

山区连续刚构桥边跨现浇段吊架法施工技术

赵艳纳¹, 贾利强², 邹兴林³

(1. 广西高速公路投资有限公司, 广西南宁 530021; 2. 广西交通投资集团有限公司;
3. 中交一公局第四工程有限公司)

摘要:大跨度连续刚构桥梁边跨现浇段是施工的难点部位,其施工工艺的选择对整个桥梁的施工工期、质量和成本有着重要影响。该文以乐业至百色高速公路百楼1号大桥边跨现浇段工程为例,系统地对比分析了4种不同的连续刚构桥边跨施工方法,认为采用吊架法施工具有较大的优势,可在保障施工安全及施工质量的前提下,加快施工进度,减小施工成本,并通过理论计算验证了吊架法施工技术的可行性及可靠性。

关键词:刚构桥; 边跨; 现浇段; 吊架法

乐业至百色高速工程是宁夏回族自治区银川市至广西壮族自治区百色市国家高速公路网“G69”线路的重要组成部分,项目于2020年1月建成通车。百楼1号大桥是广西乐业至百色高速公路中的重要连接枢纽、控制性工程,也是重难点工程。该桥位于广西河池市天峨县下老乡境内,全长463 m,横跨红水河及两边深沟峡谷。该文针对百楼1号大桥的难点,对施工方案进行对比后,提出边跨桥现浇段吊架法关键施工技术及工艺,对类似工程具有一定的参考作用。

1 工程概况及难点

1.1 工程概况

百楼1号大桥起讫里程桩号为K13+081~K13+544,全长463 m,整座桥梁共设计3联,左右幅桥面净宽均为12.5 m,单幅设计采用单向两车道。桥梁上部结构采用预应力混凝土连续刚构箱梁(图1)以及预应力混凝土简支连续T梁,桥墩设计采用墙式桥墩和矩形盖梁柱式桥墩,桥台设计采用重力式桥台,基础采用钻孔灌注桩形式布置,百楼1号大桥[(55+100+55)m]采用左、右线3#~6#墩单箱单室、变高度、变截面连续刚构形式,梁底按2次抛物线变化,左右线分幅布置,3#、6#桥墩为边跨桥墩。

桥址区地表出露松散岩类,桥梁施工区域内工程地质情况较为复杂,周边地形地貌变化较大,受区域地形、地层岩性、地质构造及地下水发育情况等地质因素

影响,该地区不良地质情况较多,岩溶较发育,且存在较大范围的松散堆积体,施工难度较大。为了使百楼1号大桥在确保施工安全及施工质量的前提下,加快施工进度,节约施工成本,设计采用边跨现浇段吊架法施工,桥梁左右幅分别从4#、5#桥墩向3#、6#桥墩进行推进,距离3#、6#墩达设计距离时采用吊架法现浇施工。

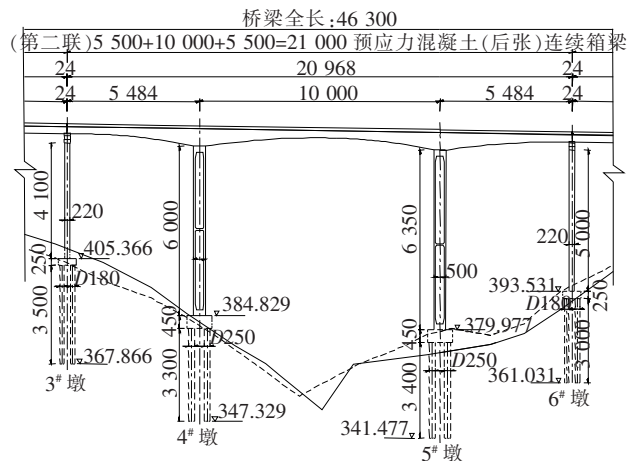


图1 百楼1号大桥连续刚构段桥型布置图
(除标高为m外,其余单位:cm)

1.2 桥梁边跨现浇段结构参数

百楼1号大桥边跨现浇段箱梁(图2)纵坡设计为1.4%,桥面横坡为2.33%~4.0%,设计两车道通行,箱梁顶板宽为12.5 m,底板宽为6.5 m,梁高为2.5 m;桥梁支座采用工程中常用的型号HDR系列高阻尼隔震橡胶支座及型号为GPZ(KZ)的盆式橡胶支座,

