

水泥科技

3
2017

SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CEMENT

善用资源 服务建设



主办单位：

合肥水泥研究设计院

Email: snkj@hcrdi.com

合肥固泰自动化有限公司

Hefei GoodTimes Automation Co.,Ltd.



合肥固泰自动化有限公司是以合肥水泥研究设计院自动化研究所为基础，由合肥金山科技实业公司改制成立的技术先导型企业，国家级高新技术企业。公司建立了完善的质量保证体系，专业从事全系列物料计量、生产过程控制、工厂配电与电气控制、水泥生产专用监测控制装置的开发、生产和工程服务。拥有一支掌握最新技术、富有实践经验的专业人才队伍，在产品开发、生产与服务中坚持“以客户为中心、以创新为动力、以双赢为目标”的经营理念，一如既往地做到“让客户省心、放心、舒心”，用户遍及全国各地和东欧、中东、南亚、东南亚、中亚、非洲及南美洲等地区。

地址：中国安徽省合肥市望江东路 60 号
电话 TEL:+86-551-63439178 63439824

水泥科技

(季刊 1988年创刊)

2017年第3期

10月20日出版

主办单位：合肥水泥研究设计院

编委会

名誉主任：周云峰

主任：包玮

副主任：朱大来、丁奇生

主编：陆树标

委员：(按姓氏笔划排序)

王仕群 王学敏 毛志伟 邓小林

朱文兵 许涛 邱文斗 何宏涛

张平洪 张自力 陆树标 武青山

林红星 周啸 郑青 侯贵斌

施德祥 姚强 熊焰来

本期编辑：陆树标 解姗姗

编辑出版：《水泥科技》编辑部

地址：合肥市望江东路60号

邮编：230051

编辑部电话：(0551) 63439575

广告部电话：(0551) 63439575

传真：(0551) 63439575

网址：<http://qkzz.hcrdi.com>

投稿邮箱：snkj@hcrdi.com

目次

袋式除尘技术发展回顾和展望	郑青 /1
辊压机联合粉磨水泥双闭路系统设计	杨清峰/10
水泥生产的SO ₂ 排放和立磨制备生料的脱硫作用	袁凤宇/13
联合生料磨在线烘干技术改造	刘生瑞 刘恩睿/20
煤粉制备车间的安全防护	王春广/24
CityPlan软件在水泥厂总图三维设计中的应用	李强/29
5000t/d篦冷机提高余热发电量的改造	巩晓亮/35
浅谈水泥窑协同处置城市生活垃圾的处理量计算	胡光/39
水泥厂中压系统接地	蔡赣婴/48
篦冷机小改造大收益	汪厚平/53
近期实施的标准规范及重点注意事项	本刊编辑部 /56
获奖报道---我院工程监理项目荣获行业优秀工程咨询奖	本刊编辑部 /59

袋式除尘技术发展回顾和展望

郑青

(合肥水泥研究设计院 安徽 合肥 230051)

1 前言

节能、减排是转变发展方式、实现中国可持续发展必由之路。我国经济快速增长，各项建设取得巨大成就，但也付出了巨大的资源和环境被破坏的代价，这两者之间的矛盾日趋尖锐。不加快调整经济结构、转变增长方式，资源支撑不住，环境容纳不下，社会承受不起，经济发展难以为继。只有坚持节约发展、清洁发展、安全发展，才能实现经济又好又快发展。

节能减排包括节能和减排两大技术领域，二者有联系，又有区别。一般地讲，节能必定减排，而减排却未必节能，所以减排项目必须加强节能技术的应用，以避免因片面追求减排结果而造成的能耗激增，注重社会效益和环境效益均衡。从这个角度讲，环保技术和装备也必须讲节能；同样，环保技术和装备本身更应讲环保，而不应破坏环境或带来新的环境污染。

对袋除尘技术和装备的研发以往我们更多的是考虑除尘效率更高以及过滤材料的使用寿命更长；现在我们已经知道不仅要考虑高效率、长寿命，还要考虑低运行阻力，也就是要节电；今后我们还要考虑总动力能源的低消耗（电能、气能）、废弃过滤材料的回收处理。作为除尘技术中的重要领域之一的袋式除尘技术应该也必将为我国实现可持续发展做出更多、更好的贡献，袋式除尘技术和装备的创新以及整个袋式除尘行业发展也应该秉承可持续发展的理念。

2 回顾

“十一五”、“十二五”期间，随着我国水泥、电力、钢铁等行业的快速发展，通过不断创新，我国的袋式除尘技术和装备水平显著提高，实现了跨越式发展。主要体现在以下几点：

2.1 装备大型化开发应用取得了突破，标志着技术水平上台阶

随着水泥、电力、钢铁等行业生产规模的扩大和设备能力的提高，袋式除尘设备的大型化是必然的结果。通过产、学、研、用各方面的持续不断的协同创新，装备大型化开发和应用有了实质性的突破，水泥行业单机处理风量已达到了 100 万 m^3/h ，单线规模达到 200 万 m^3/h ，电力行业单机处理风量已达到了 250 万 m^3/h ，且设备已做到了稳定、可靠运行。大型化袋式除尘器的研发和应用，使我国袋式除尘器技术和装备的水平得到大幅提高，步入了国际先进水平。

2.2 装备设计开发多样化，满足了不同行业的要求

水泥、电力、钢铁等行业的科技工作者，根据各行业的不同需求，开发出了不同类型的产品，如低压长袋脉冲袋式除尘器、电袋复合除尘器、直通均流袋式除尘器、低压回转脉冲喷吹袋式除尘器、阶梯式袋式除尘器等。这些产品基本上都形成了系列化，满足了本行业不同规模生产线的要求。

水泥行业已形成了 2500t/d、3000t/d、4000t/d、5000t/d、10000t/d、12000t/d 配套的系列化低压长袋脉冲袋式除尘器。该除尘器的结构和实物见图 1。

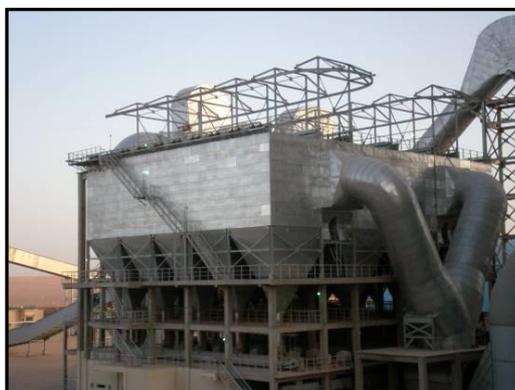
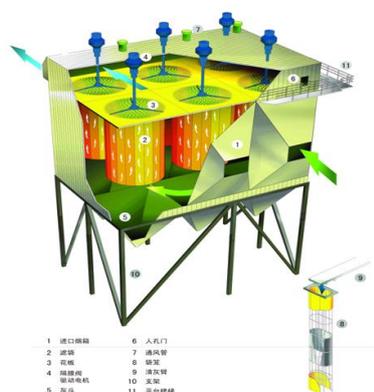


图 1 低压长袋脉冲袋式除尘器

2.3 计算机技术的应用，提高了研发水平和设计质量。

采用计算机三维设计提高了除尘装备和工程设计的效率和质量；CFD 数模技术的应用提高了研发水平，缩短了研发周期，为装备的优化设计特别是大型化装备的结构优化提供了依据。

例如，利用 CFD 数值模拟技术可开展除尘器内部气流速度场、温度场、颗粒物浓度场模拟试验，分析气流流动状态和规律，为大型除尘器气流合理分布，从

延长滤袋使用寿命、促进粉尘沉降、降低设备阻力等方面为结构设计提供依据和指导；研究喷吹系统气流流量和压力分布，为喷吹管的结构设计提供依据；模拟滤袋的压力分布和压力变化，确定滤袋的规格。袋式除尘器内部的计算机三维模拟见图 2。



图 2 袋式除尘器内部模拟

2.4 标准的制定推动了技术的发展以及推广应用

2012 年颁布的《袋除尘工程通用技术规范》(HJ2020-2012)，规定了袋式除尘工程设计、施工与安装、调试与验收、运行与维护的通用技术要求；《水泥工业除尘工程技术规范》(HJ434-2008)、《钢铁工业除尘工程技术规范》(HJ435-2008)、《燃煤电厂锅炉烟气袋式除尘工程技术规范》(DL/1121-2009)、《垃圾焚烧袋式除尘工程技术规范》(HJ2012-2012) 等提出了各行业主要生产工艺中烟气治理的原则和措施，规定了除尘工程设计的技术要求。同时国家还组织制定和修订了一系列袋式除尘器产品规范，包括主机、滤料和滤袋、袋笼、脉冲阀、分气包等。

燃煤电厂、钢铁工业、水泥工业等都适时进行了大气污染物排放标准的修订，提出了更严格的工业排放标准：《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》(GB28662-2012)、《炼铁工业大气污染物排放标准》(GB28663-2012)、《炼钢工业大气污染物排放标准》(GB28664-2012)；《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223-2011)；《水泥工业大气污染物排放标准》(GB4915-2013)。

上述标准的制定推动了各个行业环保技术的发展和进步，加快了袋式除尘装备工程化开发和应用。

在总结成绩时，还要看到不足，突出问题表现在装备制造水平有待提高。我国袋除尘器的整体制造水平与国外发达国家还有相当大的差距；大量的袋除尘装

备制造企业水平参差不齐，同行间存在相当大的差距；袋除尘生产企业与电除尘生产企业相比，制造水平也有差距，特别是加工精度、零部件的标准化等方面的差距明显。应坚决淘汰落后的作坊式加工方式，实现装备高端化制造。

3 袋除尘技术发展的展望和思考

3.1 超净排放技术

众所周知，PM_{2.5} 是雾霾产生主要原因之一，减少污染源，削减大气污染物排放是解决雾霾的根本之道。国情决定了对于我国的水泥、钢铁、有色等行业，去产能可以，去产业做不到。所以，即使我们的行业过剩问题解决，我国环境容量的巨大压力依然存在。这就要求我们未来的标准要比现有标准更严，甚至超欧、美、日的标准，才能满足生态文明建设的要求。有关方面对我国水泥厂窑尾除尘器排放烟气进行了检测统计，PM_{2.5} 以下的颗粒占比 40~60%；一组国外相关报道的数据表明，在排放达到 15mg/Nm³ 的烟气中，PM₁₀ 含量为 80%，PM_{2.5} 含量为 26.7%。可以看出，进一步降低排放浓度，实现超低排放，对降低 PM_{2.5} 含量有明显作用。超净排放（超低排放）技术的研发已是刻不容缓。

火电行业已先行，明确提出了“超净排放”。所谓超净排放，是指用多种污染物综合治理技术，使火电厂主要大气污染物(烟尘、二氧化硫、氮氧化物)排放达到或优于燃气轮机组的大气污染物排放限值。SO₂ 排放 35 mg/Nm³，NO_x 排放 50 mg/Nm³ 粉尘排放 5mg/Nm³。相比于今年 7 月 1 日起开始执行的“史上最严格火电排放标准”(非重点地区现有煤电机组执行二氧化硫 200、氮氧化物 100、烟尘 30 毫克/标立方米，重点地区 50、100、20 毫克/标立方米)，主要污染物的排放可以减少三到七成。湿式除尘器技术的研发和应用，为火电行业实现超净排放的探索提供了一条新途径，火电行业的先行探索和实践，必将带动其他行业的共同进步。因此，10mg/Nm³、5mg/Nm³ 的粉尘排放指标对水泥行业来说将不是遥远的目标。

目前，袋除尘器对粉尘的净化效率可以达到 99.99%，PM₁₀ 的捕集效率 98.84%，PM_{2.5} 的捕集效率 99.35%，在控制细颗粒物有明显优势。对于袋除尘器来

说，超净排放技术不应简单地理解为把滤料质量提高，或提高滤袋的缝制质量就可解决问题，这是综合技术的集成系统，应从高效喷吹清灰系统、高精度过滤系统、低阻结构系统、均风分布系统、智能控制系统等五大主要系统技术进行创新，超净排放技术的研发对袋式除尘器各个系统的创新研究将是一次提升和考验，也必将进一步整体提升我国袋除尘的技术和装备水平。

3.2 智能控制、检测和应急处置技术

大型脉冲喷吹袋除尘器普遍用于水泥、冶金、电力、化工等行业，由于环保排放要求越来越严格，一旦除尘器出现故障，如破袋、清灰系统短路（如脉冲阀、提升阀等）、超温等故障，会影响系统的正常运行，严重的造成粉尘超标排放。几千条甚至上万条滤袋以及几百个脉冲阀，如何及时、准确判断故障位置并进行应急处置，对企业管理提出了更高的要求。利用计算机仿真技术，实现破袋在线检测及定位、清灰系统短路故障的快速排查、远程故障报警，方便用户及时对故障进行分析和处理，真正实现袋除尘器预警、定位、检测、处置等功能一体化的智能化控制，将大大提高企业管理水平，降低运行、维护成本，减少事故损失。

在线破袋检测定位技术可有效并及时发现破袋位置，缩短排查和处置时间，杜绝事故排放，延长滤袋使用寿命，减少设备的运行和维护成本。利用清灰系统短路故障的快速排查技术，可大大减少人力排查时间，提高运行可靠性。故障实时监测和无线报警，及时发现和处理问题，避免事故扩大化。灵活的数据输出功能。曲线图、表格、报警指示等，提供智能化历史趋势全自动回放功能等，方便快捷，有利于对历史数据进行分析，查找系统存在的问题。

3.3 粉尘与有害废气协同治理技术

现有技术对于工业窑炉废气中的粉尘、 NO_x 、 SO_2 等治理基本上一般是采用分别单独处理的方式，各自为政。

随着水泥窑协同处置生活垃圾、危险废物、污泥、污染土等固体废物技术的成熟，以及垃圾焚烧发电、生物质焚烧发电的推广应用，废气成份更加复杂，处置难度加大，成本增加。

试验表明，袋除尘器具有多污染物协同去除的功能，如在有效收集细颗粒物的同时，还可以兼顾处理 SO_2 、 HCl 、汞和二噁英等污染物。有资料表明，在干法、半干法脱硫时，采用袋除尘器可提高脱硫效率 8%。

按协同处理的理念，在废气处理过程中，脱硫的同时进行脱销，除尘的同时进行进一步脱汞、二噁英，必将提高效率，降低成本。

研制带有催化功能的过滤材料，除尘的同时进行脱销，也将是一个值得探讨和研究的技术方向。戈尔公司率先进行了覆膜滤袋催化过滤技术的研究开发，据戈尔公司提供的试验数据表明，脱硝效率达到 65~75%，氨逃逸几乎为零，但未见进一步的商业应用报道。

3.4 高温除尘技术

3.4.1 玄武岩滤料高温袋除尘器

玄武岩纤维采用天然矿物原料熔融体制备而成，其耐温、绝热、隔音性能方面优于其它品种纤维，能够在 600°C 或者更高温度下应用，玄武岩纤维制品在空气与水介质中不会释放出有毒物质，不水解、耐酸碱、耐高温、阻燃。

合肥水泥研究设计院承担的国家“十二·五”科技支撑项目“玄武岩纤维滤料制备关键技术与示范应用”开发的玄武岩滤料高温袋除尘器，已投入运行并顺利完成了项目验收。项目主要包含了玄武岩纤维结构及物化特性研究、玄武岩纤维表面改性技术研究、玄武岩纤维滤料织造技术及性能研究、高温袋除尘器的研制等研究内容。通过对玄武岩矿物组成特征、玄武岩纤维物理特性、玄武岩纤维滤料针刺工艺及表面改性后处理等技术的研究，开发了耐高温玄武岩纤维滤料。



