

# 锤片式粉碎机分段圆弧筛片设计与粉碎性能试验\*

田海清 屈丰富 刘伟峰 韩宝生 王春光

(内蒙古农业大学机电工程学院, 呼和浩特 010018)

**【摘要】** 针对锤片式粉碎机工作过程中物料环流层影响粉碎性能的特点, 设计了分段圆弧筛片代替环形平筛, 使锤筛间隙不断变化, 破坏环流层, 改善粉碎机性能。试验研究表明, 针对4KB型锤片式粉碎机设计的15种分段圆弧筛片中, 当分段圆弧半径为76 mm, 间距为97 mm时, 粉碎机的生产率最高, 比环形平筛增加了29.8%, 度电产量增加了26.6%, 过度粉碎现象得到了改善, 物料粒度也比较均匀, 温升明显降低。

**关键词:** 锤片式粉碎机 筛片 粉碎性能

中图分类号: S226 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)04-0092-04

## Design and Experiment of Piecewise Arc-shaped Screen on Hammer Mill to Grinding Performance

Tian Haiqing Qu Fengfu Liu Weifeng Han Baosheng Wang Chunguang

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China)

### Abstract

Based on the fact that corn circulation layer affects the grading performance in the working process of the hammer mill, piecewise arc-shaped screens were designed for substituting the circular-shaped screen. In order to improve the grading performance of hammer mill, the space between the hammer and screen was changed repeatedly, and the corn circulation layer was destroyed. 15 kinds of piecewise arc-shaped screens were designed for the 4KB hammer mill. The experimental study indicated that the hammer mill with the screen piecewise arc radius of 76 mm and the space between arcs of 97 mm had the highest production efficiency. Compared with flat circular-shaped screen, the production efficiency and power output in every kW·h increased by 29.8% and 26.6%, respectively. The over grading phenomenon was improved. Particle size of the corn was uniform and the temperature rise of the corn was decreased.

**Key words** Hammer mill, Screen, Grinding performance

### 引言

锤片式粉碎机工作时, 物料在锤片作用下贴着筛面作与锤片运动方向相同的圆周运动, 从而产生环流层。同时, 由于离心力的作用, 极易出现大颗粒物料分布在粉碎腔外层, 而小颗粒物料分布在内层的现象。环流层一方面造成了小颗粒的过度粉碎, 另一方面还减少了大颗粒受冲击的次数和小颗粒出筛的机率, 进而影响粉碎机的粉碎效率, 增加能耗、

降低度电产量、产生粒度不均匀和物料温升快等问题<sup>[1-7]</sup>。改善锤片式粉碎机工作性能的重要方法之一, 是在结构设计上尽可能破坏物料环流层, 使细粒物料及时排出, 避免过度粉碎<sup>[2-3]</sup>。

本文针对上述问题, 设计分段圆弧筛片代替环形平筛, 使锤筛间隙不断变化, 从而破坏环流层, 改善粉碎机性能, 并通过试验研究选择性能良好的筛片, 为锤片式粉碎机筛片的设计提供一种新方法。

收稿日期: 2010-06-27 修回日期: 2010-07-19

\* 国家农业科技成果转化资金资助项目(2009GB2A400054)、内蒙古农业大学科技创新团队建设计划项目(NDPYTD2010-8)和内蒙古农业大学博士科研启动基金项目(BJ06-48)

作者简介: 田海清, 副教授, 博士后, 主要从事农牧业机械智能化研究, E-mail: hqtian@126.com

通讯作者: 刘伟峰, 教授, 主要从事畜牧机械研究, E-mail: lwf1955@eyoo.com

### 1 分段圆弧筛片的设计

本研究以4KB型锤片式粉碎机为样机,具体结构如图1所示。主要技术参数为:①采用4组活动锤片,锤片为长方形。②采用圆孔筛片,360°环形配置,筛孔直径为3 mm。③配套电动机功率1.5 kW,转速2 850 r/min。④粉碎室宽度为80 mm。⑤轴向自吸进料方式。⑥转子直径360 mm。为保证粉碎机平稳运行,本试验采用VARISPEED-616G5型变频器控制电动机,整机的启动、关停均由电控装置完成。

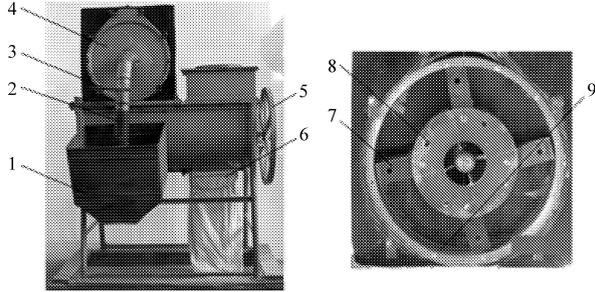


图1 4KB型锤片式粉碎机

Fig.1 4KB hammer mill

- 1.料仓 2. 进料管 3. 进料调节装置 4. 粉碎室 5. 手动出料摇柄 6. 出料口 7. 锤片 8. 锤片架 9. 筛片及筛架

分段圆弧筛片的设计既要考虑原筛架的结构尺寸,也要考虑不同曲率半径圆弧的光滑连接,以达到在破坏环流层的同时,增大物料与筛片的接触面积。图2为分段圆弧筛片设计原理图。

