

液压传动技术发展现状与前景展望

李建明, 陈飞

中国矿业大学机电工程学院, 江苏徐州 (221008)

E-mail: lijianming2005@163.com

摘要: 对液压传动技术及其优缺点进行描述; 将其发展现状、工业应用情况作了一个简要的总结归纳; 并根据其自身的特点对其发展趋势在液压现场总线技术、自动化控制软件技术、纯水液压传动、电液集成块等四方面做了合理的展望。

关键词: 液压传动; 工业应用; 发展趋势

中图分类号: TH137.1

1 液压传动的定义及其地位

液压传动是以流体(液压油液)为工作介质进行能量传递和控制的一种传动形式。它们通过各种元件组成不同功能的基本回路, 再由若干基本回路有机地组合成具有一定控制功能的传动系统^[1]。

液压传动, 是机械设备中发展速度最快的技术之一, 特别是近年来, 随着机电一体化技术的发展, 与微电子、计算机技术相结合, 液压传动进入了一个新的发展阶段^[2]。

2 液压传动的发展简史

液压传动是根据 17 世纪帕斯卡提出的液体静压力传动原理而发展起来的一门新兴技术, 1795 年英国约瑟夫·布拉曼(Joseph Braman, 1749-1814), 在伦敦用水作为工作介质, 以水压机的形式将其应用于工业上, 诞生了世界上第一台水压机。1905 年将工作介质水改为油, 又进一步得到改善。

第一次世界大战(1914-1918)后液压传动广泛应用, 特别是 1920 年以后, 发展更为迅速。液压元件大约在 19 世纪末 20 世纪初的 20 年间, 才开始进入正规的工业生产阶段^[2]。1925 年维克斯(F.Vickers)发明了压力平衡式叶片泵, 为近代液压元件工业或液压传动的逐步建立奠定了基础。20 世纪初康斯坦丁·尼斯克(G·Constantimisco)对能量波动传递所进行的理论及实际研究; 1910 年对液力传动(液力联轴节、液力变矩器等)方面的贡献, 使这两方面领域得到了发展^[3]。

第二次世界大战(1941-1945)期间, 在美国机床中有 30% 应用了液压传动。应该指出, 日本液压传动的发展较欧美等国家晚了近 20 多年。在 1955 年前后, 日本迅速发展液压传动, 1956 年成立了“液压工业会”。近 20~30 年间, 日本液压传动发展之快, 居世界领先地位。

液压技术主要是由武器装备对高质量控制装置的需要而发展起来的。随着控制理论的出现和控制系统的发展, 液压技术与电子技术的结合日臻完善, 电液控制系统具有高响应、高精度、高功率-质量比和大功率的特点, 从而广泛运用于武器和各工业部门及技术领域^[4]。

3 液压传动的优缺点

3.1 与机械传动、电气传动相比, 液压传动具有以下优点

1. 液压传动的各种元件, 可以根据需要方便、灵活地来布置。
2. 重量轻、体积小、运动惯性小、反应速度快。

3. 操纵控制方便，可实现大范围的无级调速（调速范围达 2000: 1）。
4. 可自动实现过载保护。
5. 一般采用矿物油作为工作介质，相对运动面可自行润滑，使用寿命长^[5]。
6. 很容易实现直线运动。
7. 很容易实现机器的自动化，当采用电液联合控制后，不仅可实现更高层次的自动控制过程，而且可以实现遥控^[6]。

3.2 液压传动的缺点

1. 由于流体流动的阻力和泄露较大，所以效率较低。如果处理不当，泄露不仅污染场地，而且还可能引起火灾和爆炸事故。
2. 由于工作性能易受到温度变化的影响，因此不宜在很高或很低的温度条件下工作。
3. 液压元件的制造精度要求较高，因而价格较贵。
4. 由于液体介质的泄露及可压缩性影响，不能得到严格的传动比。
5. 液压传动出故障时不易找出原因；使用和维修要求有较高的技术水平。

4 液压传动技术工业应用概况

正因为液压传动有许多突出的优点，因此它的应用非常广泛，如一般工业用的塑料加工机械、压力机械、机床等；行走机械中的工程机械、建筑机械、农业机械、汽车等；钢铁工业用的冶金机械、提升装置、轧辊调整装置等；矿山机械中的液压钻机、采煤机、提升机、液压支架等^[7]；土木水利工程用的防洪闸门及堤坝装置、河床升降装置、桥梁操纵机构、大洋采矿等；发电厂轮机调速装置、核发电厂等等；船舶用的甲板起重机械（绞车）、船头门、舱壁阀、船尾推进器等；特殊技术用的巨型天线控制装置、测量浮标、升降旋转舞台等；军事工业用的火炮操纵装置、船舶减摇装置、飞行器仿真、飞机起落架的收放装置和方向舵控制装置等^[8]。

