

永定河特大桥施工挂篮优化设计

胡 烁

(中国铁建十八局集团涿州机械厂 河北涿州 072750)

摘 要 为了进一步提高挂篮的经济性、安全性,提高高速铁路连续梁施工的质量和工效,对不同形式的挂篮结构进行了对比,重点研究了挂篮的主桁结构、锚固系统和走行系统,优化设计了京石高铁永定河特大桥施工挂篮。

关键词 高铁 特大桥 连续梁 挂篮 液压顶推

中图分类号 U445.466 文献标识码 A 文章编号 1009-4539(2012)增1-0052-05

1 工程概况及挂篮总体设计

永定河特大桥全长 51.89 km,是京石客专全线最长的一座大桥,两联 40 + 56 + 40(m) 预应力双线连续梁是该桥的一部分,需要与其它部分共用一套挂篮。

1.1 连续梁参数

该挂篮设计不仅针对 40 + 56 + 40(m) 跨度连续梁,也兼顾了对 48 + 80 + 48(m)、60 + 100 + 60(m) 跨度连续梁施工的通用性,相关参数见表 1。

表 1 连续梁参数

跨度/m	最大梁段长/m	最大梁段重/t	梁高变化范围/m	顶板/底板宽度
40 + 56 + 40	4	133	4.35/3.05	12/6.7
48 + 80 + 48	3.5	137	6.65/3.85	12/6.7
60 + 100 + 60	4	160	7.85/4.85	12/6.7

1.2 挂篮总体设计要求

该挂篮需要在同一座桥倒用多次,对于挂篮的总体性能提出了如下要求。

- (1) 结构简便,易于安装、拆卸及运输。
- (2) 提高自动化水平,降低工人劳动强度,提高工效。
- (3) 综合考虑连续梁施工各个环节,结构安全可靠,能够保证成桥质量。
- (4) 通用性好,可以用于其他类似连续梁施工。

1.3 挂篮总体方案

经过比选常用的几种挂篮结构形式之后,确定采用菱形桁架轻型挂篮结构,如图 1 所示。

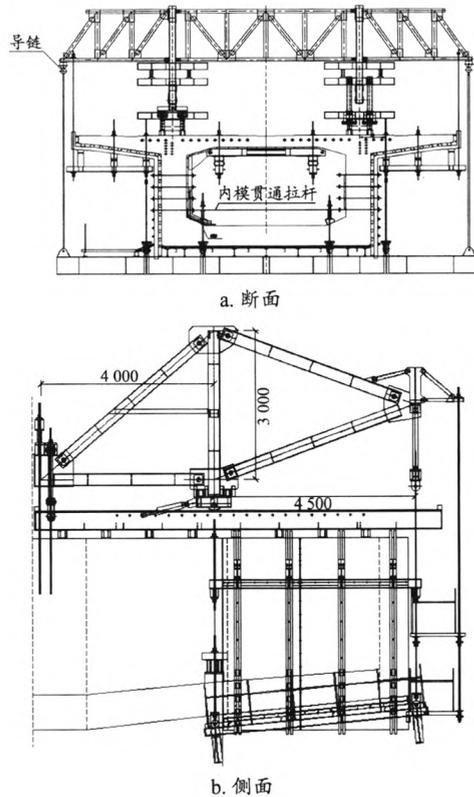


图 1 挂篮小结构

1.3.1 挂篮设计采用的基本参数

(1) 荷载系数

有关荷载系数依据交通部颁发的公路桥涵设计和施工规范,浇筑混凝土时的动力系数:1.2。

收稿日期:2012-03-07

(2) 挂篮设计的最大承载力

按 60 + 100 + 60 (m) 跨度连续梁参数, 悬浇箱梁梁段设计最大重量为 160 t, 考虑浇筑混凝土时动力因素和挂篮施工安全方面的重要性, 控制设计最大荷载 $w = 1.231 \times 60 = 192$ t, 校核时最大荷载取 200 t。

