

文章编号:1671-6833(2010)01-0034-06

## 混凝土 T 梁横隔板合理截面尺寸数值分析

唐先习<sup>1,2</sup>, 徐 岳<sup>1</sup>

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050)

**摘 要:** 为研究混凝土 T 梁桥横隔板合理的厚度和高度, 建立了 56 组混凝土简支 T 梁 ANSYS 有限元数值模型, 对每组模型进行了施加中载和边载的受力性能分析. 分析结果表明, 当横隔板高度在肋板高度的 54%~81% 之间, 且横隔板厚度不超过 20 cm 时, 主梁跨中挠度、主梁跨中钢筋最大纵向拉应力以及中横隔板跨中板底钢筋横向拉应力均达到了较为适宜的值. 因此, 横隔板高度的合理值应在肋板高度的 54%~81% 之间, 厚度合理值应在 12 cm~20 cm 之间, 在以上范围内, 具体取值应根据工程实际情况而定.

**关键词:** 桥梁工程; 混凝土 T 梁; 横隔板; 合理截面尺寸; 挠度; 钢筋拉应力

**中图分类号:** U443.37 **文献标识码:** A

### 0 引言

在混凝土梁桥中, 横隔板在加强桥梁的横向联系、保证桥梁的整体性方面起着至关重要的作用. 适宜的横隔板设置, 不但可以提高桥梁结构的横向刚度, 使桥梁结构的荷载横向分布趋于更加合理, 还可以有效地防止桥梁由于横向联系的薄弱而引起的一些病害. 但是, 横隔板适宜的构造参数尚在研究之中, 实际应用中也并没有统一明确的标准. 因此, 应加强横隔板合理构造参数的研究, 以便在今后的应用中取得良好的效果.

目前, 国内外专家进行了一些相关方面的研究. 比如 C. S. Cai 等研究了设置横隔板的作用<sup>[1]</sup>; 吕玉匣等研究了横隔板设置数量及间距对主梁受力的影响规律, 并且讨论分析了横隔板数量及间距的合理值<sup>[2]</sup>; Tanya Green 等研究了中横隔板的设置对主梁刚度和最大挠度值的影响, 内容主要包括: ① 中横隔板与主梁的不同交角对主梁刚度的影响; ② 中横隔板和温差、支座刚度对主梁刚度的综合影响等<sup>[3]</sup>. R. B. Fleischman 则对预制混凝土横隔板抗剪钢筋的配筋量进行了研究<sup>[4]</sup>. 但以上的研究和分析均未涉及到横隔板本身的厚度和高度, 而且在实际的工程应用中也没有这一方面的较详细的规定, 因此, 对横隔板本身

的截面构造尺寸展开研究是十分必要的.

### 1 数值分析目的及模型

#### 1.1 数值分析目的

笔者主要对某一跨径不同横隔板高度和厚度的钢筋混凝土 T 梁进行模拟, 通过对主梁跨中挠度、主梁跨中钢筋最大纵向拉应力、横隔板中部板底钢筋横向拉应力等一系列数值的分析, 研究确定在汽车荷载作用下钢筋混凝土 T 梁适宜的横隔板高度和厚度.

#### 1.2 数值分析模型

##### 1.2.1 有限元模型

有限元模型采用某钢筋混凝土简支 T 梁的实桥模型(见图 1), 桥跨 16 m, 5 片梁组合的结构形式, 主梁采用桥梁厂预制桥上安装的施工方式, 梁与梁之间采用湿接缝连接. 混凝土标号为 C40, 钢筋采用 HRB335 普通热轧钢筋. 数值分析软件采用 ANSYS 这一通用的有限元分析软件, 梁体混凝土采用三维实体单元 Solid65 进行模拟, 钢筋采用整体式建模形式, 在三维空间的不同方向设置钢筋的角度、配筋率等参数. 模型配筋率采用原桥梁设计的配筋率, 考虑到梁体不同部位的配筋率不同, 分块进行配筋率的设置.

