

电力需求侧管理系列丛书

国家发展和改革委员会
电力需求侧管理培训推荐用书

重点用能行业 节能技术

国家发展改革委经济运行调节局
国家电网公司营销部 编
南方电网公司市场营销部

K01
88

DSM



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

013069782

TK01
188

重点用能行业 节能技术

国家发展改革委经济运行调节局
国家电网公司营销部
南方电网公司市场营销部

编



DSM



北航

C1678451

TK01

188



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

《电力需求侧管理系列丛书》是国家发展和改革委员会开展电力需求侧管理培训工作的推荐用书，丛书共 13 个分册，涵盖电力需求侧管理工作的管理、技术、工具三个层面。

本书是其中的《重点用能行业节能技术》分册，具体介绍了钢铁、电力、建材、石化和化工等重点用能行业的相关节能技术。全书共分四章，第一章钢铁行业节能技术，第二章电力行业节能技术，第三章建材行业节能技术，第四章石化和化工行业节能技术。

本丛书可供各级政府主管部门、电网企业、能源服务机构、电力用户相关人员阅读、使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

重点用能行业节能技术/国家发展改革委经济运行调节局，国家电网公司营销部，南方电网公司市场营销部编。—北京：中国电力出版社，2013.8

(电力需求侧管理系列丛书)

ISBN 978-7-5123-4710-6

I. ①重… II. ①国… ②国… ③南… III. ①工业生产—节能—技术培训—教材 IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 158219 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 8 月第一版 2013 年 8 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 6.75 印张 97 千字

印数 0001—3000 册 定价 17.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

《电力需求侧管理系列丛书》编委会

主任 鲁俊岭

副主任 徐阿元 吴建宏 王 勤 胡兆光

编委 (按姓氏笔画排序)

马丽华	王玉萍	王成强	王 林	王宗义	王海龙
王海波	王 榕	王德亮	王 鑫	韦加雄	卞忠庆
左松林	田永军	史景坚	冯小维	朱 炯	朱 清
乔 昆	任 泽	华普校	刘学军	刘宪明	刘继东
关长祥	江 峰	孙红光	李开明	李永宁	李 郁
李绍祥	李洪宾	李家才	李惊涛	杨仁泽	杨锦辉
何 胜	汪穗峰	张庆云	张兴华	张 军	张志飞
张 波	张南娇	张艳红	张继刚	张 磊	陈少江
陈 军	陈 枫	范继臣	林世良	金必煌	金国生
周新民	郑建平	赵小平	赵青山	胡占廷	钟树海
段学民	姜林福	羿宗胤	夏云飞	夏 鑫	顾国栋
徐 兵	徐 磊	卿三红	郭炳庆	朗 琼	陶时伟
黄永斌	黄志明	黄惠英	梅学民	曹念忠	崔海山
董 新	舒旭辉	路民辉	詹 昕	廉国海	颜庆国
薛建虎	檀跃亭	魏宏俊			

《电力需求侧管理系列丛书》编写组

组 长 陈江华

副组长 周 珏 徐杰彦

编写人员 (按姓氏笔画排序)

丁 胜 王振宇 王 鹤 尹玉霞 吕晓剑
闫华光 吴亚楠 吴在军 李玉琦 李 军
李铁男 李涛永 李德智 邱泽晶 张小松
陈 磊 苗常海 周伏秋 周 莉 周 晖
单葆国 钮文洁 黄学良 曹 荣 蒋利民
谭显东 Wolfgang Eichhammer

前 言

为深入开展电力需求侧管理工作，增强全社会科学用电、节约用电、有序用电的意识，提高从业人员电力需求侧管理业务水平，国家发展和改革委员会经济运行调节局会同国家电网公司营销部、南方电网公司市场营销部组织有关单位和专家编写出版了《电力需求侧管理系列丛书》。

