

采用竖向预应力钢筋时梁的 抗剪承载力计算的探讨

刘 灿

(华南理工大学土木与交通学院, 广州 510641)

摘 要 竖向预应力钢筋已在大跨度桥梁结构中广泛使用,对于采用竖向预应力钢筋时梁的抗剪承载力的计算,进行了试验研究,并与《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)中相应公式的计算结果进行了比较。结果表明,规范公式基本可靠,但有待进一步完善。主要表现在:(1)规范计算公式未考虑采用竖向预应力钢筋时箍筋的抗剪能力;(2)规范计算公式未考虑竖向预应力筋工作机理与普通箍筋不同;(3)规范计算公式未表述不同竖向预应力筋设置方式的影响。最后,提出了采用竖向预应力钢筋时梁的抗剪承载力建议计算公式,与试验结果吻合较好。

关键词 竖向预应力筋 抗剪承载力 规范公式

中图法分类号 TU375.1; **文献标志码** A

自从20世纪70年代初期,联邦德国把高强精轧螺纹钢筋引用到大跨度桥梁的箱梁结构体系当中,三向预应力技术就与箱梁截面很好地结合起来^[1]。目前,在我国应用三向预应力体系已建、在建的单跨跨径超过200 m的预应力混凝土桥梁已经超过30座^[2,3]。在三向预应力结构中,竖向预应力筋主要布置在箱梁腹板厚度的对称线上,其目的是为了提高腹板的抗剪能力。对于采用竖向预应力钢筋时梁的抗剪承载力的计算,本文进行了试验研究,并与《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)中相应公式^[4]的计算结果进行了比较,结果表明,规范公式基本可靠,但有待进一步完善。

1 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)中采用竖向预应力钢筋时梁的抗剪承载力计算公式

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.2.7条关于梁斜截面抗

剪承载力的规定为:

$$\gamma_0 V_d \leq V_{cs} + V_{sb} + V_{pb} \quad (1)$$

$$V_{cs} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 0.45 \times$$

$$10^{-3} b h_0 \sqrt{(2 + 0.6p)} \sqrt{f_{cu,k} \rho_{sv} f_{sv}};$$

$$V_{sb} = 0.75 \times 10^{-3} f_{sb} \sum A_{sb} \sin \theta_s;$$

$$V_{pb} = 0.75 \times 10^{-3} f_{pd} \sum A_{pb} \sin \theta_p。$$

式(1)中 V_d —斜截面受压端上由作用效应所产生的最大剪力组合设计值,kN;

V_{cs} —斜截面内混凝土与箍筋共同承担的抗剪承载力设计值,kN;

V_{sb} —与斜截面相交的普通弯起钢筋抗剪承载力设计值,kN;

V_{pb} —与斜截面相交的预应力弯起钢筋抗剪承载力设计值,kN;

α_1 —异号弯矩影响系数,计算简支梁和连续梁近边支点梁段的抗剪承载力时, $\alpha_1 = 1.0$;计算连续梁和悬臂梁近中间支点梁段的抗剪承载力时, $\alpha_1 = 0.9$;

