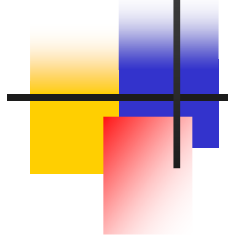




第三章 固体废物的预处理

第一节 固体废物的破碎

第二节 固体废物的分选



第一节 固体废物破碎

破碎是指利用人力或机械等外力的作用，破坏固体废物质点间的内聚力和分子间作用力而使大块固体废物破碎成小块的过程。

磨碎是指小块固体废物颗粒分裂成细粉的过程。



第一节 固体废物的破碎

一、概述

1 破碎的目的

- (1) 使固体废物的容积减小，便于运输和贮存；
- (2) 为固体废物的分选提供所要求的入选粒度，以便有效地回收固体废物中某种成分；
- (3) 使固体废物的比表面积增加，提高焚烧、热分解、熔融等作业的稳定性和热效率；
- (4) 为固体废物的下一步加工做准备；
- (5) 用破碎后的生活垃圾进行填埋处置时，压实密度高而均匀，提高填埋场的利用效率；
- (6) 防止粗大、锋利的固体废物损坏分选、焚烧和热解等设备或炉膛。



第一节 固体废物的破碎

一、概述

2 固体废物的机械强度

固体废物的机械强度是指固体废物抗破碎的阻力和通常静载下测定的抗压强度、抗拉强度、抗剪强度和抗弯强度来表示。

固体废物的机械强度与废物颗粒的粒度有关，粒度小的废物颗粒，其宏观和微观裂缝比大粒度颗粒要少，因而机械强度较高。

鉴于固体废物的硬度在一定程度上反映被破碎的难易程度，因而可以用废物的硬度表示其可碎性。

矿物的硬度分为十级，其硬度从小到大排列如下：
(1)滑石；(2)石膏；(3)方解石；(4)萤石；(5)灰石；
(6)长石；(7)石英；(8)黄玉石；(9)刚玉；(10)金刚石。
各种固体废物的硬度可通过与这些矿物相比较来确定。

第一节 固体废物的破碎

一、概述

另一种方法是按物料在破碎时的性状分为最坚硬物料、坚硬物料、中硬物料和软质物料四种。

各种硬度物料的分类

软质物料	中硬物料	坚硬物料	最坚硬物料
石棉矿、石膏矿、板石、砂岩、软质石膏板、烟煤、褐煤、方土	石灰石、白云石、电石、泥灰石、岩盐	铁矿石、金属矿石、碳化硅、矿渣、烧结产品、韧性化工原料、砾石、	花岗岩、刚玉、硬质熟料、烧结镁砂

第一节 固体废物的破碎

一、概述

3 破碎方法

按照破碎固体废物消耗能量的形式分为机械能破碎和非机械能破碎两类。

机械能破碎是对固体废物施力而将其破碎，包括冲击破碎、挤压破碎、剪切破碎、摩擦破碎等；非机械能破碎是利用电能、热能等对废物进行破碎的新方法，包括低温破碎、热力破碎、减压破碎、超声波破碎等方法。

目前广泛应用的是机械破碎，主要有压碎、劈碎、折断、磨碎和冲击破碎等方法。

第一节 固体废物的破碎

一、概述

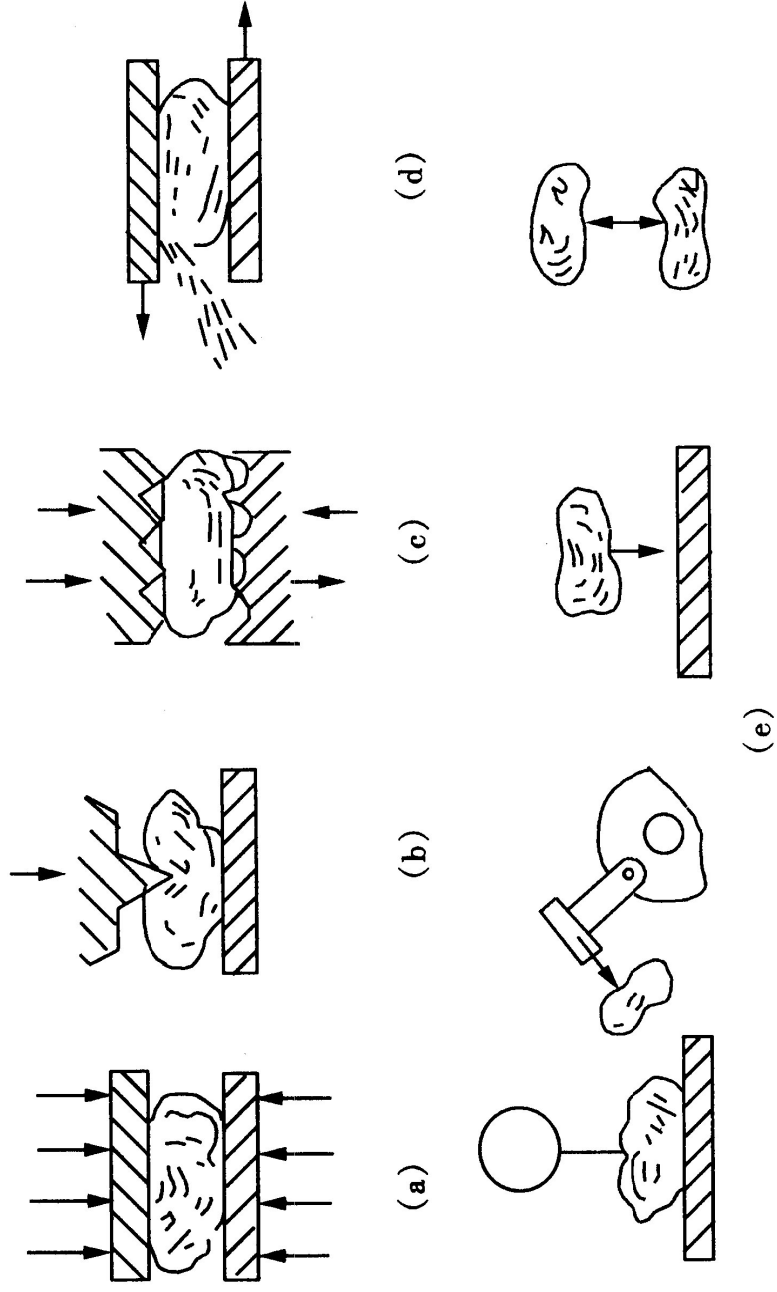


图 3-4 机械能破碎

(a) 压碎; (b) 劈碎; (c) 折断; (d) 磨碎; (e) 冲击破碎

第一节 固体废物的破碎

一、概述

4 破碎比与破碎段

在破碎过程中，原废物粒度与破碎后产物粒度的比值称为破碎比。破碎比的计算方法有以下两种：

(1) 用废物破碎前的最大粒度(D_{\max})与破碎后最大粒度(d_{\max})的比值来确定破碎比(i)：

$$i = D_{\max} / d_{\max} \quad (3-1)$$

用该法确定的破碎比称为极限破碎比，在工程设计中常被采用。根据最大块直径来选择破碎机给料口宽度。

(2) 用废物破碎前的平均粒度(D_{cp})与破碎后平均粒度(d_{cp})的比值来确定破碎比(i)：

$$i = D_{cp} / d_{cp} \quad (3-2)$$

该法确定的破碎比称为真实破碎比，能较真实地反映破碎程度。一般破碎机的平均破碎比在3-30之间，磨碎机破碎比可达40-400以上。



第一节 固体废物的破碎

一、概述

固体废物每经过一次破碎机或磨碎机称为一个破碎段。

对固体废物进行多次(段)破碎,其总破碎比等于各段破碎比(i_1, i_2, \dots, i_n)的乘积,即

$$i = i_1 \times i_2 \times i_3 \times \dots \times i_n \quad (3-3)$$

破碎段数是决定破碎工艺流程的基本指标,它主要决定破碎废物的原始粒度和最终粒度。



第一节 固体废物的破碎

二、破碎机

破碎固体废物常用的破碎机类型有颚式破碎机、锤式破碎机、冲击式破碎机、剪切式破碎机、辊式破碎机和球磨机。选择破碎机类型时，必须综合考虑下列因素：①所需要的破碎能力；②固体废物的性质（如破碎对形状、硬度、密度、形状、含水率等）和颗粒的大小；③对破碎产品粒径大小、粒度组成、形状的要求；④供料方式；⑤安装操作场所情况等。

第一节 固体废物的破碎

二、破碎机

1 鄂式破碎机

颚式破碎机是利用两颚板对物料的挤压和弯曲作用，粗碎或中碎各种硬度物料的破碎机械。包括简单摆动和复杂摆动两种类型。

(1) 简单摆动颚式破碎机

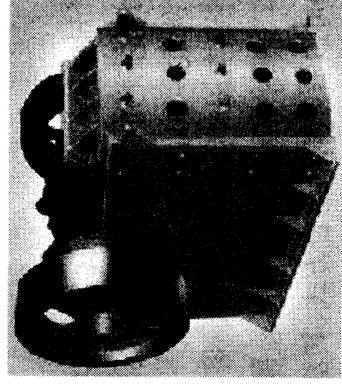
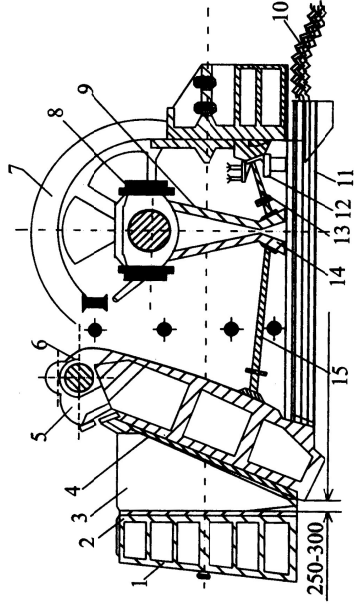


图 3.3 简单摆动颚式破碎机

1. 机架
2. 破碎齿板
3. 侧面衬板
4. 破碎齿板
5. 可动颚板
6. 心轴
7. 飞轮
8. 偏心轴
9. 连杆
10. 弹簧
11. 拉杆
12. 楔块
13. 后推力板
14. 肘板支座
15. 前推力板

第一节 固体废物的破碎

二、破碎机

1 鄂式破碎机

(2) 复杂摆动颚式破碎机

鄂式破碎机具有结构简单、坚固、维护方便、高度小、工作可靠等特点。在用于破碎强度中、高、腐蚀性强的废物及韧性高、腐蚀性强的废物。例如，煤矸石作为沸腾炉燃料，制砖和水泥原料时的破碎等。

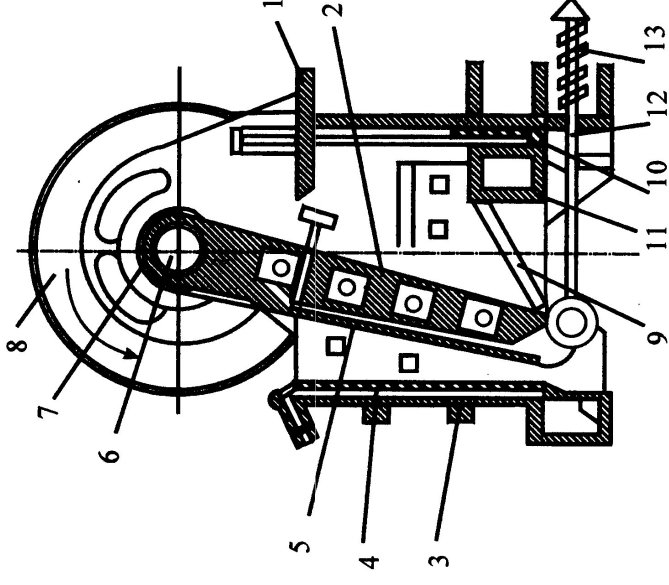


图 3.4 复杂摆动颚式破碎机

- 1. 机架
- 2. 可动颚板
- 3. 固定颚板
- 4、5. 破碎齿板
- 6. 偏心传动轴
- 7. 轴孔
- 8. 飞轮
- 9. 肘板
- 10. 调节楔
- 11. 楔块
- 12. 水平拉杆
- 13. 弹簧

