

Construction Management 2016

工程管理年刊 2016

(总第6卷)

中国建筑学会工程管理研究分会
《工程管理年刊》编委会

编

中国建筑工业出版社

工程管理年刊 2016（总第 6 卷）

中国建筑学会工程管理研究分会
《工程管理年刊》编委会 编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程管理年刊 2016 (总第 6 卷) / 中国建筑学会工程管理研究分会, 《工程管理年刊》编委会编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 7

ISBN 978-7-112-19558-9

I. ①工… II. ①中… ②工… III. ①建筑工程-工程管理-中国-2016-年刊 IV. ①TU71-54

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 146502 号

责任编辑: 赵晓菲 朱晓瑜

责任校对: 李美娜 刘 钰

工程管理年刊 2016(总第 6 卷)

中国建筑学会工程管理研究分会 编
《工程管理年刊》编委会

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 880×1230 毫米 1/16 印张: 12 字数: 283 千字

2016 年 7 月第一版 2016 年 7 月第一次印刷

定价: 40.00 元

ISBN 978-7-112-19558-9

(29069)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

《工程管理年刊》编委会

编委会主任：丁烈云

编委会委员：（按姓氏笔画排序）

王广斌	王建平	王孟钧	方东平
邓铁军	田振郁	包晓春	冯桂烜
孙继德	李启明	杨卫东	余立佐
沈元勤	张文龄	张守健	陈宇彤
陈兴汉	武永祥	罗福周	庞永师
骆汉宾	顾勇新	徐友全	徐兴中
龚花强	谢勇成		

顾 问：丁士昭 崔起鸾 杨春宁

前 言

随着计算机、网络、通信等技术的发展，信息技术在工程建设领域的应用与发展突飞猛进。数字技术正改变着当前工程建造的模式，推动工程建造模式转向以全面数字化为特征的数字建造模式。数字建造的提出旨在区别于传统的工程建造方法和管理模式，代表着以数字信息为代表的新技术与新方法驱动下的工程建设的范式转移，包括组织形式、管理模式、建造过程等全方位的变迁。数字建造将极大地提高建造效率，促使工程管理的水平和手段发生革命性的变化。

同济大学袁烽、胡雨辰认为建筑数字化建造是在数字时代下，引导社会生产朝着高效、节能、环保迈进的重要抓手；是支撑建筑工业产业升级重要基础理论方法；是建筑本体与设计范式革新的重要出发点。来自英国的诺丁汉特伦特大学的 Benachir Medjdoub 教授在其文章中提到一种使用约束条件程序处理吊顶式风机盘管系统空间布局的通用设计方法。以每一个方案的设计约束条件图为基础重新定义案例方案库，使用户在保证所有设计约束条件的同时可以完成进一步的交互式修改。作者王军、赵竹生等提出了一种新型装配式建筑——模块建筑，结合首个 3D 模块建筑技术应用示范项目对模块建筑的概念、发展历程及工程应用进行分析研究，对促进传统建筑模式的转变和推动新型建筑工业化发展具有重大意义。作者董春山、金戈等提到通过无人机三维扫描成像以及土方平衡多方案的施工模拟对比，选择最优和最切合项目实际的土方开挖及土方平衡方案，实现土方平衡计算的精确化和精细化，对项目成本管控发挥了重要作用。作者李迥基于智能安全巡检技术在工程项目的应用，实现对进出施工现场人员和施工现场违章方面动态智能管理，对施工现场安全管理的方便性、实时性和高效性有广阔的推广应用价值。

BIM 技术是数字建造技术体系中的重要构成要素。BIM 技术成为数字建造模式的支撑技术，并最终体现在 BIM 技术对整个建设周期各阶段、多要素的集成以及参与各方协同的支持上。BIM 技术在工程建造中的应用，支撑了工程建造全过程、各要素和各实施主体的集成，实现了工程施工的物质产品交付与数字产品交付。

来自日本京都大学的金多隆、古阪秀三等在文章中提出在日本 BIM 的应用为 Stand-alone 模式、由大型建筑施工企业主导、一般设计公司普及推行，私人设计公司相对实行困难的现

