

# 南宁大桥及其系杆转向器设计

黄日金 龙廖乾 杨奇光 邓年春 王日艺 陈建国

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

**摘要:**本文介绍了世界上首座大跨径曲线桥梁非对称外倾拱桥及其系杆,一种直线弹性孔道转向器被设计应用于该桥梁。直线弹性孔道转向器放置于拉索圆弧切线处,拉索在转向器处形成的偏移量很小,可通过孔道的弹性变形达到合理的转向,依靠孔道壁的弹性压缩变形,形成适当的弯曲线形。

**关键词:**拱桥 弹性孔道 转向器 拉索

## 1 南宁大桥概况

南宁大桥位于广西壮族自治区南宁市城区东南,北起青山路延长线,南接邕宁县蟠龙新区,是南宁市东南地区进入市区和快速环道的主要通道。南宁大桥既是南宁市实施“重点向南,加快五象新区建设,再造一个新南宁”战略的一项重点工程,也是推进中国北部湾建设,建设区域性

国际城市的重要交通枢纽。南宁大桥建成后将成为南宁市标志性建筑。

南宁大桥主桥为世界上首座大跨径曲线桥梁非对称外倾拱桥,单孔跨度300米,南北两岸均为半苜蓿叶形立交,桥身两边圆曲状的拱形,以不同的倾角向外倾斜,各用10根拉索相连,远看像两个对接的竖琴横跨邕江两岸(图1)。



图1 南宁大桥效果图

## 2 南宁大桥设计施工介绍

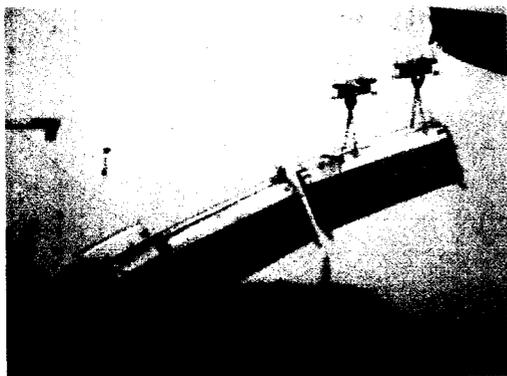
南宁大桥为非对称肋拱桥,主梁为正交异性钢箱梁,位于平曲线上,两个钢箱拱外倾,因主梁位于曲线,故两拱肋外倾角度不等。该创意由林同炎先生提出,由四川省交通厅公路规划勘察设计研究院设计。设计方案采用非对称肋拱桥的桥型方案,风格独特,线型优美,具有强烈的时代感。此设计方案在国内外属于首创。

南宁大桥由主桥、东西两岸引桥及立交匝道3部分组成,主干路设计长度1314.773米,其

中桥梁全长734.502米,引道长565米,立交匝道长530米。主桥及引桥均设双向六车道,桥面宽35米,属城市主干道I级,设计行车速度为50公里/时,设计通行能力为6000多辆次/小时。主桥(通航孔桥)采用一孔300米跨径的非对称肋拱桥跨越邕江航道,连接南岸蟠龙新城的规划路。南北引桥将跨越规划实施的两岸沿江道路。

南宁大桥由中铁二局集团有限公司总承包施工,于2005年3月开工建设。南宁大桥作为世界上跨度最大的曲线梁非对称外倾式钢箱拱桥,其

结构设计独特新颖、技术含量高、施工难度很大。针对南宁大桥工程的特点,中铁二局汇集了公司内外各方桥梁专家,对相关技术课题展开技术攻关。南宁大桥主桥上部结构,经过多方案的反复比选和专家审查论证,总体采用“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。外倾式钢肋拱节段吊装是施工中的最大难题,包括节段空间姿态调整和临时稳定。拱节段最大长度21.6米,最大重量218吨。为解决拱节段姿态调整过程中,因结构重心变化,带来前后吊点起重索索力不均的难题,施工采用以水中浮箱平台为依托,先侧转,后竖转的翻身工艺。通过塔顶索鞍横向移定位、吊带长度调整、前后吊架横移及临时辅助措施,实现节段的精确对位和连接(见图2)。



拱肋吊装(一)



拱肋吊装(二)

