

(组稿专家 李国繁 耿世彬)

工程兵系统

栏 首 语

随着国防、人防工程的迅猛发展,具有防护功能的地下工程这一特殊建筑形式越来越引起专家学者的关注。地下工程是处于一定厚度的岩层或土层下的建筑,相比于普通地面建筑有其湿热环境的独特性,同时也关乎掩蔽人员的生命安全,因此对相关工程技术人员具有更高的挑战性。中国勘察设计协会建筑环境与设备分会总参工程兵委员会(以下简称工程兵委员会)的暖通技术人员承担着大中型民用建筑、地下建筑的暖通设计、建设与课题研究工作,积累了丰富的经验,取得了一些成果。

工程兵委员会由总参工程兵第四设计研究院、解放军理工大学等数家设计、科研和施工单位暖通技术人员组成。其中总参工程兵第四设计研究院成立于 1952 年,是甲级工程勘察设计单位,设有建筑、结构、暖通空调、给排水、配供电、自动控制、防护工程、防护设备、工程地质、工程监理、工程造价咨询、计算机软件和情报资料等专业;解放军理工大学担负着为军队现代化建设培养高素质新型军事和工程技术人才的重任,是国家和军队进行科学研究、知识创新、技术创新和装备研制的重要基地。

《暖通空调》杂志本期“工程兵系统”专栏所收录的文章,是工程兵委员会成员们在平时工作中积累的大量经验和科研成果的精华,可为其他暖通技术人员的设计、科研、施工及管理提供参考。

(总参工程兵第四设计研究院 李国繁 王 戎)

大型地下工程用除湿型 水环热泵机组研制

解放军理工大学 张 华[☆] 耿世彬

总参工程兵第四设计研究院 姜建中

解放军理工大学 韩 旭

总参工程兵第四设计研究院 陈 军

摘要 提出了一种新型除湿水环热泵机组,能除湿、准确控温和制热,可满足地下工程部分负荷和满负荷的不同需求,并通过水环实现工程内热量转移。通过 PLC 控制压缩机荷载和制冷剂三通比例调节,消除了调温盲区,送风的温湿度精度提高;通过双流向设计,热泵工况时增加冷凝面积等技术,机组运行性能得到显著提高。在测试平台上对机组性能进行了测试。

关键词 地下工程 除湿 水环热泵 研制 测试

Development of dehumidification water loop heat pump units for large underground spaces

By Zhang Hua[★], Geng Shibin, Jiang Jianzhong, Han Xu and Chen Jun

Abstract Presents a new type of dehumidification water loop heat pump unit with the function of dehumidification, precise temperature adjustment and heating, capable of meeting different demands of

partial and full load conditions of underground spaces, and transferring heat inside the space by the water loop. Applies PLC system to control compressor loading and three-way proportional control valve to adjust refrigerant rate so as to control temperature appropriately and improve control precision of temperature and humidity, and improves the unit performances markedly by techniques of dual flow direction design and condensation area increasing. Tests performance of the unit on the test bed.

Keywords underground structure, dehumidification, water loop heat pump, development, test

★ PLA University of Science & Technology, Nanjing, China

①

目前地下工程通常采用除湿机进行内部空气环境调节。除湿机的基本功能是除湿,其调温功能比空调机差。大型地下工程区域功能复杂,运行工况多样,导致热湿负荷特性差异显著。长期的运行实践表明,普通除湿机用于地下工程的温湿度控制时存在明显的缺点。为满足地下工程既要除湿又要控温的实际需求,解决工程内不同区域冷热不均的问题,笔者研制了一种新型的除湿型水环热泵机组。

1 常规除湿机的应用局限

冷冻除湿机将全部冷凝热作为空气再热处理的热量,只适用于无余热工程和对温度无要求的工程,如洞库等。

调温除湿机用来除湿兼调控室温。机组有水冷和风冷两个冷凝器,通过调节冷却水流量控制风冷冷凝器和水冷冷凝器的换热比例,控制送风温度。但调温工况下水冷冷凝器和风冷冷凝器的串联导致送风存在调温盲区^[1]。又由于调温除湿机对室内湿度采取了“双位式”(“通”和“断”)控制方式,即压缩机的运行取决于室内湿度是否达到了设定值,而依靠冷凝热量来调控室温的前提是压缩机必须连续工作,因此机组的控温能力较差。

