

基于关联规则的煤矿瓦斯爆炸原因研究

白鱼秀

榆林学院 信息工程学院, 中国·陕西 榆林 719000

摘要: 基于 2010—2021 年煤矿事故统计分析, 发现煤矿瓦斯爆炸事故发生概率高, 死亡人数大。根据事故调查报告文本挖掘得到引起瓦斯爆炸事故的致因因素, 使用关联规则 Apriori 算法对瓦斯事故进行关联分析, 挖掘出引起瓦斯爆炸潜在的关联关系, 为煤矿的瓦斯风险管控和智能预警监测提供指导。

关键词: Apriori 算法; 关联规则; 煤矿; 瓦斯爆炸

Research on Causes of Coal Mine Gas Explosion Accidents based on Association Rule

Yuxiu Bai

School of Information Engineering, Yulin University, Yulin, Shaanxi, 719000, China

Abstract: Based on the statistical analysis of coal mine accidents from 2010 to 2021, it was found that coal mine gas explosion accidents have a high probability of occurrence and a large number of deaths. Based on the text mining of the accident investigation report, the causal factors that cause gas explosion accidents are identified. The Apriori algorithm is used to perform association analysis on gas accidents, identifying potential association relationships that cause gas explosions, and providing guidance for gas risk control and intelligent warning monitoring in coal mines.

Keywords: Apriori algorithm; association rules; coal mine; gas explosion

0 前言

目前, 煤矿是中国必不可少的能源, 根据中国工程院研究, 2020 年中国的煤矿产能为 44 亿吨, 并对中国 2030 年和 2050 年两个阶段的煤矿产能情况进行了研究预测, 其结果分别为 40 亿吨和 34 亿吨, 其中 2050 年煤炭占一次能源消费比例还将保持在 50% 左右, 虽然煤矿能源产量有所下降, 但在 2050 年以前, 煤矿能源仍是中国的主要能源^[1]。由此可见, 煤矿的安全生产问题亟须重点关注。

1 煤矿安全事故分析

根据国家矿山安全局及各种煤炭文献统计数据, 提取了中国 2011—2021 年近十年的煤矿安全事故, 对事故发生起数、死亡人数和百万吨死亡率进行了统计和分析, 如表 1 所示。

由表 1 所对应的折线图如图 1 所示, 从表 1 和图 1 可以看出, 近十年来全国煤矿安全事故总量持续下降, 国家对煤矿安全生产的合理控制取得了一定成效, 但煤矿安全生产任重而道远, 仍需加大力度整改与预警。

表 1 近十年全国煤矿安全事故统计分析表

| 项目 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 事故起数 (起) | 1201 | 779 | 608 | 520 | 352 | 249 | 226 | 224 | 170 | 123 | 91 |
| 死亡人数 (人) | 1973 | 1384 | 1086 | 946 | 598 | 526 | 383 | 333 | 316 | 228 | 178 |
| 百万吨死亡率 | 0.564 | 0.374 | 0.288 | 0.255 | 0.162 | 0.156 | 0.106 | 0.091 | 0.083 | 0.058 | 0.044 |

