

# 高墩连续刚构桥合龙方式研究

石伟<sup>1</sup> 何畅<sup>2</sup> 覃巍巍<sup>1</sup>

(1 柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545006

2 四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院 成都 610041)

**摘要:**随着桥梁技术的快速发展,我国在高墩大跨连续刚构梁桥合龙施工技术方面有成熟的经验,但对于合龙顺序选择、合龙方式的选择仍是当今的两大难题,本文以沁河大桥为背景;通过对比计算来研究几种合龙方式、合龙顺序对成桥后结构受力情况的影响以及各自的适用条件,为今后的桥梁建设提供参考。

**关键词:**连续刚构 合龙 方式 顺序

**DOI:** 10.13211/j.cnki.pstech.2014.04.002

## 1 概述

采用悬臂浇筑施工的高墩预应力混凝土连续刚构桥合龙施工技术主要包括如下几个方面的内容:合龙顺序选择、合龙方式、合龙段临时锁定方案设计、合龙施工的时间选择、体系转换以及施工配重等。对于高墩预应力混凝土连续刚构桥来说,合龙顺序的选择、合龙方式的设计尤为重要,同时也是最大的两个难题。因此,本章以沁河大桥(100+180+100)米为背景,通过对比计算来研究合龙方式、合龙顺序对成桥后结构受力情况的影响以及各自的适用条件。

## 2 连续刚构桥合龙段的施工工序

连续刚构桥的合龙工序一般可分为:

(1) 安装模板、绑扎钢筋。合龙段的外侧模、底模均为挂篮模板,合龙段钢筋绑扎和普通悬臂段施工时的绑扎方法相同。

(2) 设置配重。为确保合龙段在混凝土浇筑过程中梁体始终不产生挠曲变形,在靠近合龙口处悬臂梁上设置平衡配重,边浇注混凝土边卸载,使合龙段在不变的荷载下完成混凝土的浇注。因此,配重的设置应注意均衡对称,避免对梁体产生扭转和冲击。

(3) 顶开两悬臂端。即用千斤顶对两悬臂端进行适量的顶开,顶开工艺只在中跨合龙时进行,边跨合龙不需要顶开。

(4) 焊接劲性骨架。即,将劲性骨架在合龙温度下锁定焊接。连续刚构桥的实际合龙温度就是指劲性骨架的焊接锁定温度。

(5) 张拉临时束。在合龙段顶板处设有一

对临时预应力束,需要在合龙时进行张拉并在合龙后拆除。

(6) 浇筑合龙段混凝土。在合龙段混凝土浇筑的同时要同步释放等重量的配重(水),并且要注意合龙段混凝土的震捣质量。

(7) 养护合龙段混凝土及张拉后期预应力束。其实后期预应力束(即底板束)的张拉并不属于合龙工艺,但对其张拉次序有严格要求。

## 3 连续刚构桥合龙段的合龙顺序

不同的合龙顺序,对连续刚构桥成桥后的受力状况有很大的影响。根据连续刚构桥联数的差异以及成桥后的受力状况的优劣,目前的连续刚构桥的合龙顺序既有先边跨后中跨;也有先中跨后边跨的两种不同的合龙顺序。第一种合龙方式广泛采用,绝大多数的桥梁都采用这种方式合龙,其代表性桥梁有虎门大桥副航道桥(150+270+160)米连续刚构桥、苏通大桥副桥(140+268+140)米连续刚构桥、广州珠江大桥(138+250+138)米连续刚构桥等;第二种合龙方式代表性桥梁有晋济高速路的南河特大桥(40+120+3×180+100)米连续刚构-连续梁桥、南昆铁路清水河大桥(72+128+72)米、遂渝铁路嘉陵江大桥(88+160+88)米等。

## 4 合龙方式设计

根据不同的地形、合龙后结构的内力变化以及施工单位的施工技术力量,连续刚构桥的合龙可采用不同的方式。目前根据所采用的施工工艺大体上可分为五类:

(1) 落地支架上完成现浇段和边跨合龙段浇筑,再合龙中跨。

落地支架上完成现浇段和边跨合龙段浇筑,一般适用于地势平坦、桥墩不高、地质条件良好,容易搭设支架的地方,其边中跨之比大致在0.55~0.58范围内,其力学模式如图1。

