

DB 32

江苏省地方标准

DB 32 / T 2880 — 2016

光纤传感式桥隧结构健康监测系统设计、施工及维护规范

Specifications for structural health monitoring system design, construction and maintenance of bridges and tunnels based on fiber optic sensing

2016-03-10 发布

2016-04-10 实施

江苏省质量技术监督局 发布

江苏省地方标准

光纤传感式桥隧结构健康监测系统设计、施工及维护规范

Specifications for structural health monitoring system design, construction and maintenance of bridges and tunnels based on fiber optic sensing

DB 32/T 2880—2016

主编单位：东南大学

江苏省交通科学研究院股份有限公司

江苏华通工程检测有限公司

批准部门：江苏省质量技术监督局

实施日期：2016年04月10日

人民交通出版社股份有限公司

图书在版编目(CIP)数据

光纤传感式桥隧结构健康监测系统设计、施工及维护
规范 / 东南大学等主编. — 北京 : 人民交通出版社股
份有限公司, 2018. 12

ISBN 978-7-114-13532-3

I. ①光… II. ①东… III. ①光纤传感器—应用—桥
—监测系统 IV. ①U446.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 308130 号

书 名: 光纤传感式桥隧结构健康监测系统设计、施工及维护规范

著 者: 东南大学

江苏省交通科学研究院股份有限公司

江苏华通工程检测有限公司

责任编辑: 黎小东

责任校对: 刘 芹

责任印制: 张 凯

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 880 × 1230 1/16

印 张: 7.75

字 数: 227 千

版 次: 2018 年 12 月 第 1 版

印 次: 2018 年 12 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13532-3

定 价: 60.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书,由本公司负责调换)

前 言

本规范是根据江苏省质量技术监督局文件《关于下达 2014 年度第二批江苏省地方标准项目的通知》(苏质监标发[2014]126 号)的要求而制定。在编制过程中,编制组经过广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准、规范与实践,并广泛征求意见,最后经审查定稿。

当前主要困扰土木工程结构健康监测的核心问题包括:一是传感技术,以应变传感器为代表的局部传感技术受局部信息影响大,难以客观准确反映结构的真实状态,捕捉损伤如同大海捞针;而以加速度计等为代表的整体传感技术只能反映结构的整体宏观状态,对结构局部状态变化不敏感,而且,传统传感器的耐久性和长期监测稳定性较差,与土木工程结构健康监测的长期要求存在不适宜性。二是,当前土木工程中常用的结构性能与损伤识别方法多针对均质和小型结构,对于大型且非均质的土木工程结构,存在较大的误差。本规范针对上述问题,对当前国内外适合于土木工程结构的光纤传感器进行了总结,筛选出了适合土木工程用的光纤传感器,并对其选择、安装、保护和管养进行规范;同时,建立了适合交通基础设施结构状态参数及损伤识别、异常分析与预警、性能评估与预测的方法规范。

本规范共分 13 章,主要技术内容有:光纤传感式结构健康监测系统设计、光纤传感技术、传感器布设与优化、传感器现场安装与施工、数据采集与处理、结构状态参数与损伤识别、结构性能评估与预测以及系统验收与维护。

本规范由江苏省交通运输厅归口管理,由东南大学与江苏省交通科学研究院股份有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送东南大学城市工程科学技术研究院(地址:南京市江宁区东南大学路 2 号土木教学科研楼 4 楼,邮编:211189),以供今后修订时参考。

