



T/CECS ×××—202×

---

中国工程建设标准化协会标准

# 结构测力支座校准标准

(拟改为：桥梁支座反力监测技术规程)

Technical specification for bridge bearing reaction monitoring

(征求意见稿)

中国 XX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

# 结构测力支座校准标准

(拟改为：桥梁支座反力监测技术规程)

Technical specification for bridge bearing reaction monitoring

**T/CECS ×××—202X**

主编单位：济通智能装备股份有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

施行日期：202×年×月×日

中国计划出版社

20×× 北 京

# 前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2021 年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2021〕20 号）的要求，规程编制组经过深入调查研究，认真总结科研成果和实践经验，参考有关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分为 6 章和 8 个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、支座反力监测分类、方法和周期、技术要求、监测系统等。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会城市交通专业委员会归口管理，由成都智能装备股份有限公司负责具体技术内容的解释。本规程在使用过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送解释单位（地址：成都市新津区兴园十路 669 号），以供修订时参考。

**主编单位：** 济通智能装备股份有限公司

**参编单位：**

**主要起草人：** X X X X X X X X X X X X X X X X X X

**主要审查人：** X X X X X X X X X X X X X X

X X X X X X X X X

# 目 次

1 总 则.....	1
2 术语和符号 .....	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	3
3 基本规定.....	4
4 支座反力监测分类、方法和周期 .....	5
4.1 支座反力监测分类.....	5
4.2 支座反力监测的方法 .....	5
4.3 支座反力监测的周期 .....	5
5 技术要求.....	7
5.1 支座结构.....	7
5.2 支座反力监测的性能要求.....	9
6 监测系统.....	11
6.1 一般规定.....	11
6.2 监测系统硬件要求.....	11
6.3 数据采集.....	12
6.4 数据传输.....	13
6.5 数据处理.....	13
6.6 数据分析.....	14
6.7 预警.....	15
附 录 A 支座反力转换公式参数的确定.....	16
附 录 B 正常状态下支座反力监测校准试验.....	18
附 录 C 水平力状态下支座反力监测校准试验.....	20
附 录 D 转角状态下支座反力监测校准试验.....	22
附 录 E 测力支座原位校准方法.....	24
附 录 F 支座反力监测校准试验记录表.....	29
附 录 G 支座校准证书格式.....	30
附 录 H 支座反力监测原位校准点力值校准记录表.....	31
本规程用词说明.....	32
引用标准名录.....	33
条文说明.....	34

## Contents

1	General provisions.....	1
2	Terms and symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	3
3	Basic Requirements.....	4
4	Classification, Methods, and Periods of Support Reaction Monitoring.....	5
4.1	Classification of Support Reaction Monitoring.....	5
4.2	Methods for Monitoring Support Reaction.....	5
4.3	Monitoring cycle of support reaction force.....	5
5	Technical Requirements.....	7
5.1	Support structure.....	7
5.2	Performance requirements for support reaction monitoring.....	9
6	Monitoring System.....	11
6.1	General provisions.....	11
6.2	Hardware requirements for monitoring system.....	11
6.3	Data Collection.....	12
6.4	Data transmission.....	13
6.5	Data processing.....	13
6.6	Data Analysis.....	14
6.7	Early Warning.....	15
Appendix A	Determination of the parameters of the support reaction conversion formula.....	16
Appendix B	Calibration test for support reaction monitoring under normal conditions.....	18
Appendix C	Calibration test for monitoring support reaction under horizontal force state.....	20
Appendix D	Calibration test for support reaction monitoring under corner state.....	22
Appendix E	Method for in-situ calibration of load bearing.....	24
Appendix F	Record Form for Calibration Test of Support Reaction Monitoring.....	29
Appendix G	Format of Support Calibration Certificate.....	30
Appendix H	Support reaction monitoring in-situ calibration point force value calibration record form.....	31
	Explanation of wording in this specification.....	32
	List of quoted standards.....	33
	Addition: Explanation of provisions.....	34

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范桥梁支座在工程建设与运营过程中的反力监测技术，确保获取到的数据准确、可靠，提高测力支座的长期测力可靠性，做到技术先进、数据可靠、经济合理，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于对支座反力有监测要求的新建、改建桥梁和结构工程。

**1.0.3** 用于支座反力监测的支座除应执行本规程外，应符合国家现行有关规范标准和中国工程建设标准化协会标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 测力支座 Force Measuring Bearing

带有测力元件，可有效测量支座承载力的结构支座。

#### 2.1.2 测力校准 Force calibration

在规定条件下，为确定测力仪器或系统的示值或实物量具或标准物质所代表的值与相对应的被测量的已知值之间关系的一系列活动。

#### 2.1.3 传感器输出值 Sensor output value

指传感器感受到被测信号并按照一定规则转换的可用输出值

#### 2.1.4 原位校准 In-situ calibration

在支座原来所处的位置上，基本保持支座的结构和原有应力状态下，确定传感器输出值与支座反力之间的关系，并用此信息确定由支座测力示值获得测量结果的关系的一系列活动。

#### 2.1.5 监测系统 Monitoring systems

由测力支座、数据采集、传输设备等硬件通过网络集成技术将监测数据、数据分析与应用的硬件设备、软件模块及配套设施连接在一起组成，实现一定监测功能的软件及硬件集成。

#### 2.1.6 施工期监测 Construction monitoring

桥梁施工阶段进行的支座反力监测。

#### 2.1.7 运营期监测 Post construction monitoring

桥梁运营阶段进行的支座反力监测。

#### 2.1.8 预警阈值 Early warning threshold

为保证结构安全、周边环境安全或满足规定要求，对表征监测对象可能发生危险或存在安全隐患的监测量所设定的警戒值。

#### 2.1.9 测量上限值 Measuring range higher limit

指测力支座按规定准（精）确度能够测量的支座反力最大值。

## 2.2 符号

$F$ ——支座反力

$F_{\max}$ ——支座反力设计最大值

$F.S$ ——支座反力监测量程最大值

$F_N$ ——测量上限值

$P$ ——支座设计竖向承载力

$X_i$ ——第  $i$  个测量点时，测力支座 3 次重复测量时进程示值平均值  $X_i$ ;

$F_i$ ——第  $i$  个测量点（校准点）时，测力支座反力标准力值

$T_{i上}$ ——第  $i$  个较准点时校准装置使测力支座处于上升趋势状态时的水平力平均值

$T_{i下}$ ——第  $i$  个较准点时校准装置使测力支座处于下降趋势状态时的水平力平均值

$\tan \theta$ ——测力支座校准装置结构件坡度值

$X_j$ ——第  $j$  次测量时进程读数示值

$F_0$ ——临时支承无顶升力时的竖向标准力值

$L_i$ ——第  $i$  个测量点时的临时支承竖向顶升力值

$j$ ——测量序号;

$x$ ——考虑温度、湿度等影响后的传感器输出修正值

$a$ ——二次项系数

$b$ ——一次项系数

$c$ ——常数

$\mu$ ——近期监测数据分布均值;

$\sigma$ ——近期监测数据分布标准差



### 3 基本规定

3.0.1 桥梁符合下列条件之一时，宜进行桥梁支座反力监测：

1 重要结构或复杂结构的桥梁，包括：位于城市主要交通要道、出入城、交通繁忙、有重车经常通行的桥梁；长大跨（桥长大于 1000m 或单跨跨度大于 150m）桥梁；斜拉桥、悬索桥、系杆拱桥；

