

“十二五”  
国家重点图书

闻邦椿 刘树英 著

# 现代振动筛分技术 及设备设计

XIANDAI ZHENDONG SHAI FEN  
JISHU JI SHEBEI SHEJI



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

“十二五”国家重点图书

# 现代振动筛分技术 及设备设计

闻邦椿 刘树英 著

北京  
冶金工业出版社  
2013

## 内 容 提 要

本书扼要介绍了振动筛分技术及筛分设备的发展、用途与分类、筛分方法及其特点、散物料的粒度及粒度分析；较系统地叙述了筛分机械的典型结构与工作原理，各类振动筛工作面上物料运动的理论及工艺参数的设计计算方法，振动筛、振动脱水机运动学参数的选择与工艺参数的计算，惯性式、弹性连杆式和电磁式振动筛的动力学与动力学参数的设计计算，双电动机驱动的振动筛的同步理论，振动筛某些零部件的设计计算，给出了若干计算实例。

本书可供企业和科研院所从事振动利用工程的科技人员使用，也可供高等院校相关工程类专业师生参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

现代振动筛分技术及设备设计/闻邦椿，刘树英著. —北京：  
冶金工业出版社，2013. 10  
ISBN 978-7-5024-6362-5

I. ①现… II. ①闻… ②刘… III. ①筛分—技术 ②筛分  
设备—机械设计 IV. ①TD921 ②TD452

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 233045 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号，邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 宋 良 张耀辉 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6362-5

冶金工业出版社出版发行；各地新华书店经销；北京慧美印刷有限公司印刷  
2013 年 10 月第 1 版，2013 年 10 月第 1 次印刷

169mm×239mm；19 印张；371 千字；294 页

59.00 元

冶金工业出版社投稿电话：(010)64027932 投稿信箱：tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话：(010)64044283 传真：(010)64027893

冶金书店 地址：北京东四西大街 46 号(100010) 电话：(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题，本社发行部负责退换)



# 前 言

振动筛分设备是利用振动原理来完成筛分工艺过程并用来提高筛分工作效率的一类新型机械设备，目前被广泛用于矿山、冶金、煤炭、化工、电力、建筑、交通、环保、轻工和食品等工业部门。振动筛分设备类型有几十种之多，如单轴圆运动惯性振动筛、悬挂式自定中心振动筛、座式自定中心重型振动筛、双轴惯性振动筛、座式直线振动筛、双轴椭圆振动筛、振幅沿排料方向递减的椭圆振动筛、单轴双质体椭圆振动筛、线性惯性式共振筛、非线性惯性式共振筛、单质体弹性连杆式振动筛、双质体弹性连杆式振动筛、弹性连杆式非线性共振筛、筛箱振动式电磁振动筛、筛网振动式电磁振动筛、自同步热矿振动筛、激振器偏移式自同步冷矿筛、双向半螺旋式自同步振动细筛、自同步式概率筛、惯性共振式概率筛、自然分层等厚筛、概率等厚振动筛、节肢振动筛、多单元组合振动筛、弛张筛、中频振动细筛、高频振动细筛、锥形筛面振动细筛、螺旋筛面振动细筛和圆形筛面振动细筛等。这些振动筛在各工业部门中发挥着重要的作用。

随着国内经济建设和现代化科学技术的进一步发展，对振动筛分设备不仅在品种和规格上，而且在质量上也提出了愈来愈高的要求。为此，本书除吸收该领域国内外科技工作者对振动筛研究的部分成果外，着重总结了作者科研团队30多年来对振动机械进行理论和设计研究取得的新成果，如惯性共振式概率筛、激振器偏移式自同步冷矿筛、自同步热矿振动筛、概率等厚振动筛、高频振动细筛、锥形筛面振动细筛、螺旋筛面振动细筛等。本书较系统、全面地介绍了各类振动筛的结构、工作原理、工艺参数、运动学参数、动力学参数、动力学特性分析及主要零部件的设计计算，并给出了相应的计算实例。

