

**CECS ×××-20××**

**中国工程建设标准化协会标准**

工程微震监测技术规程

**Technical specification for microseismic monitoring in engineering**

（征求意见稿）

**20××－××－××发布 20××－××－××实施**

**中国工程建设标准化协会 发布**

**中国工程建设标准化协会标准**

工程微震监测技术规程

**Technical specification for microseismic monitoring in engineering**

**CECS ×××－20××**

主编单位：长沙迪迈数码科技股份有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

施行日期：2 0 ×× 年 × 月 × 日

×××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<2017年第一批工程建设协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2017]014号）的要求，本规程编制组经广泛地调查研究，认真总结了各地实践经验，参考了有关国内外标准，并在广泛地征求各方意见的基础上，制定本规程。

本规程共分8章，主要内容包括：总则、术语和定义、监测系统、监测方案设计、系统安装与调试、数据处理与分析、成果报告与归档、系统维护与管理。

本规程由中国工程建设标准化协会勘测专业委员会归口管理，由长沙迪迈数码科技股份有限公司负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请寄送解释单位（地址：湖南长沙岳麓区文轩路麓谷企业广场C1栋10楼，邮编：410000）。

主编单位：长沙迪迈数码科技股份有限公司

参编单位：中冶集团武汉勘察研究院有限公司

铜陵有色金属集团控股有限公司

中南大学

云南迪庆有色金属有限责任公司

主要起草人：

主要审查人：

**目 次**

[1 总则 4](#_Toc11308251)

[2 术语和定义 5](#_Toc11308252)

[3 监测系统 7](#_Toc11308253)

[3.1 一般规定 7](#_Toc11308254)

[3.2 系统硬件 7](#_Toc11308255)

[3.3 系统软件 8](#_Toc11308256)

[4 监测方案设计 9](#_Toc11308257)

[4.1 一般规定 9](#_Toc11308258)

[4.2 现场勘察 9](#_Toc11308259)

[4.3 设计内容 9](#_Toc11308260)

[4.4 设计要求 10](#_Toc11308261)

[5 系统安装与调试 11](#_Toc11308262)

[5.1 一般规定 11](#_Toc11308263)

[5.2 系统安装 11](#_Toc11308264)

[5.3 系统调试 11](#_Toc11308265)

[6 数据处理与分析 12](#_Toc11308266)

[7 成果报告与归档 13](#_Toc11308267)

[8 系统维护与管理 14](#_Toc11308268)

[附录 15](#_Toc11308269)

[本规程用词说明 18](#_Toc11308270)

[引用标准名录 19](#_Toc11308271)

附：条文说明 20

**Contents**

[1 General provisions 4](#_Toc460853768)

[2 Terms and definitions 5](#_Toc460853769)

[3 Monitoring system 7](#_Toc460853771)

[3.1 General requirements 7](#_Toc460853773)

[3.2 System hardware 7](#_Toc460853773)

[3.3 System software 8](#_Toc460853773)

[4 Monitoring plan design 9](#_Toc460853774)

[4.1 General requirements 9](#_Toc460853775)

[4.2 Site survey 9](#_Toc460853775)

[4.3 Design content 9](#_Toc460853776)

[4.4 Design requirements 10](#_Toc460853776)

[5 System installation and commissioning 11](#_Toc460853777)

[5.1 General requirements 11](#_Toc460853778)

[5.2 System installation 11](#_Toc460853780)

[5.3 System commissioning 11](#_Toc460853780)

[6 Data processing and analysis 12](#_Toc460853782)

[7 Results reporting and archiving 13](#_Toc460853782)

[8 System maintenance and management 14](#_Toc460853782)

[Appendix 15](#_Toc460853782)

[Explanation of wording in this specification 18](#_Toc460853782)

[List of quoted standards 19](#_Toc460853782)

[Additions: Explanation items 20](#_Toc460853782)

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范岩体工程中的微震监测设计、施工、数据处理与解释流程，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于岩体工程的稳定性、安全性监测，包括但不局限于矿山、水利、土木、交通、大型地下岩体硐室等工程，其他行业微震监测可参照执行。

