

## 斜拉桥前支点挂篮结构空间受力数值分析

马宇光

(山西省交通科学研究院, 山西 太原 030006)

**摘要:** 以某斜拉桥施工为例, 利用数值模拟方法分析采用前支点挂篮施工时各关键点的支反力、应力及挂篮结构位移。结果表明, 挂篮的变形和应力水平均保持在允许范围内, 采用前支点挂篮满足设计和使用要求, 且具有相对足够的应力和变形储备能力; 分次对斜拉索进行张拉对改善挂篮变形和受力效果明显; 随着工序的推进, 挂篮的最大变形和应力发生阶段不同, 施工期间应布置测点进行实时监控, 尤其是加强对斜拉索张拉前后挂篮关键构件的监控。

**关键词:** 桥梁; 斜拉桥; 前支点挂篮; 应力; 变形; 数值模拟

**中图分类号:** U448.27

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2019)04-0112-03

斜拉桥主梁常采用前支点挂篮施工。对于挂篮施工, 李正权等采用数值模拟方法对在地面拼装的三角挂篮进行对拉预压试验, 为合理确定箱梁悬臂浇筑中挂篮变形提供依据; 陆华良、楚发强等阐述了复合型前支点挂篮在独塔单索面斜拉桥施工中的应用。该文以某斜拉桥施工为例, 利用数值模拟方法分析采用前支点挂篮施工时各关键点的支反力、应力及挂篮结构位移, 为类似工程提供参考和借鉴。

## 1 工程概况

某主线高架桥第 16 联采用(45+70+45) m 变截面预应力砼连续箱梁, 双向六车道, 截面形式为单箱五室, 单箱顶板宽 33 m、底板宽 24~25.3 m, 桥面设 2% 双向横坡。连续箱梁采用三向预应力结构, 采用前支点挂篮悬臂浇筑法施工。0# 块节段长 12 m, 合龙段长 2 m, 其他各节段长 3~4 m。最重悬臂浇筑节段为 1# 节段, 重量为 3 556.3 kN。

挂篮由两榀主桁组成, 分别布置于箱梁两边腹板及中间腹板处, 两榀主桁的间距为 5.0 和 9.8 m, 底模平台、外模吊挂梁前后吊挂均采用精轧螺纹钢。利用竖向预应力筋作为挂篮主桁的后锚固。挂篮的承载平台为钢架结构, 同时考虑到施工中结构由挂篮、待浇筑和已浇筑梁段组成, 挂篮结构具有较强的空间性, 采用数值模拟方法分析挂篮结构的力学行为。

## 2 数值建模

### 2.1 模型建立

采用 ANSYS 有限元软件建立空间板壳单元模

型对挂篮结构进行分析, 挂篮的弧首、纵横梁和挂钩等部位采用 Shell63 单元模拟, 拱架采用 Link8 及 Pipe16 单元模拟, 中吊杆及斜拉索采用 Link10 单元模拟。局部不规格位置采用三角形单元划分, 其他位置采用四边形单元划分。图 1 为挂篮模型, 表 1 为挂篮结构构件数量及材料参数。

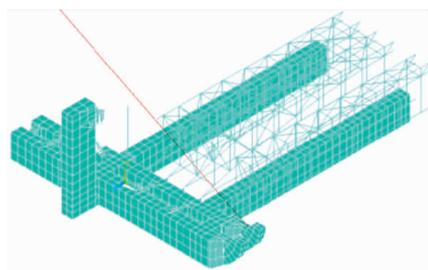


图 1 挂篮有限元分析模型

表 1 挂篮结构构件数量及材料参数

构件	材料	数量	钢板厚度/mm	重量/kg
主纵梁	16Mnq 钢	2 根	10/16	30 124.2
前横梁	16Mnq 钢	1 根	10/16	12 045.6
后横梁	16Mnq 钢	1 根	10/20	12 745.5
拱架	45# 钢	1 个	—	25 647.5
挂钩	16Mnq 钢	2 个	20/35	4 567.2
止推结构	16Mnq 钢	2 个	20/38	856.3
弧首	16Mnq 钢	2 个	20/25	8 569.1

### 2.2 荷载工况

采用分次张拉和浇筑, 共分为 7 种工况进行模拟(见表 2)。选取 2# 索与 3# 索间的节段进行各工况下受力和变形分析。

表2 挂篮施工工况

工况编号	工序
工况1	空挂篮就位
工况2	对斜拉索进行第一次张拉
工况3	砼浇筑,完成1/3浇筑量
工况4	对斜拉索进行第二次张拉
工况5	砼浇筑,完成2/3浇筑量
工况6	对斜拉索进行第三次张拉
工况7	砼浇筑,完成全部浇筑量

