[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510032846.4

[51] Int. Cl.
F02C 6/18 (2006.01)
F01K 23/06 (2006.01)
F01K 23/10 (2006.01)
F25B 27/02 (2006.01)
F24D 3/00 (2006.01)

[45] 授权公告日 2008 年 7 月 16 日

[11] 授权公告号 CN 100402814C

[22] 申请日 2005.1.20

[21] 申请号 200510032846.4

[73] 专利权人 华南理工大学

地址 510640 广东省广州市石牌

[72] 发明人 华 贲 刘效洲

[74] 专利代理机构 广州三环专利代理有限公司

代理人 戴建波

[56] 参考文献

CN2106992U 1992.6.10

CN1312430A 2001.9.12

CN2615346Y 2004.5.12

CN1109552A 1995.10.4

CN1558089A 2004.12.29

DE10214183C1 2003.5.8

审查员 刘 薇

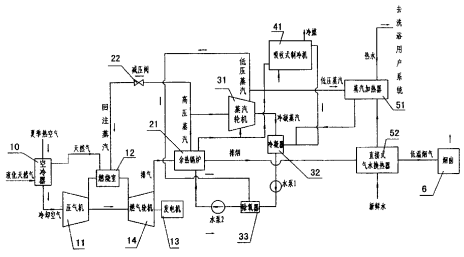
权利要求书 3 页 说明书 15 页 附图 3 页

[54] 发明名称

一种天然气冷热电联供的烟气低温端热利用系统

[57] 摘要

本发明涉及一种天然气冷热电联供的烟气低温端热利用系统及其操作方法，该热利用系统包括燃气发电装置、余热锅炉、吸收式制冷装置、加热供水装置；而加热供水装置包括直接式气水换热器，该换热器的器体内部设置有破碎水滴的花洒装置，且该花洒装置中的水滴通过空间又构成烟气通道；余热锅炉的烟气出口通过该直接式气水换热器与烟囱相连通，直接式气水换热器的进、出水管串联在为生活热水或供热的管路上；余热锅炉的输汽管还分支开设有一通向燃气发电装置燃烧室的回注汽管，在该回注汽管上串联有减压装置。 本发明的低温热利用系统的传热设备简单、价廉、能提高系统的热效率、能以极低的成本提供生活热水、大大提高系统的经济效益。



1、一种天然气冷热电联供的烟气低温端热利用系统，该热利用系统包括燃气发电装置、余热锅炉、吸收式制冷装置、加热供水装置；所述的燃气发电装置包括压气机（11）、燃烧室（12）和发电机（13）；所述压气机（11）的入口与大气相连通，其出口与燃烧室（12）的入口相连，所述燃烧室（12）的入口还与燃气管口相连通；所述的余热锅炉（21）包括烟气进口、烟气出口、冷凝水进口和蒸汽出口，该余热锅炉（21）的烟气进口连通所述燃气发电装置的排气出口，其蒸汽出口通过输汽管与所述吸收式制冷装置（41）和加热供水装置相连接，其特征在于：所述加热供水装置包括直接式气水换热器（52），所述直接式气水换热器（52）的器体（520）内部设置有破碎水滴的花洒装置（526），且该花洒装置（526）中水滴的通过空间又构成烟气通道；所述余热锅炉（21）的烟气出口通过该直接式气水换热器（52）的烟气管道与烟囱（6）相连通，所述直接式气水换热器（52）的进、出水管串联在为生活热水或供热的管路上；所述直接式气水换热器（52）的器体（520）上设有进水管（521）、出水管（522）和烟气出口（523），在所述器体（520）的侧壁上开设有烟气进口（524），器体（520）内设有烟气通道；器体（520）内部正对该烟气进口（524）的轴向上设置有烟气均流装置，该均流装置包括截面弯折向上的烟气折板（525）；所述烟气通道包括穿越所述烟气折板（525）的通道及其上方器体（520）内部的空间，在所述烟气折板（525）上方的器体（520）空间内设置有栅杆阵列式的花洒装置（526）；所述进水管（521）的管口和烟气出口（523）均设置在所述花洒装置（526）的上方，所述烟气折板（525）下方设有汇集水滴的热水箱（527），所述出水管（522）的管口设置在所述热水箱（527）的下部。

2、如权利要求 1 所述的天然气冷热电联供的烟气低温端热利用系统，其特征在于：所述的燃气发电装置为内燃机式发电装置；或者所述的燃气发电装置为燃气轮机(14)式发电装置，且所述余热锅炉（21）的输汽管还分支开设有一通向所述燃烧室（12）的回注汽管，在该回注汽管上串联有减压装置（22）。

3、如权利要求 1 或 2 所述的天然气冷热电联供的烟气低温端热利用系统，其特征在于：所述系统还包括蒸汽轮机发电装置，该蒸汽轮机发电装置包括蒸汽轮机（31）、发电机、冷凝器（32）、除氧器（33）；该蒸汽轮机（31）串连在所述余热锅炉（21）的蒸汽出口与所述吸收式制冷装置（41）和加热供水装置之间的管路上。

4、如权利要求 3 所述的天然气冷热电联供的烟气低温端热利用系统，其特征在于：所述蒸汽轮机(31)的低压蒸汽出口开设有一蒸汽支管通向所述除氧器(33)蒸汽管口。

5、如权利要求 3 所述的天然气冷热电联供的烟气低温端热利用系统，其特征在于：所述加热供水装置包括蒸汽加热器（51），所述蒸汽轮机（31）的低压蒸汽出口与该蒸汽加热器（51）的蒸汽管进口相连通，该蒸汽加热器（51）的一对水管口串连在所述直接式气水换热器（52）的出水管与生活热水管路之间。

