

地下 NVD 除湿系统热湿通风 实验研究和分析^{*}

冉茂宇^① 温永玲^② 陈启高^③

(① 华侨大学建筑系, 泉州 362011; ② 重庆建筑大学建筑系, 重庆 400045)

摘要 对拟建的地下自然通风除湿系统实验用房, 就其热湿通风性能进行实验研究和分析. 得出该系统中各项温度、空气相对湿度、通风的某些规律, 提出改进其性能的各种措施和建议, 以利对地下空间的开发和利用.

关键词 自然通风除湿系统, 热湿通风性能, 回流

分类号 TU 834: TU 91

已有不少文献对地面住宅潮湿、通风问题作了深入探讨^[1]. 就地下住宅而言, 虽然有适于人居的“冬暖夏凉”环境, 但其通风不良和潮湿一直是世界各国建筑设计师共同面临的一大难题. 它至今尚未很好得到解决, 极大地阻碍了地下住宅的发展与利用^[2]. 文献 [3] 针对这一疑难, 提出了一种既能解决潮湿又能促进通风的地下推挽式自然通风除湿系统 (natural ventilation and dehumidification system, 简称 NVD). 原理上, 它是利用地下洞壁对室外空气的冷却或加热作用, 形成室内外空气温差, 从而产生热压通风. 为了使空气流动时, 能与洞壁换热良好且能到达洞内各处, 采用一个导风隔板, 将整个地下空间分成上下两部分. 在夏季, 室外空气从上部流入, 受冷降温后, 从下部流出; 若室外空气含湿量大, 则冷却时会有凝水产生, 便具有自然除湿作用. 在冬季, 空气流向相反, 洞壁对空气有加热作用, 利于采暖. 本文根据这一运行原理, 拟建地下自然通风除湿系统实验用房, 对其热湿通风性能进行全面测试和分析, 旨在从实验的角度全面揭示该系统热、湿、通风的变化规律及其通风除湿效果.

1 自然通风实验房及测试项目

地下自然通风除湿系统实验用房如图 1 所示. 入口与室外环境直接相通, 长、高、宽分别为 15.56 m, 3.00 m, 3.02 m, 地板、两侧墙与洞壁间均留有 0.05 m 的空气间层; 两块微斜的混凝土板形成隔板, 把整个空间分成了上下两个部分. 在下部空间一侧建造了大小不等的 5 个用房, 另一侧为 0.80 m 的走道. 在洞的最末端留有一上下连通空间, 以汇集冷凝水排向两侧空气间层沟道中流出.

下面介绍主要测试项目. (1) 室外空气温湿度. 采用自记温度计、自记湿度计各一台, 置

于洞口隔板上, 昼夜连续记录。(2) 上洞壁表面温度. 采用编号为 N11 ~ N16 的 6 支热电偶测量, 用日本多点热流计自动补偿记录。(3) 上通道空气温度. 采用编号为 N21 ~ N26 的 6 支热电偶测量, 用日本多点热流计自动补偿记录。(4) 隔板上下表面温度. 采用编号为 N31 ~ N36, N41 ~ N46 的热电偶分别测量, 用冰点补偿和日本多点热流计自动记录。(5) 走道内空气气温湿

