

# 上海天文馆工程建设关键技术 研究与应用

李岩松 徐晓红 主编



同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS

## 编 委 会

主 编：李岩松 徐晓红

副主编：顾庆生 贾海涛 郑 威

编 委：李亚明 王 建 张志国 臧红兵 陈家远

参编人员(按姓氏笔画为序)：

丁 晶	王 颖	石亚杰	叶 勇	朱 华
朱 婷	孙海燕	李 尧	李瑞雄	肖 魁
时文丽	邹维娜	汪 铮	沈 戈	张良兰
陈 峰	陈剑秋	郜 江	贺 坤	贾水钟
徐 晨	潘其健			

# 前 言

通常所讨论的大型公共建筑,是公共建筑中相对特殊的建筑。与常规公共建筑相比,大型公共建筑的体量和规模更大。在《关于加强大型公共建筑工程建设管理的若干意见》中明确定义了大型公共建筑是指建筑面积在 20 000 m<sup>2</sup> 以上且采用中央空调系统的各类公共建筑,例如办公建筑中的大型写字楼等;商业建筑中的大型商场、金融建筑等;科教文卫建筑中的大型文化、教育、科研、医疗、卫生、体育建筑等;通信建筑中的大型邮电、通讯建筑等;交通运输类大型建筑中的机场、火车站、轨道站、港口等。如今,作为城市综合实力的象征,大型公共建筑的数量与日俱增,大型公共建筑已经成为城市居民不可或缺的社交场所与公共休闲场所,它与城市环境、经济命脉以及社会稳定发展息息相关,为整个城市的发展注入了活力。目前,国内外关于大型公共建筑的研究侧重建筑功能运作自动化与建筑物的节能运作。大型建筑物的运作包含多种功能系统,如水、电、热力、空调、通信等。建筑物的节能使命是降低建筑物各类设备的能耗,延长其使用寿命,提高效率,减少管理人员,求取更高的经济效益。发达国家还针对大型公共建筑的建设出台了相应的政策法规、实行能效标识与绿色建筑评价体系等,探索了一套行之有效的管理方案。

上海天文馆属于上海科技馆分馆,作为大型公共文化建筑,它具有提升公众科学素质、完善上海城市功能、构建天文交流平台、推进临港地区城市建设等作用。上海天文馆项目位于浦东新区的临港新城,北侧是环湖北三路,西侧是临港大道,南面和东面均为市政绿地,总用地面积 5.86 hm<sup>2</sup>。整个地块内建筑包括两部分:主体建筑和附属建筑。附属建筑由魔力太阳塔、青少年观测基地、厨房(餐厅)、大众天文台和垃圾房组成。项目总建筑面积 38 163.9 m<sup>2</sup>,包括地上面积 25 762.1 m<sup>2</sup> 和地下室面积 12 401.8 m<sup>2</sup>。基地内有两组建筑,主体建筑面积 35 253.2 m<sup>2</sup>,魔力太阳塔、青少年观测基地、厨房(餐厅)和大众天文台四者的合计面积是 2 910.7 m<sup>2</sup>。地面建筑不超过三层,其中主体建筑地上三层,地下一层,总高度 23.950 m;青少年观测基地地上一层,总高度 4.67 m,厨房(餐厅)地上一层,总高度 6.65 m;魔力太阳塔地上两层,总高度 22.50 m;大众天文台地上三层,总高度 20.45 m。主体建筑的结构是采用钢筋混凝土结构、钢结构、铝合金结构交织而成的结构体系,大悬挑、球幕影院球体、东侧地上一层结构、斜坡、步道等采用钢结构,倒转弯顶采用铝合金结构,其余部分采用钢筋混凝土框架剪力墙结构。

为建设世界一流的天文馆,并为类似大型公共建筑项目的建设提供先进案例和科学指导,解决建设过程中的关键技术难题,上海科技馆依托上海天文馆建设工程项目,开展了“上海天文馆工程建设关键技术研究与应用”专项课题研究,课题研究内容包括以下 4 个方面:

## 1. 空间结构技术与工程实践子课题

对于空间结构技术风险控制子课题,研究了目前国内外适用于大空间复杂建筑的结构体系对建筑空间、幕墙、室内展陈设计的风险影响因素及其风险控制措施;为了满足人流舒适度和设备运行要求,研究采用先进的振动控制技术,控制结构竖向振动的周期和加速度,如设置阻尼器。同时,通过该技术优化结构体系,使结构尽可能轻巧,最大限度实现建筑创意;对异型曲面混凝土设计方法做了研究,通过详细的分析计算,把握壳体结构的内力分布以及传力路径,优化结构的构造做法;

同时研究其施工流程、施工措施、模板处理等,保证其表面的建筑效果及浇注质量;对于节点构造设计,由于上海天文馆项目存在多处钢结构与混凝土结构相连接的节点,要保证结构的安全,同时还需满足建筑效果的要求,节点形式的分析与选择、节点构造设计是研究的重点。对于结构风荷载,结合计算机计算分析与实验方法,研究结构风敏感部位的处理方法,分析不同参数处理可能带来的影响,使得风荷载取值更能反映真实情况。施工方案及健康监测技术研究,通过施工方案研究,确定合理的施工方案,同时研究结构全过程健康监测技术,指导结构的施工,评估结构的全过程性能,保证结构的安全性。

