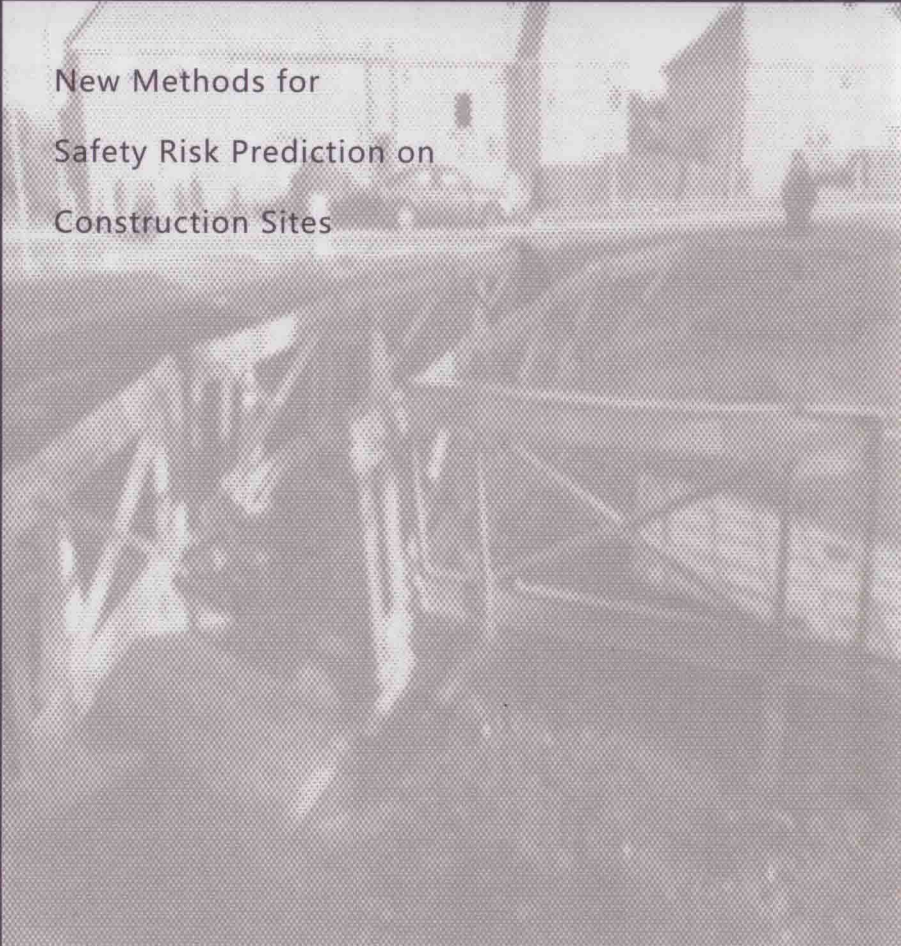


东南土木
青年教师
科研论丛

施工现场安全风险 实时预警新方法

吴伟巍 著

New Methods for
Safety Risk Prediction on
Construction Sites



东南大学出版社

东南土木·青年教师·科研论丛

施工现场安全风险预测新方法

吴伟巍 著

项目基金资助:

国家自然科学基金(51008073)

江苏省自然科学基金(BK2011609)

江苏省高校优势学科建设工程

东南大学出版社
· 南京 ·

内 容 提 要

建筑施工作为高风险行业,施工现场安全事故的发生对社会经济、人民生活和自然环境都将产生重大的影响。国内外的研究人员和从业人员一直都在研究如何降低施工现场的安全风险,但是似乎一直没有找到从根本上解决这个问题的方法,建筑业施工现场的安全事故一直困扰着建筑业。识别事故发生前可能的前馈信号具有提高安全绩效的巨大潜力,许多组织已经开始研究如何确定事故前馈信号的程序和方法,并且已经从中获益。本书就是从建筑业施工现场前馈信号的视角,建立针对施工现场安全危险源的前馈信号进行实时监控、对安全风险进行实时预测的方法。

本书可供施工现场安全风险相关研究人员和施工安全从业人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

施工现场安全风险预测新方法/吴伟巍著. —南京:
东南大学出版社,2013. 12

(东南土木青年教师科研论丛)

ISBN 978-7-5641-4656-6

I. ①施… II. ①吴… III. ①建筑工程—施工现场—
安全管理 IV. ①TU714

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 278958 号

施工现场安全风险预测新方法

- 著 者 吴伟巍
责任编辑 丁 丁
编辑邮箱 d. d. 00@163. com
出版发行 东南大学出版社
出 版 人 江建中
社 址 南京市四牌楼 2 号(邮编:210096)
网 址 <http://www.seupress.com>
经 销 全国各地新华书店
发行热线 025—83790519 83791830
印 刷 兴化印刷有限责任公司
开 本 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张 9
字 数 220 千
版 次 2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5641-4656-6
定 价 38.00 元
-

(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系,电话:025-83791830)

