

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2014.S1.003

离差最大化在连续刚构桥抗震性能设计参数的应用

童申家, 谢祥兵, 程可飞, 华高伟
(西安建筑科技大学 土木工程学院, 西安 710055)

摘要:连续刚构桥具有刚度大、抗震性能好、造型美观、行车舒适等优点,因此,连续刚构桥越来越受到广大设计者青睐。然而在实际桥梁工程设计时,往往出现某些关键截面的性能不能满足抗震要求,需要调整设计参数以达到其抗震性能要求。运用离差最大化法的原理,以拟建的可克达拉大桥为例,计算各关键设计参数的权重及抗震性能方案评价值。结果表明:梁跨中高跨比、高低墩及桥墩截面形式权重极差最大,对抗震性能影响最为显著,为大跨度连续刚构桥优化设计提供参考。

关键词:连续刚构桥;离差最大化;抗震性能;设计参数;权重

中图分类号:U441+.3 文献标志码:A 文章编号:1674-4764(2014)S1-0009-03

Maximum Deviation in the Application of the Continuous Rigid Frame Bridge Seismic Performance Analysis of Design Parameters

Tong Shenjia, Xie Xiangbing, Cheng Kefei, Hua Gaowei

(School of Civil Engineering, Xi'an University of Science and Technology Building, Xi'an 710055, P. R. China)

Abstract: Continuous rigid frame bridge has good more stiffness good more antseismic capacity, beautiful modeling, comfortable driving and so on. As a result of this, continuous rigid frame has got a really nice reception at bridge designers. But in the actual of bridge design, it is usually occurred that the key section isn't subject to the request of antseismic capacity, which needs to adjust the design parameters. The objective of this study is to use maximizing difference principle to give an evaluation to the main design parameters of continuous rigid frame. It is found that the beam across different high ratio, high and low piers and bridge pier cross-section form are the largest weight, Pier top girder shear and pier bottom section shear should be a priority to meet the requirements of seismic performance; It is reduced the ambiguity of the adjust to change design parameters. This matter helps designers to create continuous rigid frame bridge fastly and efficiently.

Key words: continuous rigid frame; maximizing difference; antseismic capacity; design parameters; weight

连续刚构桥是由T形刚构桥演变而来的,具有主梁体连续、墩梁固结的特点,不仅保持连续梁桥伸缩缝少、行车舒适的优点,而且保持T形刚构桥不设支座,施工时无需转换体系的特点,并且具有纵桥向抗弯刚度和横桥向抗扭刚度大,抗震性能好,具有满足大跨度桥梁的要求,因此,连续刚构桥正朝向大跨度桥梁发展^[1-4]。中国是一个多地震国家,桥梁作为抗震防灾、危机管理系统的一个重要组成部分,提高桥梁的抗震性能是减轻地震损失、加强区域安全的基本措施之一。提高桥梁抗震性能的主要方法之一,就是调整结构设计参数^[1,5]。然而在实际桥梁抗震设计过程中,设计参数对桥梁抗震性能影响的权重是多少,避免修改设计参数的主观随意性,提高工程设计的效率就显得尤为重要了。周勇军^[6]用正交试验法研究了墩高、下部结构不同计算模型、跨数、行波效应、地震波各因素对某一高墩大跨径连续刚构桥地震响应的敏感性分析,得出墩高和下部结构不同计算模型是高墩

大跨径连续刚构桥地震响应敏感性参数。牛俊武^[7]通过建立某一高墩大跨径连续刚构桥有限元模型,改变主梁的宽度和高度,得出主梁的高度对地震反应有一定的影响。Li等^[8]指出在地震时,桥墩的高度对考虑车-桥耦合振动因素时,高速列车通过高墩连续刚构桥的安全性也有一定的影响。靳启文^[9]、张会玲等^[10]通过定量的手段给出了连续刚构桥常规设计参数对连续刚构桥抗震性能的影响。至于关键参数在连续刚构桥中的权重是多少,至今还没有给出。本文基于离差最大化方法^[11]具有较强客观性,提出利用离差最大化方法计算连续刚构桥常规设计参数的权重。

