

SHUINI GONGYE YURE FADIAN JI QI GONGCHENG

- 顾问 唐金泉 任沁新
- 主编 王建芳 胡于圭
- 副主编 刘俊 李金凤
常偃波 卢红梅

水泥工业 余热发电

及其工程

中信重工机械股份有限公司
洛阳矿山机械工程设计研究院

中信重工机械股份有限公司是中国知名的矿山机械、低速重载齿轮加工基地，大型铸锻和热处理中心，国际知名国内领先的重型机械制造商。

所属的洛阳矿山机械工程设计研究院是国家级企业技术中心，具有机械、水泥、环境工程甲级，电力乙级设计资质，主要从事水泥生产线、余热发电、活性石灰、矿渣立磨等成套项目设计和总承包。

公司主要产品有：采掘机械、提升机械、选煤机械、破碎与粉磨机械、水泥机械、冶金轧钢机械、环保机械、发电设备、大功率减速器、大型铸锻件等。

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水泥工业余热发电及其工程 / 王建芳, 胡于圭主编
—北京: 中国建材工业出版社, 2011. 10
ISBN 978-7-5160-0026-7

I. ①水… II. ①王… ②胡… III. ①水泥工业—余热发电 IV. ①TM617

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 193702 号

内 容 简 介

本书以开展节能、资源综合利用工作为宗旨, 主要介绍我国水泥工业余热发电技术的发展、余热发电工程系统的设计及相关设备, 以及水泥工业余热发电装置的施工、设备的调试和维护。

本书是一本推动水泥工业余热发电事业的科技图书, 可供水泥生产企业, 水泥余热发电设计单位, 土建、安装施工企业, 监理单位, 特种设备监察部门的相关人士阅读, 还可供其他余热发电 (冶金、玻璃) 设计单位、相关专业在校学生参考。

水泥工业余热发电及其工程

顾 问 唐金泉 任沁新

主 编 王建芳 胡于圭

副主编 刘 俊 李金凤 常偃波 卢红梅

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 19

字 数: 466 千字

版 次: 2011 年 10 月第 1 版

印 次: 2011 年 10 月第 1 次

书 号: ISBN 978-7-5160-0026-7

定 价: 42.00 元

本社网址: www.jccbs.com.cn

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 88386906

广告经营许可证号: 京西工商广字 8052 号 (1-1)

编 委 会

顾 问：唐金泉 任沁新

主 审：王继生 张 虎

副主审：彭 岩 牛轩辉 李有利 曹 晖

主 编：王建芳 胡于圭

副主编：刘 俊 李金凤 常偃波 卢红梅

编 委：孙东营 王 晖 程 杰 张晓峥

张 明 董延学 卢来要 赵文选

前 言

从 20 世纪 80 年代初的水泥干法中空窑配套高温余热发电技术起，到 20 世纪 90 年代初期的新型干法窑配套带补燃锅炉的中低温余热发电技术，再到 21 世纪的成熟的新型干法窑配套纯低温余热发电技术，水泥窑余热发电技术是随着水泥工艺技术的发展而不断发展，同时也为我国水泥工业的发展、节能技术的进步、推动资源综合利用工作的开展作出了重要贡献，为其他行业树立了典范，提供了成功的范例。

为了推进我国节能、资源综合利用工作的发展，温家宝总理在《政府工作报告》中对能源资源节约和合理利用提出了明确要求：“注重能源资源节约和合理利用。缓解我国能源资源与经济社会发展的矛盾，必须立足国内，显著提高能源资源利用效率。一要坚决实行开发和节约并举、把节约放在首位的方针。鼓励开发和应用节能降耗的新技术，对高能耗、高物耗设备和产品实行强制淘汰制度。二要抓紧制定专项规划，明确各行业节能降耗的标准、目标和政策措施。抓好重点行业的节能、节水、节材工作。鼓励发展节能环保型汽车、节能省地型住宅和公共建筑。三要大力发展循环经济。从资源开采、生产消耗、废弃物利用和社会消费等环节，加快推进资源综合利用和循环利用。积极开发新能源和可再生能源。四要加强对矿产资源开发管理。整顿和规范矿产资源开发秩序。完善资源开发利用补偿机制和生态环境恢复补偿机制。五要大力倡导节约能源资源的生产方式和消费方式，在全社会形成节约意识和风气，加快建设节约型社会”。

根据这个总体要求，国家从中央到地方的各级政府将开展节能、资源综合利用工作提到了前所未有的高度，不但在行政法规上对节能、资源综合利用工作提出了更高标准的要求，而且在政策及资金上对这项工作也给予了强有力的支持。

国家发改委与科技部为贯彻落实中央的要求，以国家《节能中长期专项规划》为依据，以进一步推进节能工作、引导节能技术进步为目的，共同组织起草颁发了《我国节能技术政策大纲》，该大纲进一步明确支持水泥、钢铁、玻璃等行业节能技术的研究、开发及应用。

