胶的分类631
 2 液态密封胶的密封机理632
 3 厌氧胶特点及分类632
 4 厌氧胶密封机理632
 5 密封胶的使用工艺、液态密封胶的选择及国内密封胶商品简介633

十二、聚四氟乙烯密封带634

1 聚四氟乙烯密封带的应用634
 2 密封带的主要特点634
 3 密封带的规格和性能634

十三、机械密封 (天津机械密封件厂机械密封标准系列)634

1 结构说明634
 2 机械密封系列标准及适用范围635
 3 机械密封型号表示方法635
 4 机械密封材料的选择636
 5 机械密封安装尺寸637

附录“O”形橡胶密封圈模具设计645

第二十六章 电气原理

一、常用电工系统文字、图形符号、基本定律及关系式648

1 电气器件、测量仪表文字符号648
 2 常用电工设备图形符号650
 3 基本定律及计算公式660

二、晶体三极管放大器672

1 晶体三极管三种工作状态和参量的关系672
 2 晶体三极管三种基本接法和比较672
 3 晶体三极管常用参数说明673

4	晶体三极管 α 和 β 换算关系	675
5	晶体管低频放大器	675
6	晶体管直流放大器	677
7	晶体管直流稳压电源	681
三、硅整流电源的设计688		
1	不可控整流电源的设计	688
2	可控硅整流电源设计	691
四、变压器及电抗器的计算710		
1	小型单相变压器的计算	710
2	10~50千伏安单相和三相干式变压器设计	713
3	脉冲变压器计算	717
4	整流变压器的计算	718
5	平波和均衡电抗器的计算	721
五、电热设备及器件724		
1	45千瓦箱式电阻炉简易计算	724
2	盐浴电阻炉的计算	726
3	碳化硅棒电热元件计算	727
4	工频无芯感应熔化炉电气参数计算	729
六、电气控制线路设计738		
1	交流电路控制环节	738
2	直流线路控制环节	746
七、电器元(部)件总体装配748		
1	电器元(部)件总体布置	748
2	电器元(部)件总体接线图	749
3	总体安装图的确定	751
4	电气控制箱(柜)及操纵台图选	752
八、附录755		
1	晶体二极管	755
2	常用硅稳压管型号和主要参数	759
3	常用晶体三极管型号和主要参数	761
4	常用KP型可控硅及KK型快速可控硅的型号和参数	767
5	常用集成稳压单元型号和参数	770
6	常用硅钢片铁芯型号和主要电参数	773

第二十七章 电动机与变压器

一、一般异步电动机774		
1	JO ₂ 系列三相鼠笼型异步电动机	774
2	JO ₃ 系列三相鼠笼型异步电动机	779
3	JO ₄ 系列三相鼠笼型异步电动机	784
4	JZ ₂ 、JZB ₂ 、JZR ₂ 、JZRB ₂ 系列起重及冶金用三相异步电动机	788
二、JDO₂ 系列三相变极式多速异步电动机792		
三、BJO₂ 系列防爆三相异步电动机794		

四、Z3 系列直流电动机797		
五、微型电动机804		
1	自整角机	804
2	XX 系列线性旋转变压器	807
3	ZL 型直流力矩电动机	809
4	S 系列伺服电动机	810
5	ZCF 型直流测速发电机	813
6	CJ-2 同步电动机	813
7	1AO、1BO、1CO、1DO 系列驱动微型异步电动机	814
8	150 BDG 功率步进电机	818
9	BF 系列六相功率步进电机	819
10	反应式步进电机	820
六、特种电动机823		
1	JZS ₂ 系列三相异步整流子变速电动机	823
2	JZT ₂ 系列电磁调速异步电动机	825
七、TDGC 型干式自冷接触调压器828		
八、控制变压器831		
1	BK 系列控制变压器	831
2	BKc 系列控制变压器	833
九、交流互感器835		
1	LQG2-0.5、LQG3-0.5 型电流互感器	835
2	LMZ1-0.5、LMZJ1-0.5 型电流互感器	836
3	LJ- ϕ 75 型零相序电流互感器	838
4	JDG-0.5、JDG3-0.5 型电压互感器	839

第二十八章 电气器件

一、常用电气器件的选择841		
1	按周围环境特征选择保护控制设备型式	841
2	接触器的选择	843
3	自动空气开关的选择	843
4	熔断器的选择	844
5	热继电器的选择	846
6	鼠笼型电动机降压起动设备的选择	847
7	导线及电缆的选择	849
8	电缆及导线与保护装置的配合	852
9	敷线用钢管直径的选择	857
10	常用电动机起动保护控制设备及导线的选择	857
二、保护器件857		
1	RLI 系列螺旋式熔断器	857
2	RLS 系列螺旋式快速熔断器	858
3	RM10 系列无填料封闭管式熔断器	859
4	JR0、JR16 系列热继电器	861