**1.0.3** 岩体工程微震监测的设计、施工、数据处理与解释，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

# 2 术语和定义

**2.0.1** 微震 microseismic

岩体介质在应力作用下发生破裂时一个或多个震源以瞬态弹性波的形式迅速释放其能量的过程，其震级一般小于3级。

**2.0.2** 微震监测系统 microseismic monitoring system

通过监测岩体破裂产生的震动或其他震源产生的震动，对监测对象的破坏程度、工程的安全与稳定性等做出评价，从而为预警、预报和灾害防治提供依据的成套设备和软件系统。

**2.0.3** 微震事件 microseismic event

一个相对独立的岩石破裂能量释放过程，在微震记录上表现为符合一定规律、波形特征明显，能够区别于其他干扰源的振动信号。

**2.0.4** 灵敏度 sensitivity

传感器在稳态工作情况下的输出量变化对输入量变化的比值。

**2.0.5** 频率响应范围 frequency response range

传感器灵敏度随频率而变化的量值不超出给定误差的频率区间。

**2.0.6** 纵波 longitudinal wave

弹性波在介质中传播时质点的振动方向与传播方向相同的波。

**2.0.7** 横波 transverse wave

弹性波在介质中传播时质点的振动方向与传播方向垂直的波。

**2.0.8** 到时 arrival time

振动波通过在介质中传播到达某个传感器的时刻。

**2.0.9** 定位 location

通过微震监测系统记录的事件信息计算事件发生的空间位置的过程。

**2.0.10** 定位精度 location accuracy

定位的事件位置与实际发生位置的空间绝对误差。

**2.0.11** 震级 magnitude

衡量震动大小的一种度量。

**2.0.12** 微震能量 microseismic energy

微震发生时岩石中释放出的弹性波能量，是微震发生前震源处所积累的总能量中的一部分。

**2.0.13** 体变势 potency

震源区内由于微震事件影响到的岩体非弹性变形量。

**2.0.14** 视应力 apparent stress

单位非弹性变形区内岩体辐射的微震能量。

**2.0.15** 视体积 apparent volume

震源非弹性变形区岩体的体积。

**2.0.16** 能量指数 energy index

一个微震事件的实测辐射能量与区域内所有事件的平均微震辐射能量的比值。

**2.0.17** 震源机制 focal mechanism

指震源区在微震发生时的力学过程。

**2.0.18** 微震事件空间分布 spatial distribution of microseismic events

一定时间范围内发生的微震事件的几何位置在三维空间中的集中或分散情况。

**2.0.19** 应力分布云图 stress distribution cloud

通过微震监测数据反演得到不同震源发生位置处的视应力状态，经过数字化插值后以彩色形式显示出来的平面二维图像。

**2.0.20** 位移分布云图 displacement distribution cloud

通过微震监测数据反演得到不同震源发生位置处的位移变化，经过数字化插值后以彩色形式显示出来的平面二维图像。

**2.0.21** 应力集中区 stress concentration zone

通过微震数据处理得到的三维空间中的视应力较高区域。

**2.0.22** 预警判据 disaster warning criteria

判定是否进行灾害预警的准则。

# 3 监测系统

## 3.1 一般规定

**3.1.1** 工程微震监测对象为矿山、水利、土木、交通、大型地下岩体硐室等岩土工程，监测岩体稳定性和岩爆等动力学危害或灾害，进行预警、预防，以及生产组织、方案优化。

**3.1.2** 微震监测系统主要分为硬件和软件两大部分。

## 3.2 系统硬件

**3.2.1** 微震监测系统硬件主要包含：数据采集系统（传感器、数据采集基站）、时间同步系统、数据通信系统（通信电缆、光缆、交换机等）、数据存储系统（服务器或工作站）。

**3.2.2** 微震传感器应采用加速度型或速度型传感器，防护等级应达到IP68。

**3.2.3** 数据采集基站应满足以下技术参数要求：

1 具有实时数据采集、通信、时钟同步等功能；

2 最高采样频率应不低于5000Hz；

3 动态范围应不低于90dB；

4 单基站通道数不得少于4个，且应具备可扩展性；

5 具备防雷功能，配备防浪涌模块；

6 防水、防尘的防护等级应达到IP54；

7 在电网停电后，基站备用电源应能保证连续工作时间不小于6小时；

8 除有关标准另有规定外，数据采集基站应能在下列条件下正常工作：

a）环境温度：-20℃～60℃；

b）平均相对湿度：不大于95%（＋25℃）；

c）大气压力：80kPa～106 kPa；

d）有爆炸性气体混合物，但无显著振动和冲击、无破坏绝缘的腐蚀性气体。

**3.2.4** 时间同步系统应同时具备卫星授时和网络授时功能，时间同步误差应不高于1微秒。

**3.2.5** 数据通信系统要求：

1 通信电缆宜采用阻燃、绝缘、屏蔽通信软电缆或双绞线，并符合国家相关工程标准要求；

2 通信光缆宜采用阻燃单模通讯光缆，并满足国家相关工程标准要求。

**3.2.6** 数据存储系统应采用工作站或服务器，并配备UPS电源，在外部断电情况下能够持续运行6小时以上。除有关标准另有规定外，数据存储系统应能在下列条件下正常工作：

1 环境温度：15℃～30℃；

2 相对湿度：40%～70%（+25℃）；

3 温度变化率：小于10℃/h，且不得结露；

4 大气压力：80kPa～106 kPa；

5 《计算机场地通用规范》GB/T2887-2011规定的尘埃、照明、噪声、电磁场干扰和接地条件。

## 3.3 系统软件

**3.3.1** 微震专用软件应具备以下功能：

1 数据解析

实时解析与存储基站上传数据，实时显示当前波形，自动记录震源事件，并保存至本地和云端。

2 故障自诊断

实时监控基站、传感器及时钟同步系统状态以及异常情况。

3 数据处理

包含台网精度分析、波速反演、波形滤波、频谱分析、到时拾取、事件定位、震源参数计算等数据处理功能。

4 可视化分析

a）三维可视化监测结果和工程模型，支持通过时间、空间和震源参数等过滤监测结果；

b）在三维环境下按照时间发生顺序以动画的形式播放监测结果；

c）以云图的形式可视化表达监测结果，包含密度、能量、应力、位移等云图。

5 统计报表

应能够生成事件频数图、微震参数直方分布图、微震参数折线变化图、微震参数散点关系图、B值图、能量指数与累积视体积关系图等统计图表，并可根据监测处理结果输出日、周监测报表，报表模板可参见附录A和附录B。