序

作为社会经济发展的支柱性产业,土木工程是我国提升人居环境、改善交通条件、发展公共事业、扩大生产规模、促进商业发展、提升城市竞争力、开发和改造自然的基础性行业。随着社会的发展和科技的进步,基础设施的规模、功能、造型和相应的建筑技术越来越大型化、复杂化和多样化,对土木工程结构设计理论与建造技术提出了新的挑战。尤其经过三十多年的改革开放和创新发展,在土木工程基础理论、设计方法、建造技术及工程应用方面,均取得了卓越成就,特别是进入 21 世纪以来,在高层、大跨、超长、重载等建筑结构方面成绩尤其惊人,国家体育场馆、人民日报社新楼以及京沪高铁、东海大桥、珠港澳桥隧工程等高难度项目的建设更把技术革新推到了科研工作的前沿。未来,土木工程领域中仍将有許多课题和难题出现,需要我们探讨和攻克。

另一方面,环境问题特别是气候变异的影响将越来越受到重视,全球性的人口增长以及城镇化建设要求广泛采用可持续发展理念来实现节能减排。在可持续发展的国际大背景下,“高能耗”、“短寿命”的行业性弊病成为国内土木界面临的最严峻的问题,土木工程行业的技术进步已成为建设资源节约型、环境友好型社会的迫切需求。以利用预应力技术来实现节能减排为例,预应力的实现是以使用高强高性能材料为基础的,其中,高强预应力钢筋的强度是建筑用普通钢筋的 3~4 倍以上,而单位能耗只是略有增加;高性能混凝土比普通混凝土的强度高 1 倍以上甚至更多,而单位能耗相差不大;使用预应力技术,则可以节省混凝土和钢材 20%~30%,随着高强钢筋、高强等级混凝土使用比例的增加,碳排放量将相应减少。

东南大学土木工程学科于 1923 年由时任国立东南大学首任工科主任的茅以升先生等人首倡成立。在茅以升、金宝楨、徐百川、梁治明、刘树勋、方福森、胡乾善、唐念慈、鲍恩湛、丁大钧、蒋永生等著名专家学者为代表的历代东大土木人的不懈努力下,土木工程系迅速壮大。如今,东南大学的土木工程学科以土木工程学院为主,交通学院、材料科学与工程学院以及能源与环境学院参与共同建设,目前拥有 4 位院士、6 位国家千人计划特聘专家和 4 位国家青年千人计划入

选者、7 位长江学者和国家杰出青年基金获得者、2 位国家级教学名师；科研成果获国家技术发明奖 4 项，国家科技进步奖 20 余项，在教育部学位与研究生教育发展中心主持的 2012 年全国学科评估排名中，土木工程位列全国第三。

近年来，东南大学土木工程学院特别注重青年教师的培养和发展，吸引了一批海外知名大学博士毕业青年才俊的加入，8 人入选教育部新世纪优秀人才，8 人在 35 岁前晋升教授或博导，有 12 位 40 岁以下年轻教师在近 5 年内留学海外 1 年以上。不久的将来，这些青年学者们将会成为我国土木工程行业的中坚力量。

时逢东南大学土木工程学科创建暨土木工程系(学院)成立 90 周年，东南大学土木工程学院组织出版《东南土木青年教师科研论丛》，将本学院青年教师在工程结构基本理论、新材料、新型结构体系、结构防灾减灾性能、工程管理等方面的最新研究成果及时整理出版。本丛书的出版，得益于东南大学出版社的大力支持，尤其是丁丁编辑的帮助，我们很感谢他们对出版年轻学者学术著作的热心扶持。最后，我们希望本丛书的出版对我国土木工程行业的发展与技术进步起到一定的推动作用，同时，希望丛书的编写者们继续努力，并挑起东大土木未来发展的重担。

东南大学土木工程学院领导让我为本丛书作序，我在《东南土木青年教师科研论丛》中写了上面这些话，算作序。

中国工程院院士：吕志涛

2013.12.23.

前 言

建筑施工作为高风险行业,施工现场安全事故的发生对社会经济、人民生活 and 自然环境都将产生重大的影响。国内外的研究人员和从业人员一直都在研究如何降低施工现场的安全风险,但是似乎一直没有找到从根本上解决这个问题方法,施工现场的安全事故一直困扰着建筑施工业。识别事故发生前可能的前馈信号具有提高安全绩效的巨大潜力,许多组织已经开始研究如何确定事故前馈信号的程序和方法,并且已经从中获益。本书的研究目标就是从建筑业施工现场前馈信号的视角,建立针对施工现场安全危险源的前馈信号进行实时监控、对安全风险进行实时预测的方法。

首先,在详细的文献综述的基础上,分析了国内外安全风险的研究现状和研究方向,并且借鉴了天气预报和地震预报的研究思路,指出了目前的研究不足。进而,针对现有研究及实践中提高安全绩效的不足,分析了施工现场的前馈信号及未遂事件对提高安全绩效的重要意义。在此基础上,构建了完整的施工现场安全管理系统。

