

# Hequ Power Plant Coal Mill Differential Pressure Level Meter

Xiaodong Gao

Shenhua Guoneng Power Hequ Power Generation Co. Ltd., Hequ Shanxi  
Email: 17048746@shenhua.cc

Received: Feb. 7<sup>th</sup>, 2017; accepted: Feb. 20<sup>th</sup>, 2017; published: Feb. 23<sup>rd</sup>, 2017

---

## Abstract

This paper introduces the working principle of the coal mill differential pressure level. Differential pressure level meter is the best material level control. Differential pressure level meter after transforming had problems and solutions. The feasibility and economy of the transformation of the differential pressure level meter of the coal mill are introduced intensively in this paper.

## Keywords

Coal Mill Differential Pressure Level, ACE, Pulverized Coal Fineness

---

# 磨煤机河曲电厂差压料位计改造介绍

高晓东

神华国能河曲发电有限公司, 山西 河曲  
Email: 17048746@shenhua.cc

收稿日期: 2017年2月7日; 录用日期: 2017年2月20日; 发布日期: 2017年2月23日

---

## 摘 要

本文分析磨煤机差压料位的工作原理, 差压料位计最佳料位的控制, 差压料位计改造后存在的问题与解决办法, 重点介绍磨煤机差压料位计改造的可行性与经济性结合本厂的改造效果。

## 关键词

磨煤机差压料位, ACE, 煤粉细度

---

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 概述

河曲电厂二期期两台 2×600MW 超临界机组于 2011 年 11 月份投入商业运行, 锅炉制粉系统采用沈阳重型设备厂生产的 BBD3854 型双进双出钢球磨煤机, 料位计采用磨煤机厂家配套的差压料位计。经过近多年的运行, 由于系统磨损严重磨煤机差压料位计无法正常监视磨煤机实际料位运行情况, 运行人员只能根据磨煤机电流、就地倾听磨煤机大罐声音进行磨煤机内煤粉料位监视, 给运行人员带来很大困难, 运行人员为防止因磨煤机内实际料位过高造成磨煤机绞笼部分堵塞(在运行中由于磨煤机实际料位控制过高发生过磨煤机绞笼处堵塞事件)磨煤机长时间在低料位工况运行。

## 2. 磨煤机长时间低料位运行带来的危害

1) 磨煤机低料位运行时, 当机组需要增加负荷时磨煤机大罐内没有缓冲料位, 导致机组无法快速加负荷, 严重影响机组的 ACE 响应速率。在电网的双细则考核中不能实现机组响应速率快、机组快速加负荷的特性, 在电网需要加负荷的情况下不能把握机会提高机组的负荷率, 使机组发电量任务难以完成。

2) 由于磨煤机低料位运行导致磨煤机内钢球与钢球间磨损加快, 使磨煤机添加钢球的频率增加, 增加电厂的维护费用。

3) 磨煤机低料位运行, 对磨煤机内衬瓦磨损严重, 大大的缩短磨煤机衬瓦使用时间。

4) 磨煤机长时间的低料位运行, 使磨煤机的煤粉细度变粗, 燃料的燃尽性降低, 飞灰含碳量及炉渣含碳量升高, 导致制粉煤耗升高。

5) 磨煤机低料位运行时磨煤机电流波动增大, 对磨煤机电机及减速机带来周期性振动, 降低磨煤机电机及减速机使用寿命。

为解决磨煤机差压料位计不能正常监视磨煤机实际料位的问题, 我厂经过多次调研考察比较后, 对三号炉六台磨煤机差压料位计改造、运行几个月之后, 取得较好的效果。

## 3. 磨煤机差压料位计原理

利用压缩空气将稳压气流吹入密封、旋转、压力变化的煤粉之中, 在磨煤机大罐上下分别安装两组测压探针。气流从上部探针喷出时处在磨煤机罐体内的压力和悬浮的风粉混合物之中, 阻力很弱压力为 P1; 气流从下部探针喷出时因埋在沉积煤粉之中压力 P2 要比 P1 压力高很多。

