

BIM 与施工安全管理

郭红领 刘文平 张伟胜 于言滔 著



中国建筑工业出版社

BIM与施工安全管理

郭红领 刘文平 张伟胜 于言滔 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

BIM 与施工安全管理 / 郭红领等著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 4

ISBN 978-7-112-20607-0

I. ①B… II. ①郭… III. ①建筑施工—安全管理—管理系统 (软件) IV. ①TU714-39

中国版本图书馆CIP数据核字 (2017) 第056675号

本书针对施工安全管理三要素, 即物的不安全状态、人的不安全行为和不安全的环境, 结合 BIM 等先进的信息技术深入探索了施工安全管理新方法与新技术, 以期望为建筑工程施工安全管理提供有效的支撑手段, 提高建筑业的安全管理水平。此外, 本书介绍了工程设计不安全因素自动识别原型系统和施工工人不安全行为实时监控预警原型系统, 及其应用测试情况。结果表明, 本书提出的基于 BIM 的施工事故预防方法与技术可以有效地发挥事故预警作用, 相关系统具有较好的应用前景。

本书总结了作者多年来在 BIM 和施工安全管理研究与实践方面的经验, 兼顾了理论与实践。本书既适用于 BIM 相关领域的研究人员 (包括大中医院校、科研院所研究生和本科生), 又适用于建筑业相关从业人员 (包括政府、开发商、承建商等)、相关软件技术研发人员、咨询行业从业人员等。

责任编辑: 赵晓菲 朱晓瑜

书籍设计: 京点制版

责任校对: 王宇枢 李美娜

BIM与施工安全管理

郭红领 刘文平 张伟胜 于言滔 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京点击世代文化传媒有限公司制版

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 9¼ 字数: 156 千字

2019年6月第一版 2019年6月第一次印刷

定价: 35.00 元

ISBN 978-7-112-20607-0

(30282)

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)

前言

建筑业在全球范围内已经成为最危险的行业之一。在中国，每年建筑工程施工安全事故死亡人数超过千人，造成了巨大的经济损失和社会影响。尽管安全培训等传统的安全管理方法和技术在某种程度上提高了安全管理成效，但由于施工现场的动态性和复杂性，其难以有效预防施工事故的发生，致使建筑行业安全事故频发、工人伤亡率居高不下。为此，在国家自然科学基金委的资助下，作者针对施工安全管理三要素，即物的不安全状态、人的不安全行为和不安全的环境，结合 BIM (Building Information Modeling) 等先进的信息技术深入探索了施工安全管理新方法与技术，以期望为建筑工程施工安全管理提供有效的支撑手段，提高建筑业的安全管理水平。

结合国家自然科学基金委资助项目的研究成果，本书提出了集成 BIM 的施工安全管理理念与基本架构，进而从人、物、环境三方面系统阐述了安全事故预防方法与机制。在物的不安全状态识别方面，由设计—安全 (Design for Safety) 理念出发，通过对工程建设项目设计不安全因素的系统分类，即不安全的主体结构设计、不安全的临时设施设计和不安全的作业空间设计等，分别构建了设计安全规则，然后结合编码规则提出了 BIM 与安全规则的集成机制，进而构建了基于 BIM 和安全规则的设计不安全因素自动检测机制。在人的不安全行为控制方面，通过对施工现场工人不安全行为的综合分析，识别了不安全行为监控所需要的基本信息，即工人及机械设备位置信息、工人属性及装备信息、工人行为动作信息等，然后结合空间坐标系构建了 BIM 和定位技术的集成机制，进而提出了基于 BIM 和定位技术的工人不安全行为实时监测方法与机制。在环境不安全因素识别方面，通过对施工现场环境不安全因素的系统分类，建立了施工环境的安全规则体系，包括脚手架、洞口、基坑、塔吊等方面，进而提出了基于 BIM 和安全规则的施工环境不安全因素自动检测方法。此外，本书介绍了工程设

计不安全因素自动识别原型系统和施工工人不安全行为实时监控预警原型系统, 及其应用测试情况。测试结果表明, 本书提出的基于 BIM 的施工事故预防方法与技术可以有效地发挥事故预警作用, 相关系统具有较好的应用前景。

