

陶粒·石灰

(试用本)

何维雄 编

上海市建筑材料工业管理局

《墙体材料工艺教材》编写组

陶 粒 · 石 灰

(试 用 本)

何 维 雄 编



上海市建筑材料工业管理局

《墙体材料工艺教材》编写组

前 言

建筑材料和建筑机械是建筑工程的物质基础。以住宅建设为重点，发展建筑工业化，对建筑材料特别是墙体材料提出了新的要求。住宅建筑的结构体系，属于多层住宅的有砖混结构，砌块结构，大模板现浇混凝土结构（包括外墙挂板、或砌砖内墙现浇混凝土），框架结构，全装配式大板结构；属于高层住宅的有一模三板结构（内墙大模现浇、外墙板、楼板、隔墙板三板为预制安装），框架结构、滑模结构等。各种结构体系的主要区别在于结构型式、施工工艺和所采用墙体材料的不同，采用水泥混凝土材料时，则有现浇和预制安装的区别。

上海的墙体材料立足于丰富的工业废料和地方资源，应该是多品种、多途径，要正确处理好传统材料和新材料的关系，新材料要发展，传统材料要改革提高，发挥各自的特点。

传统的粘土砖可以保证住宅具有良好的保温、隔热、隔音等建筑物理性能。为了减轻建筑自重，节约能源，研制大块薄壁高强的粘土质空心砖生产是一项重要途径。我国是世界上产砖最多的国家，目前全国范围砖混结构在住宅建筑中仍占百分之九十以上，预计在今后相当长的时期内粘土砖仍将是墙体材料的重要品种。

生产和使用粉煤灰硅酸盐砌块不但大量利用工业废渣，使灰渣作为资源再循环利用，而且可以采用小型机械吊装施工，有利于加快建设进度，促进墙体改革，受到设计和施工部门的欢迎。加气硅酸盐制品是一种轻质多孔材料，可制成砌块和条板，适用于多层住宅的承重墙体和高层建筑的隔墙和围护墙，技术经济效益良好。

陶粒是一种轻集料，轻集料混凝土的容重轻，强度高，制成大板或

现浇墙体，效果良好，特别适用于软土地基上建造高层建筑。砖瓦灰砂石中的石灰作为一种气硬性胶凝材料，广泛应用于砌筑砂浆和粉刷砂浆，而且也是粉煤灰硅酸盐制品的重要组成部分。

为了发展墙体材料工业，提高产品质量，发展新品种，组织文明生产，当前急需对生产墙体材料的工厂进行企业整顿，开展全员培训，切实提高职工队伍的文化、技术素质。为此，上海市建筑材料工业局组织编写了这套“墙体材料工艺教材”（试用教材），就粘土砖、硅酸盐砖、硅酸盐密实砌块、加气硅酸盐砌块、硅酸盐墙板以及陶粒和陶质生产

工艺、机械设备、材料性能和基础理论、烧结材料熟工基础等方面共分四册作了比较系统的阐述，可供有关工厂开展技术培训教材，建材学校墙体材料专业教材；也可供有关学校和干部学习参考之用。

“墙体材料工艺教材”共分四册：
《粘土砖瓦》由何维雄、谭乐仑编写，周一鹏审订。
《陶粒、石炭》由何维雄编写，吴玉堂校订。

《粉煤灰硅酸盐混凝土工艺》由萧愉、潘德基编写，谈孚雄审订。
《烧结材料熟工基础》由朱桓铭编写，曹尔祺审订。

上述四册协助编写人员有刘淳、余春冠、杨建朝、施利华、张振强等。封面设计徐坚。

由于我们水平有限，缺乏经验，不足之处在所难免，希望使用这本教材的师生及其他读者提出意见，帮助我们在正式定稿时修改补充。

容内林姓丁富

一九八二年六月

1991/199/02

《陶粒·石灰》编写说明

墙体材料要向轻质、高强、大块方向发展。陶粒就是配合这个方向发展的一种轻集料，它具有容重轻，强度高，导热系数低等良好性能，用于混凝土制成各种预制墙板或现浇墙体，能减轻建筑物自重，适宜于在软土地基上建造高层建筑。

陶粒的种类较多，上海地区根据原料泥资源和综合利用工业废料——粉煤灰，因此编写内容侧重于粘土陶粒和粉煤灰陶粒。

石灰是一项气硬性胶凝材料，除应用于砌筑砂浆、粉刷砂浆、硅酸盐制品外，石灰还用于化工、冶金、轻工、纺织、石油、公用事业、医药、农业等方面，用途非常广阔。石灰虽已有几千年历史的传统产品，但现代国内外生产技术不断发展，由古代的坑窑和土窑发展到现代的人工竖窑、机械立窑和回转窑。我国重点推广人工竖窑和机械立窑。

