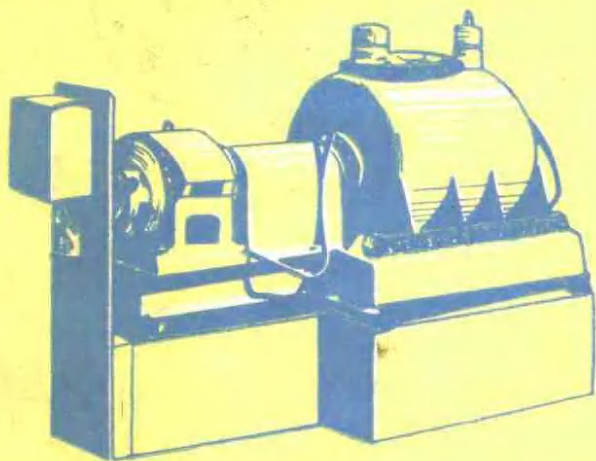


81594
78371
MEG

~~007358~~ 089764
M. H. 莫尔古利斯

物料的振动粉磨

81594
MEG



建筑工程出版社

物 料 的 振 动 粉 磨

毛文杰 赵维彭 译

建筑工程出版社出版

• 1959 •

內容簡介 这本小冊子总结了有关物料振動粉磨的科学研究結果和工业使用經驗，叙述了振動粉磨的工艺过程和振動磨的结构，闡明了在生产各种建筑材料以及冶金、机械制造和其他工业部門中采用振動粉磨的問題。

本書供建筑材料工业和國民經濟其他各部門的广大工作人員閱讀用。

原本說明

書 名 ВИБРАЦИОННОЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ
МАТЕРИАЛОВ

編 著 者 М. Л. Моргулис

出 版 者 Государственное издательство литературы
по строительным материалам

出版地点 及 年 份 Москва—1957

物 料 的 振 動 粉 磨

毛文杰 赵維彭 譯

*

1959年8月第1版	1959年8月第1次印刷	2,046册
850×1168· $\frac{1}{32}$ ·87千字·印張3 $\frac{1}{4}$ ·插頁1·定价(10)0.55元		
建筑工程出版社印刷厂印刷 · 新华書店发行 · 書号: 1539		

建筑工程出版社出版(北京市西郊百万庄)
(北京市書刊出版业營業許可証出字第052号)

目 录

代 序.....	(1)
引 言.....	(3)
第一章 振动粉磨的工艺过程及所用设备	(6)
1. 振动磨的作用原理	(6)
2. 影响振动粉磨过程的基本因素	(10)
3. 振动磨和粉磨分級装置	(31)
4. 合理的使用范围	(52)
5. 粉磨細度的測定	(57)
第二章 振动粉磨在建筑材料生产中的应用	(59)
1. 低层建筑用的石灰墙砌块	(60)
2. 用地方原料生产的砌筑砂浆用的胶凝材料	(67)
3. 水泥的活化	(72)
4. 蒸压硬化的硅酸盐制品	(77)
5. 其他建筑材料	(79)
第三章 振动磨在国民經济其他各部門中的应用	(83)
1. 电气工业和无綫电工业	(83)
2. 机械制造	(84)
3. 冶金	(85)
4. 化学工业和輕工业	(86)
第四章 发展振动粉磨技术的途徑	(91)
1. 研磨性物料的粉磨	(91)
2. 振动磨用于非粉磨作业	(94)
3. 細磨技术最近的发展前途	(94)
参考文献	(98)

代 序

这本小册子 是有关在技术上运用細磨固体物料的第一本著作。本書的作者М.И.莫尔古利斯是国内最早研究在工业中运用細磨技术的工程师——研究者之一。

細磨是增加固体物料与周圍介質間作用面积的最一般方法。此外，細磨能够大大增加固体顆粒的單位數目。而这些条件对于作为結構物質—吸附剂或催化剂的固体物料来講，都能提高它們的活性，并能大大加速溶解、燒結、相变化及化学变化过程。

