

# 山区连续刚构桥边跨现浇段施工技术

陈诚<sup>1</sup>, 杜磊<sup>1</sup>, 杜晶<sup>2</sup>

(1. 中交第二航务工程局有限公司, 湖北 武汉 430012; 2. 中咨华科交通建设技术有限公司)

**摘要:**该文针对山区连续刚构桥边跨现浇段特点,设计了一套7 m边跨现浇段的施工方案,总结了支架法、托架法、吊架法和不平衡梁段法4类方案具体施工步骤、施工优缺点及适用范围,并从方案设计复杂程度、是否配重、合龙顺序、安全性、施工成本等方面进行综合对比,结合魏家寨大桥实际情况和各施工方案进行比选,最终决定采用不平衡梁进行施工,文中对不平衡梁段法施工过程进行了分析。

**关键词:**连续刚构桥;边跨现浇段;支架法;托架法;吊架法;不平衡梁段法

连续刚构桥兼具连续梁桥和T形刚构的受力特点,墩身与主梁形成连续刚架,承受上部结构及车辆荷载,主梁多为连续箱形结构,其跨度通常设计为100~300 m,工程造价较其他桥型经济,在山区应用广泛。连续刚构桥上部结构0<sup>#</sup>块多采用托架法施工,标准节段多采用后支点挂篮进行施工,边中跨合龙段多采用吊架法或挂篮法进行施工,边跨现浇段多采用支架法、托架法进行施工。

受限于山区复杂地形,山区连续刚构桥通常桥墩较高且处于陡坡狭窄地形,部分刚构桥边跨现浇段设计长度大,支架法施工面临风险大和不经济问题,托架法在边跨现浇段长度较大时安全质量风险高且过渡墩偏载情况严重。因此有必要针对山区连续刚构桥特点,结合边跨现浇段所处地形地貌、梁段结构形式、梁段尺寸、过渡墩高、边跨合龙方法等,分析边跨现浇段施工方法适用范围及具体施工步骤。

## 1 工程概况

贵州魏家寨特大桥主桥为(88+160+88) m三跨预应力混凝土连续刚构箱梁桥,桥面宽为16.5 m,箱梁根部高为10 m,端部高为3.6 m。箱梁采取后支点菱形挂篮悬浇施工,悬浇梁段分别为8×3.5 m、4×4.0 m和6×4.5 m,边中跨对称悬浇施工71 m(18个节段),边中跨合龙段长度均为2 m。边跨现浇段长度为7 m,最大悬臂长度为4.65 m,边跨现浇段及边跨合龙段梁高不变化。箱梁设置3向预应力,通过边跨

现浇段和边跨合龙段的预应力有顶板纵向束ST1~ST4、底板纵向束SB1~SB2;通过中跨合龙段的预应力有顶板CT1~CT2束、底板CBP和CB束,边中跨合龙束均通过齿块锚固于顶底板。

主墩高度分别为103 m和93 m,为双肢空心薄壁墩墩形式,墩间设系梁,截面尺寸为10 m×3.5 m。引桥和主桥间设置过渡墩,墩身采用等截面空心薄壁墩,截面尺寸为8.0 m×3.0 m,过渡墩最大墩高为55 m。魏家寨特大桥桥型布置见图1。

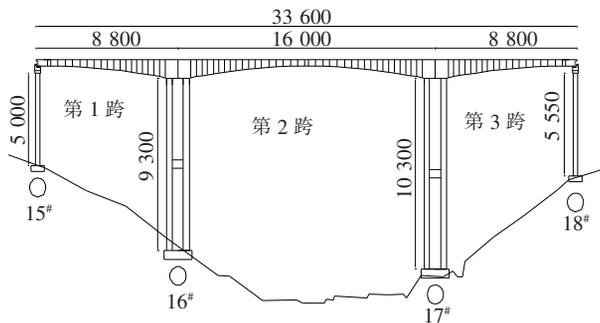


图1 魏家寨特大桥梁型布置图(单位:cm)

