

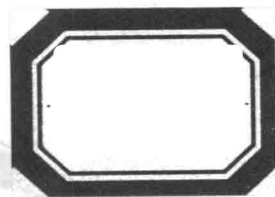
亲历中国水泥60年

QINLI ZHONGGUO SHUINI 60 NIAN ZHAONAI REN JISHU WENJI

——赵乃仁技术文集



化学工业出版社



亲历中国水泥60年

QINLI ZHONGGUO SHUINI 60 NIAN ZHAONAI REN JISHU WENJI

——赵乃仁技术文集



化学工业出版社

·北京·

本书是一技术性文集,收录了作者长期从事水泥工程设计工作的技术论文 20 余篇,从一个侧面反映了我国水泥工业发展和技术进步的历程。

本书适合于从事水泥工程设计与管理等技术人员阅读,水泥生产及设备企业的相关技术人员、高校相关专业师生也可参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

亲历中国水泥 60 年——赵乃仁技术文集. —北京:
化学工业出版社, 2011. 3
ISBN 978-7-122-10390-1

I. 亲… II. 水泥工业-工业技术-中国-文集
III. TQ172-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 006171 号

责任编辑: 常 青

装帧设计: 张 辉

责任校对: 吴 静

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 15½ 彩插 1 字数 199 千字 2011 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

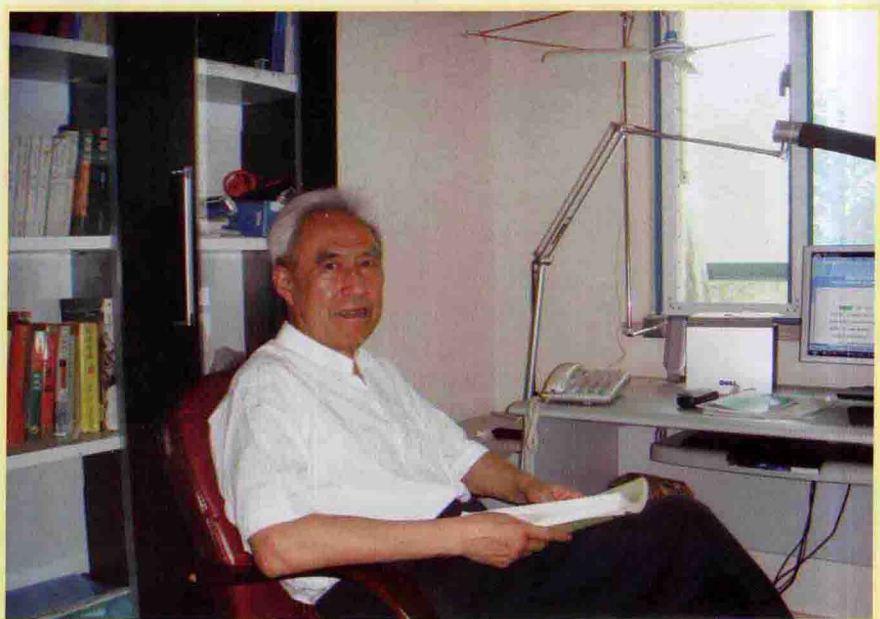
网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 88.00 元

