

文章编号: 1002-0268 (2004) 01-0074-03

一座多跨预应力混凝土连续梁桥的施工过程分析

邹立华
(路桥集团第一公路工程局, 北京 100024)

摘要: 对安徽马鞍山至芜湖高速公路青山河大桥进行施工过程的数值模拟结构分析, 计算出用于本桥施工的理论预抛高值, 指导该桥的施工线形控制。中小跨径的多跨预应力混凝土连续梁桥的施工线形控制的关键是确定施工预抛高, 文中对此提出了需要考虑的有关因素和计算方法。

关键词: 多跨; 连续梁; 施工过程结构分析; 预抛高

中图分类号: U448.35 **文献标识码:** A

Simulation Analysis for Staged Construction of a Multi-span Prestressed Continuous Bridge

ZOU Li-hua
(First Highway Engineering Bureau of China Road&Bridge Corporation, Beijing 100024, China)

Abstract: The writer conducts simulation analysis for staged construction of Qingshanhe Bridge, a multi-span prestressed continuous bridge of Ma'anshan-Wuhu expressway in Anhui Province, and provides construction camber of the bridge at each construction stages in order to obtain the right design elevation after closure and application of live loads. During the sequential&inverse analysis, losses of prestressed strands and time dependent material properties such as creep and shrinkage have been included. The writer also demonstrates the conception of and the relationship between design camber, construction camber, formwork elevation and simulation analysis results, and discusses the method on how to dispose the results from the sequential&inverse analysis of bridge of small or medium spans.

Key words: Multi-span; Continuous bridge; Simulation analysis; Camber

青山河大桥位于安徽省马鞍山至芜湖高速公路当涂县境内, 主桥桥型为 30+5×40+30m 七跨一联预应力混凝土变截面连续梁。单幅箱梁结构为单箱单室(图 1)。箱梁梁高按折线变化, 底板厚度按直线变化(图 2)。箱梁采用 50 号三向预应力混凝土, 纵、横向预应力均采用低松弛高强钢绞线。主桥上部结构施工方法: 采用托架施工 0、1 号块, 支架施工边跨现浇段, 其余梁段采用挂篮对称悬臂施工, 悬臂施工前做好临时锚固。施工流程是: 移挂篮→立模→扎钢筋→浇筑混凝土→张拉各种预应力束→移挂篮, 循环以上步骤, 直至合龙。合龙顺序是先合龙边跨, 拆除边主墩临时锚固, 再合龙次边跨, 拆除次边主墩临时锚

固, 直至中跨合龙。

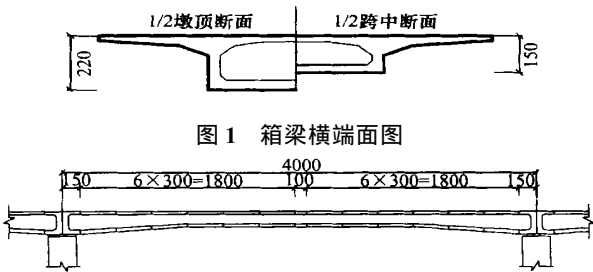


图 2 连续箱梁立面一般构造图

1 施工预抛高、立模标高等基本概念

施工预抛高: 为使成桥线形符合设计值, 在悬臂

浇筑梁段预设的、用于抵消施工过程中梁体挠度的预设值,包括施工阶段的一期恒载、施工临时荷载、施工阶段收缩和徐变引起的挠度。

立模标高:桥梁施工时,考虑以上3项挠度值后,对设计标高进行修正作为施工放样的标高。

以上概念相互间的关系可以用式(1)表示如下

$$H_{li} = H_{gi} + \sum f_{1i} + \sum f_{2i} + f_{3i} + f_{4i} + f_{5i} + f_{gi} \quad (1)$$

式中, H_{li} 为 i 节段立模标高; H_{gi} 为 i 节段设计标高; $\sum f_{1i}$ 为由各梁段自重引起的在 i 节段产生的挠度总和; $\sum f_{2i}$ 为由张拉各节段预应力在 i 节段引起的挠度; f_{3i} 为混凝土收缩、徐变在 i 节段引起的挠度(包含施工阶段和运营阶段); f_{4i} 为施工临时荷载在 i 节段引起的挠度; f_{5i} 为使用荷载在 i 节段引起的挠度; f_{gi} 为挂篮变形值。根据挂篮加载试验,综合各项测试结果,可以绘制出挂篮荷载—挠度曲线,然后按 i 节段加载重量进行内插可得到 i 节段施工时相应的挂篮变形值。

