

北京韩美林艺术博物馆空调 冷热源及系统设计

中国建筑设计研究院 张亚立[☆] 王 佳

摘要 介绍了空调冷热源及系统的设计特点和控制方法,详细阐述了土壤换热器的结构及设计形式。采用地板辐射供冷供热结合新风置换通风的方案,重点考虑了围护结构的热工性能、楼板蓄热效应以及防结露措施。采用带室温反馈的室外温度控制方式(前馈-反馈控制)解决了地板辐射供冷系统调节反应速度延迟问题。

关键词 地源热泵 地板辐射 新风置换通风

Cold and heat sources and air conditioning system design for Han Meilin Museum

By Zhang Yali[★] and Wang Jia

Abstract Reports the design characteristics and control method of the system and expounds the configuration and design modality of the soil heat exchanger. Adopts the floor radiant heating and cooling system combined with fresh air displacement ventilation. Presents the thermal performance of building envelopes, thermal storage effect of floor, and anti-condensation measures. By using the outdoor temperature control with indoor temperature feedback method (feed forward-feedback control), solves the lagging response in regulation of the floor radiant heating and cooling system.

Keywords ground-source heat pump, floor radiant system, fresh air displacement ventilation

① ★ China Architecture Design & Research Group, Beijing, China



张亚立

代表工程:
奥运村再生水热泵冷
热源工程
神华大厦
敦煌市博物馆
德胜科技大厦
三义庙综合楼(TPT
大厦)

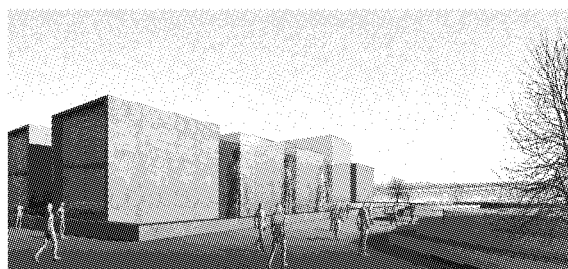


图 1 建筑立面效果图

1 建筑概况

韩美林艺术博物馆(见图 1)位于北京市通州区梨园镇文化公园内。该建筑设计始于 2005 年 11 月,2006 年 5 月完成施工图设计,目前正在建设中。艺术博物馆主要包括艺术品展览区、艺术品库房、制作车间、工作区等,主要展示韩美林先生的艺术作品,为人们提供一处文化活动及交流场所。该博物馆为多层建筑,总建筑面积 8 970 m²,其中地

下设备层和库房建筑面积 650 m²,建筑高度 11.6 m。

①[☆] 张亚立,女,1977 年 9 月生,硕士研究生,工程师
100044 北京市西直门外车公庄大街 19 号中国建筑设计研究院机电院
(010) 68302651
E-mail: zhangyl@cadg.cn
收稿日期:2007-03-20
修回日期:2007-04-29

2 设计参数

2.1 围护结构

由于展厅夏季采用的地板辐射供冷方式供冷能力有限,因此围护结构的热工设计至关重要。根据该建筑在立面造型上的独特要求,各朝向窗墙面积比均低于 0.4,这为地板辐射供冷方式提供了有利条件。外墙、屋面采用聚苯板保温,传热系数不大于 $0.43 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;外窗采用中空 Low-e 玻璃,传热系数不大于 $2.00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,遮阳系数不大于 0.4。

2.2 主要房间室内设计参数(见表 1)

表 1 主要房间室内设计参数

房间名称	夏季		冬季		人均占用面积/ ($\text{m}^2/\text{人}$)	新风量/ ($\text{m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})$)	A 声级 噪声/dB
	温度/ $^{\circ}\text{C}$	相对湿 度/%	温度/ $^{\circ}\text{C}$	相对湿 度/%			
展厅	26	55	20	45	6	≥ 40	40
笔会厅	26	55	20	45	6	≥ 40	40
办公室	26	55	18	≥ 35	7		45
纪念品商店	26	60	18	≥ 35			50
制作车间	28	60	18	≥ 35			50
画室	25	55	25	45			50
宿舍	26	60	18	≥ 35			45
库房	16~18	45~55	16~18	45~55			50

3 空调冷热源设计

3.1 空调冷源

空调系统夏季设计冷负荷为 390 kW,冷源为两台地源热泵冷热水机组。热泵机组的供回水温度为 $6^{\circ}\text{C}/12^{\circ}\text{C}$,设计地源水供回水温度为 $30^{\circ}\text{C}/35^{\circ}\text{C}$,流量为 $82 \text{ m}^3/\text{h}$ 。地源水水泵采用变频调节控制流量。

