

水泥工艺原理

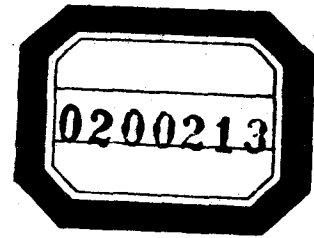
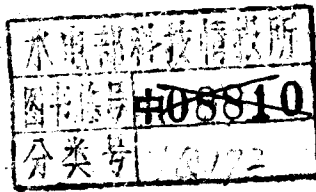
洛阳建筑材料工业学校
山东建筑材料工业学院



中等专业学校试用教材

中国建筑工业出版社

213



中等专业学校试用教材



005774 水利部信息所

水泥工艺原理

洛阳建筑材料工业学校

山东建筑材料工业学院

中国建筑工业出版社

本书是为建筑材料工业中等专业学校水泥工艺专业编写的试用教材。全书共分十二章，前七章主要叙述硅酸盐水泥的生产方法、原料和配料、熟料的组成和形成过程、水化硬化和腐蚀的基本原理；后五章分别叙述矿渣水泥、火山灰质水泥、矾土水泥和其它品种水泥，以及混凝土和砂浆的制造原理、性能及用途。

本书亦可供从事硅酸盐水泥生产的工人和技术人员参考。

ZW53/23

中等专业学校试用教材
水泥工艺原理
洛阳建筑材料工业学校
山东建筑材料工业学院

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本：787×1092毫米 1/16 印张：13¹/₄ 字数：319千字
1981年5月第一版 1981年5月第一次印刷
印数：1—15,600册 定价：1.10元
统一书号：15040·4029

前 言

本书系根据1978年8月在山东淄博召开的建筑材料中等专业学校教材大纲会议制订的《水泥工艺原理》教学大纲编写的。

全书共分十二章，第一至七章主要叙述硅酸盐水泥的生产方法、原料和配料、熟料的组成和熟料的形成过程、水化硬化和腐蚀的基本原理。第八至十二章主要叙述矿渣水泥、火山灰质水泥、矾土水泥和其它品种水泥，混凝土和砂浆的制造原理、性能及用途。

本书编写时注意到教学上的特点，比较系统地阐明水泥工艺中的基本原理，同时也反映了近年来出现的国内外的一些科技成果。本书可作为中等专业学校水泥工艺专业的试用教材，亦可供水泥工业的工人、技术人员参考。

本书由洛阳建筑材料工业学校黄书谋主编，并编写绪论、第三、四、五章；蔡悦民编写第一、二、六、七章；山东建筑材料工业学院张柏寿编写第十、十一章，吴惠诚编写第八、九、十二章。

本书初稿由南京化工学院闵盘荣主审，华南工学院钟景裕，北京建筑材料工业学校杨树森等参加了审定工作，并提出许多宝贵意见，我们作了修改。由于我们水平有限，经验不足，加之时间仓促，缺点错误在所难免，望读者批评指正。

编 者
一九七九年九月

目 录

绪 论	1
第一章 硅酸盐水泥生产概述	3
第一节 硅酸盐水泥的定义和国家标准	3
第二节 硅酸盐水泥的生产方法	4
第三节 硅酸盐水泥的生产过程	8
第四节 硅酸盐水泥的特性和使用范围	10
第二章 硅酸盐水泥的原料	12
第一节 主要原料	12
第二节 辅助原料	20
第三节 工业废渣的利用	23
第三章 硅酸盐水泥熟料的组成	27
第一节 硅酸盐水泥熟料的化学成分	27
第二节 硅酸盐水泥熟料的矿物组成	28
第三节 硅酸盐水泥熟料的率值	33
第四节 熟料矿物组成的计算及换算	38
第五节 熟料矿物组成计算值与实测值的差异	43
第四章 硅酸盐水泥的配料与生产控制	45
第一节 生料配料的重要意义和基本原则	45
第二节 熟料率值与矿物组成的选择	46
第三节 配料计算方法	48
第四节 生产控制	62
第五章 硅酸盐水泥熟料的形成	68
第一节 粘土的脱水和石灰石的分解	68
第二节 固相反应	70
第三节 水泥熟料的烧成	76
第四节 水泥熟料的冷却	81
第五节 水泥熟料形成的热化学	83
第六节 矿化剂与矿化作用	85
第七节 微量氧化物对煅烧反应和熟料质量的影响	87
第六章 硅酸盐水泥的水化和硬化	91
第一节 水泥熟料矿物的水化过程	91
第二节 硅酸盐水泥的凝结过程	101
第三节 水泥的硬化过程	106

