

结合生产工艺利用余热发电方案分析

雍青青¹, 杨 茉¹, 吕海涛¹, 吕 进¹, 邵志刚²

(1. 上海理工大学 能源与动力工程学院, 上海 200093; 2. 上海电气工程设计有限公司, 上海 200241)

摘要: 提出在不改变原生产工艺的前提下, 结合生产工艺过程设计利用余热发电方案, 尽量提高发电参数, 以提高发电效率和余热利用效率. 针对某轧钢加热炉进行了3种利用余热发电方案的分析计算. 结果表明: 3种方案理论上均可行, 其中有补燃的方案热利用效率最高.

关键词: 余热发电; 加热炉; 节能

中图分类号: TK 124 **文献标志码:** A

Analysis of the Scheme of Waste Heat Power Generation with Processes

YONG Qing-qing¹, YANG Mo¹, LV Hai-tao¹, LV Jin¹, SHAO Zhi-gang²

(1. School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, 200093, China;
2. Shanghai Electric Engineering Consulting Co. Ltd., Shanghai 200241, China)

Abstract: With the prerequisite that the production technology maintains unchanged, three schemes of electricity generation by waste heat were proposed and compared. The three schemes designed are all applicable in theory. Among them, the scheme of supplying fuel to the furnace is the one of highest efficiency. It is proved designing a scheme of waste heat recovery for power efficiency improvement in consideration of the production technology process is reasonable and feasible.

Key words: waste heat generating electricity; steel rolling furnace; energy saving

余热利用的基本前提是要有合适的热用户. 我国工业生产中有大量余热, 例如钢铁行业, 其余热没有很好被利用的一个重要原因是没有合适的热用户^[1-6]. 如果能够采用余热发电, 由于电网的存在, 可以随时随地向电网送电, 一般可以不受时间和地点的限制. 因此, 从这个角度说, 采用余热发电当然

是余热利用的一个很好的选择. 但是, 余热通常是品位较低的能源, 从发电的角度看其中没有多少可用能, 直接利用余热发电通常效率很低, 往往得不偿失. 笔者曾测试了一台轧钢加热炉, 排烟温度大约可达360℃左右. 但即便是这么高的排烟温度, 可用能仍然不多, 直接用360℃的烟气余热建立热力发电

收稿日期: 2013-01-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51276118); 上海市振兴东北科技合作资助项目(111958205 00); 上海市科技创新行动计划资助项目(12D Z1200100)

第一作者: 雍青青(1985-), 女, 博士研究生. 研究方向: 热力系统优化与热电冷联供技术. E-mail: yongqingqing08@163.com

通讯作者: 杨 茉(1958-), 男, 教授. 研究方向: 热力系统优化与热电冷联供技术. E-mail: yangm66@gmail.com

系统,其发电效率仍很低.因此,提高余热发电效率,是利用余热发电所要解决的问题之一,其可能会影响到能否采用余热发电.为提高余热发电效率,徐文栋等^[7]提出了在不改变原生产工艺的前提下,尽量利用生产工艺过程中存在的高温热源构造蒸汽动力循环,以提高余热发电效率,并根据这种思路,针对实际检测的某轧钢加热炉排烟的热力参数,设计了几个不同的烟气余热发电方案.徐文栋等^[1]的分析计算表明,从理论上说,按照上述解决问题的思路对余热发电方案进行合理的设计,是有可能提高余热发电效率的.本文是在文献^[7]基础上的进一步工作.笔者进一步提出,对文献^[7]所考虑的同一台加热炉,在不改变炉膛中的烟气温度以保证原来生产工艺条件不变的前提下,在加热炉炉膛中布置高温受热面,同时补燃,提高发电蒸汽参数,从而提高发电效率的烟气余热利用方案.通过分析计算,本文验证了所提出的这种新方案,能够进一步提高余热发电效率,并且在理论上说,这种新方案是可以实现的.

1 轧钢加热炉余热发电方案设计

1.1 原轧钢加热炉系统

某轧钢厂有3台轧钢加热炉,全年满负荷运行在7500 h左右,轧钢加热炉结构如图1所示.每台加热炉每小时产生82385 m³的烟气,炉膛出口处排烟温度为759℃,空气预热器后的排烟温度为359℃,预热空气温度为477℃.

