

悬浇施工箱梁桥菱形挂篮设计与受力分析

郭杰

(湖南路桥建设集团有限责任公司, 湖南 长沙 410004)

摘要: 挂篮是箱梁桥连续悬臂浇筑常用施工设备。文中以某特大桥悬臂施工为例, 分析菱形挂篮设计思路, 介绍挂篮设计构造, 并运用有限元软件 MIDAS/Civil2010 构建三维数值模型, 分析挂篮在砼浇筑阶段和行走阶段的受力与变形特征, 为菱形挂篮应用提供参考。

关键词: 桥梁; 菱形挂篮; 悬浇施工; 箱梁桥; 受力分析

中图分类号: U442.5

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)05-0104-04

1 工程概况

某桥上部跨径为 59.98 m+100.01 m+59.98 m, 桥梁宽度 25.9 m, 分左右两幅, 中间空距仅 1 m。每幅都为独立的单箱单室直腹变截面箱梁, 箱梁顶面宽 12.49 m、底宽 6.49 m; 翼缘板的悬臂长度各为 2.99 m, 两端厚度为 0.6~0.4 m, 与箱梁顶面齐平, 主墩顶梁高 6.4 m, 边跨与中跨现浇段梁高 2.5 m, 箱梁纵向高度由底部向跨中依照二次抛物线变化, 边跨 12# 块现浇段长度为 8.940 m。主桥箱梁 0# 块使用支架现浇, 1#~10# 块与合龙段的 11# 块使用挂篮悬臂现浇, 整个大桥斜交正做, 双幅桥梁主跨错位 16 m。全桥箱梁使用竖、纵、横三向预应力体系, 顶、底板纵向预应力采用高强低松驰 $\phi 15.24$ 钢绞线, 大吨位群锚体系顶板横向束采用高强低松驰 $\phi 12.70$ 钢绞线、扁锚体系, 锚具为 OVM.EM13-3, 单端单侧张拉, 腹板竖向预应力筋采用 $\phi 15$.YGM-25 高强度精轧螺纹钢筋。箱梁 1#~4# 块长 3.49 m, 5#~10# 块长 4.49 m, 合龙后长度为 2 m 左右。5# 块件为最重块段, 单块砼体积为 46.49 m³, 重量约 115.98 t。

2 挂篮构造设计

2.1 挂篮设计思路

依据国内当前挂篮设计水平与加工能力, 考虑该桥梁段重量、长度、断面形式与外形规格, 挂篮长期使用性、通用性及梁段施工时所承受的荷载等因素进行挂篮设计。基本设计思路如下:

(1) 选择轻型结构作为挂篮的主桁, 这种结构具有受力合理、刚度强、安全可靠等特性。

(2) 从国内生产的高强轻质钢材中选择挂篮材

料, 要求其容易加工。如国内市场难以找到合适的材料, 则从国外采购。

(3) 挂篮行走与模板升降等使用液压装置, 以提升生产效率, 降低劳动强度。

(4) 采取主桁架、内模与外模分开行走, 分二次行走到位的措施, 减小后勾装置的受力, 平衡重不再进行设置。

(5) 吊升系统使用吊带与精轧螺纹钢筋, 锚固、拆装与调整均较方便。

(6) 走行系统中的滑道完全凭借箱梁上的竖向预应力筋进行锚固, 当挂篮空载向前移动时, 主要依靠后勾装置平衡倾覆力矩。

2.2 挂篮结构

通过对该桥箱梁节段重与挂篮重量的对比及对各种挂篮结构特点的分析, 确定采用菱形挂篮, 其结构见图 1。

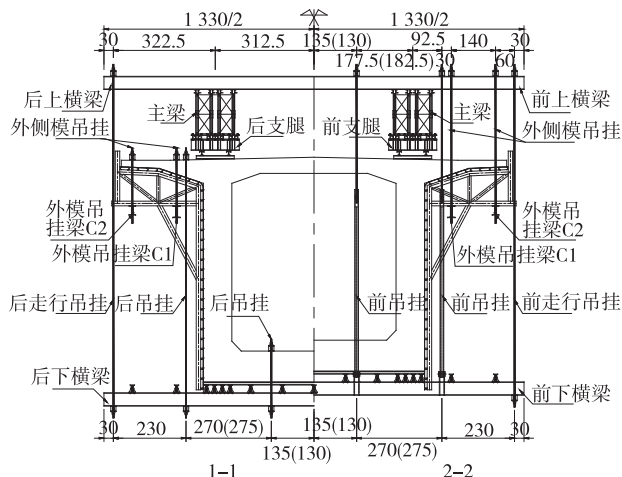


图 1 菱形挂篮结构示意图 (单位: mm)

