

电液锤技术的探索与研究

阳泉煤业集团华越机械有限公司 (山西 045008) 李跃军

锻锤是机械制造业不可或缺的大型设备。以前的蒸汽—空气锤结构复杂、需配套动力设备（锅炉房、空气压缩站、管道）庞大、振动噪声大、污染环境、能量损失大、效率低。逐渐被结构紧凑、重量轻、造价低、高效率、节能环保的电液锤所取代。随着我国制造业进程的飞速发展，电液锤技术也取得了突飞猛进的业绩。

一、国外电液锤的发展状况

20 世纪 50 年代，电液锤出现并在能源危机时代得到了发展，到 60 年代走向了成熟。国外模锻锤的发展经历了机械锤→蒸汽—空气锤→液压+机械锤→液气锤→全液压锤的发展过程。自由锻锤在发展过程中，由于工人劳动强度大、作业风险大，加之锻造精度及材料利用率低等原因，开始向快锻机和锻造液压机、电液锤等方向发展。自由锻件所占比例日渐萎缩，因此电液锤的发展主要在模锻电液锤上。最具先进性和代表性的有：德国 LASCO 公司生产的 KH、KGK 系列电液锤、英国 MASSEY 公司生产的 HYDROSTAMP 型电液锤、捷克和斯洛伐克 ZDAS 工厂生产的 KPH 系列电液锤、俄国新克拉玛托尔斯克列宁机械厂生产的 160kJ、250kJ 电液锤。

二、国内电液锤的发展趋势

国内较国外自由锻件所占比例较大，且大多数工厂的蒸汽—空气锤基本结构还可使用，只是能源消耗大、能量损失大、效率低，因此利用液压技术进行更新与改造，并完全兼顾自由锻、模锻的要求，成为公认锻锤技术改造的基本方向。

国内电液锤技术经历了从多样性向专一性的转变。在我国电液锤的研制过程中，先后出现了 4 种典型结构：单杆排油打击→进油打击→三杆排油打击→全液压结构。这 4 种结构的电液锤，分别在 1990 年前后通过国家技术鉴定，但在推广应用过程中，仅有单杆排油打

击的电液锤，被用户广泛认可，并得到国家有关部门的大力支持。随着我国产业化进程的加快，推广应用工作全面展开，经过不断改进完善，单杆排油打击结构原理的电液锤技术日臻成熟。

目前，国内生产的电液锤或按电液锤技术进行动力头改造的几乎都是单杆排油打击结构。经过锻锤设备生产厂家与用户的不断磨合，我国的电液锤技术的研制水平，特别是在自由锻锤工艺对系统有很高的随动性方面取得了较大的进展。

三、电液锤的工作原理、结构组成

1. 电液锤的基本工作原理

如图 1 所示，电液锤的工作缸上腔是封闭的高压氮气，下腔是液压油，中间靠锤杆活塞隔开，系统对下腔单独控制。下腔进油，锤头提升，高压氮气受到压缩，储存能量；下腔排油，高压氮气驱动活塞带动锤头打击。此原理简称“气压驱动，液压蓄能”。

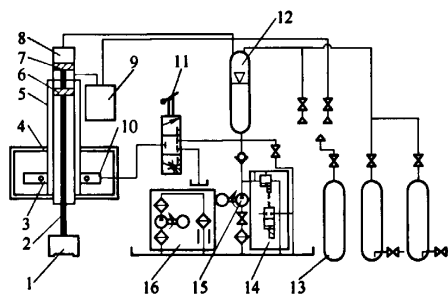


图 1 电液锤工作原理

1. 锤头 2. 锤杆 3. 保险阀 4. 连缸梁 5. 冷却水套
6. 活塞 7. 气塞 8. 缓冲气缸 9. 储气瓶 10. 二级阀
11. 主操纵阀 12. 蓄能器 13. 氮气瓶
14. 溢流阀 15. 油泵 16. 冷却系统

2. 电液锤结构

电液锤的结构见图 2。

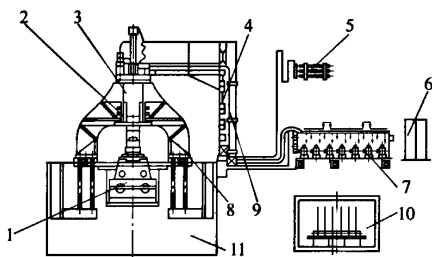


图2 电液锤的结构

1. 砧座 2. 机身 3. 电液动力头 4. 气瓶组
5. 水冷却装置 6. 电控部分 7. 液压阀
8. 操纵部分 9. 管路、润滑部分
10. 液压站 11. 基础部分

