

地道风技术对被动式超低能耗建筑空调能耗的影响

高阳

承德市建筑设计研究院有限公司, 河北 承德 067000

[摘要] 笔者以沈阳地区为研究对象, 对地道风技术在被动式超低能耗建筑中的应用做模拟计算分析, 研究其对被动式超低能耗建筑中空调能耗的影响, 分析得出地道风系统利用土壤的蓄热作用, 在对新风进行预冷或预热后, 再经热回收装置处理, 可以减少空调能耗。

[关键词] 沈阳地区; 地道风技术; 被动式超低能耗; 空调能耗

DOI: 10.33142/sca.v2i8.1186

中图分类号: TU201.5

文献标识码: A

Influence of Tunnel Wind Technology on Energy Consumption of Passive Ultra Low Energy Consumption Building Air Conditioner

GAO Yang

Chengde Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Chengde, Hebei, 067000, China

Abstract: Taking Shenyang area as the research object, the author makes simulation calculation and analysis on the application of tunnel air technology in passive ultra-low energy consumption buildings, studies its influence on the air conditioning energy consumption in passive ultra low energy consumption buildings, and analyzes and concludes that the tunnel air system can reduce the air conditioning energy consumption by utilizing the heat storage effect of soil, after precooling or preheating the fresh air, and then treating it with the heat recovery device.

Keywords: Shenyang area; tunnel wind technology; passive ultra low energy consumption; air conditioning energy consumption

引言

能源的开发利用飞速地促进了世界经济与人类社会的发展, 近年来建筑能耗随着建筑总面积的不断增大, 总建筑能耗不断上升。室内热舒适性是由传统的 HVAC 系统产生的, 这些系统消耗大量能源使建筑物能耗占全球能源使用量的 40%左右。从建筑行业来看, 必须大力建设低碳、环保的绿色建筑和超低能耗建筑, 同时运用被动式超低能耗建筑设计技术也是实现人居环境可持续发展的根本途径。

地层的体积巨大且具有着强大的蓄(放)热的能力, 也就是说地层是一个取之不尽用之不竭的能量源泉, 正符合开发利用新的可再生能源的能源战略方向, 因此将地道风技术应用在被动式超低能耗建筑中, 对建筑节能和保护环境具有重大的现实意义。

本文以沈阳地区为研究对象, 对地道风技术在被动式超低能耗建筑中应用做模拟计算分析, 研究其对被动式超低能耗建筑中空调能耗的影响。

1 沈阳地区土壤温度的计算

对于土壤的任一位置任一时刻的原始温度计算, 可通过式(1)计算得出^[1]:

$$t_o = t_d + A_d e^{-y\sqrt{\frac{\Omega}{2D}}} \cos(\Omega\tau - y\sqrt{\frac{\Omega}{2D}}) \quad (1)$$

其中 t_o —某时刻某深度的土壤温度(°C); t_d —地层表面年平均温度, $t_d = 1/2(t_{p(\text{最冷月})} + t_{p(\text{最热月})})$ (°C); y —地层深度(m); Ω —温度波的波动频率, $\Omega = 0.000717 \text{ rad/h}$; D —土壤的热扩散率(m^2/s); τ —从地面年最高温度出现开始计算的时间(h)。

根据辽宁沈阳地区土壤热物性参数可知^[2]: $t_d = 8.5^\circ\text{C}$, $A_d = 18.8^\circ\text{C}$, $D = 0.6 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 。从而可以依据式(1)计算出沈阳地区任一时刻任一位置的土壤原始温度。

2 空气与土壤传热数学模型的建立

地道风降温就是指在炎热的夏季利用地道来冷却室外高温空气, 然后将冷却后的空气送到地面上的建筑物内, 以

达到对建筑物内降温除湿的目的。本文主要研究的是室外空气被地道壁体所冷却的空气与土壤之间的换热过程，此过程受到外界气象等条件的影响，故其边界条件无法事先预定而是随着流体与壁面的换热情况而动态变化的，因此其边界条件为耦合边界条件（亦称第四类边界条件）。在耦合性问题中，传热计算是一项较困难的环节，而整场耦合法是解决耦合性问题的有效方法^[3]，所以本文采用 Fluent 软件通过整场耦合法（将地道壁体、土壤、空气看作是整体的研究对象的方法）来进行求解。

为了便于建模，故将所建模型予以简化，假设条件如下：

- a. 空气的冷却主要受土壤的蓄热作用所影响，选取与周围土壤热物性参数几乎相同的地道围护结构材料，这样可以将地道壁体与土壤看做成一个整体，统一采用土壤的热物性参数即可^[4]。
- b. 地道壁面之间温差很小，故忽略辐射热的影响，主要考虑空气与壁面二者之间的对流换热即可。
- c. 在 1994 年，Gauthier 证明湿迁移对传热影响小于 0.001，故忽略其对传热的影响。^[5]
- d. 空气在地道内的流速是均匀分布的。