图2 拱肋吊装图

### 3 南宁大桥系杆设计

与传统拱桥相比,斜吊拱曲线桥梁的系杆除了平衡拱肋产生的水平推力之外,还必须平衡吊杆产生的主梁横向分力,因此,南宁大桥系杆在

平面内必然是弯曲布置。在每道吊点横隔板上,均设置了系杆转向构造;特殊设计的系杆转向构造必须满足定位、转向、滑移3个基本功能需求。南宁大桥的系杆拉索结构可分为2组形式:一组为直索,一组为弯索,全桥共设置直系杆16束,弯系杆16束。全部系杆索均设置于钢箱梁之内,并锚固于肋间平台的锚固横梁上。第一组系杆索(N1~N8)、第四组系杆索(N25~N32)在平面内直线布置;第二组系杆索(N9~N16)、第三组系杆索(N17~N24)在平面内弯曲布置,以平衡吊索产生的横向分力。弯索在经过钢箱梁横隔板时,由于存在弯角的变化需要对该部分的每根钢绞线进行定位、转向处理:定位是为了保证钢绞线在张拉后不会由于弯角的原因而相互错位、挤压,避免PE层受到损伤;转向是借用每道横隔梁的存在,通过定位、转向装置的导向使整个弯索以逐步的、很小的角度满足弧形的结构设计。全部系杆在立面内均为凸形竖曲线,半径为9000m。在每道横隔梁的横隔板处放置一个转向器,全桥共832个转向器。

南宁大桥在全部钢箱梁范围内,系杆的最大局部偏转角为 $0.38^\circ$ (见图3)。分析系杆转向构造处的系杆线形,在导管范围内,系杆的最大横向偏移仅为0.33mm。对于这样小的偏移量,转向器上形成孔道的导向套管的材料采用HDPE材料制造,依靠孔道壁的弹性压缩变形,形成适当的弯曲线形。而支撑各孔道分丝管的材料则采用抗压强度高的材料制作,从而保证其整体定位刚度,同时避免各孔道管之间的相互挤压造成的转向体变形。这样的转向结构自然对制造误差予以有效补偿,使得制造、安装的难度有效降低。另外,考虑到制造工艺的可行性和安装的便利性,提出了直线弹性孔道转向器结构方案。

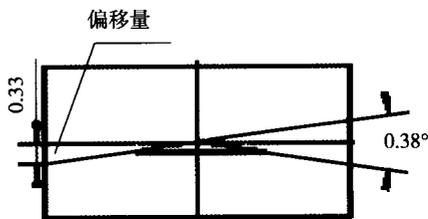


图3 系杆横向偏移示意图

## 4 直线弹性孔道转向器结构特点和受力分析

### 4.1 传统弯曲转向器的结构特点和受力分析

传统弯曲转向器的结构由隔板、导向管、边板、挡板等组成(见图4),其中隔板、边板、挡板由钢板材料制作,而导向管由钢管或塑料管制作。用钢管制作成的导向管,需要每根管子弯曲成同样的角度,每个转向器中有多根导向管,装配调整好角度再焊接,所以弯曲转向器加工比较麻烦。这种转向器成本较高但可实现较大角度的转向角。

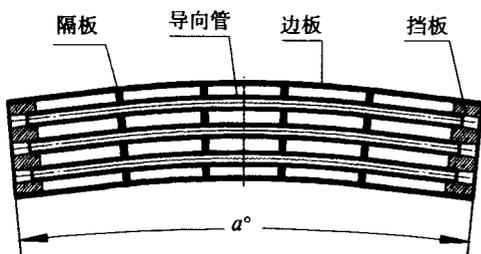


图4 传统弯曲转向器结构示意图

### 4.2 直线弹性孔道转向器结构特点和受力分析

#### 4.2.1 直线弹性孔道转向器结构特点

直线弹性孔道转向器结构由外套管、导向套管、导向板、隔板等组成(见图5)。直线弹性孔道的材料选择要求有良好的弹性,较好的延伸率,较好的强度和耐久性,故导向套管、导向板由弹性材料制成,其余为钢材料。

#### 4.2.2 直线弹性孔道转向器受力分析

##### 1) 计算强度

$$\sigma_{bs} = \frac{F_{bs}}{A_{jbs}}$$

式中:  $F_{bs}$ —挤压力  $\sigma_{bs}$ —挤压应力  $A_{jbs}$ —挤压面计算面积(是其最大正投影面积)。

##### 2) 压缩变形量

$$\Delta L = \frac{NL}{EA}$$

式中:  $N$ —正应力,  $L$ —厚度,  $E$ —弹性模量,  $A$ —截面面积或最大正投影面积。

##### 3) 拉索在转向器处偏移量计算

$$\Delta S = R - \sqrt{R^2 - 0.25L^2}$$

式中:  $R$ —拉索转向半径,  $L$ —转向器长度。

要求偏移量  $\Delta S$  小于  $\Delta L$  压缩变形量, 还要考虑导向套管厚度、直径和孔位的分布。

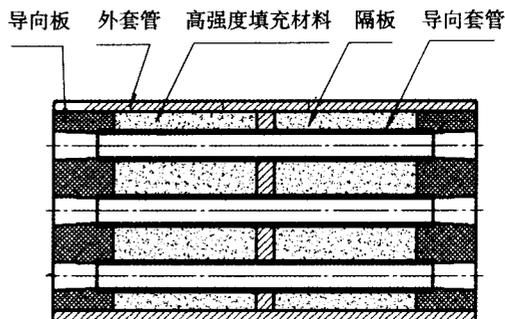


图5 直线弹性孔道转向器结构示意图

### 4.3 直线弹性转向器转向器的优缺点

直线弹性转向器的优点具有如下优点:

1) 导向板与导向管都由弹性好的材料制作,具有一定的柔韧性,组成了具有弹性变形通道,可满足转向器在转向分力作用下,自然压缩变形的要求,形成适当的弯曲曲线形,在适用范围内,能向不同方向弯曲,满足转向要求。

2) 拉索的外层防护层用HDPE材料制作,由于HDPE层间的磨阻较小、加上润滑油的润滑,拉索可在通道内滑移,适应桥梁行车时振动滑移,减少磨损。

3) 导向板上的每个端口开孔均是喇叭形,对角度误差起到很好的补偿作用。可消除穿安装施工时对拉索造成的磨损。

4) 转向器内的导向套间空隙填充高强度填充料,隔板和砂浆起骨架支撑作用,内部结构材料组合刚柔并济,柔性材料和刚性材料各司其职,能把转向分力均匀分散传到外套管上,保证转向器整体强度及刚度。

5) 转向装置为多根相互平行的柔性导向管构造,保证拉索与拉索相互平行,使拉索受力均匀,减小拉索与转向器之间的微动磨损。

6) 工艺制作简单方便。

缺点: 这种转向器只能实现较小的转向角。

## 5 直线弹性孔道转向器在南宁大桥上的应用

转向器共27个钢绞线孔道，孔道之间的中心距为35mm（两根钢绞线的中心距为35mm），导向套管采用 $\phi 30\text{mm}$ 、壁厚3.5mm的弹性材料管，中间采用隔板定位支撑，两端用弹性材料导向板定位端口。两根套管之间的间距有5mm，在套管间隙间填充砂浆料，可保证填充密实，并具有足够的抗压强度，从而保证各导向套管之间的定位，并使转向器满足整体刚度的要求。图6为安装在横隔梁的横隔板处的直线弹性孔道转向器实物图，图7为建设中的南宁大桥。



图6 安装好的直线弹性孔道转向器



图7 建设中的南宁大桥

## 6 小结

大跨径曲线桥梁非对称外倾拱桥由于结构独特，需要设计全新的桥梁拉索转向器的来平衡主梁横向分力，直线弹性孔道转向器成功地在南宁大桥上应用，说明这种设计是成功的。同时，这种直线弹性转向器也可以应用于其它曲率半径大，转向角小的工程中。

### 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] 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.
- [3] 王凡主编. 《桥梁预应力混凝土施工技术及标准规范实施手册》[M]. 吉林: 吉林电子出版社, 2004.

(上接第12页)

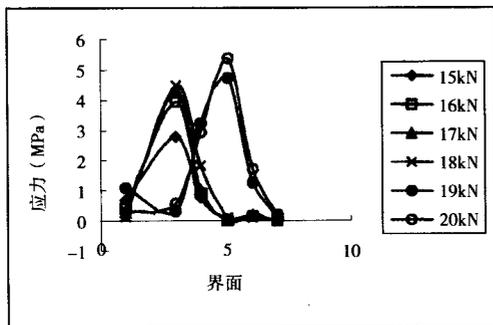


图10 试件C80-60-1在邻近剥离荷载作用下的应力分布

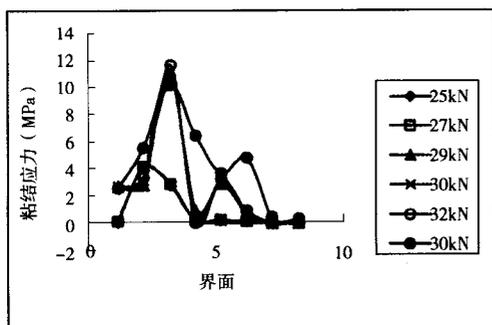


图11 试件C150-60-2在邻近剥离荷载作用下的应力分布

## 5 结语

本文采用弯拉试验方法对纤维布与钢结构的粘结性能进行了试验，研究了不同粘结参数对粘结强度影响，初步得出了如下几点结论：

(1) 碳纤维布与钢结构之间的粘结存在有效粘结长度，粘结长度没有达到有效粘结长度时，极限承载力随着粘结长度的增加而增加，但并不是成比例增加，当粘结长度超过有效粘结长度后，极限承载力不再随着粘结长度的增长而变化，而是趋于稳定。本次试验得出的碳纤维布与钢结构之间有效粘结长度在120~150mm之间。

(2) 极限承载力随着粘贴的纤维布层数的增加而增加，但不是简单的倍数关系。在粘贴多层CFRP时，应尽量使层间粘结充分，避免层间分离。

(3) 碳纤维布与钢结构界面的宽度比对粘结强度有一定的影响，试件的粘结强度随着宽度比 $b_f/b_s$  ( $b_f$ : 碳纤维布宽度;  $b_s$ : 工字钢腿宽度) 的增加而减小。