#### 2. 大型公共建筑节能技术集成应用和展示子课题

对于大型公共建筑节能技术风险控制子课题,研究了大型公共博物馆建筑节能设备的技术、经济和社会风险及其控制措施等;对于绿色建筑(三星)关键技术,天文馆项目将地源热泵、太阳能、照明控制系统、雨水收集利用、高效节水器具等多项节能技术集成运用,研究这些技术在设计、施工与运营阶段的落实应用以及展教示范功能,使得建成后的上海天文馆能成为大型公共绿色建筑的示范工程。对于新能源与节能模式综合利用技术,天文馆项目采用了地源热泵与太阳能集热器/光伏板,子课题研究新能源与其他能源模式的有机结合,尽可能最大化综合利用,以减少能源消耗和碳足迹,提高建筑的环境友好性。

#### 3. 滨海盐碱土生态可持续绿地景观建设研究子课题

对于可持续绿地景观建设风险控制子课题,研究了博物馆绿色景观在盐碱土环境中的风险分析和风险控制等;对于脱盐、改碱、地力培肥的一体化土壤修复技术,研究采用脱盐、改碱、地力培肥一体化措施,在淡水洗盐的同时,降低土壤 pH,改善土壤结构,提高土壤肥力;对于乔木种植的区域土壤次生盐渍化控制技术,研究采用乔木种植区域排水工程措施控制地下水位和地面覆盖技术相结合减少土壤水分蒸发,实现控制土壤次生盐渍化的目标;对于滨海盐碱土绿化植物的筛选与植物生态景观设计,研究了生物多样性和景观群落化生态可持续绿地设计方法,使盐碱土绿化生态功能和效益提高。

#### 4. 基于 Cloud-BIM 的建设工程项目信息化管理子课题

对基于 BIM 的工程项目信息化技术风险控制,研究了基于 Cloud-BIM 的多方协同工作对项目实施产生的风险,评估风险并采取有效的风险控制措施等;对基于 Cloud-BIM 的三维协同设计与集成,用现有设计流程的各个环节和时间节点在云环境中的 BIM 去有效地集成,形成可复制、可推广的创新模式,BIM 在图纸三校两审制度方面的应用,研究 BIM 模式在大型复杂公共文化建设项目尤其是设计总包项目中的集成化设计与整合协调机制;对基于 Cloud-BIM 的建设工程项目管理,应用云计算、大数据、BIM 等前沿信息技术,建立基于 Cloud-BIM 技术的协同数据管理平台,实现上海天文馆项目建设的数据信息的整合及其综合应用,提升项目各参与方的流程管控与协调,使工程项目信息在规划、设计、建造和运营维护不同阶段充分共享、无损传递,使工程项目的参与方在整个生命周期内都能够在模型中利用信息,在信息中操作模型,进行有效协同工作,提高设计质量,减少返工和浪费。

本书以上海天文馆建设工程项目作为研究平台,详细讲解了大型公共建筑项目建设过程中的关键技术与应用过程。全书共 4 篇,11 章。各篇的主要内容安排如下:

第 1 篇,空间结构技术与工程实践,包括空间结构工程风险控制研究、空间结构技术与工程实践共 2 章。首先,对建设项目工程风险进行理论分析,构建基于贝叶斯网络的建筑施工安全风险评估模型,开展空间结构工程风险控制研究。然后,以上海天文馆为例,具体阐述了结构整体设计、结构舒适度的控制技术、混凝土壳体结构的设计与施工技术、节点构造设计、结构风荷载、

施工方案及健康监测技术这6项研究的具体研究方法与研究过程。

第2篇,大型公共建筑节能技术集成应用和展示,包括大型公共建筑节能风险控制研究、大型公共建筑节能技术集成应用和展示——绿色建筑(三星)关键技术研究、地下水渗流对地埋管换热器换热能力的影响研究共3章。首先,对上海天文馆项目绿色节能技术进行风险识别与分析,建立风险分析评价模型,建立绿色节能技术风险控制评价体系,并提出风险应对措施。然后,针对绿色建筑评价体系,分别从节地与室外环境、节能与能源利用、节水与水资源利用、室内环境质量以及全生命周期综合性能与运营管理这5个方面开展相关关键技术的研究。最后,分别对地热能 and 太阳能这两种新能源技术的运用展开论述,并提出这两种新能源与其他能源模式有机结合的新能源系统的综合运营策略。

第3篇,滨海盐碱土生态可持续绿地景观建设,包括烟气脱硫石膏改良盐碱土的风险评估、滨海盐碱土生态可持续绿地景观建设研究、总结共3章。首先,对滨海工程项目常见的盐碱土地质进行分析研究,提出现有改良措施的局限性和可持续发展策略,提出利用烟气脱硫石膏改良滨海盐碱土的技术手段,并进行生态安全性评估。然后,对滨海盐碱土可持续绿地景观建设进行实验室和滨海现场试验研究,构建可持续性发展的滨海盐碱土植物生态景观设计模式,提出相关对策建议。

第4篇,基于Cloud-BIM的建设工程项目信息化管理,包括基于Cloud-BIM的工程项目信息化技术风险控制研究、基于Cloud-BIM的建设工程项目管理、总结共3章。首先,对Cloud-BIM技术在工程项目信息化过程中的应用风险进行识别分析,基于结构方程模型来进行实证分析,建立Cloud-BIM技术应用风险评价体系,并提出相关风险应对措施。然后,从技术、组织、环境三个方面建立基于Cloud-BIM的协同管理框架,具体阐述了该协同管理框架在上海天文馆项目中的应用实践,并进行典型案例分析与效能分析。