# 4 监测方案设计

## 4.1 一般规定

**4.1.1** 微震监测工程设计应符合本标准的要求。

**4.1.2** 工程微震监测设计应遵循“技术先进、安全可靠、经济实用、可扩展”的原则。

## 4.2 现场勘察

**4.2.1** 根据项目技术要求，在设计监测方案前应对现场进行勘察并形成记录，现场勘察包括：

1 工程现状调查，包括现场工程地质情况、监测对象与范围、网络通信情况、建设施工环境及其相关图纸、文档资料。

2 岩体失稳、地震事件或相关灾害历史发生情况资料。

## 4.3 设计内容

**4.3.1** 设计内容主要包括以下几个部分:

1 工程概况；

2 微震监测技术原理与应用介绍；

3 监测对象、目的、研究内容；

4 设计原则和依据；

5 系统整体架构及设备选型：

a）系统架构

b）微震传感器选型

c）数据采集基站选型

d）时间同步系统设备选型

e）数据通讯系统设备选型

f）数据存储系统设备选型

6 监测台网设计；

7 通信系统设计：

8 供电系统设计；

9 防雷系统设计。

## 4.4 设计要求

**4.4.1**  应根据监测对象的特点，选择速度型或加速度型传感器。速度型传感器一般用于较强微震事件监测，宜用于软岩工程、大范围地压活动工程的监测；加速度型传感器一般用于较弱微震事件监测，宜用于硬岩工程，特别是岩爆活动频繁的岩体工程。二者也可在同一工程中混合使用。

**4.4.2** 微震传感器应根据现场施工环境布置在岩性较好的区域，安装区域无明显节理裂隙。

**4.4.3** 传感器钻孔安装分为永久式安装和可拆卸式安装，永久式安装一般采用注浆方式，可拆卸式安装则利用相关机械装置以便后续回收。钻孔深度应大于2m，钻孔直径应大于传感器直径。钻孔倾向应根据传感器类型和监测方向进行设计，使用可拆卸式安装钻孔时宜水平向上安装，并与水平方向呈大于5°夹角，防止安装孔积水。

**4.4.4** 传感器至采集基站之间线缆需要严格注意工频干扰的影响，尽量远离动力电缆和变电所，信号线缆与动力电缆之间距离应大于50cm。

**4.4.5** 宜设计多套台网布置方案，分别进行台网精度分析，从中选取最优方案。所选方案系统灵敏度应满足设计监测最小震级要求，中心监测区域事件定位误差应小于10m。

**4.4.6** 数据采集基站应设置在环境稳定、不易受到外界破坏干扰的位置，以接电和通讯方便、有较好的通风照明环境、与其相连的各传感器通信电缆长度最少为宜，微震监测基站安装位置应高于地面80cm以上。

**4.4.7** 微震数据存储应考虑数据本地化物理存储和网络云存储，确保数据得到可靠的保存。

**4.4.8** 微震监测系统应考虑到系统的可扩展性，预留传感器和网络通信接口，预留的接口数量应大于2个，基站与基站之间支持串联和并联模式。

# 5 系统安装与调试

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 系统安装与调试应严格按照设计方案进行，如遇到特殊情况需要进行设计变更，应与设计方进行确认。

**5.1.2** 系统安装与调试除应符合本规程之外，还应符合其他相关行业标准规范。

## 5.2 系统安装

**5.2.1** 安装传感器前应进行钻孔质量验收，并准确测量钻孔孔口坐标、孔深、方位角和倾角，并做好详细记录。

**5.2.2** 传感器应根据设计方案进行永久式安装或可拆卸式安装，施工时应保证单轴传感器轴向与钻孔孔壁有较高的耦合性、三轴传感器轴向和侧向与钻孔孔壁有较高的耦合性。

**5.2.3** 基站应采用挂壁式安装或修葺专用的安装硐室，保证基站的安全、稳定及维护的便利性。系统电源应有稳压及过电压保护措施，以避免受电源异常的影响。

**5.2.4** 通信线缆敷设工程应符合现行标准《通信线路工程设计规范》GB51158-2015的规定。

**5.2.5** 非矿山工程供电电缆敷设应符合现行标准《电力工程电缆设计标准》GB50217-2018的规定，矿山工程供电电缆敷设应符合现行标准《矿山电力设计规范》GB50070-2009的规定。

**5.2.6** 微震监测系统各模块的防雷接地工程应符合现行标准《建筑物电子信息系统防雷技术规范》GB50343-2012的规定。

**5.2.7** 服务器安装应符合现行标准《计算机场地通用规范》GB/T2887-2011的规定。

**5.2.8** 微震监测软件应按照操作说明书进行配置和安装，软件安装完毕之后须进行系统测试。

## 5.3 系统调试

**5.3.1** 系统安装完成后，应逐个检查系统运行状态，保证系统健康稳定运行。

# 6 数据处理与分析

**6.0.1** 应通过主动震源方式获得监测区域纵、横波波速，并进行定位误差实验。一般采用爆破震源的方式进行系统定位精度测试，其方法是在监测区域内选取可进行爆破的位置进行定点爆破，爆破药量不宜过多，以1kg为宜，通过比较实测的爆破点坐标和系统定位爆破坐标之间的误差来判定定位精度，如果超出设计误差，则通过优化波速以达到较好的定位效果，最终达到设计要求。

**6.0.2** 在数据分析前，应掌握监测对象各类事件相关特征，准确分辨事件类别并进行标识。由于每个安装环境不同导致同一类型的实际波形形态之间存在差异性，因而在现场需要通过收集相关爆破振动地点和时间、井下机械作业地点和时间、井下其他振动地点等资料，作为事件类型判别的依据。