为了满足各生产厂技术工人培训和上海市建筑材料学校培养硅酸盐专业人员的需要，本书由何维雄工程师编写，施俐华同志协助编写，由上海市第一建筑材料工业公司吴玉堂同志校订。在编写过程中得到上海市第一建筑材料工业公司和上海市建筑材料学校的大力支持，并由上海石灰厂翁载扬同志提供有关石灰生产的技术资料，丰富了教材内容。

目 录

《陶 粒》	
第一章 概 述	1
第一节 粘土陶粒在建筑工程上的应用	2
第二节 轻骨料的品种	3
第三节 生产工艺	4
一、粘土陶粒	5
二、粉煤灰陶粒	6
三、粉煤灰陶粒的生产用形象化的工艺流程	7
四、粘土陶粒生产工艺流程图	10
第四节 主要生产设备	11
第一章 复习思考题	13
第二章 原材料	14
第一节 粘土的化学成分	14
第二节 粉煤灰的化学成分	15
第三节 粉煤灰的水分处理	16
一、自然沉淀脱水	16
二、机械排水	16
第四节 粉煤灰陶粒的原材料配比	18
第二章 复习思考题	19
第三章 陶粒成球	20
第一节 粘土陶粒	20
第二节 粉煤灰陶粒	22
第三章 复习思考题	24
第四章 干 燥	26
第一节 干燥设备	26

第二节 干燥温度控制.....	26
一、采用炉篦式加热机.....	26
二、采用回转式干燥筒.....	26
第三节 贮料仓与料球过筛.....	27
第四章 复习思考题.....	28
第五章 焙 烧.....	29
第一节 焙烧设备.....	29
一、烧结机构造及工作原理.....	29
二、回转窑结构.....	30
三、机械化立窑的构造.....	31
四、普通立窑的构造.....	32
第二节 焙烧方法.....	32
一、采用烧结机的焙烧工艺.....	32
二、采用回转窑的焙烧工艺.....	39
三、采用机械化立窑的焙烧工艺.....	43
第五章 复习思考题.....	45
第六章 陶粒筛分和质量控制.....	46
一、振动筛分级.....	46
二、粉煤灰陶粒的破碎.....	46
三、生产控制.....	46
四、陶粒的质量控制.....	46
第六章 复习思考题.....	48
第七章 灰 土.....	49
《石 灰》.....	49
第一章 概 述.....	49
第一节 石灰窑.....	51
一、坑窑和土窑.....	51
二、人工竖窑.....	51

三、机械立窑.....	52
第二节 石灰生产工艺流程.....	54
第一章 复习思考题.....	56
第二章 原材料.....	57
第一节 石灰石.....	57
第二节 原 煤.....	58
第二章 复习思考题.....	59
第三章 煅 烧.....	60
第一节 石灰石煅烧温度与化学分解.....	60
第二节 煅烧的技术操作.....	61
第三节 石灰的结构特性.....	62
第三章 复习思考题.....	64
第四章 石灰质量准标.....	65
第一节 外观检查品质.....	65
第二节 石灰质量标准.....	65
第五章 石灰的水化反应及体积变化.....	67
一、石灰与水作用后迅速水化生成氢氧化钙.....	67
二、石灰水化时的体积变化.....	68
第五章 复习思考题.....	72
第六章 石灰浆体结构与干燥硬化.....	73
一、石灰浆体凝聚结构的形成及其特性.....	73
二、石灰浆体结晶结构的形成及其条件.....	74
三、石灰浆体的干燥硬化与碳酸化.....	76
第六章 复习思考题.....	78

第一章 概 述

陶粒是一种性能良好的人造轻骨料，具有容重轻、强度高、导热系数低、耐火度高、化学稳定性好等特点，因而比天然石料具有更为优越的物理力学性能。一般用来配制各种用途的轻骨料混凝土，也可用作保温结构的填料。各种陶粒的松散容重一般在1000公斤/米³以下，最轻的只有200~300公斤/米³。其混凝土容重为600~1900公斤/米³，抗压强度为35~600公斤/厘米²。400号和200号砂轻陶粒混凝土容重分别比普通混凝土轻1/4和1/3，100号全轻陶粒混凝土容重比普通混凝土轻1/2，比砖墙轻1/3。对于类似上海地区这种软弱地基和高密度人口的工业城市，发展人造轻骨料以减轻建筑物自重，有利于高层建筑的发展建设，具有十分重要的意义。

