



系统安全分析方法在矿业中的应用

王海宁 吴超

(中南工业大学, 长沙 410083)

丁07

摘 要 在矿山生产中应用系统安全分析方法可对生产系统的安全性进行检查诊断和危险性预测, 对制定预防和消除事故的措施有重要意义。本文通过实例来分析ETA和FTA两种方法的应用, 并指出在应用系统安全分析方法时应重视的几个问题。

关键词 系统安全分析, 事件树分析, 事故树分析 矿山安全

0 前 言

矿山生产的安全与其他工业部门比较有其特殊性: 生产条件复杂多变、作业环境差、空间小、人员集中等, 难以预见和控制的不安全因素比较多, 在生产中会产生各种有毒有害气体、放射性物质、粉尘、废水等公害, 以及水、火、爆炸、冒顶等灾害及设备事故, 严重威胁人们的健康和生产安全, 甚至使国家资源遭到破坏。因此, 在矿山生产中, 事先预测到事故发生的可能性, 掌握事故发生的规律, 作出定性和定量分析, 提出相应的安全措施, 预防控制伤亡事故和经济损失尤其显得重要。安全系统工程学就是为此而发展起来的, 所以系统安全分析方法应用于矿山企业的重要性就不言而喻了。

目前提出的系统安全分析方法有几十种之多, 其中有不少方法是雷同或重复的。常用的方法有事件树分析(ETA)、事故树分析(FTA)、因果分析图、安全检查表、预先危险性分析、故障类型和影响分析, 可操作性研究等。本文将主要分析ETA和FTA两种方法的应用。

1 ETA法分析

1.1 ETA法的分析程序

ETA是安全系统工程的重要方法之一, 是利用逻辑思维的初步规律和形式分析事故的形成过程; 是系统工程中的决策树在安全分析中的应用。

ETA首先是确定系统及其组成要素, 分析各子系统的因果关系及成功与失败的两种状态, 然后根据因果关系及状态, 从初始节点开始由左向右展开编制事件树, 标示各节点成功与失败的概率值, 进行定量分析。通过ETA可看出系统的变化过程, 查明事故发生的可能途径及其危害, 对预防和消除事故的措施的制定有重要意义。

1.2 ETA实例分析

进行ETA时, 在树的各个节点上只选择出失败或成功两种情况, 而不考虑某一局部或具体的故障情节。下面就金属矿山外因火灾事件树加以分析说明(见图1)。

一般来说, 金属矿山火灾发展过程可分为四个阶段, 即潜伏期、成长期、鼎盛期和熄灭期。由于火灾都是逐渐发展起来的, 如果能及时采取妥善措施, 就可以将其扑灭, 防止蔓延, 也不会造成人员的伤亡。如果火灾已经形成, 就必须立即组织人员撤离和进行抢救, 这样就可以减少和避免人员的伤

亡。ETA法可以从初始事件开始,按时间顺序构成事件的可能过程。

这种分析方法简单明了,并且可以得到一组多元结果。从分析中可看出,贮备消防

器材,及时扑灭初期火灾;对井下人员进行自救教育并配备自救器材和设立可靠的安全出口;设立消防队和救护队进行灭火和抢救具有重要的意义。

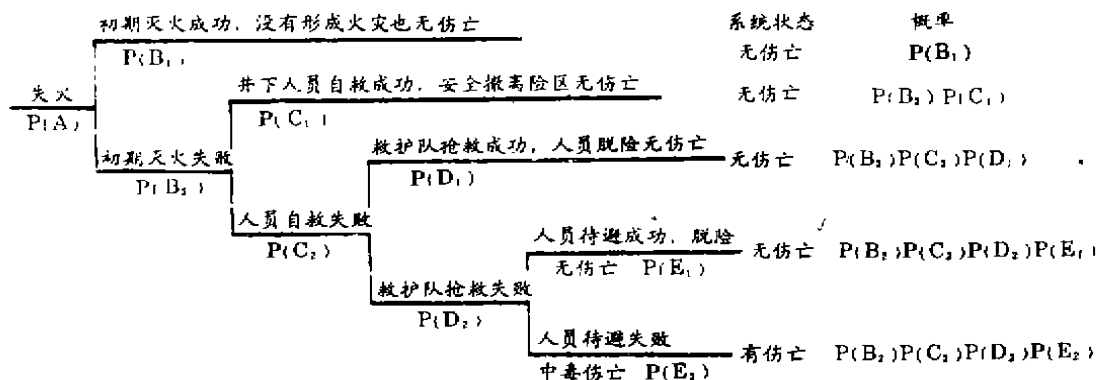


图1 金属矿山外因火灾事件树分析

2 FTA法分析

FTA是分析、预测和控制事故的有效方法。在分析时,首先是确定系统的危险或事故作为事故树的顶上事件,然后自上而下逐项分析导致发生顶上事件的各个事件要素以及它们之间的逻辑关系和因果关系,通过求事故树的最小割(径)集进行定性和定量分析。

