

蒸燃联合电站的探讨

潘桂胜 (哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

〔摘要〕 蒸燃联合循环近年来在国内外受到了格外关注, 本文针对常见几种联合装置的经济性及特点予以分析与比较。

关键词 蒸燃联合装置 电站 述评

一、概 述

蒸汽轮机和燃气轮机联合装置正以其高效率挤入传统的火力发电和核动力发电的竞争行列中。由于燃气轮机制造业的飞速发展以及在世界范围内天然气和原油资源的广泛发现与开采, 蒸燃联合装置的竞争力日渐提高。此外, 由于新的煤的转化技术如炼焦、沸腾燃烧的成熟, 对环境的污染更小, 蒸燃联合装置在其经济性及容量上的潜力变得更大。

下面介绍蒸燃联合电站的四种常见形式:

1. 后置燃煤(气、油)锅炉的联合装置, 带有未完全燃烧氧气的燃气轮机排气被当作可燃气体送入锅炉中继续参与燃烧(见图1a)。

2. 带有正压锅炉的联合装置, 锅炉布置在燃气轮机的燃烧室内, 燃料为天然气或来自煤气化过程的燃气(见图1b)。

3. 后置余热锅炉的联合装置, 燃气轮机的排气进入余热锅炉释放余热产生蒸汽, 燃料可以是天然气, 也可以是焦化煤气(见图1c)。

4. 带有正压沸腾锅炉的联合装置。无需气态燃料, 压气机为沸腾炉提供带压力的

燃烧空气, 烟气去灰后进入烟气轮机做功(见图1d)。

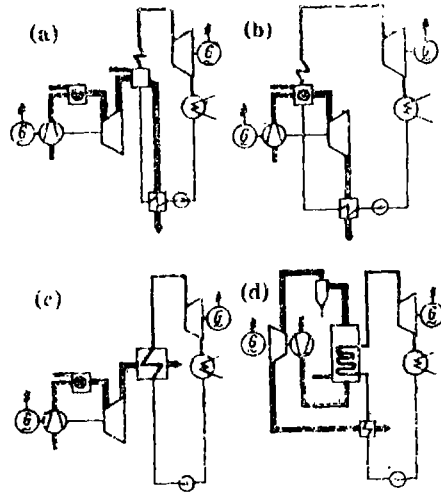


图1 四种常见形式联合装置示意图

显然, 有必要研究一下不同形式的联合装置的经济性及其特点。

二、后置燃煤(气、油)锅炉的联合装置

燃气轮机的排气作为载氧气体继续在后置锅炉中燃烧。锅炉排烟用于加热压缩空气已不可能。因为, 一方面压气机出口空气温度在通常压比下已超过 300°C , 另一方面, 从提高效率的观点出发, 烟气温度必须降至 100°C 左右, 这样, 烟气余热只能用于汽水

过程。烟气余热的利用有多种选择,图2介绍了一种烟气加热器与抽汽回热加热器平行布置的方案。理论上指出,它可获得最高的热效率。从纯热动力角度考虑,应平均分配二支不同加热过程的给水流量。然而,考虑了燃料与换热面价格后的最佳布置应为通过回热加热器侧的介质流量偏大,它占介质总流量的0.55~0.6。

当燃料成份中含硫高时,进入烟气加热器的给水温度由烟气的酸露点决定,它取决于烟气中SO₂的含量,特别取决于SO₃的转化率,进入烟气加热器的给水温度一般在130~140℃之间。在此过程中,较大的烟气余热损失将通过增大通过回热加热器的给水予以部分抵消。

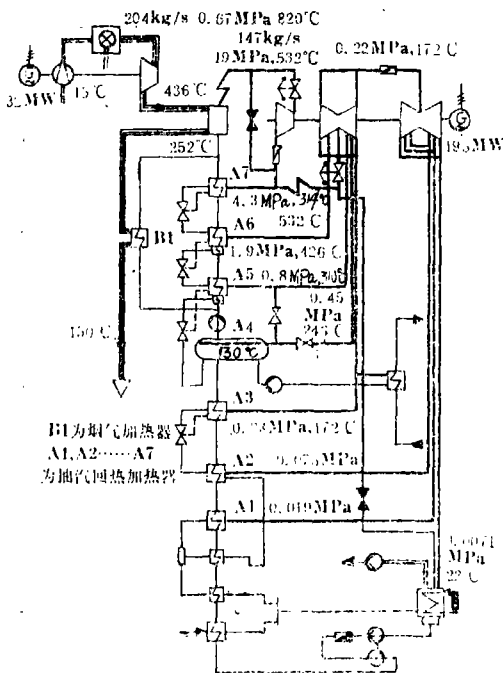


图2 后置燃煤锅炉的联合装置热线图

燃气轮机与蒸汽轮机的配备原则是:应使燃气轮机排气中的氧气量等于或略高于后置锅炉的设计过量空气系数下燃烧空气中氧气的含量,但对燃气轮机容量较小的联合装置,应考虑加入附加空气。图3给出了一个以天然气为燃料的联合装置的部分负荷性

