

# 大跨径悬浇砼连续梁合龙方案比较

黄成

(湖南省张花高速公路建设开发有限公司, 湖南 永顺 416700)

**摘要:** 桥梁合龙段的浇筑和体系转换的施作使桥梁从静定结构转变为超静定结构, 如何确定合龙段浇筑顺序和体系转换施作时间很重要, 关系到主梁的高程和成桥时梁体最终内力分布。文中以某 56 m+90 m+90 m+56 m 连续梁桥为背景, 利用有限元软件 MIDAS/Civil 2015, 研究连续梁桥线形和位移对不同合龙方案的敏感性。

**关键词:** 桥梁; 连续梁桥; 合龙方案; 施工控制

中图分类号: U445.4

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)06-0106-02

桥梁建造过程中, 合龙顺序的选择与施工难易程度、施工进度安排、物资调度、质量把控都息息相关。合龙时桥梁结构从静定结构到超静定结构的改变不仅代表边界条件的变化, 还意味着应力在梁体内部的重分布, 在结构愈来愈复杂的同时产生次内力, 对成桥后线形和梁体应力会产生较大影响。该文探讨预应力砼连续梁桥在不同合龙方案下主梁的标高反应和成桥时主梁内力分布, 以梁体线形控制为主要指标, 研究大跨度连续梁桥最优合龙顺序。

## 1 合龙段施工及体系转换

### 1.1 大跨度连续梁桥常用合龙顺序

(1) 先边跨合龙, 后次边跨合龙, 最后中跨合龙, 每合龙一次就解除该桥墩的临时固结, 直到全桥完全合龙并完成体系转换。这种合龙方案施工逻辑简单, 便于操作, T 构的受力接近, 但施工周期较长。

(2) 中间的两个 T 构先合龙, 然后对称的两个相连的 T 构合龙, 最后把已经合龙成 II 构的构件合龙。这种合龙方案可多个墩同时进行, 桥墩较多时极为方便, 且互相之间不产生干扰, 是一种较理想的合龙方案。

### 1.2 案例合龙顺序

一座 56 m+90 m+90 m+56 m 四跨预应力砼连续梁桥, 主桥连续箱形梁及主桥支墩垫石采用 C55 砼, 主桥主墩墩身采用 C35 砼。主桥的每个 T 构分 10 个梁段浇筑。主桥桥跨布置见图 1, 合龙方案见表 1。

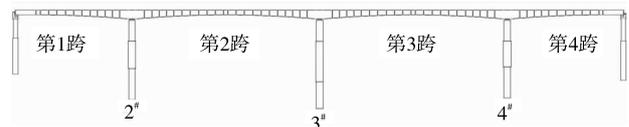


图 1 主桥桥跨布置

表 1 主桥合龙方案

| 方案编号 | 合龙顺序          |  |  |                                      |
|------|---------------|--|--|--------------------------------------|
|      | 1             | 2  | 3  | 4                                    |
| 方案 1 | 合龙第 1 跨、第 4 跨 | 2 <sup>#</sup> 、4 <sup>#</sup> 墩体系转换                 | 合龙第 2 跨、第 3 跨  | 3 <sup>#</sup> 墩体系转换                 |
| 方案 2 | 合龙第 1 跨、第 4 跨 | 合龙第 2 跨、第 3 跨  | 2 <sup>#</sup> 、3 <sup>#</sup> 、4 <sup>#</sup> 墩体系转换 |                                      |
| 方案 3 | 合龙第 2 跨、第 3 跨 | 合龙第 1 跨、第 4 跨  | 2 <sup>#</sup> 、3 <sup>#</sup> 、4 <sup>#</sup> 墩体系转换 |                                      |
| 方案 4 | 合龙第 2 跨、第 3 跨 | 2 <sup>#</sup> 、3 <sup>#</sup> 、4 <sup>#</sup> 墩体系转换 | 合龙第 1 跨、第 4 跨  |                                      |
| 方案 5 | 合龙第 2 跨、第 3 跨 | 3 <sup>#</sup> 墩体系转换                                 | 合龙第 1 跨、第 4 跨  | 2 <sup>#</sup> 、4 <sup>#</sup> 墩体系转换 |

## 2 最优合龙方案确定

### 2.1 建立模型

将主桥离散成 94 个梁单元, 模型共 135 个节点、130 个梁单元(见图 2)。其中第 1 跨的合龙段单

元号为 7, 合龙段左右节点号为 7、8; 第 2 跨的合龙段单元号为 34, 合龙段左右节点号为 34、35; 第 3 跨的合龙段单元号为 61, 合龙段左右节点号为 61、62; 第 4 跨的合龙段单元号为 88, 合龙段左右节点号为 88、89。



