

工程和设计中人因工程学方法的适应性分析

郭北苑¹, 张学莹¹, 张玉乾², 杨超²

(1.北京交通大学, 北京 100044; 2.中国船舶工业综合技术经济研究院, 北京 100081)

摘要: **目的** 通过构建一个多维的人因工程学方法适应性分析模型, 为人因工程领域研究人员在繁多的人因工程学方法中确定合适的方法解决工程和设计问题提供思路与指导。**方法** 调研人因工程学方法, 构建了一个包含十一个大类 76 种人因工程学方法的方法集, 然后从研究对象、信效度、资源成本以及时间成本四个维度对人因工程学方法的遴选过程展开分析, 探讨了适应性分析模型各维度在应用过程中不同分析顺序、不同等级设定级别等对适应性分析的影响, 通过案例探讨了该适应性分析方法在实际工作中的应用。**结论** 人因工程学方法适应性分析方法可以针对目标分析场景有效地筛选出合适的人因工程学研究方法, 本方法具有简约直观的特点, 在应用中不需要大量的计算, 可以为人因工程学方法适应性分析提供方法筛选的思路。

关键词: 人因工程学方法; 多维分析; 适应性分析

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)04-0022-12

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.04.003

Adaptability Analysis of Ergonomics Method in Engineering and Design

GUO Bei-yuan¹, ZHANG Xue-ying¹, ZHANG Yu-qian², YANG Chao²

(1.Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2.China Institute of Marine Technology and Economy, Beijing 100081, China)

ABSTRACT: The work aims to construct a multi-dimensional ergonomic method adaptability analysis model to provide ideas and guidance for ergonomic researchers to determine appropriate methods to solve their engineering and design problems in a variety of ergonomic methods. First, survey on ergonomics factors methods was conducted. A method set containing 76 methods in 11 categories was constructed. Then, the selection process of ergonomic methods was analyzed from four analysis dimensions of research object, reliability and validity, resource cost and time cost. The influences of the analysis order and setting level of each dimension on the adaptability analysis of ergonomic methods were discussed. At the end of the manuscript, the application of the applicability analysis method in the task analysis method selection was discussed. The proposed ergonomic method adaptability analysis method can effectively select the appropriate ergonomic method for the target analysis scenario. The proposed method is simple and intuitive, and does not require a lot of calculations in the application. The research can provide ideas for adaptability analysis of ergonomic methods.

KEY WORDS: ergonomics method; multi-dimensional analysis; adaptability analysis

自动化、信息化及智能化技术的发展及广泛应用使得系统日渐复杂, 人机交互亦趋于复杂化, 航空^[1]、海事^[2-6]、核电^[7]、轨道交通^[8]等领域的大量经验表明, 人误是这些系统事故的主要原因, 研究人员开始意识到系统的设计不仅要完成硬件的开发与实现, 更要涉

及到以往较少考虑的社会层面, 并且要以人的认知机制为核心, 来进行复杂人机系统的设计, 以最大程度地规避系统中潜在的安全风险, 并由此产生了人—系统整合的概念, 并在武器装备^[9]、国防^[10]、轨道交通^[11]等领域得到了广泛的应用。

收稿日期: 2020-11-12

基金项目: 国家自然科学基金 (U1734210, 51575037)

作者简介: 郭北苑 (1973—), 男, 江西人, 博士, 北京交通大学教授, 主要研究方向为复杂系统人因工程。

人一系统整合设计的方法涵盖范围十分全面, 包含人员, 人力, 培训, 生存能力, 安全, 职业健康, 环境, 可居住性, 人因工程等九方面^[12]。同时人一系统整合设计方法更将人因工程学整合到系统工程完整流程中。人因工程是研究人在某种工作中的解剖学、生理学和心理学等方面的各种因素; 研究人和机器及环境的相互作用; 研究在工作中、家庭生活和闲暇时间时怎么统一考虑工作效率、人的健康、安全和舒适等问题的学科^[13]。人因工程同时还是一门涉及到多个专业知识的交叉学科, 包含心理学、设计学、管理学、训练和教育学、理论研究学和技术与环境学等^[14], 这些学科间相互关联、相互支撑, 形成了人因工程学的基础理论体系。

庞大的学科体系, 加上人因工程学近百年的发展历史, 人因工程领域的研究方法也趋于多样化, 有学者进行过相关统计, 现存有 300 余种人因工程学方法和相关技术, 即使将由于发展导致不适用的技术方法去除后, 仍存在 100 余种^[15]。方法的多样化可以为研究学者提供更多的选择, 也会导致方法的遴选工作更加困难, 人因工程领域研究人员遇到的最困难的挑战可能是确定合适的方法来解决他们研究的问题^[16]。因此, 有必要针对繁多的人因工程学方法适应性展开相关研究。

学者通常采用定性和定量的方法开展人因工程学方法的适应性研究。定性研究一般通过构建包含多个评估标准的评估框架, 然后根据这些标准来综合专家的意见^[17]。这些定性的方法更多地依赖使用者的经验^[16]。方法的选择结果在不同的地区之间也会存在差异^[18], 总体来说现有的定性的方法适应性分析缺乏成熟的流程指导。在定量研究方面, 一般通过构建相关的数学模型进行方法的适应性判断, 如采用适应性相关的效用分析方程^[19], 综合考虑准确性、方法成本等可以计算量化的指标, 计算出每种方法的效用值, 从而选择出与相应人因问题具有最佳契合度的研究方法。定性研究中, 评判结果的主观性较强; 定量研究中, 数学模型考虑的指标更倾向于可量化的指标。本研究针对现有人因工程学方法进行筛选, 构建常用的人因工程学方法集, 并在此基础上进行定性定量指标相结合的多维度分析, 利用桑基图构建可视化的多指标方法适应性分析模型。本研究提出的方法适应性分析模型具有简约直观的特点, 且在模型的应用中不需要大量的计算, 可以为工程人因工程学方法适应性分析提供方法筛选的思路。

