

# 第7章 固体废物的综合利用技术

第一节 一般工业固体废物的综合利用技术

第二节 建筑垃圾的综合利用技术

第三节 城市垃圾中有用物质的回收利用技术

## 第二节 一般工业固体废物的综合利用技术

### 一、煤矸石（夹在煤层中的黑灰色岩石）

#### 1 来源及成分

##### ➤ 来源

- 露天剥离以及井筒和巷道掘进过程中开凿排出的矸石（45%）
- 煤层中含有或削下部分煤层底板产生的矸石（35%）
- 煤炭洗选过程中排出的矸石（20%）。

##### ➤ 成份

- 矿物成分：高岭石、蒙脱石、石英、长石、云母、有机质等
- 化学成分：SiO<sub>2</sub>（40-65%）、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（16-36%）、CaO（1-7%）等

##### ➤ 发热量

>6300	3300-6300	1300-3300	<1300kJ/kg
10%	30%	30%	30%

## 2 危害

- 占地 (0.2t矸石/t原煤)
- 大气污染 (颗粒物、二氧化硫)
- 水污染 (渗滤水硫酸根高)

### 3 综合利用

#### (1) 代替燃料

烧沸腾锅炉、铸造化铁、烧石灰、回收煤炭、发电

#### (2) 生产化工产品

#### ① 制备三氯化铝: $Al_2O_3 + 3C + 3Cl_2 \rightarrow 2AlCl_3 + 3CO$

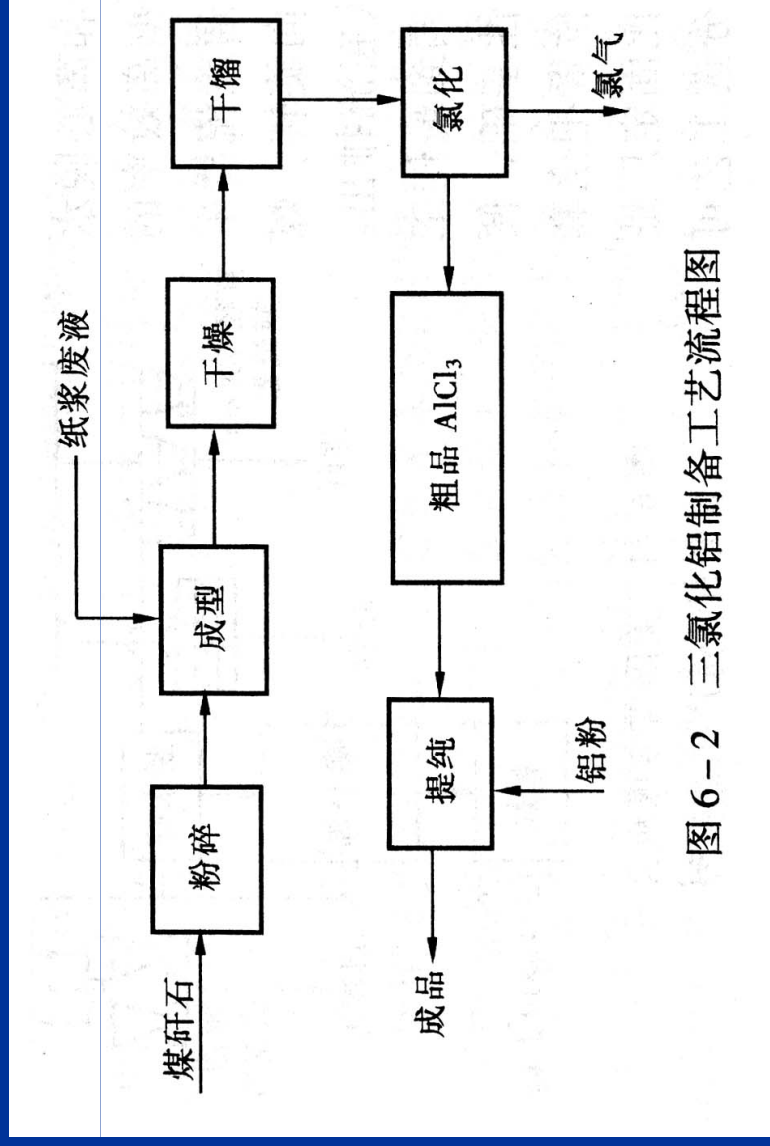


图 6-2 三氯化铝制备工艺流程图

## ② 水玻璃

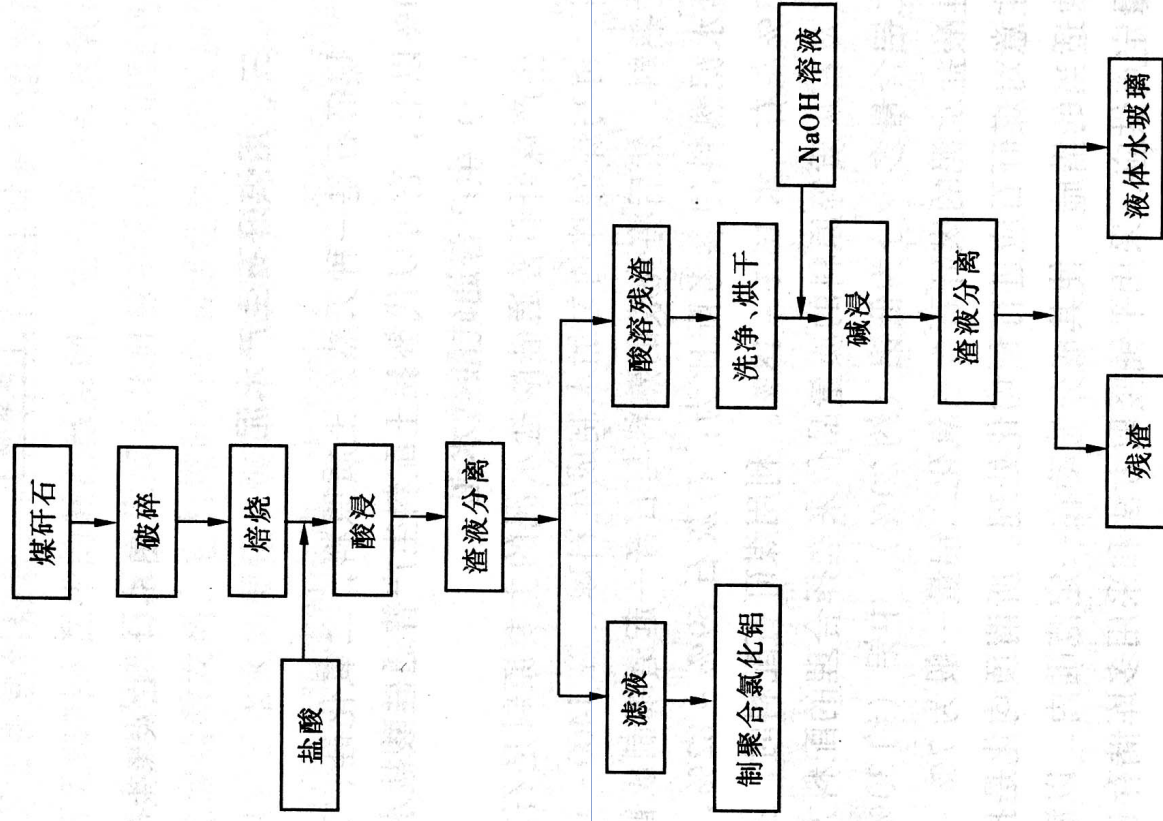


图 6-3 从煤矸石制取水玻璃工艺流程

