



面向“十二五”机电类专业高职高专国家规划教材

液压与气压传动

江建刚 主编
马希云

章 程 主审

YEYA YU QIYA CHUANDONG



凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社



凤凰职业教育

面向“十二五”机电类专业高职高专国家规划教材

液压与气压传动

江建刚 主编
马希云
章 程 主审

凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动 / 江建刚等主编. —南京: 江苏科学技术出版社, 2010. 9

面向“十二五”机电类专业高职高专国家规划教材
ISBN 978 - 7 - 5345 - 7440 - 5

I. ①液… II. ①江… III. ①液压传动—高等学校: 技术学校—教材②气压传动—高等学校: 技术学校—教材
IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 129193 号

液压与气压传动

主 编 江建刚 马希云

主 审 章 程

责任编辑 汪立亮

特约编辑 郑海龙

责任校对 郝慧华

责任监制 曹叶平

出版发行 江苏科学技术出版社(南京市湖南路1号A楼, 邮编: 210009)

网 址 <http://www.pspress.cn>

集团地址 凤凰出版传媒集团(南京市湖南路1号A楼, 邮编: 210009)

集团网址 凤凰出版传媒网 <http://www.ppm.cn>

经 销 江苏省新华发行集团有限公司

照 排 南京展望文化发展有限公司

印 刷 南京大众新科技印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 16.25

字 数 350 000

版 次 2010年9月第1版

印 次 2010年9月第1次印刷

标准书号 ISBN 978 - 7 - 5345 - 7440 - 5

定 价 32.00 元

图书如有印装质量问题, 可随时向我社出版科调换。

前言

本书是根据高等职业技术教育机电类专业液压与气压传动课程教学要求编写的,是“十二五”规划教材。本教材密切结合当前液压课程教学改革、突出职业教育特色,满足高等职业教育培养高级技术应用型人才的需要,充分吸收高职高专教育液压课程改革的成果,结合编者长期教学经验,精心组织、精选内容,贯彻“淡化理论、够用为度、培养技能、重在应用”的原则,着力使“教师好教、学生好学”。

本书是以工科类高职高专学生以及从事液压与气压传动技术的专业技术人员 and 工人技师为对象,从液压与气压传动技术应用的实际需要出发,全面、系统地介绍了液压与气压传动技术的工作原理、结构组成与特点、应用实例分析和一般故障处理等。

与同类教材相比,作者在编写过程中重点规避教材和教学上常见的“重理论轻实践”“重原理轻案例”“重传授轻参与”“重课堂轻现场”等传统方法,加强实训环节,注重职业能力的培养和提升。

在编写过程中,着重考虑了以下几点:

1. 以技术应用为主线,对液压控制阀的结构及基本回路进行了重点讲述,其中部分回路来自于工厂的真实实例,使其与实际应用相结合。
2. 教材采用模块式的课程结构和任务驱动式的编写方法。
3. 教材突出了高职、高专学生的实用性和实践性。针对回路的应用,专门编写了设计和实训模块。
4. 突出循序渐进、由浅入深的特点。每一章节都编写了教学目标和教学重难点等,然后以案例法导入,以激发学生的求知欲望。
5. 所举案例和实例多为当前行业内主流、成熟的实用技术,同时兼顾先进性和前瞻性,注重反映我国在液压与气压传动技术上的新进展。

考虑到液压与气压传动之间存在较多的共性,为避免不必要的重复,教材中对气动技术的相关内容进行了适当的压缩。

本书由安庆职业技术学院江建刚和马希云两位老师主编,安庆职业技术学院

罗林老师及郑州交通职业学院马海英老师任副主编,赵夫超老师参编。具体分工为:江建刚老师编写了绪论及第1章、第2章;马海英老师编写了第3章、第6章;马希云老师编写了第7章、第8章、第9章和实训模块;罗林老师编写了第4章、第5章。在本书的编写过程中,得到了安庆职业技术学院的校企合作单位——安庆恒昌机械公司的大力支持,该公司高级工程师章程同志给本书进行了审稿,并提出了很多宝贵建议,在此表示感谢。

在本书出版之际,对本教材做出贡献的人员表示衷心的感谢。特别是在编写过程中,我们参考了一些同类教材,特向作者们表示感谢。

由于编者水平有限,书中错误、缺点在所难免,请广大师生和读者指正。

编 者

2010年7月

目 录

绪论	001
----------	-----

模块一 液压传动部分

第 1 章 液压传动基础知识	008
1.1 液压传动工作介质	008
1.2 液体静力学	011
1.3 流体动力学	013
1.4 液压系统的能量损失	018
1.5 孔口和缝隙流动	019
1.6 液压冲击与空穴现象	021
思考与练习	023
第 2 章 液压动力元件	024
2.1 液压泵的认知	024

