

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB 61/T

# 公路长大隧道结构监测技术规程

Technical Specifications for the Structural Monitoring of Long Highway Tunnels

(征求意见稿)

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

陕西省市场监督管理局 发 布

# 目 次

|                   |    |
|-------------------|----|
| 1 范围 .....        | 1  |
| 2 规范性引用文件 .....   | 1  |
| 3 术语和定义 .....     | 1  |
| 4 基本规定 .....      | 2  |
| 5 监测项目与测点布设 ..... | 3  |
| 6 监测方法和技术要求 ..... | 7  |
| 7 监测系统 .....      | 10 |
| 8 数据管理与应用 .....   | 16 |

# 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。

本文件由陕西省交通运输厅提出。

本文件由陕西省交通运输厅归口。

本文件起草单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司、中交瑞通路桥养护科技有限公司、陕西交通控股集团有限公司榆吴分公司。

本文件主要起草人：

本文件由陕西省交通运输厅监督实施。

本文件首次发布。

联系信息如下：

单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

电话：029-61322888

地址：陕西省西安市高新区科技四路205号

邮编：710075

# 公路长大隧道结构监测技术规程

## 1 范围

本文件规定了在役公路隧道结构自动化监测基本规定、监测项目与测点布设、监测方法和技术要求、监测系统、数据管理与应用等技术要求。

本文件适用于陕西省内在役公路隧道结构自动化监测的系统设计、实施、试运行、验收、运维、数据管理与应用，其他类型隧道及在建隧道可参照使用。

## 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。

GB/T 22239 信息安全技术网络安全等级保护基本要求  
GB/T 22240 信息安全技术网络安全等级保护定级指南  
GB 50311 综合布线系统工程设计规范  
GB 50343 建筑物电子信息系统防雷技术规范  
GB/T 8567 计算机软件编制规范  
GB 50218 工程岩体分级标准  
JTG H12 公路隧道养护技术规范  
JTG 3370.1 公路隧道设计规范第一册土建工程  
JTG/T 3660 公路隧道施工技术规范  
JT/T 132 公路数据库编目编码规则  
T/CHTS 10021 在役公路隧道长期监测技术指南  
T/CECS 765 结构健康监测系统施工及验收标准  
T/CECS 652 结构健康监测系统运行维护与管理标准  
T/GDHS 014 公路隧道交通事件视频检测系统测试规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**隧道结构监测** tunnel structural monitoring

一种对隧道结构和环境特定参数进行连续、自动采集，评估隧道结构状态，实现自动超限报警的多学科交叉融合技术。

### 3.2

**特殊地质地段** special geological sections

隧道穿越的软岩大变形、高压富压、湿陷性黄土、活动断裂带、岩溶发育区、采空区、滑坡等地质地段。

### 3.3

**监测等级 monitoring grade**

为实施差异化的监测项目、频率等，根据隧道土建结构技术状况值、隐患和地质条件划分的监测级别。

**3.4**

**病害监测 disease monitoring**

对隧道土建结构病害特征及变化进行的监测与分析，包括裂缝宽度等。

**3.5**

**变形监测 deformation monitoring**

对隧道土建结构、围岩等变形进行的监测与分析，包括净空收敛、拱顶下沉等。

**3.6**

**受力监测 mechanical monitoring**

对隧道土建结构应力应变及外荷载进行的监测与分析，包括衬砌表面应力、振动加速度等。

**3.7**

**环境监测 environment monitoring**

对影响隧道土建结构安全的环境因素进行的监测与分析，包括环境温度、降雨量等。

**3.8**

**报警阈值 alarm threshold values**

为满足隧道结构安全控制要求，掌握监测对象的状态，针对各监测项目的监测数据变化速率或累计变化量所设定的临界状态警戒值。

**4 基本规定**

**4.1.1 公路隧道符合下列条件之一时，应进行结构监测：**

- 1 按现行《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）评定隧道土建结构技术状况等级为3类及以下，且需要跟踪观测的隧道。
- 2 隧道检查中出现状况值为3或4的病害，病害程度对结构功能和行人、行车安全影响较大，或病害原因不明、持续发展的隧道。
- 3 处于复杂环境或特殊地质段，且存在病害的隧道。
- 4 隧道周边近接敏感环境，且病害持续发展段落或周边存在明显影响结构安全工程活动的隧道。
- 5 隧道施工过程中发生过大塌方、冒顶等灾害的段落或部位，或运营期设计文件要求以及其他经过评估需要进行结构监测的隧道。

**4.1.2** 宜根据土建结构技术状况值、是否存在特殊地质地段、是否存在隐患或重大结构病害，逐洞、逐段划分监测等级，分级标准宜按表 1 执行。

**表 1 监测等级划分**

|        |           |           |
|--------|-----------|-----------|
| 特殊地质地段 | 隐患或重大结构病害 | 土建结构技术状况值 |
|--------|-----------|-----------|

|   |   | 1  | 2  | 3  | 4  |
|---|---|----|----|----|----|
| 无 | 无 | 三级 | 三级 | 二级 | 一级 |
|   | 有 | 三级 | 二级 | 一级 | 一级 |
| 有 | 无 | 三级 | 二级 | 一级 | 一级 |
|   | 有 | 二级 | 一级 | 一级 | 一级 |

注：1 特殊地质地段指隧道穿越的大中型断裂带、岩溶发育区、软岩、湿陷性黄土等地质地段。隐患指施工期出现塌方、大变形、突涌的地质地段或二次衬砌厚度、强度、背后空洞等存在的可能影响结构安全的现象。重大结构病害指隧道洞口、洞门，衬砌，路面等土建结构存在的可能影响，已影响或已危及行人行车安全的裂缝、渗漏等现象。

2 应按现行《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）评定土建结构技术状况值，取部位或段落内的最大值作为其土建结构技术状况值。

4.1.3 不同监测等级的监测项目宜按表 2 执行。

表 2 不同监测等级监测项目

| 监测等级 | 监测项目                         |
|------|------------------------------|
| 一级   | 宜同时开展病害特征、结构变形、受力以及围岩或周边环境监测 |
| 二级   | 病害特征、结构变形、受力监测为主，围岩或周边环境监测为辅 |
| 三级   | 结构变形为主，病害特征、受力监测为辅           |

4.1.4 隧道结构监测方法应根据现场环境条件和精度要求等因素综合确定，并应满足对病害特征、受力和变形分析的要求，且不应影响结构正常受力和使用。

4.1.5 隧道结构监测鼓励采用自主可控、先进适用的新技术和新设备，使用新技术、新设备时应满足精度及环境适应性等要求。

4.1.6 隧道结构监测系统应稳定可靠、经济实用，便于维护和升级扩容，应具备与外部系统互联互通、数据共享，实时展示监测结果等功能。

## 5 监测项目与测点布设

### 5.1 一般规定

5.1.1 公路隧道结构监测项目主要包含变形监测、受力监测、病害特征监测和环境监测。

5.1.2 同一监测范围内不同监测项目的测点，宜布置在同一断面；同一监测断面，变形与受力测点宜对称布设在拱顶、拱腰、边墙等关键位置；同一监测范围内同种类型病害，宜选取 1~2 处代表性病害进行病害特征监测。

