

安全科学学术地图系列丛书

Academic Map of Safety & Security Science  
(Questions-Methods Volume)

# 安全科学学术地图

## (问题-方法卷)

李杰 冯长根 甘强 李生才 著

卷一



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

科学研究问题与方法是安全科学研究的有机组成部分,安全问题与方法的系统挖掘与分析,对认识安全科学知识系统的发展、演化有重要价值。本书选取国内外重要的安全科技文献数据,采用科学计量学与知识图谱的方法,系统呈现安全科学研究中的热点问题、热点方法及其关联,并分别选择安全文化和层次分析法作为典型的安全问题和安全方法进行了深入的剖析。本书可以作为安全科学与工程领域学者或高年级学生整体认识安全领域知识格局的研究参考书,亦可作为相关的科研管理和决策部门的参考资料。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

安全科学学术地图. 问题-方法卷/李杰等著. --

北京:北京理工大学出版社,2022.11

ISBN 978-7-5763-1848-7

I. ①安… II. ①李… III. ①安全科学-研究 IV.

①X9

中国版本图书馆CIP数据核字(2022)第218890号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68944723 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 雅迪云印(天津)科技有限公司

开 本 / 710毫米×1000毫米 1/16

印 张 / 8.5

字 数 / 122千字

版 次 / 2022年11月第1版 2022年11月第1次印刷

定 价 / 86.00元

责任编辑 / 王玲玲

文案编辑 / 王玲玲

责任校对 / 刘亚男

责任印制 / 李志强

---

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

## 顾问委员会

柴建设	生态环境部核与辐射安全中心
陈安	中国科学院科技战略咨询研究院
陈伟炯	上海海事大学
程卫民	山东科技大学
樊运晓	中国地质大学（北京）
傅贵	中国矿业大学（北京）
高伟	大连理工大学
郭晓宏	首都经济贸易大学
胡双启	中北大学
贾进章	辽宁工程技术大学
姜传胜	中国安全生产科学研究院
蒋军成	南京工业大学
景国勋	安阳工学院
李开伟	中国台湾中华大学
李乃文	辽宁工程技术大学
李树刚	西安科技大学
李思成	中国人民警察大学
廖光煊	中国科学技术大学
刘潜	原中国职业安全健康协会
刘铁民	中国安全生产科学研究院
潘勇	南京工业大学
潘旭海	南京工业大学
钱新明	北京理工大学
申世飞	清华大学
宋守信	北京交通大学
宋英华	武汉理工大学

田水承	西安科技大学
汪 箭	中国科学技术大学
王 成	北京理工大学
王志荣	南京工业大学
吴 超	中南大学
吴登生	中国科学院科技战略咨询研究院
吴仁彪	中国民航大学
吴宗之	国家卫生健康委员会职业健康司
张和平	中国科学技术大学
张来斌	中国石油大学（北京）
赵云胜	中国地质大学（武汉）
周福宝	中国安全生产科学研究院
周西华	辽宁工程技术大学
周允基	香港理工大学
朱 伟	北京科学技术研究院
邹树梁	南华大学
Ahmed Mebarki	法国巴黎东大学
Aleksandar Jovanovic	塞尔维亚诺维萨德大学
Andrew Hale	荷兰代尔夫特理工大学
Genserik Reniers	荷兰代尔夫特理工大学
Georgios Boustras	欧洲塞浦路斯大学
Goerlandt Floris	加拿大戴尔豪斯大学
Hans Pasman	美国德州农工大学
Liu Yiliu	挪威科技大学
Ludo Waltman	荷兰莱顿大学
Nees Jan van Eck	荷兰莱顿大学
Paul Swuste	荷兰代尔夫特理工大学
Pieter van Gelder	荷兰代尔夫特理工大学
Valerio Cozzani	意大利博洛尼亚大学

## 支持单位

北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室  
荷兰代尔夫特理工大学安全科学研究所  
《安全与环境学报》编辑部

