

天津翔悦

天津翔悦密封材料有限公司



弗莱希波·泰格
金属波纹管有限公司



温州环球阀门制造有限公司



北新集团建材股份有限公司

浅谈影响钢球磨煤机运行的几个主要因素

吉林石油集团有限责任公司热电厂（138006） 付亚萍 郭会昌 郭会彦

【摘要】 国内火力发电机组应用最多的是筒式钢球磨煤机，钢球磨煤机是储仓式制粉系统制粉系统中最重要、锅炉耗能较大的设备。保持磨煤机在最高出力下运行，对提高制粉系统的经济性作用最大。本文对影响钢球磨煤机运行的主要因素进行了分析，对提高制粉系统的经济性有一定指导意义。

【关键词】 钢球磨煤机 运行 影响 分析

1 前言

国内火力发电机组应用最多的是筒式钢球磨煤机，钢球磨煤机是储仓式制粉系统中最重要、锅炉耗能较大的设备。保持磨煤机在最高出力下运行，对提高制粉系统的经济性作用最大。

2 影响钢球磨煤机运行的主要因素

影响钢球磨煤机运行的主要因素有钢球磨煤机的工作转速、护甲的材质和结构形状、钢球充满系数与钢球直径、球磨机筒体通风量、球磨机载煤量、分离设备、煤粉特性、制粉系统漏风等。

2.1 球磨机的临界转速 n_{1j} 和工作转速 n

当球磨机的筒体转速发生变化时，筒中钢球和煤的运行特性也发生变化。当筒体转速很低（ $n \leq n_{1j}$ ）时，随着筒体转动，钢球被带到一定高度，钢球与煤随筒壁上升，在筒体内形成向筒的下部倾斜的状态，即形成一个斜面，当斜面的倾角等于或大于钢球的自然倾角时，钢球就沿着斜面滑落下来，撞击作用很小，这时球的运动对磨碎燃料的作用就很小，同时煤粉被压在钢球下面，很难将磨好的煤粉从钢球堆中分离出来，很难被气流带出，煤将被重复碾磨，以至磨得很细，降低了磨煤机出力，如图1(a)。

如筒体转速很高（ $n \geq n_{1j}$ ），超过一定值后，由于作用到钢球及煤粒上的离心力很大，以致球与煤不再脱离筒壁，而随其一同旋转，如图1(c)，产生这种状态的最低转速称为临界转速 n_{1j} 。这时虽然使筒体旋转所耗能量很大，但钢球已没有撞击作用，煤只受到轻微的研磨，磨煤作用也很小。

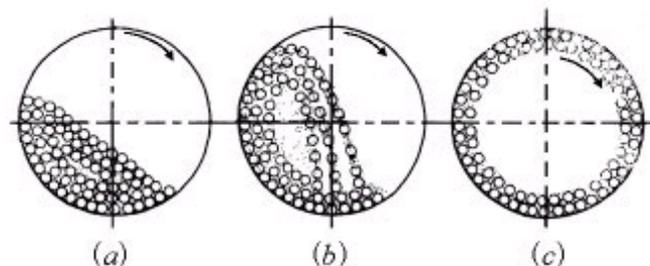


图1 筒体转速对钢球和煤运动状况的影响

当筒体转速处于上述两者之间时，钢球被带到一定高度后，沿抛物线落下，如图1(b)。此时钢球对筒底的

煤发生强烈的撞击作用。磨煤作用最大时的转速称为最佳工作转速 n ，它与临界转速 n_{1j} 间有一定的关系。

以紧贴筒壁的最外层钢球为例，假定钢球与筒壁间没有相对运动，根据在临界状态下钢球所受离心力与重力相等的条件，可得筒的临界转速为：

$$n_{1j} = (30/\pi) (g/r)^{1/2} = 42.3/D^{1/2} \text{ r/min} \quad (1)$$

式中 n_{1j} ——临界转速，r/min；

g ——重力加速度，m/s²；

r ——圆筒半径，m；

D ——圆筒直径，m。

由式(1)临界转速与钢球重量无关，与筒的直径有关，圆筒直径越大，则临界转速越低。在上述理想条件下，临界转速与筒内所装物料性质无关，钢球和煤将同时达到临界状态。

筒体的最佳工作转速就是钢球有最大提升高度时的转速。因为这时钢球具有最大的冲击能，落下后对煤的撞击作用最强。由图1(b)可见，各层钢球的工作情况是不一样的。通常以能量最大的最外层(贴壁的一层)钢球的工作条件为基础，当它们具有最大提升高度时，理论上可以导出与此相应的筒体最佳转速。

