

基于遗传算法的混凝土箱梁日照温度场的仿真分析

张宁宁¹, 顾斌², 边磊³

- (1. 华电电力科学研究院, 浙江 杭州 310030;
2. 河海大学 土木与交通学院, 江苏 南京 210098;
3. 山东电力工程咨询院有限公司, 山东 济南 250013)

摘要:针对混凝土箱梁日照温度场仿真计算中材料参数难以准确取值的问题,建立了基于遗传算法的混凝土箱梁日照温度场计算模型。通过对某大型混凝土箱梁桥日照作用下温度场的模拟表明,该模型具有很好的适应性,虽然不一定能找寻出材料的真实性能参数,但可以较为准确地模拟日照辐射作用下混凝土箱梁的温度场。

关键词:遗传算法;仿真分析;混凝土箱梁;日照温度场

中图分类号:U448.35

文献标识码:A

文章编号:1671-5322(2013)01-0014-04

混凝土箱梁桥是目前大跨径桥梁中应用最为广泛的结构类型之一,而这类桥梁在运营中有不少已经出现不同程度的裂缝,其中日照辐射作用是引起该裂缝的重要原因之一^[1]。自 Maker 和 Madway 等人发布混凝土结构内部的温度分布是非线性的研究成果以来,国内外许多学者对此做了研究,认为箱梁结构内部沿梁高的温度梯度分布随着日照辐射强度、风速、桥梁方位、地理位置和地形地貌等随机因素的变化而变化^[1]。El-badry 等人^[2]提出了全面考虑太阳辐射、大气温度、风速、桥址及桥梁走向和材料特性等因素影响的混凝土箱梁温度场的二维有限元计算方法;肖建庄等^[3]根据热力学原理建立了基于气象参数的混凝土箱梁日照温度场有限元模型。利用基于气象参数的混凝土箱梁日照温度场有限元模型是研究不同地区气候条件对不同尺寸混凝土箱梁的温度梯度分布的有效方法,但是国内外至今仍没有公认的方法可以获得混凝土以及沥青混凝土等材料的热工参数,不同文献对模型的计算参数(如大气辐射系数,沥青混凝土的短波吸收系数和长波辐射系数等)的取值也可能有较大差异,如果没有经过实验测定,参照其他文献取值也在一定程度上降低了模拟的准确性。

针对材料参数不能准确取值的缺点,本文建

立了基于遗传算法的混凝土箱梁日照温度场的有限元模型,该模型具有自动找寻最优参数的功能。通过对某混凝土箱梁桥温度场的模拟表明,该模型具有很好的适应性,可以较为准确的预测日照辐射作用下混凝土箱梁的温度场。

1 基于气象参数的混凝土箱梁日照温度场的边界条件分析

日照辐射作用下,混凝土箱梁的温度主要受太阳辐射、大气温度和风速的影响。

1.1 太阳辐射

太阳辐射由太阳直接辐射和散射辐射组成,太阳直接辐射的计算公式为^[4]

$$I_D = I_0 \cdot 0.9^{t_u K_a m} \quad (1)$$

式中, I_D 为地球表面的太阳直接辐射强度, W/m^2 ; I_0 为太阳常数, W/m^2 ; t_u 为林克氏浑浊度系数; K_a 为相对气压,随海拔高度而变化; m 为光线路程。

地表水平面上太阳散射辐射可以表示为

$$I_{DH} = (0.271I_0 - 0.294I_D) \sin \beta \quad (2)$$

式中, I_{DH} 为地表水平面的太阳散射辐射强度, W/m^2 。

1.2 辐射热交换

暴露在自然环境中的混凝土箱梁主要与大气

收稿日期:2012-10-18

作者简介:张宁宁(1980-),女,山东淄博人,博士,主要研究方向为地基基础稳定。

发生长波辐射热交换。

大气辐射具有灰体辐射的特性,无云天大气逆辐射的经验计算公式为

$$G_a = \varepsilon_a C_0 \left(\frac{273 + T_a}{100} \right)^4 \quad (3)$$

式中, G_a 为无云天的大气辐射强度, W/m^2 ; ε_a 为大气辐射系数,取值范围为 0.5 ~ 0.9; C_0 为黑体辐射常数,取值为 $5.67 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$; T_a 为大气温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

