

减灾与风险管理

Disaster Reduction and Risk Management

梅启智

(清华大学)

提要 本文将灾害区分为自然灾害和人为(技术)灾害两类。指出灾害是一种随机事件,风险管理是一种适当的灾害管理手段。本文给出了风险的数学定义和社会风险水平(风险本底)的国际国内统计数据,给出了故障树和事件树分析的基本方法和实例。

灾害可以粗分为两类,一类是自然灾害,是不以人类意志为转移的大自然的异常事件,如地震、洪水、台风、干旱、雷击、大尺度陨石下落等造成人类生命和财产的损失;另一类是人为(技术)事故灾害,往往是某种文明、某种先进的科学技术引入社会,在为人类作出贡献的同时伴随而来的对人类的损害,如汽车、火车、飞机、轮船造成的交通事故、空难和海损,化石燃料电站造成的酸雨和空气污染,触电死亡,以及化工厂和农药厂造成的有害气体和液体排放、天然气柜和油罐等压力容器的爆炸和核装置事故等造成的生命财产的损失。

我国是一个自然灾害频繁的国家,洪涝和干旱年年危害我国。全球历史上死亡20万人以上的地震共发生4次,全出现在中国。自然灾害造成每年近300~400亿元的经济损失。我国又是正在加速实现工业化的发展中国家,是一个技术渴求的国家,人为(技术)事故灾害也非常严重,平均年人员伤亡数超过自然灾害的伤亡数,直接财产损失也超过百亿元。例如,1991年的洪涝灾害的直接经济损失达650亿元,大兴安岭火灾的直接经济损失达69亿元。若人们的防灾意识强,将上述被迫支出经费的十分之一用于防洪工程和防火工程,也许能避免这两次灾害造成的损失。

防灾、减灾是一项庞大的社会系统工程,涉及自然界、人文界、经济、社会、政治等各个方面。在灾种、灾群之间,致灾因子之间,彼此存在着密切的内在联系,形成互馈关系。减灾的各个环节和各项措施都是系统工程中的一环。为了使减灾工作取得更大的成效,有必要以系统的观点来研究灾害和经济发展的辩证关系,给予防灾减灾研究和工程以

必要的投资,加强灾害的风险识别、风险估计、风险评价和对策研究,建立一个越来越完善的防灾、抗灾和救灾系统。

灾害的发生是随机的,事先人们很难准确预测究竟在何时何地发生何种强度的灾害。当然,随着经验的积累,不断探索,不断总结,人们对灾害发生的规律越来越清楚,预测的准确性将不断提高,但总的说来,灾害的发生仍然是一种不确定性很大的难以准确预测的随机事件。研究随机事件的数学是概率论、数理统计和随机过程等。事故和灾害的预计和评价方法也逐渐由确定论的发展为概率论的,目前是两种方法论并存,互为补充。

一、风险的定义

概率论的评价方法,或称为概率风险评价(Probabilistic Risk Assessment, PRA),或称为概率安全评价(Probabilistic Safety Assessment, PSA),既要考虑事故或灾害的后果(损害),又要考虑造成某种后果的灾害事件的年发生概率(频率)。定义后果的数学期望值(即发生频率权重后的后果)为事故或灾害的风险。其数学表达式为:

$$R = \sum_i F_i C_i$$

式中:R为各种事件的风险,后果/年或后果/人年;

F_i 为第*i*种事件的年发生频率,次/年;

C_i 为第*i*种事件的后果,后果/次或后果/人次,后果可以是死亡人数,可以是以货币为单位的财产损失;也可以是以货币为单位表示的人的生命损失和财产损失的和。

事件的定义可以视情况而变动,可以把不同灾种视为不同的事件,例如火灾发生定义为事件1,交通事故定义为事件2,洪灾定义为事件3;也可以把同一灾种不同强度视为不同事件,例如发生5年一遇的洪水定义为事件1,发生10年一遇的洪水定义为事件2,等等。

二、社会风险水平(社会风险本底)