状，究其原因是在日本的建筑工程承发包及签约模式下，大型建筑企业始终处于主导地位，造成 BIM 的优势无法在建筑全领域得以推广。作者方琦、骆汉宾在文中提出基于 BIM 的地铁建养一体化管理平台作为信息化技术的载体，用三维可视化的信息模型驱动工程分析、设备管理、商业空间管理、应急管理以及知识库等多个功能模块。作者任世贤从数据信息的角度阐述了 BANT 模型（BANT 计划）和 BIM 模型（BIM 模拟）的基本概念和特性，指出了 BIM 多维模拟管理软件开发的技术路径。作者仲江民、黄东兵在文中以工程造价精细化管理研究为基础，分析 BIM 的应用价值和在造价管理上的具体应用，构建基于 BIM 技术的建设项目工程造价精细化管理框架，有助于实现精细化、标准化、流程化的造价管理，有效解决信息不对称的问题。谭震寰在文中通过调查上海项目管理企业开展基于 BIM 技术的工程管理项目的应用现状入手，深入分析了其中的推进难点和应用障碍，提出尽快完善“BIM 标准”等基础，完善政策法规等条件的发展思路。作者朱早孙、程志军等介绍了 BIM 技术在深圳腾讯滨海大厦的应用，利用 BIM 的可视化技术来促进本项目的设计施工流程，以及各个工种之间如何相互协作。

此外，本次年刊中作者梁化康、张守健采用文献分析的方法，深入分析建设工程领域安全研究，梳理研究的区域分布、研究主题及工具/方法应用三个方面的内容，识别出 4 类建设工程领域安全研究的前沿知识领域，即安全管理方案、行为安全管理、风险管理及职业伤害保护。作者余立佐等介绍了香港地区《竞争条例》的主要特点和对建筑条例的影响，并提出建议避免违反该条例的风险。作者孙家盈等探索了香港借鉴外地立法经验来解决香港建筑业支付的问题。作者龙江英、于泉等提出基于“互联网+大数据+建筑”背景下，对各个阶段 CO₂核算边界确定、排放因子选取、活动数据采集进行研究分析，建立建筑全生命周期 CO₂排放量数据库。作者刘建浩、龚镛以贵州大学花溪校区的建筑风貌规划为例，通过风貌规划的整体布局与“三环”分区模式，探讨高校园区风貌规划的管理与控制。作者赵璐、周文兵等提出建立项目经理分级管理体系的思路，从知识、能力和素质三个维度构建了项目经理胜任能力素质模型与项目经理的人力资源管理工作相结合，以促进项目经理职业化进程。

2016 年，工程管理研究分会继续紧跟科学技术发展的步伐，跟踪建筑行业数字化管理及建造前沿问题，特别将“工程管理创新与数字建造”确定为今年《工程管理年刊》的主题，希望对我国建筑业数字化研究与应用、工程管理创新与人才培养等起到推动和促进作用。

目 录

Contents

前沿动态

建设工程领域安全科学研究前沿

..... 梁化康 张守健 (3)

约束性参数模型在建筑设备工程系统设计中的研究与应用

..... Benachir Medjdoub 钟 华 钟波涛 黎赫东 (18)

行业发展

建筑业上市公司现金流与经营绩效相关性分析

..... 李香花 周楚姚 王孟钧 (33)

建筑数字化建造

..... 袁 烽 胡雨辰 (46)

BIM 技术在上海建设工程项目管理中的应用研究——现状与
促进措施建议

..... 谭震寰 (57)

模块建筑的发展历程及应用现状分析

..... 王 军 赵竹生 钟学宏 葛皖峰 (63)

大型建筑企业项目经理分级管理体系探索与实践

..... 赵 璐 周文兵 江 峰 张春光 (72)

竞争法与建筑业

..... 余立佐 余伊琪 (82)

海外巡览

日本 BIM 导入情况及问题之概观

..... 金多隆 古阪秀三 邓尼丝 (89)

典型案例

基于项目管理的高校园区建筑风貌规划——以贵州大学花溪

校区建筑风格规划为例	刘建浩 龚 鋈	(101)
基于 BIM 的地铁建养一体化管理技术及应用	方 琦 骆汉宾	(108)
BIM 技术在超高层施工总承包工程中的应用	朱早孙 程志军 赵玉献 张 多	(121)
计划进度控制模型和建筑信息模型的比较	任世贤	(129)
BIM 技术在某大型复杂游艺项目土方平衡中的应用	董春山 金 戈 李 飞 王红磊	(138)
浅谈贵州大数据下建筑工程项目全生命周期碳排放数据库建设	龙江英 于 泉 伍廷亮	(144)
基于 BIM 技术的建设项目工程造价精细化管理	仲江民 黄东兵	(149)
施工现场智能化安全管理应用研究	李 迺	(155)
香港借鉴外地成功立法经验解决建造业付款的问题	孙家盈 曾文凤 陈乐敏 倪灏恒	(161)

专业书架

行业报告	(169)
工程管理与数字建造	(171)
城市管理与房地产	(181)

An abstract geometric design featuring a large light gray circle on the right side, partially intersected by a dark gray horizontal bar. Below this bar, the title '前沿动态' is written in white. Underneath the title, the English text 'Frontier & Trend' is displayed. To the left of the large circle, there are two smaller light gray circles and several thin, faint lines, creating a sense of movement and depth. A thin vertical line runs down the right side of the page, passing through the center of the large circle.

