

交通部重点科技项目

大跨桥梁施工智能控制与监测的
理论与实践研究

研 究 报 告

重庆交通学院

二零零二年十一月

交通部重点科技项目

大跨桥梁施工智能控制与监测的
理论与实践研究

研 究 报 告

重庆交通学院

二零零二年十一月

前 言

本项目为交通部重点科技项目，名称为“大跨桥梁施工智能控制与监测的理论与实践研究”。

在本项目的研制过程中，项目负责人刘忠到美国高访研究。在美国期间从事桥梁专家系统和桥梁施工分析对本项目的最后完成有重大贡献，但项目的正常研究也受到一定影响，未能按期结题。对此，项目负责人向项目组织单位，交通部科技司表示深深的歉意。

本项目完成了合同规定的研究内容，达到了预期研究目标，并在研究过程中，应用和推广了部分成果，对我国大跨桥梁的发展起到了一定促进作用。项目总体研究情况如下。

- (一) 项目丰富了大跨度桥梁自架设体系桥梁的几何、材料、温度、时间等非线形分析理论与稳定分析理论与稳定分析判别方法
- (二) 项目研究和归纳了大跨桥梁施工控制的影响因素、方法和理论
- (三) 项目归纳和完善各种大跨桥梁施工控制特点与方法
- (四) 项目研究和开发了大跨桥梁施工控制软件
- (五) 项目成功应用于多座大跨桥梁施工控制中
- (六) 项目研究者在国内外权威杂志和会议上发表了有关技术论文

其中，“An Analytical Model for Construction of Long-Span Self-Shored Arch Bridge”, Zhong Liu, Fang Li, and W.M. Kim Roddis 发表在美国 ASCE Journal of Bridge Engineering 2002, January/February.

目 录

- 第一章 大跨度桥梁的结构特点与面临的问题
- 第二章 大跨桥梁施工控制方法
- 第三章 各类桥梁施工控制分析
- 第四章 大跨桥梁施工监测方法分析
- 第五章 结构的温度与时间相关影响的计算机分析
- 第六章 结构的非线性有限元方法
- 第七章 应用实例之一：万县长江大桥施工控制
- 第八章 应用实例之二：邕江大桥施工非线性分析

一、概述

随着大跨度桥梁建造数量不断增加,桥架架设过程中的线形及应力状态控制工作越来越显重要,在大跨度桥梁架设过程中,一般均需对线形、应力状态及稳定进行专门的分析研究。但是,在这一方面进行的施工控制工作仍然是大跨度桥梁建设中的一个薄弱环节,目前在已完成的桥梁中不少就出现的线形不好、内力状态不合理的问题。

针对大跨桥梁结构体系研究,我们发现,大跨径桥梁大多属于“自架设体系”(Self-erecting System即最终结构物被分成若干部分,按多个施工阶段浇筑或拼装起来,而这些施工阶段的运输和架设都以完成结构部分为支撑体系,至到全结构形成。)。按此定义,大跨斜拉桥、大跨拱桥、大跨吊桥、大跨连续刚构等都属于这种结构。由于这种结构施工步骤多,结构受力复杂,体系变化大,在理论分析和应用上具有以下几个显著特点:

1、自架设体系的施工步骤(即使不考虑材料、几何非线性)对桥梁最终构型的应力分布和变形影响很大。因此,这类施工体系除了要求严格按指定的步骤施工外,最好要有理论分析上、施工技术上可行的控制系统。

2、自架设体系施工中几何非线性影响较大。尤其是斜拉桥这类采用了柔性的拉索与其他构件组成的组合体系。

3、自架设体系中混凝土时间、温度效应影响大,尤其对于现浇施工方法,通常在较小的龄期就要施工下一步骤,徐变收缩比较大,因而对挠度和内力分布的影响也大。由于施工过程长,各部分构件的安装浇筑都在已成结构体系上,日照、温差、温度随工期的变化过程都会“记录”在结构的内力分布和挠度变化上并影响以后结构的施工和最终结构的性能。

