

地道通风在莫高窟游客服务中心 空调系统中的应用

中国建筑设计研究院 王 加[☆]

摘要 莫高窟地处甘肃省西北部的敦煌市,当地全年气候干燥,为自然除湿创造了有利的条件。介绍了莫高窟游客服务中心接待大厅地道通风的地道设计、运行工况、热舒适指标计算,计算结果表明,室内环境的热舒适状况能满足规范要求。

关键词 地道通风 游客服务中心 热舒适 地源热泵

Application of underground tunnel ventilation to air conditioning system for Mogao Grottoes' Tourist Service Center

By Wang Jia[★]

Abstract Mogao Grottoes in Dunhuang, northwestern Gansu province is vested with the local arid climate—the favorable condition for dehumidification. Presents the underground tunnel design, operation conditions and thermal comfort index calculation, and the calculation result shows that indoor thermal comfort status can satisfy the requirements stipulated in related standards.

Keywords underground tunnel ventilation, tourist service center, thermal comfort, ground-source heat pump

★ China Architecture Design & Research Group, Beijing, China

①

1 工程概况

敦煌莫高窟是世界文化遗产和全国重点文物保护单位,具有特殊的历史、科学和艺术价值,被誉为“东方艺术宝库”,吸引着世界各地的人们前来参观。近些年来,随着旅游业的发展,游客数量急剧增加,对洞窟壁画和保护区的环境造成了一定的破坏。为加强对历史文化遗产的保护,经国家发改委批准建设莫高窟游客服务中心。

工程总建筑面积 11 825 m²,地上 1 层,局部设有地下 1 层,建筑高度 15.8 m。1 层为游客接待大厅、数字影院、陈列厅、购物区、餐厅、厨房、办公管理用房、贵宾接待室、邮局、银行、售票厅、存包区等服务设施,局部地下 1 层为冷热源机房、水泵房及消防水池。

2 空调供暖系统

2.1 空调供暖系统的冷热源

建筑设计工况下总冷负荷 466.8 kW,总热负荷 548.0 kW;单位建筑面积冷负荷指标 44.7 W/m²,热负荷指标 52.5 W/m²。根据当地不同季节

的室外气候特点,采用人工冷热源与天然冷源相结合的供冷及供热方式。

人工冷热源主要为地源热泵,选用 2 台螺杆式地源热泵机组,冷水供回水温度 7℃/12℃,热水供回水温度 45℃/40℃,承担的供冷量为 216 kW,供热量为 520 kW。

局部区域采用分散式冷热源(分体空调机及变制冷剂流量空调机组),主要应用于消防控制室、司机休息室、管理室、影院放映室,承担的供冷量为 143.3 kW,供热量为 62.8 kW。

游客接待大厅、陈列厅等区域采用天然冷源,室外空气通过南广场埋深 4.2 m 以下的地道,温度降为 22.4℃送入室内,在室内外设计计算工况下供冷量为 114 kW。

①☆ 王加,女,1975 年 8 月生,工学硕士,高级工程师,主任工程师
100044 北京西城区车公庄大街 19 号
(010) 68302647
E-mail: wangjia@cadg.cn
收稿日期:2011-08-25

2.2 供暖系统

游客接待大厅、陈列厅冬季采用地板辐射供暖系统供暖,其余区域冬季由空调系统承担,热水均由地源热泵提供。

2.3 空调系统

1) 空调水系统为异程式两管制系统,冬季采用循环水湿膜加湿。

2) 游客接待大厅、陈列厅等高大空间采用地道机械进风(天然冷源)+自然排风方式,送排风方式为地面送风、大厅中上部外窗排风。

3) 办公层采用风机盘管+自然通风方式。

4) 数字影院采用变新风量的全空气系统,由于室外空气干燥,采用新风自然除湿,表冷器干工况运行。数字影院夏季送风焓湿图见图 1。

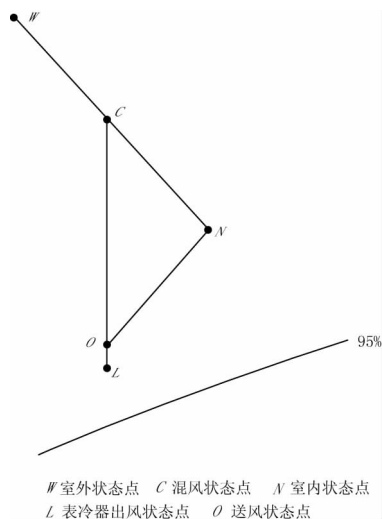


图 1 数字影院夏季送风焓湿图

2.4 通风及防排烟系统

1) 卫生间、开水间、地下车库、各种设备用房内设置了机械排风或机械送、排风系统。公共厨房排风净化处理后排至塔楼屋顶,厨房灶具进风采用组合式空气处理机,在冬季对补风进行加热处理。

