

# 2024 年第二十一届五一数学建模竞赛题目

## C 题 煤矿深部开采冲击地压危险预测

煤炭是中国的主要能源和重要的工业原料。然而，随着开采深度的增加，地应力增大，井下煤岩动力灾害风险越来越大，严重影响着煤矿的安全高效开采。在各类深部煤岩动力灾害事故中，冲击地压已成为威胁中国煤矿安全生产最重要的灾害之一，冲击地压事故易造成严重的人员伤亡和财产损失。近年来，研究人员进行了大量深入的研究，采取了许多防控措施，中国煤矿安全形势持续稳步改善。但是，冲击地压事故仍时有发生，煤矿安全形势依然严峻，冲击地压的监测预警和有效防控仍是煤矿安全生产中亟待解决的科技问题。在深部煤矿开采过程中，可以监测声发射(AE)和电磁辐射(EMR)信号，电磁辐射和声发射传感器每 30 秒采集一个数据，可通过这些数据的变化趋势判断目前工作面或巷道是否存在冲击地压危险。电磁辐射和声发射数据随着采煤工作面的推进波动，一般在冲击地压发生前数天(如 0-7 天，即大约冲击地压发生前 7 天内)会有一些趋势性前兆特征，因此我们将电磁辐射和声发射数据分为 5 类，(A)正常工作数据；(B)前兆特征数据；(C)干扰信号数据；(D)传感器断线数据；(E)工作面休息数据，其中，A、B、C 类为工作面正常生产时的数据，D 类为监测系统不正常时的数据，E 类为停产期间的数据。附件 1 给出了 2019 年 1 月 9 日-2020 年 1 月 7 日采集的电磁辐射和声发射数据，并且标记出了所对应的 A、B、C 类以及 D 或者 E 类(D/E)数据。请建立数学模型，完成以下问题：

**问题 1：**如图 1，已知现场工作面的部分电磁辐射和声发射信号中存在大量干扰信号，有可能是工作面的其他作业或设备干扰等因素引起，这对后期的电磁辐射和声发射信号处理造成了一定的影响。应用附件 1 和 2 中的数据，完成以下问题。

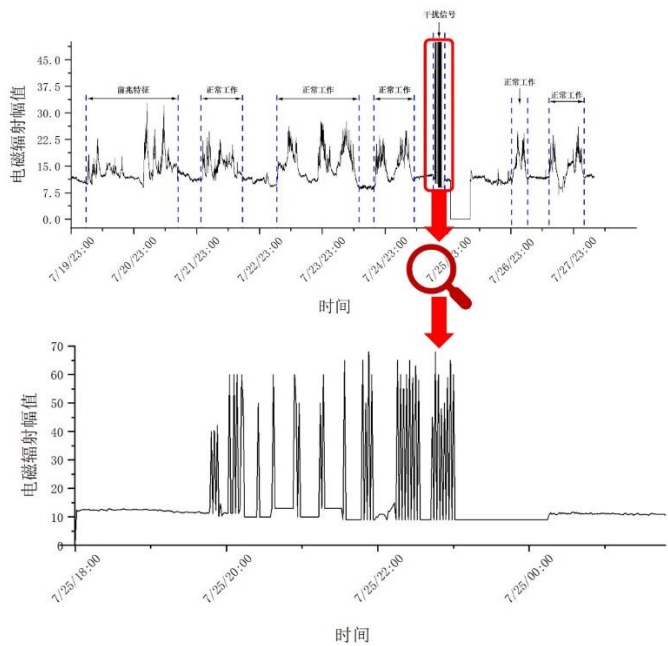


图 1 以电磁辐射为例的干扰信号数据示意图

(1.1) 建立数学模型，对存在干扰的电磁辐射和声发射信号进行分析，分别给出电磁辐射和声发射中的干扰信号数据的特征(不少于 3 个)。

(1.2) 利用问题(1.1)中得到的特征，建立数学模型，对 2022 年 5 月 1 日-2022 年 5 月 30 日的电磁辐射和 2022 年 4 月 1 日-2022 年 5 月 30 日及 2022 年 10 月 10 日-2022 年 11 月 10 日声发射信号中的干扰信号所在的时间区间进行识别，分别给出电磁辐射和声发射最早发生的 5 个干扰信号所在的区间，完成表 1 和表 2。

表 1 电磁辐射干扰信号时间区间

序号	时间区间起点	时间区间终点
1		
2		
3		
4		
5		

表 2 声发射干扰信号时间区间

序号	时间区间起点	时间区间终点
1		
2		
3		
4		
5		

**问题 2:** 已知在发生冲击地压危险前约 7 天内，电磁辐射和声发射信号存在随时间循环增大的趋势(如图 2 所示)，这类信号我们称为前兆特征信号。在出现前兆特征信号之后的约 7 天内，有可能发生冲击地压，所以一般情况下出现前兆特征信号之后，会采取一定措施尽可能的防止冲击地压发生。应用附件 1 和 2 中的数据，完成以下问题。