### 3 数值模拟结果分析

#### 3.1 各工况下支反力

各工况下后支点和中支点的竖向支反力及斜拉索索力和止推块的水平支反力(以竖向支反力向上为正,反之为负)的变化情况见图2。

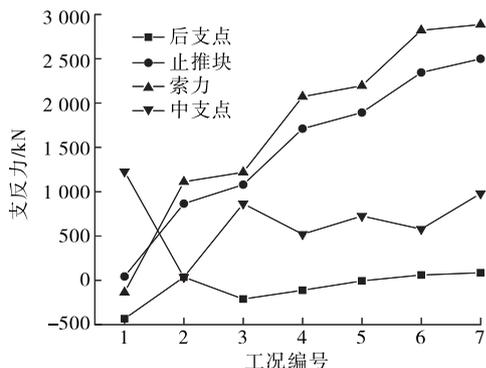


图2 各工况下支反力变化曲线

由图2可知:工况1~7下,后支点的竖向支反力分别为-456.7、52.3、-196.5、-107.6、-35.2、24.5和64.5 kN,整体来说后支点受力较小,且除个别点外,支反力方向基本向下;中支点的竖向支反力分别为1 230.5、50.7、816.3、574.5、625.2、590.6和832.8 kN,整体来说中支点受力方向均向上,从工况3开始其支反力在700 kN上下波动,且每次张拉后中支点的反力均降低;止推块的水平支反力分别为57.3、846.2、1 108.4、1 720.6、1 835.7、2 346.5和2 467.0 kN,整体来说,随着工序的推进(从工况1至工况7),其支反力呈线性增长趋势,工况1时止推块处微小的水平推力是由挂篮重心偏移所致;斜拉索索力的支反力分别为47.2、1 052.2、1 208.2、2 074.7、2 154.3、2 845.2和2 887.6 kN,整体来说,随着工序的推进,其支反力呈线性增长。综上,各点的支反力均在允许范围内。

#### 3.2 各关键位置应力

斜拉索张拉前后各关键位置即挂钩、弧首、止推块、前横梁、后横梁及主纵梁处的最大等效应力(材料在各方向上的最大应力差值)变化情况见图3。

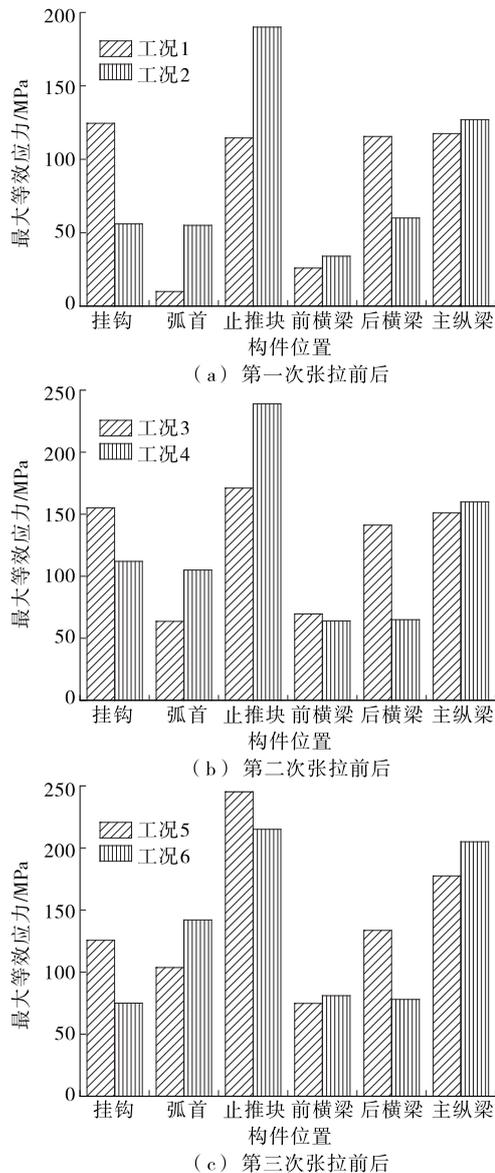


图3 斜拉索张拉前后各构件最大应力变化情况

由图3可知:工况1时,挂钩位置、弧首、止推块、前横梁、后横梁及主纵梁处的最大等效应力分别为124.6、21.3、115.6、27.5、119.8和122.4 MPa,砼浇筑前,弧首和前横梁应力较小,均小于30 MPa,而其他4个部位的应力水平较大,说明空挂篮结构局部存在应力集中。工况2时,上述位置的最大等效应力分别为57.4、56.5、186.5、31.5、60.2和125.7 MPa,止推块和弧首处最大等效应力与工况1时相比增大较多,纵梁的应力从中锚点向弧首和止推块

两端扩散,说明牵索挂篮在利用斜拉索调整自身受力上取得了显著效果。工况3时,上述位置的最大等效应力分别为158.6、62.3、174.8、68.5、142.7和150.6 MPa,由于分次浇筑砼采用前一中一后的顺序,先浇筑固定拱架和前横梁上部主梁,导致前横梁应力增大。工况4时,上述位置的最大等效应力分别为115.6、108.7、246.3、65.3、64.2和156.7 MPa。对比各工况时张拉前后应力,后横梁及挂钩处的最大应力值在张拉后减小,而止推块和弧首处表现为应力增大。每次砼浇筑后,后横梁及挂钩处的应力状况均得到改善。此外,斜拉索每次张拉的水平分力主要通过止推块传递给已浇筑主梁,也增大了主梁下缘的压应力。

