

文章编号: 1002-0268 (2005) 09-0115-04

三滩黄河大桥 0# 块空间应力分析

韩友续

(甘肃省交通规划勘察设计院有限责任公司, 甘肃 兰州 730030)

摘要: 本文对连续刚构桥箱梁在施工阶段各工况下 0# 块顶板、底板、腹板和横隔板作了空间应力分析, 计算中计入了收缩、温度和时间效应的影响, 对不同施工方法作了对比分析, 从而获得施工过程中次应力的准确分布规律, 为 0# 块优化设计积累了经验。

关键词: 预应力混凝土; 连续刚构桥; 应力分析

中图分类号: U467.48

文献标识码: A

Analysis of 3D Stress of Santan Yellow River Bridge's Zero Segment

HAN You-xu

(Gansu Province Transportation Planning Survey & Design Institute Co.Ltd, Gansu Lanzou 730030, China)

Abstract: This paper makes a comprehensive analysis about the zero segment and the main contents are as follows: Analysis of 3D stress on the deck, web and bottom plate of the zero segment. Since shrinkage, temperature and time-dependent are considered during the calculation of 3D stress, this paper gets accurate secondary stress distribution pattern during the construction and provide a reliable foundation for optimal design of the segment.

Key words: Prestressed concrete; Continuous rigid frame bridge; Stress analysis

1 箱梁 0# 块应力分析的意义和目的

三滩黄河大桥位于甘肃省靖远县境内, 是丹东至拉萨国道主干线甘肃境内的关键工程, 桥梁全长 520m, 设计荷载为: 汽-超 20 级, 挂-120。其主桥为 78m+140m+78m 预应力混凝土连续刚构, 上部结构为单箱单室三向预应力混凝土箱梁, 跨中截面梁高 2.8m, 墩顶梁高 7.5m, 梁高沿跨径方向按二次抛物线变化。下部结构为厚 1m, 中心间距 5m 的双薄壁墩, 沉井基础。

目前国内对于连续刚构桥 0# 块应力开展的研究虽有一些成果出现, 但存在着一定的局限性, 具体为: ①只对成桥后某一种荷载组合作空间应力分析, 未对施工中各阶段荷载作跟踪计算; ②一般未对收

缩、温度等效应力作计算; ③未对各种不利荷载作比照计算, 因而不能总结出规律性的结果。有鉴于此, 本文对 0# 块空间应力分析按下述目标开展研究工作。

(1) 对 0#、1# 块在分两次浇筑完成的整个过程中作分析计算并叠加, 将收缩、温度和时间效应全部计入, 以求解出该过程中次应力的准确分布规律; 并对不同的施工方法分别作出对比计算, 以便积累资料, 为 0# 块抗裂性研究提供依据。

(2) 对 0# 块在营运中最不利荷载组合下的应力作计算, 通过提供各种不利荷载下的应力结果, 一方面可以验证复核原设计的合理性, 另一方面可为以后总结优化设计方法提供依据。

(3) 对施工中各受力阶段 0# 块在当时所有荷载作用下的应力作计算, 计算出各阶段 0# 块的应力状

收稿日期: 2005-03-07

作者简介: 韩友续 (1963-), 男, 甘肃天水人, 高级工程师, 主要研究方向为桥梁隧道工程。(hanyx@gansu-hc.com)