第七章 硅酸盐水泥的腐蚀	115
第一节 硅酸盐水泥腐蚀的原因及分类	115
第二节 防止腐蚀的方法	120
第八章 火山灰质混合材料和火山灰质水泥	125
第一节 水泥中掺加混合材料的意义和混合材料的分类	125
第二节 火山灰质混合材料的定义和分类	126
第三节 火山灰质混合材料的质量检定方法及品质要求	128
第四节 火山灰质硅酸盐水泥	130
第五节 粉煤灰硅酸盐水泥	132
第六节 沸石水泥	134
第七节 火山灰质无熟料水泥	136
第九章 高炉矿渣和矿渣水泥	139
第一节 高炉矿渣的形成、分类、品质要求及测定方法	139
第二节 高炉矿渣的组成及结构	141
第三节 矿渣硅酸盐水泥	144
第四节 矿渣无熟料水泥	145
第五节 钢渣水泥和化铁炉渣水泥	149
第十章 矾土水泥和低钙铝酸盐耐火水泥	152
第一节 铝酸盐水泥的化学成分和矿物组成	152
第二节 铝酸盐水泥的生产	156
第三节 铝酸盐水泥的水化和硬化	160
第四节 矾土水泥的性质和用途	162
第五节 低钙铝酸盐耐火水泥混凝土	166
第十一章 其它品种水泥	169
第一节 快硬高强水泥	169
第二节 膨胀水泥和自应力水泥	178
第三节 油井水泥	187
第四节 抗硫酸盐水泥	190
第五节 大坝水泥	191
第六节 耐火水泥	194
第七节 白色水泥和彩色水泥	196
第十二章 混凝土及砂浆	199
第一节 混凝土的定义及分类	199
第二节 混凝土的组成	200
第三节 混凝土的成分配合	201
第四节 混凝土的性质	204
第五节 砂浆	205

绪 论

一、胶凝材料的定义和分类

在物理化学作用下，能从浆体变成坚固的石状体，并能胶结其他物料，制成有一定机械强度的复合固体的物质，称为胶凝材料，或者称为胶结材料。

胶凝材料可分为水硬性胶凝材料和非水硬性胶凝材料两大类。

凡不能在水中硬化但能在空气中或其他条件下硬化的胶凝材料，称为非水硬性胶凝材料。它的种类很多，既有无机的也有有机的。一般用途的非水硬性胶凝材料有石灰、石膏等。特殊用途的有耐酸胶结料、磷酸盐胶结料及环氧树脂胶结料等。

水硬性胶凝材料，基本上是无机矿物材料（亦可掺少量的有机外加剂或有机掺合料）。它和水成浆状后，既能在空气中硬化，又能在潮湿介质或水中继续硬化，并不断增进它的强度。硅酸盐水泥、矿渣水泥、火山灰水泥、矾土水泥（又称高铝水泥）、膨胀水泥以及聚醋酸乙烯水泥等都是属于这一类。

二、胶凝材料发展概况

胶凝材料的生产、使用是在生产实践中，随着人类社会生产力的发展而发展的。

粘土以及粘土掺加一些纤维材料作为胶凝材料是人类使用最早的一种胶凝材料，其强度低且不耐水。

在公元前2000~3000年，人们开始用火煅烧石灰、石膏，并将其制成砂浆用作胶凝材料。我国万里长城，古埃及的金字塔、狮身人首石像建筑，就是由这种胶凝材料建造的。

随着生产的发展，人们发现在石灰砂浆中掺入火山灰而使砂浆具有一定的抗水性。从而使用这类胶凝材料，在纪元初创造了古罗马的“庞贝城”建筑。后来人们进一步发现废陶瓷、碎砖经磨细后可与石灰制成具有水硬性胶泥。此后又进一步发现用石灰和经煅烧的粘土可制成胶凝材料，并在此基础上出现了用碎石做骨料的混凝土。

由于资本主义的兴起，要求有强度较高的胶凝材料，十八世纪后半期，1756年出现了水硬性石灰，1796年出现了罗马水泥。这时人们认识到欲制成水硬性高的胶凝材料，必须磨细含有适量（20~25%左右）粘土的石灰，并经煅烧后方能获得。但制造这种材料的天然原料是不易获得的，必须进行人工配料才行。

十九世纪初（1810~1825年）已出现用人工配料，高温煅烧和磨细等方法来制造水硬性胶凝材料，并开始组织生产。1824年，英国泥水工J·阿斯普建设厂制造水泥成功，并以“改进人造石块的生产方法”一文申请获得专利权，由他制成的水泥称为波特兰水泥。现在我国称之为硅酸盐水泥。

硅酸盐水泥出现后，应用日益普遍。一百多年来，由于各国的科学家和水泥生产者的不断研究、探索及生产工艺的改进，使硅酸盐水泥生产不断提高和完善。同时水泥制品也相应得到发展。

由于工业不断发展，以及军事工程和特殊工程的需要，先后制成了各种特殊用途的水

硬性胶凝材料，如高强快硬水泥、矾土水泥、膨胀水泥、抗硫酸盐水泥、油井水泥等。

三、水泥在国民经济中的作用

水泥是基本建设中重要的建筑材料之一，随着现代工业的发展，它在国民经济中的地位日益提高，应用也日益广泛。我国发展国民经济将燃料、动力、交通运输和建筑材料列为先行，而建筑材料工业中尤以水泥工业居于首位。因而水泥工业是国民经济不可缺少的重要部门。

现在水泥已广泛应用于工业建筑、民用建筑、水工建筑、道路建筑、农田水利建筑和军事工程等方面。由水泥制成的各种水泥制品，如钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土、坑木、轨枕、水泥船和石棉水泥制品等广泛应用于各工业、交通等部门。