对于本文的模型网格划分，采用 submap 的生成方法，该方法生产网格速度快，且网格具有高质、结构简单的特点，更重要的是与实体更接近。cooper 的生成方法是 submap 的一种特殊形式，cooper 法适用于圆直管道的模型，鉴于本模型的地道为圆直管道，故本模型的网格划分采用 cooper 法再适合不过了。值得注意的是，由于空气与地道壁面的换热比较强烈，使得地道壁面处的空气温差变化较大，为了使得模拟计算出的结果更加精确，故要对空气离近地道壁面处的网格进行加密。

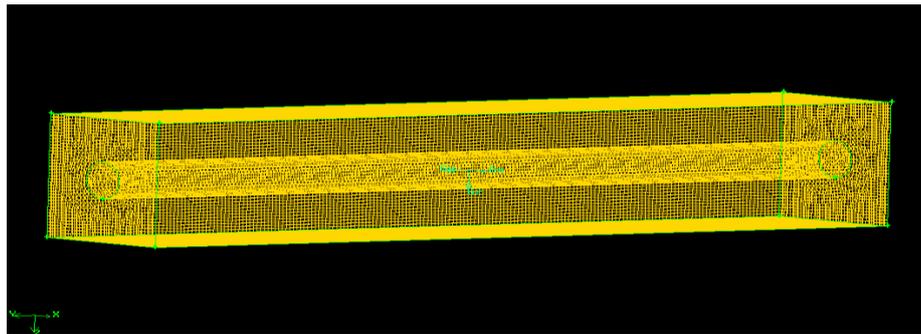


图 1 模型网格图

定义边界条件：

- a. 地层表面：将其设置为 convection（对流传热传导），本文的地面对流传热系数 h 根据经验公式取 $5W/(m^2 \cdot K)$ ^[6]，温度取地表温度即可。
- b. 土壤下表面：根据式（1）的计算发现，当土层深度大于 6m 时，温度波幅很小，所以将其边界条件定义为固定温度 temperature（温度）第一类边界条件，温度值取该深度下的土壤温度。
- c. 土壤四周表面：由于温度随着土壤深度不断变化，故需将式（1）进行 UDF 编程后导入 fluent 软件。
- d. 入口表面：设置为 velocity-inlet，定义其温度和速度。又因为本文的流体属于内流，需要设定 Intensity and Hydraulic Diameter（湍流强度和水力直径）。其中湍流强度按照式（2）计算，

$$I = 0.16 \times (\text{Re})^{-0.125} \quad (2)$$

$$\text{Re} = \frac{ud}{\nu}$$

其中 Re—雷诺数， ν ； u —流体平均速度（m/s）； d —水力直径（m）； ν —运动粘度（ m^2/s ）。

- e. 出口表面：将其保持默认即可。

3 模拟结果

通过广为使用的 FLUENT 模拟软件对地道风降温系统进行模拟研究，得出如下结论：随着地道长度的增加使得空气降温幅度增加；地道内风速数值越大，土壤冷却室外空气的能力就越弱，且风速不大于 5m/s 为宜；地道出口空气温度随着地道当量直径的增加而增加；地道埋深越接近于地面，其受地面的影响越严重，使得冷却室外空气的能力越差，故室外空气被冷却效果随着地道埋深数值的增加而增强，但不可大于 6m。

通过上述结论，笔者结合实际项目经验和沈阳地区室外气象条件在如下的条件中做模拟计算，地道长度为 60m，当量直径为 2m，风速取 3m/s，埋深为 4m，沈阳夏季空调室外计算干球温度取 31.5℃，得出地道出口空气的平均温度为 27.2℃。图 2 和图 3 分别为地道内空气温度模拟云图和地道出口空气温度模拟云图。