**6.0.3** 应根据工程资料建立准确的三维工程模型，在微震软件中导入工程三维模型，仔细比对微震事件坐标和工程坐标之间是否一致，确保二者在同一坐标体系中。

**6.0.4** 结合现场信号质量，优化滤波器，将工频干扰信号和低频噪声信号滤除，确保后续数据处理工作的准确性。

**6.0.5** 利用微震软件自动拾取纵横波到时，并根据纵横波时距关系及空间分布规律，仔细检查调整，确保到时拾取准确无误。

**6.0.6** 根据微震事件到时和波速，利用微震软件确定微震事件空间位置以及发震时刻，对于定位的异常点应通过反复对比分析确认。

**6.0.7** 根据微震事件波形、初至及定位结果，利用微震软件计算微震事件震源参数。

**6.0.8** 通过聚类分析及统计时空演化规律，分析确定工程稳定性状况，及时发布监测报告。

**6.0.9** 数据处理不宜只关注表面现象，应注重从多角度分析事件发生原因及其未来影响。

**6.0.10** 监测数据应及时处理，如有异常，应及时响应。

# 7 成果报告与归档

**7.0.1** 微震监测成果报告应包含以下内容：

系统运行状态统计报告，微震事件时序统计分析、微震事件三维空间分布分析、微震事件震源参数统计分析、微震事件的综合演化趋势分析报告，灾害预警结果及建议。

**7.0.2** 微震监测报告要求客观反映现场监测实际情况，并结合现场生产工作状况做出科学的分析，以满足现场监测需求。

**7.0.3** 微震监测报告周期可根据实际情况进行调整，如日报告、周报告、月报告、季度报告和年报告等。

**7.0.4** 相关图纸、监测数据及其成果应归档保存，相关负责人应定期检查备份数据的保存情况。

# 8 系统维护与管理

**8.0.1** 应制定详细的微震监测系统运行、维护和管理操作规程，微震监测系统管理人员经过专业培训之后方可操作微震设备。

**8.0.2**  微震监测系统管理人员须定期检查微震系统的运行状况，若发现异常，根据常见问题排查流程迅速检查，使系统尽快恢复正常。若不确定异常情况或无法解决的问题，宜及时通知设备厂商进行远程指导或现场处理。此外，应对监测系统每半年至少进行一次系统大检查，做好记录，存档备查。

**8.0.3** 保证微震监测系统设备和微震服务器监测机房设备的安全使用，注意防火、防静电、防强磁极、防雷击。注意保护电源系统，做好相关设施的接地工作。

**8.0.4** 微震服务器或工作站应专机专用，不得用做其他用途，同时做好系统账户安全管理，防止未经授权的操作发生。

**8.0.5** 生产作业时，必须对微震监测系统做好有效的保护措施，系统损坏时，应第一时间上报现场微震监测系统管理人员和相关各方，及时进行修复。

# 附录 监测报表参考模板

**附录A 微震监测工程日报表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **监测对象:** |  |  | **报告日期:** |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **监测数据统计** | |
| 微震事件数: |  |
| 最大震级: |  |  |
| 最大能量: |  |
| 爆破事件数 |  |
| 附图 | |
|  | |
| 说明 | |
|  | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **报告人:** |  |  | **报告日期:** |  |
| **报告单位:** |  | | | |

**附录B 微震监测工程周报表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **监测对象:** |  |  | **报告周期:** |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **监测数据统计** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 日期 |  |  |  |  |  |  |  |
| 微震事件数 |  |  |  |  |  |  |  |
| 最大震级 |  |  |  |  |  |  |  |
| 爆破事件数 |  |  |  |  |  |  |  |
| 聚集区域 | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 能量与累积视体积图 | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| B值图 | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 说明 | | | | | | | |
|  | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **报告人:** |  |  | **报告日期:** |  |
| **报告单位:** |  | | | |

# 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”。

1. 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”。

1. 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，在一定条件下可以应这样做的，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……的要求或规定”或“应按……执行”。

# 引用标准名录

1. GB 51158-2015《通信线路工程设计规范》
2. GB 50217-2018《电力工程电缆设计标准》
3. GB 50070-2009《矿山电力设计规范》
4. GB 50343-2012《建筑物电子信息系统防雷技术规范》
5. GB/T 7665-2005 《传感器通用术语》
6. GB/T 4208-2017 《外壳防护等级（IP代码）》
7. GB/T 2887-2011 《电子计算机场地通用规范》
8. GB 3836.1-2010 《爆炸性环境 第1部分：设备 通用要求》
9. GB 3836.4-2010 《爆炸性环境 第4部分：由本质安全型“i”保护的设备》
10. GB/T 2423.1-2008 《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温》
11. GB/T 2423.2-2008 《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温》
12. GB/T 2423.4-2008 《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db：交变湿热（12h+12h循环）》
13. GB/T 2423.5-1995 《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ea和导则：冲击》
14. GB/T 2423.8-1995 《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ed：自由跌落》
15. GB/T 2423.10-2008 《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc和导则：振动（正弦）》
16. GB3048.4-2007《电线电缆电性能试验方法 第4部分 导体直流电阻试验》

**中国工程建设标准化协会标准**

工程微震监测技术规程

**Technical specification for microseismic monitoring in engineering**

**CECS ×××－20××**

**条文说明**

**目 次**

[1 总则 22](#_Toc11308251)

[2 术语和定义 23](#_Toc11308252)

[3 监测系统 24](#_Toc11308253)

[3.1 一般规定 24](#_Toc11308254)

[3.2 系统硬件 24](#_Toc11308255)

[3.3 系统软件 25](#_Toc11308256)

[4 监测方案设计 26](#_Toc11308257)