6、如权利要求 1 或 2 所述的天然气冷热电联供的烟气低温端热利用系

统，其特征在于：所述压气机(11)的入口与大气之间还串联有空气冷却器(10)，该空气冷却器(10)的冷媒管系串联在所述燃气管口与所述燃烧室(12)之间。

一种天然气冷热电联供的烟气低温端热利用系统

【技术领域】

本发明涉及发电、热工设备，更具体地说，本发明涉及一种高效利用天然气冷热电联供装置的低温排烟余热与生活热水的直接换热系统。

【背景技术】

随着我国大力开发和引进天然气资源、优化能源结构的能源策略的执行，以天然气为一次能源的燃气轮机冷热电联供系统在我国正快速发展。普通燃气轮机热电冷联产系统包括燃气轮机发电机组，余热锅炉，蒸汽轮机或吸收式制冷装置；系统的最终烟气排放温度通常在130℃左右，这部分烟气还有占燃料总热能10%左右的热利用潜力，不回收利用是一种巨大的浪费。

同时，随着人民生活水平的不断提高，生活用热水耗能越来越多，有关统计数据详见下表：

表1-我国建筑耗能中各部分所占比例

建筑能耗构成	采暖空调	热水供应	电气	炊事
各部分比例	65%	15%	14%	6%

由上表1可知，热水供应在建筑能耗中的比重仅仅次于采暖空调耗能，位居第二位。

生活热水属于低品位能量，洗澡水最终温度仅仅为40℃左右，其能级系数在0.1左右。但是从目前的能源供应方式来看，城市生活热水供应主要以电热水器、燃气热水器为主，部分宾馆和集体宿舍采用了燃煤、燃油锅炉，

它们都是高品位的能源，能级系数为 1.0。用这样的高级能源来加热低级热阱，是极大的浪费。

显然，天然气冷热电联供系统是高效地同时满足建筑物用能中不断增加的冷、热、电需求的一个重要途径。而如果能同时利用该系统产生的低品位烟气热能作为生活热水的热源，就可以进一步提高联供系统的能源利用效率和经济效益。

但是，目前的燃气轮机冷热电联产系统，多半仅考虑供电、采暖、空调的能源需求；包括生活热水供应的，也都不是利用130℃以下的烟气余热，而是用蒸汽或130℃以上的烟气热量。这是因为目前的低温烟气热利用，习惯上都是采用间壁换热方式，其传系数一般低于80W/(m²℃)。因此在回收温度较低的烟气余热时需要布置大量的钢管受热面，不仅消耗大量钢材,而且烟气流动阻力很高；经济上收益不大。

目前，在燃气轮机冷热电联供系统的技术改进方面，有中国申请文件93116724.8公开了一种数控燃气轮机电热冷联供设备,它包括核心发动机、供电机构，供热组件。该数控燃气轮机电热冷联供设备还包括由高、低压发生器，高、低温热交换器，冷凝室，吸收室及循环泵、再生循环泵、蒸发室及循环泵、冷却水蛇形管、冷冻传热工质盘管组成的吸收式制冷机组，在余热锅炉中有制冷工质再生热交换器。据称：该设备使用燃气机做动力源，通过发电机得到电能输出，含有余热的燃气加热再生制冷工质抽运热量以得到制冷输出。用供热工质输出热量，能够充分利用燃气机的输出能量。

在此方面还有中国申请文件93116725.6公开了一种燃气轮机电热冷联供设备。它有核心发动机、供电机构、供热组件。其还包括由高、低压发生器，高，低温热交换器，冷凝室，吸收室及循环泵，再生循环泵、蒸发室及

循环泵，冷却水蛇形管，冷冻传热工质盘管组成的吸收式制冷机组，在余热锅炉中有制冷工质再生热交换器。据称：该设备使用燃气机做动力源，通过发电机得到电能输出，含有余热的燃气力。热再生制冷工质抽运热量以得到制冷输出。用供热工质输出热量，充分利用燃气机的输出能量。上述两个专利申请文件中并没有提及经过余热锅炉而从系统中排出烟气的温度。

在此方面又有中国申请文件01117061.1公开了一种热和电力供给系统及其操作方法，系统包括：一个再生式燃气轮机和一个回收燃气轮机废气中废热的吸收式制冷器，此系统具有一个进气冷却装置，它包括一个用于把吸收式制冷器中的冷水喷射到再生式燃气轮机的进气口中的喷射装置和一个通过把热水从再生器喷射到再生式燃气轮机的压缩机输送口中而起到加湿作用的加湿器。根据操作状态用冷水进行冷却并用热水喷射进行加湿。据称：该系统能够使电力的输出增加。该专利申请文件中也没有提及经过吸收式制冷器的再生器从系统中排出烟气的温度。

在此方面另有中国申请文件 03109715.4 公开了一种以燃气轮机为动力的热泵式热电联供系统，其涉及燃气轮机的用途及其结构的改进。它是由燃气轮机、吸收式热泵装置、冷凝换热器及发电机组成。燃气内燃机输出的机械能与发电机连接，其特点是：燃气轮机排出的烟气通过吸收式热泵装置的发生器与冷凝换热器烟气进口连接并由其烟气出口排气。 冷凝换热器的水路出口与吸收式热泵装置的蒸发器水路进口相接。吸收式热泵装置的蒸发器水路出口与冷凝换热器的水路进口相接。吸收式热泵装置的冷凝器和吸收器与采暖回水串连／并联于采暖供水回路。据称：该系统可使燃气轮机的供热系统的能量得到充分的利用，大大提高能源利用效率，减少对环境的污染。该专利申请文件中虽然提及经过冷凝换热器而从系统中排烟温度约 30℃，但