3.2 空调热源

空调系统冬季设计热负荷为 375 kW,热源采用地源热泵,地板辐射供暖热负荷为 227 kW,新风热负荷为 139 kW,风机盘管热负荷为 9 kW。热泵机组供回水温度为 $45^{\circ}\text{C}/40^{\circ}\text{C}$,设计地源水供回水温度为 $12^{\circ}\text{C}/7^{\circ}\text{C}$,流量为 $50 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

3.3 室外土壤换热系统

土壤换热系统采用竖直埋管系统,根据工程场区内岩土体地质条件勘察的结果,确定埋孔深度和数量。埋孔位置选在文化公园北侧,共计 70 个孔,孔深 100 mm,孔径 150 mm,孔间距 5 m,回填

材料为膨润土加石英砂。换热管选用聚乙烯 PE 管,管道外径 32 mm,内径 25 mm,为防止冬季冻结,循环水内加入 20% 的乙二醇水溶液。土壤换热系统采用同程式布置,埋管布置见图 2。空调冷热源系统见图 3。

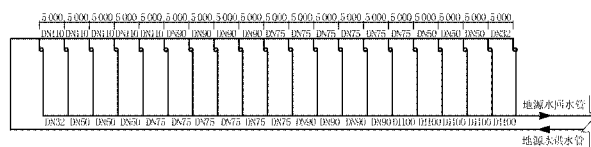


图 2 埋管布置

4 空调系统设计

4.1 空调水系统

空调水系统采用一次泵变水量两管制系统,供、回水主干管上分别设置压差旁通控制装置,冬季供应热水,夏季供应冷水,通过切换阀进行冬夏季的工况转换。水系统工作压力为 0.6 MPa,采用全自动定压补水装置进行补水和定压。

4.2 地板辐射供冷供热系统

地板辐射供冷系统的特点是:

1) 地板辐射供冷系统在夏季可降低围护结构表面温度,室内温度场比较均匀,增大人体辐射散

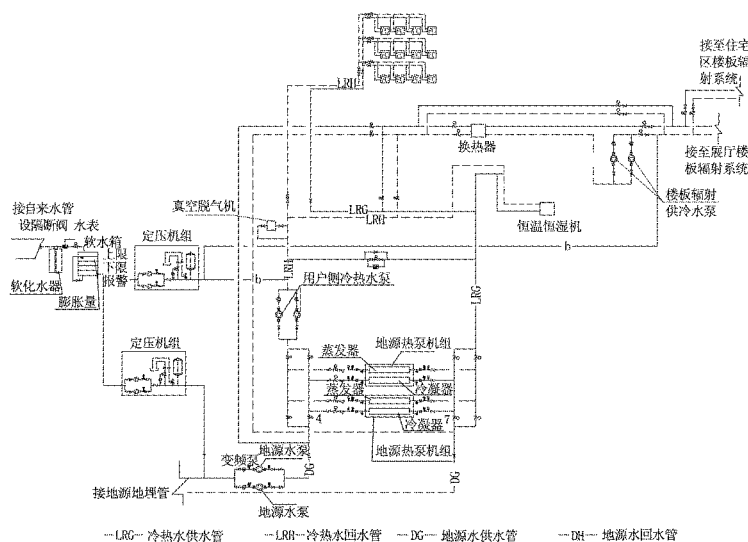


图 3 空调冷热源系统

热份额,提高热舒适性。辐射供冷没有吹冷风的感觉,而且不存在常规空调的噪声问题。

2) 辐射供冷可以提高空调冷水温度,提高主机制冷能效比,同时为低温地下水、太阳能、地热等自然冷热源的使用提供了可能。

3) 辐射供冷系统具有较好的蓄冷能力,可有
效调节峰值冷负荷,并实现自动调节功能。

地板供冷量可采用式(1)~(4)计算^[1]:

$$q_t = q_r + q_c = h_{\text{tot}}(T_{\text{ai}} - T_f) \quad (1)$$

$$h_{\text{tot}} = h_r + h_c \quad (2)$$

$$h_r = \varepsilon_f \sigma \theta \quad (3)$$

$$h_c = 0.68 \left(\frac{T_{\text{ai}} - T_f}{H} \right)^{0.25} \quad (4)$$

式中 q_t 为单位面积地板供冷量, W/m^2 ; q_r 为单
位面积辐射供冷量, W/m^2 ; q_c 为单位面积对流供
冷量, W/m^2 ; h_{tot} 为冷地板与室内空间总传热系
数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; T_{ai} 为房间内 i 点空气温度, K ;
 T_f 为地板表面平均温度, K ; h_r 为辐射传热系数,
 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; h_c 为表面传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; ε_f
为地板表面辐射力, 取 $0.9 \sim 0.95$; σ 为斯忒藩-玻
耳兹曼常量, $\sigma = 5.77 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$; θ 为
地面与其余表面之间温差影响过余温度参数, $\theta =$
 $1.05 \times 10^3 \text{ K}^3$; H 为室内空间某点 i 距地面高度,
 m 。

