

660 MW 机组的烟气余热能级阶梯利用技术 节能效果对比分析

韩仙飞¹, 曾浩², 曾渝娟², 白金德³, 孙淮林²

(1. 国电都匀发电有限公司, 贵州 黔南 550500; 2. 广东中节能环保有限公司, 广东 东莞 523073;
3. 国核电力规划设计研究院, 北京 100095)

摘 要:随着燃煤电厂烟气余热回收技术的发展, 低温省煤器的排烟温度多被限制在 130 ~ 150 ℃。根据烟气余热能级阶梯利用原理, 结合国电都匀发电有限公司现有的 660 MW 机组的运行数据, 对中温省煤器 + 低温省煤器的组合工艺方案进行了初步设计, 在此基础上利用传统的等效焓降法进行经济性计算, 结果表明该技术节能效果显著。

关键词:烟气余热; 阶梯利用; 省煤器

中图分类号:TK 222 **文献标志码:**B **文章编号:**1674 - 1951(2017)04 - 0056 - 04

0 引言

传统的燃煤电厂烟气余热回收技术, 是在电站锅炉尾部空气预热器(以下简称空预器)后安装低温省煤器。该技术利用低温烟气余热加热凝结水, 以减少回热系统的抽汽量, 使汽轮机总功率增加, 从而提高机组的经济性^[1]。由于进入低温省煤器的凝结水温度不能超过锅炉排烟温度, 因此受制于 130.0 ~ 150.0 ℃ 的入口烟气温度, 回收的余热十分有限^[2-4]。新型的烟气能级阶梯利用技术, 利用空预器小旁路布置, 使进入中温省煤器的入口烟温提高至 370.0 ℃ 左右, 此技术具有更好的节能效果^[5]。本文以国电都匀发电有限公司 660 MW 超临界凝汽式燃煤发电机组运行数据为例, 对传统的烟气余热回收技术与新型的烟气能级阶梯利用技术进行经济性对比分析。

1 机组简介

国电都匀发电有限公司 660 MW 超临界凝汽式

燃煤发电机组采用 N600 - 24.2/566/566 型超临界、一次中间再热、凝汽式汽轮机, 锅炉为 DG2141/25.4 - II7 型超临界直流锅炉, 空预器出口烟气温度为 150.0 ℃。汽轮机各级回热加热器的热力参数见表 1。

2 传统的烟气余热回收技术

传统的燃煤电厂烟气余热回收技术工艺流程图如图 1 所示, 低温省煤器布置在空预器后烟道中, 热源是空预器后高温烟气, 经低温省煤器后降温; 冷源是回热系统中凝结水, 从 #8 低压加热器(以下简称低加)出口引入经低温省煤器被加热之后再回到 #6 低加。

3 烟气能级阶梯利用技术

烟气能级阶梯利用技术能够提高锅炉烟气余热回收的效率, 是一种利用空预器小旁路烟气进行烟气余热回收的全新技术。该技术将烟气换热器分段布

表 1 各级回热加热器的热力参数

项目	抽汽压力/MPa	抽汽比焓/(kJ · kg ⁻¹)	抽汽质量流量/ (kg · h ⁻¹)	给水进口温度/℃	给水出口温度/℃
#1 高压加热器	6.42	3 077.1	141 619	253.0	279.7
#2 高压加热器	4.31	2 985.0	121 351	216.2	253.0
#3 高压加热器	2.22	3 409.5	77 156	188.1	216.2
除氧器	1.10	3 203.8	312 289	135.7	188.1
#5 低压加热器	0.36	2 943.7	25 392	115.1	135.7
#6 低压加热器	0.20	2 815.8	25 406	94.7	115.1
#7 低压加热器	0.10	2 690.3	56 604	71.3	94.7
#8 低压加热器	0.04	2 552.8	80 895	35.4	71.3

