

《煤矿井地一体融合微震监测技术规范》编制说明

一、工作简况

1.任务来源

本标准由中关村绿色矿山产业联盟提出并归口，列入《中绿盟 2025 年度第一批团体标准立项计划》，旨在解决传统煤矿井下或地面单一微震监测系统在定位精度、监测范围及信号一致性方面的不足，规范井地一体融合微震监测技术的系统配置、台网布设、数据处理与维护要求，填补煤矿领域井地联合微震监测标准的空白。

项目名称为《煤矿井地一体微震监测技术规范》，由中国矿业大学为牵头起草单位，负责标准的编写修订工作。起草单位组建成立了标准起草工作组，负责该能源行业标准的有关技术研究及编制修订工作。由中国矿业大学曹安业作为项目工作组组长，负责项目整体技术方案和指标的确定。

2.起草单位与参编单位

主要起草单位：中国矿业大学

参编单位：徐州弘毅科技发展有限公司、中国矿业大学（北京）、安徽理工大学、新疆大学、北京科技大学、应急管理大学、华能煤炭技术研究有限公司、窑街煤电集团有限公司、华能庆阳煤电有限责任公司、华亭煤业集团有限责任公司、山东能源集团有限公司、国家能源集团新疆能源化工有限公司。

3.主要起草人（说明标准主要起草人及其所做的主要工作等）

表 1 主要起草人员及分工表

序号	起草人姓名	所在单位	工作分工
1	曹安业	中国矿业大学	标准制定项目负责人、协调人及技术负责人
2	窦林名	中国矿业大学	负责标准框架、内容审阅
3	巩思园	中国矿业大学	标准各阶段文稿及相关配套材料编写和修改，意见处理和研讨等
4	葛庆	徐州弘毅科技发展有限公司	负责总体技术方案、指标确定及内容审阅
5	鞠杨	中国矿业大学（北京）	负责分级章节编制和研讨
6	马志峰	徐州弘毅科技发展有限公司	负责分级章节编制和研讨
7	孙振于	徐州弘毅科技发展有限公司	负责分级章节编制和研讨

8	蔡武	中国矿业大学	负责分级章节编制和研讨
9	杨耀	中国矿业大学	标准调研,负责井地一体微震监测技术内容编写
10	李家卓	安徽理工大学	标准调研,负责井地一体微震监测技术内容编写
11	王崧玮	新疆大学	标准调研,负责井地一体微震监测技术内容编写
12	马新根	华能煤炭技术研究有限公司	标准调研,负责井地一体微震监测技术内容编写
13	李东	应急管理大学	标准调研,负责井地一体微震监测技术内容编写
14	温颖远	新疆大学	标准调研,负责井地一体微震监测技术内容编写
15	丁小敏	华亭煤业集团有限责任公司	标准调研,负责井地一体微震监测技术内容编写
16	吴学松	华能庆阳煤电有限责任公司	标准调研,负责井地一体微震监测技术内容编写
17	张田录	窑街煤电集团有限公司	标准意见处理、标准配套文件校对
18	李振雷	北京科技大学	标准及配套材料校对和现场试套
19	亓佳利	山东能源集团有限公司	标准及配套材料校对和现场试套
20	曹东京	山东能源集团有限公司	标准及配套材料校对和现场试套
21	王常彬	中国矿业大学	标准及配套材料校对和现场试套
22	杨旭	中国矿业大学	负责分级章节编制和研讨
23	刘昆轮	国家能源集团新疆能源化工有限公司	负责分级章节编制和研讨
24	顾颖诗	山东能源集团有限公司	负责分级章节编制和研讨

二、制定（修订）标准的必要性和意义

1. 制定标准的必要性

在全球形势深刻变革与国内“双碳”目标背景下，向深部开采已成为保障我国能源供给的必然选择。我国开采深度超过 700 m 的矿井有 130 余处，并以 10~25 m 的速度逐年递增，最大开采已达 1510 m，预计 2030 年前后，矿井将全面进入千米深井开采阶段。深部开采条件下，煤岩体常处于高地应力、高渗透压、高地温、强工程扰动等多相多场耦合赋存环境，其力学行为和工程响应特征均发生根本性变化，加上大范围覆岩运动和复杂地质沉积环境等影响，煤岩体非线性行为更加凸显，导致冲击地压、覆岩型矿震、顶板突涌水等动力灾害频发，且致灾过程呈现显著的突发性与复合性，多元灾害耦合叠加态势日趋严峻。复合动力灾害已成为我国深部煤炭安全高效绿色开采亟待解决的新难题。

