

石膏

制硫酸与水泥技术

吕天宝 刘 飞 / 编著

SHIGAO
ZHILISUAN
YUSHUINIJISHU



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

石膏制硫酸与水泥技术

吕天宝 刘 飞 编著

东南大学出版社

• 南京 •

内 容 提 要

本书主要介绍以石膏为原料生产硫酸与水泥的技术原理和特点;石膏的来源和要求,处理方法;原料的配比参数;工艺流程;工艺设备参数;典型装置的操作规程和调试规程;“三废”治理和综合利用;物料和热量衡算;技术发展方向。书中附有图表和工艺流程图。

本书可作为石膏制硫酸与水泥技术的培训教材,供化工、建材、环保技术人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

石膏制硫酸与水泥技术/吕天宝,刘飞编著. —南京:东南大学出版社,2010.9

ISBN 978-7-5641-2258-4

I. ①石… II. ①吕… ②刘… III. ①石膏—应用—硫酸生产 ②石膏—应用—水泥—生产 IV. ①TQ111.16 ②TQ172.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 085655 号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:江 汉

全国各地新华书店经销 江苏兴化印刷有限公司印刷

开本:700 mm×1000 mm 1/16 印张:14.75 字数:270 千字

2010 年 9 月第 1 版 2010 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5641-2258-4

定价:32.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与读者服务部联系。电话(传真):025-83792328

前 言

《石膏制硫酸与水泥技术》一书涉及化工、建材、环保及综合利用等各个领域。硫酸和水泥是社会生活与发展中不可缺少的物质,我国也是全球最大的硫酸、水泥生产国和消费国。在传统的生产方法上,生产硫酸的原料主要是硫铁矿或硫黄,生产水泥的原料主要是石灰石矿。这种生产方法既消耗了大量的资源和能源,还产生大量的废气、废渣。而用石膏为原材料生产硫酸和水泥则是非常经济环保的方式。我国是人口最多的发展中国家,资源利用和环境保护是我们面临的两大难题,发展循环经济、低碳经济、节能减排和综合利用是必由之路。尤其是工业副产石膏(磷石膏、脱硫石膏、钛石膏等)生产硫酸和水泥,实现了经济效益、环境效益、社会效益的有机统一。该技术在目前社会经济发展中有很强的生命力。

本书介绍了国内外石膏制硫酸与水泥技术的应用及发展情况;各种工艺流程;使用原料、燃料的质量要求等。本书分别从生料配比、制备,熟料烧成、硫酸和水泥制造等方面进行较详细的分析与阐述,提供了各种工艺参数、设备选型、原材料和燃料及动力消耗、“三废”治理措施,并进行了物料、热量衡算。书中还提供了典型装置的操作规程和调试规程。本书以工业副产石膏生产硫酸与水泥做重点介绍,并指出了该技术在我国的 application 和发展有很大的现实意义,而对涉及传统的硫酸、水泥生产技术则不做阐述。

石膏制硫酸与水泥技术虽然已经工业化多年,但因技术复杂、操作难度大一直未能在全国推广。出版的该技术方面的书籍也很少,也影响了该技术的发展。本书作者在总结多年试验研发、生产管理经验的基础上,进行整理、完善,终于完成了该书。本书出版发行的目的,是想帮助该领域的科研、

生产技术人员在使用该技术时,正确的进行工艺和设备选型;确定合理的工艺指标;指导实际调试和操作,实现装置正常运行,提高产品质量,创造最佳经济效益。

相信本书的出版发行对于石膏制硫酸与水泥技术的推广和发展有很大的推动作用,带动本领域的科技进步与发展。

编者

2009 年 10 月

目 录

第一章 石膏制硫酸与水泥技术概况	1
一、绪论	1
二、石膏制硫酸与水泥在国际上的应用状况	2
三、我国石膏制硫酸与水泥技术研究及开发状况	2
四、石膏制硫酸与水泥技术的发展	4
第二章 石膏制硫酸与水泥的流程	6
一、水泥与硫酸生产工艺说明	6
二、石膏制硫酸与水泥的流程	8
第三章 石膏制硫酸与水泥采用的原燃料	12
一、石膏的种类	12
二、石膏特性比较	16
三、焦炭	19
四、粘土、铝矾土、铁粉	19
五、混合材	20
六、燃料	20
第四章 生料制备	21
一、原料的烘干	21
二、生料配制、粉磨与均化	32
三、生料的粉磨	37

