

# 课题一—辊式立磨的将来

宇部興産機械株式会社  
産機部 粉碎破砕設計 Gr.  
繁本 康弘

## 1. 序言

随着中国水泥行业日渐成熟，我们将直面节能减排（二氧化碳减排）、创造燃料差异、高附加价值及废弃物再利用等的窑燃料的多样化等等更多新的课题。

谈到水泥行业的节能减排（二氧化碳减排），虽然水泥生料已采用新型高效的立磨生产工艺，但水泥磨仍然沿用传统的球磨机，未被更先进的立磨所替代。与立磨相比，球磨机由于粉碎速度的差异，因此电耗相对较高，粉碎效率较低。

另外，窑、磨机风机的阀门引起的动力浪费也开始被关注，水泥行业已逐渐考虑风机电机的可变速化。如此形势下，创造燃料差异、高附加价值及窑燃料的多样化措施实行等关键词，成为解决问题的重中之重。

## 2. 关键词

首先，从燃料差异观点看，想到的是燃料替换。目前窑使用的燃料多为煤，但由于国际市场煤价波动大，势必我们会关注低价的低品质煤。

具有代表性的低品质煤是褐煤，因其成分中灰分较少而被广泛使用，但众所周知其水分较多，粉碎时容易打滑，从而引起磨机振动。

因此，褐煤不能单独粉碎，必须掺入沥青煤混合粉碎后才能燃烧。

另外，从高附加价值化的观点看，想到的是石灰石用途的多样化。以水泥厂丰富的石灰石作为原料粉碎后，可以得到造纸、塑料、烟气脱硫等领域所需的微粉颗粒，其平均颗粒直径在 3-5 微米。

但微粉颗粒越小，粉碎时磨机的振动就越大，甚至有时会因振动过大而使粉磨无法继续。

此外，考虑以废弃物作为原料燃烧，将牵涉到水泥的需要和废弃物之间的平衡问题，这是新的预测课题。也就是说，水泥的需求较少时，废弃物可能会供大于求。而立磨减产运行时更容易产生振动，因此，为了避免振动产生而不得不过剩运行，结果导致电耗更高。

