

矿山安全系统 工程基础

- 中国有色金属工业总公司
教育局 组编
- 中南工业大学出版社

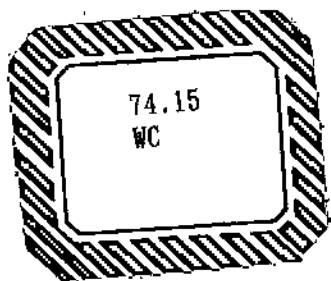
有色金属继续教育丛书



•有色金属继续教育教材丛书•

矿山安全系统工程基础

吴超 孟廷让 编



中南工业大学出版社

内 容 提 要

本教材为采矿专业继续教育用书。主要内容有矿山安全问题评述,事故树分析,事件树分析,危险性预先分析,故障类型和影响分析,因果分析的原理及其在矿山中的应用,矿山安全评价与安全决策,安全人机工程概述,安全心理学,人机特性机能比较与人机系统设计。

本书内容新颖、简明、实用,并紧密结合实际。

本书适合矿山安全技术干部、矿山生产管理干部、矿山设计和生产人员阅读,也可供大专院校采矿专业师生参阅。

湘新登字010号

矿山安全系统工程基础

吴超 孟廷让 编

责任编辑:周兴武

中南工业大学出版社出版发行
中南工业大学印刷厂印装
湖南省新华书店经销

开本: 787×1092 1/32 印张: 5.75 字数: 127 千字

1992年10月第1版 1992年10月第1次印刷

印数: 0001—2700

ISBN 7-81020-491-2/TD·029

定价: 3.00 元

序

继续教育，是对在职专业技术人员不断进行知识技能补充、更新、拓宽和提高的一种追加教育，这种与科研、生产任务紧密结合的教育形式，对于专业技术人员提高科技水平和创造能力，并使最新的科技成果迅速转化为生产力，具有重要的意义。总公司教育局根据有色金属企事业单位专业技术人员在在职学习的特点，组织有关企业、科研院所、高等学校的专家，编写了这一套有色金属继续教育教材丛书，为广大专业技术工作者在职学习提供了方便，这是一件很有意义的工作。

邓小平同志曾经精辟地指出：“科学技术是第一生产力”。我们搞改革、搞开放、搞建设，不抓科学技术这一生产力是没有出路的。有色金属工业的发展也必须重视教育和科学技术。随着有色金属企业经营机制的转换，企业要直接在商品经济的海洋中搏击，没有科学技术这一第一生产力做后盾是不行的。发展科技，最重要的是人才，企业的竞争最终是人才的竞争。当前科学技术发展迅猛，日新月异，仅靠在大学里学到的知识是远远不够的，经济发达国家的教育模式正在从“一次教育”向“终身教育”过渡。

需要指出的是，各单位要创造条件，采取有力措施，为广大专业技术工作者学习提供条件，支持他们不断提高水平；同时，从事专业技术工作的同志要勤于学习，学习本专业、本岗位需要的新理论、新技术、新工艺以及新的管理方法。只有勤于学习，才能适应改革开放的新形势，才能为有色金属工业的发展更好地贡献自己的聪明才智。

中国有色金属工业总公司

副 总 经 理 何 伯 泉

1992年7月24日

前 言

矿山安全系统工程是安全系统工程的一个分支。

安全系统工程是近30年在传统安全工作方法的基础上发展起来的新学科。它采用系统工程的方法，分析和评价生产、设计过程中的不安全因素，预先采取措施防止重大灾害和人身伤亡事故的发生。事实证明，这种方法使事故本身变成了一个可以进行研究、预测和分析的带有规律性的事物，打破了事故不可知论的老概念，从而使控制事故成为可能，为传统安全工作的改革开辟了新的途径，也给安全和劳动保护工作带来了很大的活力。