目前，世界各国水泥工业均有一定发展。从生产规模看，都向大型化方向发展，使成本降低，劳动生产率提高；从生产方法看，向干法生产发展，先后出现悬浮预热器窑，窑外分解窑等；从自动化方向看，出现了利用电子计算机自动控制，使劳动生产率大大提高，并且降低消耗。随着科学技术的发展，现代测试技术的广泛应用，水泥科学技术的研究也获得了不少进展。

四、我国水泥工业的发展

胶凝材料在我国很早就已使用。1876年我国在河北省唐山首先建立启新洋灰公司（即今唐山启新水泥厂）。以后又相继建立了大连、上海、中国、广州以及其他一些水泥厂。但在解放前胶凝材料工业和其他工业一样，发展一直非常缓慢。旧中国水泥工业不仅产量低而且品种少，历史上水泥最高年产量仅229万吨（1942年），从1876年至1949年七十三年间，只能生产普通硅酸盐水泥和矿渣硅酸盐水泥两个品种，在解放时我国水泥年产量只有66万吨。

解放后在党中央领导下，水泥工业和其他工业一样得到迅速发展。老企业开展技术革新和技术革命，并进行了改造和扩建；新厂逐步根据合理布局发展起来；水泥品种不断增多，目前成批大量生产的水泥已有20多种，水泥产量截止1978年底已达到6524万吨。在发展各类回转窑水泥厂的同时，立窑水泥厂的建设也迅速发展，这些立窑水泥厂的产量已占全国水泥产量的50%以上。

在水泥科学技术发展方面，也进行了大量的研究。天然资源和工业废渣综合利用的研究，水泥新品种的研究试制，生产工艺、设备的改革和研制，以及水泥理论方面的研究等均取得了很大的进展。

但是，我国水泥工业和世界先进科学技术水平相比较还有很大差距，机械化、自动化水平还不高，产量和质量还远远不能满足国民经济建设发展的需要。因而水泥工作者应为实现水泥工业的现代化和水泥科学技术的现代化而努力奋斗，做出贡献。

第一章 硅酸盐水泥生产概述

第一节 硅酸盐水泥的定义和国家标准

硅酸盐水泥是胶凝材料中产量最大，用途最广的一种材料。按照国家标准GB175-77规定：凡以适当成分的生料、烧至部分熔融，所得以硅酸钙为主要成分的硅酸盐水泥熟料，加入适量的石膏，磨细制成的水硬性胶凝材料，称为硅酸盐水泥。

水泥的品种很多，常用的有硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥。此外，还有性能特殊的矾土水泥以及特种水泥。这些水泥广泛的应用于各种要求的建筑工程之中。此处主要介绍硅酸盐水泥与普通硅酸盐水泥，其它品种水泥以后专门列章介绍。

根据国家标准GB175-77规定：凡由硅酸盐水泥熟料、少量混合材料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料，称为普通硅酸盐水泥（简称普通水泥）。水泥中混合材料掺加量按重量百分比计：掺活性混合材料时，不得超过15%；掺非活性混合材料时，不得超过10%；同时掺活性和非活性混合材料时，总量不得超过15%，其中非活性混合材料不得超过10%。

活性混合材料必须符合GB203-78《用于水泥中的粒化高炉矿渣》，技术条件 103-56《用于胶凝材料中火山灰质混合材料》及粉煤灰品质标准的规定。非活性混合材料系指仅起填充作用的矿物材料（如石灰石、砂岩等）。

不同的工程，对水泥的强度要求不同，水泥的强度一般用标号来表示。水泥标号按国家标准GB177-77《水泥胶砂强度检验方法》进行检验。根据国家标准GB177-77规定：硅酸盐水泥分425、525、625三个标号。普通硅酸盐水泥分225、275、325、425、525、625六个标号。标号越高，强度越大，质量也越好。

水泥的品质，在国家标准GB175-77中规定，必须达到下列标准：

1. 氧化镁（ MgO ）：熟料氧化镁的含量不得超过5%。如水泥经压蒸安定性试验合格，则熟料中氧化镁的含量允许放宽到6%。

2. 三氧化硫（ SO_3 ）：水泥中三氧化硫的含量不得超过3.5%。

3. 细度：0.080毫米方孔筛筛余不得超过15%。

4. 凝结时间：初凝不得早于45分钟，终凝不得迟于12小时。

5. 安定性：用沸煮法检验，必须合格。

6. 强度：按国家标准GB177-77规定的强度检验方法试验，各龄期强度均不得低于下列数值（表1-1）。

国家标准规定：出厂水泥不但应保证标号，而且其余品质也要符合规定的要求。否则不得出厂。

表 1-1

水泥标号	硅 酸 盐 水 泥			普 通 水 泥		
	3 天	7 天	28 天	3 天	7 天	28 天
抗 压 强 度 (公斤/厘米 ²)						
225	—	—	—	—	130	225
275	—	—	—	—	160	275
325	—	—	—	120	190	325
425	180	270	425	160	250	425
525	230	340	525	210	320	525
625	290	430	625	270	410	625
抗 折 强 度 (公斤/厘米 ²)						
225	—	—	—	—	28	45
275	—	—	—	—	33	50
325	—	—	—	25	37	55
425	34	46	64	34	46	64
525	42	54	72	42	54	72
625	50	62	80	50	62	80

