

预应力梁桥齿板锚固区配筋设计新方法

张向群¹, 林波², 刘钊²

(1. 江苏省长江公路大桥建设指挥部, 江苏泰州 225321; 2. 东南大学, 南京 210096)

[摘要] 预应力混凝土梁桥的齿板锚固区, 由于存在着几何形体上的突变, 集中锚固力的作用以及预应力钢束局部弯曲引起的径向力作用, 易产生开裂甚至剥落破坏, 因此齿板锚固区的抗裂配筋设计十分重要。以 7 种典型局部作用效应刻画齿板锚固区内拉应力的集中分布特征, 并在此基础上形成了齿板锚固区拉压杆模型, 初步形成预应力混凝土梁桥的抗裂钢筋设计新方法。

[关键词] 齿板锚固区; D 区; 拉压杆模型

[中图分类号] U442.5 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2010)04-0082-04

1 前言

自 20 世纪 80 年代以来, 大跨度预应力混凝土梁桥在我国得到了迅速的发展。然而, 实践表明, 这些桥梁在建造和使用过程中常常出现不同程度、不同形式的裂缝, 成了困扰着桥梁设计和施工的一个技术难题。交通部公路科学研究院对全国公路系统主跨大于 60 m 的近 180 座预应力混凝土箱梁桥开展了裂缝相关调查与统计工作, 公路大跨度预应力混凝土箱梁桥的常见裂缝类型包括顶底板横向裂缝、腹板中部斜裂缝、底板层间横向裂缝、顶、底板纵向裂缝、齿板局部区域裂缝、锚下发散裂缝、横隔板裂缝等。根据结构性裂缝的受力成因与出现部位, 可以将这些归结为两类: a. 结构在总体受力条件下产生的裂缝; b. 结构在局部受力条件下产生的裂缝。对于这两类裂缝, 可引入 B 区和 D 区的新理念加以分析。B 区是指截面应变分布基本符合平截面假定的结构区域; D 区是指截面应变分布呈现明显非线性的结构区域, 这些部位具有几何构造上的不连续或力流受扰动的特点。从弹性阶段开始, 平截面应变假定在这些区域就已经不再成立, 随着荷载的增加, 梁截面的抗弯塑性发展模型不能揭示其破坏机理。预应力锚固齿板由于齿板锚固区存在着几何

形体上的突变, 集中锚固力的作用以及预应力钢束局部弯曲引起的径向力作用, 是混凝土结构中的典型 D 区, 也是病害较多的区域, 而目前针对齿板这类应力复杂区域的设计多依赖经验进行, 我国桥梁设计规范还没有相应的分析方法和设计理论。而在桁架模型基础上发展而来的拉压杆模型法被广泛认为是 D 区尺寸拟定和配筋设计的有力工具。

2 齿板锚固区内的局部作用效应

齿板锚固区内的受力比较复杂, 预加力在齿板内的扩散效应, 锚头偏心引起的弯曲效应, 预加力作用下齿板与腹板和底板(顶板)交接面的水平剪切效应以及齿板内力筋弯曲段的径向力效应均可能引起齿板开裂, 通过分析应力等值线(见图 1), 去除量值较小的部分, 将拉应力的集中分布区域及其产生原因归结于 7 种局部作用效应, 分别是: a. 齿板锚下拉应力区, 起因于锚下劈裂效应; b. 齿块与底板交接处的拉应力区, 起因于牛腿效应; c. 锚后拉应力区, 起因于锚后牵拉效应; d. 底板下缘拉应力区, 起因于局部弯曲效应; e. 预应力孔道弯曲段附近拉应力区, 起因于径向力效应; f. 齿块前方底板内的拉应力区, 起因于预加力在底板内扩散的劈裂效应; g. 齿块与底板交界面附近的拉应力区, 起因于水平剪切效应。

