

文章编号:1009-6825(2004)15-0068-02

# 预应力混凝土连续梁及连续刚构悬臂施工技术

张宏武

**摘要:**结合工程实例,介绍了采用正装和倒装相结合的分析方法在预应力混凝土连续梁、连续刚构悬臂施工监控中的应用,以期将实测值的误差控制在最小范围内。

**关键词:**预应力,施工监控,悬臂施工,混凝土连续梁

**中图分类号:**TU756.4+2

**文献标识码:**A

## 1 理论计算分析

桥梁结构的理论计算通常用有限元法进行分析,主要是对各节段施工工况下的相应截面的应力、位移进行分析,作为监测和施工控制的依据。目前桥梁施工控制的结构计算方法主要包括:正装分析法、倒装分析法和无应力状态计算法。

正装算法能较好地模拟桥梁结构的实际施工历程,得到桥梁结构在各个施工阶段的位移和受力状态,同时,能较好地考虑结构的非线性问题和混凝土收缩、徐变等问题。对于大跨度预应力混凝土桥梁,首先必须进行正装计算。

施工预拱度应按照桥梁结构实际施工加载顺序的逆过程(倒装算法)来进行结构行为计算并予以确定。只有按照倒装计算出的桥梁结构各阶段中间状态去指导施工,才能使桥梁的成桥状态符合设计要求。

无应力状态法是以桥梁结构各构件的无应力长度和曲率不变为基础,将桥梁结构的成桥状态和施工各阶段的中间状态联系起来,这种方法特别适用于大跨度拱桥和悬索桥的施工控制。

### 1.1 悬臂施工中按施工步骤的挠度及应力控制(正装分析)

#### 1.1.1 悬臂施工中一期恒载作用下的弹性挠度计算

砌块外形尺寸与普通的空心砌块标准模数一致。结构型式及外观尺寸适合工厂生产,能进行自动化、半自动化的专业化生产。保温空心砌块自重轻,施工方便,易于在施工现场砌筑,竖向和水平方向的配筋简单易行。浇筑的混凝土有足够的强度,可满足多层或高层建筑的承重需要。外墙承重的钢筋混凝土芯体完全不外露。冬夏季温度变化小,减少温度应力破坏,有利于承重墙结构保护。保温砌模承重墙体不另设保温层,灌芯不用模板,承重保温一体化,可缩短工期、降低造价,可代替粘土砖,以废旧聚苯乙烯泡沫塑料作原料,减少环境污染,利旧利废,符合墙体改革和建筑节能、环境保护的国策。

先以缆索吊机逐段悬臂拼装的自身静载为例,在一期恒载中的预应力和临时荷载的挠度具有相似性。那么,因静载而设的预拱度  $\Delta_i$  为:

$$\begin{bmatrix} \Delta_{11} & \Delta_{12} & \Delta_{13} & \Delta_{14} \\ 0 & \Delta_{22} & \Delta_{23} & \Delta_{24} \\ 0 & 0 & \Delta_{33} & \Delta_{34} \\ 0 & 0 & 0 & \Delta_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \Delta_3 \\ \Delta_4 \end{bmatrix} \quad (1)$$

那么对于悬浇施工的挠度计算与悬拼基本相同,两者的最大差异在于:1)挂篮在施工中的静载也会使结构发生变化,随着挂篮的拆除这部分也随即消失。因此,在设置预拱度时,应预先扣除这部分影响;2)挂篮的悬出设备在混凝土的浇筑过程中也会发生挠度变形,从而使结构变形,且这部分变形在挂篮拆除后不会恢复。但在混凝土浇筑过程中,可通过调整挂篮的吊带来解决。

同理,当逐段施加预应力时,各节点的变形值仍可写成与(1)式类似的形式,而且一般挠度向上,因此,也要从设置的预拱度中扣除这部分影响。

#### 1.1.2 悬臂施工中一期恒载作用下的弹性应力计算

由内力影响线易得  $\zeta$  处的弯矩  $M$  和轴力  $N$ ,则该处上顶板、下底板处应力为:

通过综合分析,采用保温砌模施工的墙体造价低于现行的墙体加保温层构造的价格,详见表1。

## 4 结语

保温砌模现浇承重墙体系是一种保温、隔热、隔声、防火和结构一体化的新型结构,在技术上有创新,符合我国建筑节能、墙体改革和环境保护的需要。尤其在北方地区多层住宅建设中应用,具有明显的经济和社会效益。

### 参考文献:

- [1] 孙建超,钱稼茹,方鄂华等.小剪跨比保温砌模混凝土抗震性能试验研究[J].建筑结构学报,2002,23(2):18-21.