2) 按照 GB 50016—2006《建筑设计防火规范》进行防排烟设计。对于不具备自然排烟条件的防烟楼梯间设置加压送风系统。对于不具备自然排烟条件的地下房间、内走道、数字影院设置机械排烟及补风系统。

2.5 自动控制系统

1) 空调自控系统采用直接数字式控制系统(DDC 系统)。DDC 系统由中央电脑、终端设备、

现场控制分站、传感器、执行器等组成。DDC 系统的软件功能包括:最优化启停、设备联锁控制、PID 控制、时间控制、时序控制、轮换控制、设备台数控制、动态图形显示、控制点状态显示、能耗统计、各分站联络、报警及打印等。

2) 根据冷热量的监测值进行冷热源换热设备及循环水泵台数控制。用户端水流量变化后,通过控制进出水总管压差控制循环水泵运行数量。

3) 负担同一房间及区域的送、排风机均联锁控制启停,送、排风机与其管路上的电动风阀联锁启停。空调机组(包括新风空调机组)的风机、电动水阀、电动新风阀进行电气联锁控制。

3 地道通风的应用

3.1 背景介绍

3.1.1 地道通风概况

由于地层对自然冷热能量有蓄存作用,可以作为天然的冷源和热源。地道通风降温是指夏季室外的空气进入地下地道内,通过与地道壁面换热,温度降低,然后被送入建筑物房间内。冬季也可以通过地道与空气之间的换热,提高送入房间的室外空气的温度,然后送至房间。

地道通风降温包括空气通过室外地道时的冷却和送至建筑物对室内进行降温两部分:前者是空气与地道进行换热,经详细计算可确定地道相关参数,包括地道长度、埋深、断面尺寸以及地道风风量和送风温度;后者则是完成吸收室内余热的过程,其输送及室内的气流组织计算可按常规空调系统及空调区气流组织计算方法进行。为达到最大限度节能的目的,采用置换通风方式。

3.1.2 敦煌地区的气候条件

敦煌地区的夏季空调室外计算干球温度为 34.1°C ,湿球温度为 20°C ,含湿量仅为 11.32 g/kg 。夏季室外空气含湿量低是其天然优势,室外干燥空气有能力带走室内的余湿,这时仅需对室外空气进行降温处理,不存在制冷除湿的要求,冷量需求明显减少。

敦煌地区多年的气象资料表明,虽然夏季存在一段气温较高的时间,但全年平均气温较低,地层温度较低,土壤表面年平均温度为 12.1°C ,地面温度波幅为 17.55°C ,具有利用地道降温的有利条件。

经过详细计算,游客服务中心的接待大厅等区

域夏季采用地道降温送风。以地道的自然降温替代人工冷源制冷,在获得良好的室内空气品质的同时,减少了制冷剂对臭氧层的破坏以及温室气体的排放。

3.2 地道设计

计算可得,接待大厅(包括陈列厅)的空调冷负荷为 165 kW,其中显热负荷 114 kW,潜热负荷 51 kW,总送风量 67 448 m³/h,接待大厅地道送风焓湿图见图 2。在此设计方案中,地道送风系统与空调系统相互独立,各自运行互不影响。

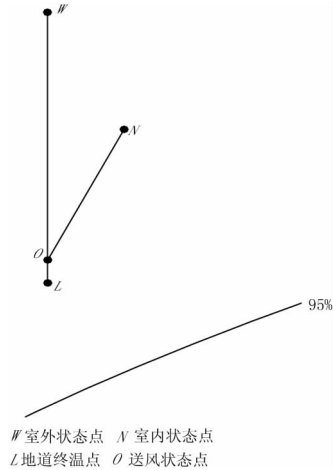


图 2 接待大厅地道送风焓湿图

西安建筑科技大学按照风量 67 448 m³/h,地道断面净尺寸 3.2 m×2 m(2 个 1.6 m×2 m 竖向叠加)进行模拟计算,得到的室外地道设计参数见表 1。

表 1 室外地道设计参数

埋深/m	5.8(中心埋深)
管内设计风速/(m/s)	2.9
设计风量/(m ³ /h)	67 448
管长/m	326
地道送风终温/℃	22.1
提供冷量(按排除室内余热计)/kW	118

注:经模拟计算,地道送风的终温在 22℃左右是较经济的。

在主体建筑南侧广场下布置 2 条室外地道,地道风进风口设在建筑物西南侧,高出地面 2.0 m 以上,防止杂物及灰尘进入,每条地道长度设计为 326 m 左右,埋深 4.2 m 以上,采用 1.6 m×2.0 m 的混凝土水泥通道降温。