表1 美国各种原因早期死亡风险

死因分类	1969 年死亡 总人数	人身早期死亡 风险概率/年 ^a
汽车	55 791	3×10^{-4}
坠落	17 827	9×10^{-5}
火灾与烫伤	7 451	4×10^{-5}
淹溺	6 181	3×10^{-5}
中毒	4 516	2×10^{-5}
枪击	2 309	1×10^{-5}
机械事故(1968)	2 054	1×10^{-5}
航运	1 743	9×10^{-6}
航空	1 778	9×10^{-6}
落体击伤	1 271	6×10^{-6}
触电	1 148	6×10^{-6}
铁道	884	4×10^{-6}
雷击	160	5×10^{-7}
飓风	118 ^b	4×10^{-7}
旋风	90 ^c	4×10^{-7}
其余	8 695	4×10^{-5}
全部事故	115 000	6×10^{-4}
核事故 (100 座反应堆)	—	2×10^{-10d}

- a. 按美国人口计算
b. (1953~1971 平均值)
c. (1901~1972 平均值)
d. 按周围80 公里半径的 15×10^6 人口计算

表2 广州市各种原因早期死亡风险

死因分类	死亡人数 ^① /年	风险 ^② 1/年
交通事故	76	6.14×10^{-5}
火灾	5.8	4.72×10^{-6}
淹溺	66	5.33×10^{-5}
触电	4.8	3.86×10^{-6}
砸死	3	2.42×10^{-6}
中毒	10.4	8.40×10^{-6}
外伤	225.4	1.84×10^{-4}
其它	159.6	1.29×10^{-4}

- ① 广州市1975~1979 年五年的年平均数
② 以当时广州市的平均人口数1 238 455.8 人为基数

每一个国家都有自己的社会风险水平。所谓社会风险水平是指因自然灾害和人为灾害引起的社

会平均个人非正常死亡风险值。例如,美国的社会风险水平大约为 6×10^{-4} 死亡率/人年,我国广州市70 年代的社会风险水平大约为 4.5×10^{-4} (见表2),上海市80 年代的社会风险水平大约为 5×10^{-4} 。