- (1) 机身部分 左右机身、左右导轨、底座等。
- (2) 砧座部分 砧座、砧垫、下砧块及相关零件。
- (3) 电液动力头部分 连缸梁、锤头、锤杆、气缸、缓冲缸、联接板、上砧块等。
- (4) 液压站部分 油箱、电机油泵组、电控卸荷阀、阀座、电控温度表、换热电机泵、换热器、滤油器等。
- (5) 液压阀部分 主控操纵阀、快速放液阀、保险阀、霍尔开关。
- (6) 电控部分 主电机、冷却电机、电控装置、按钮站。
- (7) 水冷却部分 冷却塔、水池、水泵、电机、水管、阀门等。
- (8) 操纵部分 由操作手柄机构组成。
- (9) 管路、润滑部分 由管路支架、油气管、润滑泵等组成。
- (10) 气瓶组部分 氮气瓶、气瓶架、汇气筒、高压球阀等。
- (11) 基础部分 地脚螺栓组件等。

电液动力头是电液锤的主要部件（见图3），其主体是一个作为工作时短期容油的油箱，不工作时，油箱内的油液经回油管进入置于地面的液压站油箱内。电液动力头箱体用8条螺栓通过缓冲垫、预压弹簧固定在被改造锤的原气缸位置，该油箱又称连缸梁。在中间装有主缸，主缸顶部装有缓冲缸，内有减振活塞，活塞上部充有一定压力的氮气，其压力与蓄能器上部的气压相同。主缸下部有两个孔分别与快速放液阀和保险阀连通。液压站来油通过管路进入箱体右上侧安装的主操纵阀和蓄能器中，蓄能器下部的油腔直接和主操纵阀相

通，上部通过管路接入气瓶组。主缸内装有锤杆，锤杆上部为活塞结构，活塞将下部的油液和上部的氮气分开。活塞上部充有一定压力的氮气，并与副气罐连通。主缸下部和锤头刚性连接，靠楔铁压紧，操纵部分与气锤基本相同，可完成锤头的打击、回程、慢升、慢降、及急停收锤、悬锤等多种动作。

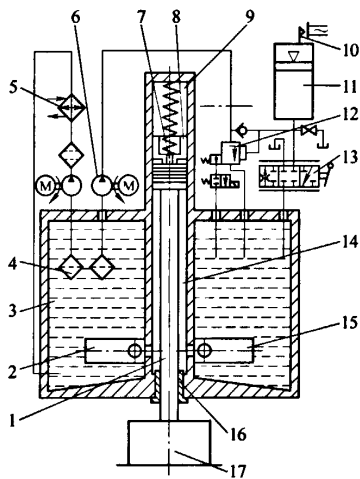


图3 电液动力头

1. 锤杆 2. 保险阀 3. 油箱 4. 过滤器 5. 冷却器
6. 油泵电机组 7. 活塞 8. 减振活塞 9. 气缸
10. 发信器 11. 蓄能器 12. 卸荷阀 13. 主控阀
14. 主液缸 15. 快速放油阀
16. 锤杆密封导向套 17. 锤头

液压系统采用泵—蓄能器—卸荷阀组成的传动恒压封闭液压体系，既保证了系统的稳定性，又大幅降低了装机容量。

3. 电液锤的基本动作

电液锤的基本动作有打击和回程两种：打击时，操纵主阀使活塞下腔和油箱相通，快速放液阀打开，活塞下部的油通过大孔径通道流回液压站油箱，锤杆在活塞上部的气体压力和锤头系统重力的作用下，使锤头加速向下运动，直到形成打击为止。回程时，只需操纵主阀，使油泵蓄能器内的高压油和主缸活塞下腔相通，锤杆活塞在高压油的作用下，迅速完成回程。

