

文章编号: 1671-6612 (2021) 01-106-05

衢州体育公园“三馆”空调冷热源系统设计分析

沈锡骞 姜海平 张红楠 张士花 马 爽 武卫红 李静轩 田铁源

(悉地国际建筑设计顾问有限公司汇力设计中心 北京 100013)

【摘 要】 分析并介绍了衢州体育公园“三馆”的空调冷热源系统设计。在满足体育建筑赛时正常运行和赛后经济运行的同时,力求与建筑方案的完美配合。

【关键词】 冷却塔地坑设置;全热回收风冷热泵;一级泵;二级泵

中图分类号 TU83 文献标识码 B

Quzhou Sports Park Design and Analysis of Cold and Heat Source System of "Three Pavilions" Air Conditioner

Shen Xiqian Jiang Haiping Zhang Hongnan

Zhang Shihua Ma Shuang Wu Weihong Li Jingxuan Tian Tiejuan

(XIDI international architectural design co. LTD Huili design center, Beijing, 100013)

【Abstract】 The design of cooling and heating source system of Quzhou sports park is analyzed and introduced. In order to meet the normal operation of the sports construction competition and the economic operation after the competition, the perfect coordination with the construction scheme is made.

【Keywords】 Cooling tower pit setting; Full heat recovery air-cooled heat pump; Primary pump; Secondary pump

作者(通讯作者)简介:沈锡骞(1962-),男,教授级高工,E-mail: shen.xiqian@ccdi.com.cn

收稿日期:2020-05-13

0 工程概况

衢州体育公园一期项目“一场三馆”中的“三馆”是指体育馆、游泳馆及综合训练馆,是衢州市的大型城市公共设施,她将为衢州市举办国内外大型体育活动提供一个具有国际知名度的现代化体育设施。如图 1 所示。



图 1 衢州体育馆项目效果图

Fig.1 Renderings of quzhou stadium project

该项目建筑方案的设计理念是人与自然和谐共处,主体建筑与地形融为一体,为大地景观式覆土建筑。体育馆为甲级大型体育建筑,总坐席数为 1 万座,总建筑面积 7.0 万平方米(其中地上 3.9 万平方米),地下二层、地上四层,建筑高度 41.6 米;游泳馆为乙级中型体育建筑,总坐席数为 2034 座,总建筑面积 3.25 万平方米,地下一层、地上局部二层,建筑高度 38.6 米;综合馆由篮羽训练馆、网球训练馆、乒乓球训练馆及中间连接三个训练馆的中庭所组成。总建筑面积 1.3 万平方米,地上局部二层,建筑高度 23.9 米。

“三馆”的空调负荷如表 1 所示。

1 空调负荷分析

表 1 三馆空调负荷表

Table 1 Air conditioning load table of three pavilions

	体育馆 (kW)	游泳馆 (kW)	综合馆 (kW)	合计 (kW)	
赛时	空调冷负荷	5662	3138	1173	9973
	空调热负荷	3090	2879	435	6404
	夏季空调再热负荷	200	302	/	
	池水加热负荷	/	1274	/	1274
赛后	空调冷负荷	3354	920	1173	5447
	空调热负荷	2720	1385	435	4540
	夏季空调再热负荷	/	180	/	
	池水加热负荷	/	484	/	484

体育馆赛后空调负荷按比赛大厅、观众看台区及观众休息区等房间关闭使用情况下的空调负荷; 游泳馆赛后空调负荷考虑到戏水池及训练池对外经营的可能性较大, 按比赛大厅停止使用情况下的空调负荷; 体育馆的赛时夏季空调再热负荷包括观众区固定座椅空调及临时座椅空调; 游泳馆的赛时夏季空调再热负荷包含观众座椅区空调再热负荷及比赛厅、训练厅及戏水厅的池岸空调再热负荷; 游泳馆的赛后夏季空调再热负荷仅包括训练厅、戏水厅的池岸空调再热负荷。