[收稿日期] 2010-02-02

[作者简介] 张向群(1977-), 男, 江苏盐城市人, 工程师, 主要研究方向为大跨径桥梁工程施工; E-mail: wind_zzz@sina.com

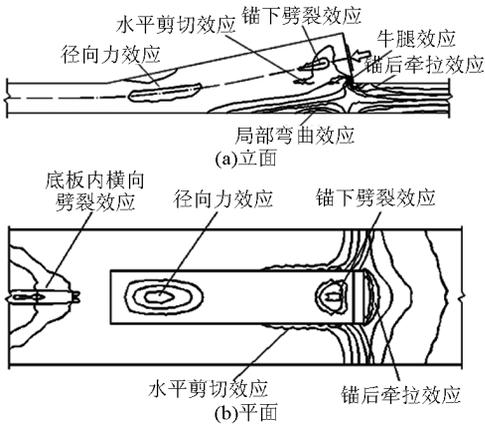


图1 齿板内主拉应力等值线

Fig.1 Contours of principal tensile stress in the tooth plate anchorage zone

可由图2进一步通过齿板内的隔离体受力平衡揭示这7种局部作用效应。

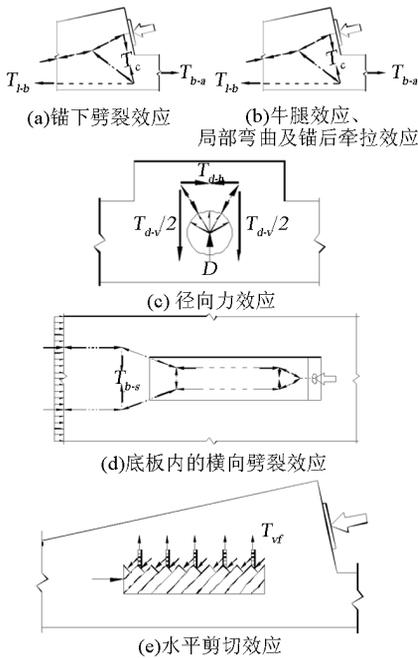


图2 齿板内的7种局部作用效应

Fig.2 Seven classical tension stress distributions in the tooth plate anchorage zone

3 齿板锚固区拉压杆模型

拉压杆模型是从连续体内抽象出的离散桁架模型,由压杆、拉杆和节点组成,用以反映结构内部的传力机制。拉压杆模型中压杆代表受压混凝土的作用,拉杆主要由钢筋来承担,拉压应力场的交汇区则由节点模拟。拉压杆模型的基本构形一般需借助于有限元分析得到的结构内部的应力迹线,按照杆件中心尽量与应力迹线重合的准则来确定。以应力迹线为基

准的构形方法可减少结构在受力过程中的应力重分布,并保证钢筋配置在裂缝最可能出现的区域。

由齿板锚固区内的应力迹线分布图可知(见图3),预加力同时在齿板立面和平面内扩散,严格意义上讲,需建立空间拉压杆模型以反映预加力在齿板内的传力机制,然而,空间拉压杆模型相对复杂,拉压杆模型的基本构形不易确定,为简化建模,将齿板锚固区的拉压杆模型分解为:预加力从齿块向底板内传递的拉压杆模型、预加力在底板内扩散的拉压杆模型以及径向区横向拉压杆模型等。经过一系列演进步骤,最终形成齿板锚固区的精细化拉压杆模型,如图4所示。为进一步说明精细化拉压杆模型的合理性,将局部作用效应与拉压杆构形间

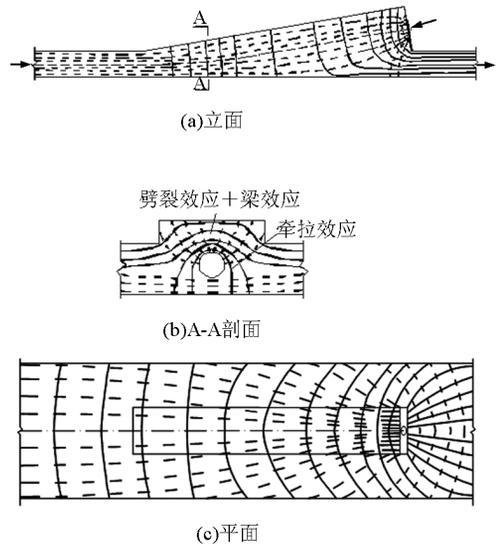


图3 齿板锚固区的主应力迹线

Fig.3 Principal stress trajectories in the tooth plate anchorage zone

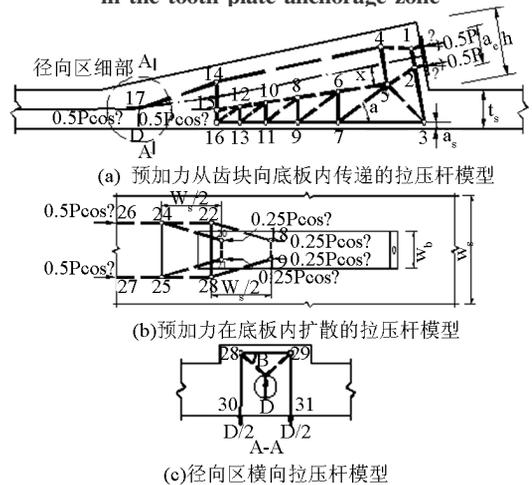


图4 齿板锚固区拉压杆模型

Fig.4 Strut-and-tie theory in the tooth plate anchorage zone

的对应关系列于表1,从表1可以看出,以上提出的拉压杆构形与齿板锚固区内的局部作用效应一一对应,若以此模型为依据进行配筋设计,可保证齿板内易开裂的区域均可得到配筋的加强。

4 齿板锚固区配筋计算方法

4.1 配筋量的计算方法

齿板锚固区拉压杆模型的确定是配筋设计的基础,抗裂钢筋的配筋数量由对应的拉压杆模型中拉杆内力控制。参照 AASHTO (LRFD2004) 等设计规范的建议,按照承载能力极限状态进行齿板锚固区的配筋设计,抗裂钢筋所需配筋量可计算如下:

$$A_s = T/\phi f_y \quad (1)$$

式(1)中: A_s 为需配的钢筋面积; T 为拉杆内力设计值; ϕ 为强度折减系数; f_y 为钢筋屈服强度。

由式(1)可知,局部作用效应引起拉力的是影响配筋量计算的主要因素。根据有限元分析得到的应力迹线构建出的拉压杆模型,能够反映齿板的主要受力情况,该模型是静定结构,根据平衡条件可求出各杆件的内力。根据拉压杆模型中节点力的平衡

条件以及模型几何关系,结合表1,可给出齿板不同区域内,抵抗局部作用效应的抗裂钢筋应承担拉力的大小,从而可计算出所需钢筋。

表1 局部作用效应与拉压杆构形的对应关系

Table 1 Corresponding relationship between local action - effect and Strut - and - tie configuration

局部作用效应	拉压杆构形
锚下劈裂效应	拉杆 4 - 5
牛腿效应	拉杆 2 - 3
局部弯曲效应	拉杆 3 - 7
孔道上方劈裂效应 + 梁效应	拉杆 28 - 29
径向力效应	孔道两侧牵拉效应
效应	底板内的横向劈裂效应
	拉杆 18 - 20 及 19 - 21
	拉杆 28 - 30 及 29 - 31
水平剪切效应	桁架模型内的拉杆腹杆及拉杆 14 - 15

4.2 抗裂钢筋布置

齿板内力筋弯曲段采用竖向箍筋抵抗预应力径向力作用。布置水平向和竖向箍筋,形成正交的钢筋网以抵抗锚下爆裂力以及水平剪力的作用。两个方向的箍筋均应伸入腹板和底板内锚固,并保证有足够的锚固长度,布筋方式见图5。

