

液压冲击机构 研究·设计

RESEARCH AND DESIGN OF
HYDRAULIC **IMPACT MECHANISM**

何清华 著



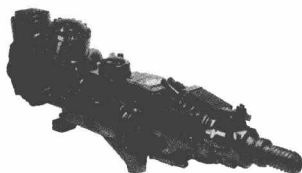
中南大学出版社

www.csupress.com.cn

液压冲击机构 研究·设计

RESEARCH AND DESIGN OF
HYDRAULIC IMPACT MECHANISM

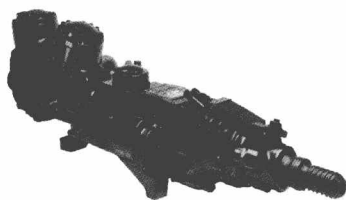
何清华 著



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

RESEARCH AND DESIGN OF HYDRAULIC IMPACT MECHANISM

By He Qinghua



Central South University Press

图书在版编目(CIP)数据

液压冲击机构研究·设计/何清华著. —长沙:中南大学出版社, 2009

ISBN 978-7-81105-725-6

I. 液... II. 何... III. ①液压凿岩机—机构运动分析 ②液压凿岩机—设计 IV. TD421.202

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第192834号

液压冲击机构研究·设计

何清华 著

☐责任编辑 谭 平

☐责任印制 汤庶平

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙瑞和印务有限公司

☐开 本 880×1230 1/32 ☐印张 10.5 ☐字数 258千字

☐版 次 2009年10月第1版 ☐2009年10月第1次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-81105-725-6

☐定 价 38.00元

图书出现印装问题,请与出版社调换

序

液压凿岩机与液压碎石器是新一代的凿(破)岩设备,它大幅度提高了凿(破)岩作业的效率,促进了生产的发展。而液压冲击机构是该类设备的关键部件(动力传递机构),它的性能好坏,决定了整机的优劣,因此国内外学者及有关厂家在这方面进行了大量的研究与实验,并发表了大量的研究与实验论文,但系统的专著却较少,且不够深入。

何清华所著《液压冲击机构研究·设计》一书,是他多年从事这方面研究的总结,是一本系统而深入的专著,其创新点主要有:

1. 在线性模型中提出了三段分析法,这更符合实际工况,并导出了系统的计算公式,可供研究设计使用。

2. 对能量损失、效率及高压蓄能器的充排油量作了深入的分析,并导出了表达式,对优化液压冲击机构的设计方案有指导意义。

3. 在对工作机理深入研究的基础上,考虑油液压缩性及胶管膨胀等多种因素建立的数学模型、仿真模型和仿真程序,更接近实际情况,且达到了实用程度。

4. 提出的准匀加速度数值计算法和校正计算法,有效地提高了仿真计算的速度和精度。

5. 对回油惯性油压及回油蓄能器的作用，首次作了分析研究。

6. 建立了以冲击机构瞬态流量测试为中心的计算机测试系统。

这些内容对我们今后的设计、研究将会有很大的帮助，并将进一步推动液压冲击机构的发展，故我高兴地将本书推荐给各位同行。

高澜庆

于北京科技大学

前 言

液压冲击机构是新一代凿岩设备——液压凿岩机、液压碎石机的主要工作机构，由于这类设备具有高效、节能等显著特点，在矿山开采、土木工程等领域得到了广泛应用。

液压冲击机构不同于一般的液压机构，它所有运动体工作时始终处于加（减）速高达几十甚至几百倍于重力加速度的剧烈变速运动状态，控制阀必须在 $1 \sim 2 \text{ ms}$ 时间内完成大开口量的油路切换动作。因此，冲击机构的运动体将产生很大的惯性力，其工作油压主要取决于运动体的惯性力，同时压力、流量变化非常剧烈。这些特点给液压冲压机构的研究、设计、制造带来一定难度。

