

建材情报资料

总第8231号

水泥类 4

低温烧制水泥新技术

(调研报告)

国家建材局技术情报标准研究所

1982.8.



编 辑 前 言

全国水泥技术情报网1981年进行了“水泥生产节能和资源综合利用”课题的调查研究，包括烧成工艺、低温煅烧水泥、低温合成水泥和助磨剂应用等方面，其中“低温煅烧水泥”一项由华南工学院和哈尔滨建筑工程学院协作承担，已于今年年初完成，由华南工学院罗振华、田庆芳执笔提出了以该院研制成功并推广生产的加复合矿化剂低温烧制硅酸盐水泥为主要内容的调研报告，哈尔滨建筑工程学院王志伟、卫惠云则撰写了东北、华北地区水泥低温煅烧情况的调查材料，现一并印行。

罗振华等的报告包容了他们与一些水泥厂协作试制和生产低温烧制硅酸盐水泥的详尽资料。因篇幅所限，我所编印时作了些删改。

本资料由我所庞以训审改、编辑，丁抗生参预了审定、编辑工作。编者水平有限，有讹误处，尚请教正。

国家建材工业局技术情报标准研究所

1982.6.

目 录

低温烧制水泥调研报告	罗振华、田庆芳
------------------	---------

- (一)国内外有关低温烧制水泥的情况简介..... (1)
- (二)立窑低温烧制硅酸盐水泥的主要生产工艺..... (4)
- (三)低温烧制硅酸盐水泥实例..... (15)
- (四)低温烧制的硅酸盐水泥及其混凝土的主要性能..... (24)

东北、华北地区水泥低温煅烧调查材料	王志伟、卫惠云
-------------------------	---------

- (一)粉煤灰早强水泥..... (30)
- (二)超早强水泥..... (31)
- (三)碱渣水泥..... (33)
- (四)硫铝酸盐早强水泥..... (35)
- (五)硫铝酸盐水泥..... (35)
- (六)煤矸石低温煅烧水泥熟料的研究..... (36)

低温烧制水泥调研报告

罗振华 田庆芳

(一) 国内外有关低温烧制水泥的情况简介

为了节约能源,水泥工作者都在探索生产水泥的新工艺。低温烧制水泥熟料目前已是国内外水泥工作者广泛进行探索的研究项目之一。

近几年来有关低温煅烧方面的文献、资料报道比较多,综合分析,就其所用的原料、外加剂的种类和掺量不同以及熟料中所形成的新矿物的种类和数量不同,可以分为两大类:低温烧制非硅酸盐水泥(其中以硫铝酸盐型和氟铝酸盐型水泥研究得较多);低温烧制硅酸盐水泥。现就目前所掌握的资料作一简单介绍。

一、低温烧制非硅酸盐水泥

1. 高铁水泥^[1]:

美国加利福尼亚大学P.K.Mehta认为:熟料组成从高钙化合物改变为低钙化合物是一个节约能量的措施。他研制的高铁水泥,其CaO含量可比波特兰水泥大约少25%, Fe_2O_3 含量可达5~20%,并含有10%硫酸盐,熟料约在1200℃烧成。其化学成份和可能的矿物组成如下:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	C ₄ AF	C ₄ A ₃ S	CS	C ₂ S
12	16	10	50	11	30	20	15	35

生产这种水泥的能耗比普通硅酸盐水泥低25%。

2. 高石膏特种水泥^[2]:

用石灰石质材料,铝土质材料及含SO₃的材料混合破碎、研磨,在1250℃下煅烧,熟料中含C₄A₃S≥40%,fCaO≤30%。

3. 波色尔水泥^[3]:

印度学者V.N.Viswanathan等在试验室研制了一种新型无机水泥,可以用传统的原料,如石灰石、粘土、矾土、石膏来生产,也可以用非传统的原料如石灰石、斜长岩、石膏来生产。用萤石作矿化剂,煅烧温度为1280℃~1340℃(视所用原料不同而异)。其设计熟料化学成份和计算矿物组成为(%):

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	SO ₃	β-C ₂ S	C ₄ A ₃ S	CA	C ₁₂ A ₇
21~24	15~20	50~54	1.5~3.0	55~60	10~20	5~20	0~10

熟料质软而多孔,粉磨时不加缓凝剂,水泥兼有波特兰水泥、抗硫酸盐水泥和高铝水泥的性能。

4. 快硬硫铝酸盐贝利特水泥^[4]:

苏联学者И.Б.Кравченко等研制的快硬硫铝酸盐贝利特水泥是用白垩、石膏、高岭土、高铝粉煤灰、二次处理铝渣、明矾石和碱性高炉渣等原料,在1150℃~1250℃下烧成的,对

煅烧原料要求 Al_2O_3 含量不应少于20%。熟料中保留有少量 $fCaO$ 没有害处,相反,能稍微提高水泥石的强度。熟料的矿物组成如下(%):

熟料组成	C_4A_3S	C_2S	C_3A	$CaSO_4$	$f-CaO$	其它
普通水泥熟料	15.06	67.47	2.32	7.72	痕迹	—
普通水泥熟料	38.80	7.96	12.43	6.13	6.34	—

熟料易磨,孔隙率达60%,很容易粉磨。

6. 超早强水泥[6][7],

苏联科学家发现在生料中逐步添加氯化钙可使熟料煅烧温度降低400~500℃。并发现了称为“阿利尼特”的新的高碱硅酸钙矿物。由于氯离子进入晶格节点,阿利尼特熟料可在1000~1100℃下烧成并且熟料容易粉磨,可以节能30%。

6. 超早强水泥[6][7],

日本福水敏宏提出了一种同时具备早强和膨胀性能的水泥,使用的原料除石灰石、粘土、石英、石膏、萤石外还用矾土作为 Al_2O_3 的来源。煅烧温度为1200—1450℃。熟料矿物组成为: C_3S 或 C_2S 、 C_3A 、 C_4AF 中至少一种, $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$ 和 $C_4A_3\bar{S}$ 。实用上,最佳矿物组成为 $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$ 与 $C_4A_3\bar{S}$ 的含量占5—15%(重量比), $C_{11}A_7 \cdot CaF_2/C_4A_3\bar{S}$ (重量比)在3/97~70/30的范围内。由于煅烧温度低于硅酸盐水泥,可以节约燃料。

