

文章编号: 0451-0712(2011)06-0090-05

中图分类号: U448.215

文献标识码: B

连续刚构 0 号块的空间应力分析

杨 进, 罗 永, 罗学成

(中交一公局桥隧工程有限公司 保定市 074000)

摘 要: 采用悬臂施工的大跨度预应力混凝土连续刚构, 因 0 号块梁段的构造和受力较为复杂, 保证它的质量与安全非常重要。以永定河大桥为工程实例, 运用 ANSYS 有限元程序建立该桥 0 号块段的局部计算模型。考虑桥梁施工、成桥以及运营阶段多种工况对 0 号梁段进行了局部受力分析。计算结果表明: 该桥梁原设计的 0 号梁段隔板与腹板、底板与交接处等位置比较薄弱, 需局部加强。

关键词: 连续梁桥; 悬臂施工; 0 号块梁段; 局部应力分析

1 工程概况

永定河大桥位于京开高速公路(辛立村收费站~市界)内。本桥跨径为 $5 \times 35 \text{ m} + 4 \times 35 \text{ m} + (35 \text{ m} + 60 \text{ m} + 35 \text{ m}) + 32 \text{ m} + 3 \times 35 \text{ m} + 5 \times 35 \text{ m}$, 跨北堤部分上部结构为 $(35 \text{ m} + 60 \text{ m} + 35 \text{ m})$ 的 3 孔预应力连续刚构箱梁, 采用挂篮悬臂施工。连续段上部结构为单箱三室变截面预应力混凝土箱梁, 梁底曲线为二次抛物线, 支点处梁高 3.0 m, 中跨跨中梁高 1.5 m, 箱底宽 12.0 m, 两侧悬臂各 2.375 m, 下部结构为 V 形墩, 钻孔灌注桩基础。

2 ANSYS 软件简介

ANSYS 软件是一个大型通用有限元分析软件, 能够进行结构、热、流体、电磁、声学等学科的研究, 广泛应用于土木工程、地质矿产、水利、铁道、汽车交通、国防军工、航天航空、船舶、机械制造、核工业、石油化工、轻工、电子、家用电器和生物医学等一般工业及科学研究。

ANSYS 软件的主要功能如下。

(1) 结构分析。结构分析是有限元分析方法最常用的一个应用领域, 其目的是要确定结构在静定或运动条件下受指定荷载、温度和约束作用时的应力和位移分布。为了保证结构能正常工作, 必须满足强度、刚度和稳定性等方面的要求, 可以说应力应变分析是结构分析的基本内容。

(2) 热分析。热分析用于计算一个系统的温度等热物理量的分布及变化情况, 基于热平衡方程。

(3) 流体动力学分析。其能够进行二维及三维的流体瞬态和稳态动力学分析。

(4) 电磁场分析。其能分析电感、电容、电场分布、磁场线分布及能量损失等电磁场问题。

(5) 声学分析等。

3 连续刚构悬臂施工 0 号块应力分析的目的和意义

采用悬臂施工的大跨度预应力混凝土连续刚构箱形梁桥, 因其施工技术经济合理、机械化程度高,

收稿日期: 2011-05-12

形式对其余上部结构受力影响较小; 随着单箱墩所占比重的增大, 跨中位移逐渐减小。

(2) 随着单箱墩所占比重的增加, 桥墩横向刚度增加, 最大双悬臂阶段及运营阶段一阶失稳系数相应提高; 最大双悬臂阶段为墩身稳定的控制阶段。

(3) 随着单箱墩所占比重的增加, 墩底在收缩

徐变、活载、温度等荷载作用下产生的顺桥向弯矩增加明显; 百年横风引起的墩底横向弯矩明显增大; 百年顺风作用下产生的墩底顺向弯矩变化不大。

(4) 高墩的合理设计应根据上部结构受力、墩身稳定及强度等方面综合考虑确定。

因此加快了桥梁施工的进度,提高了桥梁的跨越能力。墩顶0号块箱梁段作为整个上部结构悬臂施工的起点与基础,因其结构与受力复杂,施工工序环节多,施工条件差等,再加上箱梁0号块梁段具有梁体高、钢筋分布密集、管道布置集中、悬臂高空作业及大方量高强混凝土浇筑等因素,使得0号块梁段容易出现质量问题。因此,应确保箱梁0号块梁段施工质量和施工安全,避免箱梁0号块梁段在施工时出现压溃、开裂过多等影响结构安全现象,对其进行局部空间受力分析具有非常重要的意义。