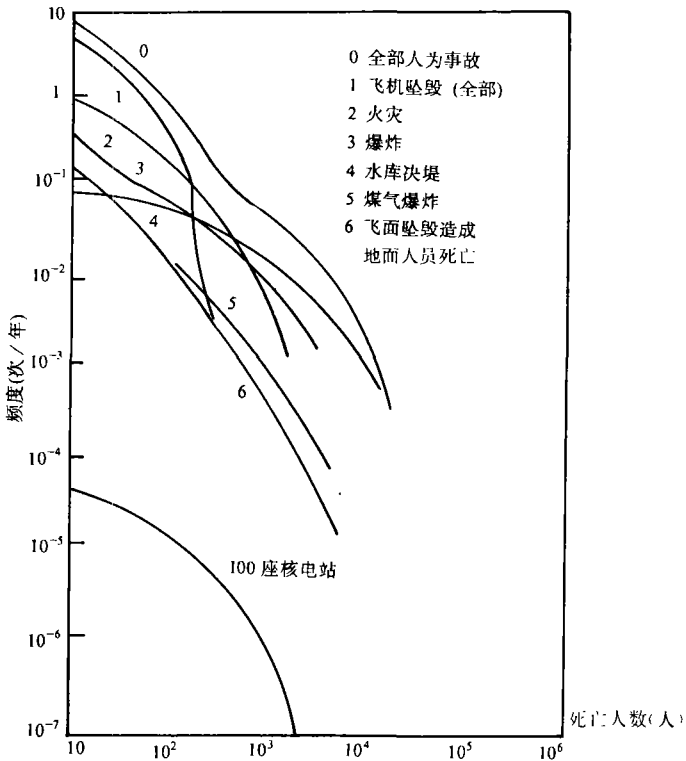


图1. 人为事故造成的死亡人数与事故发生频度

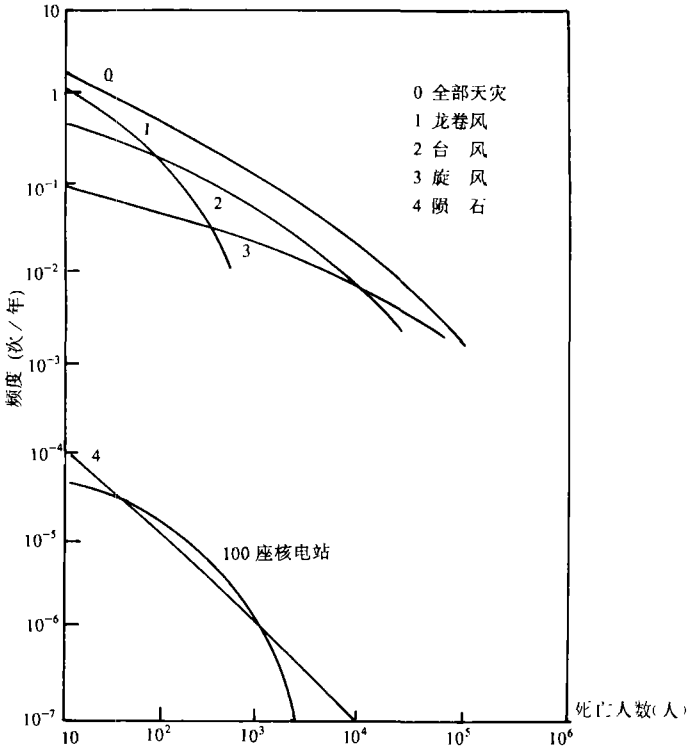
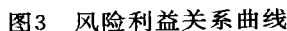


图2. 天灾造成的死亡人数及事故发生频度
社会风险水平是一个国家的基本国情之一。它提供

图1和图2是美国人为事故和天灾造成的死亡人数及相应发生频度。由图1看出,100座核电站预计造成的死亡人数及相应发生频度比现在全部人为事故,甚至任何一种人为事故造成的死亡人数和相应频度低若干个数量级。这从定量上说明核电站是非常安全的,从代价利益原则看核能是应当发展的能源。

根据利益—风险研究得到的结果,有两个原则是公认的。其一,某个系统进入社会时,它所引起的社会风险应大大小于社会现有风险水平;其二,它为社会带来的利益愈大,社会允许它带来的风险也愈大。应当根据这两个原则来判断系统能否被社会所接受。从表1中看出,美国社会现有事故风险水平为 6×10^{-4} 死亡率/人年。因此,选择 10^{-7} (它比现有风险水平低3~4个数量级)作为风险允许值是符合第一个原则的。关于第二个原则,调查了美国公众对各种系统造成的风险的态度,发现最高风险是疾病造成的,几乎达到1%,美国公众不允许任何人为的风险超过或达到这个水平。汽车造成的风险相当高,达 2.5×10^{-4} ,但工业社会的人们离不开汽车,根据第二个原则,人们也接受了这相当高的风险值。至于地震、台风等自然灾害的风险一般在 10^{-6} 左右,尽管有害而不利,但不以人的意志为转移,只好被迫接受。于是自然而然地形成了如图3的社会允许风险水平与利益的关系曲线。这个图的横座标单位不定,因各个国家具体情况而异。但可看出,凡风险大于疾病造成的 10^{-2} 的风险水平者,不论利益多大均不允许,自愿选择的高风险除外,例如登山、赛车、斗牛。凡小于天灾造成的 10^{-6} 的风险水平者,除利益极小者外,均属允许。核能给社会带来的利益极大,而且核电电价低于化石燃料电价,因此,将核能的允许风险值定为 10^{-7} ,是合情合理的。



对灾害实施的风险管理,包括风险分析和风险评估。风险分析包括风险识别、风险估计和风险评估。首先要辨识何处有风险,有哪些不同的险种,它们会导致哪些不同的后果。其次对各种不同的风险作出定量估计,即各种不同风险的发生频度及其分布,以及各种风险引起的人员死亡和财产损失的大小。最后对各种可能发生的风险进行评价和风险评估分析,并与现有社会风险本底比较。再将各种可供选择方案的风险利益综合比较,为决策提供依据。图4 是风险管理图。