其次,建立了施工现场前馈信号及未遂事件(Precursors and Immediate Contributory Factors,简写为 PaICFs)调查模型,其主要目标是从安全事故历史记录中分析前馈信号及未遂事件。然后,利用美国职业安全健康管理局(Occupational Safety and Health Administration,简写为 OSHA)的案例和英国健康安全管理局(Health and Safety Executive,简写为 HSE)的案例进行了详细的分析,选择“从脚手架摔落”类型的安全事故作为研究对象,得到了可能的前馈信号,进一步验证了 PaICFs 调查模型的效果。进而,向英国施工现场安全负责人或者安全顾问发放了调查问卷,以获得其对前馈信号有效性的认可程度。同时,为了衡量问卷参与者之间的内部一致性,使用 Kappa 统计值衡量了问卷结果是否完全(或者部分)是由于偶然性造成的。

接着,针对建筑业施工现场前馈信号的特点,建立了改进的事故序列前馈信号模型(Modified Accident Sequence Precursor,简写为 MASP)。该模型一方面对事件树的建立方法进行了改进,同时,由于施工现场安全管理所关心的问题实际上是一个条件概率,即在某一个前馈信号(或者某几个前馈信号的组合)发生

的情况下,可能导致安全事故的可能性,从而利用条件概率公式改进了原有的算法,并且计算了基于前馈信号的施工现场的安全风险。然后,针对 MASP 计算过程中涉及的不同变量,进一步对 MASP 进行了敏感性分析,得到了敏感性程度的排序。

再次,基于信号检测理论(Signal Detection Theory, 简写为 SDT)建立了施工现场安全风险预测模型,建立并比较了不同准则下预警阈值的计算方法和使用条件,得出在目前的情况下,使用奈曼-皮尔逊准则确定阈值是合适的。然后,对安全信号密度函数和危险信号密度函数的分布形式进行了假设,对参数进行了估计,并且进行了假设检验。进而,基于 SDT 理论建立了对施工现场安全风险预警系统的敏感性和风险倾向进行测度的方法。计算结果表明,示例预警系统的敏感性较低,风险倾向属于保守型。

最后,在大量案例分析的基础上,分析了施工现场实时监控子系统的自动获取数据的需求。结果表明,需求主要涉及三类数据:位置类、身份类和环境类实时信息。为了满足这三类数据的需求,本书基于 Zigbee 协议的射频识别无线传感器网络(Zigbee enabled RFID System)设计了系统结构。在此基础上,向英国施工现场安全负责人或者安全顾问发放了调查问卷,以检验其是否认为实时监控子系统可能提供的实时信息对提高施工现场的安全绩效有作用。同样,为了衡量问卷参与者之间的内部一致性,使用 Kappa 统计值衡量了该问卷结果是否完全(或者部分)是由于偶然性造成的。

施工现场安全危险源的实时监控与安全风险预测方法的理论和方法体系尚不成熟,由于作者的学术见识有限,本书的许多定义、观点、论证还是不够严密,书中难免有疏忽,甚至不免有错误之处,敬请各位读者、同行批评指正,对此作者不胜感激!

本书是在作者博士论文的基础上进一步完善而来的,导师李启明教授在本书的整个完成过程中一直给予关心并提供了重要的指导,在此一并表示深深的谢意!

在本书的写作过程中,参考了许多国内外相关专家学者的论文和著作,在参考文献中列出,向他们表示深深的谢意。但是难免仍会有遗漏的文献,在此向各位作者表示歉意。

吴伟巍

2013 年 9 月于东南大学

目 录

1 绪论	(1)
1.1 研究背景及研究意义	(1)
1.2 国内外研究现状及不足	(2)
1.2.1 传统的研究视角	(2)
1.2.2 安全风险领域研究的发展趋势	(4)
1.2.3 现有研究的不足	(4)
1.3 研究目标、研究内容及拟解决的关键问题	(8)
1.3.1 研究目标	(8)
1.3.2 主要研究内容	(8)
1.3.3 研究内容框架结构	(10)
1.3.4 拟解决的关键问题	(10)
1.4 研究方法及技术路线	(11)
1.4.1 研究方法	(11)
1.4.2 技术路线	(12)
1.5 本章小结	(12)
2 基于前馈信号的实时监控子系统构建	(13)
2.1 理论基础及研究方法	(13)
2.1.1 多米诺骨牌(Domino)理论及其发展	(13)
2.1.2 人员过失(Human Error)理论	(15)
2.1.3 建筑业事故影响因素模型	(15)
2.1.4 拉夫堡大学的 ConCA 建筑业事故原因模型	(16)
2.2 理解施工现场的前馈信号及未遂事件	(18)
2.2.1 前馈信号及未遂事件的概念及其重要性	(18)
2.2.2 施工现场的前馈信号及未遂事件	(20)
2.2.3 施工现场完整的安全管理系统构建	(21)
2.3 前馈信号及未遂事件调查模型(PaICFs)构建	(23)
2.3.1 阻止前馈信号及未遂事件成为事故的因素	(23)
2.3.2 施工现场 PaICFs 调查模型构建	(23)