轻骨料的品种很多，一般分为天然轻骨料（如浮石、火山渣等），工业废料轻骨料（如煤渣、膨胀矿渣、粉煤灰陶粒等），人造轻骨料（如页岩陶粒、粘土陶粒、膨胀珍珠岩等）。有的国家则把工业废料轻骨料和各种陶粒及烧结料都统称为人造轻骨料。很多国家轻骨料的利用和发展都是从天然轻骨料和工业废料轻骨料开始的。早在几个世纪前就有些国家利用天然浮石作骨料，石灰作胶凝材料建成各种建筑物，有的还保留到现在。一些工业发展较早的国家，在上个世纪，就开始用煤渣作骨料。人造轻骨料的生产和应用则较晚。据资料介绍，美国于1913年开始研究回转窑烧制页岩陶粒，并在20年代初投入商业性生产，曾在第二次世界大战期间，用它来建造轻骨料钢筋混凝土的轮船，以后逐步用于工业和民用建筑中，到六十年代，轻骨料的生产和应用已十分普遍了。

我国对人造轻骨料的研究始于1956年，到目前为止，全国已建成的各种人造轻骨料厂共27个，主要有粉煤灰、页岩、粘土、膨珠、煤矸石和大颗粒膨胀珍珠岩六个品种，年设计生产能力约57万米³。从1958年到1979年全国已建成轻骨料混凝土建筑约500万米²，这些建筑至今使用良好，其抗震性能尤为普通混凝土建筑所不及。

上海地区1959年首次在上海浦南砖瓦厂利用倒焰窑试制粘土陶粒。1960年开始试制粉煤灰陶粒。1965年上海市建筑科学研究所吴泾建成年产三万立方米机械化立窑粉煤灰陶粒中间试验线，累计进行了250多天窑烧试验，生产了近二万余立方米粉煤灰陶粒。机械化立窑平均日产量为75立方米，最高日产量达114立方米，松散容重为750公斤/米³，筒压强度为75公斤/厘米²以上，一小时吸水率小于15%。在大型住宅建筑、公路桥梁和烟囱等构筑物，以及南京长江大桥公路桥桥面工程中推广应用，减轻了结构自重，简化了基础处理，取得了较好的效果。

1974年经上海市批准在上海石英玻璃厂建造一个年产10万米³的粘土陶粒车间，于1978年3月建成。经过试车，4月份正式投产。第一期工程年产粘土陶粒5万米³，最高日产量达224米³，陶粒容量750~900公斤/米³，筒压强度（压入2厘米）一般在40~75公斤/厘米²，

一小时吸水率小于10%，能满足国家建委颁发的轻骨料及轻骨料混凝土技术规定的要求，可配制300号以下的各种标号轻质混凝土。目前生产的粘土陶粒已在工业与民用建筑、铁路、公路、桥梁、水利建设等工程使用，具有一定的效果。

陶粒混凝土应用在建筑上，可以减轻建筑物自重，有利于实现建筑业的机械化和预制装配化，是发展装配式建筑和高层建筑的新型的建筑材料。

上海是我国综合性的工业城市之一，工业废料的种类繁多，数量极大，仅电厂排出的粉煤灰每年可达120万吨以上，处理这些灰渣，所需费用甚巨，因此，利用粉煤灰生产陶粒，不但为电厂解决了大量粉煤灰的处理问题，节约处理费用，而且为建材生产企业就地取材，就地生产，开辟了丰富的资源，真正做到处理与利用相结合，物尽其用，一举两得，具有广阔的发展前途。与粘土陶粒比较，粉煤灰陶粒强度较高，适宜于配制高标号的结构用轻骨料混凝土。粘土陶粒则可利用其高温下的可膨胀特性，生产低容重的粘土陶粒，配制适于保温和结构保温用的轻骨料混凝土，同样具有无限的生命力。

第一节 粘土陶粒在建筑工程上的应用

1、上海地区采用轻质陶粒作为混凝土骨料的情况

根据有关部门统计1965年~1968年间上海地区先后在混凝土制品一、二、三、五厂用粉煤灰陶粒试制了粉煤灰陶粒混凝土制品一万多立方米，试用到12万多平方米的装配式工业、民用建筑等方面，其中包括：预制的槽形板、空心楼板、大型墙板、现浇的水泥料仓、公路桥梁建筑，以及高炉基础和电杆等。

陶粒混凝土的优点是轻质高强，耐热保温性好，应用于大型墙板、楼板及大跨度桥梁建筑，都有较好的经济效果。如用于十层以上高层建筑，效果更为显著。陶粒混凝土能使大型墙板规格扩大到4730×2600×160毫米，大型多孔楼板规格扩大到5810×3280×160毫米，中型槽型板为3300×2700毫米，这样提高了装配化建筑速度，缩短了施工工期。

