

核电站备件采购 workflow 调度优化

李艺¹, 梁海勇²

1. 中广核核电运营有限公司, 广东 深圳 518000

2. 华润电力控股有限公司, 广东 深圳 518000

摘 要 : 本文针对 A 核电公司备件采购存在不能及时采购满足安装需求的问题, 引入 workflow 管理技术, 对核电站备品备件采购 workflow 进行建模, 并设计遗传算法进行求解, 最后通过算例分析, 说明基于 workflow 优化的调度方式较原来是人工调度方式有明显优势, 在有限的人力资源条件下备件采购效率得到提升, 采购时间得到缩短, 用户满意度得到提升。

关 键 词 : 核电站备件; 采购 workflow; 调度优化; 遗传算法

Optimization of Workflow Scheduling for Spare Parts Procurement in Nuclear Power Plants

Li Yi¹, Liang Haiyong²

1. China Nuclear Power Operations Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000

2. China Resources Power Holdings Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract : This article addresses the problem of A Nuclear Power Company's inability to purchase spare parts in a timely manner to meet installation requirements. Workflow management technology is introduced to model the procurement workflow of spare parts for nuclear power plants, and a genetic algorithm is designed to solve it. Finally, through case analysis, it is shown that the scheduling method based on workflow optimization has significant advantages over the original manual scheduling method. Under limited human resources, the efficiency of spare parts procurement is improved, the procurement time is shortened, and user satisfaction is enhanced.

Keywords : spare parts for nuclear power plants; procurement workflow; scheduling optimization; genetic algorithm

引言

核电站备件的及时供应, 对于核电站安全运行至关重要。

本文针对 A 核电公司备件采购存在不能及时采购满足安装需求的问题, 引入 workflow 管理技术, 优化调度核电备件采购任务分配方式, 在有限的人力资源条件下提升备件采购效率, 缩短采购时间, 从而提升用户满意度。

由于信息技术发展, workflow 技术已在诸多行业有所应用。张晓鹏^[1]探讨了企业 OA 系统 workflow 精细化管理模式; 蒋纯辉^[2]选用动态 workflow 应用于办公自动化系统; 张书林^[3]基于 workflow 技术对煤矿瓦斯治理方法进行研究。辛华强^[4]将 workflow 技术应用于优化企业的人员配置。曹伟^[5]探索了 workflow 技术在长春社保业务系统中的应用。洪环环^[6]将 workflow 技术应用在高校工会管理系统提高了高校管理水平。陈金^[7]使用 workflow 技术提高了电网调度系统的运行效率。

从以上文献可以得出结论, 企业实施 workflow 调度后, 通常会有 workflow 精细化, 运作效率提升, 管理成本下降等方面的改变。因此拟引入 workflow 管理技术, 提升 A 核电公司核电备件采购的工作效率。

一、采购任务分配的流程及存在问题

(一) 购任务分配的流程

A 核电公司备件采购流程主要包括 8 个环节, 主要包括分发采购申请、采购合理性分析、询价、商业谈判、编写推荐、合同签署、审核质量计划、运输跟踪及验收, 每个环节有若干个处理步骤。其中, 采购部业务人员参与的环节主要有 6 个, 分别为采购合理性分析、询价、商业谈判、编写推荐、合同签署、审核质量计划等, 该 6 个环节为本文优化的主要对象。

(二) 采购任务分配存在的问题

(1) 订单按时完成率低

A 核电公司对订单采购总时间及各环节耗时均有考核。2016 年至 2020 年采购部, 合计完成订单 3587 单, 按时完成率 82.74%; 从单环节来看, 合理性分析、询价、商业谈判、编写推荐、合同签署和审核质量计划等环节的订单按时完成率分别为 80.60%、80.88%、79.15%、76.83%、80.71% 和 80.32%。订单全过程的完成率及各环节的订单按时完成率仍有较大的改善空间。

