

时滞型冲击地压灾害预警技术规范编制说明

一、工作概况

1.任务来源

随着煤矿开采深度和采动强度的增加，冲击地压灾害日趋严重。其中，一类具有显著延迟特征的冲击地压，即在工作面采过之后一段时间，因顶板岩层损伤累积、应力调整而突然发生的动力现象，给矿井安全带来了极大威胁。传统的微震、地音、电磁辐射等预警方法主要针对采掘工作面前方的“即时型”冲击，对后方采空区顶板延迟破坏引发的“时滞型”冲击地压缺乏有效预警手段。

中关村绿色矿山产业联盟根据行业发展需要，于2024年12月下达了《时滞型冲击地压灾害预警技术规范》团体标准的制定计划。本标准由西安科技大学牵头申报，旨在建立一种基于采动力学与加卸载试验的时滞型冲击地压预警方法。

2.起草单位、参编单位

西安科技大学、国家能源集团新疆能源化工有限责任公司、国家能源集团国源电力有限公司、国网能源新疆准东煤电有限公司、陕西彬长矿业集团有限公司、新疆工程学院。

3.主要起草人

崔峰，来兴平，王昊，陈建强，彭宝山，邹磊，蒋新军、刘昆轮，刘旭东，杨伟，马立强，吴学明，胡艳波，贾冲，宗程。

二、制定（修订）标准的必要性和意义

随着我国煤矿开采深度和强度不断增大，从而诱发的冲击地压动力灾害越来越频繁。由于冲击地压发生的时间、地点、能量、震源等具有复杂多样性和突发性，使得冲击矿压的预警工作十分困难。目前我国煤矿常用的预警方法有微震法、地音法、电磁辐射法、钻屑法等，对于冲击地压煤矿的实际开采工作具有一定的指导意义。上述方法通过监测设备所监测的数据来判断工作面前方是否会发生冲击地压，主要是针对“即时型”冲击地压的预警识别。由于采煤工作面连续开采扰动容易造成工作面后方(已经开采的区段)顶板岩层损伤累积，随工作面不断推进从而诱发“时滞型”冲击矿压，但是煤矿冲击地压监测重点区域位于采煤工作面前方，所以预测效果不佳。目前，国内尚无专门针对“时滞型”冲击地压的预警技术标准。

本标准的制定将显著提升“时滞型”冲击地压的预警时效性与准确性，为矿井合理安排开采进度、提前采取卸压或加强支护措施提供科学依据，具有重要的安全效益和经济效益。

三、主要起草过程

资料收集与调研（2025年1月-3月）：编制组系统收集了国内外关于冲击地压分类、周期来压规律、岩石循环加卸载试验等文献，并对陕西、新疆多个冲击地压矿井的冲击地压案例进行了详细调研，明确了“时滞型”冲击的关键特征与发生规律。

草案拟订与核心试验验证（2025年4月-9月）：编制组设计了标准的初步框架，依托西安科技大学实验室，选取典型矿井基本顶岩样，按照不同工作制度和不同采动强度开展了大量循环加卸载试验，验证了“循环次数 n ”与现场时滞天数之间的关系。

征求意见稿形成（2025年10月）：在内部讨论和试验验证的基础上，编制组对草案进行了多次修改完善，形成了标准征求意见稿。

四、制定（修订）标准的原则和依据

科学性原则：本标准以采动力学为基础。将现场“开采-检修”间歇性扰动等效为室内“加载-卸载”循环，通过相似理论建立室内破坏循环次数与现场滞后时间天的映射关系。

可操作性原则：标准规定的试样制备（5.1）、单轴抗压试验（5.2）、钻孔应力数据统计（5.4）均为煤矿已有的常规技术。加卸载速率和单次加载峰值强度可根据现场数据直接计算，无需复杂设备。

