



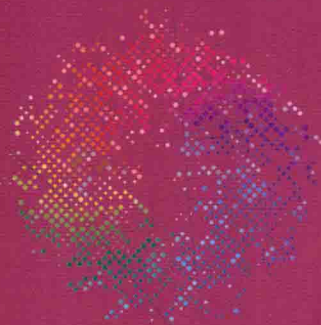
“十三五”国家重点出版物出版规划项目

SAFETY SCIENCE AND
ENGINEERING

新创理论安全模型

NEWLY INVENTED THEORETICAL MODELS APPLIED TO SAFETY AND SECURITY

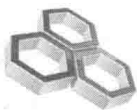
◎ 吴超
黄浪
王秉 著



非
外
借



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



“十三五”国家重点出版物出版规划项目
国家自然科学基金重点项目资助（项目编号：51534008）

SAFETY SCIENCE AND
ENGINEERING

新创理论安全模型

Newly Invented Theoretical Models
Applied to Safety and Security

◎ 吴超 黄浪 王秉 著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书共8章, 主要内容包括: 理论安全模型之建模理论、系统安全新模型、安全信息认知与传播新模型、安全大数据新模型、事故致因新模型、行为安全管理新模型、城市群公共安全资源共享新模型、安全文化新模型。本书中介绍的数十个理论安全模型均为近年作者的新创。

本书主要作为高等院校安全科学与工程类及相关专业的研究生教材, 可作为“安全原理”等课程的教学参考书, 也可供从事安全科学研究的专业人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

新创理论安全模型 / 吴超, 黄浪, 王秉著. —北京: 机械工业出版社, 2018. 12

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978-7-111-61394-7

I. ①新… II. ①吴… ②黄… ③王… III. ①安全工程—工程模型
IV. ①X93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 261011 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 冷彬 责任编辑: 冷彬 刘静

责任校对: 刘雅娜 封面设计: 张静

责任印制: 孙炜

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2018 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 18.75 印张 · 522 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-61394-7

定价: 79.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com



前言

模型有很多种类，如数学模型、物理模型、结构模型、仿真模型等，而模型方法已成为人们认识世界、改造世界，使研究形式化、量化、科学化的一种主要思考工具和研究手段。真正有价值的科学模型可以揭示一个学科的本质，展示一个学科的核心，并由它可以演绎和拓展成为一个学科体系，具有普适性和科学性。

科学模型可分为两类：一类是物质形式的，另一类是理论形式的。前者即实物模型，它成为人们观察、实验的直接对象，比较好懂；后者属于思维形式，它是客体的一种抽象化、理想化、理论化的形态，具体表现为抽象概念、逻辑模型和数学模型等，成为人们进行理论分析、推导和计算的对象。

同样，在安全科学领域，安全模型的种类也很多，可分为实体安全模型和理论安全模型。本书只关注理论安全模型。理论安全模型通常可以表达涉及安全的机理、机制、模式等，比如通过逻辑推导得到表示某一行为过程或生产过程各有关因素之间的关系。

理论安全模型是从理论出发、运用逻辑或数学等方法来表达的安全因素的关系，从科学原理层面来理解，理论安全模型应属于安全科学原理的内容。对于安全科学这类大交叉综合学科，如果按安全科学原理的发源领域分类，在研究安全科学原理过程中，部分安全科学原理是以安全的目的从系统中提炼和归纳出来的，这里称之为自安全科学原理 (Self Safety Science Principle)；部分安全科学原理是以安全的目的从与安全交叉的学科中提炼和归纳出来的，这里称之为他安全科学原理 (Other Safety Science Principle)。根据上述分类，理论安全模型属于前者，而且也可以说是安全科学原理的核心内容，因为它是源于安全科学自身的研究而诞生的。

安全科学属于典型的交叉综合学科和复杂性科学，无论从哪个视角划分的研究对象都具有复杂性特点，并最终回归到系统问题。对于一个难于直接着手研究的复杂客体，怎样着手研究，能不能顺利地进行研究，其关键常常在于能否针对所要研究的科学问题构建出一个合适的科学模型。

虽然安全科学与工程在我国已经成为一级学科，但学界还是存在对安全科学的科学性的质疑，缺乏富有安全科学特色的理论模型是其重要的原因之一。只有上升到理论模型构建层面，并且真正建立起属于自己的、富有安全科学特色的理论模型，安全科学才真正上升到科学层次，才能立足于科学之林。因此，能否建模和是否有成熟的安全科学理论模型，是衡量安全科学的科学性的重要标志。综合上述分析，开展理论安全建模基础性问题研究，具有重要的理论价值。

迄今，从检索得到的安全科学领域的理论安全模型有数百个之多，但由于安全系统的

复杂性和多样性，现有的理论安全模型远远不能满足实际的需要，而且由于社会技术系统的不断演变和发展，新的复杂系统和新问题不断涌现，因此，理论安全模型不仅需要不断更新，而且需要与时俱进，甚至超前开展研究和构建新的理论安全模型。正是洞察到这一发展需求，本课题组近几年积极地投入到理论安全模型的创建研究中，并取得了丰硕的研究成果。

首先，从科学学的高度，对理论安全模型的建模思想进行了探索，构建了科学层面的安全概念、系统思维的理论安全建模范式、理论安全模型的建模方法论，预测了理论安全模型的建模发展趋势。在此基础上，从系统安全、安全信息认知与传播、安全大数据、事故致因、行为安全管理、城市群公共安全资源共享、安全文化等方面，构建了广义安全模型、系统安全韧性的理论模型、复杂系统安全信息不对称模型、基于安全信息处理与事件链的系统安全行为模型、安全信息认知通用模型、SI-SB 系统安全模型、安全教育信息传播模型、个体安全信息力概念模型、复杂安全系统降维理论模型、安全大数据共享模型、公共安全大数据资源共享模型、安全生产大数据的 5W2H 模型、信息流事故致因理论模型、多级安全信息不对称事故致因模型、重大事故的复杂链式演化模型、能量流系统致灾与防灾模型、风险感知偏差机理概念模型、工伤保险赔偿与心理创伤关联模型、行为安全管理元模型、个人不安全行为分类及其责任认定模型、人的双重安全态度理论模型、风险感知行为安全模型、城市群公共安全物资共享体系模型、城市群公共安全信息共享体系模型、城市群公共安全检验检测能力共享体系模型、安全文化系列新模型等数十个新的理论安全模型。

