

核电施工企业 ES 公司 安全管理绩效评价研究

**Research on Performance Evaluation in Safety Management
for ES Company of Nuclear Power Construction Enterprise**

专业学位类别： 工商管理

作者姓名： 赵新蕊

指导教师： 马向阳 副教授

答辩日期	2020 年 5 月 28 日		
答辩委员会	姓名	职称	工作单位
主席	冯楠	教授	天津大学
委员	赵秀云	教授	天津财经大学
	赵小松	副教授	天津大学
	张红娟	副教授	天津大学
	蒋琬	讲师	天津大学

天津大学管理与经济学部

二〇二〇年六月

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作和取得的研究成果，除了文中特别加以标注和致谢之处外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得 天津大学 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名：赵新蕊 签字日期：2020年5月28日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 天津大学 有关保留、使用学位论文的规定。特授权 天津大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。

（保密的学位论文在解密后适用本授权说明）

学位论文作者签名：赵新蕊 导师签名：马向阳
签字日期：2020年5月28日 签字日期：2020年5月28日

摘要

本文以核电施工企业 ES 公司安全管理绩效为研究对象，结合企业实际提出了其安全管理绩效管理的问题，如过程管理考核不重视，权重分配较小，不能反映出企业内部安全管理的真实状态，无法明确反映企业安全生产各方面的管理活动和措施是否能够有效控制危害等问题。针对发现的问题对该企业进行了安全管理绩效综合评价，根据综合评估结果对企业的安全管理的薄弱环节针对性的进行了改进。

安全管理绩效评价其本质就是综合评价，综合评价有三个关键技术，一是符合实际的指标体系的建立，二是可靠权重的确定，三是适宜的模型方法。针对三个关键技术，研究处理过程如下。

首先，通过国内外相关文献梳理，识别出了影响核电施工企业安全管理绩效的 96 种因素，通过语义合并降维，结合 ES 公司实际，经专家研讨，建立了 ES 公司安全管理绩效评价指标体系，共 6 个一级指标 26 个二级指标。

其次，运用解释结构模型（ISM）分析 26 个二级指标两两之间的可达关系，借助 ISM 在线计算软件和 ISM 小组多轮的研讨得出 26 个指标间的最简层次化拓扑图，作为网络分析法（ANP）打分环节的重要依据，同时采用精准打分原则，有效解决了因决策的复杂、专家决策偏好与目标的冲突和不可公度性等导致的决策不一致性、不完整的问题，再借助 SuperDecision（SD）软件计算得到各指标的权重。

再次，组织专家小组对 26 项指标进行打分，结合由 ISM-ANP 联用得出的权重，通过灰色聚类方法与模糊综合评价的方法计算得出最终的评价结果，结果显示，ES 公司安全管理综合绩效良好，但公司更注重硬件相关的安全管理，对软件相关的安全管理比较薄弱，其中安全文化建设管理绩效得分最低。

最后，本文根据评价结果提出了提高 ES 公司安全管理的针对性的建议对策，如应加强新版安全生产标准化与各项工作有效融合，升级信息化平台提升安全信息的有效沟通，创新互联网+智慧工地、建筑信息模型（BIM）等相关技术在安全管理中的应用等改进提升对策。

关键词: 核电施工企业，安全管理绩效评价，解释结构模型（ISM），网络分析法（ANP）

ABSTRACT

This thesis takes the safety management performance of ES company, a nuclear power construction company, as the research object, puts forward the problems of safety management performance management in combination with the actual situation of the enterprise. For example, the process management assessment is not valued and the weight distribution is small, which can not reflect the real state of the enterprise's internal safety management, and can not clearly reflect whether the management activities and measures in all aspects of the enterprise's safety production can effectively control the hazards or not. This thesis conducts a comprehensive evaluation of the safety management performance of the enterprise based on the discovered problems, and improves the weak links of the enterprise's safety management according to the comprehensive evaluation results.

The essence of safety management performance evaluation is comprehensive evaluation. There are three key technologies in a comprehensive evaluation. One is the establishment of a realistic index system, the second is the determination of reliable weight, and the third is the appropriate model method. For the three key technologies, the research and processing processes are as follows.

First of all, this thesis identifies 96 factors that affect the safety management performance of nuclear power construction enterprises by sorting out relevant domestic and foreign literatures. Through semantic merger and dimension reduction, ES company's actual situation and expert discussion, the ES company's safety management performance evaluation indicator system is established, which contains 6 first-level indicators and 26 second-level indicators.

Secondly, the thesis analyzes the reachable relationship between 26 secondary indexes by using the interpretative structure modeling (ISM). With the help of the ISM online computing software and multi rounds of discussion by the ISM team, the most simplified hierarchical topological diagram among 26 indexes is obtained, which is an important basis for the scoring process of the analytic network process (ANP). At the same time, the principle of precise scoring is used to effectively solve the problems of inconsistent and incomplete decision-making caused by the complexity of decision-making, the conflicts between expert decision-making preferences and goals, and non-commensurable. Then the thesis uses SuperDecision (SD) software to calculate the weight of each indicator.

Thirdly, the expert group is organized to score 26 indexes, and the final evaluation results are calculated by grey clustering method and fuzzy comprehensive evaluation method combined with the weight obtained by the ISM-ANP. The results show that the comprehensive performance of safety management of ES company is good, but the company pays more attention to the safety management related to hardware, the safety management related to software is relatively weak, among which the performance score of safety culture construction management is the lowest.

Finally, based on the evaluation results, this thesis puts forward suggestions and countermeasures to improve the safety management of ES company, such as strengthening the new version of safety production standardization and the effective integration of various tasks, upgrading the information platform to improve the effective communication of safety information, innovating the Internet + smart construction site, the application of Building Information Modeling (BIM) and other related technologies in safety management and other improvement measures.

KEY WORDS: Nuclear power construction enterprises, Safety management performance evaluation, Interpretative structural modeling (ISM), Analytic network process (ANP)

目录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景和意义.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	2
1.2 研究内容.....	3
1.3 研究方法.....	3
1.4 技术路线.....	3
第 2 章 相关文献回顾.....	7
2.1 安全管理绩效.....	7
2.1.1 绩效评价.....	7
2.1.2 安全管理绩效评价.....	7
2.2 解释结构模型及网络分析法.....	9
2.2.1 解释结构模型.....	10
2.2.2 网络分析法.....	11
2.3 本章小结.....	12
第 3 章 主要研究理论与方法.....	13
3.1 绩效评价.....	13
3.2 解释结构模型.....	14
3.2.1 建立邻接矩阵.....	15
3.2.2 可达矩阵的计算.....	16
3.2.3 以层级抽取为核心的四大运算.....	17
3.3 网络分析法.....	19
3.4 本章小结.....	24
第 4 章 ES 公司安全管理绩效评价指标体系构建.....	25
4.1 ES 公司安全管理绩效测量情况简介.....	25
4.2 ES 公司安全管理绩效测量现状及不足.....	26
4.3 ES 公司安全管理绩效评价指标体系的构建.....	26
4.3.1 构建原则.....	26
4.3.2 影响因素的识别与筛选.....	27
4.3.3 影响因素分类.....	32

4.3.4 评价指标体系确定.....	33
4.4 本章小结.....	35
第5章 ES 公司安全管理绩效评价指标权重确定.....	37
5.1 评价指标层级结构分析.....	37
5.1.1 ISM 工作组及工作流程.....	37
5.1.2 邻接矩阵及可达矩阵及层级拓扑图.....	38
5.1.3 ISM 分析得出的重要结果.....	43
5.2 评价指标权值获取.....	45
5.2.1 建立 ISM-ANP 安全管理绩效网络结构.....	45
5.2.2 构造指标之间的两两比较判断.....	45
5.2.3 未加权超矩阵及加权超矩阵及极限超矩阵的计算.....	47
5.3 评价指标的权重.....	51
5.4 本章小结.....	52
第6章 ES 公司安全管理绩效综合评价.....	53
6.1 构建灰色聚类评价权矩阵.....	53
6.1.1 确定评价的样本.....	53
6.1.2 计算灰色评估系数.....	54
6.1.3 计算灰色评估权向量与灰色权矩阵.....	58
6.1.4 综合评价结果.....	59
6.2 评价结果及存在问题分析.....	60
6.2.1 安全文化建设.....	61
6.2.2 人员管理.....	61
6.2.3 组织管理.....	61
6.2.4 事故与应急管理.....	61
6.2.5 设备设施与作业环境.....	62
6.2.6 过程管控.....	62
6.3 本章小结.....	62
第7章 改进提升对策.....	63
7.1 安全文化建设.....	63
7.1.1 安全生产标准化.....	63
7.1.2 核安全文化建设.....	64
7.1.3 信息沟通.....	65
7.1.4 方针政策与目标顶层设计.....	66
7.2 人员管理.....	67

7.2.1 安全教育.....	67
7.2.2 安全行为激励.....	67
7.3 组织管理.....	68
7.3.1 加强组织机构建设.....	68
7.3.2 落实全员安全生产责任制.....	68
7.4 创新技术应用.....	68
7.4.1 升级智慧工地.....	68
7.4.2 探索 BIM 的应用.....	69
7.4.3 尝试智能设备.....	69
7.5 本章小结.....	70
第 8 章 结论与展望.....	71
8.1 研究结论.....	71
8.2 不足与展望.....	72
参考文献.....	73
附录 A 安全管理绩效影响因素关系调查问卷.....	77
附录 B ISM 抽取过程.....	81
附录 C 安全管理绩效影响因素两两比较判断调查问卷.....	87
附录 D ES 公司安全管理绩效评价打分表.....	89
附录 E 灰色聚类法计算中的矩阵.....	91
致谢.....	97

第1章 绪论

1.1 研究背景和意义

1.1.1 研究背景

核电具有环保、电量稳定、利用小时高等优点。时至今日，核能仍然是我国低碳清洁能源的首选，是未来能源可持续发展的重要基础能源。世界经济合作与发展组织的报告中指出，到 2050 年，预计全世界核电站机组的发电量将占全球总发电量的 17% 左右。2019 年，我国累计发电量为 71422.10 亿千瓦时，运行的核电机组累计发电量 3481.31 亿千瓦时，约占全国累计发电量的 4.88%，远低于全球 11% 的平均水平，因此核电发展空间巨大。截止 2019 年底，我国大陆地区运行核电机组 47 台，装机容量居世界第三；在建机组 11 座，核电在建规模全球第一，在建机组装机容量世界第一，占全球在建核电装机的 22.7%。

核电工程是一项十分庞大并且非常复杂的系统工程，其建设周期长，系统配置复杂，专业接口多，操作空间窄，作业深度交叉，逻辑顺序严格，高风险作业数量多，安全隐患多，使得项目的安全管理具有多变性、复杂性、协调性和连续性等特点。核电站建设的安全问题与员工的人身安全、企业的经济利益、国家利益和国际形象密不可分。与核电相关的安全问题一直是政府、公众和社会各界所高度关注的问题。

核电施工企业 ES 公司是国内一家承建过各种核反应堆型，以及所有实验和科研反应堆型的核建企业。ES 公司成立 60 多年来，参建的核电项目有福建的福清核电、浙江的秦山核电、山东的石岛湾核电等，它为我国的核电建设和清洁能源事业的发展立下了许多功绩，随着 ES 公司核电建设项目的数量、种类的增加，其核电建造技术日趋成熟，管理经验也逐渐丰富起来，然而近年来，ES 公司所负责的项目发生了几起事故，事故给公司带来了巨大的经济损失，为此，ES 公司把安全管理工作置于公司管理的重要位置，制定了许多相关政策、采取了各种控制措施和方法，但是这一系列举措是否按照企业预期的那样在施工生产过程中真正的落实，取得了什么样的实效，达到了什么样的水平，在实施过程中是否已经偏离了预期，从而使企业在项目施工管理中潜存着事故风险，公司缺少这样合理的安全管理绩效评价体系，企业当前对于安全生产管理绩效的衡量侧重于采用事故事件指标来反映，如事故事件发生情况，职业病发病情况，工时损失等，有着一定的局限性。根据事故因果连锁论，一切伤亡事故的发生不是孤立的，尽管

伤害可能在某个时刻突然发生，却是一系列事件相继发生导致的结果，也就是说事故的发生具有随机性和潜伏性，单一的事故数据不能系统的反应出企业日常的安全管理状况，企业不发生事故并不代表其安全状况良好。而核电建设项目的特殊性，决定安全事故发生的可能性要降低到尽可能的小，要提高核电建设项目安全管理水平，企业需要密切关注影响安全管理绩效的因素，通过评价安全管理绩效，探索企业对其组织体系以及安全生产系统的控制情况，从而对薄弱之处制定具有针对性的改进措施，最终达到提高核电建设整体的安全管理水平的效果，因此安全管理绩效评价指标选取及其权重设定的科学合理性至关重要。

1.1.2 研究意义

企业的安全状况是其安全管理有效性及其结果的最终反映，企业整体安全管理过程的规范化和科学化决定了企业的安全状况，通过对公司的安全绩效进行准确测量评估，可以清晰地了解公司当前的安全生产和安全管理情况，为下一阶段安全管理决策提供可靠有利的信息，为公司今后制定安全措施提供依据。通过持续的反馈和调整，改进安全薄弱环节，持续改进安全管理，控制风险，避免事故，避免经济损失，建立企业安全生产长效机制。

目前，国内外对于安全管理绩效评价的研究受行业背景影响，相关的标准规范、测量方法和评价体系不统一不够完善。本文对核电施工企业 ES 公司安全管理绩效评价进行研究，具有重要的意义。

(1) 通过查阅各类施工企业安全管理绩效的研究分析，再结合核电施工特点，对指标初步归纳、分类和细化，并通过 ISM-ANP 联合的方法计算得出各个指标的权值，这种以 ISM-ANP 为核心方法构建出的绩效综合评价模型，能够丰富和完善相应的综合评价理论，尤其是在核电施工企业的安全管理绩效评价中具有一定的理论实践价值。

(2) 通过对 ES 公司安全管理绩效科学准确系统的评价，确定其安全管理的缺陷，针对性的提改进对策建议，有助于提高 ES 公司的安全管理水平，降低事故发生的概率，避免因事故造成经济损失。同时安全管理绩效是企业绩效的子系统，安全绩效的提高能够提升企业总的绩效表现，提高公司的声誉以及在市场上的竞争力。

(3) 本研究是以核电施工企业 ES 公司为研究对象，希望研究能够给其他同类企业带来参考借鉴价值，但参考借鉴应结合企业自身的实际情况，这需要读者根据实际自行甄别。

1.2 研究内容

以核电施工企业 ES 公司安全管理绩效评价为研究对象，明确其安全管理绩效中评价的要点，构建 ES 公司安全管理绩效评价指标体系，采用 ISM-ANP 相结合的方法科学合理的确定各项指标权重，由专家小组对 ES 公司安全管理绩效实际进行打分评估，采用灰色聚类法处理专家打分数据，最后根据得出的评价结果有针对性的提出改进提升的对策建议。

1.3 研究方法

针对本文的研究内容中采用了如下研究方法。

(1) 问卷调查及专家访谈法。因本文所研究的公司行业的特殊性，多次用到问卷调查和专家访谈法，一是在安全管理绩效影响因素筛选时，在经过问卷调研及专家讨论，构建 ES 公司安全管理绩效评价指标体系；二是在运用 ISM 分析要素间关系时，专家小组需要通过问卷填写并经多轮讨论得出要素间的直接影响关系；三是在 ANP 对要素之间的成对比较时，是通过专家问卷的形式进行的。

(2) 解释结构模型 (ISM)。本文在梳理判断安全管理绩效各要素之间的直接与间接关系时采用了 ISM，以构建出合理的要素关系和层次化的结构，得出的层级拓扑图作为 ANP 处理的最重要的依据，很大程度上消除了 ANP 中对要素的主观判断带来的偏差。

(3) 网络分析法 (ANP)。运用网络分析法对各要素进行综合性判断和决策，将所有有关系的要素进行两两比较，研究彼此之间的相互作用及反馈作用，得到要素对安全管理绩效整体的重要性权重，进而给出各指标项在绩效评价中合理的权值，使得安全管理绩效要素权重分配结果更符合现实情况。

(4) 灰色聚类法。根据构建出的 ES 公司安全管理绩效评价模型，对专家给予的绩效打分进行处理，计算得出 ES 公司安全管理绩效评价值，使得评价结果更加准确。

(5) 案例研究法。在对企业安全管理绩效评价理论分析的前提下，结合实际建立核电施工 ES 公司安全管理绩效评价模型，采用 ISM、ANP 和灰色聚类三种方法结合对该企业的整体安全管理绩效进行评价，在说明实际案例结果的同时增加了理论分析的说服力。

1.4 技术路线

本文旨在研究核电施工企业安全管理绩效评价，使用 ISM 与 ANP 对核电施

工企业安全管理绩效指标权重进行计算,采用灰色聚类对专家打分进行计算评价得出 ES 公司安全管理现状,针对评价出的薄弱环节提出改进提升对策。所以,本文在搭建整体思路构建整体框架时紧紧围绕着提出问题、分析问题和解决问题的主线,各个章节的安排和重点内容具体如下。

第一章:绪论。本章节重点对核电施工企业安全管理绩效评价研究背景、研究意义以及研究内容进行了阐述,同时介绍了本文的研究方法——解释结构模型(ISM)和网络层次分析法(ANP),阐述了将两种方法结合使用的原因及两种方法结合可解决的问题,为本文量化绩效的权重提供依据,最后明确了本文的整体思路、结构安排和技术路线。

第二章:相关文献回顾。分别对安全管理绩效、解释结构模型(ISM)、网络分析法(ANP)的相关文献进行了梳理,为本文的研究过程奠定了基础。

第三章:主要研究理论与方法。介绍了本文对核电施工企业 ES 公司安全管理绩效评价权重计算所使用的方法——解释结构模型(ISM)和网络层次分析法(ANP)的详细求解步骤。

第四章:ES 公司安全管理绩效评价指标体系构建。通过相关文献研究整理,结合 ES 公司实际情况,梳理分析得出 ES 公司安全管理绩效的影响因素指标,构建了评价指标体系。

第五章:ES 公司安全管理绩效评价指标权重确定。本章是采用 ISM 对要素的层级结构进行分析,通过组建 ISM 工作小组,研讨确立要素间的关系和层级结构。根据各要素间的相互依存关系,利用网络层次分析法(ANP)来确定各个要素的在整个评价体系中的权重。

第六章:ES 公司安全管理绩效综合评价。运用构建的评价模型对 ES 公司安全管理绩效进行打分评价,采用灰色聚类法对各专家的评价打分进行处理,得出评价结果,根据结果分析 ES 公司安全管理过程中存在的问题。

第七章:改进提升对策。根据得出的安全管理绩效综合评价结果,结合 ES 公司安全管理工作实际,针对薄弱环节提出提升 ES 公司安全管理的对策,以期帮助 ES 公司提升安全管理绩效水平。

第八章:研究结论与展望。此章是对整个论文的研究进行总结,说明在研究过程中可能存在的不足之处,以及今后对有关研究的展望。

本篇论文的研究技术路线图见图 1-1。

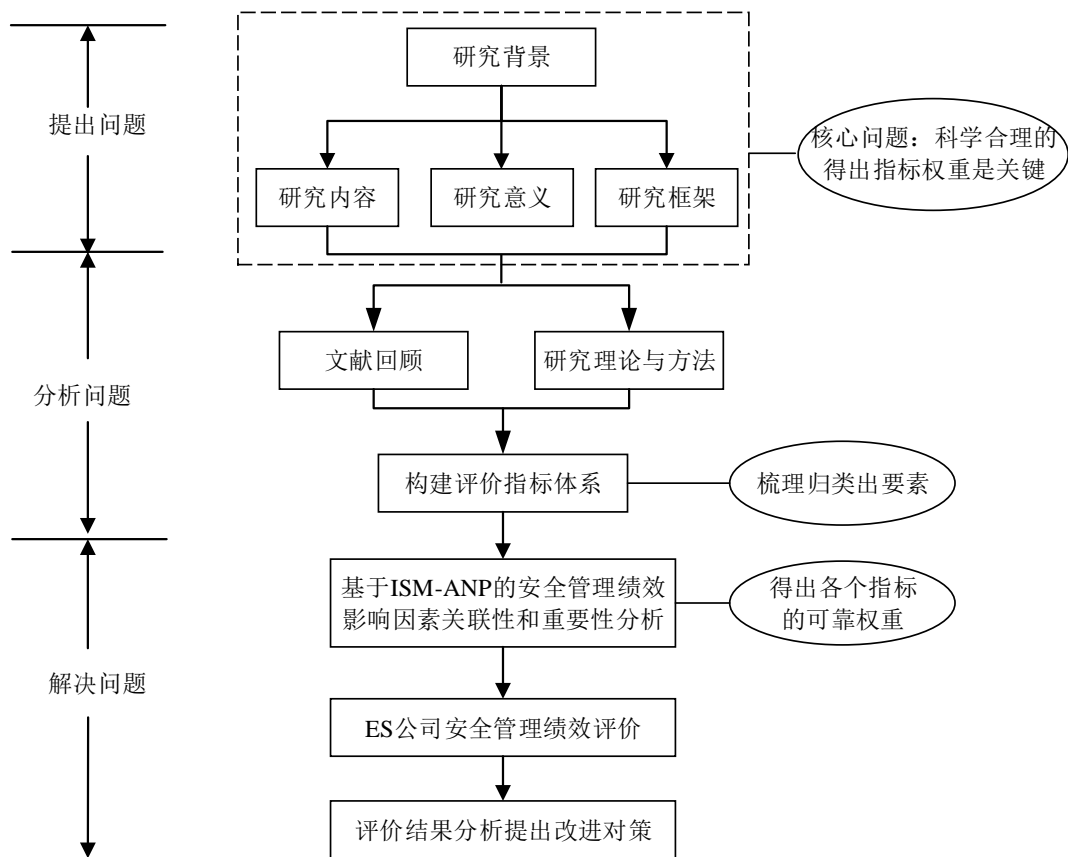


图 1-1 研究技术路线图

注: 本图为作者绘制。

第2章 相关文献回顾

2.1 安全管理绩效

2.1.1 绩效评价

企业要实现可持续发展,就必须适应当前的社会环境,同时也离不开科学有效的管理,而在企业管理中绩效评价是重要的手段之一。杨杰(2000)^[1]把绩效定义成一个组织在既定的时间段内以某种方式实现其自己认可的结果。绩效的英文术语是“performance”,指在执行某些任务过程中取得的成果,所在领域不同它的含义不同,在管理的领域中,它是某一组织在为了达到某一目标时而产生的有效结果。一直以来,有关于企业的绩效研究都是热点,杨富(2016)^[2]主要从企业绩效理论、评价方法和影响因素三个方面对相关研究成果进行梳理和分析,理论研究主要涉及公司绩效的内涵、外延和各种理论视角,评价方法的研究主要集中在评价方法的应用上,而对于企业绩效影响因素的研究主要集中在不同影响因素之间的关系和评价指标体系的科学建立上。

在有关绩效评价的研究,尽管国内外众多学者多年来已经在绩效评价的领域积累了非常丰富的知识和经验,但是他们在绩效评价标准的确定、评价指标体系的构建以及不同来源的结果的整合等基本问题上见仁见智。Sherrian、G.Bohlander、S.Snell(1998)^[3]等指出在确定绩效评价标准时要考虑四个关键要素:第一是与组织总体目标的关联,第二是涵盖职工职责的范畴,第三是标准的稳定性,第四是标准的污染度。J.J.Carlyle与T.F.Ellison(1978)^[4]指出,绩效评价标准的建立需要遵循四个步骤:第一步是确定雇员完成的工作,第二步将相关的任务归组为所需要的元素,第三步将对整个绩效的成功起到关键作用的元素指定为关键元素,最后为每项任务建立和发展绩效评价标准。

2.1.2 安全管理绩效评价

对于安全管理绩效研究的起源是各行各业在生产活动时遇到了安全问题,而对于安全的关注重点从外在技术变为人员管理是由20世纪80年代发生的几起大型的灾难性的事故引发的^{[5]-[7]}。为了能够减少甚至控制事故的发生,国家、行业和企业开始对安全管理水平及状况的测量进行研究,由此安全管理绩效便成了关注焦点^{[8][9]}。相继的,国际上重要的团体、组织和机构也投入到安全管理绩效的研究建设中,在核电领域中比较权威的诸如国际原子能机构和核能运转协会此类

机构等^{[10][11]}。在研究的初期阶段,主要围绕事故、损失等“被动”的结果性的安全绩效评价,邵楠楠(2014)^[12]提出安全绩效的测量评价是基于安全结果即事故的发生、人员的伤亡情况以及引发的财产经济损失等方面的“被动”评价现象。随着研究的深入,安全学科与理念逐步发展,Swuste(2016)^[13]提出了测量安全管理绩效的指标应符合以下要求,一是指标要可靠,二是指标可以量化,三是指标应易于理解,四是指标要稳定且对变化敏感,五是指标要体现成本效益。Qinghua等(2016)^[14]在研究建筑施工企业安全文化的影响因素时,指出作业人员文化程度和掌握的安全知识技能与其安全意识正相关,外部环境会对安全氛围和事故发生率产生影响,进而影响企业的安全管理绩效。Lenhardt(2016)^[15]对德国的企业进行了研究,研究结果表明企业作业场所的安全绩效评价与企业规模有关,此外企业的经济、员工代表和专业人员的帮助对企业安全管理绩效会产生影响。廖中举(2018)^[16]在研究安全管理绩效影响因素中提出,安全投资、安全氛围、安全领导力、安全文化等因素对安全管理绩效有影响,在后期的研究中应深入研究安全绩效的内涵与测量问题,深化研究各种因素对安全绩效的影响机理,更深入探讨安全绩效与企业其他绩效间的关系。王永刚,孙睿韬(2018)^[17]指出在传统飞行员安全管理绩效考核中,侧重于不安全事件等级和数量,对于后果较轻的差错和超限事件轻视,所以考核结果有失偏颇,在基于对飞行员的工作流程、规章要求及相关文献分析的基础上,把严重差错、一般差错、超限事件作为评价指标构建飞行安全管理绩效评价指标。可见安全管理绩效从“被动”变“主动”,指标的选取总“滞后”变“前置”,在测量评价时的焦点变为组织、制度、管理、文化等企业生产要素^[18]。

安全管理绩效的研究也从行业导向发展成了更加专业的学科导向,形成了专门的理论体系,与此同时,众多关于安全管理绩效测量评价的新方法也发展了起来。Xianguo等(2015)^[19]对建筑施工企业安全管理绩效进行了研究,研究采用了SEM方法,在研究的30家样本企业中,私营企业的安全管理绩效明显低于国有和中外合资企业。李英攀,刘名强等(2017)^[20]针对装配式建筑项目提出了一种安全绩效云模型评价方法,在确定评价指标体系时结合了装配式建筑作业空间并行多维的特点,在指标权重计算时采用了层次分析法与熵权法联用的方法,最后确定项目安全绩效等级是通过计算安全绩效考核等级标准云和项目综合评价云的相似度得出。李丽琴(2016)^[21]在矿井通风系统安全绩效评价中,将绩效评价分为两类,分别采用专家打分和问卷调查的方法,通过模糊综合评价计算绩效分值进而确定绩效评价结果。曲扬(2017)^[22]在研究建筑企业安全绩效时,将企业管理绩效模型引入到安全绩效模型中,通过改建的EFQM安全绩效模型,建立从过程和结果角度相结合的安全绩效指标体系,运用因子分析对数据信度和

效度检验并修正,通过因子载荷确定指标权重,有效地降低了安全绩效影响因素的不确定性对评价结果的影响。何录新(2016)^[23]采用数据包络分析法建立了安全管理绩效指标体系,对某石油公司 8 个子公司的安全管理绩效进行评价。在测量各公司的安全管理绩效时是对比规模收益和效率值,而后对投影值进行分析查找绩效差的公司的薄弱环节,最后再根据敏感度分析各指标对绩效的影响程度,从而帮助企业找到安全管理工作的重点。

以上分析表明,在安全管理绩效评价时,企业整体的安全状况是通过评价指标反映的,目前对于安全管理绩效评价的研究多数集中于评价指标的选取和指标权重计算方法的选取,可见指标的选取及指标的权重确定在安全管理绩效评价中是关键,然而具体该如何选取在目前的研究中没有达成统一一致,现有的指标选取和权重计算方法,不同行业背景方式方法不同,故安全管理绩效评价研究要结合行业特点进行。

同时,国内外有关安全管理绩效评价的研究,由理论到实践涉及航空、矿井、建筑、石油化工类企业等,目前针对于核电站施工企业的研究为数不多,而作为可持续发展的清洁能源,核电有关的建设数量在未来势必会增加,那么核电能否平稳快速发展的一个重要保障就是其建设是否安全,因此,核电施工企业安全管理绩效评价研究具有十分重要的意义。

2.2 解释结构模型及网络分析法

安全管理绩效的各类影响因素对企业影响不尽相同,因此在评价时要选择最合适的评价指标体系,这就需要对各类影响因素进行综合的判断决策。本文在研究中选用了网络分析法(ANP)作为主要决策模型来构建评价指标体系,组织专家对筛选出的要素间的关系进行判断,计算出各项评价指标的优先排序。但在采用 ANP 对要素进行网络结构划分时,人为主观性偏大,所以为了保障得到最优化的决策,本文在建立 ANP 模型前用解释结构模型(ISM)进行优化,对因素关系进行分析,使所得结果更加准确可靠。

