

景国勋 著



矿井运输 人一机—环境系统 安全性分析

煤炭工业出版社

矿井运输人-机-环境 系统安全性分析

景国勋 著

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井运输人-机-环境系统安全性分析/景国勋编著.
北京:煤炭工业出版社, 1999, 8

ISBN7-5020-1774-7

I. 矿… II. 景… III. 井下运输-矿山安全 IV. TD7
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 29115 号

矿井运输人-机-环境系统安全性分析

景 国 勋 著

责任编辑:王 铁 根

煤炭工业出版社 出版发行

(北京朝阳区霞光里 8 号 100016)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

开本 $787 \times 1092 \text{mm}$ $\frac{1}{32}$ 印张 $4 \frac{5}{8}$

字数 125 千字 印数 1-355

1999 年 8 月第 1 版 1999 年 8 月第 1 次印刷

书号 4555 定价 7.80 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

内 容 摘 要

本书主要论述了涉及井下运输安全的人、机、环境因素及其综合分析四部分内容。人的因素分析包括：人 S-O-R 子系统特性及其灰色描述与状态空间表达、井下运输人与事故关系的动态灰关联分析、井下运输系统中人为差错模式、井下运输作业人员的可靠度计算及人为差错分析；机的因素分析主要包括：井下运输机械设备的故障类型、运输事故的 ETA 和 FTA 分析；环境因素分析主要包括：井下劳动环境的灰类白化函数、井下运输系统环境状况的灰色聚类分析；安全性综合分析主要包括：安全状况综合评判指标体系与评判模型、井下运输人-机-环境系统安全性灰色多层次综合评判。

本书是人-机-环境系统工程理论在安全科学研究领域的一次有益尝试，适合于采矿、安全等领域的教学、科研及生产人员阅读，同时也可作为研究生参考用书。

目 录

1	绪论	1
1.1	人-机-环境系统工程概述	1
1.2	国内外研究现状	6
1.3	煤矿井下人-机-环境系统的特点	9
1.4	井下运输安全——面临挑战的新课题	10
2	人子系统的特性及其描述	12
2.1	人S-O-R子系统	12
2.2	人的反应特性	13
2.3	人的行为模式及特性	16
2.4	人S-O-R系统的灰色传递函数	19
2.5	人S-O-R系统的状态空间表达	25
3	井下运输人与事故关系的动态关联分析	30
3.1	事故中人的因素	30
3.2	井下运输事故中人的因素	31
3.3	人与事故关系的动态灰关联分析	32
4	井下运输作业人员的可靠性及人为差错分析	47
4.1	概述	47
4.2	人的可靠性分析	47
4.3	人为差错的概念	54
4.4	井下运输系统中人为差错模式	57
4.5	人为差错原因分析及防止对策	59
5	井下运输事故机械故障的因素分析	66
5.1	概述	66
5.2	井下运输机械设备故障类型	67

5.3	井下运输事故的 ETA 分析	67
5.4	井下运输事故的 FTA 分析	75
6	井下运输系统环境状况的灰色聚类分析	95
6.1	概述	95
6.2	温、湿环境及其对人的影响	96
6.3	噪声及光照环境对人及事故的影响	98
6.4	灰色聚类分析方法	102
6.5	井下运输系统环境状况的灰色聚类	103
7	井下运输人-机-环境系统安全性灰色多层次 综合评判	121
7.1	安全性综合评判的目的及意义	121
7.2	安全综合评判方法	122
7.3	灰色多层次综合评判模型	123
7.4	井下运输人-机-环境系统安全性综合评判	127
	参考文献	140

1 绪 论

1.1 人-机-环境系统工程概述

1.1.1 人-机-环境系统

人-机-环境系统是由人、机和环境组成的一种复合系统。“人”，是指作为主体工作的人，包括个人和人群；“机”，是指人所控制的一切对象的总称，它大至飞机、轮船，小至个人装备、工具和机器部件；“环境”，是指人、机共处的特定条件，包括自然环境、人造环境和社会环境等。人-机-环境系统比其它一般系统更为庞大，是一个非常复杂的巨系统。这是因为每一要素实际上又都是一个较为复杂的系统。从整体上来讲，它所研究的基本问题是人、机、环境相互协调与适合的问题，实质上是使机械设备、环境如何适合于人的形态、生理、心理特性的问题，其根本目的是实现系统整体的“效益最大化”。