2 运营风险大的桥梁，包括：服役年限超过 30 年且存在明显病害、超载风险大、车、船、冰排撞击风险高的桥梁；

3 城市道路高架桥的重要路口、匝道段和独柱墩段桥梁；

4 易发生倾覆破坏的独柱桥梁、弯桥、斜桥、基础易发生沉降的桥梁及存在负反力的大跨径桥梁；

5 经过评定需要进行结构监测的桥梁。

3.0.2 支座增加测力功能后，不应降低支座结构安全性和可靠性要求，支座整体性能应符合国家现行有关规范标准和中国工程建设标准化协会标准的有关规定。

3.0.3 支座增加测力功能后，测力系统应可进行现场原位校准，传感器应可在支座受力状态下进行更换。

3.0.4 支座反力监测系统应具有完整的传感、调理、采集、传输、存储、数据处理及控制、预警及状态评估功能。

3.0.5 监测系统的数据采样频率应满足监测要求，并不得小于 1Hz。

## 4 支座反力监测分类、方法和周期

### 4.1 支座反力监测分类

#### 4.1.1 按监测阶段分类

施工期监测：从支座设备安装开始到项目施工完工的期间内进行的支座反力测量和监测活动。

运营期监测：在工程项目施工完工后，对支座反力测量和监测活动。

全寿命监测：从支座设备安装开始，直至其预定的服务年限结束的整个期间内进行的测量和监测活动。

#### 4.1.2 按使用要求分类

实时监测：指在桥梁支座运行过程中，持续不断地进行反力监测。

按需监测：针对特定需求，如定期检查或出现特殊情况时进行的监测。

### 4.2 支座反力监测的方法

#### 4.2.1 按监测原理，支座反力的方法有应变式和压力式两种：

1 应变式：通过在支座力传导路径上的金属弹性体侧面或上下面设置传感器，弹性体受到竖向荷载作用，使传感器产生微变形，形成传感器输出值。通过传感器输出值与支座竖向荷载的转换关系，达到进行支座反力监测的目的。

2 压力式：通过在支座内部设置橡胶弹性体或密闭流体，在出厂前标定橡胶弹性体或密闭流体压力与支座竖向荷载的关系，通过橡胶弹性体或密闭流体压力与竖向荷载的转换关系，达到进行支座反力监测的目的。

4.2.2 施工期监测可采用应变式或压力式反力监测；运营期监测和全寿命监测宜采用应变式监测。

4.2.3 实时监测宜采用应变式监测；按需监测可采用应变式或压力式反力监测。

### 4.3 支座反力监测的周期

4.3.1 施工期监测宜采用自动化采集设备进行监测，监测周期易涵盖支座安装后桥梁施工工艺阶段，满足施工要求。

4.3.2 运营期监测宜为长期实时监测，监测周期应根据监测要求与工程特点等因素确定，且不宜少于 5 年。

4.3.3 全寿命监测宜为长期实时监测，监测周期与桥梁全寿命周期相同。

4.3.4 支座反力监测周期内，宜对被监测的支座进行定期的安全评估。

4.3.5 支座反力监测周期内，应对监测系统进行定期检查和系统维护。

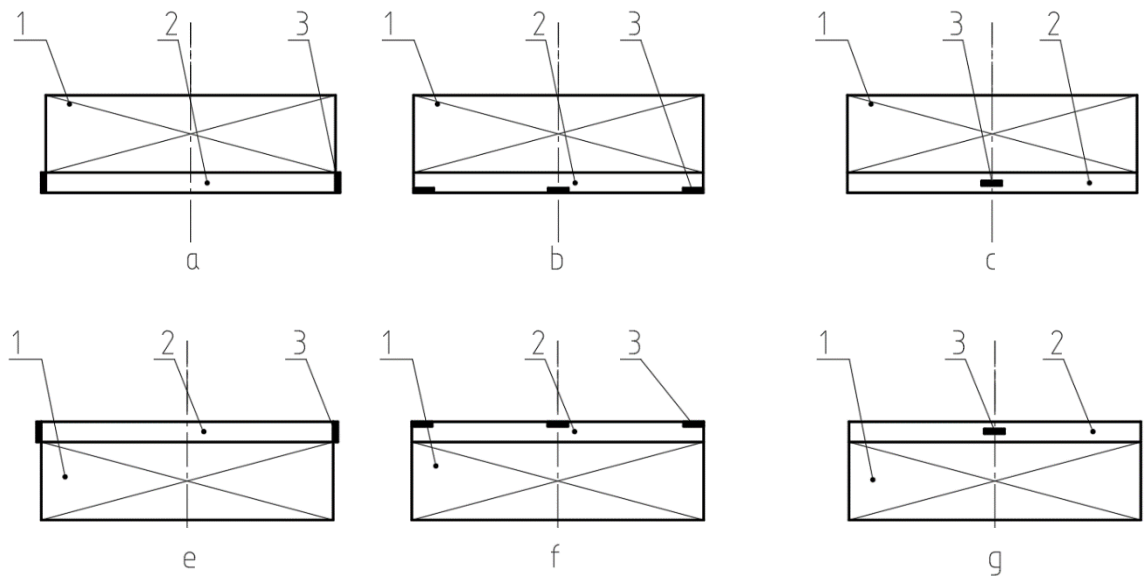
## 5 技术要求

### 5.1 支座结构

#### 5.1.1 测力支座本体

##### 1 采用应变式方法测力支座

支座由支座本体、金属弹性体、传感器等组成。按传感器类型不同，可以分为力传感器、振弦式应变传感器、光纤传感器、电阻应变传感器等，不同的传感器输出值含义不同。金属弹性体置于支座本体上方或下方，传感器布置在金属弹性体四周或中间，见图 5.1.1-1a~5.1.1-1g

