

混凝土参数变化的预应力悬浇箱梁温度应力敏感性分析

殷志祥, 朱巍

(辽宁工程技术大学 研究生院, 辽宁 阜新 123000)

摘要:大跨度预应力悬浇箱型梁施工中,混凝土弹性模量 E 、热膨胀系数 α 等参数会随施工环境而改变。在一定的温度场情况下,其参数的改变会引起桥梁内部应力应变的增减,其变化值会影响桥梁的施工质量、设计参数及使用安全。据此,结合实际桥梁工程施工,以某一温度场的箱梁截面为对象,研究当混凝土悬浇桥梁 E 、 α 等参数发生改变时,对桥梁截面应力和应变场的影响程度,揭示桥梁截面应力变化敏感性的规律,总结出为提高桥梁使用安全度需要着重考虑的温度应力敏感性因素的影响。

关键词:混凝土箱梁;温度效应;弹性模量;热膨胀系数

中图分类号:TU375

文献标志码:A

文章编号:1674-4764(2012)S1-0032-04

Sensitivity Analysis of Cantilever Box Beam Temperature Effects Based on the Prestressed Concrete Parameter Changes

YIN Zhixiang, ZHU Wei

(Liaoning technology university, college of postgraduate, fuxin123000, China)

Abstract: On the construction of large-span prestressed box beam Cantilever, the parameter frequent changes in concrete modulus E , coefficient of thermal expansion α . In a certain temperature case, the change of concrete parameters will cause the changes on internal stress and strain of the bridge and the difference of the changes will affect the bridge safety. Accordingly, based on a bridge cross-section of a temperature field and combined with the actual bridge construction, give concrete Cantilever bridge parameters change, calculated and analyzed the sphere of influence of parameters on the stress and strain fields of bridge, asked the law of sensitivity on stress changes. Summarize the sensitivity factors of temperature stress which is used to improve bridge safety.

Key words: concrete box girder; effect of temperature; modulus; coefficient of thermal expansion

温度应力已经成为引起预应力混凝土箱梁桥变形裂损的重要因素之一,在日照辐射、年均升温降温等因素影响下,在桥梁结构内部会产生非均匀的温度场,使梁体内部不同位置处产生不同的温度效应。温度场的分布、温度效应、环境温度、空气相对湿度、太阳辐射等很多外部影响因素均成为影响温度效应的重要因素,对于箱梁结构温度场温度梯度的研究已经成为一个热点,中国《JTG D60—2004 公路桥涵设计通用规范》^[1]提出的温度梯度模式,美国 AASHTO 规范^[2]提出的温度梯度模式等都成为现今流行的主要梯度模式,在这方面也有人提出了将规范中折线改进成为曲线模式以简化计算模式^[3]。然而对于温度效应的研究多数都是针对外在的环境因素,而对于混凝土内部的系数影响因素的研究较少。而在实际工程中由于混凝土配合比的细微不同很可能造成实际混凝土参数与原设计参数之间的误差,对结构的温度效应产生一定影响。针对施工过程中混凝土参数经常浮动的特点对影响温度效应的混凝土内部因素进行了敏感性分析,为日后的温度效应计算提供参考。

1 温度应力的计算理论

计算温度应力应首先确定温度场模式,按照结构力学或有限元法进行计算。计算时3点假设为^[4]:1)温度沿混凝土梁的长度方向分布均匀;2)服从平面假定;3)混凝土梁为匀质弹性。