近年来有很多学者在研究不同影响因素体系中,采用 ISM-ANP 联用的方法:邢宝君,唐水清等(2017)^[24]采用 ISM-ANP 联用的方法,建立了矿工安全注意力衰减影响因素体系,并借助 Super Decision(SD) 软件进行计算求解,建立矿工安全注意力衰减影响因素模型,同时得出主要影响因素有:行为习惯、管理方式、安全认知、风险感知力、安全信息刺激频率及安全自制力。杨镇竹(2014)^[25]采用 ISM-ANP 联用的方法,构建快递企业物流服务质量评估模型,通过分析模型查找快递企业物流服务质量系统的不足,帮助其完善改进提升物流服务质量。黄雪(2017)^[26]采用 ISM-ANP 结合的方法,对绿色产品创新的影响因素进行了

分析,采用 ISM 分析要素的关联性,用 ANP 计算出要素的重要性排序,使得企业清晰的认识到各要素之间的关系,同时计算得出了关键影响因素,能够让企业更有针对性的制定绿色产品创新计划,从而提高绿色产品创新的成功率。王婷(2017)^[27]也将 ISM 的因素作为 ANP 结构的输入,建立了 ISM-ANP 的企业环境战略决策模型,借助 SuperDecision (SD) 软件计算出各要素的权重,并实证研究得出结果贴近现实。通过对以上 ISM-ANP 联用的文献归类发现,运用 ISM 最终得到的结果——拓扑层级图,作为 ANP 的输入项,ANP 就是基于 ISM 方法的结果即网络结构图的基础上进行两两比较,最终通过各种超级矩阵的运算得到结果。

ISM 要素与要素之间的关系是映射成有向图,ANP 中的起始输入项也是映射成有向图,以 $A \rightarrow B$ 为例,其中 A 与 B 的指向关系通常是因果关系,可达关系,偏序关系,而在 ANP 中其网络层的含义是强弱,优势度,这两者虽然同为有向图的表达,其含义并不相同,虽然大多数情况下,原因要素的重要性要大于结果要素的重要性,但是在具体的情境中,这种一致性会发生逆转。如生活中的水非常重要,但是在具体情境中,水可能排除在研究范围之外。

2.2.1 解释结构模型

解释结构模型法源于结构建模 (Structural Modeling),其英文术语全称 Interpretative Structural Modeling Method,可以简称 ISM 法,又称解析结构模型、诠释结构模型法,该方法是系统分析方法中使用极其广泛的一种方法。ISM 法就是把需要分析的系统,用拆分、合并等方式梳理出各种要素(子系统、因素、评价指标、准则、对象、方案),然后对梳理出的要素进行分析,成对的比较要素两两之间的关系,同时将要素和要素之间的两两关系映射成有向图,再将有向图与布尔邻接方阵(关系矩阵,邻接矩阵)同构,而后通过对布尔邻接矩阵开展一系列逻辑运算,揭示出研究系统的结构,同时得到不损失系统整体功能的,最简层次化(阶梯化)的有向拓扑图。以层级拓扑图的方式展示结论,将系统因素的因果层次及阶梯结构一目了然地展示出来,相较于文字、表格、数学公式等方式具有很强的直观性,能够更好的揭示出事物的本质。在 ISM 法的发展历程上有三个重要的节点:一是 John N. Warfield (1976)^[28]首次运用 ISM 技术揭示复杂性的问题,引入了计算机进行辅助计算,它标志着 ISM 方法的诞生。二是黄炜(2003)^[29]对多种解释结构模型进行了界定,他通过研究黑客与反黑客的思维研究得到的方法论的启示,对经典解释结构模型的多种前提条件进行了重构,其推演的过程从经典 ISM 开始,得出五种新型解释结构模型,并给出了相应的界定与命名:(1) 博弈解释结构模型方法(简称 GISM 法);(2) 模糊解释结构模型方法(简称 FISM 法),把布尔二值的范围扩展到[0,1]模糊论域;(3) 阻

尼解释结构模型方法（简称 DISM 法），将 $[0,1]$ 范围的模糊论域扩展到 $[-1,1]$ ；（4）虚解释结构模型方法（简称 VISM 法），将模糊论域由 $[-1,1]$ 的扩展到虚数的模糊论域，是数学上一种推广，但正如作者所言，他也并不清楚这种推广有何现实运用；（5）函数解释结构模型方法（简称 FunISM 法），是一般化的定义，即是一个通式。三是 Murray Turoff 等（2015）^[30]首次提出了系统所处的场景、情景会对解释结构模型产生影响，用一般系统论的观点讲即系统对应的解释结构模型会因其所处的环境不同而变化，由此提出了交叉影响分析——解释结构模型方法，而产生这种变化是由于要素间的博弈导致的。

目前很多学者开发了不同形式的解释结构模型软件，针对不同的建模特性，以及具体的事物需要，都能实现运算。各类解释结构模型在线计算，使用起来极其方便，除了常规的解释结构模型计算，还包括对抗解释结构模型计算、基于夹逼思路的不确定性型解释结构模型的计算、基于各类模糊算子的模糊解释结构模型在线计算、阻尼解释结构模型在线计算等等。解释结构模型在线计算的开发，极大的降低了 ISM 的运用门槛，使得研究者可以更专注于事物本身的分析，而不是把大量的精力耗费在繁杂的计算中。

2.2.2 网络分析法

网络分析法的英文术语为 Analytic Network Process, 简称 ANP, 是美国 Saaty 教授在 1996 年提出的一种决策方法，该方法的提出是基于层次分析法，是一种适应非独立递阶层次结构的方法。ANP 相对于 AHP 而言，用网络结构代替了层次结构，同时会将要素间的相关性考虑进去，用非线性结构代替线性层次结构，还加入了反馈机制，并考虑到低层要素对于高层要素的支配作用。此后 ANP 作为一种多准则决策方法，逐渐成为学术界研究的焦点问题，并被广泛用于各领域，解决了诸多复杂决策问题。王莲芬（2001）^[31]介绍讨论了 ANP 的模型与理论，并对反馈结构的几种典型超矩阵及其极限排序向量进行分析，对循环系统提出了计算极限相对排序向量的简单而可行的方法。王娟，李华（2007）^[32]指出 ANP 是管理决策与现代绩效评估中的一种十分有效的方法，在解决预测、计划、效力确定以及冲突分析等问题时得到广泛应用和迅速推广，分析论证了 ANP 在不同应用形式中存在的问题，比较不同条件下的矩阵的特点，给解决各种不同 ANP 问题提供了重要的依据。刘睿，余建星等（2003）^[33]介绍了超级决策软件系统，即 ANP 的应用计算软件，随后将软件运用在水利水电项目导流施工方案评价中，说明 ANP 方法作为一种决策方法可以用于工程实际。陈通，吴苓等（2008）^[34]将 ANP 应用于企业绩效评价，提出了基于 ANP 的绩效评价模型，有效解决了企业绩效评价中，因大量定性定量因素的不确定性、模糊性、随机性特点导致难以

科学客观的评价经营管理绩效的问题,使决策更为科学、合理。张苑秋,田军等(2015)^[35]运用 ANP 建立了具有通用性的应急物资供应能力评价模型,研究了评价矩阵和权重参数的获取方法和途径,对陕西省政府应急物资的供应能力进行了实证研究评价和实验分析,提出了具有针对性的管理建议。王国红,许达等(2019)^[36]运用 ANP 建立了新兴产业创业合成能力评价模型,计算确定了各个指标权重,根据计算出的各指标的重要性,为政府提升新兴产业创业合成能力及新兴产业内企业发展提出对策建议。

为了解决 ANP 中复杂与繁琐的建模与计算问题, Saaty 所在的美国国家科学基金会,基于 ANP 的计算原理开发了 Super Decisions (简称 SD) 软件,随着该软件的不断完善,使得对复杂系统的评价决策更加方便快捷。SD 软件的出现,同 ISM 相关计算软件的出现一样,大大的降低了研究中计算的工作量,使得研究者能够把主要精力放在建模本身,而不是在计算的细节上。

2.3 本章小结

本章对相关文献进行了回顾梳理,通过整理总结前人的研究成果,给本文的研究内容提供了重要思路。

(1) 在安全管理绩效评价中指标的选取及指标的权重确定是关键,各类选取指标和计算权重的方法各有侧重,要根据行业背景和特点综合考虑。

(2) 近年来有很多学者在研究不同影响因素体系中,采用 ISM-ANP 联用的方法,可尽量使得最后的决策方案最优化。采用 ISM 对因素关系进行分析,得出不损失系统整体功能的,最简层次化的有向拓扑图,揭示事物的本质,作为 ANP 输入的参考,消除 ANP 的主观性; ANP 对因素进行分类,组织专家对因素间的关系进行判断,计算出各项评价指标的优先排序。

(3) 当前 ISM 在线计算软件以及 SD 软件的成熟度较高,运用软件计算使得人们在研究时可以聚焦到更深层问题的分析研究,同时也改变了研究的方式,从内容上看比如使用 SD 时候在给出权重分配时,只需要专注两两比较的分值合理性即可,在要素因果关系与重要关系有可能一致的情况下,甚至无须干预打分,就可以得出合理的优势度分析;从协作形式上看,由于所见即所得的出现,可以使得协同研究,协同分析,在线探讨变得更加快捷。

第3章 主要研究理论与方法

本文究其根源，是一个综合评价（Comprehensive Evaluation, CE）的研究，是一个以安全绩效为研究对象的多指标综合评价研究。综合评价它不只是某种方法，而是整套的方式方法体系，是一系列适宜模型方法有机结合在一起的总称。是针对研究的对象，建立一套可信与可行的指标体系，利用符合实际情况模型方法，详细分析评价的对象，最终给出量化的综合性的总体判断^[37]。

在进行综合评价时，其前置的关键技术主要有如下几个方面。

其一，指标体系的建立；

其二，指标体系中各指标权重的确定；

其三，能给出符合现实的适宜的模型方法。

本文根据研究对象特点采用的是 ISM-ANP 方法联用，就是能给出系统各个子要素的更可靠的权重。接着对专家对半定性与定量的指标给出分值。对于这些分值运用灰色聚类的方式，并结合 ISM-ANP 得到的权值进行综合评价，最终给出各个子系统的综合评价。其中 ISM 与 ANP 是最重要的理论基础。

3.1 绩效评价

绩效（Performance）现代汉语词典中定义为成绩或效益。墨菲（Murphy）将绩效的范围定义为“一套与组织或个人体现工作组织单位的目标相关的行为。”在实际应用中，绩效可以理解为完成工作任务，或者是工作结果或产出，现在更深的理解为实际收益和预期收益的综合。从管理学的角度看，绩效是组织期望的结果，是组织为实现其目标而展现在不同层面上的有效输出^[38]。企业或组织的绩效可以分为以结果为导向的绩效和以行为为导向的绩效，前者是指在特定的时间内由特定的工作职能或活动产生的产出记录；后者是指与企业目标有关的、可以按照个体能力的贡献程度进行测量的行动或行为^[39]。

绩效评价是依据会计学和财务管理的知识，运用计量经济学原理和现代分析技术，建立起来的剖析企业经营过程、真实反映企业现实状况，预测未来发展前景的一门学科，是评价理论方法在经济领域的具体运用^[40]。绩效评价是管理者运用一定的指标体系对组织的整体运营效果作出的概括性评价，以揭示组织的运营能力、偿债能力、赢利能力和对社会的贡献，为管理人员和利益相关者提供相关信息，为改善组织绩效指明方向^[41]。财政部统计评价司定义绩效评价为：绩效评价是指运用科学、规范的评价方法，对企业一定经营期间的资产运营、财务

效益等经营成果,进行定量及定性对比分析,做出真实、客观、公正的综合评判^[41]。从企业内部管理的角度看,企业进行绩效评价主要是为了实现在战略规划中量化企业目标,在战略实施中把握企业战略,在激励机制构建中调动员工积极性的三个主要功能。这也表明了企业开展绩效评价的动因是剖析企业经营过程、反映企业现实状况和预测未来发展前景。本文所指的绩效评价,是指组织依照预先确定的评估指标和评价程序,运用适合的科学的评价方法、按照评价的内容和标准对安全管理的能力、业绩等整体效果进行的考核和评价,并将评估信息及时准确地反馈给管理层,以为决策提供依据的过程^[42]。

安全管理绩效是指企业安全生产管理在运作上的整体表现,很大程度上受到企业组织行为的影响,可以借助行为科学的方法能够提升安全管理绩效。安全管理绩效是指以企业安全目标和方针为基础的,与组织的风险控制相关联的,组织安全管理系统的可测量结果。安全管理绩效可以表示为组织安全目标的满足程度或者对某类风险控制效果,是企业系统各层次要素在应对企业内外部环境变化过程中所表现出的涌现特性^[43]。安全管理绩效考核是对组织或个人与安全有关的优缺点进行系统描述,是系统安全运行过程控制的关键环节,促使企业通过不断反馈和调整实现安全水平的持续提高。

安全管理绩效评价是以企业的安全管理目标的实现程度为研究对象,构建一套能够用来衡量企业安全管理水平的评价指标体系,这些指标体系可以反映人员安全情况、财产损失情况、设备损坏情况以及对环境和对社会造成不良影响的情况然后通过采取某种方法进行指标权重的确定,并运用科学、合理的评价模型进行安全管理评价,指出目前安全管理存在的不足之处,并提出改进的对策建议。

3.2 解释结构模型

ISM 是 Warfield 教授在 1973 年开发的一种以计算机为辅助的模型结构化技术。其最开始是为了分析复杂社会经济系统结构问题而提出。ISM 是通过有向图表示要素的因果关系(可达关系),并利用要素关系建立邻接矩阵,通过矩阵运算求出可达矩阵,然后分解可达矩阵,最终使复杂的系统结构可以清晰地呈现出层次清晰的多级递阶结构形式,其流程如下图 3-1。

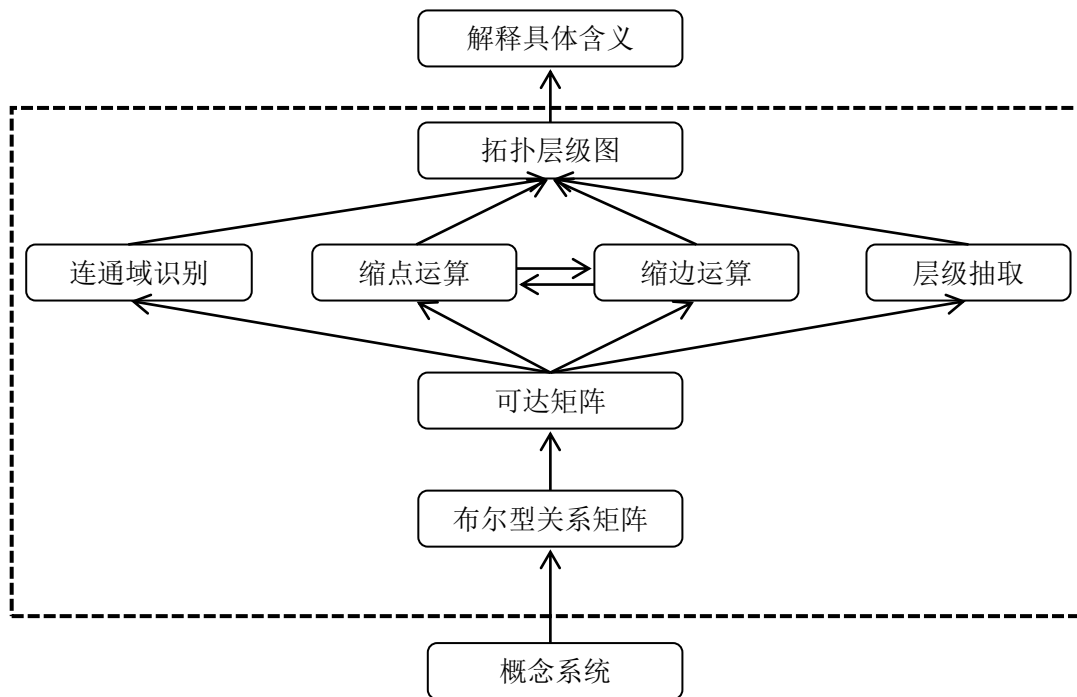


图 3-1 解释结构模型 (ISM) 流程图

注：本图为作者绘制。

3.2.1 建立邻接矩阵

建立原始邻接矩阵是 ISM 方法的根基，是最重要的步骤，是整个 ISM 方法的根本。建立邻接矩阵实质是将系统要素关系矩阵导入 ISM 的过程，其后后续所有工作是一个演算过程，得出模型是数理逻辑运算支持下自然而然的的结果，这种繁杂的逻辑演算可以由计算机软件自动完成。建立邻接矩阵的过程分为如下两步。

第一步，确定要素集。ISM 是一种系统方法，解决复杂问题的原则之一就是复杂问题简单化。就确定系统要素集的原则来说，只选择体现问题体系的核心要素。Warfield 建议组织领域 ISM 专家小组，由专家小组确定系统的要素集 $N = \{S_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ 。

第二步，两两比较要素之间的二元关系并建立邻接布尔矩阵。ISM 方法中建立邻接矩阵是通过要素两两比较判断得到。其中要素 S_i 跟要素 S_j 要比较两次，分别是要素 S_i 对要素 S_j 的直接影响；要素 S_j 对要素 S_i 的直接影响。对于整个系统来说存在 n 个要素则要比较 $n(n-1)$ 次。而要素自身则不需要比较，即矩阵的对角线上的值通常用 0 来表示。

邻接布尔矩阵 A ，设 A 的元素 a_{ij} 定义为 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ ，则根据因素之间的可达（因果、优劣、偏序）关系有：

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & S_i \text{与} S_j \text{存在直接的可达关系} \\ 0, & S_i \text{与} S_j \text{不存在直接可达关系} \end{cases} \quad (3-1)$$

由此可以建立原始关系矩阵，该矩阵是布尔型矩阵。

对于无法取得一致的矩阵值，需要由 ISM 专家小组根据事物具体情境获得确定的值，该值只能是二元的，即只能在“0”，“1”中取一个。

在实际应用中，值取“1”的，代表的二元关系往往具有直接因果关系。即 $a_{ij} = 1$ 代表，要素 S_i 是原因，要素 S_j 是结果。

3.2.2 可达矩阵的计算

可达矩阵是一个重要的概念，但是并非必须的步骤。尽管可以不计算可达矩阵而完成后续的四大核心运算，但是运用可达矩阵，可以更直观的、更便于理解的方式处理 ISM 的四大核心运算。运用可达矩阵来计算是牺牲运算速度为代价来满足直观性的要求。计算可达矩阵的方法有如下几种，见表 3-1 所示。

表 3-1 可达矩阵 R 的计算方法汇总

计算方法名称	计算过程
连乘法	原始矩阵 A 加单位矩阵 I ，得到相乘矩阵 B ， B 矩阵通过连乘。由于布尔矩阵的性质，其极限矩阵会不在变化，该矩阵为可达矩阵 R 。 $B = A + I$ $(B)^{k-1} \neq (B)^k = (B)^{k+1} = R$
幂乘法	$(B) \rightarrow (B)^{(2)} \rightarrow (B)^{(2).(2)} \rightarrow (B)^{(2).(2).(2)} \rightarrow \dots \rightarrow (B)^{(2k)}$
Warshall 法	Warshall 算法是通过传递闭包进行求解，是一个经典算法。由矩阵 B 对矩阵进行 B 传递闭包，得到转移矩阵 T ，对转移矩阵不停的进行 Warshall 操作，直至得到可达矩阵 R 。
一次性 Warshall 法	通过 tarjan 算法根据原始矩阵求出所有的强连通分量，由强连通分量的顺序对原始矩阵进行等价变换得到新的矩阵，该矩阵是一个下三角形式的布尔矩阵从上到下，进行一次 Warshall 运算就得到了可达矩阵。

注：本表为作者制作。

上述四种方法中，运算效率最高的一次性 Warshall 算法。

3.2.3 以层级抽取为核心的四大运算

ISM方法中四大核心运算为：区域分解（连通域识别）运算，回路识别运算（缩点运算），缩边运算，层级划分（抽取）运算。

（1）第一大运算：区域划分运算。

区域划分运算，是指对系统连通性进行判断的运算，也就是计算出矩阵分为几块互不连通的区域。一般把这个计算叫系统数目的判定。系统的要素与要素之间是有机联系在一起的，如果没有联系在一起，就不能称为是一个系统。系统的连通性，是通过将有向图的转化成无向图的思路来进行。

对于无向图 G 中任意一对顶点（要素）都是连通的，则称此图是连通图（connected graph）；反之，如果一个无向图不是连通图，则称为非连通图（disconnected graph）。对非连通图 G ，其极大连通子图称为连通分量（connected component，或连通分支），连通分支数记为 $w(G)$ ，即有多少个独立系统的意思。

（2）第二大运算：回路运算。

回路运算的作用是判断整个系统中有无回路，对于回路，可以选择不缩点也可以选择缩点运算。所谓缩点运算，就是把一个回路当成一个要素处理，也就是把形成回路的多个节点当一个节点处理。数学语言来定义回路即是：包含有两个或者两个以上要素的强连通分量。回路不是环路，跟环路是有本质的不同。回路是针对有向图而言，环路是针对无向图而言。比如 $A \rightarrow B \rightarrow C$ 、 $A \rightarrow C$ 这样一个拓扑是环路但不是回路。

回路又叫反馈系统，一个系统里出现多个回路，每个回路就是一个反馈子系统。在其它结构模型中，回路的研究是一个非常重要的内容，甚至是最重要的内容。但是在 ISM 中，它并不是最重要的内容，因为很多探讨的对象面对的是一个层次结构，其回路相对很少。对于回路，一般采用随机排列的回路原始图，经过回路计算之后，最终菊花链表示的有向边 $C \rightarrow D$ 在原始图中是不存在的。如图 3-2a, 3-2b 所示。

两个图是等价的，图 3-2b 代表着由 n 个要素组成的回路，可以用一个菊花链回路表示，这个菊花链的特征是，这些要素的排列可以是随机的，如图 3-2a。对于 ISM 的处理来说，回路只需要通过首尾相连的方式，把随机排列的要素连接起来。 n 个要素对应 n 条有向边。回路在 ISM 最终层级图中最大的特点是：回路中的要素处于同一层级。涉及到反馈系统中的有向边，分为三类。

1) 输入边：即从别的要素发出到回路要素中的有向边，在解释结构模型中，一般是由下层集的要素发出，回路中的要素接收。

2) 输出边：即从回路要素中发出的有向边。在 ISM 层级图中，回路处于下层级，接收有向边的是上层级的要素。

3) 反馈边：即回路中要素间的有向边。回路要素中的反馈可能很复杂，在 ISM 中通常用一个简单的回路代替。其形式上表现为成顺序连接的环形回路。

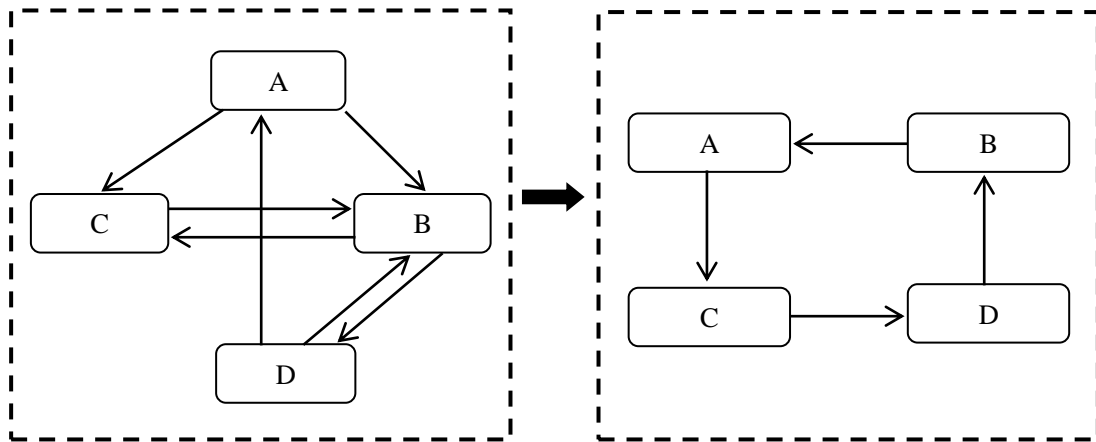


图 3- 2a 随机排列的回路原始图

图 3- 2b 回路的菊花链有向图

注：本图为作者绘制。

(3) 第三大运算：缩边运算。

缩边运算的本质是把重复路径删除，即把所有的有重复嫌疑的向前边删除。如图 3-3 所示。

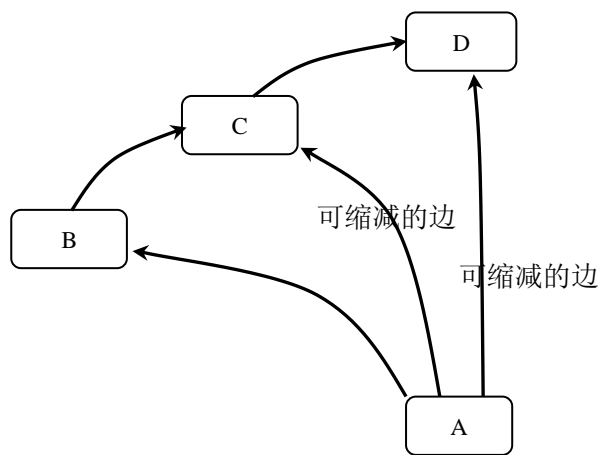


图 3-3 缩边示意图

注：本图为作者绘制。

上图中的 $A \rightarrow C$ 、 $A \rightarrow D$ 的有向边可以删除，因为 $A \rightarrow B \rightarrow C$ 这条路径包含有 $A \rightarrow C$ 的可达状态。从可达的概念来阐释，如果两要素之间存在两条路径，其中直接的路径是可以删除的。现实世界中经常出现缩边处理，比如不要越级进行指挥。

对于没有回路的矩阵来说，即 DAG（无回路有向图），算出所有可以缩掉的边后的矩阵，即骨架矩阵，有一个简单的代数表达形式。

$$S = R - (R - I)^2 - I \quad (3-2)$$

S: 为缩边矩阵，又称为骨架矩阵，骨干矩阵，骨架阵；R: 为可达矩阵；I: 为单位矩阵。

该方法从运算效率上来说不高，即运算时间相对较长、运算过程复杂度高，但是从数学表达上很清晰。当系统中出现无回路有向结构时候，该缩减矩阵中边的总数最少，且矩阵为唯一。该唯一缩边缩减矩阵叫骨架矩阵。当系统存在回路的时候，多数不存在唯一表达的骨架矩阵，只存在边数最少的缩减矩阵，该矩阵叫一般性骨架矩阵。缩边与缩点是紧密联系在一起，有缩点一定存在缩边。

（4）第四大运算：层级划分

层级划分运算是解释结构模型中的核心运算。可以使得凌乱的系统布局根据其二元关系，以层级阶梯的形式展现出来。使得系统的“原因-结果”可以一目了然的以层级结构图形式展现出来，易于理解，便于观察分析整个系统。

对于任意原始矩阵A的可达矩阵R。有如下三类集合。

可达集合、又可以叫结果集合、终止集合、汇点集合、优集合、上位集合等等。用R来表示。

先行集合、又可以叫原因集合、起始集合、源点集合、劣集合、下位集合等等用Q来表示。

共同集合、又叫共同集。用T来表示。为先行集合跟可达集合的交集，即 $T = R \cap Q$ 以可达矩阵R为例，对于其要素 e_i ：

e_i 的可达集合记作 $R(e_i)$ ，即要素对应行值为1的所有要素。

e_i 的先行集合记作 $Q(e_i)$ ，即要素对应列值为1的所有要素。

e_i 的共同集合记作 $T(e_i)$ ，即 $R(e_i) \cap Q(e_i)$ 。

经典ISM方法中，其抽取规则又称为结果优先的层级划分，其抽取规则为： $T(e_i) = R(e_i)$ 。

只要可达集与共同集相同，就抽取出相关要素。每次抽取出来的要素放置在上方，依次按照由上往下的顺序放置抽取出的要素。

原因优先的层级抽取规则为 $T(e_i) = Q(e_i)$ 。其过程正好与结果优先的抽取规则相反。

3.3 网络分析法

ANP（Analytic Network Process）即网络分析法是美国著名的运筹学家匹茨

堡大学教授托马斯·塞蒂 (T.L.saaty) 针对 AHP 的不足而提出的改进。1996 年使其正式地理论化和系统化。研究中典型的 ANP 方法网络结构图如图 3-4 所示。