### (3) 生产水泥： 代替粘土生产普通硅酸盐水泥、特种水泥和无 熟料水泥

### (4) 制砖

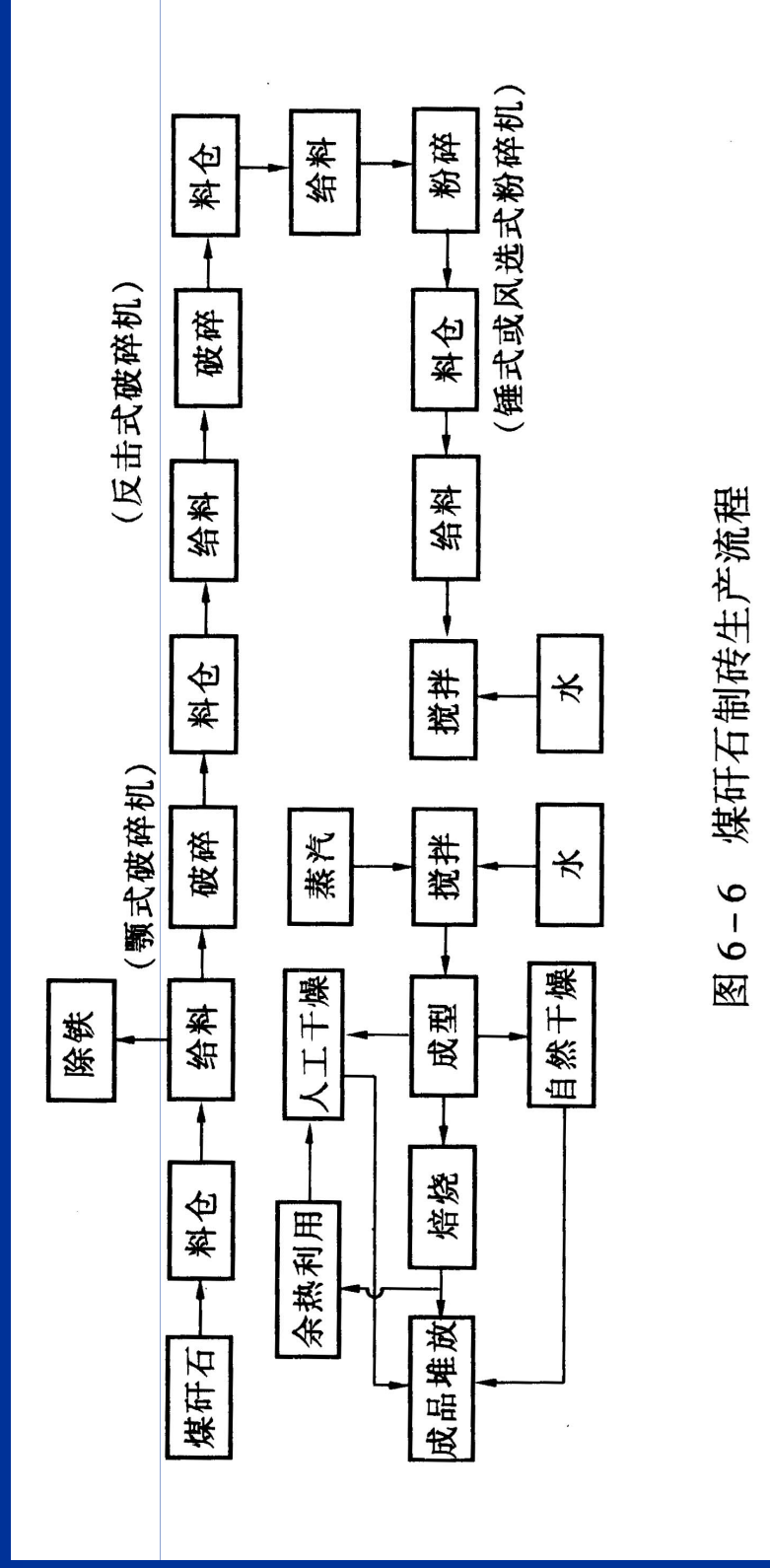


图 6-6 煤矸石制砖生产流程

## 二、粉煤灰（煤粉燃烧后经烟道排出或除尘设备收集的煤灰渣）

### 1 粉煤灰的物理化学性质

粉煤灰的主要氧化物为： $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{SO}_3$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 。

表 7-1 粉煤灰的基本化学组成

	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{SO}_3$	%
	38~54	23~38	4~6	3~10	0.5~4	0.1~1.2	

比表面积达 $2700\text{--}3500\text{cm}^2/\text{g}$ ；密度 $2\text{--}2.3\text{g}/\text{m}^3$ ；孔隙率 $60\text{--}75\%$ 。

## 2 粉煤灰的综合利用

- 代替粘土（高岭石  $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_3$ ；蒙脱石  $\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ ）原料生产水泥；
- 作砂浆或混凝土的掺合料；
- 制砖；
- 土壤改良剂和农业肥料；
- 回收煤炭资源和金属物质；
- 制造分子筛、絮凝剂和吸附材料



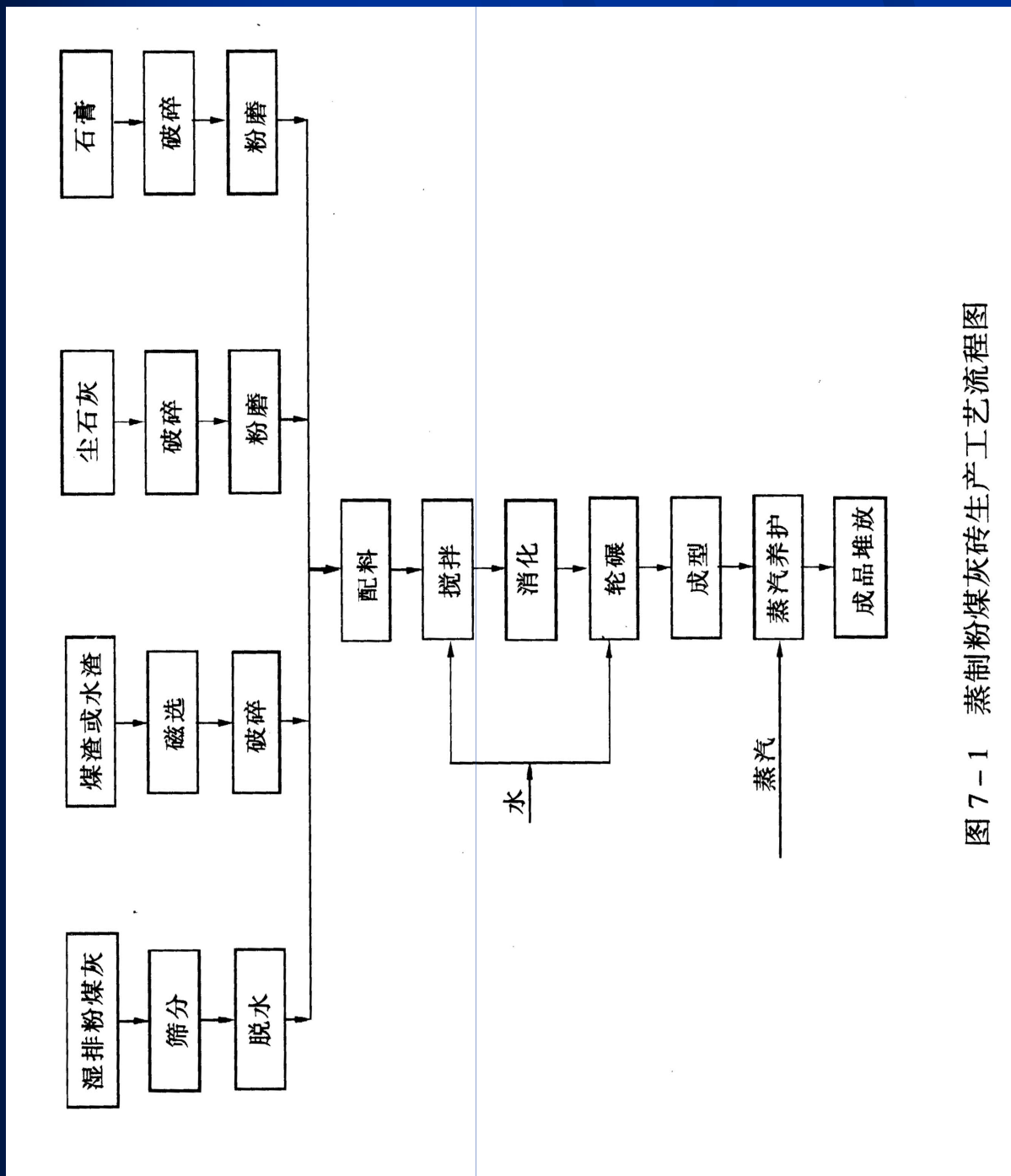
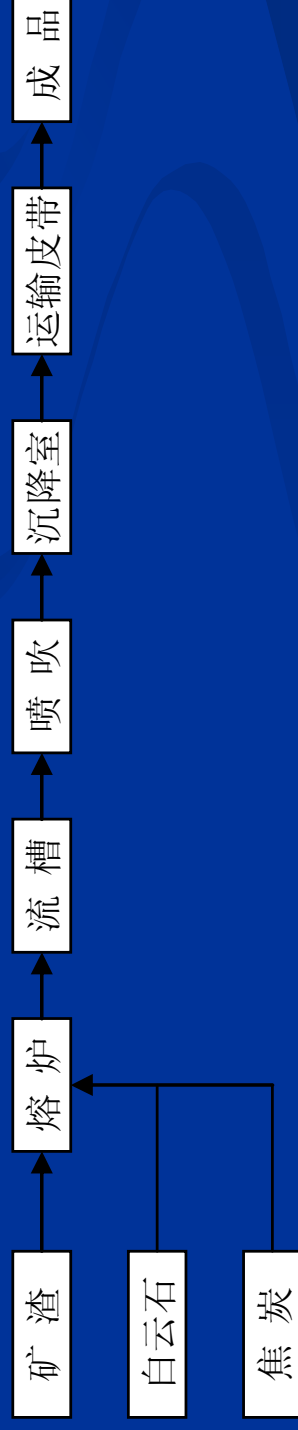


