

# 超宽混合梁斜拉桥钢混结合段施工关键技术

唐卫

中交（福州）建设有限公司

**摘要：**厦漳同城大道第三标段西溪主桥为独斜塔扭背索斜拉桥，钢混结合段是整个主桥箱梁施工的关键部位。钢混结合段采用少钢管支架支撑，同墩塔梁固结段支架同时设计、搭设；利用两台自主研发的200t变幅式桥面吊机将钢箱梁吊放到支架上，之后利用支架上安装的三向千斤顶进行精确定位；采用大流态混凝土以保证结合段混凝土在钢箱梁内浇筑密实，混凝土中加入聚丙烯纤维以减少结合段混凝土开裂。

**关键词：**支架设计；钢混结合段吊装；精确定位；聚丙烯纤维混凝土

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.04.039

## 一、引言

钢混结合段是钢加劲梁与混凝土梁结合的梁段，是混合桥斜拉桥设计和施工的关键技术之一，国内外实桥应用时均出现过结合段混凝土开裂情况，克服这个难题，对混凝土的抗裂性、韧性、抗疲劳能力展开深入研究。

本文以厦漳同城大道第三标段西溪主桥钢混结合段施工为工程背景，重点开展对结合段混凝土支架设计、超宽钢箱梁吊装及精准定位、结合段混凝土配比设计及施工工艺进行研究，总结结合段施工先进经验，可以为类似斜拉桥项目提供借鉴。

## 二、工程概况

厦漳同城大道第三标段西溪主桥为独斜塔扭背索斜拉桥，墩、塔、梁固结，跨径组成为88m+200m。主梁边跨88m为预应力混凝土箱梁（标准梁宽51m），预应力混凝土箱梁伸过桥塔15m，通过3m钢混结合段与主跨钢箱梁连接。钢箱梁宽度为47m，分7个箱室，其中钢混结合段长度为9.7m，重384.4t，混凝土设计方量440m<sup>3</sup>。施工过程中在混凝土梁端预留1.5m后浇段，与钢混结合段一起采用C55大流态聚丙烯纤维混凝土浇筑。