[4.1 一般规定 26](#_Toc11308258)

[4.2 现场勘察 26](#_Toc11308259)

[4.3 设计内容 26](#_Toc11308260)

[4.4 设计要求 26](#_Toc11308261)

[5 系统安装与调试 28](#_Toc11308262)

[5.1 一般规定 28](#_Toc11308263)

[5.2 系统安装 28](#_Toc11308264)

[5.3 系统调试 29](#_Toc11308265)

[6 数据处理与分析 31](#_Toc11308266)

[7 成果报告与归档 33](#_Toc11308267)

[8 系统维护与管理 34](#_Toc11308268)

**1 总 则**

**1.0.1** 现代微震监测技术的开发与应用始于二十世纪八十年代中期的南非金矿开采活动，其目的是为解决南非Angola Gold 公司在南非Welkom 地区深埋金矿开采中遇到的大量岩爆和岩体破坏问题，避免由于岩爆或岩体破坏事件而导致作业人员伤亡和设备的损坏。随后，加拿大、澳大利亚、波兰、英国、美国等相继开始应用此项技术。中国自二十一世纪初引进该技术，在各类岩体工程的监测项目中不断得到应用，取得了较好的安全效益。但在国内，至今没有建立起岩体工程领域微震监测相关标准，因此，为更好的规范岩体工程项目中的微震监测全过程，包括设计、施工、数据处理与解释，编制了《工程微震监测技术规程》，作为岩体工程项目开展微震监测工作的规范指引性文件。

**1.0.2** 微震监测以岩体的声发射现象为基础，通过对岩体内部发出的弹性波的监测，反演解译得到岩体内部活动状态，从而评估岩体工程的稳定性或安全性。因此，微震监测的主要对象是各类岩体工程。任何岩体工程的微震监测均适用于本标准，包括矿山、水利、土木、交通、大型地下岩体硐室等。

**1.0.3** 本规程涉及到了岩体工程微震监测的全过程，因此，凡本规程涉及的其他有关方面工作，如线缆铺设，机房建设，劳动保护等，均应符合国家现行有关标准的规定。

# 2 术语和定义

**2** 本条对微震监测相关的术语作出了解释。列入本规程的术语是本规程专用的。在具体定义中，根据“确定术语的一般原则与方法”、“标准化基本术语”的有关规定，全面分析、抓住实质、突出特性，尽量做到定义标准、简明、易懂，同时考虑国内长期以来工程技术人员的习惯性和术语的通用性，避免重复与矛盾。

# 3 监测系统

## 3.1 一般规定

**3.1.1** 微震监测以监测岩体在受力状态下发出的弹性波为主，因此，其主要监测对象为矿山、水利、土木、交通、大型地下岩体硐室等岩土工程。由于岩体的微破裂是岩体动力学危害或灾害的前兆特征，通过对前兆信息的分析解译，可以准确地了解掌握岩体当前的稳定性、安全性，进而提出预防措施或发布预警信息，以及基于此状况调整工程实施或生产、优化相关技术方案等，从而避免安全事故的发生，保障各类岩体工程的顺利施工。

**3.1.2** 微震监测系统是一套完整的软硬件集成系统。其中硬件系统主要负责采集数据，软件系统主要负责处理解译硬件系统采集回来的数据。

## 3.2 系统硬件

**3.2.1** 微震监测系统中的硬件部分包含以下几大模块：数据采集系统、时间同步系统、数据通信系统以及数据存储系统。数据采集系统主要由微震传感器和数据采集基站构成，主要功能是实现对岩体内部微破裂事件的感知。时间同步系统则是为了保证数据采集系统在统一的授时情况下采集数据。数据通信系统的主要功能是实现传感器到基站、基站到服务器之间的数据通信。数据存储系统主要是计算机，用于监测历史数据的分析和存档。

**3.2.2** 岩体发出的弹性波在传播过程中会引起介质振动，因此，微震传感器须采用振动传感器，按类型可分为加速度型和速度型传感器。加速度型对于监测高频小震级事件相对较好，速度型传感器则对于监测低频大震级事件相对较好。由于传感器需要长期埋置在岩体钻孔内，钻孔内环境较潮湿，甚至积水，因此对微震传感器防护等级提出了很高要求。当前各类产品的外壳防护等级标准的最高级别是IP68，微震传感器应达到最高等级。

**3.2.3** 数据采集基站承担着实时数据采集、通信、时钟同步等功能，是微震监测系统的核心硬件。对于基站的核心参数应予以详细规定。微震事件主频一般在几百赫兹至几千赫兹之间，因此基站应能够达到不低于5000Hz的采样频率。动态范围反映了采集基站能够采集的最大值与最小值之间的比值，为保证微震数据采集的精度，基站动态范围应不低于90dB。微震监测系统将多个传感器分散布置在工程中，因此应能保证一个基站至少能够连接4通道传感器。此外，各类岩体工程常由于各种原因导致断电状况发生，因此，基站应配备有备用电源，并保证能够连续工作6h。除此之外，基站需要在较为恶劣的工程环境中长时间连续工作，因此，其工作环境、防护性能等均应满足相关要求。

