

文章编号: 0451-0712(2004)09-0043-04

中图分类号: U448.213

文献标识码: A

# 扁平箱形桥梁断面静气动力系数 雷诺数效应研究

李加武, 林志兴, 项海帆

(同济大学 上海市 200092)

**摘 要:** 在较大的雷诺数范围内测量了不同宽高比箱形桥梁断面的三分力系数, 研究了三分力系数雷诺数效应以及宽高比对断面三分力系数雷诺数效应的影响。流线型桥梁断面的阻力系数、升力系数都有明显的雷诺数效应。宽高比对断面的三分力系数雷诺数效应有明显的影响。低雷诺数风洞试验得到的三分力系数用于实桥分析时偏于保守。

**关键词:** 三分力系数; 雷诺数效应; 宽高比; 风洞实验

在桥梁抗风研究中, 三分力系数是抖振响应分析、驰振稳定性分析以及静风荷载和稳定性分析中的重要参数, 三分力系数的取值直接影响桥梁抗风分析的精度。长期以来, 桥梁断面的三分力系数的雷诺数效应一直没有引起重视, 人们一直认为具有尖锐棱角的桥梁断面中三分力系数雷诺数效应可以忽略不计。Larsen 与 Schewe 在压力风洞中测量了 Great Belt East Bridge 引桥断面三分力系数, 他们发现雷诺数  $R_e = 7 \times 10^4$  的阻力系数比雷诺数  $R_e = 3 \times 10^6$  的阻力系数大 14%, 而 Larose 测量了香港的 Stonecutters 桥三分力系数, 发现该桥在  $0^\circ$  攻角阻力系数随雷诺数增加而增加。因此三分力系数的雷诺数效应研究对提高抗风分析有着重要的意义。本文在雷诺数范围  $R_e = 8 \times 10^3 \sim 3 \times 10^5$  内测量了不同宽高比箱形桥梁断面的三分力, 研究了三分力系数随雷诺数的变化规律, 并研究了宽高比对三分力

系数雷诺数效应的影响。

## 1 试验内容

试验在 TJ-2 风洞中进行, 风洞试验段长 15 m, 宽 3 m, 高 2.5 m。空风洞最高风速为 68 m/s, 紊流度  $\epsilon < 0.8\%$ 。测力用的是 TJ-2 风洞的汽车天平测力系统, 该测力系统由浮框式六分量应变天平、应变放大器、A/D 转换器和微机组组成。该天平阻力方向最大量程为 100 kg, 升力方向为  $\pm 60$  kg, 升力矩为  $\pm 10$  kg·m。

试验模型有 4 个宽高比, 其骨架由型钢制作, 外衣为优质三合板, 三合板外用胶纸包裹, 以便降低表面的粗糙度。图 1 为模型在风洞中的安装示意, 模型的高为 100 mm, 长为 1 800 mm, 宽度在 600~1 200 mm 可变, 试验风速变化范围为 5~50 m/s。

基金项目: 国家自然科学基金重大项目资助(编号: 59895410)

收稿日期: 2004-05-14

(1) 目前该墩正在施工, 每个循环浇注混凝土 6 m, 正常施工 3~4 d 一个循环, 日进尺可达 1.5 m, 施工的效率明显有所提高, 同时可大大减少墩身的施工缝。