严格控制吊架钢材的重量是吊架法施工的关键要点。该施工技术的原理主要是将挂篮行走至前吊点距目标梁段截面250 cm处,然后将挂篮主桁调整水平进行锚固,调整挂篮底篮纵桥向坡度与大桥设计纵坡一致,利用双拼I25a工字钢作为吊架的承重梁,安装承重横梁前先按照设计在挂篮底篮两边各增设3根承重纵梁,边跨墩上预先设置好的桥梁支座为另一端的结构支点,通过纵梁与横梁的拼接、搭设与吊架形成模板支撑结构,再在该结构上铺装木制模板,最终形成底模浇筑平台,采用砂袋法堆载预压,分4级预压荷载进行加载,以检验该支架结构在设计荷载的加载影响下其结构的弹性及非弹性变形量,同时可验证该结构的可靠性及安全性。通过预压后,以底模浇筑平台为基准,安装浇筑侧模及浇筑内模,模板完成后按设计布置钢筋、预应力管道及预埋件,最后进行混凝土浇筑。

整个边跨现浇段施工过程均以吊架结构作为支撑,因此,吊架结构的安全性及可靠性必须要高,必须有足够的刚度和强度,吊架的安装精度要求也较高。

3.2 吊架法施工工艺

(1) 吊架施工

该工程中,将挂篮行走至前吊点距目标梁段截面250 cm处,将挂篮主桁进行调整锚固,调整挂篮底篮纵桥向坡度与大桥设计纵坡(1.4%)一致,承重梁采用双拼I25a工字钢,上下接缝采用间断焊接,每隔8 cm焊接一处,焊缝长8 cm,工字钢翼缘板应焊接加劲板,要求无漏焊缺焊现象、焊缝平滑、无气孔、夹渣。安装横梁前先按照设计在挂篮底篮两边各增设3道纵梁,然后将横向承重梁横桥向安放在挂篮底篮上。

(2) 支架预压施工

支架采用砂袋法堆载预压,砂袋采用吨袋,每个砂袋可装砂1 t。根据设计要求,预压荷载为箱梁自重1.1倍,预压期不小于3 d,预压荷载分4级进行加载(预压荷载值的60%、80%、100%、110%)。纵桥向分为梁端实心段和变截面段两个部分。横桥向分为翼缘板位置、腹板位置、箱室位置。纵、横桥向各个部分根据箱梁结构尺寸分别计算预压重量,根据计算重量确定砂袋堆放高度。

(3) 配重施工

边跨现浇段施工采用等位移控制配重,配重的实质是两端悬臂段根据需要调整的位移进行配重,在边跨现浇段施工时,需经过第三方监测监控单位现场实测,配重值由第三方监控控制实施。

(4) 支座安装

刚构桥采用4个GPZ(KZ)3.5DX球形支座和4个GPZ(KZ)3.5SX球形支座,盆式支座由上支座板含不锈钢板、下支座板、聚四氟乙烯滑板(即平面四氟板)及防尘结构等组成。

(5) 模板安装

底模板采用1.5 cm厚高强度竹胶板,安装之前涂刷效果好的脱模剂。确保梁底两侧模板超出梁底边线10 cm以上。底模板铺设完毕后进行测量,并根据测量结果调整底模板。若标高达不到预压后的设计标高还要进行二次调整。

侧模板,侧模和翼缘模板也采用1.5 cm厚高强度竹胶板,先根据测量出的梁底板边缘线在底模板上弹上墨线,然后安装侧模板,侧模内设置对拉螺栓。

箱室模板:由于箱梁混凝土分两次浇筑,第一次浇筑至腹板顶部,第二次浇筑箱式顶板,箱室模板分两次安装。第一次用1.5 cm厚竹胶板做内模板,用 $\phi 48$ mm \times 3.5 mm钢管支架作横撑,支架两侧设置可调顶托,并用10 cm \times 10 cm的方木支撑侧模板。当第一次浇筑的混凝土达到规定强度后即可拆除内模,同时用 $\phi 48$ mm \times 3.5 mm的钢管搭设排架,在排架上设置可调顶托并布设方木,方木上铺设1.5 cm厚的竹胶板。在浇筑混凝土过程中需派专人检查内模的位置变化情况。