1 人因工程学方法

1.1 方法来源

本研究中涉及到的人因工程学方法通过 Web of Science, Ei Compendex、谷歌学术、中国知网来获取。

本研究查找了关于人因工程学基础研究以及应用研究等方面的文章, 将不适用的人因工程学方法剔除后, 最终剩余较为成熟的方法共 76 种。

1.2 分析维度

通过文献综合分析发现, 人因方法的适应性研究中常常考虑的因素包含以下方面: 方法的属性、方法的应用阶段、使用方法人群、研究的对象、是否需要被试人员、信度的高低、效度的高低、使用的设备的成本, 以及方法本身需要的训练时间和应用时间等^[15,19-20]。在以上提及的因素中, 有些因素可以剔除, 有些因素可以合并。如在方法的属性方面, 包含定性、定量和混合的方法, 但考虑方法的使用人是人因专业的研究人员, 他们已经受过专业的训练, 其具有较高的分析能力, 方法的属性因素可以不予考虑; 在方法的应用阶段方面, 有研究指出, 人因工程思想及方法应该尽早地介入到系统设计中并纳入整个系统的生命周期内, 以降低系统的成本并提高系统的安全性^[21], 该因素也可以剔除; 在方法的使用人群方面, 由于大部分方法使用者均为人因专家, 亦可不作考虑; 另外, 被试人员以及专业设备的需求均是人因分析过程中的资源成本, 可以将这两项合并为方法使用的资源成本; 信度和效度考虑的均是方法本身的应用效果相关的指标, 可将其合并成信效度的指标; 方法的训练时间以及应用时间考虑的均是方法本身的时间方面的成本, 因此可将其合并为时间成本。通过上述指标的剔除与合并, 得到下面的四个维度。

1) 研究的对象(解决问题的类型)。Stanton^[15]的研究中将人因方法按其解决问题的类型分为 11 类, 这些类别分别是数据收集方法、任务分析方法、认知任务分析法、过程图法、人误识别和事故分析法、情景意识评估方法、脑力负荷评价方法、团队评价方法、界面分析方法、设计方法和执行时间预测方法。本文亦采用该分类方式。

2) 信效度。方法本身的信效度是评估方法的重要维度, 在方法进行适应性分析时, 可将方法本身的信效度水平作为标准之一。本文将其分为五个水平区分方法本身的信效度高低。

3) 资源成本。方法使用的资源成本可作为评判方法适应性的标准之一, 资源成本包含方法的使用人员的成本与使用工具的成本。本文将其分为五个水平来进行划分。

4) 时间成本。时间成本是评判方法掌握时间以及方法使用时间综合的指标, 本文根据方法的总体时间分为五个水平, 作为方法适应性分析的时间压力评判维度。

四个维度各指标的关系见图 1。

1.3 方法评级

将调研到的 76 种方法按照以上四个维度展开分

级及评级工作，研究对象的分级根据方法的适用对象确定，而评级则需要给出人因工程学方法在信度、效度、掌握时间、应用时间、使用工具、使用人数六个底层指标的具体等级。其中，信度的等级依靠文献检索中该方法的参考文献的数量来决定；效度的等级通过调研该方法的应用效果给定；掌握时间与应用时间依靠文献调研中的消耗时间给出相应的等级；使用工

具一项通过文献调研得到每种方法所使用的工具具体包含的项目，然后通过固定资产折旧方法量化后给出相应的判定等级；使用人数考虑各文献主试与被试的人员的成本给定相应的等级。将底层指标的分级确定后，信效度，资源成本以及时间成本的等级即可根据其子指标的分级结果取均值确定。调研结果见表 1。

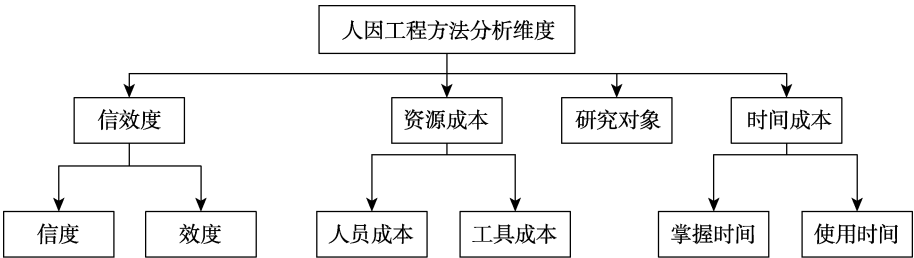


图 1 人因工程学方法的分析维度与指标
Fig.1 Analysis dimension and index of ergonomics method

表 1 76 种人因工程学方法各维度的评级
Tab.1 Rating results of each dimensionality of the 76 ergonomics methods

方法名称	解决问题的类别 ^[15]	信效度等级	成本等级	时间等级
访谈法 ^[15]	数据收集法	较高	中等	低
问卷调查法 ^[15]	数据收集法	较高	中等	中等
观察法 ^[15]	数据收集法	高	中等	中等
鼠标追踪法 ^[15]	数据收集法	较高	中等	高
层次任务分析法 ^[15]	任务分析方法	高	高	中等
口头报告分析 ^[22]	任务分析方法	较高	较低	中等
任务分解法 ^[23]	任务分析方法	高	较高	低
次目标模版法 ^[24]	任务分析方法	较高	较高	较低
表格任务分析法 ^[25]	任务分析方法	中等	较高	中等
认知作业分析 ^[15]	认知任务分析法	较高	较高	低
应用认知任务分析 ^[26]	认知任务分析法	较高	中等	较低
认知走查法 ^[27]	认知任务分析法	高	较高	低
关键决策法 ^[28]	认知任务分析法	较高	中等	较低
关键事件技术 ^[15]	认知任务分析法	高	较高	较低
工序图技术 ^[29]	过程图法	较高	中等	较高
操作顺序图技术 ^[15]	过程图法	高	中等	较高
事件树分析法 ^[30]	过程图法	较高	中等	较高
决策行动图方法 ^[31]	过程图法	中等	中等	较高
故障树分析法 ^[32]	过程图法	高	中等	较高
系统性人误降低和预测方法 ^[15]	人误识别和事故分析法	较高	高	较高
人误模版法 ^[33]	人误识别和事故分析法	较高	高	较高
针对差错识别的任务分析 ^[15]	人误识别和事故分析法	较高	高	中等
危险与可操作性分析技术 ^[15]	人误识别和事故分析法	较高	较高	较高
人误评估技术 ^[34]	人误识别和事故分析法	较高	高	较高
系统工具的人误识别 ^[15]	人误识别和事故分析法	中等	高	较高
人误评估与减少技术 ^[15]	人误识别和事故分析法	较高	高	较高
认知可靠性与差错分析方法 ^[15]	人误识别和事故分析法	较高	较高	低
人的因素分析与分类系统 ^[35]	人误识别和事故分析法	较高	高	高
功能共振事故模型 ^[36]	人误识别和事故分析法	较高	较高	中等

