

数据驱动下建筑施工企业多项目资源均衡优化及风险评价

毕玉娇, 张人龙

贵州大学管理学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2024年5月8日; 录用日期: 2024年5月24日; 发布日期: 2024年8月14日

摘要

为解决资源管理问题, 帮助建筑施工企业有效应对多重挑战, 确保项目的顺利进行和企业的持续发展, 本文针对工期固定, 多项目并行情况, 以最小方差为目标函数作为评价指标进行资源均衡优化, 然后采用模糊综合评价法, 建立了包括人力风险、设备风险、材料风险、财务风险这4个一级风险因子及12个二级风险因子的资源风险评价体系, 并通过工程实例验证本文构建的模型的可行性与有效性。该研究结论对多项目管理理论与实践具有较好的理论与借鉴意义。

关键词

资源均衡优化, 最小方差法, 风险评价, 模糊综合评价法

Multi-Project Resource Equilibrium Optimization and Risk Assessment of Construction Enterprises under Data-Driven

Yujiao Bi, Renlong Zhang

School of Management, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: May 8th, 2024; accepted: May 24th, 2024; published: Aug. 14th, 2024

Abstract

In order to solve the problem of resource management, to help building construction enterprises effectively deal with multiple challenges, to ensure the smooth progress of the project and the sustainable development of the enterprise, in this paper, for the situation of fixed duration and

multiple projects in parallel, we take the minimum variance as the objective function as the evaluation index to optimize the balance of resources, and then we adopt the fuzzy comprehensive evaluation method to establish a resource risk evaluation system including four primary risk factors and 12 secondary risk factors, including manpower risk, equipment risk, material risk, and financial risk, and we validate the feasibility and effectiveness of the model established in this paper through the engineering examples. Meanwhile, the validity of the model is established in this paper. The conclusion has good theoretical and reference significance for the theory and practice of multi project management.

Keywords

Resource Balance Optimization, Minimum Variance Method, Risk Evaluation, Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

建筑业是国民经济的重要支柱产业,也是反映一个国家和地区发展水平的重要标志,然而随着房地产市场的调控和竞争的加剧,建筑业也面临着前所未有的挑战,包括最低价中标导致的利润压缩、成本上涨带来的经营压力、劳工短缺造成的生产效率低下,以及严格执行环保法规带来的额外成本等。在这些因素的共同作用下,企业利润微薄、工程款难以收回、项目停建的现象屡见不鲜。在这样的大背景下,多项目管理的重要性愈发凸显,特别是资源管理,作为项目的核心环节之一,对于项目的成功与否具有举足轻重的影响[1]。高效的资源管理不仅有助于企业减少运营成本和提升生产效能,还能在竞争激烈的市场环境中为企业赢得更多优势[2]。资源管理涵盖了资源均衡和风险评价这两大核心环节。在资源的管理与项目的实施阶段,通过优化资源的配置和使用,可以减少因资源短缺或过剩而导致的项目延误或成本超支等风险。同时,通过对资源风险的评估和监控,也可以更好地指导资源的均衡优化工作,提高资源的利用效率和项目的成功率。资源均衡优化和资源风险管理相辅相成,共同构成了企业资源管理的重要组成部分。

目前,多项目并行情况下的资源均衡与资源风险已得到越来越多学者和实际工作者的关注。段世霞[3]等提出单项目资源均衡配置已无法满足建筑企业日益增长的发展需求,寻求多项目资源均衡配置体系是企业持续发展的必然趋势。张智涌[4]等认为资源作为工程实施中不可或缺的基本要素,其配置情况对工程进度计划具有显著影响,资源优化的不当往往会导致工程进度失控、投资目标无法实现。文献[3]-[6]针对工程项目施工中资源需求与供应不均衡的难题,构建了以最小化方差为目标的项目资源均衡优化模型,并采用了相应的算法进行求解。李敬花[7]等构建多项目并行环境下的资源均衡优化模型,采用最小资源消耗强度方差作为评价指标,以判断多项目资源配置效果的优劣。梁晓斌[8]等认为对工程项目风险进行全面识别、科学评估与有效控制可消灭萌芽期的事故隐患,这对于预防事故特别是重特重大事故的发生具有重要意义。江新[9]等通过识别影响多个并行项目的主要资源风险因素,即人力资源、机械设备、材料、财务、组织协作和现场条件,建立了国际水电工程项目群资源风险评价指标体系,并采取合适的方法对项目资源风险进行了评估。文献[8][10]分别从项目的现场情况和管理方式的角度考虑,提出采用模糊综合评价法将专家定性的评价结果定量化,充分考虑专家评价过程中的模糊性问题,实现对工程项