第一节 固体废物的破碎

二、破碎机

2 锤式和冲击式破碎机

(1) 锤式破碎机

锤式破碎机是利用锤头的高速冲击作用，对物料进行中碎和细碎作业的破碎机械。

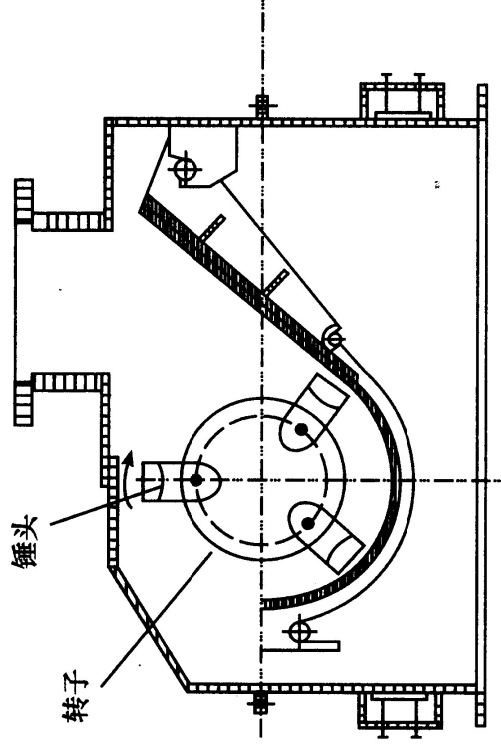


图 3.5 锤式破碎机的工作原理示意图

第一节 固体废物的破碎

二、破碎机

2 锤式和冲击式破碎机

(2) 冲击式破碎机

① 冲击式破碎机的类型 Universa型冲击式破碎机

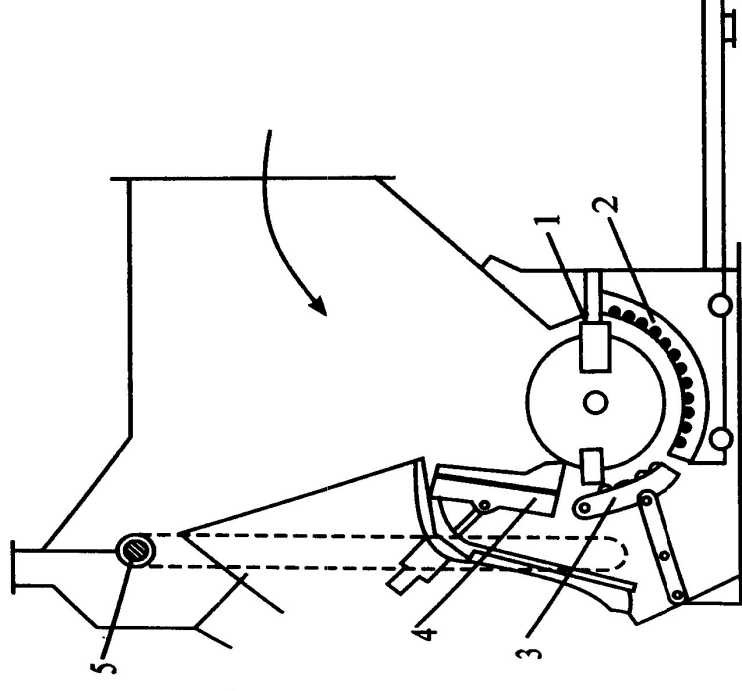


图 3.7 Universa 型冲击式破碎机

- 1. 板锤
- 2. 筛条
- 3. 研磨板
- 4. 冲击板
- 5. 链幕

第一节 固体废物的破碎

二、破碎机

2 锤式和冲击式破碎机

Hazemag型冲击式破碎机：该机主要用于破碎家具、电视机、杂物等生活废物。对于破布、金属丝等废物可通过月牙形、齿状打击刀和冲击板间隙进行挤压和剪切破碎。

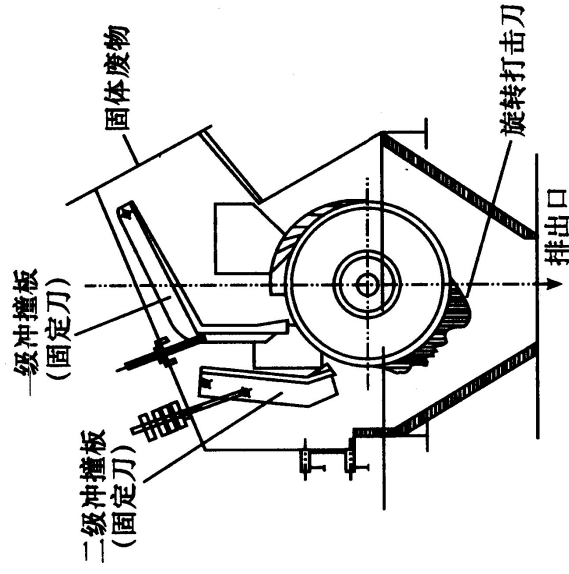


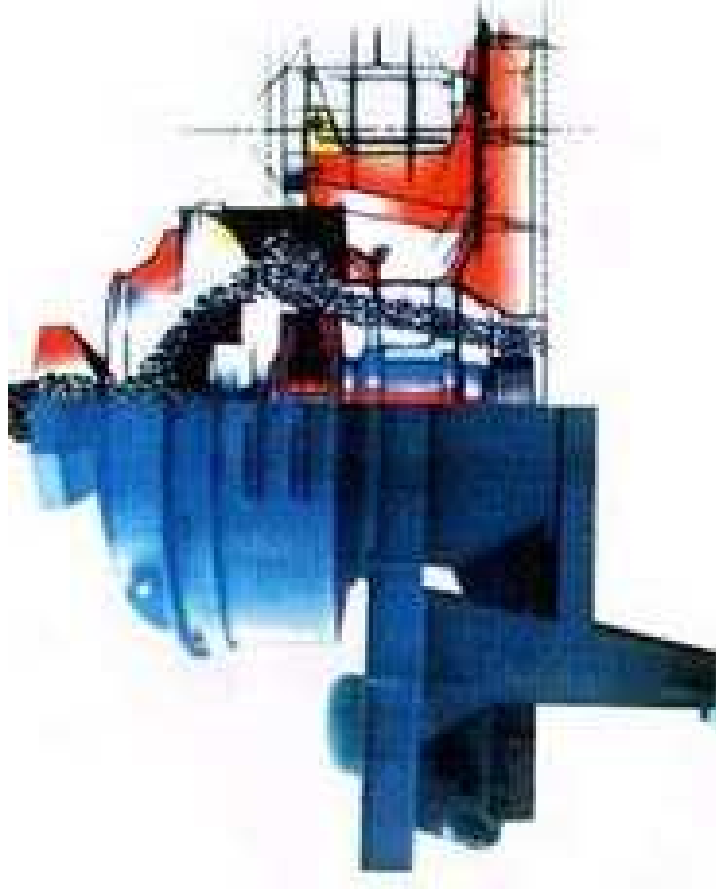
图 3.8 Hazemag 型冲击式破碎机

第一节 固体废物的破碎

二、破碎机

2 锤式和冲击式破碎机

自击式破碎机：特点在于“自击”，废料与废料在破碎腔中自行高速撞击粉碎，并在破碎腔中产生自然堆积形成保护层，保护周护板不受磨损。



第一节 固体废物的破碎

二、破碎机

2 锤式和冲击式破碎机

② 冲击式破碎机的特点和应用

冲击式破碎机具有破碎比大、适应性强、构造简单、外形尺寸小、操作方便、易于维护等特点。

适用于破碎中等硬度、软质、脆性、韧性以及纤维状等多种固体废物。我国在水泥、火力、发电、玻璃、化工、建材、冶金等工业部门广泛应用。

第一节 固体废物的破碎

二、破碎机

3 辊式破碎机

辊式破碎机是利用辊面的摩擦力将物料咬入破碎区，使之承受挤压或破碎的机械。适用于粗碎、中碎或细碎煤炭、石灰石、水泥熟料和长石等硬以下的物料。

(1) 辊式破碎机的特点

辊式破碎机的特点是能耗低、产品过度粉碎程度小，构造简单，工作可靠等。其缺点是占地面积大，破碎比小。

第一节 固体废物的破碎

二、破碎机

3 辊式破碎机

(2) 辊式破碎机的类型

按辊子的特点可分为光辊破碎机和齿辊破碎机两种。光辊破碎机的辊子表面光滑，具挤压破碎兼有研磨作用，用于硬度较大的固体废物的中碎和细碎。齿辊破碎机辊子表面带有齿牙，主要破碎形式是劈碎，用于破碎脆性和含泥粘性废物。

齿辊破碎机按齿辊数目又可分为单齿辊和双齿辊破碎机两种。

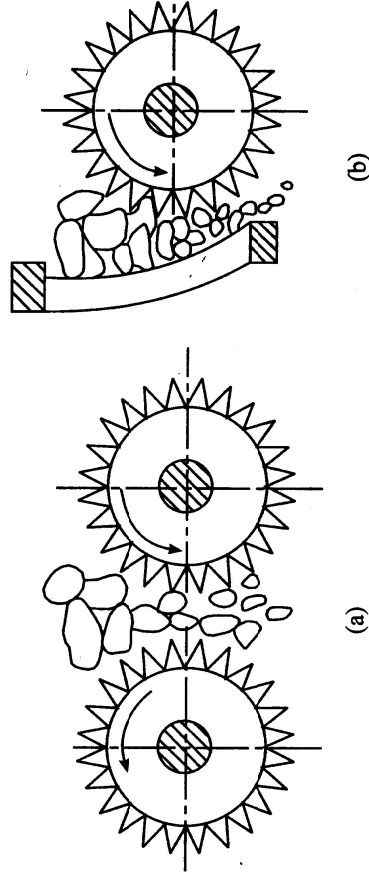


图 3.9 齿辊破碎机工作原理

(a) 双齿辊破碎机 (b) 单齿辊破碎机

第一节 固体废物的破碎

二、破碎机

3 辊式破碎机

① 双齿辊破碎机

② 单齿辊破碎机



第一节 固体废物的破碎

二、破碎机

4 剪切式破碎机

剪切式破碎机是通过固定刀和可动刀（往复式刀或旋转式刀）之间的啮合作用，将固体废物切开或割裂适宜的形状和尺寸，特别适合于破碎低二氧化硅含量的松散物料。

Von Roll型往复剪切式破碎机

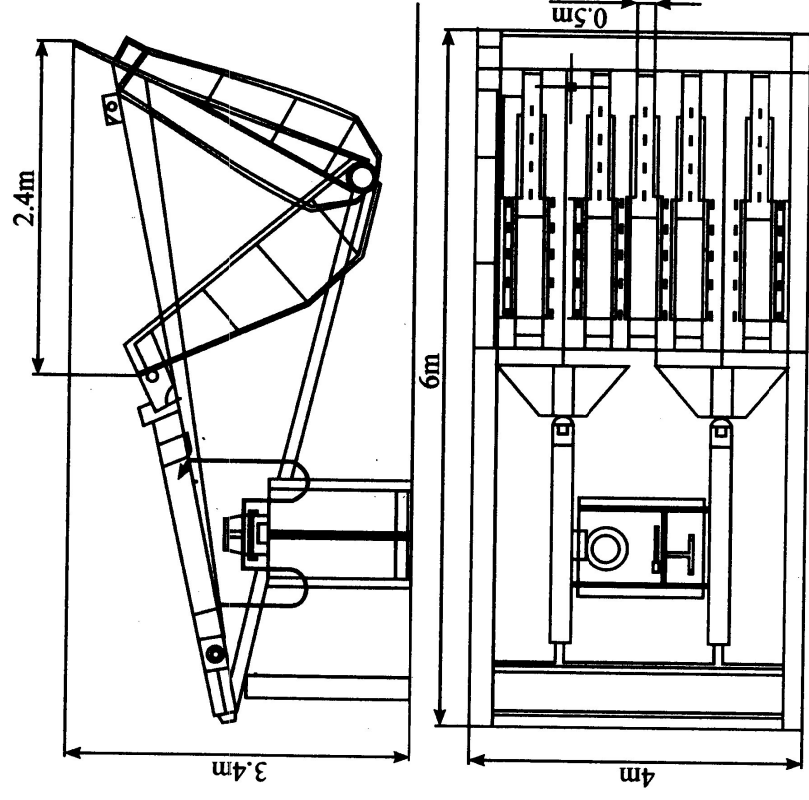


图 3.12 Von Roll 型往复剪切式破碎机

第一节 固体废物的破碎

二、破碎机

5 球磨机

(1) 球磨机的构造和工作原理

球磨机主要由圆柱形筒体、端盖、中空轴颈、轴承和传动大齿圈等部件组成。

(2) 球磨机的应用

磨碎在固体废物处理与利用中占有重要地位。对于矿业废物和工业废物尤其是这样。例如，在煤矸石生产水泥、砖瓦、矸石棉、化肥和提取化工原料等；在硫铁矿烧渣炼铁制造球团，回收有色金属、制造铁粉和化工原料、生产铸石等；电石渣生产水泥、砖瓦、回收化工原料等；钢渣生产水泥、砖瓦、化肥、溶剂等等过程都离不开球磨机对固体废物的磨碎。





第一节 固体废物的破碎

三、低温破碎

1 低温破碎原理和流程

对于常温下难以破碎的固体废物，如汽车轮胎、包覆电线、家用电器等，可利用其低温变脆的性能而有效地破碎，即所谓低温破碎技术。亦可利用不同的物质脆化温度的差异进行选择性破碎。

低温破碎与常温破碎相比，动力消耗可减至1/4以下，噪声降低4dB，振动减轻1/4-1/5。

第一节 固体废物的破碎

三、低温破碎

1 低温破碎原理和流程

将固体废物如钢丝胶管、汽车轮胎、塑料或橡胶包覆电线电缆、家用电器等复合制品，先投入预冷装置，再进入浸没冷却装置，橡胶、塑料等易脆物质迅速脆化，送入高速冲击破碎机破碎，使易脆物质脱落粉碎。破碎产物再进入各种分选设备进行分选。

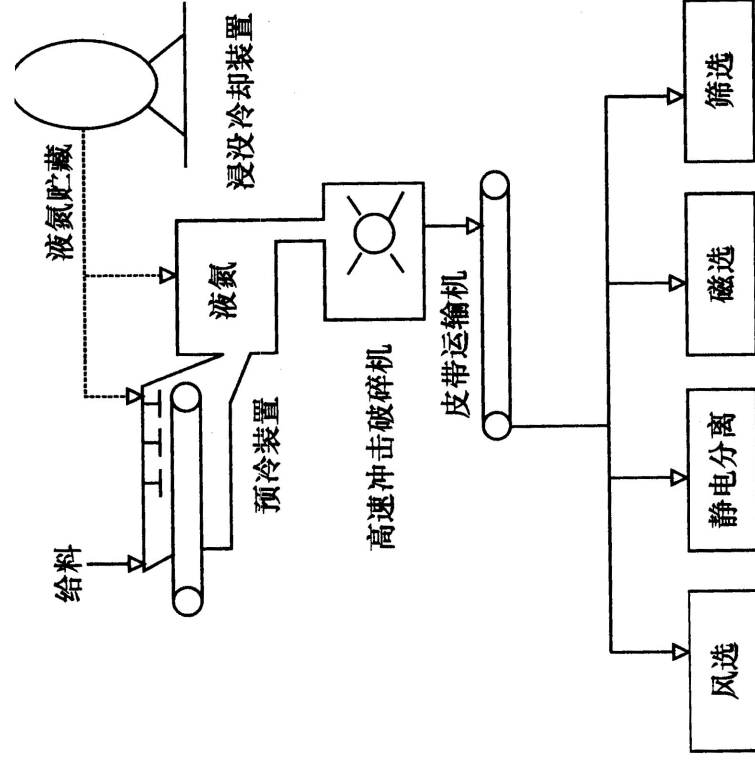


图 3.15 低温破碎工艺流程图

第一节 固体废物的破碎

三、低温破碎

2 低温破碎的应用

(1) 塑料低温破碎

对塑料低温破碎的研究结果表明：①各种塑料的脆化点聚氯乙烯为 $-5-20^{\circ}\text{C}$ 、聚乙烯为 $-95-135^{\circ}\text{C}$ 、聚丙烯为 $0-20^{\circ}\text{C}$ 。②将塑料放在4m长皮带输送机上，在装有300mm厚隔热板的冷却槽内移动。从槽顶喷入液氮，4min后温度降至 -75°C ；62min后温度降至 -167°C 。③采用仅具有拉伸、弯曲、压缩作用力的破碎机时，所需动力比常温破碎要大得多。采用冲击力式破碎机时，则低温破碎所需动力比常温破碎要小得多。

