**中国煤炭学会团体标准草案《基于高频雷达波的矿井煤岩界面探测技术规程》编制说明**

**1. 工作简况**

煤炭工业的稳定健康发展与我国可持续发展战略息息相关，《能源技术革命创新行动计划（2016—2030年）》提出，到2030年实现煤炭智能化开采，重点煤矿区基本实现工作面无人化，全国煤矿采煤机械化程度达到95%以上，即煤炭4.0时代。矿井煤岩智能探测及识别问题是制约煤炭智能化开采的重大难题，一种高效的煤岩智能探测及其识别技术是实现智能煤岩截割需要解决的核心技术。

国家重点研发计划课题“基于多信息融合的煤岩界面实时识别技术与装备（2017YFC0804302）”对煤岩界面实时探测机理与识别展开研究，并对“基于高频雷达波的矿井煤岩界面探测技术规程”标准进行制定，课题由国能神东煤炭集团有限责任公司、中国矿业大学（北京）等单位共同承担。

本中国煤炭学会标准主要起草人为中国矿业大学（北京），参加单位为国能神东煤炭集团有限责任公司，主要起草人单位及起草人所作工作：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 主要起草人单位 | 成员 | 主要工作 |
| 中国矿业大学（北京） | 彭苏萍、许献磊、马正 | 负责标准相关信息查询，标准起草和编制说明书编写，技术试验验证实施等工作。 |
| 国能神东煤炭集团有限责任公司 | 杨俊哲、郭爱军、关丙火 | 参与方案确定，技术指导，现场验证等工作。 |

本标准适用于矿井煤岩界面探测。规定了煤矿煤炭开采过程中煤岩界面探测的基本规定、要求和方法。通过最新研发的煤岩层位探测雷达天线，配合智能升降支架，可以在悬空30cm条件下，向外发射高频电磁波并接收煤岩界面的回波信号实现探测煤岩层位的实时探测。雷达天线采用非接触式，可以进行连续测量；数据采集与处理单元进行数据的采集和实时处理，并将数据结果发送给手持终端和采煤机。

**2. 主要技术内容**

**2.1 煤岩层位探测内容**

煤岩层位探测内容包括煤岩物性参数的预测算、数据采集、数据预处理以及煤岩界面的自动识别。

**2.1.1 物性参数的预测算**

(1) 煤介电常数的预测算

采集煤的标本在实验室进行测算分析，对于同一矿区的同一煤层，可使用同一介电常数。分析结果用于煤层厚度的计算。

(2) 岩石和矸石介电常数的测算

采集岩石和矸石的标本在实验室进行测算分析，对于同一矿区的同一煤层，可使用同一介电常数。

**2.1.2 数据采集**

(1) 雷达数据的采集

利用煤岩层位探测雷达系统进行数据的采集。

(2) 天线水平位置信息的获取

利用采煤机上的编码器，实现雷达数据的采集控制，雷达数据记录的一方面是雷达回波信号，另一方面记录下编码器信息，通过记录的编码器信息确定天线水平位置信息。

(3) 天线垂直位置信息的获取

煤岩层位探测雷达天线为非接触式探测，利用雷达首波信号和煤层表面反射回波信号之间的时间差，即雷达双程走时，确定天线距离煤层表面的距离；利用智能支架自身的移动量确定雷达天线与煤机上表面的距离。

**2.1.3 雷达数据的处理与煤岩层位识别**

(1) 数据预处理

数据处理包括背景去噪、滤波和增益处理，主要是为了去除雷达数据中的噪声干扰信息，并对有效信号进行放大。

(2) 种子点的选取

在采煤机移动前，煤岩层位识别雷达首先进行数据采集，持续时间3秒钟，数据采集与处理单元对采集的数据进行处理，根据种子点智能识别算法自动确定种子点位置，同时也可以进行人工交互调整该位置。

(3) 层位追踪

以参考道种子点为起始点，根据层位追踪算法进行煤岩层位的追踪。

**2.2 煤岩层位探测系统要求**

**2.2.1 煤岩层位探测地质雷达**

(1) 煤岩层位探测地质雷达应满足以下要求：

a 满足矿井对仪器设备的防爆安全要求；

b 满足自身安全防护性能的要求

c 技术成熟、耐久性好、抗干扰性强，适应使用环境；

d 满足自动化要求；

e 探测深度、探测精度、分辨率应该满足开采要求；

(2) 雷达安装位置、安装方式、安装工艺与耐久性应符合井下开采方案要求；安装完毕后，作好现场标识及保护措施，绘制设备布置图。

**2.2.2 智能支架**

a）智能支架应满足以下要求：

（1） 强度高，耐久强，不易变形，适用于井下环境；

（2） 保护雷达天线系统，同时不会对采集以及数据传输产生干扰；

（3） 可实现支架升降的自动调节；

b） 支架安装位置、安装方式、安装工艺与耐久性应符合井下开采方案要求；安装完毕后，作好现场标识及保护措施，绘制设备布置图。

**2.2.3 数据采集与传输**

(1) 数据采集设备应符合下列要求：

a. 煤岩探测地质雷达天线实现非接触测量，与探测表面的距离保持在300mm-400mm，通过智能支架的自动调节确保雷达天线处于合适探测位置；

b. 煤岩探测地质雷达系统需经过防爆安全鉴定，适用于井下环境；

(2) 数据采集软件应符合下列要求：

a. 具备自动、触发启动采集、实时处理等功能，还应具有人工交互干预采集参数的功能；

b. 具备对天线及支架异常信息的自诊断功能，提供支架微调控制参数，用以调节天线距离煤层表面的距离；

c. 具备与煤机控制系统相匹配的通信协议与接口；

d. 具备打标功能；

(3) 数据传输系统应符合下列要求：

a. 数据传输系统具有可靠性、安全性、高效性，并应保证传输数据不失真、不丢失；

b. 可支持无线或者有线数据传输；

**2.2.4 数据处理分析**

数据处理分析一般功能要求应包括：

具有数据预处理、种子点的选取和煤岩层位的自动追踪功能；

煤层厚度的自动时-深转换；

煤岩层位变化曲线的绘制；

其它特定功能；

**2.3 成果要求**

**2.3.1 煤层厚度值和相应的位置信息**

在采煤过程中，煤岩探测地质雷达以固定的时间（距离）间隔提供并发送煤层厚度值和相应的位置信息，接收端为采煤机控制系统和手持终端，具体如下：

(1) 采煤机控制系统接收到煤层厚度值和响应的位置信息，系统内部可绘制出煤层厚度变化曲线，用于采煤机滚筒的控制调节；

(2) 手持终端接收到煤层厚度值和相应的位置信息，系统内部可绘制出煤层厚度变化曲线，用于实时监控，在必要时，操作人员可在手持终端进行数据采集参数和层位识别参数的交互调节；

**2.3.2 煤岩层位探测成果报告**

在采煤结束后，形成煤岩层位探测成果报告，应包括下列内容：

(1) 开采工作面的名称、编号、开采时间、作业人员等信息；

(2) 煤岩层位探测地质雷达系统的编号、采集参数、探测结果剖面图等；

(3) 根据煤层厚度值和相应的位置信息绘制煤层厚度变化曲线；

(4) 其它附件。

**3. 主要试验（验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果；**

**3.1 主要试验分析**

标准起草人基于高频雷达波的矿井煤岩界面探测技术在煤矿综采工作面进行煤岩层位的探测应用，并在对应位置现场实测煤厚对比进行精度分析。

试验结果可以看出，该基于高频电磁波的矿井煤岩界面探测技术可在矿井复杂地质环境下进行非接触式煤岩层位探测，有效探测距离可达50cm，探测精度可达2cm内，平均误差百分比小于10%。



图1 煤岩层位探测现场 图2 煤岩层位实测

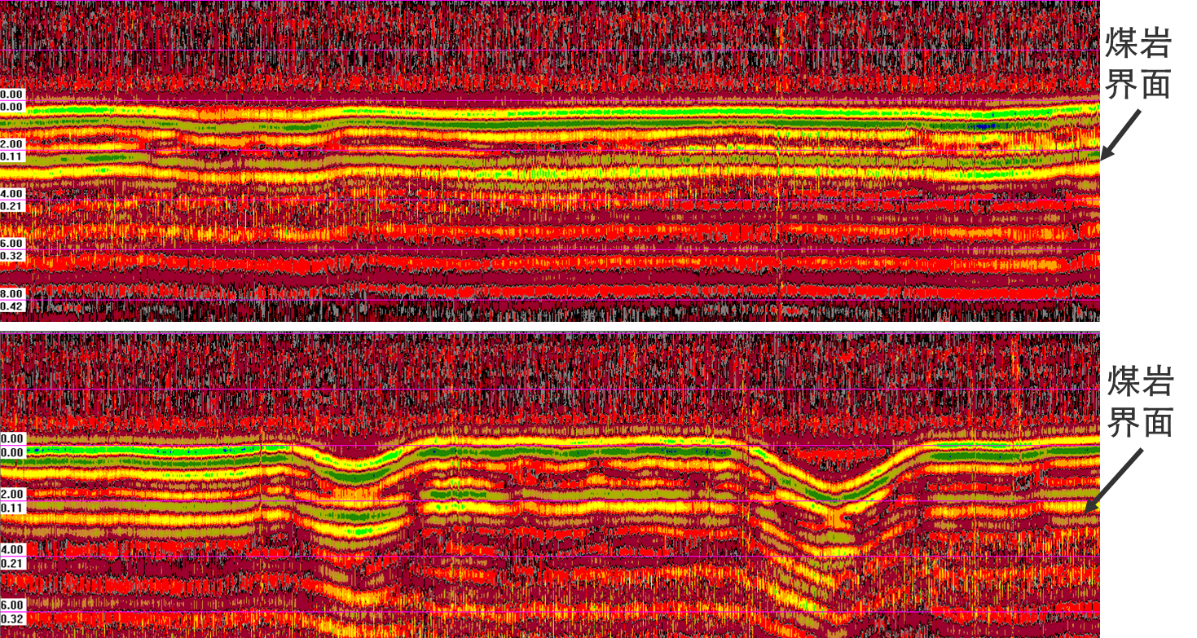


图3 煤岩界面雷达图谱

表1 神东锦界煤矿煤岩层位探测与验证分析

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **点号** | **液压支架编号** | **煤层与天线距离d1(cm)** | **岩层与天线距离d2(cm)** | **煤层实际厚度d3=d2-d1(cm)** | **雷达探测厚度d4(cm)** | **误差**  **d4-d3 (cm)** | **误差百分比（100%）** |
| 1 | 49 | 10 | 26 | 16 | 14.5 | -1.5 | 9.3 |
| 2 | 45 | 12 | 28 | 16 | 14.7 | -1.3 | 8.1 |
| 3 | 42 | 22 | 33 | 11 | 11 | 0 | 0 |
| 4 | 24 | 23 | 30 | 7 | 7.8 | 0.8 | 11.4 |
| 5 | 22 | 23 | 38 | 15 | 15 | 0 | 0 |
| 6 | 20 | 19 | 33 | 14 | 12.9 | -1.1 | 7.8 |
| 7 | 18 | 11.5 | 36 | 24.5 | 21 | -3.5 | 14.2 |
| 8 | 16 | 19.5 | 38 | 18.5 | 16.9 | -1.6 | 8.6 |
| 9 | 14 | 17 | 23 | 6 | 7 | 1 | 16.6 |

**3.2 综述报告**

基于高频雷达波的矿井煤岩界面探测技术的应用，成功解决了煤岩识别的技术难点，为自动化采煤提供了重要的技术支持。通过煤岩识别系统的探测与实时结果显示，能够得到剩余煤层厚度的信息，为高速、高效、高质量的采煤提供直接的数据支持。与传统人工打钻孔测量剩余煤层厚度相比，探测效率大大增加，有利于自动化采煤的需要。该技术结果直观，直接显示煤层厚度，不需要专业人员进行处理操作。技术成果实用性强，经济效益巨大，社会效益显著，在煤矿开采中具有广泛的推广应用前景。

随着国家经济的高速发展，煤炭的使用量必将再上一新的台阶，而煤炭的开采数量将越来越多。煤岩探测系统能够实现煤层厚度的预测，适用于采煤时对剩余煤层厚度预测，避免浪费或者采到低质量的煤炭。与其他探测方式相比，该技术的应用更加高效、精度更高、探测深度更深等优点。煤层厚度曲线显示直观，避免了只有专业人员才能够对图谱进行判断识别，实用性大大增强。因此采用煤岩探测装置进行自动化开采会越来越多的应用于煤矿中，具有广泛的应用前景。

**3.3 预期的经济效果**

（1）减少采煤司机，提高安全效益。该项目的成功实施，将实现采煤机快速、高效、自动化识别煤岩分界面，保证在安全条件下操作，减少采煤司机，减轻人员劳动强度。

（2）避免误操作，节省材料和设备损坏程度。实现对煤层的自动识别后，合理留出顶煤厚度，杜绝留煤过厚或者割到岩层，提高煤炭回采率，降低了煤机损坏概率。

（3）煤岩层位探测及相关技术的应用，确保了煤炭储量资源的精准回收，提升煤质减少洗选动力消耗和后续环境污染。

**4. 采用国际标准的程度及水平的简要说明；**

无相关的国际标准对此类技术进行规范。

**5. 重大分歧意见的处理经过和依据；**

无。

**6. 贯彻中国煤炭学会标准的要求和措施建议**

本标准建议为煤炭行业的推荐标准。

**7. 其他应予说明的事项。**

无。