

改进架空屋面隔热效果的理论与实践*

汪帆 杨若菡

(华侨大学建筑系, 泉州 362011)

摘要 提出一种用大量实验数据进行充分验证的全新的隔热层构造设计方案, 其隔热效果显著, 现场实施方便, 并考虑到对现有屋面的改进, 具有广泛的推广前景。

关键词 隔热效果, 隔热层, 架空屋面

分类号 TU 352.590.4

夏季, 福建省太阳辐射值多在 $940 \sim 1150 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 全年日照时数 $1900 \sim 2400 \text{ h}$, 云量 $2 \sim 5$ 且多为高云^[1], 加上南方纬度较低, 其太阳高度角大, 因而水平屋面的防热问题便成为防热设计的重点。当今屋面防热构造形式多样, 在南方多采用架空预制隔热板, 但其隔热效果不尽人意^[2]。经计算机模拟分析, 层间空气不能流动的原因, 有女儿墙的遮挡、屋面的跨度、支撑的砖垛过大等多种因素^[3]。由于屋面被晒过热并加上延迟效应, 虽午后辐射减弱, 但层间热空气仍然不易散去。因此, 其热力作用非但未能减少, 反而延长作用时间, 致使室内长时间处于过热状况。有鉴于此, 本文根据流体热力学原理, 提出开口倾斜的隔热架空层的构想, 并取夏季气温高, 云量少的天数(10d)进行实测验证。结果表明, 开口倾斜架空屋面具有良好的隔热效果, 可显著降低房屋的层间温度。

1 构造原理与理论依据

基于对现有屋面架空层的改进为目的, 以原构造的架空层为依据, 将每块隔热板的南向一边打开, 架高一皮砖(图1), 隔热板表面刷白。对需要上人的屋面可以隔行打开架空。

1.1 原理

南向开口, 目的在于减少阳光直射入架空层内。南方夏季太阳的高度角低, 以泉州地区为例, 夏至正午为 1.4° ; 立夏、立秋为 3.7° 。上午11时前和下午1时后, 由于阳光开始照射正北的表面, 因此将开口设在南面, 以防止阳光直射架空层和午后常遇高温而使层间空气温度上升。纬度越低, 南向开口的优势

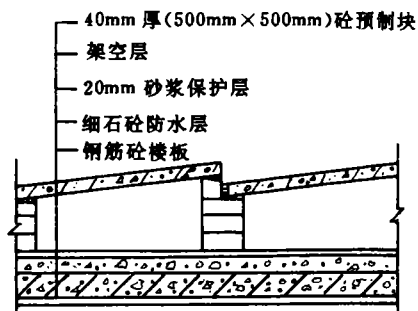


图1 改进后架空屋面剖面

* 本文1993-11-21收到

就越明显.

1.2 气流

因南向一侧架高,使得每块面板南北两侧产生6cm 的高度差,因而架空层内气流在无风压条件下,将形成自然对流带走热量,从而减少空气升温. 决定气流量的热压差(ΔP)为

$$\Delta P = H \times (r_e - r_i), \quad (1)$$

式中 r_e 为室外空气密度, r_i 为架空层内空气密度, H 为开口高差. 由此可见,开口高差越大,越有利于层间气体的流动. 从理论上讲,倾斜角度越大,气流越畅通,但给实际应用带来不便. 例如,一旦倾斜角过大,原定隔热板的板宽就不足,势必让部分阳光从开口射入架空层内,而且还需专门设置特殊支块,才能保证足够的接触让砂浆贴接. 这种结构也易遭受台风毁坏.

1.3 表面颜色

夏季太阳辐射强烈,但多分布在可见光部分,其中 50% 热量为 0.4~0.7 nm 波段,43% 为红外波段. 浅色表面的吸收率比深色的小,而两者的辐射率基本相同. 因此,白天浅色表面吸热少,夜间则与深色表面具有同样的散热能力. 所以,把隔热板刷白,是提高隔热效果的重要措施,如图 2 所示. 实测了留原色和经刷白这两种混凝土板的温度差别,也获得同样的结果.

在理论上,综合温度 $\theta_{\text{总}}$ 可以写成与室内在层面的平衡方程

$$\theta_{\text{总}} = \theta_e + \frac{\rho \cdot J}{\alpha_e} - \frac{\alpha_i}{\alpha_e}(\theta_o - \theta_e), \quad (2)$$

式中 θ_e 为室外空气温度, ρ 为材料表面的吸收系数, J 为太阳辐射强度, α_e 为材料表面的热转移系数, α_i 为材料表面的辐射换热系数, θ_o 为大气长波辐射温度.