图 3 玄武岩纤维滤料及其制品

玄武岩滤料高温袋除尘器具有可耐 330°C 以上高温，投资成本低，运行稳定

等特点。

3.4.2 陶瓷滤筒高温除尘器

陶瓷滤筒是利用多孔陶瓷（堇青石、碳化硅）表面覆盖一层极薄陶瓷膜(小于 $50\mu\text{m}$)制造成的，陶瓷过滤器具有有很多优点，如耐高温（ $300\sim 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）、机械强度大、耐高压（ 4MPa ）、耐酸碱腐蚀、寿命长、过滤精度高等。陶瓷膜孔径范围 $0.5\sim 3\mu\text{m}$ ，因此对于小于 $10\mu\text{m}$ 的固体颗粒的除尘率高达99.5%以上，满足工业上对气固两项的高效和深度过滤。对于超细粉尘的收集效果显著，能稳定满足 $< 5\text{mg}/\text{m}^3$ 的超净排放要求。

上世纪70年代开始，美国能源部开展了以陶瓷过滤介质为主的高温气体过滤除尘技术的开发，德国、日本、英国等发达国家也都相继开展了类似的研究工作，并取得了很大的进展。目前，高温除尘过滤介质一般采用多孔陶瓷材料、多孔金属材料 and 陶瓷纤维增强复合多孔材料等。陶瓷材料具有优良的耐热性、化学稳定性和高温抗腐蚀性，但韧性和抗热震性较差。

国内一些大学、科研单位和企业已开展了相关研发工作，并进行了小型化的应用，在改善多孔陶瓷滤芯的抗热震性和清灰再生性能，提高除尘效率、降低过滤阻力、延长使用寿命等关键技术上取得了明显的进步。但由于资源分散，未能形成合力，特别是在装备大型化、低成本的工业化应用开发方面还面临很多技术难题，应加强技术攻关。建议按产学研结合的集成创新思路来进行陶瓷滤筒高温除尘器技术与装备的研制与开发。陶瓷滤筒在除尘、脱销协同处理具有先天优势，具备发展前景。

实现高温烟气除尘前置，将为水泥窑尾、玻璃窑采用SCR技术脱硝彻底解决目前遇到的技术障碍，同时为进一步提高余热发电的效率提供了空间。高温除尘器未来除了在水泥行业、玻璃行业以外，在高炉煤气、钢铁烧结和球团、燃煤电厂以及其他特殊行业高温烟气除尘也具有很好的应用前景。

3.5 废旧滤袋的处理技术

随着袋式除尘器的广泛应用，大量破损的废旧滤袋的处置已成为难以解决的

棘手问题，其特点为量大、品种多。

表 1 我国滤料产量

万 m³

年份	滤料总产量	化纤滤料产量	玻纤滤料产量
1985	180	130	50
2005	4000	3000	1000
2008	7000	5200	1800
2013	12000	8000	4000

从表 1 可以看出，从 1985 年到 2005 年的 20 年间，我国的滤料产量增长了 23 倍以上，进入 21 世纪以来，滤料的发展速度更快，呈现出爆发式增长。从中可以看出，每年淘汰下来以及历年积累的破损的废旧滤袋的数量将是天文数字。

纤维的种类在快速发展，从早期的天然纤维、涤纶纤维、玻纤滤料，到 NOMEX、PPS、PTFE、P84 等合成纤维。各个行业采用的滤袋品种繁多，有单一纤维滤袋、多种有机纤维复合毡滤袋、有机和无机纤维复合毡滤袋。

目前废旧滤袋的处理方式主要有以下几种：

（1）废弃或填埋

填埋是目前处置废旧滤袋最简单实用的方法，也是应用最多的方法。由于滤袋采用化纤合成原料，其生物降解性差。滤袋废弃或填埋都会成为新的污染源。

（2）焚烧

焚烧是实现废旧滤袋减量化、无害化的有效手段，也是目前解决破损、废旧滤袋最有效的方法之一。在焚烧过程中存在二次污染，但焚烧后可以实现减量化、减容化和稳定化。有机合成纤维焚烧后主要变成了 CO₂ 和 H₂O 等气体，但玻纤滤袋经高温焚烧是难点（熔化温度 1300~1600℃）。

（3）回收利用

废旧滤袋最理想的处置方式是收集后，熔化拉丝，重复利用。收集、运输、清洗、烘干、熔化等过程困难，是废旧滤袋难以回收的关键所在，经济性也是废旧滤袋难以回收的主要问题之一。

国内已有相关单位在进行回收生产线的技术研究和开发，但目前相关的技术和装备尚不成熟，需要进一步进行研究。

废旧滤袋回收利用是未来的发展方向，甚至将产生一个产业。在环保要求日益提高的情况下，废旧过滤材料的处理技术研究的甚至将影响未来袋除尘器技术的发展。

3.6 新过滤材料的研发

3.6.1 特种纤维

芳纶、聚酰亚胺纤维作为具有优异性能耐高温过滤材料得到普遍应用，但中国市场曾经长期被 NOMEX、P84 国外品牌垄断。近十多年来我国自主研发取得了很大进步，芳纶产品质量和规模已达到国外同类产品的水平，聚酰亚胺纤维全流程工业化规模生产线实现突破，其主要指标已接近国外同类产品的水平，但产品的稳定性、纤维的均匀性还有差距，还需加强研究工作。

3.6.2 超细纤维

超细纤维（一般把纤度 0.3 旦，直径 5 微米以下的纤维称为超细纤维）的开发将是提高滤料过滤性能的重要手段和方法之一。采用超细纤维作滤料迎风面层的梯度滤料，同样具有表面过滤的作用，且与面层不易分离、脱落，可降低过滤阻力。

随着特种纤维、超细纤维生产国产化、规模化的实现，不仅可满足各工业领域对除尘滤料的需求，也可提升了国产袋式除尘装备的质量。未来，高性能、功能性滤料将得到快速发展。

参考文献：

[1] 中国环保产业袋委会，我国袋式除尘设计水平的全面进步[J].中国环保产业，2015(3):4—8.

辊压机联合粉磨水泥双闭路系统设计

杨清峰 胡知群 叶震球
(合肥水泥研究设计院 安徽 合肥 230051)

0 引言

蕉岭县龙腾旋窑水泥有限公司位于广东省梅州市新铺镇油坑村，2002年1月29日注册成立，是梅州地区一个比较大的水泥公司。该公司4500t/d熟料水泥生产线及9MW余热发电工程厂址位于梅州市新铺镇油坑村，在原1#生产线的东面与原1#线平行布置。该项目由合肥水泥研究设计院做生产线的总包。

作为4500t/d熟料水泥生产线及9MW余热发电工程，它所采用的水泥粉磨系统必须做到既满足整个生产线对水泥粉磨能力的要求，又满足该系统操作使用简单方便、节能降耗，也要满足当地对环境保护的要求。通过综合考虑，水泥粉磨系统采用一套水泥挤压磨系统与一套水泥管磨系统串联进行水泥粉磨的方案。水泥粉磨系统工艺流程见下图1：

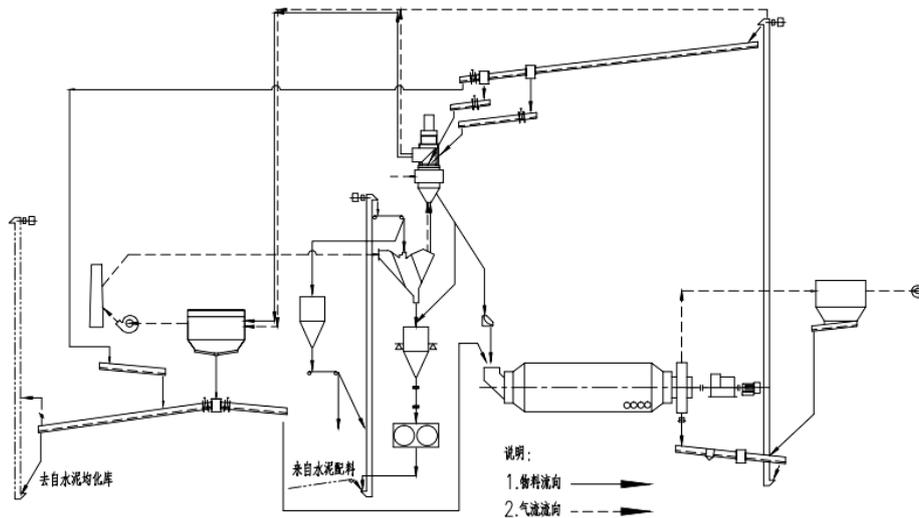


图1 水泥粉磨系统工艺流程图

主机设备的选型，既要考虑设备的运行平稳，也要考虑设备的节能降耗。水泥辊压机采用了合肥水泥研究设计院生产的HFCG160-140型辊压机；水泥磨采用了四川矿山机器(集团)有限责任公司生产的 $\Phi 4.2 \times 13.0\text{m}$ 水泥磨；选粉机采用了合

肥水泥研究设计院生产的 DSM-4500A 型高效组合式选粉机；收尘器采用了合肥水泥研究设计院生产的 PPW128-2×14 型气箱脉冲袋式收尘器。水泥粉磨系统主要设备选型见下表 1：

表 1 设备选型表

序号	名称	型号	性能	台数	备注
1	辊压机	HFCG160-140	675~780t/h	1	
2	水泥磨	Φ 4.2×13.0m	200±20t/h	1	≥350m ² /kg
3	选粉机	DSM-4500A	150~240t/h	1	
4	收尘器	PPW128-2×14	285000m ³ /h	1	

1 水泥辊压机系统的设计

水泥配料系统送来的水泥配合料与水泥辊压机挤压后的粉料一起进入水泥挤压系统的板链斗式提升机，提升后经带式输送机喂入 V 型静态气流分级机并与水泥管磨机系统送来的水泥一起进行分选，选出的细粉随水泥粉磨循环风机送来的循环风进入高效组合式选粉机进行再分选，粗粉则通过 V 型静态气流分级机下方的溜槽被送回稳流称重仓。在该稳流称重仓下设有手动棒闸和气动棒闸，开启气动棒闸给辊压机喂料。水泥辊压机产生的粉料与水泥配料系统送来的水泥配合料一起经高速板链斗式提升机提升入 V 型静态气流分级机进行再次分选。

2 水泥磨系统的设计

辊压机粉磨系统和水泥选粉系统送来的粉料进入水泥管磨机进一步粉磨，粉磨后水泥成品经磨尾重锤翻板锁气卸料阀卸出，通过空气输送斜槽、高速板链斗式提升机输送，进入高效组合式选粉机进行再分选。

该水泥磨设有一台气箱脉冲袋式收尘器，处理水泥磨系统在粉磨过程中产生的废气。

3 水泥选粉系统的设计

进入高效组合式选粉机的出磨粉料被进一步分选，满足水泥成品要求的细粉随循环风进入气箱脉冲袋式收尘器进行收集后进入水泥成品输送斜槽，经过长距离输送入水泥储存及散装系统。该系统在输送水泥成品的空气输送斜槽出料口设有一套连续自动取样系统，通过化验室人员的定时取样、化验，了解出磨水泥的品质、成分，以便磨机系统操作人员能及时地调整操作，保证出磨水泥的品质。

4 旁路控制系统的设计

(1) 水泥辊压机系统的稳流称重仓底设有荷重传感器，通过荷重传感器发出的信号调节水泥配料系统的喂料量，控制其料位，以保证辊压机系统的正常运行。

(2) 水泥管磨机入磨物料旁路系统。未满足水泥成品要求的粗粉在送往水泥管磨机的过程中通过固体流量计计量，并根据水泥管磨机的粉磨情况，通过旁路系统的螺旋闸门开关和刚性叶轮给料机转速的变化，调节粗粉的入磨量，控制水泥管磨机达到最佳的运行状态。

(3) 闭路水泥管磨机旁路系统。当出磨水泥满足水泥成品要求时，出磨水泥不再进入高效组合式选粉机进行分选，直接进入成品输送斜槽，经过长距离输送入水泥储存及散装系统。

(4) 成品收集旁路系统。气箱脉冲袋式收尘器收集的水泥成品，如果达不到水泥成品的要求，可通过输送斜槽上的截气截料阀将水泥成品送到水泥管磨机进一步粉磨以达到水泥成品的要求。

5 投产验收

蕉岭龙腾旋窑水泥有限公司 4500t/d 熟料水泥生产线及 9MW 余热发电工程水泥粉磨系统 2015 年 9 月 10 日投产，2015 年 11 月 8 日至 2015 年 11 月 9 日进行了达产达标考核，考核指标及结果见下表 2：

表 2 考核指标表

水泥配比	熟料 72.8	石灰石 6.0	炉渣 6.0	煤矸石 10.0	石膏 5.2
台时产量	日期 8 日 23:00~9 日 8:00	产量 1844t	运转时间 9h	台时产量 204t/h	考核指标 200±20t/h
水泥质量	平均比表面积 368 m ² /kg	平均细度 0.83	平均 SO ₃ 2.0	考核指标 ≥350m ² /kg	
单位电耗	日期 8 日 23:00~9 日 8:00	用电量 57543.5kwh	产量 1844t	单位水泥电耗 31.2t/kwh	考核指标 ≥31+0.93 t/kwh

六、结语

蕉岭龙腾旋窑水泥有限公司 4500t/d 熟料水泥生产线及 9MW 余热发电工程水泥粉磨系统设计，可以灵活控制粉磨流程和过程参数，工艺系统适应性强，自 2015 年 9 月 10 日投产以来，运转正常，产量和质量及各项指标均达到预期设计指标。

水泥生产的 SO₂ 排放和立式磨制备生料的脱硫作用

袁凤宇

(合肥水泥研究设计院 安徽 合肥 230051)

0 前言

工业生产中 SO₂ 过量地排入大气，使环境空气中 SO₂ 浓度超标城市不断增多，严重危害人体呼吸系统。由 SO₂ 排放引起的酸雨范围不断扩大，已由上世纪八十年代初的西南局部地区扩展到西南、华中、华南和华东的大部分地区，目前年平均降水 PH 值低于 5.6 的地区已占全国面积的 40%左右。SO₂ 污染和形成的酸雨危害居民健康，腐蚀建筑材料、破坏生态系统、造成很大经济损失，已成为制约社会经济发展的重要因素之一。为防止大气污染，《水泥工业大气污染物排放标准》(GB4015-2013) 加严了水泥制造污染物排放限值，其中，水泥窑及窑尾余热利用系统排放 SO₂ 一般限值为 200mg/Nm³，特别排放限值减至 100mg/Nm³。本文介绍新型干法水泥生产 SO₂ 排放和立式磨制备生料的脱硫作用，供水泥生产企业参考，根据企业原料和产品，采用相应生产工艺，确保 SO₂ 排放达标。

1 水泥生产 SO₂ 排放量分析

水泥生产中熟料烧成的物料分解和燃料燃烧都会产生 SO₂，SO₂ 产生的量主要与原料、燃料带入硫化化合物的多少，与其它化合物比例，烧成气氛和窑型有关。

1.1 新型干法水泥生产需要一定的含硫氧化物

水泥生产原料中往往含有一定的氧化钾、氧化钠。这些氧化物在高温下挥发后到低温区又重新凝聚，在窑系统内处于闭路循环状态，在新型干法生产中，这种循环引起预热器内结皮、堵塞、料斗不畅；严重时引起窑内结皮和大块，严重影响烧成系统正常运行。当原料中含有一定硫的情况下，在烧成系统硫和碱化合物形成硫酸碱，其中部分固熔于熟料中，随熟料排出窑外，从而减少 R₂O 在预热系

统因富集形成的结皮，但当硫含量超过一定数量，将与生料中的 CaO 形成 $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4$ 、 $2\text{C}_2\text{S} \cdot \text{CaSO}_4$ 结皮，而且十分坚固，对烧成系统也不利。因此在新型干法水泥生产中一般控制碱含量在 1% 以下，原料中应有一定的硫化物，控制硫、碱比为 0.6~0.8。

