

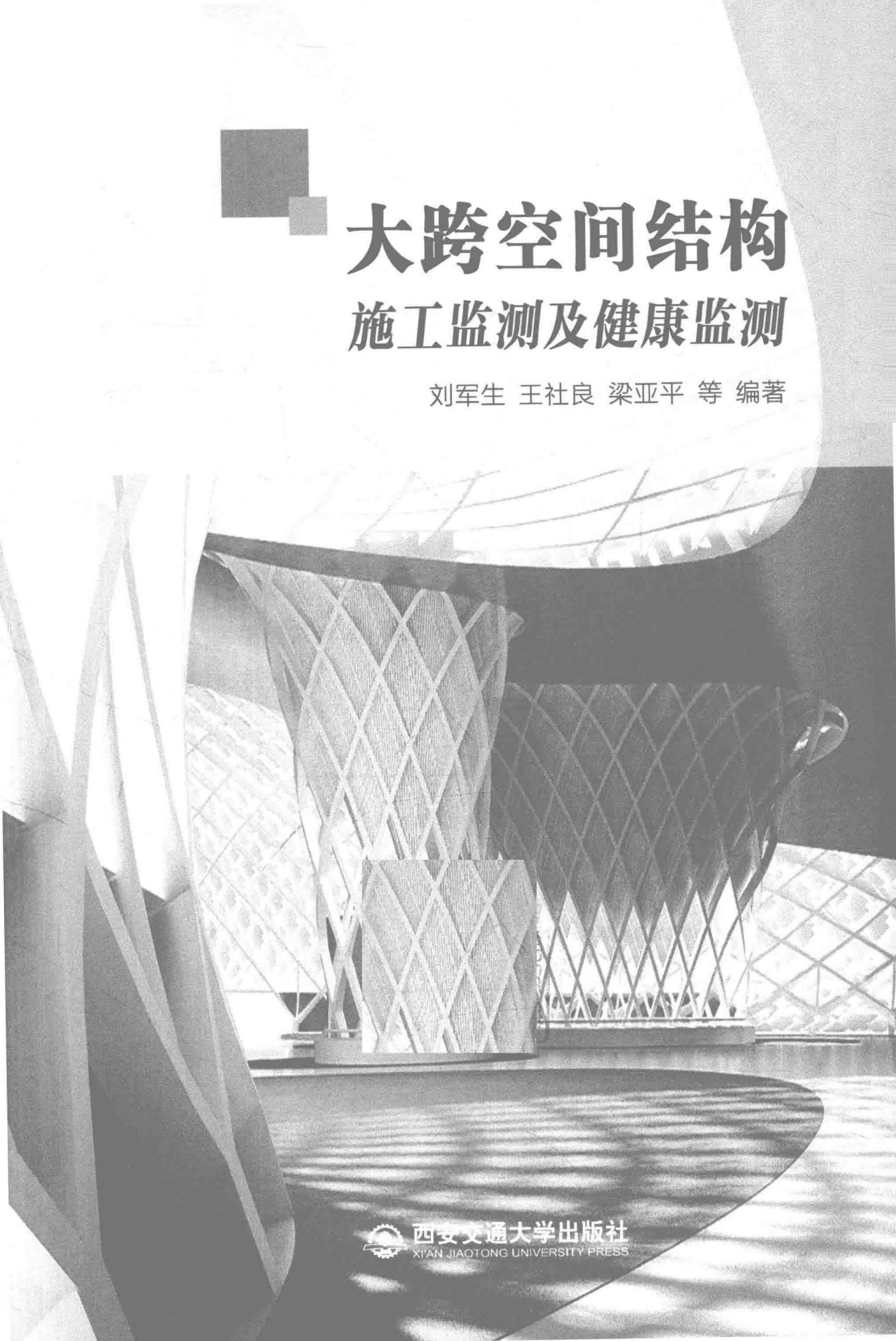


大跨空间结构 施工监测及健康监测

刘军生 王社良 梁亚平 等 编著



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



大跨空间结构 施工监测及健康监测

刘军生 王社良 梁亚平 等 编著



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

大跨空间结构施工监测及健康监测/刘军生,王社良,
梁亚平编著. —西安:西安交通大学出版社,2017.6(2017.9重印)
ISBN 978-7-5605-9803-1

I. ①大… II. ①刘…②王…③梁… III. ①大跨度结构-
空间结构-建筑工程-工程施工-施工监测 IV. ①TU399

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 150087 号

书 名 大跨空间结构施工监测及健康监测
编 著 刘军生 王社良 梁亚平等
责任编辑 王建洪

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 虎彩印艺股份有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 18 字数 432 千字
版次印次 2017 年 7 月第 1 版 2017 年 9 月第 2 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-9803-1
定 价 126.00 元