4 空间应力分析基本过程

(1)进入前处理器,在前处理器中确定计算环境、进行单元定义、输入单元实常数、创建计算模型、划分单元网格(将实体模型转化为有限元模型)等操作。

(2)进入求解器,在求解器中,进行加载、求解。

(3)进入后处理器,检查计算结果,输出相应的数据、图表。

5 结构建模方法

建立工程结构有限元分析模型的主要任务是结构的离散化,一般说来,结构的有限元离散化包括三个方面的内容:结构本身的离散化,作用于结构上力系的离散化和结构边界条件的离散化。离散化的质量取决于分析人员的素质、经验和能力,必须根据分析结果的精度要求,分析所采用的计算方法和手段,综合考虑结构、力系和边界条件三方面的因素。结构离散化一般涉及单元类型的选择、组合形式的确定、单元网格的布局、单元形态的选择以及单元和节点的信息化处理等。

5.1 模型计算范围的确定

0号块的应力状态与整个结构的各个部分都是相关联的。因此,严格说来,要弄清楚0号块的应力状态,需将全桥划分为三维块体单元进行空间应力分析,显然,这是很困难的。根据弹性力学中的圣维南原理可知,0号块的应力分布只与其附近区域的应力状态有关,而远离0号块区域的应力状态对0号块的应力分布影响很小,一般可以忽略不计。所以,根据圣维南原理,只需取出0号块及其附近区域,进行空间应力分析即可满足要求。

本文将箱梁的0号块、相邻的1号、2号块(共长20.15 m)以及V形墩构成的空间实体作为研究对象。

5.2 单元类型选择

在ANSYS中系统自带了上百种单元类型,供用户进行选择,主要有杆单元、板壳单元、梁单元、块体单元等,工程中常用的单元类型及其应用如下。

(1)LINK1——二维杆件单元。主要应用于模拟桁架、连杆、弹簧等,这种二维杆单元是杆轴方向的拉压单元,每个节点有2个自由度。

(2)LINK8——三维杆件单元。主要应用在模拟桁架、缆索、连杆、弹簧等,这种三维杆单元是杆轴方向的拉压单元,每个节点有3个自由度。

(3)BEAM3——二维弹性梁单元。BEAM3是一个轴向拉压和弯曲单元,每个节点有三个自由度。

(4)BEAM4——三维弹性梁单元。是一个轴向拉压、扭转和弯曲单元。

(5)SHELL41——薄膜壳单元。是具有面内薄膜刚度,但是没有向面外的弯曲刚度的三维单元。

(6)SHELL63——弹性壳单元。有弯曲和薄膜两种功能,面内和法向荷载都允许,该单元每个节点有6个自由度。

(7)SOLID45——三维结构实体单元。用于建立三维实体结构模型,该单元由8个节点定义,每个节点有3个自由度,具有塑性、蠕变、膨胀、应变硬化、大变形、大应变等功能。

(8)SOLID65——三维钢筋混凝土实体单元,用于模拟三维有钢筋或者无钢筋的混凝土模型,该单元能够计算拉裂和压碎,该单元有8个节点定义,每个节点有3个自由度。

经过选比本设计最终采用块体单元SOLID65来模拟主梁及V墩,用LINK8来模拟预应力筋,建立分离式的空间实体模型来进行分析。具体计算模型如图1所示。

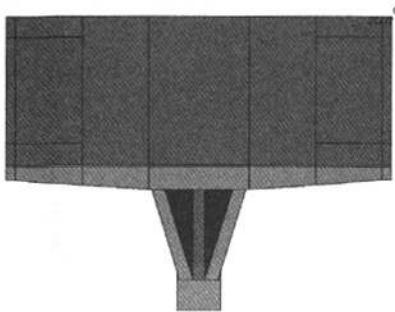


图1 ANSYS 计算模型

5.3 定义材料属性、实常数

(1)SOLID65 混凝土材料属性定义 1(箱梁混凝土)

土):密度 0.0026 kN/cm^3 、弹性模量 $3.45 \times 10^{10} \text{ Pa}$ 、泊松比 0.15;定义 2(V 墩混凝土):密度 0.0026 kN/cm^3 、弹性模量 $3.35 \times 10^{10} \text{ Pa}$ 、泊松比 0.15。