为此，我们组织大连易世达新能源发展股份有限公司、中信重工机械有限责任公司、中悦浦利莱环保科技有限公司、中国人民解放军 96532 部队、河南省第一建筑工程集团有限责任公司、河南三建建设集团有限公司、河南省安装集团有限责任公司、洛阳市质量技术监督局、洛阳市锅炉压力容器检验所、洛阳市建筑工程质量监督站、项城市建设委员会等专业工程设计、设备制造、施工管理、工程施工（土建、安装、调试）等单位的人员编写了《水泥工业余热发电及其工程》一书。本书以余热发电的施工为主线，上至余热发电对水泥生产企业的意义、余热发电的设计和选型，下到余热发电设备的调试、生产过程中设备的运行和维护。其主要内容有：我国水泥工业发展余热发电的目的和意义；我国水泥余热发电技术的发展；水泥生产企业余热利用概述；水泥余热发电工程系统的设计；水泥余热发电的

设备；水泥余热发电装置的施工；水泥余热发电设备的调试和水泥余热发电设备的运行和维护等内容。此书可供水泥生产企业，水泥余热发电设计单位，土建、安装施工企业，监理单位，特种设备监察部门的相关人员阅读。还可供其他余热发电（冶金、玻璃）设计单位、相关专业在校学生参考。

本书在编写过程中得到了大连易世达新能源发展股份有限公司、中信重工机械有限责任公司、中悦浦利莱环保科技有限公司、中国人民解放军 96532 部队、河南省第一建筑工程集团有限责任公司、河南三建建设集团有限公司、河南省安装集团有限责任公司、洛阳市质量技术监督局、洛阳市锅炉压力容器检验所、洛阳市建筑工程质量监督站、项城市建设委员会等单位的大力支持，特别是大连易世达新能源发展股份有限公司总工程师唐金泉同志将从事水泥余热发电工程设计近三十年的经验和总结无私地奉献出来，对整个内容进行了全部的审核并在本书中首发了其“发电能力计算”。各章节编写人员如下：

常偃波	（第一章第一节）
胡于圭	（第一章第二、三节）
卢来要	（第二章第一、二、七节）
刘俊	（第二章第三、四、五、六节）
孙东营	（第三章第一、二、四节 第四章第三节 第七章第四节）
王晖	（第三章第三、五节 第六章第一节）
王建芳	（第三章第六节 第五章 第六章第二、三、四节 第八章第一节）
赵文选	（第四章第一、四、五、六、七、八、九节）
唐金泉	（第四章第二节）
李金凤	（第四章第十节 第八章第二节）
程杰	（第六章第五节 第七章第一节）
张明	（第六章第六节）
张晓峥	（第六章第七节 第七章第二节）
董延学	（第七章第三节）
卢红梅	（第八章第三节）

在本书的前期策划和后期的审核过程中，中信重工机械有限责任公司任沁新、王继生、彭岩，洛阳市质量技术监督局牛轩辉，中国人民解放军 96532 部队李有利，洛阳矿山机械工程设计研究院曹晖等专家、学者提出了很多好的建议和修改意见，特别是中信重工机械有限责任公司任沁新、王继生、彭岩等专家，结合多年水泥余热发电设计和工程总承包的经验，充实和完善了本书的内容，在此表示衷心的感谢。

王建芳

2011 年 5 月 24 日于洛阳

目 录

第一章 我国水泥工业发展余热发电的目的和意义	1
第一节 我国的能源形势和水泥工业的节能任务	1
一、我国的能源结构及其供应	1
二、我国的国民经济增长速度与能源消耗关系	2
三、我国水泥行业的能耗现状和节能途径	3
第二节 加强资源节约与综合利用，发展水泥循环经济	8
一、水泥工业结构调整的指导思想和目标	8
二、加强总量控制，实施分类指导	8
三、制定和完善政策，严格市场准入	9
四、建立落后产能退出机制，加大结构调整力度	9
五、支持大企业集团发展，加快提高产业集中度	9
六、鼓励水泥企业“走出去”，参与国际市场竞争	9
七、加强水泥矿山资源管理，大力发展循环经济	10
八、发挥行业协会作用，加强行业自律	10
第三节 我国水泥工业发展余热发电的意义	10
第二章 我国水泥余热发电技术的发展	14
第一节 国外水泥余热发电技术的发展与现状	14
第二节 我国水泥余热发电技术的发展经历	15
一、我国水泥窑余热发电技术	15
二、我国水泥行业余热利用现状及发展趋势	22
三、我国水泥工业余热发电技术的发展历程	24
第三节 我国水泥窑第一代低温余热发电技术	25
一、水泥窑第一代纯低温余热发电技术的定义及特征	25
二、水泥窑第一代纯低温余热发电技术的构成	26
第四节 我国水泥窑第二代低温余热发电技术	27
一、水泥窑第二代纯低温余热发电技术的定义及特征	27
二、水泥窑第二代纯低温余热发电技术的构成	28
第五节 我国水泥窑第三代低温余热发电技术	29
第六节 低温余热发电技术的比较	30
一、我国两代低温余热发电技术的比较	30
二、我国第二代水泥窑纯低温余热发电技术与发达国家先进技术的比较	32
第七节 抓紧机遇自主创新我国水泥工业余热发电新技术	32