四、电液锤的打击能量

锻锤的锻造能力以打击能量为标志。电液锤通过手柄控制打击行程来实现打击能量的获得。锻锤是靠落部分下落时所积蓄的动能进行打击的，其能量可用下式

表示:

$$E_d = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2$$

式中 E_d ——打击能量;

m_1 ——落下部分(包括活塞、锤杆、锤头、上砧块及连接部件)质量;

m_2 ——砧座(下锤头)质量;

v_1 ——落下部分初始速度;

v_2 ——砧座(下锤头)初始速度。

对于有固定砧座的锻锤,取 $v_2 = 0$, 则:

$$E_d = \frac{1}{2} m_1 v_1^2$$

锻造时,希望打击能量在保证锻件变形质量的前提下最大限度地用于锻件的塑性变形。电液锤由于采用液压技术,力学系统密封性好,与气锤相比能量损失少,打击效率高。

五、电液锤常见问题及解决办法

1. 密封圈寿命短,油气互窜问题

电液锤工作缸上腔是高压氮气,下腔是高压油。早期的电液锤由于设计问题及密封件不过关,很容易发生油气互窜问题。采取如下措施可以解决。

(1) 提高导向性能,加强活塞长度。

(2) 加强动力头定位。

(3) 采取耐磨、耐高温的导向环和具有较强补偿能力的 KY 型密封圈。

(4) 根据封油和封气介质的不同,选用邵氏硬度不同的 KY 型密封圈。

2. 非正常寿命锤杆断裂问题

早期的锤杆和锤头一般采用“双锥结构”的联接方式,存在应力集中问题。原主机结构在锤杆偏心锻造时,受较大弯曲应力,且锤杆没有进行表面处理,寿命低,容易造成非正常断裂。针对此类问题,实践中采取了如下措施。

(1) 应用摩擦学原理,锤头与锤杆采用三件套(压件、锥套、锤杆)胀紧结构联接,改“双锥”为“单锥”,大幅避免了应力集中的产生,这种联接既可靠又拆卸方便,锤杆寿命成倍提高。

(2) 找出主机结构的不良设计加以改进,降低锤杆在偏心锻造时所受的弯曲应力。

(3) 利用冷作硬化原理对锤杆表面进行滚压处理,提高表面硬化层,从而提高锤杆的使用寿命。

3. 液压阀的灵活性问题

早期的电液锤操作灵活性差、慢降动作不好,即所谓的“自由锻锤不自由”。对此,采取以下措施后得以解决。

(1) 改进二级阀的设计,加大节流孔的面积,从而提高慢降过程中的流量和流速。

(2) 加大主阀通径,从而最大限度地保证主阀与二级阀的协调性。

(3) 缩短主阀与二级阀的距离,实现“零距离”联接,从而缩短二级阀的反应速度,消除容积效应的影响。

4. 系统的发热问题

电液锤系统的发热问题,是一个很大的技术难题,其严重影响系统的密封性能和工作性能。采取如下措施得以解决:

(1) 最大限度地减少系统液阻,合理选择油管通径,把流速控制在合理范围内。

(2) 提高主阀和二级阀的耐磨损能力,从而减少内部卸荷。

(3) 采用散热系数较高的板式换热器和较大流量的冷却泵,提高冷却速度和油液的循环次数。

5. 油路振动问题

电液锤的油路振动问题对系统的可靠运行危害极大,必须想方设法阻断震动源和缓冲振动波,为此采取如下措施,效果很好。

(1) 凡与主机连接的管道,及与液压站连接的高压管道都采用弹性连接。

(2) 在高压管道上增加缓冲蓄能器。

(3) 压力表全部采用耐震压力表,表座用 4 根拉簧悬挂起来,连接管采用微型胶管连接。

六、国内电液锤技术的创新发展

1. 导轨结构的创新设计

国内锻锤的梳形导轨存在力臂短、无温度补偿功能等缺点。为了不使锤头因升温膨胀,致导轨间隙减小而导致卡死,早期的设计是加大导轨的冷态间隙,这就给电液锤技术的发展带来了困扰。

(1) 柔性细锤杆理论(德国 LASCO 公司发明)用

于自由锻锤上的效果很好，而用于多模腔锻造且偏载力大的模锻锤上就有一定困难。

(2) 导轨间隙大，使得锤杆受较大偏载力，导致使用寿命缩短。

为消除以上致命问题，国内专业技术人员采用 X 型导轨结构对电液锤主机进行了革命性改造与创新设计。由于这种导轨有较长的力臂，锤头的热膨胀方向与导轨面方向基本一致，热膨胀时对导轨间隙影响不大，导轨间隙可以调到很小，这就使得锻造过程中的偏击力全部由锤头导轨来承担，锤杆寿命大大提高。