細磨能改进材料某些很重要的性質：例如用它制成制件的均匀性、填充料的活性以及顏料和染料的着色力及色彩等等。

今天国内外之所以在这方面发展的很快，这是与日益增長的实际需要分不开的。

苏联已設有科学研究院（全苏利用細磨生产建筑材料新問題中央科学研究院 ВНИИТИСМ）在負責該項新的工作。在苏联科学院的某些研究所以及許多工业部門的研究机构中正进行着細磨問題的科學理論研究工作。为了协调这些研究工作并作出科学的总结，苏联科学院設有振動粉磨問題（固体材料細磨）的中間聯絡委员会。

由于固体分子物理学及物理化学的发展，証明只有振動作用才能达到有效的細磨；也就是要利用周期性的高頻率冲力作用才行。所以說，只有在研究成功并出現了一系列新型的振動磨機，以及其它新型研磨机械（气流式等其它无研磨体磨機——其实这些也就是振動磨機，即令是利用高頻率冲力的作用）之后，細磨在工业上的应用才成为可能。

这方面研究的主要任务就是探討細磨的理論，即不同性能的固体的分散随其結構及力学性能而不同，并且要考虑到力学制度

的特点（頻率、振幅、应力状态的强度及性質等）、周圍介質的
物理化学影响以及能大大加强过程的外加材料。

这里也涉及到細磨測定的問題（細度分析），以此評定細磨
成品的質量及細磨过程的效率；同时还有分級的問題，就是說將
顆粒按細度分开，并在細磨过程中随着細粉的出現及时地將它們
分离出来。

摆在国民經济各部門中工艺人員面前的重要任务，就是对高
細度材料的特殊性能作出正确的估价，并加以利用。

所有这些問題，在M. H. 莫尔古利斯这本书中只能扼要的加
以討論。

由于对細磨物料的生产工艺和应用問題还缺乏系統性的論
述，所以可能造成一系列誤解，甚至对这个部門的发展产生不良
的作用。有些人毫无理論根据地将这种細磨技术（振動細磨）看
成一种万能的奇異的东西。相反的，有一些人却想貶低細磨在
一系列国民經济部門中所显示的明显的优点，妨碍了振動細磨的
发展和推广。

因此，很早以前就有必要弄清各种固体物料細磨的适用范
圍，同时还要指出在什么情况下細磨是多余的，甚至是有害的。

本書作者还想总结一下这些由他直接参加的研究結果，试图
划出合理使用細磨的界限。

同时，書中还明确的提出了：細度大大提高之后，在很多情
况下都必須改变細磨产品的使用工艺过程，以便克服由于細度增
加而常常产生的种种困难，并要發揮細磨物料所具有的各种新的
和优良的性質。

可以肯定的說，这本书对广大工程师和研究人員来说是有所
裨益的，同时亦将有利于对这一重要的科学技术部門的正确理解。

П. 列宾捷尔

莫斯科苏联科学院物理化学研究所

引 言

物料的細磨在国民經济各个部門中均日益获得巨大的意义。不論要强化現有的工艺过程或創立新的工艺过程，在很多情況下都要求加速細磨过程，提高粉状和悬浮液体状态的原材料和半成品的粉磨細度。

通常增加物料的細度，也就是指增加物料的表面积，減小物料的顆粒和提高其均匀性，便于加速反应过程，降低所用溫度和压力，減少稀缺原料的消耗，降低动力消耗及产品成本。又可以改善成品的結構，提高成品的質量（活性、强度及耐热性等）和減少某些雜質的有害作用等。

例如，随水泥細度的增加，它的机械强度就会增加。我們知道0.1公厘直径或更大的水泥顆粒对强度是不起作用的，所以說細磨可以增加强度或者減少水泥的消耗量，同时又能加速混凝土的硬化过程。