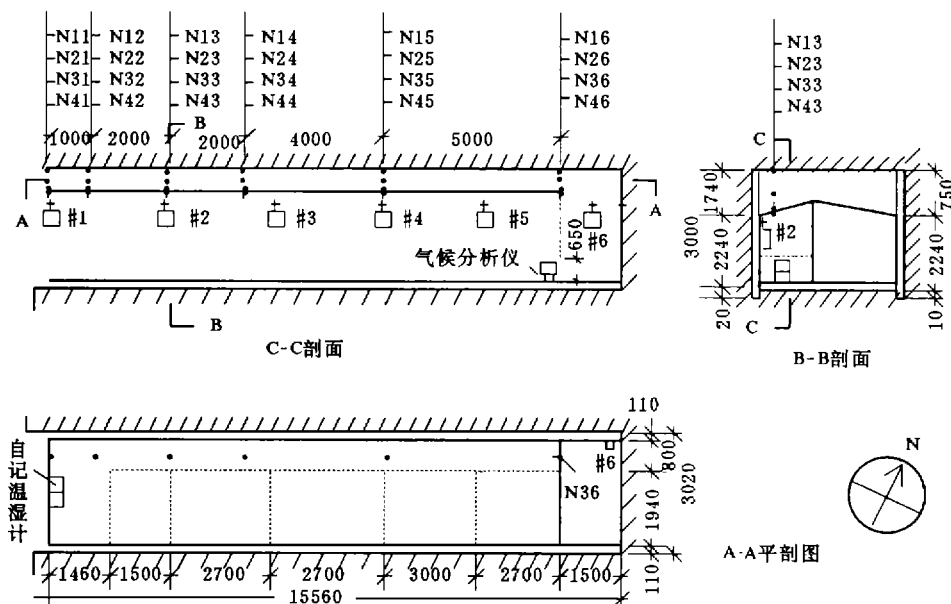


图1 地下自然通风除湿系统实验房

度. 采用编号为 #1 ~ #6 的干湿球温度计测量, 每小时手动记录一次。(6) 空气流量. 采用丹麦室内气候分析仪 1213 型测量, 每小时自动记录一次; 主要测试从上通道流入该系统的空气流量; 为了提高测量的准确性, 避免空气从下走道进入的影响, 在走道末端加设了一塑料薄板, 使流速断面减小至 $0.80 \text{ m} \times 0.65 \text{ m}$, 从而提高流速。(7) 流动状况. 考察隔板下部有无室外空气直接进入, 即当冷却空气从走道流出时, 是否产生抽吸作用; 采用烟幕检查空气流动方向, 以确定进出空气的混合界面。

2 测试结果及分析

测试集中于 8 月份下旬进行, 取连续 2 d 的测量数据, 整理示于下述各图中。图 2 是上洞壁表面、上通道空气各点温度 (θ) 随时间 (t) 的变化; 图 3 是隔板上下表面各点温度随时间的变化; 图 4 是走道内各点温度、相对湿度 (φ) 随时间的变化。

从图 2 ~ 4 可以看出, 各点处的温度或相对湿度随时间成周期性变化, 其极值几乎出现在同一时刻; 平均温度及温度振幅, 随洞深的增加而减小; 平均相对湿度随洞深的增加而增加, 相应振幅随洞深的增加而减小。因此, 该系统对室内热湿具有稳定作用。

通过比较图 2 与图 3 可知, 该系统在热工上有“洞口效应”, 即在洞口部分 (约 2 m 左右) 有一特殊的热过程。具体表现在一方面是隔板上下表面温度和上洞壁表面温度变化剧烈, 其值都不低于入口空气温度, 对空气具有加热作用。原因在于该洞口西向偏南, 白天隔板上表面及上洞壁外表面吸收太阳辐射, 温度升高蓄热, 无论是白天或夜间, 都加热空气。另一方面是有