2.2 齿轮泵	027
2.3 叶片泵	031
2.4 柱塞泵	035
2.5 液压泵的噪声及液压泵的选用	037
思考与练习	039
第3章 液压执行元件	040
3.1 液压马达	040
3.2 液压缸	047
思考与练习	054
第4章 液压控制元件	055
4.1 概述	055
4.2 方向控制阀	056
4.3 压力控制阀	066
4.4 流量控制阀	071
思考与练习	077
第5章 液压辅助元件	079
5.1 蓄能器	079
5.2 滤油器	083
5.3 油箱	087
5.4 热交换器	088
5.5 管件	090
5.6 密封装置	092
思考与练习	095
第6章 液压基本回路	097
6.1 方向控制回路	097
6.2 速度控制回路	100
6.3 压力控制回路	111
6.4 多缸顺序动作控制回路	116
6.5 同步回路和防干扰回路	119

思考与练习	122
第 7 章 典型液压传动系统	123
7.1 组合机床动力滑台液压系统	124
7.2 液压压力机液压系统	127
7.3 电弧炼钢炉液压传动系统	132
7.4 汽车起重机液压系统	133
思考与练习	138
第 8 章 液压伺服和电液比例控制技术	141
8.1 液压伺服控制	141
8.2 电液比例控制	149
思考与练习	153

模块二 气压传动部分

第 9 章 气压传动	156
9.1 气压传动基础知识	156
9.2 气源装置和辅助元件	159
9.3 气动执行元件和控制元件	172
9.4 气动回路与气动系统的使用维护	196
思考与练习	207

模块三 设计与实训

第 10 章 液压传动的设计与实训	210
实训一 液压传动系统的设计和计算	210
实训二 液压元件的拆装	224
实训三 液压传动基础演示实训	227
实训四 液压基本回路实训	230
附录 常用液压传动图形符号	238
参考文献	249

绪 论

0.1 液压与气压传动的研究对象

液压与气压传动是研究以有压流体(压力油和压缩空气)为能源介质,来实现各种机械的传动和自动控制的学科。近几十年来,这门技术得到了迅速的发展和广泛应用,并已成为自动控制系统中的一个重要组成部分。

液压与气压传动在应用方面有着许多共同点。例如,它们都是利用各种元件(液压元件或气压元件)组成所需要的控制回路来进行能量的转换和自动控制。这些元件按其功能大致可分为:传动元件(如油泵、压气机)、执行元件(如油缸、油马达、汽缸、气动马达)、控制元件(如压力控制阀、流量控制阀、方向控制阀及逻辑元件等)、辅助元件(如蓄能器、过滤器、管道……)等。因此,要研究液压与气压传动及其控制,就需要首先了解组成系统的各类元件的结构工作原理、工作性能及由这些元件所组成的各种基本控制回路的性能和特点,在此基础上才能进行液压与气压传动系统的设计及自动控制系统的设计。这就是本课程的研究对象。

液压传动所用的工作介质为液压油,气压传动所用的工作介质为压缩空气。由于这两种流体的性质不同,因此液压传动与气压传动又各有其特点。

液压传动有两种不同的类型,一种是利用液体的动能冲击工作机械,使之运转,称为动力式液压传动;另一种是利用液体的压力使执行元件(油缸或油马达)的容积发生变化而做功,称为容积式液压传动。本书着重研究后者简称液压传动。液压传动具有传递动力大,运动平稳的特点。但也具有传递过程中阻力损失大,不宜用作远距离控制。此外装置复杂,经济效果较差。

气压传动包括两个方面的内容:传动技术和控制技术,其中以控制技术占主要地位。由于空气具有可压缩的性能,且工作压力不能太高,一般在 1 MPa (即 10 kgf/cm^2) 以下,所以,气压传动的传动力不大,运动也不如液压传动平稳。但由于空气的黏性小,气体传递过程中阻力小,速度快和反应灵敏,因而气压传动可用于较远距离的传送及控制,且装置简单,价格便宜。为了综合利用液压传动与气压传动的优点,弥补相互的缺点,也可用压缩空气为动力,采用气-液联合传动,来获得较高压力和运动平稳的装置。

