

DOI: 10.19666/j.rlfed.202304070

## 中速磨煤机振动影响因素的研究

张海龙<sup>1</sup>, 李雯<sup>2</sup>, 张锋<sup>3,4</sup>, 卢仕航<sup>5</sup>, 雷航<sup>5</sup>, 王志超<sup>3,4</sup>

(1. 国能宁夏鸳鸯湖发电有限公司, 宁夏 银川 750410;

2. 中国国检测试控股集团西安有限公司, 陕西 西安 710061;

3. 西安热工研究院有限公司, 陕西 西安 710054;

4. 陕西省燃煤电站锅炉环保工程技术研究中心, 陕西 西安 710054;

5. 西安益通热工技术服务有限责任公司, 陕西 西安 710032)

**[摘要]** 某电厂 ZGM133G-I 型中速磨煤机长期振动引起送粉管道焊缝疲劳断裂, 产生煤粉泄漏, 污染环境, 严重影响机组运行。通过对中速磨煤机机械振动分析和现场试验, 研究了加载力、分离器转速、磨煤机出力等运行参数对磨煤机振动的影响, 研究结果认为中速磨煤机振动主要有机械本身和运行参数设置 2 个方面的原因。磨煤机型号和分离器型式不是引起磨煤机振动的主要原因, 但机械结构的磨损、破坏会引起磨煤机振动; 运行参数中加载力的大小对中速磨煤机振动影响最大。为减小中速磨煤机振动, 应根据试验结果综合考虑磨煤机出力及煤粉细度等要求, 合理控制加载力、分离器转速和出力的大小。

**[关键词]** 磨煤机振动; 振动测试; 磨煤机加载力

**[引用本文格式]** 张海龙, 李雯, 张锋, 等. 中速磨煤机振动影响因素的研究[J]. 热力发电, 2023, 52(12): 190-197.  
ZHANG Hailong, LI Wen, ZHANG Feng, et al. Research on influence factors of vibration of medium speed coalpulverizers[J]. Thermal Power Generation, 2023, 52(12): 190-197.

### Research on influence factors of vibration of medium speed coalpulverizers

ZHANG Hailong<sup>1</sup>, LI Wen<sup>2</sup>, ZHANG Feng<sup>3,4</sup>, LU Shihang<sup>5</sup>, LEI Hang<sup>5</sup>, WANG Zhichao<sup>3,4</sup>

(1. Guoneng Ningxia Yuanyang Lake Power Generation Co., Ltd., Yinchuan 750410, China;

2. China Testing & Certification International Group Xi'an Co., Ltd., Xi'an 710054, China;

3. Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710054, China;

4. Shaanxi Engineering Research Center of Coal Fired Boiler Environmental Protection, Xi'an 710054, China;

5. Xi'an Yitong Thermal Technology Service Co., Ltd., Xi'an 710032, China)

**Abstract:** The long-term vibration of ZGM133G-I type medium speed coal pulverizers in a power plant causes weld fatigue fracture of the powder delivery pipeline, which results in coal powder leakage, polluting the environment and seriously affecting the operation of the unit. Based on the mechanical vibration analysis and field test of medium-speed coal pulverizers, this paper studies the influence of operating parameters such as loading force, speed of separator and output of coal pulverizers on the vibration of coal pulverizers. The results show that, the vibration of medium-speed coal pulverizers is mainly caused by the mechanical equipment itself and the setting of operating parameters. The size and separator type of coal pulverizers are not the inevitable factors that cause the vibration of coal pulverizers, but the wear and damage of mechanical structure will cause the vibration of coal pulverizers. In order to reduce the vibration of medium-speed coal pulverizers, it is necessary to comprehensively consider the output of coal pulverizers and the fineness of coal powder according to the test results, and reasonably control the loading force, separator speed and output.

**Key words:** vibration of coal pulverizers; vibration measurement; coal pulverizers loading force

ZGM 型辊式中速磨煤机主要由采用相对布置在相距 120° 的 3 个磨辊与具有圆弧凹槽的磨盘组成

的研磨部件以及上部的静态或动态煤粉分离器 2 部分组成<sup>[1-2]</sup>。

收稿日期: 2023-04-19

基金项目: 陕西省重点研发计划项目 (2022GY-156)

Supported by: Key Research and Development Program of Shaanxi Province (2022GY-156)

第一作者简介: 张海龙 (1983), 男, 工程师, 主要研究方向为锅炉设备运行检修, 17001589@chnenergy.com.cn。

磨煤机振动主要由电动机、减速机、传动支架、磨辊与磨盘、磨辊压架（加载拉杆、液压缸）等部件相互作用产生<sup>[3]</sup>。磨煤机各部件相互作用力的传递必须平稳、可靠才能保证磨煤机稳定运行<sup>[4-5]</sup>。

中速磨煤机的输出转速仅有 25.5 r/min，属于低速重载设备，振动一般不会超标。磨煤机振动指的是外筒体和底座的振动，判断振动也是以磨煤机底座振动值为衡量标准<sup>[6-7]</sup>。