以上 $\sum f_{1i}$ 、 $\sum f_{2i}$ 、 f_{3i} 、 f_{4i} 、 f_{5i} 等5项在前进分析和倒退分析计算程序中综合考虑,倒退分析输出结果中的预抛高值 H_{ygi} 就是这5项挠度的总和。于是上式可以简化为

$$H_{li} = H_{gi} + H_{ygi} + f_{gi} \quad (2)$$

2 施工过程结构分析

2.1 结构分析单元划分

结构分析单元基本上是按照悬臂施工梁段的分段方式进行划分的,同时尽量在截面变化处增设节点以提高计算精度。本桥共划分为119个节点,118个单元,编号从左到右依次增加。具体划分见图3(仅标出部分节点编号)。

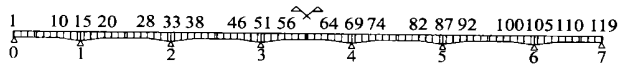


图3 结构分析单元划分图

2.2 施工阶段划分

按照预应力多跨连续梁桥悬臂施工的特点,在结构计算时,将全部施工过程划分为44个阶段,其中1~2为墩顶0号块施工阶段,3~26为悬臂浇筑阶段,27~44为合龙段施工、体系转换、二期恒载及静活载作用阶段。每一个悬臂节段的施工是采用4个施工阶段来进行模拟。以第3号节段的悬臂浇筑为例,为了真实地反映其悬臂施工和考虑时间对变形的影响,将施工划分为:①挂篮移动就位;②3号块混

凝土浇筑,在总体结构计算中加入3号块,计算其重量对已完成结构产生的变形和内力(由于未拆模,不计其自身挠度,方法是赋予3号块无限大刚度);③拆模养生,恢复3号块实际材料特性,使其自身开始参与变形和受力;④张拉预应力束。通过尽可能多地划分施工阶段,可以更加真实地模拟施工过程。

2.3 基本参数和荷载取值

在桥梁结构施工过程分析中,基本参数取值的真实程度是计算结果是否可靠的关键因素。由于在施工前有些关键的参数如材料的实际弹性模量暂时还未获得或资料不完整,所以在计算中,这些基本参数的取值基本是按照《桥涵设计规范》和相关的设计手册中的推荐值选用的。如果施工过程中发现这些参数与施工监测结果有较大出入,应调整后重新计算,以确定是否需要对全桥预抛高的设置作相应调整。以下是在结构计算中用到的基本参数和荷载取值。

(1) 50 #箱梁混凝土弹性模量: $3.5E04\text{MPa}$ 。

(2) 预应力钢绞线弹性模量: $1.95E05\text{MPa}$ 。松弛率 CP 取 4.5% 。管道摩擦系数 μ 取 0.35 , 局部偏差系数 k 取 0.003 。锚具变形、钢筋回缩和接缝压缩值 DL 取 6mm 。

(3) 悬臂节段加载龄期为 5d 。徐变系数按照规范提供的方法程序自动进行计算,相关的徐变系数以《桥涵设计手册》P257表4-3-32的取值为基础采用内插方法计算, CP (即规范中的 λ) 取 1.5 。收缩应变终值 $CPR3$ 取 0.21 。环境湿度取 70% 。

(4) 梁段的自重按均布荷载计算,注意应计入齿板的重量。挂篮重量按集中荷载计入,工作状态的前支点力 45t (方向 $\downarrow$),作用点在悬臂端向内 0.5m ,后支点锚固力 12t (方向 $\uparrow$),作用点在前支点后面 3.55m 。二期恒载按均布线荷载形式布置,包括桥面铺装、护栏等附属工程。

3 计算结果

青山河特大桥施工过程结构计算采用桥梁结构线性、非线性施工分析程序BAP系统。经计算,本桥结构变形的基本规律是:

(1) 箱梁的挠度在悬臂施工阶段的值较小,6号块最大悬臂状态时累计挠度是 0.6cm ,挠度主要发生在合龙和体系转换施工阶段。

(2) 边跨和次边跨合龙段预应力束张拉后,由于墩顶的临时固结,梁体挠度并不发生大的变化。而解除墩梁固结产生的挠度很明显,合龙跨向上拱,而自由悬臂端产生较大的下挠。由此,导致每一个T构两

端悬臂的预抛高值符号相反，以抵消由于合龙和体系转换产生的挠度，尤其以中跨的2个T构为最明显。以3号墩T构为例，当第3跨跨中合龙、张拉预应力合龙束时，跨中上拱0.7cm，另侧悬臂端下挠几乎为0。而解除该T墩顶临时固结后，该跨中上拱1.7cm，另侧悬臂端下挠3.0cm。见图4（1、15、33、51为桥墩墩节点）。

