

# 采用后支点挂篮施工的双边箱主梁混凝土斜拉桥设计

何海

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广东 广州 510507)

**摘要:** 某大桥主桥是一座主跨250 m的三跨双塔双索面斜拉桥, 采用预应力混凝土双边箱主梁形式, 桥面宽36.5 m, 采用后支点挂篮悬浇施工, 与国内常规的采用前支点挂篮悬浇施工的双边箱混凝土斜拉桥不同, 后支点挂篮施工可减少斜拉索力调整次数, 施工监控难度较低, 且能有效节省施工工期。结合施工单位的施工机具选择不同的施工方案, 可节约工程造价。

**关键词:** 斜拉桥设计; 施工; 后支点挂篮

**中图分类号:** U442.5

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2021)02-0062-03

## 1 工程概况

斜拉桥跨越内河 I 级航道, 要求通航净宽不小于 230 m, 净高不小于 18 m, 上底宽不小于 207 m, 侧高不小于 8 m。本桥设计为(119+250+119)m 双塔双索面预应力混凝土梁斜拉桥, 边中跨比为 0.476, 全长 488 m。主桥桥型布置如图 1 所示。

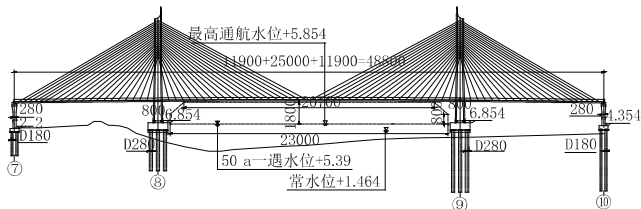


图 1 主桥桥型布置图(单位:cm)

主桥为双向六车道整体式断面, 全桥总宽 36.5 m。主梁横断面布置图如图 2 所示。

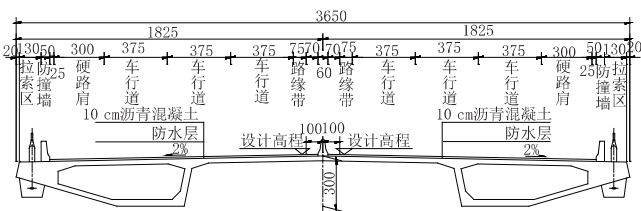


图 2 主桥横断面布置图(单位:cm)

## 2 主梁设计

主梁标准梁段采用预应力混凝土双边箱断面结构, 主梁中心高度 3 m, 全宽 36.5 m。箱宽 7.5 m, 顶板厚 30 cm, 直腹板厚 40 cm, 斜腹板厚 30 cm, 底板厚 40 cm。拉索锚梁宽 2.3 m(不含风嘴)。

收稿日期: 2020-07-17

作者简介: 何海(1974—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事设计工作。

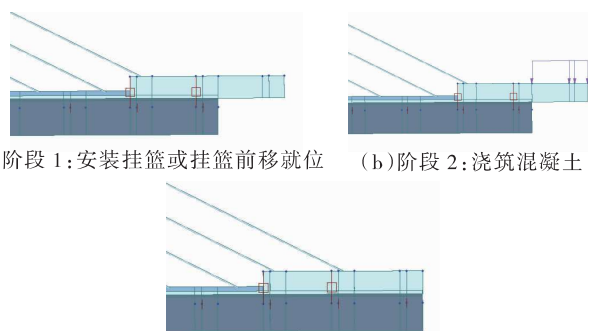
主梁边跨现浇段, 考虑配重的需要, 采用预应力混凝土单箱三室断面结构, 主梁中心高度 3 m, 全宽 36.5 m。边箱宽 7.5 m, 顶板厚 30 cm, 直腹板厚 50 cm, 斜腹板厚 45 cm, 底板厚 50 cm。