衢州体育公园“三馆”共用空调冷热源系统。其系统组成为: 2 台冷却塔冷水机组+3 台风冷热泵机组+2 台全热回收风冷热泵机组。“三馆”的冬季空调总热负荷全部由风冷热泵机组承担; 游泳馆冬季的池水加热负荷全部由全热回收风冷热泵机组承担, 同时, 全热回收风冷热泵机组在夏季全部回收空调冷凝热, 负担体育馆、游泳馆的空调再热负荷及夏季游泳馆池水加热负荷; “三馆”的夏季空调冷负荷分别由冷却塔冷水机组、风冷热泵机组及全热回收风冷热泵机组承担。三馆空调冷热源系统原理如图 2 所示。

2 空调冷热源组成分析

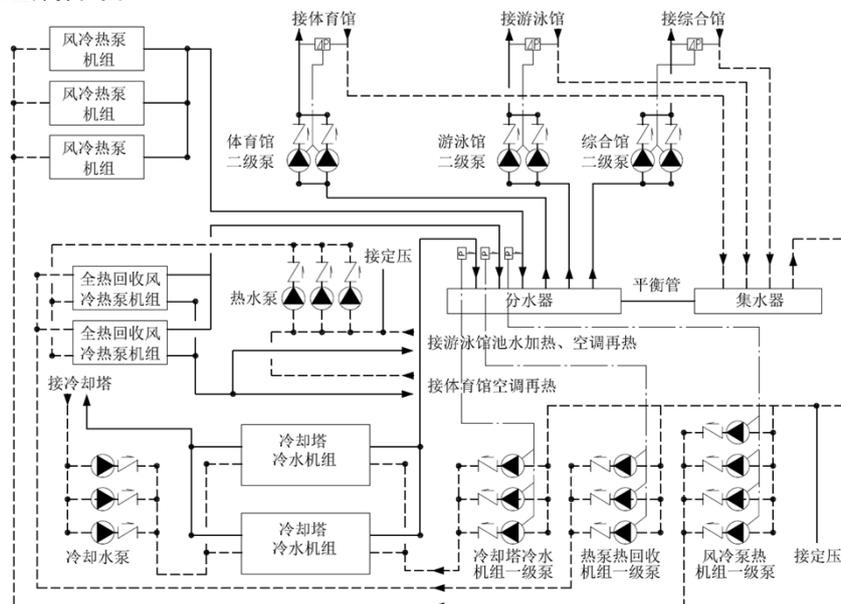


图2 三馆空调冷热源系统原理图

Fig.2 Schematic diagram of air conditioning cooling and heat source system in three pavilions

“三馆”冷热源机房设置在体育馆东南侧的地下B2层，基本处于“三馆”的中心区域。为了配合大地景观的整体效果和谐一致，风冷热泵机组、全热回收风冷热泵机组及冷却塔设置在体育馆的北侧绿化带内，采用地坑设置，三馆冷热源机房及室外设备布置如图3所示。空调水管道通过“三馆”的地下车库连接到各馆及室外设备。

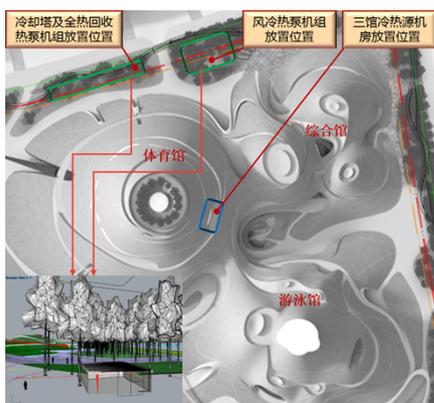


图3 三馆冷热源机房及室外设备布置图

Fig.3 Cold and heat source machine room and outdoor equipment layout of the three pavilions