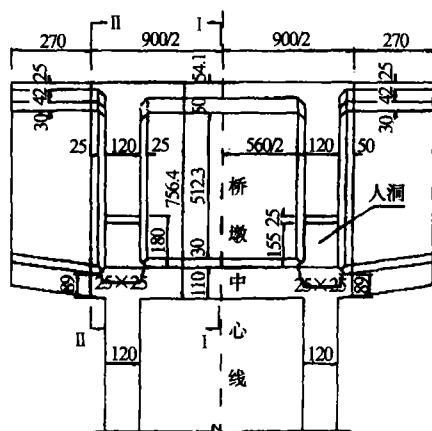
态,为优化设计和改进施工方法提供依据。

2 计算模型的建立

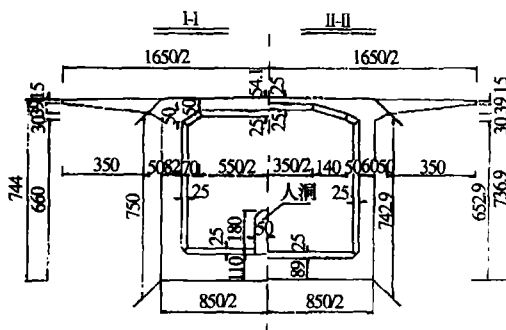
2.1 计算范围确定

0[#]块的应力状态与整个结构的各个部分都是相关联系的,严格说来,要弄清楚0[#]块的应力状态,需将全

桥划分为三维块体单元进行空间应力分析。但依据圣维南原理,0[#]块的应力分布只与其附近区域的应力状态有关;而远离0[#]块的区域中的应力状态,对0[#]块的应力分布影响很小且可忽略不计。故本文是将箱梁的0[#]块、相邻的两个1[#]块以及部分薄壁墩构成的空间实体(图1)作为研究对象,其应力分析精度可满足工程要求。



(a)纵断面

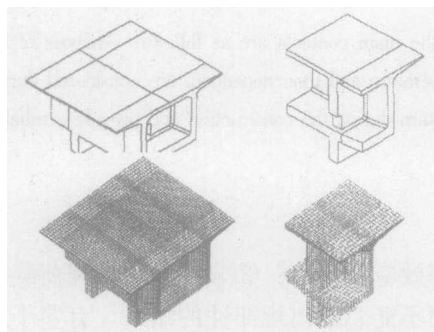


(b)横断面

图1 箱梁0[#]块构造/cm

2.2 计算模型

应力分析中采用如图2所示两种计算模型,均采用ALGOR FEA通用程序计算。



(a)全块计算模型

(b)1/4块计算模型

图2 有限元分析模型

(1) 全块模型

全块计算模型即把整个研究对象均离散为有限元网格,用于不对称荷载下的应力分析。模型剖分为22 452个三维等参数块单元和28 476个节点。该模型中0[#]块的顶板、底板,模隔板和腹板均由4层块单元构成,各单元棱长在10~30cm之间,其应力计算精度足可满足工程需要。

(2) 1/4块模型

1/4块模型即利用纵、横向对称性,在研究对象中截取1/4区域离散为有限元网格,用于对称荷载下的应力分析,网格密度与全块模型相同。其约束条件是:纵桥向对称面的纵向位移为零;横桥向对称面的

横向位移为零;墩底处受边界弹性单元的约束。

3 荷载工况和荷载的处理

3.1 0[#]块应力分析的荷载工况

为了分析0[#]块结构在整个施工、营运全过程中的最不利应力状态,共考虑了15种工况,其中,结构在施工过程中恒载、预加力、徐变、收缩的作用分为10种荷载工况;结构在使用荷载基本组合的作用分为3种荷载工况;结构在温度变化作用下,分为2种荷载工况。

3.2 0[#]块和1[#]块施工过程中的荷载

0[#]块和1[#]块是在支架上分两次浇筑完成的,历经数10d,气温发生了很大的变化,而桥墩、0[#]块下半部分、0[#]块上半部分这三部分混凝土由于龄期各不相同,期间产生的收缩变形也相差悬殊。块内顶板、底板、腹板和横隔板的边界均受到很强的约束,温度、收缩等变形不能自由发生,势必要引起较大的次应力,而在施工过程中确实也发现结构内部产生了许多裂缝。故对此体积变形引起的应力作了计算。

