

DZ

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T XXXXX—XXXX

地面沉降和地裂缝光纤监测规程

Code of practice for optical fiber monitoring of land subsidence and earth fissures

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(报批稿)

- XXXX - XXXX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前 言	I
引 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般规定	2
4.1 监测内容	2
4.2 监测技术	3
4.3 监测前的准备	3
5 仪器设备	3
6 传感光缆和传感器	4
6.1 传感光缆	4
6.2 传感器	5
7 传感光缆和传感器布设	5
8 现场测试	5
9 数据处理与监测报告	6
附 录 A （规范性） 地面沉降调查表	8
附 录 B （规范性） 地裂缝调查表	9
附 录 C （规范性） 传感光缆和传感器检查表	10
附 录 D （规范性） 传感光缆和传感器布设方法	11
附 录 E （规范性） 光纤监测施工记录表	15
附 录 F （规范性） 光纤监测数据记录表	17

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会（SAC/TC 93）归口。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件起草单位：中国地质调查局南京地质调查中心、南京大学、自然资源部地裂缝地质灾害重点实验室、中国地质环境监测院、北京市水文地质工程地质大队、北京地质调查研究院、上海市地质调查研究院、安徽省地质环境监测总站、中国地质调查局西安地质调查中心、中国地质调查局天津地质调查中心、河北省环境地质勘察院、苏州南智传感科技有限公司。

本文件主要起草人：施斌、姜月华、魏广庆、于军、顾凯、吴静红、贾立翔、周权平、郭海朋、孙晓明、董颖、龚绪龙、卢毅、张诚成、刘苏平、罗勇、李超、杨天亮、魏路、张茂省、张进才、梅世嘉。

引 言

监测是地面沉降和地裂缝灾害防治的前提。采用分布式光纤感测技术监测地面沉降和地裂缝灾害具备可行性和技术优势，可对地面形变、地层变形和地裂缝等进行分布式或准分布式监测。

多年实践表明，分布式光纤感测技术在地面沉降和地裂缝监测中成效显著，能够获得高空间分辨率监测结果，可以成为一种常规的地面沉降和地裂缝监测手段。目前，我国没有地面沉降和地裂缝光纤监测相关的技术规程。为了规范光纤感测技术在地面沉降和地裂缝监测领域的应用，支撑地面沉降和地裂缝灾害防治决策，特制定本文件。

地面沉降和地裂缝光纤监测规程

1 范围

本文件规定了地面沉降和地裂缝光纤监测的内容、技术方法、设备、传感光缆和传感器、传感光缆和传感器布设、现场测试、数据处理与监测报告等要求。

本文件适用于地面沉降和地裂缝发生区域地面形变与地层变形分布式或准分布式光纤监测的方案设计、施工、实施和数据处理等。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

DZ/T 0017-91 工程地质钻探规程。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地面沉降 land subsidence