1 离差最大化的基本原理

1.1 基本思想

在进行连续刚构桥抗震性能设计时,若某一设计参数属性对所有因素而言均无差异,则认为该设计参数对所有因素

收稿日期:2014-05-20

作者简介:谢祥兵(1986-),男,硕士生,主要从事桥梁抗震与减震方面研究,(E-mail)2583694966@qq.com。

童申家(1963-),男,教授,博士生导师,(E-mail)tongshenjia@163.com。

的决策与排序不起任何作用,则可令设计参数的权重为 0;反之,若某一设计参数属性对所有因素的的决策与排序起重要作用,则应该给该设计参数以较大的权重。

1.2 基本方法

假设抗震性能设计方案的集合为 $A = \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_m\}$, 相应的设计参数作为属性集为 $B = \{B_1, B_2, B_3, \dots, B_n\}$, 则对于 A_m 的属性 B_n 的属性值记为 $X_{mn} (m = 1, 2, 3, \dots, i, n = 1, 2, 3, \dots, j)$, 属性值分为效益型、成本型和固定型 3 类。在设计参数分析时,其属性值均为成本型。由成本型指标无量纲化处理公式^[11]

$$Z_{ij} = \frac{Y_{ij} - Y_j}{Y_j - Y_j^{\min}} \quad (1)$$

式中, Y_j^{\max} 、 Y_j^{\min} 分别为指标 B_j 的最大值和最小值, $i = 1, 2, 3, \dots, n$

可得到矩阵 $X_{mn} = (X_{mn})_{i \times j}$ 为抗震性能设计方案 A 对设计参数 B 的属性矩阵, 俗称为决策矩阵。

设计参数的权重用向量可表示为 $W = (\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n)^T$ 且满足单位约束化条件

$$\sum_{n=1}^j \omega_n^2 = 1 \quad (2)$$

根据简单线性加权法 (SAW), 各抗震性能设计方案 A_i 的多设计参数综合评价值可表示为:

$$D_m(\omega) = \sum_{n=1}^j x_{mn} \omega_n (m = 1, 2, 3, \dots, i) \quad (3)$$

很明显, $D_i(\omega)$ 总是愈大, 表明该抗震性能越重要。那么接下来确定各设计参数的权重向量是最最要的问题, 对于第 n 个设计参数而言, 若该设计方案与其他所有设计方案的离差用 V_{nm} 来表示, 则可以定义:

$$V_{nm}(\omega) = \sum_{k=1}^n |\omega_n x_{nm} - \omega_n x_{kn}| (n = 1, 2, 3, \dots, j; m = 1, 2, 3, \dots, i) \quad (4)$$

令

$$V_n(\omega) = \sum_{m=1}^i V_{nm}(\omega) = \sum_{m=1}^i \sum_{k=1}^n |\omega_n x_{nm} - \omega_n x_{kn}| = \sum_{m=1}^i \sum_{k=1}^n |x_{nm} - x_{kn}| \omega_n (n = 1, 2, 3, \dots, j) \quad (5)$$

则 $V_n(\omega)$ 表示对第 n 个指标而言, 所有抗震性能设计方案与其他抗震性能设计方案的总离差, 根据设计参数权重的选择应使所有设计参数对所有抗震性能设计方案的总离差达到最大原则, 为此, 构造目标函数为:

$$\max G(\omega) = \sum_{n=1}^j V_n(\omega) = \sum_{n=1}^j \sum_{m=1}^i \sum_{k=1}^n |x_{nm} - x_{kn}| \omega_n \quad (6)$$

