

反击式破碎机反击板形状的设计分析*

石秀东¹ 徐亚栋² 徐峰² 黄男男¹

(1. 江南大学; 2. 南京理工大学)

摘要 对反击式破碎机进行实体建模,应用 LS-DYNA 对其工作过程进行仿真,计算物料在破碎过程中的运动轨迹,分析物料在不同的抛射角、碰撞部位和颗粒大小下的轨迹曲线,以确定反击板的截面形状曲线。其结果将为反击式破碎机结构的设计和改进行提供依据。

关键词 反击式破碎机 反击板 有限元 LS-DYNA

Analysis of the Design of Counter - Board Profile of Impact Crusher

Shi Xiudong¹ Xu Yadong² Xu Feng² Huang Nannan¹

(1. Jiangnan University; 2. Nanjing University of Science and Technology)

Abstract Solid modeling of impact crusher was made. The crusher working process was emulated by using LS-DYNA, the motion track of materials in the crushing process was computed and the track curves of materials at different project angles, impact points and particle sizes were analyzed for determining the sectional profile curve of the counter-board. The results provide a basis for the design and improvement of impact crusher structure.

Keywords Impact crusher, Impact plate, Finite element, LS-DYNA

反击式破碎机是一种高效的破碎设备,在冶金、矿山、建材、化工、陶瓷、筑路等行业中有着广泛的应用。反击式破碎机的反击板是破碎腔的关键部件,其形状有折线形、圆弧形、前进形和后退形等多种形式,为了设计合理、有效的反击板形状,必须对破碎过程进行分析,确定反击板形状对破碎过程的影响。另外,由于物料形状各异,在破碎时所受冲击的部位千差万别,物料的运动轨迹复杂多变。因此,如何设计反击板形状就成为一个极其重要的问题。本研究将通过对反击式破碎机破碎过程的仿真分析,分析物料在破碎过程中的运动轨迹,为反击板的形状设计提供依据。

1 模型的建立和前处理

1.1 计算模型与网格划分

反击式破碎机的破碎系统由转子体、板锤、反击板、石块组成,破碎物料的过程可以看作是板锤与物料发生碰撞、物料与反击板发生碰撞这两个过程不断交替、不断反复的过程。其三维结构和装配关系如图 1 和图 2 所示。

为了对破碎过程进行动态计算与分析,首先需对几何实体进行简化处理,其处理的原则为在不影响结构整体性能的前提下对几何实体上的倒角、螺

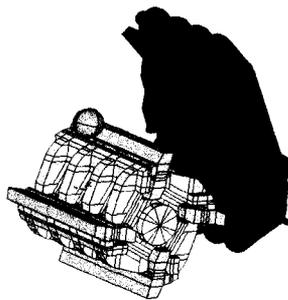


图1 破碎系统的结构模型

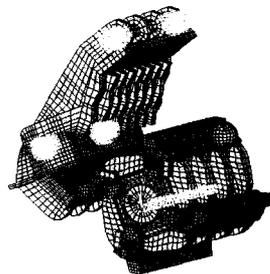


图2 破碎系统的有限元模型

栓孔等结构进行简化,这样有利于后续工作的进行;然后对几何实体进行网格划分。由于转子体、板锤、

* 江苏省交通厅科技计划项目(编号:07C02)。

石秀东(1965—),男,江南大学机械工程学院,副教授,博士,214122
江苏省无锡市蠡湖大道1800号。

反击板形状比较复杂,为了提高网格质量和计算的准确性,先对各几何实体进行分区处理,把复杂的几何实体划分成许多易于进行六面单元划分的小区域,再进行网格划分。转子体、板锤、反击板和石块模型都采用规则的 8 个节点六面体单元进行网格划分,图 2 为破碎系统的有限元模型。

1.2 材料属性

转子体采用 16Mn 合金钢,板锤采用 40Cr 合金钢,反击板采用 16Mn 强化合金钢,材料属性都采用 Plastic Kinematic 材料模型;物料选用花岗岩材料参数,其属性采用弹脆性材料模型;单元属性设为常应变。各项材料的具体属性见表 1。

表 1 材料属性

项 目	转子体	板 锤	反击板	石 块
材料属性	塑性	塑性	塑性	弹脆性
材料密度 $\rho/(g/mm^3)$	0.007 850	0.007 820	0.007 900	0.002 7
剪切模量 G/MPa	$1.031 9 E + 5$	$1.076 4 E + 5$	$1.073 2 E + 5$	21 153. 85
弹性模量 E/MPa	$2.678 0 E + 5$	$2.743 0 E + 5$	$2.795 0 E + 5$	55 000
泊松比 μ	0.3	0.277	0.3	0.3
硬化模数	0.5	0.7	0.5	0
失效应力 σ_s/MPa	800	850	800	130