本书与实际工程紧密结合,系统性地阐述了大型公共建筑项目在建设过程中遇到的关键技术难题以及相应的解决措施,为业界类似大型公共建筑项目的建设提供了案例分析和科学指导,具有较高的参考价值。

本书由李岩松和徐晓红主编,相关单位和专业人士也为本书的编写提供了大量帮助,没有这些帮助,这本书是难以完成的。在此感谢本书编写团队的每一位成员对本书编写和出版所做出的贡献,感谢上海市科委专著出版的资金资助,也要感谢同济大学出版社的慨然接纳,使本书的成果可以更加广泛地走向社会。虽然本书在编写的过程中力求叙述准确、完善,但由于水平所限,书中难免存在欠妥之处,还请各位专家及广大读者不吝指正。

编者

2017年11月

# 目 录

## 第 1 篇 空间结构技术研究与工程实践

第 1 章 空间结构工程风险控制研究	3
1.1 研究背景	3
1.2 主要研究内容	3
1.2.1 研究对象	3
1.2.2 技术路线	4
1.2.3 安全风险因素识别	5
1.2.4 风险应对能力指标识别	8
1.2.5 构建贝叶斯网络 CPT	10
1.2.6 风险概率水平评估	12
1.3 本章小结	14
第 2 章 空间结构技术研究与工程实践	16
2.1 主要研究内容	16
2.1.1 项目背景	16
2.1.2 设计思路及建筑要求	16
2.1.3 本研究主要内容	18
2.2 结构整体设计研究	19
2.2.1 上部结构设计	19
2.2.2 结构计算分析	22
2.2.3 小结	38
2.3 结构舒适度控制技术研究	38
2.3.1 研究背景	38
2.3.2 结构振动控制研究现状	39
2.3.3 人致振动舒适度评价方法	40
2.3.4 天文馆结构关键部位舒适度计算	44
2.4 混凝土壳体结构的设计	48
2.4.1 研究背景	48
2.4.2 天文馆混凝土壳体结构设计	48
2.5 节点构造设计研究	53
2.5.1 研究背景	53
2.5.2 节点形式	53

2.5.3 节点设计研究	55
2.6 结构风荷载研究	64
2.6.1 大跨度屋盖结构抗风研究概况	64
2.6.2 研究项目简介	64
2.6.3 刚性模型风洞测压试验	66
2.6.4 风洞试验结果分析	69
2.6.5 数值模拟研究	81
2.6.6 数值模拟与风洞试验对比分析	83
2.7 结论	86
参考文献	87

## 第2篇 大型公共建筑节能技术集成应用和展示

第3章 大型公共建筑节能技术风险控制研究	93
3.1 绪论	93
3.1.1 研究背景	93
3.1.2 研究方法	93
3.2 绿色节能技术风险控制研究	93
3.2.1 上海天文馆项目绿色节能技术风险识别	93
3.2.2 上海天文馆项目绿色节能技术风险分析	95
3.2.3 上海天文馆项目绿色节能技术风险应对	100
3.2.4 上海天文馆项目绿色节能技术风险监控	101
3.2.5 公共建筑绿色节能技术风险管控体系	102
3.3 本章小结	103
第4章 大型公共建筑节能技术集成应用和展示——绿色建筑(三星)关键技术研究	104
4.1 大型公共建筑绿色节能技术发展及应用概述	104
4.1.1 大型公共建筑的概念及特点	104
4.1.2 国外案例——加拿大温哥华国家艺术馆 VanDusen	104
4.1.3 国内案例	106
4.1.4 绿色建筑发展	113
4.1.5 大型公共建筑绿色节能探索过程中存在的问题	114
4.2 节地与室外环境	115
4.2.1 室外风环境优化措施	115
4.2.2 降低热岛效应措施	117
4.2.3 改善场地径流措施	120
4.3 节能与能源利用	124
4.3.1 地源热泵系统	124
4.3.2 太阳能利用系统	124
4.3.3 排风热回收系统	130
4.3.4 采光优化措施	131

4.3.5 通风优化措施 .....	133
4.3.6 遮阳系统 .....	136
4.4 节水与水资源利用 .....	142
4.4.1 雨水回收系统 .....	142
4.4.2 节水器具 .....	144
4.4.3 节水灌溉 .....	146
4.4.4 生态水处理措施 .....	147
4.5 室内环境质量 .....	148
4.5.1 隔声降噪措施 .....	148
4.5.2 空调气流组织措施 .....	150
4.5.3 CO <sub>2</sub> ,CO 浓度监控系统 .....	153
4.5.4 PM <sub>2.5</sub> 新风系统 .....	155
4.6 运营管理 .....	157
4.6.1 智能化监控系统 .....	157
4.6.2 能耗监测系统 .....	158
4.7 绿色建筑(三星)关键技术整合应用 .....	159
4.7.1 技术策划整合方法研究 .....	159
4.7.2 博览类建筑适用技术组合 .....	165
<b>第5章 地下水渗流对地埋管换热器换热能力的影响研究</b> .....	167
5.1 天文馆项目地源热泵系统设置 .....	167
5.1.1 工程概况 .....	167
5.1.2 空调冷热源方案 .....	167
5.1.3 地埋管布置方案 .....	168
5.2 地下水渗流对地埋管换热器换热能力的影响 .....	168
5.2.1 水热耦合数值模型的建立 .....	169
5.2.2 模型验证与模拟方案 .....	174
5.2.3 地下水渗流对地埋管换热的影响分析 .....	176
参考文献 .....	183