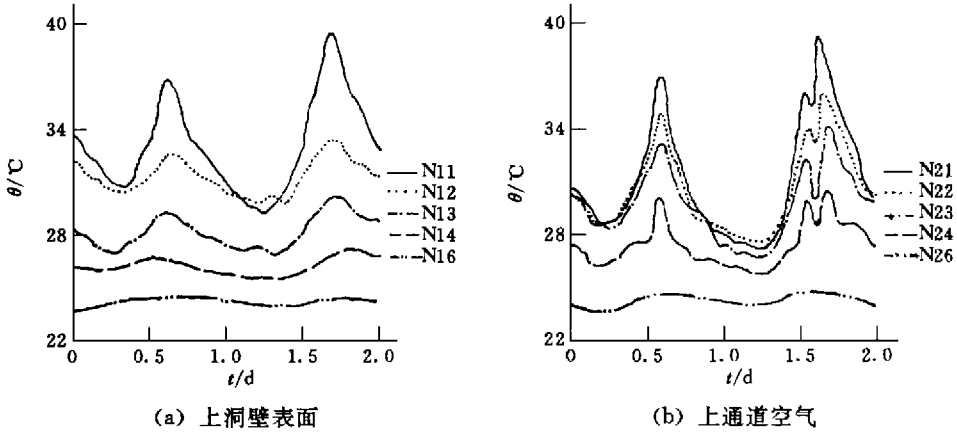


图 2 上洞壁表面、上通道空气各点温度随时间的变化

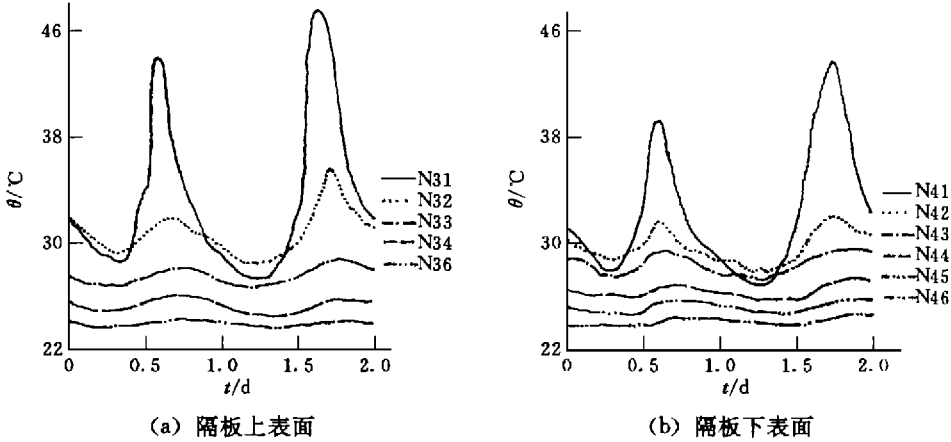


图 3 隔板上、下表面各点温度随时间的变化

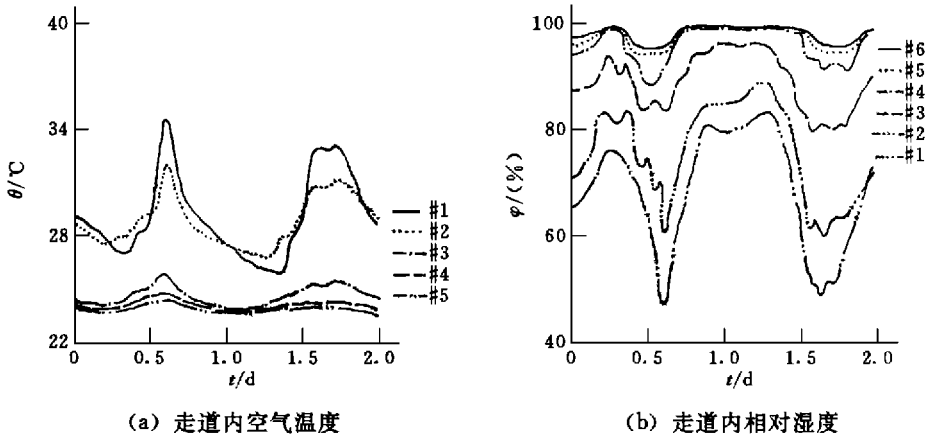


图 4 走道内各点空气温度、相对湿度随时间的变化

温度交叉现象,即出现了洞口各项温度低于洞内相邻同项温度。原因是在夜间或早晨,洞口受

到室外辐射冷却和对流冷却的作用. 除洞口部分外, 上通道空气总是受到冷却作用. 主要表现为距入口当大于 2 m 后, 上洞壁表面温度及隔板上表面温度, 总是低于相应处的上通道空气温度.