1.3.2 主要技术性能及参数

(1) 挂篮锚固: 在腹板和顶板预留孔洞, 重复利用锚杆锚固。

(2) 轨道锚固: 在腹板和顶板预留孔洞。

(3) 挂篮行走方式: 整体轨道, 前点采用滚动轮组, 后点采用反口轮组, 无平衡重液压自行, 专用顶推油缸拖拽轨道就位, 顶推挂篮前移。

(4) 提升模板方式: 手动控制螺旋千斤顶提升。

(5) 挂篮自重: 52 t。

(6) 挂篮经济技术指标: $52/133 = 0.39$ 。

(7) 挂篮最大挠度: < 20 mm。

2 优化设计分析

2.1 主桁架

2.1.1 主桁架的结构形式

目前, 在高铁和高速公路上使用较多的桁架形式主要有 3 种: 三角挂篮、菱形挂篮和楔形挂篮 (见图 2)。为了对比分析三种形式的利弊, 对三种高度、跨度和杆件截面均相同结构形式进行了力学计算分析。

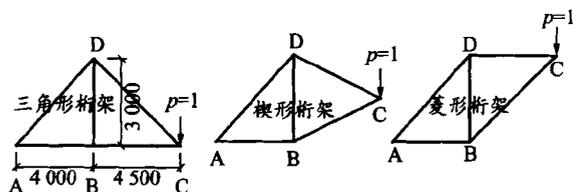


图 2 桁架计算图

首先在受力点 C 处加载单位荷载, 计算出的各杆件内力系数见表 2。内力系数表明, 三角桁架 DB 杆受力较大; 菱形挂篮 BC 杆受压, 内力较大且长度最大, 稳定性下降; 对比前两者, 菱形挂篮各杆件受力较均匀, 压力在 BC 杆和 DB 杆之间得到了均匀合

理的分配。

表 2 施加单位荷载杆件内力系数

杆件名称	三角桁架	菱形桁架	楔形桁架
AB	-1.5	-1.5	-1.5
BC	-1.5	-1.803	-1.581
AD	1.875	1.875	1.875
DB	-2.125	-1.125	-1.625
DC	1.803	1.5	1.581

主桁架杆件材料选用 Q235 钢板, 断面均为抗扭性能良好的组合全焊接方形钢管, 杆件截面积 $A = 11776$ mm²。按照 1.5 的荷载系数来验算桁架的刚度和强度, 每片桁架前点验算荷载为 50 t, 桁架 C 点位移、最大应力和最小安全系数计算结果见表 3。

表 3 不同形式桁架检算结果

杆件名称	最不利杆件	最大应力/MPa	最小安全系数	C 点位移/mm
三角	DB	-88.4	2.66	13.44
菱形	BC	-75	3.07	11.51
楔形	AD	78.0	3.01	11.53

主桁架所有受压杆件一般为短粗杆, 此挂篮中只有菱形挂篮的 BC 杆为中柔度杆。由计算结果可知, 相同荷载下, 三角桁架的安全系数最小, 变形最大; 菱形桁架和楔形桁架的安全系数和变形接近, 虽然菱形挂篮的最小安全系数大于后者, 但由于前者最不利杆 BC 受压, 而后者受拉, 因此菱形桁架的稳定性并不优于后者。

从系统的角度分析, 三角桁架能够减少前吊杆的长度, 吊挂系统的变形小, 综合变形不一定最大。从操作的角度考虑, 三角桁架对腹板的钢筋绑扎、混凝土振捣有一定影响, 但影响并不大。菱形桁架的上述情况与三角挂篮相反, 缺点是重心高, 吊带较长, 而楔形挂篮则平衡了二者的优缺点。综上所述, 新设计挂篮采用了楔形的主桁架。

2.1.2 主桁架的安装精度

挂篮主桁架的安装精度对挂篮的走行系统有较大的影响, 在设计相关结构时, 应当考虑到这些细节因素。主构架中横梁、前横梁和后横梁的作用除承载和维持结构稳定外, 应该能够保证桁架轴线