四、生料均化	38
五、比较典型的生料流程	38
第五章 熟料烧成	41
一、熟料烧成的反应机理	41
二、熟料烧成的工艺方法	46
三、辅机及耐火材料	53
四、回转窑的生产操作方法	55
五、回转窑操作的“十看”“三动”及常见的调节方法	60
六、新建工厂操作工的培训	64
七、热耗与窑气浓度、生料成分及建设投资的关系	64
八、五氧化二磷和氟对熟料烧成及性能的影响	65
九、窑尾气体灰尘的处理	66
十、磷石膏 $\phi 3 \times 88$ m 中空长窑烧成系统物料、热耗计算	68
第六章 硫酸制备	75
一、窑气净化	75
二、干燥、吸收	78
三、转化工序	80
四、产品质量	86
第七章 水泥制造	87
一、石膏法水泥熟料组成的特点	87
二、石膏法熟料与石灰石熟料矿物组成的差异	88
三、水泥制造工艺	88
四、石膏法水泥产品的特征	89

第八章 原材料、燃料及动力消耗	91
一、石膏制硫酸与水泥物料平衡图	91
二、生产单项消耗	92
第九章 生产过程中的“三废”治理	94
一、生产过程中的主要污染源	94
二、“三废”的处理和利用	94
第十章 烧成预热系统物料、热量计算	97
一、原始数据的设定及计算结果	97
二、配料计算	99
三、熟料形成热	102
四、在回转窑中产生的分解和燃烧反应	102
五、热量衡算	104
六、对回转窑及冷却机热量衡算(基准 0℃, 1 kg 熟料)	107
七、对预热器系统热量衡算	109
第十一章 典型装置操作规程	116
一、原料烘干	116
二、生料配制与粉磨	119
三、熟料烧成	123
四、煤粉制备	128
五、窑气净化	131
六、气体转化	134
七、干吸岗位	140
八、尾气吸收	144
九、液体 SO ₂ 及充装	148

十、电除雾的操作维护规程	150
十一、水泥配料及粉磨	153
十二、“四六”装置设备表	156
第十二章 典型装置调试规程	166
一、烘干车间调试规程	166
二、生料配制调试规程	170
三、烧成车间调试规程	175
四、煤粉制备调试规程	180
五、水泥制备	185
六、水泥包装调试规程	190
七、净化岗位调试规程	193
八、干吸调试规程	199
九、转化调试规程	205
第十三章 石膏制硫酸与水泥技术创新及发展	211
一、原有技术存在的问题	212
二、目前工艺技术创新内容	212
三、实例 1(以磷石膏做原料)	218
四、实例 2(以脱硫石膏做原料)	220
五、成本及经济效益分析	222
六、该技术的流程图及设备表	224
七、最近报道的新技术	224
参考文献	228

第一章

石膏制硫酸与水泥技术概况

一、绪论

硫酸是重要的基础化工原料,是化学工业中最重要的产品,其用量列三大强酸之首,广泛用于化肥、冶炼、轻工、火药、冶金、石化、农药、医药、军工业等。到2008年,我国硫酸的年产量已达5 400万t,连续5年居世界首位。生产硫酸的主要方法为接触法制硫酸,原料为硫黄(天然硫黄或石油化工副产硫黄)和硫铁矿,占硫酸总产量的70%,其余的为用有色金属冶炼中含 SO_2 的尾气生产硫酸。用硫铁矿生产时还副产大量的废渣。我国是硫资源贫乏的国家,每年都要靠进口硫黄(硫酸)来满足国内需求,2008年进口硫黄1 500万t,同时我国也是硫酸需求量最大的国家。

水泥是社会建设必需的建筑材料,广泛用于土木建筑、水利、国防等工程。2008年世界的水泥产量为22亿t,中国为12亿t。我国是世界上最大的水泥生产和消费国家。随着现代化的进程,其用量呈上升的趋势。生产水泥的主要原料为石灰石,生产中还消耗大量的燃料和电力,并排放大量的 CO_2 和粉尘。

石膏制硫酸与水泥技术是以石膏为原料,将其分解为 SO_2 和 CaO , CaO 和配制好的辅助材料在分解后直接煅烧成水泥熟料,然后和混合材一起磨制成水泥产品,含 SO_2 的气体制取硫酸,无固废排放。