图 7-1 蒸制粉煤灰砖生产工艺流程图

### 三、高炉渣、钢渣

- 1、高炉渣（冶炼生铁时从高炉中排出的废物）
  - ◆ 化学成分： $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{FeO}$ 和S等。
  - ◆ 用途：生产水泥和混凝土，制砖，配制矿渣碎石混凝土，生产矿渣棉（见图）



喷吹法生产矿渣棉工艺流程图

## 2 钢渣（钢渣是炼钢过程中产生的炉渣）

表 8-6 各种钢渣化学成分

种 类	%									
	CaO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
转炉钢渣	45~55	5~20	5~10	8~10	5~12	0.6~1	1.5~2.5	2~3		
平炉初期	20~30	27~31	4~5	9~34	5~8	1~2	2~3	6~11		
平炉精炼	35~40	8~14	—	16~18	9~12	7~8	0.5~1	0.5~1.5		
平炉后期	10~45	8~18	2~18	10~25	5~15	3~10	1~5	0.2~1		
电炉氧化	30~40	19~22	—	16~17	12~14	3~4	4~5	0.2~0.4		
电炉还原	55~65	0.5~1	—	11~20	8~13	10~18	—	—		

钢渣可用作冶金原料（烧结溶剂、高炉或化铁炉溶剂、炼钢返回渣）、建筑材料（生产水泥、作筑路与回填工程材料）、用于农业（作钢渣磷肥、作硅肥）。

## 四、铬渣

### 1 铬渣的产生及危害

铬渣是冶金和化工行业在生产重铬酸钾、金属铬过程中排放出的废渣。化学成分大致为：

Cr<sub>2</sub>O 32.5~4%、CaO 29~36%、MgO 20~33%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5~8%、Fe<sub>2</sub>O 37~11%，水溶性Cr<sup>6+</sup> 0.28~1.34%、酸溶性Cr<sup>6+</sup> 0.9~1.49%。