1978年4月上海石英玻璃厂三车间（陶粒）生产的粘土陶粒从1978年7月开始由上海混凝土制品二厂制成陶粒混凝土内墙隔板和外墙板，1979年1月又增加试制了予应力陶粒混凝土实心楼板及工业建筑围护墙板，得到了进一步的推广使用。

2、混凝土构件的原材料配制

上海混凝土二厂采用的是 #500散装水泥，有普通硅酸盐水泥和矿渣硅酸盐水泥两种，以矿渣水泥为主。

蒸养 # 3 0 0 陶粒混凝土抗压强度

水泥用量 公斤/厘米 ³	出坑强度 公斤/厘米 ²			28天强度 公斤/厘米 ²		
	最高	最低	平均	最高	最低	平均
360	358	195	240	387	281	336
380	378	228	279	426	304	348

配合比：水泥1. 黄砂1.69，陶粒1.66

3、轻质混凝土墙板的经济核算

经上海建筑构配件公司详细的成本核算，陶粒实心板的单价是114元/米³，比普通碎石混凝土多孔板120元/米³，低6元/米³，但是实心板的实体积比多孔板大20%左右，所以换算为每M²的价格时反而是陶粒板高于多孔板3.25元。

4、陶粒混凝土外墙板、屋面板、隔热保温效果比普通混凝土好。生产陶粒混凝土实心楼板，制品厂可省略抽孔工艺、简化操作、提高工效、降低了电耗和机械费用。

第二节 轻骨料的品种

轻骨料的品种很多，各国的分类方法也不尽相同，国内外一般按所用原材料的焙烧工艺，轻骨料的粒型和使用功能的不同加以分类。

一、按焙烧工艺不同可以分为：

1. 烧胀型陶粒
2. 烧结骨料

二、按使用功能可以分为：

1. 结构用轻骨料
2. 结构保温用轻骨料
3. 保温用轻骨料

三、按轻骨料的粒型可以分为：

1. 破碎型陶粒
2. 普通型陶粒
3. 造粒型陶粒

四、按原材料不同可以分为：

1. 天然轻骨料，包括火山渣、浮石等各种火成天然轻骨料，以及珊瑚岩、石灰贝壳岩等各种水成天然轻骨料。

2. 工业废料轻骨料，包括粉煤灰陶粒、膨胀矿渣珠、自然煤矸石陶粒等品种。

3. 人造轻骨料，包括粘土陶粒、页岩陶粒、大颗粒膨胀珍珠岩等品种。

我国现行规范——J78—2轻骨料和轻骨料混凝土技术规定和试验方法（暂行规定）确定按原材料进行分类；各种陶粒并按松散容重和对应的筒压强度值划分容重等级。下表1—1为三种常用陶粒的容重、等级和对应的筒压强度，以及在合理的水泥用量下适宜配置的最高混凝土标号和适用领域。

表 1—1

容重等级	容重范围 公斤/米 ³	筒压强度 公斤/厘米 ²			合理混凝土标号 公斤/厘米 ²			适 用 领 域
		粘土陶粒	粉煤灰陶粒	页岩陶粒	粘土陶粒	粉煤灰陶粒	页岩陶粒	
400	310~400	≤ 5	—	≤ 8	50~75	—	50~75	保温用
500	410~500	≤ 10	—	≤ 10	100~150	—	75~100	
600	510~600	≤ 20	—	≤ 15	150~200	—	100~150	结 构 保温用
700	610~700	≤ 30	≤ 40	≤ 20	200~250	250~300	150~200	
800	710~800	≤ 40	≤ 50	≤ 25	250~300	300~350	250~300	结构用
900	810~900	≤ 50	≤ 65	≤ 30	300~400	350~400	300~350	
1000	910~1000	—	—	—	—	—	—	

以上我们叙述了轻骨料的产生和发展过程，也概述了轻骨料的一般分类法。下面，结合上海地区的情况，将侧重介绍粘土陶粒和粉煤灰陶粒的生产。

1. 粘土陶粒 采用易熔性粘土——粘土和亚粘土为原料，经制粒或成球，予热干燥后在1050~1200℃高温焙烧而成是一种烧胀型的人造轻骨料。

2. 粉煤灰陶粒 以粉煤灰为主要原料，掺加少量粘结剂（如粘土、纸浆废液）和固体燃料（如煤粉、焦屑）经混合，成球在1200~1300℃高温下焙烧而成的一种人造轻骨料。

上海地区生产陶粒，根据原料来源主要生产粘土陶粒和粉煤灰陶粒两种。粘土陶粒的原料泥主要来自上海市近郊等地，土质一般，含粘量17~20%，属于弱膨胀性能，因此生产的粘土陶粒，容重多为605~900公斤/米³。