上海海洋水泥厂和同济大学建材系共同研制的超早强水泥以石灰石、铁矾土(或矾土)和石膏为主要原料,配料化学成份(%)控制在 $CaO40$, Al_2O_322 , SO_322 , SiO_28 , Fe_2O_38 ,外加适量萤石。烧成温度在1280℃以下。熟料的主要矿物组成是 C_2S 、 $C_4A_3\bar{S}$ 、 $C_{12}A_7$ 、 CA 以及少量 C_2F 、 $CaSO_4$ 和 CaS 。

7. 新型早强与自应力水泥[8],

建材研究院和石家庄水泥制品厂等单位研制的这种水泥系用石灰石、矾土、石膏三组分配料,其中石膏必须加足,使生料中 Al_2O_3 全部形成 $C_4A_3\bar{S}$,烧成温度控制在1350℃±50℃,控制 $fCaO<0.5\%$,避免还原气氛,以防石膏分解。熟料中的主要矿物为 $C_4A_3\bar{S}$ 和 $\beta-C_2S$,两者之和>85%。用这样的熟料按不同的石膏加入量可以配制成早强、微膨胀、膨胀和自应力等不同性能的水泥。

8. 硫铝酸盐超早强水泥[9],

同济大学等单位研制成了硫铝酸盐型超早强水泥,其原料主要为石灰石、矾土、石膏。根据需要,有时加入少量铁粉和萤石。熟料的设计化学成份控制范围为(%):

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	SO_3
8—12	18—22	6—10	40—44	18—20

煅烧温度为1100℃~1280℃,要防止还原气氛。熟料的主要矿物组成为 $C_4A_3\bar{S}$ 、 C_2S 、 $CaSO_4$ 、 CA 和 $C_{12}A_7$ (或 $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$)。生产这种水泥烧成温度低,料子好烧,因而烧成煤耗低,产量高。

9. 双快抢修水泥[10],

建材研究院等单位研制的9型双快氟铝酸钙水泥是用石灰石、矾土和萤石等原料按比例配合后煅烧,温度为1350—1400℃,熟料主要矿物成分为 $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$ (含量达70%以上)、

C_2S 和少量的 C_2F 和 CT 。用这种熟料和硬石膏、矿渣配合可以生产出强度增长以小时计算的双快氟铝酸钙抢修水泥。

10. 双快型砂水泥^[11]。

建材研究院等单位研制的双快型砂水泥的原料为石灰石、粘土、矾土、萤石和石膏。它对原料的要求不高,由于型砂不存在长期稳定性问题,所以对石灰石中 MgO 的含量要求可以适当放宽。这种水泥熟料中,熔媒矿物多,烧成温度一般为 $1350^{\circ}C \sim 1400^{\circ}C$,比普通水泥熟料低,但烧成范围窄。熟料的主要矿物成份为 C_3S (42—60%), $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$ (21~27%), C_4AF (10%左右或 $<10\%$), $fCaO < 1\%$ 。

上述各种低温烧成的水泥一般有一个共同的特点,即,在原料方面除了用生产硅酸盐水泥的主要原料石灰石外,都要用 Al_2O_3 含量高的原料(如铝矾土、铝渣等),另外还要用较多的石膏或萤石,在较低的温度(低于 $1450^{\circ}C$)下烧成水泥熟料。所得熟料的矿物成份除含有一种以上硅酸盐水泥的熟料矿物以外,还含有较多的无水硫铝酸盐(主要是 $C_4A_3\bar{S}$)或氟铝酸盐(主要是 $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$),并依靠 $C_4A_3\bar{S}$ 和 $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$ 这两种早强矿物获得快凝、快硬的性能。

二、低温烧制硅酸盐水泥

就目前作者所掌握的资料看,关于低温烧制硅酸盐水泥的国外资料较少^[*]。据调查,江西省建筑科学研究所和江西万载县水泥厂协作在万载水泥厂利用本县发热量仅为 $1800 \sim 2400$ 千卡/公斤的劣质煤,采用在生料中掺氟石膏低温煅烧的办法^[12],不仅可节煤,还提高了水泥的质量。由于煤的发热量低,生料中不用加粘土,这为用劣质煤烧制325号以上火山灰水泥和矿渣水泥提供了参考经验。

哈尔滨建筑工程学院近二年来也在进行煤矸石低温煅烧水泥熟料的研究^[13],用煤矸石和沸腾炉渣代替粘土配料,外掺萤石0—3.15%,石膏1—3.85%,煅烧温度在 $1250^{\circ}C \sim 1300^{\circ}C$ 之间,烧成的熟料矿物成份主要为A矿,其次是 $\beta-C_2S$, C_4AF 与 $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$,熟料性能不低于同样条件下用粘土配烧的熟料。

华南工学院从70年代初期开始进行低温烧制硅酸盐水泥的研究工作,1975年开始在小、型试验立窑和普通立窑上进行中间性生产试验。1979年到1980年先后在 $\varnothing 2.5 \times 10$ 米塔式机立窑和 $\varnothing 3 \times 100$ 米回转窑上进行了工业试验,都成功地烧制了快硬425号硅酸盐水泥,1980年6月20日~24日在恩平县通过了“立窑低温烧制快硬硅酸盐水泥”项目的省级鉴定后,在广东省许多水泥厂逐步进行了推广。作者认为低温烧制硅酸盐水泥的含义就是用现有的生产硅酸盐水泥的原、燃料及设备,在生料中加入少量石膏、萤石等作为复合矿化剂,在较低温度下($1250^{\circ}C \sim 1350^{\circ}C$)煅烧,所得以阿利特为主,有一定数量铁铝酸四钙,少量贝利特及无水硫铝酸钙、氟铝酸钙的熟料,加适量石膏和活性混合材(火山灰,矿渣、粉煤灰等)磨细制成完全符合国家规定的硅酸盐水泥等五大水泥标准之一或快硬硅酸盐水泥标准的水泥。

和低温烧制非硅酸盐水泥以及和传统的水泥生产方法相比,在低温烧制的硅酸盐水泥熟

[* 例如日本近藤连一等1974年发表报告研制出用高炉和转炉矿渣为原料生产的“铁渣水泥”,矿物组成可为 $C_3S 53\%$, $C_2S 10\%$, $C_3A 8\%$, $C_4A(F, M') 22\%$, 烧成温度 $1350^{\circ}C$ 以上,76年又介绍了“新铁渣水泥”,组成可为 $C_3S 60\%$, $C_2S 11.3\%$, $C_3A 4.9\%$, $C_4A(F, M') 15.4\%$, 烧成温度 $1150 \sim 1400^{\circ}C$ 。水泥性能不逊于普通硅酸盐水泥。——编者注]

