

再谈系杆拱桥吊杆初始张拉力的计算方法

张维国,贾乃波,刘祥高,周绍峰

(山东省水利勘测设计院,山东 济南 250013)

摘要:提出一种系杆拱桥吊杆初始张拉力的计算方法.此方法采用逆序法计算结构的阶段内力,计算中利用温度应力模拟预应力制作出较为理想的预应力结构模型,并用间隙单元法精确模拟了结构脱离支撑的过程,使得计算过程简便易行,计算结果精确可靠.

关键词:系杆拱桥;吊杆;预应力;逆序法;间隙单元法

中图分类号:TU32

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2002)03-0026-03

系杆拱桥是一种重要的现代桥型,因其具有诸多优点常常被采用.即将建成的跨径近500m的上海市卢浦大桥——世界第一弯弓就是此种桥型.计算系杆拱桥施工过程中的吊杆初始张拉力是一个重要而又复杂的问题.文献[1]针对这一复杂问题展开分析,文中采用结构变刚度有限单元法求解出单位力作用下的吊杆内力矩阵,通过回代方法解出每根吊杆的初始预张拉力,以实现吊杆最终张拉力达到设计值.此方法理论正确,计算过程简洁.但是这种方法要解决此类问题仍存在一些不足.为此,笔者提出了另一种较为实用的计算方法.这种方法具有简单的理论基础和明确的计算过程,能轻松对付“系杆拱桥吊杆内力”一类的问题;适用性强,特别能适应多变的施工工艺和过程.本文将用与文献[1]计算方法等效的途径分析一个实例,从中发现问题并解决问题.

1 力学模型

文献[1]采用的系杆拱桥力学模型如图1所示,假定各个吊杆的抗弯刚度为零(柔性),系梁和拱肋为抗弯梁杆.施工工序分为6个阶段:①在脚手架上浇筑系梁及相关构件,此时系梁和横梁的重量全部由脚手架承担;②将预制拱肋逐段进行拼装;③按顺序逐对、对称地安装并张拉吊杆,使吊杆张紧以抵消系杆的部分自重,直到完成全部吊杆的安装;④拆除系梁下部的脚手架,系梁及相关结构的重量由拱桥整体承担.

计算目的是分析出第三阶段每对吊杆的预张拉力——施工中的过程值,保证完成第三阶段施工后在第四阶段各吊杆内力等于设计数值——最终值.先使

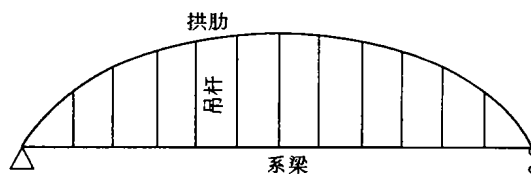


图1 吊杆拱桥力学模型

用本文方法对文献[1]的力学模型进行内力分析.

2 预备知识

笔者处理此问题使用的计算工具是常规平面或空间梁杆有限单元分析系统.吊杆的抗弯刚度用 $I = 0$ 或采用二力杆模型实现,用 $E = 0$ 或 $E \neq 0$ 控制吊杆是否已经张拉(也可以在模型中直接删除未张拉吊杆单元).吊杆的预应力在有限单元模型里采用温度应力替代,即 $N = \Delta LEA/L$ (N 为吊杆张拉力, L 为吊杆长度, ΔL 为吊杆伸长量, E , A 分别为吊杆弹模和截面积), $\Delta L = f(\Delta T)$ (ΔT 为吊杆温降值).给定某根吊杆的温降值 ΔT 实现对吊杆施加预应力 N ,这样的预应力模型与原型之间具有良好的相似性,因为预应力筋能够参与后续内力分配并且允许其拉力值在 $[0, +\infty)$ 上变化(用外荷载模拟吊杆张拉力不易实现结构受力中吊杆松弛这一过程,吊杆内力只能在 $[N, +\infty)$ 上变化),所以能精确模拟构件的后续受力过程.

3 本文算法的基本原理

a. 首先建立一个基于“预备知识”的完整系杆拱桥模型,使得吊杆内预张拉力等于设计值.

b. 制定吊杆的张拉次序,按照反序依次剪断各

对吊杆(令某吊杆的 $E = 0$),每剪断一次作为一个模型进行内力分析计算.计算结论中,下一次将被剪断的吊杆的内力即为所求的按顺序施工时应当施加的预拉力.

这种计算方法是采用逆序模拟施工的方法获得正序施工时的控制数据.

4 计算步骤

a. 计算预应力温降值.除去模型中的吊杆,代之以等效的外荷载,外荷载数值等于设计最终张拉力.只保留拱肋和系梁,如图2所示.