引起磨煤机振动的原因主要有<sup>[8-9]</sup>机械设备本身及运行参数设置 2 个方面。目前国内外对中速磨煤机振动原因的探究基本都从煤质、易磨件（磨辊与磨盘）、磨间隙等输入物质和设备本身物理方面入手，对于由于设备本身机械缺陷造成的磨煤机振动，一般是通过检查修复解决，而运行参数对磨煤机振动影响的研究目前还没有见到相关报道。对此，本文旨在中速磨煤机大修排查机械方面影响因素基础上，着重通过控制变量法调整重要运行参数（加载力、分离器转速、出力），辅以实时测量的手段，来重点研究中速磨煤机不同运行工况下对磨煤机本体振动的影响。

## 1 设备本身对中速磨煤机振动影响的分析

### 1.1 磨辊晃动

磨辊是磨煤机主要的研磨部件。正常情况下，磨辊在磨盘上保持 15°倾角运行，但由于运行过程中的磨损，限位卡块磨损严重，使得加载装置无法固定磨辊，磨辊偏离轨道产生振动。图 1 为某厂磨煤机检修中发现限位卡块磨损、断裂情况。



图 1 限位卡块磨损断裂  
Fig.1 Limit block is worn and fractured

### 1.2 磨辊芯不转或转动不灵活

设备本身及运行工况的影响，会造成磨辊工作

环境恶劣，影响磨辊内轴承的转动<sup>[10]</sup>，使磨辊卡涩、转动不灵活，导致磨辊由滚动变为滑动，增加磨辊与磨盘的局部摩擦力，造成磨煤机振动。

### 1.3 后期磨辊磨损严重

磨辊经过长时间运行后磨损严重，磨损的工作面呈履带状，这种形状使磨辊与衬瓦间的研磨面积减小，研磨煤粉的能力下降<sup>[11]</sup>。当磨煤机增大出力时，常出现满煤并引起振动。另外，增加磨辊的不圆度和磨环的不平度也会引起振动。

### 1.4 杂物进入

杂物主要包括石块、铁块及磨煤机的零部件等。在磨煤机运行时，由于原煤的带入或零部件损坏脱落，进入磨煤机的研磨部位，使其与磨辊撞击，产生强烈振动，这种振动既影响磨煤机的正常运行，又会增加磨煤电耗，降低磨煤出力<sup>[12]</sup>。

## 2 中速磨煤机振动测试

### 2.1 试验工况及测点

某电厂 2×1 000 MW 机组磨煤机是北京电力设备总厂有限公司生产的 ZGM133G-I 型中速辊式磨煤机，其主要参数见表 1。磨煤机投入至今，送粉管焊缝经常发生断裂，产生煤粉泄漏，污染环境，增加煤粉自燃风险隐患，严重影响机组运行。

表 1 磨煤机主要参数  
Tab.1 Main parameters of coal pulverizers

项目	数值	项目	数值
型号	ZGM133G-I	数量	6
最大出力/(t·h <sup>-1</sup> )	109.99	磨煤机转速/(r·min <sup>-1</sup> )	25.5
通风阻力(最大/计算)/kPa	7.13/6.44	最大/设计/最小通风量/(kg·s <sup>-1</sup> )	46.1/42.8/29.9
计算出力/(t·h <sup>-1</sup> )	98.24	煤粉细度 R <sub>90</sub> (动态分离器)/%	2~20
最小出力(变频/工频)/(t·h <sup>-1</sup> )	13.89/28.945	磨煤机出口温度/℃	60~100
磨煤机单位功耗/(kW·h·t <sup>-1</sup> )	8.3	密封风压与一次风差压/Pa	≥2 000

对磨煤机运行情况进行振动测试，并在不同加载力、分离器转速、出力工况下研究磨煤机振动情况<sup>[13]</sup>。振动的测量部位依据振动原因分析与现场实地考察确定，测点布置在磨煤机本体支撑、减速机底板、磨煤机壳体、分离器 4 大关键部位。采用水平测点与垂直测点一一对应和沿周向 120°分布原则，共计布置 24 个测点。

测试使用 VICTOR 63B 型测振仪，仪表振动位

移范围 0~1 000  $\mu\text{m}$ 。测试时使用磁吸探头垂直吸附于设备表面，待仪表显示稳定后读取平均值。

振动测点位置如图 2 所示，测点说明见表 2。

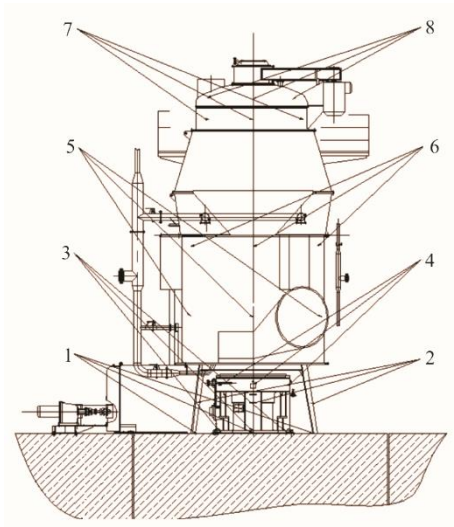


图 2 磨煤机振动测点位置  
Fig.2 Coal pulverizers vibration test point

## 2.2 磨煤机振动测试

根据电厂与磨煤机厂家签署的供货技术协议，磨煤机底座振动（双振幅）应小于 0.025 mm。对电

厂 8 台磨煤机进行振动测试，振动测试数据见表 3。由表 3 可见，在磨煤机底座水平面上测得的振动值均小于该数值。工况“3F-1”即为 3 号机组磨煤机 F 的第 1 次测试工况，其他类同。测试结果中“水平”为测试面的水平面，即测量设备垂直方向上的振动；“垂直”为测试面的垂直面，即测量设备水平方向上的振动<sup>[14-15]</sup>，振动结果测点数据为表 2 所布置 3 个相同测点的算术平均值。