图 2 地道内空气温度模拟云图

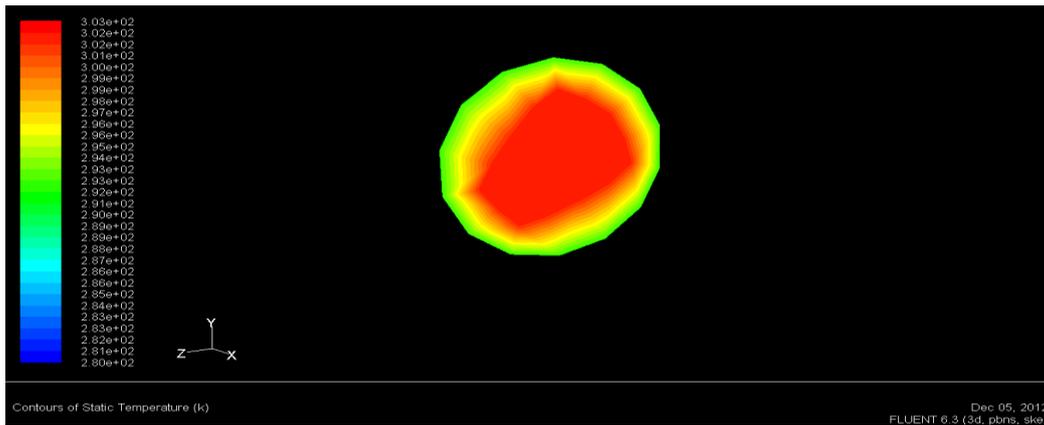


图 3 地道出口空气温度模拟云图

4 地道风对新风热回收效率的影响分析

被动式超低能耗建筑对室内的通风和空气质量要求很高，同时该建筑的特性是房间的气密性极佳（换气次数 $N_{50} \leq 0.6h^{-1}$ ，即在室内外压差 50Pa 条件下，每小时的换气次数为 0.6），因此被动式超低能耗建筑对新风的需求量较大，这种情况下，由新风所带来的负荷就非常大，甚至成为影响整个系统能耗的关键部分。如果应用地道风技术，在夏季对新风进行预处理降温后再送入热回收式新风机组，将大大提高热回收效率和新风机组的能效比值，笔者应用上节 fluent 模拟计算得出的数值，分析对空调系统能耗的影响。

被动式超低能耗建筑的通风系统的显热回收装置的温度交换效率不小于 75%。显热交换效率按式（3）计算。

$$\eta_t = \frac{G_1(t_1 - t_2)}{G_3(t_1 - t_3)} \quad (3)$$

其中 G_1 —新风量 (m^3/h)； G_2 —排风量 (m^3/h)； t_1 —热回收装置进口温度 ($^{\circ}C$)，即新风进风； t_2 —热回收装置出口温度 ($^{\circ}C$)，即新风出风； t_3 —排风（待热回收）温度 ($^{\circ}C$)。对于被动式超低能耗建筑，可以近似认为新风量=排风量。

在如下的设计条件进行计算分析：沈阳夏季空调室外计算干球温度为 31.5℃，经长度为 60m，当量直径为 2m，入口风速 3m/s，埋深为 4m 的地道进行预冷后，干球温度为 27.2℃，被动式超低能耗建筑的室内设计温度为 26℃，相对湿度为 60%。

当不使用地道风降温系统进行预冷时，经式（3）计算可得，热回收装置的出口温度即新风出风温度为 27.4℃，此

时若能达到室内设计温度,需要其他空气处理装置承担新风显热负荷;

当使用地道风降温系统进行预冷时,经式(3)计算可得,热回收装置的出口温度即新风出风温度为 26.3°C ,可以基本认为不需要再处理新风显热负荷,经热回收装置处理后直接送入室内,减少了空调系统的能耗。

沈阳冬季空调室外计算气温为 -20.7°C ,相对湿度为60%,室内温度为 20°C ,相对湿度为30%,而保证机组内不结露的最低新风温度为 -4.12°C ,因此,天然能源地道风系统对新风进行预热是非常有必要的。在与夏季情况模拟条件相同的情况下,经fluent模拟分析可得地道风出口的空气平均温度为 -13.1°C ,由于篇幅有限,不再赘述模拟分析过程及温度云图。因此冬季经地道风系统进行预热后,仍需用其他技术手段进一步对新风预热,以达到被动式超低能耗建筑对热回收装置的要求和室内空气品质的要求。

5 结论

地道风系统利用土壤的蓄热作用,在冬季对新风进行预热,夏季对新风进行预冷,通过模拟分析得出,对于沈阳地区的被动式超低能耗建筑,在夏季新风经合理设计后的地道风降温系统预冷后,再经热回收装置处理直接送入室内,减少了空调系统的能耗;在冬季新风经地道风系统进行初步预热,但仍低于露点温度且不满足热交换效率指标,故应进一步对新风预热,但地道已节省一部分预热能耗。

[参考文献]

- [1]牟灵泉.地道风降温计算与应用[M].北京:中国建筑工业出版社,1982.
 - [2]马庆芳.实用热物理性质手册[M].北京:中国农业机械出版社,1986.
 - [3]陶文铨.计算传热学(第二版)[M].西安:西安交通大学出版社,2001.
 - [4]王琴,程宝义,缪小平,等.浅埋工程围护结构全年动态传热计算[J].建筑节能,2007,35(191):24-28.
 - [5]SLAYER R O.Plant-water relationships[M].UK:London and New York.Academic Press,1971.
 - [6]Carol Gauthier, Marcel Lacroix, Herve é Bernier.Numerical Simulation of soil heat exchanger-storage systems for greenhouses[J].Solar Energy,1997,60(6):333-346.
 - [7]郭海丰.地道风系统的研究现状及发展趋势[J].理论与研究,2013(12):14.
- 作者简介:高阳,硕士,全国注册公用设备工程师(暖通空调),现就职于承德市建筑设计研究院有限公司,担任暖通专业负责人和绿色建筑研究所所长,主要研究方向为绿色设计。