考虑到“三馆”空调水系统作用半径相对较大、各系统管路阻力不一致，空调水系统采用二级泵系统。一级泵负担分、集水器之间的供回水管道及机组的水阻力，定流量运行；二级泵负担各系统外线及用户内部的水阻力，变流量运行。

3 冷却塔地坑设置的CFD模拟分析

冷却塔采用地坑敷设，为减少占地面积，冷却塔选用底进风的模块式逆流冷却塔，其冷却塔模块布置原则为：纵向为无缝对接、横向冷却塔两侧间距为塔宽的一半（在主导风向的进风侧略大效果更好），冷却塔布置如图4所示，其CFD模拟结果如图5所示（环境温度按30℃计算）。

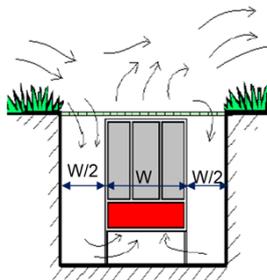


图4 冷却塔地坑设置断面示意图

Fig.4 Section diagram of cooling tower pit setting

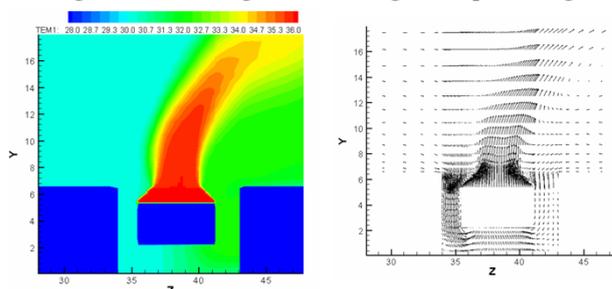


图5 冷却塔地坑设置 CFD 模拟温度等高图及速度矢量图

Fig.5 Setting CFD simulation temperature contour map and velocity vector map of cooling tower pit

根据图5的CFD模拟分析，可以得到结果见表2。

表2 冷却塔地坑设置CFD模拟结果

Table 2 CFD simulation results of cooling tower pit setting

进风口平均温度(℃)	出风口平均温度(℃)	反混率(%)
30.4	36.0	6.7

$$\text{注：反混率} = \frac{(\text{进风口平均温度} - \text{环境温度})}{(\text{出风口平均温度} - \text{环境温度})} \times 100\%$$

根据表2的CFD模拟分析结果，冷却塔地坑敷设考虑10%以上的安全系数可以满足使用要求。

4 全热回收风冷热泵机组运行分析

全热回收风冷热泵机组相比风冷热泵机组增加了一个全年提供生活热水的热回收换热器，该换热器在夏季运行方式时与风侧换热器并联，共同作为机组的冷凝器，提供空调冷水的水侧换热器作为机组的蒸发器；而在冬季运行方式时则通过四通换向阀与提供空调热水的水侧换热器并联，共同作为机组的冷凝器，风侧换热器则作为机组的蒸发器。如图6所示（左侧为夏季运行模式、右侧为冬季运行模式）。

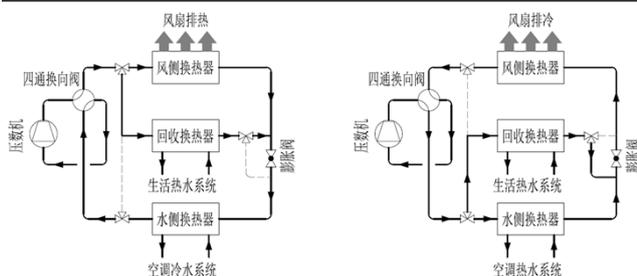


图 6 全热回收风冷热泵机组运行方式原理图

Fig.6 Operation mode schematic diagram of total heat recovery air-cooled heat pump unit

