

# 连续梁、连续刚构桥施工中腹板产生裂缝的机理及对策

胡庆安, 丛慧敏, 齐明芹

(长安大学公路学院, 陕西 西安 710064)

**摘要:** 随着连续梁和连续刚构桥的广泛应用, 一些桥梁在施工过程中腹板出现裂缝. 本文以弹性力学为依据, 运用 Ansys 建立连续梁、连续刚构桥三维实体模型, 计算混凝土腹板三向受力情况下的主拉应力, 并对比腹板内最大主拉应力与混凝土抗拉强度的关系, 由此说明腹板产生裂缝的原因. 结合实际桥梁, 计算悬臂现浇法施工时四种工况下混凝土腹板应力, 得出最大主拉应力为: 0.67 MPa、0.32 MPa、2.76 MPa 和 0.98 MPa. 由此说明竖向预应力能有效控制腹板混凝土的主拉应力, 即为了预防混凝土腹板内部主拉应力超过混凝土抗拉强度, 应在施工时先张拉竖向预应力, 再张拉纵向预应力钢筋.

**关键词:** 连续梁; 连续刚构; 腹板裂缝; 主拉应力; 施工顺序

中图分类号: U44; U45

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2011)03-0353-03

## 1 腹板裂缝研究的意义和价值

预应力连续箱梁桥和连续刚构桥以其桥型美观、抗扭刚度大、能承受正负弯矩、整体性和连续性好、适用于大跨径桥梁结构等特点得到了广泛的应用, 但是预应力连续梁、连续刚构桥在施工过程中, 桥梁腹板经常会出现裂缝. 裂缝的存在对结构的耐久性、安全度和正常使用都产生了非常不利的影响. 研究混凝土箱梁的裂缝, 探明箱梁结构裂缝产生的规律和形成机理, 无论对在役桥梁的养护还是对新建桥梁的设计、施工都是十分必要的, 对保障交通运输畅通、发展国民经济有着更为重要的意义.

## 2 混凝土裂缝产生原因及原理

变截面连续梁桥和连续刚构桥通常采用悬臂现浇法施工, 梁段在浇筑时需要分阶段一次性浇筑完成. 对于腹板截面较高且空间狭小的梁段, 还需要预留施工孔, 便于工人能进入箱梁内部对混凝土进行振捣, 此时, 会对影响施工的钢筋进行移动或者拆除, 这将造成腹板内的勾筋移动或者缺失以及预应力钢筋管道偏离设计位置. 以上因素将容易造成混凝土振捣不匀, 影响混凝土的密实性, 降低混凝土强度, 减弱钢筋对混凝土的约束效果, 致使混凝土极易开裂.

根据混凝土受力机理和本质, 即考虑引起裂缝的破坏过程和特点以及其变形和发展规律, 可知裂缝的产生是主拉应力作用的结果. 混凝土箱梁为空间结构, 受力复杂, 主要应力为纵向应力  $\sigma_x$ 、横向应力  $\sigma_y$  和竖向应力  $\sigma_z$  和剪应力  $\tau_{xy}$ 、 $\tau_{xz}$ 、 $\tau_{yz}$ , 则在腹板混凝土中的主应力为:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \end{Bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{Bmatrix} I_1 \\ I_1 \\ I_1 \end{Bmatrix} + \frac{2\sqrt{J_2}}{\sqrt{3}} \begin{Bmatrix} \cos \theta \\ \cos(\theta - \frac{2}{3}\pi) \\ \cos(\theta + \frac{2}{3}\pi) \end{Bmatrix} \quad (1)$$

