

水液压技术的工程应用及最新进展^①

郭潇恬^② 邢 彤 阮 健

(浙江工业大学机械工程学院 杭州 310023)

摘 要 随着现代工业的发展,水液压技术越来越受到关注。本文参考了近年来国内外水液压技术的研究现状,总结了水液压系统相比于油基系统的优点与不足。首先,分析国内外水液压元件相关的研究现状来说明当前水液压技术发展趋势。之后,列举水液压技术在煤矿工业、海水淡化、高压细水雾、除焦和高压清洗方面的工程应用来说明水液压技术当前的应用前景。此外,本文还列举了一些具有代表性的水液压元件。最后,探讨了水液压技术的发展前景。

关键词 水液压技术; 工程应用; 高压泵; 柱塞泵; 水液压泵

0 引 言

以水作为工作介质的液压技术,称为水液压技术。水力学是世界上最古老的水力学形式,水液压这一古老而又现代的工业技术在人类文明进程中发挥着重要作用。从公元前 200 年第 1 台水泵诞生至今^[1],水液压技术已经有了相当大的进展。从 20 世纪下半叶,现代水液压技术重新崛起并逐渐成熟。水液压技术作为流体动力系统未来的技术研究热点,越来越多的人把注意力投入到以水作为工作介质的绿色环保的水压驱动技术中,目前很多的液压元件都在逐步改用水作为工作介质。因为以油基系统为介质的液压元件,特别是对一些特殊行业,如煤矿和面粉厂有爆炸危险,在其他如食品加工、医疗器械、污染敏感的电子设备、包装设备等行业都易引发事故^[1, 2]。

水液压技术可以满足传统油基系统相同的工作要求,同时不会发生像油基系统的泄漏对环境产生不利的影响。另外,水所具有的清洁性和阻燃性^[3],不会因为液体压缩而造成能量损失,水介质

的方便性使得水液压元件成为最具有商业吸引力的产品。水液压技术在供应、清洁、处置和保险安全性等方面也具有更大的优势,所以水液压技术是传输流体动力更有效的方式^[4]。满足现代社会对工程提出的环境保护和安全要求,也是近几年来水压传动技术重新被人们青睐的根本原因,这使得水液压技术在一些应用场合具有油压技术无法比拟的优势^[5]。

目前,水作为工作介质还存在一些问题,技术上不够成熟,水和油在工作形式上有所不同,所带来的不仅是优点,也存在一定的劣势^[6]。以水作为工作介质的液压元件目前在市场还是没有油液市场广阔,主要是因为水的粘度没有油液粘度大,而液压油的粘性对减少间隙的泄漏、保证液压元件的密封性能起着重要作用。另外,水的润滑性差、粘度低^[7],很容易腐蚀材料。水液压技术还需要不断地投入研究,解决这些弊端,更好地发挥水液压技术的优势。

近年来,随着工程材料、摩擦学、润滑理论、计算技术、先进制造等相关学科的发展^[8],水液压技术的一些技术难点得到突破,绿色无污染的水液压技术重新受到关注。美国、英国、德国、丹麦、芬兰、日

① 国家自然科学基金(51775500)和国家重点实验室开放基金(GZKF-201822)资助项目。
② 女,1995 年生,硕士生;研究方向:电液控制及检测元件;联系人,E-mail: gxtkurry@163.com
(收稿日期:2019-07-24)

本和中国等国家都相继开展了水液压技术的基础研究,部分研制成熟的水液压元件产品开始在市场上出现,水液压技术开始在冶金、船舶、食品机械、电子机械、消防设备、医疗、水利等行业中应用^[9]。新材料的研发成功、精密加工技术的不断进步,以及各种新结构的液压元件研制成功,使得水压传动技术在最近 10 年内取得了长足的进步,并开始进入了无污染、易磨损、泄漏大、效率低等缺点,使液压传动技术进入了现代水压传动的研究和应用范畴^[10]。

1 水液压技术的最新进展

如图 1 所示,纯水液压技术的应用可分为 4 个阶段^[11],未来有可能涉及到更多的应用领域。

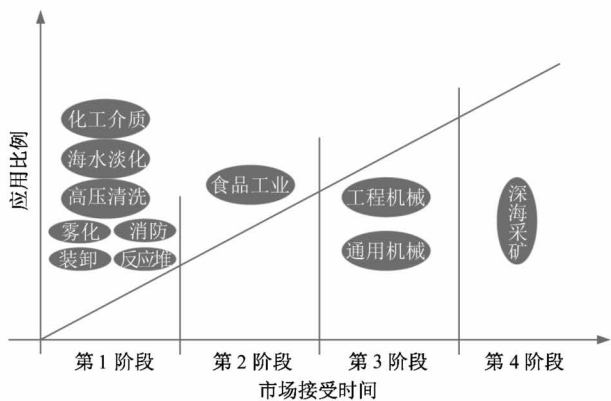


图 1 纯水液压技术应用领域的市场接受时间^[11]

1.1 水液压泵

水液压泵是水液压传动系统的“心脏”,它为水液压传动系统提供足够压力和流量的高压水^[12]。目前,已经广泛应用的水液压泵的类型主要是柱塞式高压泵,径向柱塞泵主要有德国的 Speck 泵和美国的 Cat 泵,轴向柱塞泵主要有丹麦 Danfoss 的 APP 泵,它们具有体积小、效率高、不需要进行油润滑等优点。近年来,我国也开始研发了一些新型的水液压泵,开拓了更为广阔的应用领域。2012 年,浙江大学流体动力与机电系统国家重点实验室^[13]成功研制了应用于一种中小型反渗透海水淡化系统的高压轴向柱塞泵。该泵采用全水润滑端面配流结构,额定工作压力为 8 MPa,额定转速为 1 500 r/min,性

