

# 大跨度提篮钢箱拱桥拱肋安装控制技术

田久晖 程华强

武汉市桥梁工程有限公司

**摘要:**新河大桥主桥为 196m 的中承式提篮钢箱拱桥,拱肋内倾 10°,结构三维造型复杂,成型后的线形是钢结构吊装施工的控制核心。结合工程实际施工环境条件,分析采用大节段整体提升方案、拱上吊机提升拼装方案、缆索吊提升拼装方案等施工方案安装钢箱拱的优缺点,确定采用缆索吊斜拉扣挂法安装钢箱拱,通过研究制定测量控制网布设、扣锚索初张力、合拢温度和预抬值等控制措施,提高了新河大桥拱肋安装精度,为新河大桥的顺利合拢提供技术支持,该施工方法可供类似工程参考。

**关键词:**钢拱桥;缆索吊;拱肋安装;斜拉扣挂法;施工控制

近年来,随着我国经济的快速发展,钢结构大跨径拱桥的发展也越来越花样辈出,古代的赵州桥发展到现在的朝天门大桥、菜园坝大桥等大桥造型华丽美观,结构线条饱满新颖,拱桥也越来越被更多的人认识,并逐渐成为了城市的标志性建筑。但其施工难度大,在国外,大跨度钢拱桥主拱拱肋多采用桁架组合结构,熟知的香溪长江公路大桥是全国最大的推力拱桥,其设计就是按照该形式。但我国目前钢拱桥的发展主要还是钢箱拱结构的居多。提篮式、外倾式、中承式等设计理念先进,结构造型独特的钢箱拱桥越来越多的出现在城市中。

武汉市江北快速路的核心是位于长江轴左岸的新河大桥,连接江岸、黄陂的重要经济枢纽使其成为节点及亮点工程。主桥采用主跨 196m 的提篮式钢箱拱桥,线条流畅,类似月牙,造型优美,其特有的装饰拱结构对拱肋的安装精度提出了更高的调整。本文以新河大桥缆索吊拱肋拼装为工程背景,研究了提篮拱桥施工控制技术重难点及其特点。

## 1 工程概况

武汉市新河大桥是江北快速路的一座特大型桥梁,主桥采用等截面钢箱型提篮拱桥,拱肋向内倾斜,与竖向成 10° 夹角;主拱矢高  $f=43.556\text{m}$ ,矢跨比  $f/L=1/4.5$ ,拱轴线为悬链线,拱轴系数  $m=1.6$ 。拱肋内轮廓截面尺寸为 2.5m (宽) × 4.0m (高),结合主拱

肋结构受力情况对拱肋顶底板及腹板厚度进行了变厚度设计:其中在拱脚附近区域顶底板厚度采用 44mm,腹板采用 40mm;拱顶区域顶底板采用 32mm,腹板采用 28mm;顶底板及腹板采用板肋进行加劲,加劲肋厚度为 24mm。主拱两拱肋间设置 5 道横撑,横撑采用箱型截面。拱顶横撑截面内轮廓尺寸为 2.0m (宽) × 1.8m (高),其余横撑截面内轮廓尺寸为 1.2m (宽) × 1.8m (高),顶底板及腹板厚度均为 20mm,箱室内采用板肋进行加劲,加劲肋厚度为 16mm。

## 2 拱肋施工方法的比选

新河大桥跨越新河,紧邻长江,受长江汛期水位影响较大,中跨拱肋的安装是大桥施工的重难点。主要包含以下几个方面:

(1) 上下肢拱要求同步安装,共同受力,双肢间采用临时横撑和永久横撑相互连接及线形控制;

(2) 主拱肋偏角采用统一角度 10 度纵向倾斜,安装姿态调整控制复杂;

(3) 水位变化较快,且不能影响通航;

针对上述中跨拱肋安装的特点及难点,在有支架法施工、悬臂拼装法施工、转体法施工等方法的基础上深入研究了大节段整体提升方案、拱上吊机提升拼装方案和缆索吊提升拼装方案等三种施工工艺,其优缺点。

方案	大节段整体提升方案	拱上吊机提升拼装方案	缆索吊提升拼装方案
优点	1、安装速度快,能快速成拱; 2、高空焊接少,结构整体性好; 3、抗风安全性好缺点。	1、能覆盖全部主跨拱肋和加劲梁吊装; 2、拱肋双榀组合安装,速度快。	1、能覆盖全部主跨拱肋和加劲梁吊装; 2、缆扣塔合一,充分利用临时结构; 3、可定点吊装节段,对航道影响较小。
缺点	1、大节段拼装平台及支架工程量巨大; 2、航道狭窄,航道疏浚量大,大节段运输困难; 3、需在航道中设置大节段支架,对通航影响较大,船撞风险高; 4、大节段内力及线形控制难度大。	1、拱肋需加固,线形控制难度大; 2、航道需疏浚才能吊装各拱肋和加劲梁节段; 3、上下拱肢交会前,拱肋安装难度大; 4、拱肋空间形态变化大,对拱上吊机要求高,移动定位难度大。	1、主缆与拱肋平面位置交错,部分加劲梁吊装需设置中间平台,采用扁担和调整吊索长度吊装到位; 2、航空限高,扣塔高度受限,扣锚索索力较大。