利用两点测量压力之差:  $P2 - P1 = \Delta P$  压力差值  $\Delta P$  的大小, 来反映磨煤机料位高低的一种测量方法 [1]。

磨煤机料位探针的分布见图 1。

## 4. 磨煤机罐体上空的煤粉仓

磨煤机轴向以 17 r/min (根据磨煤机直径的不同磨煤机最佳转速不同最佳转速为 0.75~0.8 临界转速) 旋转, 罐体内大量的较细煤粉被抛扬起来, 悬浮在罐体的上空; 容量风在轴向分别从驱动侧与非驱动侧的中心管, 相对应的高速喷出, 两股容量风在罐体中心相遇, 对冲、开花、方向折返、强大的搅动再次使细颗粒煤粉上扬。

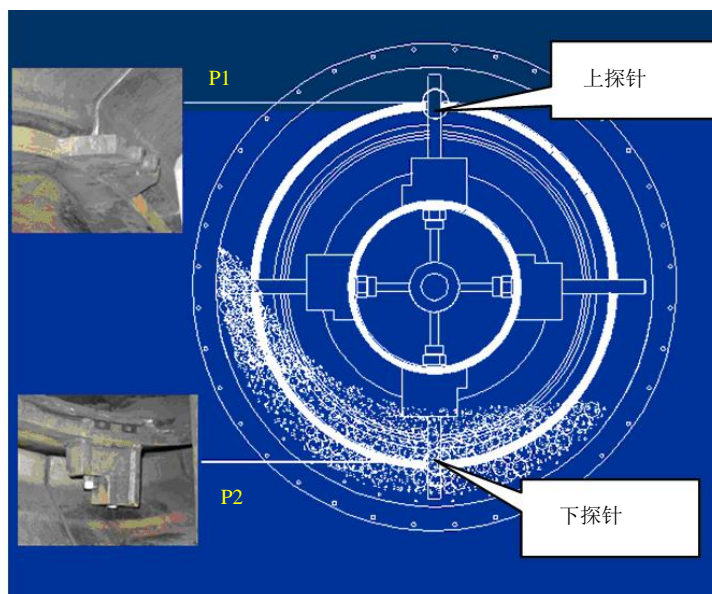


Figure 1. Coal mill differential pressure level position  
图 1. 磨煤机料位测量示意图

周而复始的将煤粉抛扬和上扬，使磨煤机罐体上空间形成了一个巨大的煤粉仓。煤粉经容量风的携带经过分离器的分离，合格的煤粉进行燃烧器燃烧，大颗粒的煤粉回到磨煤机大罐内继续研磨。

## 5. 煤粉颗粒 $< 90 \mu\text{m}$ 细煤粉产生原理

磨煤机在转动的过程中靠近罐体中心的直径较小的钢球，被提升到一定高度后由于重力作用钢球开始沿着斜坡向下滚动，钢球的这种运动状态称为泻落。在钢球泻落的运动过程中，钢球对煤的颗粒进行剥离和研磨。靠近罐体衬板直径较大的钢球会被旋转的罐体衬板提升到靠近罐体衬板更高一些，钢球脱离上端的罐壁衬板后在重力的作用下纷纷沿着抛物线落下，钢球的这种运动状态称为抛落。在进行抛落运动时大钢球远距离抛向周边衬板表面上的粗颗粒煤块，在直接撞击和衬板的坚硬依托下，破碎煤块。泻落和抛落运动的最佳状态应该是在低料位状态下：此时空间距离大，抛落运动撞击力量最大、破碎效率更高；钢球泻落时运行距离长，进行剥离和研磨煤颗粒机率会更多。