续表 1

方法名称	解决问题的类别 ^[15]	信效度等级	成本等级	时间等级
寻因分析法 ^[37]	人误识别和事故分析法	较高	高	高
情景意识全局评估技术 ^[15]	情景意识评估方法	较高	较低	较高
情景现状评估法 ^[38]	情景意识评估方法	较高	较低	中等
情景意识分级技术 ^[15]	情景意识评估方法	较低	较高	高
命题网络方法 ^[15]	情景意识评估方法	较高	中等	中等
主、次任务绩效测量 ^[15]	脑力负荷评价方法	较高	较低	高
生理学测量技术 ^[39]	脑力负荷评价方法	高	中等	中等
美国国家航空航天局任务负荷指数 ^[15]	脑力负荷评价方法	较高	较高	高
工作负荷主观评估技术 ^[15]	脑力负荷评价方法	高	较高	高
预测性主观工作负荷评估技术 ^[15]	脑力负荷评价方法	中等	较低	低
主观工作负荷优势技术 ^[15]	脑力负荷评价方法	较高	较高	高
瞬间自我评价 ^[15]	脑力负荷评价方法	较低	较高	高
认知任务负荷技术 ^[40]	脑力负荷评价方法	较高	中等	低
预测性主观工作负荷优势技术 ^[15]	脑力负荷评价方法	较高	较高	高
脑力负荷指数 ^[15]	脑力负荷评价方法	较高	中等	低
行为观察量表 ^[15]	团队评价方法	中等	中等	较低
团体任务分析 ^[15]	团队评价方法	较高	高	较高
团队认知任务分析 ^[41]	团队评价方法	中等	较高	低
社交网络分析 ^[42]	团队评价方法	高	较高	低
分布式团队交互意识评估问卷 ^[15]	团队评价方法	中等	较高	较高
团队任务分析 ^[43]	团队评价方法	较高	较高	中等
团队工作负荷评估 ^[15]	团队评价方法	中等	较高	高
驾驶舱管理态度问卷 ^[15]	团队评价方法	较高	较高	高
团队沟通评估 ^[15]	团队评价方法	较高	较低	中等
检查单 ^[15]	界面分析方法	高	高	高
启发式分析 ^[15]	界面分析方法	中等	较高	高
界面测量 ^[15]	界面分析方法	较低	较高	中等
链接分析 ^[15]	界面分析方法	高	高	高
空间布局分析 ^[44]	界面分析方法	较高	高	高
用户界面满意度问卷 ^[15]	界面分析方法	较高	较高	高
备选网格分析 ^[15]	界面分析方法	中等	中等	较低
软件可用性测试量表 ^[15]	界面分析方法	较高	较高	高
系统可用性量表 ^[15]	界面分析方法	较高	较高	高
后研究系统可用性测试问卷 ^[15]	界面分析方法	中等	较低	低
用户实验 ^[45]	界面分析方法	高	中等	中等
走查分析 ^[15]	界面分析方法	中等	高	高
功能分配分析法 ^[46]	设计方法	较高	较高	低
焦点小组法 ^[15]	设计方法	中等	中等	中等
任务分析 ^[47]	设计方法	高	较高	低
基于场景的设计方法 ^[15]	设计方法	较高	较高	较高
以任务为中心的系统设计 ^[15]	设计方法	较低	较高	中等
向导奥兹技术 ^[15]	设计方法	较高	较低	中等
意图设计 ^[48]	设计方法	中等	较高	高
多图法 ^[49]	设计方法	较高	较高	高
关键路径分析方法 ^[15]	执行时间预测方法	较高	较高	中等
击键水平模型 ^[15]	执行时间预测方法	高	较高	高
时间轴分析 ^[50]	执行时间预测方法	较高	较高	高

2 人因工程学方法的多维分析

不同的方法在各个维度的分类存在不同的结果,将以上所有的方法展开不同维度的桑基图分析可以直接表现出方法的聚类分配情况,也可以更直观地了解方法在各个维度的属性。

2.1 单维分析

2.1.1 研究对象

将所有方法按研究对象展开分析,分为十一类,不同类型的方法解决不同的问题,且包含的人因工程学方法的种类已涵盖绝大多数的人因工程学方法,每类方法均有子方法可供选择,专家或研究人员可以直接通过研究对象这一维度将方法精准定位,其维度分析见图 2。

2.1.2 资源成本

资源成本包含方法的使用工具的成本以及人员成本,根据方法本身工具的固定资产折旧以及使用的主试和被试人员的成本分为五个等级,此维度可以根据方法应用的场景的成本预算来进行适应性分析,若成本预算很低,可将此项作为首要考虑的遴选准则,其维度分析图见图 3。

2.1.3 信效度

方法的使用效果往往利用信度和效度来表明。信度是指测量结果的一致性、稳定性及可靠性,一般多以内部一致性来加以表示该方法信度的高低。信度系数越高即表示该方法的结果愈一致、稳定与可靠。效度即有效性,它是指测量工具或手段能够准确测出所需测量的事物的程度,是指所测量到的结果反映所想要考察内容的程度,测量结果与要考察的内容越吻合,则效度越高。本文将两项指标合并,综合考量方法本身的有效性和稳定性,其维度分析见图 4。

2.1.4 时间成本

方法的时间成本包含方法本身的掌握时间成本以及方法的使用时间成本,此维度将时间进行综合,综合考虑方法的时间压力的大小,在进行方法适应性分析时,若时间要求比较紧张,可优先考虑此项内容,其维度分析见图 5。

2.2 四维分析

进行四维分析时,将依次考虑四个维度来进行方法的适应性分析,只有满足本维度最高等级要求的方法才能进入到下一维度的考虑,以此类推。由于方法的研究对象可以使方法分析的范围快速精准地定位到解决某人因问题的某几种方法,因此将方法的研究对象这一维度设置为最先考虑的维度。剩余的三个维度的排序可根据当前方法的分析场景来依次确定,共有六种不同的维度优先级排序组合。因此,四维的方