## 基金资助

本研究得到了国家自然科学基金（51904185，51874042）的支持。



# 前 言

怡悦我，激发我的，是去思考新的问题，提出新的看法，过去如此，现在依然如此。

——罗伯特·诺齐克《苏格拉底的困惑》

安德烈亚斯·瓦格纳（奥地利）所著的 *Life Finds a Way: What Evolution Teach us About Creativity*<sup>①</sup>中有这样一句话：“在进化过程中，每一个生物种群都在孜孜不倦地寻找它们所面临问题的解决方法，鲨鱼探索的是如何在狩猎时节省体力，细菌追求的是如何摆脱抗生素的追杀……”整个生命系统就是在这种模式下进行的演化。与其他生物相比，我们人类在整个发展历程中，或许对所解决问题和方法的总结要更加系统和成体系。为了更好地解决生存生活中的各类问题，人类创造了宗教、教育、科学研究以及工业制造等。其中，科学研究承担对已有棘手问题和未来潜在问题的研究功能，已经成为人类活动体系中的重要组成部分，与人类的可持续发展息息相关。

在所有学科门类中，作为人类创造的典型综合学科之一，安全科学与人类的生存和发展息息相关。从安全学科的使命来看，其科学问题具有很强的现实意义。安全问题是人类当前或未来所面临的，影响人类生存和发展的，局部的或全局性的问题合集。截至目前，安全科学的发展

<sup>①</sup> 国内将其翻译为《如何解决复杂问题》，由胡正飞译，浙江教育出版社出版。

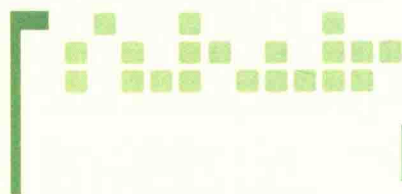
已经有 40 余年的历史，在长期的安全问题解决中，已经积累了大量的安全方法，对其发展过程中的问题与方法的研究成为认识过去一段时期安全发展的重要渠道。从科学历史发展的角度来看，安全科学中的科学问题和解决方法是一个传承和演化发展的过程，正如牛顿所说：“如果说我看得远一些，那是因为我站在巨人的肩膀上。”随着时代的发展，虽然安全的基本使命没有发生变化，但安全问题却是随着时代的发展而变化的，人类为了生存和发展，方法也在随着问题的变化而发展变化。为了更好地发展安全科学事业，认识安全科学发展的本质规律，探究安全问题与方法的特征就显得十分必要。

课题组于 2016 年首次着手和申请关于安全问题与方法的研究课题，并在 2020 年获得了资助，使得有机会对安全问题与方法进行系统挖掘和分析。本研究通过科学计量学的理论与方法，以 *Safety Science*、《中国安全科学学报》以及安全领域硕博论文为基础数据源，从文献关键词中提取和分析了表征安全研究问题和方法的主题词，并对“问题网络”和“方法网络”进行了分析，全面展示了安全问题与方法的整体特征。

在此，我们要特别感谢安全领域的学者和专家对项目提出的有价值的意见和建议，感谢国家自然科学基金项目（51904185，51874042）在研究开展过程中提供的资金支持。

著 者

2022 年 7 月



# 目 录

第 1 章 引言 .....	1
1.1 背景与意义 .....	1
1.2 理论与方法 .....	4
1.3 数据的分布 .....	6
1.4 章节安排 .....	7
第 2 章 英文期刊论文的问题与方法分析 .....	9
2.1 概述 .....	9
2.2 主题全貌 .....	9
2.3 热点问题 .....	21
2.4 热点方法 .....	24
2.5 本章小结 .....	29
第 3 章 中文期刊论文的问题与方法分析 .....	31
3.1 概述 .....	31
3.2 主题全貌 .....	31
3.3 热点问题 .....	37
3.4 热点方法 .....	39
3.5 本章小结 .....	44
第 4 章 安全学位论文的问题与方法分析 .....	47
4.1 概述 .....	47