4、自架设体系中,混凝土及钢的非线性应力应变关系,混凝土开裂等因素影响大。因为桥梁是自架设的,先架设部分结构要承受后面步骤构件的重量,因而,通常先架设部分受力大。因而先施工部分有可能是在材料非线性范围内工作。材料非线性性能对桥梁施工及成桥的强度、刚度稳定性都有不可忽视的影响。

5、自架设体系桥梁的最终状态通常都不是最不利受力状态。自架设体系桥梁的施工仅仅只是一个短暂的过程，通常取有比成桥更小的安全度，如上施工过程中结构的受力体系不固定，构件刚度比较小，往往比成桥更容易破坏。因此，对于这类体系，必须重视施工过程的设计分析。

因此，为保证施工过程中结构的内力分布、挠度变化、稳定性能都处于安全合理的范围之内，需要对这种结构进行监测、分析、追踪和控制。目前，这一问题受到国内外工程界的广泛重视，也是我国大跨桥梁工程技术与质量同先进国家的主要差距之一。虽然，大跨度桥梁技术水平不断提高，由于问题的复杂性，施工控制、施工监测和非线性分析的很多方面并未完全解决。

二、本课题的研究目的和内容

- (1) 研究和发展大跨自架设体系桥梁几何、材料、温度、时间等非线性分析理论和稳定分析判别方法
- (2) 研究和发展大跨自架设体系桥梁控制技术理论
- (3) 研究和设想桥梁实时一体化测评系统与设备
- (4) 开发完善施工控制软件，程序可根据施工程序作控制计算，提出调整方案，预计结构的后期性能。
- (5) 归纳和完善大跨自架设体系桥梁控制的完整系统，系统将包括大跨吊桥、拱桥、斜拉桥、连续刚构等几乎所有大型桥梁结构

由于本项目所提出的和解决的问题直接涉及大桥的施工安全，内力调整，预拱度设置等至关重要问题。它是对工程设计一种可靠检验和审核，是桥梁最值得进行的一种投保，其重要性和经济效益都是无法低估的。本项目是在我学术梯队完成大量有关项目的基础上提出的，是从大跨桥梁的共性上提出的，项目的理论水平较高、针对性强，且包含特大桥这一领域多方面技术难题，对我国桥梁工程设计施工技术发展有重要意义。

目前，国内外对于大跨径钢—混凝土复合桥梁从施工开始的非线性分析，尤其是混凝土徐变收缩，非现性应力应变关系及几何非线性、温度变化等因素的综合分析还不成熟；测试系统还不完善；控制理论还有待发展、而这些因素对桥

梁的施工、过程又非常重要。本课题进行的理论研究、测评系统研究、软件开发将为这类在桥梁工程中广泛应用的结构形式进一步发展奠定理论基础和提供分析途径。

一、什么是桥梁施工控制

在桥梁施工过程中,结构所表现出来的理论与实际的偏差具有累积性,如不加以有效的控制和调整,将给桥梁施工安全、外形、可靠性、行车条件和经济出等方面带来不同程度的影响。桥梁施工控制,即,对实桥采取及时有效的监测和控制不仅可以避免上述不利现象的发生,同时对保证造设工程质是和使用性能具有深远的意义。施工控制的目的,就是建立以施工为中心且拥有实用的测试技术和现场计算分析技术的施工监测和控制技术系统,实时监测各施工阶段的主要控制参数,并通过计算分析及时预测得出各施工阶段的主要控制参数,指导和控制施工,确保桥架线形,控制施工内力及变形,保证桥梁正常使用的安全性。

二、从桥梁施工控制的目标上认识桥梁施工控制

桥梁施工控制的目标可以分为两个部分:成桥状态总目标和施工过程中的分目标,各个目标必须包括应力状态和线形状态。

成桥时合理应力状态确定的方法在斜拉桥和拱桥设计中已经有了大量的研究;由于桥梁跨度的增大,混凝土收缩、徐变对桥梁线形的影响不可忽视,线形控制目标必须是桥梁长期线形达到设计竖曲线,在桥梁竣工时应保证足够的徐变预拱度。