### 第3篇 滨海盐碱土生态可持续绿地景观建设

<b>第6章 烟气脱硫石膏改良盐碱土的风险评估</b> .....	189
6.1 研究背景 .....	189
6.2 滨海盐碱土的现状 .....	189
6.2.1 盐碱土现状 .....	189
6.2.2 上海滨海盐碱土现状 .....	191
6.2.3 影响上海滨海盐碱土可持续发展的因素 .....	191
6.3 国内外盐碱土改良的研究现状 .....	192
6.3.1 盐碱土改良与治理 .....	192
6.3.2 国内盐碱地改良的案例 .....	193



6.3.3	滨海盐碱地现有绿化模式及其局限性 .....	194
6.3.4	烟气脱硫石膏改良盐碱土的研究 .....	194
6.4	脱硫石膏的特性及生态安全性评估 .....	195
6.4.1	盐碱土特性分析 .....	195
6.4.2	烟气脱硫石膏重金属含量分析 .....	196
6.5	烟气脱硫石膏安全使用指南 .....	199
6.6	滨海盐碱地绿化种植养护和管理措施 .....	200
6.6.1	滨海盐碱地绿化种植措施 .....	201
6.6.2	滨海盐碱地绿化管理养护措施 .....	201
<b>第7章</b>	<b>滨海盐碱土生态可持续绿地景观建设研究</b> .....	<b>204</b>
7.1	研究概述 .....	204
7.1.1	主要研究内容 .....	204
7.1.2	预期成果 .....	205
7.2	研究地点和示范工程建设 .....	205
7.2.1	试验研究地点 .....	205
7.2.2	示范基地的建设 .....	205
7.2.3	试验材料 .....	206
7.3	植物种植对滨海盐碱土壤改良的影响 .....	207
7.3.1	植物种植对滨海盐碱土壤的试验影响 .....	207
7.4	烟气脱硫石膏对滨海盐碱土的改良效果及生态安全性研究 .....	221
7.4.1	材料与方法 .....	222
7.4.2	结果与分析 .....	223
7.4.3	实验结论与讨论 .....	226
7.5	滨海盐碱土绿化植物筛选研究 .....	227
7.5.1	研究方法 .....	227
7.5.2	耐盐绿化植物选择 .....	235
7.6	滨海盐碱土植物生态景观设计研究 .....	237
7.6.1	上海地区滨海盐碱土景观植物选择 .....	237
7.6.2	上海地区滨海盐碱土植物生态景观设计模式 .....	238
7.7	结论和对策建议 .....	242
7.7.1	研究结论 .....	242
7.7.2	对策和建议 .....	243
	参考文献 .....	244

## 第4篇 基于Cloud-BIM的建设工程项目信息化管理

<b>第8章</b>	<b>基于Cloud-BIM的工程项目信息化技术风险控制研究</b> .....	<b>252</b>
8.1	Cloud-BIM技术应用风险因素识别 .....	252
8.1.1	基于社会技术系统理论的风险识别方法 .....	252

8.1.2	Cloud-BIM 技术应用风险因素识别 .....	254
8.1.3	Cloud-BIM 技术应用风险因素修正 .....	255
8.2	Cloud-BIM 技术应用风险因素分析 .....	257
8.2.1	Cloud-BIM 技术应用风险理论分析与假设 .....	257
8.2.2	Cloud-BIM 技术应用风险的 SEM 模型构建 .....	258
8.3	Cloud-BIM 技术应用风险实证分析 .....	260
8.3.1	问卷设计 .....	260
8.3.2	数据收集 .....	260
8.3.3	测量工具的信度、效度和拟合度检验 .....	261
8.3.4	结构方程检验结果分析 .....	267
8.4	Cloud-BIM 技术应用风险应对建议 .....	269
8.4.1	Cloud-BIM 技术应用风险控制措施 .....	269
8.4.2	天文馆项目中 Cloud-BIM 技术实施风险应对措施 .....	270
<b>第 9 章</b>	<b>基于 Cloud-BIM 的建设工程项目管理 .....</b>	<b>273</b>
9.1	基于 Cloud-BIM 的协同管理框架 .....	273
9.1.1	技术层面 .....	274
9.1.2	组织层面 .....	276
9.1.3	环境层面 .....	278
9.2	基于 Cloud-BIM 的项目协同管理实践 .....	280
9.2.1	项目实施环境 .....	280
9.2.2	业主方主导项目管理应用模式 .....	281
9.2.3	基于 BIM 的三维协同设计与管理 .....	284
9.2.4	基于混合云的协同项目管理 .....	292
9.3	协同案例分析 .....	298
9.4	效能对比分析 .....	304
	参考文献 .....	305