风险对策包括日常对策和应急对策。若事先缺乏应急对策,将会造成二次灾害。例如美国三哩岛核电站事故缺乏事先的应急准备,仓促中号召孕妇儿童撤离,结果诱发了次生的交通灾害和偷盗损失。黄岛油库大火事件也缺乏事先周密的应急准备,救火时未采取防止原油漏入胶洲湾水域的措施,结果630吨原油泄漏,70%的胶洲湾水域污染,海水浴场关闭,旅游业和海产养殖业遭受严重地损失,仅去油膜污染费用就达200多万元。1991年9月3日一甲胺泄漏事故则更严重地违背了风险管理的原则,事先未作风险分析,事后又缺乏有效应急措施,以致造成37人死亡的惨痛损失。

危险物项的生产、转运和储存对工作人员和公众均存在风险,人们应采用风险分析的手段,认真地辨识风险的存在,尽量准确地估计风险的大小,切忌疏忽和片面性。例如重视生产环节而忽视转运和储存环节,结果被忽视环节发生事故,在我国就不乏其例。

由于人们未认真进行风险分析,往往凭印象、经验办事,结果一方面夸大一些物项的风险,例如核电站,增加了许多苛刻的要求,使其投资大大增加,推迟了核电的发展;另一方面又忽视一些物项的风险,例如随着城市的膨胀,原地处远郊的生产巨毒化工物质光气、一甲胺、氯气等的化工厂、染料厂、农药厂反被居民区团团包围。须知一吨光气的

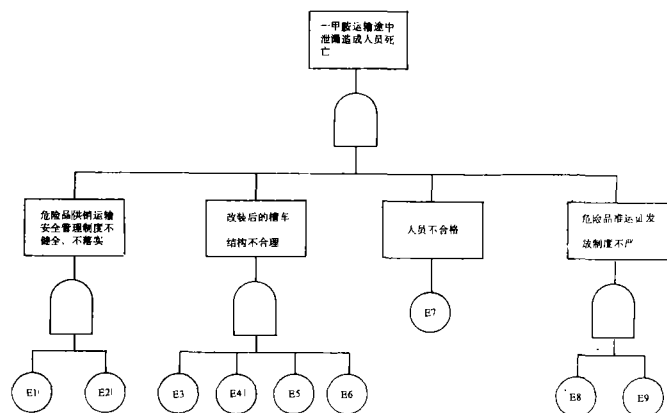
毒性大于一座秦山核电站所含全部放射性的毒性，在生产、转运、储存中任何一个环节的疏漏会给工作人员和周围居民带来比核电站事故更为严重的后果。可是这些工厂安全防护和事后应急准备却比核电站差之千里，这种状况使人焦虑万分。

减灾涉及各个领域(如水利、气象、城建、交通、消防、劳动保护等),如果各部门都各自为战,势必造成重复投资且漏洞百出,极不适应现代化建设迅猛发展对综合防灾之需要。应当提倡各个领域防灾体系形成综合防灾体系,以最小的投入得到最好的综合防灾效果。

五、故障树分析法和事件树分析法

风险分析和评价最常用的方法就是故障树分析法(FTA)和事件树分析法(ETA)。

故障树分析法是由给定结果事件出发,按照逻辑关系去寻求引起该结果事件的中间原因事件和最终原因事件以及它们的事件组合,这种组合或称故障模式或称最小割集。图5 是寻找1991年9月3日一甲胺运输途中泄漏造成人员死亡的故障树。