石膏的来源一是天然石膏;二是工业副产石膏。磷肥生产副产大量的石膏(称磷石膏)世界每年排放量达28亿t,我国每年排放量3 000万t。燃煤电厂烟气脱硫也排放大量的石膏(称脱硫石膏),目前我国年排放量已达1 300万t。工业副产石膏因含有害杂质,不但堆存占地,还造成环境污染,其综合利用迫在眉睫。

综上所述,利用石膏制硫酸与水泥不但解决了硫酸、水泥生产的矿山开采、环境污染、占地堆存等难题,而且开辟了一条新的原料路线,其经济效益、环境效益、社会效益显著。

二、石膏制硫酸与水泥在国际上的应用状况

石膏制硫酸的研究,从资料上可以追溯到 1847 年。在第一次世界大战中,德国迫于天然硫黄和硫铁矿资源的贫乏,为了使本国硫酸生产不依赖进口,积极地开展了石膏制硫酸的研究。1915 年,Müller 研究了以碳作还原剂,掺入 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 SiO_2 在高温下分解的方法。掺入氧化物的目的—是降低分解温度;二是分解的 CaO 与掺入的氧化物反应形成水泥熟料,分解出的 SO_2 气体用于生产硫酸。后来,Kühne 在此基础上进一步研究并用于工业生产上。这就是德国 Bayer 燃料公司 1916 年建成,1918 年投产,在 1931 年才转入正常的 LeverKusen 石膏制硫酸与水泥厂。此方法被称为 Müller-Kühne 法(M-K)或 Bayer 法。该厂后来因远离矿山、运费昂贵、成本高而停产。1926 年英国帝国化工公司建成了伯明翰厂。1931 年至 1961 年相继在英国、法国、波兰、奥地利等国建成投产了 26 套以硬石膏和二水天然石膏为原料生产硫酸与水泥厂,平均日产能力为硫酸和水泥各 160 t。进入上世纪 60 年代中期,随着湿法磷酸工业的发展,副产的磷石膏利用引起人们的重视。由于生产 1 t P_2O_5 磷酸,需排出 5~6 t 磷石膏,不但堆存占地,而且造成环境污染。1968 年奥地利林茨化学公司(Chemie linz AG)第一次使用磷石膏代替天然石膏在日产 200 t 的硫酸装置上运行成功,并且与 1972 年在回转窑尾部增加了立筒预热器,降低热耗 15%~20%,称之为 OSW-KRUPP(O-K)法。它是 M-K 法的衍生物。1970 年,奥地利、东德合作用 O-K 法为南非费德米司公司的发拉巴瓦(Phala Boraw)厂设计和建造了年产 10 万 t 磷石膏制硫酸与水泥生产线,于 1972 年 12 月交付生产。当时规模最大的是德国的考斯维希(Coswig)装有四台 $\phi 3.2 \times 80$ m 回转窑,年产能力 24.5 万 t。当时世界最高的石膏法硫酸生产总量每年达 150 万 t。在 60 年代初英国石膏制酸量占总量的 38%,到 60 年代末还占到 33%。同时缺少硫资源的波兰、印度、巴基斯坦等国也积极发展和建成了石膏制硫酸工厂。

进入上世纪 70 年代中期,由于西方国家硫铁矿及硫黄资源的开发以及炼油厂副产硫黄的供应。以石膏为原料生产硫酸与水泥装置因技术复杂、能耗高而停产。而此领域的研究创新始终未停止,美国、俄罗斯、德国、印度都发明了不同的新成果,但均未工业化。