液压传动与控制是现代机械工程的基础技术，由于其在功率重量比、无级调速、自动控制、过载保护等方面的独特技术优势，使其成为国民经济中各行业、各类机械装备实现传动与控制的重要手段^[9]。

5 液压传动技术发展趋势

学习了液压传动，对液压传动也有了一个初步的了解，液压传动和气压传动称为流体传动，是工农业生产中广为应用的一门技术^[5]。如今，流体传动技术水平的高低已成为一个国家工业发展水平的重要标志。历史的经验证明，流控学科技术的发展，仅有 20% 是靠本学科的科研成果推动，来源于其他领域发明的占 50%，移植其他技术成果占 30%，即大部分来源于其他相关学科进步的推动^[10]。

随着应用了电子技术、计算及技术、信息技术、自动控制技术及新工艺、新材料的发展和应用，液压传动技术也在不断创新。液压传动技术已成为工业机械、工程建筑机械及国防尖端产品不可缺少的重要技术。而其向自动化、高精度、高效率、高速化、高功率、小型化、轻量化方向发展，是不断提高它与电传动、机械传动竞争能力的关键^[11]。现从液压现场总线技术、自动化控制软件技术、纯水液压传动、电液集成块等方面介绍液压传动技术发展动态。

5.1 液压现场总线技术

5.1.1 现场总线技术的定义及发展背景

现场总线是连接智能化仪表和自动化系统的全数字式、双向传输、多分支结构的通信网络。现场总线控制系统简化为工作站和现场设备两层结构，它可以看作是一个由数字通讯设备和监控设备组成的分布式系统，从计算机角度看，现场总线是一种工业网络平台；从通信角度看，它是一种新型的全数字、串行、双向、多路设备的通信方式；从工程角度看，它是一种工厂结构化布线。随着现代制造技术的飞速发展，流体控制技术和电子控制技术的结合越来越紧密，在液压领域越来越多的人士开始使用或关注总线技术在液压系统中的应用，液压技术人员也越来越感受到现场总线技术的优越性^[11]。液压系统是在液压总线的供油路和回油路间安装数个开关液压源，其与各自的控制阀、执行器相连接。开关液压源包括液感元件、高速开关阀、单向阀、液容元件。根据开关液压源功能不同，它可组合成升压型或降压增流型开关液压源。由于将开关源的输入端直接挂在液压总线上，可通过高速开关方式加以升压或降压增流。该系统克服了传统液压系统无法实现升压以及降压增流的问题，最终输出与各执行器需求相适应的压力和流量^[12]。

当前，现场总线及由此而产生的现场总线智能仪器仪表和控制系统已成为全世界范围自动化技术发展的热点，这一涉及整个自动化和仪表工业的新技术在国际上已引起人们广泛的关注。关于现场总线(Field—bus)技术和智能化仪表技术的研究，构成了当今自动检测和过程控制领域的两大热门课题。20世纪80年代末出现的现场总线技术，将对自动化系统和作为其重要支撑的流体传动及控制技术产生深远影响^[13]。

5.1.2 现场总线技术在液压系统应用中的特点

(1) 经济性：任何一种新技术新产品的开发与使用，其成本是首先需要考虑的因素之一，总线技术也不例外。设计开发总线技术产品的初衷之一就是降低系统及工程成本。所以，应用单位使用总线产品和供应商提供产品的第一前提应该是以降低总系统的使用成本为目的^[14]。

- (2) 按IEC61131—3标准的柔性化程序，易学，易懂，可操作性强。
- (3) 友好的人机对话界面，可方便进行液压系统的参数修改和故障监控。
- (4) 满足所有有关人身安全，电磁兼容，抗冲击及抗震动的重要标准。
- (5) 相对于传统的液压比例控制系统更具有其价格竞争优势^[15]。