全热回收风冷热泵机组在夏季运行方式时, 有 3 种运行模式。1 是全热回收模式: 当生活热水满负荷时, 冷媒通过三通阀自动控制全部流经回收换热器及水侧换热器, 风侧换热器及风扇不参与工作, 这时的热回收量约为空调制冷量的 1.2 倍。2 是全制冷运行模式: 当生活热水零负荷时, 冷媒通过三通阀自动控制全部流经风侧换热器及水侧换热器, 此运行模式与普通风冷热泵机组一样。3 是部分热回收模式: 当生活热水仅为部分负荷时, 智能三通阀自动控制分配进入回收换热器及风侧换热器的冷媒流量, 自动控制风侧换热器的散热量, 满足生活热水的部分负荷需求及空调冷水的负荷

需求。由于全热回收风冷热泵机组在夏季 3 种运行模式均能全额提供空调制冷, 因此, 夏季空调制冷机组设备的选型计算也将全热回收风冷热泵机组的制冷量全部计算在内。

全热回收风冷热泵机组在冬季运行方式时, 也同样有 3 种运行模式。1 是全部提供生活热水模式: 冷媒通过三通阀自动控制全部流经回收换热器及风侧换热器, 此运行模式与普通热泵热水机组一样, 机组全部提供生活热水提供的空调热水负荷为零。2 是全部提供空调热水模式: 冷媒通过三通阀自动控制全部流经水侧换热器及风侧换热器, 此运行模式与普通风冷热泵机组一样, 机组全部空调热水, 提供的生活热水负荷为零。3 是部分提供生活热水的同时, 部分提供空调热水。本项目由于冬季的全部空调热负荷均由风冷热泵机组承担, 因此, 冬季空调制热设备的选型计算将不考虑全热回收风冷热泵机组的冬季空调制热量, 全热回收风冷热泵机组的冬季运行方式, 仅按全部提供生活热水的模式运行。

5 制冷(热)机组综合效率分析

名义工况下, 制冷(热)机组综合效率见表 3。

表 3 制冷(热)机组综合效率表

Table 3 Comprehensive efficiency table of refrigerating (thermal) unit

	冷却塔冷水机组	风冷热泵机组	全热回收风冷热泵机组
单台制冷量 (kW)	1758	2064	732.4
总制冷量 (kW)	3516	6192	1465
综合制冷性能系数	5.14	3.39	3.37
综合热回收性能系数	/	/	8.84

冷却塔冷水机组的综合制冷性能系数是指冷却水温度在 32℃/37℃、冷冻水温度在 7℃/12℃时, 其冷机制冷量与冷机耗电量+冷却水泵耗电量+冷却塔耗电量的比值; 风冷热泵机组的综合制冷性能系数是指在环境温度 35℃时, 其机组的制冷量与冷机压缩机耗电量+风冷冷凝器风机耗电量的比值; 全热回收风冷热泵机组的综合制冷性能系数是指在夏季热回收模式运行时, 其机组的制冷量与冷机压缩机耗电量+风冷冷凝器风机耗电量的比值; 全热回收风冷热泵机组的综合热回收性能系数是指在夏季热回收模式运行时, 其机组的制冷量+热

回收量与冷机压缩机耗电量的比值。

从表 3 可以看出, 在单独制冷工况下, 冷却塔冷水机组的制冷效率最高, 风冷热泵机组及全热回收风冷热泵机组的制冷效率基本一致, 但全热回收风冷热泵机组由于在提供空调制冷的同时, 又提供生活热水, 其综合效率最高。

6 空调系统运营策略分析

(1) 夏季赛时: 此时空调冷负荷及池水加热负荷(含空调再热负荷)为最大, 2 台全热回收风冷热泵机组全部以夏季热回收模式运行, 提供

100%的额定制冷冷量,热水供应量根据需求自动调节。2台冷却塔冷水机组全额运行,提供100%的额定制冷冷量。制冷量不足部分,由风冷热泵机组以制冷模式根据空调供水温度自动调节投入运行的台数。