粉煤灰陶粒，原市建筑科学研究所中间生产试验时，粘土来自浙江省牌头，由于运距较远，距厂280公里，经济上不够合理，曾采用纸浆废液代替粘土作粘结剂，降低生产成本。

第三节 生 产 工 艺

选择一个合适的生产工艺是十分重要的，它是陶粒工厂高产、优质、低消耗的首要条件。尽管陶粒的品种很多，所用的原材料也有很大差异，但陶粒的生产工艺都必须包括原料的掺配和细度，均化处理，制粒或成球，予热干燥、焙烧、冷却、分级和贮存等这几个基本环节。

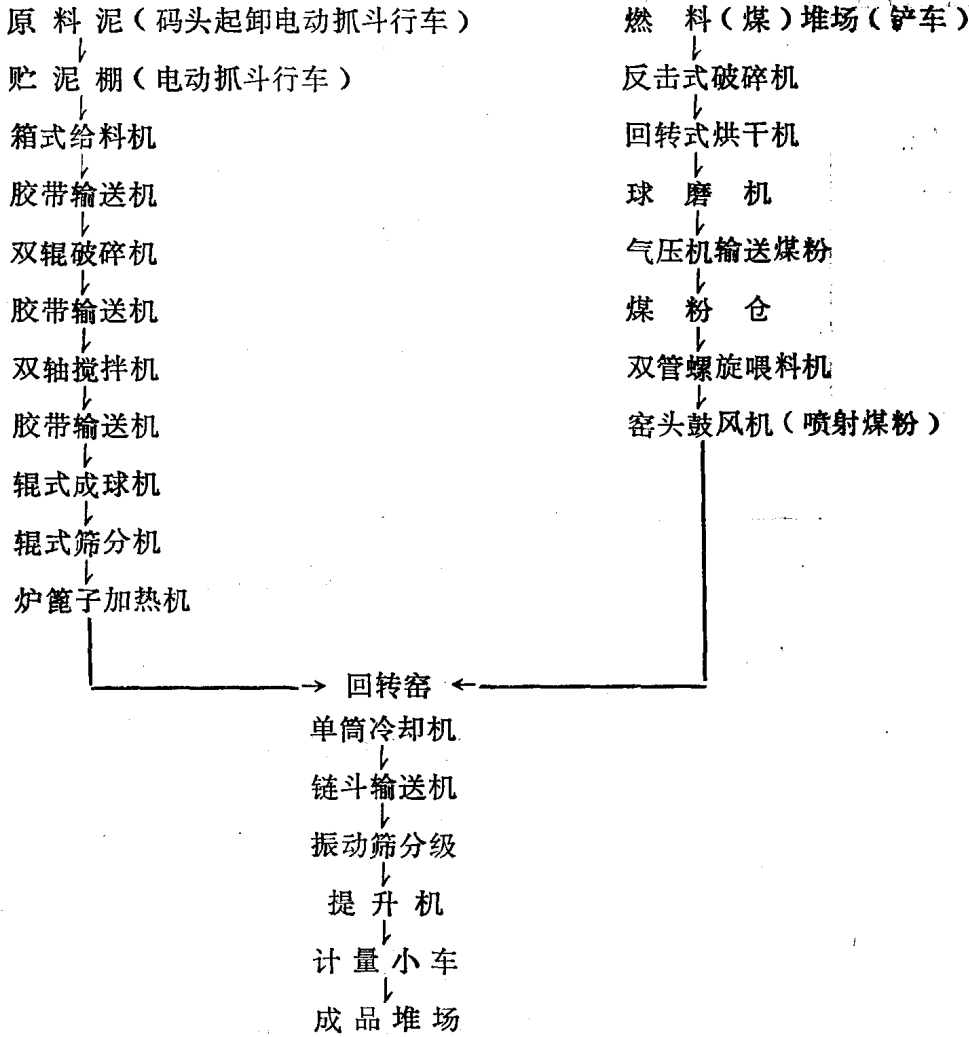
粘土陶粒，是一种膨胀型陶粒，国内外采用较多的有回转窑工艺，包括单筒回转窑和双筒回转窑工艺，以及立波尔窑工艺。例如著名的丹麦“莱卡”粘土陶粒，就是采用单筒回转窑生产的。日本大板水泥公司生产的造粒型页岩陶粒和上海石英玻璃厂的粘土陶粒，则采用了立波尔窑工艺。