在上述研究成果的基础上，考虑到迄今国内还没有一部理论安全模型著作问世，作者觉得有必要将其汇总成一部新的专著，使之及时得到推广应用并填补安全科学领域的一个空白。由于本书没有编入过去已有的理论安全模型，故起名为《新创理论安全模型》。

本书除了采用吴超、黄浪和王秉三人撰写的 20 多篇相关论文外，还采纳了欧阳秋梅、杨冕、李思贤、黄玺、谢优贤、高开欣、贾楠、方胜明、张书莉、尹敏、涂思羽等多名已毕业或在读的研究生与第一作者合作发表的 10 多篇论文，欧阳秋梅协助了本书第 4 章的撰写，杨冕协助了本书第 2.3 节和第 2.5 节的撰写，在此一并表示衷心感谢。本书内容的研究和出版得到了国家自然科学基金重点项目（项目编号：51534008）的资助，在此也特别表示感谢。

由于作者学术水平有限，文中难免有疏漏和不妥之处，恳请大家批评指正。

著者

目 录

前 言	
第 1 章 理论安全模型之建模理论	1
1.1 科学层面的安全概念及其系列推论模型	1
1.2 系统思维的理论安全建模思想与范式	6
1.3 理论安全模型的构建方法论	13
1.4 事故致因建模的方法及其发展趋势	19
1.5 大数据视阈下的系统安全理论建模范式	24
本章参考文献	32
第 2 章 系统安全新模型	34
2.1 广义安全模型	34
2.2 系统安全韧性的理论模型	40
2.3 复杂系统安全信息不对称模型	46
2.4 基于安全信息处理与事件链的系统安全行为模型	51
2.5 系统安全的混沌模型	60
本章参考文献	64
第 3 章 安全信息认知与传播新模型	65
3.1 安全信息认知通用模型	65
3.2 复杂系统安全信息认知模型	72
3.3 安全信息行为元模型	80
3.4 SI-SB 系统安全模型	88
3.5 安全教育信息传播模型	99
3.6 个体安全信息力概念模型	106
本章参考文献	111
第 4 章 安全大数据新模型	112
4.1 复杂安全系统数据场及其降维理论模型	112
4.2 安全大数据共享模型	117
4.3 公共安全大数据资源共享模型	122
4.4 安全生产大数据的 5W2H 模型	127

本章参考文献	132
第 5 章 事故致因新模型	133
5.1 信息流事故致因理论模型	133
5.2 FDA 事故致因模型	147
5.3 多级安全信息不对称事故致因模型	157
5.4 重大事故的复杂链式演化模型	161
5.5 能量流系统致灾与防灾模型	166
5.6 风险感知偏差机理概念模型	171
5.7 工伤保险赔偿与心理创伤关联模型	176
本章参考文献	182
第 6 章 行为安全管理新模型	183
6.1 行为安全管理元模型	183
6.2 个人不安全行为分类及其责任认定模型	192
6.3 人的双重安全态度理论模型	198
6.4 风险感知行为安全模型	204
6.5 安全行为管理“五位一体”模型	209
本章参考文献	215
第 7 章 城市群公共安全资源共享新模型	216
7.1 城市群公共安全物资共享体系模型	216
7.2 城市群公共安全信息共享体系模型	221
7.3 城市群公共安全检验检测能力共享体系模型	228
7.4 突发事件下城市群应急医疗床位共享模型	234
本章参考文献	243
第 8 章 安全文化新模型	244
8.1 安全文化的特点、功能与类型模型	244
8.2 安全文化关联模型	250
8.3 安全文化建设原理模型	257
8.4 安全文化宣教机理模型	262
8.5 安全文化认同机理模型	269
8.6 安全文化落地机理模型	275
8.7 情感性安全文化的作用机理模型	281
8.8 “互联网+”背景下的安全文化建设模型	288
本章参考文献	293
后记：意犹未尽	294

1

第 1 章

理论安全模型之建模理论

1 科学层面的安全概念及其系列推论模型

【本节提要】

为给出科学层面的安全定义，在全面考察并分析现有安全定义的基础上，以重点突出人是安全概念的本质与核心为导向，基于安全科学学高度和刘潜提出的安全定义，给出科学层面的安全定义是：“安全是指一定时空内理性人的身心免受外界危害的状态。”基于此，分析新的安全定义的内涵与外延，并运用严谨的逻辑工具，推导出其他安全科学基础概念的定义。

定义是对一种事物的本质特征或一个概念的内涵和外延确切而简要的说明。一个学科具有科学性的元定义可揭示学科的本质，彰显学科的核心，并能演绎出该学科的体系，意义十分重大。但定义在不同学科中的重要性并非一样，定义的唯一性越高，其重要性越强。安全学科属于大交叉综合学科，安全科学研究者可基于不同视角阐释同一定义，导致学科定义的唯一性不高，统一定义的难度极大，即使是“安全”的定义，学界至今仍未明确和统一，且争议颇多。鉴于安全科学的理论研究源于对“安全”一词的定义，若此元概念都不确切或是不一致，即可视为安全科学无根基，安全科学理论更是无法统一。因此，继续探讨并给出科学层面的安全元定义极为重要。