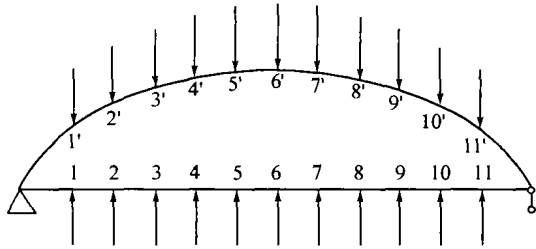


图2 外荷载模拟吊杆拉力

b. 计算出1~11,1'~11'节点的位移 δ_i 和每个吊杆两端点的相对位移 ΔL_i .

$$\Delta L_i = \delta_i + \delta_{i'} \quad (i = 1, 2, \dots, 11) \quad (1)$$

c. 计算各个吊杆的温降值 ΔT_i ,

$$\Delta T_i = \frac{\Delta L_i}{\alpha L_i} + \frac{N_i}{\alpha EA} \quad (i = 1, 2, \dots, 11) \quad (2)$$

用以实现预张拉力最终值 N_i .

d. 建立如图1的系杆拱桥整体模型,并且对各个吊杆赋予步骤c获得的温降值.至此完成了计算理论的第一步——建立了理想的设计模型,此时吊杆中张拉力为设计最终值 N_i .

e. 按照吊杆张拉次序的逆序,依次剪断吊杆,并计算结构内力.记录下一次将要剪断的吊杆的内力,此数值就是按正常次序施加给此吊杆的预张拉力——过程值.

如此建立的计算过程和文献[1]的计算理论是等效的,计算结论也相同,但此结论有误.

5 实例分析

模型设计的基本情况为:设计最终吊杆张拉力为 $N = 315 \text{ kN}$,张拉次序为“先中间后两边”对称进行,6—6',5—5'和7—7',4—4'和8—8',...,1—1'和11—11'.计算出的顺序施工预张拉力过程值见表1.

从数字上看6—6'吊杆的预张拉力远远大于1—1'和11—11'的数值,并且按次序逐步减小.如此吊杆的设计尺寸和标准会出现很大的差别,施工阶段对系梁和拱肋都会产生不良的集中受荷工况.并

且6—6',5—5',7—7'等吊杆的巨大承载能力仅发挥于施工张拉阶段,施工使用的张拉设备要求有较大的容量且变化范围较宽.这样的施工过程必然使工程的结构隐含不合理的设计条件.从等效的施工过程来看(其施工过程中的结构变形如图3所示,图中实线为变形结果,虚线为设计原型),因为文献[1]的力学模型中未考虑系梁底部的脚手架支撑作用,所以出现了系梁低于脚手架支撑平面的工序,而实际施工过程中,支撑体系和系杆拱桥之间存在非线性的动态作用过程,系梁不会落到支撑平面以下.

表1 吊杆张拉力计算结果(初步结论)

张拉次序	吊杆名称	预张拉力/kN
①	6—6'	1555
②	5—5', 7—7'	666
③	4—4', 8—8'	518
④	3—3', 9—9'	428
⑤	2—2', 10—10'	351
⑥	1—1', 11—11'	315

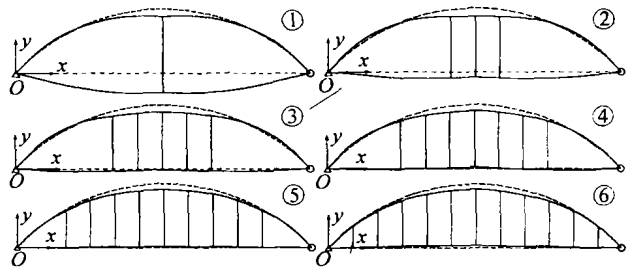


图3 模拟施工过程

本文方法的特点就是可以动态地考虑系梁底部的支撑,也就是说不要求在张拉第一根吊杆时系梁与底模脱离.而是根据结构变形情况自动适应结构支撑条件,力学模型表达如图4所示.模型中包括脚手架支撑体系(有较大的刚度),支撑和系梁之间铺设了无间隙接触受压杆单元,即当系梁与支撑之间的距离 $\Delta = 0$ 时支撑参与结构受力, $\Delta < 0$,而当 $\Delta > 0$ 时支撑不参与结构受力,实现了无粘性接触.如此的模型布置与实际的结构受力过程有着很好的相似性.计算结果能够体现施工过程,使我们获得理想的预加张拉力.计算结果见表2.

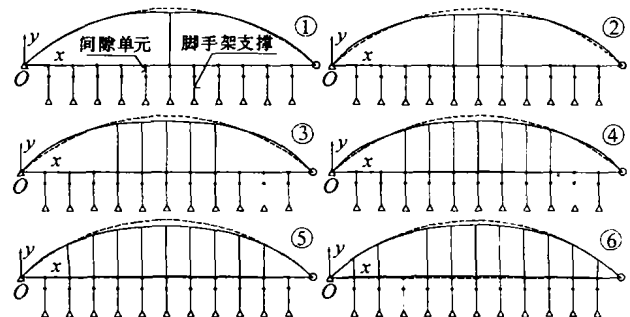


图4 有支撑的施工过程

表2 吊杆张拉力计算结果(用本文方法)

张拉次序	吊杆名称	预张拉力/kN
①	6—6'	480
②	5—5', 7—7'	373
③	4—4', 8—8'	390
④	3—3', 9—9'	402
⑤	2—2', 10—10'	351
⑥	1—1', 11—11'	315

从预张拉力的数值即可看出,施工过程中有若干工况是在脚手架参与受力的情况下进行的.直到预张拉3—3'和9—9'吊杆后系梁才开始脱离脚手架的支撑平面,进入系杆拱桥独立受力状态.此后的预张拉过程值与表1的数值是完全相同的.计算数值和程序输出的变形图也是吻合的.预张拉数值在合理的范围内,没有出现较大的波动,给结构设计工作减小了难度,使结构布置趋于合理化,同时为施工安

全和操作方便提供了理论依据.