一、纯低温余热发电技术是水泥工业“四零一负”战略的重要组成	33
二、我国水泥工业余热发电技术的现状及其发展趋向	33
三、国际水泥工业余热发电技术发展现状	34
第三章 水泥生产企业余热利用概述	36
第一节 水泥企业选择余热利用方式及原则	36
第二节 水泥余热发电建设模式	36
一、水泥余热发电建设模式	36
二、某水泥生产线余热发电合同能源管理项目案例——EPC 模式（局部）	37
第三节 水泥低温余热发电的效益	38
一、宏观效益分析	38
二、水泥生产企业余热发电效益案例	40
第四节 水泥窑余热发电建设存在的问题及建议	41
一、行业自身问题	41
二、政策问题	41
第五节 各种规模余热发电装机容量方案	42
一、2500t/d 水泥熟料生产线余热发电装机容量方案	42
二、2 × 2500t/d 水泥熟料生产线余热发电装机容量方案	43
三、5000t/d 水泥熟料生产线余热发电装机容量方案	45
四、2 × 5000t/d 水泥熟料生产线余热发电装机容量方案	46
第六节 水泥生产企业余热发电利用经验	48
一、某水泥厂中低温余热发电技术及其应用	48
二、某水泥纯低温余热发电技术改造工程	54
三、西南某省水泥工业纯低温余热发电技术应用	56
四、某水泥余热发电及供暖一体化工程	57
五、建设窑头熟料冷却机及窑尾预热器废气余热发电的心得	58
六、余热发电系统并网运行的技术特点、政策落实及存在问题	60
七、某余热发电项目建设中出现的问题及建议	64
第四章 水泥余热发电工程系统的设计	66
第一节 水泥余热发电设计的基本要求	66
一、水泥余热发电的总体规划设计	66
二、水泥余热发电的设计理念	68
三、余热发电工程的设计，应符合下列规定	68
四、水泥余热发电的设计指标	69
五、水泥余热资源、热力系统和装机规模的确定	69
第二节 新型干法水泥窑废气余热发电功率计算方法	69
一、新型干法水泥窑（以下简称“水泥窑”）废气成分	69
二、水泥窑废气平均定压比热	70
三、水泥窑废气焓	73

四、水泥窑余热锅炉热平衡暨蒸气、热水产量计算	74
五、汽轮机发电功率计算	101
六、计算举例	102
第三节 建筑结构的设计	109
一、水泥余热发电工程建筑设计的要求	109
二、水泥余热发电建筑设计中的防火、防爆与安全疏散	110
三、水泥余热发电工程中的建筑、结构的设计	111
第四节 余热锅炉系统的设计	111
一、余热锅炉系统设计的一般规定	111
二、余热锅炉设备	111
三、余热锅炉与水泥生产线的连接	112
第五节 汽轮机和发电机系统的设计	112
第六节 给排水和水处理系统的设计	113
一、供水系统	113
二、冷却构筑物 and 循环水泵	113
三、水处理系统的设计	113
第七节 电力、电气及配电系统的设计	114
一、电力系统的设计	114
二、电气设备及系统的设计	115
第八节 热工仪表及自动控制系统的设计	116
第九节 采暖通风与空气调节系统的设计	117
第十节 水泥余热发电设计及实践案例	118
一、某熟料生产线纯低温余热电站工程设计与实践	118
二、某水泥厂 2500t/d 水泥窑纯余热锅炉设计	121
三、某水泥炉窑余热发电汽轮机设计技术	125
四、优化余热锅炉设计为提高发电量创造必要条件	131
第五章 水泥余热发电的设备	133
第一节 水泥余热发电设备的概述	133
一、概况	133
二、余热发电技术	133
第二节 窑尾余热 SP 炉和窑头余热 AQC 炉	135
一、窑尾余热锅炉（以下简称 SP）	135
二、窑头余热锅炉（以下简称 AQC）	137
第三节 水泥余热发电的汽轮机	139
第四节 水泥余热发电的发电机组	143
第五节 国内水泥余热发电设备存在的主要问题	144
一、热力系统问题	144
二、窑头熟料冷却机废气取热问题	144