主 编 单 位:东南大学

江苏省交通科学研究院股份有限公司

江苏华通工程检测有限公司

主 编:吴智深

副 主 编:张宇峰 杨才干

主要起草人员:万春风 方 达 洪 万 唐永圣 孙 安 张 建 孙 震 袁微微

杨书仁 黄 璜

主 审:夏叶飞 徐赵东

主要审查人员:朱晓文 张红雷 何 一

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 符号及代号	5
5 总则	6
6 基于光纤传感的结构健康监测系统设计	7
6.1 一般规定	7
6.2 监测内容	8
6.3 系统功能设计	9
6.4 系统构建	10
7 光纤传感技术	10
7.1 一般规定	10
7.2 点式光纤传感技术	11
7.3 基于布里渊散射的分布光纤传感技术	12
7.4 长标距光纤传感技术	13
7.5 区域分布和全域分布光纤传感技术	14
8 传感器布设	14
8.1 一般规定	14
8.2 典型监测指标的传感器布设	15
8.3 桥梁结构传感器布设	16
8.4 隧道结构传感器布设	17
9 传感器现场安装与施工	18
9.1 一般规定	18
9.2 连接及信号传输光纤选择原则	18
9.3 光纤传感器的熔接	19
9.4 光纤传感器的法兰连接	19
9.5 光纤传感器在混凝土上的安装	19
9.6 光纤传感器在钢筋及钢结构上的安装	20
10 数据的采集、处理、传输与存储管理	21
10.1 一般规定	21
10.2 数据采集	21
10.3 数据的处理	30
10.4 数据的传输(通信)	30
10.5 数据存储管理	34
11 结构状态参数与损伤识别	36
11.1 一般规定	36
11.2 结构模态参数识别	36

11.3	变形识别	37
11.4	刚度识别	37
11.5	结构模型修正	37
11.6	损伤识别	38
11.7	内力识别	38
11.8	荷载识别	38
12	结构性能评估与预测	38
12.1	一般规定	38
12.2	异常分析与预警	39
12.3	性能评估	40
12.4	累积损伤推演及寿命预测	45
13	系统验收与维护	45
13.1	一般规定	45
13.2	传感器抽检与储存	46
13.3	数据采集站分项工程质量检验	46
13.4	数据传输网络分项工程质量检验	48
13.5	传感器施工分项工程质量检验	48
13.6	监测中心信息设备软硬件分项工程质量检验	48
13.7	现场施工质量管理	48
13.8	后期检查、校准、修复及更换	54
附录 A(资料性附录)	应变计算结构挠度、转角的共轭梁法	55
附录 B(资料性附录)	分布式长标距应变模态识别损伤的方法	58
附录 C(资料性附录)	数据采集工作站实施指南	61
附录 D(资料性附录)	数据传输系统实施指南	63
本规范用词说明	66
附件	《光纤传感式桥隧结构健康监测系统设计、施工及维护规范》条文说明	67

光纤传感式桥隧结构健康监测系统设计、施工及维护规范

1 范围

本规范规定了光纤传感式桥隧结构健康监测系统设计、施工及维护的术语和定义、符号及代号、总则、结构健康监测系统设计、光纤传感技术、传感器布设、传感器现场安装与施工、数据的采集处理传输与存储管理、结构状态参数与损伤识别、结构性能评估与预测以及系统验收与维护。

本规范适用于光纤传感技术在桥隧工程结构上的应用,也适用于其他相关的土木工程结构。

2 规范性引用文件

下列文件对于本规范的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本规范。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本规范。

JG/T 422—2013	土木工程用光纤光栅应变传感器
JG/T 421—2013	土木工程用光纤光栅温度传感器
BS EN 61757-1—2012	光纤传感器 总规范
GB 50010—2010	混凝土结构设计规范
CJJ 166—2011	城市桥梁抗震设计规范
GB/T 18459	传感器主要静态性能指标计算方法
JTG D62—2004	公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
GB 50026	工程测量规范
GB 50308	城市轨道交通工程测量规范
CECS 333:2012	结构健康监测系统设计标准
GB/T 12897	国家一、二等水准测量规范
JGJ 8	建筑变形测量规范
CJJ 99	城市桥梁养护技术规范
GB 50982—2014	建筑与桥梁结构监测技术规范
GB 50311—2007	综合布线系统工程设计规范
GB/T 16656—1998	工业自动化系统和集成 产品数据表达与交换
GB/T 17045—2008	电击防护 装置和设备
GB/T 20540—2006	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线
GB 19436	机械电气安全
GB/T 7424—2008	光缆总规范
GB/T 50312—2000	建筑与建筑群综合布线系统工程验收规范
GB/T 11022—2011	高压开关设备和控制设备标准
GB/T 15409—2008	同步数字体系信号的帧结构
GB 7251.1—2013	低压成套开关设备和控制设备
JTJ 073.1	公路水泥混凝土路面养护技术规范
JTJ 073.2	公路沥青路面养护技术规范
JTG/T H21—2011	公路桥梁技术状况评定标准