$$n_{zj} = 32/D^{1/2} \text{ 或 } n_{zj} = 0.756 n_{1j} \text{ r/min} \quad (2)$$

显然，如果以其它层钢球的最大提升高度为基准，最佳筒体转速将有不同的数值，而磨煤机的实际最佳转速尚须借助实验得出。国产球磨机的工作转速 n 接近最佳转速，并于临界转速有如下关系：

$$n/n_{1j} = 0.74 - 0.78 \quad (3)$$

2.2 护甲的材质和结构形状

运行实践表明，当磨煤机筒体内更换新的护甲后，磨煤机出力显著增加，电耗下降。若运行时间较长，护甲磨损后，磨煤出力逐渐下降。可见，护甲对磨煤机工作有很大影响。运行中由于护甲磨损，磨煤出力会逐渐降低。在球磨机转速选择中并没有考虑护板的结构形状的影响，实际运行中，钢球在筒体内的旋转速度永远小于筒体本身的旋转速度，两者的差值决定于钢球和护板之间的摩擦力，摩擦力愈大，速度差就愈小。因此决定钢球有最大提升高度的因素除筒体转速外，护甲的结构也是十分重要的。如果护甲与钢球间的摩擦力大，就可以在比较低的转速下达到最大提升高度，就是说，在比较低的转速、较小的能量消耗下达到钢球的最佳工作状态。磨损严重的护甲，护甲和钢球间的速度差增大，衬板与钢球的摩擦力小，就会有较大的相对滑动，一部分能量消耗在钢球与衬板的摩擦上，而未能用来提升钢球。所以为了保持磨煤机出力，减小磨煤机电耗和延长检修周期，保证护甲的材质和结构形状是十分必要的。国内球磨机通常采用波浪形护甲。

2.3 钢球充满系数与钢球直径

在球磨机中所装钢球量的多少，一般用钢球容积占筒体的百分比来表示，叫做钢球充满系数 ψ ，用以下公式表示：

$$\psi = [G/(\rho_{gd}V)] \times 100\% \quad (4)$$

式中 G ——钢球装载量，t；

V ——球磨机筒体容积，m³；

ρ_{gd} ——球的堆积密度，t/m³。

钢球装载量将直接影响磨煤出力及电能消耗。当磨煤机通风量与煤粉细度不变时，随着钢球装载量的增加，单位时间内球的撞击次数增加，磨煤出力 B_m 及磨煤机功率 P_m 相应增加，磨煤单位电耗 E_m 也是增大的。在 $\psi = 10\% \sim 35\%$ 之内，它们与充球系数 ψ 的关系如下：

$$B_m = \alpha_1 G^{0.6} = C_1 \psi^{0.6} \quad (5)$$

$$P_m = a_2 G^{0.9} = C_2 \psi^{0.6} \quad (6)$$

$$E_m = a_3 G^{0.3} = C_3 \psi^{0.6} \quad (7)$$

式中 a_1 、 a_2 、 a_3 、 C_1 、 C_2 、 C_3 均为常数。

磨煤机出力 B_m 不随钢球装载量 G 成正比增加，而是与 $G^{0.6}$ 成正比。而功率消耗起决定作用的是钢球装载量。因此，在磨煤机出力能满足要求时，减少钢球装载量可以提高磨煤机运行的经济性，但为保证磨煤机最经济的工作，磨煤机应在最佳钢球装载量下运行。

由于通风量不变，排粉机功率 P_{tf} 不变，随着磨煤出力的增加，通风单位电耗 E_{tf} 减小，制粉单位电耗 E_{zf} 也是减小的。但是，当钢球装载量增加到一定程度后，由于钢球充满系数过大使钢球下落的有效高度减小，撞击作用减弱，磨煤出力增加的程度减缓，而磨煤功率却仍然按原来变化速度增加，磨煤单位电耗显著增大，这时制粉单位电耗也将增大。磨煤出力和单位电耗随 ψ 的变化关系，如图2所示，对应一定型号的磨煤机和一定的煤种，存在一个最佳钢球装载量。制粉单位电耗最小值所对应的充球系数为最佳充球系数 ψ_{zj} 。它可通过试验确定，一般在0.2~0.3范围内。

