

深圳北站大桥静力计算分析

孙 潮, 陈宝春

(福州大学土木建筑工程学院, 福建 福州 350002)

摘要: 以深圳北站大桥设计为研究对象, 建立全桥空间计算模型, 计算分析了大跨钢管砼刚架系杆拱桥的受力性能, 为此类桥梁的设计提供数值参考。

关键词: 钢管砼; 拱桥; 静力; 分析

中图分类号: U448.225; U441.5

文献标识码: A

深圳北站大桥主跨为一跨径为 150 m 的下承式钢管砼刚架系杆拱, 大桥主拱两墩中心距 150 m, 计算跨度 148 m, 矢跨比 1/4.5. 拱轴线采用悬链拱轴线, 拱轴系数 1.167. 拱肋 2 片, 每片由 4 根上下弦杆 750 mm × 12 mm 钢管和上下平联 400 mm × 10 mm 钢管和腹杆 245 mm × 10 mm 钢管组成四肢桁式断面, 断面高 3.0 m, 宽 2.0 m. 上下弦钢管内浇注 C50 微膨胀砼, 由 2 道 K 撑和 3 道一字形横撑联系两拱肋, 形成空间结构。

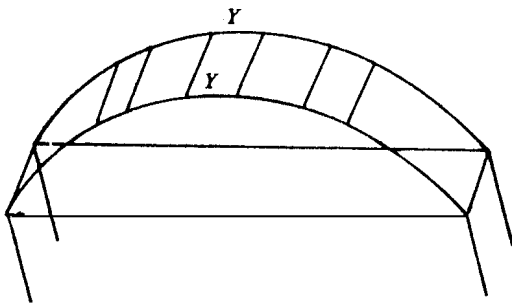


图 1 全桥计算模型

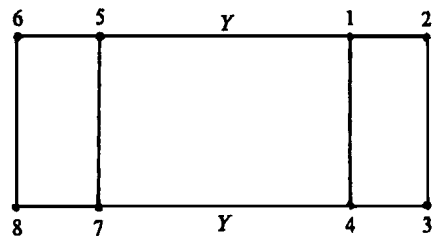


图 2 钢管编号

1 计算模型

一般系杆拱外部为静定结构, 内部为超静定结构. 深圳北站大桥为刚架系杆拱, 将拱肋、系杆、墩柱、基础以及地基土体形成一个总体受力结构, 刚架系杆拱的系杆只承受拉力, 不承受弯矩, 桥面系为局部受力结构, 不参与总体受力, 不属于拱梁组合体系. 因此其受力较为复杂. 设计计算采用大型通用程序 SAP93 进行空间分析. 全桥计算模型见图 1, 共 4 462 个单元, 2 489 个节点. 桥面系采用梁格法模拟, 考虑了 12 cm 厚的结构层和 8 cm 厚的桥面铺装的重量但没有考虑其刚度. 钢管混凝土构件在正常使用极限状态下的综合弹模、面积、惯性矩根据文献^[1]所推荐的公式计算. 计算结果拱肋的抗压刚度 $EA = 20.125 \text{ GN}$, 抗

收稿日期: 1998 - 11 - 26

作者简介: 孙 潮 (1970 -), 男, 助教, 硕士.

弯刚度 $EI = 868.36 \text{ MN} \cdot \text{m}^2$. 深圳北站大桥的纵梁、横梁与吊杆组成一漂浮体系. 建模将纵梁与帽梁连接处纵桥向的约束释放, 以使桥面系不承受拉力, 使拱产生的推力全由系杆承受. 桩基的计算模式是用弹性支承来模拟地基的水平抗力. 用“m法”进行计算. 桩侧土作用从地面或最大冲刷线下算起. 深圳北站大桥为旱桥, 所以桩侧土从地面算起.

2 系杆与吊杆受力分析

钢管砼拱桥的施工顺序为架设空钢管, 浇筑管内砼成钢管砼拱肋, 架设纵横梁, 架设桥面板, 进行桥面铺装. 因此, 对结构恒载应根据施工顺序细分, 以确定施工各阶段的系杆张拉力. 为简化施工顺序, 将系杆张拉分四批进行, 即空钢管架设后, 灌完管内砼后, 架设完纵横梁后以及桥面结构层和桥面铺装后. 拱肋上下弦 4 根钢管的浇筑对结构受力有影响, 因为先浇的钢管将参与后期的受力. 根据文献^[2], 先浇上弦, 后浇下弦有利于后期荷载; 先浇外侧, 再浇内侧有利于稳定, 因此浇筑顺序为 (钢管编号见图 2) 2[#]、6[#]管 - 1[#]、5[#]管 - 4[#]、8[#]管 - 3[#]、7[#]管. 将 EA 置无穷大, EI 置无穷小, 分别计算各阶段的系杆张力. 空钢管和浇管内砼时的系杆张力为 4.273 MN; 架纵横梁时的系杆张力 5.080 MN; 加桥面结构层与桥面系为 5.520 MN. 因此恒载产生的推力共为 14.800 MN. 根据纵横梁的影响线, 将活载换算成吊杆处的集中力, 求在活载作用下系杆的拉力. 活载作用下系杆近荷拱肋最大拉力为 2.446 MN (最大水平推力). 由于系杆的设计验算参照斜拉桥的拉索采用容许应力法, 所以计算结果不乘以荷载系数. 在第四部分的拱肋内力计算中将乘以相应的荷载系数.