## 2 边跨现浇段施工方法

针对55 m高墩处长7 m边跨现浇段施工拟定以下4种施工方案,下文分别介绍其施工步骤、适用范围及施工优缺点。

### 2.1 方案1:支架法施工

方案1采用落地支架进行施工,支架立面布置见图2,主要施工步骤如下:①承台及墩柱施工时预埋柱

底埋件和扶墙埋件;② 人工挖孔灌注桩施工;③ 搭设落地少支架和翼板满堂支架,铺设模板;④ 钢筋、预应力管道、支座安装;⑤ 混凝土浇筑;⑥ 设置刚性支撑利用挂篮进行边跨合龙,混凝土强度达到要求后张拉边跨合龙束;⑦ 利用挂篮进行中跨合龙。

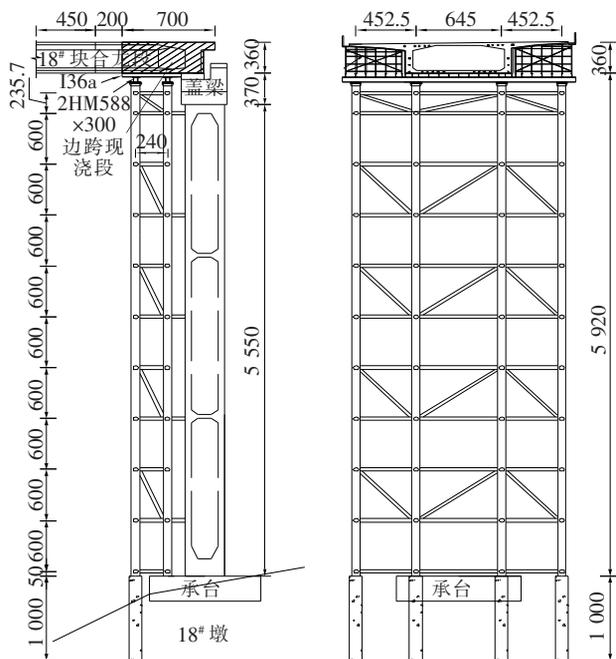


图 2 59.2 m 支架立面布置图(单位:cm)

## 2.2 方案 2:托架法施工

方案 2 采用托架进行施工,托架布置见图 3,主要施工步骤如下:① 墩柱及盖梁施工时预埋托架锚板锚筋;② 安装托架和翼板满堂支架,铺设模板;③ 钢筋、预应力管道、支座安装;④ 过渡墩另一侧同步配重,混凝土浇筑;⑤ 设置刚性支撑利用挂篮进行边跨合龙,混凝土强度达到后张拉边跨合龙束;⑥ 利用挂篮进行中跨合龙。

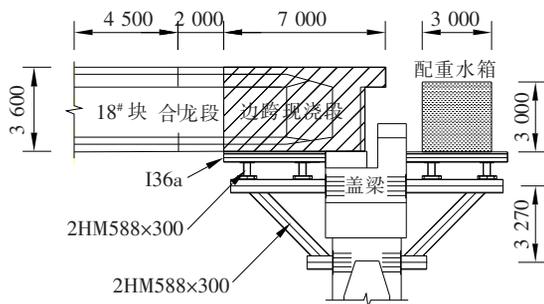


图 3 7 m 现浇段大悬臂托架布置示意图(单位:mm)

## 2.3 方案 3:吊架法施工

方案 3 将边跨现浇段和边跨合龙段采用吊架同步

施工,为规避边跨现浇段施工造成 T 构不平衡弯矩过大,改变合龙顺序,先进行中跨合龙形成门式刚架抵抗不平衡施工弯矩。吊架布置见图 4,主要施工步骤如下:① 边中跨对称悬浇至 18# 块;② 中跨合龙,混凝土强度达到后张拉中跨合龙束;③ 吊架和翼板支架安装,铺设模板系统;④ 钢筋、预应力管道、支座安装;⑤ 边跨现浇段和边跨合龙段混凝土浇筑;⑥ 混凝土强度达到要求后张拉边跨合龙束。