5.2 自动化控制软件技术

在多轴运动控制中，采用SPS可编程控制技术。在这种情况下，以PC机为基础的现代控制技术也和许多自动化控制领域一样，有着自己的用武之地。自动化控制软件将SPS的工作原则与操作监控两项任务集于一身。操作监控技术在伺服驱动中已经发展得比较成熟，并且具有强大的功能和功率。在大量的应用实践中已经证明，以微机软件为基础的控制方案在不同类型的液压控制中也是非常有效的控制方案。利用液压技术控制回路(控制阀、变量泵)和执行机构(液压缸、液压马达)大量不同的变型与组合配置，可以提供多种不同特性的控制方案。有些液压控制的运动与电气驱动的运动类似，PLC可编程序数据库使得液压定位的控制和自动化工作过程的同步运行更加方便。其控制电路与电气自动化控制基本没有什么区别，它同时也对操作与监控进行调节。另外，液压控制软件也可在PLC的标准环境中工作，而且是全透明的运行。利用这种液压控制软件可以对内部数据进行读写，最大限度地满足了操作监控和自动化控制的需要。所有液压系统的控制信号均可在工业控制局域网的接线柱中测

得。可以被检测的信号包括：实际位置信号，实际压力信号和控制阀的状态、设置参数。所有工业液压技术的要求均可以以低廉的资金投入来得以实现。所有液压控制的运动功能，它都可以实现。除此以外，还提供了工作力的调节功能，利用电气伺服对输出的扭矩进行限定、调节。液压系统总体功能的制定，原则上按照实际需要而制定，并以模块的形式接受PLC数据库的控制。现代化的液压自动化控制软件使得自动化工程技术人员可以像使用电气控制软件一样方便自如地进行操作^[16]。

5.3 纯水液压传动

矿物型液压油作为液压传动介质存在着严重的环境污染和易燃烧问题，这也是世界各国现代经济发展和人类生存环境所不允许的^[17]。而水本身所固有的清洁性和阻燃性正好满足了现代社会对工业工程提出的安全、环境友好的要求。这也是最近 20 年来纯水液压传动技术持续发展的根本动力^[18]。

纯水液压传动以纯水（不含任何添加剂的天然水含海水和淡水）为工作介质。而纯水的物理化学性质与液压油有着相当大的差别，所以纯水液压传动与油压传动相比既有优势又有技术难题^[19]。

5.3.1 纯水液压传动的优势

(1) 纯水价格低廉、来源广泛、不用运输仓储。水的价格仅为液压油的 1/5000。而且随地可取，特别是大、特大型的液压系统，可以节省大量的矿物油，经济效益更是可观。

(2) 阻燃性与安全性好、温升小。液压传动在冶金、热加工及采矿业使用，极易燃烧引起火灾，导致人身设备事故。但是水不会燃烧，故消除了火灾危险，安全性好；另外水的比热与导热系数分别为液压油的约两倍和四倍，故纯水液压系统的温升较低，一般不需加设热交换器，简化了系统结构^[20]。

(3) 纯水的压缩系数小，压缩损失比矿物型液压油降低 25%左右，可补偿一部分由于泄露增加而造成的容积损失。

(4) 使用纯水的液压系统维修方便，维护成本低。在水下时，可以不用回油管、水箱，系统大为简化。

(5) 可避免或减少产品污染。产品污染是许多生产行业格外关注的事情，泄漏的油液和水基液会使纺织制品、木质胶合板受到玷污，也会使纸张变色、药品变质和食品变味。污染还会使某些产品根本不能出售，只好销毁。但如果纯水渗进产品中，害处要相对小得多或者没有害处。

5.3.2 纯水液压传动面临的主要技术难题

(1) 泄露与磨损

纯水的粘度通常是油的 1/40~1/50,甚至更低。因此，一方面极易引起纯水液压元件及系统的内、外泄漏，导致系统容积效率的降低；另一方面纯水的润滑性很差，在纯水液压元件的耦合摩擦副中形成液压膜就比较困难从而导致干摩擦及卡死。为此,必须采用一些特殊材料、结构和较高的加工精度等技术手段，所以纯水液压元件制造成本要高于同等性能的油压元件的制造成本^[22]。

(2) 材料腐蚀与老化

由于水的锈蚀性和导电性很强,能引起钢、铁、铜等常用金属材料的电化学腐蚀及非金属材料的老化。例如常温下新鲜、流动的纯水对碳素钢锈蚀速度可达 1.27mm/年,从而降低

了纯水液压元件的寿命。为此,总是优先考虑采用不锈钢、有色金属合金和工程塑料等抗腐蚀性强的材料来制造纯水液压传动的元、辅件。

(3) 液压冲击、振动和噪声

与液压油相比,水的密度大、压缩性小、声速高。所以,纯水液压传动系统中阀门突然启闭等使水的流动状态发生变化时,极易引起较油压传动更大的液压冲击、振动和噪声,对系统的工作性能、使用寿命及人身健康造成有害影响。为此,通常要在纯水液压系统中加装吸收和消除压力冲击、振动和噪声的蓄能器或消声器。