于是为了使抗震性能方案选择时达到最优, 将(1)和(5)合并, 则对设计参数权重的求解就转化为在 $\sum_{n=1}^j \omega_n^2 = 1$ 的约束条件下, 求目标函数(5)式的最优解。构造拉格朗日函数为:

$$L(\omega, \lambda) = \sum_{n=1}^j \sum_{m=1}^i \sum_{k=1}^n |x_{nm} - x_{kn}| \omega_n - \lambda(\omega_n^2 - 1) \quad (7)$$

对(7)式进行偏导数求解, 则可以得到 ω_n 为:

$$\omega_n^* = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |x_{im} - x_{kn}|}{\sqrt{\sum_{n=1}^j (\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |x_{im} - x_{kn}| \omega_n^2)}} (n = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (8)$$

理论上恒可以证明 $\omega^* = (\omega_1^*, \omega_2^*, \omega_3^*, \dots, \omega_n^*)^T$ 为目标函数 $G(\omega)$ 的唯一极大值点。由于传统的加权向量一般都是满足归一化的约束条件而不是单位约束条件, 因此, 在得到单位化加权向量 ω^* 之后, 为了与人们的习惯用法相一致, 还可以对 ω^* 进行归一化处理, 即令

$$\bar{\omega}_n^* = \frac{\omega_n^*}{\sum_{n=1}^j \omega_n^*} (n = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (9)$$

由此可以得到:

$$\bar{\omega}_n^* = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |x_{im} - x_{kn}|}{\sum_{n=1}^j \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |x_{im} - x_{kn}|} (n = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (10)$$

2 连续刚构桥抗震设计参数权重分析

以拟建可克达拉大桥 (3 m × 150 m) 三跨连续刚构桥为例, 单箱单室截面, 三向预应力结构, 连续刚构桥的立面图和断面图如下所示, 考察 15 个常规设计参数在连续刚构桥抗震性能的权重分析, 连续刚构的抗震性能设为方案集 A, 其抗震性能方案集主要包括: 墩顶主梁位移 (mm)、主梁跨中弯矩 (kN/m)、墩顶主梁弯矩 (kN/m)、墩顶主梁剪力 (kN)、墩底截面弯矩 (kN/m)、墩底截面剪力 (kN), 分别为属性矩阵的各行向量, 15 个常规设计参数为评价指标, 分别为属性矩阵的列向量, 图 1 为连续刚构桥立面、断面示意图, 15 个设计参数的选取范围如表 1 所示。

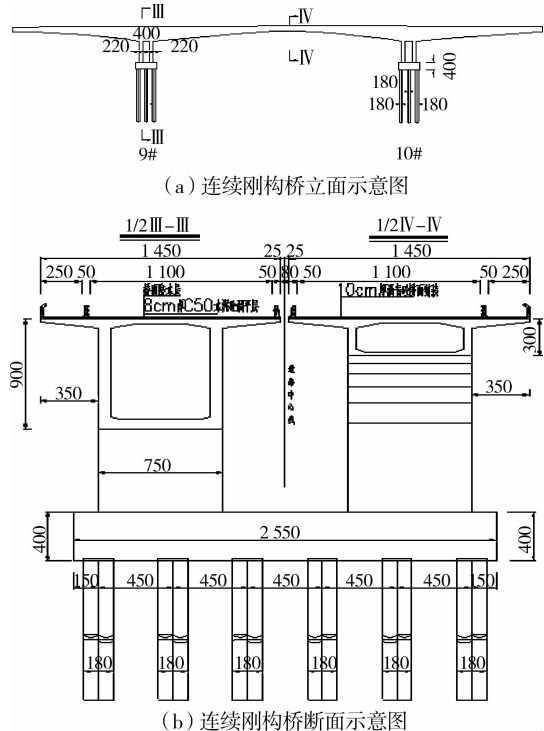


图 1 连续刚构示意图

表 1 连续刚构桥设计参数表

	箱梁根部高跨比	箱梁跨中高跨比	墩高/m	系梁高(中/地)/m
双薄壁空心等截面	1/20.6	1/4.3	35+85	20/40
双薄壁空心变截面	1/18.0	1/3.7	55+85	20/60
双薄壁实心变截面	1/15.7	1/2.3	85+85	20/80