国家能源局《煤炭深部资源开采中长期规划（2025—2035 年）》（国能发煤炭〔2025〕90 号）文件明确提出，鼓励开展深部开采多场景煤岩动力灾害防治工程实践，而进行相关防治实践的根本前提在于应明确深部复杂地层环境下灾源空间位置。目前，微震监测法是识别煤矿冲击地压、矿震等动力灾害源头的重要方法，但矿井进入深部开采后，受限于微震台网近水平布置现状，导致灾源垂向定位误差大、震源能量计算不准确的问题日益突出。此外，尽管部分矿井已升级为井地一体微震监测系统，但由于缺乏可参考的技术文件，监测系统的监测范围、布设优化与定位误差并未进行针对性调试和校核，使得系统监测能力、定位精度难以保证，深部动力灾害防控仍然面临致灾源找不准、不可信的难题。为此，亟需为微震监测系统升级提供可参照的实施方案，并对煤矿井地一体微震联合布置条件下的监测定位方法进行规范化，以进一步提高煤矿深部动力灾害源头辨识、监测预警准确性及协同防控有效性。

2. 制定标准的意义

制定《煤矿井地一体微震监测技术规范》是顺应煤炭深部资源开采发展趋势、契合国家深部煤炭资源开发规划部署的现实举措。《规范》提出的井地一体联合布设、台网优化、定位校核与数据处理等技术要求，可解决深部开采条件下动力灾害灾源垂向定位误差大、震源能量测算不准、系统调试无统一依据等突出问题，进而提升灾害源头识别精度与监测数据可靠性。

同时，《规范》的制定填补了行业专项标准空白，可为煤矿微震监测系统升级改造提供可操作的规范化方案，有助于推动深部多元动力灾害监测预警工作系统化落地，提高煤矿深部开采多元动力灾害协同防控水平，从而有效保障煤炭行业平稳有序发展，稳固国家能源安全供给体系。

三、主要起草过程

标准起草工作组通过多种途径广泛收集了煤矿冲击地压微震监测技术相关资料，全面掌握了有关技术和应用情况，充分听取煤炭监督管理部门、科研院所、煤炭企业代表的意见和建议，在分析研究和试验验证的基础上，确定了《煤矿井地一体微震监测技术规范》的术语和定义、仪器设备及技术参数、台网布置方案、数据处理、系统维护、微震结果保存与传感器挪移记录等内容，形成了标准草案。

通过对矿山、生产企业的全面深入调研，依据国家安全生产管理制度、法律、

法规，根据国家标准、安全行业标准以及目前我国对该产品的生产、检验及管理现状，制定《煤矿井地一体微震监测技术规范》。其每个阶段草案的形成过程如下：

(1) 2025年1月~2025年6月成立标准制定小组，小组成员对煤矿微震监测技术的政府部门监管政策和法律法规进行调查，调研了山东能源集团、华能集团下属20余个冲击地压矿井的微震监测技术应用案例，和业内微震监测技术发展现状，明确了井地一体微震监测技术难点和标准制订方向。

(2) 2025年6月~2025年12月在内蒙古、甘肃等多家单位现场和实验室对关键技术参数进行了测试，确保系统在井下、地面复杂环境下单台传感器时间同步精度 $\leq \pm 200$ ns，井地联合同步精度 $\leq \pm 1$ ms，平面定位误差 ≤ 20 m，垂直定位误差 ≤ 25 m。初步形成了标准草案。

(3) 2025年12月~2026年4月，标准编制小组召开了多次会议，对讨论稿进行了反复修改，最终形成统一意见，完成了征求意见稿。

四、制定（修订）标准的原则和依据

本标准的制定（修订）原则如下：

1. 科学性原则

本标准通过大量现场实测数据验证技术指标的可靠性：地面传感器频率范围0.1~150 Hz基于煤矿微震事件主频统计结果；井下传感器要求频率范围0.1~600 Hz，满足井下微小震动监测需求；采样频率 ≥ 500 Hz满足奈奎斯特采样定理；定位精度指标通过多个矿井，每个矿井5次以上爆破试验验证，超过国标GB/T 25217.4-2019相关要求。所有性能指标均经至少3次平行测试，确保结果可复现。

2. 实用性原则

技术参数设计贴合煤矿现场条件：地面仪器墩C30混凝土一次浇筑，尺寸不小于400 mm×400 mm×1000 mm（长×宽×高），兼顾稳定性与施工便捷性；井下传感器锚杆深入煤岩体 ≥ 1 m并采用树脂锚固，适应井下复杂环境；系统备用电源维持时间 ≥ 2 h，满足矿井电网波动工况；地面蓄电池供电时间 ≥ 120 h，满足长期阴雨天监测需求。