前沿动态

Frontier & Trend

建设工程领域安全科学研究前沿

梁化康 张守健

(哈尔滨工业大学工程管理研究所, 哈尔滨, 150001)

【摘要】 本文选取安全科学研究领域国际权威期刊 *Safety Science* 为代表, 展现安全领域科研动态及前沿课题。采用文献分析的方法, 从研究的区域分布、研究主题及工具/方法应用三个方面梳理、归纳出安全科学研究的整体情况。深入分析建设工程领域安全研究, 在内容分析的基础上, 识别出4类建设工程领域安全研究的前沿知识领域, 即安全管理方案、行为安全管理、风险管理及职业伤害保护。最后, 给出了目前建设工程领域安全研究存在的不足, 为该领域的研究深化提供参考。

【关键词】 安全科学; 建设工程; 研究主题; 研究方法

Research Frontiers of Construction Safety Science

Liang Huakang Zhang Shoujian

(Institute of Construction Management, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001)

【Abstract】 The paper selected from the journal of *Safety Science*, one of the international top-level journals in the safety area, as the object of the research, to unfold the research forntiers for the field of safety science. Based on the Literature Analysis method, the paper focused on the country/region distribution, research themes and research tools/methods application, to provide an overview of this field. In order to better capture construction safety research trend, in-depth content analysis was conducted. Four groups of construction safety research were indentified, including safety program, safety behavior, risk management and occupational injury protection. Finally, the paper discussed research gaps and limitations, serving as guidance for future construction safety research.

【Keywords】 Safety Science; Construction Engineering; Research Themes; Research Methods

1 引言

随着社会发展和高新技术的采纳,物质文化生活逐步改善,人们对于安全与健康也有了更高的需求。安全是人类活动的最基本前提。在信息化、智能化技术的推动下,社会生产、生活呈现出更加复杂的人、机、环境交互过程,安全科学也已具有新时代的特点和内涵。安全科学不断融合组织行为学、心理学、信息科学、系统科学等学科优势,其科学理论和方法正不断地发展创新。有必要识别安全科学研究前沿领域,把握研究领域的最新趋势和概念状况。

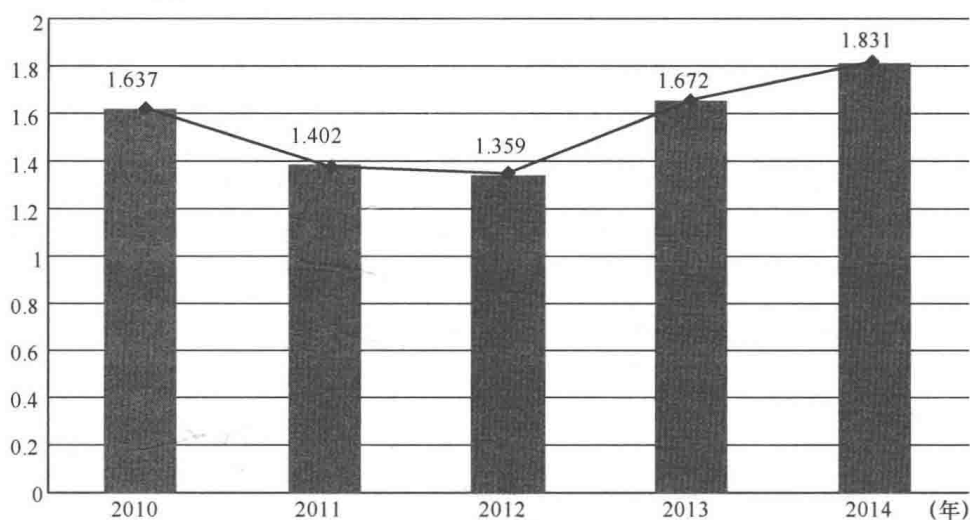
在我国,建设工程是社会生产活动的重点领域,无论是房屋建设还是轨道交通、市政工程都处在高速发展时期。建设活动固有的动态性、不确定性及分散性特点,造成建设活动过程中高处坠落、物体打击、触电等职业伤害风险大,施工任务安全需求高。我国的建设企业已经执行了各类技术导向或行为导向的安全控制措施,建设行业的安全水平在近几年得到了一定的改善,但是行业安全管理形式仍然严峻,比如,2015年7月10日,西藏自治区林芝地区巴宜区鲁朗镇“7·5”模板支架坍塌事故致8人死亡;2015年11月6日,新疆生产建设兵团天北新区“11·6”土方坍塌事故致4人死亡。作为世界最大的发展中国家,我国每年的建设体量大,工期紧张,安全事故的频发带来了严重的经济损失和社会影响。与发达国家相比,我国建设工程领域安全科学技术和安全管理实践水平仍存在一定差距,特别随着近年来新生产技术、新工艺方法的应用,暴露出的安全问题也呈现出更为复杂化的趋势。