6 结 语

对于施工工艺多变的工程结构,应当充分考虑在施工过程中构件实际可能发生的受力状况,尽可能地建立相似性好的力学模型.本文所使用的分析方法同样可以用于其他类似的工程结构分析.其目的是确定合理的施工工艺,保证施工过程的安全和构件能恰当地工作在理想的设计工况.

参考文献:

- [1] 彭宣茂.系杆拱桥吊杆初始张拉力的计算方法[J].水利水电科技进展,2000,20(6):32~33.
- [2] 张允真,曹富新.弹性力学及其有限元法[M].北京:中国铁道出版社,1983.

(收稿日期:2001-08-20 编辑:马敏峰)

·简讯·

“移民与社会发展国际研讨会”在南京举行

“移民与社会发展国际研讨会”于2002年5月12~14日在南京举行.会议由水利部水库移民开发局主办,世界银行、亚洲开发银行、国土资源部政策法规司与耕地保护司、国务院三峡建设委员会移民开发局办公室、河海大学等协办,河海大学移民研究中心承办.来自世界银行、亚洲开发银行等国际机构与澳大利亚、南非、德国、土耳其、印度、越南、加拿大、英国、美国、喀麦隆、法国等11个国家的30名专家、学者和国内100多名专家、学者、管理人员参加了会议.会议以移民与社会发展为主题,就移民政策、理论与实践、移民收入与生活水平恢复、移民风险与重建、移民与反贫困、移民权益保护、移民科学的建立与发展等内容进行了广泛地交流和热烈地讨论.

会议共收到论文170多篇,其中有50篇在大会上进行了交流.本次会议专家云集,是迄今为止有关非自愿移民方面规模最大、人数最多的一次国际研讨会,标志着世界移民科学发展进入了一个新阶段.

本次会议研讨的要点为:非自愿移民不仅仅是项目建设问题,而是一个复杂的社会经济问题,必须制定系统的适合本国国情的移民政策,并且通过相关的法律和行政规章来规范移民活动,保护移民和利益相关者的权益.移民搬迁安置后的生产、生活水平恢复和发展问题是移民必须解决的主要问题.会议就移民安置模式、收入恢复的监测与评估、收入恢复的评价体系与指标,进行了广泛的研讨.收入恢复的关键取决于合适的安置模式和科学的管理方法.移民搬迁面临着社会关系和生产网络的破坏,而且远迁者面临的是一个陌生的环境,加之搬迁时生产的暂时中断,决定移民安置不仅仅是简单的补偿与家园的重建,而是面临着种种风险,其中最大

的风险就是贫困风险.对这些风险如何评估、风险因素如何控制等都是关系到移民的发展问题,也是专家学者关注和研究的课题.移民风险可以通过建立科学、适用的系统进行预测、诊断和控制.移民研究应多视角去考虑.移民与反贫困、移民参与和协商、移民权益的保护、移民社会调适(经济和文化等方面的整合)等都是今后在理论研究和实践探讨上应该强调的问题.

世界各国的移民活动都走过曲折、艰苦的道路,从一般关注到广泛的研究,从工程视角探讨到多视角研究,移民科学取得了巨大进展.经济学、社会学等多学科的溶入,将会使移民学科更加丰富和完善,将推动移民工作迈上新的台阶.

(余文学、施国庆供稿)

《水利水电工程勘察设计施工新技术实用手册》已出版

由李国轩主编的《水利水电工程勘察设计施工新技术实用手册》已由吉林摄影出版社出版.该书分为上、中、下三册,以水利水电工程勘察、设计、施工为主线,囊括了水利水电工程勘察、设计、施工各个重点环节和当今世界水利水电前沿的先进技术,集中反映当前国内外水利水电技术发展的新动态,列举了大量工程实例,具有可操作性强、可借鉴性强、权威性强等特点.本书邮购价768.00元(免收邮挂费).另有《水利工程建设与防汛抗旱实务全书》(全三卷),邮购价798.00元(免收邮挂费);《水利水电工程施工组织设计指南》(上、下册),邮购价102.00元.

邮购地址:北京55信箱清平书店 金莉收.

邮编:100053;电话:010-83154081.

户名:北京清平书店有限公司;开户行:招商银行展览路支行;账号:0981106810001.

(刘景阳供稿)