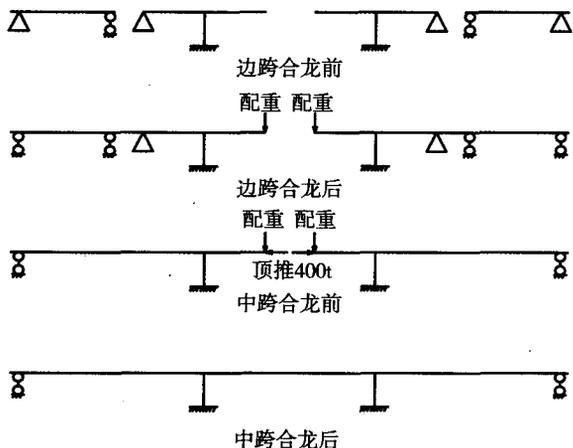


图1 方案一: 落地支架上完成现浇段和边合龙浇筑

(2) 落地支架上浇筑现浇段、在吊架上完成边跨合龙段,最后合龙中跨。

落地支架上完成现浇段浇筑,在吊架上浇筑边跨合龙段。方案二一般也适用于地势平坦、桥墩不高、地质条件良好,容易搭设支架的地方。但与方案一相比,取消了边跨合龙支架,进一步保证了边跨合龙的稳定性。采用方案二合龙的连续刚构桥,其边中跨之比大致控制在0.55~0.58范围内,力学模式如图2。

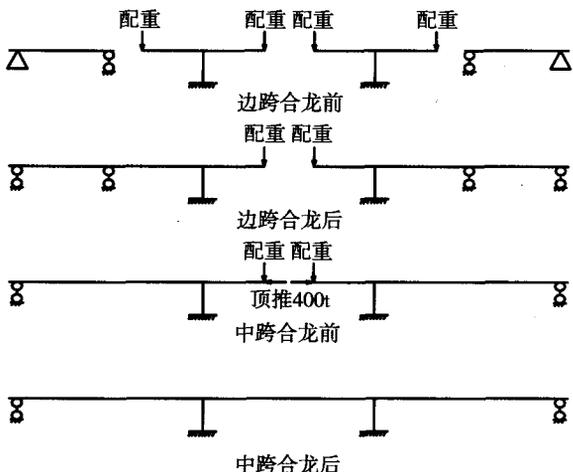


图2 方案二: 落地支架现浇段,吊架上完成边合龙段

(3) 导梁上完成现浇段和边合龙段浇筑,再合龙中跨。

在边跨悬臂及交界墩上搭设导梁,支承在边跨上,利用导梁完成边跨现浇段和边跨合龙段的浇筑。方案三主要适用于桥墩较高、搭设支架不经济的桥位,其边中跨之比大致在0.54~0.56范围内。与方案一、二相比,方案三完全取消了落地支架,施工更方便、合龙更稳定,深受施工部门的欢迎。采用这种方法合龙的代表性桥梁有京福高速官洋溪大桥(55+100+55)米、金沙大桥(66+120+66)米,其力学模式如图3。