(2)LINK8 材料属性定义 3:密度 0.0078 kN/cm^3 、弹性模量 $1.95 \times 10^{11} \text{ Pa}$ 、泊松比 0.3。

(3)实常数定义 1(箱梁预应力钢筋):LINK8 的面积 0.00785 cm^2 、初应变 0.005 9;定义 2(V 墩预应力钢筋):SOLID65 配筋率 0.003 2,钢筋弯起角度 0° 。

5.4 结构离散(划分单元)

一般来说,结构离散化过程有一定的任意性,不存在定量的尺度来衡量其质量,但是由于离散化模型的质量往往决定着有限元分析的质量,因此有必要深入讨论结构离散化的某些定性的规律,以提高有限元离散化模型的质量。

本设计单元划分时考虑到计算时的复杂性,把 0 号块及 V 墩处的单元划分较细,其他部位的单元划分较粗,具体划分如图 2 所示。



图 2 ANSYS 单元划分

6 求解过程

6.1 确定边界条件

确定边界条件是建立有限元分析模型的重要一环,合理确定有限元模型的边界条件是成功进行结构有限元分析的基本要求。本设计选取主梁在 V 墩处共长 20.15 m 及 V 墩,边界条件即在 V 墩下表面设置三向约束。

6.2 荷载处理

本设计选取桥面铺装等二期恒载加载完毕及使用阶段的受力作为研究对象,其原因是在这些阶段主梁的受力最为不利。

(1)二期恒载施加完毕。

从桥梁博士计算结果中选取 15 号单元左截面、24 号单元右截面结构效应,即二期恒载加载完毕时单元左截面上的轴力、剪力、弯矩,加到所建

ANASYS 模型相应的截面上。轴力、剪力加载到截面形心处,弯矩以力矩的形式往上加载,单元自重以定义单元密度的形式来实现,预应力以对 LINK8 定义相应的初应变来模拟实现,二期恒载则是以面积压力的形式作用在结构上。

(2)使用阶段最大轴力、最大剪力、最大弯矩时荷载处理。加载方法同上。

(3)具体荷载情况如下:

工况一:二期恒载施加完毕,15 号单元左端轴力 N 为 76 300 kN,剪力 Q 为 775 kN,弯矩 W 为 $-3\,020 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 24 号单元右端轴力 N 为 79 700 kN,剪力 Q 为 $-2\,950 \text{ kN}$,弯矩为 $8\,860 \text{ kN} \cdot \text{m}$,加上结构自重、二期恒载、预应力作用。

工况二:使用阶段最大轴力,15 号单元左端轴力 N 为 93 700 kN,剪力 Q 为 315 kN,弯矩 W 为 $-15\,300 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 24 号单元右端轴力 N 为 103 000 kN,剪力 Q 为 $-5\,780 \text{ kN}$,弯矩为 $467 \text{ kN} \cdot \text{m}$,加上结构自重、二期恒载、预应力作用。

工况三:使用阶段最大剪力,15 号单元左端轴力 N 为 97 300 kN,剪力 Q 为 621 kN,弯矩 W 为 $-8\,220 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 24 号单元右端轴力 N 为 83 600 kN,剪力 Q 为 $-3\,130 \text{ kN}$,弯矩为 $14\,000 \text{ kN} \cdot \text{m}$,加上结构自重、二期恒载、预应力作用。

工况四:使用阶段最大弯矩,15 号单元左端为 $81\,100 \text{ kN}$,剪力 Q 为 431 kN,弯矩 W 为 $-5\,460 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 24 号单元右端轴力 N 为 98 200 kN,剪力 Q 为 $-3\,950 \text{ kN}$,弯矩为 $18\,500 \text{ kN} \cdot \text{m}$,加上结构自重、二期恒载、预应力作用。

7 结果分析

从计算所得结果来看,结构在成桥后,使用状态时的应力相比在二期恒载施加完成时要大。在使用状态时,三种不同工况状态时的应力计算结果相差不大,其中在最大弯矩时的应力最为不利,其原因是活载的效应相比自重效应很小,因此,在现在的结构设计,需合理选择截面形式,尽量减轻结构自重的影响。