2.1 FTA方法

FTA分三个阶段:编制事故树,进行定性和定量分析,制定防灾对策或改善系统。建造事故树是分析的基础和关键,是一项烦琐而复杂的工作;定性和定量分析是分析的核心内容和方向;第三阶段是分析的目的。FTA方法在矿山安全生产中有极其重大意义,根据所建造的事件树,从上往下分析,层层深入,可以看出顶上事故发生的原因,从而可以采取的措施,加强检查和管理,控制顶上事件的发生;从下往上分析,可以看出哪些基本事件的发生可导致顶上事件发生这一结果,从而可进行事故预先分析,防患于未然。

2.2 FTA实例分析

矿井通风系统的可靠性是由通风网络系

统、扇风机以及通风构筑物三部分决定的。下面仅就通风网络系统的可靠性进行分析。

通风网络系统由通风网路和风路两部分组成,其中风路的稳定性与扇风机的运行状况以及各风路风量的相对变化程度有关;而井内风量的变化主要受自然风压、火风压、产量的变化以及人为调节风机的影响。通风网路的可靠性与风路设计、巷道风阻值以及分支网路的可靠度有密切联系。分支网路的可靠度又与风流的稳定程度和抗干扰能力等因素有关。由此,可得事故树如图2所示。

利用布尔代数化简和根据事故树与成功树的对偶性,可以求得系统的最小割(径)集分别为29和4个。

从以上所建造的事故树以及运算结果可知,系统的不可靠性有29种可能。因此,要确保网络系统的可靠性就要针对顶上事件发生的原因,采取措施,加强管理,防止扇风机运转不稳定以及风机故障,保证主要过风巷道畅通和分支网路风流稳定可靠。