由于在上述过程中结构的体系发生过变化(由半块变为全块),因此应力状态亦应分两次计算后再叠加,目的是计算从0[#]块开始浇筑起第50d(此时块内发现裂缝)时块内的累计次应力。具体作法是先分成两种工况计算,其中工况1是计算从 $t=0\sim 30$ d期间(上半部分尚未浇筑)收缩、温度引起的次应力,此

时结构体系只包括桥墩、底板和腹板、横隔板的 $2/3$ 高度;工况 2 则计算 $t = 30 \sim 50\text{d}$ 期间收缩、温度引起的次应力,此时结构体系包括桥墩和 0#、1# 块全部。将工况 1 和工况 2 的应力结果进行叠加后即得到所需的总应力。上述计算中需要用到温度和收缩在此期间的变化规律,其中温度变化依据现场的实测值,而收缩应变则根据现场的试验资料取值。

3.3 悬臂浇注施工过程中 0# 块的荷载

悬浇过程中各阶段的恒载、预加力、徐变、收缩和施工荷载作用下计算 0# 块的应力状态,在这些工况中荷载效应是分为两步来处理的,首先用平面杆系有限元程序对桥梁作总体内力计算,解出各阶段 1# 块前端截面产生的弯矩、轴力和剪力;然后依据虚位移原理将截面的弯矩、轴力和剪力等效转化为截面处各单元表面的分布面力和各节点上的节点荷载,再对 0# 块作空间应力计算。0# 块和 1# 块内腹板有竖向预应力筋,顶板有横向预应力筋,横隔板内则既有竖向

预应力筋也有横向预应力筋。对此类荷载的处理方法是根据每根力筋的有效预应力 ($\sigma_y = \sigma_k - \sigma_s$) 求出单根力筋的有效预加力 P_y ,将 P_y 作用在锚具所在位置的块单元表面以面荷载的形式输入。

3.4 成桥后 0# 块在基本组合下的荷载

成桥后在基本组合荷载作用下计算 0# 块的应力状态,此时的荷载实际上是在恒载施加后的基础上,再加上活载的最不利内力所构成。

4 应力计算结果及分析

4.1 0# 块施工过程中的收缩、温度应力

将 0# 块分两次浇注过程中两阶段的次应力分别计算后叠加,得出 0# 块在施工过程中的收缩、温度应力,再绘出 0# 块顶板、底板、腹板及横隔板表面的主应力图,由于对称性,仅绘出 $1/4$ 区域的应力等值线(图 3)。因在此状态主要关心的是混凝土拉应力,故每个表面给出的是最大主应力图(以拉为正)。

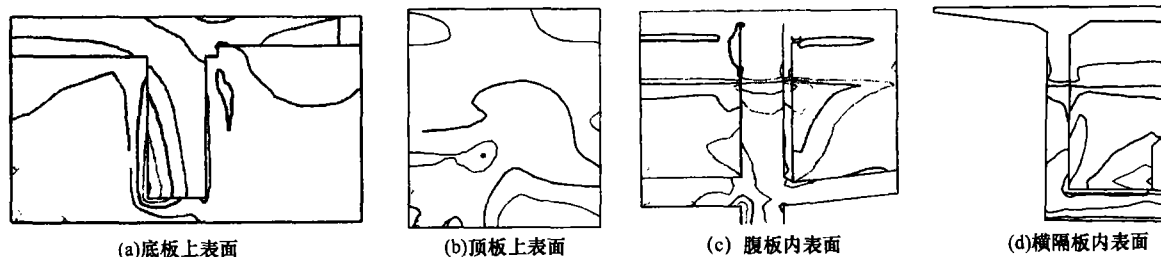


图 3 0# 块形成过程中最大主应力/ 0.1MPa

(1) 底板上表面应力分布

在底板与腹板、横隔板结合部附近区域的主拉应力可达到 $3 \sim 6\text{MPa}$,而 1# 块内底板与横隔板结合部在人洞附近的主拉应力可达到 7MPa ,上述值均已明显超过混凝土的抗拉标准强度,因此这些区域内极易出现裂缝。另外需注意的是 0# 块内底板中部一大片区域内主拉应力也达到 $2.5 \sim 3.5\text{MPa}$,也存在开裂的可能性。