铬渣中有害成分主要是可溶性铬酸钠、酸溶性铬酸钙等六价铬离子。

## 2 铬渣的综合利用 堆存法、还原法和综合利用法 铬渣作玻璃着色剂

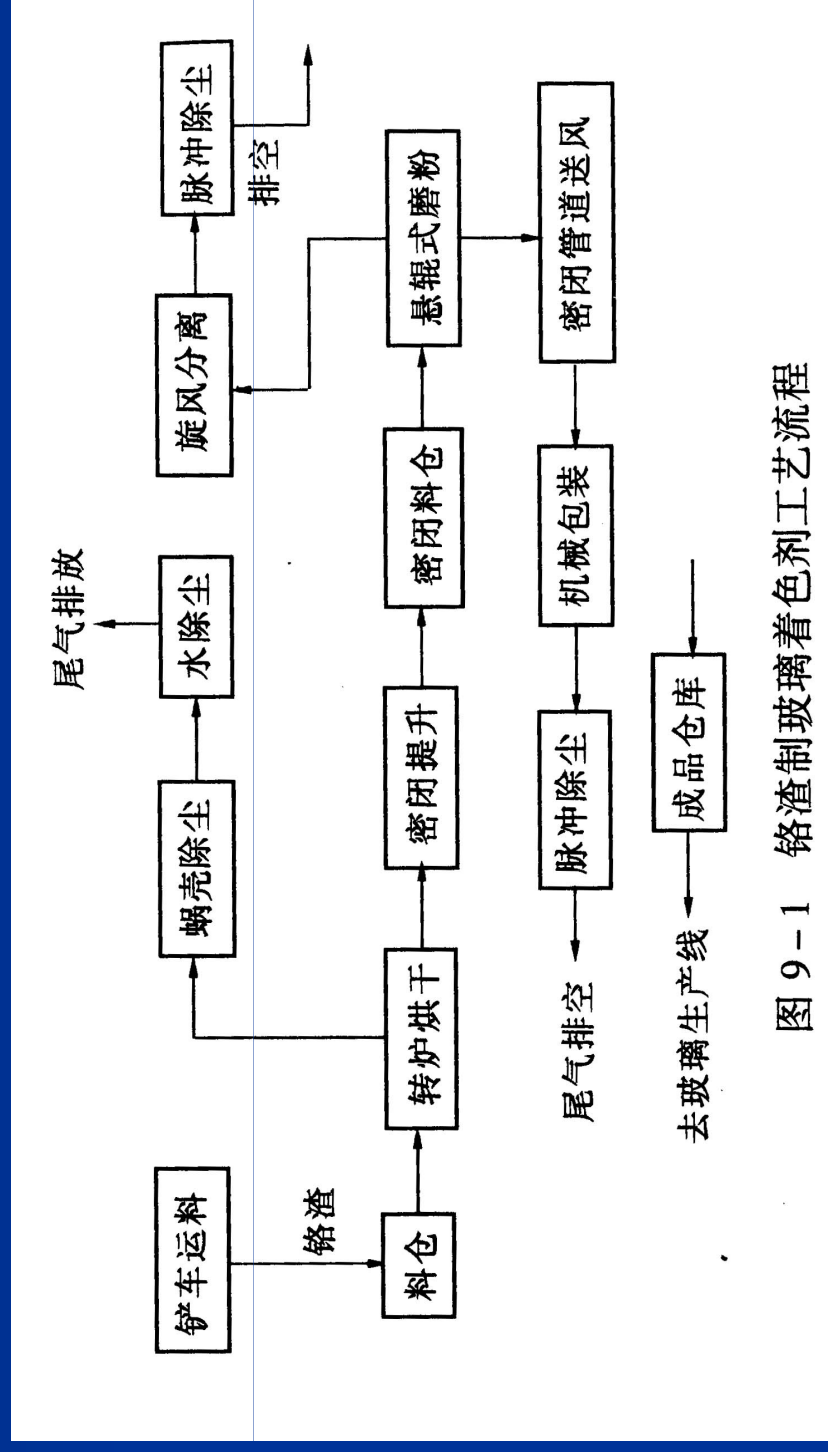


图 9-1 铬渣制玻璃着色剂工艺流程

# 铬渣制钙镁磷肥

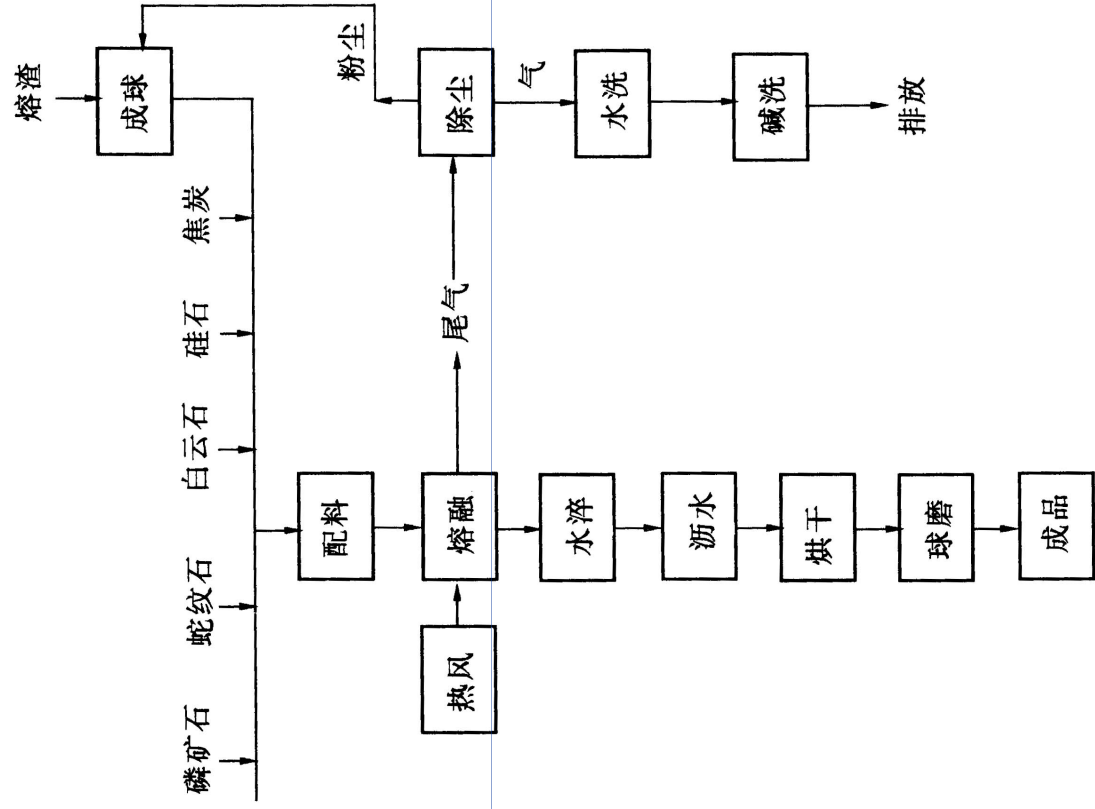


图 9-2 铬渣制钙镁磷肥工艺流程



## 第二节 建筑垃圾的综合利用技术

- **定义：**指在建(构)筑物的拆除、建设、维修过程中产生的固体废物，其组成见右表。
- **分类：**建筑施工垃圾、建筑拆除垃圾、开挖垃圾
- **数量：**建筑垃圾占城市
- **垃圾总量的30-40%**

**表 1 建筑垃圾的组成**

垃圾成分	垃圾组成比例(%)	
	拆除垃圾	施工垃圾
混凝土	54.1	18.4
砖石瓦块	17.1	28.9
泥(砂)土	13.3	32.3
竹、木料	7.5	10.8
金属	3.4	4.4
陶瓷	0.9	0.8
沥青	1.6	0.2
塑料	0.6	1.1
玻璃	0.2	0.6
其他	1.3	2.5
总计	100.00	100.00



# 一、废混凝土块的再生利用

## 1 废混凝土块的成分和来源

### ➤ 构成:

以石子或碎石为粗骨架材料，砂或细砂为细骨架材料，通过与硅酸盐水泥或以硅酸盐水泥为主体或其他类型水泥的水合物联合硬化而制得，密度为2.3—2.4t/m<sup>3</sup>。

### ➤ 来源

绝大部分是在拆毁建筑物和实施公共土木工程的过程中产生的，仅少部分来自新建工程和民间土木工程。废混凝土块在挖掘、清运过程中常混入泥砂。

## 2 废混凝土块的再生利用

- 经破碎后作为天然粗骨料的代用材料制作混凝土
- 作为碎石直接用于地基加固、道路和飞机跑道的垫层、室内地坪垫层等
- 进一步粉碎后可作为细骨料，用于拌制砌筑砂浆和抹灰砂浆。

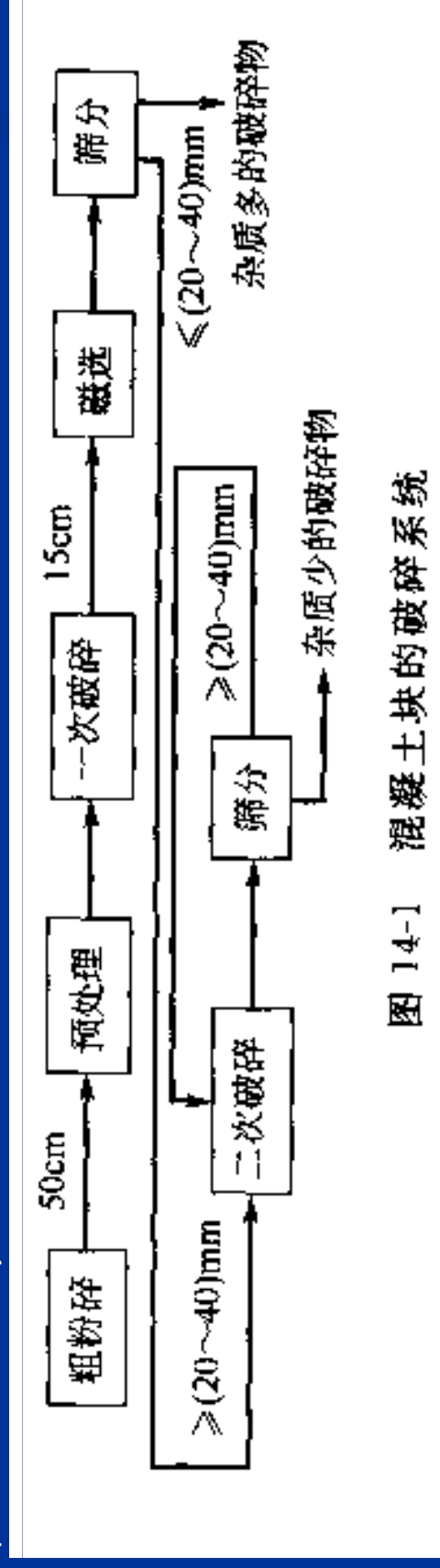


图 14-1 混凝土块的破碎系统

## (1) 作为非骨架材料的利用方法

① 作为**混凝土板材和块材**使用 根据使用目的将废混凝土块按所要求的尺寸切割成相比的板材和块材用作渔礁、挡土墙、路面及地面水泥块的代用品；分离出钢筋，切成30-50cm的团块，作为石材代用品使用。