本书是作者在总结多年研究成果的基础上进一步将其理论化、系统化、规范化、实用化而写成的，全书共分为八章，主要包括五大部分内容：第一部分，建立了液压冲击机构的线性模型，提出了“三段分析法”，并引入两个无因次变量——回程加速段与冲程加速段的加速比 β 和冲程加速段与回程加速段的加速度比 β_1 ，对各参数和计算公式进行了推导；第二部分对能量损失、效率的影响因素、流量与压力间的关系、高压蓄能器的充排油量以及回冲加速比 β 的合理选择范围作了深入分析，进一步揭示了液压冲击机构的运动规律；第三部分，在考虑了油液压缩性和胶管

膨胀等因素的前提下,建立了冲击机构的非线性数学模型和仿真模型,编制了仿真程序,并提出了准匀加速度数值计算法和校正法,有效地提高了仿真计算精度;第四部分,分析了回油蓄能器的作用及设计方法,探讨了液压冲击机构压力突变和空穴产生的原因及防止方法;第五部分介绍磁电感应式速度传感器和缩流取压式孔板流量计的设计方法和冲击机构性能参数的测试方法,建立了性能参数的计算机测试系统。

原书自 1995 年首次出版以来,一直作为相关专业的研究生教材,得到了同行专家学者的一致好评,数百位学者在编著中引用。修订版保留了原书的体系,对原版内容进行了校核,去除了陈旧的内容,由于计算机技术、传感技术的发展,补充介绍了新的性能参数的测试方法,运用 Visual Basic 语言对书中所有的程序进行改写,使程序界面更加友好,结论更加直观,“液压冲击机构的三段法计算机设计程序”、“液压冲击机构计算机仿真程序”、“无高压蓄能器的液压冲击机构计算机仿真程序”附于书后。

郭勇、朱建新老师对本书的计算机测试系统部分作了大量工作。龚艳玲老师负责了本书修订工作。

书中内容虽经反复审核,难免存在缺点和错误,恳切地希望读者批评指正。

著者

2009 年 10 月

目 录

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 概 述	(1)
1.2 液压冲击机构工作原理	(3)
1.3 液压冲击机构研究方法概述	(10)
第 2 章 液压冲击机构活塞运动的三段分析法	(15)
2.1 有关参数与符号	(15)
2.2 活塞的运动学分析	(16)
2.3 活塞前、后腔的承压面积 A_2 、 A_1	(20)
2.4 输入流量 Q_i	(23)
2.5 高压蓄能器的充、排油量及充气容积与充气压力	(26)
2.6 输入流量与其他参数间的关系	(29)
第 3 章 “三段法”在液压冲击机构分析及设计中的应用 ...	(31)
3.1 能量损失与效率	(31)
3.2 效率分析	(35)
3.3 蓄能器充、排油量与回冲加速比 β	(47)
3.4 “三段分析法”在液压冲击机构设计中的应用 ...	(54)

第4章 液压冲击机构工作机理分析	(58)
4.1 概 述	(58)
4.2 液压冲击机构的工作状态分析	(61)
4.3 液压冲击机构的流量压力变化分析	(66)
4.4 基本运动方程	(69)
4.5 泄漏、粘性摩擦阻力、液压卡紧阻力	(72)
4.6 局部阻碍形成的油压差——局部阻力损失	(74)
4.7 控制阀运动过程中对后腔压力的影响	(80)
第5章 液压冲击机构的非线性数学模型	(86)
5.1 基本运动方程综合	(86)
5.2 泄漏与压力差计算	(88)
5.3 液压冲击机构的回油运动分析	(89)
5.4 数学模型的分状态归纳	(92)
第6章 冲击机构计算机数字仿真模型的建立	(94)
6.1 冲击机构数字仿真求解的特点	(94)
6.2 液压冲击机构工作状态的判断	(95)
6.3 PUA 准匀加速度数值算法与状态转换的校正 计算	(98)
6.4 液压冲击机构仿真计算的基本模块	(107)
6.5 仿真计算中的能量平衡计算	(112)
6.6 计算机仿真程序框图及说明	(114)
6.7 几种特殊状态下的仿真计算处理	(121)