在进行上述两种运动状态同时，在旋转罐壁的驱动下罐内的每个球都受到大小相同方向相反的切向分力“T”和摩擦力“F”。两个力形成力偶的作用使每个钢球都围绕着自身的轴线在旋转，这第三种运动状态被称为自转。每个钢球在罐体内相互挤压和磨擦，众多钢球在自转中它们都有三个共同点每个钢球都以平行罐体中心线，为各自的轴线进行旋转。所以，众多钢球旋转的方向相同；钢球群每个自转的钢球与相邻的钢球的表面之间进行挤压和磨擦，钢球表面之间方向相反；相邻的众多钢球：以重力和推力互相挤压，每个相邻的球面进行着方向反相的碾磨运动；钢球自转运动，产生的挤压和碾磨运动：是最佳燃烧煤粉( $< 90 \mu\text{m}$  颗粒)的生成原因[2]。

## 6. 双进双出磨煤机制粉最佳料位选择

1) 当磨煤机压差料位  $< 600 \text{ Pa}$  设定值运行时由于磨煤机大罐内煤粉较少，钢球群之间挤压和碾磨的间隙变小，碾磨出的煤粉颗粒很细但在罐体内的缓冲料位中大颗粒的煤粉占比例较大，在容量风的裹挟下缓冲料位中粗颗粒的煤粉进入磨煤机分离器，造成了分离器的拥堵。其中一些稍小颗粒进入输粉管；被分离出来的粗颗粒煤粉，又返粉管回到磨煤机里进行再次研磨。

直吹式系统对向燃烧器提供的煤粉量的要求是，必须满足锅炉负荷的需要。由于一些粗颗粒煤粉被分离回到磨煤机大罐内，锅炉燃烧不足、锅炉主蒸汽压力降低。DCS 控制系统会自动增加锅炉燃料，主控驱使磨煤机的容量风阀加大开度。增大流动速度的容量风裹挟着罐体中更多的粗颗粒煤粉进入分离器，造成了分离器和回粉管的严重拥塞。由于分离器的严重拥塞，造成进入输粉管中的煤粉增加量较少、风量增加大。造成输粉管中的风粉比例失调，少量增加的煤粉使燃烧器的燃烧强度不足。所以虽然容量风阀加大开度，但锅炉的燃烧热负荷的提升速度却很缓慢。增加流动速度的容量风，以高流速裹挟很多的粗颗粒煤粉冲过分离器进入到输粉管。燃烧器中粗颗粒煤粉在燃烧中不能充分燃烧，造成飞灰和炉渣含碳量增高。

输粉管中风速较低，粗颗粒煤粉在粉管弯头的地方会发生下沉现象，长期的累积会造成输粉管途径变窄和细。输粉管拥塞后当容量风再稍微提高时立刻发生由磨煤机密封口向外冒粉的现象。

磨煤机低料位运行会使需要输送煤粉的一次风量增加，需要消耗过多的厂用电，同时会加剧磨煤机衬瓦的磨损。

低料位运行非正常运行方式的状态又互相促进和不断推动使系统走入恶性循环。

2) 当磨煤机的压差料位运行设定值  $> 1000 \text{ Pa}$  时，钢球群之间挤压和碾磨的间隙变大，碾磨出的煤粉量增加；由于磨煤机大罐内煤粉较多，重复研磨的机率增加煤粉颗粒更均匀；磨煤机罐体上空的煤粉仓中充满最佳燃烧煤粉，并且顺畅的通过分离器。

输粉管中最佳燃烧煤粉比例提高、浓度增加直接加强了锅炉燃烧强度，能够快速响应机组负荷变化，使制粉与直吹系统进入良性的循环。

## 7. 我厂磨煤机料位改造后发现的问题及解决办法

进行磨煤机料位改造后，当容量开度在 50% 以下时两侧磨煤机料位基本相同，当磨煤机容量风开度达到 60% 时个别磨煤机两侧料位偏差较大。通过现场试验及不同工况下统计分析发现主要原因为两侧磨煤机容量风门特性偏差较大，当磨煤机容量风开度在 50% 以下时两侧的容量风流量及压力基本相同，但当容量风门开度打开 60% 以上时两侧容量风流量及压力偏差明显增大(原因为受安装空间影响现场弯头较多且直管段较短风门特性不同)。压力偏差使两侧容量风碰撞中心发生变化，向流量较低的一侧偏移。两侧容量风的携粉量偏差增大，造成两侧磨煤机料位偏差增大，给煤机的给煤量无法正常跟踪料位变化。