本书总结了作者多年来在 BIM 和施工安全管理研究与实践方面的经验, 兼顾了理论与实践。因此, 本书既适用于 BIM 相关领域的研究人员(包括大中院校、科研院所研究生和本科生), 又适用于建筑业相关从业人员(包括政府、开发商、承建商等)、相关软件技术研发人员、咨询行业从业人员等。对于研究与开发人员, 本书意在提供集成 BIM 的施工安全管理理念与系统开发思路; 对于行业从业人员, 本书意在提供 BIM 辅助施工安全管理的基本思路与方法。

在本书即将完成之际, 衷心感谢清华大学 BIM 课题组所有成员对本研究的重要贡献, 是他们的大力支持才使得本课题顺利完成。同时, 感谢国家自然科学基金委(项目批准号: 51208282)和清华大学(土木工程)一广联达软件股份有限公司 BIM 联合研究中心的资助与支持, 使得本课题研究工作顺利开展。

我们真诚希望本书的出版能为业界在施工安全管理状况改善和 BIM 拓展应用等方面提供有益的参考。

本书为研究成果与实践经验的总结, 作者一家之言, 难免存在值得商榷之处, 欢迎广大读者提出宝贵意见!

目 录

第 1 章 绪论

1.1	建筑业安全现状	1
1.2	施工安全管理概述	3
1.2.1	安全管理概念	3
1.2.2	安全管理方法	5
1.2.3	安全管理存在的问题	8
1.3	BIM 应用现状	11
1.3.1	BIM 简介	11
1.3.2	BIM 与设计	13
1.3.3	BIM 与施工	14
1.3.4	BIM 与运营维护	15
1.4	BIM 与施工安全管理	16
1.4.1	BIM 辅助减少人的不安全行为	16
1.4.2	BIM 辅助减少物及环境的不安全状态	18
1.5	本书内容提要	20

第 2 章 集成 BIM 的施工安全管理理念

2.1	施工安全管理内容及特点	21
2.1.1	跨阶段	22
2.1.2	跨专业	23

2.1.3	跨因素	23
2.2	协同安全管理关键问题	24
2.2.1	项目信息采集	24
2.2.2	项目信息集成	25
2.2.3	项目信息流动	25
2.2.4	多专业部门协同	25
2.3	集成BIM的施工安全管理思想	26
2.4	集成BIM的施工安全管理理论架构	27

第3章 BIM与不安全设计因素识别

3.1	面向施工安全的设计理念	29
3.1.1	设计与施工安全	29
3.1.2	面向施工安全的设计	31
3.1.3	规范检查与DFCS实施	32
3.2	不安全设计因素分类	34
3.2.1	不安全结构设计因素	36
3.2.2	不安全临时设施设计因素	36
3.2.3	不安全空间设计因素	36
3.3	设计安全规则定义及构建	38
3.3.1	设计安全规则定义	38
3.3.2	设计、规范与施工安全之间的关系	39
3.3.3	基于规范的安全规则编码	40
3.3.4	安全规则构建方法	42
3.4	基于BIM的设计不安全因素自动识别方法	45
3.4.1	安全规则应用机制	45
3.4.2	BIM与安全规则的集成机制	49

第 4 章 BIM 与现场工人不安全行为监测

4.1 施工不安全行为概述	55
4.1.1 施工不安全行为的含义	55
4.1.2 施工不安全行为的致因	56
4.2 施工不安全行为分类	58
4.2.1 违章操作	59
4.2.2 安全用品使用不当	63
4.2.3 接近危险因素	64
4.3 基于 BIM 的施工不安全行为监控信息需求	67
4.3.1 工人及机械位置信息	67
4.3.2 工人属性及装备信息	68
4.3.3 工人行为动作信息	69
4.4 定位技术与不安全行为监控	69
4.4.1 室外 GPS 定位	70
4.4.2 室内 UWB 定位	71
4.4.3 基于 GPS 和 UWB 的综合定位	73
4.5 基于 BIM 和定位技术的不安全行为监控方法	74
4.5.1 BIM 集成平台选择	74
4.5.2 定位技术与 BIM 集成机理	75
4.5.3 基于 BIM 和定位技术的不安全行为识别	76

第 5 章 BIM 与现场不安全环境因素识别

5.1 典型施工事故分析	79
5.1.1 高处坠落	79
5.1.2 物体打击	80
5.1.3 机械伤害	80
5.1.4 坍塌	81

5.1.5	触电伤害	81
5.2	施工不安全环境因素分类	81
5.2.1	基坑	81
5.2.2	洞口	82
5.2.3	临边	82
5.2.4	墙	82
5.2.5	脚手架	82
5.2.6	机械设备	83
5.2.7	塔吊 / 吊车	83
5.2.8	电线 / 电缆	83
5.2.9	重要岗位	84
5.3	环境安全规则构建	84
5.3.1	高坠区	85
5.3.2	落物区	85
5.3.3	碰撞区	86
5.3.4	坍塌区	86
5.3.5	触电区	87
5.3.6	重要岗位	87
5.4	基于 BIM 的不安全环境因素自动识别方法	88