版权所有 违者必究

亲历中国水泥60年
——赵乃仁技术文集



赵乃仁近照



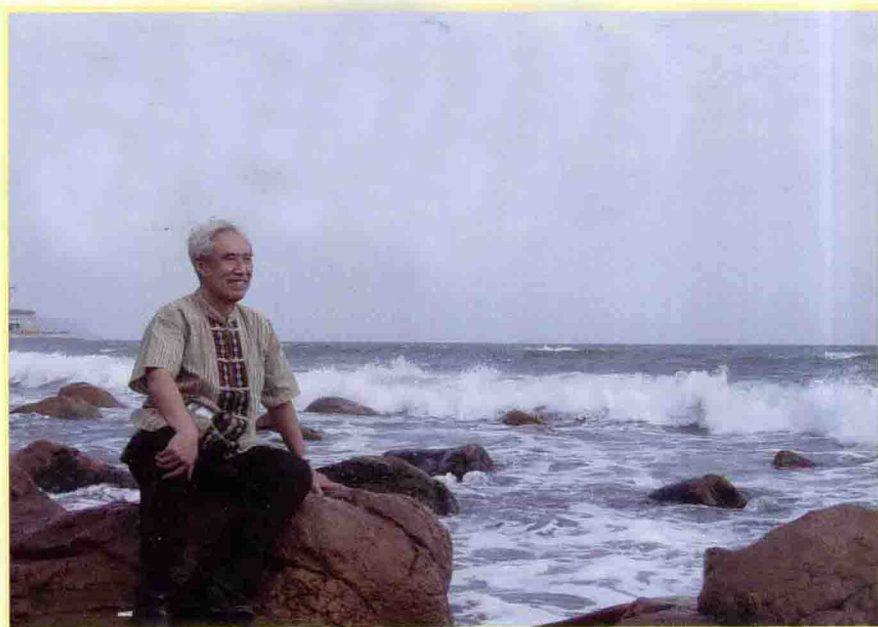
与黄书谋局长在一起

亲历中国水泥60年

——赵乃仁技术文集



与江苏瑞泰重型机械有限公司羊华总经理研究工作



赵乃仁近照

本书策划

韩益春 羊 华

亲历中国水泥60年

——赵乃仁技术文集

序

2011年3月15日是赵乃仁先生八十岁生日，他的几个弟子正忙于为他出书并邀我为此写序，我欣然从命。

赵先生是我的学长，也是我的良师益友。早在20世纪80年代初，我还在贵州工作期间，就拜他为师，到北京工作以后，经常得到他的帮助与指点，也算是他的一个蹩脚弟子。在此，我真诚祝福他生日快乐。

赵先生在水泥行业辛勤耕耘六十年，呕心沥血为我国水泥工业技术进步和发展做出了卓越贡献。

赵先生不仅治学严谨，而且作风朴实，为人谦和，平易近人，尽管在水泥学术界享有盛誉，在他的同龄人中也是佼佼者，但他从不以专家自居，退休以后也从未中断过学习与学术研究，还时刻关心着水泥工业的发展和青年科技工作者的成长。仅从该书收录的内容也可看出先生对于水泥技术的研究一直没有间断。

《亲历中国水泥60年》这本文集是赵先生工作六十年来心血的结晶，尽管时间跨度大，有的是先生早年的著作，但细读起来仍然对当今水泥工业的技术进步有重要的参考价值和指导作用。

近年来，我国水泥工业取得了长足的发展，技术与装备已经跻身世界先进行列，这是几代水泥工作者坚持不懈努力奋斗的结果。因此，当年轻一代水泥工作者取得骄人业绩的同时，不要忘

记前辈们几十年来所作的铺垫，后生们的脚下永远有前人的汗水和劳动筑就的台阶。

祝赵乃仁先生生日快乐的同时，祝所有老一代水泥工作者健康长寿。

雷前治

2011 年 1 月

亲历中国水泥60年

——赵乃仁技术文集

前 言

时间如梭，一不留神，已虚度八十春秋。

算上在南京工学院读书的日子，从事水泥工业的学习与科研已六十年了，窃以为六十年来，多少为中国水泥工业的发展做了一点力所能及的事，有些东西尚值得总结，于是乎，托化学工业出版社将部分文章整理出版，算是一个纪念。

这本集子收录了近六十年来本人在水泥、中国水泥、水泥工程、水泥技术、新世纪水泥导报等杂志发表的部分文章，由于时间跨度较大，有些内容可能已不适合现在的形势，其中有些文章的出处已无从查起，可能给读者的阅读带来一些麻烦，敬请谅解。

本书的出版，得到了中国水泥技术网和江苏瑞泰重型机械有限公司在人力与资金上的大力支持，在此表示诚挚的感谢，并借此机会，对于在这一辈子中受到的老师、同学、前辈和同事的各种教诲及帮助表示深切的谢意。

