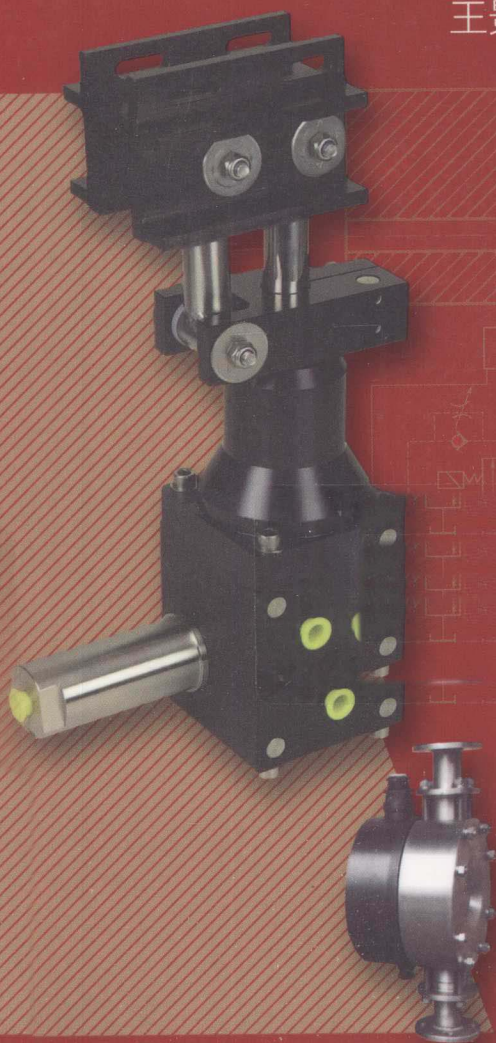


# 液压系统设计 技巧与禁忌

韩桂华 主编

王景峰 乔玉晶 副主编



YEYA  
XITONG  
SHEJI  
JIQIAO YU  
JINJI



化学工业出版社

# 液压系统设计 技巧与禁忌

韩桂华 主 编  
王景峰 乔玉晶 副主编



化学工业出版社

·北京·

**图书在版编目 (CIP) 数据**

液压系统设计技巧与禁忌/韩桂华主编. —北京: 化学工业出版社, 2011. 2

ISBN 978-7-122-09961-7

I. 液… II. 韩… III. 液压系统-系统设计 IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 228827 号

---

责任编辑: 贾 娜  
责任校对: 顾淑云

装帧设计: 尹琳琳

---

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: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 18 $\frac{3}{4}$  字数 501 千字 2011 年 3 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: 49.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

随着国民经济和现代技术的发展，液压技术的应用范围不断扩大，从事液压设备设计的工程技术人员越来越多。液压系统的高效优质设计非常重要，设计过程中的基础性和一般性问题必须予以充分重视。

液压工程技术人员必须全面掌握液压系统的工作原理、元件的选用与设计、液压回路的设计等方法。在设计过程中，经常会出现一些因设计时考虑不周或参数设定不当，造成系统达不到设计要求或不能正常工作，以至于不得不改进设计或采取应急对策的情况。为此，我们将液压元件设计、液压系统设计计算的技巧与设计禁忌有机结合，以问题的形式展现出来，同时结合多年从事液压系统教学、科研所积累的丰富经验，尤其是根据在液压系统设计实践中遇到的各种问题，提出了设计中应该注意的问题。

本书从正反两面阐述了液压传动的应用场合、液压元辅件的选用、液压回路及液压系统的设计，对设计中出现的问题进行了详细分析，总结了设计过程中的技巧与禁忌。书中以大量的工程设计实例为基本素材，在阐述液压系统设计计算基本理论和方法的基础上，从工程应用角度出发，剖析和论述了这些实例中造成系统不能正常工作的原因，并提出了改进设计的有效对策，旨在使广大读者吸取经验教训，掌握液压系统设计的正确方法和技能。

本书实用性强，内容简明扼要，深入浅出，以图文并茂的形式进行正误分析，可以帮助读者在短时间内掌握液压传动系统的设计技巧，对从事流体传动、液压设备设计的工程技术人员及相关专业大专院校师生具有指导意义。

本书由哈尔滨理工大学韩桂华主编，东北林业大学王景峰、哈尔滨理工大学乔玉晶任副主编，哈尔滨理工大学吴博、周德繁、王晓晶，齐齐哈尔二机床集团有限公司设计院周桂兰参与了编写。其中，吴博、周德繁编写第1章和第9章，周桂兰编写第2章和第3章，王晓晶编写第4章和第5章，王景峰编写第6章，乔玉晶编写第7章，韩桂华编写第8章并负责全书统稿。