混凝土箱梁向外界发出的热辐射可以表示为

$$G_s = \varepsilon_s C_0 \left(\frac{273 + T_s}{100} \right)^4 \quad (4)$$

式中, G_s 为箱梁表面向空间中辐射的强度, W/m^2 ; ε_s 为箱梁表面材料的辐射系数, T_s 为箱梁表面的温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

1.3 对流热交换

箱梁表面与空气对流产生的热量传输通常由试验来确定或按经验公式计算得到,可以表示为^[8]

$$h_c = \begin{cases} 4.0v + 5.6 & v \leq 5 \\ 7.15v^{0.78} & v > 5 \end{cases} \quad (5)$$

式中, v 为风速, m/s 。

2 基于遗传算法与有限元模型相结合的实现

遗传算法是一种借鉴生物界自然选择和进化机制发展起来的高度并行、随机、自适应搜索算法,其传统的遗传算法主要步骤如下:

(1) 随机产生一个由确定长度的特征串组成的初始种群,个体数目一定,每个个体表示为染色体的基因编码;

(2) 计算个体适应度,并判断是否符合优化准则,若符合最优解,结束计算,否则转向步骤(3);

(3) 根据适应度选择再生个体,适应度高的个体被选择的概率高,而适应度低的个体可能被淘汰;

(4) 对再生个体进行遗传操作成新的个体并产生新一代种群,返回到步骤(2)。

图1为基于遗传算法与有限元相结合的混凝土箱梁日照温度场仿真实现的实现过程,遗传算法采用VB编写,有限元计算采用ANSYS软件。

过程如下:

(1) 按模型特征选择需要优化的参数,并同

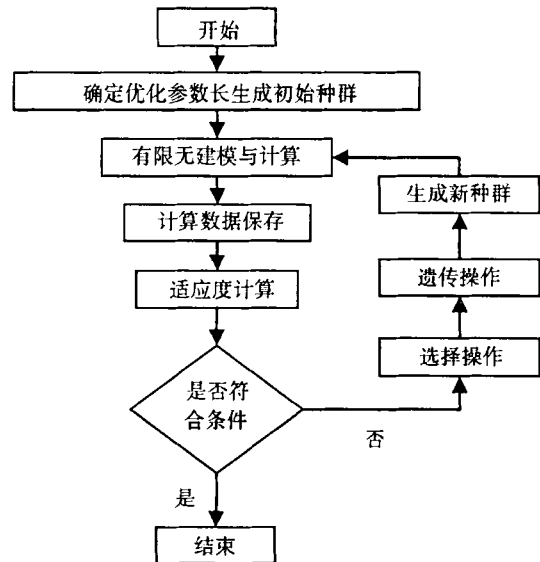


图1 遗传算法和有限元相结合的过程

Fig.1 The combination of genetic algorithm and finite model

时生成初始群体;

(2) 利用有限元模型求解初始群体中每个个体的代表值,然后导入VB程序计算其适应度,并判断其是否符合优化准则,若符合则输出最佳个体及其代表的最优解,结束计算,否则转向步骤(3);

(3) 根据适应度选择再生个体,适应度高的个体被选择的概率高,而适应度低的个体可能被淘汰;