模板安装时除常规要求外,还要求偏差控制在5 mm以内,确保模板平面位置准确。

(6) 钢筋、预应力管道及预埋件安装

底板上下层钢筋之间用钢筋垫起焊牢,防止人踩变形,使上下层钢筋始终保持设计间距,钢筋架按间距50 cm呈梅花形布置;由于边跨现浇段顶面长度仅为3.84 m,顶面标高控制时,在模板侧面每50 cm设置一根标高控制钉,其余部位弹线标示。施工时,采用3 m长钢刮尺沿横桥向方向对准标高控制线,对箱梁顶面平整度进行刮平控制;安装预埋件前,应注意支座预埋钢板、泄水孔、护栏底座钢筋、箱室通气孔、人洞、伸缩缝、劲性骨架锚固杆等预埋件的设置,切忌不可遗漏,预埋时需确认各预埋件的尺寸大小和布置位置。

(7) 混凝土浇筑

边跨现浇段施工时,混凝土浇筑拟采用混凝土罐车配合地泵的方式进行,应遵照先底板,然后腹板,最后顶板和翼板的整体顺序。浇筑底板及腹板时,混凝土从悬浇段前端向支点进行,梁腹板同时对称浇筑,浇筑顶板及翼板混凝土时,从两侧向中央推进。混凝土整体分层往复浇筑、分层振捣,沿悬臂端向支点进行。

先浇筑底板混凝土,然后浇筑腹板混凝土,在混凝土浇筑过程中,混凝土要水平分层浇筑。在前层混凝土初凝前浇筑完成次层混凝土,超过混凝土初凝时间时必须按施工缝处理。

4 受力验算

采用理论计算的方法对纵梁受力进行了静力学分析及校验核算,以作为指导现场施工的参考,确保桥梁施工安全。边跨现浇段吊架及纵梁布置结构如图 3、4 所示。

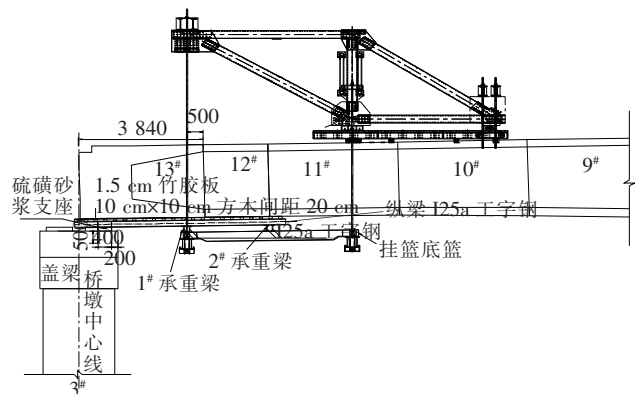


图 3 边跨现浇段吊架立面布置图

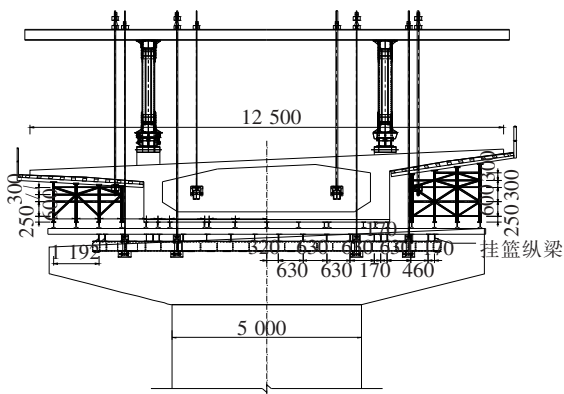


图 4 边跨现浇段吊架施工断面图(单位:mm)

纵梁采用 I25a 工字钢,纵梁间距为:腹板下 0.32 m、底板下 0.84 m、翼缘板下 0.6 m,纵梁跨径为 2.74 m。截面特性: $I = 5.02 \times 10^7 \text{ mm}^4$, $W = 4.02 \times 10^5 \text{ mm}^3$, $A = 4850 \text{ mm}^2$, $I_x/S_x = 216 \text{ mm}$ 。