1.1.2 人-机-环境系统工程概念

随着现代科学技术的飞速发展，人体科学和工程技术的相互渗透，逐步形成了一门崭新的边缘学科——人-机-环境系统工程。人-机-环境系统工程是运用系统科学理论和系统工程方法，正确处理人、机、环境三大要素的关系，其研究对象为人-机-环境系统。通过揭示人、机（计算机或机器设备）、环境之间相互关系的规律，确保人-机-环境系统的总体性能最优。人-机-环境系统工程理论是在著名

科学家钱学森亲自倡导下，于 80 年代初在我国诞生的一门综合性科学。其特点是把人、机、环境看成一个系统的三大要素，并在深入研究人、机、环境各自性能的基础上，着重强调从全系统的总体出发，通过人、机、环境三者之间的信息流通、信息加工与信息控制，形成一个相互联系、相互作用、相互影响、相互制约的巨系统；要站在系统整体的高度上去正确处理人、机、环境这三个基本要素的关系，利用系统工程的原理与方法，从而使系统的整体效能达到“安全、高效、经济”的最佳状态。所谓“安全”，是指不出现人体的生理危害或伤害，并尽量减少事故发生；所谓“高效”，是指全系统具有最好的工作性能或最高的工作效率；所谓“经济”就是在满足系统技术要求的前提下，系统的建立要花钱最少，亦即保证系统的经济性。就其属性而言，人-机-环境系统工程属于软科学范畴，具有软科学的综合性、横断性与应用性等特点；同时人-机-环境系统工程是一门应用学科，其根本任务在于解决生产与生活中的现实问题。

1.1.3 人-机-环境系统工程与人机工程学的关系

1.1.3.1 人机工程学的概念

人机工程学 (Man - Machine Engineering) 是 20 世纪 40 年代后期跨越不同学科领域，应用多种学科的原理、方法和数据发展起来的一门新兴的边缘学科。由于它的学科内容的综合性、涉及范围的广泛性以及学科侧重点的不同，学科的命名具有多样化的特点。在欧洲该学科多称为人类工程学或工效学 (Ergonomics)，在美国称为人类因素学 (Human Factors) 或人类因素工程学 (Human Factors Engineering)，前苏联称为工程心理学，在日本称为人间工学。此外，还有一些国家称为人体工程学、人机工程学、人机控制学、机械设备

利用学、宜人学等等。目前,在我国人机工程学、人体工程学、工程心理学、工效学等多种名称并用,但其中使用较多的是人机工程学。

人机工程学目前尚无统一的定义,可以认为:人机工程学是以人的生理、心理特性为依据,运用系统工程的特点,分析研究人与机械、人与环境以及机械与环境之间的相互作用,为设计出操作简便、省力、安全舒适以及人-机-环境的配合达到最优状态的工程系统,提供理论和方法的科学。因此,可认为人机工程学是按照人的特性设计和改善人-机-环境系统的科学,从而达到安全、舒适、经济和高效。

1.1.3.2 人-机-环境系统工程理论与人机工程学的关系

人机工程学主要研究各种产品所遵循的工效标准、人和机器设备的合理分工及其相互适应的问题、人与被控对象的信息交换与加工、人在各种操作环境中的工作成效问题。也研究人对环境机制的生理和心理反应,确定合理调控环境的手段,为人创造安全、舒适的劳动与生活条件。但是它认为环境只是产生系统行为的诱因或外部条件,是外在于系统的存在,环境对系统的影响表现为输入,而系统对环境的影响则表现为输出,认为环境因素对人和机器以及整个系统只产生一定的约束与干扰作用。

除了研究人机工程学所研究的内容之外,人-机-环境系统工程与人机工程学最大的区别在于它对环境问题的研究有着不同的视角与思路。人-机-环境系统是从更高的层次把环境看作是系统本身的一大要素,并从系统的整体出发,在研究人、机和环境三大要素的各自特点的基础上,深入研究环境与人、环境与机、环境与系统之间的关联形式。认为它们之间不仅存在着信息流通与信息加工问题,而且还存在