非常感谢中国水泥协会雷前治会长在百忙中抽出时间为本书作序。

赵乃仁
2010年12月

亲历中国水泥60年

——赵乃仁技术文集

目 录

达标达产要重视系统分析	1
新型干法水泥生产线要在竞争中求发展	5
不断优化新型干法生产线的设计与装备	13
论水泥立窑和湿法窑的技术改造	21
工程总承包工作中的风险分析及规避对策	30
探讨水泥厂大型化后存在的问题	38
回转窑长度对窑内传热的影响	46
水泥生产工艺的新设想	60
湿磨干烧新工艺的设想	65
分解炉内物理化学反应的起始条件和单位容积发热量	70
水泥熟料煅烧中的热经济	80
新型干法烧成系统配套中窑尾排风机 IDF 的选择	87
论新型干法生产线回转窑生产能力的发展趋势	97
从水泥生产工艺角度讨论余热发电技术应用的发展	104
高海拔地区对新型干法水泥厂烧成系统影响的初步分析	117
国外新技术应用摘译	133
辊式磨粉磨的运行机理及其选型原则的探讨	138
辊磨生料粉磨系统分析	155
辊压机粉磨过程运行机理的探讨及其系统分析	163
采用辊压机的粉磨系统选型计算讨论	178
利用辊磨或辊压机粉磨矿渣	209
移动式破碎车间浅析	233

亲历中国水泥60年

——赵乃仁技术文集

达标达产要重视系统分析

达标达产对于一些先天不足的，也就是工艺和热工装置有重大缺陷的水泥厂来说，难度是相当大的，必须要重视对整个系统进行系统分析，找出问题的核心及相关联的干扰因素，然后再采取措施来解决。

一、扫清外围

对于烧成系统不能达产的工厂，首先要“扫清外围”，先解决外围的问题，为烧成系统创造良好运行的条件。水泥生产是一个原料加工过程，原料必须合格，不仅化学成分合格，且其烧结性能和分解性能要力求良好，尤其重要的是要摸清它的特点，才能对症下药。

燃料是工厂实现目标的重要手段，燃料好，达产就容易实现，产量会提高，即使在燃料上多花一点钱也是合算的。西方一些大的水泥企业使用的都是优质燃料，煤的低热值全在 27196kJ/kg 标煤 (6500kcal/kg 标煤) 以上，有名的水泥设备供应商对煤的热值也要求不得低于热值 21757kJ/kg 标煤 (5200kcal/kg 标煤)，若低于这个值，所保证的指标就要下降，同时极为重视在煤的加工过程中不让贫化。原煤的水分是另一个重要的方面，不控制原煤水分，当水分较大

时煤磨就会烘不干煤，煤粉水分偏大，一般情况当大于 1.5% 时，煤粉的下料就会不通畅，造成下煤不稳定，不利于达标。

生料的稳定性是另一个重要方面，要改善入窑生料喂料系统使其能稳定运行，要从生料出库做起，保证入窑生料喂料时料位稳定，随后的自动控制回路才能发挥作用。

二、重视系统综合功能

达产的核心问题在烧成系统，过去产量不够，往往强调窑的规格太小，这些年越来越认识到分解炉的重要性，看到只要入窑分解率能够上去，窑产量就有保证，因此出现了这样的观点，即认为只要放大炉容积，什么问题都能解决。当然炉子容积放大是能提高分解能力，但是在整个烧成系统中炉子仍然仅是其中一个部分，必须在整体运作中间发挥作用，整个系统运行良好才能获得好的成果。这里就系统中除分解炉以外的一些问题作一些阐述。

1. 风

在新型干法生产过程中，“风”起着举足轻重的作用。燃烧的进行除了煤就要有足够的空气，不然就会引起不完全燃烧，不仅浪费煤，还会带来结皮堵塞。在带有三次风的系统，存在一个经过三次风和经过窑的系统平衡和相应的风量分配，若分配不当就会出现燃烧用风不够。除了燃烧以外，系统的运行依靠气流携带物料，风速的大小以及是否存在偏流，对于能否保持系统稳定极为重要，但必须保证不能低于稳定系统运行的风速。经常可以看到一定风速下因系统产量过低，频频出现堵塞、塌料等现象，当产量提上去以后，这一风速反而使该系统得到稳定。