第二节 硅酸盐水泥的生产方法

一、硅酸盐水泥生产方法的分类

由于各地条件，原料资源和采用的主机设备等情况的不同，水泥的生产方法也有所不同。

(一) 按生料制备的方法分

1. 湿法：采用湿法生产时，是把各种原料加水进行粉磨和混合，得到的粘稠浆液称生料浆（一般料浆含水分33~40%）。此料浆入窑煅烧。

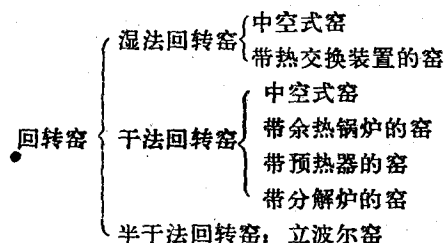
2. 干法：采用干法生产时，原料需预先干燥，然后进行磨碎和混合，制得的干细粉末叫生料粉（一般含水量应<1%），入窑物料为干粉。

3. 半干法：介于湿法与干法两者之间的生产方法（也有划在干法之内的），将干法制得的生料粉调配均匀加适量的水（一般加水12~14%），制成料球再入窑煅烧。一般回转窑生产可采用湿法、干法和半干法，立窑生产只采用半干法。

(二) 按煅烧熟料窑的结构分

1. 立窑：有普通立窑和机械化立窑。

2. 回转窑：



二、各种生产方法的特点

(一) 立窑生产的特点

根据立窑煅烧熟料的特点,为了有利于立窑内通风,一般均将磨细的生料粉与燃料(焦炭末或无烟煤粉)按一定比例配合或燃料与原料混合粉磨成黑料,再加水拌和制成料球,然后从立窑的上端加入窑中进行煅烧。这种加料方法称混入法。此外,尚有一种分层加料法,即将生料和燃料一层间一层加入窑中,这种方法目前已很少采用。

立窑有普通立窑和机械化立窑两种,机械化立窑加料和卸料都是连续的,且生产过程都是通过机械操纵,而普通立窑的卸料是人工间歇的。

目前,在我国水泥工业发展中,小水泥生产占有较大的比重,小水泥厂都以立窑生产为主,立窑生产水泥具有如下优点:

1. 基本建设投资小,投入生产快。
2. 立窑内填充系数高,因而单位体积产量高。
3. 可以就地取材,充分利用地方资源,一些工业废渣如焦炭末、烟道灰以及劣质煤也可部分的作为烧成燃料。
4. 窑内传热效率高,散热损失小,约为总热耗的3% (回转窑散热损失为总热耗的15%),故单位热耗低,可节约烧成用燃料。目前,我国一般立窑的熟料烧成热耗为850~1100千卡/公斤熟料。
5. 需用设备和动力容量少,单位产量需用设备和动力容量,小型立窑水泥厂比大中型回转窑水泥厂约少50%左右,故可节约钢材和动力。

同时,立窑生产适用于交通不便的边远地区,有利于因地制宜。但是,目前立窑生产水泥也存在一定的缺点,如生产规模小,非机械化立窑熟料质量较差,劳动生产率低,劳动强度较大,单机产量低。但如能加强技术管理,熟料质量可以不断提高。

(二) 回转窑生产的特点

回转窑生产由于原料性质、建厂地区的自然条件、建厂规模和熟料质量要求等不同,而分别采用干法、湿法或半干法的生料制备方法及其相应的回转窑类型。

1. 干法:含天然水分较大的原料,破碎后先经烘干,再按一定的比例配合,喂入磨机中粉磨成生料粉。或者当原料水分比较小时,采用向磨机内通入热风进行同时烘干、粉磨生料。

由于生料在一般设备中不容易混合均匀,为了确保熟料质量,以利煅烧操作,一方面要稳定各原料的成分,另一方面采用压缩空气搅拌系统调匀生料,可收到比较好的效果。

生料调配均匀,符合要求后即喂入干法回转窑,由于干法生产入窑的是生料粉,在窑内可以省去干燥生料这一过程,所以干法窑比湿法窑短得多。

干法生产时,由窑尾排出的废气温度一般高达700~900°C,为了充分利用热量,很多

厂在窑尾装设旋风预热器、立筒预热器或窑外分解炉等设备，以降低热耗，提高熟料的产、质量。

干法生产的主要优点是热耗低，带预热器干法窑热耗的先进指标可达到750~900千卡/公斤熟料。缺点是需要采用较复杂的空气搅拌系统才能保证生料成分均匀；在烘干、烧成、粉磨及输送过程中扬尘较大；电耗较高等。

2.湿法：湿法生产的特点，是含天然水分的原料破碎后不需烘干（粘土等软质原料则先加水淘制成粘土浆），按一定比例配合，直接喂入磨机，加水一起粉磨成生料浆。

由于生料浆容易搅拌均匀，所以成分波动小，有利于煅烧操作，保证熟料质量。生料浆经调配均匀符合要求后即喂入湿法回转窑（一般窑体比较长，窑内挂有链条等热交换装置）。或经料浆蒸发机等设备再进入回转短窑，煅烧成熟料。

湿法生产的主要优点是：生料呈浆状容易混合均匀，对生料成分易于控制，烧制的熟料质量比较高；料浆输送方便，原料车间扬尘少，环境卫生较好。此外，可省去原料干燥的设备和管理费用。缺点是料浆需要在窑内烘干水分，热耗较高，每公斤熟料耗热量为1250~1500千卡。