能实验结果表明,该泵在额定工况下输出的实际流量超过 110 L/min,总效率超过 80%。在反渗透海水淡化系统中的实际应用表明,该泵性能稳定、可靠性高,能够在中小型海水淡化工程中替代同类进口产品。此外,他们还开展了关于水液压灭火系统领域的研究工作和关于水液压柱塞泵适用材料磨损实验和腐蚀实验测试,分析了大量用自来水作为液压介质时的质量控制方法,先后取得大量的成果。他们还提出以自来水为工作介质,以内齿轮泵为对象,进行实验。根据实验结果,正确设计补偿压力腔,确保压力与反压力的适当比例,有利于减小浮板的负荷;为浮板选择具有高临界 PV 值的材料,以减轻摩擦和磨损;研究表面处理的新方法,以改善浮板的摩擦和磨损特性^[14]。

近年来,华中科技大学^[15]研发出多种高压海水泵,主要用于水压可变浮力系统,为各种深海潜水器下潜深度的加大做出了贡献,其最大压力能达到 75 MPa,额定转速为 1 500 r/min,应用于“蛟龙号”潜水器。此外,他们在船用高压细水雾系统方面也取得一定进展,他们研制的海水泵结合了曲柄连杆柱塞泵和斜盘轴向柱塞泵这 2 种泵的优点,能够实现水油分离,保证了输出高压水的可靠密封,且体积小、压力高,该泵的额定压力为 4 MPa,最高工作压力为 6 MPa,额定流量超过 200 L/min。

2016 年,湖北仁创科技有限公司^[16]提出了一种带限压溢流及卸荷装置的水液压轴向柱塞泵,如图 2 所示。泵本体自带限压溢流及卸荷装置,较同功能的泵加管路控制阀的设计,系统简单、集成度高、管道设计简单、造价成本低,有效地解决了限压溢流装置在工作振动、噪声、调压精度、稳定性、抗污

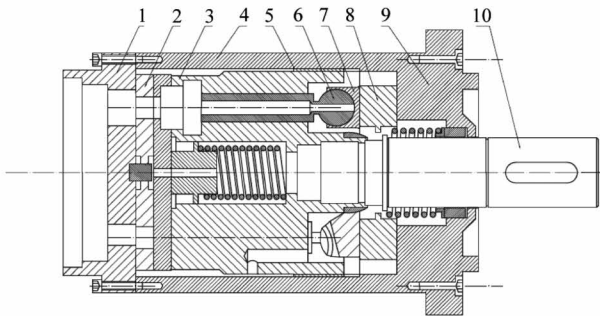


图 2 限压溢流及卸荷装置的水液压轴向柱塞泵^[16]

染能力等方面存在的突出问题。而且它的全水润滑结构,解决了油水分离结构带来的工作介质污染问题,扩大了水液压轴向柱塞泵的应用范围。

浙江工业大学以阮健教授为代表的 2D 液压团队提出了一种新型水液压 2 维活塞泵,如图 3 所示。该泵由泵主体和前后 2 个泵壳组成。泵主体为 2 维柱塞泵的核心工作部分,包括泵体、泵套、泵芯组件(包括泵芯、2 个空间凸轮及与泵芯连接的 2 个弹性联轴器)、2 对滚轮(滚轮架及其上面的锥滚轮),滚轮架通过导向键连接在泵体两侧。泵的驱动轴安装在前泵壳内,在驱动轴上安装一个拨盘,3 个拨杆安装在弹性联轴器上,通过拨盘/拨杆机构将输入的动力传递给泵芯组件。锥面空间凸轮通过销与弹性联轴器的外盘固定,弹性联轴器内盘通过凸球面螺母连接在泵芯上。泵芯组件转动时,在 2 个空间凸轮的轮廓约束下,泵芯按等加速度运动规律作往复运动。这种 2D 活塞水液压泵具有寿命长、能量密度大、效率高等多种优势。

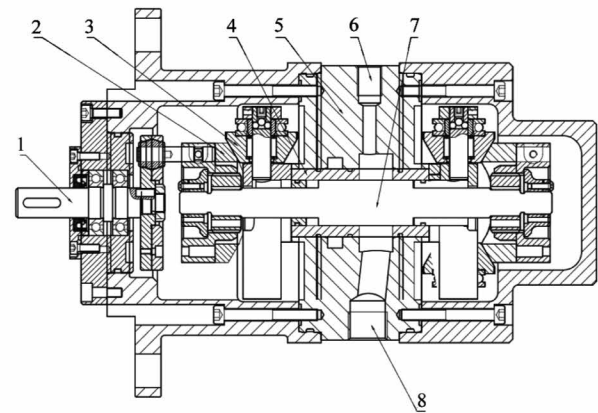


图 3 新型水液压 2 维活塞泵结构图

燕山大学研究团队^[17]提出了一种新型的叶片泵,如图 4 所示。该泵将叶片的径向运动转换为轴向运动,减少了对泵部件刚度的材料要求,使聚合物和工程塑料可用于泵的制造,从而减小了泵的尺寸,并具有平稳位移和低噪音的特点。

国外对水液压泵也有相当多的研究成果,下面将列举国外关于水压泵的研究现状。

Wolfhart 公司^[18]提出了一款结合水液压技术、使用简单但强大的活塞驱动机构做成的无油系统。其 6 缸轴向旋转活塞内部结构如图 5 所示,它具有

正排量原理的旋转活塞机构,耐高压工作腔和没有动力传递轴承的强力活塞驱动机构。活塞转子通过其活塞旋转连接,活塞在转子的气缸内往复运动。这一新的活塞驱动概念适用于所有具有至少一对旋转活塞和气缸的机器。除此之外,还有一种轴式活塞机构,它具有自动调心的拉拔活塞驱动机构,以及包括输出轴在内的所有活动部件的完全静水压力平衡,不仅能完全不受油污染地工作,而且对环境友好,能以高性能和高效率运行。它只利用了水液压技术,即使在高压和高容量下也能大大减少摩擦和磨损。它具有高效率的活塞驱动机构,6 缸轴向旋转活塞设计特点使得整个机构的惯性力得到了平