(4) 气蚀

尽管通常水中的气体含量比液压油中低,但由于水的饱和蒸汽压比液压油高很多,故水中极易分离和产生气泡,并在高压区凝结和溃灭,从而产生异常高温和冲击压力,引起系统元、辅件流动表面材料疲劳和破坏、系统工作性能下降的气蚀现象。为此,一般通过采取限制系统温度以降低介质中的气体溶解度、提高液压泵的吸入压力等措施来减小或消除气蚀现象。

(5) 设计理论

由于水的理化特性的特殊性,所以传统油压元件、系统的设计理论与方法不完全适用于水压系统,还有待通过深入细致的理论及实验研究,建立一整套适用于纯水液压传动的设计理论和方法。

5.3.3 国内外纯水液压传动技术的研究与应用

近年来世界各国特别是工业发达国家流体动力界围绕着纯水液压传动的材料、元件含液压器具、系统等方面展开了理论及应用研究,取得了引人注目的成果^[23]。

(1) 纯水液压元件的研究及开发

纯水液压元件的研究一般都有着深层次主机系统应用背景^[23]。换言之,是各类不同机械设备及系统的应用和需要大大刺激和促进了纯水液压元件研究工作的进展。目前,国际液压市场已能购买到不同压力等级的商品化纯水液压元件,但价格较高^[24]。

(2) 材料研究

多年研究结果已表明不锈钢、青铜、特殊处理的铝合金、玻璃纤维、陶瓷、塑料、均是抗腐蚀性强的可直接用作纯水液压阀、水箱、管件等元辅件制造或保护层材料,而工程陶瓷和塑料具有强度高、耐磨性好的特点,是纯水液压泵、马达优良的摩擦副材料。

(3) 纯水液压系统配套及应用研究

随着理论研究及元件开发工作的深入,纯水液压传动技术目前正在进入实际应用阶段,系统包括比例、伺服系统在内的配套与应用研究也获得了很大进展。其应用除了海洋开发、冶金工业、矿山开发、垃圾运载处理车辆等领域外,正开始进入食品加工、造纸、化工、感光材料及医药卫生产品制造等油压传动的禁区。例如,美国 Stoelting 等公司合作新近为某电影胶片制造商研制了台纯水液压传动的胶片液桶(重达 35.58kN)举升倾倒机;此外,在美国的肉联企业的肉品切割(以水马达驱动锯刀的闭式纯水液压传动系统)、压、传输及骨肉分离设备中也已获得了成功^[25]。

5.4 电液集成块

5.4.1 电液集成块液压技术产生的背景和原因

计算机的迅猛发展,加速了各行各业的科技进步,液压技术也不例外。众所周知,传统的液压阀在价格和技术上远不能适应现代传动装置方面的要求,已经成为影响液压技术发

展的一个主要矛盾。原武汉汽车工业大学（现武汉理工大学）陈城书教授为了改变这种状况，经过多年的刻苦钻研，终于成功地将电子学原理移植到液压技术中来，发明了电液集成块，创建了电液集成块液压技术，开拓了液压技术全新的发展道路-廉价的机电液一体化技术。经过几年的努力，电液集成块液压技术已越来越多地为人们所认识，获得了迅猛发展。电液集成块液压技术的控制部分是由三部分组成：电液集成块、电液集成块液路和 CPU 电路^[26]。一个系统是由很多元件串联组成的，如果不使系统构成闭环控制形式，如图 1 所示，那么其中只要有一个串联元件的精度差，则系统的精度就差，而且这时的系统误差是各串联元件误差之和。所以要确保系统的精度，就要求每个串联元件的精度都要高出系统精度好几倍才行。串联元件越多（系统越复杂），则各串联元件的精度要求越高，系统的价格就越高。如要获得既有低的价格，又有高的系统精度，只有才有闭环控制系统才能达到，如图 2 所示。在闭环控制液压系统中，系统控制的精度基本上取决于检测元件和 CPU 电路运算速度及其软件。在这种情况下，对元件的精度要求就不那么高了，于是系统价格就大大降低，而系统的精度又可得到保证，这是一条正确的机电一体化道路。可是在液压行业中，目前都在努力发展电子和液压相结合的闭环控制元件，热衷于搞液电一体化液压元件，而忽视了机电液一体化系统（电子和液压相结合的闭环控制液压系统）的研究，使液压技术陷于困境之中。