三、200℃以下低温废气余热的利用问题	145
四、汽轮机组的问题	145
五、余热锅炉的有关问题	146
六、锅炉给水除氧方式问题	148
七、水泥生产系统与电站系统的生产协调及配合问题	148
第六章 水泥余热发电装置的施工	149
第一节 水泥余热发电建筑结构的施工	149
一、主厂房及设备基础施工	149
二、主厂房基础	150
三、基础施工质量控制	150
四、钢筋混凝土烟囱	151
五、主要交叉施工	153
第二节 余热锅炉的施工	154
一、窑尾 SP 余热锅炉	154
二、窑头 AQC 余热锅炉	162
三、煮炉	165
第三节 汽轮机的安装	168
一、主要施工措施	168
二、汽轮机组安装	170
第四节 发电机组的安装	179
一、水泥余热发电机组的技术参数	179
二、发电机安装	179
第五节 管道系统的施工	182
一、概述	182
二、编制依据	182
三、安装焊接前的检查与准备	182
四、管道安装	183
五、阀门安装	185
六、疏、放水管的安装	186
七、管道的严密性试验和冲洗	186
八、绝热支吊架及其应用	186
第六节 电气系统的施工	189
一、高低压变配电装置安装	189
二、变压器安装	189
三、配电柜、盘（台）及检修开关箱的安装	190
四、母线及母线槽安装	191
五、高压系统安装	191
六、电缆桥架、保护管敷设	192

七、电缆、电线敷设	193
八、电动机检查接线	194
九、防雷接地施工	195
十、照明安装	195
十一、电气调试	195
第七节 热工仪表及自动控制系统的施工	196
第七章 水泥余热发电设备的调试	199
第一节 水泥余热发电设备调试概述	199
一、调试依据	199
二、调试的组织与分工	200
三、启动试运调试的阶段	202
四、启动调试项目	203
第二节 余热锅炉的调试	204
一、目的	204
二、编写依据	205
三、设备简介	205
四、锅炉碱煮	206
五、过热器及蒸汽管道的吹扫	209
六、蒸气严密性试验和安全阀整定	211
七、72h 满负荷试运行	212
第三节 汽轮机组的调试	215
一、编制依据	215
二、设备系统简介	215
三、整套调试应具备的条件	217
四、组织分工	218
五、调试步骤	219
六、安全注意事项	223
第四节 汽轮发电机润滑油系统调整试验	225
一、汽轮机调节保安系统调整试验措施	227
二、凝结水系统调试方案	230
三、循环水系统调试方案	232
四、射水泵及真空系统调试方案	233
第八章 水泥余热发电设备的运行和维护	236
第一节 AQC 和 SP 锅炉的运行和维护	236
一、锅炉检修后的检查与试验	236
二、锅炉机组的启动	239
三、锅炉运行中的监视和调整	242
四、锅炉机组的停运与保养	246

五、事故处理	247
第二节 汽轮机的运行和维护	251
一、汽轮机（以 N4.5-1.08 型单缸、低压、冲动、凝汽式为例）技术特性	251
二、汽轮机的启动	257
三、汽轮机的运行维护	262
四、汽轮机的正常停机	263
五、汽轮机辅助设备的运行	264
六、汽轮机组的事故处理	267
七、除氧给水系统运行规程	275
第三节 发电机的运行和维护	277
一、发电机运行规定	277
二、发电机的启动、停机及运行维护	278
三、发电机异常运行	284
参考文献	290

第一章 我国水泥工业发展余热发电的目的和意义

第一节 我国的能源形势和水泥工业的节能任务

一、我国的能源结构及其供应

能源的供给和消费是关系着国民经济和社会发展的重大问题。我国是一个正处在经济社会快速发展且人口众多的发展中国家。2010 年我国国内生产总值 397983 亿元，比上年同期增长 10.3%，居世界第二位，但是 GDP 仅占世界的 9.27%。同年能源生产总量 28.51 亿 t 标准煤，能源消耗总量 32.5 亿 t 标准煤同比增长 5.9%，其中煤炭消费量增长 5.3%，原油消费量增长 12.9%，天然气消费量增长 18.2%，电力消费量增长 13.1%。全国万元国内生产总值能耗下降 4.01%。我国已成为世界上煤炭、钢铁、铁矿石、氧化铝、铜、水泥消耗最大的国家，是世界上能源消耗的第二大国。我国经济的高速增长在某种意义上说，是依赖巨大的能源消耗来维持的，这样的经济增长方式和能源的巨大消耗无论是从现在还是长远来看，都是不可持续的。在全国总能耗中，建材工业的能耗占了约 9%，占全国工业能耗的 13% 左右。而其中水泥能耗又是建材工业中的能耗大户。从有关的统计资料显示，2010 年水泥制造业能源消耗总量 1.5 亿 t 标准煤，吨水泥综合能耗下降 24.6%。为了实现我国国民经济又好又快发展，实施可持续发展战略，我们必须对我国的能源形势有一个清醒的认识，主动调整产业结构，改变经济增长方式，全面开展节能降耗工作。水泥工业作为国民经济的重要产业和高耗能产业，应该责无旁贷地加大节能减排力度，实现在“十一五”期间万元 GDP 产值能耗降低 20% 和污染物排放总量减少 10% 的目标，作出不懈努力。