本丛书共 13 个分册，涵盖电力需求侧管理工作的管理、技术、工具三个层面。其中，管理层面有《中国节约能源法规与政策解析》《综合资源规划与资源选择》等分册；技术层面有《能效电厂理论与实践》《负荷特性及优化》《重点用能行业节能技术》《能源审计》《通用节能技术》《分布式能源与热电冷联产》《空调与热泵技术》《电机系统节能技术》《电蓄冷蓄热技术及技术经济评估》等分册；工具层面有《节能量和节约电力测量与核证》《欧盟能效指令与白色证书》等分册。

本丛书是国家发展和改革委员会开展电力需求侧管理培训工作的推荐用书，可供各地政府主管部门、电网企业、能源服务机构、电力用户相关人员阅读、使用。

丛书的编写得到了国家发展和改革委员会能源研究所、能源基金会、德国国际合作机构、国际自然资源保护协会、国网能源研究院、中国电力科学研究院、东南大学、北京交通大学等单位、机构和专家的大力支持。

本分册为《重点用能行业节能技术》，由国家发展和改革委员会能源研究所周伏秋、刘志平主编，其中刘志平、周伏秋负责编写第一章，周伏秋、王健夫

负责编写第二、第三章，刘志平、李永亮负责编写第四章。全书由清华大学孟昭利教授主审。

由于编写时间仓促，书中难免存在疏漏之处，恳请各位专家和读者提出宝贵意见。

编者

2013年6月

目 录

前言

第一章 钢铁行业节能技术	1
第一节 干法熄焦技术.....	2
第二节 炼焦煤调湿技术.....	4
第三节 烧结余热发电技术.....	7
第四节 高炉炉顶余压发电技术.....	9
第五节 低热值高炉煤气燃气—蒸汽联合循环发电技术.....	12
第六节 转炉煤气高效回收利用技术.....	14
第七节 高炉鼓风除湿节能技术.....	17
第八节 全烧高炉煤气锅炉技术.....	19
第九节 蓄热式燃烧技术.....	21
第十节 矿热炉节能技术.....	23
第二章 电力行业节能技术	26
第一节 燃煤锅炉气化微油点火技术.....	26
第二节 燃煤锅炉等离子煤粉点火技术.....	29
第三节 电—袋复合除尘器节能技术.....	31
第四节 电站锅炉空气预热器柔性接触式密封技术.....	33
第五节 锅炉智能吹灰优化与在线结焦预警技术.....	35
第六节 电站锅炉用邻机蒸汽加热启动技术.....	37
第七节 脱硫岛烟气余热回收及风机运行优化技术.....	39
第八节 火电厂厂级监控信息系统应用技术.....	41

第九节	火电厂烟气综合优化系统余热深度回收技术	43
第十节	汽轮机通流部分节能改造技术	46
第十一节	汽轮机汽封改造技术	47
第十二节	汽轮机组运行优化技术	49
第十三节	火电厂凝汽器真空保持节能技术	51
第三章	建材行业节能技术	54
第一节	水泥窑纯低温余热发电技术	54
第二节	高效节能选粉技术	56
第三节	辊压机粉磨技术	58
第四节	立式磨装备及技术	60
第五节	多通道燃烧器技术	62
第六节	玻璃窑余热发电技术	64
第七节	全氧燃烧技术	66
第八节	HFKH 快速沸腾烘干技术	67
第九节	中石石灰立窑技术	69
第十节	低辐射节能玻璃技术	71
第四章	石化和化工行业节能技术	73
第一节	水溶液全循环尿素节能生产技术	73
第二节	合成氨节能改造综合技术	76
第三节	膜极距离子膜电解技术	77
第四节	热法磷酸生产热能利用节能新技术	79
第五节	炭黑生产过程余热利用和尾气发电(供热)技术	81
第六节	裂解炉空气预热节能技术	83
第七节	变压吸附法从催化干气中回收乙烯技术	84
第八节	渗透汽化膜分离节能技术	86
第九节	气分装置深度热联合技术及低温热利用技术	88
第十节	换热设备超声波在线防垢、除垢技术	90