表 2 振动测点类别说明  
Tab.2 Description of vibration measuring points category

位置	测点说明	位置	测点说明
	磨煤机本体支撑①（水平）		磨煤机本体支撑①（垂直）
1	磨煤机本体支撑②（水平）	2	磨煤机本体支撑②（垂直）
	磨煤机本体支撑③（水平）		磨煤机本体支撑③（垂直）
	减速机底板①（垂直）		减速机底板①（水平）
3	减速机底板②（垂直）	4	减速机底板②（水平）
	减速机底板③（垂直）		减速机底板③（水平）
	磨煤机下外壳①（垂直）		磨煤机上外壳①（垂直）
5	磨煤机下外壳②（垂直）	6	磨煤机上外壳②（垂直）
	磨煤机下外壳③（垂直）		磨煤机上外壳③（垂直）
	分离器①（垂直）		分离器①（水平）
7	分离器②（垂直）	8	分离器②（水平）
	分离器③（垂直）		分离器③（水平）

表 3 磨煤机振动测试结果  
Tab.3 Vibration test results of coal pulverizers

项目	工况							
	3F-1	3E-1	3D-1	3B-1	4B-1	4C-1	4E-1	4F-1
机组负荷/MW	435.0	403.7	403.2	403.0	404.2	404.2	401.5	402.6
锅炉主蒸汽流量/(t·h <sup>-1</sup> )	1 152.0	1 159.0	1 161.0	1 157.0	1 189.6	1 175.0	1 182.4	1 192.6
给煤机出力/(t·h <sup>-1</sup> )	51.60	55.30	54.50	49.60	44.40	59.60	54.80	48.70
磨煤机风量（表盘）/(t·h <sup>-1</sup> )	131.40	130.00	125.10	131.90	128.60	136.90	139.10	134.40
分离器转速/(r·min <sup>-1</sup> )	600.0	581.5	637.5	587.0	35.1 HZ <sup>①</sup>	656.8	644.0	644.9
加载油压/MPa	5.58	4.03	5.91	4.52	3.46	4.52	4.88	4.85
磨煤机电流/A	43.00	50.10	56.80	43.40	42.10	50.10	53.90	52.60
磨煤机本体支撑（水平）/ $\mu\text{m}$	13	7	9	2	3	2	3	2
磨煤机本体支撑（垂直）/ $\mu\text{m}$	8	19	21	15	19	18	23	21
减速机底板（垂直）/ $\mu\text{m}$	3	14	24	11	17	9	16	11
减速机底板（水平）/ $\mu\text{m}$	13	4	11	2	2	2	2	3
磨煤机下外壳（垂直）/ $\mu\text{m}$	37	36	95	31	75	31	48	37
磨煤机上外壳（垂直）/ $\mu\text{m}$	73	32	86	45	90	36	61	55
分离器（垂直）/ $\mu\text{m}$	98	38	81	50	98	79	116	100
分离器（水平）/ $\mu\text{m}$	70	32	72	32	51	53	88	64

①：运行表盘不显示磨煤机 4B 分离器转速，故使用分离器电机频率来代表转速，后同。

表 4、表 5 为其他电厂 ZGM 磨煤机振动测试的数据，测点与本文研究电厂测点布置相同。对比表 3、表 4 和表 5 中数据可以看出，尽管磨煤机具体型号与该厂不同，但其磨煤机底座振动测量值均大于该电厂，而其他电厂并不存在磨煤机振动较

大，造成送粉管道撕裂等影响机组运行的问题。

相对于底部，磨煤机上部尤其是分离器部位振动较大。但是针对该部位的振动目前暂无相关标准或技术规范进行定量判断，因此目前仅能根据经验判断其振动是否属于正常范围。

表 4 某电厂 ZGM113G 型中速磨煤机振动测试数据  
Tab.4 Vibration test data of ZGM113G medium speed coal pulverizers in a power plant

单位:  $\mu\text{m}$

项目	工况 1	工况 2	工况 3	工况 4	工况 5	工况 6	工况 7	工况 8	工况 9
磨煤机本体支撑①(水平)	58	48	62	60	56	51	42	56	35
磨煤机本体支撑②(水平)	61	70	83	43	54	56	46	65	46
磨煤机本体支撑③(水平)	63	62	86	66	69	76	77	69	56

表 5 某电厂 ZGM113K-II 型中速磨煤机振动测试数据

单位:  $\mu\text{m}$

Tab.5 Vibration test data of ZGM113K-II medium speed coal pulverizers in a power plant