主梁采用 C60 混凝土。主梁纵向按全预应力构件设计, 横隔梁按 A 类预应力构件设计, 桥面板按普通钢筋混凝土构件设计。

## 3 主梁挂篮施工方案

斜拉桥施工大多利用斜拉桥自身在结构上的优点, 悬臂浇筑施工时选择前支点牵索式挂篮, 利用待浇梁段斜拉索和已浇梁段共同承担待浇梁段和挂篮的全部重量, 以减轻已浇梁段承担的荷载, 充分发挥斜拉索的作用。然而本桥施工单位根据已有施工机具情况及工期要求, 提出了后支点挂篮施工的方案。

本桥主梁施工方案为 0~1# 块采用支架现浇、其余标准段采用后支点挂篮悬臂现浇施工。后支点挂篮施工工艺流程如图 3 所示。



(a)阶段 1: 安装挂篮或挂篮前移就位 (b)阶段 2: 浇筑混凝土

(c)阶段 3: 张拉新浇筑节段预应力并安装斜拉索张拉锚固于主梁

图 3 后支点挂篮施工过程图

后支点挂篮布置如图4所示。

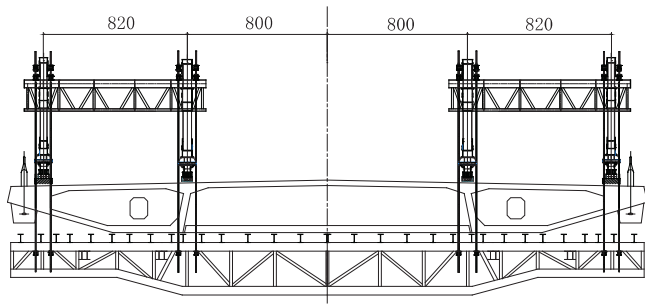


图4 后支点挂篮横向布置图(单位:cm)

后支点挂篮空载时,前锚固点反力 264.8 t(向下),后锚固点反力 -72.6 t(向上),挂篮及模板等自重 192.2 t。

挂篮满载浇筑标准梁段时,前锚固点反力 1019.9 t(向下),后锚固点反力 -317.3 t(向上)。挂篮荷载适当考虑浇筑混凝土湿重的不利影响,按 1.1 倍梁段自重考虑。

#### 4 斜拉桥总体受力分析<sup>[1]</sup>

整体计算采用空间程序 MIDAS,共建立 703 个节点,676 个单元。其中,采用 160 个索单元模拟拉索,516 个梁单元模拟主梁、桥塔、基础等,拉索和主梁之间采用刚臂连接。整体计算模型如图 5 所示。

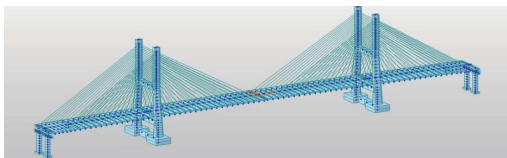


图5 计算模型

施工过程中主梁上、下缘最大拉应力为 0.5 MPa,主梁拉应力满足规范要求;最大压应力为 16.5 MPa,主梁压应力满足规范要求。成桥阶段主梁上下缘均未出现拉应力,最大压应力为 14.8 MPa,满足规范要求。使用阶段主梁标准状况下最大压应力 17.9 MPa,满足规范要求。短期状况下无拉应力,满足规范要求。

#### 5 主梁 0~1# 梁段施工阶段应力分析<sup>[2]</sup>

2# 块施工是本桥后支点挂篮施工中最不利的计算工况之一,2# 块浇筑施工如图 6 所示。

根据整体模型计算,在浇筑 2# 块梁体混凝土时,0~1 节段主梁中 1 号斜拉索已张拉,1 号斜拉索力  $F_1=2131$  kN。对 0~1 节段主梁建立块体有限元模型(如图 7 所示),进行应力分析,主梁 0# 块布索区顶板最大拉应力 2.8 MPa(见图 8 及表 1),考虑普通钢筋的作用,基本满足后支点挂篮施工的需要。