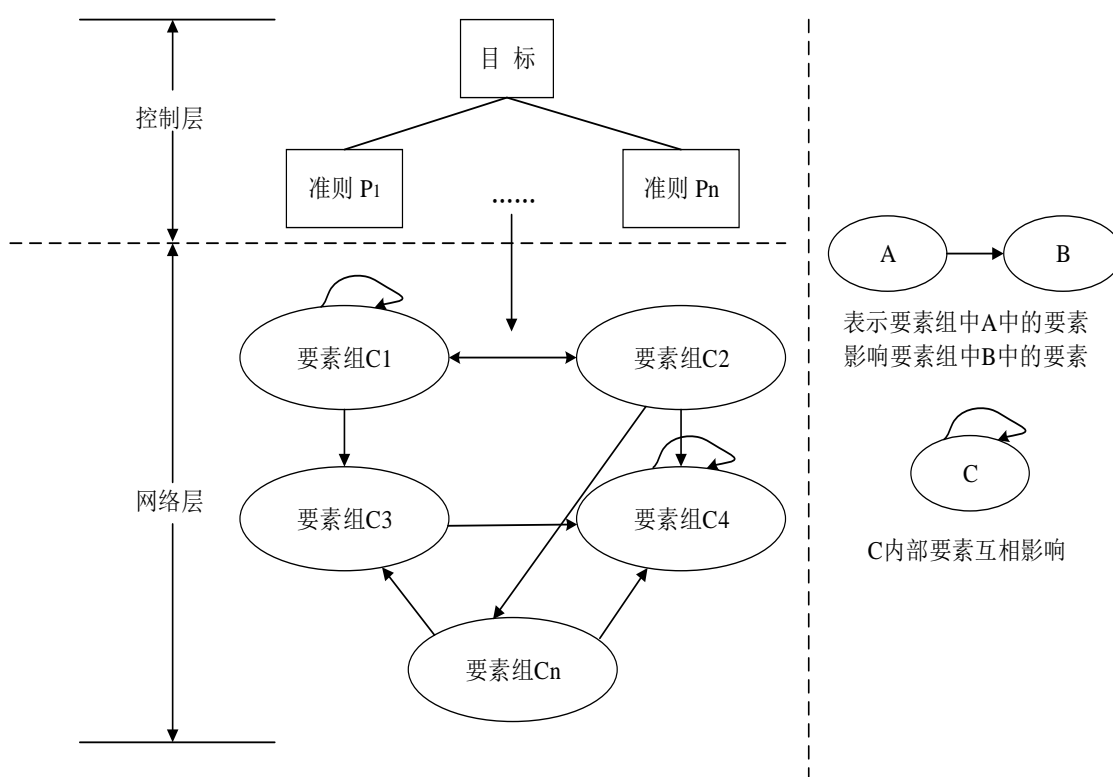


图 3-4 典型的 ANP 网络结构图

注：本图为作者绘制。

层次分析法的英语术语为 Analytic Hierarchy Process，可以简称 AHP，是一种运用广泛的定性和定量结合在一起的分析决策研究方法。该方法是 Saaty 于 20 世纪 70 年代初，在为美国国防部研究一个课题时，提出的一种研究方法。该方法把要素组织成一个树形的层次结构，通过构建不同的层次的成对比较决策矩阵，计算得到各个要素的权值。AHP 的原理是把研究的对象的要素层次化，它首先确定研究对象的总目标，根据总目标把研究对象分解为不同由若干要素组成的子系统，这些子系统是按照层次的组织方式形成一个层次结构，最终通过子系统里要素之间的成对比较矩阵得出所有要素的权重。

然而在实际问题中，往往要素之间的影响与隶属关系并非简单的类似树形的层级关系，更多的是以复杂的网络形式存在。为了更好的分析和评价这种复杂系统问题，T.L.saaty 在 AHP 的基础上提出了网络分析法 (Analytic Network Process) 简称 ANP，ANP 中使用最广泛的是内部独立循环系统 (Circular System with Inner Independence) 简称 CSII，是 Saaty 提出的五种 ANP 典型网络系统之一，它常被

用来解决综合评价与决策的实际问题。

ANP 是 AHP 方法的延伸, ANP 将系统要素划分为两大部分: 第一部分被称为控制层, 控制层有总目标及对应的准则层, 准则层的要素受总目标的控制与支配; 控制要素中少有一个目标, 可以通过 AHP 方法获得控制层中每一个准则权重。第二部分为网络层, 它是受控制层支配的要素组组成的, 其内部是互相影响的网络结构, 要素之间互相依存、互相支配, 要素和层次间内部不独立, 递阶层次结构中的每个准则支配的不是一个简单的内部独立的要素, 而是一个互相依存, 反馈的网络结构^{[44][45]}。其中无准则的 ANP 形式如下图 3-5。

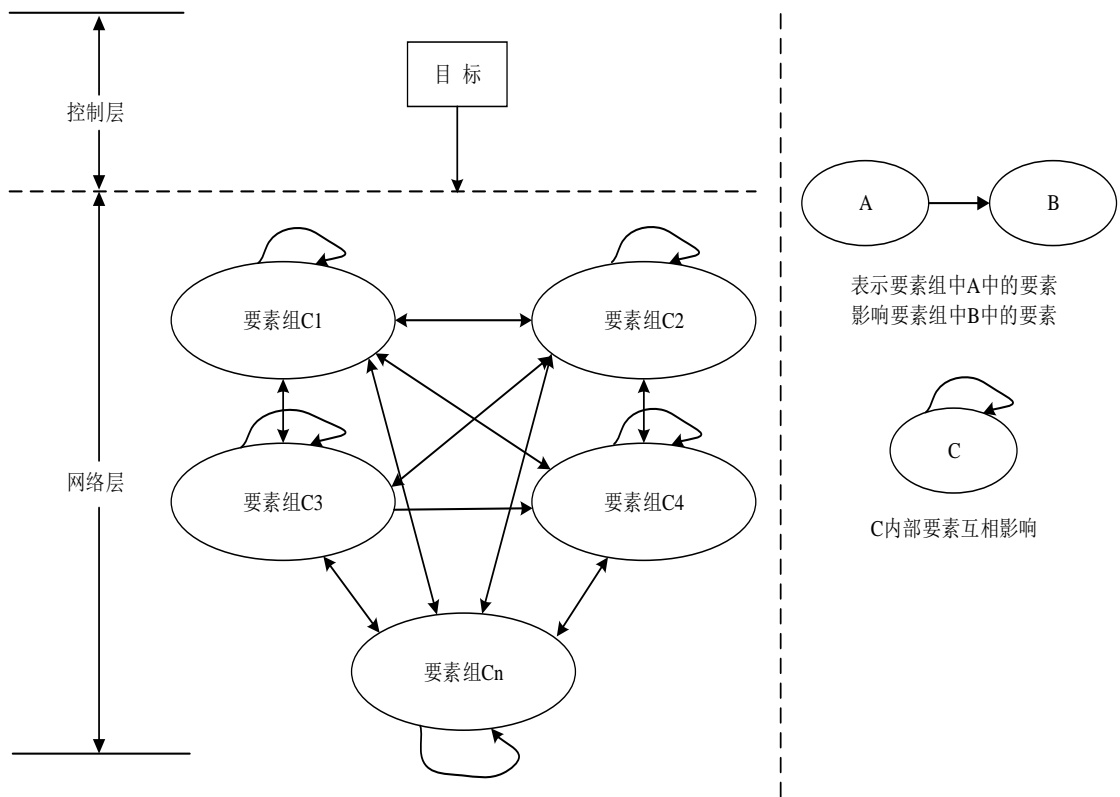


图 3-5 无准则的 ANP 网络结构

注: 本图为作者绘制。

ANP 和 AHP 有相似之处, 因为两者的理论基础都是基于成对比较决策矩阵而来。两者应用的领域与解决的问题大多是无法精确计算, 需要加入一定的主观判断的复杂的问题中。两种方法在实际操作中也是相近的。ANP 是 AHP 的延伸, 而 AHP 是 ANP 的特例, ANP 与 AHP 是包含关系, AHP 其本质就是 ANP 里的最简单的一种情况。但 AHP 中没有考虑同级要素之间的相互影响、相互依赖、相互支配的关系, 而 ANP 是在充分考虑 AHP 的准则的基础上, 进一步考虑准则

层里各要素间的相互关系^[46]。

网络分析法的计算过程和基本步骤如下。

(1) 要素组与要素的分析

该过程就是把组成系统的要素按照其固有的属性,把需要分析解决问题划分成若干个要素集,每个要素集里分别有若干个要素。不同的要素集中的要素之间允许存在着各种反馈性。这种反馈性可以通过 ISM 中得到的层次拓扑图得到。

(2) 网络结构的构建

SD 软件中可以构建网络结构,其顺序是先构建控制层,接着构建网络层。控制层中是确定系统的总目标和对应的准则。其中网络层要素之间的关系的核心。在 SD 中最核心的是要素与要素之间的关系建立。该关系建立完成即建构完成了 ANP 网络结构。通常该关系的建构是以 ISM 得到的拓扑层级图作为参考依据获得。

(3) 构建要素之间的重要性比对

本文由于要素之间的关系极为复杂,采用间接优势度方法比较法构造初始判断矩阵。将系统中的要素两两进行比较,建立比较判断矩阵采用 1-9 标度法。构建好要素以及要素组两两之间的重要性标度后,即可以进行下一步的计算。

(4) 计算未加权超矩阵

加权超矩阵 SD 软件再打完分后可以自动算出。其过程原理如下。

计算出最大特征根,再归一化特征向量

\mathfrak{R}_{jl}	\mathfrak{R}_{i1}	\mathfrak{R}_{i2}	...	\mathfrak{R}_{ini}	归一化特征量
\mathfrak{R}_{i1}					Ω_{i1}^{jl}
\mathfrak{R}_{i2}					Ω_{i2}^{jl}
...					...
\mathfrak{R}_{ini}					Ω_{ini}^{jl}

(3-3)

采用特征根法计算得出排序向量 $(\Omega_{i1}^{jl}, \Omega_{i2}^{jl}, \dots, \Omega_{ini}^{jl})$, 完成一致性检验。 W_{ij} 记为:

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} \Omega_{i1}^{j1} & \Omega_{i1}^{j2} & \dots & \Omega_{i1}^{jn_j} \\ \Omega_{i2}^{j1} & \Omega_{i2}^{j2} & \dots & \Omega_{i2}^{jn_j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Omega_{ini}^{j1} & \Omega_{ini}^{j2} & \dots & \Omega_{ini}^{jn_j} \end{bmatrix} \quad (3-4)$$

W_{ij} 的列向量就是系统 \mathfrak{R}_i 中的要素 \mathfrak{R}_{ini} 对系统 \mathfrak{R}_j 中的要素 \mathfrak{R}_{jn_j} 的影响度排序向量, 如果 \mathfrak{R}_i 中的要素对 \mathfrak{R}_j 中的要素没有影响, 则 $\Omega_{ij} = 0$ ($i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, N$)。

得到以总系统控制层下, 要素相互影响的未加权超矩阵:

$$W = \begin{matrix} r_{11}r_{12} \dots r_{1n1} & r_{21}r_{22} \dots r_{2n2} & \dots & r_{j1}r_{j2} \dots r_{jnj} & \dots & r_{N1}r_{N2} \dots r_{NnN} \\ r_{11} & & & & & \\ r_{12} & \Omega_{11} & \Omega_{12} & \dots & \Omega_{1j} & \dots & \Omega_{1N} \\ \vdots & & & & & & \\ r_{1n} & \Omega_{21} & \Omega_{22} & \dots & \Omega_{2j} & \dots & \Omega_{2N} \\ r_{21} & & & & & & \\ r_{22} & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & & & & & & \\ r_{2n} & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{i1} & \Omega_{i1} & \Omega_{i2} & \dots & \Omega_{ij} & \dots & \Omega_{iN} \\ r_{i2} & & & & & & \\ \vdots & & & & & & \\ ini & & & & & & \\ \vdots & & & & & & \\ r_{N1} & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{N2} & & & & & & \\ \vdots & & & & & & \\ r_{NnN} & \Omega_{N1} & \Omega_{N2} & \dots & \Omega_{Nj} & \dots & \Omega_{NN} \end{matrix} \quad (3-5)$$

(5) 加权超级矩阵的计算

以上的超矩阵中 W_{ij} 都是以 \mathcal{R}_{jn} 为次准则,通过 \mathcal{R}_i 中要素两两比较得出排序向量,所以虽然 W_{ij} 中每一列都是列归一化的,但是 W 却不是归一化的,故而对控制层下的各要素组 $\mathcal{R}_i(i = 1, 2, \dots, N)$ 对次准则 $\mathcal{R}_j(j = 1, 2, \dots, N)$ 的重要性进行比较通过一致性检验。

\mathcal{R}_j	\mathcal{R}_1	\mathcal{R}_2	...	\mathcal{R}_N	归一化后特征向量
\mathcal{R}_1					a_{1j}
\mathcal{R}_2					a_{2j}
...					...
\mathcal{R}_n					a_{nj}

根据 \mathcal{R}_i 的相对权重值 A , 计算特征向量, 得到如下加权矩阵 A :

$$A = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1j} & \dots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2j} & \dots & \alpha_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \alpha_{i1} & \alpha_{i2} & \dots & \alpha_{ij} & \dots & \alpha_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \dots & \alpha_{nj} & \dots & \alpha_{nn} \end{bmatrix} \quad (3-7)$$

对超级矩阵中的要素进行加权, 得到 $\bar{W} = (\bar{\Omega}_{ij})$, 其中 $\bar{w}_{ij} = a_{ij}\Omega_{ij}$, ($i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, N$), \bar{W} 就是加权后的超级矩阵, 其特点是列和为1。

$$\bar{W} = \begin{bmatrix} a_{11}\Omega_{11} & a_{12}\Omega_{12} & \dots & a_{1j}\Omega_{1j} & \dots & a_{1n}\Omega_{1n} \\ a_{21}\Omega_{21} & a_{22}\Omega_{22} & \dots & a_{2j}\Omega_{2j} & \dots & a_{2n}\Omega_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{i1}\Omega_{i1} & a_{i2}\Omega_{i2} & \dots & a_{ij}\Omega_{ij} & \dots & a_{in}\Omega_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1}\Omega_{n1} & a_{n2}\Omega_{n2} & \dots & a_{nj}\Omega_{nj} & \dots & a_{nn}\Omega_{nn} \end{bmatrix} \quad (3-8)$$

(6) 要素的权重

由加权后超级矩阵，运用归一化的思路，进行连乘处理得到极限超级矩阵 W_{∞} ，其向量即为要素 \mathcal{R}_{ini} 权重向量 W' ：

$$W' = (\omega_{11}, \omega_{12}, \dots, \omega_{nn})^T \quad (3-9)$$

则各要素 \mathcal{R}_{ij} 权重向量如下：

$$W'_i = (\omega'_{i1}, \omega'_{i2}, \dots, \omega'_{ini})^T \quad (3-10)$$

3.4 本章小结

ISM-ANP 方法联用的根本目的就是为了获得系统中各个要素的权重。在运用两方法联用时最重要的步骤分别如下。

(1) ISM 方法中，最重要的步骤是把概念系统映射成邻接关系矩阵的过程。一旦邻接矩阵确立，最终绘制的拓扑层级图。确立邻接矩阵的步骤是 ISM 方法中最核心的最根本的步骤。

(2) ANP 方法中，其网络层的网络结构，与要素之间的重要关系的确定是最核心的步骤。而这两个步骤都是以 ISM 得出的拓扑层级图为依据进行建构的。一旦打分完成，SD 软件将自动计算出其结果。其中各个要素的权重是最重要的结果。该结果是进行综合评价的重要依据。

(3) 采用 ISM 法可以得出最简的层次化的拓扑层级图，作为 ANP 的输入项，ANP 就是基于 ISM 方法的结果即网络结构图的基础上进行两两比较，最终通过各种超级矩阵的运算得到结果。这里最简的意思是指的骨架矩阵，实际情况一些可以覆盖的边是不能消除的，即从 ISM 导出的是一系列矩阵，该矩阵从形式上看，是从骨架矩阵到可达矩阵之中的一系列矩阵，这一系列矩阵，可以给利用 ANP 进行打分时，提供必要的评分依据。ISM-ANP 联用最需要注意的是两者之间的衔接部分，即两个模型的根本假设与根本映射。

在 ISM 中的关系矩阵为布尔矩阵，其对应的是有向图，有向边的含义是可达关系，可达关系在实际运用中更多指的是因果关系。在 SD 软件中，AHP 与 ANP 中也用到了有向线段。AHP 其实质是无向线段，转化成有向线段其实质是控制关系与主从关系；ANP 中的有向线段其实质是也是控制关系或者重要性比特的关系。

第4章 ES 公司安全管理绩效评价指标体系构建

4.1 ES 公司安全管理绩效测量情况简介

核电施工企业 ES 公司，成立于 1958 年，目前是我国一家承建过所有实验和科研堆型以及各种核反应堆型的核建企业，ES 公司成立 60 多年来，承建了我国一大批三线重点工程和国家“863”计划重点工程，其核电业务主要分布在福建、浙江、山东等区域。公司当前已获得国家及省级以上奖项 200 余项，囊括了“鲁班奖”、“全国建筑业绿色施工示范工程”、“全国 AAA 级安全文明标准化工地”等行业内重量级奖项。安全是核工业的生命线，“责任 安全 品质 卓越”是核工业集团奉行的核心价值观，由此可见安全管理工作对于核电施工企业的极端重要性。近年来，随着国家、行业等各方对安全生产工作的重视程度提高，ES 公司也将安全管理工作摆在了企业管理中的重要位置，公司党委利用党委中心组学习、党委专题会议、会前警示学习五分钟等方式，认真学习领会国家、集团关于安全环保工作的决策部署，提高思想意识和政治站位，公司在安全管理工作中也有了很大的提高。但由于核电项目施工是一项复杂的系统工程，故其具有工程体量大、作业工序多、作业复杂难度高、高风险作业多、参建单位多组织复杂等特点，由于施工作业造成的操作失误、管理不善等以及外界不可抗拒的破坏使得安全事故仍难以控制，近年来 ES 公司所负责项目发生过几起伤亡事故，由于核电建设项目的特殊性、极端敏感性，一旦发生事故将会造成全场停工整顿整改，而因此对其他参建企业造成损失，其他企业将会向事发企业进行索赔，由此一旦发生事故对事发企业造成的损失十分惨重。

ES 公司在多年的施工生产实践中，已经形成了系统的安全生产管理体系，能够保证施工生产的基本需要。随着对安全管理工作的重视，ES 公司也在不断的加强自身的风险管控工作，建设安全风险管理体系，积极开展安全文化建设，通过进一步明确压实责任、健全完善制度、着力加强过程管控以及开展安全整治等手段，力求提高自身的安全绩效。但 ES 公司仍然存在管理不严、个别领导不重视、教育培训效果不佳、人员安全素质能力低下等问题，在地方政府、集团及上游管理单位检查中遭到停工罚款等处罚。因此加强 ES 公司安全管理是一项需要高度重视并且长抓不懈的工作，进行合理的安全管理绩效能够更好的发现企业安全管理中存在的各种问题，促进企业不断的修正和完善，保障企业日常生产安全，从而保障核电建设的安全可靠。

4.2 ES 公司安全管理绩效测量现状及不足

目前, ES 公司当前对安全管理绩效的衡量侧重于采用事故事件指标、外部检查、及第三方评价等来反应, 按照事故事件的指标, 如重伤及以上生产安全事故、一般及以上交通主责事故、火灾事故的发生次数; 外部检查, 如被集团公司、核建股份或地方政府通报批评、停工、行政处罚等负面事件; 第三方评价, 如安全生产标准化达标、绿色工地等。而对于过程管理方面的考核不重视, 权重分配较小, 具有一定的片面性, 难以将企业内部安全管理的真实状态反映出来, 也就无法明确的反映出企业在安全生产各方面的管理活动和措施是否能够有效控制危害等问题。此外, 较少的事故率使得可用的信息较少, 尤其是对核电施工企业, 由于其行业的重要性和多年安全管理工作上的不断改进提升, 使得重大事故当前在很大程度上已经有了较好的控制, 所以近年来事故的发生起数以及死亡人数已明显减少, 因此安全管理当前很难从事事故的案例中积累数据来实现提高安全管理绩效的目的。

基于上述情况, 探索建立科学合理有效的企业安全管理绩效指标体系, 制定合理的指标权重进行评价, 对引导 ES 公司发掘自身安全管理各方面工作存在的不足和组织运作上的缺陷, 有针对性, 有效的寻求企业提高自身安全管理水平的方法和措施是具有非常积极的意义。

4.3 ES 公司安全管理绩效评价指标体系的构建

4.3.1 构建原则

ES 公司安全管理绩效评价究其根本是一个综合性的评价, 而综合评价的结果是否客观、准确, 首先取决于被综合的评价指标是否准确、全面。因此, 评价指标的选择确定是综合评价中的重要基础工作。为了使得评价指标体系科学、合理、规范, 其构建应遵循如下原则。

(1) 目的性原则。每一个综合评价都有明显的目的, 因此, 评价指标体系作为安全管理绩效评价的基础, 应体现评价的目的, 满足评价的要求。

(2) 系统性原则。指标体系应该是由若干指标构成的一个层次分明的有机整体, 共同发挥评价作用, 确保逻辑结构要严谨、合理。

(3) 全面性原则。为了确保评价结果的客观、准确, 指标的选取应能覆盖被评价系统的各个板块层面。

(4) 独立性原则。是指各指标间应该保持相对独立, 指标之间不能具有较强的交叉性, 避免出现信息重叠的指标。

(5) 科学性原则。选取评价指标时，保持科学严谨的态度，指标要充分体现核电施工的相关专业内容。

(6) 典型性原则。在构建指标体系时，要选取具有典型性的关键指标进行考评，在保证全面的同时，简微且切中要点。

(7) 可比性原则。选取的评价指标应当可遵循一定的统计方法统计出数据，要能进行时间序列的纵向比较或跟行业内同类公司的横向比较。

(8) 可操作性原则。要能应用于实践，就要求指标体系在评价时易于操作，要使得指标数据易于采集，尽量消除可能出现的理解偏差，评分及评价数据计算要尽可能简化。

4.3.2 影响因素的识别与筛选

目前学术界对于核电施工企业安全管理绩效的评价尚未形成可量化的评价体系，本文通过文献查阅，梳理与 ES 公司企业性质、施工作业内容、管理模式相近相关的企业安全管理绩效评价研究，汇总初步识别的安全管理绩效水平的影响因素。组织 ES 公司注册安全工程师及安全管理人员组成专家团队，结合企业安全管理工作实际进行研讨，对初始安全管理绩效影响因素语义合并降维，最终确定了影响 ES 公司安全管理绩效的 26 种因素，将其分为 6 大类，最后构建 ES 公司安全管理绩效评价指标体系，为接下来的安全管理绩效分析与量化评估提供指标依据。本文安全管理绩效评价指标选取过程如图 4-1 所示。

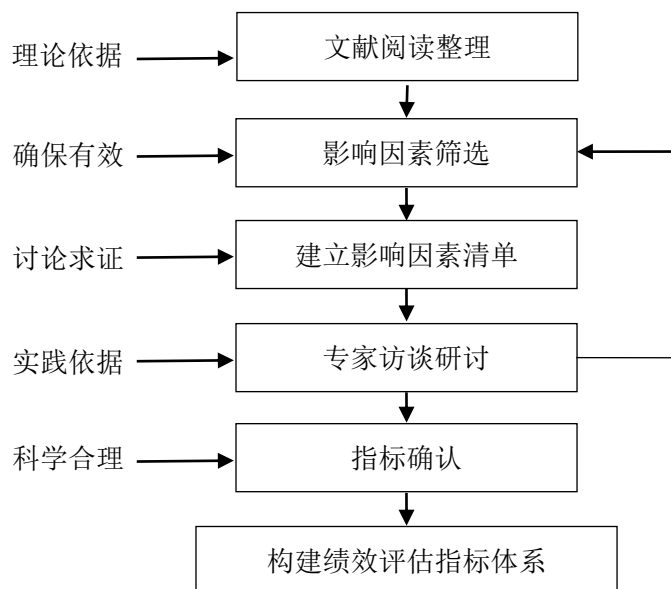


图 4-1 安全管理绩效评价指标选取过程

注：本图为作者绘制。

(1) 文献数据整理, 确定初始安全管理绩效影响因素清单

为了更全面找出 ES 公司安全管理绩效影响因素, 需尽可能多的找出与 ES 公司安全管理相关的管理指标, 本文主要参考了国内外关于企业安全管理绩效、建筑施工企业安全管理绩效、危险性高的企业安全管理绩效的研究成果、以及从业主角度对核电工程施工企业安全管理绩效的研究成果, 汇总了研究范围内的安全管理绩效因素, 提取了文献中与核电施工作业过程有关的安全管理相关指标, 通过对文献[22]、[47]—[56]整理, 识别出企业安全管理中可能影响绩效的因素共 96 种, 见表 4-1。

表 4-1 影响企业安全管理绩效的 96 种因素

序号	主要影响因素	参考文献	序号	主要影响因素	参考文献
1	建立健全程序体系	[47]	21	安全培训的实际效果	[48][49][53]
2	安全规章制度	[48]	22	企业安全理念	[22][47]
3	安全规章制度和操作规程建立健全情况	[22][49][50][51][55][56]	23	安全基于生产的优先性	[49]
4	列出程序清单, 编制程序	[47]	24	安全方针的制定及审核	[48]
5	定期升版程序	[47]	25	安全方针政策与目标	[48][49][50][22]
6	程序具备可操作性	[47]	26	安全方针有效传达	[48]
7	纳入业主监管体系	[47]	27	核安全文化学习	[47]
8	最高管理层的安全责任	[48]	28	安全价值观	[47]
9	健全组织机构并有效运行	[47]	29	管理者理念及行为	[47][50]
10	安全管理机构设置	[48][52]	30	领导承诺与义务	[22][50][55][56]
11	安全管理机构设置和人员配备情况	[49][50][51][56]	31	领导沟通与反馈	[22][50]
12	配备足够专职人员	[47]	32	领导培训	[22][50]
13	安全责任制建立和落实情况	[48][49]	33	领导层资质培训	[48]
14	安全投入计划全面	[47]	34	领导就安全方面的榜样作用	[49][50]
15	安全费用专款专用	[47]	35	完成方针所需要的资源	[48][50]
16	投入比例	[22][47][56]	36	法规标准及时更新	[22][48][56]
17	宣传教育及培训	[22][47][50][52][55][56]	37	工程例会	[50]
18	组织有系统的培训项目	[48]	38	班前会及技术交底	[47][55]
19	安全培训计划按需制定情况	[48][49]	39	日常班组安全会议召开情况	[49]
20	培训者资质	[48]	40	风险辨识与控制	[47][48][50]

注: 本表为作者制作。

(续)表 4-1 影响企业安全管理绩效的 96 种因素

序号	主要影响因素	参考文献	序号	主要影响因素	参考文献
41	危险源辨识与风险评价情况	[49][56]	69	与外部相关部门的协作	[48]
42	建立风险管理程序	[48]	70	事故报告与调查处理情况	[49]
43	工作环境和设备设施的辨识	[48]	71	事故调查	[47]
44	变更情况危险辨识	[48]	72	事故报告与调查	[48]
45	危险辨识方法及记录	[48]	73	经验反馈	[47]
46	基于危险辨识的风险评估	[48]	74	事故整改及教育学习	[48][50]
47	风险控制措施的制定与执行情况	[49]	75	事故整改追踪和事故教训学习	[49]
48	现场作业环境	[49][50][51][52]	76	重大事故的审核	[48]
49	气候及地域条件	[51][52]	77	隐患排查情况	[47]
50	设施设备的风险控制	[48][51]	78	安全管理活动的监督检查	[48]
51	设备设施维护保养	[22][49][52][55]	79	监督者具有相应的资质	[48]
52	使用先进设备情况	[49]	80	现场检查范围及结果记录	[48]
53	风险管理工作记录	[48]	81	作业过程监管	[47]
54	个人防护用品	[22][48][49]	82	监督检查	[22][49][51][52]
55	合同、程序执行力	[47]	83	作业管理	[50]
56	应急值班情况	[47]	84	检查的频率	[48]
57	应急小组	[48]	85	隐患整改率	[47]
58	事故预防措施	[47]	86	现场发现隐患与及时处理情况	[49][50]
59	应急救援预案	[47][50][56]	87	习惯性违章率	[47]
60	应急预案的制定及审核	[48][49]	88	领导现场管理	[47][50]
61	应急预案的培训与演练情况	[49]	89	员工参与安全活动	[48][50][52][54]
62	应急演练开展	[22][47][48]	90	员工授权	[49]
63	应急物资保障情况	[48][49]	91	员工安全意识行为	[22][49][50][52][54]
64	事故事件发生率	[22][47]	92	信息沟通	[48][53]
65	标准化建设	[47]	93	信息沟通的内容	[48]
66	事故通报	[47][56]	94	员工汇报机制	[22][48]
67	滞后指标统计	[48][50]	95	员工沟通与反馈	[22][50]
68	事故处理	[47][52][56]	96	安全奖惩制度	[22][50]

注：本表为作者制作。

(2) 合并语意相同或类似的因素

将以上 96 种影响因素进行整理，合并或概况一些语意相似或相同的影响因素：

“1 建立健全程序体系” “2 安全规章制度” “3 安全规章制度和操作规程建立健全情况” “42 建立风险管理程序” 合并为“程序制度规程健全”；

“9 健全组织机构并有效运行” “10 安全管理机构设置” “11 安全管理机构设置和人员配备情况” “12 配备足够专职人员” 合并为“机构及专职人员健全”；

“8 最高管理层的安全责任” “13 安全责任制建立和落实情况” 合并为“责任制建立落实”；

“18 组织有系统的培训项目” “安全培训计划按需制定情况” 合并为“安全培训计划制定”；

“20 培训者资质” “33 领导层资质培训” “79 监督者具有相应的资质” 合并为“人员资质”；

“29 管理者理念及行为” “30 领导承诺与义务” “31 领导沟通与反馈” “34 领导就安全方面的榜样作用” “88 领导现场管理” 合并为“安全领导力”；

“37 工程例会” “38 班前会及技术交底” “39 日常班组安全会议召开情况” 合并为“安全会议开展”；

“40 风险辨识与控制” “41 危险源辨识与风险评价情况” “45 危险辨识方法及记录” “46 基于危险辨识的风险评估” “47 风险控制措施的制定与执行情况” 合并为“危险源辨识与风险评价控制”；