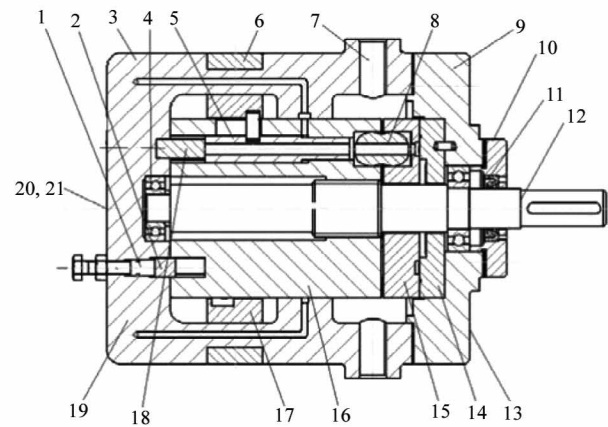


图 4 新型叶片泵结构图

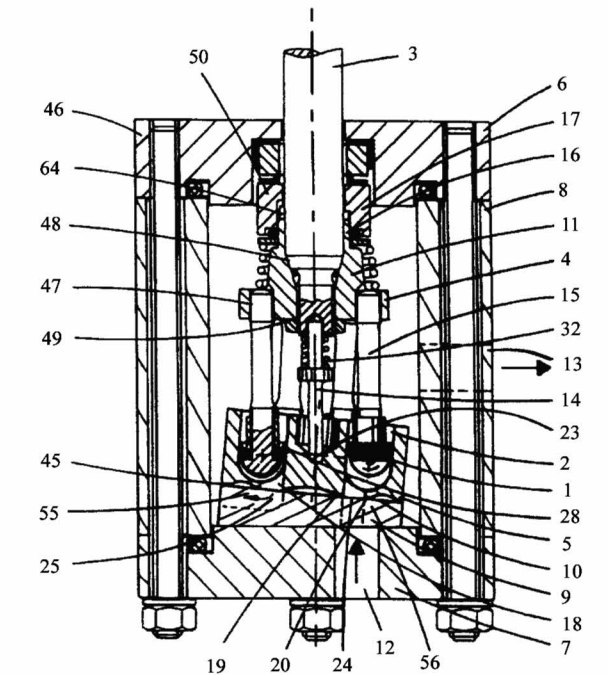


图 5 Wolfhart 公司的 6 缸轴向旋转活塞机构^[18]

衡,只有平衡的旋转部件,与普通活塞泵一样,水永远不会停止和逆转流动方向,所有滑动部件完全处于液压平衡状态。它设置了防堵装置,也具备用于活塞的防卡死装置。此外整个水泵还具有自我启动的功能,非常的持久,同时它没有阀门,速度范围可调性高,可以方便地调节流量大小。

德国 Hauhinco 公司研制出的 EHP—3K 系列的 3 柱塞泵或者 5 柱塞泵采用了新型耐腐蚀材料,使用寿命长,被广泛应用于各种行业中。其流量范围在 50 ~ 738 L/min,工作压力可高达 50 MPa,是在原乳化液泵的基础上改进而来的,其机械传动轴承部分采用油水分离结构,适用于黏度为 $5 \times 10^{-7} \sim 4 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 的液体介质,改变一些关键部件的配合间隙和材料后便可用于纯水介质^[19]。如图 6 所示,该泵的压力流动脉动比较小,常用于除磷系统,可以用最少的水量达到所要的除磷效果。如图 7 所示,德国的 Uraca 公司的多柱塞式水液压泵流量高达 5 485 L/min,工作压力可达 275.8 MPa,常用于清洁、喷水、下水道冲洗等行业,使用方便、易于安装,广泛应用于市场。

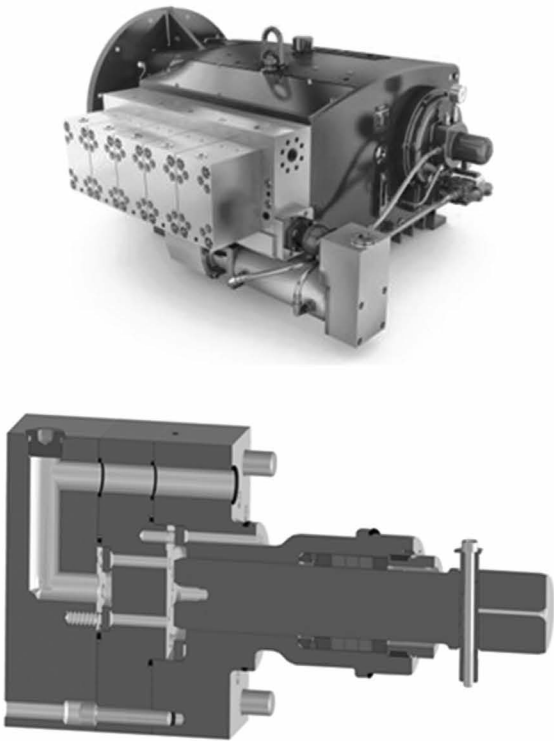


图 6 德国 Hauhinco 公司 EHP—3K 系列柱塞泵



图 7 德国 Uraca 公司的多柱塞式水液压泵

1.2 水液压阀

纯水液压控制阀作为纯水液压系统的关键控制元件,亦成为了研究重点^[20]。由于水的理化特性与矿物质油具有很大区别,所以不能直接采用油类的阀门结构,否则极易引起气蚀、泄漏、摩擦磨损等现象,不仅会降低零件的使用寿命而且还会严重影响系统工作稳定性^[21]。随着水液压技术逐渐成熟,水液压阀的市场及应用领域也越来越广泛。其中最为著名的是芬兰坦佩雷理工大学,其科技人员在水压系统上已取得突破性的技术进展,所设计的产品压力等级高达 40 MPa。德国的 Hauhinco 公司、丹麦的 Danfoss 以及美国 Elwood 公司都陆续研制出高压抗腐蚀的水液压阀,并且效率和寿命都远高于矿物型油介质的传统液压阀。德国的 Tiefenbac 公司也研发出了一系列应用于近海区域的海水液压阀门,最大的工作压力可达 32 MPa,额定流量在 1 000 L/min 左右^[21]。