当前国内外生产的粉煤灰陶粒多为烧结骨料，因此多采用烧结机来生产。例如英国的粉煤灰陶粒和我国天津硅酸盐制品厂生产的粉煤灰陶粒都采用烧结机工艺。上海市建科所六十

年代也曾采用机械化立窑中试过粉煤灰陶粒；西安市建科所采用双筒回转窑试生产高强度的粉煤灰陶粒。

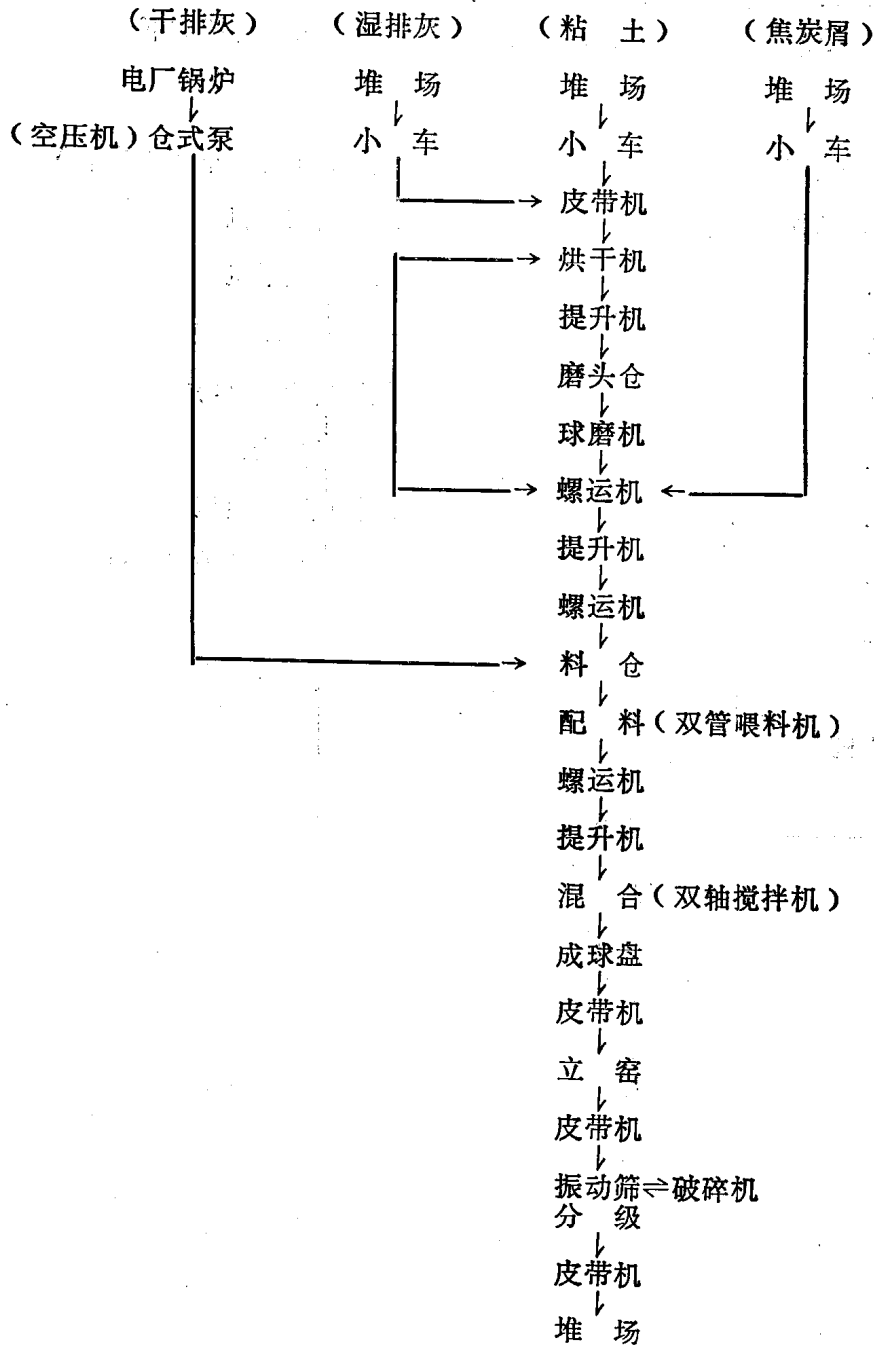
确定生产工艺，还要根据各地不同情况进行设计安排，尽量做到有利于生产出发，通过工艺革新，不断改进。下面将上海石英玻璃厂的粘土陶粒工艺流程，介绍如下：