置, 把中温省煤器布置在与空气预热器并联的小旁路烟道中, 加热高压加热器(以下简称高加)给水, 替代

收稿日期: 2017 - 03 - 17; 修回日期: 2017 - 04 - 12

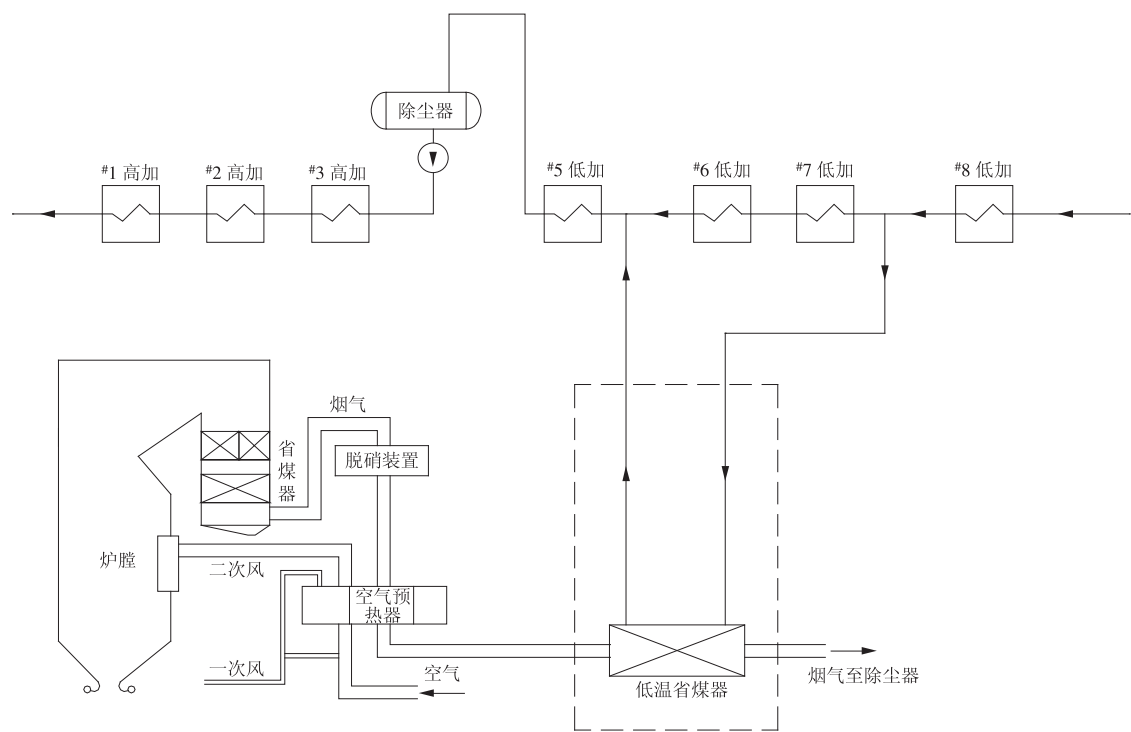


图 1 传统的烟气余热回收技术工艺流程

部分高加抽汽做功;经中温省煤器余热回收的烟气再次与空预器出口的烟气汇合后,继续进入低温省煤器加热一、二次风;中温省煤器和低温省煤器的组合,充分利用不同温度的烟气热量加热分段高压给水、低压给水和一、二次风,从而实现了烟气余热的阶梯利用,提高能量的利用效率。烟气能级阶梯利

用技术工艺流程如图 2 所示。

从图 2 可以看出,烟气换热器采用分段布置,第 1 级与第 2 级中温省煤器布置在空预器的小旁路烟道;小旁路烟气量为 24.3%,小旁路的烟气热量分别用于替代 #1, #2, #3 高加与 #5 低加的抽汽,加热凝结水;第 3 级低温省煤器布置在空预器后除尘器