由此可见,材料的吸收系数及室外太阳的辐射,都将提高外表面的热作用. 在南方太阳辐射强烈的夏季,表面的吸收影响更不可忽视. 对于大跨度的建筑轻型薄壳屋面,例如体育馆、礼堂等,表面刷白的意义更大. 从理论上讲,依热力学平衡理论,屋顶热平衡时下式成立,即

$$\theta_i = \theta_e + \left[\frac{\rho \cdot J}{\alpha_e} - \frac{\alpha_i}{\alpha_e}(\theta_e - \theta_{\text{er}}) \right] \frac{R_i}{R_{\text{tot}}}, \quad (3)$$

式中 θ_i 为屋盖内表面温度, θ_{er} 为室外平均天空辐射温度, α_i 为辐射换热系数, R_i 为外表面热转移阻, R_{tot} 为结构总热阻. 可见, R_{tot} 越小, θ_i 越易受 $\rho \cdot J$ 的影响.

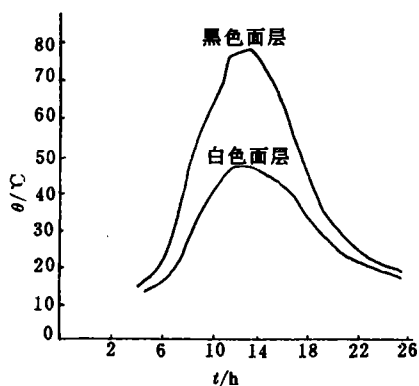


图 2 相同太阳辐射黑白两表面温度

2 实测结果分析

2.1 实测环境

为有针对性地进行实测,充分体现改进屋面与原有屋面的差别,我们设计 3 种不同的屋面构造以便比较. (1)原有未改进的屋面(1986 年福建建筑设计标准图集). (2)将原有屋面隔热板外表面刷白,以减少其外表面对太阳光的吸收量. (3)改进的倾斜开口屋面. 此外,选择典型极端户外气象条件的 8 月上旬,因大地的蓄热作用,其大气温度可达到一年中的最高值. 这

一综合结果,与人们普遍觉得8月是一年中最热月份的认识相吻合。

必须说明的是,气象条件有其随机性和实验条件有一定的局限性。在测量期内,云量较大,多在3~5之间,使得外部气候条件不很理想。但实测结果仍清楚地表明,上述3种屋面的隔热效果的差别,随着日太阳辐射量的增加而增加。我们共设置18个测点,以每日24h逐时测量。每种屋面设3点架空层空气温度,3点架空层下表面温度。以实际穿过屋面结构层的热量,作为构成外作用热力温度降低的依据。测量时,气温探头需设防辐射罩,表温探头需增加金属接触面。

2.2 架空层中空气温度对比

实测结果示出绝大多数气温的测量值:屋面1(原有屋面)为最大;屋面2(表面刷白)次之;改进后的屋面3为最低。改进后的屋面,气温都比同一时刻其它屋面低。屋面1与屋面3相比,正午前后温差都在5℃以上,最大可达15.1℃;一天中最小温差也有0.8℃,24h均值为4.1℃。这说明了斜开口屋面性能的提高。刷白的屋面2在黄昏后,个别时刻气温高于屋面1,这是因为在没有太阳辐射的条件下,白表面不再有吸热少的优势。因测量误差,在个别值上有大于屋面3的现象(图3)。

2.3 架空层的表面温度

这一温度的高低,直接影响到结构层中的导热和传热量,进而影响其内表面,即顶层房间顶棚表面的温度。夏季顶层房间过热,最主要的原因,是这一温度过高,使得辐射温度上升,人体因此感觉不适(图4)。