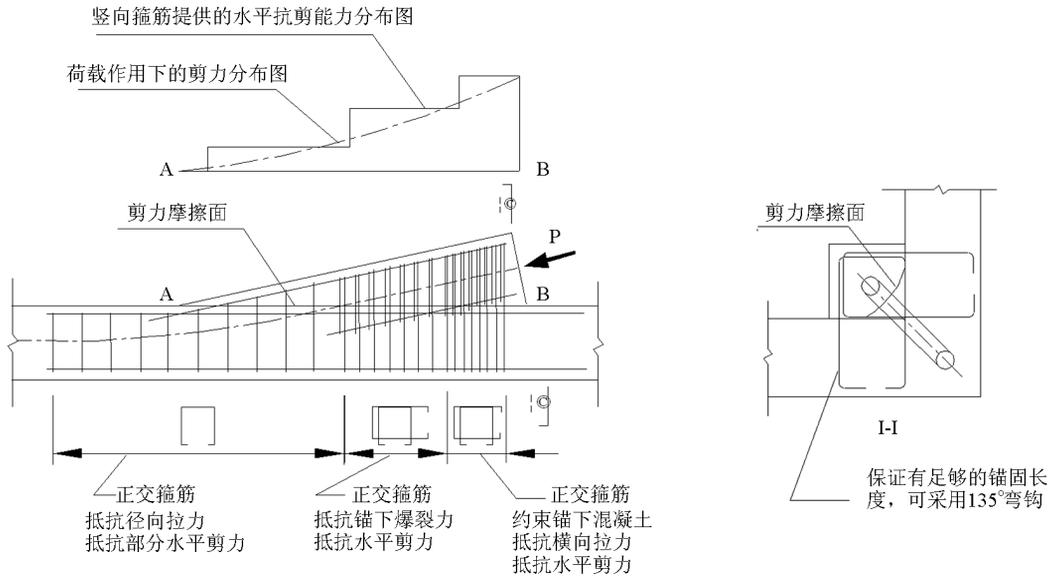


图5 齿板锚固区钢筋布置示意图

Fig. 5 Reinforcement layout diagram in the tooth plate anchorage zone

5 结语

预应力梁桥齿板锚固区作用有较大的锚固集中力,锚具前方和后方均可能出现拉应力,并且,钢束由底板进入齿板锚固时,局部弯曲部位也将有径向

力作用。同时,齿板区域几何形状上不连续性使得该区域的应力分布规律十分复杂,目前我国桥梁设计规范没有确定的设计理论与方法。应用拉压杆模型进行抗裂设计为解决齿板锚固区配筋设计提供了一种可能,值得广大科技工作者进一步探讨。

The new design method of the reinforcing bars in the prestressed anchorage plates

Zhang Xiangqun¹, Lin bo², Liu Zhao²

(1. Jiangsu Provincial Yangtze River Highway Bridge Construction Commanding Department, Taizhou, Jiangsu 225321, China; 2. Southeast University, Nanjing 210096, China)

[**Abstract**] The tooth plate anchorage zones of the prestressed concrete girder bridge bear the anchorage forces and radial forces of prestressed bars and are easy to form cracks or break due to discontinuities in geometry. So the designs of anti-crack bars are critically important. Seven classical tension stress distributions are described in this paper and a model based on strut-and-tie bar theory is constructed to form a novel design method for the prestressed bar design in the anchorage plates.

[**Key words**] tooth plate anchorage zone; D region (discontinuity or disturbance region); strut-and-tie model

(上接 42 页)

Structure style selection and key structural design of herringbone steel middle pylon of three-pylon suspension bridge

Hua Xin, Han Dazhang, Zhou Yanfeng, Xu Ruifeng

(Jiangsu Communication Planning and Design Institute Co., Ltd., Nanjing 210005, China)

[**Abstract**] The total stiffness of a three-pylon suspension bridge is relatively small. The middle pylon structure of a three-pylon suspension bridge has great influence on the mechanical behavior of the whole bridge. The contradiction between the slip factor of main cable on the top of pylon and the ratios of the deflection to span of the bridge needs to be solved. Based on the analysis of the characteristics and structural behavior of middle pylon of Taizhou Bridge, structure selection of the pylon is done and longitudinal herringbone steel pylon is taken. The structure design of steel pylon and process with key structures, which include weld design for thick plates, structure dispose of branching nodes, connection type between the bottom of steel pylon and concrete bearing platform are introduced. The longitudinal blocking partition design based on crane capacity is also introduced.

[**Key words**] three-pylon suspension bridge; steel middle pylon; structure style selection; key structural design