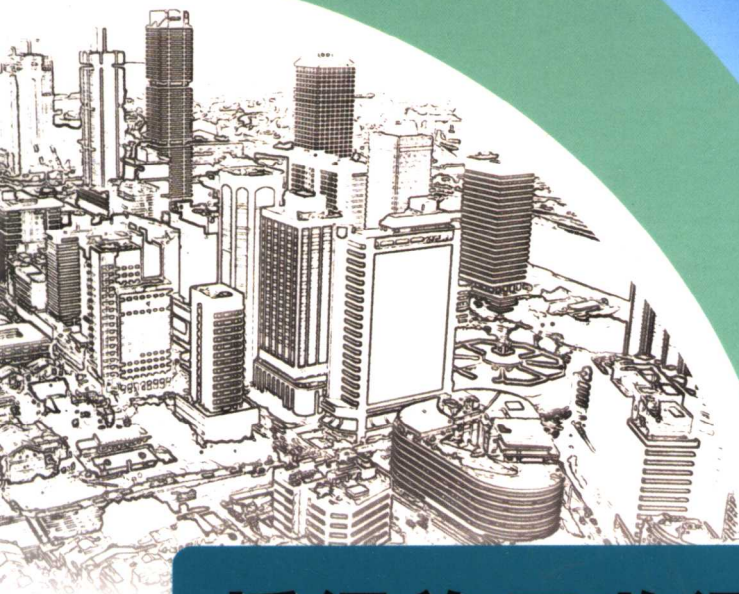


21
CENTURY

21世纪土木工程实用技术丛书



桥梁施工监测与控制

Qiaoliang Shigong Jiance Yu Kongzhi

顾安邦 张永水 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪土木工程实用技术丛书

桥梁施工监测与控制

顾安邦 编著
张永水



机械工业出版社

随着我国交通事业的迅猛发展,大跨度、高难度的大型复杂桥梁正在被越来越多地建造和规划着,为了保证桥梁结构施工的安全、达到成桥的设计目标、提高施工质量而进行的桥梁施工监测与控制已成为桥梁施工技术的重要组成部分和关键的一环。本书正是在此背景下介绍了桥梁施工监控的重要性和发展现状,桥梁施工监控的内容和方法,桥梁施工控制系统,桥梁施工控制结构计算方法,桥梁施工误差调整理论和方法,桥梁施工监测与仪器设备,桥梁健康与安全监控,同时作者还根据结构体系和施工方法的不同,选取了九个典型的在国内很有影响的桥梁施工监控实例,以便读者理论联系实际、更好地理解桥梁施工监控的理论和方法。

本书适用于从事桥梁施工的工程技术人员、桥梁设计人员和桥梁科研人员,同时本书对于高校相关专业的师生亦有较强的理论与实践指导意义。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁施工监测与控制/顾安邦,张永水编著. —北京:
机械工业出版社, 2005.9

(21世纪土木工程实用技术丛书)

ISBN 7-111-17201-9

I. 桥... II. ①顾...②张... III. 桥梁工程—工程
施工—监督管理 IV. U445.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第092753号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:薛俊高 版式设计:张世琴

责任校对:刘志文 封面设计:张静

责任印制:陶湛

北京铭成印刷有限公司印刷

2005年9月第1版第1次印刷

890mm×1240mm A5·12.25印张·359千字

0001—4000册

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

21 世纪土木工程实用技术丛书

编 委 会

主任委员

赵国藩 大连理工大学 中国工程院院士

编委(依姓氏笔画排序)

- 方鄂华 清华大学 教授
王永维 四川建筑科学研究所 教授
王清湘 大连理工大学 教授
冯乃谦 清华大学 教授
石永久 清华大学 教授
江见鲸 清华大学 教授
朱伯龙 同济大学 教授
李 奇 机械工业出版社 副社长
宋玉普 大连理工大学 教授
杜荣军 北京建筑科学技术研究院 高工
沈祖炎 同济大学 教授
金伟良 浙江大学 教授
郝亚民 清华大学 教授
顾安邦 重庆交通学院 教授
陶学康 中国建筑科学研究所 教授
唐岱新 哈尔滨工业大学 教授
聂建国 清华大学 教授
黄承逵 大连理工大学 教授
蒋树屏 重庆交通科研设计院 教授
蔡中民 太原理工大学 教授