众所周知，矿山的安全问题在世界上一直均居其他行业之首，强化矿山的安全工作意义重大。但目前安全系统工程在我国矿山中的应用才刚刚开始。为了把安全系统工程迅速推广到矿山安全工作领域中，作者于1989年参考有关安全系统工程的著作和文献，并结合矿山的安全问题编写了《矿山安全系统工程》（讲义）供采矿专业本科生使用。本书是在该讲义的基础上精简改写而成。随着安全系统工程在矿山领域的广泛深入应用，矿山的安全管理水平将会不断提高，并纳入现代科学管理的行列，不安全的面貌将会得到扭转。

在编写本书过程，作者力求简明扼要，易读实用。但由于篇幅限制，加上编者水平有限，有错误和不足之处，敬请批评指正，不胜感谢。

中条山有色金属公司陈隐慧、大厂矿务局游象贤、德兴铜

矿汪关杰、黄沙坪铅锌矿刘松鹤等同志为本书提出了许多宝贵意见，作者在此表示衷心感谢。

编 者

1991年10月于长沙

目 录

1	矿山安全系统工程概论	(1)
1.1	矿山安全问题概述	(1)
1.2	矿山安全系统工程的基本内容	(5)
1.3	矿山安全系统工程的优点及应用现状	(7)
2	事故树分析法	(11)
2.1	概 述	(11)
2.2	事故树的符号及其意义	(13)
2.3	事故树的建造	(21)
2.4	事故树的定性分析	(30)
2.5	事故树的定量分析	(45)
2.6	事故树分析应用实例	(61)
3	其它常用的系统安全分析法	(73)
3.1	危险性预先分析法	(73)
3.2	故障类型和影响分析法	(82)
3.3	事件树分析法	(92)
3.4	因果分析法	(101)
3.5	如何选用分析方法	(114)
4	矿山安全评价与决策	(116)
4.1	定性安全评价	(117)

4.2	定量安全评价	(129)
4.3	安全决策	(133)
5	安全人机工程概论	(147)
5.1	概 述	(147)
5.2	人体的人机学参数	(153)
5.3	安全心理学	(159)
5.4	人机特性机能比较与人机系统设计	(170)
	参考文献	(175)

1 矿山安全系统工程概论

矿山安全系统工程是近年发展起来的新学科。它采用系统工程的方法，预先分析、评价矿山设计和生产过程中的各种不安全因素，采取措施防止重大灾害、人身伤亡事故和经济损失的发生。

1.1 矿山安全问题概述

众所周知，采矿工业是工业生产所需原材料和能源的基础工业，在实现四个现代化建设的进程中，占有极其重要的地位。

与其他工业部门相比较，矿山生产的安全问题历来就显得非常突出。因为在采矿生产过程中不仅会产生各种有毒有害气体、放射性物质、粉尘、废水、废渣、噪声、振动等公害，而且会发生水灾、火灾、爆炸、冒顶、边坡岩体滑移、排土场泥石流等灾害及设备事故。据统计，矿山企业发生的安全事故常常居各工业部门的首位。如果不重视安全生产、劳动保护和矿井环境的治理，就会使安全事故和职业病显著增加，严重威胁矿山职工的生命和生产安全，甚至使国家资源遭到破坏。

矿山生产的对象是矿产资源。特别是地下开采的矿山，由于矿床类型和性质不同，地质情况千差万别，开采技术条件千变万化，无一固定生产模式，随着井下客观条件的变化，在生

产过程中会不断出现新情况。因此，特殊的生产条件使采掘中的不安全因素增多，带来了矿山安全的特殊性，其主要表现为：

1. 工作面空间狭小。例如，地下巷道掘进时，既要进行凿岩、爆破、支护、装载、运输等作业，又要进行钉道、铺轨、通风、排水、供风、供电等辅助工作，此外，各种生产设备还要求一定的生产空间，许多管线要沿巷道通向各工作面，于是使井下有限的空间显得更狭小，给安全管理增加了更大的难度。

2. 工作面不断变化。在井下，随着采掘工作面的推进，作业场所在时间和空间上是经常发生变化的，因而工人、设备和各种管线也要随着工作面不断移动。这一特点同样潜伏着许多不安全因素。