三、我国石膏制硫酸与水泥技术研究及开发状况

我国在此领域的研究始于 1954 年。原重工业部化工局派专家去波兰进行技术

考察,带回第一手资料。1958年上海化工研究院与水泥院在此基础上完成了实验室的研究,1959年完成了扩大实验研究,在 $\phi 0.5 \times 11$ m 回转窑上进行了煅烧实验,使用湖北应城的黑石膏。1960年山西化工研究院与太原水泥厂在 $\phi 2.29 \times 42$ m 回转窑上完成了利用太原天然石膏制 SO_2 与水泥的中间试验。1964年由北京建材研究院、北京水泥院、南化研究院、南化设计院、太原工学院、太原化工研究所、太原磷肥厂和苏州光华磷肥厂八大单位参加,先后在光华水泥厂和北京琉璃河水泥厂试验,在 $\phi 1 \times 20$ m 回转窑进行了天然石膏和开阳、昆阳磷矿副产磷石膏较系统的中间试验,基本解决了原料、石膏脱水、生料制备、熟料煅烧、窑气净化及操作等技术难题,于1966年9月通过了建材部和化工部的鉴定,并安排了云南磷肥厂、太原磷肥厂年产10万t硫酸与水泥厂的设计与筹建。1972年济南工农磷肥厂又补做了配上制酸系统的全流性试验,采用 $\phi 1.6 \times 30$ m 回转窑,肯定了技术的可行性。试验发现,接上硫酸系统后,回转窑操作不稳定,气氛难控制,勉强通过了省级鉴定而停产。同时太原西山石膏矿和湖北应城磷肥厂还在立窑上进行煅烧石膏制硫酸与水泥全流程小试验,虽得到硫酸与合格的水泥熟料,但技术指标不理想。1974年汉沽日化助剂厂建设了2500 t/a 回转窑中试装置,因地震而停止。1972年南化研究院在 $\phi 350/\phi 450 \times 1700$ mm 单层扩大沸腾炉进行热态试验。1973年应城磷肥厂也进行了1000 t/a 的沸腾炉试验,至1975年最后一次实验,运转30 d,日产硫酸3 t,产石灰1.5 t。1975年宁夏在贺兰建成2000 t/a 的天然石膏制硫酸试验车间未获成功。为了攻克该技术,国家于1954~1966年先后多次派考察团赴东德、波兰和奥地利等国进行考察学习,始终未实现工业化生产。

1977年,鉴于硫酸市场极缺,山东省在无棣、阳信、泰安、聊城等地安排了试验点。1982年无棣县硫酸厂取得了7500 t/a 盐石膏制硫酸试验成功。在1984年和1985年分别完成了用当地盐石膏、云南磷石膏和枣庄天然石膏制硫酸与水泥的试验,通过了国家的鉴定,并于1988年开工,1990年建成了年产4万t磷石膏制硫酸6万t水泥装置,于1991年通过了化工部组织的45 d 考核考评。该装置于1994年和1995年度回转窑运转天数为348 d 和382 d,年生产能力硫酸达到了6万t,水泥7万t。在此期间云南磷肥厂于1988年投产了235 t/d 的大型装置。1991年山东峰城和新疆阿克苏也建成了2万t/a 的天然石膏制硫酸与水泥生产线。1995年和1996年全国建设了5套4万t/a 石膏制硫酸6万t/a 水泥装置(称四六工程),1996年在鲁北开工建设年产20万t石膏制硫酸联产30万t水泥工程,并于1999年建成投产。该装置采用了旋风预热器新技术,硫酸采用二转二吸工艺,运转正常。2008年重庆建成了年产10万t天然石膏制硫酸厂。

表1-1 为国内外石膏制硫酸与水泥工厂一览表。

表 1-1 国内外石膏制硫酸与水泥工厂一览表

厂 家	起止时间	窑型(m)	台数	石膏	辅助原料	产量(万 t)	备注
德国 Leverkusen	1916—1931	$\phi 2.5 \times 50$	1	无水、二水	C、粘土	1.2	停
英国 Billing ham	1931—1970	$\phi 2.7 \sim 3.0 \times 70$ $\phi 3.4 \sim 3.8 \times 120$	2 1	天然无水、 二水	砂、C、粘土	10/8	停
法国 Mira mas	1938—1946	$\phi 3.1 \times 60$	1	天然二水	C、粘土	2.5	停
德国 Wolfen	1939—1945	$\phi 3.2 \times 70$	4	天然无水	C、粘土	17.6	停
波兰 Wizow	1952—	$\phi 3.3 \times 85.4$	2	无水+磷	粉煤灰、C	10	
德国	1954—	$\phi 3.3 \times 70$	2	无水		10~22	停
英国 Whithaven	1955—	$\phi 3.4 \times 70$	2	无水	页岩、C	20	
奥地利 Linz	1954—	$\phi 3.5 \times 70$	1	无水+磷	粉煤灰、C	10	
德国 Coswig	1960—	$\phi 3.2 \times 80$	4	无水	C、粘土	24.7	
印度 Sidri	1951—					4.5	
巴基斯坦 MariIndus	1954—					10	
南非 PhalaBoraw	1972—	$\phi 4.4 \times 107$	1	磷	粉煤灰、C	16.5	
英国 Widnes	1955—1972	$\phi 4 \sim 4.3 \times 120$	2	无水	页岩、C	16	停
中国 无棣	1982—1990	$\phi 1.6 \times 30$	1	二水磷	C、粘土	0.75	停
中国 无棣	1990.10—	$\phi 3 \times 88$	1	脱硫	C、粘土	6	
中国 枣庄	1991.7—	$\phi 2.5 \times 55$	1	无水、二水	C、粘土	2	停
中国 什邡	1994.10—	$\phi 3 \times 88$	1	磷石膏	C、粘土	4	
中国 银山	1995—	$\phi 3 \times 88$	1	磷石膏	C、粘土	4	
中国 鲁北	1996—	$\phi 4 \times 75$	2	磷石膏	C、粘土	20	
中国 莱西	1996—	$\phi 3 \times 88$	1	磷石膏	C、粘土	4	停
中国 鲁西	1996—	$\phi 3 \times 88$	1	磷石膏	C、粘土	4	
中国 重庆	2008—	$\phi 4 \times 75$	1	天然二水	C、粘土	10	
中国 云南	1988—	$\phi 3.5 \times 120$	1	磷石膏	C、粘土	8	停

