

文章编号:1671-8879(2007)02-0046-03

门架式交通标志的风振系数计算

贾 宁¹, 刘健新¹, 张 颖²

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 北京中路安交通科技有限公司, 北京 100071)

摘 要: 以一格构式门架为例, 提出跨径较大的梁柱式门架的风振系数计算方法。首先进行模态分析, 确定风荷载计算是否需要考虑风振系数, 根据门架结构的特点, 结合风振系数基本理论, 推导出梁柱式门架风振系数的简化计算公式。对示例门架的计算结果表明: 不考虑风振系数使风荷载取值减小约 50%, 不能保证门架结构的抗风安全; 门架设计规范中风荷载取值不考虑风振系数只适用于传统的跨越半幅路基的小跨径门架。

关键词: 桥梁工程; 门架式交通标志; 风压; 风振系数

中图分类号: U491.522 **文献标志码:** A

Calculation method for wind-vibration coefficient of gantry signs

JIA Ning¹, LIU Jian-xin¹, ZHANG Ying²

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. Beijing Zhonglu'an Traffic Technology Co Ltd, Beijing 100071, China)

Abstract: Taking a lattice gantry sign as an example, this paper establishes the method to calculate wind-vibration coefficient of large-span gantry signs. First the natural-vibration characters are analyzed, and then theoretical formulars of wind-vibration coefficient are simplified according to the design features. The results indicate that the ignorance of wind-vibration coefficient leads to the reduction of about 50% for wind load. The specification of ignoring wind-vibration coefficient in design code for gantry sign is only applicable for small span gantry sign with half-width of road bed. 3 figs, 9 refs.

Key words: bridge engineering; gantry sign; wind pressure; wind-vibration coefficient

0 引 言

传统的门架式交通标志一般是梁柱式结构, 只跨越半幅路基, 最大跨径不超过 25 m。当中央分隔带宽度较小或因埋设管线而不能在中央分隔带设立梁柱时, 则需要增大门架的跨径, 使之跨越整幅路基; 另一方面, 随着公路景观要求的日益提高, 也需要不断推出新的门架结构形式^[1-3]。

若梁柱式门架跨径较大或采用新的结构形式, 计算风荷载时, 将不适于直接套用门架规范, 且规范中也没有关于风振系数计算的内容^[4-5]。本文以一格构式门架为例, 提出跨径较大的梁柱式门架的风振系数计算方法, 为门架的设计提供参考和依据。

1 门架风压计算的规定

文献[4]附录 E 中规定, 对于立柱和横梁, 风压

标准值为

$$W_k = \frac{1}{1\,000} \gamma_0 \frac{1}{2} \rho C V^2 \quad (1)$$

式中: γ_0 为结构的重要性系数,取值 1.0; ρ 为空气密度,取值 $1.225\,8\,(\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4)$; C 为风力系数,对圆管形立柱取值 0.8,薄壁矩形立柱取值 1.4,其他型钢及组合型立柱取值 1.3; V 为设计风速 (m/s); W_k 为风压标准值 (kN/m^2)。

文献[5]³⁵规定,作用于结构的风压标准值为

$$W_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 \quad (2)$$

式中: β_z 为结构上某一点的风振系数; μ_s 为风荷载体型系数; μ_z 为风压高度变化系数; w_0 为基本风压 (kN/m^2), $w_0 = V^2/1\,600$ 。

由 $\frac{1}{2\,000} \rho V^2 \approx \frac{V^2}{1\,600}$, 因此式(1)和式(2)尽管表达方式及量纲不同,其计算结果是一致的;比较式(1)、式(2)可知,门架式交通标志的设计规范中,对风荷载的计算没有考虑风压高度变化系数和风振系数。

对于风压高度变化系数,由于门架式交通标志的高度通常都小于 10 m,且高速公路一般位于房屋和人群比较稀疏的乡镇和城市郊区,按地面粗糙度划分属于 B 类,所以风压高度变化系数 μ_z 值为 1,在式(1)、式(2)和式(3)中均是一致的。

2 风振系数

风振系数^[6]表示结构的最大风荷载效应与平均风荷载效应的比值,主要体现了柔性结构由于脉动风产生结构顺风向风振引起的荷载放大效应;对于刚度较大的结构,脉动风作用下结构的风振响应幅度较小,风荷载计算时可以不考虑风振系数。

关于“刚”和“柔”之间的界限,文献[5]³⁵中规定,对于基本自振周期 $T_1 > 0.25\, \text{s}$ 的工程结构,如房屋、屋盖和各种高耸结构,以及对于高度大于 30 m 且高宽比大于 1.5 的高柔房屋,均应考虑风压脉动对结构产生顺风向风振的影响。