**3.2.4** 时间同步系统是为保证基站与基站之间在同一时间戳下采集数据。当前的时间授时方式主要有卫星授时和网络授时两种，卫星授时较为精确，但只能在户外能够接收到GPS信号的地方使用，网络授时的精度不及卫星授时，但不受地点限制。因此，时间同步系统应同时具备卫星授时和网络授时功能，可根据现场条件灵活选择。时间是影响微震定位误差的一大因素，若基站之间存在较大的时间误差，则可能导致定位结果与实际发生位置相距甚远。以P波平均速度5000m/s为例，1ms的时间内P波将传播5m。若时间同步误差小于1微秒，则P波传播距离小于5mm，对于工程尺度下的微震定位影响可忽略。因此，微震监测系统的时间同步误差应不高于1微秒。

**3.2.5** 数据通信系统主要使用通信电缆和通信光缆，在不同工程中使用时应符合国家相关工程的标准要求。

**3.2.6** 为了保证数据存储系统的长时间稳定运行，其应达到在工程环境下（温度、湿度、大气压力等）连续稳定工作的能力。

## 3.3 系统软件

**3.3.1** 硬件采集到数据后，由软件系统实现对微震数据的分析与处理。微震数据在软件中的数据流向为：首先上位机软件需要实现基站通过网络传输数据的解析，并实时判定波形流中是否存在事件，生成的事件保存在数据存储系统。此外，应实时监控整个系统的运行状态，包括但不限于传感器、基站、时间同步系统故障等。采集的事件需要经过频谱分析、滤波、P波和S波到时拾取、定位、震级参数计算等处理后，得到反映事件的“时、空、强”信息，同时，在设计过程中还需要进行台网精度分析、波速反演等工作。数据处理后的结果功能同样重要。上位机软件应能够实现三维情况下的工程与微震数据联合展示，支持时间、空间和震源参数过滤，支持微震事件动画生成，支持三维云图生成。最后，上位机软件应能够对监测结果进行定量分析，包括生成各类统计图表、输出日周报表等。

# 4 监测方案设计

## 4.1 一般规定

**4.1.1** 微震监测工程应在实施之前开展专业的设计工作，设计的好坏对于监测效果起到至关重要的作用。因此，本节对微震监测工程设计进行了详细的规定，任何微震监测工程设计均应满足本标准的要求。

**4.1.2** 在系统方案设计时，应注重选择在当前环境下技术先进的相关配套系统，同时在满足系统要求的前提下，考虑经济实用性原则，优化设计方案，做到“无重复、不缺少”，保证系统稳定运行；同时需要考虑到后续系统的升级，在设计时应有一定的预留接口，使系统具有可扩展性。

## 4.2 现场勘察

**4.2.1** 在进行方案设计之前需要进行现场勘察，勘察内包括但不限于以下几个方面：工程地质情况、监测需求、监测对象与范围大小圈定、系统安装工作环境、系统设计依据及相关配套资料，现场灾害事故记录信息等，并形成有效记录作为方案设计的依据。

## 4.3 设计内容

**4.3.1** 工程微震监测设计方案应满足大纲规定所有设计内容，微震监测系统设计方案关键内容是清晰说明监测对象工程特征、监测需求、设备选型、设计方案等。依据工程特征选取合适的微震设备型号；根据工程特征设计多套方案，并采用专业的台网分析工具进行方案对比选出最优的台网布设方案；最后要考虑到系统的安装环境，对网络情况、供电情况等进行设计。

## 4.4 设计要求

**4.4.1** 微震传感器有速度型和加速度型两大类。速度型传感器一般用于中等震级（Mw＞-1.0）以上的微震事件监测，在软岩工程、大范围地压活动宜使用速度型传感器，而加速度型宜用于硬岩工程，特别是岩爆活动的岩体工程，但是二者之间也没有明确的界限，在国内国外速度型和加速度型都有广泛的应用，2种类型的传感器也可以混合使用，可以覆盖更宽频域的事件。

**4.4.2** 传感器应布设在岩体结构完整的区域，尽量少节理裂隙，确保岩石振动信号能够较好传播至传感器，对于存在松动圈的巷道需要通过钻孔测量其松动圈半径，传感器应安装在稳定的基岩中。

**4.4.3** 在钻孔内安装传感器根据是否能够回收分成永久式安装和可拆卸式安装。永久式安装后传感器不能进行回收，但其耦合效果优于可拆卸式安装；可拆卸式安装可在需要时回收传感器，但其耦合效果相对较差。为了防止外部工程施工对传感器造成较大的干扰，传感器应安装在较深处，根据常用凿岩设备参数和工程经验，钻孔深度应大于2m为宜，同时钻孔直径应大于传感器直径，否则安装较为困难。在使用可拆卸式安装时，由于钻孔不进行封堵，因此钻孔方向应水平向上，并呈大于5°夹角。