作者简介: 李艺 (1992.12-), 女, 汉, 辽宁省大连市, 中广核核电运营有限公司, 采购工程师, 硕士研究生, 研究方向: 工程管理。

(2) 部分订单在个别环节出现长时间停留

采购部2016年至2020年完成的3587个订单中,部分订单在个别环节出现较长时间的等待,合理性分析、询价、商业谈判、编写推荐、合同签署和审核质量计划等环节停留时间超过30天的订单分别有24单、22单、83单、24单、34单和18单。

(3) 任务分配不均匀,员工满意度较差

2016年至2020年5年时间里,完成订单最多的业务员完成289单,而完成较少的仅完成217单,相差72单。任务分配的不均匀导致员工满意度较差。

(4) 业务人员的优势未能很好发挥

由于目前的流程调度方式,一个业务员要负责一个订单的所有环节,业务员在自己不擅长的环节耗太多,个人优势不能充分的发挥。

二、采购 workflow 调度优化问题建模

(一) 问题的描述

A 核电公司备件采购 workflow 调度优化问题描述如下: n 个订单 ($k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$), 需要 p 个业务员处理, 每个订单包含一个或多个处理环节; 每个环节可以由不同的业务员处理, 订单环节的处理时间因不同的处理人员而异, 调度目标是选择最适合的业务人员去处理各个环节, 确定每个处理环节的最佳处理订单和开始处理时间, 使整个系统的处理时间最短、最高效。

(二) 假设条件

本文的备件采购 workflow 优化问题有以下几个假设条件。

- (1) 同一个业务员在某一时刻只能处理某个订单的一个环节;
- (2) 同一个订单的同一个环节在同一时刻只能被一个业务员处理;
- (3) 每个订单的每个环节一旦开始处理, 处理的过程就不能中断;
- (4) 不同订单之间具有相同的优先等级;
- (5) 不同订单之间没有优先级的约束, 同一订单的处理环节之间存在先后约束;
- (6) 所有的订单在零时刻均可以被处理。

(三) 目标函数

本文以最小化全部核电备件订单全部被完成时间作为模型评价指标:

$$Z = \min(C_{\max}) \quad (3-1)$$

其中, $C_{\max}$ 表示全部核电备件订单全部被完成时间, 下文公式 (4-7) 中 $C_{\max}$ 参与各环节的完成时间的约束, Z 表示全部订单处理的完成时间的最小值。

(四) 决策变量

核电备件采购任务优化问题包含两个子问题: 业务人员选择子问题处理顺序子问题, 因此决策变量包含以下两个:

(1) 选择处理环节的业务人员

$$x_{ijh} = \begin{cases} 1, & \text{对于任意的 } j \text{ 和 } h, \text{ 如果处理环节选择业务员 } i \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (3-2)$$

(2) 选择订单的处理环节次序

$$y_{ijkl} = \begin{cases} 1, & \text{对于任意 } i, \text{ 如果处理环节 } O_{ijh} \text{ 先于 } O_{ikl} \text{ 被处理完成} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (3-3)$$

(五) 约束条件

(1) 处理各环节的业务员均来自总体可选处理业务员集合, 公式描述为:

$$\Omega_{jh} \subset \Omega, \exists j \in [1, n], \exists h \in [1, h_j] \quad (3-4)$$

其中, Ω_{jh} 表示可选处理业务员集; i 表示业务员序号; j 表示核电备件序号。

(2) 某个环节的开始时间加上该环节的处理时间, 小于或等于该环节的结束时间, 公式描述为:

$$S_{jh} + x_{ijh} \times p_{ijh} \leq c_{jh} \quad (3-5)$$

其中, S_{jh} 表示开始处理时间; p_{ijh} 表示处理时长; c_{jh} 表示结束处理时间;

$$x_{ijh} = \begin{cases} 1, & \text{如果处理环节 } O_{ijh} \text{ 选择业务员 } i。 \\ 0, & \text{否则。} \end{cases}$$