由于编者水平所限，书中不足之处在所难免，敬请广大读者和专家批评指正。

编 者

# 目 录

<b>第 1 章 传动系统的选型</b> .....	1
1.1 适宜采用液压传动的场合 .....	1
1.2 不适宜采用液压传动的场合 .....	2
<b>第 2 章 液压缸设计</b> .....	3
2.1 液压缸选型原则 .....	3
2.2 液压缸参数计算 .....	3
【问题 1】 缸筒内径与活塞杆外径的关系 .....	3
【问题 2】 对液压缸缸筒长度的要求 .....	4
【问题 3】 最小导向长度的确定 .....	4
【问题 4】 缸筒形位公差的确 定 .....	5
【问题 5】 液压缸的校核问题 .....	6
2.3 液压缸结构设计 .....	7
【问题 1】 缸体端部连接结构问题 .....	7
【问题 2】 缸体材料选用问题 .....	10
【问题 3】 缸体设计技术条件 .....	10
【问题 4】 端盖问题 .....	10
【问题 5】 活塞与活塞杆的连接 .....	10
【问题 6】 活塞材料的选择 .....	11
【问题 7】 活塞设计技术条件要求 .....	11
【问题 8】 活塞设计问题 .....	11
【问题 9】 液压缸排气问题 .....	12
2.4 液压缸安装形式 .....	13
【问题 1】 轴线固定式安装技巧 .....	13
【问题 2】 轴线摆动式安装技巧 .....	14
【问题 3】 负载导向问题 .....	16
【问题 4】 液压缸安装注意问题 .....	16
2.5 液压缸缓冲装置设计 .....	18
【问题 1】 缓冲装置类型设计 .....	18
【问题 2】 缓冲装置的适用性问题 .....	20
【问题 3】 缓冲机构的形式 .....	21
【问题 4】 液压缸的缓冲计算 .....	21
2.6 液压缸密封件 .....	22
【问题 1】 密封形式和密封间隙的设计 .....	22
【问题 2】 密封沟槽尺寸设计与设置 .....	23
2.7 液压缸使用的工作介质 .....	25
【问题 1】 环境温度要求下的工作介质 .....	25
【问题 2】 不同液压缸结构对介质的黏度 .....	25
和过滤精度要求 .....	25
2.8 液压缸出厂检验问题 .....	25
【问题 1】 检验用油要求 .....	25
【问题 2】 检验项目要求 .....	25
<b>第 3 章 液压马达设计</b> .....	27
3.1 液压马达 .....	27
【问题 1】 液压马达与液压泵通用的 .....	27
问题 .....	27
【问题 2】 液压马达类型选择问题 .....	27
【问题 3】 液压马达参数确定问题 .....	29
3.2 液压马达使用 .....	29
【问题 1】 液压马达启动问题 .....	29
【问题 2】 系统冲击问题 .....	30
【问题 3】 液压马达转速限制问题 .....	31
【问题 4】 液压马达的连接问题 .....	32
【问题 5】 多液压马达回路设计问题 .....	33
【问题 6】 液压马达的泄漏问题 .....	34
3.3 各型液压马达的选用 .....	35
【问题 1】 齿轮马达 .....	35
【问题 2】 曲轴连杆式液压马达 .....	35
【问题 3】 双斜盘轴向柱塞马达 .....	35
【问题 4】 内曲线径向柱塞马达 .....	36
【问题 5】 轴向球塞式液压马达 .....	37
【问题 6】 摆线齿轮液压马达 .....	37
【问题 7】 摆动液压马达 .....	38
<b>第 4 章 液压泵选用</b> .....	40
4.1 液压泵选用 .....	40
【问题 1】 液压泵类型选择问题 .....	40

【问题 2】 液压泵参数确定问题	41	4.3 液压泵安装	48
【问题 3】 变量泵组成的闭式系统设计问题	43	【问题 1】 液压泵的安装问题	48
【问题 4】 液压泵在回路中的问题	44	【问题 2】 吸油管连接问题	49
【问题 5】 油温和黏度选用问题	45	【问题 3】 泄油管连接问题	50
4.2 液压泵运行	46	4.4 各型液压泵的选用	51
【问题 1】 自吸问题	46	【问题 1】 齿轮泵	51
【问题 2】 倒灌自吸问题	47	【问题 2】 螺杆泵	52
【问题 3】 立式安装油泵的自吸问题	47	【问题 3】 叶片泵	52
【问题 4】 液压泵的启动禁忌	47	【问题 4】 斜盘式轴向柱塞泵	54
【问题 5】 带负载运转问题	48	【问题 5】 斜轴式轴向柱塞泵	56
【问题 6】 冷却问题	48	【问题 6】 径向柱塞泵的选用问题	58
<b>第 5 章 液压控制阀选用</b>	59		
5.1 压力控制阀	59	5.7 电磁换向阀	68
【问题 1】 压力确定	59	【问题 1】 电磁换向阀的切换时间及过渡位置机能	68
【问题 2】 流量确定	59	【问题 2】 电磁换向阀与电液换向阀的选用问题	68
【问题 3】 结构类型确定	59	【问题 3】 电磁换向阀与电液换向阀的电源使用问题	69
5.2 溢流阀	60	【问题 4】 电磁换向阀的安装问题	69
【问题 1】 溢流阀选用	60	【问题 5】 电磁换向阀的使用问题	70
【问题 2】 溢流阀使用	61	5.8 电液换向阀	70
【问题 3】 溢流阀配管问题	62	【问题 1】 电液换向阀的供油方式	71
5.3 减压阀	63	【问题 2】 先导控制油回油方式	72
【问题 1】 减压阀应用场合的限制	63	【问题 3】 电液换向阀控制油压问题	72
【问题 2】 减压阀的超调问题	64	5.9 单向阀	73
【问题 3】 减压阀的流量问题	64	【问题 1】 液控单向阀的泄压方式	73
【问题 4】 减压阀安装	64	【问题 2】 单向阀开启压力问题	74
5.4 顺序阀	64	【问题 3】 单向阀安装	74
【问题 1】 顺序阀选用	64	5.10 流量控制阀	75
【问题 2】 顺序阀与溢流阀区别	65	【问题 1】 节流阀口的结构形式	75
【问题 3】 顺序阀职能符号与溢流阀和减压阀的区别	65	【问题 2】 节流阀流量调节问题	76
5.5 压力继电器	66	【问题 3】 调速阀流量调节问题	76
【问题 1】 压力继电器选用	66	【问题 4】 调速阀进出油腔的连接问题	77
【问题 2】 灵敏度降低	66	【问题 5】 流量阀连接问题	77
【问题 3】 压力继电器安装位置	66	5.11 其他阀	78
5.6 方向控制阀	67	【问题 1】 叠加阀使用	78
【问题 1】 方向控制阀中位机能选择问题	67	【问题 2】 插装阀使用问题实例	80
【问题 2】 手动与机动换向阀操纵方式	67		
<b>第 6 章 液压辅件设计及应用</b>	81		
6.1 蓄能器选用禁忌	81	【问题 4】 液位控制的问题	82
【问题 1】 蓄能器的有效容积计算	81	【问题 5】 蓄能器与液压泵间的连接问题	83
【问题 2】 设计系统时如何使用蓄能器	81	【问题 6】 蓄能器安装易出现的问题	83
【问题 3】 截止阀问题	82		