是该文件并没有充分公开为达到如此低的排烟温度所采取的技术措施，因为，如果采取传统间壁式换热要达到上述低温排烟需要耗费巨量钢材，完全没有工程实用价值。

由上述例子还可见：目前的冷热电联供设备系统，或者没有考虑生活热水供应的联供问题，或者就是采取传统的间壁余热锅炉提供热水，势必因为技术经济性能不佳而被冷落摒弃。

【发明内容】

针对现有技术的上述缺点，本发明所要达到的技术目的是要提供一种传热设备简单、价廉、能进一步提高系统的热效率和经济效益并以极低的成本提供生活热水的天然气冷热电联供的烟气低温端热利用系统及其操作方法。

为此，本发明的技术方案之一是一种天然气冷热电联供的烟气低温端热利用系统，该热利用系统包括燃气发电装置、余热锅炉、吸收式制冷装置、加热供水装置；所述的燃气发电装置包括压气机、燃烧室和发电机；压气机的入口与大气相连通，其出口与燃烧室的入口相连；燃烧室的入口还与燃气管口相连通；所述的余热锅炉包括烟气进口、烟气出口、冷凝水进口和蒸汽出口，该余热锅炉的烟气进口连通所述燃气发电装置的排气出口，其蒸汽出口通过输汽管与所述吸收式制冷装置和加热供水装置相连接，而所述加热供水装置还包括直接式气水换热器，该直接式气水换热器的器体内部设置有破碎水滴的花洒装置，且该花洒装置中的水滴通过空间又构成烟气通道；所述余热锅炉的烟气出口通过该直接式气水换热器的烟气管道与烟囱相连通，所述直接式气水换热器的进、出水管串联在为生活热水或供热的管路上。

本发明的结构改进，首先基于烟气对各种生活热水的卫生指标的影响考

察，研究发现：天然气经过液化后，其中基本不含硫份（一般不大于10ppm）；即使将排烟温度降到40℃以下也不会发生低温腐蚀。天然气锅炉排烟与冷水直接接触所得到的热水成分与原水区别仅在于游离 CO_2 含量增大和含氧量降低，而 CO_2 含量的增加有利于去除人体皮肤的细菌；加热后的水依然透明无色、也没有气味，完全符合卫生标准，可用于各种生活热水供应。上面的结论得到权威研究机构的研究证实。

基于上述认识，本发明独辟蹊径，开发了一种直接式气水换热器，以实现低成本提供生活热水的目的。该换热器的器体内部设置的破碎水滴的花洒装置内部具有水滴通过的空间，且该花洒装置中的水滴通过空间又构成烟气通道；烟气逆流或顺流与破碎水滴相接触而传热，本发明的换热器采用全新理念的结构来实现低温烟气与水媒体间的传热方式，它取消了固体壁面的烟管及间壁，不需要通过固体传热面的中介，而是依靠水和烟气直接接触进行热交换：在烟气通道内采用破碎水滴的花洒装置将大团的水媒体分割成为下降速度和流量适当且均匀可控的水滴并形成水滴落场，在水滴落场中的水滴大小适中，既不会被低温烟气带出，也不会因为下落太快、粒径太大而受热不充分导致传热效率不佳，这样，大小适中、落场均匀的水滴在与低温烟气作逆向流动的直接接触中，会产生很大的动态传热比表面积，从而令传热效率大大增加，对于低温烟气也不会形成过大的阻力，能保证传热得以充分稳定进行。而且，由于本发明的气水换热器令水滴瀑布直接接触低温烟气，可以吸收烟气中的水蒸气的冷凝潜热，从而极大地降低排烟温度，最终经过设在器体下部的热水箱及出水管的收集得到高热焓的水媒体。其直接接触式换热系数可高达1000W/(m^2°C)以上。本发明开发的这种换热器及换热方式可以极大地降低气—水换热器的体积、降低工程造价、提高换热效率，使回收冷

热电联供系统产生的低温烟气余热在工程应用中成为可能。实验证明，本发明的直接式气水换热器是一种回收冷热电联供系统的低温烟气余热的理想装置和方式。很显然，在传统的余热锅炉后加装直接接触式换热器产生生活热水将进一步提高系统的热效率，并且以极低的成本提供生活热水，可以大大提高系统的经济效益（粗估净效益可以提高 10%）。

进一步研究却发现新的问题：通常人们需要的生活热水温度为 45℃，而从理论上分析，在烟气与水的直接热交换过程中，水能够被加热到的温度，不会超过烟气在进口处的湿球温度，当水被加热到进口处烟气的湿球温度后，水温就不会再上升，而只能汽化成蒸汽，即热水已经达到加热极限温度。烟气在进口处的湿球温度的高低取决于烟气中水蒸汽分压力的大小，因此不同水蒸汽分压力下的出口极限水温均有所不同。一般的燃气轮机因为要用过量空气作为共质，所以排气中水蒸气的分压力很低大约为 4.5%，计算得到此时加热热水的最高温度为 45℃。但是在集中的生活热水供应系统中，为了蓄热和减小管网投资的需要，需要较 45℃稍高但低于 120℃的热水温度如 60℃，也就是说烟气需要更高的水蒸气分压力。而要加热到 60 度，必须回注蒸汽；而对于内燃机，则不存在这个问题。

模拟计算的结果表明，冷水所能被加热到的极限温度随着蒸汽回注率的增大而升高。若烟气中水蒸汽的浓度为 4.5%，则冷水能被加热的极限温度是 45 度，超过此温度，将会出现“干塔”现象(即热水开始蒸发汽化)；若要将水加热到 60 度，则需向燃气轮机中回注水蒸汽，回注率达到 12%以使烟气中水蒸汽的分压力达到 15%。便可将水加热到 60 度。（若不回注蒸汽，可以通过加装蒸汽加热器等方法将热水由 45 度进一步加热到 60 度。）因此，模拟计算结果表明采用蒸汽回注是提高热水出口温度，降低系统投资的重要措