5.1.3 应根据结构变形、病害特征及其发展趋势适时调整监测项目。

5.1.4 监测点位置及数量应根据监测项目、结构特点、病害特征、结构类型、监测方法、监测环境及监测等级等因素综合确定。

5.1.5 隧道结构监测选用连续线形、面域型监测等新型监测方式时，布设方案可根据监测需要自行设

置。

## 5.2 监测项目

5.2.1 公路隧道结构监测项目应符合表 3 的规定，分为应选监测项、宜选监测项。

表 3 隧道监测项目

| 监测类别               | 监测项目      | 监测等级 |    |    | 特殊地质地段 |      |       |      |    |       |     | 周边工程活动类型 |    |      |      |      |     |
|--------------------|-----------|------|----|----|--------|------|-------|------|----|-------|-----|----------|----|------|------|------|-----|
|                    |           | 一级   | 二级 | 三级 | 软岩大变形  | 富区高压 | 湿陷性黄土 | 活动断裂 | 滑坡 | 岩溶发育区 | 采空区 | 开挖       | 爆破 | 河道疏浚 | 桩基施工 | 近接穿越 | 堆卸载 |
| 变形监测               | 净空收敛      | ●    | ●  | ●  | ●      | ●    | ○     | ●    | ○  | ●     | ●   | ●        | /  | ●    | ●    | ●    | ●   |
|                    | 拱顶下沉      | ●    | ●  | ○  | ●      | ●    | ○     | ●    | ○  | ○     | ○   | ●        | /  | ●    | ○    | ○    | ●   |
|                    | 墙脚下沉      | ●    | ●  | ○  | /      | ○    | ○     | ○    | ○  | /     | /   | /        | /  | /    | /    | /    | /   |
|                    | 洞门水平位移    | ●    | ●  | ○  | ○      | ○    | ○     | ○    | ○  | ○     | ○   | /        | /  | /    | /    | /    | /   |
|                    | 洞门竖向位移    | ●    | ●  | ○  | ○      | ○    | ○     | ○    | ○  | ○     | ○   | /        | /  | /    | /    | /    | /   |
|                    | 洞门倾斜度     | ●    | ○  | ○  | ○      | ○    | ○     | ○    | ○  | ○     | ○   | /        | /  | /    | /    | /    | /   |
|                    | 洞口边仰坡水平位移 | ○    | ○  | ○  | ○      | ○    | ○     | ○    | ●  | ○     | ○   | /        | /  | /    | /    | /    | /   |
|                    | 洞口边仰坡竖向位移 | ○    | ○  | ○  | ○      | ○    | ○     | ○    | ●  | ○     | ○   | /        | /  | /    | /    | /    | /   |
| 受力监测               | 衬砌表面应力    | ●    | ○  | ○  | ○      | ●    | ○     | ○    | ○  | ○     | ○   | ○        | /  | ○    | /    | ○    | ○   |
|                    | 振动加速度     | ●    | ○  | ○  | /      | /    | /     | ●    | /  | /     | /   | /        | ○  | /    | /    | ○    | /   |
| 病害特征监测             | 裂缝宽度      | ●    | ○  | ○  | ○      | ○    | ○     | ○    | ○  | ○     | ○   | /        | /  | /    | /    | /    | /   |
| 环境监测               | 降雨量       | ●    | ○  | ○  | ○      | ○    | ○     | ○    | ○  | ○     | ○   | /        | /  | /    | /    | /    | /   |
|                    | 排水量       | ○    | ○  | ○  | /      | ○    | /     | /    | /  | /     | /   | /        | /  | /    | /    | /    | /   |
|                    | 温度        | ●    | ○  | ○  | ○      | ○    | ○     | ○    | ○  | ○     | ○   | /        | /  | /    | /    | /    | /   |
|                    | 视频监控      | ●    | ○  | ○  | ○      | ○    | ○     | ○    | ○  | ○     | ○   | /        | /  | /    | /    | /    | /   |
| 注：●代表应测项目，○代表宜测项目。 |           |      |    |    |        |      |       |      |    |       |     |          |    |      |      |      |     |

### 5.3 变形测点布设

#### 5.3.1 净空收敛、拱顶下沉监测断面及测点布设应符合下列规定：

1 净空收敛测点宜布设在拱顶、边墙或墙脚处，两侧边墙或墙脚处宜对称布设。每个监测断面不宜少于3个测点、3条测线。

2 有裂缝、渗漏水、起层剥落等病害的监测段落，监测断面宜设置在病害中心位置及其两侧，且每处不宜少于1~3个。监测等级一级时，宜2~3个，监测等级二、三级时，宜1~2个。

3 对于有施工缝错台的监测段落，宜在施工缝两侧分别设置监测断面。

4 受周边工程活动影响的隧道段落，监测断面数量宜为1~3个。

#### 5.3.2 墙脚下沉监测断面及测点布设应符合下列规定：

1 测点宜在两侧墙脚对称布设。

2 有衬砌、洞门裂缝病害监测段落，监测断面宜设置在病害中心位置及其两侧，监测等级为一级时，断面数量不宜少于3个；监测等级为二级、三级时，断面数量不宜少于2个。

5.3.3 洞门位移包括洞门水平位移、洞门竖向位移和洞门倾斜，宜在洞门立面不同高程处设置监测断面，监测断面不宜少于2个，每个监测断面布设不少于2个监测点。

5.3.4 洞口边仰坡水平位移、竖向位移，监测断面不宜少于3个，每个断面不宜少于5个测点，仰坡中心测点应布设在隧道轴线正上方地表位置，测点间距由中心测点至距离中心测点最远点由密至疏布置，测点间距宜为2m~5m。

### 5.4 受力监测测点

#### 5.4.1 衬砌表面应力监测断面及测点布设应符合下列规定：

1 监测断面测点宜布设在拱顶、拱腰与边墙部位，单洞三车道隧道应在拱部增加测点。

2 衬砌表面应力监测每个监测断面不少于3个监测点，且应避免施工、沉降等接缝。

3 有裂缝病害监测段落，监测断面宜设置在裂缝最宽处及其两侧，且不宜少于3个，每个监测断面不宜少于3个测点。

4 有渗漏水、起层剥落病害监测段落，监测断面宜设置在病害中心位置及其两侧，且不宜少于3个，每个监测断面不宜少于5个测点。

5 受周边工程活动影响的隧道段落，监测断面不宜少于3个，每个监测断面不宜少于3个测点。

5.4.2 振动加速度测点宜布设在靠近震源侧的隧道结构上。

### 5.5 病害特征监测测点

5.5.1 裂缝宽度测点宜布设在裂缝最宽处，根据裂缝位置、类型选择具有代表性的裂缝进行监测。

5.5.2 衬砌渗漏水、路面开裂等病害宜采用图像法、视频监控或者其它新技术进行监测。

### 5.6 环境监测测点

5.6.1 降雨量测点可布设在隧道洞口外相对稳定、平坦且空旷位置，雨量计上侧不应有遮挡。

5.6.2 温度监测点应根据隧址区气候特点和通风状况布置，应能反映隧道内常年温度变化。

5.6.3 隧道洞口段视频监控进出口宜各不少于2个，冲沟视频监控宜不少于2个，保证目标在视频监控最远距离范围内。

5.6.4 其他自行增设监测项目应按需布置。

## 5.7 监测测点布置

5.7.1 监测点的布置应满足下列规定：

- 1 应满足反映监测对象的实际状态、位移和内力变化规律，以及分析隧道结构安全状态的要求。
- 2 测点应布置牢固、标识清楚，便于长期保存和观测，且具有有效的保护措施。
- 3 布点位置宜便于维护，对于无法维护的测点，宜做冗余设计。
- 4 测点的安装、更换、维护不应影响结构的正常受力和使用。测点应能反映监测对象的变形特征预埋测点不应削弱结构刚度和强度，且防水可靠。
- 5 联络通道、地下风机房排风道等附属设施，测点数量可适当减少。
- 6 隧道内装饰板、防火板贴壁时，测点宜布设在结构上；装饰板、防火板不贴壁时，测点宜与隧道结构刚性连接。
- 7 在同一地段实施的同一监测项目，监测断面数量、测点布置位置应满足有利于评价结构安全的需要。
- 8 监测断面及测点应统一、规范编号，便于数据管理。测点断面及测点编号宜参考本规范附录B。

5.7.2 隧道监测断面测点位置布置宜参考附录A，可根据隧道技术状况、地质条件、衬砌结构类型状况进行加密。

## 6 监测方法和技术要求

### 6.1 一般规定

6.1.1 应根据监测项目、监测环境和精度要求等因素选择自动化程度高、稳定可靠、易于远程传输与控制的监测方法。

6.1.2 应根据监测项目类型、监测数量、监测环境和监测指标重要程度，选取适宜的监测设备，且同一监测项目宜选用同一类型的监测设备。

6.1.3 监测设备应符合以下规定：

- 1.应满足监测精度、量程和使用环境要求。
- 2.性能应稳定可靠，重复性好，漂移、滞后误差小。
- 3.监测设备应结构简单，以降低设备维护的复杂性。
- 4.监测设备应具备双向通信和远程调试功能，能远程调整监测频率。
- 5.监测设备应适应监测区域环境条件，具有防水防潮防尘、防风防雨、耐高低温、防雷防震、防腐等对环境的适应性和抗干扰能力。在多雷地区的隧道，必要时应设置专门的防雷设施。