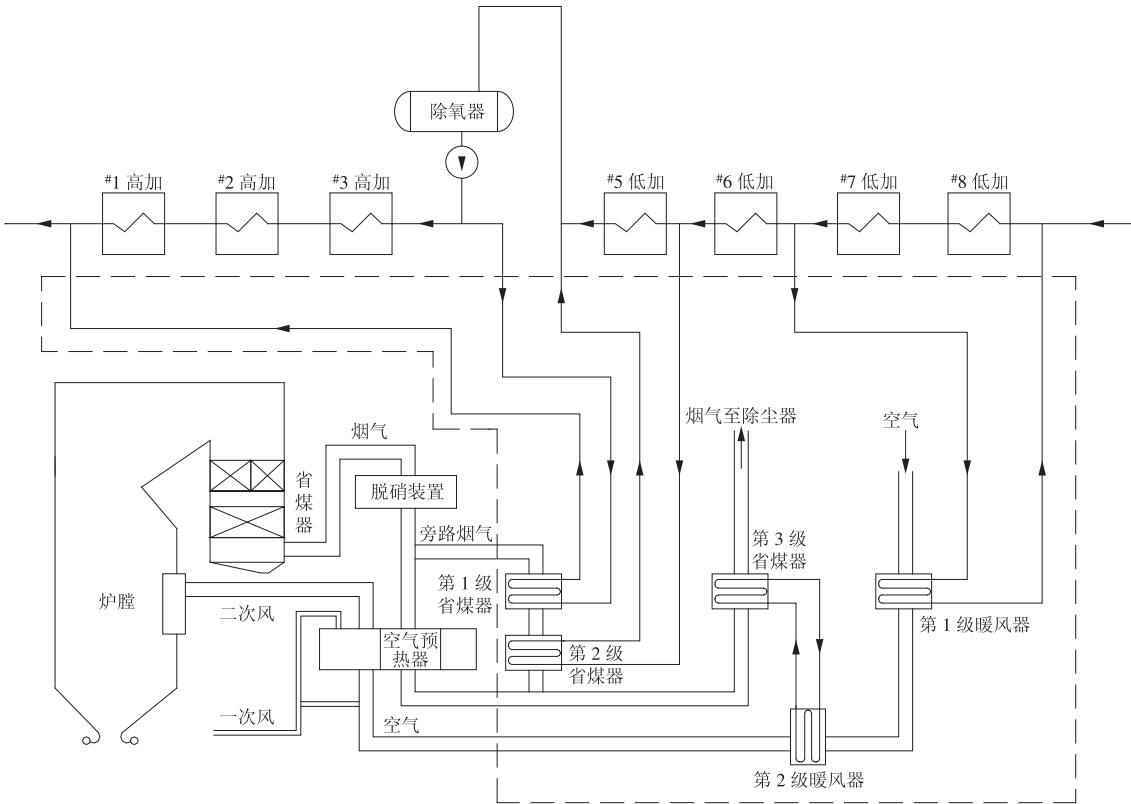


图 2 烟气能级阶梯利用技术工艺流程

前烟道上,与第 2 级暖风器配套,回收的烟气热量用于加热一、二次风;第 1 级暖风器利用 #7 低加出口凝结水加热一、二次风,暖风器水侧进、出口与汽轮机回热系统 #7, #8 低加并联连接。

4 节能效果对比分析

燃煤锅炉烟气余热利用工艺的热力学分析主要采用了等效焓降法。等效焓降法是一种基于热力学热功转换原理,考虑设备质量、热力系统结构和参数的特点,衡量热工转换或能量利用程度的简明准确的量化方法。根据已定的蒸汽参数和回热系统参数,假设机组新蒸汽流量、燃料供应量为定值,热力系统的微小变化不会引起各级抽汽量的全部变化,只对某几级产生影响,系统所有少抽蒸汽所增加的发电功率,都会使汽轮机效率提高^[6-7]。当热量加入系统后,只对局部系统产生影响时,等效焓降法体现出方法简单、计算准确等优势。

国电都匀发电有限公司 660 MW 超临界凝汽式燃煤发电机组空预器入口烟温为 365.0℃,排烟温度为 150.0℃,烟气换热器最低出口烟温设定为 115.0℃。传统的烟气余热利用技术(传统方案)在空预器后安装低温省煤器,取水口在 #8 低加出口,71.3℃ 给水被加热到 115.1℃ 后,回到 #6 低加出口。新型的烟气能级阶梯利用技术(阶梯方案),空预器小旁路的烟气量占总烟气量的 24.3%。第 1 级中温省煤器的取水口在 #3 高加入口,188.1℃ 给水被加热到 279.7℃ 后,回到 #1 高加出口。第 2 级中温省煤器与 #5 低加并联,从 #5 低加入口引出 115.1℃ 凝结水,被加热到 135.7℃ 后回到 #5 低加出口。第 1 级暖风器利用 #7 低加出口凝结水将一、二次风从 25.0℃ 预热至 38.0℃。第三级低温省煤器将空预器入口一、二次风(在第 1 级暖风器后)持续加热,风温由 38.0℃ 加热至 78.0℃ 后,进入空预器。