施。

模拟计算结果还表明在不同进口水温下，如果输出热水温度达到要求的60℃，热水中 NO_x 的含量微乎其微，并随着蒸汽回注量的增加呈下降趋势，完全符合生活热水的卫生标准；CO_2 的浓度随回注率的升高略有增加，但浓度也非常低，对水质毫无影响，就此完全可证明本发明的系统的结构改进具有充分的可行性和相关的工艺优点，而且与有关权威研究机构的相关结论相吻合。

由模拟计算结果还可看出：回注蒸汽的结构改进还可以降低 NOx 的生成量，同时节约压气机的功耗。其原因很简单，因为向燃气轮机的燃烧室内注入蒸汽可以适当降低燃烧温度，减少 NOx 的生成量，有利于环保。回注蒸汽还可以减少进入燃气轮机的空气量，节约部分压缩功，或者适当提高燃气轮机的出力；使机组运行更加灵活。为此，本发明系统的结构改进包括两种供选择的系统结构：燃气发电装置为内燃机式发电装置，此时可不设蒸汽回注设施；或者所述的燃气发电装置为燃气轮机式发电装置，此时在所述余热锅炉的蒸汽母管上还开设有一通向所述燃烧室的回注汽管，在该回注汽管上串联有减压装置。

本发明与传统程氏循环不同之处在于，后者蒸汽回注量极大，几乎与压气机的进空气量相同，因而机组的配置，即压气机与动力涡轮的能力比，是特殊的。而本发明的蒸汽回注率仅 10%左右；完全可以用于一般设计的燃气轮机。

目前，从相关文献中查到的冷热电三联供方式还未见采用这种方式的报道。但是这种方式的优势是毋庸置疑的。

总而言之，理论分析和初步试用证明：与普通的燃气轮机冷热电联产系

统比较，本发明的新型热电冷联产项目的系统流程具有以下几个主要优点：

(1) 余热锅炉钢耗量小、效率提高：

因为余热锅炉后的排烟温度较低，传热温差很小，如果选用传统的管壳式换热器，则所需的受热面会非常大，因而钢材的消耗量大。本发明在尾部加装接触式热水加热器，由于烟气与水直接接触，其传热系数远高于普通热交换器。因此受热面可以大大减少，钢耗量下降 5 倍以上。

(2)减少尾部引风机的设备费用及腐蚀和运行费用：

因为经过接触式热水加热器后，烟气温度已经降到 40 度以下，此时依靠烟囱内外气体温差所产生的抽力已经无法将烟气排出。因此，本发明采用正压通风方式，即不用引风机，通过提高燃气轮机的排气压力来克服余热锅炉、接触式热水加热器、后连接烟道、及烟囱的阻力，最终将烟气排入大气。此时，烟囱可以根据需要适当做低。(此时烟囱已经没有多大抽力)

(3)蒸汽回注措施提高系统运行的灵活性和经济性：

从蒸汽轮机中抽出一部分低压蒸汽回注到燃气轮机的燃烧室内,可以有效地提高热水的出口温度,同时降低 NOx 排放量,延长机组的使用寿。它的另一个优点是提高燃气轮机的发电出力，对于简单的燃气轮机冷热电联产系统，当终端热负荷降低时将过剩蒸汽回注以提高发电量，可以显著提高系统运行的灵活性和经济性；在不同季节，根据水温和水量的不同需求，控制回注汽量。与一般的燃气轮机联合循环联产系统比较，尽管蒸汽回注所增加的发电量要略低于蒸汽轮机，并且由于烟囱抽力小，致使燃气轮机的背压稍高，发电量略有下降，但可以节约蒸汽轮机投资，并通过回收大量的低温余热来获得更大的效益。如果系统采用的不是燃气轮机而是内燃机，则因为其烟气中的水蒸气分压较高而不存在蒸汽回注问题。

为进一步实现本发明直接式气水换热器的基本优点，本发明采取如下较具体改进措施：所述直接式气水换热器包括器体，在器体上设有进水管、出水管和烟气出口，在器体的侧壁上开设有烟气进口，器体内设有烟气通道；器体内部正对该烟气进口的轴向上设置有烟气均流装置，该均流装置包括截面弯折向上的烟气折板；所述烟气通道包括穿越所述烟气折板的通道及其上方器体内部的空间，在所述烟气折板上方的器体空间内设置有栅杆阵列式的花洒装置；所述进水管的管口和烟气出口均设置在所述花洒装置的上方，所述烟气折板下方设有汇集水滴的热水箱，所述出水管的管口设置在所述热水箱的下部。本发明的气水换热器独出心裁、别开蹊径，采用正对该烟气进口的轴向上设置均流装置的结构，设置的烟气折板将低温烟气分散引导向上与下落水滴相接触，克服了烟气与水之间的传热界面太小的问题；经实验证实，本发明的气水换热器的热效率可高达 98%以上，开机后升温速度非常快；又因为省去了炉胆和/或烟管等固体受热面，本发明的气水换热器的的重量只有相同热负荷间壁式换热器的 1/5；而且，没有固体受热面会产生的结垢问题，换热器长期使用效率不会下降，无需水处理工序和设备，大大简化了维护工作和成本，运行安全可靠性大大增加，本发明的气水换热器的有效寿命预期可长达 20～30 年。

为进一步完善本发明冷热电联供的烟气低温热利用系统，保证系统运行稳定性、提高热能利用效率，本发明采取如下措施：所述系统还包括蒸汽轮机发电装置，该蒸汽轮机发电装置包括蒸汽轮机、发电机、冷凝器、除氧器；该蒸汽轮机串连在所述余热锅炉的蒸汽出口与所述吸收式制冷装置和加热供水装置之间的管路上。

