

液压破碎锤

设计理论、计算方法与应用

杨襄壁 罗 铭 ◇ 著

YEYA POSUICHUI SHEJI LILUN JISUAN FANGFA YU YINGYONG



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

液压破碎锤 设计理论、计算方法与应用

杨襄壁 罗 铭 著

合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

液压破碎锤设计理论、计算方法与应用/杨襄壁,罗铭著. —合肥:合肥工业大学出版社, 2012. 11

ISBN 978 - 7 - 5650 - 1011 - 8

I. ①液… II. ①杨…②罗… III. ①破碎—液压锤 IV. ①TG315.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 272216 号

液压破碎锤设计理论、计算方法与应用

杨襄壁 罗 铭 著

责任编辑 朱移山 王路生

出 版 合肥工业大学出版社
地 址 合肥市屯溪路 193 号
邮 编 230009
电 话 总 编 室:0551—62903038
市场营销部:0551—62903198
网 址 www.hfutpress.com.cn
E-mail hfutpress@163.com

版 次 2012 年 11 月第 1 版
印 次 2013 年 2 月第 1 次印刷
开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16
印 张 9 彩 插 2 页
字 数 213 千字
印 刷 安徽联众印刷有限公司
发 行 全国新华书店

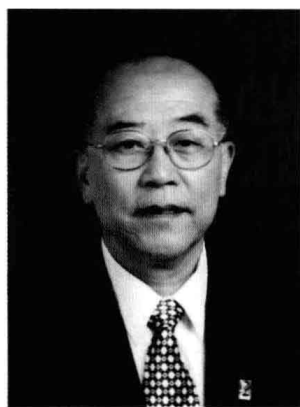
ISBN 978 - 7 - 5650 - 1011 - 8

定价: 68.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社市场营销部联系调换。

作者简介

杨襄璧,1933年生,中南大学教授,博士生导师。2001年退休,退休前任中南大学液压机械工程研究所所长,长期从事工程机械的研究,主攻液压冲击机械,提出了“液压冲击器抽象设计变量理论”,并形成系统的理论体系和设计计算体系;发表论文60余篇,获国家专利32项、国家发明奖1项、国家科技进步奖1项和省部级奖12项,享受政府津贴。



罗铭,1962年生,安徽望江县人,安徽工业大学二级教授,安徽省学术带头人,硕士生导师。1982年毕业于北京钢铁学院,长期从事液压振动技术与工程机械研究,主持开发液压破碎锤、破拆机器人、固定式破碎机等多项高新技术产品,发表论文20余篇,获国家专利13项,获省科技进步一等奖1项、二等奖2项。

前 言

液压破碎锤和液压凿岩机是现代岩石工程中使用最广泛的新一代凿、破岩设备,并大量使用在建筑、土木工程等的施工中,促进了生产的发展,两者最核心的工作部分相同,同为液压冲击器。为此,本书的重点虽然讨论的是液压破碎锤,但它的研究理论、方法和计算公式等,在液压凿岩机上使用仍然有效。

对液压冲击器的理论研究,从研究方法上大致可分为两种:线性研究和非线性研究。本书则采取了另外的一条技术路线,通过抽象设计变量理论,运用等值力原理,形成了具有特色的理论体系和设计计算方法。该理论对于深入了解液压冲击器的运行规律,具有重要的学术意义和实用价值;对于新产品的研发,更具使用价值。

抽象变量理论的特征在于:把冲击器活塞运动学特点、共性的东西抽象成一个变量——运动学抽象设计变量 α ;把活塞动力学特点、共性的东西抽象成另一个变量——动力学抽象设计变量 β ;并给出 α 与 β 的关系式。这样,设计者就可以根据所设计的液压冲击器对性能的要求选出一个最优运动学抽象设计变量 α_0 ,并求得满足设计要求的最优动力学抽象变量 β_0 。如此,根据 β_0 并结合所要求的冲击能、工作频率和系统压力,方便地求解出活塞的全部结构参数,则冲击器缸体的设计就轻松地完成了,非常简单。反之,欲知一台在用的液压冲击器的工作性能,不需经过测试就可以推算出它的性能参数。因为其活塞的结构参数和质量已知,运用这些参数就可以计算出该液压冲击器的工作参数和性能参数。

目前在工程实践中液气联合式液压破碎锤的市场占有率最高,为此,本书特增加了有关内容。在液压破碎锤中,由于氮气的介入,活塞靠液压和气压联合推动,以改善其工作性能和提高效率,确实起到了很好的作用。但是,在理论研究和了解其规律性方面却增加了许多困难。本书突破了这些困难,获得了简单、明确的规律性认识,使问题迎刃而解。

事物的发展,有其必然的发展规律,对于液压破碎锤来说,最初是纯液压式的,继而发展为液气联合式,最后才有氮爆式液压破碎锤的问世。这三代液压破碎锤的发展有一个非常有趣的现象:即气液比一代比一代高,但节能性能却一代比一代好。为什么呢?本书将给出科学的答案。