若生料中碱含量为 1%、硫碱比为 0.8，那么生产每 kg 熟料生料中 SO₃ 含量为：
(生料耗为 1.50，生料中碱以 Na₂O 计)

$$1.50 \times 0.8 \times 80 / 62 \times 1000 \times 1\% = 15.48\text{g}$$

(其中 0.8 = SO₃ 摩尔数 / Na₂O 摩尔数，62 为 Na₂O 分子量，80 为 SO₃ 分子量)

生料中 SO₃ 含量为 1.0%。

即：为保证生产合格水泥熟料，控制生料中碱含量小于 1%，在有合适的硫碱比情况下，这时生料中 SO₃ 含量不大于 1.0%。

1.2 燃料对水泥生产中 SO₃ 的贡献

目前水泥工业生产中，燃料基本采用煤炭。按新型干法生产工艺计算，生产每 kg 熟料所需热量为 3200KJ 左右，所使用的燃煤低位热值在 22000KJ 以上，若燃煤中全硫含量为 2%，生产 1Kg 熟料。燃料所带入的 S 计算如下：

$$3200 / 22000 \times 2\% \times 1000 = 2.9\text{g}$$

$$\text{折算为 SO}_3 \text{ 为: } 2.9 \times 80 / 32 = 7.25\text{g}$$

我国水泥工业 90% 的企业所用燃料煤含硫量在 1.5% 以下，通过以上计算，其带入的硫折算为 SO₃ 小于水泥生料中碱含量为 1% 时，硫、碱比为 0.8 的 SO₃ 含量。从数量上说明生料对 SO₂ 排放起主要作用。

燃料中的硫在燃烧时形成的 SO₂ 要经过回转窑、分解炉、预热器才能排出，这个路径中除和 Na₂O、K₂O 结合外，还与大量的新生成 CaO 结合，形成硫酸盐矿物，SO₂ 来不及进入预热器而被吸收了。可见目前水泥工业 SO₂ 排放的多少，在现行水泥生产用煤达到用煤标准情况下，与燃煤中 S 含量的多少关联不大。

1.3 原料中硫化物含量是水泥生产中 SO₂ 排放多少的关键

原料带入的硫化物有易挥发的硫化物、中等挥发性的亚硫酸盐和难挥发的

硫酸盐。硫化物主要以 FeS_2 形式存在于黄铁矿或亚稳定的白铁矿矿物中，在悬浮预热器的条件下，于 $370\sim 420^\circ\text{C}$ 氧化成 SO_2 并释放出来。亚硫酸盐在 $500\sim 600^\circ\text{C}$ 之间不均衡地转化为硫化物和硫酸盐。硫酸盐在高温下是稳定的，并存留在物料中。硫化物和亚硫酸盐在水泥生产的预热阶段都会分解，此时没有活性 CaO 与之反应，会逃逸出悬浮预热器，排入大气即造成污染。因此，原料带入的硫化物是造成 SO_2 排放量增大的主要根源。

1 台窑的 SO_2 排放量除与生料粉中的硫化物含量有关，还有一些因素影响系统对 SO_2 的吸收率。 SO_2 在窑系统内首先与挥发的碱金属氧化物（也包括极少量重金属）形成硫酸碱。硫化物的吸收率与窑内气氛有关，在一定的氧化气氛下若硫/碱比合适，便有可能将 SO_2 全部吸收。 SO_2 与碱化合物或钙化合物反应需要一定的 O_2 浓度，在窑尾废气中要求 O_2 的最低浓度为 $2\%\sim 4\%$ ， SO_2 在 $800\sim 850^\circ\text{C}$ 的温度区可与 CaO 发生最强的化合反应生成硫酸钙。若 SO_2 浓度高，碱含量相对较少，即硫/碱比高，则除生成硫酸碱外还会生成含有 CaO 、碱、 Al_2O_3 和/或 SiO_2 的其它类硫酸盐，可通过烧成带随熟料带出窑外。硫/碱比过高将有剩余 SO_2 。

对旋风预热器窑检测，在各台窑最下级旋风筒中没有测出 SO_2 ，也就是说即使在窑内产生一些 SO_2 ，在碳酸盐分解区也都被新生成的 CaO 所吸收了，由于煤燃烧产生的 SO_2 发生在该气体到达碳酸盐分解区之前或在碳酸盐分解之中，从而在碳酸盐分解区被吸收，直接印证了前述水泥生产 SO_2 排放的多少，在现行水泥生产用煤达到用煤标准情况下，与燃煤中 S 含量的多少关联不大的论述。

因为原料带入的硫化物，在较低温度下分解后，氧化和吸收反应速度变慢，物料温度越低、吸收的 SO_2 量越少，使出预热器含尘气体中的 SO_2 浓度，随预热器级数的增多，即随生料粉加料点气体温度的降低而升高。

一般地说原燃料带入水泥窑中的硫化物，在氧化气氛煅烧工况下 $88\sim 100\%$ 都能以不同形式的硫酸盐结合到熟料中，以 SO_2 形式排放的不多，排放率最高为 12% 。假定原燃料中硫化物的 12% 以 SO_2 形式排入大气，生料中 SO_3 含量为 1% 时，生产每 kg 熟料排入大气的 SO_2 量为：

$$1.5 \times 1000 \times 1\% \times 1000 \times 12\% \times 64/80 = 1440 \text{mg}$$

(1.5 为料耗、64 为 SO₂ 分子量、80 为 SO₃ 分子量)

目前新型干法水泥生产线生产每 kg 熟料排入大气的废气量约 2.0 Nm³，按此计算，废气中 SO₂ 浓度为 720mg/Nm³。由于以上计算生料中碱含量、硫碱比排放率均取了高值，这时得出的废气中 SO₂ 浓度 720mg/Nm³ 可以认为是新型干法水泥生产 SO₂ 排放的最值。

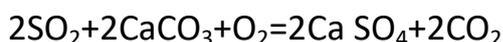
通常，水泥生料的 SO₃ 为 0.4%~0.8%，平均系统吸收率往往超过 95%，若取为 95%，SO₂ 的排放量为 (0.240~0.480) g / kg 熟料，以生产每 kg 熟料排入大气的废气量约 2.0 Nm³ 计算，排放废气中 SO₂ 浓度为 (120~240) mg/Nm³，若后续无 SO₂ 吸收措施，水泥生产实测 SO₃ 排放浓度有可能超过一般限值 200mg/ Nm³，即超标。大部分水泥生产企业难于满足特别排放限值减至 100mg/Nm³ 的要求。

2 立式磨制备生料窑磨一体运行的脱硫作用

所谓窑磨一体运行，是指在水泥生产中烧成系统所产生的废气引入生料粉磨系统，使废气的余热烘干生料中的水分，窑和磨同时运行、废气合并处理的生产方式。生产实践发现，窑磨一体运行生产方式所排废气中 SO₂ 的量远低于水泥窑废气不经生料磨直接排放的 SO₂ 的量。事实说明生料粉磨对入磨水泥窑废气具有脱硫作用。

2.1 窑磨一体运行对水泥窑废气脱硫的机理

含有 SO₂ 的窑尾废气进入生料磨后，与生料中的 CaCO₃ 在 O₂ 的参与下发生如下反应：



通常情况下这种反应十分缓慢，但是在生料磨内由于原料带入的水分被蒸发而含有大量水蒸气；窑尾废气具有一定的温度；物料在粉磨过程中大量新的 CaCO₃ 界面的产生，使其反应加速进行。这样一来 SO₂ 和 CaCO₃ 及 O₂ 结合成 CaSO₄ 从而被固定下来。SO₂ 吸收率与原料湿含量、磨内气体氧含量、磨内温度和在磨内停留时间、物料循环量及生料粉磨细度有关。据国外资料介绍，受工况影响，窑磨一

体运行时，SO₂吸收率为 20~70%。可见，水泥生产中窑磨一体运行不仅可以有效利用窑尾废气中的热能，还是消减窑尾废气中 SO₂ 的工艺措施，值得提倡和推广。

2.2 立式磨粉磨生料利于对水泥窑废气的脱硫

窑磨一体运行中，磨机部分根据工艺要求可以选用尾卸烘干磨、中卸烘干磨、风扫烘干磨等球磨和立式磨，四川，浙江等地多家水泥厂使用立式磨粉磨生料，窑磨一体运行，SO₂ 吸收率可达 50%~80%，远高于使用球磨的窑磨一体生料制备系统。其差别在于立式磨的结构和其对物料内外循环的工艺系统。立式磨的结构和运行原理见图 1。

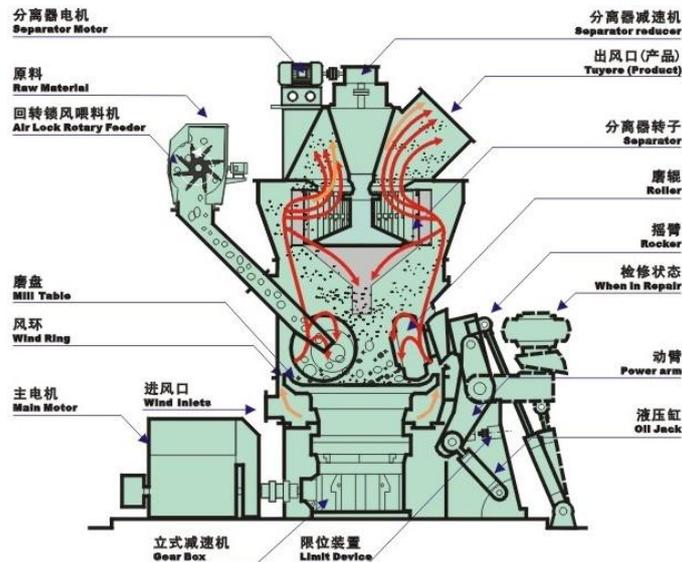


图 1 立式磨结构和运行原理图

如图所示，立式磨采取磨盘带动磨辊转动，物料在磨盘和磨辊之间被碾碎，碾碎的物料从磨盘被甩入风环，小颗粒在风环上方被来自进风口的热风吹起，大颗粒落入风环下方并被排出磨外，经外循环提升机提升后重新经锁风喂料机喂入磨内，再次粉磨。被热风吹起的细颗粒被带进立式磨内部的选粉机，不合格的颗粒落回磨盘，继续粉磨；合格颗粒随气流进入窑尾废气处理系统被收集，成为生料。粉磨所用的热风即含有 SO₂ 的窑尾废气，在立式磨生料制备系统中，窑尾废气一入磨机，就始终与生料细颗粒相随，直至窑尾除尘器才分离，给予了生料粉吸收 SO₂ 的时间。由于立式磨允许通入大量窑尾废气，具有较高温度，物料烘干增加了气体含湿量，并漏入部分新鲜空气，使磨内气体含氧量提高，有利于新生

界面碳酸钙吸收 SO₂ 化学反应的进行, 同时立式磨的磨内选粉方式使得物料循环量增大, 增加了物料与 SO₂ 接触的机会, 为 SO₂ 在粉磨过程中吸收创造了有利条件。不言而喻, 上述工作原理决定了立式磨脱硫作用比球磨脱硫效果更好。

3. 水泥生产 SO₂ 排放现状和对策

2012 年水泥工业大气污染物排放标准修订开展的抽样调查中, 共获得 153 个有效的水泥窑 SO₂ 排放样本, 平均排放浓度 59.6 mg/m³, 较 2003 年调查的 159.2 mg/m³ 有显著降低, 其根本原因是水泥窑型发生了显著变化, 之前 SO₂ 排放较多的湿法窑、机立窑已被新型干法窑替代。

水泥窑 SO₂ 排放浓度的累计分布见表 1。

表 1 水泥窑 SO₂ 排放浓度累积分布

比例	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
浓度 mg/m ³	4.6	10.5	15.0	18.8	30.3	43	65	119	178	310

表 1 表明所有水泥窑 (约 98%) 都能符合 (200 mg/m³) 的要求, 78% 的水泥窑可控制在 100 mg/m³ 以下, 65% 的水泥窑可控制在 50 mg/m³ 以下, 这固然是因为水泥窑本身就是性能优良的固硫装置, 水泥窑中大部分的 S 都以硫酸盐的形式保留在水泥熟料中, SO₂ 排放不多, 特别是预分解窑, 因分解炉内有高活性 CaO 存在, 它们与 SO₂ 气固接触好, 可大量吸收 SO₂, 排放浓度相应较低。另一个因素是采用了窑磨一体运行生产工艺, 将窑尾废气送入正在运行中的生料磨 (窑磨一体机), 获得额外的 SO₂ 吸收能力 (可能高达 80%)。表 2 为生料磨开启、停运时的 SO₂ 排放浓度对比。

表 2 生料磨的 SO₂ 控制效果

	生料磨未运行	生料磨同步运行	SO ₂ 去除效果
水泥窑 1	247.5 mg/m ³	47.9 mg/m ³	80%
水泥窑 2	181.9 mg/m ³	96.4 mg/m ³	47%

表 2 说明采用窑磨一体运行, 作为 SO₂ 的污染削减装置十分有效, 而且必须。目前一些水泥企业技改, 甚至新建生产线, 忽视了 SO₂ 排放, 没有装备以立

式磨为主机的窑磨一体运行生料制备系统，甚至不具备窑尾废气入磨的条件，或窑磨同步率较低，出现 SO_2 排放超标现象，应引起重视。

为保证达标排放，建议：

1. 生料制备首选立式磨为主机，窑磨一体运行，充分吸收窑尾废气中 SO_2 。
2. 合理调配窑磨产量，提高窑磨同步率，避免窑单独运行超标排放。
3. 在出预热器窑尾废气管道上设立生料粉或石灰石粉喷洒装置，在磨不运行时启动，增强废气碱性，吸收 SO_2 。
4. 调换挥发性 S 含量很高的原料或采取高效附加措施。

参考文献：

[1]陈章水. 水泥工业大气污染物排放标准达标实用技术及实例[M]. 北京：中国建材工业出版社，2014；



联合生料磨在线烘干技术改造

刘生瑞¹ 刘恩睿²

(1. 亚泰集团通化水泥股份有限公司, 吉林 通化 134004; 2. 合肥水泥研究设计院, 安徽 合肥 230051)

0 引言

亚泰集团通化水泥股份有限公司 $\Phi 4.6 \times (9.5+3.5)$ m 生料磨为烘干中卸磨, 配置 3 个仓 (烘干仓 $\Phi 4.2 \times 3.5$ m、粗磨仓 $\Phi 4.6 \times 5$ m、细磨仓 $\Phi 4.6 \times 4.4$ m), 研磨体装载量 185 吨, 磨机转速 15.2r/min, 主电动机功率 3350KW, 生料磨设计能力为 185t/h (生料细度 12%)。于 2014、2015 年对生料磨系统进行了增产节能改造, 项目实施后, 磨台时产量提高了 20t/h, 降低生料粉磨工序电耗 2.6kWh/t、降低熟料实物煤耗 2.63 千克 (标煤耗 1.9 千克), 年节电 346 万 kWh, 经济效益显著。

1 改造前存在的问题

生料磨在 2010 年 9 月份投产, 投产后正常情况下生产能力 190-200t/h (生料细度 22%, 没有影响窑煨烧)。冬季近 5 个月雨雪天气使入生料磨物料平均水分达到 4.9%, 致使磨机台时产量降低至 160-170t/h。

入磨物料和风量参数:

(1) 入磨物料配比: 石灰石: 85%, 铁石: 1%, 硅石: 8%, 粉煤灰: 4%, 转炉渣: 2%。

(2) 入磨物料粒度: 石灰石 ≤ 25 mm, 合格率达 91%; 硅石 ≤ 40 mm, 合格率达 90%, 最大粒度达 50mm; 铁矿石 ≤ 25 mm, 合格率达 60%, 最大粒度达 50mm。

