

# 冲击地压矿井采煤面推进速度确定技术规范编制说明

## 一、工作概况

### 1.任务来源

本标准来源于国家对煤矿安全生产和灾害防治的重大战略需求。随着我国煤矿开采深度和强度的不断增加，冲击地压灾害已成为威胁矿井安全高效生产的主要动力灾害之一。采煤工作面推进速度是影响采动应力分布、能量积聚与释放的关键可控因素，但目前行业内缺乏一套基于采动力学机制、科学定量确定推进速度的技术标准。

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《冲击地压矿井采煤面推进速度确定技术规范》团体标准的制定计划。本标准由西安科技大学牵头申报，旨在通过规范化、标准化的方法，为冲击地压矿井提供科学、可靠的推进速度确定依据，填补该领域的技术标准空白。

### 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，张永涛，吕大钊，蒋新军、刘昆轮，刘旭东，杨伟，马立强，吴学明，胡艳波，杨学孟，高远江，贾冲，董帅，宗程。

## 二、制定（修订）标准的必要性和意义

冲击地压是制约我国深部煤炭资源安全开采的重大灾害。现场实践和理论研究表明，采煤工作面的推进速度与采动应力场的演化、煤岩体能量积聚程度具有直接的“时效”关系。推进速度过快，易导致应力集中程度加剧，能量突然释放，诱发冲击地压；推进速度过慢，则影响矿井生产效率和经济效益。目前，国内各矿井确定推进速度多依赖经验或简单的矿压观测，缺乏统一、科学的理论指导和可量化的操作流程。本标准首次将“采动力学”核心思想引入推进速度确定流程，通过室内试验、理论分析、数值模拟与现场实践相结合的方法，提出了一套完整的“试验-校验-确定”技术体系。

### 三、主要起草过程

下列术语和定义适用于本文件。资料收集与调研（2025年1月-3月）：标准编制组系统收集了国内外关于冲击地压机理、采动力学、岩石力学试验方法（GB/T23561系列）等相关标准与文献，并对新疆、陕西等多个典型冲击地压矿井的推进速度与矿压显现数据进行了深入调研。

草案拟稿与试验论证（2025年4月-9月）：依托西安科技大学重点实验室，针对不同推进速度下的采动应力路径，开展了大量煤岩加卸载试验与数值模拟，验证了标准中“应力加载梯度计算”和“覆岩破断能量计算”关键方法的可行性。

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：以采动力学、岩石力学和弹性力学为理论基础。标准中的核心方法，如“单次推进应力增量梯度”计算（源自专利 CN112525685B）、“基于弹性能积聚与衰减的能量校验”（源自专利 CN112196536A），均有明确的科学依据和数据支撑。

可操作性原则：标准规定的流程清晰、步骤明确。所需参数（如截深  $B$ 、埋深  $H$ 、支承压力分布等）均可通过现场常规监测、室内力学试验或成熟的数值模拟软件获取，便于矿山工程技术人员掌握和应用。

安全优先原则：将冲击地压临界能量作为关键控制指标，通过“推进速度校验”环节确保最终推荐速度对应的覆岩破断释放能量低于该临界值，标准提出了当初始设定速度不满足安全要求时，如何进行降速重设的迭代优化流程，体现了对复杂地质条件的适应性和动态调控理念。

## 五、与现行有关法律、法规和标准的关系

本标准符合《中华人民共和国安全生产法》、《煤矿安全规程》等国家有关法律法规对冲击地压防治的总体要求。

在技术内容上，本标准引用了以下现行国家标准：

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

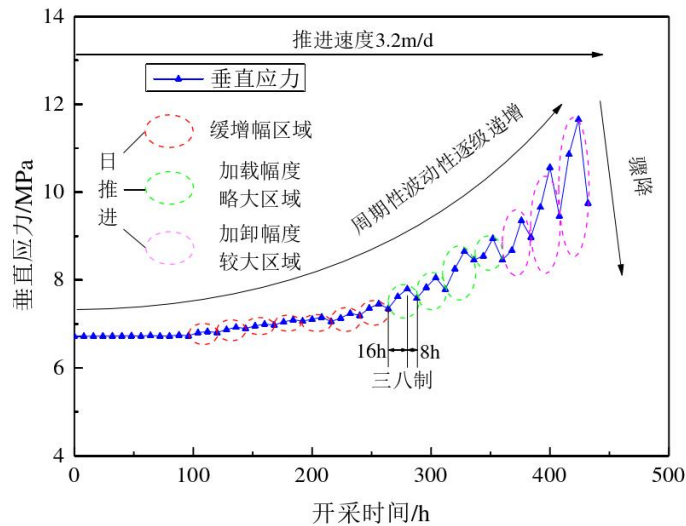
本标准是上述基础标准在“冲击地压矿井采煤面推进速度确定”这一特定应用场景下的深化与具体化。它既不与现行标准冲突，又弥补了行业标准在该关键技术环节上的缺失。

## 六、标准主要内容说明

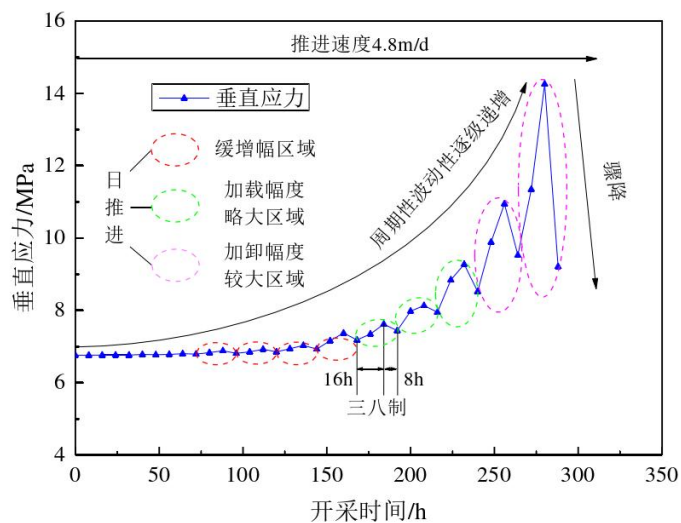
### 1.重点技术指标、参数、公式及试验方法的论据

三种初始推进速度的设定(第 5.1 节):代表高、中、低三个档位(例如, >5.6 m/d, 3.2-5.6 m/d, <3.2 m/d)。这一设计是基于现场经验和对不同应力路径下煤岩体响应的预判,能够覆盖大多数矿井的工况,并为后续的推进速度试验设计和迭代优化提供基准点。

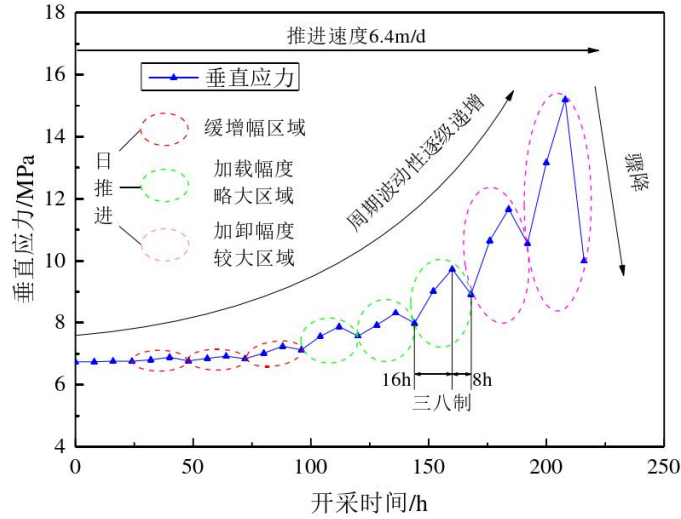
采动应力路径获取方法(第 5.2 节):通过数值模拟方法,得到不同推进速度下采煤面前方应力路径。首先根据目标矿井地质条件、地层岩性、工作面参数等数据构建数值模型,然后根据初次设定的推进速度至开挖煤层,并在工作面前方煤体内设置应力监测点,统计分析监测点数据。数值模拟软件可选用 FLAC3D 或 3DEC 等成熟岩土计算软件,例如图 1 为乌东煤矿 B3-6 煤层模拟得到的采动应力路径,推进速度分别设置为 3.2m/d、4.8m/d 和 6.4m/d,峰值应力分别为 11.66MPa、14.26MPa、15.20MPa,其中速、高速推进下的应力峰值较低速分别增加 22.3%、30.4%。分析表明,数值模拟方法可有效得到煤体应力与采煤速度的对应关系。



(a) 3.2m/d



(b) 4.8m/d



(c) 6.4m/d

图 1 不同推进速度下采动应力路径模拟结果

**应力加载梯度计算（第 5.3 节）：**该参数是本标准的理论核心。通过公式计算“单次推进应力增量梯度 $\sigma_i$ ”，将宏观的推进速度与煤岩单元受载的应力增量和受载次数建立了定量关系。这实现了采场尺度与实验室尺度的桥梁，使实验室的加载试验能够真实反映现场的推进速度效应。具体计算过程如下：

①以图 1 数据为例，得到 3.2m/d、4.8m/d 和 6.4m/d 推进速度下，采动应力影响范围 $S_i$ 分别为 44.8m、48.0m、51.2m，带入式（1），计算得到 $n_{3.2m/d}=14$ 次、 $n_{4.8m/d}=10$ 次、 $n_{6.4m/d}=8$ 次。

$$n_i = \frac{S_i}{v_i} \quad (1)$$

式中：

$n_i$ —第  $i$  个推进速度下的累计承载次数；

$S_i$ —第  $i$  个推进速度下的超前支承压力影响范围，单位为米（m）。

②由图 1 得到 3.2m/d、4.8m/d 和 6.4m/d 推进速度下，峰值应力 $\sigma_m^i$ 分别为 11.66MPa、14.26MPa、15.20MPa，该煤层初始垂直应力 $\sigma_v$ 为 6.72MPa，将上述参数带入式（2），计算得到 $\Delta\sigma_{3.2m/d}=4.94$ MPa、 $\Delta\sigma_{4.8m/d}=7.46$ MPa、 $\Delta\sigma_{6.4m/d}=8.48$ MPa。

$$\Delta\sigma_i = \sigma_m^i - \sigma_v \quad (2)$$

式中：

$\Delta\sigma_i$ —第  $i$  个推进速度下的应力峰值增量，单位为兆帕（MPa）；

$\sigma_m^i$ —该  $i$  个推进速度下的超前支承压力峰值，单位为兆帕（MPa）；

$\sigma_v$ —该煤层水平的初始垂直应力，单位兆帕（MPa）。

③将步骤①、②所得 $n_i$ 和 $\Delta\sigma_i$ 带入式（3），计算得到 $\sigma_{t3.2m/d}=0.35$ MPa、 $\sigma_{t4.8m/d}=0.75$ MPa、 $\sigma_{t6.4m/d}=1.00$ MPa。

$$\sigma_t = \frac{\Delta\sigma_i}{n_i} = \frac{(\sigma_m^i - \sigma_v)v_i}{S_i} \quad (3)$$

式中：

$\sigma_i$ —第  $i$  个推进速度下的单次推进应力增量梯度，单位为兆帕（MPa）。

**循环加卸载试验设计（第 5.4 节）：**按照 5.3 节计算出的三个推进速度下对应的累计承载次数  $n_i$  和单次推进应力增量梯度  $\sigma_i$ ，进行煤体循环加卸载试验设计，以累计承载次数  $n_i$  作为试验的循环加卸载次数，以应力增量梯度  $\sigma_i$  作为单次加载的应力增加幅度。加卸载路径示意图如图 4.1 所示，不同推进速度下的预加载阶段应力路径相同，低、中、高 3 种推进速度均以 0.05MPa/s 加载速率持续加载至原岩应力 6.72MPa，而后等应力保载，以原岩应力状态持续 30s，再进行循环加卸载阶段，至循环结束后的加载至破坏阶段，采用 0.05MPa/s 的加载速率直至煤样破坏。

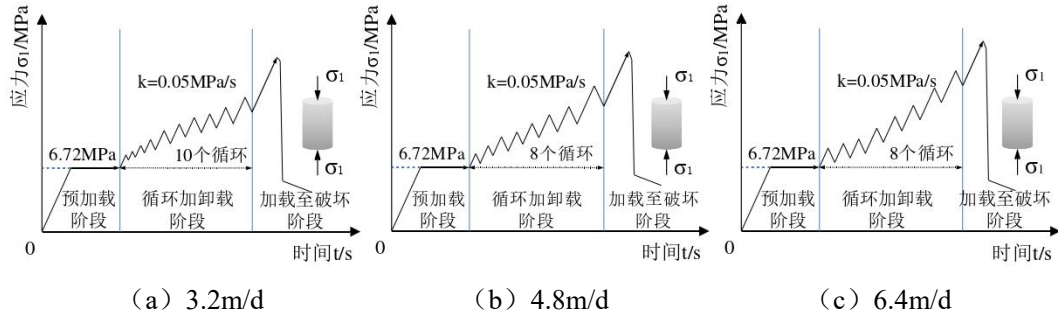


图 2 循环加卸载路径示意图

**试样采集与制备（第 5.5 节）：**在未受工作面开采产生明显扰动影响的工作面前方 200m 以深的区域内现场取煤后，将其加工成  $\Phi 50 \times 100$ mm 的标准圆柱体煤样。煤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/T 50266 工程岩体试验方法标准

**煤样单轴抗压强度测试（第 5.6 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，计算煤样力学参数。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/T 50266 工程岩体试验方法标准

**基于加卸载试验的推进速度优选（第 5.7 节）：**不同的开采速度形成不同的循环加卸载路径，通过对比循环加卸载后的试件强度与单轴抗压强度的关系来确定合理推进速度。其核心逻辑是：将试件加卸载试验得到的抗压强度  $\sigma_i$  和单轴抗压强度  $\sigma_c$  进行比较，选择循环加卸载试件的强度  $\sigma_i$  低于单轴抗压强度  $\sigma_c$  中的较大的一个推进速度作为基于采动应力的加卸载作用下的推进速度。

**临界能量值的设定（第 6.1 节）：**设定  $1.0 \times 10^4$  J 作为冲击地压灾害的临界能量值，是根据我国大量冲击地压事件的统计分析和能量等级划分标准确定的，窦林名等也将岩层破裂释放的能量大于  $1.0 \times 10^4$  J 的震动为高能震动（窦林名, 曹晋荣, 曹安业, 等. 煤矿覆岩矿震关键层及其破断释能机制 [J]. 煤炭学报, 2025, 50(01): 180-192.）。同时，标准也保留了“可根据矿井实际微震预警指标设定”的灵活性，矿井可根据当前使用的预警指标作为临界能量值。

**覆岩破断释放能量计算（第 6.2 节）：**采用基于弹性力学的弹性能计算公式（专利 CN112196536A），计算不同推进速度下岩体达到极限强度时积聚的弹性

能  $E_d$ 。考虑震动波传播过程中的能量耗散，利用矿井微震监测数据，拟合反演出介质中震动波传播时的能量衰减指数  $\alpha$ ，计算震动波到达工作面周边时的能量  $E_{dh}$ 。

**推进速度校验（第 6.3 节）：**基于岩石力学试验结果和理论计算得到的到达工作面周边时的能量  $E_{dh}$ ，对合理推进速度进行校验，必须将推进速度对应的  $E_{dh}$  控制在临界能量值以下。当  $E_{dh}$  小于设定的冲击临界能量值  $E_{max}$ ，则该推进速度  $v_i$  确定为最终的推进速度。若  $E_{dh}$  大于设定的冲击临界能量值  $E_{max}$ ，则将推进速度  $v_i$  降低一个采煤机滚筒截深后，重新计算  $E_{dh}$ 。直至  $E_{dh}$  小于冲击临界能量值  $E_{max}$ ，则该  $v_i$  为最终推进速度。

## 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：**在乌东煤矿 B3-6 煤层未受开采扰动影响的区域内现场取煤后，将其制成的  $\Phi 50 \times 100 \text{mm}$  的圆柱体标准煤样进行密封，以隔绝空气，防止风化。由于煤样易于风化的特点，本次密封材料选用塑料保鲜薄膜、塑料泡沫海绵、塑料密封胶带对加工煤样进行包装，制备完成的型煤煤样如图 3 所示。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。

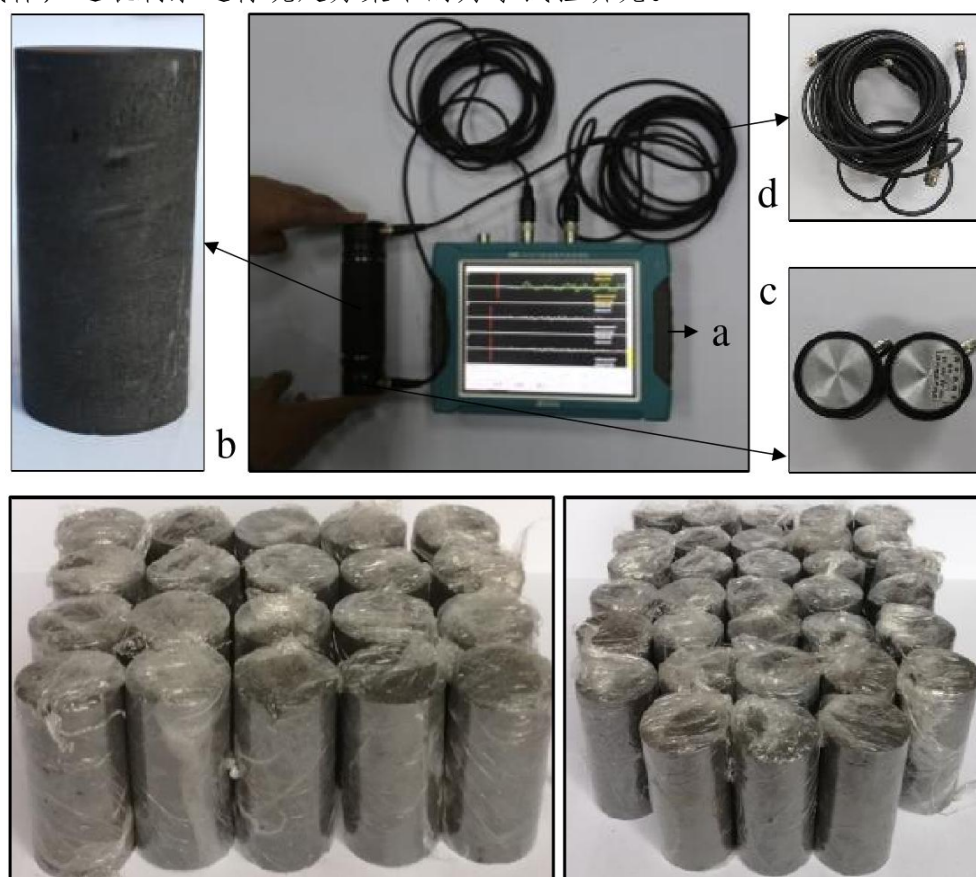


图 3 煤样加工与筛选

**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。

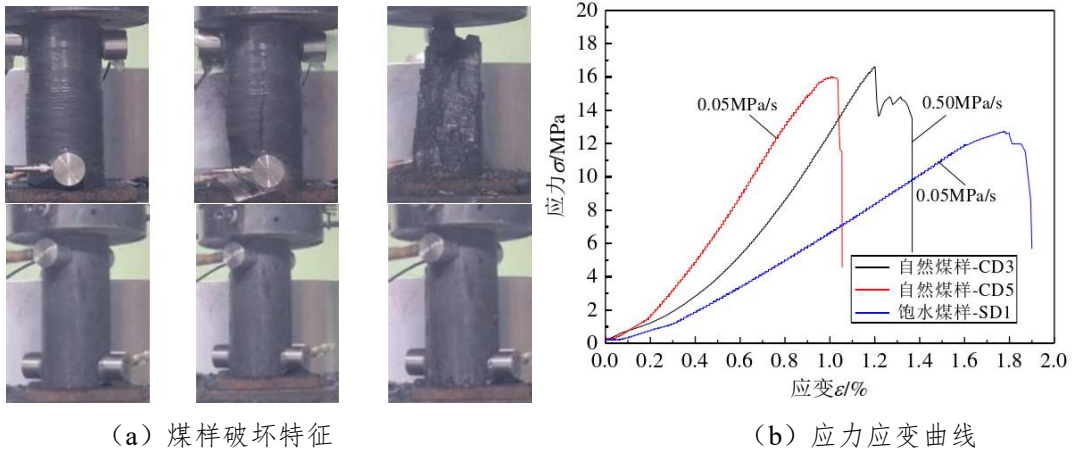
图 4 为万测试验设备有限公司 HCT 系列微机控制电液伺服压力试验机系统，

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。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。



图 4 力学试验设备

**常规单轴压缩试验：**部分煤样加载结束后破坏特征及应力应变曲线如图 5 所示，力学参数测试结果如表 1 所示。得到煤样平均单轴抗压强度 $\sigma_c=16.56\text{MPa}$ 。



(a) 煤样破坏特征

(b) 应力应变曲线

图 4 常规单轴压缩煤样试验结果

表 1 常规单轴压缩煤样力学参数

编号	弹性模量/GPa	泊松比	抗压强度/MPa	峰值应变/%
CD 1	2.21	0.22	18.75	1.09
CD 2	1.64	0.22	16.39	1.23
CD 3	1.84	0.23	16.59	1.19
CD 4	1.59	0.23	15.96	1.23
CD 5	1.85	0.23	15.95	1.02
CD 6	1.71	0.21	15.7	1.07
均值	1.80	0.22	16.56	2.77

**单轴循环加卸载试验：**根据低速、中速、高速不同推进速度下的应力路径，进行相同加载速率下的循环加卸载试验，低速、中速、高速分别对应推进速度为3.2m/d、4.8m/d和6.4m/d。图5为不同推进速度下循环加卸载试验应力应变曲线，不同应力路径的应力-应变曲线均存在明显的滞回环效应，推进速度越大的滞回环效应越明显，且普遍存在高速推进应力路径下的煤样应力峰值大于低速的特征。以自然煤样实验数据为基准，统计不同推进速度下试验结果，如表2所示。3.2m/d、4.8m/d和6.4m/d推进速度下，循环加卸载煤样峰值应力分别为16.12MPa、16.44MPa、17.15MPa，煤样平均单轴抗压强度 $\sigma_c=16.56\text{MPa}$ ，6.4m/d推进速度下峰值应力超过了单轴抗压强度，选择4.8m/d作为基于采动应力的加卸载作用下的推进速度。

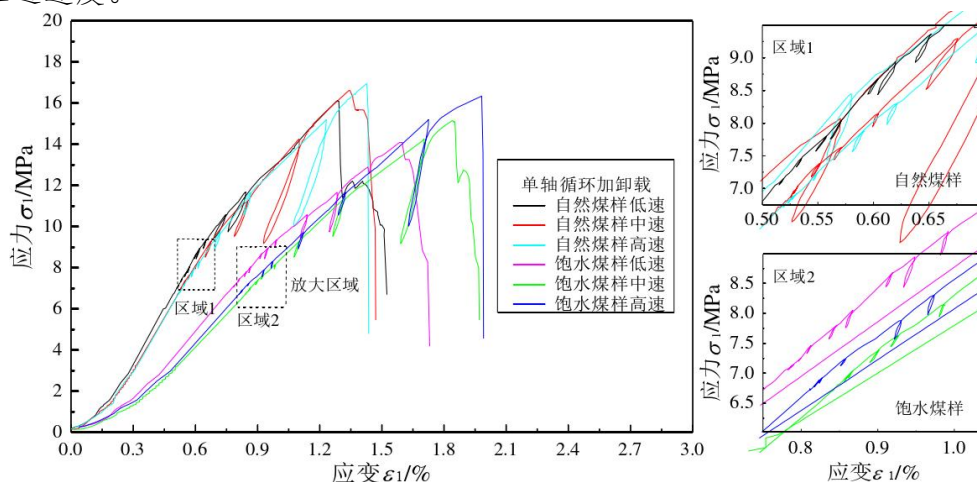


图5 煤样单轴循环加卸载试验应力应变曲线

表2 单轴循环加卸载煤样力学参数测试结果

推进速度	编号	时间	抗压强度/MPa	峰值应变/%
3.2m/d	1	537.4	15.69	1.31
	2	548.0	16.22	1.22
	3	552.8	16.46	1.19
	均值	546.1	16.12	1.26
4.8m/d	1	648.2	16.83	1.24
	2	664.8	15.85	1.38
	3	680.0	16.62	1.35
	均值	676.0	16.44	1.32
6.4m/d	1	707.8	17.83	1.31
	2	683.2	16.66	1.45
	3	690.4	16.96	1.43
	均值	693.8	17.15	1.40

**技术经济论证及预期经济效果：**应用本标准的成本主要包括：开展一次完整的数值模拟和室内试验（约需20-30万元）。但由此确定的合理推进速度，可在不发生重大冲击地压事故的前提下，相比保守经验速度平均提升15%-30%。以

年产 300 万吨的矿井为例，每年可增加产量 45-90 万吨，创造直接经济效益数亿元。同时，显著降低了因冲击地压导致的设备损坏、巷道修复和人员伤亡风险，其安全效益和社会效益不可估量。

### **3.修订标准、增列新旧标准水平对比**

《煤矿安全规程》第三百三十五条明确提出，应当根据防冲设计的安全开采速度确定采掘工作面生产能力，本标准是上述基础标准在“冲击地压矿井采煤面推进速度确定”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“能量衰减指数”的取值，有参编单位认为难以精确获得，建议简化或采用固定值。

**处理过程和依据：**编制组经过讨论认为，能量衰减与地质条件密切相关，固定值会导致较大误差。因此，为保证推进速度确定的科学性和可靠性，能量衰减指数应根据现场微震监测结果拟合获得，标准中也增加了拟合结果的示意图。最终，该分歧得到了妥善解决，各方达成一致。

## 八、采用国际标准或国外先进标准情况

经检索，国际上尚无专门针对“冲击地压矿井采煤面推进速度确定”的系统性技术标准。美国、澳大利亚等主要产煤国多将其作为企业内部的作业指导书或集成在矿山岩层控制计划中，方法各异，未形成统一规范。

## 九、贯彻标准的措施建议

后续可开发配套的简易计算软件或应用程序，将标准中的计算公式（如应力梯度、能量计算）集成化，降低现场应用难度。鼓励矿山企业将本标准的核心流程纳入其冲击地压防治安全技术措施中。

建议在冲击地压灾害严重、技术基础较好的矿井进行先行先试，树立应用典范，总结经验后在全行业推广。

## 十、其他应予说明的事项

无