【问题 7】 蓄能器吸收压力脉动时的 问题.....	84	【问题 8】 板式冷却器使用时应注意的 问题.....	93
【问题 8】 蓄能器充气问题.....	84	【问题 9】 电磁水阀的使用电压应与系统 控制电压一致.....	93
6.2 滤油器 .....	85	【问题 10】 加热器问题 .....	94
【问题 1】 滤油器的作用及性能.....	85	6.4 密封件使用 .....	95
【问题 2】 过滤器通流能力确定.....	85	【问题 1】 一般密封件安装问题.....	96
【问题 3】 过滤精度选择.....	86	【问题 2】 O形橡胶密封圈的使用场合.....	97
【问题 4】 滤芯选择问题.....	86	【问题 3】 O形圈的间隙挤出问题.....	97
【问题 5】 过滤器放置位置问题.....	88	【问题 4】 O形圈安装禁忌.....	98
【问题 6】 过滤器安装问题.....	89	【问题 5】 Y形密封圈的使用 .....	100
6.3 热交换器 .....	91	【问题 6】 V形及组合唇形密封圈 .....	101
【问题 1】 冷却器安装位置问题.....	91	【问题 7】 其他唇形密封圈 .....	102
【问题 2】 冷却器通流能力问题.....	92	【问题 8】 油封设计问题 .....	103
【问题 3】 冷却面积确定问题.....	92	【问题 9】 密封胶涂胶过程注意问题 .....	106
【问题 4】 冷却水管表面结露问题.....	92	【问题 10】 其他密封件使用问题.....	108
【问题 5】 防止结垢问题.....	92		
【问题 6】 冷却介质问题.....	93		
【问题 7】 管式冷却器使用时应注意的 问题.....			

## 第 7 章 液压回路设计 .....

7.1 压力控制回路设计 .....	110	【问题 2】 平衡回路冲击和干涉问题 .....	131
7.1.1 调压回路 .....	110	【问题 3】 油缸下行过程中发生振动 .....	132
【问题 1】 调压方式问题 .....	110	【问题 4】 采用单向顺序阀的平衡回路 问题 .....	133
【问题 2】 压力调定参数不当的问题 .....	111	7.1.6 保压与泄压回路 .....	134
【问题 3】 压力参数调节失灵问题 .....	112	【问题 1】 保压方式问题 .....	134
【问题 4】 二级调压回路中的问题 .....	112	【问题 2】 不保压问题 .....	135
【问题 5】 压力阀之间干扰问题 .....	113	【问题 3】 保压回路中出现冲击、振动和 噪声 .....	136
【问题 6】 溢流阀控制油路的泄漏问题 .....	115	【问题 4】 泄压方式问题 .....	136
【问题 7】 液压泵的出口封闭问题 .....	116	【问题 5】 泄压回路设计不当导致“炮鸣 现象” .....	137
7.1.2 减压回路 .....	117	7.2 方向控制回路设计 .....	140
【问题 1】 减压回路设计要注意的问题 .....	117	7.2.1 换向回路 .....	140
【问题 2】 减压回路元件设置问题 .....	117	【问题 1】 换向方式的选择问题 .....	140
【问题 3】 减压回路工作压力不稳定 问题 .....	117	【问题 2】 换向回路中控制阀的选择 .....	142
7.1.3 卸荷回路 .....	119	【问题 3】 滑阀没有完全回位问题 .....	143
【问题 1】 卸荷方式选择问题 .....	119	【问题 4】 换向阀选用不当引起的问题 .....	144
【问题 2】 卸荷阀的选择问题 .....	121	【问题 5】 换向引起液压冲击问题 .....	144
【问题 3】 卸荷回路振动问题 .....	121	【问题 6】 换向阀换向滞后问题 .....	145
【问题 4】 卸荷回路设计中出现的问 题 .....	122	7.2.2 锁紧回路 .....	146
7.1.4 顺序动作回路 .....	125	【问题 1】 锁紧方式选择问题 .....	146
【问题 1】 顺序回路的实现方式问题 .....	125	【问题 2】 锁紧回路换向阀中位机能不当 问题 .....	147
【问题 2】 顺序动作不正常 .....	126	【问题 3】 液控单向阀锁紧回路问题 .....	149
【问题 3】 压力调定值不匹配问题 .....	127	【问题 4】 液控单向阀泄压方式不当 问题 .....	149
【问题 4】 速度和顺序同时控制问题 .....	129		
【问题 5】 变载回路设计问题 .....	130		
7.1.5 平衡回路 .....	131		
【问题 1】 平衡方式问题 .....	131		

【问题 5】 锁紧回路泄漏问题 .....	150	【问题 3】 大功率液压系统的调速问题 ...	160
【问题 6】 液压缸下行油路压力过低 问题 .....	150	【问题 4】 容积调速回路溢流阀设置 问题 .....	160
7.2.3 液控回路 .....	150	【问题 5】 恒力矩驱动回路应用场合 .....	160
【问题 1】 液动阀选择 .....	151	【问题 6】 恒功率驱动回路应用场合 .....	161
【问题 2】 控制油路无压力问题 .....	151	【问题 7】 液压马达产生超速运动问题 ...	162
7.3 速度控制回路设计 .....	152	【问题 8】 液压马达不能迅速停住的 问题 .....	162
7.3.1 节流调速回路 .....	152	【问题 9】 液压马达的气穴问题 .....	162
【问题 1】 节流调速回路节流方式选择 问题 .....	152	7.3.3 快速运动和速度换接回路 .....	163
【问题 2】 节流阀调速不稳定问题 .....	154	【问题 1】 快速运动回路选择 .....	163
【问题 3】 局部调整对全局的影响 .....	155	【问题 2】 快进和工进换接回路的选择 ...	165
【问题 4】 节流阀前后压差问题 .....	155	【问题 3】 快进和工进运动的速度换接 回路的噪声问题 .....	166
【问题 5】 调速阀调速出现前冲现象 .....	156	【问题 4】 两种工进换接回路的选择 .....	168
【问题 6】 调速阀前后压差问题 .....	158	7.3.4 多缸同步回路 .....	169
【问题 7】 调速回路中控制阀出现的 问题 .....	158	【问题 1】 同步问题 .....	169
7.3.2 容积调速回路 .....	159	【问题 2】 容积控制式同步回路的问题 ...	169
【问题 1】 双向变量泵调速换向问题 .....	159	【问题 3】 流量控制式同步回路问题 .....	172
【问题 2】 大惯量频繁启动系统的节能 问题 .....	160	【问题 4】 伺服控制式同步回路问题 .....	173
<b>第 8 章 液压系统设计与计算</b> .....	175		
8.1 液压系统的设计步骤 .....	175	【问题 7】 油箱中油管的设置问题 .....	212
【问题 1】 液压系统的设计要求 .....	175	【问题 8】 液压泵站调压问题 .....	213
【问题 2】 系统负载分析和负载图的 编制 .....	175	【问题 9】 液压泵站注油禁忌 .....	214
【问题 3】 确定液压系统的主要参数 .....	177	8.4 液压集成回路的设计 .....	214
【问题 4】 拟定液压系统原理图 .....	179	【问题 1】 液压集成块尺寸标注问题 .....	215
【问题 5】 计算和选择液压元件 .....	181	【问题 2】 材料选择问题 .....	215
【问题 6】 液压系统的性能验算 .....	185	【问题 3】 集成块各部位表面粗糙度 要求 .....	215
【问题 7】 绘制液压系统工作图、编制 技术文件 .....	190	【问题 4】 集成块孔加工问题 .....	216
8.2 机床液压系统设计应用实例 .....	191	【问题 5】 组合铣床的液压集成回路设计 问题 .....	217
【问题 1】 负载分析 .....	191	8.5 液压系统设计 .....	219
【问题 2】 确定液压缸的参数 .....	192	【问题 1】 系统中液压元件及辅件选择 问题 .....	219
【问题 3】 拟订液压系统方案 .....	194	【问题 2】 系统中液压元件及辅件设置 问题 .....	228
【问题 4】 选择液压元件 .....	195	【问题 3】 系统中液压回路构成问题 .....	231
【问题 5】 机床液压系统主要性能的 验算 .....	196	【问题 4】 系统中液压管路配置问题 .....	240
8.3 液压泵站的设计 .....	196	8.6 液压系统图的阅读技巧 .....	242
【问题 1】 液压泵站整体结构问题 .....	197	【问题 1】 液压系统原理图阅读步骤 .....	242
【问题 2】 液压泵与油箱安装问题 .....	201	【问题 2】 了解系统 .....	243
【问题 3】 油箱类型选择问题 .....	202	【问题 3】 粗略分析 .....	245
【问题 4】 油箱容量的确定问题 .....	205	【问题 4】 整理和简化油路 .....	248
【问题 5】 油箱结构设计问题 .....	206	【问题 5】 将系统分解成子系统 .....	250
【问题 6】 油箱的内壁问题 .....	211		



