

文章编号: 0451-0712(2005)03-0108-03

中图分类号: U448.213.5

文献标识码: B

# 蠡河大桥主桥施工控制要点

肖 军, 李 浩

(江苏省交通规划设计院 南京市 210005)

**摘 要:** 介绍了蠡河大桥主桥的施工概况、挂篮操作流程、预拱度控制和空间预应力束引伸量的计算等几个问题。

**关键词:** 蠡河大桥; 施工控制; 挂篮; 预拱度; 引伸量

蠡河大桥桥梁全长 1 477.902 m, 桥宽  $2 \times$  净 15.25 m。设计荷载为汽车—超 20 级, 挂车—120。

为减小跨径, 主桥采用双幅反对称布置, 上部结构为 49.5 m+90 m+65.5 m 不对称变截面悬浇预应力混凝土连续箱梁。该桥已于 2004 年 10 月建成通车。

悬浇施工工期较长, 挂篮操作复杂, 受外界环境影响大, 需要设计人员进行详细的施工配合, 尤其是预拱度控制更是重中之重。现将该桥主桥部分的施工控制概况介绍如下。

## 1 挂篮操作流程

本桥主墩顶支架浇注块件长 10 m, 悬浇块件长 3~4 m, 最大悬浇块件重 140 t, 边、中跨合拢段长度均为 2 m, 悬浇挂篮设计荷载为 80 t (含模板), 合拢段挂篮设计荷载 40 t (含模板), 悬臂浇注每个块件的实际时间为 7~15 d。

悬浇挂篮施工一个节段过程为: (1) 挂篮和模板就位; (2) 浇注混凝土、养生; (3) 张拉预应力束,

拆模。

合拢段操作包括: (1) 合拢段两悬臂压重; (2) 合拢段两端临时锁定; (3) 挂篮和模板就位; (4) 浇注混凝土, 并在浇注过程中, 同步卸载压重, 养护混凝土; (5) 张拉预应力束; (6) 拆除模板、拆除合拢挂篮。挂篮计算模式如图 1 所示。

合拢段施工时, 为防止混凝土凝固之前悬臂端的变形, 需用型钢进行临时锚固, 临时锚固措施需考虑体系整体温度变化、非线性温度变化、施工移动荷载、风力等影响。混凝土浇注宜在一天中, 温度较低且较稳定时进行, 并采取水箱等载压重, 边浇注边放水, 以保证浇注过程中, 不会因荷载的改变而引起悬臂端位移。

悬臂浇注时, 结构处于静定状态, 挂篮施工荷载对结构最终内力影响不大, 但合拢段施工涉及体系转换过程, 因此合拢挂篮荷载对结构最终内力影响很大, 需严格按设计规定的范围安排施工荷载, 并按实际施工荷载重新验算, 以便设置合理的预拱度。

收稿日期: 2005-01-10

不足时, 可采用较大的合拢压重, 合拢完毕撤除压重, 可将墩顶下缘储备的压应力向跨中下缘转移。合拢挂篮计算图式见图 5 所示。

合拢段施工时, 为防止混凝土凝固之前悬臂端的变形, 常用型钢进行临时锚固, 临时锚固措施需考虑体系整体温度变化、非线性温度变化、施工移动荷载、风力等影响。混凝土浇注应在一天中温度较低时进行, 并采取水箱等载压重, 边浇注边放水, 以保证浇注过程中, 不会因荷载的改变而引起悬臂端位移。