(2) 顶板上表面的应力分布

整个 0# 和 1# 块顶板上表面的主拉应力值均很小,(最大不超过 1.5MPa),这主要是因为顶板是第二次浇注,且其厚度也远小于底板,当发生体积变形(收缩、温变)时受到的约束也较小,故而产生的次应力很小,不会对结构造成开裂等危害。

(3) 腹板内侧表面的应力分布

腹板主应力在两个部分的数值相差悬殊,第 2 次浇筑部分 ($2H/3$ 以上部分) 由于累计体积变形小于第 1 次浇筑部分,且受到的约束相对较弱,故主拉应力值较小,最大值不超过 2MPa 。而第一次浇筑部分

($2H/3$ 以下部分) 却因累计体积变形较大而导致应力较大。0# 块内大部分区域主拉应力在 $2.5 \sim 6\text{MPa}$ 范围内,而 1# 块内腹板主拉应力总体明显小于 0# 块内腹板,这是因为 1# 块前端面此时还是自由端,但 1# 块内腹板靠近横隔板附近处却出现了一片高应力区,特别是该区域上部(两次浇筑的施工缝附近)出现了高达 $7 \sim 8\text{MPa}$ 的主拉应力,必将导致结构开裂。

(4) 横隔板内侧面的应力分布

横隔板内侧面主拉应力分布规律与横隔板外侧面相比有很大不同。整个第 1 次浇注部分 ($2H/3$ 以下) 基本上都处于较高的拉应力状态,尤其在人洞附近的三角状区域内,主拉应力值由 6MPa 逐渐过渡至 10MPa ,因此在此区域内必然要出现收缩裂缝,并且裂缝将沿着 $45 \sim 60^\circ$ 方向朝上开展。

4.2 成桥后最不利内力组合下 0# 块的应力

成桥后 0# 块在基本组合作用下的应力状况共分为 3 种工况,即:最不利负弯矩和相应轴力、剪力;最不利轴力和相应弯矩、剪力;最不利剪力和相应弯矩、轴力。从这 3 种工况的 0# 块应力计算结果来看

相差不大,这是因为大跨径桥梁荷载效应的恒/活比较大的缘故。图4为最不利负弯矩和相应轴力、剪力

作用下(工况11)箱梁表面的最大主应力等值线图。

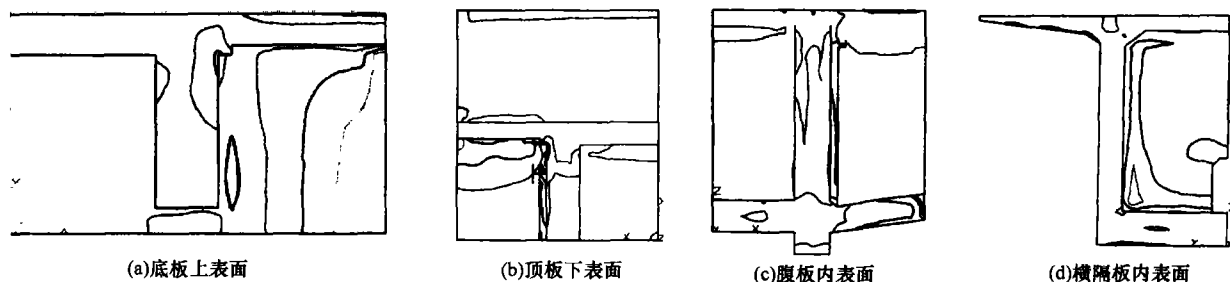


图4 使用荷载下0#块的主应力/0.1MPa

(1) 底板上表面应力分布

底板上表面横向正应力 σ_y 与最大主应力 σ_1 分布规律大致相同,数值亦大致相当,方向基本一致。在0#块内的底板拉应力较小(不超过2MPa)。另外在1#块前端面附近的底板表面出现了较大的拉应力,这是由于在模型边缘外荷载等效为节点荷载而引起的偏差,根据圣维南原理,这一数值是不真实的。