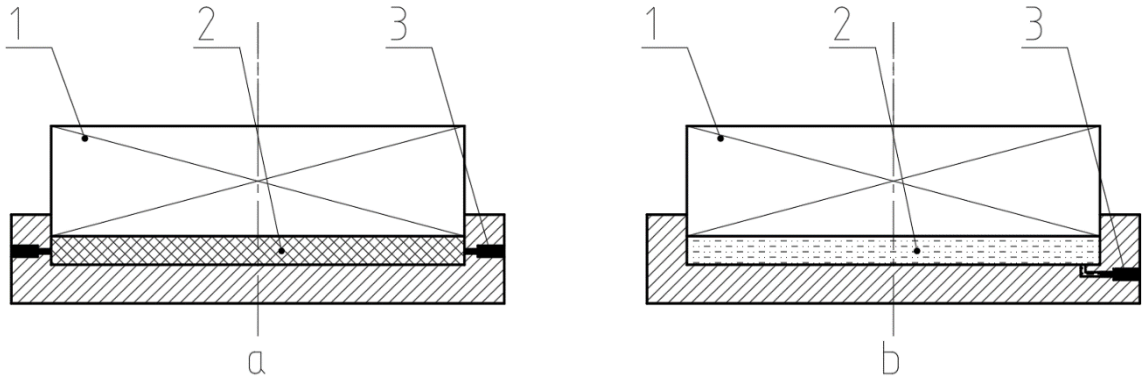


1-支座本体；2-金属弹性体；3-传感器

图 5.1.1-1 采用应变式方法测力支座本体

##### 2 采用压力式方法测力支座

支座由支座本体、橡胶弹性体（流体）、压力传感器等组成。见图 5.1.1-2a~5.1.1-2b



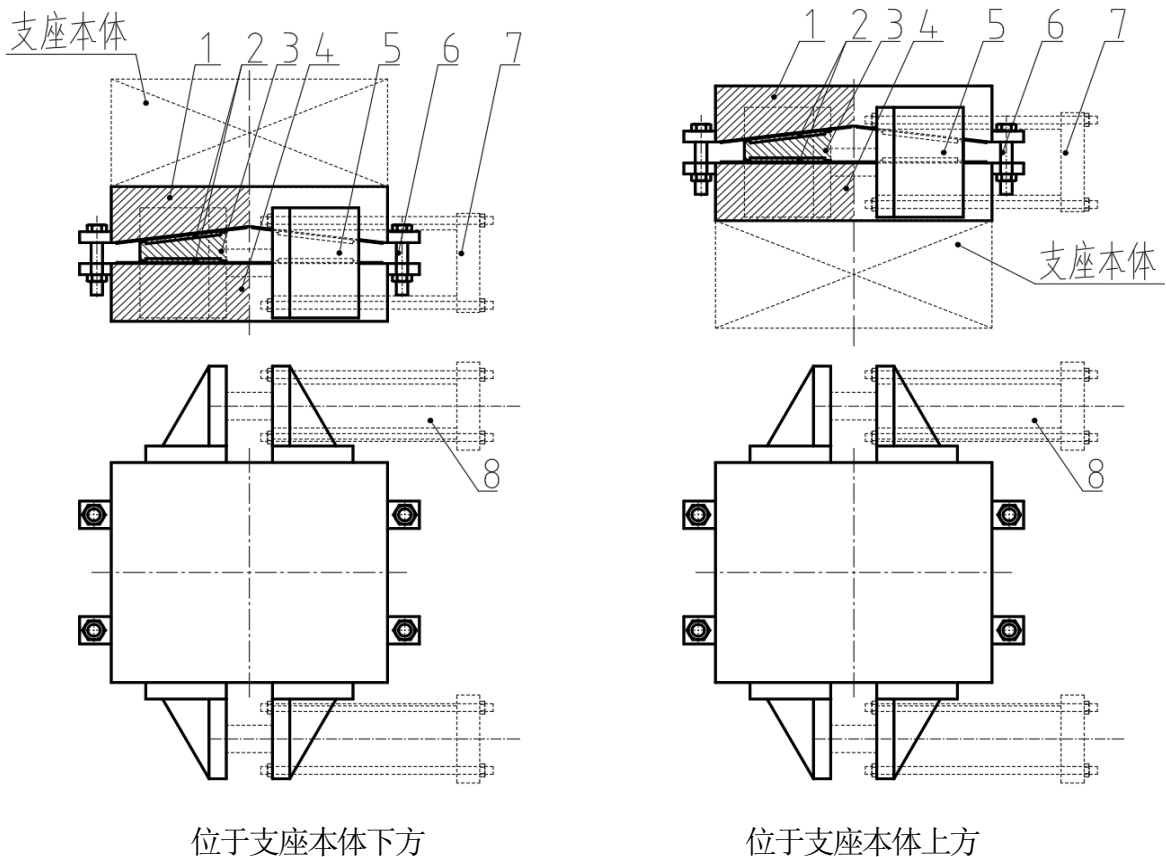
1-支座本体; 2-橡胶弹性体; 3-压力传感器

1-支座本体; 2-流体; 3-压力传感器

图 5.1.1-2 采用压力式方法测力支座本体

### 5.1.2 原位校准结构

支座反力监测用测力支座应设置安装后原位校准结构，原位校准结构位于测力支座本体上方或下方，如图 5.1.2:



位于支座本体下方

位于支座本体上方

说明： 1-上调整块; 2-滑板; 3-左楔形块; 4-底座; 5-右楔形块; 6-导向销; 7-反力架; 8-千斤顶（含力传感器）

图 5.1.2 测力原位校准结构示意图

## 5.2 支座反力监测的性能要求

5.2.1 支座反力由传感器输出值与竖向荷载的转换关系式确定，如下：

$$F = ax^2 + bx + c \quad (1)$$

式中：

F——支座反力（KN）

x——考虑温度、湿度等影响后的传感器输出修正值

a——二次项系数，当曲线为线性时，a=0。

b——一次项系数

c——常数

a、b、c按附录A确定

5.2.2 用于反力监测的支座，整体测力性能要求如下：

1 正常状态下，支座竖向测力范围为0.3P-1.2P，支座测力示值误差不大于3%F.S，重复性误差不大于1%F.S。

2 在支座发生设计转角时，支座测力示值误差不大于3%F.S，重复性误差不大于1%F.S。

3 对固定支座或单向活动支座，在支座发生非活动方向设计水平力时，支座测力示值误差不大于3%F.S，重复性误差不大于1%F.S。

5.2.3 支座反力监测所用传感器应符合相关标准要求，如下：

1 力传感器技术指标应符合 GB/T7551 的相关要求；

2 光纤应变传感器技术指标应符合 JG/T 422 的相关规定；

3 电阻应变传感器技术指标应符合 GB/T 13992 的相关规定；

4 振弦式应变传感器技术指标应符合 GB/T 3408.2 的相关规定；

5 压力传感器技术指示应符合 JB/T 6170 的有关规定。

5.2.4 用于反力监测的支座，在出厂前应按进行测力校准，校准方法见附录 B~D，其准确度级别应满足 JJG 455 的规定，且不大于 5.0。

5.2.5 用于反力监测的支座安装到桥梁上后，应定期对支座测力精度进行原位校准。要求如下：

1 测力支座安装到桥梁上后，在支座安装后使用前应进行原位校准，修正支座测力参数；

- 2 桥梁交付使用后，三年内每一年进行一次原位校准，三年后每半年进行一次原位校准
- 3 测力支座测力元件更换后，应对支座测力进行原位校准。
- 4 测力支座测力值长时间与正常值存在明显偏差时，应对支座测力进行原位校准。
- 5 测力支座原位校准方法按附录 E 进行。

5.2.6 支座测力原位校准重复性误差不大于 1%。

5.2.7 校准后支座整体测力性能应满足 5.2.2 要求，准确度级别应满足 JJG 455 的规定，且不大于 5.0。

## 6 监测系统

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 应结合工程特点与现场条件，综合考虑施工阶段与运营阶段的监测要求、荷载特征变化以及环境条件改变的影响建立监测系统，且应遵循“技术可靠、方案可行、经济合理、便于维护”的基本原则。
- 6.1.2 监测系统宜具有完整的传感、调理、采集、传输、存储、数据处理及控制、预警及状态评估功能。
- 6.1.3 监测系统的数据采样频率应满足监测要求，并不得小于 1Hz。
- 6.1.4 监测系统的数据传输应稳定可靠，且应尽量减少现场布线。
- 6.1.5 监测系统宜根据建设单位的监测要求形成相应的可视化监测软件。
- 6.1.6 施工期监测应根据施工进度对监测设备及周边环境进行巡视检查
- 6.1.7 运营期监测，监测系统应可不间断连续工作，应具备自动生成监测报表及自动预警功能。
- 6.1.8 监测数据应及时分析处理，出现异常数据应及时核查确认。
- 6.1.9 监测结果可与设计标准值进行实时对比，当监测数据异常时，应及时对被监测对象与监测系统进行核查，当监测值超过预警阈值时，应及时报警。

### 6.2 监测系统硬件要求

- 6.2.1 用于支座反力监测的系统硬件设备安装应避免损伤桥梁主体结构，并考虑安装、维护的便易性和易保护性。
- 6.2.2 数据采集设备应与传感器和数据采集与传输软件功能相适配，满足数据同步采集、实时传输要求。
- 6.2.3 传感器及数据采集设备应明确“防尘、防水、防雷”指标要求；
- 6.2.4 数据采集设备应根据元器件的环境温度工作适宜性配置温控机柜。光纤光栅解调仪低于 0℃或高于 40℃时，宜配置温控机柜。



6.2.5 数据传输系统的使用环境温度为  $-50^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ ，满足支座示值误差及重复性误差要求的测试环境温度为  $-10^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ 。数据传输系统应具备远程实时传输功能,并留有与桥梁健康监测系统的传输接口。

6.2.5 机柜位于结构内部时，防护级别应不低于 GB/T 4208-2017 规定的 IP55；置于结构外部时，防护等级应不低于 GB/T 4208-2017 规定的 IP65，其他参数宜符合 GB/T 15395 的相关规定。