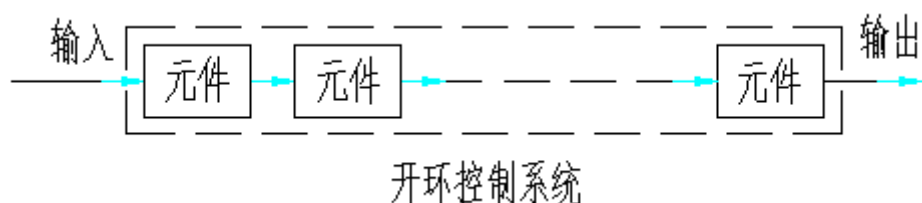


图 1 开环控制系统

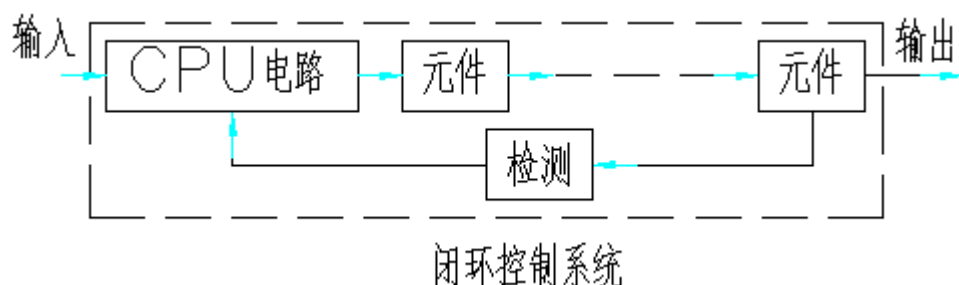


图 2 闭环控制系统

液压传动与机械传动相比有很多优点，但是近十年来，交直流伺服电马达的发展很快，已在某些领域（特别是在数控机床行业）中取代了阀类液压技术。出现这种情况的主要原因是，阀类液压技术中的基础控制元件在价格和技术上不能同迅速发展着的计算机技术相适应。

再者，现有的液压阀，包括电液比例阀，都是具有一定功能的，不是基础元件，它们都是由基础元件组合而成的组合件。它们可由液管、电液管和液阻组成。也就是说，传统的液压阀是属于二次产品类。可是在市场上又无相应的一次产品提供，于是这些星罗棋布的中小型液压阀生产厂就不得不自己设法来生产高精度的一次产品了，各厂又根自身的产情况，将一次产品“溶化”在二次产品中，使传统液压阀的生产陷入一次式生产方式之中，这就要求素有星罗棋布的中小型液压阀厂，都应具有高精度的加工手段，给二次产品生产厂提出了更高的要求，随之也就带来了极大的困难。另外液压技术的应用领域极其广泛，液压阀生

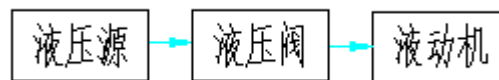
产厂为了求得销售市场，不得不将液压阀做成各种各种类型，以满足用户的需要。由于液压阀的品种繁多，厂家无力进行大规模自动化生产。液压技术的优势被如此繁多的液压阀所淹没了。于是形成了这样的局面：液压阀要么就是质量低劣，要么就是价格高，不能做到两者兼而有之，使传统的阀类液压技术处于困难之中。

电液集成块液压技术产品生产是二次式的。电液集成块液压技术是一次产品，它是由几个高技术、大规模、自动化程度高的电液集成块厂生产。星罗棋布的中小型液压成套设备厂是二次产品生产厂，他们从市场上购得电液集成块将其组装成各种液压系统。其结果将使电液集成块液压技术具有质量高、低价格和广泛的应用领域，使液压技术充分发挥其优势。

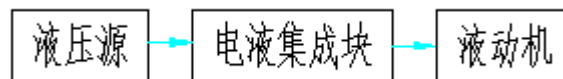
由于在功率传递中，液压方式与机械方式相比，具有很多优点，再加上液压技术的革命性发展——电液集成块液压技术的诞生，使智能液压系统的价格大大降低了。因此，液压传动与机械传动相比，具有很大的优势。

5.4.2 电液集成块的组成

传统的液压系统基本上是由三部分组成：



电液集成块液压技术只是将液压阀用电液集成块来代替，变成：



原来只要是液压机械，就可以用电液集成块来改造，使其成为数控机械。所以用电液集成块液压技术对老产品和老企业进行技术改造，实在太方便了。因此电液集成块在国家的技术改造中具有强大的生命力。

