



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 106931603 B

(45) 授权公告日 2023. 05. 12

(21) 申请号 201710188493.X

(22) 申请日 2017.03.27

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106931603 A

(43) 申请公布日 2017.07.07

(73) 专利权人 重庆市计量质量检测研究院
地址 401123 重庆市渝北区黄山大道杨柳
北路1号

(72) 发明人 罗林聪 王刚

(74) 专利代理机构 重庆信航知识产权代理有限公司 50218
专利代理师 穆祥维

(51) Int. Cl.
F24F 11/30 (2018.01)
F24F 11/47 (2018.01)
F24F 11/56 (2018.01)

F24F 11/64 (2018.01)

F24F 11/32 (2018.01)

F24F 11/52 (2018.01)

F28F 27/00 (2006.01)

F24F 140/12 (2018.01)

F24F 140/20 (2018.01)

F24F 140/60 (2018.01)

(56) 对比文件

CN 105444356 A, 2016.03.30

JP H10300166 A, 1998.11.13

CN 102692066 A, 2012.09.26

CN 102339018 A, 2012.02.01

CN 103994553 A, 2014.08.20

CN 206709321 U, 2017.12.05

CN 105371443 A, 2016.03.02

审查员 陈欢

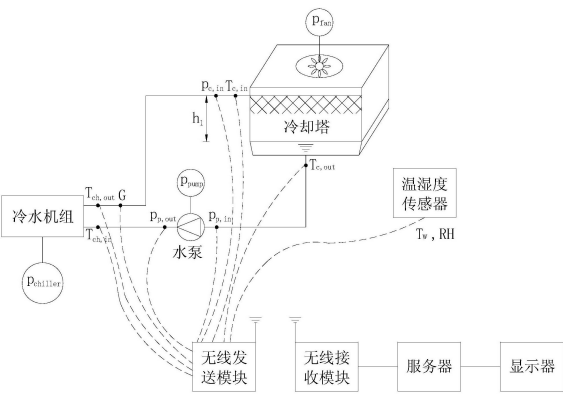
权利要求书2页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

基于物联网技术的中央空调冷却水系统能效监测系统

(57) 摘要

本发明提供一种中央空调冷却水系统能效在线测试控制系统,空调冷却水系统包括冷水机组、冷却塔和水泵,系统包括信号采集单元、无线传输单元和数据处理单元,数据采集单元用于获取冷却水循环系统的各种基础数据,无线传输单元将数据采集单元采集的各种基础数据进行发送并传输到数据处理单元,数据处理单元对接收到的基础数据进行存储、计算、分析和显示,得出冷却水系统能效和冷却塔运行效率并实时生成参数变化曲线,当监测到参数数值出现急剧变化或者超出设定限值范围时,给出对应的报警提示并诊断异常原因,给出操作反馈策略。本发明能够在线测试冷却水系统能效和冷却塔运行效率,找出最优的系统流量,使得冷却水系统总能耗最小。



1. 基于物联网技术的中央空调冷却水系统能效监测系统,所述空调冷却水系统包括冷水机组、冷却塔和水泵,其特征在于,所述系统包括数据采集单元、无线传输单元和数据处理单元;其中,

所述数据采集单元用于获取包括冷却水循环系统的温度、管道压力、流量、冷却塔风机和水泵的频率及电耗、冷却主机的电耗、冷却塔风量以及室外温湿度在内的基础数据;

所述无线传输单元包括无线发送模块和无线接收模块,所述无线发送模块用于将数据采集单元采集的各种基础数据进行发送,所述无线接收模块用于接收各种基础数据并传输到数据处理单元;

所述数据处理单元包括服务器和显示器,所述服务器用于对无线接收模块传输的各种基础数据进行存储、计算和分析,得出冷却水系统能效和冷却塔运行效率并实时生成参数变化曲线,当监测到参数变化曲线数值出现急剧变化或者超出设定限值范围时,对相应参数进行突出显示并进行报警提示,同时所述服务器还包括根据历史监测数据和内部构建的数学控制模型,通过模糊算法中专家库判断引起监测数据异常的原因,给出操作反馈策略,所述显示器用于对服务器接收的各种基础数据和结果数据进行集中显示;进一步,

所述服务器还用于根据采集到的各种基础数据、及其计算得到的冷却水系统能效和冷却塔运行效率,依据内置的数学模型计算出使所述冷水机组、冷却塔风机和水泵的功率之和最小时所需的冷却塔风机最优工作频率和水泵最优工作频率,并显示出最优工作频率以便输入对应的变频器进行优化调节;

所述冷却塔风机最优工作频率和水泵最优工作频率计算具体包括:建立以实际总功率最小为目标的优化模型,所述实际总功率为所述冷却塔风机的实际功率、冷水机组的实际功率和水泵的实际功率之和;根据所述优化模型,计算冷却水的最优流量、冷却塔最优进口压力和冷却塔风机的最优风量;根据所述冷却水的最优流量和冷却塔最优进口压力,计算所述水泵的最优工作频率,同时根据所述冷却塔风机的最优风量,计算所述冷却塔风机的最优工作频率;

所述计算冷却水的最优流量包括记录模块、比较模块和输出模块,所述记录模块适于假定从冷却水流量为 $G_{\min}$ 时开始记录冷水机组功率、水泵功率和冷却水系统总功率,其中 $G_{\min}$ 为冷水机组正常运行时的最小冷却水流量;所述比较模块适于将冷却水流量增大 $0.01\text{m}^3/\text{h}$,再次记录冷却水系统总功率,并与上一次流量时的冷却水系统总功率比较;所述输出模块适于当比较模块中冷却水流量增大之后的冷却水系统总功率大于冷却水流量增大之前的冷却水系统总功率时,停止比较计算并输出冷却水流量增大之前的冷却水系统总功率和冷却水流量,并将该冷却水系统总功率和冷却水流量作为最小功率和最优流量。

2. 根据权利要求1所述的基于物联网技术的中央空调冷却水系统能效监测系统,其特征在于,所述数据采集单元包括用于获取冷却水循环系统温度的温度传感器,用于获取管道压力的压力变送器,用于获取冷却塔进口管路流量的流量计,用于获取冷却塔风机和水泵频率的变频器,用于获取冷却塔风机、水泵和冷却主机电耗的三相功率计或电能表,用于获取冷却塔风机叶轮风压的微压计,以及用于获取室外温湿度的温湿度传感器。