【问题 6】 分析子系统 .....	251	【问题 8】 总结系统特点 .....	255
【问题 7】 确定子系统的连接关系 .....	253		
<b>第 9 章 液压系统的使用与管理 .....</b>	<b>258</b>		
9.1 流体连接件的安装 .....	258	【问题 3】 如何正确使用液压油 .....	272
【问题 1】 油管的选择问题 .....	258	【问题 4】 高水基液的使用问题 .....	272
【问题 2】 管路的检查 .....	259	【问题 5】 油温控制问题 .....	273
【问题 3】 油管参数设计问题 .....	260	【问题 6】 液压油的污染源问题 .....	274
【问题 4】 弯曲油管的加工 .....	261	【问题 7】 液压油的污染防治 .....	275
【问题 5】 管道的防振问题 .....	261	【问题 8】 液压油的清洁问题 .....	276
【问题 6】 管道的连接问题 .....	262	9.4 液压系统清洗问题 .....	277
【问题 7】 吸油管的安装问题 .....	262	【问题 1】 液压系统应该达到怎样的清	
【问题 8】 回油管的安装问题 .....	262	洁度 .....	277
【问题 9】 压油管的安装问题 .....	263	【问题 2】 液压系统的实用清洗方法 .....	278
【问题 10】 软管的选用问题 .....	263	【问题 3】 液压系统的两次清洗 .....	278
【问题 11】 橡胶软管的安装问题 .....	264	【问题 4】 油路及油箱的清洗问题 .....	280
【问题 12】 设计液压系统时, 如何选用管		9.5 液压系统的调试 .....	281
接头 .....	264	【问题 1】 液压系统调试前的准备 .....	281
【问题 13】 布管时应注意的问题 .....	267	【问题 2】 液压系统的调试 .....	282
9.2 液压元件的安装 .....	267	【问题 3】 液压系统的试压 .....	283
【问题 1】 液压阀类元件的安装 .....	268	【问题 4】 液压系统的运转启动问题 .....	283
【问题 2】 液压缸的安装 .....	268	9.6 液压系统的使用、维护和保养 .....	284
【问题 3】 液压泵如何安装 .....	268	【问题 1】 液压系统的日常检查 .....	284
【问题 4】 液压系统的辅件如何安装 .....	269	【问题 2】 防止空气进入系统 .....	285
9.3 液压油的使用与维护 .....	270	【问题 3】 检修液压系统的注意事项 .....	285
【问题 1】 怎样合理选择液压油 .....	270	【问题 4】 棉花打包机液压系统安装、	
【问题 2】 液压油使用中出现的问		调试、使用与维护 .....	286
	271		
<b>参考文献 .....</b>	<b>290</b>		

