

# 系列高效液动锤的研究与应用

苏长寿, 谢文卫, 杨泽英, 孟义泉, 王建华

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**传统的液动潜孔锤适应孔深较浅、孔径范围小。传统的正作用式液动潜孔锤阀、锤的工作弹簧对冲击能量影响大、弹簧寿命短,易损坏,其在不正常工作时将截断液流通道,必须提钻检查,否则将会出现烧钻事故;传统的双作用液动锤主要是靠锤、阀各自的上下活塞面积差产生的压力增高而工作,运动密封副多,对冲洗液质量要求高、运动阻卡几率大,固定式节流环对冲锤下行做功将产生一定的阻尼作用。YZX 系列高效液动潜孔锤和 SYZX 系列绳索取心液动锤克服了传统液动锤的诸多不利因素,通过从基础理论研究、结构优化设计、产品规模开发,使我国液动锤技术得到了大幅度的提升,并作为一种高效、简便、节能的新产品,在生产实践中获得了良好的应用效果。

**关键词:**液动潜孔锤;绳索取心液动锤;结构优化;应用效果

**中图分类号:**P634.5<sup>+</sup>6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)03-0027-05

**Study and Application of High Efficiency Hydro-hammer/SU Chang-shou, XIE Wen-wei, YANG Ze-ying, MENG Yi-quan, WANG Jian-hua** (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** As the new products with high efficiency, convenience and energy-saving, YZX series high efficient hydro-hammer and SYZX series wire-line coring hydro-hammer overcame the unfavorable factors of traditional hydro-hammer. By the basic theoretical research, structural optimization design and scale development, hydro-hammer technology has been largely improved in China and good application result is achieved in construction practice.

**Key words:** hydro-hammer; wire-line coring hydro-hammer; structural optimization; application result

液动冲击回转钻探是在回转钻探的基础上通过利用冲洗液驱动的液动潜孔锤(简称液动锤)对破碎岩石的钻头施加一定频率的冲击能量,用来加速碎岩,也就是钻头上带有冲击负荷的回转钻探。钻孔时液动锤安装在钻杆与岩心管或钻头之间(取心或全面钻进),并随钻孔之延深而潜入钻孔中对钻头施加冲击负荷。我国该技术处于世界先进水平。但随着我国实施“攻深找盲”深部找矿战略,从口径到深度都对设备、钻具提出更高的要求,传统液动锤不论从满足不同口径、不同深度、不同应用要求都存在诸多问题,为此,在科技部科研院所专项资金项目支持下,我们开展了新型高效系列液动锤的研究与开发,以满足市场不断提高的要求。

## 1 传统液动锤存在的主要问题

### 1.1 正作用液动锤存在的主要缺陷

(1) 阀、锤的工作弹簧对冲击能量影响大,弹簧寿命在高频冲击作用下易损坏(一般不超过 40 h)。

(2) 对孔深的适应性敏感,受背压影响明显(孔深一般在 500 m 以浅)。

(3) 不正常工作时将截断液流通道,必须提钻检查,否则将会出现烧钻事故。

### 1.2 传统双作用液动锤存在的主要缺陷

传统的双作用液动锤主要结构为锤、阀,其工作均为利用各自的上下活塞面积差,并通过处于砧头处的固定式节流环产生的压力增高而推动。因此存在以下问题:

(1) 运动密封副多(最少 4 道),造成对冲洗液质量要求高、运动阻卡几率大;

(2) 固定式节流环对冲锤下行做功将产生一定的阻尼作用;

(3) 对孔深的适应性较敏感,受背压影响较明显(孔深一般在 700 m 以浅)。

### 1.3 受钻孔口径的限制

传统的液动锤所钻口径范围较小(尤其是大直径),无法满足多种应用领域的需要。

收稿日期:2010-01-29

基金项目:科技部科研院所专项资金项目“(2005)系列高效液动潜孔锤研究与开发”

作者简介:苏长寿(1954-),男(汉族),陕西人,中国地质科学院勘探技术研究所勘探新技术二室主任、教授级高级工程师,河北省科技奖励评审专家库专家,探矿工程专业,从事钻具、钻头以及工艺技术方面的研究开发与管理工作,河北省廊坊市金光道 77 号,13803227586, suchsh@heinfo.net。