“风”的另一个方面是系统通风需要的动力相当大，约达 10~15kW·h/t 熟料，其窑尾主排风机的耗电高达 19kW·h/t 熟料，这在

总的水泥电耗中的比重占到 10% 左右，除了磨机以外就轮到烧成系统的通风用电了。因此，如何降低这部分电耗一直是世界水泥界的课题，降低预热器的阻力是各个公司标榜的特色，但是窑尾系统的阻力中预热器仅占了 50% 左右，如何努力来降低系统中预热器及预热器以外的阻力是一个重要的事。

2. 燃烧器

窑和分解炉提供了燃烧的空间以及气、料、煤之间混合的条件，但是要进行燃烧首先要依靠燃烧器，由于不同煤的燃烧性能有所差别，因此燃烧器应能有较强的调整能力以适应不同的煤质。

窑用三通道喷煤管可以通过内外风的调节来控制火焰，但是必须注意到风、煤的喷出速度，煤质越差其喷出速度应越高。

分解炉用燃烧器比较简单，但是其重要性却不比窑用燃烧器低，炉内燃烧空间有限，环境温度较低，如要保证及时着火燃烧，升温又不出现局部过热烧坏炉体，就必须恰当布置燃烧器、进风、进料三者的位置及确定合理的喷出速度。

3. 回转窑

分解炉的出现大大减轻了窑的分解负荷和热负荷，但烧结过程的最终完成仍完全由窑承担，当窑以旋风预热器来预热预分解生料时，其窑长和直径的比例维持 15~17 之间，可是在采用分解炉来预分解生料后，由于对其运行过程吃不透，仍按 $\frac{L}{D} = 15 \sim 17$ 维持窑长，其结果很多窑的操作中出现了长窑皮，甚至出现结“大蛋”。实际运行证明，适当缩短窑长不仅完全可行，而且有利于质量。因此为适应高分解率入窑物料必须按快速转窑进行操作，在这种情况下窑皮可达到正常，经常碰到有些厂囿于传统的习惯不敢提高窑速，在生产中就带来一系列问题。

4. 冷却机

带预分解的窑要求窑头要高温，不然会顶不住生料，熟料质量也上不去。保证高温除依靠燃烧器外，很重要的一个方面是二次风温要求高，这就必须要求高的冷却效率，冷却机的效率高低不仅影响烧成系统的热耗，还明显影响它的产量、质量和运转率，有些厂通过改造冷却机，使系统达产达标。

当前的水泥工业实际上存在着供大于求的形势，1992~1993年水泥价格猛涨刺激了一大批小水泥厂上马，生产力大幅膨胀的同时市场需求却明显地下降，造成各水泥厂巨大的生存压力。目前市场虽有所改善，价格却始终上不去，这个局面将会在相当长的时期存在，优胜劣汰是客观规律，各水泥厂面临的是如何提高效益。达产达标是保证提高工厂效益的有力措施，但当前形势还要求达产达标必须在降低消耗、降低成本、降低投资的基础上完成，这就对达产达标工作有了更高的要求。

亲历中国水泥60年

——赵乃仁技术文集

新型干法水泥生产线要在竞争中求发展

一、新型干法水泥生产线问世以来的几个历程

我国从 20 世纪 70 年代中期开始在全国推广新型干法工艺，建设了数条生产线，但是由于技术没有过关，这些生产线长期不能达到设计能力，“达产达标”成为相当长一段时间内的奋斗目标。随后的问题是投资太高建设不起，因此降低投资又成了推广新型干法的主要矛盾，随着国家整体物价的下降以及技术的进步，这个矛盾得以缓和。目前新型干法生产线已经成为我国水泥工业的发展主体，它在水泥生产中的比重逐步提高，今年新型干法水泥生产线的建设继续呈现强劲发展势头。但是在我国经济建设中，水泥工业的发展不仅是新型干法生产能力在增长，立窑生产能力也在增加，而且立窑生产能力增加的速度甚至超过了新型干法生产能力。这种现象的出现说明了立窑水泥由于它的投资省、建设快、成本低以及技术进步，且有它自己的特定市场，因此在目前仍然具有相当的生命力，这也是由我国社会主义初级阶段的国情所决定的。可以说，在前几年由于新型干法生产线处于发展初期，其技术在国内尚没有完全成熟，经济效益也不理想，所以在新型干法窑和立窑两种生产方式之间的竞争中，新型干法窑处于劣