根据以上烟气与空气热力参数以及表 1 中回热系统参数,进行热力系统核算,结果见表 2。

从表 2 的计算结果可以看出,烟气能级阶梯利用技术改造前后,进入炉膛的一、二次风温度没有改变,对锅炉效率基本没有影响。在消耗相同燃料的情况下,在一定的烟气量下,烟气温度越高,回收热量加热的水温就越高,回收热量越多,相应的做功也越多,从而得到较多的发电量。在扣除系统新增能耗后,可节省发电标准煤耗约 7.5 g/(kW·h),比目前安装的低温省煤器多节约发电标准煤耗约 4.6 g/(kW·h),大大地提高了机组的经济性。

表 2 两种方案热力系统核算结果

名称	传统方案	阶梯方案
炉膛出口过量空气系数	1.200	1.200
空预器出口过量空气系数	1.295	1.295
空预器烟气旁路比例/%		24.3
空预器入口烟气温度/℃	365.0	365.0
空预器出口烟气温度/℃	150.0	150.0
旁路第一级省煤器出口烟气温度/℃		218.0
旁路第二级省煤器出口烟气温度/℃		150.0
旁路第三级省煤器出口烟气温度/℃		115.0
低温省煤器出口烟气温度/℃	115.0	
一、二次风机出口空气温度/℃	25.0	25.0
第一级暖风器出口空气温度/℃		38.0
第二级暖风器出口空气温度/℃		78.0
一次风率/%	21.2	21.2
空预器出口二次风温度/℃	330.0	330.0
空预器出口旁路后一次空气温度/℃	260.0	260.0
旁路第一级省煤器加热给水质量流量/(t·h ⁻¹)		241.7
给水质量流量占总给水质量流量比例/%		13.0
旁路第二级省煤器加热凝结水质量流量/(t·h ⁻¹)		512.1
加热凝结水质量流量占总凝结水质量流量比例/%		36.4
低温省煤器加热凝结水质量流量/(t·h ⁻¹)	530.8	
加热凝结水质量流量占总凝结水质量流量比例/%	37.7	
每小时空预器传热量/GJ	597.6	453.6
每小时第一级与第二级暖风器传热量/GJ		144.0
每小时烟气余热回收热量/GJ	97.2	97.2
总降低发电标准煤耗/[g·(kW·h) ⁻¹]	2.9	7.5

5 结束语

烟气能级阶梯利用技术,是对传统锅炉尾部烟气余热回收工艺流程再造,减少了热力循环系统的不可逆性。相对传统的低温省煤器技术,除在节能指标上的突破外,还具有减少空预器漏风、降低空预器冷端腐蚀、减小脱硝产生的(亚)硫酸氢铵在空预器内形成的堵塞、提高电除尘效率区域以及减少脱硫工艺用水等安全环保的良好效果。参照国电都匀发电有限公司回热系统各级加热器的热力参数,通过烟气余热回收技术传统方案与烟气能级阶梯利用技术方案的模拟对比,结果表明,烟气能级阶梯利用技术的经济性和可靠性更高。

参考文献:

[1]林万超. 火电厂热系统节能理论[M]. 西安:西安交通大学出版社,1994.

[2]熊杰,张超,赵海波,等. 基于热经济学结构理论的电站热力系统全局优化[J]. 中国电机工程学报,2007,27(26):65-71.

[3]钟礼金,宋玉宝. 锅炉 SCR 烟气脱硝空气预热器堵塞原因及其解决措施[J]. 热力发电,2012,41(8):45-47,50.

[4]李中华,刘建军,柳正军. 降低电站锅炉排烟温度新技术研究与应用[J]. 中国电力,2001,34(1):13-15.

[5]叶勇健,申松林. 欧洲高效燃煤电厂的特点及启示[J]. 电力建设,2011,32(1):54-58.