6.8 仿真计算实例	(125)
第7章 液压冲击机构性能参数的计算机辅助测试系统 ...	(133)
7.1 速度测试	(133)
7.2 缩流取压孔板式流量计的设计	(144)
7.3 液压冲击机构性能参数的标定方法	(149)
7.4 液压冲击机构性能参数的测试系统	(158)
7.5 测试效率分析	(172)
第8章 有关液压冲击机构的几个专题研究	(174)
8.1 补偿流量在液压冲击机构中的作用	(174)
8.2 液压冲击机构的回油与回油蓄能器	(191)
8.3 控制阀与液压冲击机构压力突变和空穴	(203)
附录1 液压冲击机构的“三段法”设计计算程序	(218)
附录2 液压冲击机构仿真程序	(226)
附录3 无高压蓄能器的液压冲击机构计算机仿真程序 ...	(276)
参考文献	(319)

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	(1)
1.1 General Survey	(1)
1.2 Operation Principles of Hydraulic Impact Mechanism	(3)
1.3 Research Methods of Hydraulic Impact Mechanism ...	(10)
Chapter 2 Three-step Analysis of Piston Movement of Hydraulic Impact Mechanism	(15)
2.1 Relevant Parameters and Symbols	(15)
2.2 Kinetics Analysis of Piston	(16)
2.3 Front-chamber Area(A_2) and Rear-chamber Area(A_1)	(20)
2.4 Input Flow(Q_i)	(23)
2.5 Charge/Discharge Oil Volume, Charge Air Volume and Charge Oil Pressure of High Pressure Accumulator ...	(26)
2.6 Relationships Between Input Flow and Other Parameters	(29)
Chapter 3 Application of Three-step Analysis in the Analysis and Design of Hydraulic Impact Mechanism 	(31)
3.1 Energy Lost and Efficiency	(31)
3.2 Efficiency Analysis	(35)

- 3.3 Charge/Discharge Oil Volume in Accumulator and Accelerations Ratio β (47)
- 3.4 Application of Three-step Analysis in the Design of Hydraulic Impact Mechanism (54)

Chapter 4 Operation Analysis of Hydraulic Impact

- Mechanism** (58)
- 4.1 General Survey (58)
- 4.2 Analysis of Operation Condition of Hydraulic Impact Mechanism (61)
- 4.3 Analysis of Changes in Flow and Pressure of Hydraulic Impact Mechanism (66)
- 4.4 Basic Formula (69)
- 4.5 Leakage, Viscous Friction Resistance, Hydraulic Block Resistance (72)
- 4.6 Oil Pressure Difference Caused by Local Resistance—Local Resistance Lost (74)
- 4.7 Influence on Rear-chamber Pressure by Movement of Control Valve (80)

Chapter 5 Non-linear Model of Hydraulic Impact

- Mechanism** (86)
- 5.1 General Survey of Basic Formulae (86)
- 5.2 Calculation of Leakage and Pressure Difference (88)
- 5.3 Movement Analysis of Returned Oil of Hydraulic Impact Mechanism (89)
- 5.4 Conclusion of Mathematic Model (92)

Chapter 6 Computer Simulation of Impact Mechanism

.....	(94)
6.1 Features of Simulation Computation of Impact Mechanism	 (94)
6.2 Operation Condition of Hydraulic Impact Mechanism	 (95)
6.3 PUA Quasi-constant Acceleration Computation and Correction Computation	 (98)
6.4 Basic Components of Simulation Computation	 (107)
6.5 Computation of Energy Balance of Simulation Computation	 (112)
6.6 Flowchart and Descriptions of Simulation Computation	 (114)
6.7 Simulation Computation Under Special Conditions	... (121)
6.8 Examples of Simulation Computation	 (125)

Chapter 7 Computer Aided Test System of Hydraulic

Impact Mechanism Parameters	(133)
7.1 The Measurement of the Velocity	(133)
7.2 Design of Flowmeter	(144)
7.3 Calibration of Operation Parameters	(149)
7.4 Test System of Operation Parameters	(158)
7.5 Analysis of Efficiency Test	(172)