本书是作者在总结了数十年液压破碎锤和液压凿岩机的生产、研发和使用经验的基础上写成的。在本书编写过程中,徐必勇工程师做了大量的工作,安徽惊天液压智控股份公司许多工程师都参与其中,给予了许多具体帮助,在此一并向他们表示感谢。

要三代液压破碎锤建立一个统一的理论体系,是一件探索性很强的工作,由于时间仓促,在书中,某些内容难免不够成熟,甚至可能存在谬误,盼望读者赐教。

作 者

2012 年 10 月



目 录

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 液压破碎锤概述	(1)
1.2 液压破碎锤发展简史	(2)
1.3 液压破碎锤的基本工作原理	(4)
1.4 液压破碎锤的基本结构与分类	(5)
1.5 液压破碎锤理论研究概况	(8)
1.6 新技术在液压破碎锤中的应用与发展	(15)
第 2 章 液压破碎锤设计基础知识	(17)
2.1 液压破碎锤基本技术参数	(17)
2.2 液压破碎锤工作原理简析	(19)
2.3 液压破碎锤设计计算的理论基础	(22)
第 3 章 液压破碎锤抽象变量设计理论	(26)
3.1 等值力原理	(26)
3.2 活塞运动动力学	(28)
3.3 高压蓄能器设计理论	(29)
第 4 章 液压破碎锤运动学研究	(33)
4.1 液压破碎锤运动学特征及特征系数 α	(33)
4.2 最优行程及运动学参数计算	(35)
4.3 活塞的运动规律	(37)
第 5 章 液压破碎锤动力学研究	(39)
5.1 液压破碎锤动力学特征	(39)
5.2 活塞的承压面积 A 、有效面积 A' 及有效驱动力	(40)
5.3 液压破碎锤动力学特征系数 β 及其与 α 关系	(41)
5.4 单次循环耗油量	(42)
5.5 液压破碎锤的驱动流量 Q	(47)
5.6 液压破碎锤的最优轴推力	(48)



第 6 章	液压破碎锤流量特性研究	(51)
第 7 章	液压破碎锤优化设计	(55)
7.1	前腔常压供油峰值流量最小设计原理	(55)
7.2	前腔常压回油峰值流量最小设计原理	(59)
7.3	前、后腔变压供油峰值流量最小设计原理	(62)
7.4	前、后腔变压回油峰值流量最小设计原理	(63)
7.5	高压蓄能器有效排量 ΔV 最小设计原理	(64)
7.6	提高蓄能器隔膜寿命的设计原理	(68)
7.7	控制蓄能器隔膜振动位置的设计原理	(70)
第 8 章	氮爆式液压破碎锤	(72)
8.1	氮爆式液压破碎锤的技术特征	(72)
8.2	氮爆式液压破碎锤的运动学特征	(72)
8.3	氮爆式液压破碎锤的动力学特征	(74)
8.4	氮爆式液压破碎锤的动力学计算(氮气室设计计算)	(75)
8.5	氮爆式液压破碎锤的节能问题	(77)
8.6	不同气液比对液压损失的影响	(79)
8.7	氮爆式液压破碎锤设计中的注意事项	(81)
第 9 章	液气联合式液压破碎锤	(83)
9.1	液气联合式液压破碎锤的技术特征	(83)
9.2	液气联合式液压破碎锤的运动学与动力学特征	(83)
9.3	液气联合式液压破碎锤设计举例	(85)
第 10 章	液压破碎锤系统动态仿真	(92)
10.1	液压破碎锤非线性系统数学模型建立的假设条件	(92)
10.2	氮爆式液压破碎锤系统的基本运动方程	(93)
10.3	液压破碎锤系统仿真模型	(97)
10.4	液压破碎锤系统仿真求解	(98)
第 11 章	液压破碎锤性能测试方法	(101)
11.1	液压破碎锤的能量利用率(效率)	(101)
11.2	系统流量 Q_H 、工作压力 p_H 及冲击频率 f 的测量	(102)
11.3	冲击能 W_H 及最大冲击速度 v_m 的测量	(103)
11.4	液压破碎锤技术性能测试法——气压法	(104)
11.5	关于采样周期	(107)



第 12 章 新型液压破碎锤的开发研究	(109)
12.1 信息化液压破碎锤研究	(109)
12.2 纯结构型液压破碎锤研究	(120)
第 13 章 液压破碎锤技术发展趋势	(132)
13.1 柔性化	(132)
13.2 信息化	(135)
13.3 智能化	(135)
13.4 自动化	(136)
13.5 个性化	(137)
参考文献	(138)