的位置准确。

(1) 前横梁

目前有三种结构形式,一是单根的工字钢梁,二是方钢焊接的桁架结构,三是双工字钢、H 钢或槽钢组焊的组合钢梁。若以稳定和安全为原则,首选第三种结构,其次是桁架结构,最后是单根工字钢结构,前两种形式对焊接质量的要求较高,早期较少应用。此次挂篮横梁采用了第一种形式,借鉴了工字梁稳定性研究和应用的成果,前横梁为钢板焊接而成的工字梁,总高度 850 mm,翼板宽度 250 mm,腹板和翼板厚度均为 16 mm。为了防止焊接工字梁的腹板发生局部屈曲,在其两侧成对地设置了加劲肋。

(2) 中横梁

采用方钢焊接的桁架结构,设计和加工的关键在于连接销孔的位置精度,孔位准确才能控制两片桁架轴线位置。

(3) 后横梁

挂篮走行系统位于挂篮主桁架后端,为了保证挂篮尾部主桁架的轴线位置准确,为走行系统提供准确的安装基准,在后锚点附近设置后横梁,与两榀主桁架的后节点销接,后横梁还能大大增加主构架的整体稳性。

2.1.3 主桁架的锚固

主要有 2 种形式,经对比后,采用了第二种锚固方式。

(1) 直接利用竖向预应力筋接长锚固,为了保证 1.5 倍以上的抗倾覆系数,每组锚固系统要利用三根预应力筋,这样会增大主桁架后节点板的尺寸,如图所示;

(2) 在箱梁翼缘板和顶板上预留孔洞,用重复使用的精轧螺纹钢锚杆锚固,如图 3 所示。2 榀主桁架的后节点上各设一组锚固系统,以平衡浇筑混凝土时产生的倾覆力矩,每组锚固系统包括 2 根扁担梁、4 根精轧螺纹钢锚杆及配套的锚具和垫板,4 根锚杆穿过孔洞与垫板、锚具连接。为方便翼缘板下的锚具拆装,在后横梁两端设安全吊篮。

这种方式的好处是结构紧凑,抗倾覆系数高,不利之处是需要预留孔洞,人员在翼板下操作,不太便利。

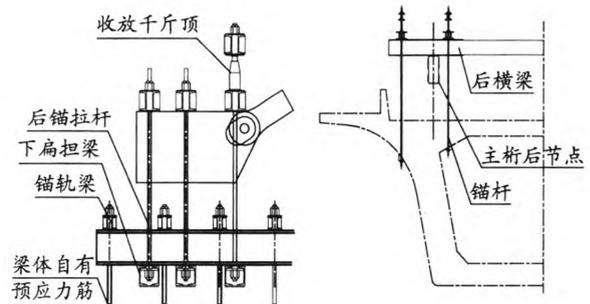


图 3 挂篮锚固结构

2.2 挂篮走行系统

挂篮的整体走行系统非常重要,该系统决定移篮的安全,影响工效、模板就位精度及成桥质量。

因此在设计、加工及安装过程中需要解决一些细节问题,包括轨道的结构、锚固方式、移动方式、驱动方式及走行机构等问题。

2.2.1 走行轨道

常用挂篮的走行系统基本上有 2 种体系。

(1) 在主桁架前支点用带自锁的液压千斤顶起升挂篮,然后将走行轨用倒链或液压缸整体前移。这种体系,轨道一般设计加工为整体的一节,轨道没有连接处,挂篮走行顺畅。整体的轨道可以减少锚固点,尤其适合没有竖向预应力筋的连续梁,减少在翼板和顶板上预留的锚杆孔洞。

(2) 将轨道分段加工并连接,挂篮前移之前,无需起升挂篮,将后面的轨道倒运到前端安装固定,轨道最少要分成三节,对接处不太平顺,也容易引起轨道偏移设计轴线。此体系适用有竖向预应力筋的连续梁,利用竖向预应力筋锚固轨道,尤其是利用竖向预应力筋锚固挂篮主桁的情况,如图所示,前移动轨道时,由于要保持后锚,后锚点下面的轨道在此情况下无法整体移动,轨道只能分节倒用。