3. 根据权利要求2所述的基于物联网技术的中央空调冷却水系统能效监测系统,其特征在于,所述温度传感器为热电阻或热电偶。

4. 根据权利要求2所述的基于物联网技术的中央空调冷却水系统能效监测系统,其特

征在于,所述流量计为超声波流量计或电磁流量计。

5.根据权利要求2所述的基于物联网技术的中央空调冷却水系统能效监测系统,其特征在于,所述温湿度传感器设置点为:机械式通风冷却塔时布置一处测点距地面1.5~2.0米处,距塔30~50米;自然通风冷却塔时均匀布置2~6处测点在进风口高度的1/2处,距塔15~30米的圆周上。

6.根据权利要求1所述的基于物联网技术的中央空调冷却水系统能效监测系统,其特征在于,所述无线发送模块和无线接收模块为WIFI模块、蓝牙模块或GPRS模块。

基于物联网技术的中央空调冷却水系统能效监测系统

技术领域

[0001] 本发明涉及中央空调冷却水系统技术领域,具体涉及一种基于物联网技术的中央空调冷却水系统能效监测系统。

背景技术

[0002] 随着生活水平的提高,人们对室内环境的要求越来越高,空调系统的总能耗占建筑能耗的比例逐步升高,各子系统的能耗比例不断地变化。对于民用建筑而言,空调系统占建筑物的总运行能耗的30%~50%,空调水系统的耗电量又约占空调总耗电量的15%~20%。对整个系统而言,降低部分负荷下水泵输送能耗具有较大的节能潜力。因此提高供回水温差,降低系统水流量,减少水泵运行能耗,进而实现整个系统的节能运行,在实际工程应用中具有重大的意义。而冷却水系统是建筑空调系统中的主要功能部分,冷却水系统的运行能耗在整个空调系统能耗中所占比例相当可观。在大多数冷却水系统中,通常使用冷却塔来达到系统排热的目的。这种类型的冷却水系统,针对某一特定负荷下,通常采用调整冷凝器的进水温度,改变运行冷却塔的台数和风机转速,同时改变冷却水泵的运行台数和频率,找出它们之间的最优控制策略,使冷却水系统的能耗最小。因此根据中央空调负荷变化对水系统进行变流量控制,毫无疑问将会带来相当可观的节能效果。

[0003] 随着我国工业的不断发展,对能源利用、开发和节约的要求不断提高,因而对中央空调整能的要求也不断加强,对冷却水系统,特别是冷却塔的换热能力的重视日益提高,对其冷却水系统能效和冷却塔运行效率的综合评定也提上了日程。在国务院印发的《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》中指出围绕应用面广、节能潜力大的工业领域,实施重大技术装备产业化示范工程。到2015年,高效节能技术与装备市场占有率提高到30%左右,创新能力和装备开发能力接近国际先进水平。《节能减排“十二五”规划》中更是明确指出,推动能效水平提高首先要加强工业节能,坚持走新型工业化道路,通过明确目标任务、加强行业指导、推动技术进步、强化监督管理,推进工业重点行业节能。因此对中央空调水系统进行运行效率测试和节能评估方法的研究显得尤为重要,对建筑节能减排具有十分重要的指导意义和实践作用。

[0004] 当前,节能减排工作的重点在于构建能源计量数据系统、强化能源计量工作、实施能源精细化管理,这也是节能减排的重要基石。能源计量是指在能源消费、转化等流程中,对处于各环节(包括能源生产、运输、使用、监管等各个领域)的能源数量、质量、性能等参数进行检测、度量和计算。其中的重点就是能源计量数据的采集,物联网技术作为一项新兴的技术,在能源计量数据采集技术中起着巨大的作用,同时占据着重要的地位。将物联网技术的数据感知和传输应用到能源计量中去,以较低的投资和使用成本实现对能源全流程的“泛在感知”,获取以往无法获取的重要能源消耗过程参数,并以此为基础通过大数据分析和决策,达到节能减排的目标。

[0005] 本发明的发明人经过研究发现,考虑到中央空调冷却机组及其冷冻水系统、风系统一般由生产企业直接负责生产和安装,而循环冷却水系统中的设备,包括水泵、冷却塔等

一般在用户当地采购安装,虽然选型时确保了中央空调的安全和可靠运行,但是不可避免存在水系统安全裕量过大的问题,造成了不必要的能源浪费。另外,冷水机组作为中央空调系统的冷源,是系统中最重要设备,而冷水机组能耗占整个空调系统能耗的比例最大,且冷水机组绝大部分时间处于部分负荷状态,满负荷运行时间很少,因此处理部分负荷下冷水机组的冷却水循环系统及与水泵和冷却塔等部件的节能优化问题,成为目前亟待解决的技术问题。

发明内容

[0006] 针对现有技术存在的技术问题,本发明结合中央空调冷却水循环系统能耗及运行参数监测,提出一种基于物联网技术的中央空调冷却水系统能效监测系统。该系统应用物联网技术实现机组、冷却水系统电耗和制冷量等参数的现场采集与远程传输,能够在线监测中央空调冷却水系统能效和冷却塔运行效率等数据,并结合模糊算法和专家库模型评估系统运行效率下降的原因,给出优化控制参考策略实现在线诊断功能,找出在满足所需冷负荷的情况下最优的系统流量,使得冷却主机功耗、水泵功耗和风机功耗之和最低。

[0007] 为了解决上述技术问题,本发明采用了如下的技术方案:

[0008] 一种基于物联网技术的中央空调冷却水系统能效监测系统,所述空调冷却水系统包括冷水机组、冷却塔和水泵,所述系统包括信号采集单元、无线传输单元和数据处理单元;其中,

[0009] 所述数据采集单元用于获取包括冷却水循环系统的温度、管道压力、流量、冷却塔风机和水泵的频率及电耗、冷却主机的电耗、冷却塔风量以及室外温湿度在内的基础数据;

[0010] 所述无线传输单元包括无线发送模块和无线接收模块,所述无线发送模块用于将数据采集单元采集的各种基础数据进行发送,所述无线接收模块用于接收各种基础数据并传输到数据处理单元;

