

非对称外倾式钢箱拱桥结构与施工

黄日金¹ 孙剑飞¹ 韦福堂¹ 郜小群² 玉进勇¹ 刘丽川¹

(1 柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005 2 中铁二局集团有限公司 成都 600528)

摘要:介绍了世界上首座大跨径曲线梁非对称外倾拱桥——南宁大桥的结构特点,阐述了“先拱后梁、以拱承梁,钢箱拱通过斜拉扣挂悬臂拼装”的施工方案。实践证明,此施工方法是成功、可行的,在此指导下,为增加拱肋纵横向稳定性而设置的临时系杆、临时吊杆、临时横梁以及缆风索对整个外倾式结构的安装安全和保证质量起到关键性的作用,为今后同类型的桥梁提供良好的借鉴经验。

关键词:非对称 外倾式 拱桥 拉索 扣索

1 概况

南宁大桥(见图1)位于广西南宁市东南边,北起青山路,主桥跨越邕江,连接南岸潘龙新城,是南宁新规划五象新区进入市区和快速环道的主要通道,也是南宁市区过江直达北海、环北部湾经济区的首选桥梁通道。

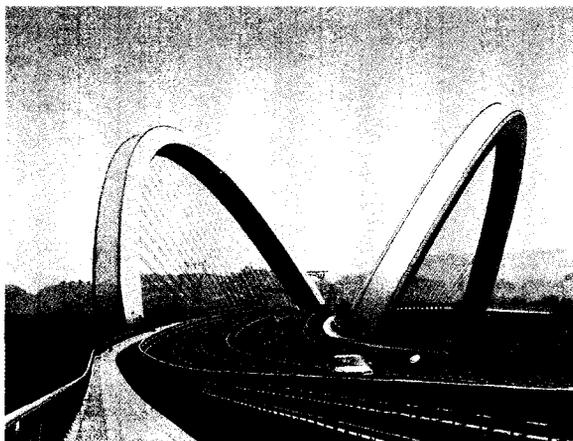


图1 南宁大桥雄姿

南宁大桥主桥为世界上首座大跨径曲线梁非对称外倾拱桥,单孔跨度300m,由两条倾斜的钢箱拱肋、桥面曲线钢箱梁、倾斜吊杆和桥面系杆组成。主桥总体线形采用1500m的主梁平面曲线半径,东侧拱肋倾角 69.7° ,西侧拱肋倾角 66.5° ,两侧拱肋轴线由悬链线、圆曲线和直线共同组成符合拱轴线。非对称拱桥桥式为世界首创,打破了常规拱桥设计理念,两侧拱肋均向外倾斜,且倾斜角度不同,顺应了曲线梁的线型设计要求,取消了两拱肋之间的横撑,拱肋

靠自身刚度和倾斜吊杆各自平衡。

南宁大桥主桥拉索包括施工中采用的扣索、临时系杆、临时吊杆、临时横向连接系、横向风缆和桥上结构用的永久系杆、吊杆。主桥采用大跨径曲线梁非对称外倾拱结构,总体施工方案采用“斜吊扣挂法”施工。

2 钢箱拱

南宁大桥两拱肋平面呈椭圆形造型,平面呈圆曲线。特点是曲线上的300m主跨及两条独自倾斜的钢箱拱肋,两拱肋分别于各自的倾斜平面内,拱肋间无横撑联系,两拱肋于主梁下交汇,于拱顶遥相分隔,以支持行车主梁并控制三维传递平衡。钢箱拱肋采用等宽变高的单箱单室截面,拱箱高度按照2.5次抛物线变化,由跨中的5.600m渐变至钢-混交界面的10.008m。拱肋由钢箱拱肋段和混凝土拱肋段组成,东西两拱肋向外倾斜,但都位于各自的拱平面内;在拱平面内,钢箱拱肋段拱轴线为悬链线,混凝土拱肋段拱轴线由圆曲线和直线组成。

东侧拱肋全拱计算跨径300m,全拱计算矢高82.92m,折算矢跨比为1/3.62;拱肋拱平面与水平面的夹角为 69.71559° 。东侧钢箱拱肋部份跨径262m,矢高45.18m,折算矢跨比为1/5.80,拱轴线线形采用 $m=1.244$ 的悬链线;混凝土拱肋段拱轴线由 $R=41.677m$ 的圆曲线和直线组成。