我国能源资源状况和能源结构根据。2009 年主要能源基础储量煤炭 3326.4 亿 t、石油 24.8972 亿 t、天然气 28185 亿 m³，2009 年我国人口为 13.35 亿，按人均计算，我国每人拥有 249.16t 煤炭、1.87t 石油、2111.23m³ 天然气的基础储量。除去上述煤炭、石油、天然气 3 种化石能源资源之外，我国还有水能、核能资源以及风能、太阳能、地热能、生物质能等可再生能源。

我国的能源资源具有品种齐全、分布广泛、总量丰富、人均拥有量较少等几个基本特点。煤炭、石油、天然气这些主要能源资源所拥有的储量丰度也不尽一样。根据 BP 石油公司（英国石油公司）统计的资料，我国最为丰富的煤炭资源，在全球中占 11.67%，居世界第三位；石油占 1.7%，居世界第十二位；天然气占 1.00%，居世界第二十位。我国人口众多，人均拥有的探明能源储量并不多，有的品种远低于世界平均水平。我国人均煤炭资源为世界人均水平的 55.67%，石油为 11.14%，天然气为 4.38%。除煤炭资源较为丰富外，石

油、天然气等能源资源均不能满足我国当前和长远发展的需要。

根据我国能源资源的条件,我国一次性能源生产供应长期以来首先是以煤炭为主,其次是石油,再次是水电及核电、其他动力能(包括风能、地热能等),最后才是天然气提供的能源。

我国能源生产是世界上为数不多的以煤炭为主的国家;我国自己生产的石油产品,由于资源储量和开发技术水平的原因,在整个能源生产总量中占的比重逐年降低,自给率下降;而水电、核能、风能、地热能等可再生能源,随着国民经济对能源需求的增大和环境保护要求的日益严格,科学技术的进步,在能源生产中比重日益加大,也是我们今后研究开发的重点。

改革开放以来我国国民经济取得了巨大的发展,而与此同时能源消耗也随之大幅度增加。

二、我国的国民经济增长速度与能源消耗关系

研究我国国民经济增长速度与能源消耗之间的关系,通常用能源消耗弹性系数来表示。从能源消耗弹性系数的概念出发,该系数越小,表明用较小的能源消费增长,得到较大的国民经济增长;反之,系数越大,表明用较大的能源消费,得到较低的国民经济增长。若该系数大于1,则表明能源消费的增速大于国民经济增长的速度。从我国国民经济发展的实际情况来看,“十五”期间,从2002年起,钢铁、有色金属、化工和建材等重化工业的超常规发展,使得能源消费总量和增长速度大幅度增加,这期间能源消费弹性系数增大,超过1或接近1。由于能源消耗的迅猛增加,使得一段时期内,煤、电、油、运高度紧张,形成瓶颈,制约国民经济的平稳、健康发展。

按照“十一五”规划的要求国内生产总值比2000年翻一番的新目标。按此计算,到2010年国内生产总值将达到26.1万亿元(按2005年的价格计算)。若不改变经济增长方式和加快产业结构调整,预计能源消费总值将达到32亿t标准煤。如此数量巨大的能源消耗和因此带来的能源资源和环境问题是我们必须要认真对待的。

从另一个角度看,尽管我国能源消费总量很大,但是,由于我国人口基数大,实际人均能源消费只有世界平均水平的74%。按照我国发展战略,我国将在21世纪中叶进入中等发达国家的行列,那时人均GDP将达到1万美元,人均能源消费量的值约为4t标准煤(以日本、韩国进入人均GDP为1万美元的能源消费为参考)。以那时人口控制在15亿左右来计算,能源消耗总量将达到60亿t标准煤。这种数量巨大的能源消耗实际上是不可能实现的。

与此同时,这样巨大的能源消耗也带来了严重的环境问题。我国是世界上最大的煤炭消费国之一。2009年煤炭消费量为30亿t,比上年增长9.2%,占能源消费总量的60%,远远高于世界28%的平均水平。煤烟型污染成为我国大气污染的一大特征。据估计,大约全国烟尘排放量的70%、二氧化硫排放量的90%、氮氧化物排放量的67%、二氧化碳排放量的70%来自于燃煤。有资料显示,能源消耗特别是化石燃料的消耗是二氧化碳排放的主要来源,大体上占到二氧化碳排放的75%左右。