3. 统一性原则

与现行标准全面衔接：井下监测台网布置执行GB/T 25217.4-2019；时间同步精度要求与DB/T 17-2018强震动台站建设规范一致；数据联网格式符合MT/T 1201.5-2023要求；术语定义引用GB/T 15663.11-2008和GB/T 18207.1-2008。

4. 安全性原则

建立全流程安全控制：井下设备本质安全型防爆；地面观测室具备避雷功能（参照DB/T 68）；系统电缆与动力电缆间距 ≥ 300 mm，避免电磁干扰；接线盒防水处理，防止漏电风险。

本标准的制定（修订）依据如下：

GB/T 15663.11-2008 煤矿科技术语 第11部分：煤矿电气

GB/T 18207.1-2008 防震减灾术语 第1部分：基本术语

GB 17740-2017 地震震级的规定

GB/T 25217.4-2019 冲击地压测定、监测与防治方法 第4部分：微震监测方法

NB/T 11526-2024 煤矿微震监测系统通用技术条件

MT/T 1201.5-2023 煤矿感知数据联网接入规范 第5部分：冲击地压

DB/T 17-2018 地震台站建设规范 强震动台站

DB/T 10 数字强震动加速度仪

DB/T 68 地震台站综合防雷

五、与现行有关法律、法规和标准的关系

1. 与现行法律、法规的关系

本标准严格遵循《煤矿安全规程》、《防治煤矿冲击地压细则》等法律、法规要求；井下设备明确本质安全型防爆要求。

2. 与行业标准的关系

技术参数符合国标《冲击地压测定、监测与防治方法 第4部分：微震监测方法》(GB/T 25217.4-2019)和《煤矿微震监测系统通用技术条件》(NB/T 11526-2024)要求，是对该国标 GB/T 25217.4-2019 的补充和细化；数据格式符合《煤矿感知数据联网接入规范 第5部分：冲击地压》(MT/T 1201.5-2023)要求。

3. 与国际标准的关系

未查到相关国际标准。

4. 与技术标准的关系

优化现行技术规范：将 GB/T 25217.4-2019 中“系统时间与标准时间偏差不大于±8ms”加严至“系统时间与标准时间偏差不大于±8ms”、定位精度“垂直定位误差不大于±50m”加严至“垂直定位误差不大于25m”可量化指标；新增传感器温度要求、湿度要求、系统监测能力要求等、系统维护具体要求、地面监测台网布置要求。

六、标准主要内容说明

1 主要技术参数及依据

本标准针对煤矿井地一体微震监测技术主要技术参数进行规范，技术指标设计依据如表1所示。

表1 煤矿井地一体微震监测技术主要技术参数

指标名称	技术要求	依据	技术必要性
地面传感器频率范围	0.1~150 Hz	参考 GB/T 25217.4-2019	覆盖微震主频段，避开地脉动噪声和人为高频干扰
地面监测单元供电时间	≥120 h	参考 GB/T 25217.4-2019	满足地面阴雨天连续监测需求

台间时间同步精度	$\leq \pm 1 \text{ ms}$	参照 GB/T 25217.4-2019	台间 1 ms 对应定位误差约 3~5 m (按波速 3000 m/s 计)
信号采集系统时间偏差	$\leq \pm 1 \text{ ms}$	参照 GB/T 25217.4-2019	保证事件时刻记录准确
平面定位误差	$\leq 20 \text{ m}$	参考 GB/T 25217.4-2019	满足冲击地压预警工程需求
垂直定位误差	$\leq 25 \text{ m}$	参考 GB/T 25217.4-2019	满足冲击地压预警工程需求

2 主要技术参数试验方法

(1) 地面传感器频率范围

使用振动激励系统,在矿震传感器的频率测量范围内,选取包含上限值和下限值频率在内的不少于 7 个频率点。由振动激励系统给出相对应的标准频率,记录不同标准频率下被检矿震传感器的频率测量示值,按式 (1) 计算其相对误差,误差不大于 3%。

$$\delta_f = \frac{f_i - f_r}{f_r} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

δ_f ——频率误差, %;

f_i ——矿震传感器频率测量示值, Hz;

f_r ——振动激励系统的标准频率, Hz。

(2) 地面监测单元供电时间

在太阳能蓄能专用电池满电状态下,断开太阳能电池板,地面微震传感器、其他数据传输和视频监控等设备正常运行,仅由太阳能蓄能专用电池对地面监测单元设备供电,观察系统正常运行时间。