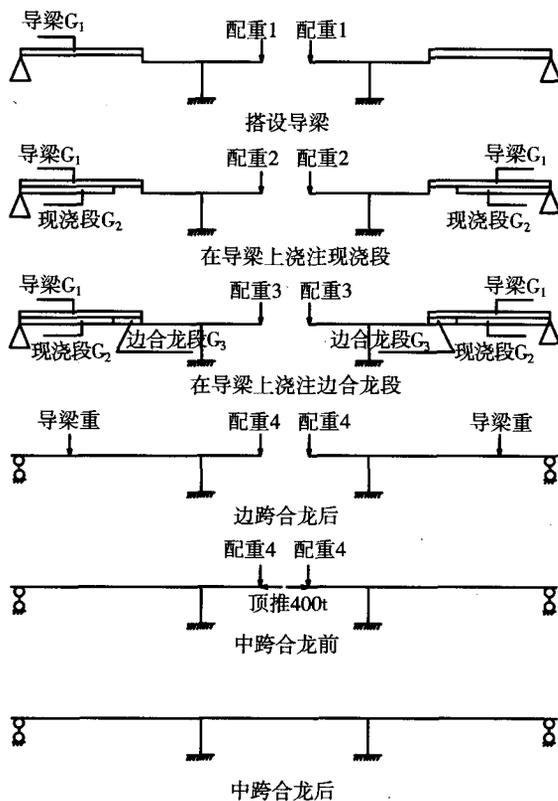


图3 方案三: 导梁上完成现浇段和边合龙段浇筑

(4) 不对称悬浇后,先边跨后中跨合龙。

在有些地区建造桥梁,由于山高谷深,势必就会导致桥墩特别高。这种情况下如果采用落地支架浇筑边跨现浇段及边跨合龙段,不仅费材费力、施工难度大,而且也很难保证支架不发生不均匀沉降;因为边墩很高,如果采用导梁方式合龙,导梁的重量以及现浇段和合龙段的重量对边墩将产生很大的轴力和弯矩,从而对边墩的受力

非常不利。于是我们就想到当T构施工到最大悬臂后，在中跨的最大悬臂处添加配重，而边跨继续悬浇，最后与边墩托架上浇注好的现浇段合龙。其代表工程有云万高速路上的汤溪河大桥（130+230+130）米，力学计算模型如图4。

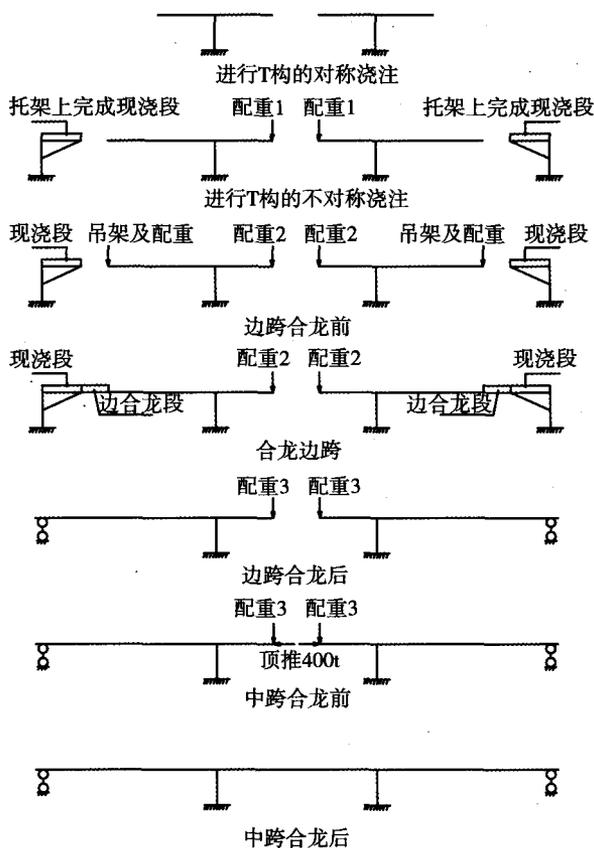


图4 方案四：不对称悬浇后，先边跨后中跨合龙

(5) 最大悬臂后，先中跨后边跨合龙。

当连续刚构桥悬浇到最大悬臂状态后，先合龙中跨，然后继续悬浇边跨，与此同时在边墩上搭设托架浇注边跨现浇段，最后利用吊架完成边跨合龙，力学计算模型如图5。

## 5 仿真分析

高墩预应力混凝土连续刚构桥的恒载内力由各施工阶段的内力叠加而成，悬臂阶段由箱梁自重、预应力和混凝土徐变等产生的内力，合龙完成、体系转换后，由合龙束预应力、拆除挂篮等外力在本跨产生的初内力，由合龙束预应力、拆除合龙挂篮等外力产生的次内力，根据不同合龙顺序和方式计算出不同的收缩徐变次内力等。因高墩预应力混凝土连续刚构桥属于超静定结构，