参考此规定,对于门架,当顺风向一阶振动周期 $T_1 > 0.25\, \text{s}$ 时,本文认为属柔性结构,风荷载计算时要考虑风振系数。对于传统的梁柱式门架,由于跨度较小(一般小于 25 m),当尺寸构造满足强度、刚度和稳定性要求时,其顺风向一阶振动周期一般都小于 0.25 s,属刚性结构,可以不考虑风振系数。所以,本文认为文献[4]⁵⁰中风荷载的取值,不考虑风振系数的做法只适用于传统的跨径较小的门架。

3 风振系数计算方法

以一跨径 28 m 的梁柱式门架为例,介绍门架风振系数计算的具体步骤。设计风速 40 m/s,门架的立柱和横梁均采用 4 肢格构式断面,立柱高度(柱底到横梁顶面距离)7.5 m,横梁跨度 28 m。

3.1 模态分析

门架有限元模型如图 1 所示。横梁和立柱的一阶顺风向振动模态如图 2、图 3 所示。立柱的一阶

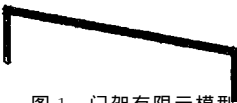


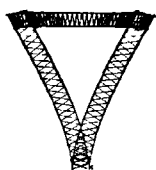
图 1 门架有限元模型



自振频率: 2.24 Hz

图 2 横梁的一阶顺风向振动模态

顺风向自振频率为 5.21 Hz, 周期为 0.19 s, 刚度较大, 因此对于立柱的风压计算可以不考虑风振系数。但对于横梁, 其一阶顺风向自振频率为 2.24 Hz, 周期为 0.45 s, 刚度较小, 风压计算时要考虑风振系数。



自振频率: 5.21 Hz

图 3 立柱的一阶顺风向振动模态

3.2 风振系数计算

根据文献[5]³⁵, 对于门架的横梁, x 为跨度方向, z 为截面高度方向, 若只考虑起主要决定作用的第一振型, 则横梁跨度方向任一点风振系数的计算公式为

$$\beta(x) = 1 + \frac{\xi_1 u_1 \varphi_1(x) m(x) w_0}{\mu_s(z) \mu_z(z) l_z(x) w_0} \quad (3)$$

式中: ξ_1 为脉动增大系数; u_1 为脉动影响系数; $\varphi_1(x)$ 为横梁顺风向的振型函数; $m(x)$ 为横梁单位长度质量; w_0 为基本风压; $\mu_s(z)$ 为风载体型系数; $\mu_z(z)$ 为风压高度变化系数; $l_z(x)$ 表示沿横梁跨度方向 x 变化的横梁高度。

3.2.1 脉动增大系数 ξ_1

在简化公式中, 如果仅考虑第一振型, 脉动增大系数 ξ_1 ^[7-8] 只与阻尼比 ζ 和 $w_0 T_1^2$ 有关, 按 Davenport 谱, 对于钢结构, 阻尼比 $\zeta = 0.01$, 示例门架 $w_0 T_1^2 = \frac{40^2}{1\,600} \times 0.45 \times 0.45 = 0.202\,5$, 查文献[9]得: $\xi_1 = 2.04$ 。

3.2.2 脉动影响系数 u_1

由于横梁的截面高度与跨度相比很小, 风压的空间相关性只考虑横梁的跨度方向, 脉动影响系数 u_1 为

$$u_1 = \frac{\int_0^l \int_0^H \mu_f(z) \mu_s(z) \mu_z(z) \varphi_1(x) dz dx}{\int_0^l m(x) \varphi_1^2(x) dx} \eta_{x1} \quad (4)$$

式中: l 为门架的跨度; H 为横梁的截面高度; $\mu_l(z)$ 为脉动系数, 与高度有关; η_{x1} 为修正系数。

当横梁截面为等截面时, H 、 $\mu_s(z)$ 和 $m(x)$ 沿横梁跨度方向均为常数; 由于横梁的截面高度与跨度相比较小, 如果在高度方面以横梁顶面作为计算标准来取 $\mu_l(z)$ 和 $\mu_z(z)$ 的值, 则式(5)可简化为

$$u_1 = \frac{\mu_l(H)\mu_s\mu_z(H)H\int_0^l \varphi_1(x)dx}{m\int_0^l \varphi_1^2(x)dx} \eta_{x1} \quad (5)$$

