

GQ89 型贯通式潜孔锤活塞仿真分析及优化设计

张永光¹, 曹丽娜², 殷琨¹, 王茂森¹, 博坤¹

(1. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 长春工业大学基础科学学院, 吉林 长春 130012)

摘要: 活塞是贯通式潜孔锤内部的一个重要运动部件,也是产生冲击力、实现冲击碎岩的关键零部件,其受力情况复杂。先对试验生产中破坏的活塞进行有限元分析,找到破坏原因,再通过应力、应变分析优化设计出新活塞。

关键词: 活塞;受力分析;有限元;优化设计

中图分类号: P634.5*6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2009)09-0036-04

Numerical Simulation and Optimum Design of Piston in GQ89 DTH Hammer/ZHANG Yong-guang¹, CAO Li-na², YIN Kun¹, WANG Mao-sen¹, BO Kun¹ (1. Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. Changchun University of Technology, Changchun Jilin 130012, China)

Abstract: Piston is a moving part of DTH hammer, which produces impact force to realize impacting breaking rock with complicated stress. Firstly, finite element analysis on the old piston that had been broken in the experiment was made with the ANSYS/LS-DYNA program to find out the cause leading to piston's destruction; then new piston was optimum designed based on the analysis on stress and strain with finite element software.

Key words: piston; stress analysis; finite element; optimum design

活塞是贯通式潜孔锤内的重要运动零件,潜孔锤工作中活塞在高压空气驱动下做往复运动,高频冲击钻头,在该状态下活塞很容易产生疲劳破坏,所以,针对潜孔锤活塞进行合理的设计,减少应力集中现象,对于提高贯通式潜孔锤的寿命和推广该项工艺有着重要的意义。

从活塞所承受载荷的角度来看,活塞需具有较高的尺寸精度和表面光洁度,使其具有良好的密封作用及适应高频往复运动的特性;同时需要具有合理的结构设计和进行良好的热处理,使其能高效的传递冲击能量和具有较高的耐机械磨蚀能力及抗冲击能力。

1 活塞受力理论分析

贯通式潜孔锤的活塞撞击钻头时,在极短的时间内,其运动速度(大小和方向)发生急剧变化,在急剧变化着的大小和方向都随时间作周期性变化的动载荷作用下,活塞的应变不是整体均匀的应变,质点的运动也不是整体一致的速度,应变和速度都是以应力波的形式传播的。在冲击回转钻进过程中,潜孔锤利用活塞的撞击,将应力波通过钻头传递到孔底岩石,实现碎岩钻进。潜孔锤的活塞采用了变截面结构,应力波在其中传播时,在截面变化处必然

会发生透反射,而不仅仅在锤的两端。等截面冲锤受到的应力是压应力,而变截面冲锤受到的就不单是压应力,而且还受到拉应力,图1为活塞撞击钻头的示意图。

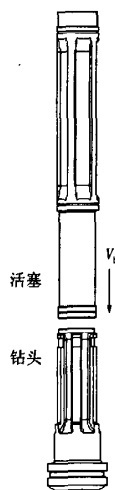


图1 活塞撞击钻头示意图

2 旧活塞失效现象及有限元分析原因

2.1 旧活塞失效现象

活塞是潜孔锤内受力最复杂、最易损坏的部件。活塞在高压气体的驱动下,以较高的速度冲击钻头,

收稿日期:2009-04-22; 改回日期:2009-07-21

作者简介:张永光(1982-),男(汉族),山西人,吉林大学博士在读,地质工程专业,从事多工艺冲击回转钻进技术研究工作,吉林省长春市吉林大学前卫北区四舍541寝室,zhangqilin206@126.com。

再通过钻头将冲击能传递给孔底岩石。冲击过程中,活塞所受的作用力大小和方向都作周期性变化,约在 $100\ \mu\text{s}$ 内其作用力骤增到数十吨,甚至更大,再经过几百微秒,又重新降到零。长期承受反复的瞬间冲击力,会在活塞的某些断面产生应力集中,造成活塞破坏,这种破坏在冲击机械的施工作业中是普遍存在的,最终使活塞失效,如:活塞断裂、活塞头凹陷、活塞头金属剥落等。