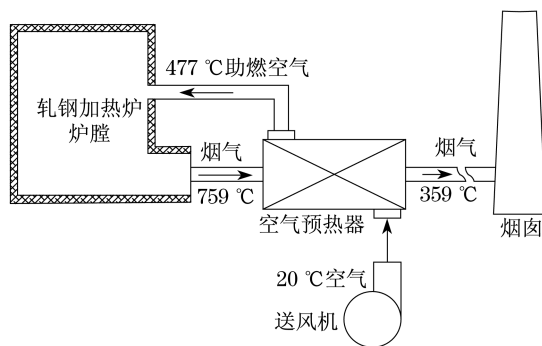


图1 轧钢加热炉原系统结构简图

Fig.1 Initial structure diagram of steel rolling furnace

本文针对这台加热炉,列出3种余热利用方案加以比较.

1.2 轧钢加热炉余热发电方案

方案1系统如图2所示,直接利用从空气预热

器排出的359℃烟气的余热,产生9.5 t/h的过热蒸汽(1.2 MPa, 280℃).因为受到烟气温度的限制,所以蒸汽动力循环蒸汽的温度不高,排烟温度降低为140℃,其发电功率可达2.03 MW.余热发电效率为26.92%.

方案2系统如图3所示.该方案将蒸汽动力循环的高温过热器布置在炉膛出口,低温换热器与两级空气预热器相间布置,这样从轧钢加热炉炉膛内排出的759℃烟气首先经过高温过热器,保证了蒸汽具有较高的温度压力.方案2的最终排烟温度仍然降低到140℃,烟气侧流量不变,因此回收的余热热量与方案1相同.但方案2的蒸汽动力循环初蒸汽参数提高,因此发电效率提高.这种布置方案下,高温过热器进汽参数为435℃,5.3 MPa,发电功率2.53 MW,余热发电效率33.69%.

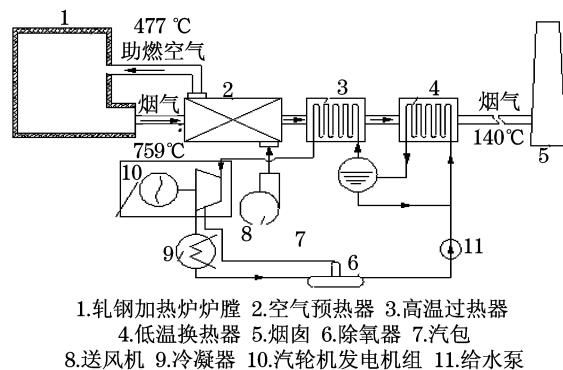


图2 方案1系统简图

Fig.2 Structure diagram of scheme 1

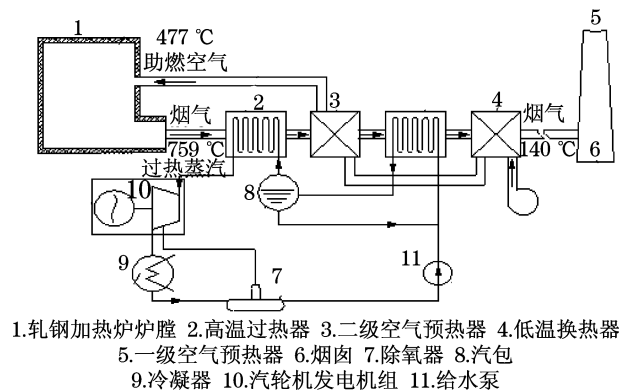


图3 方案2系统简图

Fig.3 Structure diagram of scheme 2

图4(见下页)示出了方案3系统.该方案除了炉膛中布置高温受热面和补燃外,其余系统布置与方案2相同.方案3排烟温度140℃,因在炉膛补燃,烟气量有所增加.蒸汽侧流量不变,但蒸汽初参数提高,因此发电效率提高.通过热平衡计算,方案

3 补燃天然气 75.85 m^3 , 可使蒸汽动力循环初温度达到 550°C , 发电功率发电功率 2.98 MW , 余热发电效率 35.75% . 由此可见, 方案 3 的发电效率相对前两种方案得到了提升.