读者购书、书店添货,如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。
订购热线:(029)82665248 (029)82665249
投稿热线:(029)82665379
读者信箱:xj_rwjg@126.com

版权所有 侵权必究

编委会

西安建筑科技大学:王社良

陕西省建筑科学研究院:刘军生 石 韵

张司亚 刘云霄

王宝玉 张 鹏

王龙海 吴腾飞

西京学院:梁亚平

太原理工大学:韩鹏举

长安大学:翟 越

序

在一年多以前,我去西安参加中国土木工程学会总工程师工作委员会年会,在结束会议之后的那天晚上,我去西安建筑科技大学与老友、老校长赵鸿佐教授,老同学、原土木系主任谢行皓教授和我的几位学生胡长明教授、曹萍教授和赵平教授等聚会,言谈甚欢,当我们话题说到 BIM 和大数据时,曹萍特别强调指出,作为施工企业,陕西建工集团对研发推广应用 BIM 颇有成就,她说她当天还去商谈过相关合作事宜。经与我的好友、集团总经理薛永武联系说明,次日,集团派来了刘军生副院长、石韵博士和王宝玉高工等同志携带电脑,在我住地与我整整介绍交谈了大半天,印象深刻。那天中午,集团建筑科学研究院高院长还专程赶来和我聚餐,可能是他们见我对他们的工作颇感兴趣,以及多年以前,他们院曾系建设部所属管理单位,我又是当时的主管人员,自然有更深一层的思想情结。自此之后,我和这些青年朋友们成了忘年之交,他们一起或分别与我有过多次接触,也来过我北京家里若干次,当然更多是通过电脑和手机与我进行联系的。我从这些青年人那里,获得了不少信息和知识,有时也相互产生一些“思想火花”。不久前,我突然接到石韵博士发来邮件,包括她要求我为他们的新作《大跨空间结构施工监测及健康监测》一书写“序”的信件以及付梓待印的书稿。当时我的第一反应是又惊又喜,一是这个科研团队这么快,从 BIM 研究到了“结构健康监测”,而且已写出了洋洋数十万字的书稿;二是这些青年人朝气蓬勃、奋发有为而使我感到高兴。为此,我表示欣然接受,并当尽力而为之。

随着中国社会、经济、科学和技术的不断进步和发展,中国土木工程建设也相继地得到了大发展、大繁荣,其中,不同功能、不同形状的高楼大厦、大跨度大空间建筑和建筑群,以及许多新材料、新工艺和新技术的应用,更是献技斗艳,目不暇接。虽然不少人士(包括本人在内)对一些“怪诞不经”的建筑多有微词,但

从建筑技术层面上说,不能不说它也自有其一定的难度和不同程度的技术创新之处,对此,人们也不能一概予以小觑之。正因为如此,人们不仅要求有更为精确的设计理论和更为先进的施工技术支持,同时对结构从施工到运维阶段的安全把控和维护管理提出了更高的要求。因此,对这种大型复杂结构体的“实时健康监测”,遂应运而生。

实时健康监测是跨学科、多领域的综合技术,随着科学技术的发展,综合土木工程、动力学、材料学、传感技术、测试技术、信号分析、计算机技术以及网络通信技术等相互协调,严密匹配,从而构成了工程结构的实时健康监测体系,它极大地程度地拓宽了测试监测的内容,并可实现实时、连续地对工程结构健康状态(包括工程完工后起始性状)及其随着时间的推移而引起的老化或受到外部冲击条件下的变化性状和变化规律等,进行监测和评估,从而极大程度上提高和改进施工方法及运维阶段的工程管理水平。同时,从另一方面考虑,它也可以反馈和复核算该工程结构设计计算的合理性。应当说,实时健康监测体系概念和原则是非常合理的,但具体设计操作比较复杂,许多仪器仪表和测点需要集成、链接和联通,测点的布置需视工程状况而异,等等,更重要的是各种仪器设备也在不断发展之中,从事这番事业,不仅要拥有必要的理论基础和实际经验,更要具备执着的“工匠精神和工夫”。

据有关资料介绍,早在 20 世纪中末期,实时健康监测体系已经在一些国家,如美国、法国、日本和丹麦等国,相继建成一些特大结构的监测体系,以实时预报结构运行的安全状态,实时预测自然灾害突发后对结构的影响,以确保它的运行安全。

中国从 20 世纪末期也开始开展健康监测系统的研究,最初应用于大跨度或结构体系新颖的桥梁上,随着中国大批大型工程的兴建,结构健康监测体系也开始拓展到大跨空间结构中,并随后不断有所增加。中国于 2013 年颁布了《结构健康监测系统设计标准》(CECS 333:2012),自此,它为中国结构健康监测的研究、应用和发展指出了明确的指导方针,从而将会极大地促进结构健康监测的实施和推广。本书作者在总结以往结构健康监测工作的基础上,对其理论及应用案例进行了深入剖析,对健康检测原理及仪器设备进行详细解读和系统汇集撰写成书,以飨读者。