② 作为**料状破碎物**使用 将废混凝土块粉碎至粒径小于40mm后，作为碎石、碎砂代用品。

③ 作为**微粉状破碎物**利用 将废混凝土块微粉化至粒径为几个微米至几十个微米之间，作为混凝土的混合材料、沥青填充物等材料使用。

## (2) 作为混凝土用骨架材料的利用方法

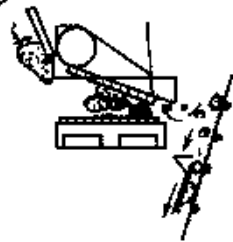
把废混凝土块破碎成碎石或碎砂后作为再生骨架材料使用，制备再生骨料混凝土。

1 用油压破碎机粗粉碎

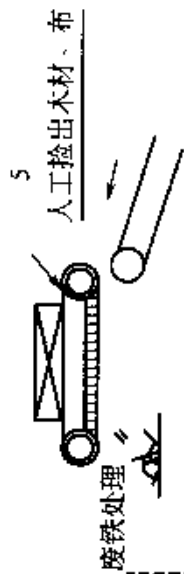
2 用铁格栅去除上砂



3 用颚式破碎机破碎

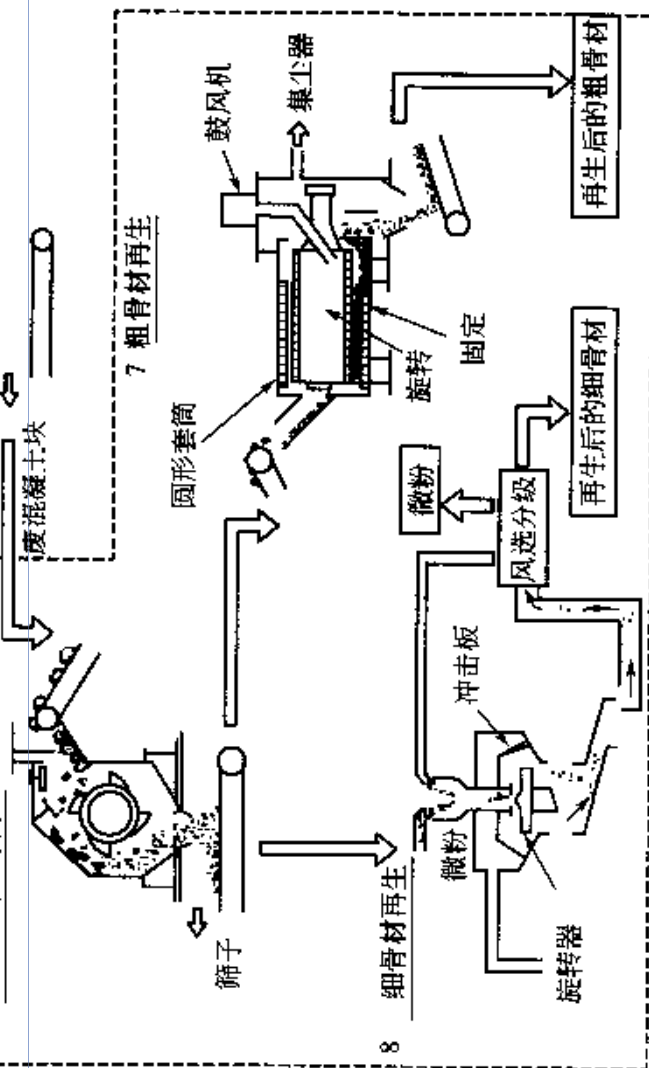


4 用磁选机去除钢筋类



预处理工程

6 冲击式破碎机



骨材再生工程

图 14-2 混凝土用高质量再生骨材的制造工艺流程

## 二、废沥青混凝土块的再生利用

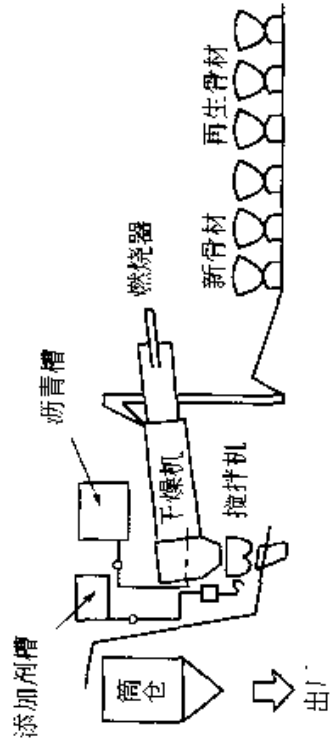
### 1 沥青混凝土块的成分和来源

沥青混凝土块中粗骨材、细骨材、填料和沥青的质量比为(50-70):(20-40):(3-8):(5-7)。

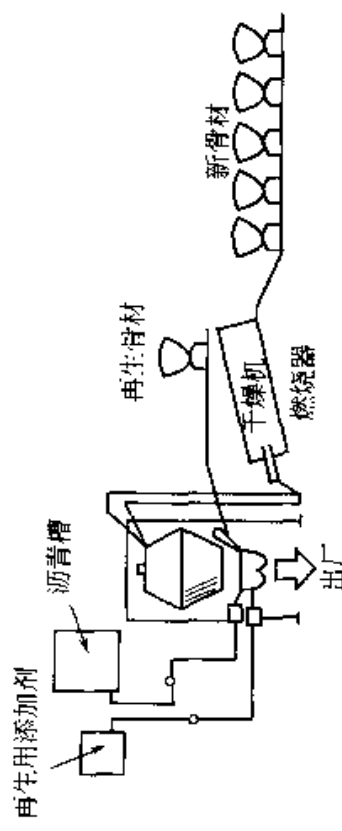
### 2 废沥青混凝土块的再生利用

▶冷溶回收 将经粉碎后的废沥青混凝土冷溶铺在下层，再在其上铺设新沥青混凝土路面；

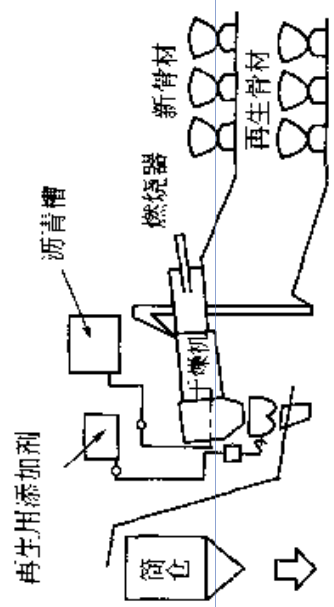
▶热熔回收 将经粉碎后的废沥青混凝土作为部分骨料掺入新沥青混凝土中，制成再生沥青混凝土。



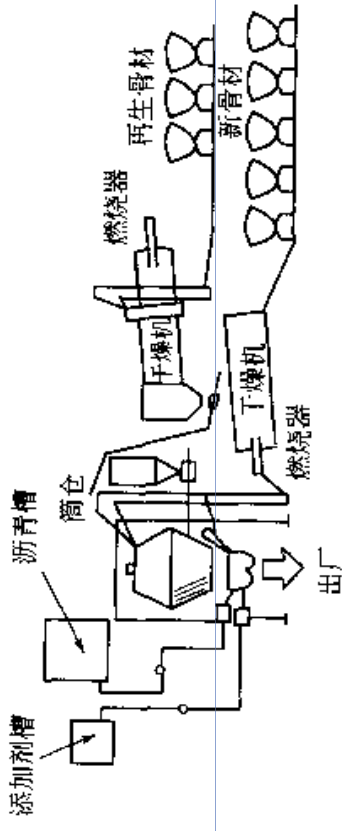
连续式设备 (例-1)