三、指令器件863

- 1 LA10 系列控制按钮863
- 2 LA20 系列按钮864
- 3 LS2 主令开关866
- 4 HZ3-131、HZ3-132 型可逆转换开关.....867
- 5 HZ 10 系列组合开关868
- 6 LW6 系列万能转换开关.....870
- 7 DZ4-25、DZ4-50型自动开关.....873
- 8 HK1系列开启式负荷开关873
- 9 JLXK1系列行程开关875
- 10 X2 系列行程开关.....877
- 11 LX12-2 型小行程开关.....877
- 12 JW 系列微动开关.....878
- 13 JW2 系列行程开关879
- 14 JLXK1-11 双断点微动开关880
- 15 WLX1-12 型晶体管无触点行程开关.....881
- 16 LXU 系列无触点行程开关882
- 17 KBP1 型拨盘开关884

四、电磁器件885

- 1 CJ10 系列交流接触器.....885
- 2 QC12 系列磁力起动器887
- 3 JL3 系列电磁式过电流继电器888
- 4 JZ7 系列交流中间继电器889
- 5 JZ02-44 型中间继电器890
- 6 JJDZ3 系列小型直流中间继电器890
- 7 JJDZ4 型直流中间继电器891
- 8 JS7-A、JJSK2 系列空气式时间继电器 ...892
- 9 JS11系列电动式时间继电器893
- 10 JS11型多回路时间继电器894
- 11 JS14A 晶体管时间继电器896
- 12 JFZ0 型反接制动继电器.....898
- 13 JJDM2 系列记数继电器、JDM1 系列
记数器900
- 14 BXF-25 系列步进选线器.....902
- 15 MQ1 系列牵引电 磁铁.....903
- 16 MFJ1 系列交流阀用电 磁铁905
- 17 MFZ1 系列直流阀用电 磁铁906

五、指示灯907

- 1 XD0、XD1 型信号灯907
- 2 XD3、XD4 型信号灯908

六、电气测量仪表909

- 1 1T1-AV型交流电流表与电压表.....909
- 2 1C2-AV型直流电流表与电压表.....909
- 3 85C1-AV、85L1-AV型交直流电流表与

电压表910

- 4 12C1-A 型直流微安表.....911
- 5 407、408型电秒表911

七、电阻器、电位器、电容器914

- 1 电阻器标称阻值系列 (摘自部标准
NE 0.010.000).....914
- 2 固定式电容器标称容量系列 (部标准
NE 0.010.001).....914
- 3 RT 型碳膜电阻器.....916
- 4 RJ 型金属膜电阻器.....917
- 5 RX1 型小型被釉线绕电阻器918
- 6 WH10 型微调炭膜电位器918
- 7 WT 型合成炭膜电位器920
- 8 WX3-11、12型线绕电位器921
- 9 WX25-1型线绕电位器921
- 10 BC1 系列瓷盘式线绕变阻器922
- 11 CZJX型小型金属化纸介 电容器.....923
- 12 CZJ2 型小型金属化纸介 电容器.....924
- 13 CDX-3型C0组小型电解电容器.....925
- 14 CDX-D 型耐寒大容量电解电容器.....925
- 15 CD 型电解电容器926
- 16 CA 型固体电解质钽电容器927
- 17 CAG型固体烧结钽粉电解电容器929

八、接插件、接线端子板930

- 1 CA-20J、CA-20K 型矩形插头座930
- 2 CY40 型印刷电路板插座.....930
- 3 X 系列接线板931
- 4 JX2 系列接线板932

九、辅助器件及电气常用材料933

- 1 JC1~JC4 软硬工作台灯933
- 2 JC5、JC6 机床工作灯934
- 3 Q 型油性漆包线、QQ 型高强度聚乙烯
缩醛漆包圆铜线及QZ 高强度聚酯漆包
圆铜线934
- 4 BV、BVR 型塑料绝缘电线.....936
- 5 BLX、BX、BBLX、BBX型单芯橡皮绝缘
电线936
- 6 ACBL型腊克安装线.....937
- 7 RVQ、RVZ 型塑料绝缘护套软线937
- 8 YHC型重型橡套电缆938
- 9 干电池939
- 10 TJ型金属软管尼龙接头941
- 11 GHV 型聚氯乙烯异型软管942
- 12 镀锌金属软管942
- 13 焊接钢管和电线管943