从成桥合理状态确定施工阶段控制目标的理论方法主要有:倒拆法、无应力法等。随着桥梁跨径的增大,主梁相对刚度逐渐减小,再加上前支点长挂篮的使用,节段重量较大,如果完全追求按成桥状态来反推施工的控制目标,可能导致施工阶段梁体应力过大,施工中应力控制在允许范围内的要求与成桥状态的理想内力状态发生矛盾,这时就必须将施工阶段的控制目标与成桥状态目标分开考虑,在全桥合龙后进行一次调索,实现两个目标之间的转换。

理论上这些方法可以用于确定施工阶段的内力及标高状态,由于徐变、几何非线性、构造问题(实际结构不可能安装带有初应力的构件)等因素,它们只能用

于初步确定施工阶段的内力状态，不能用于确定施工阶段的标高。施工标高控制过程是一个复杂的预拱度控制过程，施工阶段的标高状态必须根据施工模拟计算所得的挠度反向确定。

三、大跨度桥梁施工监测和控制的现状

大跨度桥梁，尤其是大跨度混凝土桥梁在施工阶段，由于环境因素（温度，湿度）的影响，材料特性与设计值的差异；荷载的不确定性及其施工精度都直接影响着施工结果与设计图式的吻合程度，因此施工各阶段桥梁结构的应力，变形进行监测和控制就显得十分重要。目前，对大跨斜拉桥、连续梁桥、悬索桥、连续刚构大都采用了施工控制技术。其中，以斜拉桥最为突出，应用最多。

对于大跨度混凝土桥梁而言，施工监测的主要是混凝土收缩徐变对内力的影响、温度变化及其他设计中无法准确预测的结构特性。在工程实践中，每每发生合拢困难或与设计线型，内力差别较大的问题。针对大跨度预应力混凝土桥梁这一问题，在理论方面的探索主要表现在：（1）合理收缩徐变模型的确定或选择。（2）考虑各种不确定因素徐变内力变形的计算，预测，校正，补偿方法的研究，如 Kalman 滤波法的应用，闭环控制方法的引进。（3）收缩徐变对施工阶段内力，变形影响的实用算法。在工程实践方面的探索主要有：（1）现场徐变试验，施工控制和计算机模拟跟踪相结合，根据结构线型，内力量测结果随时进行反馈和调整。（2）采用一些措施尽量减小不确定因素的干扰。如浇筑养护条件的改善，构件存放时间的延长（对悬拼结构而言）都可一定程度减小徐变收缩变形；又如施工荷载（机具，人员）的严格确定以提高线型观测的可信度等等。（3）竣工后调整，即对于因施工精度，收缩徐变变形估计不准确等原因造成的线型，内力差异进行调整。可通过预应力筋，拉索的重新张拉或用千斤顶使其达到设计要求，如广东九江斜拉桥竣工两年后通过重新张拉拉索来补偿收缩徐变变形，使线型和内力符合设计要求。

四、桥梁施工控制与监测的因素分析

第一类因素：无法精确计算其影响但可以排除的因素。对于这种因素，很显然我们要想方设法排除它。例如日照的影响。日光照射下结构各构件的温度分布异常复杂，而且这种分布状态随太阳位置的不同还会发生变化，这种影响在现有结构计算中是无法精确模拟的。因此，对桥梁的测量要求在没有日照的情况下进行。在理论计算时尽量只考虑一种温度状态。在白天，从太阳升起前一个小时到太阳落山后几个小时内温度变化很剧烈，而桥梁的测量工作又不可能机的短的时间完成。为排除湿度变化的影响，要求测量工作要在气温比较平缓的时候进行。这一类因素还包括大风的影响。大风会引起桥梁的振动，对线形应力的测量取则又大，所以也要避免在大风天气进行监控测量。