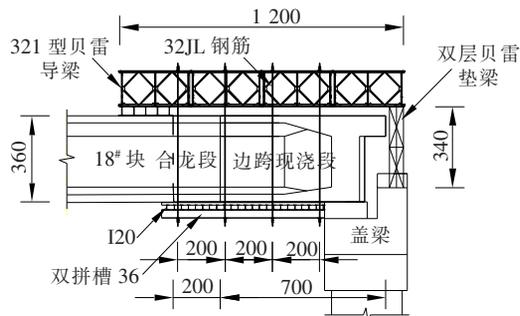


图 4 现浇段和合龙段整体施工吊架布置示意图(单位:cm)

## 2.4 方法 4:不平衡梁段法施工

方案 4 采取设计变更的方式,将边跨增加 3.5 m 悬浇节段(即 19# 块),边跨合龙段相应向边跨移动 3.5 m,边跨现浇段长度缩短为 3.5 m,边跨 18# 块悬浇预应力延伸至 19# 块锚固。边跨 19# 块采取挂篮悬浇法进行施工,减短后的边跨现浇段采取墩顶小托架施工,边跨合龙段采取挂篮进行合龙。边中跨不平衡弯矩采取中跨配重方式解决。不平衡梁段法施工示意图见图 5,减短后边跨现浇段托架施工示意图见图 6,主要施工步骤如下:① 边中跨对称悬浇至 18# 块;② 边跨挂篮前移,中跨 17#、18# 块设置配重水箱,施工边跨 19# 块;③ 悬浇 19# 块时,同步安装边跨现浇段托架和翼板支架,铺设模板系统;④ 钢筋、预应力管道、支座安装;⑤ 边跨现浇段混凝土浇筑;⑥ 设置刚性支撑利用挂篮进行边跨合龙,混凝土强度达到要求后张拉边跨合龙束;⑦ 中跨不对称悬浇配重解除;⑧ 利用挂篮进行中跨合龙。

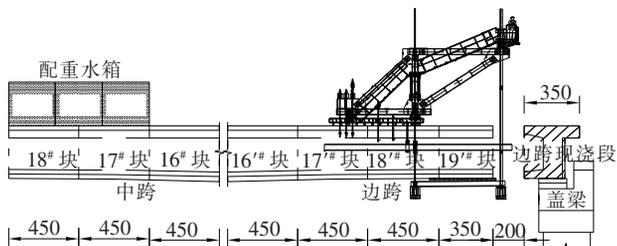


图 5 不平衡梁段法施工示意图(单位:cm)

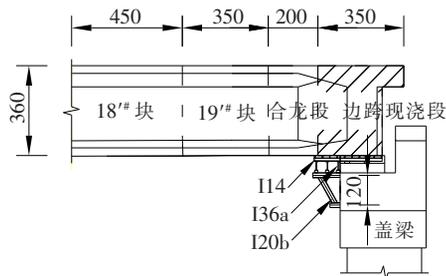


图6 3.5 m 现浇段托架示意图(单位:cm)

## 3 方案比选

### 3.1 方案对比分析

针对几种连续刚构桥边跨现浇段施工方案,从方案设计、是否配重、合龙顺序、安全性、施工成本方面进行综合对比分析,结果如表1所示。

表1 边跨现浇段施工方案对比分析

施工方案	方案设计	是否配重	合龙顺序	安全性	施工成本
1	简单	否	先边跨 后中跨	较大	高
2	较为复杂	是(过渡墩)	先边跨 后中跨	小	较高
3	复杂	否	先中跨 后边跨	一般	一般
4	复杂	是(中跨侧)	先边跨 后中跨	一般	低

### 3.2 方案优缺点及适用范围

#### 3.2.1 支架法(方案1)优缺点及适用范围

##### (1) 施工优缺点

① 能适应7 m长梁段施工,过渡墩只承受墩顶梁段荷载,过渡墩侧无需采取配重措施;② 现浇段下地形坡度大,需要施工4根10 m长直径为1 m的挖孔灌注桩。且钢结构支架施工材料耗费大,不经济;③ 支架高度达到59.2 m,温度对支架变形影响大,支架设计需考虑温度影响,确保梁段线形;④ 边跨合龙时支架承受合龙段一半荷载,受力简明。