项目	工况 1	工况 2	工况 3
磨煤机本体支撑①(水平)	15~21	21~27	13~29
磨煤机本体支撑②(水平)	13~17	13~20	14~22

为更好地对该电厂二期磨煤机振动情况做出定性判断, 试验中还对电厂一期磨煤机进行了振动测试。测试前为一期 ZGM 磨煤机配备了静态分离器, 其测试结果见表 6。对比表 3, 一期磨煤机振动情况与二期基本相当, 并未因为磨煤机具体型号和分离器型式不同而造成明显的振动差别。

通过测试结果对比分析可知, 该厂二期磨煤机振动值基本处于正常范围, 并未出现振动带来的对磨煤机本身的危害。不同型号及不同分离器型式的磨煤机均在分离器部位振动较大, 但其振动值基本相当。目前存在的磨煤机振动带来送粉管道的晃动, 造成管道焊口撕裂问题的另一主要原因是送粉管道的支吊、固定装置不合理, 这也加剧了管道晃动。

表 6 一期磨煤机振动测试结果

单位:  $\mu\text{m}$

Tab.6 Vibration test results of phase I coal pulverizers

项目	工况			
	1A-1	1C-1	2A-1	2D-1
磨煤机本体支撑(水平)	3	3	5	3
磨煤机本体支撑(垂直)	41	15	23	16
减速机底板(垂直)	3	3	3	2
减速机底板(水平)	12	3	9	3
磨煤机下外壳(垂直)	158	45	109	37
分离器(垂直)	205	101	167	111
分离器(水平)	85	51	52	44

### 3 运行参数对中速磨煤机振动影响的试验研究

考虑到可能存在 ZGM 磨煤机与电厂现有莱歇分离器不匹配的问题, 电厂将磨煤机 4B 分离器改造为 ZGM 磨煤机原厂分离器。另外, 根据测试结果磨煤机 3D 振动相对较大, 因此选取了磨煤机 3D 和 4B 进行详细试验研究。

### 3.1 磨煤机加载力对振动影响的研究

ZGM 磨煤机作为高加载磨煤机, 其加载力大小对磨煤机出力、煤粉细度及磨煤机振动都有较大影响<sup>[6]</sup>。为详细研究加载力对磨煤机振动及相关运行特性的影响, 在磨煤机 3D 及 4B 上进行磨煤机加载力特性试验。

磨煤机 3D 试验中保持磨煤机出力、动态分离器转速和风量等参数基本不变, 调整磨煤机加载力为 4.0、5.0、6.0 MPa, 考察加载力变化对磨煤机振动的影响。

图 3 为磨煤机 3D 出力为较低的 50 t/h 时, 加载力变化对振动影响情况的试验结果。从图 3 的试验结果可以看出, 在其他运行参数基本不变的情况下, 随着加载力的增加, 磨煤机振动整体呈现上升的趋势。尤其是磨煤机上部分分离器水平方向上的振幅增加较多, 但其最大振幅仍在 120  $\mu\text{m}$  左右, 振动不大。为减小磨煤机的振动, 磨煤机运行时加载力应控制的越小越好, 但磨煤机加载力为 4.0 MPa 的试验中, 随着试验时间的增加, 磨煤机差压呈持续上升的趋势, 表明此时磨煤机加载力已无法满足磨煤机出力的需求, 因此实际运行中磨煤机加载力也不能控制地过低。根据试验结果, 建议 50 t/h 出力时将磨煤机加载力控制在 5.0 MPa 左右较为合理。

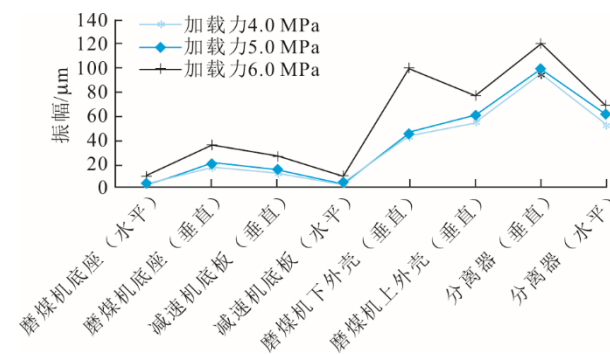


图 3 磨煤机 3D 出力为 50 t/h 时加载力变化对磨煤机振动的影响

Fig.3 Influence of loading force variation on vibration of coal pulverizer 3D at 50 t/h output

为考察不同磨煤机出力条件下, 磨煤机振动随加载力变化的情况, 在磨煤机 3D 出力为较高的

80 t/h 时再次进行变加载力试验, 加载力变化对振动影响情况的试验结果如图 4 所示。从图 4 的试验结果可以看出, 随着磨煤机出力的增加, 加载力也相应提高, 磨煤机上部分离器的最大振幅也相应增大, 尤其是磨煤机上部分分离器水平方向上最大振幅增加到了 200  $\mu\text{m}$  左右, 即磨煤机上部的分离器左右晃动更加明显。从减小磨煤机振动的需求出发, 磨煤机运行加载力也应控制的越小越好, 但高出力时磨煤机加载力减小过多会使得磨煤机出力无法维持, 因此建议磨煤机出力为 80 t/h 时加载力控制在 8.5 MPa。