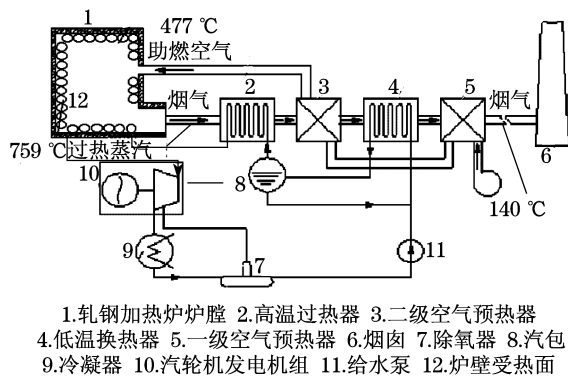


图4 方案3系统简图

Fig.4 Structure diagram of scheme 3

2 几种方案的分析比较

2.1 工质温度变化曲线

以上给出了3种余热发电方案, 每种方案的工质温度变化都必须是烟气侧高温工质温度要高于相对应的低温工质的温度, 这种方案理论上是可行的. 图5给出了3个方案工质温度变化曲线. 由图5(a)可见, 烟气侧工作温度始终高于低温工质温度, 因此, 从热力学第二定律高温向低温传热的角度看, 方案1理论上是可行的.

由图5(b)可见, 方案2的烟气侧工作温度也是始终高于低温工质温度, 因此, 方案2在理论上也是可行的. 且方案2与方案1相比, 传热温差较大, 热冷工质温差的窄点约为 85°C . 方案2的换热设备面积较小.

由图5(c)可见, 方案3的烟气侧工作温度也是始终高于低温工质温度, 因此, 方案3在理论上也是可行的. 只是方案3与方案2相比, 传热温差减小, 热冷工质温差的窄点约为 66.8°C . 方案3需要的换热设备面积较大.

2.2 发电效率的比较

为了直观地对比3种方案, 表1给出了3种余热发电方案的重要参数, 其中表1数据在计算中需要用到汽轮机的相对内效率. 为了体现不同方案引起的差别, 计算中3种方案的汽轮机相对内效率取为同一值 87% , 冷热工质传热效率统一取为 90% (经核对文献[7]中的个别数据计算有误). 对照发

电效率可知, 随着蒸汽初参数的提高, 余热发电效率也有所提高. 相对于方案1、方案2和方案3通过调整轧钢加热炉烟道内高温过热器、空气预热器、低温换热器的布置, 能有效提高烟气的余热利用. 方案3的发电效率最高.

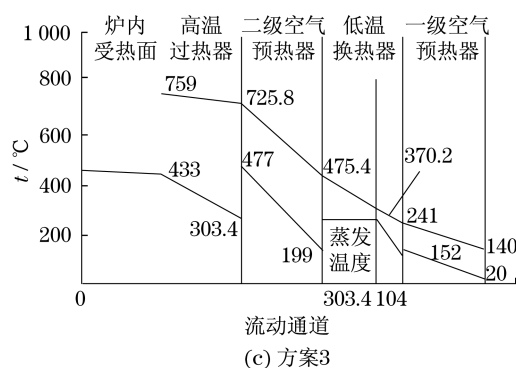
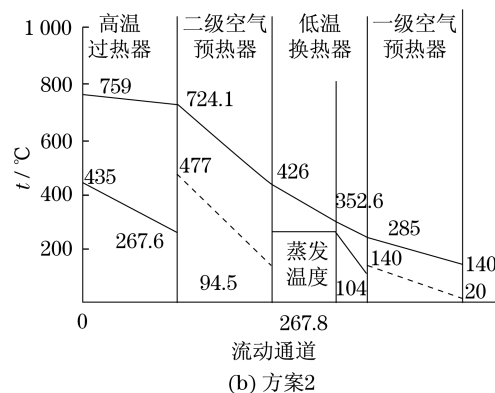
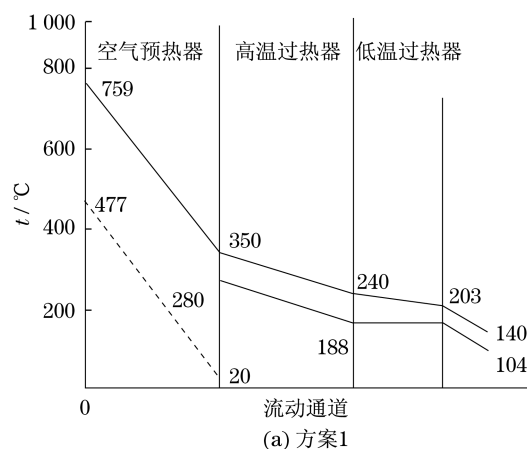


图5 3种方案的工质温度变化曲线

Fig.5 Temperature variation chart of working fluid in the three schemes

需说明的是, 对于有补燃的方案3, 发电效率就其绝对值来说, 确实得到了提高, 但与方案2相比, 是否一定要好, 还有待进一步探讨. 因为补燃的这部分燃料, 如果放到大的发电机组中, 发电的收益会更大. 所以, 以什么作为比较的基础更合理, 还需要更深入的研究.