6.2.6 网络传输的设计宜预留冗余。

6.2.7 采用云服务作为计算及存储资源的宜配备必要的网络安全及数据备份服务。

6.2.8 采用自建监控中心的应配备 UPS 电源、恒温空调、门禁安防系统。

6.2.9 监测系统计算资源、存储资源及网络传输带宽应根据测点数量、采样频率、数据分析计算量、业务功能复杂度、并发访问量等确定。

6.2.10 应能够保障系统在桥梁所处温湿度、振动、电磁干扰环境下连续稳定运行。

6.2.11 监测系统现场供电应采用太阳能供电系统或市电供电系统，结合项目现场实际情况确定。

6.2.12 市电供电系统应包含漏电保护开关和稳压开关电源。

6.2.13 太阳能供电

1 太阳能供电系统应包含太阳能板、电池、太阳能控制器及机械支架，并具有电源管理、电池供电和掉电保护功能

2 电池容量应满足监测设备在无日照条件下工作不小于 7 天。

6.2.4 通信、供电设备用电功率宜预留冗余。

## 6.3 数据采集

6.3.1 采集设备的性能应与对应传感器性能匹配并满足被测物理量的要求。

6.3.2 采集设备与传感器之间应有明确的拓扑关系。根据工程特点与现场具体条件，可选择数据集中采集和分散采集两种模式。

6.3.3 数据采集宜对信号进行放大、滤波、去噪、隔离等预处理对信号强度量级有较大差异的不同信号，应严格进行采集前的信号隔离。

6.3.4 数据采集应防潮、防静电和屏蔽磁场环，信号采集仪应有不间断电源保障。

6.3.5 数据采集应具备通讯中断时数据缓存能力，保存不小于 7 天的传感数据，通讯恢复以后能补传历史数据。

6.3.6 数据采集应具备远程控制能力，具有远程配置采集频率、获取历史数据、查看工作日志、查看配置信息等功能。

6.3.7 当同类或不同类数据需要做相关分析(含模态分析)时所有相关数据应同步采集;否则,可选择伪同步采集或异步采集。

## 6.4 数据传输

6.4.1 数据传输应采用移动通信、以太网通信等通信网络实现远程数据传输，必要时可采用卫星通信。

6.4.2 以太网数据传输应采用光纤、五类或六类 UTP/STP 线缆，并支持 10/100/1000Mbps 传输技术标准。

6.4.3 远程数据通信设备应支持物联网平台的接入，通过 HTTP、MQTT、COAP 等数据协议与监测平台进行数据交互和远程管理。

6.4.4 数据传输系统应坚持因地制宜的原则，并综合考虑数据传输距离、工程各阶段特征和工程现场地形条件、网络覆盖状况、已有的通信设施等因素,灵活选取合适的数据传输方式。

1 当工程现场存在无线发射设备或在有强电磁场的环境下应采取有效的电磁屏蔽措施,当无法实施电磁屏蔽时,应采用有线传输方式。

2 对于交通不便的深山峡谷、复杂地形物理线路布设和维护困难的环境下,宜采用无线传输方式。

3 需要构建临时传输网络的工程现场，宜采用无线传输方式。

## 6.5 数据处理

6.5.1 数据处理模块应具备数据的预处理和后处理能力，预处理应对监测数据进行去噪、滤波、异常剔除等处理，后处理应根据数据分析需求确定。

7.3.2对采集到的异常数据点，可通过拉伊达准则（ $3\sigma$ 准则）判定，当某个数据 $x_b$ 符合下述条件：

$$|x_b - \mu| > 3\sigma$$

其中:

$\mu$ ——近期监测数据分布均值;

$\sigma$ ——近期监测数据分布标准差;

则认为该数据为异常数据。

6.5.3 监测系统中存储数据的单位,宜采用国际单位制。数据的时间应采用公历,最低精度为秒。

6.5.4 数据库的性能应满足下列要求:

- 1 数据库应具备高并发请求处理能力。
- 2 数据库应具备数据库日常监控与管理控制功能。
- 3 数据库应具备资源阈值报警能力。
- 4 数据库应采用分布式存储、大容量多样化数据组织与存储管理技术,可实现海量数据的检索、分析、等数据服务。
- 5 数据库应具备关键数据的完全备份、基础数据的差异备份、运行数据的增量备份等数据备份系统。
- 6 数据库应具备自动备份能力,备份周期不大于 7 天,备份文件存储时间不小于 90 天。

## 6.6 数据分析

6.6.1 支座反力监测数据宜分析平均值、最大值、最小值及其随时间变化规律:

6.6.2 对于施工期监测的数据分析,应结合施工方案及结构受力状态变化,对比分析监测数据结果与结构计算分析结果

6.6.3 监测数据分析与处理应符合下列要求:

- 1 实时分析监测数据;
- 2 结合基础资料和监测数据实时分析结果进行综合分析,判断支座反力的合理性,预测支座稳定性发展趋势。

6.6.4 监测数据智能分析应利用历史监测数据,结合数据挖掘、深度学习等人工智能算法建立支座反力监测数据预测模型,判断监测数据变化趋势。

## 6.7 预警

6.7.1 应对监测项目各参数建立明确的预警指标，预警系统宜具备监测数据处理分析与支座反力状态分级预警功能。

6.7.2 预警系统宜具备预警信息通信功能，能将各种预警信息以电子邮件或短信等形式通知相关人员。

6.7.3 施工阶段应结合设计要求、施工过程等进行阶段性评估，并根据监测要求给出监测报告。

6.7.4 运营阶段应定期将监测数据与设计要求、相关规范要求等进行对比，进行结构安全常规评估，并根据监测要求给出监测报告。

6.7.5 支座反力的预警阈值，应以支座反力  $F$  与支座反力设计最大值  $F_{\max}$  的比值计算，宜按表 6.7.5 确定。对于独柱桥梁弯桥等易发生支座脱空病害的桥梁，当支座反力过小，应直接采用 I 级预警。

表 6.7.5 支座反力预警阈值

预警级别	预警阈值
I	$F/F_{\max} - 1 = 0.4$ 或 $1 - F/F_{\max} = 0.4$
II	$F/F_{\max} - 1 = 0.3$
III	$F/F_{\max} - 1 = 0.2$
IV	$F/F_{\max} - 1 = 0.1$

## 附录 A 支座反力转换公式参数的确定

### A.1 支座

A.1.1 支座反力转换公式参数的确定试验应采用实体支座进行。如受试验设备能力限制时，经与用户协商可选用小型装置进行试验。

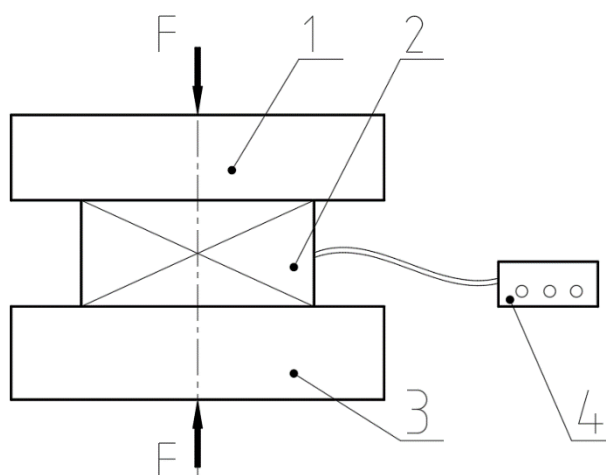
A.1.2 试验装置的材质应符合本标准要求，装置各部件及支座外形尺寸应符合设计要求。

A.1.3 试验前应在 $23\pm 5^{\circ}\text{C}$ 环境下停放24h以上。

正常状态下装置测力标定试验测试内容包括：测力装置示值误差和重复性误差试验。

### A.2 试验方法

试验在校准过的压力试验机或专用设备上进行，试验机应可平稳、连续加载，试验装置按图A.1进行放置。



说明：

1— 试验机上承压板； 2— 试样； 3— 试验机下承压板； 4— 数据采集仪；

图 A.1 支座反力转换公式参数的确定试验示意图

按图 A.1 放置试样后，试验按以下步骤进行：

- 对中装好试样后，将支座上下联接螺栓松开，并将采集系统与传感器连接；
- 试验前，应对支座进行预压，预压荷载为支座竖向设计承载力，预压次数为三次；
- 试验：

(1) 对测力装置施加竖向荷载  $F$ ，以 1% 试验荷载为起点，连续加载至试验荷载  $1.2P$ ，加载速度不大于  $5\text{kN/s}$ ，稳压三分钟后卸载，记录  $0.3P$ 、 $0.4P$ 、 $0.5P$ 、 $0.6P$ 、 $0.8P$ 、 $0.9P$ 、 $1.0P$ 、 $1.1P$ 、 $1.2P$  时竖向荷载  $F$  与传感器输出值  $x$ 。重复三次。