“59 应急救援预案” “60 应急预案的制定及审核” 合并为“应急预案的有效性”；

“61 应急预案的培训与演练情况” “62 应急演练开展” 合并为“应急培训与演练”；

“70 事故报告与调查处理情况” “71 事故调查” “72 事故报告与调查” 合并为“事故报告与调查”；

“73 经验反馈” “74 事故整改及教育学习” “75 事故整改追踪和事故教训学习” 合并为“事故整改及经验反馈”；

“85 隐患整改率” “86 现场发现隐患与及时处理情况” 合并为“隐患按期整改率”；

以上共合并删除了 28 项，最后还剩 68 项，清单如下表 4-2。

表 4-2 语义合并降维后的影响因素清单

序号	主要影响因素	序号	主要影响因素
1	程序制度规程健全	35	个人防护用品
2	列出程序清单, 编制程序	36	合同、程序执行力
3	定期升版程序	37	应急值班情况
4	程序具备可操作性	38	应急小组
5	纳入业主监管体系	39	事故预防措施
6	机构及专职人员健全	40	应急预案的有效性
7	责任制建立和落实	41	应急培训与演练
8	安全投入计划全面	42	应急物资保障情况
9	安全费用专款专用	43	事故事件发生率
10	投入比例	44	标准化建设
11	宣传教育及培训	45	事故通报
12	安全培训计划制定	46	滞后指标统计
13	人员资质	47	事故处理
14	安全培训的实际效果	48	与外部相关部门的协作
15	企业安全理念	49	事故报告与调查
16	安全基于生产的优先性	50	事故整改及经验反馈
17	安全方针的制定及审核	51	重大事故的审核
18	安全方针政策与目标	52	隐患排查情况
19	安全方针有效传达	53	安全管理活动的监督检查
20	核安全文化学习	54	现场检查范围及结果记录
21	安全价值观	55	作业过程监管
22	领导培训	56	监督检查
23	完成方针所需要的资源	57	作业管理
24	法规标准及时更新	58	检查的频率
25	安全会议开展	59	隐患整改率
26	危险源辨识与风险评价控制	60	习惯性违章率
27	工作环境和设备设施的辨识	61	员工参与安全活动
28	变更情况危险辨识	62	员工授权
29	现场作业环境	63	员工安全意识行为
30	气候及地域条件	64	信息沟通
31	设施设备的风险控制	65	信息沟通的内容
32	设备设施维护保养	66	员工汇报机制
33	使用先进设备情况	67	员工沟通与反馈
34	风险管理工作记录	68	安全奖惩制度

注：本表为作者制作。

(3)德尔菲法是美国的兰德公司于 1946 年创始的,是一种反馈匿名函询法,这个方法是经过多轮征求专家意见、收集统计意见、每一轮将前一轮的统计结果匿名反馈给专家,最后得到一致意见。以上 68 项安全管理绩效影响因素,为了进一步筛选出主要的影响因素,组织 ES 公司注册安全工程师及安全管理人员组成专家团队,结合企业安全管理工作实际进行研讨,采用德尔菲法,最终达成一致意见,剩余 26 项因素。

4.3.3 影响因素分类

为了更好的评价 ES 公司安全管理绩效状况,需要将筛选出的 26 个影响因素进行分类,确定一级指标。本文对相关国内外文献的分类进行了梳理如下。

徐玉林,孙建等^[47]从业主角度将核电工程施工企业安全管理绩效分为:程序体系建设、监管体系建设、项目安全投入、企业安全文化建设、作业过程安全控制、事故预防与应急救援、文明施工标准化推进、事故事件调查处理、隐患排查与治理。

贾雯靖^[48]将企业安全管理绩效分为:管理层承诺、组织机构、安全培训、信息沟通与员工参与、监督检查、风险管理、应急管理、事故管理。

韩笑^[49]将企业安全管理绩效分为:管理层的承诺、员工的参与和努力、安全培训、安全管理组织与制度、监督检查、危险源辨识设备设施与风险评价和控制、设备设施与作业环境、应急准备、事故管理。

董大旻,冯凯梁^[50]将高危企业安全管理绩效分为:领导、人员、资源设施、政策战略、生产过程、事故损失。

秦永刚^[51]将电力建设企业安全管理绩效分为:人的因素、管理因素、现场因素、环境因素。

曲扬^[22]将建筑企业安全管理绩效分为:安全文化绩效和安全结果绩效,其中安全文化绩效包括:安全理念文化、安全管理文化、安全环境文化;安全结果绩效包括:安全物质文化、安全行为、损失结果。

刘霁,李云^[52]将建筑施工企业安全管理绩效分为:人的因素、管理制度、施工设备、环境条件。

Sharmin Sultana,Bjørn Sørskot Andersen 等^[55]将企业安全管理绩效分为:机械完整性、文件和程序、人力资源管理、检查维护和审计、风险评估、培训和能力、程序制度。

Iraj Mohammadfam,Mojtaba Kamalinia 等^[56]将企业安全管理绩效分为:政策、规划、实施和运作、检查。

参照以上分类方式,同时,参考国内外有关组织机构颁布的具有影响力的安

全管理体系的标准和指南，如 OSHMS18001 职业安全健康管理体系、ISO45001—2018 新版职业安全健康管理体系、英国 BS8800、澳大利亚 AS1470 等，结合 ES 公司安全管理特点，经过专家小组研讨，将 ES 公司安全管理绩效影响因素分为：组织管理、人员管理、设备设施与作业环境、过程管控、事故与应急管理、安全文化建设共 6 类。

4.3.4 评价指标体系确定

将筛选出的 26 个影响因素进行分类，得到核电施工企业 ES 公司安全管理绩效评价指标体系如下表 4-3。

表 4-3 ES 公司安全管理绩效评价指标体系

序号	一级指标	二级指标	性质	描述
1		法规标准及时更新 O_1	半定性	是否定期开展法律法规合规性评价，及时更新并有效传达到各个层级
2		程序制度规程健全 O_2	定性	是否建立完善的安全管理程序、规章制度及操作规程，规范各项安全管理工作
3	组织管理 O	机构及专职人员健全 O_3	半定性	是否依照法规要求设置安全管理组织机构，配备足够的专职安全人员，满足安全管理需要
4		责任制建立和落实 O_4	半定性	是否建立安全生产责任制，落实企业安全生产主体责任，层层分解到每个岗位人员，定期考核
5		安全会议开展 O_5	半定性	是否定期开展安全会议，总结分析上一周期问题，部署下一周期工作，研究解决安全管理中的难题
6		投入比例 O_6	定量	是否按照法律法规及合同要求投入足额的安全措施费用
7		宣传教育及培训 P_1	半定性	是否根据员工岗位需求开展相应的安全培训，宣传安全发展理念
8	人员管理 P	员工安全意识行为 P_2	定性	员工是否清楚自身的安全职责，并能够遵守有关规章制度
9		人员资质 P_3	定量	是否根据不同岗位职责，员工取得了相应的资质

注：本表为作者制作。

(续)表 4-3 ES 公司安全管理绩效评价指标体系

序号	一级指标	二级指标	性质	描述
10		现场作业环境E ₁	半定性	员工作业场所的照明、噪声、粉尘等要素是否达标
11	设备设施与作业环境 E	设备设施维护保养E ₂	半定性	设备设施是否定期维护保养,保障其性能安全可靠,具有完备的安全装置和安全警示标志,特种设备符合相关的管理规定
12		个人防护用品E ₃	半定性	是否针对不同的作业环境为员工配备足够的个人防护用品,定期更换过期或者破损的PPE
13		危险源辨识与风险评价控制C ₁	定性	是否识别所有的危害,评估风险级别,制定并落实控制措施
14		作业过程监管C ₂	定性	是否对风险作业全过程进行监督管控
15	过程管控 C	监督检查C ₃	半定性	日常性、周期性监督检查的次数
16		隐患整改率C ₄	定量	统计期限内按期整改关闭隐患数/同期内检查发现隐患总数
17		习惯性违章率C ₅	定量	统计期限内习惯性违章人数/同期内总人数
18		应急培训与演练A ₁	半定性	是否定期开展应急演练,培训提升全员应急能力
19		事故预防措施A ₂	定性	是否制定并落实重大风险作业安全技术措施
20	事故与应急管理 A	事故处理A ₃	定性	发生紧急状况或事故时,是否能够迅速响应采取有效措施防止事态扩大
21		事故整改及经验反馈A ₄	半定性	事故发生后是否组织整改和事故教训学习
22		事故事件发生率A ₅	定量	统计期限内事故总数/同期内事故的暴露人数
23		安全方针政策与目标S ₁	定性	最高领导层制定适合企业的方针、目标并传达执行
24	安全文化建设 S	标准化建设S ₂	半定性	是否开展安全生产标准化达标工作,持续改进提升企业安全生产规范化建设
25		核安全文化学习S ₃	定性	是否组织学习核安全文化理念,使全体人员认识到核电建设安全的敏感性、极端重要性,并将这种态度带入到所有的工作中
26		信息沟通S ₄	定性	组织中的安全管理信息沟通渠道是否畅通

注:本表为作者制作。

4.4 本章小结

本章首先介绍了ES公司安全管理情况，分析了当前的安全管理绩效测量存在的不足，接着结合ES公司业务范围进行文献查阅整理，识别出了影响企业安全管理绩效的96种因素，通过语义合并与专家研讨，进行影响因素降维，最后得到26种6大类主要影响因素，构建了ES公司安全管理绩效评价指标体系，为后文绩效评价分析提供指标依据。

第5章 ES 公司安全管理绩效评价指标权重确定

在第四章得出了组成 ES 公司安全管理绩效的 26 个要素。本章是采用解释结构模型 (ISM) 对要素的层级结构进行分析, 通过组建 ISM 工作小组, 研讨确立要素之间的直接影响关系, 研讨过程中在 ISM 在线计算软件上实时计算得出最简的层级拓扑图。将得出的层级结构网络图, 作为 ANP 中的输入参数和根本依据, 建构 ANP 网络结构图, 关系采用 1-9 标度法对网络层中要素之间的关系打分, 最后借助 SD 软件进行计算, 得出各个要素的权重。

5.1 评价指标层级结构分析

5.1.1 ISM 工作组及工作流程

Warfield 提出在采用 ISM 时, 组建的工作小组成员应由方法技术专家、协调人、参与者三方面人员组成。ES 公司对于本次的安全管理绩效评价研究极为重视, 动员了公司各个部门的技术专家组建了 ISM 工作小组, 进行 ISM 决策分析, 小组成员具有如下特征:

(1) 组成人员层级及专业涵盖面广, 包含管理咨询团队、公司聘请的行业专家及公司内部各级部门专业人员。

(2) 组员所在地域跨度大, ISM 工作小组成员来自全国各个核电项目, 线下集中面对面讨论决策需要经费成本较高。

(3) 各组员为各业务板块骨干, 工作繁忙, 难以同时聚集, 且很多专家对 ISM 方法的计算过程不甚了解。

此外, ES 公司的安全绩效的网络关系也极为复杂, 最终确定的要素有 26 个, 除去要素自身跟自身的比较外, 要素间关系判断总共有 $26 \times 25 = 650$ 种情况。而网络结构则可能达 2^{650} 种情况, 工作量极其可观。线上计算软件, 将各因素之间直接影响关系矩阵输入后, 此软件能够清晰的展示运算过程及结果, 得出层级拓扑图, 直观、清晰、便于验证过程及结果的正确性。

本环节基于德尔菲法, 结合 ISM 小组实际情况对方法的运用进行了改进, 具体流程如下:

(1) 首先为各专家讲解 ISM 理论知识及在线软件的使用方法。重点讲解 26 个要素的详细归类与定义, 通过 ISM 得出的关系矩阵与有向图的对应关系。详细解释因素间关系判断的要领, 即只有具有显示的明显的因果关系判定为 1, 其

余的则打 0，并讲解如何存储最后结果。

(2) 首轮匿名反馈。在第一轮中每个 ISM 成员独立匿名给出自己的判断，小组成员互相不知道彼此的情况，这样可以消除相互之间的影响，问卷详见附录 A。对于复杂系统，每个人独立给出结果必然不相同，将结果进行统计，为第二轮讨论提供依据。

(3) 第二轮反馈性统计。第二轮将 ISM 成员进行分组。原则是每个组的成员具有不同的背景。实际操作过程中，其中的每组成员有 6 人，其中包含安全管理人员、技术人员、施工队人员、财务管理人员、质量管理人员、人力资源人员。小组成员在线上相互演示其各自的判断及得出的结果，针对意见不同处互相交流讨论，深入研究并一次次演示，最终达成一致意见，收集各小组的结果，为第三轮讨论提供依据。

需要指出的是，由于有了在线软件的支持，这个过程的时间耗损并不在复杂的数学运算与扑层级图的绘制上，其时间主要是对核心关系的讨论并达成一致的讨论上。这种一致性的达成是基于每个小组里的统计基础上达成的共识。

(4) 对比重组判断。第三轮每个小组随机选出两人，为了形成对比对照，同一小组成员分配到不同的两组，最终形成两个新的小组，每组 5 人。两个小组重复进行要素间关系讨论，最终形成一致意见，给出结果。此时，如果两个小组给出的层级结构图一致，则不进行下一轮。

(5) 最终裁定。如果第三轮中两个对照小组得出的层次图不一致。则再从两个小组中各自随机选出两人，组成一个小组，讨论得出一致结果。

本文中研究讨论到对比重组判断这一轮就达成了一致意见。

5.1.2 邻接矩阵及可达矩阵及层级拓扑图

下图 5-1 是 ISM 流程图，其中 A 为邻接矩阵见表 5-1，I 为单位矩阵，B 为相乘矩阵，R 为可达矩阵见表 5-2，S 为一般性骨架矩阵见表 5-3。通过可达矩阵 R 可以得出影响因素驱动力与相关性的图见图 5-2。两张拓扑层级图分别为图 5-3 图 5-4，其层级的确定过程如附录 B 中所示，代入一般性骨架矩阵，即得到 UP 图和 DOWN 图。

$$A \xrightarrow{A+I} B \xrightarrow{\text{连乘}} R \xrightarrow{\text{结果优先与原因优先抽取规则}} \{UP|DOWN\} \xrightarrow{\text{代入 S}} \text{拓扑层级图}$$

图 5-1 ISM 流程图

注：本图为作者绘制。

表 5-1 邻接相乘矩阵

$M_{26 \times 26}$	O1	O2	O3	O4	O5	O6	P1	P2	P3	E1	E2	E3	C1	C2	C3	C4	C5	A1	A2	A3	A4	A5	S1	S2	S3	S4
O1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
O4	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
O5	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
P1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
P2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
E1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
E2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
C2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
C3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
A4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
A5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
S1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
S3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1
S4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

注：本表为作者制作。

表 5-2 可达矩阵

$M_{26 \times 26}$	O1	O2	O3	O4	O5	O6	P1	P2	P3	E1	E2	E3	C1	C2	C3	C4	C5	A1	A2	A3	A4	A5	S1	S2	S3	S4
O1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0
O2	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0
O3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
O4	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0
O5	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0
O6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0
P1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
E1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
E2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
C2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0
C3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
C5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
A4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
A5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
S1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0
S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
S3	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
S4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

注：本表为作者制作。

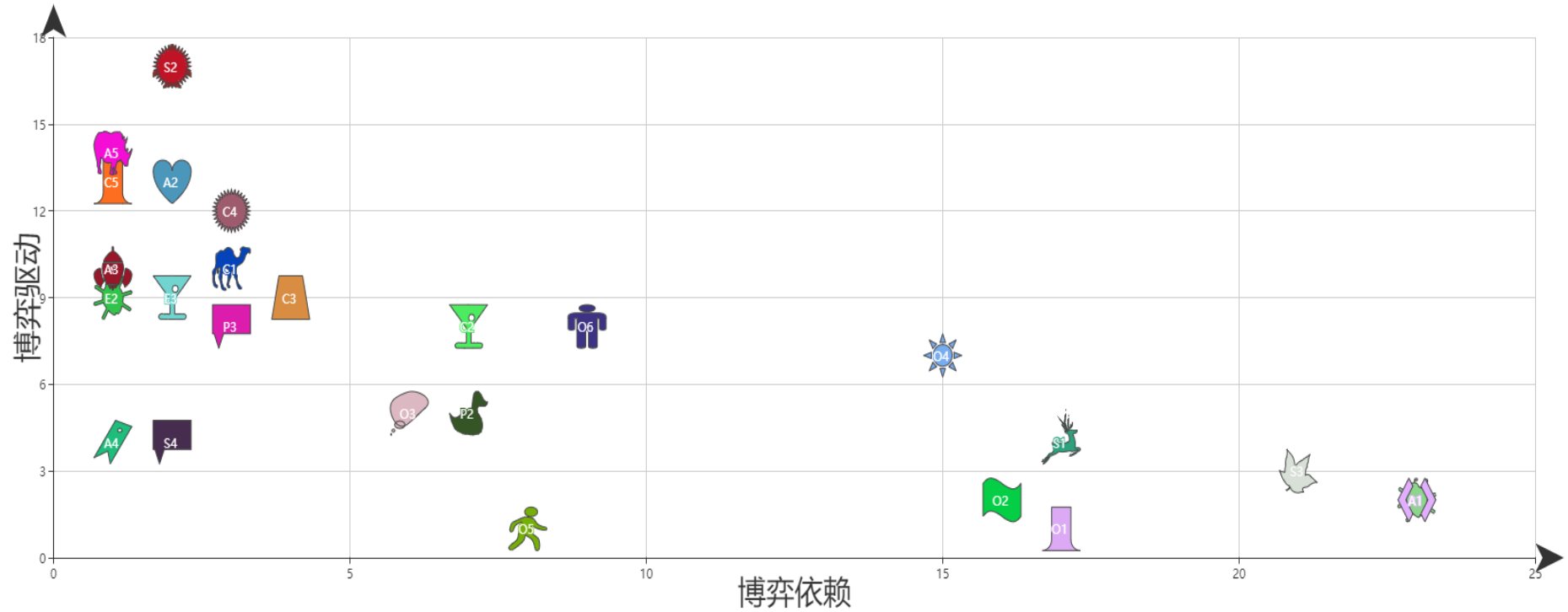


图 5-2 影响因素驱动力与相关性

注：本图源自 ISM 在线计算软件。

表 5-3 一般性骨架矩阵

$M_{26 \times 26}$	O1	O2	O3	O4	O5	O6	P1	P2	P3	E1	E2	E3	C1	C2	C3	C4	C5	A1	A2	A3	A4	A5	S1	S2	S3	S4
O1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
O4	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
O5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
P2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
E1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
E2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
C2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1
S4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

注：本表为作者制作。

5.1.3 ISM 分析得出的重要结果

本文采用了两种层级抽取的方式：即结果优先的抽取方式与原因优先的层级抽取方式。其计算过程见附录 B。接着将两种方法得到的层级，代入最精简的一般性骨架矩阵，即可以绘制出层级拓扑图。

其中结果优先的抽取方式其抽取规则为 $T(e_i) = R(e_i)$ ，得到的层级拓扑图称之为 UP 型层级拓扑图如图 5-3，其结果如下：

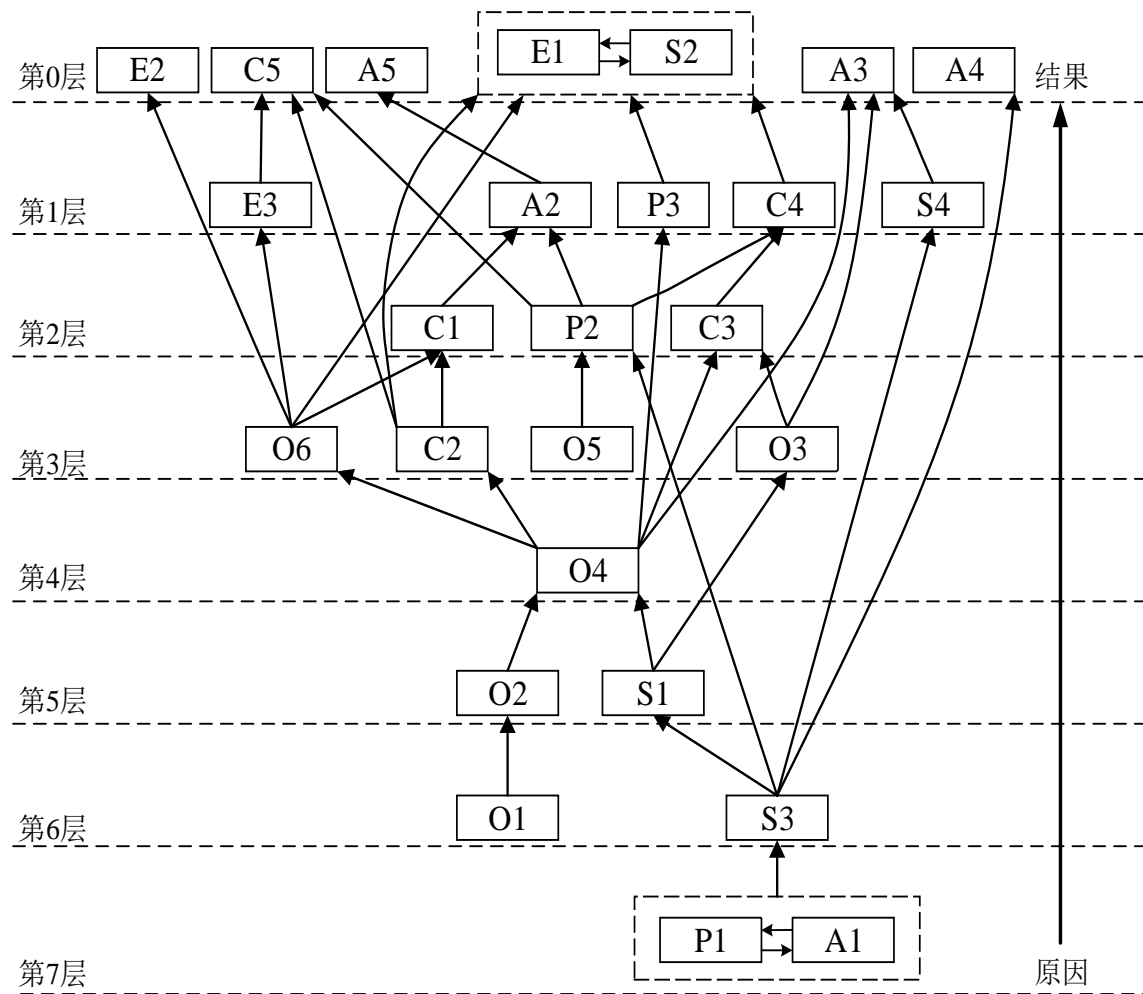


图 5-3 UP 型层级拓扑图

注：本图为作者绘制。

原因优先的抽取方式其抽取规则为 $T(e_i) = Q(e_i)$ ，得到的层级拓扑图称之为 DOWN 型层级拓扑图如图 5-4，其结果如下：

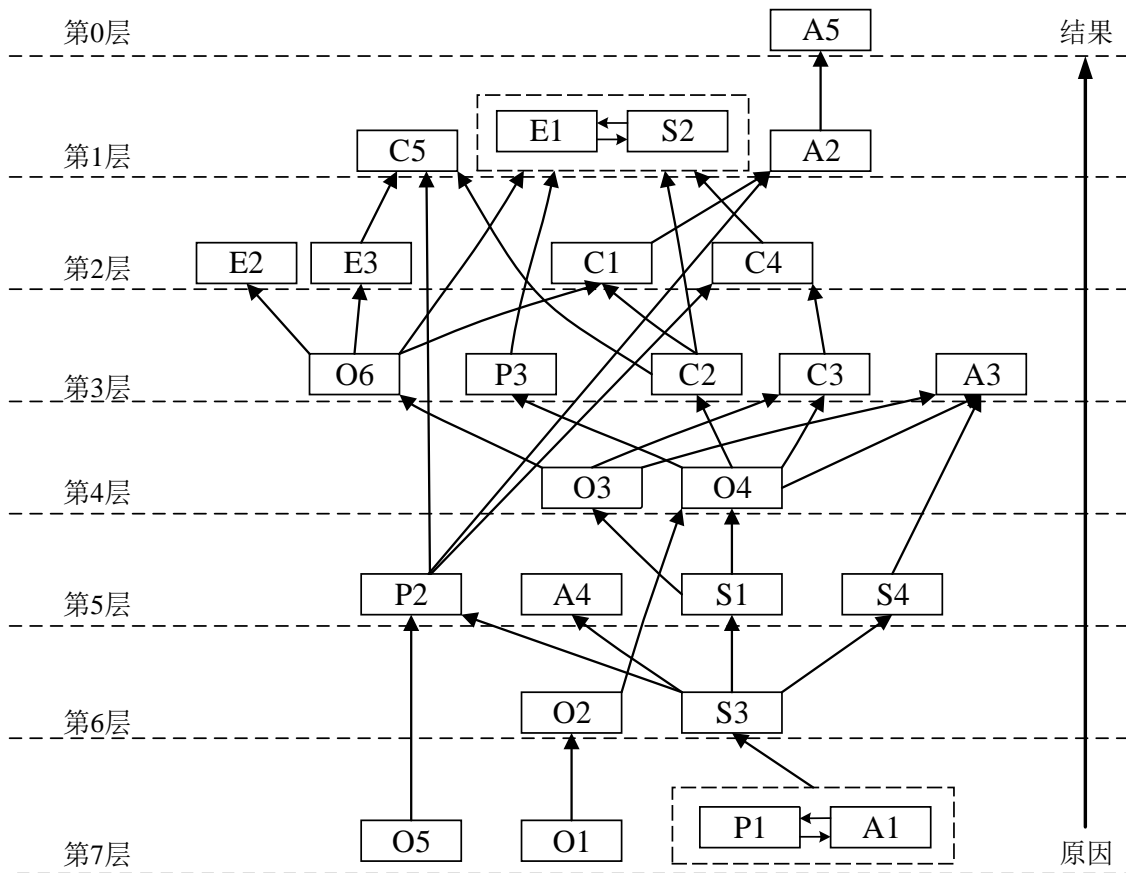


图 5-4 DOWN 型层级拓扑图

注：本图为作者绘制。

上述两种阶梯结构图，同属于同一个系统，其对应的是同一个一般性骨架矩阵。但是由于采用的分别是由上至下的抽取方式，与由下至上的抽取方式，可以发现两者并不完全相同。

以 E2 为例，在图 5-3 中，它所处的层级为第 0 层，在图 5-4 中它所处的层级为第二层，即其层级出现了跃迁。

从整体性上来说，两组层级图，由下至上都是原因到结果的系列，最下层表示根本原因，最上层表示结果要素。通常来说，原因要素相较于结果要素更重要。整个阶梯结构由下至上即形成了一个由原因到结果的因果系列。

以 E2 与 A3 的关系为例，其中 E2 同 A3 并没有直接的可达关系，比较两者在系统中的因果层级位置，则可能有不同的结果，在 UP 型的层级图中 E2 与 A3 同为第 0 层。而在 DOWN 型中 E2 处于第二层，A3 处于第三层。即 E2 的结果占比(博弈依赖)要大于 A3。

5.2 评价指标权值获取

5.2.1 建立 ISM-ANP 安全管理绩效网络结构

(1) 创建要素集合与要素集中的各个要素。即表 4-3 中的 6 个要素集，总共 26 个要素。

(2) 以 ISM 中的最简层次化的拓扑图为蓝本，逐步建立要素与要素之间的关系。即以图 5-3 或者图 5-4 为蓝本，先构建最基础的要素与要素之间的关系。

(3) 在此基础上，逐步丰富补充要素之间的关系，同时根据实际情况修正部分箭头的指向关系。

最终建立 ANP 网络结构图如图 5-5 所示。

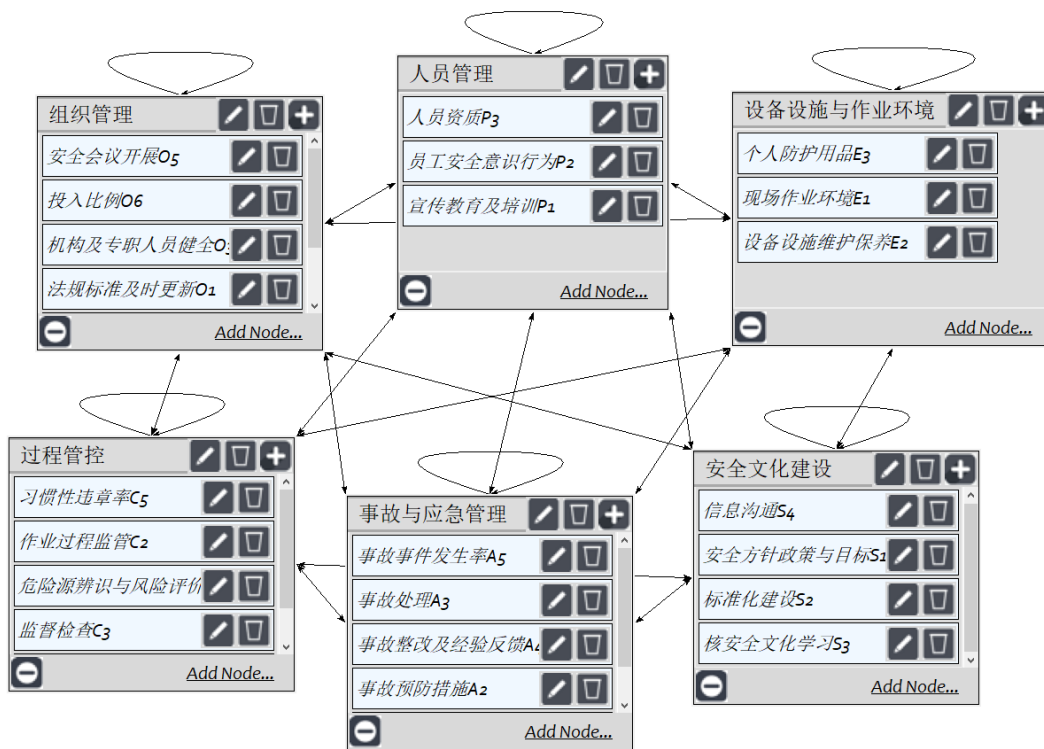


图 5-5 ISM-ANP 网络结构图

注：本图源自 SD 软件。

5.2.2 构造指标之间的两两比较判断

对于任意的决策矩阵其形式为： $A = (a)_{n \times n}$ 其矩阵值具有两个特征：沿着主对角线具有互反性和矩阵中的任意一个值都为正数即非负性的特征。具有这两个特征的矩阵称为正互反判断矩阵。简称判断矩阵、决策矩阵、两两判断矩阵。