2009年,我国化学需氧量排放总量1277.5万t,比上年下降3.27%;二氧化硫排放总

量 2214.4 万 t, 比上年下降 4.60%, 继续保持了双下降的良好态势。与 2005 年相比, 化学需氧量和二氧化硫排放总量分别下降 9.66% 和 13.14%, 二氧化硫减排进度已超过“十一五”减排目标要求。我国每年大气污染造成的经济损失大约占 GDP 的 2%~3%。为了实现国民经济快速平稳的发展和满足人们生活水平的不断提高的需求, 我们必须全面贯彻落实科学发展观, 走可持续发展道路, 实施开源节流、节能降耗的能源战略。在“十一五”发展纲要中规定了“2010 年末比 2005 年单位国民生产总值能源消耗降低 20%, 主要污染物排放总量减少 10%”的 2 个约束性指标。经济要发展, 人口在增长, 人民生活水平在提高, 都对能源消耗有着巨大的需求。因此, 要完成这两个约束性指标绝非易事。“十一五”以来, 我国加强了节能工作, 国务院发布了加强节能工作的决定, 加强了领导, 制定了促进节能减排的一系列政策措施, 开展了积极有效的工作, 取得了一定的成绩。

万元 GDP 能耗水平主要取决于 2 个因素: 一个是国家的产业结构状况, 反映各产业在总量中的比重; 另一个是各产业的能耗水平, 反映各产业能源利用效率和能耗的情况。2006 年我们之所以没有完成年初确定的全国单位 GDP 能耗下降 4% 的目标, 主要有以下几个原因: 一是产业结构调整进度缓慢, 服务业发展滞后, 工业增长速度快于其他产业, 工业中高能耗行业发展速度偏快; 二是工业产品的单位能耗下降偏慢, 与国际平均先进水平尚有较大差距; 三是与我国所处的发展阶段和经济发展周期有一定的关联。

在我国的能源消耗结构中, 煤炭 76.2%, 石油 16.6%, 天然气 2.1%, 电力(水电、核电、新能源发电) 5.1%。我国煤炭占世界煤炭消费量的 27%, 是全世界少有的以煤炭为主的能源消费大国, 二氧化碳排放量仅次于美国, 居世界第二位。

三、我国水泥行业的能耗现状和节能途径

根据统计数据, 2010 年全国水泥产量为 18.68 亿 t, 比上年增长 15.53%, 同年水泥制造业能源消耗总量比上年增长 18.72%, 占建材工业能源消耗总量的 75.49%。造成水泥行业能源消耗大的主要原因是:

(1) 水泥总量迅速增长。

水泥行业是基础原材料行业, 是需求拉动型产业。它的产量需求与国家固定资产投资的增长有密切的关系。“十五”时期全社会固定资产投资完成额增长率与水泥产量增长率的比率(即水泥产量的弹性系数)为 0.62, 即全社会固定资产投资额增长 1%, 水泥产量将增长 0.62%。我国当前经济发展主要由固定资产投资、消费和进出口贸易来驱动, 其中固定资产投资占有重要地位。从近几年经济数据分析, 固定资产投资的增长率均大于国民经济 GDP 的增长率。这种经济形态对水泥产量增长的拉动作用是显而易见的。

(2) 水泥产业结构不尽合理。

长期以来我国水泥生产以立窑或湿法等落后工艺为主。改革开放以来, 经过近 20 年的不断努力, 特别是近 10 年来在新型干法水泥生产工艺、技术装备、基建成本、生产管理等方面取得了突破性进展, 使得我国水泥工业结构调整取得明显进展。新型干法水泥比重从 2000 年前的不足 10.5% 提高到 2010 年的 78%, 增加了 67 个百分点, 并以其所具有的技术、经济、规模优势, 主导着水泥工业的发展。我们也清楚地看到, 尽管新型干法水泥的比重不断提高, 但是立窑等落后生产方式仍占有半壁江山。这种情况与发达国家基本上都是采用新

型干法工艺生产有着巨大的差距。因此,我国水泥行业结构调整的任务仍然是十分繁重的。正因为我国水泥产业结构中还有如此巨大数量的落后生产方式存在,导致我国水泥工业显现出能耗高、资源消耗大、对环境污染严重等弊端。

(3) 水泥产品的单位能耗高。

我国水泥产业的结构调整虽然有了长足的进步,然而,用落后方法生产的水泥产品产量在总产量中仍占很大比例。这些落后生产方法所生产的单位水泥产品所耗费的能量比新型干法工艺要高。不同的水泥生产方法,除去单位水泥产品的热耗不同外,它们所生产产品的质量、资源利用率、劳动生产率及对环境的负荷也是不同的。

我国目前大力发展的新型干法水泥生产的技术指标与其他落后生产方法相比有很大的优越性,但是与国际先进水平仍有较大的差距。除此之外,在产品质量、劳动生产率、环境负荷上都有不同程度的差距。