2.3.3 应用示例	(25)
2.4 本章小结	(28)
3 基于 PalCFs 模型的案例分析及效果检验	(29)
3.1 理论基础及研究方法	(29)
3.1.1 案例分析	(29)
3.1.2 调查问卷	(29)
3.1.3 Kappa 统计值	(29)
3.2 案例分析的结果	(33)
3.2.1 统计结果	(33)
3.2.2 英美安全事故影响因素的相同性及差异性分析	(34)
3.3 针对英国施工企业现场安全顾问的调查问卷	(36)
3.3.1 问卷背景	(36)
3.3.2 统计结果	(36)
3.4 被调查的安全负责人及安全顾问的内部一致性测度	(38)
3.4.1 模型的选用	(38)
3.4.2 权重的赋值	(38)
3.4.3 权重 Kappa 的计算	(39)
3.5 本章小结	(42)
4 基于改进事故序列前馈信号模型的安全风险计量	(44)
4.1 理论基础及研究方法	(44)
4.1.1 基于统计概率(PRA)的安全风险的定量化研究	(44)
4.1.2 对未遂事件的定量化分析	(46)
4.1.3 事故序列前馈信号(ASP)模型	(47)
4.2 改进的事故序列前馈信号模型(MASP)	(49)
4.2.1 施工现场前馈信号“分组”的特点	(49)
4.2.2 改进的针对前馈信号组的事件树的构建	(50)
4.2.3 改进的针对前馈信号组的安全风险计量方法	(51)
4.3 基于 MASP 的安全风险计量结果	(53)
4.3.1 事件树的构建结果	(53)
4.3.2 安全风险计量结果示例	(55)
4.4 MASP 的敏感性分析	(59)
4.4.1 历史数据中致命事故占总事故的比例	(59)
4.4.2 经验比例 303:29:1	(60)

4.4.3	在事故发生的条件下某个前馈信号的发生次数	(61)
4.4.4	在事故发生的条件下前馈信号发生的总次数	(63)
4.4.5	某个前馈信号在观察期内发生的次数	(64)
4.4.6	前馈信号在观察期内发生的总次数	(65)
4.4.7	敏感性分析结果	(67)
4.5	本章小结	(68)
5	预警系统阈值确定及风险倾向测度	(69)
5.1	理论基础及研究方法	(69)
5.1.1	信号检测理论的传统应用领域综述	(69)
5.1.2	信号检测理论在社会科学领域的应用综述	(69)
5.1.3	二元信号检测的模型	(70)
5.1.4	多元信号检测的模型	(72)
5.1.5	信号检测的结果和判决概率	(72)
5.2	基于 SDT 的施工现场安全风险实时预测系统构建与比较	(74)
5.2.1	施工现场安全风险实时预测的判决域划分与判决概率	(74)
5.2.2	基于贝叶斯准则确定预警阈值的模型	(75)
5.2.3	基于最小平均错误概率准则确定预警阈值的模型	(78)
5.2.4	基于最大后验概率准则确定预警阈值的模型	(79)
5.2.5	基于奈曼-皮尔逊准则确定预警阈值的模型	(80)
5.2.6	施工现场统计检测模型的适用性比较	(82)
5.3	基于奈曼-皮尔逊准则的阈值计算结果及预测结果	(82)
5.3.1	安全信号密度函数的参数估计及假设检验	(82)
5.3.2	危险信号密度函数的参数估计及假设检验	(85)
5.3.3	奈曼-皮尔逊准则下的阈值计算	(88)
5.3.4	判断结果	(89)
5.3.5	有关问题讨论	(90)
5.4	施工现场安全风险预警系统的敏感性及风险倾向测度	(90)
5.4.1	敏感性及风险倾向的定量化描述	(90)
5.4.2	敏感性的计算结果	(92)
5.4.3	风险倾向的计算结果	(92)
5.5	本章小结	(93)
6	实时监控子系统实现的可能性及其系统设计	(94)
6.1	理论基础及研究方法	(94)
6.1.1	案例分析及其结果	(94)

6.1.2	无线射频识别(RFID)	(95)
6.1.3	无线传感器网络(WSN)和 Zigbee 协议	(96)
6.1.4	调查问卷和 Kappa 统计值	(97)
6.2	自动获取数据的需求分析	(97)
6.2.1	现有研究的不足	(97)
6.2.2	主要的未遂事件分析结果	(97)
6.2.3	自动获取数据的需求分析	(98)
6.3	技术上实现数据自动获取的系统结构设计及硬件采用	(100)
6.3.1	系统结构的设计	(100)
6.3.2	相关硬件的采用	(101)
6.4	可获得的实时信息的实用性及有效性分析	(102)
6.4.1	调查问卷的结构	(102)
6.4.2	调查问卷的结果	(103)
6.5	被调查的安全负责人及安全顾问的内部一致性测度	(104)
6.5.1	模型的选用	(104)
6.5.2	权重的赋值	(105)
6.5.3	权重 Kappa 的计算	(105)
6.6	本章小结	(108)
7	结论与展望	(110)
7.1	主要结论	(110)
7.2	创新点	(112)
7.3	研究不足及研究展望	(112)
	参考文献	(114)
	附录	(124)
	附录 1 关于前馈信号的调查问卷	(124)
	附录 2 Kappa 统计值及相关指标的电子表格计算界面示意	(127)
	附录 3 估算中使用的相关数据	(128)
	附录 4 安全信号参数估计中使用的相关数据	(131)
	附录 5 危险信号参数估计中使用的相关数据	(133)