(3) 某环节的结束时间小于等于下一个环节的开始时间, 公式描述为:

$$c_{jh} \leq S_{j(h+1)} \quad (3-6)$$

其中, C_{jh} 表示结束处理时间, $S_{j(h+1)}$ 表示开始处理时间。

(4) 各环节的结束时间小于等于全部订单处理的完成时间, 公式描述为:

$$c_{jh} \leq C_{\max} \quad (3-7)$$

其中, C_{jh} 表示结束处理时间, $C_{\max}$ 表示所有订单均被处理完成的时间。

(5) 同一时刻同一业务员只能处理一个核电备件订单的一个环节, 公式描述为:

$$s_{jh} + p_{ijh} \leq s_{kl} + L(1 - y_{ijkl}) \quad (3-8)$$

其中, S_{jh} 表示开始处理时间; p_{ijh} 表示处理时长; L 表示一个足够大的正数;

$$y_{ijkl} = \begin{cases} 1, & \text{如果处理环节 } O_{ijh} \text{ 先于 } O_{ikl} \text{ 被处理完成} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

(6) 同一时刻同一业务员只能处理一个核电备件订单的一个环节, 公式描述为:

$$c_{jh} \leq s_{j(h+1)} + L(1 - y_{ijkl(h+1)}) \quad (3-9)$$

其中, C_{jh} 表示结束处理时间; $S_{j(h+1)}$ 表示开始处理时间;

$$y_{ijkl(h+1)} = \begin{cases} 1, & \text{如果处理环节 } O_{ijh} \text{ 先于 } O_{ikl} \text{ 被处理完成} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

(7) 一个订单的某个环节最终只能被一个业务员处理 (不会被重复处理), 公式描述为:

$$\sum_{i=1}^{m_h} x_{ijh} = 1 \quad (3-10)$$

$$\text{其中, } x_{ijh} = \begin{cases} 1, & \text{如果处理环节 } O_{ijh} \text{ 选择业务员 } i \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

(8) 一个业务员可以循环处理一个核电备件订单的多个环节, 公式描述为:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{h=1}^{h_j} x_{ijhk} = x_{ikl} \quad (3-11)$$

$$\sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^{h_k} x_{ijhk} = x_{ijh} \quad (3-12)$$

其中, i 表示业务员序号; j 表示核电备件序号; n 表示需采购

核电备件总数； h 表示环节序号； h_j 表示第 j 个备件的处理环节总数； k 表示核电备件序号； l 表示环节序号； h_k 表示第 k 个备件的处理环节总数。

(9) 各环节的开始时间和结束时间均要为正数：

$$s_{jh} \geq 0, c_{jh} \geq 0 \quad (3-13)$$

其中， S_{jh} 表示开始处理时间； C_{jh} 表示结束处理时间。

三、基于改进遗传算法的采购 workflow 调度算法设计

(一) 染色体编码

本文将编码问题采用分段编码：

(1) 业务员选择问题编码

业务员选择问题部分的染色体长度为 T_0 。每个基因位由一个整数表示，该整数代表业务员编号。

(2) 处理环节排序问题编码

本文创新性的设计了“单基因分段编码法”。“单基因分段编码法”是一种整数编码法，由2位数以上的整数组成，数字的个位数代表该处理环节属于订单的第几个环节，而十位数以上的数字代表该处理环节隶属于第几个订单。

(二) 初始化种群

(1) 业务员选择问题编码的初始化

业务员选择问题编码的初始化，主要是采用随机的方法生成。

(2) 处理环节排序问题编码的初始化

处理环节排序问题编码要特别注意编码后，解是否为可行解的问题，因此本文采用“随机数打乱法”生成，即通过一个随机数序列打乱原来有序的可行解，从而实现解一定为可行解，且种群是满足多样性的要求。