间歇式设备 (例-3)



连续式设备 (例-2)



间歇式设备 (例-4)

# 制备再生沥青混凝土上的装置

## 第三节 城市垃圾中有用物质的回收利用技术

### 一、废塑料

#### 1 废塑料及其对环境的影响

(1) 废塑料不易被生物降解，散落在各处，影响市容和景观；

(2) 塑料质量轻、体积大，填埋时占据较多的空间，且不易被降解；

(3) 塑料中含有较多添加剂，如填充剂、稳定剂、塑化剂、增强剂、染色剂等，其中一些塑料还含有重金属，易造成污染。

解决“白色污染”应从两方面入手：一是从源头做起，减少塑料使用量和废塑料产生量，使用可降解塑料制品；二是对废塑料进行回收利用。

## 2 废塑料的再生利用技术

### (1) 材料再生利用技术

废塑料通过分选、清洗、破碎（低温破碎）、干燥、配料、捏合、造粒、成型的工艺，生产塑料型材。

### (2) PET饮料瓶材料再生技术

PET——聚对苯二甲酸乙二醇酯

表 10-6 PET 饮料瓶的材料成分及其含量

	HDPE 托底	塑 纸	金属瓶盖	黏结剂	EVA 盖衬	其 他
PET 瓶身	19.68	2.72	1.10	0.82	0.55	0.05

回收程序：除盖、粉碎（6~10mm）、气流分选器进行纸和塑料的分选、清洗、分离出密度不同的PET和HDPE两种材料、再生利用。可用于纤维填充料、隔热材料、成型制品（汽车外壳、手柄、开关）。



### (3) 废塑料的建材利用

塑料油膏（嵌缝材料）、改性耐低温油毡、涂料、胶粘剂、聚氯乙烯稀塑地板、油漆

### (4) 废塑料的化学再生利用

油化再生，炼油

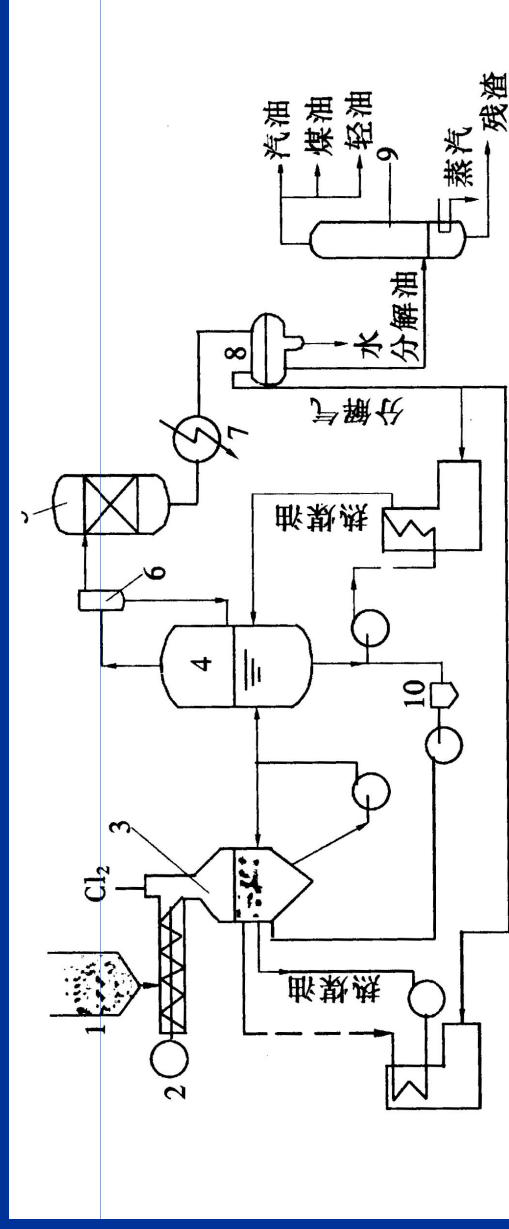


图 10-6 富士回收公司废塑料制油工艺流程示意图

1—料斗；2—挤压机；3—熔融槽；4—热分解槽；5—回流冷凝器；  
6—催化裂解槽；7—冷却器；8—分离槽；9—分馏塔；10—沉积罐

## 二、废橡胶

### 1 整体再生

轮胎翻新是指利用旧轮胎经局部修补、加工、重新贴覆胎面之后，进行硫化，恢复其使用价值的一种工艺流程。产在德为，轿车翻修胎为12%，卡车翻修胎为48%，翻新胎总量为每年1万吨。我国国产轮胎量普遍低下，多数废旧轮胎无翻新价值。

废旧轮胎可作为码头的船舶缓冲器，作公路防护栏或水土保持栏，用于建筑消声隔板。

### 2 制造再生胶

再生胶是指废旧橡胶经过粉碎、加热、机械处理等物理化学过程，使其弹性状态变成具有塑性、粘性的，能够再硫化的橡胶。

### 3 生产胶粉

胶粉的应用：一是用于橡胶工业，直接成型或与新沥青并用做成品；另一种是应用于改性沥青路面、改性沥青防水卷材、建筑中用作涂覆层和保护层等。生产胶粉的破碎工艺包括臭氧破碎、高压爆破粉碎、低温精细粉碎。

### 三、废玻璃

#### 1 自身的循环再利用

这主要集中在包装容器玻璃——啤酒瓶、汽水瓶等。如果在有效期内，提高其重复使用次数，不仅可以提高效率，而且可以降低生产成本，使约占玻璃容器产量的1/3的包装瓶，得到合理的再利用。

废玻璃经过分类拣选和加工处理后，可作为玻璃生产的原料。当然一般不用于平板玻璃、高级器皿玻璃和无色玻璃瓶罐的生产，但可用于对原料质量和化学成分、颜色要求低的玻璃制品的生产，如有色瓶罐玻璃、玻璃绝缘缘子、空心玻璃砖、榴形玻璃、乐花玻璃和彩色玻璃球等玻璃制品。

## 2 应用于建筑工程中

### (1) 用于建筑工程

把废玻璃用在粘土砖生产中，替代部分粘土矿物和组成助熔剂；用废玻璃作为沥青道路路面的填料。

## (2) 生产建筑装饰面材料

### ① 微晶玻璃仿大理石板

利用废玻璃生产的微晶玻璃仿大理石板，不仅可以用于建筑物的墙体装饰、地面装饰，而且还可用于物料运输的耐磨流槽、实验台板、桌面等，其产品质量优于天然石材、陶瓷制品。生产方法有熔融热处理法、熔融烧结法和一次烧结法。