以我管窥之见,本书具有三大特点:①比较具体地介绍了国际国内有代表性工程实施《大跨空间结构施工监测及健康监测》的内容要点;②在结构健康监测系统中,首先引入了立体甚至是多维的 BIM 信息模型,从而有可能使此项检测系统内容将更为丰富多彩;③本书最后部分提到作者们在推行运用 BIM 信息管理模型中的工程对象——延长油田,这是一项相当宏大的工程。本人希望作者们继续与业主方合作,将《大跨空间结构施工监测及健康监测》在那儿“生根开花”“结出硕果”,此乃我热切以待的心愿也,特为之序!

许溶烈

2016 年 6 月 6 日于北京

目录

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 大跨空间结构健康监测意义	(1)
1.2 结构健康监测发展及应用	(3)
1.3 大跨空间结构健康监测介绍	(4)
1.4 大跨度空间结构健康监测目前存在的问题	(9)
第 2 章 工程健康监测的基准结构分析	(10)
2.1 大跨空间结构施工模拟及结构分析	(10)
2.2 某大跨桥梁工程有限元模型验证	(13)
第 3 章 工程监测中的传感器及通讯技术	(16)
3.1 传感器技术	(16)
3.2 电阻应变式传感器	(18)
3.3 压电式传感器	(21)
3.4 光电传感器	(27)
3.5 振弦式传感器	(34)
3.6 压阻式传感器	(38)
3.7 工程健康监测中常用的有线通讯技术	(39)
3.8 工程健康监测中常用的无线通讯技术	(42)
第 4 章 监测系统集成	(46)
4.1 监测概况	(46)
4.2 监测输入系统	(50)

4.3	数据库技术及数据管理软件	(65)
4.4	数据处理软件系统	(69)
4.5	AutoMoS 系统简介	(71)
第 5 章	施工监测及健康监测内容	(73)
5.1	钢结构表面应力监测	(73)
5.2	变形监测	(76)
5.3	环境监测	(96)
5.4	索力监测	(99)
5.5	地下目标监测	(102)
5.6	结构振动监测及模态参数识别	(103)
第 6 章	大跨空间结构安全性评定及损伤识别	(114)
6.1	大跨空间结构安全性评定	(114)
6.2	结构可靠性判定	(120)
6.3	大跨空间结构损伤识别	(123)
第 7 章	工程实例	(139)
7.1	大跨连续钢构桥梁施工监测实例	(139)
7.2	某体育中心钢屋盖结构施工监测实例	(146)
7.3	某航站楼钢结构工程施工监测实例	(160)
7.4	某大跨地铁隧道工程施工监测实例	(171)
7.5	某网架整体提升过程施工监测实例	(181)
7.6	某超高层建筑施工监测实例	(197)
7.7	某大跨结构基坑工程变形监测实例	(223)
7.8	某线路工程控制测量检测实例	(239)
第 8 章	BIM 技术在结构健康监测中的应用初探	(264)
8.1	BIM 概况	(264)

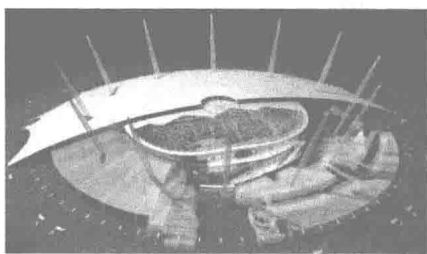
8.2 BIM 技术在结构健康监测应用可行性分析	(266)
8.3 基于 BIM 技术的结构健康监测管理系统设计与实现	(267)
8.4 结论	(275)
参考文献	(276)