3.半干法：介于湿法和干法两者之间的生产方法，习惯上称为半干法（国外目前把这种窑划在干法回转窑内）。它的特点是干法粉磨的生料经调配均匀，加适量的水（一般加水12~14%）制成料球，通过篦式加热机喂入回转窑烧成熟料，这种带篦式加热机的窑称立波尔窑。

立波尔窑由于窑内排出的高温废气再次通过物料，并且接触良好，传热迅速，所以热效率较高、煤耗低、生产能力较大。熟料热耗一般为850~1000千卡/公斤熟料，但篦式加热机管理比较复杂，运转率较低，而且生料要成球，需要有良好的可塑性。

综上所述，回转窑生产与立窑生产相比，工厂规模较大，熟料质量稳定，产量高；但湿法窑热耗较立窑为大；机械设备比较复杂，需用钢材多；占地面积大，基建投资高，建厂时间长。

三、生产方法的选择

在建厂时应该根据国家的方针政策，建厂地区的资源情况，自然条件和经济条件，经过技术经济的对比，最后确定一种合理的生产方法。

在选择生产方法时，一般应考虑如下的因素：

1.当原料矿山储量不大，交通不够便利的地方，可以建立小型水泥厂，采用立窑生产，这样可以充分地利用地方资源，有利于改变我国水泥工业的布局。如果原料矿山储藏量大，交通便利，可建大中型水泥厂时，则宜采用回转窑生产。

2.当主要原料含天然水分多，成分波动大，粘土原料中又多夹杂物，或者主要原料属于软质的（例如白垩土），易被水松散成细粒时，采用湿法比较适当。反之，原料质量较好，又施以预均化措施的，可采用干法或半干法。

3.当工厂所在地区潮湿多雨，气候温暖，冰冻期短，水源比较充足时，可考虑采用湿法；反之则采用干法。因此，在我国南方雨多的地方多采用湿法生产，北方则采用干法或半干法生产。为了广泛充分地利用地方资源，立窑水泥厂遍及全国各地。

4.当使用含水分较大的工业废渣（例如制铝工业的残渣—赤泥等）作为原料时，宜采用湿法。当使用高炉矿渣代替部分粘土质原料时，由于矿渣在料浆贮运过程中容易发生结

硬现象，所以宜采用干法。

5. 生料成球的难易（即生料塑性的好坏）和生料球的强度、炸裂等性能是决定能否采用半干法的主要条件之一。

6. 在选择、确定生产方法时，还必须考虑对熟料质量的要求和燃料的供给情况，一般湿法生产的熟料质量较干法和半干法为优。

四、生产方法的新趋向

从以上各种生产方法的对比可以知道，不同的生产方法各有其优缺点。湿法生产虽有不少优点，过去在国内外水泥生产中一直占有较大的比重，但由于热耗高，一些国家进而转向干法生产技术的研究，利用干法热耗低的优越性，努力克服干法的缺点。在粉磨兼烘干利用废热方面，在原料预均化和生料搅拌方面，以及在干粉料的输送和收尘方面，出现了一些新设备和新技术，使干法生产得到了很大的改进。因此，国外水泥工业的发展已明显地趋向于干法。我国水泥工业也开始向干法转化。

从七十年代开始，日本、丹麦、西德等国先后在带有旋风预热器窑的窑尾装置不同形式的分解炉，使窑的产量大幅度提高，这是继旋风预热器之后的又一重大技术突破。

日本于1971年首先研制成功了SF型和MFC型分解炉并投入了生产。以后，其它国家又不断出现了新的分解炉型。由于这种窑外分解煅烧技术显示出一系列的优点，所以在近几年中得到了迅速的发展。

窑外分解煅烧技术就是在悬浮预热器与回转窑之间增设一个分解炉，在其中加入约60%的燃料，与生料紧密混合，使燃料的燃烧过程和生料的吸热过程同时在悬浮状态下极其迅速地进行，使生料在入回转窑时已完成85~90%的分解。

采用窑外分解技术的主要优点是：

1. 窑的单位容积产量高。因为生料中的碳酸盐在高效的分解炉内达到85%以上的分解率。而分解反应需要消耗整个煅烧过程所需热量的一半，于是在回转窑内传递的热量就大大减少了。因此带分解炉窑的生产率达到了同直径悬浮预热器窑的两倍以上，湿法窑的四倍左右。这样就可以在不加大或稍加大窑的尺寸的条件下，大幅度提高机组的产量。

2. 窑的单位容积产量高，因而窑的体积小，占地面积减少，比较容易制造和安装，故基建投资比较低。

3. 由于分解反应是在分解炉内完成的，而熟料的煅烧反应则在窑内进行，所以这些反应可以较易的分别控制，不会互相干扰。相应地，煅烧过程中的操作控制及其最佳化就比普通方法容易得多，从而使整个系统能够维持高度稳定状态。

4. 热耗可比悬浮预热器窑降低10~20千卡/公斤熟料。

5. 由于烧成带热负荷减轻，窑衬寿命较长，单位耐火砖消耗量约为普通窑型的1/2~1/3。

6. 可以改造旧窑。

7. 可减少大气污染，由于大部分燃料是在较低的温度（850~950℃）下燃烧的，故产生的有害气体少，污染大气的氧化氮降为原来的1/4。即浓度降到140~160%。