在地道风送风机的吸入口附近,设有直接的新风引入口,设置新风引入口的目的主要有:

1) 在过渡季及夏季可以靠建筑围护结构隔热作用保证室内热舒适要求时,可以切换到直接引入

室外新鲜空气的状态,以便减少风机运行能耗,并且防止过渡季地道对室外空气产生升温的负面影响。

2) 在过渡季室外空气干球温度较低的时间段,可以切换到直接引入室外新鲜空气的状态,以便减少风机运行能耗,并且防止过渡季地道对室外空气产生升温的负面影响。

3) 室外新风引入口在地道送风间歇使用时,还可以作为吹扫排风口使用。

3.3 地道通风系统的运行

游客接待大厅采用底部机械送风、中高部自然排风相结合的混合式通风方式,通过软件模拟分析,3 种通风运行模式——自然通风、夜间通风、地道通风的合理结合运用,可以在达到设计预期的同时,最大限度地降低空调设备的能耗。

1) 自然通风:在过渡季节,室外气温偏低,此时室内冷负荷主要是由人员及灯光的散热产生,负荷较小,室外空气在热压作用下产生通风,排出余热,使房间温度满足舒适要求。

2) 夜间通风:随着室外气温逐步升高,围护结构冷负荷增大,造成室内冷负荷增大,而室外空气的自然携冷能力相应降低,仅靠自然通风已无法满足降温要求,而在这段时间内,室外气温仍低于室内设计温度,夜间部分时段开启通风系统送风机和新风阀门,地道风阀门仍然关闭,人为加大夜间通风量,预先降低室内温度,通过围护结构的蓄冷作用,在白天开放时间,减少围护结构的传入热量,从而弥补自然通风降温的不足部分。

3) 地道通风降温:在夏季高温季节,开启地道风通风机,关闭新风阀门,开启地道风阀门,从大厅地面送入较低温度的地道风,空气在大厅内受热上升,从大厅中、上部的电动天窗自然排出。

3.4 热舒适指标计算

西安建筑科技大学在简化建筑体形后进行了 CFD 模拟,结果表明,在人员活动区室内温度为 23~29℃,房间顶部存在局部高温区,但此区域在人员活动区域以外,不会影响室内人员的舒适感。

对于地道通风降温的效果,通过在设计阶段计算 PPD-PMV 指标来判断。PPD-PMV 指标考虑了人体活动的代谢率、服装的隔热性能、室内环

(上接第 17 页)

境参数等各类因素的综合作用效果,作为迄今为止最全面的评价热环境的指标,大量应用于建筑环境舒适性评价方面。GB 50019—2003《采暖通风与空气调节设计规范》规定:“采暖与空气调节室内的热舒适性应按照《中等热环境 PMV 和 PPD 指数的测定及热舒适条件的规定》(GB/T 18049),采用预计的平均热感觉指数(PMV)和预计不满意者的百分数(PPD)评价,其值宜为: $-1 \leq PMV \leq +1$; $PPD \leq 27\%$ ”。

游客接待大厅的热环境计算结果列于表 2。

$PPD-PMV$ 指标表明,在设计状态下、人员达到满员时,游客接待大厅的总体评价有些偏暖,预测约有 16.43% 的人员表示不满意,此时室内环境的热舒适状况能较好地满足规范要求,证明地道通风能达到给室内降温的目的。在夏季,部分负荷运行时间占总运行时间的比例较大, $PPD-PMV$ 指标会因此偏向合理,这意味着更多的人会感到满意。

表 2 游客接待大厅的热环境计算结果

人体新陈代谢率 $M/(W/m^2)$	93.04
人体机械效率 $\eta/\%$	0
服装基本热阻 $I_{cl}/(m^2 \cdot ^\circ C/W)$	0.07
服装面积系数 f_{cl}	1.09
环境温度、空气温度 $t_a/^\circ C$	27
空气速度 $v/(m/s)$	0.35
人体净得热 $H/(W/m^2)$	93.04
空气中水蒸气分压力 p_a/Pa	1 530.64
表面传热系数 $h_c/(W/(m^2 \cdot ^\circ C))$	8.56
人体外表面温度 $t_{cl}/^\circ C$	30.25
预测平均投票值 PMV	0.74
预测不满意百分比 $PPD/\%$	16.43

4 结语

工程项目所处地区气候干燥的特点为地道通风的应用提供了天然条件。节约能源的理念在建筑行业中已经无处不在。现在的节能,已经不再局限于能源利用上的节能,发展新能源和可再生能源、走可持续发展的战略路线,才是长久的节能环保之道。地道通风降温在建筑中的运用,就是新型节能途径之一。