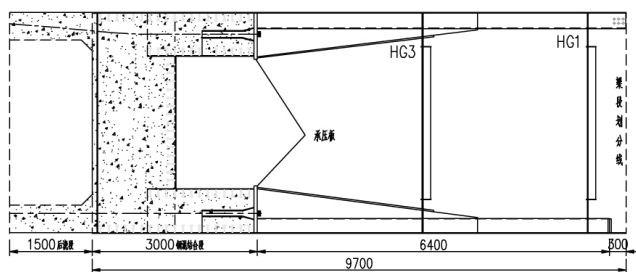


图1 西溪主桥钢混结合段纵断面图（单位mm）

## 三、支架结构设计

### （一）钢混结合段支架方案比选

根据现场施工条件，钢混结合段支架及墩塔梁固结段支架同时搭设，鉴于钢混结合段、墩塔梁固结段结构形式复杂和施工环境恶劣等情况，拟设计两种支架方案。

方案一为钢管桩支架方案，利用已浇筑承台（塔座）、钢栈桥及钢平台的管桩基础，支架结构简单、受力明确且尽量利用了现场已施工钢管桩，但主要存在以下缺点：

（1）增设的钢管桩在钢栈桥底下，施打钢管桩需要重新取掉桥面系，施工较为不便；

（2）斜桩的设计对平联焊接质量、附墙等要求较高，存在一定的质量安全风险；

（3）主承重梁的设计存在三点斜交的情况，施工质量比较难把控，且加工长度规格不统一，材料损耗也会比较严重。

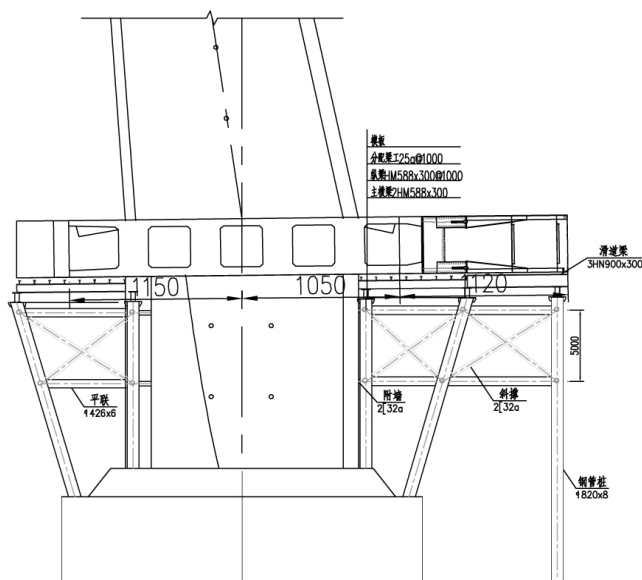


图2 支架纵断面图（方案一）

方案二同样采用钢管桩支架方案，支架钢构件不存在斜交情况且简化了施工程序，避免了桥面板的二次拆除，支架受力体系明确。但利用栈桥钢管桩数量相对较少，且钢管桩不是在原桩顶接高，而是直接利用的原龙门吊轨道基础接高，因此对轨道基础平整度要求较高。

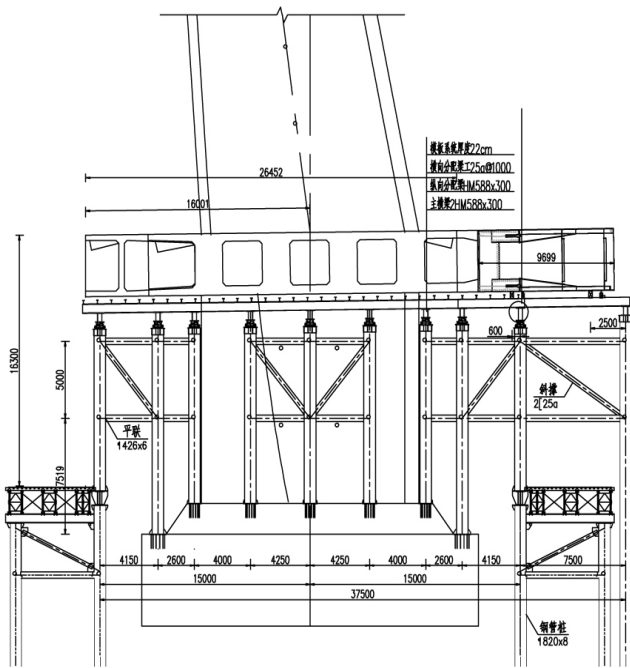


图3 支架纵断面图(方案二)

从上述两个方案比较可以看出,两种支架各有其优缺点,但结合项目具体情况,宜采用方案二作为实施方案。该方案材料投入量较小,在现场可利用的旧钢管可以利用,有效提高了材料利用率。

### (二) 支架受力验算

根据支架结构设计图纸在Midas软件中建立整体模型,按三种工况施加荷载得出分析结果:

工况一:支架及模板搭设完成,箱梁尚未浇筑,按照设计风速(10年一遇最大风速28.8m/s)横桥向作用于支架,荷载采用基本组合,模型计算结果如下图所示:

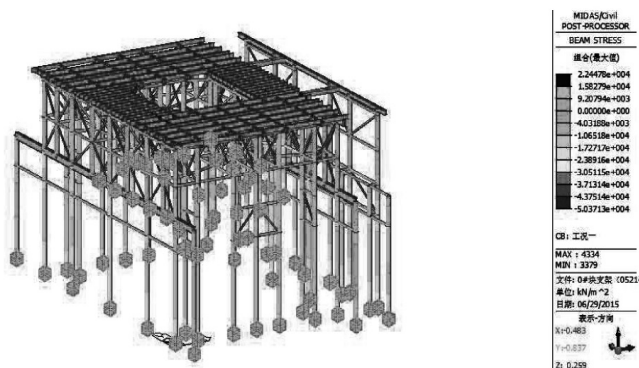


图4 工况一支架应力云图(单位:MPa)