势。这几年由于新型干法生产技术有了长足的进步，表现出了自己的优势，而且政府的大力推广扶植以及对小水泥的限制，就有了上述的快速发展，但是必须要清醒地认识到，在这几年的竞争中，立窑的发展仍然高于新型干法窑，新型干法窑实际是挤占了传统回转窑的部分发展空间，它在与立窑生产方式之间的竞争中并没有明显的优势。但是，从若干立窑水泥厂在扩建中改为采用新型干法生产线这一现象中也可以看出，新型干法生产技术日益深入人心。据统计，2002年投产的新型干法生产线共51条，其中有28条是由立窑企业建设，占总条数的54.9%；生产能力1200万吨，占总生产能力的39%。当然由立窑水泥厂建设的这些新型干法生产线，大部分并非为了取代已有的立窑，而是采用混合粉磨来提高企业产品的质量，提高产品的信誉，以求既可保持立窑自身的优点又能适应当今社会发展的需要。

二、新型干法水泥生产线目前面临的竞争

新型干法生产线在今明两年的发展还会大大超过前两年，据南京水泥工业设计研究院从去年到目前（2003年6月末）已经签订合同项目的不完全统计，预计到明年年中可以投产的水泥熟料生产能力已经达到4000万吨以上。以该院设计的项目大致占全国项目的30%来推算，全国的水泥熟料生产能力将增加1.3亿吨以上，其增长幅度为2001年、2002年两年增长总能力（6182万吨）的2.15倍，其增量将会超过新型干法生产线现有生产水泥的总量。此外，这两年还有大量的以成本低、质量好的矿渣微粉为主体的低熟料水泥生产线也将投入市场。可以预计立窑水泥也会出现较大的增长幅度。今明两年按市场每年增长8%计算，两年的增长量预计为11534万吨，而预期的消费量远低于预计的生产量，供过于求的情况格外突出。这样的“多方逐鹿”情况下市场竞争必然会非常激烈，市场绝不会自动留出空额任由新型干法生产线去占领，新型干法生产线在市场上的比重能够自然

增长，而立窑水泥的比重自然消退，必然需要经过激烈的市场竞争，遵循适者生存、强者发展的规律。其中，传统回转窑企业由于它的成本高、技术落后、负担重，处于竞争中的最不利地位；而对于某些新型干法窑企业也存在投资高、电耗高以致成本太高的问题，再加上经营不善，同样会处于竞争中的不利地位；虽然相当一部分立窑企业由于本身的落后处于淘汰之列，但是也有很大一部分立窑企业由于前面所提到的优势而具有很强的竞争力。近日中国水泥协会立窑研究会结合全国先进立窑水泥企业实际生产水平，为加速立窑行业技术进步提出了“现代立窑水泥企业八项指标”，从这些指标可以看到是针对目前水泥市场的形势来改进立窑企业在质量、环保、劳动生产率方面的薄弱环节，并通过提高其强项来增强企业的竞争能力。此外自1958年立窑企业开始在全国发展以来，为国家的经济建设做出重大贡献，尤其对于地方经济的发展影响更大，在地方上有着深厚的基础。因此在今后一段时期内，竞争的态势不会是简单地以新型干法生产线企业来取代立窑企业，而是总体上淘汰缺乏竞争力的企业。所以，对于新型干法生产线企业来说，如何提高自身的竞争力在当前是十分重要的。

三、积极提高新型干法生产线企业的竞争力

一般情况下，新型干法生产线企业与立窑企业相比，其优势表现在规模经济、环保、质量和热耗等方面，而在投资、电耗方面是弱势。但是从表1的对比来看，不仅一般回转窑比不上先进立窑水平，即使新型干法生产线其中一部分企业与先进立窑企业相比也有一定差距。当然，河南省的新型干法生产线企业从全国来讲并不先进，但是该省的先进立窑企业与一些立窑大省相比也有一定差距，此处举出这个例子，无非是要说明，提高新型干法生产线企业的竞争力任重而道远，必须要把它作为一件水泥工业发展进程中的大事来重视。