玻璃配合料粉磨得愈細，則玻璃的熔化过程就愈快，需用的溫度也比較低，同时制成品的質量也会提高。

染料的細度和均匀性将决定它的着色能力、着色的均匀性、染料的消耗量及染色层的坚固性等等。假如油漆顏料中使用了不够細的顏料，那么个别大的顆粒就会超过干油漆的厚度。这些凸出的小顆粒一經摩擦就会脫落下来，結果形成一些小孔，因此漆层会很快的坏掉。染料愈細，則漆层中的小孔愈少，漆层的强度也愈高。

特种橡胶中所用的滑石、矽胶粉及其他成份的細度愈高，則将大大提高橡胶絕緣体的电阻性及其他等。

所以說，改变細度是控制固体物料性能的方法之一。

制成很細的成品需要大量各种各样的磨机，而且这个需要是不断地增長着。

我們知道，粉磨物料时主要是采用球磨和棒磨机，也使用滾

磨機、環磨機、离心式冲击磨機、臼磨機和膠體磨等等。最近几十年来，这些磨機在結構和使用技術上都有了很多的改进。但是若要制成高細度的成品，就会大大增加細磨过程的時間和动力消耗，而且在很多情況下使用上述这些磨機根本就达不到所需要的細度。

因此，很久以前就已提出了創立新的有效細磨方法和設計新式磨機的問題。例如П. А. 列賓捷爾〔1—5〕就从理論上肯定了利用电压不太高的高頻率冲击电压，使固体物料变形而粉碎的新細磨方法。

П. П. 布德尼可夫和М. И. 聶可利奇〔6〕分析了現有粉磨方法的缺点，并指出必須采用高頻率电流作用的新的細磨方法。

在这些方法中包括：高压气流粉碎法、超音波粉碎法以及有研磨体的振动式粉磨等等。

利用高压气流或过热蒸汽的能量进行細磨，将是干法磨中很有前途的一种方法。这种方法的优点是：磨機內沒有研磨体，所以不会有研磨体的磨損物夹杂到物料中去，同时可以达到很高的粉磨細度，在粉磨过程中还可以按顆粒的大小进行分級。可是，要使这种气流的磨機能够很穩定的进行工作，必須严格地保持喂料、气体压力和溫度等的均衡性。因此磨機的各个操作指标必須在很小的範圍內进行自动控制。操作这种很复杂的設備，实际上只有在工业条件下才有可能。

我們知道，超音波可以形成頻率很高的振动，因此使用超音波对膠体系統來講是非常有用的。气流磨機在这方面是不适用的，如利用有研磨体的振动磨进行細磨則要化費很長的時間。但是超音波磨機的产量不太大，这里由于現有的超音波粉磨裝置的能力所限制，因此使用这种細磨方法到現在還沒有越出實驗室的範圍。

有研磨体的振动磨機是一种結構并不复杂且能进行干磨和濕磨，而又能使物料达到很高細度的磨機。最近引起各方面很大的注意。ВНИИТИСМ的工作人員在研究各种磨機当中設計成功

一种按圆周轨迹振动的惯性振动磨机。在这种磨机中，所有的研磨体都能有效地进行研磨作用，同时，研磨体形成一个連續的循环。这就能保证磨机体积的充分利用，同时物料也就必然会得到很好的混合。

面积为200立方公寸的工业用振动磨机和其他各种振动粉磨装置的制成，大大扩大了制造高細度物料的实际可能性。振动磨机的结构簡單、造价不高、鋼材用量少、且布置紧凑，不需要另外增加場地就可以安設到生产工艺綫中去。这一切都有利于在各种生产中采用这种机器。振动磨机的产量还不能够滿足工业企业中加工大量成品的需要，但在很多生产中能保证成功地使用这种磨机。例如在不集中生产的条件下，利用当地材料磨制高細度的材料。

提高原料或半成品的粉磨細度，不是在任何时候都能得到好的效果的，尤其是当生产工艺过程中的其它指标不改变的情况下。通常，提高物料的細度，会给生产带来很多困难，例如增加气孔率和吸水率，延缓以后的过滤和干燥等过程，并且将制成多孔结构，以致降低制件的强度等。但这些却不是在任何工艺过程中制止推广細磨的根据。