# 第 1 篇

## 空间结构技术研究与工程实践

与精神文明建设一样,人们对于建筑的要求不再只停留在居住功能上,而是越来越多地追求建筑美感与功能的协调统一,像上海天文馆这样大体量、大空间的复杂建筑如雨后春笋般出现在人们的视野中,逐渐成为世界各地的地标性建筑。如何开发和研究复杂建筑中空间结构的相关技术,指导具体的工程实践,将是其向广度和深度不断发展所必须面对的问题。

当前,我国已将建设重点转向城镇化发展和城市结构调整,进而对建筑结构设计在功能、造型、技术经济性等方面也提出了更高的要求,同时开始注重保护环境要求,迫切需要发展新型高性能建筑结构及其设计技术,以提高结构性能,降低结构材料。空间结构是以高效、高性能、美观和灵活为特征的现代结构。空间结构建造及其所采用的技术往往反映了一个国家建筑技术的水平,一些规模宏大、形式新颖、技术先进的大型空间结构也成为一个国家经济实力与建筑技术水平的重要体现。

空间结构技术发展趋势涵盖以下几个方面:

(1) 新材料:不锈钢、铝合金、钛合金、高强索、高分子膜材和玻璃等。新型建筑材料的结构应用包括新型材料的应用,新材料力学特性的应用,耐久性的评估。

(2) 新结构:各种新型的结构形式出现,基于结构拓扑和形状的优化设计。

(3) 新理论:大跨度风敏感结构的风致振动响应,超长结构的多维多点地震分析,缺陷敏感结构的稳定性研究。

(4) 新技术:适合新型空间结构的分析软件,精美的建筑构件、节点等产品。

(5) 新需求:结构全寿命检测和监测技术。

上海天文馆(上海科技馆分馆)项目不仅是作为先进的天文科技普及展示场所,同时天文馆建筑本身也融入于天地之间的天文现象展示。该工程实例通过国际征集建筑方案获得社会的好评和有关部门的确认,但要最终实现其设计效果面临诸多困难,如大悬挑、倒转穹顶、球幕影院球体、悬挂弧形步道等的设计与施工。本研究旨在解决其中的关键技术难题,为项目的顺利实施提供技术指导,为类似项目提供相关的技术和人才积累,具体需要解决以下几方面的难题:

(1) 复杂空间结构舒适度控制技术的研究与应用;

(2) 异形曲面混凝土壳体结构的设计及施工技术研究与应用;

(3) 特殊节点构造的研究与应用;

(4) 特殊部位风荷载模拟技术的研究与应用。

# 第 1 章

## 空间结构工程风险控制研究

### 1.1 研究背景

近几年,我国因建筑倒塌事故造成的经济损失在 1 000 亿元左右。1994 年和 1995 年韩国发生了两起震惊全世界的重大工程事故,造成数百人死亡。对于一项大型建筑工程而言,一旦发生质量事故,轻则会影响施工顺利进行,重则会给工程留下隐患或缩短建筑物的使用年限,甚至会使建筑物成为危房,影响安全使用或不能使用,最为严重的是使建筑物倒塌,造成人员伤亡和巨大的经济损失。

随着我国国民经济的发展和城镇化的推进,近年来对于基础设施建设的投资不断加大,大型公共建设工程在我国呈现日益增多的趋势。工程建设呈现出投资主体多元化、技术工艺复杂化、建筑材料新型化、企业独立自主化和建设项目规模大型化等特点。尤其是对于超高、大跨度钢结构或混凝土结构、超深基坑等建设工程,投资规模大、周期长;施工难度大、技术复杂;受各方面的制约条件多,对环境影响和社会影响程度也非常大,导致大型工程建设所面临的质量安全风险也越来越高。在国内大型建设工程蓬勃发展的同时,国家对建设工程中的质量安全问题也愈加重视(如建质〔2007〕1 号文件《关于加强大型公共建筑工程建设管理的若干意见》中有关建立和完善政府投资项目的风险管理机制规定),这就使得大型建设工程中的质量安全风险管理工作面临更高的要求。积极的风险管理政策能够有效地使工程建设风险处于可控状态,有效的质量安全风险管理是获得工程建筑节能和环境可持续发展成功的关键因素。然而,我国现阶段的风险管理模式研究相对比较薄弱,而且风险管理方法和手段非常欠缺,无法满足国家大型建设工程项目风险管理的迫切需求。

### 1.2 主要研究内容

#### 1.2.1 研究对象

本研究根据项目的研究任务目标,针对对象、目标、因素三个维度对风险管理进行研究。

##### 1. 对象维

从对象维来讲,根据结构形式不同,可分为 6 个主要研究对象(图 1-1),分别是超高钢结构、大跨度钢结构、超高混凝土结构、大跨度混凝土结构、软土超深基坑、硬土超深基坑。

划定标准为:

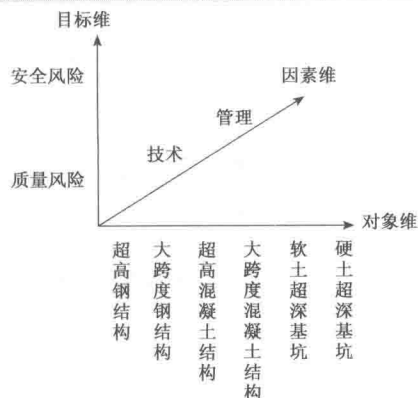


图 1-1 本研究的三个维度

- (1) 超高结构:30 层以上或 100 m 以上的结构;
- (2) 大跨度结构:钢结构为 50 m 以上,混凝土结构为 30 m 以上。

## 2. 目标维

从目标维来讲,主要针对工程设计和施工过程中的安全风险和质量风险(图 1-1)。施工过程中的安全风险和质量风险类型很多,一些风险类型在特定环境下才可能出现,不具有普遍性,例如工地遭受龙卷风袭击等。通过一定规则的筛选,本研究识别出建筑工地上最为普遍、危害较大的几类风险进行重点研究,具体的风险识别过程参见本研究后续相关内容。