(2) 外模采用大面板, 桁架结构。使用大面板可保证墩身混凝土的外观质量, 桁架结构为施工人员

提供脚手, 同时又可增加模板自身的刚度, 增加模板的使用寿命。

(3) 内外模的固定采用套筒连接。套筒连接可降低内外模板架立时的相互影响, 同时将模板拆除时的不安全因素降为最小。

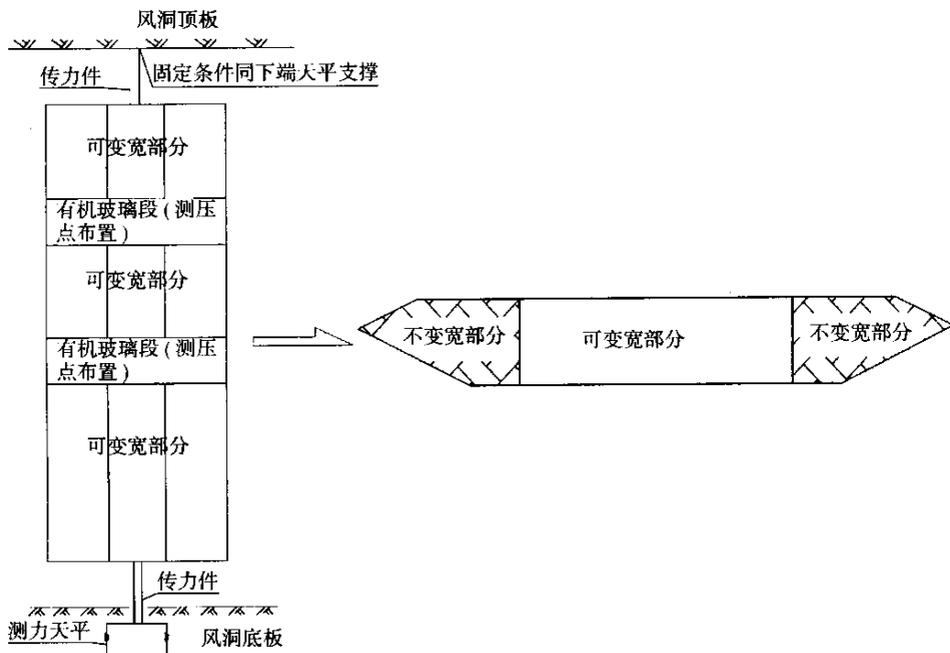
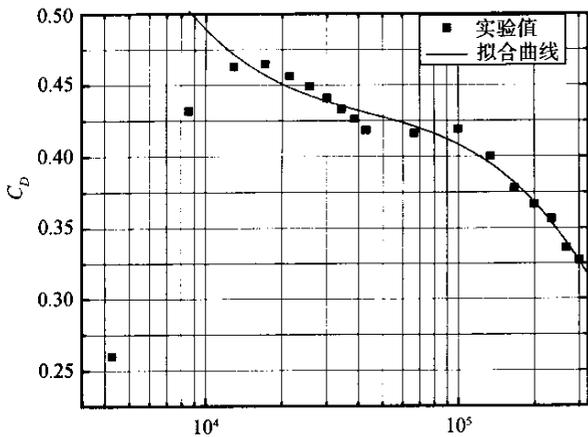


图 1 试验模型及风洞安装示意

## 2 试验结果

### 2.1 阻力系数的雷诺数效应

图 2 为宽高比为 12 : 1 的流线型桥梁断面模型的阻力系数 ( $C_D$ ) 雷诺数效应曲线。在低雷诺数区 ( $R_e < 6 \times 10^4$ ),  $C_D$  减小幅度比高雷诺数区缓慢。越过  $R_e = 1 \times 10^5$  后, 阻力系数下降的速度明显加快。根据低雷诺数区的下降趋势与速度, 将图 2 曲线延伸到雷诺数  $R_e = 8 \times 10^6$  (实桥雷诺数), 不难发现低雷诺数 (以梁高为特征尺寸,  $R_e = 4 \times 10^4$ ) 节段模型风洞试验时, 将会导致桥梁断面模型阻力系数  $C_D$  测量值比实桥阻力系数  $C_D$  可能大将近 1 倍。