为满足国内建设工程领域安全生产实践的需求,加快国内建设领域安全技术和安全管理

研究创新,本文采用文献研究的方法,展现安全科学发展的难点、热点以及发展趋势。以2015~2016年度安全科学领域国际权威期刊 *Safety Science* 所发表的科技文献为研究对象,对安全科学领域的相关研究的行业和区域分布进行详尽归纳的基础上,利用文本分析的方法系统归纳了安全科学研究领域的前沿动态和热点领域。通过对建设领域重点分析,为建设工程领域安全科学研究人员提供最新的科研动态和前沿课题。

2 *Safety Science* 总体介绍

本文选取安全科学领域国际权威期刊 *Safety Science* 近一年发表的242篇科技论文为研究对象,展现建设工程领域安全科学研究的前沿动态(图1)。*Safety Science* 被SCI检索,由挪威的Elsevier Science B.V出版,最初刊名为 *Journal of Occupational Accidents* (1976~1990)。收录文章范围涵盖交通、医疗、能源、建设行业等领域。最新统计该刊2014~2015年度的影响因子为1.831,图1反映近五年影响因子的浮动情况。相对于安全科学领域的另外5本重要期刊 *Journal of Safety Research*、*Accident Analysis and Prevention*、*Reliability Engineering and System Safety*、*Journal of Loss Prevention in Process Industries* 及 *Injury Prevention*^[1], *Safety Science* 收录的建设工程领域文献最多。按照Zhou et al. 等人整理的结果, *Safety Science* 收录的有关建设工程领域安全研究的文献数量仅次于工程管理国际顶级期刊 *Journal Construction Engineering and Management*^[2]。考虑到 *Safety Science* 在安全领域的权威性及内容的多样性,该刊最能够代表建设工程领域安全科学的发展方向。

图1 *Safety Science* 近五年影响因子

3 国家及机构载文分布情况

国家及机构的发文情况的梳理,有助于明确安全科学研究力量的分布。考虑到工作量的因素,本文以每篇文章通信作者所在的科研机构及国家、地区,代表该研究的区域分布。经整理,2015年5月到2016年5月期间,*Safety Science*共收录了来自世界41个国家及地区共计181家科研机构的242篇科技文献。从国家发文数量来看,中国(包含港、澳、台)近一年来对该领域的文献产出贡献最大,共发表文章47篇,占全球总数量的19.42%。发表文章数量较多的国家还有美国、澳大利亚及挪威,分别为27篇、25篇及21篇。图2反映发表科技论文数量排名前十位国家的文章数量分布情况,可以看到近一年来安全科学领域研究的区域不均衡状况,中国、美国、澳大利亚及挪威四国发表文章数量占全球总量的49.59%,排名前十位国家发文总数更是占到了71.49%。从世界范围来看,安全科学前沿研究只分布在少部分国家,大部分地区安全科学的科研能力相对较弱。作为一个发展中国家,中国近一年来的安全领域科研成果突出,表明中国具备较强的安全科学研究能力。2011年2月12日国务院学位委员会第28次