第 1 章

绪 论

1.1 大跨空间结构健康监测意义

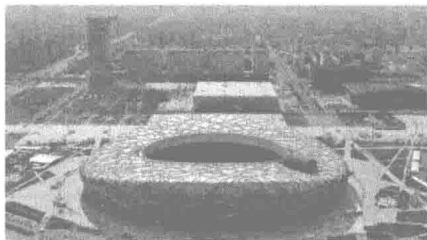
近二十年来,国内外各种类型的大跨空间结构发展迅速(见图 1-1),建筑物的跨度和规模也越来越大,大跨空间结构的发展也成为了衡量一个国家建筑科学水平的重要标志之一。因其跨度大、质量轻、造型丰富优美等诸多优点,大跨空间结构在一些文化交流、体育娱乐等公共设施建设得到了广泛应用。同时由于这类结构具有很高的社会效益和经济效益,使之安全、顺利地建造成型并投入正常使用就具有极其重要的意义。目前,尺度达 150m 以上的超大规模建筑已非个例,空间结构丰富多彩,新材料和新技术的应用十分广泛。建筑结构在服役期间,会遭受地震、火灾、强风和洪水等自然因素以及如建筑材料老化、设计、施工缺陷或使用过程中人为因素等多因素综合影响,结构会不可避免地产生性能劣化,甚至引起结构倒塌等事故。空间结构具有结构复杂性和受力特殊性,致使其不利于克服自身损伤所产生的结构劣化。大跨度空间结构是空间结构中受自身损伤劣化最为严重的结构之一,而且其跨度较大,受力复杂,节点自由度较多,其对结构劣化性能表现得尤为显著。表 1-1 为国内外典型的空间钢结构工程事故。



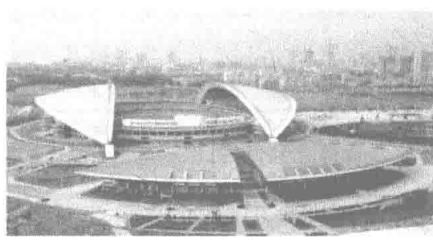
(a)伦敦千年穹顶



(b)日本大分体育公园综合竞技场



(c)北京国家体育场(鸟巢)



(d)重庆奥体中心主场馆

图 1-1 大跨空间结构照片

表 1-1 国内外典型空间钢结构工程事故

序号	工程名称	结构形式	事故时间、破坏形式和原因
1	美国康涅狄格州哈特福特中心体育馆屋盖	正放四角锥网架, 91.4m×109.7m	1978 年塌落, 使用中部分杆件偏心, 暴风雪导致结构超载, 压杆失稳
2	美国肯帕体育屋盖	钢桁架及立体钢框架	1979 年塌落, 高强螺栓在长期风荷载下疲劳破坏
3	日本阪神竞马场看台屋盖	双层圆锥形网壳	1995 年地震下地基下沉, 导致周边杆件失稳、支承脱落以及支座螺栓被剪断
4	日本阪神剧院屋盖	阶梯状柱面网壳	1995 年地震下支座附件杆件失稳、部分杆件中部以及杆件和节点连接部位被剪断
5	波兰霍茹夫展览厅	钢桁架及立体钢框架	2006 年坍塌, 积雪太厚引起结构失稳
6	俄罗斯莫斯科德兰士瓦水上乐园屋顶	玻璃屋顶, 下面为承压钢结构	2004 年坍塌, 在室内外温差高达 51℃ 情况下, 施工焊接时残留的冷凝剂使钢结构迅速疲劳, 无法承重而断裂
7	法国巴黎戴高乐机场 2E 候机厅顶棚	水泥顶棚与承重金属构件	2004 年坍塌, 顶棚与圆柱形金属支柱连接处出现了穿孔, 导致拱形顶棚一弧度结构出现折痕, 金属构件超过承载能力
8	陕西省体育馆屋盖	八边形双向正交正放网架, 60m×90m	1984 年火灾下部分根腹杆弯曲
9	新疆乌恰县影剧院屋盖	螺栓球节点正放四角锥网架, 27m×24m	1985 年, 连续两次地震导致压杆弯曲、网架局部损坏
10	河北省某厂铸造车间钢屋架	三铰拱式轻钢屋架, 跨度 20m	1987 年全部倒塌, 事故发生前已出现很大的挠度, 设计不满足整体稳定要求, 位移过大引起失稳
11	深圳国际展览中心 4 号展厅屋盖	螺栓球节点正放四角锥网架, 21.9m×27.7m	1992 年因屋面坡度不够, 雨后积水导致结构严重超载, 螺栓安全系数小, 大量高强螺栓断裂, 网架塌落
12	上海某研究所食堂	悬索结构, 跨度 17.5m	1993 年整体塌落, 90 根 $\Phi 7.5\text{mm}$ 的钢绞悬索因为锈蚀而全部沿周边折断
13	东胜市东乔玻化厂车间屋盖	焊接球节点正放四角锥网架, 20.4m×30.6m	1994 年暴雨后突然倒塌。原因是: 误用不同材质钢管、屋盖超载、部分焊缝质量差
14	湖南莱阳电厂干煤棚	落地式双层正放四角锥柱面网壳, 72m×120m	1994 年严重破坏, 采用滑移法施工时过早割除临时拉杆, 最大位移 0.9m
15	辽宁营口海龙仓储库	大跨度压型钢板拱型结构, 跨度 27.1m	1999 年塌落, 半跨雪荷载引起局部失稳
16	美国纽约世贸中心大楼	钢结构超高层	2003 年在“9·11”事件中轰然倒塌
17	鄂尔多斯那达慕大会主会场	钢结构罩棚, 全长 587m	2011 年钢结构罩棚发生局部塌落, 初步勘察核实, 质量缺陷和天气骤冷是坍塌事故的重要原因