第二类因素：不能排除但能够精确计算其对结构影响的因素。比如预制梁与设计理论重量的差值可以用称重的方式得出。因此可要求每块钢梁安装之前都要积出准确重量，以便施工监控时修正钢梁的自重。再比如构件的温度是可以测量出来的，根据测量出的温度与理论计算是体系温度的差值，可以精确计算出比温度差引起的桥梁内力、线形的变化。并且，由于桥梁结构庞大，各构件不同位置的温度也可能不同。所以不仅要测量环境温度，还要测量各构件甚至构件的各部分的温度。比如测量主梁的温度时就要求测量主梁顶板、底放腹板等各部分的温度。不管怎么严格要求实际荷载与理论荷载一致，但由于实际的需要，总会有与原有施工荷载不同的荷载需要上桥。因此这些与原有施工荷载不同的荷载一定要积重，并标出测量时的准确位置以供施工监控计算时修正施工荷载。这一类因素应尽量全部精确测量出来后加到原有结构上，计算出所有这类因素的影响，然后再比较计入这些影响后的结构理论状态与实际结构状态的差异，最后对这些差异进行处理。

第三类因素：无法精确测量而且也无法排除的因素。正是由于这类因素的影响，才会导致在加上第二类因素对结构的影响后结构理论状态与实际结构状态仍然会有差异。这一类因素有很多，例如：主梁的安装误差、主线实际刚度与理论分的差别、主塔的时效参数的正常进行就必须立即处理它。处理这类误差的方法就是平差处理。平差处理全称平均误差处理。在做平差处理之前要规定误差允许的范围，也称误差极限或误差限，比如索力误差规定为此根索理论索力的百分之几，线形误差规定为几厘米。如果剔除了第一、二类因素影响后实际结构与理论

状态之间的误差超过了误差限,就对结构进行平差处理。平差处理的原理是这样的:假设结构中某几个变量误差超过了误差限,但有些变量误差却远远没有达到误差范围的边缘,甚至与超限的变量误差是反号的。这样我们就可以通过调整索力,使这些没达到限度边缘的变量误差用足一些。从而使超过限度的变量误差回到限度以内,最后所有变量的误差将会往平均化的方向发展,这也是平差处理的名称的由来。平差处理是整个施工监控的核心。

五、施工控制的对象分析

(一)、结构变形控制

桥梁结构尺寸的控制是施工控制的基本要求。但结构在施工形成过程中均要产生变形,加之施工过程中各种误差的累积,因此任何一个结构不可能达到与设计尺寸完全的吻合,故要尽量减少结构尺寸与设计尺寸的偏差,并将其降到允许的程度。桥梁施工中对结构的最终误差应按《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—89)的规定,把尺寸偏差控制在一定范围内。

(二)、结构应力控制

结构应力控制好与坏,在外观检察时不易发现。但是,如果结构实际应力状态与设计应力状态不符,将会给结构造成危害,并较之等构变形的影响为大。所以,在对桥梁进行施工控制时,尤其要注意对结构应力的监控。

施加预应力的一般规定:(1)张拉机具与锚具应在进场时进行检查和校验。千斤顶与压力表应配套校验,以确定张拉力与压力表读数之间的关系曲线。所用压力表的敏度不宜低于 1.5 级;校验千斤顶用的试验机或测力计的精度不得低于 2%。(2)预应力钢材用应力控制方法张拉时,应以伸长率进行拉核。实际伸长值与理论值之差应控制在 6% 以内。除预应力混凝土结构主要控制预加力外,其它桥梁体系的结构应力状态应尽量与设计应力状态相符,若产生偏差,其偏差不得超过 5%。斜拉桥多侧斜拉索张拉力允许偏差为 5%;悬索桥主线索和吊杆拉力允许偏差为 5%。

(三)、结构的稳定控制

桥梁结构的稳定关系到桥梁的安全,它与桥梁的强度有同等重要的意义。世界上曾经有过不少桥梁在施工过程中,由于失稳而导致全桥破坏的例子,四川

州河大桥也因是悬臂体系的主梁在吊装主持中段时承受过大的轴力而失稳破坏。因此,桥梁施工过程中不仅要严格控制变形和应力而且要严格控制施工各阶段结构构件的局部和整体稳定。

(1) 钢桥

钢梁在施工架设过程中应保证横向和纵向的倾社稳定,稳定系数不小于 1.3。结构单肢长细地应小于规范容许值。

(2) 钢筋混凝土及预应力混凝土结构

钢筋混凝土及预应力混凝土结间的稳定,应按轴心受压公式计算。当细长比、大于规范所列数值时,可按临界力控制稳定,其稳定系数应大于 4~5。考虑到施工过程时间短,其稳定安全系数至少大于 3。