两两比较决策矩阵是 AHP/ANP 中最核心的前提假设与数理原理。

决策矩阵 A 中的任意一个值 a_{ij} 表示 i 比 j 的重要程度。其中 a_{ij} 与 a_{ji} 具有互为倒数的性质。其中 a_{ij} 可以取不同的标度, 比如 1-5 标度, 1-9 标度法, 1-15 标度, 欧几里得空间标度(如 x^2 和 \sqrt{x}), 指数对数标度法, 模糊标度法等等。

本文采用的是 AHP/ANP 的创造者 Saaty 推荐的 1-9 标度法。该标度法得出的矩阵值即 a_{ij} 取值范围为(1/9, 1/8, ..., 1/2, 1, 2, ..., 8, 9), 详见下表 5-4。

表 5-4 Saaty 推荐 1-9 标度法的具体含义^[57]

标度	定义	含义
1	同样的重要, 一样的重要	要素 i 和要素 j 一样的重要
3	稍微的重要一点	要素 i 比要素 j 稍微更重要一点
5	明显地重要	i 比 j 明显的重要
7	强烈的, 很强烈的重要	要素 i 远远比要素 j 重要
9	极端的、非常强烈的重要	i 比 j 的重要性具有极端性
2, 4, 6, 8	分别为 1、3、5、7、9 的中间值	取的中间妥协值
倒数	a_{ij} 与 a_{ji} 互为倒数, 即互反性	

注: 本表源自文献[57]。

对决策矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 中的任意值都满足互反性和非负性, 则决策矩阵 A 统称为正互反判断矩阵, A 简称为判断矩阵、决策矩阵。SD 软件的设计理论基础就是基于 1-9 标度法的正互反判断矩阵的性质。

因此, ES 公司对于要素之间的成对比较, 是通过专家问卷的形式进行的, 问卷详见附录 C。专家小组是由 ES 公司 28 个专家组成的, 各位专家来自各个项目、不同层级、不同专业背景。然而, 由于受 ES 公司安全管理绩效评估决策问题的复杂性、以及专家经验和知识的有限性、决策偏好和决策目标的冲突和不可公度性等多种因素的影响, 采用专家打分时候, 最终形成的成对比较矩阵的数据, 会出现数据缺失以及数据不一致的问题, 从而导致最终的决策判断失效^[58]。

同时, 对于一个完整的 n 阶决策矩阵, 进行一次完整的决策, 需要进行 $n(n - 1)/2$ 次的两两成对比较。随着决策矩阵的阶数 n 增加, 比较判断的项数会呈现平方次的增加。本文研究内容, 其实质是一个 26 阶的决策矩阵, 要成为一个完整的决策矩阵, 需要完成 325 次比较。

由于专家知识和专业能力的有限性, 项目决策时间的紧迫性有限性、专家得到的决策信息的不完整等等原因使得专家很难完成所有比较项, 由此容易导致决策矩阵出现决策不完整以及数据残缺现象。

此外, 在实际进行打分的时候, 专家往往根据其专长, 先关注最重要的比较

项,对这部分内容先打分,这样不仅可以提高决策的速度,而且可降低随意判断的风险,为了让专家更能全面的理解要素之间的重要程度,并解决决策不一致与打分项缺失的问题,在此环节引入了以下两项措施。

(1) 专家打分时候配有 ISM 计算得出的两组拓扑层级图。通过对拓扑层级图的讲解,使专家对要素之间的重要关系比对有一个全局性的思考。而 ISM 得出的拓扑层级图相较于表格、文字、数学符号等更具有清晰的直观性,可以快速的抓住重点,这样一来专家在其熟悉的领域能更快速的给出更精准的决策。

(2) 精准打分原则。在实际决策中,专家的时间宝贵,且时间有限,为了减少专家敷衍了事的情况发生,对于不同的专家设置了其领域内必须给出的打分项,同时找到了覆盖面尽可能广的专业人士,进行打分,此举保证,不出现数据缺失的情况。

5.2.3 未加权超矩阵及加权超矩阵及极限超矩阵的计算

使用 SD 软件,在完成打分后软件将自动完成相关的计算。未加权超矩阵、加权超矩阵、极限超矩阵的原理已在第三章介绍这里不再重复。其中 SD 软件还给出了把相应数据导出的功能。

其操作如下。

(1) 未加权超矩阵的导出操作如下:

SuperDecisions3.2 软件中,执行命令:“Computations=>Unweighted Super Matrix=>Graphical”导出的未加权矩阵如下表 5-5。

(2) 加权超矩阵的导出操作如下:

SuperDecisions3.2 软件中,执行命令:“Computations=>Weighted SuperMatrix=>Graphical”得到加权超矩阵如下表 5-6。

(3) 极限超矩阵导出操作如下:

SuperDecisions3.2 软件中,执行命令:“Computations=>LimitMatrix=>Graphical”得到极限超矩阵表 5-7 所示。

表 5-5 ES 公司安全管理绩效影响因素未加权超矩阵

	A5	A3	A4	A2	A1	P3	P2	P1	S4	S1	S2	S3	O5	O6	O3	O1	O2	O4	E3	E1	E2	C5	C2	C1	C3	C4	
A5	0.186	0.227	0.25	0.25	0.333	0.2	0.2	0.2	0.25	0.2	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.25	0.25	0.25	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2		
A3	0.233	0.197	0	0	0.333	0.2	0.2	0.2	0.25	0.2	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.25	0.25	0.25	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2		
A4	0.116	0.152	0.25	0.25	0	0.2	0.2	0.2	0.25	0.2	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.25	0	0.25	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2		
A2	0.233	0.227	0.25	0.25	0.333	0.2	0.2	0.2	0.25	0.2	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0.25	0	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2		
A1	0.233	0.197	0.25	0.25	0	0.2	0.2	0.2	0	0.2	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.25	0.25	0.25	0	0.2	0.2	0.2	0.2		
P3	0.333	0.875	0.333	0	0.333	0.5	0.273	0.234	1	0.5	0.333	0.333	0.333	0.333	0.762	0.333	0.333	0	0.5	0.462	0.5	0	0.333	0.333	0.5	0.333	
P2	0.333	0	0.333	0.5	0.333	0.5	0.182	0.423	0	0.5	0.333	0.333	0.333	0.333	0.190	0.333	0.333	0.5	0.5	0.231	0.5	0	0.333	0.333	0.5	0.333	
P1	0.333	0.125	0.333	0.5	0.333	0	0.545	0.343	0	0	0.333	0.333	0.333	0.333	0.048	0.333	0.333	0.5	0	0.308	0	0	0.333	0.333	0	0.333	
S4	0.25	0	0.333	0	0.25	0.25	0.108	0	0.25	0.152	0	0.25	0.25	0.25	0.195	0.25	0.25	0.25	0.333	0	0	0	0.25	0.25	0	0	
S1	0.25	0	0.333	0	0.25	0.25	0.555	0.800	0.25	0.609	0.857	0.25	0.25	0.25	0.122	0.25	0.25	0.25	0.333	0	0	0	0.25	0.25	0	0.667	
S2	0.25	0	0.333	0	0.25	0.25	0.214	0.2	0.25	0.087	0.143	0.25	0.25	0.25	0.488	0.25	0.25	0.25	0	1	0.5	0	0.25	0.25	1	0.333	
S3	0.25	0	0	1	0.25	0.25	0.122	0	0.25	0.152	0	0.25	0.25	0.25	0.195	0.25	0.25	0.25	0.333	0	0.5	0	0.25	0.25	0	0	
O5	0.167	0	0	0.167	0	0.167	0.167	0	0.2	0.167	0.2	0.167	0.167	0.167	0.16	0.16	0.16	0.2	0.2	0	0.167	0	0.2	0.25	0	0	
O6	0.167	0	0.5	0.167	0	0.167	0.167	0	0.2	0.167	0.2	0.167	0.167	0.167	0.16	0.16	0.16	0	0	0	0.167	0	0.2	0.25	0	0.5	
O3	0.167	0.333	0.5	0.167	0.25	0.167	0.167	0.493	0.2	0.167	0.2	0.167	0.167	0.167	0.24	0.16	0.16	0.2	0.2	0.25	0.167	0	0	0	0	0.5	
O1	0.167	0.333	0	0.167	0.25	0.167	0.167	0.196	0.2	0.167	0.2	0.167	0.167	0.167	0.12	0.12	0.24	0.2	0.2	0.25	0.167	0	0.2	0	0.333	0	
O2	0.167	0.333	0	0.167	0.25	0.167	0.167	0.311	0	0.167	0	0.167	0.167	0.167	0.16	0.24	0.12	0.2	0.2	0.25	0.167	0	0.2	0.25	0.333	0	
O4	0.167	0	0	0.167	0.25	0.167	0.167	0	0.2	0.167	0.2	0.167	0.167	0.167	0.16	0.16	0.16	0.2	0.2	0.25	0.167	0	0.2	0.25	0.333	0	
E3	0.333	0	0.333	0	0.333	0.333	0.333	0.594	0.333	0.2	0.333	0.333	0.333	0.333	0.655	0.333	0.333	0.333	0.333	0.493	0.196	0	0.5	0.249	0.196	0	
E1	0.333	0	0.333	0.5	0.333	0.333	0.333	0.157	0.333	0.683	0.333	0.333	0.333	0.333	0.095	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.311	0.493	0	0.5	0.157	0.311	0.5
E2	0.333	0	0.333	0.5	0.333	0.333	0.333	0.249	0.333	0.117	0.333	0.333	0.333	0.333	0.25	0.333	0.333	0.333	0.333	0.196	0.311	0	0	0.594	0.493	0.5	
C5	0.25	0	0.25	0.333	0.25	0.235	0.25	0	0.2	0	0.333	0.25	0.25	0.25	0	0.25	0.25	0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0.214	0	
C2	0.25	0	0.25	0	0.25	0	0.25	0.066	0.2	0	0.333	0.25	0.25	0.25	0	0.25	0.25	0.2	0.2	0.2	0	1	0	0	0.214	0	
C1	0.25	0	0	0.333	0.25	0.235	0.25	0.028	0.2	0.140	0.333	0.25	0.25	0.25	0.075	0.25	0.25	0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0.143	0.157	
C3	0.25	0	0.25	0.333	0.25	0.353	0.25	0.113	0.2	0.333	0	0.25	0.25	0.25	0.229	0.25	0	0.2	0.2	0.2	0	0	0	1	0.429	0.594	
C4	0	0	0.25	0	0	0.176	0	0.792	0.2	0.528	0	0	0	0	0.696	0	0.25	0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0.249	

注：本表源自 SD 软件计算过程。

5.3 评价指标的权重

运行“Computations=>Priorities”命令即可以导出 ES 公司安全管理绩效影响因素的权重如表 5-8。

表 5-8 ES 公司安全管理绩效评价指标权重

一级指标	二级指标	权重
组织管理 O	法规标准及时更新 O1	0.024
	程序制度规程健全 O2	0.027
	机构及专职人员健全 O3	0.028
	责任制建立和落实 O4	0.022
	安全会议开展 O5	0.016
	投入比例 O6	0.021
人员管理 P	宣传教育及培训 P1	0.035
	员工安全意识行为 P2	0.058
	人员资质 P3	0.071
设备设施与作业环境 E	现场作业环境 E1	0.065
	设备设施维护保养 E2	0.049
	个人防护用品 E3	0.051
过程管控 C	危险源辨识与风险评价控制 C1	0.037
	作业过程监管 C2	0.036
	监督检查 C3	0.050
	隐患整改率 C4	0.038
	习惯性违章率 C5	0.034
事故与应急管理 A	应急培训与演练 A1	0.012
	事故预防措施 A2	0.021
	事故处理 A3	0.019
	事故整改及经验反馈 A4	0.020
	事故事件发生率 A5	0.022
安全文化建设 S	安全方针政策与目标 S1	0.096
	标准化建设 S2	0.069
	核安全文化学习 S3	0.043
	信息沟通 S4	0.036

注：本表源自 SD 软件计算结果。

5.4 本章小结

ISM 的本质,一言以蔽之就是给出最精简的层次化的拓扑图,其中最精简即去掉了系统中重复的可达关系即进行了缩边,层次化即以图形的方式直观的呈现了系统要素的因果系列。得到的两组对抗性的层级化的拓扑图是 ANP 处理中的重要依据。此处得到的网络结构图与 ANP 的网络结构图并非一模一样,两者高度重叠又有差异是基于如下原因。

(1) ISM 中的网络结构是最精简的,而 ANP 中起始的网络结构是与实际情况相结合的,并不一定是最精简的网络结构。从矩阵的表现形式看,ISM 导入到 ANP 中的网络结构是从一般性骨架矩阵到可达矩阵的任意一个系列。

(2) ISM 中有向边的含义是因果关系、可达关系,ANP 中的有向边是控制关系、重要性比对关系,两者的实质内涵并不一致。

通常来说因果关系跟重要性关系是一致的,但是在具体情境中,这种关系会发生逆转。因此,基于上述两点,得出的两组层级拓扑图只是 ANP 处理的一个最重要的依据。

ISM 得到的最简层次化的拓扑图为蓝本,逐步建立要素与要素之间的关系,建构 ANP 的网络结构图。通过专家问卷的形式,对网络层中要素之间的关系采用 1-9 标度法进行打分,为了解决专家决策不一致与打分项缺失的问题,在此环节引入了两项措施:一是专家打分时候都配有 ISM 计算得出的两组拓扑层级图;二是对于不同的专家设置了其领域内必须给出的打分项,同时找到覆盖面尽可能广的专业人士,进行打分。最后,打分完成后 SD 软件自动完成相关的计算,得出各影响因素指标的权重。

第6章 ES 公司安全管理绩效综合评价

根据第五章得出的指标权重,本章组织开展 ES 公司安全管理绩效综合评价,选择灰色聚类法对评价结果进行处理,通过划分灰类,把模糊的不易量化的测量指标聚类成几种可以定义的类别,符合核电施工企业安全管理绩效评价的主观难以量化的特征^[59]。灰色聚类法通过运算将灰色模糊的信息透明化,使得评价更加符合客观现实^[60]。

6.1 构建灰色聚类评价权矩阵

根据本文评价对象的特点,描述安全管理绩效整体和单个要素指标的等级水平从定性定量两个角度,将 ES 公司安全管理绩效分成 5 个等级,其评语集分别:优秀,良好,及格,较差,差,很低,用 0 到 1 之间的数表示绩效值的大小,对应定义如下表 6-1:

表 6-1 ES 公司安全管理绩效等级划分

评价等级	优秀	良好	及格	较差	差
分值范围	[1-0.8)	[0.8-0.6)	[0.6-0.4)	[0.4-0.2)	[0.2-0)

注:本表由作者制作。

6.1.1 确定评价的样本

本次评分的专家小组有 8 人,专家打分调研表见详见附录 D,汇总整理评分结果如下表 6-2,汇总时打分均保留一位小数。

表 6-2 ES 公司安全管理绩效专家评分结果汇总表

指标	专家							
	专家一	专家二	专家三	专家四	专家五	专家六	专家七	专家八
法规标准及时更新 O1	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7
程序制度规程健全 O2	0.8	0.8	0.7	0.9	0.9	0.8	0.9	0.7
机构及专职人员健全 O3	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6
责任制建立和落实 O4	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6

(续) 表 6-2 ES 公司安全管理绩效专家评分结果

指标	专家							
	专家一	专家二	专家三	专家四	专家五	专家六	专家七	专家八
安全会议开展 O5	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.6	0.7
投入比例 O6	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
宣传教育及培训 P1	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.6	0.6
员工安全意识行为 P2	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.7	0.6	0.7
人员资质 P3	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
现场作业环境 E1	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7
设备设施维护保养 E2	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.8	0.7	0.9
个人防护用品 E3	0.8	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9
危险源辨识与风险评价控制 C1	0.7	0.9	0.8	0.7	0.9	0.8	0.7	0.6
作业过程监管 C2	0.8	0.9	0.9	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7
监督检查 C3	0.9	0.8	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7
隐患整改率 C4	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
习惯性违章率 C5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
应急培训与演练 A1	0.7	0.6	0.8	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7
事故预防措施 A2	0.9	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.7
事故处理 A3	0.8	0.8	0.7	0.9	0.8	0.8	0.9	0.7
事故整改及经验反馈 A4	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9
事故事件发生率 A5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
安全方针政策与目标 S1	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7
标准化建设 S2	0.5	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.6	0.5
核安全文化学习 S3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.6	0.5
信息沟通 S4	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6

注：本表由专家打分汇总得出。

6.1.2 计算灰色评估系数

(1) 确定灰类并构造可能度函数

由表 6-1 安全管理绩效评价指标 R_{ij} 分为 5 个灰子类 ($k = 1, 2, 3, 4, 5$), 5 个小区间: $(0, 0.2]$, $(0.2, 0.4]$, $(0.4, 0.6]$, $(0.6, 0.8]$, $(0.8, 1]$

5 个灰类的指标观测值为: $x_{ij}^1 = 0$, $x_{ij}^2 = 0.2$, $x_{ij}^3 = 0.4$, $x_{ij}^4 = 0.6$, $x_{ij}^5 = 0.8$,
 $x_{ij}^{5+1} = 1$

取灰类的阈值（也称临界值） λ_{ij}^k 为 x_{ij}^k 与 x_{ij}^{k+1} 的均值，则：

$$\lambda_{ij}^1 = 0.1, \lambda_{ij}^2 = 0.3, \lambda_{ij}^3 = 0.5, \lambda_{ij}^4 = 0.7, \lambda_{ij}^5 = 0.9$$

所以可以确定灰色评价等级为： $C = (0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9)$

根据以上即可构造出如下的 R_{ij} 可能度函数：

第1灰类 $k = 1$ ，绩效等级为差，灰数为 $\otimes[0, 0.1, 0.3]$ ，对应的可能度函数为公式（6-1）：

$$f_{ij}^1(d_{ijm}) = \begin{cases} 1 & d_{ijm} \in [0, 0.1] \\ \frac{d_{ijm} - 0.1}{0.3 - 0.1} & d_{ijm} \in (0.1, 0.3] \\ 0 & d_{ijm} \notin (0.1, 0.3) \end{cases} \quad (6-1)$$

第2灰类 $k = 2$ ，绩效等级为较差，灰数为 $\otimes[0, 0.3, 0.5]$ ，对应的可能度函数为公式（6-2）：

$$f_{ij}^2(d_{ijm}) = \begin{cases} \frac{d_{ijm} - 0.1}{0.3 - 0.1} & d_{ijm} \in [0.1, 0.3] \\ 0 & d_{ijm} \notin (0.1, 0.5) \\ \frac{0.5 - d_{ijm}}{0.5 - 0.3} & d_{ijm} \in (0.3, 0.5] \end{cases} \quad (6-2)$$

第3灰类 $k = 3$ ，绩效等级为及格，灰数为 $\otimes[0.3, 0.5, 0.7]$ ，对应的可能度函数为公式（6-3）：

$$f_{ij}^3(d_{ijm}) = \begin{cases} \frac{d_{ijm} - 0.3}{0.5 - 0.3} & d_{ijm} \in [0.3, 0.5) \\ 0 & d_{ijm} \notin [0.3, 0.7] \\ \frac{0.7 - d_{ijm}}{0.7 - 0.5} & d_{ijm} \in [0.5, 0.7] \end{cases} \quad (6-3)$$

第4灰类 $k = 4$ ，绩效等级为良好，灰数为 $\otimes[0.5, 0.7, 0.9]$ ，对应的可能度函数为公式（6-4）：

$$f_{ij}^4(d_{ijm}) = \begin{cases} \frac{d_{ijm} - 0.5}{0.7 - 0.5} & d_{ijm} \in [0.5, 0.7) \\ 0 & d_{ijm} \notin [0.5, 0.9] \\ \frac{0.9 - d_{ijm}}{0.9 - 0.7} & d_{ijm} \in [0.7, 0.9] \end{cases} \quad (6-4)$$

第5灰类 $k = 5$ ，绩效等级为优秀，灰数为 $\otimes[0.7, 0.9, 1.0]$ ，对应的可能度函数为公式（6-5）：

$$f_{ij}^5(d_{ijm}) = \begin{cases} 0 & d_{ijm} \notin [0.7, 1.0] \\ \frac{d_{ijm} - 0.7}{0.9 - 0.7} & d_{ijm} \in [0.7, 0.9) \\ 1 & d_{ijm} \in (0.9, 1.0] \end{cases} \quad (6-5)$$

（2）计算灰色评价系数及灰色评价矩阵

根据以上构造的可能度函数及样本矩阵，求出安全管理绩效评价指标 R_{ij} ($i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, n_i$)属于第 k 子类的($k = 1, 2, 3, 4, 5$)的灰类可能度函数值 $f_{ij}^k(d_{ijm})$ ，即可计算得出第 k 子类的灰色评估系数 g_{ij}^k 如公式（6-6），和总灰色评估系统数 G_{ij}^k ，如公式（6-7）。

$$g_{ij}^k = \sum_{m=1}^p f_{ij}^k(d_{ijm}) \quad (6-6)$$

$$G = \sum_{k=1}^5 g_{ij}^k \quad (6-7)$$

则第P位专家对安全管理绩效影响因素 R_{ij} 第k子类归一化灰色评价权值为公式(6-8)：

$$R_{ij}^k = \frac{g_{ij}^k}{G_{ij}} \quad (6-8)$$

由 R_{ij} 构成 R_i 的灰色评价矩阵公式(6-9)：

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \dots & r_{i15} \\ r_{i21} & r_{i22} & \dots & r_{i25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{in_1} & r_{in_2} & \dots & r_{in_5} \end{bmatrix} \quad (6-9)$$

根据以上公式，以二级指标法规标准及时更新 O_1 为例，总共有8分有效样本，专家一对 O_1 的打分是0.6，那么根据公式(6-1)可知 O_1 属于第一灰类即 $k=1$ 的可能性函数值：

$$f_{11}^1(d_{111}) = f_{11}^1(0.8) = 0$$

同理可计算出 $f_{11}^1(d_{112})f_{11}^1(d_{113})f_{11}^1(d_{118})$ 等8份样本属于第一灰类的可能性函数值，而后根据公式(6-6)，得出 O_1 属于第一灰类的灰色评估系数：

$$g_{11}^1 = f_{11}^1(0.8) + f_{11}^1(0.9) + f_{11}^1(0.9) + f_{11}^1(0.9) + f_{11}^1(0.9) + f_{11}^1(0.9) + f_{11}^1(0.8) + f_{11}^1(0.8) + f_{11}^1(0.7) = 0$$

O_1 属于第二灰类的灰色评估系数：

$$g_{11}^2 = f_{11}^2(0.8) + f_{11}^2(0.9) + f_{11}^2(0.9) + f_{11}^2(0.9) + f_{11}^2(0.9) + f_{11}^2(0.9) + f_{11}^2(0.8) + f_{11}^2(0.8) + f_{11}^2(0.7) = 0$$

O_1 属于第三灰类的灰色评估系数：

$$g_{11}^3 = f_{11}^3(0.8) + f_{11}^3(0.9) + f_{11}^3(0.9) + f_{11}^3(0.9) + f_{11}^3(0.9) + f_{11}^3(0.9) + f_{11}^3(0.8) + f_{11}^3(0.8) + f_{11}^3(0.7) = 0$$

O_1 属于第四灰类的灰色评估系数：

$$g_{11}^4 = f_{11}^4(0.8) + f_{11}^4(0.9) + f_{11}^4(0.9) + f_{11}^4(0.9) + f_{11}^4(0.9) + f_{11}^4(0.9) + f_{11}^4(0.8) + f_{11}^4(0.8) + f_{11}^4(0.7) = 2.5$$

O_1 属于第五灰类的灰色评估系数：

$$g_{11}^5 = f_{11}^5(0.8) + f_{11}^5(0.9) + f_{11}^5(0.9) + f_{11}^5(0.9) + f_{11}^5(0.9) + f_{11}^5(0.9) + f_{11}^5(0.8) + f_{11}^5(0.8) + f_{11}^5(0.7) = 5.5$$

由公式(6-7)得标法规标准及时更新 O_1 总灰色评估系数为：

$$G_{11} = 0 + 0 + 0 + 2.5 + 5.5 = 8$$

由上述同样的步骤可计算ES公司安全管理绩效评价26个二级影响因素指标灰色评价数，如下表6-3所示。

表 6-3 ES 公司安全管理绩效评价灰色评估系数

一级 指标	二级指标	各k子类灰色评价系数 G_{ij}^k					总灰色 统计数 G_{ij}
		k = 1	k = 2	k = 3	k = 4	k = 5	
组织 管理 O	法规标准及时更新 O1	0	0	0	2.5	5.5	8
	程序制度规程健全 O2	0	0	0	3.5	4.5	8
	机构及专职人员健全 O3	0	0	1	6.5	0.5	8
	责任制建立和落实 O4	0	0	3	5	0	8
	安全会议开展 O5	0	0	0.5	5.5	2	8
	投入比例 O6	0	0	0	0	8	8
人员 管理 P	宣传教育及培训 P1	0	0	1	5.5	1.5	8
	员工安全意识行为 P2	0	0	4	4	0	8
	人员资质 P3	0	0	0	0	8	8
设备 设施 与作 业环 境 E	现场作业环境 E1	0	0	0	6	2	8
	设备设施维护保养 E2	0	0	0	2	6	8
	个人防护用品 E3	0	0	0	1.5	6.5	8
过程 管控 C	危险源辨识与风险评价控制 C1	0	0	0.5	4.5	3	8
	作业过程监管 C2	0	0	0	4.5	3.5	8
	监督检查 C3	0	0	0	3	5	8
	隐患整改率 C4	0	0	0	0	8	8
	习惯性违章率 C5	0	0	0	0	8	8
事故 与应 急管 理 A	应急培训与演练 A1	0	0	1	6	1	8
	事故预防措施 A2	0	0	0	5	3	8
	事故处理 A3	0	0	0	4	4	8
	事故整改及经验反馈 A4	0	0	0	2.5	5.5	8
	事故事件发生率 A5	0	0	0	0	8	8
安全 文化 建设 S	安全方针政策与目标 S1	0	0	0	6.5	1.5	8
	标准化建设 S2	0	0	5	3	0	8
	核安全文化学习 S3	1	1	5	2	0	9
	信息沟通 S4	0	0	1.5	6.5	0	8

注：本表由作者制作。

6.1.3 计算灰色评估权向量与灰色权矩阵

此部分计算过程还是以二级指标为例，演示如何计算二级指标的灰色评估权向量，由公式（6-8） O_1 的灰色评估权值为：

$$O_1^1 = \frac{g_{11}^1}{G_{11}} = \frac{0}{8} = 0$$

同理

$$O_1^2 = \frac{g_{11}^2}{G_{11}} = \frac{0}{8} = 0$$

$$O_1^3 = \frac{g_{11}^3}{G_{11}} = \frac{0}{8} = 0$$

$$O_1^4 = \frac{g_{11}^4}{G_{11}} = \frac{2.5}{8} = 0.313$$

$$O_1^5 = \frac{g_{11}^5}{G_{11}} = \frac{5.5}{8} = 0.688$$

所以 O_1 的灰色评估权向量为：

$$O_1 = (0, 0, 0, 0.313, 0.688)$$

同理求出 O_2 、 O_3 、 O_4 、 O_5 和 O_6 的灰色权向量，则灰色评估权矩阵为：

$$O = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.313 & 0.688 \\ 0 & 0 & 0 & 0.438 & 0.563 \\ 0 & 0 & 0.125 & 0.813 & 0.063 \\ 0 & 0 & 0.375 & 0.625 & 0 \\ 0 & 0 & 0.063 & 0.688 & 0.25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.125 & 0.688 & 0.188 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$E = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.75 & 0.25 \\ 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0.188 & 0.813 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.063 & 0.563 & 0.375 \\ 0 & 0 & 0 & 0.563 & 0.438 \\ 0 & 0 & 0 & 0.375 & 0.625 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.125 & 0.75 & 0.125 \\ 0 & 0 & 0 & 0.625 & 0.375 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0.313 & 0.688 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.813 & 0.188 \\ 0 & 0 & 0.625 & 0.375 & 0 \\ 0.111 & 0.111 & 0.556 & 0.222 & 0 \\ 0 & 0 & 0.188 & 0.813 & 0 \end{bmatrix}$$