2. 连缸梁内部结构的创新设计

早期的电液锤动力头从主控操纵阀到二级阀阀座是由一根无缝管两端焊接相连。在工作过程中受交变载荷，锤头回程时受载打击时卸荷，周而复始，对工况比较恶劣的锤就会出现管子破裂和焊缝开裂。由于这根管在连缸梁的箱体内部，一旦失效，很难修复，即使修复也很难保证质量，这既是隐患，也是影响动力头寿命的主要因素。为解决这个问题，将二级阀座直接移到主阀下面，去掉此焊接管，二级阀座与主缸体采用整体铸钢件，从而实现连缸梁内部的无管化连接，提高关键零件的可靠性。

3. 阀单元的自主创新设计

阀单元主要包括：组合阀、二级阀、保险阀、电控卸荷阀装置，目前这些阀件在国内都有自主知识产权。

(1) 组合阀，也称主控操纵阀（专利号：87101725.3、922203800.7），是特殊设计的随动阀，使用中用很小的力操纵阀芯，其位置就变为很大的液压力差，并驱动通径滑阀运动。通过滑阀通道的改变和开口大小的变化，就可实现锤的回程、打击和升降功能。

(2) 二级阀，也称快速放液阀（专利号：87202367.2、92203799.X），与组合阀相连，是靠压差驱动的液控开关，其在锤打击时可于 0.01s 内使回程腔油压降到工作压力的 5% 以下，减少能量损失。其灵活性决定锻锤的打击频次，是液压性能好坏的关键。

(3) 保险阀（专利号：87214625.1），用于吸收并释放在急停或收锤时液压冲击产生的过载。这个阀位于回程油腔的下部，是一个中间有浮动活塞的光缸，一端通回程油缸，另一端是一个弹簧，在正常情况下，活塞被弹簧顶死，保险阀关闭。当压力超过耐压值时（一般

是工作压力的 3 倍），活塞被压力油推动，主腔和油箱相通，放出部分高压油，保证人员及设备安全。

(4) 电控卸荷阀装置，也称发信器（专利号：92205556.6），装在蓄能器顶部，检测蓄能器油满信号，控制卸荷阀的开闭。油满时卸荷，不满时供油，达到节约能源的目的。

4. 防撞顶装置的创新设计

自由锻锤的锤头运动特点是快打、快提，锤头撞顶机率高，对缓冲缸的缓冲特性要求很高。国内专业人员通过对早期电液锤缓冲缸结构缺点的分析，改进设计，将缓冲缸和蓄能器的气腔连通，使其压力匹配，提高了防撞顶的可靠性。

七、电液锤效能分析

电液锤不仅打击力大、操作灵活，而且省去了空气压缩站，节约了检修费用，在节能增效方面效果显著（见附表）。

2t 蒸汽-空气锤改电液锤年成本变化分析

项目	蒸汽-空气锤	电液锤
锻件产量/t	3000	3000
压缩空气单耗/ $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$	20	无
1m^3 压缩空气费用/(元/ m^3)	3.75	无
压缩空气年耗费用/万元	22.5	无
锻件电耗/ $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{t}^{-1}$	24	77.54
锻件电耗费用/(元/t)	14.4	46.52
年电耗费用/万元	4.32	13.96
备件、检修费用/万元	14.7	5.72
锻件备件、检修费/(元/t)	49	19.07
液压油净单耗/(元/t)	无	1.06
液压油年净耗(20%)/元	无	636
氮气单耗费用/(元/t)	无	0.54
氮气年耗费用/元	无	1620
锻件费用/(元/t)	138.4	66.35
吨锻件降成本/元	72.05	
年产值降成本/万元	21.62	

八、结语

低碳经济、环保节能成为当今世界最主要的命题之一，任何国家和地区都不应以牺牲环境为代价来换取一时的繁荣。电液锤的发展从更深层意义上缓解了制造与环保的尖锐矛盾，为我国坚持社会主义科学发展观、坚持走可持续发展道路作出了卓越的贡献。MW

(20101020)