时效性原则：标准直指“时滞”特性，输出的预警结果为“ n 天后可能发生冲击”，比一般基于阈值超限的即时预警更有预见性，便于矿方提前布置防控措施。

普适性原则：标准考虑了不同工作制度（三八制、四六制）对加卸载参数的影响，可适用于国内绝大多数冲击地压矿井。

五、与现行有关法律、法规和标准的关系

本标准符合《煤矿安全规程》及《防治煤矿冲击地压细则》等法规政策中关于加强冲击地压监测预警的总体要求。

在技术内容上，本标准引用了以下现行标准：

GB/T 23561.1 煤和岩石物理力学性质测定方法 第 1 部分：采样一般规定

GB/T 23561.7 煤和岩石物理力学性质测定方法 第 7 部分：单轴抗压强度测定及软化系数计算方法

GB/T 50266 工程岩体试验方法标准

GB/T 25217.7 冲击地压测定、监测与防治方法 第 7 部分：采动应力监测方法

本标准是在上述基础标准框架下，针对“时滞型”冲击地压这一特定灾害类型提出的补充性预警方法，与现行标准体系协调一致，无冲突。

六、标准主要内容说明

1.重点技术指标、参数、公式及试验方法的论据

试样采集与制备（第 5.1 节）：选取采煤工作面前方未受采动影响区域的顶板取岩芯后，将其加工成 $\Phi 50 \times 100 \text{mm}$ 的标准圆柱体岩样。岩样的制备严格控制其取样精度，两个端面的最大不平整度不超过 0.1mm，端面垂直于试样轴线，煤样高度误差不超过 0.3mm。试样采集与制备过程中，应严格遵守以下标准：

①GB/T 23561.1 煤和岩石物理力学性质测定方法第 1 部分：采样一般规定

②GB/T50266 工程岩体试验方法标准

单轴抗压强度与破坏时间测试方法（第 5.2 节）：采用 0.5MPa/s 的速率对煤样进行单轴压缩试验，实验过程中记录应力应变曲线，计算达到完全破碎的极限抗压强度 P_{max} 与时间 T 。试验过程中，应严格遵守以下标准：

①GB/T 23561.7 煤和岩石物理力学性质测定方法第 7 部分：单轴抗压强度测定及软化系数计算方法

②GB/T50266 工程岩体试验方法标准

破坏时间分段方法（第 5.3 节）：将单轴连续加载下的破坏总时间 T 按现场工作制度拆分为 aT （加载时间）和 bT （卸载时间）。例如，三八制下 $a=2/3$ 、 $b=1/3$ ；四六制下 $a=3/4$ 、 $b=1/4$ 。其依据是：采掘扰动下岩体应力路径受采场工作制度影响，工作面生产阶段，随着工作面推进，顶板岩层处于持续加载状态，检修班时则经历卸载。为验证这一结论，统计了新疆宽沟煤矿某工作面推进期间地音监测数据，绘制出不同掘进强度下地音能量-频次图，如图 1 所示。