JTG/T J21—2011	公路桥梁承载力检测评定规程
DB/T 29-208—2011	天津市桥梁结构健康监测系统技术规程
JTG H11—2004	公路桥涵养护规范
JTG H12—2003	公路隧道养护技术规范
JTG B02—2013	公路工程抗震规范
JTG D64—2015	公路钢结构桥梁设计规范
JTG D60—2015	公路桥涵设计通用规范
GB/T 20273—2006	信息安全技术 数据库管理系统安全技术要求
DB 14/T 679—2012	公路桥梁检测数据采集技术规程
YD/T 2319—2011	数据设备用网络机柜技术要求和检验方法
YD/T 2022—2009	时间同步设备技术要求
YD/T 1013—2013	综合布线系统电气特性通用测试方法

3 术语和定义

以下术语和定义适用于本规范。

3.1

结构健康监测系统 structural health monitoring system

一种集传感、数据采集与传输、结构状态参数与损伤识别、性能评估与预测技术为一体的自动化、信息化监测系统,主要由传感器及采集仪器设备等硬件系统和数据分析及结构分析等软件系统构成,通过对结构进行连续性(包括实时或不同频度)测试,实现对结构当前及未来服役状况及潜在风险进行分析和评估。

3.2

施工监测 construction monitoring

体现结构设计思路、保证施工过程安全且为施工控制提供数据的一种监测方式。

3.3

运营监测 operation monitoring

为保障被监测对象在运营期间的安全,对其进行测试和提供数据的一种监测方式。

3.4

连续监测 continuous monitoring

以连续或触发控制方式进行不间断测试和提供数据的一种监测方式。

3.5

长期监测 long-term monitoring

在被监测对象整个剩余寿命期间或较长一段时间进行不间断测试和提供数据的一种监测方式。

3.6

在线监测 online monitoring

通过安装在工程结构上的传感系统对被监测对象的状态进行实时连续自动测试、数据处理并上传至用户端的一种监测方式。

3.7

监测频度 monitoring frequency

指单位周期内对被监测对象测试的次数。

3.8

光纤传感技术 fiber optic sensing

利用光纤的光学特性获取或转换环境信息的传感技术,其中包括光纤传感器及其解调设备。

3.9

光纤光栅传感技术 **fiber bragg grating sensing**

以光纤光栅作为敏感元件,通过外场作用下光纤光栅中心波长变化来获取或转换环境信息的一类光学传感技术,包括光纤光栅传感器及其解调装置。

3.10

基于布里渊散射光纤分布传感技术 **brillouin scattering based optic fiber sensing**

基于光纤布里渊后散射机理获取或转换环境信息并实现分布传感的一类光学传感技术,包括光纤传感器及其解调装置。

3.11

标距长度 **gauge length**

指传感器能够进行有效测量部分的长度。

3.12

点传感器 **point sensor**

测量结果只能反映被测体局部某点被测物理量的局部传感器。

3.13

长标距传感器 **long gauge sensor**

测量结果能够反映被测体一定特征区域被测物理量并可通过其串联实现区域分布传感的长测量标距传感器。

3.14

分布光纤传感技术 **distributed optic fiber sensing**

能够测量被测体被测物理量沿空间分布的光纤传感技术,根据被测物理量在空间的分布情况可以分为准分布光纤传感和连续分布光纤传感。

3.15

点式准分布 **point quasi distribution**

为达到某一特定测量目标,将点式传感器按照设定的密度分布布设在结构适当位置的一种传感器布设方法。

3.16

长标距准分布 **long gauge quasi distribution**

为达到某一特定测量目标,将长标距传感器按照特定密度分布布设在结构适当位置的一种传感器布设方法。

3.17

传感器优化布置 **sensor placement optimization**

利用尽可能少的传感器,将其布置在结构的适当位置,使其能够达到特定监测目标的一种传感器布设方法。

3.18

区域分布传感 **areas distributed sensing**

为实现大型工程结构的早期损伤和全面技术状况监测,在对结构进行易损性分析的基础上将结构分为若干关键区域,并在所划分的关键区域内采用长标距传感器串联进行连续分布监测的一种传感技术。

