

Baizhen Shuisheliu De Yanjiu Yu Yingyong

摆振水射流的 研究与应用

邹正龙 陈更林 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

摆振水射流的研究与应用

邹正龙 陈更林 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书主要论述摆振水射流的理论与应用,对摆振水射流的动力特性及工作参数进行了试验研究和优化。全书共分五章,第一章介绍高压水射流的特点及摆振水射流的提出;第二章介绍摆振水射流的实现并分析摆振水射流的动力特性;第三章介绍摆振水射流的试验研究;第四章论述摆振磨料水射流切落煤岩的机理与工艺;第五章对摆振水射流的应用进行论述和展望。

本书可作为从事水射流技术研究人员的专业参考书,也可作为相关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

摆振水射流的研究与应用/邹正龙,陈更林著. —徐州:

中国矿业大学出版社,2009.10

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0499 - 8

I. 摆… II. ①邹…②陈… III. 液体射流—研究 IV. TP6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 178467 号

书 名 摆振水射流的研究与应用

著 者 邹正龙 陈更林

责任编辑 杨传良

责任校对 何晓惠 王美柱

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

营销热线 (0516) 83885307 83884995

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 850×1168 1/32 印张 3.375 字数 70 千字

版次印次 2009 年 10 月第 1 版 2009 年 10 月第 1 次印刷

定 价 12.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

进入 20 世纪以来,为了适应采掘工业和加工工业的发展要求,人们发明了高压水射流这一实用新技术。

高压水射流技术源于水力采煤技术。水力采煤技术是利用低压大射流的冲蚀破碎作用,高效地将煤岩冲击破落下来,并采用管道水力输送的方式将其运走,实现水采水运。水力采煤技术的应用,极大地改善了作业面的工作环境,保护了工作人员的身体健康。但由于水力采煤的耗水量很大,煤中含有大量的水份,在冬季容易结冰,必须增加脱水工序,增加了后续工作的难度,特别是在缺水和天气寒冷的北方地区,水力采煤技术的推广应用受到了极大限制。

为此,高压细射流技术就应运而生了,即减小水射流的流量,实现水采旱运的采煤作业方式;同时,为了不影响水射流的落煤效果,提高了水射流的喷射压力,即高压水连续细射流(简称高压水射流)。

提高水射流在落煤过程中的能量利用率,一直

是人们所追求的目标。摆振水射流就是为实现高效、低耗的落煤目的而提出的。

本书作者多年来一直从事高压水射流的研究与应用工作,书中所涉及的内容以作者的研究工作为基础,参考和借鉴了国内外研究人员的研究成果,对摆振水射流的动力特性、摆振水射流的切割参数、摆振水射流与磨料水射流的结合及摆振水射流的破岩机理和落煤工艺进行了理论探讨和试验研究。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏和错误之处,敬请读者批评指正。

作 者

2009年7月

目 录

第一章 高压水射流的特点及摆振水射流的提出	1
第一节 高压水射流及其特点	1
第二节 水射流的切落规律与能耗	6
第三节 提高水射流切落效率的研究	11
第四节 摆振水射流的提出及特点	15
本章小结	17
第二章 摆振水射流的实现与动力特性分析	19
第一节 摆振水射流的实现	19
第二节 摆振水射流的动力特性分析	23
本章小结	34
第三章 摆振磨料水射流的试验研究	36
第一节 试验的目的、任务和方法	36
第二节 参数显著性试验	39
第三节 参数交互效应试验	48
第四节 振动频率 f 与 Q, e 的相关试验	52
第五节 喷射压力 P 与 Q, e 的相关试验	54
第六节 靶距 S 与 Q, e 的相关试验	55
本章小结	56

第四章 摆振磨料水射流切落煤岩的探索研究	59
第一节 煤岩的特性	59
第二节 煤岩的破坏特点	62
第三节 磨料水射流切割模型	64
第四节 煤岩受力分析	72
第五节 摆振磨料水射流的落煤机理与工艺	74
本章小结	81
 第五章 摆振水射流的应用与展望	 83
第一节 摆振水射流用于掘进落煤	83
第二节 摆振水射流用于切割方面	88
第三节 防尘降尘	89
第四节 清洗作业	92
第五节 摆振水射流的展望	94
 主要符号表	 96
 参考文献	 100

第一章 高压水射流的特点 及摆振水射流的提出

第一节 高压水射流及其特点

一、高压水射流技术的产生

高压水射流是在人类进入 20 世纪以来,为了适应采掘工业和加工工业的发展而创造和发展起来的一种实用新技术。

采掘工业迫切需要一种能防爆、防尘的破碎及钻凿矿体的工具,为此,从水力采煤开始,一种新型的实用技术——高压水射流技术就诞生了。

高压水射流是以水作为介质,通过高压发生设备使其获得巨大的能量后,用一种特定的液体运动方式,从一定形状的喷嘴,以很高的速度喷射出来的,具有一定几何形状并有一定喷射距离、能量高度集中的一股水流。