由自然因素和人为活动引发的松散地层压缩、地面高程降低的地质现象。

3.2

地裂缝 earth fissure

地表岩层或土体在自然或人为因素作用下，在地面形成一定长度和宽度裂缝的地质现象。

3.3

传感光缆 optical sensing cable

将一根或者多根光纤经特定方式封装后作为传感和传输媒质，实现应变和温度感知的光纤线缆。

3.4

全分布式光纤感测 fully distributed fiber optic sensing

在被测结构物或岩土体中植入传感光缆，实现被测物的一维或多维方向上空间连续的多物理量感测的技术方法。

3.5

准分布式光纤感测 quasi-distributed fiber optic sensing

通过一根传导光纤或多个信息传输通道将多个点的传感器按照一定的顺序连接起来，组成传感单元阵列或多个复用的传感单元，构成一个多点光纤感测系统的技术方法。

3.6

布里渊光时域反射技术 Brillouin optical time-domain reflectometry

BOTDR

利用光纤中的自发布里渊散射光的频移与温度和应变变化间的线性关系实现测试的一种光纤单端感测技术。

3.7

布里渊光时域分析技术 Brillouin optical time-domain analysis

BOTDA

在传感光纤两端分别注入脉冲光和连续光，利用光纤中的受激布里渊散射光的频移与温度和应变变化间的线性关系实现测试的一种光纤双端感测技术。

3.8

**布里渊光频域分析技术 Brillouin optical frequency-domain analysis
BOFDA**

利用光纤中的受激布里渊散射光的频移与温度和应变变化间的线性关系实现测试的光纤双端感测技术。

注：可通过光纤的复合基带传输函数来实现被测量的空间定位。

3.9

**光时域反射技术 optical time-domain reflectometry
OTDR**

利用光纤中受激的瑞利散射光的强度变化反映光纤的损伤或弯曲的一种光纤单端感测技术。

3.10

**光纤布拉格光栅 fiber Bragg grating
FBG**

一类通过外界参量对布拉格中心波长的调制来获取传感信息的光纤传感技术。

3.11

**光纤光栅波分复用技术 FBG-wavelength division multiplexing technology
FBG-WDM**

布拉格光纤光栅技术中，通过波长差异进行光栅区分和定位的技术。

3.12

**光纤光栅时分复用技术 FBG-time division multiplexing technology
FBG-TDM**

布拉格光纤光栅技术中，通过信号传输时间进行光栅区分和定位的技术。

3.13

定点传感光缆 fixed-point distributed sensing cable

人为施加固定点的传感光缆，使得光缆能够测试两个相邻固定点间的变形。

3.14

空间分辨率 spatial resolution

指单个传感点所代表的光纤长度。

注：单个传感点所代表的光纤长度越短，则空间分辨率越高。

3.15

定点隔离度 degree of fixed-point isolation

相邻的两段定点光缆，当一段受拉而另一段固定时，受拉段应变与固定段应变的差值与受拉段应变的比值。

注：评价定点传感光缆性能的指标。

3.16

最小弯曲半径 minimum bending radius

对光缆进行圆形弯曲，光损值为0.5dB时对应的弯曲半径。

注：评价光缆弯曲性能的指标。

4 一般规定

4.1 监测内容

4.1.1 地面沉降光纤监测内容主要包括：

- a) 岩土体整体竖向变形及其分布；
- b) 岩土体局部竖向变形及其分布；
- c) 孔隙水压力和地下水位（包括潜水位和承压水位）。

4.1.2 地裂缝光纤监测内容主要包括：

- a) 地裂缝位置定位及其分布；
- b) 地裂缝水平拉张与收缩及其分布；
- c) 地裂缝垂直差异沉降及其分布。

4.2 监测技术

4.2.1 地面沉降和地裂缝监测主要采用的光纤感测技术包括：

- a) 基于布里渊散射原理的全分布式光纤感测技术，如BOTDR、BOFDA、BOTDA等，可用于地层变形大小及其分布的监测；
- b) 基于布拉格光纤光栅原理的准分布式光纤感测技术，如基于时分复用的FBG-TDM和基于波分复用的FBG-WDM等，可用于变形、温度、水位等的监测，其特点是单点精度高、测试时间短、组网能力强、可实现远程实时监测。

4.2.2 对于不同要求的地面沉降监测孔，监测技术的选择原则如下：

- a) 深度大于20m的地面沉降监测孔，可采用BOTDR、BOFDA和BOTDA等全分布式光纤感测技术和FBG-TDM类准分布式光纤感测技术；
- b) 深度小于20m的地面沉降监测孔，可采用FBG-TDM类和FBG-WDM类准分布式光纤感测技术；
- c) 需要自动化监测的地面沉降监测孔，宜采用FBG-TDM类或FBG-WDM类准分布式光纤感测技术。

4.2.3 对于不同要求的地裂缝监测，感测技术的选择原则如下：

- a) 需要确定地裂缝位置和范围的监测，宜采用全分布式光纤感测技术；
- b) 已知地裂缝位置和范围的监测，宜采用准分布式光纤感测技术。

4.3 监测前的准备

4.3.1 在进行地面沉降和地裂缝分布式光纤监测工作之前，应做好下列准备工作：

- a) 了解监测区域地面沉降或地裂缝的地质背景、诱因、发展历史和现状；
- b) 进行场地踏勘，评估光纤监测和现场实施的必要性和可行性；
- c) 明确监测的目的和要求；
- d) 调查和收集监测区域的基础地质条件、水文地质条件、工程地质条件等；按照本文件附录A或附录B的要求完成记录。
- e) 编制监测方案，内容应包括：监测区域概况，监测目的与要求，地质背景，传感光缆和传感器，监测设备选型，布设方案，施工方案，测试方案，质量控制、安全和环保措施等。

5 仪器设备

5.1 应根据监测的要求，选择相应的仪器设备，选型原则如下：

- a) 要求全分布式监测时，在传感光缆未构成回路或光损大于10dB的情况下，应采用BOTDR等单端感测技术的光纤解调仪；在传感光缆构成回路且要求测试精度高于 $10\mu\epsilon$ 的情况下，应采用BOTDA和BOFDA等双端感测技术的光纤解调仪；
- b) 要求准分布式监测时，当测试点或串联的测试点较少时，可采用FBG-WDM或FBG-TDM的光纤光栅解调仪；当测试点或串联的测试点较多时，宜采用FBG-TDM的光纤光栅解调仪；
- c) 解调仪应具有数据采集、显示和存储功能；
- d) 全分布式感测设备主要性能指标应符合表1的规定；准分布式感测设备主要性能指标应符合表2的规定。