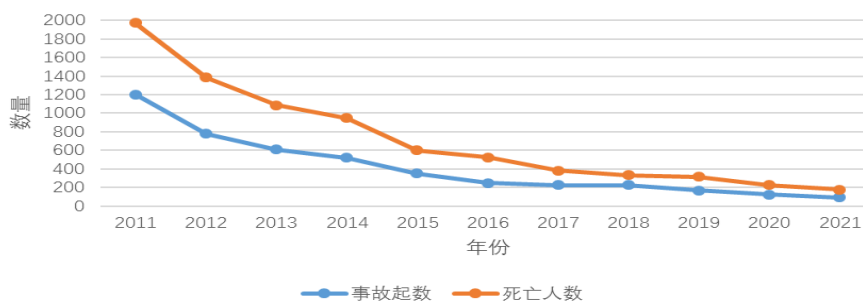


图 1 近十年全国煤矿事故总量及死亡人数折线图

由 2011—2021 年煤矿事故数据分析可知，中国煤矿安全事故中最常见的瓦斯事故、顶板事故、水灾事故、火灾事故、放炮事故、机电事故等其他事故^[2]。

根据事故类型对 2020—2021 年的煤矿事故进行分类，如图 2 所示。

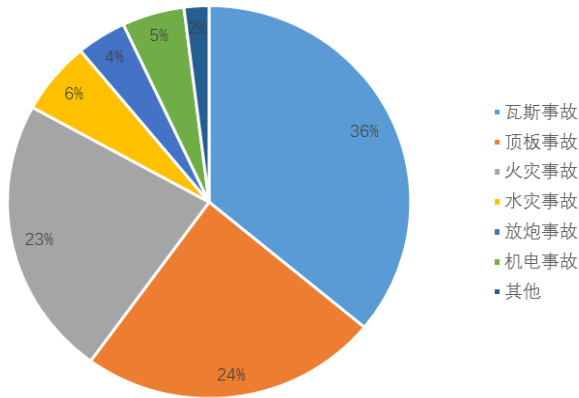


图 2 2011—2021 年煤矿事故发生率统计图

由图 2 可以看出，瓦斯事故是中国的煤矿安全生产的首要威胁，占比 36%，约占事故总数的三分之一，并且瓦斯事故造成的伤亡最为严重。而瓦斯爆炸在瓦斯事故中最为严重，造成大量的人员伤亡和严重的社会负面影响。由于爆炸的瞬间性和不可控性，会对爆炸点附近的人员和财物造成损害，平均每起瓦斯事故造成 5.04 人死亡，给中国煤矿安全生产带来了重大的影响。当前煤矿瓦斯爆炸重特大事故频繁发生，安全形势十分严峻。但是引起瓦斯爆炸的因素繁多复杂，不容易精准定位。论文主要采用关联规则方法挖掘各种因素之间的关联关系，发现事故特征和潜在规律。

2 关联规则挖掘分析

关联规则是从大量数据中发现数据项与项集之间隐含的关联关系^[3]。它的任务主要是在一个给定的事务数据库中，基于支持度 - 置信度框架下，发现数据与项目之间的联系，生成支持度和置信度都高于用户给定的最小支持度和最小置信度的关联规则。Apriori 算法是关联规则最经典的算法，本文采用 Apriori 算法进行关联规则挖掘。

Apriori 算法是由 Agrawal Rakesh 等人在 1994 年提出，其核心方法是基于频繁项集间的关联规则问题。Apriori 算法是一种逐层搜索的多次迭代方法。首先扫描数据库找出频繁 1- 项集，记为 L_1 ，然后使用逐层迭代的方式，通过频繁模式连接生成候选项集 C_k ， L_1 用于产生频繁项集 L_2 ， L_2 用于产生频繁项集 L_3 。如此循环迭代，直到找到新的频繁 k - 项集为止。最后从第一步产生的频繁项集中，提取满足用户设定的最小置信度的所有规则，这些规则则为强规则。

Apriori 算法运行流程图如图 3 所示，其可以分解为以下两个主要的子问题：

①频繁项集产生：频繁项集即满足最小支持度的项集。频繁 $(k+1)$ - 项集的生成是通过将两个满足最小支持度的频繁 k - 项集作连接运算而得到，找出频繁项集是关联规则的基础。

②规则的产生：从第一步产生的频繁项集中，提取满足用户设定的最小置信度的所有规则，这些规则则为强规则。

一般来说，煤矿安全事故通常是由人员、设备、环境和管理等诸多因素相互作用的结果。其中瓦斯爆炸是由多种风险因素共同作用的结果。

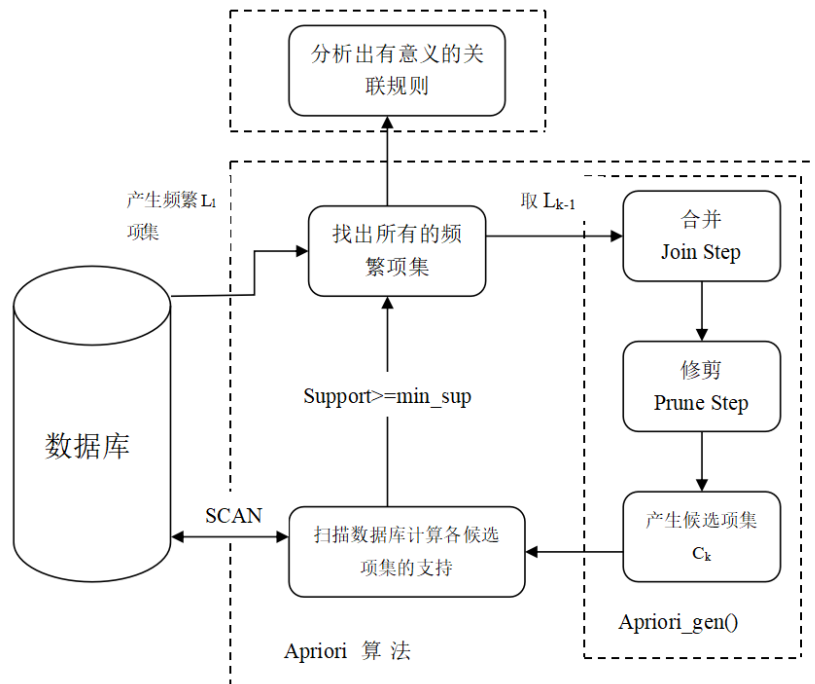


图 3 Apriori 算法流程图

3 煤矿瓦斯爆炸关联规则分析

利用关联规则方法对瓦斯爆炸事故调查报告进行分析并找出其中的影响因素，对保障煤矿安全开采具有重要的实践意义。

3.1 确定瓦斯爆炸事故致因因素

造成瓦斯爆炸事故的直接原因有 3 个必要条件：①混合气体中瓦斯浓度界限为 5%~16%；②氧气浓度在 12% 以上，会引发混合气体爆炸；③存在与混合气体接触的温度高于 650℃ 的引火源。但是由于煤矿井下大部分区域有矿工活动，所以空气中氧气浓度一般在 21% 左右。因此，预防瓦斯爆炸主要着力点是监测瓦斯浓度和监控引火源。瓦斯爆炸的间接原因主要是人 - 机 - 环 - 管多方融合，从人员、设备、环境和管理四个方面挖掘煤矿瓦斯爆炸事故的原因和内在的因果关系。