会议通过了《学位授予和人才培养学科目录》,将安全科学单列为一级学科,从而确立了国家高等教育层面的安全人才培养的独立序列,促进国内安全科学研究的发展^[3]。

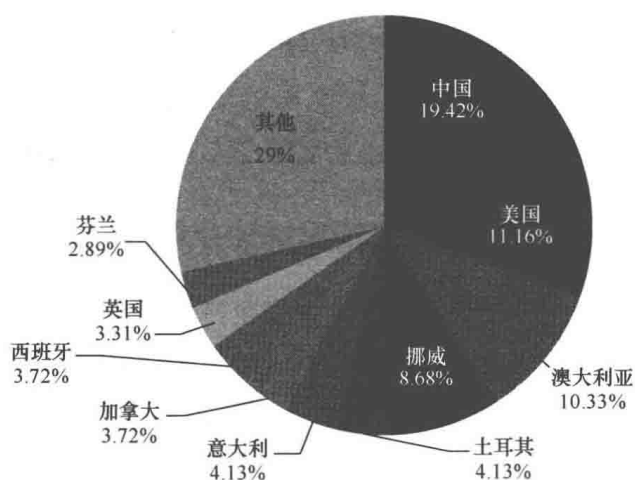


图2 安全科学研究的区域分布

来自中国的23家科研机构在近一年里为该领域贡献研究成果,其中香港理工大学文章数量最多(4篇),主要涉及建设工程领域职业安全行为及信息技术应用研究^[4~7]。其次是东南大学和中国矿业大学(各3篇),其中东南大学主要涉及基础设施网络可靠性^[8,9]及建设工程风险管理领域^[10],中国矿业大学主要涉及煤矿行业职业安全行为^[11]、安全监管^[12]及安全文化领域^[13]。表1列举了近一年来发

文数量超过 3 篇的科研机构情况，其中挪威科技大学在近一年共发表 9 篇文章，其研究领域主要涉及交通运输及过程行业安全管理。芬兰的阿尔托大学、土耳其的伊斯坦布尔科技大学各发表了 5 篇文章，这两所机构也主要涉及交通运输安全管理。

安全科学发文数量排名前十的科研机构 表 1

科研机构名称	国家、地区名称	科技论文发表数量
挪威科技大学	挪威	9
阿尔托大学	芬兰	5
伊斯坦布尔科技大学	土耳其	5
香港理工大学	中国（香港）	4
皇家墨尔本理工大学	澳大利亚	4
挪威斯塔万格大学	挪威	4
东南大学	中国	3
中国矿业大学	中国	3
昆士兰科技大学	澳大利亚	3
西班牙格拉纳达大学	西班牙	3
伊斯坦布尔大学	土耳其	3
代尔与特理工大学	荷兰	3
塞浦路斯欧洲大学	塞浦路斯	3

4 安全领域研究情况统计分析

为系统展现近一年来安全科学研究的整体情况，本文从文章的行业领域、研究主题及工具/方法应用三个方面，采用文献研究的方法，

梳理归纳出安全领域的知识架构。考虑到文献样本较少（仅 242 篇），文献的整理工作采用人工整理方法。从 2016 年 4 月 10 日开始文献整理工作，到 2016 年 5 月 25 日文献整理工作基本结束，行业、主题及研究工具/方法均采用三个层次进行归纳的方法。首先通过阅读文献初步识别出行业、主题及工具/方法类型，在此基础上对内涵重复的概念进行合并，形成基本的行业、主题及工具/方法的二级概念，最后进一步归纳梳理出的知识结构，合并了相近的二级行业、主题及工具/方法，形成最终的一级概念。整个归纳分类的过程参考相关文献^[14]及专家建议。

4.1 行业分析

图 3 反映了安全科学研究领域的大致分布情况。交通运输类共计 67 篇，涵盖海洋交通运输（18 篇）、河道交通运输（1 篇）、轨道交通运输（10 篇）及航空运输（9 篇），占各行业文章总量的 27.8%。交通运输类研究在 *Safety Science* 期刊占据重要地位，因此该刊被 Elsevier 当作安全和运输类期刊^[1]。建设工程领域的文章共计 24 篇，是单个行业（合并前）中收录文献数量最多的行业。采矿、能源类（15 篇）涵盖煤矿行业（8 篇）及能源开采