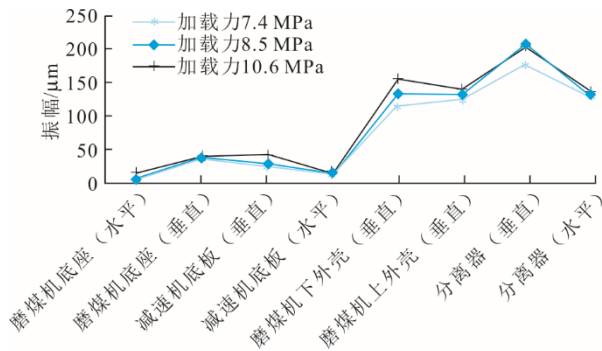


图 4 磨煤机 3D 出力为 80 t/h 时加载力变化磨煤机振动的影响  
Fig.4 Influence of loading force variation on vibration of coal pulverizer 3D at 80 t/h output

磨煤机 4B 低出力时的变加载力试验中, 调整磨煤机出力为 50 t/h, 动态分离器转速和风量等参数基本不变的条件下, 调整磨煤机加载力为 3.5、4.4、5.6 MPa, 考察加载力变化时磨煤机振动的情况, 试验结果如图 5 所示。

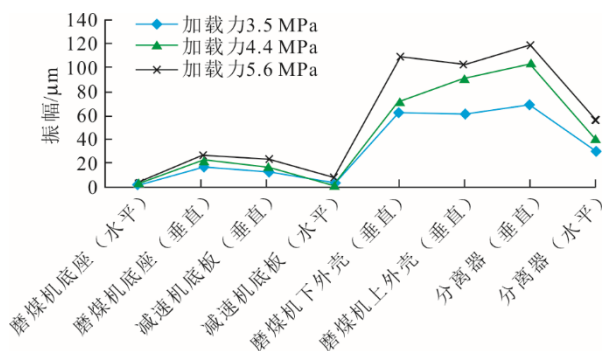


图 5 磨煤机 4B 出力为 50 t/h 时加载力变化磨煤机振动的影响  
Fig.5 Influence of loading force variation on vibration of coal pulverizer 4B at 50 t/h output

从图 5 的试验结果可以看出, 磨煤机振动随加载力变化的趋势与磨煤机 3D 的试验结果是一致的, 磨煤机上部分分离器水平方向上的最大振幅仍在 120  $\mu\text{m}$  左右, 振动不大, 说明尽管磨煤机 3D 和 4B

分离器不同, 但其振动情况并无明显差别。磨煤机加载力为 3.5 MPa 时其振动最小, 但随着试验时间的增加, 出现了石子煤量异常增大的情况, 表明此时磨煤机加载力已无法满足磨煤机出力的需要。因此建议出力为 50 t/h 时将磨煤机 4B 加载力控制在 4.4 MPa 左右较为合理。

图 6 为磨煤机 4B 出力为 80 t/h 时加载力变化对振动影响情况的试验结果。由图 6 可以看出, 其结果同样表现出磨煤机振动随加载力提高而增加的特性。当试验加载力为 7.5 MPa 时, 随着试验时间的增加, 磨煤机也出现了出力无法维持的状况, 因此建议磨煤机 4B 出力为 80 t/h 时加载力控制在 8.3 MPa。

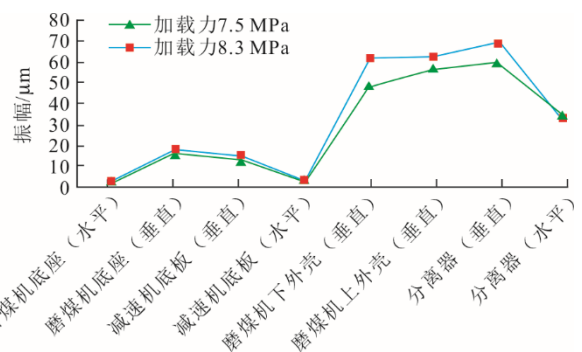


图 6 磨煤机 4B 出力为 80 t/h 时加载力变化磨煤机振动的影响  
Fig.6 Influence of loading force variation on vibration of coal pulverizer 4B at 80 t/h output

综合 2 台磨煤机的加载力特性试验结果, 为降低磨煤机振动, 应修改原磨煤机 40~100 t/h 出力段的加载力自动控制曲线, 其他出力段保持原控制曲线不变, 具体如图 7 所示。修改后的加载力自动控制曲线在磨煤机中、低负荷段较原曲线加载力减小较多。

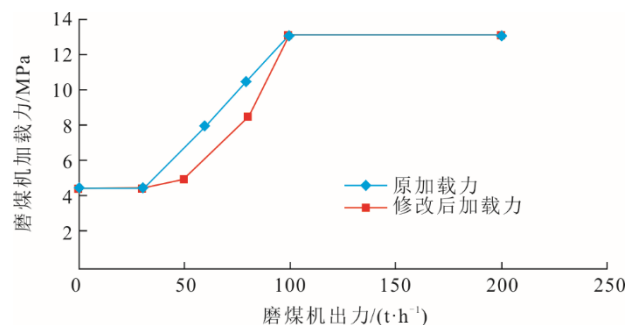


图 7 磨煤机加载力控制曲线  
Fig.7 Coal pulverizers loading force control curves

### 3.2 磨煤机分离器转速对振动影响的研究

磨煤机动态分离器转速对磨煤机出力、煤粉细度都有较大影响<sup>[17]</sup>。从上述试验结果可以看出, 磨

煤机振动最大位置为分离器部位，尤其是分离器在水平方向上的振动最大。为详细研究分离器转速对磨煤机振动及相关运行特性的影响，在磨煤机 3D 及 4B 上进行磨煤机分离器转速特性试验。