工况二:浇筑塔梁墩固结段及钢混结合段混凝土,工作风速横桥向作用;模型计算结果如下图所示:

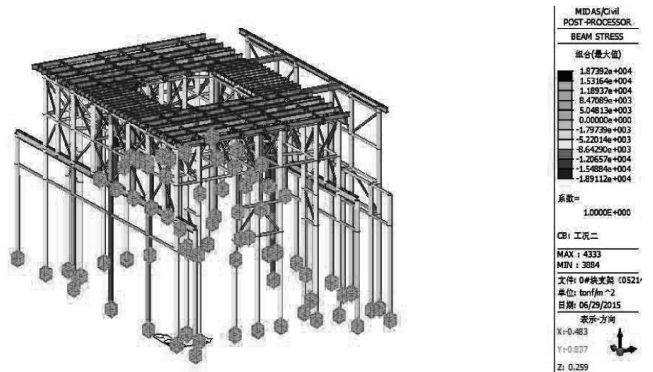


图5 工况二支架应力云图(单位:MPa)

工况三:施加1#节段钢箱梁,浇筑钢混结合段剩余部分混凝土箱梁及钢格室内混凝土,工作风速横桥向作用,模型计算结果如下图所示:

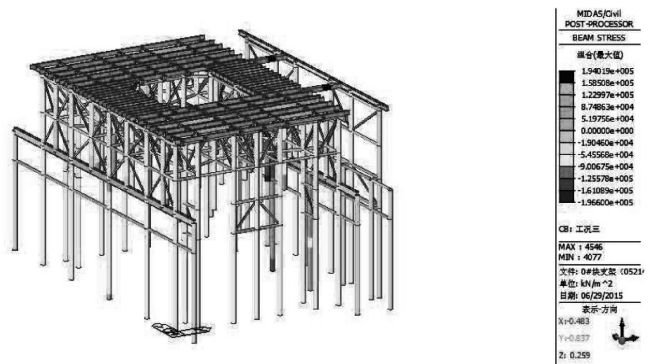


图6 工况三支架应力云图(单位:MPa)

从模型计算结果来看,选定的支架方案在三种工况下主要构件强度均能满足设计及规范要求。

施工过程中,由于墩塔梁固结段先浇筑,浇筑完成后固结段范围内HM588×300mm主纵梁受压后下挠,导致在钢混结合段的一端与主横梁脱离约10mm,现场利用压浆料灌注填塞,保证了梁底各构件贴合紧密、梁段荷载均匀传递到支架。

## 四、钢箱梁吊装

### (一) 吊装设备选型

墩塔梁固结段施工完成后,需要将1#梁段(钢混结合段)吊装至已搭设好的支架上,受下游侧锦江桥通航限制,大型浮吊无法进场。钢箱梁节段最重的1#梁段吊重384.4t,现场采用两台200t变幅式桥面吊机替代原定的两台固定吊幅的桥面吊机,变幅机构变幅范围为8.5m-24m,以满足钢混结合段钢箱梁的吊装要求。