# 第 1 章 传动系统的选型

## 1.1 适宜采用液压传动的场合

表 1-1 适宜采用液压传动的场合

序号	场 合	解 释
1	功率重量比要求大时,宜采用液压传动	由于液压系统的工作压力可以较高(例如 32MPa 或更高),故相应的传输功率与执行机构(液压缸、液压马达)的重量之比就较大。而电气传动或气压传动所能传输的功率与其执行机构(电动机、气缸)的重量之比就较小(例如:液压马达的重量仅为同功率电动机的 10%~12%),因此在功率重量比要求较大的场合应选用液压传动
2	负载大、响应要求快时,宜采用液压传动	由于气压传动的压力不能太高(一般常用气压不大于 1MPa),所以其驱动的负载力也不能太大。另外,由于气体有压缩性,气容较大,因此其响应较慢。故对动态响应要求快时,液压传动能满足要求
3	要求无级变速、调速范围大时,宜采用液压传动	液压系统只要调节流量就能达到变速的目的。一般用调速阀便可达到无级变速,而且调节范围也比较大,例如液压系统的调速范围可达 200 以上,而电动机的调速范围只有 20 左右
4	要求低速稳定性高时,宜采用液压传动	气压传动由于压力不高,因此负载不能太大。而相对来说,摩擦力在总负载中所占的比例大于液压或电气传动的比例。而且低速时摩擦力的变化也较大[特别是动摩擦和静摩擦相互(或反复)转换时],故在低速时,气动设备容易出现爬行现象,又由于气体有压缩性,更加剧了爬行的产生。因此要求低速稳定性高的场合不宜采用气压传动,宜用液压传动
5	直线往复运动,宜选用液压传动或气压传动	<p>如下图所示,由于电动机输出的是旋转运动,如要求负载做直线往复运动,就必须增加机械机构(如齿轮齿条机构),将电动机输出的旋转运动转变为直线运动,而液压缸或气缸一般都是做直线往复运动的,故可直接带动负载做直线往复运动,所以结构简单</p> <p>(a) 较差 (b) 较好</p>
6	要求刚度大的系统,宜采用液压传动	由于气体的压缩性大,因此气压系统的刚度比液压系统小,所以要求刚度大的系统不宜采用气压传动,而宜用液压传动
7	要求定位精度高的场合,宜采用液压传动	由于气体压缩性较大,所以气压系统流量控制的精度相对于液压系统的控制精度差。另外气压系统在低速范围容易出现爬行。而零位附近总是在低速范围运行,因此气压系统的定位精度比液压系统差,在要求定位精度高的场合不宜采用气压传动
8	有冲击载荷的场合,宜采用液压传动	电气传动的抗冲击能力较差,而液压系统可以用溢流阀、蓄能器等来吸收冲击,使系统压力及运动速度平稳,因此抗冲击能力较强。在冲击载荷大的场合宜选用液压系统
9	低速大转矩场合,不宜用气压传动和电气传动,应选用液压传动	对低速大转矩的场合,气压传动不易获得大的转矩,而电气传动不易获得稳定的低转速(必须另加减速器)。只有在液压传动系统中采用低速大转矩液压马达,才能实现低速大转矩的要求,其最低稳定转速可达 1r/min,最大转矩可大于 $4 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}$
10	有过载保护要求的场合,宜采用液压或气压传动	液压传动及气压传动系统可以用安全阀简单地实现过载保护,而且过载结束后能自动继续运转,不需重新启动。而电气传动或机械传动则过载保护装置比较复杂,而且过载结束后常需重新启动
11	能用普通液压传动系统完成的动作不用液压比例系统,能用液压比例系统完成的动作不用液压伺服系统	从抗污染要求来说,依次是液压传动系统、液压比例系统、液压伺服系统。从系统的造价来说,也是按这一顺序而逐渐增加的。因此无论从设备投资还是维护运转费用来说,都是液压伺服系统大于液压比例系统,液压比例系统大于液压传动系统。所以能用液压传动系统完成的动作不用液压比例系统,能用液压比例系统者不用液压伺服系统

## 1.2 不适宜采用液压传动的场合

表 1-2 不适宜采用液压传动的场合

序号	场 合	解 释
1	轻载高精度位置控制, 宜尽量采用电气传动	在负载不大而要求控制精度高的场合, 最好采用电气传动, 因为电气传动的控制精度较高, 电源比较容易获得(只要用电线就可以)。相应的液压传动和气压传动需要液压源或气源, 液压源和气源的建立比电源复杂得多, 电气传动也能获得较高的控制精度。因此负载不大而精度要求高时应首先选用电气传动
2	要求价格低廉, 能用电动机带动简单机械机构实现的简单运动, 在负载不大、控制精度要求不高的场合, 不宜选用液压传动	由于液压传动需配备液压源, 液压源的结构较复杂, 价格较高, 因此整个液压系统的成本也就较高。如为简单运动配备一套油源系统是不合算的。相对来说, 用电动机加简单机械机构来实现这种简单运动, 其成本就较低。但如用一个油源供应多个执行机构动作的场合, 则使用液压系统就比较合适
3	环境防污染要求高的场合不宜用液压传动	由于液压系统常出现漏油等现象, 清理比较费事, 容易污染环境, 所以对环境防污染要求高的场合, 不宜用液压传动
4	要求效率高的场合不宜用液压传动和气压传动	由于液压系统及气压系统的流量调节大多用节流式, 阻力损失较大, 因此效率较低, 一般整个系统效率不超过 50%。即使采用容积调速, 其总效率也不会超过 85%, 而电气传动加齿轮传动系统的总效率常可达 90% 以上, 因此要求效率高的场合宜用电气传动, 不宜选用液压传动或气压传动
5	温度变化大的场合用液压系统不易获得高的控制精度	液压油的黏度与温度有关, 温度越高, 则黏度越小。因此温度变化较大时, 其黏度变化也大, 相应的系统泄漏量变化也较大, 同时管道的流动阻力变化也较大(因为流动阻力与黏度成比例)。因此原来调定的参数在温度变化较大时参数的变化也大, 易产生温度漂移, 使系统的控制精度相应降低
6	易燃易爆、多尘多水等环境恶劣的场合, 一般不宜用液压传动	一般液压介质是石油基液压油(特殊的抗燃液压介质除外), 因此不宜于易燃易爆的环境使用, 多尘环境易使液压介质污染从而引起元件磨损, 泄漏增加, 甚至造成元件报废。因此在易燃易爆、多尘的场合, 不宜用液压传动
7	对降低噪声要求高的场合, 不宜用液压传动和气压传动	液压传动(主要是液压油源及换向阀等)及气压传动(主要是气源及气缸、气阀等)在工作时噪声都较大(一般大于 60dB)。因此对降噪要求高的场合不宜采用液压及气压传动
8	除简单功能外, 不宜用纯液压或纯气动系统完成控制功能, 最好采用机电液(气)一体化系统来完成	液压或气压一般是用来驱动执行机构以带动负载完成直线或回转运动。至于运动的定位、变速、信号传递等功能, 一般都要由电气元件来配合完成。而若要进行逻辑运算或对运动的动态特性进行控制, 则由电子元件或计算机来完成更为方便, 单纯用液压或气压元件来完成复杂的逻辑运算或动特性控制功能是相当困难的。最好的方案是把电子技术、计算机技术与液气气动技术结合起来完成设备的总体功能, 即所谓机电液一体化技术
9	超高速旋转或往复运动的场合不宜用电气或液压传动, 应选用气压传动	要使电动机高速旋转, 需加增速齿轮装置, 增速比大时体积大, 摩擦力也大, 液压传动也不易获得太高的运转速度。只有气压传动由于气体黏性小、阻力小, 可以有很高的流速, 故运动速度可以很高, 如气动内圆磨头转速可达 $10^5$ r/min, 气动凿岩机的冲击次数可达每分钟往复 3500 次
10	传动比要求严格的场合, 不宜用液压或气压传动	由于液压系统的内、外泄漏量随工作压力及温度而变化, 因此其传动比就难以保持恒定。至于气压传动, 则由于空气的压缩性大, 更难以保持恒定的传动比。所以液压及气压传动不如机械传动那样能保持严格的传动比
11	远距离传输功率时, 不宜用液压传动	由于液压传动的功率传输是用管道来实现的, 因此远距离传输时, 管道长度将很长, 安装布置不方便而且成本增加, 另外, 管路长, 其功率损失也大, 所以远距离传输功率时最好用电气传动
12	冬季北方严寒地区、野外, 不宜采用液压传动	冬季气温达到 $-25^{\circ}\text{C}$ 以下, 即使采用抗凝液压油, 野外作业的液压设备也不能可靠地工作。如在此条件下工作, 将会对泵中的零件及液压缸密封件带来不同程度的损坏