3.19

全域分布传感 **all areas distributed sensing**

为达到某一特定测量目标,将长标距传感器串联并在结构上进行完全分布的一种布设方式。

3.20

集中采集 centralized data collection

数据采集设备集中且数据采集统一的一种数据采集方式。

3.21

分散采集 discrete data collection

数据采集设备分散且数据采集不统一的一种数据采集方式。

3.22

混合采集 hybrid data collection

数据采集设备包含集中式和分散式的一种数据采集方式。

3.23

结构群 structure group

由多个相对独立的同一类型结构或不同类型结构所组成的结构集合。

3.24

连续结构群 continuous structure group

由同一个大型基础设施上多个相对独立且在空间上连续分布的结构组成的结构集合。

3.25

分散结构群 discrete structure group

由空间上分散且相对独立的结构组成的结构集合。

3.26

应变模态 strain mode

在特定的固有频率和振型下,结构具有固定的应变分布形状,属于结构的固有振动特性。

3.27

长标距(宏)应变模态 macro-strain mode

在振动的任一时刻,各长标距(宏)应变的比值保持不变,即振动时应变分布形状保持不变,将此振动形式称为长标距(宏)应变模态,属于结构的固有振动特性。

3.28

结构状态参数识别 structural condition parameter identification

基于监测数据及结构特性,分析和推导出反映结构状态的静力参数(曲率、挠度、转角、刚度)、动力参数(频率、振型、阻尼)以及受力特性(内力、荷载)的过程。

3.29

有限元模型修正 finite element model upgrading

依据相关测试结果,利用有效手段修正结构有限元模型参数,使所建立模型能反映结构真实状态的一种模型修正方法。

3.30

损伤识别 damage identification

基于所测量的结构响应数据,分析结构物理参数的变化,进而识别结构损伤的过程,包括疲劳裂纹、支座损伤、索损伤、混凝土开裂、腐蚀等损伤识别。

3.31

荷载识别 load identification

根据所测到的结构应变、位移或其他参量建立模型推算结构荷载的过程。

3.32

变形识别 deformation identification

根据所测量到的结构应变分布建立模型推算结构变形(曲率、挠度、转角)参量的过程。

- 3.33
维护管理 maintenance and management
 为保持工程结构应有的性能而进行的例行检查、修复和管理等活动。
- 3.34
安全评估 safety assessment
 通过各种可能的测试手段,分析结构当前的工作状态,与其临界失效状态进行比较,并评价其安全等级。
- 3.35
异常分析 abnormality analysis
 在结构正常运营条件下,基于结构监测数据,对结构出现与通常不同的表现与特征进行分析。
- 3.36
损伤早期预测 early damage prediction
 通过对结构的高精度监(检)测和异常分析,对结构的初期损伤进行预测和识别的一种方法。
- 3.37
预警 early-warning
 在危险发生前,根据结构监测、损伤诊断和安全评定结果,向相关部门发出紧急(警告)信号的过程。
- 3.38
报警 warning
 结构性能降低导致其功能低于设定值而产生的报警,包括由单纯监测指标超越阈值而触发的异常报警和通过性能评估由综合性能降低而发出的性能报警。
- 3.39
结构性能三层次评估方法 structural performance tri-hierarchy evaluation
 根据结构监(检)测数据和书面材料,针对不同结构的特点,从结构异常分析与预警、结构性能全面评估和结构剩余寿命预测三个层次分析和评估结构性能的一种方法。
- 3.40
寿命预测 life prediction
 通过模型和所测数据对工程结构的安全存在期限的评估和预测。

4 符号及代号

符号及代号见表1。

表1 符号及代号

序号	符号或代号	意义
1	$[D]$	许用值或阈值
2	D_m	监测值
3	F_{ii}^e	损伤识别向量
4	I_c	基准时点的状态计算值
5	I_m	基准时点的监测值
6	$[I]$	阈值

表1 符号及代号(续)

序号	符号或代号	意义
7	K	刚度
8	MMSV	宏应变模态向量
9	N	疲劳寿命
10	n	应力循环次数
11	P	监测值的合理值
12	y	挠度(变形、位移)
13	ϕ	曲率
14	ε	应变
15	$\bar{\varepsilon}$	长标距(宏)应变
16	$\varepsilon(\omega)$	应变模态坐标
17	$\bar{\varepsilon}(\omega)$	宏应变模态坐标
18	γ	光频率
19	λ	波长
20	θ	倾角
21	ψ	模态
22	ξ	阻尼比
23	ω_n	固有频率
24	β_i	损伤识别指标
25	$\bar{\delta}_r$	质量归一化第 i 单元的 r 阶模态应变

5 总则

5.1.1 为了规范光纤传感技术在桥梁、隧道等交通工程结构健康监测系统中的应用,提高其使用效率及结构健康监测系统设计、施工和维护管理水平,推动桥隧等交通工程结构的施工、运营及管养的智能化与科学化,特制定本规范。