下面详细描述 0 号块在工况四时,顶板、底板、腹板、支点横隔梁及 V 墩的主应力分布。图 3~图 12 给出了工况四结构的最大、最小主应力云图。

7.1 顶板应力分布

从顶板应力分布图中可以看出,顶板内最大主拉应力小于 0.46 MPa ,在规范允许范围内。其主压

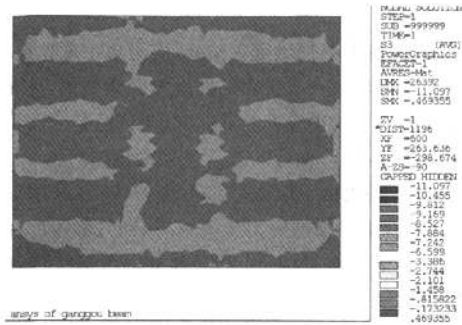


图 3 工况四顶板最小主应力云图

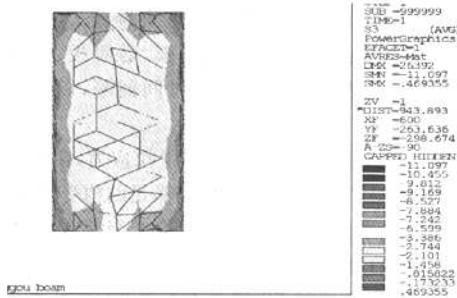


图 4 工况四底板最小主应力云图

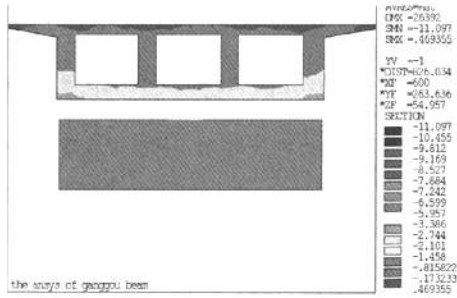


图 5 工况四腹板最小主应力云图

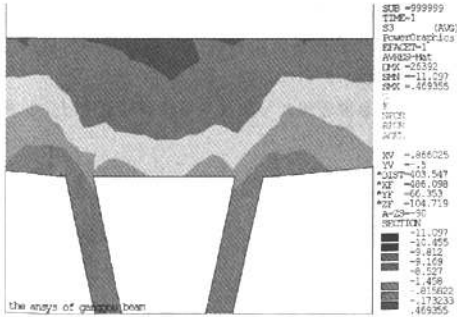


图 6 工况四 V 墩最小主应力云图

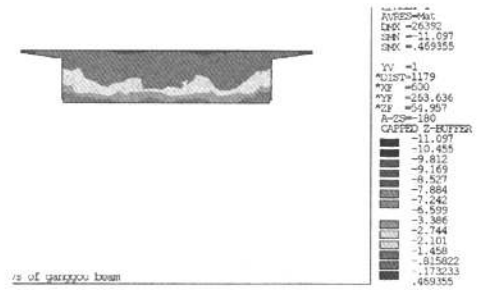


图 7 工况四横隔板最小主应力云图

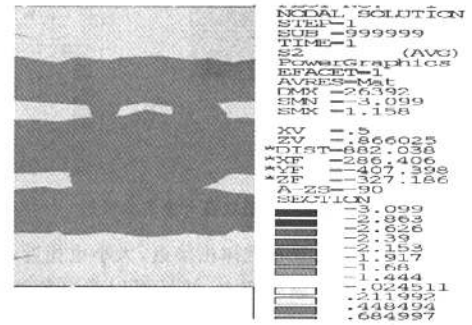


图 8 工况四顶板最大主应力云图

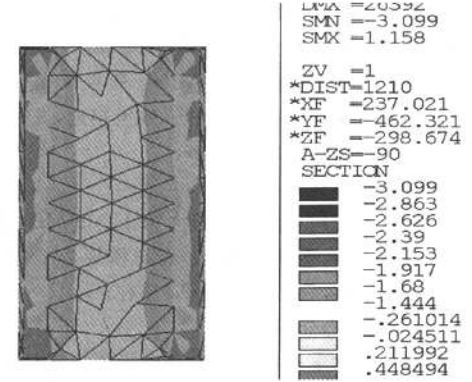


图 9 工况四底板最大主应力云图

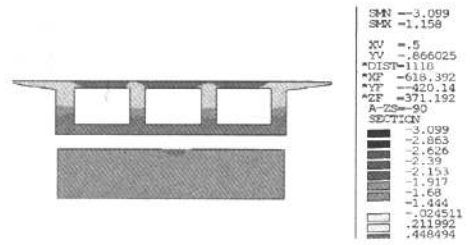


图 10 工况四腹板最大主应力云图

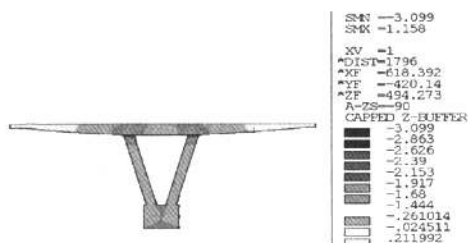


图 11 工况四 V 墩最大主应力云图

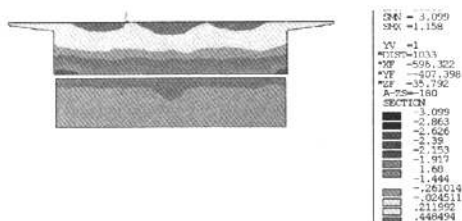


图 12 工况四横隔板最大主应力云图

应力与纵向正应力分布规律相接近,大小也相近,说明主压应力主要是纵向应力,并且可以看出各处的主压应力值最大为 2.9 MPa 左右。

7.2 腹板应力分布

腹板内主压应力的分布规律是由上至下逐渐增大,过渡较平缓,最大压应力 3.1 MPa 左右,腹板内拉应力较小,最大不超过 0.2 MPa。腹板主压应力纵向正应力的分布规律大致相同,数值相近,说明主压应力主要是纵向应力。

7.3 底板应力分布

底板内主压应力最大压应力为 11.09 MPa,发生在 V 形墩外侧墩梁固结处。而与横隔板结合处主压应力值较小,只有 3.38 MPa 左右。