(1) 腹板下纵梁受力荷载计算

- ① 混凝土恒载: $2.63 \times 26 = 68.4 \text{ kN/m}^2$
- ② 竹胶板方木自重: 0.5 kN/m^2
- ③ 施工荷载: 2 kN/m^2
- ④ I25a 自重荷载: 0.4 kN/m

强度验算荷载: $q_1 = (68.4 + 0.5) \times 0.32 \times 1.2 + 0.4 \times 1.2 + 2 \times 0.32 \times 1.4 = 27.9 \text{ kN/m}$

刚度验算荷载: $q_2 = (68.4 + 0.5 + 0.4 + 2) \times 0.32 = 22.8 \text{ kN/m}$

强度计算:

$$M_{\max} = q_1 l^2 / 8 = 27.9 \times 2.74^2 / 8 = 26.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{\max} = M_{\max} / W = 26.2 \times 10^6 / 402000 = 65.2 \text{ MPa}$$

$< f = 205 \text{ MPa}$

$$F_s = 27.9 \times 2.74 / 2 = 38.3 \text{ kN}$$

$$\tau = \frac{F_s S_z^*}{I_z d} = \frac{38300}{216 \times 8} = 22.2 \text{ N/mm}^2 < f_v = 125$$

N/mm^2 强度满足要求。

刚度计算:

$$f = 5q_2 l^4 / (384 \times E \times I) = 5 \times 22.8 \times 2740^4 / (384 \times 210000 \times 50200000) = 1.59 \text{ mm} < l/400 = 7.6 \text{ mm}, \text{刚度满足要求。}$$

(2) 底板下纵梁受力荷载计算

- ① 混凝土恒载: $1.42 \times 26 = 36.9 \text{ kN/m}^2$
- ② 竹胶板方木自重: 0.5 kN/m^2
- ③ 施工荷载: 2 kN/m^2
- ④ I25a 自重荷载: 0.4 kN/m

强度验算荷载: $q_1 = (36.9 + 0.5) \times 0.84 \times 1.2 + 0.4 \times 1.2 + 2 \times 0.84 \times 1.4 = 40.6 \text{ kN/m}$

刚度验算荷载: $q_2 = (36.9 + 0.5 + 0.4 + 2) \times 0.84 = 33.4 \text{ kN/m}$

强度计算:

$$M_{\max} = q_1 l^2 / 8 = 40.6 \times 2.74^2 / 8 = 38.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{\max} = M_{\max} / W = 38.1 \times 10^6 / 402000 = 94.8 \text{ MPa}$$

$< f = 205 \text{ MPa}$

$$F_s = 40.6 \times 2.74 / 2 = 55.7 \text{ kN}$$

$$\tau = \frac{F_s S_z^*}{I_z d} = \frac{55700}{216 \times 8} = 32.3 \text{ N/mm}^2 < f_v = 125$$

N/mm^2 。

强度满足要求。

刚度计算:

$$f = 5q_2 l^4 / (384 \times E \times I) = 5 \times 33.4 \times 2740^4 / (384 \times 210000 \times 50200000) = 2.33 \text{ mm} < l/400 = 7.6 \text{ mm}, \text{刚度满足要求。}$$

(3) 翼缘板下纵梁受力荷载计算

- ① 混凝土恒载: $0.7 \times 26 = 18.2 \text{ kN/m}^2$
- ② 竹胶板方木自重: 0.5 kN/m^2
- ③ 施工荷载: 2 kN/m^2
- ④ I25a 自重荷载: 0.4 kN/m

⑤ 支架及横梁荷载:1 kN/m

强度验算荷载: $q_1 = (18.2 + 1 + 0.5) \times 1.2 \times 1.2 + 0.4 \times 1.2 + 2 \times 1.2 \times 1.4 = 32.2$ kN/m