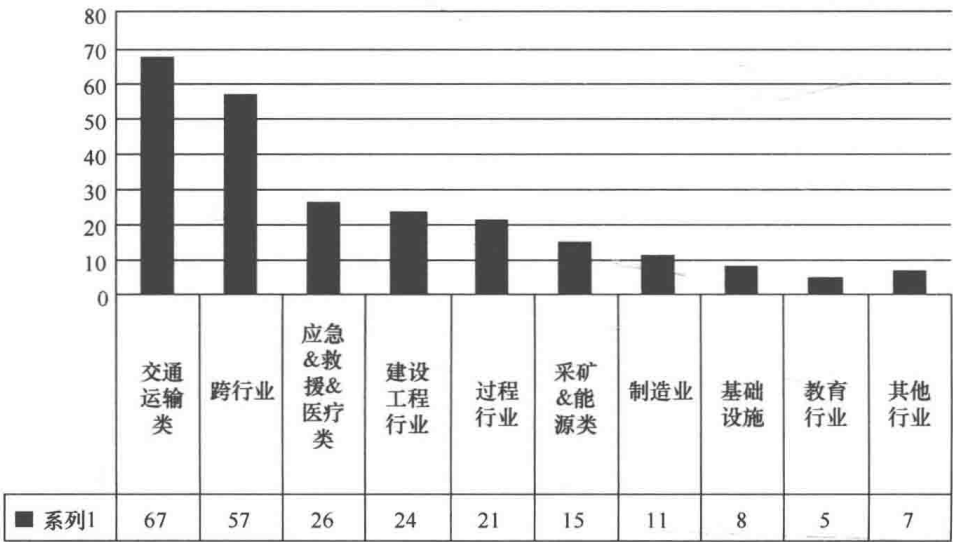


图 3 安全科学研究行业分布情况

行业 (7 篇)。过程行业 (21 篇) 包括核电站 (8 篇)、化工厂 (5 篇)、石化企业 (7 篇) 及其他过程行业 (1 篇)。制造业 (11 篇) 包括木材加工 (5 篇)、造船业 (2 篇) 及其他制造业 (4 篇)。应急 & 救援 & 医疗类 (26 篇) 包括应急 & 救援类 (16 篇) 及医疗类 (10 篇)。基础设施 (8 篇) 主要关于电力行业、城市管道网络及交通网络等。教育行业 (5 篇) 主要关于校园职业健康与安全以及安全专业教育。其他行业 (7 篇) 包括农业、餐饮、国防、森林采伐等等。本文将未明确行业的文献综述 (15 篇) 及跨行业研究 (42 篇) 合并为跨行业类 (57 篇)。

4.2 主题分析

本研究主题的归纳是通过三层的归纳梳理得到, 由于篇幅的原因, 本文只展现一级研究主题及部分二级研究主题。经过最终整理, 发现近一年来安全科学领域的研究主题主要包括: 安全管理方案 (Safety Program)、行为安全管理 (Behavior-Based Safety)、风险管理 (Risk Management)、事故分析 & 管理 (Accident Analysis and Management)、职业伤害保护 (Occupational Injuries)、安全管理理论 (Safety Theories) 及基础设施可靠性 (Relia-

bility of the Infrastructure) (图 4)。安全管理方案指的是组织安全管理工作方法的集合^[15], 图 5 反映所梳理的安全管理方案类型。行为安全管理及风险管理虽然也是两种常用的安全管理工作方法, 考虑这两种主题在同类型研究中的比重较大, 故将之单独列出, 这也能反映出行为安全管理和风险管理是两种重要的安全管理理论方法。事故分析 & 管理主要包括在大量事故记录报告的基础上采用文本分析和数理统计方法, 识别关键因素, 或者针对某一事故案例 (比如韩国的“岁月号”沉船事故、中国的“7.23”甬台温铁路事故等) 采用事故的系统理论模型 (System Theoretic Accident Modeling and Processes, STAMP) 的方法找出事故致因^[16, 17]。职业伤害保护主要研究特定风险因素对职业安全的影响, 比如高温、缺氧、狭小作业空间、性别及种族差异等。安全管理理论主要研究当前安全科学研究方法的缺陷, 比如风险信息的模棱含糊 (ambiguity)、自报告研究方法的可靠性、风险矩阵的不确定性 (uncertainty)、风险可接受水平的确定等。基础设施可靠性主要包括轨道交通网、电网等基础设施的脆弱性, 或者外部破坏对基础设施带来的影响评价, 比如恐怖袭击。