(2) 从有色金属混合物、废轮胎、包覆电线等废物中回收铜、铝及锌的低温破碎

美国某研究所研究结果表明，对25-75mm大小的混合金属用锤碎机低温破碎（ -72°C ，1min）25mm以下产物中可回收97%的铜，100%的铝（不含锌）；25mm以上产物中可回收2.8%的铜，100%的锌（不含铝），说明能进行选择性破碎分离。

第一节 固体废物的破碎

三、低温破碎

2 低温破碎的应用

(3) 汽车轮胎的低温破碎

经皮带输送机1送来的废轮胎采用穿孔机2穿孔后，经喷洒式冷却装置3预冷，再送浸没式冷却装置4冷却。通过辊式破碎机5破碎分离成“橡胶和夹丝布”与“车轮圆缘”两部分。然后送至安有磁选机的皮带输送机6进行磁选。前者经锤碎机7二次破碎后送筛选机8分离不同粒度的产品，送至再生利用工序。

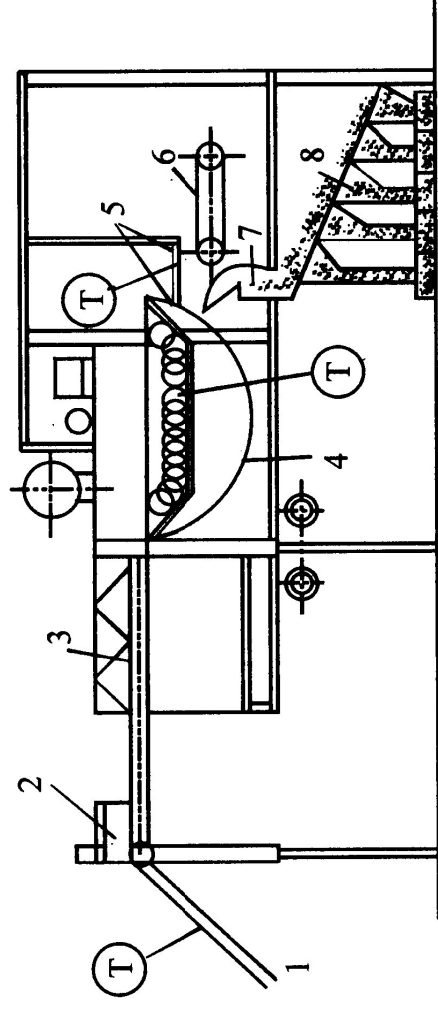


图 3.16 汽车轮胎低温破碎装置

第一节 固体废物的破碎

四、湿式破碎

1 湿式破碎原理和设备

湿式破碎是利用特制的破碎机将投入机内的含纸垃圾和大量水流一起剧烈搅拌和破碎成为浆液的过程，从而可以回收垃圾中的纸纤维。这种使含纸垃圾浆液化的特制破碎机称为**湿式破碎机**。

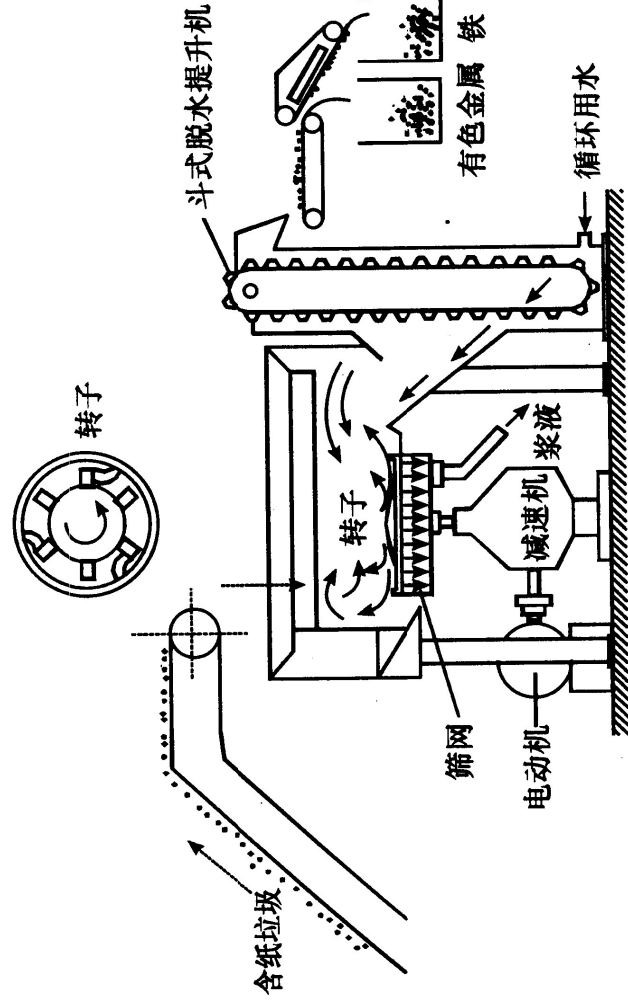


图 3.17 湿式破碎机

第一节 固体废物的破碎

四、湿式破碎

2 湿式破碎的优点

湿式破碎具有以下优点：① 使含纸垃圾变成均质浆状物，可按流体处理；② 不孳生蚊蝇、无恶臭、卫生条件好；③ 噪声低、无发热、爆炸、粉尘等危害；④ 适用于回收垃圾中的纸类、玻璃及金属材料等。

第一节 固体废物的破碎

四、湿式破碎

3 半湿式选择性破碎分选

(1) 半湿式选择性破碎分选原理和设备

半湿式选择性破碎分选是利用城市垃圾中各种不同物质的强度和脆性的差异，在一定湿度下破碎成不同粒度的碎块，然后通过不同筛孔加以分离的过程。由于该过程是在半湿（加少量水）状态下，通过兼有选择性破碎和筛分两种功能的装置中实现的，因此，把这种装置称为半湿式选择性破碎分选机。

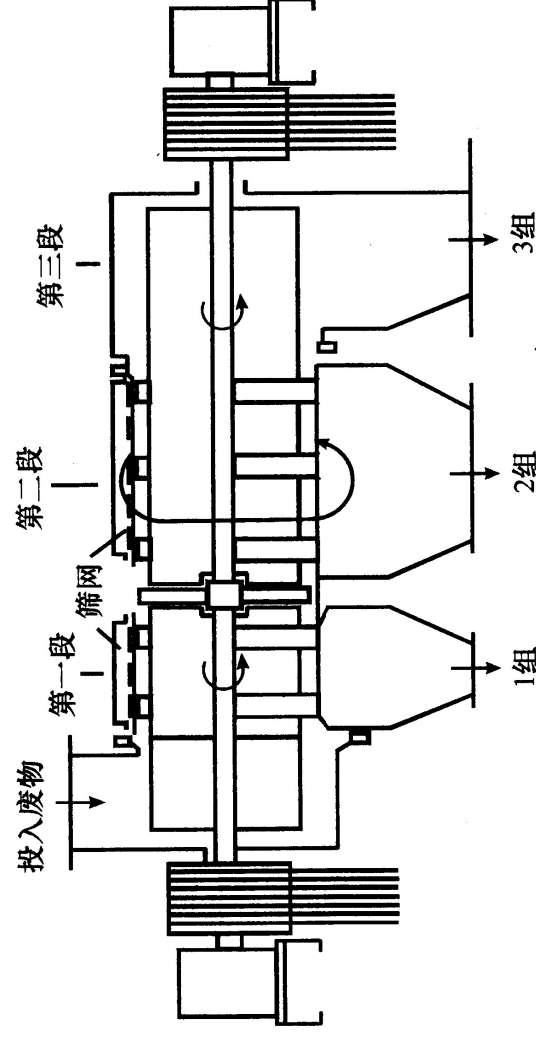


图 3.18 半湿式选择破碎分选机

第一节 固体废物的破碎

四、湿式破碎

3 半湿式选择性破碎分选

(2) 半湿式选择性破碎分选的特点

半湿式选择性破碎分选具有以下特点:

- ① 能使城市垃圾在一台设备中同时进行破碎和分选作业;
- ② 可有效地回收垃圾中的有用物质。从第 I 组产物中可得到纯度为 80% 的堆肥原料—厨房垃圾; 从第 II 组产物中可回收纯度为 85-95% 的纸类; 从第 III 组产物中可得纯度为 95% 的塑料类, 回收废铁纯度达 98%;
- ③ 对进料的适应性好, 易破碎的废物首先破碎并及时排出, 不会产生过粉碎现象。



第二节 固体废物的分选

固体废物的分选简称废物分选，目的是将其中可回收利用的或不利于后续处理、处置工艺要求的物料分离出来。废物分选是根据物质的粒度、密度、磁性、电性、光电性、摩擦性、弹性以及表面润湿性的不同而进行分选的。可分为筛分、重力分选、磁力分选、电力分选、光电分选、摩擦及弹性分选，以及浮选等。

第二节 固体废物的分选

一、筛分

1 筛分基本理论

(1) 筛分的工作原理

筛分是利用筛子将物料中小于筛孔的细粒物料透过筛面，而大于筛孔的粗粒物料留在筛面上，从而使物料分成不同的等级的分选方法。

粗粒物料通过筛面的分离是通过物料和筛面之间适当的相对运动完成的，筛面上的物料层处于松散状态，即按颗粒大小分层，使粗粒位于上层，细粒位于下层的规则排列，细粒到达筛面并通过筛孔。同时，物料和筛面的相对运动还可使堵在筛孔上的颗粒脱离筛孔，有利于细粒透过筛孔。

粒度小于筛孔尺寸 $3/4$ 的颗粒，很容易通过粗粒形成的间隙到达筛面而透过筛，称为“易筛粒”；粒度大于筛孔尺寸 $3/4$ 的颗粒，很难透过粗粒形成的间隙，而且粒度越接近筛孔尺寸就越难透筛，这种颗粒称为“难筛粒”。

筛网的规格“目”，国际上将1in (25.4mm) 长度上的筛孔数称为筛网的目数。

第二节 固体废物的分选

一、筛分

1 筛分基本理论

(2) 筛分效率

筛分效率是指实际得到的筛下产品重量与入筛废物中所含小于筛孔尺寸的细颗粒物重量之比，用百分数表示，即

$$E = \frac{Q_1}{Q} \cdot \frac{\alpha}{100} \times 100\% = \frac{Q_1}{Q} \cdot \alpha \times 10^{-4}\%$$

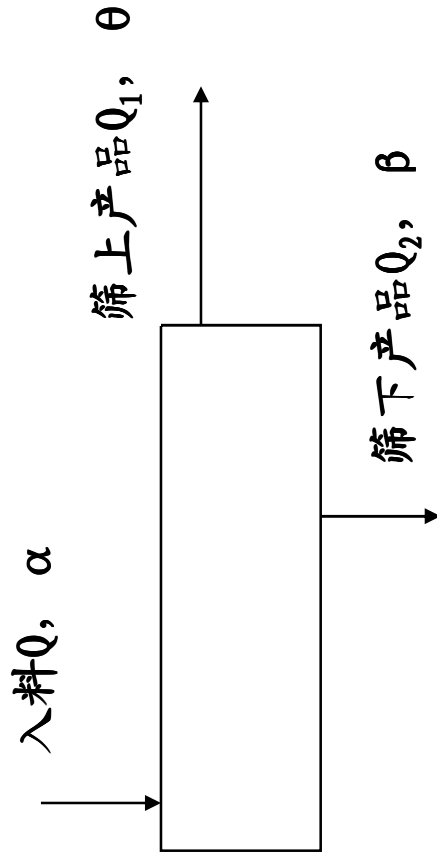
(3-4)

式中： E —筛分效率，%； Q —入筛固体废物重量； Q_1 —筛下产品重量； α —入筛固体废物中小于筛孔的细粒含量，%

第二节 固体废物的分选

一、筛分

1 筛分基本理论



推导得筛分效率的计算公式

$$E = \frac{\alpha - \theta}{\alpha(100 - \theta)} \times 10^4\%$$

若 $\beta \neq 100\%$ ，则

$$E = \frac{\alpha - \theta}{\alpha(\beta - \theta)} \times 10^4\%$$

第二节 固体废物的分选

一、筛分

1 筛分基本理论

(3) 影响筛分效率的因素

表 3.1 影响筛分效率的因素

	影 响 因 素
固体废物性质的影响	粒度组成:废物中“易筛粒”含量越多,筛分效率越高,而粒度接近筛孔尺寸的“难筛粒”越多,筛分效率则越低 含水率和含泥量:废物外表水分会使细粒结团或附着在粗粒上而不易透筛。当筛孔较大,废物含水率较高时,反而造成颗粒活动性的提高,即湿式筛分法的筛分效率较高 废物颗粒形状:球形、立方形,多边形颗粒筛分效率较高;而颗粒呈扁平状或长方块,用方形或圆形筛孔的筛子筛分,其筛分效率低
筛分设备性能的影响	筛面类型:棒条筛面有效面积小,筛分效率低,编织筛网则相反,有效面积大,筛分效率高,冲孔筛面介于两者之间 筛子运动方式:同一种固体废物采用不同类型的筛子进行筛分时,其筛分效率不同,固定筛 50%~60%;转筒筛 60%;摇动筛 70%~80%;振动筛 90%以上 筛面长宽比:一般宽长比为 1:(2.5~3) 筛面倾角:以 15°~25°较适宜
筛分操作条件的影响	在筛分操作中应注意连续均匀给料,使废物沿整个筛面宽度铺成一薄层,既充分利用筛面,又便于细粒透筛,提高筛子的处理能力和筛分效率,并及时清理和维修筛面

第二节 固体废物的分选

一、筛分

2 常见筛分设备

(1) 固定筛

固定筛构造简单，筛面由许多平行排列的筛条组成，可以水平安装或倾斜安装。由于不用动力，设备费用低和维修方便，故在固体废物处理中被广泛应用。缺点是单位面积生产能力低，筛分效率不高，安装时要求有比较高的落差。