展厅采用地板辐射供冷供热系统,夏季系统要
求供回水温度为 $18^\circ\text{C}/22^\circ\text{C}$,供冷量为 51 kW ;冬
季要求供回水温度为 $45^\circ\text{C}/40^\circ\text{C}$,供热量为 67
 kW 。利用式(1)~(4)计算得到,距地面高度 1.5
 m 附近,地板辐射供冷量约为 $40 \text{ W}/\text{m}^2$ 。展柜下
面不设置地埋管,展柜采用恒温恒湿专用空调系
统。

地板辐射供冷系统,过渡季节为地源水直接供
冷,当地源水不能满足供冷要求时,采用地源热泵
供应空调冷水。

室内地板辐射管道采用带阻氧层 PB 型塑料
管材,该管材具有耐高温、高压,易弯曲等优点,管
内径 16 mm ,外径 20 mm ,管材最小壁厚为 2.0
 mm 。

4.3 风机盘管供冷系统

办公室、制作车间等工作区夏季采用风机盘管
供冷,冷水供回水温度为 $6^\circ\text{C}/12^\circ\text{C}$,供冷量为
 146 kW 。

4.4 独立新风置换通风系统

展厅采用独立新风置换通风系统,新风承担展
厅的全部湿负荷和部分冷负荷。为防止地板结露,
不允许辐射装置对空气进行除湿,因此新风必须承
担全部湿负荷。为增加新风系统的除湿能力,新风

机组冷水供回水温度为 $6^\circ\text{C}/12^\circ\text{C}$,夏季供冷量为
 193 kW ;冬季供回水温度为 $45^\circ\text{C}/40^\circ\text{C}$,供热量
为 139 kW 。新风机组采用转轮式显热回收机组,
夏季回收排风冷量,冬季回收排风热量。新风沿展
厅侧墙下部送至地面,遇人体等热源时形成上升气
流,与展厅上部集中排风系统相结合,有效形成置
换通风的送风方式。新风直接送至人员活动区有
利于提高室内热舒适性。

5 自动控制

1) 该工程采用直接数字控制系统(DDC 系
统)对集中空调进行合理的控制和管理。

2) 展厅内安装温湿度(露点)控制器,严格控
制房间内湿度在设计要求范围内。

3) 由于地板辐射供冷系统调节反应速度具有
一定延迟性,因此采用带室温反馈的室外温度控制
方式(前馈-反馈控制),这种方式对于内部条件和
外部气象条件变化引起的扰动较为敏感。但由于
地板供冷系统热惰性较大,对于室内负荷变化调节
反应不如其他供冷方式灵敏^[2],这种缺点不容易通
过控制方式的选择来解决,用热惰性小的新风供冷
系统作为地板供冷系统的补充,具有较好的控制效
果。

4) 地板供冷系统不具备除湿能力,夏季为防
止室内湿度过高而导致地板结露,应先启用新风系
统进行除湿,当室内空气相对湿度接近或达到设计
值后再开启地板辐射供冷系统。

6 结语

该工程周边缺少市政热力条件,地域开阔,有
充裕的打孔空间,因此采用地源热泵系统。博物馆
展厅围护结构保温性能好,无大面积的玻璃幕墙,
为末端空调地板辐射供冷供热系统提供有利条件,
该系统具有低能耗、热舒适性高、蓄冷蓄热能力强
等特点。由于辐射地板不具备除湿能力,设计时要
特别注意防结露问题,新风应承担展厅全部湿负
荷。该系统对控制要求较高,采用带室温反馈的室
外温度控制方式(前馈-反馈控制),并结合新风供
冷系统进行控制。

参考文献

- [1] 王子介. 低温辐射供暖与辐射供冷[M]. 北京: 机械
工业出版社, 2004: 17-18
- [2] 郭富军, 杨昌智. 低温热水地板辐射采暖的控制方式
[J]. 建筑热能通风空调, 1999, 18(3): 50-52