六、施工控制方法

近 20 年来,桥梁的施工控制已逐渐被工程界重视,并形成了一些实用的控制方法,目前主要有 3 种:一是采取纠偏终点控制的方法,即在施工过程中,对产生主梁线形偏差的因素跟踪控制,随时纠偏,最终达到理想线形,这种方法常用 Kalman 滤波法和灰色理论等;二是应用现代控制理论中的自适应控制方法,即对施工过程中的高程和内力的实测值与预计值进行比较,对桥架结构的主要基本参数进行识别,找出产生实测值与预计值(设计值)产生偏差的原因,从而对参数进行修正,达到观控目的,这是我国大跨度桥梁施工控制中优采用的方法。还有一种方法是在设计时给予主梁高程和内力最大的宽容度,即误差的容许值,如香港某斜拉桥主线形设计的宽容度达 15 cm (是悬臂长为 215 m),当然对于每一节的误差也有限制。

施工控制方法从控制思路上也可以分为三种形式:开环控制,反馈控制和自适应控制。

1. 开环控制

对于较简单桥型施工,一般按设计中估计的预细度施工,施工完成后的结构就基本上能达到设计所要求的线型和内力。这就是一个开环的施工控制过程,因为施工过程中控制是单向的,并不需要根据结构的反应来改变施工中的预拱度。在各部件的制造和安装精度很高,或者结构安装误差影响不大时,这种方法是可行的、方便的,大部分中小桥采用的都是这种方法。

2. 反馈控制

实际上施工状态和计算状态之间存在误差，随着桥梁跨度的增大，积累误差将不可忽略，以致到施工结束时结构的线型和内力远远地偏离了理想的成桥状态。在出现误差之后就必须即时地纠正，而纠正的措施和控制量的大小是由误差经反馈计算所决定的，这就形成了一个闭环反馈控制过程。

3. 自适应控制

反馈控制方法将注意力集中在实际结构上。但是，每个工况达不至到设时所确定的施工阶段目标的重要原因是一元计算模型中计算参数的取值，与实际情况有一定的差距。即使在某一工况，以前的累计误差已经被调整按，由于计算模型中参数差距的存在，以后的施工中仍然会出现新的误差，因此又需要新一轮的状态调整，这样将大大增加施工的工序。要控制误差的产生，必须分析误差产生的原因——结构计算参数取值与实际结构的差距，正确估计参数的实际值。

参数估计是根据施工中实测到的结构反应值与计算预报值的比较来实现的。经过几个阶段的施工，与实际结构磨合一段时间的，计算模型就适应了实际结构的物理力学规律。在闭环反馈控制的基础上，再加上一个系统辨识过程，整个控制系统就成为自适应控制系统。

当结构测量到的受力状态与模型计算结果不相符时，把误差输入到参数辨识算法中去调节计算模型的参数，使模型的输出结果与实际测量到的结果相一致。得到修正的计算模型参数后，重新计算各施工阶段的理想状态，按上节所述的反馈控制方法对结构进行控制。

这样，经过几个工况的反复辨识后，计算模型就基本上与实际结构相一致了，在此基础上可以对施工状态进行更好的控制。自适应控制思路特别适用于采用悬臂拼装或悬臂浇筑的方法施工桥梁。主梁在塔顶部的相对残余刚度较大，变形较小，因此，在控制初期，参数不准确带来的误差对全桥线形的影响较小，经过几个节段的施工后，计算参数已得到修正，为跨中变形较大的节段的控制创造了良好的条件。

一、斜拉桥

1. 悬臂浇筑混凝土斜拉桥

悬臂浇筑混凝土斜拉桥是我国最常见的斜拉桥形式。成桥后的理想受力状态通常由刚性支及连续梁法、优化方法和内力平衡法确定。施工中的控制目标常用倒拆法考虑非线性因素的倒拆法、倒拆正装交替迭代法以及无应力状态法等得到。

悬浇混凝土斜拉桥施工主要特点是：①结构参数的准确性较差，而且要等到节段施工完成后才能确定；②主梁的刚度较大，节段的局部变形很小；③索力调整对局部线形的调整作用很小，调整范围受到混凝土力的限制；④挂篮刚度对局部变形有较大影响；⑤本施工节段的立模标高可以任意确定，与已浇筑梁段无关。