目的评估。

基于当前的研究现状, 目前关于多项目资源均衡优化和风险评价的研究尚少, 且现有研究往往未能将其联系起来考虑。本文在固定工期的约束下, 首先对工程项目资源进行了均衡优化, 随后鉴于建筑工程项目资源风险具有模糊性和不确定性, 采用模糊综合分析法对资源风险进行评价, 识别出风险等级较高的因子, 并对这些风险进行全面分析、应对和监控, 进而更有效地指导资源的均衡优化工作。

2. 多项目资源均衡优化基本假设及模型构建

2.1. 基本假设

资源均衡的基本思想是利用工程网络计划, 在允许的作业松弛时间范围内, 结合作业资源消耗量, 对非关键线路上的作业时间进行合理的调整, 以达到降低在单位时间内资源消耗量起伏, 使消耗强度趋于平衡的目的[6] [11]。为了方便问题的研究, 建立以下假设[6] [11] [12]:

假设 1: 在优化过程中, 除特殊情况外, 每个工序不可中断;

假设 2: 资源进行优化时, 各工序的持续时间、紧前紧后关系不得变动;

假设 3: 项目执行过程中每个工序的资源需求量保持不变;

假设 4: 由于项目中资源的种类和量级不一致, 无法直接进行有效的比较, 因此本文采用“资源消耗强度”将不能直接进行比较分析的各种类资源进行无差别转化, 即用 $R(i_k, j_k)$ 表示单位时间各工序上对资源的消耗程度, 其取值由经验丰富的资源管理人员结合具体工程数据加以确定, 取值在 1~10 之间[3]。

2.2. 模型构建

基于上述假设, 本文构建数学模型来解决资源的均衡优化问题, 设 $R(t)$ 为时间 t 所需要的资源量, T 为规定工期, $\bar{R}$ 为资源需求量的平均值, 建立如下模型:

$$\begin{aligned}\min \sigma^2 &= \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (R(t) - \bar{R})^2 \\ &= \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (R^2(t) - 2R(t)\bar{R} + \bar{R}^2) \\ &= \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T R^2(t) - 2\bar{R} \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T R(t) + \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \bar{R}^2 \\ &= \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T R^2(t) - 2\bar{R}^2 + \bar{R}^2 \\ &= \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T R^2(t) - \bar{R}^2\end{aligned}\quad (1)$$

$$\begin{aligned}R(t) &= \sum_{k=1}^n \sum_{(i_k, j_k)} R_t(i_k, j_k) \\ &= \sum_{(i_1, j_1)} R_t(i_1, j_1) + \sum_{(i_2, j_2)} R_t(i_2, j_2) + \cdots + \sum_{(i_n, j_n)} R_t(i_n, j_n)\end{aligned}\quad (2)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T R(t), T = \max\{T_k\} \quad (3)$$

$(i_k, j_k) (i=1, \dots, n; j=1, \dots, n)$ 表示第 k 个项目中的作业; $R_t(i_k, j_k)$ 表示第 t 天作业 (i_k, j_k) 的资源消耗强度; $R(i_k, j_k)$ 表示第 k 个项目作业 (i_k, j_k) 的单位时间的资源消耗强度; T_k 表示第 k 个项目的总工期; R 为企业在单位时间里所能提供的最大资源量。若第 t 天的作业实际开始时间介于最早开始时间与最晚开始时间之间, 则资源消耗强度为 $R(i_k, j_k)$, 反之, 资源消耗强度为 0。由于企业资源的有限性, 各个项目在 t 时间内的资源消耗总量不能超过企业所能提供的最大资源量。此外, 只有在紧前作业完成之后才能