前 言

随着交通事业的发展 and 桥梁建造技术的进步，在大江大河上修建桥梁已十分普遍，这就导致桥梁建设规模越来越大，桥梁结构也越来越复杂。为了保证桥梁结构安全、提高施工质量，必须在整个施工过程中采用各种手段对桥梁结构进行监测与控制，这种观点已经被人们广泛接受。

桥梁施工监测与控制作为桥梁施工技术的重要组成部分，它以设计成桥状态为实现目标，在整个施工过程中，通过实时监测桥梁结构的实际状态和环境状况，获得桥梁结构实际状态与理想状态之间的差异(误差)，运用现代控制理论，对误差进行识别、调整、预测，使桥梁施工状态最大限度地接近理想状态，从而保证桥梁结构在施工过程中的安全，最终达到桥梁结构成桥状态满足设计和施工规范要求。虽然许多大型桥梁在建设过程中都进行了施工监测与控制工作，但是，目前专门论述桥梁施工监测与控制的书籍还比较少，本书是在对国内众多桥梁施工监测与控制研究、实践以及我院多年来的施工监控工作基础上完成的，目的是在期望读者从中获取一些有关这方面的知识和帮助。

全书共分八章。

第1章 桥梁施工监控概论，除了介绍桥梁施工监控的重要性外，对桥梁施工监控的现状和发展作了简要的概述。

第2章 桥梁施工监控的内容和方法，主要介绍桥梁施

工监控的内容、方法以及各种体系桥梁施工监控的特点。

第3章 桥梁施工控制系统，在介绍现代控制论的基础上，分析了桥梁控制的影响因素和桥梁施工控制系统的组成。

第4章 桥梁施工控制结构分析方法，重点介绍桥梁施工过程模拟分析方法以及施工控制结构分析中应考虑的有关问题。

第5章 桥梁施工误差调整理论和方法，主要介绍桥梁施工误差分析、参数识别以及状态预测的方法，着重介绍了Kalman滤波法、灰色理论法、最小二乘法以及人工神经网络。

第6章 桥梁施工监测与仪器设备，主要介绍了桥梁施工监测系统与监测方法，对近年来出现的各种先进监测设备和仪器进行了详细的介绍。

第7章 桥梁施工控制实例，在选取的九个实例中，它们的结构体系和施工方法各不相同，详细介绍了九座特大桥施工监控的全过程。

第8章 桥梁健康与安全监控，简单介绍了桥梁健康与安全监控的主要内容和系统构成。

本书在编写过程中得到了徐君兰教授、向中富教授、曾德荣教授的支持和帮助，刘俊强、李林、欧珍华、曹淑上等研究生为本书的打印、制图和排版付出了辛勤的劳动，在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平所限，书中定有不当之处，恳请读者批评指正。

编 者

2005年6月于重庆交通学院

目 录

前言

第 1 章	桥梁施工监控概论	1
1.1	桥梁施工监控的重要性	1
1.2	桥梁施工监控的现状和发展	5
第 2 章	桥梁施工监控的内容和方法	8
2.1	桥梁施工监控的内容	8
2.2	桥梁施工控制方法	11
2.3	各种桥梁施工监控特点	18
第 3 章	桥梁施工控制系统	27
3.1	现代控制论简介	27
3.2	桥梁施工控制影响因素	35
3.3	桥梁施工控制系统	37
第 4 章	桥梁施工控制结构分析方法	44
4.1	概述	44
4.2	桥梁施工过程模拟分析方法	46
4.3	桥梁施工控制结构分析方法	52
4.4	桥梁施工控制结构分析需考虑的有关问题	68

