

文章编号: 1002-0268 (2001) 03-0027-03

荆州长江公路大桥 31[#]主塔 施工阶段空间静力分析

经柏林

(湖北省公路局科研所, 湖北 武汉 430030)

摘要: 根据荆州长江公路大桥 31[#]主塔的不同施工阶段, 就 18 种工况的空间有限元模型进行静力分析, 并得出一些有益的结论, 从而为施工方案的确定提供理论依据。

关键词: 长江公路大桥; 斜拉桥; 主塔; 施工; 空间有限元

中图分类号: U448.27

文献标识码: A

Spatial Static Analysis of Main Tower No. 31 of Jingzhou Changjiang River Bridge in Construction Stage

JING Bai-lin

(Research Institute of Highway Bureau in Hubei Province, Hubei Wuhan 430030, China)

Abstract: In this paper, spatial static analysis is made of the main tower No. 31 of Jingzhou Changjiang River Bridge by means of spatial finite element with 18 cases in different construction stages, which provide a theoretical basis to confirm the construction method.

Key words: Changjiang river bridge; Cable-stayed bridge; Main tower; Construction; Spatial finite element

0 引言

荆州长江公路大桥 31[#]主塔高达 139.15m, 中塔柱高 56.85m, 内倾角达 3.27°, 施工难度很大。随着塔柱砼的爬升, 自由悬臂长度逐渐增大, 塔身在砼自重、施工荷载、风载及其他不利荷载作用下, 将在中塔柱根部产生很大的内力。为确保塔柱施工的稳定性及结构安全, 在中塔柱双臂间设置横撑。在施工各阶段, 横撑的受力情况如何? 何时才能拆除? 很有必要通过空间分析予以解答。

下横梁预应力束张拉会使柱顶水平位移增加, 这是否会影响施工精度, 有必要进行分析、预测。另外由于洪水的影响, 31[#]主塔工期相对滞后, 因此施工单位提出先浇上塔柱, 同步施工上横梁的方案。该方案是否可行, 有必要进行理论分析, 以便指导施工。

1 主塔概况

荆州长江公路大桥位于长江中游荆江河段, 是连接 207 国道的特大型公路桥, 全长 4 177.6m, 由 9 个桥段组成。其中北汉通航孔桥为 200+500+200m 双塔双索面漂浮体系预应力砼斜拉桥。主跨 500m 位居同类桥梁国内第一, 世界第二。31[#]主塔 (立面图见图 1) 为北汉通航孔桥的北塔, H 型结构, 高 139.15m (承台以上), 由 6 部分组成: 塔座、下塔柱、下横梁、中塔柱、上横梁及上塔柱。

塔座为直径 28.0m, 高 3.5m, 中间 O 型掏空的整体圆形。下塔柱为外倾斜结构, 与水平夹角为 69.2744°, 高 14.45m, 采用 CKC 门式支架施工。中塔柱内倾角为 3.27°, 高 56.85m, 共 13 个施工节段, 除最后一段为 2.85m, 其余各段均为 4.5m。上塔柱高 54.35m, 共 12 个施工节段, 除第一段为 5.0m, 最后

一段塔冠部分为 4.35m，其余各段均为 4.5m。中塔柱第 1、2 节段由塔吊吊装模板进行，其他节段及上塔柱均采用斜爬模的施工工艺。下横梁顶面以上 20、40、52m 处各一道横撑。横撑为由 A3 角钢焊接而成的空间桁架结构，其断面尺寸为 60×60cm。下横梁全长 35.8m，两端 7.0m 为实心段，中间 21.8m 为单箱单室箱型截面。上横梁全长 29.3m，中间 21.3m 为单箱单室箱型截面。下横梁布置 94 束，上横梁布置 32 束 YM15-9 预应力束。预应力束均贯穿横梁全长，

穿过塔、梁接点锚固在塔柱外侧。

2 计算模型

计算模型见图 2。塔柱、上横梁、下横梁、横撑均采用三维梁单元，共 112 个梁单元，115 个节点。上、下横梁的预应力在砼中产生的效应按等效荷载法处理。塔顶的爬架重量及施工荷载作为集中荷载作用在节点上。塔基部边界条件按固结处理，即 6 个自由度均按零位移约束。主要计算参数见表 1。

