

# 颚式破碎机颚板受力分布模型

曹进喜 容幸福 杨世春

(太原理工大学机械工程学院 太原 030024)

**摘要** 颚式破碎机是 1 种应用在矿山、冶金、建筑等行业广泛应用的破碎设备,其工作机理很简单,但破碎过程却很复杂。有效的颚板受力分布模型将有助于认识破碎机的破碎过程和破碎机的设计改进。针对破碎力的动态特性,电阻应变片多通道数据采集方法用来进行颚板受压力的测量。在破碎机动颚的运动和物料挤压破碎分析基础上,确定应变片在动颚板上的分布。在最大给料水平下,不同排料口、偏心轴转速条件下,对实验室用小型复摆颚式破碎机动颚板受压力进行了测量。针对物料破碎的随机性,利用统计数学方法对颚板各部位测量数据进行了处理,并分析了颚板受力特征。通过对不同工作参数下颚板受力分布的分析,得出颚式破碎机颚板受力分布特征。

**关键词** 颚式破碎机 破碎力测量 多通道数据采集 分布模型

## Force distribution model of jaw plate in jaw crusher

Cao Jinxi Rong Xingfu Yang Shichun

(College of Mechanical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract** Jaw crusher is a kind of size reduction machine widely used in mineral, aggregates and metallurgy fields. The crushing mechanism of the jaw crusher is simple, however, the crushing process of the jaw crusher is rather complicated. An effective distribution model of force exerted on the jaw plate is helpful to recognize the crushing process and improve the jaw crusher design. Against the dynamic feature of the crushing force, the distributed strain gauges and the multi-channel data collecting method are adopted to measure the pressure force exerted on the moving jaw plate. The distribution of the strain gauges is determined based on the movement of the swing jaw plate and the particle fracture feature under pressure. Under the choke feed level the experiments to measure the force exerted on the moving jaw plate are carried out with different outlet sizes and different rotational speeds of eccentric shaft. Due to the randomness of particle breakage, the statistic method is used to deal with the test data in order to analyze the feature of force exerted on the jaw plate. The distribution of the force exerted on the jaw plate is analyzed with different operational parameters, so the distribution feature of the force exerted on the jaw plate is obtained.

**Key words** jaw crusher crushing force measurement multi-channel data collecting crushing force distribution

## 1 引 言

颚式破碎机是 1 种应用在矿山、冶金、建筑等行业的破碎设备,由于其具有结构简单、破碎力大、制造成本低等特点,在粗中碎阶段得到广泛应用。目前复摆颚式破碎机已逐步取代简摆颚式破碎机<sup>[1]</sup>,广泛使用的复摆颚式破碎机结构如图 1 所示<sup>[2]</sup>。动颚悬挂在偏心轴上,偏

心轴由电机驱动。动颚板和定颚板之间的空间形成破碎腔,动颚在偏心轴的带动下做复杂的平面摆动运动,动颚板利用螺栓固定在动颚上随动颚进行复杂平面运动。物料的破碎过程主要是一系列的单粒物料破碎<sup>[3]</sup>,在动颚板的挤压作用下,被啮合的物料由于挤压产生内部拉应力并最终导致物料的劈裂破碎,破碎后物料下落到破碎腔内新的位置进行下 1 次破碎,如此重复,直到物料尺寸达到产品要求,从排料口排出。由此可见,物料的破碎流

动过程是一个复杂的过程。由于颚板受摩擦力测量困难,文中颚板受力指颚板所受压力,对颚板受力的测量,以及对颚板受力分布的研究,将对认识物料在破碎腔内的流动过程,也就是破碎机破碎过程提供帮助。同时有效的颚板受力分布模型有助于宏观上研究颚板磨损,为破碎机特别是破碎腔的改进设计提供有力依据。由于动颚板所受压力由动颚板挤压物料的运动引起,因此动颚板的运动成为影响颚板受力的关键因素之一。实验中电阻应变片多通道数据采集方法用来对颚板所受压力进行测量。在动颚运动以及物料挤压破碎特性分析基础上,确定电阻应变片在动颚板的分布。通过对动颚板不同部位进行同时测量,并对测量数据进行统计分析,得出不同部位的受力特征。改变排料口,偏心轴转速等参数,对不同条件下颚板受力进行了测量,并分析了颚板受力分布的特征。