第十一节	氨合成回路分子筛节能技术	92
第十二节	密闭环保节能型电石生产技术	93
第十三节	大中型硫黄制酸装置低温热位能回收技术	95
参考文献	98

钢铁行业是国民经济的重要基础产业,同时也是重点耗能行业。2010年,我国钢铁行业能源消费占全国一次能源消费总量的比重约为18%。钢铁行业能源消费以煤为主,其次是电力,历来是国家节能管理的重点行业之一。钢铁行业的节能途径包括淘汰落后钢铁生产能力、装备大型化、开发和推广节能技术、调整产品结构、发展循环经济、加强能源管理等,其中开发和推广节能技术是钢铁行业节能的重大有效途径。“十一五”时期,钢铁行业节能技术进步取得了明显进展:钢铁企业1000m³及以上高炉的生产能力所占比例由49.3%提高到60.9%,1000m³及以上转炉高炉的生产能力所占比例由44.9%提高到56.7%,大部分企业已配备铁水预处理、钢水二次精炼设施,精炼比达到70%;轧钢系统基本实现全轧制;高炉炉顶余热发电技术,煤气回收利用及蓄热式余热回收技术得到较为广泛的应用;2000m³以上高炉炉顶余压发电技术的配备率达到100%,每吨钢的综合能耗降至605kg标准煤。

然而,钢铁行业可用的节能技术中,大多数的普及度不高,因此需要在行业全面推广,节能技术创新,以及现有成熟节能技术的推广应用,仍将是未来钢铁行业节能的有效途径,有关机构的研究结果表明:“十二五”时期,如果干法熄焦技术、炼焦煤调湿技术、空炉余热发电技术、高炉炉顶余压发电技术、低热值高炉煤气燃气-蒸汽联合循环发电技术、高炉煤气炉顶节能技术、全炉高炉煤气保护技术、转炉煤气高效回收利用技术、蓄热式燃烧技术、正热炉节能技术等能及时得到推广应用,将为钢铁行业带来显著的节能效益和经济效益。

钢铁行业节能技术

钢铁行业是国民经济的重要基础产业，同时也是重点用能行业。2010年，我国钢铁行业能源消费量占全国一次能源消费总量的比重约为18%。钢铁行业能源消费以煤为主，其次是电力，历来是国家节能管理的重点行业之一。钢铁行业的节能途径包括淘汰落后钢铁生产能力、装备大型化、开发和推广节能技术、调整产品结构、发展循环经济、加强能源管理等，其中开发和推广节能技术是钢铁行业节能的重大有效途径。“十一五”时期，钢铁行业节能技术进步取得了明显进展：钢铁企业1000m³及以上高炉的生产能力所占比例由48.3%提高到60.9%；100t及以上炼钢转炉的生产能力所占比例由44.9%提高到56.7%；大部分企业已配备铁水预处理、钢水二次精炼设施，精炼比达到70%；轧钢系统基本实现全连轧；高炉炉顶余压发电技术、煤气回收利用及蓄热式燃烧等节能技术得到较为广泛的应用；2000m³以上高炉炉顶余压发电技术的配备率达到100%，每吨钢的综合能耗降至605kg标准煤。

然而，钢铁行业可用的节能技术中，大多数的普及率不高，尚没有在行业全面推广。节能技术创新，以及现有成熟节能技术的加快推广，仍将是未来钢铁行业节能的有效途径。有关机构的研究结果表明：“十二五”时期，如果干法熄焦技术、炼焦煤调湿技术、烧结合余热发电技术、高炉炉顶余压发电技术、低热值高炉煤气燃气—蒸汽联合循环发电技术、高炉鼓风除湿节能技术、全烧高炉煤气锅炉技术、转炉煤气高效回收利用技术、蓄热式燃烧技术、矿热炉节能技术等能及时得到推广应用，将为钢铁行业带来显著的节能效益和经济效益。

第一节 干法熄焦技术

干法熄焦（Coke Dry Quenching, CDQ）技术是国内外应用较广泛的一项节能技术，简称干熄焦。干熄焦是相对于用水熄灭炽热红焦的湿熄焦而言的，它是回收红焦显热和改善操作环境的一项先进工艺技术。该技术的使用有利于提高焦化工艺装备水平，提高焦炭质量，降低焦化工序能耗和改善大气环境。