图2 主桥有限元模型

## 2.2 计算结果及分析

### 2.2.1 挠度

(1) 合龙方案1下挠度。由于该桥3个主墩的墩身长度与桩基础长度相差不大,3个主墩的弹性压缩差可忽略不计。在主墩弹性压缩忽略不计的前提下,合龙方案2下累计最大挠度为5.47 mm,最小挠度为-15.38 mm,4个合龙段左右两端节点挠度差分别为14.25、14.58、14.65和14.24 mm。4个合龙段左右两端的位移差基本一致,较平顺。

(2) 合龙方案2下挠度。在主墩弹性压缩忽略不计的前提下,合龙方案2下累计最大挠度为5.31 mm,最小挠度为-14.98 mm,4个合龙段左右两端节点挠度差分别为14.29、12.91、12.94和14.27 mm。4个合龙段左右两端的位移差基本一致,数值接近方案1,但第2、3合龙段左右两端累计挠度差小于方案1同位置位移差。

(3) 合龙方案3下挠度。在主墩弹性压缩忽略不计的前提下,合龙方案3下累计最大挠度为8.04 mm,最小挠度为-39.36 mm,4个合龙段左右两端节点挠度差分别为42.18、2.67、2.68和42.30 mm。该方案下最大累计挠度和最小累计挠度都比方案1、方案2的大,虽然两个中跨合龙段累计挠度差较小,但两边跨合龙段的挠度差都超过40 mm。

(4) 合龙方案4下挠度。在主墩弹性压缩忽略不计的前提下,合龙方案4下累计最大挠度为9.56 mm,最小挠度为-44.48 mm,4个合龙段左右两端节点挠度差分别为48.49、2.74、2.75和48.63 mm。该方案下最大、最小累计挠度都比方案1、方案2的大,虽然两中跨合龙段的累计挠度差较小,但两边跨合龙段的挠度差超过40 mm,且比方案3的大。

(5) 合龙方案5下挠度。在主墩弹性压缩忽略不计的前提下,合龙方案5下累计最大挠度为8.19 mm,最小挠度为-39.75 mm,4个合龙段左右两端节点挠度差分别为42.59、2.68、2.69和42.75 mm。该方案下挠度计算结果与方案3相差不大。

各方案下4个合龙段左右节点的挠度见表2。从中可见,不同合龙顺序和体系转换时间对桥梁结构线形影响较大。

表2 各合龙方案下合龙段左右节点的挠度

mm

| 方案编号 | 合龙段1左右节点的挠度 |        | 合龙段2左右节点的挠度 |      | 合龙段3左右节点的挠度 |        | 合龙段4左右节点的挠度 |      |
|------|-------------|--------|-------------|------|-------------|--------|-------------|------|
|      | 7           | 8      | 34          | 35   | 61          | 62     | 88          | 89   |
| 方案1  | 5.46        | -8.79  | -12.48      | 2.10 | 2.07        | -12.58 | -8.77       | 5.47 |
| 方案2  | 5.30        | -8.99  | -11.08      | 1.83 | 1.79        | -11.15 | -8.96       | 5.31 |
| 方案3  | 6.10        | -36.08 | 6.08        | 3.41 | 3.40        | 6.08   | -36.19      | 6.11 |
| 方案4  | 6.58        | -41.91 | 7.41        | 4.67 | 4.67        | 7.42   | -42.04      | 6.59 |
| 方案5  | 6.12        | -36.47 | 6.22        | 3.54 | 3.55        | 6.24   | -36.62      | 6.13 |

### 2.2.2 应力

各合龙方案下关键节点的应力见表3。从中可

见,各合龙方案下成桥主梁应力基本一致,不同合龙顺序和体系转换时间对桥梁结构应力影响较小。

表3 各合龙方案下成桥主梁关键截面应力

MPa

| 方案编号 | 上缘应力  |       |       |       |       |       | 下缘应力   |       |        |       |        |       |        |       |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|      | 2#墩附近 |       | 3#墩附近 |       | 4#墩附近 |       | 合龙段1附近 |       | 合龙段2附近 |       | 合龙段3附近 |       | 合龙段4附近 |       |
|      | 23    | 25    | 45    | 50    | 72    | 77    | 6      | 10    | 32     | 37    | 64     | 65    | 86     | 90    |
| 方案1  | -9.47 | -8.77 | -10.6 | -10.1 | -9.94 | -9.43 | -7.06  | -8.00 | -7.92  | -8.30 | -8.77  | -7.48 | -7.20  | -7.06 |
| 方案2  | -9.49 | -8.80 | -10.5 | -10.1 | -9.97 | -9.46 | -7.05  | -7.96 | -7.89  | -8.30 | -8.74  | -7.44 | -7.16  | -7.05 |
| 方案3  | -9.25 | -8.53 | -10.6 | -10.2 | -9.72 | -9.22 | -7.01  | -8.18 | -8.17  | -8.32 | -9.02  | -7.79 | -7.38  | -7.01 |
| 方案4  | -9.15 | -8.42 | -10.7 | -10.2 | -9.61 | -9.11 | -7.04  | -8.32 | -8.29  | -8.31 | -9.14  | -7.93 | -7.52  | -7.05 |
| 方案5  | -9.24 | -8.52 | -10.6 | -10.2 | -9.71 | -9.21 | -7.02  | -8.19 | -8.17  | -8.31 | -9.02  | -7.80 | -7.39  | -7.02 |