钢管架设采用少支架方法. 空钢管合拢时空钢管支承于支架上, 未形成拱的作用, 所产生的水平推力很小, 因此可以不用临时系杆. 在空钢管合拢后, 进行系杆张拉脱架, 空钢管自重才产生水平推力. 由以上计算结果和拱墩固结点局部应力有限元分析的结果, 根据避免拱墩出现高应力的原则, 决定系杆张拉工况. 第一批张拉 2 束, 每束为 1.150 MN. 第二批张拉 4 束, 每束 1.150 MN, 并张拉竖向预应力. 第三批张拉 6 束, 每束 1.100 MN. 第四批张拉 4 束, 每束 0.800 MN. 深圳北站大桥系杆采用平行钢绞线索, 吊杆采用平行钢丝绳, 钢绞线的标准强度 R_Y^b 为 1860 MPa. 钢丝的标准强度为 1670 MPa. 预应力系杆的受力与斜拉桥的拉索类似, 因此, 参照《公路斜拉桥设计规范 (暂行) J TJ027 - 96》^[3]中拉索的设计计算方法进行验算, 即拉索的应力不应大于容许应力 $0.4 R_b^Y$. 系杆平行钢绞线的设计容许强度为 744 MPa, 吊杆平行钢丝的设计容许强度为 668 MPa. 北站大桥系杆张拉最大应力为 697.3 MPa, 设计最大拉应力值为 645.95 MPa, 均小于设计容许强度 744 MPa. 最大单根吊杆力为 878.8 kN, 设计选用 61 7 mm 平行钢丝束, 钢丝面积为 23.48 cm², 平均应力为 374.3 MPa, 小于设计容许应力值 668 MPa.

3 拱肋内力与强度验算

深圳北站大桥桥面系不参与总体受力, 因此拱肋内力计算时, 将活载根据影响线换算成吊杆处的集中力进行分析. 北站大桥拱肋为桁式断面, 因此首先进行荷载作用下单肢钢管砼弦杆的强度验算, 如果单肢强度达不到要求, 结构将由于局部破坏而引起整体破坏. 拱肋单肢钢管砼内力组合见表 1.

表 1 拱肋单肢钢管砼内力组合表

项号	内力汇总	系数	拱 顶		1/4 截面		拱 脚	
			M	N	M	N	M	N
1	恒 载	1.2/0.9	171	4 464	37.76	4 613	335.8	5 945
2	汽超 20M _{max}	1.4/1.3	107.1	1 557.9	69.71	1 962.14	384.4	1 878.6
3	汽超 20M _{min}	1.4/1.3	- 42.7	- 624.9	- 75	- 1 200	- 398.5	- 1 157.1
4	挂 120M _{max}	1.1	111.5	1 286.36	76.8	2 070.91	165.4	755.64
5	挂 120M _{min}	1.1	016.3	- 268.55	- 23.1	- 247.5	- 294.5	866.4
6	温度下降	1.3	61.75	181	5.04	52.78	- 6.43	- 498.7
7	砼收缩	1.3	27.8	81.45	2.3	23.75	- 2.9	- 215.42
荷载组合			M _j	N _j	M _j	N _j	M _j	N _j
8	组 合	恒 + 汽 M _{max}	355.1	7 538.4	142.9	8 282.6	941.2	9 764
9		恒 + 汽 M _{min}	94.1	3 142.7	- 71.0	2 471.7	- 255.7	5 514
10	组 合	恒 + 汽 M _{max} + 温降 + 砼	442.7	7 276.86	141.71	7 724.58	856.97	8 053.28
11		恒 + 汽 M _{min} + 温降 + 砼	197.7	3 099.98	- 59.05	2 229.89	- 261.58	2 323.34
12	组 合	恒 + 挂 _{max}	327.9	6 771.8	129.8	7 813.6	584.9	7 965.2
13		恒 + 挂 _{min}	136	3 722.2	8.6	3 879.4	21.7	4 397.5
14		提高后 (12)	337.7	6 974.95	142.8	8 048	602.45	8 204.16
15		提高后 (13)	140.1	3 833.87	8.9	3 995.78	22.35	4 529.43