3 应用系统安全分析法应重视的几个问题

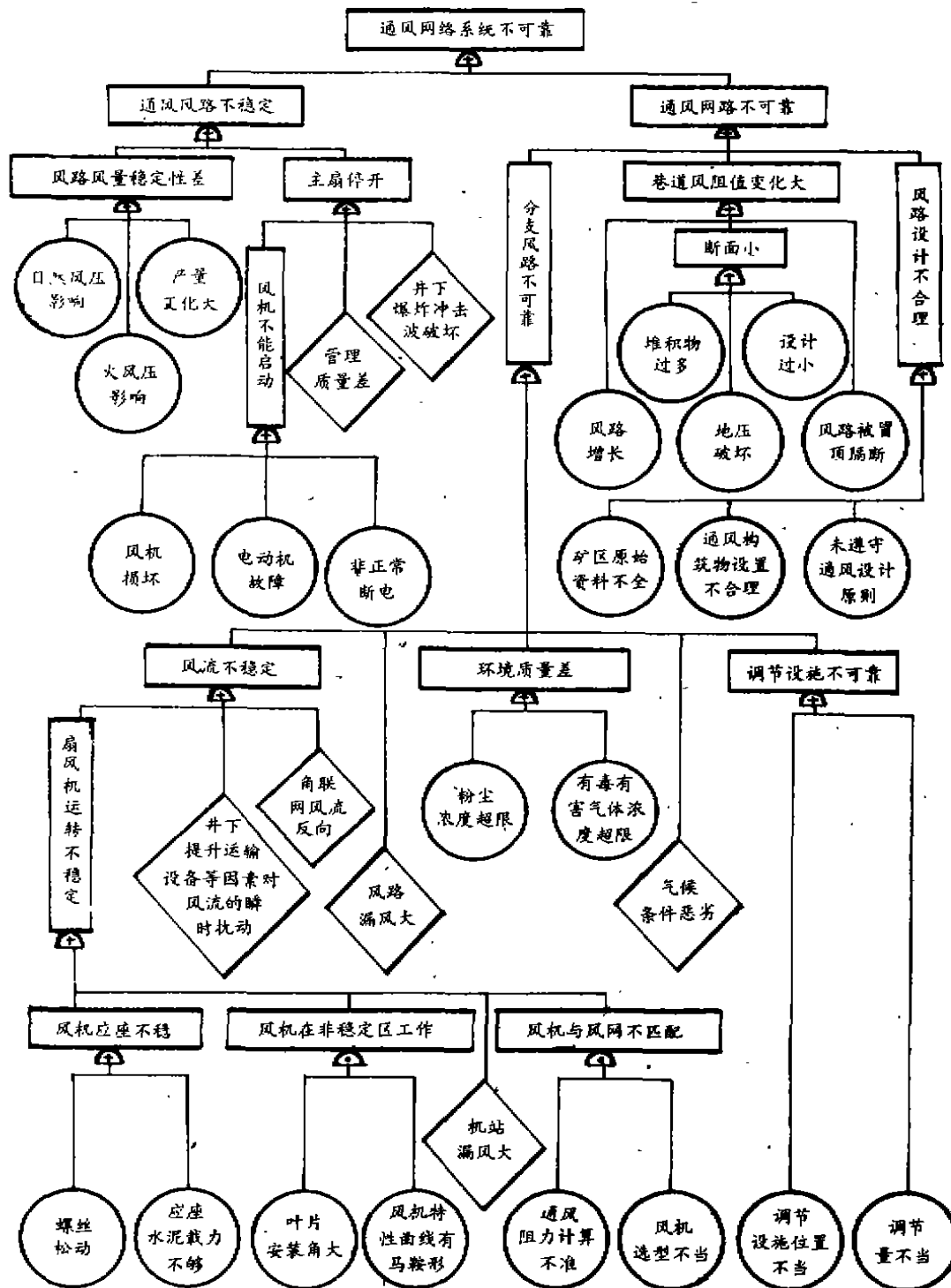


图2 矿井通风网络系统事故树

(下转第6页)

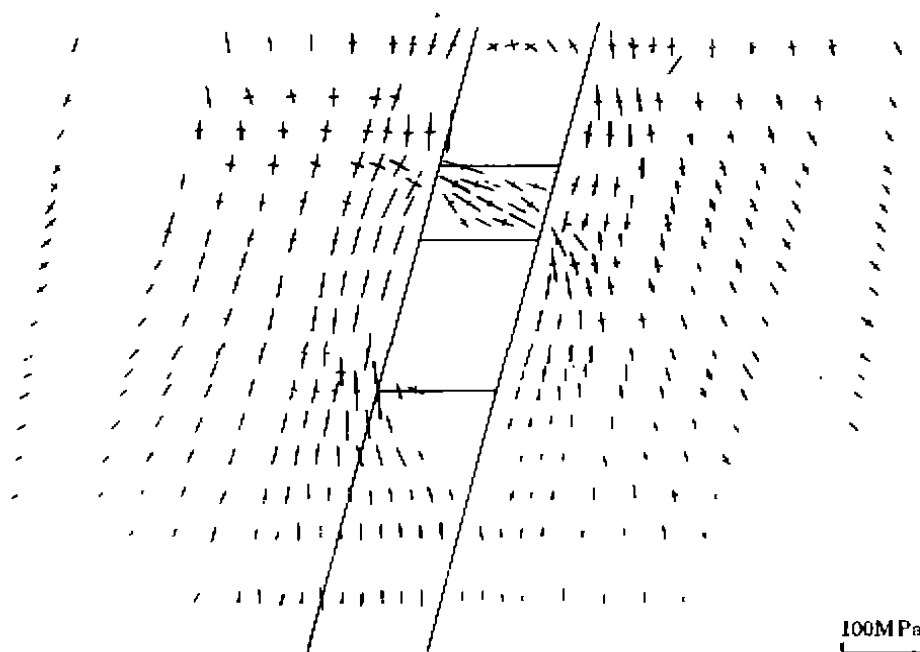


图6 上采至顶柱主应力分布图

表5 不同回采时期顶柱及围岩中应变能值

回采位置	极限强度 MPa		破坏耗散能量 $\times 10^4 \text{ J}$		计算部位弹性蓄能 $\times 10^4 \text{ J}$		
	顶柱	围岩	顶柱	围岩	上盘	上盘	下盘
					下角	上角	上角
距顶柱10m	99.2	70.8	9.25	5.07	2.04	0.78	3.08
接近顶柱	99.2	70.8	9.25	5.07	3.24	1.10	5.54

岩体所蓄积的弹性应变能量小于单向压缩试验时破坏所需要的能量值 $5.07 \times 10^4 \text{ J}$ 。因此，可断定不会发生岩爆。但当上采推进到接近顶柱时，从表5得知，此时采场下盘上角处弹性蓄

能值大于岩石破坏时所需要的能量，即 $5.54 \times 10^4 \text{ J} > 5.07 \times 10^4 \text{ J}$ 。满足了发生岩爆所需要的能量条件。这样联系前面对岩性冲击倾向性的研究可知，此时采场所处条件具备了发生岩爆的充分条件。事实上该采场于1992年1月钻孔时，钻孔发生了喷出现象。结合前面论述及国外事例看出，抚顺红透山铜矿当前已有岩爆发生，只是这一事实还没有引起某些同志及领导的重视。这可能是把从中深部转向深部时，出现的静动压并存现象，误把当前出现的释放能量不大的中等岩爆及弱岩爆认为是平常的地压活动（静力引起地压活动）。

（上接第18页）

近十几年来，系统安全分析法在我国矿山得到推广和应用，在理论研究、计算机的应用方面有所发展，也正在引起更多人的注意，但在选用时应重视如下几个问题：a. 应以控制工伤事故为主要目标；b. 根据分析对象的不同，选用相应的分

析方法；c. 从经验系统化、工作科学化入手，逐步试验推广；d. 分析工作从定性开始，而后努力过渡到定量化；e. 重视管理失误和人为失误的分析；f. 各种分析方法可以相互补充，使用一种方法也许不能完全分析出系统的危险性，但再用其他方法可以弥补其不足的地方。