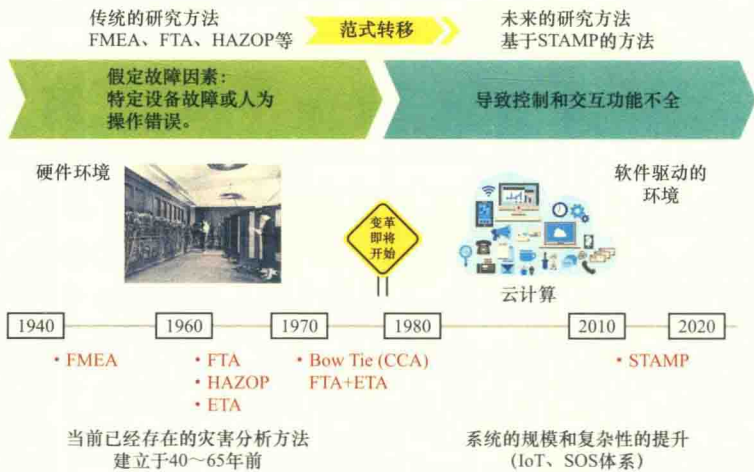


4.2	博士论文主题研究	48
4.3	硕士论文主题研究	57
4.4	本章小结	66
<b>第5章</b>	<b>典型研究问题:安全文化的科学研究态势</b>	<b>69</b>
5.1	概述	69
5.2	数据方法	69
5.3	研究结果	70
5.3.1	地理分布	70
5.3.2	领域与期刊分布	74
5.3.3	核心主题	79
5.3.4	知识基础	83
5.4	本章小结	86
<b>第6章</b>	<b>典型应用方法:安全科学中AHP的应用态势</b>	<b>89</b>
6.1	概述	89
6.2	数据方法	90
6.3	研究结果	92
6.3.1	地理分布	92
6.3.2	核心主体	94
6.3.3	核心主题	96
6.3.4	知识基础	101
6.4	本章小结	103
<b>第7章</b>	<b>结语</b>	<b>105</b>
<b>附录</b>		<b>109</b>
附录1	安全科学高频研究关键词	109
附录2	安全科学高频研究方法	113
附录2.1	英文安全科学研究文献中的方法关键词	113
附录2.2	中文安全科学研究中的方法关键词	116
<b>参考文献</b>		<b>119</b>

## 1.1 背景与意义

科学问题是科学向前发展的阻力，同时，解决这些问题的方法成为推动科学领域发展的动力。解决科学问题是科学研究的首要任务，也是促进人类共同发展的重要组成部分。从安全发展历史的角度来看，时代不同，安全问题也各有差异。不同时代，人类为了解决面临的安全问题，相应的解决安全问题的方法也会因需求而产生。例如，图 1.1 所示通过硬件驱动和软件驱动的场景，将安全问题划分为两大阶段，并列出了各个阶段中典型的安全分析方法。安全问题与安全方法就是一对孪生姐妹，二者是相辅相成的。当某一类安全问题出现时，则相应的安全方法就会孕育而生。当安全方法不能适应不断变化的安全问题时，安全方法也会因为实际的需要而更新和发展。由安全问题与安全方法发展所形成的安全科学特征是客观存在的，安全研究问题和安全研究方法的挖掘与分析，对认识安全科学发展的本质有重要的现实意义。

如上所述，在安全科学领域，对安全问题和方法的分析研究有重要的实际价值。当然，对安全科学问题与方法的研究并不是一个新的话题。自安全科学诞生以来，科学共同体所从事的所有科学活动，都是围绕安全科学的问题与方法展开的。人类早期的生产工艺比较简单，事故的发展呈现出简单线性的特征。在当时的背景下，产生了包含海因里希



(Heinrich) 多米诺骨牌事故模型<sup>[1]</sup>、博特 (Frank E. Bird) 的损失模型<sup>[2]</sup> 以及北川彻三等基于简单线性模式的事故解决方法。随着时代的发展以及新能源和新的生产方式的出现, 事故在新的时代呈现出了新的特征和规律。也就是说, 随着时代的变迁, 安全问题发生了变化, 简单线性事故模型的局限性也逐渐显露了出来<sup>[3]</sup>。为了解决新的安全问题, 复杂线性事故模型应运而生。在该时代产生的代表性模型有: 1961 年吉布森 (J. J. Gibson) 提出的“能量-损失”模型 (Energy-Damage Models)<sup>[4]</sup>、1991 年维纳 (Viner) 提出的事故时间序列模型 (Time Sequence Model) 以及瑞森提出的“瑞士奶酪”模型 (Swiss Cheese Model)<sup>[5,6]</sup>。在当前社会, 事故产生的原因呈现出了更加复杂和多样的趋势。为了顺应安全发展, 满足新环境下事故分析的需求, 美国科学院院士、美国麻省理工学院莱文森 (Leveson) 教授从系统工程视角开发了新的复杂非线性事故分析模型 STAMP<sup>[7-9]</sup>, 从系统工程的角度阐释了事故的分析模式。随着时代的发展, 以事故/损失等为核心的安全方法显然存在一定的问题。主要表现在: 安全科学应该以“事故”为核心还是以“安全”为核心? 不同的回答所得到的对安全问题和安全方法的认识就会存在显著的差异。在此背景下, 来自南丹麦大学的荣誉教授 Erik Hollnagel 开发了 FRAM (功能共