Suzuki 等人^[22]提出了一种由凸轮机构驱动的水液压比例阀,阀芯由步进电机和正凸凸轮机构驱动,凸轮始终位于 2 个凸轮从动件之间,省略了复位弹

簧。实验证明,阀芯位移相对于凸轮旋转角度的非线性度低于 0.2%。他们还提出了一种平衡活塞式水液压溢流阀,其额定工作压力为 14 MPa。在 20 L/min 的流量下,测得的压力超控和滞后分别约为预设压力的 1% 和 0.1%,且实验的范围内(最大压力 14 MPa)没有空化噪声^[23]。

Park^[24]提出了一种以比例阀芯作为主阀的伺服阀式水液压阀,实验证明了主流量与先导流量的线性关系良好,且对脉冲宽带调制控制有良好的适应性。另外,实验还证明了控制腔的压降不会对阀的基本特性产生影响。

近些年,国内的一些高校和研究院也开始投入研究,相对于国外起步相对要晚,目前只是停留在样机实验阶段,没有形成产品化,需要进一步的研究发展。

韩明兴等人^[25]提出了一种先导阀采用音圈电机加杠杆力放大形式的球阀结构,如图 8 所示。主阀采用通流能力强、响应快的双比例先导阀控制的大流量水压比例插装阀的新型结构,额定流量 1 100 L/min,最高工作压力 25 MPa,具有密封性能好、抗污染能力强等优点^[26]。对于压射系统存在的快慢压射 2 种不同工况的特点,他们提出了一种具有双 U 型阀口的大流量水压比例插装阀结构,通过仿真研究了阀口参数对液动力的影响。

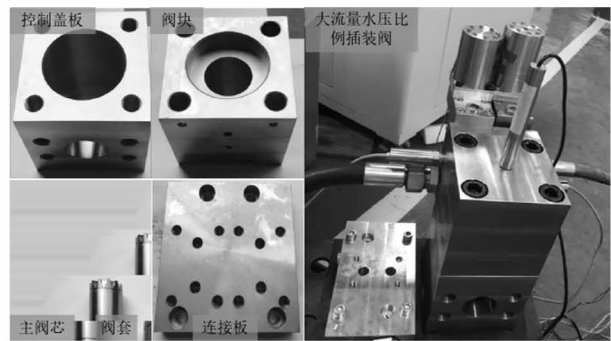


图 8 大流量水压比例插装阀的主阀样机和主要零件

同时,Liu 等人^[27]还针对在深海环境下海水直动式溢流阀的变形问题建立数学模型,并完成了相关动态特性的仿真。结果表明,海水直动式溢流阀在 1 700 m 深度内的有效动态性能,变形后的最佳间隙应保持在 0.019 ~ 0.045 mm 范围内。该团队

还研究了锥阀中由于节流引起的急剧压降而发生的气穴现象,经仿真证明两级节流阀可有效抑制空化现象,而两级节流阀的液动力远大于其他阀门^[28]。

2011 年,周华等人^[29]设计的数字式纯水液压比例溢流阀,可以实现纯水液压系统自动化高频响比例压力调节功能,额定压力可达 14 MPa 以上,额定流量可达 100 L/min。利用伺服电机与凸轮的方式作为先导式溢流阀的电-机械转换器。

Gong 等人^[30]提出一种新型二位三通水液压换向阀,其由一个液压操作座阀和二位三通换向阀组成。实验证明,该阀有优良的性能,压力损失低于 1.1 MPa,切换时间短于 0.025 s,其冲击波峰低于 0.8 MPa。

2010 年,徐杰等人^[31]所设计的压电驱动水压换向阀如图 9 所示,采用压电陶瓷来驱动水压换向阀,体积小、推力大和频响快,不需要消耗能量,额定压力可达 4 MPa 及以上,额定流量可达 14 L/min。

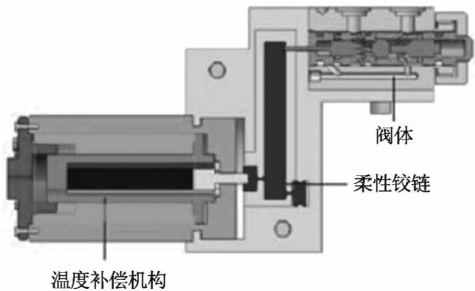


图 9 压电陶瓷驱动水压换向阀结构

2014 年,夏立超和张文康^[32]研制出一台结构紧凑、重量轻、体积小、高效水压溢流阀,如图 10 所示。该阀采用阀座运动的直动式结构,工作压力为 14 MPa,额定流量为 10 L/min,为水压溢流阀的发展奠定了基础,提供了关于水压溢流阀的设计参考。