但在比较隔板上下表面温度时, 却发现除洞口部分外, 下表面温度总是高于上表面温度. 这说明隔板受到来自两侧的加热, 其原因是隔板下部有室外空气直接进入. 为了验证这一论断, 用烟幕法检查了下部走道空间空气的流动方向(图5), 并确定了进出空气的混合界面, 距地面高约 1.55 m , 为洞高的一半左右. 因此, 在该实验系统中, 整个走道上部有室外空气直接进入, 即有“回流”产生. 回流产生的根本原因是由于冷却空气流出时具有抽吸作用, 而隔板的存在, 一方面对上部流入的空气有引导作用, 另一方面对下部流入的空气起贴附作用, 从而扩大了回流的影响深度.



图5 空气的流动状况

从图4可知, 洞口附近空气温湿度变化剧烈, 且随洞深的增加温湿度波动逐渐减小. 这是因为在洞口附近, 回流对测点# 1、# 2影响很大, 随洞的增加其对测点# 3~# 6影响逐渐变小(图5). 洞内温度比较稳定, 相对湿度很高, 常在90%以上. 就其根本原因, 一是上通道空气受冷在后部产生凝结水溢流地面, 没有或未完全排出; 二是回流的存在, 室外高温高湿空气贴附着隔板下表面从走道上部进入, 在后部转弯后与受冷除湿的上通道空气混合, 温度急剧下降, 致使在走道中产生大量凝结水. 当室外空气高温干燥时, 凝结水会再次蒸发, 使室内空气温湿度维持在露点状态左右; 当室外空气低温潮湿时, 在洞中凝结放热, 仍使洞内空气温湿度维持在露点状态左右. 由于该系统在后部已作了排水处理, 故室内潮湿的主要原因是回流的存在.

图6示出了空气流速(v)及室外绝对含湿量(Z)随时间的变化. 由于测试时已避免了回流的影响, 因此它反映了流过上通道空气流量的变化. 由图可知, 空气流量及室外绝对含湿量随时间的变化也是周期性的; 当室外空气温度高时, 流速也高, 绝对含湿量小; 当室外空气温度变低时, 流速变小, 而绝对含湿量却增加.

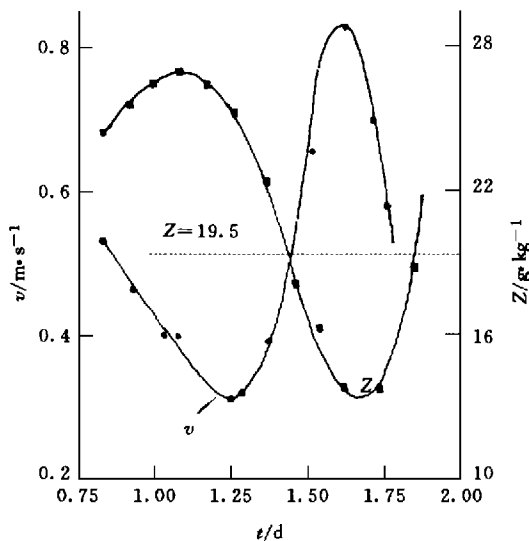


图6 空气流速、室外绝对含湿量随时间的变化

3 通风除湿能力讨论

从图6可知,流速最低发生在6~8 h左右,其值约为 $0.30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.因此,流过该系统的最低空气流量为

$$L_{\min} = 0.80 \times 0.65 \times 0.30 \times 3\,600 = 561.6 (\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}).$$

按美国ASHRAE新风标准^[6]要求,人均换气量不低于 $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,则该系统在夏季通风量最低时,可满足22人新风需求.因此,该系统有很强的通风能力,完全能满足作为住宅对新风的要求.