料中,硫铝酸盐和氟铝酸盐含量较低,因此,原料中就可以不用价格昂贵的矾土,而且石膏、萤石用量也较少,还可以利用传统生产水泥方法认为不适合用的含硅低的硅铝质原料(如:低硅粘土、低硅煤矸石等, SiO_2 含量低至48%都可用),对碳酸钙结晶粗大的石灰石的适用性也较强。可用发热量比较低的煤($Q_{\text{低}}^y = 3000 \sim 3500$ 千卡/公斤)烧制出高质量的水泥。可以生产多品种水泥,特别是立窑煅烧的熟料,不需要筛选分级,也不需要特别细磨就能生产325号和375号快硬硅酸盐水泥。考虑到我们国家幅员辽阔,人口众多,国家建设和人民生活提高需要水泥的数量是很大的。由于矾土资源分布不广,价格较昂贵,同时交通运输较紧张,因此广泛地应用矾土作为水泥工业原料是不现实的,也是不经济的,所以,作者认为研究并推广低温烧制硅酸盐水泥新技术,是适合我国水泥工业,特别是小水泥企业发展需要的。它既能降低水泥熟料的烧成温度,降低煤耗,又能充份利用现有资源并扩大其来源。

(二)立窑低温烧制硅酸盐水泥的主要生产工艺

一、原、燃料

低温烧制硅酸盐水泥熟料对原、燃料无特殊要求,而且用一些易烧性差的石灰石(如难烧的肇庆石灰石,紫金县的粗晶型大理岩型石灰石, CaCO_3 晶体较粗,达20~30微米)及含砂量高的粘土(如恩平县水泥厂和水口水泥厂粘土含砂量高达25~40%)也能生产出高质量的熟料。一些用普通方法认为不适合用的低硅粘土、低发热量(发热量为3000~3800千卡/公斤)的煤也能使用。因此,与传统方法相比,对原、燃料的要求放宽了。

所使用过的原、燃料的化学成份如表1所示。

原 燃 料 的 化 学 成 份

表 1

原料名称	L	S	A	F	C	M	$\bar{S}$	CaF ₂	煤发热量 $Q_{\text{低}}^y$ 千卡/公斤
石灰石	42.37	1.96	0.64	0.33	53.73	0.55	0.46		
石灰石	40.33	4.81	1.44	0.81	48.94	2.09			
粘 子	7.15	64.68	18.82	5.35	0.84	0.20			
粘 土	6.66	66.45	14.33	9.11	0.75	1.08			
粘 土	11.37	48.29	23.21	13.74	0.96	0.10			
粘 土	12.89	47.10	24.50	12.90	0.84	0.20			
煤矸石	22.38	46.82	19.10	6.89	1.60	0.49			
煤矸石	23.00	44.83	20.35	5.51	1.06	0.75			
原 煤	45.06	30.42	16.25	2.65	2.47	0.96			2994
原 煤	58.43	23.23	13.34	2.96	1.22	0.34			4414
原 煤	51.30	27.03	15.60	4.18	1.56	0.21	68.39		3497
原 煤	75.38	13.47	6.01	2.25	1.28	0.37			5700
原 煤	38.58	39.26	16.14	1.43	1.82	0.66			2448
铁 粉	11.45	17.64	3.59	65.02	0.49	0.55			
萤 石	5.22	22.55	0.76	0.04	1.77				
石 膏	15.00	13.42	4.12	1.81	30.54	1.83	30.55		

二、生料的制备

生料制备方法和现有生产硅酸盐水泥的方法基本相同,只是要增加石膏和萤石的喂料系统。

1. 熟料的化学成份和矿物成份:

熟料的化学成份主要有 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 ,还有少量 SO_3 、 CaF_2 , MgO 的量控制在国家标准的范围之内。

通过几年的实践,特别是通过对同时含有石膏、萤石的生料低温烧制的熟料进行岩相分析和X射线分析,证实了这种熟料中除含有 C_3S 、 C_2S 、 C_4AF 外,还同时含有少量 $\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$ 和 $\text{C}_{11}\text{A}_7 \cdot \text{CaF}_2$,几乎没有 C_3A 。其中阿利特的数量比用传统方法生产的硅酸盐水泥熟料的阿利特的含量多,而贝利特则比传统方法要少。

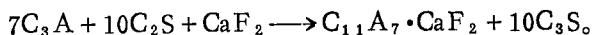
2. 饱和系数和矿物组成的计算:

以前报导过的C.Д.Окорочков 计算饱和系数的公式^[14]中没有考虑生成 $\text{C}_{11}\text{A}_7 \cdot \text{CaF}_2$ 及 SO_3 的影响。V.W.Viswanathan等提出的石灰饱和系数公式^[2]也未考虑 CaF_2 的影响,尽管在他们所研究的系统中也都同时含有石膏、萤石。在用 CaSO_4 、 CaF_2 作复合矿化剂低温烧制的熟料中同时含有 $\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$ 和 $\text{C}_{11}\text{A}_7 \cdot \text{CaF}_2$,作者认为在计算KH值及 $\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$ 、 $\text{C}_{11}\text{A}_7 \cdot \text{CaF}_2$ 含量时应同时考虑这二者都存在的因素。

当生料中有 CaSO_4 时,煅烧过程中有下列反应存在:

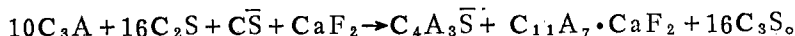


当生料中有 CaF_2 时,煅烧过程中有下列反应存在:

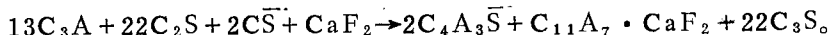


当生料中同时有 CaSO_4 和 CaF_2 存在时,煅烧过程中上述两个反应同时都存在,且当生料中 SO_3/CaF_2 克分子比一定时,在理想情况下上述两反应也可用一个反应式表示:

SO_3/CaF_2 克分子比等于1时反应为:



SO_3/CaF_2 克分子比等于2时反应为:



在此基础上对饱和系数及 $\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$ 、 $\text{C}_{11}\text{A}_7 \cdot \text{CaF}_2$ 的计算公式作必要的修正。具体计算过程如下:

(1) 水泥熟料的化学成份和矿物组成:

化学成份: CaO (简写为C)、 SiO_2 (简写为S)、 Al_2O_3 (简写为A)、 Fe_2O_3 (简写为F)、 MgO (简写为M)、 SO_3 (简写为 $\bar{\text{S}}$)、 CaF_2 。

矿物组成: C_3S 、 C_2S 、 C_4AF 、 $\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$ 、 $\text{C}_{11}\text{A}_7 \cdot \text{CaF}_2$ 、f- CaO 、 CS 、 CaF_2 。