第十九章 液 压 传 动

近年来, 非标设备上越来越多地采用液压传动。例如, 专用喷油泵试验台上过去采用的变速电机传动, 已逐渐为液压无级变速传动所代替; 对于以往复直线运动传递动力的非标设备, 如开模机构、夹紧装置以及压力加工设备等, 都普遍采用液压油缸。液压传动的主要优点是结构紧凑、重量轻、体积小、工作较平稳、工作介质具有润滑性、磨损小、寿命长、布局灵活、易于控制以及容易实现自动化等。液压元件大部分已有标准系列, 一般都是大批生产, 质量有一定的保证。因此, 根据实际情况有选择地多采用液压传动, 对提高非标设备的工作性能和减少制造工作量都具有实际意义。

由于非标设备大多是单件或小批生产, 液压系统管道连接件的制造和装配质量因缺少专用工艺装置而不易得到保证。因此, 其漏油现象远较标准设备严重。有些液压传动对液压油的要求较高, 有时由于不重视油的清洁使节流孔或过滤器堵塞而引起故障。上述情况有时会使某些非标设备使用者产生错觉, 以为液压传动不可靠而不愿采用。其实, 只要合理设计连接密封结构, 定出必要的制造和装配技术条件, 适当采用集成块, 并从设计上重视油的清洁问题, 则上述问题是可以解决的。

一、液压传动的基本知识

1. 液体的重度、密度和比重

(1) 重度 液体单位体积的重量称为重度, 以 γ 表示:

$$\gamma = \frac{G}{V} \text{ (克/厘米}^3\text{)} \quad (19-1-1)$$

式中 G ——重量 (克);

V ——体积 (厘米³)。

(2) 密度 液体单位体积内所含的质量称为密度, 以 ρ 表示:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{G}{gV} = \frac{\gamma}{g} \text{ (克} \cdot \text{秒}^2\text{/厘米}^4\text{)} \quad (19-1-2)$$

式中 m ——质量 (克 \cdot 秒²/厘米);

g ——重力加速度 (980 厘米/秒²)。

(3) 比重 液体的密度与水在 4 °C 时的密度之比, 称为比重, 为无因次量。

液压油的比重在 0.89~0.92 范围内。

2. 压力

液体对器壁单位面积上的作用力称为压力 (又称压强)。压力最常采用的单位是 (公斤力/厘米²)。为简便起见, 以下都以 (公斤/厘米²) 表示。

在地球表面上任何与空气接触的物体都受有大气压力, 在海拔高度为零时, 它为 1.033

(公斤/厘米²), 称为标准大气压。在实用上都采用工程大气压。一工程大气压等于1(公斤/厘米²)。在液压传动中所采用的大气压单位, 一般都是指工程大气压。

对于静止的液体, 其压力随深度的增加而增大。因此, 也有采用液柱高度来表示压力的。各种压力单位的关系为:

$$1(\text{公斤/厘米}^2) = 1(\text{工程大气压}) = 10(\text{米水柱}) = 735.5(\text{毫米水银柱})$$

$$1(\text{标准大气压}) = 1.033(\text{公斤/厘米}^2)$$

一般压力表测出的压力, 并不包括大气所作用的压力, 故称为表压力。表压力加大气作用压力, 称为绝对压力。低于大气压力, 即出现所谓“真空”。它们之间的关系为:

$$\text{表压力} = \text{绝对压力} - \text{标准大气压力}$$

$$\text{真空度} = \text{标准大气压力} - \text{绝对压力}$$

液压传动所采用的压力为几个大气压到几百个大气压。习惯上常把压力分为低、中、高等多种压力等级范围。为了明确压力分级的界限, 一机部定出了压力分级标准(见表19-1-1)。

表19-1-1 压力分级 (JB 824-66)

压力分级	低 压	中 压	中 高 压	高 压	超 高 压
压力范围(公斤/厘米 ²)	0~25	>25~80	>80~160	>160~320	>320

3. 压力、流量与功率的关系

液体在单位时间内流过管道某一截面的体积, 称为液体的流量, 以Q表示:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{升/分}) \quad (19-1-3)$$

式中 V——液体流过的体积(升);

t——时间(分)。

液体流动时, 液压力通过液体所作的功等于压力与体积的乘积; 其功率则等于压力乘以流量。功率可分别用下列两式表示:

$$N = \frac{p \cdot Q}{450} \quad (\text{马力}) \quad (19-1-4)$$

或

$$N = \frac{p \cdot Q}{612} \quad (\text{千瓦}) \quad (19-1-5)$$

式中 p——压力(公斤/厘米²);