底板上表面纵向正应力 σ_x 与最小主应力 σ_3 的分布规律有所不同,但就高应力区的位置,应力值及周围的变化规律等而言却是很相近的。可以看出0#块内底板上表面的压应力较为均匀且数值在10MPa左右。而1#块底板与横隔板结合部区域压应力较大,这是因为1#块底板较薄,而且在结合部有一倾斜角的原因。

(2) 顶板下表面的应力分布

中间的T形部分是顶板与腹板,横隔板相联的部分。由图可见,顶板下表面最大主应力 σ_1 与横向正应力的分布规律相近,数值也相差不大,这说明拉应力主要是横向拉应力。箱内部分的顶板下表面基本上以受压为主,而悬臂板下表面却是受拉的,但拉应力值不大。

顶板下表面主压应力的分布规律是箱内顶板的压应力大于悬臂板,而1#块内顶板的压应力大于0#块。最大主压应力发生在1#块内顶板与横隔板结合部附近,达到10MPa。

顶板下表面各处的纵向应力均为压应力,在最不利负弯矩作用下的这一应力状况说明了结构的设计符合全预应力混凝土结构的要求。箱内顶板的纵向应力与主压应力相比,可见两者分布规律及数值基本相同,这说明箱梁内顶板下表面主压应力的方向就是纵桥向的。

(3) 腹板内表面的应力分布

0#块内腹板表面基本上不出现拉应力;1#块内

腹板表面大部分区域也不出现拉应力,但在与顶板结合部附近出现一受拉区,最大拉应力约1MPa,在与横隔板结合部附近也有一条状的受拉区,最大拉应力为2~3MPa。考虑到上述两处拉应力均发生在承托、倒角处,理论计算值往往被有所夸大,所以总的来看主拉应力对结构不构成危害。

0#块内腹板的主压应力分布规律是从上而下由小变大,过渡平缓、最大压应力约9MPa。1#块内腹板的主压应力明显大于0#块。由顶部的7MPa过渡到底部的15MPa。在1#块前端面处腹板下方出现了较高的压应力,但依据圣维南原理,这一数值是不可用的。

(4) 横隔板内表面的应力分布

横隔板内表面主拉应力的最大值发生在横隔板与底板、腹板三者交界处区域,其值达到2.5MPa,另外人洞顶部亦有2MPa的主拉应力,其它大部分区域的主拉应力值均很小。不会对结构形成危害。横隔板内表面上最大主压应力产生在横隔板与底板结合部,其值约为8MPa,其余区域的主压应力值均较小。

5 结语

(1) 对实际工程具有指导意义

按照三滩黄河大桥的施工进度安排,对该桥上部结构箱梁施工过程中,每一施工阶段0#块顶板、底板和腹板的应力作跟踪分析。通过逐阶段空间有限元计算,及时掌握0#块的应力状态,为下一施工阶段提供科学有效的防范措施。

(2) 对预应力混凝土连续刚构桥的设计提供借鉴

通过对三滩黄河大桥箱梁0#块的应力分析,今后进行预应力混凝土连续刚构桥设计时,以下两点值得借鉴:①0#块件不宜采用均匀的配筋设计,应根据应力分析结果,参考已建成的同类桥梁的病害,对出现应力集中及裂缝的薄弱部位配(下转第137页)

表4 广州市道路容量计算(标准车)

研究年份/年	旧城中心	新城中心	外围区域
2000	113010	265819	329385
2005	114560	283668	654492
2010	124564	298600	926712