2.2.2 走行驱动

人工使用倒链拖拽挂篮前移的方式仍然比较

普遍,其弊端基本已成为共识。

(1) 劳动强度大,尤其是在有坡度的情况下。

(2) 同步性差,容易引起冲击和挂篮轴线偏移。

有越来越多的挂篮采用液动力,一般不需特制的液压泵站,而是使用张拉用的液压泵站为动力源,通过专用快换接头向油缸供油。油缸可在前支点后面顶推挂篮,也可在轨道前端牵引挂篮。油缸可用液压张拉千斤顶,也可特制大行程油缸,在前端牵引如图4所示。



图4 挂篮牵引结构

2.3 前后走行摩擦副

2.3.1 前支点走行机构

前支点作用在走行轨道上的压力很大,在前支点处设计滑动或滚动摩擦机构,需要注意以下几点。

(1) 滚动摩擦机构

结构形式为轮对或重物移位器,如图5所示。挂篮移动到位后,由于滚动机构不能承受新浇混凝土荷载,需要用带自锁的液压千斤顶将滚动机构顶起离轨道,由液压千斤顶自锁后承受施工期间荷载。

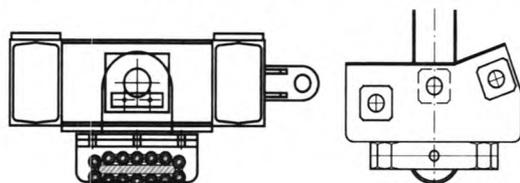


图5 前支点走行机构

(2) 滑动摩擦机构

一般设计为滑船结构,通过销轴与主桁架铰接,这样能够有效地将滑船与轨道的线接触转变为面接触,增加接触面积。研究表明滑动摩擦系数与压应力是相关的,在正应力增加的情况下,摩擦系数有增大的趋势。在滑船与轨道线接触的情况下,正应力往往大于许用应力,轨道表面容易受到破坏,通过上述的铰接措施,增加材料的硬度和摩擦副的接触面积,可以有效防止轨道表面的破坏,减小摩擦阻力。

铁道建筑技术 RAILWAY CONSTRUCTION TECHNOLOGY 2012(增1)

(3) 滑动摩擦机构的优点就是结构简单,操作便利,缺点是阻力大,尤其是坡度较大的公路连续梁施工,工人的劳动强度大,因此挂篮走行优选滚动摩擦机构。

2.3.2 后支点走行机构

后点走行机构的结构也有两种选择,滚动摩擦的反口轮和滑动摩擦的后钩板。

(1) 后反扣轮结构

每套挂篮一般后点反口轮数目为8个,双轴反扣轮走行机构与后点铰接,单轴反扣轮机构可与后点刚接,如图6所示,二者各有利弊,前者的结构较紧凑,而后者轨道的受力对称。

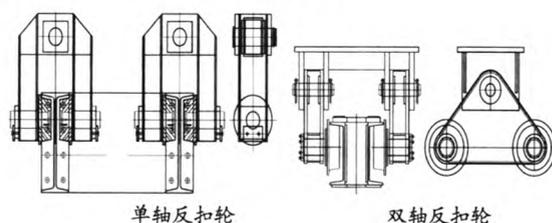


图6 反扣轮结构

(2) 后钩板

后点轨道下沿的正压力约为前点的一半,若前点可使用滑动摩擦,后点更加适用,这样可以省掉轮组和轴承,降低成本,在工程上也有很多成功应用,后钩板应与后点铰接。

为减少移篮阻力,提高机械化水平,新设计挂篮后点选用了反口轮结构。

2.4 挂篮模板系统

2.4.1 模板系统前移

(1) 内模为抽拉式,在挂篮前移时内模滑移梁前行,内模及支撑体系不动,待底板和腹板钢筋绑扎完成后,从梁体内抽出。这样可以减少挂篮走行的整体倾覆力矩,并便于钢筋吊运及绑扎作业。