**4.4.4** 工频干扰是由电力系统引起的一种干扰。频率一般为50Hz。主要表现为信号测量时出现的正弦波或其他信号与正弦波的叠加。传感器与数据采集基站之间利用通信电缆连接，为减少工频干扰，所铺设线缆应尽量远离干扰源。

**4.4.5** 根据检测对象发生能量的大小合理选择监测台网的尺寸，应设计3套以上是方案进行对比，采用专用的台网分析工具，确保设计监测区域内具备较高的定位精度和检测灵敏度，台网中心区域要求定位误差小于5m，监测台网内定位误差小于10m。

**4.4.6** 数据采集基站是系统数据采集和传输的核心设备，需要考虑供电、通风、照明、防冲击等外界影响因素的干扰，尽量选择环境稳定、不易受到外界破坏干扰的位置，保证基站的稳定性。

**4.4.7** 微震监测设计时要考虑数据存储的安全性，一般使用双备份，除了本地的物理存储还需要再网络上进行备份存储，确保在硬盘出现故障时也可以保证历史数据的查询和分析。

**4.4.8** 微震监测系统在设计时应考虑到未来工程扩展的需要，使得当前设计方案具备一定的可扩展性，在设计时应预留充分的接口，包络基站的通道接口和数据通信接口，并支持设备之间进行串联和并联。

# 5 系统安装与调试

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 系统安装包括钻孔、传感器安装、基站安装、通信线缆敷设、供电电缆敷设、微震监测系统各模块的防雷接地、服务器安装等，安装过程中，应严格按照设计方案中确定的安装顺序、安装位置、安装质量与标准要求进行安装作业。系统安装完毕后，根据设计方案设计流程，对系统进行调试，检查系统运行状态，保证系统健康稳定运行。设计是系统安装的依据，安装过程必须严格按照设计进行，如遇特殊情况无法按设计进行时，应进行设计变更。

**5.1.2** 系统安装与调试过程需要严格按照本规程执行，同时系统安装与调试的过程中的任意环节还应符合相关的其他行业标准规范，如通信线缆敷设工程应符合《通信线路工程设计规范》GB51158-2015的规定；供电电缆敷设工程应符合《电力工程电缆设计标准》GB50217-2018的规定；微震监测系统各模块的防雷接地工程应符合《建筑物电子信息系统防雷技术规范》GB50343-2012的规定；服务器安装应符合《计算机场地通用规范》GB/T2887-2011的规定。

## 5.2 系统安装

**5.2.1** 传感器需要通过钻孔安装在设计位置的岩层中，其安装前，应当严格按照设计方案对钻孔进行质量验收，并测量钻孔孔口坐标，孔深、方位角和倾角，并详细记录。孔口坐标是指钻孔与岩体表面相交位置的地理坐标或相对坐标，孔深是指孔口与孔底的距离，方位角是从某点的指北方向线起依顺时针方向至目标方向线间的水平夹角，倾角是指钻孔轴向与水平线或水平面所成的角。孔口坐标与孔深用于确定传感器的空间位置，准确的测量有利于微震事件定位的准确性。方位角和倾角的准确测量有利于微震震源参数的准确计算。

**5.2.2** 根据设计方案是否对传感器进行回收，将传感器安装方式分为永久式安装和可拆卸式安装。永久式安装是指采用注入混凝土的方式将传感器固定在钻孔孔底，这种方法有利于传感器与岩体接触的充分性，但传感器几乎无法进行回收。可拆卸式安装是指利用机械装置将传感器固定在钻孔孔底，该方法有利于传感器的轻松回收，但是传感器与岩体接触变得不充分。同时，为了保证监测结果具有较小的误差，上述任意方法中传感器安装后，传感器轴向应与钻孔孔壁有较高的耦合性。

**5.2.3** 基站是整个微震监测系统信号采集与传输的中枢，保证基站的稳定运行对整个系统的稳定运行至关重要。基站的安装应满足防水防尘易于维护的原则，采用挂壁式安装或在专用的硐室中安装可有效的达到安全、稳定、易于维护的要求。基站的系统电源还应有稳压及过电压保护，稳压是指在输入电网电压波动或负载发生改变时仍能保持输出电压基本不变，过电压是指工频下交流电压均方根值升高，超过额定值的10%，并且持续时间大于1分钟的长时间电压变动现象。

**5.2.4** 《通信线路工程设计规范》GB51158-2015由工信部主编，住房城乡建设部批准，于2016年6月1日起实施。本规范适用于新建､改建和扩建陆地通信传输系统的室外线路工程设计｡

**5.2.5** 《电力工程电缆设计标准》GB50217-2018是由中国电力企业联合会主编，住房与城乡建设部批准，于2018年9月1日起实施。本标准适用于发电、输变电、配用电等新建、扩建、改建的电力工程中500kV及以下电力电缆和控制电缆的选择与敷设设计。本标准不适用于下列环境：矿井井下；制造、适用或贮存火药、炸药和起爆药、引信及火工品生产等的环境；水、陆、空交通运输工具；核电厂核岛部分。《矿山电力设计规范》GB50070-2009由中国煤炭建设协会主编，住房与城乡建设部批准，于2009年12月1日起实施。本规范适用于除石油矿山外新建、改建和扩建的各类矿山电力设计。

**5.2.6** 《建筑物电子信息系统防雷技术规范》GB50343-2012是由四川住房和城市建设厅主编，住房和城乡建设部批准，于2012年12月1日起实施。本规范适用于新建、改建和扩建的建筑物电子信息系统防雷的设计、施工、验收、维护和管理。本规范不适用于爆炸和火灾危险场所的建筑物电子信息系统防雷。

**5.2.7** 《计算机场地通用规范》GB/T2887-2011由国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会于2011年7月29日发布，2011年11月1日起实施。其规定了计算机场地的术语、分类、要求、测试方法与验收规则，适用于新建、改建和扩建的各类计算机场地，计算机场地的工程规范，除执行此规范外，尚应符合国家现行的有关技术标准、规范的规定。

**5.2.8** 硬件安装完成后，还应完成软件安装。由于不同厂家的软件操作使用有差别，因此应按照各厂家的微震软件操作说明书进行操作，保证软件正常运行。

## 5.3 系统调试

**5.3.1** 在设计安装过程中，很多错误是无法避免的，为了保证后系统的可靠稳定的运行，就需要在系统安装结束后，对系统各个方面进行测试，包括硬件的工作状态、工作方式、工作环境等，软件的处理、计算、显示、使用等是否正常，电力传输与数据通讯是否顺畅等方面进行测试与调整。