能,装置的总功率为700MW,其中,燃气轮机容量为130MW,蒸汽轮机容量为570MW,在锅炉负荷超过80%时,需提供装置附加空气,曲线a给出了在燃气轮机的压气机可转导叶全开的情况下装置的效率曲线,在由100%负荷减至50%负荷的范围内,只有蒸汽轮机的输出功率通过减弱锅炉的燃烧而减少,在此过程中(截至B点)装置的效率甚至提高了约1%而达最大值47.5%,这是因为,随着蒸汽轮机功率的下降,高能的燃气轮机过程做功能力增大,在50%~35%负荷范围内,燃气轮机借助于关闭压气机的可转导叶而减负荷,蒸汽轮机的功率也以稳定的比率减少,当负荷降至36%以下时,效率的下降增快,为了比较,给出相应的常规火电站的效率曲线c,曲线b为压气机可转导叶全闭状态下的装置效率随负荷变化曲线。

需要指出的是,燃气轮机的排气温度一般在450~500℃之间,对煤的干燥来说,此温度过高,鉴此,燃气轮机的排气中需渗入一定量的冷空气,所以,后置燃煤锅炉的联合装置中需增设鼓风机,在燃气轮机停运时,鼓风机出口的空气需通过抽汽加热至200℃左右,以确保煤的干燥。

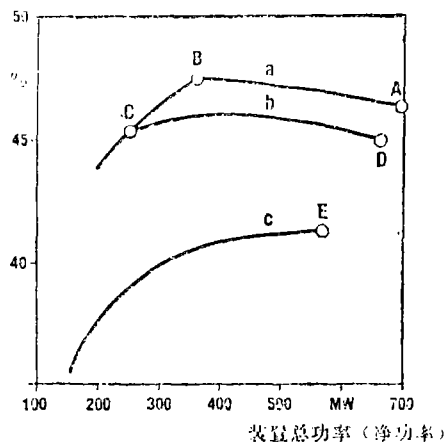


图3 天然气作为燃料的联合装置负荷效率曲线

- a. 压气机导向叶栅全开
- b. 压气机导向叶栅关闭
- c. 鼓风机供气

带一台燃气轮机的联合装置较其他布置有建造简化的优点，但鼓风机的设计必须满足100%负荷所需空气量的要求，有两台燃气轮机的联合装置除了在较大负荷范围内有较高的效率外，还具有运行上的优点。图4给出了不同布置模型的联合装置的部分负荷性能，燃气初温为950℃，压气机吸入空气温度为10℃，蒸汽参数如常。通常，此种联合装置在全负荷状态下，效率较常规火电装置高3.2%，在一定范围内的部分负荷时高3.5%，当负荷降至某一点后，由于燃气轮机恒定的排气可能引起省煤器的预蒸发现象，所以装置的效率下降加速，当然可通过改变换热面的设计来改善联合装置低负荷的效率。

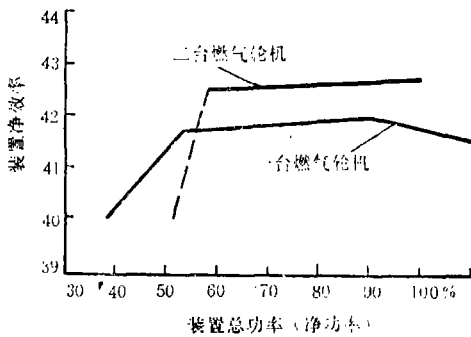


图4 后置燃煤锅炉的联合装置效率

联合装置的效率随燃气轮机初温的升高而升高，而提高初温的结果使排气中含氧量下降(见图5)。含氧量下降可使锅炉出现难于点火的问题，此不良影响可借助于提高供给锅炉的空气温度来消除，视煤的品质而定，排气中的含氧量可降至13%~14%。带后置燃煤锅炉的联合装置需提供24~30%的昂贵燃料(天然气或轻油)，大功率的联合装置需配脱硫设备。如能和煤的转化(如炼焦)技术有机地结合起来就可以克服上述的两个缺点。

