

机场顶棚表面太阳能热量吸收量模型仿真

任 君

(郑州航空工业管理学院, 郑州 450000)

摘 要:在对机场顶棚表面太阳能热量吸收量进行模拟仿真的过程中,容易出现日照变化随机的情况,导致传统方法由于不能充分分析太阳能变化造成的影响,无法有效实现机场顶棚表面太阳能热量吸收仿真,提出一种基于正态分布概率模型的机场顶棚太阳能热量吸收量模型,机场顶棚表面流体区域采用k-epsilon湍流模型,同时启动RNG,辐射部分采用FLUENT中的太阳加载模型,求出进入计算区域的太阳射线对辐射的影响,依据温度场控制方程,考虑到一天中太阳能辐射总量依据时间的概率分布,通过计算太阳能辐射量相对于该天太阳能辐射总量的比重以及机场顶棚表面太阳能热量吸收量,建立基于正态分布模型的机场顶棚表面太阳能热量吸收量模型。实验结果表明,所提方法与实际情况更加吻合,具有很高的准确性及有效性。

关键词:机场顶棚;太阳能;热量吸收量

中图分类号: TU88

文献标识码: A

文章编号: 1001-7119(2015)03-0101-04

Solar Heat Absorption Model Simulation of Airport Ceiling Surface

Ren Jun

(Zhengzhou Institute of Aeronautical Industry Management, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: In the airport ceiling surface solar heat absorption in the process of simulation, it's easy to have a sunshine of random change, lead to the traditional methods unable to fully analyze the impact of changes in solar, unable to effectively implement the airport ceiling surface solar heat absorption of the simulation, in this paper, a model based on normal distribution probability roof solar heat absorption model of airport, the airport ceiling surface fluid area by using the k - epsilon turbulence model, at the same time start the RNG, the sun radiation part adopts FLUENT load model, and the sun's rays enter the calculation area of the influence of radiation, according to the temperature field control equation, considering the amount of solar radiation in a day on the basis of the probability distribution of time, through calculating the solar radiation is relative to the proportion of the total solar radiation and the airport that day ceiling surface solar heat absorption, based on normal distribution model of the roof surface solar heat absorption model at the airport. The experimental results show that the proposed method in accordance with the actual situation more, has the very high accuracy and effectiveness.

Keywords: airport ceiling; solar energy; heat absorption

收稿日期: 2014-01-22

基金项目: 太阳能利用与建筑表皮一体化设计研究(102102310414); 夏热冬冷区绿色建筑技术应用问题研究(122102310408); 河南区域环境与经济社会可持续发展的模拟研究(112102310625)。

作者简介: 任君(1981-), 女, 汉族, 江西南昌人, 讲师, 硕士, 主要研究方向: 城市环境设计。

近年来,受到能源耗尽与环境污染的严重威胁,机场等交通领域掀起一股开发与利用清洁能源的风潮,改变能源结构、节能减排、开发利用新能源一直是各个国家大力推行的能源政策^[1,2]。太阳能作为一种绿色清洁能源,利用空间巨大,受到越来越广泛的关注^[3-5]。

在对机场顶棚表面太阳能热量吸收量进行模拟仿真的过程中,容易出现日照变化随机的情况,导致传统方法由于不能充分分析太阳能变化造成的影响,无法有效实现机场顶棚表面太阳能热量吸收仿真。

1 机场顶棚表面太阳能热量吸收原理

机场顶棚表面的热平衡方程可描述成:

$$Q_{gf} + Q_{db} + Q_{gn} + Q_{qt} = Q_{wh} + Q_{sc} \quad (1)$$

其中, Q_{gf} 用于描述机场顶棚通风带入热量; Q_{db} 用于描述从上到下的机场内部热量; Q_{gn} 用于描述机场内供暖设备散发热量; Q_{qt} 用于描述吸收的太阳能; Q_{wh} 用于描述围护结构耗热量; Q_{sc} 用于描述空气带走的热量。

机场顶棚从机场围护结构吸收到的热量 Q_{wh} 高于普通地面温室,这是由于机场高度较高,风速较大,对流换热系数 A 较大,从机场外表面传到机场内空气的热量较多。由于计算中采用的风速是一个平均值,也就是为某一确定的数值,所以 A 亦为定值,因此通常采用已分析辐射放热的折算对流放热系数对围护结构外表面的放热量进行计算。但对于机场顶棚而言,由于高度不同,风速 V_h 也不同,与之对应的对流放热系数值也不同,所以应分别求出对流放热量和辐射放热量。