(2) 求出各级加载时，三次重复加载时的竖向荷载值  $F$  与传感器输出值平均值  $x_i$

(2) 列表，将压力机读数  $F$  与传感器输出值平均值  $x_i$  对应，采用最小二乘法求出拟合曲线  $F = ax^2 + bx + c$ ，从而求出  $a$ 、 $b$ 、 $c$  值，如图所示：

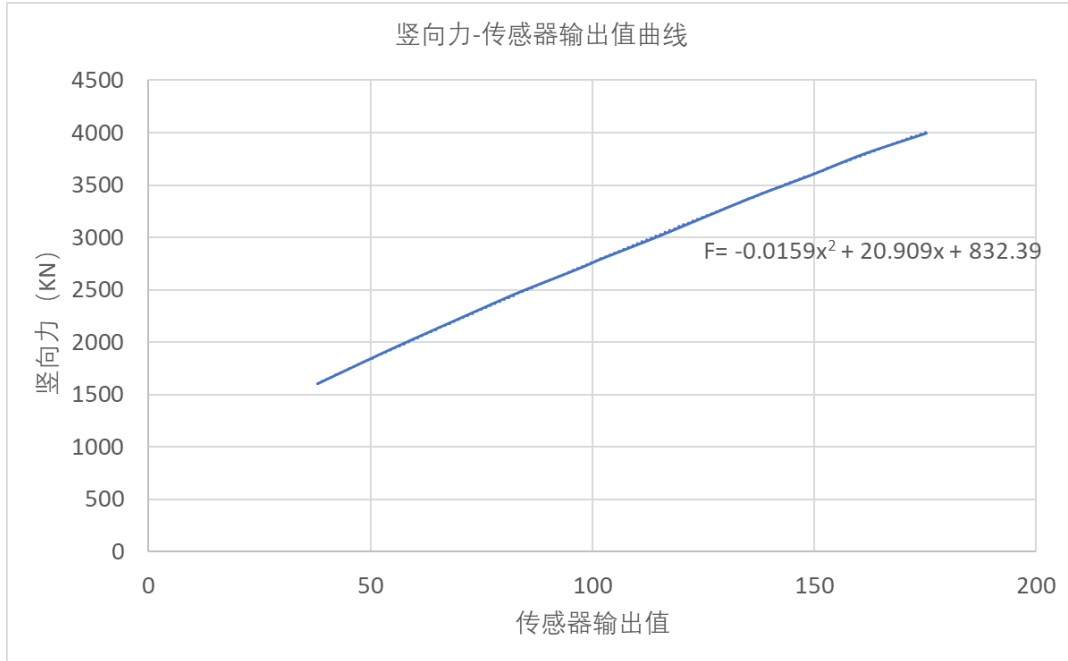


图 A.2 竖向荷载-传感器输出值关系示意图

图 A.2 所示中， $a=-0.159$ ， $b=20.909$ ， $c=832.39$ 。

## 附录 B 正常状态下支座反力监测校准试验

### B.1 试样

B.1.1 正常状态下支座测力校准试验在支座反力公式参数的确定试验完成后进行。支座应采用支座反力公式参数的确定试验的同一支座。

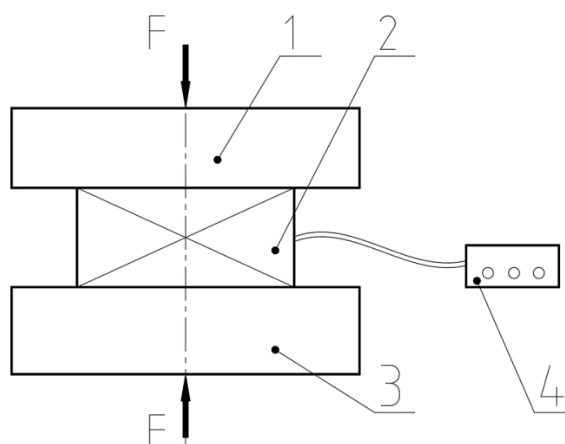
B.1.2 支座试验前应在 $23\pm 5^{\circ}\text{C}$ 环境下停放24h以上。

### B.2 试验内容

正常状态下支座测力校准试验测试内容包括：测力示值误差和重复性误差试验。

### B.3 试验方法

试验在校准过的压力试验机或专用设备上进行，试验机应可平稳、连续加载，试验装置按图B.1进行放置。



说明：

1— 试验机上承压板； 2— 试样； 3— 试验机下承压板； 4— 数据采集仪；

图 B.1 正常状态下支座反力监测校准试验示意图

按图 B.1 放置试样后，试验按以下步骤进行：

- a) 对中装好试样后，将支座上下联接螺栓松开，并将采集系统与力传感器连接；
- b) 试验前，应对支座进行预压，预压荷载为支座竖向设计承载力，预压次数为三次；
- e) 试验
  - (1) 在测力系统中，输入已在支座反力公式参数的确定试验中计算出的参数  $a$ 、 $b$ 、 $c$ ；
  - (2) 对测力支座施加竖向荷载  $F$ ，以 1%试验荷载为起点，分级加载至试验荷载  $1.2P$ ，加载速度不大于  $5\text{kN/s}$ ，每稳压二分钟，重复三次。记录  $0.3P$ 、 $0.4P$ 、 $0.6P$ 、 $0.8P$ 、 $1.0P$ 、 $1.2P$  时竖

向荷载示值。

(3) 示值误差:

以压力机示值为标准值, 在测力支座测力系统上读取示值。

以示值确定误差时, 按下式计算

$$\delta(\%) = \frac{X_i - F_i}{F_i} \times 100\% \quad (\text{B.1})$$

式中:

$X_i$ ——第  $i$  个测量点时, 测力支座 3 次重复测量时进程示值平均值  $X_i$ ;

$F_i$ ——第  $i$  个测量点时, 测力支座竖向反力标准力值。

以测量上限值确定误差时, 按下式计算

$$\delta(\%) = \frac{X_i - F_N}{F_N} \times 100\% \quad (\text{B.2})$$

式中:

$F_N$ ——测力支座测量上限值。

(4) 重复性误差

以示值确定误差时, 重复性误差按下式计算:

$$R(\%) = \frac{X_{i\max} - X_{i\min}}{X_i} \times 100\% \quad (\text{B.3})$$

式中:

$X_{i\max}$ ——第  $i$  个测量点时, 3 次重复测量时进程示值中的最大值

$X_{i\min}$ ——第  $i$  个测量点时, 3 次重复测量时进程示值中的最小值

以测量上限值确定误差时, 按下式计算

$$R(\%) = \frac{X_{i\max} - X_{i\min}}{F_N} \times 100\% \quad (\text{B.4})$$

示值误差和重复性误差均不应超过 4.3.1 规定

#### B.4 试验报告

试验报告应包括以下内容:

- a) 试验支座及试验概况: 试验设备、试验室温度; 试样型式及规格
- b) 描述试验过程及试验结果, 记录试验过程中的异常情况;
- c) 试验照片: 包括试验支座加载及试验中的异常情况。
- d) 试验结果表格按附录F进行。
- e) 支座校准证书按附录G进行。