着信息控制与处理问题；它还特别重视环境因素产生的机理，既重视研究物理环境因素的效应，也重视研究社会环境等非物理因素的影响；既重视整个大系统的“大环境”（例如航天、航空的动力学环境、各种特殊环境）的研究，也重视为适应人的生理要求而经过改造的、可以控制的“小环境”的研究。总之，它不再把环境问题看成是一种围绕系统的消极干扰因素，而是把环境问题看成是系统内在的主动积极因素。此外，人-机-环境系统在注重应用性、强调实践性以及在建立数学模型、进行系统评价等方面与人机工程学也有所区别。

因此，可以认为，人-机-环境系统工程缘于人机工程学，现代人机工程学的发展方向是人-机-环境系统工程；人机系统是人-机-环境系统的初级形态；而人-机-环境系统是从更高的层次、更广的视野、更大的范围和崭新的思路去认识和探索人-机-环境系统的理论发展与广泛应用。特别是根据其服务于生产实践的需要，要求任何人-机-环境系统都应满足“安全、高效、经济”等综合效能，这更显出了其独特的优越之处。

1.1.4 人-机-环境系统的安全性

1.1.4.1 “安全”的内涵

安全是贯穿整个人类活动的一项基本要求，其中保持自身、家庭和周围人们身体健康和幸福，又是安全工作最为重要的一环。按照美国人本主义心理学家 A.H. 马斯洛 (Maslow) 在 1943 年提出的“需要五层次论”，即：生理、安全、情感、尊重和事业成就，人的安全需要仅次于生理需要（衣、食、住、行），再往上才是社交需要、尊重需要和自我实现的需要。

“安全”一词国外有人把它定义为“如果一个事物所伴随的危险性被判定为可容许的，则该事物是安全的”。至于“安全生产”，《辞海》的解释是“为预防生产过程中发生人身、设备事故，形成良好劳动环境和工作秩序而采取的一系列措施和活动。”

随着以工业为主的各种产业的高速发展，发生事故的机率有增加的可能。就交通运输而言，据统计现在全世界每年交通事故死亡人数约为 25~30 万人，美国每年大约有 5 万人死于交通事故，经济损失约 800 亿美元。我国 1981 年至 1990 年的 10 年中，全国共发生交通事故 2,035,175 起，死亡 392,792 人（1988 年最高达 54,814 人），造成直接物质损失 30 亿元。至于特大事故在政治上的不良影响，更是难以统计。

早在 1901 年，美国钢铁业董事长 I.B. 凯利总结其事故频发的教训就提出了“安全第一、质量第二、产量第三”的经营方针。现代工业生产都确立了“安全第一”的指导思想，而且逐渐从传统的安全管理向以安全系统工程为中心的系统安全管理转变。系统安全概念是 1963 年美国空军系统司令部（U.S. Air Force Systems Command）正式提出的。在生产实践中，人们逐渐认识到传统的安全管理已不能适应现代化生产的需要，随之应运而生的便是安全系统工程。安全系统工程，是从系统理论的观点出发，应用工程学原理及有关科学知识来研究、鉴别、预测、消除或控制生产所存在的不安全因素和可能发生的事故，评价事故的危险性与危害性，并采取有效的预防措施，从而使系统在一定的投资、成本、效率等因素的约束下，使系统发生的事故减少到最低限度并达到系统的最佳安全状态。

1.1.4.2 人-机-环境系统的安全性

人-机-环境系统的安全性,就是建立在安全系统工程的基础上,着重研究人、机器设备和环境及其三者与系统整体的安全关系。许多事实表明,解决安全上的技术问题,决不能撇开人的特性于不顾,更不能不考虑人、机、环境与安全的关系。可以说,人-机-环境系统工程学是解决生产中安全问题的基础。特别突出的是人-机-环境系统的总体分析,强调把系统整体的安全性与高效性、经济性作为评价系统的基本目标,并且是把安全性放在这三大目标的首位,研究和探索不安全的因素和潜在的危險,并采取预防措施力争把事故消灭在萌芽状态。为了提高系统的安全性,则在方案决策阶段、研制生产阶段和实际使用三个阶段,确定人、机、环境的最佳状态,提高系统总体的安全性。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国外研究发展概况