表1 全分布式感测设备的主要性能指标

仪器类型	空间分辨率 m	最小采样 间隔 cm	最小采样 时间步长 min	应变测试范 围 $\mu\epsilon$	应变测试 精度 $\mu\epsilon$	应变测试 重复性 $\mu\epsilon$	工作环境指标
BOTDR	≤ 1	≤ 10	≤ 15	$\geq \pm 15000$	≤ 50	$\leq \pm 25$	环境温度: $-10^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$; 环境湿度: 0%~95%
BOTDA、BOFDA	≤ 0.5	≤ 10	≤ 10	$\geq \pm 15000$	≤ 10	$\leq \pm 10$	环境温度: $-10^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$; 环境湿度: 0%~95%

表2 准分布式感测设备的主要性能指标

仪器类型	波长分辨率 pm	波长重复性 pm	动态范围 dB	采样时间步长 s	工作环境指标
FBG-WDM	≤ 1	≤ 3	≥ 20	≤ 1	环境温度: $-10^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$; 环境湿度: 0%~95%
FBG-TDM	≤ 1	≤ 3	≥ 20	≤ 20	环境温度: $-10^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$; 环境湿度: 0%~95%

5.2 对同一监测点,宜采用同一台仪器设备进行测试;如采用不同仪器设备测试,应设置相同的测试参数,且需要统一校准。

6 传感光缆和传感器

6.1 传感光缆

6.1.1 地面沉降和地裂缝监测采用的传感光缆应具有分布式应变和温度的传感性能,机械强度满足现场施工条件和测试环境的要求。为保证传感光缆与被测地层具有较好的耦合性,宜选取具有增强锚固点的定点传感光缆。传感光缆的性能参数应符合表3的规定。

表3 地面沉降和地裂缝光纤监测应变传感光缆参数表

性能类型	参数类型	单位	指标	
			全分布式应变传感光缆	FBG-TDM类准分布式应变传感光缆
外形尺寸	外径	mm	5~20	5~20
	单位长度重量	kg/km	≤ 150	≤ 150
	锚固点尺寸		直径为光缆的1.2~5倍,长20~200mm	直径为光缆的1.2~5倍,长20~200mm
力学性能	抗拉强度	N	≥ 1500	≥ 1500
	侧向抗压强度	N/m	≥ 800	≥ 800
	弹性模量	GPa	≤ 20	≤ 20
光学性能	平均光损值	dB/km	≤ 0.05	—
	最小弯曲半径	cm	≤ 5	≤ 5
	中心波长	nm	—	1528~1568
	反射率	%o	—	0.1~0.8
	半宽高*	nm	—	0.2~0.3
传感性能	定点隔离度	%	≥ 98	≥ 98
	应变传递系数**	%	≥ 95	≥ 95
	弯曲恢复系数***	%	≥ 95	≥ 95
	应变测量范围	$\mu\epsilon$	优于-8000~12000	优于-8000~12000

表3 地面沉降和地裂缝光纤监测应变传感光缆参数表(续)

性能类型	参数类型	单位	指标	
			全分布式应变传感光缆	FBG-TDM类准分布式应变传感光缆
传感性能	初始应变	$\mu\epsilon$	≥ 8000	≥ 8000
	工作温度	$^{\circ}\text{C}$	$-20 \sim 80$	$-20 \sim 80$
*半宽高: 吸收谱带高度最大处高度为一半时谱带的全宽;				
**应变传递系数: 光缆测得的应变与实际应变之比;				
***弯曲恢复系数: 评价光缆发生弯曲时所能恢复到原状的性能指标。				

6.1.2 在土质较松散的区域进行地裂缝监测时,宜采用定点应变光缆外加锚固夹具的方式进行监测,使用的全分布式应变传感光缆或FBG-TDM类准分布式应变传感光缆的性能参数应符合表4的规定。

表4 土质松散地区地裂缝监测应变传感光缆参数表

传感光缆类型	直径 mm	抗拉强度 N	弹性模量 GPa	最小弯曲半径 cm	定点隔离度 %
全分布式应变传感光缆、FBG-TDM类准分布式应变传感光缆	5~8	≥ 90	≤ 2	≤ 5	≥ 98

6.1.3 温度补偿光缆应满足下列要求:

- 温度补偿光缆的纤芯可选择单模光纤或者多模光纤;
- 温度补偿光缆应采用松套结构,纤芯应不受被测土体应变的影响。

6.2 传感器

6.2.1 地面沉降和地裂缝光纤监测中,采用的光纤光栅传感器主要包括孔隙水压力计、位移计、角度计、静力水准仪和温度计等,传感器的性能参数应符合表5的规定。

表5 光纤光栅传感器参数表

传感器类型	分辨率	反射率 %	接头抗拉强度 N	耐水压力 MPa	工作温度 $^{\circ}\text{C}$	引线可弯曲半径
孔隙水压力计	$\leq 0.1\% \text{F.S.}^*$	≥ 50	≥ 100	—	$-20 \sim 80$	≤ 20 倍引线直径
位移计、角度计、静力水准仪、温度计	$\leq 0.1\% \text{F.S.}^*$	≥ 50	≥ 100	≥ 0.5	$-20 \sim 80$	≤ 20 倍引线直径