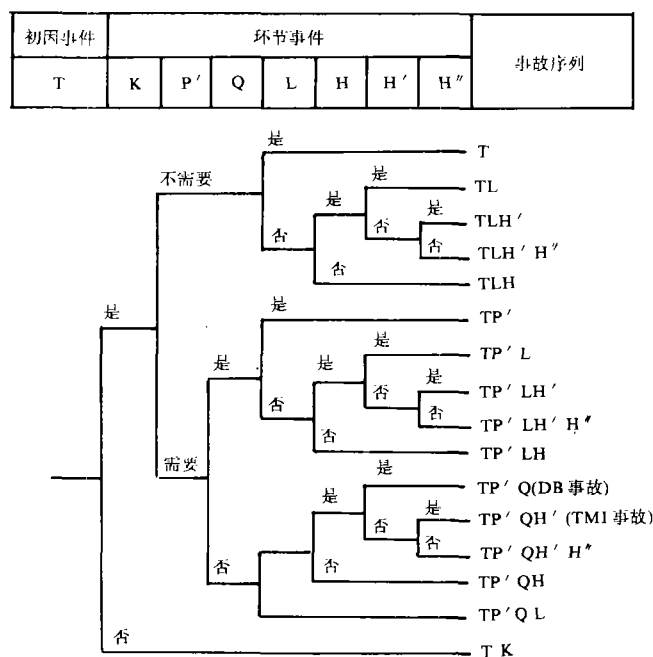


- E1:未派执许可证的专职押运员
- E2:车上未配备防毒面具和抢救用具
- E3:送料阀与放空阀由下部改到上部使阀伸出罐体被树击中;
- E4:违章取消了紧急切断外泄装置;
- E5:违章取消了阀门防冲撞保护装置;
- E6:阀门材质不好易漏,又加一道阀门增加了槽车高度
- E7:司机为一未经危险品运输培训,未持有危险品驾驶证的个体司机,故未挂危险标志,违章开入杭州市及沙溪镇;司机未带防护面具及抢救用具。
- E8:公安部门未对不合格的槽车、司机、押运员进行审查就签发了准运证;
- E9:上海染化厂在贵溪厂运输危险品证件不全情况下仍予罐装。

图5

事件树分析法则已知一种原因,用推理的方法寻找可能引起的各种结果,简而言之,是一种由因到果的推理方法。事件树分析法适用于大型复杂系统,在这种系统中,设置了一些限制各种初因事

件不良后果的安全设施。一般说来,对某一种初因事件,若存在N种限制设施,每种设施只能取正常或失效两种状态,则该初因事件造成的事故序列数就为 2^N 个,但考虑相互之间的相依性,有许多序列是不可能出现的,或者是没有意义的,这样就可使事实上的事故序列数大大小于 2^N 个。每个事故序列的发生概率就是构成事故序列各环节的条件概率的乘积,而每个环节的条件概率由故障树分析法得到,所以事件树—故障树分析法结合起来就能定出各种事故序列的年发生概率(或频率)。图6是给水丧失初因事件的事件树,其中TP'QH'序列即对应于三哩岛事故。



T: 给水丧失过渡过程, K: 停堆保护系统, P': 稳压器安全阀需不需要动作, Q: 上述阀开启后能否回座, L: 二次回路冷却能力及时恢复否, H: 紧急冷却系统是否投入, H': 紧急冷却系统投入后机能不能维持, H'': 到达堆芯熔化前, 上述机能恢复否。

图6 给水丧失初因事件的事件树

在给定T、P'、Q、H'的数据条件下,可得出BAW公司的堆型发生三哩岛事故的年发生频率为 1.8×10^{-2} 次/堆年,但若针对上述四个因子加以改进后可将发生频率再降低1/100,即 1.8×10^{-4} 次/堆年。

将故障树方法和事件树方法结合起来,就形成了既可分析故障原因,又能预计故障后果的因果图。

自然灾害、人为事故,或称人为(技术)灾害,对人类都造成巨大的生命和财产损失,形成负面的社会经济发展效应。人们应努力探索自然和人为灾害的规律,提高防灾意识,寻求减轻灾害损失的良策。笔者建议的风险管理即是一种国际上行之有效的方法,希望能应用于我国的减灾事业。

(责任编辑 肖庆山)