表 1 3 种方案具体参数表
Tab.1 Parameters in the three schemes

参数	方案 1	方案 2	方案 3
利用的烟气温度/℃	359	759	759
烟气焓值/(kJ·kg ⁻¹)	1 239.39	1 239.39	1 239.39
利用后烟气温度/℃	140	140	140
烟气焓值/(kJ·kg ⁻¹)	209.36	209.36	209.36
烟气流量/(Nm ³ ·h ⁻¹)	82 385	82 385	83 349.8
给水温度/℃	104	104	104
给水焓值/(kJ·kg ⁻¹)	436.77	439.82	442.57
蒸汽压力/MPa	1.2	5.3	9
蒸汽温度/℃	280	435	550
发电功率/MW	2.03	2.53	29.8
发电效率/%	26.92	33.69	35.75

3 结 论

在不影响原产品生产的前提下,提出结合生产工艺进程设计利用余热发电方案.针对某轧钢加热炉,进行了 3 种利用余热发电方案的分析计算.其中直接利用余热的方案 1 发电效率为 26.92%;没有补燃,但利用高温烟气热量的方案 2 发电效率为

33.69%;而进行补燃的方案 3 发电效率可达 35.75%.本文的分析计算结果表明,结合生产工艺设计利用余热发电方案,提高发电效率在理论上是可行的.

参考文献:

[1] 李业发,张有为.化工生产中余热回收的优化组合[J].节能技术,2005,23(133):426-429.

[2] 贾洪斌,王力民.印染废弃余热的综合利用[C]//全国印染行业应对危机与产业升级研讨会.诸暨,2009.

[3] 武献红,吴丽,王东丽,等.石油化工厂低温余热的利用[J].河南化工,2007,24(3):38-39.

[4] 马飞,何方杰.热管技术在硫酸工业余热利用中的应用[J].化工技术经济,1997(4):35-38.

[5] Bai F F,Zhang Z X.Integration of Low-level waste heat recovery an liquefied nature gas cold energy utilizatoin [J].Chinese Journal of Chemical Engineering,2008,16(1):95-99.

[6] 蔡九菊,王建军,陈春霞,等.钢铁企业余热资源的回收与利用[J].钢铁,2007,42(6):1-7.

[7] 徐文栋,杨莱,雍青青,等.轧钢加热炉余热发电方案设计及其评价[J].工程热物理学报,2013,34(7):34-44.

(编辑:金 虹)

(上接第 254 页)

参考文献:

[1] Albert R,Barabási A L.Statistical mechanics of complex networks[J].Reviews of Modern Physics,2002(74):47-97.

[2] Newman M E J.The structure and function of complex networks[J].SIAM Review,2003,45(2):167-256.

[3] Boginski V,Butenko S,Pardalos P M.Statistical analysis of financial networks [J].Computational Statistics & Data Analysis,2005,48(2):431-443.

[4] 庄新田,闵志峰,陈师阳.上海证券市场的复杂网络特性分析[J].东北大学学报,2007,28(7):1053-1056.

[5] Ni X H,Jiang Z Q,Zhou W X.Degree distributions of the visibility graphs mapped from fractional Brownian motions and multifractal random walks[J].Physics Letters A,2009,373(42):3822-3826.

[6] Yang Y,Wang J B,Yang H J,et al.Visibility graph

approach to exchange rate series [J].Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications,2009,388(20):4431-4437.

[7] Shao Z G.Network analysis of human heartbeat dynamics [J].Applied Physics Letters,2010,96(7):073703.

[8] Lacasa L,Luque B,Ballesteros F,et al.From time series to complex networks: the visibility graph[J].Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2008,105(13):4972-4975.

[9] 崔鑫,邵芸,王宗军.资本市场非线性理论研究综述与展望[J].管理科学学报,2004,7(3):75-85.

[10] 汪小帆,李翔,陈关荣.复杂网络理论及其应用[M].北京:清华大学出版社,2006.

[11] 闵志锋.中国证券市场的复杂网络特性研究[D].沈阳:东北大学,2007.

(编辑:金 虹)