通常，只要能在提高所用材料的細度的同时，能創造性地对工艺过程提出一些改革，那么就有可能消除所引起的困难，并能在数量或質量上获得新的效果。工艺过程中所需要进行的改革，可能包括：所用的配方、工作溫度、密实程度、停留時間和以后其他过程的各个指标，以及加入一些可以加速或減慢生产过程的可塑剂或表面活性剂等等。

这本书的任务是要闡明物料的細磨在国民經济各个部門中的意义，描述一下工业中制造高細度物料的实际可能性，并且要喚起广大工程技术人員对这一門技术的兴趣。这本书就是供广大工程技术人員參閱的。

作者謹向对这本小冊子有过帮助的各位同志致以深厚的謝意。

第一章 振动粉磨的工艺过程及所用设备

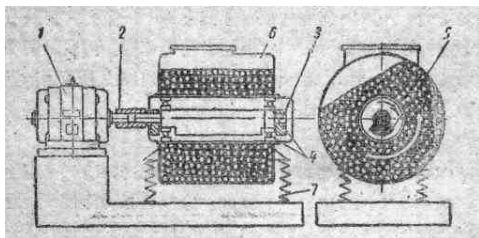
1. 振动磨的作用原理

用振动方法来粉磨物料，在我国最普遍采用的是振动式球磨机。

这种磨机〔9和12〕的原理示意图如第1图所示。不平衡的轴体在运转的时候带动装有研磨体和研磨物料的振动磨机机体作圆周振动。在作这种圆周振动的机体上，任意一点的轨迹都位于振动器轴的垂直平面上。

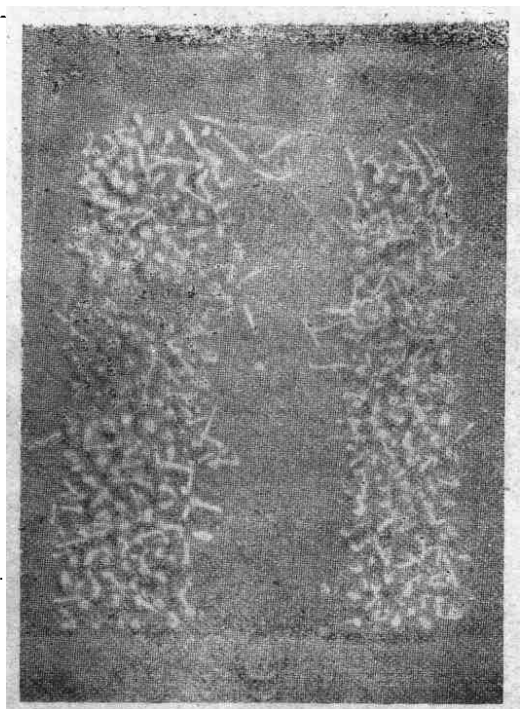
机体和振动器的壁使研磨体经常冲击，因此所有研磨体作着很复杂的运动。

当振动磨机的振动频率不太大时，每一个研磨体仅靠近某一个中间位置作有限制的活动。随振动频率升高到临界区的时候，这时研磨体的运动性质发生了变化并出现了新的运动形式。研磨体的起落冲击均呈反射状投射，并且在机壁上迴转滑动。除此之外，所有研磨体都围绕着重心的中心管运动。