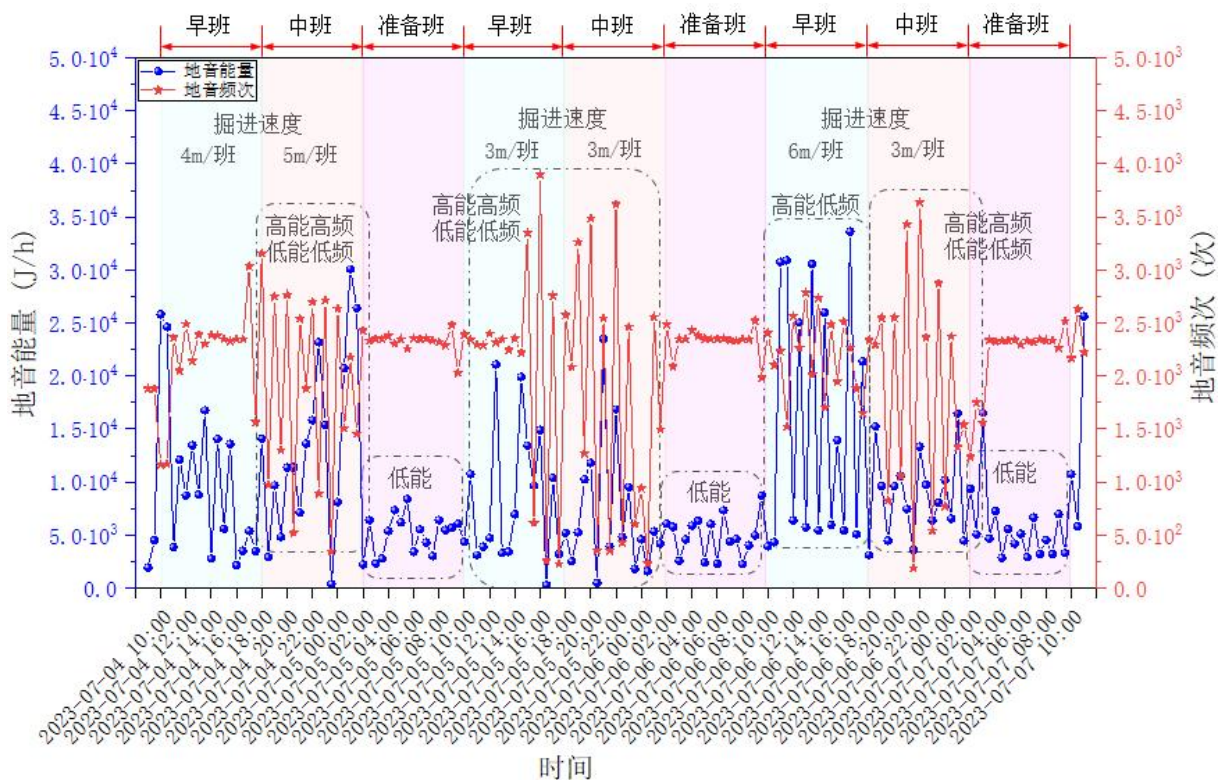


图 1 工作面推进期间地音能量-频次分布特征

该矿工作面制度为三八制，在生产班进行作业时，地音信号波动较为剧烈，能量与频次表现出“高能高频，低能低频”趋势；准备班作业期间，地音与能量波动较小，频次基本稳定不变。分析认为，生产班进行作业时，煤岩体受到扰动影

响, 应力状态会发生变化, 工作面推进过程中, 岩体不断受到超前支承应力的影响呈现加卸载形式, 导致能量释放的大小和频次波动较大。在准备班作业时, 并无采掘扰动影响, 应力状态较稳定, 因此地音能量释放较低, 频次较为稳定。现场实际检测数据表明, 岩体应力状态与工作面推进制度相关性较好, 验证了以工作面制度划分岩体应力路径的合理性。

单次加卸载峰值强度的计算(第 5.4 节): 根据现场实际监测的采动应力, 换算成室内试件应被加载到单轴强度的何种比例。按照公式 (1) 计算循环加卸载单轴抗压试验中单次加卸载峰值强度 P_d 。

$$P_d = \frac{P_h}{P_c} P_{\max} \quad (1)$$

式中, P_h 为各周期来压时应力平均值, 基于现场实际监测的钻孔应力获得, 分别统计 n 个周期来压时钻孔应力数值, 取均值后即为 P_h 。 P_c 为煤矿工作面的冲击矿压强度, 矿井发生冲击地压时钻孔应力监测值即为 P_c , 若矿井尚未发生过冲击地压, 则 P_c 为矿井实际使用的钻孔应力预警临界值。该方法通过将现场监测数据换算成室内试验加载的应力路径, 可真实反应岩体在采掘扰动作用下的力学响应。

加卸载速率的计算(第 5.5 节): 试样的力学特性受加载速率影响较大, 基于前述计算得到的单次加卸载峰值强度 P_d , 按照公式 (2) 计算单次加卸载实验的加载速率。单次加卸载峰值强度 P_d 与加载阶段时长比值即为加载速率 v_l 。