(3) 入磨风量和风温: ①设计参数: 入磨热风 14.2 万 Nm³/h; 入磨风温 300℃, 出磨风温 120℃; ②实际参数: 烟气发电后入磨风温: 180℃, 出磨风温 (50-65)℃。

回转窑熟料产量设计 2500 t/d, 投产后实际生产能力 2900t/d, 按熟料实际生产能力 2900t/d 需消耗生料 4800t/d (194t/h); 生料磨运转率要低于回转窑 10%,

测算需生料磨台时产量 216t/h，与生料磨正常生产 200t/h 相比低 16t/h。

综上所述，在正常生产时生料磨产量已制约回转窑熟料生产，特别是雨雪天气磨机台时产量更加降低，致使配套Φ 18×54 米生料均化库（总储量 9000 吨）几乎空罐运行，严重制约回转窑熟料生产。为此，拟对生料粉磨系统进行技术改造，结合现有生产条件拟通过增加入磨热风风源、调整烘干仓内组合扬料板形式、扩大石灰石配料罐出料口、减少系统漏风等 4 种措施，实现磨机产量在现有 200 t/h 基础上提高 10%即 220 t/h 目标。

2 改进措施

2.1 措施一：增加入磨热风风源方案

(1) 根据现有工艺条件增加一台节煤型沸腾炉。具体技术指标见表 1。

表 1 沸腾炉技术指标表

沸腾炉部分技术指标	
生料磨台时	220t/h
物料入磨水份 (%)	≤5
物料出磨水份 (%)	≤0.5
烟气发电后 180 (°C) 提供供热量 (kcal/h)	550 万 (9.2Nm ³ /h)
沸腾炉供热量 (kcal/h)	1250 万 (5 万 Nm ³ /h)
沸腾炉平均煤耗 (燃煤按 4500Kcal/Kg 计)	3t /h 煤
沸腾炉出口温度 (°C)	800°C [该烟气与出锅炉烟气混合]
沸腾炉出口烟气经管道与发电后烟气混合后出口温度 (°C)	300
沸腾炉系统总装机功率 [Kw]	200
管道、弯头及阀体的压降 [行程低于 50m]	≤300Pa

(2) 节煤型高温沸腾炉工艺布置

原煤通过原煤仓进入锤式破煤机后由提升机送入碎煤仓，再进入变频调速喂煤皮带机，按需求量调速控制喂入节煤型高温沸腾炉，燃烧产生 800°C 烟气通过汇风箱与窑烟气 180°C 混合后 300°C 入生料磨内，燃烧后产生的炉渣经除渣机入提升机进储料仓计量后直接入生料磨，多余的炉渣用翻斗车送入水泥磨配料。

炮用于清堵。

更换后的定量给料机技术参数为，带宽：1600mm，滚筒中心距：3500mm，进出料中心距：3125mm，计量范围：24-240t/h，动态计量精度： $\leq \pm 0.5\%$ ，电机功率 7.5Kw。

投资估算：设备购置费：8.5 万元，设备安装费：0.4 万元，非标制作安装费:0.6 万元，电气费用：0.5 万元。合计：10 万元

2.4 措施四：拆除磨头喂料双重锁风阀更换回转下料器，减少漏风，提高入磨温度。

磨头喂料皮带机下入磨头溜子原设计采用双重锁风阀，由于翻板磨损快寿命短且锁风效果差，影响入磨风温，经常堵料增加劳动强度大。经过论证分析采用分格轮设备替代原设施。投运后，入磨风温提高 10℃ 以上，物料入磨顺畅，提高磨机效率。

3 经济效益

改造后，统计 2013 年 11 月至 2014 年 3 月共计五个月生产情况，供生产生料 56.9 万吨、熟料 37.1 万吨，因物料烘干后水分降低，平均电耗比改造前下降 2.3 度/吨，熟料实物煤耗下降 2.63 千克（标煤耗 1.9 千克），并且五个月增加发电量 255 万度，直接产生效益 243.9 万元，效果显著。

煤粉制备车间的安全防护

王春广

(合肥水泥研究设计院 安徽 合肥 230051)

0 引言

在现代新型干法水泥生产中，除了“两磨”“一烧”三个主要的生产车间外，煤粉制备车间也是一个非常重要的系统，随着对烧成系统热耗水平要求的不断提高，除了烧成系统新技术的应用外，煤粉的细度也是影响烧成系统热耗的一个关键因素，因此，在新型预分解烧成系统中，烟煤细度一般控制在 8%~12%，无烟煤细度一般控制在 3%~6%（0.08mm 方孔筛）。在如此细小的煤粉细度环境中，很容易发生安全事故。尽管系统中采用了一系列的先进技术和防爆措施，但该系统仍然是水泥厂的多发事故点，也是各水泥厂安全防范措施要求最高的车间。如果该系统发生事故，轻则造成设备损坏，延误生产，重则造成人员伤亡。所以降低、预防系统事故的发生，首先必须在设计上给与充分的考虑。

安全防护有很多方面的内容，最主要的有工人的人身安全防护和健康防护。在新型干法水泥生产中，随着新技术、新装备的大量使用，粉尘治理和噪音控制水平有了很大的提高，由粉尘和噪音而产生的职业病也在不断减少，工人的健康防护的水平大幅度提高。但是，安全事故时有发生，事故发生的原因是多方面的，一是操作不当；二是防护措施不够或没有防护措施。操作不当可以通过工厂管理者加强管理、规范操作加以解决；防护措施的设置则是设计人员在设计时应充分考虑的。下面就着重从设计方面谈一下煤磨车间的安全防护，我认为要搞好煤磨车间的安全防护设计，必须从以下几个方面着手：

1 弄清事故发生的原因

众所周知，煤粉燃烧要三个条件：一定的煤粉浓度；燃点以上的温度和充足的氧含量。三个条件缺一不可，从这个角度来讲，控制燃烧似乎很容易，三个条件

只要控制住其中一个条件，燃烧就不会发生。但是，在煤粉制备这个工艺过程中，很多地方有足够的煤粉浓度，如：煤磨内，袋收尘器及袋收尘器前的管道内。这样一来，煤粉燃烧的三个条件中，只有两个我们可以人为控制——那就是温度和氧含量。那么，三者量的控制上有什么要求呢？

1.1 煤粉

(1) 根据有关资料介绍，煤粉空气混合物的爆炸极限浓度为：烟煤的下限 $20\text{g}/\text{m}^3$ ，上限为 $150\text{g}/\text{m}^3$ ；而无烟煤的下限 $45\text{g}/\text{m}^3$ ，上限为 $2000\text{g}/\text{m}^3$ ；该系统中气体含煤粉尘浓度为 $500\sim 1000\text{g}/\text{m}^3$ ，在易燃易爆范围之内。

(2) 可燃爆煤粉的平均粒径为：烟煤 $8\mu\text{m}$ ，褐煤 $3\mu\text{m}$ ，贫煤 $6\mu\text{m}$ ，而且煤粉越细，越容易自然和爆炸。在煤粉制备中，收尘器及收尘器以前管道内积聚的煤粉粒径在 $10\mu\text{m}$ 以下的达到 80% 以上，正处于燃爆范围。

(3) 煤的挥发分 $< 10\%$ ，爆炸危险性较小；煤的挥发分 $> 20\%$ ，爆炸危险性较大。并且挥发分愈高，爆炸性越大。

1.2 氧含量

煤粉混合气体中氧的浓度在 16% 以上易引起爆炸， $< 14\%$ 则不易爆炸。

1.3 温度

煤粉的着火温度为 $500\sim 530^\circ\text{C}$ ，自燃温度为 $140\sim 350^\circ\text{C}$ 。烟煤高温表面堆积粉尘（厚 5 mm）的自燃温度为 $160\sim 260^\circ\text{C}$ ，如果在较厚的料层中，较低的温度下燃烧就可以发生。要求一般煤磨入口热风温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ ，为避免结露，出口气体温度高于露点 $30\sim 50^\circ\text{C}$ 。

2 针对具体情况考虑防范措施

设计者在设计时应该有一个清醒的思路：首先要考虑采用什么措施可以避免事故的发生；其次考虑万一发生事故，采取怎样的措施可避免造成人身伤害；最后要考虑事故发生后怎样可以最大限度地减少设备的损害，避免因事故造成长时间的停产。

2.1 采取可靠措施避免事故发生

2.1.1 合理的工艺布置

如前所述，在燃烧的三个因素中，系统中煤粉的浓度远远超过燃烧所需的浓度，不可避免，但是减少煤粉在系统中的积聚，减少自燃的发生是完全可以做到的。其实，有些水泥厂煤磨车间的爆炸事故就是由于自然引起的。因此，在系统的设计过程中管道的布置以及料仓的角度都应该达到一定的要求，避免煤粉的沉积。一般情况下，系统风管与水平的夹角应在 55° 以上，料仓锥角及下料管的水平夹角应在 50° 以上，此要求在新建水泥厂的设计中是完全可以达到的，但是在水泥厂的改造项目中，由于受原有设备、厂房的限制，系统风管的角度达不到以上要求时，应考虑增加管道风速的方法，避免煤粉在管道中的积聚；如果是水平管道，风速最好在 $17\text{m/s} \sim 18\text{m/s}$ ，过高的风速会增加阻力，使系统电耗增加。

2.1.2 烘干热风的选择

煤粉制备系统的烘干热源一般采用窑尾废气、窑头冷却机热风或热风炉的热风。

当利用窑尾废气作烘干介质时，气体中的氧含量较低，有抑制燃烧的作用，这对系统的防燃防爆要求低，是设计中应优先采用的热源。但是热风取风点的位置对煤粉的质量也有一定的影响，如果煤磨为管磨，需要地热风量少，入磨热风温度相对要高一些 ($\leq 300^\circ\text{C}$)，这时热风宜在 1#号旋风筒出口管道上抽取，由于这时气体含尘浓度较高，如果此时的热风不经收尘直接作为煤磨的烘干热源，则煤粉中会含有 3%左右的生料粉，这样对煤粉的燃烧是不利的，同时如果用此时的煤粉量来计算烧成系统的热耗，则会比实际的热耗要高。因此，应在至煤磨的热风管道上加一旋风收尘器，使用净化后的热风作为烘干热源就不会对煤粉质量产生较大影响。如果煤磨为立磨，需要地热风量大，入磨热风温度相对要低一些 ($\leq 220^\circ\text{C}$)，这时热风宜在增湿塔（冷却器）出口管道上抽取，此时气体含尘浓度较低，用旋风收尘器净化后热风的含尘浓度会更低，对煤粉的质量将会更小。

当利用窑头冷却机或热风炉的热风作为烘干介质时，虽然含尘浓度不高，但气体中的氧含量高达 21%，具备燃烧条件，对系统的防燃防爆要求高。在这种情

况下，热风取风点距煤磨较近，直接用风，会有明火颗粒被带入磨内，造成事故。此时在进煤磨的管道上也应加一个收尘效率较低，阻力较小的旋风收尘器，收尘器的作用不是以收尘为目的，主要是以降低明火颗粒被带入磨机的可能性。

控制入磨热风的温度，是煤磨车间安全操作的重要措施，该温度的确定也不是固定不变的，它会因系统、燃料水分、燃料品种的不同而变化，设计者应根据具体工艺系统及燃料情况给水泥厂提供参考数据，便于水泥厂制定安全操作规程。

2.1.3 冷风阀门的控制

不管采用何处的热风，都应在磨机入口前加一冷风阀，以便在供风热源温度不稳定而超过入磨热风温度要求时及时调节，避免事故的发生。冷风阀应尽量靠近磨机入口，且应安装在热风调节阀之后，这样可以及时有效地调节磨机入口温度。对于冷风阀门的控制，仅仅能在中控操作是不够的，应该加一闭环控制回路，在系统温度达到煤粉燃烧温度时，自动关闭冷风阀，这样就不会产生误操作。因在系统内某处出现冒黑烟的情况时，人的第一反应是温度超标，应开冷风阀来降温，这样不仅不会降温，而且还会使燃烧加速，造成事故。因为在有的水泥厂出现过这种情况。

2.2 事故发生时减少人身损伤和设备损坏的措施

以上是避免发生事故的措施，严格按以上措施执行，可以避免事故的发生。但是，如果出现误操作，发生事故，应有使事故损失降低到最小的措施。

2.2.1 防爆阀的布置

一般煤粉制备系统的设备本身都设有防爆阀，因此在设计上，应重点考虑无防爆装置的设备及系统管道，一般情况下，按系统的体积来决定防爆阀的面积，通常以 $0.1\text{m}^2/\text{m}^3$ 来考虑就是比较合理的。另外，防爆阀的泄压口尽量对着比较空旷的空间，不要对着设备和可能有人活动的场所。

2.2.2 灭火设备的设置

除了在煤磨车间控制室内要求有常规灭火装置外，还应在煤粉仓、原煤仓顶所在的平面配备一定量的氮气罐或灭火器，来防止煤粉仓内煤粉的自燃发生。

在仓内煤粉长时间不用时，建议放空。

2.2.3 其他一些容易被忽略的方面

随着新技术新装备的应用，煤粉制备系统流程越来越简单，厂房面积也越来越小，作为安全通道的楼梯设计往往不被重视，有一些厂家只设有单一的楼梯，一旦发生事故，楼梯堵塞时，人员无法逃离。因此，煤磨车间应该至少设计两个楼梯通道，其中一个楼梯设在室外，直通地面。另外，煤磨车间控制室宜独立设置或贴临车间外墙布置，控制室的门向外开，并朝向安全区域布置。

3 结束语

由于该车间的特殊性，属于水泥工厂的重点防火防爆区域，所以在工艺设计和设备设计上始终贯穿安全第一的指导思想，在保证技术指标先进的同时，也要求做到安全措施的可靠。



CityPlan 软件在水泥厂总图三维设计中的应用

李强

(合肥水泥研究设计院, 安徽 合肥 230051)

1 水泥厂三维设计的必要性

随着计算机行业的不断发展, 三维设计已经慢慢揭开面纱, 变得不再那么神秘, 各行各业从最初对三维的疑惑到现在一个个三维成功案例的出现, 充分证明了三维设计的必要性和迫切性。目前水泥厂设计中大多设计院仍延续以前的二维设计模式, 虽然有些设计院也在对三维进行不断研究, 但真正投入到具体实施项目中的不多。水泥厂三维设计不仅仅体现了一个设计院的设计能力, 更重要的是通过三维设计可以更直观的反映项目建成后的情况, 避免项目前期决策失误和反复的修改设计图纸, 从而加快项目建设进度、节省项目投资。

2 目前流行的三维设计软件

目前市场上各行业用到的三维设计软件较多, 既有国外引进的软件也有国内本土开发的软件, 每种软件价格不一、功能不一、适用的行业也不一样, 根据在市场中的使用情况总结一下主要有以下几种: (1)Solidworks, 特点是功能强大、组件繁多, 多用于机械行业; (2)Pro/Engineer, 特点是界面简单、操作快速, 而且采用模块化方式, 用户可以根据实际需要自行选择, 多用于机械行业; (3)UG, 特点是建模强大, 在设计过程中可进行机构运动分析和仿真模拟, 提高设计的可靠性, 多用于汽车和航空领域; (4)Autodesk 3ds Max, 特点是上手容易、性价比高, 多用于电脑游戏中的动画制作及影视特效; (5)Sketchup, 特点是简单易用, 建模效率高, 多用于建筑、景观的方案草图三维设计, 可以代替手绘效果图; (6)Solid3000, 特点是操作简单, 多用于机械及轻工行业。除了以上这些应用广泛的三维软件为还有 Rhinoceros、Catia、Maya、Lihhtwave 等软件在市场中都占有一定的份额。