第1章 绪论

1.1 液压破碎锤概述

液压破碎锤又称液压破碎器、液压冲击器,是一种液压冲击振动机具,它以高压液压油为工作介质,通过阀控系统 with 缸体活塞系统的反馈配合,实现活塞在缸体中的快速往复运动,从而将液压能转换成活塞机械能,打击钎杆,对外做功。

液压破碎锤的主要功能为:冲击、振动。由于液压锤具有大功率冲击振动的特点,因而广泛应用于冶金、矿山、铁路、公路、建筑、市政建设、房屋开发等领域;可以对岩石、混凝土、钢包、炉渣、冻土、冰块、水泥路面、桥墩、楼房等坚硬物进行开采、破碎、拆除等作业;此外还可以通过变换钎杆用于铆接、除锈、夯实、打桩等作业中。

液压破碎锤常见的应用领域有:

- (1) 矿山开采——开山、采石、巷道掘进、格筛破碎、岩石二次破碎;
- (2) 冶金工业——拆炉机、拆包机、解体机、开铁口机等用于钢包炉渣清理、炉衬拆除;
- (3) 市政工程——自来水、煤气、电气施工中路面破碎、坚石基础破碎、凿沟、打孔;
- (4) 建筑施工——旧建筑拆毁、钢筋混凝土破碎、地基夯实;
- (5) 公路铁路——开山凿路、水泥路面破碎、高速公路修补、护栏打桩、路桥拆毁。

作为一种新型高效的液压机具,相对传统的气动冲击机具,液压破碎锤具有一系列无可比拟的优点,主要体现在以下几点:

——冲击功大。液压破碎锤可以根据主机提供的油压、流量以及支持力进行匹配设计,冲击功一般为 300~10000 焦耳,目前世界上最大的液压破碎锤单次冲击功可达 30000 焦耳。

——工作效率高。液压破碎锤一般工作效率达到 60%~65%,性能优良者高达 70%,而气动机具工作效率仅为 20%~30%。

——节能降耗。液压破碎锤的工作介质为循环可用的高压油液,同时配备有蓄能器;而气动机具的工作介质为压缩空气,不仅在压缩过程中要消耗大量热功率,在排出过程中同样消耗大量能量。

——噪音低。标准型液压破碎锤噪音为 95~98dB,低噪音型为 85~87dB;而气动机具由于压缩气体排出时的膨胀爆炸声,其噪音均高于 100dB。对于环保日趋严格的当今社会,液压破碎锤具有重要价值。

——施工性能好,维修费用低。液压破碎锤随主机配套工作,很容易实现各种空间角度



作业;破碎锤全封闭工作,零部件寿命长,维修简单方便,综合使用成本低。

1.2 液压破碎锤发展简史

20 世纪初,人们对气动传动和液压传动进行了系统研究,积极探索能够完成大功率传输和控制的液压装置。1963 年德国 Krupp 公司申请了世界第一个液压振动装置专利,1967 年又在汉诺威展览会上展出了世界第一台具有使用价值的机载式液压破碎锤 HM400,它首先用于基础施工工程,例如捣碎混凝土路面、修整地基、在坚硬的地面上挖沟、在采石场破碎大块岩石……法国 Montabert 公司也于 1964 年申请了第一个手持式液压破碎锤(BBH 系列)专利,1969 年设计出 BRH 系列液压锤产品。由于液压破碎锤强大的功能和广阔的应用前景,其很快在欧美、日本等国得到高度重视和快速发展,许多公司在液压振动设备的开发、设计和测试方面做了大量的投入,各种规格、型号、功能的液压破碎锤纷纷面世,应用领域不断扩大,技术性能不断提升,产品不断更新换代。Krupp 于 1985 年推出液压锤静音减振技术,1995 年改进减振系统,1998 年发布“Marathon”磨损保护技术,2000 年推出“ECO”和“Marathon”系列产品;Montabert 公司于 1987 年推出具有自调节能量的 BRV 系列,1992 年针对日益增长的市场需要,推出 BRP 系列小型液压锤;成立于 1978 年的芬兰 Rammer 公司,虽然历史较短,但在液压破碎锤领域后来居上,创立之初,就推出当时世界上最大的 S600 液压锤,1981 年推出的 S2000 重达 3 吨,1986 年推出利用“恒定打击能(CBE)原理”生产的系列产品,1991 年推出超静音 City 系列产品,1995 年发展的“City Pro”系统可以让操作者根据被打击的材料选择液压锤性能,以及水射流的抑尘系统;1973 年日本 Konan 公司引进 Krupp 技术生产 MKB 液压破碎锤,之后日本 Furukawa、Teisaku、Toku 等开始在生产气动冲击器的基础上发展液压破碎锤,1985 年 NPK 成立;1984 年成立的 Soosan 公司,带动了韩国液压锤的快速发展;意大利 INDECO 公司成立于 1976 年,1986 年发布开发的“智能型液压锤”,可以根据岩石硬度调节冲击频率和冲击能……