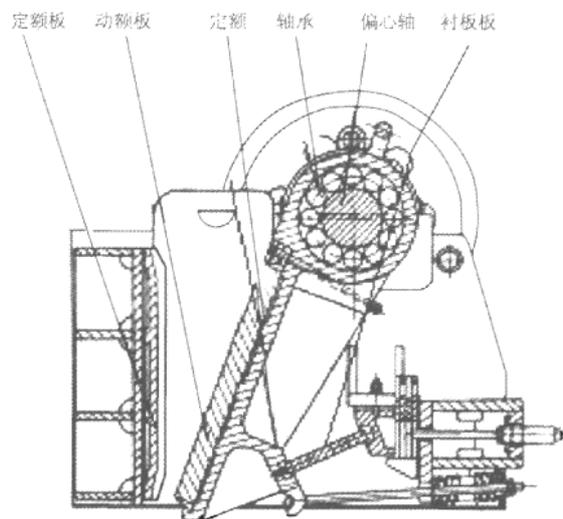


图 1 颚式破碎机<sup>[2]</sup>

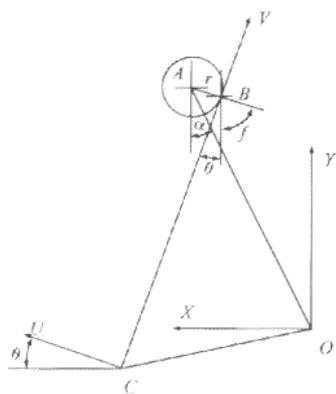


图 2 颚式破碎机机构示意图

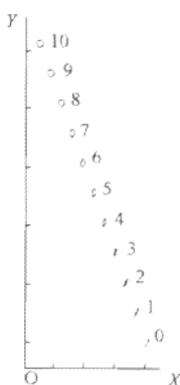


图 3 运动轨迹

## 2 动颚运动分析

颚板受力测量实验在实验室用小型复摆颚式破碎机

PE100×60 上进行,在动颚板不挤压物料的背面直接粘贴电阻应变片,利用多通道数据采集系统进行破碎力的测量。为了确定电阻应变片的分布方式,对颚式破碎机动颚的运动进行了分析。颚式破碎机的结构可以简化为如图 2 所示连杆机构。为了描述动颚的运动,从 C 点到 B 点依次取 10 等分 CB 杆的 11 个点。图 3 为各点运动的轨迹,图 4 为各点水平位移,图 5 为动颚板上各点挤压行程的变化。可以看出,各点的运动轨迹不一样。动颚板上各点的运动不同步,水平运动有较大相位差,同时各点的挤压行程不同,因此,可以肯定各点的受力不同,需要在竖直方向进行多点测量才能描述动颚板的受力情况。

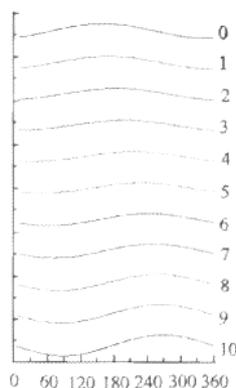


图 4 水平位移

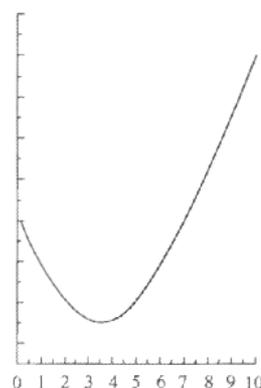


图 5 水平行程

## 3 物料挤压破碎分析

物料在颚式破碎机破碎腔内挤压破碎如图 6 所示,物料的破碎形式主要是内部拉应力导致的劈裂,以及与颚板直接接触部位的粉碎。图 7 为为花岗石在 Allis-Chalmers 高能破碎测试系统下进行的花岗石挤压破碎实验数据图,破碎力从峰值迅速下降标志物料已经破碎,从图 7 中可以看出,物料的破碎过程很迅速,大约 1 μs,对应行程很小,由于实验试件为平均直径为 47.492 mm,长为 25.668 mm 的圆柱体,而实际中物料为不规则形状,其破碎前挤压接触部分粉碎发生要更为严重,需要更多的挤压行程。从图 7 中可以看出物料在破碎过程中的受力是变化的。