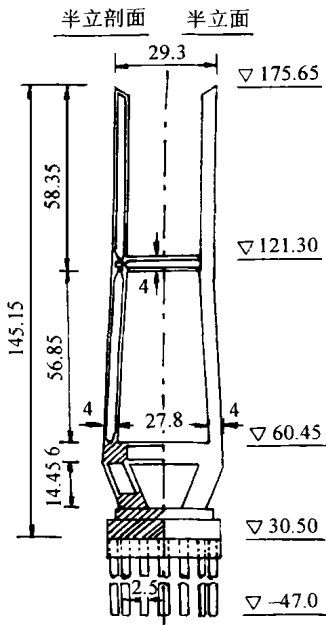


图 1 北汉北塔立面图

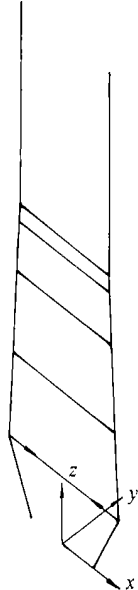


图 2 空间有限元计算模型

主要计算参数							表 1
构件	I_2 m ⁴	I_3 m ⁴	W_2 m ³	W_3 m ³	A m ²	E kPa	ρ kN/m ³
上 塔 柱	32.034	94.866	16.017	27.105	16.96	3.5×10^7	26
中 塔 柱	32.034	94.866	16.017	27.105	16.96		
下塔柱空心段	260.708	668.496	74.488	119.91	45.16		
下塔柱实心段	337.369	959.167	96.391	162.529	82.62		
上 横 梁	88.292	30.823	25.226	15.412	15.50	2×10^8	78
下 横 梁	369.928	127.055	68.824	42.352	25.13		
横 撑	0.00115	0.00115	0.00384	0.00384	0.0154		

注：下标 2、3 分别表示局部坐标 2、3 方向。

3 计算工况

各种计算工况见表 2。工况 1~8 为北汉北塔具体施工阶段。为了缩短工期，施工单位提出先浇上塔柱，同步施工上横梁的方案。针对这一实际情况，对工况 9~11 进行了分析；对工况 1a~8a 探讨了下横梁预应力张拉与否对主塔的影响；对工况 8、12 探讨了施工完毕后横撑的拆除对主塔的影响。

北汉北塔空间静力分析工况		表 2
工况	施 工 阶 段	
1	中塔柱施工至第 1 道横撑以上 2 个节段，下横梁施加预应力	
2	中塔柱施工至第 1 道横撑以上 2 个节段，加 1 道横撑，下横梁施加预应力	
3	中塔柱施工至第 2 道横撑以上 2 个节段，加 1 道横撑，下横梁施加预应力	
4	中塔柱施工至第 2 道横撑以上 2 个节段，加 2 道横撑，下横梁施加预应力	
5	中塔柱施工完毕，加 2 道横撑，下横梁施加预应力	
6	中塔柱施工完毕，加 3 道横撑，下横梁施加预应力	
7	中塔柱、上横梁施工完毕，加 3 道横撑，下横梁施加预应力	
8	整个主塔施工完毕，加 3 道横撑，下横梁施加预应力	
9	上塔柱施工 4 个节段，不浇上横梁，下横梁施加预应力	
10	上塔柱施工 6 个节段，不浇上横梁，下横梁施加预应力	
11	上塔柱施工完毕，不浇上横梁，下横梁施加预应力	
12	整个主塔施工完毕，拆除 3 道横撑，下横梁施加预应力	
1a	中塔柱施工至第 1 道横撑以上 2 个节段，下横梁未施加预应力	
2a	中塔柱施工至第 1 道横撑以上 2 个节段，加 1 道横撑，下横梁未施加预应力	
3a	中塔柱施工至第 2 道横撑以上 2 个节段，加 1 道横撑，下横梁未施加预应力	
4a	中塔柱施工至第 2 道横撑以上 2 个节段，加 2 道横撑，下横梁未施加预应力	
5a	中塔柱施工完毕，加 2 道横撑，下横梁未施加预应力	
8a	整个主塔施工完毕，加 3 道横撑，下横梁未施加预应力	

4 计算结果

各种计算结果见表 3、表 4、表 5。

由表 3、表 4 知：

- (1) 施工各阶段塔顶产生的最大水平位移为 13.3mm，为相应塔高 1/5383，满足施工精度要求；

北汉北塔空间静力分析位移结果（单位：mm） 表 3

工 况	塔顶		横撑 1		横撑 2		横撑 3		下横梁		上横梁	
	x	z	x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
1	9.5	-0.6	—	—	—	—	—	—	2.0	-1.5	—	—
2	6.9	-0.5	5.1	-11.6	—	—	—	—	2.0	-1.4	—	—
3	13.3	-1.5	6.0	-12.6	—	—	—	—	2.0	-1.5	—	—
4	4.0	-1.0	3.8	-11.2	4.0	-8.4	—	—	1.9	-1.5	—	—
5	5.6	-1.6	3.9	-11.5	4.8	-9.1	—	—	1.9	-1.5	—	—
6	1.8	-1.4	3.4	-11.2	2.8	-8.3	2.1	-7.0	1.9	-1.5	—	—
7	0.0	-1.9	3.0	-1.9	1.4	-1.8	0.3	-2.0	1.9	-1.5	0.04	-2.1
8	-0.3	-5.7	2.4	-12.3	1.0	-10.6	0.2	-10.2	1.7	-1.7	0.06	-5.0
9	3.1	-2.5	3.5	-11.7	3.4	-9.3	3.3	-8.2	1.9	-1.6	—	—
10	4.4	-3.1	3.5	-11.9	3.7	-9.8	3.8	-8.9	1.8	-1.6	—	—
11	11.0	-5.4	3.6	-12.7	4.6	-11.3	5.6	-10.7	1.8	-1.7	—	—
12	-1.2	-5.5	—	—	—	—	—	—	1.7	-1.7	0.07	-4.7

北汉北塔空间静力分析最不利应力结果（单位：MPa）

表 4

工况	横撑 1	横撑 2	横撑 3	下横梁	上横梁
1	—	—	—	-6.256	—
2	-90.57	—	—	-6.031	—
3	-101.70	—	—	-5.970	—
4	-72.39	-77.52	—	-5.896	—
5	-74.45	-89.05	—	-5.842	—
6	-67.79	-59.71	-48.86	-5.819	—
7	-41.61	-22.55	-5.879	-5.700	-1.681
8	-54.68	-32.83	-19.19	-5.305	-1.593
9	-68.35	-68.58	-67.02	-5.697	—
10	-68.63	-73.01	-76.10	-5.636	—
11	-69.48	-86.31	-103.30	-5.452	—
12	—	—	—	-5.369	-1.717

注：“+”表示拉应力，“-”表示压应力。

表 5

工况	下横梁预应力对主塔影响	
	塔顶位移（mm）	
	x	z
1	9.5	-0.6
2	6.9	-0.5
3	13.3	-1.5
4	4.0	-1.0
5	5.6	-1.6
8	-0.3	-5.7
1a	1.1	-1.0
2a	0.9	-1.0
3a	5.6	-1.9
4a	2.0	-1.7
5a	4.1	-2.2
8a	3.5	-6.5

注：“+”表示拉应力，“-”表示压应力。

- (2) 施工各阶段横撑产生的最大竖向位移为 12.3mm，为跨径 1/2382，满足要求；
- (3) 施工各阶段横撑受压应力，最大压应力为 101.7MPa < $[\sigma] = 200\text{MPa}$ ；
- (4) 施工各阶段下横梁受压应力，最大压应力为 6.256MPa < $[\sigma] = 28.5\text{MPa}$ ；
- (5) 施工各阶段上横梁受压应力，最大压应力为 1.681MPa < $[\sigma] = 28.5\text{MPa}$ ；
- (6) 先浇上塔柱同步施工上横梁方案，塔顶产生的最大水平位移为 11.0mm，为塔高 1/12332，满足施工精度要求；
- (7) 横撑产生的最大竖向位移为 12.7mm，为跨径 1/2307，满足要求；
- (8) 横撑受压应力，最大压应力为 103.3MPa <

- $[\sigma] = 200\text{MPa}$ ；
- (9) 下横梁受压应力，最大压应力为 5.697MPa < $[\sigma] = 28.5\text{MPa}$ ；
- (10) 拆除 3 道横撑后，塔顶最大水平位移增加 0.9mm，下横梁最大压应力增加 0.064MPa。
- 由表 5 知：
- (1) 下横梁预应力导致塔顶水平位移增大，最大增大量为 8.4mm，但塔顶水平位移最大绝对值仅为 13.3mm，满足施工要求；
- (2) 下横梁预应力导致塔顶竖向位移减小，最大减小量为 0.8mm；
- (3) 若不及时张拉下横梁预应力将使下横梁受拉，最大拉应力为 2.181MPa < $[\sigma] = 2.45\text{MPa}$ 。

5 结论

- (1) 按工况 1~8 的顺序施工是可行的，实际采用此方案。
- (2) 先浇上塔柱同步施工上横梁方案亦可，但上塔柱与上横梁的接口部位处理较棘手，另外由于其它各种原因，故未采用此方案。
- (3) 施工各阶段，横撑的强度、刚度均满足要求。
- (4) 横撑在上横梁达到强度后，对主塔影响不大，即可拆除。
- (5) 下横梁预应力张拉虽然增加了塔顶水平位移，但不足以影响施工精度。
- (6) 下横梁预应力张拉不控制工期，但由于实际塔柱还承受风荷载、温度荷载等不利影响，所以下横梁预应力应尽早张拉，以免产生过大拉应力，导致开裂。
- (7) 利用空间有限元模型就 18 种工况进行静力分析，从而为施工方案的确定提供理论依据，使得工程质量及施工安全得到了可靠保障。

参考文献：

[1] 林同炎. 预应力砼结构设计. 中国铁道出版社, 1985

[2] 交通部. 公路桥涵设计规范 (合订本). 人民交通出版社, 1995