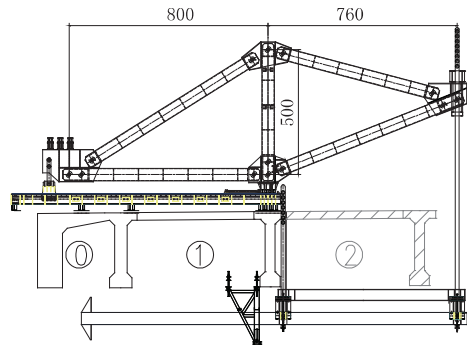


图6 2# 块浇筑施工(单位:cm)

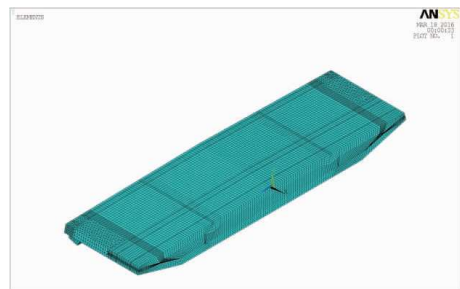


图7 主梁有限元模型

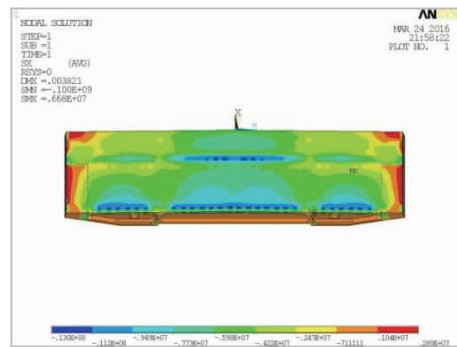


图8 顶板纵向应力图

表 1 单项应力汇总 单位:MPa

荷载单项	拉索区	内侧斜腹板	主梁中心
恒载	1.7	3.0	0.7
预应力	-3.6	-12.4	-12.0
拉索	-2.8	-1.5	-0.3
挂篮	7.5	8.5	2.0
合计	2.8	-2.4	-9.6

从图 9 可以看出,在挂篮荷载单独作用下,主梁 0# 段顶板整体以受拉为主,但是拉应力分布很不均匀,这主要受挂篮横向传递范围的影响,挂篮荷载基本上 45° 扩散,最大拉应力出现在主梁两侧拉索区以及内侧腹板与顶板交汇处(即挂篮作用点对应的轴线上),约 8.5 MPa,最小拉应力出现在主梁中心处,约 1 MPa,主梁外侧 13 m 左右范围内拉应力大于 2 MPa。由此可见,受挂篮力横向扩散范围的限制,挂篮仅对拉索区实体段及箱室范围内的主梁产生 2~8.5 MPa 的拉应力,中间横梁区段范围内主梁

顶板拉应力很小,小于 2 MPa。

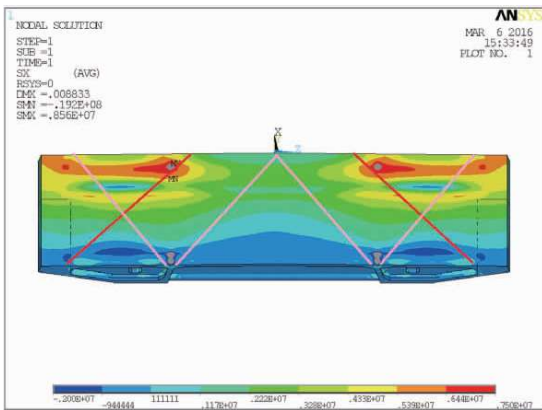


图 9 挂篮单项荷载作用下应力图

从图 10 可以看出,在 1# 斜拉索单独作用下,主梁 0# 段顶板整体以受压为主,但是压应力分布很不均匀,主要受拉索横向传递范围的影响,最大压应力出现在主梁两侧拉索区,最大压应力 2.8 MPa,最小压应力出现在主梁中心处,压应力 0.3 MPa,主梁外侧 9 m 左右范围内压应力大于 2 MPa,而拉索离 0# 块根部距离仅 9 m,1# 拉索索力基本按 45° 扩散。