(2) 熟料矿物中各氧化物间的数量关系:

为便于计算,将熟料中的 $\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$ 看作 $3(\text{CA}) + \text{CS}$, C_4AF 看作 $\text{CA} + \text{C}_3\text{F}$, $\text{C}_{11}\text{A}_7 \cdot \text{CaF}_2$ 看作 $7(\text{CA}) + 4\text{C} + \text{CaF}_2$ 。各氧化物的分子量为: $\text{C} = 56.08$, $\text{S} = 60.09$, $\text{A} = 102$, $\text{F} = 159.7$, $\bar{\text{S}} = 80.07$, $\text{CaF}_2 = 78.08$ 。几个有关的分子量之比为: $3\text{C}/\text{S} = 2.8$, $2\text{C}/\text{S} = 1.87$, $\text{C}/\text{A} = 0.55$, $\text{C}/\bar{\text{S}} = 0.7$, $3\text{C}/\text{F} = 1.05$, $4\text{C}/7\text{A} = 0.31$, $\text{A}/\text{F} = 0.64$, $\text{C}_{11}\text{A}_7 \cdot \text{CaF}_2/7\text{A} = 1.973$, $\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}/3\text{A} = 1.995$, $\text{CS}/\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}} = 0.223$, $\text{CaF}_2/\text{C}_{11}\text{A}_7 \cdot \text{CaF}_2 = 0.055$ 。

(3) 饱和系数公式的推导:

生料中同时掺石膏、萤石作复合矿化剂,在低温(1250~1350℃)下煅烧所得的熟料中,没有 C_3A 生成,熟料中的 Al_2O_3 除用于生成 C_4AF 外,还生成 $C_4A_3\bar{S}$ 及 $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$,假设熟料中的 Fe_2O_3 全部生成 C_4AF ,则熟料中 Fe_2O_3 全部生成 C_4AF 所需的 Al_2O_3 量为 A_1 , $A_1 = 0.64F$,剩余的 Al_2O_3 是 $A - A_1 = A - 0.64F$,用来生成 $C_4A_3\bar{S}$ 和 $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$ 。

假设生成 $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$ 的 Al_2O_3 量为 $a(A - 0.64F)$,则生成 $C_4A_3\bar{S}$ 的 Al_2O_3 量为 $(A - 0.64F) - a(A - 0.64F) = (1 - a)(A - 0.64F)$ 。式中 a 为 Al_2O_3 在 $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$ 和 $C_4A_3\bar{S}$ 中的分配系数。

从(2)中的叙述可看出,在 CA 的基础上形成 $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$ 所需的 CaO 的量为 $4C/7A \cdot a(A - 0.64F) = 0.31a(A - 0.64F)$ 。根据饱和系数的意义可以得出计算 KH 的公式如下:

$$KH = \frac{C - f \cdot C - 0.55A - 1.05F - 0.7\bar{S} - 0.31a(A - 0.64F)}{2.8S}$$

$$= \frac{C - f \cdot C - 0.55A - 1.05F - 0.7\bar{S}}{2.8S} - \frac{0.31a(A - 0.64F)}{2.8S}$$

$$\text{令 } K = \frac{0.31a(A - 0.64F)}{2.8S}$$

$$\text{则 } KH = \frac{C - f \cdot C - 0.55A - 1.05F - 0.7\bar{S}}{2.8S} - K$$

K 值的大小与熟料中 S 、 A 、 F 的含量以及 $\bar{S}/CaF_2$ 的克分子比有关, a 值决定于物料中 $\bar{S}/CaF_2$ 克分子比。 a 值、 K 值的具体计算见表2,表3-1, 3-2, 3-3, 3-4。

从表3-1~表3-4看出,当 $\bar{S}/CaF_2$ 克分子比为1-4,熟料中 S 为18~21%, A 为4.5~7%, F 为4~6%时, K 值的变化很小(从0.002~0.019),而对某一具体工厂来说,由于熟料中 $\bar{S}/CaF_2$ 克分子比和氧化物含量不会波动太大,因此 K 值变化就更小, K 值几乎可作为一个常数考虑,甚至可忽略。

(4) 矿物组成的计算:

$$C_3S = 3.8S(3KH - 2)$$

$$= 4.07(C - fC) - 7.6S - 2.239A - 4.28F - 2.85\bar{S}$$

$$C_2S = 8.6S(1 - KH)$$

$$= 8.6S + 1.689A + 3.225F + 2.15\bar{S} - 3.07(C - fC)$$

$$C_4AF = 3.04F$$

$$C_4A_3\bar{S} = 1.995(1 - a)(A - 0.64F)$$

$$C_{11}A_7 \cdot CaF_2 = 1.973a(A - 0.64F)$$

$$f\bar{CS} = 1.7\bar{S} - 0.223C_4A_3\bar{S}$$

$$fCaF_2 = CaF_2 - 0.055C_{11}A_7 \cdot CaF_2$$

3. 生料的配方设计:

(1) 配方设计的原则要求:

a 值与 $\bar{S}/\text{CaF}_2$ 克分子比的关系

表 2

$\bar{S}/\text{CaF}_2$ 克分子数	$\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$ 克分子数	$\text{C}_{11}\text{A}_7 \cdot \text{CaF}_2$ 克分子数	生成 $\text{C}_{11}\text{A}_7 \cdot \text{CaF}_2$ 所需之 Al_2O_3 量 (A_7)	生成 $\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$ 所需 之 Al_2O_3 量 (A_3)	a 值 $\text{A}_7/(\text{A}_3 + \text{A}_7)$
0.10	0.10	1.00	718.43	30.51	0.96
0.15	0.15	1.00	718.43	45.77	0.94
0.20	0.20	1.00	718.43	61.03	0.92
0.25	0.25	1.00	718.43	76.29	0.90
0.30	0.30	1.00	718.43	91.54	0.89
0.35	0.35	1.00	718.43	106.80	0.87
0.40	0.40	1.00	718.43	122.06	0.85
0.45	0.45	1.00	718.43	137.31	0.84
0.50	0.50	1.00	718.43	152.57	0.83
0.55	0.55	1.00	718.43	167.83	0.81
0.60	0.60	1.00	718.43	183.08	0.80
0.65	0.65	1.00	718.43	198.34	0.78
0.70	0.70	1.00	718.43	213.60	0.77
0.75	0.75	1.00	718.43	228.86	0.76
0.80	0.80	1.00	718.43	244.11	0.75
0.85	0.85	1.00	718.43	259.37	0.74
0.90	0.90	1.00	718.43	274.63	0.72
0.95	0.95	1.00	718.43	289.88	0.71
1.00	1.00	1.00	718.43	305.14	0.70
1.10	1.10	1.00	718.43	335.65	0.68
1.20	1.20	1.00	718.43	366.17	0.66
1.30	1.30	1.00	718.43	396.68	0.64
1.40	1.40	1.00	718.43	427.20	0.63
1.50	1.50	1.00	718.43	457.71	0.61
1.60	1.60	1.00	718.43	488.22	0.60
1.70	1.70	1.00	718.43	518.74	0.58
1.80	1.80	1.00	718.43	549.25	0.57
1.90	1.90	1.00	718.43	579.77	0.55
2.00	2.00	1.00	718.43	610.28	0.54
2.10	2.10	1.00	718.43	640.79	0.53
2.20	2.20	1.00	718.43	671.31	0.52
2.30	2.30	1.00	718.43	701.82	0.51
2.40	2.40	1.00	718.43	732.34	0.50
2.50	2.50	1.00	718.43	762.85	0.49
2.60	2.60	1.00	718.43	793.36	0.48
2.70	2.70	1.00	718.43	823.88	0.47
2.80	2.80	1.00	718.43	854.39	0.46
2.90	2.90	1.00	718.43	884.91	0.45
3.00	3.00	1.00	718.43	915.42	0.44
3.10	3.10	1.00	718.43	945.94	0.43
3.20	3.20	1.00	718.43	976.45	0.42
3.30	3.30	1.00	718.43	1006.96	0.41
3.40	3.40	1.00	718.43	1037.48	0.41
3.50	3.50	1.00	718.43	1067.99	0.40
3.60	3.60	1.00	718.43	1098.50	0.40
3.70	3.70	1.00	718.43	1129.02	0.39

续表 2

$\overline{S}/CaF_2$ 克分子数	$C_4A_3\overline{S}$ 克分子数	$C_{11}A_7 \cdot CaF_2$ 克分子数	生成 $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$ 所需之 Al_2O_3 量 (A_7)	生成 $C_4A_3\overline{S}$ 所需 之 Al_2O_3 量 (A_3)	a 值 $A_7/(A_3 + A_7)$
3.80	3.80	1.00	718.43	1159.53	0.38
3.90	3.90	1.00	718.43	1190.05	0.38
4.00	4.00	1.00	718.43	1220.56	0.37
4.10	4.10	1.00	718.43	1251.07	0.37
4.20	4.20	1.00	718.43	1281.59	0.36
4.30	4.30	1.00	718.43	1312.10	0.35
4.40	4.40	1.00	718.43	1342.62	0.35
4.50	4.50	1.00	718.43	1373.13	0.34
4.60	4.60	1.00	718.43	1403.64	0.34
4.70	4.70	1.00	718.43	1434.16	0.33
4.80	4.80	1.00	718.43	1464.67	0.33
4.90	4.90	1.00	718.43	1495.19	0.32
5.00	5.00	1.00	718.43	1525.70	0.32
5.10	5.10	1.00	718.43	1556.21	0.32
5.20	5.20	1.00	718.43	1586.73	0.31
5.30	5.30	1.00	718.43	1617.24	0.31
5.40	5.40	1.00	718.43	1647.76	0.30
5.50	5.50	1.00	718.43	1678.27	0.30

$\overline{S}/CaF_2=1$ 时 K 值与 A、F、S 的关系 表 3—1

$\overline{S}/CaF_2=2$ 时 K 值与 A、F、S 的关系 表 3—2

A	F	S				A	F	S			
		18	19	20	21			18	19	20	21
4.5	6	0.003	0.003	0.003	0.002	4.5	6	0.002	0.002	0.002	0.002
	5	0.006	0.005	0.005	0.005		5	0.004	0.004	0.004	0.004
	4	0.008	0.008	0.008	0.007		4	0.006	0.006	0.006	0.006
5.0	6	0.005	0.005	0.005	0.004	5.0	6	0.004	0.004	0.004	0.003
	5	0.008	0.007	0.007	0.007		5	0.006	0.006	0.005	0.005
	4	0.011	0.010	0.010	0.009		4	0.008	0.008	0.007	0.007
5.5	6	0.007	0.007	0.006	0.006	5.5	6	0.006	0.005	0.005	0.005
	5	0.010	0.009	0.009	0.009		5	0.008	0.007	0.007	0.007
	4	0.013	0.012	0.011	0.011		4	0.010	0.009	0.009	0.008
6.0	6	0.009	0.009	0.008	0.008	6.0	6	0.007	0.007	0.007	0.006
	5	0.012	0.011	0.011	0.010		5	0.009	0.009	0.008	0.008
	4	0.015	0.014	0.013	0.013		4	0.011	0.011	0.010	0.010
6.5	6	0.012	0.011	0.010	0.009	6.5	6	0.009	0.008	0.008	0.008
	5	0.014	0.014	0.013	0.012		5	0.011	0.010	0.010	0.009
	4	0.017	0.016	0.015	0.015		4	0.013	0.012	0.012	0.011
7.0	6	0.014	0.013	0.012	0.011	7.0	6	0.011	0.010	0.010	0.009
	5	0.016	0.016	0.015	0.014		5	0.013	0.012	0.011	0.011
	4	0.019	0.018	0.017	0.016		4	0.015	0.014	0.013	0.013

$\bar{S}/\text{CaF}_2=3$ 时K值与A、F、S的关系 表 3-3

$\bar{S}/\text{CaF}_2=4$ 时K值与A、F、S的关系表 表 3-4

A	F	S				A	F	S			
		18	19	20	21			18	19	20	21
4.5	6	0.002	0.002	0.002	0.002	4.5	6	0.002	0.001	0.001	0.001
	5	0.004	0.003	0.003	0.003		5	0.003	0.003	0.003	0.003
	4	0.005	0.005	0.005	0.005		4	0.004	0.004	0.004	0.004
5.0	6	0.003	0.003	0.003	0.003	5.0	6	0.003	0.003	0.002	0.002
	5	0.005	0.005	0.004	0.004		5	0.004	0.004	0.004	0.004
	4	0.007	0.006	0.006	0.006		4	0.006	0.005	0.005	0.005
5.5	6	0.005	0.004	0.004	0.004	5.5	6	0.004	0.004	0.003	0.003
	5	0.006	0.006	0.006	0.005		5	0.005	0.005	0.005	0.005
	4	0.008	0.008	0.007	0.007		4	0.007	0.006	0.006	0.006
6.0	6	0.006	0.006	0.005	0.005	6.0	6	0.005	0.005	0.004	0.004
	5	0.008	0.007	0.007	0.007		5	0.006	0.006	0.006	0.006
	4	0.009	0.009	0.008	0.008		4	0.008	0.007	0.007	0.007
6.5	6	0.007	0.007	0.007	0.006	6.5	6	0.006	0.006	0.006	0.006
	5	0.009	0.009	0.008	0.008		5	0.008	0.007	0.007	0.006
	4	0.011	0.010	0.010	0.009		4	0.009	0.009	0.008	0.008
7.0	6	0.009	0.008	0.008	0.007	7.0	6	0.007	0.007	0.007	0.006
	5	0.010	0.010	0.009	0.009		5	0.009	0.008	0.008	0.007
	4	0.012	0.011	0.011	0.010		4	0.010	0.010	0.009	0.009