第6章 集成BIM的施工安全管理平台

6.1	不安全设计因素自动识别系统	91
6.1.1	系统基本架构设计	91
6.1.2	系统主要模块设计	95
6.1.3	系统应用效果展示	101
6.2	施工人员不安全行为监控预警系统	105
6.2.1	系统初始设计	105
6.2.2	系统基本架构设计	109

6.2.3	系统主要模块设计	111
6.2.4	系统工作流程	122
6.2.5	系统应用效果展示	122
6.3	综合评述	130
参考文献		131

第 1 章

绪论

人的生命与健康是经济社会发展的基础和目标，离开了人，经济发展将失去其动力和意义。因此，在经济社会发展过程中，最不应该忽视的就是人的生命和健康。然而，在世界范围内，职业安全与健康状况不容乐观，建筑业作为高危行业之一，其安全形势更加严峻。

施工现场作为生产因素（如工人、机械和材料）的聚集地，具有规模庞大、环境复杂、作业动态、项目唯一等特点，涉及多工种综合交叉作业以及大型机械设备的现场操作等活动，且存在大量的露天作业和高空作业。传统的施工现场管理方式，既难以对现场资源调度进行有效合理的安排，也难以对现场做到全面的监测和控制。这都使施工现场常常存在大量的安全隐患，因而安全生产事故也频繁发生。近年来，由于经济发展和城市建设的需要，建筑业发展也随之突飞猛进，投入产出量迅速增长。施工安全事故，不仅造成了巨大的经济损失，也对社会稳定产生了严重的负面影响。因此，加强建筑业安全管理，提高建筑业安全生产水平至关重要。

1.1 建筑业安全现状

职业安全与健康已经成为业界和学术界共同关注的热点问题之一。根据国际劳工组织数据，全球平均每 15 秒就发生 153 起职业事故，有 1 名工人死于职业事故或者疾病，即每年发生超过 3.17 亿起职业事故，超过 230 万名工人死于职业事故或者疾病。这些事故在引起伤亡的同时，也带来巨大的社会影响和经济损失。据统计，全球每年因职业安全与健康不当造成的损失占全球国民生产总

值的4%。

作为高危行业之一，建筑业安全问题形势非常严峻。从世界范围看，建筑工人现场受伤概率比其他行业工人高1倍，死亡概率比其他行业工人高2倍。在美国和英国等发达国家，安全管理水平较高，但其建筑业工人的事故率和死亡率也高于多数行业。图 1-1 为美国 2014 年各行业致死事故伤害数量统计图。建筑业致死数量最多，事故死亡率也位居前列；在英国，建筑业近 3 年的平均事故率也处于较高水平，如图 1-2 所示。