Q——流量(升/分)。

对于液压泵所需的功率, 还要考虑效率的影响。

4. 巴斯噶原理

大家知道, 用手摇试压泵做压力试验时, 不管被试容器或管道的形状和大小如何, 泵内液体所产生的压力, 都能以同等大小传递到被试容器或管道内的任何地方。这种在封闭

的任意形状容器内液体能传递相同压力的现象，叫做巴斯噶原理。图 19-1-1 表示一任意形状的密闭容器内充满液体，在面积等于 A_1 的活塞上作用一力 F_1 ，使液体产生压力 $p = F_1/A_1$ 。如果不计液体重量的影响，则根据巴斯噶原理，容器内任何地方都产生同样压力 p 。液体对面积等于 A_2 的活塞作用一力 F_2 ，则有 $F_2 = p \cdot A_2 = F_1 \cdot A_2/A_1$ ，即 $F_2/F_1 = A_2/A_1$ 。这个原理虽然简单，但却是液体静力学的基础。

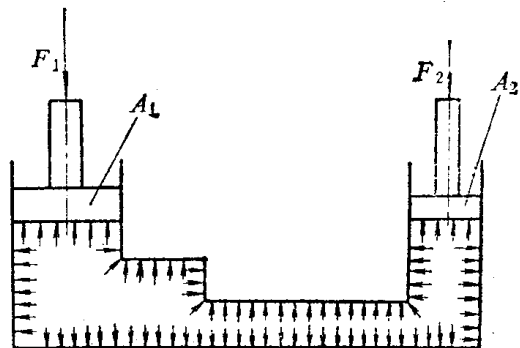


图19-1-1 液体传递压力的原理

5. 层流和紊流

液体在管道中流动时，可分为层流和紊流两种状态。

层流的特点是：各液层均沿管道轴线方向流动，互不干扰；速度按抛物线规律分布，管壁处流速为零，轴心处流速最大；液体质点的扰动小，流动阻力小。

紊流与层流相反：液体各质点作不定向和互相混杂的运动；沿管道轴线的速度分布比较均匀，靠近管壁的流速比层流大；由于流体扰动剧烈，流动损失比层流大。

为了减小液体的流动损失，避免液压系统发热，一般都希望管路中的流体处于层流状态。流动状态主要决定于流体的粘度和惯性力（直接与流速有关）。当粘度较大，流速较小时就可能出现层流；反之，可能出现紊流。

通过大量实验，得出判别流动状态的一个与粘度、流速和管道直径有关的数值，即所谓雷诺数 Re ，为无因次量。其表达式为：

$$Re = \frac{10000vd}{\nu} = \frac{2123Q}{\nu d} \quad (19-1-6)$$

式中 v —— 平均流速（米/秒）；
 d —— 管道内径（厘米）；
 ν —— 液体的运动粘度（厘沲）；
 Q —— 流量（升/分）。

对于一定的管道， Re 小于某一临界数值时，表示粘性阻力起主导作用，流体处于层流状态； Re 大于该数值时，惯性力增大到起主导作用，于是流体处于紊流或过渡状态。因此，只要知道管的“临界雷诺数”，就可以根据算出的 Re 值来判定流动状态。几种常用通道的临界雷诺数为：

内壁光滑的金属管	2000~2300
橡胶软管	1600~2000
光滑的同心圆环通道	1000~1100

6. 流体的机械能

在同一时间内，经过管道任一截面的液体所具有的机械能量是由三部分组成的：

(1) 动能 E_v ：

$$E_v = \frac{mv^2}{2} = \frac{Gv^2}{2g} \text{ (公斤} \cdot \text{米)} \quad (19-1-7)$$

式中 m ——液体质量 (公斤·秒²/米);
 v ——流速 (米/秒);
 g ——重力加速度 (9.8 米/秒²);
 G ——液体重量 (公斤)。

单位重量液体所具有的动能称速度头, 以 e_v 表示:

$$e_v = \frac{v^2}{2g} \text{ (米)} \quad (19-1-8)$$

(2) 位能 E_h :

$$E_h = Gh \text{ (公斤} \cdot \text{米)} \quad (19-1-9)$$

式中 h ——液体相对高度 (米)。

单位重量液体所具有的位能称静压头, 以 e_h 表示:

$$e_h = h \text{ (米)} \quad (19-1-10)$$

(3) 压力通过液体所作的功称为压力能 E_p :

$$E_p = p \cdot V = p \frac{G}{\gamma} \text{ (公斤} \cdot \text{米)} \quad (19-1-11)$$

式中 p ——压力 (公斤/米²);
 V ——液体体积 (米³);
 γ ——液体重度 (公斤/米³)。

单位重量液体所具有的压力能称为压力头, 以 l_p 表示:

$$l_p = \frac{p}{\gamma} \text{ (米)} \quad (19-1-12)$$

7. 柏努利方程式

根据上节所述, 在图 19-1-2 中, 流经截面“1”处的单位重量液体所具有的总能量为:

$$l_1 = \frac{v_1^2}{2g} + h_1 + p_1/\gamma \quad (19-1-13)$$

对于截面“2”:

$$l_2 = \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + p_2/\gamma \quad (19-1-14)$$