α_2 —预应力提高系数,对钢筋混凝土受弯构件, $\alpha_2 = 1.0$;对预应力混凝土受弯构件, $\alpha_2 = 1.25$,但当由钢筋合

力引起的截面弯矩与外弯矩的方向相同时,或允许出现裂缝的预应力混凝土受弯构件,取 $\alpha_2 = 1.0$ 。

- α_3 —受压翼缘的影响系数,取 $\alpha_3 = 1.1$;
- b —斜截面受压端正截面处,矩形截面宽度(mm),或T形和I形截面腹板宽度(mm);
- h_0 —斜截面受压端正截面的有效高度,自纵向受拉钢筋合力点至受压边缘的距离(mm);
- P —斜截面内纵向受拉钢筋的配筋百分率, $P = 100\rho$, $\rho = (A_p + A_{pb} + A_s)/bh_0$,当 $P > 2.5$ 时,取 $P = 2.5$;
- $f_{cu,k}$ —一边长为150 mm的混凝土立方体抗压强度标准值(MPa),即为混凝土强度等级;
- ρ_{sv} —斜截面内箍筋的配筋率;
- f_{sv} —箍筋抗拉强度设计值,MPa;
- A_{sv} —斜截面内配置在同一截面的箍筋各肢总截面积(mm^2);
- S_v —斜截面内箍筋的间距(mm);
- A_{sb}, A_{pb} —斜截面内在同一弯起平面的普通弯起钢筋、预应力弯起钢筋的截面积(mm^2);
- θ_s, θ_p —普通弯起钢筋、预应力弯起钢筋(在斜截面受压端正截面处)的切线与水平线的夹角。

在注释(1)中规定:当采用竖向预应力钢筋时,公式(1)中的 ρ_{sv}, f_{sv} 应换以 ρ_{pv} 和 f_{pd} , ρ_{pv} 和 f_{pd} 分别为竖向预应力钢筋的配筋率和抗拉强度设计值。

2 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)中采用竖向预应力钢筋时梁的抗剪承载力公式计算结果与试验结果的比较

本文进行了设置竖向预应力筋的梁的抗剪承载力的试验,共设计了五个试件,编号L-1~L-5。其中L-1和L-3为加配竖向预应力筋且施加竖向预应力的钢筋混凝土梁,L-2和L-4为加配竖

向预应力筋但未施加竖向预应力的钢筋混凝土梁,L-5为普通钢筋混凝土梁。箍筋采用HPB235级钢筋,纵筋采用HRB335级钢筋,竖向预应力筋采用10.9级高强螺栓。竖向预应力的施加采用后张法,先在梁内部预留孔道,待混凝土达到强度后在孔道内穿入10.9级高强螺栓,孔道附近的梁上、下表面设有钢垫板,钢垫板截面尺寸为 $100 \times 350 \times 16 \text{ mm}^3$,最终通过扳手拧紧螺母产生预应力。试件简图见图1~图3,试件主要参数如表1所示。试验时采用标定过的油压千斤顶和一级分配梁两点加载,集中荷载距支座的距离为900 mm,剪跨比为1.61。