普通水冷型恒温恒湿机配有电加热器,以满足精确控制室温的需要,但其功耗比调温除湿机大得多。地下工程大部分时间处在非工作状态,没有工艺余热,恒温恒湿机需要在除湿升温工况运行。机组冷凝热量都被冷却水带到了外部环境,经过冷冻除湿的空气必须经过电加热器加热大幅度升温后才能送入房间。这种重复耗能使恒温恒湿机在地下工程中应用的经济性降低^[2]。

2 传统的水环热泵

传统的水环热泵空调系统是用双管封闭式循环水路将小型的水-空气热泵机组并联在一起,构成一个以回收建筑内部余热为主要特征的热泵供暖、供冷的空调系统^[3],应用形式见图 1。机组可独立制冷或制热,实现了四管制的效果。地面建筑

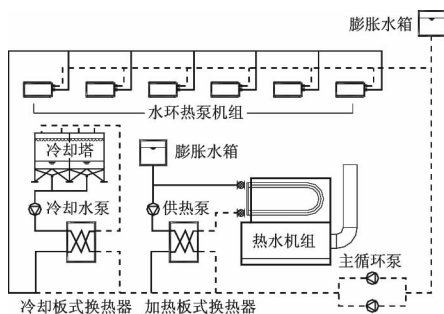


图 1 传统的水环热泵系统

用的水环热泵机组是作为自带冷热源的末端设备来使用,仅处理房间的余热、余湿,其冷风比小^[4]。机组的额定工况为空调机组运行工况,即制冷:进风干湿球温度 27℃/19℃,进出水温度 30℃/35℃^[5],除湿能力弱。

3 除湿型水环热泵机组的需求及原理

3.1 传统空调分区域、分阶段调节能力差

地下工程内不同区域热湿负荷特性相差较大。有的区域冷负荷较大,比如通信机房、电源室及配电室等有大量设备散热。有的区域发热设备少,又受较低的壁面温度影响甚至出现大量热负荷。不同区域要求的空调送风状态各不相同。传统地下工程一般采用新风加一次回风的除湿机空调系统,由同一送风状态点送风,必然导致工程内不同区域冷热不均,发热量大的设备保障区温度降不下来,影响设备的正常运行,而发热量小的办公区温度太低,影响工作人员的健康。

地下工程空调系统是按工程使用的最大负荷设计,而大量新建、改建的地下工程往往长期处于常态化维护管理期,即值班人员进驻,部分设备投入使用,实际冷负荷远远低于设计值,余热小的区域甚至转入对热负荷的需求。经除湿机降温除湿

①☆ 张华,女,1975 年 12 月生,工学硕士,副教授
210007 南京海福巷 1 号解放军理工大学
(025) 80821566
E-mail: Why-zh@sohu.com
收稿日期:2012-06-14

处理的空气需要较大的再热量才能达到需要的送风状态点,而调温除湿机所能提供的最大热负荷仅为凝潜热,恒温除湿机需要电加热而耗费大量的电能。

3.2 解决的方式

在大型地下工程中,可将由于功能不同造成热湿负荷特性差异显著的区域划为相对独立的空调区域,每个区域设置以水源热泵机组为主体的集中式空调系统,各分区根据需求实现供冷或供热。用双管封闭式循环水路将各空调区的机组并联成一个水环路,通过水环路实现各区域的能量转移,不仅消除冷热不均的现象,还避免了末端设备冷热量抵消。要求空气处理机组既能除湿,又能准确控温,还可以热泵模式制热,从而满足工程部分负荷和满负荷下对除湿、制冷和制热的不同需求。

3.3 除湿型水环热泵机组的原理

除湿型水环热泵机组是针对功能复杂的大型地下工程的需求专门研制的机型,原理如图2所示。机组由压缩机、两个风冷换热器、水冷换热器、膨胀阀、四通换向阀、制冷剂三通比例调节阀、电磁阀等部件组成,能实现降温除湿、调温除湿、热泵制热等多种工况。

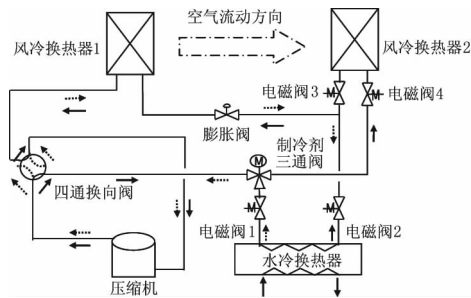


图2 除湿型水环热泵空调机原理图

降温除湿工况运行时,制冷剂循环如图中实线箭头流向所示。电磁阀1,2打开,电磁阀3,4关闭,制冷剂从压缩机排出,进入水冷换热器冷凝后通过膨胀阀节流,在风冷换热器1中吸收空气热量蒸发汽化,空气被降温除湿,多余的热量排入水系统。适用于室内温湿度较高、冷负荷大的工况,如工程的满负荷期。