6.2 监测设备

6.2.1 根据监测项目和实际监测需求，监测方法和设备可参考表 4 进行选择。

表 4 隧道监测方法和设备选择

| 监测类型   | 监测项目      | 监测设备                             |
|--------|-----------|----------------------------------|
| 变形监测   | 净空收敛      | 阵列式位移计、激光测距仪、激光断面仪、视觉位移计         |
|        | 拱顶下沉      | 阵列式位移计、激光测距仪、激光断面仪、视觉位移计、静力水准仪   |
|        | 墙脚沉降      | 静力水准仪                            |
|        | 洞门水平位移    | 视觉位移计                            |
|        | 洞门竖向位移    | 视觉位移计、沉降计                        |
|        | 洞门倾斜度     | 倾角仪、静力水准仪                        |
|        | 洞口边仰坡地表位移 | 视觉位移计、GNSS监测站、振动倾角一体化设备、雷达、光纤传感器 |
| 受力监测   | 衬砌结构表面应力  | 应变计                              |
|        | 振动加速度     | 加速度传感器                           |
| 病害特征监测 | 裂缝宽度      | 裂缝计、测缝计、位移计、摄像机或相机               |
| 环境监测   | 降雨量       | 雨量计                              |
|        | 排水量       | 流量计                              |
|        | 温度        | 温度计                              |
|        | 视频监控      | 监控摄像头系统                          |

6.3 监测精度

6.3.1 隧道监测精度应满足结构安全状态评估及预警的要求，不应低于表 5 的有关规定。

表 5 隧道监测精度要求

| 监测类型   | 监测项目    | 精度要求     |
|--------|---------|----------|
| 变形监测   | 净空收敛    | 0.2mm    |
|        | 拱顶下沉    | 0.2mm    |
|        | 墙脚下沉    | 0.2mm    |
|        | 洞门竖向位移  | 0.2mm    |
|        | 洞门水平位移  | 0.2mm    |
|        | 洞门倾斜    | 0.01°    |
|        | 洞口边仰坡位移 | 0.5mm    |
| 受力监测   | 衬砌表面应力  | 0.01MPa  |
|        | 振动加速度   | 0.5V/g以上 |
| 病害特征监测 | 裂缝宽度    | 0.1mm    |

|      |      |                         |
|------|------|-------------------------|
| 环境监测 | 降雨量  | $\pm 4\%F.S.$           |
|      | 排水量  | $\pm 1\%F.S.$           |
|      | 温度   | $0.1^{\circ}C$          |
|      | 视频监控 | 分辨率：不低于540P；帧率：不低于25帧/s |

#### 6.4 监测频率

6.4.1 应根据隧道结构状态、病害发展及变化速率、周边工程活动、周边环境条件等综合确定监测频率，应能反映监测项目的变化过程。

6.4.2 在役公路隧道监测项目的监测频率应根据监测等级、应用分析要求自行设定，宜符合下列规定：

表 6 在役公路隧道监测频率

| 监测类型   | 监测项目    | 监测等级   |         |        |
|--------|---------|--------|---------|--------|
|        |         | 一级     | 二级      | 三级     |
| 变形监测   | 净空收敛    | 1~2次/天 | 1次/1~2天 | 2~3次/月 |
|        | 拱顶下沉    | 1~2次/天 | 1次/1~2天 | 2~3次/月 |
|        | 墙脚下沉    | 1~2次/天 | 1次/1~2天 | 2~3次/月 |
|        | 洞门竖向位移  | 1~2次/天 | 1次/1~2天 | 2~3次/月 |
|        | 洞门水平位移  | 1~2次/天 | 1次/1~2天 | 2~3次/月 |
|        | 洞门倾斜    | 1~2次/天 | 1次/1~2天 | 2~3次/月 |
|        | 洞口边仰坡位移 | 1~2次/天 | 1次/1~2天 | 1~2次/月 |
| 受力监测   | 衬砌表面应力  | 1~2次/天 | 1次/3~4天 | 2~3次/月 |
|        | 振动加速度   | 1~2次/天 | 1次/3~4天 | 2~3次/月 |
| 病害特征监测 | 裂缝宽度    | 1~2次/天 | 1次/1~2天 | 4~6次/月 |
| 环境监测   | 降雨量     | 1~2次/h | 1次/3~4天 | 4~6次/月 |
|        | 排水量     | 1~2次/h | 1次/3~4天 | 4~6次/月 |
|        | 温度      | 1~2次/h | 1次/3~4天 | 4~6次/月 |
|        | 视频监控    | 实时     | 实时      | 实时     |

6.4.3 出现下列情况之一，应设当增大监测频率：

- 1 监测数据达到预警值或趋势变化明显；
- 2 临近工程施工、超载、振动等周边环境条件发生较大改变；
- 3 周边地表、周边建(构)筑物出现变形裂缝或较严重的突发裂缝等；
- 4 结构病害有发展趋势；
- 5 结构受到极端降雨、地震、洪水、爆破、交通事故等异常情况影响；
- 6 工程险情或事故后重新组织施工；
- 7 出现其他影响隧道及周边环境安全的异常情况；

6.4.4 监测数据趋于稳定后，可适当减小监测频率。

## 7 监测系统

### 7.1 一般规定

7.1.1 隧道结构监测系统的建设过程涵盖了设计、实施、试运行、验收及运维五个阶段。

7.1.2 隧道结构监测系统由传感器子系统、数据采集与传输子系统、数据存储与管理子系统、预警与评估子系统、用户界面子系统组成。

7.1.3 单隧系统与部、省各级系统平台应采用统一数据交换传输标准、数据存储及数据管理标准，实现数据分级管理、归集与同步。

7.1.4 监测系统宜按照 GB/T 22239、GB/T 25070 的相关规定构建系统信息安全保护体系。

### 7.2 设计

7.2.1 隧道监测方案中应明确监测项目、基准点和观测点布设、监测方法和精度、监测周期和频率、监测信息反馈、监测预警值，监测方案编制时需考虑下列因素：

- 1 隧道环境、施工工艺、结构特征；
- 2 隧道服役期病害规律；
- 3 隧道周边工程活动影响；
- 4 场地供电条件；
- 5 隧道通讯条件；
- 6 检修通道等。

7.2.2 系统设计文件应明确设计方案、功能要求、工程界面及维护升级要求，包括但不限于：

- 1 系统总体方案与功能组成；
- 2 监测项目与测点布设；
- 3 数据采集、传输、处理与管理方案；
- 4 软件开发、数据库设计、软件部署和联调方案；
- 5 系统工程界面，含供配电、网络、防雷、防护方案；
- 6 数据分析与阈值设置方案；
- 7 系统运维要点；
- 8 设计图：测点布置图、分项测点布置与安装图、采集站布置图、系统拓扑图、综合布线图、设备电气原理图；
- 9 工程数量表及预算。

7.2.3 系统硬件包括传感器、数据采集与传输设备、通信设备、存储设备、供电设备，应考虑但不限于以下因素：

- 1 技术适用性：传感器及采集设备技术指标宜符合监测指标对量程、分辨率、精度、灵敏度、动态频响特性、环境适应性等要求，并考虑安装、维护的便易性和易保护性。

2 长期稳定性：从设备选型、降额设计、冗余设计、供电电源等各个环节，明确“防尘、防水、防雷、防震、防腐蚀”指标，确保系统稳定有效，监测设备使用年限不低于 5 年。

3 系统兼容性：传感器选型、采集仪选型宜和软件系统相适配，满足数据同步采集、实时传输需求。

7.2.4 系统软件包括数据采集、数据传输、数据处理与管理、用户界面模块，应基于开放性、人性化要求、人机交互友好、操作便捷流畅的原则设计，各模块之间应相对独立、有序融合、方便维修、扩容和升级。

1 采集与传输：需考虑数据采集的协议和通信方式，宜提供可靠和稳定的数据采集功能，能自动实时、准确地获取传感器采集到的隧道监测数据，支持多种传感器类型和数据接口，并添加校验机制，具备远程配置和调整关键参数的功能。

2 数据处理与管理：将原始数据转换成反映隧道变形、受力、病害特征及环境变化的特征数据，并设计合适的数据存储结构，支持大容量的数据存储和高效的数据管理，具备数据备份与恢复功能。