[0011] 所述数据处理单元包括服务器和显示器,所述服务器用于对无线接收模块传输的各种基础数据进行存储、计算和分析,得出冷却水系统能效和冷却塔运行效率并实时生成参数变化曲线,当监测到参数变化曲线数值出现急剧变化或者超出设定限值范围时,对相应参数进行突出显示并进行报警提示,所述显示器用于对服务器接收的各种基础数据和结果数据进行集中显示。

[0012] 进一步,所述数据采集单元包括用于获取冷却水循环系统温度的温度传感器,用于获取管道压力的压力变送器,用于获取冷却塔进口管路流量的流量计,用于获取冷却塔风机和水泵频率的变频器,用于获取冷却塔风机、水泵和冷却主机电耗的三相功率计或电能表,用于获取冷却塔风机叶轮风压的微压计,以及用于获取室外温湿度的温湿度传感器。

[0013] 进一步,所述温度传感器为热电阻或热电偶。

[0014] 进一步,所述流量计为超声波流量计或电磁流量计。

[0015] 进一步,所述温湿度传感器设置点为:机械式通风冷却塔时布置一处测点距地面1.5~2.0米处,距塔30~50米;自然通风冷却塔时均匀布置2~6处测点在进风口高度的1/2处,距塔15~30米的圆周上。

[0016] 进一步,所述无线发送模块和无线接收模块为WIFI模块、蓝牙模块或GPRS模块。

[0017] 进一步,所述当监控到参数变化曲线数值出现急剧变化或者超出设定限值范围时,对相应参数进行突出显示并进行报警提示的同时,所述服务器还包括根据历史监测数据和内部构建的数学控制模型,通过模糊算法中专家库判断引起监测数据异常的原因,给出操作反馈策略。

[0018] 进一步,所述服务器还用于根据采集到的各种基础数据、及其计算得到的冷却水系统能效和冷却塔运行效率,依据内置的数学模型计算出使所述冷水机组、冷却塔风机和水泵的功率之和最小时所需的冷却塔风机最优工作频率和水泵最优工作频率,并显示出最优工作频率以便输入对应的变频器进行优化调节。

[0019] 进一步,所述冷却塔风机最优工作频率和水泵最优工作频率计算具体包括:建立以实际总功率最小为目标的优化模型,所述实际总功率为所述冷却塔风机的实际功率、冷水机组的实际功率和水泵的实际功率之和;根据所述优化模型,计算冷却水的最优流量、冷却塔最优进口压力和冷却塔风机的最优风量;根据所述冷却水的最优流量和冷却塔最优进口压力,计算所述水泵的最优工作频率,同时根据所述冷却塔风机的最优风量,计算所述冷却塔风机的最优工作频率。

[0020] 进一步,所述计算冷却水的最优流量包括记录模块、比较模块和输出模块,所述记录模块适于假定从冷却水流量为 $G_{\min}$ 时开始记录冷水机组功率、水泵功率和冷却水系统总功率,其中 $G_{\min}$ 为冷水机组正常运行时的最小冷却水流量;所述比较模块适于将冷却水流量增大 $0.01\text{m}^3/\text{h}$,再次记录冷却水系统总功率,并与上一次流量时的冷却水系统总功率比较;所述输出模块适于当比较模块中冷却水流量增大之后的冷却水系统总功率大于冷却水流量增大之前的冷却水系统总功率时,停止比较计算并输出冷却水流量增大之前的冷却水系统总功率和冷却水流量,并将该冷却水系统总功率和冷却水流量作为最小功率和最优流量。

[0021] 与现有技术相比,本发明提供的基于物联网技术的中央空调冷却水系统能效监测系统,重点在于借助物联网技术实现中央空调冷却循环水系统的能源数据采集,实现在综合考虑不同负荷下中央空调系统冷却水变流量(包括冷却水变频和冷却塔风机变频)相结合的情况下,使得冷却水系统的运行效率最高,能耗最小,并能够在效率降低的时候评估出影响因素,为系统的节能优化运行管理提供技术参考,为空调系统节能改造奠定技术基础。具体地,为了实现中央空调冷却水循环系统运行效率的在线测试,主要通过传感器采集温度、管道压力、流量及其风机和水泵的频率和电耗等基础数据,然后通过无线传输到后端的服务器分析平台,进行系统能效和冷却塔运行效率的计算和监测,以达到根据外界环境和负荷的变化,在不降低系统能效的情况下通过控制风机和水泵的频率,达到使冷却水系统总能耗最小和节约能源的目的;另一方面,通过冷却塔运行效率和流动阻力的测试,了解循环冷却塔换热能力的强弱以及水系统结垢的程度,作为循环水系统是否需要检修或去除内部污垢之类的维护工作的一个判据。

附图说明

[0022] 图1是本发明提供的中央空调冷却水系统效率在线测试控制系统结构示意图。

[0023] 图2是本发明提供的计算冷却水的最优流量的流程示意图。

具体实施方式

[0024] 为了使本发明实现的技术手段、创作特征、达成目的与功效易于明白了解,下面结合具体图示,进一步阐述本发明。

[0025] 在本发明的描述中,需要理解的是,术语“纵向”、“径向”、“长度”、“宽度”、“厚度”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。在本发明的描述中,除非另有说明,“多个”的含义是两个或两个以上。

[0026] 在本发明的描述中,需要说明的是,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或一体地连接;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0027] 请参考图1所示,本发明提供一种基于物联网技术的中央空调冷却水系统能效监测系统,所述空调冷却水系统包括冷水机组、冷却塔和水泵,所述系统包括信号采集单元、无线传输单元和数据处理单元;其中,

[0028] 所述数据采集单元用于获取包括冷却水循环系统的温度、管道压力、流量、冷却塔风机(即冷却塔中的风机)和水泵(即冷却水循环泵)的频率及电耗、冷却主机的电耗、冷却塔风量以及室外温湿度在内的基础数据;

[0029] 所述无线传输单元包括无线发送模块和无线接收模块,所述无线发送模块用于将数据采集单元采集的各种基础数据进行发送,所述无线接收模块用于接收各种基础数据并传输到数据处理单元;