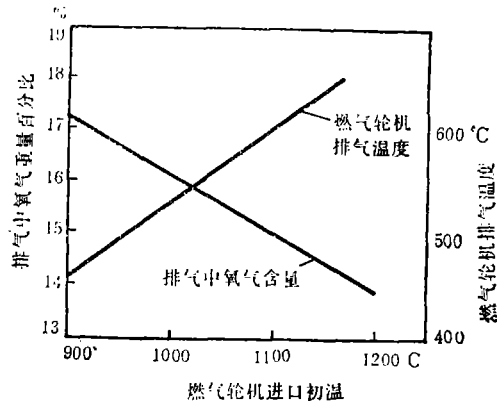


图5 排气温度和含氧量与燃气初温的关系

三、带正压锅炉的联合装置

锅炉和烟气轮机燃烧室采用一体化布置，巧妙地采用这种结合可降低投资以及改善装置热动力性能，此种联合装置特别适合于和煤的压力气化过程结合起来，带有一定压力的烟气在进入烟气轮机之前被渗入微量压缩空气，系统的凝水和给水的加热可参考后置燃煤锅炉联合装置的系统布置方式，即采用烟气加热和回热加热平行布置的方式，此种联合装置的烟气轮机的烟气初温无限制地升高意义不大，因为在忽略渗入的微量冷空气的情况下，提高烟气初温后，锅炉中的热交换量随之下降，当初温高于一定值后，烟气轮机的排气温度将升至使通过烟气加热器后的烟温高于设定值的情况，此外，由于烟气轮机排气携带的大量余热传给凝水或给水，不可避免地减少了回热加热的作用而恶化了汽水循环过程，导致装置效率的下降。

图6给出了一个带正压锅炉的联合装置的效率随烟气轮机的烟气初温及压比的变化曲线。燃料是低品位的焦化煤气，发热值为 $H_u = 6500\text{kJ/kg}$ ，在压比一定时，装置的效率开始随烟气初温的升高而上升，在某初温点达最大值，随后，当初温继续升高时，装置的效率反而下降。另一个导致装置效率下降的因素是提高了渗入烟气轮机进口烟气的

冷空气量。只有当压比提高时, 由于烟气轮机过程的焓降及温降随之上升, 最佳烟气初温才会相应地升高。

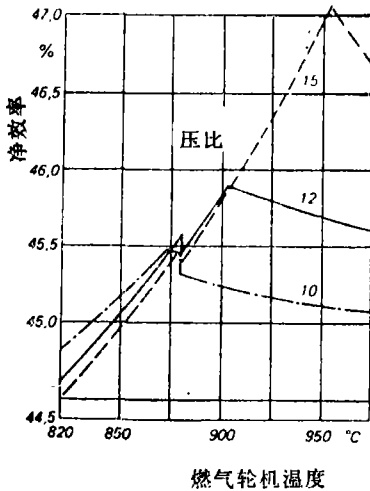


图 6 装置的效率随初温和压比变化曲线

带正压锅炉的联合装置最突出的优点是, 如巧妙地与煤的转化过程结合起来, 就可以使锅炉的换热面减少, 此外, 可省去烟气轮机与锅炉间昂贵的排气管路系统。图 7 给出不同负荷范围内的各联合装置及常规火电装置的效率曲线, 基本燃料都是煤, 不带压力的煤气化装置适合配合后置燃煤锅炉的联合装置, 带压力的煤气化装置适合配合含增压锅炉的联合装置, 煤气化过程的能量损失设定为 10%。从曲线上可看出即便是考虑了煤的转化损失后, 联合装置仍比常规的火电装置优越, 当顾及常规装置需后置脱硫设备及烟气轮机的初温提高潜力后, 这种优势会更明显。今后的煤气化过程可望与发电有机地结合起来, 一方面, 可将蒸汽抽气用于煤气化过程, 另一方面, 可将除灰前的高温煤气所含热量的一大部分用于电站的汽水循环过程。带增压锅炉的联合装置在部分负荷范围内效率下降比其他联合装置快一些, 这是因为蒸、烟气轮机始终同步增减负荷, 而烟气轮机在部分负荷范围内效率下降较快。