## 2 YZX 新型高效系列液动锤的研究

### 2.1 工作原理的研究与确定

#### 2.1.1 工作原理的确定原则

(1) 适用孔深大(大于 3000 m), 能量要提高(较传统提高 20% 以上);

(2) 在由于各种原因液动锤不工作时可不提钻采取常规回转钻进方法以满足完成整个回次或牙轮钻头井内完整寿命;

(3) 结构简单、易损件寿命长且更换方便。

#### 2.1.2 结构及工作原理

根据上述对传统液动锤的分析及新型液动锤工作原理的确定原则, 我们采用取得发明专利的双喷嘴复合式液动锤为其基本结构, 以适应生产条件、高效、方便为着力点, 对液动锤进行技术提升和完善。

##### 2.1.2.1 结构

其主要零件有上阀组件、外管、冲锤组件和传功座、钻头(接头)等(参见图 1)。

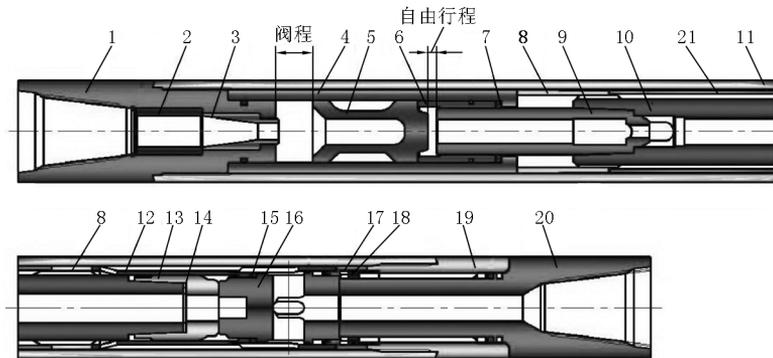


图 1 YZX 系列高效液动潜孔锤结构示意图

1—上接头; 2—顶套; 3—喷嘴; 4—上缸套; 5—阀; 6—上活塞套; 7—调节垫; 8—扶正套; 9—上活塞; 10—重锤; 11—外管; 12—下缸套; 13—下活塞; 14—调节垫; 15—传功座套; 16—传功座; 17—短接; 18—卡瓦; 19—花键套; 20—花键轴

##### 2.1.2.2 结构特点

密封副少、运动副不用橡胶件、科学分流。

##### 2.1.2.3 工作原理

由地面泥浆泵输出的冲洗液通过钻杆到达液动锤的上接头, 并经过喷嘴高速喷射出, 在阀区产生一低压区, 诱使上阀逆流向上运动, 而此液流将继续通过上活塞和冲锤抵达冲锤下腔形成高压, 使冲锤在其上下活塞面积差的作用下快速上行并与已经处于上限位的上阀接触, 将高速流动的冲洗液流截断, 从而产生水击, 使原处于低压区的上阀区变成高压区, 下腔则成为低压区。此水击快速推动上阀和冲锤下行, 上阀运行一段距离(称为阀程)后在限位台阶作用下停止运动, 冲锤则在惯性和由于阀、锤打开冲洗液畅通的液流共同作用下继续向下运动直至冲击传功座将冲击能量输出, 这样成为一个工作周期。如此循环周而复始。

## 2.2 新型高效系列液动锤突破的关键技术

(1) 与传统液动锤比较, 该高效系列液动锤结构简化, 密封副由 4 道减少到 2 道, 有效地降低了运动件的阻卡几率。结构调整参数由 5 个减少到 2 个, 取消了原有液动锤固定式节流环, 减少击砧时的水垫作用, 使液动锤在相同输入能量时输出的冲击

能量提高了 25% ~ 50%。同时该系列液动锤具有工作稳定、操作简便, 即使由于特殊原因不工作时也不会像传统液动锤迅速截断水路造成烧钻事故, 而能保证现场采取常规回转方法钻完本回次或完成牙轮钻头的井内寿命, 这一优势可以极大地改善现场安全使用液动锤的可靠性, 有显著的实用意义。