第 5 章 桥梁施工误差调整理论和方法	97
5.1 施工控制误差分析.....	97
5.2 参数识别的内容与方法.....	98
5.3 状态预测的卡尔曼(Kalman)滤波法.....	102
5.4 状态预测的灰色系统理论法.....	127
5.5 最小二乘法.....	148
5.6 人工神经网络法.....	168
第 6 章 桥梁施工监测与仪器设备	180
6.1 施工监测系统的建立.....	180
6.2 施工监测方法.....	181
6.3 施工监测的主要仪器.....	193
第 7 章 桥梁施工控制实例	220
7.1 梁桥施工监控.....	220
7.2 拱桥施工监控.....	246
7.3 斜拉桥施工监控.....	300
7.4 悬索桥施工监控.....	336
第 8 章 桥梁健康与安全监控	366
8.1 桥梁健康与安全监测的意义.....	366
8.2 桥梁健康与安全监测的内容.....	367
8.3 桥梁健康与安全监测理论.....	371
参考文献	379

第 1 章 桥梁施工监控概论

1.1 桥梁施工监控的重要性

桥梁施工监测与控制是桥梁施工技术的重要组成部分，它以设计成桥状态为实现目标，在整个施工过程中，通过实时监测桥梁结构的实际状态和环境状况，获得桥梁结构实际状态与理想状态之间的差异(误差)，运用现代控制理论，对误差进行识别、调整、预测，使桥梁施工状态最大限度地接近理想状态，从而保证桥梁结构在施工过程中的安全，最终达到桥梁结构成桥状态满足设计和施工规范要求。

随着桥梁施工技术的发展，桥梁施工监控的重要性逐渐被人们所认识。以往，在桥梁施工技术中并未突出施工监控的内容，甚至没有提到“施工监控”。而事实上，施工监控是施工技术的重要组成部分，并始终贯穿于桥梁施工中。施工监控在施工技术中未被重视的原因是由于过去所建桥梁一般跨径不大，规模较小，影响因素少等，因为施工监控不力而产生的不良后果也就不明显，从而使人们忽视了它的重要性。

随着交通事业发展的需要，大量的公路需要建设，桥梁作为公路的咽喉工程，其建设任务更加艰巨。从过去十年我国的交通建设中就可以看出桥梁建设的艰辛。事实上，任何桥梁施工，特别是大跨径桥梁的施工，都是一个系统工程。在该系统中，设计图只是目标，而在自开工到竣工整个为实现设计目标而必须经历的过程中，将受到许许多多确定和不确定因素的影响，包括设计计算、桥用材料性能、施工精度、荷载、大气温度等诸多方面在理想状态与实际状态之间存在的差异，施工中如何从各种受误差影响而失真的参数中找出相对真实的数值，对施工状态进行实时识别(监测)、调整(纠偏)、预测，对设

计目标的实现是至关重要的。在近年来的桥梁建设中，人们已普遍认识到施工监控在施工技术中的重要地位与作用。实际上，桥梁施工监控早在以前的施工过程中就已被人们采用，如在施工中为了保证桥梁建成时的线形符合设计要求，在有支架施工时总是要在支架上设置预拱度；在悬臂施工中总是要使施工节段的立模(或安装)标高高于设计标高一定数值，这实质上就是在对桥梁施工实施监控，这些处理的好坏常常被看作是施工技术水平高低的体现。

桥梁施工监控不仅是桥梁施工技术的重要组成部分，而且也是实施难度相对较大的部分。对不同体系、不同施工方法、不同材料等的桥梁，其施工监控技术要求也不一样。以钢桁梁的悬臂架设为例，为使最终满足其设计标高，通常采用预设拱度的方法来解决，即将先架设的节点预先抬高来考虑后架设节段的影响。由于钢材的匀质性和制造尺寸的准确性，预设拱度方法在钢桁梁悬臂拼装过程中是较为成功的方法。但是，对于同样采用悬臂法施工的混凝土桥梁就不那么简单。因为混凝土桥梁除了本身材料的非匀质和材料特性的不稳定外，它还要受温度、湿度、时间等因素的影响，加上采用悬臂施工这种自架设体系施工方法，各节段混凝土或各层混凝土相互影响，且这种相互影响又有差异，这就必然造成各节段或层的内力和位移随着混凝土浇筑或块件拼装过程变化而偏离设计值的现象，甚至出现超过设计允许的内力和位移。对这种情况，若不通过有效的施工监控及时发现、及时调整，就势必造成成桥状态的线形与内力不符合设计要求或在施工过程中出现结构的破坏。