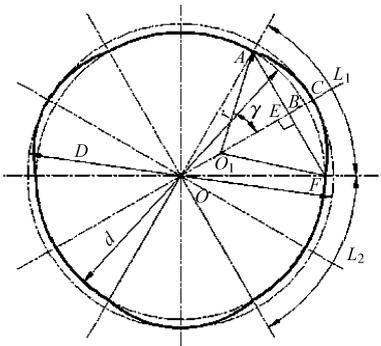


图2 分段圆弧形筛片设计原理图

Fig.2 Design principle of the piecewise arc-shaped screen

由图2可知,筛底结构为两同心圆,直径分别为 $D$ 、 $d$ ( $D=393\text{ mm}$ , $d=371\text{ mm}$ ),同心圆直径也是筛片的安装尺寸,筛片必须安装在这两个同心圆之间。若将同心圆分为 $n$ 等分,则所设计的圆弧 $\widehat{ACF}$ 须与外圆相切,与内圆相接。考虑到筛架上固定筛片的螺栓数(12个,均匀分布在 $D$ 与 $d$ 之间)和筛片的受力情况,将筛片分为24、12、8、6等分进行分段圆弧设计较为合理。设定分段圆弧 $\widehat{ACF}$ 的半径为 $r$ ,中心

角为 $2\gamma$ ,圆弧 $\widehat{ACF}$ 长 $L_1$ ,依据几何关系可确定筛片的主要结构参数为:分段圆弧半径 $r$ 、中心角 $2\gamma$ 、弧长 $L_1$ 、整个筛片圆弧 $\widehat{ACF}$ 的个数 $M$ 、分段圆弧间距 $L_2$ 及 $L_2$ 个数 $N$ 。其中, $r$ 决定 $2\gamma$ 和 $L_1$ , $L_2$ 决定 $M$ 和 $N$ 。为保证筛片工作过程中受力均匀,分段圆弧采用对称均匀布置,满足上述要求的方案只有15种,图3为7号分段圆弧筛片的安装图。表1为分段圆弧筛片的设计参数。

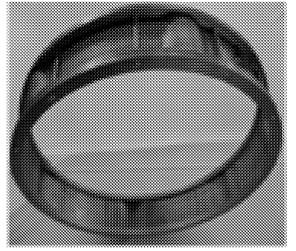


图3 分段圆弧形7号筛片的安装图

Fig.3 Structure of the piecewise arc-shaped screen 7

表1 分段圆弧筛片的设计参数

Tab.1 Design parameters of the piecewise arc-shaped screens

等分数目	筛片编号	$r/\text{mm}$	$2\gamma/(\text{°})$	$L_1/\text{mm}$	$M$	$L_2/\text{mm}$	$N$
	1				24	0	0
	2				12	48.5	12
24	3	29	111.7	56.5	8	97	8
	4				6	146	6
	5				3	339.5	3
	6				12	0	0
12	7	76	78	103	6	97	6
	8				4	194	4
	9				3	291	3
	10				8	0	0
8	11	113	78	154	4	146	4
	12				2	438	2
	13				6	0	0
6	14	138	61	147	3	194	3
	15				2	388	2

### 2 分段圆弧筛片粉碎机试验

#### 2.1 试验方法、指标和仪器

本试验依据国标GB/T 6971—2007《饲料粉碎机 试验方法》进行,指标测定严格按该标准规定的仪器和方法完成<sup>[8]</sup>。选用玉米为粉碎对象,所选玉米含水率为12.32%。试验指标为:生产率、度电产量、粒度分布范围及温升。采用的主要仪器有:三相四线有功电度表(200 r/(kW·h))、水银温度计(1~100℃)、秒表、0.01 g电子微量天平、台秤、恒温干燥箱以及一套直径200 mm,高度25 mm的金属编织标

准筛和 Ro-Tap 振筛机。

## 2.2 试验结果

试验筛片包括环形平筛和所设计的 15 种分段圆弧筛片,分别安装于 4KB 型粉碎机上进行试验研究,表 2 为试验结果。

表 2 筛片性能试验结果记录表

Tab.2 Experimental results for hammer mill using the circular-shaped screen and the piecewise arc-shaped screens