一、技术原理和特点

1. 技术原理

干熄焦技术的基本原理是：利用冷的惰性气体（如氮气、氩气等）或燃烧后的废气，在干熄炉中与炽热红焦换热从而冷却红焦，吸收了红焦热量的惰性气体将热量传给干熄焦锅炉产生蒸汽，被冷却的惰性气体再由循环风机鼓入干熄炉冷却红焦。干熄焦锅炉产生的中压（或高压）蒸汽并入厂内蒸汽管网或送去发电（见图 1-1）。

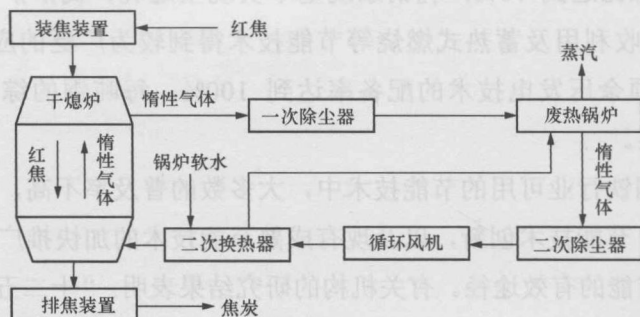


图 1-1 干熄焦（CDQ）技术流程

干熄焦装置包括焦炭运行系统、惰性气体循环系统和锅炉系统。从炭化室中推出的 950~1050℃ 的红焦经过拦焦机的导焦栅落入运载车上的焦罐内。运载车由电机车牵引至提升机井架底部，由提升机将焦罐提升至井架顶部，再平

移到干熄炉炉顶，通过炉顶装入装置将焦炭装入干熄炉。炉中焦炭与惰性气体直接进行热交换，冷却至 250℃ 以下。冷却后的焦炭经排焦装置卸到皮带输送机上，再经炉前焦库送筛焦系统。

2. 技术特点

(1) 回收红焦显热。出炉的红焦显热占焦炉能耗的 35%~40%，这部分能量相当于炼焦煤能量的 5%，将其回收和利用，可起到节能降耗的作用，同时可大大降低冶金产品成本。

(2) 采用干熄焦可回收 80% 的红焦显热。平均每熄 1t 焦炭，可回收 4.5MPa/450℃（常规中温中压）的蒸汽 0.45~0.6t。蒸汽可直接送入蒸汽管网，也可用于发电。

(3) 改善焦炭质量。在保持原焦炭质量不变的条件下，该技术的使用可以降低强黏结性的焦、肥煤配入量 10%~20%，多用 15% 弱黏结性煤，有利于保护资源和降低焦炭成本。

(4) 减少环境污染。由于干熄焦能够产生蒸汽（5~6t 蒸汽需要 1t 动力煤），并可用于发电，因此可以避免生产相同数量蒸汽的锅炉燃煤对大气的污染，尤其减少了 SO₂、CO₂ 排放。

(5) 经济效益显著。干熄焦的经济效益完全可以抵消其投资高的不足，其内部收益率（税后）可达 12.5%~20%，大大高于基准收益率 7%，5~8 年即可收回全部投资。

二、技术发展与应用现状

截至 2002 年末，全日本 15 家焦化厂中，90% 的焦炉采用了干熄焦技术，其中处理能力大于 100t/h 的达 20 套。当前世界各国已投产、正在施工和设计的干熄焦装置约 300 套。

2005 年，我国实现了干熄焦技术与设备的国产化、大型化和系列化，大中型钢铁企业纷纷兴建干熄焦装置。“十一五”末期，我国在建和已投产的干熄焦装置共 100 多套，焦炭产能占全国机焦产能的 30% 以上。按干熄焦能力计算，我国位居世界第一。