### ② 建筑面砖

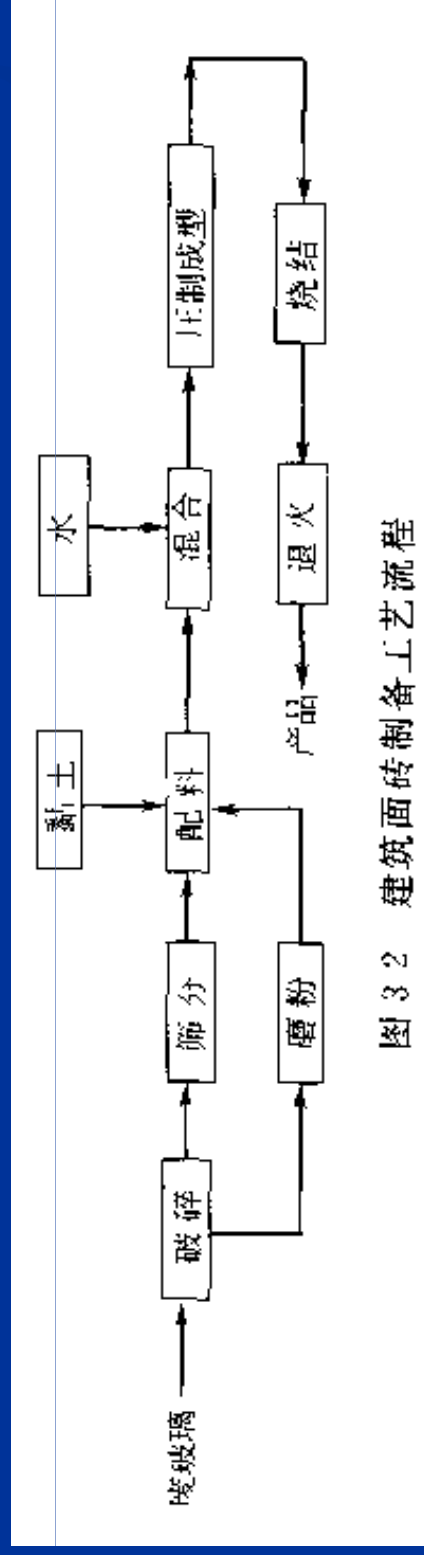


图 3 2 建筑面砖制备工艺流程

### ③ 玻璃马赛克

玻璃马赛克被广泛用作建筑物内外饰面材料或艺术镶嵌材料，其生产方法一般采用压制成型低温烧结法和熔融法两种。

### (3) 生产保温隔热、隔音材料

① 泡沫玻璃 泡沫玻璃是一种密度较小、强度较高、整体充满小气孔的玻璃质材料，气相制品总体积的80%—95%。具有隔热、隔音性能好，不吸湿，耐腐蚀，抗冻，不燃，可钉，可锯，易新结加工成各种所需形状的优点。如果在生产时掺入着色剂，还可以生产出各种色彩艳丽的泡沫玻璃，具有良好的装饰效果。

② 玻璃棉 玻璃棉是一种呈蓬松絮状的短纤维。其特点是密度小、导热系数低、吸声系数高，是高效、优质的保温材料和吸声材料，它是将清洗干燥好的废玻璃加入到玻璃熔化炉中，熔融好的玻璃液从漏板流出，然后被喷吹成短纤维。细纤维经集棉输送带收集成棉层，经固化后，制成软质卷毯、半硬板或硬板。



## 四、废纸

### 1 废纸的再生处理和工艺

回收废纸的方法分为两种：机械处理和化学处理法。机械法不用化学药品，废纸经破碎制浆后，通过除渣器除去杂物，用水量很少，水污染较轻，但由于没有脱墨，只能用来制造低档纸或纸板。化学法主要用于废纸脱墨，原料常用新闻纸、印刷纸和书写纸等。

废纸的再生技术包括拆开废纸纤维的解离工序和除去废纸中油墨及其他异物的工序，具体可分为制浆、筛选、除渣、洗涤和浓缩、分散和搓揉、浮选、漂白、脱墨等。



## 2 废纸的再生技术新发展

- (1) 供料技术向自动化发展 这可以大大节约劳动力并保证安全运行质量。
- (2) 碎浆技术向高浓连续化发展 这使得碎浆过程连续且耗小，得到纸浆的浓度和数量都有所提高，投资费用也下降了。
- (3) 粗选技术可由高浓连续碎浆系统组合完成 这样在净化阶段就只剩下除去沙粒和泥土的任务，大大节约了能源。
- (4) 浮选设备向多级整体性浮选装置发展 浮选装置的多级化可大大降低能耗，而且浮选效率也比多级浮选装置要好。
- (5) 脱墨将推广酶处理技术 将生物酶用于脱墨技会降低其成本，而且由于取代了大量药剂，也减少了随之而来的水处理设施的投资。
- (6) 脱墨污泥向彻底利用发展 可用它来生产造纸用填料和涂布颜料，制造建筑板材，改良土壤等。这就达到了废物资源化的目的。

### 3 废纸的利用技术新发展

(1) 用作包装材料：纸铸品、纸货盘（相当于集装箱）

(2) 用作土木、建筑材料：隔热材料、混凝土铸模、板材

(3) 用作农业生产：再生纸覆盖材料

(4) 制作固体燃料

(5) 制造活性炭

## 五、电子垃圾

### 1 电子垃圾的产生现状

电子垃圾，也称电子废弃物，是指居民、企事业单位在日常工作和生活中使用的各种电器被淘汰后产生的废弃物。

表 12-1 电子废弃物的分类

分类方法	类 属	主要贡献因子	备 注
按产生领域	家庭	电视机、洗衣机、冰箱、空调、有线电视设备、家用音频视频设备、电话、微波炉等	前三种的普及程度最高，所占比例相应也高
	办公室	电脑、打印机、传真机、复印机、电话等	废弃电脑所占比例最高
	工业制造	集成电路生产过程中的废品、报废的电子仪表等自动控制设备、废弃电缆等	相当部分不直接进入城市生活垃圾(MSW)处理系统
	其他	手机、网络硬件、笔记本电脑、汽车音响、电子玩具等	废弃手机数量增长最快
按回收物质	电路板	电子设备中的集成电路板	主要是电视机和电脑硬件电路板
	金属部件	金属底座、紧固件、支架等	以 Fe 类为主
	塑 料	显示器壳体、音响设备外壳等	包括小型塑料部件 (如按钮等)
	玻 璃	CRT 管、荧光屏、荧光灯管	含有 Pb、Hg 等严格控制的有毒有害物质
	其 他	冰箱中的制冷剂、液晶显示器中的有机物	需要进行特殊处理



表 12-4 一台桌面电脑<sup>①</sup>所使用的材料、其回收处理效率及对环境的影响

物质名称	质量分数 (%)	质量 /kg	回收率 (%)	主要的应用部件	废弃后环境的影响控制类别
硅石	24.88	6.80	0	屏幕、CRT和电路板 (PWB)	一般废弃物
塑料	22.99	6.26	20	外壳、底座、按钮、线缆皮	含阻燃剂, 燃烧会产生有毒物质 (如二噁英)
铁	20.47	5.58	80	结构、支架、磁体、CRT和PWB	一般金属
铝	14.17	3.86	80	结构、导线和支架部件, 连接器、PWB	
铜	6.93	1.91	90	导线、连接器、CRT和PWB	一般重金属
铅	6.30	1.72	5	金属焊缝、防辐射屏、CRT和PWB	可能污染地下水, 是严格控制污染物
锌	2.20	0.60	60	电池、荧光粉	一般重金属
锡	1.01	0.27	70	金属焊点	
镍	0.85	0.23	80	结构、支架、磁体、CRT和PWB	
钡	0.03	0.05	0	CRT中的真空管	
锰	0.03	0.05	0	结构、支架、磁体、CRT和PWB	
银	0.02	0.05	98	PWB上的导体、连接器	