目前全球液压破碎锤的主要生产厂家有 30 多家,按产地可分为欧系、日系、韩系和国产系,其中只有为数不多的几种品牌在世界范围内销售。欧系液压破碎锤制造商具有制造、品牌、服务三位一体的特点,生产制造商既有强大的技术研发实力,同时又拥有自己的营销网络,以及客户服务能力;各液压破碎锤制造商注重自身品牌建设,行业集中度高,近十年又完成了三次大的行业并购重组,形成了 Sandvik 旗下的 Rammer(含 Toyo)、Atlas-copco(含 Krupp)和 Doosan 旗下的 Montabert 三大主力品牌。日系液压破碎锤制造商与欧系生产制造商比较相似,其一般也拥有自己的营销网络,同时为客户提供服务;各液压破碎锤制造商注重自身品牌建设,行业集中度较高,全国仅有 Furukawa、NPK、Toku、Teisaku、MKB、Toyo(已经被 Rammer 收购)、Okada 七家公司。韩系液压破碎锤制造商具有制造、品牌、服务分离的特点,其整体产业分工比较细,国内小规模零部件生产制造厂众多,液压破碎锤经销商达到近百家,但具有规模的制造企业仅有 Soosan、Hanwoo、Daemo、MSB 等少数几家。表 1-1 为 2010 年全球主要液压锤生产企业年产量概况。



表 1-1 2010 年全球主要液压破碎锤生产企业年产量概况(除中国外)

系别	主要制造商	年产量(台)	行业特点
欧系	Rammer(含 Toyo)	13000~15000	(1)制造、品牌、服务三位一体 (2)注重品牌建设,集中度高 (3)与主机紧密合作
	Atlas~copco(含 Krupp)	10000~12000	
	Montabert	10000~12000	
	其他	4000~5000	
日系	Furukawa	7000~8000	(1)品牌集中度相对较高 (2)注重品牌建设
	NPK	5000~6000	
	Toku	3000~4000	
	Taesuku	3000~4000	
	MKB	2000~3000	
韩系	Soosan	6000~8000	(1)制造、品牌、服务分离 (2)零部件制造厂众多,规模小
	Hanwoo	3000~4000	
	MSB	3000~4000	
	Daemo	2000~3000	
	其他制造商(60 家左右)	35000~40000	

我国对液压破碎器的研究起步并不晚,早在 70 年代中期,国内一些科研院校就已经涉足该领域,如北京钢铁学院、中南矿冶学院、长沙矿山研究院、长沙矿冶研究院等。我国科研人员对液压振动技术进行了深入研究,取得了许多研究成果,但由于当时国内液压技术整体发展缓慢,制造水平较低,在产品研发方面一直未取得实质性突破。进入 80 年代后,我国科研人员在自行研发的同时,结合引进技术,率先在矿冶领域中开发出具有自己特色的液压凿岩机、液压碎石机样机。国内一些风动工具厂、建筑机械厂也纷纷加入研制行列,如吉林通化风动工具厂、上海建筑机械厂、沈阳风动工具厂等都组织力量进行产品研发试制,但由于生产技术落后,产品质量不稳定,液压破碎器的发展受到限制。1988 年德国 Krupp 公司携带产品来中国举行“液压破碎器产品演示会”,国内相关科研院所及企业的 200 多人参加了展示会,产品强大功能引起了与会者的极大兴趣,Krupp 产品开始登陆中国。以此为契机,天津工程机械研究所、哈尔滨工业大学等对 Krupp 产品进行分析研究,长治液压件厂、上海建筑机械厂开始试制自己的产品。

到 90 年代中期,随着中国经济快速发展,城市改造迅猛,基础建设投入加大,工程施工机械化程度不断提高,中国液压破碎器市场迎来了历史上最好的发展时期,国外一些著名企业纷纷开始抢滩中国市场,国内企业也在奋起直追,经过十多年的努力,逐步形成了安徽惊天、烟台爱迪、江苏力博士、长治液压等一批国产知名品牌。



1.3 液压破碎锤的基本工作原理

液压破碎锤是一种将液压能转换为机械能的冲击机具,其中有两个基本运动元件——活塞和配流阀芯,两者相互反馈控制,即阀芯的往复运动控制着活塞的换向,而活塞在每一个行程的始、终点又通过打开或关闭阀的控制油路,实现阀芯的换向,如此循环……液压破碎锤的基本工作原理为:通过这种活塞与阀芯的反馈控制,实现活塞在液压(或气压)力驱动下形成快速往复运动,并打击钎杆对外做功。

液压破碎锤分类形式很多,在以后章节中将详细阐述,下面以前腔常压后腔变压液压破碎锤来描述其工作原理:

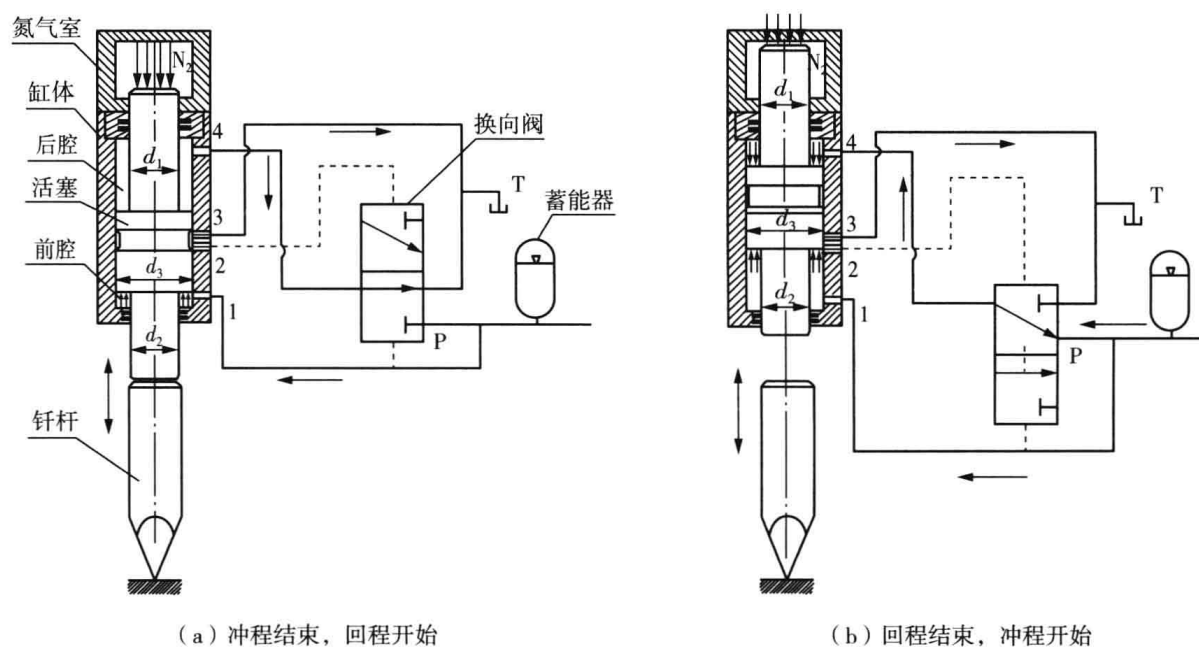


图 1-1 液压破碎锤基本工作原理图

如图所示,当回程运动开始,高压油通过油口 1 进入活塞前腔,同时作用于换向阀芯的下端,使阀芯稳定处于图(a)所示状态。此时活塞前腔高压油,后腔通过油口 4 通回油 T,活塞在前腔油压驱动下,加速回程并压缩氮气室中氮气储存能量(纯液式除外),蓄能器储油。当活塞回程运动至控制油口 2,高压油到达阀芯的上端,此时阀芯上下端都与高压油相通,由于设计中阀芯上端有效面积大于下端有效面积,阀芯在高压油作用下换向至图(b)状态。此时活塞前、后腔都通高压油,蓄能器排油补充系统,在冲程复合力 F_q 的作用下活塞加速冲程,打击钎杆,输出冲击能。当活塞越过打击点,控制口 2 和 3 导通,并与回油 T 相通,换向阀芯上端泄压,在下端油压作用下阀芯快速换向至图(a)状态。又恢复初始状态,活塞开始回程,进入下一个打击循环,如此反复。在此过程中,活塞与阀芯联动关系如图 1-2 所示。

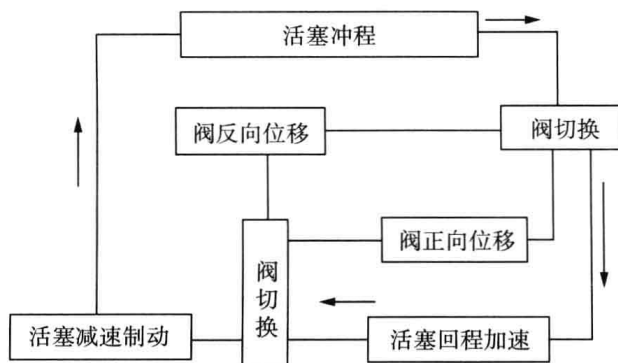


图 1-2 活塞与阀芯工作过程示意图

从图 1-1 中可以看出,在冲程中,如忽略活塞重力及摩擦阻力等因素,驱动活塞冲击做功的力 F_q 主要包括液压力和氮气压力,即 $F_q = \frac{\pi}{4} p_N * d_1^2 + \frac{\pi}{4} p * [(d_3^2 - d_1^2) - (d_3^2 - d_2^2)]$ 。该式中驱动力 F_q 与前后腔有效面积差、油压 p 、氮气室压力 p_N 等因素有关,根据其中油压与气压做功比值的不同,可形成纯液压式、液气联合式和氮爆式三种工作形态:

纯液压式: $p_N = 0$; 此种形态下,液压破碎锤无氮气室,活塞完全靠上下腔油压差驱动, $F_q = \frac{\pi}{4} p * [(d_3^2 - d_1^2) - (d_3^2 - d_2^2)]$, 此种形态为液压破碎锤发明时的最早形态。

液气联合式: 此种形态下, $d_1 < d_2$, 同时活塞尾部增设了氮气室,引入氮气做功, $p_N > 0$, F_q 主要由前、后腔油压差和氮气压缩膨胀力两部分组成, $F_q = \frac{\pi}{4} p_N * d_1^2 + \frac{\pi}{4} p * [(d_3^2 - d_1^2) - (d_3^2 - d_2^2)]$, 此种形态是目前液压破碎锤中最常见形态。根据油液作用力与氮气反作用力在总驱动力中的比例不同,也就是气液做功比例的不同,可以形成不同性能的产品。

氮爆式: 此种形态下, $d_1 = d_2$, $p_N > 0$, 上下腔油液作用力为零,完全靠氮气腔气压推动活塞做功,在冲程过程中 $F_q = \frac{\pi}{4} p_N * d_1^2$, 该形态为液压破碎锤的最新形态。

三种形态液压破碎锤,各有优劣,但综合性能一代比一代强,纯液压式作为液压破碎锤发明的最早形态产品,结构简单,工作可靠,无初始轴推力,但能量利用率低,不适合制造大规格产品。液气联合式是纯液压式的重大突破,在活塞尾部增加氮气腔,有效利用了回程能量,大大提高打击力,但结构复杂,需克服初始轴推力才能工作。氮爆式液压破碎锤从能量角度来看,由于冲程时不需要油液做功,将更加节能,同时活塞前后腔直径相等,可有效解决在活塞冲程时瞬间供油不足的难题,但由于初始充氮气压力高,导致轴推力更大。

1.4 液压破碎锤的基本结构与分类

1.4.1 液压破碎锤的基本结构

液压破碎锤虽然种类繁多,但在结构上具有共同特点。液压破碎锤的基本构成包括:缸体、活塞、配流阀、蓄能器、氮气室、钎杆座、钎杆、高强度螺栓及密封系统等。不同类型液压



破碎锤的结构略有不同,但无论哪种破碎锤,都包含 2 个基本运动部件——活塞和阀芯。其基本结构如图 1-3 所示。

(1) 冲击机构

液压破碎锤均有一个较细长的活塞,它是其中最为重要的零部件,根据应力波传递理论,为了最大限度地传递活塞的冲击能,冲击活塞的直径一般和钎杆末端直径基本相同或相近,从而保证打击端面的完全接触,达到高效传递能量的目的。冲击活塞与缸体或衬套之间的配合间隙是一个很重要的技术参数,间隙太大,将会产生很大的内泄漏,使打击力不足,甚至导致破碎锤不能正常工作;间隙太小,可能导致活塞运动不畅甚至有拉缸现象产生,同时使制造成本急剧增加。

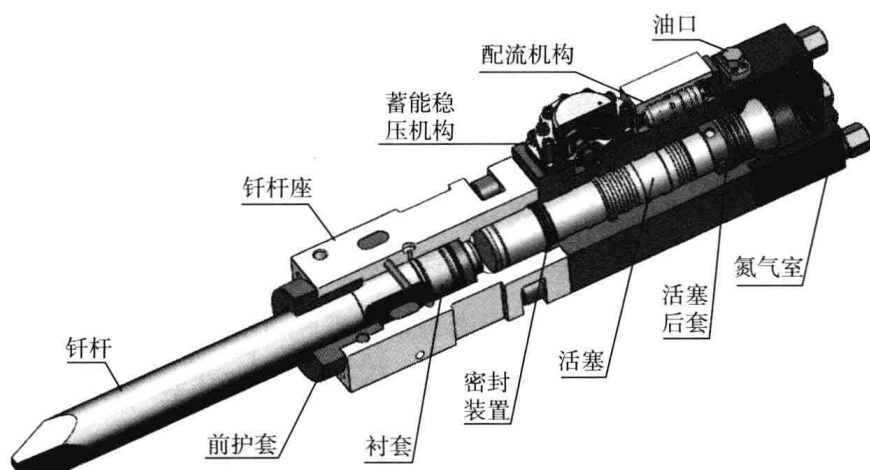


图 1-3 液压破碎锤的基本结构

(2) 配油机构

液压破碎锤一般都有一个用来改变油液流向的配流阀,由它实现并控制冲击活塞的往复运动。配流阀结构形式多样,总的可以分为柱阀和套阀两大类。柱阀一般质量轻,耗油少,直径较小,配合间隙小,泄漏小,但多为阶梯状结构,结构工艺性较差,节流损失较大;套阀质量较重,直径较大,配合间隙和泄漏也相对大些,但它的结构工艺性好,开口面积梯度大,节流损失小。阀芯与阀体或阀套之间的配合间隙是液压锤制造中的另一个重要的技术参数,间隙太大或太小,都将造成阀不能正常工作。