0.2 液压传动基本原理

流体传动技术是以液体或气体为工作介质,实现能量的转换、传递、分配与运动控制的一种相对于机械传动、电气传动而独立存在的传动技术。流体传动很常见,也很古老。例如,水车、风车、船帆利用流水或风的动能驱动水碾、石磨工作和帆船航行,水力、风力发电机则将它们转换成电能。流体传动分为两种主要形式:一种形式以利用流体动能做功为主,称为液(风)力传动;另一种形式以流体压力能做功为主,称为液(气)压传动。

1. 液压传动的工作原理

在汽车修理行业中,在机修车间里,液压千斤顶是修理工人经常使用的起重工具。别看

它体小身轻,却能顶起超过自身质量几百倍的重物。从传动原理上来分析,液压千斤顶就是一个最简单、最典型的液压传动装置。

液压千斤顶的基本原理如图 0-1 所示。液压千斤顶主要由大油缸、小油缸、单向阀、放油阀、油箱、油路等组成。

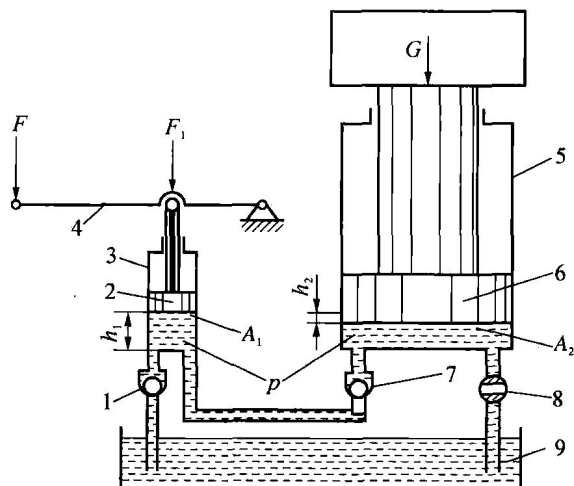


图 0-1 液压千斤顶工作原理图

1—吸油单向阀;2—小活塞;3—小油缸;4—手柄;5—大油缸;6—大活塞;7—进油单向阀;8—放油阀;9—油箱

提起手柄 4,使小活塞 2 上升,小油缸 3 下腔的容积增大,形成局部真空状态,油箱 9 内的油液在大气压力的作用下,顶开单向阀 1 的钢球,进入并充满小油缸的下腔,完成吸油动作。压下手柄 4,小活塞 2 下移,压力油使吸油单向阀 1 关闭,油液便不能通过此单向阀流回油池。但此时压力油却可以推开进油单向阀 7 中的钢球,小油缸下腔的压力油便经进油单向阀 7 进入大油缸 5 的下腔,并推动大活塞 6,将承载板上的重物顶起一段距离。反复提压手柄 4,就可以使重物不断上升,从而达到起重的目的。当重物需要下降时,只需转动放油阀 8,使大油缸的下腔与油箱连通,在重物作用下,大活塞 6 便向下移动,大油缸中的油液流回油池。

通过分析液压千斤顶的工作过程,可得出结论:一套液压传动装置若要正常地工作必须具备下列特点:

① 液压传动是以液体作为传递动力和运动的工作介质。传动过程必须经过两次能量转换。

如果用一种示意图来表示这两次能量转换过程,则可用图 0-2 来表示,图(a)中的液动机为液压马达(获得回转运动),而图(b)中的液动机则是液压油缸(获得往复直线运动)。

② 油液必须在密闭的容器内进行传递而且容积要发生变化。如果容器密封不好,就得不到所要求的油液压力;如果容积不能变化,则不能进行能量的转换。

从液压千斤顶的例子中可以看出,手柄 4、小活塞 2、小油缸 3 就是完成第一次能量转换的装置(它把修理工人上下摇动手柄的能量转换为油液的压力能),而大活塞 6 和大油缸 5 则是完成第二次能量转换的装置(它把油液的压力能转换为机械能,举升重物)。