四、石膏制硫酸与水泥技术的发展

无论 M-K 法还是 O-K 法生产工艺,无论是采用无水石膏、烧僵石膏还是半水石膏,石膏制硫酸与水泥存在着以下一些缺点:①制硫酸窑气 SO_2 浓度低,投资高;②回转窑热利用率低,容积产量低,热耗高;③因副反应多,操作范围窄,难度大。在 20 世纪 50 年代,美国 Iowa 大学 Wheelock 等人便探讨石膏的还原分解新

途径。50多年来,美国、苏联、德国等许多国家的研究者在研究石膏在流态化分解炉内分解新技术。

1968年美国Iowa大学开发了双层流化床分解石膏工艺,其上层床控制还原气氛,在较低温度下将 CaSO_4 分解为 CaS 和 SO_2 。分解的 CaS 进入下层流化床,下层床控制氧化气氛将 CaS 氧化成 CaO 和 SO_2 。分解的 CaO 可煅烧成水泥,也可做熟石灰使用。 SO_2 气体浓度较高,用于制造硫酸。上世纪70~80年代苏联推出了在同一流化床控制还原、氧化两种气氛的工艺,其原理与Iowa大学相似,在一定高度的流化床内下部加入石膏并控制还原气氛在较低温度下将 CaSO_4 分解为 CaS 和 SO_2 。在流化床上部控制氧化气氛将 CaS 氧化成 CaO 和 SO_2 。以上两种方法是在流态化进行的,分解 SO_2 浓度高、热耗低、投资少,使用前景好,但未工业化生产。

1985年德国Lurgi公司推出了循环流化床工艺,完成了日处理10 t石膏的中间试验,取得了丰富的试验数据。在此基础上美国科学探险公司于上世纪90年代开发了闪速流化床工艺,其主要参数流化速度高,设备规格小。1991年美国联合矿物公司公布了采用流化床分解磷石膏建设年产250万 t硫酸的大型工厂,但至今未见生产报道。近几年,印度、摩洛哥、突尼斯等国的技术人员在此领域也有新的研究成果,但无很大突破。

我国在上世纪90年代山东鲁北化工厂、原南京化工学院、山东水泥设计研究院联合承担了“循环流化床分解磷石膏制硫酸联产水泥”国家“八五”重大科技攻关任务。1990年完成了理论研究,1991年建成了冷态模型试验装置并进行了试验,为热模试验装置设计提供了依据。1992年建成了处理能力为24 t/d的循环流化床分解磷石膏试验装置。进行一年多的试烧, CaSO_4 分解率达到95%以上,但不稳定;气体 SO_2 浓度达到8%~10%。数据显示比原来方法先进。1993年初在热模试验的基础上建成了150 t/d硫酸的工业试验装置。试烧一年多,消耗了大量的人力和财力取得了一定的数据,证明了石膏生料在旋风预热器使用的可行性。但因运转周期很不理想,未出合格产品而停止。1999年山东建成的磷石膏制20万 t/a硫酸30万 t/a水泥装置采用了四级预热器。2008年重庆建成的天然硬石膏制10万 t/a硫酸、15万 t/a水泥装置也采用了四级预热器。采用四级预热器可节约烧成热耗20%~30%, SO_2 浓度提高到8%~10.5%,使硫酸装置实现了两转两吸。近几年贵州大学、云南民族大学、南京工业大学及江西南昌、湖南湘澧、湖北宜昌等厂矿企业都进行石膏分解利用的研究,也申请了多项发明专利及成果,相信不久会有新的突破。