①用现有生产硅酸盐水泥的原料(包括 SiO_2 含量低的硅铝质原料)、燃料及设备烧制出优质硅酸盐水泥熟料。

②熟料矿物组成主要是阿利特(含量在55%以上), 一定量 C_2S 、 C_4AF (含量为8~18%)一定量的 $\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$ 、 $\text{C}_{11}\text{A}_7\cdot\text{CaF}_2$ 。要避免生成 C_3A 。

③烧制出的水泥, 凝结时间等技术指标要符合国家规定的五大水泥标准要求。

④适合于低温煅烧, 操作方便, 避免还原气氛和结大块等不正常现象。

⑤熟料应容易粉磨。

⑥把技术上的先进性、现实的可能性和经济上的合理性统一起来考虑。

(2) 配方设计的控制范围:

生料中各氧化物克分子比和KH值的控制范围: $\text{C}/\text{S}=3.0\sim4.5$, $\text{C}/\text{A}=8\sim12$, $\text{F}/\text{A}=0.2\sim1.6$, $\bar{\text{S}}/\text{A}=0.1\sim0.7$, $\bar{\text{S}}/\text{CaF}_2=0.15\sim5.5$, $\text{KH}=0.98\sim1.02$ 。

熟料各氧化物的控制范围:

S	A	F	C	$\bar{\text{S}}$	CaF_2
16~22	5~8	4~6	60~65	0.5~2.5	0.4~2.0

(3) 配方设计注意事项:

①关于配煤问题。

由普通方法转向低温煅烧时, 熟料的热耗一般可在原来的基础上降低8~20%, 开始时降低幅度应小些, 降低的幅度与下面一些因素有关:

1) 原来生产时是否掺萤石及原、燃料中 $\bar{\text{S}}$ 的含量, 若原来生产时掺了萤石或虽不掺萤石

但原、燃烧中 $\overline{S}$ 含量较高时，煤耗降低的幅度会小一些，反之，则大一些。

2) 原料易烧性差(粘土含砂量高，石灰石中 CaCO_3 颗粒较粗等)且原来生产时未掺萤石时，节煤效果明显一些。

3) 石膏、萤石加得均匀，生料 CaCO_3 滴定值 T_{CaCO_3} 合格率高，细度细时节煤就多些。

因此，应根据各厂具体情况，通过慎重的试验来确定合理的用煤量。

② 生料中石膏、萤石的掺入量应根据设计熟料中A、F的量，原料的易烧性，设计饱和系数来确定。设计熟料中A高F低时， $\overline{S}/\text{CaF}_2$ 克分子比控制得大些，熟料中 $\overline{S}$ 的数量可比理论需要量大一些， $\overline{S}_{\text{理}} = 0.262(1-a)(A - 0.64F)$ 。石膏加入量太少(熟料中 $\overline{S}$ 太少，即 $\overline{S}/\text{CaF}_2$ 克分子比太低)时，将生成较多的 $\text{C}_{11}\text{A}_7 \cdot \text{CaF}_2$ ，制成的水泥易快凝，KH低时更易快凝。石膏加入量过大时，除了生成 $\text{C}_4\text{A}_3\overline{\text{S}}$ 外，还剩余较多的 CS ，一方面不必要地增加了熟料中 $\overline{S}$ 含量、限制了磨制水泥时外加调凝石膏的灵活性，另一方面也会增加煅烧时的困难，即液相量过大。

③ 熟料中 Fe_2O_3 的控制：

熟料中 Fe_2O_3 含量的多少对煅烧操作、熟料后期(7天到28天)强度增长率等都有关系，生产快硬硅酸盐水泥时，熟料中 Fe_2O_3 可少一些(2~3.5%)，但这样煤耗会相应高一些，生产硅酸盐水泥熟料时，应适当提高 Fe_2O_3 的含量(4.5~5.5%)，尤其是用低发热量的煤时， Fe_2O_3 应适当多一些，以窑内不出现结大块为度。

4. 配料计算举例：

某厂原用传统方法生产水泥，现拟改用石膏、萤石复合矿化剂低温煅烧法。该厂原、燃料化学成份及燃料工业分析见表4和表5。

原 燃 料 化 学 成 份

表 4

物 料 名 称	化 学 成 份， 重 量 %							CaF_2
	L	S	A	F	C	M	$\overline{S}$	
石 灰 石	41.04	3.83	1.35	0.5	50.63	1.41	32.58	61.46
粘 土	7.73	65.57	18.35	5.87	1.47			
铁 粉	9.00	12.40	5.34	65.41	4.31	0.69		
石 膏	11.43	18.17	5.95	1.49	26.53	3.06		
萤 石	3.62	5.00	20.16	0.27	1.33			
煤	51.30	27.63	15.60	4.18	1.56	0.21		

煤 的 工 业 分 析 表

表 5

名 称	W^f	V^f	A^f	C^f	$Q_{\text{低}}^y$, 千卡/公斤
煤	3.31	6.04	48.70	41.95	3497

已知该厂原来已加0.5%萤石作矿化剂，石灰石易烧性好，粘土含砂量较高(15~35%)，窑($\varnothing 2.5 \times 10$ 米塔式机立窑)有经常性偏火，原来生产时标准煤耗为130公斤/吨熟料。用低温煅烧时，原、燃料配合比及生、熟料控制指标的计算步骤如下：