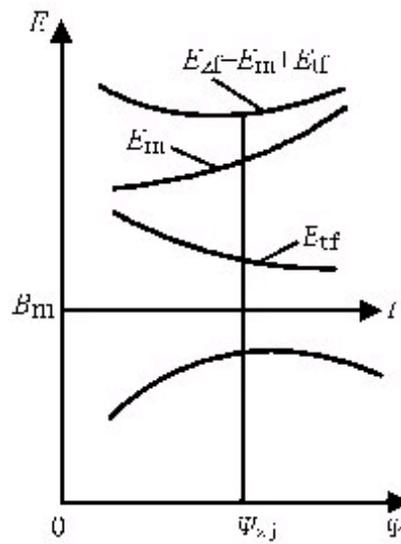


图2 单位电耗 E 与充球系数 ψ 的关系（通风量不变，煤粉细度不变）

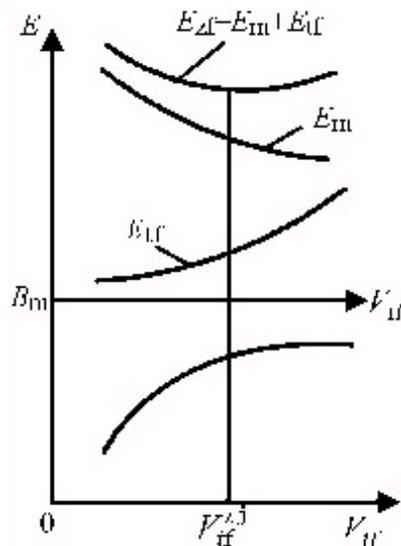


图3 单位电耗 E 与磨煤通风量 V_{tf} 的关系（钢球装载量不变）

钢球直径应按磨煤电耗与磨煤金属消耗总费用最小的原则选用。当充球系数一定时，球径愈小，撞击次数及作

用面积愈大，磨煤出力提高，但球的磨损加剧。随着球径减小，球的撞击力减弱，不宜磨制硬煤及大块煤。因此，一般采用的球径为30~40mm，当磨制硬煤或大块煤时，则选用直径为50~60mm的钢球。运行中，由于钢球不断磨损，为维持一定的充球系数及球径，应定期及时向磨煤机内添加钢球，并且要保证钢球的材质，避免因钢球磨损减少钢球装载量，影响磨煤出力。积聚于筒内的碎小钢球或金属碎件，其本身已失去对煤的颞破碎作用，应定期进行筛选除去，以减小制粉电耗。

2.4 球磨机筒体通风量

球磨机筒体内通风量直接影响煤粉沿筒体长度方向的分布和磨煤出力。磨煤机内磨好的煤粉，需一定的通风量将煤粉带出。由于燃料沿筒体长度分布不均，燃煤大部分集中在磨煤机筒体的进口端，由于钢球沿筒体长度的分布近似均匀，因而筒体后部的钢球没有被充分利用，很大一部分能量消耗在金属磨损与发热上。当通风量太小时，筒体通风速度较低，使磨煤出力降低。当通风量增加时，燃料沿筒内长度方向推进速度增加，提高了磨煤效率，增加制粉出力，并且磨煤机电耗降低，但是通风电耗增加。由于通风量的增加，还会带出较多的粗粉，增加粗粉分离器的回粉，在制粉系统内造成了无益的循环，这时，不仅通风单位电耗增大，制粉单位电耗也是增大的。

随着通风量的增加，制粉单位电耗初始是下降的然后又上升，中间存在一个最佳通风量 V_{tf}^j （如图所示），它的大小与煤种、分离器后煤粉细度、筒体容积及钢球充满系数等有关。

筒体通风和转速间是有一定联系的，这两个因素对于燃料在筒体长度方向分布的影响是相同的。就是说，筒体通风和转速同时增加或者单个地增加，都能使燃料更快地充满到整个钢球容积中去。

综合大量试验，球磨机的最佳通风量可按如下经验公式计算：

$$V_{tf}^j = (38V) [1000(K_{km})^{1/3} + 36R_{90}(K_{km})^{1/2}\psi^{1/3}] / (nD^{1/3}) \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (8)$$

式中 n —磨煤机的转速，r/min；

D —筒体直径，m；

V —球磨机筒体容积， m^3 ；

K_{km} —煤的相对可磨系数；

ψ —钢球充满系数。

为了使钢球在磨煤机筒内分布比较合理，把中间煤多而粗的一部分制做成圆柱体，集中较多的钢球，两端制做成锥形，可以使磨煤效果得到较好的改善。

2.5 球磨机制煤量

球磨机滚筒内载煤量较小时，钢球下落的动能只有一部分用于磨煤，另一部分白白消耗于钢球的空撞磨损。随着载煤量的增加，磨煤出力相应增大。但载煤量过大时，由于钢球下落高度减小，钢球间煤层加厚，部分能量消耗于煤层变形，磨煤出力反而降低，严重时将造成滚筒入口堵塞。因此，每台球磨机在钢球装载量一定时有一个最佳载煤量 G_{zm}^j ，按最佳载煤量运行磨煤出力最大，如图4所示。运行中载煤量可通过磨煤机电流和磨煤机进出口压差来反映。