[6]张才稳,王声远. “等效焓降法”与常规热平衡法一致性分析[J]. 湖北电力,1999,23(3):10-12.

[7]张红方,王勇,田松峰,等. 基于等效焓降法的低压省煤器系统经济性分析[J]. 节能技术,2011,29(5):457-461.

(本文责编:刘炳锋)

作者简介:

韩仙飞(1972—),男,贵州遵义人,助理工程师,从事火电厂生产技术管理与节能研究方面工作(E-mail:490969145@qq.com)。

曾浩(1988—),男,湖南益阳人,工程师,从事电站锅炉烟气余热利用设计研究方面的工作(E-mail:zenghao1109@163.com)。

《华电技术》征稿启事

《华电技术》是经国家新闻出版总署批准,由中国华电集团公司主管,华电郑州机械设计研究院有限公司、中国华电工程(集团)有限公司主办,国内外公开发行的技术性期刊。国内统一连续出版物号 CN41-1395/TK,国际标准连续出版物号 ISSN 1674-1951。《华电技术》是中国核心期刊(遴选)数据库源刊和中国学术期刊综合评价数据库源刊,已加入《中国学术期刊(光盘版)》、“中国期刊网”、“万方数据——数字化期刊群”及美国《乌利希期刊指南(UPD)》等期刊文献数据库,是中国电力优秀期刊。

本刊以技术前瞻性、学术性、应用性为先导,面向电力行业的各级管理人员、专家学者、工程技术人员、科研人员、电力一线人员和电力客户以及相关科研教学机构、学术组织等,为广大电力科技工作者及关心电力发展的有志之士提供自由的技术交流平台。主要栏目有:“专家论坛”“专题综述”“研究与开发”“技术交流”“节能与环保”“新能源”等。

来稿要求:

- (1)文章主题明确,材料真实,结构严谨,文字简明准确,符合创新性、科学性、实用性原则,学术类、专题类、综述类论文一般不超过 6000 字,其他文稿 4000 字以内为宜。
- (2)文章题目不超过 20 字,提供 5~8 个中文关键词,200~300 字的中文摘要,并翻译成英文;同时还需提供作者单位及英文名称,作者姓名及汉语拼音,城市名及邮政编码。
- (3)摘要内容包括目的、方法、结果、结论四要素,要求用词准确,简明扼要;关键词应紧扣主题,并符合电力主题词表要求等。
- (4)文稿应正确使用国家法定计量单位及符号,对文中首次出现的非公知公用的缩略语要在括号中注明全称,对外文字母、数学符号要区分其大小写、正斜体、上下角标。
- (5)插图要有图序和简洁的图题,并将图序、图题、图注等标在相应图框下方。
- (6)参考文献仅著录作者亲自阅读过并在文稿中直接引用的公开发表的文献,在引文处标注序号。参考文献表中所列专著和论文应标明:作者、文献题名、出版社、出版地、出版年和页码,或者期刊名称、年号、期次、页码,并在题名后标注文献类型标识:[M]图书;[C]会议录;[G]汇编;[N]报纸;[J]期刊;[D]学位论文;[R]报告;[S]标准;[P]专利;[DB]数据库;[CP]计算机程序;[EB]电子公告;[A]档案;[CM]舆图;[DS]数据集;[Z]其他。
- (7)国家、省部级重大科研攻关项目及基金资助项目,请注明项目名称及项目编号。
- (8)文稿请提供 word 电子文档,文中图片可以以单独电子文档提供(文档格式:. dxf,. dwg,. eps 等矢量图格式)。请勿一稿多投,不论采用与否,恕不退稿。30 天内未接到本刊录用通知,作者可自行处理。
- (9)作者需提供:姓名、出生年、性别、民族、籍贯、职务、职称、学位、研究方向、有效联系电话、电子邮箱、通信地址、邮编等。

欢迎登录《华电技术》网站(www. hdpower. net) 进行网上投稿。

《华电技术》编辑部联系方式:

地址:河南省郑州市郑东新区龙子湖湖心岛 E2-3-01 邮编:450046 咨询电话:0371-58501042/1058
广告部电话:0371-58501038 传真:0371-58501055
E-mail:hdjs-chd@vip.163.com hdjs@chec.com.cn