## 附录 C 水平力状态下支座反力监测校准试验

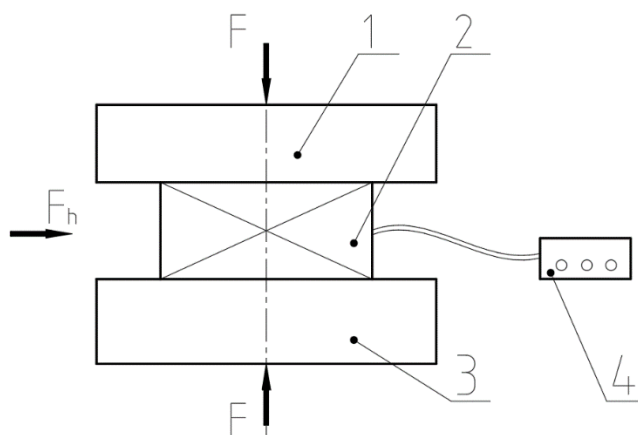
### C.1 试样

C.1.1 水平力状态下支座测力校准试验应在支座反力公式参数的确定试验完成后进行。支座应采用支座反力公式参数的确定试验的同一支座。

C.1.2 试验前应在 $23 \pm 5^\circ\text{C}$ 环境下停放24h以上。

### C.2 试验方法

试验在校准过的压力试验机或专用设备上进行，试验机应可平稳、连续加载，试验装置按图C.1进行放置。



说明:

1— 试验机上承压板; 2— 试样; 3— 试验机下承压板; 4— 数据采集仪;

图 C.1 水平力状态下支座反力监测校准试验示意图

按图 C.1 放置试样后，试验按以下步骤进行：

- a) 对中装好试样后，将支座上下联接螺栓松开，并将采集系统与力传感器连接；
- b) 试验前，应对支座进行预压，预压荷载为支座竖向设计承载力，预压次数为三次；
- d) 试验

(1) 在测力系统软件中，输入已在支座反力公式参数的确定试验中计算出的参数 a、b、c；

(2) 先对测力装置施加 0.3P 的竖向荷载，然后用水平力加载装置施加水平荷载，水平荷载与竖向荷载比值与支座设计值相同。荷载稳压 2min 后通过采集系统读取竖向力示值，卸载。分别对测力装置施加 0.4P、0.6P、0.8P、1.0P、1.2P 竖向荷载，重复上述试验为一循环，重复三次。

(3) 示值误差：

以压力机示值为标准值，在测力支座测力系统上读取示值。

以示值确定误差时，按下式计算

$$\delta(\%) = \frac{X_i - F_i}{F_i} \times 100\% \quad (\text{C.1})$$

式中：

$X_i$ ——第  $i$  个测量点时，测力支座 3 次重复测量时进程示值平均值  $X_i$ ；

$F_i$ ——第  $i$  个测量点时，测力支座竖向反力标准力值。

以测量上限值确定误差时，按下式计算

$$\delta(\%) = \frac{X_i - F_N}{F_N} \times 100\% \quad (\text{C.2})$$

式中：

$F_N$ ——测力支座测量上限值。

#### (4) 重复性误差

以示值确定误差时，重复性误差按下式计算：

$$R(\%) = \frac{X_{imax} - X_{imin}}{X_i} \times 100\% \quad (\text{C.3})$$

式中：

$X_{imax}$ ——第  $i$  个测量点时，3 次重复测量时进程示值中的最大值

$X_{imin}$ ——第  $i$  个测量点时，3 次重复测量时进程示值中的最小值

以测量上限值确定误差时，按下式计算

$$R(\%) = \frac{X_{imax} - X_{imin}}{F_N} \times 100\% \quad (\text{C.4})$$

示值误差和重复性误差均不应超过 4.3.1 规定

### c.3 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- a) 试验装置及试验概况：试验设备、试验室温度；试样型式及规格
- b) 描述试验过程及试验结果，记录试验过程中的异常情况；
- c) 试验照片：包括试验支座加载及试验中的异常情况。
- d) 试验结果表格按附录F进行。
- e) 支座校准证书按附录G进行。

## 附录 D 转角状态下支座反力监测校准试验

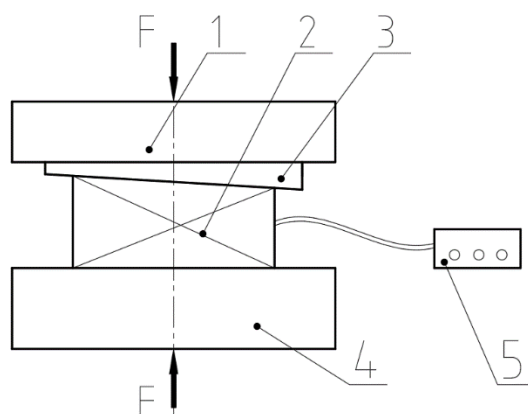
### D.1 试样

D.1.1 转角状态下装置测力试验应在支座反力公式参数的确定试验完成后进行。支座应采用支座反力公式参数的确定试验的同一支座。

D.1.2 试验前应在 $23\pm 5^{\circ}\text{C}$ 环境下停放24h以上。

### D.2 试验方法

试验在校准过的压力试验机或专用设备上进行，试验机应可平稳、连续加载，试验装置按图D.1进行放置。



说明:

1— 试验机上承压板; 2— 试样; 3— 调坡板; 4— 试验机下承压板; 5— 数据采集仪;

图 D.1 转角状态下装置测力试验示意图

按图 D.1 放置试样后，试验按以下步骤进行：

- a) 对中装好试样后，将支座上下联接螺栓松开，并将采集系统与力传感器连接；
- b) 试验前，应对支座进行预压，预压荷载为支座竖向设计承载力，预压次数为三次；
- d) 试验

- (1) 在测力系统软件中，输入已在支座反力公式参数的确定试验中计算出的参数 a、b、c；
- (2) 对测力装置施加竖向荷载 F，以 1%试验荷载为起点，分级加载至试验荷载 1.2P，加载速度不大于 5kN/s，每级稳压二分钟，重复三次。记录 0.3P、0.4P、0.6P、0.8P、1.0P、1.2P 时竖向荷载与水平力值。

(3) 示值误差:

以压力机示值为标准值，在测力支座测力系统上读取示值则按下式计算

以示值确定误差时，按下式计算

$$\delta(\%) = \frac{X_i - F_i}{F_i} \times 100\% \quad (\text{D.1})$$

式中：

$X_i$ ——第  $i$  个测量点时，测力支座 3 次重复测量时进程示值平均值  $X_i$ ；

$F_i$ ——第  $i$  个测量点时，测力支座竖向反力标准力值。

以测量上限值确定误差时，按下式计算

$$\delta(\%) = \frac{X_i - F_N}{F_N} \times 100\% \quad (\text{D.2})$$

式中：

$F_N$ ——测力支座测量上限值。

#### (4) 重复性误差

以示值确定误差时，重复性误差按下式计算：

$$R(\%) = \frac{X_{imax} - X_{imin}}{X_i} \times 100\% \quad (\text{D.3})$$

式中：

$X_{imax}$ ——第  $i$  个测量点时，3 次重复测量时进程示值中的最大值

$X_{imin}$ ——第  $i$  个测量点时，3 次重复测量时进程示值中的最小值

以测量上限值确定误差时，按下式计算

$$R(\%) = \frac{X_{imax} - X_{imin}}{F_N} \times 100\% \quad (\text{D.4})$$

示值误差和重复性误差均不应超过 4.3.1 规定

### D.3 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- a) 试验支座及试验概况：试验设备、试验室温度；试样型式及规格
- b) 描述试验过程及试验结果，记录试验过程中的异常情况；
- c) 试验照片：包括试验支座加载及试验中的异常情况。
- d) 试验结果表格按附录F进行。
- e) 支座校准证书按附录G进行。