# 6 数据处理与分析

**6.0.1** 微震震源的定位与到时和岩体的机械波传播速度有关，通过在指定地点进行爆破或其他方式以产生主动震源，通过已知的主动震源位置，可以得到监测区域岩体中纵、横波速，为后续的天然微震事件的定位提供计算参数。运行一定的时间后，需要对纵、横波波速进行及时校正。

**6.0.2** 在实际的生产活动过程中，微震监测系统可以从岩体中采集到除微震外的其它种类信号，如爆破作业导致的爆破振动信号、机械作业带来的机械噪声信号及由于磁场或高压电缆引起的电磁干扰信号等。针对多个类型事件，需要熟练掌握各类事件的特点和相互之间的区别，能够快速的对事件进行分类并进行标识，保证后续的数据处理和灾害预警不受无关事件的影响。

**6.0.3** 现有的三维建模软件在各行各业都得到了广泛应用，因此，应根据工程资料建立起准确的三维工程模型，并在微震监测软件中展示，模型建立后应确保工程模型与传感器坐标处于同一坐标体系。

**6.0.4** 在数据处理前，应根据现场实际设计合理的滤波器，抑制噪声，确保后续数据处理工作的准确性。

**6.0.5** 微震波波前到达某个观测点，在观测点上，传感器检测到质点振动的时刻称为波的初至时间，也称到时。时距关系是指微震波走时与距离的关系，即微震波到达各个传感器的时间同震源到各个传感器的距离之间的关系。对时距关系进行研究，可确定波的类型和构造特点等。同时结合空间分布规律，利用常用的微震信号初至拾取方法，如极值法、能量比法及波形相关法等，对微震信号纵横波初至进行拾取。

**6.0.6** 由于大尺度岩体结构体体积较大，外形不规则，且一些破裂区域为人员无法到达的盲区，只有实现高精度的定位才能为稳定性监测提供依据。发震时刻是指震源体开始破裂的时刻，它和微震的发生地点和微震的强度一起称为地震的三个基本要素。利用微震事件初至时间，结合已有的算法，如盖格法、单纯形法等，求解微震事件震源的空间位置，并根据定位结果计算发震时刻。对于定位后与其它微震事件相比较，位置较为异常的，需要进行分析和调试，以确定异常定位的可靠性。

**6.0.7** 震源参数，是根据地震资料分析对地震震源特征的定量表述。震源参数包括震级、能量、震源半径、视应力、视体积、应力降等。

**6.0.8** 聚类分析指将物理或抽象对象的集合分组为由类似的对象组成的多个类的分析过程。聚类分析的目标就是在相似的基础上收集数据来分类。被用作描述数据，衡量不同震源间的相似性，以及把震源分类到不同的簇中。通过对微震事件进行聚类分析，并依据统计学原理，对相关参数进行统计学分析，确定工程的稳定性等级，同时，及时快速的将相关监测报告进行发布，以便及时的采取相应的措施。

**6.0.9** 微震事件的发生可能隐含着更多的地质变化信息，需要通过不同的方面对数据进行分析研究，探究与发现长期监测下的微震事件变化，以及其带来的扰动对地层和工程更加深远的影响。

**6.0.10** 微震监测系统是实时采集岩体中的微震信号，而微震事件反应了其发生那一刻岩体的稳定性状态，而后续的事件则表明岩体发生了新的变化，具有较强的时效性要求。及时处理监测数据，保证微震监测的时效性，在异常发生时，可以及时的发现并进行相关的预警防范措施。

# 7 成果报告与归档

**7.0.1** 微震监测应注重成果的应用。监测报告应详实反映监测工程情况，除系统运行状态外，还应从多层次多角度对微震监测数据进行分析，并对其长期影响进行探究，实现地质灾害的预警与防范。

**7.0.2** 在实际工程环境下进行实时监测，监测数据应当准确的包含了监测区域内的状态信息，同时数据的处理与分析结果应当符合生产活动的实际规律，在现场实际生产工作状况下，保证生产作业活动的安全性。

**7.0.3** 根据监测区域的微震事件的发生的频率或其它要求，可对监测报告周期进行灵活调整，以保证监测结果的可靠性和及时性。

**7.0.4** 历史数据应注重保存与备份，以备后续查询和参考。

# 8 系统维护与管理

**8.0.1** 为保证系统的长期稳定的运行，需要考虑到各个方面的影响因素，针对可能存在或已经存在的影响因素，制定一整套完备的系统维护与管理办法，包括微震监测系统运行、故障排查、维护和管理操作规程。相关人员应经过专业培训，严格按照操作规程进行系统的相关操作，降低人员操作带来的不确定性影响。

**8.0.2** 为保障系统稳定可靠运行，应周期性的对微震系统进行整体检查，并做好记录。发现异常后，针对常见问题迅速排查，使系统尽快恢复正常。必要时通知售后厂家商讨解决方法。

**8.0.3** 做好系统设备和微震服务器监测机房的防护工作，防止常见的火灾、静电、强磁极、雷击灾害发生。

**8.0.4** 由于微震服务器需要24小时不间断处理数据，因为，必须保证微震服务器专机专用，不得用做其他用途。

**8.0.5** 各类工程生产作业时，可能会对系统产生较大的冲击或破坏。工程实践中，弄断线缆等情况时有发生。因此，应加强对系统的保护。若发现系统损坏时，相关人员应第一时间上报，以使系统能够及时得到修复。