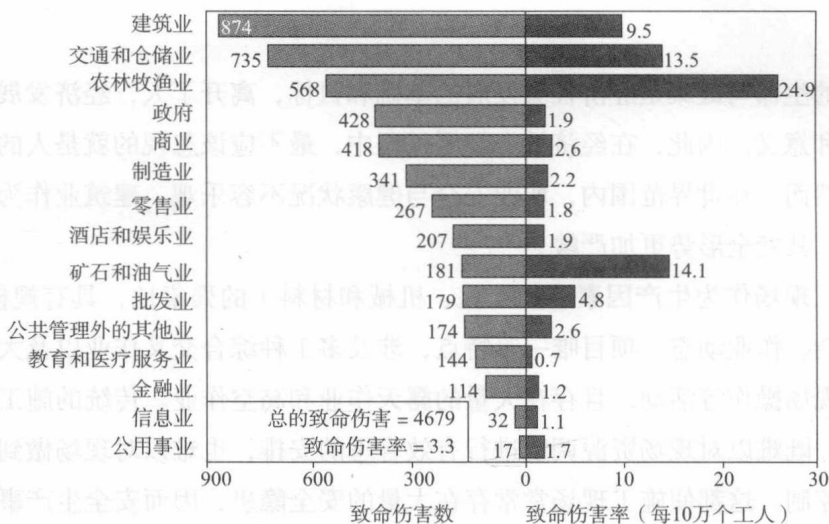


图 1-1 美国 2014 年各行业致死事故伤害数量统计

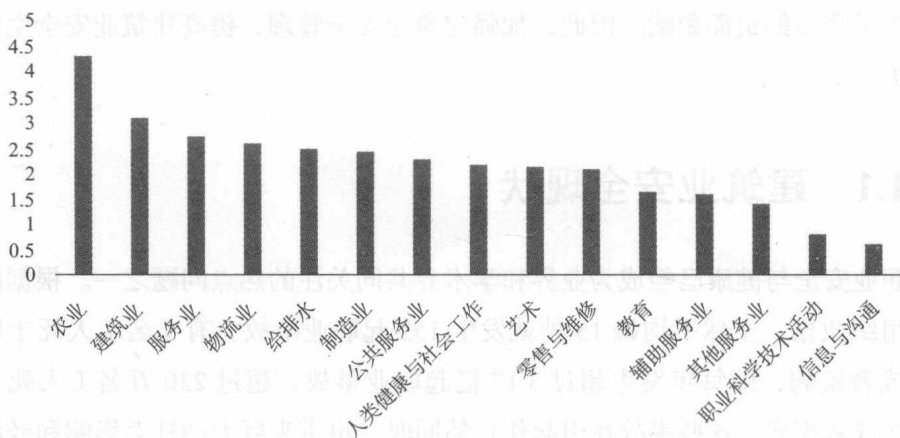


图 1-2 英国 2012~2014 年各行业事故率平均值

中国在改革开放和城镇化迅速发展的趋势下,建筑业总体规模飞速增长,从业人员逐年增加,但尚未形成完善的安全管理制度与措施,建筑业安全形势更加严峻。根据国家安全生产监督管理总局的统计数据,自2011年以来中国建筑业年死亡人数已超过采矿业,成为中国最危险的行业。图1-3为1998~2011年我国建筑业施工安全事故情况统计。尽管施工安全事故的发生数量和死亡人数在近年已有所减少,但仍然处在一个较高的水平。因此,如何做好施工安全管理工作,提高施工安全管理水平,确保施工的安全进行,长期以来受到业界及学术界的广泛关注。

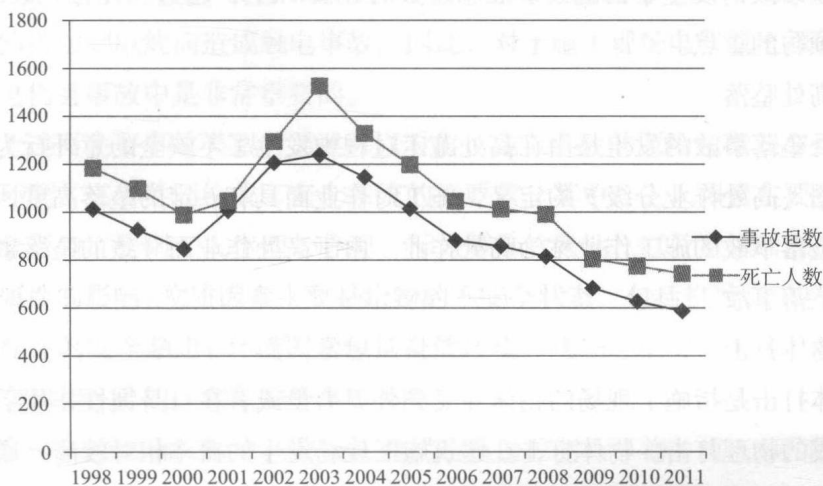


图 1-3 中国 1998~2011 年建筑业施工安全事故情况统计

1.2 施工安全管理概述

安全管理滞后于生产力发展也是建筑业成为高危行业的一个重要原因。现代安全管理观点认为,一切安全事故都可以通过有效的安全管理方法和手段进行预防。因此,欲改善建筑业安全现状,降低施工现场事故率和死亡率,寻找有效的安全管理方法和手段至关重要。

1.2.1 安全管理概念

安全管理是以保护工人生命安全、预防事故发生为目的而采取的一系列针对

工人、物质和环境的法律、体制和组织方法与措施。在实际安全管理的研究与实践中,通常以已有安全事故资料为依据,对现有事故成因进行分析,总结事故规律和预防经验,从而指导安全生产。