自适应控制方法是悬臂混凝土斜拉桥控制的较为理想的方法。根据上述特点应采取下列对策：（1）对于已建成梁段的线形误差在一定程度上可以通过斜拉索索力的调整来纠正，但是，由于主梁刚度较大，不可能通过索力调整纠正所有误差。残余的误差可以通过下一节段的立模标高来调整。（2）及时识别误差产生的原因，估计计算程序参数的实际值，主要是混凝土的弹性模量、材料的比重、徐变系数等，重新计算施工阶段索力及相应的标高目标值，避免出现新的误差。（3）由于立模标高可以随时调整，索力值应该作为控制的依据，其节段标高只要控制在允许范围之内即可认为满足要求。如果索力到达设计值时标高同时达到预计值，说明计算模型与实际结构是吻合的，否则，说明两者之间存在差异，必须对参数进行重新估计。（4）挂篮刚度只影响正在浇筑的梁段标高，但由此引起的误差将永远存在于主梁线形中，因此必须充分估计准确。

2. 悬臂拼装混凝土斜拉桥

悬臂拼装混凝土斜拉桥与悬臂浇筑混凝土斜拉桥控制目标的确定基本相同，现场控制阶段的不同之处是：①主梁每个节段的定位标高受到预制线形的限制，只能通过接缝间的契块调节，余地很小；②全部节段的重量在拼装前可以预先获得；③没有挂篮变形的影响。自适应控制方法仍然是比较理想的方法，其控制的对策为：（1）由于定位标高可调余地较小，拼装阶段的线形应该作为控制的主要

依据,如果标高到达设计值时合力同时达到预计值,说明计算模型与实际结构是吻合的,否则,说明两者之间存在差异,必须对参数进行重新估计。(2)参数估计的对象对主要是主梁的刚度及徐变系数,在估计后重新确定每阶段的张拉(3)由于没有挂篮刚度及节段重量误差,每节段吊装完成时,标高误差较小,可以通过去力调整来纠正。

3. 结合梁式钢斜拉桥

结合梁斜拉桥施工阶段的特点是:(1)主梁的线形在钢梁预拼装阶段已经完全确定,现场并装时节段之间相对位置几乎没有调整的余地;(2)全部人段的重量在拼装前可以预先获得;(3)拼装阶段钢梁刚度很小,索力及荷载以标高的影响非常明显;④钢梁的抗拉、抗压能力均较强。其控制的对策为:(1)在确定施工控制目标时,应充分利用钢梁的抗弯能力使混凝土桥面板承担较大压应力(2)由于梁段间相对位置不能调整,某一梁段的误差除测向本节段外,误差的趋势还将影响以后的梁段,因此,拼装阶段的线形是控制的主要目标,必须在下一节段拼装前通过外合索索力的调整来纠正已建成梁段的线形误差,而将索力控制在一定误差范围内。(3)参数估计的对象对主要是主线的刚度,特别是已安装好桥面板但尚未形成结合梁的梁段,此时的刚度实际上是处于裸钢梁与结合梁之间,需要通过参数估计算法来估计。(4)在参数估计后应重新确定每阶段的张拉索力,如果不进行修正,则在以后每个阶段范工完成时索力与标高均不能同时达到控制目标,从而每次均需要标高调整,这将大大增加施工调索工作量。(5)由于线形主要靠索力调整来保证,但是索人调整必须在梁体强度允许的范围之内,因此,必须分析索力误差对主梁在各施工阶段应力的影响,确保施工应力控制在允许范围之内。

二、悬臂施工混凝土连续梁桥

大跨径连续梁线形控制与科拉桥施工控制有相同之处,也有不同之处。首先,两者的控制目标不完全相同。混凝土连续梁桥由于在悬臂施工阶段是静定结构,合龙过程中如不施加额外的压重,成桥后内力状态一般不会偏离设计值很多,因此连续梁桥施工控制的主要目标是控制主梁的线形。