1.3 界面接触定义

计算模型中,转子体与板锤、板锤与石块、石块与反击板、转子体与石块之间的界面接触均采用自动的面对面接触算法(Automatic surface to surface contact)。在确定各接触对之间的主从接触时,定义转子体与板锤之间:转子体为主接触、板锤为从接触;板锤与石块之间:板锤为主接触、石块为从接触;石块与反击板之间:石块为主接触、反击板为从接触;同时设定接触对之间冲击力文件输出参数为 1。在定义界面接触的各项参数中,定义转子体与板锤间的静动摩擦系数均为 0.15,其余两接触对间的动摩擦系数为 0.6。在接触高级选项卡中,定义接触刚度和接触深度分别为 0.1 和 0。

1.4 约束和加载

由于石块在整个破碎过程中都是自由的,因此对石块不施加任何位置约束;转子体通过转轴和轴承安装在机架上绕转轴做旋转运动,根据其安装和运动情况对转子体转动中心施加 X 、 Y 、 Z 3 个方向的平移约束和 X 、 Y 两个方向的转动约束;反击板在

整个破碎过程中都被固定住,对反击板的装配部分也施加 X 、 Y 、 Z 3 个方向的平移和转动约束;板锤安装在转子上被两挡块紧卡在转子体上同时加上其自身的结构的作用,板锤只能随转子体一起绕转轴转动,对板锤施加轴向 Z 向的平移约束。

2 反击板形状的设计分析

根据以上反击式破碎机的模型建立和前处理,利用 LS-DYNA 进行动力学仿真计算与分析,通过改变影响物料运动轨迹参数值来仿真计算物料受板锤撞击后的轨迹曲线,从而仿真优化出反击板截面的曲线形状。

2.1 抛射角(碰撞角)不同对物料轨迹曲线的影响

抛射角(碰撞角)的不同直接影响物料运动空间范围和轨迹曲线,从而影响反击板的形状。本研究仿真计算直径为 170mm 的花岗岩材质的球形岩石在抛射角(碰撞角) θ_0 分别为 0° , $\pm 15^\circ$, $\pm 30^\circ$, $\pm 45^\circ$, $\pm 60^\circ$, $\pm 75^\circ$, $\pm 90^\circ$ (约定以竖直位置为 0° ,顺时针为负,逆时针为正)时石块在破碎腔中的轨迹曲线。岩石受冲击碰撞后,其各个部位的运动轨迹是不同的,进行仿真分析时将岩石作为质点处理,即将岩石几何中心的运动轨迹作为整个岩石的轨迹。其计算结果见图 3,图中坐标(0,0)为转子旋转中心。

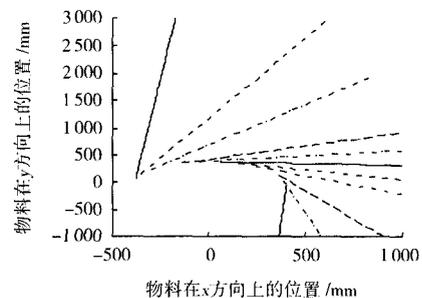


图 3 不同碰撞角度时物料运动的轨迹曲线

图 3 中的各条曲线按顺时针方向依次代表上述碰撞角 θ_0 为 $90^\circ \sim -90^\circ$ 范围时物料运动的轨迹。通过对不同碰撞角时物料的运动轨迹的分析,可以看出碰撞角对反击板的形状影响较大,不同截面形状的反击板对物料的破碎效果好坏影响较大。

2.2 待破物料的粒径对其轨迹曲线的影响

反击式破碎机在实际的破碎生产中,需要破碎的岩石不论是大小还是形状都是不相同的。本研究对直径分别为 220 mm、170 mm、100 mm 的球形花岗岩材质的石块、碰撞角为 45° 、转速为 700 r/min,碰撞位置为板锤顶部时进行分析计算。这 3 种工况下