7.4 横隔板应力分布

横隔板最大主压应力产生在横隔板与底板、腹板结合区域,其值不超过 3.1 MPa。

7.5 V 墩应力分布

V 墩在与主梁固结处压应力较大最大达到 7 MPa 左右,而远处存在一定的拉应力,最大拉应力不超过 0.2 MPa。

8 结语

(1) V 形墩外侧墩梁固结处,应力集中现象严重,在设计中可考虑在墩梁固结处设置圆弧倒角,且在 V 墩中布置一定的预应力筋,既可以保证墩梁之间良好的应力传递,同时也可以防止 V 墩裂缝的产生。

(2) 0 号块由于应力分布不均匀,不宜采用均匀配筋设计,最好根据应力分析结果,同时参考已建成的同类桥梁的病害,对出现应力集中的部位配置足够的抗裂筋。

(3) 由于墩梁固结,施工时的温差易引起裂缝,建议在 0 号块底板增设防裂钢筋网或设置临时预应力钢筋束,在施工过程中合理安排施工方案,最好是采取分层浇筑(先浇筑底板、后腹板、最后顶板),并减小两次浇筑之间的时间间隔,以减小温差效应。

(4) 墩梁固结, V 墩外侧产生拉应力,需按弯压构件对其配置预应力钢束,使其满足结构受力要求,施工时,主梁混凝土产生收缩、徐变会使 V 墩外侧承受一定的拉应力,施工过程中,在 V 墩钢束张拉之前对 V 墩外侧加临时体外预应力筋,使其满足受力要求,不出现裂缝。

参考文献:

- [1] 包世华. 结构力学:上册[M]. 武汉:武汉理工大学出版社,2003.
- [2] 包世华. 结构力学:下册[M]. 武汉:武汉理工大学出版社,2003.
- [3] 颜东煌. 公路桥梁电算[M]. 长沙:湖南大学出版社,1999.
- [4] 张洪信. ANSYS 有限元分析完全自学手册[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- [5] 郝文化. ANSYS 土木工程应用实例[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.
- [6] 王传素. 悬臂拼装法在城市节段桥梁中的应用[J]. 桥梁建设,1999,(2):22-25.
- [7] 戴维. 悬灌箱梁 0 号块及 1 号段裂缝整治[J]. 世界桥梁,2003,(2):70-72.