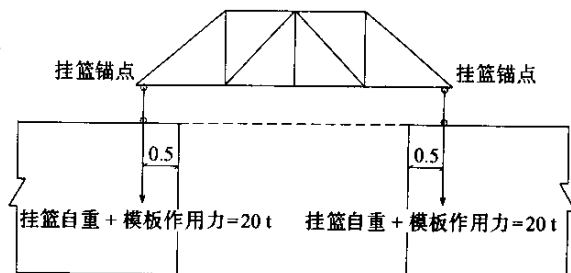


图 5 合拢挂篮计算图示

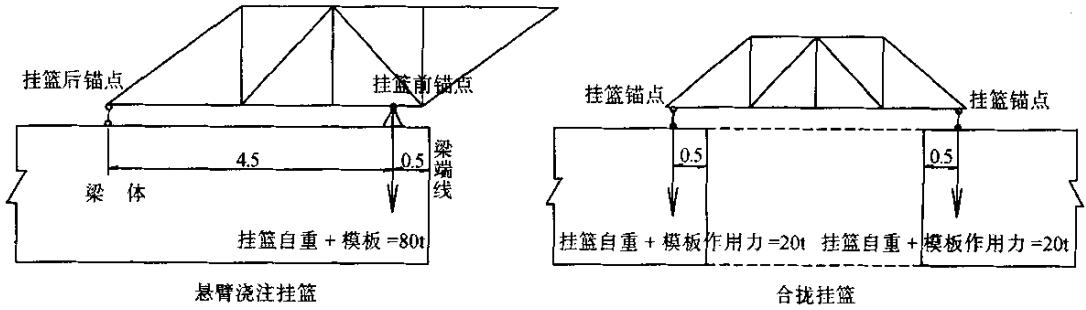


图 1 挂篮计算图示

2 预拱度的计算

由于本桥结构不对称比较严重, 施工中预拱度的控制显得尤为重要, 否则极易引起过大的合拢高差, 导致合拢困难。

预拱度的计算, 应根据实际情况, 取用与实际施工符合的挂篮受力模式、机具重量、工期、合拢段操作方法、混凝土养护龄期、实测混凝土弹性模量等, 并根据反馈的位移实测值, 及时进行修正。

预拱度的理论计算方法是, 根据实际施工各阶段建模, 计算出最终恒载累计位移和活载位移, 将恒载累计位移和活载位移的一半反向, 便可得到理论预拱度。用理论预拱度与各阶段结构位移叠加, 还可以得到每个施工节段和挂篮前移、混凝土浇注、预应力束张拉等工况下, 施工监测所需的高程控制值。但实际施工时, 往往受温度变化、混凝土收缩徐变、弹模等影响, 实测位移与计算值会有一定误差, 一般可以根据已施工节段位移实测值与理论计算值之间的关系, 修正出满意的控制结果。

值得注意的是, 结构计算模式中, 主墩顶临时固结一般采用  $X$ 、 $Y$ 、 $\theta$  三个方向完全约束的边界条件模拟, 而实际边跨合拢段施工时, 若  $T$  构边跨悬臂端的临时压重与中跨悬臂端临时压重不等, 会导致主墩受弯, 如果墩身较高, 主墩顶的转角位移会引起  $T$  构悬臂两端发生与理论计算不符的高程变化。因此, 为得到准确的高程控制, 边跨合拢时, 应保持中跨和边跨悬臂端压重的平衡。

3 空间预应力束引伸量的计算

预应力束的张拉均采用张拉力和引伸量双控, 施工时需要与准确的理论引伸量进行对比。手工计算预应力束引伸量不太现实, 结构计算程序虽然能输出预应力束引伸量, 但在实际设计中, 需要反复调整预应力束, 若每次均将平弯、竖弯完整描述一遍需

要花费大量精力, 且最后布束时受构造影响, 需对束形进行微调, 而施工过程中, 有时也需要对束形进行微调。如何快速、直观、准确地计算空间复杂形状预应力束引伸量, 对于施工控制非常重要。

本桥施工配合过程中采用了 CAD 图形电算法, 求解空间预应力束引伸量, 取得了满意的效果, 其求解过程如下。

张拉过程中, 预应力束任意一点处的应力为:

$$\sigma_x = \sigma_k \times e^{-(kx + \mu\theta)}$$

式中:  $\sigma_k$  为锚下控制张拉应力;  $k$  为管道摩阻系数;  $x$  为张拉端到计算点预应力束的空间长度;  $\mu$  为管道角摩阻系数;  $\theta$  为张拉端到计算点预应力束空间转过的角度。

该点处微单元引伸量  $d\Delta = (\sigma_x / E_y) \times ds$ , 其中  $E_y$  为钢束弹性模量,  $ds$  为微单元长度, 于是总引伸量  $\Delta = \int (\sigma_x / E_y) ds$ , 只要能求出任意一点至张拉端预应力束空间长度和转角, 就可得到该点处微小段的引伸量, 然后采用微小段逐步累加的方法得到总引伸量。

在 CAD 中求预应力束任意点空间长度和转角的方法如下。

先考虑单端张拉情况: 用两条曲线分别表示预应力束的竖弯和平弯线型, 组合成空间束型, 曲线由直线、圆弧、多义线、椭圆线等基本图元组成, 两曲线在  $X$  坐标方向必须严格相等, 如图 2 所示。