三、典型项目节能减排效益

某企业干熄焦节能技改项目，针对年产 116 万 t 的 4 座 42 孔的焦炉，设计了 2 套焦炭处理能力为 70t/h 的干熄焦装置，配备 2 台 35t/h 的余热锅炉及 1 台 6300kW 的背压发电机。技改完成后，干熄焦装置产出的次高压蒸汽（5.4MPa、450℃）经背压发电 5600kW 后供出的 1.0MPa 蒸汽供应生产用汽，每吨焦产汽达 0.45t 以上，排焦温度为 250℃ 以下，排放到大气中的粉尘浓度仅为 65mg/m³（标准状态），年创经济效益 5540.4 万元。此外，焦炭质量明显改善，M40 比湿熄焦提高约 5%，M10 降低约 0.7%，降低了炼铁焦比。

四、推广应用与节能减排潜力

在国家对节能环保的要求越来越严格、能源价格越来越高、能源供应越来越紧张的情况下，干熄焦技术的优点越发显著，它对回收炼焦余热、改善操作环境、实现循环经济具有重大现实意义。钢铁行业应大力推广干熄焦技术，加快对已有焦炉的干熄焦改造；新建设备应同时配备干熄焦装置，尤其应推广回收品质高的高压干熄焦技术。

预计到“十二五”末期，干熄焦技术在钢铁行业的推广比例将由 2010 年的 30% 提高到 63%，可形成 951t 标准煤的年节能能力、2217 万 t 的 CO₂ 减排能力。

第二节 炼焦煤调湿技术

装炉煤水分控制工艺简称炼焦煤调湿（Coal Moisture Control, CMC），它是将炼焦煤料在装炉前去除一部分水分，保持装炉煤水分稳定在 6% 左右，然后装炉炼焦。

炼焦煤调湿通过直接或间接加热来降低并稳定控制入炉煤的水分，不追求最大限度地去除入炉煤的水分，而只把水分稳定在相对低的水平，降低炼

焦耗热量，从而降低炼焦能耗。该技术既可达到增加效益的目的，又不因水分过低而引起焦炉和回收系统操作的困难，从而达到使入炉煤密度增大、焦炭及化工产品增产、焦炉加热用煤气量减少、焦炭质量提高和焦炉操作稳定等效果。

一、技术原理和特点

1. 技术原理

炼焦煤调湿技术是以高于 200°C 的焦炉烟道废气为热源，首先在流化床上对炼焦煤进行干燥处理，使炼焦煤水分降低 $3\%\sim 4\%$ ；然后按炼焦煤粒度和密度的不同对其进行风选处理，分离出 $30\%\sim 50\%$ 适宜炼焦粒度的细粒煤不再粉碎，减少粉碎机的处理能力，实现节能；同时，将除尘器分离出来的最易扬尘的细煤尘压制成型煤，入炉炼焦（见图 1-2）。