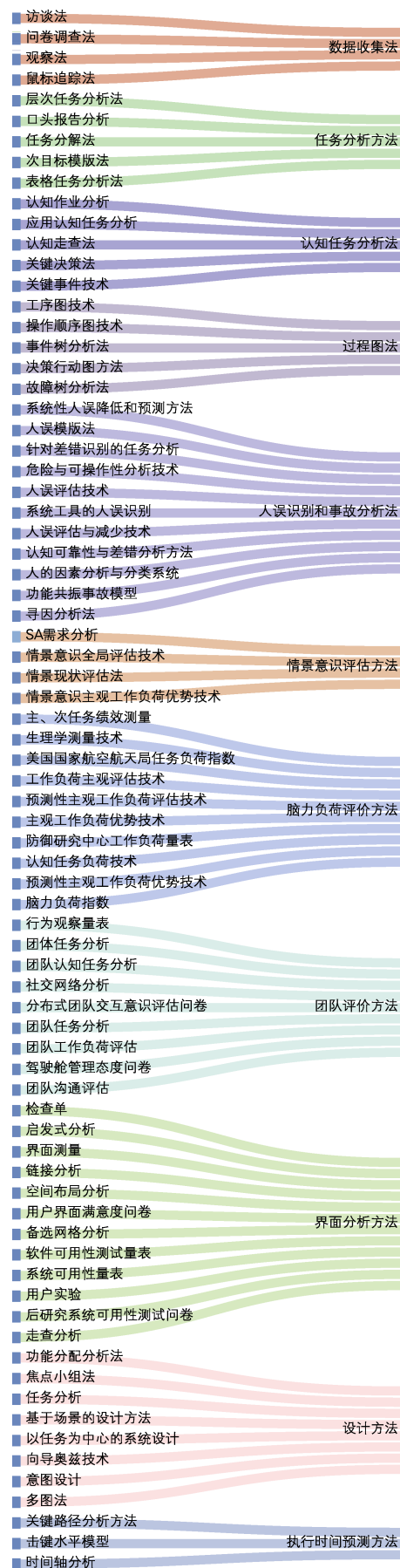


图 2 研究对象维度分析

Fig.2 Analysis of research object

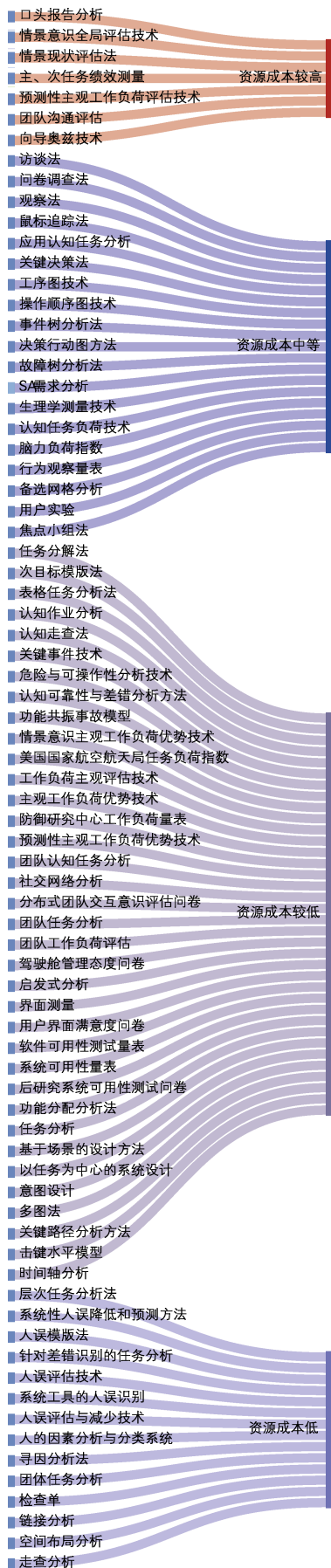


图 3 资源成本维度分析
Fig.3 Analysis of resource cost

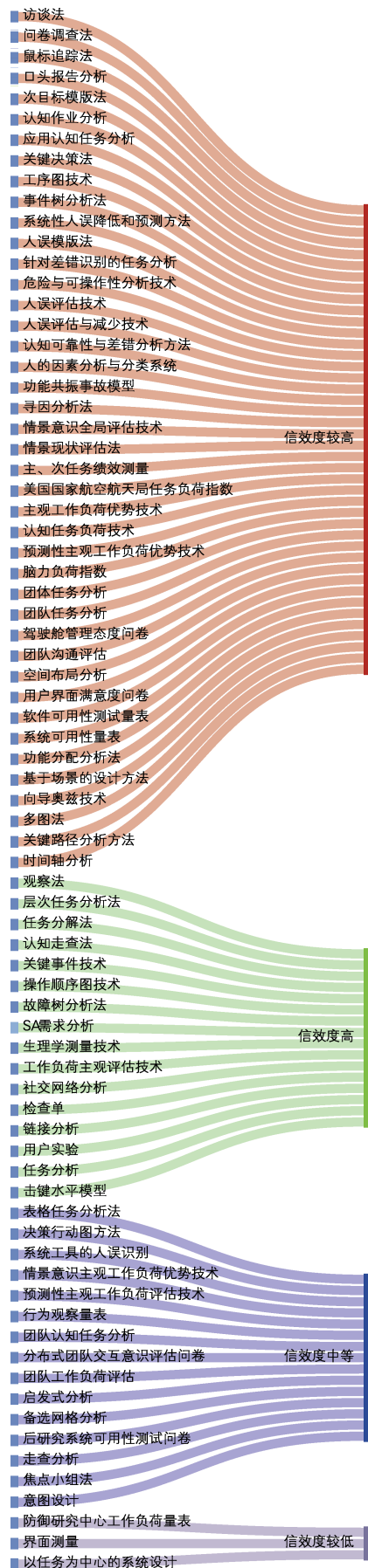


图 4 信效度维度分析
Fig.4 Analysis of reliability and validity

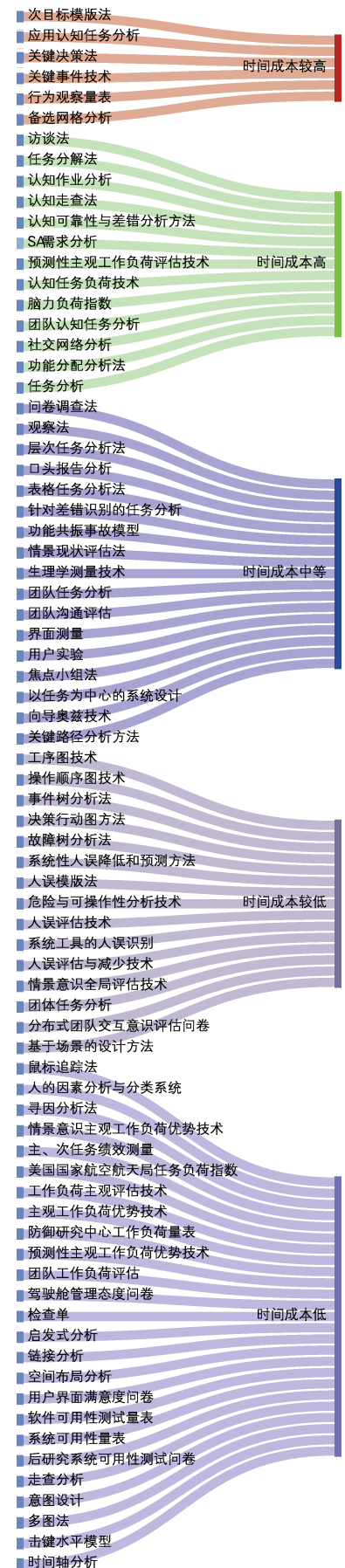


图 5 时间成本维度分析
Fig.5 Analysis of time cost

法适应性分析具有较高的灵活性,可以较大幅度地选择适应于当前场景的方法。

在四维分析中,各个维度的排序原则可直接影响方法适应性分析的结果,因此排序的原则的确定是至关重要的。分析人员要根据当前的场景进行排序,若时间要求比较紧张,可以将时间成本这一项作为首先考虑的因素;若对于方法的应用效果要求较高,即将信效度的排序作为首要考虑的因素;若在进行问题分析时对于经费的要求比较紧张,可将资源成本这一项优先考虑;若当前场景无特殊的要求,可考虑首先考虑方法本身的信效度,再依次考虑方法的资源成本、时间成本,即方法的适应性分析指标的排序为:研究对象>方法的信效度>方法的资源成本>方法的时间成本。图6列举了一个四维分析的图例,除研究对象外,该图例将时间成本作为首要考虑的因素置于右侧第二列,而后继的信效度和资源成本作为第三和第四考虑的因素置于第三和第四列的位置,通过从右至左进行分析即可逐步缩小遴选范围直至得到推荐的方法。