(2) 通过科学合理的液动锤分流设计, 使液动锤具有可调式、多孔分流结构, 有效地解决液动锤工作泵量与钻井现场所用泵量不匹配(相差 50%)的矛盾(传统液动锤没有解决此问题)。

(3) 通过不同下活塞固结方式的试验, 很好地解决了作为液动锤重要的易损部件——下活塞的现场更换, 可极大的方便生产现场使用并节约成本。

(4) 对液动锤的关键部件——上下密封副, 从材质、热处理工艺和表面耐磨工艺经过多轮试验的研究, 确定了新的材质及热处理工艺, 使得承受冲击零部件在表面具有较好的耐冲击时心部具有应有的韧性, 从而提高综合性能; 通过泥浆寿命试验, 将主要易损件寿命在含砂量  $\leq 0.2\%$  条件下从 10 h 提高到 50 h, 而在实际使用中超过了 70 h。

## 2.3 系列高效液动潜孔锤规格及参数

通过近 5 年的研发, 完成了一个根据发明专利

原理研制的高效液动潜孔锤产品系列,见图 2 和表 1(8 种规格,口径 54 ~ 178 mm)。形成了一个可基本覆盖地质岩心钻探、地质灾害治理钻探、水文水井钻探、石油天然气钻井的满足不同钻探目的要求的完整的液动锤系列,并在提高易损件寿命的结构优化、表面硬化处理措施、解决适应现场大泵量而研究的分流装置等方面取得显著的进步。使其工作能量较传统液动锤提高 25% 以上,易损件在泥浆中寿命从 10 h 提高到 50 h,在清水中提高到 100 h。研制的分流机构可提高液动锤的流量,可有效地适应大泵量钻井工艺,较好地满足了石油、天然气、地热深井、高温、大泵量、高泵压钻井环境。



图 2 YZX 系列液动锤实物图片

表 1 YZX 系列液动潜孔锤结构参数表

型号	液动锤 外径/mm	钻孔直 径/mm	冲锤质 量/kg	冲锤行 程/mm	自由行 程/mm	冲击频 率/Hz	冲击功 /J	工作泵 量/(L/min)	工作泵 压/MPa	总长 /mm	总质量 /kg	冲洗介质
YZX54	54	56 ~ 65	3.5	15 ~ 25	5 ~ 8	25 ~ 45	10 ~ 50	60 ~ 90	0.5 ~ 2.0	863	12	清水、 乳化液、 优质泥浆
YZX73	73	75 ~ 85	5.5	20 ~ 25	6 ~ 10	20 ~ 45	15 ~ 70	90 ~ 150	0.8 ~ 3.0	1000	25	
YZX89	89	91 ~ 105	7.0	20 ~ 30	7 ~ 12	20 ~ 40	20 ~ 90	120 ~ 190	1.0 ~ 3.0	1000	35	
YZX98	98	112 ~ 120	15.0	30 ~ 40	10 ~ 12	20 ~ 40	80 ~ 120	200 ~ 300	1.5 ~ 4.0	1600	72	
YZX127	127	136 ~ 158	35.0	40 ~ 50	10 ~ 15	7 ~ 15	120 ~ 250	350 ~ 550	2.0 ~ 5.0	1950	120	
YZX146	146	165 ~ 190	37.0	40 ~ 50	10 ~ 15	7 ~ 15	150 ~ 300	600 ~ 1000	2.0 ~ 5.0	2280	220	
YZX165	165	190 ~ 216	50.0	40 ~ 50	10 ~ 15	7 ~ 15	150 ~ 350	900 ~ 1500	2.0 ~ 5.0	3180	380	
YZX178	178	216 ~ 245	68.0	30 ~ 60	10 ~ 15	7 ~ 15	200 ~ 400	900 ~ 1800	2.0 ~ 5.0	2880	410	

### 3 SYZX 系列绳索取心液动锤的研究

在成功研发出上述 YZX 系列高效液动潜孔锤的基础上,根据液动锤研究水平的提高以及拓展液动锤的功能和生产现场需要,我们还适时地研发了 SYZX 系列绳索取心液动锤,其实物见图 3、图 4,性能参数见表 2。