在起先的试验过程中,贯通式潜孔锤活塞的工作寿命都很低,不止一次发生断裂,几乎每次断裂都是在活塞的小径部位,有的还有纵向裂纹直达小径的端面,图 2 为断裂活塞的实物图。活塞的工作寿命将直接影响到潜孔锤本身的性能及贯通式潜孔锤钻进技术的推广与应用,研究其断裂的原因要从活塞特殊的受力状态来分析。

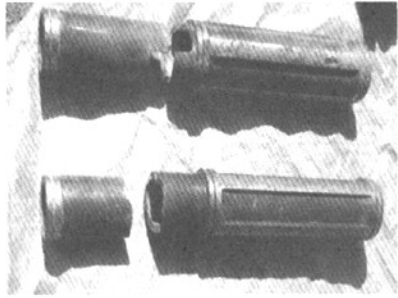


图 2 试验中断裂的活塞

2.2 旧活塞失效原因及有限元分析

2.2.1 有限元分析

首先对旧活塞进行有限元力学分析,让活塞以 $8\ \text{m/s}$ 的末速度冲击钻头,根据活塞的结构和实际受力情况,活塞可看作轴对称结构,且它的受力也是轴对称的,所以可以用二维结构来代替三维结构进行分析。结合试验用活塞的结构、材料及力学性质、实际工况,针对活塞模型进行状态非线性瞬态动力学分析,根据轴对称性,选取活塞纵截面的 $1/2$ 建立几何模型,选择具有高度非线性的专门用于解决大应变、大塑性变形工程问题的 VISCO106 粘塑性单元进行求解,(PLANE82 结构单元也可以用来求解大应变和塑性变形问题,但需要更多的荷载子步数和求解时间),得到各时间子部的关键点应力、应变、位移。图 3、图 4 分别是旧活塞 ANSYS 分析后的应力、应变图。

2.2.2 旧活塞失效原因分析

试验用旧活塞材料为 GCr15,其力学性质为弹性模量 $E=2.1\times 10^{11}\ \text{Pa}$,泊松比 $\mu=0.3$,密度 $\rho=$

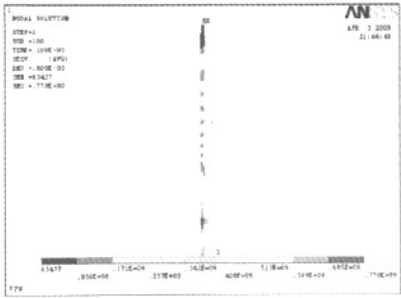


图 3 旧活塞应力图

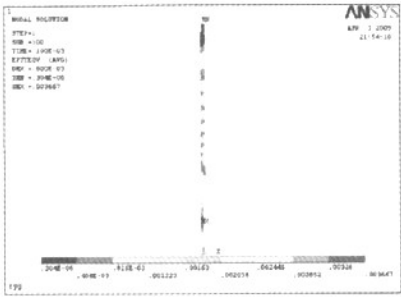


图 4 旧活塞应变图

$7800\ \text{kg/m}^3$,淬火回火后疲劳抗拉极限 $\sigma_{-1}=7.85\times 10^8\ \text{Pa}$,屈服强度 $\sigma_{0.2}=1.7\times 10^9\ \text{Pa}$ 。从应力应变分布图可以看出,旧活塞的最大的变形为 $3.667\times 10^{-3}\ \text{mm}$,最大 von Mises 应力为 $7.70\times 10^8\ \text{Pa}$,位置在旧活塞下端小径距下端约 $85\ \text{mm}$ 处,虽然通过分析结果可以知道应力最大值没有达到疲劳抗拉极限,但是安全系数仅为 1.01 ,刚刚能满足单次冲击的要求,在实际应用过程中,在使用一段时间后,产生断裂和凹陷甚至出现破坏也是正常现象,从图 2 可以看到,试验中活塞的断裂情况与有限元分析几乎完全一致,说明分析是完全合理的。所以在研究提高活塞使用寿命时,需要从两方面入手来研究活塞断裂的根本原因,一方面是活塞在冲击载荷作用下的受力情况;另一方面为活塞的材料选择。