*F.S.指传感器量程

6.2.2 地面沉降和地裂缝光纤监测采用的传感器应具有温度补偿功能。

7 传感光缆和传感器布设

7.1 传感光缆和传感器应由经过培训并获得认可的技术人员进行布设。

7.2 传感光缆和传感器布设前应按照本文件附录C的要求进行检查。

7.3 在传感光缆和传感器布设时,应加强布设过程的质量控制,避免传感光缆和传感器出现损伤和断裂。针对地面沉降和地裂缝的传感光缆和传感器布设方法应按照本文件附录D的要求执行。

7.4 传感光缆和传感器安装完成后,应采用光时域反射技术或红光笔等对传感光缆和传感器的通光完整性进行检查。当发现测试数据异常或光纤测试信号信噪比较低时,应查找原因,采取措施,重新测试。

7.5 在对地面沉降和地裂缝进行长期监测时,应同时布设应变传感光缆和用于温度补偿的温度传感光缆。

7.6 传感光缆和传感器的布设宜按照本文件附录E的要求进行记录。

8 现场测试

- 8.1 地面沉降和地裂缝光纤监测应在回填材料固结稳定后进行。
- 8.2 测试现场应具备稳定的电源，测试过程应在无干扰的环境下进行。
- 8.3 正式测试开始前，应根据试测得到的布里渊频谱、光损、应变和中心波长等，确定合理的光纤解调仪测试参数。
- 8.4 应采集 3 次有效的监测数据，取其平均值作为初始监测结果。
- 8.5 监测周期应根据地面沉降或地裂缝的发展速度确定，并严格按照监测周期进行定期监测。每季度测试次数不应低于 1 次；条件允许时，宜采用远程实时的监测方式。
- 8.6 每次数据采集完成后，应对监测结果进行检查。当发现光纤测试数据异常或测试信号信噪比较低时，应检查光路和解调仪的测试参数设置，并重新测试，确保获得有效监测数据。
- 8.7 每次监测时应保持仪器测试参数一致，应按照本文件附录 F 的要求对现场监测情况进行记录。

9 数据处理与监测报告

9.1 全分布式应变数据预处理应按下列步骤进行：

- 数据核对：根据现场记录表核对原始记录数据；
- 数据对齐：当监测过程中光缆连接线长度发生变化时，应将各次测试数据的空间位置校正对齐；
- 数据定位：在地面沉降应变分布曲线上，确定孔口和孔底特征点位置，将监测数据进行准确定位并与钻孔深度匹配；在地裂缝应变分布曲线上，确定槽头和槽尾特征点位置，将监测数据曲线与沟槽测点位置进行匹配；
- 数据分段截取：根据定位结果截取监测目标段对应的应变分布曲线；
- 数据平滑：利用多点平均等数学方法对数据进行平滑处理。

9.2 地面沉降中地层变形或地裂缝裂缝宽度应按式（1）和式（2）计算：

$$D(z_1 - z_2) = \int_{z_1}^{z_2} \varepsilon(z) dz \dots \dots \dots (1)$$

$$\varepsilon(z) = \frac{f(z) - f^0(z) - C_T \cdot \Delta T(z)}{C_s} \dots \dots \dots (2)$$

式中： $D(z_1 - z_2)$ ——位置 z_1 到位置 z_2 间光纤测得的土体变形或裂缝宽度变化；

$\varepsilon(z)$ ——在位置 z 处光缆测得的应变；

$f^0(z)$ ——在位置 z 处光纤的初始布里渊散射光频移量，单位为兆赫兹（MHz）；

$f(z)$ ——在位置 z 处光纤的布里渊散射光频移量，单位为兆赫兹（MHz）；

C_T ——光纤背向布里渊散射光的频移量与光缆温度的比例系数，单位为兆赫兹每摄氏度（MHz/°C）；

C_s ——光纤布里渊散射光的频移量与光缆应变的比例系数，单位为兆赫兹每微应变（MHz/ $\mu\varepsilon$ ）；

$\Delta T(z)$ —— z 位置处光纤的温度变化，单位为摄氏度（°C）。

9.3 孔隙水压力结果应按式（3）计算：

$$p = K_s \cdot [(\lambda_s - \lambda_0) - K_T(\lambda_T - \lambda_{T0})] \dots \dots \dots (3)$$

式中： p ——孔隙水压力，单位为兆帕（MPa）；

K_s ——传感器压力与波长的比例系数，单位为兆帕每纳米（MPa/nm）；

λ_s ——压力光栅测量波长，单位为纳米（nm）；

λ_0 ——压力光栅初始波长，单位为纳米（nm）；

K_T ——传感器温度补偿系数；

λ_T ——温度补偿光栅测量波长，单位为纳米（nm）；

λ_{T0} ——温度补偿光栅初始波长，单位为纳米（nm）。

9.4 位移计结果应按式（4）计算：

$$D = K_d \cdot [(\lambda_s - \lambda_0) - K_T(\lambda_T - \lambda_{T0})] \dots \dots \dots (4)$$