本节内容主要选自本书作者发表的研究论文《科学层面的安全定义及其内涵、外延与推论》^[1]。

1.1.1 现有安全定义评述

千百年来，国内外研究者对“安全”下了较多定义，对其梳理，可以概括出两个层面：

(1) 社会层面的安全定义。古代历史上虽然已有诸多涉及安全概念，但均不属于科学层面的安全定义的范畴。发展到近代，20世纪70年代以前，社会安全概念主要与国家相联，而威胁的形式则来自于军事、政治、环境等方面，安全研究涵盖社会安全、经济安全、政治安全、军事安

全和环境安全等，贯穿全球安全、国家安全、民族安全和个体安全等。此类定义有利于拓宽安全理论的视角，但它以安全所涉及的宏领域为主要关注对象，难以深入安全概念的本质与核心。

(2) 生活和生产层面的安全定义。古代历史上涉及生活安全的概念很多，但都不是作为定义使用的。直到近代工业革命以来，国际上在生产作业等领域中提出的安全定义才慢慢增多。半个多世纪以来，我国安全科技工作者在参考国际上有关安全定义的基础上，也给出了不少安全定义。概括起来，我国安全工程领域的学者对安全概念的理解主要有五种类型：一是认为安全就是没有危险的客观状态，主要依据是《现代汉语词典》（第7版）对“安全”的解释，即“没有危险；平安”；二是认为安全是将系统的损害控制在人类可接受水平的状态，即免除了不可接受的损害风险的状态；三是认为安全是一种没有引起死亡、伤害、职业病或财产、设备的损坏或环境破坏的条件；四是认为安全是具有特定功能或属性的事物免遭非期望损害的现象；五是认为安全是人们能够接受的最低风险。其中，第二种类型得到较多的认同。以上定义或从反面定义安全，或借助其他概念表述安全，易于理解，在学科的理论传播中发挥了重要作用，遗憾的是，这些定义均未指明安全科学以人为本的实质。

无论是从社会层面还是生活和生产安全层面提出的安全定义，它们共同的缺点是看不出安全概念的核心是人，内容缺少心理安全或心理伤害的比重，体现不出科学性和普适性，因此这些定义无法演绎出更多的外延乃至整个安全学科体系。如果坚持以人为本的核心理念，则物质安全必然处于人的安全之下。我国安全界的前辈之一刘潜给出的安全定义比较具有科学性和普适性。刘潜将安全定义为：“安全是人的身心免受外界因素危害的存在状态（或称健康状况）及其保障条件。”^[2]该定义特征显著，有别于其他定义，更重要的是该定义能够表达安全的内涵并有可能演绎出安全的外延及安全学科的体系。刘潜本人对该定义曾做过多次改动，但还需要对该定义做进一步完善，如该定义对人和时空都未限定，一句话中还用了括号加以说明，“存在状态”已包含了其“保障条件”；另外对“安全”一词下定义之后，并没有做更系统的深入诠释。

1.1.2 安全新定义的内涵

基于上述分析，把刘潜的定义修改为：“安全是指一定时空内理性人的身心免受外界危害的状态（Safety is an existence condition that rational person's body and mind are not harmed by external factors in a certain time and space）。”新定义的内涵包括：

(1) 新的安全定义对时间和空间进行了限定。不同时期、不同地区、不同国家对安全状态的认同度有很大的不同，没有时空的限定谈安全将会产生混乱。在新的安全定义中加入“一定时空”表明安全是随时空的迁移而变化的。

(2) 新的安全定义强调安全以人为本。定义中用理性人是为了表达安全是以绝大多数正常人为本，如果安全是以极少数非正常人为本，那就失去了安全的大众意义。由此也可以推断，个别非正常人和正常人在非理性状态时，均不属于安全定义中所指的理性人。另外，定义中没有将物质与人并列是基于物质是在人之下的东西，也就是说任何有形和无形的物质均是在人的安全之下的。

(3) 新的安全定义指出人受到的危害一定是来自外界，把安全与人自身的生老病死区别开来。人自身的生老病死不是安全科学的课题，而是医学和生命科学等学科的课题，这一点也把安全科学与医学和生命科学区别开来。若一个人完全没有受到外界危害而自认为很不安全，则这类人属于非正常人（例如精神病人）。

(4) 新的安全定义指出人受到外界因素的危害可分为三类：一是身体受到伤害，对身体的伤害一般与人的距离较近，而且是较短时间的，身体的伤害痊愈后，还可能留下心理创伤；二是心理受到伤害，对心理的伤害可以与人的距离很远，而且可能是长期连续的伤害；三是两种危害的

同时作用与交互作用。由此推断,仅仅注意到人的身体危害是不科学的,心理危害有时更加突出。

(5) 有价值物质的损失必然是人不希望看到的现象,物质损失对人的危害可归属为对人心理和生理的伤害。因此,新的安全定义间接反映了物质损失的危害情况。有价值的非物质文化遗产损失和精神摧残等同样是对人的一种伤害,理应归属于对人心理的伤害,在新的安全定义中也可以表达出来。

(6) “外界”是指人-物-环、社会、制度、文化、生物、自然灾害、恐怖活动等各种有形无形的事物,因此新的安全定义可以涵盖大安全的问题;同时也表达了人的安全一定是与外界因素联系在一起,不能孤立地谈安全。由此可以推断,安全实际上一定存在于一个系统之中,讨论安全需要以系统为背景,需要具有系统观。

(7) “人的身心免受外界危害”自然包括了职业健康或职业卫生问题,即新的安全定义包含了职业健康或职业卫生,不需要像其他安全定义一样对职业健康或职业卫生做专门注解。

(8) 由新的安全定义可看出,安全科学的研究对象是关于保障人的身心免受外界危害的基本规律及其应用。

1.1.3 安全新定义的外延

(1) 新的安全定义可指明“降低外界因素对人的危害程度”的三条主要途径:①从免受外界因素对“身”的危害出发防控外界的不利因素,这类因素主要是物因所致,包括自然物和人造物,其控制主要靠与安全有关的自然科学技术;②从免受外界因素对“心”的不利影响出发防控外界的不利因素,若仅是人的因素,则更多依靠与安全相关的社会科学来解决;③上述两类问题的复合和交互作用,这类因素更加复杂,包括人的因素和物的因素及二者的复合作用,需依靠与安全有关的自然科学和社会科学的综合作用才能解决。上述三条防控途径又可进一步用于建立安全模型,并构建安全学科体系。