试验时磨煤机 3D 保持磨煤机出力、加载力和通风量等参数不变，调整磨煤机动态分离器转速为 605、644、744 r/min。图 8 为磨煤机 3D 出力为 50 t/h 时分离器转速变化对磨煤机振动影响的试验结果。

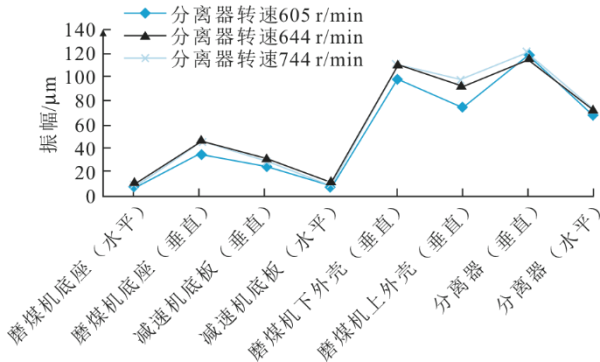


图 8 磨煤机 3D 出力为 50 t/h 时分离器转速变化对磨煤机振动的影响

Fig.8 Effect of speed change of separator on vibration of coal pulverizer 3D at 50 t/h output

图 9 为磨煤机 4B 出力为 50 t/h 时分离器转速变化对磨煤机振动影响的试验结果。试验时同样保持磨煤机出力、加载力和通风量等参数不变，调整

磨煤机动态分离器转速为 30.1 Hz 和 35.9 Hz。

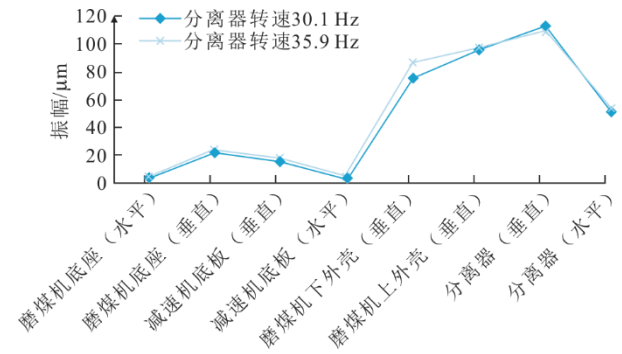


图 9 磨煤机 4B 出力为 50 t/h 时分离器转速变化对磨煤机振动的影响

Fig.9 Effect of speed change of separator on vibration of coal pulverizer 4B at 50 t/h output

从图 9 的试验结果可以看出，磨煤机 4B 不同分离器转速下磨煤机振动差别不大，尽管改造后其分离器与其他磨煤机不同，但与磨煤机 3D 相比，其振动最大位置（分离器水平方向）的振动也仅 10 μm 左右。综合磨煤机 3D 和 4B 分离器转速特性试验结果来看，正常运行工况下，分离器转速对磨煤机振动的影响要小于加载力。

而磨煤机分离器转速的调整，不能仅仅只考虑振动情况，也需要考虑煤粉细度的要求<sup>[18]</sup>。为进一步考察分离器转速对煤粉细度的影响，对磨煤机 4B 在较低的 50 t/h 和较高的 85 t/h 加载力时不同分离器转速下的煤粉细度进行测试，测试结果见表 7。

表 7 磨煤机 4B 分离器转速特性试验煤粉细度测试结果

Tab.7 Coal pulverizer 4B separator speed characteristic test pulverized coal fineness test results

项目	工况			
	4B-11	4B-12	4B-10	4B-13
机组负荷/MW	402.1	417.6	730.8	786.0
锅炉主蒸汽流量/(t·h <sup>-1</sup> )	1 195.70	1 257.30	2 188.80	2 324.30
给煤机出力/(t·h <sup>-1</sup> )	49.80	52.70	84.40	85.00
磨煤机风量 (表盘) /(t·h <sup>-1</sup> )	125.90	131.80	145.40	157.10
分离器转速/Hz	23.4	28.3	24.8	20.9
加载油压/MPa	5.36	5.15	8.11	8.19
磨煤机电流/A	46.70	47.20	54.20	46.90
煤粉细度 R <sub>200</sub> /%	0.96	0.24	0.84	4.04
煤粉细度 R <sub>90</sub> /%	16.84	11.88	13.36	21.68
均匀性指数	1.20	1.30	1.08	0.93

从表 7 的试验结果可以看出：磨煤机出力为 50 t/h 时，保持磨煤机加载力、通风量等参数基本不变，改变磨煤机分离器转速为 23.4 Hz 和 28.3 Hz，分离器出口煤粉细度 R<sub>90</sub> 分别为 16.84% 和 11.88%；磨煤机出力为 85 t/h 时，保持磨煤机加载力、通风量

等参数基本不变，改变磨煤机分离器转速为 24.8 Hz 和 20.9 Hz，分离器出口煤粉细度 R<sub>90</sub> 分别为 13.36% 和 21.28%。