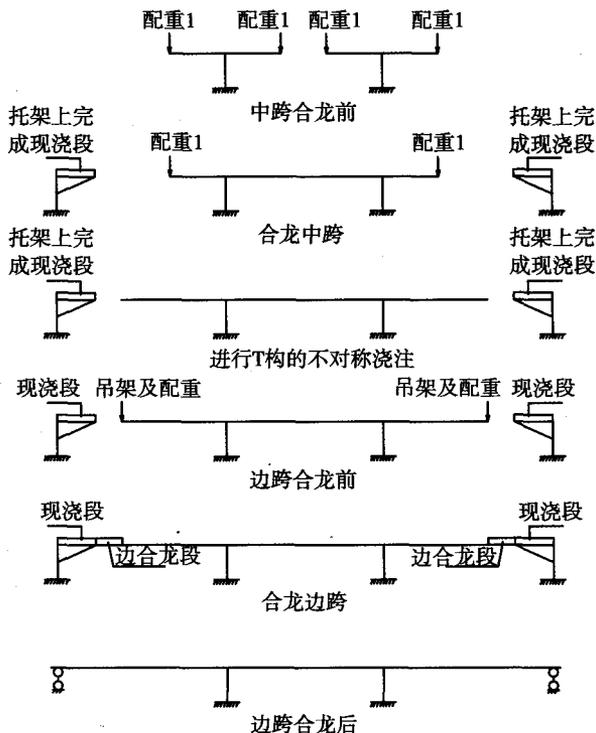


图5 方案五：悬浇至最大悬臂后，先中跨后边跨合龙

显然不同的合龙方法，对桥梁成桥时的恒载内力有很大的区别。

根据施工步骤，对梁体施工过程进行仿真分析，可以计算出不同合龙方案成桥时的内力。这样可以更加直观地分析出各合龙方式的优劣和适用条件。

### 5.1 计算模型

纵向静力计算按平面杆系进行结构分析，采用桥梁结构静力计算综合程序QJX计算，计算假定：上部箱梁与主墩固结，桥台处支座按滑动支座考虑，主墩底按刚性各向固定支承考虑；结合设计文件的施工顺序和单元划分进行结构离散（见图6），共划分主梁单元149个，桥墩单元42个，永久支承单元6个。

### 5.2 施工工序

计算步骤和施工顺序、合龙方案要求保持一致。

### 5.3 主要计算参数确定

(1) 二期恒载：混凝土铺装2.20t/m，沥青铺装2.70t/m，防撞护栏0.9t/m；

(2) 温度参数：温度组合 I（整体温升+正

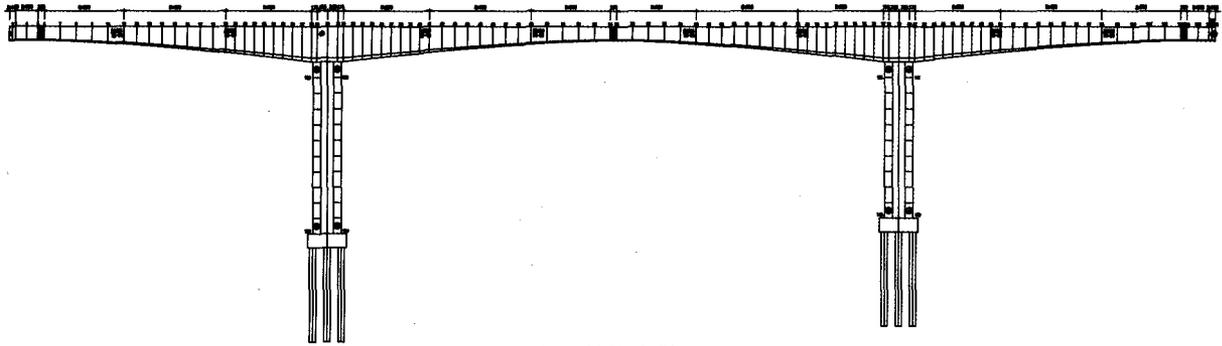


图6 结构离散图

温度梯度)

温度组合 II (整体温降+负温度梯度)

(3) 汽车荷载横向分布系数: 按2车道0.95倍折减并考虑偏心系数1.15计算取值, 取用2.231;

(4) 挂车荷载横向分布系数: 按1车道计算, 取用1.15;

(5) 挂篮: 挂篮重量暂按最大梁段重量的50%计算, 取用90t;

(6) 不考虑不对称施工;

(7) 混凝土收缩徐变参数:

弹性继效系数 0.3

徐变终极值 2.0

收缩终极值 0.00015

速度系数 0.021

按新规范考虑桥梁所在地区的相对湿度为0.62

(8) 钢绞线参数:

钢束管道摩阻系数 0.25

钢束管道偏差系数 0.0015

一端锚具变形及回缩量 0.006m

钢绞线松弛率 0.035

#### 5.4 荷载组合

施工阶段: 恒载+施工荷载

运营阶段:

组合1: 恒载

组合2: 恒载+公路—I级

组合3: 恒载+挂车-120

组合4: 恒载+公路—I级+温度组合 I

组合5: 恒载+公路—I级+温度组合 II

#### 5.5 计算结果

(1) 成桥阶段箱梁控制截面应力见表1 (表中数值符号规定: 压应力为正, 拉应力为负, 单位:  $\text{Kg/cm}^2$ )

表1 成桥阶段箱梁控制截面应力

合龙方式	位置	节点	上缘应力	下缘应力
方案一		32	104.86	107.58
方案二		32	104.36	108.10
方案三	悬臂根部	32	104.46	108.05
方案四		32	104.04	108.52
方案五		32	103.22	108.97
方案一		54	48.31	61.24
方案二		54	45.92	65.03
方案三	跨中	54	46.21	64.39
方案四		54	44.06	67.76
方案五		54	42.81	67.86
方案一		2	12.07	72.14
方案二		2	12.07	72.14
方案三	边跨支座	2	12.07	72.14
方案四		2	11.82	72.53
方案五		2	11.82	72.53

由成桥阶段箱梁各控制截面应力数据分析可知:

a、不管采用哪种方案合龙, 成桥后各控制截面的最大压应力 $\sigma_{cc}^t$ 均远远低于 $0.70 f_{ck}' = 0.70 \times 355 = 248.5 \text{ Kg/cm}^2$ , 满足规范要求;

b、采用方案五合龙的连续刚构桥, 成桥后在悬臂根部、跨中以及边跨支座处的下缘压应力储备最大;

c、方案四、方案二、方案三依次次之;

d、采用方案一合龙的连续刚构桥, 成桥后在悬臂根部、跨中以及边跨支座处的下缘压应力储备最小。

(2) 运营阶段各荷载组合情况下箱梁控制截面最大和最小应力见表2 (单位: Kg/cm<sup>2</sup>)

合龙方式	组合	上缘应力				下缘应力			
		节点	MAX	节点	MIN	节点	MAX	节点	MIN
方案一	组合2	32	105.91	2	11.63	32	119.48	54	35.62
方案二		32	105.42	2	11.63	32	120.00	54	39.42
方案三		32	105.51	2	11.63	32	119.94	54	38.78
方案四		32	105.09	2	11.37	32	120.42	54	42.15
方案五		32	104.26	2	11.37	32	120.86	54	42.24
方案一	组合3	32	105.13	2	11.99	28	112.92	54	54.52
方案二		32	104.64	2	11.99	28	112.96	54	58.32
方案三		32	104.73	2	11.99	28	110.21	54	57.68
方案四		32	104.31	2	11.73	28	110.69	54	61.05
方案五		32	103.48	2	11.73	28	111.13	54	61.15
方案一	组合4	32	152.62	2	11.63	77	120.23	54	33.04
方案二		32	152.12	2	11.63	77	120.73	54	36.83
方案三		32	152.20	2	11.63	77	120.70	54	36.15
方案四		32	151.77	2	11.37	77	121.18	54	39.51
方案五		32	150.92	2	11.37	77	121.63	54	39.56
方案一	组合5	32	105.91	2	-9.10	77	119.85	54	35.62
方案二		32	105.42	2	-9.10	77	120.35	54	39.42
方案三		32	105.51	2	-9.12	77	119.94	54	38.78
方案四		32	105.09	2	-9.38	77	120.42	54	42.15
方案五		32	104.26	2	-9.40	77	120.86	54	42.24