3 案例

3.1 案例研究

假设当前要开展对某人员的工作进行任务分析,根据当前的场景分析对信效度、资源成本、时间成本这四个维度的指标等级进行排列,依次如下:研究对象、信效度、资源成本、时间成本。将以上四个指标按从右往左的顺序依次绘制,在进行方法适应性分析的过程中,亦从右往左来进行分析来逐步缩小方法的遴选范围直至得到推荐的方法。

本场景的方法适应性分析过程见图7。首先,由于要执行的分析为任务分析,因此选择的方法类别为任务分析方法,优先考虑方法本身的信效度,且在每个维度的考虑中只考虑当前剩余方法在此项指标的一个最高等级,可以看到,存在两种任务分析方法的信效度水平为高,可以进入第二个维度的考量,通过第二个维度,方法的资源成本的要求,可以直接排除另一个“资源成本较低”的“任务分解法”,即可得到成本低的“层次任务分析法”为推荐的方法。

3.2 讨论

人因工程学方法的数量的增加会大大增加选择的困难,在本文的方法适应性分析中,首先缩小了方法集的大小,将不常用的方法去除并保留成熟的人因工程学方法,最后确定了76种方法。在此基础上再进一步开展了适应性分析维度的确定工作,分析维度的确定是在综合考虑现有的较常用的方法评估指标的基础上进行的,主要是对搜集的所有评估指标进行了剔除与整合,剔除的指标中,包含方法的属性、应用阶段以及适用人群。方法的属性中定量、定性研究各有优缺点,从两类方法具体的分析工具角度来看,

定量研究往往采用数理统计和概率论的方式,定性研究采用的是集合论和逻辑学;同时,方法的使用人群一般均为人因分析人员,人因方法的应用则要求人因工程需要尽早介入系统设计。因此,应用阶段一般为方案设计阶段,这两个方面也可以不作考虑。

最终得到的适应性分析维度共有四个,虽然只包含四个维度,但包含了更多的二级指标及类别。其中,在方法的研究对象上,将方法解决问题的类别分成了十一类,用于解决不同类型的问题,分析人员可根据当前的问题进行方法类别的定位;在方法的资源成本上,从方法的使用工具成本以及使用人员的成本两个维度出发,将方法的资源成本分成五个等级,分析人员可根据当前的资金支持情况来进行评估;在方法的信效度上,将方法本身的信度以及效度的水平结合,并将其分成五个等级,分析人员可根据目前对于方法的信效度水平的要求展开评估;在时间成本上,将方法的掌握时间以及方法的使用时间相结合,并将其分为五个等级,分析人员可根据当前的时间宽裕程度展开方法的评估。通过以上四个维度的分析,可以较灵活地进行方法适应性分析。

在案例研究中,将四个维度的排序原则给定为研究对象、信效度、资源成本、时间成本,最终在任务分析方法集合中选定的方法为层次任务分析法。本文适应性分析采用桑基图结合上述四维度的综合分析得到选择结果,该方法可以实现直观的方法定位,实现快速、有效且可视化的方法适应性分析。这种适应性分析选择过程事实上是在进行方法第一层级筛选时,将方法的研究对象的权重设置为1,其余的指标权重均不考虑,在进行第二层筛选时,将方法的信效度的权重设置为1,其余权重为0,以此类推,直至选择出推荐的方法。这种方法与文献[51]的两层级的人因工程学方法模糊综合评价方法相比,避免了分析过程中的大量数学计算以及权重确定的大量调研工作。同时,本文的方法考虑了方法本身的研究对象对结果的影响,更具有针对性。

在案例研究中,各维度的筛选均取的最高等级,每个维度会筛除掉大量的方法,存在通过前两个维度的选择后,就已经得到最终推荐选择结果的情况。因此,在此方法适应性分析流程中维度的排序十分重要。表2列出了只考虑各维度最高等级方法被选中情况下所有六种不同维度排序的遍历结果,共有20种方法会在方法适应性分析的过程中被选中,其余的56种方法均不会被选中。另外,在所列出的20种方法中,有十种方法在所有的遍历结果均会被选中。

