

# 大跨度宽幅钢管混凝土系杆拱桥施工技术

曾碧聪

中铁大桥局集团第二工程有限公司 江苏 南京 210000

**摘要:** 本文结合工程实践,就支架法施工大跨度钢管混凝土系杆拱桥施工问题进行阐述,在支架设计方面创新采用通过荷载增量法,逐步模拟各施工阶段在施工支架上的荷载分布变化,总结荷载变化规律和指导支架设计,确保工程安全可靠。

**关键词:** 钢管混凝土系杆拱; 预应力混凝土; 梁格法; 荷载增量; 支架

## 1 引言

钢管混凝土拱桥属于钢—混凝土组合结构。钢管内填充混凝土,由于钢管的径向约束而限制受压混凝土的膨胀,使混凝土处于三向受压状态,从而显著提高混凝土的抗压强度,同时钢管兼有纵向主筋和横向套箍的作用。预应力混凝土系梁既作为平衡拱脚推力的系杆,又可直接作为桥面系结构,一般采用现浇施工。

钢管混凝土拱桥真正的发展是在20世纪90年代的中国。我国第一座钢管混凝土拱桥是1990年建成的四川旺苍东河大桥,跨径110m。1995年,广东三山西大桥是第一座跨径超过200m的钢管混凝土拱桥,也是第一座飞燕式拱桥。飞燕式钢管混凝土拱桥通过张拉系杆来平衡主拱所产生的大部分水平推力,大大降低了平原或软基地区拱桥下部与基础的工程量与造价,且造型美观在我国得到了迅速发展,相继建成的有武汉江汉五桥、徐州京杭运河特大桥、南昌生米特大桥等。尤其是建成于2000年跨径组合76+360+76的丫髻沙大桥,把这一桥型,也可以说把钢管混凝土拱桥的跨径推上了一个新的台阶。

钢管混凝土拱桥的施工技术具有如下特点:

- 1) 钢管混凝土拱桥施工步骤常采用先梁后拱法。
- 2) 混凝土系梁采用支架法现浇施工,由于混凝土系梁一般采用纵横向预应力体系,张拉时,支架上的荷载会有明显重分布。
- 3) 钢管混凝土拱肋是主受力构件,对混凝土密实度要求很高。
- 4) 吊杆加工采用工厂内一次成型,施工过程中可调

**通讯作者:** 姓名: 曾碧聪, 出生年月: 1980.9, 民族: 汉族, 性别: 女, 籍贯: 四川成都, 单位: 中铁大桥局集团第二工程有限公司, 职位: 设计分公司副经理, 职称: 高级工程师, 学历: 本科, 邮编: 210000, 研究方向: 桥梁施工设计。

长度很小,安装及分级张拉困难。

近年来,随着钢管混凝土系杆拱桥的广泛应用,施工质量及安全事故也时有发生,有由于忽略支架荷载造成支架局部受力过于集中而导致的支架垮塌事故,有由于钢管混凝土出现空洞而导致的交工验收不合格,也有由于吊杆加工尺寸与实际施工尺寸有偏差造成吊杆返厂而拖延工期等质量事故。

本文将结合实际工程案例,介绍钢管混凝土系杆拱桥的施工技术要点,希望给读者以启发。

## 2 工程概况

新建湖州至杭州西至杭黄高铁连接线工程线路北起湖州市,终至杭州市桐庐县。其中富春江特大桥引桥跨G320国道系杆拱,与国道以63°斜向相交。

主桥拱肋采用2哑铃形钢管混凝土截面;钢管及腹腔内填充C55自密实补偿收缩混凝土。系梁截面为单箱五室截面,梁高3.5m,跨中桥面宽25.6m,梁端加宽至28.9m。系梁中心线处梁全长为116m,计算跨长为112m,总重12500t。

吊杆布置采用纵向双吊杆体系,共设15对吊杆。吊杆采用127根 $\phi 7$ 高强低松弛镀锌平行钢丝束。两拱肋之间设五道横撑。

桥位与G320国道斜交,地形平坦。国道交通繁忙,施工须保证双向4车道通行。桥位地下埋设管线众多(如图1所示),管线密集且施工防护范围宽,给系杆拱施工带来巨大困难。