第二节 固体废物的分选

一、筛分

2 常见筛分设备

(2) 滚筒筛

滚筒筛也称转筒筛，是用带筛孔的铁板卷成的圆筒形或截头圆锥筒体。为使废物在筒内沿轴线方向前进，

圆柱形筛筒的轴线应倾斜3-5°安装。物料由高端给入，被旋转的筒体带起，当达到一定高度后因重力作用自行落下，如此不断地起落运动，使小于筛孔尺寸的细粒透筛，而筛上产品则逐渐移至筛筒的另一端排出。



第二节 固体废物的分选

一、筛分

2 常见筛分设备

(3) 振动筛

振动筛通过产生振动的振动器，将振动传递给筛箱，筛箱可以自由振动，使颗粒产生近乎垂直于筛面的跳动或作圆形、椭圆形运动。振动筛适用于细粒废物（0.1-15mm）的筛分，也可用于潮湿及黏性废物的筛分。

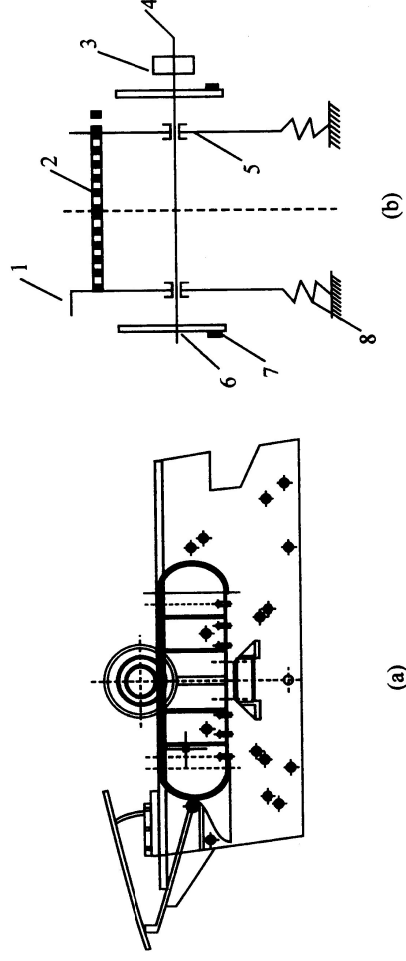
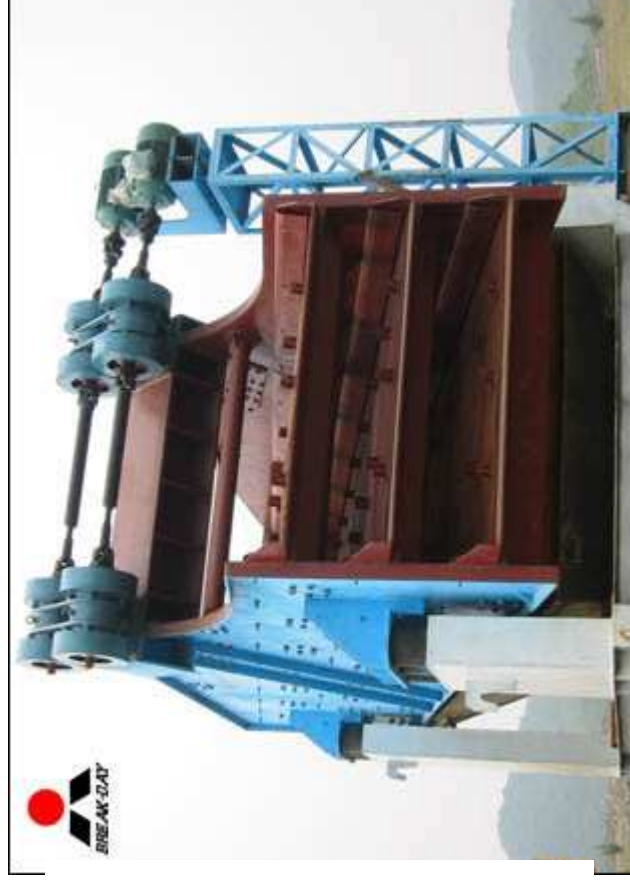


图 3.20 惯性振动筛构造及工作原理示意图

1. 筛箱 2、3. 皮带轮 4. 主轴 5. 轴承 6. 重轮 7. 重块 8. 板簧

第二节 固体废物的分选

一、筛分

2 常见筛分设备

(4) 共振筛

共振筛的特点：处理能力大，筛分效率高；耗电少以及结构紧凑；制造工艺复杂，机体重大，橡胶弹簧老化；应用范围广。

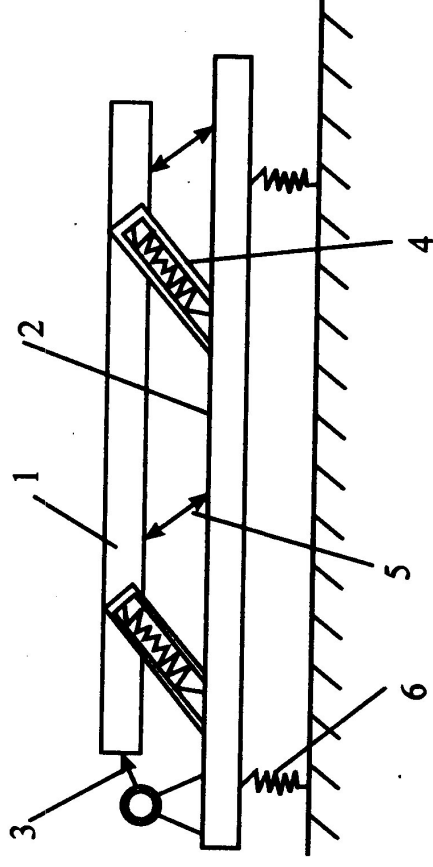


图 3.21 共振筛的原理示意图

1. 上筛箱 2. 下机体 3. 传动装置 4. 共振弹簧
5. 板簧 6. 支承弹簧

第二节 固体废物的分选

二、重力分选

1 重介质分选

(1) 工作原理

重介质分选是依据物料密度与水的密度之差，在重介质中使固体废物分选。固体废物在重介质中分选时，由于物料密度大于水的密度，物料在重介质中下沉，而轻物料则上浮。重介质的密度通常由重介质悬浮液来提供，悬浮液的密度可以通过添加重介质颗粒来调节。

在重介质分选过程中，物料根据其密度在重介质中发生沉降或上浮。重介质的密度通常由重介质悬浮液来提供，悬浮液的密度可以通过添加重介质颗粒来调节。重介质的密度通常由重介质悬浮液来提供，悬浮液的密度可以通过添加重介质颗粒来调节。

第二节 固体废物的分选

二、重力分选

1 重介质分选

(2) 重介质

重介质由高密度的固体颗粒和水构成的固液两相分散体系，它是密度高于水的非均匀介质。高密度固体微粒起着加大介质密度的作用，故成为加重质。

选择的加重质应具有足够高的密度，且在使用过程中不易泥化和氧化，来源丰富易得，便于制备与再生。一般要求加重质的粒度小于200目，能够均匀分散于水中，容积浓度一般为10-15%。

表 3.2 加重质的性质

种类	密度/(g/cm ³)	摩氏硬度	重悬浮液密度/(g/cm ³)	磁性	回收方法
硅铁	6.9	6	3.8	强磁性	磁选
方铅矿	7.5	2.5~2.7	3.3	非磁性	浮选
磁铁矿	5.0	6	2.5	强磁性	磁选
黄铁矿	4.9~5.1	6	2.5	非磁性	浮选
毒砂	5.9~6.2	5.5~6	2.8	非磁性	浮选

第二节 固体废物的分选

二、重力分选

1 重介质分选

(3) 重介质分选机

在鼓形重介质分

选机中，固体废物和重

介质一起由圆筒一端给

入，在向另一端流动过程中，密度大于重介质的颗粒沉于槽底，由扬板提升落入溜槽内，排出槽外成为重产物，密度小于重介质的颗粒水重介质流从圆筒溢流口排出生成为轻产物。

鼓形重介质分选机适用于分离粒度较粗（40-60mm）的固体废物。具有结构简单，紧凑，便于操作，分选机内密度分布均匀，动力消耗低等优点。缺点是轻重产物量调节不方便。

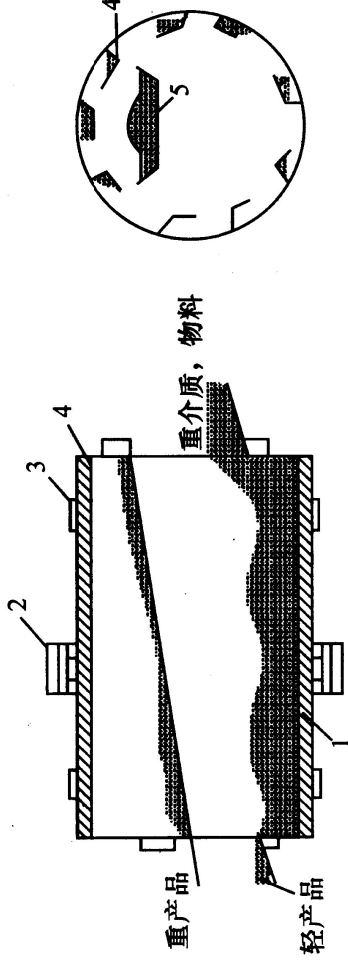


图 3.22 鼓形重介质分选机结构和原理示意图

1. 圆筒形转鼓 2. 大齿轮 3. 辊轮 4. 扬板 5. 溜槽

第二节 固体废物的分选

二、重力分选

2 跳汰分选

(1) 工作原理

跳汰分选是在垂直变速介质中按密度分选固体废物的一种方法。介质可以是水或空气，分别称为水力跳汰和风力跳汰。用于固体废物分选的是水力跳汰。

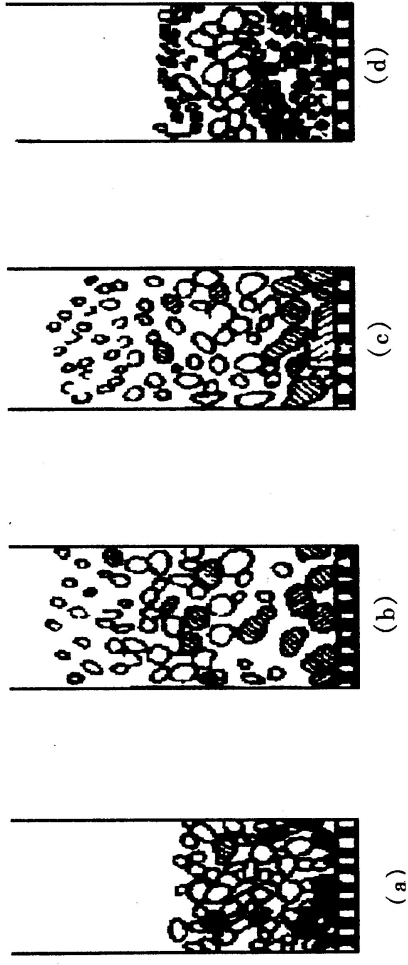


图 3-18 颗粒在跳汰时的分层过程

(a) 分层前颗粒混杂堆积; (b) 上升水流将床层抬起; (c) 颗粒在水流中沉降分层;

(d) 下降水流, 床层紧密, 重颗粒进入底层

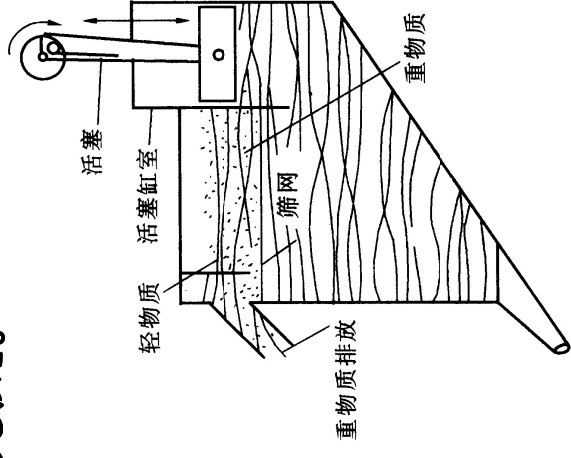


图 3-19 跳汰分选装置

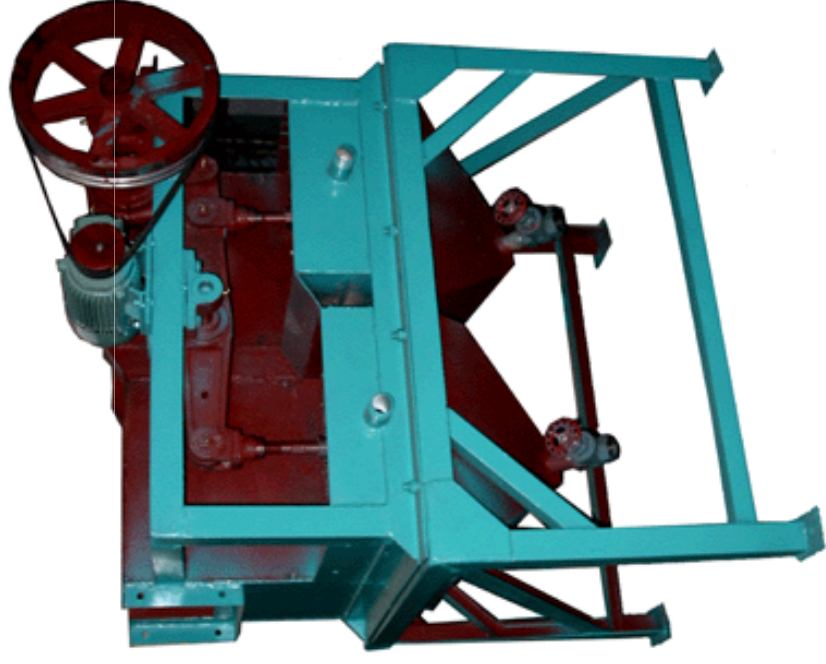
第二节 固体废物的分选

二、重力分选

2 跳汰分选

(2) 跳汰分选设备

按推动水流运动方式，分为隔膜跳汰机和无活塞跳汰机两种。隔膜跳汰机是利用偏心连杆机构带动橡胶隔膜作往复运动，借以推动水流在跳汰室内作脉冲运动，无活塞跳汰机采用压缩空气来推动水流运动。