所述加热供水装置包括蒸汽加热器，所述蒸汽轮机的低压蒸汽出口与该

蒸汽加热器的蒸汽管进口相连通，该蒸汽加热器的一对水管口串连在所述直接式气水换热器的出水管与生活热水管路之间。所述蒸汽轮机的低压蒸汽出口开设有一蒸汽支管通向所述除氧器蒸汽管口。

为进一步利用液化天然气的冷量降低本发明冷热电联供的烟气低温热利用系统的能耗，提高压气机的效率，本发明采取如下措施：所述压气机的入口与大气之间还串联有空气冷却器，该空气冷却器的冷媒管系串联在所述燃气管口与所述燃烧室之间。

为达到本发明的技术目的，本发明的另一相关技术方案是一种天然气冷热电联供的烟气低温端热利用系统的操作方法，该方法操作的热利用系统包括燃气发电装置、余热锅炉、吸收式制冷装置、加热供水装置；所述的燃气发电装置包括压气机、燃烧室、燃气轮机和发电机；所述压气机的入口与大气相连通，其出口与燃烧室的入口相连，所述燃烧室的入口还与燃气管口相连通；所述的余热锅炉包括烟气进口、烟气出口、冷凝水进口和蒸汽出口，该余热锅炉的烟气进口连通所述燃气发电装置的排气出口，其蒸汽出口通过输汽管与所述吸收式制冷装置和加热供水装置相连接，所述加热供水装置还包括直接式气水换热器，所述直接式气水换热器的器体内部设置有破碎水滴的花洒装置，且该花洒装置中的水滴通过空间又构成烟气通道；所述余热锅炉的烟气出口通过该直接式气水换热器的烟气管道与烟囱相连通，所述直接式气水换热器的进、出水管串联在为生活热水或供热的管路上；所述余热锅炉的输汽管还分支开设有一通向所述燃烧室的回注汽管，在该回注汽管上串联有减压装置，其特征在于：所述方法包括控制所述减压装置，使得余热锅炉通过回注汽管向所述燃烧室回注蒸汽的比率可以在0%～12%（W/W）范围内调节。本发明的方法可以使得所述直接式气水换热器的烟气出口的烟气温度

达到50℃以下。所谓蒸汽回注率是蒸汽量相对从压气机进入系统中的空气总量而言的。

总之，本发明的的结构改进具有实施简便、有效、成本低廉的优点。

以下，结合具体实施例和附图对本发明的技术解决方案作进一步说明。

【附图说明】

图1为传统的燃气轮机热电冷联产系统的结构示意图。

图2为本发明冷热电联供烟气低温热利用系统实施例的结构示意图。

图3为本发明直接式气水换热器实施例的结构示意图。

传统的燃气轮机热电冷联产系统结构：

如图 1，所示为一种传统的燃气轮机热电冷联产系统，该天然气冷热电联供的烟气低温端热利用系统包括燃气发电装置、余热锅炉、吸收式制冷装置、加热供水装置；其中燃气发电装置包括压气机 11、燃烧室 12 和发电机 13、燃气轮机 14；压气机 11 的入口与大气相连通，其出口与燃烧室 12 的入口相连；燃烧室 12 的入口还与天然气管口相连通；余热锅炉 21 包括烟气进口、烟气出口、冷凝水进口和蒸汽出口，该余热锅炉 21 的烟气进口连通燃气发电装置中燃气轮机 14 的排气出口，其 21 蒸汽出口通过输汽管、蒸汽轮机 31 与吸收式制冷装置 41 和作为加热供水装置的蒸汽加热器 51 相连接，该系统包括蒸汽轮机发电装置，该装置包括蒸汽轮机 31、发电机（未示出）、冷凝器 32、除氧器 33；该蒸汽轮机 31 串连在余热锅炉 21 的蒸汽出口与吸收式制冷装置 41 和蒸汽加热器 51 之间的管路上。该系统通过二台发电机包括发电机 13 向用户输出电能，通过吸收式制冷装置 41 向用户输出冷媒，通

过蒸汽加热器 51 向用户输出生活热水，残余烟气从烟囱 6 排出。

【具体实施方式】

如图 2，所示为本发明的冷热电联供烟气低温热利用系统较佳实施例的结构，该热利用系统包括燃气发电装置、余热锅炉、吸收式制冷装置、加热供水装置；所述的燃气发电装置包括压气机 11、燃烧室 12 和发电机 13、燃气轮机 14；压气机 11 的入口与大气相连通，其 11 出口与燃烧室 12 的入口相连；燃烧室 12 的入口还与天然气管口相连通；余热锅炉 21 包括烟气进口、烟气出口、冷凝水进口和蒸汽出口，该余热锅炉 21 的烟气进口连通燃气发电装置中燃气轮机 14 的排气出口，余热锅炉 21 的蒸汽出口通过输汽管、蒸汽轮机 31 的汽路、管路与吸收式制冷装置 41 和作为加热供水装置的蒸汽加热器 51 相连接；而加热供水装置还包括直接式气水换热器 52，该直接式气水换热器 52 的器体内部设置有破碎水滴的花洒装置 526，且该花洒装置 526 之间的空间又构成烟气通道；余热锅炉 21 的烟气出口通过该直接式气水换热器 52 的烟气管道与烟囱 6 相连通，直接式气水换热器 52 的进、出水管串联在为生活热水或供热的管路上；余热锅炉 21 的输汽管还分支开设有一通向燃烧室 12 的回注汽管，在该回注汽管上串联有减压装置 22。