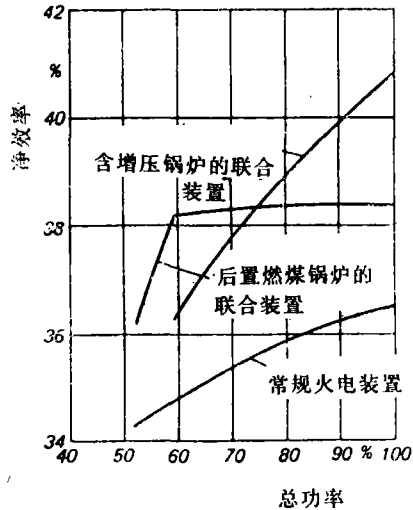


图 7 燃煤联合装置的效率曲线

四、后置余热锅炉的联合装置

由于燃气轮机的排气不再在锅炉中燃烧, 所以, 装置的蒸汽轮机功率部分降至 35% 左右, 图 8 介绍一个后置双压余热锅炉的联合装置热线图, 给水系统分成不同压力的二支, 针对某燃气轮机排气温度, 选最佳锅炉出口参数。低压参数的确定按可供选择的汽轮机低压部分进口参数, 应尽可能地提高汽轮机的输出功, 尽可能避免回热抽汽而代之以烟气加热系统的给出, 燃料不含硫时, 锅炉的排烟温度可降至 89°C, 此时, 应采取相应措施避免水露点出现。当燃料含硫时, 排烟温度应不低于 140°C。三台燃气轮机配一

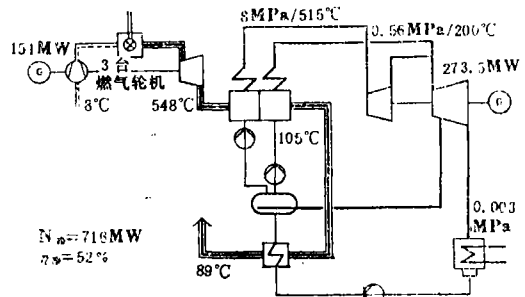


图 8 后置双压余热锅炉联合装置热线图
台汽轮机的优点是, 利用了大容量汽轮机在气动性能和造价上的优势。大容量联合电

站可采三压余热锅炉来提高效率，图9给出了带再热器的三压余热锅炉的联合装置热线图。第二级出口和再热器冷端汇合，装置效率可达53.2%。

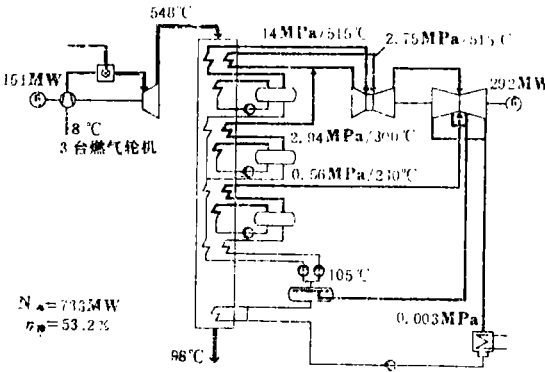


图9 后置三压余热锅炉联合装置热线图

图10给出了在燃气轮机部分负荷范围内，燃气轮机和余热锅炉的排气温度及新蒸汽温度，压力变化曲线。从图中可见，在100%~69%负荷范围内，燃气轮机调负荷基本上通过增减流量来实现。燃气初温及排气温度保持不变。当压气机可转导叶达极限位置后，减负荷将通过降低燃气初温来实现，排气温度随之下降，在50%负荷以下，装置中汽轮机采用滑压运行，在此情况下，需控制新蒸汽压力，以防蒸发管内介质流速过高。

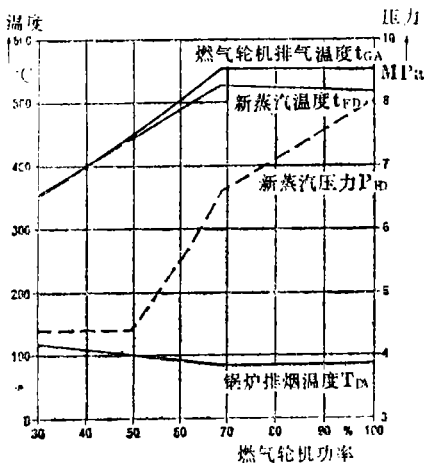


图10 介质参数随燃气轮机负荷变化曲线

五、带正压沸腾锅炉的联合装置

沸腾燃烧由于其燃料带宽及排放污染小而迅速发展起来，把沸腾炉纳入联合装置存在着各种各样的构思，在众多的方案中，带烟气加热器，含正压沸腾炉的方案具有紧凑的构造及较高的效率。