1 绪 论

1.1 研究背景及研究意义

建筑施工作为高风险行业,施工现场安全事故的发生对社会经济、人民生活和自然环境都将产生重大的影响^[1,2,3]。国内外的研究人员和从业人员一直都在研究如何降低施工现场的安全风险,减少施工现场安全事故的发生,但是似乎一直没有找到从根本上解决这个问题方法,建筑业施工现场安全事故一直困扰着建筑业。数据表明,英国建筑业工人死亡的人数是其他行业平均值的五倍,受伤或者严重受伤的人数是其他行业平均值的两倍^[4,5];根据美国国家安全协会(National Safety Council)的数据,美国建筑业的从业人员数虽然只占美国所有行业从业人员的5%,但是死亡人数却占有所有行业死亡总人数的20%,重大伤残人数占有所有行业总伤残人数的9%^[2];根据合理的估计,中国建筑业每年施工现场的死伤人数约为3 000人^[6],施工现场安全事故造成的损失非常巨大^[6,7]。

在安全研究领域,测度和评价安全的一个主要目的就在于寻找和建立有效的措施,以避免将来的安全事故^[8,9,10]。识别事故发生前可能的前馈信号具有提高安全绩效的巨大潜力,许多组织已经开始研究确定事故前馈信号的程序和方法,并且已经从中获益^[11]。美国自然科学协会(US National Academy of Sciences)最近就开始了一项针对事故发生前的信号和指标的研究,这些信号会在事故发生之前产生^[11]：“在重大事故发生之后,寻找是否存在前馈信号、遗漏的信号和遗漏的警报是很普遍的,这些信号是否在事故发生之前就被识别或者被合适的处理,会影响到能否避免下次类似事故的发生。”

如果我们也能够施工现场发生安全事故之前就预测到事故的发生,从而及时地向可能被卷入到此次安全事故的人员发出警告信号,那么相关人员就可以通过及时采取措施而避免安全事故的发生,就拯救了珍贵的生命。换句话说,如果我们能够像天气预报一样对施工现场安全风险进行实时预测,这将是从根本上解决施工现场安全事故的可能途径之一。随之而来的问题则是,做出这样实时预测的可能性是否存在,以及采用什么方法可以实现对施工现场安全风险进行实时预测。对这些关键问题的研究将会提供对施工现场安全风险进行实时预测的途径,并建立施工现场安全风险实时预测的方法。

针对现有研究的不足之处,本书通过将现有研究的视角引入到对建筑业施工现场关键安全危险源前馈信号的关注上,增强人们对施工现场安全风险的认识、评价以及预防能力,

最大限度地保证施工现场的安全,为施工现场安全事故的预测和防治打下良好的理论基础,具有重要的理论和实际价值。

1.2 国内外研究现状及不足

1.2.1 传统的研究视角

与预测建筑业施工现场安全事故实践相辅相成的是对安全风险(safety risks)相关理论的研究,特别是对安全风险预测方法的研究。传统上,国际期刊上关于安全风险的研究主要集中在以下三个方面:关于安全风险产生的根本原因及影响因素的研究、关于安全危险源的分类和事故调查过程的研究和关于安全态度、安全文化及安全气候的研究。

1) 关于安全风险产生的根本原因及影响因素的研究

这方面的研究一直以来都是安全风险研究的主要关注点,典型的集大成者有 Heinrich 的事故原因模型(Accident Causation Models)^[12]和 Rigby 的人员过失理论(Human Error Theories)^[13],此后众多学者在此研究基础上进行了不同程度的改进和发展。

Sawacha 等学者分析了影响施工现场安全问题的因素,包括历史因素、经济因素、心理因素、技术因素、程序因素、组织因素和环境因素^[14]。Fang 等学者指出,施工现场安全管理绩效与组织因素、经济因素、管理者和施工人员之间的关系因素相关度很高^[6]。Hinze 和 Gambatese 确定了影响专业承包商安全绩效的关键因素^[15]。Fang 等学者确定了影响施工现场日常安全管理绩效的安全危险源并进行了分类,在提取了 11 个关键因素的同时进行了解释和说明^[1]。Teo 等学者发现当存在公司政策不足、实践行为不安全、个人态度不重视、安全责任不清楚和施工人员安全知识培训不足的时候,施工现场安全事故更加有可能发生^[16]。Yi 和 Langford 介绍了导致安全事故不同风险因素的组合效果的概念^[17]。Carter 和 Smith 认为,目前对安全危险源的识别水平远远达不到理想的要求,并指出安全危险源的识别对于现场安全管理是至关重要的^[4]。Blackmon 和 Gramopadhye 注意到现场施工人员似乎常常会把现场的警告当成一般的噪声来对待,这个问题被认为是人的一种固有的缺陷,就是在没有正面反馈的时候无法保持持续的注意力^[3]。Jannadi 发现如果施工人员和他的合作人员和管理者之间有着良好的关系并有着对组织的归属感时,安全问题就更少发生^[18]。Hinze 和 Bren 利用美国职业安全健康管理局(Occupational Safety and Health Administration,简称为 OSHA)的数据分析了由于接触电线而造成的安全危险源^[19]。Hinze 等学者进一步研究了造成撞击安全事故的根本影响因素,并指出如何去避免此类安全事故^[20]。Perttula 等学者比较了施工现场材料运输导致的安全问题,指出使用升降机比人工搬运更加能够提高现场安全水平^[21]。