# 第 2 章 液压缸设计

## 2.1 液压缸选型原则

表 2-1 液压缸选型原则

序号	场合	选型原则
1	有速度要求场合的选型	对于要求往返运动速度一致的场合,可采用双活塞杆式液压缸;若有快速返回的要求,则宜用单活塞杆式液压缸,并可考虑用差动连接
2	长工作行程的选型	行程较长时,可采用柱塞缸,以减少加工的困难;行程较长但负载不大时,也可考虑采用一些传动装置来扩大行程
3	工程机械设备中液压缸的选型	工程机械设备上不宜使用普通液压缸,工程机械的工作条件与固定设备的工作条件不同,因而对液压缸的要求也不同。工程用液压缸要求重量小,安装空间受限,冲击压力一般较大,因此要求液压缸强度较大,且大多不需要缓冲装置。相对于精度和性能而言,其使用的可靠性和耐久性显得更加重要,因此其结构上就有与普通液压缸不同的地方。普通结构的液压缸一般都不能满足工程机械的使用要求,因此不宜采用
4	有承载要求时的选型	间隙密封活塞的液压缸不宜承受重载。当液压缸的活塞与缸筒之间采用间隙密封时,液压系统的压力不宜太高、负载也不宜太大,否则容易产生大量泄漏,降低系统的效率,负载过大则活塞寿命将明显缩短
5	液压缸回程有要求的选型	柱塞缸不能靠液压力回程,由于柱塞缸只有一个控制油口,因此只能驱动正向负载,即柱塞缸只能用在回程有外力(如负向负载或有回程液压缸等)的场合,否则不能回程

## 2.2 液压缸参数计算

### 【问题 1】 缸筒内径与活塞杆外径的关系

#### (1) 缸筒内径 $D$

液压缸的缸筒内径  $D$  是根据负载的大小来选定工作压力或往返运动速度比,求得液压缸的有效工作面积,从而得到缸筒内径  $D$ ,再从 GB 2348—80 标准中选取最近的标准值作为所设计的缸筒内径。

根据负载和工作压力的大小确定  $D$ 。

#### ① 以无杆腔作工作腔时

$$D = \sqrt{\frac{4F_{\max}}{\pi p_1}}$$

#### ② 以有杆腔作工作腔时

$$D = \sqrt{\frac{4F_{\max}}{\pi p_1} + d^2}$$

式中  $p_1$ ——液压缸工作腔的工作压力,可根据机床类型或负载的大小来确定;

$F_{\max}$ ——最大作用负载。

(2) 活塞杆外径  $d$

① 活塞杆外径  $d$  通常先从满足速度或速度比的要求来选择，然后再校核其结构强度和稳定性。若速度比为  $\lambda_v$ ，则缸筒内径  $D$  与活塞杆外径  $d$  的关系为

$$d = D \sqrt{\frac{\lambda_v - 1}{\lambda_v}}$$

② 根据活塞杆受力状况来确定。

受拉力作用时： $d = (0.3 \sim 0.5)D$ 。

受压力作用时：当  $p_1 \leq 5\text{MPa}$  时， $d = (0.5 \sim 0.55)D$ ；当  $5\text{MPa} < p_1 \leq 7\text{MPa}$  时， $d = (0.6 \sim 0.7)D$ ；当  $p_1 > 7\text{MPa}$  时， $d = 0.7D$ 。

(3) 注意问题

① 单杆活塞缸的速比一般不宜选得过大，否则无杆腔回油流速过高，将产生较大的背压；但也不宜过小，否则活塞杆直径相对缸径太小，影响稳定性。

② 液压缸设计应尽量避免采用非标尺寸，液压缸的很多尺寸都是根据具体需要设计的，但是在选取这些尺寸时，必须靠到标准尺寸上。尤其是缸筒内径、缸杆直径等和密封圈有关的尺寸更不能按实际需要任意选取，否则可能选不到合适的密封圈。液压缸主要参数是缸筒内径和活塞杆直径，这两数值确定后必须选用符合国家标准 GB 2348—80 的数值，这样才便于选用标准密封件和附件。