3. 工作面环境差。矿井通往地表的出口较少，空间有限，生产中会产生有毒有害气体、粉尘、噪声、污水，井下没有阳光，阴暗潮湿，作业环境极差，这不但易发生事故，而且易导致职业病。

4. 矿井生产过程中产生的沼气、氢气、一氧化碳、硫化氢等气体和煤尘、硫化矿尘均具有爆炸性，也易引起火灾；炸药和爆破器材在使用、管理、运输中也易爆炸。

5. 在掘进和回采的过程中，岩石的完整性及原岩内的应力平衡关系被破坏，在强大的地压作用下，可能导致冒顶、片帮、底鼓、支架变形、甚至大面积塌落、地表移动以及煤和瓦斯喷出等一系列事故。

6. 在露天开采过程中，作业环境受气候条件影响极大。暴雨、冰冻可能导致边坡塌落、溜井垮斗、设备陷落或损坏、

土场泥石流等事故；炎热气候，作业人员容易中暑等。

由于生产条件复杂多变，作业环境差，空间小，人员集中，加之采矿科学技术发展水平和技术装备条件有限，使之难以预见和控制的不安全因素较多。这就要求我们必须坚持安全第一、预防为主的生产方针，加强安全管理和安全措施，积极采用现代化的管理知识和安全技术装备，力争控制和减少甚至避免事故的发生。

当前矿山安全生产和劳动保护管理水平与大幅度降低工伤事故、控制职业病的发展目标要求还不相适应。长期以来，虽然人们积累了丰富的安全工作经验，但缺乏把这些经验加以总结、提高到管理科学的高度，目前亟待用现代管理科学知识去补充、更新传统的安全管理工作方法。随着现代化科学的发展，出现了大量的边缘学科和交叉学科，这些新学科的应用能使传统的安全工作发生深刻的变化。例如，事故现象已不只是传统的登记、报告、统计、分析和处理事故管理对象，它还是数学、人类科学、系统科学、信息科学、管理工程学、安全工程学以及它们相毗邻的边缘学科安全管理学、安全心理学、系统安全学等的共同研究对象。又如事故致因的研究不应只是单纯就事论事地从某一特定工艺流程上研究；也不应只单纯追究操作者违章作业或管理人员违章指挥等问题，而应是从人机关系、人和环境的关系以及人和社会的关系等诸多关系中研究人流、物质流、信息流以及管理系统中的失控和失误机理，找出事故的本质原因，用系统科学的原理和系统分析的方法去预测事故、评价安全系统，以过去发生的事件为借鉴，把重点放在研究未来时间内可能发生的事件，并采取切实可行的组织管理上的、工程技术上的、人和物以及社会上的综合措施，真正

做到安全第一，预防为主。

传统安全工作方法主要有以下几方面的不足：

1. 安全管理与生产的经营管理脱节，没有象全面质量管理那样推行与现代生产管理同步发展的系统安全管理。

2. 侧重于追究人的操作责任，忽视创造本质安全的物质条件，把人身安全和设备安全的有机联系隔离开来，没有深入研究人和物在事故致因中的辨证关系。

3. 传统的安全管理实质上是被动事故管理，忽视了事故发生前每一工作环节所潜在的危险，工作重点没有从事事故追查处理转变到事前安全预测上。

4. 传统的安全管理侧重已经形成伤害结果或经济损失结果的事故分析，没有着眼于许多前级事件，如起源事件、过程事件、瞬时的情况变化等，这些前级事件从量变到质变才发展成为事故结果。