3 新活塞的设计及野外试验

3.1 新活塞有限元建模

新活塞采用三维模型,选用实际大小尺寸规格建模,经过研究,新活塞材料选用 20GrNi2Mo,其力学性质为弹性模量 $E=2.1\times 10^{11}\ \text{Pa}$,泊松比 $\mu=0.3$,密度 $\rho=7800\ \text{kg/m}^3$,淬火回火后抗拉强度 $\sigma_b=9.8\times 10^8\ \text{Pa}$,屈服强度 $\sigma_{0.2}=7.85\times 10^8\ \text{Pa}$ 。并且将新活塞的小径壁厚增加 $1\ \text{mm}$,运用 ANSYS/LS-DYNA 状态非线性瞬态动力学分析,同时选择具有

高度非线性的专门用于解决大应变、大塑性变形工程问题的 3D solid 164 粘塑性单元,建立有限元模型如图 5 所示。

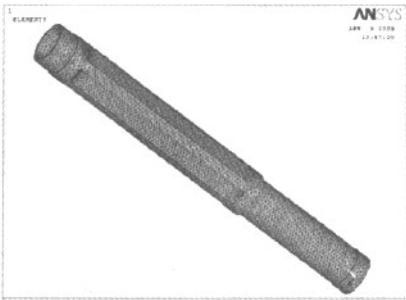


图 5 新活塞有限元模型图

3.2 新活塞加载求解过程

实际应用的 GQ89 型潜孔锤活塞的工作状况为:活塞在 1.2 MPa 压力的压缩空气推动下,从冲击器内缸顶端以变加速度向下冲击,并以一定的末速度冲击到钻头,与钻头碰撞反弹后,又在压缩空气的推动下向上运行,一直到达内缸上死点,完成一个工作周期,如此反复冲击。

活塞的受力状态:大部分工作周期内,只受压缩空气作用,活塞本身受到的冲击力较小。但当活塞向下运行与钻头碰撞时,在极短的时间内产生一个较大的冲击力,这种力作用在钻头上,并以应力波的形式在活塞内传递,该作用力较大,为主要的研究对象。

分析是给活塞施加一个 8 m/s 的速度,并设定这个速度冲击的瞬间内不变,用于模拟冲击末速度,同时规定活塞和钻头为刚性面接触,不考虑摩擦力,用于模拟活塞与钻头之间的碰撞,整个分析时间取 100 μs。在分析中,对整个活塞的三维实体模型划分为 33970 个单元,共有 10387 个节点,在容易产生应力集中的地方增加了网格的密度,采用显式动力求解器以获得更精确的计算结果。

3.3 新活塞计算结果及分析

solve 计算后再通过 lsprepost2 软件后处理得到应力图(如图 6 所示),可以看到新活塞应力最大处在距最下端约 80 mm 的位置,新活塞最大 von Mises 应力为 6.42×10^8 Pa,最小 von Mises 应力为 6.42×10^7 Pa,平均 von Mises 应力为 3.53×10^8 Pa,而大径一端的 von Mises 应力相对来说要小得多,经过计算安全系数达到了 1.526,完全满足了机械设计的安全要求。按照 Miner 理论,应该属于无限寿命设计。