第二章

石膏制硫酸与水泥的流程

一、水泥与硫酸生产工艺说明

以我国采用石膏法年产 30 万 t 水泥 20 万 t 硫酸装置为例介绍生产工艺。

(一) 水泥生产工艺流程说明

1. 原料均化

把石膏与符合工艺要求的焦炭、粘土、铝矾土等原料,按照批量要求在联合储库内进行均化,以确保原料组分的稳定性。

2. 烘干脱水

石膏由皮带机喂入烘干机内,与来自热风炉的热烟气接触,使水分蒸发。石膏得到干燥、脱水,成为含水 4%~6% 的半水石膏。出烘干机的半水石膏经链钩输送机、提升机送入石膏库储存。

烘干机排出的废气经旋风除尘器、电收尘器进行除尘,由排风机排放。用磷石膏则经湍球塔水洗干净后,达标排放。

经旋风除尘器和电收尘器收下的石膏粉尘,由链钩输送机随烘干后的石膏进入石膏库。

焦炭、粘土等辅助材料分别经皮带机进入辅料烘干机,与来自热风炉的热烟道气接触、换热烘干后,由链钩输送机、提升机进入各自的储库。烘干尾气经旋风除尘器和电收尘器收尘后,达标排放。

3. 生料制备、均化

烘干后的石膏经储库库底喂料机计量后,由螺旋输送机、提升机、斜槽入旋风式选粉机。石膏经选粉后,粗粉与来自辅料储库经计量后的焦炭、粘土等辅助材料一起入球磨机进行粉磨。

出磨生料经提升机、斜槽入旋风式选粉机,细粉作为成品经同一链钩输送机、提升机、斜槽送至生料均化库,粗粉返回磨内再粉磨。

磨尾废气经旋风收尘器和电收尘器净化后,由风机排入大气,收下的粉尘经上述链钩输送机等送入生料均化库。

4. 分解、煅烧

均化后的石膏生料经仓底喂料机计量后,由提升机、螺旋输送机送入回转窑窑尾旋风预热器系统的第二级旋风预热器的排气管内,经撒料板分散后被热气流携带到第一级预热器内进行气固分离,气体由出风管经引风机排出、经电收尘器除尘后进入硫酸系统,固体则进入第三级预热器的排气管内,经撒料板分散后被热气流携带到第二级预热器内……这样,物料依次经过各级旋风预热器,最后经第四级预热器预热到 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ 后,进入回转窑内分解、煅烧。

生成的 CaO 与物料中的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 等进入烧成带,发生矿化反应,形成的水泥熟料经冷却机冷却后送水泥熟料库。

生成的含 SO_2 ($9\sim 11\%$) 的窑气自窑尾 ($800\sim 900^{\circ}\text{C}$) 进入第四级旋风预热器,依次经第三、二、一级旋风预热器与加入的生料逆流接触,进行热交换后,自第一级旋风预热排出 ($320\sim 400^{\circ}\text{C}$),由热引风机送入电收尘器。

5. 水泥磨制

水泥熟料、石膏、混合材在储库库底按比例经喂料机计量后,由皮带机送入水泥磨粉磨。粉磨后的水泥由提升机送入选粉机选粉,选出的粗料由空气输送斜槽返回磨内再粉磨,细料则作为成品,经螺旋输送机、斗提机和空气输送斜槽送至水泥储库储存、包装或散装出厂。

水泥磨、空气斜槽、斗提机废气全部引入选粉机作为二次风,不再单独设除尘设备。选粉机废气经袋收尘器净化后,由排风机排入大气,袋收尘器收下的细粉送至水泥储库。

(二) 硫酸生产工艺流程说明

1. 窑气净化工段

由预热器窑尾电收尘器来的 320°C 、含尘 $0.15\text{ g}/\text{Nm}^3$ 的窑气进入冷却塔进行冷却洗涤。冷却塔为空塔,塔内喷淋约 $8\%\sim 10\%$ 的稀硫酸,窑气在冷却塔中经绝热蒸发,冷却至 $63\sim 68^{\circ}\text{C}$,进入洗涤塔。洗涤塔为填料塔,用约 1.5% 的稀硫酸喷淋洗涤,以进一步除去窑气中的尘、氟等杂质。洗涤塔出口气体 ($38\sim 40^{\circ}\text{C}$) 经电除雾器除去酸雾后进入干燥塔。稀酸采用板式换热器冷却。