**【问题 2】 对液压缸缸筒长度的要求**

液压缸缸筒长度  $L$  由最大工作行程长度加上各种结构需要来确定，即

$$L = l + B + A + M + C$$

式中  $l$ ——活塞的最大工作行程；

$B$ ——活塞宽度，一般为  $(0.6 \sim 1)D$ ；

$A$ ——活塞杆导向长度，取  $(0.6 \sim 1.5)D$ ；

$M$ ——活塞杆密封长度，由密封方式确定；

$C$ ——其他长度。

**注意问题：**

① 一般缸筒的长度最好不超过内径的 20 倍。在保证能满足运动行程和负载力的条件下，应尽可能地缩小液压缸的轮廓尺寸。

② 高压长液压缸的特殊问题

当液压缸的长度特别大且工作压力较高时，应采用特殊的结构，以保证液压缸的变形不致过大。具体解决方法是在液压缸缸筒的中部加装加强箍，如图 2-1 所示。

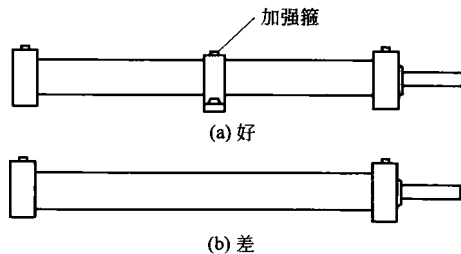


图 2-1 高压长液压缸

**【问题 3】 最小导向长度的确定**

当活塞杆全部外伸时，从活塞支承面中点到导向套滑动面中点的距离称为最小导向长度

$H$  (如图 2-2 所示)。

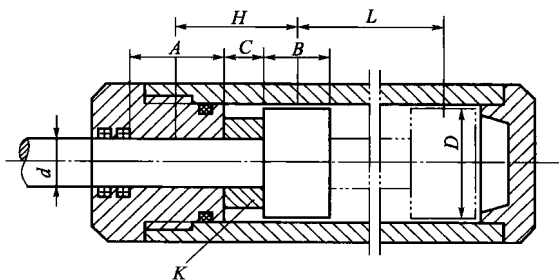


图 2-2 油缸的导向长度

### (1) 参数确定

对于一般的液压缸，其最小导向长度应满足下式

$$H \geq L/20 + D/2$$

式中  $L$ ——液压缸最大工作行程，m；

$D$ ——缸筒内径，m。

① 一般导向套滑动面的长度  $A$ ，在  $D < 80\text{mm}$  时，取  $A = (0.6 \sim 1.0)D$ ；在  $D > 80\text{mm}$  时，取  $A = (0.6 \sim 1.0)d$ 。

② 活塞的宽度  $B$ ，取  $B = (0.6 \sim 1.0)D$ 。为保证最小导向长度，过分增大  $A$  和  $B$  都是不适宜的，最好在导向套与活塞之间装一隔套  $K$ ，隔套宽度  $C$  由所需的最小导向长度决定，即

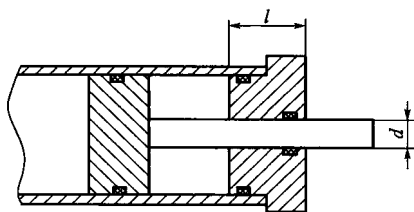
$$C = H - \frac{A+B}{2}$$

采用隔套不仅能保证最小导向长度，还可以改善导向套及活塞的通用性。

### (2) 注意问题

① 活塞杆导向长度不宜过小，如果导向长度过小，将使液压缸的初始挠度（间隙引起的挠度）增大，影响液压缸的稳定性，因此设计时必须保证有一最小导向长度。导向套的长度一般因液压缸的大小和活塞杆密封的种类和用途而异，但一般应在活塞杆直径的 0.6 倍以上，以保证活塞杆有足够的稳定度，如图 2-3 所示。

② 高速、长行程液压缸的导向套应采用特殊结构。对于速度大于  $1000\text{mm/s}$ 、行程在  $4000\text{mm}$  以上的液压缸来说，由于高速动作所产生的局部过热，会造成导向套显著磨损，并出现金属粉末。这不仅从结构上需要对导向套的表面进行强制润滑，而且也需要对活塞杆表面进行高频淬火等特别处理，同时，也可考虑使用静压轴承。



$$l/d > 0.6$$

图 2-3 活塞杆导向长度

### 【问题 4】缸筒形位公差的确定

缸筒必须保证必要的形位公差，为保证液压缸有较低的启动压力和运动中不发生“别劲”现象，应对缸筒的形位公差给以足够的注意。

① 一般情况下，缸筒内径的圆度、圆柱度误差不能大于缸筒直径尺寸公差的一半。

② 缸筒端面对缸筒轴线的圆跳动每  $100\text{mm}$  不大于  $0.04\text{mm}$ 。

③ 耳环式液压缸的耳环孔对缸筒轴线的位置误差不大于  $0.03\text{mm}$ 。

④ 销轴式液压缸销的轴线位置公差不得大于  $0.1\text{mm}$ ，垂直度误差在  $100\text{mm}$  长度上不大

于 0.1mm。

⑤ 缸筒轴线的直线度误差每 500mm 长度上不大于 0.03mm。

### 【问题 5】 液压缸的校核问题

(1) 缸壁厚度的校核问题

缸筒壁厚校核时分薄壁和厚壁两种情况。

① 当  $D/\delta \geq 10$  时为薄壁，壁厚  $\delta$  按下式进行校核

$$\delta \geq \frac{p_t D}{2[\sigma]}$$

式中  $D$ ——缸筒内径；

$p_t$ ——缸筒试验压力，当缸的额定压力  $p_n \leq 16\text{MPa}$  时，取  $p_t = 1.5p_n$ ， $p_n$  为缸生产时的试验压力；当  $p_n > 16\text{MPa}$  时，取  $p_t = 1.25p_n$ ；

$[\sigma]$ ——缸筒材料的许用应力， $[\sigma] = \sigma_b/n$ ， $\sigma_b$  为材料的抗拉强度， $n$  为安全系数，一般取  $n=5$ 。

② 当  $D/\delta < 10$  时为厚壁，壁厚  $\delta$  按下式进行校核

$$\delta \geq \frac{D}{2} \left( \sqrt{\frac{[\sigma] + 0.4p_t}{[\sigma] - 1.3p_t}} - 1 \right)$$

**注意问题：**在使用上述两式进行校核时，若液压缸缸筒与缸盖采用半环连接， $\delta$  应取缸筒壁厚最小处的值。

(2) 液压缸的安全系数不能太小

液压缸在工作过程中要承受液压力、机械力，同时，由于材料、材料的均一性、各种应力集中、加工精度及材料疲劳极限的影响，使得液压缸的工作强度变化范围较大。因此，必须有足够的安全系数，一般应在 5 以上。

(3) 活塞杆直径校核

活塞杆的直径  $d$  按下式进行校核

$$d \geq \sqrt{\frac{4F}{\pi[\sigma]}}$$

式中  $F$ ——活塞杆上的作用力；

$[\sigma]$ ——活塞杆材料的许用应力， $[\sigma] = \sigma_b/1.4$ ， $\sigma_b$  为材料的抗拉强度。

(4) 液压缸盖固定螺栓直径校核

液压缸盖固定螺栓直径按下式计算

$$d \geq \sqrt{\frac{5.2kF}{\pi Z[\sigma]}}$$

式中  $F$ ——液压缸负载；

$Z$ ——固定螺栓个数；

$k$ ——螺纹拧紧系数， $k=1.12 \sim 1.5$ ；

$[\sigma]$ ——螺杆材料的许用应力， $[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n}$ ；

