

大跨钢筋混凝土箱拱悬浇挂篮设计与计算

韩洋

(贵州交通建设集团有限公司, 贵州 贵阳 550000)

摘要: 挂篮悬臂浇筑是大跨钢筋混凝土箱拱的常用施工技术,环境适用性强、造价低、场地限制小、吊装要求低、整体性好、后期维护费用低,其中挂篮是悬浇过程中拱圈节段的主要承重构件,挂篮设计、计算是施工成败的关键。该文以贵州某拱桥混凝土箱拱悬浇施工挂篮为研究对象,对该桥施工过程中所用倒挂式三角斜爬挂篮的设计、计算和结构特点进行了分析、介绍。计算结果表明6种工况下挂篮的应力、变形和稳定性均满足要求,该类挂篮在实桥上的成功运用,为大跨箱形混凝土拱桥挂篮分节段悬浇技术的推广应用打下了良好的基础。

关键词: 三角斜爬挂篮; 大跨拱桥; 混凝土箱拱; 悬臂浇筑; 设计计算

挂篮悬臂浇筑是混凝土拱桥、连续梁、连续刚构以及斜拉桥中非常普遍的施工方法,具有十分显著的优点。挂篮悬臂浇筑比悬臂拼装更能适应环境条件、造价低、场地限制小、吊装要求低,且悬浇的整体性明显优于悬臂拼装,后期维护费用低。对中国西部山区正大力发展的混凝土拱桥而言,悬臂浇筑技术必将成为今后施工技术的主要发展方向。

大跨度箱形拱桥的挂篮悬浇技术是一种技术难度较大的工艺,在技术和工艺上都具有一定的独特性,无论是施工还是管理都存在各种难点、挑战。其中悬浇挂篮是拱圈节段悬浇施工的主要承重构件,挂篮的设计、计算是施工成败的关键,具有技术含量高、安全质量控制难度大、工序复杂、施工组织管理难度大等特点。该文以贵州某大跨度拱桥为工程背景,介绍大跨钢筋混凝土箱形拱桥采用挂篮悬臂浇筑的设计、计算及结构特点。

1 挂篮悬浇工程概况

贵州某特大跨度拱桥位于贵州沿河县洪滩镇境内,主桥为240 m钢筋混凝土箱形拱桥,净矢高40 m,净矢跨比为1/6,主拱圈采用等高变截面悬链线单箱双室截面,拱轴系数为1.85,箱形截面宽10 m、高4.5 m。

主拱圈采用挂篮悬臂浇筑进行施工,根据现场情况与实际需要,将拱圈沿纵向对称划分为37个节段。其中:两岸拱脚1号节段采用支架现浇;跨中拱顶合龙

段采用吊架浇筑;中间2~18号拱34个节段为挂篮悬浇段。各个阶段的顶板、底板、腹板根据设计需要沿纵向采用不同的厚度,挂篮上模板的设计根据需要进行调整。各个挂篮悬臂浇筑节段的具体技术参数如表1所示。

表1 拱圈节段主要参数

节段	节段重/t	挂篮重/t	倾角/(°)	节段长/m
1	621.9		34.89	14.06
2	266.2	225.9	31.94	7.23
3	267.3	231.7	29.91	7.13
4	257.9	228.1	27.83	7.32
5	246.7	222.3	25.73	7.16
6	238.2	218.2	23.65	7.07
7	239.7	222.9	21.60	6.96
8	231.4	218.0	19.58	6.84
9	234.3	223.3	17.58	6.79
10	226.7	218.3	15.63	6.70
11	230.2	223.6	13.68	6.66
12	223.2	218.4	11.78	6.59
13	237.5	233.9	9.88	6.56
14	240.9	238.4	8.03	6.51
15	245.3	244.0	6.17	6.51
16	239.2	238.5	4.34	6.47
17	244.2	243.9	2.52	6.48
18	184.2	184.1	0.95	4.71

收稿日期:2019-06-14(修改稿)

作者简介:韩洋,男,大学本科,高级工程师,E-mail:41309765@qq.com

2 挂篮构造与技术参数

采用下承上行式斜爬挂篮,以适用该桥主拱宽度大、拱圈倾斜及每节段角度均不同等特点。浇筑顺序为从拱脚到拱顶,且两岸对称。这种倒挂式的三角斜爬挂篮自重轻,施工空间大、斜爬角度大、施工操作简单。构造特点包括承重桁架系统、底篮支承系统相结合,三角形桁架倒置于箱底,在主桁上弦搁置型钢,当作分配梁放置底模。挂篮在悬浇混凝土承受荷载时,将主桁、模板用拉杆提起紧贴于箱底,同时,在后支点上通过千斤顶调整底模标高,并在中横梁后部设置抗剪臂抵抗下滑力。挂篮行走过程中,松开拉杆、抗剪臂及千斤顶,通过挂钩吊起整个挂篮系统,此过程的力为后支点承载变为反力轮承载,以此推动挂钩使挂篮前移。