3 CityPlan 三维设计软件的特点

CityPlan 将三维技术与建筑规划专业结合，在模拟场景中通过图形与数据的互动机制，直观地构建与推敲规划元素，从而轻松地实现高品质的设计方案，快速获得总平面、经济指标、平面彩图、仿真模型、仿真视频和虚拟发布等设计成果。该软件不仅可以用于民用建筑设计也可以用于工业建筑设计，目前在设计研究院、城市规划局、大型房地产公司、大专院校、效果图制作公司等部门应用较为广泛。最新的 CityPlan 软件为 7.0 版本，功能更加强大，应用更加顺畅。

在众多的三维设计软件中，设计师们之所以对 CityPlan 情有独钟是因为它有着很多独有的特点，具体包含以下几项：

3.1 丰富的软件界面

CityPlan 软件界面简单大方、色彩丰富，并提供了工作区模式和经典模式两种方式供使用者选择，除此之外界面整体布局格式更符合国人绘图习惯，对于初学者来说易于上手、便于短时间掌握。

3.2 常规的硬件配置

CityPlan 软件安装后占用电脑空间 7.4GB, 如此大的软件对电脑的硬件配置要求却并不高，一般只需要 32 位操作系统、2GB 安装内存的电脑就可以完美运行，而同级别的其他软件要想获得很好的操作体验就必须要有更大的安装内存及相关辅助硬件。

3.3 精确的定位方式

很多早期的三维设计软件有一个通病就是用户在利用软件在进行方案绘制时不能够准确定位或者需要通过很复杂的步骤才能准确定位，这对需要进行精准设计的人员都带来很多麻烦。而 CityPlan 软件则采用了类似 AutoCAD 的工作方式，可以通过坐标、捕捉、跟随等功能简单、准确的进行模型内部以及模型之间的定位，提高用户的工作效率。

3.4 强大的建模体系

三维设计最基本也是最重要的工作就是建模，只有建立了完整、丰富的模型才能进行后期深加工处理工作。而 CityPlan 软件在这方面做的比较好，它拥有一套强大、完整的建模体系，使繁杂的建模工作简单化、快速化，如在软件的造型菜单中，除了提供像实体放样、绕轴承体、布尔运算等常规软件具有的建模功能外，还增加了自由造型、实体切割、一键拉伸、线面转换等实用工具，这些工具提供了灵活多变的点、线、面操作，通过三维空间可以全方位的创建三维模型数据，让设计人员在处理各种复杂奇异型建筑的过程中变得游刃有余。以水泥生产线中预热器为例，该建筑整体结构复杂、建模难度较大，但采用 CityPlan 软件的实体放样、自由再行、实体切割等工具就可以轻松的建立起模型，如图 1 为该建筑的建模界面，图 2 为该建筑的仿真界面。

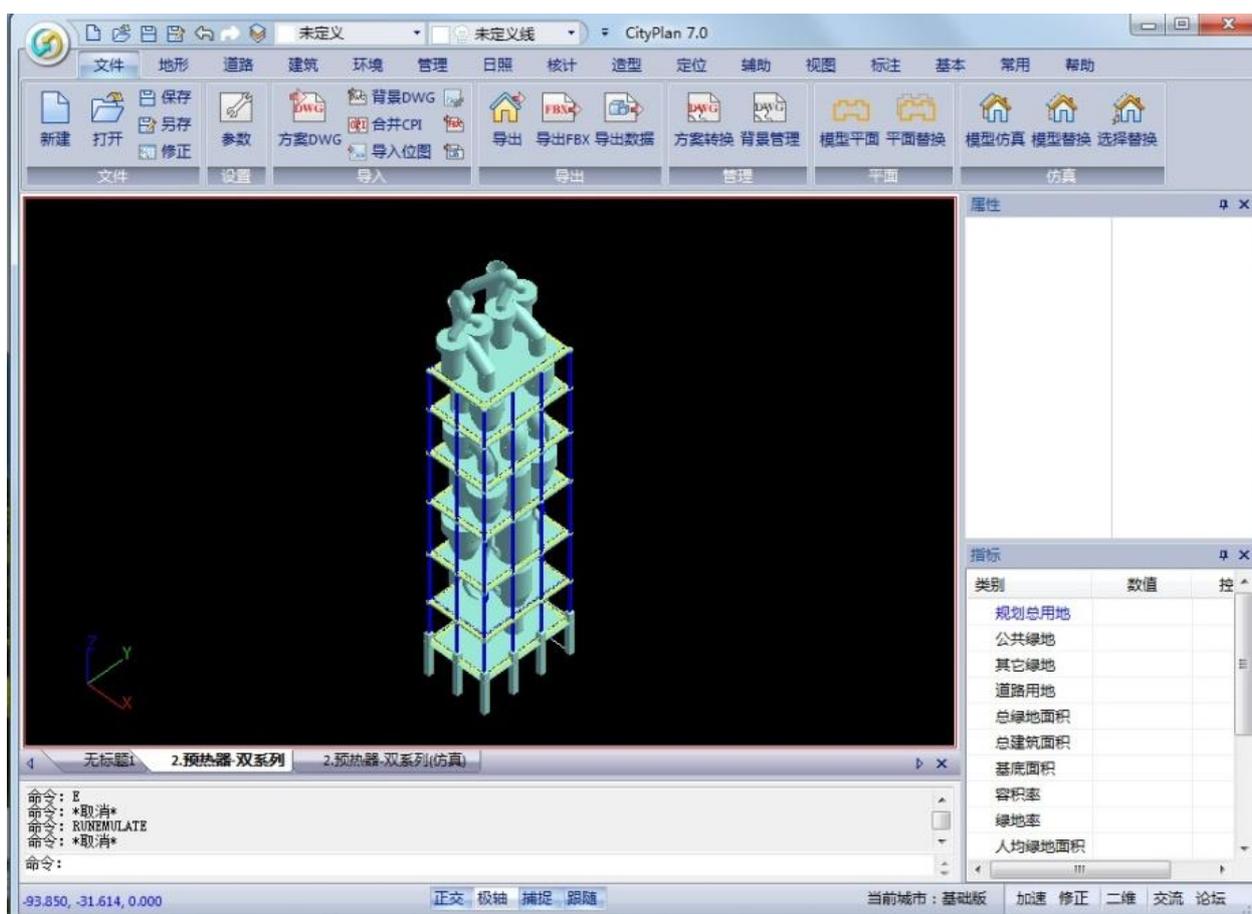


图 1 建模界面

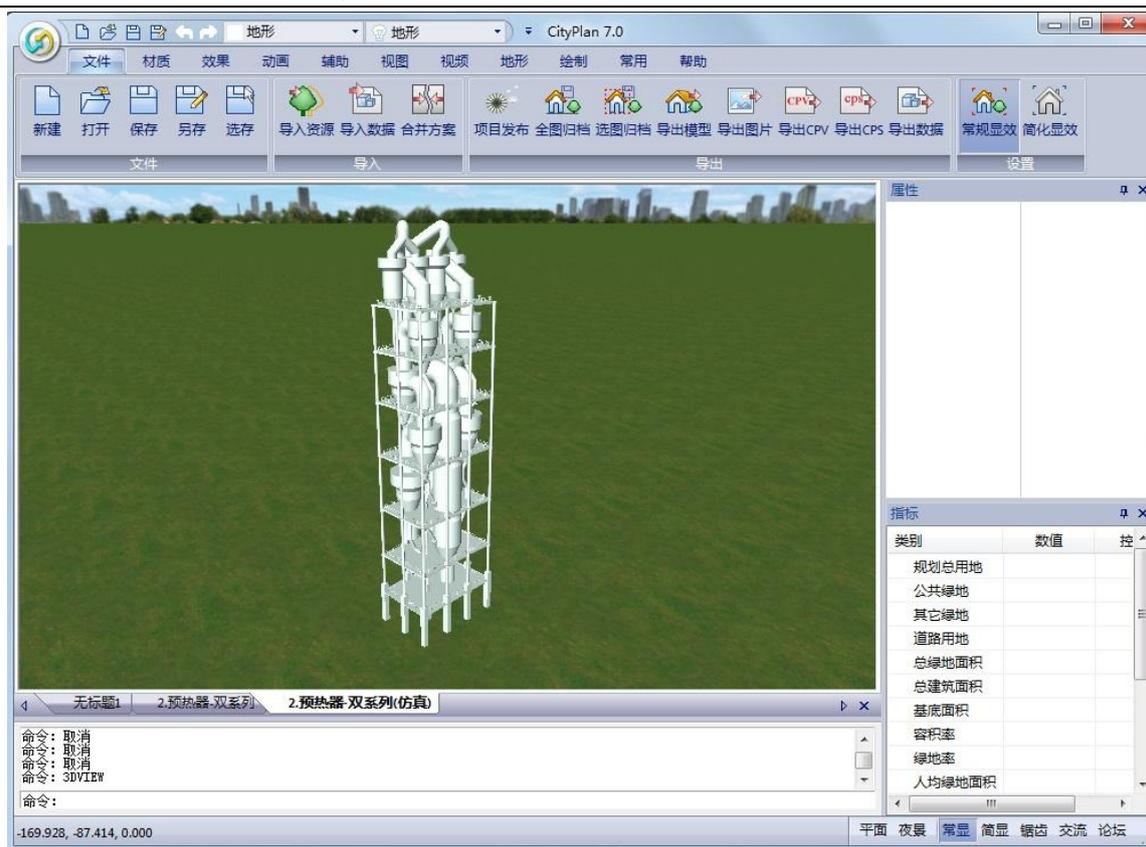


图 2 仿真界面

3.5 完善的功能配置

一般的三维设计软件功能也比较完善，但是一般以一种主要功能为主，例如 3DMAX 重在建模、VARY 重在渲染、photoshop 重在后期处理，而 CityPlan 软件在功能方面堪称完美，建模、日照分析、渲染、效果图输出、动画漫游、仿真发布等全部囊括在内，基本上只需要 CityPlan 一个软件就可以实现全部的三维设计。

4 总图三维设计思路

CityPlan 软件具有强大的三维设计功能，内容非常丰富，但是每一个工业厂区根据自身性质及规模不同所用到的软件功能也不一样，可能有些功能一直贯穿于整个项目的始末，而有些功能又不需要用到。针对水泥厂自身性质，从高效、全面的角度出发总结了水泥厂总图三维设计的思路，目的在于缩短初学者盲目的摸索时间，同时提高设计者的画图效率。

利用 CityPlan 软件对水泥厂总图进行三维设计，一般需要包含以下几个步骤：软件设置、建立模型、组装完善、添加配套、材质刷帖、渲染漫游。

4.1 软件设置

在绘图之前首先要对软件进行设置，目的是创建一个符合自身习惯的绘图环境。主要有界面的设置、命令的设置、建筑参数设置、字体设置、道路参数设置（带路类型、缘石半径、车位尺寸等）、颜色设置、城市设置等。

4.2 建立模型

建立模型是三维设计中最基本也是最重要的一步，只有完成了建模，后续其他工作才能进一步开展。CityPlan 软件提供了很多建模命令，对于水泥厂中的建筑子项而言，一般的辅助设施都是比较简单的，如电气控制室、空压机站、循环水泵房、机电修车间等通过拉伸、偏移等命令就可以快速完成，但是对于生产线中的一些复杂的车间如窑尾废气、窑尾框架、窑中、窑头、水泥磨等必须通过多种命令才能完成，一般用的最多的命令是绕轴成体、截面走线、布尔运算和实体切割，基本上通过这几个命令的组合就可以完成复杂的车间建模。

4.3 组装完善

建模完成之后需要对独立的模型按照工艺关系和总图布置进行组装。这里需要将原总图设计方案进行必要的删减整理之后，以 DWG 形式导入 CityPlan 软件中作为参照底图使用，然后模型对号入座，再通过皮带、提升机等设施链接起来就可以了。CityPlan 兼容性非常强，与 CAD、3DMAX、Sketchup 可以处理后实现互导。

4.4 添加配套

模型组装完成之后需要添加一些配套设施，例如道路、绿化配景、运输车辆、天空、背景等。CityPlan 智能型很强，在参数设置正确的前提下可以实现道路相交自动转交弧化，绿化沿线布置、沿物布置、区域种树等。这一阶段完成之后，厂区三维初型就有了。

4.5 材质刷帖

材质刷帖是对模型真实性表现的增强，通过这一步骤可以给设计者带来身临其境的感觉，也为效果图的渲染输出做好基础工作。软件提供了丰富的材质功能，

通过图片刷帖、自由刷帖、涂料粉刷、材质模仿四个功能可以简单、快速的为建构物进行材质刷帖，同时通过模态校正功能可以对已经刷帖的材质进行缩放、旋转等编辑。

4.7 渲染漫游

通过上述工作就可以建立起完整的水泥厂三维总图，其他还需要做的就是通过图片、视频等方式把三维效果展示出来。CityPlan 软件可以通过渲染输出最大尺寸为 10000*10000 的图片，完全可以满足工程需要；另外通过在模型中添加漫游路径，可以以视频的方式从不同角度展示三维模型，最后还可以通过项目发布功能生成可以独立运行的三维仿真系统，该系统不可编辑但可以从不同角度对模型进行漫游，方便除设计者以外的人员查看。

5 结束语

综上所述，三维设计能够在项目开工之前真实的模拟待建项目投产后的整体状况，给人直观、逼真的印象，有效的加快设计进度、提高设计精度，而 CityPlan 软件功能完善且操作界面更适合国人习惯，相信该软件在水泥领域通过继续摸索会得到更广泛的应用。

参考文献

- [1]汪霞. CITYPLAN 三维互动软件在城市规划教学中的应用[J]. 魅力中国, 2013, 23: 181-181.
 - [2]刘正, 文怀兴, 郭慧. 几种三维设计软件在产品开发中的应用[J]. 机械制造, 2004(09): 13-15.
 - [3]刁礼帅. 浅谈三维软件 Maya 建模[J]. 信息通信, 2015, 2:106-107.
 - [4]张立荣. 三维 CAD 技术在机械设计中的应用[J]. 煤炭技术, 2011, 30(2):16-18.
 - [5]辉马俊, 许亮. 三维软件的应用[J]. 农业机械, 2010, 2:87-89.
 - [6]肖章, 周立峰, 罗彪. 三维软件在工程制图教学中的应用研究--以 SolidWorks 软件为例[J]. 中国教育技术装备, 2015, 18:16-17.
-

5000t/d 篦冷机提高余热发电量的改造

巩晓亮

(合肥水泥研究设计院 安徽 合肥 230051)

0 前言

我国水泥生产线低温余热发电技术经过 10 多年的发展,系统和及关键设备已经相当成熟。水泥厂生产所排出的烟气通过低温余热发电技术进行了回收利用,降低了生产的成本,缓解了用电紧张的形势,并极大地给企业带来了经济效益,另外也降低了烟气的温度和含尘浓度,减清了环境污染。低温余热发电技术利用是水泥厂所排出的废气带动 SP 和 AQC 锅炉,从而带动汽轮机发电^[1],其中入 AQC 锅炉的废气量和废气温度取决于篦冷机设备中部热回收效率的高低及取风口的位置的选择。

以浙江某水泥公司 5 000t/d 生产线为例,对其出现问题作一总结。

1 存在的问题

浙江某水泥公司篦冷机篦床有效面积 121.2 m²,设计产量 5000~5500 t/d。目前平均产量 5800 t/d,二次风温 1100 °C。主要存在的问题:

(1) 熟料产量在 5800 t/d 时,出料温度较高,180~200 °C;熟料带走了很多的热量而未回收利用,造成能量的浪费。

(2) 篦冷机余热发电取风口处平均温度只有 330 °C,吨熟料发电量只有 28kWh 左右;

(3) 目前二次风温 1100 °C 左右,一段篦床、二段篦床的风机都处在全开的状态下,三段篦床的冷却风机未全部 100%开启(因三段篦床风机全开后大量冷风灌入反而会降低余热发电量),余热发电取风口的位置在二段篦床的 4 室、5 室上方,要提高余热发电量,需要提高篦冷机中段回收的热回收效率,延长熟料在二段篦床的停留时间,并提高二段篦床的整体用风量,以增加进入余热发电取风口