连续流动的理想液体 (没有内摩擦、不可压缩), 在同一时间内流经各截面的流量 (也就是重量) 应该相等。根据能量守恒原理, 流经各截面的液体的总能量也应该相等, 即:

$$\frac{v_1^2}{2g} + h_1 + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + \frac{p_2}{\gamma} = \text{常数} \quad (19-1-15)$$

上式称为理想流体的柏努利方程式。

实际上, 液体流动时总会有能量损失, 因此, 实际流体的柏努利方程式为:

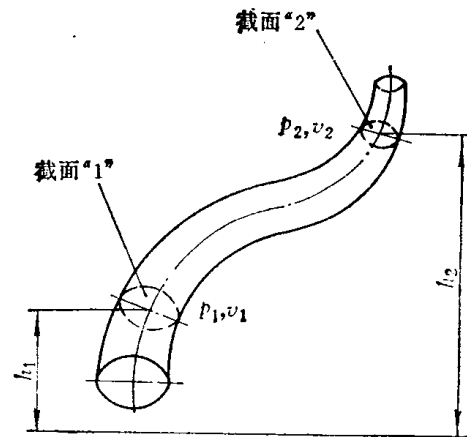


图19-1-2 连续流体

$$\frac{v_1^2}{2g} + h_1 + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \Delta l \quad (19-1-16)$$

式中 Δl ——液体流动中的能量损失。

8. 气穴和气蚀

当液体压力低到一定程度时，溶解在液体中的空气就会析出，产生大量气泡，这种现象称为气穴。在液压系统中，液体在低压区产生的气泡，在流入高压区后很快被压灭。冲向气泡中心的液体猛烈互相碰撞，造成局部高温高压，引起振动和噪声，会使附近金属表面产生好像被腐蚀的小坑，这种现象称为气蚀。

气蚀不但损坏液压元件的表面，缩短使用寿命，而且产生噪音和振动，使油泵容积效率显著降低，压力波动，影响系统正常工作。

气穴常出现在阀件强烈节流和油泵进口管道产生局部负压的地区。因此，应使节流比小一些，并注意进油管流速不要过大，尽量缩小吸入高度。

9. 液压冲击

液体流速急剧变化时，会引起液体压力瞬时升高，这种现象称为液压冲击，在水力学中叫做水锤现象。液压冲击的瞬时压力，往往高出工作压力好几倍，容易造成零件损坏及密封失效。

影响液压冲击压力的因素很多，主要有液体流速、速度改变的时间、流体及管路的弹性等。由于这些因素不易确定，故在设计中很少采用计算方法来确定冲击压力。通常可采取下列措施来消除液压冲击：

- (1) 在可能出现液压冲击的地方，增设限压溢流阀；
- (2) 用电-液换向阀代替电动换向阀以增加换向时间，可显著降低冲击压力；
- (3) 在油缸上设置缓冲装置；
- (4) 设置蓄能器或采用软管；
- (5) 在滑阀上倒角或开三角槽。

二、液体通过孔道和缝隙的计算

下面介绍在非标设备设计中可能遇到的各种通道和缝隙的流量和压力计算，所列的计算公式以层流为条件。

1. 圆管通道 (见图 19-2-1)

液体通过圆管时的流量为：

$$Q = \frac{\pi d^4 \Delta p}{128 \mu l} \quad (\text{厘米}^3/\text{秒}) \quad (19-2-1)$$

式中 d ——管内径 (厘米)；
 μ ——绝对粘度 (公斤·秒/厘米²)；
 l ——管长 (厘米)；

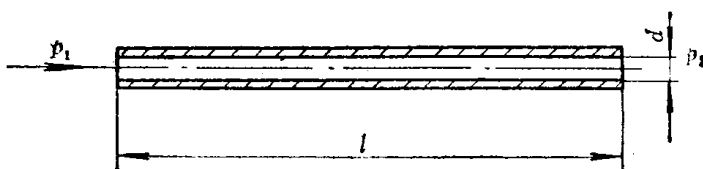


图 19-2-1 圆管通道

$\Delta p = p_1 - p_2$ ——压力差 (公斤/厘米²)。

若流量已知, 则通过圆管时的压力降为:

$$\Delta p = \frac{128\mu l Q}{\pi d^4} \quad (\text{公斤/厘米}^2) \quad (19-2-2)$$

2. 薄壁节流孔 (见图 19-2-2)