## Construction technology and property characteristics of the cast-in-site weight bearing wall filled with heat preservation block

LIN Hong-wu

(The 14th Engineering Bureau of China Railway, Yanzhou 272100, China)

**Abstract:** The construction technology of cast-in-site bearing wall filled with heat preservation block is introduced. And based upon analysis of its effects and advantages author points out that this kind of wall system is a new structure has such advantages in heat and sound insulation and fire resistance.

**Key words:** heat preservation block, weight bearing wall, construction, performances

收稿日期:2004-04-29

作者简介:张宏武(1976-),男,1999年毕业于西安公路交通大学桥梁工程专业,助教,长安大学,陕西 西安 710064

$$\sigma_{上,下} = N/A \pm M/W_{上,下} \quad (2)$$

式中:  $A$ —— $\zeta$ 处的箱梁截面面积;

$W_{上,下}$ —— $\zeta$ 处的截面模量。

### 1.1.3 悬臂施工中混凝土徐变产生的挠度计算

如图1所示,悬臂分为9个节段,其5段和6段的接缝  $x$  处挠度的计算式为:

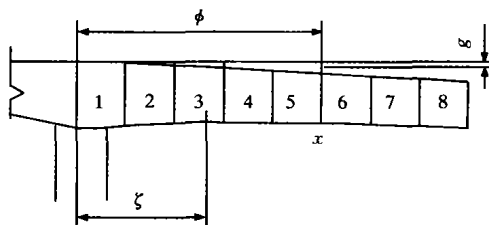


图1 考虑混凝土徐变影响计算挠度的方法

$$y = \sum_0^x \frac{M(x-\zeta)}{EI} \Delta\zeta \quad (3)$$

式中:  $\zeta$  在  $0 \sim x$  间变化。

根据(3)式,故可得节段1的混凝土龄期为  $t$  时,由节段1~9各段上的荷载以及各段预应力所产生的  $x$  点的总挠度为(设每一节段的施工周期均为  $\tau_1$  天):

$$y_5 = \frac{x_5 - \zeta_1}{I_1} \Delta\zeta \left\{ \frac{M_1^1}{E_1} [1 + \varphi(t, \tau_1)] \right\} \cdots + \frac{M_9^1}{E_9} [1 + \varphi(t, 9\tau_1)] + \frac{x_5 - \zeta_2}{I_2} \Delta\zeta \left\{ \frac{M_1^2}{E_1} [1 + \varphi(t - \tau_1, \tau_1)] \right\} \cdots + \frac{M_8^2}{E_8} [1 + \varphi(t - \tau_1, 8\tau_1)] + \cdots + \frac{x_5 - \zeta_5}{I_5} \Delta\zeta \left\{ \frac{M_1^5}{E_5} [1 + \varphi(t - 4\tau_1, \tau_1)] \right\} \cdots + \frac{M_6^5}{E_6} [1 + \varphi(t - 4\tau_1, 5\tau_1)] \quad (4)$$

若计算施工过程中某接缝处的挠度,且此时有的节段尚未拼装或灌注时,则在上式中应扣除由这些荷载产生的弯矩的影响。

综上,悬臂施工时总挠度为:

$$f_{施} = (-f_y + f_{g1} + f_s) [1 + \varphi(t, \tau)] \quad (5)$$

式中:  $f_y$ ——扣除预应力损失后的预加力产生的上拱度;

$f_{g1}$ ——梁段自身静载(即一期恒载)产生的下挠度;

$f_s$ ——悬臂施工时的临时荷载产生的下挠度;