## 附录 E 测力支座原位校准方法

### E.1 校准条件

#### E.1.1 环境条件

测力支座整体测力应在满足说明书规定的环境条件要求下进行校准，如果说明书没有明确规定，宜在以下条件下进行校准：

环境温度：(10~35)℃，校准过程中温度波动不大于 2℃。

相对湿度：≤80%RH。

其他条件：校准时不得有影响校准结果的振动、电磁场或其它干扰源。

#### E.1.2 测力支座测力系统

1 测力支座的测力系统应使用与被测量单位相一致的法定计量单位作为基本计量单位。

2 测力系统显示的相关测量结果，应能根据说明书提供的技术说明、计算公式及有关常数、系数进行验证。

#### E.1.3 安全保护装置

1 测力支座应有在测力失效情况下的安全防护结构和（或）设施。

2 加载系统采用液压、机械驱动方式时应有下列安全保护功能：

1) 当试验力达到额定值的 102%~110%时，超载保护装置应即时作用停止施加力值。

2) 当动力驱动承载装置移动至极限位置时，限位装置应即时作用停止移动。

3) 当停止或结束试验的设置条件得到满足时，测力校准装置应可即时停止或结束试验。

#### E.1.4 标准加载条件

##### 1 受力轴线

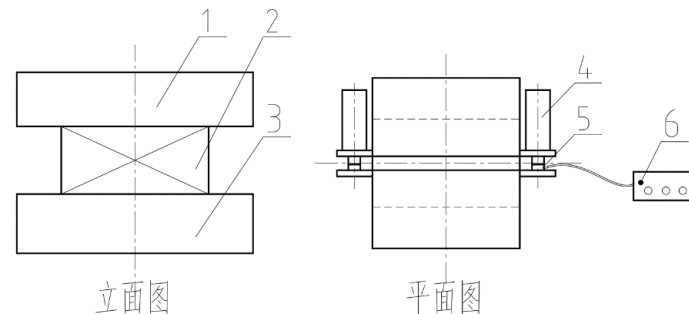
在校准过程中应确保其受力轴线与测力元件的加力轴线相重合。

##### 2 连接件

测力校准装置一般应配备承压垫。承压垫应有足够的刚度，表面平滑，不得有锈蚀、磨损、杂物等情况，校准过程中包括力标准器在内只允许用一个带灵活球面的承压垫，确保校准装置可以安全可靠地对测力支座加力值。

#### E.1.5 准备工作

测力支座校准前，校准装置按照要求进行正确安装。在校准条件下放置足够时间，确保测力校准装置可以在校准条件下稳定工作。校准装置由水平油缸、油缸传感器、数据采集系统组成，如图 E. 1 所示：



说明：

1— 梁体； 2—测力支座； 3— 垫石； 4—水平油缸； 5—油缸传感器； 6— 数据采集系统

图 E. 1 测力支座原位校准示意图

在支座附近，临时支承及传感器正确放置。

## E.2 校准

E.2.1 测力支座测力元件应取出后在国家认可的第三方机构进行校准检定，校准满足 JJG391 的要求。测力支座整体原位校准应在测力元件校准后进行。

### E.2.2 预加载

将校准装置正确安装在测力支座上，对于校准装置调整至零点后，对测力支座施加力，使测力支座发生不大于 1mm 的竖向位移，保持荷载时间不少于 30 秒，卸载。重复三次，检查校准装置传感器示值回零情况，根据需要进行重新调整零点。

### E.2.3 校准点的确定

校准点力值校准以测力支座实际竖向荷载作为校准起始点，在校准范围按需要确定校准点数，一般不少于 2 点，各校准点间力值差不小于 500KN 或 10% 支座竖向承载力的较小值，各点应大致均匀分布。

支座测力示值校准以测力支座实际竖向荷载作为校准起始点，在校准范围按需要确定校准点数，一般不少于 2 点，各校准点间力值差不小于 500KN 或 10% 支座竖向承载力的较小值，各点应大致均匀分布。

### E.2.4 校准点力值校准

- 1 校准装置按照校准点逐级递减进行校准。
- 2 采用缓慢推动校准装置水平油缸，测力支座处于上升趋势状态，当油缸传感器力值基本稳定后停止，记录水平力值  $T_{上}$ ；
- 3 控制校准装置操作系统，使油缸往回进行一次点动缩回后停止，测力支座处于下降趋势状态，注意油缸停止后两楔形块中间处于脱空状态，记录水平力值  $T_{下}$ 。
- 4 将校准装置油缸完全缩回，待测力元件示值稳定后，记录支座传感器输出值  $x_i$
- 5 重复三次；
- 6 顶升临时支承，使临时支承产生不小于 500KN 或 10% 支座竖向承载力的较小值的竖向顶升力，保持荷载。
- 7 重复步骤 2、3、4
- 8 当校准点大于 2 点时，继续依次顶升临时支承，相邻两次顶升产生的顶升力差值为 500KN 或 10% 支座竖向承载力的较小值，保持荷载，重复步骤 2、3、4。
- 9 临时支承卸载
- 10 按下式计算出各标准点的竖向力标准值：

$$F_i = \frac{T_{i上} + T_{i下}}{\tan \theta} \quad (E.1)$$

式中：  $F_i$ ——测力支座第  $i$  个较准点竖向标准力值

$T_{i上}$ ——第  $i$  个较准点时校准装置使测力支座处于上升趋势状态时的水平力平均值

$T_{i下}$ ——第  $i$  个较准点时校准装置使测力支座处于下降趋势状态时的水平力平均值

$\tan \theta$ ——测力支座校准装置结构件坡度

#### 11 校准点重复性误差

重复性误差按下式计算：

$$R(\%) = \frac{F_{imax} - F_{imin}}{F_{iav}} \times 100\% \quad (E.2)$$

式中：

$F_{imax}$ ——第  $i$  个较准点时 3 次重复测量时按式 (E.1) 计算的最大值

$F_{imin}$ ——第  $i$  个较准点时 3 次重复测量时按式 (E.1) 计算的最小值

$F_{iav}$ ——第  $i$  个较准点时 3 次重复测量时按式 (E.1) 计算值的平均值

12 列表, 将较准点竖向标准力值  $F_{iav}$  与传感器输出值  $X_i$  对应, 采用最小二乘法求出拟合曲线  $F=ax^2+bx+c$ , 计算出参数  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 。

### E.2.5 支座测力示值校准

1 将按 E.2.3 计算出来的  $a$ 、 $b$ 、 $c$  值输入支座测力系统, 替代系统原  $a$ 、 $b$ 、 $c$  值。

2 顶升临时支承, 使临时支承产生竖向顶升力  $L_i$ ,  $L_i$  不小于 2000KN 或 40% 支座竖向承载力的较小值, 读取测力支座测力系统示值  $X_i$

3 卸载临时支承,  $L_{i+1}$  与  $L_i$  差值不小于 500KN 或 10% 支座竖向承载力的较小值, 读取测力支座测力系统示值  $X_i$ , 直至要求校准点, 临时支承卸载。

4 读取测力支座测力系统示值  $X_0$ , 此时临时支承产生竖向顶升力  $L_0=0$

6 重复三次。

7 数据处理

1) 计算各校准点的进程示值平均值  $X_i$ ,

进程示值平均值  $X_i$ :

$$X_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 (X_j - X_{j,0}) \quad (E.3)$$

式中:

$j$ ——测量序号;

$X_j$ ——第  $j$  次测量时进程读数示值。

2) 竖向标准力值

测力支座各测量点竖向标准力值按下式计算

$$F_i = F_0 - L_i \quad (E.4)$$

式中:

$F_i$ ——第  $i$  个测量点的竖向标准力值;

$F_0$ ——临时支承无顶升力时的竖向标准力值, 通过 E.2.4 得出;