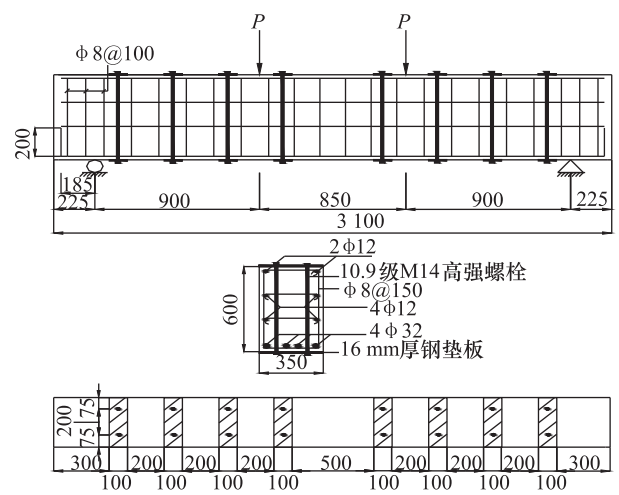


图1 试件L-1和L-2

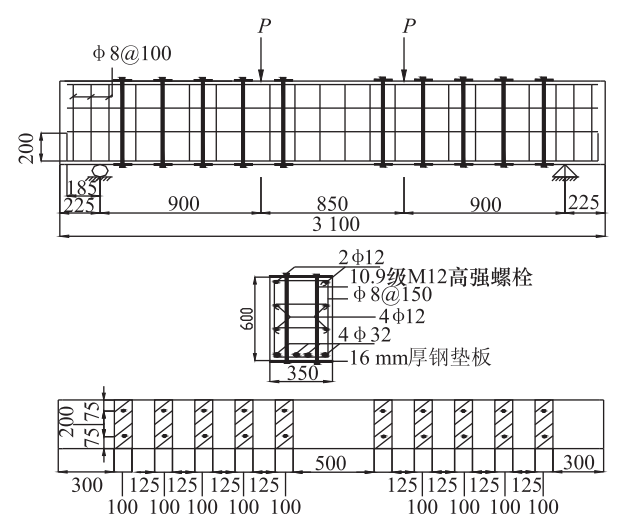


图2 试件L-3和L-4

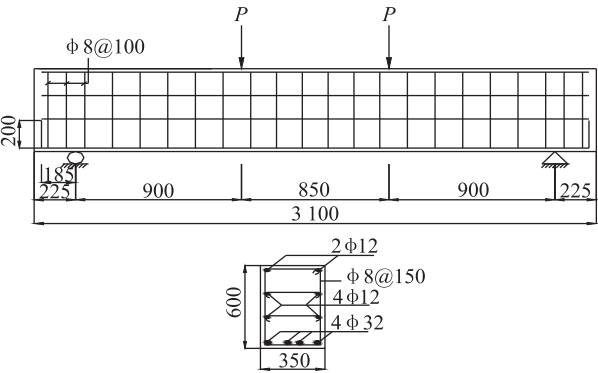


图3 试件 L-5

表1 试件主要参数

试件 编号	混凝土 强度 等级	试件 尺寸 $b \times h \times l/\text{mm}^3$	箍筋	纵筋	竖向预应力筋			张拉 控制 应力 /MPa
					直径 /mm	间距 /mm		
L-1	C25	350 × 600 × 3 100	φ 8@150 双臂箍筋	4Φ32	14	300		500
L-2	C25	350 × 600 × 3 100	φ 8@150 双臂箍筋	4Φ32	14	300		0
L-3	C25	350 × 600 × 3 100	φ 8@150 双臂箍筋	4Φ32	12	225		500
L-4	C25	350 × 600 × 3 100	φ 8@150 双臂箍筋	4Φ32	12	225		0
L-5	C25	350 × 600 × 3 100	φ 8@150 双臂箍筋	4Φ32		无		

表2给出了采用竖向预应力筋时梁的斜裂缝宽度达到1.5 mm时^[5]对应的抗剪承载力试验值与规范公式计算值的比较。从比较结果可以看出,《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)中相应公式基本是可靠的,但与试验有所出入的是,L-3在试验中表现出了最高的抗剪承载力,但按规范公式计算出来抗剪承载力却最低,说明规范公式还有待于进一步完善。

表2 采用竖向预应力筋时梁的抗剪承载力计算比较

梁号	试验值/kN	规范公式计算值/kN	规范公式/试验
L-1	775	776	0.99
L-2	625	621	0.99
L-3	950	768	0.81
L-4	625	614	0.98

3 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)中采用竖向预应力钢筋时梁的抗剪承载力计算公式的有待完善之处

3.1 规范计算公式未考虑采用竖向预应力钢筋时箍筋的抗剪能力

在《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)关于梁的斜截面抗剪承载力的规定中,当采用竖向预应力钢筋时,就不考虑箍筋的抗剪能力,这与实际情况是不太符合的。因为箍筋在限制斜裂缝开展方面,起到非常重要的作用,若普通箍筋按照构造要求配置,或少量配置,使箍筋配筋率偏小,则当竖向预应力钢筋发生失效或不足时,较大的剪力可致使箍筋屈服,最终导致出现较宽的斜裂缝,使梁的抗剪承载力降低。所以说,《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)中采用竖向预应力钢筋时梁的抗剪承载力计算公式,容易使一些设计工程师产生误解,即设置足够的竖向预应力钢筋,就可以满足抗剪承载力的要求,这将忽略普通箍筋良好的抗剪性能。