这股从喷嘴喷射出的水射流速度很高,介质本身又具有一定的质量,因此它具有很高的动能,像一连串弹丸一样发射出去,具有良好的穿透、冲蚀、楔劈和剥离能力,可以完成很多工艺任务,如切割、破碎和清洗物料等。

二、高压水射流的特点

在水力采煤技术的基础上发展起来的高压水射流技术,经过多年的试验和实践,已经取得了很多成功经验。高压水射流技术特别适合于高沼气煤矿,对防爆降尘和改善煤矿生产的安全、卫生条件具有其独特的优越性。

① 安全、卫生、节能,适合于特殊场合。高压水射流有降温、灭尘、润滑等作用。对于煤矿采掘机械来说,水射流除了能参与切割、提高采掘能力之外,还可以冷却和润滑截齿,减少其磨损、提高其寿命,并能降低采掘工作面的粉尘,实现无火花切割,从而为煤矿采掘工作面提供一个安全、卫生的环境。还可消除在一些精密加工中产生的温度应力及变形现象。

② 高压水射流的工作介质是水,不仅丰富易取、可重复使用,且用水量少、不污染环境。这就使得高压水射流技术与其他加工方式相比具有较明显的优势。

③ 高压水射流对被切割材料的作用力集中在射流喷射方向上,其横向力非常小。因而,可以对质地较软的物料或多层复合材料进行精密切割或成形切割,不仅消除了机械刀具切割时产生的切口变形或分层现象,而且可以得到非常平整的切口,能降低能耗和材料的消耗。

④ 高压水射流设备轻巧、灵便。高压水射流的工作压力虽然很高,但喷头的体积可以做得很小,后座力小,移动方便,使其工作效率较高,便于实现自动控制和连续作业。可以从被切割物料的任何部位开始切割出各种复杂的形

状;利用机械手可以在人难以靠近的危险环境下工作,如拆除废旧核反应堆的混凝土掩体和清洗有毒、易燃、易爆的容器等。

⑤ 高压水射流使用过的水还具有冲运切屑的功能,可不必设置专门的排屑装置,这对于钻孔和采矿等作业来说非常有利。

⑥ 高压水射流系统体积不大,可做成移动式装备,进行远距离作业和野外作业;并且通过调节高压水射流的压力和流量等工艺参数,可以方便地改变水射流的工作条件,以适应不同的作业要求,从而使高压水射流技术具有广泛的用途,可适用于各行各业。

但高压水射流技术还存在着一些问题,限制了它的推广应用,如:

① 高压水射流的喷嘴虽然很小,但压力很高,所需功率较大。目前,在很多工程作业中,水射流的能量还没有得到充分利用,导致其切割、破碎物料的比能耗较高,严重影响着高压水射流的经济效益。

② 高压水射流切割时,飞溅的水滴不仅影响工作环境的可视度,而且浪费掉了一些能量,甚至在被加工物体表面残留大量的水,增加了湿度。

③ 一些高压水射流的元部件质量还不过关。如超高压泵、旋转密封、耐磨喷嘴、高压管件等,这些问题不同程度地限制了高压水射流技术的进一步推广,也是今后研究的主要方向。

三、水射流对物体的作用力

水射流冲击物体表面时,由于改变了方向,在其原来的喷射方向上就失去了一部分动量,这部分动量将以作用力的形式传递到物体表面上。

(1) 水射流作用力

连续水射流对物体表面的作用力,是指射流对物体冲击时的稳定冲击力——总压力。

由图 1-1 所示,根据动量定理,水射流作用在物体表面上的作用力为:

$$F = \rho Qv - \rho Qv \cos \varphi = \rho Qv(1 - \cos \varphi)$$

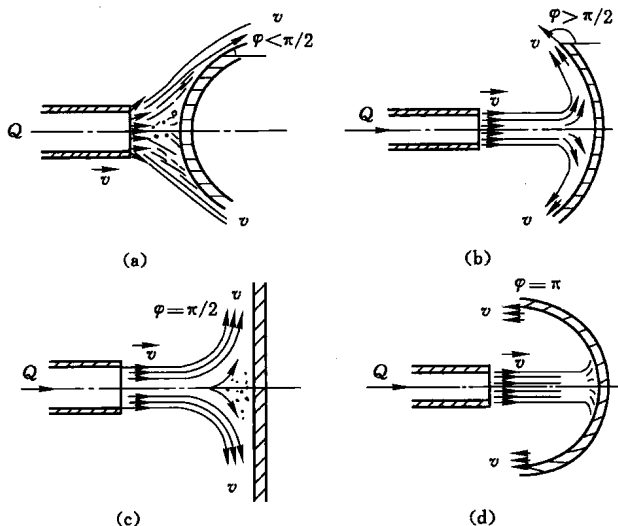


图 1-1 水射流对物体的冲击形式

式中 ρ ——水的密度, kg/m^3 ;
 Q ——射流流量, m^3/s ;
 v ——射流速度, m/s ;
 φ ——水射流冲击物体表面前的速度方向与冲击后的速度方向之间的夹角。

上式表明,射流对物体表面的作用力不仅与射流密度、流量、速度有关,而且还与射流离开物体表面时的角度 φ 有关,角度 φ 取决于物体表面形状。

实际上由于水射流的速度、结构是随着其喷射距离而发生变化的,因此射流冲击物体的作用力也是随喷嘴至物体表面的距离(通称靶距)变化而不断变化的,如图 1-2 所示。

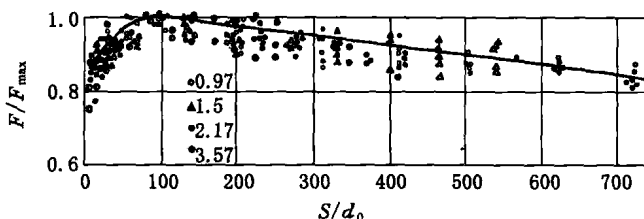


图 1-2 射流作用力随靶距的变化曲线

从图 1-2 中可以看出,水射流对物体的冲击力开始是随着靶距的增加而增加,在某一位置冲击力达到最大值,之后便开始减小。水射流最大作用力位置不是在喷嘴出口处,而是在距离喷嘴一定距离的地方。

(2) 高压水射流的冲击应力

必须指出,射流对物体表面的作用力并不能直接表征射流对物体的破碎能力,起决定作用的是射流对物体的冲

击压力,即单位面积上的作用力——压强。

在高速水流冲击下,物体表面承受很高的水锤压力,但这个压力维持的时间很短。我们把射流开始冲击到射流在物体表面产生径向运动的时间称为“初始期”,在这段时间内,固—液接触面上存在一个极高的压应力区域,它对物体的破坏过程有着重要的作用。

研究发现:在这个应力区存在着不同的应力脉冲,在水射流冲击的正下方,初始脉冲是压缩脉冲,随着埋设深度的增加,产生一个小的拉伸脉冲。在离开射流轴线的地方,既有拉伸脉冲也有压缩脉冲。

冲击界面上的压力是随时间而变化的,最大压力不是发生在冲击开始和结束时,而是发生在冲击开始后的某一瞬间。

研究还发现:当物体表面受到压应力后,由于卸载和恢复变形等因素,物体表面产生弹起现象,致使物体内部产生拉伸应力,其中在对称轴的某一位置上,拉伸应力最大,这种由卸载恢复变形而引起的拉伸应力是岩石等脆性材料破碎的重要原因。

第二节 水射流的切落规律与能耗

通过对高压水射流切落试验的研究,发现水射流切割物体时有以下几个方面的规律^[1]。

一、水射流喷射压力对切割能力的影响

水射流的喷射压力反映了水射流的速度,它是影响水射流切割能力的最重要参数。大量的试验表明,水射流冲击物料时,存在着一个使物料产生破坏的最小喷射压力。当水射流喷射压力小于这个压力时,物料只能产生塑性变形而几乎不破坏;当喷射压力超过这个压力时,物料将产生跃进式破坏。我们把这个使物料产生明显破坏的水射流喷射压力称为门限压力。物料的门限压力与物料的特性有关。

二、喷嘴横移速度对切割能力的影响

喷嘴横移速度是诸参数中唯一与切割时间有关的一个参数,其实质反映了水射流对物料的冲击时间。

由图 1-3 可以看出:横移速度越小,切割深度越大;随着横移速度的加大,开始时切割深度有明显下降,但横移速度进一步增加时,切割深度减小并不明显,最终稳定在某一切割深度上。

也就是说,在较高的横移速度下,水射流仍可保持一定的切割深度,即物体的初始破坏发生在极短的时间内(约几毫秒),随后的时间是使切割深度不断增加,然而这时切割深度的增长率是随着水射流冲击时间的增长而逐渐减小的。这是因为水射流冲击时间越长,越容易在切割沟槽底部聚集压力水,这些压力水起到“水垫”作用,从而减弱了水射流破碎能力。