注：表中 N、N_j 的单位为 kN；M、M_j 的单位为 kN/m

从表 1 可以看出，全焊式桁式断面中，单肢钢管的弯矩很小，可不予考虑。各种工况下均是拱脚处的钢管砼轴力较大，从中选出单支钢管所受的最大轴力进行验算。由表 1 可知，单根钢管砼弦杆的最大设计轴压力为 9 764 kN。由有关钢管砼设计规程^[1,4,5]所得的杆件极限承载力设计值分别为 23.326 MN，19.737 MN 和 19.446 MN，最大轴力分别仅达到极限承载力设计值的 41.86%，49.47% 和 50.2%，满足强度要求。北站大桥拱肋截面含钢率为 6.29%。按照截面钢管和砼的刚度直接分配内力，则此时钢管的应力为 99.15 MPa，小于三号钢的比例极限（抗压强度设计值 f_y 为 215 MPa，软钢的比例极限一般应在 0.6 f_y 以上，即 3 号钢的比例极限应在 129 MPa 以上）。根据文献 [6]，钢管砼构件含钢率在 6%~7% 时，轴压杆件从加载到钢管应力达到比例极限以前（此时构件所受的荷载约为破坏荷载的 70%~80%），构件基本上处于弹性工作阶段。由上面计算可知，深圳北站大桥在使用荷载作用下，钢管砼弦杆仍处于弹性工作阶段，因此内力计算时不考虑材料非线性的影响。恒 + 汽 - 超 20 时腹杆内力最大，为 269.4 kN，腹拉杆可承受的最大力为 1.620 MN，腹杆强度满足要求。

在桥面系自重作用下，不考虑桩土的相互作用，进行了线性和考虑几何非线性的分析结果发现，几何非线性引起的拱顶挠度增加，由线性的 37.44 mm 增加为 38.85 mm，增加 3.78%，小于 5%。由此认为，深圳北站大桥由于结构刚度较大，使用荷载作用下几何非线性影响很小，几何线性能够满足工程精度要求。

4 变形与预拱度分析

北站大桥的加载程序需待施工单位和施工方案确定后, 另列专题研究. 在空间分析仅对主要施工阶段进行内力分析, 而不考虑施工过程. 将系杆 EA 置无穷大, EI 置无穷小, 分别计算各阶段的挠度. 将施工过程中各工况计算出来的挠度叠加起来, 并考虑砼的徐变产生的挠度, 就得到预拱度. 预拱度曲线图见图 3. 预拱度图中横坐标为点号, 点号 1 与 75 为拱脚, 点号 38 为拱顶, 纵坐标为预拱度.

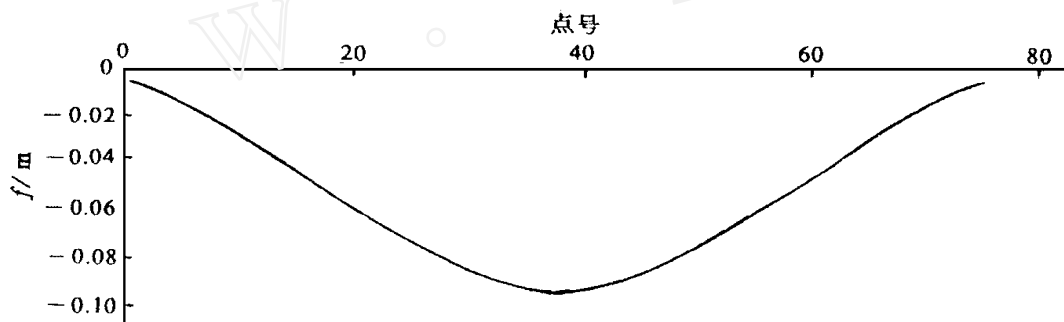


图 3 预拱度曲线

5 结语

深圳北站大桥采用 SAP93 程序进行空间分析, 并用钢管砼极限设计理论进行计算, 充分发挥了钢管砼的特性, 使结构受力合理, 造型美观, 施工方便. 该桥的动力分析、稳定分析与验算, 因受篇幅限制, 另文发表.

参考文献

- [1] CECS 28: 90, 钢管混凝土结构与施工规程 [S].
- [2] 陈宝春, 孙潮. 石潭溪大桥施工加载程序设计 [J]. 中国公路学报, 1998 (4): 51~57.
- [3] JTJ027-96, 公路斜拉桥设计规范 (暂定) [S].
- [4] JCI01-89, 钢管砼结构与施工规程 [S].
- [5] DLG99-91, 火力发电厂主厂房钢-混凝土组合结构设计暂行规定 [S].
- [6] 钟善桐. 钢管砼结构 [M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1989. 59~60.

Static Analysis of Shenzhen Beizhan Bridge

SUN Chao, CHEN Bao - chun

(College of Civil and Architectural Engineering, Fuzhou University, Fujian Fuzhou 350002, China)

Abstract: Based on the design of Shenzhen Beizhan Bridge, the model of total bridge is erected to analyse the static behavior of the concrete - filled steel tube through tied frame arch bridge with large span, thus providing this type of bridge with theoretical reference.

Keywords: concrete filled tube; arch bridge; static; analysis