桥梁施工监控是确保桥梁施工宏观质量的关键。衡量一座桥梁的施工宏观质量标准就是其成桥状态的线形以及受力情况符合设计要求。对于桥梁的下部结构，只要基础埋置深度和尺寸以及墩台尺寸准确就能达到标准要求，且容易检查和控制。而对采用多工序、多阶段施工的桥梁上部结构，要求结构内力和标高的最终状态符合设计要求，就不那么容易了。比如预应力混凝土刚构桥和斜拉桥在悬臂安装1号块件时，如预抛高设置不准，可能影响到以后各节段和合龙标高以及全桥的线形。斜拉桥除了主梁的混凝土浇筑或预制块件悬臂拼装中要考虑预抛高而使主梁标高符合设计要求外，还要求在斜拉桥建成

时斜拉索的内力也要达到设计要求，否则，斜拉索受力不均将影响斜拉桥的使用寿命。因为，斜拉桥是多次超静定结构，在施工过程中主梁标高的调整将影响到斜拉索的内力，某根斜拉索内力的调整又影响到主梁标高和邻近斜拉索的内力，这说明斜拉桥比混凝土刚构桥更加复杂。为确保桥梁施工质量，对施工过程进行监控是必不可少的。目前我国计算机的应用已非常普遍，技术人员完全可以对多阶段、多程序的自架设体系施工方法进行模拟，可预先计算出各阶段内力和位移，称之为预计值。将施工中的实测值与预计值进行比较，若有误差可以进行调整，直到达到最满意的设计状态。也就是通过施工监控，使各阶段内力和变形达到预计值，最终达到设计要求，确保建桥的施工质量。我国借鉴国外的经验，从建设第一座斜拉桥起，就注意施工过程监控的重要性。只是在对这个问题的解决上还存在差异，有个别斜拉桥施工完成后线形不够理想。比如有座跨径组合为 $210\text{m} + 200\text{m}$ 的单塔单索面混凝土斜拉桥，在施工中采用劲性骨架悬臂浇筑主梁的施工方法，浇筑主梁时通过水箱放水减载与浇筑的混凝土重量相平衡，以此保持设计线形（设计标高），理论上是完善的，但由于主梁分边箱和中箱两次浇筑，施工工序除纵向分节段外，横向又分两次完成，工序太多，不容易监控，所以造成该桥完工后，主梁外观呈波浪形，在桥面行车时更为明显，不但影响行车舒适，也留下外观缺憾。而各斜拉索受力是否符合设计要求，也难以确定。这就再次说明，为了建成质量高、外形美的桥梁，施工监控是绝不可少的。

桥梁施工监控又是桥梁建设的安全保证。为了安全可靠地建好每座桥，施工监控将变得非常重要。因为每种体系的桥梁所采用的施工方法均按预定的程序进行，施工中的每一阶段，结构的内力和变形是可以预计的，同时可通过监测得到各施工阶段结构的实际内力和变形，从而完全可以跟踪掌握施工进度和发展情况。当发现施工过程中监测的实际值与计算的预计值相差过大时，就要进行检查和原因分析，而不能再继续施工，否则，将可能出现事故。这方面实例太多，例如，跨径 548.64m 的加拿大魁北克桥就是因为在施工中两次发生事故而闻名于世的。该桥采用悬臂拼装法施工，当南侧锚碇桁架快架完时，突然崩塌坠落。原因是悬出的桁架太长（悬臂长 176.8m ），靠

近中间墩处的下弦杆受力过大，致使下弦杆腹板失去稳定而引起全桁架严重破坏。尽管造成事故的原因是设计问题，但若当时采用了施工监控手段，在内力较大的杆件中布置监控测点，当发现异常现象时，及时停工检查，就不会发生突然崩塌坠落事故。由此可知，为避免突发事故的发生，按期、安全地建成一座桥梁，施工监控是有力的保证。换句话说，桥梁施工监控系统也就是桥梁建设的安全保证系统。