3 用户界面：功能设计布局应清晰合理，能直观反映隧道状态变化，宜选用B/S模式，具备数据及结果显示、查询、推送及交互功能。

7.2.5 配套工程设计具体如下：

1 传感器：保护罩具备“防尘、防水”的功能；支架具备足够的强度、刚度和稳定性。

2 线缆桥架：线缆的敷设与防护宜符合GB 50311规定；管线桥架能够承受管线的重量和外部环境的作用，且具备防腐功能。

3 供电及通信网络：通信网络宜具备可靠性，综合考虑传输距离、网络覆盖状况等因素，宜采用光缆传输和组网，可采用无线传输和组网。

4 防雷接地保护：宜符合GB 50343规定。

## 7.3 实施

7.3.1 在隧道结构监测工作正式实施之前，须组织现场踏勘活动，依据实际现场条件，对既有的设计方案及安全与施工组织方案进行调整与优化。

7.3.2 系统现场实施工序宜分为硬件设备采购与测试、软件开发与测试、软硬件安装与联合调试，如图 1 所示。

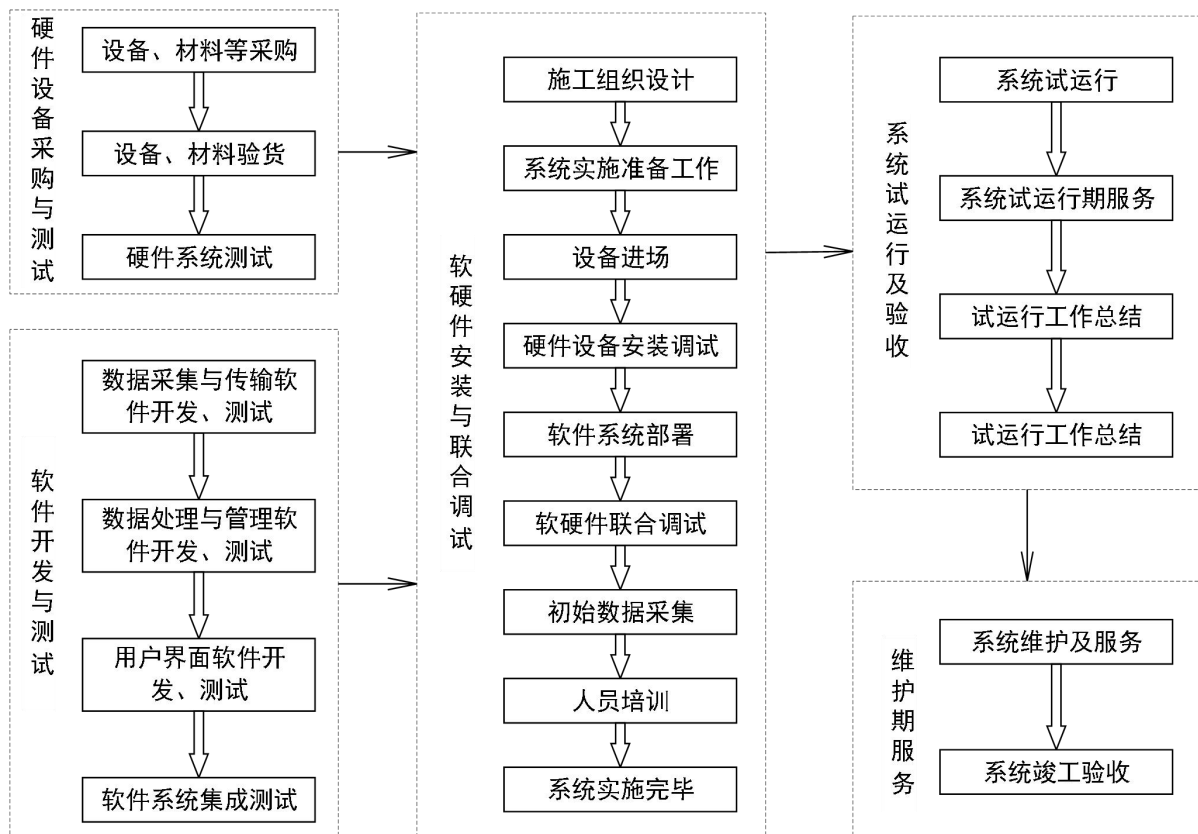


图 1 监测系统实施工序

### 7.3.3 传感器安装需考虑但不限于以下因素：

- 1 定位准确：安装位置与设计文件一致；
- 2 牢固可靠：选择合理的安装方式，使用的锚杆、基座、支架和夹具等应具有足够的强度、刚度和耐久性，与被测结构物连接牢固，安装工艺符合监测期内的使用需求及技术指标；安装施工应不影响隧道结构承载能力，并采取相应措施减少对隧道结构耐久性产生的不良影响；
- 3 标识唯一：标识清晰、准确、完整，粘贴牢固，并参考附录C填写安装记录。
- 4 操作规范：施工应严格按照说明书、安装手册、相关标准及设计要求进行。
- 5 质量保障：系统采用的材料、设备应符合国家现行有关标准的规定，并附出厂检验合格证。

### 7.3.4 各类传感器安装应符合下列规定：

- 1 变形类：
  - a) 阵列式位移计：传感器埋设时需保持水平，应垂直于隧道轴线安装，采用套管或沟槽埋设，避免开挖扰动，确保与结构同步变形。
  - b) 视觉位移计：标靶宜采用反光式棋盘格，测点需与隧道轴线垂直，相机需固定于稳定支架，定期校准内参，基准标靶需布设在隧道影响范围外。
  - c) 静力水准仪：传感器应稳固安装在同一高度，安装标高差异不应超过其量程的20%，高差较大时，应设置转点分段观测；安装连通管时，应将水管中的气泡排尽；安装稳定后应对传感器调零，并锁定该位置；温差较大地区应在仪器内注入防冻液，并具备测温功能。

d) 倾角仪：轴线与被测试的结构表面的垂直度偏差应不大于  $1.0^{\circ}$ 。

e) GNSS：接收天线点位应便于安置接收设备和操作，视野开阔，视场内不应有高度角大于  $15^{\circ}$  的成片障碍物，点位和通视条件应有利于其他监测手段扩展和联测，附近不应有强烈反射卫星信号的物体；接收天线点位的中心标志应采用直径不小于15mm的钢筋制作，并用清晰、精细的十字线刻成直径小于1mm 的中心点；接收天线采用三脚架安置时，对中误差不应大于1mm，天线集成体上的圆水准气泡必须居中，无圆水准气泡的天线，可调整天线基座脚螺旋，使在天线互为 $120^{\circ}$ 方向上量取的天线高互差小于3mm，天线安装时应按天线的方位标进行定向，使之指向磁北极，其定向误差应不大于 $\pm 5^{\circ}$ ；接收仪器应防震、防潮、防晒、防尘、防蚀、防辐射，电缆线不应扭折，不应在地面拖拉、辗砸，其接头和连接器应保持清洁。

f) 振动倾角一体化设备/GNSS一体化设备：应根据监测断面设计，布设在断面线上或断面线两侧强烈变形区。

g) 雷达：布设在隧道洞口前，监控范围覆盖主要坡面。

h) 光纤传感器：可根据边仰坡结构特性和被测点需求合理选择布设方案，可采用S形敷设保证覆盖整个坡面。

## 2 受力类：

a) 应变计：表面应变计安装前应先清除结构表面杂质，并将安装表面打磨光滑；安装时使用定位托架，采用电弧焊方式将两端钢支座安装在隧道结构表面。

b) 加速度：传感器安装应与隧道结构刚性粘结，并使传感器的定位方向与所监测的振动方向一致，安装时宜采用环氧砂浆、环氧树脂胶或其他高强度粘合剂将传感器固定在混凝土结构表面。