(2) 外界对“身”的危害往往有时空限制,只要脱离特定的时空范围就可避开。从免受外界因素对“身”的危害出发,需研究构筑各类安全保障的条件,包括自然和人为灾害的防范,确保系统内人的安全;同时也需对人进行安全教育,使人自身有安全意识、知识和技能等,能够辨识外界危险因素或有效应对各种伤害。

(3) 外界对“心”的危害是没有时空限制的,可随时随地长时间影响或伤害个体或群体。若从避免外界因素对“心”的伤害出发,这需涉及政治稳定、社会和谐、文化繁荣、气候宜人、防灾减灾和保险机制健全、个人物质财产无损等宏观层面的问题,同时也涉及人自身安全观念、安全心理和安全文化素养等内容。

(4) 外界对人的危害更多情况是对“身”和“心”同时造成伤害或交互造成伤害。上述(2)和(3)中所阐述的保障“身”与“心”免受伤害的所有内容应当同时进行,由此看出,安全学科无疑是涉及广泛的综合学科。

(5) 如果用一个数值来表达系统在某一时空的安全状态,那么这个数值一定是个平均值,是大多数理性人所感知的安全数值的平均值。既然是平均值,那么每一个具体的理性人认为安全的数值一定与平均值有偏差,但偏差必须限定在允许的范围内,此时系统的安全标准趋于一致。

(6) 理论而言,若某个体认为的安全数值与平均值有较大偏差,就可将此个体归属为非正常人,由此也可照此原则辨识过于小心谨慎的人或过于放纵冒险的人,可对人群进行分类和界定。若系统中部分个体认为的安全数值远远超出平均安全数值,则此系统的安全标准很难趋于一致。

(7) 系统中存在过于小心谨慎的人或是过于放纵冒险的人,对系统的经济可靠运行都是不利的。这类人越多,系统就越不安全可靠,或者说系统越危险。为保障系统安全可靠,可将这类偏

离安全允许数值的个体（或构成的群体）作为安全管理的重点对象。具体解决办法有：①把这类人剔出系统，使系统内人群的安全标准趋于一致，这是简单可靠的方法，但由于安全人性决定了正常人在不同时空里也会变成非正常人甚至变成恐怖分子，因此这种方法实际上是一种理想化且不太可行的方法；②纠正这类人的安全认知偏差，这需用到多种方式方法，实施过程比较困难。

(8) 按照新的安全定义，借助逻辑工具，可构建安全模型，进而构建安全学科体系，形成安全学科的研究方向，促进安全专业学科的建设和开展安全科学研究，也可指导具体系统的安全管理等工作。

1.1.4 安全新定义的推论

(1) 根据新的安全定义及相关定义，可以推论出一系列安全科学的基础定义及其逻辑表达，见表 1-1。

表 1-1 由新的安全定义推论而来的安全科学基础定义及其逻辑表达

编号	概念	定义	逻辑表达
1	危害 L	危害是指一定时空内理性人的身心受到外界损害的状态	$L = f(x_1, x_2)$ x_1 ——人身伤亡； x_2 ——心理创伤
2	安全 S	安全是指一定时空内理性人的身心免受外界危害的状态	$S = \{x x \in L, L \leq 0\}$ x 包括 x_1 和 x_2
3	危险 D_1	危险是指一定时空内理性人的身心可能受到外界危害的状态	$D_1 = kL, 0 < k < 1$ k ——危害的程度
4	风险 R	风险是指一定时空内理性人的身心受到外界危害的可能性 P_L 及其严重度 C_L	$R = P_L C_L$
5	事故 A	事故是指一定时空内理性人的身心已经受到外界危害的结果	$x \in A \mapsto \forall x: L(x)$
6	隐患 D_2	隐患是可能造成一定时空内理性人身心危害的外界因素	$D_2 = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, L \not\subseteq D_1$
7	危险源 H	危险源是确定能够造成一定时空内理性人身心危害的外界因素	$x \in H \mapsto \forall x: D_1(x)$
8	重大危险源 BH	重大危险源是在特定时空里存在着确定的可以使人的身心受到重大危害的外界因素	$x \in BH \mapsto \forall x: D_1(x), R > k_0$ k_0 ——临界值

按以上例子类推，还可以推论出更多的安全学科新定义或新概念，由表 1-1 可以看出，新的安全定义威力很大，便于用其描述安全科学中其他的定义，而且具有逻辑性，可以运用逻辑工具进行表达。

(2) 根据新的安全定义，可以对安全学科中各分支学科的概念进行定义，例如，“安全教育学”是以保障一定时空内理性人的身心免受外界危害为目标的教育学。通用的定义表达为“安全 X 是以保障一定时空内理性人的身心免受外界危害为目标的 X ”，其中 X 的取值如下：

$$X = \begin{bmatrix} \text{技术} & \text{科学} & \text{人性} & \text{人性学} & \text{法规} & \dots & \text{法学} \\ \text{工程} & \text{系统学} & \text{心理} & \text{心理学} & \text{管理} & \dots & \text{管理学} \\ \text{观念} & \text{哲学} & \text{行为} & \text{行为学} & \text{经济} & \dots & \text{经济学} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \text{伦理} & \text{伦理学} & \text{教育} & \text{教育学} & \text{文化} & \dots & \text{文化学} \end{bmatrix} \quad (1-1)$$