桥梁施工监控不仅是桥梁建设中的安全系统，也是桥梁运营中安全性和耐久性的综合监测系统。随着交通事业的发展，荷载等级、交通流量、行车速度等必然提高，还有一些不可预测的自然破坏力也将会危及桥梁的安全，若在建设桥梁时进行了施工控制，并预留长期观测点，将会给桥梁创造终身安全监测的条件，从而给桥梁运营阶段的养护工作提供科学的、可靠的数据，给桥梁安全使用提供可靠保证。这方面的反面事例在工程界是存在的。比如韩国圣水桥，于1994年10月突然在中跨断塌50m，其中15m掉入江中，造成32人死亡，17人受重伤的重大事故，据称造成该桥在行车高峰期突然断裂的原因是该桥长期超负荷运营，钢桁梁螺栓和杆件疲劳破坏所致。又如我国广州海印大桥，因斜拉索的防护措施不够完善、可靠，造成斜拉索超应力，只使用几年就突然断裂，创造了世界损桥年限最短的纪录，不但造成重大的经济损失，而且也带来了不良的社会影响。再如四川宜宾小南门金沙江大桥，因短吊杆锈蚀严重，加之长期荷载作用下的疲劳破坏，致使部分桥面结构坠入江中，造成人员和车辆损失，带来了重大的经济损失和不良的社会影响。以上实例说明，对于桥梁的运营阶段仍然急需一套长期有效的监测系统，使桥梁养护部门能根据该桥的实际使用情况进行有效地更换和维护，而不是目前只靠外观检查等简单手段，得到粗略的依据进行不切要害的养护。要彻底改变目前我国桥梁养护部门的现状，科学地、较为主动地预报桥梁各部位运营情况，必须在桥梁施工中进行施工监控系统的建立，并使其能长期对桥梁运营阶段进行监测，这样才能确保这些耗资巨大、与国计民生密切相关的大桥安全耐久。由此可见，桥梁施工监控是现代桥梁建设和发展的必然趋势。

1.2 桥梁施工监控的现状和发展

早在武汉长江大桥(1957年)和重庆长江大桥施工过程中所做的应力、标高的调整,实际上就是桥梁施工监控的内容。这说明桥梁施工监控是桥梁建设质量控制所必需的,并早已被桥梁建设者所认识。

系统地实施桥梁施工监控的历史并不长。最早较系统地把工程控制论应用到桥梁施工管理中的国家是日本。桥梁施工监控技术在国外得到了广泛重视。20世纪80年代初,日本修建日野预应力混凝土连续梁桥时,就建立了施工监控所需的应力、挠度等参数的观测系统,并应用计算机对所测参数进行现场处理,然后将处理后的实测参数送回控制室进行结构计算分析,最后将分析结果返回到现场进行施工控制。上述方法也是国外传统的施工监控方法。到80年代后期,日本在修建 chichby 斜拉桥和 Yokohama 海湾斜拉桥时,成功地利用计算机联网传输技术建立了一个用于拉索索力调整的自动监控系统,实现了施工过程中实测参数与设计值的快速验证比较,对保证施工安全和精度,加快工程进度起到了决定性的作用。该系统主要由自动测量数据采集、精度控制支持和结构计算机分析三部分组成,但由于结构计算分析是借助控制室大型计算机进行的,因此,受通讯电缆架设昂贵费用等因素的影响,使其推广受到限制。此后,日本又研制出一套以现场微机为主要计算分析手段的斜拉桥施工双控系统,这一系统除包含上述提及的三个部分外,还增加了两个数据库,即测量参数和计算参数数据库。此系统的最大特点是在现场完成自动测试、分析和控制全过程,并可进行设计值敏感分析和实际结构行为预测。该系统在1989年建成的 Nitchu 桥和1991年建成的 Tomei-Ashigara 桥上实际应用效果良好。