本书共分9章。第1章叙述了振动筛分技术及筛分机械的国内外发展,筛分机械的组成、用途和分类,散物料的粒度及粒度分析;第2章介绍了固定筛、滚轴筛、滚筒筛、惯性式振动筛、弹性连杆式振动筛、电磁式振动筛、自同步惯性式振动筛和其他几种新型振动筛(概率筛、等厚筛、节肢振动筛、弛张筛和振动细筛)的结构与特点;第3章叙述了直线运动振动筛和椭圆运动振动筛工作面上物料运动的理论,以及振动离心脱水机物料运动的理论;第4章介绍了振动筛、振动脱水机运动学参数的选择与工艺参数的计算,并给出了计算实例;第5章介绍了线性非共振、线性近共振与非线性近共振惯性式振动筛的动力学,惯性式振动筛与共振筛动力学参数的设计计算,并给出了惯性式振动筛与共振筛的动力学参数计算实例;第6章叙述了线性单质体、线性双质体、线性多质体和非线性弹性连杆式振动筛的动力学,动力学参数的设计计算,弹性连杆式振动筛工作点的调整及动力学参数计算实例;第7章介绍了电磁式振动筛的动力学分析、动力学参数的计算、激磁方式、电磁参数的计算及计算实例;第8章介绍了双电动机驱动的振动筛的同步理论及其发展与应用;第9章介绍了振动筛某些零部件如弹性元件(金属螺旋弹簧、板弹簧、橡胶弹簧)、激振器(惯性激振器、弹性连杆式激振器、电磁式激振器)与箱体结构的设计计算等。

本书由闻邦椿、刘树英编写。在编写和出版过程中,得到东北大学机械设计与理论研究所及有关单位的大力支持,并得到东北大学“211”和“985”工程建设项目的资助和支持,在此深表感谢。本书可能会有一些不足,敬请广大读者批评指正。

作 者

2013年3月

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 筛分技术及筛分机械在经济建设中的应用 .....	1
1.2 筛分技术的发展 .....	2
1.2.1 普通筛分法 .....	2
1.2.2 薄层筛分法 .....	3
1.2.3 概率筛分法 .....	4
1.2.4 厚层筛分法 .....	5
1.2.5 概率厚层筛分法 .....	6
1.3 筛分机械的国内外发展 .....	12
1.3.1 国外筛分机械的发展现状 .....	12
1.3.2 国内筛分机械的发展现状 .....	14
1.4 筛分机械的分类与用途 .....	19
1.4.1 筛分机械的分类 .....	19
1.4.2 振动筛分机械的组成 .....	20
1.4.3 筛分机械的用途 .....	34
1.5 散物料的粒度及粒度分析 .....	35
1.5.1 散物料的粒度及其表示方法 .....	35
1.5.2 物料的粒度分析 .....	36
<b>2 筛分机械的结构与工作原理</b> .....	39
2.1 固定筛、滚轴筛、滚筒筛的结构与工作原理 .....	39
2.1.1 固定筛的结构、工作原理与工艺参数 .....	39
2.1.2 滚轴筛的结构与工作原理 .....	42
2.1.3 滚筒筛的结构、工作原理与参数计算 .....	46
2.2 惯性式振动筛的构造与工作原理 .....	49
2.2.1 单轴圆运动惯性振动筛的构造与工作原理 .....	49
2.2.2 双轴直线运动惯性振动筛的构造与工作原理 .....	53
2.2.3 椭圆运动惯性振动筛的构造与工作原理 .....	57

2.2.4 惯性式共振筛	60
2.3 弹性连杆式振动筛的构造与工作原理	62
2.3.1 单质体弹性连杆式振动筛的构造与工作原理	62
2.3.2 双质体弹性连杆式振动筛的结构特点	63
2.3.3 弹性连杆式非线性共振筛	63
2.4 电磁式振动筛的结构与工作原理	64
2.4.1 筛箱振动式电磁振动筛的结构与工作原理	64
2.4.2 筛网振动式电磁振动筛的结构特点	65
2.5 自同步惯性式振动筛	66
2.5.1 自同步惯性式振动筛的特点	66
2.5.2 自同步惯性式振动筛的构造与工作原理	67
2.6 几种新型振动筛的结构与特点	69
2.6.1 概率筛的结构与特点	69
2.6.2 等厚筛的结构与工作原理	73
2.6.3 节肢振动筛的结构与工作原理	75
2.6.4 弛张筛的结构与工作原理	79
2.6.5 振动细筛的结构与工作原理	85
<b>3 振动筛分与脱水工艺过程的理论</b>	<b>94</b>
3.1 直线运动振动筛工作面上物料运动的理论	94
3.1.1 直线运动振动筛工作面的位移、速度和加速度	94
3.1.2 物料滑行运动的理论	95
3.1.3 物料抛掷运动的理论	104
3.2 椭圆运动振动筛工作面上物料运动的理论	110
3.2.1 工作面的位移、速度和加速度	110
3.2.2 物料滑行运动的理论	112
3.2.3 物料抛掷运动的理论	117
3.3 振动离心脱水机物料运动的理论	120
3.3.1 立式振动离心脱水机物料运动的理论	121
3.3.2 卧式振动离心脱水机物料运动的理论	128
3.4 工程实例计算	128
<b>4 振动筛、振动脱水机运动学参数的选择与工艺参数的计算</b>	<b>133</b>
4.1 物料运动状态的选择	133
4.1.1 物料运动的特点	133