分析计算后再通过 lsprepost2 软件后处理得到

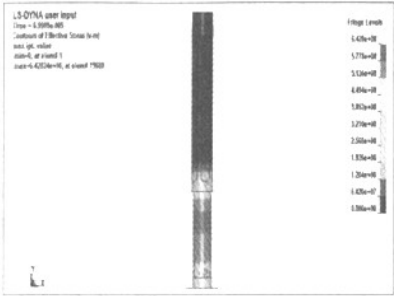


图 6 新活塞应力图

应变图(如图 7 所示),可以看到新活塞最大的变形为 1.106×10^{-3} mm,位置也在活塞冲击端小径上距底面约 80 mm 处,新活塞的变形降为了原来的 0.302,由应力应变分析数据可以看到,材料选用 20GrNi2Mo 及小径增加 1 mm 可以将活塞的性能大大提高,而图中最大变形方向在轴向,径向变形很小,在 10^{-5} 数量级,径向变形不会影响冲击器的正常工作。

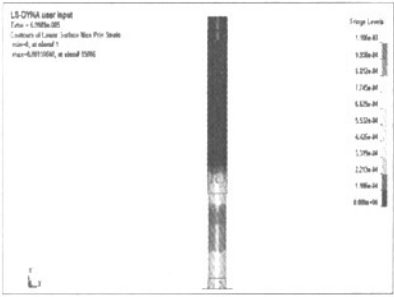


图 7 新活塞应变图

3.4 新活塞野外试验情况

在第二阶段的野外试验中,使用了新设计的潜孔锤活塞,活塞的材料为 20GrNi2Mo,同时小径壁厚增加 1 mm。新设计的第一个 GQ89 型潜孔锤活塞的累积工作时间见表 1。

表 1 GQ89 型潜孔锤活塞工作时间统计表

序号	试验孔号	孔深/m	活塞工作时间/h	空压机压力/MPa
1	ZK2391	43.9	11.35	1.15
2	ZK2392	42.5	8.37	1.15
3	ZK239'	43.1	9.1	1.18
4	ZK239'1	44.4	10.43	1.18
5	ZK3091	41.2	12.22	1.18
6	ZK3092	39.3	8.75	1.18
7	ZK309'	43.3	14.05	1.18
8	ZK309'1	49.6	12.58	1.18
9	ZK2191	49.3	20.18	1.18
10	ZK2192	72.0	17.58	1.18
合计		468.6	124.61	

由表1中的统计数据可以看出,新设计的第一个GQ89活塞在空压机压力 $P=1.18\text{ MPa}$ 条件下工作时间达到了124.61 h,累计进尺达468.6 m,此后仍然能够继续使用。通过试验证明,使用20GrNi2Mo作为活塞的材料,同时将小径壁厚增加了1 mm后可完全满足对活塞的可靠性和工作寿命的要求。

4 结论

运用有限元ANSYS/LS-DYNA软件建立了活塞运动规律的三维数学模型,以及对活塞进行的计算机模拟仿真,实现了对贯通式潜孔锤活塞的工作性能仿真与优化,通过对旧活塞的研究分析,发现了旧活塞断裂破坏的原因,并针对旧活塞存在的问题优化设计了新活塞,首先将材料改为了强度更高的20GrNi2Mo;其次将活塞小径壁厚增加1 mm。通过分析和野外现场试验都证明了优化设计的合理性,大大地提高了活塞的使用寿命,同时增加壁厚可以

加大活塞的质量,从而提高冲击功,可以提高潜孔锤的工作效率,对于贯通式潜孔锤钻进技术的推广与应用起到了重要作用,甚至对于解决复杂地层钻进问题也有着重要的意义。

参考文献:

- [1] 博坤,殷琨,张春阳.反循环钻头结构仿真分析及试验研究[J].矿山机械,2008,(23):25-28.
- [2] 薛二鹏,王立华,宋森熠.液压凿岩机活塞疲劳强度分析[J].矿山机械,2008,(12):19-21.
- [3] 宋守志.凿岩机活塞疲劳寿命的理论分析[J].东北工学院学报,1993,(10):6-10.
- [4] 王茂森.全孔反循环潜孔锤参数优化及其钻进工艺研究[D].长春:吉林大学,2007.
- [5] 高丽稳,周志鸿.冲击机械活塞强度研究的现状[J].工程机械,2005,(1):37-49.
- [6] 詹军,殷琨,等.风动冲击器活塞冲击末速度的有限元分析[J].煤田地质与勘探,2003,(6):58-60.
- [7] 殷其雷,博坤,李忠.贯通式潜孔锤反循环钻进技术在复杂地层中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5):9-12.