绳索取心钻探以其少提大钻增加纯钻进时间,提高台月效率,减轻劳动强度等优势获得了非常广泛的应用。其存在的主要问题是绳索取心钻探用的钻头底唇面较厚,克取岩石面积较大,钻进效率相对较低,尤其是在坚硬“打滑”岩层,钻进效率尤其低下。为解决这一突出问题,将钻进效率较高的液动锤钻探技术和绳索取心技术相结合,研制出了绳索取心液动锤,取得了良好的钻探效果:时效一般提高 30% 以上,回次进尺增加 25% 以上,成本降低 10% 以上。但早期的由于液动锤结构比较复杂,易损件较多,工作的可靠性较差等原因,使其在实际应用中受到限制。为此,我们选择采用了取得两项专利,并经过中国大陆科学钻探科钻 1 井 5000 m 深度 3000 余米钻探进尺考验并经本项目完善提高的 YZX 系列液动锤与绳索取心技术相结合,使得该系列的绳冲钻具在适应性、工作稳定性、易损件寿命等诸多方

面具有明显的优势。

#### 3.1 SYZX 系列绳索取心液动锤的总体结构

(1) 外总成:与绳取钻杆相连接的弹卡挡头 + 弹卡室 + 上扩孔器(内装上扶正环) + 上外管 + 承冲环接头 + 下外管 + 下扩孔器(内装下扶正环) + 钻头。



图 3 SYZX75 绳索取心液动锤实物图片



图 4 SYZX96 绳索取心液动锤实物图片

表2 SYZX系列绳索取心液动锤钻具主要性能参数

型号	配套绳索取心钻具	钻具外径/mm	钻头直径/kg	冲锤行程/mm	自由行程/mm	工作泵量/(L·min <sup>-1</sup> )	工作泵压/MPa	冲击频率/Hz	冲击功/J	总长/mm	总质量/kg	冲洗介质
SYZX75	S75	73	75.5	15~25	5~8	60~90	0.5~2.0	25~40	10~50	4210	75	水、乳化液或低固相泥浆
SYZX96	S96	89	95.5	20~25	6~10	90~120	0.5~3.0	20~40	15~70	5500	115	
SYZX122	S114	114	122	20~30	9~15	120~190	1.0~3.0	15~30	20~90	5230	180	

(2)内总成:打捞定位机构+YZX系列液动锤+传功环+单动机构+上下分离机构+调整机构+内岩心管+卡簧座(内装挡圈和卡簧)。

### 3.2 SYZX系列绳索取心液动锤的特点

(1)内置的YZX系列液动锤采用双喷嘴配流结构并与锤阀各自具有的面积差而运动,减少了密封副的数量,简化了钻具结构;无易损坏的弹簧零件,钻具寿命长;取消了固定式节流环,击砧水垫影响小,有利于深孔钻进;长度缩短,钻具的总体长度也随之缩短;冲击功高,可大幅提高钻进效率。

(2)内外管间及阀锤高低压区的密封均采用金属机械式密封,耐磨性能高,寿命长。

(3)为增加传功环和承冲环的的受力面积,又不至于因冲击产生的轻微变形影响其正常功能,还要保证到位的准确性,冲击功传递装置采用具有相互限制的刚性结构。为保证在高强度冲击作用下传功环和承冲环不会相互卡死,我们在材料选择及加工工艺上作了多次改进,并在试验台进行高强度冲击试验,结果证明采用的加工工艺符合设计要求。同时,为防止承冲环接头因管壁薄和应力集中的双重作用发生断裂,增加安全性,特别设计了减应力槽,使传功装置简单可靠,更换方便。