基于现场的实际条件、安装线形要求,及工程拱肋采用上窄下宽的内倾断面,通过综合比选,主拱和拱内横撑施工工艺由支架拼装调整为缆索吊装,在施工的适应性以及工期和安全性方面具有综合优势,更为合理。

### 2.1 缆索吊机安装

本工程缆索吊机系统采用双塔三跨方案,通过 BIM 技术前期施工模拟后,将主塔由主墩承台转移至边拱外侧,设立临时钢塔,南北岸锚碇采用重力式桩基础锚碇,将钢箱拱缆索系统固定在边拱拱端横梁上。缆吊系统的主要构成有:主塔,主缆,牵引索和起重索,侧风缆系统,起吊天车。

扣锚索体系由扣塔、扣索、锚索及其锚固系统组成。扣索通过塔上的锚箱与拱上的扣点拉板,连接拱肋和临时钢塔。锚索一端通过锚箱连接钢塔,另一端锚固在设置竖向预应力的边跨尾段拱梁结合部上。

## 3 新河大桥施工线形控制技术

### 3.1 测量控制网布设

钢箱拱拼装前分别在 0~12 段拱肋上冲出测量标志点,按设计

要求计算出三维坐标。当架设汉口钢箱拱时置仪 K4 后视 K5,当架设阳逻岸钢箱拱时置仪 K5 后视 K4。钢箱拱拼装时一测的测量点上架设小棱镜,测出三维坐标,每次观测测两回,再调整,再测量。一般先调整横向 Y 坐标值,再调整 Z 值和里程 X 值,当三维坐标值都在 5mm 以内时测另一侧肋上点的三维坐标值,直到达到拼装限差范围时为止。当里程值和高程值由于拱长产生的误差影响不能相对应时,应重新对钢箱拱上所有其它坐标值重新计算。

#### 3.1.1 水平测点

水平测点是在大桥两岸各选择合适的标高的地方布置观测站,观测站处应是视野开阔,无视线障碍。每个测站根据需要观测各吊装节段的节点以及 L/8、L/4,拱顶等测点标高,两岸各设一台水平仪,每台仪器均以对岸的水准点为后视点,所测数据互相比较,以避免发生测量差错。

#### 3.1.2 中轴线测点

拱肋在工厂加工时,必须按规定设置纵向拱肋中轴线标记点(一般一吊装节段至少为端部两点),在吊装前,沿着相应的拱肋中线延伸线上,在两岸视野良好处设立中桩,吊装时,两岸各设 1

台全站仪或经纬仪测量控制。

### 3.1.3 变形监测

对钢箱拱上的 8 分点 (1/8、1/4、3/8、拱顶处) 在工况发生改变时都要进行观测, 如一个工况持续时间较长时, 则定期对 8 分点进行观测 (如一天、或两天一次)。在气象条件变化较大是, 则一天之内 (每 2 小时) 钢箱拱进行连续观测, 同时记录气象参数; 夜间观测时应用点温计测出钢箱拱的平均温度; 及时画出温度及工况变化下钢箱拱位移变化图。在扣索墩上 (交界墩) 固定两个反射棱镜, 根据现场需要测出其坐标值, 根据坐标变化值来求出其倾斜变化情况, 再对其调整, 直到达到要求为止。

### 3.2 扣锚索索力控制

扣锚索索力是确保拱肋合龙后内力状态和变形符合设计要求的的关键因素, 采用有限元软件模拟施工过程中的每个工序, 确定合理施工张拉索力。根据设计文件中提供的全桥一次落架下的合理成桥状态, 以此为目标状态。采用“零位移法”初步确定每个拱肋拼装施工阶段初张索力, 回代施工阶段正装模型进行正装计算, 复核拱肋整体变形和内力与理想成桥状态的偏差, 修正施工各个阶段的张拉索力, 如此循环迭代直至偏差达到允许的误差范围之内。新河大桥拱肋吊装有限元模型。扣锚索以索单元模拟, 临时塔和钢拱桥各个部分采用梁单元模拟。

通过分析下, 吊装各阶段, 主拱扣索、锚索索力变化见表 2 和表 3。

表 2 各节段安装扣索索力 (KN) 变化统计

阶段	1#扣索	2#扣索	3#扣索	4#扣索	5#扣索	6#扣索	7#扣索	8#扣索	9#扣索	10#扣索	11#扣索
G1 安装											
G1 张拉	405										
G2 安装	406										
G2 张拉	405	400									
G3 安装	407	406									
G3 张拉	401	396	433								
G4 安装	401	402	446								
G4 张拉	396	391	432	473							
G5 安装	394	397	447	495							
G5 张拉	389	384	422	468	534						
G6 安装	386	388	435	490	561						
G6 张拉	380	373	416	457	531	552					
G7 安装	374	373	427	478	559	583					
G7 张拉	374	365	405	449	521	546	639				
G8 安装	366	363	413	470	550	581	675				
G8 张拉	365	353	398	438	519	539	640	709			
G9 安装	356	348	403	455	544	571	674	744			
G9 张拉	360	345	388	427	509	532	634	704	735		
G10 安装	349	337	389	442	533	563	669	741	772		