第二次世界大战开始及战后的十几年里,由于战争的需要,军事工业得到了飞速的发展,武器装备变得空前庞大和复杂。此时完全依靠选拔和培训人员,已无法适应不断发展的新武器的性能要求,事故率大为增多。据统计,美国在第二次世界大战中发生的飞机事故,90%是由人为因素造成的。也正是在此时,工程技术才真正与生理学、心理学等人体科学结合起来。二次大战结束后,人机关系的研究成果开始应用于工业领域。在默雷尔(Murrell)的倡导下,英国成立了第一个人机工程学科研究组。在这一阶段,A.恰帕尼斯(A.Chapanis)等人出版了《应用实验心理学——工程设计中人的因素》一书,总结了第二次世界大战时期的研究成

果，系统地论述了人机工程的基本理论和方法。1954年伍德森发表了他的《设备设计中的人类工程学导论》，该书具有承上启下的意义。1957年，E.J. 麦克考米克（E.J. McCormick）出版了可称为人机工程学的权威著作《人类工程学》一书，该书相继被美国、欧洲、日本等国广泛采用。在这一阶段，德国、美国等先后成立了研究学会。德国的马克思-普朗克协会人类工程学研究所以、英国的劳勃路技术学院、美国的哈佛大学等都开展了不少人机工程学方面的研究工作。

进入60年代以后，科学技术的飞速发展以及一系列新学科的迅速崛起，不仅为人机工程学注入了新的研究理论、方法和手段，而且也为人机工程学提出了诸多新的研究课题，如核电站等重要系统的可靠性问题、宇航系统的安全问题等等，从而拓宽了人机工程学的研究领域和应用范围，促进了人机工程学的发展和进步。

1960年国际人机工程学会（IEA）成立，1975年成立了国际人机工程学标准化技术委员会（ISO/CT-159），至1986年共制定了8个标准草案或建议，发布了《工作系统设计的人类工效学原则》标准。英、德、美、俄等国都相继制订了本国的人机工程学国家标准。

综上所述，本世纪40年代以前，是人-机-环境系统工程的萌芽期；40年代至70年代，是准备期；80年代初，人-机-环境系统工程开始进入真正发展期。总之，人-机-环境系统工程的研究和应用已愈来愈受重视。

1.2.2 国内研究发展概况

我国从事人机工程方面的研究起步虽晚，但发展迅速。解放前仅有少数人从事工程心理学的研究，到60年代初，

也只有在中国科学院、中国军事科学院等少数单位从事本学科中个别问题的研究，而且其研究范围仅局限于国防和军事领域，直至 70 年代末才进入较快的发展时期。

1981 年，我国根据载人航天技术预先研究的实践，同时也对国外有关工效学、人体工程学和人机系统理论加以吸收、分析、研究，在著名科学家钱学森同志系统科学思想的亲自指导下，概括提出了人—机—环境系统工程的科学概念，标志着这门新兴科学的形成。

人—机—环境系统工程提出后，我国先后在军工及其它有关部门得到了应用和发展。国内学术刊物，如《自然杂志》和《国际航空》等也发表了本学科的有关论文。在有影响的报刊，如《解放军报》、《中国科技报》、《经济日报》和《国防科技要闻》上也有这门学科的内容简介和科技短文，人—机—环境系统工程已逐渐被广大科技界所熟悉。

1984 年 10 月，国防科工委成立了人—机—环境系统工程专业组，1989 年 4 月，北京航空航天大学成立了人—机—环境系统工程研究所，1993 年 10 月，中国系统工程学会人—机—环境工程专业委员会成立，并在北京召开了第一届全国人—机—环境系统工程学术会议。许多专家认为，我国今后的研究方向应主攻生命保障系统、劳动条件和人机安全性问题。而研究的重点因所属专业而异，就安全技术和环保单位而言，侧重于安全人机学的研究。

总之，人—机—环境系统工程理论的研究及应用不仅涉及航空航天、交通运输、煤炭，而且也涉及到兵器、电力和管理等行业和部门，并正在逐步深入到各领域且被人们所重视，这必将对国民经济的发展作出应有的贡献，真正体现出“安全、高效、经济”的目的，为生产力的提高提供科学依