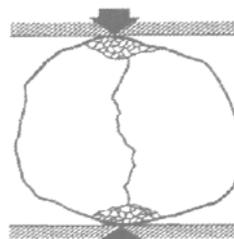


图 6 物料破碎

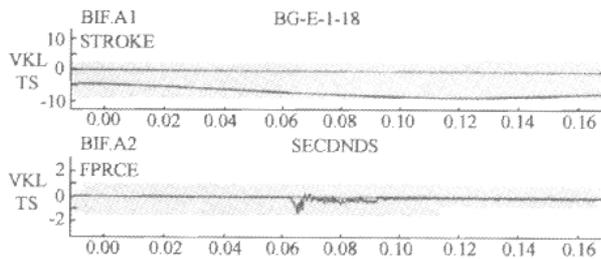


图7 花岗石挤压破碎数据图(James G. Donovan<sup>[3]</sup>)

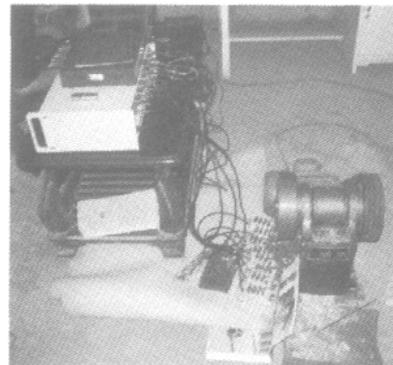


图9 测试现场

### 4 颚板受力测试实验

结合动颚的运动和动颚板的实际尺寸,电阻应变片在 100 mm×200 mm 动颚板背面的分布如图 8 所示。图 9 为测试现场。颚板受力测量在最大给料水平情况下进行,物料为青石。对于特定的破碎机,颚板的受力不但收到物料的给料状态影响,同时可能还受到偏心轴转速,排料口大小等因素的影响。为了对颚板受力分布规律进行研究,在不同条件下对颚板受力进行了测量。为了确保测量的有效性,对不同部位进行同时测量。图 10 是在偏心轴转速为 360 rpm,派料口较大情况下,竖直方向 4、10、14、18、24 点和水平方向 15、17、19 点的部分实验数据。

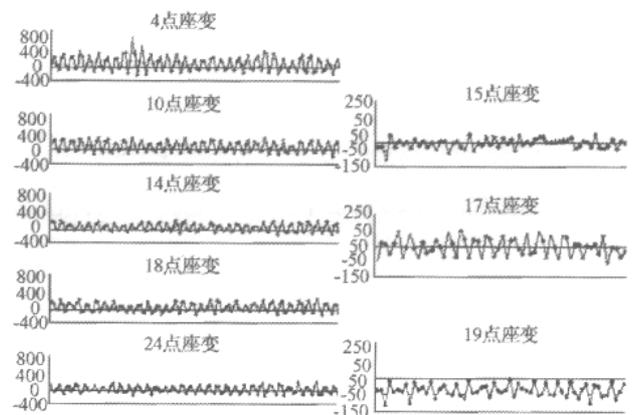


图10 测试数据

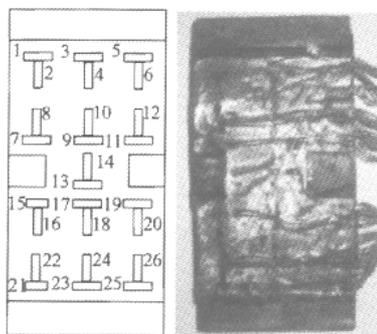


图8 实验用动颚板上应变片分布

由于实验中不同点测量在相同条件下进行,因此各点应变幅值变化就可以描述各点受力特征,为了描述颚板受力特征,对各点测得实验数据进行统计取样处理,取破碎机在稳定工作状态下每个破碎周期应变最大值与最小值的差为一个样本,表 1 为竖直方向 4、10、14、18、24 点和水平方向 15、17、19 点统计结果。从表 1 中可以发现,竖直方向 4 点的平均应变很大,同时 4 点的方差,极差也很大,说明在 4 点受力很不均匀,这也反映了物料破碎的随机性,相比之下其他点受力要均匀的多。

表 1 统计结果

测试点	平均应变 $\mu \epsilon$	标准差	标准误差	均值下置信区间	均值上置信区间	极差	最小值	最大值	中间值	方差	变异系数	峰度	取样点数
4th	80.75	36.93	2.64	75.54	85.97	199.91	19.79	219.69	76.16	1363.62	0.46	1.39	195
10th	65.87	20.45	1.46	62.98	68.76	101.60	22.93	124.53	65.48	418.06	0.31	-0.27	195
14th	60.60	19.40	1.39	57.86	63.35	92.18	21.20	113.38	58.26	376.47	0.32	-0.17	195
18th	82.45	25.17	1.80	78.89	86.00	147.93	19.00	166.93	81.34	633.42	0.31	0.06	195
24th	56.55	16.77	1.20	54.18	58.92	84.02	19.31	103.33	53.86	281.31	0.30	0.06	195
19th	18.11	7.06	0.50	17.13	19.10	41.46	0.16	41.61	16.80	49.85	0.39	0.87	201
17th	35.20	17.53	1.24	32.76	37.63	103.01	1.10	104.11	34.23	307.15	0.50	0.99	201
15th	17.40	7.61	0.54	16.34	18.46	39.26	0.63	39.89	16.96	57.95	0.44	0.04	201