从上述的实例可以看出:空间结构受到的荷载作用具有随机性,例如风荷载和雨、雪荷载,在很多空间结构的事故中,其垮塌原因是在强风或雨、雪的作用下出现结构动力失稳而丧失承载能力。地震作为一种自然灾害,它对结构安全的潜在威胁也不可低估。设计和施工过失以及火灾等人为因素更增加了结构损伤破坏的可能性。此外,大跨度空间结构大多数是在复杂的环境中服役,其潜在的破坏损失不可估量。

近年来发展的大跨度空间结构健康监测技术是保证其安全性的有效手段之一,所谓的结构健康监测是指在施工及运维过程中对工程结构实施损伤检测和识别。我们这里所说的损伤包括材料特性改变或结构体系的几何特性发生改变,以及边界条件和体系的连续性发生改变。结构监测涉及通过分析定期采集传感器阵列的动力响应数据,来观察体系随时间推移产生的变化,损伤敏感特征值的提取,并通过数据分析来确定当前结构的健康状态。对于运维过程长期结构健康监测,在结构老化和恶劣服役环境中,通过定期更新的数据来估计大跨空间结构是否有能力继续实现设计功能。

1.2 结构健康监测发展及应用

土木工程结构的事故以及所产生的后果,已经促使人们越来越重视结构健康监测技术的研究,世界许多国家和地区都在结构上安装了健康监测系统,用以监测结构的性能,检测结构的损伤程度,并对结构的健康状况做出评价和相应的维护决策,是一种可靠、有效、经济的监测方法。从20世纪80年代起,健康监测系统开始用于大型桥梁。如英国在总长552m的变高度连续箱梁的桥上布设各种传感器,监测大桥运营阶段在车辆与风载作用下主梁的振动、挠度和应变等响应,同时监测了风和结构温度场的变化。美国20世纪80年代中后期开始在多座桥梁上布设监测传感器,用以验证设计假定、监视施工质量和服役状态,佛罗里达州的 Sunshine-Skyway Bridge 桥上安装了500多个传感器,美国 LosAlamos 国家实验室对位于新墨西哥 Rio Grande 河上的 I-40 桥和 Alamos 峡谷桥采用整体损伤识别方法,对上述两个桥梁的损伤进行监测与评定,并发展了许多损伤识别方法;美国 Hopkins 大学对两座大型斜拉桥索在风、雨作用下的振动进行了长期的监测;美国 FHWA 资助研究的无线桥梁整体评估与监测系统包括位移、应变、转角、加速度等参数的测量;美国在 Bear Mountain 和 Bronx Whitestone 等多座悬索桥上安装了监测系统,以监测主缆、吊索以及锚碇的疲劳断丝和裂纹萌生的发生和发展;美国的 Fuhr 等人在佛蒙特州的 Winooski 水电站中布设了光纤振动、压力等传感器组成健康监测系统,并于1993年监测到2号水轮发电和振动异常,及时排除了故障,避免了事故。加拿大在建于海上的预应力混凝土箱梁桥上建立了综合监测系统,对桥梁在冰荷载、风荷载、地震作用下的性能、变形、温度应力等进行研究,并研究了外部环境对结构的侵蚀作用。挪威在主跨530m的 Skarnsundet 斜拉桥上安装的全自动数据采集系统已能对风、加速度、倾斜度、应变、温度、位移等进行自动监测。德国的 Schwesiner 等人设计和利用特制卡车测试了250多座混凝土桥梁。瑞士在混凝土桥 Sienthal Bridge 建设过程中安装了健康监测系统,采用了58个光纤变形传感器、2个倾角仪、8个温度传感器,用于监测在建设过程中长期的变形、屈曲和位移。此外,泰国、韩国、日本等目前已开始在重要桥梁上安装永久性的实时结构监测与安全性报警设备。