令函数 $m(y)$ 为沿梁高分布的温度荷载函数,则沿梁高的应变值与温度梯度的关系为式(1)。

$$\epsilon_m = \epsilon_e m(y) \quad (1)$$

纤维之间的约束是由自由应变与最终应变只差决定的,则应力值为:

$$\sigma(y) = E[\alpha m(y) - (\epsilon_0 + \omega y)] \quad (2)$$

式中: ϵ_0 为 $y=0$ 处的应变; ω 为截面变形曲率; y 为基轴以下任一点求应变的坐标。 α 为混凝土线性膨胀系数。

利用积分计算出全截面轴力 N 和弯矩 M 为:

$$N = E[\alpha \int_h m(y)b(y)dy - \epsilon_0 \int_h b(y)dy - \omega \int_h yb(y)dy] \quad (3)$$

$$M = E \left[\alpha \int_h m(y)b(y)dy - \epsilon_0 \int_h b(y)dy - \omega \int_h yb(y)dy \right] (y - y_c) \quad (4)$$

式中: E 为混凝土弹性模量; $b(y)$ 为 y 处的混凝土截面等效宽度。

对于任意混凝土截面取 $N=0, M=0$, 若令

$$\int_h b(y)dy = A$$

则可最终推出正应力为:

$$\sigma = E \left\{ \alpha m(y) - \left[\frac{\alpha}{A} \int_h m(y)b(y)dy - \omega y_c \right] + \frac{\alpha}{I_g} \int_h m(y)b(y)(y - y_c)ydy \right\} \quad (5)$$

式中: A 为截面面积; I_g 为截面面积对重心轴惯性矩。

2 箱梁温度场及温度应力分析

结合某特大桥工程实例, 利用大型有限元软件 *ansys* 中的稳态分析功能, 对该截面进行温度效应影响的敏感性分析。

2.1 工程背景

以某大桥为工程背景, 采用悬臂浇筑方法进行施工。本预应力桥梁由 48 m+80 m+48 m 三跨组成。主桥箱梁采用 C55 混凝土, 单箱单室结构。由于篇幅限制本文选取主梁 6 号块进行分析, 梁高为 4.332 m, 梁宽为 7.2 m, 顶板厚为 0.35 m, 底板厚为 0.573 m, 腹板厚为 0.56 m。

2.2 箱梁截面温度效应的有限元分析

利用 *ansys10.0* 对结构进行温度效应计算。计算

过程中为保证数据的准确性采用实际截面尺寸建模, 定义初始材料性能参数, 采用 C55 混凝土, 弹性模量为 3.6×10^4 MPa, 热膨胀系数为 1×10^{-5} ($1/^\circ\text{C}$), 泊松比为 0.2, 容重为 25 kN/m^3 。采用四边形单元对结构进行网格离散划分, 共划分为 3 985 个节点(如图 1)。分析中采用四边形单元 *plane55* 对结构进行温度场的分析。