### 5 破碎力分布

由于颚板所受到力的大小和物料破碎特性如抗拉强度,断裂韧性等有关,而不同地区的物料其破碎特性差别很大,无法逐一研究每种物料破碎时颚板受到的破碎力大小。而颚板受到压力的分布却很大成度由破碎机来决定。

图 11、图 12 根据表 1 中数据绘制,图 11 为竖直方向应变和方差变化,图 12 为水平方向应变和方差变化。在

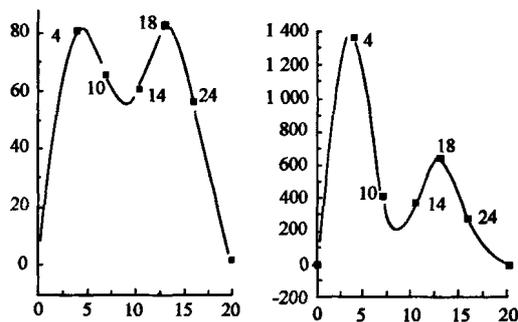


图 11 竖直方向应变和方差

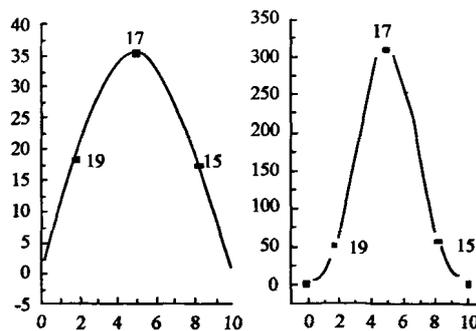


图 12 水平方向应变和方差

竖直方向,在 4 点和 18 点比较大,也就是颚板的上中部和中下部破碎力较大,在中间形成一个局部极小区域,而在颚板的下部也就是破碎腔的排料口部分破碎力较小。在水平方向,很显然中间部分破碎力大,而两边受力小,而且两边受力具有对称性。由于颚板竖直方向破碎力分布比较复杂,而且对揭示破碎腔内物料的流动,颚板的磨损很有意义,对不同工作条件下颚板竖直方向的受力分布分析,结果如表 2 所示。

表 2 不同参数下竖直方向的应变与方差

序号	排料口	转速	4 点应变		10 点应变		14 点应变		18 点应变		24 点应变	
			均值	方差	均值	方差	均值	方差	均值	方差	均值	方差
1	小	360	143.06	2 723.00	127.42	1 478.36	87.97	690.64	101.29	1 332.04	69.76	586.23
2	小	600	103.70	1 354.76	106.27	1 015.85	86.88	452.32	99.51	840.77	65.51	485.38
3	大	600	100.63	2 655.04	84.48	1 140.88	55.52	708.88	70.92	1 394.03	45.81	691.89
4	大	360	80.75	1 363.62	65.87	418.06	60.60	376.47	82.45	633.42	56.55	281.31
5	大	480	81.40	1 887.98	80.72	1 472.32	62.54	657.60	72.46	915.08	53.46	553.20

根据表 2 处理结果,不同条件下破碎力分布如图 13 所示,在不同条件下竖直方向破碎力分布基本相似,在颚板的上中部破碎力最大,在颚板中部存在局部极小值,破碎力逐渐增大,在中下部达到极大值,然后逐步减小。由此可见,颚板破碎力分布主要由动颚运动决定。图 13 中曲线 3、4、5 是在相同的派料口,不同转速下的测量结果,结果却几乎相同,也就是说转速对受力分布的影响较小。对比曲线 1、2 和其他曲线,可以发现在小派料口情况下,颚板受力要大一些。由于物料在破碎腔内的初次破碎在颚板上半部分发生,因此给料粒度不同很大程度决定在该区域颚板受力差别。

### 6 结 论

利用电阻应变片方法,以青石为物料,在最大给料水平下对实验用小型颚式破碎机颚板的受力进行了测量,以破碎机每个破碎周期应变的差值作为样本,利用统计方法对测量结果进行处理,统计结果表明颚板上部受力