的总的热值，目前二段风机的风压不足，总体供风量较少。改造前的二段篦床风机配置表见表 1。料层控制的较薄，熟料在篦冷机中部的冷却效果差，热回收效率不高，使得进 AQC 的气体温度偏低，余热发电量不高；

表 1 改造前二段篦床风机配置参数表

序号	风量/ (m ³ ·h ⁻¹)	风压/Pa	功率/kW	位置
F4	52 620	6 272	160	4 室供风
F5	65 520	5 880	160	5 室供风
F6	50 700	5 390	110	6 室供风
合计	168 840		430	

(4) 篦冷机较初始设计产量提升较大，导致篦床单位面积产量偏高，篦冷机负荷过大，应考虑在二段增加充气梁提高熟料的冷却效果；

2 改造方案

(1) 将二段篦床前两个室的所有固定梁改为充气梁（10 排固定篦板梁），并新增两台高压风机供风，提高熟料的冷却效果；在二段篦床两侧适当位置增加 10 块桥板，以减缓两侧料速，减少“红河”现象的发生，防止冷却风在侧部短路，二段篦床改造见图 1。

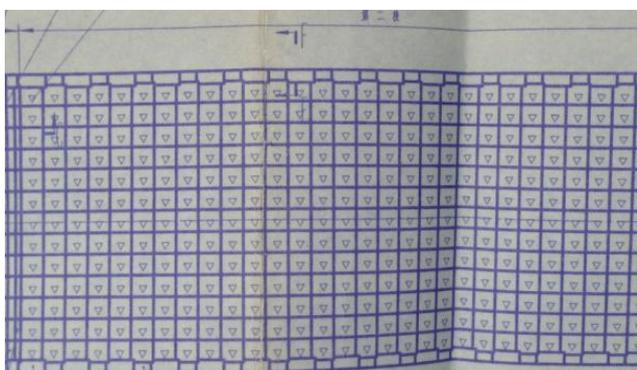


图 1 二段篦床改造前示意图

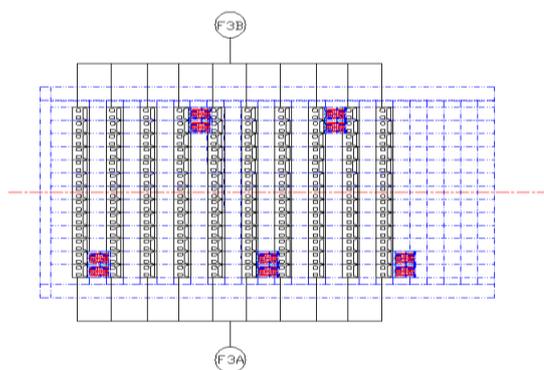


图-2 二段篦床改造前示意图

(2) 二段所有的固定充气梁篦板更换为合肥院的新型 FNCFG 篦板结构，提高篦板对冷却风的利用率，FNCFG 篦板结构见图 3。其优点如下：

- 1) 具有良好的穿透性，进入料层的冷却风更均匀，有利于厚料层操作，热交换充分，冷却效果好；
- 2) 篦板缝隙无漏料，不会堵塞充气梁及供风管道，无需经常清理管道积灰；
- 3) 采用 3 点高强螺栓固定，不会产生掉篦板的现象。



图 3 NCFG 篦板结构图

(3) 篦冷机二段风机压头偏低，不利于熟料的冷却和厚料层操作，同时因产量增加需增加进风量，根据需要更换或增加新风机，风机配置见表 2。

表-2 改造后的二段篦床风机配置参数表

序号	风量/ (m ³ ·h ⁻¹)	风压/Pa	功率/ kW	备注
F5A	32 500	8 000	110	4、5 室充气梁左 (新购)
F5B	32 500	8 000	110	4、5 室充气梁右 (新购)
F4	32 500	6 200	90	4 室供风 (新购)
F5	40 000	5 800	110	5 室供风 (新购)
F6	50 700	5 390	110	6 室供风 (不变)
合计	188 200		530	

注：该配置表仅为预配置，以最后提供参数为准。

3 改造效果

(1) 改造后具体参数对比见表 3。

表 3 篦式冷却机改造前后对比表

指标	改造前	改造后
冷却熟料能力/ (t·d ⁻¹)	5 800	5 900~6 000
二次风温/°C	1 100	1 100
平均出料温度/°C	180~200	110~130
余热发电取风口温度/°C	330	380~400
吨熟料余热发电量/kWh	28	34

- (2) 水泥熟料温度降低，有利于提高水泥粉磨系统的效率和产量。
- (3) 篦冷机整体篦板、盲板、锤头、篦条等磨损降低。
- (4) 降低下道工序的设备磨损。

4 结语

水泥厂余热发电量的高低取决于入炉的热风温度和热风量，篦冷机为窑头 AQC 炉提供热风^[2]，不同的篦床结构、取风口位置、风机配风、料层操作厚度等对余热发电量的高低有着很大的影响。本次改造通过在篦冷机中部增加充气梁，并调整二段篦床的配风，有效地提高篦冷机中部的热回收率，增加加入 AQC 炉的热风风量和温度，为水泥企业进行余热发电系统改造创造了良好的经济价值。

参考文献

- [1] 吴敬 张树伟. 提高篦冷机余热发电效率的措施[J]. 新世纪水泥导报. No. 1, 2014, 78-79
- [2] 马宝国. 新型干法水泥生产工艺[M]. 北京: 化学工业出版社. 2007, 223-225



浅谈水泥窑协同处置城市生活垃圾 的处理量计算

胡 光

(合肥水泥研究设计院, 安徽合肥, 230051)

1 概述

在我国, 利用水泥窑协同处置城市生活垃圾技术的研究已有十多年的时间, 近几年来, 由于政策的引导, 已经开始步入了较快发展阶段。目前, 国内水泥窑协同处置城市生活垃圾的技术主要有以下几种。

1.1 HWT 技术

该技术由华新水泥集团和瑞士 Holcim 公司联合开发, 基本工艺方案是, 通过建设专门的生活垃圾预处理厂, 对生活垃圾进行破碎、干化、分选及二次破碎、除臭、除去金属、除去玻璃陶瓷等, 再将可燃部分选出并制成衍生燃料 (Refuse Derived Fuel)。衍生燃料作为替代燃料喂入分解炉; 不可燃物则进入生料磨作为替代原料; 渗滤液喷入分解炉, 在高温环境中达到无害化处理。该技术首先在华新武穴 5000t/d 熟料生产线上建设了第一个工业应用项目, 处理城市生活垃圾量为 200t/d。

1.2 CKK 流化床炉技术

该技术由海螺集团联合日本川崎水泥公司联合开发, 其基本工艺方案是, 城市生活垃圾先经过气化焚烧炉预处理, 产生的气体进入分解炉, 气体可燃, 可以替代一部分燃料, 且其经过分解炉高温处理后, 能有效消除掉二噁英等有害气体; 产生的灰渣替代一部分原料加入生料磨, 进烧成系统进行无害化处理。该技术开发完成后, 海螺集团首先在铜陵海螺 5000t/d 熟料的水泥窑系统建设协同处置城市生活垃圾项目 (300t/d)。目前, 已有多条水泥窑生产线应用 CKK 流化床炉技术协同处置城市生活垃圾。

1.3 中材国际协同处置技术

该技术将市政环卫系统收集的生活垃圾，先送至预处理厂，经计量后分选成四种类别物质：金属废弃物、筛上可燃物、筛下不可燃物、垃圾渗滤液。金属废弃物直接进入市场销售；筛上可燃物经挤压脱水后运至水泥厂作为替代燃料喂入分解炉；筛下不可燃物直接装车或拌入发酵抑制剂后装车，运至水泥厂用作替代原料或缓震助磨剂使用；垃圾渗滤液进专用污水处理车间处理。该技术已在溧阳中材 5000t/d 熟料生产线上成功应用，处理城市生活垃圾量为 500t/d。

1.4 回转式焚烧炉协同处理技术

该技术的基本工艺方案是，在水泥回转窑旁设置回转式垃圾焚烧炉，从窑头抽取 700℃ 高温热气体，在回转式焚烧炉内煅烧垃圾。燃烧后的高温气体（1000℃ 左右）随三次风进入分解炉。炉渣经过冷却、金属分离后进入生料磨掺入原料。渗滤液通过污水泵向窑尾喷射，通过高温气体的蒸发和氧化处理，使其有机成分得到分解，达到无害化。该技术由合肥水泥研究设计院开发，并申请了专利，已在四川某水泥生产线上生产应用。

2 生活垃圾理论处理量的确定

2.1 从原料配料的方面分析

采用水泥窑协同处理城市生活垃圾，无论采用哪种工艺，在熟料烧成上，其本质上的积极影响在于两点：一是作为替代燃料为熟料烧成提供了热量；二是作为替代原料参与到了生料配料之中。

但是，生活垃圾的引入也会为熟料生产带来消极影响：我国的生活垃圾，存在热值低、氯离子含量较高等特点，如果在熟料烧成中掺入量过大，必然会影响烧成的稳定性和降低熟料质量。当上述两个方面的影响达到平衡状态时，即可得到理论上的生活垃圾处理的最大量。

以下以 A 城市生活垃圾样本为例，进行计算说明。A 城市生活垃圾（干基）样本的热值为 2900kJ/kg，其完全燃烧后的灰渣（含飞灰和底灰）成分见表 2-1，完全燃烧后的灰渣的重量约为原生垃圾的 18%~30%，本案例中，为了计算方便，

暂取 25%。原、燃料采用 S 水泥厂的原、燃料样本，其成分详见表 2-2。随后，将根据样本中灰渣和原、燃料的成分进行配料计算。

表 2-1 A 城市生活垃圾焚烧后的灰渣成分 (%)

Loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl ⁻
6.91	35.20	10.44	4.49	34.82	1.51	1.04	1.42	3.108	1.170

表 2-2 S 水泥厂原料及燃料成分 (%)

原料	Loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl ⁻
石灰石	42.11	3.40	0.84	0.31	52.28	0.83	0.09	0.06	0.03	0.008
粘土	4.11	69.76	12.66	7	0.81	2	1.74	0.58	0.04	0.026
铁矿石	13.73	6.92	4.34	68.9	1.95	0.53	0.07	0.32	0.08	0.000
煤灰分	0	52.50	34.30	3.50	4.50	1.20	0	0	0	0

根据以上生活垃圾灰渣和水泥厂原、燃料的成分，进行配料计算，为便于计算和结果分析，做以下合理假设：

(1) 垃圾焚烧前后，氯的绝对量没有变化。

(2) 原煤中 Cl⁻的质量含量，由于每个煤种成分稍有区别，但含量都较低，此处取全国的平均水平 0.02%。

S 水泥厂 5000t/d 熟料生产线，按垃圾处理时提供的热量占熟料烧成热耗的比例，从 1% 到 25% 平均的取 9 个值，从而确定出 9 个递增的垃圾掺入量（从 54t/d 到 1353t/d），根据这 9 个投料量分别进行配料计算。

配料计算采用规划求解方法，首先设定率值 KH、SM，通过调整各原、燃料配比，使实际率值达到设定率值，即得配料计算结果。通过对垃圾热量贡献占比 1%、4%、7%、10%、13%、16%、19%、22%、25% 等九种情况分别配料计算，其配料结果如表 2-3 所示。

表 2-3 9 种方案配料计算结果汇总表

垃圾热量贡献占比 (%)	1	4	7	10	13	16	19	22	25	
垃圾掺入量 (t/d)	54	216	379	541	703	866	1028	1190	1353	
生料	石灰石 (%)	82.75	82.90	83.06	83.22	83.38	83.54	83.71	83.88	84.05
	粘土 (%)	16.01	15.88	15.74	15.60	15.45	15.31	15.16	15.01	14.86
	铁矿石 (%)	1.24	1.22	1.20	1.19	1.17	1.15	1.13	1.11	1.09
灼烧基生料 (%)	97.74	96.98	96.23	95.48	94.73	93.98	93.23	92.48	91.73	
煤灰分 (%)	1.99	1.93	1.87	1.81	1.75	1.69	1.63	1.57	1.51	
垃圾灰渣 (%)	0.27	1.08	1.89	2.71	3.52	4.33	5.14	5.95	6.76	
国标 GB/T 21372-2008 中要求: $C_3S+C_2S>66\%$										
C3S 含量	59.91	59.83	59.75	59.67	59.59	59.51	59.43	59.35	59.27	
C3S+C2S	79.27	79.17	79.06	78.96	78.85	78.75	78.64	78.54	78.43	

配料结论：在设定率值 $KH=0.90$ ， $SM=2.68$ 的情况下，垃圾掺入量从 54t/d 到 1353t/d 变化时，熟料中 C_3S+C_2S 的含量在 79.27%~78.43% 范围中变化，一直是大于 66% 的，可以满足 GB/T 21372-2008《硅酸盐水泥熟料》的熟料质量要求，都能配出合适的原料方案。

所以，从原料配料满足熟料成分的角度来看，垃圾的掺入量基本是没有限制的。

2.2 从控制有害成分含量的方面分析

根据 2.1 的分析，垃圾中的钙质和硅铝质成分可以用于配料，并且能掺入的量很大。但是，由于我国的城市生活垃圾未实行分类收集，导致送到水泥厂的生活垃圾中，对于水泥质量有害的 Cl^- 含量较高。因此，为了保证熟料和水泥产品质

量，必须控制 Cl⁻ 含量使其符合国家标准的要求。

(1) 熟料中的 Cl⁻ 含量

经过上述 9 种垃圾掺入量配料方案的计算，可以得出在 9 种方案下的熟料的 Cl⁻ 含量，见表 2-4。

表 2-4 熟料中 Cl⁻ (%) 含量随垃圾掺入量的变化情况

垃圾热量贡献占比 (%)	1	4	7	10	13	16	19	22	25
垃圾掺入量 (t/d)	54	216	379	541	703	866	1028	1190	1353
熟料中 Cl ⁻ (%)	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.09

(2) 标准规范对 Cl⁻ 含量的要求

① GB 175-2007 《通用硅酸盐水泥》中，规定水泥成品的 Cl⁻ 含量应小于 0.06%；

② GB/T 21372-2008 《硅酸盐水泥熟料》中，没有对 Cl⁻ 含量作出要求；

③ GB 50295-2016 《水泥工厂设计规范》中，要求钙质、硅质原料的 Cl⁻ 含量均要小于 0.03%；

④ HJ 662-2013 《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》中，要求控制随物料入窑的氯 (Cl) 的投加量，入窑物料中氯元素含量不应大于 0.04%。

由于上述标准中，没有哪个标准对熟料中的 Cl⁻ 含量做出要求，只有对水泥成品和原料的要求。而水泥成品，在水泥配料时，其会受到混合材和缓凝剂中的 Cl⁻ 含量的影响，故从标准上看，至少要符合标准 HJ 662-2013 的要求，即入窑物料中氯元素含量不大于 0.04%。

(3) 水泥窑正常生产对原料中 Cl⁻ 的要求

根据新型干法水泥生产工艺的理论与实践，氯是严重干扰熟料烧成系统稳定运行的有害因素，氯在系统中的富集会导致预热器、分解炉系统中产生结皮和堵塞。为了保证水泥窑系统运转的连续性和稳定性，根据生产经验及相关研究成果，一般将原料中氯的含量控制在 0.03% 以下。

(4) 掺入量的计算

根据 HJ 662-2013 《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》，入窑物料中氯元素含量的计算公式如下：

$$C = \frac{C_w \times m_w + C_f \times m_f + C_r \times m_r}{m_w + m_f + m_r} \quad (1)$$