6.1.4 综合评价结果

根据第五章计算得出的各评价指标的权重，同单因互灰色权矩阵复合运算，由公式（6-10）计算得出指标 R_i 灰色综合评判矩阵 B_i ，由公式（6-11）计算得出公司安全管理绩效灰色综合评判矩阵 B ：

$$B_i = W'_i \cdot R_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in_i}) \cdot \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \dots & r_{i15} \\ r_{i21} & r_{i22} & \dots & r_{i25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{in_i1} & r_{in_i2} & \dots & r_{in_i5} \end{bmatrix} \quad (6-10)$$

$$B = W' \cdot R = (W_{11}, W_{12}, \dots, W_{NnN}) \cdot \begin{bmatrix} r_{111} & r_{112} & \dots & r_{115} \\ r_{121} & r_{122} & \dots & r_{125} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{NnN1} & r_{NnN2} & \dots & r_{NnN5} \end{bmatrix} \quad (6-11)$$

所以可以得出：

$$B_1 = W'_1 \cdot O = (0.174, 0.196, 0.203, 0.159, 0.116, 0.152) \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.313 & 0.688 \\ 0 & 0 & 0 & 0.438 & 0.563 \\ 0 & 0 & 0.125 & 0.813 & 0.063 \\ 0 & 0 & 0.375 & 0.625 & 0 \\ 0 & 0 & 0.063 & 0.688 & 0.25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = (0, 0, 0.0924, 0.484, 0.423)$$

同理可得

$$B_2 = (0, 0, 0.204, 0.324, 0.473)$$

$$B_3 = (0, 0, 0, 0.428, 0.572)$$

$$B_4 = (0, 0, 0.012, 0.307, 0.681)$$

$$B_5 = (0, 0, 0.016, 0.403, 0.581)$$

$$B_6 = (0.019, 0.019, 0.302, 0.585, 0.074)$$

按灰色水平将各指标及安全管理绩效灰类评价权值进行赋值，根据灰色评价等级向量 $C^\Gamma = (0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9)^\Gamma$ ，得出综合评价结果 Z_i 与 $Z_{\text{总}}$ 。

$$Z_i = (W'_i \cdot R_i) C^\Gamma \quad (6-12)$$

$$Z_{\text{总}} = (W' \cdot R) C^\Gamma \quad (6-13)$$

可以得出：

$$Z_1 = B_1 \cdot C^\Gamma = (0, 0, 0.0924, 0.484, 0.423) \cdot (0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9)^\Gamma = 0.766$$

同理可得

$$Z_2 = 0.754, Z_3 = 0.814, Z_4 = 0.834, Z_5 = 0.813, Z_6 = 0.635$$

根据 ES 公司安全管理绩效等级划分表 6-1, 可确定的绩效等级如下表 6-4:

表 6-4 ES 公司各类安全管理绩效综合评价结果

绩效指标	评价值	等级
过程管控 C	0.834	优秀
设备设施与作业环境 E	0.814	优秀
事故与应急管理 A	0.813	优秀
组织管理 O	0.766	良好
人员管理 P	0.754	良好
安全文化建设 S	0.635	良好

注: 本表由作者制作。

再根据公式(6-13), 可计算出 ES 公司安全管理绩效综合评价值:

$$B = W' \cdot R = (0.024, 0.027, \dots, 0.043, 0.036)$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.313 & 0.688 \\ 0 & 0 & 0 & 0.438 & 0.563 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0.111 & 0.111 & 0.556 & 0.222 & 0 \\ 0 & 0 & 0.188 & 0.813 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= (0.005, 0.005, 0.124, 0.431, 0.436)$$

灰色评价水平赋值得 ES 公司安全管理绩效总值:

$$Z_{\text{总}} = B \cdot C^{\Gamma} = (0.005, 0.005, 0.124, 0.431, 0.436) \cdot (0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9)^{\Gamma} = 0.758$$

根据安全管理绩效等级划分等级对照表, 确定 ES 公司总体安全管理绩效处于良好水平。

6.2 评价结果及存在问题分析

根据 ISM-ANP 联合构建的 ES 公司安全管理绩效评价模型中各指标权重优先度, 可知绩效影响因素权重排序排在前五名的二级指标是: 安全方针政策与目标 S1—0.096, 人员资质 P3—0.071, 标准化建设 S2—0.069, 现场作业环境 E1—0.065, 员工安全意识行为 P2—0.058, 这些指标对 ES 公司安全管理整体绩效影响较大, 工作中应重点关注这几个方面的管理。

根据总的评价结果,可知核电施工企业 ES 公司安全管理绩效总评分为 0.758,处于良好级。ES 公司安全管理中一级指标绩效由低到高的顺序依次为:安全文化建设 S—0.635,人员管理 P—0.754,组织管理 O—0.767、事故与应急管理 A—0.813,设备设施与作业环境 E—0.814、过程管控 C—0.834。其中事故与应急管理、设备设施与作业环境、过程管控三个指标得分均在 0.8 以上,该方面的工作可以保持当前的水平下做提升创优,在人员管理、组织管理这两方面的工作有待进一步加强,而安全文化建设方面应该引起 ES 公司安全管理工作的重视。具体到各二级指标,存在问题如下。

6.2.1 安全文化建设

该项指标整体得分最低,特别是标准化建设及核安全文化学习方面工作急需改进,结果表明当前公司安全生产标准化建设距离达标标准还有较大差距,重视程度不够,ES 公司虽已在 2014 年取得集团公司安全生产标准化达标一级资质,但当前标准化达标体系已更新,公司没有正确认识到安全生产标准化与 2014 年的差异。

6.2.2 人员管理

人员管理指标整体处在良好状态,但其二级指标中“员工安全意识行为 P3”绩效水平相对其他指标较低,处于急需改进的状态,表明存在员工对自身的安全职责不清晰,具体为领导及一般管理人员安全责任意识不强,现场组织管理能力薄弱,施工作业人员安全管理素质有待提升,现场施工作业风险意识不足,对危险辨识不清、对形势评估不准、措施不力,整治不当,效果不彻底、不持久。

6.2.3 组织管理

组织管理指标整体处在良好状态,但其二级指标中“机构及专职人员健全 O3”及“责任制建立和落实 O4”绩效水平相对其他指标较低,处于急需改进的状态,表明 ES 公司在安全生产责任制落实方面工作做的不到位,安全生产主体责任没有完全落实到生产经营各个环节;在安全员的配置方面,存在的问题是员工年龄结构不合理,专业素质高、经验丰富的安全人员少。

6.2.4 事故与应急管理

该项指标得分较高,事故事件发生率、事故整改及经验反馈指标做的最好,公司深刻汲取事故事件经验教训,ES 公司在 2019 年未发生人员伤亡、设备、设施、职业健康、环境污染、火灾等责任事故,但在应急培训与演练方面还需进一

步改进提升。

6.2.5 设备设施与作业环境

此项指标整体处在优秀状态，它的三个二级指标的得分也比较高，也就说明了企业能够严格遵照相关法律法规标准规范要求，实现这些“硬指标”：作业场所的照明、噪声、粉尘达标，设备设施能够定期维护保养，保障其性能安全可靠，具有完备的安全装置和安全警示标志，特种设备符合相关的管理规定，能够针对不同的作业环境为员工配备足够的个人防护用品，定期更换过期或者破损的 PPE。

6.2.6 过程管控

该项指标整体得最高，而且其下级指标“危险源辨识与风险评价控制”“作业过程监管”“监督检查”“隐患整改率”“习惯性违章率”得分均较高，这与公司在过程管控方面采取的一系列举措有关系。具体为从源头强化风险防范，通过组织建立覆盖公司、事业部、二级单位、项目部、班组 5 个层级的风险管控模式，逐级建立风险识别管控清单，对安全风险实行分级动态管理，督导监管人员履职到位，严控重大风险措施落地。二是强化隐患源头治理，建立形成了总部抓点、事业部抓线，二级单位和各项目抓面，点线面结合、标准一致，全方位、全覆盖的安全隐患排查治理模式，有针对性的开展专项检查和“回头看”工作，对重要项目、重点问题、重大风险列入重点督办清单，强化问题跟踪、验证，确保隐患形成闭环管理。每季度组织对隐患排查整改率和反差率进行通报、考核，进一步压实隐患排查治理责任，提升了整治效果。

6.3 本章小结

本章根据 ES 公司实际情况，将绩效划分成 5 个等级，用 0 到 1 之间的数表示绩效值大小，将专家的打分汇总，采用灰色聚类分析法，首先确定灰类，构造可能度函数，计算灰色评价系数，确定灰色评价矩阵，将 ISM-ANP 计算得出的指标权重，作为各灰类的定权系数，将评价矩阵与定权系数复合运算，即可实现评价指标从主观到客观数字化的转换，从而将主观无法量化的绩效，通过模糊的语言量化成可对比的客观数值，实现绩效的评价量化，得出综合评价结果。结果显示 ES 公司安全管理绩效综合处于良好等级，有三个一级指标得分较低分别是安全文化建设、人员管理、组织管理，说明企业更注重硬件硬指标方面的管理，对软件相关的安全管理比较薄弱。

第7章 改进提升对策

本章根据第六章得出的安全管理绩效综合评价结果,结合ES公司安全管理工作实际,针对薄弱环节提出提升ES公司安全管理的对策,以期帮助ES公司提升安全管理绩效水平。

7.1 安全文化建设

7.1.1 安全生产标准化

通过开展安全生产标准化建设工作能够提高安全管理的计划性、系统性、时效性、延续性,降低安全风险,提高安全管理人员职业能力。同时安全生产标准化的建设是一项具有长期性、艰巨性、复杂性的系统工程,而安全生产标准化也是确保本质安全的根本源头,ES公司今后要把安全生产标准化建设作为工作的重中之重对标落地。要认真组织对标学习并积极落实,不断夯实安全基础管理。开展安全生产标准化经验交流工作,做好标准化成果的巩固和提升,公司要依照国家新标准新规定,积极推行安全生产标准化的进行。

(1) 持续改进安全生产标准化体系。经过上一期集团公司的安全生产标准化考核评级,ES公司标准化体系已经建立并取得了一些成效,但随着核工业的不断发展,新技术、新工艺、新材料、新设备、新组织架构、新安全管理模式的出现,也随着安全需求的提高,考评标准的要求更加具体化。作为企业应该明确安全标准处于随时都在变更的状态,企业不应该一成不变地维持安全标准体系,而应该随着安全标准的提出,不断优化企业的标准化体系。在标准化体系制定的过程中,需要最核心的生产数据,以得出最优化的管理方案;在企业执行标准化体系时,需要不断发现体系中存在的问题,并及时申报、及时改进整个管理方案,确保整个企业的标准化体系形成一个完整的管理工作圈,在保证各项效率的同时,不断优化,帮助整个企业达到最佳的标准化生产状态。

(2) 将安全生产标准化工作与其他各类管理体系有效融合。在企业安全管理理念中,不仅安全生产标准化是一项重要工作,同时,职业健康安全管理体系和环境管理体系等的认证亦是目前企业追求卓越而需完成的任务,集团公司于2012年起推行安全生产标准化体系,此前ES公司在经营发展历程中,也完成了环境和职业健康安全等管理体系的认证工作。随着企业自身要求的提升,公司今后还会参与各类体系认证和达标,给企业增加工作量的同时也带来了一系列的问

题。在前期的安全生产标准化建设中,就存在各体系分力存在、各行其道,生产与体系“两张皮”、工作重复交叉等现象,给公司造成了较多的困扰和负担。企业的管理应是系统的,各类管理体系应彼此相辅相成,多元化管理体系的融合是实现企业系统化的必备前提。因此公司应优化管理资源,采用科学的方法和系统的方法进行有机的融合。要梳理各体系之间的同异,依照“高标准、删繁就简”的原则制定整合计划并组织实施融合工作,落实融合工作后,应及时完成文件的编制发布,然后监督和关注执行效果,收集过程中存在的问题,逐步落实整改,完善管理体系,消除缺欠。将多体系有效融合,减轻人员工作负担,提升整体工作效率,优化企业管理资源。

(3) 做好安全生产标准化的“翻译”工作。安全生产标准化体系、标准化图册是推行安全生产标准化工作的重要依据,经过不断的修订与升版,当前 ES 公司的各方面文件已比较完善,但通过前期推行总结发现,枯燥的程序文件学习对一线施工人员作用甚微,很多人没有时间精力学习消化冗长繁复的文件,使得很多工作在源头出现偏差,不能很好的得到落实,今后应着重做好程序的“翻译”工作。建立标准化表格,将程序中的相关规定、标准化图册中的具体要求转化为标准化的表格,展示新标准与旧标准的差异,建立标准化检查表格库,并在在监督检查过程中,不断完善表格检查条目,检查标准;建立标准化流程,将程序中各项工作的处理,实行流程化管理,制作一目了然的流程图,使处理工作流程统一,缩短处理时间,提升处理工作的效率;对于重大节点重要环节,可借鉴质量控制方法,实施安全“ITP (inspection and test plan)”管理模式,即将先决条件检查和作业过程中控制制作成检查项清单,对照“ITP”中的控制流程及项目逐一检查确认后再进行作业活动,避免检查因人为因素导致检查遗漏,提高重大节点作业风险控制与安全监督的可追溯性,同时助力安全生产标准化工作有效落实。

7.1.2 核安全文化建设

核安全文化是企业文化的重要组成部分,是一个公司科学发展、安全发展、可持续发展的重要基础。核电施工企业开展核安全文化建设,是组织企业员工对核安全文化理念进行学习,在企业内部营造一种氛围,通过管理工作的不断努力,使集体和个人认识到核电建设安全的敏感性、极端重要性,并将这种态度带入到所有的工作中。公司要通过各种方式积极倡导、培育传播核安全文化,着重落实两个“零容忍”,“弄虚作假零容忍,违规操作零容忍”,形成具有公司特色的安全文化,继续巩固全员学安全、团队学安全、主动管安全的安全文化氛围,可开展如下核安全文化专项推进工作。

(1) 通过开展核安全文化讲座、核安全文化知识竞赛、事件警示宣贯、核

安全文化宣贯、违规操作排查等各类活动,组织员工开展关于安全核心价值观的大讨论,进一步认识安全的价值和意义,推动培养全员安全环保责任心,形成安全人人有责、全员履职的良好环境,促进全体员工在行动上自觉践行安全核心价值观。

(2) 强化核安全视觉宣传,策划核安全文化视觉方案。打造公司核安全文化走廊,营造特色良好核安全文化氛围,在办公区、生产区等区域给员工营造核安全文化视觉冲击,制定“核安全政策、国家核安全局核安全文化政策、公司领导对核安全的承诺、防人因失误管理”为题材的核安全文化视觉策划方案,营造良好的宣传氛围。

(3) 开展核安全文化震撼教育活动。对公司及同类企业发生的事故事件开展反思,组织相关人员进行警示教育和反思,不断提高全员核安全意识,培育人人关注核安全的氛围。同时重视经验反馈,汇总编写专题经验反馈课件,在取照考试中予以考核,以及进一步明确和完善防人因失误工具使用期望,强化报警相应培训,提高报警响应能力等,提高全体领导与员工在“核安全人人有责”的高度责任心。

(4) 多样化的核安全文化宣传渠道。应以报刊、微信公众号、公司网页、以及办公邮件的形式,宣传各项核安全文化推进工作,通过多样化的宣传渠道,达到宣传效果。

(5) 开展每日一条安全信息,强化安全期望。在会议制度中将每日一条安全信息作为会议开始的必学环节,通过在公司级会议、项目级会议以及生产早班会、工前会等对每日一条安全信息学习宣贯,提供良好的经验反馈,有效避人因事件。

7.1.3 信息沟通

安全信息的有效沟通有利于提高安全决策和问题解决的效率和效果,有利于广大员工明确安全责任、提高安全意识。企业安全管理中的安全生产规章制度和各项操作规程应通过自上而下的沟通渠道传达到每个员工,而现场的各种事故信息、隐患信息则通过自下而上的沟通渠道传递到企业的最高管理层;另外安全信息还应该通过横向的沟通渠道在企业不同部门之间及部门内部传递。安全信息可以通过安全培训、安全会议、安全文件等方式在企业内部来传递,最有效的形式是管理人员与员工面对面交谈。企业与外部的安全信息沟通对企业的安全生产也非常重要,主要包括法规、标准的更新,与供应商、承包商安全信息的交流。通过实施改善安全信息有效沟通的措施、克服阻碍有效沟通的因素,形成一个良好的沟通氛围,鼓励员工报告不安全行为和不安全状态以及未遂事件,对员工进行

鼓励而不是责备，安全意识就会深入人心，企业安全绩效就会取得良好的效果。

(1) 要充分认识到信息化建设对安全管理的重要支撑作用，安全管理信息系统以企业内联网为平台，对安全信息进行收集、整理、发布，为广大员工提供各种安全规章制度、操作规程及安全知识、安全记录表格等，也为企业管理层的安全决策提供安全统计信息。完善的安全管理信息系统能够保证正确的安全信在正确的时间传递给需要的人员。安全管理信息系统的巩固推广，有利于安全信息的有效沟通和员工的参与。进一步巩固隐患 APP，环保在线监测等系统，搜集不同作业的不安全行为及不安全状况的照片，建立网上的危害图片库，清楚说明不同作业的潜在危害，为广大员工提供实用的参考资料，提高员工的安全意识。大力推广在线学习系统，VR 安全教育，设置安全培训课程，便于员工重温或开展新工作前的培训。开辟网上安全论坛栏目，鼓励广大员工参与安全生产的讨论。

(2) 安全观察是纠正不安全行为的一种有效的手段，是促进员工参与安全事务、增强管理层与员工开放式沟通。安全观察应作为企业日常性安全活动定期进行，安全观察人员应包括企业高层管理人员和一线员工。企业高层管理人员参加安全观察活动是体现管理层安全承诺的一种有效方式。企业高层管理人员视察工作现场并对安全表示关注，现场人员就将感觉到这种关注是公司政策的反映，这种感觉自然就会成为工作中的安全动机。管理人员与员工面对面直接讨论，可以拉近管理高层与一线员工的距离。安全观察程序包括观察、现场不安全行为纠正、观察结果小组讨论、制定有效措施防止不安全行为和不安全状况再次发生。

(3) 完善各种安全制度，并做好教育培训工作。一些重要的安全管理制度本身就是建立在安全信息交流的基础之上的，例如交接班制度，在交接班时进行有效沟通十分重要，交接班要当面进行交接，并且要确保交接的时间，双方还需在交接记录上记录一些关键信息。而另外一些安全管理制度是向企业各种活动提供安全信息的，例如上锁/挂牌制度，上锁是避免机器设备意外启动，挂警示牌是为了说明上锁的原因，传递信息提醒人员注意。

7.1.4 方针政策与目标顶层设计

“十四五”安全专项规划是公司今后一个时期安全发展的顶层设计，是下一个五年安全工作的战略指南，要在全面总结“十三五”安全管理工作的基础上，系统谋划“十四五”安全专项规划，认真分析面临的挑战和机遇，紧紧扭住项目这个关键，以项目为依托和抓手并深入研究国家政策，分析谋划具有战略支撑作用的指导原则、工作目标、基本思路和管理举措，合理储备和配置相适应的各类资源，让安全工作与整体规划同步规划、同步实施、同步考核，确保“十四五”安全专项规划的宏观性、战略性、前瞻性和可行性，为打造本质安全型企业助力。

7.2 人员管理

现代安全管理方法的应用提升员工安全意识。核电建设项目中应注重使用现代安全管理的方式方法。一般的事故是由于人的不安全行为和物的不安全状态引发的,而大多数人的不安全行为是由人的省能侥幸心理以及人失误造成的,要提升员工的安全意识,进而影响员工的安全行为,在安全管理工作中要注意方式方法,抓住问题的根本,注意观察人员的心理活动。

7.2.1 安全教育

安全教育是提高人员安全意识的主要手段。安全教育培训目的是引发作业人员及管理人員的责任感,自主建立安全意识,若枯燥乏味的单一授课,很容易使人反感并忘记。通过开展系列培训活动,使作业人员在思想上高度重视安全。一是重视责任心教育,开展“责任胜于能力”等专题培训,凝心聚力、振奋精神。二是加强技能培训,使人员能熟练操作各项工作,根据施工实际,每年组织开展“安全培训月”等丰富多彩的培训活动,对员工进行培训,有效增强其安全生产技能。三是对施工人員,采用可视化形式交底,用图片警示存在的安全隐患。四是每年开展高风险作业人員实际操作的培训,适时开展技能比武,将课堂放在现场。五是可以运用“情景法”借鉴某种现有的情景来触动大家、说服大家,也可以用VR技术让员工体验经历,如真实发生的“虚拟事故”的情景,令人产生深刻的视觉和听觉触觉,情景体验的方式更易使人的意识、行为发生改变,能够使人产生情感上的共鸣,有说服和引导作用,激发出的真实的感受会驱使执行贯彻内在的动机,才到产生持久影响的目的。

7.2.2 安全行为激励

人员安全意识常常受外部环境的影响,根据安全行为的激励原理,采取外部激励与内部激励相结合的方式对提高人员安全意识。外部激励指通过外部力量来激发人的安全行为的积极性和主动性,即,在一定场合下和特定的人员中,进行外部鼓励和奖励,如设安全奖以改善劳动卫生条件、安全与职务晋升和奖金挂钩、表扬、记功,开展安全竞赛等手段和活动。内部激励以提高职工的安全生产和劳动保护自觉性为目标,即积极创造条件,形成人的内部激励环境,如更新安全知识、培训安全技能、强化观念和情感、理想培养、建立安全远大目标等。内外激励机制相互联系、相互促进,两者有机地结合,充分调动每个领导和职工安全行为的自觉性和主动,以达到提高人员环境荷载抵抗力的目的。

7.3 组织管理

7.3.1 加强组织机构建设

ES 公司当前已设立了公司安全总监及安全管理部门，并依照法规要求设置了安全管理组织机构，配备了符合法规数量的专职安全人员，但在人员梯队配置上存在的问题是员工年龄结构不合理，专业素质高、经验丰富的安全人员少，加之核电施工安全高风险作业多，现场高风险点多，故安全管理人员虽在数量上已经符合法律法规要求，但不能满足于现场安全管理工作实际。

因此，公司要根据快速更新的政策环境及急剧发展的市场需求，组织集中开展安全人员业务能力和综合素养提升的专题培训，努力打造一支业务精通、技术精湛、作风优良、监管有效的安监队伍。而有限数量的安全管理人员无法在工作和生活中对安全保障问题面面俱到，因此，应注重安全教育培训工作，让人人建立安全意识，扩大安全队伍，作业人员同时肩负安全责任，完善管理不到位的死角。创新安全环保学习形式，全面推进碎片化学习和安全考评常态化机制，有效提升全员安全素质，推动公司安全管控水平持续提升。

7.3.2 落实全员安全生产责任制

以“分级监管、层层负责、齐抓共管、人人有责”的管理原则，进一步完善安全生产责任体系，强化直线责任，推进属地管理。要明确组织指挥的第一责任、贯彻执行的直接责任、技术标准的保障责任、资源配置的源头责任、检查纠偏的监督责任。要进一步突出安全监督检查效果，细化安全环保考核办法，通过合理设置目标指标、加大过程管理权重、设置考核加分项等手段，不断提高安全责任落实考核的科学性和可操作性。各单位要结合专业特点和岗位实际，不断细化落实“红黄线”禁令的具体措施，完善落实“红黄线”奖惩机制，实行违章积分，违章曝光、违章追责等有效方法，严厉查处，严肃问责，确保公司安全主体责任得到有效落实。

7.4 创新技术应用

除以上措施外，企业应紧跟时代发展脚步，在安全管理的过程中，应该创新相关技术的应用，从而提高管理水平。

7.4.1 升级智慧工地

运用信息化手段将更多人工智慧、传感技术、虚拟现实等高科技技术植入到

建筑、机械、场地进出关口等各类物体中，一是利用现有监控和现场广播，通过后台智能联动模块设置，在现场摄像机监控到违章行为后，在进行后台记录的同时，实现现场监控智能语音播报提示，提高人员安全生产自觉性；二是升级塔吊防碰撞及吊钩可视化系统，在塔吊上安装高度传感器、幅度传感器、回转传感器，在吊钩上安装高清摄像头、高度传感器、幅度传感器，通过信号接收主机与监控室内的主显示器相连接，经过信息平台处理，做到塔吊碰撞预警，实现塔机运行区域安全防护、群塔防碰撞、塔机防超载、塔机防倾翻、吊钩可视化等功能，提供塔机安全状态的实时预警，实时动态远程监管、远程报警和远程告知，确保的塔机安全运行，避免人员伤害及经济成本的损失；三是可结合现有的闸机，加装人脸识别技术设备，对来访人员实现刷脸进出，替代传统刷卡，有效减少耗材，环保节约，并具备高效、便捷、安全、有据可查等显著优势，对来访人员进行精准人脸识别记录，通过实名制系统，实时显示人员信息，实现人脸信息快速录入，后期在对所有进出闸机的人员进行进出记录筛查时，可以灵活设定工种、劳务班组、劳务公司等不同类目的自定义标签，方便录入时快速选择，而且数据信息可以快速导出，便于管理备案。

7.4.2 探索 BIM 的应用

积极探索建筑信息模型（Building Information Modeling，简称 BIM）在安全管理方面的应用。一是碰撞检测，通过 BIM 的可视化技术对管线、构件之间进行检测，以发现两者之间的冲突，通过碰撞检测，找出可能的危险点并进行应急处理，同时，BIM 也可以进行施工机械之间、施工机械与建筑物之间的碰撞检测，从而规避可能出现的风险点。二是可视化安全教育，BIM 具有可视化的功能，建立三维动态模型，能够模拟各种可能出现的事故以及救援行动的开展，从而使管理人员对可能出现的安全事故有了一个清楚的认识，在相关事件发生后能够采取应急行动。三是施工模拟，在施工过程中有些作业施工空间较为狭小，施工方案较为复杂，运用 BIM 的虚拟模拟的功能对施工过程进行模拟，检验施工过程中可能出现的问题及安全隐患，便于施工人员分析其中的风险源并制定应急预案，从根本上规避可能出现的任何安全隐患。

7.4.3 尝试智能设备

尝试采用智能可穿戴设备，监测施工现场作业者的工作状态和身体状态，建立以智能手环等为基础的监测及预警框架，实时收集数据并与数据库对比，超出设定阈值及时预警或提醒，确保施工人员在身体状况良好的情况下工作，避免安全管理中人的不安全因素。智能设备拥有施工人员工作状态下各种数据，如血压、

心率、体温、骨骼活动次数及骨骼弯曲程度等，借助物联网强大的云储存和高速计算能力，智能穿戴设备把以上海量数据进行储存和计算，不仅可以及时进行超过设定阈值提醒施工人员，还可以通过收集施工人员在每一个施工工序的作业时间、劳动强度、劳动效率和施工质量等情况，探究劳动质量与施工工序的关系，进而建立本企业或本地区的施工作业标准，以便后续管理使用其中信息采集是通过智能手环中嵌入的各种传感器自动对建筑施工操作者的体温、心率、血压、手腕弯曲角度等进行动态监测，可有效改善人员安全管理中存在的弊端，提高安全管理效率。

7.5 本章小结

本章针对上文对 ES 公司安全管理绩效评价得出的结果以及分析出的不足，提出针对性的改进提升对策，在安全文化建设方面要做好安全生产标准化体系有效融合，推动核安全核心价值理念落地，拓宽信息沟通渠道，谋划好专项规划目标顶层设计等。在人员管理方面，应用现代安全管理方法，以安全教育为主要手段，同时采取外部激励与内部激励相结合的方式共同提高人员意识。对于组织管理，一是通过提升安全人员业务能力综合素养，扩大安全队伍来加强组织机构建设，二是通过进一步完善安全生产责任体系，细化考核办法，落实全员安全生产责任制。除以上措施外，企业应紧跟时代发展脚步，可创新的将先进科学技术应用于管理中，如进一步升级互联网+智慧工地，积极探索 BIM 在安全管理领域的应用，尝试采用智能可穿戴设备提高安全管理效率等。

第8章 结论与展望

企业的安全管理绩效反映了企业控制和预防事故风险的能力,能够为企业安全管理工作的各个方面提供有效的信息,为企业做出更好的安全管理决策提供支持和帮助。企业应用科学有效的安全管理绩效评价方法,在评价时能够真实反映出其安全管理状况,使偏差得到及时纠正和改善,使公司更容易实现安全目标。

8.1 研究结论

本文以核电施工企业 ES 公司安全管理绩效评价为研究对象,进行以下研究。

首先,回顾梳理总结了安全管理绩效评价的相关文献,对解释结构模型(ISM)和网络分析法(ANP)相关研究理论与方法进行了阐述。为本文的研究内容提供了重要思路,也为本文的研究方法奠定了理论基础。采用 ISM-ANP 相联合的方法,不是单独使用,也不是简单的叠加,而是将两种方法交织使用。

然后,在构建核电施工企业 ES 公司安全管理绩效评价体系时,先确定了指标体系的设计和筛选原则。通过对相关行业企业安全管理绩效评价指标的总结归纳,并组织专家研讨修正选定指标,构建了评价指标体系共 6 个一级指标 26 个二级指标,建立了较为科学全面的安全管理绩效评价指标体系。

接着,运用 ISM 分析 26 个二级指标两两之间的可达关系,借助 ISM 在线计算软件,组织 30 人的 ISM 小组进行多轮的研讨得出 26 个指标间的最简层次化拓扑图,作为 ANP 的重要依据,再借助 SD 软件计算得到各指标的权重。ANP 的打分环节采用了 ISM 结果图的辅助与精准打分原则两个措施,是由于 ES 公司安全管理绩效评价决策问题比较复杂,参与决策的专家经验和知识有一定局限,在决策中会因偏好与目标的冲突和不可公度性等原因,容易导致决策时不一致性、不完整、残缺的现象,因此采取上述两种举措可以规避数据不一致与数据残缺不完整的现象。