为了获取机场顶棚从机场围护结构吸收到的热量和高度之间的关系,首先需获取风速随高度变化的规律。对于不同高度 h 处的机场外风速 V_h ,可用式(2)进行描述:

$$V_h = \left(\frac{h}{10}\right)^{0.2} V = 0.631h^{0.2} V \quad (\text{m/s}) \quad (2)$$

为了获取当风速增大时,机场顶棚表面太阳能热量吸收情况,塑造外围护结构内外表面热平衡式:

$$Q_{n,d} = Q_{w,d} + Q_{w,f} \quad (3)$$

其中, $Q_{n,d}$ 表示机场内向围护结构内表面对

流的热量吸收量; $Q_{w,d}$ 表示围护结构外表面向周围空气对流的热量吸收量; $Q_{w,f}$ 表示围护结构外表面向环境的辐射热量吸收量。

假设围护结构内表面温度等于外表面温度,则有:

$$Q_{n,d} = 1.75(t_n - t_b)^3 \sqrt{t_n - t_b} F_w \quad (4)$$

$$Q_{w,d} = (7.832 + 3.01V_h^{0.8})(t_b - t_w)F_w \quad (5)$$

$$Q_{w,f} = 5.424 \left[\left(\frac{273 + t_b}{100} \right)^4 - m \left(\frac{273 + t_w}{100} \right)^4 \right] F_w \quad (6)$$

其中, t_n 表示机场内温度; t_b 表示围护结构温度; t_w 表示机场外空气温度; F_w 表示机场外围护结构面积; m 表示受天空云量影响的系数,如果有云时则取 $m = 0.816$,无云则取 $m = 0.948$ 。

在对机场顶棚表面太阳能热量吸收量进行模拟仿真的过程中,认为 Boussinesq 假设成立,并且做出下述假设:(1)不考虑湿度的改变对热平衡的影响;(2)不考虑墙体各种材料之间的接触热阻;(3)假设材料热物性是常量;(4)任何时间内外表面换热系数均为定值,同时不考虑空气渗透换热作用。则有:

$$Q_{gn} = Q_{wh} + Q_{sc} - Q_{gf} - Q_{db} - Q_{qt} \quad (7)$$

在对机场顶棚表面太阳能热量吸收量进行模拟仿真的过程中,容易出现日照变化随机的情况,导致所提方法由于不能充分分析太阳能变化造成的影响,无法有效实现机场顶棚表面太阳能热量吸收仿真,因此,提出一种基于正态分布概率模型的机场顶棚太阳能热量吸收量模型。

2 机场顶棚表面太阳能热量吸收量模型

2.1 温度场控制方程

机场顶棚表面流体区域采用 k-epsilon 湍流模型,同时启动 RNG,对 N-S 方程进行高斯统计展开,同时完成对脉动频谱的滤波操作,在 ε 方程中引入时均应变率,则 RNG 两方程模型可描述成:

$$\frac{(\partial \rho \varphi)}{\partial t} + d_w(\rho, \varphi)(\Gamma \text{ grad } \varphi) + S \quad (8)$$

其中, ρ 表示流体密度,单位为 kg/m^3 ; φ 用于描述通用变量; S 用于描述源项。

压力速度耦合采用 simple 算法,对流项采用二阶迎风格式。

固体区域传热方程可描述成:

$$\rho_c \frac{\partial T}{\partial t} = \left(\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + S_E \quad (9)$$

其中, ρ_c 表示固体密度, 单位为 kg/m^3 ; T 表示温度, 单位为 K ; c 表示比热容, 单位为 $\text{J/kg} \cdot \text{K}$; λ 表示传热系数, 单位为 $\text{W/m} \cdot \text{K}$; S_E 表示每个固体介质层吸收的太阳辐射量与辐射换热量, 单位为 J 。