(1) 主桁架。主桁架为挂篮最重要构成部件之一, 主要起承重作用。分两块直立于箱梁腹板之上,

之间采用角钢构成平面进行联结。每块桁架都采用槽钢组焊,槽钢大小依照挂篮受力情况确定,连接点用 $\delta 20$ 结点板与 M30 螺栓连接。

(2) 悬吊系统。悬吊系统主要包括前吊带与后吊带。前吊带的功能是把悬臂浇筑箱梁的多种板(底板、腹板与底模板等)与顶板砣的重量传承给主桁架。前吊底模架前横梁与其下端连接,每组吊带采用 2 台 30 t 螺旋千斤顶与扁担梁对其底模高程进行调节。后吊带的功能是把底板模板上荷载传递到已成箱梁上部设定的若干调节孔,以适应梁底板厚度变化。后吊带底模架后横梁与其下端焊接,上端穿过上箱梁底板,每个吊带使用 2 台螺旋千斤顶与扁担梁对已安装在箱梁上底板进行支撑。

(3) 模板系统。箱梁外侧模外框架主要由角钢与槽钢焊接而成,槽钢主要用作箱梁外侧模的围框,同时使用大块钢框与竹胶板进行组装;内部结构主要由角钢制作。外侧模支承在外模走行梁上,后端凭借吊杆悬吊在灌好的箱梁顶板上,后吊架设置在走行梁和后吊杆之间,其上安装滚动轴承。挂篮行走时,外侧模走行梁与外侧模沿后吊带向前移动。

(4) 锚固系统与走行系统。梁箱上的轨道通过竖向预应力钢筋锚固,轨道上的菱形桁架后节点通过后扁担梁锚固。在箱梁顶面设置 2 根轨道并用钢板焊接,轨道经过短梁锚固在梁体的竖向预应力筋上。桁架前端设置前支座,桁架后端设置后支座,后支座在不增加平衡重的情况下运用逆扣轮沿轨道下缘移动。挂篮在 2 个 5 t 手动葫芦的作用下向前移动,轨道分节以梁段长度为依据。

3 挂篮受力分析

采用 MIDAS/Civil2010 软件建立挂篮整体三维模型(见图2),仅吊杆利用杆单元模拟,其余构件

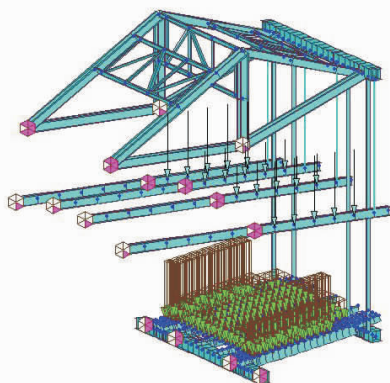


图 2 挂篮结构计算模型

均使用梁单元模拟,主桁架各节点的连接释放销轴的自由度。

3.1 施工工况

节段施工步骤为挂篮空置走行到位→立模→绑扎钢筋→浇筑砼→砼达到设计强度后进行钢束或预应力筋张拉→拆模。依据挂篮施工工艺,分 3 种工况进行计算分析:工况一为施工 2[#] 节段,梁长 $L=3$ m,砣重为 140 kN;工况二为施工 5[#] 节段, $L=3.5$ m,砣重为 132 kN;工况三为挂篮空载行走,此时挂篮只承受模板与施工时所承载的重量。