西侧拱肋全拱计算跨径300m,全拱计算矢高86.74m,折算矢跨比为1/3.46;拱肋拱平面与水

平面的夹角为 66.54158° 。西侧钢箱拱肋部分跨径262m, 矢高48.04m, 折算矢跨比为1/5.45, 拱轴线采用 $m=1.190$ 的悬链线; 混凝土拱肋段轴线由 $R=43.765m$ 的圆曲线和直线组成。

3 钢箱梁

主梁采用单箱单室扁平流线型全焊钢箱梁, 全宽35.016m, 中心高3.500m, 钢箱梁顶板设机动车道、非机动车道和人行道。

由于主桥结构非对称体系, 箱梁端节段上设置4个竖向拉压支座, 约束箱梁竖向位移和扭转; 横向设置2个板式支座, 约束箱梁横向位移; 纵向设置了2个阻尼器, 最大位移量 $\pm 160mm$, 以限制箱梁在顺桥向地震相应下的纵向位移。

全桥共布置32束系杆索, 分为四组, 每组8束。全部系杆索均设置于钢箱梁之内, 锚固于肋间平台的锚固横梁上。其中16束在箱梁平面内直线布置, 另外16束在箱梁平面内弯曲布置, 以平衡吊索产生的横向分力。全部系杆索在立面内均为凸形竖曲线, 半径9000m。每束系杆索由OVM250-24环氧涂层钢绞线拉索体系构成。

4 总体施工方案

南宁大桥主桥上部结构采用“先拱后梁、以拱承梁, 钢肋拱通过斜拉扣挂悬臂拼装”的施工方案。拱肋架设采用节段工厂制造运输, 现场无支架缆索吊机吊装, 纵向斜拉扣挂, 东西两拱肋间设置临时横向联结系, 在扣索、临时横向联结系横向缆风索的共同作用下, 抵消拱肋面外分力, 保持拱肋悬拼施工的结构稳定。主梁合龙后安装永久系杆索, 分步完成系杆索、吊杆索和成桥体系转换。图2为施工中的南宁大桥。

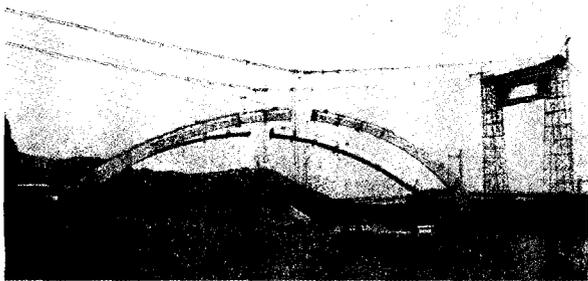


图2 施工中的南宁大桥

4.1 缆索吊装系统

缆索吊系统主跨布置452m, 两岸临时索塔对称布置, 吊塔和扣塔合一, 采用钢管、型钢与万能杆件拼装而成。为合理布置, 东西侧跨度有所区别, 其中东侧: 240m+452m+280m, 西侧: 264m+452m+280m, 边跨主索水平夹角小于 26° ; 扣塔后背索以其水平夹角不大于 30° 控制。由于拱肋外倾, 缆索索道为就拱肋轴线变化, 主索道在临时扣塔塔顶设置横向移动机构。主索道: 设计净吊重110t的四组, 东、西侧各布设2组。单侧钢箱拱肋采用两组主索道抬吊安装。工作索道: 设计净吊重5t的四组, 布设于东、西侧主索道的内、外侧, 用于吊装小型构件、材料、小型机具设备等。

4.2 钢拱肋安装

东拱、西拱钢箱各自划分为15个吊装节段, 最短吊装节段长13.931m, 最长吊装节段长21.152m, 节段最小吊重121.6t, 最大吊重218.0t, 节段上设置垂直吊点、横向连接点和缆风连接点, 每一节段钢拱肋节段内设置3道定位横隔板。悬臂钢拱肋采用扣索扣挂在临时索塔上, 扣索采用易于调整索力的OVM250拉索体系。拱肋端设索导管和承压板, 索塔端设纵向钢锚梁以供中跨扣索过渡到边跨扣索, 边跨扣索锚在距离临时索塔100m端的地垄上。扣索索力在塔端调整。钢拱肋合龙段安装是难点, 合龙温度范围在 $16^\circ\text{C} \sim 22^\circ\text{C}$ 范围内, 合龙前进行全天24小时连续观测(2小时一次), 观测已拼装节段前端的标高变化、长度变化; 确定在温度变化最小的时间段内的合龙长度和合龙段的几何尺寸, 合龙段吊装安排在夜间0:00~4:00时间段内进行。