## 3. 因素维

本研究对项目施工过程中的风险从技术和管理两个方面的因素进行分析和评估(图 1-1)。技术因素指的是导致质量或安全失效、风险事件发生的直接因素。管理因素则指的是导致风险因素发生的管理原因,即项目施工过程中应该具备的管理步骤没有进行或者进行不到位而导致技术风险因素发生的管理因素。

在这里,技术因素、管理因素的状况都根据所评价的项目类型不同、施工企业具备的能力不同而不同。在风险评价中,将项目上所暴露的风险因素理解为荷载作用效应  $S$ ,将企业或项目的抗风险能力视为结构抗力  $R$ 。 $R$  与  $S$  的综合比较值作为所评价项目相应的风险水平。 $S$  的取值主要根据历史数据库记录的类似于所评价项目的风险事件风险因素的水平,以及参与该项目的专家结合本研究做出的信息调整得出; $R$  值则主要根据对项目的抗风险能力状况的评估得出。

## 1.2.2 技术路线

通过对空间复杂结构、大跨度结构质量安全事故的全面调查分析,并结合风险评估的结构,确定风险事件的特征值和目标值以及控制手段,开发在线风险评估系统以及风险管理信息系统,并组织示范工程应用。本研究总体研究技术路线如图 1-2 所示。其中,风险评估方法研究的技术路线如图 1-3 所示。