[0030] 所述数据处理单元包括服务器和显示器,所述服务器中安装有SQL数据库以及由计算机技术搭建的数据分析平台,该分析平台具有数据存储、数据显示和控制调节等功能,所述服务器用于对无线接收模块传输的各种基础数据进行存储、计算和分析,得出冷却水系统能效和冷却塔运行效率并实时生成参数变化曲线,当监测到参数变化曲线数值出现急剧变化或者超出设定限值范围时,对相应参数进行突出显示并进行报警提示,所述显示器用于对服务器接收的各种基础数据和结果数据进行集中显示。

[0031] 作为具体实施例,所述数据采集单元包括:用于获取冷却水循环系统温度的温度传感器,该冷却水循环系统的温度是指冷却塔进出口的温度,可以是冷却水系统进出口管道内冷却水的温度,也可以是冷却塔布液槽和集液槽内冷却水的温度,具体可以采用热电阻或者热电偶温度传感器获取,精度不低于0.2级,并通过连接线传输给无线发送模块;用于获取管道压力的压力变送器,其中管道压力是指冷却水循环泵(即水泵)进出口的压力和冷却塔进口管道处的压力,通过压力传感器可对管道压力处的对应数据进行采集;用于获取冷却塔进口管路流量的流量计,具体可以采用超声波流量计或电磁流量计来采集,测试精度不低于 $\pm 2\%$,若冷却塔进口管路上已有其他形式的流量计,可以经校准后直接采用所述形式的流量计来采集其流量数据信号;用于获取冷却塔风机和水泵频率的变频器,即塔风机和水泵的频率信号直接通过各自的变频器进行采集,变频器和无线发送模块相连接;

用于获取冷却塔风机、水泵和冷却主机电耗的三相功率计或电能表,即通过三相功率计或各自的电能表读取;用于获取冷却塔风机叶轮风压的微压计,通过计算风机叶轮的风压差可以得到冷却塔风量,或者通过皮托管或风速仪测量也可计算得到冷却塔风量;以及用于获取室外温湿度的温湿度传感器,所述温湿度传感器需放置在相关规范规定的采集位置,例如依据冷却塔通风方式的不同,可分为:机械式通风冷却塔时布置一处测点距地面1.5~2.0米处,距塔30~50米;自然通风冷却塔时均匀布置2~6处测点在进风口高度的1/2处,距塔15~30米的圆周上,由此可以较为准确地测量出冷却塔所处室外环境的温湿度。

[0032] 作为具体实施方式,为了便于理解和后续使用相关采集数据,现将采集的各种基础数据分别记为:机组进口温度 $T_{ch,in}$,机组出口温度 $T_{ch,out}$,冷却塔进口温度 $T_{c,in}$,冷却塔出口温度 $T_{c,out}$,冷却塔进口管路压力 $p_{c,in}$,水泵进口压力 $p_{p,in}$,水泵出口压力 $p_{p,out}$,冷却塔进口至集液槽液面高度差为 h_1 ,集液槽液面至水泵入口高度差为 h_2 ,冷却塔进口至水泵入口高度差记为 h_3 ,水泵进出口高度差记为 Z_3 ,环境湿球温度为 T_w ,环境湿度为RH,冷水机组电功耗(功率)为 $P_{chiller}$,水泵电功耗(功率) P_{pump} ,风机电功耗(功率) P_{fan} ,循环流量 G ,流体密度 ρ ,水泵扬程 H ,水泵电机频率 f_{pump} ,风机电机频率 f_{fan} 。

[0033] 作为具体实施例,所述无线传输单元是物联网技术用于空调系统能源数据采集的关键所在,所述无线传输单元由无线发送模块和无线接收模块组成,所述无线发送模块和无线接收模具体可以采用WIFI模块、蓝牙模块或GPRS模块等,即所述无线发送模块和无线接收模之间可通过WIFI模块、蓝牙模块或GPRS模块来实现无线信号的收发传输。

[0034] 作为具体实施例,所述服务器中安装的SQL数据库以及由计算机技术搭建的数据分析平台,可以根据所述数据采集单元实时在线采集的冷却水系统水泵进出口压力 $p_{p,in}$ 和 $p_{p,out}$ 、水泵和风机的电耗 P_{pump} 和 P_{fan} 、冷却塔进口管路的水压 $p_{c,in}$ 、冷却水系统水流量 G 、冷却塔出入口的温度 $T_{c,in}$ 和 $T_{c,out}$ 、冷却塔风量 V 及其他运行参数,如水泵和风机运转频率 f_{pump} 和 f_{fan} ,实现计算机自动计算冷却水系统能效ECP和冷却塔运行效率 η ,以用于监控中央空调冷却水循环系统的能效,同时方便用户了解中央空调水系统的实际运行情况。

[0035] 冷却水系统能效反映了冷却水系统制冷量与冷水机组、冷却水泵、冷却塔总耗电量的关系,其计算式如下:

$$[0036] \quad ECP = \frac{Q}{\Sigma N_i} \quad \text{式 (1)}$$

$$[0037] \quad Q = \frac{c_p \rho G \Delta t}{3600} \quad \text{式 (2)}$$

$$[0038] \quad \Sigma N_i = P_{total} = P_{chiller} + P_{pump} + P_{fan} \quad \text{式 (3)}$$

[0039] 式中:ECP为冷却水系统能效; Q 为冷却水瞬时总冷量,kW; ΣN_i 为冷却水系统瞬时总功率(包括冷水机组、冷却泵、冷却塔等冷却水循环系统设备的瞬时总功率),kW; ρ 为水的密度(取1000kg/m³); c_p 为水的比热(取4.186kJ/(kg·°C)); G 为冷却水流量,m³/h; Δt 为冷却水供回水温差($T_{ch,out} - T_{ch,in}$),°C。

[0040] 冷却塔运行效率是评判冷却塔是否节能的一个重要指标,反映的是冷却塔所处理过的水的出水温度接近室外空气湿球温度的程度,接近程度越高说明冷却塔对回水的处理越充分,相应的冷却塔的效率也越高,说明塔的换热效果越好,其计算方法如下:

$$[0041] \quad \eta = \frac{T_{c, in} - T_{c, out}}{T_{c, in} - T_w} \quad \text{式 (4)}$$