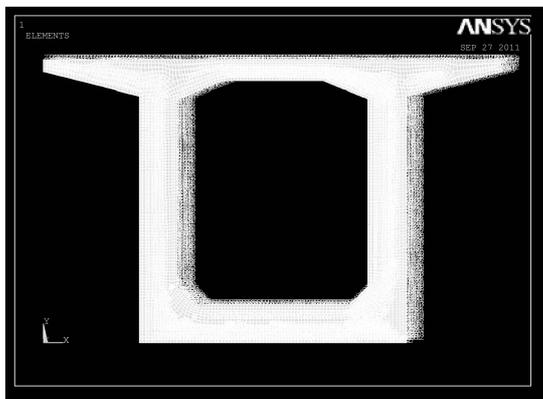


图 1 梁截面节点图

利用稳态分析功能分析温度场时取上表面温度为 20°C , 即 293 K。其他面施加对流边界进行求解, 计算出温度场(如图 2)。

确定截面的温度分布情况后对结果进行保存, 然后将四边形单元 *plane55* 转换成 *plane42*, 输入结构的基本参数弹性

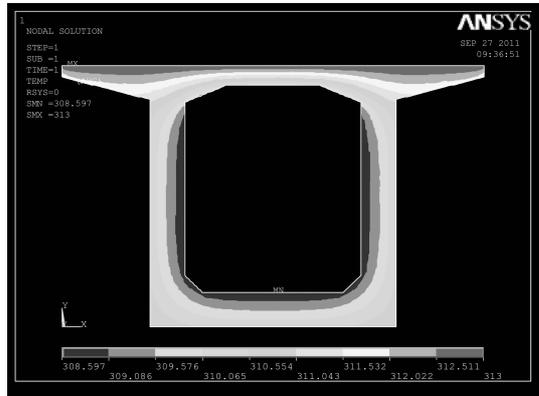


图 2 截面温度场

模量 E 、热膨胀系数 α 、混凝土容重 ρ 等, 并读取已经保存的温度场结果作为结构温度效应计算的初始温度进行分析得到竖向温度应力图(如图 3)。

在计算出箱梁温度应力后, 分别计算弹性模量 E 、热膨胀系数 α 浮动情况下混凝土箱梁的温度应力值为。分别控制弹性模量 E 不变, 令热膨胀系数 α 以 1% 步长浮动和控制热膨胀系数 α 不变, 令弹性模量 E 以 1% 步长浮动计算出相应的混凝土箱梁应力应变值(如表 1、2), 并将 2 种情况进行对比分析。

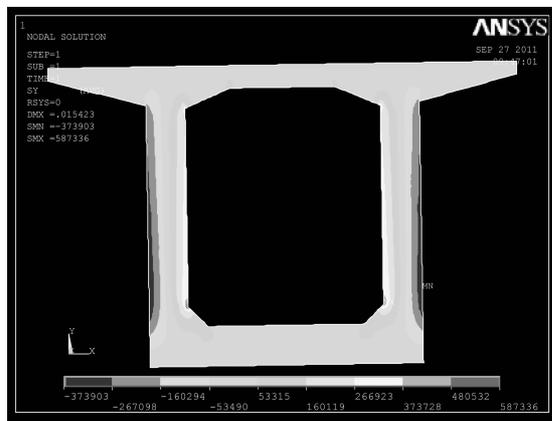


图 3 截面竖向温度应力

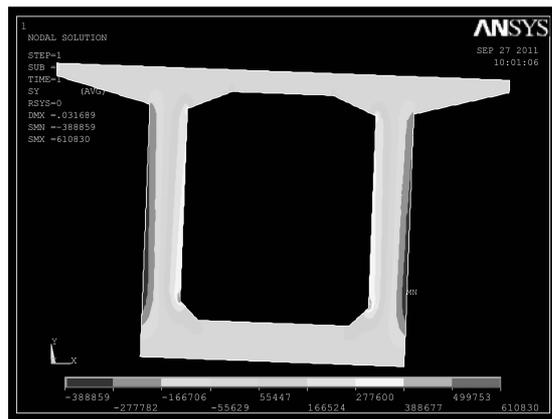


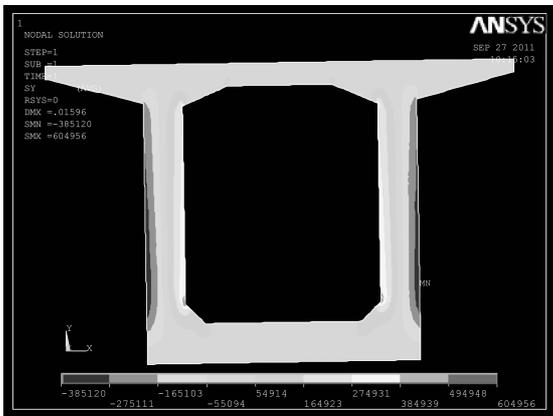
图 4 弹性模量为 3.744 时的温度应力

表1 弹性模量对温度效应的影响

弹性模量/MPa	箱梁应变值/m	箱梁最大应力值/kPa	箱梁最小应力值/kPa
3.60E+04	1.54E-03	587.336	-373.903
3.64E+04	1.78E-04	593.21	-377.642
3.67E+04	7.52E-03	599.083	-381.381
3.71E+04	2.04E-04	604.956	-385.12
3.74E+04	3.17E-04	610.83	-388.859
3.78E+04	1.87E-04	616.703	-392.598