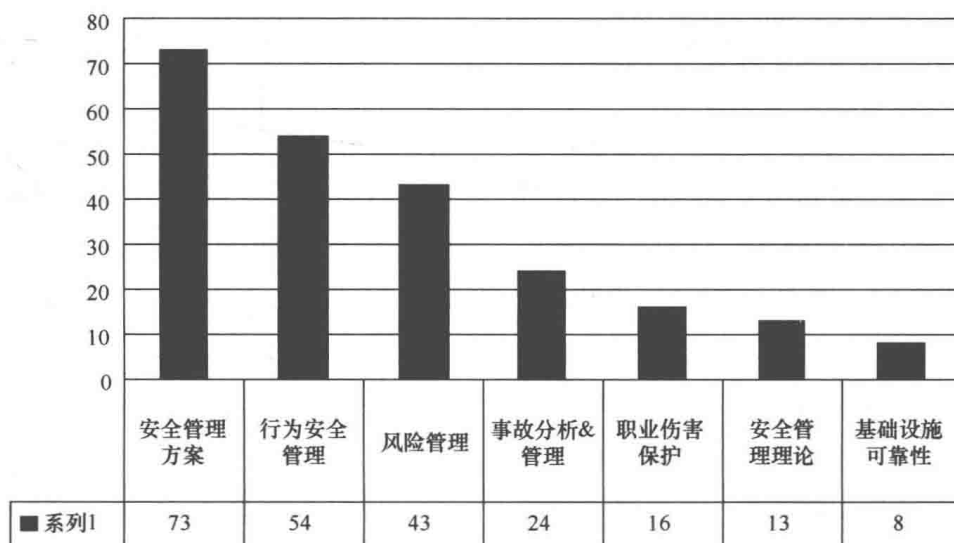


图 4 安全科学研究主题分布情况

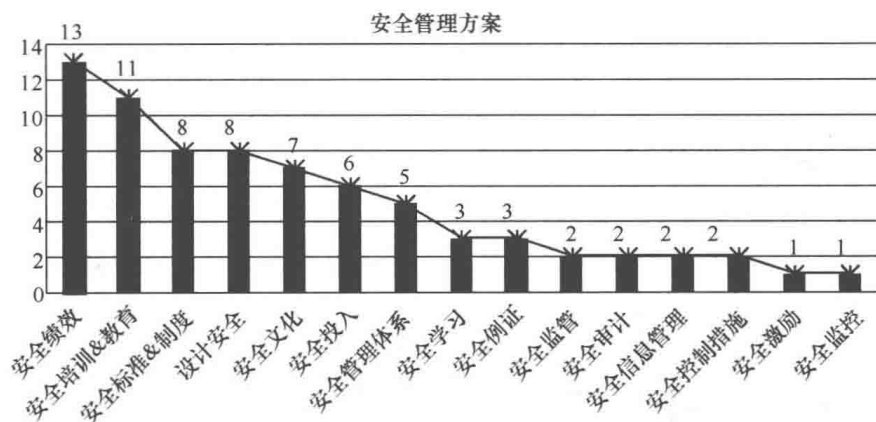


图5 安全科学涉及的安全管理方案类型

图5反映安全科学领域近一年常用的安全管理方案类型，主要包括安全绩效、安全培训 & 教育、安全标准 & 制度、设计安全、安全文化、安全投入及安全管理体系等。安全绩效研究主要包括：(1) 研究企业安全管理体系运行效率的衡量办法，混合的数学模型包括层次网络模型 (ANP) 及模糊的逼近理想点法 (Fuzzy TOPSIS)^[18]、改进熵权法及逼近理想点法 (Improved Entropy TOPSIS)^[19] 及模糊层次分析法 (Fuzzy AHP)^[20]；(2) 探索企业安全绩效的影响因素，基于社会网络理论 (Social Net Analysis, SNA) 及弹性工程理论 (Resilience Engineering) 探索企业弹性与安全绩效的联系^[21, 22]。其中弹性工程 (Resilience Engineering) 被认为包含响应、监督、预测及组织学习的，能够保证组织适应不断变化及不确定环境的有效管理方法^[22]。

安全绩效通常采用伤亡数据、赔偿数量等数据评估，这种较为被动的安全管理方式已经引起了安全领域广泛质疑^[23]。人的因素被认为是导致各类事故发生的主要原因，人的安全行为已被当作主动式的安全指标^[24]。行为安全管理，从个体因素及塑造个体行为的组织环境因素出发，通过探索职业安全行为的影响因素，制定有效的主动式的行为干预机制，最终实现改善安全绩效目标。经过文献梳理，行为

安全管理主要研究安全行为的心理认知过程及可靠性、组织层面及个体层面的影响因素探究以及行为演化的仿真模拟。安全科学领域的行为安全研究大致分为职业安全行为领域及非职业安全行为领域 (图6)。职业安全领域主要包括：(1) 依托心理学领域计划行为理论 (Theory of Planned Behavior, TPB) 或者其他行为理论，比如健康提升模型 (Health Promotion Model, HPM)，应用访谈法^[24]、社会学统计分析^[25]或贝叶斯网络理论^[26]等，探究决定职业安全行为 (比如，安全遵守、安全参与、PPE 的使用等) 的组织 and 个体层面的因素^[27~29]，尤其是基于 TPB 理论研究员工安全信念 (safety belief) 或者安全承诺 (safety commitment) 对安全行为的影响^[11, 24]；(2) 依托行为安全管理理论 (Behavior-Based Behavior, BBS)、虚拟现实及实时定位等信息通信技术，实现行为安全管理的实践应用^[5, 6]；(3) 应用社会统计分析，直接探索安全氛围 (safety climate)、安全行为 (safety behavior) 及安全绩效 (safety performance) 之间的关系^[30]；(4) 探索不同类型的安全参与行为、亲社会行为 (Prosocial behavior) 和主动式行为 (proactive Behavior) 对安全绩效 (safety performance) 的影响^[31]。非职业安全行为领域包括交通 & 驾驶