4.1.2	物料运动状态的选择 .....	134
4.2	物料运动状态指数的选择 .....	134
4.3	振动筛运动学参数的选择计算 .....	134
4.3.1	振动强度 $K$ 的选择计算 .....	134
4.3.2	振动次数的选择计算 .....	136
4.3.3	振动方向角的选择 .....	137
4.3.4	振动筛安装倾角的选择 .....	139
4.3.5	物料运动实际平均速度的计算 .....	139
4.4	振动筛工艺参数的计算 .....	144
4.4.1	筛面宽度和长度的确定 .....	144
4.4.2	生产率的计算 .....	145
4.4.3	筛分效率的计算 .....	146
4.5	振动离心脱水机运动学参数的选择 .....	147
4.6	振动离心脱水机工艺参数的计算 .....	149
4.7	工程实例计算 .....	150
<b>5</b>	<b>惯性式振动筛动力学与动力学参数的设计计算 .....</b>	<b>154</b>
5.1	线性非共振惯性式振动筛动力学分析 .....	154
5.1.1	线性非共振单轴惯性式振动筛动力学分析 .....	154
5.1.2	线性非共振双轴惯性式振动筛动力学分析 .....	161
5.2	线性近共振惯性式振动筛动力学分析 .....	166
5.2.1	单质体线性近共振惯性式振动筛动力学分析 .....	166
5.2.2	双质体线性近共振惯性式振动筛动力学分析 .....	167
5.3	非线性近共振惯性式振动筛动力学分析 .....	171
5.4	惯性式振动筛与共振筛的动力学参数的设计计算 .....	173
5.4.1	惯性式振动筛与共振筛的动力学参数 .....	173
5.4.2	惯性式振动筛与共振筛动力学参数的计算 .....	174
5.5	惯性式振动筛与共振筛动力学参数计算实例 .....	179
<b>6</b>	<b>弹性连杆式振动筛动力学与动力学参数的设计计算 .....</b>	<b>183</b>
6.1	线性单质体弹性连杆式振动筛动力学分析 .....	183
6.2	线性双质体弹性连杆式振动筛动力学分析 .....	186
6.2.1	平衡式双质体弹性连杆式振动筛的动力学分析 .....	186
6.2.2	不平衡式双质体弹性连杆式振动筛的动力学分析 .....	188
6.3	线性多质体弹性连杆式振动筛动力学分析 .....	191



6.4	非线性弹性连杆式振动筛动力学分析	193
6.5	弹性连杆式振动筛动力学参数的计算	196
6.5.1	隔振弹簧刚度的计算	197
6.5.2	振动质体的计算质量与诱导质量	197
6.5.3	主振固有频率与频率比	198
6.5.4	连杆弹簧与储能主振弹簧刚度的选取	198
6.5.5	所需的计算激振力与偏心距	199
6.5.6	非线性弹簧的隙幅比与刚度	199
6.5.7	电动机功率的计算	200
6.5.8	连杆作用力及转动轴转矩的计算	201
6.5.9	传给基础的动载荷的计算	201
6.6	弹性连杆式振动筛工作点的调整	202
6.6.1	连杆弹簧压缩量的调整	202
6.6.2	振动筛工作点的调整	203
6.7	弹性连杆式振动筛动力学参数计算实例	206
<b>7</b>	<b>电磁振动筛动力学与动力学参数的设计计算</b>	<b>212</b>
7.1	概述	212
7.2	电磁式振动筛的动力学分析	213
7.3	电磁式振动筛动力学参数的计算	216
7.3.1	隔振弹簧刚度的计算	216
7.3.2	质体1和质体2的计算质量与诱导质量	217
7.3.3	有载频率比和空载频率比	217
7.3.4	主振弹簧刚度的计算	218
7.3.5	工作频率的确定	219
7.3.6	筛箱振幅与相对振幅的计算	219
7.3.7	阻尼比与相位差角的计算	219
7.3.8	主谐波激振力、基本电磁力和最大电磁力的计算	220
7.3.9	电磁振动筛功率的计算	220
7.4	电磁式振动机的激磁方式	220
7.5	电磁式振动筛电磁参数的计算	224
7.5.1	电磁式振动筛电磁力的计算	224
7.5.2	电磁式振动筛的气隙磁通密度	225
7.5.3	电磁铁的最大磁通密度	227
7.5.4	电磁式振动机的电磁激振力	228