式中： D ——位移，单位为毫米（mm）；

K_d ——传感器位移与波长的比例系数，单位为毫米每纳米（mm/nm）；

λ_s ——位移光栅测量波长，单位为纳米（nm）；
 λ_0 ——位移光栅初始波长，单位为纳米（nm）；
 K_T ——传感器温度补偿系数；
 λ_T ——温度补偿光栅测量波长，单位为纳米（nm）；
 λ_{T0} ——温度补偿光栅初始波长，单位为纳米（nm）。

9.5 角度计结果应按式（5）计算：

$$D_h = K_a \cdot [(\lambda_s - \lambda_0) - K_T(\lambda_T - \lambda_{T0})] \dots\dots\dots(5)$$

式中： D_h ——角度，单位为度（°）；

K_a ——传感器角度与波长的比例系数，单位为毫米每纳米（mm/nm）；
 λ_s ——角度光栅测量波长，单位为纳米（nm）；
 λ_0 ——角度光栅初始波长，单位为纳米（nm）；
 K_T ——传感器温度补偿系数；
 λ_T ——温度补偿光栅测量波长，单位为纳米（nm）；
 λ_{T0} ——温度补偿光栅初始波长，单位为纳米（nm）。

9.6 静力水准仪结果应按式（6）计算：

$$H = K_h \cdot [(\lambda_s - \lambda_0) - K_T(\lambda_T - \lambda_{T0})] \dots\dots\dots(6)$$

式中： H ——位移，单位为毫米（mm）；

K_h ——传感器位移与波长的比例系数，单位为毫米每纳米（mm/nm）；
 λ_s ——位移光栅测量波长，单位为纳米（nm）；
 λ_0 ——位移光栅初始波长，单位为纳米（nm）；
 K_T ——传感器温度补偿系数；
 λ_T ——温度补偿光栅测量波长，单位为纳米（nm）；
 λ_{T0} ——温度补偿光栅初始波长，单位为纳米（nm）。

9.7 温度计结果应按式（7）计算：

$$T = K_t \cdot (\lambda_s - \lambda_0) + T_0 \dots\dots\dots(7)$$

式中： T ——温度，单位为摄氏度（°C）；

K_t ——传感器温度与波长的比例系数，单位为摄氏度每纳米（°C/nm）；
 T_0 ——初始温度，单位为摄氏度（°C）；
 λ_s ——光栅测量波长，单位为纳米（nm）；
 λ_0 ——初始温度 T_0 下的光栅测试波长，单位为纳米（nm）。

9.8 监测报告应包含下列内容：

- a) 项目概况、监测目的、内容和依据；
- b) 监测区域地质环境条件；
- c) 监测的方法、设备和过程；
- d) 监测数据、处理方法、测试曲线和表格；
- e) 结论；
- f) 存在的问题与建议。

附 录 A
(规范性)
地面沉降调查表

地面沉降调查内容见表A.1。

表 A.1 地面沉降调查表

项目名称：

调查单位：

地理位置	省（自治区、直辖市） 市（州、盟） 县（区、市、旗） 乡（镇） 村 组								
	大地坐标：		X 坐标：		Y 坐标：		高程：		
	GPS：		经度 E：		纬度 N：				
地质环境条件	沉降历史及变化规律								
	基础地质条件								
	水文地质条件								
	工程地质条件								
	人类工程活动								
沉降区地下水等开采情况	地下水开采				地下水位		地下水回灌		
	开采层位	开采时间	开采井深度	开采量	开采前水位 (头) 高程	漏斗中心水位 (头) 高程	回灌层位	回灌时间	回灌井深度
			m	m ³ /d	m	m			m
	其它（油、气及固体矿产等）								
沉降原因及发展趋势									
已采取的防治措施及效果									
现场图像	平面图：				剖面图：		图片及编号：		
							影像及编号：		
备注：									

调查人：

记录人：

审核人：

填表日期： 年 月 日

DZ/T XXXX | XXXX

附 录 B
(规范性)
地裂缝调查表

地裂缝调查内容见表 B. 1。

表 B. 1 地裂缝调查表

项目名称:

调查单位:

地理位置	省 (市、区) 县 (市、区) 乡 村 组			
	大地坐标:	X 坐标:	Y 坐标:	高程:
	GPS:	经度 E:	纬度 N:	
发育特征	<input type="checkbox"/> 平行 产状:			裂缝规模: 宽 m, 长 m
	<input type="checkbox"/> 斜列 产状:			
	<input type="checkbox"/> 环围 圆心位置:			
	<input type="checkbox"/> 杂乱无章			
地质环境条件	地裂缝历史及变化规律			
	地质条件			
	地形地貌条件			
	水文地质特征			
	工程地质条件			
地裂缝产生原因及发展趋势				
已采取的防治措施及效果				
现场图像	平面图:	图片及编号:		
	剖面图:	影像及编号:		
备注:				