我国虽在20世纪50年代就已注意到施工中结构内力和变形的调控(1957年建成的武汉长江大桥在施工过程中就做了应力、标高的调整),但在现代桥梁施工监控技术方面的研究相对起步较晚,然而其发展较迅速。进入80年代以后,随着计算机在桥梁工程中应用的普及和深入,桥梁工作者开始用计算机辅助桥梁施工,1982年建成的

上海泖港大桥(主跨 200m 的斜拉桥)首次根据现代工程控制的基本思想, 有效地进行了主梁挠度和索塔水平位移的施工控制。泖港大桥的控制成功, 引起了桥梁界对桥梁施工监控技术研究的高潮。80 年代后期, 对斜拉桥施工监控技术进行了全面研究, 已初步形成系统。该系统主要依靠现场微机用理想的施工倒退分析程序和考虑混凝土徐变收缩影响的控制分析程序提供每一施工阶段的理想状态计算控制值, 在现场将理想状态计算控制值与实测值进行比较分析, 并通过设计参数的识别和拉索索力的优化调整等方法, 实现施工作业与控制之间的良性循环, 最后达到对主梁挠度和拉索索力实施双控的目的。紧接着又对悬索桥、拱桥、连续刚构桥等的施工监控技术展开了研究与实践, 并取得了较好成果。

如上所述, 由于国外在桥梁施工监控技术方面的研究和应用起步较早, 众多发达国家已将施工监控纳入常规施工管理工作中, 监控方法已从人工测量、分析与预报, 发展到自动监控、分析预报、调整的计算机自动控制, 并已形成了较完善的桥梁施工监控系统。即便如此, 国外对桥梁施工监控技术的研究还在继续, 这是由于影响桥梁施工的因素太多、太复杂, 同时, 不断涌现的、新型的、规模(跨径)更大的桥梁工程也对桥梁施工监控提出了更高的要求。国内在 20 世纪 80 年代以后, 虽在桥梁施工中已注意到结构应力调整和预拱度的设置, 但并未将系统控制概念引入。在以后的研究中, 主要集中在斜拉桥上, 在 90 年代中后期, 对桥梁施工监控的研究才逐渐在其他桥梁上展开和应用。比较起来, 我国在该领域还有差距, 主要表现在对桥梁施工控制的理论与实践研究还不够、监测手段落后、对影响施工监控的因素研究不透、预测和判断精度不高、还未建立起一套完善的施工监控系统和组织管理系统。因此, 深入研究桥梁施工控制理论, 研制更加合理、实用的控制软件以及更加方便、精确的监测设备, 建立完善的桥梁施工监控系统和组织管理系统是今后桥梁建设事业发展迫切需要进行的工作。

目前, 国外除了重视桥梁在施工过程中的监控外, 也十分重视桥梁服役状态的监控工作, 在桥梁中埋设测点进行长期观测、预报和分析, 以随时了解服役桥梁的健康状况, 避免突发事件的发生。图 1-1

为 Salzar 桥北侧桥塔从架设到使用后约四年间的应力变动状况，数据由自动记录装置记录。

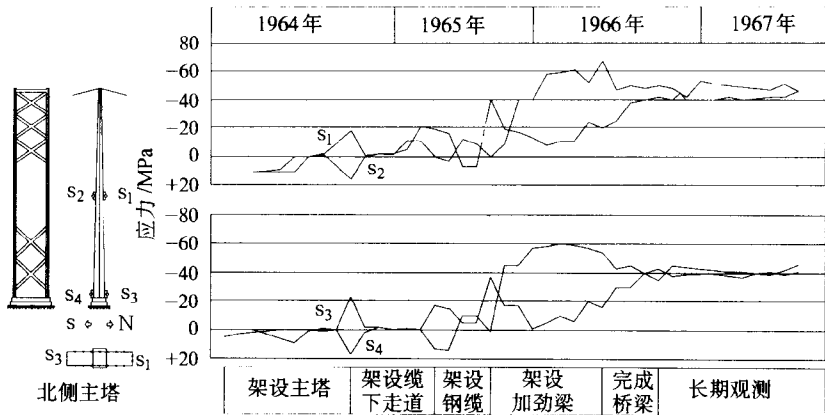


图 1-1 Salzar 桥北侧桥塔应力变动状况

在这方面国内起步更晚，目前大多数桥梁主要靠目测和荷载试验来了解服役桥梁的情况，对桥梁可能存在的危险因素无法起到预警和避免的作用。但人们已开始认识到对桥梁服役状态进行监控的重要性，比如对上海杨浦大桥、香港青马大桥、江阴长江大桥、重庆大佛寺长江大桥等特大桥已开始进行长期监控工作，但还处于初级阶段，其理论和方法急需进一步研究解决。