采用将原料和原煤一起计算入窑生料及设计熟料的简易拼凑法。

(1) 用煤量的确定：

因原来生产中加了0.5%萤石、粘土中含砂量较高，故在转为低温煅烧时，先假定煤耗比原来下降10%左右，即设计中标准煤耗为 $130(1-10\%)=117.0$ 公斤/吨熟料，实物煤耗为

$$\frac{117 \times 7000}{3497} = 234.2 \text{ 公斤/吨熟。}$$

据经验，一吨入窑生料约可烧制0.6吨熟料。所以，100公斤入窑生料中应包括实物煤 $23.42 \times 0.6 = 14.05$ 公斤。

(2)设计熟料KH控制在0.98~1.02，熟料中 Fe_2O_3 控制在4.5~5.5%。

根据经验先假设一个入窑原、燃料用量，计算出设计熟料的化学成份和KH值，见表6。

入窑生料的原、燃料配比及设计熟料化学成份 表 6

名 称	配比(%)	L	S	A	F	C	M	$\bar{S}$	CaF ₂
石灰石	73.50	30.16	2.82	0.99	0.37	37.21	1.04		
粘 土	6.95	0.54	4.56	1.28	0.41	0.10			
铁 粉	3.10	0.28	0.38	0.17	2.03	0.13	0.02		
萤 石	0.70	0.03	0.04	0.14	0.13				0.47
石 膏	1.70	0.19	0.31	0.10	0.02	0.45	0.05	0.55	
煤	14.05	7.21	3.80	2.19	0.59	0.22	0.03		
入窑生料	100	38.41	11.91	4.87	3.55	38.11	1.14	0.55	0.47
设计熟料	100	—	19.34	7.90	5.76	61.88	1.85	0.89	0.76

设计熟料各率值 KH=0.94, n=1.42, P=1.37

从表6中看出设计熟料的KH比要求的值低，而 Fe_2O_3 比要求的值高，因此，就要适当调整配比，可适当降低铁粉、粘土用量，增加石灰石用量，调整后入窑生料的原、燃料用量见表7。

调整后入窑生料的原、燃料配比及设计熟料化学成份 表 7

名 称	配比(%)	L	S	A	F	C	M	$\bar{S}$	CaF ₂
石灰石	74.50	30.57	2.85	1.01	0.37	37.71	1.05		
粘 土	6.65	0.51	4.36	1.22	0.38	0.10			
铁 粉	2.40	0.22	0.30	0.13	1.57	0.10	0.02		
萤 石	0.70	0.03	0.04	0.14					0.47
石 膏	1.70	0.15	0.31	0.10	0.02	0.45	0.05	0.55	
煤	14.05	7.21	3.80	2.19	0.59	0.59	0.03		
生 料	100	38.69	11.66	4.79	2.93	38.95	1.15	0.55	0.47
熟 料	100	—	19.01	7.81	4.78	68.53	1.88	0.90	0.77

设计熟料各率值 KH=1.01, n=1.51, P=1.63

从表7看出设计熟料 Fe_2O_3 等化学成份和KH均已符合要求。如果一次调整后仍不符合要求，可再作进一步调整直到符合要求为止。

(3)设计入磨生料的原、燃料配比及出磨生料控制指标(当采用部分煤入生料磨，部分煤外加的半黑生料法时)。

设总用煤量的70%入磨，30%外加，则入磨煤量为 $70\% \times 14.05 = 9.84$ 公斤。入磨原、燃料及出磨生料化学成份见表8。

入磨原、燃料和出磨生料化学成份

表 8

名 称	原、燃料用量		L	S	A	F	C	M	$\bar{S}$	CaF ₂
	公斤	配比%								
石 灰 石	74.50	77.77	31.92	2.98	1.05	0.39	39.37	1.10		
粘 上	6.65	6.94	0.54	4.55	1.27	0.41	0.10			
铁 粉	2.40	2.51	0.23	0.31	0.13	1.64	0.11	0.02		
萤 石	0.70	0.73	0.03	0.04	0.15		0.01			0.49
石 膏	1.70	1.77	0.20	0.32	0.11	0.03	0.47	0.05	0.58	
煤	9.84	10.23	5.27	2.78	1.60	0.43	0.16	0.02		
生 料	95.79	100	38.19	10.98	4.31	2.90	40.22	1.19	0.58	0.49

出磨生料控制指标:

$$T_{CaCO_3} = 72.5 \pm 0.5\%,$$

$$Fe_2O_3 = 2.8 \sim 3.1\%, \text{ 细度: } 0.080 \text{ 毫米方孔筛筛余} \leq 10\%.$$

(4) 外加煤量及生料、外加煤流量:

① 非差热煅烧法:

由(1)和表8可知95.79公斤出磨生料, 需外加煤4.21公斤组成100公斤入窑生料, 据此, 100公斤出磨生料需要外加4.40公斤煤来组成104.4公斤入窑生料。根据生料流量可算出外加煤的流量见表9。

生 料、 外 加 煤 流 量

表 9

名 称	流 量 (公斤/分钟)								
生 料	240	250	260	270	280	290	300	310	320
外加煤	10.56	11.00	11.44	11.88	12.32	12.76	13.20	13.64	14.08

② 中部全黑生料差热煅烧法:

差热煅烧时, 只有边料才用外加煤, 因此在总用煤量和入磨煤一定时, 边料外加煤量随着入窑边料和心料重量比例不同而变, 见表10。

三、生料的控制

生料控制方法和生产硅酸盐水泥时相同, 但应特别注意:

1. 原、燃料按质分别堆放, 做到先化验后使用, 严格控制入磨原、燃料水份。
2. 入磨原、燃料喂料要准确、均匀, 以保证出磨生料碳酸钙滴定值的合格率。
3. 萤石的入磨粒度最好小于3毫米, 石膏、萤石的加入量力求准确、均匀。
4. 生料细度控制在0.080毫米方孔筛筛余 $10 \pm 1\%$ 。

四、熟料的煅烧

由于在生料中同时掺有石膏、萤石, 熔剂物质总量较多, 煅烧过程中出现液相的温度降低了。因此, 应特别注意煅烧操作及温度的控制, 注意窑内通风, 尽量防止窑内出现还原气氛和结大块等不正常现象。根据以往试验及试生产的经验, 这种配料宜采用压二助、保边火、通中间、浅暗火的加料和操作方法, 在煅烧过程中应注意如下几个问题:

1. 配煤:

差热煅烧时外加煤流量、生料流量及边、心料比例的关系

表 10

入窑边、心料比例	1:1	1:2	1:3	1:4	备 注
生料流量	240	240	240	240	
外加煤流量	21.12	31.68	42.24	52.80	
生料流量	250	250	250	250	
外加煤流量	22.00	33.00	44.00	55.00	
生料流量	260	260	260	260	
外加煤流量	22.88	34.32	45.76	57.20	
生料流量	270	270	270	270	
外加煤流量	23.76	35.64	47.52	59.40	
生料流量	280	280	280	280	
外加煤流量	24.64	36.96	49.28	61.60	
生料流量	290	290	290	290	
外加煤流量	25.52	38.28	51.04	63.80	
生料流量	300	300	300	300	
外加煤流量	26.40	39.60	52.80	66.00	
生料流量	310	310	310	310	
外加煤流量	27.28	40.92	54.56	68.20	