妨碍上述发展的重要原因是磨机振动，解决振动问题这一关键词不容置疑。

因此，我们需要重新考虑磨机的振动问题。



(照片-1) 宇部立磨

### 3. 磨机振动是什么

磨机振动分为“冲击振动”和“自身振动”，两者有显著差异。

冲击振动主要由粉碎层及加振侧的振动数比例产生，而自身振动由摩擦系数、速度及载荷重量产生。

宇部公司经多年的研究、开发后发现，立磨的振动起因在于工作辊和原料间产生微小的打滑现象，此时摩擦系数较小。

因此，有必要再次考虑引起微小打滑现象的根本因素——摩擦系数以及冲击振动的元凶——振动数。

### 4. 摩擦系数

粉碎机（磨机）在进行粉碎的过程中，原料被施加很强的压缩力与剪切力。而剪切力是否有效的作用于原料，取决于原料的摩擦系数，粉碎区域的摩擦系数较低时，容易产生振动。

物理学定义，摩擦系数由摩擦物质及其表面的粗糙度决定，

- 与垂直作用力成正比，但与接触面积的大小无关
- 与摩擦速度的大小无关

#### 4-1. 表面上的摩擦系数

在磨机的内部粉碎区域，物质不仅单纯的相互摩擦，捕捉气体这一媒体与物质混合后的颗粒群非常重要。

并且，颗粒自身因大小不同使得能包裹的气体容量不同。

另外，磨机的大小使物质相互摩擦部分的速度不同，小型与大型磨机的速度存在差异。

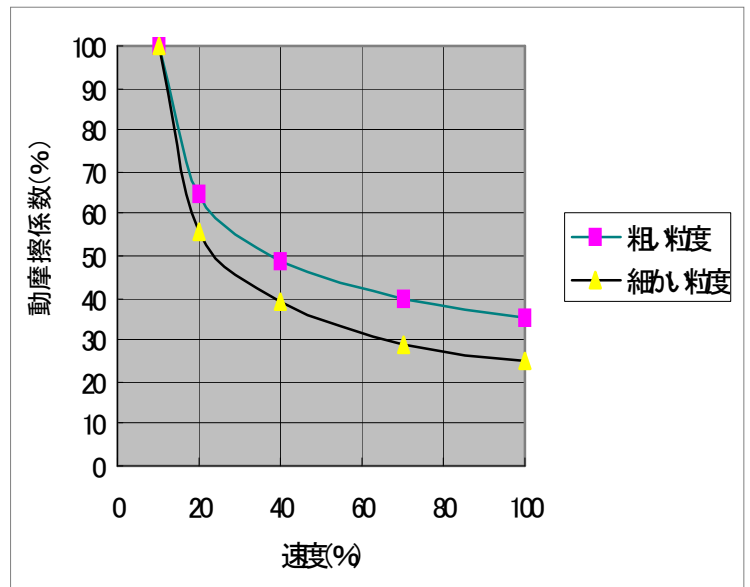
颗粒直径、速度及摩擦系数的相互关系，经过各种试验得出如下的结论：

- 摩擦系数与颗粒直径及速度成反比

该结论似乎违上述的物理学理论，但在粉碎领域，粉体并非单一颗粒，而是以颗粒群的形式存在，较细的颗粒群和较粗颗粒群分别包裹各自周围的气体量不同，因此各自的大小也不同。包裹气体量较多的细颗粒群，摩擦系数较小，这点在工学世界里也时有发生，成为事实。

这种情况下，传统定论的物理学中所说的摩擦系数，也许我们应重新称之为“表面上的摩擦系

数”更为正确。（见图-1）



(图-1)

#### 4-2. 摩擦系数的改善

##### (1) 传统方法

###### ① 喷水法

磨机内喷水可改善摩擦系数 (=提高摩擦系数)。该方法常常被误认为是为了控制磨机出口温度，其实是改善摩擦系数。

该方法的缺点是水分蒸发的同时带走了干燥热量。

###### ② 档料环高度调整法

调整设在磨盘外围的档料环高度可改变料层的摩擦系数。

该方法的缺点是，人员须进入磨机完成调整。

##### (2) 新方法

基于我司的新理论“摩擦系数与速度成反比”，我司已向国际专利机构申请了磨盘可调速法，并且已在中国公布。

该方法可在预测磨机将产生振动，或在振动产生时通过降低磨盘转速来控制振动的扩散。

该方法的特点是磨盘可调速，只要电机可变频，无须停磨可实现连续控制。

另外，无须担心磨盘转速降低使得磨机产量降低。原因是，由于摩擦系数得到改善 (=增加)，滞留在磨机粉碎区域的原料量比产生振动时更多。

### 4-3. 体会摩擦系数

实际生产过程中，短时间便能体会到上述摩擦系数。

- ① 使通过磨机的风量减少，振动产生
- ② 成品细度更细时，振动产生
- ③ 粉碎容易打滑的原料时，未经粉碎原料或半成品就从磨机漏出
- ④ 磨内喷水时磨机振动降低
- ⑤ 档料环加高振动会降低——但磨机电流将增加

这些都是摩擦系数降低产生的现象。

### 5. 振动数比 ( $\omega / \omega_0$ )

#### 5-1. 振动数的实际形态

磨机振动的类型中，明显左右冲击振动的，是加振侧的振动数 ( $\omega$ ) 和与料层相当的振动数 ( $\omega_0$ )。这两者的比率决定了振动增幅系数。

这里，须分别振动数 ( $\omega$ ， $\omega_0$ )。首先，加振侧的振动数与工作辊的转速成正比，也就是与磨盘的转速成比例关系。而与料层相当的振动数由原料性状及要求的成品粒度决定，与运行操作无关。