5. 传统的安全管理是静态管理，没有利用安全信息及时不断地调节、决策、执行、反馈、再决策、再执行、再反馈这种动态原理指导下的反馈原则。

6. 传统的安全管理凭经验和直感处理生产中的安全问题，缺乏由表及里的深入分析；定性的概念多，定量的概念少，不能给人以实质性的概念，没有肯定的管理目标值。

7. 传统的安全工作没有把安全生产和经济效益挂钩，缺乏安全经济学和危险损失率的研究，没有在技术评估中纳入安全评价。

1.2 矿山安全系统工程的基本内容

一、矿山安全系统工程的定义

矿山安全系统工程其大致定义是：采用系统工程的方法，认识、分析、评价矿山系统中的危险性，根据其结果调整设计、工艺、设备、操作、管理、生产周期和投资等因素，使系统可能发生的事故得到控制，并使系统的安全性和经济性达到最好的状态。

采用系统工程的方法来解决矿山的安全问题才能有效地防患于未然，其主要理由如下：

1. 使用系统工程的方法，可以识别出存在于矿山系统中各个要素本身、要素之间的危险性。我们知道，矿山的危险性存在于生产过程的各个环节，例如在采矿的凿岩、爆破、出矿、运输、提升等工艺中，这些危险性是产生事故的根源。安全工作的目的就是要识别、分析、控制和消除这些危险性，使之不发展成为事故。利用系统的可分割性，可以充分地、不遗漏地揭示存在于系统各要素中的危险性，然后对危险性加以消除，对不协调部分加以调整，消除事故的根源，使安全工作达到预防为主。

2. 使用系统工程的方法，可以了解系统各要素的相互关系，消除各要素由于相互依存、互相作用而产生的危险性。在系统中有时某些要素本身可能不具有危险性，但当进行有机的结合并构成系统时，便产生了危险性，这种情况往往发生在系统的交接面或相互作用处。例如，有氧化自燃性的矿床在未开采前并不会发生内因火灾，但经过破碎后与湿空气充分接触并

且环境隔热条件很好时，就有发生内因火灾的危险性。危险物的质量、能量贮积也是构成重大恶性事故的物质根源。例如：采用充填法，就可以有效地控制地压，防止大面积塌落的危险；炸药研磨时由吨位级改为公斤级，加工速度相应增大，这样做虽然并不减少处理事故，但能使事故的严重性大大降低。

3. 系统工程所采用的许多手段和方法都能用于解决安全问题。系统工程是一个交叉学科，它几乎使用了各种学科的知识，但其中最重要的有运筹学、数学、控制论等。系统工程所解决的问题，几乎都适用于解决安全问题。例如，使用决策论，在安全方面可以预测发生事故可能性的大小；利用排队论，可以减少能量贮积的危险；使用线性规划和动态规划，可以采取合理的防止事故的手段；使用数理统计、概率论、可靠性分析，则更可以广泛地用于预测风险、分析事故。因此可以说，使用系统工程方法可以使系统安全达到最佳状态。

二、矿山安全系统工程的基本内容

矿山安全系统工程主要包括下列三个方面的内容：

(一) 系统安全分析

系统安全分析在安全系统工程中占有十分重要的地位。为了充分认识系统中存在的危险性，就要对系统进行细致的分析，只有分析得准确，才能在安全评价中得到正确的结论。根据需要可以把分析进行到不同的程度，可以是初步的或详细的，定性的或定量的，每种深度都可以得出相应的答案，能满足不同项目、不同情况的要求。

当前已经发展的系统安全分析方法有数十种之多，每种系统安全分析方法都有其产生的历史和环境条件，所以并不能处

处通用。要完成一个准确的分析，就要综合使用各种分析方法，取长补短，有时还要相互比较，看看哪些方法和实际情况更相吻合。因此这就要求分析者熟悉各种分析方法的内容和长处，用起来才会得心应手。

(二) 安全评价

系统安全分析的目的是为了进行安全评价。通过分析了解系统中的潜在危险和薄弱环节所在，发生事故的的概率和可能的严重程度等，这些都是评价的依据。对于定性分析的结果，只能用作定性评价。

(三) 安全措施

安全系统工程的最后一项内容是采取安全措施，根据分析、评价的结果，采取切实可行的组织管理上的、工程技术上的以及社会上的综合或单一措施，对系统的人和物等进行调整，对薄弱环节加以修正，使系统处于安全状态。