进入下一道作业。产生的约束条件如下所示:

$$R_t(i_k, j_k) = \begin{cases} R(i_k, j_k), & T_S(i_k, j_k) \leq t \leq T_F(i_k, j_k) \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (4)$$

$$R(t) \leq R \quad (5)$$

$$S(i_k, j_k) = T_L(i_k, j_k) - T_E(i_k, j_k) \quad (6)$$

$$\max\{T_S(v_k, j_k) + T(v_k, j_k)\} \leq T_S(i_k, j_k) \leq T_L(i_k, j_k) \quad (7)$$

$$T_E(i_k, j_k) \leq T_S(i_k, j_k) \leq T_E(i_k, j_k) + S(i_k, j_k) \quad (8)$$

式中, $S(i_k, j_k)$ ——项目 k 中作业 (i_k, j_k) 的松弛时间;

$T_L(i_k, j_k)$ ——项目 k 中作业 (i_k, j_k) 的最晚开始时间;

$T_E(i_k, j_k)$ ——项目 k 中作业 (i_k, j_k) 的最早开始时间;

$T_S(i_k, j_k)$ ——项目 k 中作业 (i_k, j_k) 的实际开始时间;

$T_F(i_k, j_k)$ ——项目 k 中作业 (i_k, j_k) 的实际结束时间;

(v_k, j_k) ——项目 k 中作业 (i_k, j_k) 的紧前作业集合;

$T_S(v_k, j_k)$ ——项目 k 中作业 (i_k, j_k) 的紧前作业的实际开始时间;

$T(v_k, j_k)$ ——项目 k 中作业 (i_k, j_k) 的紧前作业的持续时间。

3. 基于模糊综合评价法的模型构建

由于建筑施工企业的复杂程度以及所面临的环境变化, 工程项目中的有些风险如设备风险中每年设备的故障与损坏量是能够被确定的, 但多数风险的出现概率和损失程度难以精确计量。而且不同评估者在面对同种风险时, 因知识、经验和价值观等的差异, 会对风险有不一样的判断。因此, 企业资源的风险程度存在模糊和不确定性[8], 可以利用模糊综合评价方法对企业的资源风险进行评估。具体评价步骤如下:

(1) 确定各级资源风险指标: 首先, 参考相关文献[8] [9] [13] [14], 初步汇总可能引发资源风险的各种因子; 然后, 通过走访或设计调查问卷, 征求并提炼专家群体意见, 对汇总的因子进行筛选和验证; 最后, 建立以人力风险、设备风险、材料风险、财务风险这 4 个一级风险因子及 12 个二级风险因子为评价指标的体系如表 1 所示。

(2) 确定评语集: 将评价等级划分为五级, 用 V 表示, 即 $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$, 其中 v_1 = 高风险, v_2 = 较高风险, v_3 = 中等风险, v_4 = 较低风险, v_5 = 低风险。

(3) 建立隶属度矩阵: 确定 U_i 的单因子评价隶属度向量, 并形成隶属度矩阵 R , 这里的隶属度 r_{jp} 指多个评价主体对某个评价对象在 U_{ij} 方面做出 V_p 评定的可能性程度。 r_{jp} = 对 U_i 中的第 j 因子做出第 p 评价的专家人数/参加评价的专家总数, 由此得到隶属度矩阵:

$$R_i = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{35} \end{pmatrix} \quad (9)$$

(4) 确定风险因子权重: 由有关专家组成的风险评估小组对企业人力风险、材料风险、设备风险、财务风险的重要程度进行评价, 得到 $A_i = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$, 并且 $\sum_{i=1}^5 a_i = 1, a_i \geq 0$ 。

(5) 建立评估矩阵: 选取加权平均算子 $M(\cdot, +): s_k = \min\left(1, \sum_{j=1}^m \mu_j \gamma_{jk}\right), k=1, 2, \dots, n$ 进行综合评价,