(4) 对再生个体进行遗传操作,并生成新一代种群,返回到步骤(2)。

3 算例

以某大型混凝土箱梁桥为例,其跨中测点布置如图2所示,箱梁表面铺装层为11 cm厚的沥青混凝土。

3.1 边界条件

本文对天气晴朗的2008年8月4日这天混凝土箱梁的日照温度场进行计算,计算时间从2008年8月1日开始,前3天计算用于消除初始温度的影响。

图3为2008年8月4日这两天大气温度和混凝土箱梁内空气温度的时程图,大气温度整体低于箱室内空气温度,一天中大气温度近似呈现正弦式变化,变化幅度为 5°C 左右,而箱梁内空气由于处于封闭状态,其温度变化幅度很小,不到2

定的误差存在,比如计算出的太阳辐射强度偏大,则优化后的沥青混凝土和混凝土的短波吸收系数就会比真实值偏小。但使用优化后的参数与有误差的边界条件相组合计算出来的温度场更贴近混凝土箱梁真实温度场。图6为在第1和35代最优参数条件下8号测点的计算温度与实测温度对比图,从图中可以看,使用基于遗传算法的混凝土箱梁日照温度场有限元模型更能真实模拟箱梁的日照温度场。

表2 优化后的参数
Table 2 Optimized parameters

参数	第1代最优	优化后
沥青混凝土短波吸收系数	0.90	0.91
沥青混凝土长波辐射系数	0.92	0.93
混凝土短波吸收系数	0.59	0.62
混凝土长波辐射系数	0.93	0.91

参考文献:

[1] Larsson O, Thelandersson S. Estimating extreme values of thermal gradients in concrete structures[J]. Materials and Structures, 2011,44(8):1 491 - 1 500.

[2] Elbadry M M, Ghail A. Temperature Variations in Concrete Bridges[J]. Journal of the Structural Engineering, 1983,109(10):2 355 - 2 374.

[3] 肖建庄,宋志文,赵勇,等. 基于气象参数的混凝土结构日照温度作用分析[J]. 土木工程学报,2010,43(4):30 - 36.

[4] Fu H C, Ng S F. Thermal behavior of composite bridges[J]. Journal of Structural Engineering, 1990,116(12):3 302 - 3 323.

[5] Saetta A, Scotta R, Vitaliani R. Stress analysis of concrete structures subjected to variable thermal loads[J]. Journal of structural engineering, 1995,121(3):446 - 457.

Simulation Analysis for the Temperature Field of Concrete Box Girder Based on Genetic Algorithm

ZHANG Ning-ning¹, GU Bin², BIAN Lei³

- (1. China Huadian Electric Research Institute, Hangzhou Zhejiang 310030, China;

2. College of Civil and Transportation Engineering Hohai University, Nanjing Jiangsu 210098 China;

3. Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Corp, LTD, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: To solve the difficulty of selecting the material parameters accurately in the simulation analysis for the solar temperature field of concrete box girder, a finite model of predicting the solar temperature field of concrete box girder based on the genetic algorithm is established. By simulating the solar temperature field of one large concrete box girder bridge, the model was proved to be an effective model. The model has good adaptability and can simulate the solar temperature field of concrete box girder accurately, though cannot search the material parameters accurately.

Keywords: genetic algorithm; simulation analysis; concrete box girder; solar temperature field

(责任编辑:沈建新)

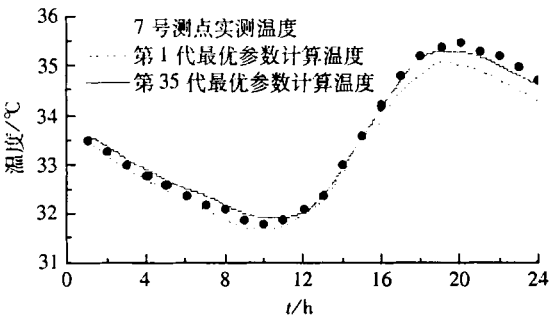


图6 计算温度与实测温度
Fig. 6 The calculated and measured temperature

4 结语

基于遗传算法的混凝土箱梁日照温度场有限元计算模型具有很好的适应性,虽然不一定能够找寻真实材料的性能参数,但可以准确的模拟日照辐射作用下混凝土箱梁的温度场。