$$v_l = \frac{P_d}{aT} \quad (2)$$

式中, aT 为单次加卸载实验中加载阶段的时长。

绘制循环加卸载试验曲线(第 6.1 节): 利用 WANCE 万能试验机对试样进行首次加卸载实验, 以单次加卸载实验的加卸载速率对试样加载, 试样加载时长为 aT 且达到单次加载峰值强度 P_d 后, 再以单次加卸载实验的加卸载速率对试样卸载, 试样卸载时长为 bT 后, 完成试样的首次加卸载实验, 以时间为横坐标, 加载强度为纵坐标, 坐标原点为起点, 绘制首次加卸载强度曲线。以上次的单次加卸载实验结束点为本次单次加卸载实验的开始点, 以单次加卸载实验的加卸载速率对试样加载, 试样加载时长为 aT , 该次加载峰值强度与试样起始强度之间的差值为 P_d 后, 再以单次加卸载实验的加卸载速率对试样卸载, 试样卸载时长为 bT 后, 完成该次试样的单次加卸载实验, 以首次加卸载强度曲线的结束点为起点绘制该次加卸载强度曲线。多次循环上述步骤, 直至该试样完全破碎, 完成循环加卸载单轴抗压试验, 并完成绘制循环加卸载强度曲线, 获取循环加卸载单轴抗压试验总时长 T_s 。

冲击地压灾害时效预警(第 6.2 节):

根据公式 (3) 计算岩样加卸载实验破坏时的累计循环次数 n , 由于试样达到完全破碎的时间是按照实际煤矿的每天工作时间制度分段的, T 是现场一天(工作+检修)的总时长在室内连续加载下的映射, 因此 n 即为预测的顶板岩层破坏的滞后天数。则按照相似理论, 预测时滞型冲击地压灾害发生的时间在 n 天之后。

$$n = \frac{T_s}{T} \quad (3)$$

式中:

n —预测的时滞型冲击地压发生时间，单位为天 (d)。

2. 试验综述、经济技术论证及预期经济效果

煤样的制备、筛选：在宽沟煤矿 B2 煤层 I010206 工作面及其顶板区域取样，按照国际岩石力学学会(ISRM)推荐标准，利用 YZB-1 型钻孔取样机、DME-2 切磨一体机将煤岩样制备成直径 \times 高度=50mm \times 100mm 标准试件。制备完成的煤岩试样如图 2 所示，在标准煤样制取后进行密封，以隔绝空气，防止风化。试样制备完成后对其进行分组编号，选取端面平整且无外观明显缺陷的试样，并由 RSM-SY5(T)非金属声波检测设备进行试样筛选与分类，剔除其中波速差异明显的试样，选取剩余进行既定方案下的力学试验研究。



图 2 顶板岩样制备

试验设备仪器：运用 WANCE 万能试验机和 DH3818N 静态应变测试分析系统，由应力-应变曲线、煤样强度、弹性模量、泊松比等的关系变化，分析不同推进速度下煤样力学行为。图 3 (a) 为万测试验设备有限公司 HCT 系列微机控制电液伺服压力试验机系统，主要由试验机主机、液压源、控制器、计算机数据处理系统等部分组成。图 3 (b) 为 DH3818N 静态应变测试分析系统，主要由静态应变测试主机、显示器、应变片组成。系统包括 20 个应变测量通道，各个通道均可独立连接不同的桥路类型。



(a) 微机控制电液伺服压力试验机系统 (b) DH3818N 静态应变测试分析系统

图 3 力学试验设备

常规单轴压缩试验：

岩样试件单轴加载其应力-时间曲线如图 4 所示，各个试件具体的力学参数如表 1 所示，岩样达到完全破碎的极限抗压强度 P_{max} 为 76.91MPa，破坏时间 T 为 449s。