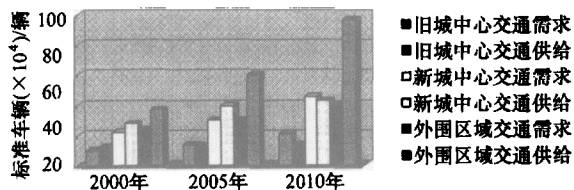


图1 广州市道路供需关系图

5 结论

(1) 交通运行状况：一般认为，饱和度 0.80 是路网交通拥挤的临界点。从理论上说，饱和度能达到 1.0，但由于路网的拓扑结构限制，以及交通流的特点，实际上交通供需之比是达不到 1.0 的。以饱和度 0.80 为评判标准，广州市 2000 年首先在旧城中心交通接近饱和；2005 年旧城中心交通更为恶化；2010 年在旧城中心和新城中心同时出现饱和。

(2) 交通拥挤原因：从表 2 可见，产生严重交通拥挤的原因主要是小客车的预测增长速度过于迅速，从 2000 年到 2010 年，小客车增加到原来的 3 倍。所以虽然机动车总量增加不大，但反映在路网的饱和度上却有剧烈变化。

(3) 交通疏解措施：值得注意的是，2010 年广州市的道路建设已经达到了最大规划路网。因此，只靠道路建设是满足不了日益增长的交通压力的，尤其

是旧城中心的交通拥挤，必须同时采取一定的交通需求管理 (TDM) 措施，才能从根本上改善和缓解广州市未来可能出现的严重交通拥挤。

(4) 后续研究建议：发展汽车工业是我国的产业政策，因此，私人小汽车进入家庭是必然的，关键是我国的城市道路建设、城市交通管理有没有做好迎接小汽车时代的准备。因此，从我国的实际情况出发，建议城市交通管理和建设者必须做好以下研究工作：私人机动车总量控制研究；城市道路建设规模研究；缓解中心区交通拥挤研究；交通需求管理研究；停车供应需求研究。

参考文献：

- [1] 任福田，等译．美国道路通行能力手册 [M]．北京：中国建筑工业出版社，1991．
- [2] 交通部公路科学研究所，东南大学，北京工业大学，等．中国公路通行能力研究 [R]．2000．
- [3] Adolf D May. Traffic Flow Fundamentals [M]．America: The Prentice-Hall, Inc, 1985．
- [4] 饭田恭敬，著，邵春福，等译．交通工程学 [M]．北京：人民交通出版社，1994．
- [5] 任福田，等编著．交通工程学导论 [M]．北京：中国建筑工业出版社，1985．
- [6] 杨佩昆，等．21 世纪上海市中心区道路交通供求模型及其应用 [R]．上海：上海市科委科技发展基金重大软科学研究项目，1995．
- [7] 杨涛．城市交通网络总体性能评价与建模 [D]．东南大学博士学位论文，1992．
- [8] 陈建凯．城市交通广义容量理论及应用研究 [D]．东南大学硕士学位论文，1997．

(上接第 118 页)

置足够的抗裂构造钢筋。②进行结构设计计算时，所取参数应根据当地自然环境及建桥材料进行必要的试验来确定，使计算结果更符合实际。

参考文献：

- [1] 范立础．预应力混凝土连续桥梁 [M]．北京：人民交通出版社，1988．
- [2] 徐岳，等．预应力混凝土连续桥梁设计 [M]．北京：人民交通出版社，2000．

- [3] 王文涛．刚构-连续组合桥梁 [M]．北京：人民交通出版社，1995．
- [4] 王勖成，邵敏．有限单元法基本原理和数值方法 [M]．北京：清华大学出版社，1997．
- [5] 崔俊芝，梁俊．现代有限元软件方法 [M]．北京：国防工业出版社，1995．
- [6] 张秀丽．桥梁 CAD 集成系统的有限元后处理子系统 [D]．上海：同济大学硕士论文，1997．