3.2.3 公式简化

将式(5)代入式(4), $l_z(x)$ 表示横梁沿跨度 x 变化的高度, 此处横梁的高度不变, 大小为 H , 因此 H 和 $l_z(x)$ 可消掉, 得

$$\beta(x) = 1 + \frac{\xi_1 u_1(H) \varphi_1(x) \eta_{x1} \int_0^l \varphi_1(x) dx}{\int_0^l \varphi_1^2(x) dx} \quad (6)$$

式中: 脉动系数 μ_l 反映了脉动风压在整个顺风压中所占比例沿高度的变化, 与地面粗糙度和结构高度有关, B 类地面的地面粗糙度系数 $\alpha=0.16$, 计算公式为

$$\mu_f(H) = 0.5 \times 35^{1.8 \times (\alpha - 0.16)} \left(\frac{H}{10} \right)^{-\alpha} = 0.5 \times 35^{1.8 \times (0.16 - 0.16)} \left(\frac{7.5}{10} \right)^{-0.16} = 0.52 \quad (7)$$

只考虑脉动风荷载的水平相关性, 风压水平相关换算系数只与两点之间的水平距离有关, 按横梁跨度 28 m, 查文献[9]¹⁶⁰ 得: $\eta_{x1}=0.934$ 。

3.2.4 计算结果

根据有限元的分析结果, 横梁的振型曲线近似按正弦函数 $\varphi_1(x)=0.17+0.83\sin\frac{\pi x}{l}$ 拟合, 将 $l=28$ m 代入式(7)可得

$$\beta(x) = 1 + 2.04 \times 0.52 \times 0.934 \times (0.17 + 0.83\sin\frac{\pi x}{l}) \cdot \frac{\int_0^l (0.17 + 0.83\sin\frac{\pi x}{l}) dx}{\int_0^l (0.17 + 0.83\sin\frac{\pi x}{l})^2 dx} \quad (8)$$

计算可知, 风振系数在横梁全跨是随横梁的振型函数变化的, 横梁跨中的风振系数值最大, $\beta(14)=2.25$; 横梁和立柱连接处的风振系数值最小, $\beta(0)=\beta(28)=1.21$; 横梁全跨的风振系数平均值 $\bar{\beta}=1.87$ 。而文献[4-5]中风振系数为 1 使横梁风荷载减小约 50%, 这对门架的抗风安全极为不利。

4 结 语

(1) 对于示例门架, 不考虑风振系数将使风荷载

值大大减小, 对于门架的强度、刚度和稳定性是极不安全的。因此当梁柱式门架跨度较大或采用新的结构形式时, 确定风荷载时必须首先进行结构的模态分析, 以确定是否需要考虑风振系数。

(2) 现有的规范^[4-5]中没有门架结构的风振系数计算内容, 计算时应从风振系数的理论公式入手, 针对结构特点进行相应的简化。

(3) 对于传统的梁柱式门架, 当立柱刚度较小, 顺风向一阶振动周期大于 0.25 s 时, 立柱风荷载须考虑风振系数, 其计算可参考高耸悬臂型结构风振系数的计算方法。

参考文献:

References:

- [1] 王建军, 严宝杰, 陈宽民. 公路建设项目景观分析评价[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(6): 47-50.
WANG Jian-jun, YAN Bao-jie, CHEN Kuan-min. Analysis and evaluation on highway landscaping[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(6): 47-50.
- [2] 肖润谋, 赵金龙, 陈荫三, 等. 山区公路交通安全标志设计[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2006, 26(3): 63-66.
XIAO Run-mou, ZHAO Jin-long, CHEN Yin-san, et al. Design of traffic safety signs on mountain roads[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(3): 63-66.
- [3] 李文权. 高速公路路侧标志遮挡问题[J]. 交通运输工程学报, 2006, 6(3): 97-102.
LI Wen-quan. Blocking problem of freeway side traffic signs[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006, 6(3): 97-102.
- [4] GB 5768-1999, 道路交通标志和标线[S].
- [5] GBJ 50009-2001, 建筑结构荷载规范[S].
- [6] 张相庭. 结构风压和风振计算[M]. 上海: 同济大学出版社, 1990.
- [7] 王 磊, 刘寒冰, 高一平, 等. 薄壁杆件六面体网格剖分的组合法[J]. 中国公路学报, 2005, 18(1): 51-56.
WANG Lei, LIU Han-bing, GAO Yi-ping, et al. Assembly algorithm of hexahedral meshes generation for thin wainscot structure[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(1): 51-56.
- [8] 张相庭. 工程结构风荷载理论和抗风计算手册[M]. 上海: 同济大学出版社, 1990.
- [9] 张相庭. 工程抗风设计计算手册[M]. 上海: 同济大学出版社, 1998.