##### (2) 适用范围

当桥面高度低,过渡墩底部地形地质条件好,地基承载力良好,边跨现浇段长度较长时较为适用。边跨现浇段根据实际条件亦可选择满堂支架法进行施工。

#### 3.2.2 托架法(方案2)优缺点及适用范围

##### (1) 施工优缺点

① 7 m节段现浇大型托架对预埋件施工的预埋位置和施工质量要求高,是该方案重大风险点;② 墩高较高时,托架支点反力给墩顶带来较大弯矩,墩身混凝土有出现拉应力风险,混凝土浇筑时通常需在过渡墩另一侧进行配重,配重需配合混凝土浇筑速度以规避偏载风险;③ 较支架法节省基础处理及支架搭设材料,经济性好;④ 托架法荷载组合复杂,特别是温度效应对托架产生附加应力不便于计算;托架和空心墩预埋件和预埋件处混凝土受力需进行专项计算。

##### (2) 适用范围

当现浇段下地形地质复杂、桥面高度高、现浇段长度较短时较为适用。现浇段过长对过渡墩偏压严重需采取配重压载时不推荐使用该方法。

#### 3.2.3 吊架法(方案3)优缺点及适用范围

##### (1) 施工优缺点

① 同步浇筑边跨合龙和边跨现浇段。施工方法简单,能节约工期;② 中跨先行合龙要求高,与传统合龙顺序不一致,边跨现浇段和合龙段施工增大了边跨施工阶段荷载,而中跨先行合龙减小了主梁弯矩,主梁结构应力需进行大量计算来复核;③ 边跨现浇段和边跨合龙段长度累计达9 m,对吊架材料强度和刚度要求高,吊架设计比较复杂,通常不经济;④ 主梁预应力整体布置无需调整,但需在中跨合龙段预应力施工完成后进行边跨现浇段及合龙段施工;⑤ 需考虑采取一定的措施以保证9 m长的混凝土梁一端支撑在墩顶上(不动支点),另一端支撑在悬臂梁上(动支点),梁体线形及梁体不开裂。

##### (2) 适用范围

当现浇段下地形地质复杂、桥面高度高、现浇段和合龙段累计长度较长时适用。该方案通常需要设计和监控单位参与计算,确保成桥线形。

#### 3.2.4 不平衡梁段法(方案4)优缺点及适用范围

##### (1) 施工优缺点

① 设计和计算工作量大,悬臂端主梁承受额外荷载,需重新复核0#块处混凝土应力增量,同时需调整新浇悬浇段内预应力,以满足主梁受力要求并保证梁体线形;② 该方案虽然不改变边中跨合龙顺序,但中跨配重+边跨悬浇同步控制施工难度大,配重过程为动态过程,需减少对梁段扰动;③ 采取边跨增加悬浇段方法减小了边跨现浇段长度,改善了现浇段托架施工对墩柱偏载情况,现浇段托架施工不用在过渡墩对称压载;④ 规避了超大托架施工安全风险,也极大地减少了托架施工材料,经济效益好。

## (2) 适用范围

当现浇段设计长度较长,若采用超大托架且过渡墩需要配重施工时可考虑采用此方法,该方法不是常规施工方法,通常在方案 1、2、3 均不适用时采用。一般情况多是通过设计变更增加悬浇段以减少合龙段长度,设计变更工作量大。设计阶段亦可考虑改变合龙顺序,以抵抗边跨不平衡梁段附加结构弯矩,规避配重施工。

## 3.3 方案比选

通过对 4 种施工方案设计难度、优缺点、适用范围等进行对比分析,结合现场情况进行方案比选(表 2)。

表 2 方案比选结果

施工方案	实施难度	比选结果
1	支架高度高(59.2 m),支架稳定性差,材料耗费大;现浇段下地形、地质条件差	不采用
2	牛腿高度达到 3.27 m,大悬臂托架埋件预埋与焊接要求高,施工过程需在过渡墩对称配重	不采用
3	吊架施工节段长 9 m,吊架刚度要求高,且吊架整体质量达 15.6 t,安装拆除风险大	不采用
4	不平衡梁段悬浇质量达 127 t,中跨同步配重施工组织难度大(需验算主梁混凝土是否产生拉应力)	采用