从图4可知,后部空间温度维持在露点温度24℃左右.考虑当地大气压的影响^[6],由计算可得,对应24℃的饱和绝对含湿量(Z_d)为 $19.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 干空气.由图6可得,在一天中,从上午10 h左右到下午19 h前后,室外空气含湿量小于 $19.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 干空气,室内有凝结水分再蒸发;从每天下午20 h前后到翌日上午9 h左右,室外空气含湿量高于 $19.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 干空气,平均值为 $24.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 干空气,室内有水分凝结.因此,整天内凝结时间约为13 h.取此期间的最低流量进行计算,则得该系统的最低冷凝量(G)为

$$G = (24.1 - 19.5) \times 13 \times L_{\min} \times 353 / (273.15 + 24) = 39\,028 (\text{g} \cdot \text{d}^{-1}).$$

事实上,若考虑冷凝水全部排除,不存在回流,全部空气从上通道进入,按实际流量计算,则该系统的除湿量远大于上述计算值.因此,该系统有很好的冷却除湿性能.

4 进一步的改进措施

(1) 消除洞口效应,以增强对上通道空气的冷却除湿作用.可在洞口隔板上表面和上洞壁外表面涂贴反射系数大的材料,或加遮阳设施,以减弱对太阳辐射的吸收和洞口蓄热.

(2) 改善室内湿环境措施.改善室内湿环境的首要措施是消除回流的存在,避免冷却除湿空气与室外空气在室内直接混合.增加上通道高度,使隔板位于进出的零压面处,可保证其下部不会有室外气流贴附进入;在洞口处设置“导出阻进”的装置设施,以阻止室外空气从隔板下部进入.其次是要避免凝结水的再次蒸发.可在后部,加设定时集水装置、设置光滑排水沟道,以充分清除凝结水;或加盖板、使用吸湿剂,避免凝结水的再次蒸发.

(3) 增加通风量的措施.增加洞的总高度,以加大热压作用,是增加通风量的主要措施.尽量减小空气流动阻力,减小隔板表面和洞壁表面的粗糙度;在上通道入口处设置导风装置,均可增加该系统的通风量.

5 主要结论

本文拟建了地下住宅的自然通风除湿系统,并对其热湿通风性能进行了全面测试和分析,得出了该系统有关热湿通风的某些规律,提出了改进其性能的各种措施.

(1) 该系统中,温度、湿度、通风量随时间成周期性变化;各参数的变化几乎是同步进行;空气及通道壁温度的平均值及其振幅,均随洞深的增加减小;走道内平均相对湿度随洞深的增加而增加,其振幅随洞深的增加而减小.

(2) 该系统在热工上有洞口效应,消除洞口效应有利于对空气的冷却除湿.

(3) 回流的存在是造成室内潮湿的主要原因, 必须采取措施消除回流的影响。

(4) 该系统在夏季有很强的通风能力, 完全能满足新风要求; 有很好的除湿能力。每天至少可除去空气中水量 39 kg。

(5) 找到了改进该系统热工性能的各项措施。

参 考 文 献

- 1 刘钦庆. 南方湿热地区住宅通风降温问题的探讨. 华侨大学学报(自然科学版), 1992, 13(1): 100~109
- 2 Ma Gguanzhong. Dehumidification by low cost method in subsurface space within the tropics. Large Rock caverns, 1988, 3: 1987~1990
- 3 冉茂宇. 地下住宅热湿通风性能研究: 博士学位论文. 重庆: 重庆建筑大学建筑系, 1995, 36~44
- 4 ASHRAE. Standard 62-89 Ventilation for acceptable in door. Atlanta: Air Quality, 1989. 10~20
- 5 胡定玺, 杨定安, 苏希安等. 地下建筑暖通空调设计手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1983. 21~25

Experimental Study and Analysis on the Thermal-Moisture Ventilation of NVD System in Underground Space

Ran Maoyu^① Wen Yongling^② Chen Qigao^②

(^① Dept. of Arch., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou;

^② Dept. of Arch., Chongqing Arch. Univ., 400045, Chongqing)

Abstract An underground system of natural ventilation and dehumidification (NVD) was built for experimental study and analysis of its performances of thermal, moisture and ventilation. Some regular patterns of temperature, air relative humidity and ventilation were obtained. Measures and suggestions on how to improve its performances were advanced, which will be of practical significance for developing and utilizing underground space.

Keywords natural ventilation and dehumidification system, performances of thermal, moisture and ventilation, reflux