(3) 根据新的安全定义，可以推论出各行业安全术语的定义，例如，“农业安全”是指人们在

从事农业活动时，其身心免受外界危害的状态。通用的定义表达为“Y安全是指人们在从事Y活动时，其身心免受外界危害的状态”，需补充说明的是“Y活动的工艺技术装备安全应主要归属于Y技术”，例如，农业活动的工艺技术装备安全应主要归属于农业技术，商业活动的金融安全应主要归属于金融财务。其中Y的取值如下：

$$Y = \begin{bmatrix} \text{职业} & \text{生产} & \text{工业} & \text{化工} & \text{矿业} & \dots & \text{冶金} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \text{建筑} & \text{农业} & \text{交通} & \text{商业} & \text{信息} & \dots & \text{互联网} \end{bmatrix} \quad (1-2)$$

(4) 根据新的安全定义，可以推论出各类行业安全科学术语的定义，例如，“农业安全科学”是在农业活动中保障人的身心免受外界危害的基本规律及其构成的知识体系。通用的定义表达为“Z安全科学是在Z活动中保障人的身心免受外界危害的基本规律及其构成的知识体系”，其中Z的取值如下：

$$Z = [\text{职业} \text{ 生产} \text{ 工业} \text{ 农业} \text{ 商业} \text{ 交通} \text{ 信息} \text{ 网络} \dots] \quad (1-3)$$

(5) 根据新的安全定义，还可以推论出安全科学原理的内涵。原理是自然科学和社会科学中具有普遍意义的基本规律，是在大量观察、实践的基础上，经过归纳、概括而得出的结论，既能指导实践，又必须接受实践的检验。因此，安全科学原理是使人的身心免受外界危害的具有普遍意义的基本规律。第一，研究

“人的身心免受危害”所总结出的普遍性规律可称为安全生命科学原理；第二，外界因素主要包括自然因素、技术因素和社会因素（将自然因素和技术因素分开是由于考虑到“天然”和“人工”的差异性），因此研究避免外界因素的危害所总结出的普遍性规律可分别称为安全自然科学原理、安全技术科学原理及安全社会科学原理；第三，人的身心免受外界因素的危害构成了涉及上述生命、自然、技术、社会四个因素的系统，从系统角度研究保障人的身心免受外界危害所得到的普遍性规律称为安全系统科学原理。综上，安全科学原理包括了安全生命科学原理、安全自然科学原理、安全技术科学原理、安全社会科学原理和安全系统科学原理。

若将以上推论绘制成树状逻辑图的形式，可以更直观地感受到新的安全定义的强大演绎力量，如图 1-1 所示。

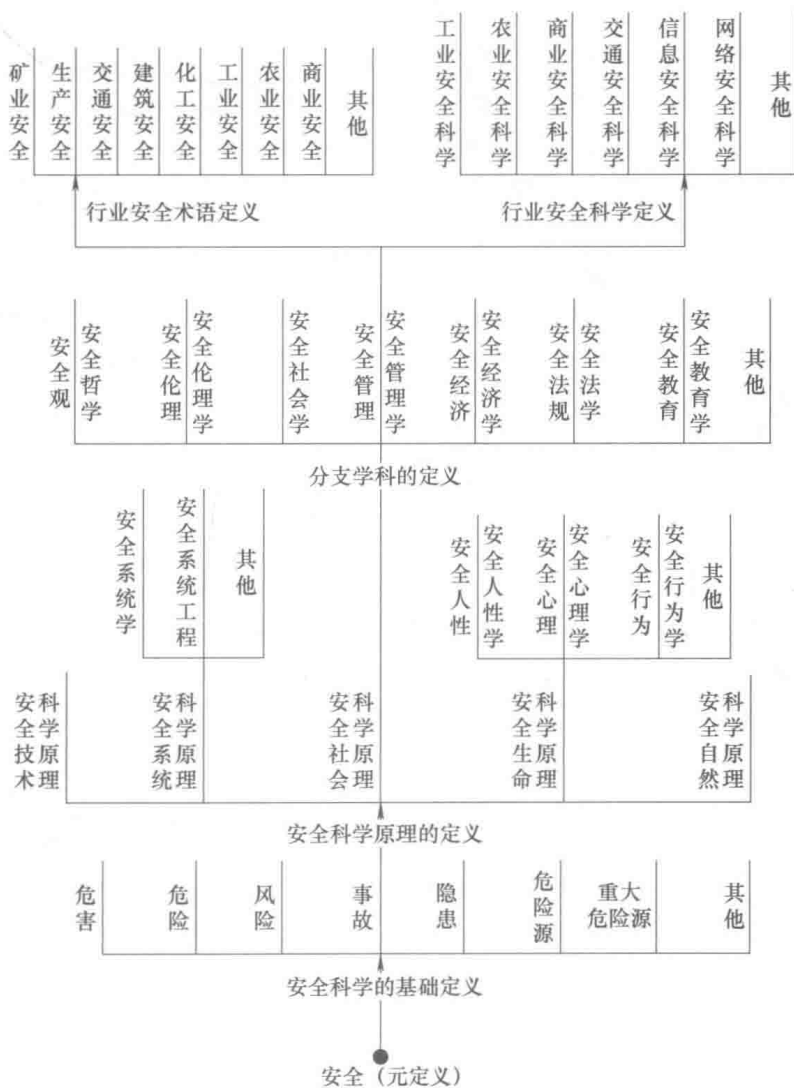


图 1-1 基于新的安全定义（元定义）演绎出来的安全科学概念群系统

1.1.5 结论

(1) 安全是一定时空内理性人的身心免受外界危害的状态。物质安全是处于人的安全之下的,物质损失实际上对人造成心理和生理伤害。新的安全定义更加突出了人是安全概念的本质与核心,具有科学性和普适性,其内涵和外延十分丰富,可以衍生出许多重要的安全科学基本定义或概念,具有重大意义。

(2) 新的安全定义与现有其他安全定义的重要区别和最大优势是:借助数理逻辑工具,可以从新的安全定义推理演绎整个安全科学的概念群,从而构建出安全科学的学科体系,为开展安全学科建设提供指导,这是现有其他安全定义所不能实现的。