通过对瓦斯爆炸事故案例信息的分析，提炼出引发瓦斯爆炸的致因因素。以 2010—2021 年中国 130 起煤矿瓦斯爆炸事故报告为原始数据，详细分析了煤矿瓦斯爆炸事故的原因，从中提取事故原因的关键表述，从直接、间接 2 个维度 5 个方面提取了 25 个引起瓦斯爆炸事故的致因因子。利用 Apriori 算法挖掘致因因子的频繁项集，通过确定项集之间的耦合因果关系，进一步挖掘瓦斯爆炸事故潜在的规律性特征。

表 2 瓦斯爆炸事故致因因子

| 维度 | 方面 | 因子 |
|----|--------|--|
| 直接 | 直接原因 I | 瓦斯浓度 I1；氧气浓度 I2；引火源 I3 |
| 间接 | 人员 H | 违规操作 H1；安全技能不足 H2；安全责任感差 H3；安全意识薄弱 H4；违反记录 H5 |
| | 设备 D | 通风系统紊乱 D1；设备可靠性差 D2；缺乏设备 D3；矿灯爆炸 D4；信号装置爆炸 D5；设备不合格 D6 |
| | 环境 E | 瓦斯排放异常 E1；隧道堵塞 E2；地质变化 E3；瓦斯积聚 E4 |
| | 管理 M | 管理不到位 M1；管理系统不完善 M2；安全责任未落实 M3；安全检查不到位 M4；安全培训不足 M5；技术不足 M6；监管不到位 M7 |

3.2 构建煤矿瓦斯爆炸数据库

以这 130 起瓦斯爆炸事故为研究对象，对每一起事故按照上述致因因子使用“0~1”标记法进行处理，当致因因子在瓦斯爆炸事故中有所体现时，该因子标记为 1，否则标记为 0，从而将瓦斯爆炸文本信息转化为相对完整的瓦斯爆炸事故数据库。

3.3 利用 Apriori 算法进行挖掘

利用关联规则 Apriori 算法挖掘致因因素之间的相关性，得到导致煤矿瓦斯爆炸事故的频繁项集和强关联关系。

由表 3 可以看出，管理不到位、安全责任未落实、违规操作和通风系统紊乱的支持度都在 60% 以上，说明这些因素导致煤矿瓦斯爆炸的概率比较高，是煤矿安全事故产生的主要因素。管理不到位、安全责任未落实和违规操作，表明企业重生产轻管理，需要提高煤矿领导者的安全责任意识，并且加强政府监督管理力度，进而减少煤矿事故的发生。通风系统紊乱发生的概率为 0.852，根据关联规则，表明其与瓦斯事故存在强关联关系，所以建议在生产过程中多注意通风问题，随时完善通风设备，并配备专人进行监测通风状况，从而降低生产事故的发生概率。

表 3 瓦斯爆炸事故单因素支持度

| 人员 | 支持度 | 设备 | 支持度 | 环境 | 支持度 | 管理 | 支持度 |
|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|
| H1 | 0.811 | D1 | 0.852 | E1 | 0.195 | M1 | 0.865 |
| H2 | 0.421 | D2 | 0.253 | E2 | 0.124 | M2 | 0.420 |
| H3 | 0.585 | D3 | 0.142 | E3 | 0.015 | M3 | 0.628 |
| H4 | 0.547 | D4 | 0.625 | E4 | 0.125 | M4 | 0.245 |
| H5 | 0.165 | D5 | 0.130 | | | M5 | 0.358 |
| | | D6 | 0.241 | | | M6 | 0.120 |
| | | | | | | M7 | 0.667 |

4 结语

基于煤矿事故统计分析，将关联规则挖掘技术应用于煤矿瓦斯爆炸事故中，探索煤矿瓦斯爆炸事故成因之间的关联关系。通过加强监督管理，对强关联规则所涉及的危险因素，及时采取相应的对策和措施，从而预防瓦斯爆炸事故的发生。

参考文献：

- [1] 段明东.煤矿大数据管理平台的设计与实现[D].西安:西安电子科技大学,2022.
- [2] 高荣翔.煤矿安全监控数据智能分析与处理技术研究[D].青岛:山东科技大学,2018.
- [3] 黄玉鑫,闫振国,范京道,等.基于Apriori算法的煤矿双重预防信息系统[J].工矿自动化,2020,46(10):92-98+118.

作者简介：白鱼秀（1986-），女，高级实验师，从事数据挖掘、智慧矿山研究。

基金项目：陕西省高校科协青年人才托举计划项目资助（项目编号：20200117）；榆林市科技局产学研合作项目（项目编号：2023CXY140）。