冷却塔循环酸从冷、洗塔酸循环泵出口引出部分稀酸经沉降器沉降,以除去其中的尘。清液部分流回到冷却塔底部的稀酸贮槽,多余的 $8\%\sim 10\%$ 浓度的稀酸经脱吸塔脱除其中的 SO_2 后,与沉降器底部流出的污酸一道用稀酸泵送至贮槽。

2. 干吸工段

由净化工段来的含 SO_2 气体,经补充一定量的空气后进入干燥塔。干燥塔为填料塔,顶部喷淋 94.5% 浓度的硫酸,以吸收窑气中的水分。气体出干燥塔含水

量小于 0.1 g/Nm^3 , 然后进入转化工段的 SO_2 鼓风机。干燥塔循环酸吸收水分后流入干燥塔酸循环槽。为了维持干燥塔循环酸的浓度, 从中间吸收塔串来部分硫酸, 使干燥塔酸循环槽中酸浓度维持在 94.5% 。再经干燥塔酸循环泵、干燥塔酸冷却器后入干燥塔循环使用。循环系统中多余的 94.5% 硫酸经 SO_2 吹出塔脱除其中的 SO_2 后, 经吹出塔酸循环槽、吹出塔酸循环泵串至中吸塔酸循环槽。

由转化工段来的含 SO_3 的第一次转化气进入中间吸收塔, 用 98% 浓度的硫酸循环喷淋吸收, 制得硫酸。吸收后的气体回转化工段进行第二次转化。中间吸收塔酸流入中吸塔酸循环槽中, 多余的硫酸分别串至干燥塔酸循环槽和终吸塔酸循环槽。循环槽中的酸浓度由干燥塔酸循环槽串来的 94.5% 硫酸和加水维持在 98% 。循环酸经中吸塔酸循环泵、中吸塔酸冷却器进入中间吸收塔顶部循环喷淋。

由转化工段来的含 SO_3 的第二次转化气体进入最终吸收塔, 塔顶部用 98% 浓度的硫酸循环喷淋吸收, 吸收后尾气达标排放。吸收 SO_3 后的循环酸流入终吸塔酸循环槽, 酸浓度由中间吸收塔串来的酸和加水来维持在 98% , 循环酸经终吸塔酸循环泵、终吸塔酸冷却器后进入塔顶部循环喷淋。系统中多余的硫酸从终吸塔酸冷却器出口引出, 经成品酸冷却器冷却后, 送至酸罐。

3. 转化工段

由于吸工段干燥塔来的 SO_2 窑气, 经 SO_2 鼓风机加压后, 经第Ⅲa、Ⅲb 换热器、第Ⅰ换热器加热到约 $410\sim 420^\circ\text{C}$ 后, 进入转化器一段进行反应, 生成 SO_3 。一段反应出口气体经第Ⅰ换热器降温到 450°C 后进入转化器二段继续反应。二段出口气体经第Ⅱ换热器降温到 415°C 后, 进入转化器三段继续反应。三段反应转化率可达 93% 。转化器三段出口气体经第Ⅲb、Ⅲa 换热器降温至 180°C 后, 进入干吸工段的中间吸收塔进行吸收。

由于吸工段中间吸收塔来的气体, 经Ⅳa、Ⅳb 换热器升温至 410°C , 进入转化器四段进行第二次转化。转化器四段出口气体经Ⅳb、Ⅳa 换热器降温至 180°C 后, 至干吸工段的最终吸收塔进行第二次吸收。经二次转化后总转化率达 99.5% , 二次吸收后总吸收率达 99.95% 。

二、石膏制硫酸与水泥的流程

(一) 以石膏中结晶水含量划分流程

1. 半水流程

采用半水石膏配料。将工业副产或天然二水石膏烘干至半水后, 配制生料, 进行生产。特点是: ①流程简单, 烘干热耗低; ②利用煅烧尾气余热将剩下的半水烘