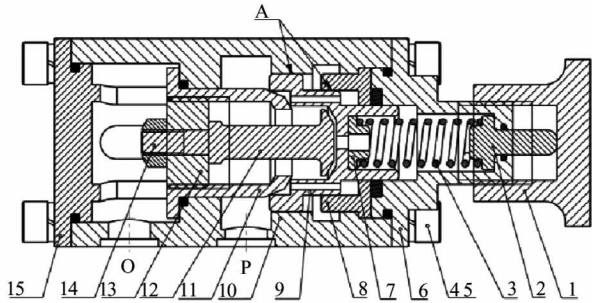


图 10 水液压溢流阀结构

2 水液压技术的工程应用

目前水液压技术已能应用于不同的工业领域,且有着相当不错的效果。下文将列举水液压技术在煤矿工业、海水淡化、细水雾喷射、除焦和高压清洗方面的工程应用。

2.1 水液压技术在煤矿工业中的应用

如图 11 所示,煤矿井下综采机组的液压支架采用水液压技术,其液压系统采用乳化液作为传递介质。我国每年综采出煤量约为 30 亿吨,则每年会有高达约 7.5 万吨乳化液排放到井下,使得地下水遭受大面积的污染,对当地居民饮用水安全 and 环境造成极大的伤害。目前高压大流量液压系统均为开关阀控制,不能调节流量大小,致使液压缸不能精确定位,影响液压支架姿态及其与围岩的耦合效果,易使支架局部承载不均而断裂,严重时容易引起顶板垮落,带来巨大的安全隐患,甚至引发矿难。高压大流量纯水比例方向流量阀采用纯水取代乳化液,不仅能够消除污染,而且水的来源广泛、价格低廉、降低了生产成本;用比例控制取代开关控制,对流量进行调节,不但能够精确控制液压缸的位置及支架姿态、增强支架与围岩的耦合效果、加大支护安全性,还能控制阀芯启闭过程,达到降低压力冲击的目的,还可以拓展到冶金、核反应堆、水处理、大型锻压等领域,促进水液压技术的发展。

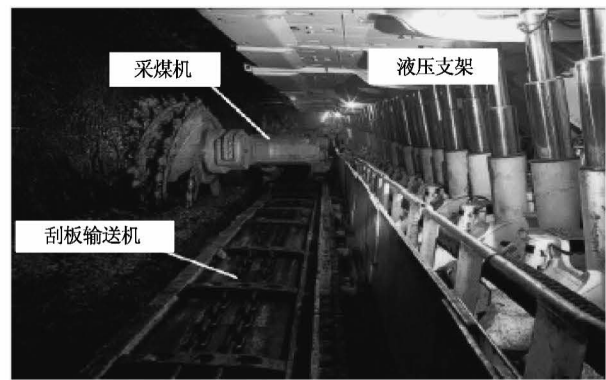


图 11 煤矿井下综采机组

2.2 水液压技术在海水淡化系统中的应用

海水反渗透工作原理流程^[33]如图 12 所示,海

水经过高压海水泵增压以后的高压海水进入反渗透膜组进行反渗透海水淡化,从而产生所需淡水。反渗透海水淡化装置是利用反渗透原理来制造可用淡水的设备。因为泵体在工作中不可避免地存在摩擦,所以其他工作介质,类似于一些油液,如果进入饮用水质,将会使得饮用水受到污染,这将会对人体产生极大的危害,而纯水作为液压泵的工作介质是无毒无害,而且非常的环保,经济性也是相对可观。高压海水泵是反渗透海水淡化中提供动力的关键设备,确定反渗透膜后,反渗透海水淡化系统的能耗指标主要取决于高压泵和能量回收装置的效率,海水高压泵作为动力元件。

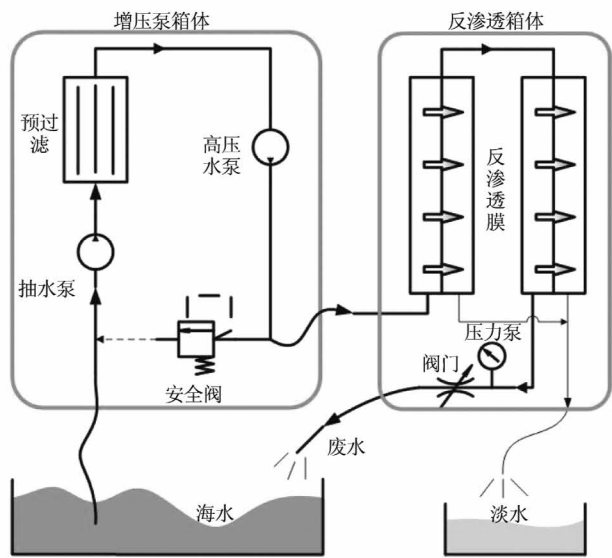


图 12 Rainman 便携式海水淡化的原理^[33]

便携式海水淡化装置^[34]如图 13 所示,它携带方便且体积小,为出海捕鱼的渔民提供便利,可为海岛、旅游度假区、海洋石油平台和驻岛部队等提供淡水,也可装在车、船等运载工具上机动地为分散性和流动性大的地质、石油、矿产和野战部队提供淡水。此外,膜集成海水淡化工艺为海水淡化低成本提供了新的途径。小型海水淡化装置的产水量小、体积小、重量轻。通常用于民用船舶、舰艇、海岛等,作为淡水供给的补充来源,一般不长期连续使用。使用地点一般远离大陆,海水水质稳定、受污染少、水质较好。可见随着技术的提高,高压水泵的体积也可以做的很小,可为便携式海水淡化装置打开市场。



图 13 便携式海水淡化装置^[34]

2.3 水液压技术在细水雾喷射技术中的应用

高压细水雾是水液压技术的重要应用方向。高压细水雾是将水加压(一般大于 10 MPa),通过雾化喷头雾化,形成直径在 100 μm 左右且具有一定动量的微小雾滴。单位体积水的表面积扩大几千倍,具有高效吸热、阻热、绝氧、净化空气等突出优点。高压细水雾系统已经广泛应用于消防灭火、除尘、雾森、增湿、脱硫、环保除雾、景观造雾等方面。高压细水雾用于消防可快速灭火,较一般气体灭火系统、水喷淋灭火系统具有高效、可靠、绿色、环保等综合优势^[35],是未来以人为本、绿色消防的发展方向。高压细水雾灭火目前是一种较为先进的灭火技术,借助高压水经过水液压喷嘴阀产生细水雾从而实现灭火的消防装置^[36]。细水雾进行灭火可以用最少的水进行灭火,对保护对象也不会造成水渍问题,经济成本相对较低。基于水液压技术的细水雾灭火系统在电力设备、采煤平台、宾馆、图书馆、档案馆及文物博览馆等领域均具有较好的应用前景^[37]。