调温除湿工况运行时,制冷剂循环如图中实线箭头流向所示。电磁阀1,2,3,4打开,制冷剂从压缩机排出,一部分通过风冷换热器2(风冷冷凝器),另一部分通过水冷换热器(水冷冷凝器),由制

冷剂三通比例调节阀调节进入风冷冷凝器内的制冷剂流量,控制经风冷换热器1(蒸发器)被除湿的空气温度。风冷冷凝器与水冷冷凝器中的制冷剂经制冷剂三通比例调节阀调节后一起经过膨胀阀节流,然后进入蒸发器,再经四通阀返回压缩机,实现制冷剂循环。适用于室内相对湿度较高、湿负荷较大、冷负荷较小的工况,如工程处于部分负荷的常态化维护管理期。

热泵制热工况运行时,制冷剂循环如图中虚线箭头流向所示。电磁阀1,2打开,电磁阀3,4关闭,制冷剂从压缩机排出,四通换向阀切换,此时风冷换热器1为冷凝器,水冷换热器为蒸发器,机组从水系统中吸收热量,空气流经风冷换热器1后升温。适用于室内相对湿度较高、热负荷大的工况,如工程的预热期、办公休息区的维护期。

4 样机的研制

4.1 样机的基本参数

机组在调温除湿模式下,除湿量为10 kg/h,风量为2 800 m³/h,名义工况进风干湿球温度为27℃/21.2℃,冷却水的进出水温度为30℃/35℃;机组在热泵模式下,制热量为19 kW,风量为3 000 m³/h,名义工况进风干湿球温度20℃/15℃,冷水进水温度20℃。制冷工质是R22。

4.2 样机的关键措施

1) 机组采用数码涡旋变容量压缩机,可对输出负荷进行无级调节。采用水冷冷凝器与再热风冷冷凝器并联方式,通过制冷剂三通比例调节阀调控进入风冷冷凝器的制冷剂流量,实现再热量的精确控制。通过PLC控制器、PID控制方案控制压缩机调载满足出风的露点温度要求,调节制冷剂三通比例调节阀满足出风的干球温度要求,从而解决了普通除湿机送风温湿度波动大、送风温湿度精度不能兼顾和存在调温盲区的问题。调温除湿工况的系统流程如图3中实线所示。

2) 机组采用双向流设计,热泵工况运行时,系统流程如图4中实线所示。此时热泵运行电磁阀打开,制冷剂从压缩机排出,一部分直接通过风冷换热器1,另一部分由四通换向阀通往风冷换热器2,即原除湿工况的再热冷凝器与蒸发器一起作为热泵工况的冷凝器,对机组内的空气进行加热升温,风冷换热器1和2中的制冷剂经过膨胀阀节流后进入蒸发器即水冷换热器。此流向设计大大增

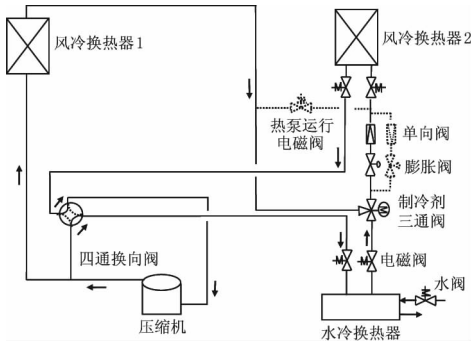


图3 调温除湿工况系统流程示意图

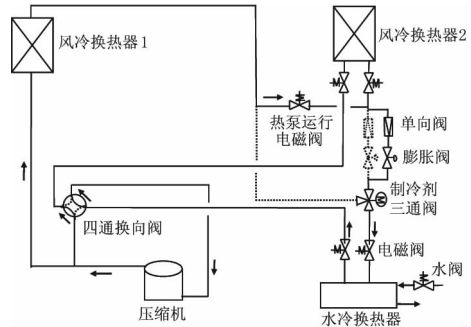


图4 热泵工况系统流程示意图

加了冷凝器换热面积,降低了冷凝温度,机组的运行性能得到显著提高^[6-8]。

4.3 样机的结构

由于除湿型水环热泵空调机作为地下工程区域性集中式空调系统的主要设备使用,其结构采用分段组合式,由混合段、净化段、热湿处理段、送风段等组成。

5 样机的性能测试

采用某设备公司的焓差多功能性能测试平台(通过国家压缩机制冷设备质量监督检验中心认证)对除湿型水环热泵机组进行了基本性能测试、出风温湿度精度测试和变工况性能测试。

5.1 基本性能测试

依据 GB/T 19411—2003《除湿机》、GB/T 19409—2003《水源热泵机组》、GB/T 18836—2002《风管送风式空调(热泵)机组》等标准,对除湿型水环热泵机组进行性能检测,测试结果如表1所示。