① 不同时代的安全方法的演化, 信息来源: [https://www.ipa.go.jp/english/sec/complex\\_systems/stamp.html](https://www.ipa.go.jp/english/sec/complex_systems/stamp.html)。

振事故模型)<sup>[10-12]</sup>,提出了 Safety II 理论,并在安全领域丰富和推广了“韧性工程”的理念与方法,使得安全问题的研究开始回到“安全”自身,安全的方法也开始由“负面”的事故研究转向了“负面+正面”研究相结合的时代。

以往的研究通常是对具体的安全问题或安全方法的深入研究,在整个学科的角度上缺乏系统性和完整性。从目前已经掌握的文献来看,对安全问题与安全方法论述最为详细的当属 S. Dekker<sup>[13]</sup>在 2019 年出版的著作 *Foundations of Safety Science* (《安全科学基础》)。该著作从历史演进的维度详细地阐述了不同历史时期安全研究的问题以及不同学派所提出的解决方案,组成了安全问题与安全方法的完整画卷。此外,我国的学者也在安全问题与安全方法中进行了系统的研究。来自中南大学的吴超教授在《安全科学方法学》的基础上,于 2016 年出版了《安全科学方法论》。论著通过对以往安全科学研究方法的归纳、整合以及提炼,将安全科学方法总结为三大部分,分别为整体性安全科学方法论(系统篇)、分支性安全科学方法论(分支篇)以及专门性安全科学方法论(切入篇)<sup>[14,15]</sup>。过去十余年,我国安全科学的分支学科——公共安全科学在国内发展迅速。在此背景下,来自清华大学公共安全研究院的范维澄院士团队系统性分析了公共安全科学的特征,在公共安全三角形模型的基础上,提出了公共安全的“4+1”方法学,为科学解决公共安全提供了科学依据<sup>[16,17]</sup>。以往的这些模型为解决安全科学的具体问题提供了通用性的思路和分析方法,有效地推动了当前安全科学的发展。在通用安全科学或公共安全科学方法的研究基础上,李杰于 2016 年首次提出了通过科技论文中的“问题-方法”知识元来探索安全科学问题与方法的规律与特征,以研究安全科学的发展动力学问题,并在后续的研究中进行了实践研究。2018 年,李杰等<sup>[18]</sup>在对 5 756 篇安全硕博论文分析的基础上,提取并绘制了我国安全博士论文的方法地图(图 1.2),将安全博士论文采用的方法总结为 3 个主要方面,分别为安全模拟仿真(Safety modeling and simulation)、安全预测(Safety prediction)、安全评价与决策(Safety evaluation and decision)。研究的同时发现,在安全科学博士论文的研究中,采用的事故分析方法主要是“他学科”的方法,原