采用前支点挂篮改善了中支点主挂钩的受力,也使应力由横梁向纵梁扩散,止推块的应力增大。

### 3.3 挂篮结构位移

图4为挂篮总位移云图,由于篇幅限制,仅给出工况1和工况7时的挂篮总位移。

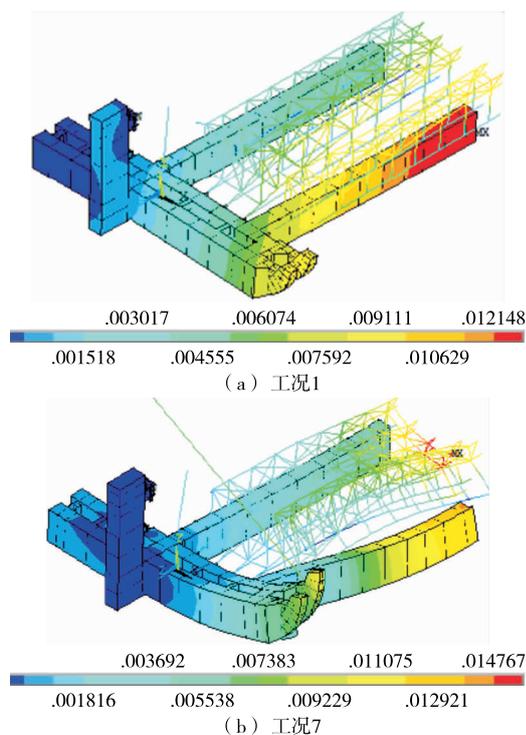


图4 挂篮总位移云图(单位:m)

由图4可知:空挂篮时,挂篮在自重作用下重心靠前,斜拉索张拉后弧首上翘,同时与弧首相连的那片固定拱架的变形增大。工况1时,弧首、前横梁、后横梁、主纵梁和拱架的位移分别为10.1、13.5、6.2、0.8和10.9 mm,工况7时上述位置的位移分别为9.8、18.2、15.4、6.3和16.9 mm。工况1、3、4、5、7

时最大位移均发生在前横梁,分别为13.5、21.3、18.2、23.6和16.9 mm;而工况2、6时最大位移发生在拱架,分别为12.0、16.4 mm。说明采用前支点挂篮施工,斜拉索张拉前后结构的最大变形有所下降,对减小前横梁的变形起到了明显作用。

综上,施工过程中挂篮的最大应力出现在止推块和挂钩处,这些部位易出现应力集中现象;前横梁跨中及拱架跨中变形最大。施工中应对挂钩、止推块等关键部位进行应力监测,对拱架和前横梁进行变形监测。

## 4 结论

该文以某斜拉桥施工为例,通过数值模拟,分析采用前支点挂篮施工时各关键点的支反力、应力及挂篮结构位移情况,得到以下结论:1)挂篮的变形和应力水平均保持在允许范围内,采用前支点挂篮施工满足设计和使用要求,且具有相对足够的应力和变形储备能力;分次对斜拉索进行张拉,对改善挂篮变形和受力效果明显。2)随着工序的推进,挂篮的最大变形和应力发生阶段不同,施工期间应布置测点进行实时监控,尤其是加强对斜拉索张拉前后挂篮关键构件的监控。

为更准确地研究挂篮细微结构的变形和应力变化规律,后期应对止推块、弧首及主挂钩等关键部位进行局部模拟分析。

## 参考文献:

- [1] 贺拴海,梅晓亮,刘鹏,等.宽幅钢箱梁斜拉桥空间行为数值分析[J].中国公路学报,2016,29(4).
- [2] 王殿伟.菱形挂篮和钢管支架的动态受力性能分析[J].铁道科学与工程学报,2016,13(4).
- [3] 李正权,陈建超,朱洪涛.三角挂篮模拟堆载预压实验研究[J].城市道桥与防洪,2012(3).
- [4] 赵楠.基于混合施工方案的独塔斜拉桥仿真分析[J].内蒙古公路与运输,2012(4).
- [5] 李正权,陈建超,朱洪涛.三角挂篮地面对拉荷载预压试验研究[J].公路交通技术,2012(3).
- [6] 韦剑.单索面斜拉桥前支点挂篮静力性能研究[D].广州:华南理工大学,2013.
- [7] 陆华良,张永峰.复合型前支点挂篮在独塔单索面斜拉桥施工中的应用[J].公路交通技术,2009(增刊).
- [8] 楚发强.独塔斜拉桥复合式牵索挂篮的设计与应用[J].河南科技,2017(3).