Table 1. Resource risk evaluation indicator system
表 1. 资源风险评价指标体系

一级指标层	二级指标层
人力风险 U_1	人员流失与借调 U_{11}
	员工管理风险 U_{12}
	人员技能短缺与不匹配 U_{13}
材料风险 U_2	供应风险 U_{21}
	质量风险 U_{22}
	储存与保管风险 U_{23}
设备风险 U_3	设备故障与损坏 U_{31}
	供应与调配风险 U_{32}
	更新与升级风险 U_{33}
财务风险 U_4	资金筹措风险 U_{41}
	资金运用风险 U_{42}
	成本控制风险 U_{43}

得到综合评价为：

$$B_i = A_i \times R_i \tag{10}$$

记 $B_i = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5)$ ，必要时进行归一化处理。

(6) 多级综合评价：将每个 U_i 作为一个因子，用 B_i 作为它的单因子评价，构成评价矩阵

$R = (B_1, B_2, B_3, B_4, B_5)^T$ ，每个 U_i 的权重分配为 $A = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$ ，利用公式(11)，得到 U 的一级综合评价结果，必要时进行归一化处理。

$$B = A \times R \tag{11}$$

(7) 评价总结：通过二级模糊综合评价模型的计算结果 B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 ，可以得到各一级指标在二级指标的影响下的风险程度。通过一级模糊综合评价模型的计算结果 B ，可以得到整个案例在一级指标的影响下的资源风险水平。

4. 案例分析

4.1. 资源均衡优化

选取贵阳市某施工企业在 2023 年承包建设工程项目，为使研究方便，现在将施工过程用字母代替，其中 A 是指施工准备，B 是基础施工，C 是地下工程，D 是主体工程，E 是门窗工程，F 是外墙保温工程，G 是屋面工程，H 是装修工程，I 是竣工工程。

项目 1 为某学校校区扩建的一期工程，总建筑面积 134,529 平方米(地上建筑面积 125,190.15 平方米，地下人防建筑面积 9333.44 平方米)。项目 1 的初始网络计划图如图 1 所示。

项目 2 为某人民医院综合病房大楼建设项目，总建筑面积 59,715.7 平方米，建筑高度为 95.5 米，地上 24 层，地下 2 层，其中地下 1 层设置为停车场和设备用房，地下 2 层设置为具有人防功能的停车场。项目 2 的初始网络计划图如图 2 所示。

项目 3 为某市大数据科创城一期工程，项目用地面积 14,381.8 平方米，总建筑面积 56,262.4 平方米，主要建设内容为商业楼与办公楼。项目 3 的初始网络计划图如图 3 所示。

