

UDC

中国土木工程学会标准

P

T/CCES 17-2020

基础设施无线传感网络监测技术规程

**Technical specification for infrastructure monitoring
by wireless sensor network**

2020 - 12 - 10 发布

2021 - 03 - 01 实施

中国土木工程学会 发布

中国土木工程学会标准

基础设施无线传感网络监测技术规程

Technical specification for infrastructure monitoring
by wireless sensor network

T/CCES 17-2020

批准单位：中国土木工程学会

施行日期：2021年3月1日

中国建筑工业出版社

2020 北京

中国土木工程学会文件

学标〔2020〕12号

关于发布中国土木工程学会标准《基础设施无线传感网络监测技术规程》的通知

现批准《基础设施无线传感网络监测技术规程》为学会标准，编号为 T/CCES 17-2020，自 2021 年 3 月 1 日起实施。

中国土木工程学会
2020 年 12 月 10 日

前 言

本规程是根据中国土木工程学会《关于〈装配式混凝土结构施工及验收规程〉等 5 项土木工程学会标准立项编制的通知》（土标委〔2019〕7 号）的要求，由同济大学、无锡悟莘科技有限公司会同有关单位编制完成。

在本规程编制过程中，编制组广泛调查研究和总结了实践经验，参考了国内外有关标准，并在广泛征求意见基础上，对具体内容进行了反复讨论、协调和修改，最后经审查定稿。

本规程共分为 10 章，主要技术内容包括：总则，术语、符号与参考标准，基本规定，监测内容、方法与要求，无线传感网络监测系统，系统现场安装，地下基础设施无线传感网络监测，地上基础设施无线传感网络监测，系统运行及维护，监测数据管理与报告等。

本规程由中国土木工程学会学术与标准工作委员会负责管理，由同济大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送同济大学（地址：上海市杨浦区四平路 1239 号综合楼 803 室，邮政编码：200092；电子邮箱：wangf@tongji.edu.cn）。

本 规 程 主 编 单 位：同济大学

无锡悟莘科技有限公司

本 规 程 参 编 单 位：上海地铁维护保障有限公司

上海勘察设计研究院（集团）有限公司

上海市建筑科学研究院（集团）有限公司

中国建筑第六工程局有限公司

中建交通建设集团有限公司
北京市轨道交通建设管理有限公司
中铁西南科学研究院有限公司
交通运输部科学研究院

本规程主要起草人员：黄宏伟 王 飞 吴 俨 张东明
吴华勇 邵 华 焦 莹 袁 钊
黄晓琰 景兆骥 吴忠广 徐 凌
贾建伟 李元凯 廖 凯 周建昆

本规程主要审查人员：刘千伟 傅鹤林 周质炎 马雪梅
张光林 唐继民 柏桂清

签 发：李明安

目 次

1	总则	1
2	术语、符号与参考标准	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
2.3	参考标准	4
3	基本规定	6
4	监测内容、方法与要求	7
5	无线传感网络监测系统	9
5.1	一般规定	9
5.2	系统组成	9
5.3	传感选型	10
5.4	数据信息	10
5.5	无线网络构建	11
5.6	现场可视化	14
5.7	系统供电	14
5.8	服务器	15
5.9	系统软件平台	15
5.10	设备与系统要求	16
6	系统现场安装	17
6.1	一般规定	17
6.2	系统安装准备	17
6.3	无线支点安装	18
6.4	无线网关安装	18
7	地下基础设施无线传感网络监测	19
7.1	一般规定	19

7.2	隧道工程	20
7.3	综合管廊工程	23
7.4	基坑工程	23
8	地上基础设施无线传感网络监测	25
8.1	一般规定	25
8.2	桥梁工程	25
8.3	边坡工程	28
8.4	路基与场道工程	29
9	系统运行及维护	31
9.1	一般规定	31
9.2	系统运行分析	31
9.3	系统维护	31
10	监测数据管理与报告	32
10.1	一般规定	32
10.2	数据管理	32
10.3	监测报表与报告	32
	本规程用词说明	34
	条文说明	35

Contents

1	General Provisions	1
2	Terminology, Symbols and Reference Standard	2
2.1	Technical Terms	2
2.2	Symbols	4
2.3	Reference Standard	4
3	Basic Requirements	6
4	Monitoring Items, Method and Requirements	7
5	Wireless Sensor Network Monitoring System	9
5.1	General Requirements	9
5.2	System Composition	9
5.3	Sensor Selection	10
5.4	Data Information	10
5.5	Wireless Sensor Network Composition	11
5.6	Onsite Visualisation	14
5.7	Power Scheme	14
5.8	Server Configuration	15
5.9	System Software Platform	15
5.10	Equipment and System Requirement	16
6	System Onsite Installation	17
6.1	General Requirements	17
6.2	Installation Preparation	17
6.3	Node Installation	18
6.4	Gateway Installation	18
7	Underground Infrastructure WSN Monitoring	19
7.1	General Requirements	19

7.2	Tunnel Engineering	20
7.3	Utility Tunnel Engineering	23
7.4	Excavation Engineering	23
8	Aboveground Infrastructure WSN Monitoring	25
8.1	General Requirements	25
8.2	Bridge Engineering	25
8.3	Slope Engineering	28
8.4	Subgrade and Airport Runway Engineering	29
9	System Operation and Maintenance	31
9.1	General Requirements	31
9.2	Operation Analysis	31
9.3	Maintenance	31
10	Monitoring Data Management and Reports	32
10.1	General Requirements	32
10.2	Data Management	32
10.3	Monitoring Reports	32
	Explanation of Wording in This Specification	34
	Explanation of Provisions	35

1 总 则

1.0.1 为了规范基础设施无线传感网络监测工作，做到技术先进、经济合理、系统可靠，保证基础设施和周边环境的安全，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于隧道、地下综合管廊、基坑工程、桥梁、边坡和路基与场道工程等基础设施的施工期和运营期无线传感网络监测，其他基础设施可参照执行。

1.0.3 基础设施无线传感网络监测工作除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语、符号与参考标准

2.1 术 语

2.1.1 基础设施 infrastructure

为社会生产和居民生活提供公共服务的物质工程设施。

2.1.2 无线传感网络 wireless sensor network (WSN)

通过无线通信技术把传感器节点以自由式进行组织与结合形成的网络形式。

2.1.3 无线支点 WSN node (Node)

无线传感网络中采用无线通信协议进行数据感知、采集、传输、中继和可视化的感知单元的统称。

2.1.4 无线传感支点 WSN sensor node (S-Node)

具备内置感知模块的无线支点。

2.1.5 无线采集支点 WSN interface node (I-Node)

具备数据采集模块和对外传感模块供电的无线支点。

2.1.6 无线可视化支点 WSN visual node (V-Node)

具备现场可视化预警模块的无线支点，通过声、光等方式进行现场预警。

2.1.7 无线摄像支点 WSN camera node (C-Node)

具备将现场的图像信息远程传输给服务中心的无线支点。

2.1.8 无线智能网关 smart gateway (Gateway/GW)

将一个网络连接到另一个网络的转接单元。

2.1.9 网状网络 mesh networking (Mesh)

一种嵌入式微处理器通信协议。

2.1.10 中继 relay

两个交换中心之间的一条传输通路。

2.1.11 中继跳数 relay hop

每一次中继转发称为 1 个中继跳数 (1 hop)。

2.1.12 监测频率 sampling frequency

单位时间内测点的监测次数。

2.1.13 无线频段 radio frequency

无线电频率的划分。

2.1.14 丢包率 packet loss rate

传输中所丢失数据包数量占所发送数据包总量的比例。

2.1.15 时间同步 time synchronisation

通过对本地时钟的高精度运行与管理,使整个无线传感网络中所有支点与网关达到系统性的统一时间标度的过程。

2.1.16 时间戳 timestamp

一个能表示一份数据在某个特定时间之前已经存在的、完整的、可验证的数据,一般是一个字符序列,唯一性地标识出某一时刻的时间。

2.1.17 数据回传时间 back time

规定了无线传感网络系统中,从一个监测周期开始的时间点,到该无线传感网络中所有支点完成数据回传所需要的时间长度。

2.1.18 入网信号强度门限值 signal threshold

进入无线传感网络的设备信号强度限值。

2.1.19 中继时间 relay factory

无线传感网络中,一个支点协助其他支点中继信息的时间。

2.1.20 ISM 频段 industrial scientific medical band

ISM 频段是由国际通信联盟无线电通信局定义的面向工业、科学和医用 3 个主要机构使用的频段。

2.1.21 序列号 serial number (SN)

设备序列号是设备唯一的识别码。

2.1.22 掌子面 tunnel face

隧道工程施工开挖中不断向前推进的工作面。

2.2 符 号

- η ——电池容量折减系数；
 ΔD ——隧道水平收敛变化量；
 $\Delta\theta_1$ 、 $\Delta\theta_2$ ——左右标准块安装点处的倾角变化值；
 L ——从标准块转动点 A 到内表面与水平直径交汇点 B 的距离；
 α —— AB 的垂线与水平线的交角；
 ΔH ——倾角传感器阵列的相对沉降变化量；
 Δh_i ——第 i 个倾角传感器阵列单元的相对沉降量；
 l ——倾角传感器阵列单元长度；
 θ_i ——第 i 个倾角传感器阵列单元的倾角变化值；
RSSI——信号接收强度 (Receive Signal Strength Indication)。

2.3 参 考 标 准

- 1 《工程测量规范》GB 50026
- 2 《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497
- 3 《城市综合管廊工程技术规范》GB 50838
- 4 《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911
- 5 《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982
- 6 《外壳防护等级 (IP 代码)》GB/T 4208
- 7 《爆破安全规程》GB 6722
- 8 《电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 A：低温》GB/T 2423. 1
- 9 《电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 B：高温》GB/T 2423. 2
- 10 《电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Cab：恒定湿热试验》GB/T 2423. 3
- 11 《电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Db 交变湿热 (12h+12h 循环)》GB/T 2423. 4

12 《轨道交通 电磁兼容 第4部分：信号和通信设备的发射与抗扰度》GB/T 24338.5

13 《崩塌、滑坡、泥石流监测规范》DZ/T 0221

14 《崩塌、滑坡、泥石流监测规程》DZ/T 0223

15 《滑坡、崩塌监测测量规范》DZ/T 0227

16 《公路隧道施工技术规范》JTG/T 3660

17 《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》JT/T 1037

18 《铁路隧道监控量测技术规程》Q/CR 9218

3 基本规定

- 3.0.1 无线传感网络宜具备自组网功能。
- 3.0.2 无线传感网络整体应具有低功耗特点，无线支点平均功耗不宜大于 0.5mW。
- 3.0.3 无线传感网络无线传输平均数据丢包率不应高于 5‰。
- 3.0.4 单个无线智能网关宜满足容纳 120 个以上无线支点正常工作的能力。
- 3.0.5 无线传感网络中无线支点应具备不少于 4 跳的中继功能。
- 3.0.6 无线传感网络中无线支点应采用自供电方式，无线智能网关宜采用自供电方式。当现场具备 220V 供电条件时，无线智能网关宜使用外部电源供电。
- 3.0.7 无线传感网络中无线支点应满足现场使用空间要求，支点外形尺寸宜小于 12cm×12cm×12cm，天线长度宜小于 25cm。
- 3.0.8 监测内容、测点布置、监测频率及报警值等基本监测要求应根据相应的设计文件要求执行。监测内容应进行初始值（基准值）测量，位移测量应设置基准点。

4 监测内容、方法与要求

4.0.1 监测内容应根据设计要求、功能要求和相关技术要求确定，并应包括应力及应变监测、位移变形监测、差异沉降监测、倾角监测、裂缝监测、渗漏水监测、振动监测和其他环境因素监测。

4.0.2 监测参数可分为静态参数与动态参数，监测参数的选择应满足对基础设施状态进行监控、预警及评价的要求。

4.0.3 应变监测可选用电阻式应变计、振弦式应变计等应变监测元件进行监测。

4.0.4 应力监测可通过安装在结构内部或表面的应变计或应力计进行监测。

4.0.5 变形监测可分为水平位移监测、垂直位移监测、三维位移监测和其他位移监测，应进行基准值测量。变形监测的结果应结合环境及效应监测的结果进行修正。

4.0.6 倾斜监测可采用倾角传感器进行监测，倾角传感器的布设应根据结构的刚度及变形特点确定。

4.0.7 裂缝或接缝监测可采用振弦式位移计、应变式位移计、激光测距仪进行监测，传感器的量测方向应与裂缝走向垂直，并应符合下列规定：

- 1 当测量已发生开裂的结构时，宜监测裂缝的宽度变化；
- 2 当测量尚未发生开裂的结构时，宜监测结构的应变变化。

4.0.8 渗漏水监测可采用温度梯度法或电极法，渗漏水监测宜包含渗漏水位置、渗漏水面积等监测指标。

4.0.9 振动监测应包括振动响应监测和振动激励监测，监测参数可包括加速度、速度、位移及应变等。

4.0.10 温湿度监测可包括环境及构件温度监测和环境湿度

监测。

4.0.11 对风敏感的结构宜进行风及风致响应监测，风及风致响应监测参数应包括风压、风速、风向及风致振动响应，桥梁结构的风及风致响应监测参数宜包括风攻角。

4.0.12 无线传感网络应满足实时监测要求，静态监测量监测频率应在 1 次/min~1 次/d 内，宜根据监测需求进行动态调整。动态监测量应根据动力荷载和被测对象振动特性确定。监测过程中，当监测数据达到预警值或发生异常变形时，应提高监测频率。

5 无线传感网络监测系统

5.1 一般规定

5.1.1 无线传感网络（WSN）监测系统应包括传感层、传输层、处理层和应用层。

5.1.2 无线传输的频率应符合 ISM 频段，以及各地区与行业的电磁兼容要求。

5.1.3 设备应具备出厂检验报告和合格证书。

5.2 系统组成

5.2.1 系统传感层应针对实际监测需求，确定监测内容与要求，选择无线传感支点、无线采集支点、无线中继支点或无线可视化支点等无线支点。

5.2.2 系统传输层应通过嵌入在网关和支点内的无线通信协议，在网关和支点之间形成无线网络，并应保障低功耗、高精度的数据感知与传输。系统传输层还应符合下列规定：

1 应支持多网关在同一区域和时间同时工作；

2 多跳组网时间不宜大于 3s；

3 对于静态监测，当网络拥堵且无法短期改进时，支点存储空间宜满足存储 400 条以上数据的要求；网关存储空间宜满足在最高采样频率时存储 120 个支点、1 年以上数据的要求；

4 对于动态监测，当网络拥堵且无法短期改进时，支点存储空间宜满足存储 1 个月以上数据的要求；网关存储空间宜满足存储 20 个支点、3 个月以上数据的要求。

5.2.3 处理层宜包含数据获取、数据解析、数据备份、大型高速数据库、数据展示、数据转发与同步、远程指令控制等功能。

5.2.4 应用层应具有数据展示、诊断、下载与分析等功能，宜

根据报警级别，向现场无线监测系统发送监测频率、关键组网参数调整等指令。

5.3 传感选型

5.3.1 传感器应根据使用环境和使用寿命进行选择，测量和采集精度应满足被测对象监测要求，并应具备温度补偿功能。

5.3.2 无线支点自重宜小于 1.5kg，智能网关自重宜小于 2.0kg。

5.3.3 传感器应采用无铅工艺和标准回流焊工艺。

5.3.4 无线支点宜选用倾斜角、加速度、磁力、温度、激光测距等无线传感支点。

5.3.5 不包含采集和无线传输模块的传感器应结合无线采集支点组成无线传感支点。

5.3.6 无线采集应采用标准数据采集接口类型，其采集精度应高于所携带的传感器精度，并应符合下列规定：

1 模拟量数据接口宜包括电流式、电压式、电阻式、电容式和频率式等数据接口；

2 数字量数据接口宜包括 TTL、RS232、RS485 和以太网口等数据接口。

5.3.7 无线网关与服务器的连接应兼容现有通信接口类型，宜包含公共移动网络接口类型、本地无线网络接口和有线接口等。

5.4 数据信息

5.4.1 无线传感网数据应包含时间戳和设备序列号（SN）基本信息。时间戳宜精确到秒。动态监测模式下，时间戳应满足高速采样数据之间的序列与区分要求。设备序列号（SN）应唯一，并应包含设备所生产的年、月、批次，以及编号四类信息。

5.4.2 网关的网络信息应符合下列规定：

1 应包括无线传感网络监测频率、无线频段、数据回传时间、支点信号接收强度、入网门限、中继时间的定义和内存未发

条数等组网信息；

2 当网关在使用公共网络对远端服务器进行数据传输时，还应包括运营商信息、信号连接强度和基站位置信息等公网网络信息。

5.4.3 支点数据应包含供电电压、关键基准电压、支点内部温度等基本信息和监测传感信息。

5.4.4 支点的网络信息应包含中继层数、连续工作时间、父支点序列号（SN）、双向信号接收强度（RSSI）值和内存未发条数等支点网络构成信息。

5.4.5 网关数据应包含软件系统版本号、连续工作时间、供电电压和设备内部温度等基本信息。

5.4.6 远程指令应包含监测频率、无线频段、系统数据回传时间、支点入网门限和中继时间的远程控制功能。

5.5 无线网络构建

5.5.1 无线传感网络应符合下列规定：

1 监测系统在每一个监测周期应能自动组网适应环境变化；

2 数据采集应控制统一时间窗口下，且不宜大于 20s；

3 静态监测时间同步精度不应大于 20ms，动态监测时间同步精度不应大于 0.1ms；

4 应具备休眠机制，支点平均功耗不宜大于 0.5mW；

5 ISM 频段下出现其他通信系统同频段干扰现象时，无线传感网络系统应具有自动或远程跳频功能；

6 支点出网时宜具备快速回网和能量集约功能；

7 宜具备统计能力并优化网络组成；

8 支点在网络组成中应具备中继功能；

9 应具备形成星状网络、网状网络、树状网络的能力。

5.5.2 远程系统指令规范应具备指令兼容、统一格式、超时机制、重发机制和校验机制。

5.5.3 无线传输宜选用 2.4GHz 频段、433MHz 频段和 900MHz（868MHz 或 915MHz）频段，应符合下列规定：

- 1 发射功率不应大于 20dBm;
 - 2 三个频段应具备远程发射功率调节功能。
- 5.5.4 无线传输速率宜符合下列规定:**
- 1 空中速率范围宜为 1.2kbps~250kbps;
 - 2 单个发射数据包长度不宜大于 128 字节;
 - 3 单个接收数据包长度不宜大于 128 字节;
 - 4 接收灵敏度宜高于-100dBm。
- 5.5.5 当无线传感网络选择 2.4GHz 频段时, 并应符合下列规定:**
- 1 设备本身无线发射功率不应大于 20dBm;
 - 2 系统无线频段初始应设置为 26 频段;
 - 3 设备与同频段系统安装间距不应小于 0.5m;
 - 4 特殊同频噪声环境监测情况下, 设备与噪声泄漏源间距不应小于 0.5m。
- 5.5.6 当支点天线配置为 2dBi 全向天线, 且满足天线竖直放置条件时, 433MHz 支点间通信距离宜符合表 5.5.6 规定。**

表 5.5.6 433MHz 支点间通信距离

序号	环境	通视状态	接收与发射端	支点对支点间最小传输距离(m)
1	隧道/管廊(直径大于 3m)	通视或转弯不通视	均距离墙壁/地面大于 0.10m	750.00
2	边坡	通视		450.00
3	桥梁	通视		350.00
		转角		15.00
4	基坑	通视		500.00
5	空旷地	通视	均距地高度大于 1.80m	1100.00
6	饱和水土壤	穿透	接收端位于地表, 发射端埋入地下	1.00
7	深水	穿透	接收端距离水面 2.00m, 发射端沉入水下	2.50
8	砂土	穿透	接收端位于地表, 发射端埋入地下	4.00

5.5.7 当支点天线配置为 5dBi 全向天线，且满足天线竖直放置条件时，2.4GHz 支点间通信距离宜符合表 5.5.7 规定。

表 5.5.7 2.4GHz 支点间通信距离

序号	环境	通视状态	接收与发射端	支点对支点间最小传输距离(m)
1	隧道/管廊 (直径大于 3m)	通视或转弯不通视	均距离墙壁/地面 大于 0.10m	120.00
2	边坡	通视		100.00
3	桥梁	通视		50.00
		转角		0.50
4	基坑	通视		150.00
5	空旷地	通视	均距地高度 大于 1.80m	320.00
6	低钢筋配 比度混凝土	穿透	接收与发射端位于钢筋混凝土结构两侧相对位置,紧贴外表面	0.10

5.5.8 900MHz 支点间相关通信距离在同等设置下应介于 2.4GHz 和 433MHz 频段之间。

5.5.9 无线传输数据发送优先级应符合本周期实时数据优先于历史数据的规定。

5.5.10 支点内置电池使用寿命宜符合下列规定：

1 当采集周期为 15min 时，电池使用寿命不宜小于 24 个月；

2 当采集周期为 60min 时，电池使用寿命不宜小于 60 个月。

5.5.11 当网关类内置电池供电、采集周期为 60min 时，使用寿命不宜少于 6 个月。

5.5.12 无线设备功耗测试标准流程应符合下列规定：

1 应将电流表和设备串联形成回路，使用高精度直流电压

表在恒定电压下对该回路供电，并应记录整机实时电流消耗情况；

2 远程自动调整被测设备采集周期宜为 1min、5min、15min、30min、60min，并宜持续 5 个对应周期；

3 应统计恒定电压下每个采集周期的最大、最小、平均电流；

4 电池使用寿命应按下式计算：

$$T_b = (C_b \times \eta) / (I \times U) \quad (5.5.12)$$

式中： T_b ——电池使用寿命 (h)；

η ——电池容量折减系数 (%)，宜取值为 40~50；

C_b ——电池容量 (J)；

I ——平均电流 (A)；

U ——恒定电压 (V)。

5.6 现场可视化

5.6.1 无线传感网络现场可视化宜采用可视化支点和摄像支点。

5.6.2 现场可视化宜采用绿色、黄色和红色三种颜色分别代表安全、预警和报警三个等级，并应根据监测参数等级阈值设定。

5.7 系统供电

5.7.1 电池供电应采用标准工业级电池作为主要供电方式。

5.7.2 网关应内置标准工业级电池作为不间断电源，外部宜增加市电供电，并应符合下列规定：

1 当网关直接接交流电源时，应内置适配器承载 110V~230V 交流供电；

2 当网关通过外置交流转直流适配器获取市电时，宜采用 7V~32V 直流供电。

5.7.3 网关和支点可采用太阳能、风能、热差能、振动能、电磁能单元供电。系统供电模式及供电方式的选择宜结合监测周期、传感器耗电量、电源更换方式以及所处环境等因素综合

选定。

5.7.4 无线传感网络监测系统应具备掉电保护、自检及自诊断功能、数据异常及故障显示等功能。

5.7.5 电池使用过程中不应过放、新旧混用、对不可充电电池进行充电、阳光直射等。

5.7.6 当不使用支点和网关时，应拆除电池并关闭电源，使用完的电池应妥善回收。

5.7.7 监测过程中无电电池应在 30d 内进行更换。

5.8 服 务 器

5.8.1 服务器宜采取就近原则进行部署。

5.8.2 服务器配置时应符合下列规定：

- 1 应满足在 1s~30s（含）内完成实时数据接收；
- 2 服务器可靠性应在 99.999% 以上；
- 3 应拥有网络安全认证；
- 4 应拥有跨区数据冗余备份能力。

5.8.3 服务器应具备数据收集、数据解析、数据管理等服务功能。

5.8.4 服务器应具备对外数据接口。

5.9 系统软件平台

5.9.1 系统软件平台用户权限分类宜分为平台管理员、项目管理员、项目监测人员，对应权限应符合下列规定：

- 1 平台管理员应拥有对整个平台的控制权限，包括人员管理、权限控制、项目分配等；
- 2 项目管理员应拥有项目内的操作管理权限，包括项目监测人员指定、数据信息管理、数据对外接口控制等；
- 3 项目监测人员应拥有项目数据查看与下载权限。

5.9.2 系统软件平台宜包含管理、展示、预警与控制功能。

5.9.3 系统软件平台宜具备与其他管理平台接口。

5.9.4 系统软件平台应具有支点和网关出厂检验报告查验功能。

5.10 设备与系统要求

5.10.1 设备与系统应符合现行国家标准《轨道交通 电磁兼容 第4部分：信号和通信设备的发射与抗扰度》GB/T 24338.5 中对电磁兼容的有关规定，并应出具电磁兼容认证。

5.10.2 设备应符合现行国家标准《外壳防护等级（IP 代码）》GB/T 4208 规定中 IP66 或以上防护等级，并应出具防护等级认证。

5.10.3 设备与系统工作环境的确定宜符合现行国家标准《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 A：低温》GB/T 2423.1、《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 B：高温》GB/T 2423.2、《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Cab：恒定湿热试验》GB/T 2423.3、《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Db 交变湿热（12h+12h 循环）》GB/T 2423.4 的有关规定。

5.10.4 在特殊环境要求下，设备宜具备抗火、防爆、抗盐雾、抗一氧化碳、耐酸碱等能力。

6 系统现场安装

6.1 一般规定

6.1.1 无线传感网络系统现场安装可包括无线传感支点、无线采集支点、无线网关及配套供电系统等设备的安装。

6.1.2 无线传感网络系统的安装应根据监测的对象结构体、现场安装条件、环境条件、监测时间等选择合适的安装方式，可采用预埋槽方式、膨胀螺栓、化学螺栓、粘贴、强磁、捆绑、抱箍等安装方式。

6.1.3 现场安装的无线设备应符合下列规定：

1 不应影响结构体和现场已有设备的性能、安全可靠性和正常使用；

2 应有唯一设备序列号（SN）标识；

3 应安装稳固、可靠，且便于日常调试和维护；

4 应满足结构空间尺寸的界限管理要求。

6.1.4 系统现场安装的配件材质应满足现场环境和条件要求，宜具有耐老化、耐酸碱、耐低温、耐热、抗潮湿、可焊、阻燃、抗振动等性能。

6.1.5 无线设备天线安装应保证无线信号传输质量，并应远离信号阻挡物。

6.1.6 无线传感网络系统设备应有可靠的保护装置，并应设置明显的警示标识。

6.1.7 系统安装过程中应有保护措施。

6.2 系统安装准备

6.2.1 无线传感网络系统在现场安装前宜根据现场条件优化监测点布置。

6.2.2 无线传感网络系统在现场安装前应对设备和系统可用性和可靠性进行测试。

6.2.3 天线应与无线设备配套，宜使用原装天线。

6.2.4 电源应与设备配套，并应满足防护等级要求。

6.2.5 设备安装前，设备防护等级应满足环境要求。

6.3 无线支点安装

6.3.1 无线传感支点应安装在能反映结构和环境状态的位置。

6.3.2 无线传感支点安装时应保证传感器测量方向与监测对象变化方向一致。

6.3.3 无线支点安装宜使邻近支点之间通视或基本通视，相邻距离宜符合本规程第 5.5.6、5.5.7 和 5.5.8 条的有关规定。

6.3.4 无线双轴倾角支点安装与水平面夹角不宜超过全量程的 20%。

6.3.5 无线渗漏水传感器安装应与被测面密贴，并应覆盖渗漏水区域。

6.3.6 采用外接传感器的无线采集支点安装姿态宜按需调整。

6.3.7 无线可视化支点应安装在易于观察处，距离所匹配支点不宜大于 3m。

6.4 无线网关安装

6.4.1 无线网关在有条件下宜采用 220V 交流供电。

6.4.2 无线网关宜先于支点安装，支点安装过程中应确认网络拓扑关系。

6.4.3 无线网关应安装在监测范围内多数支点的中心区域。

6.4.4 无线网关宜安装在接近接入远程服务器接口的位置。

6.4.5 无线网关可采用天线延长线、有线延长线接入服务器。

7 地下基础设施无线传感网络监测

7.1 一般规定

7.1.1 地下基础设施监测对象可包含公路、道路、铁路、地铁等各类隧道工程、综合管廊工程以及基坑工程。

7.1.2 地下基础设施无线传感网络监测无线支点最大间距应根据现场环境确定，并应符合本规程第 5.5.6、5.5.7 和 5.5.8 条的有关规定，宜对无线支点的传输距离进行现场测试，并宜根据现场测试结果对无线传感网络布设进行优化。

7.1.3 建设期地下基础设施结构、周围岩土体和周边环境监测的监测频率可采用 1 次/h，对于关键位置和关键建设期的监测频率可采用 1 次/5min ~ 1 次/15min，特殊需求下，可提高监测频率。最佳监测频率应根据监测需求、安全等级、监测周期、传感器寿命、供电方式等因素确定。

7.1.4 运营期地下基础设施监测的监测频率可根据周边环境扰动的变化量和变化速率综合确定，运营后第一年内监测频率不宜少于 1 次/h，第二年监测频率不宜少于 1 次/4h，以后每年不宜少于 1 次/d。

7.1.5 突发事件时的应急抢险监测应有针对性地加密监测点、提高监测频率或增加监测项目。

7.1.6 动力学参数监测频率应根据动力荷载和被测对象振动特性确定，并应符合国家现行标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911、《城市综合管廊工程技术规范》GB 50838、《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497、《公路隧道施工技术规范》JTG/T 3660、《铁路隧道监控量测技术规程》Q/CR 9218 的有关规定。

7.2 隧道工程

7.2.1 隧道工程的无线传感网络监测内容、断面选取和测点布设应符合国家现行标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911、《公路隧道施工技术规范》JTG/T 3660、《铁路隧道监控量测技术规程》Q/CR 9218 的有关规定。

7.2.2 隧道内无线监测断面和测点宜在地质条件复杂、结构形式变化、结构变形缝等部位重点布设，同时宜考虑邻近重要建（构）筑物、地下管线、加卸载等因素加密布设。

7.2.3 隧道无线监测内容与无线传感器选型宜按表 7.2.3 选用。

表 7.2.3 隧道无线监测内容及传感器选型表

监测内容	监测项目	传感器类型	是否加装无线采集支点	布设位置	监测类别
结构变形	断面收敛	无线激光测距仪/ 无线倾角传感器	否	表面	应测
	纵向不均匀沉降	静力水准仪/倾角阵列/电水平梁	否	表面	应测
	拱顶沉降	静力水准仪/倾角阵列/ 电水平梁	否	表面	选测
	仰拱隆起	静力水准仪/倾角阵列/ 电水平梁	否	表面	选测
	衬砌倾斜	无线倾角传感器	否	表面	选测
	衬砌裂缝	无线裂缝计	是	表面	选测
	接缝张开	无线激光测距仪	否	表面	选测
结构内力	衬砌钢筋受力	钢筋应力计	是	内部	选测
	混凝土受力	表面应变计或预埋 钢筋应力/应变计	是	表面/ 内部	选测
	连接螺栓受力	应变传感器	是	表面	选测

续表 7.2.3

监测内容	监测项目	传感器类型	是否加装无线采集支点	布设位置	监测类别
周围水土压力	周围土压力	土压力盒	是	内部	选测
	周围水压力	渗压计/孔压计	是	内部	选测
运行环境监测	温度和湿度	无线温湿度传感器	否	表面	选测
	渗漏水	无线渗漏水传感器	是	表面	选测
	振动	无线加速度传感器	否	表面	选测
	烟雾/CO 浓度	无线烟雾/CO 浓度报警器	是	表面	选测
	瓦斯	瓦斯气体浓度传感器	是	表面	选测

7.2.4 隧道管片或衬砌倾斜变形，以及隧道收敛变形监测可采用无线倾角传感器。

7.2.5 盾构隧道中无线倾角传感器布设应根据断面重要性和地质环境复杂性选择监测管片，并应符合下列规定：

1 应在关键位置的敏感管片上布设；

2 布设位置应避开螺栓手孔、注浆孔，并应远离接缝位置；当采用倾角换算隧道收敛，应按照本规程第 7.2.6 条的规定执行。

7.2.6 无线监测倾角传感器换算量测盾构隧道水平收敛，收敛变化量可按下式计算，最优安装位置可采用力学计算或数值模拟确定（图 7.2.6）。

$$\Delta D = L(\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2) \cos\alpha \quad (7.2.6)$$

式中： ΔD ——隧道水平收敛变化量（m）；

$\Delta\theta_1$ 、 $\Delta\theta_2$ ——左右标准块安装点处的倾角变化值（rad）；

L ——从标准块转动点 A 到内表面与水平直径交汇点 B 的距离（m）；

α ——AB 的垂线与水平线的交角（rad）。

7.2.7 采用倾角传感器阵列量测纵向不均匀沉降，相对沉降变化量可按下式计算（图 7.2.7）：

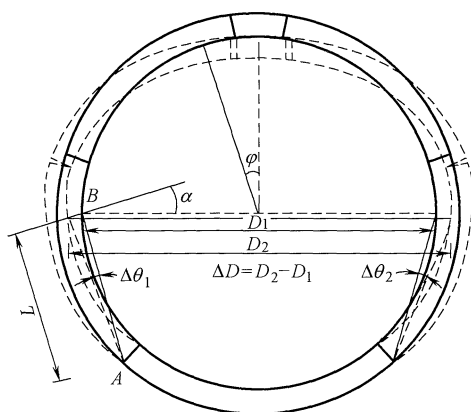


图 7.2.6 倾角换算水平直径收敛变形计算模型

ΔD —隧道水平收敛变化量 (m); $\Delta\theta_1$ 、 $\Delta\theta_2$ —左右标准块安装点处的倾角变化值 (rad); L —从标准块转动点 A 到内表面与水平直径交汇点 B 的距离 (m); α — AB 的垂线与水平线的交角 (rad)

$$\Delta H = \sum_{i=1}^n \Delta h_i = \sum_{i=1}^n l \sin \theta_i \quad (7.2.7)$$

式中: ΔH ——倾角传感器阵列的相对沉降变化量 (m);

Δh_i ——第 i 个倾角传感器阵列单元的相对沉降量 (m);

l ——倾角传感器阵列单元长度 (m);

θ_i ——第 i 个倾角传感器阵列单元的倾角变化值 (rad)。

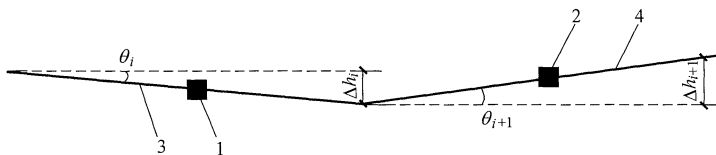


图 7.2.7 纵向不均匀沉降计算模型

1—倾角传感器 i ; 2—倾角传感器 $i+1$; 3—倾角传感器阵列单元 i ;

4—倾角传感器阵列单元 $i+1$; Δh_i 、 Δh_{i+1} —第 i 个、

第 $i+1$ 个倾角传感器阵列单元的相对沉降量 (m); l —倾角传感器阵列单元

长度 (m); θ_i 、 θ_{i+1} —第 i 个、第 $i+1$ 个倾角传感

器阵列单元的倾角变化值 (rad)

7.2.8 建设期隧道监测的传感器安装应根据落石、崩岩、灰尘等影响选择安全、环境适当的监测位置，并应做好保护措施。

7.2.9 建设期隧道掌子面及邻近区域监测断面可根据掌子面推进进行移动式布设，布设范围不宜小于3倍洞径。

7.2.10 当隧道穿越瓦斯区段施工时，应对瓦斯浓度实施无线监测。传感器布设应考虑瓦斯浓度的空间分布不均匀性，断面内测点不宜少于2处。

7.3 综合管廊工程

7.3.1 综合管廊监测断面布设应符合现行国家标准《城市综合管廊工程技术规范》GB 50838、《工程测量规范》GB 50026 和《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 的有关规定。

7.3.2 综合管廊内网关可接入通信光缆或无线网络。当城市地下综合管廊结构内部无可通信光缆和无线通信信号时，无线网关应设置在管廊通风口或投料口等处，并应接入移动运营商网络。

7.3.3 当无线传感信号无法穿透多舱地下综合管廊中隔墙时，各舱传感网络应单独设置无线网关进行单独组网。

7.3.4 综合管廊监测内容与无线传感器选型可按表 7.2.3 选用。

7.3.5 综合管廊内中继支点的布设应满足系统数据通信要求，并应根据防火分区隔断、监测断面和网关位置综合确定。

7.3.6 安装用于地下综合管廊监测的无线传感器时应考虑管廊内各类管线布设空间要求综合确定。

7.4 基坑工程

7.4.1 基坑工程的无线传感网络监测断面和测点布设应符合现行国家标准《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 的有关规定。

7.4.2 基坑工程监测内容与无线传感器选型宜按表 7.4.2 选用。

表 7.4.2 基坑工程无线监测内容及传感器选型表

监测内容	监测项目	传感器类型	是否加装无线采集支点	布设位置	监测类别
变形	围护墙/边坡顶部沉降	静力水准仪/电水平梁	否	表面	应测
	深层水平位移	倾角阵列/无线测斜仪	否	内部	选测
	立柱竖向位移	静力水准仪/电水平梁	否	表面	选测
	坑底隆起	静力水准仪/电水平梁	否	表面	选测
内力	支撑内力	表面应变计	是	表面/内部	应测
	立柱内力	表面应变计或预埋钢筋应力/应变计	是	表面/内部	选测
	锚杆/土钉内力	预埋钢筋应力/应变计	是	内部	应测
地下水	地下水位	水位计	是	内部	选测
	孔隙水压力	渗压计/孔压计	是	内部	选测
周围环境监测	周边地表竖向位移	静力水准仪/电水平梁	否	表面	选测
	周边建筑物倾斜	倾角阵列	否	表面	选测

7.4.3 基坑围护、基坑边坡顶部或周边建构筑物的竖向位移监测可选用静力水准类无线传感设备。

7.4.4 监测初期应采集 2d~3d 的稳定数据，并应待数据趋于稳定时作为监测基准数据。初始数据采样不应少于三次，并应符合其他相关监测要求。

7.4.5 围护结构或深层土体的水平位移监测可采用无线固定测斜仪或无线自动伺服电机式测斜等方法。

7.4.6 支护结构内力监测可采用振弦式应力计加装无线采集支点，采集支点宜安装于不易受施工影响且不干扰正常工程活动的位置处，必要时应加装保护装置。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/236051104050010215>