7.5.5	最大电磁激振力和主谐波激振力幅 .....	231
7.6	计算实例 .....	231
<b>8</b>	<b>双电动机驱动振动筛的同步理论 .....</b>	<b>236</b>
8.1	概述 .....	236
8.2	双电机驱动平面运动惯性振动筛的振动同步理论 .....	237
8.2.1	双惯性激振器驱动的自同步振动筛的两种运动 状态与运动轨迹 .....	237
8.2.2	平面运动自同步振动筛同向与反向回转的同步性条件 .....	241
8.2.3	平面运动自同步振动筛同向与反向回转同步 状态的稳定性条件 .....	243
8.2.4	自同步振动筛“失步失稳”的预防与调试 .....	247
8.2.5	平面运动自同步振动筛试验的若干结果 .....	248
8.3	双电动机驱动空间运动惯性振动筛的振动同步理论 .....	248
8.3.1	振动质体的运动方程式及其求解 .....	249
8.3.2	两转轴的转动方程式及振动筛的同步性条件 .....	252
8.3.3	两种同步运转状态及其稳定性条件 .....	256
8.4	弹性连杆式振动筛的振动同步理论 .....	259
8.5	振动同步理论的发展及应用 .....	261
<b>9</b>	<b>振动筛某些零部件的设计计算 .....</b>	<b>263</b>
9.1	弹性元件的设计计算 .....	263
9.1.1	弹性元件的种类及其用途 .....	263
9.1.2	弹性元件的等效刚度 .....	264
9.1.3	弹性元件的设计计算 .....	266
9.2	激振器的设计计算 .....	280
9.2.1	惯性激振器的设计计算 .....	280
9.2.2	弹性连杆式激振器的设计计算 .....	281
9.2.3	电磁式激振器的设计计算 .....	282
9.3	箱体的结构设计 .....	286
9.3.1	箱体的结构设计 .....	286
9.3.2	振动筛的动态特性与结构强度分析 .....	287
9.3.3	横梁断面的选取 .....	288
	<b>参考文献 .....</b>	<b>290</b>

# 1 绪 论

## 1.1 筛分技术及筛分机械在经济建设中的应用

筛分就是将颗粒大小不同的散状混合物料通过单层或多层筛面的筛孔，按其粒度大小分成两种或多种不同粒级产品的分级过程。多孔的工作面称为筛面。筛面是筛机的基本工作部件，在多数情况下，筛面是平的，但也有弧形、螺旋形和锥形等。筛面上的孔称为筛孔，筛孔的形状有方形、圆形、长方形和条缝形。在1层筛面上筛分物料时，可得两种产品，透过筛孔的物料称为筛下产品，而留在筛面上的物料称为筛上产品，如筛孔尺寸为12mm，则筛下与筛上产品分别用-12mm和+12mm表示，用 $n$ 层筛面筛分物料则可得 $n+1$ 种产品。筛分作业可分为干式筛分和湿式筛分两种。筛分技术广泛应用于冶金、矿山、煤炭、化工、电力、建筑、粮食、医药和环保等部门，可对各种各样的松散物料进行筛分分级、脱水、脱泥、脱介。

在冶金工业部门，高炉冶炼时，送入高炉的原料及燃料必须事先进行筛分，将粉末状的细料从混合物料中分离出来，避免因粉状物料过多而影响高炉熔炼过程中的透气性，从而可避免高炉出现严重事故。为了对物料进行筛分，科技工作者提出了多种有效的筛分方法：普通筛分法、薄层筛分法、概率筛分法、厚层筛分法和概率等厚筛分法等。作者领导的科研团队设计研制的激振器偏移式大型自同步冷烧结矿振动筛和热矿筛，已应用于全国多家钢铁企业，对冷、热烧结矿进行筛分，除去其中的粉状或不符合进高炉要求的粒度很小的物料，提高了高炉的冶炼效果。该类大型振动筛有2500mm×7500mm、2500mm×8500mm、3000mm×9000mm等规格。