## 3 总体施工方案

针对本钢管混凝土拱桥结构及地形地貌特点,采用“先梁后拱”法施工。系梁采用梁式支架施工,为解决国道预留通行车道问题同时避让各类管线,基础错位布置。

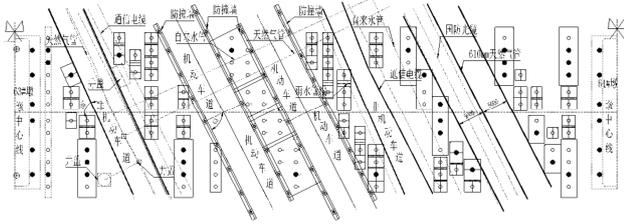


图1 系梁施工支架基础平面图(单位: mm)

系梁施工完成后, 在已施工系梁上方搭设钢管支架, 通过梁上吊机进行拱肋、风撑吊装, 焊接。最后进行压注混凝土施工。

#### 4 系梁支架设计与验算

##### 4.1 系梁支架布置

系梁现浇支架纵梁采用标准贝雷梁, 跨度(6m, 9m, 12m, 15m)局部最高达18m(图1所示)。桩顶分配梁采用2HM588, 钢管桩采用 $\phi 820 \times 10\text{mm}$ 和 $\phi 630 \times 8\text{mm}$ 两种规格。

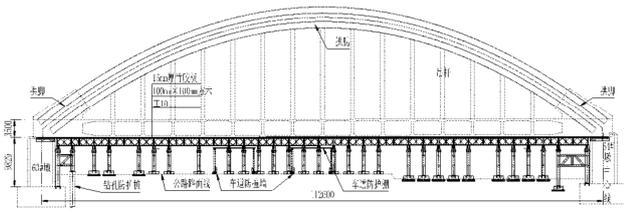


图2 系梁支架立面布置图(单位: mm)

钢管桩贝雷梁支架设计采用“估算→验算→调整→验算→方案确定”的思路, 以确保支架安全。

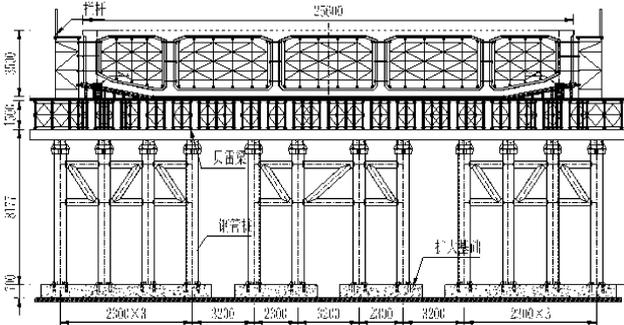


图3 系梁支架横断面布置图(单位: mm)

##### 4.2 施工阶段分析及计算方法

根据系杆拱的施工过程, 支架受力的特点如下:

1) 支架使用时间为: 系梁混凝土浇筑前到吊杆张拉后。

2) 支架受力施工阶段为: 系梁混凝土现浇 (step1), 系梁纵横向预应力张拉 (step2), 拱肋拼装 (step3), 拱肋混凝土灌注 (step4)。

3) 支架采用线性材料, 结构为杆系形式, 无几何非线性和材料非线性特点, 后一个施工阶段产生的荷载

重分布或荷载增量, 均在首个施工阶段计算结果上进行叠加<sup>[1]</sup>。

根据上述特点, 我们可以根据各施工阶段荷载情况, 分别建立支架模型, 首个施工阶段计算得出支架内力计算结果为 $N_1$ , 其余施工阶段可仅添加增量荷载, 计算增量结果为 $\delta_i$  ( $i=2,3,4$ ), 作为支架验算的最终内力结果为 $N = N_1 + \sum \delta_i$ 。

##### 4.3 系梁横梁张拉荷载重部分增量计算

对于支架体系在混凝土浇筑阶段step1的受力及变形结果, 可根据每个支架构件从属面积上分配到的混凝土体积采用Midas/civil软件进行计算, 并以此作为受力及变形计算的基本结果。

对于step2~4, 建立包含系梁与钢管桩贝雷梁支架的整体模型。系梁采用“梁格”方式以考虑纵横向预应力影响, step2通过施加纵横向预应力荷载, 模拟张拉后贝雷梁钢管桩支架应力的重分布; step3通过建立拱肋拼装支架和拱肋结构, 考虑自重对支架的影响; step4通过在拱肋上施加均布钢管混凝土湿重荷载, 模拟钢管混凝土顶升的自重对支架的影响; 上述三个阶段结果全部累加至step1。