3.2 计算参数

(1) 砣容重为 27.5 kN/m^3 ;钢材容重为 78.5 kN/m^3 ,弹性模量为 210 GPa。

(2) 材料容许应力。Q235 钢,弯曲应力 $[\sigma_w]=145 \text{ MPa}$,抗拉、抗压轴向力 $[\sigma]=140 \text{ MPa}$,剪应力 $[\tau]=85 \text{ MPa}$ 。Q345 钢, $[\sigma_w]=210 \text{ MPa}$, $[\sigma]=200 \text{ MPa}$, $[\tau]=120 \text{ MPa}$ 。45 号钢, $[\sigma_w]=220 \text{ MPa}$, $[\sigma]=210 \text{ MPa}$, $[\tau]=125 \text{ MPa}$ 。直径 32 mm 精轧螺纹钢,抗拉力 $[F]=550 \text{ kN}$ 。

3.3 挂篮浇筑砼阶段受力分析

浇筑砼过程中挂篮结构的组合应力分布见图 3,结构变形见图 4。由图 3、图 4 可知:浇筑砼阶段,侧模吊带上组合应力最大;挂篮结构最大变形出现在底模纵梁之间。

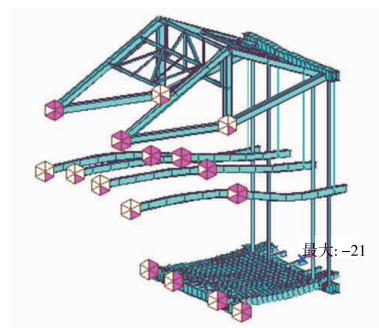


图 3 浇筑砼阶段挂篮结构组合应力分布(单位:MPa)

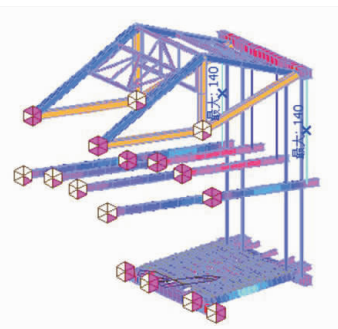


图 4 浇筑砼阶段挂篮结构变形(单位:mm)

主要部件受力计算结果见表1,各杆件强度和刚度均满足规范要求。其中:

(1) 挂篮的主要重量由主构架承载,主构架的稳固性对挂篮安全起着决定性的作用。主构架的应力分布见图5。由图5可知:杆件最大拉、压应力分别为109、103 MPa。对于受压构件,还需计算其承载能力。受压杆横截面积为 $0.000\ 950\ 5\text{ m}^2$,计算长度为4.94 m,截面对主轴X、Y的回转半径分别为0.112 8、0.112 7 m,构件对X、Y实、虚轴的长细比分别为43.79、43.79,都低于允许值 $[\lambda]=149.98$ 。相邻两缀板之间的中心距为0.493 m,分肢绕平行于虚轴方向的形心轴的回转半径为0.022 8 m,分肢对最小刚度轴的长细比为21.7,格构式轴心受压构件的换算长细比为 $48.9 < [\lambda]=150$,查《混凝土结构设计规范》, $\varphi=0.861$,轴心所承受的压力经过折减后具备的预应力为 $103/0.861=119.6\text{ MPa}$ 。

(2) 挂篮施工过程中最关键的受力环节是后锚,其安全系数一般为2.5。主构架后锚力为460 kN。后锚由4支后锚扁担经过8支直径为32 mm的精扎螺纹钢与梁体锚固在一起,砼梁竖向预应力筋锚固在箱梁上成为后锚行走轨道,所有后锚荷载460 kN分别由4支后锚扁担承载,每支后锚扁担承载力均为115 kN,乘以不均匀系数1.3,得每支后锚扁担承载重量为149.5 kN。最大应力为 $31\text{ MPa} < 140\text{ MPa}$,符合要求。单支直径为32 mm的精扎螺纹钢筋 $F=550\text{ kN}$,则后锚精扎螺纹钢承受的最大拉力为 $149.5/2=75\text{ kN} < 140\text{ kN}$,其颠覆稳固系数为 $550/75=7 > 2.5$,符合要求。

3.4 挂篮行走阶段受力分析

由于挂篮行走时没有承载砼重量,对挂篮各构件不必进行刚度与强度验算。但挂篮内外模的所有荷载均由滑梁与内模纵梁承载,需对挂篮行走时的稳定性及内模支撑纵梁与滑梁应力进行验算。计算