创性的事故模型构建很少。这种依据科技文本挖掘的安全方法的结果，不仅在客观上呈现了过去一定时期安全方法的集合，而且对于安全中的问题解答有一定的启示。

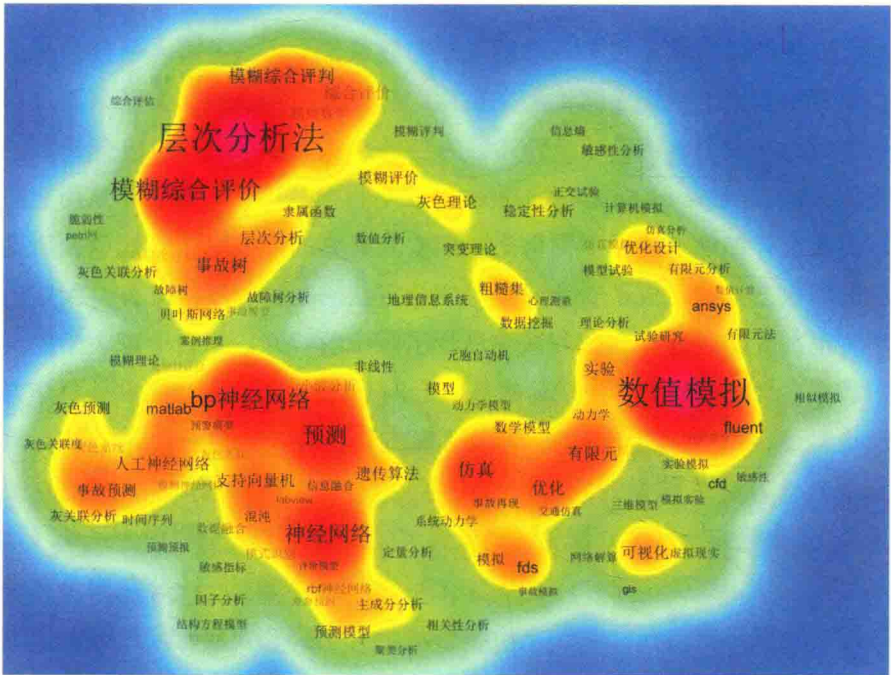


图 1.2 安全专业博士论文方法词集的密度图

## 1.2 理论与方法

在科技论文中，研究问题和研究方法是密不可分的两个方面。阐述研究问题，并采用恰当的方法解决问题是其基本特征。因此，通过科技文献来挖掘研究的问题和方法具有一定的可行性。在本研究中，主要采用词频和共词分析理论与方法，来分析安全科学研究中的热点问题和热点方法。在安全科学研究中，高词频表征了学术共同体对相关研究问题和方法的高度关注，是安全科学研究的核心。共词分析方法则进一步为我们认识安全问题与安全方法之间的关系提供了理论基础。成对出现的安全研究问题，表征了问题在语义上的相似性与问题的“共生”特征。

成对出现的方法则表征了多方法在解决安全问题上的关联、融合与协同。本研究作为《安全科学学术地图》系列研究的一部分，详细的理论与方法不再赘述。感兴趣的读者可以参考《安全科学学术地图》（综合卷）、《安全科学学术地图》（火灾卷）和《安全科学学术地图》（热爆炸卷）的相关章节，对模型和方法进行进一步的了解。

安全问题与安全方法研究的基本思路（图 1.3）：① 从采集的安全科技文本中，提取作者提供的关键词列表，并对提取的关键词进行消歧处理，建立备用的领域关键词词表；② 通过科技文本挖掘工具 VOSviewer 构建关键词的共现网络，并对关键词共现网络进行聚类分析；③ 对关键词整体网络，按照问题（Questions）和方法（Methods）进行人工标注，并从整体网络中分别提取问题网络和方法网络；④ 对高频安全问题关键词与方法关键词以及问题和方法网络进行分析。