由运营阶段各荷载组合情况下箱梁控制截面的受压区混凝土压应力数据分析可知:

a、不管采用哪种方案合龙,运营阶段各控制截面的最大压应力 $\sigma_{kc}+\sigma_{pr}$ 都以组合四为最不利工况,但其最大压应力也均小于 $0.5 f_{ck}'=0.5 \times 355=177.5 \text{ Kg/cm}^2$ 规范要求;

b、用方案五合龙的连续刚构桥,在运营阶段各种荷载组合下的下缘最大和最小压应力储备均最大;

c、方案四、方案二、方案三依次次之;

d、采用方案一合龙的连续刚构桥,在运营阶段各种荷载组合下的下缘最大和最小压应力储备均最小。

由以上成桥、运营阶段上部箱梁正应力计算结果,可以看出在各工况下主梁各截面应力均满足规范要求,结构均为安全。

(3) 箱梁主拉应力:

箱梁控制截面主拉应力见表3 (单位:

Kg/cm<sup>2</sup>)

合龙方式	温室效应	位置	成桥	汽车	汽车	挂车	挂车	
				最大剪力	最小剪力	最大剪力	最小剪力	
方案一	悬臂根部	未计入温度效应	跨中	-6.57	-6.82	-5.88	-6.10	-5.91
方案二				-6.57	-6.82	-5.89	-6.10	-5.91
方案三				-5.91	-6.82	-5.89	-6.10	-5.91
方案四				-5.92	-6.82	-5.89	-6.10	-5.91
方案五				-5.94	-6.83	-5.90	-6.12	-5.91
方案一	边跨支座	未计入温度效应	跨中	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
方案二				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
方案三				0.00	-0.29	0.00	0.00	0.00
方案四				0.00	-0.29	0.00	0.00	0.00
方案五				0.00	-0.30	0.00	0.00	0.00
方案一	悬臂根部	未计入温度效应	跨中	-8.67	-8.67	-10.62	-8.67	-9.03
方案二				-8.67	-8.67	-10.62	-8.67	-9.03
方案三				-8.67	-8.67	-10.62	-8.67	-9.03
方案四				-8.59	-8.59	-10.53	-8.59	-8.94
方案五				-8.59	-8.59	-10.53	-8.59	-8.94
方案一	边跨支座	未计入温度效应	跨中	-6.57	-6.91	-5.96	-6.18	-5.99
方案二				-6.57	-6.91	-5.96	-6.19	-5.99
方案三				-5.92	-6.91	-5.96	-6.19	-5.99
方案四				-5.92	-6.91	-5.97	-6.19	-5.99
方案五				-5.94	-6.93	-5.98	-6.20	-6.01
方案一	悬臂根部	未计入温度效应	跨中	0.00	-0.32	0.00	-0.10	0.00
方案二				0.00	-0.32	0.00	-0.10	0.00
方案三				0.00	-0.32	0.00	-0.10	0.00
方案四				0.00	-0.32	0.00	-0.10	0.00
方案五				0.00	-0.33	0.00	-0.10	0.00
方案一	边跨支座	未计入温度效应	跨中	-8.67	-9.66	-11.92	-9.66	-10.25
方案二				-8.67	-9.66	-11.92	-9.66	-10.25
方案三				-8.67	-9.66	-11.95	-9.66	-10.25
方案四				-8.59	-9.77	-11.86	-9.77	-10.15
方案五				-8.59	-9.77	-11.86	-9.77	-10.15

注:表中主拉应力均未考虑竖向预应力作用的结果。

由箱梁控制截面主拉应力数据可知:

a、不管采用哪种方式合龙,其结构的主拉应力变化均不是特别大,而且值均较小,满足规范,表明结构较为安全;

b、不管采用哪种方式合龙,结构在施加竖向预应力后,均能有效控制主梁各截面在各荷载工况下的主拉应力。

## (4) 主墩内力计算

成桥、运营阶段墩身内力见表4(单位:吨、米)