收稿日期: 2009-08-17; 修订日期: 2009-10-20

基金项目: 国家西部交通建设科技项目(200631822302-04)

作者简介: 唐先习(1972-), 男, 山东济宁人, 讲师, 博士研究生, 主要从事混凝土桥梁耐久性的研究; E-mail: txx9999@163.com.

### 1.2.2 有限元分析荷载施加

对于汽车荷载,按照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2004)<sup>[5]</sup>,采用公路-I级汽车荷载的车道荷载,车道荷载按3.0 m的宽度布设,集中荷载采用222.16 kN,分布荷载采用10.5 kN/m.加载分为中载和边载两种形式,考虑到模型的对称性,加载时采用半跨的1/2模型,加中载时采用半跨半幅的1/4模型.

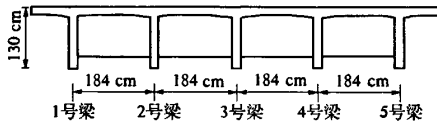


图1 计算模型横断面图

Fig.1 Cross-section of calculation model

### 1.2.3 数值分析模型中横隔板尺寸的确定

对于横隔板的厚度和高度,规范中没有明确的规定,文献[6]提到适宜的横隔板厚度为12~16 cm,适宜的横隔板高度为主梁高度的3/4左右.本次模拟中横隔板的厚度取值范围为10~24 cm,间隔为2 cm,共取8种横隔板厚度;横隔板的高度取值范围为15~105 cm,间隔为15 cm,共取7种横隔板高度,各种参数交叉进行,共进行56组数值模拟,每组又分为施加中载和施加边载两种情况.

## 2 数值模拟结果分析

### 2.1 主梁跨中挠度

#### 2.1.1 中载时主梁跨中挠度

在直线梁桥中,通过各主梁横向的挠度关系来确定荷载横向分布规律,引起的误差是很小的,特别是对于分布荷载而并非一个集中荷载,那么这种误差就会更小<sup>[6]</sup>.因此,此模型分析的跨中挠度也可以反映荷载的横向分布规律.

由图2~4可以看出,不同厚度和高度的横隔板在中载作用下的挠度及挠度差主要分为两个阶段.

(1)横隔板高15~75 cm阶段.在这一阶段,随着横隔板高度的不断增加,中梁(3号梁)跨中挠度不断减小,各主梁之间的挠度差也不断减小,但同一高度、不同厚度横隔板之间的主梁挠度差值逐渐加大.中梁跨中挠度不断减小,各主梁之间的挠度差不断减小,说明随着横隔板高度的增加,桥梁结构的横向刚度逐渐增大,荷载的横向分布也逐渐趋于刚性横梁的荷载分布方式;同一高度、不同厚度横隔板的中梁挠度差的增大和各主梁之

间挠度差之差的增大,说明随着横隔板高度的增加,横隔板厚度对增加桥梁结构横向刚度及对荷载横向分布的作用效果越来越明显.