式中：C 为入窑物料中 Cl 元素的含量，%；

C_w 、 C_f 、 C_r 分别为固体废物、常规燃料和常规原料中的 Cl 元素含量，%；

m_w 、 m_f 、 m_r 分别为单位时间内固体废物、常规燃料和常规原料的投加量，kg/h。

结合前述样本案例，可以得出如下等式：

$$C = \frac{C_R \times L_R \div (1 - Loss) + L_C \div K_C \times C_C + C_G L_G}{L_R \div (1 - Loss) + L_C \div K_C + L_G \div K_G} \quad (2)$$

式中： C_R 为生料中 Cl 的含量，%；

C_C 为煤灰中 Cl 的含量，本案例中取 0.02%；

C_G 为垃圾灰渣中 Cl 的含量，%；

L_R 为灼烧基生料在熟料中的含量，%；

L_C 为煤灰在熟料中的含量，%；

L_G 为垃圾灰渣在熟料中的含量，%；

K_C 为原煤的灰分含量，%；

K_G 为垃圾的灰渣（含底灰与飞灰）含量，本案例中取 25%；

Loss 为生料的烧失量，%；

根据前述样本中的配料计算 excel 表格，当设定了“垃圾热量贡献占比”这个数值后，通过规划求解，即可得出 C_R 、 L_R 、 L_C 、 L_G 等项的数值。通过试凑法，分别求出“垃圾热量贡献占比”为 1%、3%、5%、7%、9%、11%、13%、15%、17%时垃圾的掺入量与入窑物料 Cl 含量的值，见表 2-5。

根据分析结果，进一步计算可知：当“垃圾热量贡献占比”为 10.5%，即垃圾掺入量为 568t/d 时，入窑物料 Cl 含量为 0.03%；当“垃圾热量贡献占比”为 16.5%，

即垃圾掺入量为 893t/d 时，入窑物料 Cl⁻ 含量为 0.04%。图 2-1 显示了入窑生料 Cl⁻ 含量随垃圾掺入量的变化趋势。

表 2-5 入窑生料（含煤灰）中 Cl⁻（%）含量随垃圾掺入量的变化趋势

垃圾热量贡献占比（%）	1	4	7	10	13	16	19	22	25
垃圾掺入量（t/d）	54	216	379	541	703	866	1028	1190	1353
入窑物料中 Cl ⁻ （%）	0.013	0.019	0.024	0.029	0.034	0.039	0.044	0.049	0.053

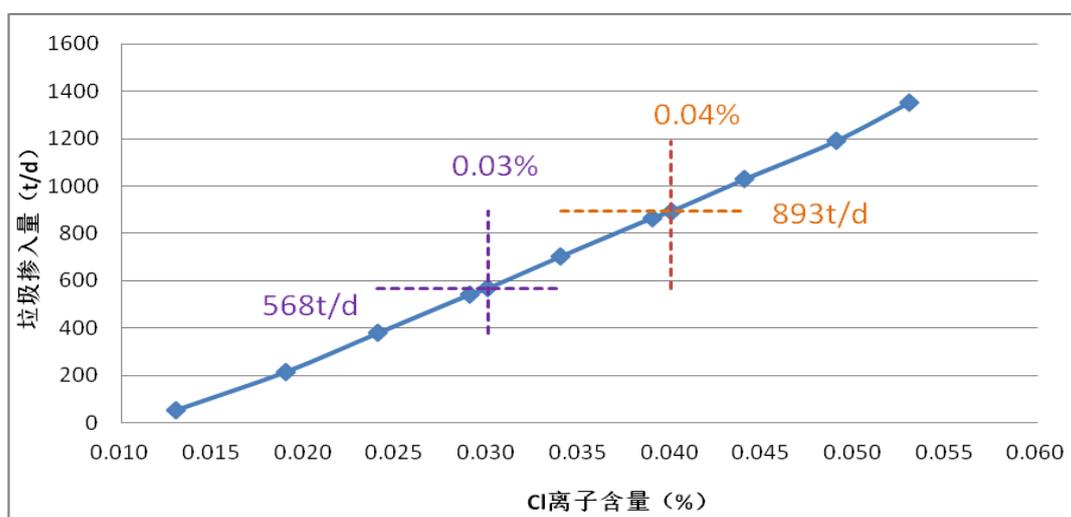


图 2-1 入窑生料 Cl⁻ 含量随垃圾掺入量的变化趋势

2.3 最大处理量的确定

虽然从原料配料的角度来看，5000t/d 熟料生产线的水泥窑可以处理 1000t/d 以上的生活垃圾，但是，从保障熟料质量、控制熟料中有害元素以及保障熟料烧成系统长期稳定运行的角度来看，入窑生料中 Cl⁻ 含量最好控制在 0.030% 以下，对于以上样本来说，即最大处理量是 568t/d。

2.4 其它因素的考虑

在利用水泥窑协同处置城市生活垃圾时，还应考虑到生活垃圾中重金属元素的影响，如果垃圾中含有重金属元素，则在计算最大掺入量时，应符合 HJ 662-2013 《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》中第 6.6.7 条的要求，控制入窑生料中重金属元素的最大投加量。本案例中，所选垃圾样本没有重金属元素含量相

关数据，因此未作考虑。

表 2-6 入窑物料重金属元素的最大允许投加量

重金属	单位	重金属的最大允许投加量
汞 (Hg)	mg/kg-cli	0.23
铊+镉+铅+15×砷 (Tl+Cd+Pb+15×As)		230
铍+铬+10×锡+50×锑+铜+锰+镍+钒 (Be+Cr+10Sn+50Sb+Cu+Mn+Ni+V)		1150
总铬 (Cr)	mg/kg-cem	320
六价铬 (Cr ⁶⁺)		10 ⁽¹⁾
锌 (Zn)		37760
锰 (Mn)		3350
镍 (Ni)		640
钼 (Mo)		310
砷 (As)		4280
镉 (Cd)	40	
铅 (Pb)	1590	
铜 (Cu)	7920	
汞 (Hg)	4 ⁽²⁾	
注 (1): 计入窑物料中的总铬和混合材中的六价铬。		
注 (2): 仅计混合材中的汞。		

3 结语

以上的分析与计算，主要是从控制入窑有害成分的方面粗略估算了水泥窑垃圾的协同处理的最大量。实际工程应用中，在确定水泥窑协同处理城市生活垃圾最佳处理量时，还应至少考虑到以下方面的因素：

(1) 协同处置城市生活垃圾的工艺技术。不同的垃圾预处理技术，入窑物料的形态有所不同，对于预处理较为充分的、含水率较低的物料，可以适当加大处理量，对于预处理程度不够的，应适当控制掺加量。

(2) 水泥窑预分解系统及原料的适应性。应考虑整个预分解系统的烧成特性，配料的液相量、预热器结皮堵塞情况，以及水泥性能情况等。

(3) 熟料生产线的经济性。国内已投产的水泥窑协同处置生活垃圾项目，有些项目由于垃圾掺入量控制不当，导致熟料减产、热耗增高。因此，应根据城市生活垃圾的热值和含水率，并结合生产线具体情况来计算确定最佳的垃圾投料量，以达到最佳经济指标。

参考文献

- [1] 王宝明, 姜玉亭. 水泥窑协同处置城市生活垃圾技术及其在我国的应用现状[J]. 水泥工程, 2014(4), 74~75.
- [2] 陈蕾, 城市生活垃圾成分及其波动对水泥窑的影响分析, 水泥, 2010(9) 19~20.
- [3] 蒋旭光, 我国煤中氯含量分布特性的试验研究, 煤炭转化, 2001(2), 58~59.



水泥厂中压系统接地

蔡赣婴

(合肥水泥研究设计院 安徽 合肥 230051)

0 引言

电力系统中性点接地方式是指电力系统中发电机和变压器的中性点与地的连接方式，可以分为大接地电流系统和小接地电流系统。中压电气一般不采用中性点直接接地的大接地电流系统，而是采用中性点不接地、中性点经消弧线圈接地或中性点经电阻接地的小接地电流系统。水泥生产线一般采用中性点不接地系统与中性点经电阻接地系统。

1 中性点不接地系统

水泥生产线大量使用 3~13.8kV 中压电气设备，中压系统采用哪一种中性点接地方式，也是电气设计的一个重要内容。按照我国《GB 50295-2008 水泥工厂设计规范》第 7.9.3 条规定：3~10kV 电压级宜采用中性点不接地的小电流接地系统。所以我国水泥生产线中压系统主要采用中性点不接地方式。

中性点不接地系统的优点是系统简单，节省投资。对于中小型水泥厂由于中压系统接地电容电流 $<10\text{A}$ ，当发生单相接地故障时，若是瞬时故障一般能自动熄弧，不会形成间歇性弧光接地过电压，并且系统发生单相接地故障后可允许继续运行不超过两小时，从而获得排除故障时间。所以对于中小型水泥厂比较适合采用中性点不接地的小电流接地系统。

但是随着水泥生产线规模的不断扩大，配套中压电气设备的单机容量和总容量也在不断扩大，水泥厂中压系统接地电容电流也在增大，当系统接地电容电流 $>15\text{A}$ ，若发生单相接地故障时产生的电弧往往自熄后又重燃，造成间歇性弧光接地过电压，非故障相的过电压倍数 >3.5 倍，会损害中压电气设备并危及人身安全。

水泥厂的中压设备都是采用电缆配电，大型水泥生产线中压电缆数量多、截面积大、距离长，加大了中压系统的电容电流，一旦发生电缆击穿接地故障，一般来说都是高频间歇性弧光接地或金属性接地故障，必须要求迅速切除而且不允许重合闸。所以中性点不接地系统发生单相接地故障时允许继续运行两小时的优点，对大型水泥生产线也难以实现。

为了解决中性点不接地系统弧光接地过电压的问题，国内的许多电器设备厂家开发了中压消弧消谐柜，柜内配置消弧线圈，系统正常时不投入消弧线圈，当发生单相接地故障时投入消弧线圈使弧光熄灭。消弧消谐柜在水泥厂中压系统应用较多，在发挥作用的同时也暴露出不足，当系统接地故障电流较大时弧光熄灭后易发生重燃，不能可靠的消除间歇性弧光接地，说明消弧消谐柜比较适合单相接地电容电流较小的中小型水泥生产线。

2 中性点经消弧线圈接地系统

中性点经消弧线圈接地是在中压侧引出中性点，在中性点上连接消弧线圈并可靠接地。消弧线圈以感性电流补偿中压系统的容性电流，使故障点易于熄弧。消弧线圈接地系统一般采用过补偿方式，限制非故障相的过电压倍数 <3.2 倍，比中性点不接地系统的故障过电压倍数略有降低，这种接地方式在电力系统采用较多。但是由于水泥生产线上的中压设备是断续工作制，同时投运的中压设备是在经常变化，造成中压负荷波动较大，这给消弧线圈的连续补偿带来了较大困难，所以水泥生产线很少采用中性点经消弧线圈接地方式。

3 中性点经电阻接地系统

在欧洲及美国的水泥厂中压系统较多采用中性点经电阻接地方式，如美国标准《IEEE Std 277TM-2007 水泥厂配电系统推荐标准》第 3.1.9 条：中压电气系统（2.4~13.8kV）推荐采用中性点经电阻接地方式。在我们设计的沙特等多项国外工程中，业主要求按照美国及欧洲的标准进行设计，所以中压系统较多地采用了中性点经电阻接地方式，可靠地避免了中压系统接地故障时发生间歇性弧光接地过电压的问题。

当中压电网发生单相对地短路故障时电源中性点电压将发生偏移，由于对地电容电流较大易发生间歇性弧光接地过电压，为了抑制弧光产生，在系统中性点与地之间接入一台固定电阻器形成中性点电阻接地。采用中性点电阻接地方式当中压电网发生单相对地短路故障时由于在故障点注入了连续阻性电流，接地电流呈阻容性质产生熄弧作用，故障点电流弧光过零熄灭后难以重燃，使系统过电压倍数限制在 2.5 倍以下，减小了对中压设备的绝缘损害。另一方面由于在故障点形成稳定接地电流，有利于接地选线装置查找定位故障点，有利于继电保护装置可靠动作切除故障点。

4 电阻接地系统的计算

按照水泥生产线的设备和电缆选型及电缆长度，估算中压系统的对地电容电流，对大型水泥生产线若电容电流 $>15\text{A}$ 则推荐采用中性点经电阻接地方式。中性点经电阻接地系统的设计要在中压侧引出中性点，在中性点与大地之间接入一个固定的电阻器，该电阻器可靠接地，中性点及电阻器一般设在总降压站内或发电厂内。

10kV 交联电缆的电容电流估算公式：

$$I_C = [(114 + 1.44 * S) * U * L] / (2200 + 0.23 * S)$$

式中： I_C 电容电流 A

S 电缆截面 mm^2

U 额定电压 kV

L 电缆长度 km

在计算出 10kV 电缆的电容电流之后，还要考虑 10kV 变电所的电容电流，10kV 变电所将对交联电缆的电容电流增加约 16%，所以系统电容电流的计算结果是 $1.16 * I_C$ 。

按照上述计算公式进行估算，我们设计的广东某 5000t/d 水泥生产线 10kV 交联电缆的电容电流约为 16A。国外工程由于厂区占地面积大，电缆选型的截面积也较大，所以相同规模国外工程的电缆电容电流更大，一般大于 20A。由于电缆

的电容电流较大若系统采用中性点不接地方式，当发生单相接地故障时产生间歇性弧光接地的可能性较大，所以对于 5000t/d 及以上的大型水泥生产线应该采用中性点经电阻接地方式。

电阻接地电流的确定：设中压系统对地电容电流为 I_c ，若选取电阻接地电流 I_r 为 1~1.5 倍 I_c 则发生接地故障时过电压倍数 <2.5 倍；若选取电阻接地电流 $I_r \geq 4I_c$ ，则中压系统发生接地故障时过电压倍数 <2 倍；所以对水泥项目一般是按照 $I_r \geq 4I_c$ 进行设计。根据水泥厂中压电缆电容电流的范围，设计时一般选取电阻接地电流 $I_r=100A$ ，（对沙特等国外工程通常要求电阻接地电流 $I_r=200A$ ），对地短路故障最大持续时间 10 秒。按照这些参数选择接地电阻器，接地电阻器为柜内安装，生产厂家有定型产品。

中性点接地电阻值计算公式：

$$R=[U/(\sqrt{3} * I_r)] * 1000 (\Omega)$$

中性点一般有两种引出方式，一种是在主变压器的中压侧引出中性点，另一种是采用接地变压器引出中性点。在某些国家的水泥厂中压系统设计中要求对 35/10kV (或 35/6kV) 主变压器采用 D,yn 结线，在主变压器的 10kV (或 6kV) 侧引出中性点，中性点经电阻接地。在我国的电力设计中主变压器一般采用 YN,d 结线，主变压器的二次侧 10kV (或 6kV) 不引出中性点，这时若要实现中压电阻接地系统就必须采用接地变压器产生出中性点。在 10kV (或 6kV) 中压侧增加一台开关柜，将中压母线通过断路器连接到 Z 形接地变压器，接地变压器的中性点连接电阻器，电阻器另一端接地。

Z 型接地变压器每相铁芯上的绕组分为上、下相等匝数的两部分接成曲折连接，所以又叫曲折连接变压器，采用 ZN 结线。Z 型接地变压器还可配置低压绕组星形结线 (ZN, yn) 中性点接地方式，输出低压电源作为所用变压器使用。

接地变压器容量计算公式：

$$S_r=U * I_r / \sqrt{3} * t \text{ (kVA)}$$

(若按照短路故障最大持续时间 10 秒，则过载系数 $t=10.5$)。

Z 型接地变压器一般采用干式变压器，中压接地电阻器一般做成柜体结构，也有些厂家将接地变压器与接地电阻器集成在同一个电气柜内，便于现场安装。由于接地变压器与接地电阻器自身都要消耗一定的能量会产生热量，所以若将接地变压器与接地电阻器安装在室内，要采取通风散热措施。

