

实验研究

文章编号: 1671-251X(2009)04-0001-05

煤矿事故单危险源测算与风险评价思路探讨*

王 培, 李新春

(中国矿业大学管理学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 文章在分析和总结煤矿事故单危险源的分类及特点的基础上, 给出了煤矿事故单危险源测算与风险评价的步骤。在煤矿事故单危险源的测算中, 需要根据获得的煤矿事故单危险源数据进行危险源辨识, 确定单危险源特点, 以此选择合适的危险源测算方法及测算思路进行测算, 并对测算结果进行评价; 在煤矿事故单危险源的风险评价中, 需要对煤矿事故单危险源概率及风险概率进行测算, 并对煤矿事故单危险源进行损失评估, 在此基础上对煤矿事故单危险源进行风险评价, 并根据评价结果划分单危险源的危险等级, 从而制定相应措施, 减小单危险源导致的事故发生概率。

关键词: 煤矿; 事故; 单危险源; 测算; 风险评价

中图分类号: TD771

文献标识码: A

Discussion of Thought of Calculation and Risk Assessment of Single Danger Source of Coal Mine Accident

WANG Pei, LI Xin chun

(School of Management of CUMT., Xuzhou 221008, China)

Abstract: Based on analyzing and summarizing classification and characteristics of single danger source of coal mine accident, the paper gave steps of calculation and risk assessment of single danger source of coal mine accident. In calculation of single danger source of coal mine accident, it is needed to identify danger source according to single danger source data of single coal mine accident collected and decide characteristics of single danger source, so as to select proper calculation method and thought of danger source to do calculation and do assessment to calculation result. In risk assessment of single danger source of coal mine accident, it is needed to calculate probability and risk probability of single danger source of coal mine accident, do loss assessment to single danger source of coal mine accident, and on the basis of risk assessment to single danger source of coal mine accident and divide danger levels of single danger source according to assessment result, so as to make corresponding measures to reduce probability of accidents caused by single danger source.

Key words: coal mine, accident, single danger source, calculation, risk assessment

0 引言

近年来, 我国煤矿事故频发, 造成了巨大的经济和社会损失, 控制、减少直至消除煤矿事故已成为当前煤炭安全生产的主要任务。导致煤矿事故风险发生的根本原因是存在的各种危险源, 因此, 对危险源的控制至关重要, 而危险源的测算和评价又是控制和消除危险源的基础。基于此, 本文从危险源的基

收稿日期: 2009-01-09

* 基金项目: 国家自然科学基金重点项目(70533050), 教育部人文社会科学研究一般项目(08JA630083)

作者简介: 王 培(1984-), 女, 中国矿业大学在读硕士研究生, 研究方向为系统科学。E-mail: wp83411@163.com

本理论出发,结合煤矿事故分析及煤矿生产系统实际,总结和分析了煤矿事故单危险源的分类及特点,并以此为基础,应用概率统计及模糊数学等相关方法,提出了煤矿事故单危险源测算和风险评价的方法和步骤,以利于对煤矿事故单危险源的实时监测和控制。

1 煤矿事故单危险源的分类及特点

1.1 危险源的基本概念

到目前为止,国内外对危险源尚无理论上的确切界定。Willie Hammer 将危险源定义为可导致人员伤亡或物质损失事故的潜在不安全因素。《职业健康安全管理体系规范》(GB/T 28001-2001)标准第3.4条款则将危险源定义为可能导致伤害或疾病、财产损失、工作环境破坏或这些情况组合的根源或状态。田水承教授将“突变信息”引入危险源的范畴,认为危险源是(安全)认识对象中产生和强化负效应的核心,是危险物质、能量和灾变信息的爆发点^[1]。此外,多数学者也依据事故致因理论解释事故的发生、发展和变化,以此界定危险源的概念以及各个危险源之间的关系,或者说,这种界定危险源概念的方式是为解释事故致因理论服务的。

考虑到事故致因理论,可将事故致因理论中分析出的本质原因、直接原因、间接原因、危险物质和触发条件等统一界定为危险源。危险源可被认为是导致事故发生的根源。它大致包括人的不安全因素或行为、物(机、环)的不安全状态和管理上的缺陷。

一起事故的发生是多个系统内危险源共同作用的结果,控制事故的发生则需要控制住每个危险源。因此,本文从单危险源(相对于系统危险源)的角度,对其进行测算和风险评价。

1.2 煤矿事故单危险源的分类

煤矿事故单危险源是指煤矿事故系统内的单一危险源。根据对危险源的分类、煤矿系统及其事故特点的分析,可将煤矿事故单危险源分为三类:

(1) 人的不安全行为或状态,包括煤矿系统中自然人的不安全行为和状态、组织人的管理失误等,如个体人的误操作,员工的技能和经验达不到要求,员工培训程度不够,责任感、安全感不足,管理者指挥不当、监督失误、决策失误等。

(2) 机(环)的不安全状态和因素,包括煤矿事故系统中能量载体或危险物质及物的故障和物理性环境因素,如煤层瓦斯含量、瓦斯涌出量、引燃瓦斯的点火源、水、不稳定的岩体、炸药、火源、断层等。

(3) 管理制度体系等的缺陷,包括煤矿系统中管理程序、规则、制度和组织文化的缺陷。

在煤矿生产系统中,即使是单一的危险源也受到多种因素的影响。因此,在分析和测量单危险源时,需要考虑到对单危险源的各种影响因素。

1.3 煤矿事故单危险源的特点

(1) 复杂性或多变性

煤矿系统中的危险源多种多样,同时受到各类因素的影响。在生产过程中,某些危险源可能随时发生变化。相同的危险源也有可能存在于不同的作业过程中^[2]。

(2) 非单调性与非线性

在某些情况下,组件正常工作可能会引起事故发生,而组件失效则可能使系统处于安全状态。危险源之间的相互作用复杂,存在非线性关系。

(3) 动态性、随机性、模糊性与隐蔽性

在煤矿生产系统中,导致煤矿事故的危险源的种类及其结构关系都处在动态变化中,危险源产生风险的几率具有随机性,危险源的作用方式及影响结果具有一定的模糊性。只有随着时间的推移和条件变化时,危险源才会产生风险。

(4) 多态性

根据参考文献[3]的观点,危险源系统分为安全状态、混沌状态和危险状态。安全与危险是危险源系统的两个特殊状态,安全是相对的,危险是绝对的,安全与危险状态之间是混沌状态。混沌状态的存在构成了研究危险源系统特性、预测系统未来状态的关键^[3]。

(5) 风险的相对性与时空依托性

同一危险源在相同状态下,在某些条件下认为是安全的,但在另一条件下就不一定安全了。事故的发生是在一定的时间、空间中发生的,只有在具体的时空中,危险源才会产生风险,变成事故因子。

(6) 可知性与可预控性

根据多年生产的经验和对已发生的事故进行总结分析,可以在生产作业中预先识别出危险源,这也是危险源辨识的基础和前提。危险源的可知性决定了人们可以预先识别出危险源,相应地采取有效措施或利用先进的技术控制危险源^[2]。

因此,在对煤矿单危险源进行分析时,要综合考虑煤矿单危险源的分类及其特点,选取合适的方法对其进行测算。

2 煤矿事故单危险源测算

煤矿事故单危险源测算是针对煤矿事故中的

每一个危险源采用合适的方法进行分析、预测等,以准确地掌握单危险源的动态变化,为控制和消除危险源提供基础。

煤矿事故单危险源的测算思路要根据各个煤矿事故系统内部各类危险源的具体特点及获取的关于危险源数据的特点决定。针对某一具体煤矿事故单危险源的测算思路如图1所示。

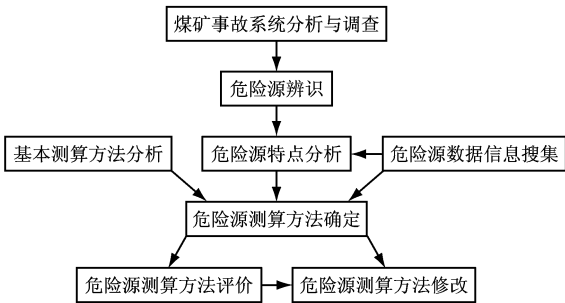


图1 煤矿事故单危险源测算思路示意图

要获取煤矿事故的危险源,首先应对煤矿事故系统进行整体分析,进行危险源辨识,找出煤矿事故系统中所有的危险源。在进行煤矿事故系统分析与调查的同时,要注意煤矿事故危险源数据信息的收集,确定危险源数据信息的特征。根据已辨识的危险源和搜集到的危险源数据特征分析危险源的特点。在危险源测算方法的确定中,既要考虑危险源的特点及其数据信息特征,又要考虑各类基本测算方法的适用范围及其特性。可以说,根据分析出的危险源特性及其数据特性确定的危险源测算方法是具有准确性的,但为了验证这种准确性,需要选择合适的方法对危险源的测算结果进行评价,对不合实际的评价要及时修改测算方法。