发现原因后，我们立即采取措施，当磨煤机容量风开大至 55% 时发生磨煤机两侧料位有偏差后，通过设定磨煤机两侧容量风开度偏差值来调整两侧的容量风量使磨煤机容量风碰撞中心保持在大罐中心不变，实现了两侧的磨煤机料位基本相同。在机组检修时进行风门开度标定时对风门全开位定位进行调整此问题基本解决，在运行中不再发生两侧料位偏差，也不需要进行容量风门开度偏差设定。

## 8. 磨煤机料位改造的可行性及经济性分析

1) 改造后磨煤机料位在高料位运行磨煤机的煤粉细度  $R_{90}$  在 18 (设计值 22.5) 左右，磨煤机料位改造后飞灰含碳量及炉渣含碳量明显降低，见表 1，对供电煤耗影响较大。两个项目相加：#3 炉的供电煤耗量降低  $0.373 \text{ g/kWh}$ ；#4 炉的供电煤耗量降低  $0.331 \text{ g/kWh}$ 。

2) 磨煤机料位改造后机组 ACE 响应速率增加，目前两台机组的 ACE 响应速率在  $9 \text{ MW/min}$  以上，在改造前最高时能达到  $6 \text{ MW/min}$ 。改造效果对比见表 2。

AGC 考核指标包括调节性能指标  $K_p$ 、 $K_1$  (调节速率)， $K_2$  (调节精度)， $K_3$  (响应时间)。 $K_p = K_1 * K_2 * K_3$ ， $K_p = 1$  时 AGC 奖惩持平，当  $K_p$  值越大 AGC 奖励越多反之考核就越多，当  $K_1 = 1$  时对应的负荷变化率为  $9 \text{ MW/min}$ 。



3) 改造后增加钢球并提高磨煤机差压料位至 1000 pa 以上时提升磨煤机电流波动明显减小, 在没有增加钢球并低料位运行时磨煤机电流在 94~104 A 之间波动, 波动值 10 A, 增加钢球并提高磨煤机料位后磨煤机电流在 100~104 A 之间波动, 波动值在 4 A 左右, 具体情况见图 2。

4) 两台机组在 10 月份都完成改造后 11 月份和 12 月份两个月的电网补偿达 944 万元, 具体数据见表 3, 占全部双细则补偿量的三分之一经济效果明显。仅两个月的双细则补偿即可回收改造成本。