Chapter 8 Special Topics About Hydraulic Impact Mechanism

.....	(174)
8.1 Effect of Flow Compensation in Hydraulic Impact Mechanism	(174)

8.2	Returned Oil and Returned Oil Accumulator of Hydraulic Impact Mechanism	(191)
8.3	Control Valves and Pressure Abrupt and Cavity of Hydraulic Impact Mechanism	(203)
Appendix 1	Calculation Program of Hydraulic Impact Mechanism by Three-step Analysis	(218)
Appendix 2	Simulation Program of Hydraulic Impact Mechanism	(226)
Appendix 3	Simulation Program of Hydraulic Impact Mechanism Without High Pressure Accumulator	(276)
References		(319)

第1章 绪论

1.1 概述

冲击是一种常见的物理现象，发生冲击必须具备两个条件，一是要具备一定动能（速度）的冲击体，二是要有能使冲击体迅速减速的被冲击体。仔细分析一下冲击体的情况，还会发现：有些冲击是一次性使用的，如子弹；有些冲击虽然多次使用，但其运动是间断无规律的，如手锤；有些冲击则是连续有规律的。

利用冲击作用即利用物体的动能获取猎物、制作工具等，可以认为是人类最早的生产活动，随着人类文明的进步，最早的手动石块式的冲击早已为种类繁多、结构复杂的冲击机械所代替。本书讨论的是一种与破碎岩石或矿石等脆性物体有关的冲击机械。

在矿山、水电、铁道等生产建设活动中，将岩（矿）石从与之相连的基体（矿床、岩体等）上分离出来的工程量是十分浩大的。尽管分离的方法众多，但迄今为止，占主导地位的仍是在岩（矿）石上钻孔爆破，即所谓的钻爆法。目前开凿爆破孔的方法及相应机具的种类很多，其中机械钻孔方法又可分为以冲击为主、以回转为主和回转冲击作用相当三种。而以冲击为主的钻孔方法是采用最早，至今应用最广泛的一种方法。

此外，将较大的岩（矿）石、混凝土等脆性物体用冲击的方法破碎成较小块度的所谓二次破碎也是一种工程量十分大的生产

作业。

在人工手锤与钎子经历了十分漫长的岁月后,19世纪瑞典人在开挖勃朗峰隧道时发明了气动凿岩机,给爆破孔的开凿带来了历史性的变革,也可以说是冲击机具取得了巨大的进展。尔后的100多年间,气动凿岩机及其他气动冲击工具无论是品种上,还是性能上,都得到了极大的提高。经过长期的研究与应用,现代气动冲击机构的理论研究、结构设计及制造工艺等均已臻于完善。随着液压技术的进步,利用高压液体作为传动介质的液压机械越来越广泛,与此相比,压缩气体作为传动介质的能量密度要小得多,而且能量利用率也低得多。显然气动冲击机构不但冲击能量难以大幅度提高,而且能耗十分大,噪音也大大超过环保标准,这些弱点在现代工业生产追求高生产效率、低能量消耗及强调环境保护的形势下愈显突出。基于这一原因人们开始进行液压冲击机构的研制工作,从20世纪70年代开始,液压冲击机构在实用化方面取得了突破性的进展。

液压冲击机构是新一代高效节能凿岩设备——液压凿岩机、液压碎石机的主要工作机构。与气动凿岩机和气动碎石机相比,液压凿岩机钻孔速度提高1~2倍,液压碎石机的破碎能力也成倍提高。而且它们的能量利用率也由15%提高到40%~50%,噪音可降低10~15dB。由于这类设备高效节能等特点十分显著,世界上先后有十几个国家数十个厂家、科研院所竞相参与研究与开发。几经竞争与淘汰,瑞典Atlas-Copco公司和芬兰Tamrock公司生产的液压凿岩设备应用最多,占世界总额的65%以上。

国内起步比国外稍晚,于20世纪70年代后期开始液压冲击机构的研究,时至今日,尽管整体水平低于国际先进水平,但在工作机理、设计方法方面的研究水平绝不亚于世界先进水平,并有许多独创之处。

笔者所在单位——中南大学在充分的理论与实验研究的基础