万方数据

图 2  $B/H=12$   $C_D \sim R_e$  曲线

图 3 为不同宽高比的  $C_D \sim R_e$  变化曲线, 随着宽高比的增加, 阻力系数变化的范围拉大, 且曲线的曲率增加。宽高比  $B/H=6$  时, 阻力系数  $C_D \sim R_e$  变化平缓。4 个模型表现出相同规律: 高雷诺数区, 阻力系数变化剧烈; 低雷诺数区, 阻力系数变化相对平缓; 高雷诺数区, 宽高比越大, 阻力系数减小的速度越快。

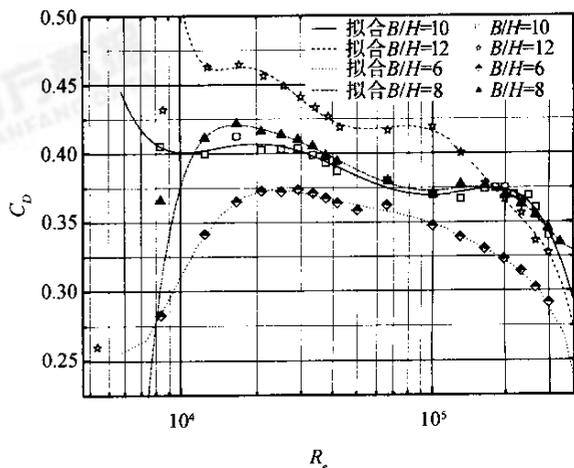


图 3 宽高比对  $C_D \sim R_e$  曲线影响

### 2.2 升力系数雷诺数效应

升力系数 ( $C_L$ ) 的雷诺数效应比阻力系数的雷诺数效应复杂得多。图 4 为宽高比 = 12 的升力系数的雷诺数效应曲线。  $C_L$  由  $R_e = 8 \times 10^3$  时的  $C_L = 0.0$

一直减小,直到  $Re = 2 \times 10^5$  附近升力系数达到最小值 ( $C_L = -0.1$ ),  $Re > 2 \times 10^5$  后,升力系数随雷诺数增加而增加。

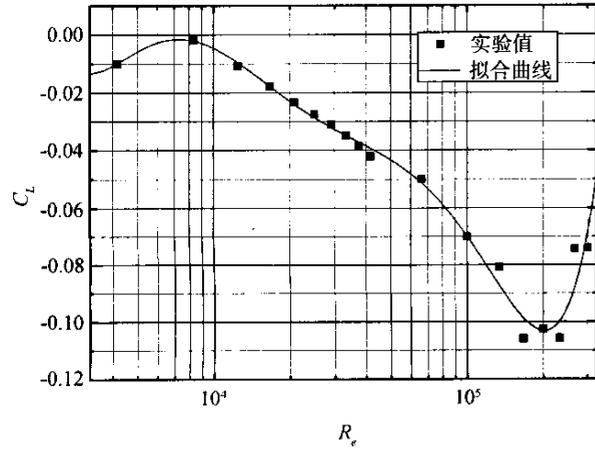


图4 B/H=12  $C_L \sim Re$  曲线

图5为不同宽高比模型的升力系数对雷诺数  $Re$  的变化规律。宽高比对升力系数达到最小值时对应的雷诺数没有多大影响,除宽高比=6的模型外,其他的升力系数随雷诺数变化规律相似。宽高比=6的模型升力系数几乎不随雷诺数增加而变化。