筛片类型	筛片编号	生产率 /kg·h <sup>-1</sup>	度电产量 /kg·(kW·h) <sup>-1</sup>	温升 /℃
环形平筛片		139.24	79.35	6.4
分段圆弧筛片	1	138.40	74.17	5.3
	2	140.76	76.66	5.5
	3	147.36	88.77	5.2
	4	153.84	98.62	5.4
	5	156.48	83.06	5.9
	6	155.76	97.35	5.2
	7	180.76	100.42	5.1
	8	170.92	101.30	5.0
	9	166.56	104.03	5.1
	10	139.28	75.12	5.3
	11	141.08	78.46	5.6
	12	140.52	80.20	5.9
	13	136.24	60.28	6.4
	14	141.08	59.27	6.6
	15	134.32	60.28	6.3

由表 2 可知,相同条件下 15 种分段圆弧筛片中,有 12 种比环形平筛生产率高,有 8 种比环形平筛度电产量高,有 13 种饲料温升低于环形平筛。可以看出,锤片式粉碎机使用分段圆弧筛片后,粉碎机的生产率平均提高 7.4%,度电产量平均提高 4.0%,温升平均降低 0.81℃。

### 2.3 $r$ 与 $L_2$ 对生产率、度电产量的影响

从分段圆弧筛片的设计可知,圆弧半径  $r$  和间距  $L_2$  是主要结构参数,决定着其他参数,因此本文只分析这 2 个参数对粉碎性能的影响。由试验结果可知:

(1) 当分段圆弧为连续分布时,即间距  $L_2$  为零时,影响生产率及度电产量的主要因素是圆弧半径  $r$ ,对应这一情况的筛片编号为 1、6、10 和 13。分段圆弧半径与生产率、度电产量的关系曲线如图 4、5 所示。

由图 4、5 可知,当分段圆弧半径  $r$  为 76 mm 时,即分段圆弧为 12 等分时,生产率、度电产量最高,分

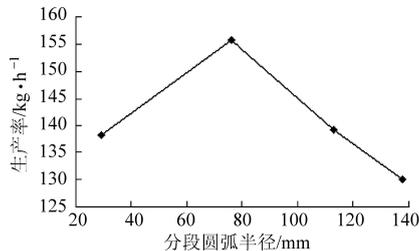


图 4 分段圆弧半径与生产率的关系曲线

Fig.4 Relation curves between the piecewise arc radii of the screens and the production efficiency

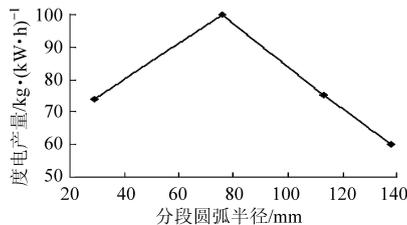


图 5 分段圆弧半径与度电产量的关系曲线

Fig.5 Relation curves between the piecewise arc radii of the screens and the power output in every kW·h

别为 155.76 kg/h 和 97.35 kg/(kW·h)。因此,较优方案可锁定在 12 等分。因此,以下只对分段圆弧半径  $r$  为 76 mm 时,间距  $L_2$  对粉碎性能的影响进行分析。

(2) 分段圆弧半径  $r$  为 76 mm 时,间距  $L_2$  与生产率、度电产量的关系曲线如图 6、7 所示。由图 6 可知,分段圆弧半径不变时,生产率随间距  $L_2$  先增大后减小,间距  $L_2$  为 97 mm (7 号筛片) 时生产率最高,为 180.76 kg/h,比环形平筛增加了 29.8%,其度电产量为 100.42 kg/(kW·h),比环形平筛增加了 26.6%。由图 7 可知,度电产量随间距  $L_2$  增大而增大,但增幅不大, $L_2$  为 291 mm (9 号筛片) 时度电产量最高,为 104.03 kg/(kW·h),其生产率为 166.56 kg/h,可见 7 号筛片与 9 号筛片生产率差别较大而度电产量差别不大。

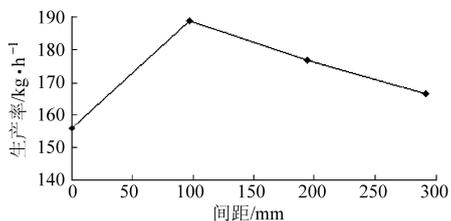


图 6 间距  $L_2$  与生产率的关系曲线( $r$  为 76 mm)

Fig.6 Relation curves between the production efficiency and space between arcs  $L_2$  with  $r$  of 76 mm

(3) 7 号筛片度电产量低于 9 号筛片的主要原因是前者比后者分段圆弧数多 3 个,分段圆弧数目多对破坏环流层有利,但产生的涡流阻力也随之增大,致使度电产量有所下降,但下降幅度不大。另外,7 号筛片比环形平筛的面积增加了 20 cm<sup>2</sup>,这也是生产率高的重要原因。综合考虑可知,7 号筛片