目前，我国水泥生产中，大、中型厂湿法生产的产量占57%，干法生产占43%；如包括中、小型立窑在内，则干法生产的产量约占水泥总产量的65%左右。

水泥生产的方法不是一成不变的，它是在生产实践中不断发展和改进的。当前，我国

也正在加强干法生产工艺及设备的研究和设计工作，窑外分解的新技术也正在得到推广，四平、本溪水泥厂的窑外分解炉已建成投产，并收到了良好的效果。

第三节 硅酸盐水泥的生产过程

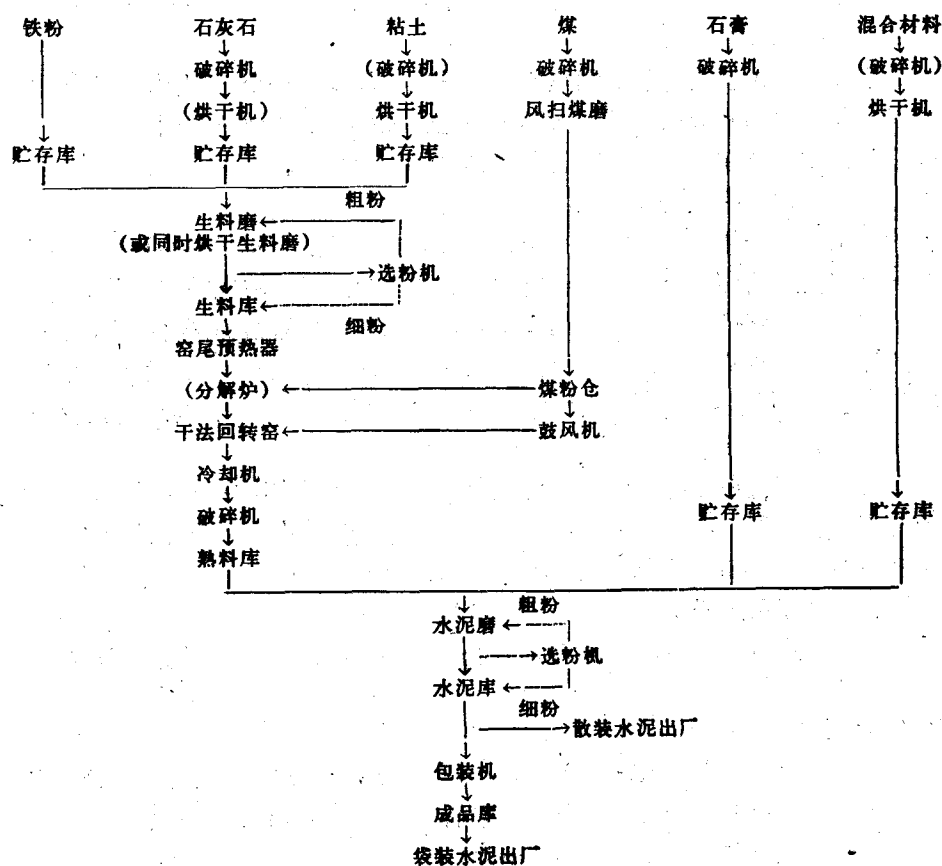
当生产方法确定后，就要根据原料的种类和性质，以及采用的生产设备来确定水泥生产工艺过程。

在确定某一种工艺过程时，应特别注意在生产中技术管理方便和降低水泥成本等问题，同时还应考虑到生产工艺上的几个重要条件，即最有效的粉磨设备，最均匀的调合控制，最优良的熟料烧成，最合理的热利用和动力使用，最经济的运输流程，最高的劳动生产率，最有力的防尘除尘措施，最少的占地面积以及最低的生产流动资金等。因此，工艺流程也应通过不同方案的分析比较而确定。