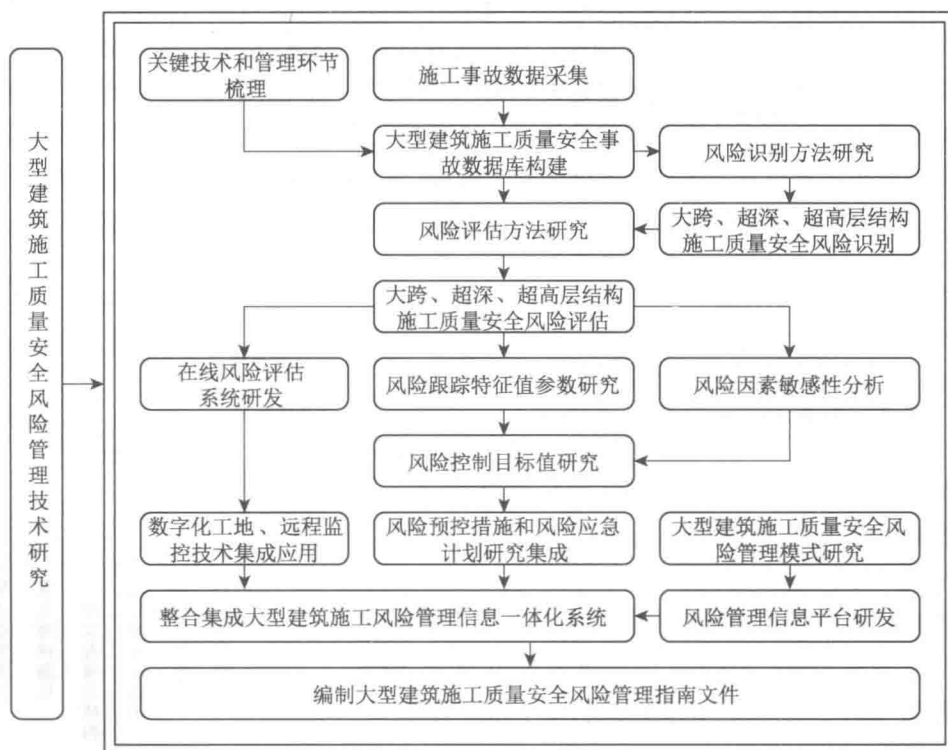


图 1-2 研究技术路线

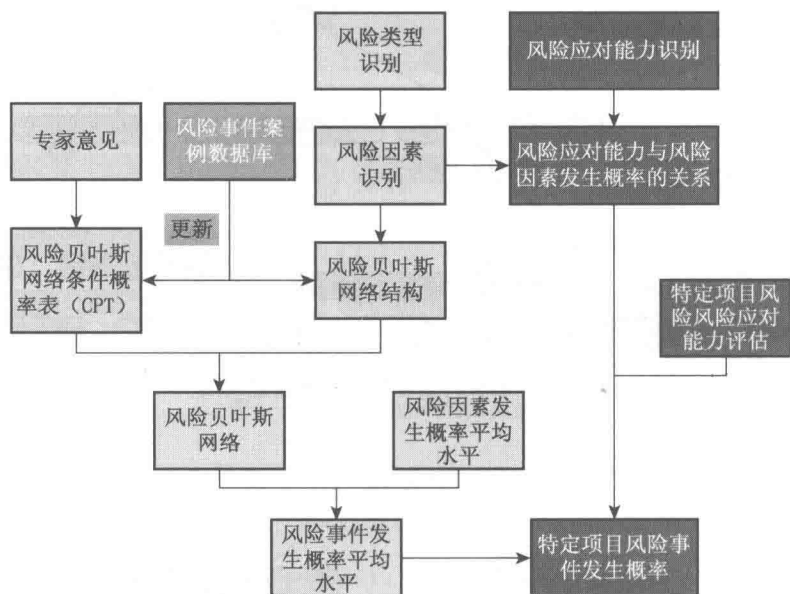


图 1-3 风险评估方法研究技术路线

### 1.2.3 安全风险因素识别

安全风险因素的识别依据主要为文献调研和专家意见。首先,对中国期刊网近十年来的论文进行关键词搜索,搜集关于高处坠落、电击伤害、物体打击、机械伤害、支撑脚手架倒塌和火灾这6类建筑业施工过程安全风险的研究,对造成这6类安全风险事故的因素进行分析整理,形成初步的风险因素识别表。根据文献中普遍采用的风险因素分析方法——“事故树”方法,对这些风险因素进行逻辑分层,形成初步的风险事故逻辑图,作为专家意见的基础。

然后,通过组织某公司6位中高层安全管理人员开展近1小时的会议讨论,对初步形成的风险事故逻辑图进行补充和修正。这6位安全管理人员都具有10年以上的安全管理工作经验,其中一名现今负责公司所有项目的安全监管工作,其他5名为项目安全总监,对高处坠落、电击伤害、物体打击、机械伤害、支撑脚手架倒塌和火灾这6类安全风险事故的致因和管理均具有丰富的经验,为风险事故逻辑图提出了宝贵意见和建议。