钢箱梁宽度为47m,为保证每个节段钢箱梁吊装时桥面吊机位置的精确、便于施工中梁段匹配精度的控制,特为桥面吊机增加了横移装置,设计专门的吊具,吊具上设调节油缸。

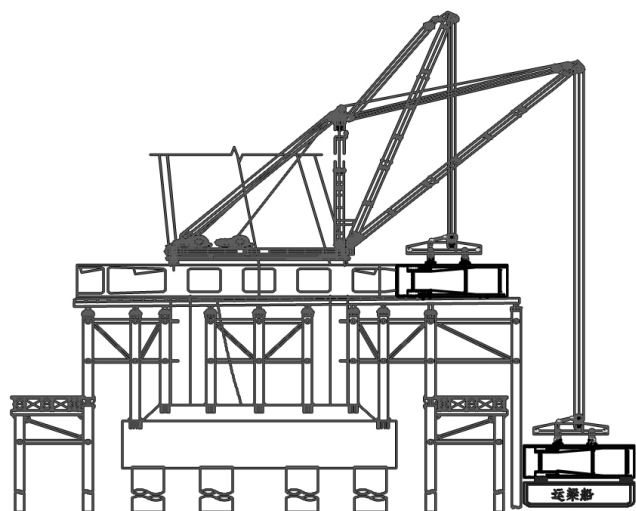


图7 1#梁段变幅吊装示意图

### (二) 吊装

运梁船就位后，桥面吊机下放吊具、做变幅，使得吊具位于吊点正上方，然后连接吊具与钢箱梁吊耳；连接完成后启动卷扬机，缓慢起钩；起钩时要平稳，分级加载使上下游均衡。当钢箱梁要脱离运输船时，起吊缓慢加速，使箱梁迅速离开船体，以避免由于载荷减小船只随水流有相对位移，导致检查小车轨道梁与船体相撞。待钢箱梁离开船体后，利用吊具上的调节油缸调整桥面初步调整桥面纵坡。

长行程提升中，可能会由于卷扬的速度差引起梁块倾斜，只需某一卷扬机停一下，即可恢复水平。当梁块升至桥面时，通过开动任一卷扬机调整梁块横桥向水平，提升梁与已安装梁段基本水平。起吊过程中跟踪监测桥面吊机各部位及后锚。

梁段提升至梁底高过支架后根据梁段高度和位置做变幅，将梁段向设计位置靠拢。待平面位置基本在设计位置时缓慢下放，将梁段落在支架顶部的钢支墩上，完成梁段吊装。



图8 钢混结合段吊装

### (三) 精确定位

钢箱梁吊装就位之后，在环境温度适宜时，复测梁面控制点标高及平面坐标，与监控指令对比，初步确定梁段调整方向，利用梁底三向千斤顶调整梁段标高及平面位置：

(1) 梁段放置在垫墩上之后，测量控制点（梁段两端面各布置三个测点）高程及平面位置，准备相应厚度的调平钢板。

(2) 用150t主千斤顶顶起梁段至调平钢板可以塞入梁底，然后用平移顶纵（横）向顶推主顶带动钢箱梁进行平面位置调整，加垫调平钢板。

(3) 千斤顶回油，将钢箱梁自重荷载转移至垫墩，复测梁段标高及平面位置。

(4) 反复调整至梁段高程及平面位置符合监控指令要求。

调整之后梁段精确调整是一个渐近的过程，在测量的指挥下、反复调整方可达到设计及监控方要求。精确调位符合监控要求后，主千斤顶卸荷，将梁段自重荷载转移到钢支墩上，并将梁段临时焊接在钢支墩上，防止梁段在施工过程中位移。然后在梁底与I20a分配梁之间用木方楔形块填塞。梁段精确调位之后，复测箱梁控制点高程及平面位置，高程偏差小于5mm、轴线偏差在2mm左右，较好的满足监控指令要求。



图9 三向千斤顶精确调位

### 五、混凝土施工

钢混结合段钢箱梁内部结构复杂，混凝土需要注入钢箱梁的钢隔室内部，混凝土不易振捣，容易造成混凝土密实度不够，对混凝土塌落度、扩展度要求较高，同时应具有一定的防裂性能。施工中，通过多次试拌、优化混凝土配合比，选择工作性能和力学性能满足施工要求的配合比生产混凝土，采用大流态C55聚丙烯纤维混凝土。

(一) 配合比设计

配合比材料用量见表1:

表1 C55聚丙烯纤维混凝土配合比材料用量 (kg/m<sup>3</sup>)