《现代矿业》2010年度征订启事

《现代矿业》原《矿业快报》杂志,1984年创刊,中国核心期刊,行业内最具影响力期刊之一。为实现杂志做大、做强,跨越式发展的目标。2009年经国家新闻出版总署和科技部批准,正式更名为《现代矿业》,杂志定位高端,注重覆盖面和学术性。主要报道:国内外现代信息技术、新学科、交叉学科在矿业领域的应用理论与实践;国家科技攻关、自然科学基金项目研究成果;矿山企业生产中存在的问题以及技术工艺革新成就;高效、节能、环保设备在矿山企业的新发展、新应用;矿业领域应用的新理论、新技术、新动态;绿色矿山;现代化矿山典型案例等。

主要栏目:专家论坛,综述述评,采选工程,矿山设备,数字矿山,安全与环保,技术交流,国内外资源与政策,市场研究报告,矿业数据传真,在建拟建项目与标识等。

过去的20多年,在杂志理事会、编委会单位的领导、专家和广大作者、读者及矿业界朋友的真诚帮助和大力支持

下,取得了令人瞩目的成就。《现代矿业》杂志将以更名为契机,与时俱进,开拓创新,努力把刊物办得更好,更具有特色,更贴近矿业需求,更有理论深度,为广大读者呈现最好的矿业杂志。

新期刊,将会给您带来新的惊喜!欢迎广大作者、读者踊跃投稿、订阅。

本刊为月刊,刊号:CN34-1308/TD,邮发代号:26-196,大16开本,168个版,每期定价20元,全年240元。读者可到当地邮局订阅。同时本刊推出电子版,120元/年,电子版请直接到编辑部订阅。

地址:安徽省马鞍山市湖北路9号158号信箱

邮编:243004

电话:0555-2404809、2404796、5220558

传真:0555-2475796、5220522

E-mail:kykb@vip.163.com,xdky@vip.163.com

交流的热线 沟通的桥梁 《地质装备》与您同行

《地质装备》(双月刊)是经国家科学技术部和新闻出版总署批准,由中国机械工业集团有限公司主管,中国地质装备总公司和北京探矿工程研究所联合主办,中国矿业联合会地质与矿山装备分会、中国地质学会探矿工程专业委员会和中国仪器仪表学会地质仪器分会共同协办的地质装备行业唯一的综合性技术刊物。

报道内容:国内外地质装备(包括:地质机械、地质仪器、超硬材料及制品等)行业的最新科研成果和发展趋势;新产品、新材料、新技术、新工艺;交流地质装备的使用和管理经验;刊登有关地质装备行业的政策法规及市场信息。

读者对象:地矿、有色、冶金、煤田、核工业、水电、化工、

建材、石油、机械、建设、交通、铁路、环保、矿山、军工等部门从事地质装备研究、设计、制造和使用等单位的科研人员、技术人员、管理人员和现场施工人员,以及大专院校的师生。

国内统一连续出版物号:CN 11-4410/TD,国际标准连续出版物号:ISSN 1009-282X,邮发代号:80-193。广告经营许可证号:京朝工商广字0346号。2010年每期订价为8元,全年6期48元。可在当地邮局订阅,也可汇款至编辑部订阅。欢迎订阅、欢迎赐稿、欢迎惠刊广告。

地址:100102,北京市朝阳区望京西园221号博泰大厦五层

电话:010-64843951、64843889;传真:010-64789866

电子信箱:dzzb@cgeg.com.cn