压气机出口空气进入正压沸腾炉内和煤一起燃烧，视燃煤的含灰量不同，燃烧后烟气温度的在850~950°C之间，烟气的脱硫直接在炉内进行高温烟气去灰后进入燃气轮机做功。有资料报道，当炉内烟温为850°C，燃烧效率为98%，过量空气系数为1.2时，联合装置的净效率可达39%。由于沸腾炉对烟温的限制，燃气轮机初温只能在有限范围内提高，所以装置效率改善潜力受限。此外，此种联合装置在实现上困难也较大。有几个难点需解决：

1. 正压沸腾炉的研制。
2. 耐高温烟气去灰设备的研制。
3. 使用含灰烟气的燃气轮机的研制。

六、结束语

联合电站较之传统的火力发电站有经济上的优势，这种优势是建立在燃气轮机的发展及煤的转化技术进步的基础上的。

在拥有现存的天然气或原油作为燃料时，后置余热锅炉的联合装置有无可争辩的优越性，这将随着燃气轮机初温的提高变得更为显著。在煤作为主要燃料时，后置燃煤锅炉的联合装置将具备竞争力，此种装置对燃气轮机的初温升高无限制，但需顾及由于燃气轮机排气中含氧量下降而带来的锅炉难于点火的问题。由于种种原因，含正压锅炉的联合装置及含正压沸腾炉的联合装置中燃气轮机的烟气初温不超过900~1000°C，其效率提高的潜力受到限制。

参 考 文 献

- [1] Lange K H, Maghon H. Gasturbinen im Kombi-Block. VGB Kraftwerkstechnik, 1976, 56(1)
- [2] Brückner H, Wittchow E. Kombinierte Gas-/Dampfturbinenprozesse: Wirtschaftliche Stromerzeugung aus Gas und Kohle. Brennstoff--Wärme--Kraft, 1979, 31(5)
- [3] Schellberg W, Müller R. Gasification integrates Well with combined cycle Modern Power System. 1987, 7(8)
- [4] Heger H. Spezielle Gesichtspunkte für die Leittechnik bei kombinierten Gas-Dampfturbinenblöcken. VGB, 1974, 54(9):619-630
- [5] Kahlert W. Erfahrungen beim Bau und bei der Inbetriebnahme von sechszeichnungs-gleichen Kombiblöcke. VGB, 1974, 54:537-547
- [6] Finckh H, Müller R. Gasturbinen aktuell, ASME Publication, 85-1GT-47

A Preliminary Study of Gas And Turbine Combined-cycle Power Plants

Pan Guisheng

(Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute)

Abstract

In recent years gas and steam combined-cycle power plants have been accorded considerable attention both at home and abroad. This paper gives an analysis and comparison of the economics and feature for the various types of commonly employed combined-cycle power plants.

Key Words: gas and steam combined-cycle power plants, power stations, overview

- ~ ~ • 罗尔斯——罗伊斯公司ISO基本负荷功率加大到18兆瓦的船用斯贝发动机。
- { 简 } 据“燃气轮机世界”1990年1—2月号报道,英国罗尔斯——罗伊斯公司已用新
- { 讯 } 型加大功率的“C系列”代替其“A系列”船用斯贝燃气轮机。与SM1A比较,
- ~ ~ • SM1C的输出功率加大了64%,耗油率减少了9%。

原来的SM1A燃气轮机是在1980年研制成功的,其ISO连续输出功率为11兆瓦,燃烧热值为42798千焦/千克船用分馏油时的耗油率为0.247千克/千瓦·小时。最大的额定输出功率为12751千瓦,这时耗油率为0.241千克/千瓦·小时。

1988年研制成SM1C型燃气轮机,其ISO连续输出功率为15510千瓦,耗油率为0.232千克/千瓦·小时。与SM1A相比较,SM1C的压比从18.5增加到21.9,质量流量从55.3千克/秒增加到62.1千克/秒,动力涡轮的转速从5220转/分略微增加到5500转/分,动力涡轮的进口温度从574℃增加到646℃。

(吉桂明 供稿)