经过文献总结和专家讨论后,得到安全风险因素逻辑图,如图1-4—图1-9所示。

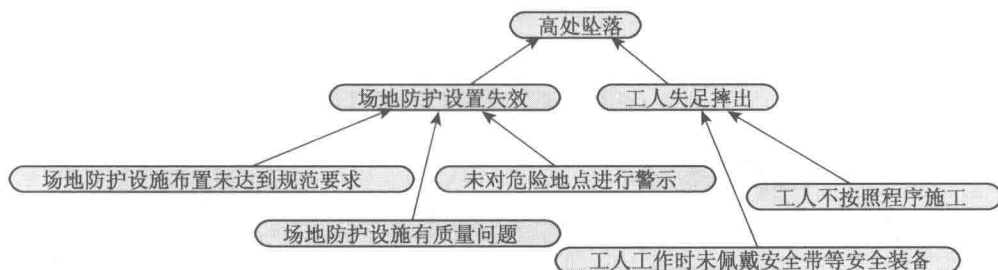


图 1-4 高处坠落事故风险因素逻辑图

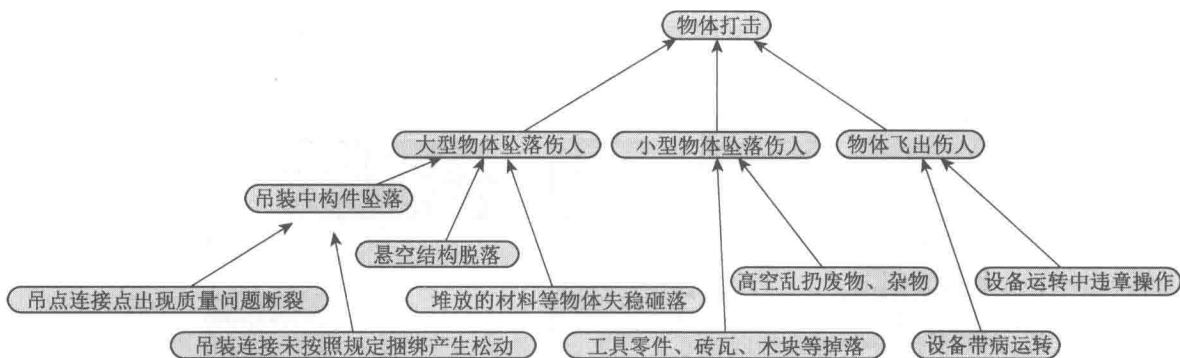


图 1-5 物体打击事故风险因素逻辑图

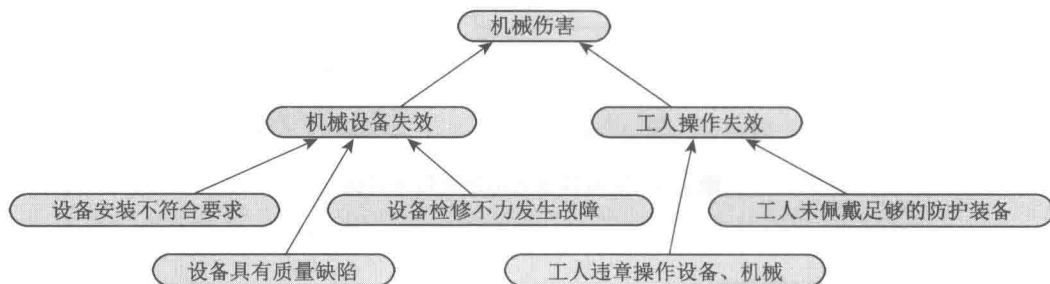


图 1-6 机械伤害事故风险因素逻辑图

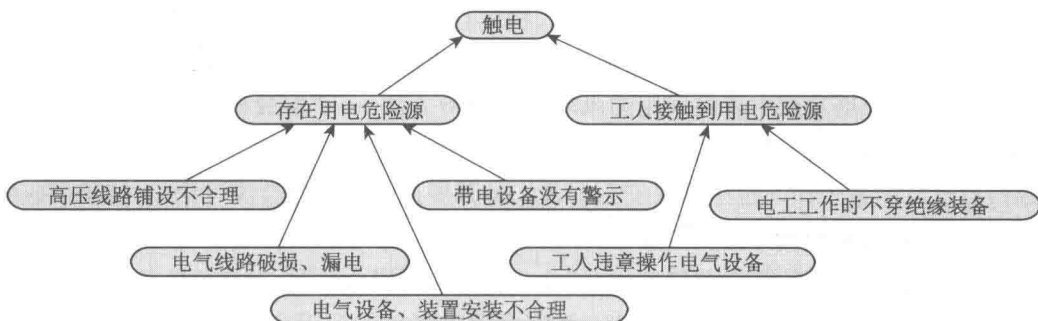


图 1-7 触电事故风险因素逻辑图

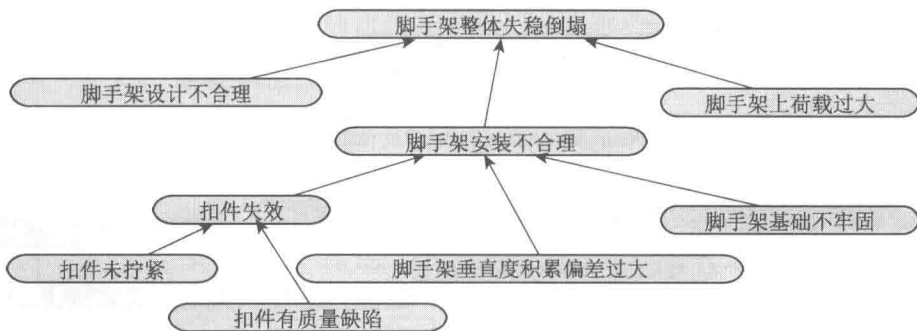
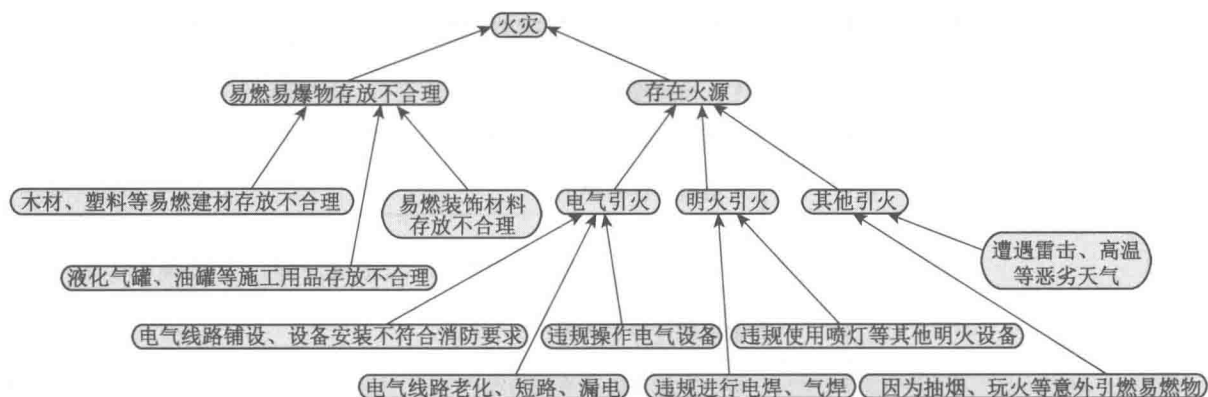


图 1-8 脚手架倒塌事故风险因素逻辑图





以上事故风险因素逻辑图中最底层的因素是导致风险事件发生最原始的原因,中间层的因素是底层风险因素的分类或进一步发展形态,这里将最底层的风险因素详细说明列于表 1-1 中。

表 1-1 风险分类

类型	序号	导致事故发生的因素
高空坠落	1.1	安全网、临边等防护设施布置未达到要求
	1.2	安全网、临边等防护设施有质量问题
	1.3	未对危险地点进行警示
	1.4	工人工作时未佩戴安全带等装备
	1.5	工人不按照规程进行施工
物体打击	2.1	吊装连接点出现质量问题断裂
	2.2	吊装连接点未按照规定捆绑造成松开
	2.3	悬空结构脱落
	2.4	堆放的材料等物体失稳砸落
	2.5	工具零件、砖瓦、木块等物体从高空掉落
	2.6	工人在高空乱扔废物、杂物
	2.7	设备带病运转
	2.8	工人在设备运转中违章操作
	2.9	工人工作时未佩戴安全帽等防护装备
机械伤害	3.1	因机械设备安装不符合要求而失去控制
	3.2	因机械设备具有质量问题而失去控制
	3.3	因机械设备保养不力而发生故障
	3.4	工人违章操作设备、机械
	3.5	工人未佩戴足够的防护装备
触电	4.1	高压线路铺设不合理
	4.2	电气线路破损、漏电
	4.3	电气设备、装置安装不合理