## 3 病害类：

a) 裂缝计/测缝计/位移计：可采用锚杆焊接或锚固的方式将传感器固定于测点，裂缝计两端的万向节使用螺栓固定于安装孔中，传感器测量方向应与裂缝走向垂直。

b) 摄像机/相机：应设置具有标定功能的参照物，摄站点可设置在工作基点，也可单独布设；摄像机或相机应防水、防尘、防震等。

## 4 环境类：

a) 雨量计：应远离隧道边仰坡，选择地势开阔处，周边障碍物与雨量计的连线同水平面夹角 $\leq 30^{\circ}$ ，确保降水无遮挡。

b) 温度传感器：应布设在隧道拱顶中部，避开通风口及照明设备，传感器距衬砌表面 0.5~1.0m，避免结构温度干扰。

### 7.3.5 采集与传输设备安装需考虑但不限于以下因素：

- 1 安装位置、数量宜与设计保持一致；
- 2 采集站与结构间的连接宜采用焊接或防松脱螺栓等方式，保证连接牢固；
- 3 采集站内设备布置安装稳固，走线规整，接线端子接触良好；
- 4 安装后进行校验，包括接线正确性校验和数据完整性校验，并宜定期对比校准；
- 5 校验无误后参考附录C填写安装记录。

#### 7.3.6 管线安装需考虑但不限于以下因素：

- 1 线缆宜敷设于电缆槽内，线缆宜采用防护管，且与结构物连接牢固，防护管弯曲符合相关要求；
- 2 光电线缆宜与隧道其他线缆保持合适的距离，并根据强弱电缆位置采取屏蔽措施；
- 3 光缆接续时每道工序完成后宜采用前向双程测试法测量接头损耗，中断段光纤的平均接头损耗不大于每个0.03 dB；
- 4 线缆终端接头宜留有冗余；
- 5 线缆宜从底部进入设备箱，并设置防水措施。

#### 7.3.7 系统供配电需考虑但不限于以下因素：

- 1 市电供电时系统需配备独立配电箱供电；太阳能供电时保证连续使用时长不少于7d；
- 2 设置过载、接地、漏电、短路、防雷等保护装置；
- 3 具备来电后自动恢复功能。

#### 7.3.8 软件开发测试与部署需考虑但不限于以下因素：

- 1 软件编码宜符合GB/T 8566规定，软件开发文档和接口文档宜符合GB/T 8567规定；
- 2 软件部署前编制软件部署指南，过程规范有序，部署完成后测试系统功能及性能；
- 3 软件测试流程和内容宜符合GB/T 15532和GB/T 9386规定，并填写系统软件测试表。

#### 7.3.9 系统调试包括但不限于：

- 1 检查硬件设备的运行状态；
- 2 测试采集数据的可靠性、完整性、有效性以及信号传输的稳定性；
- 3 设置传感器的参数及初始状态；
- 4 检查干扰信号的来源，并采取有效措施。

### 7.4 试运行

#### 7.4.1 系统试运行不少于3个月，并组织相关培训。

#### 7.4.2 试运行期间应开展软件功能优化、基准值校正、超限阈值设置等工作。

#### 7.4.3 检验监测数据的完整性、准确性、逻辑性、相关性和匹配性。

#### 7.4.4 系统试运行期应检验系统的可靠性和耐久性，试运行期间出现的问题，系统部署实施单位应负责进行处理，并编写试运行报告。

### 7.5 验收

#### 7.5.1 系统验收应包含系统硬件验收、系统软件验收和资料验收。

#### 7.5.2 系统硬件验收应满足下列要求：

- 1 安装设备材料的数量、规格型号、技术参数等应与合同文件、设计文件一致，合格证、质保卡、说明书、计量证书及出厂检验报告等应齐全。
- 2 传感器安装位置应正确、牢固、端正，表面平整，与结构物接触面紧密，应采取必要的防腐防护措施，信号线按要求连接到位。
- 3 数据采集设备应处于正常工作状态，机柜内电力线、信号线、元器件等应布线平直、整齐、固定

可靠，插头牢固，标识清晰；出线管与箱体连接应密封良好，机柜内应无积水、尘土、霉变；机柜接地应连接可靠，接地引出线无锈蚀。

4 光缆线路敷设与监控中心设备安装应符合 JTG 2182 的相关规定。

#### 7.5.3 系统软件验收应满足下列要求：

1 进行数据采集与传输软件功能完整性和一致性检查，正常采集、存储、转发监测数据，各项功能指标满足设计文件技术要求。

2 进行数据处理与管理软件功能完整性和一致性检查，正常接收、处理、存储、转发监测数据，各项功能指标满足设计文件技术要求。

3 进行用户界面软件功能完整性和一致性检查，各软件模块功能满足设计文件技术要求，静态基础数据、实时监测数据、历史统计数据等各类数据显示准确、齐全。

4 软件整体请求响应速度、数据刷新率等性能指标满足设计文件技术要求。

5 进行系统整体安全性检查，确保满足设计文件中对于网络信息安全相关技术要求。

#### 7.5.4 系统资料验收应检查验收资料的齐全性、规范性和一致性，验收资料宜包含下列内容：

1 合同相关资料：合同协议书、合同谈判纪要等。

2 实施过程资料：系统设计文件、系统变更资料、设备进场报验资料、监测设备设施安装记录、设备设施检验资料、监理资料（质量控制资料）及有关会议纪要等。

3 技术成果资料：系统竣工图、实施成果报告、系统试运行报告、硬件维护手册、软件操作手册等。

### 7.6 运维

7.6.1 应合理制订系统运维计划，建立设备维护台账、备品备件清单、列支系统年度维护（含备品备件）费用，监测系统养护应符合相关规定。

7.6.2 系统运维内容应包含硬件设施和软件系统的日常检查、定期检查和应急维护。

#### 7.6.3 检查维护具体如下：

##### 1 日常检查：

a) 软件工作状态检查、数据完整性分析、超限报警确认、数据库备份情况检查宜每周进行1次，并按附录C记录；

b) 监控中心硬件设备工作状态检查、存储空间情况统计宜每周进行1次，并按附录C记录；

c) 结合隧道日常巡查，开展硬件设施的表观完好性、线缆牢固性检查，按附录C记录；

d) 对巡查中发现的问题及时处置，并做好记录。

##### 2 定期检查：

a) 维护频次：至少每半年进行1次；当监测设备发生故障或隧道遭遇地震、火灾、车船撞击等特殊事件后及时进行专项维护；

b) 软件维护：数据完整性、性能指标、报警功能、安全性、系统日志等；

c) 设备维护：传感器保护罩及支架牢固性、采集设备的运行状态、网络传输质量、防雷接地可靠性、配电设备状态等；

d) 故障处置：24 h内快速响应并及时处置，做好记录；

e) 分析总结：每年对系统工作状态进行分析总结，提出维护计划；

3 应急维护：对系统运行出现的突发故障排查原因，并及时采取处置措施。

## 8 数据管理与应用

### 8.1 一般规定

8.1.1 隧道结构监测系统数据管理应包含数据存储、数据交互与共享、数据安全。

8.1.2 监测系统数据包括结构化数据和非结构化数据，结构化数据应包括隧道基础数据、监测数据、特征值数据、超限值数据，非结构化数据可包括图像、音视频及文本。

8.1.3 监测数据宜采用分布式存储、大数据分析、多源数据整合等技术进行存储、管理和应用，确保数据的完整性、准确性、一致性、时效性、可访问性。

8.1.4 监测系统应满足数据交互与共享的要求，并可按需提供给相关部门进行联动。

8.1.5 监测应用应包括但不限于监测数据分析、超限阈值与报警、车辆通行管控建议、检查指引、健康度评估、特殊事件应急管理。

8.1.6 监测数据分析可结合养护管理等系统的数据开展，并应定期形成数据分析报告，展现形式宜包括月报、季报和年报。

8.1.7 应根据监测项目，积极拓展监测数据应用场景与应用方法。

### 8.2 数据存储

8.2.1 隧道结构监测系统数据存储宜分为隧道现场采集站存储、监控中心计算机机房存储和云存储，宜在线存储，也可离线存储。

8.2.2 隧道现场数据采集站内宜安装采集计算机，采用循环更新存储方式。

8.2.3 应采用数据库技术存储监测系统数据，应提供存储调度、存储监控及存储管理可视化功能。数据库宜采用模块化架构，可按功能对隧道结构信息、监测系统信息和监测数据进行分层、分类存储和管理。宜包括隧道结构信息子数据库、监测系统信息子数据库、实时数据子数据库、数据分析子数据库、监测应用子数据库等。