利用 Midas Civil2012 采用空间梁单元建立可克达拉大桥模型,以可克达拉大桥模型为蓝本,在不改变其他设计参数的情况下,以表 1 的参数建立工况,提取响应数据并对数

据进行整理得到连续刚构桥的纵桥向属性矩阵 X_z^1 和横桥向的属性矩阵 X_h^1 :

$$X_z^1 = 10^4 \begin{bmatrix} 0.0003 & 0.0002 & 0.0003 & 0.004 & 0.0003 & 0.0003 & 0.0003 & 0.0002 & 0.0002 & 0.0003 & 0.0003 & 0.0003 & 0.0003 & 0.0002 & 0.0003 \\ 0.4692 & 0.6146 & 0.5693 & 0.1595 & 0.6146 & 0.6466 & 0.5457 & 0.624 & 0.6146 & 0.6146 & 0.5773 & 0.6215 & 0.6188 & 0.6151 & 0.6146 \\ 3.0994 & 3.7307 & 3.5123 & 1.4767 & 4.8143 & 4.3661 & 4.3302 & 4.3625 & 3.7307 & 4.8143 & 2.6216 & 3.8653 & 4.7422 & 0.7379 & 4.8143 \\ 0.0855 & 0.1112 & 0.1076 & 0.067 & 0.1192 & 0.128 & 0.1315 & 0.1225 & 0.0762 & 0.0492 & 0.0796 & 0.1308 & 0.1233 & 0.0563 & 0.0492 \\ 0.7713 & 0.7725 & 0.8409 & 0.992 & 0.8059 & 1.1019 & 0.6032 & 0.619 & 0.7725 & 0.8059 & 1.4151 & 1.2652 & 0.9717 & 2.6107 & 0.8059 \\ 0.0636 & 0.0616 & 0.0668 & 0.0797 & 0.0665 & 0.0862 & 0.0603 & 0.0607 & 0.0616 & 0.0665 & 0.1235 & 0.115 & 0.0704 & 0.1045 & 0.0665 \end{bmatrix}$$

$$X_h^1 = 10^4 \begin{bmatrix} 0.006 & 0.0062 & 0.0063 & 0.0064 & 0.0062 & 0.0061 & 0.0037 & 0.0047 & 0.0062 & 0.0062 & 0.0071 & 0.0071 & 0.0062 & 0.0062 & 0.0062 \\ 4.1775 & 4.3148 & 4.4144 & 3.9385 & 4.3148 & 4.4716 & 3.1313 & 3.661 & 4.3148 & 4.3148 & 4.8935 & 4.9004 & 4.3373 & 4.3273 & 4.3148 \\ 1.9597 & 2.0539 & 2.1203 & 1.996 & 2.0543 & 2.0772 & 3.2598 & 2.4534 & 2.0539 & 2.0536 & 2.3931 & 2.5691 & 2.0854 & 3.6637 & 2.0543 \\ 0.0942 & 0.0983 & 0.1008 & 0.0924 & 0.0982 & 0.1005 & 0.0888 & 0.0976 & 0.0983 & 0.0982 & 0.1126 & 0.114 & 0.1005 & 0.0796 & 0.0982 \\ 3.4532 & 3.5614 & 3.6384 & 3.675 & 3.5663 & 3.5255 & 2.9409 & 3.3754 & 3.5639 & 3.5614 & 4.7269 & 4.5869 & 3.531 & 2.0824 & 3.5614 \\ 0.0936 & 0.0959 & 0.0975 & 0.0975 & 0.0964 & 0.096 & 0.0938 & 0.0977 & 0.0962 & 0.0959 & 0.1316 & 0.1361 & 0.0684 & 0.1003 & 0.0959 \end{bmatrix}$$