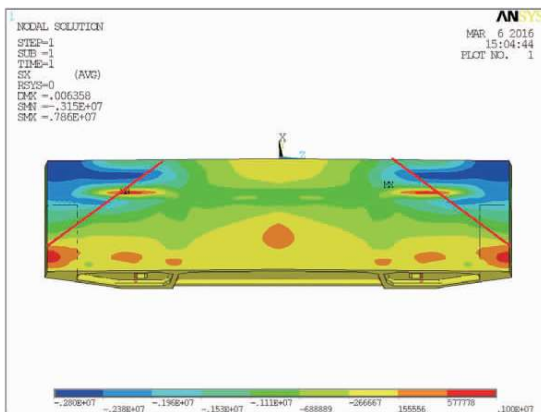


图 10 斜拉索单项荷载作用下应力图

由此可见,受拉索索力横向扩散范围的限制,1# 索仅对拉索区实体段及箱室范围内的主梁产生 2~2.8 MPa 的压应力,中间横梁区段范围内主梁顶板压应力很小。

0~1# 块节段长度仅 10 m,桥宽达 36.5 m,结构宽跨比较大,主梁在剪力滞效应、预应力束横向分布不均匀(拉索区受斜拉索穿过影响,不易布置预应力),挂篮和拉索力扩散不开等因素共同作用下,采用后支点挂篮施工,0~1# 块顶板正应力分布不均,在主梁中间段横梁区顶板由于预应力产生较大的压应力,而挂篮及恒载产生的拉应力却不大,故顶板出现较大压应力储备,而在两侧拉索区则刚好相反,预应力提供压应力较小,而拉索产生的压应力水平也

不高,但是挂篮却产生较大的拉应力,导致拉索区范围内顶板出现拉应力。

随着节段长度的增加,斜拉索倾斜角不断减小,斜拉索水平分力不断增加,其增加的压应力储备足以抵消挂篮悬臂施工产生的拉应力,这与整体计算基本一致。经计算,本桥施工阶段顶板拉应力最不利的为浇筑 4# 节段混凝土时,最大拉应力不超过 3 MPa,考虑普通钢筋的作用,基本满足后支点挂篮施工的需要。

## 6 后支点挂篮施工双边箱混凝土斜拉桥的设计特点

与前支点挂篮施工混凝土斜拉桥相比,后支点挂篮施工双边箱混凝土斜拉桥设计有如下特点。

### 6.1 主梁纵向预应力用量增加

由于采用后支点挂篮施工时,已浇梁段需完全承担待浇梁段和挂篮的全部重量,主梁施工阶段的受力更为不利。

经计算比较,采用后支点挂篮施工比采用前支点挂篮施工,主梁纵向预应力钢束用量增加 36% (见表 2)。

表 2 主梁纵向预应力束工程量比较 单位:t

采用前支点挂篮 施工工程量	采用后支点挂篮 施工工程量	工程量 增加
330	450	120

对于本桥,由于施工单位利用自有的后支点挂篮进行施工,节约了购置前支点挂篮费用,经过综合比较,采用后支点挂篮施工仍然是较为经济的方案。

### 6.2 斜拉索用量变化不大

如图 11 所示,计算结果表明,采用前、后支点挂篮施工对成桥索力变化不大,平均相差约 5%。故斜拉索用量变化不大。

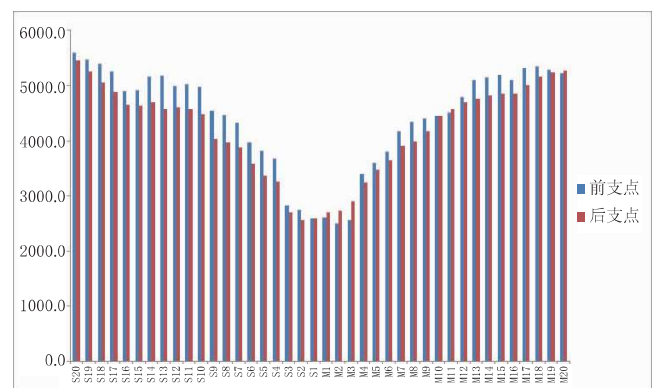


图 11 前、后支点挂篮施工成桥索力对比(单位:kN)