8.2.4 隧道结构信息子数据库宜对隧道设计、竣工图纸以及专项资料进行存储和管理，数据库的表格宜按照隧道设计、竣工图纸、专项资料等分类。

8.2.5 监测系统信息子数据库应存储和管理传感器、数据采集和传输设备、数据处理和管理设备及软件等信息，包括设备厂商、安装位置、品牌和规格等。

8.2.6 实时数据子数据库应存储和管理监测系统所有监测项目的原始数据。

8.2.7 数据分析子数据库应存储和管理采用统计方法、相关性分析、趋势性分析、比对性分析、机器学习等分析的数据。

8.2.8 监测应用子数据库应存储和管理超限报警、评估、分析结果等数据。

1 监控中心计算机机房实时监测数据存储时间宜大于5年。经处理后的特征数据、超限报警、评估结果等结构化数据存储时间宜大于20年。

2 监控中心计算机机房非结构化视频数据存储宜大于90天,特殊事件视频数据应转移备份并永久保存。

3 监测系统宜采用容灾备份机制,可具备各类数据压缩存储和异地备份功能。

### 8.3 数据交互与共享

8.3.1 动态监测数据应制定数据采集传输接口标准,静态数据应编制数据字典。

8.3.2 监测系统宜具备与外部系统进行数据交互与共享功能。

8.3.3 监测系统与外部系统数据交互方式可采用数据交换接口、中间存储介质或数据库同步等方式。

8.3.4 数据交互应采取权限验证和安全管理措施,数据通过互联网传输时应进行传输加密和身份认证。

8.3.5 监测系统与省、部级隧道监测平台数据交互与共享时,应满足省、部级平台统一的链路、传输、安全技术要求。

### 8.4 数据安全

8.4.1 数据安全应包含数据完整性、数据加密、数据访问权限控制和数据可审计性。

8.4.2 数据完整性应包含数据传输完整性和数据存储完整性,并符合下列规定:

1 数据传输完整性应符合 GB/T 37025 的相关规定。

2 应采用封装签名、测试字验证、引用约束等方式保证数据存储完整性,并提供非完整数据的解决措施。

8.4.3 对监测系统敏感字段或业务数据应加密存储。

8.4.4 通过公网传输监测数据时,应根据管理要求进行加密传输,加密过程应使用国家密码管理部门批准使用的算法。

8.4.5 数据审计应具备监测记录外部用户访问监测数据行为的功能。

8.4.6 监测系统应具备数据访问权限控制功能,能够对用户访问权限进行分级管理。

### 8.5 数据分析

8.5.1 监测数据处理应剔除错误数据,提取反映监测项目的有效特征数据。

8.5.2 数据分析宜采用比较法、作图法、统计分析法等,也可采用人工智能、数值计算和各种数学物理模型分析等方法,分析各物理量的变化规律、发展趋势,以及各原因量和效应量的相关关系。

8.5.3 数据分析结果宜包含各监测项目的变化速率、累计变化量、时程曲线、发展趋势及不同监测物理量的相关性等,宜绘制断面曲线图、等值线图。

8.5.4 宜结合隧道养护经常检查、定期检查等数据,通过结构技术状况评定、数值分析或专家经验等方法,定性或定量评价结构安全状态,为制定养护措施或应急管理方案提供依据。

8.5.5 监测数据分析宜符合下列规定:

1 分析变形、受力监测等物理量的变化速率和累计变化量,绘制时程曲线、变形散点图,分析各物理量的变化规律和发展趋势。

2 分析各物理量之间的相互影响关系以及在不同地质条件下各个物理量相关程度的大小,分析地质

条件对结构变形、受力的影响规律。

3 宜根据隧道内环境温度、围岩温度监测数据，结合工程的具体气象、地理和地质条件，分析其对结构安全的影响规律。

4 受周边工程活动影响的隧道段落，应结合周边工程活动性质，根据监测数据分析其对结构受力、变形的影响，提出建议措施。

5 分析病害特征监测物理量与变形、受力监测物理量的关系，结合基础资料，判断病害成因，并提出建议措施。

8.6 监测预警

8.6.1 监测预警值由累计变化量和变化速率共同控制，宜根据结构安全控制要求、结构特征、工程地质条件、周边环境以及周边工程活动性质等因素，结合标准规范、工程经验、历史数据等综合确定，并符合下列规定：

- 1 结构应力、变形预警值可采用地层结构法、荷载结构法进行分析计算，根据计算结果确定。
- 2 病害特征参数预警值可基于病害计算模型通过数值方法分析病害特征对结构受力、变形和安全状态的影响确定。
- 3 振动加速度等周围岩土体监测项目预警值可基于结构变形、应力预警值确定。
- 4 可根据监测数据结合数值方法反演结构应力、变形，根据结构损伤程度确定预警值，也可采用工程类比法、专家经验法确定。
- 5 宜根据监测数据的趋势预测结果及结构的安全状态评价结果进行调整。

8.6.2 无相关标准，且缺乏类似工程经验或基础资料时，可按表 7 的建议值确定监测项目预警值。当监测项目存在变形控制值时，报警值应不大于控制值的 85%。

表 7 隧道预警值建议值

| 监测项目      | 预警值   |                  | 报警值   |                  |
|-----------|-------|------------------|-------|------------------|
|           | 累计变化量 | 变化速率             | 累计变化量 | 变化速率             |
| 净空收敛      | 4‰D   | 7mm/年、0.7mm/连续3天 | 6‰D   | 10 mm/年或1mm/连续3天 |
| 拱顶下沉、墙脚下沉 | 20mm  | 7mm/年、0.7mm/连续3天 | 25mm  | 10 mm/年或1mm/连续3天 |
| 裂缝宽度      | —     | 0.15mm/年         | —     | 0.3 mm/年         |

注：D为隧道宽度。

8.6.3 公路隧道长期监测应采用分级预警方式，根据工程特点、监测项目预警值、地方经验等确定预警标准。无地方经验时，可按表 8 规定执行。

表 8 预警标准

| 预警等级 | 预警颜色 | 预警标准 | 应对措施 |
|------|------|------|------|
|------|------|------|------|

|       |    |                     |  |
|-------|----|---------------------|--|
| I 级   | 黄色 | 监测值达到预警值的70%，不超过预警值 | 正常养护运营                                 |
| II 级  | 橙色 | 监测值达到预警值            | 增加监测项目、加密监测点或提高监测频率                    |
| III 级 | 红色 | 监测值达到报警值            | 进行过程安全评估，根据评估结果制定安全防护、交通管制措施，适时开展专项治理等 |

8.6.4 公路隧道长期监测应根据监测预警等级和预警标准建立预警管理机制，预警管理机制应包括预警信息反馈机制及预警信息处置机制。

8.6.5 宜根据监测数据的趋势预测结果及结构的安全状态评价结果动态调整报警值。

8.6.6 报警内容包括传感器编号、位置、监测值、报警阈值和报警级别。

8.6.7 报警触发流程如下：

- 1 监测系统根据预设的报警阈值自动触发相应的报警级别；
- 2 人工对自动触发报警等级进行确认，必要时升级或降级；
- 3 根据报警类型、报警级别等采取闭合处理措施，形成联动机制。

## 8.7 检查指引

8.7.1 检查指引应围绕由监测数据指导、调整隧道检查工作。

8.7.2 监测数据和分析结果按表 9 给出建议；管养单位应在表 9 基础上，提出并制定检查指引具体内容。

表 9 隧道报警阈值及养护建议

| 监测项目                   | 报警级别 | 养护建议                |
|------------------------|------|---------------------|
| 净空收敛、拱顶下沉、墙脚沉降、衬砌表面应力等 | 一级   | 密切关注隧道表观病害发展情况      |
|                        | 二级   | 对隧道开展专项检查，对成因进行分析评估 |
|                        | 三级   | 对隧道进行全面检查和结构安全评估    |

## 8.8 应急响应

8.8.1 隧道在强降水、地质灾害、地震等自然灾害时，应进行特殊事件数据分析辅助应急管理措施决策，并评估结构健康度，必要时组织专家研判。

8.8.2 隧道管养单位在接收到监测系统异常报警后，应及时核实异常报警的影响范围。

8.8.3 隧道管养单位应做好必要的应急响应工作记录。

## 8.9 监测报告

8.9.1 监测报告应该按照规定的格式、内容，及时报送。监测报告可包括警情快报、周报、月报、季报、年报和总结报告，并符合下列规定：

- 1 预警快报应包括下列内容：
  - a) 警情发生的时间、地点、情况描述、严重程度等；

- b) 各监测项目的数据图表，包括变化速率、累计变化量、时程曲线和影像资料；
- c) 警情原因初步分析；
- d) 警情处理措施建议。

2 周报、月报、季报和年报应包括下列内容：

- a) 工程概况、天气和周边环境情况；
- b) 监测项目及测点布置图；
- c) 各监测项目的数据图表，包括变化速率、累计变化量、时程曲线和影像资料；
- d) 监测数据的分析与说明；
- e) 成因分析；
- f) 结论及建议。