表1 浇筑砼阶段挂篮结构受力计算结果

结构位置	最大应力/MPa	最大变形/mm	是否满足要求
底模纵梁	126.0	20	满足
前下横梁	41.2	19	满足
后下横梁	63.5	1	满足
前上横梁	66.8	17	满足
主构架	119.6	15	满足
内模滑梁	62.9	18	满足
外模滑梁	135.0	18	满足
后锚扁担	31.0	—	满足

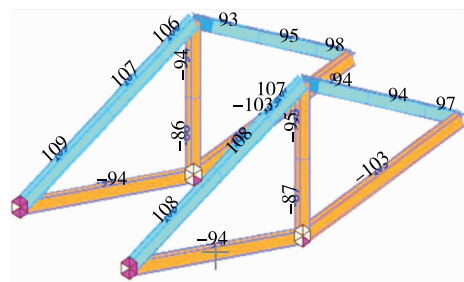


图5 浇筑砼阶段主构架组合应力分布(单位:MPa)

模型见图6。

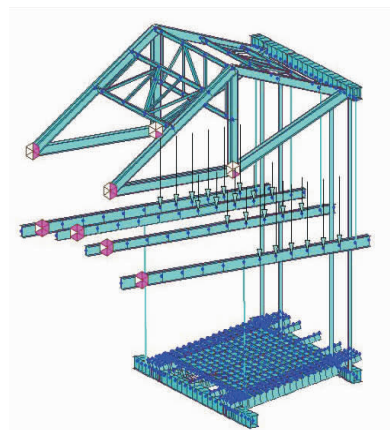


图6 挂篮行走计算模型

(1) 外模滑梁。挂篮行走过程中,外模滑梁计算跨度最大,其最大应力为129 MPa(见图7),小于140 MPa,满足要求。

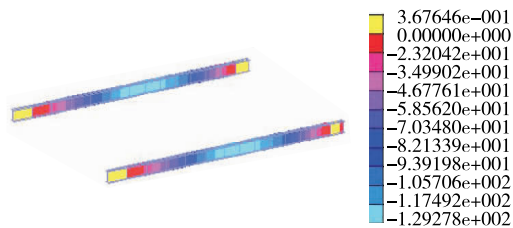


图7 挂篮行走阶段外模滑梁组合应力分布(单位:MPa)

(2) 内模滑梁。挂篮行走时,内模滑梁应力分布见图8,最高应力为67.4 MPa,小于140 MPa,与要求相符。

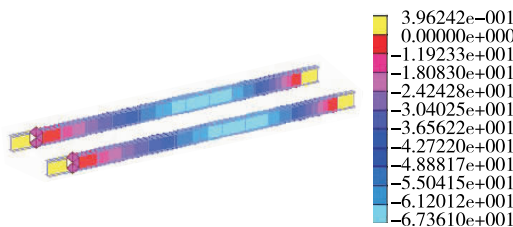


图8 挂篮行走阶段内模滑梁组合应力分布(单位:MPa)

(3) 后支点反挂轮计算。挂篮后支撑点的反向

力为 28 130 N。行走期间,后支撑点采用反挂轮的形式,后支腿每个挂轮耳板所承受的偏心荷载为 2 813 N。挂轮至耳板中心距为 0.098 m,耳板所受力矩为 2.756 74 N/m。耳板厚度为 0.025 m,贴板厚度为 0.016 m,对拉处宽度为 0.29 m,贴板总宽度为 0.1 m。截面形状特点值 $I=85\,342\text{ mm}^4$,从形心至上顶面的距离 $y=24.5\text{ mm}$, $A=7\,643\text{ mm}^2$ 。计算得对拉处弯曲正应力、轴向力引起的正向应力分别 78.8、82.5 MPa,轴向力引起的正向应力小于 210 MPa,其安全系数为 $210/82.5=2.5$ 。

(4) 挂篮行走轨道计算。后支撑点传递荷载为 113 kN,弯矩、抗弯模量、弯应力分别 $181\text{ kN}\cdot\text{m}$ 、 $0.002\,38\text{ m}^3$ 、76 MPa,弯应力小于 140 MPa。当纵行轨道后锚点与后支点的距离不大于 1.6 m 时,抗弯满足要求。