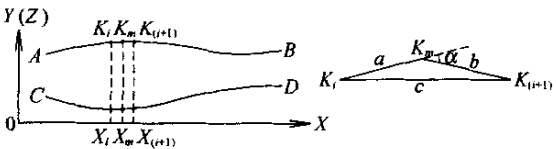


图 2 空间束长度及转角计算示意

假定端点  $A$ 、 $C$  为张拉端,空间束上有 2 个靠得非常近的点  $K_i$  和  $K_{(i+1)}$ ,其  $X$  坐标分别为  $X_i$  和  $X_{(i+1)}$ ,利用这些 CAD 曲线基本图元的几何属性,能够求得这 2 点空间坐标为  $(X_i, Y_i, Z_i)$  和  $(X_{(i+1)}, Y_{(i+1)}, Z_{(i+1)})$ ,只要靠得足够近,就可以直接利用它们的空间坐标求得的直线距离代替两点之间曲线的空间长度;要求两点之间空间曲线转过的角度,可以取它们的中点  $K_m(X_m, Y_m, Z_m)$ ,求得这 3 点组成的空间三角形 3 个边长为  $a, b, c$ ,  $K_i$  到  $K_{(i+1)}$  之间转过的空间角度就可以用  $K_m$  顶角的补角  $\alpha$  代替:

$$\alpha = \arctan \sqrt{\left| \left( \frac{2ab}{a^2 + b^2 + c^2} \right)^2 - 1 \right|} \quad (\alpha < \pi/2 \text{ 时})$$

由上述方法,可求得空间束上,任意微小段的曲线长和该段微小转角,利用逐段累加的方法,得到从张拉端到该点处的累计空间束长和累计空间转角。再由公式求得该点处的钢束应力,用该点应力乘以微段曲线长,得到该微段引伸量,从  $AC$  张拉端向  $BD$  固定端,将每个微段引伸量累加,就得到了单端张拉空间预应力束的引伸量。

若预应力束为双端张拉,而且纵向对称,则可将固定端点定在预应力束的中点,求解一半空间束的引伸量便可;若预应力束为不对称双端张拉,则两端的引伸量需分别求解,问题的关键在于如何找到变形不动点。

不对称预应力束的变形不动点位置是个非常复杂的问题,在实际张拉过程中,受两端千斤顶行程速度、功率以及管道摩阻的不均匀性等影响,无法预知真正的不动点。一般理论计算时,假定左右两端分别向不动点计算摩阻损失,得到的量值相等,也就是,不动点左右面的应力应该相等。由于预应力束是一

条空间光滑曲线,任意一端向另一端求摩阻损失的函数,应该是单调、连续、光滑的,如图 3 所示。

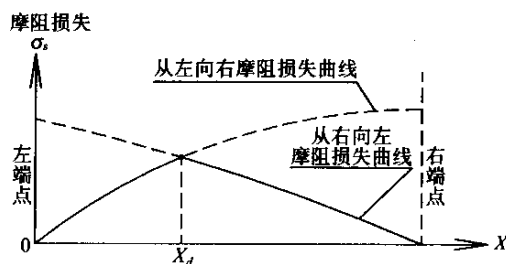


图 3 不对称空间束单向摩阻损失曲线

由此可见,这 2 条摩阻损失曲线必然有交点  $X_d$ ,也就是不动点。电算过程中,可以先假定不动点的位置,然后采用二分法,不断循环、逼近,由于这 2 条曲线为连续、光滑、单调的,所以这个迭代过程必定是收敛的,最后便可求出不动点的位置。求出不动点位置后,左右两端的引伸量只要分别采用单端张拉求解法便能求出。

在 CAD 里电算求解空间预应力束引伸量,设计人员只要在 CAD 中画出竖弯和平弯曲线,然后分别选取,再输入相关张拉参数便可求出,该方法方便、直观、迅速,是结构计算程序的有益补充。

#### 4 结语

设计与施工是一个相辅相成、动态联系,并且是互相校验的过程,在蠡河大桥的施工过程中,设计人员全过程进行了详尽的施工配合,会同施工单位,安排了周密的施工计划。

以上所述的几个施工控制要点的解决方法,在本桥施工控制中,取得了良好的效果。

### 上海农村公路与危桥改造建设进展顺利

经过为期两年的农村公路建设和三年的危桥加固与改造,上海共完成农村公路建设项目 1 006 个,建设农村公路 1 895.79 km,占三年建设计划总数的 76%。完成了 407 座农村公路危桥的加固和改造任务,另外,各乡镇还投资 2.17 亿元,改造计划外危桥 644 座,极大地改善了乡村的交通环境。

2003 年,上海市市政局、公路处与市计委共同制订了《上海市省道和农村公路建设的实施办法》。《办法》明确,在 2003 年~2005 年的三年时间里,集中市、区县、乡镇三级政府的力量,采用“市统一规划,区负责实施”的模式,建设一批、改造一批,着重提高农村公路技术等级和路面等级。

农村公路三年发展目标包括,改造现有公路设备统计量中农村公路的等外公路和中低级路面,总计 2 505.19 km,使上海的所有公路全部达到高级或次高级路面的等级公路标准;全市所有的行政村至少通达一条高级或次高级路面的等级公路;2004 年年底,完成对 407 座乡道危桥的改造任务,到“十五”期末实现“村村通等级公路”的目标。