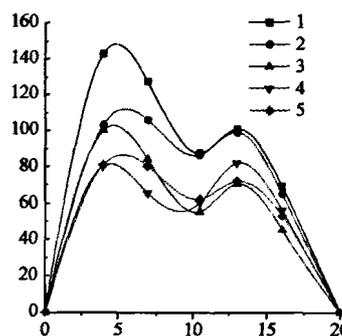


图 13 不同条件下竖直方向破碎力分布

有很大波动性,中部受力较小却很均匀。通过对不同部位的同时测量,可以得出颚板在水平、竖直方向受力变化,这两个方向的受力分布构成了颚板受力分布模型。从不同条件下颚板破碎力分布情况看,颚板受力分布有很大的相似性,水平方向中间受力大,两边受力小且有对称性;竖直方向在上中部和中下部较大,中间部分受力存在局部极小值。比较不同条件对破碎力(下转第 81 页)

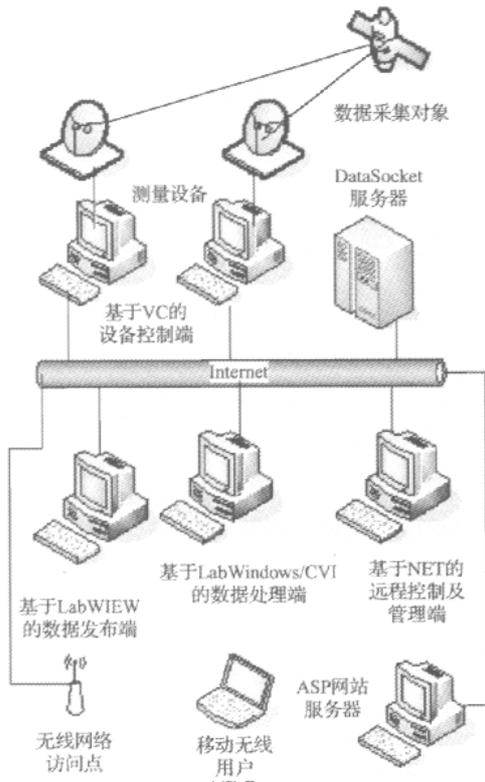


图 3 基于 DataSocket 的分布式卫星云图接收处理系统

### 5 结 论

这个实例展示了 1 个基于 DataSocket 的分布式测试系统的基本模型,在这个系统中,DataSocket 技术的引入使得执行效率和兼容性、可靠性得到了大大地提高,其作用是非常显著的,虽然作为一种数据传输协议来说,它的灵活性并不高,但是在分布式测量领域,它能够提供简便、高效的开发,对于各种开发平台的支持以及高度的智能性和可靠性更将使其成为主流的远程数据发布和获取手段,其应用前景非常广阔。

### 参考文献

- [ 1 ] Microsoft Corporation. NET framework developer's guide[M]. USA:MSDN library,Redmond,2005.
- [ 2 ] National Instruments Corporation. Measurement studio guide[M]. USA:National Instruments,Austin,2003.
- [ 3 ] SHARP J,JAGGER J. Programming Visual C#. NET [M]. USA:Microsoft Press,Redmond,2002.
- [ 4 ] 尹良,郑刚,孙浩. DataSocket 技术在网络化在线颗粒测量仪中的应用[J]. 仪表技术,2005,4.
- [ 5 ] 马海瑞,周爱军. 基于 DataSocket 技术的 LabVIEW 远程测控[J]. 2005,4.

(上接第 69 页)

的分布的影响,在小排料口条件下颚板受力较大,而偏心轴转速对颚板的受力影响较小。颚板的受力分布模型为认识破碎机物料流动过程以及颚板磨损形成提供有利的帮助。由于物料粒度对颚板受力分布,尤其是中上部影响较大。同时颚板受力分布与动颚板运动以及物料在破碎腔内破碎流动的关系还需要进一步研究,准确定量确定颚板受力分布的解析式将是下一步研究内容。

### 参考文献

- [ 1 ] 廖汉元,孔建益,钮国辉. 颞式破碎机[M]. 北京:机械

工业出版社,1998.

- [ 2 ] 中华人民共和国机械行业标准 JB/T1388-2002. 复摆颞式破碎机[S]. 2002.
- [ 3 ] DONOVAN J G. Fracture toughness based models for the prediction of power consumption,product size and capacity of jaw crusher [D]. USA: Virginia Polytechnic Institute and state University,2003.