在我国,结构健康监测是一门新兴科学,但土木工程研究的专家学者也意识到结构健康监测的重要性。目前,健康监测系统主要应用于大型桥梁:我国香港青马大桥,通过设置在不同

部位的 800 多个各类传感器系统,监测了大桥结构在动力荷载下的反应,获取的数据可以作为大桥在施工及服役阶段的安全性,评价参考依据;香港汲水门斜拉桥安装了由 270 多个各种类型的传感器、数据采集和管理设备组成的监测系统,能够进行风向、温度、地震作用、支座位移等方面的监测。除此之外,我国内陆的虎门桥也布设了应变片和 GPS 系统,以对桥的应力和振动进行监测;国内芜湖长江大桥在施工阶段就布设了光纤传感器,用以监测桥梁施工和服役阶段的安全性,上海徐浦和卢浦大桥也均安装了监测系统,针对海洋平台的结构实时安全监测系统于 1998—1999 年冬季和 1999—2000 年冬季两次在渤海 JZ20-2MUQ 平台试运行,实时监测了平台两个冬季的安全状况,同时还获得了丰富的数据,为系统的改进和完善提供了宝贵的资料。近年来,我国建设的特大跨度桥梁上均已经或正在安装健康监测系统,如山东滨州黄河公路大桥、山东东营黄河公路大桥、南京长江第三大桥和苏通大桥等。

尽管结构健康监测已经有了初步应用,但目前还面临很多问题:整个世界范围内没有形成一个为大家认可的结构健康监测标准;各种土木工程在结构类型、复杂程度和服役环境上均有差异,不同结构的健康监测系统应有针对性;对土木工程结构健康监测理论支撑不够,缺乏统一的理论基础来指导结构健康监测系统的整个构建过程;土木工程结构跨度大、分布广、服役周期长,使传统的传感元件在稳定性和耐久性方面受到了挑战;目前新型的光纤传感器,性能较稳定,但由于其成本较高、解调设备价格不菲,或多或少阻碍其应用的进程,对于采集到的结构数据的综合处理、安全评定的理论还不够完善等。

针对上述存在的问题,以中、美、日等为代表的国家对结构健康监测进行了广泛和深入的研究。我国国家 863 计划在“九五”期间将“海洋平台结构实时监测与检测成像技术”作为重大项目进行立项,我国国家自然科学基金委员会也对结构健康监测的智能材料的研究给予了资助。而“十五”期间,国家自然科学基金确定进一步加大资助“重大工程灾害与防治”,并将“重大工程灾变行为与健康监测”列为研究中的重点,并且中、美、日等国一直在开展“重大工程结构的智能健康监测”的国际合作研究。综合国内外结构健康监测的研究情况可以看出,结构健康监测与诊断技术已经成为全球结构领域研究的热点和难点,它必将随着各种技术的发展不断完善。

1.3 大跨空间结构健康监测介绍

1.3.1 大跨空间结构施工过程监测

1. 施工监测内容及分类

施工监测 (construction monitoring) 是指通过监测技术对施工过程的主要结构参数进行实时跟踪,掌握其时空变化曲线,以便掌握控制施工质量、影响施工安全的关键因素在施工过程中的发展变化状态,并对下一步施工方案进行预判和调整,以保证整个施工过程的顺利完成。施工过程监测的流程如图 1-2 所示。

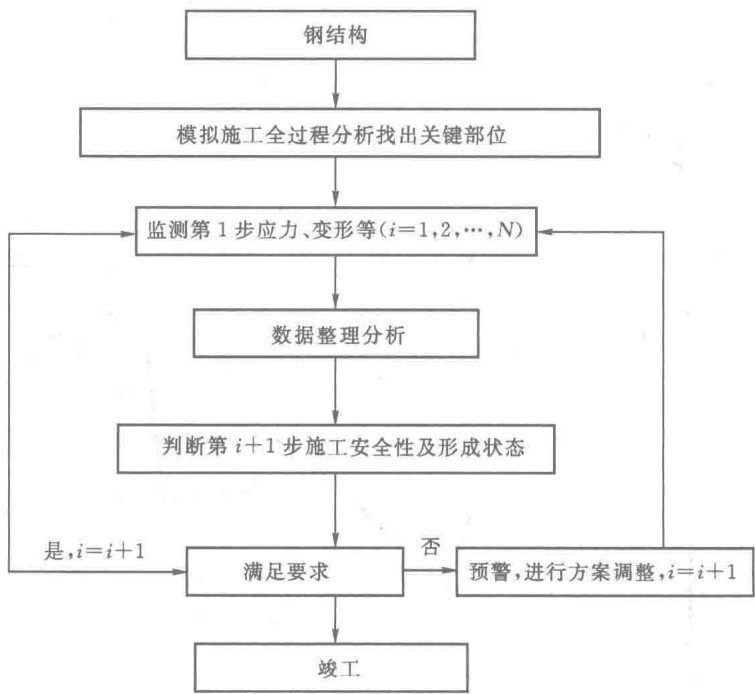


图 1-2 施工过程监测流程图

大跨空间结构施工和服役过程按照监测范围可以分为局部监测和整体监测。其中局部监测是指应用传感器感知结构的重要构件或部位(关键杆件和节点等),以便实现监测及实时预警功能。用于局部监测的传感器系统包括光导纤维、疲劳寿命丝、电阻应变片等。整体监测是指既需要监测对结构安全敏感的部位或子结构(如局部的应力应变、位移和加速度等),也需要观测结构的宏观变形、位移及振动(内力、挠度及振型和频率的变化),一般用于大型重要土木工程结构。目前用于整体监测的系统包括全球定位系统(GPS)接收机、全站仪、三维测量机器人等。