$\varphi(t, \tau)$ ——混凝土随龄期增大的徐变系数。

对于桥梁长期荷载作用下的总挠度,还应考虑二期恒载和活载的作用所产生的挠度,公式:

$$f_{max} = (-f_y + f_{g1} + f_{g2}) [1 + \varphi(t, \tau)] + f_p \quad (6)$$

式中:  $f_{g2}$ ——二期恒载作用下产生的挠度;

$\varphi(t, \tau)$ ——混凝土的徐变系数终值;

$f_p$ ——静活载作用下产生的挠度。

### 1.1.4 悬臂施工中几何非线性分析

在施工过程中应严格计入结构几何非线性效应,本阶段结束时结构受力状态用本阶段荷载作用下结构受力与以前各阶段结构受力平衡而求得。当前,几何非线性分析中使用的近似方法有:1)增量法;2)迭代法;3)混合法;4)带动坐标的混合法。根据不

同的结构及计算精度与收敛速度,可选用不同的方法或结合使用。

## 1.2 悬臂施工中按施工步骤的逆过程的挠度及应力控制(倒装分析)

前进分析可以严格按照设计好的施工步骤进行各阶段内力分析,但由于分析中节点坐标的改变,最终结构线形不可能完全满足设计线形要求。为了使竣工后的结构保持设计线形,在施工过程中用设置预拱度的方法来实现。而对分段施工的连续梁桥、连续刚构桥,一般要求给出各个施工阶段结构物控制点的标高(预抛高),以便最终使结构物满足设计要求。这个问题用前进分析是难以解决的。因此,采用倒装分析法:假定  $t = t_0$  时结构内力分布满足前进分析  $t_0$  时的结果,轴线满足设计线形要求。在此初始状态下,按前进分析的逆过程,对结构进行倒拆,分析拆除一个施工节段对剩余结构的影响,在一个阶段内分析得到的结构位移、内力状态便是该阶段结构理想的施工状态。

### 1.2.1 倒拆分析中弹性挠度计算

倒退分析法中弹性变形和挠度与前进分析法中的原理相同,只不过顺序不同。那么,因静载而设的预拱度  $\Delta_i$  类似有:

$$\begin{bmatrix} \Delta_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \Delta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \Delta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \Delta_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \Delta_3 \\ \Delta_4 \end{bmatrix} \quad (7)$$

其他方面也类似前进分析法。

### 1.2.2 倒拆分析中弹性应力计算

基本同前进分析法中应力分析。

### 1.2.3 倒拆分析中混凝土徐变产生的挠度计算

混凝土的收缩、徐变与结构的形成历程有着密切的关系,徐变应变不仅与混凝土的龄期有关,而且与作用在混凝土构件上的应力演变有关。因此,混凝土收缩、徐变是倒装计算的一个难点。目前,有两种方法:1)徐变计算迭代法;2)用老化理论进行徐变倒装分析。第一种方法的基本思想:第一轮倒装计算,不计混凝土的收缩、徐变,然后以倒装计算的结果投入正装计算,逐阶段计算混凝土的收缩、徐变影响,并将各阶段的收缩、徐变值保存起来,以备下一轮迭代计算时采用。上一轮计算完后,再进行下一轮倒装计算。此时,要计入上一轮正装计算相应阶段的混凝土收缩、徐变值,如此反复进行,直到计算结果收敛。对于第二种方法的特点就是已知结构初始内力就可求出徐变终了时的结构内力,反过来已知结构徐变终了时的结构内力亦可以求出结构初始的内力,因此,可以对结构进行倒装分析,从而确定结构中理想状态的内力。

## 2 结语

预应力连续体系桥梁的悬臂施工是一个很复杂的过程,考虑结构的几何材料的非线性以及施工过程中其他一些不确定因素的影响。监控人员必须根据已施工部分的实测值对计算理论中的相关参数进行实时调整,以期将误差控制在最小范围内。

# Construction technology of continuous prestressed concrete beam and steel cantilever

ZHANG Hong-wu

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** Taking practical work as example this paper introduces the application of the analysis method combined with orderly-erecting and flip chip methods in construction monitoring of continuous prestressed concrete beam and steel cantilever in order to minimize the errors of measured results.

**Key words:** prestress, construction monitoring, cantilever, continuous concrete beam