在选矿厂的破碎筛分工艺流程中，普遍采用圆振动筛对矿石进行预先筛分、检查筛分和预先检查筛分。从矿床开采出来的矿石，其粒度大小不一，并且还含有一定量的细粒矿石，这些细粒矿石无需破碎，在进入破碎机之前，应将这些细粒级矿石分离出来，这种为下一步加工而进行的筛分称为预先筛分，这样可以增大破碎机的处理能力和防止矿石过粉碎。破碎后的产品中也含有过大的矿块，这也需要将过大的矿块从破碎产品中分离出来并返回破碎机中继续破碎，这种在破碎机后用以检查破碎产品粒度的筛分称为检查筛分。在破碎筛分工艺流程中，同

时起预先筛分和检查筛分作用的筛分称为预先检查筛分。用固定细筛和振动细筛替代双螺旋分级机对磨矿产品按粒度进行分级，可以提高精矿品位；用高频振动细筛对选矿厂的尾矿进行分级，可以提高精矿的回收率。由此可见，各种规格形式的振动筛是选矿厂不可缺少的关键设备。

在选煤厂，不同的场合分别采用圆振动筛、概率振动筛和等厚筛对煤进行筛分分级，得到不同用途、不同粒度的煤：采用直线振动筛对精煤和末煤进行脱水和脱介；采用振动离心脱水筛对煤泥及细粒煤进行脱水作业；先后采用琴弦筛、弛张筛、滚轴筛和旋转概率筛等，解决了含水 7% ~ 14% 的难筛细粒煤的湿式筛分过程中的堵孔问题，并提高了筛分效率。

在水利电力部门，火电厂采用圆振动筛或等厚筛对煤进行预先筛分，利用直线振动筛解决煤炭的处理问题；在水电站的建设工程中，如在三峡和小浪底等水利工程建设中，也有众多的各种类型的筛分机械对砂石散物料进行筛分分级处理。

在交通部门，采用大揭盖清筛机对铁路碎石进行清砂和除泥土的筛分作业，省工省时、效果好；在高速公路的建设中，用圆振动筛或直线振动筛对砂石进行分级，用热石筛对沥青混凝土的石块进行分级，以满足筑路的需求。

在化工部门，对化工原料和产品的筛分，如化肥和复合肥分级，筛网振动筛和化肥筛都是关键设备。在制盐、粮食加工等领域也广泛利用筛分作业对物料进行净化处理。

在环卫部门，采用滚筒筛、多段筛面的反流筛等筛分设备对固体垃圾进行筛分处理。

## 1.2 筛分技术的发展

筛分技术的发展总是以生产需求为前提的，筛分技术面临的任务是：科学技术的进步向工业提出降低能耗、综合利用和环境保护的要求，如煤炭工业要求对原煤深加工、增加品种、增加产量、提高精度、降低成本、减轻污染等。为满足各行各业生产的需求，各国的科技工作者致力于各种筛分方法的研究，提出了多种筛分方法，如普通筛分法、薄层筛分法、概率筛分法、厚层筛分法和概率厚层筛分法等。这些方法各有特点，下面分别介绍这些筛分方法及其特点。

### 1.2.1 普通筛分法

在工业部门中长期使用的一种筛分方法是普通筛分法，这是一种中等料层厚度的筛分方法，在普通振动筛中的筛分就是利用这种方法。该筛分法有如下特点：

- (1) 料层厚度一般为筛孔尺寸的 3 ~ 6 倍。

(2) 筛面层数为 1~2 层。

(3) 物料颗粒的透筛是按照筛孔的大小进行的，小于筛孔的物料颗粒在沿筛长方向运动的过程中不断透过筛孔，而大于筛孔的物料颗粒沿筛面方向移动，最后从筛面上方排出，其筛分过程如图 1-1 所示。

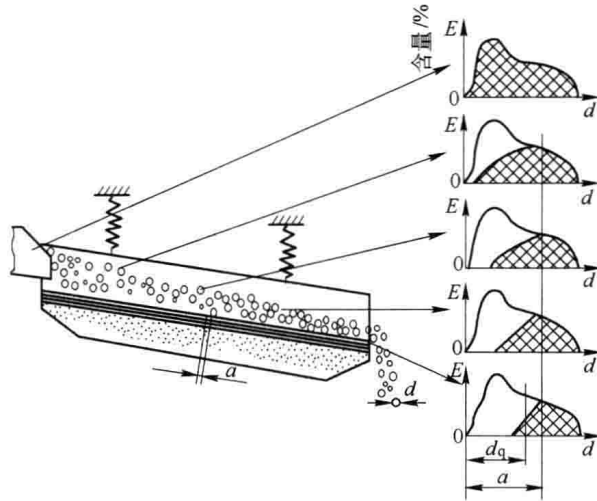


图 1-1 普通筛分法示意图

$a$ —筛孔尺寸； $d_q$ —分离粒度； $d$ —物料尺寸； $E$ (影线部分)—筛上物出率

(4) 一般情况下，筛孔尺寸  $a$  与筛下物的最大尺寸  $d_{\max}$  有如下关系：对于圆孔， $a = 1.3 \sim 1.4d_{\max}$ ；对于方孔， $a = 1.1 \sim 1.15d_{\max}$ ；对于长条形孔， $a = 0.7 \sim 0.8d_{\max}$ （注：筛孔尺寸，对于圆孔为直径，对方孔和长条孔为窄边长）。