最后,结合由 ISM-ANP 联用得出的指标权重,对 ES 公司安全管理绩效进行打分评价,运用灰色定权聚类法对专家打分结果进行处理,得出整体及各类别综合得分,得出 ES 公司安全管理处于良好状态,根据结果,提出针对性的改进对策,为企业的安全生产管理提供科学参考及决策依据。

8.2 不足与展望

首先，可以进一步补充完善的安全管理绩效评价指标，在 ES 公司安全管理绩效评价指标选取时，参考了同类行业的相关研究，但目前针对于核电施工企业的安全管理绩效甚至是安全管理有关的研究数量极少，造成指标可能不够完善的问题，后续的研究可以采取一些其他方法来弥补此处的缺陷。

其次，本文研究关于安全管理绩效影响因素的汇总、影响因素关联性和重要性分析过程时，是针对 ES 企业内部的，缺少同类行业企业的对比。

再者，由于核电建设的敏感性，相关数据仅由公司专家小组内部掌握，不便在文中公开提及，不利于论文研究的支撑，不便于读者的深入理解研究。

科学合理的测量评价企业的安全管理绩效，不但能够清晰的反映出企业的安全状态是否正常，帮助企业及时修正偏差，还能通过与同类企业进行比较，达到相互学习促进的效果。除此之外，在对企业进行测量评价的过程中，能够潜移默化的提高公司从高层管理者到基层员工的整体安全意识，这非常有利于企业安全氛围的提升，因此今后可以安全管理绩效评价的组织、方式、结果上进一步深入研究，促进企业安全管理水平的提升，提高企业整体绩效。

参考文献

- [1] 杨杰, 方俐洛, 凌文铨. 对绩效评价的若干基本问题的思考[J]. 中国管理科学, 2000(04): 75-81.
- [2] 杨富. 企业绩效研究述评与展望[J]. 财会月刊, 2016(01): 106-109.
- [3] Arthur Sherman. Appraising and improving performance: Managing human resources (Eleventh edition) [M]. 辽宁: 东北财经大学出版社, 1998.
- [4] Jamie J Carlyle, Teresa F Ellison. Developing performance standards[J]. The performance management sourcebook. Human resource development press, Inc. 1987.
- [5] Heinrich H W. Industrial Accident Prevention[M]. New York: McGraw-Hill, 1980: 112-123
- [6] 方东平. 建立符合中国国情的建筑安全管理体制[J]. 建筑经济, 2001. 11: 10-12
- [7] 罗云. 安全经济学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009
- [8] 罗云, 程五一编著. 现代安全管理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004
- [9] 王长峰, 李建平, 纪建悦. 现代项目管理概论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 107-112.
- [10] 徐俊峰. 核电站工程建设阶段的安全管理模式[J]. 中国科技信息, 2011, No. 426(13): 50, 51.
- [11] 贺晓刚, 朱潜. 海外核电项目 EPC 模式下承包商安全绩效考核管理[J]. 安全, 2019, 40(3): 61-64.
- [12] 邵楠楠. 基于 SEM 的企业安全绩效维度指标关系研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2014, 5
- [13] Swuste P, Theunissen J, Schmitz P, et al. Process safety indicators, a review of literature[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2016, 40: 162-173.
- [14] Qinghua He, Shuang Dong, Timothy Rose. Systematic impact of institutional pressures on safety climate in the construction industry [J]. Accident Analysis and Prevention, 2016, (93): 230-239.
- [15] Uwe Lenhardt, David Beck. Prevalence and quality of workplace risk assessments-findings from a representative company survey in Germany [J]. Safety Science, 2016(86): 48-56.
- [16] 廖中举. 企业安全绩效研究: 内涵、测量及影响因素[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(11): 139-144.
- [17] 王永刚, 孙睿韬. 飞行员飞行安全绩效评价研究[J]. 安全与环境学报, 2018,

- 18(4): 1364-1369.
- [18] 樊运晓, 张旭凤. 集团化企业安全绩效测评研究综述[J]. 安全与环境学报, 2013, 13(03): 255-259.
- [19] Xianguo Wu, Qian Liu, Limao Zhang. Prospective safety performance evaluation on construction sites [J]. Accident Analysis and Prevention, 2015, (78): 58-72.
- [20] 李英攀, 刘名强, 王芳等. 装配式建筑项目安全绩效云模型评价方法[J]. 中国安全科学学报, 2017, 27(6): 115-120.
- [21] 李丽琴. 某矿井通风系统安全绩效评价应用研究[J]. 煤炭技术, 2016, 35(9): 187-188.
- [22] 曲扬. 建筑企业安全绩效评估研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2017.
- [23] 何录新. 基于 DEA 的企业安全管理绩效测评研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2016.
- [24] 邢宝君, 唐水清, 李乃文等. ISM 耦合 ANP 矿工安全注意力衰减影响因素模型[J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(09): 163-168.
- [25] 杨镇竹. 基于 ISM 与 ANP 的国内快递企业物流服务质量评估研究[D]. 山东: 山东大学, 2014.
- [26] 黄雪. 基于 ISM-ANP 的绿色产品创新影响因素研究[D]. 河南: 郑州大学, 2017.
- [27] 王婷. 基于 ISM-ANP 的企业环境战略决策模型研究[D]. 河南: 郑州大学, 2017.
- [28] Warfield J N. SOCIETAL SYSTEMS Planning, Policy and Complexity[J]. 1978, 66(3): 362-363.
- [29] 黄炜. 黑客与反黑客思维研究的方法论启示——解释结构模型新探[D]. 广州: 华南师范大学, 2003.
- [30] Miguel Ramirez de la Hueriga, Victor A. Bañuls Silvera, Murray Turoff. A CIA-ISM scenario approach for analyzing complex cascading effects in Operational Risk Management[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2015: 46.
- [31] 王莲芬. 网络分析法(ANP)的理论与算法[J]. 系统工程理论与实践, 2001(03): 44-50.
- [32] 王娟, 李华. 网络层次分析法应用形式的多样性[J]. 预测, 2007(06): 64-68.
- [33] 刘睿, 余建星, 孙宏才等. 基于 ANP 的超级决策软件介绍及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 2003(08): 141-143.
- [34] 陈通, 吴苓, 刘晓峰. 基于网络分析法的企业绩效评价研究[J]. 中国农机化, 2008(05): 19-21.
- [35] 张苑秋, 田军, 冯耕中. 基于网络层次分析法的应急物资供应能力评价模型[J]. 管理学报, 2015, 12(12): 1853-1859.
- [36] 王国红, 许达, 黄昊. 基于网络层次分析法的新兴产业创业合成能力评价模

- 型研究[J]. 科技管理研究, 2019, 39(23): 75-82.
- [37] 陈衍泰, 陈国宏, 李美娟. 综合评价方法分类及研究进展[J]. 管理科学学报, 2004(02): 69-79.
- [38] 陈芳. 绩效管理[M]. 北京: 海天出版社, 2001: 8-13.
- [39] 冯丽霞. 企业财务分析与业绩评价[M]. 长沙: 湖南人民出版社, 2002: 216-218.
- [40] 张涛. 文新三, 企业绩效评价研究[M]. 北京: 经济科学出版社, 2002: 3-10.
- [41] 财政部统计评价司. 企业绩效评价问答[M]. 北京: 经济科学出版社, 1999: 1-3.
- [42] 吴煜. 企业 QHSE 管理绩效成熟度评价及其应用研究[D]. 天津: 天津大学, 2010.
- [43] 王长建, 傅贵. 职业安全绩效指标研究[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(3): 79-82.
- [44] T. L. Saaty. Fundamentals of the Analytic Network Process—Dependence and Feedback in Decision-Making with a Single Network[J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2004, 13(2): 129-157.
- [45] T. L. Saaty, M. Sagir. An Essay on Rank Preservation and Reversal [J]. Mathematical and Computer Modelling, 2009, 49(5-6): 1230-1243.
- [46] Saaty T L. The Analytic Network Process • Decision Making with Dependence and Feedback[M]. Pittsburgh: RWS Publications, 2004.
- [47] 徐玉林, 孙建, 史晓帆. 基于 AHP 的核电工程施工企业安全业绩评估体系探讨[J]. 核安全, 2012(02): 61-65.
- [48] 贾雯靖. 安全绩效测量指标体系建立及其适用性研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2014.
- [49] 韩笑. 基于恢复力的安全管理绩效指标体系改进研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.
- [50] 董大旻, 冯凯梁. 基于 EFQM 的高危企业安全绩效评估模型研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(03): 86-91.
- [51] 秦永刚. 基于模糊积分的电力建设工程项目安全管理评价研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
- [52] 刘霁, 李云, 刘浪. 基于 SEM 的建筑施工企业 KPI 安全绩效评价[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(6): 123-128.
- [53] Stephanie L. Morrow, G. Kenneth Koves, Valerie E. Barnes. Exploring the relationship between safety culture and safety performance in U.S. nuclear power operations[J]. Safety Science, 2014: 69.
- [54] Francisco J. Gracia, Inés Tomás, Mario Martínez-Córcoles, et al. Empowering leadership, mindful organizing and safety performance in a nuclear power plant: A multilevel structural equation model[J]. Safety Science, 2020: 123.

- [55] Sharmin Sultana, Bjørn Sørskot Andersen, Stein Haugen. Identifying safety indicators for safety performance measurement using a system engineering approach[J]. *Process Safety and Environmental Protection*, 2019: 128.
- [56] Mohammadfam I, Kamalinia M, Momeni M, et al. Evaluation of the Quality of Occupational Health and Safety Management Systems Based on Key Performance Indicators in Certified Organizations[J]. *Safety & Health at Work*, 2016, 8(2).
- [57] T. L. Saaty. How to Make a Decision-the Analytic Hierarchy Process[J]. *Interfaces*, 1994, 24(6): 19-43.
- [58] 尔古打机. 决策中成对比较矩阵的数据理论与方法[D]. 四川: 电子科技大学, 2014.
- [59] 夏春艳. 基于 Shapley 值的高层建筑火灾安全灰色聚类评价[J]. *安全与环境工程*, 2019, 26(03): 133-138.
- [60] 兰芳. 基于 FISM-ANP-灰色聚类的软件项目开发风险评价研究[D]. 四川: 电子科技大学, 2018.

附录 A 安全管理绩效影响因素关系调查问卷

您好!本次调查希望能够了解您对本企业安全管理绩效各影响因素之间直接关系的看法。本次调查问卷的结果数据仅用于企业安全管理绩效影响因素指标权重研究,我们会将您填写的数据严格保密,您的配合与相助对本次研究至关重要,由衷的表示感谢!

一、安全管理绩效影响因素指标介绍

表 A-1 ES 公司安全管理绩效影响因素指标

序号	一级指标	二级指标	描述
1		法规标准及时更新 O_1	是否定期开展法律法规合规性评价,及时更新并有效传达到各个层级
2		程序制度规程健全 O_2	是否建立完善的安全管理程序、规章制度及操作规程,规范各项安全管理工作
3	组织管理 O	机构及专职人员健全 O_3	是否依照法规要求设置了安全管理组织机构,且配备足够的专职安全人员,能够满足安全管理需要
4		责任制建立和落实 O_4	是否建立了安全生产责任制,落实了企业安全生产主体责任,层层分解到每个岗位人员,定期考核
5		安全会议开展 O_5	是否定期开展安全会议,总结分析上一周期问题,部署下一周期工作,研究解决安全管理中的难题
6		投入比例 O_6	是否按照法律法规及合同要求投入足额的安全措施费用
7		宣传教育及培训 P_1	是否根据员工岗位需求开展相应的安全培训,宣传安全发展理念
8	人员管理 P	员工安全意识行为 P_2	员工是否清楚自身的安全职责,并能够遵守有关规章制度
9		人员资质 P_3	是否根据不同岗位职责,员工取得了相应的资质
10		现场作业环境 E_1	员工作业场所的照明、噪声、粉尘等要素是否达标
11	设备设施 与作业环 境 E	设备设施维护保养 E_2	设备设施是否定期维护保养,保障其性能安全可靠,具有完备的安全装置和安全警示标志,特种设备符合相关的管理规定
12		个人防护用品 E_3	是否针对不同的作业环境为员工配备足够的个人防护用品,定期更换过期或者破损的 PPE

(续)表 A-1 ES 公司安全管理绩效影响因素指标

序号	一级指标	二级指标	描述
13		危险源辨识与风险评估控制C ₁	是否识别所有的危害, 评估风险级别, 制定并落实控制措施
14		作业过程监管C ₂	是否对风险作业全过程进行监督管控
15	过程管控 C	监督检查C ₃	日常性、周期性监督检查的次数
16		隐患整改率C ₄	统计期限内按期整改关闭隐患数/同期内检查发现隐患总数
17		习惯性违章率C ₅	统计期限内习惯性违章人数/同期内总人数
18		应急培训与演练A ₁	是否定期开展应急演练, 培训提升全员应急能力
19		事故预防措施A ₂	是否制定并落实重大风险作业安全技术措施
20	事故与应 急管理 A	事故处理A ₃	发生紧急状况或事故时, 是否能够迅速响应采取有效措施防止事态扩大
21		事故整改及经验反馈 A ₄	事故发生后是否组织整改和事故教训学习
22		事故事件发生率A ₅	统计期限内事故总数/同期内事故的暴露人数
23		安全方针政策与目标S ₁	最高领导层制定适合企业的方针、目标并传达执行
24	安全文化 建设 S	标准化建设S ₂	是否开展安全生产标准化达标工作, 持续改进提升企业安全生产规范化建设
25		核安全文化学习S ₃	是否组织学习核安全文化理念, 使全体人员认识到核电建设安全的敏感性、极端重要性, 并将这种态度带入到所有的工作中
26		信息沟通S ₄	组织中的安全管理信息沟通渠道是否畅通

二、填写说明

如果某一因素对另一因素有直接影响, 那么就在其对应位置上填写“1”, 如果没有影响, 则填写“0”。

三、问卷正文

表 A-2 ES 公司安全管理绩效影响因素关系表

	01	02	03	04	05	06	P1	P2	P3	E1	E2	E3	C1	C2	C3	C4	C5	A1	A2	A3	A4	A5	S1	S2	S3	S4	
01																											
02																											
03																											
04																											
05																											
06																											
P1																											
P2																											
P3																											
E1																											
E2																											
E3																											
C1																											
C2																											
C3																											
C4																											
C5																											
A1																											
A2																											
A3																											
A4																											
A5																											
S1																											
S2																											
S3																											
S4																											

问卷到此结束，感谢您的参与，谢谢！

附录 B ISM 抽取过程

结果优先—UP 型抽取过程			原因优先—DOWN 型抽取过程		
	Re	Te		Qe	Te
O1	O1,O2,O4,O6,P3,E1,E2,E3,C1,C2,C3,C4,C5,A2,A3,A5,S2	O1	O1	O1	O1
O2	O2,O4,O6,P3,E1,E2,E3,C1,C2,C3,C4,C5,A2,A3,A5,S2	O2	O2	O1,O2	O2
O3	O3,E1,C3,C4,A3,S2	O3	O3	O3,P1,A1,S1,S3	O3
O4	O4,O6,P3,E1,E2,E3,C1,C2,C3,C4,C5,A2,A3,A5,S2	O4	O4	O1,O2,O4,P1,A1,S1,S3	O4
O5	O5,P2,E1,C4,C5,A2,A5,2	O5	O5	O5	O5
O6	O6,E1,E2,E3,C1,C5,A2,A5,S2	O6	O6	O1,O2,O4,O6,P1,A1,S1,S3	O6
P1	O3,O4,O6,P1,P2,P3,E1,E2,E3,C1,C2,C3,C4,C5,A1,A2,A3,A4,A5,S1,S2,S3,S4	P1,A1	P1	P1,A1	P1,A1
P2	P2,E1,C4,C5,A2,A5,S2	P2	P2	O5,P1,P2,A1,S3	P2
P3	P3,E1,S2	P3	P3	O1,O2,O4,P1,P3,A1,S1,S3	P3
E1	E1,S2	E1,S2	E1	O1,O2,O3,O4,O5,O6,P1,P2,P3,E1,C2,C3,C4,A1,S1	E1,S2
E2	E2	E2	E2	O1,O2,O4,O6,P1,E2,A1,S1,S3	E2
E3	E3,C5	E3	E3	O1,O2,O4,O6,P1,E3,A1,S1,S3	E3
C1	C1,A2,A5	C1	C1	O1,O2,O4,O6,P1,C1,C2,A1,S1,S3	C1
C2	E1,C1,C2,C5,A2,A5,S2	C2	C2	O1,O2,O4,P1,C2,A1,S1,S3	C2
C3	E1,C3,C4,S2	C3	C3	O1,O2,O3,O4,P1,C3,A1,S1,S3	C3
C4	E1,C4,S2	C4	C4	O1,O2,O3,O4,O5,P1,P2,C3,C4,A1,S1,S3	C4
C5	C5	C5	C5	O1,O2,O4,O5,O6,P1,P2,E3,C2,C5,A1,S1,S3	C5
A1	O3,O4,O6,P1,P2,P3,E1,E2,E3,C1,C2,C3,C4,C5,A1,A2,A3,A4,A5,S1,	P1,A1	A1	P1,A1	P1,A1
A2	A2,A5	A2	A2	O1,O2,O4,O5,O6,P1,P2,C1,C2,A1,A2,S1,S3	A2
A3	A3	A3	A3	O1,O2,O3,O4,P1,A1,A3,S1,S3,S4	A3
A4	A4	A4	A4	P1,A1,A4,S3	A4
			S1	O1,O2,O4,O5,O6,P1,P2,C1,C2,A1,A2,A5,S1,S3	A5
			S1	P1,A1,S1,S3	S1

A5	A5	A5	S2	O1,O2,O3,O4,O5,O6,P1,P2,P3,E1,C2,C3,C4,A1,S1	E1,S2
S1	O3,O4,O6,P3,E1,E2,E3,C1,C2,C3,C4,C5,A2,A3,A5,S1,S2	S1	S3	P1,A1,S3	S3
S2	E1,S2	E1,S2	S4	P1,A1,S3,S4	S4
S3	O3,O4,O6,P2,P3,E1,E2,E3,C1,C2,C3,C4,C5,A2,A3,A4,A5,S1,S2,S3,	S3			
S4	A3,S4	S4			
抽取出 E1,E2,C5,A3,A4,A5,S2 放置上层, 删除后剩余的情况如下:			抽取出 O1 ,O5 ,P1 ,A1 放置下层, 删除后剩余的情况如下:		
	R _e	T _e		Q _e	T _e
O1	O1,O2,O4,O6,P3,E3,C1,C2,C3,C4,A2	O1	O2	O2	O2
O2	O2,O4,O6,P3,E3,C1,C2,C3,C4,A2	O2	O3	O3,S1,S3	O3
O3	O3,C3,C4	O3	O4	O2,O4,S1,S3	O4
O4	O4,O6,P3,E3,C1,C2,C3,C4,A2	O4	O6	O2,O4,O6,S1,S3	O6
O5	O5,P2,C4,A2	O5	P2	P2,S3	P2
O6	O6,E3,C1,A2	O6	P3	O2,O4,P3,S1,S3	P3
P1	O3,O4,O6,P1,P2,P3,E3,C1,C2,C3,C4,A1,A2,S1,S3,S4	P1,A1	E1	O2,O3,O4,O6,P2,P3,E1,C2,C3,C4,S1,S2,S3	E1,S2
P2	P2,C4,A2	P2	E2	O2,O4,O6,E2,S1,S3	E2
P3	P3	P3	E3	O2,O4,O6,E3,S1,S3	E3
E3	E3	E3	C1	O2,O4,O6,C1,C2,S1,S3	C1
C1	C1,A2	C1	C2	O2,O4,C2,S1,S3	C2
C2	C1,C2,A2	C2	C3	O2,O3,O4,C3,S1,S3	C3
C3	C3,C4	C3	C4	O2,O3,O4,P2,C3,C4,S1,S3	C4
C4	C4	C4	C5	O2,O4,O6,P2,E3,C2,C5,S1,S3	C5
A1	O3,O4,O6,P1,P2,P3,E3,C1,C2,C3,C4,A1,A2,S1,S3,S4	P1,A1	A2	O2,O4,O6,P2,C1,C2,A2,S1,S3	A2
A2	A2	A2	A3	O2,O3,O4,A3,S1,S3,S4	A3
S1	O3,O4,O6,P3,E3,C1,C2,C3,C4,A2,S1	S1	A4	A4,S3	A4
S3	O3,O4,O6,P2,P3,E3,C1,C2,C3,C4,A2,S1,S3,S4	S3	A5	O2,O4,O6,P2,C1,C2,A2,A5,S1,S3	A5
S4	S4	S4	S1	S1,S3	S1

	<table border="1"> <tr> <td>S2</td> <td>O2,O3,O4,O6,P2,P3,E1,C2,C3,C4,S1,S2,S3</td> <td>E1,S2</td> </tr> <tr> <td>S3</td> <td>S3</td> <td>S3</td> </tr> <tr> <td>S4</td> <td>S3,S4</td> <td>S4</td> </tr> </table>	S2	O2,O3,O4,O6,P2,P3,E1,C2,C3,C4,S1,S2,S3	E1,S2	S3	S3	S3	S4	S3,S4	S4																																																																																																			
S2	O2,O3,O4,O6,P2,P3,E1,C2,C3,C4,S1,S2,S3	E1,S2																																																																																																											
S3	S3	S3																																																																																																											
S4	S3,S4	S4																																																																																																											
<p>抽取出 P3,E3,C4,A2,S4 放置上层，删除后剩余的情况如下：</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>R_e</th> <th>T_e</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>O1</td> <td>O1,O2,O4,O6,C1,C2,C3</td> <td>O1</td> </tr> <tr> <td>O2</td> <td>O2,O4,O6,C1,C2,C3</td> <td>O2</td> </tr> <tr> <td>O3</td> <td>O3,C3</td> <td>O3</td> </tr> <tr> <td>O4</td> <td>O4,O6,C1,C2,C3</td> <td>O4</td> </tr> <tr> <td>O5</td> <td>O5,P2</td> <td>O5</td> </tr> <tr> <td>O6</td> <td>O6,C1</td> <td>O6</td> </tr> <tr> <td>P1</td> <td>O3,O4,O6,P1,P2,C1,C2,C3,A1,S1,S3</td> <td>P1,A1</td> </tr> <tr> <td>P2</td> <td>P2</td> <td>P2</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>C1</td> <td>C1</td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>C1,C2</td> <td>C2</td> </tr> <tr> <td>C3</td> <td>C3</td> <td>C3</td> </tr> <tr> <td>A1</td> <td>O3,O4,O6,P1,P2,C1,C2,C3,A1,S1,S3</td> <td>P1,A1</td> </tr> <tr> <td>S1</td> <td>O3,O4,O6,C1,C2,C3,S1</td> <td>S1</td> </tr> <tr> <td>S3</td> <td>O3,O4,O6,P2,C1,C2,C3,S1,S3</td> <td>S3</td> </tr> </tbody> </table>		R _e	T _e	O1	O1,O2,O4,O6,C1,C2,C3	O1	O2	O2,O4,O6,C1,C2,C3	O2	O3	O3,C3	O3	O4	O4,O6,C1,C2,C3	O4	O5	O5,P2	O5	O6	O6,C1	O6	P1	O3,O4,O6,P1,P2,C1,C2,C3,A1,S1,S3	P1,A1	P2	P2	P2	C1	C1	C1	C2	C1,C2	C2	C3	C3	C3	A1	O3,O4,O6,P1,P2,C1,C2,C3,A1,S1,S3	P1,A1	S1	O3,O4,O6,C1,C2,C3,S1	S1	S3	O3,O4,O6,P2,C1,C2,C3,S1,S3	S3	<p>抽取出 O2 ,S3 放置下层，删除后剩余的情况如下：</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Q_e</th> <th>T_e</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>O3</td> <td>O3,S1</td> <td>O3</td> </tr> <tr> <td>O4</td> <td>O4,S1</td> <td>O4</td> </tr> <tr> <td>O6</td> <td>O4,O6,S1</td> <td>O6</td> </tr> <tr> <td>P2</td> <td>P2</td> <td>P2</td> </tr> <tr> <td>P3</td> <td>O4,P3,S1</td> <td>P3</td> </tr> <tr> <td>E1</td> <td>O3,O4,O6,P2,P3,E1,C2,C3,C4,S1,S2</td> <td>E1,S2</td> </tr> <tr> <td>E2</td> <td>O4,O6,E2,S1</td> <td>E2</td> </tr> <tr> <td>E3</td> <td>O4,O6,E3,S1</td> <td>E3</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>O4,O6,C1,C2,S1</td> <td>C1</td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>O4,C2,S1</td> <td>C2</td> </tr> <tr> <td>C3</td> <td>O3,O4,C3,S1</td> <td>C3</td> </tr> <tr> <td>C4</td> <td>O3,O4,P2,C3,C4,S1</td> <td>C4</td> </tr> <tr> <td>C5</td> <td>O4,O6,P2,E3,C2,C5,S1</td> <td>C5</td> </tr> <tr> <td>A2</td> <td>O4,O6,P2,C1,C2,A2,S1</td> <td>A2</td> </tr> <tr> <td>A3</td> <td>O3,O4,A3,S1,S4</td> <td>A3</td> </tr> <tr> <td>A4</td> <td>A4</td> <td>A4</td> </tr> <tr> <td>A5</td> <td>O4,O6,P2,C1,C2,A2,A5,S1</td> <td>A5</td> </tr> <tr> <td>S1</td> <td>S1</td> <td>S1</td> </tr> <tr> <td>S2</td> <td>O3,O4,O6,P2,P3,E1,C2,C3,C4,S1,S2</td> <td>E1,S2</td> </tr> <tr> <td>S4</td> <td>S4</td> <td>S4</td> </tr> </tbody> </table>		Q _e	T _e	O3	O3,S1	O3	O4	O4,S1	O4	O6	O4,O6,S1	O6	P2	P2	P2	P3	O4,P3,S1	P3	E1	O3,O4,O6,P2,P3,E1,C2,C3,C4,S1,S2	E1,S2	E2	O4,O6,E2,S1	E2	E3	O4,O6,E3,S1	E3	C1	O4,O6,C1,C2,S1	C1	C2	O4,C2,S1	C2	C3	O3,O4,C3,S1	C3	C4	O3,O4,P2,C3,C4,S1	C4	C5	O4,O6,P2,E3,C2,C5,S1	C5	A2	O4,O6,P2,C1,C2,A2,S1	A2	A3	O3,O4,A3,S1,S4	A3	A4	A4	A4	A5	O4,O6,P2,C1,C2,A2,A5,S1	A5	S1	S1	S1	S2	O3,O4,O6,P2,P3,E1,C2,C3,C4,S1,S2	E1,S2	S4	S4	S4
	R _e	T _e																																																																																																											
O1	O1,O2,O4,O6,C1,C2,C3	O1																																																																																																											
O2	O2,O4,O6,C1,C2,C3	O2																																																																																																											
O3	O3,C3	O3																																																																																																											
O4	O4,O6,C1,C2,C3	O4																																																																																																											
O5	O5,P2	O5																																																																																																											
O6	O6,C1	O6																																																																																																											
P1	O3,O4,O6,P1,P2,C1,C2,C3,A1,S1,S3	P1,A1																																																																																																											
P2	P2	P2																																																																																																											
C1	C1	C1																																																																																																											
C2	C1,C2	C2																																																																																																											
C3	C3	C3																																																																																																											
A1	O3,O4,O6,P1,P2,C1,C2,C3,A1,S1,S3	P1,A1																																																																																																											
S1	O3,O4,O6,C1,C2,C3,S1	S1																																																																																																											
S3	O3,O4,O6,P2,C1,C2,C3,S1,S3	S3																																																																																																											
	Q _e	T _e																																																																																																											
O3	O3,S1	O3																																																																																																											
O4	O4,S1	O4																																																																																																											
O6	O4,O6,S1	O6																																																																																																											
P2	P2	P2																																																																																																											
P3	O4,P3,S1	P3																																																																																																											
E1	O3,O4,O6,P2,P3,E1,C2,C3,C4,S1,S2	E1,S2																																																																																																											
E2	O4,O6,E2,S1	E2																																																																																																											
E3	O4,O6,E3,S1	E3																																																																																																											
C1	O4,O6,C1,C2,S1	C1																																																																																																											
C2	O4,C2,S1	C2																																																																																																											
C3	O3,O4,C3,S1	C3																																																																																																											
C4	O3,O4,P2,C3,C4,S1	C4																																																																																																											
C5	O4,O6,P2,E3,C2,C5,S1	C5																																																																																																											
A2	O4,O6,P2,C1,C2,A2,S1	A2																																																																																																											
A3	O3,O4,A3,S1,S4	A3																																																																																																											
A4	A4	A4																																																																																																											
A5	O4,O6,P2,C1,C2,A2,A5,S1	A5																																																																																																											
S1	S1	S1																																																																																																											
S2	O3,O4,O6,P2,P3,E1,C2,C3,C4,S1,S2	E1,S2																																																																																																											
S4	S4	S4																																																																																																											
<p>抽取出 P2,C1,C3 放置上层，删除后剩余的情况如下：</p>	<p>抽取出 P2 ,A4 ,S1 ,S4 放置下层，删除后剩余的情况如下：</p>																																																																																																												