(2) 曾经普遍采用的外模滑移梁,现在逐渐被摒弃。取消外模滑移梁后,外模板后面的吊点在翼板之外,外模板拆模后有侧倾的趋势,为此在底模板操作平台上增设正反扣支撑丝杠,拆模后松动丝杠,约束外模板的侧倾。

(3)早期的挂篮底模前后横梁设计的比较短,底模拆模后,用倒链挂在外模滑移梁上,随同滑移梁前移,可靠性较低。改进的挂篮底模加长了前后横梁,前后横梁在翼板之外均增加了两个吊点,用大吨位的倒链分别挂在主桁架中横梁和前横梁上,这样便于合龙段施工,底模随同主桁架一同前移,操作简便,安全可靠。

2.4.2 内外模板加固

挂篮内外模板的加固形式多样,随着施工经验的不断积累,经过认真研究,我们选择了一种既简便又可靠的加固结构。

(1)外模板加固

大部分挂篮外模板采用了桁架结构加固,这样的模板整体刚度高,即便只穿上下拉杆,中间部位无拉杆加固也可以满足刚度要求,由于内模板需要用拉杆加固,外模板中部需要穿拉杆,桁架结构就显得浪费了,仅采用双层槽钢 12 的背肋即可满足外模板的刚度要求。外模板取消桁架后,降低了重量,增加了操作人员活动空间。

(2)内模板加固

施工过程中,往往忽视内模的加固,造成了漏浆,影响了混凝土的内在质量,因此不可忽视内模的加固问题。

内模以组合钢模板为主,采用与外模一样的双层槽钢 12 的背肋加固,背带随着箱梁高度的变化在一定范围内可调,能够重复使用。

(3)内外模板整体刚度

灌注底板及下倒角混凝土时,外模板所受侧压力大于内模板,有向外变形的趋势,而内模板无约束,会跟随外模发生向外侧移动,因此需要在腹板底部设置一道连接两侧内模的拉杆,如图 1 所示,以约束内外模板的整体向外变形。

2.5 操作平台设置及安全防护

施工挂篮应该在设计阶段考虑操作人员的通行和操作平台,防止人员和机具坠落,保证生产安全。根据操作和施工需要,应设置以下操作平台。

(1)在挂篮前端,进行梁段封端、穿钢绞线、张拉及注浆作业,设置上下两层操作平台,下层与底模前横梁水平,上层高度位置可调,以便于张拉作业,上下平台应该互通。

(2)除上述底模前横梁处之外,其余三面设置平台,在底模两侧的平台可装拆模板加固拉杆,在后侧装拆后横梁锚具。

(3)外模板翼板两侧加宽,设置操作平台,便于进行与横向预应力有关的作业。

(4)若利用预留孔锚固挂篮或轨道,则需要利用底模平台和加长的侧模板吊架,在翼板下对应位置设置平台,以装拆后锚锚具。

3 结论

优化设计后的挂篮圆满地完成了既定连续梁的施工任务,其移篮轻松、平顺、快速的特点,深受现场操作人员的好评。其液动力移篮的方法和结构形式值得推广,对于挂篮的标准化设计具有借鉴意义。同时,经过现场施工检验,也反映了一些问题,有待进一步优化和改进。

(1)轨道应利用竖向预应力筋锚固,增加锚固点后,可减小轨道用料,使得轨道更加轻型紧凑。

(2)前后走行轮组结构仍有优化余地,前点使用重物移运器,可使结构更加紧凑。

(3)对关键受力部位进行模块化设计,再一次重复使用挂篮,只需对关键模块进行探伤检验,若不合格只需更换部分关键受力部件,提高挂篮的通用性和重复使用的安全可靠。

参考文献

- 1 段明德.对挂篮设计及应用的探讨[J].铁道工程学报,1998(2)
- 2 周仲荣.微动摩擦学的发展现状与趋势[J].摩擦学学报,1997(3)
- 3 梁爽,陈光雄,戴繁云,等.四种车辆制动闸瓦材料摩擦特性试验研究[J].润滑与密封,2006(3)
- 4 徐华轩,江中贵.连续梁(刚构)挂篮标准化[J].铁道建筑技术,2010(增)