第1图 振动磨原理示意图

- 1—电动机；2—弹性联轴器；3—振动轴；4—轴承；5—不平衡体；
6—机体；7—弹簧

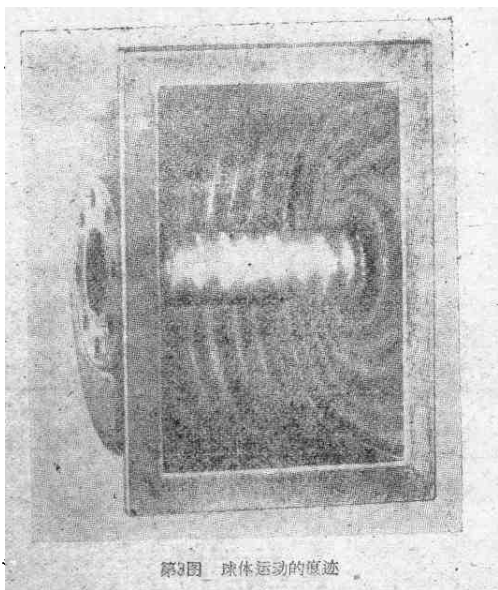


第2图 振动磨中球体的运动图（从上面拍摄，速度是 $1/25$ 秒）

所以說，在振动磨中，研磨体既作着“集体”运动（圆周循环），又进行着“单独”运动。

从第2图及第3图中的照片上可以对这些运动形式得出一些概念。

第2图所示为运动着的試驗用振动磨机机体。机盖被拆去。



第3图 球体运动的痕迹

机体内运动着的是不同大小的球体。该照片是在振动次数每分钟为1500次的情况下用1/25秒的速度拍摄下来的，正相当于振动磨机机体作一次圆周振动的時間。在照片中看得很明显，球体是向不同方向运动的。

在振动磨机机壁的内表面上，可以清楚地看到球体滑动及圆周循环的軌迹（第3图）。振动磨机的机体按順时針方向迴轉，而磨内球体則按反时針方向运动（見第1图）。

当振动磨机机体的振动频率达到每分钟450—600次时，振幅为3公厘的研磨体运动性質就要发生变化。繼續提高频率，則球体的运动强度也会增加。

研磨体在單位時間內所產生的大搖的沖擊作用及其複雜的運動，決定了研磨體对被磨物料的作用性質。在振動磨機的各個帶中，被磨物料顆粒受到不同方向 and 不同大小的力作用。

很高的頻率 and 不同性質的作用，使被磨物料產生了一種破裂的條件。這也就是振動粉磨作用的主要特點，並且說明為什麼振動磨機在生產高細度的產品時特別有效。事實上，每一個研磨體的沖擊作用是不太大的，這樣當原料中存在有很大的塊粒時，振動磨的產量就要大大降低。

按固體的變形和破裂機理的現代觀點(1—5)看來，完全有可能說明高頻率機械作用(為有效地粉磨固體而造成的週期性的應力狀態)的意義。這些作用加到一起首先對固體結構中所必然存在的脆弱處產生松裂作用。粉磨過程中，物料顆粒的破壞就從這些脆弱處開始，隨著中間尺寸的物料顆粒的減少，顆粒的脆弱處也在減少，因而粉磨過程減慢。當顆粒的尺寸達到大約1公厘，尤其是達到100微米的時候，則被磨物料就好象變得很堅固起來，易磨性也就大大降低。在微小的顆粒中，要想達到致使顆粒破裂的極限應力也就更加困難了。在兩次連續作用之間，分子力力圖將已變形的物料中的微縫閉合起來，換句話說是在“自行醫治”。但是隨著振動頻率繼續升高，來得及“自行醫治”的顆粒越來越少，因而加速了粉磨過程。

H. B. 米哈依洛夫[13]對水泥體在沖擊應力作用下的結構力學性質的變化曾作過研究，並指出循環變形將引起系統的彈性弱化。這表現於抗剪彈性模數逐漸降低。對系統的彈性弱化有利的，是脆弱處和微縫的破壞過程，這一過程的最後階段是物體破裂。

不論是干法或濕法粉磨，把振動粉磨原理和用活性介質及摻和表面活性材料結合起來，能獲得最大的效果。由於表面活性材料滲透到被磨物體的微縫或裂縫中，防止了裂縫面分子力作用閉合，從而有利於裂縫的發展。除此之外，表面活性材料吸附在被磨物料顆粒的表面，還能降低它的硬度。所有這些都有助於被加工物料的破裂(1—4)。

若將振動粉磨的產品放到顯微鏡下作一觀察，那麼就會看到有大量的圓顆粒存在。這說明在振動磨機中研磨體对被磨物料是有很大的摩擦作用的。

在振動磨機中研磨體具有這樣高的作用強度，能導致被磨物料的結構發生變化。例如在振動磨中干磨顏料的一定條件下能使顏料的顏色發生變化〔14〕。同時隨粉磨程度的不同，產品將表現出不同色調性質。