5.1.2 本规范适用于桥梁和隧道工程长期与短期、整体与局部的健康监测,并可为路面、路基、边坡和港口码头等结构物健康监测提供参考。

5.1.3 系统设计应坚持长远规划的原则,涵盖工程结构的建设及运营整个寿命周期,将施工监测、运营监测与管理相结合,具有连续性和长期性。

5.1.4 结构健康监测系统应满足用户及功能性需求、安全可靠、技术先进、经济合理、维护便利。

5.1.5 传感元器件应具有良好的保护措施和可维护性,并根据实际需要保证其设计使用寿命和足够的耐久性;传感元器件更换时,需考虑数据的延续性和可继承性。

5.1.6 基于光纤传感的结构健康监测系统设计、施工与维护,除应执行本规范外,还应符合国家及行业现行有关标准与规范的规定。

6 基于光纤传感的结构健康监测系统设计

6.1 一般规定

6.1.1 基于光纤传感的桥隧等交通工程结构健康监测系统设计应根据监测目的、对象及项目的特点及精度要求以及场地条件和当地工程经验等综合确定,并应经济合理、维护方便。

6.1.2 监测设备和传感元器件应满足监测精度、量程和耐久性要求,并应稳定、可靠,监测过程中应定期进行监测设备的维护、保养和校准。

6.1.3 选用的光纤传感器应具备性能稳定可靠、抗干扰能力强、耐久性好等特点。

6.1.4 监测系统的硬件应具有良好的可维护性、可更换性,监测系统的软件应具有兼容性、可扩展性、易维护性,且监测系统软件应与硬件相匹配。

6.1.5 应根据监测目的、监测内容、结构荷载形式和结构受力特点,综合选择传感器类型、布置方式、数据采集与传输方式以及结构性能评估与预测指标。

6.1.6 监测系统在实施安装前应结合业主、设计方和施工方的意见确定实施方案,不能对工程结构造成破坏和影响其美观。

6.1.7 应根据监测目的与需求、结构重要性及现场条件等,按表2选择结构健康监测系统类别。

表2 结构健康监测系统类别

结构类型	监测类型	系统类别	传感器要求	监测频度	采集设备位置	采集硬件的分布方式
单体结构 A	长期监测	A1	传感器寿命满足长期监测要求	实时在线监测	采集设备在现场或附近采集站	集中采集
		A2		周期性监测(1天数次至1年数次)	采集设备在现场或附近采集站	
		A3		定期或不定期巡检(1个月数次至1年数次)	自带采集设备	
	短期监测	A4	传感器寿命满足短期监测要求	实时在线监测	采集设备在现场或附近采集站	
		A5		定期或不定期监测	自带采集设备	
连续结构群 B	长期监测	B1	传感器寿命满足长期监测要求	实时在线监测	采集设备在区域工作站	分散采集或混合采集
		B2		周期性监测(1天数次至1年数次)	采集设备在区域工作站	
		B3		定期或不定期巡检(1个月数次至1年数次)	自带采集设备	

表 2 结构健康监测系统类别(续)

结构类型	监测类型	系统类别	传感器要求	监测频度	采集设备位置	采集硬件的分布方式
连续结构群 B	短期监测	B4	传感器寿命满足短期监测要求	实时在线监测	采集设备在区域工作站	分散采集或混合采集
		B5		定期或不定期监测	自带采集设备	
分散结构群 C	长期监测	C1	传感器寿命满足长期监测要求	实时在线监测	采集设备在现场或附近采集站	分散采集或混合采集
		C2		周期性监测(1 天数次至 1 年数次)	采集设备在现场或附近采集站	
		C3		定期或不定期巡检(1 个月数次至 1 年数次)	自带采集设备	
	短期监测	C4	传感器寿命满足短期监测要求	实时在线监测	采集设备在现场或附近采集站	
		C5		定期或不定期监测	自带采集设备	