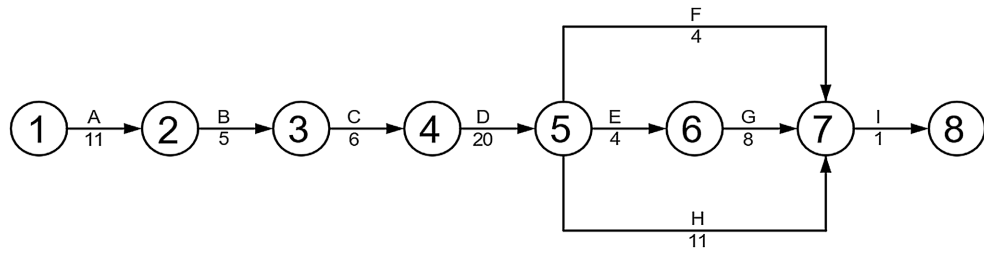


Figure 1. Subproject 1 network plan
图 1. 子项目 1 网络计划图

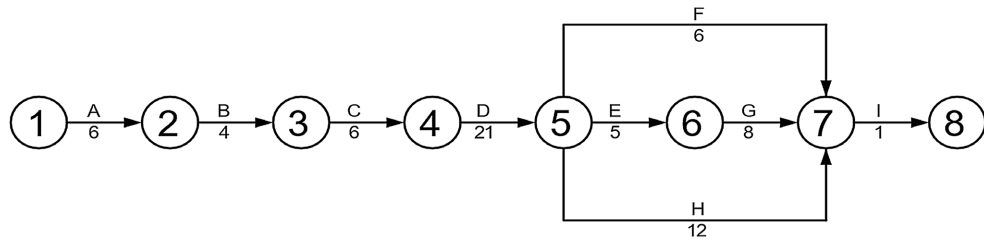


Figure 2. Subproject 2 network plan
图 2. 子项目 2 网络计划图

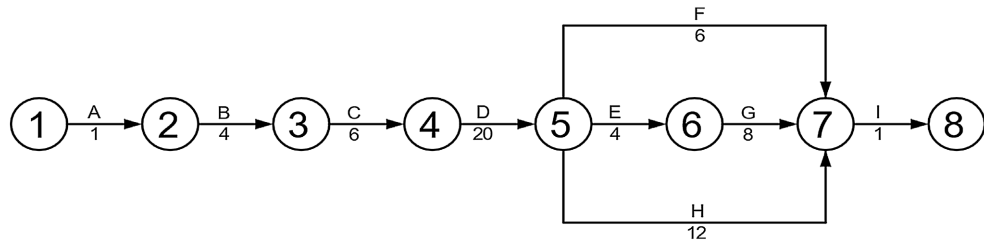


Figure 3. Subproject 3 network plan
图 3. 子项目 3 网络计划图

时间参数表如表 2 所示, 其中加*号的作业为非关键线路上的作业。

Table 2. List of project parameters (unit: weeks)
表 2. 项目参数表(单位: 周)

作业	资源消耗强度 $R(i_k, j_k)$	最早开始时间 $T_E(i_k, j_k)$	最晚开始时间 $T_L(i_k, j_k)$	松弛时间 $S(i_k, j_k)$	持续时间 $T(i_k, j_k)$	紧前工序 (v_k, j_k)
A1	4	0	0	0	11	无
B1	5	11	11	0	5	A1
C1	7	16	16	0	6	B1
D1	9	22	22	0	20	C1
E1	2	42	42	0	4	D1
F1*	6	42	50	8	4	D1
G1	2	46	46	0	8	E1
H1*	4	42	43	1	11	D1
I1	1	54	54	0	1	F1, G1, H1

续表

A2*	5	0	0	0	6	无
B2*	5	6	6	0	4	A2
C2*	7	10	10	0	6	B2
D2*	8	16	16	0	21	C2
E2*	2	37	37	0	5	D2
F2*	6	37	44	7	6	D2
G2*	2	42	42	0	8	E2
H2*	4	37	38	1	12	D2
I2*	1	50	54	4	1	F2, G2, H2
A3*	6	0	0	0	1	无
B3*	6	1	1	0	4	A3
C3*	8	5	5	0	6	B3
D3*	8	11	11	0	20	C3
E3*	3	31	31	0	4	D3
F3*	7	31	37	6	6	D3
G3*	3	35	35	0	8	E3
H3*	4	31	32	0	12	D3
I3*	2	43	54	11	1	F3, G3, H3

以最早开始时间计算时间参数，图 4 中箭杆上方为作业编号，下方数字为该工作的持续时间，粗实线箭杆表示关键工作，细实线箭杆为非关键工作，波浪线部分是该工作的自由时差，下部呈现了该计划的资源动态曲线，阶梯上的数字为当日的资源消耗数量。可以看出，该动态曲线有明显的波峰和波谷。利用资源使用的不均衡系数 K 来检查资源消耗的均衡性， $K = \text{日最高资源使用量} / \text{日平均资源使用量} = R'_{\max} / \bar{R}$ ， K 值越小，资源均衡性越好，一般小于 1.5 就不再调整了[15]。经计算，该计划的日资源最大消耗量 $R_{\max}$ 为 31，资源消耗强度的不均衡系数 $K = R_{\max} / R_m = 1.52$ ，大于 1.5，资源分配状况不均衡。

通过 MATLAB 软件进行优化后，结果如图 5 所示。日资源最大消耗量 $R_{\max}$ 为 25，资源消耗强度的不均衡系数 $K = R_{\max} / R_m = 1.23$ ，小于 1.5，资源分配均衡。