(4)传功装置既能传递冲击功,又能起到到位报信的功能。若内总成投放不到位,冲洗液从内总成和外岩心管之间通过,只有少量冲洗液能进入液动锤,使液动锤不能正常工作——冲击频率很低或不工作。当内管总成到位——传功环坐落在承冲环上,内总成处于悬挂状态,防空打间隙在重力作用下闭合;送入孔内的冲洗液流到承冲环时,因通路封闭,被迫全部进入液动锤内,由于正常压差的建立,液动锤开始正常工作,从而实现到位报信功能。同时,液动锤利用冲洗液所携带的能量驱动其内部的冲锤产生一定频率的向下冲击运动,通过传功环传到承冲环上,承冲环再将其传到岩心外管一直到钻头上,实现对孔底的钻头施加冲击从而提高钻进效率。

(5)解堵塞。当发生岩心堵塞时,传功环相对承冲环上移,冲击功直接作用在岩心内管上,利用冲

击振动即可消除岩心堵塞。

(6)该系列绳冲钻具保留了原有绳冲钻具具有的上下分离接头装置,以保证捞取岩心时将内总成分离成上下两部分,防止因提出的内总成过长,造成其弯曲或折断。分离方法是当下分离接头提到孔口时,用垫叉将其叉住,挡环上移,即可拆开上、下分离接头。然后使打捞器与组合式提引接头相连,再將下分离接头及以下部分提出。投放过程则相反。

发挥绳索取心不提钻取心的优势,配合液动锤的冲击振动,不仅因碎岩方式变化而大幅提高钻进时效,克服钻进坚硬岩层时的打滑现象,还使得岩心堵塞的几率大大降低。该产品2008年、2009年合计在生产现场使用量超过300台套,进尺达50万m,取得显著的技术和经济效果。

## 4 生产试验效果

(1)总的试验工作量。通过课题组与各试验使用单位的通力合作与密切配合,新系列液动锤共计完成试验钻进工作量18915.41m,其中井深3000m以浅的工作量17442.36m;3000m以深的工作量1473.05m。由于效果显著,“SYZX75绳索取心液动锤”被评为2008年度探矿工程十大新闻之一。

(2)钻进速度提高。在不同地层采用液动锤后,钻进速度和回次进尺较回转钻进都有明显的提高。其中昆明工程勘察公司于2006年4~6月在云南威信县麟凤乡801孔矛口灰岩、峨眉山玄武岩地层时效提高50%,回次长度增加15%。甘泉秦泰公司32516石油钻井队2007年8月在陕西靖边县五里湾乡柳86-54井于泥岩、砾石层、砂岩、灰岩及互层中时效提高29.4%。福建地质八队在细粒石英花岗岩、强硅化花岗岩等X~XII级地层平均台效461m,台效比普通绳索取心钻进提高2.5倍,平均机械钻速1.19m/h,较回转钻进提高3.6倍。

(3)回次进尺增加、钻头寿命延长。山东地质三队金刚石钻头寿命提高15%~80%,回次进尺增加18%;吉林核工业钻探队钻头寿命提高数倍,回次进尺增加1.5倍。

(4)可满足不同钻头进行不同勘探目的钻进,

该系列液动锤配套金刚石取心钻头、球齿全面硬质合金钻头、牙轮钻头完成岩心钻探、水井全面和扩孔钻探、牙轮全面石油钻井,能够适应不同深度钻井条件。

(5)液动锤无故障工作时间延长。根据前述对液动锤主要密封副结构和性能研究,使得该系列液动锤的实际使用寿命有较大的提高,从原来的10~20 h提高到40 h,使其与石油钻井常用的牙轮钻头寿命差距缩小,并为进一步提高积累有益的经验。

(6)液动锤启动容易、操作维修方便。试验表明,该系列液动锤结构简单、组配容易、强度高、调节方便,易于操作维修保养,泵量范围大,对冲洗液有较强的适应性。尤其是为满足石油钻井泵量条件设计的分流结构,很好地解决了液动锤与现场泵量相差很大的矛盾。同时该系列液动锤科学的结构使得在由于各种原因不工作时,仍然可保证现场采取回转钻进方法完成该回次或本牙轮钻头的完整钻井寿命,而不用当时提钻,可有效地防止烧钻事故和减轻劳动强度。

(7)液动潜孔锤跟管钻进是一项新工艺,具有设备投资少、钻进速度快、环境污染少等优点。通过北京京佑恒公司和黑龙江岩土基础工程公司2292 m跟管钻进实际,有效地证明了这一点。