(5) 主构架间横联计算。在挂篮行走与空置时,横向风力对其影响较大,计算荷载通常是几个方面荷载与重量的集合,如施工机械、行走冲击与风荷载及内外模与提升装置的重量。挂篮空置行走阶段计算模型见图 9,组合应力计算结果见图 10,最大应力为 44 MPa,小于 140 MPa,与要求相符。

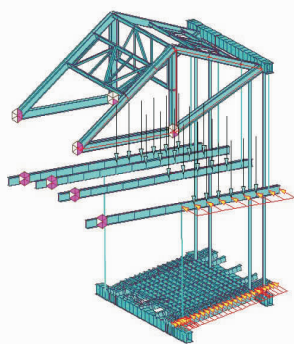


图9 挂篮空置行走阶段计算模型

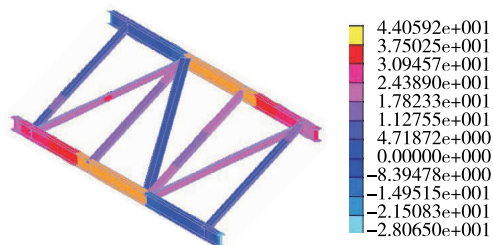


图10 挂篮空置行走阶段组合应力分布(单位:MPa)

4 结语

菱形挂篮由于具有节点不多、重量轻、行走方便和拼装简单等优点,被广泛应用于砼连续梁悬浇施

工。挂篮结构受力安全是悬臂施工控制重点。该文依托某连续刚构桥箱梁悬臂浇筑,根据桥梁特点进行菱形挂篮结构设计,并通过有限元数值模拟得到该挂篮在砼浇筑阶段和行走阶段的受力与变形均满足要求。该挂篮系统在该桥主桥施工中取得了很大成功,正常施工条件下 10~13 d 就能完成一个节段,在确保安全施工的前提下,节省工期 1~2 个月。

参考文献:

- [1] 杨宝军.悬灌梁菱形挂篮的设计原理与应用[J].中小企业管理与科技:上旬刊,2011(16).
- [2] 韩晓猛,邬晓光,李猛.连续刚构桥施工挂篮设计及有限元分析[J].北方交通,2015(3).
- [3] 叶斌,朱玉宝,石维铃,等.连续刚构箱梁悬臂施工菱形挂篮受力分析[J].交通科技,2016(1).
- [4] 周磊,董启军,蔡晓军.广珠铁路西江特大桥连续刚构施工挂篮设计[J].铁道建筑,2012(7).
- [5] 许营,郭云杰,宋方伟.T型刚构菱形挂篮设计施工[J].华东公路,2010(6).
- [6] GB 50010—2010,混凝土结构设计规范[S].
- [7] 颜炳仁,刘猛,刘荣佳.四线曲线桥悬浇挂篮的检算与施工技术[J].铁道建筑,2014(4).
- [8] 庄立科.杭州市文晖大桥挂篮设计与施工[J].铁道标准设计,2003(3).
- [9] 周前国.徐洪河特大桥挂篮设计及应用探析[J].科技信息,2011(25).
- [10] 华有恒,王仲康.短平台复合型牵索挂篮的结构设计与计算[J].桥梁建设,1995(3).
- [11] 马宇光.斜拉桥前支点挂篮结构空间受力数值分析[J].公路与汽运,2019(4).
- [12] 李伟平,蔡锁德,燕松波.高墩桥菱形挂篮钢绞线反支点预压施工技术[J].公路与汽运,2015(2).
- [13] 余翔,王飞.菱形挂篮设计及空间受力性能研究[J].公路与汽运,2015(1).
- [14] 朱海军,吴刚,刘中涛.悬臂现浇箱梁菱形挂篮施工技术[J].公路交通科技:应用技术版,2013(10).
- [15] 张峰,邵晨.基于菱形挂篮悬臂浇筑施工技术应用研究[J].黑龙江交通科技,2017(12).
- [16] 秦随燕.桥梁菱形挂篮悬臂浇筑施工技术[J].四川建材,2017(9).
- [17] 贺来国.桥梁菱形挂篮悬臂浇筑施工技术研究[J].山西建筑,2016,42(10).
- [18] 薛伟锋.菱形挂篮悬臂浇筑施工技术要点及技术浅析[J].珠江水运,2018(16).