#### 5-2: 振动数比的改善

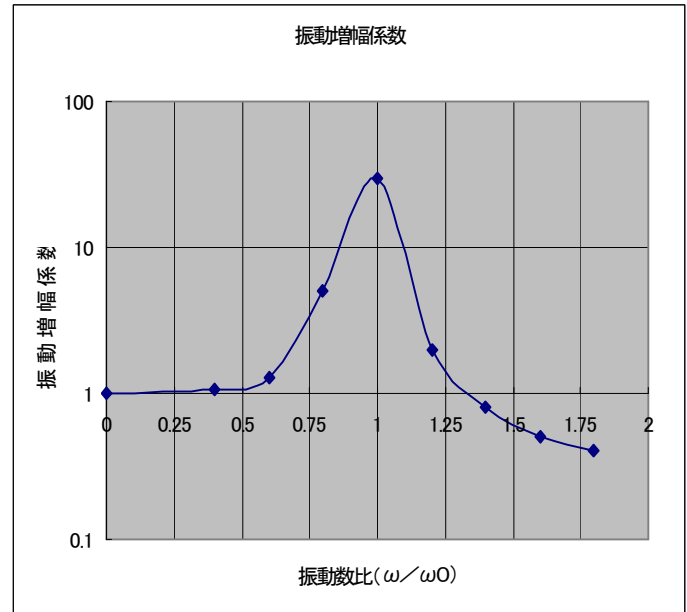
立磨（见图-2）运行时， $\omega / \omega_0$  在 1.0 以下，加振侧的振动数 ( $\omega$ ) 较低。也就是说磨盘转速降低能减小振动增幅系数，这点比较容易理解。

而且，以我司的新理论，我们正在验证若摩擦系数得到改善，即使降低磨盘转速，产量也不会有大的影响。

#### 5-3: 振动数比的改善效果

效果最为显著的是磨机在低负荷时运行。低负荷运行时，新料投料量与磨盘负荷不能达到平衡，料层显著降低，料层的振动数减小，增幅系数增大。

此时，随着磨盘转速降低，加振侧的振动数减小，使增幅系数降低。



(图-2)

\*: (图-2) 振动增幅的一个例子。

\*: 若粉碎物的性状、粒度等不同，增幅系数的峰值也不同。

### 6. 摩擦系数与振动数比的组合

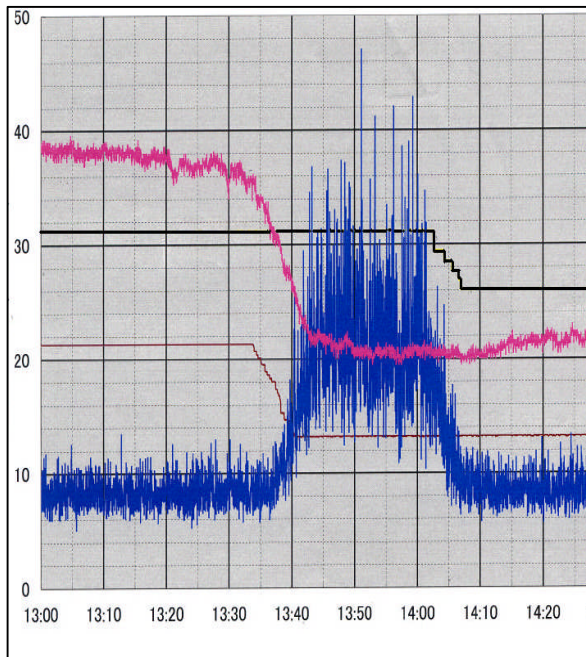
控制好磨盘转速使其更符合实际运行状况，与上述摩擦系数论吻合，磨机运行的稳定性将飞跃式的提高。

特别是下列情形今后也许会碰到，我们期待通过磨盘转速的控制会有显著的效果。

- ① 较难粉碎的原料粉碎时  
特别是摩擦系数较小的原料  
(如：无烟煤、亚煤、褐煤)
- ② 低负荷生产或产量增减比率较大时
- ③ 多品种少量粉碎时，无须进入磨机内，无须调整档料环高度，希望实现远距离控制时
- ④ 成品平均粒径在 3-5 微米的超微细粉粉碎时

### 6-1. 验证实例

可燃物粉碎时,产量从 100%降至 60%的过程如(图-3)所示。



(图-3)

可以看出,磨机运行过程中,产量从 100%阶段性的降至 60%。

结果,磨机振动增加了 3-4 倍,情况非常危险。

最终,磨盘转速降低 20%后,振动值才恢复至产量 100%时同样的稳定值。

### 7. 后记

目前,投入水泥生产线运行的宇部立磨的技术已经相当成熟。为了解决中国水泥行业将要直面的课题,在此先行介绍部分技术概要。本技术正在向中华人民共和国国家知识产权局申请专利。

有关本论文及各种原料的粉碎事宜,请联系:

宇部兴产机械(上海)有限公司

销售部 林志坚

上海市浦东新区外高桥保税区富特北路 91 号

电话: 021-5868-1633

传真: 021-5868-1634, 0634