(8)根据液动锤技术研究进展以及生产现场需求,研究开发的SYZX系列绳索取心液动锤,是该系列液动锤的功能扩展和成果深化应用,它以其先进的性能、简便的操作,在生产实际中效果显著,并且

将岩心内管从标准的3 m加长到4 m和5 m,大幅度地提高纯钻时间利用率(提高55%~75%),在吉林核工业系统使用,岩心采取率达100%,时效提高,钻具、钻头寿命延长,工人劳动强度明显降低。将我国钻探专家们关于加长岩心管的设想变成了现实。山东地质三队在孔斜方面取得非常理想效果,在兖州颜店铁矿ZHO01使用绳索取心液动锤每百米偏斜由6.03°降到了1.75°。

## 5 结语

综上所述,该项目全面完成规定的任务,从液动锤的结构原理、具体结构、关键零部件以及全方位、广范围的室内外试验,取得良好的经济效益和社会效益。为生产现场提供了一种简单、实用高效的机具,将我国在此领域的研究与应用水平大幅度提升,保持了我国在世界的领先水平。

## 参考文献:

- [1] 张伟. 二十一世纪大陆科学深钻技术发展展望[J]. 探矿工程, 1999, (S1): 169-171, 183.
- [2] 张金昌. 钻探技术新进展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(S1): 11-18.
- [3] 谢文卫, 苏长寿, 孟义泉. YZX127型液动潜孔锤的研究与应用[J]. 探矿工程, 2003, (S1): 276-281.
- [4] 谢文卫, 苏长寿, 宋爱志. 高冲击功液动潜孔锤的研究[J]. 探矿工程, 1998, (6): 31.
- [5] 王建华. 大直径液动潜孔锤钻进技术探讨[J]. 勘察科学技术, 2009, (6): 22-24, 28.

## 为深部找矿提供勘探技术支撑

**本刊讯** 山东省地矿局钻探工程技术研究中心于2010年3月12日正式挂牌成立。该中心将为全省地质找矿钻探提供重要技术研发平台和技术支撑。探矿工程新技术研讨班同时举行。

地质钻探是地质找矿必需的技术手段。作为矿产资源大省和矿产资源消耗大省,山东的金矿和铁矿等优势资源的勘探正在向深部和盲区发展。该省地矿部门在烟台莱州深部相继探明特大型金矿,在济宁兖州和临沂苍山的铁矿钻探深度已达2000 m以深。地质找矿“攻深找盲”的大趋势,对钻探设备、工艺等提出了新要求、新挑战。新成立的钻探研究中心将全力发挥山东的钻探队伍优势和技术优势,主要围绕钻探工程与施工,组织开展技术研究,引进推广新技术、新工艺、新设备,加强与大中院校、科研院所的联系与合作,组织开展高新技术培训等,为全面提高山东钻探技术水平提供科技支持。

山东地矿局的机械岩心钻探技术在全国同行业中处于

## 山东成立地质钻探技术研究中心

领先水平,小口径金刚石绳索取心钻探施工技术、施工力量一直位居国内前列。近年来,该局积极实施资源山东建设战略,大力引进、培养优秀技能人才,不断创新钻探工艺,投入亿元资金用于钻探设备更新,年最高开动钻机达300多台,施工地域达到十几个省(区)、6个国家,完成钻探工作量连续两年突破百万米。同时,该局拿出专项经费用于深部找矿钻探关键技术应用研究,积极推进钻探技术发展,在大口径石油地质钻探、海上钻探、矿区深部小口径钻探、地热深井钻探等方面相继取得重大突破。第三、第六地质队曾经连续6次打破国产机具小口径绳索取心国内钻探孔深纪录,目前由第六地质队最新创造的纪录为2401.12 m。

山东省地矿局钻探研究中心的应运而生,标志着该局钻探施工技术与研发又上了一个新的台阶,必将为山东乃至全国的深部地质找矿提供重要的技术支撑。

(山东省地矿局 秦幸福、耿仁东、张敏 供稿)