[0042] 式中： η 为冷却塔运行效率； $T_{c, in}$ 为冷却塔的进水温度，℃； $T_{c, out}$ 为冷却塔的出水温度，℃； T_w 为环境空气湿球温度，℃。

[0043] 在本实施例中，通过对冷却塔运行效率的监测，若发现效率下降到一定程度，则判定冷却塔积灰污垢严重，需要清洗；通过检测冷却水系统流量和机组冷凝器两端管道的压力损失 Δp ，即附图1中所示的 $p_{p, out} - p_{c, in}$ ，在分析平台监测流量与压差的关系并比对历史数据可以判断管道流动阻力的大小，当检测到管道流动阻力增大一定程度时，则考虑管路或进冷水机组内冷凝器内部结垢严重，给出清洗建议。

[0044] 流体在管道中流动，其流动阻力 h_w 包括沿程阻力 h_f 和局部阻力 h_j ，前者为流体流经直管段时，由于克服流体的粘滞性及与管内壁间的磨擦所产生的阻力；后者为流体流经异形管或管件（如阀门、弯头、三通等）时，由于流动发生骤然变化引起涡流所产生的能量损失，计算式如下：

$$[0045] \quad h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \quad \text{式 (5)}$$

$$[0046] \quad h_j = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad \text{式 (6)}$$

$$[0047] \quad h_w = h_f + h_j = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} + \zeta \frac{v^2}{2g} \quad \text{式 (7)}$$

$$= \left(\lambda \frac{l}{d} + \zeta \right) \frac{(4G/\pi d^2)^2}{2g} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \zeta \right) \frac{8G^2}{g\pi^2 d^4}$$

[0048] 将流体流经某一管中或阀门等所引起的局部阻力损失折合成与其直径相同的一定长度直管段阻力的方法，引入当量长度 le ，则有：

$$[0049] \quad h_w = \left(\lambda \frac{l}{d} + \zeta \right) \frac{8G^2}{g\pi^2 d^4} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \lambda \frac{le}{d} \right) \frac{8G^2}{g\pi^2 d^4} = \lambda (l + le) \frac{8G^2}{g\pi^2 d^5} \quad \text{式 (8)}$$

[0050] 式中： λ 为沿程阻力系数； ζ 为局部阻力系数， $1/m$ ； l 为管道长度， m ； d 为管道内径， m ； v 为流体速度， m/s 。

[0051] 而管道某段两端压差又与该段的流动阻力有如下关系：

$$[0052] \quad h_w = \frac{\Delta p}{\rho g} \quad \text{式 (9)}$$

[0053] 因此，由式(9)可知，当冷却水系统流量一定时，管道流动阻力与管道内径的5次方成反比，据此可以得到管道结垢主要使管道内壁的粗糙度增加而导致沿程损失系数增大，另一方面使管道内径减少，从而导致流动阻力增加。由式(8)可知流动阻力损失宏观表现为管道两端压力损失。故可以通过检测冷凝器两端压力损失 $\Delta p (p_{p, out} - p_{c, in})$ 来确定管道流动阻力的大小，进而推断管道内壁结垢的程度。

[0054] 作为具体实施例，所述数据分析平台还能将计算得到的冷却水系统能效和冷却塔运行效率实时生成参数变化曲线，当监测到冷却水系统能效和冷却塔运行效率等参数变化曲线数值出现急剧变化或者超出设定限值范围时，即出现空调系统能耗增加或制冷能力下

降等异常情况,能对相应参数进行突出显示并进行报警提示。作为一种实施方式,所述当监控到参数变化曲线数值出现急剧变化或者超出设定限值范围时,对相应参数进行突出显示并进行报警提示的同时,所述服务器3还包括根据历史监测数据和内部构建的数学控制模型,通过模糊算法中专家库判断引起监测数据异常的原因,给出操作反馈策略,以便运行管理人员进行相应操作。

[0055] 作为具体实施例,所述服务器还用于根据设定的空调循环冷却水系统数学模型,计算出使所述冷水机组、冷却塔风机和水泵的功率之和最小时所需的冷却塔风机最优工作频率和水泵最优工作频率,并显示最优工作频率以输入空调系统的控制系统进行优化调节。作为一种具体实施方式,所述数据计算处理还是使用服务器中的数据分析平台进行,所述冷却塔风机最优工作频率和水泵最优工作频率计算具体包括:建立以实际总功率最小为优化目标的数学模型,所述实际总功率为所述冷却塔风机的实际功率、冷水机组的实际功率和水泵的实际功率之和;根据所述模型,优化计算首先得到冷却水的最优流量、冷却塔最优进口压力和冷却塔风机的最优风量;根据所述冷却水的最优流量和冷却塔最优进口压力,计算所述水泵的最优工作频率,同时根据所述冷却塔风机的最优风量,计算所述冷却塔风机的最优工作频率。在本实施例中,处理方法采用:冷却水系统可以调节的量只限于冷却水泵和冷却塔风机转速或者频率,将冷却水流量和冷却塔风量作为调节变量,将冷负荷和室外湿球温度作为扰动变量,冷冻水出水温度可以通过冷水机组面板进行人工设定。

[0056] 依据比例定律可得到水泵流量和扬程与转速的关系、风机风量与转速如下:

$$[0057] \quad G = G_e \frac{n}{n_e} \quad \text{式 (10)}$$

$$[0058] \quad H = H_e \frac{n}{n_e} \quad \text{式 (11)}$$

$$[0059] \quad V = V_e \frac{n}{n_e} \quad \text{式 (12)}$$

[0060] 其中,G、H、V、n分别表示水泵的流量、扬程、风机风量及转速,下标e表示额定工况。水泵和风机的转速与驱动电机的转速一般是成比例关系的,而电机转速与工作频率的关系如下:

$$[0061] \quad n = 60 \frac{f}{P} \quad \text{式 (13)}$$

[0062] 上式中,n为电机转速,f为电机工作频率,P为电机旋转磁场的极对数。故通过以上式子就可以通过水泵流量或风机的风量计算得到电机的工作频率。

[0063] 具体地,冷却水温度越低,冷水机组的运行效率越高,冷水机组能耗就越低,但冷却塔风机的能耗相应越高。冷却水流量越高,冷凝器换热效率就越高,机组效率就越高,但冷却水循环泵能耗反而升高。可见冷水机组、冷却塔和冷却水循环泵三者之间的运行是藕合关系,相互关联的,因此通过建立总能耗最小的优化模型方式,综合考虑各设备的能耗,计算出总能耗最低时的冷却水的最优流量、冷却塔风机的最优风量,进而得到对风机、冷却水循环泵的最优工作频率的最优解,以对外部的风机、冷却水循环泵的运行进行控制,从而降低整个空调冷却水系统的总能耗,节约能源。冷却水系统的运行优化要保证系统在非额定工况下运行时处于最优状态,针对冷却水系统运行优化方法,以整个系统总功率建立目