如图 14 所示,无锡华芯科创科技有限公司^[38]设计的高压细水雾泵组,主要由 AP 系列水润滑免维护高压泵、稳压泵、安全溢流阀、调压泄压阀、水箱、过滤器、机架、控制阀、管道、传感器、电气控制系统等组成。泵组分为立式泵组和卧式泵组,最大输出流量 2 000 L/min,最大工作压力 16 MPa。高压泵整体集成化设计、采用立式安装、结构紧凑、安装方

便、启停方便、控制简单、无干扰设计,它以电机为驱动装置,免维修柱塞泵作为动力元件,响应迅速、无需设置单泵溢流阀和单泵卸荷阀,就可实现单泵无负荷启停。

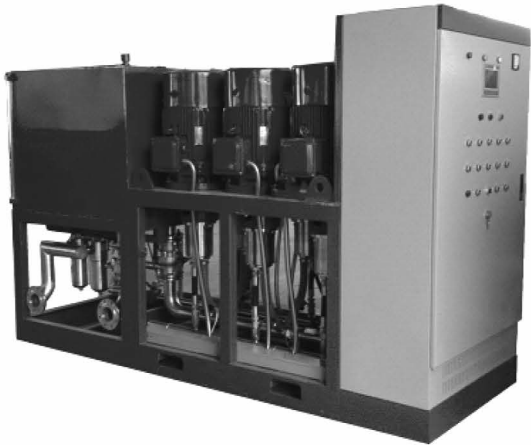


图 14 高压细水雾泵组^[38]

2.4 水液压技术在水力除焦行业中的应用

重质油品经管式加热炉加热到焦化反应所需要的温度时,在焦炭塔内油品进行裂解和缩合反应,生成的油气由焦炭塔顶逸出,生成的焦炭留在塔内,当焦炭塔中结焦达一定程度后,原先的焦炭塔则需要进行清焦作业。清焦采用水力除焦法,先在焦层中央用钻机打一个洞,从顶部打到底,然后自下而上通入压力为 12 ~ 30 MPa 的高压水,利用水的冲击力,把焦炭打下来,并由底部排出。高压水泵输送的高压水,经上水线、水龙带、钻杆到水力切焦器喷嘴;切焦器喷嘴喷出的高压水,形成高压射流,利用高压射流强大的冲击力,将石油焦切割下来。钻杆不断地升降和转动,直到把焦除完为止。在水力除焦过程中就会涉及到高压水泵和除焦控制阀。

美国的 BOC Water Hydraulics 公司^[39]设计的除鳞阀、除焦控制阀为水力除焦行业解决了不少问题。如图 15 所示,该公司的除焦阀是除焦行业上可靠而耐污的水阀,它能够自动地换档,内部泄漏率为 0,采用平衡阀芯,最大限度地延长了使用寿命,是水液压阀技术的里程碑。纯净水作为工作介质,工作压力高达 41.4 MPa。响应速度快,维修方便简单,从而使得水力除焦行业成本大大降低。

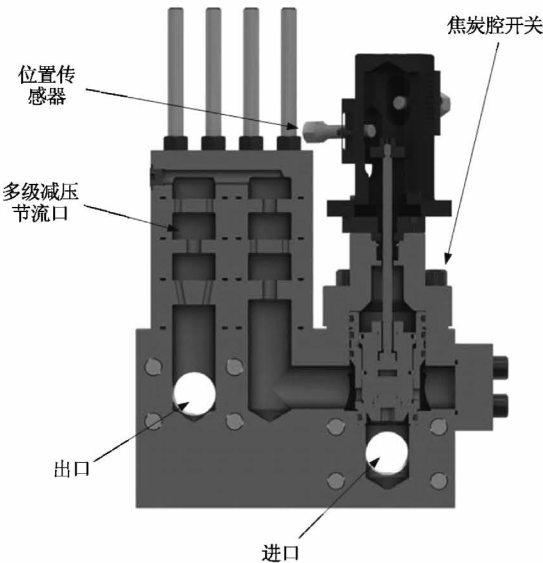


图 15 BOC Water Hydraulics 公司的除焦阀^[39]

2.5 水液压技术在高压清洗行业中的应用

高压水清洗贯穿于生活的各个方面,高压水清洗具有效率高、成本低、不损伤工件、不污染环境、操作方便、安全等突出优点。目前已经普及于生活的清洗应用中,作为环保高新技术取代污染环境的化学清洗在发电、石油、化工、铸造、核电、机场、水泥等行业深受欢迎。近年来,随着国内外高压水清洗的迅速发展,利用高压水流进行船舶、飞机的清洗已经成为新的主流作业手段,研制纯水化的高压柱塞泵在高压清洗机上的应用越来越得到认可。高压清洗装置^[40]如图 16 所示,以高压水泵为核心的动力源是高压水清洗系统的核心所在。应用于水清洗系统的一般是3柱塞泵,具有体积小、重量轻、自润滑免



图 16 高压清洗装置外观图^[40]

维护、绿色环保、无二次污染、便于携带等优势。

华芯科创公司提出 AP 系列水润滑轴向柱塞水液压泵,采用了全水润滑结构,无任何润滑油,绿色环保,终身免维护,功率体积小。轴向柱塞结构的同功率体积约为传统 3 柱塞泵的 25%,重量轻、便于安装,容积效率大于 93%,机械效率大于 95%,效率远大于 3 柱塞泵,高效节能,高转速且流量稳定,最大工作压力可达 31.5 MPa,具有高可靠性、高抗污染性。