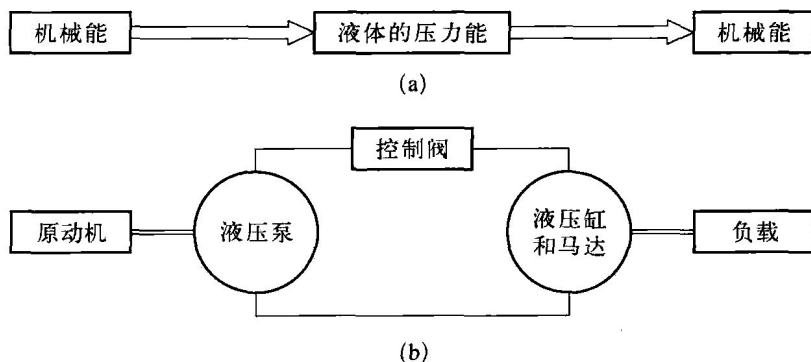


图 0-2 液压系统能量两次转换示意图

总之，液压传动的工作原理就是利用液体的压力能来传递动力，利用密封容积的变化来传递运动的。

2. 液压传动系统的组成和图形符号

任何一个能够实现预定功能的液压传动装置都必然由一些液压元件组成。

(1) 液压传动系统的基本组成

在工业生产中实际应用的液压系统一般来说远比液压千斤顶复杂，所能完成的任务也更多。而液压千斤顶已基本包含一个完整的液压系统的各大组成部分。一般情况下，一个液压系统除了工作介质（液压油）之外，应由以下 4 个部分组成。

① 动力元件。是将原动机输入的机械能转换成为油液压力能的装置，其作用是为液压系统提供一定流量和压力的油液，是液压系统的动力源。如液压千斤顶中的小油缸、小活塞。

② 执行元件。是将油液的压力能转换成机械能的装置，用以驱动工作部件，克服外负载。如液压千斤顶中的大油缸、大活塞。

③ 控制调节元件。是控制与调节液压系统中油液的流量、压力和流动方向的装置。如液压千斤顶中的放油阀、单向阀。

④ 辅助元件。是保证液压系统正常工作所必须的装置。如液压千斤顶中的油箱、管路、密封件等。

(2) 液压系统的图形符号

图 0-3 是磨床工作台液压传动系统的结构原理图，这种图直观性强，容易理解。但是这种图难以绘制，特别当系统中元件较多，系统比较复杂时，绘图是非常困难的。为简化液压原理图的绘制，我国制定了一套液压图形符号标准（GB/T 786.1—1993），将各种液压元件都用相应的符号表示。该标准规定，这些符号只表示相应元件的职能和连接系统的通路，不表示元件的具体结构和参数，并规定各符号所表示的都是

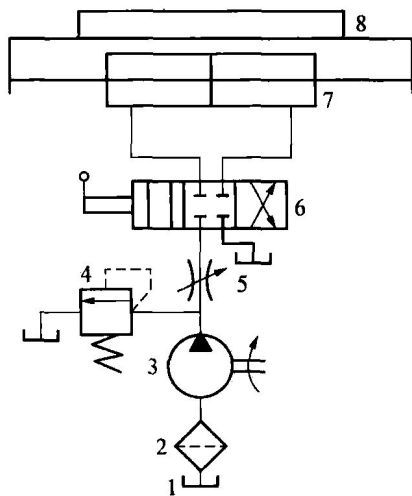


图 0-3 磨床工作台液压系统工作原理图

1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4—溢流阀；
5—节流阀；6—换向阀；7—液压缸；8—工作台

相应元件的静止位置或零位置,称这种符号为职能符号(也称为图形符号)。图 0-3 所示即为用职能符号绘制的磨床工作台的液压系统工作原理图(职能符号图)。

由于这种图面简洁,油路走向清楚,对液压系统的分析、设计都很方便,因此现在世界各国采用较多(具体表示方法大同小异)。图形符号具有一定的象形性,这能帮助人们理解对应液压元件的原理与作用,但作为一种通用的约定,构成图形符号的每一个细节都是必备的和不可更改的,只有完全按照国家标准来绘制图形符号,才能保证所绘制液压原理图的正确性。GB/T786.1—1993 液压图形符号见本书附录。

0.3 液压传动的优缺点及其应用和发展

液压传动与机械传动、电气传动、气压传动等相比较,具有以下特点:

1. 液压传动的优点

① 在同等功率的情况下,液压传动装置的体积小、重量轻、结构紧凑,如液压马达的重量只有同等功率电动机重量的 10%~20%。当液压传动采用同等高压时,则更容易获得很大的力或力矩。

② 液压系统执行机构的运动比较平稳,能在低速下稳定运动。当负载变化时,其运动也较稳定。同时因其惯性小、反应快,所以易于实现快速启动、制动和频繁地换向。在往复回转运动时换向可达每分钟 500 次,往复直线运动时换向可达每分钟 1 000 次。