利用普通筛分法对物料进行筛分，物料的透筛过程进行得较缓慢，在筛长相同的情况下，该种筛分法的筛分效率较低。尽管如此，由于普通筛分法的适用性强，既可以用于粒状物料筛分，也适用于块状物料筛分；既可用于干筛，也可用于湿筛，所以直到现在该筛分法仍广泛应用于工农业生产中。

### 1.2.2 薄层筛分法

1965 年法国人 E·布尔雷斯研究细粉物料的筛分，提出了“薄层筛分法”。薄层筛分法是在物料层极薄的条件下进行的一种筛分法，也就是筛面上物料的厚度与分离粒度的比值不超过  $1/1 \sim 2/1$  的范围。

该筛分法通常应用于筛面直接激振的振动筛机，如筛网振动式电磁振动筛、凸轮式振动筛、直线振动筛等。该筛分法有以下特点：

(1) 料层厚度  $h$  仅为筛孔尺寸  $a$  的 1~2 倍，即  $h/a = 1 \sim 2$ 。

(2) 筛面为单层或双层。

(3) 一般选用较高的物料运动速度，常用速度为  $0.5 \sim 1\text{m/s}$ 。

(4) 一般采用高频率、小振幅，常用的振动频率为  $1500 \sim 6000\text{r/min}$ ，相应的单振幅为  $3 \sim 0.12\text{mm}$ 。

(5) 给料宽度与筛面宽度之比接近  $1:1$ 。

(6) 适用的筛面倾角一般为  $25^\circ \sim 45^\circ$ 。

(7) 薄层筛分法适于对细物料或超细物料进行筛分，分离粒度一般为  $0.05 \sim 5\text{mm}$ ，最常见的为  $0.1 \sim 3\text{mm}$ 。当采用薄层筛分法时，筛机给料端要设置布料装置，以保证给料的均匀性。

薄层筛分法与普通筛分法的比较见表 1-1。

表 1-1 薄层筛分法与普通筛分法的比较

比较项目 \ 筛分方法	薄层筛分法	普通筛分法
物料层厚度 $h$ 与分离粒度 $d_q$ 之比	$h:d_q = 1:1 \sim 2:1$	$h:d_q \geq 3:1$
筛宽 $B$ 与筛长 $L$ 之比	$B:L = 1:1 \sim 1:2$	$B:L = 1:2 \sim 1:3$
给料宽度 $b$ 与筛宽 $B$ 之比	$b:B = 1:1$	$b:B \geq 1:2$
输送速度 $v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$0.5 \sim 1$	$0.15 \sim 0.3$
分离粒度范围/mm	$0.05 \sim 5$	$0.5 \sim 200$
振动频率 $n/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	$1500 \sim 6000$	$700 \sim 1500$
双振幅 $2\lambda/\text{mm}$	$6 \sim 0.25$	$20 \sim 4$
加速度 $a$	$5 \sim 15g$ ，局部区域更大	$4 \sim 10g$
工作面倾角 $\alpha_0/(\circ)$	$25 \sim 45$	$0 \sim 30$

### 1.2.3 概率筛分法

随着对筛分过程认识的深入，研究学者又提出了新的筛分原理。1951 年瑞典人费雷德里克·摩根森用统计学方法分析研究了物料在筛面上的筛分过程，首先提出了概率筛分法。这种方法能够有效地按照概率理论去完成物料筛分的整个过程。该筛分法有以下特点：

(1) 采用多层筛面，一般为  $3 \sim 6$  层。

(2) 筛面采用较大的安装倾角，一般为  $25^\circ \sim 60^\circ$ 。

(3) 采用较大的筛孔，筛孔尺寸  $a$  与分离粒度  $d_q$  之比为  $2 \sim 10$ 。

采用这种筛分方法的筛机称为概率筛，国外称之为摩根森筛，其筛分法原理如图 1-2 所示。由于这种筛分法能动地利用了概率原理，使得物料在这种筛机中的筛分过程进行得十分迅速。在这种筛机中物料经历的时间一般为  $3 \sim 6\text{s}$ ，而在普通筛机中约需  $10 \sim 30\text{s}$ 。因此，可以说在概率筛上进行的筛分属于快速筛分。