蓋斯和施泰也爾〔15和16〕的研究工作證明，纖維素經過一小時的粉磨之後粘滯度降低，其結晶格子也破壞。這可以用被磨纖維素的X射線照片來判別：這裡晶體結構所特有干擾綫不見了。這種現象並非因纖維素在球體沖擊的地方受到局部加熱的結果。可將振動粉磨及加熱方法對破壞纖維素的作用作比較試驗來証實這一點。

2. 影响振動粉磨过程的基本因素

正確的選擇振動磨機的工作制度是有效的利用這種磨機的必要條件。

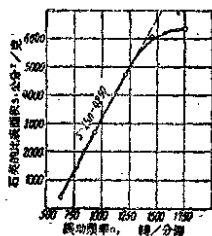
振動磨機工作制度的基本指標有：振動頻率和振幅，研磨體的形狀、尺寸和物料性質、研磨體和物料的充填程度以及研磨體與物料間的比例。工作制度同時也決定于粉磨的種類（干法或是濕法）、作用方法（間歇的還是連續的，帶分級的還是不帶分級的），混合料各組成部分的粉磨方式（混合的還是分別的粉磨）以及所用表面活性外加劑的種類、數量和加入方法等等。

在選擇振動粉磨的工作制度時，主要考慮的生產工藝因素是被磨物料的種類、顆粒級配、物理化學性質、需要的細度和產量。

振動頻率和振幅對振動粉磨過程有着首要的影響。它們決定着球體的加速度和工作強度，決定着作用於松動磨機所需的能量和應力。

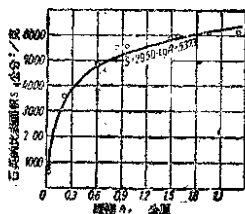
振動頻率，換句話說就是磨機在一分鐘內的圓周振動次數，等於電動機的迴轉次數。該電動機的軸通過對彈性聯軸節與磨機

的振動軸直接聯在一起。振幅的大小（軌迹的平均半徑或者是擺動的一半）決定於振動器的力矩、磨機機體與振動器的重量、研磨體和被磨物料的重量、松動頻率以及被研物料的稠度。例如振幅隨機體和研磨體重量的增加以及隨被磨物料粘滯度的增加（濕法粉磨時）而減小。振幅的大小可以用各種方法測量。例如在磨機機體上與振動軸平行裝一個夾子，上面裝一根削得很尖的鉛筆，然後在鉛筆振動的那一端放一張結實的紙，先是直放，然後平放〔9〕。平均幅長就由垂直和水平幅長各半數決定之，而振幅就等於平均幅長的一半。



第4圖 振動頻率對振動磨機工作的影響

機體的容積 $V_k = 16.7$ 立方公尺；填充溫度 $E = 0.8$ ；鋼球 $\phi 9.5-15$ 公厘鋼球與物料的比例 $M = 4$ ；振幅 $A = 2.2$ 公厘；粉磨時間 $\tau = 1$ 小時



第5圖 振幅對振動磨機工作的影響

$V_k = 16.7$ 立方公尺；鋼球 $\phi 9.5-15$ 公厘； $M = 4$ ；頻率 $n = 1450$ 轉/分鐘； $\tau = 1$ 小時

振動頻率（第4圖）比振幅（第5圖）對振動細磨的動力學的影響要大得多〔14〕。例如被磨石英砂*的比表面積 S 與 $600-1200$ 轉/分鐘範圍內的振動頻率間有下列直線關係：

$$S = an + b \text{ 平方公分/克,}$$

* 在這里以及以後所利用的比表面積數據全是利用 B. B. 托瓦洛夫〔17〕或 ПСХ-2ВНИИТИСМ〔38〕型的儀器的透氣法測得的。並且試驗中物料的密細程度卻相等，因此各個結果是很相類的。由於試件較大，所以保持了試驗必要的準確性。