表 2-9 主拱吊装钢箱拱各节段预抬值 (mm)

预抬	节段											
	G1 拱前端	G2 拱前端	G3 拱前端	G4 拱前端	G5 拱前端	G6 拱前端	G7 拱前端	G8 拱前端	G9 拱前端	G10 拱前端	G11 拱前端	
主拱吊装预抬值	0	1	3	6	9	13	18	25	36	50	26	

## 4 结语

结合工程实际施工环境条件, 分析采用大节段整体提升方案、拱上吊机提升拼装方案、缆索吊提升拼装方案等施工方案安装钢箱拱的优缺点, 确定采用缆索吊斜拉扣挂法安装钢箱拱, 构建钢箱拱整体测量和单个阶段测量控制网, 确保测量准确; 采用“零位移法”, 确定每个拱肋拼装施工阶段初张索力; 通过分析升降温对钢箱拱吊装的影响确定消除合拢温度的措施, 保证了主拱在施工过程中的受力和变形处于合理范围之内, 顺利实现新河大桥钢箱拱合拢, 结构线形和受力满足设计和规范要求, 可为同类型工程施工提供宝贵经验。

### 参考文献:

[1]彭卫, 大跨度钢管混凝土拱桥的工程控制[D]. 杭州: 浙江大学. 1998  
[2]魏举, 上海卢浦大桥临时索塔安装施工技术[J]. 安装, 2004,

G10 张拉	352	330	376	407	497	515	625	693	729	851	
G11 安装	338	319	374	419	519	545	661	730	769	889	
G11 张拉	343	324	386	419	529	545	671	733	780	894	467
初拉力	400	400	450	495	570	590	680	750	776	898	457

注: 因结构对称性, 索力仅列出单肋扣索索力值。

表 3 各节段安装锚索索力 (KN) 变化统计

阶段	1#锚索	2#锚索	3#锚索	4#锚索	5#锚索	6#锚索	7#锚索	8#锚索	9#锚索	10#锚索	11#锚索
G1 安装											
G1 张拉	240										
G2 安装	240										
G2 张拉	234	315									
G3 安装	234	316									
G3 张拉	234	316	381								
G4 安装	236	318	383								
G4 张拉	234	315	380	489							
G5 安装	238	320	384	493							
G5 张拉	236	317	382	490	558						
G6 安装	242	324	388	497	565						
G6 张拉	240	322	384	495	561	564					
G7 安装	249	331	393	504	570	573					
G7 张拉	241	322	385	495	561	564	707				
G8 安装	252	334	396	506	572	576	719				
G8 张拉	243	325	385	497	561	566	707	785			
G9 安装	255	337	397	510	573	578	720	798			
G9 张拉	242	323	383	495	558	564	704	783	854		
G10 安装	255	337	397	509	573	578	719	798	870		
G10 张拉	241	323	380	495	555	563	701	783	851	944	
G11 安装	257	339	396	511	571	580	718	799	868	961	
G11 张拉	245	327	379	499	553	567	699	786	847	947	841
初拉力	250	320	380	490	560	560	715	795	870	960	860

注: 因结构对称性, 索力仅列出单肋锚索索力值。

### 3.3 合拢温度控制

拱肋结构线形受温度影响较大, 在 G11 扣索张拉完成阶段升温 20 度主拱挠度为 -77mm, 温降 15 度主拱挠度为 56mm。为消除合拢温度对拱肋合拢的影响, 安装合拢段前一星期, 在桥址处每隔两个小时测量一次环境温度, 并进行记录; 安装合拢段前一天每隔两个小时应对合拢口实际尺寸进行测量, 并记录测时温度; 选择温度相对稳定的时段尽快合拢。

### 3.4 各节段拱肋吊装预抬高

根据各节段拱肋产生的主拱挠度位移统计数据 and 主桥成拱阶段挠度数据, 综合考虑本桥主拱吊装各节段初步预抬值, 供施工单位吊装时候参考使用。

(5).

[3]臧卫, 世界最大跨度的拱桥——卢浦大桥安装关键技术[J]. 上海建设科技, 2001, (5).  
[4]田仲初, 大跨度钢箱拱桥的施工控制关键技术与动力特性研究[D]. 长沙: 中南大学, 2007  
[5]周念先, 桥梁方案比选[M]. 上海: 同济大学出版社, 1997  
[6]范剑锋, 大跨度钢管混凝土拱桥拱圈安装过程的仿真计算分析[M]. 武汉: 武汉理工大学.2002.  
[7]徐军兰、项海帆, 大跨度桥梁施工控制[M]. 人民交通出版社, 2000.  
[8]郑皆连, 徐风云, 唐柏石, 等. 广西邕宁邕江大桥千斤顶斜拉扣挂悬架设钢骨拱桁架施工仿真计算方法[A]. 中国公路学会桥梁与结构工程学会 1996 年桥梁学术论文集[C].北京: 人民交通出版社, 1996.