3 总结报告应包括下列内容：

- a) 工程概况；
- b) 监测目的和依据；
- c) 监测方案，包括监测项目、测点布置、监测方法、监测仪器和传感器、监测频率、数据分析方法和预警标准等；
- d) 各监测项目的数据图表，包括变化速率、累计变化量、时程曲线和影像资料等；
- e) 监测数据的分析与说明；
- f) 成因分析及对策措施；
- g) 结论。

附录 A 监测点布置图

A.1 净空收敛、拱顶下沉、墙脚下沉监测点布置可参考图 A.1

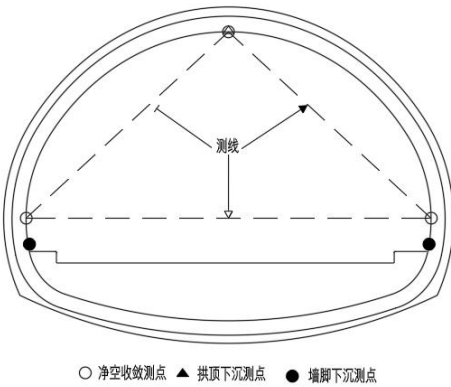


图 A.1 净空收敛、拱顶下沉、墙脚下沉监测点布置示意图

A.2 端墙式洞门位移监测点布置可参考图 A.2

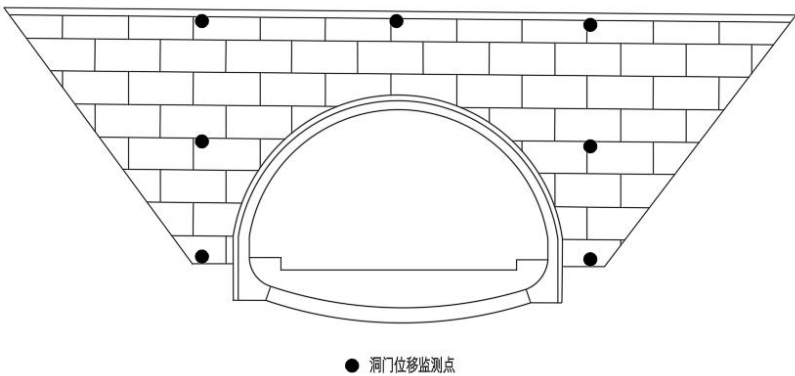


图 A.2 端墙式洞门位移监测点布置示意图

A.3 洞口边仰坡变形监测点布置可参考图 A.3

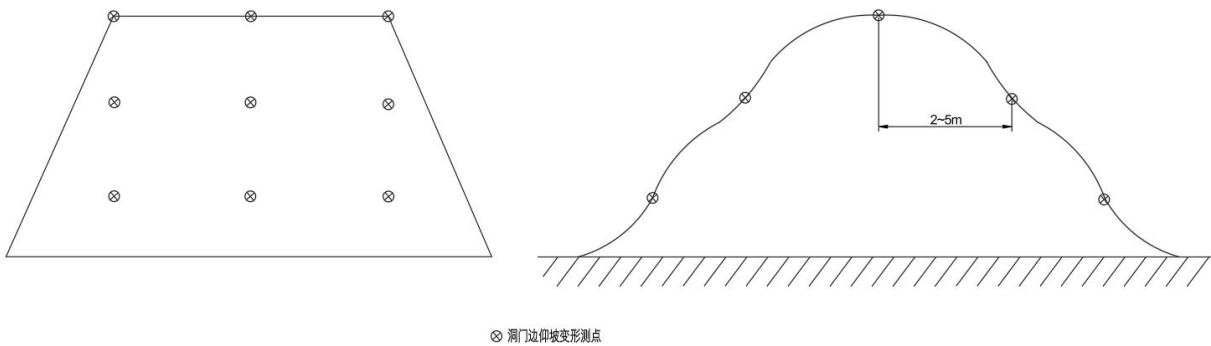


图 A.3 洞口边仰坡变形监测点布置示意图

A. 4 衬砌表面应力监测点布设可参考图 A.4

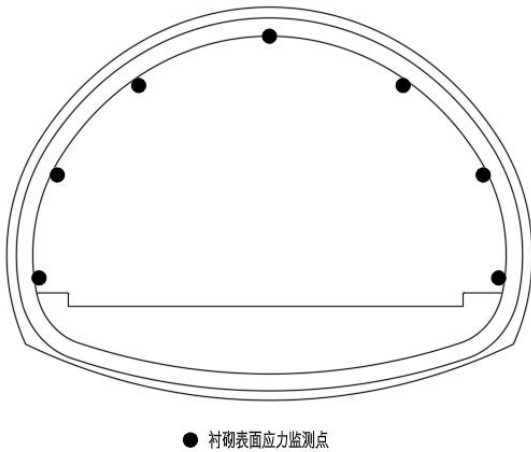


图 A.4 衬砌表面应力监测点布设示意图

A. 5 裂缝宽度监测点布设可参考图 A.5

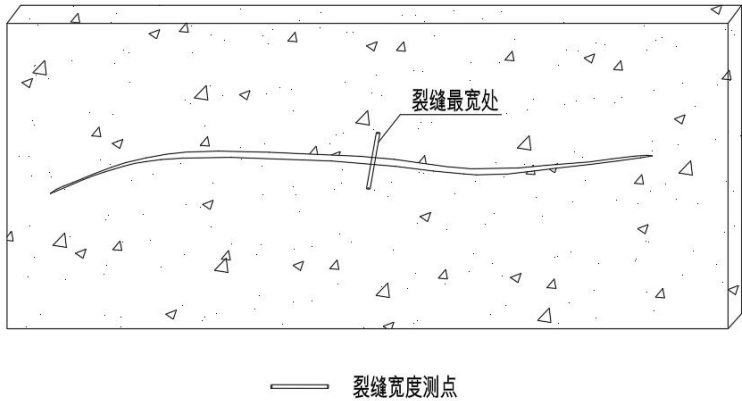


图 A.5 裂缝宽度监测点布设示意图

附 录 B 监测断面及测点编号

B.1 监测点编号可按图 B.1 所示规则编制，监测项目代号、监测点位置代号宜分别符合表 B.1、表 B.2 的规定，监测断面编号可取里程桩号。

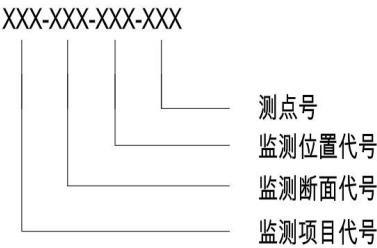


图 B.1 监测点编号组成

表 B.1 监测项目代号

| 监测项目      | 代号  | 监测项目   | 代号  |
|-----------|-----|--------|-----|
| 净空收敛      | JKS | 衬砌表面应力 | BML |
| 拱顶下沉      | GDC | 振动加速度  | JSD |
| 墙脚下沉      | GJC | 裂缝宽度   | LFK |
| 洞门水平位移    | DMP | 降雨量    | JYL |
| 洞门竖向位移    | DMS | 排水量    | PSL |
| 洞门倾斜      | DMX | 温度     | WD  |
| 洞口边仰坡水平位移 | BYP | 视频监控   | SP  |
| 洞口边仰坡竖向位移 | BYS |        |     |

表 B.2 监测点位置代号

| 监测点位置 | 代号  | 监测点位置 | 代号  |
|-------|-----|-------|-----|
| 拱顶    | GD  | 仰拱    | YG  |
| 左拱腰   | ZGY | 拱底    | GDI |
| 右拱腰   | YGY | 左墙脚   | ZQJ |
| 左边墙   | ZBQ | 右墙脚   | YQJ |
| 右边墙   | YBQ |       |     |