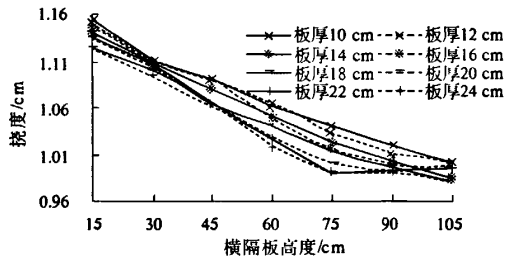


图2 中载时中梁跨中挠度

Fig.2 Mid span deflection of center

girder under center load

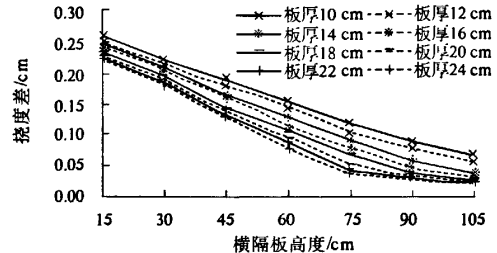


图3 中载时1号梁与2号梁跨中挠度差

Fig.3 Differences of mid span deflection between

girder no.1 and no.2 under center load

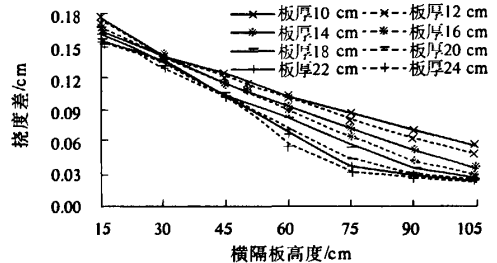


图4 中载时2号梁与3号梁跨中挠度差

Fig.4 Differences of mid span deflection between

girder no.2 and no.3 under center load

(2)横隔板高75~105 cm阶段.在这一阶段,随着横隔板高度的增加,中梁跨中挠度减小速度减缓,横隔板越厚减缓趋势越明显,横隔板厚22~24 cm时中梁跨中挠度甚至出现增大的趋势.随着横隔板高度的增加,各主梁之间挠度差减小速度也减缓,横隔板越厚减缓趋势越明显.说明在这一阶段内,增加横隔板的高度,对提高桥梁结构的横向刚度作用已经不大,而且增加横隔板的厚度对提高桥梁结构横向刚度的作用也逐渐降低,因此,此阶段增加横隔板的高度和厚度,对荷载横向分布的影响已不明显.

### 2.1.2 边载时主梁跨中挠度

选取1号梁跨中挠度,1、2号梁,3、4号梁,4、5号梁跨中挠度差进行分析。

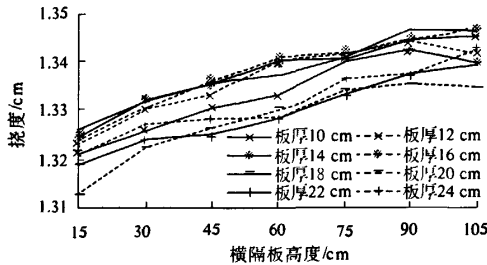


图5 边载时1号梁跨中挠度图

Fig. 5 Mid span deflection of girder no. 1 under side load

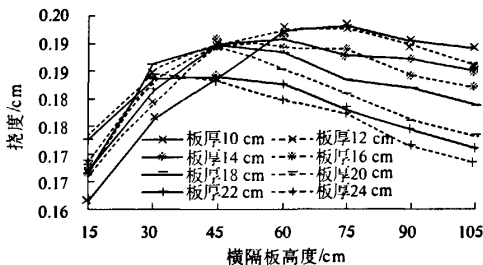


图6 边载时1、2号梁跨中挠度差

Fig. 6 Differences of mid span deflection between girder no. 1 and no. 2 under side load

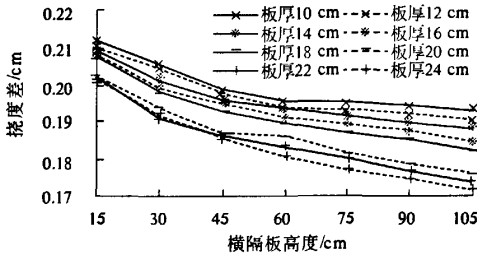


图7 边载时3、4号梁跨中挠度差

Fig. 7 Differences of mid span deflection between girder no. 2 and no. 3 under side load

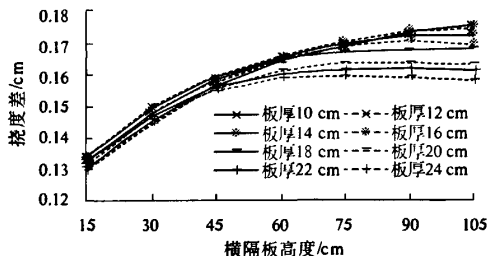


图8 边载时4、5号梁跨中挠度差

Fig. 8 Differences of mid span deflection between girder no. 4 and no. 5 under side load