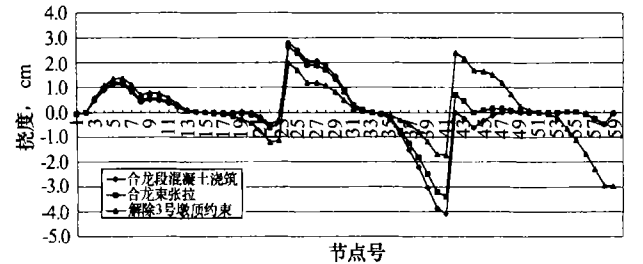


图4 第3跨中跨合龙、体系转换结构变位图

(3) 二期恒载和汽车荷载加载时，主梁已成连续梁体系，产生的挠度较小。汽车活载产生的挠度与施工阶段的挠度相比很小，预抛高值中忽略未计。

4 预抛高值的确定

以全桥跨中为对称点，取半结构的计算结果进行研究。程序倒退分析计算出来的预抛高值比较离散见图5，不利于现场操作，尚应根据本桥设计线形的特点作适当处理。

(1) 由于该桥的箱梁梁高按两条折线分布，预抛高的设置应满足既不改变箱梁梁高，又要保持梁底的折线线型，因此预抛高也应按照折线设置。具体方法

预抛高控制点（断面） 计算值与推荐值（单位 cm）												表 1	
节点	5	8	10	20	22	26	28	38	40	44	46	56	58
计算值	－1.48	－0.81	－0.82	0.88	1.82	－0.44	－0.44	0.28	0.91	－2.58	－2.28	2.83	4.48
推荐值	0	0	0	0.6	1.5	0	0	0	1	－1.5	－1.5	2	3

5 结论

1. 本桥箱梁的挠度在悬臂施工阶段的数值较小，挠度主要发生在合龙和体系转换施工阶段。且由于是分批合龙，各个T悬臂施工的立模标高是不相同的，即使该桥的跨径不大，立模标高的确定也是一个较复杂的过程。悬臂施工一旦完成，在合龙和体系转换阶段再要对产生的线形偏差进行调整将变得较困难。这样，使成桥线形控制的重点放在施工前预抛高的计算工作上。

2. 施工过程结构分析时，施工阶段应尽量详细划分，真正实现对施工全过程的数值模拟。如挂篮移动、梁体自身参与变形、合龙时临时配重的增减、临

是：预抛高设置线的控制点选取梁底折线的转折点

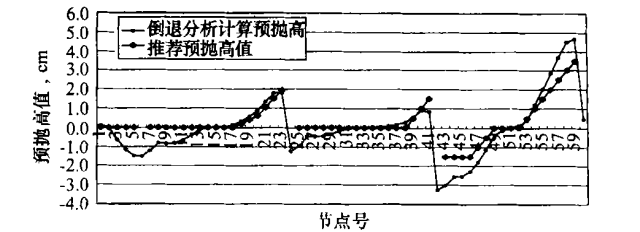


图5 计算预抛高及推荐预抛高曲线

(即10、20、28、38、46、56节点)和最大悬臂端以内1个梁段位置(即5、8、22、26、40、44、58节点)。

(2) 施工预抛高按照悬臂阶段和体系转换阶段分别考虑。国内一些桥梁的施工经验认为，悬臂阶段梁体因节段混凝土自重、悬臂束张拉、移动或拆除挂篮所产生的挠度与设计计算值接近，而合龙张拉产生的弹性拱度实测值较设计计算值偏小。这种偏差除与梁体混凝土实际弹性模量、梁体弹性变形的“滞后”有关外，还与合龙阶段梁体复杂的边界条件有关。在确定本桥的施工预抛高值时，也适当考虑了这种情况。

(3) 对于边跨段，计算预抛高为负值，即向下设反拱。对此种情况，一般处理方法是不设预抛高。

将以上各项因素综合考虑，确定在控制节点上的推荐预抛高值如表1。

图5中的推荐预抛高值就是以此为基础拟合的折线。

这样，现场施工放样用的立模标高就可以按照公式(2)关于施工预抛高、挂篮变形值、立模标高的关系进行计算。

时固结的解除、现浇段单向受压支架的增加和拆除等，甚至施工中可以预见的停工，都应如实在各个施工过程中体现。

3. 由计算机程序计算的结果仍需经过整理，并根据工程实践经验对计算结果作出判断，提出适合于该桥的预抛高值，进而确定指导现场施工放样的梁段的立模标高。

参考文献:

[1] 雷俊卿. 桥梁悬臂施工与设计 [M]. 人民交通出版社, 2000.
[2] 向中富. 桥梁施工控制技术 [M]. 人民交通出版社, 2000.
[3] 刘效尧, 等. 公路桥涵设计手册(梁桥)下册 [M]. 人民交通出版社, 2000.