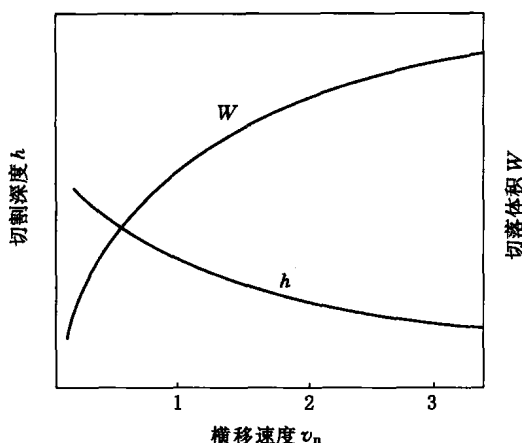


图 1-3 横移速度与切割深度和切落体积的关系

从图 1-3 中还可以看出:在较高的横移速度下,虽然切割深度较小,但单位时间水射流的切落体积却大大增加,从而降低了水射流切割的比能耗。从这一点来看,提高喷嘴的横移速度是一种降低切割能耗的有效措施。

三、靶距对水射流切割能力的影响

水射流的结构随射流离开喷嘴的距离变化而发生变化。靶距是水射流喷嘴出口到被切割物料的距离,因此靶距也是一个重要参数。

由于水射流要以一定的横移速度移动,因此存在一个靶距界限值。靶距小于这个值时,其切割深度大致相同;靶距一旦超过这个极限值,切割深度将急剧下降,水射流的切割深度 h 随靶距 S 的增大而减小(图 1-4)。

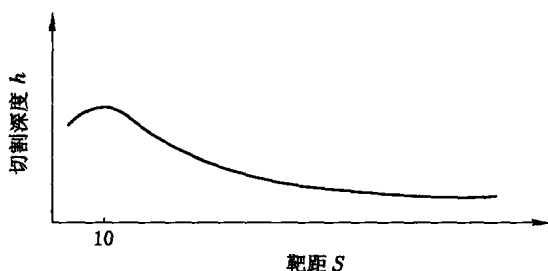


图 1-4 靶距与切割深度的关系

四、喷嘴直径对切割能力的影响

在保持喷射压力一定的条件下,加大喷嘴直径则增大了水射流所携带的能量,切割深度将增加。

如果流量不变,即保持原有的切割功率,加大喷嘴直径则水射流的喷射压力将下降,大大地减弱其切割能力,特别是当喷射压力低于材料破碎的门限压力时,尤为明显。

五、水射流冲击角度对切割能力的影响

水射流的冲击角度是指在切割平面内,水射流的冲击方向与喷嘴至被冲击物体表面垂线之间的夹角。

大量的实验表明,在其他条件相同时,水射流在不同的冲击角度下切割物料时,将得到不同的切割深度。水射流垂直冲击物料时(冲击角度为零),将得到较大的切割深度。随着冲击角度的加大,切割深度将逐渐减小,这是由于过大的冲击角度加剧了射流的反射作用,从而降低了射流的冲击能力。

必须指出的是,水射流冲击角度对其切割能力的影响还与喷嘴的横移方向有关,这是由于切割过后的水流将携带着切屑以一定的速度冲刷被切割物料,从而使切割深度进一步增大。同时,当水射流的冲击方向偏向喷嘴横移的方向时,增加了切割后的高速水与被切割物体的接触时间,从而使切割深度有时超过水射流垂直切割时的切割深度。

六、重复切割次数对切割能力的影响

大量实验表明,水射流对某一定点的冲击次数对切割深度的影响,与水射流对物料的冲击时间对切割深度的影响相似。

由图 1-5 所示的切割深度增量与切割次数的关系曲线可以看出,随着切割次数 n' 的增加,切割深度的增量 Δh 将逐渐减小。

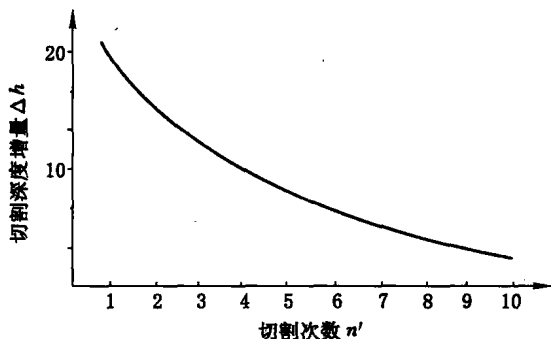


图 1-5 切割次数与切割深度增量的关系

在一个截槽内切割时,开始几次(3~5次)切割起主要作用,这时切割次数对切割深度的增量影响十分显著;此