对属性矩阵 X_z^1 和 X_h^1 , 利用公式(1)进行无量纲化处理后可得到 X_z 和 X_h :

根据(9)式计算设计参数权重向量 w_z 为

$$w_z = (0.066117 \quad 0.064953 \quad 0.065933 \quad 0.078921 \quad 0.063326 \quad 0.066207 \quad 0.062281 \quad 0.062617 \quad 0.06506 \quad 0.063574 \quad 0.076278 \quad 0.068517 \quad 0.06459 \quad 0.068052 \quad 0.063574)^T$$

$$w_h = (0.065319 \quad 0.065348 \quad 0.065357 \quad 0.068251 \quad 0.065375 \quad 0.06435 \quad 0.072083 \quad 0.069226 \quad 0.065361 \quad 0.065348 \quad 0.068911 \quad 0.068443 \quad 0.065264 \quad 0.066015 \quad 0.065349)^T$$

根据 w_z 和 w_h 的计算结果,可以得到图 2,设计参数权重柱状分布图:

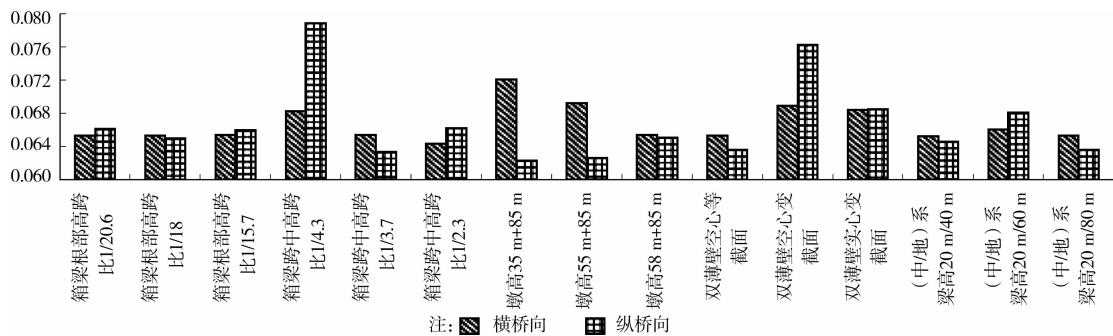


图 2 设计参数权重分布图

由 w_z 和 w_h 的计算结果和柱状分布图可以得到如下结论:

1)从纵桥向来看各设计参数权重,可知上部结构设计参数权重最大值 0.078921 比下部结构设计参数的权重最大值 0.068251 增大幅度是 3.46%,说明箱梁跨中高跨比对纵向抗震性能影响显著;从横桥向来看各设计参数权重,可知下部结构设计参数权重最大值 0.072083 比上部结构设计参数权重最大值 0.068251 增大幅度是 5.61%,说明桥墩高度差对横桥向抗震性能影响明显。总起来说,调整上、下部结构设计参数都能达到提高抗震性能的目的。

2)从纵桥向和横桥向权重的极差来看,上部结构设计参数中箱梁跨中高跨比权重极差最大是 0.01,下部结构设计参数中高低墩权重极差最大是 0.09,其次是桥墩的截面形式极差是 0.07,这说明,修改下部结构设计参数权重对连续刚构桥的抗震性能影响最为显著。

利用式(3)计算各抗震性能设计方案的综合评价价值:

$$D_z(w) = X_z \times w_z^T = (1 \quad 0.8462 \quad 0.0488 \quad 0.9732 \quad 0.6768 \quad 0.9761)$$

$$D_h(w) = X_h \times w_h^T = (1 \quad 0.0028 \quad 0.4432 \quad 0.9782 \quad 0.1637 \quad 0.9779)$$

(下转第 15 页)