其次,两者实施控制的手段不相同。对于混凝土连续梁桥,已施工线段

上出现误差时，只能通过张拉预备预应力来调整，而这一调整量是非常有限的，因此，一旦出现线形误差，误差将永远存在，只能通过立模标高消除已施工梁段的残余误差，有时调整需经过几个强段才完成。

因此，悬臂浇筑连续梁桥施工中标高控制的特点是，已完成线段的误差无法调整，而未完成梁段的立模标高只与正装模拟计算有关，与已完成梁段的误差基本无关。根据这一特点连续梁控制对策为：（1）在进行施工模拟计算时必须充分考虑各种施工因素，特别要正确计算主梁的轴线坐标，同时计算中要计入竖曲线的影响。（2）由于没有高效的调整措施，必须合理制定施工步骤，使每个步骤的变形量减小，这样即使某个施工步骤产生误差，该误差在总体变形中所占比例就较小。（3）在自适应施工控制原理中，控制量反馈计算，在连续梁施工控制中一般不起作用。因而，参数估计就显得尤为重要，只有与实际施工过程相吻合的计算模型计算出的预报标高才是可实现的，施工结果的误差才能减小。

三、大跨度悬索桥

大跨度悬索桥的力学特性非常明确，虽然结构的受力与变形是非线性的，但由于计算理论能够完全地反映实际情况，理论与实际之间不存在有明显差别。因此，大跨度悬索桥的施工按照理论计算值进行施工，在施工测量精度范围内，一般应该能保证实际线形与设计要求的相符。大跨度悬索桥的结构线形主要受主线线形和吊索长度的控制，主线一旦架设完成，其线形不能进行调整；设计上对吊索一般也不预留调整长度，因此吊索一旦制作完成，其长度也无调整余地。悬索桥的线形监控主要任务即是以下部结构的施工测量结果和上部结构的实际参数为依据，以设计成桥线形为目标，提出施工架设丝股时的线形；根据主线完成线形提出吊索制作长度；预测加劲梁吊装过程中结构线形与内力，提出施工过程的建议。大跨度悬索桥的监控包括：初始参数的收集与整理分析，这些参数包括跨度、标高、猫道影响等；鞍座预偏量与基准丝股经形的计算和架设监测；索夹位置的计算与索夹放样的控制；吊索长度的修正；加劲梁架设过程的计算分析与测量；桥面合理线形的形成。

四、劲性骨架混凝土拱桥

劲性骨架混凝土拱桥在施工过程中要进行多次体系转化,单元数量,截面成分逐步变化,是一种复杂的高次超静定结构。在施工架设中,结构挠度和应力变化幅值大,要使竣工后的拱轴线和各截面内力符合设计要求是既重要又困难的任务。在这类拱桥在施工过程中,先架设部分要承受后继部分的重量,故先架设部分常常受力大;又由于施工仅仅是一个相对短暂的过程,通常取比运营阶段更小的安全度;而且施工过程结构受力体系不固定,构件刚度小,往往造成施工应力与安全性低于运营阶段,最不利状态常出现于施工过程中。如某些局部杆件处于高应力水平,局部和整体稳定安全系数较低,在已竣工的几座拱桥的施工中,由于稳定问题没解决好就曾出现过险情。“凡事预则立,不预则废”,在施工过程中,应该有一个科学合理的施工控制系统来指导施工;综合考虑各种因素影响,严格监控结构的变形,应力,稳定情况;首先确保结构施工安全,其次尽量使设计值与实际值一致。

大跨钢管混凝土劲性骨架混凝土拱桥施工中,由于许多确定和不确定因素的影响,施工中的实际结构的状态往往偏离预先指定的目标。这种偏差有时甚至可以使结构破坏。为了使桥梁实际状态尽可能地达到预先设计的目标,必须在施工过程中进行随时地控制或调整。反复进行施工-测量-识别-反馈控制-施工的循环过程,最终保证使结构的各种控制变量落到指定的范围之内。钢管混凝土劲性骨架混凝土拱桥与斜拉桥结构构造相差较大,其调整方案和幅度要小得多,控制目标也不一样,它需要有合理的符合劲性骨架混凝土拱桥的控制方法来保证施工安全和质量。