所述的燃气发电装置为燃气轮机式发电装置或内燃机式发电装置。

该系统包括蒸汽轮机发电装置，该装置包括蒸汽轮机 31、发电机（未示出）、冷凝器 32、除氧器 33；该蒸汽轮机 31 串连在余热锅炉 21 的蒸汽出口与吸收式制冷装置 41 和蒸汽加热器 51 之间的管路上。蒸汽轮机 31 的低压蒸汽出口开设有一蒸汽支管通向除氧器热水管口。

加热供水装置包括蒸汽加热器 51，蒸汽轮机 31 的低压蒸汽出口与蒸汽

加热器 51 的蒸汽管进口相连通，该蒸汽加热器 51 的一对水管口串连在直接式气水换热器 52 的出水管与生活热水管路之间。

压气机 11 的入口与大气之间还串联有空气冷却器 10，该空气冷却器 10 的冷媒管系串联在液化天然气管口与燃烧室 12 之间。

如图3,所示为直接式气水换热器实施例的结构,该换热器包括器体520,在器体上设有进水管 521、出水管 522 和烟气出口 523，在器体 520 的侧壁上开设有烟气进口 524，器体 520 内设有烟气通道；器体 520 内部正对该烟气进口 524 的轴向上设置有烟气均流装置，该均流装置包括截面弯折向上的烟气折板 525；烟气通道包括穿越烟气折板 525 的通道及其上方器体内部的空间，在烟气折板 525 上方的器体 520 空间内设置有破碎水滴的花洒装置 526；进水管 521 的管口和烟气出口 523 均设置在花洒装置 526 的上方，在烟气出口 523 和花洒装置 526 之间还设有除雾板阵列 528，烟气折板 525 下方设有汇集水滴的热水箱 527,出水管 522 的管口设置在热水箱 527 的下部,出水管 522 的管口外接输水泵 529 及输水管。此外，在热水箱 527 上部设有溢流管口 530,

其中，方案 1 表示传统联产系统，排烟温度 120 度；方案 2 表示本发明实施例的联产系统，排烟温度 40 度(不回注蒸汽)。

本实施例采用一台 40 小型燃气轮机 14。此燃气轮机 14 正常情况下输出电量:3428kW(进气温度 20 度),产生的高温烟气进入余热锅炉 21 产生约 9t/h 的蒸汽。余热锅炉 21 的排烟量大约为 $7\times104m^3/h$(排烟温度 120 度)。

按每年运行 4000 小时计算：折旧费按每年 10%计算。

实测证明：采用本发明方案 2 每年可节约运行费用 153 万元,投资只增加 5.3 万元,完全可以忽略不计。因此具有极大的优越性，推荐优先使用。

进一步考察回注蒸汽情况下本发明联产系统实施例的技术经济性：与燃气轮机联合循环比较，采用蒸汽回注循环后蒸汽轮机 31 的发电量有所降低，但是与此同时产生的热水量有所增加，而燃气轮机 14 的发电量也有所上升，同时可以节约蒸汽轮机 31 投资。因此，蒸汽回注循环的经济性究竟如何，下面给出定量分析，同样以上文的小型机组为例：

表 2-不同回注率下的经济性比较

蒸汽回注率(%)	0	4%	6%	8%	12%
产生热水量(t/h)(折算到 40°C)	53	64	69	75	82
理论上系统少发电量(kW)	0	139	152	164	177
每小时电费收入减少(0.55 元/kwh)	0	77	84	90	97
每小时热水收入(按 8 元/t 计算)	424	512	552	600	656
小时经济效益	424 元	435 元	468 元	510 元	559 元
总经济效益(按每年运行 4000 小时计算)	170 万元	174 万元	187 万元	204 万元	224 万元

从上表不难看出，随着蒸汽回注量的增加，总的经济效益显著上升。因此，回注蒸汽是提高系统经济效益的重要措施。但是，为了保证燃气轮机 14 的稳定运行，回注量也不宜过大。根据经验，回注率最好不要超过 10%。经过综合考虑，本文推荐蒸汽回注率为 8%左右比较合适。此时总的经济效益上升很多，而热水出口温度也已经达到了 56°C，基本可以满足洗浴和远距离输送的要求。因此，本文认为，向燃烧室 12 内注入少量蒸汽是有益处的，它可以提高系统的总经济效益，减低 NOx 的排放率，延长机组的使用寿命，提高热水的出口