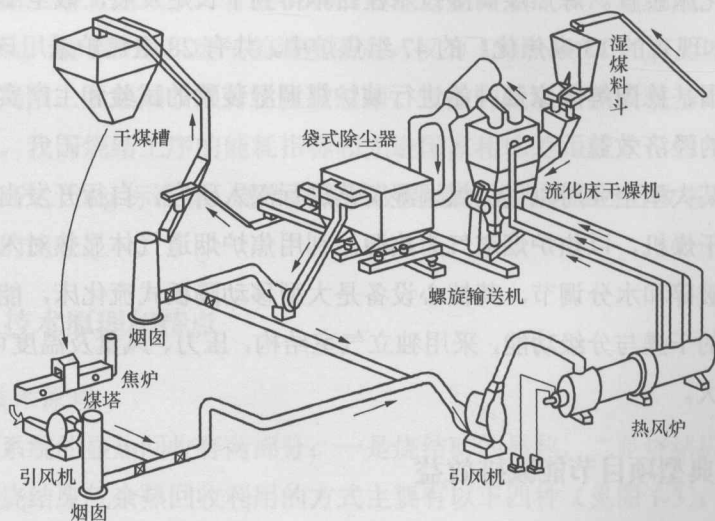


图 1-2 炼焦煤调湿技术流程

2. 技术特点

(1) 采用炼焦煤调湿技术后，当煤料含水量从 11% 下降至 6% 时，炼焦耗

热量节省 310MJ/t (干煤) 左右, 折合约每顿焦 14kg 标准煤。

(2) 由于装炉煤水分降低, 使装炉煤堆密度增大, 干馏时间缩短, 因此, 焦炉的生产能力可以提高 11%。

(3) 改善焦炭质量, 焦炭反应后强度提高 1~3 个百分点; 在保证焦炭质量不变的情况下, 可多配弱黏结煤 8%~10%, 降低了成本。

(4) 煤料水分的降低可减少 1/3 的剩余氨水量, 相应减少剩余氨水蒸氨用蒸汽 1/3, 同时也减轻了废水处理装置的生产负荷。

(5) 节能的社会效益是减少温室效应, 平均每吨入炉煤可减少约 35.8kg CO₂ 排放。煤料水分的稳定可保持焦炉操作的稳定, 益于延长焦炉寿命。

二、技术发展与应用现状

日本先后开发了三代炼焦煤调湿技术: ①热煤油干燥方式; ②蒸汽干燥方式; ③流化床装置。炼焦煤调湿技术在日本得到了长足发展, 截至 2000 年 10 月, 在日本现有的 15 家焦化厂的 47 组焦炉中, 共有 28 组焦炉采用该技术。近几年, 美国、德国等国家都开始进行装炉煤调湿装置的试验和生产实践, 均取得了很好的经济效益。

我国某大型企业以往对煤调湿工艺进行深入研究, 自行开发出了带风选的流化床干燥机, 以焦炉烟道气为热源, 利用焦炉烟道气体显热对入炉炼焦煤进行风选破碎和水分调节。其核心设备是大型移动隔板式流化床, 能够同时实现炼焦煤的干燥与分级功能, 采用独立气室结构, 压力、风量及温度可调性强, 操作弹性大。

三、典型项目节能减排效益

以 120 万~150 万 t/年规模的焦化厂为例, 采用炼焦煤调湿技术, 需要投资 6000 万元, 年节能 1.68 万~2.10 万 t 标准煤 (按每吨焦节能 14kg 标准煤推算), CO₂ 年排放量减少 3.5 万~4.41 万 t, 直接经济效益 1176 万~1470 万元/年, 投资回收期为 4 年。

四、推广应用与节能减排潜力

炼焦煤调湿技术是焦化厂节能和发展循环经济的有效措施，如果实施方案设计合理，则具有很好的推广价值。我国旱季、雨季分明，入炉煤水分波动很大，南方地区尤为突出，雨季的入炉煤水分高达 12% 以上。若入炉煤水分从 12% 降至 6%，则雨季焦炉的能耗将下降 10%~15%。

预计到“十二五”末期，炼焦煤调湿技术在钢铁行业的推广比例将由 2010 年的 10% 提高到 40%，可形成 252 万 t 标准煤的年节能能力、585 万 t 的 CO₂ 减排能力。

第三节 烧结余热发电技术

在烧结工序总能耗中，有近 50% 的热能以烧结烟气和冷却机废气的显热形式排入大气。由于冷却机废气的温度不高，仅为 150~450℃，加上以前余热回收技术的局限，余热回收项目往往被忽略，大量的低温余热废气基本没有得到充分利用。我国烧结工序的能耗指标和先进国家相比差距较大，每吨烧结矿的平均能耗高达 20kg 标准煤。烧结余热回收是提高烧结能源利用效率、降低烧结工序能耗的途径之一。

一、技术原理和特点

1. 技术原理

烧结系统的显热回收有两部分：一是烧结矿的显热，二是烧结机尾部烟气的显热。烧结废气余热回收利用的方式主要有以下四种（见图 1-3）：

- (1) 利用余热锅炉产生蒸汽或提供热水，直接利用。
- (2) 用冷却器的排气代替烧结机点火器的助燃空气或用于预热助燃空气。
- (3) 将余热锅炉产生的蒸汽，通过汽轮机及其他装置转换成电力。
- (4) 将排气直接用于预热烧结机的混合料。