(3) 蓄能稳压机构

液压破碎锤大多拥有一个或多个蓄能器,起到蓄能和稳压的作用。液压破碎锤只有在冲程时才对外做功,回程是为冲程做准备的。当活塞回程时,油液以大于充气室的压力进入蓄能器中,作为蓄能器的油压势能储存起来,在活塞冲程时释放出来,从而把大部分回程能量转化为冲击能。这样蓄能器就起到了提高系统工作效率的作用,同时也减少了由于配流阀阀芯换向引起的压力冲击和流量脉动。

(4) 执行机构

钎杆是液压破碎锤对外做功的执行部件,直接作用于工作对象,属易损件,要求其耐磨性好,外硬内韧,且从外到内硬度变化平缓。为适应各种工况和工作对象,钎杆有锥形、方形、铲形、钝头等形式。



(5) 防空打机构

因液压破碎锤冲击能大,如果让活塞直接冲击缸体,就会严重损坏锤体,即产生空打现象。防空打结构就是在缸体前部设置一个液压缓冲腔,当钎杆未接触到岩石而前移时,冲击活塞就会冲入缓冲腔,压缩其中的油液,吸收冲击能量、实现缓冲保护机体。同时封闭前腔进油口,使活塞在重力和后部氮气作用下不能后退,只有钎杆重新接触到岩石并在大臂加压后退时,把冲击活塞顶出缓冲腔,高压油才能进入前腔,从而继续进行正常工作,参看图 1-4 所示,液压破碎锤在打穿被破碎物之后,活塞至多空打 1~2 次便停下来。操作人员要再选取打击点,压紧钎头,施加于压力,钎杆将活塞推离下腔进油口,工作便可重新开始。

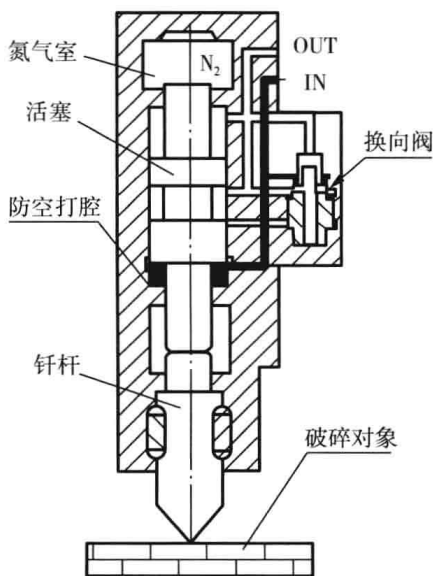


图 1-4 液压破碎锤防空打机构

(6) 其他机构

液压破碎锤的其他机构还有连接架、减振机构、密封系统、自动润滑系统等。

1.4.2 液压破碎锤的分类

液压破碎锤的种类很多,分类方法多种多样。主要的分类方法有以下几种:

(1) 按操作方式分类

液压破碎锤按操作方式分为机载式、手持式。手持式为小型破碎锤,也称液压镐,质量一般在 30kg 以下,由人工手持操作,由专用液压泵站提供动力,可以广泛替代风镐作业;机载式为大中型破碎锤,直接安装在液压挖掘机、装载机等液压主机的臂架上,利用主机动力系统、液压系统以及臂架运动系统实施作业。

(2) 按做功介质分类

液压破碎锤按做功介质可分为纯液压式、液气联合式与氮爆式三大类。纯液压式完全依靠液压油推动活塞工作;液气联合式依靠液压油和后部压缩氮气同时推动活塞工作;氮爆式则完全靠后部氮气室压缩氮气,瞬间膨胀推动活塞做功。

(3) 按反馈方式分类

液压破碎锤按反馈方式可分为行程反馈和压力反馈两类,其区别在于配流阀换向的信



息采集方式上。行程反馈式液压锤依靠活塞在行程中开、闭高压油反馈孔控制配流阀换向,行程反馈孔的位置只能刚性地设置,且由于受结构条件的限制,反馈孔最多只能设置3个,因此行程反馈式液压锤无法实现打击频率的无级调节。压力反馈式液压锤依靠采集系统压力或活塞后部的氮气腔压力来控制配流阀换向,随着活塞进入氮气腔,氮气腔压力在不断变化,当安装在腔内的压力传感器检测到预先设置的压力时,即通过单片机控制阀换向,由于换向压力可任意设定,因此压力反馈式液压锤可以实现无级调节。