调查人:

记录人:

审核人:

填表日期: 年 月 日

附录 C

(规范性)

传感光缆和传感器检查表

传感光缆检查内容与方法见表C.1，传感器检查内容与方法见表C.2。

表 C.1 传感光缆检查表

检查项目	检查方法	检查要求
品名与厂家	人工检查	检查品名中是否包含明确的传感、监测、感测或测试词语，防止混入通讯光缆
外观检查	人工检查	检查光缆的包装是否完整，是否受到明显挤压，光缆是否有脱皮、不规则及变色，光缆颜色是否与出厂一致等情况
长度检查	光时域反射技术 (OTDR)	采用具有 OTDR 功能的设备对光缆长度进行检查，并微弯端部依据反射峰是否发生跳动判断光缆的完整性，并与出厂记录及光缆上的长度标识进行核对
纤芯类别	根据原厂记录	G.652B 类最佳，低水峰及多模光纤不宜用于应变测量
光损检查	光时域反射技术 (OTDR)	采用具有 OTDR 功能的设备对光缆的平均损耗和单点损耗进行检查
强度检查	拉力试验机法	对光缆的抗拉强度进行抽检复核
初始应变分布	布里渊散射光测试法	利用布里渊散射光测试设备对光纤的初始应变进行检查，地面沉降传感光缆初始应变值应在 8000~12000 $\mu\epsilon$ 范围内，不符合要求的传感光缆应更换
检查结果		

检查人： 记录人： 审核人： 填表日期： 年 月 日

表 C.2 传感器检查表

检查项目	检查方法	检查要求
品名与厂家	人工检查	检查品名是否与传感器类型一致
外观检查	人工检查	检查传感器的包装是否完整、是否受到明显挤压，光纤引线是否有脱皮、不规则及变色之处，光缆颜色是否与出厂一致
通断检查	红光笔	采用红光笔从传感器一端打入光，查看另一端是否有光射出
初始波长	光纤光栅解调仪法	采用光纤光栅解调仪测试传感器波长，与标定证书中的波长值比较，确定是否在统一范围区间
检查结果		

检查人： 记录人： 审核人： 填表日期： 年 月 日

附 录 D
(规范性)
传感光缆和传感器布设方法

D.1 地面沉降传感光缆和传感器布设应按如下要求进行：

a) 传感光缆可在钻孔中构成U型回路布设，也可单根布设；一个钻孔中，传感光缆数量不应多于4根。

b) 光缆的布设深度应与钻孔深度一致，应根据布设方案，准备足够长度的传感光缆。

c) 钻孔20m以浅，应布设温度传感光缆，以便对应变监测结果进行温度补偿。

d) 监测孔口应预留长度不小于10m的传感光缆引线供监测使用。

e) 用于地面沉降监测的传感光缆应进行预拉，预拉量宜在 $8000\mu\epsilon$ 以上，且应在定点传感光缆生产过程中完成。

f) 根据监测要求，可在特定深度布设FBG渗压计或FBG温度计。

g) 钻孔施工应按照DZ/T 0017-91的有关规定执行。钻孔直径应控制在110mm~150mm。钻孔深度小于100m时，其顶角偏斜不得超过 1° ；钻孔深度大于100m时，每百米顶角偏斜的递增数不得超过 1.5° 。

h) 钻孔成孔后，应进行换浆清孔处理，确保传感光缆和传感器顺利下放至钻孔底部。

i) 换浆清孔完毕后，应立即向钻孔中安装传感光缆和传感器。

j) 安装传感光缆和传感器时，宜使用金属配重导锤协助下放。配重导锤直径应小于钻孔直径的 $2/3$ ，质量应在15kg~25kg范围内。传感光缆和传感器引线应与金属配重导锤的连接固定方式宜按图D.1所示方法执行。

k) 安装过程中，应保证光缆和传感器引线始终处于紧绷状态，可使用钻杆辅送光缆下放（图D.2a）；下放过程中应严格控制钻杆下放速度，避免钻杆与金属配重导锤脱节，钻杆严禁旋转。在钻孔深度小于200m的情况下，可不使用钻杆辅送，直接用金属配重导锤将传感光缆下放至钻孔中。