3.2 规范计算公式未考虑竖向预应力筋工作机理与普通箍筋不同

在《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)关于梁的斜截面抗剪承载力的规定中,当采用竖向预应力钢筋时,就不考虑箍筋的抗剪能力,用原来计算箍筋抗剪的方式计算竖向预应力钢筋抗剪,这与实际情况是不太符合的。竖向预应力筋的工作机理与普通箍筋是有区别的,竖向预应力筋的配置不仅仅是增加了腹筋的面积,竖向预应力的施加,将抑制斜裂缝的出现和发展,提高构件的斜截面抗裂能力,使构件在更为有利的受力情况下工作,这将使混凝土和箍筋的抗剪能力有所提高。所以说,简单地把竖向预应力筋等同于普通箍筋计算的方式不够精确。

3.3 规范计算公式未表述不同竖向预应力筋设置方式的影响

竖向预应力筋设置方式对抗剪承载力的影响,

在规范公式中没有得到很好的体现。对比前面试验中的 L-1 和 L-3, L-1 和 L-3 其他参数几乎完全相同, 竖向预应力筋的总截面面积也大体一致, 只是 L-1 的竖向预应力筋直径较粗、间距较大, 而 L-3 的竖向预应力筋直径较细、间距较小。试验结果表明, L-3 的抗剪承载力明显高于 L-1, 说明在配筋面积基本一致的情况下, 采用不同的间距和直径配置竖向预应力筋, 将收到不同的效果。这种作用效果与普通箍筋的作用效果是不同的, 因为施加竖向预应力后, 梁将在更为有利的受力情况下工作, 每根竖向预应力筋的影响范围有限, 如果竖向预应力筋面积基本相同, 较小的直径和间距将引起较均匀的应力分布, 较大的直径和间距有可能在两根竖向预应力筋之间产生应力盲区, 所以说, 竖向预应力筋的设置方式对梁的抗剪承载力是有影响的, 且不同于普通箍筋, 规范公式对竖向预应力筋设置方式影响的考虑有待完善。

4 建议公式

4.1 建议采用竖向预应力钢筋时梁的抗剪承载力计算公式

通过试验分析, 本文给出了采用竖向预应力钢筋时梁的抗剪承载力建议计算公式, 公式中考虑了混凝土抗剪能力 (V_c)、箍筋抗剪能力 (V_s) 和竖向预应力筋抗剪能力 (V_p), 并考虑了施加竖向预应力对抗剪的有利影响。建议的采用竖向预应力钢筋时梁的抗剪承载力计算公式如下所示:

$$V = \alpha(V_c + V_s + V_p) =$$
$$\alpha \left[\frac{1.75}{1 + \lambda} f_t (b - 2d) h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{S} h_0 + f_{py} \frac{A_p}{S_p} h_0 \right].$$

式中, λ 表示剪跨比,
 f_t 表示混凝土抗拉强度设计值,
 b 表示截面宽度,
 d 表示设置竖向预应力筋预留孔洞直径,
 h_0 表示截面有效高度,
 f_{yv} 表示箍筋抗拉强度设计值,
 A_{sv} 表示箍筋截面面积,
 S 表示箍筋间距,

f_{py} 表示竖向预应力筋抗拉强度设计值,
 A_{sp} 表示竖向预应力筋有效截面面积,
 S_p 表示竖向预应力筋间距,
 α 表示施加竖向预应力影响系数, 当施加竖向预应力为 0 时, $\alpha = 1$; 当施加竖向预应力不为 0 时, $\alpha = 4\beta A / (d_p + 10) S_p$, 式中 β 为预加应力与张拉控制应力的比值, A 为所有竖向预应力筋的有效截面面积, d_p 为竖向预应力筋的有效直径。

4.2 建议公式计算值与试验值的比较

为了评价上述建议计算公式的准确性, 把建议公式计算值和试验值做了一个比较分析。表 3 给出了建议公式计算值和试验值的比较。结果表明, 建议公式计算值与试验值吻合较好。

表 3 建议公式计算值和试验值的比较			
梁号	建议公式计算值/kN	试验值/kN	建议公式值/试验值
L-1	732	775	0.94
L-2	610	625	0.98
L-3	921	950	0.97
L-4	614	625	0.98