标函数,最终确定目标函数最小值以及该相应的水流量和风量。通过对冷却水系统的分析可以得知,主要耗能设备有冷水机组、水泵和冷却塔。以整个系统总功率建立的目标函数如下:

$$[0064] \quad f = \min P_{\text{total}} = \min (P_{\text{chiller}} + P_{\text{pump}} + P_{\text{fan}}) \quad \text{式(14)}$$

[0065] 其中, P_{total} 为冷却水系统总功率, P_{chiller} 为冷水机组功率, P_{pump} 为水泵功率, P_{fan} 为冷却塔风机功率,功率的单位为kW。

[0066] 在上述目标函数数学控制优化模型中,机组制冷量、冷却水的温度和流量、风机转速、水泵扬程应当满足正常工作需求,否则对系统建立的优化方法是无意义的。参考相关文献及调研实际机组运行情况,本申请采用以下约束条件:

[0067] 第一、机组的制冷量 Q 必须满足建筑物冷负荷 Q_c 的需要,即 $Q \geq Q_c$ 。

[0068] 第二、冷水机组温度约束,冷却水温度及冷却塔出口温度 $T_{c,\text{out}}$,理论极限值为室外空气的湿球温度,冷水机组对冷却水温度没有严格的限制,但是在机组实际运行过程中发现冷却水温度低于 10°C 时机组也会停机,冷却水温度上限值为冷水机组冷凝器可以安全运行的最高温度,因而冷水机组温度一般约束为 $10^\circ\text{C} \leq T_4 \leq 45^\circ\text{C}$ 。

[0069] 第三、考虑机组冷凝器侧的允许流量范围为 $60\% \sim 130\%$,因此循环流量约束为 $0.60G_e \leq G \leq 1.30G_e$,其中 G_e 为冷却系统额定流量。有文献建议最小流量为水泵最佳效率点流量的25%左右,同时为确保水泵电机的正常散热,水泵转速不应低于额定转速的30%。结合到流量与水泵转速、频率的关系,水泵实际频率约束如下:

$$[0070] \quad 60\% \leq \frac{f_{\text{pump}}}{f_{\text{pump,e}}} \leq 100\% \quad \text{式(15)}$$

[0071] 第四、冷却塔风机转速约束,冷却塔风量是由风机转速决定的,由于冷却塔风机功率在冷却水系统中所占比例较小,同时分析功率与转速的关系发现,在转速低于额定转速50%时功率变化较小,节能效果并不明显,因此冷却塔风机实际频率 f_{fan} 约束为不小于额定频率 $f_{\text{fan,e}}$ 的50%,具体如下:

$$[0072] \quad 50\% \leq \frac{f_{\text{fan}}}{f_{\text{fan,e}}} \leq 100\% \quad \text{式(16)}$$

[0073] 第五、水泵扬程,因冷水机组内部冷凝器换热管的阻力、冷却水循环管路的摩擦阻力和局部阻力以及除污器的阻力、调节阀门阻力、冷却塔进出水高度差 h_1 ,根据前述阻力及

高度差可计算出总阻力 Δp_{total} ,考虑到设计安全系数得到理论扬程 $H' = k \frac{\Delta p_{\text{total}}}{\rho g}$,其中 $k =$

$1.1 \sim 1.3$, g 为重力加速度。所以在实际的节能优化模型中需要保证水泵实际提供的扬程 H_t 大于等于理论扬程 H' ,即 $H_t \geq H'$ 。

[0074] 根据恒定总流能量方程, $z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} \pm H_t = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_w$,取冷却塔集液槽液面和冷却塔进水管 p_1 测试处为计算截面,可得:

$$[0075] \quad 0 + \frac{p_0}{\rho g} + 0 + H_t = h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + h_w \quad \text{式(17)}$$

[0076] 可得:

$$[0077] \quad p_1 - p_0 = \rho g \left(H_t - \frac{v^2}{2g} - h_1 - h_w \right) \quad \text{式 (18)}$$

[0078] 上式中： p_0 为大气压强； z_j 为j截面流体相对于选定的基准面的位置高度，m； v_j 为j截面的流体平均速度，m/s； p_j 为j截面的流体压力，pa； H_t 为水泵实际扬程，m； h_w 为总管路流动阻力损失，m。

[0079] 由式(18)可以得出，冷却塔入口管路压力与水泵实际扬程 H_t 、冷却塔进口水动能 $\frac{v^2}{2g}$ 、冷却塔进口至集液槽液面高度差 h_1 和管路流动阻力损失 h_w 有关，而

$$h_w = h_f + h_j = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} + \xi \frac{v^2}{2g} \quad , \text{所以 } p_1 - p_0 \text{ 可表示为: } p_1 - p_0 = \rho g \left(H_t - A \frac{v^2}{2g} - h_1 \right) \quad , \text{又因}$$

$G = \frac{\pi d^2}{4} v$ ，故有 $p_1 - p_0 = \rho g (H_t - BG^2 - h_1)$ ，而 h_1 为常数，故冷却塔入口管路的压力仅是水泵扬程 H_t 和流量 G 的函数。

[0080] 而水泵功耗 $P_{\text{pump}} = \rho g G H$ ，如前文所述要满足运行工况又要使水泵功耗最低，就需要水泵扬程满足理论扬程 H' 即可，而理论扬程对于特定的管路系统而言是一个恒值，可以通过一系列的测量得到，因此水泵功耗 P_{pump} 仅与流量 G 有关。