在事故分析与总结方面,根据《企业职工伤亡事故分类标准》GB 6441—1986^[1],施工安全事故的常见类型包括高空坠落、物体打击、坍塌、触电等。根据2004~2012年对我国建筑施工事故主要类型统计,高空坠落、坍塌、物体打击、机械伤害、触电伤害的分布平均值分别为49.17%、16.09%、12.37%、7.2%、5.31%,五种类型事故的发生率占重大事故总起数的87%以上,超过总死亡人数的90%,是事故预防的重点。

1. 高处坠落

高处坠落事故的发生是由在高空施工过程中发生了不安全的意外行为等导致的。根据《高处作业分级》的定义,施工时作业面具有一定的坠落高度,并且可能发生坠落事故的施工作业称为高处作业。由于高处作业而导致的坠落事故则称为高处坠落事故。

2. 物体打击

物体打击是指施工现场的物体在受到外界力量或者在自身惯性作用下对现场人员造成的物理打击。物体打击在建筑施工现场发生的概率相对较高,通常造成的人身伤亡事故也较为严重,可能造成单人的伤亡事故,也可能造成群体性的伤亡事故。

3. 机械伤害

机械伤害指的是施工现场的机械、设备等在作业和运转的时候,由于其强大的动能对作业人员或者机械设备之间造成的物理伤害。机械伤害事故涵盖的范围非常大,凡是由于施工现场的机械设备对作业人员或者其他机械设备造成的物理伤害,都可以包含到机械伤害里。具体机械设备包括:运输机械、装载机械、掘进机械、钻探机械和其他的转动或传动设备等。

4. 坍塌

在建筑工程施工行业,坍塌事故主要发生在基坑、基槽、坑洞、模板支架以及一些竖向设施中。当基坑和基槽处于开挖和施工阶段时,支护的不合理导致土体的稳定性不足容易引起基坑坍塌事故。同时,由于天气的原因如下雨后没有及时排水,或者基坑边缘堆放了超过规定的重量物品时,土体也可能造成坍塌事故。

涉及坑洞的坍塌事故主要发生在隧道、暗挖等施工作业中，如地铁施工等。竖向设施在建筑施工过程中的表现形式主要是建筑物外围的脚手架等，如脚手架搭建或者拆除过程中的施工工序不合理而导致的脚手架坍塌事故等。

5. 触电伤害

触电伤害是指人体通过直接或者间接的方式接触到电源或者带电物体而造成的人身伤亡事故。由于行业的特点，在施工现场存在着大量的电线或者其他的电源，如发电机等，同时施工现场的材料如钢筋、钢管、钢板等都是导电物体。当作业人员在施工作业时，极有可能直接接触到这些电线或者电源，或者由于钢筋、钢板等的接触到电线而造成触电事故。因此，对于施工现场电线或电源的管理在预防触电伤害事故中是非常重要的。

由上述对主要事故类型的描述可以看出，施工事故的原因包括三方面：工人、物质和环境，三者共同构成了安全系统的三要素。其中，工人因素主要是指工人的不安全行为，受到工人生理、心理、行为等自然属性，以及意识、态度、文化等社会属性的影响；物质因素主要是指物的不安全状态，包括机器、工具、设施、设备等存在的安全隐患；环境因素包括自然环境、现场环境等。工人、物质和环境等因素的相互作用，致使安全事故发生。

从安全系统的角度考虑，安全管理就是通过控制人、物（机）、环境三要素，以及协调人机、人环、人机环关系，实现安全系统的优化和安全水平的最大化。在施工现场，工人的不安全行为是施工现场事故发生的主要原因，如未佩戴安全防护措施或佩戴方法不正确、进入不安全区域、动作不规范等；物的不安全状态包括具有安全隐患的机械、设备和脚手架等临时设施的不安全现状；不安全的环境指工人作业所处的具体环境存在安全隐患，作业环境的安全性受设计方案、施工方案、现场布置等多方面因素影响。因此，改善建筑业的安全管理水平，需从减少人的不安全行为、减少物的不安全状态、提升环境安全性入手。

1.2.2 安全管理方法

施工安全管理的最终目标是保证每个建筑工人的安全和健康。为了达到这个目标，从安全系统三要素出发，依据管理对象的不同将安全管理方法分为三类：针对人的管理，针对物的管理，针对环境的管理。

1. 针对人的管理

针对人的管理主要是对现场人员的不安全行为进行规范管理。人的不安全行为是事故发生的主要原因,研究表明,超过九成的安全事故是由人的不安全行为所导致的。因此,对施工现场工人不安全行为实施有效的预防,加强对施工工人的安全管理至关重要。在建筑业的施工安全管理实践中,针对人的管理方法主要是安全培训和激励措施。