1.2 系统思维的理论安全建模思想与范式

【本节提要】

为完善理论安全模型构建的方法学体系,进行基于系统思维的安全科学理论建模思想与范式研究。首先,采用归纳法,提炼与总结已有的理论安全模型常见的构建思路和分类。其次,采用思辨的方法,论证基于系统思维构建理论安全模型的必要性与可行性,并论述基于整体性与目的性等七个系统属性的理论安全建模思想。最后,分析基于系统思想的理论安全建模范式,并构建理论安全建模方法论三维结构体系。

模型方法是人们认识世界、改造世界一种主要的思考工具和研究手段。同样,在安全科学领域,安全模型也是安全科学理论研究与实践的基础。安全模型的种类很多,如果将安全模型分为实体安全模型和理论安全模型,那么这里只关注理论安全模型。理论安全模型通常可以表达涉及安全的机理、机制、模式等,比如通过逻辑推导得到表示某一行为过程或生产过程各有关因素之间的关系。

安全科学属于典型的交叉综合学科,无论是从哪个视角划分的研究对象(如安全说、事故说、风险说等),都具有复杂性特点,并最终都回归到系统问题。对于一个难于直接着手研究的复杂客体,怎样着手研究,能不能顺利地进行研究,其关键常常就在于能不能针对所要研究的科学问题构建出一个合适的科学模型。此外,安全科学也属于复杂性科学。根据模型方法对复杂性科学的重要作用可知,安全科学研究无论采用还原论路径还是整体论路径,都不能停留在隐喻的层面上,否则就难以成为符合科学规范的科学大家庭的成员。虽然安全科学与工程在我国已经成为一级学科,但学界还是存在对安全科学科学性的质疑,一个重要的原因就是缺乏富有安全科学特色的理论模型。只有上升到理论模型建构层面,并且真正建立起属于自己的、富有安全科学特色的理论模型,安全科学才能真正上升到科学层次,才能立足于科学之林。总之,能否建模和有没有成熟的安全科学理论模型,是衡量安全科学的科学性的重要标志。

综合上述分析,开展理论安全建模基础性问题研究,具有重要的理论价值。由于理论安全模型通常会涉及多个因素,即由多个因素有机组成,因此理论安全模型都可以说是表达了一个系统。换言之,理论安全模型具有系统属性,可从系统思维层面探析理论安全建模的方法学问题。系统思维把认识对象作为系统,是从系统和要素、要素和要素、系统和环境的相互联系、相互作用中综合地考察安全现象的一种安全思维方法,强调整体观。因此,从安全科学学的高度,从研究视

角,在梳理现有理论安全模型常见构建思路和分类的基础上,分析基于系统思维的理论安全建模思想与范式,并进行实践分析,以期从更高、更系统的层面为理论安全建模奠定方法学基础。

1.2.1 已有理论安全模型常见的建模思路梳理

文献[3]综述了120多种道路安全模型。实际上世界现有的理论安全模型数不胜数。不同的学者根据不同的研究领域、不同的研究目的,基于自身的安全知识结构和安全理论体系的理解,在构建安全模型时通常会有不同的建模思路。最典型的思路有:①从事故出发,以系统事故预防为主线的逆向构建路径,构建安全界人士很熟悉的事故致因模型;②从未形成事故的风险或隐患出发,并以系统风险控制为主线的中间构建路径,构建风险管理模型;③从本原安全开始,并以系统安全为主线的正向构建路径,构建人机环管等组成的系统安全综合模型;④单点致因的“点形”构建路径、线性致因的“线形”构建路径、交叉性致因的“面形”构建路径和系统性致因的“体形”构建路径;等等。已有理论安全模型建模思路分类及实例见表1-2。

表1-2 已有理论安全建模思路分类及实例

序号	建模思路分类标准	分类实例
1	基于模型性质	概念安全模型、框图安全模型、逻辑安全模型、符号安全模型、数学安全模型,等等
2	基于模型的学科层次	上游(哲学层面的学科基础理论)安全模型、中游(学科层面的应用基础)安全模型、下游(应用层面)安全模型,等等
3	基于模型的通用性	普适性理论安全模型、一般性理论安全模型、有限性理论安全模型,等等
4	基于模型的科学性	理论的安全模型、经验的安全模型、半理论半经验的安全模型,等等
5	基于模型的应用领域	按具体应用范围分:作业单元、车间、工厂、某工程等;按行业分:矿业、冶金、土木、交通等;等等
6	基于模型的量化程度	定性分析理论安全模型、定量分析理论安全模型、半定性定量理论安全模型,等等
7	基于模型的静动状态	静态理论安全模型、动态理论安全模型、突变的理论安全模型,等等
8	基于模型的连接形式	串联理论安全模型、并联理论安全模型、复杂连接理论安全模型,等等
9	基于模型的线性非线性	线性理论安全模型、非线性理论安全模型、高阶的理论安全模型,等等
10	基于模型的维度	一维理论安全模型、二维理论安全模型、三维理论安全模型、四维理论安全模型、多维理论安全模型,等等
11	基于模型的知识领域	自然科学的理论安全模型、社会科学的理论安全模型、技术科学的理论安全模型、生命科学的理论安全模型、系统科学的理论安全模型,等等
12	基于模型的要素	人的理论安全模型、机的理论安全模型、环的理论安全模型、管的理论安全模型、复合的理论安全模型,等等
13	基于模型的尺度	微观的理论安全模型、中观的理论安全模型、宏观的理论安全模型,等等
14	基于模型的形状	多米诺骨牌安全模型、奶酪安全模型、蝴蝶安全模型、链安全模型、网安全模型、屏障安全模型,等等
15	基于模型的时间	过去式的理论安全模型、现在式的理论安全模型、将来式的理论安全模型,等等
16	基于模型的能动性	主动的理论安全模型、被动的理论安全模型,等等
17	基于模型的可视化程度	显性的理论安全模型、隐性的理论安全模型,等等
18	基于人的行为	个人行为理论安全模型、群体行为理论安全模型、内隐行为安全模型、外显行为安全模型,等等
19	基于组织行为	宏观组织行为安全模型、中观组织行为安全模型、微观组织行为安全模型,等等
...