2.1 煤矿事故系统分析与危险源辨识

危险源辨识方法种类繁多,主要包括工作任务分析法、事故树分析法、事件树分析法等。工作任务分析法是在事故致因机理分析基础上,对照安全技术标准、安全操作规程和工艺技术标准等,结合大量的工作实践经验,辨识工作任务各个工序中的危险源的一种方法,其特点是危险源辨识全面。事故树是一种描述事故因果关系的有方向的“树”,是一种逻辑演绎方法。事故树分析法既能进行定性分析,又能进行定量分析,具有具体、简明、形象化的特点。与事故树分析不同,事件树分析法使用归纳法进行分析。

在该步骤中,目的是找出系统中的单危险源,不需对单危险源进行定量分析,因此,可以选择任一危险源辨识方法,但要保证危险源辨识全面。

2.2 危险源数据信息搜集及其特点分析

要对煤矿事故单危险源进行测算,就要分析危险源的特点。危险源的特点分析是多方面的,既要包括其本身的属性特征信息,又要包括可搜集到的危险源数据信息特征。分析已有的危险源数据信息是确定危险源测算方法的一个基础。对于不同的危险源,其数据信息性质是不同的。即使对同一个危险源来讲,其数据信息性质在不同的煤矿也不同,同时各个煤矿对各类危险源数据信息的掌握程度不一样,因此,在处理具体的危险源数据信息时需要采用不同的方法。

2.3 基本测算方法分析

根据已知的数据或信息分析相关问题的方法基本可以分为两大类:一类是统计方法,另一类是非统计方法。具体来说,有经典统计学方法、灰方法、模糊方法、熵方法和自助法等。在具体的研究中,应该根据掌握的数据和信息特征以及各个方法的特点选择具体方法,如表1所示。各类方法在具体应用中,会遇到各类问题,如用模糊理论或随机理论求解时,不确定性参数的概率密度函数或隶属函数的确定往往需要大量的样本数据,而由于数据样本具有有限性,不确定性参数的概率密度函数往往难以确定。

表1 测算方法选择表

信息数据特征	采用方法	方法特点
大样本多数据	经典统计方法	要求典型分布、大批量数据、误差信息
少数据、信息不完全、内涵不清边界清楚	灰方法	不考虑概率分布,数据可少
少数据、信息不完全、内涵清楚边界不清	模糊方法	要求隶属函数信息,数据可少

根据对煤矿事故单危险源的特点分析,可知其具有复杂性、多变性、多态性、模糊性等特点,因此,一个完美的危险源测算方法不应该仅仅依赖于某一个数学原理,而应该根据危险源的信息数据特点,选用多种方法分析,使测算结果更为准确和全面。

2.4 危险源测算方法确定

根据相关测算方法的分析及所获得的危险源的属性及数据信息,就可以选择合适的方法对其进行测算,具体思路有3种:

(1) 不对危险源进行分类,而是根据危险源的属性特征及其数据特征,对每个危险源采用不同的方法。当煤矿危险源系统比较复杂、各个危险源的属性特征和数据特征多样时,只能采用该方法。对

于一个系统来讲,危险源会很多,对每个危险源采用不同的方法会很复杂,但是对危险源的测量结果是最准确的。

(2) 按照某种方法对危险源进行分类,对各类危险源采用不同的方法测算。例如,可将煤矿危险源分为人、机(环)、管等几类,分别对每类危险源确定一个测算方法。使用该思路时,需要保证各类危险源的属性特征和数据特征类似。

(3) 煤矿事故系统内部所有的危险源测算都采用一个方法和步骤。当煤矿事故系统内部每个危险源在某一方面的属性特征和数据特征都类似时,可以采用该思路。

3 煤矿事故单危险源风险评价思路

煤矿事故单危险源的风险评价主要包括 2 个方面的内容:煤矿事故单危险源产生风险概率的大小测算和煤矿事故单危险源带来事故损失大小的评估。一般来讲,煤矿事故单危险源风险评价的方法有 3 种:定性、定量和半定量。目前关于煤矿事故单危险源产生风险概率的估计大都是根据历史资料和专业人员的经验直接判断的,缺乏灵活性,不能对单危险源进行动态评估。而风险矩阵法对单危险源采用半定性、半定量的评估方法,其反映单危险源长期发展中的一个大致风险概率,缺乏对单危险源在某一属性值或某一状态时的风险概率测算,因此,无法测算单危险源的实时状态风险概率。单危险源的损失评价所评价的是单危险源导致事故发生时带来的最大损失,而没有计算单危险源在某一属性值或某一状态下的损失。可见,现有的方法存在诸多不足,迫切需要提出一种新的单危险源动态风险评价方法和思路,科学实时地对单危险源进行评估。