l) 传感光缆下放至钻孔底部后，宜上提光缆1~2m，使配重导锤悬空，确保光缆处于紧绷状态（图D.2b）。

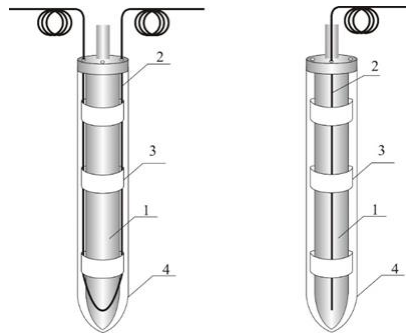
m) 传感光缆下放完成后，应采用解调仪、红光笔等对传感光缆的通光完整性进行检查，当发现测试数据异常或光纤测试信号信噪比较低时，应查找原因，采取补救措施。

n) 传感光缆正常下放后，在确保光缆处于紧绷状态的前提下应立即向钻孔中回填钻孔回填材料（图D.2c）。

o) 回填材料的选择应符合以下规定：钻孔深度100m以下部分，应回填粒径5~10mm的中砾；20~100m部分应回填粒径2~5mm的细砾；20m以浅部分可回填含10~20%黏土球的砂土-黏土球混合物。回填过程中及时确定回填深度，并掌握回填料的量。为避免不同含水层串层，回填过程中应做好止水措施。

p) 回填材料回填3个月后，固定孔口光缆并使用保护装置保护引线（图D.2d）。

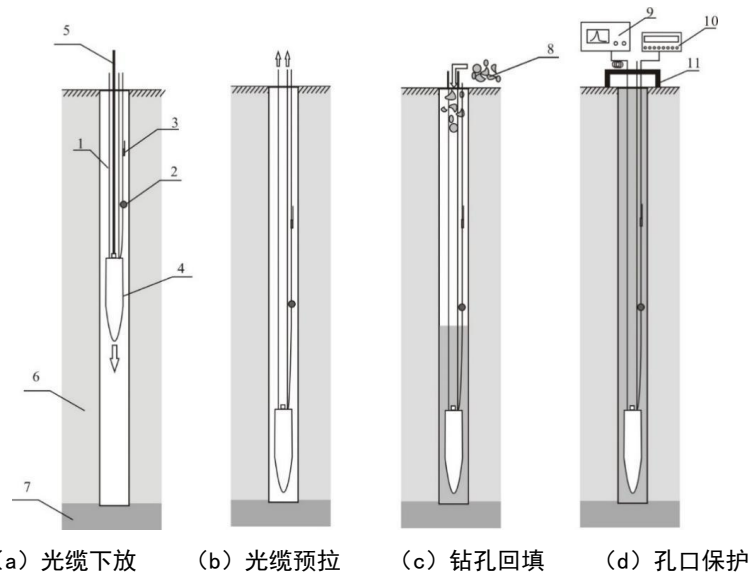
q) 地面沉降光纤监测施工宜按本文件附录E.1的规定进行记录。



标引序号说明：

- 1—配重导锤；
- 2—传感光缆或传感器引线；
- 3—绑扎带；
- 4—导锤保护套管。

图D.1 传感光缆与配重导锤的连接固定示意图



(a) 光缆下放 (b) 光缆预拉 (c) 钻孔回填 (d) 孔口保护

标引序号说明：

- 1—传感光缆；
- 2—光纤光栅渗压计（可选）；
- 3—光纤光栅位移计（可选）；
- 4—配重导锤；
- 5—钻杆；
- 6—原位地层；
- 7—基岩；
- 8—回填材料；
- 9—全分布式光纤解调仪；
- 10—准分布式光纤光栅解调仪；
- 11—固定装置。

图D.2 地面沉降传感光缆和传感器布设示意图

D.2 地裂缝传感光缆和传感器布设应按如下要求进行：

a) 开挖沟槽。当已知地裂缝位置时，沟槽方向应垂直于地裂缝延展方向；当未知地裂缝位置时，沟槽应尽量垂直于地裂缝可能延展的方向。根据地裂缝监测要求确定沟槽的长度、宽度和深度。沟槽长度不宜小于10m，宽度不宜大于50cm，深度不宜小于50cm。整平沟槽，并应在沟槽底部铺设厚度约2cm的中细砂。

b) 应采用直接铺设的方法将传感光缆布设入沟槽中，传感光缆的长度不应短于沟槽的长度。

c) 布设应按照图D.3所示方法执行。铺设过程中应对光缆进行预拉，预拉量宜在 $8000\mu\epsilon$ 以上；当使用定点传感光缆时，应使用锚固杆件在定点传感光缆的锚固点部位对光缆进行固定（图D.4）。