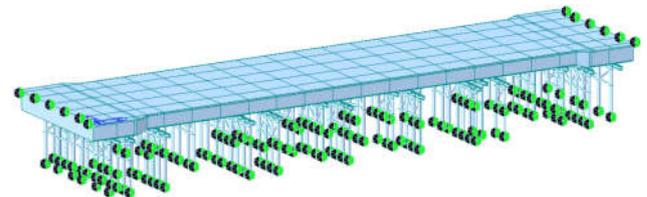


图4 荷载增量计算系梁及支架有限元模型图

支架体系主要构件各阶段计算结果如下表(增量合计为负的, 取0)。经各节段增量法计算, 现浇支架个结构均满足规范要求。

表1 钢管桩反力增量计算结果

阶段施工		钢管桩反力增量 (单位KN)			合计
		预应力张拉 横向	拱肋 纵向 拼装		
翼缘区	G1	246	-5	79	320
	G2	234	-3	91	322
外腹板区	G3	170	-6	66	230
	G4	167	-7	86	246
	G5	275	-5	115	385
	G6	-16	-5	89	68
	G7	64	-5	88	152
箱梁跨中	G8	-250	-6	63	0
	G9	-268	-7	61	0

##### 4.4 小结

通过各施工阶段的荷载增量法得知, 该系梁横向预应力筋张拉对系梁现浇支架不利影响较大, 主要为系梁

两侧钢管桩桩反力增大；纵向预应力筋张拉对本支架影响相对较小。现浇支架设计须考虑预应力筋张拉及各施工节段增量荷载对支架的不利影响<sup>[2]</sup>。

## 5 拱肋及风撑施工

拱肋横截面采用哑铃形钢管混凝土截面，两拱肋中心距24.1m，截面高度 $h = 4.2\text{m}$ ，沿程等高布置，钢管直径为1.40m。钢管及腹腔内填充C55自密实补偿收缩混凝土。

钢拱肋、风撑分段制造并运至施工现场，在拼装支架上方分段焊接拼装。拼装完成后通过多级压注管进行钢管混凝土的灌注，确保密实度。

### 5.1 拱肋及横撑拼装

拱肋：本桥单条拱肋分9段对称制造安装。钢拱肋对接处拼装设置临时承重支撑架。边拱肋及风撑采用桥面上的2台130吨汽车吊抬吊吊装。钢拱肋拼装时采用全断面焊接连接。

横撑拼装：拱肋横撑在工厂制造并整运至现场，采用两台130t汽车吊抬吊，高空整体就位安装。

### 5.2 拱肋混凝土施工

管内混凝土的泵送采用由拱脚向拱顶的“连续顶升”施工。拱肋的下段设四个压注口，设在拱肋内侧，和拱轴线夹角 $45^\circ$ 。排气孔设于拱肋的最高点，出浆管不小于1.5m。拱顶为防止堵管，泵送混凝土除要有合理的配合比与恰当的外加剂外，浇注前宜先压入清水，润湿管壁，再压入一定数量的水泥浆作先导，然后才连续泵入C55补偿收缩混凝土<sup>[3]</sup>。

## 6 吊杆施工

### 6.1 吊杆安装

吊杆采用PE护套，工厂加工的成品索，施工时应根据拱肋及系梁实测标高进行下料，根据计入预拱度和竖曲线后的实测，进行吊杆下料及安装。

### 6.2 吊杆张拉

吊杆张拉分两次进行，拆除拱肋及横撑支架后，待拱肋钢管内混凝土达到设计强度时，按顺序安装并第一次张拉吊杆。现浇桥面板后，对全部吊杆进行第二次张拉，最后根据目标成桥索力，对各吊杆索力进行检测，以满足设计要求。

## 7 结语

本文针对钢管混凝土拱桥主要技术特点，介绍了其施工要点，重点通过施工阶段分析，介绍了预应力张拉后，荷载的分布规律，并通过电算模型分析，改善了支架受力，确保结构安全；也介绍了钢管混凝土拱肋压注的施工要点及吊杆张拉的关键操作流程。本文独创的分阶段荷载增量法计算支架的思路，类似工程可借鉴参考。

## 参考文献

- [1] 李晓峰. 大跨度铁路连续梁-拱组合桥梁施工技术及其质量控制[J]. 铁道科学与工程学报, 2018, 15(8): 2047-2054.
- [2] 黄天立. 支架现浇刚性系杆拱桥的吊杆施工张拉力确定方法[J]. 桥梁建设, 2016(5): 35-40.
- [3] 严朝锋. 贝雷梁支架体系在混凝土系杆拱桥施工中的应用[J]. 铁道建筑, 2010(10): 14-16.