国内学者杨德钦从工效学系统出发,指出施工安全的一级影响因子是施工主体、施工条

件、施工对象和施工环境^[22]。姚庆国和黄渝祥指出事故的发生可以概括为人的不完全行为、物的不安全状态、环境的不安全因素和管理不善四个方面^[23]。陈强,陈桂香和尤建新介绍了灾害的定义,指出灾害主要由致灾因子、孕灾环境、灾害事故、承灾体及灾害损失五个部分组成^[24]。周直、於永和及傅华从风险形成的机理角度,提出了以项目风险因素、项目建设活动及项目风险损失形式为基本坐标,由笛卡尔积确定项目三维基本风险空间的方法,并且进一步初探了三维基本风险空间在风险辨识及风险评价中的一般数学表达形式^[25]。黄宏伟针对隧道及地下工程建设中的特点,对风险发生的机理等进行了讨论,指出由于隧道及地下工程孕育风险的环境,在致险因子的诱导下,就有可能引发各类风险事故的发生,进一步对各种载体体造成损失^[26]。赵挺生等学者对某地区 6 年来 88 例建筑施工伤害事故记录进行了分析,采用分层分析方法获得了各类因素导致施工伤害事故的频率^[27]。丁传波等分析了我国建筑施工伤亡事故的致因,并提出了相关对策^[28]。强茂山等学者对广东省主要城市的建设工程项目安全投入的组成和安全绩效进行了调查研究,分析了安全投入和产出之间的关系^[29]。方东平等学者用演绎分析的方法对建筑安全管理的目标和手段进行了探讨^[30]。袁海林指出了我国建筑安全事故产生的最主要原因存在于制度性因素之中,并用粗集理论对建筑安全指标体系的可靠性进行了检验^[31]。

2) 关于安全危险源的分类和事故调查过程的研究

Hinze 等学者指出美国 OSHA 对事故原因的 4 种分类不足以提供分析事故根本原因的信息,提出了可能的 20 种分类方法以提供更多的关于安全事故的信息^[9]。Abdelhamid 和 Everett 认为施工现场事故的调查缺少确定事故根本原因的重要步骤,提出了一个事故根本原因追踪模型^[2]。Chua 和 Goh 发展了一个事件原因模型作为一个有效的反馈机制,这个机制包括事故调查的编号信息,有利于在安全规划中充分利用信息^[32]。Hadikusumo 和 Rowlinson 讨论了一种工具,用来从安全工程师那里获得关于安全危险源和需要的安全措施的相关知识^[33]。

3) 关于安全态度、安全文化及安全气候的研究

还有相当一部分的研究集中在安全态度、安全文化和安全气候方面。Mohamed 对可能影响安全气候的因素进行了文献综述,并基于“安全行为是安全气候带来的结果”的假设,建立了相应模型,通过问卷调查进行了验证^[34]。Haupt 通过问卷调查研究了美国建筑企业安全态度对安全绩效的影响^[8]。Fung 等学者通过问卷调查研究了香港建筑业管理人员、监理人员及工作人员对建筑文化存在的分歧^[35],针对香港顶尖承包商及其分包商进行了一次全面的针对安全气候的问卷调查,并通过因子分析获得了由 15 个关键因素组成的指标体系^[36]。国内这个方面研究也比较多,代表性的研究包括:方东平和陈扬从文化和安全的定义入手,结合建筑业的特点,讨论了建筑业安全文化的内涵,分析了施工企业的安全文化在企业、项目、项目中层管理者和工人四个层面上的特征和具体表现^[37];黄吉欣等学者从安全和文化两个层次对安全文化的定义和理论模型进行探讨,剖析目前安全文化定义中存在的

两个重要分歧,并给出了安全文化模型,进一步明确了建筑业安全文化在社会、企业、项目和员工个人等各个层面上的内容和行为表现^[38];章鑫等学者采用非参数统计方法分析了业主的各种不同安全态度及措施对项目安全绩效影响的显著性^[39]。

1.2.2 安全风险领域研究的发展趋势

随着研究的进一步深入,在传统视角研究的基础上,国外期刊上关于安全风险的研究趋势逐渐清晰地出现以下两个新的研究视角和方向:关于在设计阶段考虑安全风险的研究和关于安全风险预测方面的研究。