按照国外水泥工程的设计要求，对中小型水泥厂中压系统接地电容电流 $<10\text{A}$ ，当发生单相接地故障时电阻接地系统可作用于信号，中压系统可以短时间带故障运行；对于大型水泥厂中压系统接地电容电流 $>15\text{A}$ ，当发生单相接地故障时电阻接地系统的继电保护均作用于跳闸，一般不能带故障运行。

采用不同的接地方式对中压系统设计也略有不同，中性点不接地系统的配电设计自中压柜至现场电动机一般只采用一根 3 芯电力电缆，中压电器设备在安装现场做接地。中性点经电阻接地系统的配电设计一般采用两根电缆，自中压柜至现场电动机采用一根 3 芯电力电缆再加一根单芯接地电缆，单芯接地电缆的截面积要满足中性点接地电流及接地电阻的要求，将中压电器设备的现场地与电气室内的中压地相连形成电气通路，有利于继电保护装置的信号检测与可靠动作。

根据国外水泥厂的大量生产实践经验，以及国内电力行业和其它行业的实践经验，中压电气采用中性点经电阻接地系统安全可靠，动作灵敏，减小了系统故障时过电压倍数，减少了对电器设备的故障损害，值得在国内大型水泥生产线设计中推广应用。

参考文献：

- [1]平绍勋等 编著《电力系统中性点接地方式及运行分析》
 - [2]侯义明等 编著《交流配电系统的接地方式及过电压保护》
 - [3]IEEE Std 277TM-2007 IEEE Recommended Practice for Cement Plant Power Distribution
-

篦冷机小改造大收益

汪厚平

(合肥水泥研究设计院 安徽 合肥 230051)

0 引言

海南昌江水泥股份有限公司 2500 吨/日熟料新型干法生产线由南京羚羊设计院设计，采用南京羚羊设计院 LYBLJ2500 推动篦式冷却机，该冷却机为第二代改进型篦冷机，设计产量:2500 吨/日，最大产量 2750 吨/日，篦床有效面积 64.26 m² (原资料)，生产线 2009 年投产，运行至 2014 年已五年，由于受当时技术水平的限制，在冷却机设计上存在一定的缺陷，经过五年的运行，冷却系统中部分设备部件磨损严重。运行过程中，系统二、三次风温偏低，分别为~720℃和~960℃，熟料冷却效果差，冷却机出口熟料温度达 180℃左右，从而余热发电也极不理想，平均发电量每吨熟料 30KWh，且设备故障率高，维护工作量相当大。

2014 年底由合肥水泥研究设计院工程设计公司对其篦冷机进行了改造，介于时间和经济两方面考虑，改造工程量及费用不大却收益颇丰。。

1 改造内容

(1) 拆除原篦冷机入料端前四根篦板梁，更换我院为其特别设计的整体 KID 系统，该系统供风分区更细，并可独立控制各部分风量。使出窑高温熟料快速冷却，提高了熟料的强度和易磨性；永久的固定熟料层保护篦床，提高篦冷机的可靠性及运转率；提高二、三次风温度，提高热效率。

(2) 将原篦冷机一段前部 6 根篦板梁改为空气梁，增加一台风机供风，有效解决一段熟料的冷却和热交换，提高二、三次风及去余热发电风的温度，同时，由于该部位熟料得到应有冷却后，为后续各风室低压风的冷却效果得到有效提升，从而大大降低出口熟料的冷却温度。

(3) 余热发电取风口向入料端前移约 0.6m，同时改变其取风口的开口角度，

配合前端冷却风量加大后热风的合理分配。

2 改造投入

(1) 改造设备投资约 60 万元，主要为篦冷机加工部件，一级风机一台。

(2) 整个改造施工约 20 天（包含补浇注料等）。

3 改造效果及收益

3.1 改造后效果

设备改造后标准产量提高至 $\sim 2900\text{T/D}$ ，在此产量下二、三次风温分别达到 $\sim 850^\circ\text{C}$ 和 $\sim 1100^\circ\text{C}$ ，熟料出口温度降至 100°C 左右。最理想的是余热发电量增加至每吨熟料 39KWh。

3.2 改造后收益

(1) 改造后随着二、三次风温的升高 $\sim 150^\circ\text{C}$ ，平均每日产量按 2800 吨，每小时节约标煤计算如下：

$$116.67\text{t/H} \times 1000\text{kg-cal/t} \times 0.9\text{Nm}^3/\text{kg-cal/t} \times 0.337\text{Kcal/N}^3 \cdot ^\circ\text{C} \times (1100-950) = 5307901 \text{ Kcal} = 758.0\text{Kg 标煤}$$

每年按照 85%的运转率计算，节约标煤：

$$24 \times 365 \times 85\% \times 758.0 = 5644068\text{kg} = 5644.0 \text{ 吨标煤}$$

折合成发热量 5500 Kcal/ kg-coal 的实物煤 7183.2 吨实物煤。每吨实物煤单价 550 元/t，每年节约费用：

$$7183.2 \times 550 = 3950800 \text{ 元} = 395.0 \text{ 万元}$$

(2) 余热发电量增加带来的收益：同样平均每日产量按 2800 吨，每年按照 85%的运转率计算：

$$2800\text{t/D} \times (39-30) \text{ KWh} \times 365\text{D} \times 85\% = 7818300\text{KWh}$$

按照公司实际用电平谷时电价 0.78 计算：

$$7818300\text{KWh} \times 0.78 \text{ 元/KWh} = 6098274 \text{ 元} = 609.8 \text{ 万元}$$

合计：1) +2) = 395+609.8=1000 (万元) 万元

4 结语

水泥科技 STC

综上所述，通过篦冷机改造，系统故障率大大降低，系统冷却效率提高，出口熟料温度降低，保护了后续输送设备的安全，同时提高了水泥的易碎性，提高粉磨效率及水泥强度，最重要的是通过此次改造，降低单位水泥生产成本，并直接提高了单位水泥的发电量，给水泥厂带来可观的收益。



近期实施的标准规范及重点注意事项

本刊编辑部

1 《水泥工厂设计规范》(GB50295-2016) 自 2017 年 4 月 1 日起实施

(1) 公告内容

《水泥工厂设计规范》(GB50295-2016) 已经国家住房和城乡建设部公告发布, 自 2017 年 4 月 1 日起实施。原规范 GB50295-2008 同时废止。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《水泥工厂设计规范》的公告

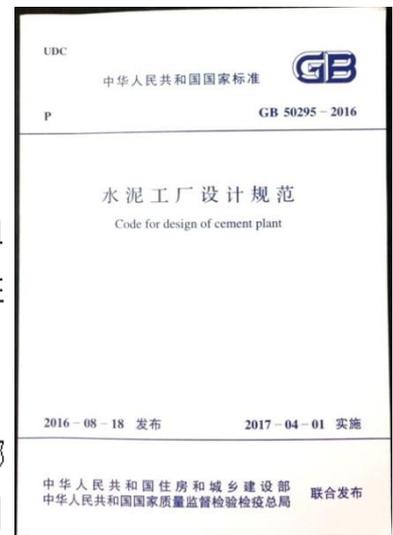
第 1269 号

现批准《水泥工厂设计规范》为国家标准, 编号为 GB50295-2016, 自 2017 年 4 月 1 日起实施。其中, 第 6.7.4 (1、8、10)、11.2.1 (6)、11.3.3 (2) 条(款) 为强制性条文, 必须严格执行。原《水泥工厂设计规范》GB50295-2008 同时废止。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2016 年 8 月 18 日



(2) 规范主要修订内容和强制性条款

新规范主要修订内容有: 调整了水泥生产线设计规模的划分; 增加了对烧成用油和天然气的质量要求, 协同处置废弃物烟气脱硝、旁路放风和压缩空气管道设计内容, 节水设计章节, 水泥窑协同处置过程中产生的渗滤液、清洗废水的处置要求, 职业安全卫生设计内容。

新规范强制性条款: 第 6.7.4 (1、8、10)、11.2.1 (6)、11.3.3 (2) 条(款) 为强制性条文, 必须严格执行。

第 6.7.4 (1、8、10) 条规定, 煤粉制备系统的安全防爆设计应符合下列规定: 煤磨、收尘器、煤粉仓应设泄压装置; 煤磨进出口应设温度监测装置; 在煤

粉仓、收尘器上应设温度和一氧化碳监测及自动报警装置；煤磨、煤粉仓、煤磨收尘器应设气体灭火系统。

第 11.2.1（6）条规定：储存或生产过程中产生易燃、易爆气体或物料的建筑物，严禁采用明火供暖；采用电热方式供暖时，应使用防爆型电暖器及插座。

第 11.3.3（2）条规定：事故通风应根就放散物的种类，设置相应的检测报警及控制系统。事故通风设备的手动控制装置应在室内外便于操作的地点分别设置。

2 《水泥工厂节能设计规范》（GB50443-2016）自 2017 年 4 月 1 日起实施（1）公告内容

《水泥工厂节能设计规范》GB50443-2016 已经国家住房和城乡建设部公告发布，自 2017 年 4 月 1 日起实施。原规范 GB50443-2007 同时废止。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《水泥工厂节能设计规范》的公告

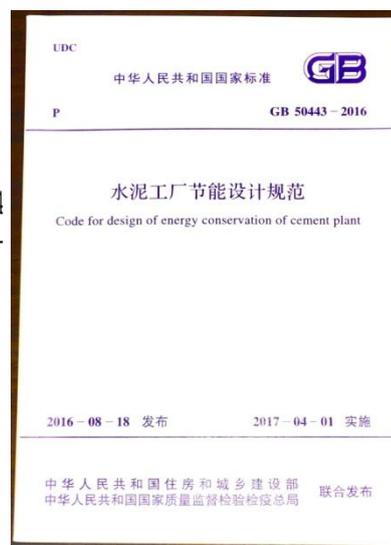
第 1275 号

现批准《水泥工厂节能设计规范》为国家标准，编号为 GB50443-2016，自 2017 年 4 月 1 日起实施。其中，第 3.2.1、3.3.1 条为强制性条文，必须严格执行。原《水泥工厂节能设计规范》GB50443-2007 同时废止。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2016 年 8 月 18 日



（2）规范主要修订内容和强制性条款

新规范重点修改了能耗指标，增加了水泥窑协同处置废弃物系统的节能设计。

新规范强制性条款：第 3.2.1、3.3.3 条为强制性条文，必须严格执行。

第 3.2.1 条规定：在未协同处置废弃物时，新建、扩建水泥工厂生产线考核时间内的主要能耗设计指标应符合表 1 的规定。

第 3.3.1 条规定：在未协同处置废弃物及没有旁路放风的情况下，熟料烧成

系统的能效设计指标应符合表 2 的规定。

表1 新建、扩建水泥工厂生产线考核时间内的主要能耗设计指标

日产量 D (t/d)	可比熟料综合煤耗 (kgce/t)	可比熟料综合电耗 (kW·h/t)	可比水泥综合电耗 (kW·h/t)	可比熟料综合能耗 (kgce/t)	可比水泥综合能耗 (kgce/t)
D≥7000	≤ 101.5	≤ 56.0	≤ 80.0	≤ 108.5	≤ 88.0
5000≤D<7000	≤ 102.0	≤ 57.0	≤ 82.0	≤ 109.0	≤ 89.0
4000≤D<5000	≤ 103.0	≤ 58.0	≤ 84.0	≤ 110.0	≤ 90.0
3000≤D<4000	≤ 103.5	≤ 59.0	≤ 86.0	≤ 111.0	≤ 91.0
D<3000	≤ 105.5	≤ 60.0	≤ 88.0	≤ 113.0	≤ 92.0
水泥粉磨站	—	—	≤ 36	—	—

表2 熟料烧成系统的能效设计指标

日产量 D (t/d)	系统热效率 (%)	熟料烧成煤耗 (kJ/kg)	熟料烧成电耗 (kW·h/t)
D≥7000	≥56	≤101.5	≤56.0
5000≤D<7000	≥56	≤102.0	≤57.0
4000≤D<5000	≥55	≤103.0	≤58.0
3000≤D<4000	≥55	≤103.5	≤59.0
D<3000	≥55	≤105.5	≤60.0

获奖报道——我院工程监理项目荣获行业优秀工程咨询奖

本刊编辑部

建材行业第十三次优秀工程咨询奖于 2017 年 8 月完成评审工作，并于近期公示了评审结果，在此次评选中我院“河南孟电集团水泥公司 2×5500t/d 熟料水泥生产线及 10000t/d 骨料项目（一期）工程监理”项目荣获优秀工程咨询成果二等奖。

河南孟电项目包含了 2 条 5500t/d 熟料水泥生产线、配套余热发电系统、配套矿山、10000t/d 骨料生产线等内容，工程分两期实施。我院与河南孟电集团于 2015 年 10 月签订了该项目一期工程的监理合同（包含一条 5500t/d 熟料水泥生产线，余热发电，10000t/d 骨料线）。我院中亚监理公司项目监理部于 10 月 25 日进场开始开展监理工作，在业主和参见各方的共同努力下，项目一期工程于 2016 年 6 月点火成功，当月通过 72 小时性能考核，项目监理部于 2016 年 10 月份完成所有监理工作。该项目投产后，生产线运行稳定，技术指标先进，工程质量优良。我院项目监理部在监理工作中认真负责，处处为业主和工程项目负责，得到了业主的高度评价，正因监理部的突出表现，业主又将该项目的二期工程也委托给我院实施监理，并于 2016 年签订了二期工程的监理合同。

建材行业优秀工程咨询成果奖由中国建材工程建设协会组织评审，项目类别包含工程规划、工程勘察、工程咨询、工程监理等，集中了全国行业内的主要工程咨询单位。孟电项目的获奖，是我院近年来监理项目第三次获得该奖项，体现了我院先进的工程监理和项目管理水平，也是对我院监理公司多年来严格监理质量管理、坚持监理技术创新的肯定。



一期工程 5500t/d 熟料线全景



一期工程粉磨系统全景



10000t/d 骨料线全景

物料计量与定量给料

Material Weighing and Quantitative Feeding



CWF 分格转子定量喂煤系统

CWF Cellular Rotor Type Quantitative Coal Feeding System

概述

Introduction

CWF 分格转子定量喂煤装置把传统的煤粉定量喂煤、计量和锁风功能集成到一台装置中，专用于采用气力输送煤粉的定量喂煤。尤其适用于水泥、建材、冶金、电力等工业窑炉的定量喂煤。该装置荣获 2011 年度“华新杯”全国建材行业技术革新奖技术开发类二等奖；荣获中国建材机械工业著名品牌。

CWF Rotor Constant Coal Feeding Control System integrates the functions of traditional constant coal feeding, metering and air locking into one device. It's specially used for constant coal feeding by pneumatic conveying pulverized coal. It is especially suitable for constant coal feeding of industrial kilns in cement, building materials, metallurgy and power industries. The device was awarded the second prize in technical development of 2011 “Huaxin Cup” China National Building Materials Industry Technical Innovation Award and was honorably named as “Top Brand Product” in Chinese Building Materials Machinery Industry.



Honesty



Passion



Cooperation,



Efficiency



诚信 Honesty

合作 Cooperation

激情 Passion

效率 Efficiency



固泰公司产业园科技大楼

Technology Building of Hefei Goodtimes Automation Co., Ltd at the industrial park

合肥固泰自动化有限公司

Hefei GoodTimes Automation Co.,Ltd.

地址：中国安徽省合肥市望江东路 60 号

Address : 60 Wangjiang East RD.Hefei.Anhui.P.R.C

邮编 PC: 230051

电话 TEL:+86-551-63439178 63439824

传真 FAX:+86-551-63439417

网址 [HTTP://www.gtzd.com.cn](http://www.gtzd.com.cn)

邮箱 Email : HFGTAUTO@163.com