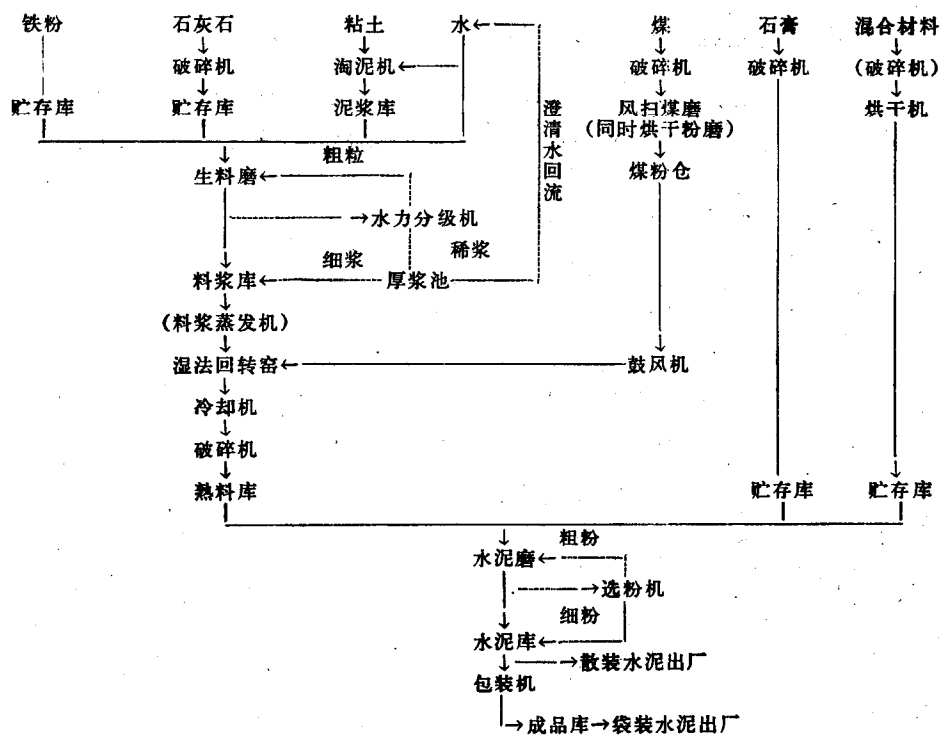
现介绍几种典型的硅酸盐水泥生产的工艺过程。

一、回转窑生产工艺过程

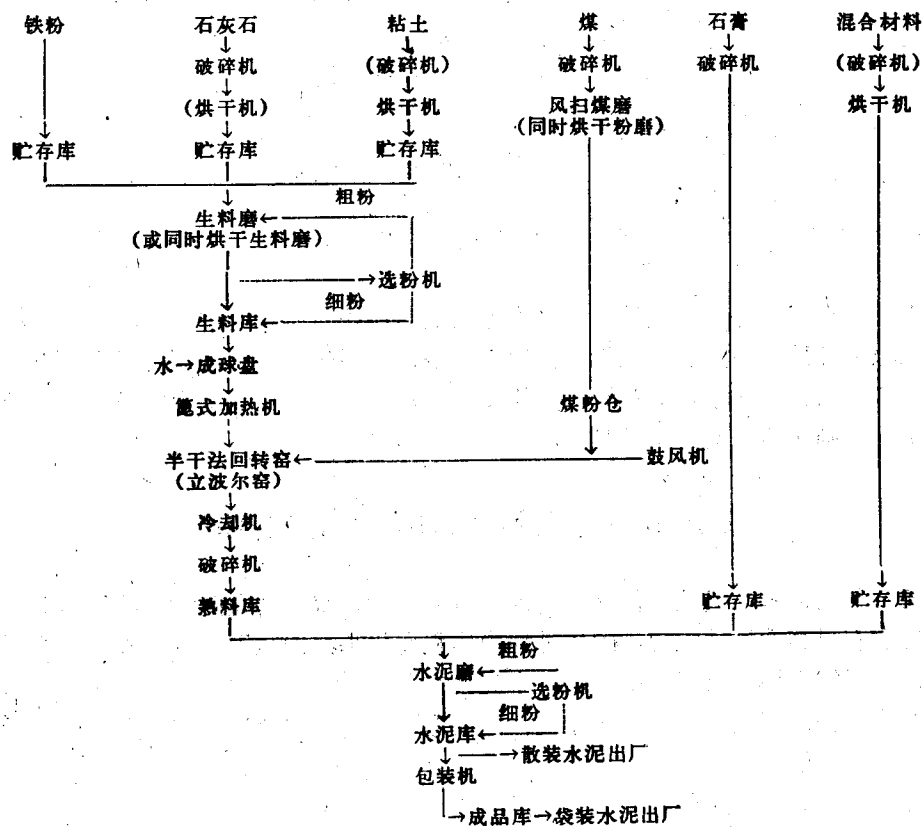
(一) 干法回转窑生产工艺过程



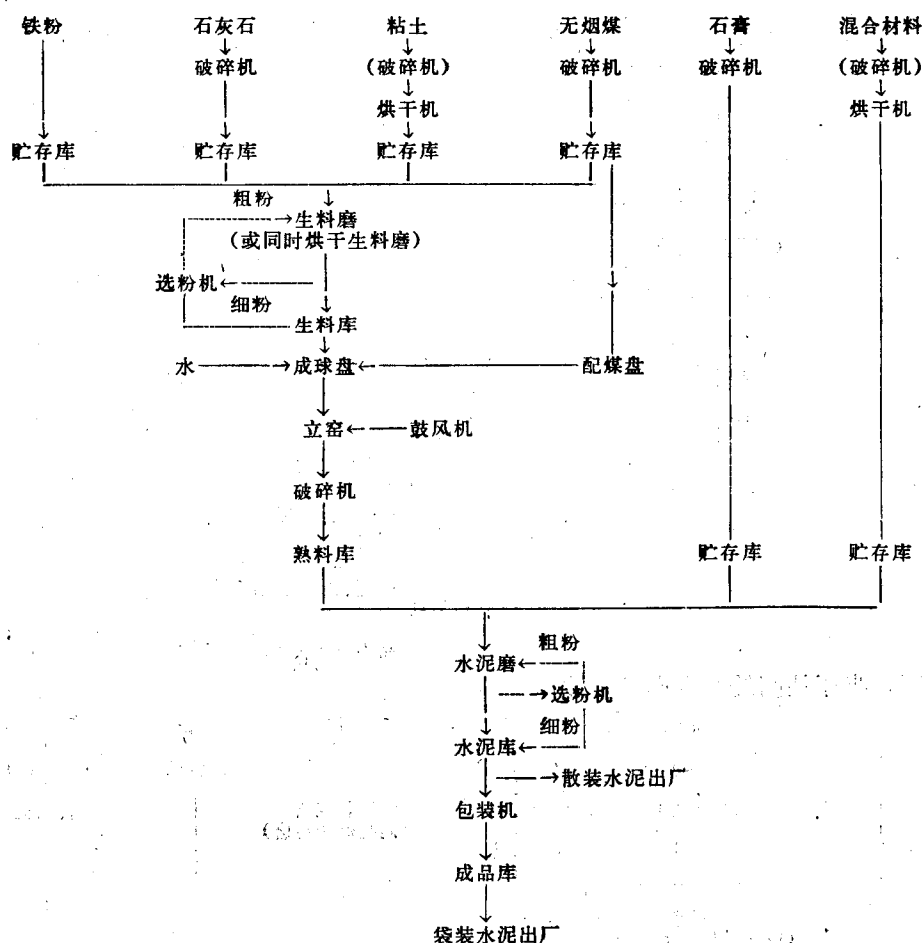
(二) 湿法回转窑生产工艺过程



(三) 半干法回转窑生产工艺过程



二、立窑生产工艺过程



从上述生产工艺过程可以看出，不论是用立窑还是回转窑生产水泥，工艺流程都是相似的。除原料开采外，主要可以划分为生料制备、熟料烧成、水泥制成三个阶段。

另外应注意，当原料水分不大（入磨物料平均水分 $<6\%$ ）时，才适于采用同时烘干生料磨，不然，则会给粉磨带来困难。

第四节 硅酸盐水泥的特性和使用范围

水泥的种类很多，仅硅酸盐水泥目前就有十几种。水泥具有良好的粘结性和可塑性，凝结硬化后有很高的机械强度，硬化过程中体积变化小，能和钢筋配合制成钢筋混凝土预制构件或用于其它混凝土工程中。由于水泥具有上述性能，使它成为基本建设中不可缺少的主要建筑材料，广泛应用于工业建筑、民用建筑、道路与桥梁建筑、水利工程、地下工程以及国防等工程。

现将最常用的几种硅酸盐类水泥的特性及使用范围列于表1-2。

几种水泥的特性及使用范围

表 1-2

水泥 品种	特 性		使 用 范 围	
	优 点	缺 点	适 用 于	不 适 用 于
普通硅酸盐水泥	1. 早期强度高 2. 凝结硬化快 3. 抗冻性好	1. 水化热较高 2. 抗水性差 3. 耐酸硷和硫酸盐类的化学侵蚀差	1. 一般地上工程和不受侵蚀作用的地下工程, 以及不受水压作用的工程 2. 无腐蚀水中的受冻工程 3. 早期强度要求较高的工程 4. 在低温条件下需要强度发展较快的工程。但每月平均气温在4°C以下或最低气温在-3°C以下时, 应按冬季施工规定办理	1. 水利工程的水中部分 2. 大体积混凝土工程 3. 受化学侵蚀的工程