配煤包括总的用煤量，入磨煤和外加煤的比例及其准确性。这里主要讨论入磨煤和外加煤的确定。对中部全黑生料差热煅烧法来讲，入磨煤的多少将直接影响到煅烧操作和熟料的质量。入磨煤太少，窑中部温度不够，往往要增加外加煤用量，缩小边、心料的比例，容易造成边、心料混乱，破坏窑内热工制度。入磨煤太多，则显示不出差热煅烧的优越性，对熔剂物质多的配方，易使窑中间结大块，影响窑中部通风不好。至于中料，边料的单位热耗差多少才合适，主要看窑体本身结构、保温情况等而定，以窑中间能上火，底火保持浅锅底形，火烧上后窑面没有白料球为准。各厂应根据不同情况通过试验而定。

2. 入成球盘前生料及外加煤流量的准确和稳定:

这对成球质量、煅烧温度、稳定窑内热工制度的关系很大。一般工厂往往比较注意外加煤流量的准确和稳定，而对生料流量的控制则容易疏忽，但实际上经常由于生料流量的波动而造成窑内温度的波动。例如：中山县水泥厂2号窑在试验时，按设计配方生料粉流量为250公斤/分钟时，外加煤流量应为20公斤/分钟，但操作时生料粉常常高达280~310公斤/分钟，这样窑内温度明显降低，当窑工发现温度低而增加外加煤流量后，生料粉流量又恢复到250公斤/分钟，窑内温度又偏高了，这就造成了温度的波动。所以稳定生料粉和外加煤的流量是煅烧好熟料的重要条件之一。

3. 成球质量:

生料球的质量包括料球的水份、硬度、颗粒大小及均匀性，它们对煅烧操作、燃料消耗及熟料质量影响很大。为了尽量降低因蒸发水份所消耗的热量，加快料球烧成速度，成球水份宜控制在10~13%，球径为4~10毫米（在鼓风机风压足够的情况下，球径可偏小些），为减小窑内料层阻力，使料球易烧透，防止还原气氛，应严禁泥团及碎散料入窑。在使料球有适宜强度（气孔率控制在30~35%）的情况下，料球水份宜少些。

4. 煅烧温度的控制:

煅烧温度以1250~1350℃为宜。这时熟料中A矿多，晶体比较细小，多为板状或长柱状。

温度过低($<1200^{\circ}\text{C}$)时,熟料矿物(特别是A矿)形成不好,A矿边缘不平整,B矿较多,强度下降。温度过高($>1350^{\circ}\text{C}$)时,无必要地增加煤耗,并将使已生成的 $\text{C}_4\text{A}_3\overline{\text{S}}$ 分解,也将影响熟料的强度。目前可以用以下几种方法来判断煅烧温度。

(1)用快速测温枪(钨/铼热电偶)测定。测定前先把底火提上来,测定时要注意,如果测温枪瓷头粘有料子时,应轻轻将它敲掉再行测定,如果钨—铼丝快断时,应重新接好。在低温煅烧前也应进行温度测定,以便进行比较。

(2)插钎判断煅烧温度。用 $\varnothing 18\text{--}20$ 毫米铁钎插到高温带硬底,经2分钟拔起,以铁钎呈红色,钎头不粘料子而有润湿感时的温度为正常,若钎头为暗色或暗红色则表示温度偏低,若钎头为红白色或有刺眼的白色,钎头粘有料子则表示温度偏高。

(3)从出窑熟料外观情况判断煅烧温度。如果出窑熟料中生烧(欠烧)料多,散粒打开后中间是黄白色,说明温度不够高。如果生烧料少,散粒打开后中间是灰黑色,尽管这种散粒多,说明窑内温度正常,若出窑熟料中夹杂着白色熟料块(或外面白色,中间呈圆形黑色的熟料块),这种白色熟料块较易粉化,则是窑内温度偏高的现象。

用这种配料时,煅烧过程中烟气较少,因而,长期习惯于利用窑面烟的多少等来判断窑温的工人开始时往往会误认为窑温不够而加煤,经过一段时期的摸索实践后也是容易掌握的。

5.底火的控制:

这种配方同时加了石膏和萤石,生料中熔剂物质总量多,液相出现温度低,液相量也大,所以应严禁底火过深。底火拉深后,由于湿料层厚,高温带的料子在重压下容易被压成大块使风上不去,易使窑内出现还原气氛,而且大块料子难烧透,熟料出现较严重的生烧、欠烧,产生较多的黄心料。底火拉深后,冷却带相对地缩短了,熟料冷却不好,粉化现象严重,这时已生成的 C_3S 发生分解,反光显微镜下可看到A矿分解的花环结构。熟料冷却不好,空气预热差,布氏—郝氏(Boudouard-Houenschild)反应 $\text{C} + \text{CO}_2 \xrightarrow{800-900^{\circ}\text{C}} 2\text{CO}$ 加快,窑内 CO 含量增加,如不及时处理,还原气氛逐渐严重,窑内结大块的现象也更严重,甚至在熟料中出现金属铁。还原气氛严重时,石膏也会分解: $\text{CaSO}_4 + 2\text{C} \longrightarrow \text{CaS} + 2\text{CO}_2$ 。这都将造成熟料强度的下降。

6.加强煅烧操作,注意合理用风:

经验表明,低温煅烧新工艺采用差热煅烧方法较适合,合理用风对低温煅烧显得尤为重要,应正确地采用大风大料这一经验,因为与普通方法相比低温煅烧用煤量要减少,同时窑内物料本身温度也较低,如不根据窑内温度等情况来用风,而片面地追求大风,往往会造成窑内温度过低。当发现窑内温度偏低时(由于煤质波动或配煤不准等原因造成)就应当适当地减少用风量,待温度恢复正常后再加大用风量,并注意风、料及煅烧时间的相互配合。

煅烧操作时应保持窑内通风均匀,使窑中部通风而又防止中部上火太快,保住边火而又克服边风过猛,对防止熟料生烧有重要作用。无论是窑中部或是边部(特别是边部)上火太快往往是造成生烧(或欠烧)的原因之一。

五、水泥的磨制

磨制水泥的过程与传统的水泥生产方法相同,水泥凝结时间通过加入不同量石膏及加少量石灰石等来调节。