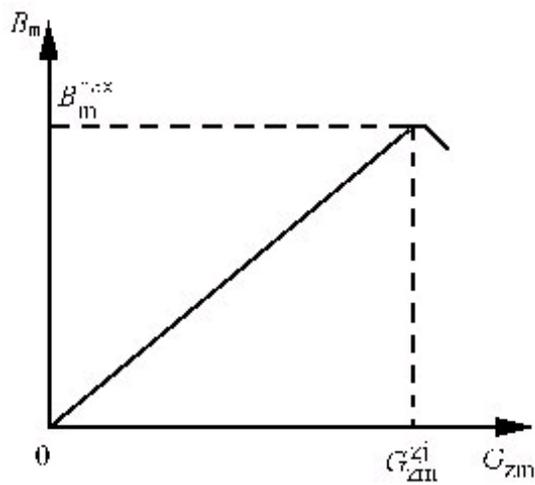


图4 最佳载煤量 G_{zm}^j 的确定

因此，为了保证磨煤机的经济运行，应当保持三个最佳量，即最佳钢球装载量、最佳通风量和最佳载煤量。

2.6 分离设备

分离器的分离效率高，对制粉系统的出力有很大影响。因为分离器的回粉中总有合格的细粉，这些细粉又回到磨煤机被磨得更细，不但使煤粉的均匀性变得更差，而且也增加了磨煤电耗。为了尽量减少回粉中的合格细粉，有些电厂采用改进型离心式分离器，用以提高磨煤出力，降低制粉电耗。

2.7 煤粉特性

燃料性质对磨煤出力影响较大。

(1) 水分

燃煤的水分对磨煤机出力、煤粉的流动性以及燃烧的经济性都有很大的影响。水分过大时，制粉系统运行时将产生一系列困难，煤粉仓内煤粉易被压实结块，落粉管容易堵塞，煤粉输送困难，还会造成磨煤机出力下降等不良后果。

运行中，原煤水分增大，将使干燥出力下降，磨煤机出口温度降低，为了恢复干燥出力和磨煤机出口温度，可增加热风数量，如果热风门开大满足不了干燥所需要的热风数量时，只能减少给煤量，降低磨煤出力。

(2) 挥发分

煤的挥发分不同，对煤粉细度的要求不同；低挥发分煤要求煤粉磨得较细，则消耗的能量较多，磨煤出力因此降低。

(3) 可磨系数

由于煤的机械性质不同，有的煤容易破碎，有的煤较难破碎，为此常采用所谓煤的相对可磨系数 K_{km} 来表示煤的磨制难易程度。

煤的可磨性系数是指在风干状态下，将同一重量的标准煤和试验煤由相同的粒度磨碎到相同的细度时，所消耗的能量之比，即

$$K_{km} = E_{bz} / E_s \quad (9)$$

式中 E_{bz} 、 E_s ——分别为磨标准煤和试验煤时的电耗量，kWh/t煤。

标准煤是一种极难磨的无烟煤，其可磨性系数定为1。燃料越容易磨，则磨粉耗电愈小，可磨性系数 K_{km} 就越大。通常认为： $K_{km} < 1.2$ 的煤为难磨的煤， $K_{km} > 1.5$ 为易磨的煤。

原煤水分愈大，磨粉过程由脆性变形过渡到塑性变形，改变了煤的可磨性，增加了磨粉能量消耗，磨煤出力因而降低。

进入磨煤机的原煤粒度愈大，磨制成相同细度的煤粉所消耗的能量电愈大，则愈低。

(4) 灰分

灰分是燃料中的杂质，煤中灰分含量愈大，则煤的发热量愈低，所需的燃煤量加大制粉电耗也随之增加。

2.8 制粉系统漏风

冷风漏入制粉系统，不仅增加了系统的通风单位电耗而且还对制粉过程带来不良影响。

磨煤机前的漏风，使通过磨煤机的风量增多，为保持正常入口负压势必要减小热风流量使磨煤机的干燥能力降低，从而造成磨煤机出力降低。磨煤机后的漏风，将增大排粉机负荷及通风单位电耗，加大一次风量并降低一次风温。如排粉机出力不足时，则只能减少磨煤机的通风量使干燥条件更加恶化，磨煤出力将被迫降低。所以，制粉系统堵塞漏风是提高制粉系统运行经济性手段之一。

分离器入口漏风，不仅使磨煤机内通风量减少，出力降低，同时还会破坏正常的分离工作，使煤粉变粗。如是旋风分离器漏风，将使分离出来的气体含粉量增加，加剧了排粉机的磨损。

3 结束语

做好磨煤机的运行工作不但是电厂节能降耗的需要，也是安全生产的需要，节电效果明显，具有可观的经济效益和社会效益。

4 参考文献

- [1] 范从振主编. 锅炉原理. 北京：中国电力出版社，1986.

文章作者： 付亚萍

发表时间： 2004-09-27 00:00:00

[\[关闭窗口\]](#) [\[打印文章\]](#) [\[回到顶端\]](#)