[0081] 而风机功率 P_{fan} 与风机的转速有关，风机转速越高，风机功耗相应增加，冷却水塔换热量增强，冷却塔出口温度 $T_{c, \text{out}}$ 降低，从而主机冷凝器换热能力增强，机组电耗降低。据文献可知建造好的冷却塔，其构造、布置等不再变化，冷却塔的运行效率仅与风水比有关，在给定的进水流量的情况下，则仅与进入冷却塔的风量有关，即是与风机的频率有关。因此可设：

$$[0082] \quad \eta = \frac{T_{c, \text{in}} - T_{c, \text{out}}}{T_{c, \text{in}} - T_w} = a f_{\text{fan}} + b \quad \text{式 (19)}$$

$$[0083] \quad f_{\text{fan}} = a' \frac{\Delta T_c}{\Delta T_c + T_{c, \text{out}} - T_w} + b' \quad \text{式 (20)}$$

[0084] 冷却塔入口温度 $T_{c, \text{in}}$ 和环境湿球温度 T_w 可以通过传感器测得，而为了确保主机冷凝器的换热能力，必须控制冷却塔温差 $\Delta T_c = T_{c, \text{in}} - T_{c, \text{out}}$ ，因此在确保主机安全的前提下，出口温度 $T_{c, \text{out}}$ 应尽可能低，以提高冷却塔效率，增大机组ECP。因此本发明的数据处理单元通过历史数据给出拟合公式(20)，然后每隔一定时间间隔 $\Delta \tau$ 采集一次冷却塔出口水温 $T_{c, \text{out}}$ 、 ΔT_c 和 T_w ，用已拟合好的公式(20)计算风机频率并和对应的约束条件和设定值比较，当计算的风机频率大于50时，取最大值50Hz，当小于50时取实际值。

[0085] 文献研究还表明，循环水流量对水泵功耗和机组功耗都有明显的影响，具体是水泵功耗随着流量的增大而逐渐增大，机组功耗随着流量的增大而逐渐降低，导致机组总功耗随着流量的增大先减小而后增大。

[0086] 作为具体实施例，请参考图2所示，所述计算冷却水的最优流量包括记录模块、比较模块和输出模块，所述记录模块适于假定从冷却水流量为 G_{min} 时开始记录冷水机组功率、水泵功率和冷却水系统总功率，其中 G_{min} 为冷水机组正常运行时的最小冷却水流量，需要满

足约束条件 $0.65G_e \leq G \leq 1.35G_e$;所述比较模块适于将冷却水流量增大 $0.01\text{m}^3/\text{h}$,再次记录冷却水系统总功率,并与上一次流量时的冷却水系统总功率比较;所述输出模块适于当比较模块中冷却水流量增大之后的冷却水系统总功率大于冷却水流量增大之前的冷却水系统总功率时,停止比较计算并输出冷却水流量增大之前的冷却水系统总功率和冷却水流量,并将该冷却水系统总功率和冷却水流量作为最小功率和最优流量;当所述比较模块中冷却水流量增大之后的冷却水系统总功率不大于冷却水流量增大之前的冷却水系统总功率时,则需要通过所述比较模块继续比较计算。另外,在下一时刻的冷负荷与湿球温度下,要重复执行所述记录模块、比较模块和输出模块以进行冷却水的最优流量计算。

[0087] 总之,现有中央空调冷却循环水系统由于是依据最大负荷设计的,而一般情况下实际运行的空调负荷为最大负荷的70%~80%,因此如果冷却水系统按照最大负荷设计的工况进行运行,势必会造成必要的能源浪费,所以一般空调系统对于循环水泵和冷却塔风机都进行了变频控制,但是依然存在变频控制与空调负荷不能很好匹配的现象。通过一些节能改造项目,发现进入冷却塔水路的压力过高,水头动能过大,存在部分能量浪费的现象。通过本申请提供的冷却水系统能效测试和控制系统,可以实现水系统与空调主机进行充分的热交换,在满足换热要求的情况下,实现冷却塔入口水路的压力处在一个合适的范围内,即在保证扬程所需的情况下运行最小的循环流量,使水泵功耗降低。而通过冷却塔运行效率的监测可以实现判定冷却塔换热效果好坏,作为是否需要检修或者内部污垢去除等维护工作的一个判据。通过服务器后端的软件程序实现循环冷却水系统能耗、运行效率、冷却塔运行效率的实时监测,并能够在发现能耗过大的情况下实现计算反馈出风机、水泵频率的最优值,以便运行管理人员通过空调系统的DCS系统(即分布式控制系统,Distributed Control System)进行调节,以达到提高系统运行效率和能效的作用。进一步通过效率在线测试系统,可以诊断出系统效率、流动阻力异常时的原因,并给出反馈建议,可以为节能技术改造提供数据和技术支持。

[0088] 与现有技术相比,本发明提供的基于物联网技术的中央空调冷却水系统能效监测系统,重点在于借助物联网技术实现中央空调冷却循环水系统的能源数据采集,实现在综合考虑不同负荷下中央空调系统冷却水变流量(包括冷却水变频和冷却塔风机变频)相结合的情况下,使得冷却水系统的运行效率最高,能耗最小,并能够实现在效率降低的时候评估出影响因素,为系统的节能优化运行管理提供技术参考,为空调系统节能改造奠定技术基础。具体地,为了实现中央空调冷却水循环系统能效的在线测试,主要通过传感器采集温度、管道压力、流量及其风机和水泵的频率和电耗等基础数据,然后通过无线传输到后端的分析平台,进行系统能效和冷却塔运行效率的计算和监测,以达到根据外界环境和负荷的变化,在不降低系统能效的情况下通过控制风机和水泵的频率,达到使冷却水系统总能耗最小和节约能源的目的;另一方面,通过冷却塔运行效率和管路流动阻力的测试,了解循环冷却塔换热能力的强弱以及水系统结垢的程度,作为循环水系统是否需要检修或去除内部污垢之类的维护工作的一个判据。

[0089] 最后说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制,尽管参照较佳实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本发明技术方案的宗旨和范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