分析了我国水泥行业能源消耗高的主要原因,我们就不难找出解决问题的办法。水泥行业节能的途径主要有以下几种:

(1) 调整国民经济的产业结构,改变经济增长方式,控制水泥需求总量。

在国民经济的产业发展中要主动调整一、二、三产业所占的比例,在巩固农业为基础的地位、发展农产品深加工产业的基础上,大力发展第三产业,制定相关政策,积极发展以金融、贸易、交通、保险、文化、旅游等为代表的服务业,逐步把国民经济一、二、三产业的结构调整到一个合适的比例,改变当前工业生产占国民经济比重过大的状况,使我国经济发展“轻型化”。要积极改变目前主要以固定资产投资拉动经济增长方式,努力扩大合理的最终消费,促进经济发展。通过这些宏观经济层面的调整及我国人均混凝土累计量的不断增加,使我国水泥需求量的增长逐步放缓,把水泥产品年消费量控制在一个合理的水平。只有这样才能从总体上控制水泥行业的能源消耗。

(2) 提高水泥、混凝土的实物质量,延长建筑物、构筑物的使用寿命。

由于我国正处于经济高速增长周期,加上人口增长和生活水平不断改善等原因,尽管采取了对宏观经济的结构调整,但在未来的10年或更长的时期内,水泥的总需求量仍然会有所增长。在这种形势下,我们必须更加重视提高水泥、混凝土的实物质量,延长建筑物、构筑物的使用寿命,避免由于水泥、混凝土的实物质量不高而导致的建筑物、构筑物寿命缩短,不得不进行加固或推倒重建,形成“重复建设”。

水泥是配制混凝土的重要原材料。我国在建筑上多使用C20、C30混凝土,而国际发达国家多采用C50、C60等高强度等级混凝土,并充分注意到混凝土骨料的质量,避免发生碱-骨料反应,从而提高了建筑物、构筑物的使用寿命。

由于我国建筑物、构筑物混凝土的强度等级低,也使我国水泥生产以强度等级32.5级和42.5级为主。其中32.5级及以下强度等级水泥占80%。我国建筑领域“肥梁胖柱”现象没有得到根本改变。有资料显示,我国建筑业对水泥的使用与发达国家相比,每立方米混凝土多耗水泥近80kg。国家建筑管理部门应该修订建筑工程规范和标准,全面提高混凝土、水泥制品和构件的性能和质量,提高工程的耐久性,延长建筑物、构筑物的使用寿命,从而减少对水泥的实物消耗,达到节约资源和降低能耗的效果。

我国建筑结构体系是以钢筋混凝土结构和砌块混凝土结构为主体的,但从可循环利用和

可再生角度出发, 钢结构和钢、木结构的建筑物和构筑物是一种可以考虑的方案。事实上, 国际上一些发达国家已经把上述两种建筑体系作为其重点发展的方向。这样做, 客观上减少了对水泥产品总量的需求, 降低了能耗需求和对环境的负荷。我国也应根据国情, 在这方面进行分析研究、综合比较, 采取必要的措施, 逐步扩大钢结构、钢木结构在我国建筑体系中的比重。

(3) 加快水泥产业结构调整步伐。

淘汰落后生产能力, 促进新型干法水泥健康有序发展。2010 年全国水泥生产 18.7 亿 t, 同比增长 15.5%, 生产水泥熟料 11.5 亿 t, 同比增长 10.4%, 其中, 生产新型干法水泥熟料 8.2 亿 t, 同比增长 14.3%。但是, 我们也清楚地看到, 我国水泥总产量中仍有 3.3 亿 t 是用落后生产方法生产的。这将给资源和能源消耗带来巨大的影响。为此, 国家发改委制定了“水泥工业发展专项规划”和“水泥工业产业政策”来规范、引导我国水泥工业的持续、稳定、健康发展。

当前我们的主要任务是各地区要在上述两个文件的指导下, 结合本地区的实际情况, 把文件精神 and 政策要求落到实处。政府、企业和行业协会组织要正确把握好各自的职责定位, 既不能缺位, 也不能越位, 更不能错位。在淘汰落后生产能力的问题上, 主要依据质量、环保、安全等市场准入标准, 淘汰那些质量低劣、环境污染严重、生产安全存在巨大隐患的落后生产企业; 对其他采用落后生产方法的企业, 主要通过市场竞争的方式, 必要时可以辅之以行政手段。政府应积极引导, 并在政策上支持这些企业改变生产工艺, 采用先进生产方法。

在发展新型干法水泥时也要重视市场调研, 注意做好区域和企业的发展规划。技术总是在不断进步的, 新型干法水泥生产技术发展在我国已有 20 多年的历史, 20 世纪八九十年代, 甚至本世纪初建设的新型干法水泥生产线也存在不同程度的技术水平低、规模小、能耗高、环保指标低的问题, 必须引起我们的高度重视, 并采取积极措施适时加以提升改造。