智能控制是桥梁工程控制(施工控制和服役桥梁控制)的发展趋势。大型桥梁工程，结构复杂、规模巨大，已难以用一般的手段来监测与控制，必须通过埋设新型传感器(如光纤传感器)和应用先进的信号处理技术，以及建立在线(服役)桥梁专家系统，形成智能控制系统，提高工程控制的科学性、可靠性和可操作性，这是桥梁工程控制的发展方向。

第 2 章 桥梁施工监控的内容和方法

2.1 桥梁施工监控的内容

桥梁施工监控的任务就是对桥梁施工过程实施监控,确保在施工过程中桥梁结构的内力和变形始终处于容许的安全范围内,确保成桥状态(包括成桥线形与成桥结构内力)符合设计要求。

桥梁施工监控围绕上述任务而展开,不同类型的桥梁,其施工控制工作内容不一定完全相同,但从总体上来看,均包括下列几个方面。

2.1.1 几何(变形)监控

不论采用什么施工方法,桥梁结构在施工过程中总要产生变形(挠曲),并且结构的变形将受到诸多因素的影响,极易使桥梁结构在施工过程中的实际位置(立面标高,平面位置)状态偏离预期状态,使桥梁难以顺利合龙,或成桥线形形状与设计的要求不符,所以必须对桥梁实施监控,使其结构在施工中的实际位置状态与预期状态之间的误差在容许范围和成桥线形状态符合设计要求。

与桥梁工程质量的优劣需用其质量检验评定标准来检验一样,施工监控的结果也需有一定的标准,即误差容许值来评判。桥梁施工控制中的几何控制总目标就是达到设计的几何状态要求,最终结果的误差容许值与桥梁的规模、跨径大小、技术难度等有关,目前还没有统一规定,需根据具体桥梁的施工控制需要具体确定。同时,为保证几何控制总目标的实现,每道工序的几何控制误差允许范围也需事先研究、确定出来。下面仅列出目前几种主要桥型常见施工控制标准作一介绍,供参考。

1. 悬臂浇筑预应力混凝土连续梁桥、连续一刚构桥误差限值(mm)

1) 成桥后线形(标高) ± 50 。

- 2) 合龙相对高差 ± 30 。
 3) 轴线按《公路桥涵施工技术规范》(JTJ041—2000)执行。

2. 混凝土斜拉桥误差限值(mm)

(1) 索塔

轴线偏位: 10
 倾斜度: $\leq H/2500$ 且 ≤ 30 (或设计要求)(H 为桥面以上塔高)
 塔顶高程: ± 10

(2) 主梁

1) 悬浇主梁时:

轴线偏位 10
 合龙高差 ± 30
 线形 ± 40
 挠度 ± 20

2) 悬拼主梁时:

轴线偏位 10
 拼接高程 ± 10
 合龙高差 +30

3. 悬索桥施工控制误差限值(mm)

(1) 索塔 同斜拉桥。

(2) 主缆线形

基准索股中跨跨中标高: $\pm L/20000$; 基准索股边跨跨中为中跨跨中的2倍

上下游基准索股高差 < 10
 一般索股标高(相对值) $-5 \sim +10$

(3) 索夹安装

纵向位置 ± 10

(4) 索鞍偏移、高程

纵、横向位置 ± 10 , 标高 $+20 \sim 0$

2.1.2 应力监控

桥梁结构在施工过程中以及在成桥状态的受力情况是否与设计符合是施工监控要明确的重要问题。通常通过结构应力的监测来了解