式中: a 与 b ——常数;

n ——振动频率。

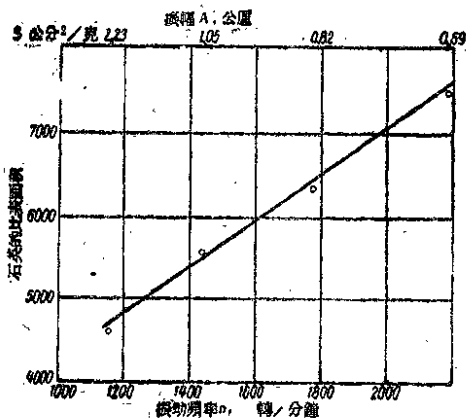
同时相同的材料, 其它表面积的变化与振幅 A (在2.5公厘以内) 之间的关系, 由下列对数方程所示:

$$S = c \cdot \lg A + d \text{ 平方公分/克}$$

式中: c 和 d ——常数;

A ——振幅。

从第6图中可以看出, 加速度不足以代表振动粉磨过程。图中所示的加速度 (30 ± 5 公尺/秒²) 大致相同但振动频率及振幅不同的试验结果。从该图中可以看出, 在同一个加速度范围内频率大而振幅小的粉磨过程的强度要比频率小而振幅大的粉磨过程强度大得多。这可以说振幅的加大仅能增加个别研磨体的冲击, 但要破坏物体颗粒的所需的冲量是比较固定的。而增加振幅次数不仅可以保证增加对个别研磨体的冲量, 并且可以保证增加研磨体对被磨物料的作用次数, 显然, 这对细磨是非常重要的。



第6图 振动频率及振幅对振动磨工作的影响

$V_n = 16.7$ 立方公寸; 鋼球 $\phi 9.5-13$ 公厘; $M = 4$

在其它情况下，例如粗磨顆粒較大的物料，那么在过程的最初阶段振幅的作用就比频率更大。

这些事实与德国研究者 D. 巴赫曼 (18和19) 的結論是不一致的。他认为加速度是振动粉磨的全面性的指标。D. 巴赫曼建議在一定的加速度数值下工作，同时振动频率要小，而振幅要大。

D. 巴赫曼的上述工作是有其很高的价值的，但不能同意他那未經实际証实的建議；可是他的建議到現在为止还为某些研究人員和設計人員采用着。D. 巴赫曼沒有考虑球体在振动磨內的互相作用以及被磨物料的性质，因为不同物料的性质所要求的频率和振幅，須通过实验选择出最适当的数值。

ВНИИТІСМ設計的加速度为 200 公尺/秒^2 的振动磨經試驗及工业使用后証明，这种工作制度比 D. 巴赫曼建議的（加速度为 32.4 公尺/秒^2 ）要有效得多。

振动频率对振动粉磨过程的影响，可由第 7 图与第 8 图表示。曲綫的性质說明：随粉磨时间的增加，在不同振动次数下所得产品的細度的差別越来越大。

第 9 图中的曲綫是由經驗数据得来的，此曲綫表示研磨时间与振幅之間的关系。根据这些經驗数据，还可得到产量及單位耗电量与振幅之間的关系（見第 10 图）。曲綫上的最低点正相当于耗电量最低的振幅数值。繼續加大振幅，耗电量会增加，但产量几乎不再增加。

振动频率及振幅的数值，受到振动机械上所允許的应力的限制。必須指示，該应力与振幅的一次方及频率的平方成比例。

ВНИИТІСМ設計的振动磨机，振动器是可拆卸的，每分鐘的振动次数为 1500 和 3000，与电动机轉数相同。振幅的大小在 1500 轉/分鐘时，可以在 3—4 公厘的范圍內进行调整；在 3000 轉/分鐘时，可以調整到 2 公厘。这就为根据被磨物料的物理性质、粒度及所要求的成品細度来選擇合理的频率及振幅提供了一定的可能性。将来对于频率和振幅范圍較大的振动磨机建立成“标准排列”之后，上述可能性将更加扩大。