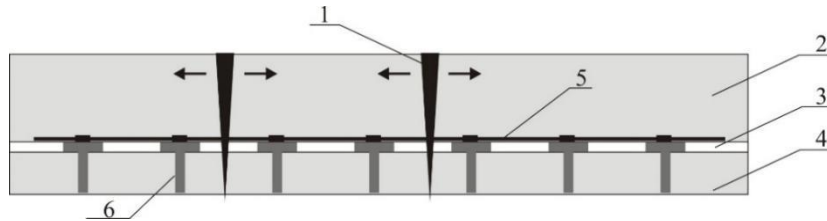
d) 可在已知地裂缝位置分别布设FBG位移计、FBG静力水准仪和FBG角度计，监测地裂缝的三维变形（图D.5）。

e) 传感光缆和传感器布设完毕后，应使用解调仪、红光笔等对传感光缆的通光完整性和传感器的有效性进行检查。当发现测试数据异常或光纤测试信号信噪比较低时，应查找原因，采取补救措施。

f) 使用原位土对沟槽进行分层回填、密实，并整平表面。

g) 回填结束后，整理沟槽外冗余传感光缆和引线，并采用保护装置加以保护。

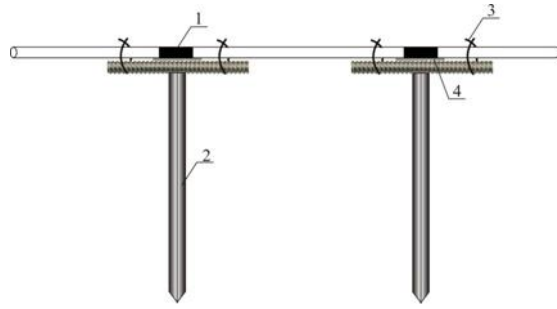
h) 地裂缝光纤监测施工宜按本文件附录E.2的规定进行记录。



标引序号说明：

- 1—地裂缝；
- 2—回填土；
- 3—中细砂；
- 4—沟槽底；
- 5—定点传感光缆；
- 6—锚固杆件。

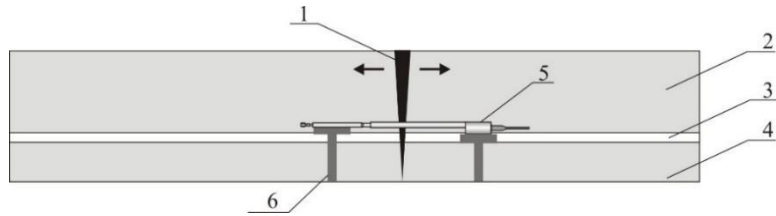
图D.3 地裂缝传感光缆布设示意图



标引序号说明：

- 1—定点传感光缆；
- 2—锚固杆件；
- 3—绑扎带；
- 4—环氧树脂胶。

图D. 4 定点传感光缆固定示意图



标引序号说明：

- 1—地裂缝；
- 2—回填土；
- 3—中细砂；
- 4—沟槽底；
- 5—光纤光栅位移计或角度计；
- 6—锚固杆件。

图D. 5 地裂缝光纤光栅传感器布设示意图

附录 E

(规范性)

光纤监测施工记录表

地面沉降光纤监测施工记录内容见表 E.1，地裂缝光纤监测施工记录内容见表 E.2。

表 E.1 地面沉降光纤监测施工记录表

工程名称			工程地点				
			GPS 定位	E	N		
设计深度			钻孔深度				
布设深度			钻孔孔径				
传感器类型							
光纤施工过程：（文字或者简图）							
分布式传感光缆布设情况（数量、位置、成活率）							
编号	光缆	头尾标尺记录		布设长度	回路情况	成活断点情况	测试数据记录编号
		孔底（头）	孔口（尾）				
光纤光栅传感器布设情况（数量、位置、成活率）							
编号	传感器	设计深度	布设深度	出厂编号	成活断点情况	布设前后测试数据	
						前	后

施工人：

记录人：

审核人：

填表日期：

年

月

日

表 E.2 地裂缝光纤监测施工记录表

工程名称				工程地点			
				GPS 定位	E	N	
设计长度		挖沟长度		布设长度			
设计深度		挖沟深度		布设深度			
传感器类型							
光纤施工过程：（文字或者简图）							
分布式传感光缆布设情况（数量、位置、成活率）							
编号	光缆	头尾标尺记录		布设长度	回路情况	成活断点情况	测试数据记录编号
		孔底（头）	孔口（尾）				
光纤光栅传感器布设情况（数量、位置、成活率）							
编号	传感器	设计位置	布设位置	出厂编号	成活断点情况	布设前后测试数据	
						前	后

施工人：

记录人：

审核人：

填表日期： 年 月 日

表 F.2 地裂缝监测记录表

工程名称				工程地点			
				GPS 定位		E N	
测试人员				填写人			
传感器类型							
布设长度				填写日期			
施工成果图：							
分布式传感光缆测试情况（数量、位置、长度、断点）							
编 号	光缆	布设长度	测试长度	回路情况	成活断点 情况	测试数据文件名称	
光纤光栅传感器测试情况（数量、位置、成活率）							
编 号	传感器	布设 位置	出厂编号	成活断点情 况	测试数据		
					温度补偿波 长*	测试波长*	

* 精确至 0.01nm

测试人：

记录人：

审核人：

填表日期：

年 月 日