$\sigma_s$ ——材料的屈服极限；

$n$ ——安全系数， $n=1.2 \sim 2.5$ 。

(5) 液压缸稳定性校核

活塞杆受轴向压缩负载时，其直径  $d$  一般不小于长度  $L$  的 1/15。当  $L/d \geq 15$  时，需进行稳定性校核，应使活塞杆承受的力  $F$  不能超过使它保持稳定工作所允许的临界负载  $F_k$ ，以免发生纵向弯曲，破坏液压缸的正常工作。 $F_k$  的值与活塞杆材料性质、截面形状、直径和长度以及缸的安装方式等因素有关，验算可按材料力学有关公式进行。

## 2.3 液压缸结构设计

### 【问题1】 缸体端部连接结构问题

#### (1) 法兰连接

缸体端部法兰连接,如图2-4所示。图2-4(a)和图2-4(b)的缸体为钢管,端部焊法兰;图2-4(c)的缸体为钢管,端部镦粗;图2-4(d)的缸体为锻件或铸件,这种结构应用最广,其优点是结构较简单;易加工;易装卸;强度较大,能承受高压。

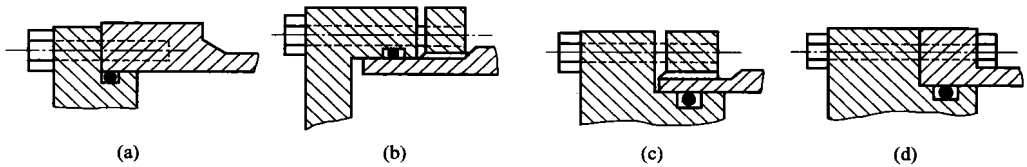


图2-4 缸体端部法兰连接

**注意问题:** 重量比螺纹连接的大,但比拉杆连接的小;外径较大。

#### (2) 外螺纹连接

缸体端部外螺纹连接如图2-5所示。

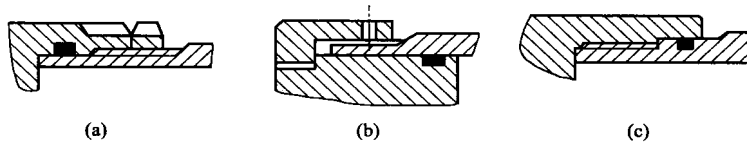


图2-5 缸体端部外螺纹连接

#### (3) 内螺纹连接

缸体端部内螺纹连接如图2-6所示,其优点是重量较小,外径较小。

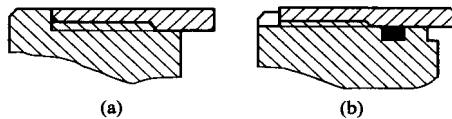


图2-6 缸体端部内螺纹连接

**注意问题:**

① 端部结构复杂装卸时要专用专门的工具;拧端部时,有可能把密封圈拧扭,如图2-6(a)所示。

② 端盖与缸筒采用螺纹连接时(缸筒内螺纹,端盖外螺纹),应特别注意在装配过程中不能损坏密封圈。这就要求缸筒上的内螺纹牙尖的直径要大于置于端盖上的密封圈的外径。否则,在装配端盖过程中,必然损坏密封圈,如图2-7(a)所示。

③ 由于密封圈进入缸筒后的开始受压点无法掌握,因此在缸筒上的内螺纹尾部应加工出适当的引导过渡区,以免装配过程中损伤密封圈,如图2-7(b)所示。

#### (4) 外卡环连接

缸体端部外卡环连接,如图2-8所示,其优点是重量比拉杆连接的小,结构紧凑,外形尺寸小。



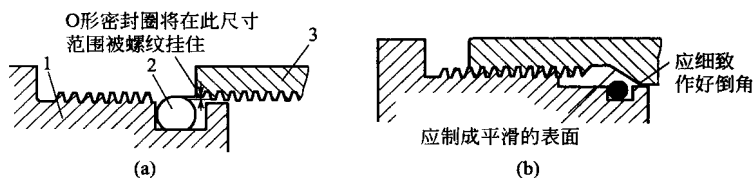


图 2-7 端盖与缸筒采用螺纹连接

1—端盖；2—密封圈；3—缸筒

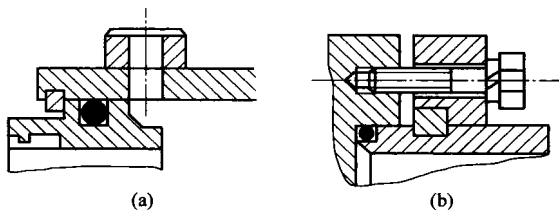


图 2-8 缸体端部外卡环连接

**注意问题：**缸体外径要加工，半环槽削弱了缸体，相应地要加厚缸体壁厚。

(5) 内卡环连接

缸体端部内卡环连接，如图 2-9 所示，其优点是结构紧凑，重量轻。

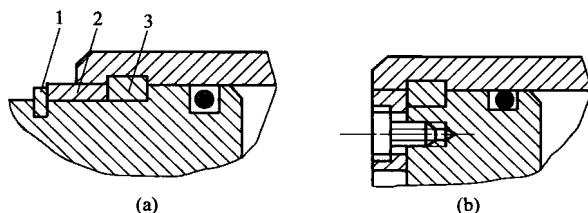


图 2-9 缸体端部内卡环连接

1—弹簧圈；2—轴套；3—半环

**注意问题：**安装时，端部进入缸体较深，密封圈有可能被进油孔边缘擦伤。

(6) 拉杆连接

缸体端部拉杆连接如图 2-10 所示，这种机构应用较广。其优点是缸体最易加工，最易装卸，结构通用性大。

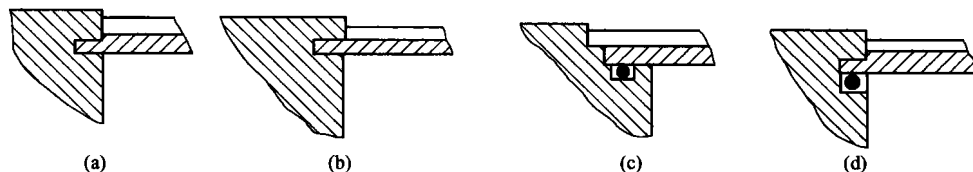


图 2-10 缸体端部拉杆连接

**注意问题：**

① 重量较大，外形尺寸较大。

② 长液压缸应避免使用拉杆结构，当液压缸长度大于 1500~2000mm 时，不宜采用拉杆式结构。尽管拉杆式液压缸有工艺性和维护性能都较好的特点，但由于液压力的作用，容