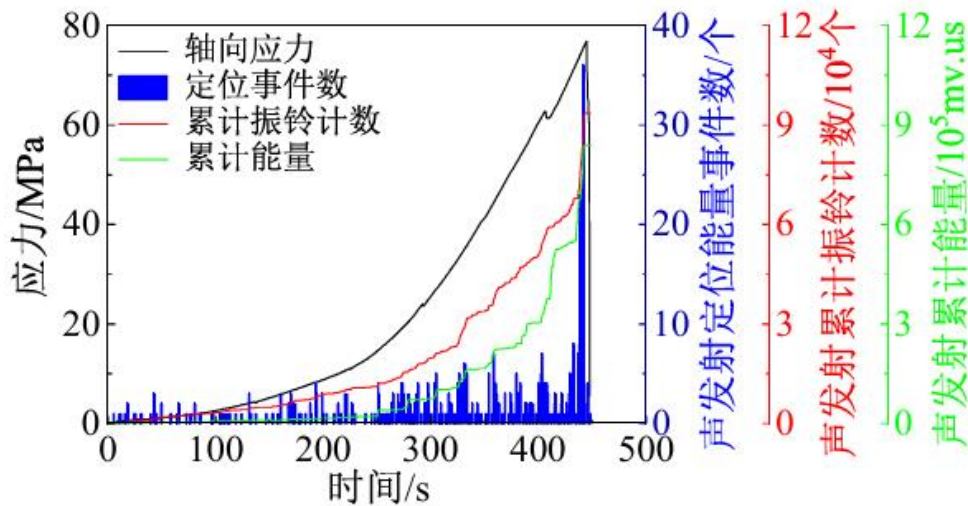


图4 常规单轴压缩岩样试验结果

表1 常规单轴压缩岩样力学参数

编号	弹性模量/GPa	破坏时间/s	抗压强度/MPa	峰值应变/%
1	10.74	442	76.80	1.61
2	10.09	425	74.21	1.58
3	8.96	481	79.73	1.68
均值	9.93	449	76.91	1.62

单轴循环加卸载试验设计: 根据标准中单次加载应力增量和加载速率计算方法进行试验方案设计, 加卸载应力路径示意图如图5所示, 岩样循环渐进的加载应力为 5.0MPa。

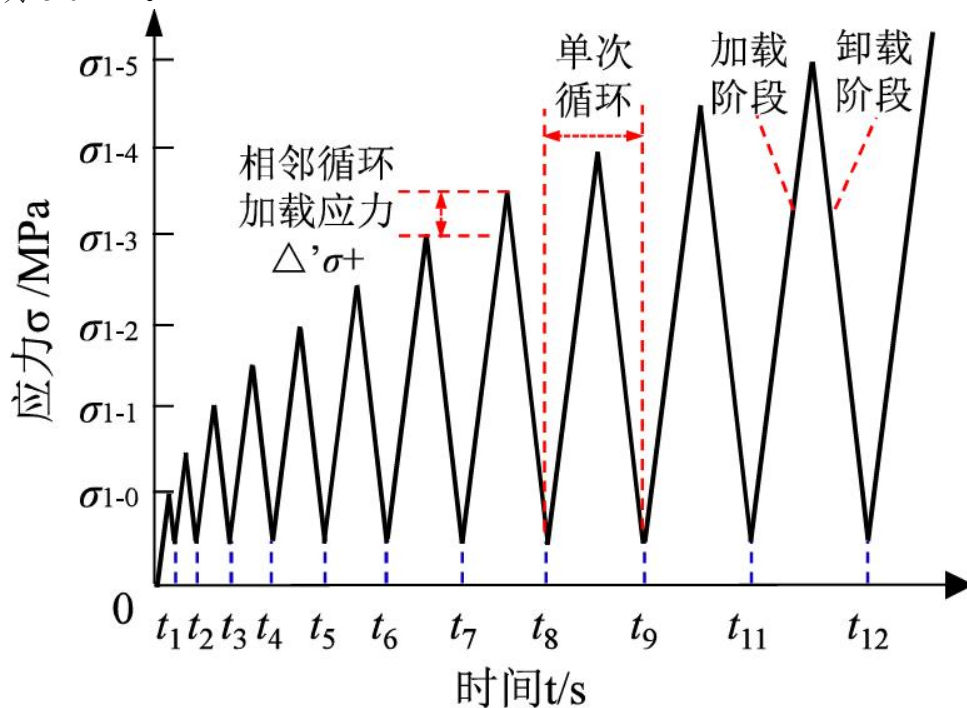


图5 岩样单轴加卸载试验应力路径

单轴循环加卸载试验结果: 岩样试件典型单轴加卸载条件下其应力-时间曲

线如图 6 所示，加卸载条件下，岩样达到完全破碎的极限破坏时间 T_s 为 3964s。按照标准中公式 (3) 计算得到 $n=8.82\approx 9$ 天，即预测时滞型冲击地压灾害发生的时间在 9 天后。