(4)按配流方式分类

根据配流阀形式,可分为三通阀单面回油和四通阀双面回油两大类,单面回油的结构形式具有油路简单、易于控制等优点,实践上比较常用。单面回油可分为前腔回油和后腔回油两种,其中前腔回油形式有反吸和回油阻力大的缺点,所以目前以前腔常压、后腔回油的形式最为常见。四通阀双面回油也称作双控式,其特点是无常压腔,前、后腔的压力交替高低变化,但由于双面回油结构形式的油路较复杂,因而不常见。

(5)按配流阀布置分类

根据配流阀布置可分为内置型和外置型两种,内置型又可分为芯阀型和套阀型。内置型配流阀与缸体合二为一,结构紧凑;外置型配流阀独立在缸体之外,结构简单,维修更换方便。

此外,根据噪声大小可分为低噪声型和标准型破碎锤;根据外壳形式可分为三角形、塔形和封闭形破碎锤等。各种分类方式概括如图1-5所示。



图1-5 液压破碎锤的分类

1.5 液压破碎锤理论研究概况

在液压破碎锤工作过程中,工作腔油压在换向阀控制下实现高频切换,油路中油液特性不能简单按照液压传动理论讨论,而必须应用液压振动理论分析;作用在活塞和钎杆上的作



用力在几十微秒内从零升至几十~几百兆帕,又重新下降为零,应力波的能量传递形式决定了不能单纯运用静力学、刚体力学和运动学理论阐述其工作过程,冲击机械原理属于弹性体动力学问题,必须用波动理论才能准确地描述其能量传递过程。

根据所作基本假设和数学模型的不同,液压破碎锤的研究分为两大类:线性模型研究和非线性模型研究。

1.5.1 液压破碎锤的线性研究模型

线性研究是通过假设将非线性液压破碎锤线性化后进行的理想化研究,是在假设“液压油压力恒定不变”且忽略某些因素的前提下得到的线性模型。它的研究前提是前苏联学者 ОдАлимов 和 САбасов 在《液压振动冲击机构理论》中提出的“在保证冲击末速度为给定值的情况下,压力完全均等的压力控制是效率最高的最佳控制”的观点。在“恒压控制”假设基础上,前苏联学者提出了峰值推力最小的最佳设计方案;日本学者中山等人在此基础上,考虑了管道阻力,对活塞行程可调性进行了理论和设计研究;北京科技大学的李大治教授提出了最优行程设计思想;陈玉凡等利用冲击器的线性模型,使用最优行程的无量纲分析法,对冲击器参数进行无量纲分析,得出了用于指导设计工作的各参数关系的一系列表达式;北京科技大学陈定远老师以 $C=S/S_m$ (S :计算行程, S_m :最大行程)作为设计变量,对液压破碎锤进行了无量纲分析,得出最佳效率区为 $C=0.75\sim 0.850$;北京科技大学王政老师以活塞回程加速的时间 t 作为设计变量,进行参数综合分析得到:蓄能器容积变化最小时, $t=0.406T$, 液压冲击最小时, $t=0.5T$;中南大学何清华老师以冲击器结构特征系数——活塞前后腔有效面积比,作为无量纲设计变量,对冲击器进行了优化设计。由于很多线性研究没有考虑直接影响冲击性能的活塞和阀的相互制约关系以及蓄能器的状态,故不能精确地反映机构中众多的结构参数间的相互关系。尽管其研究的精确性较差,但其结果基本上能反映各种因素对性能的影响关系,因此在理论和设计研究中具有一定的使用价值。

1.5.2 液压破碎锤的非线性模型

液压破碎锤作为比较典型、复杂的单体机械反馈随动系统,与其他领域的非线性系统一样,存在着很多非线性的现象和规律。非线性研究较多地考虑了液压破碎锤运动的影响因素,较为全面地分析了液压破碎锤的受力状态,得到了高阶非线性微分方程组来描述其运动规律。但方程求解困难,描述不直观,只能通过计算机求得数值解。近年来,随着计算机科学技术的发展和微型计算机的普及,非线性数学模型的研究越来越受到人们的重视。

早在20世纪70年代初,国外就有人将计算机和仿真技术应用于风动凿岩机冲击器的研究,获得较为精确的结果。1976年,日本学者正桶口正雄最早用计算数学研究了液压破碎锤,提出液压冲击试验装置的数学模型并用逐次计算法求得冲锤的速度、频率,进而与实测值进行了比较;20世纪80年代,日本学者高桥义雄、涩谷嗣等人对液压破碎锤的性能和设计进行了非线性研究,提出了适用于液压破碎锤性能评价和设计的解析模型以及解析模型的推导理论和分析方法;1980年,北京科技大学李大治、陈定远等人提出了以蓄能器压力为工作压力的非线性数学模型,并求得了稳定的数值解;1983年,中南工业大学的何清华在《液压破碎锤冲击器数值仿真研究》中,使用状态切换法建立了全面的数学模型,提出了“准匀加速计算法”(PUA法),并对各状态切换间的误差进行了修正,提高了仿真精度;1987年,