(1) 安全教育和培训

安全教育和培训是预防人的不安全行为的常用方式。其中,安全教育注重的是人长期安全意识的培养,使工人从安全的角度出发进行行为决策;安全培训则注重在短期向工人传授安全生产技能,与安全教育相比,安全培训的内容范围更小、更为具体。安全教育和培训的内容包括:安全知识教育、安全技能教育和安全态度教育。

安全知识教育的目的是使人员掌握有关事故预防基本知识,了解在实际生产过程中可能遇到的危险以及预防和应对措施。安全技能教育则强调实践性,让工人通过实际操作将安全知识转化为安全技能,在实际生产过程中运用安全知识进行行为决策。安全态度教育是最重要的内容。虽然经过安全知识和技能教育,工人已经能够从理论和实践层面理解生产过程中可能遇到的危险,以及相应的预防、应对措施,但是在实际生产过程中工人是否能运用安全知识和技能教育中所学的内容指导自己的行为,则取决于工人本身的心理活动。安全知识和安全技能教育只能在真实施工过程开始前对工人进行预防教育,但是在实际生产过程中,无法控制工人在实际生产中的行为决策过程;而安全态度教育的目的就在于让工人自觉地在实际生产过程中运用安全知识和技能。

安全教育和培训的形式方法多种多样,较常用的有广告、演讲、讨论、竞赛、多媒体和文艺演出。广告包括安全广告、标语、宣传画、标志、展览等形式。这些广告通常设立于现场较为醒目的位置,内容简洁醒目,起到提醒工人注意安全生产的作用。演讲包括教学、讲座等形式,其内容通常包括系统的安全生产知识介绍以及案例分析。可以丰富工人的安全知识,提升工人的安全意识。讨论包括现场事故分析讨论等,该方法强调工人在讨论过程中的自我教育。由于所学知识为工人自行分析的结论,因此工人掌握较好、印象深刻,在实际生产过程中也会多加运用。竞赛包括笔试、口试、技能竞赛等。竞赛通过成果激发工人学习的积

极性,使工人自发地学习并掌握安全知识与技能。多媒体和文艺演出是指运用广播、电影、电视等方法向工人传授安全知识和技能。多媒体与传统纸质学习材料相比,具有表达直观、形式活泼、通俗易懂的特点。通过多媒体学习安全知识与技能,工人的印象更加深刻,学习热情更高。

(2) 激励措施

激励是指组织通过设计适当的外部奖励形式和工作环境,以一定的行为规范和惩罚性措施,借助信息沟通,来激发、引导、保持组织成员的行为,从而有效地实现组织以及成员个人目标的系统活动。在施工安全管理方面所采用的激励方式,通常包括物质激励和精神激励两种。物质激励是指为了满足工人物质需求而进行的激励,如发放奖金、增加工资等;精神激励是指通过精神奖励激励员工的措施,如荣誉称号、提升职位等。在实际操作过程中,物质激励和精神激励往往是密切关联的,如当安全绩效表现优秀的工人工资增加时,工人除获得奖金外,高工资本身也可看作是个人作业高水平的体现,因此工人同时也获得了精神激励。物质激励往往可以带来精神激励,但是精神激励所带来的自我成就与满足感是物质激励无法替代的。

2. 针对物和环境的管理

除人的不安全行为之外,施工事故成因还包括物的不安全状态、不安全的的环境因素以及人、物、环境之间的交互作用。物的不安全状态是指处于不安全状态的机械、设施、设备等;环境的不安全因素是指容易引发危险的环境要素,如未加护栏的深基坑、未加设防护措施的临边、洞口等。现有的施工现场物和环境的管理包括施工前的准备阶段和施工阶段。

(1) 施工准备中的管理

虽然物的不安全状态和不安全的环境因素在施工生产过程中才得以表现,但是普遍与施工之前的工作存在联系,也就是说对物的不安全状态的控制需要考虑施工现场之前的影响因素。施工前的工作往往决定了施工过程中涉及的各种因素,包括施工设备、材料、机械等,同时由于设计方案决定着基槽开发、设备搭拆、场地布置等施工活动和工序,而这些施工活动还影响着脚手架、塔吊等临时措施的设计及构造,这些施工现场的临时措施又直接或间接导致高空坠落、物体打击、坍塌等施工伤害。因此,在施工前考虑施工现场的安全性十分必要。