(3) 台间时间同步精度

选择系统中任意 2 个地面微震传感器和 2 个井下微震传感器,放置在同一位置,使用信号发生器给 4 个微震传感器输入同一正弦波信号(输入信号频率在传感器的频率响应范围内选择),进入系统的数据分析功能界面,比较 4 个通道所采集到的波形信号,计算各波形信号之间的相位差,其最大的相位差即为同步精度误差。也可委托第三方检测出具检测报告。

(4) 信号采集系统时间偏差

将 GPS/北斗授时接收机的 1PPS 输出信号作为标准时间参考,接入时间间隔计数器的参考输入端;将被测微震监测系统信号采集系统的同步时钟输出信号(或系统时间同步接口输出的 1PPS 信号)接入时间间隔计数器的测量输入端;系统正常运行后,启动时间间隔计数器,连续记录时间偏差值;测试持续时间不少于 10 分钟,记录时间偏差最大值、最小值及平均值,取绝对值最大值作为系统时间与标准时间的偏差。也可委托第三方检测出具检测报告。

(5) 定位误差

在系统软件中配置 4 个传感器坐标,其中两台地面传感器和两台井下传感器,坐标为 (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) , (x_3, y_3, z_3) , (x_4, y_4, z_4) ;

使用多通道信号发生器输出 4 通道脉冲信号(脉冲宽度在 0.83 ms~50 ms 之

间选取, 脉冲间隔 ≥ 1 s), 进入系统数据分析功能界面, 查询该 4 个通道波形, 由系统计算出当前震源测试坐标 (x, y, z) , 并与理论值 (x_0, y_0, z_0) 进行比较, 使用式(2)、式(3)计算定位误差数量不少于 5 次, 并取平均值。也可在煤矿现场采用震动炮的方式进行验证。

水平误差计算公式:

$$\delta_{\text{水平}} = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \quad (2)$$

垂直误差计算公式:

$$\delta_{\text{垂直}} = \sqrt{(z - z_0)^2} \quad (3)$$

3 试验结果与分析

经试验测试和现场验证, 地面传感器频率范围偏差率最大值为 2.35%, 符合误差要求; 地面监测单元供电时间为 192 小时, 远大于标注要求的 120 小时; 系统台间时间同步精度小于 1 ms, 符合标准要求; 信号采集系统时间偏差, 经第三方监测, 地面传感器分别采用 GPS/北斗授时, 最大时间偏差为 200 nm, 井下传感器采用统一授时, 最大时间偏差为 36 ns, 两者组合为 236 ns; 定位误差在海石湾、核桃峪、孟村等多个矿井现场, 采用定位炮的方式进行了测试, 垂直和水平误差均小于 15 m, 远超过标准水平 20 m、垂直 25 m 的要求。

4 技术经济论证与预期经济效果

井地一体微震监测技术的应用会提高矿井冲击地压灾害监测预警和防治水平, 避免冲击地压事故发生, 直接减少人员伤亡、设备维修及生产停滞成本, 以及因事故导致的非计划停产, 增加矿井煤炭产量。项目技术已成果在孟村、海石湾、核桃峪煤矿成功应用。井地一体微震监测系统本身是一种高技术含量的商品, 未来 3-5 年内有望销售 30 套, 每套平均 350 万, 可增加 1.05 亿元产值。长期时间内国内约 140 处冲击地压矿井、部分非冲击地压矿井和非煤矿山共约 200 处矿井需求, 共约 7 亿产值。

5 修订标准, 新旧标准水平对比

表 2 新旧标准水平对比

指标名称	旧标准 (GB/T 25217.4-2019)	新标准 (本修订版)	提升效果
信号采集系统时间偏差	$\leq \pm 8$ ms	$\leq \pm 1$ ms	大幅度提高系统时间偏差, 保证事件时刻记录准确, 间接提高定位精度 (参考 NB/T 11526-2024 中 6.7.13.1)
垂直定位误差	≤ 50 m	≤ 25 m	大幅度提升垂直定位精度, 满足冲击地压预警工程需求 (参考 NB/T 11526-2024 中 6.7.14.2)

七、分歧意见的处理过程、依据和结果

无。

八、采用国际标准或国外先进标准情况

未查到。

九、贯彻标准的措施建议

为确保本标准有效实施，建议相关单位组织标准的宣贯与培训，提高人员理解和应用能力；该技术生产企业应严格按标准组织生产，使用单位应选用合格产品，检验机构应依据标准进行检验；同时，建议有关部门加强监督检查，鼓励各方积极反馈意见，并根据技术发展和行业需求适时修订本标准。

十、其他应予说明的事项

本标准不替代现有标准中的通用技术要求。