岩石轨迹曲线的计算结果见图 4。

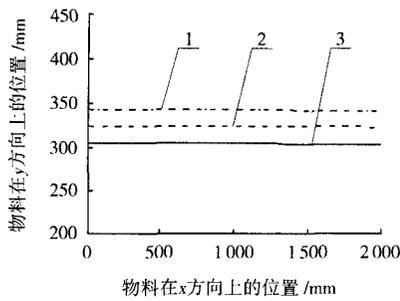


图 4 不同粒径物料受板锤冲击后的轨迹曲线

1 - 直径 100 mm; 2 - 直径 170 mm; 3 - 直径 220 mm

从图 4 可看出, 3 种不同粒径的轨迹曲线近乎平行, 因此在其运动过程中, 要产生比较好的破碎效果, 就要使反击板的法线与物料的运动轨迹曲线相互平行。

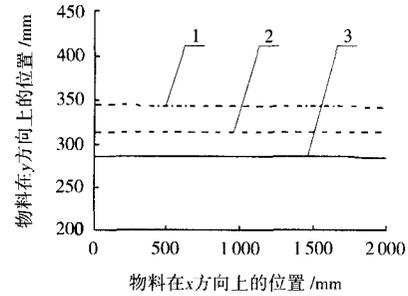
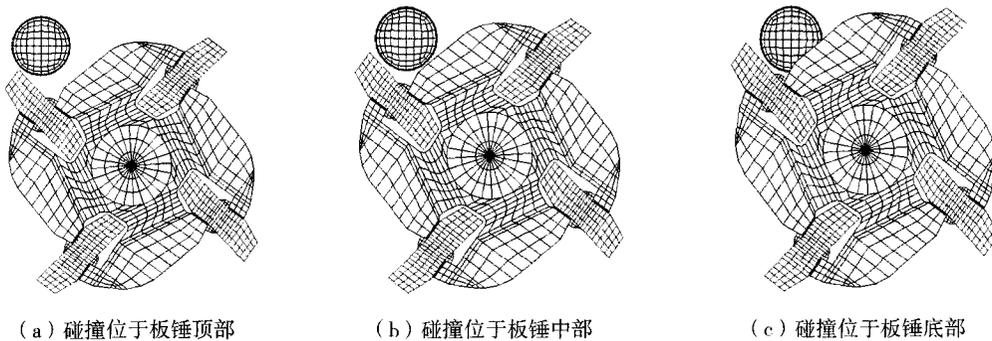


图 5 不同撞击部位时物料的轨迹曲线

1 - 直径 100 mm; 2 - 直径 170 mm; 3 - 直径 220 mm

2.3 碰撞位置不同对物料轨迹曲线的影响

反击式破碎机在实际的破碎生产中, 不仅破碎物料的形状大小各异, 而且在破碎过程中岩石在板锤上冲击碰撞的部位也是随机的。本研究研究直径为 170 mm 的花岗岩材质的球形岩石、在转速为 700 r/min 条件下分别撞击板锤不同的部位时岩石的轨迹曲线, 不同碰撞部位的示意图见图 6。不同撞击部位时物料的轨迹曲线见图 5。



(a) 碰撞位于板锤顶部

(b) 碰撞位于板锤中部

(c) 碰撞位于板锤底部

图 6 不同碰撞部位示意

从不同撞击部位时物料的轨迹曲线分析可知, 这 3 种情况下物料受冲击后的轨迹曲线的斜率也十分接近, 因此物料与板锤碰撞位置的不同不影响反击板在破碎腔中的空间位置, 即这种情况下与其发生碰撞的反击板可为同一级反击板。

2.4 转子转速对物料轨迹曲线的影响

在工作生产过程中, 有时需要改变转子的转速来增强物料的破碎效果, 那么当转子转速改变时岩石的轨迹是否跟着变化。对于这个问题的研究, 用直径为 170 mm 花岗岩材质的石块, 在转速分别为 1000 r/min、700 r/min、400 r/min 时进行仿真分析。其计算结果见图 7。

通过对图 7 轨迹曲线的分析可以看出, 在一定的空间范围内不同转速条件下冲击碰撞后物料的轨迹曲线接近重合, 尽管从图上看出由于重力作用 Y 坐标位置有一定偏差, 但从数值上对比, 偏差不大,

同时考虑实际破碎腔空间尺寸的有限, 因此可认为转速不同对物料轨迹影响不大, 即对反击板形状影响较小。

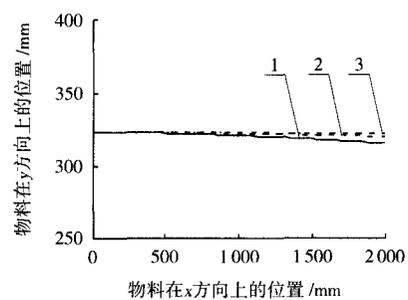


图 7 不同转速下物料受碰撞后的轨迹曲线

1 - 转速 400 r/min; 2 - 转速 700 r/min; 3 - 转速 1 000 r/min

2.5 反击板形状确定

通过上述对影响反击板形状的参数进行分析后, 可知, 碰撞角不同对反击板形状影响最大, 物料粒径、

物料在板锤上碰撞部位、转子转速对反击板形状影响小,因此可以根据碰撞角情况下物料的运动轨迹来确定反击板的形状,具体为:作轨迹曲线的法线作为反击板形状曲线,最终优化的反击板的形状见图 8。