而是要遵循构件预制的理念,对构件进行轻型化、模块化设计,使之更能便于制造、运输和安装。

(2)桥墩空心化应考虑工程造价、施工便宜性和结构受力等因素,判断其可实施性和经济性。当截面尺寸大于 1.8 m,且墩高大于 10 m 时,截面空心化具有一定的经济优势。

(3)预制桥墩采用模块化和参数化设计,节段高度和自重灵活设置,可满足不同墩高、不同尺寸桥墩预制;主筋在不同模块间可差异化配置,提高了预制桥墩的经济性。

#### 参考文献:

- [1] 李国平.全预制混凝土桥梁技术概论[C]//第十八届全国桥梁学术会议论文集.北京:人民交通出版社,2008:119-123.  
[2] 梅应华,胡可,陈亮,等.全体外预应力节段预制拼装箱梁桥梁震害

研究[J].桥梁建设,2017(6):54-59.

- [3] 魏红一,肖纬,王志强,等.采用套筒连接的预制桥墩抗震性能试验研究[J].同济大学学报:自然科学版,2016,44(7):1010-1016.  
[4] 宋凯,张剑英.预制节段拼装桥墩研究进展[J].城市道桥与防洪,2014(6):282-285.  
[5] 李朝晖.预制拼装桥墩造价分析[J].中国市政工程,2017(5):72-73.  
[6] 刘安双,马振栋.预制节段拼装桥梁在城市轨道交通中的应用[J].公路交通技术,2014(5):77-80.  
[7] 周良,闫兴非,李雪峰.桥梁全预制拼装技术的探索与实践[J].预应力技术,2014(6):15-17.  
[8] 刘琼,李向民,许清风.预制装配式混凝土结构研究与应用现状[J].施工技术,2014(12):9-13.  
[9] 苏强,吴东明.桥墩拼装工法用新型预应力锚固体系的开发与应用[J].城市道桥与防洪,2019(4):93-96.  
[10] 闫兴非,段洪亮,王志强,等.预应力筋类型对节段拼装桥墩抗震性能的影响[J].中国市政工程,2019(5):8-12.

\*\*\*\*\*  
(上接第 64 页)

### 6.3 施工过程中,主梁横向应力分布不均匀,需注意主梁剪力滞等效应的影

响  
根据计算结果表明,主梁施工的前 5 个梁段,由于结构宽跨比较大,主梁在挂篮、斜拉索作用下剪力滞、轴力滞效应更明显,主梁截面应力分布更不均匀。如果预应力布置不当,施工过程中主梁布索区可能会产生较大的拉应力,导致主梁开裂。建议前 5 个梁段布置足够多的预应力,优化预应力布置,拉索区域附件尽量布置足够的预应力,使主梁全截面趋于整体均匀受压。

## 7 结 语

(1)混凝土双边箱主梁形式的混凝土斜拉桥,采用后支点挂篮悬浇施工虽然国内实例较少,但在技术上是可行的。该桥现已建成通车,运营状况良好。

(2)采用后支点挂篮施工的混凝土斜拉桥,已浇梁段需承担待浇梁段和挂篮的全部重量,主梁施工阶段的受力更为不利,主梁钢束用量会有所增加。主梁横向应力分布更不均匀,剪力滞效应更明显。

(3)后支点挂篮施工可减少斜拉索索力调整次数,施工监控难度较低,且能有效节省施工工期。结合施工单位的施工机具选择不同的施工方案,可节约工程造价。

#### 参考文献:

- [1] 广东省交通规划设计研究院股份有限公司.均安水道特大桥局部计算分析报告[R].广州:广东省交通规划设计研究院股份有限公司,2016.6.  
[2] 广东省交通规划设计研究院股份有限公司.均安水道特大桥总体计算分析报告[R].广州:广东省交通规划设计研究院股份有限公司,2016.6.