火山灰质硅酸盐水泥	1. 对硫酸盐类侵蚀的抵抗能力强 2. 抗水性好 3. 水化热较低 4. 在湿润环境中后期强度的增进率较大 5. 在蒸汽养护中强度发展较快	1. 早期强度低, 凝结较慢, 在低温环境中尤甚 2. 耐冻性差 3. 吸水性大 4. 干缩性较大	1. 地下、水中工程及经常受较高水压的工程 2. 受海水及含硫酸盐类溶液侵蚀的工程 3. 大体积混凝土工程 4. 蒸汽养护的工程 5. 远距离运输的矿浆和混凝土	1. 气候干热地区或难于维持$20\sim 30$天内经常湿润的工程 2. 早期强度要求高的工程 3. 受冻工程
矿渣硅酸盐水泥	1. 对硫酸盐类侵蚀的抵抗能力及抗水性较好 2. 耐热性好 3. 水化热低 4. 在蒸汽养护中强度发展较快 5. 在潮湿环境中后期强度增进率较大	1. 早期强度低, 凝结较慢, 在低温环境中尤甚 2. 耐冻性较差 3. 干缩性大, 有泌水现象	1. 地下、水中和海水中的工程, 以及经常受高水压的工程 2. 大体积混凝土工程 3. 蒸汽养护的工程 4. 受热工程 5. 代替普通硅酸盐水泥用于地上工程, 但应加强养护。亦可用于不常受冻融交替作用的受冻工程	1. 对早期强度要求高的工程 2. 低温环境中施工而无保温措施的工程
粉煤灰硅酸盐水泥	1. 对硫酸盐类侵蚀的抵抗能力及抗水性较好 2. 水化热低 3. 干缩性较小, 抗拉强度较高, 抗裂性好 4. 耐热性好 5. 后期强度增进率较大	1. 早期强度较低 2. 抗冻性较差 3. 抗碳化性能较差	1. 一般民用和工业建筑工程 2. 水工大体积混凝土 3. 混凝土和钢筋混凝土的地下及水中结构 4. 用蒸汽养护的构件	1. 早期强度要求高的混凝土工程 2. 气候干燥和气温较高地区的混凝土工程 3. 受冻工程和有水位升降的混凝土工程 4. 不宜用于抗碳化要求的工程