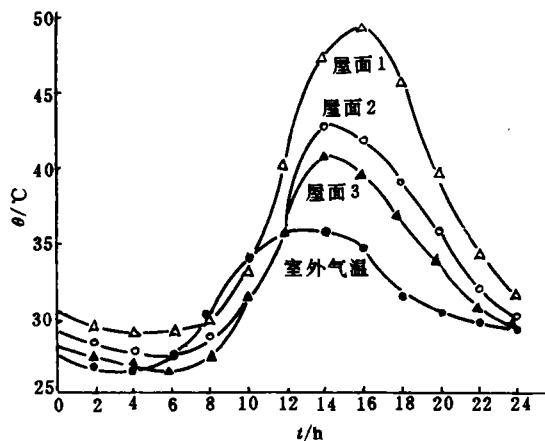


图3 三种屋面间层内空气温度及室外温度对比曲线

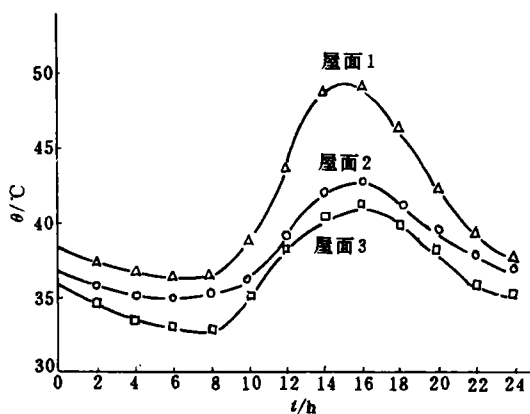


图4 三种屋面间层下表面温度对比曲线

实测表明,总趋势与间层气温相同,即屋面1为最高,屋面2次之,屋面3为最低。在实测期间,第1与第3屋面的差别最高达15.1℃,最低为0.8℃,平均相差4.1℃。一天内最大温差出现在正午前后至夜间21时,此时温差都为5℃以上,云量少时可达15℃甚至更高。其原因是斜开口屋面流动的气流限制了空气的升温,同时适量带走表面的热量,使得一天内下表面温度变化不大。屋面1则不同,因间层中气流不畅,两表面的辐射换热较大,间层的空气温度高,表面吸热多,一天内温度变化很大,因而造成如此大的差异。

2.4 太阳辐射对改进效果的影响

太阳辐射的强弱,可以用云量或日辐射量来表示.这里,选择水平面上一天的总辐射量,据此参考数并考察在不同值时,屋面1与屋面3的间层气温差与下表面的温度差.图5为改进前后屋面间层空气温度差、下表面温度差和日辐射量的关系图.

受时间与条件所限,测点不多.利用最小二乘法回归得二次方程为

$$\Delta\theta_a = -3.33R + 0.5R + 9.83, \quad (4)$$

$$\Delta\theta_b = -2.79R + 0.37R + 4.85, \quad (5)$$

其中 R 为辐射量, $\Delta\theta_a, \Delta\theta_b$ 分别为改进前后屋面间层空气和下表面的温度差.可以外推,在夏日的晴天条件下,这两者温差可大至15~20℃,因而改进屋面的效果更佳.

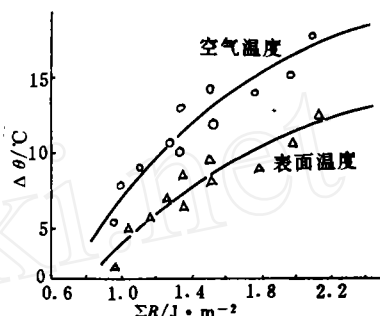


图5 层内空气温差及下表面温差与太阳日辐射量关系

3 结论

这种隔热层构造的设计方案,是建立在可靠的理论基础上的,同时采用大量对比实验的实测数据给予充分的验证.因此,其隔热效果显著,现场实施方便,特别考虑到对现有屋面的改进,因而有很大的推广前景.当前,国际上发达国家正致力于健康建筑的研究,也强调利用自然能,以提高建筑自身的热性能.同时,国内发达地区已开始意识到建筑节能的重要.在这种情况下,本方案将更有现实的意义.

参 考 文 献

- 1 福建师范大学地理系编.福建自然地理.福州:福建人民出版社,1987.75~109
- 2 沈韞元.屋面面层浅色降温性能的研究.北京:建筑工业出版社,1987.491~498
- 3 汪帆.通风屋面下房间热环境计算机模拟.华侨大学学报(自然科学版),1993,14(1):74~81

Theory and Practice to Improve Heat-Proof Effect of an Air-Spaced Roof

Wang Fan Yang Ruohan

(Dept. of Arch., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract An improved air-spaced roof with fairly good heat-proof quality is designed by the authors. This new design of heat-proof construction is amply proved by abundant experiment data. The design gives careful consideration to the way of improving ordinary air-spaced roofs now available and is easy of implementation. It is expected to have good prospect of becoming popular.

Keywords heat-proof quality, heat-protection layer, air-spaced roof