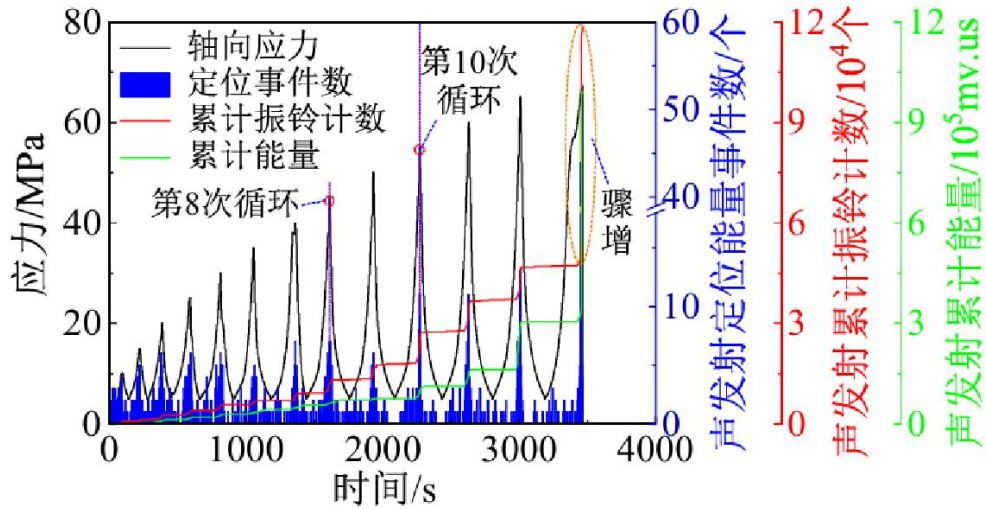


图 6 单轴加卸载岩样试验结果

技术经济论证及预期经济效果：实施本标准所需的主要投入为：岩石力学试验设备、钻孔应力计及少量人工分析成本。而一旦成功预警时滞型冲击，可避免因滞后顶板垮落或冲击造成的巷道修复（单次成本数十至数百万元）、设备损坏甚至人员伤亡。同时，准确预测滞后时间可指导矿井在危险时段主动采取卸压或控制开采速度，避免盲目停产，保障均衡生产。预期经济效益显著。

3. 修订标准、增列新旧标准水平对比

本标准是现有基础标准在“时滞型冲击地压”这一特定应用场景下的深化与具体化，弥补了行业标准在该关键技术环节上的缺失。

七、分歧意见的处理过程、依据和结果

在征求意见阶段，主要分歧点在于：对于“单次加卸载峰值强度”的计算，有专家认为过于简化，忽略了围压等三维应力状态。

处理和依据：编制组认可三维应力状态的重要性，但指出本标准定位于一种简便、易推广的工程预警方法，而非精确数值模拟。同时，专利（CN112161868B）及验证试验表明，在相同岩性和围压条件下，该线性折减关系能够有效反映采动应力水平对损伤累积速率的影响。为保持标准的可操作性，维持了原计算方法。

八、采用国际标准或国外先进标准情况

经检索，国际标准化组织（ISO）及主要产煤国家（美国、澳大利亚、波兰）均未发布专门针对“时滞型冲击地压预警”的技术标准。相关研究多集中于矿山岩爆的即时监测或数值模拟预测。

本标准提出的基于“工作制度时间分段”和“循环加卸载次数直接映射滞后天数”的方法属于原创性技术。

九、贯彻标准的措施建议

技术措施：鼓励冲击地压矿井在现有采动应力监测系统（GB/T 25217.7）基础上，按照本标准要求统计周期来压平均值和冲击矿压强度。建议将本标准纳入矿井冲击地压预警管理制度，作为“采后滞后危险区”的例行评估手段。

信息化支持：开发简易计算表格或手机小程序，输入实验数据及工作制度，自动输出预测滞后天数，方便现场工程技术人员使用。

十、其他应予说明的事项

无