序号	水胶比	砂率	水泥	矿粉	膨胀剂	砂	碎石	水	纤维	外加剂
1	0.33	38%	399	72	41	657	1072	169	0.87	9.73
2	0.31	37%	425	76	44	628	1068	169	0.90	10.35
3	0.29	36%	455	82	47	597	1061	169	0.94	11.08

按照三种配合比成型, 混凝土拌合物性能及力学性能试验结果见表2:

表2 C55聚丙烯纤维混凝土性能

序号	塌落度/扩展度mm	90min塌落度/扩展度mm	和易性	7d抗压强度MPa	28d抗压强度MPa
1	205/570	200/550	良好	52.6	59.3
2	215/580	210/570	良好	55.6	65.6
3	220/570	220/560	良好	57.4	68.7

最终确定采用编号2的混凝土理论配合比, 混凝土工作性能及强度均能满足施工要求。

(二) 混凝土浇筑

因钢箱梁宽度较大, 水上施工场地受限, 混凝土浇筑采用1台51m天泵和1台车载泵配布料杆分别负责上下游混凝土的浇筑。

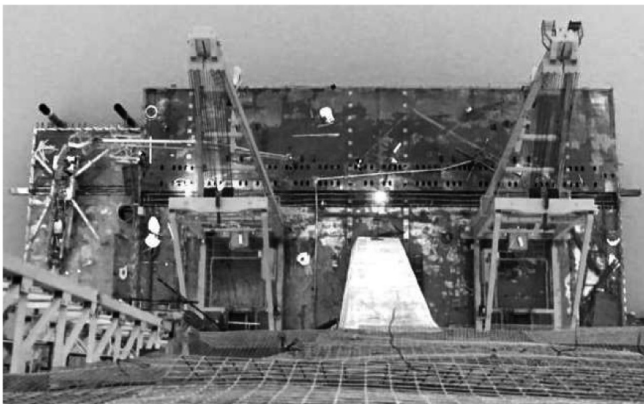


图10 结合段混凝土浇筑示意

按照底板→腹板→顶板的顺序依次循环分层浇筑, 分层厚度30cm左右。底板、腹板混凝土浇筑时, 两台泵从中间向两边分层、对称浇筑; 顶板浇筑时, 考虑横坡影响, 从两边翼缘区向中间对称浇筑: 低处振捣密实后再浇筑高处, 可借助混凝土压力差补充低处混凝土, 确保混凝土密实。

混凝土主要利用70#插入式振捣棒通过顶、底板的浇筑孔振捣, 在靠近承压板位置的排气孔利用35#振捣棒辅助振捣。过程中通过手锤敲击钢箱梁隔室钢板检验混凝土密实情况。箱室中如果混凝土不能填满, 在对应顶板位置开孔布料, 补充浇筑隔室内混凝土。



图11 浇筑孔振捣混凝土

在混凝土浇筑至60%、80%、100%时分别测量控制点高程变化。最终测量数据显示梁段沉降量在10mm左右, 与支架设计沉降值和预压结果较吻合。

(三) 混凝土养护

因施工期间气温偏高, 混凝土浇筑完成收面之后立即用土工布覆盖、洒水, 有效避免了混凝土因早期失水收缩产生裂缝。

六、结束语

西溪主桥钢混结合段顺利吊装、精确定位, 混凝土浇筑密实、表面光滑、无蜂窝麻面, 验证了支架结构的稳定性和施工技术的可行性, 也验证了实验选定的混凝土配合比能够满足结合段对混凝土性能的要求。西溪主桥钢混结合段施工技术对以后类似工程施工具有一定的参考价值。

参考文献

[1] 黄露. 某大桥钢混结合段施工技术分析[J]. 建材发展导向, 2010, (第8期).  
 [2] 谢铁坚. 南京长江第三大桥钢混结合段施工技术[J]. 湖南交通科技, 2007, (第3期).  
 [3] 张建军, 李松, 高安荣, 王佳. 鄂东长江大桥钢-混结合段施工关键技术方案[J]. 桥梁建设, 2009, (第A1期).