**Table 1.** Comparison of fly ash and carbon content before and after transformation

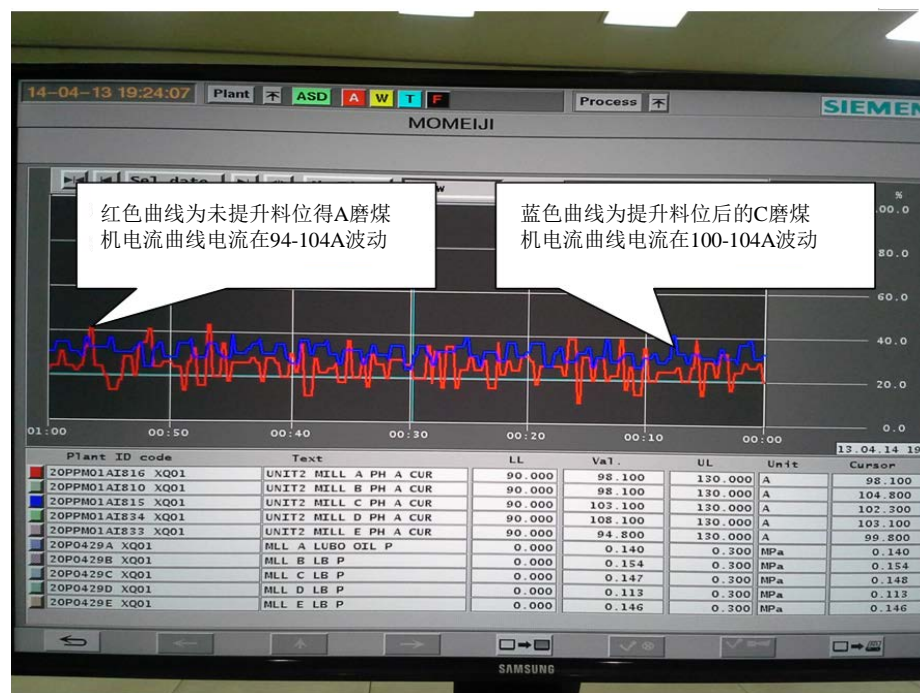
**表 1.** 改造前后飞灰及炉渣含碳量对比

内容	飞灰含碳量				炉渣含碳量			
	改造前	改造后	变化值	供电煤耗降低	改造前	改造后	变化值	供电煤耗降低
单位	%	%	%	g/kWh	%	%	%	g/kWh
#1	1.15	0.93	0.23	0.115	7.54	3.24	4.3	0.258
#2	1.16	0.92	0.24	0.132	6.31	2.98	3.33	0.199

**Table 2.** Comparison of regulation quality before and after transformation

**表 2.** 改造前后调节品质对比

机组	内容	调节速率(K1)		调节精度(K2)		响应时间(K3)	
		改造前	改造后	改造前	改造后	改造前	改造后
#3		0.931	1.105	1.698	2.014	1.221	1.235
#4		0.843	1.124	1.746	2.104	1.138	1.243



**Figure 2.** The curve of current between A Coal mill differential pressure level and C Coal mill differential pressure level in the case of 600 Pa and 1000 Pa

**图 2.** A 磨煤机料位在 600 Pa 和 C 磨煤机料位 1000 Pa 电流变化曲线

**Table 3.** 2013 double rules assessment statistics of Hequ Power Generation Co. Ltd. [3] Unit: million kilowatts, ten thousand Yuan**表 3.** 河曲发电公司 2013 年双细则考核统计表[3] 单位：万千瓦、万元

月份	内容	装机容量	AGC 补偿	AVC 补偿	调峰补偿	无功补偿	黑启动补偿	合计
1		120	15.423482	2.167625	0	0	0	17.591107
2		120	160.4385	3.8269	0	0	0	164.2654
3		120	124.6349	11.6607	60	0	0	196.2956
4		120	145.7909	13.5191	0	0	0	159.31
5		120	60.4535	2.1589	60	0	0	122.6124
6		120	46.2552	1.658	0	0	0	47.9132
7		120	229.138	11.9129	60	0	0	301.0509
8		120	273.3635	15.8171	0	0	0	289.1806
9		120	133.3162	6.324	120	0	0	259.6402
10		120	259.3886	14.3472	0	0	0	273.7358
11		120	450.9968	11.3934	60	0	0	522.3902
12		120	407.1686	14.8561	0	0	0	422.0247
合计			2306.37	109.64	360.0	0.00	0.00	2776.01

## 9. 结束语

改造后的磨煤机差压料位系统的检测装置属于全闭环运行系统，使运行状态可视化监测和故障预防报警。并加强前馈测量系统功能，将磨煤机筒体压力变化引入到 PID 控制调节子系统，提高动态跟踪平衡压差源同步速度和精确度，实现精准检测，在磨煤机正常运行中，能够快速、准确的测量出磨煤机内部的煤粉料位，保证自动的投入率，减少故障的发生，为高料位运行提供了先决条件，从而能发挥双进双出钢球磨的特有优势，为节能、降耗、减排做出贡献，并保证了机组的安全稳定运行。

## 参考文献 (References)

- [1] YCCH 旋转容器智能压差测厚系统使用说明书[Z]. 江苏京仪自动化有限公司, 2011.
- [2] 黄新元. 电站锅炉运行与燃烧调整[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [3] 山西电网双细则考核管理办法[Z]. 山西电力调试所, 2009.

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[aepe@hanspub.org](mailto:aepe@hanspub.org)