(下转第112页)

式无关,无论是加速度时程输入还是位移时程输入均考虑了地基场的刚体位移,较符合实际地震对深水桥墩结构的影响。采用基于粘性流体 N-S 方程的流体单元模拟周围流场,水-桥墩的流固效应与地震动输入方式有关,采用加速度时程输入时仅考虑了结构在惯性力作用下的变形及由此引起的水-桥墩的流固耦合作用;而采用位移时程输入不仅考虑了结构在惯性力作用下的变形,还包括刚体位移部分,更符合实际地震对水下结构的影响。势流体模型下的地震响应值偏大,是因为没有考虑流体的粘滞性,其较保守的结果对桥梁抗震设计有利,基于势流体理论进行深水桥梁流固耦合抗震设计有效。

#### 4 结论

(1) 采用基于势流体理论建立流场时,深水圆形墩结构的流固耦合效应与地震动输入方式无关,地震响应求解不仅考虑了结构在惯性力作用下的变形,还考虑了结构的刚体位移,地震响应变化符合实际地震对深水桥墩结构的影响。

(2) 采用基于粘性流体 N-S 方程建立流体域时,深水圆形墩结构的流固耦合效应与地震动输入方式有关,位移时程输入方式下的地震响应符合实

际地震对深水结构的影响,而加速度时程输入方式下的结构地震响应只考虑了结构在惯性力作用下的变形及由此引起的流固耦合作用,基于粘性流体 N-S 方程建立流固耦合模型分析地震响应时,采用位移时程输入更合理。

(3) 基于势流理论建立流固耦合模型分析得到的地震响应接近但大于采用粘性流体单元建立的流固耦合模型,基于势流理论的数值模型的计算结果偏保守,更有利于深水桥墩结构抗震设计。

#### 参考文献:

[1] Batchelor G K. An introduction to fluid dynamics[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1967.  
 [2] 王少波,刘元杰,梁醒培,等.弹性板在粘性流体中的藕合振动分析[J].机械工程学报,2004,40(7).  
 [3] Goyal A, Chopra A K. Earthquake analysis of intake-outlet towers including tower-water-foundation-soil interaction[J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 1989, 8(3).  
 [4] 魏凯,伍勇吉,徐灿,等.桥梁群桩基础-水耦合系统动力特性数值模拟[J].工程力学,2011,28(1).

收稿日期:2018-04-30

(上接第 107 页)

#### 2.2.3 最优合龙方案

5 种合龙方案下,主梁成桥弯矩为方案 4>方案 3>方案 5>方案 1>方案 2,主梁成桥应力相差不大,成桥后合龙段左右节点累计最大挠度差为方案 4>方案 5>方案 3>方案 1>方案 2。该桥施工控制以线形控制为主、应力控制为辅,在应力差距不大的情况下,方案 2 为最优合龙方案。

#### 3 结论

(1) 不同合龙顺序和拆除临时固结的时间对主梁累计挠度的影响大,先合龙中跨与先合龙边跨的累计挠度差最大达 3 倍,虽然该挠度差可通过设置预拱度予以消除,但会增加施工控制难度,且施工过程中存在一些不可控因素。为提高施工控制精度,连续梁桥宜选择先合龙边跨、再合龙中跨的合龙顺序。

(2) 不同合龙顺序对成桥主梁应力影响很小。

(3) 从边跨合龙至中跨的方案中,方案 1 是先解除边墩(2# 墩和 4# 墩)的临时固结,方案 2 则是等到所有跨都合龙后再解除边墩的临时固结,方案

1 下成桥合龙段累计挠度差大于方案 2,说明边墩的临时固结宜在中跨合龙后再解除。

(4) 方案 2 为该桥最优合龙方案。

#### 参考文献:

[1] 向中富.桥梁施工控制技术[M].北京:人民交通出版社,2001.  
 [2] 褚奇.预应力混凝土连续梁桥施工仿真分析与标高控制研究[D].武汉:武汉理工大学,2008.  
 [3] 董金堂.大跨度连续梁悬臂施工线形监控与合龙顺序优化[J].城市道桥与防洪,2012(3).  
 [4] 肖啸.基于不同施工进度下多跨连续梁桥合拢顺序的研究[D].长沙:中南大学,2014.  
 [5] 李帅.刚构-连续组合梁桥合龙影响因素分析[D].济南:山东大学,2012.  
 [6] 张隆顺.大跨长联连续梁桥合龙方案研究[D].长沙:中南大学,2012.  
 [7] 戴公连,王伟民,刘柯.基于变形的铁路混凝土连续梁合龙方案比较[J].桥梁建设,2014,44(4).

收稿日期:2018-06-22