5 结论

- 通过本文的研究, 可得到如下初步结论:
- (1) 对于采用竖向预应力钢筋时梁的抗剪承载力的计算, 本文进行了试验研究, 并与《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004) 中相应公式的计算结果进行了比较, 结果表明, 规范公式基本可靠, 但有待进一步完善。
 - (2) 规范计算公式未考虑采用竖向预应力钢筋时箍筋的抗剪能力, 还有待进一步完善。
 - (3) 规范计算公式未考虑竖向预应力筋工作机理与普通箍筋不同, 还有待进一步完善。
 - (4) 规范计算公式未表述不同竖向预应力筋设置方式的影响, 还有待进一步完善。
 - (5) 提出了采用竖向预应力钢筋时梁的抗剪承载力建议计算公式, 与试验结果吻合较好。

参 考 文 献

1 刘效尧, 朱新实. 预应力技术及材料设备. 北京: 人民交通出版

社,1998

2 钟新谷. 箱形梁的研究. 湘潭矿业学院学报,2001;5(9):68—73

3 楼庄鸿. 对预应力混凝土连续刚构几个问题的认识. 中国公路学会桥梁和结构工程分会 2004 年全国桥梁学术会议论文集;北京:人民交通出版社,2004:303—306

4 中华人民共和国交通部.《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004). 北京:人民交通出版社,2004

5 唐益群,叶为民. 土木工程测试技术手册. 上海:同济大学出版社,1999:290—291

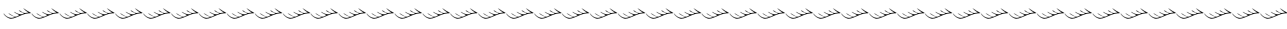
Discussion about the Calculation of Shear Capacity of Beam Using Vertical Prestressed Bars

LIU Can

(Civil and Traffic School in South China University of Technology, Guangzhou 510641, P. R. China)

[Abstract] Vertical prestressed bars have been widely used in long span bridges. Experimental study about the calculation of shear capacity of beam using vertical prestressed bars has been done. Experimental results are compared with the corresponding formula in the “Code for Design of Highway Reinforced Concrete and Prestressed Concrete Bridges and Culverts” (JTG D62—2004), the results show that the formula in the code is reliable, but needs to be improved, mainly in the following areas: (a) Formula in the code does not consider the shear capacity of stirrups when using vertical prestressed bars, (b) Formula in the code does not take into account that the working mechanism of vertical prestressed bars is different from ordinary stirrups, (c) Formula in the code does not express the influence of the different ways of setting vertical prestressed bars. At last, a formula to compute the shear capacity of beam using vertical prestressed bars is suggested, the accuracy of the proposed formula is verified by the experimental results.

[Key words] vertical prestressed bars shear capacity formula in the code



(上接第 6321 页)

Earthquake Response Analysis of Liquefied Natural Gas (LNG) Prestressed Storage Tank with Rubber Interlayer Seismic Isolation

ZHANG Yun-feng, TIAN Xiao-xue, GUO Ying-li¹, YU Yang, XUE Jing-hong

(Civil Engineering College, Daqing Petroleum Institute, Daqing, Daging 163318, P. R. China;
the ninth oil extraction factory of Daqing oilfield Limited Liability Company¹, Daging 163000, P. R. China)

[Abstract] Rubber interlayer was used as the seismic isolation of LNG storage tank, which was taken the finite element analysis before and after seismic isolation to earthquake response respectively, Before and after seismic isolation the earthquake response of LNG storage tank’s outer wall are calculated under El Centro Wave, Taft Wave and Tianjin Wave. the modality, shift and acceleration are analyzed comparatinely, then the rubber interlayer seismic isolation’s seismic isolation effect to LNG storage tank is obtained.

[Key words] LNG storage tank rubber interlayer seismic isolation earthquake response