由图5~8可以看出,不同厚度和高度的横隔板在边载作用下的挠度及挠度差主要分为两个阶段。

(1)横隔板高15~75 cm阶段。在这一阶段,随着横隔板高度的增加,施加荷载的1号边梁挠度有增大的趋势,这主要是增加横隔板高度导致桥梁结构自重增加,同时桥梁结构横向刚度增大对边梁影响相对较小所致。增加横隔板厚度导致1号边梁的挠度变化不大,并且挠度的增加与横隔板厚度增加未成一定的线性比例关系。1、2号梁之间的挠度差在横隔板高15~30 cm时呈增大趋势;在30~75 cm之间,不同横隔板厚度的主梁挠度差或增长缓慢,或呈减小趋势,横隔板厚度对主梁挠度差的影响呈现出一定的规律性,并且随厚度增加影响逐渐加大。3、4号梁之间的挠度差随横隔板高度增加呈减小趋势,同时随板高增加板厚对主梁挠度差的影响效果逐渐增加。4、5号梁之间的挠度差随板高增加呈增大趋势,主要由于偏载和桥梁刚度增大的双重影响造成的,随板高增加板厚对挠度的影响效果逐渐增加。总之,在此阶段内,板高和板厚的增加都对主梁的挠度及挠度差产生影响,主要趋势是桥梁横向刚度增大,荷载横向分布趋于刚性横梁的荷载分布方式。

(2)横隔板高75~105 cm。在这一阶段,随着横隔板高度增加,1号边梁挠度增加的趋势减缓,1、2号梁跨中挠度差呈减小趋势,2、3号梁跨中挠度差减小趋势减缓,4、5号梁跨中挠度差增大趋势减缓,在这一阶段,横隔板厚度对主梁挠度的变化影响较小。总体来讲,此阶段板高和板厚的增加对桥梁横向刚度和荷载横向分布的影响都较小。

## 2.2 主梁跨中钢筋最大纵向拉应力

### 2.2.1 中载时主梁跨中钢筋最大纵向拉应力

中载时主梁跨中钢筋最大拉应力,选取1号梁和中梁(3号梁)进行分析,分析主要分两个阶段进行(见图9、10)。

(1)横隔板高15~90 cm阶段。在这一阶段,随着横隔板高度的增加,中梁跨中钢筋最大纵向拉应力逐渐减小,到横隔板高60 cm时较厚横隔板(板厚20~24 cm)的中梁拉应力就达到极小值,到横隔板高90 cm时拉应力全部达到最小值。1号梁的跨中拉应力一直呈上升趋势,横隔板厚度对拉应力上升幅度略有影响。

(2)横隔板高90~105 cm阶段。随着横隔板高度的增加,1、3号主梁的跨中钢筋最大纵向拉应力同时呈增大趋势。

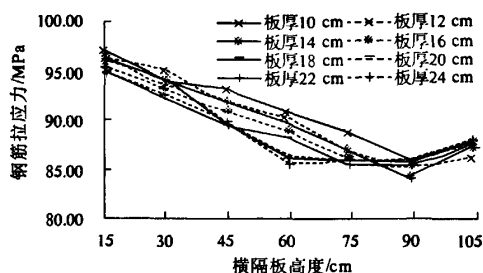


图9 中载时中梁跨中钢筋最大纵向拉应力

Fig. 9 Maximum reinforcement longitudinal tensile stress in the mid span of center girder under center load

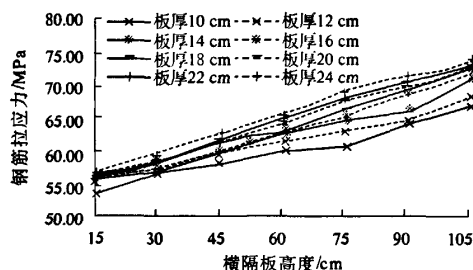


图10 中载时1号梁跨中钢筋最大纵向拉应力

Fig. 10 Maximum reinforcement longitudinal tensile stress in the mid span of girder no. 1 under center load