所谓薄壁节流孔, 是指壁厚 δ 小于孔径 d 的情况, 其流量为:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} K \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \Delta p} \quad (\text{厘米}^3/\text{秒}) \quad (19-2-3)$$

式中 K ——流量系数, 对液压油可取 0.6~0.73;

d ——孔径 (厘米);

g ——重力加速度 (980 厘米/秒²);

γ ——液体的重度 (公斤/厘米³), 液压油可取 $\gamma = 0.9 \times 10^{-3}$ (公斤/厘米³);

Δp ——压力差 (公斤/厘米²)。

从公式 (19-2-3) 可看出, 粘性对流量的影响已略去不计。

若流量已知, 则其压力降为:

$$\Delta p = \frac{8Q^2\gamma}{g\pi^2 d^4 K^2} \approx \frac{Q^2\gamma}{12d^4 K^2} \quad (\text{公斤/厘米}^2) \quad (19-2-4)$$

经过节流孔时的实际流速 (收缩断面的流速):

$$v = K_v \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \Delta p} \quad (\text{厘米/秒}) \quad (19-2-5)$$

式中 K_v ——速度系数, 一般可取 0.97。

3. 两平行壁间隙 (见图 19-2-3)

在压力差 $\Delta p = p_1 - p_2$ 的作用下, 流经两平行壁间隙的流量为:

$$Q = \frac{b\delta^3 \Delta p}{12\mu l} \quad (\text{厘米}^3/\text{秒}) \quad (19-2-6)$$

式中 b ——缝隙宽度 (厘米);

δ ——缝隙厚度 (厘米)。

由公式 (19-2-6) 可以看出, 减小漏泄量最有效的办法是缩小缝隙厚度。

流经平行壁间隙的压力降为:

$$\Delta p = \frac{12\mu l Q}{b\delta^3} \quad (\text{公斤/厘米}^2) \quad (19-2-7)$$

平均流速为:

$$v = \frac{\delta^2 \Delta p}{12\mu l} \quad (\text{厘米}^3/\text{秒}) \quad (19-2-8)$$

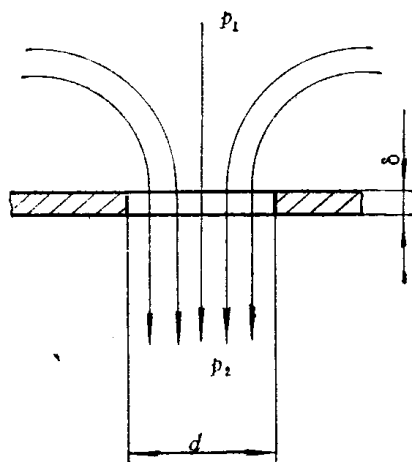


图19-2-2 薄壁节流孔

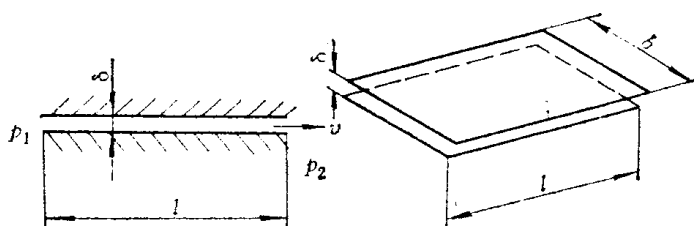


图19-2-3 两平行壁间隙

4. 圆环通道 (见图 19-2-4)

流经圆环通道的流量为:

$$Q = \frac{\pi d \delta^3 \Delta p}{12 \mu l} \quad (\text{厘米}^3/\text{秒}) \quad (19-2-9)$$

式中 d —— 圆环截面内径 (厘米);

$\delta = (D - d)/2$ (厘米), 其中 D 为圆环截面外径 (厘米)。

压力降为:

$$\Delta p = \frac{12 \mu l Q}{\pi d \delta^3} \quad (\text{公斤}/\text{厘米}^2) \quad (19-2-10)$$

平均流速为:

$$v = \frac{d \delta^2 \Delta p}{6 \mu l (D + d)} \quad (\text{厘米}/\text{秒}) \quad (19-2-11)$$