挂篮由型钢和钢板组焊构件组成(图1、2),挂篮总长16 m,高10.05 m,采用三角形桁架作为承重构件,桁架系统高4.3 m,桁片中心距为 $(2.25+3.2+2.25)$ m,挂篮重约90 t,设计承载能力300 t。主桁系统包括纵梁、横梁、斜杆、竖杆、挂钩及稳定桁架。主桁纵梁主要包括前纵梁和后纵梁。前、后纵梁均由2[40a型钢通过缀板连接形成箱形杆件。横梁包括前横梁、中横梁和后横梁,前、中、后横梁均由2[32a槽钢焊接形成箱形杆件,与三角形桁架通过栓连接。箱内设置横隔板,以适用受力、稳定的要求。斜杆包括前外斜杆、前内斜杆和后斜杆,前外斜杆由2[32a型钢焊接形成箱形杆件,前内斜杆由2[25a型钢焊接形成箱形杆件,后斜杆采用2[32a型钢焊接形成箱形杆件。竖杆采用16Mn钢板焊接形成箱形杆件,通过栓接与主桁其他杆件相接。矩形挂钩采用Q345钢板构件,与桁架相连,支承在滑板上,滑板铺设于拱箱顶面轨道,节段混凝土浇筑时,挂钩不承受任何荷载;挂篮前移时,承担挂篮自身的重量,沿轨道行走到指定位置。

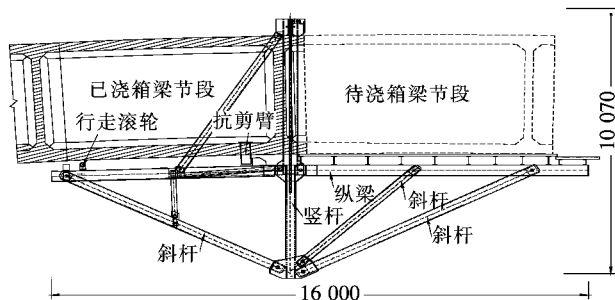


图1 挂篮整体立面图(单位:mm)

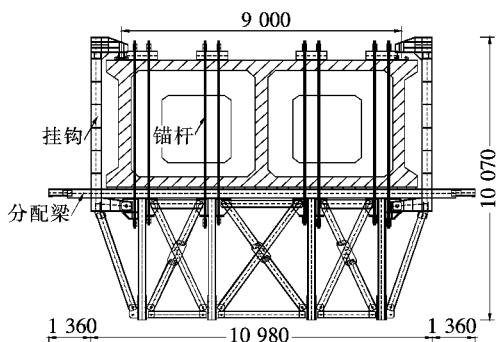


图2 挂篮断面图(单位:mm)

为增加此结构的整体稳定性,各主桁杆件之间设有水平和竖向稳定桁架。

3 挂篮计算

采用Midas软件模拟挂篮,建立空面杆系有限元整体模型,对挂篮的传力过程及挂篮结构进行有限元计算。根据结构特点整体模型共196个节点,241个单元,结构截面特性11种,释放梁单元约束69处(梁单元铰接处),支座8个(主桁竖杆支点4个、纵梁横杆支点4个)。

采用允许应力法进行验算,挂篮的主要计算参数为:钢弹性模量为 2.1×10^5 MPa, Q235钢容许应力 $[\sigma_w]=145$ MPa, $[\sigma]=140$ MPa, $[\tau]=85$ MPa, 16Mn钢容许应力 $[\sigma_w]=210$ MPa, $[\sigma]=200$ MPa, $[\tau]=120$ MPa。混凝土重度 26 kN/m^3 ,模板自重 1.0 kN/m^2 ,施工人员、机具荷载 1.5 kN/m^2 ,倾倒混凝土时产生的冲击荷载 2.0 kN/m^2 ,振捣混凝土产生的荷载 2.0 kN/m^2 。挂篮空载行走冲击系数1.4,挂篮稳定系数 ≥ 4.0 ,锚固安全系数 ≥ 2.0 。

计算过程主要对主桁承重系统强度、稳定性以及挂篮行走进行计算,为简化和偏安全考虑,在进行混凝土重量、挂篮自重、模板荷载、临时荷载等组合的基础上,考虑以下6种工况的计算:① 工况1:2号节段施工,角度最大,2号节段长7.227 m,重266.1 t;② 工况2:4号节段施工,节段最长,4号节段长7.324 m,重257.8 t;③ 工况3:13号节段施工,顶板变化段,节段垂直于挂篮重量变大,13号节段长6.56 m,重237.5 t;④ 工况4:15号节段施工,节段垂直于挂篮重量最大,15号节段长6.507 m,重245.3 t;⑤ 工况5:17号节段施工,角度最小,17号节段长6.475 m,重量为244.2 t;⑥ 工况6:挂篮行走,模拟挂篮行走时的工况。

前5种工况分别模拟2、4、13、15、17号节段的挂