从降低分离器转速，减小磨煤机振动的目的出发，煤粉细度测试特意将分离器转速值设置得比振

动测试时低。在实际入磨煤质  $V_{daf}$  (干燥无灰基挥发份) 为 38% 左右条件下, 磨煤机 4B 在 50、85 t/h 出力时, 分离器转速控制在 24 Hz 左右是较为合适的。

### 3.3 磨煤机出力对振动影响的研究

调整磨煤机 3D 出力为 50、80、105 t/h 时进行磨煤机出力试验, 试验结果如图 10 所示。从图 10 中磨煤机振动随磨煤机出力的变化可以看出, 随着磨煤机出力提高, 磨煤机振动逐步增大, 磨煤机出力为 105 t/h 时, 磨煤机底板振动均值为 0.05 mm。这主要是因为随着出力的提升, 磨煤机加载力也相应大幅提高。磨煤机出力为 105 t/h 时, 尽管分离器转速仅 370 r/min, 但其振动仍然高于其他 2 个出力工况, 再次证明相对于加载力而言, 分离器转速对磨煤机振动的影响相对较小<sup>[19]</sup>。

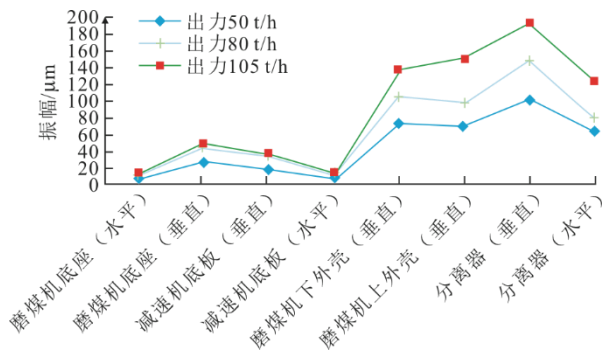


图 10 磨煤机 3D 出力变化对振动的影响  
Fig.10 Influence of output change of coal pulverizer 3D on vibration

## 4 结 论

中速磨煤机振动的原因较为复杂, 涉及设计、制造、安装、检修、运行等各方面。本文重点从检修和运行 2 个方面对某电厂 ZGM133G-I 型中速磨煤机振动问题进行研究, 为解决该类问题提供思路, 得到以下主要结论。

1) 该中速磨煤机振动主要有机械设备本身和运行参数设置 2 个方面的原因。对设备本身而言, 磨煤机的型号和分离器型式不是引起磨煤机振动的主要原因, 但机械结构的磨损、破坏会引起磨煤机振动。

2) 该厂二期磨煤机振动值基本处于正常范围。各磨煤机均在分离器部位振动较大, 且其振动值基本相当。造成管道焊口撕裂问题的原因一方面是磨煤机振动带来送粉管道的晃动, 另一方面是送粉管道的支吊、固定装置不合理, 加剧了管道晃动。

3) 加载力、分离器转速、出力等运行参数均影

响磨煤机振动情况。为减小磨煤机振动, 磨煤机运行加载力应控制的越小越好, 但磨煤机加载力过小将无法满足不同磨煤机出力的需要。从减小磨煤机振动的角度出发, 磨煤机分离器转速和出力并不是控制的越小越好。因为过低的分离器转速和出力都将使得磨盘上煤层变薄, 加剧磨煤机振动。因此实际运行中为减小中速磨煤机振动, 应根据试验结果综合考虑磨煤机出力及煤粉细度等要求, 合理控制加载力、分离器转速和出力的大小。

4) 加载力对中速磨煤机振动的影响要大于分离器转速和出力的影响, 因此当出现磨煤机振动严重时, 应首先降低磨煤机加载力。

### [参 考 文 献]

- [1] 荣跃合. 中速磨煤机的漏煤及改进[J]. 四川电力技术, 1994(1): 40-41.  
RONG Yuehe. Coal leakage and improvement of medium speed pulverizer[J]. Sichuan Electric Power Technology, 1994(1): 40-41.
- [2] 王赛. 中速磨煤机的特点与运行分析[J]. 现代制造技术与装备, 2018(9): 163.  
WANG Sai. Summary and operation analysis of medium speed pulverizer[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2018(9): 163.
- [3] 陈德, 黄绍松, 肖青云, 等. 中速磨煤机系统典型故障分析处理及预防[J]. 电力设备管理, 2021(2): 66-69.  
CHEN De, HUANG Shaosong, XIAO Qingyun, et al. Analysis, treatment and prevention of typical faults in the medium-speed coal mill system[J]. Electric Power Equipment Management, 2021(2): 66-69.
- [4] 朱缨, 曾毛毛, 邱致刚. 煤粉泄漏在线监测技术的应用[J]. 中国高新科技, 2020(12): 87-89.  
ZHU Ying, ZENG Maomao, QIU Zhigang. Application of coal powder leakage online monitoring technology[J]. China High-tech, 2020(12): 87-89.
- [5] 赵瑞. 中速磨煤机常见故障与解决对策研究[J]. 技术与市场, 2020(7): 103.  
ZHAO Rui. Research on common faults and solutions of medium speed coal pulverizers[J]. Technology & Market, 2020(7): 103.
- [6] 胡信韬, 姜聪, 彭义林. 中速磨煤机送粉管道接口处撕裂漏粉解决方案[J]. 山东工业技术, 2019(7): 171.  
HU Xintao, JIANG Cong, PENG Yilin. Solution for tearing and leakage of powder at the interface of powder feed pipeline of medium speed coal pulverizers[J]. Shandong Industrial Technology, 2019(7): 171.
- [7] 冯成凯, 沈利, 李金龙. HP1003 型磨煤机灵活性改造研究[J]. 节能与环保, 2022(4): 60-61.  
FENG Chengkai, SHEN Li, LI Jinlong. Modification of flexibility of HP1003 coal mill[J]. Energy Conservation and Environmental Protection, 2022(4): 60-61.
- [8] 朱丽华, 白国良, 彭奕亮. 火力发电厂中速磨煤机振动测试与减振研究[J]. 建筑结构学报, 2013, 34(5): 43-51.  
ZHU Lihua, BAI Guoliang, PENG Yiliang. Vibration test and shock absorption research on medium-speed mill in thermal power plant[J]. Journal of Building Structures, 2013, 34(5): 43-51.