注:采集硬件的分布方式(集中采集、分散采集、混合采集)详见第 10 章内容。

6.2 监测内容

应根据监测目的、监测目标和结构性能评估指标,按表 3 合理选择监测内容,也可以根据监测需求适当增加表中未包括的监测内容。

表 3 结构监测内容

监测内容类别	监测内容	监测内容选择								
		梁桥	刚构桥	拱桥	桁架桥	斜拉桥	悬索桥	隧道		
								盾构法	新奥法	
温度、荷载与内力	温度	主梁内外温度	★	★			★	★		
		主拱温度			★					
		桁架杆件温度				★				
	荷载	车重、轴数、轴重、车速	★	★	★	★	★			
	土压力	隧道管片压力							★	
锚杆应力	隧道锚杆应力								★	

表3 结构监测内容(续)

监测内容类别		监测内容	监测内容选择							
			梁桥	刚构桥	拱桥	桁架桥	斜拉桥	悬索桥	隧道	
									盾构法	新奥法
温度、荷载与内力	索力	斜拉索索力					★			
		吊杆索力			★			★		
		系杆内力			★					
结构整体状态参数(响应)	变形	主梁挠度	★	★			★	★		
		桁架挠度				★				
		主拱及桥面板(主梁)挠度			★					
		隧道纵向沉降							★	★
		隧道环向变形							★	★
	动力特性	自振频率	★	★	★	★	★	★		
		阻尼比	★	★	★	★	★	★		
结构局部状态参数(响应)	应变(应力)	主梁应变	★	★			★	★		
		桥塔应变					★	★		
		主缆应变						★		
		主拱应变			★					
		桁架杆件应变				★				
		预应力筋应变	★	★						
		隧道管片应变							★	
		隧道衬砌应变								★
	动力特性	主梁应变模态	★	★			★	★		
		主拱应变模态			★					
		桁架应变模态				★				
	裂缝	混凝土结构裂缝	★	★	★		★	★		
	接缝	隧道管片接缝							★	
	腐蚀	钢筋腐蚀	★	★	★		★	★		
钢构件腐蚀					★					
钢连接件腐蚀		★	★	★	★	★	★	★	★	

注:★为可选监测内容,具体选择方法应根据监测目的而定。

6.3 系统功能设计

6.3.1 光纤传感式桥隧结构健康监测应包括传感子系统、数据采集及传输子系统、数据存储与管理子系统、结构状态参数及损伤识别子系统和结构性能评估与预测子系统(表4)。

表 4 结构健康监测系统功能

系统构成	主要功能
传感子系统	传感器类型、传感器参数、传感器的优化布置、测点位置
数据采集及传输子系统	数据采集方式、传输方式
数据存储与管理子系统	数据的存储、查询及数据库管理
结构状态参数及损伤识别子系统	数据预处理、参数识别、损伤识别
结构性能评估与预测子系统	结构异常分析与预警、结构性能评估及预测并给出桥梁维护建议

6.3.2 传感子系统:应根据监测目的、结构类型、受力特点和荷载形式选择合适的光纤传感器,并应根据监测目的对其布设方案进行优化。具体详见本规范第 8 章。

6.3.3 数据采集及传输子系统:应根据监测目的、监测内容、结构荷载形式选择合适的采样频率,数据传输应结合现场条件选择传输方式。

6.3.4 数据存储与管理子系统:数据库设计应遵循数据库系统的可靠性、易操作性、先进性、开放性、可扩展性、标准化和经济性的基本原则。

6.3.5 结构状态参数及损伤识别子系统:对采集软件所采集的数据进行降噪和滤波等预处理;对结构状态参数(荷载、变形、动力特性、刚度等)进行识别,计算结构损伤识别指标,对结构进行损伤定位和损伤定量。

6.3.6 结构性能评估与预测子系统:根据结构状态参数及损伤识别子系统的输出结果(状态参数及损伤识别结果),对结构进行性能评估与预测(阈值报警、承载力评估、寿命预测等)。

6.4 系统构建

6.4.1 光纤传感式桥隧结构健康监测系统构建应综合考虑结构类型、监测类型、监测频度、采集硬件的分布方式、数据传输方式、监测内容和监测系统功能等因素。

6.4.2 对于单体结构,当监测类型为长期监测时,传感器应根据长期监测需求进行设计(第 7 章),监测频度根据需求选择实时在线监测、周期性监测、定期或不定期巡检,采集设备位置可根据监测频度选择采集设备在现场或附近采集站、自带采集设备,采集硬件的分布方式为集中采集(第 10 章),数据解析选择在现场、附近采集站、监控中心进行。当监测类型为短期监测时,传感器应根据短期监测需求进行设计,监测频度可根据需求选择实时在线监测、定期或不定期巡检,采集设备位置可根据监测频度选择采集设备在现场或附近采集站、自带采集设备,采集硬件的分布方式为集中采集,数据解析选择在现场、附近采集站、监控中心进行。