刚度验算荷载: $q_2 = (18.2 + 0.5 + 1 + 0.4 + 2) \times 1.2 = 26.5$ kN/m

强度计算:

$$M_{\max} = q_1 l^2 / 8 = 32.2 \times 2.74^2 / 8 = 30.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{\max} = M_{\max} / W = 30.3 \times 10^6 / 402\ 000 = 75.4 \text{ MPa} < f = 205 \text{ MPa}$$

$$F_s = 32.2 \times 2.74 / 2 = 44.2 \text{ kN}$$

$$\tau = \frac{F_s S_z^*}{I_z d} = \frac{44\ 200}{216 \times 8} = 25.6 \text{ N/mm}^2 < f_v = 125 \text{ N/mm}^2$$

强度满足要求。

刚度计算:

$$f = 5q_2 l^4 / (384 \times E \times I) = 5 \times 26.5 \times 2\ 740^4 / (384 \times 210\ 000 \times 50\ 200\ 000) = 1.84 \text{ mm} < l/400 = 7.6 \text{ mm}$$

刚度满足要求。

(4) 悬臂端纵梁受力荷载计算

① 混凝土恒载: $2.63 \times 26 = 68.38$ kN/m²

② 竹胶板方木自重:0.5 kN/m²

③ 施工荷载:2 kN/m²

④ I25a 自重荷载:0.4 kN/m

强度验算荷载: $q_1 = (68.4 + 0.5) \times 0.84 \times 1.2 + 0.4 \times 1.2 + 2 \times 0.84 \times 1.4 = 72.3$ kN/m

刚度验算荷载: $q_2 = (68.4 + 0.5 + 0.4 + 2) \times 0.84 = 59.9$ kN/m

强度计算:

$$M_{\max} = q_1 l^2 / 2 = 72.3 \times 0.6^2 / 2 = 13.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{\max} = M_{\max} / W = 13.1 \times 10^6 / 402\ 000 = 32.6 \text{ MPa} < f = 205 \text{ MPa}$$

$$F_s = 72.3 \times 0.6 = 43.4 \text{ kN}$$

$$\tau = \frac{F_s S_z^*}{I_z d} = \frac{43\ 400}{216 \times 8} = 25.1 \text{ N/mm}^2 < f_v = 125$$

N/mm²

强度满足要求。

刚度计算:

$$f = q_2 l^4 / (8 \times E \times I) = 59.9 \times 600^4 / (8 \times 210\ 000 \times 50\ 200\ 000) = 0.09 \text{ mm} < l/400 = 1.5 \text{ mm}$$

刚度满足要求。

挂篮荷载计算:由于边跨现浇段作用于挂篮上的荷载比整体荷载要小,故符合安全标准。

5 结语

以广西乐业至百色高速公路百楼1号大桥连续钢构桥边跨现浇段施工为案列,系统地对比分析了4种不同的连续刚构桥边跨现浇段施工方法,认为采用吊架法施工具有较大的优势,并阐述了吊架法施工工艺,同时采用理论计算的方法,验证了该桥梁采用吊架法施工技术的可行性及可靠性。在确保施工进度及施工安全、质量的前提下,采用吊架法施工工艺较为简单便捷、施工成本较低,有利于施工进度及质量控制,在实际施工过程中具有一定的应用及推广价值。

参考文献:

- [1] 邹兴林. 谈山区高速公路施工安全问题及控制措施[J]. 山西建筑, 2017(33).
- [2] 陈颖. 浅谈高墩连续钢构桥边跨直线段钢管支架法施工技术[J]. 四川水泥, 2018(11).
- [3] 宋杰. 高速公路连续刚构桥现浇支架施工改为牛腿托架法施工技术[J]. 建筑机械, 2017(5).
- [4] 张丽英. 无落地支架法现浇连续梁边跨直线段施工技术[J]. 国防交通工程与技术, 2016(A1).
- [5] 王建军. 高速铁路高墩连续梁边跨吊架法施工技术[J]. 铁道建筑, 2014(11).
- [6] 李宁, 卢勇, 陈成, 等. 波形钢腹板连续梁桥错位法悬浇施工技术适用性研究[J]. 中外公路, 2018(1).
- [7] 刘龙, 张振伟, 马兴鹏, 等. 不同跨径铁路连续梁桥悬臂施工线形对比分析研究[J]. 中外公路, 2019(5).