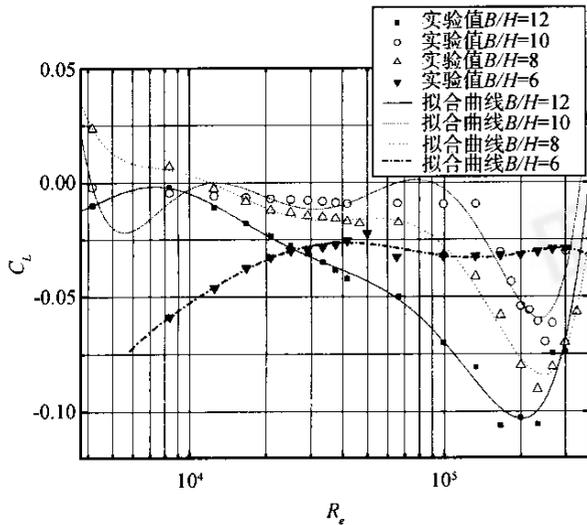


图5 宽高比对  $C_L \sim Re$  影响

### 2.3 升力矩系数雷诺数效应

图6为宽高比=12流线性断面  $C_M \sim Re$  曲线,雷诺数介于  $4 \times 10^3 \sim 3 \times 10^5$ ,  $C_M$  随雷诺数  $Re$  变化不明显。图7为不同宽高比升力矩系数  $C_M \sim Re$  曲线,宽高比对升力矩系数的雷诺数效应没有多大影响。箱形断面升力矩系数雷诺数效应不明显,而且宽

高比对升力矩系数雷诺数效应没有影响。抗风设计、分析不考虑升力矩系数雷诺数效应得到的结果是正确的。

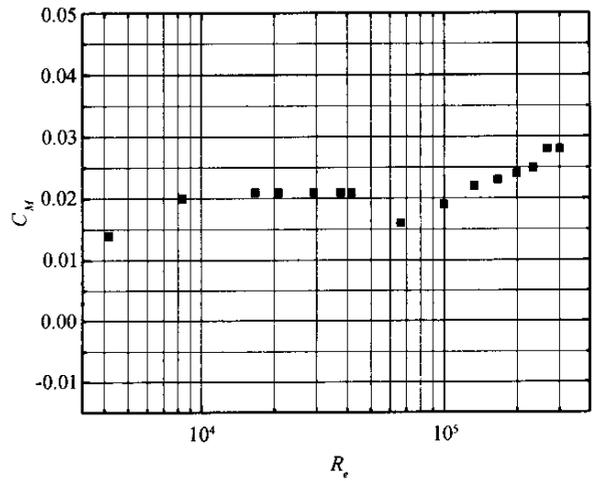


图6 B/H=12  $C_M \sim Re$  曲线

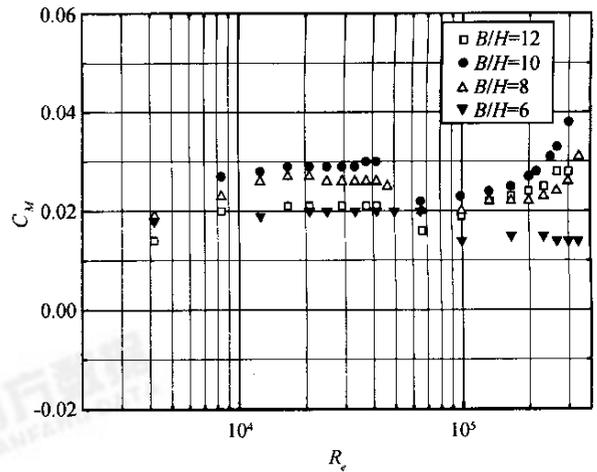


图7 宽高比对  $C_M \sim Re$  曲线的影响

## 3 紊流对三分力系数雷诺数效应的影响

### 3.1 紊流对阻力系数影响

图8为流线型宽高比=12断面的阻力系数—雷诺数曲线,可见来流中引入紊流度明显减小了阻力系数,而且紊流度越大,阻力系数越小。在  $Re = 5 \times 10^4$  附近,阻力系数下降的速度开始减小,并进入平台区。在平台区,三个紊流度测得的阻力系数相近,而此处紊流度对阻力系数的影响较小。由此可见,紊流度可以作为减缓雷诺数效应的有效措施之一。格栅的存在造成风洞阻塞度太大(最小的为24%),试验风速很难提高,紊流场中模型的雷诺数范围没能与均匀流一致。

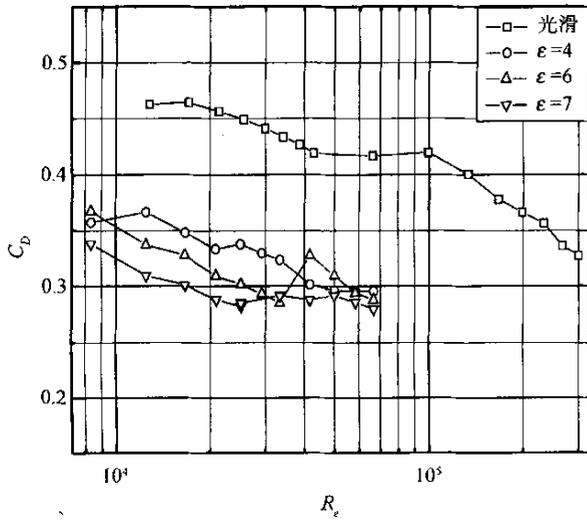


图 8 紊流  $C_D$  雷诺数效应影响

总之,紊流减小了流线型断面的阻力系数,但增加了  $\Pi$  型断面模型的阻力系数。看来紊流作为控制这两类断面阻力系数雷诺数效应的措施是有效的。

### 3.2 紊流对升力系数影响

图 9 为紊流对流线型断面升力系数的影响。由图可见,紊流的确稳定了升力的波动,而且三个不同紊流度对升力系数的影响似乎是相同的。因此,只要来流中引入适当的紊流,如紊流度  $\epsilon > 4\%$ ,就可以抑制升力系数随雷诺数的波动。紊流并没有大幅度减小升力系数,而只是改变升力系数随雷诺数的波动,

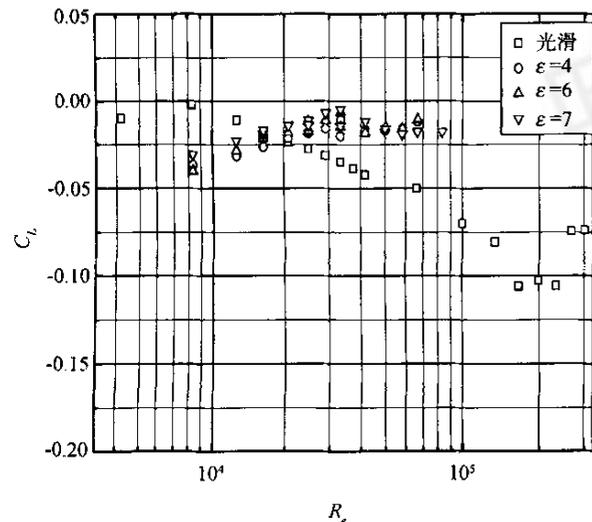


图 9 紊流对  $C_L$  雷诺数效应的影响

这与试验的本意不谋而合。紊流可以有效减小流线型断面升力系数—雷诺数曲线的波动,改善升力系数雷诺数效应。

### 4 结论

(1) 流线型桥梁断面,阻力系数的雷诺数效应非常显著。低雷诺数风洞试验得到的流线型断面的结果用于桥梁断面抗风设计分析时则偏于保守。

(2) 流线型断面的升力系数雷诺数效应明显。低雷诺数风洞实验得到的升力系数不可以代替实桥断面的升力系数,否则得到的误差是难以预料的;流线型断面升力矩系数雷诺数效应不明显。

(3) 宽高比对流线型断面阻力系数下降速度有一定的影响。同为流线型断面桥梁,宽桥比窄桥的阻力系数雷诺数效应显著。宽高比对流线型断面升力系数雷诺数效应影响大,宽桥升力系数雷诺数效应比窄桥断面大。

(4) 紊流可以有效地改善流线型断面阻力系数雷诺数效应,同时紊流也会减缓流线型断面升力系数对雷诺数的曲线波动。均匀流中引入紊流可以作为改善三分力系数雷诺数效应的有效措施。