第二节 固体废物的分选

二、重力分选

3 风力分选

风力分选简称**风选**，又称为气流分选，是以空气为分选介质，将轻物料从较重物料中分离出来的一种方法。分选实际上的两个分选过程：分离出具有低密度、空气阻力大的轻部分（提取物）和具有高密度、空气阻力小的重部分（排出物）；进一步将轻颗粒从气流中分离出来。后一步常由旋流分离器完成，与除尘原理相似。

第二节 固体废物的分选

二、重力分选

3 风力分选

(1) 风力分选的理论基础

颗粒在运动中受到的空气阻力

$$R = \psi d^2 v^2 \rho \quad (3-9)$$

式中： d —颗粒的直径； v —颗粒的下降速度； ρ —空气密度； ψ —阻力系数，是雷诺数 ($Re = \rho v d / \mu$) 和颗粒形状的函数。

重力 (Stokes公式)

$$G_0 = \frac{\pi}{6} d^3 (\rho_s - \rho) \approx \frac{\pi}{6} d^3 \rho_s \quad (3-10)$$

式中： ρ_s —颗粒的密度。

固体废物颗粒刚开始沉降时， $v=0$ ， dv/dt 最大；随着时间的延长， v 逐渐增大，导致 dv/dt 逐渐减小。当 $dv/dt=0$ 时，沉降速度达到最大，固体废物颗粒在重力和空气阻力的联合作用下达到动态平衡而作等速沉降运动，此时的下降速度称为沉降末速。由上两式可得，颗粒在空气中的沉降末速为

第二节 固体废物的分选

二、重力分选

3 风力分选

$$v_0 = \sqrt{\frac{\pi d \rho_s g}{6 \psi \rho}} \quad (3-11)$$

当颗粒粒度一定时，密度大的颗粒沉降末速大；当颗粒密度相同时，直径大的颗粒沉降末速大。

由于颗粒的沉降末速同时与颗粒的密度、粒度及形状有关，因而在同一介质中，密度、粒度和形状不同的颗粒在特定的条件下，可以具有相同的沉降速度。这样的颗粒称为等降颗粒。等降颗粒中，密度小的颗粒粒度与密度大的颗粒粒度之比，称为等降比，即

$$e_0 = \frac{d_{r1}}{d_{r2}} > 1 \quad (3-12)$$

第二节 固体废物的分选

二、重力分选

3 风力分选

沉降比越大，越易进行风力分选。

两颗粒等降，沉降末速相等，根据（3-11）和（3-12）可得

$$e_0 = \frac{d_1}{d_2} = \frac{\psi_1 \rho_{s2}}{\psi_2 \rho_{s1}} \quad (3-13)$$

该式称为自由沉降等降比的通式。从上式可知，等降比随两颗粒密度的增大而增大，而且还是阻力系数的函数。为提高分选效率，在分选前将废物进行分级，或将废物破碎使粒度均匀后按密度差异进行分选效率更高。

第二节 固体废物的分选

二、重力分选

3 风力分选

当存在上升气流时，颗粒的沉降速度等于颗粒对介质的相对速度和上升气流速度之差，即

$$v = v_0 - u_a \quad (3-14)$$

此时沉降末速更小，故上升气流可以缩短颗粒达到沉降末速的时间和距离。通过控制上升气流速度，控制不同密度颗粒的运动状态，使有的固体颗粒上浮，有的下沉，从而将这些不同密度的固体颗粒加以分离。

使用上升气流时，若 $v_0 > u_a$ ，颗粒向下作沉降运动； $v_0 = u_a$ ，颗粒作悬浮运动； $v_0 < u_a$ ，颗粒向上作漂浮运动。

Daillaville提出了立式气流分选机选用的气流公式

$$v = \frac{13300\rho}{\rho + 1} d^{0.57} \quad (3-15)$$

第二节 固体废物的分选

二、重力分选

3 风力分选

在风力分选过程中，还常应用水平气流。此时，颗粒同时受到以下两个力的作用：水平方向，空气的动压力

$$R = \psi d^2 u^2 \rho \quad (3-16)$$

垂直方向，颗粒本身的重力

$$G = mg = \frac{\pi d^3 \rho_s}{6} g \quad (3-17)$$

颗粒的运动方向将和两力的合力方向一致，并且由合力与水平夹角的正切值来确定

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{G}{R} = \frac{\pi d^3 \rho_s g}{6 \psi d^2 u^2 \rho} = \frac{\pi d \rho_s g}{6 \psi u^2 \rho} \quad (3-18)$$

第二节 固体废物的分选

二、重力分选

3 风力分选

由上式可知，当水平气流速度一定，颗粒粒度相同时，密度大的颗粒沿与水平夹角较大的方向运动；密度较小的颗粒则沿夹角较小的方向运动，从而达到按密度差异分选的目的。

对水平式气流分选机，Dallaville提出的气流速度确定公式

$$v = \frac{6000\rho}{\rho+1} d^{0.398} \quad (3-19)$$

第二节 固体废物的分选

二、重力分选

3 风力分选

(2) 风选设备与应用

按气流吹入分选设备内的方向不同，风选设备可分为两种类型：水平气流风选机（卧式风力分选机）和上升气流风选机（立式风力分选机）。

① 卧式风力分选机

卧式风力分选机构造简单，维修方便，但分选精度不高。常与破碎、筛分、立式风力分选机组成联合处理工艺。

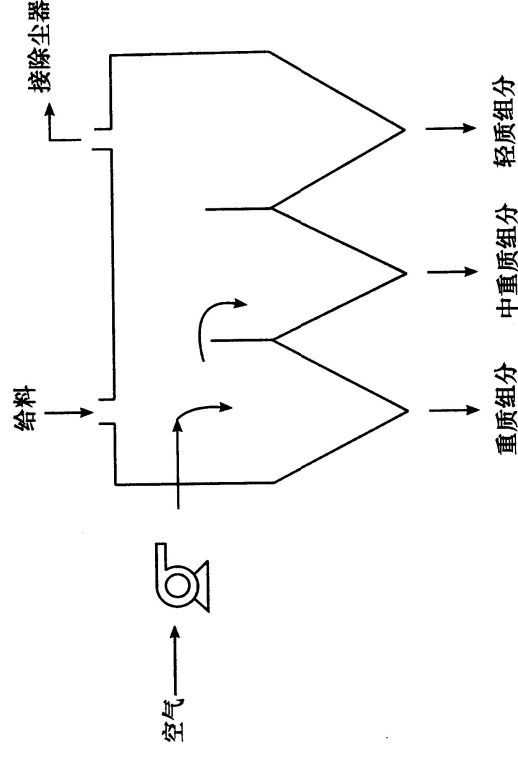
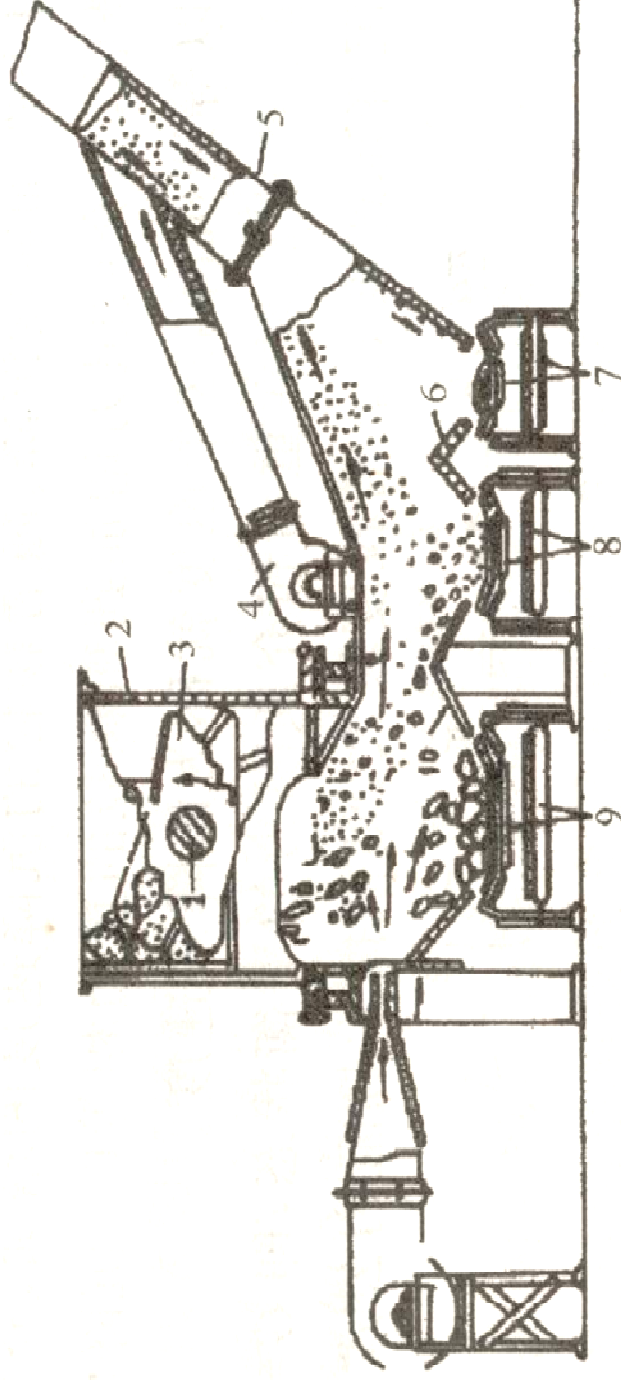


图 3.28 卧式风力分选机工作原理示意图

第二节 固体废物的分选

二、重力分选

3 风力分选



美国水平气流风力分选机分离系统

该系统设有粉碎机2、其破碎转子3由轴1带动旋转。破碎后的垃圾落入气流工作室内。水平气流使金属等重物料带分别落入9、8、7三条输送带带上。6、10为导料板，用以防止垃圾掉到输送带之间。废纸、织物、塑料薄膜及细灰粒等被气流带5，并在风机4产生的气流推动下带入其他处理装置中。此系统简单、紧凑，工作室内没有活动部件，但却有较高的分选效率。

第二节 固体废物的分选

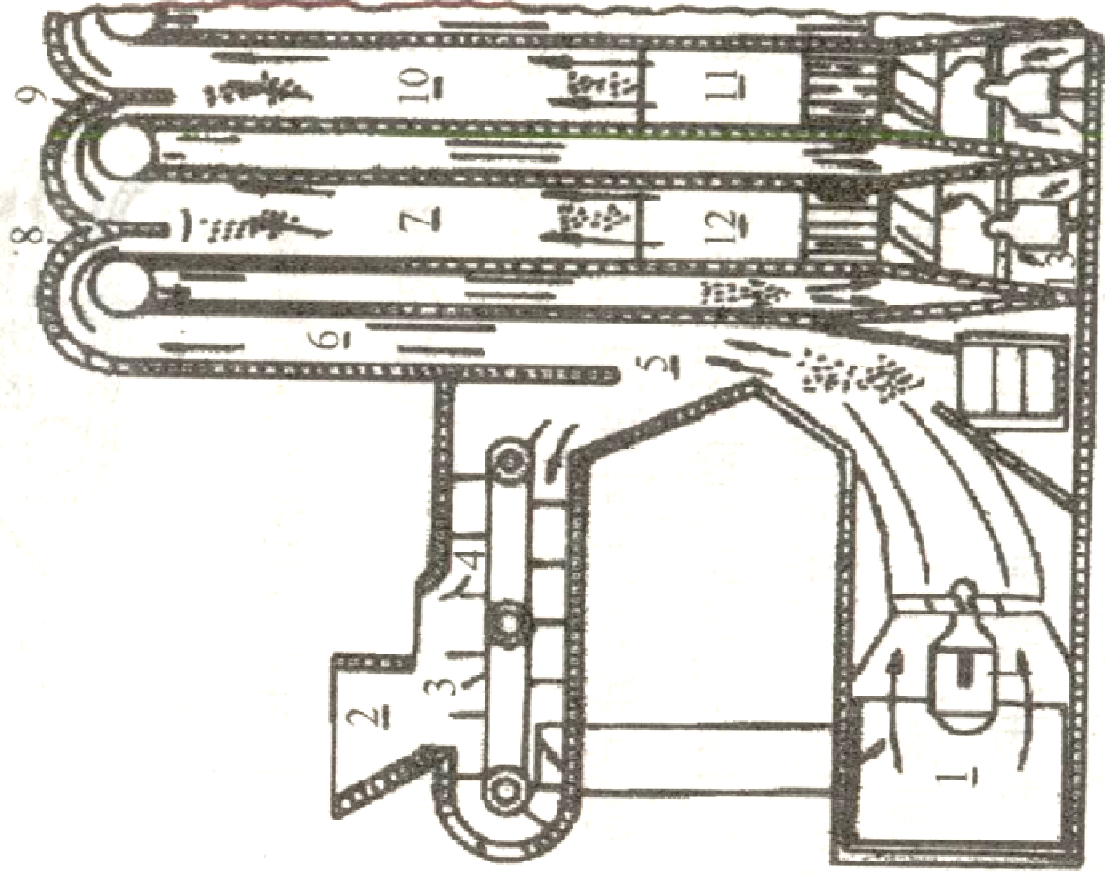
二、重力分选

3 风力分选

② 立式风力分选机

立式风力分选机具有分选精度高的特点。

左图为立式多段垃圾投入风力分选机。在该分选机中，垃圾投入料斗2后，再由带叶片4的输送机3投入垂直分离室5。由风机1产生的气流将轻质物料升起，并进入减缩通道6。垃圾从窄颈部8入第一分离柱7，利用风机13由下面生成的上升气流进行轻质物料的分离。在分离柱7中轻质再被托起，经缩颈部9进入第二分离柱10，进行第二次分离。重质组则经栅格12、11落到集料斗中，由输送机输出。分离的数量可根据分离器和其他立式分离筒而定。这种分离器和其他立式分离筒相比，不仅效率高，且操作最为简便。



第二节 固体废物的分选

二、重力分选

3 风力分选

因管壁附近与管中心流速不同而降低立式风力分选机的分选精度，故现多采用立式Z形风力分选机。该风选机由于曲折管壁下落的废物可受到来自下方的高速气流的顶吹，不仅避免了管内风速差异的不利影响，同时可以使结块垃圾受到曲折处高速气流的作用而被吹散，故能提高分选精度。Z形风道倾角为60度，每段长度为280mm。