辐射部分采用 FLUENT 中的太阳加载模型, 其可求出进入计算区域的太阳射线的辐射影响。

对法向直接辐照采用晴朗天气条件方法的方程为:

$$E \, \text{dn} = \frac{A}{\frac{B}{e^{\sin \beta}}} \quad (10)$$

其中, A 表示大气质量在 $m=0$ 状态下的太阳辐照系数; B 表示大气质量在 $m=0$ 状态下的大气消光系数; β 表示在水平线之上的太阳高度。

在机场顶棚垂直表面上的漫射太阳辐照计算方程可描述成:

$$E_d = C Y E \, \text{dn} \quad (11)$$

其中, C 表示常数; Y 表示在垂直表面上的天空漫射辐射和在水平表面上的天空漫射辐射的比; E_d 表示无云状态下地球表面的法向直接辐照。

对于机场顶棚非垂直的表面, 漫射太阳辐照可通过下式求出:

$$E_d = C E \, \text{dn} \frac{(1 + \cos \zeta)}{2} \quad (12)$$

其中, ζ 表示机场顶棚表面从水平表面倾斜的角度, 单位是度。

地面反射太阳辐射在表面上形成的辐照可通过式(13)求出:

$$E_r = E \, \text{dn} (C + \sin \beta) \rho_g \frac{(1 + \cos \zeta)}{2} \quad (13)$$

其中, ρ_g 表示地面反射率。如果漫射太阳辐射的输入是通过太阳计算器获取的, 则机场顶棚表面上总的漫射辐照是 E_d 与 E_r 。

2.2 基于正态分布概率模型的机场顶棚太阳能热量吸收量模型

一天中太阳能辐射总量依据时间的概率分布服从以下概率密度函数: 假设一天中日出时刻是 a , 日落时刻是 b , 将 a 与 b 作为正态分布曲线的初始点与终止点, 则太阳能辐射量依据时间 t

的概率密度函数 $f(t)$ 可描述成:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (14)$$

依据概率论和数理统计, 对于服从正态分布 $N(\mu, \sigma)$ 的随机变量, 其值在 $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$ 范围内的概率是 0.9974, 则取值在区间 $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$ 外的概率是 0.0026, 可将其看作是小概率事件。假设:

$$\begin{aligned} \mu - 3\sigma &= a \\ \mu + 3\sigma &= b \end{aligned} \quad (15)$$

对上式计算结果是:

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{a+b}{2} \\ \sigma &= \frac{b-a}{6} \end{aligned} \quad (16)$$

式(15)中的 μ 与 σ 值主要和日出时刻 a 与日落时刻 b 有关, 随着季节的变化, 其取值也随之发生改变, 概率密度曲线也将出现微幅变动。 μ 值为一天中太阳能辐射最强的时刻, 也就是峰值点, 也就是概率密度曲线的最高点所处的时间。 σ 值可体现出时间轴的取值范围, 也就是太阳辐射时间。

通常对正态分布概率密度函数有: $\int_{-\infty}^{\infty} f(t) dt$, 但由于其在取值区间 $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$ 的概率是 0.9974, 则将其看作是近似处于 $[a, b]$ 范围内。

依据数理统计学可知, 若要求处于积分区间 $[t_a, t_b]$ 内, 则太阳能辐射量相对于该天太阳能辐射总量的比重可描述成:

$$P\{t_a \leq t \leq t_b\} = \Phi\left(\frac{t_b - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{t_a - \mu}{\sigma}\right) \quad (17)$$

其中, $P\{t_a \leq t \leq t_b\}$ 用于描述该时间段内机场顶棚表面太阳能辐射量与该天太阳能总辐射量的分布比重; $\Phi\left(\frac{t_b - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{t_a - \mu}{\sigma}\right)$ 用于描述获取 μ 和 σ 值后, 对正态分布积分获取的结果。

所以若一天的太阳辐射总量 Q_a 已知, 则通过式(17)即可获取 $[t_i, t_{end}]$ 时间段内 $P\{t_i \leq t \leq t_{end}\}$ 的大小, 则太阳能辐射量 Q_s 可描述成 $P\{t_i \leq t \leq t_{end}\} Q_a$, 假设机场顶棚表面太阳能热量的吸收率为 η , 则有:

$$Q_s = \eta Q_a \left[\Phi\left(\frac{t_{end} - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{t_i - \mu}{\sigma}\right) \right] \quad (18)$$

可将式(18)作为机场顶棚表面太阳能热量

吸收量计算公式。则对于 Q_a 有:

$$Q_a = \frac{Q}{\Phi\left(\frac{t_i - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{t_{i-1} - \mu}{\sigma}\right)} \quad (19)$$