在遍历所有的可能结果后,每个方法种类中被选中的方法统计见表3。所有的方法类别中可能被选中的方法都存在一种或多种,表3中列出的方法也是目前发展较成熟的人因方法。

使用本文提出的方法适应性分析框架时,考虑

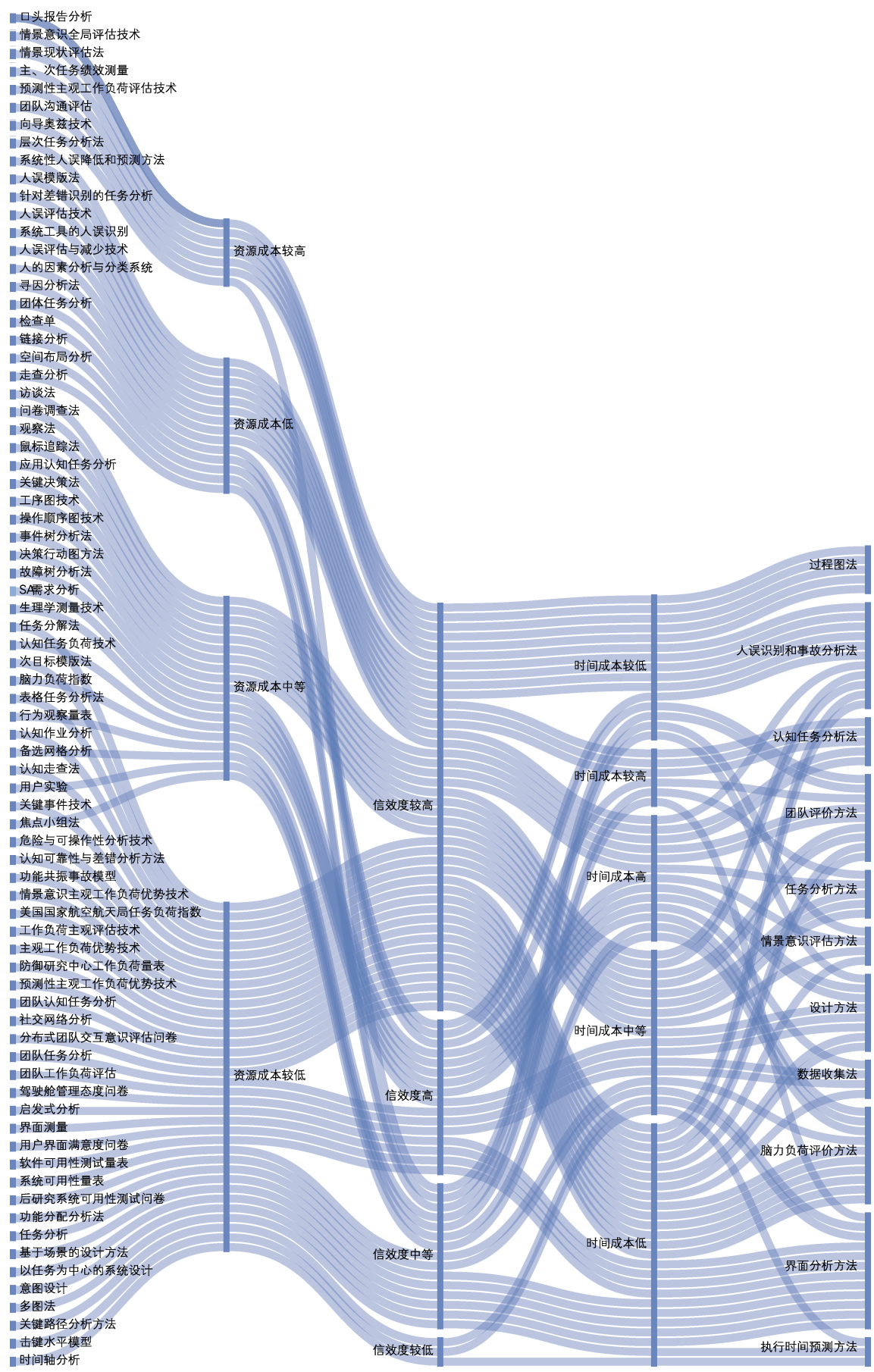


图 6 四维分析案例
Fig.6 Case diagram of four-dimensional analysis

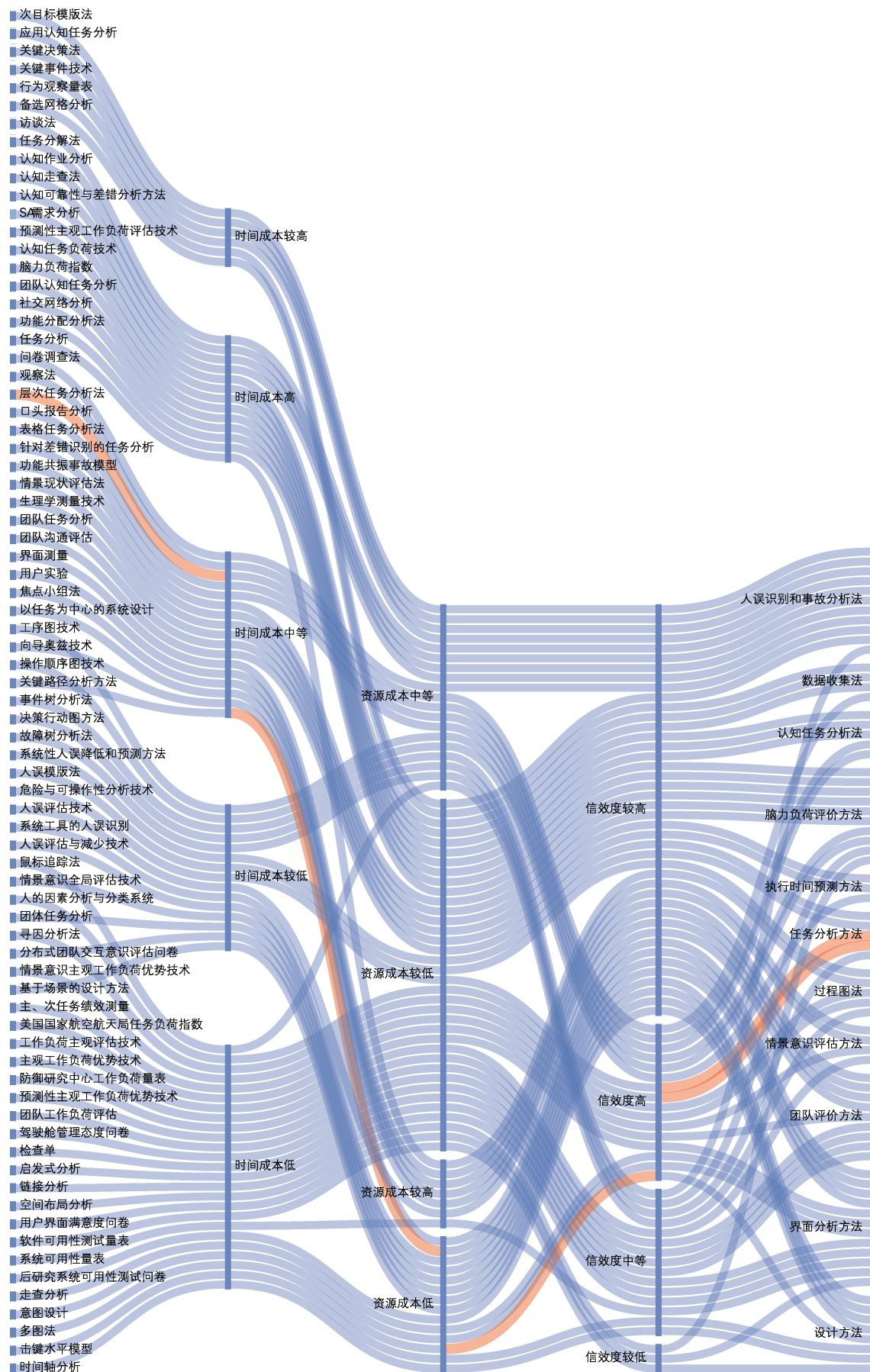


图 7 任务分析方法案例分析
Fig.7 Case study of task analysis methods

表 2 考虑最高等级筛选原则的适应性分析遍历结果

Tab.2 Traversal results of adaptability analysis considering the highest-level selection principle

被选中次数	方法名称
6	击键水平模型，链接分析，检查单，工作负荷主观评估技术，寻因分析法，人的因素分析与分类系统，故障树分析法，操作顺序图技术，关键事件技术，层次任务分析法
4	情景意识主观工作负荷优势技术
3	任务分析，鼠标追踪法
2	多图法，驾驶舱管理态度问卷，社交网络分析，团体任务分析，SA 需求分析，观察法
1	意图设计