大跨空间结构按监测方式可以分为人工监测和自动监测,二者各有优缺点。其中人工监测,主要是利用简单的仪器,用人工定期进行监测,该方法可以人为对数据进行选择性处理,不易受到周围环境干扰,但需要投入巨大的人力物力。自动监测采用各种传感器和监测设备,利用系统平台可进行 24 小时不间断测量,因此适应性较强,采集数据频率高,但是自动监测对周围环境要求较高,数据传输稳定性差。因此,通常做法是将上述两个方法结合起来,用各种小型的自动化程度较高的仪器进行数据采集,并配合人工监测数据的可靠性进行检验,分析二者监测的相关性,进而确定影响因素。该方法比较适合一般结构,具有广泛的应用前景。

大跨空间结构按照监测状态可分为静态监测和动态监测。静态监测,是对结构的静态几何和力学参数进行监测,可以比较直观地反映结构的静止服役状态。动态监测,是在结构运营情况下,基于人为激励和环境激励,监测结构的动态的几何和力学参数。

施工监测是大跨空间结构施工控制的基础,大跨空间结构施工过程复杂,影响其施工顺利完成的因素很多,结构工程设计和施工方案是设计人员通过对实体进行物理抽象,采用数学分析手段开展的定量化的计算,设计计算中没有考虑各种复杂因素,如所用材料性能与设计取值

之间的差异、预制结构(构件)的截面特性等与分析取值之间的差异、施工荷载与计算取值之间的差异、结构模拟分析模型与实际情况之间的差异差别、施工测量存在的误差等。现场监测是进行上述验证的可靠手段,因此,在施工中必须对重要的结构设计参数、状态参数进行监测,以获得结构当前实际状态的数据信息,根据现场监测结果判断和鉴别原设计是否安全妥当,并将监测信息反应的实际状态逐次修正原先确定的每个施工阶段的理想状态,将施工监测和信息反馈看作设计的一部分,使施工状态处于可控范围之内。施工监测系统是大跨空间结构施工控制系统的一个重要部分,各种钢结构在施工控制中都必须根据实际施工监测情况与设计控制指标建立和完善结构健康监测和安全评估系统,通过对结构施工过程中结构设计参数监测、几何状态监测、应力监测、动力监测、施工环境监测等实现对结构承载力、施工期间结构状况及损伤程度的长期监测和评估,通过预警系统可以及时发现施工过程中出现超出设计范围的参数,并且避免施工过程中出现的安全隐患,为诊断建筑的损伤情况累计科学数据,并提出维护合理建议。

大跨空间结构的工期长而又复杂,是一个结构体系不断转换的过程。不同施工阶段,其受力分析模型以及受力状态有很大的不同,合理的施工过程跟踪、计算分析是施工方案制订以及施工监测(如测点布置和监测分析等)等的基础信息,更是保证施工能否正常完成的一个重要环节。

2. 施工监测在保证工程安全上的作用

(1)针对正在施工的建筑结构的受力状态,采用各种量测仪器进行监测,及时将数据传输至数据控制平台,并由数据控制平台对结果进行自动分析,确保数据的准确性、科学性和及时性,在施工期间将监测信息与结论反馈给设计、施工部门,验证设计、施工方案,在出现异常情况下及时指导、调整施工过程,为现场施工和采取安全应对措施提供科学依据。

(2)根据已测资料预测被监测体下一步或近期工作状态,并给出安全评价,对可能的不安全情况发出预警,从而借以调整施工步骤和方式、运行的关与停,并在出现不良后果之前采取补救措施。

(3)为结构安全、设计校核提供服务。监测资料包含被监测体的变形、应力等监测项目的真实信息,而现有水平下的结构设计结果中由于包含物理假设、遗漏、不确定因素及简化计算等影响,导致了结构施工、运营时的荷载与响应和设计不一致。借助结构实时监测发现上述问题,可以及时提升结构设计的安全性,而且结构与经济的平衡更好,从而提高工程建设质量,保证结构寿命更长。

1.3.2 大跨空间结构运维过程健康监测

结构运维过程健康监测技术在提高可靠性、降低维护费用、灾害预报等方面有着重要的意义。它利用各类传感器采集结构的特征信息,利用结构分析的算法进行数据处理,来预测结构的各种响应以及限定一些不利于结构正常运行的响应,从而形成一种适合结构安全运行和评定的监测系统。