5.2 出风温湿度精度测试

表2为机组出风温湿度控制精度测试结果。

表1 除湿型水环热泵机组基本性能测试结果

	测试情况	判断依据	达标情况
名义除湿制冷量	16.92 kW	达到标称值 17.0 kW 的 95%以上	达标
名义除湿除湿量	10.2 kg/h	达到标称值 10 kg/h 的 95%以上	达标
名义单位输入功率除湿量	2.39 kg/(kW·h)	≥1.95 kg/(kW·h)	达标
除湿机低温工况	运行正常	运行正常	达标
除湿机最大负荷运行	运行正常	运行正常	达标
水源热泵名义制热量	19.71 kW	达到标称值 19.8 kW 的 95%以上	达标
水源热泵名义制热性能系数(COP)	4.27	>3.55	达标
水源热泵最小运行制热	运行正常	运行正常	达标
水源热泵最大运行制热	运行正常	运行正常	达标

表2 除湿型水环热泵机组的出风温湿度控制精度测试结果

出风设定值		压缩机输入	制冷剂三通阀	实验数据		
温度/℃	相对湿度/%	出/%	开度/%	干球温度/℃	湿球温度/℃	相对湿度/%
20	65	100	46~48	19.20~20.30	16.20~16.60	68.71~73.57
21	60	100	48	20.42~21.00	16.51~16.79	65.33~67.15
	65	100	47~48	20.28~21.05	16.52~16.80	65.07~68.22
	55	100	49	23.50	17.59	56.10
23	60	100	49	22.70	17.30	58.77
	65	100	49	22.72	17.32	58.78
	50	100	66	24.90	18.00	50.59
	55	100	65	24.70	17.70	49.74
	60	64	49	24.83	19.40~19.65	60.02~61.69
25	65	64	47~56	24.30~25.5	19.45~19.80	58.85~63.49

从表2可以看出,在设定出风温度为20~25℃、相对湿度为65%时,实际出风的干球温度平均偏差在-0.8~0.5℃之间,相对湿度平均偏差在-7.22%~8.57%之间;在设定出风温度为21~25℃、相对湿度为60%时,实际出风的干球温度平均偏差在-0.58~-0.17℃之间,相对湿度平均

偏差在-7.23%~7.15%之间;在设定出风温度为25℃、相对湿度为50%~55%时,实际出风的干球温度平均偏差在-0.3~-0.1℃之间,相对湿度平均偏差在-5.26%~0.59%之间。机组的温湿度控制精度高,出风温度在(16~40)℃±1℃和相对湿度(40%~70%)±10%的范围内连续可调。

5.3 变工况性能测试

对机组在调温除湿和热泵模式下的运行性能进行测试,全面分析机组的应用情况。测试结果表明:调温除湿模式下,机组在除湿机名义进风工况时,进风工况对机组的制冷量、除湿量、压缩机功耗及其 COP 的影响比进水温度的影响要明显;在热泵模式下,机组在水环热泵名义进风工况时,进水温度对机组的制热量、出风干球温度、压缩机功耗及其 COP 的影响比进风工况的影响要明显。

6 结语

大型地下工程区域功能和运行工况的差异显著,普通除湿机集中式系统无法一并满足这些不同热湿负荷特性的需求。除湿型水环热泵机组既能除湿,又能准确控温,还可热泵制热,满足了地下工程部分负荷和满负荷下对除湿、制冷和制热的不同

需求,并通过水环实现热量转移,解决了工程内部冷热不均的难题和冷却水库容量不足的隐患。

参考文献:

- [1] 吴茂杰,朱志平. 除湿机调温盲区研究的意义[J]. 建筑热能通风空调,2003(2):19-20
- [2] 林来豫,庞宪卿,赵永顺,等. 地下工程专用恒温除湿机的研制[J]. 流体机械,2005(9):51-54
- [3] 马最良,姚杨. 水环热泵空调系统设计[M]. 北京:化学工业出版社,2004
- [4] 邓玉艳,丁力行. 新型水环热泵低温新风处理设备的研究[J]. 制冷与空调,2008(10):39-42
- [5] 深圳麦克维尔空调有限公司,合肥通用机械研究所. GB/T 19409—2003 水源热泵机组[S]. 北京:中国标准出版社,2003
- [6] 耿世彬,陈军,高兆璋,等. 组合式除湿型水环热泵空调机:中国,200920263932. X[P]. 2011-09-30
- [7] 张景卫,姜建中,耿世彬,等. 全工况水环热泵空调机:中国,200920263930. 0[P]. 2011-09-30
- [8] 姜建中,耿世彬,黄浩亮,等. 除湿型水环冷风空调机:中国,200920263931. 5[P]. 2011-09-30

· 会讯 ·

第7届全国高等院校制冷空调学科发展与教学研讨会和 第7届全国制冷空调新技术研讨会在西安召开

2012年8月24—26日,第7届全国高等院校制冷空调学科发展与教学研讨会(以下简称“教学研讨会”)和第7届全国制冷空调新技术研讨会(以下简称“新技术研讨会”)在古城西安隆重召开。教学研讨会由中国制冷学会主办,陕西省制冷学会和西安制冷学会协办,西安交通大学和西安工程大学承办。新技术研讨会由上海交通大学和中国制冷学会联合主办,陕西省制冷学会和西安制冷学会协办,西安交通大学和西安交通大学承办。来自全国高校、制冷学会、知名设计院、制冷空调企业、行业媒体的近300名代表齐聚西安交通大学,共商制冷空调行业发展大计。

8月24日,教学研讨会在西安交通大学南洋大酒店召开,西安交通大学王泮浩教授主持了开幕式。西安交通大学副校长程光旭、西安工程大学副校长黄翔、中国制冷学会副秘书长荆华乾、西安交通大学人居环境与建筑工程学院常务副院长顾兆林分别致辞。天津商业大学申江教授作了《基于协同理论的〈制冷装置设计〉课程建设》的报告;清华大学朱颖心教授作了《建环专业本科教育面临的挑战和机遇》的报告;北京工业大学马国远教授作了《通过制冷空调科技竞赛提升大学生的专业素养和创新意识》的报告;北京建筑工程学院王瑞祥教授作了《北京建工制冷空调学科及相关专业建设的机制与平台设计》的报告;上海理工大学武卫东副教授作了《编著制冷英文教材,促进教育国际化》的报告;清华大学石文星教授作了《基于CDIO理念的实战型工程专业课教学方法》的报告;西安工程大学狄育慧教授作了《走“产学研用”紧密结合之路,创我校建环专业建设之特色》的报告;西安交通大学王泮浩教授作了《西安交通大学制冷空调学科人才培养实践》的报告。

8月25—26日,新技术研讨会在西安交通大学南洋大酒店举行,会议组织委员会主席、西安工程大学副校长黄翔教授主持了开幕式。上海交通大学制冷与低温工程研究所所长、长江学者王如竹教授,中国制冷学会副秘书长荆华乾,西安工程大学党委副书记李博飞和西安交通大学能源与动力工程学院院长丰镇平分别致辞。西安建筑科技大学教授、中国工程院院士刘加平作了《绿色建筑与建筑节能》的报告;英国德蒙福特大学教授、低碳社会(技术)学科首席专家赵旭东作了《间接蒸发冷却技术的过去、今天与未来》的报告;国家自然科学基金委员会的刘涛处长介绍了基金相关的情况;西安交通大学厉彦忠教授作了《面向板翅换热器的新技术、新方法、新应用》的报告;浙江大学教授、长江学者邱利民作了《从中国古典哲学的视角看高效冷却问题》;清华大学刘静教授作了《先进热管理技术:从芯片到系统》的报告;上海交通大学黄永华副教授作了《面向空间应用的若干大型低温工程研制进展》的报告;清华大学陈群博士作了《制冷/空调系统最优化设计与控制的焓耗散热阻法》的报告;西安工程大学副校长黄翔教授作了《蒸发冷却空调技术的应用与发展》的专题报告。8月26日上午,会议分为“低温制冷技术”、“制冷工质及蓄能技术”、“建筑环境可再生能源技术”、“气流组织及除湿技术”4个主题分会场进行了技术报告,下午分为“热泵技术”、“制冷循环及相关技术”、“换热器强化及热回收技术”、“空调系统及数值模拟技术”4个主题分会场进行了技术报告。

本届大会的特邀专题报告都十分精彩,得到了与会代表的充分肯定。尤其是一些中青年学者首次登台亮相,给大家留下了深刻的印象。

(黄 翔)