(三) 计算适应度

本文以最小化全部核电备件订单全部被完成时间作为模型评价指标，因此实用度计算函数为：

$$f = C_{\max} \quad (4-1)$$

其中， $C_{\max}$ 表示全部核电备件订单全部被完成时间。

(四) 选择操作

本文采用锦标赛选择方法^[8]。

(五) 交叉操作

业务人员选择部分编码采用改进的多点交叉方式；处理环节排序部分编码，采用参考映射交叉方式^[9]。

(六) 算法终止条件

本文设置了两个算法终止条件：

(1) 算法连续若干代没有产生适应度更优的解；

(2) 算法达到最大迭代次数^[10]。

(七) 染色体解码

染色体解码是编码的逆过程^[7]，染色体解码完毕，生成有确定顺序的调度方式。

四、算例分析

(一) 算例描述

通过对 A 核电公司采购部 2016 年至 2020 年 14 名业务员做统

计，将各业务员各环节作业平均耗时作为各业务员在模拟调度中的耗时；选取采购部 2020 年 1 月的新接到订单数据（75 个订单）进行算法模拟调度。算法执行后，将 75 个订单的 6 个环节，分配给 14 位业务人员，形成了一套可执行的任务分配方案。

(二) 优化前后对比分析

通过优化前后对比，得出以下结论：

(1) 优化后订单按时完成率明显提升

优化前订单完成 75 个订单中 11 个订单超时，订单按时完成率 85%。优化后订单按时完成率 100%。

(2) 优化后作业分配均衡性显著提升，有助于提升员工满意度

优化前各业务员平均工作时间 21.11 天，标准差 8.23 天，变异系数 38.96%；优化后各业务员平均作业时间 20.48 天，标准差 1.38 天，变异系数 6.73%；从变异系数来看，作业分配的均衡性提升明显，变异系数减少 32.22 个百分点。

(3) 优化后各业务员操作总时间有所缩短，业务人员的优势得到一定程度的发挥

优化前各业务员平均工作时间 21.03 天，各业务员操作时间总和 294.48 天，优化后各业务员平均作业时间 20.48 天，各业务员操作时间总和 286.69 天，优化各业务员操作时间总和较优化前少 7.79 天。

(4) 完成所有订单任务的总时间有效缩短，部分订单长时间得不到处理的情况一定程度上减少

优化前订单完成总时间 30.91 天，优化后为 21.63 天，减少时间 9.27 天，降幅 30.01%，优化后订单完成总时间短，主要原因是任务分配方式改为 workflow 调度方式，每个业务员均可以处理各个订单的各个环节，业务员之间形成了良好的协助关系，部分订单长时间得不到处理的情况一定程度上减少。

五、结语

本文针对 A 核电公司备件采购存在不能及时采购满足安装需求的问题，引入 workflow 管理技术，优化调度核电备件采购 workflow，基于 workflow 优化的调度方式较原来是人工调度方式有明显优势。

参考文献

- [1] 张晓鹏，王新. OA 系统工作流精细化管理的实践与应用 [J]. 中国管理信息化, 2022, 25(17): 123-125.
- [2] 蒋纯辉. 基于动态工作流技术的智能办公自动化系统研究 [J]. 无线互联科技, 2022, 19(13): 66-68.
- [3] 张书林，杨建，舒龙勇. 煤矿瓦斯治理动态工作流构建方法研究 [J]. 工矿自动化, 2022, 48(10): 97-106.
- [4] 辛华强. 工作流在企业人员管理中的应用 [J]. 中国商论, 2022, No. 859(12): 137-139.
- [5] 曹伟. 工作流技术在社保经办系统中的应用 [J]. 劳动保障世界, 2018, No. 493(09): 23-24.
- [6] 洪环环. 基于工作流的高校工会管理信息系统的设计与实现初探 [J]. 普洱学院学报, 2018, 34(03): 15-17.
- [7] 陈金，王向东，蒋七兵等. 工作流技术在电网调度管理信息系统中的应用研究 [J]. 电力信息与通信技术, 2018, 16(03): 94-98.
- [8] 熊聪聪，陈长博，赵青等. 基于遗传算法的批处理科学工作流任务调度算法的改进 [J]. 天津科技大学学报, 2020, 35(02): 74-80.
- [9] 桂林，李新宇，高亮. 作业车间调度问题的新型邻域结构 [J]. 华中科技大学学报 (自然科学版), 2021, 49(07): 103-106+119.
- [10] 陶思南，傅鹏，蔡斌. 一种求解车间作业调度的自适应混合遗传算法 [J]. 计算机系统应用, 2010, 19(04): 53-57.