表 3 考虑最高等级筛选原则的遍历子方法结果

Tab.3 Result of the traversal sub-method considering the highest-level selection principle

方法类别	子方法数量	子方法名称
数据收集法	2	观察法，鼠标追踪法
任务分析方法	1	层次任务分析法
认知任务分析	1	关键事件技术
过程图法	2	操作顺序图技术，故障树分析法
人误识别和事故分析法	2	人的因素分析与分类系统，寻因分析法
情景意识评估方法	2	SA 需求分析，情景意识主观负荷优势技术
脑力负荷评价方法	1	工作负荷主观评估技术
团队评价方法	3	团体任务分析，社交网络分析，驾驶舱管理态度问卷
界面分析方法	2	链接分析，检查单
设计方法	3	任务分析，意图设计，多图法
执行时间预测方法	1	击键水平模型

表 4 考虑二个等级筛选原则的方法适应性分析遍历结果

Tab.4 Traversal table of method adaptability analysis considering two levels of selection principles

被选中次数	方法名称
6	问卷调查法，观察法，鼠标追踪法，层次任务分析法，次目标模版法，认知作业分析，应用认知任务分析，认知走查法，关键决策法，关键事件技术，工序图技术，操作顺序图技术，事件树分析法，故障树分析法，系统性人误降低和预测方法，人误模版法，危险与可操作性分析技术，人误评估技术，系统工具的人误识别，人误评估与减少技术，人的因素分析与分类系统，寻因分析法，美国国家航空航天局任务负荷指数，工作负荷主观评估技术，主观工作负荷优势技术，预测性主观工作负荷优势技术，团体任务分析，驾驶舱管理态度问卷，检查单，链接分析，空间布局分析，用户界面满意度问卷，软件可用性测试量表，系统可用性量表，基于场景的设计方法，多图法，关键路径分析方法，击键水平模型，时间轴分析
4	情景意识全局评估技术，情景意识主观工作负荷优势技术
3	分布式团队交互意识评估问卷，团队工作负荷评估，意图设计
2	SA 需求分析，情景现状评估法

各个方法维度时也可以在方法分析过程中对每个维度的选择范围扩充到前两个等级，例如，在考虑方法信效度时考虑等级“高”和“较高”两个等级，以此类推，遍历后的结果见表 4，共有 46 种方法会被选中。

由表 4 可知，将条件调整到两个等级后，方法可选择的范围也放宽到了 46 种，这也可以表明大多数

的方法具有很高的适应性，且在以上 46 种被选中的方法中，有 39 种方法会在所有六种遍历条件下均会被选中。因此，在方法适应性分析中可参考以上方法，将各指标进行综合考虑，甚至将方法适应性的分析条件放宽到三个等级或更多，此时被选中的方法会覆盖到更多的方法。

4 结语

本文针对工程和设计中人因工程学方法的适应性展开分析。在人因工程学方法调研的基础上,构建了包含十一大类 76 种人因工程学方法的方法集,并从研究对象、信效度、资源成本以及时间成本四个分析维度对人因工程学方法的遴选过程展开分析,通过一个针对任务分析方法的案例,探讨了该适应性分析方法在实际工作中的应用。探讨了适应性分析模型各维度在应用过程中不同分析顺序、不同等级设定级别等对适应性分析的影响。本研究提出的适应性分析模型及方法,对人因工程领域研究人员在繁多的人因工程学方法中确定合适的方法来解决他们研究的问题,具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] KELLY D. An Analysis of Human Factors in Fifty Controlled Flight into Terrain Aviation Accidents from 2007 to 2017[J]. *Journal of Safety Research*, 2019, 69(1): 155-165.
- [2] ROTHBLUM A M. Human Error and Marine Safety[C]. National Safety Council Congress and Expo Orlando, 2000.
- [3] DARBRA R M. Historical Analysis of Accidents in Seaports[J]. *Safety Science*, 2004, 42(2): 85-98.
- [4] LEFEVRE J. Towards the Identification of Warning Criteria: Analysis of a Ship Accident Database[J]. *Applied Ocean Research*, 2005, 27(6): 281-291.
- [5] MATURANA M C. Human Error Contribution in Collision and Grounding of Oil Tankers[J]. *Risk Analysis*, 2010, 30(4): 674-698.
- [6] BALDAUF M. Accident Investigation Reporting Deficiencies Related to Organizational Factors in Machinery Space Fires and Explosions[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2011, 43(3): 1187-1196.
- [7] PIERRE Le Bot. Human Reliability Data, Human Error and Accident Models Illustration through the Three Mile Island Accident Analysis[J]. *Reliability Engineering & System Safety*, 2004, 83(2): 153-167.
- [8] EVANS A W. Fatal Train Accidents on Europe's Railways: 1980-2009[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2011, 43(1): 391-401.
- [9] BOOHER R H. Handbook of Human Systems Integration[M]. Canada: John Wiley & Sons, 2003.
- [10] MOD. Human Factors Integration (HFI) Practical Guidance for IPTs[R]. Washington, 2001.
- [11] REINACH S J. An Introduction to Human Systems Integration (HSI) in the US Railroad Industry[R]. Washington, 2007.
- [12] TVARYANAS A P. Human Systems Integration in Remotely Piloted Aircraft Operations[J]. *Aviation Space & Environmental Medicine*, 2006, 77(12): 1278-1282.
- [13] HELANDER M. A Guide to Human Factors and Ergonomics[M]. Boca Raton: CRC Press, 2005.
- [14] KARWOWSKI W. Ergonomics and Human Factors: the Paradigms for Science, Engineering, Design, Technology and Management of Human-Compatible Systems[J]. *Ergonomics*, 2005, 48(5): 436-463.
- [15] STANTON N. Human Factors Methods: a Practical Guide for Engineering and Design[M]. CRC Press, 2017.
- [16] SALVENDY G. Handbook of Human Factors and Ergonomics[M]. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012.
- [17] WATERSON P. Defining the Methodological Challenges and Opportunities for an Effective Science of Socio-technical Systems and Safety[J]. *Ergonomics*, 2015, 58(4): 565-599.
- [18] LOWE B D. Ergonomics Assessment Methods Used by Ergonomics Professionals[J]. *Applied Ergonomics*, 2019, 8(1): 1-8.
- [19] STANTON N A. Guide to Methodology in Ergonomics: Designing for Human Use[M]. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- [20] SHORROCK, S T. Human Factors and Ergonomics Methods in Practice: Three Fundamental Constraints[J]. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2016, 17(5/6): 468-482.
- [21] STARK R F. Reducing Risk in System Design Through Human-Systems Integration[J]. *Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications*, 2010, 18(2): 18-22.
- [22] CRISP V. The Validity of Using Verbal Protocol Analysis to Investigate the Processes Involved in Examination Marking[J]. *Research in Education*, 2008, 79(1): 1-12.
- [23] FANG H. The Petri Net Method of Task Decomposition and Its Validity Research[J]. *Journal of Anhui University of Science and Technology (Natural Science)*, 2008, 28(1): 85-89.
- [24] ORMEROD T C. Using Task Analysis for Information Requirements Specification: the Sub-Goal Template (SGT) Method[M]. London: CRC Press, 2003.
- [25] STAPLES L J. The Task Analysis Process for a New Reactor[C]//Proceedings of the Human Factors & Ergonomics Society Annual Meeting, 1993.
- [26] MILITELLO L G. Applied Cognitive Task Analysis (ACTA): a Practitioner's Toolkit for Understanding Cognitive Task Demands[J]. *Ergonomics*, 1998, 41(11): 1618-1641.
- [27] GABRIELLI S. Supporting Cognitive Walkthrough with Video Data: a Mobile Learning Evaluation Study[C]//Proceedings of the 7th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices & Services, 2005.
- [28] HOFFMAN R R. Use of the Critical Decision Method to Elicit Expert Knowledge: a Case Study in the Method-