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>R_e</th> <th>T_e</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>O1</td><td>O1,O2,O4,O6,C2</td><td>O1</td></tr> <tr><td>O2</td><td>O2,O4,O6,C2</td><td>O2</td></tr> <tr><td>O3</td><td>O3</td><td>O3</td></tr> <tr><td>O4</td><td>O4,O6,C2</td><td>O4</td></tr> <tr><td>O5</td><td>O5</td><td>O5</td></tr> <tr><td>O6</td><td>O6</td><td>O6</td></tr> <tr><td>P1</td><td>O3,O4,O6,P1,C2,A1,S1,S3</td><td>P1,A1</td></tr> <tr><td>C2</td><td>C2</td><td>C2</td></tr> <tr><td>A1</td><td>O3,O4,O6,P1,C2,A1,S1,S3</td><td>P1,A1</td></tr> <tr><td>S1</td><td>O3,O4,O6,C2,S1</td><td>S1</td></tr> <tr><td>S3</td><td>O3,O4,O6,C2,S1,S3</td><td>S3</td></tr> </tbody> </table>		R _e	T _e	O1	O1,O2,O4,O6,C2	O1	O2	O2,O4,O6,C2	O2	O3	O3	O3	O4	O4,O6,C2	O4	O5	O5	O5	O6	O6	O6	P1	O3,O4,O6,P1,C2,A1,S1,S3	P1,A1	C2	C2	C2	A1	O3,O4,O6,P1,C2,A1,S1,S3	P1,A1	S1	O3,O4,O6,C2,S1	S1	S3	O3,O4,O6,C2,S1,S3	S3	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Q_e</th> <th>T_e</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>O3</td><td>O3</td><td>O3</td></tr> <tr><td>O4</td><td>O4</td><td>O4</td></tr> <tr><td>O6</td><td>O4,O6</td><td>O6</td></tr> <tr><td>P3</td><td>O4,P3</td><td>P3</td></tr> <tr><td>E1</td><td>O3,O4,O6,P3,E1,C2,C3,C4,S2</td><td>E1,S2</td></tr> <tr><td>E2</td><td>O4,O6,E2</td><td>E2</td></tr> <tr><td>E3</td><td>O4,O6,E3</td><td>E3</td></tr> <tr><td>C1</td><td>O4,O6,C1,C2</td><td>C1</td></tr> <tr><td>C2</td><td>O4,C2</td><td>C2</td></tr> <tr><td>C3</td><td>O3,O4,C3</td><td>C3</td></tr> <tr><td>C4</td><td>O3,O4,C3,C4</td><td>C4</td></tr> <tr><td>C5</td><td>O4,O6,E3,C2,C5</td><td>C5</td></tr> <tr><td>A2</td><td>O4,O6,C1,C2,A2</td><td>A2</td></tr> <tr><td>A3</td><td>O3,O4,A3</td><td>A3</td></tr> <tr><td>A5</td><td>O4,O6,C1,C2,A2,A5</td><td>A5</td></tr> <tr><td>S2</td><td>O3,O4,O6,P3,E1,C2,C3,C4,S2</td><td>E1,S2</td></tr> </tbody> </table>		Q _e	T _e	O3	O3	O3	O4	O4	O4	O6	O4,O6	O6	P3	O4,P3	P3	E1	O3,O4,O6,P3,E1,C2,C3,C4,S2	E1,S2	E2	O4,O6,E2	E2	E3	O4,O6,E3	E3	C1	O4,O6,C1,C2	C1	C2	O4,C2	C2	C3	O3,O4,C3	C3	C4	O3,O4,C3,C4	C4	C5	O4,O6,E3,C2,C5	C5	A2	O4,O6,C1,C2,A2	A2	A3	O3,O4,A3	A3	A5	O4,O6,C1,C2,A2,A5	A5	S2	O3,O4,O6,P3,E1,C2,C3,C4,S2	E1,S2
	R _e	T _e																																																																																						
O1	O1,O2,O4,O6,C2	O1																																																																																						
O2	O2,O4,O6,C2	O2																																																																																						
O3	O3	O3																																																																																						
O4	O4,O6,C2	O4																																																																																						
O5	O5	O5																																																																																						
O6	O6	O6																																																																																						
P1	O3,O4,O6,P1,C2,A1,S1,S3	P1,A1																																																																																						
C2	C2	C2																																																																																						
A1	O3,O4,O6,P1,C2,A1,S1,S3	P1,A1																																																																																						
S1	O3,O4,O6,C2,S1	S1																																																																																						
S3	O3,O4,O6,C2,S1,S3	S3																																																																																						
	Q _e	T _e																																																																																						
O3	O3	O3																																																																																						
O4	O4	O4																																																																																						
O6	O4,O6	O6																																																																																						
P3	O4,P3	P3																																																																																						
E1	O3,O4,O6,P3,E1,C2,C3,C4,S2	E1,S2																																																																																						
E2	O4,O6,E2	E2																																																																																						
E3	O4,O6,E3	E3																																																																																						
C1	O4,O6,C1,C2	C1																																																																																						
C2	O4,C2	C2																																																																																						
C3	O3,O4,C3	C3																																																																																						
C4	O3,O4,C3,C4	C4																																																																																						
C5	O4,O6,E3,C2,C5	C5																																																																																						
A2	O4,O6,C1,C2,A2	A2																																																																																						
A3	O3,O4,A3	A3																																																																																						
A5	O4,O6,C1,C2,A2,A5	A5																																																																																						
S2	O3,O4,O6,P3,E1,C2,C3,C4,S2	E1,S2																																																																																						
抽取出 O3 ,O5 ,O6 ,C2 放置上层，删除后剩余的情况如下：	抽取出 O3 ,O4 放置下层，删除后剩余的情况如下：																																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>R_e</th> <th>T_e</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>O1</td><td>O1,O2,O4</td><td>O1</td></tr> <tr><td>O2</td><td>O2,O4</td><td>O2</td></tr> <tr><td>O4</td><td>O4</td><td>O4</td></tr> <tr><td>P1</td><td>O4,P1,A1,S1,S3</td><td>P1,A1</td></tr> <tr><td>A1</td><td>O4,P1,A1,S1,S3</td><td>P1,A1</td></tr> <tr><td>S1</td><td>O4,S1</td><td>S1</td></tr> <tr><td>S3</td><td>O4,S1,S3</td><td>S3</td></tr> </tbody> </table>		R _e	T _e	O1	O1,O2,O4	O1	O2	O2,O4	O2	O4	O4	O4	P1	O4,P1,A1,S1,S3	P1,A1	A1	O4,P1,A1,S1,S3	P1,A1	S1	O4,S1	S1	S3	O4,S1,S3	S3	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Q_e</th> <th>T_e</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>O6</td><td>O6</td><td>O6</td></tr> <tr><td>P3</td><td>P3</td><td>P3</td></tr> <tr><td>E1</td><td>O6,P3,E1,C2,C3,C4,S2</td><td>E1,S2</td></tr> <tr><td>E2</td><td>O6,E2</td><td>E2</td></tr> <tr><td>E3</td><td>O6,E3</td><td>E3</td></tr> <tr><td>C1</td><td>O6,C1,C2</td><td>C1</td></tr> <tr><td>C2</td><td>C2</td><td>C2</td></tr> <tr><td>C3</td><td>C3</td><td>C3</td></tr> </tbody> </table>		Q _e	T _e	O6	O6	O6	P3	P3	P3	E1	O6,P3,E1,C2,C3,C4,S2	E1,S2	E2	O6,E2	E2	E3	O6,E3	E3	C1	O6,C1,C2	C1	C2	C2	C2	C3	C3	C3																																				
	R _e	T _e																																																																																						
O1	O1,O2,O4	O1																																																																																						
O2	O2,O4	O2																																																																																						
O4	O4	O4																																																																																						
P1	O4,P1,A1,S1,S3	P1,A1																																																																																						
A1	O4,P1,A1,S1,S3	P1,A1																																																																																						
S1	O4,S1	S1																																																																																						
S3	O4,S1,S3	S3																																																																																						
	Q _e	T _e																																																																																						
O6	O6	O6																																																																																						
P3	P3	P3																																																																																						
E1	O6,P3,E1,C2,C3,C4,S2	E1,S2																																																																																						
E2	O6,E2	E2																																																																																						
E3	O6,E3	E3																																																																																						
C1	O6,C1,C2	C1																																																																																						
C2	C2	C2																																																																																						
C3	C3	C3																																																																																						

				C4	C3,C4	C4																																																				
				C5	O6,E3,C2,C5	C5																																																				
				A2	O6,C1,C2,A2	A2																																																				
				A3	A3	A3																																																				
				A5	O6,C1,C2,A2,A5	A5																																																				
				S2	O6,P3,E1,C2,C3,C4,S2	E1,S2																																																				
<p>抽取 O4 放置上层，删除后剩余的情况如下：</p>				<p>抽取 O6 ,P3 ,C2 ,C3 ,A3 放置下层，删除后剩余的情况如下：</p>																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>R_e</th> <th>T_e</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>O1</td> <td>O1,O2</td> <td>O1</td> </tr> <tr> <td>O2</td> <td>O2</td> <td>O2</td> </tr> <tr> <td>P1</td> <td>P1,A1,S1,S3</td> <td>P1,A1</td> </tr> <tr> <td>A1</td> <td>P1,A1,S1,S3</td> <td>P1,A1</td> </tr> <tr> <td>S1</td> <td>S1</td> <td>S1</td> </tr> <tr> <td>S3</td> <td>S1,S3</td> <td>S3</td> </tr> </tbody> </table>					R _e	T _e	O1	O1,O2	O1	O2	O2	O2	P1	P1,A1,S1,S3	P1,A1	A1	P1,A1,S1,S3	P1,A1	S1	S1	S1	S3	S1,S3	S3	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Q_e</th> <th>T_e</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E1</td> <td>E1,C4,S2</td> <td>E1,S2</td> </tr> <tr> <td>E2</td> <td>E2</td> <td>E2</td> </tr> <tr> <td>E3</td> <td>E3</td> <td>E3</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>C1</td> <td>C1</td> </tr> <tr> <td>C4</td> <td>C4</td> <td>C4</td> </tr> <tr> <td>C5</td> <td>E3,C5</td> <td>C5</td> </tr> <tr> <td>A2</td> <td>C1,A2</td> <td>A2</td> </tr> <tr> <td>A5</td> <td>C1,A2,A5</td> <td>A5</td> </tr> <tr> <td>S2</td> <td>E1,C4,S2</td> <td>E1,S2</td> </tr> </tbody> </table>					Q _e	T _e	E1	E1,C4,S2	E1,S2	E2	E2	E2	E3	E3	E3	C1	C1	C1	C4	C4	C4	C5	E3,C5	C5	A2	C1,A2	A2	A5	C1,A2,A5	A5	S2	E1,C4,S2	E1,S2
	R _e	T _e																																																								
O1	O1,O2	O1																																																								
O2	O2	O2																																																								
P1	P1,A1,S1,S3	P1,A1																																																								
A1	P1,A1,S1,S3	P1,A1																																																								
S1	S1	S1																																																								
S3	S1,S3	S3																																																								
	Q _e	T _e																																																								
E1	E1,C4,S2	E1,S2																																																								
E2	E2	E2																																																								
E3	E3	E3																																																								
C1	C1	C1																																																								
C4	C4	C4																																																								
C5	E3,C5	C5																																																								
A2	C1,A2	A2																																																								
A5	C1,A2,A5	A5																																																								
S2	E1,C4,S2	E1,S2																																																								
<p>抽取 O2 ,S1 放置上层，删除后剩余的情况如下：</p>				<p>抽取 E2 ,E3 ,C1 ,C4 放置下层，删除后剩余的情况如下：如下</p>																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>R_e</th> <th>T_e</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>O1</td> <td>O1</td> <td>O1</td> </tr> <tr> <td>P1</td> <td>P1,A1,S3</td> <td>P1,A1</td> </tr> <tr> <td>A1</td> <td>P1,A1,S3</td> <td>P1,A1</td> </tr> <tr> <td>S3</td> <td>S3</td> <td>S3</td> </tr> </tbody> </table>					R _e	T _e	O1	O1	O1	P1	P1,A1,S3	P1,A1	A1	P1,A1,S3	P1,A1	S3	S3	S3	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Q_e</th> <th>T_e</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E1</td> <td>E1,S2</td> <td>E1,S2</td> </tr> <tr> <td>C5</td> <td>C5</td> <td>C5</td> </tr> <tr> <td>A2</td> <td>A2</td> <td>A2</td> </tr> <tr> <td>A5</td> <td>A2,A5</td> <td>A5</td> </tr> <tr> <td>S2</td> <td>E1,S2</td> <td>E1,S2</td> </tr> </tbody> </table>					Q _e	T _e	E1	E1,S2	E1,S2	C5	C5	C5	A2	A2	A2	A5	A2,A5	A5	S2	E1,S2	E1,S2																		
	R _e	T _e																																																								
O1	O1	O1																																																								
P1	P1,A1,S3	P1,A1																																																								
A1	P1,A1,S3	P1,A1																																																								
S3	S3	S3																																																								
	Q _e	T _e																																																								
E1	E1,S2	E1,S2																																																								
C5	C5	C5																																																								
A2	A2	A2																																																								
A5	A2,A5	A5																																																								
S2	E1,S2	E1,S2																																																								
<p>抽取 O1 ,S3 放置上层，删除后剩余的情况如下：</p>				<p>抽取 E1 ,C5 ,A2 ,S2 放置下层，删除后剩余的情况如下：如下</p>																																																						

<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">R_e</td> <td style="text-align: center;">T_e</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">P1</td> <td style="text-align: center;">P1,A1</td> <td style="text-align: center;">P1,A1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A1</td> <td style="text-align: center;">P1,A1</td> <td style="text-align: center;">P1,A1</td> </tr> </table>		R _e	T _e	P1	P1,A1	P1,A1	A1	P1,A1	P1,A1	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">Q</td> <td style="text-align: center;">T</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A5</td> <td style="text-align: center;">A5</td> <td style="text-align: center;">A5</td> </tr> </table>		Q	T	A5	A5	A5																					
	R _e	T _e																																			
P1	P1,A1	P1,A1																																			
A1	P1,A1	P1,A1																																			
	Q	T																																			
A5	A5	A5																																			
抽取出 P1 ,A1 放置上层，删除后剩余的情况如下：	抽取出 A5 放置下层，删除后剩余的情况如下：如下																																				
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>层级</th> <th>结果优先——UP 型</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>第 0 层</td> <td>E1 ,E2 ,C5 ,A3 ,A4 ,A5 ,S2</td> </tr> <tr> <td>第 1 层</td> <td>P3 ,E3 ,C4 ,A2 ,S4</td> </tr> <tr> <td>第 2 层</td> <td>P2 ,C1 ,C3</td> </tr> <tr> <td>第 3 层</td> <td>O3 ,O5 ,O6 ,C2</td> </tr> <tr> <td>第 4 层</td> <td>O4</td> </tr> <tr> <td>第 5 层</td> <td>O2 ,S1</td> </tr> <tr> <td>第 6 层</td> <td>O1 ,S3</td> </tr> <tr> <td>第 7 层</td> <td>P1 ,A1</td> </tr> </tbody> </table>	层级	结果优先——UP 型	第 0 层	E1 ,E2 ,C5 ,A3 ,A4 ,A5 ,S2	第 1 层	P3 ,E3 ,C4 ,A2 ,S4	第 2 层	P2 ,C1 ,C3	第 3 层	O3 ,O5 ,O6 ,C2	第 4 层	O4	第 5 层	O2 ,S1	第 6 层	O1 ,S3	第 7 层	P1 ,A1	<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>层级</th> <th>原因优先——DOWN 型</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>第 0 层</td> <td>A5</td> </tr> <tr> <td>第 1 层</td> <td>E1 ,C5 ,A2 ,S2</td> </tr> <tr> <td>第 2 层</td> <td>E2 ,E3 ,C1 ,C4</td> </tr> <tr> <td>第 3 层</td> <td>O6 ,P3 ,C2 ,C3 ,A3</td> </tr> <tr> <td>第 4 层</td> <td>O3 ,O4</td> </tr> <tr> <td>第 5 层</td> <td>P2 ,A4 ,S1 ,S4</td> </tr> <tr> <td>第 6 层</td> <td>O2 ,S3</td> </tr> <tr> <td>第 7 层</td> <td>O1 ,O5 ,P1 ,A1</td> </tr> </tbody> </table>	层级	原因优先——DOWN 型	第 0 层	A5	第 1 层	E1 ,C5 ,A2 ,S2	第 2 层	E2 ,E3 ,C1 ,C4	第 3 层	O6 ,P3 ,C2 ,C3 ,A3	第 4 层	O3 ,O4	第 5 层	P2 ,A4 ,S1 ,S4	第 6 层	O2 ,S3	第 7 层	O1 ,O5 ,P1 ,A1
层级	结果优先——UP 型																																				
第 0 层	E1 ,E2 ,C5 ,A3 ,A4 ,A5 ,S2																																				
第 1 层	P3 ,E3 ,C4 ,A2 ,S4																																				
第 2 层	P2 ,C1 ,C3																																				
第 3 层	O3 ,O5 ,O6 ,C2																																				
第 4 层	O4																																				
第 5 层	O2 ,S1																																				
第 6 层	O1 ,S3																																				
第 7 层	P1 ,A1																																				
层级	原因优先——DOWN 型																																				
第 0 层	A5																																				
第 1 层	E1 ,C5 ,A2 ,S2																																				
第 2 层	E2 ,E3 ,C1 ,C4																																				
第 3 层	O6 ,P3 ,C2 ,C3 ,A3																																				
第 4 层	O3 ,O4																																				
第 5 层	P2 ,A4 ,S1 ,S4																																				
第 6 层	O2 ,S3																																				
第 7 层	O1 ,O5 ,P1 ,A1																																				

附录 C 安全管理绩效影响因素两两比较判断调查问卷

您好!本次调查希望能够了解您对本企业安全管理绩效各影响因素之间重要性的评分。本次调查问卷的结果数据仅用于企业安全管理绩效影响因素指标权重研究,我们会将您填写的数据严格保密,您的配合与相助对本次研究至关重要,由衷的表示感谢!

一、填写说明介绍

表 C-1 Saaty 1-9 标度法的具体含义

标度	定义	含义
1	同样的重要,一样的重要	要素 i 和要素 j 一样的重要
3	稍微的重要一点	要素 i 比要素 j 稍微更重要一点
5	明显地重要	i 比 j 明显的重要
7	强烈的,很强烈的重要	要素 i 远远比要素 j 重要
9	极端的、非常强烈的重要	i 比 j 的重要性具有极端性
2, 4, 6, 8	分别为 1、3、5、7、9 的中间值	取的中间妥协值
倒数	a_{ij} 与 a_{ji} 互为倒数,即互反性	

按照表 C-1 所示,对要素进行两两比较判断评分,需要比较的要素已经列出,判断时按“行”与“列”各因素比较,以表 C-2 为例进行填写说明,如下表所示,如果认为“组织管理”相对“安全文化建设”稍微重要,则填 3;如果一个因素相对于另一个因素来说重要性低,则填两因素颠倒过来比较值的倒数。如认为“事故与应急管理”比“过程管控”稍微重要,则填 1/3。

表 C-2 填写说明示例

	组织管理 O	安全文化建设 S	事故与应急管理 A	过程管控 C
组织管理 O	0	3	0	0
安全文化建设 S	0	0	0	0
事故与应急管理 A	0	0	0	0
过程管控 C	0	0	1/3	0

二、问卷正文

表 C-3 影响因素关系表

	O1	O2	O3	O4	O5	O6	P1	P2	P3	E1	E2	E3	C1	C2	C3	C4	C5	A1	A2	A3	A4	A5	S1	S2	S3	S4		
O1																												
O2																												
O3																												
O4																												
O5																												
O6																												
P1																												
P2																												
P3																												
E1																												
E2																												
E3																												
C1																												
C2																												
C3																												
C4																												
C5																												
A1																												
A2																												
A3																												
A4																												
A5																												
S1																												
S2																												
S3																												
S4																												

问卷到此结束，感谢您的参与，谢谢！

附录 D ES 公司安全管理绩效评价打分表

您好！本次调查希望能够了解您对本企业安全管理绩效表现的评分。本次调查问卷的结果数据仅用于企业安全管理绩效评价研究，我们会将您填写的数据严格保密，您的配合与相助对本次研究至关重要，由衷的表示感谢！

一、填写说明介绍

请依据本企业安全管理工作实际，对安全管理绩效各项指标进行评分，用 0 到 1 之间的数表示绩效值的大小，对应定义如下表 D-1：

表 D-1 安全管理绩效等级划分

评价等级	优秀	良好	及格	较差	差
分值范围	[1-0.8)	[0.8-0.6)	[0.6-0.4)	[0.4-0.2)	[0.2-0)

二、问卷正文

表 D-2 ES 公司安全管绩效评分表

序号	一级指标	二级指标	评分
1		法规标准及时更新 O_1	
2		程序制度规程健全 O_2	
3	组织管理 O	机构及专职人员健全 O_3	
4		责任制建立和落实 O_4	
5		安全会议开展 O_5	
6	人员管理 P	宣传教育及培训 P_1	
7		员工安全意识行为 P_2	
8		现场作业环境 E_1	
9	设备设施与作业环境 E	设备设施维护保养 E_2	
10		个人防护用品 E_3	
11		危险源辨识与风险评价控制 C_1	
12	过程管控 C	作业过程监管 C_2	
13		监督检查 C_3	
14		应急培训与演练 A_1	
15	事故与应急管理 A	事故预防措施 A_2	
16		事故处理 A_3	
17		事故整改及经验反馈 A_4	

(续)表 D-2 ES 公司安全管绩效评分表

序号	一级指标	二级指标	评分
18	安全文化建设 S	安全方针政策与目标S ₁	
19		标准化建设S ₂	
20		核安全文化学习S ₃	
21		信息沟通S ₄	

问卷到此结束，感谢您的参与，谢谢！

附录 E 灰色聚类法计算中的矩阵

表 E-1 第 1 灰类可能度矩阵

	专家一	专家二	专家三	专家四	专家五	专家六	专家七	专家八
O1	0	0	0	0	0	0	0	0
O2	0	0	0	0	0	0	0	0
O3	0	0	0	0	0	0	0	0
O4	0	0	0	0	0	0	0	0
O5	0	0	0	0	0	0	0	0
O6	0	0	0	0	0	0	0	0
P1	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0
E1	0	0	0	0	0	0	0	0
E2	0	0	0	0	0	0	0	0
E3	0	0	0	0	0	0	0	0
C1	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	0	0	0	0	0	0	0	0
A1	0	0	0	0	0	0	0	0
A2	0	0	0	0	0	0	0	0
A3	0	0	0	0	0	0	0	0
A4	0	0	0	0	0	0	0	0
A5	0	0	0	0	0	0	0	0
S1	0	0	0	0	0	0	0	0
S2	0	0	0	0	0	0	0	0
S3	1	0	0	0	0	0	0	0
S4	0	0	0	0	0	0	0	0

表 E-2 第 2 灰类可能度矩阵

	专家一	专家二	专家三	专家四	专家五	专家六	专家七	专家八
O1	0	0	0	0	0	0	0	0
O2	0	0	0	0	0	0	0	0
O3	0	0	0	0	0	0	0	0
O4	0	0	0	0	0	0	0	0
O5	0	0	0	0	0	0	0	0
O6	0	0	0	0	0	0	0	0
P1	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0
E1	0	0	0	0	0	0	0	0
E2	0	0	0	0	0	0	0	0
E3	0	0	0	0	0	0	0	0
C1	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	0	0	0	0	0	0	0	0
A1	0	0	0	0	0	0	0	0
A2	0	0	0	0	0	0	0	0
A3	0	0	0	0	0	0	0	0
A4	0	0	0	0	0	0	0	0
A5	0	0	0	0	0	0	0	0
S1	0	0	0	0	0	0	0	0
S2	0	0	0	0	0	0	0	0
S3	1	0	0	0	0	0	0	0
S4	0	0	0	0	0	0	0	0

表 E-3 第 3 灰类可能度矩阵

	专家一	专家二	专家三	专家四	专家五	专家六	专家七	专家八
O1	0	0	0	0	0	0	0	0
O2	0	0	0	0	0	0	0	0
O3	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5
O4	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0.5
O5	0	0	0	0	0	0	0.5	0
O6	0	0	0	0	0	0	0	0
P1	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5
P2	1	0.5	0.5	1	0.5	0	0.5	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0
E1	0	0	0	0	0	0	0	0
E2	0	0	0	0	0	0	0	0
E3	0	0	0	0	0	0	0	0
C1	0	0	0	0	0	0	0	0.5
C2	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	0	0	0	0	0	0	0	0
A1	0	0.5	0	0.5	0	0	0	0
A2	0	0	0	0	0	0	0	0
A3	0	0	0	0	0	0	0	0
A4	0	0	0	0	0	0	0	0
A5	0	0	0	0	0	0	0	0
S1	0	0	0	0	0	0	0	0
S2	1	0.5	1	0.5	0.5	0	0.5	1
S3	0	1	1	1	0.5	0	0.5	1
S4	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0.5

表 E-4 第 4 灰类可能度矩阵

	专家一	专家二	专家三	专家四	专家五	专家六	专家七	专家八
O1	0.5	0	0	0	0	0.5	0.5	1
O2	0.5	0.5	1	0	0	0.5	0	1
O3	1	0.5	1	1	1	1	0.5	0.5
O4	0.5	0.5	0.5	1	0.5	1	0.5	0.5
O5	0.5	0.5	0.5	1	1	0.5	0.5	1
O6	0	0	0	0	0	0	0	0
P1	0.5	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
P2	0	0.5	0.5	0	0.5	1	0.5	1
P3	0	0	0	0	0	0	0	0
E1	0.5	1	0.5	1	0.5	0.5	1	1
E2	0	0	0.5	0	0	0.5	1	0
E3	0.5	0	0	0.5	0	0.5	0	0
C1	1	0	0.5	1	0	0.5	1	0.5
C2	0.5	0	0	1	0.5	1	0.5	1
C3	0	0.5	0	0	0.5	0.5	0.5	1
C4	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	0	0	0	0	0	0	0	0
A1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	0.5	1
A2	0	0.5	1	0.5	1	0.5	0.5	1
A3	0.5	0.5	1	0	0.5	0.5	0	1
A4	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0
A5	0	0	0	0	0	0	0	0
S1	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	1
S2	0	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	0
S3	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0
S4	1	1	0.5	1	1	1	0.5	0.5

表 E-5 第 5 灰类可能度矩阵

	专家一	专家二	专家三	专家四	专家五	专家六	专家七	专家八
O1	0.5	1	1	1	1	0.5	0.5	0
O2	0.5	0.5	0	1	1	0.5	1	0
O3	0	0.5	0	0	0	0	0	0
O4	0	0	0	0	0	0	0	0
O5	0.5	0.5	0.5	0	0	0.5	0	0
O6	1	1	1	1	1	1	1	1
P1	0.5	0	0	0	0.5	0.5	0	0
P2	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	1	1	1	1	1	1	1	1
E1	0.5	0	0.5	0	0.5	0.5	0	0
E2	1	1	0.5	1	1	0.5	0	1
E3	0.5	1	1	0.5	1	0.5	1	1
C1	0	1	0.5	0	1	0.5	0	0
C2	0.5	1	1	0	0.5	0	0.5	0
C3	1	0.5	1	1	0.5	0.5	0.5	0
C4	1	1	1	1	1	1	1	1
C5	1	1	1	1	1	1	1	1
A1	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0
A2	1	0.5	0	0.5	0	0.5	0.5	0
A3	0.5	0.5	0	1	0.5	0.5	1	0
A4	0.5	0.5	0.5	1	0.5	1	0.5	1
A5	1	1	1	1	1	1	1	1
S1	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0
S2	0	0	0	0	0	0	0	0
S3	0	0	0	0	0	0	0	0
S4	0	0	0	0	0	0	0	0

致谢

渤海之滨，卫津河畔，圆梦北洋，共度韶华。如歌岁月，素时锦年，铭德道旁的海棠摇曳，三间桥上的星光烂漫，求是亭顶的落日余晖，皆似粼粼江水流过心间，此生有幸，成为一名天大人，但转眼便到毕业时，心中有千般不舍更有万般感激。

首先，特别感谢恩师马向阳教授，论文行文过程中，马老师多次帮助我分析思路，开拓视角，耐心的、不厌其烦的帮助我分析讲解，感谢马老师逐字逐句批改我论文背后的耐心、细致与认真，斟酌每一个用词甚至细致到纠正一个单词的拼写以及一个标点符号，这也深深的感染并影响着我，让我对自己的论文要求更加严格。在此，谨向马老师致以诚挚的谢意和崇高的敬意。

其次，感谢母校天津大学对我的培养，感谢所有传授我知识的老师，感谢老师们的悉心教导，感谢在论文写作过程中帮助我的同门、同学和朋友们，我们一起研讨思路、分享经验教训，克服了许多困难，完成了各自的论文。还要特别感谢黄炜学长，在论文的理论方面提供了重要的指导，在论文的计算阶段提供了强有力的支持，在他的指导下保障了理论方法应用的正确性。

然后，感谢我的父母和家人，谢谢你们无条件的支持和关爱我，无论我做什么样的决定你们都坚定的做我坚实的后盾，给了我追求心中梦想的力量。

最后，感谢论文评审和答辩的各位专家老师对我论文的指导，让我能够顺利毕业，感谢强大的祖国和疫情中的逆行者们守护着我们的平安。吾生也有涯而知无涯，以有涯随无涯，幸已！今后我将会继续努力不断奋进，秉承“实事求是”的校训，为“树天大志、承天大任、圆天大梦、做天大事”而拼搏！