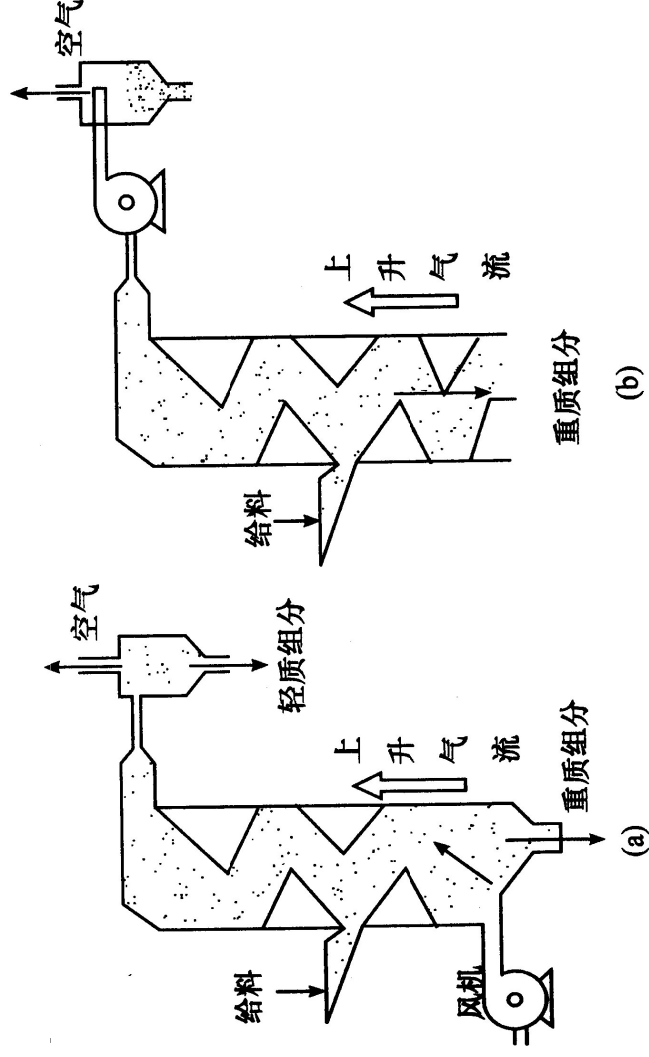


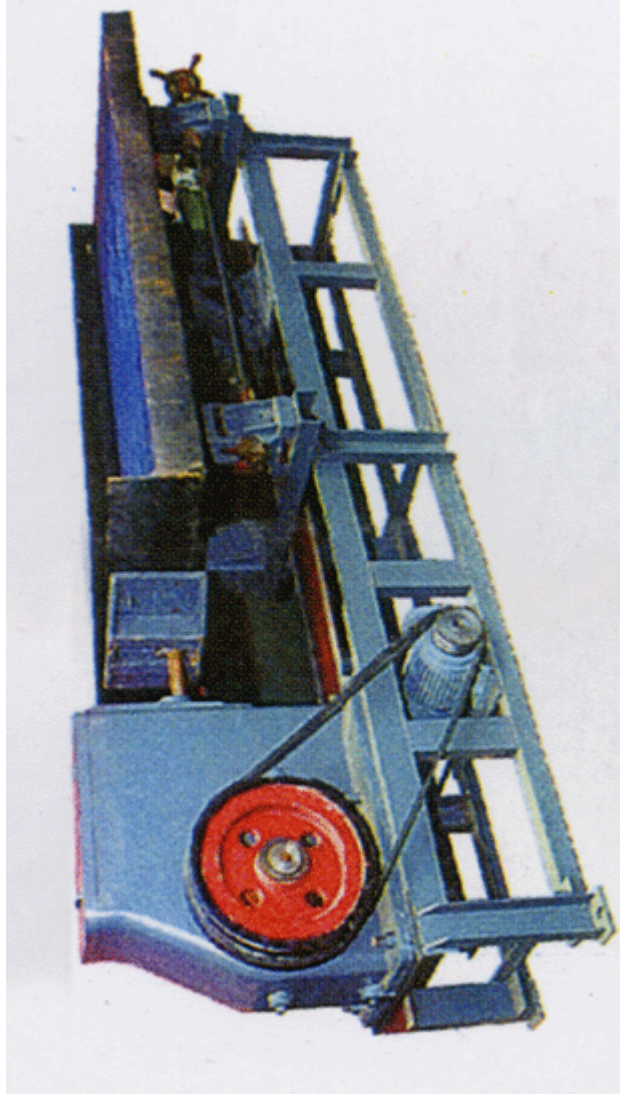
图 3.27 立式 Z 字形风力分选机工作原理示意图

第二节 固体废物的分选

二、重力分选

4 摇床分选

摇床分选是在一个倾斜的床面上，借助床面的不对称往复运动和薄层斜面水流的综合作用，使细粒固体废物按密度差异在床面上呈扇形分布而进行分选的一种方法。



第二节 固体废物的分选

二、重力分选

4 摇床分选

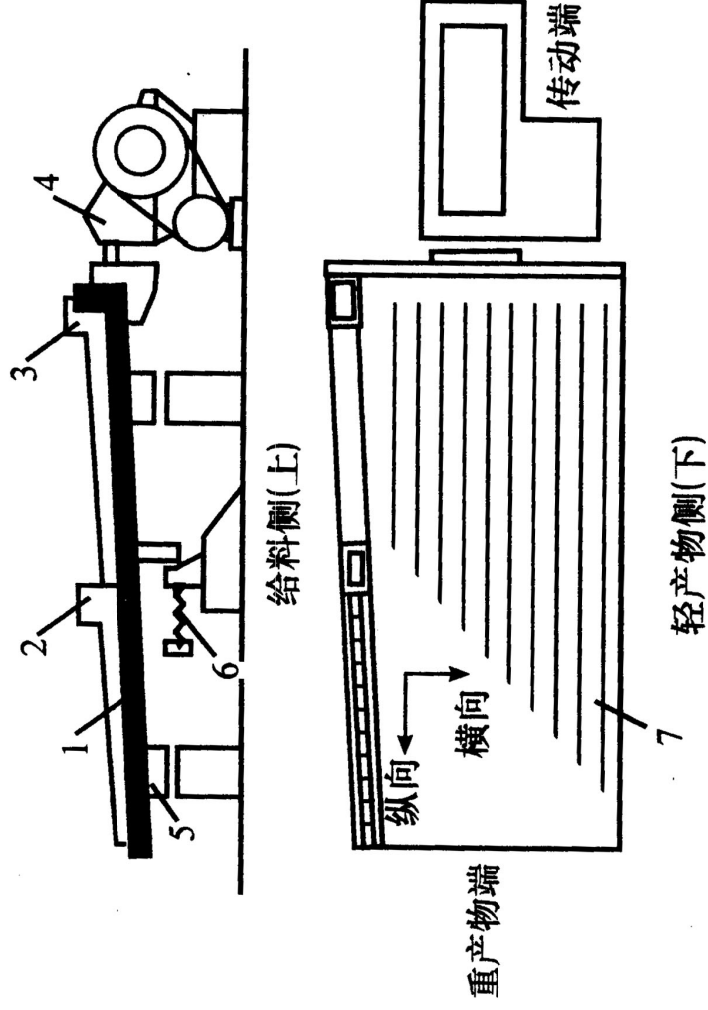


图 3.30 摇床结构示意图

1. 床面
2. 给水槽
3. 床头
4. 床条
5. 滑动支承
6. 弹簧
7. 床条

第二节 固体废物分选

二、重力分选

4 摇床分选

摇床分选过程是由给料槽给入冲流水，废物层生纵向运动，床面运动以及（或）颗粒的摩擦颗粒的复斜倾向给入生层。运动不同，密度因此颗粒在床面上运动的方向达到分选的目的。床面运动及颗粒的复斜倾向给入生层。运动不同，密度因此颗粒在床面上运动的方向达到分选的目的。

在摇床分选过程中，物料在床面上运动，及颗粒的复斜倾向给入生层。运动不同，密度因此颗粒在床面上运动的方向达到分选的目的。床面运动及颗粒的复斜倾向给入生层。运动不同，密度因此颗粒在床面上运动的方向达到分选的目的。

分选的结果是粗而重的颗粒，其次是细而轻的颗粒，再次是粗而重的颗粒，再次是细而轻的颗粒。

第二节 固体废物的分选

二、重力分选

4 摇床分选

摇床分选的特点:

- ① 床面的强烈摇动使松散分层和迁移分离得到加强，分选过程中析离分层占主导，使其按密度分选更加完善；
- ② 摇床分选是斜面薄层水流分选的一种，因此，等降颗粒可因移动速度的不同而达到按密度分选；
- ③ 不同性质的颗粒的分离，不单纯取决于纵向和横向的移动速度，而主要取决于它们的合速度偏离摇动方向的角度。

第二节 固体废物的分选

三、磁力分选

1 磁选

(1) 磁选的工作原理

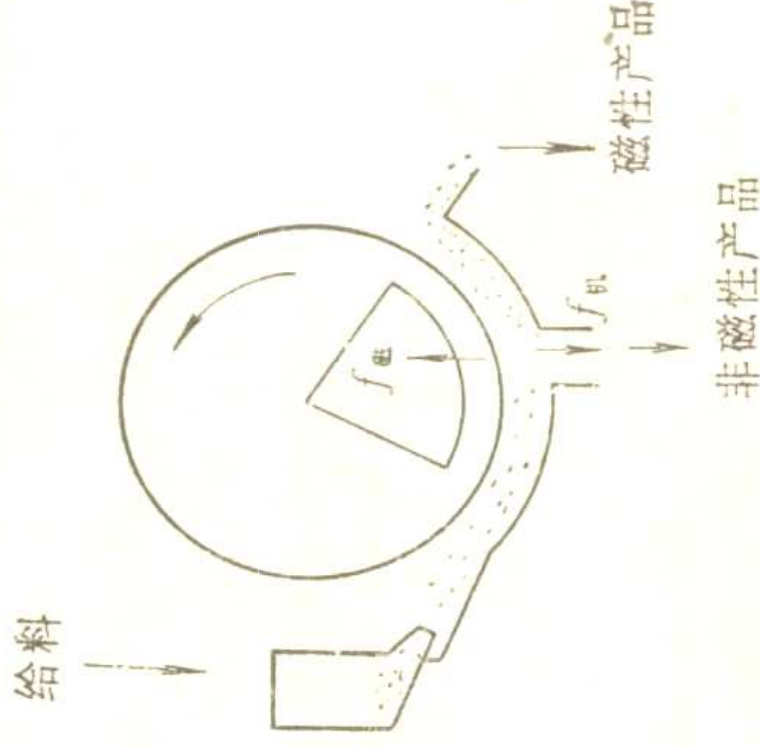
磁选是利用固体废物中各种物质的磁性差异在不均匀磁场中进行分选的一种处理方法。

固体废物颗粒通过磁选机的磁场时受到磁力和机械力（重力、摩擦力、流动阻力、静电力等）作用。由于作用在磁性颗粒（ $f_{磁} > f_{机}$ ）与非磁性颗粒（ $f_{磁} < f_{机}$ ）的合力不同，使它们的运动轨迹也不同，从而实现分选。

磁性颗粒分离的必要条件： $f_{磁}$

$> f_{机}$ 。

磁选只能在非均匀磁场中实现。



第二节 固体废物的分选

三、磁力分选

1 磁选

(2) 物质磁性的分类

据固废比磁化系数 x_0 的大小，可将其分为：

强磁性物质： $(x_0 = 7.5-38) \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{kg}$ ，可在弱磁场磁选机中分离出这类物质；

弱磁性物质： $(x_0 = 0.19-7.5) \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{kg}$ ，可在强磁场磁选机中分离出这类物质；

非磁性物质： $(x_0 < 0.19) \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{kg}$ ，在磁选机上与磁选物质分离。

第二节 固体废物的分选

三、磁力分选

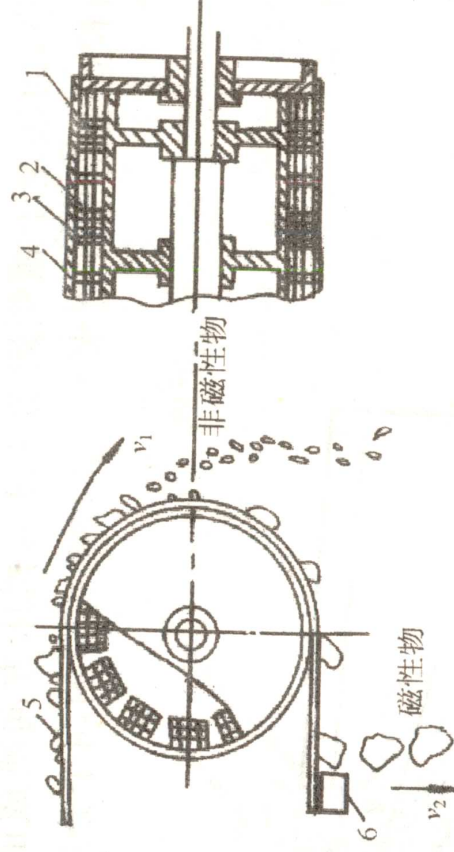
1 磁选

(3) 磁选设备

① 磁力滚筒

磁力滚筒又称磁滑轮，有永磁（费用低）和电磁（磁力可调）两种。应用较多的是永磁滚筒。该设备的主要组成部分是一个回转的多极磁系，和套在磁系外面的用不锈钢或铜、铝等非导磁材料制的圆筒。