需指出的是,表1-2所归纳的现有建模思路本质上也体现了系统思维,例如,“基于模型性

质”的建模思路，其概念、框图、逻辑、符号、数学等模型类型的划分就是自成体系的，而且这些建模思路也取得了非常有价值的应用效果。但是这些建模思路并没有把系统思维提高到应有的高度，也没有相关的系统梳理和论述。因此，即将提出的基于系统思维的理论安全建模思想与现有的建模思路并不冲突，而且可以用于指导各种理论安全模型的建模思维方式，并与之互相补充和配合。现有的建模思路可为基于系统思维的建模思路提供实践经验，基于系统思维的建模思路可丰富和完善现有的建模思路。

1.2.2 基于系统思维的理论安全建模思想

1. 基于系统思维构建理论安全模型的必要性与可行性论证

从以下三方面充分论证基于系统思维构建理论安全模型的必要性与可行性：

(1) 从系统思维构建理论安全模型在安全科学理论研究中的关键作用来看，理论安全模型是安全科学理论体系的基石。安全系统科学原理是安全科学原理和系统安全原理的核心，而安全系统思维是安全科学原理的核心思想，安全系统科学是安全科学学科的主体。此外，系统思维也是交叉学科研究的方法论基础。由此推知，系统思维在安全科学理论研究中具有科学核心作用，进一步推知，理论安全模型也必须体现系统思想。

(2) 从构建理论安全模型需解决和需面对的实际安全现象来看（此处用“安全现象”代替常用的“安全问题”，因为安全现象还包括了积极的一面，而安全问题只是反映现实中消极的一面），安全现象总是发生于特定时空的系统，而任何一种安全现象背后都隐藏着千丝万缕的复杂关联，并且随着社会-技术系统复杂性和耦合性的提高，所要研究的系统安全现象的时空属性和综合属性也快速提高，更需要用系统思维去解决和面对系统安全现象。

(3) 从理论安全模型自身属性来看，由于理论安全模型通常会涉及多个因素，即由多个因素组成，因此理论安全模型都可以说是表达了一个系统。换言之，理论安全模型具有系统属性。既然理论安全模型是一个系统，则建立的每个理论安全模型都要考虑或都具有系统的这些属性，如整体性、目的性、相关性（包含反馈性、有序性）、动态性、涌现性（包含创新性、预见性）、实践性、开放性等，反过来，理论安全模型也可以根据系统的特性来创建。

更重要的是，上述系统属性分析也为基于系统思维的理论安全建模提供了具体的、可操作的实施路径。因此，可将基于系统思维的理论安全建模思想归纳为：系统整体性思想、目的性思想、相关性思想、动态性思想、实践性思想、人因思想和涌现性思想。而开放性是客观存在的，任何子系统安全都没有绝对的边界，也不是完全孤立存在的。

2. 基于系统思维的理论安全建模“七思想”

(1) 由系统整体性思想创建理论安全模型。要创建一个表达系统整体性的理论安全模型，首先需要对系统做一个普适性的分析。从辩证唯物主义观点来看，客观世界的事物都是普遍联系的。能够反映和概括客观事故普遍联系这个实际和本质特征最基本和最重要的概念就是系统。所谓系统是指由一些相互联系、相互作用、相互影响的组成部分构成并具有某些功能的整体。这样定义的系统在客观世界是普遍存在的。客观世界包括自然、社会和人本身。

从人本出发，现代社会系统的构成可归为三类要素：①人（人以外的动物当作物质）；②自然，即自然界基本要素：物质、能量、信息；③社会，即由人缔造的各类有形和无形的人造系统及其社会关系。具体解析如下：①人是任何系统的直接或间接设计或操控者，也是任何系统的直接或间接的受益者或受害者，因此，在理论安全模型的创建中，人因是不可遗漏的主体要素。②由于自然界组成的系统中最基本的要素是物质、能量和信息，因此，整体性的理论安全模型离不开上述三要素。③马克思说，人的本质是一切社会关系的总和。人类所处的整个社会系统中各

种复杂的行为和关系都是由人类所为的,这些复杂行为和关系主要有组织行为、经济行为、文化行为、教育行为等。还要指出的是,信息既是自然界的组成要素,又是人、自然界和人造世界及各种社会关系的表征,具有普遍关联性。

(2) 由系统目的性思想创建理论安全模型。创建任何理论安全模型都需要有目的性,这也体现系统的属性。理论安全模型的目的性可以有很多种分类方式,如:①按照模型应用的目的分,如事故致因模型、安全管理模型、安全分析模型、安全评价模型、安全预测模型、安全决策模型、安全促进模型等;②按照应用的场合分,如各种工种的安全模型、各种生产工艺过程的安全模型、各种行业的安全模型;③按照应用时态分,如解决过去时问题(事故统计等)的安全模型、解决当下问题(现在需要的)的安全模型、解决未来问题(安全预测等)的安全模型;等等。

(3) 由系统相关性思想创建理论安全模型。理论安全模型中的各要素都是相互关联的,这类关联从逻辑关系上可以分为数理逻辑、顺序逻辑、推理逻辑等。

1) 数理逻辑,如力学、集合论、模型论、证明论、递归论等。

2) 顺序逻辑,如由一般到特殊、由特殊到一般,由抽象到具体、由具体到抽象,由主要到次要、由次要到主要,由现象到本质、由本质到现象,由原因到结果、由结果到原因,由概念到应用、由应用到概念,由理论到实践、由实践到理论,由直接到间接、由间接到直接,由大到小、由小到大(空间逻辑),由里到外、由外到内(层次逻辑),由低梯度到高梯度、由高梯度到低梯度(梯度逻辑),正向到逆向等。