通过式(18)与式(19)即可获取某个时间段内机场顶棚表面太阳能热量吸收量 Q_s , 则有:

$$Q_s = \eta \frac{\left[\Phi\left(\frac{t_{end} - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{t_i - \mu}{\sigma}\right) \right]}{\Phi\left(\frac{t_i - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{t_{i-1} - \mu}{\sigma}\right)} Q \quad (20)$$

机场顶棚表面太阳能的一天集热量计算公式可描述成:

$$Q_s = \frac{A_c \eta_{cd}(1 - \eta_L)}{f} \times J_i \quad (21)$$

其中, J_i 表示日均太阳能辐射总量, 取值与地点、天气有关, 单位为 J/m^2 ; f 表示机场顶棚表面吸热效率值, 通常取决于当天太阳能辐射强弱, 取值范围为 0.35~0.85; η_{cd} 用于描述机场顶棚平均集热效率, 取值范围为 0.35~0.6; η_L 用于描述热损率, 取值范围为 0.05~0.08。

用 $J_{\Delta t}$ 描述 Δt 时间内太阳能辐射强度, 则有:

$$Q_s = R_{\varphi} J_{\Delta t} \quad (22)$$

将上式中的 Δt 移至左边, 则有:

$$R = R_{\varphi} J_{\Delta t} \quad (23)$$

式(23)中的 R 值可以反映出机场顶棚表面某时刻实际有效吸收的热量值, 也就是实际利用的阳光辐射强度。由于太阳能辐射的强度随时间的改变而发生变化, 因此 R 值在一天的不同时间段并不恒定, R 的单位为 W , 可看做是物理中功率的概念, 也就是吸收太阳能的吸热功率。假设求出某一段时间的 n 个 R 值, 则取其算术平均值作为该段时间的名义 R 值, 则该段时间的产热量 Q 可描述成:

$$Q = \frac{R}{2} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{2n} \quad (24)$$

将式(24)带入式(20)中则有:

$$Q_s = \frac{\left[\Phi\left(\frac{t_{end} - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{t_i - \mu}{\sigma}\right) \right]}{\Phi\left(\frac{t_i - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{t_{i-1} - \mu}{\sigma}\right)} \times \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{2n} \quad (25)$$

式(25)即为从 t_i 到 t_{end} 时间内, 机场顶棚表面太阳能热量吸收量的数学模型。

3 仿真实验分析

为了验证本文方法的有效性, 需要进行相关的实验分析。本文以北京某一机场 24 h 的机场内外温度及太阳辐射照度为实验样本数据, 机场外任意时刻的太阳辐射照度, 可依据每个时刻的太阳高度角与方位角等参数求出。依据当地典型气象年 1 月份的气象参数, 正午时刻的太阳辐射照度平均值和上述正午时刻计算值的比值, 完成每个时刻太阳辐射照度值的校正。

表 1 24 小时机场内外温度及太阳辐射照度

Table 1 The airport 24 hours a day, both inside and outside temperature and solar radiation intensity of illumination

时间/ h	机场外温 度/°C	机场内温 度/°C	机场外太阳辐射照度/ $W \cdot m^2$
2	-6.56	11.48	0
4	-6.86	11.87	0
6	-6.53	9.3	0
8	-4.52	13.12	58.5
10	-1.38	20.08	447.2
12	1.31	25.26	532.7
14	2.11	25.88	561.1
16	0.39	23.63	447.2
18	-1.45	20.77	0
20	-3.4	17.58	0
22	-4.54	14.46	0
24	-5.27	12.48	0

依据上述数据, 分别采用本文方法和传统方法对机场顶棚表面太阳能热量吸收量进行模拟仿真, 将获取的结果与实际值进行比较, 用图 1 进行描述。

分析图 1 可以看出, 随着时间的改变, 采用本文方法对机场顶棚表面太阳能热量吸收量的仿真结果与实际值更加吻合, 验证了本文方法的有效性及准确性。

4 结论

本文提出了一种基于正态分布概率模型的机场顶棚太阳能热量吸收量模型, 机场顶棚表面流体区域采用 k-epsilon 湍流模型, 同时启动 RNG, 辐射部分采用 FLUENT 中的太阳加载模型,

统,汇集雨水,集中排汇。

一、二期工程分别在龙泓洞区、一线天区、冷泉区顶面修建了约340 m的排水暗沟,呼猿洞对原有的120 m排水沟进行整修,从目前雨天的观察情况来看,起到了有效的集水、排水作用。