固体废物或城市垃圾的破碎设备或焚烧炉前，除去废物中的铁器，防止损坏破碎设备或焚烧炉。



第二节 固体废物的分选

三、磁力分选

1 磁选

② 湿式CTN型永磁圆筒式磁选机

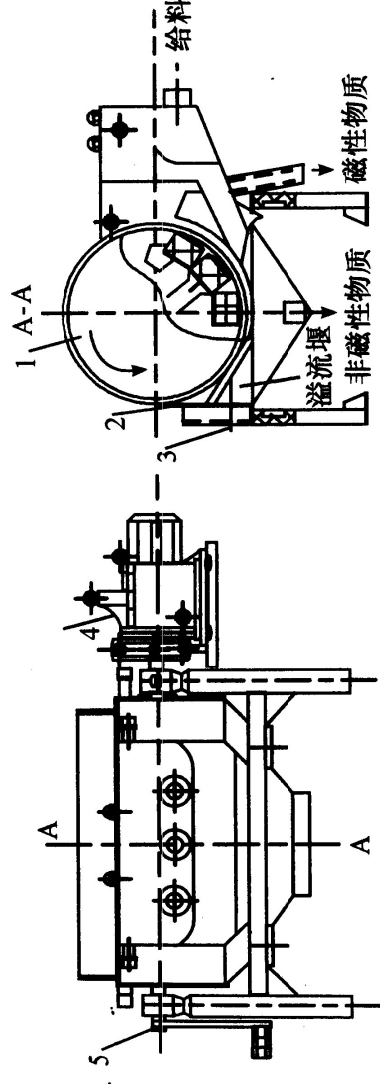


图 3.36 CTN 型永磁圆筒式磁选机

1. 圆筒 2. 槽体 3. 机架 4. 传动部分 5. 磁偏角调整装置

该设备适用于粒度小于0.6mm强磁性颗粒的回收及从钢铁冶炼排出的含铁沉淀和氧化铁中回收铁，以及回收重介质分选产品中的加重质。

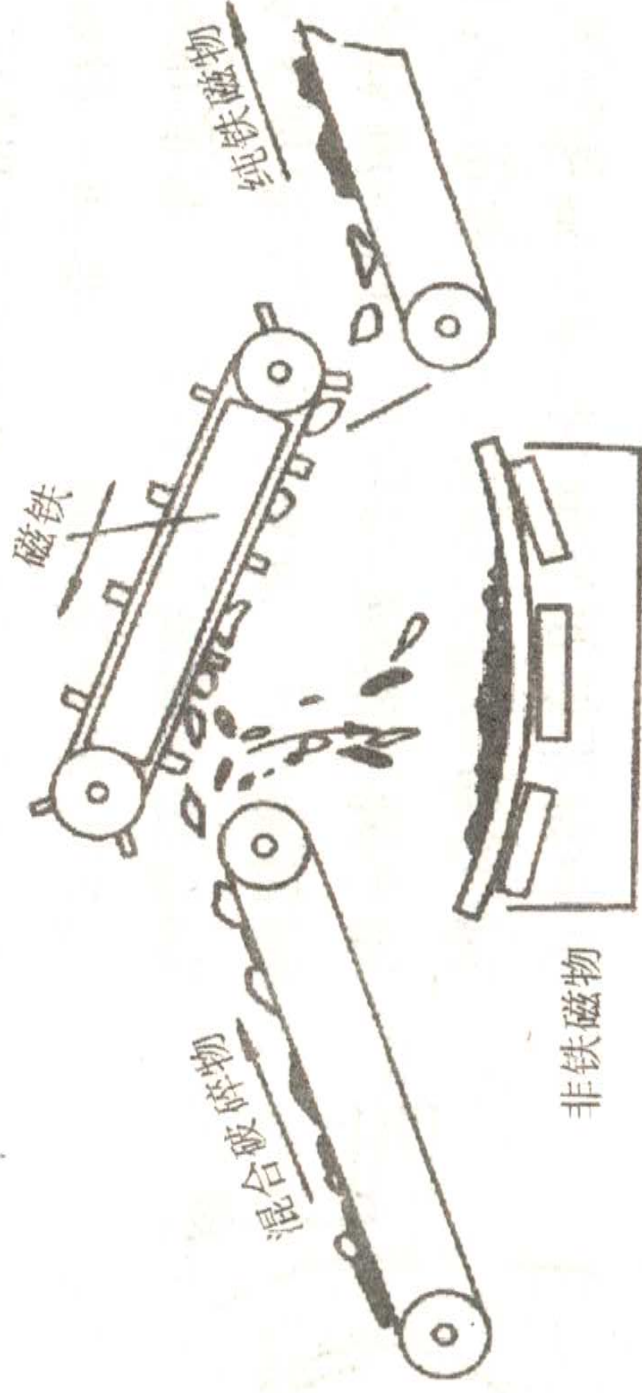
第二节 固体废物的分选

三、磁力分选

1 磁选

③ 悬吊磁铁器

悬吊磁铁器主要用来去除城市垃圾中的铁器，保护破碎设备及其它设备免受损坏。悬吊磁铁器有一般除铁器和带式除铁器两种。



第二节 固体废物的分选

三、磁力分选

2 磁流体分选

(1) 分选原理

磁流体分选是利用磁流体作为“加重”介质，在磁场或各磁场的联合和密度分离。当异质、导电性、磁性的各组分，使同组或不同组磁性物质的磁性差异地表现出来。当异质、导电性、磁性的各组分，使同组或不同组磁性物质的磁性差异地表现出来。当异质、导电性、磁性的各组分，使同组或不同组磁性物质的磁性差异地表现出来。

磁流体是指某种能够在磁场或电场和磁场联合作用下磁化，呈分散液（强电解质溶液和铁磁性胶体的悬浮液）。

第二节 固体废物分选

三、磁力分选

2 磁流体分选

(2) 分类

磁流体分选分为磁流体动力分选和磁流体静力分选两种。

A、磁流体动力分选 (MHDS)：在磁场 (均匀磁场或非均匀磁场) 与电场的联合作用下，以强电解质溶液为分选介质，按固体废物中各组分的密度、比磁化率和电导率的差异使不同组分分离。多在固体废物组分电导率差使采用。

优点：电解质溶液价廉、分选设备简单、处理能力大；缺点：分离精度低。

B、磁流体静力分选 (MHSS)：在非均匀磁场中，以顺磁性溶液和铁磁性胶体悬浮液为分选介质，按固体废物中各组分的密度、比磁化率和电导率的差异使不同组分分离。多要求在分离精度高时采用。由于不加电场，不存在电场和磁场联合作用产生的特性涡流，故称为重力分选。

优点：介质粘度小、分离精度高；缺点：分选设备较复杂、介质价格高，回收困难，处理能力较小。

第二节 固体废物的分选

三、磁力分选

2 磁流体分选

(3) 分选介质

介质要求：磁化率高、密度大、粘度低、稳定性好、无毒、无刺激性、无色透明、价廉易得

顺磁性盐溶液——Mn、Fe、Ni、Co盐的水溶液，30余种；介质粘度低、无毒。

铁磁性胶粒悬浮液——多用超细粒磁铁矿胶粒作分散质，用油酸、煤油等非极性液体介质，并加表面活性剂为分散剂调制而成；介质粘度高、稳定性差、回收再生难。

第二节 固体废物的分选

三、磁力分选

2 磁流体分选

(4) 磁流体分选设备及应用

这种分选槽使用的分选介质是油基或水基磁流体。它可用于汽车的废金属块的回收，低温破碎物料的分选和从垃圾中回收金属碎块。

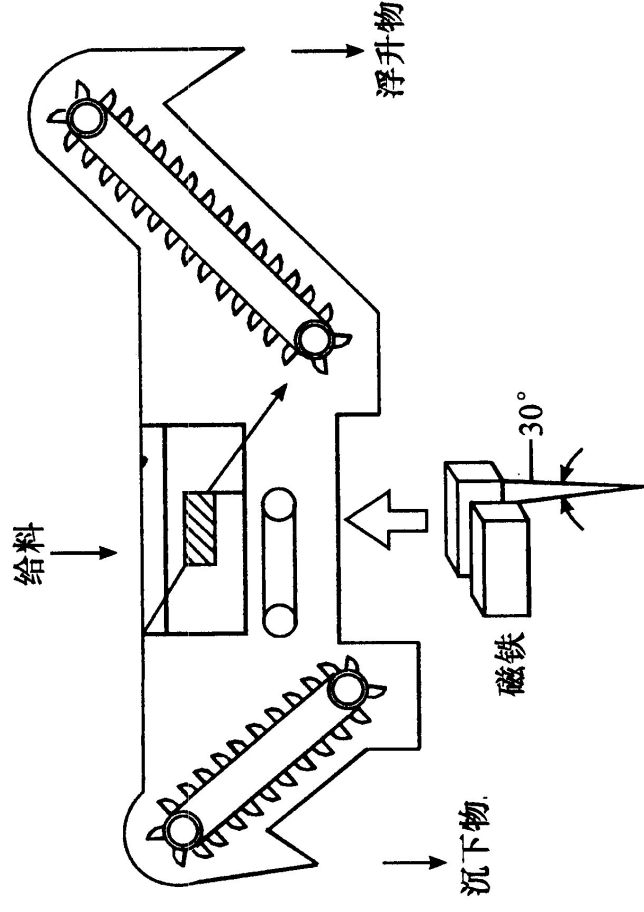


图 3.38 磁流体分选槽示意图

第二节 固体废物的分选

四、电力分选

电力分选简称电选，是利用固体废物中各种组分在高压电场中电性的差异实现分选的一种方法。

(1) 工作原理

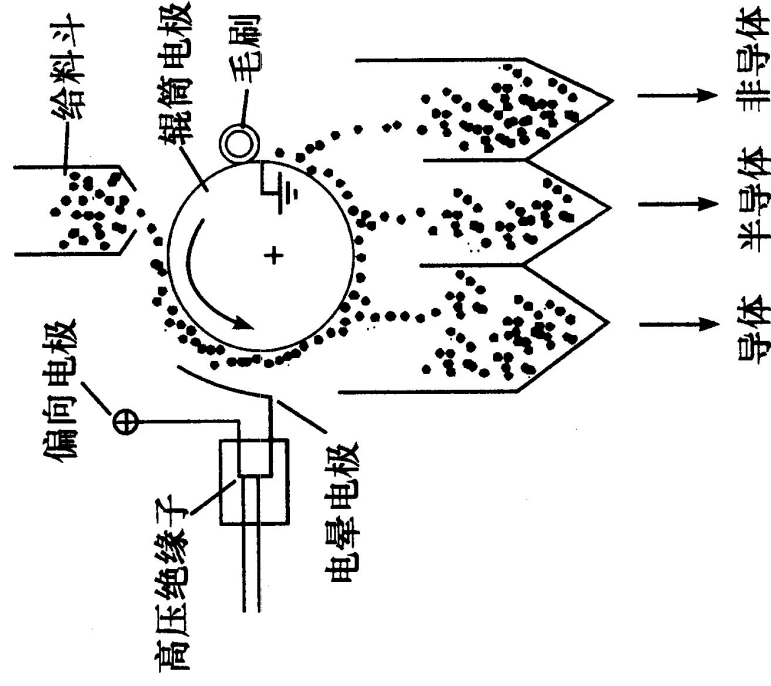


图 3.39 电选分离过程示意图

第二节 固体废物的分选

四、电力分选

(2) 电选设备

① 辊筒式静电分选机

该装置用于分选玻璃和铝。

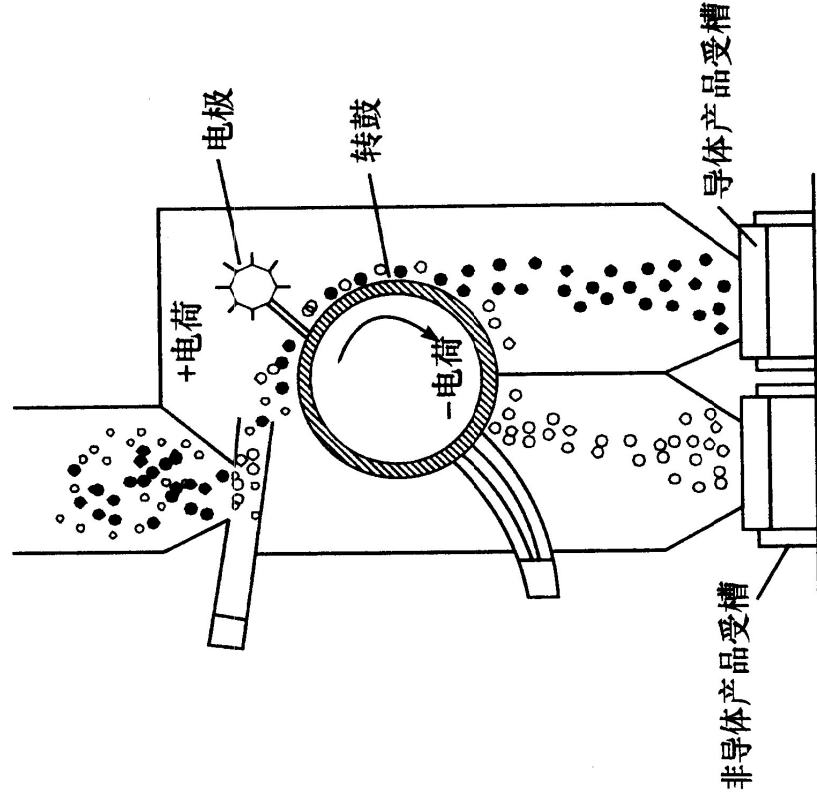


图 3.40 静电鼓式分选过程示意图

第二节 固体废物的分选

四、电力分选

② YD—4型高压电选机

具较宽的电晕电场区，特殊的下料装置和防积灰漏电措施，整机封闭性好，结构合理，处理能力大、效率高，可作粉煤灰专用设备，实现碳灰分离。

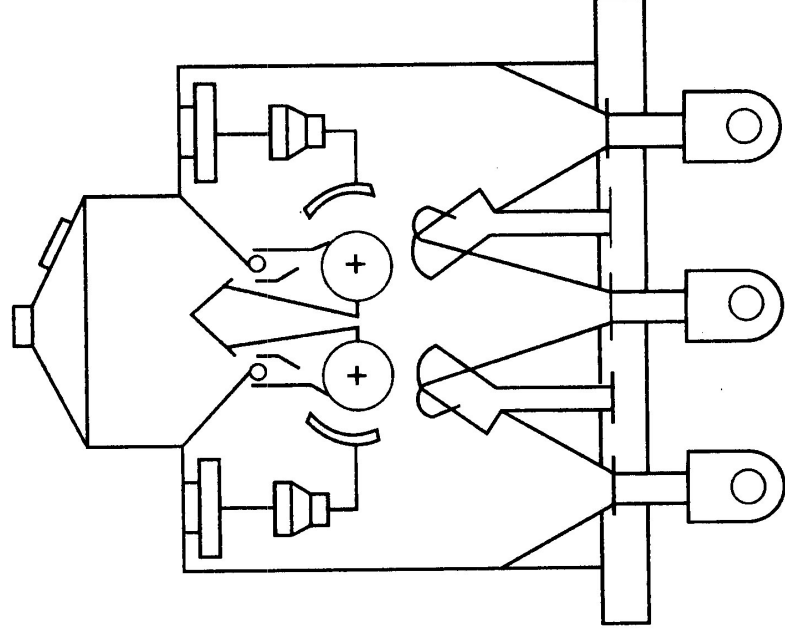


图 3.41 YD-4 型高压电选机结构示意图



第二节 固体废物的分选

五、浮选

(1) 浮选原理

浮选是在固体废物与水调制的料浆中，加入浮选药剂，并通过空气形成无数细小气泡，使欲选物质颗粒粘附在气泡上，随气泡上浮于料浆表面成为泡沫层，然后刮出回收；不浮的颗粒仍留在料浆内，通过适当处理后废弃。