- ology of Cognitive Task Analysis[J]. Human Factors, 1998, 40(2): 254-276.
- [29] 朱华炳, 周志尚, 尹志强. CAPP 系统中工序图的自动生成技术研究[J]. 制造业自动化, 2000, 22(11): 24.
- ZHU Hua-bing, ZHOU Zhi-shang, YIN Zhi-qiang. Research on Automatic Generation Technology of Process Drawing in CAPP System[J]. Manufacturing Automation, 2000, 22(11): 24.
- [30] HONG E S. Quantitative Risk Evaluation Based on Event Tree Analysis Technique: Application to the Design of Shield TBM[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2009, 24(3): 269-277.
- [31] BOHADA J A. Automatic Generation of Clinical Algorithms within the State-Decision-Action Model[J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39(12): 10709-10721.
- [32] 韩小涛, 尹项根, 张哲. 故障树分析法在变电站通信系统可靠性分析中的应用[J]. 电网技术, 2004, 28(1): 56-59.
- HAN Xiao-tao, YIN Xiang-gen, ZHANG-Zhe. Application of Fault Tree Analysis in Reliability Analysis of Substation Communication System[J]. Power Grid Technology, 2004, 28(1): 56-59.
- [33] STANTON N A. Predicting Design Induced Pilot Error Using HET (Human Error Template)—A New Formal Human Error Identification Method for Flight Decks[J]. The Aeronautical Journal, 2006, 110(4): 107-115.
- [34] POCOCK S. THEA: A Technique for Human Error Assessment Early in Design[M]. Amsterdam: IOS Press, 2001.
- [35] GARRETT J W. Human Factors Analysis Classification System Relating to Human Error Awareness Taxonomy in Construction Safety[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2009, 135(8): 754-763.
- [36] BELMONTE F. Interdisciplinary Safety Analysis of Complex Socio-Technological Systems Based on the Functional Resonance Accident Model: An Application to Railway Traffic Supervision[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2011, 96(2): 237-249.
- [37] 姚佳. 摄像头故障智能寻因方法、装置和摄像头: 中国, CN109040742A[P]. 2018-12-18.
- YAO Jia. Intelligent Cause Searching Method and Device for Camera Fault and Cameras: China, CN109040742A[P]. 2018-12-18.
- [38] LOFT S. Using the Situation Present Assessment Method to Measure Situation Awareness in Simulated Submarine Track Management[J]. International Journal of Human Factors and Ergonomics, 2013, 2(1): 33-48.
- [39] 魏水先, 孙有朝. 基于生理测量的飞行模拟试验方案设计[J]. 中国民航飞行学院学报, 2015, (2): 48-51.
- WEI Shui-xian, SUN You-chao. Design of Flight Simulation Test Scheme Based on Physiological Measurement[J]. Journal of China Civil Aviation Flight Institute, 2015, (2): 48-51.
- [40] GROOTJEN M. Cognitive Task Load in a Naval Ship Control Centre: From Identification to Prediction[J]. Ergonomics, 2006, 49(12/13): 1238-1264.
- [41] ANASTASI D. Team CTA Applied to Radar Operations System Modernization[C]// Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 1998.
- [42] 邵莹侠, 冯是聪. 社交网络分析在公共安全领域的应用[J]. 大数据, 2017, 3(2): 38-44.
- SHAO Ying-xia, FENG Shi-cong. Application of Social Network Analysis in the Field of Public Security [J]. Big data, 2017, 3(2): 38-44.
- [43] ARTHUR JR W. Innovations in Team Task Analysis: Identifying Team-Based Task Elements, Tasks and Jobs[J]. The Handbook of Work Analysis: Methods, Systems, Applications and Science of Work Measurement in Organizations, 2012(3): 641-661.
- [44] ZHANG C K. Spatial Layout of Reclamation of Coastal Tidal Flats in Jiangsu Province[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2011, 39(2): 206-212.
- [45] JOHN R W. Evaluation of Human Work[M]. England: CRC Press, 1995.
- [46] 汤志荔, 张安, 曹璐. 复杂人机智能系统功能分配方法综述[J]. 人类工效学, 2010, 16(1): 68-71.
- TANG Zhi-li, ZHANG An, CAO Lu. A Survey of Function Allocation Methods for Complex Man Machine Intelligent System[J]. Ergonomics, 2010, 16(1): 68-71.
- [47] 褚雪芹, 陈洁, 崔泽朋. 核电厂人因工程设计的任务分析研究[J]. 仪器仪表用户, 2016, 23(10): 92-94.
- CHU Xue-Qin, CHEN Jie, CUI Ze-peng. Task Analysis of Human Factors Engineering Design in Nuclear Power Plant[J]. Instrument Users, 2016, 23(10): 92-94.
- [48] LOCKTON D. The Design with Intent Method: a Design Tool for Influencing User Behaviour[J]. Applied Ergonomics, 2010, 41(3): 382-392.
- [49] WALKER D. Stakeholder Voices Through Rich Pictures[J]. International Journal of Managing Projects in Business, 2014, 7(3): 342-361.
- [50] SCHLIERF R. Human Factors Operability Timeline Analysis to Improve the Processing Flow of the Orion Spacecraft[C]// 2011 Aerospace Conference. IEEE, 2011.
- [51] ZHANG X. Construction and Application of Applicability Evaluation Model of Human Factors Methods for Complex Human-Machine System[C]// International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Springer, Cham, 2020.