<sup>①</sup>以 27.22kg (折合 60 磅) 的电脑为参考, 塑料中包含的环氧丙烷阻燃剂以及其他几百种添加剂和稳定剂不一一列

电子垃圾若处理不当，淋滤会产生含有重金属的渗滤液，焚烧会产生大量有毒气体。

## 美国废旧电脑的管理状况

1996年，美国18个州禁止填埋白色家电，2000年，马萨诸塞州全面禁止废旧电脑显示器和电视机进入填埋场或者焚烧炉。

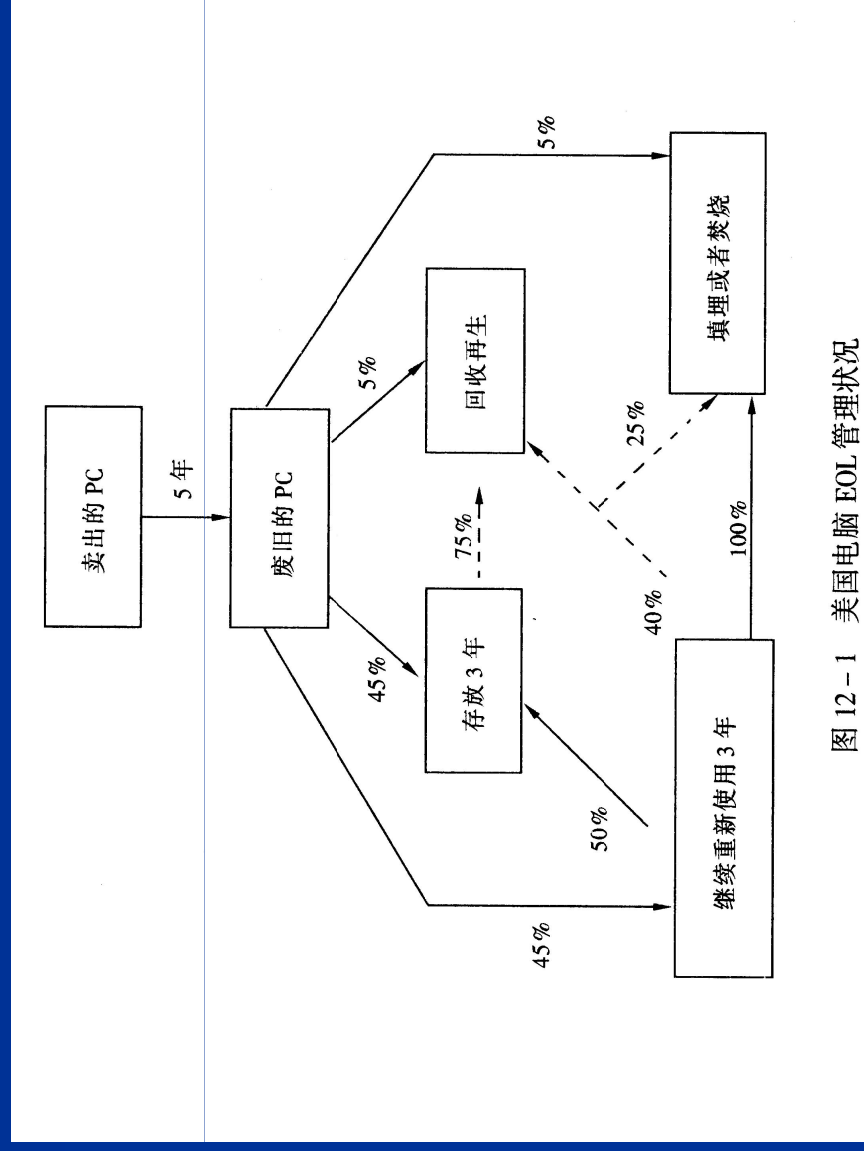


图 12-1 美国电脑 EOL 管理状况

## 2 电子垃圾处理技术

主要利用拆卸、破碎、分选等方法，处理后的物质须经过冶炼、填埋或焚烧等后续处理。

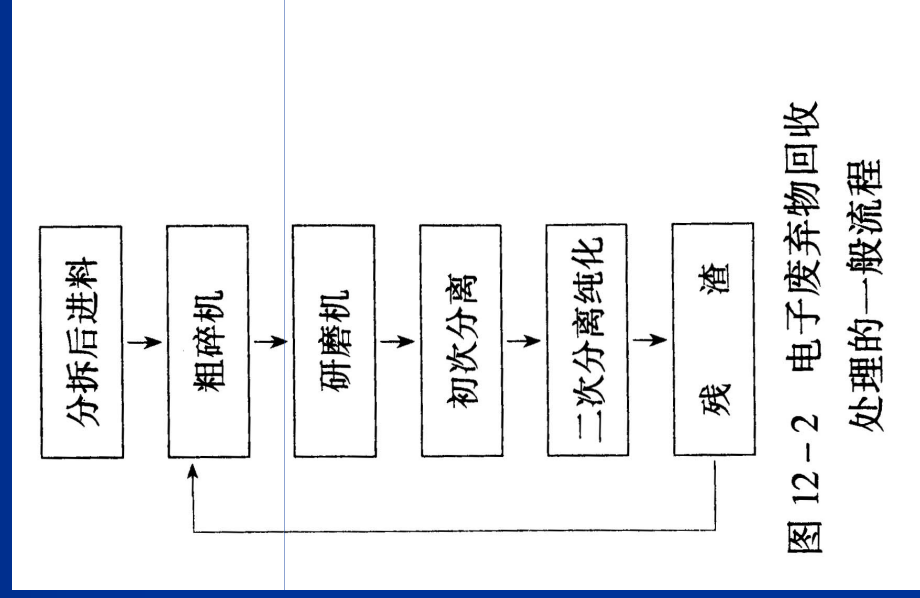


图 12-2 电子废弃物回收处理的一般流程

表 12-6 颗粒形状在各种分离技术中的影响

分离工艺	颗粒形状影响	分离工艺	颗粒形状影响
按颗粒尺寸的分 离方法	碟形颗粒和缠绕的电线容易堵塞 筛孔	静电分离法	影响加载在颗粒上的静电力和 充电效果
密度分离法	影响终端沉降速度、成层效果和 分离效率	涡流分离法	影响作用在颗粒上的洛伦兹力 效果
磁力分离法	影响受力和去磁效果		

## 旧电脑的回收利用途径:

- 电路板
- 壳座上的塑料
- 小型塑料元件
- 紧固件（螺钉）和小的金属元件
- 显示器（拆分为塑料壳座、金属支架、电路板和CRT（阴极射线管））。CRT的铅条玻璃送至铅冶炼厂



表 12-7 常见的回收废电缆中的铜的方法

方 法	简 单 描 述	备 注
机械法	废电缆先在机械解体机上进行破碎，然后再采用重选、磁选、静电分选等方法将破碎后的物料分选成金属和绝缘物	此法设备简单，无环境污染；对于包有铅皮、橡胶皮或沥青的废电缆需要区别对待
热解法	将废电缆放入加热的高压釜内，使高压釜内保持一定温度，釜内压力为 140 ~ 280kPa，塑料皮发生裂解	处理纸绝缘层最佳温度为 260 ~ 300℃，处理沥青绝缘层最佳温度为 300 ~ 450℃，处理聚氯乙烯等聚合物最佳温度为 370 ~ 480℃，这种热解法的副产品是油、焦油、氯化氢
化学方法	将废电缆放进铜筒，加入碱金属的氢氧化物，熔融（300℃），待绝缘物溶解后，在钢筒内剩下的就是铜金属，其回收率达 100%	在处理聚氯乙烯绝缘层的废电缆时，可用环甲酮等溶解，但化学溶剂多数有腐蚀性或有毒，另外污水处理麻烦，影响大量使用
静电分选	将废电缆切碎为直径 0.4mm 以下，碎粒放在圆筒形静电分选机上，利用电晕场作用原理，使金属颗粒与绝缘物颗粒分开	金属颗粒在静电场中能获得电荷，但是在带电颗粒与分选机接筒（接地导体）接触时，由于总电阻较低，所以最易迅速释放电荷。绝缘物保持自身电荷时间长，被留在分选机上
冷冻处理法	用冷冻剂处理废电缆料，经冷冻后，一般绝缘物、铁、锌等在低温时变得很脆，易于破碎；铜、铝在低温时仍具有较好的塑性	冷冻剂一般采用液氮、固体干冰与某些液体的混合物

### 3 我国处理电子垃圾的现状

#### 民间回收体系回收

回收后去向：向农村转移、翻新生产新电器、拆解后回收金属

现状：只回收价值高的，其它不回收，污染（水、气、固废）严重



贵屿与电子垃圾污染

# 贵屿与电子垃圾污染