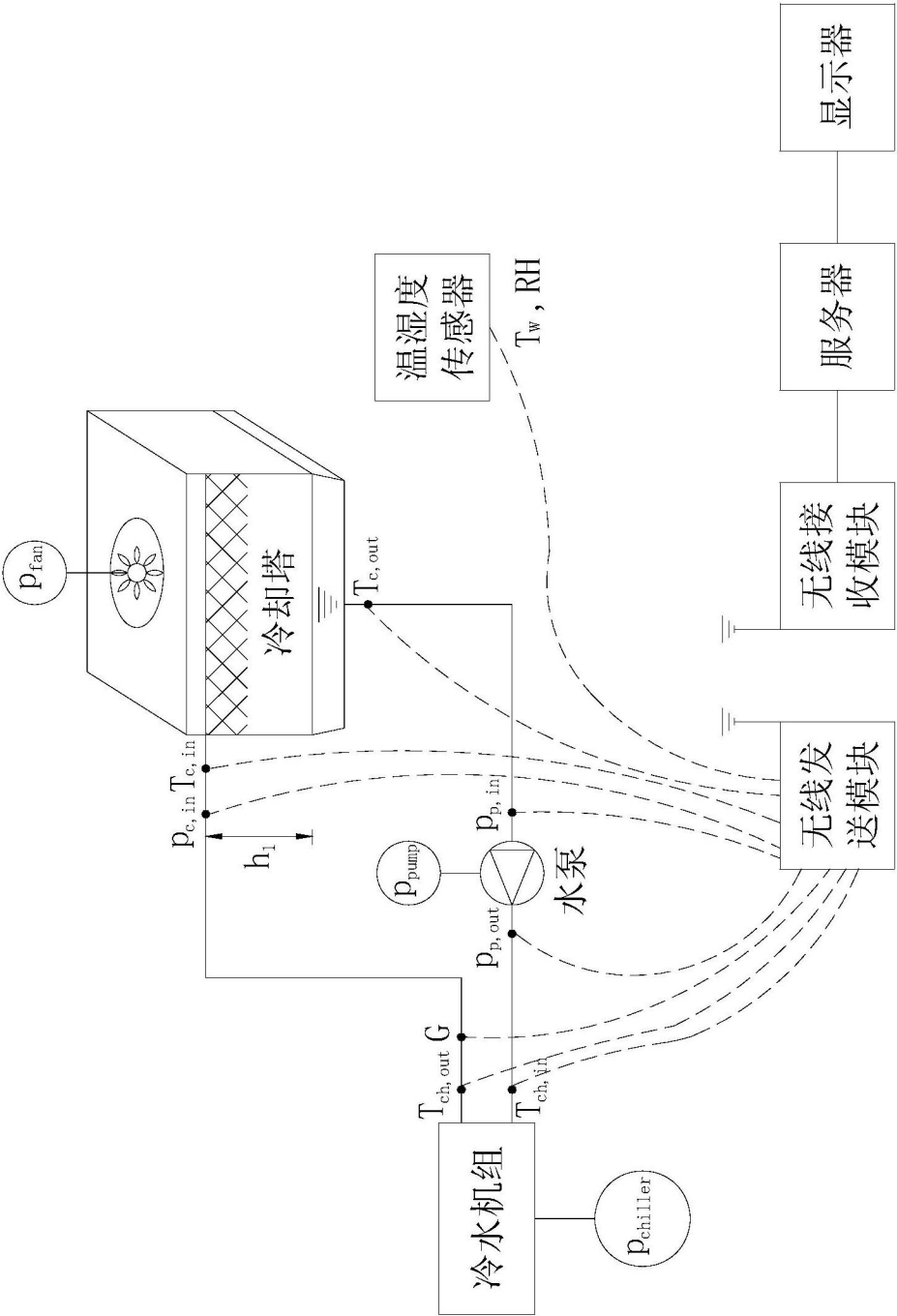


图1

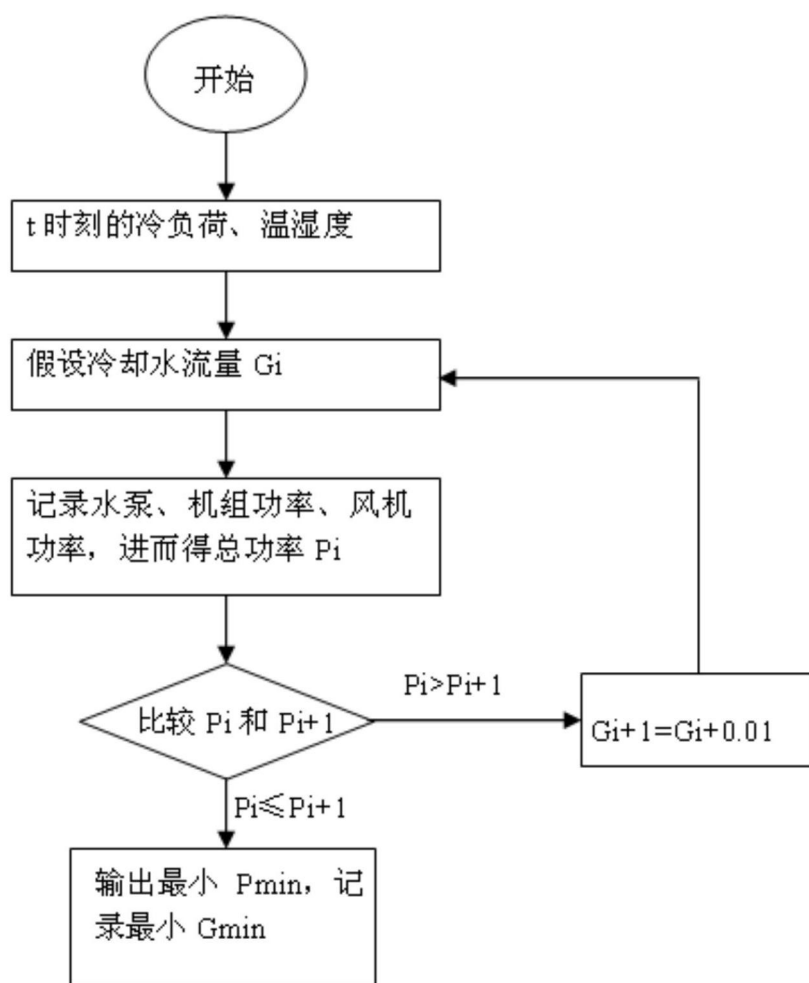


图2