## 2.2.2 边载时主梁跨中钢筋最大纵向拉应力

边载时主梁跨中钢筋最大纵向拉应力,选取1、5号梁分析,主要分两个阶段进行(见图11、12)。

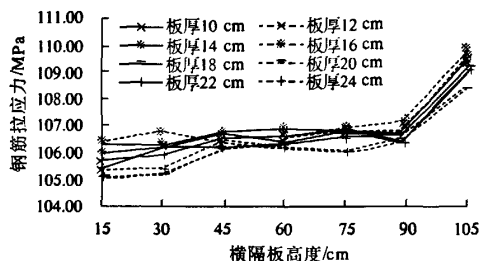


图11 边载时1号梁跨中钢筋最大纵向拉应力

Fig. 11 Maximum reinforcement longitudinal tensile stress in the mid span of girder no. 1 under side load

(1)横隔板高15~90 cm阶段。随着横隔板高度的增加,1、5号梁跨中钢筋最大纵向拉应力逐渐增大;1号梁的增加幅度非常小,最大增加值为0.78 MPa;5号梁的增加值较大,其最大增加值为横隔板厚24 cm的增加值,达3.39 MPa,横隔板厚度对5号梁的跨中钢筋最大拉应力影响

最大。

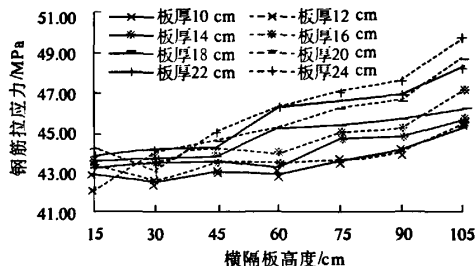


图12 边载时5号梁跨中钢筋最大纵向拉应力

Fig. 12 Maximum reinforcement longitudinal tensile stress in the mid span of girder no. 5 under side load

(2)横隔板高90~105 cm阶段。随着横隔板高度的升高,1、5号主梁的跨中钢筋最大纵向拉应力同时呈增大趋势,其中1号梁增幅较大,最大增幅为横隔板厚24 cm时主梁的增幅,达2.8 MPa。

## 2.3 中横隔板跨中板底钢筋横向拉应力

## 2.3.1 中载时中横隔板跨中板底钢筋横向拉应力

中载时中横隔板跨中板底钢筋横向拉应力,分三个阶段进行分析(见图13、14)。

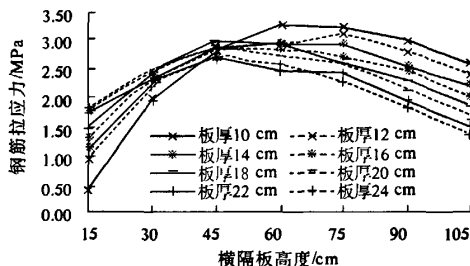


图13 中载时1、2号梁之间横隔板跨中板底钢筋横向拉应力

Fig. 13 Transverse tensile stress of reinforcements at the bottom of diaphragm central position between girder no. 1 and no. 2 under center load

(1)横隔板高15~30 cm阶段。随着横隔板高度的增加,1、2号梁之间中横隔板跨中板底钢筋拉应力增大,板厚对拉应力的影响减小;2、3号梁之间中横隔板跨中板底钢筋拉应力略有增加,因为此时混凝土已开裂,钢筋拉应力值较大,最大值已达50.1 MPa。

(2)横隔板高30~75 cm阶段。随着横隔板高度的增加,1、2号梁之间各厚度的横隔板跨中板底拉应力陆续达到最大值,然后逐渐减小。2、3号梁之间不同厚度的横隔板跨中板底拉应力由于处在板底混凝土开裂的阶段,数值变化较大。