### 参考文献:

- [1] G Schewe, A Larsen. Reynolds number effects in the flow around a bluff bridge deck cross section. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1998, 74—76.
- [2] G L Larose, S V Larsen, A Larsen, et al. Sectional model experiments at high Reynolds number for the deck of a 1018m span cable—stayed bridge. Journal of Wind Engineering and industrial aerodynamics, 2003, 95.
- [3] 李加武. 桥梁断面雷诺数效应及其控制研究[D]. 同济大学博士学位论文, 2003.
- [4] 王铁成. 空气动力学实验技术[M]. 航空工业出版社, 1995.
- [5] 小西一郎. 钢桥(第十分册)[M]. 北京:人民铁道出版社, 1980.
- [6] E Simu, R H Scanlan. Wind effect on structures—fundamentals and applications to design. John wiley & sons, 1996.

文章编号: 0451-0712(2004)09-0047-03

中图分类号: U445.471

文献标识码: B

# 高强大体积混凝土施工控制

张秋信, 于 水

(路桥集团国际建设股份有限公司北京工程部 北京市 100019)

**摘 要:** 阐述浙江省丽水市紫金大桥下横梁高强大体积混凝土施工控制, 从多角度有效控制混凝土内外温差, 预防温度裂缝。

**关键词:** 高强; 大体积混凝土; 水化热; 养护

## 1 工程简介

丽水紫金大桥采用塔、墩、梁固结体系, 主桥为  $2 \times 160 \text{ m}$  二跨一联单塔双索面预应力混凝土斜拉桥, 索塔采用带折线“H”形。桥塔由下塔柱、中塔柱、上塔柱及下横梁、中横梁、上横梁组成。塔柱总高度为  $107.6 \text{ m}$ 。主墩承台采用 8 根  $\phi 3.0 \text{ m}$  钻孔灌注桩, 边墩采用双柱式结构。

下横梁是斜拉桥的主体, 也是全桥的技术核心部分, 梁高  $4.5 \text{ m}$ , 断面尺寸: 横桥向宽  $35.38 \sim 39.6 \text{ m}$ , 顺桥向宽  $6.2 \sim 6.4 \text{ m}$ ; 为减少横梁重量, 在桥中心  $15 \text{ m}$  宽范围内设计为箱形断面。混凝土标号为 C50, 混凝土数量为  $854 \text{ m}^3$ , 属于高强大体积混

凝土。

## 2 施工方案探讨

大体积混凝土施工遇到的普遍问题是温度应力与抗拉强度的控制。因此, 大体积混凝土施工中的温度监控是控制裂缝产生的关键。为此, 我们制定了详细的一次性浇注施工方案, 反复从多个角度着手考虑, 广泛吸收同行们的先进经验。

### 2.1 理论分析

#### (1) 水化热

目前, 我国现有公路桥梁设计规范中, 尚无有关水化热引起混凝土的温度升高, 以及混凝土浇筑中

收稿日期: 2004-06-15

## A Study on Reynolds Number Effect of Mean Aerodynamic Force Coefficient of Box-Beam Bridge Deck Sections

LI Jia-wu, LIN Zhi-xing, XIANG Hai-fan

(Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** The drag, lift and moment of box beam deck sections with different ratios of width to height ( $B/H$ ) in TJ-2 wind tunnel are measured in this paper. The Reynolds number effect of the mean aerodynamic force coefficient and the influence of ratio of bridge deck width to its height on three mean coefficients are studied. The results show that: (1) The mean drag and lift coefficients of box shape bridge deck section have considerable Reynolds number effect; (2) the ratio of width to height ( $B/H$ ) affects on Reynolds number effect of the mean aerodynamic force coefficient obviously. The result given by low Reynolds number wind tunnel test is conservative.

**Key words:** aerodynamic fore coefficient; Reynolds number effect; ratio of width to height; wind tunnel test