③ 液压传动可在大范围实现无级调速,调速比一般可达 100 以上,最大可达 2 000 以上,并且可在液压装置运行的过程中进行调速。

④ 液压传动容易实现自动化,因为它是对液体的压力、流量和流动方向进行控制或调节,操纵很方便。当采用电液联合控制甚至计算机控制后,可实现大负载、高精度、远程自动控制。

⑤ 液压装置易于实现过载保护且液压件能自行润滑,因此使用寿命较长。

⑥ 液压元件实现了标准化、系列化、通用化,便于设计、制造和使用。

2. 液压传动的缺点

① 液压传动不能保证严格的传动比。这是由液压油与可压缩性和泄漏等因素所造成的。

② 液压传动在工作过程中常有较多的能量损失(如摩擦损失和泄漏损失等)。

③ 液压传动对油温的变化比较敏感,它的工作稳定性容易受到温度变化的影响,因此不宜在温度变化很大的环境中工作。

④ 为了减少泄漏,液压元件在制造精度上的要求比较高,因此其造价较高,且对油液的污染比较敏感。

⑤ 液压传动出现故障的原因较复杂,而且查找困难。

总的说来,液压传动的优点较为突出,且它的一些缺点现已大为改善。相信随着科学技术的发展,其缺点将得到进一步的克服。

3. 液压传动技术发展概况

相对于机械传动来说,液压传动是一门新学科。从 17 世纪中叶帕斯卡提出静压传动原

理,18 世纪末英国制成第一台水压机算起,液压传动技术已有两三百年的历史。只是由于早期技术水平和需求的不足,液压传动技术没有得到普遍的应用。随着科学技术的不断发展,对传动技术的要求越来越高,液压传动技术得到了不断发展。特别是在第二次世界大战期间及战后,由于军事及建设需求的刺激,液压传动技术日趋成熟。

第二次世界大战成功地将液压传动装置用于舰艇炮塔转向器,其后出现了液压六角车床和磨床。第二次世界大战期间,随着功率大、反应快、动作准的液压传动和控制装置在兵器上的广泛应用,兵器的性能得到了很大的提高,同时也大大促进了液压技术的发展。战后,液压技术迅速转向民用,并随着各种标准的不断制定和完善及各类元件的标准化、规格化、系列化而在机械制造、工程机械、农业机械和汽车制造等行业中推广开来。近 30 年来,原子能技术、航空航天技术、控制技术、材料科学和微电子技术等学科的发展,再次使液压技术得到进一步发展,使它发展成为包括传动、控制、检测在内的一门完整的自动化技术,在国民经济的各个部门都得到了应用。如今采用液压传动的程度已成为衡量一个国家工业化程度的重要标志之一。

4. 液压传动的应用及发展方向

(1) 液压传动的应用领域

由于液压传动的显著优点,如今,液压传动已被广泛地应用在各个领域之中。

- ① 工业上的应用,如机床、塑料加工机械、压力机和重工业(炼钢厂和轧钢厂)等。
- ② 土建工程和发电厂上的应用,如船闸和堰坝、桥梁操纵机构、涡轮机控制、舞台技术、操控技术和核电站等。
- ③ 行走机械上的应用,如建筑机械、农用机械和汽车工业等。
- ④ 造船业上的应用,如方向舵的调节、船用起重机、舱壁门、锚机和船头推进器等。
- ⑤ 在特种技术领域中的应用,如伸缩系统、天线的操纵机构、传感器浮标、飞行器的起落架和副翼的操纵机构等。

(2) 液压传动的发展方向

- ① 液压传动正向着高压、高速、大功率、高效、低噪声、经久耐用、高度集成化的方向发展。
- ② 与计算机科学相结合。新型液压元件和液压系统的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助测试(CAT)、计算机直接控制(CDC)、计算机实时控制技术、机电一体化技术、PLC、计算机仿真技术和优化技术相结合。
- ③ 与其他相关科学结合。如污染控制技术和可靠性技术等方面也是当前液压技术发展和研究的方向。
- ④ 开辟新的应用领域。



思考与练习

1. 试述液压传动的定义。
2. 液压传动系统由哪几部分组成?各组成部分的主要作用是什么?
3. 为什么采用图形符号替代液压系统结构原理图?
4. 试述液压有哪些优缺点。