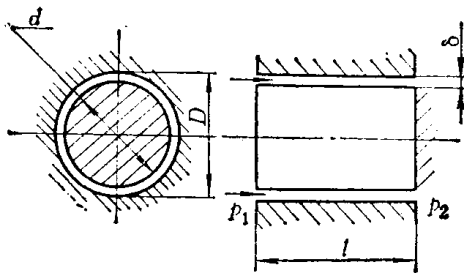


图19-2-4 圆环通道

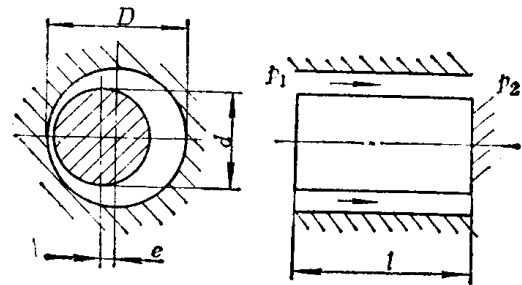


图19-2-5 偏心圆环通道

5. 偏心圆环通道 (图 19-2-5)

流经偏心圆环通道的流量为:

$$Q = \frac{\pi d \delta^3 \Delta p}{12 \mu l} (1 + 1.5 \varepsilon^2) \quad (\text{厘米}^3/\text{秒}) \quad (19-2-12)$$

式中 ε —— 相对偏心率, 定义为 $\varepsilon = e/\delta$, e (厘米) 为偏心距;

$\delta = (D - d)/2$ (厘米)。

压力降为:

$$\Delta p = \frac{12 \mu l Q}{\pi d \delta^3 (1 + 1.5 \varepsilon^2)} \quad (\text{公斤}/\text{厘米}^2) \quad (19-2-13)$$

平均流速为:

$$v = \frac{d \delta^2 \Delta p}{6 \mu l (D + d)} (1 + 1.5 \varepsilon^2) \quad (\text{厘米}/\text{秒}) \quad (19-2-14)$$

6. 圆环放射流动通道 (见图 19-2-6)

两平行圆板 (其中一为圆环) 之间的间隙为 δ , 流体往外成放射状流动时, 其流量为:

$$Q = \frac{\pi \delta^3 \Delta p}{6 \mu \ln(R_2/R_1)} \quad (\text{厘米}^3/\text{秒}) \quad (19-2-15)$$

式中 R_1 ——圆环板内径 (厘米);
 R_2 ——圆环板外径 (厘米)。

在圆板任意半径 R 处的压力为:

$$p = p_1 - \frac{\ln(R/R_1)\Delta p}{\ln(R_2/R_1)} \text{ (公斤/厘米}^2\text{)} \quad (19-2-16)$$

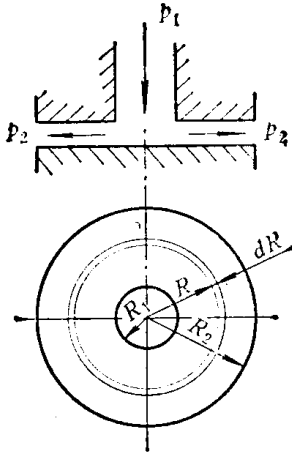


图19-2-6 圆环放射流动通道

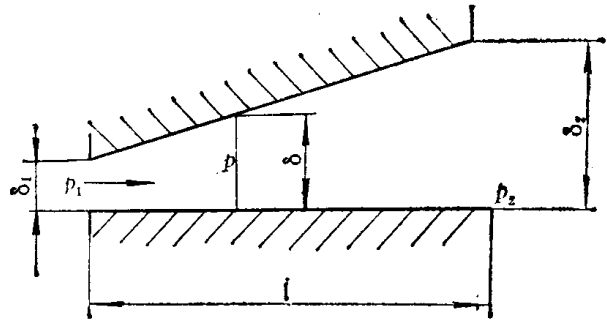


图19-2-7 倾斜壁渐大通道

7. 倾斜壁渐大通道 (见图 19-2-7)

在图 19-2-7 中, 垂直于纸面的宽度为 b , 入口间隙 δ_1 小于出口间隙 δ_2 , 在压力差 Δp 作用下, 其流量为:

$$Q = \frac{b(\delta_1\delta_2)^2\Delta p}{6\mu l(\delta_1 + \delta_2)} \text{ (厘米}^3\text{/秒)} \quad (19-2-17)$$

在任意间隙 δ ($\delta_2 > \delta > \delta_1$) 处的压力为:

$$p = p_1 - \frac{\Delta p}{1 - \delta_1^2/\delta_2^2} \left[1 - \left(\frac{\delta_1}{\delta} \right)^2 \right] \text{ (公斤/厘米}^2\text{)} \quad (19-2-18)$$

8. 圆锥体与圆孔构成的通道 (见图 19-2-8)

液体流经圆环间隙 δ_1 变大为圆环间隙 δ_2 的通道, 其流量为:

$$Q = \frac{\pi d \Delta p (\delta_1 \delta_2)^2}{6\mu l (\delta_1 + \delta_2)} \text{ (厘米}^3\text{/秒)} \quad (19-2-19)$$