第二节 固体废物的分选

五、浮选

(2) 浮选药剂

据药剂在浮选过程中的作用，可分为：

捕收剂：能选择性地在欲选物质颗粒表面，使其疏水性增强，可浮性提高。分易浮性（黄药、油酸）和非易浮性油类（煤油）两种。

起泡剂：表面活性物质，主要作用在水-气界面上使其界面张力降低，促使空气在料浆中弥散，形成小气泡，增大分选界面气泡上浮，提高浮选效率。常用有：松油、脂肪酸等。

调整剂：起调整其它物质颗粒表面之间的作用，也可调整料浆的流动性，提高浮选过程的选择性。其种类包括：调整剂、抑制剂、介质调整剂等。

第二节 固体废物的分选

五、浮选

(3) 浮选设备

使用最多的是机械搅拌式浮选机。

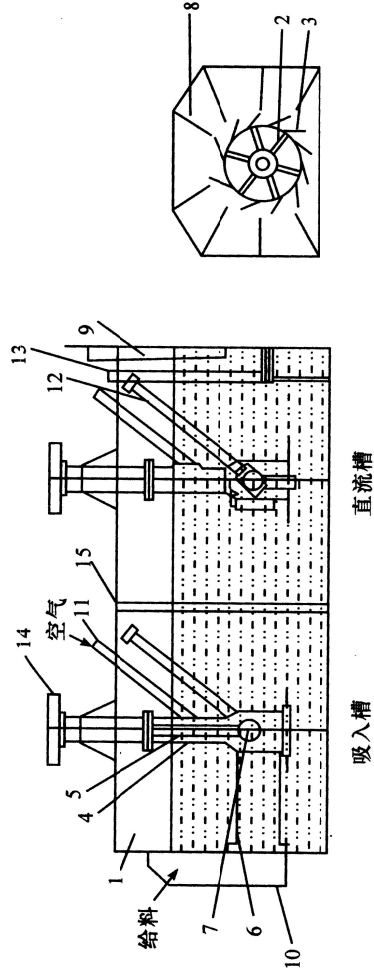
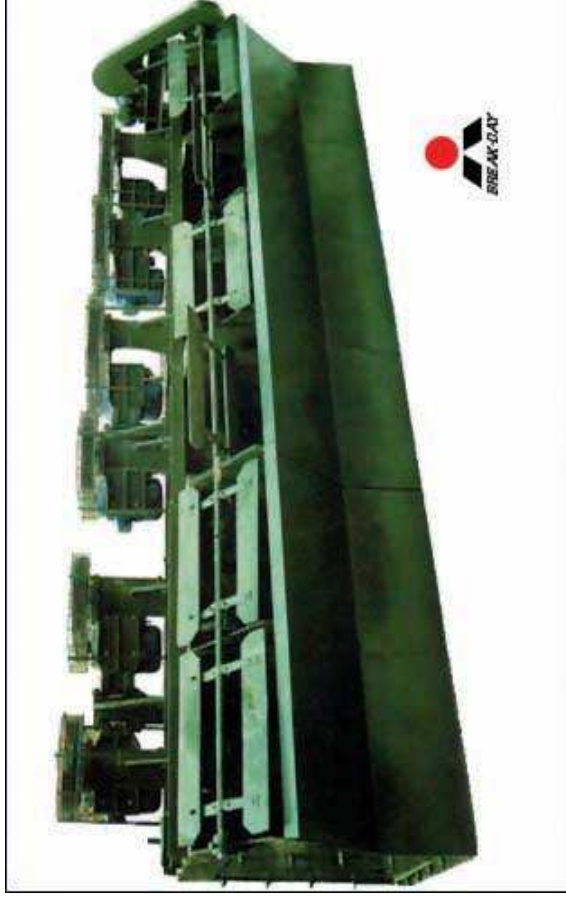


图 3.42 机械搅拌式浮选机

- 1. 槽子 2. 叶轮 3. 盖板 4. 轴 5. 套管 6. 进浆管 7. 循环孔 8. 稳流板 9. 闸门
- 10. 受浆箱 11. 进气管 12. 调节循环量的闸门 13. 闸门 14. 皮带轮 15. 槽间隔板



第二节 固体废物的分选

六、其它分选方法

1 摩擦和弹跳分选

摩擦与弹跳分选是根据固体废物中各组分的摩擦系数和碰撞系数的差异，在斜面上运动或与斜面碰撞弹跳时，产生不同的运动速度和弹跳轨迹而实现彼此分离的一种处理方法。

(1) 带式筛

带式筛是一种倾斜安装带有振打装置的运输带。其中，摩擦角是关键，须大于颗粒废物的摩擦角，小于纤维废物的摩擦角。

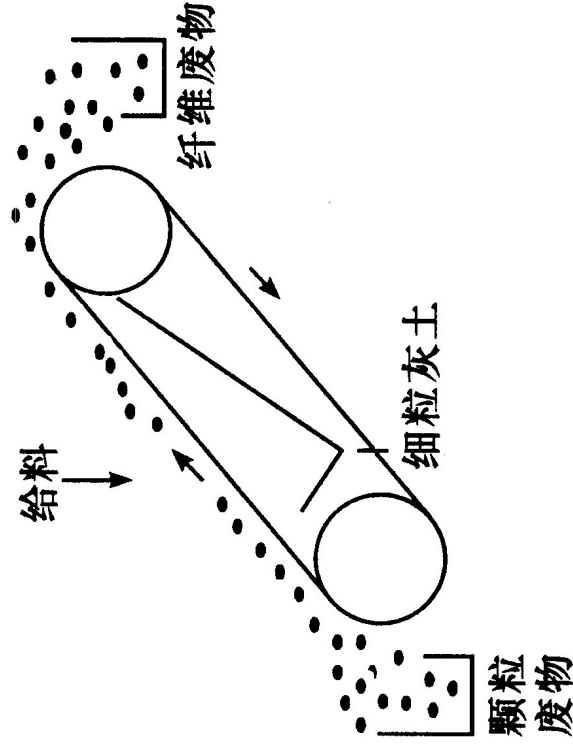


图 3.43 带式筛示意图

第二节 固体废物的分选

六、其它分选方法

1 摩擦和弹跳分选

(2) 斜板运输分选机

城市垃圾由给料皮带运输机上方给入，其中砖瓦、铁块、玻璃等与斜板面产生弹性碰撞，向板面下部弹跳，进入弹性产物收集仓，而纤维物、木屑等与斜板面为塑性碰撞，不产生弹跳因而随斜板运输板向上运动，进入非弹性产物收集仓。

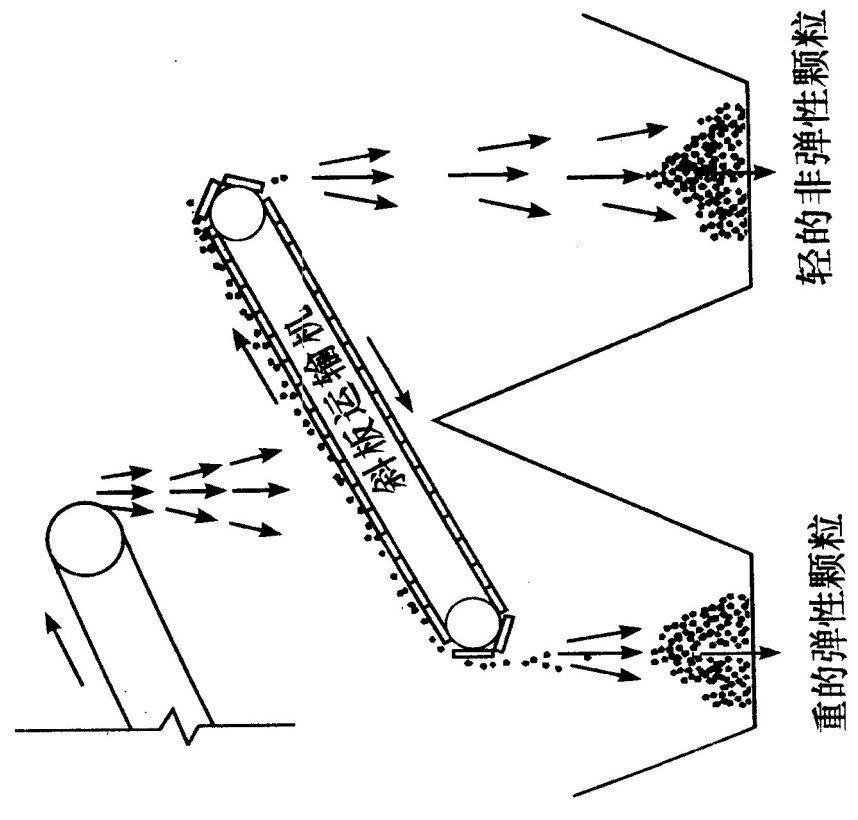


图 3.44 斜板运输分选机

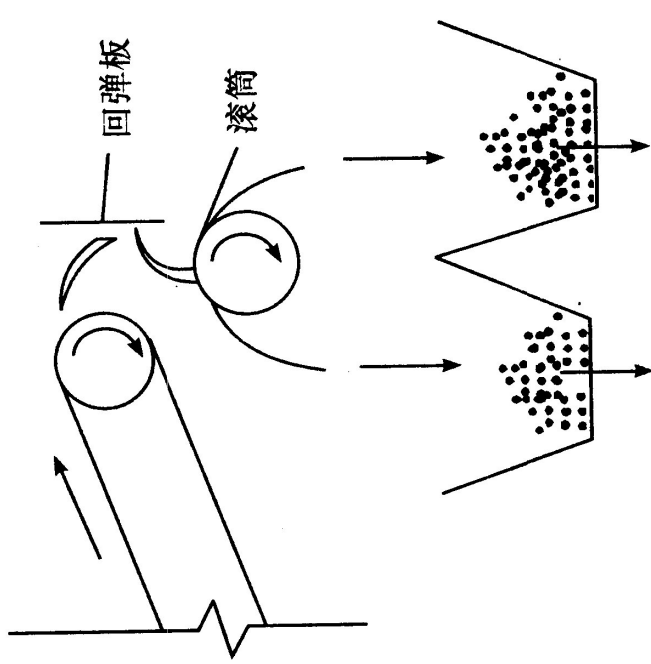
第二节 固体废物的分选

六、其它分选方法

1 摩擦和弹跳分选

(3) 反弹滚筒分选机

工作过程中，城市垃圾由倾斜抛物皮带输送机抛出，与回弹板碰撞，其中铁块、砖瓦、玻璃等与回弹板、分料滚筒产生弹性碰撞，被抛入重的弹性产品收集仓，而纤维废物、木屑等与回弹板为塑性碰撞，不产生弹跳，被分料滚筒抛入轻的非弹性产品收集仓，从而实现分离。



重的弹性颗粒 轻的非弹性颗粒

图 3.45 反弹滚筒分选机

第二节 固体废物的分选

六、其它分选方法

2 光电分选

光电分离可用于从城市垃圾中回收橡胶、塑料、金属等物质。

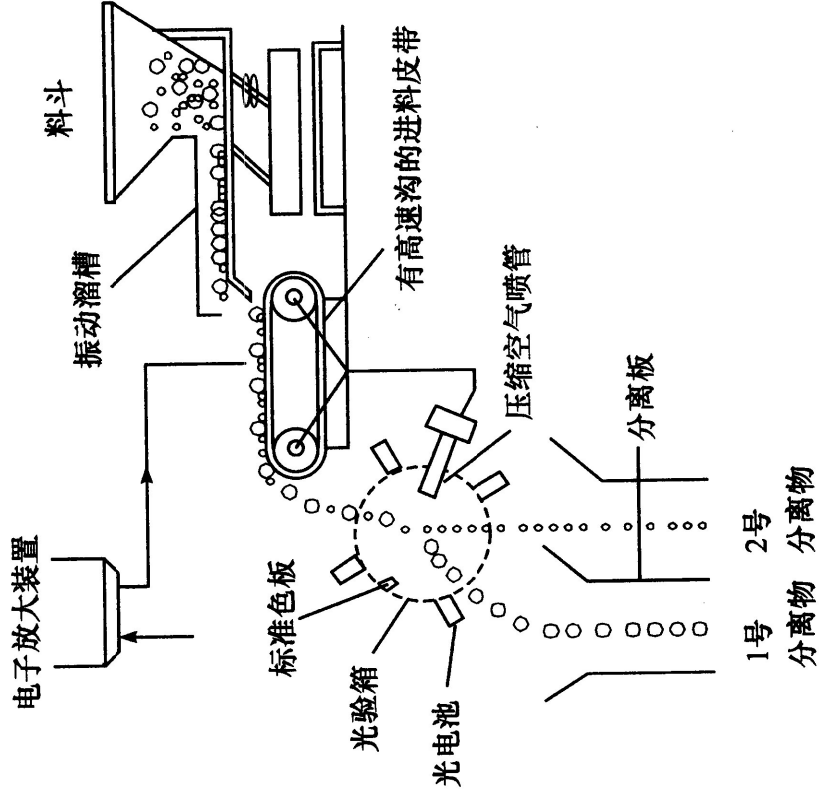


图 3.46 光电分选过程



作业:

试设计一套你认为合理的城市垃圾破碎和分选系统，并说明理由。