模块一

液压传动部分

第1章 液压传动基础知识



教学目标

液压传动是利用液体作为工作介质来传递动力和信号的,因此,液压油质量的好坏对液压系统工作性能影响很大。所以在研究液压系统之前,必须对液压油及其力学性质进行学习了解,以便进一步掌握液压传动的基本原理,为更好地学习液压元件的功用、分析液压回路的功能、正确维护和应用液压系统打下坚实的基础。



教学重点和难点

1. 液压油的性质和选用原则。
2. 静止液体和流动液体的力学特性。
3. 液体在管道中的压力损失。



案例导入

在日常生活中,当我们开大水龙头之后又迅速关闭时,常听到自来水管内发出猛烈的撞击声和水管的振动,这就是液压冲击现象。在液压系统中也常有这种现象发生。为什么会产生液压冲击?液压冲击有什么危害?如何避免?通过学习液体的力学特性知识,我们可以找到答案。

1.1 液压传动工作介质

液压传动系统常用的工作介质是液压油。了解液压介质的性质,正确选用液压油对于液压系统来讲至关重要。

1.1.1 液压油的分类

液压油的种类繁多,分类方法各异,长期以来,习惯以用途进行分类,也有根据油品类型、化学组分或可燃性分类的。这些分类方法只反映了油品的标注,但缺乏系统性,也难以了解油品间的相互关系和发展。

1982年ISO提出了《润滑剂、工业润滑油和有关产品——第四部分H组》分类,即ISO6743/4—1982,该系统分类较全面地反映了液压油间的相互关系及其发展。

GB7631.2—1987等采用ISO6743/4的规定。液压油采用统一的命名方式,其一般形式

如下:

类-品种-数字

L-HV-22

其中: L——类别(润滑剂及有关产品, GB7631.1);

HV——品种(低温抗磨);

22——牌号(黏度级, GB3141)。

液压油的黏度牌号由 GB3141 做出了规定, 等效采用 ISO 的黏度分类法, 以 40℃ 运动黏度的中心值来划分牌号。

1.1.2 液压油的选择和使用

1. 液压油的基本要求

① 黏度合适, 并具有较好的黏温特性。若液压油黏度太大, 则系统的压力损失大, 效率降低, 并且磨损增加, 降低泵的使用寿命。如果液压油的黏度太小, 则系统易泄漏, 系统的效率也降低。因此, 液压油的黏度要选择合理, 不要偏大也不要偏小。液压油的黏度会随温度的变化而变化, 温度升高时, 液压油的黏度下降。

② 在工作温度和压力下, 具有良好的润滑性、剪切稳定性和一定的油膜强度。液压系统工作时元器件总是要产生摩擦和磨损的, 机器停止、启动时, 摩擦力较大, 启动时摩擦力为最大, 易引起磨损。因此, 液压油要具有良好的润滑性, 对运动部件起到润滑作用, 达到减少磨损、延长使用寿命的目的。在高温、高压、高速的条件下工作的液压系统, 更要求液压油要具有良好的润滑性, 也就是有高的油膜强度, 即耐磨性要好。

③ 具有较好的抗氧化性。液压系统工作时要有较高的压力和温度, 需要液压油在此条件下不变质老化, 不析出沥青、焦油等胶质沉淀, 因此液压油要有较好的抗氧化性。

④ 要具有良好的抗泡沫性。液压油中混有气泡是很有害的, 在系统工作时会产生空穴作用, 形成冲击波, 若这种冲击力和冲击波作用于固体壁面上, 就会产生气蚀作用, 使元器件损坏。另外, 气泡受压会迅速压缩, 产生局部高温(据计算, 可达几百度以上), 将加快油液的热分解、蒸发和氧化, 使油液变质、变黑。

2. 液压油的选择

一般来说, 首先根据泵的种类, 确定适用的黏度范围, 再具体确定液压油的牌号型号。表1-1 为液压油的主要品种及其特性和用途。

表 1-1 液压油的主要品种及其特性和用途

分类	名 称	ISO 代号	主 要 用 途
全 油 型	普通液压油	L-HL	适用于 7~14 MPa 的液压系统及精密机床液压系统(环境温度为 0℃ 以上)
	抗磨液压油	L-HM	适用于低、中、高液压系统, 特别适用于有防磨要求并带叶片泵的液压系统
	低温液压油	L-HV	适用于 -25℃ 以上的高压、高速工程机械、农业机械和车辆的液压系统(加降凝剂等, 可在 -40~-20℃ 下工作)