附 录 C 监测设备记录表

C.1 监测设备材料验收记录表见表 C.1。

表 C.1 监测设备材料验收记录表

|   |               |          |        |          |      |
|---|---------------|----------|--------|----------|------|
| 项目名称  |               |          |        |          |      |
| 施工单位  |               | 监理（监管）单位 |        |          |      |
| 设备验收报告  |               |          |        |          |      |
| 采购单位名称  |               |          |        |          |      |
| 供货单位名称  |               |          |        |          |      |
| 采购日期  | 年 月 日         |          | 交货日期   | 年 月 日    |      |
| 设备清单表   |               |          |        |          |      |
| 设备名称  | 数量            | 型号规格     | 主要技术参数 | 制造商      | 生产日期 |
|   |               |          |        |          |      |
|   |               |          |        |          |      |
|   |               |          |        |          |      |
|   |               |          |        |          |      |
| 设备验收情况  |               |          |        |          |      |
| 验收内容  | 验收项目          |          | 验收结果   |          | 备注   |
|   | 设备规格型号、配置情况   |          |        |          |      |
|   | 设备的完好情况       |          |        |          |      |
|   | 设备配件齐全或缺漏情况描述 |          |        |          |      |
|   | 设备运行测试结果      |          |        |          |      |
|   | 产品合格证、说明书     |          |        |          |      |
|   | 其他等以上未注明项     |          |        |          |      |
| 验收结论：   |               |          |        |          |      |
| 签字  | 采购方代表签字       |          |        | 监理（监管）签字 |      |
|   | 供货商代表签字       |          |        | 业主代表签字   |      |
| 验收日期：   |               |          |        |          |      |
| 注：验收内容中各种佐证材料（如合格证、测试报告、检定证书、使用手册、产品说明书等） 作为本表附属材料一同整理成册。 |               |          |        |          |      |

C.2 传感器设备记录表见表 C.2。

表 C.2 传感器设备安装记录表

|                         |                   |           |       |
|-------------------------|-------------------|-----------|-------|
| 项目名称                    |                   |           |       |
| 生产厂家                    |                   |           |       |
| 安装日期                    |                   | 温度        |       |
| 设备类型                    |                   | 设备名称      |       |
| 设备型号                    |                   | 线缆规格/编号   |       |
| 供电方式                    |                   | 电压        |       |
| 技术指标                    |                   |           |       |
| 设备用途                    |                   |           |       |
| 安装说明                    | (接线线序、调试要点、方向说明等) |           |       |
| 测点名称                    | (传感器1)            | (传感器2)    | ..... |
| 测点编号                    |                   |           |       |
| 安装位置                    |                   |           |       |
| 经纬度                     |                   |           |       |
| 传感器ID                   |                   |           |       |
| 采集设备编号                  |                   |           |       |
| 对应通道号                   |                   |           |       |
| 初始读数                    |                   |           |       |
| 施工过程图 (施工前、施工中、施工后特征照片) |                   |           |       |
| 施工单位 (盖章)               |                   | 安装人员 (签字) |       |
| 校核人员 (签字)               |                   | 填表人员 (签字) |       |
| 填表日期                    |                   |           |       |
| 注：各单位一份。                |                   |           |       |

C.3 采集设备记录表见表 C.3。

表 C.3 采集设备安装记录表

|           |              |           |  |
|-----------|--------------|-----------|--|
| 项目名称      |              |           |  |
| 生产厂家      |              |           |  |
| 安装日期      |              | 温度        |  |
| 设备类型      |              | 设备名称      |  |
| 设备型号      |              | 设备编号      |  |
| 设备ID      |              | 设备IP      |  |
| 采集信号类型    |              | 通道数       |  |
| 所属采集站     |              |           |  |
| 技术指标      |              |           |  |
| 设备用途      |              |           |  |
| 安装位置      |              |           |  |
| 安装说明      | (接线线序、调试要点等) |           |  |
| 安装照片      |              |           |  |
| 施工单位 (盖章) |              | 安装人员 (签字) |  |
| 校核人员 (签字) |              | 填表人员 (签字) |  |
| 填表日期      |              |           |  |
| 注: 各单位一份。 |              |           |  |

C.4 系统软件测试记录见表 C.4。

表 C.4 系统软件测试表

| 功能模块     | 测试项目    | 测试步骤 | 预期结果     | 实际结果 | 结论<br>(通过/不通过) |
|----------|---------|------|----------|------|----------------|
| 数据采集与传输  | 传感器连接   |      |          |      |                |
|          | 接收      |      |          |      |                |
|          | 稳定性     |      |          |      |                |
|          | .....   |      |          |      |                |
| 数据处理与控制  | 数据预处理   |      |          |      |                |
|          | 数据转换    |      |          |      |                |
|          | 数据存储    |      |          |      |                |
|          | 数据查询    |      |          |      |                |
|          | .....   |      |          |      |                |
| 用户界面     | 用户登录    |      |          |      |                |
|          | 数据展示    |      |          |      |                |
|          | 数据报警    |      |          |      |                |
|          | 统计分析    |      |          |      |                |
|          | .....   |      |          |      |                |
| 其它       | 兼容性测试   |      |          |      |                |
|          | 性能测试    |      |          |      |                |
|          | 安全测试    |      |          |      |                |
|          | 与其它平台互联 |      |          |      |                |
|          | .....   |      |          |      |                |
| 测试日期     |         |      | 温度       |      |                |
| 记录人员（签字） |         |      | 复核人员（签字） |      |                |

C.5 系统软件检查维护记录见表 C.5。

表 C.5 系统软件检查维护记录表

| 功能模块     | 检查项目   | 功能状况 | 运行结论     | 异常说明 |
|----------|--------|------|----------|------|
| 数据采集与传输  | 传感器连接  |      |          |      |
|          | 接收     |      |          |      |
|          | 稳定性    |      |          |      |
|          | .....  |      |          |      |
| 数据处理与控制  | 数据预处理  |      |          |      |
|          | 数据转换   |      |          |      |
|          | 数据存储   |      |          |      |
|          | 数据查询   |      |          |      |
|          | .....  |      |          |      |
| 用户界面     | 数据展示   |      |          |      |
|          | 数据报警   |      |          |      |
|          | 统计分析   |      |          |      |
|          | .....  |      |          |      |
| 数据状况     | 完整性    |      |          |      |
|          | 超限报警   |      |          |      |
|          | .....  |      |          |      |
| 其它       | 系统日志   |      |          |      |
|          | 数据库日志  |      |          |      |
|          | 安全管理软件 |      |          |      |
|          | 系统软件配置 |      |          |      |
|          | .....  |      |          |      |
| 日期       |        |      | 温度       |      |
| 维护人员（签字） |        |      | 复核人员（签字） |      |

C.6 外场硬件设备检查维护记录见表 C.6。

表 C.6 外场硬件设备检查维护记录表

| 检查维护日期   |      |      | 温度       |    |        |
|----------|------|------|----------|----|--------|
| 序号       | 设备名称 | 设备编号 | 设备位置     | 状况 | 检查维护内容 |
| 1        |      |      |          |    |        |
| 2        |      |      |          |    |        |
| 3        |      |      |          |    |        |
| .....    |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
|          |      |      |          |    |        |
| 维护人员（签字） |      |      | 复核人员（签字） |    |        |

C.7 监控中心硬件设备检查维护记录见表 C.7。

表 C.7 监控中心硬件设备检查维护记录表

| 检查项目     |         | 设备编号 | 设备位置     | 状况 | 存在问题及维护情况 |
|----------|---------|------|----------|----|-----------|
| 存储设备     | 外壳清洁、破损 |      |          |    |           |
|          | 运行声音    |      |          |    |           |
|          | 振动      |      |          |    |           |
|          | 温度      |      |          |    |           |
|          | 接线      |      |          |    |           |
|          | 指示灯     |      |          |    |           |
|          | 剩余存储空间  |      |          |    |           |
| 显示设备     | 外壳清洁、破损 |      |          |    |           |
|          | 显示屏显示状况 |      |          |    |           |
|          | 功能按键    |      |          |    |           |
| .....    | .....   |      |          |    |           |
| 检查维护日期   |         |      | 温度       |    |           |
| 维护人员（签字） |         |      | 复核人员（签字） |    |           |