$L_i$ ——第  $i$  个测量点时的临时支承竖向顶升力值。

8 示值误差

校准时以测力支座较准点竖向标准力值为准, 在测力支座测力系统上读取示值



以示值确定误差时，按下式计算

$$\delta(\%) = \frac{X_i - F_i}{F_i} \times 100\% \quad (\text{E.5})$$

式中：

$X_i$ ——第  $i$  个测量点时，测力支座 3 次重复测量时进程示值平均值  $X_i$ ；

$F_i$ ——第  $i$  个测量点时，测力支座竖向反力标准力值。

以测量上限值确定误差时，按下式计算

$$\delta(\%) = \frac{X_i - F_N}{F_N} \times 100\% \quad (\text{E.6})$$

式中：

$F_N$ ——测力支座测量上限值。

### 9 重复性误差

以示值确定误差时，重复性误差按下式计算：

$$R(\%) = \frac{X_{imax} - X_{imin}}{X_i} \times 100\% \quad (\text{E.7})$$

式中：

$X_{imax}$ ——第  $i$  个测量点时，3 次重复测量时进程示值中的最大值

$X_{imin}$ ——第  $i$  个测量点时，3 次重复测量时进程示值中的最小值

以测量上限值确定误差时，按下式计算

$$R(\%) = \frac{X_{imax} - X_{imin}}{F_N} \times 100\% \quad (\text{E.8})$$

示值误差和重复性误差均不应超过 4.3.1 规定

### E.3 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- a) 试验支座及试验概况：试验设备、试验室温度；试样型式及规格
- b) 描述试验过程及试验结果，记录试验过程中的异常情况；
- c) 试验照片：包括试验支座加载及试验中的异常情况。
- d) 试验结果表格按附录F进行。
- e) 支座校准证书按附录G进行。
- f) 支座原位校准点力值校准记录表按附录H进行。

附录 F 支座反力监测校准试验记录表

规格型号		产品名称		
出厂编号		出厂日期		
送检单位		配套设备		
测试地点		测试日期		
环境温度		相对湿度		
外观检查				
<b>测试结果</b>				
竖向压力	加载实际值	显示值	示值误差	平均误差
	第一次			
	第二次			
	第三次			
	第一次			
	第二次			
	第三次			
	第一次			
	第二次			
	第三次			
	第一次			
	第二次			
	第三次			
	第一次			
	第二次			
	第三次			
<b>校准结果</b>				
	技术要求	测试结果	结论	
显示值误差				
重复性误				

校准人员

审核

批准

日期

附录 G 支座校准证书格式

规格型号		产品名称		
出厂编号		出厂日期		
送检单位		配套设备		
校准地点		校准日期		
环境温度		相对湿度		
外观检查				
<b>测试结果</b>				
竖向力值	测力支座示值	示值误差	重复性误差	备注
<b>校准结果</b>				
	技术要求	测试结果	结论	
示值误差				
重复性误				

校准人员

审核

批准

日期

附录 H 支座反力监测原位校准点力值校准记录表

规格型号		产品名称		
出厂编号		出厂日期		
送检单位		配套设备		
测试地点		测试日期		
环境温度		相对湿度		
$\tan \theta$				
<b>测试结果</b>				
校准点	$T_{上}$	$T_{下}$	校准值	重复性误差
$F_0$	第一次			
	第二次			
	第三次			
$F_1$	第一次			
	第二次			
	第三次			
$F_2$	第一次			
	第二次			
	第三次			
$F_3$	第一次			
	第二次			
	第三次			
	第一次			
	第二次			
	第三次			
	第一次			
	第二次			
	第三次			

校准人员

审核

批准

日期

## 本规程用词说明

- 1 为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：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
  - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

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这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
  - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……有关规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

本规程引用下列标准。其中注日期的，仅对该日期对应的版本使用本规程；不注日期的，其最新版使用本规程。

《金属粘贴式电阻应变计》 GB/T 13992

《电子设备机柜通用技术条件》 GB/T 15395

《振弦应变计》 GB/T 3408.2

《外壳防护等级》 GB/T 4208

《称重传感器》 GB/T 7551

《压力传感器》 JB/T 6170

《土木工程用光纤光栅应变传感器》 JG/T 422

《工作测力仪检定规程》 JJG 455

中国工程建设协会标准

桥梁支座反力监测技术规程

T/CECS XXXX -202X

条文说明

# 1 总 则

1.0.3 支座作为桥梁的关键联接构件，增加反力监测功能后，性能符合国家和行业现行标准要求，保证其结构安全。



## 2 术语和符号

### 2.1 术语

2.1.4 《公路工程地质原位测试规程》(JTG 3223-2021)对原位测试定义为“在岩土体原来所处的位置,基本保持岩土体的结构、含水率和原位应力状态,直接或间接地测定岩土体工程特性的测试方法的总称”;《通用计量术语及定义》(JJF001-2011)“校准”定义为“在规定条件下的一组操作,其第一步是确定由测量标准提供的量值与相应示值之间的关系,第二步则是用此信息确定由示值获得测量结果的关系”。参考上述标准规定,结合支座反力监测的实际情况,原位校准定义为:在支座原来所处的位置上,基本保持支座的结构和原有应力状态下,确定传感器输出值与支座反力之间的关系,并用此信息确定由支座测力示值获得测量结果的关系的一系列活动。

### 3 基本规定

3.0.3 传感器一般均置于支座之上，支座在出厂时在试验室环境下进行标定后出厂，但当支座安装在桥梁上后，由于支座的使用工况与试验室不一样，因而试验室下标定的结果不能完全适用于桥梁工况，需进行现场原位校准才能保证支座测力的准确性。GB 50982-2014《建筑与桥梁结构监测技术规范》也规定，支座测力在使用前应进行测力校准修正。

而支座所处环境均比较恶劣，这种情况下，传感器作为电子元器件，存在漂移、蠕变、老化等，会使传感器的精度降低，同时灰尘，油污，水气也会使传感器的精度降低。而传感器的使用寿命一般在5年左右，不能满足运营期监测和全寿命监测的寿命要求，因而传感器应可以在支座受力状态下进行更换。

## 4 支座反力监测分类、方法和周期

### 4.2 支座反力监测的方法

4.2.1 支座测力的形式很多，但无论采用何总形式，从原理上讲可分为两类，一种为传感器因弹性体微应变而产生信号变化，通过传感器输出值与支座竖向荷载的转换关系，达到进行支座反力监测的目的；一种为传感器因橡胶或流体压力变化而产生信号变化，通过压力与竖向荷载的转换关系，达到进行支座反力监测的目的。

## 5 技术要求

### 5.2 支座反力监测的性能要求

5.2.1 传感器输出值根据输出信号的不同，可以为电压、电流、电感、频率、波长等多种形式，其输出值与竖向荷载存在一定的转换关系，关系式通过标定确定。有些为线性关系，此时  $a$  值为 0；有些为非线性关系，此时  $a$  为一个不为 0 的值。

## 6 监测系统

### 6.2 监测系统硬件要求

6.2.11 对于有条件的监测现场，可以直接使用长期稳定可靠的 220V 外接交流电源，但是对于公路桥梁，部分不具备这种条件，对于此类桥梁，探索利用太阳能等新型能源供电方式，保证在极端天气条件下的设备最大续航。此外，设备应具有防水、防潮、抗雷电、防磁等性能。

### 6.3 数据采集

6.3.5 无论是太阳能供电还是采用市电供电，均可能出现设备损坏或其它原因导致供电中断，为保证反力监测的连续性，考虑设备维护维修的周期，采集设备应能自有供电并保存不小于 7 天的传感数据。

### 6.5 数据处理

6.5.1 监测数据的分布均值和标准差可采用移动窗的策略选取一段近期监测数据进行直接统计，也可通过贝叶斯推断方法进行实时估计。当常规监测过程中支座反力发生明显变化、个别测点数据变化明显大于其他测点、监测值接近或达到预警阈值异常时，可通过拉伊达准则（ $3\sigma$  准则）判定异常数据。当识别到异常数据后，宜补充采集一段附加数据，并结合监测部位附近其他测点的数据变化，判断异常数据系由结构状态变化引起还是监测系统自身异常引起。当数据异常判断为监测系统故障或缺陷原因时，应对异常测点传感器及监测子系统进行排查，并及时进行维护或完善。

## 制定说明

本规程制定过程中，编制组进行了测力支座在设计、验收以及使用阶段发现的问题的调查研究，总结了我国支座反力监测设计、使用过程中的的实践经验，同时参考了国内先进技术法规、技术标准。

### 【本规程编制原则、重要问题的处理、尚需深入研究的有关问题】

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条款规定，《桥梁支座反力监测技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的有效性，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。