据和实施途径。

1.3 煤矿井下人-机-环境系统的特点

对于煤矿而言，大至整个矿井小至一个工作地点，无不涉及人-机-环境系统，而且是一个复杂多变的人-机-环境系统。它具有一般系统的特点，但也有自己的特殊性，归纳起来主要有以下几点：

(1) 煤矿职工素质低。在人-机-环境系统中，人是最主要的，又是最脆弱的。由于矿工所从事的作业环境差、劳动强度大、工资水平又不太高，这就难以吸收和稳定文化、技术素质较高的工人安心在矿上长期工作，因而不得不招收大量的农民轮换工、合同工和临时工，这些工人的文化及素质都比较低，加上短期行为，给改善安全环境带来了更大的困难，从而导致安全工作的恶性循环。因此，煤矿职工素质低是企业本身所带来的，也是引起煤矿多发事故的重要因素之一。

(2) 矿井环境条件恶劣。随着开采过程不断进行，井下的工作环境也在不断改变和恶化。一是工作空间狭小、视觉环境差，矿尘与噪声污染严重，不少矿井还存在着温度高、湿度大的危害；二是煤矿上的一些恶性事故（如瓦斯爆炸、煤与瓦斯突出、火灾、煤尘爆炸等）也给矿工的精神上造成一种压抑感和恐惧感。另外对所处工作环境的危险因素不能引起积极反应，视而不见。所以，矿井环境条件恶劣以及多变的固有属性是引起煤矿事故多发的潜在危险因素。

(3) 煤矿机械化程度低。一般机械的可靠性高于人的可靠性，人受主客观因素的影响很大。而机械不会从事设计规定以外的运动，设计要求的故障率至少在1‰以下。所以，

用机械化、自动化代替手工操作是保证安全、防止误操作的根本途径。目前，我国煤矿的机械化、自动化程度还很低，就国有煤矿而言，其采掘机械化程度还达不到 70%，地方和乡镇煤矿就更差，绝大部分工序还是靠笨重的手工操作，加上其它物质条件的不安全性，形成了事故多发的又一潜在因素。

1.4 井下运输安全——面临挑战的新课题

随着矿井运输不断向深度和广度上发展，与之相伴而生的安全问题也显得十分突出。众所周知，由于井下生产条件复杂、作业环境恶劣以及工人文化素质低等原因，导致事故不断发生，给国家财产带来了巨大的损失，同时也造成了人身伤亡事故，给家庭和社会带来了不幸。根据煤炭部统计，矿井运输事故是煤矿三大频发事故之一。另外，从对一些局（矿）的调查中也并不难发现，运输事故占有相当大的比例。如：山东省兖州矿业（集团）公司东滩矿是我国煤矿对外的一个窗口，但其井下运输事故也多达 55% 左右。平顶山煤业（集团）公司一矿是一个拥有一万多名职工、1997 年计划创利润 1.68 亿元的现代化矿井，通过对该矿 1960 ~ 1996 年的事故统计中看出，在死亡事故中，运输约占 27%，仅次于顶板事故。在致伤事故中，运输占 44%，居各类事故之首。根据徐州某矿 11 年间发生工伤事故的统计，运输事故占 21.5%，仅次于顶板事故。大屯矿区有 1/4 以上的事故发生在运输环节。兖州矿区 11 年来运输环节死亡事故列第二位，占 30.48%，重伤事故列第一位，占 32.13%。近几年来，我国统配煤矿伤亡事故中，运输系统占 20% ~ 30%，仅次于顶板居第二位。究其原因无外乎人 - 机 - 环境系统失

调以及管理上存在的缺陷而造成。从人的方面来说，大部分是由于人的不安全行为引起的，如由于安全教育不够、缺乏对危险性的认识，从而进行违章作业，引起了事故的发生。从机的方面来看，主要是由于环节多、机械本身可靠性低以及安全装置失效等造成故障。对于环境而言，井下环境条件差也进一步促使事故的发生。总之，在这样一个系统中，只要存在着人的失误、机械故障以及环境方面的不良影响，势必会导致运输事故的不断发生，而且也给整个系统的安全性带来不可估量的影响。