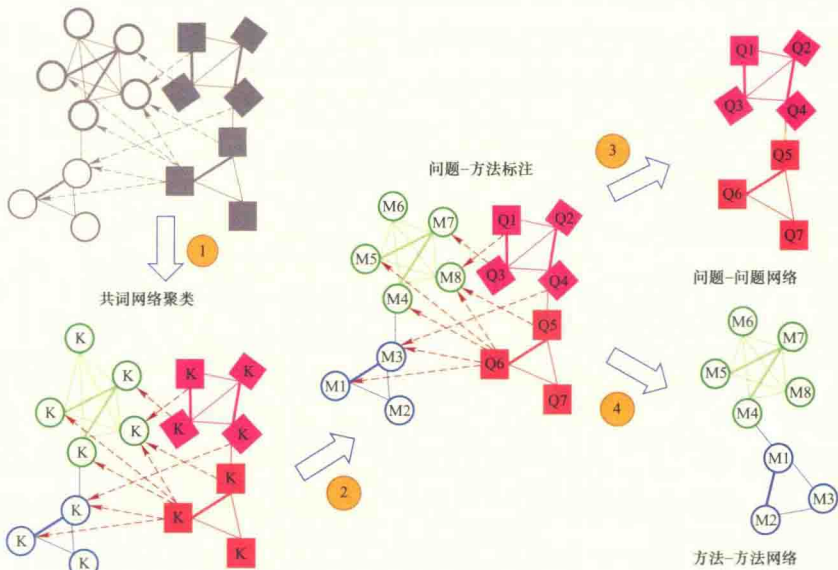


图 1.3 安全问题-方法问题的分析思路

注释：图中一个节点代表一个关键词，其中方框表示安全研究中表征研究问题的关键词；圆形则表示研究方法的关键词。



### 1.3 数据的分布

安全科学作为一门典型的综合学科,其研究文献分散在不同的科技期刊或出版物中。例如,在 Web of Science 数据库中,1900—2020 年期刊论文标题中包含 Safety 的论文有 209 893 篇,分布在 10 000 万多个期刊中。并且在整个时间趋势上, Safety 论文的产出呈现了指数增长趋势(图 1.4)。在如此海量的安全研究文献中,大量的 Safety 研究来源于生物医学领域。为了保证分析的科学性,样本的选择则必须具有典型性。大量的研究发现,领域内代表性的权威期刊,是该领域科学共同体刊载研究成果的主要载体,对领域典型期刊的分析,能反映领域的研究状况。因此,在期刊样本的选择上,国内的科技文献数据样本来自《中国安全科学学报》、国际的数据样本来自 *Safety Science* 期刊。除了期刊之外,还采集了 1 502 篇安全博士论文和 11 407 篇硕士论文进行研究问题和方法分析,以从多方位展示安全研究问题与方法的特征和规律。本研究中所采用数据样本的整体情况见表 1.1。

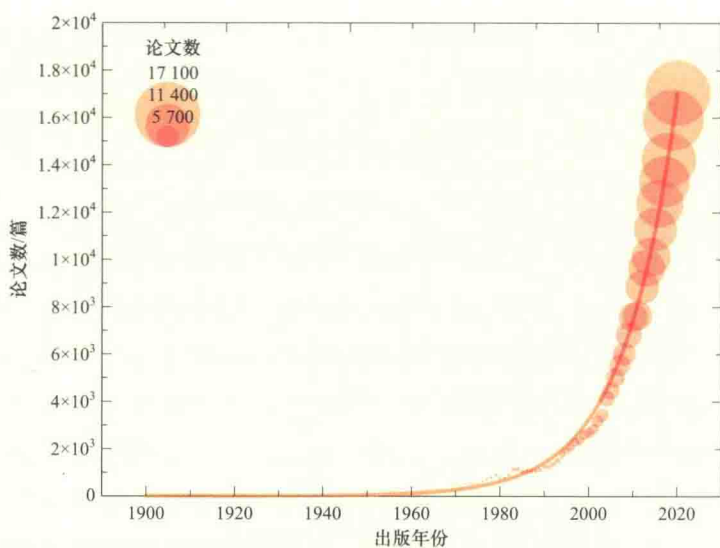


图 1.4 Safety 相关研究论文的增长趋势

表 1.1 本研究数据基本情况

编号	数据库	数据来源或类型	数据量
1	Web of Science	<i>Safety Science</i>	4 074 篇论文
2	中国知网 (CNKI) 和中国科学引文数据 (CSCD)	《中国安全科学学报》	7 214 篇论文
3	中国知网引文数据库	安全硕博学位论文	博士论文: 1 502 篇 硕士论文: 11 407 篇

## 1.4 章节安排

安全科学学术地图 (问题-方法卷) 的研究主要是对安全科学典型科技文本中涉及研究问题和研究方法的关键词的分析, 包含了国内外代表性的安全期刊论文和国内的硕博学位论文。进一步结合时间趋势, 对代表性的安全问题和方法的研究态势进行了分析。

第 1 章引言。本章对安全问题与方法研究的研究背景和意义进行了全面的论述, 阐述了研究的必要性和实际价值。对安全问题与方法分析的理论基础、方法以及数据进行了说明, 呈现了本研究的基本概况。

第 2 章英文期刊论文的问题与方法分析。本章基于 *Safety Science* 期刊的 4 074 篇论文, 对国际安全科学研究的问题和方法进行了分析, 全面展示了 30 余年国际安全科学研究在问题与方法两个维度的特征。

第 3 章中文期刊论文的问题与方法分析。本章以《中国安全科学报》刊载的 7 214 篇论文为数据样本, 提取和分析了中文安全研究问题与方法的研究特征, 全面绘制了安全问题和安全方法的全景图。

第 4 章安全学位论文的问题与方法分析。本章对 1 502 篇安全科学与工程博士学位和 11 407 篇硕士学位论文进行了分析, 从安全学位论文的视角呈现了安全研究中问题和方法的分布特征。

第 5 章和第 6 章为典型安全研究问题与典型安全分析方法的案例研究。选择的典型的安全研究问题为“安全文化”, 这是因为安全文化是安



全领域中最为典型的领域内的代表术语，是由典型工业事故事件催生的研究问题，是安全科学研究中重要方向之一。在研究中，将层次分析法选为典型的安全研究方法来进行分析，这是因为层次分析法是一种综合性的方法，在安全管理和安全工程中得到了广泛的应用，具有方法上的典型性。

第 7 章结语。该章是对当前安全方法与安全问题研究的全面总结，对本研究的潜在应用价值、存在不足以及未来的工作进行了说明。