温度以满足远距离输送的需要，但回注率最好不要超过 8%。

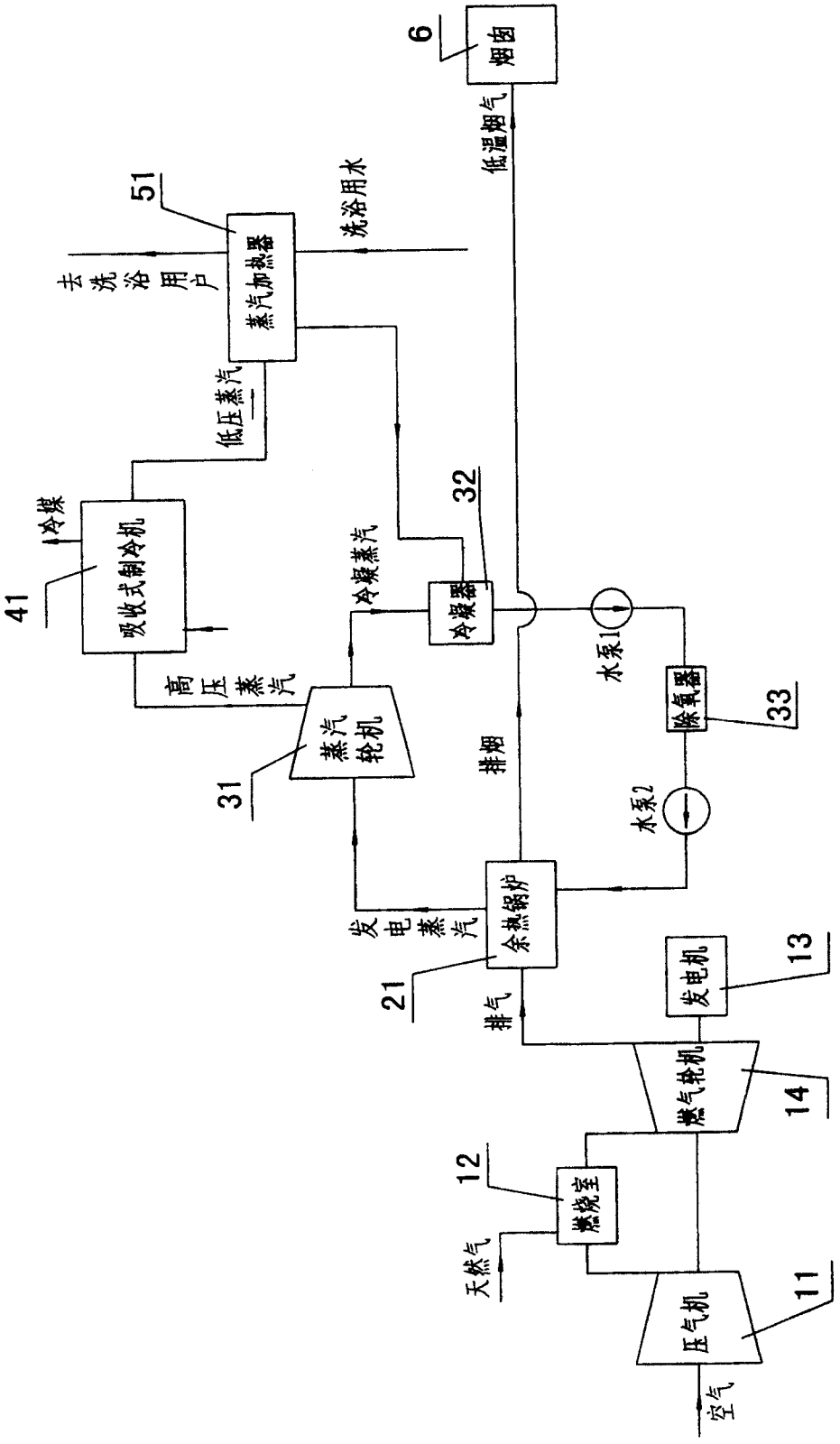

6
烟囱
低温烟气
51
洗浴用水
去洗浴用户
蒸汽加热器
低压蒸汽
41
冷煤
吸收式制冷机
32
冷凝蒸汽
冷凝器
水泵1
高压蒸汽
蒸汽轮机
31
排烟
除氧器
33
水泵2
发电蒸汽
余热锅炉
21
排气
发电机
13
燃气轮机
14
12
燃烧室
天然气
压气机
11
空气