(4)修建龛檐

部分造像嵌入龛体较浅,导致造像长期处于日晒、雨淋的状态,加剧造像的风化速度。一、二期工程中修建了多龛造像的龛檐。

3.2 第二类环境地质病害的防治对策

飞来峰一、二期工程中,针对第二类环境地质病害主要采取了如下的一些措施:

(1)清除或迁移了龙泓洞区、一线天区、冷泉区、呼猿洞区窟顶部分的乔木,调整为灌木、草本为主的植被群落,以降低根劈作用及生物腐蚀对造像的危害。

(2)在造像龛前设立隔离栏,防止人为的触摸和攀援对造像造成的损害。

4 结论

通过对飞来峰造像群主要环境地质病害的成因分析,提出的针对性的防治措施,经一、二期保护工程的实施,已经基本解决了龙泓洞区、一线天区、冷泉区、呼猿洞里共35龛造像主要病

害问题,使造像的渗水侵蚀、表层风化速度大大延缓,有效延长了造像的保存时间,改善了造像周边的危岩体的稳定性,确保了游客及造像的安全。因此,可以认定飞来峰一、二期保护工程所采取的保护措施是科学合理的,值得今后在类似保护工程中借鉴推广。

参考文献:

- [1] 潘别桐,黄克忠.文物保护与环境地质[M].武汉:中国地质大学出版社,1992.
- [2] 李宏松,张兵峰.浙江省飞来峰摩崖造像一、二期保护工程设计[R].北京:中国文化遗产研究院,2000-2010.
- [3] 李凌,梁志勇.杭州市酸雨特征[J].青海气象,2011,2:87-91.
- [4] 李树一,张克燮,王丽雅.杭州飞来峰岩石文物保护措施[J].浙江建筑,2006,23(12):33-35.
- [5] 李智毅,李宏松.石质文物风化病害研究的若干问题[J].长春科技大学学报,1999,9:64-68.
- [6] 李宏松.石质文物保护领域四个概念及术语的研究[J].中国科技术语,2010,12(2):51-54.
- [7] 杨刚亮,马朝龙.龙门石窟风化现状调查与对策分析[J].2005年云冈国际学术研讨会论文集,2005,153-159.
- [8] 赵林娟.云冈石窟表面有害污染物调研[J].文博科技,2013,03:90-93.
- [9] 中国文化遗产研究院,浙江省古典建筑工程监理有限公司,新昌县文物管理委员会.新昌董村水晶矿摩崖题记保护工程报告[M].北京:文物出版社,2010.

(上接第104页)

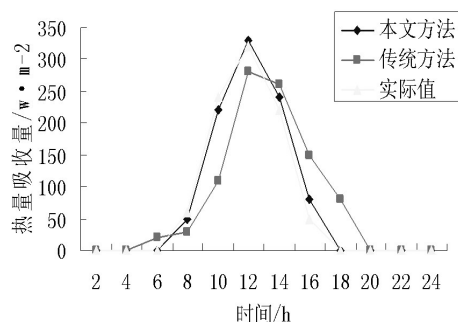


图1 本文方法与传统方法对比结果

Fig.1 In this paper, the results method compared with traditional methods

求出进入计算区域的太阳射线对辐射的影响,依据温度场控制方程,考虑到一天中太阳能辐射总量依据时间的概率分布,通过计算太阳能辐射量相对于该天太阳能辐射总量的比重以及机场顶

棚表面太阳能热量吸收量,建立基于正态分布模型的机场顶棚表面太阳能热量吸收量模型。实验结果表明,所提方法与实际情况更加吻合,具有很高的准确性及有效性。

参考文献:

- [1] 陈兴华,叶学锋,刘光远.节能的屋顶温室[J].节能技术,2001,4:26-28.
- [2] 范亚云,夏朝凤,李军凯,等.热泵技术在太阳能利用中的实验研究[J].太阳能学报,2002,23(1):580-585.
- [3] 张小松,兰国彬,杜惜,费秀峰.太阳能热泵组合系统中的设备能量平衡[J].建筑热能通风空调,2000,12(1):21-25.
- [4] 体国红,王铁良,白义奎,等.日光温室墙体传热特性的研究[J].农业工程学报,2003,19(3):186-189.
- [5] 杨昭,徐晓丽,韩金丽.太阳墙热特性分析[J].太阳能学报,2007,28(10):1091-1095.