其中,

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad (2)$$

$$J_2 = \frac{1}{6} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + \tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2 \quad (3)$$

$$J_3=\frac{(2\sigma_x-\sigma_y-\sigma_z)(2\sigma_y-\sigma_x-\sigma_z)(2\sigma_z-\sigma_x-\sigma_y)}{27}+2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx}\frac{2\sigma_x-\sigma_y-\sigma_z}{3}\frac{2\sigma_y-\sigma_x-\sigma_z}{3}\frac{2\sigma_z-\sigma_x-\sigma_y}{3}\tau_{xy}^2\tau_{yz}^2\tau_{zx}^2\quad(4)$$

$$\cos 3\theta=\frac{4J_3}{r^3}\quad(5)$$

$$r=\sqrt[3]{\frac{4J_3}{3}}\quad(6)$$

而其中主拉应力为  $\sigma_{tp}=\max\{\sigma_1,\sigma_2,\sigma_3\}$ . 当腹板内部混凝土的主拉应力  $\sigma_{tp}>f_{tp}$  ( $f_{tp}$  是混凝土的抗拉强度标准值), 腹板就会产生裂缝.

3 工程实例分析

某桥为变截面三跨连续箱梁桥, 采用 C55 混凝土, 跨径为 68 m+100 m+68 m, 桥面全宽 13 m, 顶板厚度为 28 cm, 腹板厚度为 45~60 cm, 梁底板线形和底板厚度均按照抛物线变化. 3、4 号块箱梁截面高度由 4.82 m 变化到 4.24 m. 在张拉 4 号块预应力钢筋结束时, 腹板出现与竖弯纵向预应力钢筋走向基本一致的斜裂缝, 见图 1.

本例采用 ansys 软件建立模型, 对该梁段进行三维实体仿真分析. 混凝土采用 solid45 单元, 纵向和竖向预应力钢筋均采用 link8 单元. 依据裂缝出现位置, 分析 4 号块腹板内纵向预应力钢筋移动时, 对腹板混凝土的影响, 见图 2.

分析时建立如下四种工况进行比较. 工况一: 依据设计, 计算单独张拉腹板内纵向预应力钢筋时的主拉应力; 工况二: 依据设计, 计算单独张拉腹板内竖向预应力钢筋时的主拉应力; 工况三: 计算在无竖向预应力做用, 纵向预应力钢筋偏离设计位置的情况下, 张拉腹板纵向预应力钢筋时腹板的主拉应力; 工况四: 计算在有竖向预应力作用, 纵向预应力钢筋偏离设计位置的情况下, 张拉腹板纵向预应力钢筋, 腹板的主拉应力.

在工况一时, 其外侧面最大主拉应力值为 0.697 MPa, 内侧面为 0.634 MPa; 在工况二时, 腹板内外侧面最大主拉应力为 0.189 MPa 和 0.319 MPa. 这两种工况下在腹板内产生的主拉应力都很小, 没有超过混凝土的抗拉设计强度标准值.

在浇筑时, 人工的振捣或者混凝土的挤压都容易造成预应力钢筋管道的移动. 预应力钢筋管道移动后形成的平面与设计平面将形成夹角  $\theta$ , 如图 3 所示. 由于  $\theta$  角的出现, 箱梁腹板受到预应力钢筋的横向分力作用, 导致腹板内主拉应力的增大. 工况三与工况四, 在  $\theta$  每增加  $10^\circ$ , 计算一次腹板主拉应力, 并记录腹板内外侧面主拉应力最大值, 见表 1.



图 1 4 号块腹板裂缝  
Fig. 1 Cracks in the webs of block 4

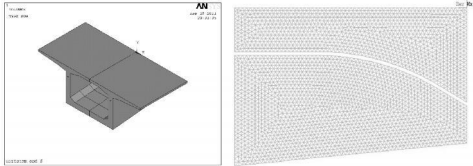


图 2 混凝土箱梁的 ANSYS 模型  
Fig. 2 ANSYS model of concrete box beam

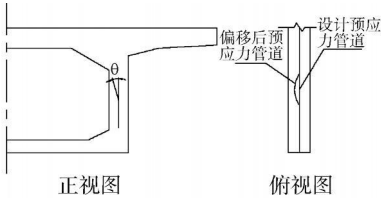


图 3 腹板钢筋偏转角度示意图  
Fig. 3 Deflection angle of Reinforcement in webs

表 1 工况三与工况四主拉应力对比表

Tab. 1 Comparison of maximal principal stress in webs of load condition 3 and load condition 4