1) 关于在设计阶段考虑安全风险的研究

从工程项目全生命周期的角度出发,一些研究强调了在设计阶段考虑安全问题的重要性,代表性的研究包括 Kartam^[40], Gibb^[41], Gambatese^[42], Baxendale and Jones^[43], Elbeltagi^[44], Weinstein^[45], Gambatese^[46]。国内也有部分研究涉及此方面,如李引擎的论文^[47],张仕廉和潘承仕的论文^[48]等。

2) 关于安全风险预测方面的研究

针对缺乏相关数据和有效的模型来预测施工现场事故的困难,Bentil 发展了一种预测建筑业事故的模型^[49]。Janicak 的研究表明,可以通过利用施工人员因素和安全程序因素的组合作来有效地预测事故^[50]。Gillen 的研究结果显示,一些独立变量如摔落的高度、站立的情况、安全气候测量值和安全协会的地位对受伤严重性有着显著贡献^[51]。Schmidt 研究了一种工具以用来预测建筑事故造成的损失^[10]。Quintana 等学者发展了一种事故的预测模型来提高安全绩效,这种模型需要实时地确定和评价潜在的安全危险源^[52]。同时,McConnell 验证了使用英语熟练水平作为工作受伤的预测指标的合理性,结论表明英语水平的熟练程度对工作伤害并没有显著贡献^[53]。田元福借鉴了国际先进的安全管理理论和经验,结合我国国情,利用事故树的方法对建筑安全危险性因素进行了预测^[54]。从国内期刊发表的论文来看,目前还是主要集中在传统研究视角的三个方面,对国际上安全风险研究体现出两个新趋势和发展方向没有足够重视,直接针对在设计阶段考虑安全风险的研究不多,直接针对安全风险预测方面的研究还很缺乏。

1.2.3 现有研究的不足

1) 安全风险管理领域研究和实践的不足分析

应当承认,在安全风险领域的许多方面都已经取得了不少进步。但是,研究人员及行业的实践人员忍不住要问:既然我们已经对安全事故的可能影响因素做了这么多的研究,那么为什么安全事故仍然持续不断的发生?更加严重的是,发生在类似情况下的类似事故也不断地困扰着建筑业^[55,56]。目前的研究和实践到底存在哪些不足?

图 1.1 是一个示意模型,总结了目前实践中提高安全绩效的途径。的确,如果所示的导

致事故的因素能够得到根本的解决,施工现场的安全绩效是能够得到极大的改善和提高。然而,不能忽视的是,由于一些关键因素的限制,从初步认识到真正彻底解决这些根本影响因素之间,存在着不可避免的时间间隔。正是这些关键影响因素使得施工现场安全风险管 理任重道远,这些因素包括安全风险的经济性问题^[1,57]、设计人员对安全问题的认识及考 虑程度^[1, 57, 58, 59]、安全政策的改进^[5,16,60]、人的失误^[55,58,61,62]等。此外,从实践层面来看,在 安全危险源清单常规性检查(或者是未遂事件报告)和采取改进措施之间,也存在着时间间 隔。因此,在这些时间间隔中,大量的不确定性因素(如即时的因素等等)存在着导致产生安 全事故的极大可能性。目前研究和实践的不足正是在于这些时间间隔上,换句话说,即使这 些导致安全事故的因素是以前已经知道的,现有的安全管理系统对其也无能为力,因为现有 的安全管理系统缺乏一个有效的机制来阻止即时因素导致安全事故的重复发生。