一、粘土陶粒

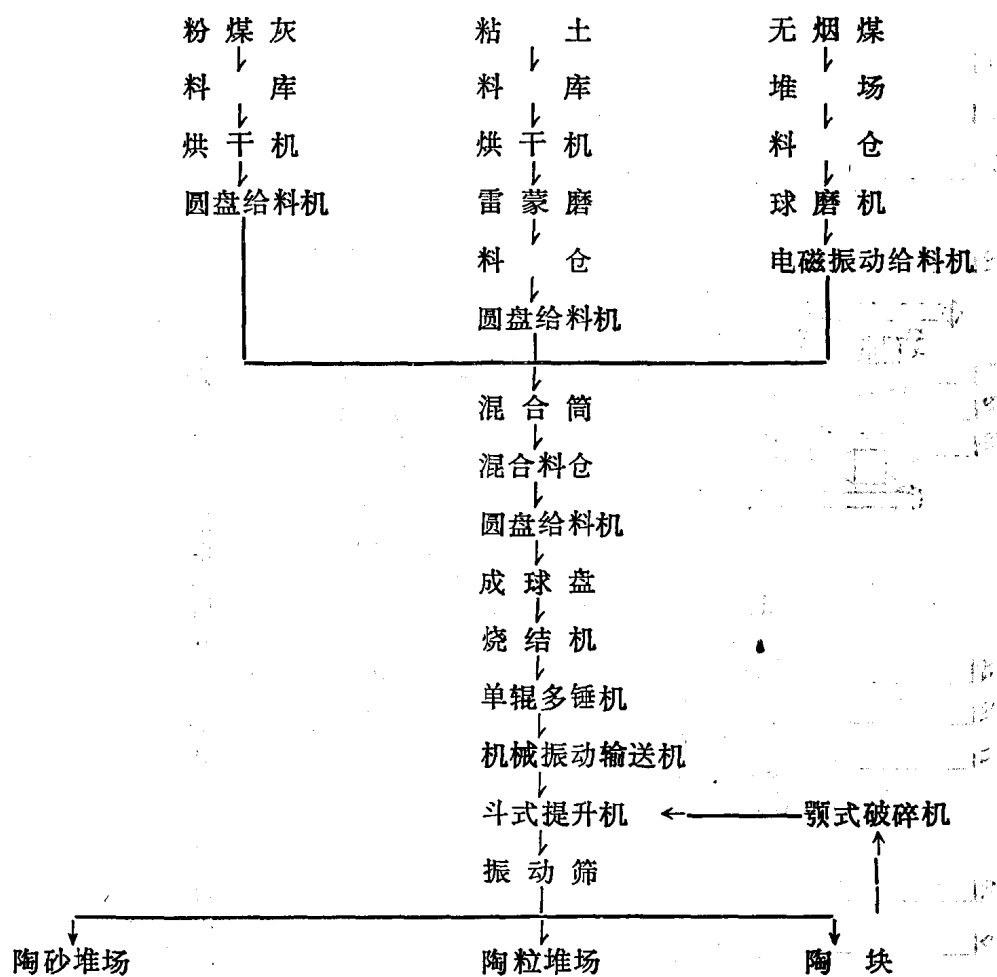


二、粉煤灰陶粒

1. 原上海市建筑科学研究所中间试验



2. 天津市硅酸盐制品厂



三、粉煤灰陶粒的生产用形象化的工艺流程（见下图1—1和图1—2）所示。

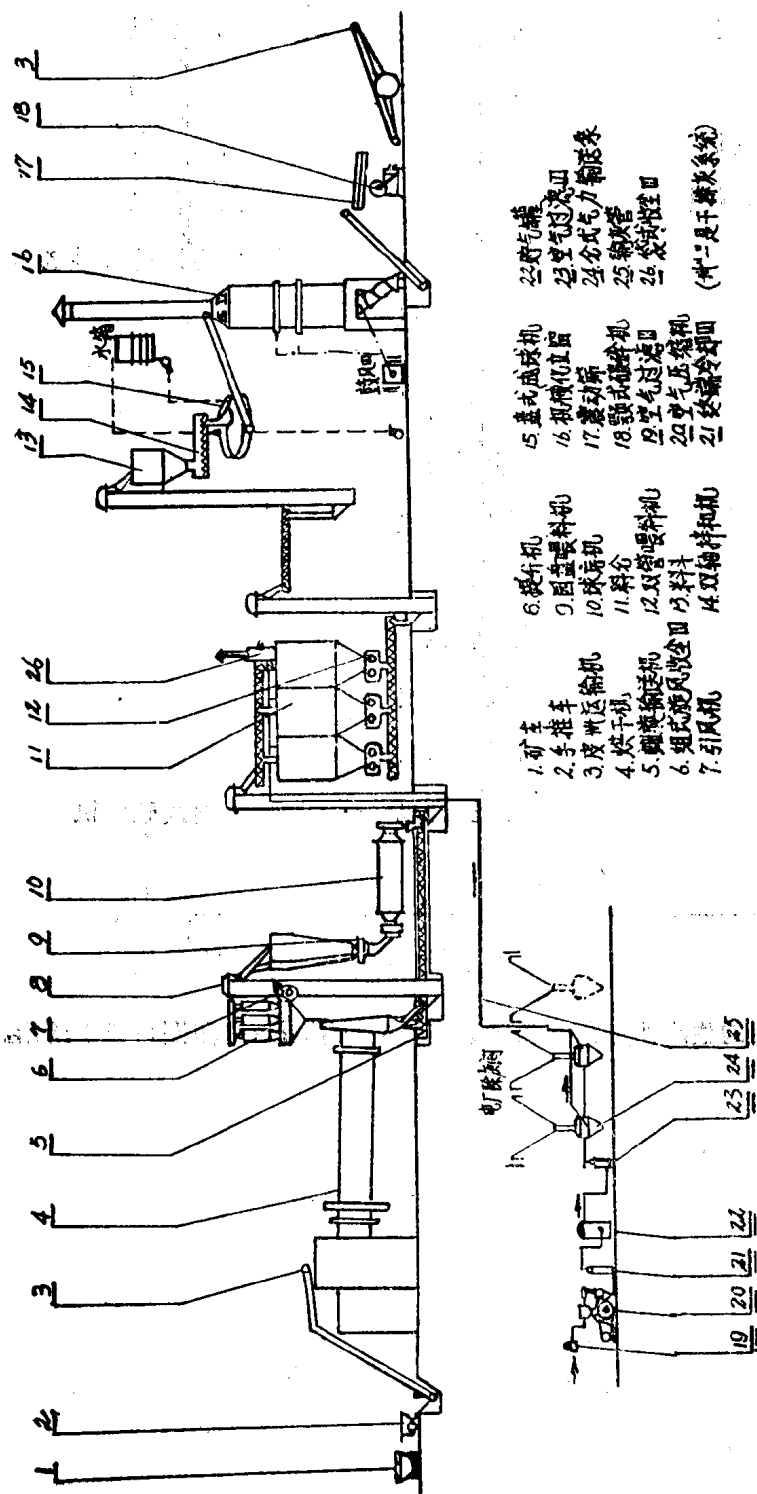
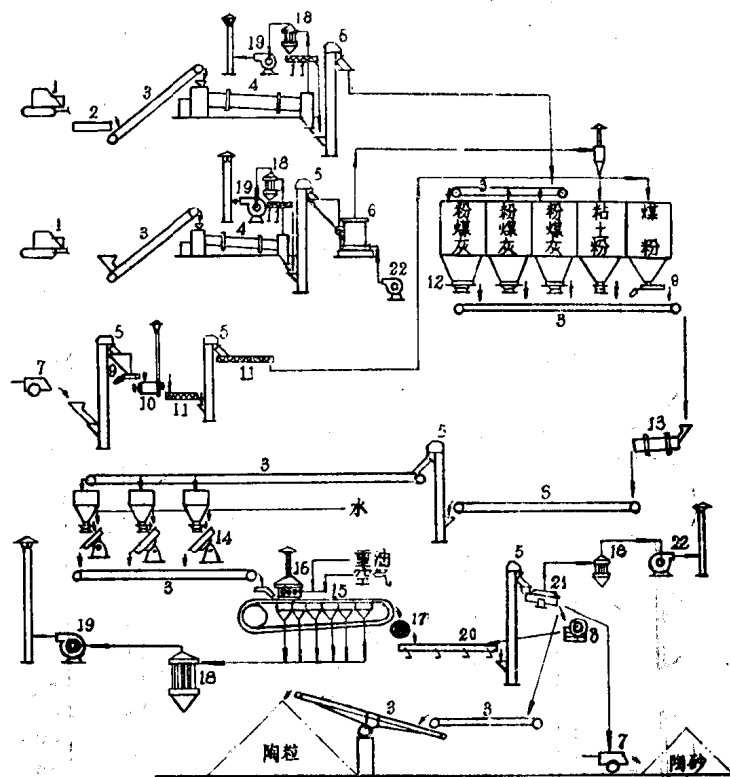


图 1—1 原上海市建筑科学研究所中间试验陶粒工艺示意图



- 1—堆土机 2—箱式给料机 3—皮带运输机 4—回转烘干机 5—立式提升机 6—雷蒙磨 7—手推车 8—颞式破碎机 9—电磁振动给料机 10—球磨机 11—螺旋运输机 12—圆盘喂料机 13—混合筒 14—成球盘 15—烧结机 16—点火器 17—单辊多锤机 18—多管收尘器 19—通风机 20—机械振动输送机 21—惯性振动筛 22—离心通风机

图 1—2 天津市硅酸盐制品厂陶粒工艺示意图