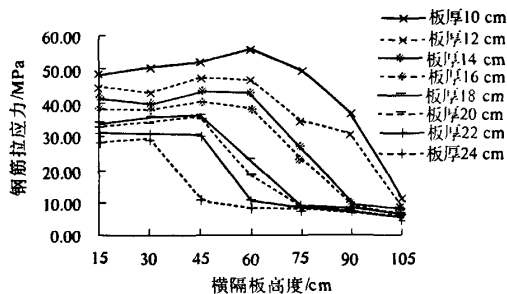


图 14 中载时 2、3 号梁之间横隔板跨中板底

钢筋横向拉应力

Fig. 14 Transverse tensile stress of reinforcements at the bottom of diaphragm central position between girder no. 2 and no. 3 under center load

(3) 横隔板高 75 ~ 105 cm 阶段。随着横隔板高度的增加, 1、2 号梁之间各厚度的横隔板跨中板底钢筋拉应力逐渐减小, 2、3 号梁之间厚度较大的横隔板已到未开裂阶段, 钢筋拉应力略有下降, 厚度较小的横隔板仍处在板底混凝土开裂阶段, 数值变化较大。

### 2.3.2 边载时中横隔板跨中板底钢筋横向拉应力

边载时中横隔板跨中板底钢筋横向拉应力, 选取 1、2 号梁之间和 4、5 号梁之间横隔板进行分析, 主要分两个阶段进行 (见图 15、16)。

(1) 横隔板高 15 ~ 30 cm 阶段。随着横隔板高度的增加, 1、2 号梁之间横隔板跨中板底拉应力下降较大, 板厚小的比板厚大的下降幅度大, 4、5 号梁之间横隔板压应力变化较复杂, 板厚小的压应力增大, 板厚大的压应力减小。

(2) 横隔板高 30 ~ 105 cm 阶段。随着横隔板高度的增加, 1、2 号梁之间横隔板跨中板底钢筋拉

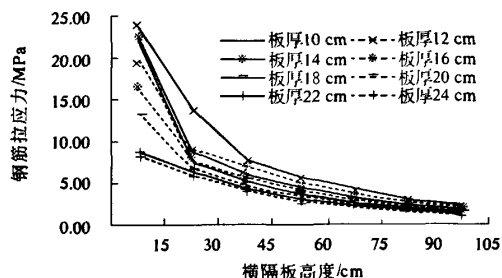


图 15 边载时 1、2 号梁之间横隔板跨中板底

钢筋横向拉应力

Fig. 15 Transverse tensile stress of reinforcements at the bottom of diaphragm central position between girder no. 1 and no. 2 under side load

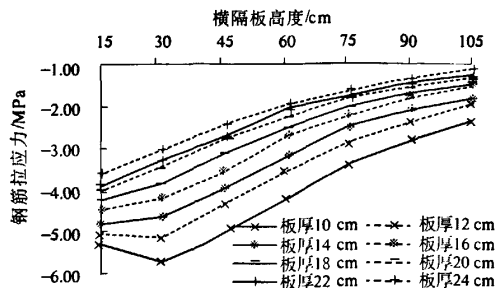


图 16 边载时 4、5 号梁之间横隔板跨中板底

钢筋横向压应力

Fig. 16 Transverse tensile stress of reinforcements at the bottom of diaphragm central position between girder no. 4 and no. 5 under side load

应力和 4、5 号梁之间横隔板跨中板底钢筋压应力均下降, 厚度小的下降幅度大, 厚度大的下降幅度小。板厚对板底钢筋拉应力的影响值逐渐减小。

## 3 结语

(1) 变更横隔板的高度对主梁挠度的影响较大, 当横隔板高度达到 75 cm (肋板高度的 68%) 时, 再增加横隔板高度对主梁挠度及挠度差的影响已不明显; 同样, 当横隔板厚度大于 20 cm 时, 不同厚度横隔板的主梁挠度及挠度差值已无明显变化。因此, 从主梁挠度的变化, 也就是桥梁结构的横向刚度和荷载横向分布变化的方面分析, 当横隔板高度达到 75 cm 或厚度达到 20 cm 时, 再增加横隔板的高度和厚度已无太大意义。