3 结 论

本研究从影响反击板形状的因素与物料运动的

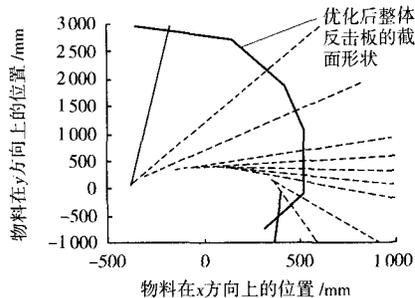


图 8 优化后整体反击板的截面形状

(上接第 65 页)

确性,通过 1438 台阶各钻孔用测绳实测了下覆空区钻孔处的高度,然后在数据处理软件中量测了相应位置空区的高度,两组数据对比见表 2。从表中可以看出,在各钻孔点实测的空区高度与在软件中量测的高度相差不大,激光三维扫描能满足对空区精确的三维探测,同时,也应该相信激光三维探测的结果更准确、更可靠。

表 2 各钻孔实测空区高度与软件中量测高度对照

钻孔编号	实测高度/m	软件中量测高度/m
1	31.7	31.85
2	23.3	23.14
3	22.5	22.58
4	28.4	28.57
5	26.4	25.81
6	29.3	29.26
7	14.8	14.92

在详细探查 1438 台阶空区后,矿山公司穿爆车间在 1438 大型空区顶板较薄的小部分区域实施爆破,受顶板爆破及其他台阶爆破震动的影响,该大型空区在爆破后部分塌落,爆破后形成巨大的地表塌陷,经实地测量,塌陷后的空区从地表到塌落坑最低处达 75 m,塌陷区的水平面积为 4 900 m²左右。受随后台阶爆破的影响,该塌落区正在不断扩大。因此,本次预先对 1438 台阶台阶处大型盲空区成功精确的探测,为栾川钼矿的安全生产提供了详细可靠的空区数据,保证了矿山的开采进度,极其成功地预防了重大安全事故的发生。

轨迹曲线着手,通过对物料破碎过程的仿真分析,计算物料在破碎过程的运动轨迹,分析影响物料运动轨迹曲线的基本参数,如抛射角、碰撞部位、物料大小,计算分析了各种不同参数条件下物料的轨迹曲线,通过对物料轨迹曲线的分析,从而确定反击板的截面形状曲线。

参 考 文 献

- [1] 王 庆,张以都,张海. 基于动力学仿真的反击式破碎机锤板优化[J]. 辽宁工程技术大学学报,2007,26(1):113-116.
- [2] 任小中,杨丙乾. 反击式破碎机关键技术参数的确定[J]. 矿山机械,2006,34(4):56-57.
- [3] 李裕春,时党勇,赵 远. ANSYS10.0 LS-DYNA 基础理论与工程实践[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006.

(收稿日期 2008-09-16)

3 结 论

(1) 地下采空区、建筑物等下覆空区的处理需要对空区进行精密的探测以正确指导空区处理,激光三维探测方法不仅可以提供空区精确的三维模型,而且完全保证了探测人员的安全,非常适用于对不可进入地下空区的三维探测。

(2) 对地下复杂的不可进入空区,单一钻孔不能满足对空区完整的三维探测,用边探边钻的方式,在初步探测后确定其后钻孔的位置,通过多个地面钻孔对复杂空区进行三维探测,可以获取完整的空区数据和三维模型。

(3) 将激光探测所得空区模型导入 SURPAC 与已经建立的矿山三维模型耦合,同时按照爆破设计中的需要,对探测数据进行处理,用空区平面图网格交点标高来代替所测空区的剖面图,这样可以更好地指导开采设计,并为矿山安全部门提供更可靠的信息。

参 考 文 献

- [1] 李夕兵,李地元,赵国彦,等. 金属矿地下采空区探测、处理与安全评判[J]. 采矿与安全工程学报,2006,23(1):24-29.
- [2] 童立元,刘松玉,邱 钰,等. 高速公路下覆采空区问题国内外研究现状及进展[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(7):1198-1202.
- [3] 高 勇,徐白山,王启军,等. 地下空区探测方法有效性研究[J]. 地质找矿论丛,2003,18(2):126-130.
- [4] Fardin N, Feng Q, Stephansson O. Application of a new in situ 3D laser scanner to study the scale effect on the rock joint surface roughness[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences,2003,41(2):329-335.

(收稿日期 2008-09-15)