5.4.3 电液集成块的特点

电液集成块液压技术的硬件都是通用标准的，通用性极强，用在机床上的一套电液集成块液压系统，可以直接搬到汽车上来，其不同的只是软件（程序）。再加上它的结构合理和二次式生产方式，使其能进行大规模自动化生产，一次它的价格低廉，且能同 CPU 电路直接相连，易于实现工业机电液一体化。电液集成块是计算机和工业实体之间的一个理想的媒介。

6 结语

液压传动技术是机械科学技术的一个分支，它的发展需要机械及其他门类学科的发展来推动，它的发展也能推动工业系统的整体发展。它有其独特的优势与劣势，和其他技术一样，需要不断地设计应用修改和完善。

参考文献

- [1]许福玲，陈尧明. 液压与气压传动[M]. 北京：机械工业出版社，2007
- [2]陈奎生. 液压与气压传动[M]. 武汉：武汉理工大学出版社，2001
- [3]刘延俊. 液压与气压传动[M]. 北京：机械工业出版社，2003

- [4]梁利华. 液压传动与电液伺服系统[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2005
- [5]王春行. 液压控制系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999
- [6]许益民. 电液比例控制系统分析与设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005
- [7]谢锡纯, 李晓豁. 矿山机械与设备[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000
- [8]杨叔子, 杨克冲等. 机械工程控制基础(第五版)[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005
- [9]张利平. 现代液压技术应用 220 例(第 1 版). 北京: 化学工业出版社, 2004
- [10]王益群, 张伟. 流体传动及控制技术的评述[J]. 机械工程学报, 2003, 39(10): 95—99
- [11]田科. 十年来液压技术的发展[J]. 液压与气动, 1988 年第 1 期
- [12]李伟波, 李伟, 吴根茂等. 现场总线技术及在液压系统中的应用[J]. 机电国际市场, 2001 年第 10 期
- [13]黄兴. 液压技术创新及发展趋势[J]. 机床与液压, 2005 年 12 期
- [14]白生强. 工程机械液压传动系统维修探讨[J]. 山西建筑第 29 卷第 12 期, 2003 年 9 月
- [15]阳宪惠. 现场总线技术及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999
- [16]刘鑫. 我国工业控制自动化技术的现状与发展趋势[J]. 电气时代, 2003 年第 12 期
- [17]张利平. 现代液压传动技术的新方向——纯水液压传动[J]. 工程机械, 2001 年 01 期
- [18]王益群, 曹栋璞, 郎静. 纯水液压传动及其展望[J]. 机床与液压, 2003 年 01 期
- [19]赵恩刚, 黄太祥, 吴张永等. 纯水液压传动技术的现状与应用展望[J]. 流体传动与控制, 2006 年 05 期
- [20]许贤良. 液压技术回顾和展望[J]. 煤矿机械, 2002,(6):7-91
- [21]简曲. 中国大洋采矿技术发展述评[J]. 采矿技术, 2001,(6):5-71
- [22]张磊等. 实用液压技术 300 题[M]. 北京:机械工业出版社, 1998
- [23]陈远玲, 杨华勇, 周华等. 纯水液压传动技术及其在煤矿采掘机械中的应用[J]. 矿山机械, 2001,(6):36-371
- [24]林建亚等. 液压元件[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998
- [25]Per Sorensen. News and trends by the industrial application of water hydraulics[A]. The Proceedings of The 6th Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP'99[Z], Tampere, Finland, May 25-28, 1999:651-674
- [26]陈城书. 电液集成块液路设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1997

The Status and Prospect of Hydraulic Transmission Technology Development

Li Jianming, Chen Fei

College of Mechanical and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology,
Xuzhou, Jiangsu (221008)

Abstract

Have a description of the hydraulic transmission technology, its advantages and disadvantages; Make a brief summary and induction of its development status, industrial application; And also have a reasonable outlook of its development trend in the the four aspects (hydraulic field bus technology, automation control software technology, pure water hydraulic transmission and electro-hydraulic manifold blocks) according to its own characteristics.

Keywords: hydraulic transmission; industrial applications; development trend

作者简介:

李建明, 男, 1987 年生, 硕士研究生, 主要研究方向全液压钻机的研究开发。

陈飞, 女, 1967 年生, 副教授, 主要研究方向流体传动与控制, 现代机械设计方法等。