除前期设计变更工作外,方案 4 施工最为简便经济,施工关键点为不平衡浇筑过程同步配重施工,变更设计需验算主梁混凝土增量,是否造成主梁不利拉应力产生。

## 4 不平衡梁段法施工过程分析

采用 Midas/Civil 进行魏家寨特大桥施工阶段分析,建立 3 跨连续刚构整体计算模型,计算模型包括桥梁上部结构和下部结构,分别模拟施工阶段中梁段浇筑、预应力张拉、挂篮荷载施加、桥面施工等,进行施工阶段分析。重点分析 18<sup>#</sup> 块施工完成及新增 3.5 m 悬浇段(19<sup>#</sup> 块)T 构应力和位移变化,18<sup>#</sup> 块中跨配重通过作用在 18<sup>#</sup> 块端的集中荷载和附加弯矩进行模拟。

### 4.1 不平衡梁段配重悬浇施工过程分析

采取方案 4 施工,需要分析 19<sup>#</sup> 块 127 t 不平衡梁段配重施工是否造成梁段拉应力产生,同时分析不平衡梁段悬浇时 T 构梁段的位移变化(图 7、8)。

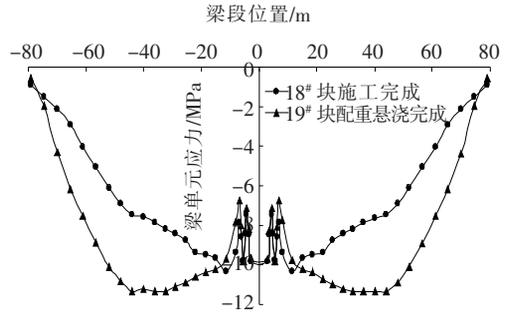


图 7 18<sup>#</sup>、19<sup>#</sup> 块悬浇完成梁单元应力变化

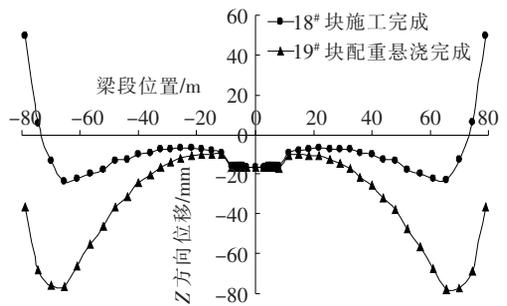


图 8 18<sup>#</sup>、19<sup>#</sup> 块悬浇完成梁单元位移变化

由图 7 可知:19<sup>#</sup> 块悬浇完成,梁段 0<sup>#</sup> 块、1<sup>#</sup> 块压应力减小,2<sup>#</sup> ~ 17<sup>#</sup> 块压应力增大,18<sup>#</sup> 块压应力减小,最大压应力为 11.3 MPa,最小压应力为 0.55 MPa,梁段无拉应力出现。

由图 8 可知:19<sup>#</sup> 块悬浇完成,梁单元位移较 18<sup>#</sup> 块施工完成 Z 方向位移整体增大,最大达到 77.8 mm,较 18<sup>#</sup> 块施工完成位移增加 54.8 mm,这就需要在施工过程中调整梁段预拱度或增设预应力,以确保成桥线形。

### 4.2 主梁预应力调整

在主跨增加配重措施,同时要对主梁悬臂施工线形设置及控制进行调整,才能满足全桥成桥线形。主桥线形依据监控指令预抬梁面标高来确保合龙口标高一致,节段应力通过调整局部预应力达到目的。

主梁预应力纵向 T 束在 18<sup>#</sup> 块末端使用连接器接长,接长预应力沿桥梁纵向直线布置,在新增 3.5 m 悬浇段张拉锚固。主梁其余预应力布置不变。

## 5 结论

以魏家寨特大桥边跨现浇段施工方案为例,归纳总结了山区连续刚构桥边跨现浇段施工方案,并给出各种施工方案施工步骤、施工优缺点及适用范围,得出以下结论: