

山东省工程建设标准

DB

DB 37/T XXXX—2020

J XXXXX—2020

路基边坡变形远程监测预警技术规范

Technical specification for remote monitoring and
warning of subgrade slope deformation

(征求意见稿)

2020—XX—XX 发布

2020—XX—XX 实施

山东省住房和城乡建设厅
山东省市场监督管理局

联合发布

山东省工程建设标准

路基边坡变形远程监测预警技术规范

**Technical specification for remote monitoring and
warning of subgrade slope deformation**

（征求意见稿）

DB 37/T XXXX—2020

住房和城乡建设部备案号：J XXXXX—2020

2020 济 南

前 言

根据山东省住房和城乡建设厅、山东省市场监督管理局《关于印发〈2018 年第一批山东省工程建设标准制修订计划〉的通知》（鲁建标字〔2018〕9 号）的要求，规范编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内有关规范，在广泛征求意见的基础上，制定本规范。

本规范共 5 章，其中第 1、2、3 章分别规定了本规范的基本范围、规范性引用文件和名词术语的使用；第 4 章规定了路基边坡变形远程监测设计方面的内容；第 5 章规定了路基边坡远程监测系统配置、调试及验收。

本规程由山东省住房和城乡建设厅负责管理，由山东大学负责具体技术内容的解释。

若执行过程中对本规程有任何意见或建议，请寄送山东大学《路基边坡变形远程监测预警技术规范》编制管理组（地址：济南市经十路 17922 号，邮编：250061），以供今后修订时参考。

本规范主编单位： 山东大学

本规范参编单位： 齐鲁交通发展集团有限公司

 山东路科公路信息咨询有限公司

 山东高速集团有限公司

 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

 山东宇通路桥集团有限公司

 山东瑞恩生态环境科技有限公司

本规范主要起草人员： 崔新壮 金 青 张 炯 邹宗民 齐 辉

 王海东 杜运领 丁 凯 魏 俊 杨晓东

 刘元昊 王 焱 李 伟 鹿 宁 肖兴民

 李邦亮 邢兰景 王炳雷 江 贝 卢 途

 夏 霜 王艺霖 李 骏 张小宁 王洁茹

 孙华琛 孙玉杰 王 帅 苏俊伟 韩若楠

余蕊 代朝霞 胡念 孟博雯 谭怡然
张中泽 马国栋 明瑞平

本规范主要审查人员：

目 次

1	总则.....	1
2	术语.....	2
3	一般规定.....	3
4	监测设计.....	4
4.1	系统布置设计.....	4
4.2	边坡远程监测设计.....	6
4.3	路基变形远程监测设计.....	8
4.4	监测资料分析与应用.....	10
5	系统配置、调试及验收.....	11
5.1	一般规定.....	11
5.2	系统配置及技术指标.....	12
5.3	系统调试.....	12
5.4	系统安全.....	13
	本标准用词说明.....	14
	引用标准名录.....	15
	附条文说明.....	16

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms.....	2
3	General Requirements.....	3
4	Monitoring design.....	4
	4.1 Layout design of the system.....	4
	4.2 Remote monitoring design of slope	6
	4.3 Monitoring design of subgrade deformation	8
	4.4 Analysis and application of monitoring data	10
5	System configuration, commissioning and acceptance.....	11
	5.1 General Requirements.....	11
	5.2 System configuration and technical indicators	12
	5.3 System debugging	12
	5.4 System security	13
	Explanation of Wording in This Code	14
	Lists of Quoted Standards.....	15
	Explanation of Provision	16

1 总则

1.0.1 为了促使路基边坡变形远程监测预警系统的设计、施工和质量验收更加规范化、标准化，便于科学管理，结合山东省实际情况，特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于路基边坡变形远程监测预警系统的设计、施工和质量验收等。

1.0.3 路基边坡变形远程监测预警除应符合本规范外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 路基 subgrade

直接支承路面结构或轨道结构的带状构造物。

2.0.2 路基边坡 subgrade slope

路基横断面两侧与地面连接的斜面。分为挖方边坡和填方边坡，填方边坡为保证路基稳定，在路基两侧做成的具有一定坡度的坡面，挖方边坡为保持土方开挖区边缘未扰动的土体稳定，防止塌方所设置的斜坡。

2.0.3 远程监测系统 remote monitoring system

采用远程监控手段，通过软件进行数据分析、处理并实现网络远程数据交互，为现场质量、安全及综合管理提供辅助监管的系统。由信息采集系统、信息传输系统、现场监控平台和监控管理平台（监控中心）构成。

2.0.4 信息采集 information acquisition

对数据源收集、识别和选取数据的过程，将工程有关的影像、工程情况和监测数据等信息进行收集、分类、整理、存储，并形成信息数据库。

2.0.5 信息传输 information transmission

从一端将命令或状态信息经信道传送到另一端，并被对方所接收，包括传送和接收。

2.0.6 监控管理平台 monitoring management platform

综合运用计算机技术、网络技术、传感及控制等技术来实现对工程现场的监视与控制，将从现场采集的各种数据进行集中管理和处理，并将处理信息发布到网络或其他设备上。

2.0.7 监测点 monitoring point

直接或间接设置在路基及其周围建（构）筑物等监测对象上，并能反映监测对象力学或变形特征的点。

2.0.8 预警值 early warning value

为保证路基稳定性，对监测项目预先设定的监控值，当采集到的数值超越该设定值时，系统会发出报警。

3 一般规定

3.0.1 监测对象宜包括路基、边坡、受路基影响的建（构）筑物等，且宜对路基边坡变形情况进行实时监测。

3.0.2 采用自动化远程实时监测时，应遵循实用、先进、经济和环保的设计原则。

3.0.3 在采用新技术、新材料、新工艺和新设备时应经传统方法验证并应满足工程要求。

3.0.4 应制定监控管理制度，对路基稳定性预警的响应应及时、有效。

3.0.5 应建立监测资料数据库或信息管理系统，监测信息传递应顺畅、及时。

3.0.6 对各种监测项目，都应采取措施减小系统误差，控制偶然误差，并对监测误差进行检验分析，保证监测精度满足要求。

4 监测设计

4.0.1 监测设计时应收集下列资料：

(1) 应收集工程地质、水文地质、路堤设计、地基处理设计、路基施工、施工期监测资料、周边环境、雨水统计数据等资料。

(2) 临水路基或水中路基还应收集水位变化情况、地下水和地表水的水力联系情况、路基设计水位及水位变化控制值等。

(3) 地下管线、涵洞及受路基影响的建（构）筑物应收集建（构）筑物的结构、地基基础等方面的设计和施工材料、容许沉降、容许差异沉降、容许转角、容许倾斜等，还有已发生的沉降、差异沉降、转角、倾斜、裂缝等信息。

4.0.2 同时属于不同路基类型的路段应同时符合不同路基类型对监测设计的要求。

4.0.3 监测系统设置和监测系统工作时应减少对工程自身和环境的不利影响。

4.1 系统布置设计

4.1.1 远程监测系统宜包括自动化监测系统、传输系统、监测中心（数据分析、处理、显示、存储）系统组成。

4.1.2 自动化监测系统所采用的设备仪器应根据监测工程实际需求进行选型、布设和安装，并满足精度、灵敏度、稳定性的要求。

4.1.3 监测仪器、传感器等现场监测设备，应根据监测项目和内容选择，监测传感器应适应监测区域的环境条件，并应满足路基边坡工程监测精度、量程等要求。

4.1.4 传感器与数据采集系统位置应予以规划，电缆布线应整齐，且对施工的干扰最少。

4.1.5 监测平台应根据监测要求完成对传感器数据采集、传输、分控、数据换算、可视化及上线报警。

4.1.6 自动化监测站可划分为自动化监测采集站和自动化监测管理站。自动化监测站设置应符合下列规定：

- a) 自动化监测站不应设置在具有较强电磁干扰设备附近；
- b) 自动化监测站应有防火、防盗和防电磁干扰等防护设施；
- c) 自动化监测管理站应配置监测管理软件和网络通信软件，应能对整个自动化监测系统的采集进行设置和管理，自动化监测站应设置在路基边坡稳定区域。
- d) 自动化监测站站房内房防火设计应符合现行国家标准《建筑防火设计规范》GB50016的有关规定。

4.1.7 自动化监测站安装时，应对监测仪器设备进行检验、实验、参数标定，并做好详细记录。在改造工程的监测传感器安装时，不宜破坏原有监测设施。自动化监测仪器设备调试时，自动采集数据应与人工监测数据同步比测。

4.1.8 自动化监测采集站基本功能，应符合下列规定：

- a) 具有自动巡测、选测、自检、自诊断功能；
- b) 具有断电保护功能；
- c) 具有现场网络数据和远程通信功能；
- d) 具有网络安全防护功能；
- e) 具有防雷及抗干扰功能；
- f) 具有工程所要的精度、量度；
- g) 具有存储数据功能，存储格式应具有多种格式，应具有人工巡检采集数据周期的存储容量。

4.1.9 自动化监测管理站基本功能，应符合下列规定：

- a) 具备处理和分析数据等功能；
- b) 具备人工测量接口，可进行补测、比测。

4.1.10 远程监测传输系统，应符合下列规定：

- a) 数据传输之间采用开放的通信协议和标准数据传输方式，数据传输宜采用有线传输方式，有线传输难以实现时，可采用无线传输方式；
- b) 根据工程实际选用定时、随机、实时、直接等通信方式；
- c) 远程数据传输应采用具有校验功能的通信协议，能够及时纠正传输错误的数据包；
- d) 传输系统设计除满足上述规定外，尚应符合国家现行标准的有关规定。

4.1.11 监测中心应配备计算机管理用的软硬件设施，满足路基边坡监测的维护和管理需求。

4.1.12 监测信息的管理应符合下列规定：

- a) 监控信息文件和报表应自动生成。报表应包括报警报表、事件报表、数据统计报表等；
- b) 各类操作记录、事件、报警、日志、历史数据和文件，应进行记录、保存和归档；
- c) 应对历史数据记录进行处理、分析、统计和存档；
- d) 应可在线或离线进行应用配置；
- e) 应显示系统主要设备的运行状态和数据传输网络的通断状态，提供全系统的网络状态图；
- f) 应实现网络管理、配置管理、网络监控、故障报告、性能管理、安全管理、事件记录、参数调整、创建、编辑和删除数据库等；
- g) 应生成设备运行监控和维修、维护工作的管理记录；

h) 应可在线或离线进行培训管理,实现系统运行管理、操作、日常维护、故障排除等业务的培训;

i) 应对监测现场设备的运行状态和管理信息进行数据实时更新;

4.1.13 远程监测数据存储应符合下列规定:

a) 原始监测数据应全部存入数据库;

b) 数据存储应采用开放型的标准关系数据库,并具有足够的数据库容量和网络共享功能,良好的可扩充性和快速的检索功能;

c) 存储的监测数据应便于维护、定期自动备份和数据库应用开发,备份的数据与主数据库存放在不同的服务器中;

d) 监测历史数据可转换为 txt、Excel 等多种文件格式保存,并应满足监测中心数据库对数据的备份、共享和数据传递等操作。存储的数据需要时可方便提取,并可在通用的计算机中读取。

4.1.14 远程监测系统的性能应符合下列规定:

a) 监测中心发送指令到现场终端的传送时间不应大于 2s。

b) 实时监测数据在现场监测平台或监测中心整幅调出的响应时间不应大于 2s。

c) 监测中心处理应急数据信息并发出报警信息到相关单位的响应时间不应大于 3s。

d) 动态设置监测中心与设备终端之间通信巡检方式和时间的巡检周期不宜大于 2h。

e) 监测数据信息及设备运行状态信息记录,应自动进行统计、处理和备份,并可进行人工控制。信息记录保存周期宜分为月、季、年。其中报警信息、设备运行故障信息的保存周期不应小于一年。

f) 远程监测系统应有统一的时钟管理,累计误差不应大于 5s。

4.2 边坡远程监测设计

4.2.1 监测方案应包括监测项目、监测目的、监测方法、测点的布置、监测项目报警值和信息反馈制度等内容,经设计、监理和业主等共同认可后实施。

4.2.2 边坡工程的监测项目宜根据安全等级、地质环境、边坡类型、支护结构类型和变形控制要求,来进行选择:

a) 应对边坡坡顶水平位移、垂直位移和地表变形进行监测,可采用高精度北斗卫星定位系统结合实时动态定位技术(RTK)进行远程监测。

b) 应对坡顶建(构)筑物变形进行监测,测点的位置应布置在边坡坡顶建筑物基础、墙面和整体倾斜处,可采用高精度北斗卫星定位系统结合实时动态定位技术(RTK)进行远程监测。

c) 支护结构上设置有锚杆或锚索时,应对锚索或锚杆的受力进行监测,宜采用锚杆、锚索轴力计进行监测。

d) 应对支护结构整体的受力变形进行监测，可在支护结构处设置测斜仪，支护结构背面埋设土压力传感器等，也可以采用地基合成孔径雷达干涉测量（地基 InSAR）对整个边坡的变形进行监测。

4.2.3 边坡工程监测设计应符合下列规定：

a) 边坡工程的变形监测，应根据边坡工程的实际情况、边坡特点、监测目的、任务要求以及测区条件等，确定变形监测的内容、传感器要求、精度等级、监测点的布设方案、仪器设备及检定要求、观测与数据处理的方法。

b) 坡顶位移观测，应在每一典型边坡段的支护结构顶部设置不少于 3 个监测点的观测网，观测水平、竖直位移量和位移速度。

c) 监测工作可根据设计要求、边坡稳定性、周边环境和施工进度等因素进行动态调整。

d) 测点布置时应设置在能反映边坡变形特征的位置或监测断面上，监测断面应包括关键断面、重要断面和一般断面。需要时还应埋设一定数量的应力、应变传感器。

e) 传感器与数据采集系统位置应予以规划，减少对施工的干扰。

f) 监测点被破坏时，应及时维修恢复，并与之前监测数据校核。

g) 边坡变形监测的精度应符合现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 的有关规定。

h) 水平位移与垂直位移的报警值如下表：

表 4.2.3 水平位移、垂直位移报警值

水平位移报警值	累计值 D (mm)	$D < 20$	$20 \leq D < 40$	$40 \leq D \leq 60$	$D > 60$
	变化速率 U_D (mm/d)	$U_D < 2$	$2 \leq U_D < 4$	$4 \leq U_D < 6$	$U_D > 6$
垂直位移报警值	累计值 S (mm)	$S < 20$	$20 \leq S < 40$	$40 \leq S \leq 60$	$S > 60$
	变化速率 U_s (mm/d)	$U_s < 2$	$2 \leq U_s < 4$	$4 \leq U_s < 6$	$U_s > 6$

注：当根据累计值和变化速率选择的精度要求不一致时，位移监测精度优先按变化速率报警值的要求确定。

4.2.4 边坡工程监测过程中，根据信息反馈及数据处理，若出现下列情况应及时采取相应的应急措施：

a) 有软弱外倾结构面的岩土边坡支护结构坡顶有水平位移迹象；土质边坡支护结构坡顶的最大水平位移已大于 20mm，以及其水平位移速度已连续 3d 大于 2mm/d；

b) 土质边坡坡顶邻近建筑物的累计沉降、不均匀沉降或整体倾斜已大于现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定允许值的 80%，或建筑物的整体倾斜度变化速度已连续 3d 每天大于 0.00008/d；

- c) 支护结构中有重要构件出现应力剧增、压屈，断裂、松弛或破坏的迹象；
- d) 边坡底部或周围岩土体已出现可能导致边坡剪切破坏的迹象或其他可能影响安全的征兆。

4.3 路基变形远程监测设计

4.3.1 路基变形监测对象和监测目的应根据各路段的地质条件、路堤设计、地基处理方法、周边环境、施工安排等确定，监测工作应围绕监测目的开展。

4.3.2 路基监控设计应包括监测断面、监测项目、监测精度、监测方法、监测点布置、预警标准等；应根据施工期路基的监控情况、施工情况、监测目的等来进行运营期的监测设计；

4.3.3 各路段的监测等级应根据监测工作对实现监测目标的重要性确定，同一路段属于不同监测等级时应采取较高监测等级，其中一级监测路基应进行监测，二级监测路基应进行监测。路基监测等级划分标准如下表所示：

表 4.3.3 路基监测等级划分标准

监控等级	路段类型	路基条件
一级	S1.1	施工期监控表明路基稳定性差的路段。
	S1.2	天然地基预测工后沉降大于 3 倍容许工后沉降的结构物过渡路段。
	S1.3	天然地基路基稳定安全系数小于 1.0，采用排水固结法处理（含散体材料桩复合地基）的路段或采用部分换填方法处理的路段，且实际预压荷载未包括交通荷载的路段。
	S1.4	设计等相关单位根据工程具体情况选定的路段。
二级	S2.1	天然地基预测工后沉降大于容许工后沉降结构物过渡段以外的路段。
	S2.2	天然地基预测工后沉降小于容许工后沉降结构物过渡路段。
	S2.3	天然地基路基稳定安全系数小于 1.0，采用胶结桩复合地基的路段。且实际预压荷载未包括交通荷载的路段。
	S2.4	设计等相关单位根据工程具体情况选定的路段。
三级	S3.1	其它软土地基路段

4.3.4 监测项目应根据监测目的和工程具体情况确定，监测项目选择应符合下表的规定。宜采用智能土工带对路基内部变形进行监测。对表征路基稳定性的裂缝，应监测其位置、宽度、深度、长度及其发展情况。

表 4.3.3 各路基监测等级应进行的监测项目

路基类型	地基水平位移	路基表面沉降	地基深层沉降	备注
------	--------	--------	--------	----

S1.1	应监测	应监测		
S1.2		应监测	存在软土下卧层时应监测	
S1.3	应监测	应监测		
S1.4		应监测		根据路段特点选择其它监测项目
S2.1		应监测	存在软土下卧层时应监测	
S2.2		应监测	存在软土下卧层时应监测	
S2.3	应监测	应监测		
S2.4		应监测		根据路段特点选择其它监测项目

4.3.5 各监测项目可选择的监测传感器:

a) 地基水平位移可采用激光位移传感器、高精度北斗卫星定位系统结合载波相位差分技术 (RTK) 进行远程监测。

b) 路基表面沉降可采用光纤光栅变形监测系统、InSAR 雷达监测。

c) 路基内部变形可采用智能土工带

d) 地基深层沉降可采用分层沉降计。

4.3.6 监测点的布置应符合下列规定:

a) 地基水平位移监测点距离路基坡脚不宜大于 1m;

b) 监测点布置应减少监测与运营的相互干扰。远程自动监测时, 表面沉降、深层沉降监测点宜设置在路肩之间的最大沉降处。15m 深度以下分层沉降监测点间距不宜大于 5m, 加固区底面处应设置监测点。

4.3.7 监测断面设置应符合下列规定:

a) 应根据监测目的、工程具体情况设置监测断面;

b) S1.1、S1.3 路段的监测断面间距不宜大于 50m;

c) S2.1 路段监测断面不宜大于 100m;

d) S1.2、S2.2 路段宜在结构物过渡段加密设置监测断面;

e) 有条件时应利用施工期监测断面或在施工期监测断面附近设置监测断面;

f) 营运期监测断面、测点布设应满足维护部门的要求及其相关规定。

4.3.8 监测精度要求应符合下列规定:

a) 路基表面沉降在预压期中误差不宜大于 $\pm 0.5\text{mm}$;

b) 路基内部变形的精度不宜低于 5mm;

c) 地基深层沉降的精度不宜低于 2mm;

d) 边桩水平位移的中误差宜小于预警值的 1/10, 且不宜大于 $\pm 3\text{mm}$;

e) 测斜仪的精度不宜低于 5mm。

4.3.9 路基稳定性评估采用预警值法时应根据地质情况、路基情况、地基处理方案、加载速率、工程经验等确定预警值，并应根据试验工程监测结果或前期监测资料对预警值进行修正。

4.4 监测资料分析与应用

4.4.1 监测数据取得后应及时校对、整理、分析，发现异常现象应查找原因，必要时要进行复测。

4.4.2 边坡路基经稳定性评估濒临滑塌时应立即通报相关单位。

4.4.3 应根据监测成果提出工程对策与建议等。

4.4.4 应结合勘察、设计和施工资料进行监测资料整理与分析。

4.4.5 对每种原始监测数据应通过检查指标变化幅度、检查指标变化规律、不同监测项目对比、与加载和环境变化关联等手段判断监测仪器的性能是否稳定、正常，检查监测数据的合理性、可靠性。

5 系统配置、调试及验收

5.0.1 远程监测仪器设备应力求准确、稳定、便于维修、易于改造和升级。

5.0.2 远程监测系统的监测应能反映路基边坡的状态演化。

5.0.3 远程监控系统应具有广泛的兼容性,便于模块化升级和横向扩展功能并保持整体架构的稳定性。

5.0.4 远程监测系统的规划和设计,应与建设期和营运维护期设施有效衔接。

5.0.5 远程监测系统应建立层次开放平台,并建立信息分析反馈系统,持续扩展系统监测内容及范围,优化系统运行效率。

5.0.6 远程监测系统应运用影像记录、数据监测等手段,对监测信息进行汇总、分析、处理,并且宜将信息汇总并发布到网页、微信等平台,预警信息宜能够通过短信、微信等通信方式实时发送至相关部门,

5.0.7 所采用的软件系统和硬件设施应满足稳定可靠、安全、易维护的要求。

5.0.8 应对反馈的监控信息进行处理分析并且具有预警功能。

5.0.9 远程监测系统应定期进行护,并制定完善的管理制度。

5.1 一般规定

5.1.1 远程监测系统竣工后应进行验收,验收不合格不得投入使用。

5.1.2 远程监测系统的验收应包括设备的验收和网络系统的联合运行验收,并应符合下列要求:

- a) 远程监测系统中各设备功能应检验、试验 1 次;
- b) 远程监测系统中各软件功能应检验、试验 1 次;
- c) 远程监测系统各项通信功能均应进行 3 次通信测试;
- d) 远程监测系统集成功能应检查、试验 2 次。

5.1.3 远程监测系统调试和验收时,施工单位应提供下列技术文件:

- a) 竣工验收申请报告;
- b) 系统设计文件、施工技术标准、工程合同、设计变更通知、竣工图、隐蔽工程验收文件、施工监测布置图等;
- c) 施工现场质量管理检查记录;
- d) 系统施工过程中质量检查记录;
- e) 系统的检查报告、合格证及相关材料;
- f) 系统设备清单。

5.1.4 系统验收应有验收记录，并应按照本规范附录 A 填写。

5.2 系统配置及技术指标

5.2.1 监测系统的硬件应包括传感器、数据采集模块、服务器、图形计算机、紧急电话、网络集线器和远程通信设备及配电设备等。

5.2.2 露天设置的传感器应具有卫星定位功能，埋置于土层中的传感器宜在传感器正上方布置卫星定位系统。定位系统可采用北斗系统或 GPS，且精度宜不小于 1m。

5.2.3 监测系统的软件应包括信息采集与监视、信息发送、设备控制、监控与调度、数据管理等。

5.2.4 中央计算机系统的辅助设施应包括综合控制台、辅助控制台、设备机柜、模拟显示屏、电源与接地等。

5.2.5 监测设施的技术性能应满足模块化的硬件与软件构成和操作简便的人员界面，并应预留可扩展接口。

5.2.6 远程监测系统技术指标应满足下表的要求：

表 5.2.6 远程监测系统技术指标

系统采样周期	≤3min	信息传输误码率	≤10 ⁻⁶
主控机显示刷新周期	≤30s	系统平均无障碍时间	≥30000h
控制命令延时	≤30s	故障修复时间	≤24h
网络速率	≥10Mbps	连续工作时间	24h 不间断

5.3 系统调试

5.3.1 远程监测系统在进入正常工作状态前应进行系统的调试。系统调试应符合下列规定：

a) 室内单项和联机多项调试与测试应利用试验工作室内调试手段和设备对测量传感器、仪器仪表以及连成后的系统进行模拟试验；

b) 现场安装完毕后的调试与测试应进行检查，系统各部分功能应正常。传感器、二次仪表和通信设备、网络元件、监测中心等应正常，采集数据应可靠，精度应达到指标要求，可视化的清晰度、稳定度应符合要求。

5.3.2 调试应按设备、子系统以及整体系统的步骤进行，调试满足设计要求后应按本规范附录 B 填写测试报告。

5.3.3 系统设备调试应符合下列规定：

- a) 设备安装工作完成后应由安装单位进行调试工作；
- b) 应按照设计图纸、方案和过程施工资料进行调试；

- c) 应对设备运行、信号传输、图像清晰度、数据可靠性等项目进行调试；
- d) 对调试过程中发现的问题及处理方法和结果应做详细的记录；

5.3.4 系统软件调试应符合下列规定：

- a) 软件安装工作完成后应由系统开发单位进行调试工作；
- b) 应对软件接口、数据采集、传输、存取、稳定性等方面进行调试；
- c) 对调试过程中发现的问题及处理方法和结果应作相应的记录；

5.3.5 系统施工与安装完毕后应进行试运行测试，对系统管理应由专人负责。

5.3.6 系统施工与安装结束后的试运行调试报告，应纳入竣工文件。

5.4 系统安全

5.4.1 远程监控系统的网络安全应符合下列规定：

- a) 各类信息采集系统接入远程监控系统时，应保证网络连接安全；
- b) 应对远程监控系统的访问权限进行分级管理，登录应进行身份认证和授权；
- c) 应建立网管系统，设置防火墙，对计算机病毒进行实施监控并发出报警信号。

5.4.2 远程监控系统的应用安全应符合下列规定：

- a) 数据库服务器应自动或人工备份监控数据信息；
- b) 监控中心应设置应急报警信息显示功能，并能显示、保存、备份接收的报警信息；
- c) 应建立系统运行记录。

本标准用词说明

1 为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应该这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应该这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件可以这样做的用词：

正面词采用“可”；

反面词采用“不可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑防火设计规范》 GB50016
- 2 《工程测量规范》 GB 50026
- 3 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 4 《城市防洪工程设计规范》 50805

山东省工程建设标准

路基边坡变形远程监测预警技术规范

**Technical specification for remote monitoring and
warning of subgrade slope deformation**

DB 37/ T XXXX—2020

住房和城乡建设部备案号：J XXXXX—2020

条文说明

目次

1 总则.....	16
2 术语.....	17
3 一般规定.....	18
4 监测设计.....	19
4.1 系统布置设计.....	19
4.2 边坡监测设计.....	19
4.3 路基变形监测设计.....	20
5 系统配置、调试及验收.....	25
5.1 一般规定.....	25
5.2 系统配置及技术指标.....	25
5.3 系统调试.....	25
5.4 系统安全.....	26
附录 A.....	27
附录 B.....	28

1 总则

1.0.1 本条说明了编制本规范的目的。随着路基边坡变形远程监测的开发及应用发展，目前却没有关于路基边坡变形远程监测的施工设计、系统配置调试以及运行的统一规范，所以需要实现路基边坡变形远程检测技术的标准化，使该技术手段达到所预期的效果。

1.0.3 本规范适用于路基边坡工程的运营期，主要是对路基边坡使用过程中变形程度进行监测，当达到破坏预警值时，起到提前预警的作用，减少破坏的发生。

2 术语

2.0.5 随着光纤光栅传感、高精度卫星导航定位静态处理技术和高动态卫星导航实时定位技术、干涉雷达 InSAR 等现代化监测传输信息技术的崛起和发展，为路基边坡远程监控系统信息的高效传输提供了条件，因此寻找高效的、经济的信息监测传输方式已经成为路基边坡远程监控系统的一个重大课题。因此本规程将信息传输单独列为标准术语进行解释。

3 一般规定

3.0.1 确定路基边坡变形监测的对象和目的对监测系统的设计非常重要,监测对象主要分为路基、边坡两大部分,不同路段、不同监测对象的监测目的不完全相同。

3.0.6 监测实践表明监测信息传递及时有利于提高保证数据真实可靠,利于及时预警。

3.0.7 监测系统设备因一些不可控因素及人为操作时所引起的测量精度等问题往往不可避免,因此需对监测误差进行检验分析,保证监测精度的要求,以确保监测结果的可靠度。

3.0.8

- a) 不同的监测目的对监测工作影响很大,对收集资料也有不同的要求。
- b) 收集相关资料有利于综合分析判断,预测工程的风险点,明确监测的重点路基边坡区段和重点时段。

4 监测设计

4.1 系统布置设计

4.1.1 远程监测系统根据现阶段的产品,可由远程自动化监测系统、传输系统、监测中心系统三大部分组成。远程自动化监测系统可包括监测传感器、自动化监测站、自动化监测站房、线缆、电源及防雷接地装置等;传输系统可包括有线或无线的收发装置、传输线缆等;监测中心系统可包括监测数据分析、处理、显示、存储的软件和硬件设施,如计算机、存储硬盘系统、显示器或大屏幕、专用软件、电源及防雷接地装置等。

4.1.6、4.1.7 远程自动化监测系统可包括一个或多个自动化监测站。自动化监测站可划分为户外式和户内式。户外式多为自动化监测采集站,包含监测数据采集仪器,电源及防雷接地系统等;户内式多为自动化监测管理站,包含站房及站房内的监测数据采集/处理仪器、计算机、电源及防雷接地系统等。一般现场应用户外式自动化监测采集站居多。

4.1.10 自动化监测系统的数据传输主要包括有线通信、无线通信、混合通信等传输方式。在条件允许的情况下,传输方式的选择应优先选用有线通信的方式,有线通信比较稳定,故障容易判断,比较好实施。对于有线通信方式条件不具备、不经济或难以实现的情况下,可考虑采用无线传输的方式。边坡监测项目一般都处于户外,现阶段采用无线传输的方式居多。无线传输系统的功率频率等要求应符合国家无线电管理委员会的有关规定。

4.2 边坡监测设计

4.2.1 本条规定了边坡工程监测工作的组织和实施方法。为确保边坡监测工作顺利、有效和可靠的进行,应编制边坡工程监测方案,本条给出了边坡工程监测方案编制的基本要求。

4.2.2 边坡工程监测项目的确定可根据其它地质环境、安全等级、边坡类型、支护结构类型和变形控制等条件,经综合分析后确定,当无相关地区经验时可按照 4.2.2 确定监测项目。

RTK (Real - time kinematic, 实时动态) 载波相位差分技术,是实时处理两个测量站载波相位观测量的差分方法,将基准站采集的载波相位发给用户接收机,进行求差解算坐标。这是一种新的常用的卫星定位测量方法,以前的静态、快速静态、动态测量都需要事后进行解算才能获得厘米级的精度,而 RTK 是能够在野外实时得到厘米级定位精度的测量方法。

北斗网络 RTK 的基本原理是利用多个连续运行北斗基准站(最少 3 个或 3 个以上基准站形成基准站网络)的观测数据,经计算处理实时生成格网化的差分改正数据,发送给网络区域内用户,该数据相当于距离用户较近(10 米左右)位置的一个虚拟参考站的观测数据,该种方法的 RTK 定位结果可靠、精度高,且精度一致性好。

InSAR (Interferometric synthetic aperture radar, InSAR) 结合了合成孔径雷达成像技术和干涉测量技术,利用传感器的系统参数和成像几何关系等精确测量地表某一点的三维空间位置及微小变化。InSAR 技术是近二十年发展起来的极具潜力的微波遥感新技术,它利用两副天线同时观测(单轨双天线模式)或两次近平行观测(重复轨道模式)获得同一地区的两景数据,通过获取同一目标对应的两个回波信号之间的相位差并结合轨道数据来获取高精度、高分辨率的地面高程信息。时间基线是 InSAR 应用于区域地表形变探测的一个重要限制,尤其在植被覆盖地区,时间间隔稍长就可能无法获得可靠的干涉测量结果,并且受雷达空间分辨率的影响,该技术只能监测大面积的地表形变,要监测单个目标的变形,对雷达差分干涉来说还是个极大的挑战。

4.2.4 边坡工程及支护结构变形值的大小与边坡高度、地质条件、水文条件、支护类型、坡顶荷载等多种因素有关,变形计算复杂且不成熟,国家现行有关标准均未提出较成熟的计算理论。因此,目前较准确的提出边坡工程变形预警值也是困难的,工程实践中只能根据地区经验,采取工程类比的方法确定。本条给出的边坡工程监测期间应报警和采取相应的应急措施的几种情况,报警值的确定考虑了边坡类型、安全等级及被保护对象对变形的敏感程度等因素,变形控制比单纯的地基不均匀沉降要严格。

4.3 路基变形监测设计

4.3.1 确定路基监控对象和监控目的对路基变形监控非常重要。

a) 路基变形监控对象通常为路基自身,路基附近存在既有建(构)筑物时,监控对象还应包括受路基影响的建(构)筑物等。

b) 不同工程、不同路段的路基变形监控目的不同,路基监控目的有:

i) 评估路基稳定性,以保证路基的长期稳定性;

ii) 监测工后沉降和差异沉降转角,以合理确定预压荷载时间,指导路面及时加铺、确保行车安全性和舒适性等;

iii) 评估路基对周围建(构)筑物的影响,以免路基施工对附近既有建(构)筑物产生不可接受的影响;

iv) 评价地基处理效果,验证设计与施工方案、优化设计或施工参数、实行动态设计和信息化施工等;

v) 监测沉降土方等;

vi) 为科研提供监测资料等。

其中第 i)、ii) 项目的是路基监控的常见目的。

4.3.3 本条说明各路段监控等级划分标准的规定。

b) 综合考虑下列因素,将天然地基预测工后沉降大于 3 倍容许工后沉降的结构物过渡路段列为一级监控路基:

i) 多条高速公路监控实践表明,对于路基稳定性较好,施工监控基本不控制路基填筑速率的排水固结路段,路基填筑期间完成的沉降通常小于总沉降的 60%。

ii) 结构物过渡段行车舒适性和安全性对工后沉降敏感;

iii) 由于以下原因,沉降计算可靠度不高:①地质勘察难以全面准确给出各路段的地层情况,也难以准确给出反应真实状态的计算指标;②沉降计算方法尚有许多不足之处;③路基实际荷载往往与计算取值不一致。

iv) 由于以下原因,工后沉降预测精度不高,实际工后沉降往往偏大:①目前的工后沉降预测方法存在一定缺陷;②推算工后沉降通常未考虑次固结沉降;③实际预压荷载往往不足,未按照运营期长期荷载推算最终沉降和剩余沉降;④通常未考虑交通荷载、工后沉降处置荷载产生的沉降。

e) 结构物过渡路段工后沉降对行车舒适性、安全性和行车效率影响较大,因此预测工后沉降小于容许工后沉降的过渡路段也应进行一定时间的工后监测。

4.3.4 路基的工后沉降包括地基沉降和路堤压缩变形,并综合反映在路基表面上,因此,路基表面沉降观测非常重要。工程实践表明,高路基满载阶段路堤自身压缩不可忽视,对路基稳定性判断、工后沉降预测均产生影响。

4.3.5 光栅光纤变形监测系统主要需要用到布拉格光栅光纤,布拉格光栅光纤是波长非常小的光纤,其包括多个可反射特定波长的反射点。布拉格光栅的反射点之间的距离总是相等的。精确匹配两个反射点距离的波长由光栅反射,而其他波长不被反射或被阻止。布拉格光栅传感器信号是每个光栅反射产生的窄光谱。解调仪可以测定独立反射峰的波长。一旦布拉格光栅遭受应力变化,反射点距离将会改变,并且反射不同的波长。这样布拉格波长变化就可以被测量。当应变导致光栅传感器波长变化时,解调仪测定的波长峰值与应变成正比。其中应变系数或传感器灵敏度被用作比例系数。光栅光纤变形监测系统精度非常高,但是量程较小,而且受到温度、湿度等外界因素影响较大,一般用于小变形监测。

智能土工带是基于导电聚合物的拉敏效应实现对路基内部变形的测试。智能土工带以高密度聚乙烯为基体、超导电炭黑为导电填料。当智能土工带发生变形时,其电阻值会发生变化,通过测试电阻变化即可实现智能土工带应变的自监测。智能土工带主要性能参数包括灵敏度 GF (相对电阻变化与应变变化的比值)、应变感应范围(量程)、检测下限、循环稳定性等。在整个应变感应范围内(>10%)的灵敏度高于 100 (GF>128),并具有极低的检测下限和高循环稳定性等优势,能够精准监测路基内部变形。

智能土工带的内部变形监测效果通过足尺模型试验进行了验证。足尺模型试验箱的基本外观尺寸为 3.5 m×3.5 m×3 m (长×宽×高),如图 4.5.1 所示。试验箱无顶板,其四周墙板均由厚度 10 mm 的钢模板制作而成。为方便填土夯实作业,正面墙板设计为拼装式钢模板。该拼装式钢模板由两个钢板(3.5 m×1.5 m)拼装组成,用高强插销结构连接;底部设置有转动轴承,整个墙面可以按角度控制逐步打开。其余整体式钢模板以插销结构和焊接的方式连

接固定，并在外侧设置有支护结构以防止产生较大的变形。所有钢模板内侧均经过了打磨喷漆处理，保证内侧墙面光滑，以减少边界效应。

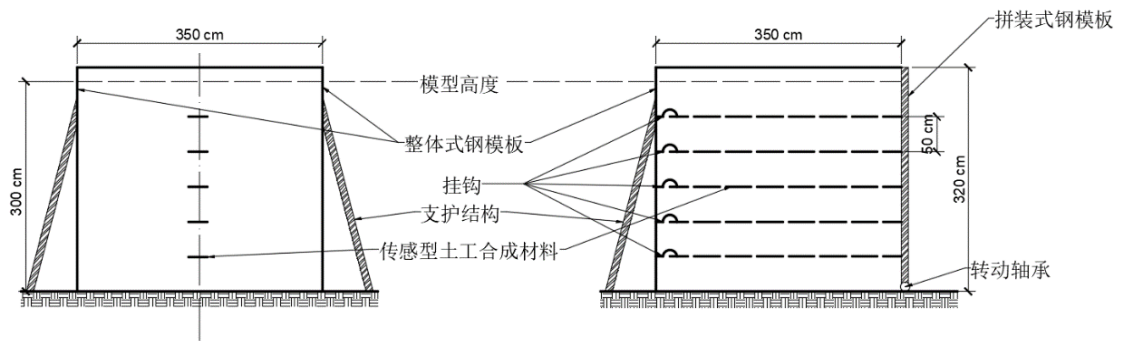


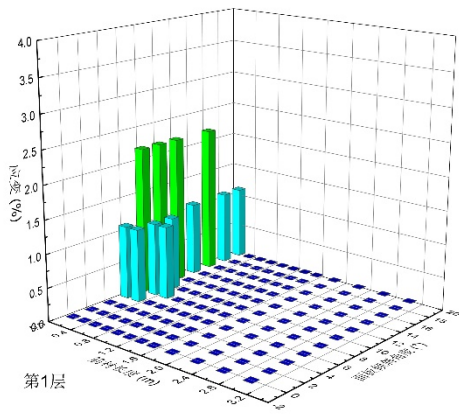
图 4.3.5-1 足尺模型试验箱结构图

在实验箱内将土分层铺平，使用手持式打夯机人工夯实，夯实后的每层土厚度控制在 0.5 m，然后将智能土工带平铺。智能土工带沿中轴线从上到下均匀铺设 5 层，每层间隔 0.5 m。每个智能土工带的尾部均通过挂钩与后墙连接，挂钩沿后墙中轴线分布，与后墙面焊接。

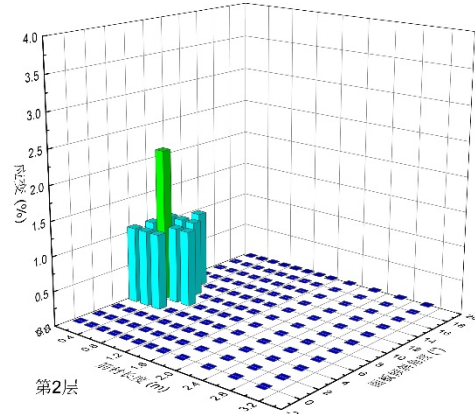
当智能土工带铺设完毕、且填料夯实至预计高度后，同时解除拼装式钢模板和两侧钢板之间的约束。此时拼装式钢模板仅通过钢绞线与电机相连接。在电机的电动作用下，逐步释放钢绞线，使拼装式钢模板绕底部转动轴承逐步缓慢打开。自检测数据采用自主研发的数据采集仪自动采集（如图 4.3.5.2 所示），采集间隔设定为 3 分钟。



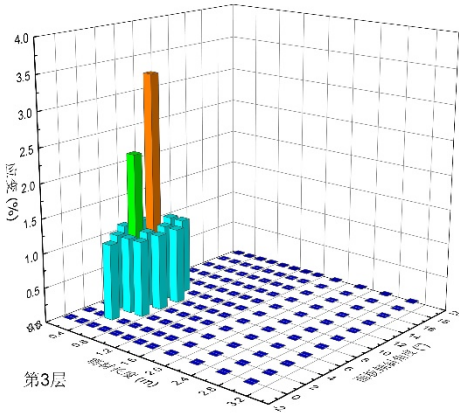
图 4.3.5.2 智能土工带的自检测数据采集系统



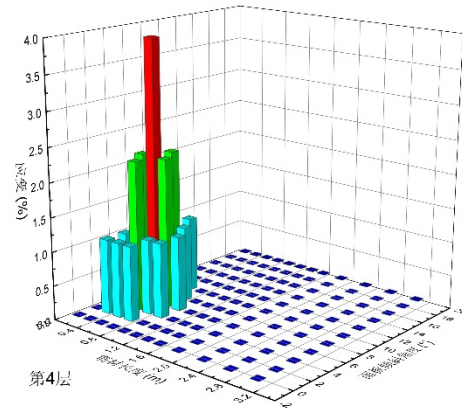
(a) 第1层智能土工带



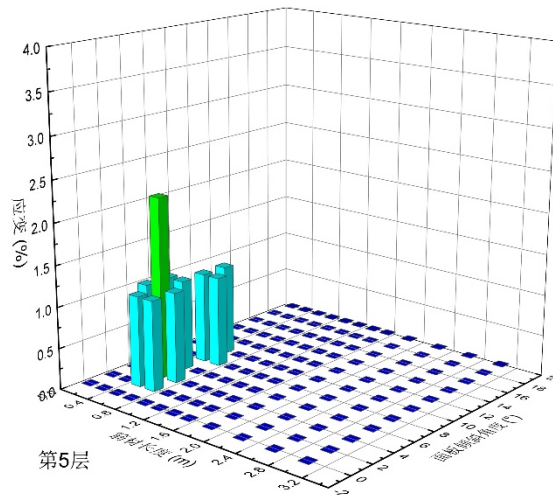
(b) 第2层智能土工带



(c) 第3层智能土工带



(d) 第4层智能土工带



(e) 第5层智能土工带

图 4.3.5-3 各层智能土工带的自检测结果

(纵轴为应变，左边横轴为筋材长度，右边横轴为面板倾斜角度)

从图 4.3.5.4(a)~(e)中可以看出，每条传感型土工带均存在最大应变，且最大应变的产生区域与滑裂面位置相吻合。在此次试验中，所有传感型土工带的应变最大值达到 3.9%，出现在第 4 层土工带的滑裂面位置；其余土工带的应变最大值相对较小。当加筋土内出现滑裂面时，原本被土体紧密约束的土工带在滑裂面处失去了周围土体的约束，整条土工带的受力等效于两个拉拔试验同时作用，所以可以从土工带变形最大处确定滑裂面的位置，从而实现路基、边坡内部变形的监测。

4.3.8 本条说明监测精度要求的规定

a) 中误差的大小反映了一组观测值精度的高低，亦称“标准差”或“均方根差”，通常采用下式计算

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_m - L_i)^2}{n - 1}} \quad (4.3.8)$$

式中： m —中误差；

n —一组观测值的个数；

L_m —一组观测值的平均值；

L_i —第*i*个观测值。

b) 边桩水平位移采用以中误差作为衡量监测精度的标准，边桩水平位移监测误差包括仪器误差、仪器对中误差、目标偏心误差等，中误差要求不能过高。

c) 根据误差传递规律，深层水平位移偶然误差的累加为测点数的平方根，系统误差的累加为测点的倍数。深层水平位移是目前测斜管深度曲线与测斜管初始深度曲线的差值，如系统误差不变，系统误差可以抵消。

5 系统配置、调试及验收

5.1 一般规定

5.1.1 本条对远程监控系统的验收做了一般规定,工程验收是系统交付前的一项重要技术工作。由于之前并没有远程监控系统相关验收的统一标准和具体要求,造成对系统是否达到设计功能要求,能否投入正常使用等重大问题心中无数。因此,本条规定了远程监控系统在投入使用前应进行验收,强调验收不合格不得投入使用。

5.1.3 为了保证系统功能验收的顺利进行,本条规定了远程监控系统工程验收时应具备6种技术文件。

- a) 规定了竣工后应提出验收申请报告;
- b) 规定了工程验收时应该准备的技术文档,这些文档对系统维护具有重要作用;
- c)、d)款规定了工程验收时需提供施工现场质量管理检查记录和系统施工过程质量检查记录,能够详细了解施工过程质量;
- e)、f)款规定了系统验收时需要提供的相关设备清单及检查报告等产品合格证明材料。

5.1.4 “路基边坡变形远程监测系统验收记录”包括施工过程质量检查验收、各子系统功能验收、系统集成验收的结论。具体检查测试报告作为附录归档,供系统验收时查验。参加验收的各方根据这些阶段验收结论,判断远程监控系统整体工程是否合格,联合出具书面结论。

5.2 系统配置及技术指标

5.2.1 由于工程的规模不同,不同的远程监控系统基本配置也有不同的要求,因此本规范不对系统配置做出规定,依据现场条件进行要求,但整体系统应该采用模块化搭建,且留出可升级的空间。

5.2.2 本条规定了露天设置的传感器的定位要求及定位方法。利用卫星定位,能直观地展示传感器所在位置,因此传感器应具有相应的定位功能。

5.2.5 本条给出了远程监控系统的技术指标。

5.3 系统调试

5.3.1 本条规定了系统调试的主要内容，分为室内单项和联机多项调试与测试、现场安装完毕后的调试与测试。室内单项和联机多项调试与测试是现场安装完毕后的调试与测试的基础和前提。室内单项和联机多项调试与测试应先对各类仪器仪表、传感器等设备进行单项调试，调试完成才能再对整个系统进行调试。

5.3.2 本条规定了远程监控系统调试的先后顺序。远程监控系统的调试应从单个设备到子系统、由子系统到整个远程监控系统的步骤依次进行。

5.3.3 本条规定了系统设备调试应符合的要求。为保证系统调试的质量，远程监控系统的调试应该按照设计图纸、方案和过程施工资料进行调试。并做好相应的调试记录，填写调试报告，为系统验收提供依据。

5.3.4 本条规定了系统软件调试应符合的要求，本条第 2 款规定远程监控系统软件调试的主要内容，软件调试应该有软件开发单位完成，保证系统软件符合设计要求，并为系统验收提供验收依据。

5.4 系统安全

5.4.1 远程监控系统虽然是专有系统，但信息敏感，也面临网络安全的问题，信息采集系统的接入不宜直接接入系统，应有分级安全措施，且采用加密的通信协议，系统资源的访问应采用身份认证和经过授权。

5.4.2 数据库服务器中的监控信息应定期和采用多种方式进行备份，并应采用异地隔离方式备份。

附录 A 道路边坡变形远程监测系统验收记录表

工程名称			
施工单位		项目负责人	
监理单位		监理工程师	
序号	检查项目名称	检查内容记录	检查评定结果
1			
2			
.....			
综合验收 结论			
验收 单 位	施工单位：（单位印章）	项目负责人：（签章） 年 月 日	
	监理单位：（单位印章）	监理工程师：（签章） 年 月 日	
	设计单位：（单位印章）	项目负责人：（签章） 年 月 日	
	建设单位：（单位印章）	项目负责人：（签章） 年 月 日	

附录 B 道路边坡变形远程监测系统调试报告表

工程名称	
工程地址	
前段设备调试	
传输设备调试	
后端设备调试	
软件调试	
整体系统调试	
备注：	

调试人：

调试日期：