偏离角度 $\theta/^\circ$	腹板内侧面主拉应力/ MPa		降低比率	腹板外侧面主拉应力/ MPa		降低比率
	工况 4	工况 3	(工况 3— 工况 4) / 工况 3	工况 4	工况 3	(工况 3— 工况 4) / 工况 3
10	0.290	1.362	0.79	0.540	1.089	0.50
20	0.490	2.256	0.78	0.680	1.605	0.58
30	0.410	2.510	0.84	0.850	1.923	0.56
40	0.890	2.756	0.68	0.980	2.181	0.55

由表 1, 可以看到:

(1) 按照设计图纸施工, 单独张拉纵向预应力钢筋或者单独张拉竖向预应力钢筋, 腹板内部产生的

主拉应力不会造成腹板破坏. 但单独张拉桥梁纵向预应力钢筋时腹板内侧面主拉应力最大值比单独张拉竖向预应力时大 70%, 而外侧面要大 54%;

(2) 竖向预应力能有效控制腹板内主拉应力. 当  $\theta=10^\circ$  时, 竖向预应力的存在令箱梁内侧面的主拉应力降低了 79%, 外侧面降低了 50%; 而  $\theta$  达到  $40^\circ$  时, 竖向预应力令腹板中内侧面的主拉应力降低了 68%, 而外侧面降低了 55%.

## 4 结 论

(1) 桥梁完全按照设计图纸施工时, 先单独张拉纵向预应力钢筋, 腹板内的主拉应力没有超过设计标准值, 但比单独张拉竖向预应力时大.

(2) 在施工过程中时, 应先张拉竖向预应力钢筋, 再张拉纵向预应力钢筋, 能降低腹板内主拉应力, 防止混凝土开裂.

(3) 为防止纵向预应力钢筋管道在浇筑时发生移动, 应增加固定预应力管道的钢筋数量; 同时, 增加受力勾筋数量, 以保证腹板混凝土处于三向受压状态, 从而有效控制腹板内部主拉应力.

## 参考文献 References

- [1] 兰晓红. 现浇箱梁桥预应力钢束顶板张拉和腹板张拉方案比较[J]. 福建建设科技, 2010(05): 27-29.  
LAN Xiao-hong. Tensioning Scheme Comparison of the Cast-in-site Pre-stressed Concrete Continuous Box Girder Bridge[J]. Fujian Construction Science & Technology, 2010(05): 27-29.
- [2] 徐晨, 吴冲, 潘蕾, 等. 拖拉施工锚固系统对多跨连续槽形钢梁腹板局部受力的影响[J]. 结构工程师, 2009, 25(1): 30-33, 40.  
XU Chen, WU Chong, PAN Leim, et al. Influences of Anchor System on Web Stress of Multi-Span Continuous Steel Tub-Girders During Hauling Construction[J]. Structural Engineers, 2009, 25(1): 30-33, 40.

# The mechanism and countermeasure of cracks in webs during continuous beam and continuous rigid frame bridge constructing

HU Qing-an, CONG Hui-min, QI Ming-qin

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064)

**Abstract** With the wide application of continuous beam and continuous rigid frame bridges, cracks in webs was found in some bridges during the construction. This essay is based on Elastic Mechanics, utilizing Ansys to establish the three-dimensional model of continuous beam and continuous rigid frame bridges, calculating the maximum principal tensile stress of concrete webs which is stressed from three directions, and comparing the relationship between the maximum principal tensile stress in webs and the tensile strength of concrete. Therefore, the reason of the cracks appear on webs can be concluded. Combined with an actual bridge, adopting the method of Cantilever cast-in-place during construction with master stress of concrete in four conditions, the maximum principal tensile stress can be calculated as 0.67 MPa, 0.32 MPa, 2.76 MPa and 0.98 MPa. Consequently, it is illustrated that vertical prestress could control tension stress of webs effectively. That is to say, in order to prevent internal tension stress in webs from exceeding the tensile strength of concrete, one should stretch the vertical prestress firstly and then stretch the vertical prestress.

**Key words:** continuous beam; continuous rigid frame; webs cracks; maximum principal tensile stress; sequence of construction