(4) 大力发展循环经济, 努力发挥水泥工业节能利废的优势, 为全社会节能降耗多作贡献。

众所周知, 在水泥生产工艺中可以利用各种其他工业产生的废渣、废料作为混合材。例如: 钢铁工业的高炉矿渣、钢渣; 电厂排出的粉煤灰等。利用这些废渣、废料与水泥熟料及缓凝剂(石膏)混合粉磨制成相应品种的水泥成品。这样就相应减少了对水泥熟料的需求, 相当于节省了煅烧熟料所需的能源。统计计算表明, 仅此一项每年就可节省约 1500 万 t 标准煤。

在水泥生产工艺中经过必要的处理, 合理利用各种工业废渣、废料作为水泥原料使用已经取得了很大的成绩。例如: 铝冶炼工业的赤泥, 化工企业的电石渣、硫酸铁渣、磷肥渣, 煤矿的煤矸石, 电厂的粉煤灰等, 都已经成功地大量用作生产水泥原料。这样可以大量节省天然原料, 客观上既节省了资源也节省了宝贵的能源。

近年来我们借鉴国外先进经验, 开始探索利用工业废弃物和生活垃圾作为生产水泥的替代燃料的工作。这方面工作我国仅仅是处于起步阶段, 不论在科学技术研究、工艺装备的开发、政府政策法规制定、公众环保意识的提高等方面都有许多工作需要我们去突破, 去做一些开创性的工作, 使这项有着广阔前景的节能环保技术扎扎实实、有序地在我国推广。目

前,在北京市政府的大力支持下,“北京市处置固体废弃物示范工程”已经投入运行,并取得了一些十分宝贵的经验。国内不少设计研究单位都在积极开展这个领域的研究工作,政府有关职能部门也在制定相应的技术、质量、安全、环境标准和相关法规、条例来支持这项技术的推广。

(5) 优化设计,积极推广节能环保技术,采用节能环保装备。强化管理,努力降低水泥单位产品能耗。

不论是新建或是改扩工程,设计工作的水平对水泥生产线建成之后技术经济指标都是决定性的。为了把水泥企业建设成节能环保型企业,必须在生产线的设计中积极推广和采用先进实用的节能环保技术和产品。

当前须重点关注以下几项节能环保技术的推广与应用。

水泥窑余热发电技术。经过“八五”、“九五”、“十五”科技攻关和工程实践的不断完善,利用水泥回转窑余热纯低温发电技术日趋成熟,并且已经成为当前水泥行业节能减排工作的重点。

在推广这项技术中应特别注意几个问题:

一是尽量做到余热发电项目与水泥生产项目同时设计、同时建设、同时投产,最起码要做到同时设计,留有今后建设余热发电项目的可能性;

二是当地政府职能部门要协调好有关水泥厂余热发电项目上网方式和上网电价的问题;

三是要重视关于如何评价水泥回转窑余热发电的效能和技术指标问题上存在的某些误区。有些项目单纯比较“吨熟料发电量”的大小,而忽视整体水泥熟料烧成热耗的比较,存在某些片面性。

新型干法水泥生产方法,由于装备的机械化、电气化程度高,全员劳动生产率高等原因,在单位产品电能的消耗上并不比其他落后生产方法有明显的优越性。因此,我们必须在降低新型干法水泥的电耗方面开展深入的研究,努力降低单位产品的电耗,从而降低单位产品的能耗成本,以显示其更大的优越性,提高产品竞争力,有利于加快新型干法生产方法的推广应用和水泥产业结构调整步伐。在水泥单位产品的电耗中,有60%~70%是消耗在对原料、固体燃料和水泥熟料的粉磨工艺过程上。因此,必须改变以球磨、管磨为主的粉磨工艺,大力采用性能先进的、以料层挤压粉磨工艺为主的辊式磨、辊压机及辊筒磨技术装备。通过采用节能粉磨技术,通常能使粉磨工艺节电30%~40%,水泥单位产品的电耗降低20%~30%,甚至更高。若水泥行业普遍采用节能粉磨技术,估算全年可节电150亿~250亿kW·h的电能,相当节省0.375亿~0.625亿t标准煤。

优化设计,注重细节,全方位为节能工作奠定基础。在设计工作中要确立贯彻“技术先进、生产可靠、经济实用、节能环保”的理念。

(1) 水泥生产线的总图和流程的设计是决定性的环节,要在满足工艺要求、厂内交通和设备检修空间的要求下,尽量做到工艺流程简单、布置紧凑,减少各类管道和电路的损耗,达到节能的目的。

(2) 不断研究开发高效节能的水泥熟料烧成系统,特别是预热器、分解炉、燃烧器和熟料冷却机等关键设备。

(3) 合理选择风机、泵类的设备能力及其拖动电机的额定功率。避免此类装置及其电