3 水液压元件的生产现状

目前,生产水液压元件的国内外公司及其主要产品系列如表 1 所示。总的来说,国外的水液压元件存在价格昂贵、生产周期长、维护不便等缺点,严重地抑制了水液压技术在国内的应用和发展。跨国公司和国外公司能提供高质量水液压元件,而国内生产商还不能形成较大规模生产。值得期待的是,很多高校和企业、研究所都在研究水液压技术,也取得了一定的成果,其在清洗领域的应用也在逐渐成熟。

4 结 论

水液压技术经过多年不断地深入研究,逐渐趋向于成熟,以水作为工作介质有很大的潜力。水绿色环保而且资源丰富,使得水液压技术越来越得到重视。随着新型材料的不断发展,以水液压的环保、可持续发展、成本经济实惠为立足点,水作为工作介质,费用低廉、使用方便,其泄漏和排放不会对环境造成污染,是一种优良的工作介质。纯水液压传动所具有的独特优势,已成为液压技术的一个重要方向,能在很多工业领域推广使用。虽然水液压元件也存在一些问题,如腐蚀性强、气蚀严重、防漏性差、摩擦阻力大,但是很多问题已经得到了解决。目前我国的水液压技术相对比较落后,但我国也在积极参与纯水液压传动技术的研究和应用工作,以缩小我国在此领域与西方国家的差距,将为国家创造巨大的经济效益。

表 1 国内外公司的产品系列主要技术参数

公司	产品	主要技术参数	
		最大压力	最大流量
BOC Water Hydraulics ^[39]	DS 系列除鳞阀	41.4 MPa	/
	RP 系列除鳞阀	34.5 MPa	/
	除焦阀	41.4 MPa	946.3 L/min
美国 Cat Pumps ^[40]	5CP Plunger 泵	20.7 MPa	18.2 L/min
	15 FRAME Plunger 泵	20.7 MPa	37.9 L/min
	35 FRAME Plunger 泵	27.6 MPa	75.7 L/min
	3 FRAME Piston 泵	6.9 MPa	11.4 L/min
	60 FRAME Piston 泵	6.9 MPa	227.1 L/min
	OBSOLETE 2SF DIRECT DRIVE Plunger 泵	8.3 MPa	9.5 L/min
	68 FRAME BLOCK-STYLE Plunger 泵	20.7 MPa	94.6 L/min
德国 Hauhinco ^[40]	HP-3K 高压柱塞泵	57.5 MPa	738 L/min
	Directly Operated Seat 阀	69.6 MPa	30 000 L/min
	Pilot Operated Seat 阀	31.7 MPa	/
	2/2 Way Proportional Seat 阀	49.6 MPa	/
	Triplex High Pressure Plunger 泵系列	40 MPa	274 L/min
丹麦 Danfoss ^[41]	APP 7.2 High Pressure 泵	8 MPa	120.21 L/min
	PAH 10 High Pressure 泵	16 MPa	16.41 L/min
	PAHT 10 High Pressure 泵	14 MPa	21.63 L/min
	VRH 阀	1 ~ 21 MPa	1 ~ 120 L/min
Water Hydraulics ^[42]	P15 Axial Piston 泵	16 MPa	37.2 L/min
	M15 Axial Piston 马达	16 MPa	72 L/min
	Control 阀	20 MPa	0 ~ 30 L/min
	DN16 DIRECTIONAL 阀	16 MPa	0 ~ 140 L/min
	CHECK 阀	20 MPa	0 ~ 30 L/min
中国无锡华芯科创科技公司 ^[38]	APV 阀配轴向柱塞泵	16 MPa	200 L/min
	EAP 特高压水润滑轴向柱塞泵	80 MPa	/
	CV 水液压单向阀	50 MPa	30 ~ 2 000 L/min
西班牙 ITC ^[43]	FERTIC 系列 Piston 泵	0.1 ~ 1.2 MPa	16.7 L/min

参考文献

[1] Lim G H, Chua P S K, He Y B. Modern water hydraulics—the new energy-transmission technology in fluid power[J]. *Applied Energy*, 2003,76(1-3):239-246

[2] Zhu J A, Guo P H. Developing history of water hydraulic technology and its application in coal mine production [J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2010, 42: 236-241

[3] 衡杨, 袁锐波, 林异捷, 等. 纯水液压传动的现状与发展趋势[C]//创新装备技术 给力地方经济——第 3 届全国地方机械工程学会学术年会暨海峡两岸机械科技论坛, 海南省机械工程学会, 2013: 536-540

[4] 郑德刚. 基于射流技术的水液压马达研究[D]. 青岛: 中国海洋大学机电工程学院, 2014

[5] 杨华勇, 周华. 水液压技术研究新进展[J]. 液压与气动, 2013(2):1-6

[6] Zaili Z S, Yusof A A, Mohdnor N F, et al. Characteristics of a reciprocating pump for low-cost sustainable water hydraulic technology demonstrator[J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, 699:736-741