安全系统工程的一般工作方法流程可用图 1-1 表示如下：

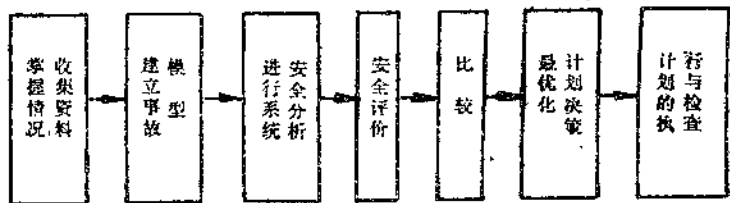


图1-1 安全系统工程的一般工作方法流程

1.3 矿山安全系统工程的优点及应用现状

一、安全系统工程的优点

从上节的分析可以看出，在传统安全工作的基础上，采用

安全系统工程的方法有很多优越性，它可以使预防为主的安全工作从过去凭直观、经验的传统方法，发展成为预测事故的定性和定量方法，其优点有：

1. 通过分析可以了解系统的薄弱环节和危险性及可能导致事故的条件。从定量分析可以预测事故发生的概率，从而可以采取相应的措施，控制事故的发生。不仅如此，通过分析还能够找到发生事故的真正原因，并查到未想到的原因。

2. 通过安全评价和优化技术，可以找出最适当的方法使各子系统之间和各元件之间达到最佳配合，用最少的投资达到最佳的安全效果，大幅度地减少事故的发生。

3. 安全系统工程的方法不仅适用于工程，而且适用于管理。其应用范围大致可归纳为五个方面，即：发现事故隐患；预测由故障引起的危险；设计和调整安全措施方案；实现最优化安全措施；不断地采取改善措施。

4. 可以促进各项安全标准的制订和有关可靠性数据的收集，如允许安全值、故障率数据以及安全设计标准、人机工程标准等。

5. 可以迅速提高劳动保护安全工作人员的水平。

当然，安全系统工程方法的最大优点是减少事故的发生。

二、我国矿山推广应用安全系统工程的现状

1982年，我国首次组织了安全系统工程讨论会，参加会议的人员主要来自研究单位、大专院校和大中型企业等方面。会上研究了在我国发展安全系统工程的方向，并组织分工进行事故分析方法的研究，同时开展了安全检查表的推广应用。1982年底，中国金属学会冶金安全学术委员会组织召开了冶金工业

重大伤亡事故分析学术讨论会，会上首次发表了一些应用安全系统分析方法分析冶金矿山安全事故的论文，并提出要把安全系统分析法推广使用到矿山的安全管理方面上。近十年来，我国矿山推广应用安全系统工程的主要经验及研究成果大致表现在下列几方面：

1. 安全检查表得到普遍应用。由于安全检查表能够事先编制，可集中有经验人员的智慧，经过慎密考虑，把问题提到点子上，编出的表有系统性，检查时以它为据，克服了盲目性。这种方法简单易行。

2. 事故树分析、事件树分析、危险性预先分析、故障类型和影响分析等事故分析方法得到一定程度的应用，并取得了减少事故的效果。一些矿山企业还针对有特殊危险性的岗位编制了形象化的鱼刺图、事件树图、事故树图、排列图、控制图、分布图等挂在操作岗位旁边，说明会造成危险的原因和途径，使工人看起来一目了然，帮助他们提高紧急处理事故的能力。

3. 安全管理学、安全心理学、管理心理学、劳动心理学、人机工程学等新学科正在一些矿山企业的安全工作中得到初步应用。

4. 一些研究单位和高校经常开办了矿山安全系统工程培训班，开设了矿山安全系统工程的专业课，这些工作对推广安全系统工程的应用也起到积极的作用。

5. 在理论研究上也有所发展，例如应用概率论、模糊数学、灰色系统理论等对安全系统进行评价。

6. 安全系统工程正在引起更多人的注意和得到不断深入的研究，例如对事故的致因理论、系统安全分析方法以及评价技术等内容都有人在积极研究。