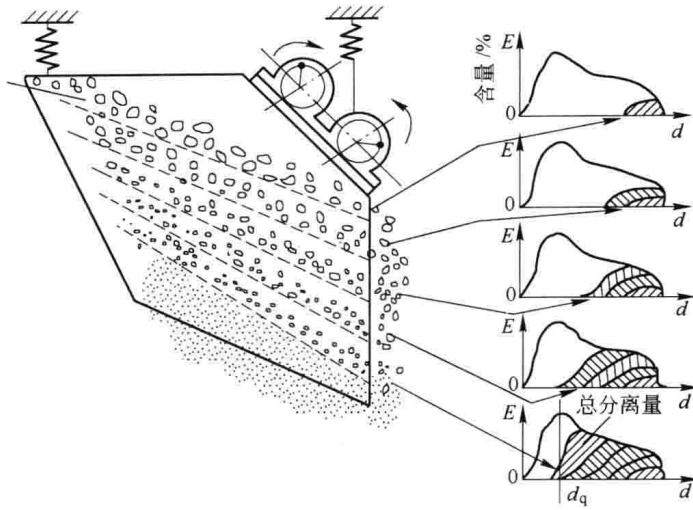


图 1-2 概率筛分法原理图

概率筛分法的优点是，由于采用了多层、大倾角和大筛孔的筛面，物料入筛后能迅速透筛，同时还克服了普通筛分法中容易堵塞筛孔的缺点，消除了临界颗粒的影响，减小了筛面的磨损，提高了单位面积的处理量（概率筛单位面积的处理量约为普通振动筛的 5 倍）。但是，由于概率筛分法的筛下产品常常含有一定量的粗颗粒，有时不能获得较高的筛分效率，因此，其一般只适用于近似筛分的场合。

#### 1.2.4 厚层筛分法

厚层筛分法也称大厚度筛分法，20 世纪 60 年代该法首先出现于法国，到 70 年代初期国外已广泛应用这一新筛分方法。该筛分法的特点是：不管入料中小于筛孔的颗粒所占的百分比如何，在筛分过程中筛上物料层的厚度大，并保持不变或递增（见图 1-3a）。而采用普通筛分时，筛上物料层厚度较薄，而且都是递减的（见图 1-3b）。



图 1-3 厚层筛分法与普通筛分法筛上料层变化图

(a) 厚层筛分法筛上料层变化；(b) 普通筛分法筛上料层变化

用普通筛分法筛分物料时，筛面给予物料层的加速度值不够大，导致小颗粒向下沉降的速度小，到达筛面要经过一段较长的时间，物料分层不好，因此，普通筛分法的平均单位面积透筛能力仅是筛面实际透筛能力的 25% 左右。

厚层筛分法在入料端的加速度要比普通筛分法大，因而可使物料层的加速度加大，料层迅速变薄，并很快地分层。对已分层的料群，再施加与普通筛分法相同的加速度，即可使物料透筛。这种筛分法，使小颗粒和筛面接触的概率显著增大，平均单位面积透筛能力约为筛面实际透筛能力的 80%。因此厚层筛分法可成倍地提高筛机的处理能力。

为了使物料层能沿筛面按上述要求分布，可以采用以下两种方法：

(1) 大抛掷指数的厚层筛分法，如图 1-4 所示。在筛分作业中，筛面呈缓倾斜或水平布置，并分成若干区段，每区段都有自己的传动机构。第一区段的振幅（或频率）比较大，其振动加速度约为  $10g$ ，第二区段的振幅（或频率）比较小，振动加速度约为  $4 \sim 5g$ 。

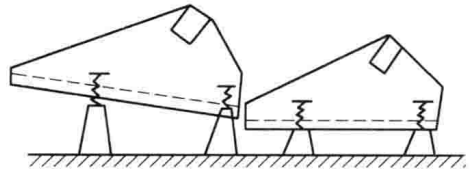


图 1-4 大抛掷指数的厚层筛分法

(2) 大倾角安装的厚层筛分法，如图 1-5 所示。将圆运动振动筛与直线振动筛串联安装，圆运动振动筛的安装倾角为  $30^\circ \sim 40^\circ$ ，物料有较高的运动速度，料层较薄；而直线振动筛安装倾角为  $0^\circ \sim 10^\circ$ ，以正常的加速度进行筛分，如图 1-5a 所示。多台小型筛机串联安装，如图 1-5b 所示。一台筛机上安装三段筛面，第一段筛面长 4m，安装倾角为  $34^\circ$ ；第二段筛面长 0.8m，安装倾角为  $20^\circ$ ；第三段筛面长 4.5m，安装倾角为  $0^\circ$ ，如图 1-5c 所示。