结构健康监测系统就是实现结构健康监测的完整平台,它既包括诸如大量不同类型传感器、信息采集与预处理系统、数据链路以及高性能计算机这样的硬件设备,也包括诸如力学结构分析、应力损伤识别的算法与程序、系统监测平台以及网络这样的软件。通过结构健康监测系统的运行,可以实时监测结构的整体行为,对结构的损伤位置和程度进行诊断,对结构的服役情

况、可靠性、耐久性和承载能力进行智能评估,为结构在突发事件(如强震、飓风或其他严重事故等)中或结构状况严重异常时触发预警信号,为结构的维修、养护与管理决策提供指导依据。

空间结构健康监测系统至少包括四个主体功能模块:子系统、子系统数据采集与传输、子系统结构分析与健康诊断、子系统传感器质量远程评估与管理,具体组成框图如图 1-3 所示。它们之间彼此相互联系、紧密结合、协同工作,共同组成一个功能相对完善的有机整体。子系统传感器包括风速仪、风压计、温度计、各类形变光纤传感器、应变仪、倾角仪、准直仪、GPS 和加速度计等。

数据采集与传输子系统对各种不同信息源的物理信号进行量化、记录、传输和管理,实现信号的采集功能,同时也需要对某些不能直接测量的物理量进行分解变换和调试,获取必要的参数并存储为便于交换的数据格式,最终需要实现对所有实时监测数据的传输与信息交换。

结构分析与健康诊断子系统是空间网格结构健康监测系统的核心部分,其目的是利用监测所获取的结构信息,对空间网格结构进行理论建模、基本结构分析和资料对比、进行结构静力核算、模态参数识别和模型修正,判断结构损伤的存在、位置和程度,对结构健康状况做出状态评估及安全评定。理论建模与模型修正是获得基准有限元模型的必要环节,结构损伤识别、定位及评估是健康诊断系统的核心,二者对于建立正确的空间网格结构健康数据库和准确地进行结构健康状态评估意义重大。

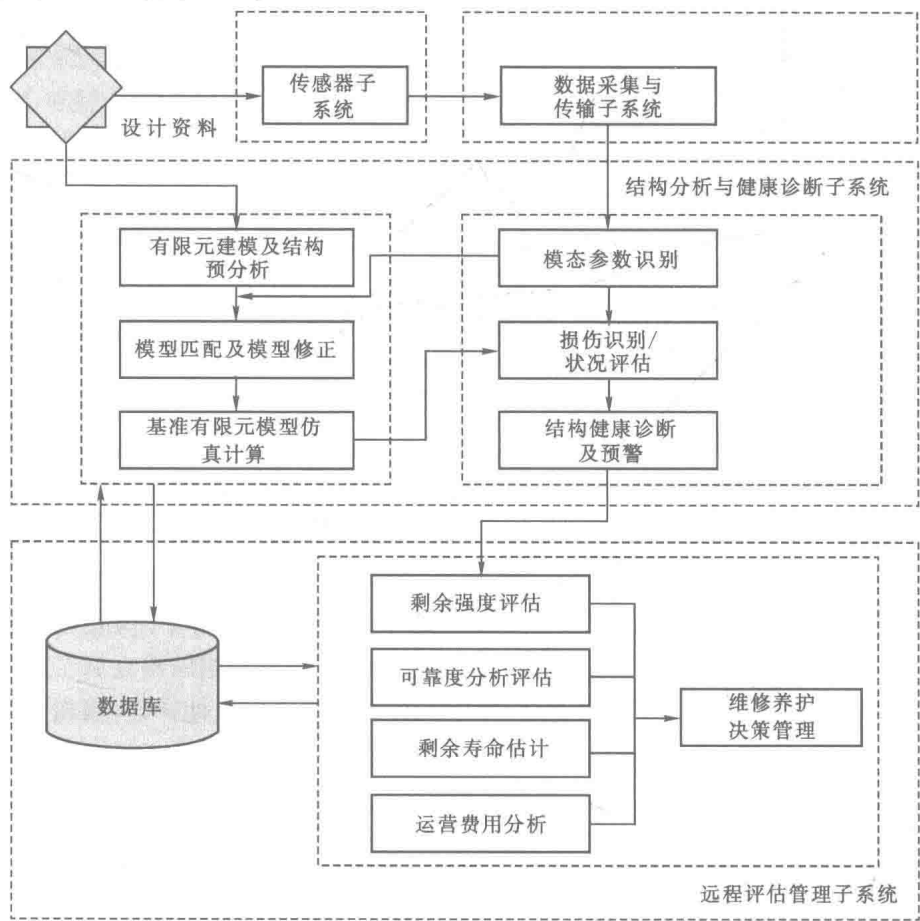


图 1-3 空间结构健康监测系统组成