图 1

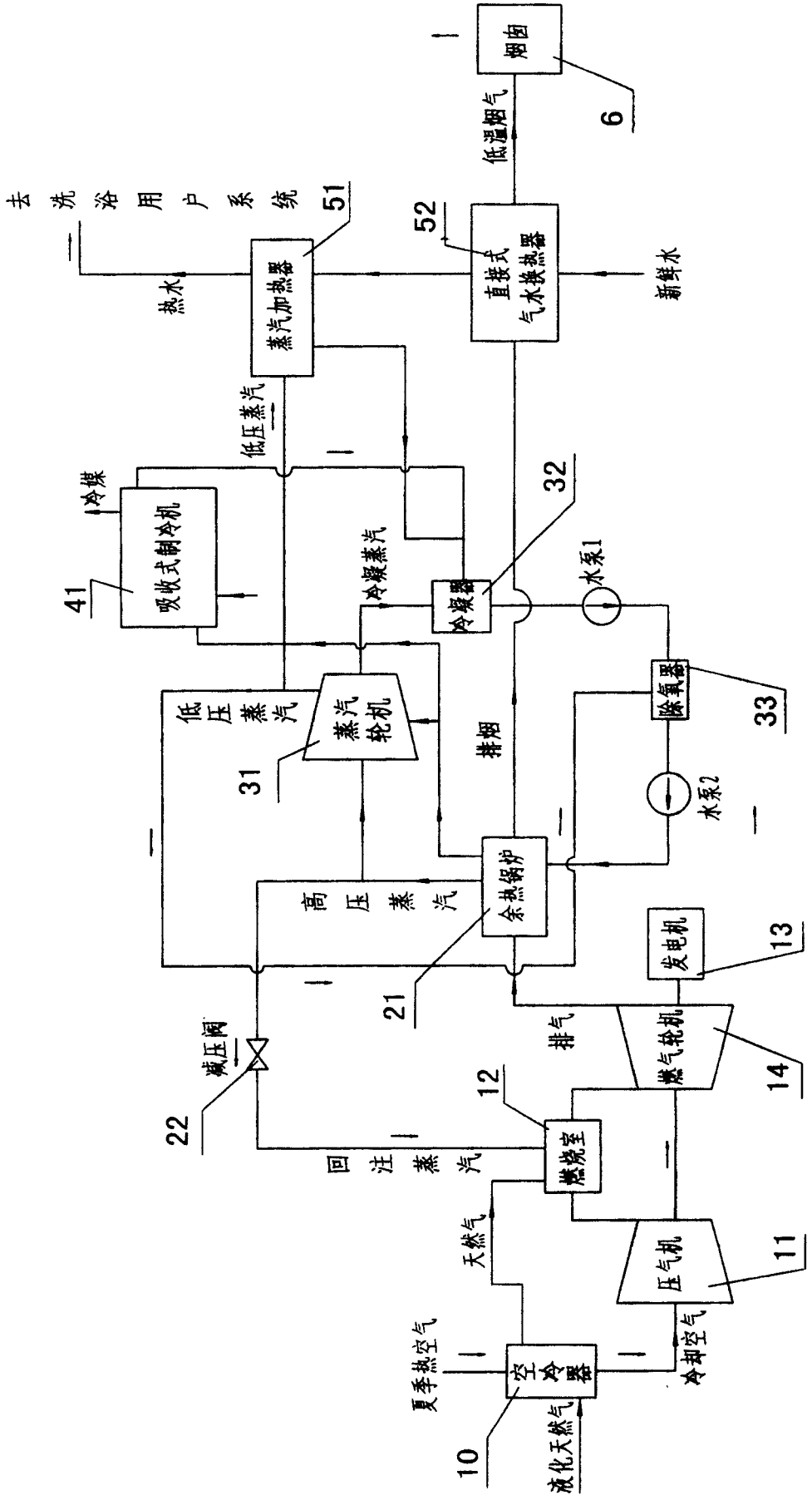

烟囱
6
低温烟气
去洗浴用户系统
51
52
蒸汽加热器
直接式气水换热器
热水
新鲜水
低压蒸汽
冷媒
吸收式制冷机
41
32
冷凝蒸汽
冷凝器
水泵1
除氧器
33
低压蒸汽
蒸汽轮机
31
排烟
水泵2
高压蒸汽
余热锅炉
21
发电机
13
减压阀
22
排气
燃气轮机
14
12
燃烧室
回注蒸汽
天然气
压气机
11
夏季热空气
空冷器
冷却空气
10
液化天然气

图 2

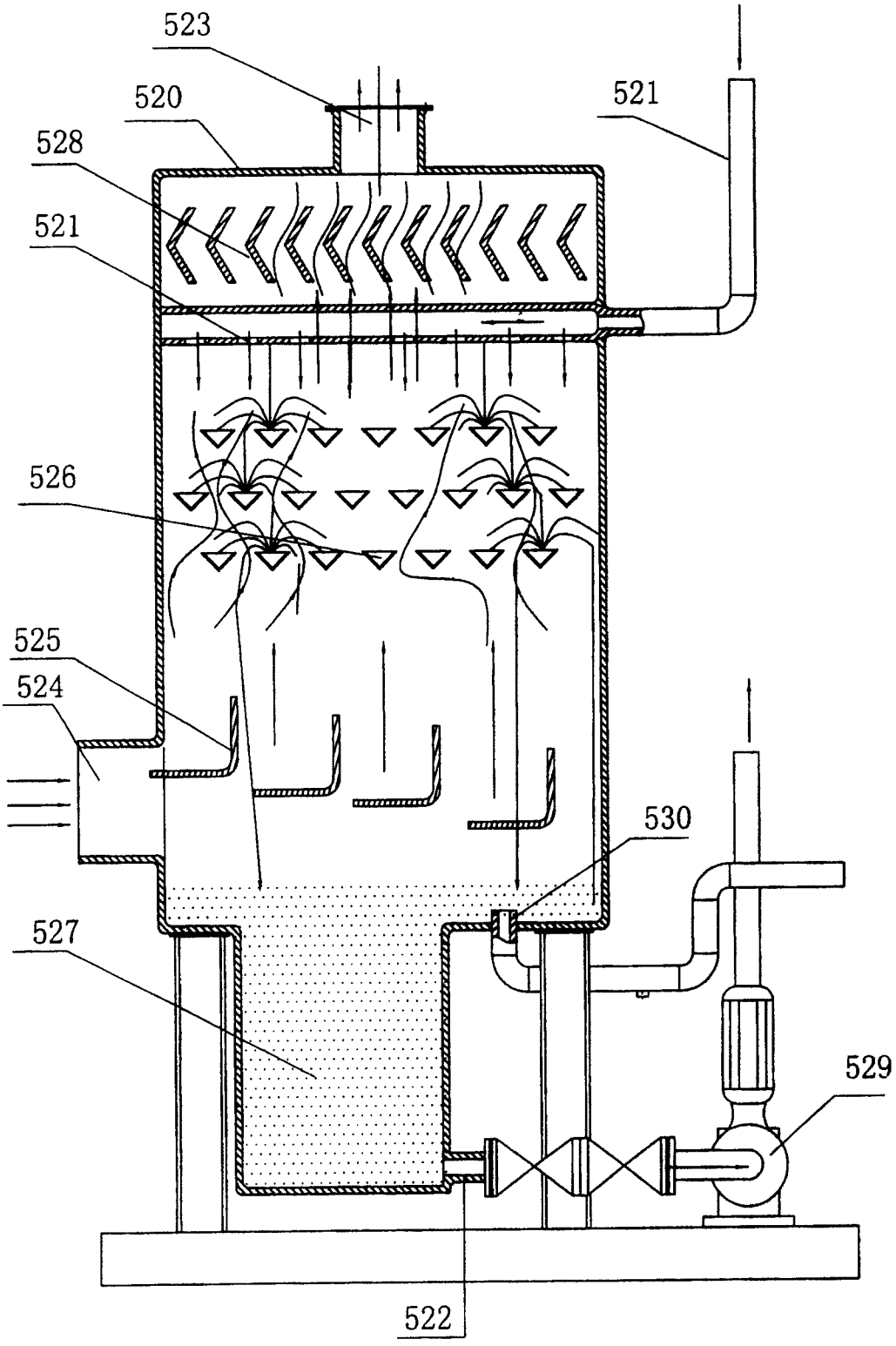


图 3