4.3 主梁吊装

钢箱梁节段在工厂制作组拼, 经检验合格用驳船分9.0m节段运输到桥位, 直接将9.0m节段钢箱梁从跨中向两边依次进行吊装。由于拱肋段外倾斜, 适应于拱肋吊装的缆索系统必须用千斤顶

顶推缆索索鞍到适合于主梁吊装的上方位置,进行跨中主梁节段吊装。分段主梁吊装就位后依靠外侧永久吊杆和临时吊杆准确调整空间位置。由于节段梁吊装过程是拱肋一个加载过程,在这期间单靠扣索无法克服加载而形成的拱肋推力和拱肋外倾力,为此在节段梁吊装之前预先安装临时系杆和东西侧拱肋柔性横联。主桥结构是非对称拱肋布置,主梁在吊装时横桥向水平分力不平衡,而临时吊杆确起到克服该难点之一,临时吊杆交叉布置,用于调整钢箱梁线形和承受钢箱梁自重及施工荷载。主梁成型后安装永久系杆索,张拉永久系杆,同步拆除临时系杆索;拆除临时吊杆和临时横向联结系,此过程是体系转换过程,即由临时系杆、临时吊杆、横联、扣索系统转换到主体结构系统,完成结构体系转换,即成桥的结构受力状况。

(上接第29页)

表3所示。①号梁和②号梁的平均锚具变形和钢筋内缩值为7.2mm,在《混凝土结构设计规范》^[3]第6.2.2条的建议值(6mm~8mm)范围之内。

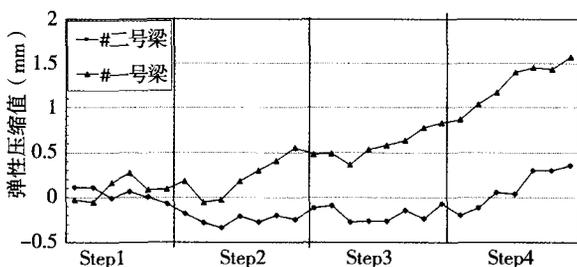


图7 ①、②号梁预应力梁张拉过程中弹性压缩变形

表3 预应力梁张拉千斤顶回油后锚具变形和钢筋内缩值(单位: mm)

梁号	张拉步骤	总伸长量	钢绞线伸长量	锚具变形和钢筋内缩值
①号梁	Step1	11.4	3.4	8.0
	Step2	10.2	3.4	6.8
②号梁	Step1	10.5	3.4	7.1
	Step2	10.3	3.4	6.9
平均值		10.6	3.4	7.2

3.5 裂缝观测

张拉过程中对①号、②号梁的锚固端和跨中

5 结束语

非对称外倾式钢箱拱桥用于公路工程在中国尚属首次,在施工过程结构受力处在不稳定性。该桥采用斜拉扣挂的悬臂安装拱类方法是可行的,在此指导下,为增加拱肋纵横向稳定性而设置的临时系杆、临时吊杆、临时横梁以及缆风索对整个外倾式结构的安装安全和保证质量起到关键性的作用,为今后同类型的桥梁提供良好的借鉴经验。

参考文献

- [1] 南宁大桥设计图册. 四川省交通厅公路规划勘察设计研究院.
- [2] 王凡主编. 桥梁预应力混凝土施工技术 & 标准规范实施手册[M]. 长春: 吉林电子出版社, 2004.
- [3] 苏寅申主编. 桥梁施工及组织管理[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008.

截面进行了监测,锚固端及跨中截面均未发现张拉产生的局部裂纹。张拉后普查大部分裂缝宽度回缩到0.1mm以下,裂缝呈闭合趋势。

4 结论

根据上述对实测结果的分析可知:

- 1) 锚具变形及钢筋内缩值平均值为7.2mm,与规范建议值6~8mm接近。
- 2) 所检测预应力梁在预应力作用下已产生变形,说明结构已建立起有效预应力;
- 3) 张拉完成后,①梁混凝土预压应力为6.2MPa,②梁混凝土预压应力为10.2MPa左右,且张拉过程未出现新裂缝。
- 4) ①梁的最大上拱值为4.5mm,②梁的上拱值为5.7mm。

参考文献

- [1] 陈正锦, 宁英杰, 潘江波. 后张法预应力梁裂缝分析与处理措施[J]. 山西建筑, 2009, 35(7): 147-148.
- [2] 杜傅宗, 黎维升, 彭爱红. 后张预应力梁锚垫板处砼裂缝成因分析及防治措施[J]. 预应力技术, 2008(6): 30-32.
- [3] 中华人民共和国建设部. 混凝土结构设计规范[S]. GB 50010-2002.