(2) 夏季赛后:此时有空调冷负荷需求的房间为体育馆、游泳馆部分房间及综合馆的全部房间,空调负荷相对较少。同时,由于没有赛事,体育馆、游泳馆的观众区空调再热负荷为0,游泳馆的池水加热负荷及池区空调再热负荷也会减少,热水负荷下降到低于最大负荷的50%以下,故2台全热回收风冷热泵机组仅需1台以夏季热回收模式运行,提供单台机组100%的额定制冷冷量,热水供应量根据需求自动调节。2台冷却塔冷水机组调节运行。

(3) 过渡季赛时:此时大部分区域空调为全新风空调,空调负荷相对较少,池水加热负荷(含泳池空调再热负荷)相对较大,2台全热回收风冷热泵机组其中1台以夏季热回收模式运行,提供单台机组100%的额定制冷冷量,另1台以冬季运行方式运行,不提供冷量,热水供应量由2台机组根据需求自动调节。制冷量不足部分,由冷却塔冷水机组调节运行补充。

(4) 过渡季赛后:此时空调冷负荷需求最少,池水加热负荷(含泳池空调再热负荷)相对较大,2台全热回收风冷热泵机组其中1台以夏季热回收模式运行,提供单台机组100%的额定制冷冷量,另1台以冬季运行方式运行,不提供冷量,热水供应量由2台机组根据需求自动调节。制冷量不足部分,由风冷热泵机组以制冷模式根据空调供水温度自动调节投入运行的台数。

(5) 冬季赛时:此时空调冷负荷需求为0,空调热负荷及池水加热负荷最大,2台全热回收风冷热泵机组全部以冬季模式运行提供热水供应。空调热负荷全部由风冷热泵机组以制热模式运行提供。

(6) 冬季赛后:此时空调冷负荷需求为0,空调热负荷及池水加热负荷相对较小,2台全热回收风冷热泵机组仅1台以冬季模式运行提供热水供应。空调热负荷全部由风冷热泵机组以制热模式空调供水温度自动调节投入运行的台数。

7 自动控制分析

根据前面的负荷分析、制冷机综合效率分析及运行策略分析,制定下面的自动控制策略,以保证在赛时满足空调系统的正常运行,在赛后最大限度

的节省空调系统的运行费用。

一级泵控制:在夏季工况下,空调冷源是分别由冷却塔冷水机组、热泵热回收机组、风冷热泵机组提供,而风冷热泵机组冬季又承担全部空调热负荷,为减少三个系统在冷机台数调节及模式转换时而导致的压力波动,三个系统的一级泵采用变频控制。在分水器三个系统的供水管上分别设置压力传感器,每个系统的一级泵根据各自系统上的压力传感器信号进行变频控制。

二级泵控制:在体育馆、游泳馆及综合馆的每个用户入口供回水总管上,设置压差传感器。二级泵采用变频控制,根据其压差传感器信号进行变频控制。

8 结语

(1) 体育建筑空调空调负荷在赛时与赛后区别很大,其空调冷热源系统设计原则是:力求满足赛时正常运行,赛后经济运行。

(2) 暖通空调设计,应根据项目环境条件,充分结合建筑方案特点,力求暖通与建筑的完美配合。

参考文献:

- [1] 陈耀辉.全热回收风冷热泵机组在酒店中的应用[J].给水排水,2008,34(7):77-80.
- [2] 华国亮,刘道平,张小力,等.全热回收风冷热泵机组在星级酒店的应用探讨[J].制冷与空调,2012,26(4):363-367.
- [3] 沈锡骞.游泳馆空调节能设计分析[C].2009年全国节能与绿色建筑空调技术研讨会暨北京暖通空调专业委员会第三届学术年会,2009.
- [4] 何延治,金丽娜,姜军,等.深圳世界大学生运动会主体育馆暖通空调设计[J].暖通空调,2009,39(8):1-4.
- [5] 岑鸣,倪波.上海体育馆置换送风系统设计研究[J].暖通空调,2000,30(5):5-8.