(2) 当横隔板的高度在 60 ~ 90 cm (肋板高度的 54% ~ 81%) 的范围时, 中载情况下中梁跨中钢筋最大纵向拉应力降低幅度随横隔板厚度增加而减小, 当横隔板厚度大于 20 cm 时, 减小幅度最小, 此阶段是主梁跨中钢筋最大纵向拉应力达到最小的阶段。边载情况下此阶段受荷主梁的梁底钢筋拉应力变化不大。

(3) 当横隔板高度在 60 ~ 90 cm 范围时, 中载情况下 1、2 号梁之间中横隔板跨中板底钢筋拉应力处在较大阶段, 但拉应力数值较小, 混凝土尚未开裂, 2、3 号梁之间中横隔板跨中板底钢筋拉应力变化较大, 处在混凝土开裂阶段, 但横隔板大于 20 cm 时混凝土尚未开裂, 拉应力值较小。边载情况下 1、2 号梁、4、5 号梁之间中横隔板跨中板底钢筋拉压应力值均处于减小阶段。

(4) 综合以上分析, 钢筋混凝土简支 T 梁的横隔板高度在 60 ~ 90 cm (肋板高度的 54% ~ 81%) 之间为宜, 过大或过小都会对桥梁结构产

生不利的影响,横隔板的厚度以不超过 20 cm 为宜,但同时要能保证横隔板内钢筋的布置间距和钢筋的保护层厚度,所以横隔板的厚度不应过小,应不小于 12 cm. 另外,实际工程中横隔板合理高度和厚度的取值,应参考以上的取值范围,结合工程的具体情况而定.

(5)文章仅从静力方面对钢筋混凝土简支 T 梁的横隔板合理厚度和宽度进行了分析,而没有考虑桥梁的振动和混凝土疲劳等其他因素的影响,因此难免有不足之处,今后的研究应从这些方面进行加强.

#### 参考文献:

- [1] CAI C S, ARAUJO M, CHANDOLU A, et al. Diaphragm effects of prestressed concrete girder bridges: Review and Discussion [J]. Practice Periodical on Structural Design and Construction, 2007:161-167.
- [2] 吕玉匣,刘炎海. 横隔板对多主梁结构受力行为的影响分析[J]. 兰州交通大学学报:自然科学版, 2004,23(1):38-42.
- [3] TANYA G, NUR Y, ASCE F, et al. Contribution of intermediate diaphragms in enhancing precast bridge girder performance [J]. Journal of Performance of Constructed Facilities, 2004:142-146.
- [4] FLEISCHMAN R B, WAN G. Appropriate overstrength of shear reinforcement in precast concrete diaphragms [J]. Journal of Structural Engineering, 2007:1616-1626.
- [5] JTG D60—2004, 公路桥涵设计通用规范[S]. 北京:人民交通出版社, 2004.
- [6] 姚玲森. 桥梁工程[M]. 北京:人民交通出版社, 2001. 63,101-102.

## Numerical Analysis of Reasonable Diaphragm Section Size of Concrete T Girder

TANG Xian-xi<sup>1,2</sup>, XU Yue<sup>1</sup>

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. School of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** In order to study the reasonable diaphragm height and thickness of concrete T girder bridge, 56 group ANSYS finite element models of concrete simply supported girders were built, stress performance of models have been analyzed under the centre load and side load. The analysis result indicates that some aspects of girders and diaphragms stress performance achieved suitable values when the diaphragm height within limits of 54% ~ 81% of the girder rib height and the thickness of diaphragm is less than 20 cm. these aspects include: the mid span deflection of girders, the maximum longitudinal tensile stress of reinforcements in the mid span, and the transverse tensile stress of reinforcements at the bottom of intermediate diaphragm central position. Therefore, the reasonable values of diaphragm height should be taken during 54% ~ 81% of girder rib height, and the reasonable values of diaphragm thickness should be taken during 12 cm ~ 20 cm, specific values should be taken according to the practice of engineering during these ranges.

**Key words:** bridge engineering; concrete T girder; diaphragm; reasonable section size; deflection; tensile stress of reinforcement