本文中的煤矿事故单危险源风险评价的目的在于通过动态评价煤矿事故单危险源在各个属性值下的风险概率及损失大小,动态地评价该单危险源在各个属性值下的风险概率。煤矿事故单危险源风险动态评价思路如图 2 所示。

3.1 煤矿事故单危险源概率测算

概率测算是煤矿事故单危险源测算的一个重要方面,也是进行动态风险评价的基础工作,其主要目的是根据单危险源的测算思路测算单危险源的概率分布。概率分布结果可用图 2 中的概率分布图近似表示。假设得出某一连续型(指特征值连续)单危险源的概率密度函数为 $f(x)$, 其中 x 为该危险源的代表属性值。

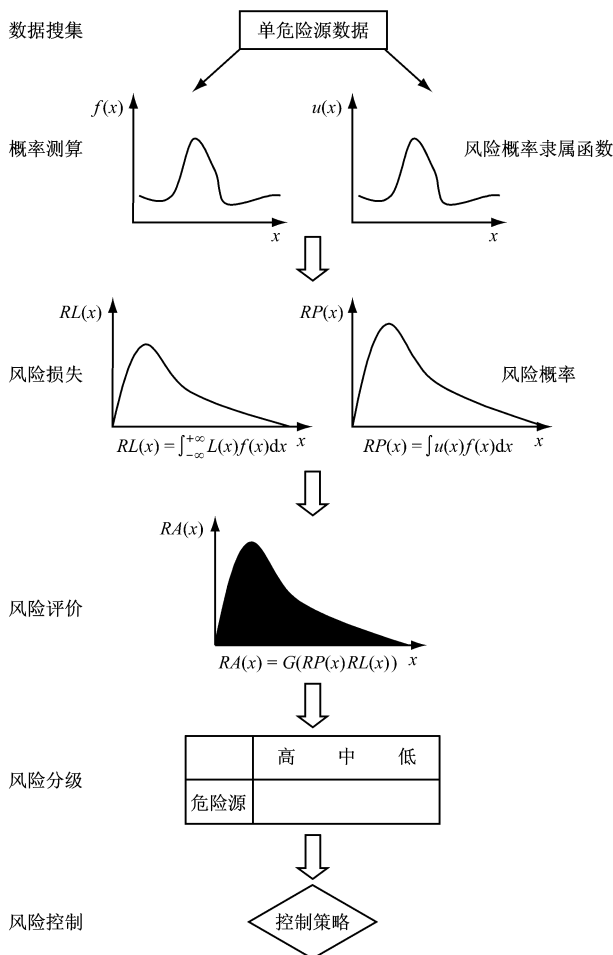


图 2 煤矿事故单危险源风险动态评价思路示意图

3.2 煤矿事故单危险源风险概率测算

根据模糊数学中的隶属函数,确定单危险源在某一属性值下产生风险的概率,风险概率结果可用图 2 中的风险概率隶属函数近似表示。假设求出某单危险源的风险隶属函数为 $u(x)$, 其中 x 为该危险源的代表属性值。然后根据模糊概率的相关理论,结合上面统计的单危险源属性值的概率分布以及求出的隶属函数,计算单危险源在某一属性值下的风险概率。假设某一连续型的单危险源为

$$RP(x) = \int u(x)f(x)dx \quad (1)$$

3.3 煤矿事故单危险源损失评估

为了评估单危险源在某一属性值下的损失大小,可以根据田口质量损失函数的基本原理,通过改进损失函数建立单危险源损失函数 $RL(x)$ 。

为了将田口质量损失函数用到单危险源风险损失评估中,可以设:

$$L(x) = k(x - x_0)^2 \quad (2)$$

式中: x 为单危险源的属性特征; x_0 为单危险源属性特征的目标特征值; $k = A/\Delta^2$, A 为由于该单

危险源导致事故所产生的损失, Δ 为该单危险源特性的允许波动范围。

通常情况下, 损失函数常表示为单位期望损失, 也即质量损失成本, 即

$$RL(x) = E(L(x)) = \int_{-\infty}^{\infty} L(x)f(x)dx \quad (3)$$

3.4 煤矿事故单危险源风险评价

根据煤矿事故单危险源风险概率测算模型和单危险源损失评估进行煤矿事故单危险源风险评价。单危险源风险评价函数是由风险概率函数和风险损失函数决定的, 因此, 风险评价函数可近似表示为

$$RA(x) = G(RP(x)RL(x)) \quad (4)$$

风险评价之后, 需根据风险评价的结果, 采用模糊聚类等方法对单危险源进行等级划分。根据等级划分的结果采取合理的单危险源控制措施, 消除单危险源, 从而避免事故的发生。