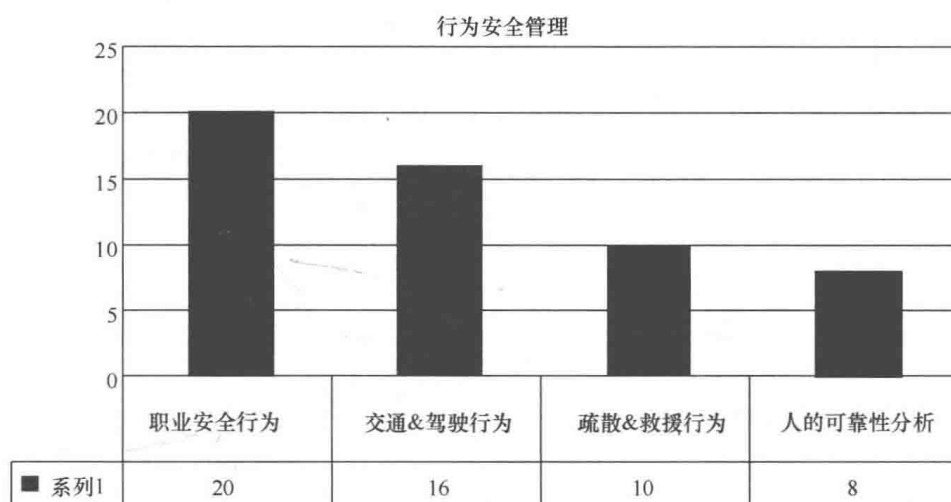


图6 安全科学涉及的行为安全研究类型

行为及疏散 & 救援行为。交通 & 驾驶行为主要研究研究驾驶员及行人对不安全行为的风险认知，比如走神、使用手机，同时也包括探索影响驾驶的的行为的影响因素，比如驾驶员的教育程度及经验等。疏散 & 救援行为主要对极端事件中群体行为的仿真建模，探索疏散及救援效率优化。人员绩效或者人的可靠性已经是安全和可靠性工程中重要的主题^[32]，人的可靠性分析兼具风险评价及行为安全研究的特点，本文将之单独列出。人的可靠性（Human Reliability）指的是操作人员在一定的时间内无故障工作的概率。人的可靠性分析主要包括人的关键行为识别、行为建模及行为评价。根据 NUREG—6634，操作者涉及的主要认知任务包括监督和观察（monitoring and detection）、情境评价（situation assessment）、响应计划（Response Planning）、响应执行（Response Implementation）^[33]。经文献梳理，安全科学领域人的可靠性分析研究包括：（1）基于模糊理论与认知可靠性理论构建人的可靠性评价模型，比如模糊的认知可靠性及失误分析方法^[32, 34]（Fuzzy Cognitive Reliability and Error Analysis Method, Fuzzy CREAM）；（2）利用布尔网络（Boolean Network, BN）表达操作人员认知过程的四个阶

段^[35]，并应用贝叶斯网络理论（Bayesian Network, BN）预测认知过程中的情境评价阶段的可靠性^[33]；（3）基于复杂性科学理论，研究任务复杂性对人员可靠性的影响^[36]。

风险分析和评价方法作为一种决策支持工具广泛应用于工程领域，以实现风险的识别和控制^[37]。然而，学术界对于什么是风险、如何定义风险、如何在决策过程中使用、衡量风险并未达成统一，风险既作为系统的客观存在，又被当作风险分析人员的主观的思想观念^[38]。经过文献梳理，风险建模及决策支持工具开发相关的研究占有很大比重（图4），风险管理类的文献主要包括风险评价、风险分析和识别、风险预测 & 预警、风险感知（图7）。风险评价流程通常包括：（1）采用事故记录调查法、头脑风暴法、Delphi 及专家访谈法整理风险清单，借助蝴蝶结模型（Bow-Tie）、事件树分析（Event Tree, ET）及故障树分析法（Fault Tree, FT）构建风险事件的逻辑关系；（2）确定故障模式的发生率、严重性，有时还要包括可观测度，一般采用预先定义的风险矩阵进行打分，考虑到数据的限制，通常采用贝叶斯网络（Bayesian Network, BN）^[38]，或者利用模糊理论或灰色理论改进传统的风险评估工具，比如模糊故障树