ICS 37.080

N 04

T/ITS

中国智能交通产业联盟标准

T/ITS 0059—2016

交通基础设施结构监测数据采集技术规范

Transportation infrastructure structure monitoring data acquisition technology specification

2016-11-23 发布　　2017-01-01 实施

中国智能交通产业联盟 发布

目　次

前言 II
引言 III
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 符号 2
5 一般规定 3
6 结构监测需求分析 3
7 监测指标体系 6
8 传感器分类与选型 14
9 系统部署 28
10 数据采集与传输 30

前　　言

本标准按照T/ITS0059-2016给出的规则起草。

本标准由中国智能交通产业联盟提出并归口。

本标准于2016年11月首次发布，本次为首次发布。

本标准起草单位：南京智行信息科技有限公司、交通运输部公路科学研究院、南京大学、上海交通大学、同济大学、河海大学、北京市交通信息中心、四川省交通运输厅、江苏交通控股有限公司、江苏省交通运输厅公路局、江苏省南京市公路管理处。

本标准主要起草人：陈贵海、洪卫星、张全庚、李利军、李家伟、陈俊、方成、杨海霞、鲁威、李斌、焦伟赟、宋向辉、张云、刘建峰、范双成、吴赞平、徐海虹、茅荃、徐泽敏、张兵、汪峰、闵剑勇、薛海、姜培源、刘云波、杨融、贝新林、姚海波、徐灵灵、晏新宇、陈婷、许海燕、于海燕、赵颖。

引　　言

为使交通基础设施结构监测数据采集技术能够按统一的标准进行说明和描述，特制定本标准。

为了保持标准的适用性与可操作性，各使用者在采标过程中，及时将对本标准规范的意见及建议函告南京智行信息科技有限公司，以便修订时研用。

地址：江苏省南京市雨花台区安德门大街 57 号，邮编：210012，电话：+86（25）5221 3978。

交通基础设施结构监测数据采集技术标准

1 范围

本标准规定了交通基础设施结构监测系统的需求分析、监测指标体系、传感器选型、传感器技术参数、监测系统部署、数据采集与传输的技术要求。

本标准适用于交通基础设施结构（包括桥梁、隧道、边坡、路基）监测系统的数据采集与传输。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件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文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 50283 公路工程结构可靠度设计统一标准

JTG B01 公路工程技术标准

JTG H10 公路养护技术规范

JTG H11 公路桥涵养护规范

JTG H12 公路隧道养护技术规范

JTG/T H21 公路桥梁技术状况评定标准

GB/T 18233 信息技术 用户建筑群的通用布缆

BS EN 50173 信息技术 通用布线系统（Information technology-Generic cabling systems）

3 术语和定义

3.1

监测 monitoring measurement

利用现场的、无损的、实时的方式采集结构与环境信息，分析结构反应的各种特征，获取结构因环境因素、损伤或退化而造成的改变。

3.2

传感器 sensor

能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用信号的器件或装置，通常有敏感元件和转换元件

中国智能交通产业联盟

组成。

3.3

传感器布置 sensor placement

利用尽可能少的传感器，将其布置在结构的适当位置，使其能够达到某一特定目标的过程。

3.4

有线传输 wire transmission

在两个通信设备之间通过物理连接，将信号从一方传输到另一方的技术。

3.5

无线传输 wireless transmission

在两个通信设备不使用任何物理连接，而是通过空间传输的一种技术。

3.6

耐久性 durability

结构抵抗自身和自然环境双重因素长期破坏作用的能力。

3.7

结构性能 structural performance

在安全性和适用性方面定性或定量的描述结构行为。

3.8

数据库 database

长期存储在计算机内的、有组织的、可共享的数据集合。

3.9

数据库管理系统 database management system

借助操作系统的支持对数据库和系统资源进行统一管理和控制的软件。其主要功能包括：数据库的建立、数据定义、数据操作、数据库的运行管理和维护。

4 符号

m/s 速度；

℃ 温度

中国智能交通产业联盟

Hz　频率；

FS　非线性度

V　电压。

5　一般规定

5.1　交通基础设施结构监测数据采集系统

a）一种仿生智能系统，可以在线、不间断对结构状态进行实时监测。采集系统的建立应综合结构的具体特点、监测要求、现场状况、环境条件等各方面因素，力求做到安全可靠、技术先进、经济合理、便于维护；

b）交通基础设施结构监测应分为施工期间监测和使用期间监测，二者宜相互结合统筹考虑；

c）施工期间监测应为保障施工安全，控制施工过程，达到结构设计的要求服务；使用期间监测应为掌握结构在使用期间的健康状况，保障结构在使用期间的安全性，为结构模型校验与修正、结构损伤识别提供技术支持；

d）结构监测数据采集系统宜包括传感、调理、采集、传输、存储等功能；

e）交通基础设施结构监测内容可包括应力应变监测、变形与裂缝监测、环境监测和外观监测；变形监测可包括基础沉降监测、水平及竖直位移监测、倾斜角监测；环境监测可包括温湿度监测、风速监测、水流监测及振动监测；外观监测主要为定期对既有结构进行外观检查；

f）监测前应根据结构工作环境、受力特点、对称性等综合考虑确定测点位置，避免测点的过分冗余；进行传感器布设时，在满足监测要求的前提下，宜对其进行优化配置，节约成本；

g）监测的传输和接收设备应尽量避免布设在电磁干扰较强的区域。否则，应采取应对措施，确保数据传输的可靠性；

h）监测期间应对采集设备进行定期检查，并对采集系统进行日常维护，以确保采集数据的准确性；

i）监测测点选择宜包括下列部位：应力变化显著或应力水平较高的构件或截面；控制几何位形的关键节点；承受较大荷载的构件或节点。

6　结构监测需求分析

6.1　桥梁结构监测需求分析

6.1.1　桥梁结构具体工作环境的分析

中国智能交通产业联盟

对桥梁结构具体的工作环境进行分析，确定应监测的项目。主要的工作环境分析应符合下列规定：

a）搜集桥梁结构的工程地质和水文地质的资料，监测结构地基状况，结构是否受海水、风沙侵蚀等；

b）温度变化引起混凝土内外部的温度差，从而产生温度应力，因此，应监测不同时刻控制截面温度和环境温度；

c）桥梁结构服役地区的气候特征，如高温，湿度，严寒，风速，雨，雷，雪等；

d）特殊地区自然灾害的影响，如地震，泥石流，海啸，台风，飓风等；

e）交通荷载量的影响。

6.1.2 桥梁结构已发病害的分析

桥梁结构已发病害的分析应符合下列规定：

a）监测前应对桥梁已发病害进行观察监测，找准病害具体位置并标记；

b）通过病害表现形式，分析出现病害的可能原因，确定应监测结构病害的项目和位置；

c）对于次要位置的某些病害可不进行监测，如某些微小裂缝；但明显的、对结构有较大影响的病害必须进行分析并监测。

6.1.3 桥梁结构形式的分析

基于桥梁结构形式的分析应符合下列规定：

a）监测前应用结构分析软件对不同桥梁结构与构件进行建模分析，确定动静力参数水平比较高或者变化显著的位置；

b）应考虑恒、活荷载等重力荷载，可根据工程实际需要计入地基沉降、温度作用、风荷载等；

c）宜采用实测结构材料的参数及荷载参数；

d）结构分析模型应与设计结构模型进行校对。

6.1.4 桥梁结构易发病害的分析

桥梁结构易发病害的分析，不同桥梁结构主要病害：

a）混凝土梁桥常见病害主要有：桥面表层的缺陷与病害，水平、竖向裂缝，支座的病害，桥头跳车，钢筋锈蚀和混凝土碳化等；

b）拱桥上部结构的常见病害主要有：拱圈径向裂缝，拱圈纵向裂缝，侧墙膨胀破坏，桥面系破坏等；

c）斜拉桥拉索回缩、滑丝及腐蚀，索塔塔根处裂缝和拉索锚固区裂缝，混凝土主梁梁体裂缝等；

中国智能交通产业联盟

d）悬索桥的锚具与索体之间区域的腐蚀、吊索的生锈、腐蚀、甚至断裂、锚锭的病害等。

6.2 隧道结构监测需求分析

6.2.1 隧道结构具体的工作环境的分析

对隧道结构具体的工作环境进行分析，确定应监测的项目。主要的工作环境分析应符合下列规定：

（1）搜集桥梁结构的工程地质和水文地质的资料，监测结构地基土质状况，岩土性质，地下水条件；

（2）隧道结构服役位置处环境的温湿度；

（3）隧道地表周围建（构）筑物的沉降和倾斜；

（4）特殊地区气候特征和自然灾害的影响，如严寒、高温、降雨量、地震、泥石流等；

（5）围岩及支护状态观察描述；

（6）隧道周围土层的情况对结构的影响，包括土压力、孔隙水压力。

6.2.2 隧道结构的力学分析

基于隧道结构的力学分析应符合下列规定：

（1）监测前应用结构有限元分析软件对地铁隧道结构与构件进行建模分析，确定动静力参数水平比较高或者变化显著的位置；

（2）应考虑恒、活荷载等重力荷载，可根据工程实际需要计入地基沉降、温度作用、土压力等；

（3）宜采用实测结构构件材料的参数及荷载参数；

（4）结构分析模型应与设计结构模型进行校对。

6.2.3 隧道结构易发病害的分析

隧道结构易发病害的分析，隧道结构主要病害：围岩的地下水与地表水渗漏裂缝，衬砌裂损，衬砌腐蚀，隧道冻害等。

6.2.4 其他特殊隧道

其他特殊隧道，如海底隧道、连拱隧道等，应根据具体情况具体分析。

6.3 其他结构监测需求分析

6.3.1 边坡结构监测需求分析

边坡结构监测需求分析应符合下列规定：

中国智能交通产业联盟

（1）搜集边坡结构的工程地质和水文地质的资料，根据现场勘查，确定边坡结构地基岩土性质、地下水条件等；

（2）边坡结构所处位置环境的温湿度、降雨量等；

（3）特殊地区自然灾害的影响，如地震、泥石流等；

（4）边坡变形监测，主要包括边坡关键点的沉降、不均匀沉降，土体深部变形等；

（5）支护结构（挡土墙）应力的监测，包括挡土墙应变、锚杆应力；挡土墙的变形，主要为挡土墙的倾斜监测；

（6）边坡结构周围土层的情况，包括土压力、孔隙水压力。

6.3.2 道路结构监测需求分析

道路结构监测需求分析应符合下列规定：

（1）道路的监测应分为施工期间的监测和施工后监测；

（2）施工期间监测宜包括路基、路面基层和面层监测项目；施工后监测宜包括地基结构沉降及不均匀沉降和面层的监测；

（3）路基监测中，由于地质条件、荷载条件、材料性质和施工条件等复杂性，进行现场原位观测，包括路基压实度、弯沉值监测，监控施工期路基稳定性，检验路基加固效果，保证工程质量；

（4）面层的监测宜包括材料配合比、压实度、弯沉值、面层厚度、平整度、构造深度等。

7 监测指标体系

7.1 一般规定

（1）根据具体的结构受力性能特点，有针对性地确定结构监测指标；

（2）结构运营荷载的特征直接影响结构性能状态，结构监测与运营荷载监测应同步进行；

（3）分析结构病害成因，总结影响病害形成的各项参数（包括几何参数、材质参数等），针对各种结构的典型病害，确定面向病害的监测指标；

（4）根据日常和定期检查结果掌握结构的过去状态，通过较长时期的数据统计分析，确定结构性能状态的总体特征，建立监测指标；

（5）结构监测指标要满足安全预警和结构性能评估的需求。

7.2 桥梁监测指标

7.2.1 简支梁桥结构性能监测指标

中国智能交通产业联盟

简支梁桥结构性能监测指标应满足如下要求，见表 1。

表 1　简支梁桥结构性能监测指标

编号	监测指标			监测部位
1	力学性能	变形	主梁挠度	梁体跨中（对存在明显横向连续恶化的情况，续对横桥向各梁体均进行布设）
2			支点竖向位移	梁体支座部位
3			梁体纵桥向位移	主梁支座部位
4		应力	混凝土应力	跨中、四分点和距离支座 1/2 梁高截面
5			钢筋应力	跨中
6		裂缝		梁体关键断面开裂部位
7		振动响应	加速度	梁体跨中
8	外界作用	汽车荷载	轴重	桥梁端部路面
9			轴距	
10			轴压应力	铺装层与主梁顶板结合部位
11		水流	流速	墩柱或基础受水流直接作用部位
12			波浪力	
13		湿度		钢箱梁梁体

7.2.2　连续梁桥结构性能监测指标

连续梁桥结构性能监测指标应满足如下要求，见表 2。

中国智能交通产业联盟

表 2　连续梁桥结构性能监测指标

编号	监测指标			监测部位
1	力学性能	变形	**主梁挠度**	1.　T 梁体或小箱梁跨中（对存在明显横向连续恶化的情况，续对横桥向各梁体均进行布设）； 2.　大箱梁（横向单幅单室）梁体跨中。 注：在进行挠度监测必测的为边跨和次边跨，其余监测桥跨应选择有明显刚度退化迹象的桥跨。
2			**支点竖向位移**	梁体支座部位
3			梁体纵桥向位移	梁端部
编号	监测指标			监测部位
4	力学性能	应力	**混凝土应力**	跨中、四分点、支点截面及距离支座 1/2 梁高截面
5			钢筋应力	跨中
6		裂缝		梁体关键断面开裂部位
7		预应力变化		梁体关键截面
8		振动响应	加速度	梁体跨中
9	外界作用	汽车荷载	**轴重**	桥梁端部路面
10			轴距	
11			轴压应力	铺装层与主梁顶板结合部位
12		水流	流速	墩柱或基础受水流直接作用部位
13			波浪力	
14		温度		梁体有代表性的断面，必要时应布设温度梯度测点
15		湿度		钢箱梁梁体

中国智能交通产业联盟

7.2.3　拱桥结构性能监测指标

拱桥结构性能监测指标应满足要求表 3。

表 3　圬工拱桥结构性能监测指标

编号	监测指标			监测部位
1	力学性能	变形	拱顶下沉	拱顶（对存在明显横向连续恶化的情况，续对横桥向各梁体均进行布设）；
2			拱脚水平位移	拱座部位
3		应力	混凝土应力	拱顶、拱脚、1/4 孔经截面
4		裂缝		拱肋关键断面开裂部位
5		振动响应	加速度	拱顶
6	外界作用	汽车荷载	轴重	桥梁端部路面
7			轴距	
8			轴压应力	桥面系
9		水流	流速	拱座或基础受水流直接作用部位
10			波浪力	
11		温度		拱肋有代表性的断面

表 4　双曲拱桥结构性能监测指标

编号	监测指标			监测部位
1	力学性能	变形	拱顶下沉	拱顶（对存在明显横向连续恶化的情况，续对横桥向各梁体均进行布设）；
2			拱脚水平位移	拱座部位
3			3/8 拱肋下挠	3/8 断面
4		应力	混凝土应力	拱顶、拱脚截面
5		裂缝		拱肋关键断面开裂部位
6		振动响应	速度或位移	拱顶

中国智能交通产业联盟

表 4　双曲拱桥结构性能监测指标（续）

编号	监测指标			监测部位
7	外界作用	汽车荷载	轴重	桥梁端部路面
8			轴距	
9			轴压应力	桥面系
10		水流	流速	拱座或基础受水流直接作用部位
11			波浪力	
12		温度		拱肋有代表性的断面

表 5　刚架拱桥结构性能监测指标

编号	监测指标			监测部位
1	力学性能	变形	拱顶下沉	拱顶（对存在明显横向连续恶化的情况，续对横桥向各梁体均进行布设）;
2			拱脚水平位移	拱座部位
3		应力	混凝土应力	拱顶、大节点和小节点截面
4		裂缝		拱肋关键断面开裂部位
5		振动响应	速度或位移	拱顶
6	外界作用	汽车荷载	轴重	桥梁端部路面
7			轴距	
8			轴压应力	桥面系
9		水流	流速	拱座或基础受水流直接作用部位
10			波浪力	
11		温度		拱肋有代表性的断面

7.2.4　斜拉桥结构性能监测指标

斜拉桥结构性能监测指标应满足要求如表 6。

中国智能交通产业联盟

表 6 斜拉桥结构性能监测指标

编号	监测指标			监测部位
1	力学性能	变形	主梁挠度	1.T 梁体或小箱梁跨中（对存在明显横向连续恶化的情况，续对横桥向各梁体均进行布设）； 2.大箱梁（横向单幅单室）梁体跨中。 注：在进行挠度监测必测的为边跨和次边跨，其余监测桥跨应选择有明显刚度退化迹象的桥跨。
2			主塔塔顶水平位移	塔顶
3			梁体纵桥向位移	梁端部
4		应力	混凝土应力	跨中、梁端、塔梁截面
5			钢筋应力	跨中
6		裂缝		梁体及主塔关键断面开裂部位
7		振动响应	加速度	梁体跨中
8		索力		端索及索力理论分析较大索力
9	外界作用	汽车荷载	轴重	桥梁端部路面
10			轴距	
11			轴压应力	铺装层与主梁顶板结合部位
12		水流	流速	墩柱或基础受水流直接作用部位
13			波浪力	
14		温度		梁体有代表性的断面，必要时应布设温度梯度测点
15		湿度		钢箱梁梁体
16		风速		桥上风速代表区

中国智能交通产业联盟

7.2.5 悬索桥结构性能监测指标

悬索桥结构性能监测指标应满足要求，见表 7。

表 7 悬索桥结构性能监测指标

编号	监测指标			监测部位
1	力学性能	变形	主梁挠度	1.T 梁体或小箱梁跨中(对存在明显横向连续恶化的情况，续对横桥向各梁体均进行布设)； 2.大箱梁（横向单幅单室）梁体跨中。 注：在进行挠度监测必测的为边跨和次边跨，其余监测桥跨应选择有明显刚度退化迹象的桥跨。
2			主塔塔顶水平位移	塔顶
3			梁体纵桥向位移	梁端部
4		应力	混凝土应力	跨中、梁端、塔梁截面
5			钢筋应力	跨中
6		裂缝		梁体及主塔关键断面开裂部位
7		振动响应	加速度	梁体跨中
8		索力	主揽	主揽受力较大部位
9			吊索	端索及吊索理论分析较大者
10	外界作用	汽车荷载	轴重	桥梁端部路面
11			轴距	
12			轴压应力	铺装层与主梁顶板结合部位
13		水流	流速	墩柱或基础受水流直接作用部位
14			波浪力	
15		温度		梁体有代表性的断面，必要时应布设温度梯度测点
16		湿度		钢箱梁梁体
17		风速		桥上风速代表区

7.3 其它结构监测指标

7.3.1 隧道结构性能监测指标

中国智能交通产业联盟

隧道结构性能监测应考虑结构受力特点及围岩工程特性，其性能监测指标应满足以下要求：

（1） 变形监测

隧道变形监测主要包括沉降、位移、收敛等监测，监测方式主要采用静力水准仪、测斜仪、位移计、收敛计等。

（2）应力监测

监测衬砌结构及支撑的应力应变情况，监测方式主要采用衬砌应力计、表面应变计、埋入式应变计、钢筋计、锚索计、轴力计等。

（3）裂缝监测，主要采用裂缝计。

（4）环境监测

监测隧道内的地下水位、温湿度等，采用渗压计、温湿度计等。

7.3.2 边坡结构性能监测指标

边坡结构性能监测应考虑结构变形控制要求、地质和支护结构特点，其性能监测指标应满足要求，见表 8。

表 8 边坡结构性能监测指标

编号	监测项目	监测部位
1	坡顶水平和垂直位移	支护结构顶部
2	地表裂缝	墙顶背后1.0倍挡墙高度范围
3	坡顶建筑物变形	边坡坡顶建筑物基础、墙面
4	降雨、洪水与时间关系	—
5	锚杆拉力	外锚头或锚杆主筋
6	支护结构变形	主要受力杆件
7	支护结构应力	应力最大处
8	地下水、渗水与降雨关系	出水点

7.3.3 路基结构性能监测指标

路基结构性能监测应考虑道路等级与路基分层特点，其性能监测指标满足要求如下表所示：

（1）变形监测。主要监测路基沉降，采用静力水准仪、分层沉降计、冻胀计等；

（2）环境监测。主要监测路基温度、土壤含水量等，采用温度计、土壤含水量计等；

（3）压力监测。主要监测路基土压力，孔隙水压力等，采用土压力计、渗压计等。

中国智能交通产业联盟

8 传感器分类与选型

8.1 传感器分类

8.1.1 工作环境监测

工作环境监测主要在于监测结构所处的物理化学环境，记录结构经受的各种可变荷载(包括风载、地震荷载及交通荷载等)及其历程，从而为随后的结构可靠性评估提供原始数据。环境监测传感器主要包括：风速仪、温湿度传感器、动态称重系统等。

（1）风荷载监测

风速仪一般分超声波和机械式两种类型，其特性对比，见表 9。

表 9 风速仪对比

类型	基本原理	优点	缺点	适用范围
超声波	超声波探头发射的超声波信息，利用超声传递的时间来推算风速	精度高、分辨率高、采样频率较高、耐久性好、寿命长免维护	量程相对机械式小，精度受雨雪雾天气影响	脉动风速的测量
机械式	通过转子的转速来推算风速	量程大，技术成熟，应用广泛	精度相对超声波式较低、需要定期维护	雨雪天气较多的桥址

（2）温度监测

根据工作原理的不同，环境温度传感器可以分为：光纤光栅型、数字型、热电偶型和热敏电阻型。其特性对比如下表所示：

表 10 温度传感器性能对比

类型	基本原理	优点	缺点
光纤光栅	温度变化引起波长变化	精度高、抗干扰、耐久性好	价格昂贵、安装要求高
数字型	温度变化引起高温度系数晶振振荡频率变化	精度高、抗干扰、安装简单，成本低	测温范围小，-55℃～125℃不适合高温测量
热电偶	热电效应	热响应快，测温范围宽，适合高温测量	变化率小，需进行线性修正
热敏电阻	温度变化引起电阻变化	体积小、灵敏度高，响应快、测量简单	稳定性差，重复性差

中国智能交通产业联盟

（3）交通荷载监测

交通荷载动态称重传感器主要有弯板式、石英式、压电薄膜式三种交通传感器，相关技术性能对比，见表 11。

表 11　动态称重传感器技术性能比较

项目	弯板传感器		石英晶体传感器	压电薄膜传感器
	常规弯板	窄条		
传感器原理	秤台式、弯板式，在弹性体上贴应变计	高频、在弹性体上贴应变计群	石英晶体为敏感元件的工字梁型传感器	PVDF 聚合物传感材料，具有很高的压电性能
工作原理	采用应变原理	采用应变原理，长窄条快速响应	利用石英晶体的纵向压电效应将重量信号转换成电信号的装置	特殊加工后能将动能转化成电能的聚合体材料，具有很高的压电性能
适应速度	静态或低速动态	低速、高速动态速度范围（1-180km/h）	高速动态(15km/h 以上)	高速动态(15km/h 以上)
精度	很难做到同时满足高低速高精度测量	高、低速精度明显占优	高速精度好、低速精度差	高速精度好、低速精度差
寿命	寿命短，预应力弯板金属容易疲劳及老化	基本同路面寿命，翻修无影响	受路面形变影响大，容易碎。	基本同路面寿命，翻修无影响
传感器成本	比较高	相对较低	很高	低
对路面要求	有缝隙，不能与路面有效结合，接合部易损坏	道路平直，普通水泥路面，也可以安装在桥梁上	道路平直，不宜安装在沥青路面，对水泥路面的平整度要求高于其它传感器	道路平直，可以安装在沥青或水泥路面，也可以安装在桥梁上
施工工程量	开挖量大，周期长，对道路结构破坏大，土建投资大	条形状，尺寸小、开挖量小，施工周期短	对道路结构破坏大，土建投资大，施工周期长	开挖量小，施工周期短，约一天

中国智能交通产业联盟

8.1.2　结构响应监测

（1）位移监测

结构变形监测项目主要包括：挠度、转角、轴线等。常用的监测设备包括全站仪、连通管、倾角仪、位移计、GPS 等。

1）GPS

GPS 的技术性能：静态灵敏度：±1mm，采样率 1Hz，动态灵敏度：水平±5mm，竖向±10mm，最高采样率 50Hz。

2）自动全站仪

自动全站仪是由带电动马达驱动和程序控制，结合激光、通讯及 CCD 技术，并集自动目标识别、自动照准、自动测角、自动测距、自动跟踪目标、自动记录观测数据于一体的测量系统。利用屏蔽数据线将监测数据传输到桥墩机房，然后利用光缆将监测数据传输到监控中心，可以实现三维变形的远程自动监测。

3）静力水准仪

静力水准仪是由一系列智能液位传感器及储液罐组成，储液罐之间由连通管连通。基准罐置于一个稳定的水平基点，其他储液罐置于标高大致相同的不同位置，当其他储液罐相对于基准罐发生升降时，将引起该罐内液面的上升或下降。通过测量液位的变化，了解被测点相对水平基点的升降变形；边坡地滑仪通过测量两个长距离点之间的位移变化情况，来反映边坡整个断面上的位移变化情况。

4） 倾角仪

倾角传感器主要有电解质型倾角传感器、电容型倾角传感器和力平衡伺服型倾角传感器。以下对几种倾角传感器特性进行比较，见表 12。

表 12 倾角传感器对比

测试原理与性能比较	倾角测试传感器		
	电解质型	电容型	力平衡伺服型
原理	角度的变化引起两电极导电液的变化	角度的变化引起差动电容值的变化	角度的变化引起质量块位置的变化，通过伺服机构回到一新的平衡位置
线性	较好	较好	好
耐久性	差	较高	高
灵敏度	低	较高	高

中国智能交通产业联盟

表 12　倾角传感器对比（续）

测试原理与性能比较	倾角测试传感器		
	电解质型	电容型	力平衡伺服型
原理	角度的变化引起两电极导电液的变化	角度的变化引起差动电容值的变化	角度的变化引起质量块位置的变化，通过伺服机构回到一新的平衡位置
精度	<0.2%	<0.1%	<0.05%
绝对测量	能	能	能
传感器费用	低	较高	高
传感器使用要求	高	高	一般

（2）应力监测

应力监测为结构损伤识别提供资料，为结构正常运营阶段的安全评价指标提供依据。根据频率响应范围的不同，应变监测分为动态应变监测和静态应变监测。结构动态应变的监测一般采用采样频率较高的电阻式应变计，结构静态应变的监测一般采用振弦式应变计。

1）电阻式应变计

电阻应变监测法是利用电阻应变片测量结构构件的表面应变，根据应力-应变关系确定构件表面的应力状态。电阻式应变传感器是以电阻应变计为转换元件的电阻式传感器，由弹性敏感元件、电阻应变计、补偿电阻和外壳组成。

在使用电阻式应变片时，应考虑的主要技术参数包括电阻灵敏系数、机械滞后、零漂和蠕变、横向效应等。另外，由温度引起应变片敏感栅电阻变化产生的附加应变比较明显，因此，需重点考虑环境温度因素。

电阻应变式传感器的优点是精度较高，测量范围广，结构简单，频响特性好，能在恶劣条件下工作，易于实现小型化、整体化和品种多样化等。其缺点是对于大应变有较大的非线性、系统误差较大且使用寿命较短；由于采用电信号作为测量值，容易受电磁信号干扰、外界环境腐蚀，导线数量多；加之温漂和零漂的影响，使得长期应变监测的结果会严重失真。

中国智能交通产业联盟

2）振弦式应变计

振弦式应变传感器由受力弹性形变外壳(或膜片)、金属弦、紧固夹头、激振和接收线圈等组成。根据金属弦自振频率与张紧力的函数关系，利用振弦振动频率的变化量，来反映外界作用力的大小。金属弦与被测结构变形相协调，所测应变即结构应变。

振弦式应变传感器的工作特性主要取决于振弦的特性，主要考虑其灵敏度、温度影响、稳定性、滞后性等技术参数。由于弦属于金属材料，必须考虑温度的影响，可采取温度补偿的措施。

实践表明，振弦式应力传感器在-10~55℃温度范围内使用时，温度附加误差为 1.5 Hz / 10℃。另外，由于机械结构存在滞后性，对应力梯度大的部位难以测出某一点的应变，所以振弦式传感器只适用于静态和不大于 10 Hz 的准动态测试。

由于振弦式应变传感器直接输出弦振动的自振频率信号，因此，具有抗干扰能力强、受电参数影响小、零点漂移小、耐振动、性能稳定可靠等特点。但若材料处理不当，由于钢弦蠕变、残余应力的原因，会严重影响传感器的稳定性；以及零件的金属材料膨胀系数的不同，使得温度范围内存在误差，导致动应变的测量精度不足；使用寿命较短，其耐久性无法满足桥梁长期健康监测系统的实际需要。

3）光纤式应变计

光纤光栅传感器利用光纤光栅的波长选择性，将宽谱光源发射的光进行选择性反射回解调装置，根据光的波长变化情况推导出光栅的栅距变化情况，从而推出外界应力应变。

光纤光栅应变传感器同传统应变传感器相比，具有以下优势：①体积小、重量轻、可靠性好，便于对结构进行长期连续实时监测；②环境适应性好、抗干扰能力强，可长期用于高温、高湿及存在化学侵蚀等恶劣环境；③测量精度高，零偏值不漂移；④分辨率高，可直接实现远程；⑤不受光强波动及传输光纤弯曲损耗等影响，长期工作性能稳定。目前，光纤光栅传感器的应用也面临了一些问题，如传感器温度—应变交叉敏感、复用性不够、产品成本过高等等。通过综合比较传感器各自技术性能，依照桥梁结构健康监测系统设计的目的和技术要求，系统宜选用光纤光栅传感器进行应变监测，其性能参数能够较好的满足系统的实际需求，实现对结构的应变响应测量。

（3）索力监测

吊索是悬吊结构的关键承力构件，其受力状况和承载能力将直接影响结构整体安全性能。索力是衡量吊索安全状态的重要参数，对吊索索力进行精确的监测，不仅能为结构系统的维护、保养提供可靠依据，而且还能及时处理可能出现的故障，避免事故的发生。

索力监测技术主要有五种：压力表法、压力传感器法、频谱法、磁通量法以及光纤传感法。压力表法和压力传感器法一般仅适用于施工过程中索力测量，很难对在役结构的吊索进行索力测量。频谱法是

中国智能交通产业联盟

目前应用最为广泛的一种监测方法，磁通量法和光纤光栅传感法是未来索力监测的重要发展方向。以上几种索力测量方法的优缺点，见下表 13。

表 13　索力测试方法比较

性能指标	测试手段				
	压力表法	压力传感器法	频谱法	磁通量法	光纤光栅传感法（智能索）
稳定性	好	好	好	差	好
精度	1%	0.2%	3%	6%	1%
电磁干扰	小	否	小	影响大	否
耐久性	-	好	一般	一般	好
可操作性	好	好	好	差	差
易更换性	—	易	易	不易	不易
温度补偿	无	有	无	无	有
实时性	好	好	差	差	好
对拉索影响	无	无	无	无	制作影响
存活率	—	高	高	低	低
适用范围	施工过程	公路、铁路长期监测	长索定期测量	施工控制/长期监测，不适宜铁路桥	施工控制/公路、铁路长期监测

1）压力表法

压力表法测量索力的原理是根据千斤顶张拉油缸中的液压推算千斤顶的张拉力，认为千斤顶的张拉力就等于拉索索力。只要通过精密压力表或液压传感器测定油缸的液压，即可得到索力。

压力表测量法简单易行，是施工过程中常用的索力测量方法。但该法所用仪器较笨重，移动不便，存在人为读数误差，因此该方法不适合于索力的长期在线监测。

2）压力传感器法

压力传感器测量索力的原理是在拉索锚具和索孔垫板之间安装上承压环和穿心式应变传感器。在索力测量过程中，承压环受到锚具和索孔垫板之间的压力作用而引发形变，通过附着在承压环上的应变传感器将承压环的变形量转换成可测量的电信号或光信号，再通过二次仪表即可得到索力。

既适用于施工阶段的索力测量，又适用于成桥后的索力在线监测。但该方法为接触式测量，压力传

中国智能交通产业联盟

感器长期处于受力状态，因疲劳作用，使用寿命有限，而且压力传感器的价格相当昂贵，自身重量较大，测量结果存在较大漂移，只能在特定场合下使用。

3）频谱法

频谱法的基本原理是在吊索上布设加速度传感器，然后通过人为或环境激励，测量吊索的振动响应。将加速度传感器采集到的信号进行频谱分析，由频谱图上的峰值判断拉索的各阶频率，最后再根据频率与索力之间的关系推算出索力。

频谱法测量索力具有简单易行、精度较高、可重复测量的优点，是成桥后索力健康监测的有效方法之一。但频谱法所确定的索力精度在很大程度上取决于吊索自身参数的可靠性（如索的弯曲刚度、计算长度、线密度等），各参数的偏差会影响索力计算的精度。另外，吊索的斜度、垂度及边界条件等因素也将影响索力的精确测量。

4）磁通量法

磁通量法测量原理是将利用放置在索中的小型电磁传感器，通过测量磁通量的变化，再根据索力、温度、磁通量变化的关系进而推算出索力。该方法所使用的关键仪器是磁通量传感器，它是由内外两层线圈组成，一圈为通电线圈，它产生的电磁场将磁化拉索，磁化的拉索磁场会对传感器的另一线圈产生感应电动势，其感应电动势与拉索的内应力较敏感，通过标定这种关系，就可以监测索的应力的变化。

该方法的优点是其除磁化吊索外，不影响吊索的任何力学和物理特性，但是，该方法的缺点是必须现场标定，并受温度场、电磁场的干扰很大、实际使用的精度较差。

5）光纤光栅传感法

光纤智能索技术是直接将光纤光栅传感器布设到吊索内部，监测吊索钢丝的内力，然后推算索力的方法。光纤光栅传感器具有尺寸小、精度高、抗电磁干扰、分布式监测、耐久性好等优点，但目前该技术存在光纤传感器易损坏、存活率低的技术难题。

（4）振动监测

结构振动特性是表征结构整体状态的重要参量，是指结构固有振动频率、振型及阻尼比。与结构本身的材料特性及结构的刚度、质量及其分布规律直接相关，对结构的振动特性进行测量能从整体上把握结构的运行状态。常用加速度传感器主要包括：压电式加速度计、压阻式加速度计、电容式加速度计、伺服式加速度计等。

1）压电式加速度计

压电式加速度传感器是利用弹簧质量系统原理。敏感芯体质量受振动加速度作用后产生一个与加速度成正比的力，压电材料受此力作用后沿其表面形成与这一力成正比的电荷信号。压电式加速度传感器

中国智能交通产业联盟

具有动态范围大、频率范围宽、坚固耐用、受外界干扰小以及压电材料受力自产生电荷信号不需要任何外界电源等特点，是被最为广泛使用的振动测量传感器。虽然压电式加速度传感器的结构简单，商业化使用历史也很长，但因其性能指标与材料特性、设计和加工工艺密切相关，因此在市场上销售的同类传感器性能的实际参数以及其稳定性和一致性差别非常大。与压阻和电容式相比，其最大的缺点是压电式加速度传感器不能测量零频率的信号。

2）压阻式加速度计

应变压阻式加速度传感器的敏感芯体为半导体材料制成的电阻测量电桥，其结构动态模型仍然是弹簧质量系统。现代微加工制造技术的发展使压阻式敏感芯体的设计具有很大的灵活性，以适合各种不同的测量要求。在灵敏度和量程方面，从低灵敏度高量程的冲击测量，到直流高灵敏度的低频测量都有压阻形式的加速度传感器。同时压阻式加速度传感器测量频率范围也可从直流信号到具有刚度高，测量频率范围到几万赫兹的高频测量。超小型化的设计也是压阻式传感器的一个亮点。需要指出的是尽管压阻敏感芯体的设计和应用具有很大灵活性，但对某个特定设计的压阻式芯体而言，其使用范围一般要小于压电型传感器。压阻式加速度传感器的另一缺点是受温度的影响较大，实用的传感器一般都需要进行温度补偿。在价格方面，大批量使用的压阻式传感器成本价具有很大的市场竞争力，但对特殊使用的敏感芯体制造成本将远高于压电型加速度传感器。

3）电容式加速度计

电容型加速度传感器的结构形式一般也采用弹簧质量系统。当质量受加速度作用运动而改变质量块与固定电极之间的间隙进而使电容值变化。电容式加速度计与其它类型的加速度传感器相比具有灵敏度高、零频响应、环境适应性好等特点，尤其是受温度的影响比较小。但不足之处表现在信号的输入与输出为非线性，量程有限，受电缆的电容影响，以及电容传感器本身是高阻抗信号源，因此电容传感器的输出信号往往需通过后继电路给于改善。在实际应用中电容式加速度传感器较多地用于低频测量，其通用性不如压电式加速度传感器，且成本也比压电式加速度传感器高得多。

4）伺服式加速度计

伺服式加速度传感器是振动传感器的一种，即通过可变电容极板间距变化来改变电容值，进一步通过电子电路将电容变化值提取出来，用以测量加速度等机械量。传感器输出电压的大小与电容极板运动位移成正比，而电容极板的位移量与传感器外壳体运动的加速度成正比，因此，根据电容极板的输出电压就能推导出传感器壳体的运动加速度。

（5）裂缝监测

混凝土结构病害发展、性能退化及结构失效多源于裂缝的发生和发展。因此裂缝状态监测是混凝土

中国智能交通产业联盟

结构监测中最重要的内容之一。目前常见的结构裂缝监测方法有：导电涂膜裂缝监测法、分布式裂缝光纤监测法、机敏网裂缝监测法。

1）导电涂膜裂缝监测法

导电涂膜[1]是柔性导电涂料固化干燥后形成的弹性导电膜,其导电依靠的是膜内导电颗粒相互接触所形成的通路,当导电涂膜受到拉伸时,导电颗粒间接触面减小,某些导电颗粒间距将大于一定的“阈值”,从而形成断路——电阻突然变为无穷大。从整体上看,导电涂膜电阻将随涂膜变形而变化,而且其电阻变化率基本与应变保持线性关系。其监测过程是将导涂膜涂刷固化在混凝土结构表面，当混凝土构件受挤压或拉伸时，导电涂膜将随其一起发生变形，电阻也随之发生变化。然后通过监测设备即可测量出电阻变化情况，从而实现对结构裂缝的监测。

2）分布式裂缝光纤监测法

分布式裂缝光纤监测法的基本原理是通过某种方式与结构表面牢固耦合的光纤，在结构劣化产生表面裂缝时，在裂缝与其斜向相交的位置产生半径与光纤直径同量级的弯曲变形。该变形将导致光纤中经过该处的传输光产生功耗。利用光时域反射技术监测光纤传感网络中光功率损耗情况，并对损耗事件点进行定位，从而可以分析得到裂缝的相关信息，实现传感功能。

3）机敏网裂缝监测法

机敏网裂缝监测法的基本方法是使用延展性远强于光纤材料的漆包铜线作为传感和通信材料，在结构表面上形成网络状坐标；使用在同一端集成的信号发送/接收器电路作为漆包线通断判断。一旦结构上出现裂缝，通过监测相应区域漆包线的断裂，裂缝仿生机敏网就可捕捉到结构裂缝的发生、发展等信息，从而实现对结构裂缝的实时监测。

（6）腐蚀监测

钢筋混凝土结构中的钢筋一旦出现腐蚀，维修费用将急剧增加。为能及早发现可能出现的腐蚀从而及早采取相应措施，对于结构易腐蚀构件或部位的腐蚀状况应进行必要的监测。

由于各种腐蚀的机理不同，难于判断腐蚀部位、腐蚀速度，腐蚀测量仪器的可靠性难以保证，腐蚀的监测可以说比其它大部分结构监测内容都要难。

腐蚀测量的方法主要有物理方法和电化学方法，其中物理方法包括试验挂片法、目视观察法、红外热谱法、声发射法、X 光线照相法、电阻测量法、涡流法、磁方法、超声法等；化学方法包括：腐蚀电位测量法、腐蚀电流测量法和线性极化阻抗法等。常用的腐蚀监测传感器包括：腐蚀计、阳极梯腐蚀测量单元。

8.2 传感器选型

中国智能交通产业联盟

8.2.1 传感器型号的选择

传感器型号的选择主要根据结构损伤识别和性能评估的要求确定相关的技术性能指标，充分考虑系统的荷载源、系统特性、结构响应的参数及幅值。

8.2.2 传感器选型的主要依据

传感器选型的主要依据：

（1）监测目的和要求。包括：要监测的信息的类型、预计的结构响应与行为、要记录的响应的数量(数据长度)等；

（2）结构的静动力计算分析结果（恒载作用下的结构控制部位、可能产生应力集中的位置、动力响应敏感点）；

（3）在有限元分析结果的基础上，应用有关优化理论进行优化分析的结果；

（4）设计人员的设计思想、评估需求、结合结构特点作分析研究；

（5）结构工程专家的经验与建议；

（6）国内外结构工程经验和教训。

8.2.3 传感器选择的原则

传感器选择应满足以下原则：

（1）先进性原则：根据监测要求，尽量选用技术成熟、性能先进的智能传感器；

（2）实用、可靠性原则：保证系统在结构服役环境下安全可靠运行，经济实用；

（3）耐久性原则：选用耐久性好和抗干扰强的智能传感器和传输线；

（4）可维护、可扩展原则：传感器易于维护和更换；

（5）精度适中：根据结构受力和变形特点，选用精度满足监测要求的传感器。

8.2.4 传感器的选型方法

结构监测常用传感器选型方法：

（1） 风速仪：能测量脉动风，进行风谱分析，按照设计风速确定精度和量程，可以适用于风吹雨淋环境，工作温度满足工程建设地点的冬季和夏季的最低和最高温度；

（2） 车速车轴仪：能测试车辆的重量和车速、精度满足有关规范要求、抗电磁干扰强、耐久性好；

（3） 温度传感器：能实现绝对测量、测量精度满足有关规范要求、量程满足工程建设地点历史统计资料的最低和最高温度、抗电磁干扰强、耐久性好；

（4） 应变传感器：能绝对测量、精度满足有关规范要求、最大量程与所用钢筋的极限应变相同或

中国智能交通产业联盟

略高、工作温度满足工程建设地点的最低和最高温度要求、抗电磁干扰强、耐久性好；

（5）加速度传感器：根据工程动态响应确定加速度传感器的精度、量程和轴向（单轴、双轴和三轴）；根据工程的自振特性确定加速度传感器的频响特性；根据工程建设地点的历史统计资料，确定加速度传感器的适宜工作温度和环境；

（6）位移传感器：根据结构静态响应确定测量精度和量程。其他指标与加速度传感器相同。

8.3 传感器的技术指标

8.3.1 风荷载传感器主要技术指标

风荷载传感器的主要技术指标应满足以下规定：

（1）测量范围：0~40m/s；

（2）精度：±1%rms±0.5m/s(0~30m/s)，±3%rms(30~40m/s)；

（3）分辨率：0.01m/s；

（4）风向范围：0~360°；

（5）工作环境：-40℃~60℃；

（6）使用寿命：现行国家/行业设备标准。

8.3.2 温度传感器的主要技术指标

温度传感器的主要技术指标应满足以下规定：

（1）输出信号：4~20mA 或 485 数字信号；工作电压：10~36V；

（2）精度：±2%（相对湿度测量：温度在 0℃~60℃，相对湿度在 0~100%范围内）；±0.1℃（空气温度测量：0℃~60℃）；

（3）测量范围：0~100%RH（相对湿度）；-40℃~60℃（空气温度）；

（4）预热时间：3 秒；

（5）工作温度：-40℃~60℃。

8.3.3 动态称重系统的主要技术指标

动态称重系统的主要技术指标应满足以下规定：

（1）动态称重传感器技术参数和安装要求应符合 GB/T21296 的规定；

（2）动态称重系统传感器布设尺寸应考虑车道宽度，量程应根据桥梁车辆限载重以及预估车辆荷载重综合确定，单轴监测量程不宜小于限载车辆轴重的 200%；

（3）应具备数据自动采集功能，现场数据存储能力不宜少于 14 天。

中国智能交通产业联盟

8.3.4 GPS 监测系统的主要技术指标

GPS 监测系统的主要技术指标应满足以下规定：

（1）通讯功能：支持 TCP/IP；

（2）精度：5mm+0.5ppm；

（3）定位速度：5Hz；

（4）数据存储：接收机的存储量不小于 80MB；

（5）工作环境：--40℃~60℃；

（6）使用寿命：现行国家/行业设备标准。

8.3.5 静力水准仪的主要技术指标

静力水准仪的主要技术指标应满足以下规定：

（1）测 量 范 围： ±600 mm；

（2）分 辨 率： ≤0.1mm/F；

（3）温度测量范围： -40℃~60℃；

（4）温度测量精度： ±0.1℃。

8.3.6 收敛计的主要技术指标

收敛计的主要技术指标应满足以下规定：

（1）量测范围：50mm、100mm；

（2）操作温度：-40℃~60℃；

（3）变位计本体长度：352mm、505mm；

（4）感应频率范围：1200 ～ 3500Hz；

（5）灵敏度： 0.025% F.S.；

（6）非线性：≤0.5% F.S.。

8.3.7 土压计的主要技术指标

土压计的主要技术指标应满足以下规定：

（1）量测范围：350Kpa，700Kpa，1Mpa；

（2）最大量测范围：1.5 倍 额定量程；

（3）系统精度：±0.1% F.S.；

（4）操作温度：-40℃ 至 +60℃；

中国智能交通产业联盟

（5）灵敏度：0.025% F.S.；

（6）感应频率范围：1200 ～ 3500Hz。

8.3.8 应变传感器的主要技术指标

应变传感器的主要技术指标应满足以下规定：

（1）混凝土结构应变：

1）振弦式应变计：

a) 量程：测量范围：±1500με；

b) 分辨率：1με；

c) 精度：±0.1%FS；

d) 非线性：<0.5%FS；

e) 振弦热系数：不大于 12ppm/℃；

f) 工作环境：温度-40℃~80℃，相对湿度：98%；

2）温度传感器：

a) 量程：测量范围：-30℃~100℃；

b) 精度：±0.5℃；

c) 分辨率：0.1℃。

（2）钢结构应变：

1) 量程：测量范围：±1500με；

2) 分辨率：1με；

3) 精度：±0.1%FS；

4) 非线性：<0.3%FS；

5) 疲劳寿命：在±1500με时 106 循环；

6) 工作环境：温度：-40℃—60℃，相对湿度：98%；

7) 温度自补偿功能：有、全桥；

8) 零飘：<0.1%FS；

9) 供桥电压：2~15V DC；

10）使用寿命：现行国家/行业设备标准。

8.3.9 索力传感器的主要技术指标

索力传感器的主要技术指标应满足以下规定：

中国智能交通产业联盟

（1）测量范围：±5g；

（2）灵敏度：998mV/g；

（3）频率响应：0-400Hz；

（4）非线性度：0.2%FS；

（5）动态范围：>85dB；

（6）使用温度：-40~±80℃；

（7）使用寿命：现行国家/行业设备标准。

8.3.10 加速度传感器的主要技术指标

加速度传感器的主要技术指标应符合以下规定：

（1）测量范围：±2g；

（2）频响范围：DC~100Hz；

（3）动态范围：>120Db；

（4）工作温度范围：-20℃~60℃；

（5）灵敏度：±2.0~±85.0V/g(可定制)；

（6）横向灵敏度比：<1%；

（7）温漂：<10-6g/℃；

（8）供电：±12V~±15V@10.0Ma；

（9）使用寿命：现行国家/行业设备标准。

8.3.11 裂缝传感器的主要技术指标

裂缝传感器的主要技术指标应满足以下规定：

（1）标准量程：12.5、25、50、100、150、200mm；

（2）非线性度：直线：≤0.5%FS；多项式：≤0.1%FS；

（3）灵敏度：0.025%FS；

（4）温度范围：-20~+80℃；

（5）耐水压：可按客户要求定制耐 0.5、2MPa 或其它水压；

（6）标距：依量程而定；

（7）直径：12mm（柱身）/25mm（线圈）挠度仪。

（8）使用寿命：≥10 年。

中国智能交通产业联盟

8.3.12 腐蚀传感器的主要技术指标

腐蚀传感器的主要技术指标应满足以下规定：腐蚀监测一般使用电阻式探针及电化学探针进行。

现场数据采集系统性能要求包括：

（1）腐蚀速率监测精度：0.01mm/a。

（2）具有配套无人值守数据采集系统，最小数据采集频率≥1/3600Hz。

（3）正常条件下系统实际使用寿命不得小于10 年。

9 系统部署

9.1 传感设备布设

9.1.1 传感设备布设原则

传感设备布设原则应符合下列规定：

（1）测点位置应对结构的静、动力参数或环境条件变化较为敏感；

（2）测点位置应能较充分反应结构的静、动力特性；

（3）测点的数量和布置范围应有冗余量，重要部位增加测点；

（4）应对重要的传感器采取防护措施；

（5）宜在结构反应最不利处或已损伤处布置；

（6）可合理利用结构的对称性原则，达到减少传感器的目的；

（7）传感器的布置宜便于安装和更换；

（8）各类传感器应安装牢固，防止其松动；

（9）传感器在安装前应进行调试，确保能正常工作；

（10）在满足上述原则的基础上，宜缩短信号间的传输距离。

9.2 安装与调试

9.2.1 监测设备安装

监测设备安装宜满足下列规定：

（1）表面处理

混凝土表面平整，无杂物及油污；混凝土内部密实，表面无蜂窝麻面、剥落漏筋，混凝土内部无空洞。

（2）钻孔施工

中国智能交通产业联盟

螺栓孔深度在螺栓直径 3~5 倍范围内；螺栓直径能够使螺栓顺利伸入螺栓孔内；螺栓孔内无粉尘等杂物；螺栓孔内灌满植筋胶。

（3）安装紧固螺栓

螺栓孔内灌满植筋胶；螺栓安装垂直于混凝土表面；螺栓安装牢固，抗拉强度检验合格，检验方法为：用手指夹住螺栓端部，用力拉动螺栓，螺栓无松动现象。

（4）设备编号

设备安装完毕之后，按图纸标记设备编号，并在设备编号登记表上记录设备物理地址。

9.2.2 应变传感器

（1）安装方法：先利用厂家提供的钻模，在桥梁的相应位置打四个螺栓固定孔。然后把应变传感器固定在结构的相应位置。

（2）调试方法：安装完毕后先连接调试用的掌上电脑，掌上电脑开机后，选择调试功能，输入传感器物理地址。调整固定好的应变传感器上的螺旋测微头，使应变传感器上的电源和数据指示灯同时点亮，同时查看掌上电脑的应变数据。调整测微头应变数据直到数据显示在零点附近为止。拆下掌上电脑，该传感器调试完毕后。如数据不正常，查看数据线是否连接正确，数据线连接正确数据仍不正常则拆下传感器返厂维修检查。

（3）检查标准：传感器安装牢固，各螺栓完全拧紧；传感器通电后采集的数据在传感器有效范围内。

9.2.3 挠度传感器

（1）安装方法：先利用厂家提供的钻模，在桥梁的相应位置打 4 个螺栓固定孔。然后用螺栓把传感器和传感器测头挡板固定在桥梁的相应位置。

每跨布设一根钢丝测量钢丝，将钢丝一端固定在立柱上，另一端采用滑轮配重方式固定。钢丝安装高度为距立柱顶部 30cm。

（2）调试方法：安装完毕后先连接调试用的掌上电脑，掌上电脑开机后，选择调试功能，输入传感器物理地址，查看掌上电脑的数据。这时用手搬动一下传感器的测头，看掌上电脑数据是否有变化。如数据正常则拆下掌上电脑，该传感器调试完毕后。如数据不正常，查看数据线是否连接正确，数据线连接正确数据仍不正常则拆下传感器返厂维修检查。

（3）检查标准：传感器安装牢固，各螺栓完全拧紧；传感器通电后采集的数据在传感器有效范围内。

中国智能交通产业联盟

9.2.4 裂缝传感器

（1）安装方法：先利用厂家提供的钻模，在桥梁相应位置打 6 个螺栓固定孔，然后用螺栓把传感器和裂缝测头挡板固定在桥梁相应位置。

（2）调试方法：安装完毕后先连接调试用的掌上电脑，掌上电脑开机后，选择调试功能，输入传感器物理地址，查看掌上电脑的数据。这时用手搬动一下传感器的测头，看掌上电脑数据是否有变化。如数据正常则拆下掌上电脑，该传感器调试完毕后。如数据不正常，查看数据线是否连接正确，数据线连接正确数据仍不正常则拆下传感器返厂维修检查。

（3）检查标准：传感器安装牢固，各螺栓完全拧紧；传感器通电后采集的数据在传感器有效范围内。

9.2.5 监测设备调试

监测设备调试宜满足下列规定：

（1）每个设备安装完毕连接到分段总线后，将设备连接至手持数据采集端。手持数据采集端利用自带电池对设备进行供电，并获取该设备的监测数据。如果手持数据采集端能够获得数据，并且数据在有效范围内，则该说明该设备运行正常，该设备调试完毕，填写分项调试表。

（2）当全部设备安装完毕后，利用太阳能电池对全部设备进行供电，并对全部设备发送采集指令，若所有设备均能返回正常数据。

10 数据采集与传输

10.1 一般规定

数据采集与传输系统由外场数据采集站和无线信号传输网络组成。外场数据采集站由多个数据采集模块组成，模块宜采用先进成熟的产品，确保系统的稳定性、耐久性和高精度。

为保证数据采集与传输的稳定性、可靠性和耐久性，数据采集与传输系统应符合以下要求：

（1）系统具有与其安装位置、功能和预期寿命相适应的质量和标准，通信协议及电气、机械、安装规范采用相应国家标准或兼容规范；

（2）系统能在无人职守条件下连续运行，采集得到的数据可供远程传输和共享，采样参数可远程操作来进行在线设置；

（3）数据采集子站能 24 小时连续采样，在报警状态下（强风、地震等）能够进行特殊采样和人工干预采样；

（4）数据采集软件具有数据采集和管理功能，并能对数据进行基本的统计运算，以便显示响应信

中国智能交通产业联盟

息；

（5）数据采集管理员可以在数据服务器上通过远程操作实现对模拟、数字和视频等所有信号的采样频率、触发阀值、时间间隔等参数进行调整；

（6）系统管理员具有运行数据库、修改传感器的校准数据等在内的操作权限，普通管理员不应被赋予上述操作权限，以保系统的安全；

（7）系统具有实时自诊断功能，能够识别传感器失效、信号异常、子系统功能失效或系统异常等；

（8）当系统的一个或多个部分暂时断电时，系统的各个部分无需人为干涉即可自动重新启动、同步校准和继续正确运行；

（9）无线信号传输网络的设计和构造应考虑扩展性，扩展无需中断系统操作和影响现有的用户；

（10）通讯故障和自动重构都能在数据服务器上显示并发出警报。

10.2 数据采集

10.2.1 数据采集系统的功能要求

数据采集系统应具备以下功能要求：

（1）具有自校准功能：包括自动调零、自动故障与状态检验、自动校准、自诊断及量程自动转换等。智能设备能自动监测出故障的部位甚至故障的原因。自测试可以在设备启动时运行，也可在设备工作中运行。

（2）具有数据预处理功能：智能设备采用单片机或微控制器，可以解决利用硬件逻辑难以解决的问题。

（3）具有较大的动态测试范围：长期监测的结构振动幅值差异大，需要保证一定的信噪比。

（4）具有良好的人机交互功能：操作人员只需通过键盘输入命令，就能实现某种监测功能。通过显示屏将设备的运行情况、工作状态以及对数据的处理结果及时展示给操作人员。

（5）具有远程控制功能：智能设备配有标准的通信接口，可以方便地与 PC 机和其他设备组成用户所需要的多种功能的自动监测系统。

10.2.2 数据采集的规定

数据采集应根据监测变量类型、监测要求以及系统数据采集、传输、处理和管理能力确定，符合下列规定：

（1）温湿度、静位移、静应变、吊索索力、腐蚀等监测变量宜定时采样；

（2）风荷载、交通荷载、加速度、动位移、动应变宜采用触发采样，触发阈值应根据结构计算分

中国智能交通产业联盟

析和现场测试结果确定；

（3）交通荷载数据采集应具备在现场自动采集记录、 存贮功能， 应与高清摄像机配套安装，同步采集。

10.2.3 数据采集的采样频率

数据采集应根据不同传感器工作状态设计不同的数据采集频率。采样信号中往往含有大量混叠信号，通常情况采集频率至少应该设计为输入信号带宽的两倍；此外，需要根据现场运行情况、环境因素影响以及采集信号数据的有效性等因素随时对各路传感信号采集频率进行调整。

结构监测主要传感设备的采样频率不宜低于下列规定：

（1）荷载与环境监测

1）车辆荷载：触发采集；

2）风速和风向：超声风速仪 10Hz，机械式风速仪 1Hz；

3）风压：20Hz；

4）温度：1/600 Hz；

5）湿度：1/600 Hz；

（2）结构响应监测

1）振动加速度：50Hz；

2）动位移：20Hz

3）静位移：1Hz；

4）动应变：10Hz；

5）静应变：1/600 Hz；

6）索力： 压力式传感器 1Hz， 频率法加速度传感器 50Hz， 磁通量索力传感器 1/600Hz；

7）腐蚀：1/3600 Hz。

10.2.4 系统与标准时间的校准

各数据采集模块应与系统进行统一对时，读取同一服务器上的时间，并与本机时间对照，防止时间不一致带来的数据不同步问题。系统与标准时间的校准，校准对象为服务器，通过与标准北京时间对照，如有误差，进行调整，精确到秒；系统内部各子系统的时间校准，参考服务器时钟，每天按每小时进行一次校核，精确至秒。

10.2.5 外场数据采集系统规定

中国智能交通产业联盟

外场数据采集系统应符合下列规定：

（1）外场数据采集站具有数据预处理能力和充足的缓冲存储器容量；

（2）当数据传输出现故障时，外场数据采集站不中断采集工作，并将数据存储到外场数据采集站；

（3）采用远程数据存储与现场采集子站备份组合方式进行数据存储，以保证在传输出现故障时，数据不会丢失；

（4）外场数据采集站包括传感器输入输出调理通道和网络控制器；

（5）外场数据采集站有线路保护设备、输入输出端口。

为防止长距离无线采集传输造成的信号失真，不大量增加数据采集单元的工作量，外场数据采集站宜采用集中控制、分布采集、远程存储、本地备份的采集模式。

外场数据采集站和数据采集模块直接由太阳能电池供电。

外场数据采集站和数据采集模块均为弱电信号，信号电缆内芯线加装相应的信号避雷器，避雷器和电缆内空线对均作保护接地。

10.3 数据传输

（1）数据传输系统利用预处理的数据，按规定的格式整理形成数据文件，通过无线传输模块将数据传输至结构性能监测中心，完成数据存储、分析、评估、预警。

（2）底层采用 IEEE802.15.4 的 PHY 和 MAC 层，在网络层和 802.15.4 之间加入 ZigBee 或 6LoWPAN 适配层，然后是网络层，传输层使用 UDP 协议。

（3）传感器节点通过 HTTP/CoAP/MQTT 协议传输物理采集量，应用层使用轻量级的 HTTP/CoAP/MQTT 协议。在使用了 HTTP/CoAP/MQTT 协议之后，就能够通过 HTTP/CoAP/MQTT 协议，与 HTTP/CoAP/MQTT 协议的网关之间来进行读取、删除、修改资源等操作。

（4）由于服务器端和 IPv6 传感器节点之间使用不同的协议，这就需要通过网关来进行协议转换以实现互联。

（5）采用 TCP/IP 模式进行通信，分别为物理层，媒体接入控制层，网络层，传输层和应用层。

（6）网络层使用 IPv6/IPv4 地址，在能提供 IPv6 地址情况下优先提供 IPv6 地址。

（7）传输层使用 TCP 或者 UDP 协议，应用层使用 HTTP/CoAP/MQTT 协议。

中国智能交通产业联盟

T/ITS 0059-2016

中国智能交通产业联盟

标准

交通基础设施结构监测数据采集技术规范

T/ITS 0059-2016

北京市海淀区西土城路 8 号（100088）

中国智能交通产业联盟印刷

网址：http://www.c-its.org

2016 年 11 月第一版　2016 年 11 月第一次印刷