其压力降为:

$$\Delta p = \frac{6\mu l Q (\delta_1 + \delta_2)}{\pi d (\delta_1 \delta_2)^2} \text{ (公斤/厘米}^2\text{)} \quad (19-2-20)$$

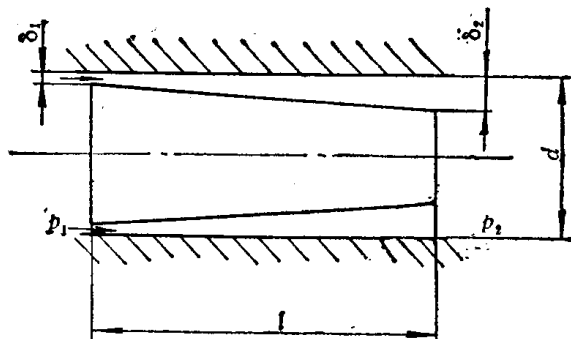


图19-2-8 圆锥体与圆孔构成的通道

9. 等长台阶圆柱体与圆孔构成的通道 (见图 19-2-9)

液体通过两等长台阶与圆孔构成的两段圆环通道, 其流量为:

$$Q = \frac{\pi d \Delta p (\delta_1 \delta_2)^3}{6\mu l (\delta_1^3 + \delta_2^3)} \quad (\text{厘米}^3/\text{秒}) \quad (19-2-21)$$

其压力降为：

$$\Delta p = \frac{6\mu l Q (\delta_1^3 + \delta_2^3)}{\pi d (\delta_1 \cdot \delta_2)^3} \quad (\text{公斤}/\text{厘米}^2) \quad (19-2-22)$$

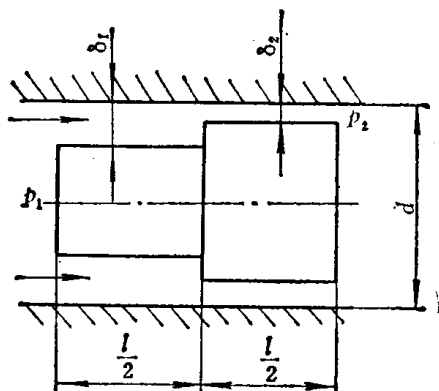


图19-2-9 等长台阶圆柱体与圆孔构成的通道

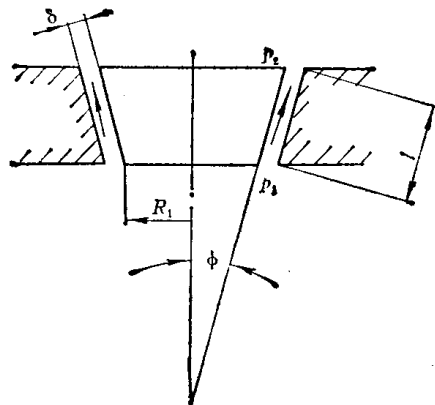


图19-2-10 锥体与锥孔构成的通道

10. 锥体与锥孔构成的通道 (见图 19-2-10)

液体从小锥间隙流向大锥间隙，其流量为：

$$Q = \frac{\pi \delta^3 \Delta p \sin \phi}{6\mu \ln(R_2/R_1)} \quad (\text{厘米}^3/\text{秒}) \quad (19-2-23)$$

式中 ϕ ——锥顶半角 (弧度)；
 R_1 ——小锥半径 (厘米)；
 R_2 ——大锥半径 (厘米)。

其压力降为：

$$\Delta p = \frac{6\mu Q \ln(R_2/R_1)}{\pi \delta^3 \sin \phi} \quad (\text{公斤}/\text{厘米}^2) \quad (19-2-24)$$

三、液 压 油

1. 液压油的主要性质

(1) 粘性和粘度 液体在管道中流动时，液体与管壁相接触的边界层流速为零，在管道轴线处的流速最大。相邻的两液层因流速不同而产生摩擦力。流动液体内部产生摩擦力的这种性质，叫做液体的粘性；表示粘性大小的物理量叫做粘度。粘度有三种表示方法：

1) 绝对粘度 (动力粘度) μ 绝对粘度表示相邻两层流在一定距离、一定相对流速下单位接触面积上所产生的摩擦力。在实用单位制中以公斤·秒/厘米²表示；工程单位制中以公斤·秒/米²表示；绝对单位为达因·秒/厘米²，或称泊。它们之间的换算关系为：

$$1 (\text{公斤} \cdot \text{秒}/\text{米}^2) = 98 (\text{泊}) = 9800 (\text{厘泊})$$

$$1 (\text{泊}) = 1 (\text{达因} \cdot \text{秒}/\text{厘米}^2)$$