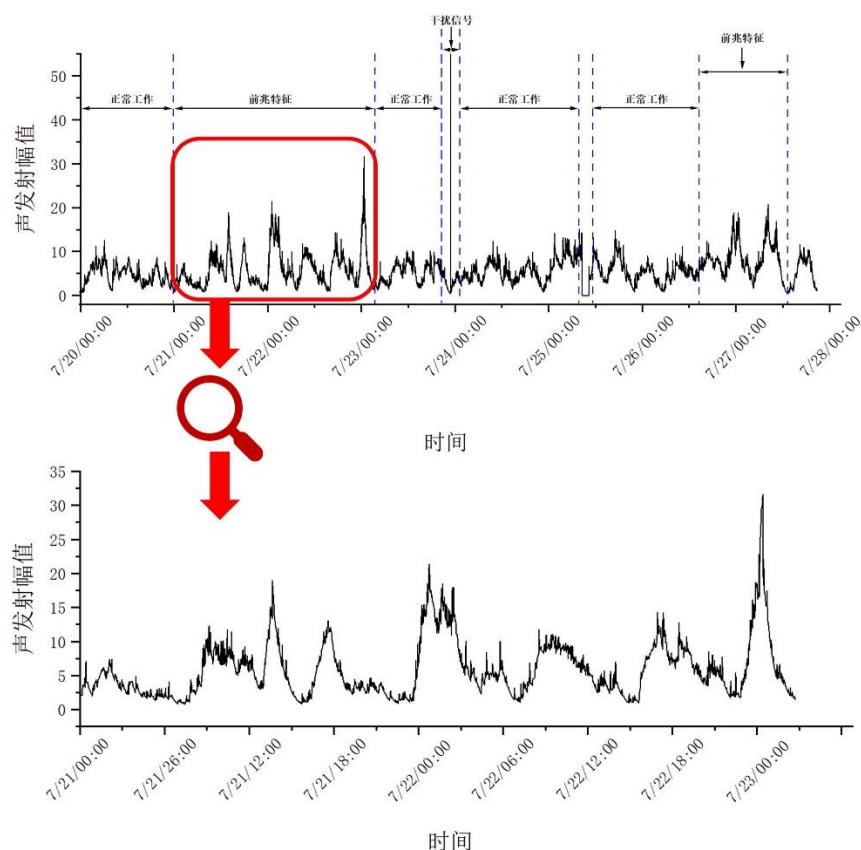


图 2 以声发射为例的前兆特征信号示意图

(2.1) 建立数学模型，对电磁辐射和声发射信号中的前兆特征信号进行分析，重点分析信号的变化趋势，分别给出电磁辐射和声发射信号危险发生前(前兆特征)数据的趋势特征(不少于 3 个)。

(2.2) 利用问题(2.1)中得到的特征，建立数学模型，对 2020 年 4 月 8 日-2020 年 6 月 8 日及 2021 年 11 月 20 日-2021 年 12 月 20 日的电磁辐射和 2021 年 11 月 1 日-2022 年 1 月 15 日声发射信号中的前兆特征所在的时间区间进行识别，分别给出电磁辐射和声发射信号最早发生的 5 个前兆特征信号所在的时间区间，完成表 3 和表 4。

表 3 电磁辐射前兆特征时间区间

序号	时间区间起点	时间区间终点
1		
2		
3		
4		
5		

表 4 声发射前兆特征时间区间

序号	时间区间起点	时间区间终点
1		
2		
3		
4		
5		

**问题 3:** 为了尽早的识别前兆特征信号，在前兆特征信号出现的第一时间发出预警，需要在每次数据采集的时刻对危险进行预判。附件 3 给出了一些非连续时间段采集的电磁辐射和声发射信号数据。请建立数学模型，给出附件 3 中的每个时间段最后时刻出现前兆特征数据的概率，完成表 5。

表 5 采集数据所在时刻出现前兆特征的概率

电磁辐射数据 所在时刻	前兆特征的概率	声发射数据 所在时刻	前兆特征的概率
2023-1-24 23:58:36		2023-1-24 23:58:36	
2023-2-11 23:59:20		2023-2-11 23:59:20	
2023-2-26 23:59:27		2023-2-26 23:59:27	
2023-3-10 23:58:14		2023-3-10 23:58:14	
2023-3-30 23:58:13		2023-3-30 23:58:13	