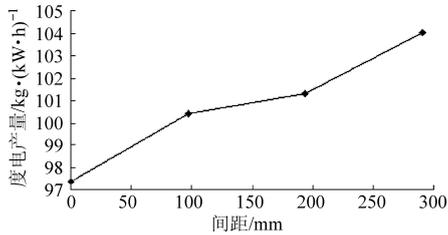


图7 间距 $L_2$ 与度电产量的曲线关系( $r$ 为76 mm)

Fig. 7 Relation curves between the power output in every kW·h and space between arcs  $L_2$  with  $r$  of 76 mm

为较优方案。

## 2.4 粒度分布试验数据及分析

根据上述研究可知,7号筛片为较优方案,因此只对装有环形平筛和7号筛片的粉碎机粉碎后的物料进行粒度分布范围测量与分析。粒度分布范围测量方法具体为:在粉碎机出料位置取100 g粉碎后的物料样品,依据 GB/T 6971—2007《饲料粉碎机试验方法》规定的测定方法进行筛分 and 数据分析,筛分时选用6、10、20、40、60、80、100、120、140目的标准筛。筛分后各层筛上物的质量如表3所示,装有环形平筛和7号筛片的粉碎机底盘上细颗粒物料质量分别为0.59 g和0.02 g。

由表3可知,装有环形平筛的粉碎机对物料粉碎后,留在6目筛面上的粗粒物料和留在底盘上的细颗粒物料质量均明显高于7号筛片,7号筛片的颗粒质量主要分布在10~100目之间,占总质量的97.07%,分布在6目和140目筛面上的颗粒只占总质量的0.79%,粒度分布均匀。环形平筛的颗粒质量分布在10~100目之间的颗粒占总质量的90.38%,而分布在6目和140目筛面上的颗粒占总质量的5.2%。这说明7号筛片的使用提高了粒度分布的均匀性,明显改善了过度粉碎现象。另外,

7号筛片对饲料温升降低也有明显作用,较环形平筛降低1.3℃。

表3 筛分后各层筛上物的质量

Tab. 3 Mass of material on the classification sieves

筛孔		筛上物质量/g	
目数	直径/mm	平筛	7号筛片
6	3.200	2.90	0.32
10	2.000	7.22	4.02
20	0.900	26.43	32.74
40	0.450	22.40	31.82
60	0.300	18.76	13.19
80	0.200	9.97	12.13
100	0.150	5.60	3.17
120	0.125	3.80	1.92
140	0.106	2.30	0.47

注:表中筛上物质量总和不足100 g的原因在于筛分损耗。

## 3 结论

(1) 采用分段圆弧筛片代替环形平筛,可使锤筛间隙不断变化,破坏物料环流层,改善粉碎机性能。

(2) 针对4KB型锤片式粉碎机,将筛片分为24、12、8、6等分进行了分段圆弧设计,所设计的15种分段圆弧筛片使粉碎机生产率平均提高7.4%,度电产量平均提高4.0%,温升平均降低0.81℃。

(3) 装有7号筛片(分段圆弧为12等分,分段圆弧半径76 mm,间距97 mm)的锤片式粉碎机生产率最高,为180.76 kg/h,比环形平筛增加了29.8%,此时度电产量为100.42 kg/(kW·h),比环形平筛增加了26.6%,过度粉碎现象得到了改善,物料粒度也较均匀,温升降低1.3℃。

## 参 考 文 献

- 刘承俊, 赵欣. 锤片式粉碎机气固两相环流层的特征及对粉碎筛理过程影响的机制[J]. 农业机械学报, 1991, 22(3): 36~43.  
Liu Chengjun, Zhao Xin. Characteristics of gaseous-solid phase circulation layer of hammer mill and the mechanism of its influence on crushing-screening process[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1991, 22(3): 36~43. (in Chinese)
- 庞声海, 饶应昌. 配合饲料机械[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 81~110.
- 曹峰. 影响锤片式粉碎机粉碎性能的因素探讨[J]. 粮食与饲料工业, 2009(4): 34~36.
- 刘宪, 吉颖风, 李博强, 等. 锤片式饲料粉碎机内碎物料分离速度的分析[J]. 农业机械学报, 2004, 35(1): 182~183.
- 周向农, 史建新. 饲料粉碎机环流分布的试验研究[J]. 农业工程学报, 1997, 13(4): 135~138.  
Zhou Xiangnong, Shi Jianxin. Experimental studies on circulation distribution of a hammer mill[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1997, 13(4): 135~138. (in Chinese)
- 王德福. MK90型锤片式粉碎机性能试验[J]. 农业机械学报, 2005, 36(7): 155~157.
- GB/T 6971—2007 饲料粉碎机 试验方法[S].