6.4.3 对于连续结构群,应沿着结构群长度方向上分为若干个子区域,传感器要求、监测频度同单体结构,采集设备位置可根据监测频度选择采集设备在区域工作站(如高速公路服务区、高铁站)、自带采集设备,采集硬件的分布方式为集中采集或混合采集(第 10 章),采集站-监控中心之间数据传输结构为树形结构。

6.4.4 对于分散结构群,应根据结构群的分布范围分为若干个子区域,传感器的要求及监测频度同单体结构,采集设备位置可根据监测频度选择采集设备在区域工作站、自带采集设备,采集硬件的分布方式为集中采集或混合采集(第 10 章),采集站-监控中心之间数据传输结构为星形结构。

7 光纤传感技术

7.1 一般规定

7.1.1 传感性能

a) 测量量程。光纤传感器及数据采集装置选择应满足被监测对象工况条件和测量范围需求,光

纤传感器应具有承受测量范围上限值 1.2 倍的变形能力。

- b) 精度及稳定性。光纤传感器及其采集装置应有良好的测量稳定性和重复性,对于长期测量或健康监测,传感元器件需要有良好的长期传感稳定性和耐久性。
- c) 分辨率。传感器的分辨率必须满足工况条件及监测精度要求,应能反映被测物理量的最小变化范围,并满足现行国家标准《传感器主要静态性能指标计算方法》(GB/T 18459)的要求。
- d) 模数。在满足测量和信号传输的条件下,优先选用低模数的光纤。
- e) 带宽及色散。根据测量需求,选择适宜带宽、模数及低色散的光纤。

7.1.2 施工性

- a) 在满足信号传输要求的条件下,宜选择直径小、轻质且保护性能优良的光缆线。
- b) 多路光纤传感器的信号传输时,宜采用多芯铠装光缆。
- c) 便于连接及安装,易形成光纤传感系统,后期维护便利。

7.1.3 耐久性

- a) 对于长期监测系统,所选传感元器件应具有足够的寿命及耐久性,符合国家相关规定;可更换元件寿命宜 5 年以上,重要、难以更换的元件寿命宜 20 年以上;如有特殊需求的,根据需求和技术水平设计。
- b) 用于长期健康监测时,光纤传感器应具备优良的疲劳寿命,宜不小于 2×10^6 次。
- c) 对于短期监测系统,应根据实际需求选择和设计传感元器件的寿命及耐久性能。

7.2 点式光纤传感技术

7.2.1 一般规定

- a) 标距长度小于 10cm,相对于被测结构或反映结构被测物理量的特征尺度可视为“点”。
- b) 一般只能反映被测结构局部或某点的物理量变化。
- c) 点式准分布。将点式传感器按照特定的密度分布布设在结构的适当位置,并用一根或一组光纤串联。

7.2.2 光纤光栅(FBG)传感器

- a) 应变及温度传感。测量过程中需考虑应变和温度对传感器波长变化的影响。
- b) 测量精度。应变测量精度高于 $5.0 \mu\epsilon$,温度测量精度高于 1.5°C 。
- c) 采样频率。1Hz ~ 1 000Hz。
- d) 封装保护。在桥梁、隧道等交通工程结构上长期测量时,需对 FBG 传感器进行封装和保护,封装锚固段的长度必须大于有效黏结滑移长度。
- e) 多点准分布测量应满足以下要求:
 - 1) 相邻两 FBG 传感器首尾熔接或法兰连接,连接后光强度衰减必须满足解调仪器设备衰减要求。
 - 2) 应根据所测量物理量的变化范围,设计所串联 FBG 传感器的中心波长范围,必须避免测量中中心波长的重叠。
 - 3) 熔接时,严格控制接头处的光强损失 ($< 0.03\text{dB}/\text{接头}$),且必须对熔接端进行保护,避免熔接处弯折。
 - 4) 相邻互相连接的 FBG 传感器之间应留有足够的熔接长度,不宜小于 25cm。
- f) 适宜检测对象。工程结构中的均质构件,如钢桁架桥梁的钢构件、悬索桥中的钢悬索等;混凝土