[7] 朱碧海, 何伟, 贺小峰, 等. 膜片式先导水压溢流阀仿真与试验研究[J]. 机械工程学报, 2012, 48(2): 179-185

[8] 聂松林, 石学园, 李晓晖, 等. 水压传动技术及其在

- 农业机械中的应用[J]. 农业机械学报, 2006(9): 193-198
- [9] 卢义敏, 周华. 纯水液压技术在食品机械中的应用[J]. 液压与气动, 2004(4): 49-50
- [10] 弓永军. 纯水液压控制阀关键技术研究[D]. 杭州: 浙江大学机械与能源工程学院, 2005
- [11] 无锡华芯科创科技有限公司. 绿色水液压技术[EB/OL]. <http://www.wxhxc.com/index.php/Home/ Page/index/id/18>; 无锡华芯科创科技有限公司, 2019
- [12] 聂松林, 李硕, 尹方龙, 等. 基于流固耦合的水液压泵柱塞套变形特性研究[J]. 中国机械工程, 2019; 1-8
- [13] 翟江. 海水淡化高压轴向柱塞泵的关键技术研究[D]. 杭州: 浙江大学机械工程学院, 2012
- [14] Song W, Zhou H. Experimental research on performance of water hydraulic internal gear pump[C] // International Conference on Fluid Power and Mechatronics, Beijing, China, 2011: 154-159
- [15] 胡志威, 阮俊, 聂国念, 等. 船用细水雾灭火系统用海水轴向柱塞泵设计及其实验研究[J]. 液压与气动, 2010(4): 75-78
- [16] 郭志恒. 一种带限压溢流及卸荷装置的水液压轴向柱塞泵[P]. 中国专利, 105649968A, 2016-06-08
- [17] Wu X M, Sun K X. Research on a new type of water hydraulic vane pump[C] // IEEE 2015 International Conference on Fluid Power and Mechatronics (FPM), Harbin, China, 2015: 649-653
- [18] Wolfhart Industries. Manufacturer of clean water hydraulic motors/pumps[EB/OL]. <http://www.wolfhartindustries.com/wolfhart.htm>; Wolfhart Industries, 2019
- [19] 聂松林, 尹方龙. 水液压柱塞泵的研究进展及展望[J]. 液压与气动, 2015(1): 1-7
- [20] 杨华勇, 弓永军, 周华. 纯水液压控制阀研究进展[J]. 中国机械工程, 2004(15): 84-88
- [21] 宗宝超. 阀座仿生引流式水液压节流阀特性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学机电工程学院, 2017
- [22] Suzuki K, Akazawa S, Hatayama T, et al. Development of water hydraulic proportional valves driven by positive cam mechanism[C] // Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, Okinawa, Japan, 2011: 552-555
- [23] Suzuki K, Urata E. Development of a direct pressure-sensing water hydraulic relief valve[J]. *International Journal of Fluid Power*, 2008, 9(2): 5-13
- [24] Park S H. Design and performance characteristic analysis of servo valve-type water hydraulic poppet valve[J]. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2009, 23(9): 2468-2478
- [25] 韩明兴, 刘银水, 吴德发, 等. 基于液动力的水压插装阀阀口优化仿真研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(3): 65-68
- [26] 韩明兴. 音圈电机驱动双先导级大流量水压比例插装阀关键技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学机械科学与工程学院, 2018
- [27] Liu Y S, Ren X J, Wu D F, et al. Simulation and analysis of a seawater hydraulic relief valve in deep-sea environment[J]. *Ocean Engineering*, 2016, 125: 182-190
- [28] Han M X, Liu Y S, Wu D F, et al. A numerical investigation in characteristics of flow force under cavitation state inside the water hydraulic poppet valves[J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2017, 111: 1-16
- [29] 周华, 金斌, 谢安恒, 等. 数字式纯水液压比例溢流阀[P]. 中国专利, 10235287A, 2012-02-15
- [30] Gong Y, Yang H Y, Wang Z W. Water hydraulic 2/2 directional valve with plane piston structure[J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2009, 22(1): 109
- [31] 徐杰, 弓永军, 张增猛, 等. 压电驱动水压换向阀中放大机构的设计[J]. 液压与气动, 2010(9): 81-83
- [32] 夏立超, 张文康. 水液压溢流阀设计及研究[J]. 科技创新与应用, 2014(21): 58
- [33] Aohang911. 澳大利亚 Rainman 便携式船用海水淡化器日产[EB/OL]. <https://www.imarine.cn/thread-613931-1-1.html>; Imarine, 2016
- [34] 济南欧航机电设备有限公司. Ampac SW150 便携式海水淡化设备日产 560L[EB/OL]. <https://www.china.cn/haishuidanhuasheb/4084508855.html>; 中国互联网新闻中心, 2019
- [35] 冯明辉. 细水雾与二维对冲扩散火焰作用规律研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学工程科学学院, 2016
- [36] 张慧. 高压细水雾系统灭火效果的实验研究[D]. 淮南: 安徽理工大学能源与安全学院, 2016
- [37] 鲁克明, 刘银水, 贺小峰, 等. 基于水压传动的舰船高压单相细水雾灭火系统[J]. 流体传动与控制, 2006(4): 15-18
- [38] 无锡华芯科创科技有限公司. 海淡水动力源[EB/OL]. <http://www.wxhxc.com/>; 无锡华芯科创科技有限公司, 2019

[39] Water Hydraulics. BOC | DS Series Descaler Valves[EB/OL]. <http://www.bocwaterhydraulics.com/index.php/products?id=75>; Water Hydraulics, 2019

[40] 零逗网. 超高压工业清洗机[EB/OL]. http://www.freep.cn/zhuangxiu_6/News_1311593.html; 零逗网, 2019

[41] Danfoss. 丹佛斯. [EB/OL]. <https://www.danfoss.com/zh-cn/>; Danfoss, 2019

[42] Water Hydraulics. JANUS[EB/OL]. <http://www.izechemicals.com/Products-31074094.html>; Water Hydraulics, 2019

[43] ITC. ITC Group[EB/OL]. <http://www.itcgroupspain.com/>; ITC, 2019

Industrial application and new progress of hydraulic technology

Guo Xiaotian, Xing Tong, Ruan Jian

(College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023)

Abstract

With the development of modern industry, water hydraulic technology has attracted more and more attention. This paper reviews the research status of water hydraulic technology at home and abroad in recent years, and summarizes the advantages and disadvantages of water hydraulic system compared with oil-based system. Firstly, this paper illustrates the current development trend of water hydraulic technology through the research status of water hydraulic components at home and abroad. Then, it illustrates the current application prospects of water hydraulic technology by enumerating the application of water hydraulic technology in coal mine industry, seawater desalination, high-pressure water mist, coke removal and high-pressure cleaning. In addition, some representative hydraulic components are listed in this paper. Finally, this paper discusses the development prospects of today's hydraulic technology.

Key words: water hydraulic technology, engineering application, high pressure pump, plunger pump, water hydraulic pump