- [9] 刘培忠, 谷振宇. 中速磨煤机振动产生的机理及防振对策研究[J]. 电力技术, 2010, 19(增刊 1): 45-52.  
LIU Peizhong, GU Zhenyu. Discussion on the mechanism of vibration for medium-speed coal mill and the countermeasures of antivibration[J]. Electric Power Technology, 2010, 19(Suppl.1): 45-52.
- [10] 毕金龙, 朱永彬. 中速碾辊式磨煤机振动大的原因分析及消除措施[J]. 河北电力技术, 2006(4): 27-28.  
BI Jinlong, ZHU Yongbin. Cause analysis and eliminating methods of vibration of medium speed roller mill[J]. Hebei Electric Power Technology, 2006(4): 27-28.
- [11] 王培萍, 赵世伟, 岳希明. ZGM113G 型中速磨煤机运行问题分析[J]. 热力发电, 2010, 39(1): 56-57.  
WANG Peiping, ZHAO Shiwei, YUE Ximing. Analysis of problems existing in operation of ZGM113G medium speed coal pulverizers[J]. Thermal Power Generation, 2010, 39(1): 56-57.
- [12] 林少波, 孙嘉麟, 方志庆. 磨煤机与主厂房联合基础振动研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2021, 54(增刊 2): 33-37.  
LIN Shaobo, SUN Jialin, FANG Zhiqing. Research on the vibration of combined foundation for mill coal machines and main buildings[J]. Journal of Wuhan University (Engineering Science), 2021, 54(Suppl.2): 33-37.
- [13] 郑伟亚. 磨煤机振动原因分析及防治措施浅谈[J]. 现代制造技术与装备, 2020, 56(12): 158-159.  
ZHENG Weiya. Analysis of causes of vibration of coal mills and discussion on prevention measures[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2020, 56(12): 158-159.
- [14] 林萍萍, 常秀华. MPS 辊盘式磨煤机振动原因及消除措施[J]. 山西化工, 2018, 38(2): 148-153.  
LIN Pingping, CHANG Xiuhua. Vibration causes and elimination measures of MPS roller plate mill[J]. Shanxi Chemical Industry, 2018, 38(2): 148-153.
- [15] 陈龙. 磨煤机振动原因分析及防治措施研究[J]. 技术与市场, 2017, 24(9): 147-149.  
CHEN Long. Study on vibration cause analysis and prevention measures of coal pulverizers[J]. Technology & Market, 2017, 24(9): 147-149.
- [16] 张士伟, 苏日亮, 李兴友. ZGM95K-II型中速辊式磨煤机振动分析与治理[J]. 冶金设备, 2017(增刊 1): 64-67.  
ZHANG Shiwei, SU Riliang, LI Xingyou. Vibration analysis and treatment of ZGM95 K-II medium speed roller mill[J]. Metallurgical Equipment, 2017(Suppl.1): 64-67.
- [17] 刘思平, 蒋有福. ZGM123G-II型中速磨煤机振动问题的分析[J]. 发电与空调, 2016, 37(4): 42-45.  
LIU Siping, JIANG Youfu. Analysis on the vibration problem of ZGM123G-II medium speed mill[J]. Power Generation & Air Conditioning, 2016, 37(4): 42-45.
- [18] 孙融, 杨贵萍. 中速磨煤机选型和设计出力[J]. 贵州电力技术, 2006(5): 54-57.  
SUN Rong, YANG Guiping. Selection and design output of medium speed coal pulverizers[J]. Guizhou Electric Power Technology, 2006(5): 54-57.
- [19] 赵征, 丁建平. 基于 VMD 和改进 D-S 证据理论的中速磨煤机振动故障识别研究[J]. 现代电子技术, 2022, 45(7): 80-85.  
ZHAO Zheng, DING Jianping. Medium-speed coal mill vibration fault identification based on VMD and improved D-S evidence theory[J]. Modern Electronic Technology, 2022, 45(7): 80-85.

(责任编辑 邓玲惠)

## 广告目次

《 <b>热力发电</b> 》.....	封三
海阳市谊合建筑机械有限公司.....	后彩插 1
西安热工研究院有限公司.....	后彩插 2—5
南京常荣声学股份有限公司.....	后彩插 6