4 结语

煤矿事故单危险源测算和风险评价是煤矿安全管理的重要内容。本文结合煤矿事故系统实际, 总

结和分析了煤矿事故单危险源的特点和分类, 根据相关的数学方法, 提出了单危险源的测算和风险评价步骤。煤矿事故单危险源的测算方法多样, 本文只列出和比较了其中的几种方法, 各类方法的适用范围和改善有待进一步研究。在煤矿事故单危险源的风险评价中, 针对具体的单危险源, 其概率、风险概率、损失和风险评价函数要复杂得多, 本文只给出了相应函数的简写形式以说明风险评价思路。在单危险源的风险损失中, 文中提出了引用田口质量损失函数方法, 该方法只是一种衡量单危险源风险损失的方法, 并不能用来衡量单危险源所带来的实际损失。

参考文献:

- [1] 田水承. 从三类危险源理论看煤矿事故的频发[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(1): 10~16.
- [2] 郝贵, 宋学锋. 煤矿本质安全管理[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
- [3] 孙斌. 危险源理论研究进展[J]. 中国煤炭, 2007, 33(2): 63~65.

力控工业网络安全防护网关 pSafetyLink

三维力控公司研制开发的 pSafetyLink 系列网络隔离式工业通信网关是专用于解决工业 SCADA 控制网络如何安全接入信息网络(外网)问题的网络安全防护网关, 其内部为双独立主机架构, 双主机之间采用专有网络隔离技术彻底阻断任何网络形式的连接, 并通过内嵌的高性能工业通信软件支持各种主流工业 SCADA 通信标准, 如 OPC、Modbus、DNP3 等, 适用于流程工业 DCS 控制系统、电力系统现场 IED 设备、轨道交通 ISCS、煤矿、冶金行业现场控制系统等各种工业 SCADA 系统的网络安全防护。

pSafetyLink 网关架构: 该网关内部两端由 2 个独立主机系统组成, 每个主机系统分别具有独立的运算单元和存储单元, 各自运行独立的操作系统和应用系统。其中一端的主机系统为控制端, 负责接入到 SCADA 控制网络, 另一端为信息端, 负责接入到信息网络(外网)。控制端与信息端主机分别运行专用高性能工业通信软件。控制端提供各种标准 SCADA 通信标准的客户端或主端通信功能, 如 OPC Client(支持 OPC DA1.0, DA2.0, DA3.0, AE1.0)、Modbus Master、IEC60870-5-104 Master、DNP3.0 Master 等, 支持自定义通信协议扩展, 实现对 SCADA 系统的接入与通信; 信息端主

机提供服务器端或从端通信功能, 如 OPC Server、Modbus Slave、IEC60870-5-104 Slave、DNP3.0 Slave 等, 支持自定义通信协议扩展, 实现与各种远程后台系统、数据中心系统、数据库系统的接入和数据交互。

pSafetyLink 网关的网络隔离技术: pSafetyLink 网关的控制端与信息端主机之间采用专用的 PSL 网络隔离传输技术。PSL 的物理层采用专用隔离硬件, 链路层和应用层采用私有通信协议及加密传输方式。PSL 技术通过物理隔离与专有隔离传输技术, 实现了数据完全自我定义、自我解析、自我审查, 传输机制具有彻底不可攻击性, 从根本上杜绝了非法数据的通过, 确保控制端不会受到攻击、侵入。

pSafetyLink 网关特点: 采用专利网络隔离技术, 彻底隔断外网与 SCADA 网络连接; 每端具有多个 10/100 Mbps 网口; 数据吞吐量高达 20 000 TPS; 提供远程配置及监视工具, 可在线监测通信报文; 支持从通道到设备到测点的三级测点树管理; 具有测点级访问权限控制功能; 具备看门狗管理、系统在线自诊断/复位功能; 具有对通信链路状态的监视和报警功能; 具有完备的诊断调试、故障监视、日志输出等功能; 具备二次计算功能。

(刘春晓)