厚层筛分法目前已在我国某些大型选煤厂中使用，效果良好。

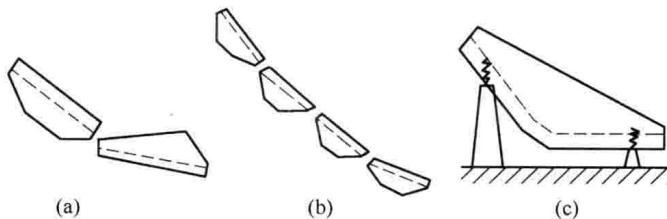


图 1-5 大倾角安装的厚层筛分法

- (a) 圆运动振动筛与直线振动筛串联安装；
- (b) 多台小型筛机串联安装；
- (c) 一台筛机上安装三段筛面

### 1.2.5 概率厚层筛分法

作者经过多年的实践与研究，将概率筛分法和厚层筛分法的优点集于一体，



并克服两种方法的不足，提出了一种新的筛分方法——概率厚层筛分法。在此基础上，又与铁道科学院共同研制了概率等厚筛，用于铁路路基碎石筛分除土，处理能力大，筛分效率高，处理速度快，省时省工。

概率厚层法的第一阶段是以概率筛分原理为基础，而第二阶段以厚层筛分原理为基础，对物料进行快速分层，加快物料透筛概率。这种筛分方法有较大的产量和较高的筛分效率，而且不需要很长的筛面。

根据这种筛分方法，作者所在的科研团队已设计出了多种规格的概率厚层筛分机，并已被应用于工业中，其工作效果令人十分满意。

### 1.2.5.1 概率厚层筛分法的产生及其背景

最近 30 年来，筛分方法有了很大的发展，除了以往一直沿用的普通筛分法及薄层筛分法外，还在工业部门中出现了概率筛分法和厚层筛分法（又称等厚筛分法）。这两种筛分方法的出现，曾引起了工程技术界的广泛重视和密切注意。1978 年，作者的科研团队研制了我国第一台自同步概率筛（见图 1-6a），并将它成功地应用于碳化硅的筛分流程中。1979 年，又研制成功了我国第一台厚层筛（见图 1-6b）。概率筛和厚层筛均具有其他筛机所不能比拟的优点，如产量很大；但也有其各自的缺点，如概率筛在多数情况下，筛分效率较低，筛上物和筛下物分离不够纯净，而厚层筛的长度过长，结构较笨重。如何能充分发挥上述两种筛机的优点而克服其缺点呢？概率厚层筛分法与概率厚层筛（又称概率等厚筛）就是为解决上面提出的问题而研究成功的。

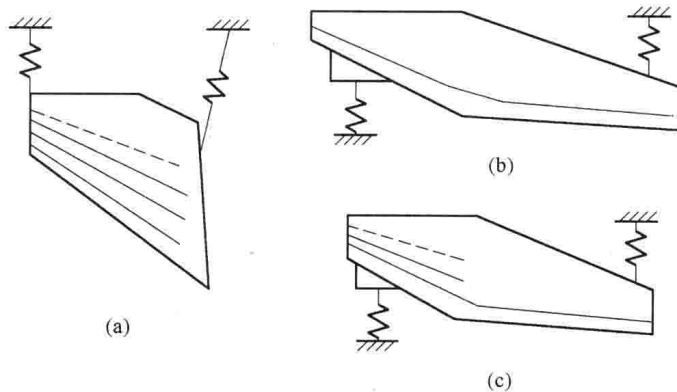


图 1-6 三种筛结构示意图

(a) 概率筛；(b) 厚层筛；(c) 概率厚层筛

1981 年初，由于某工业部门生产的需要，提出要研制一种尺寸小、产量大和筛分效率高的新型筛分机械。筛机的尺寸为：长 × 宽 × 高应小于 3500mm × 2200mm × 1400mm。按给料计算的产量应达到 675m<sup>3</sup>/h，而筛分效率应超过 90%。根据上述情况，利用概率筛和厚层筛虽然都能满足产量的要求，但概率筛