表4 成桥运营阶段墩身内力

方案	阶段位置	成桥			组合4			组合5		
		N	M	Q	N	M	Q	N	M	Q
方案一		5030	1637	60	4377	1974	6	4164	2728	43
方案二		4939	1696	63	4286	2032	8	4073	2788	46
方案三	墩顶	5903	1798	62	5250	2133	7	5038	2888	44
方案四		5944	1836	63	5290	2173	8	5077	2927	46
方案五		6739	2737	92	6086	3073	37	5873	3829	75
方案一		6086	129	60	5434	225	70	6704	18	98
方案二		5995	123	63	5343	219	73	6613	24	101
方案三	1/2墩高	6960	251	62	6307	348	7	7577	105	100
方案四		7000	260	63	6347	356	8	7617	114	101
方案五		7796	440	92	7143	536	37	8413	294	130
方案一		7354	1681	60	8200	1886	70	7972	2701	98
方案二		7263	1766	63	8109	1971	73	7881	2786	101
方案三	墩底	8227	1604	62	9073	1808	72	8845	2623	100
方案四		8267	1631	63	9114	1836	73	8885	2651	101
方案五		9064	2316	92	9910	2521	102	9681	3336	130

由以上数据可以看出方案一和方案二合龙后的连续刚构桥其墩顶、墩底受力最小,方案三、方案四依次次之,方案五合龙后的连续刚构桥的墩顶、墩底受力较大。

## 6 结论

(1) 方案一:落地支架上完成现浇段和边跨合龙段浇注,再合龙中跨。这种合龙方式完成的连续刚构桥不论是在成桥阶段,还是在运营阶段各控制截面下缘的压应力储备均最小;而且方案一只适合于地势平坦、桥墩不高、地质条件良好,容易搭设支架的地方,其边中跨之比大致在0.55~0.58范围内,否则将费材费力、不利于施工,并且很难保证支架不发生不均匀沉降,因此探索不用落地支架的途径,也就成为了连续刚构桥发展的必然趋势。

(2) 方案二:落地支架上完成现浇段、吊架上浇注边跨合龙段,再合龙中跨。这种合龙方式取消了边跨合龙支架,增加了边跨合龙的稳定性,是方案一的改进版。这种方式合龙的连续刚构桥在成桥后墩顶、墩底受力最小;在成桥阶段

和运营阶段各控制截面下缘的压应力储备在五种合龙方式中居中;如果地势平坦、桥墩不高、地质条件良好,容易搭设支架的地方,可以采用方案二完成连续刚构桥合龙。

(3) 方案三:导梁上完成现浇段和边跨合龙段,再合龙中跨。这种方式合龙就完全取消了落地支架,大大的增加了边跨合龙的稳定性和提高了施工的方便程度,并且边跨支点在任意荷载工况下,总保留有足够的压力,而不出现拉力,这样利用导梁合龙边跨,不至过多地增加预应力,是方案二的改进版。方案三主要适合于桥墩较高、搭设支架不经济的桥位,其边中跨之比大致在0.54~0.56范围内。

(4) 方案四:不对称悬浇后,先边跨后中跨合龙。在山高谷深的地区建造桥梁,势必就会导致桥墩特别高,如果在这种情况下采用落地支架和导梁来浇注边跨现浇段及边跨合龙段,都会对结构受力产生些非常不利的因素。但如果当T构施工到最大悬臂后,边跨继续悬浇,而在中跨的最大悬臂处添加相应的配重,最后与边墩托架上浇注好的现浇段合龙,就能消除落地支架和导梁施工给结构带来的不利因素。经仿真分析,方案四完成的连续刚构桥不论是在成桥阶段,还是在运营阶段,各控制截面下缘的压应力储备均较大;但成桥后墩顶和墩底的内力也不小,需在桥墩配筋时得以增强。

(5) 方案五:最大悬臂后,先中跨后边跨合龙。这种合龙方式同样适用于山高谷深的地区,与方案四相比合龙的顺序不一样,为方案四的变异。在五种合龙方式中不论是在成桥阶段,还是在运营阶段各控制截面下缘的压应力储备方案五都大,但是成桥后其桥墩顶和底的内力也是五种合龙方式中最大的,在桥墩配筋时需注意。

## 参考文献

- [1] 贺玉娥. 多跨高墩连续刚构的设计研究[J]. 黑龙江交通科技2012(8):70
- [2] 刘建, 陆新焱. 基于无应力状态法的高墩大跨连续刚构桥合龙方案研究[J]. 中外公路2013(33):110-114
- [3] 徐君兰, 项海帆. 大跨度桥梁施工控制[M]. 北京:人民交通出版社, 2000
- [4] 秦顺全. 桥梁施工控制 无应力状态法理论与实践[M]. 北京:人民交通出版社, 2007.