3) 推理逻辑,如演绎、归纳、类比、相似等,还有线性推理、条件推理等。

此外,按照理论安全模型中各要素的关联形式可以分为:一维关联、二维关联、三维关联、高维关联;流的关联、场的关联、立体的关联、复杂关联等。

(4) 由系统动态性思想创建理论安全模型。根据系统演化论,系统层级结构与相应功能在时间和空间中是不断涌现与演化的,系统状态(或性质)在时空中生灭、平衡、稳定、运动、传递、相变、转化、适应、进化、分化与组合、自组织与选择性随机演化等规律决定系统安全是动态的。因此,可根据系统的动态属性构建理论安全模型,进而体现理论安全模型动态特征,具体形式有:①时间序列形式,如作业分析、时间分析、动作分析、过程分析、流动分析、链式反应、多米诺骨牌效应等;②加速度形式,如运动加减速、旋转加减速等;③由失控、损失、破坏等表达动态性;④由变化、恶化、好转、反馈等表达动态性。

(5) 由系统实践性思想创建理论安全模型。根据系统实践论,人类任何具体实践活动都属于系统问题,因而离不开系统实践思想的指导。因此,理论安全模型需要反映实际并用于实践。反过来根据大量实践经验也可以建立理论安全模型。例如,根据大量事故统计规律建立理论安全模型(如海因里希(H. W. Heinrich)提出的冰山模型),根据大量安全典范特征规律建立理论安全模型,根据经验类比建立理论安全模型,等等。

(6) 由系统人因思想创建理论安全模型。人可以是系统安全失效的受害者,更可以是系统安全的设计者。因此,可根据系统人因思想,以人因特性为切入点创建理论安全模型:

1) 人的感觉器官具有同认识直接联系的高度检测能力,没有固定的标准值且易产生飘移,具有味觉、嗅觉和触觉等。

2) 人的操作器官,特别是手具有非常多的自由度,并且各自由度能够极其巧妙地协调控制,可做多种运动。来自视觉、听觉、变位和重量的感觉等高级信息被完美地反射到操作器官的控制,从而使人进行高级的运动。

3) 人的认识、思维和判断具有发现、归纳特征的本领,人具有认识、联想和发明创造等高级思维活动,具有丰富的记忆、高度的经验,通过教育、训练能够适应处理多方面问题。

4) 人必须适当地休息、休养、保健和娱乐, 难以长时间地维持一定的紧张程度, 不宜做缺乏刺激及无用的单调作业。

5) 在突然紧急状态下, 人完全不能应付的可能性很大。例如, 作业因意欲、责任心、体质或精神上的健康情况等心理或生理条件而变化; 易于出现意外的差错; 不仅在个性上有差别, 而且在经验上也不相同, 并且能影响他人; 若时间富裕、精力充沛, 则处理预想之外的事情也就多。

6) 和人之之间的联络容易, 人与人之间关系的管理很重要。

7) 人相当于一台轻小型的机器; 人必须饮食, 必须进行教育和训练, 对于安全必须采取万无一失的处置; 除了工资之外, 必须考虑福利、卫生和家属等。

8) 意外时可能失去生命。

9) 人具有独特的欲望, 希望被人重视; 必须生活在社会之中, 不然由于孤独感、疏远感就会影响工作能力; 个体之间差别大; 人需要尊严和有人道主义。

(7) 由系统涌现性思想创建理论安全模型。系统思想中最简单和基本的思想是系统的结构与环境共同决定系统的功能。当然, 系统功能反过来也会影响其结构和环境, 它们往往是相互影响的双向关系。系统环境包括自然环境与社会环境, 系统结构包括物理结构与信息结构, 不同时空尺度和层次结构一般对应不同的模式和功能。系统功能一般不能还原为其不同组分自身功能的简单相加, 故称之为涌现 (Emergence), 它一般是在时间与空间中演化的。进一步, 在给定环境条件下, 系统的结构可以唯一决定功能, 但反之则不然。换言之, 涌现性可以使新建立的系统出现类似“ $1+1>2$ ”和“ $1+1<2$ ”的现象。对于安全系统也是如此, 人们希望新设计的安全系统的可靠性比系统中单一要素发挥的作用更大或寿命更长。综合系统的多种特征建模, 可以使创建的新的理论安全模型所表达的机制和原理更具科学性与新颖性, 并附带出更多的额外和想不到的功能及创新效应或预见性。

综合上述分析, 基于系统思维的理论安全建模思想及其实例归纳见表 1-3。

表 1-3 基于系统思维的理论安全建模思想及其实例

理论安全模型的建模思想	侧重系统整体性的建模思想 (I)	侧重系统建模目的性的建模思想 (G)	侧重系统相关性的建模思想 (C)	侧重系统动态性的建模思想 (D)	侧重系统实践性建模思想 (P)	侧重系统人因的建模思想 (H)	侧重系统涌现性的建模思想 (E)
模型体现系统特征	体现整体性	体现目的性	体现相关性	体现动态性	体现实践性	体现人本特性	体现涌现性
模型内涵举例说明	人、物质、能量、信息、安全行为、安全经济、安全文化、安全教育、...	事故致因、安全管理、安全分析、安全评价、安全决策、安全预测、...	数理逻辑、顺序逻辑、推理逻辑、三段逻辑等、流、场、空间、高维、...	时间序列、加速度、失控、损失、变化、反馈、...	事故统计、安全典范、经验类比、...	无意失误、有意破坏、生理伤害、心理伤害、财产损失、人员损失、...	正涌现性、负涌现性、零涌现性、...
模型表达例子	标准化体系模型、ISO 系列标准、...	目标管理模型、人因事故模型、...	FTA 模型、故障模式及影响分析 (FMEA) 模型、...	多米诺骨牌模型、流变-突变 (R-M) 模型、...	海因里希模型、瑞士奶酪模型、...	人失误原因分类模型、认知可靠性和失误分析模型、...	氛围效应模型、基于系统理论的事故致因与流程模型、...