表2 热膨胀系数对温度效应的影响

热膨胀系数(1/°C)	箱梁应变值/m	箱梁最大应力值/kPa	箱梁最小应力值/kPa
1E-5	1.54E-03	587.336	-373.903
1.01E-5	1.54E-04	593.21	-377.642
1.02E-5	1.61E-04	599.083	-381.381
1.03E-5	1.60E-04	604.956	-385.12
1.04E-5	1.60E-04	610.83	-388.859
1.05E-5	1.61E-04	616.703	-392.598

图5 热膨胀系数为 1.03×10^{-5} (1/°C)时的温度应力

是应力在截面内的分布情况并没有改变,较大应力值仍然分布在腹板内侧(如图4)。这是由于虽然截面的弹性模量有所变化,但是截面在外界温度影响下温度场并没有发生变化的原因。

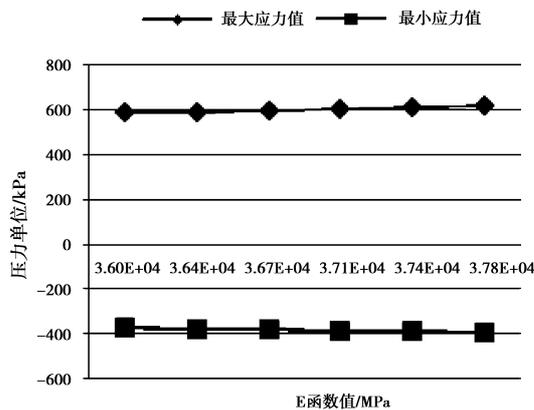


图6 弹性模量变化对温度应力的影响

3 混凝土参数变化对温度应力敏感性分析

由公式(5)中可以看出桥梁截面的温度应力与弹性模量 E 以及热膨胀系数 α 密切相关,并且在施工过程中,每次测取的弹性模量与热膨胀系数也是变化浮动,不稳定的参数。笔者分别将弹性模量 E 和热膨胀系数 α 以1%的变化步长取五组数据进行分析与对比。

3.1 弹性模量变化时对温度应力敏感性分析

弹性模量是结构计算中的重要参数,本文利用有限元软件ansys以设计要求中的 3.6×10^4 MPa为基数,分别取1%的递增和递减数据,即 3.42×10^4 至 3.78×10^4 MPa进行分析,得到相应应变值为 1.87×10^{-4} m至 6.77×10^{-3} m,最大应力值为557.969 kPa至587.336 kPa,最小应力值为-335.207 kPa至-373.903 kPa(如表1)。并且可以看到在弹性模量影响下的截面应变变化较大且规律性不强。而应力则以一次函数的形式变化,具有较强的规律性(如图6、图7)。

随着弹性模量的增加虽然截面内正应力值有所增减,但

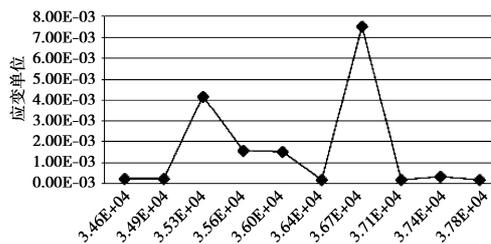


图7 弹性模量变化对温度应变的影响

3.2 热膨胀系数变化时对温度应力敏感性分析

同样对热膨胀系数按设计要求中的 1×10^{-5} 取为基础参数,以1%的递增递减数据,即 0.96×10^{-5} 至 1.05×10^{-5} 进

行分析,得到相应的应变值为 1.48×10^{-4} m 至 1.54×10^{-4} m,最大应力为 557.969 kPa 至 587.336 kPa,最小应力为 -335.207 kPa 至 -373.903 kPa。由数据可得出热膨胀系数对梁截面应变和应力的影响都具有较强的变化规律(如图 8、图 9)。