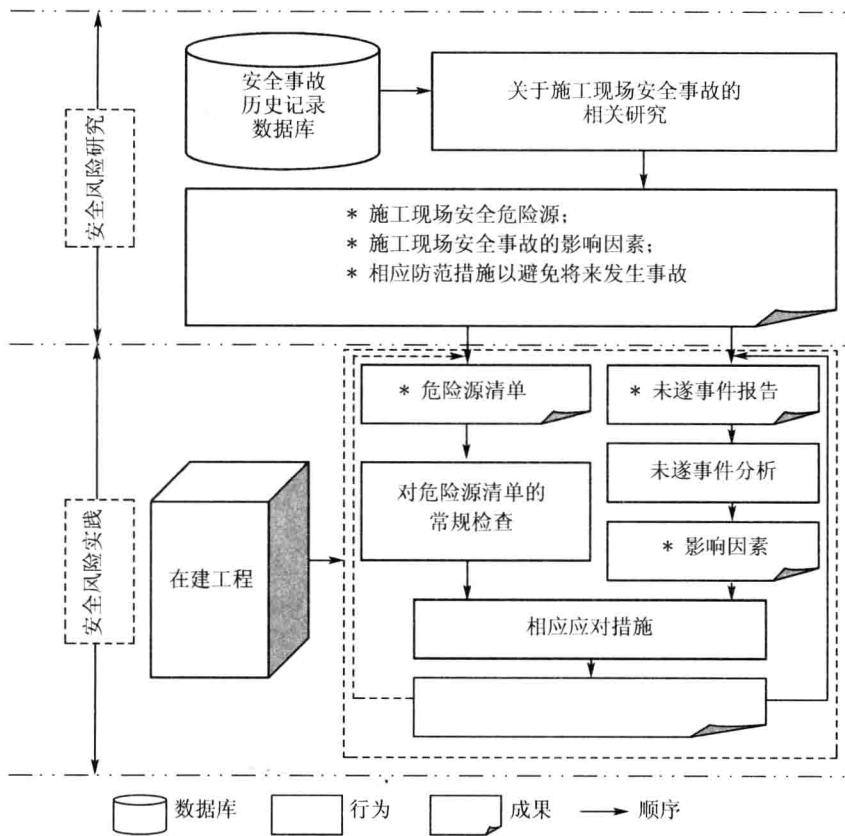


图 1.1 目前实践中提高安全绩效途径的示意模型

为了进一步说明这个问题,现以美国和英国的两对重复发生过的类似案例^①作对比。
(1) 曾经在美国的某一个施工现场,一个工人在脚手架上浇注混凝土后,在清洗混凝土

① 案例来源:美国数据来自于美国 OSHA 安全事故数据库(1990—2008);英国的数据来源于 2003 年英国 HSE 的报告《Causal factors in construction factors》。

泵的时候,混凝土泵产生了一个突然的惯性力,这个工人被混凝土泵甩出了脚手架,当场死亡。而同样类似的事件在英国也发生过,同样是由于浇注混凝土后清洗混凝土泵时产生的惯性力,施工人员被甩出去撞在了柱子上,当场骨折。幸运的是,英国的工作人员当时是在地面工作,而不是在楼上工作。

(2) 英国某施工现场的一个工人由于不小心踩在了现场地上散放的半砖上,严重扭伤了脚踝,导致休息了好几天。这个工人在接受调查时提到,他以前在另外一个施工现场也经历过类似的情况,并且当时同样的事情也曾经发生过。

以上两对案例只是冰山一角,说明了这样一个情况,无论在研究或者实践中是否曾经识别出安全风险的影响因素,目前的施工现场安全管理系统都无法及时有效地阻止即时因素导致的安全事故。

2) 借鉴天气预报和地震预报的研究思路

图 1.2 总结了天气预报^[65,66]和地震预报^[63,64]的一般研究思路和发展过程。

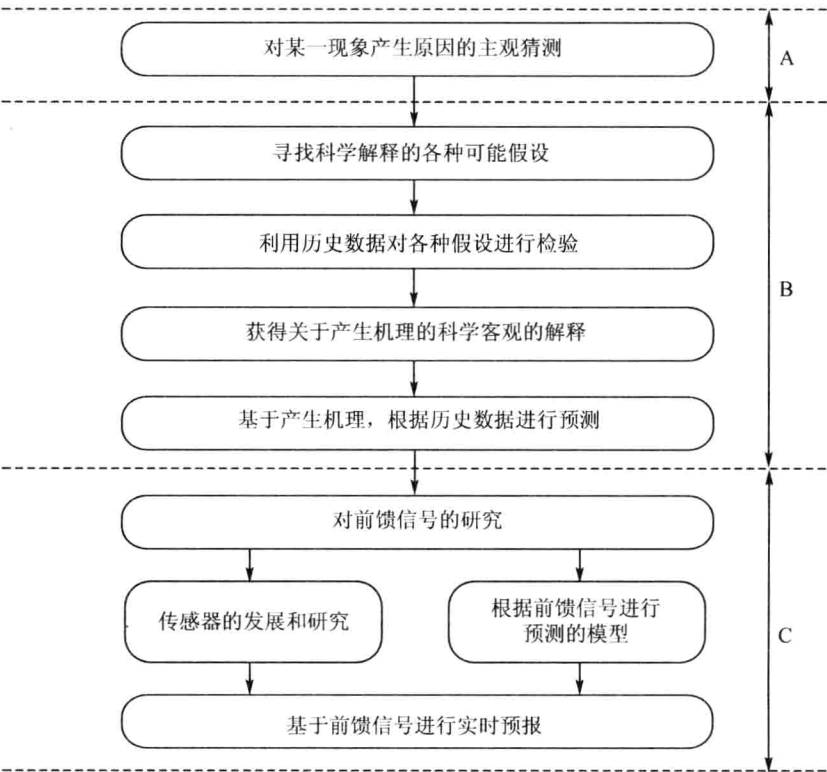


图 1.2 天气预报和地震预报的一般研究路线

从总体上看,天气预报和地震预报的研究可以划分为三个阶段,在图 1.2 中分别记为 A、B 和 C。A 阶段表示的是人类对自然现象的一种不理性认识,通过主观猜测去解释自然现象。在 B 阶段,随着社会的发展和科学技术的进步,越来越多的人开始寻找自然现象产生的客观机理,他们提出各种假设,并在实践中通过各种历史记录验证这些假设。最终,人们