与弹性模量的变化对温度应力的影响情况相同,热膨胀系数的增加也不会影响截面内温度应力的分布情况(如图 5)。

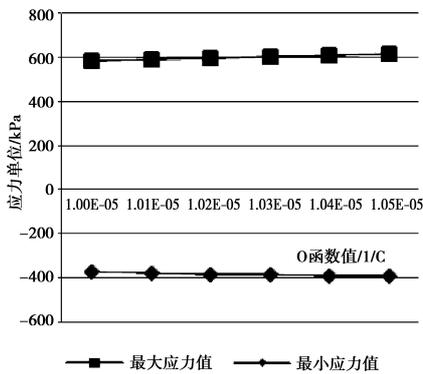


图 8 热膨胀系数变化对温度应力的影响

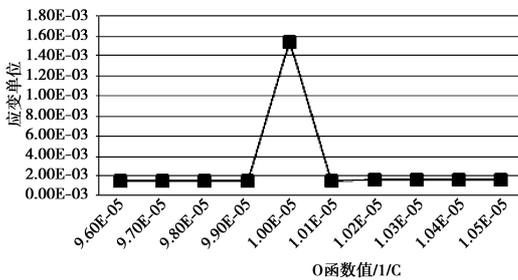


图 9 热膨胀系数变化对温度应变的影响

3.3 弹性模量与热膨胀系数对应力应变的敏感性关系

通过将弹性模量和热膨胀系数对温度效应的对比能够发现二者对温度应力的影响效果基本一致(如图 6、图 8)。并且二者的变化均未对截面内应力的分布情况产生较大影响,较大应力值仍然分布在腹板内侧,最大应力值出现在腹板内侧下边缘处。弹性模量变化时截面内最大温度应力最大值与最小值相差 5.2%,最小温度应力的最大值与最小值相差

11.5%,相对于参数 1%的增加步长应力值的变化较为明显。热膨胀系数变化时最大应力值与最小应力值差值与弹性模量变化时基本一致。说明二者变化对应力的敏感性基本一致。

而对温度应变的影响效果相差甚远(如图 7、图 9)。经过分析能得到温度应力与弹性模量和热膨胀系数的变化均成一次函数的关系。而温度应变与二者的线性关系规律并不明显。

4 结论

1)在大跨度箱梁预应力结构桥梁中,温度应力是可能达到甚至超过活载引起的截面应力的^[5-7],笔者针对这一情况利用结构力学方法推导了平面温度应力的计算公式,发现温度效应与混凝土参数中的弹性模量和热膨胀系数具有一定关系。

2)利用有限元软件 ansys 模拟截面的温度场并计算出相应的温度效应,通过以相同变化规律的弹性模量和热膨胀系数对温度效应的影响结果进行对比,得出了二者对温度应力的影响效果非常相近,而对温度应变影响效果相差甚远的结论。

3)通过分析得出温度应力与弹性模量和热膨胀系数的变化率存在一次函数关系,且两个参数对温度应力的一次函数斜率近似相等。

参考文献:

- [1] JTG D62—2004 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [2] 美国各州公路和运输工作者协会. 美国公路桥梁设计规范[M]. 北京:人民交通出版社,1998:95-97.
- [3] 曾庆响,韩大建,马海涛,等. 预应力混凝土箱梁桥的温度效应分析[J]. 中南大学学报:自然科学版,2010,41(6):2360-2366.
- [4] 肖勇刚,陈海兵,胡斯亮. 混凝土连续箱梁施工中的温度效应分析[J]. 中外公路,2008,28(2):106-109.
- [5] 刘兴法. 预应力箱梁温度应力计算方法[J]. 土木工程学报,1986,19(1):31-42.
- [6] 范立础. 桥梁工程[M]:2版. 北京:人民交通出版社,1996.
- [7] 范立础. 预应力混凝土连续梁桥[M]. 北京:人民交通出版社,1997.

(编辑 胡玲)