根据表 3 可知，资源优化前资源消耗强度的方差为 58.16，经过均衡优化处理后，资源消耗强度的方差下降至 16.49，降幅达到了 71.65%，表明相较于初始方案的网络进度计划，优化后的资源均衡效果有了显著的提升，整体均衡性得到了有效改善。

4.2. 资源风险评价

仍以贵阳市某施工企业在 2023 年承包的建设项目为例，将 4.1 所述的 3 个并行项目作为项目组。该施工企业在项目组所在区域内采取区域化的管理和经营模式，并由区域项目经理负责统一管理。

针对该施工企业的工程项目组，找到 28 名相关专家对表 1 所示的评价指标体系中的各风险因子重要程度进行评价，计算得到各风险因子的权重为一级指标的权重集 $U = (0.520, 0.243, 0.091, 0.146)$ ，二级指标权重集分别为 $U_1 = (0.496, 0.264, 0.240)$ ， $U_2 = (0.532, 0.259, 0.209)$ ， $U_3 = (0.443, 0.312, 0.245)$ ， $U_4 = (0.482, 0.210, 0.308)$ 。且专家群体对二级指标风险等级的打分结果如表 4 所示：

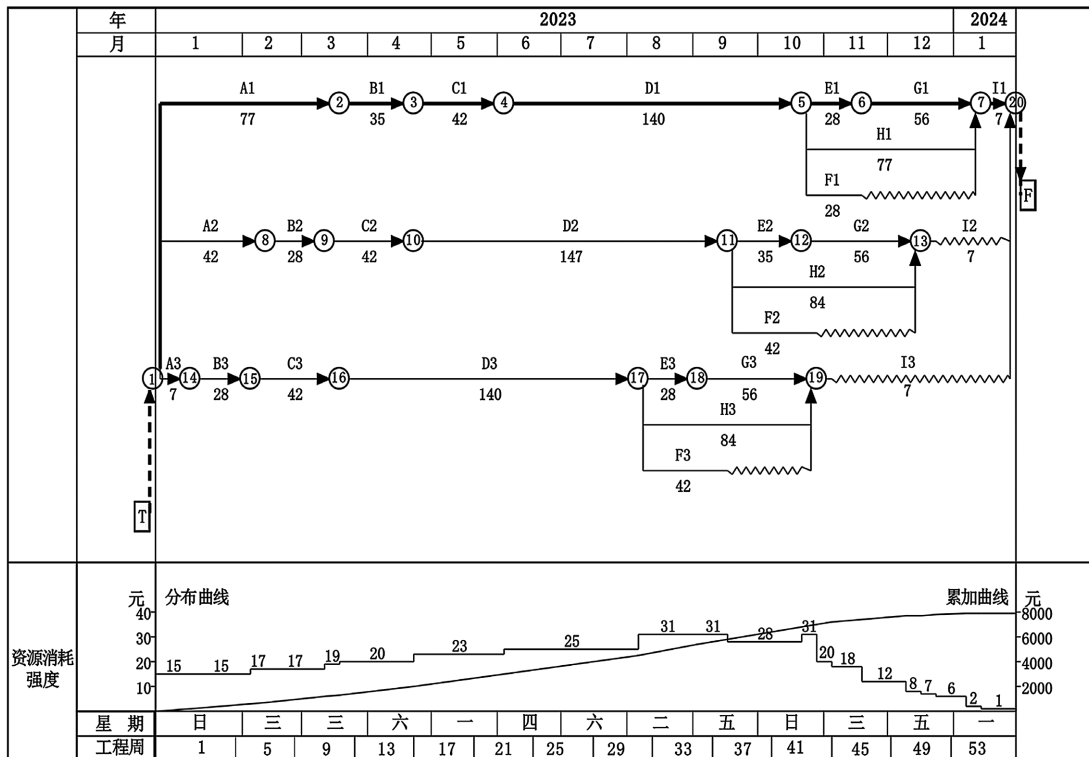


Figure 4. Network plan before optimization
图 4. 优化前网络计划图

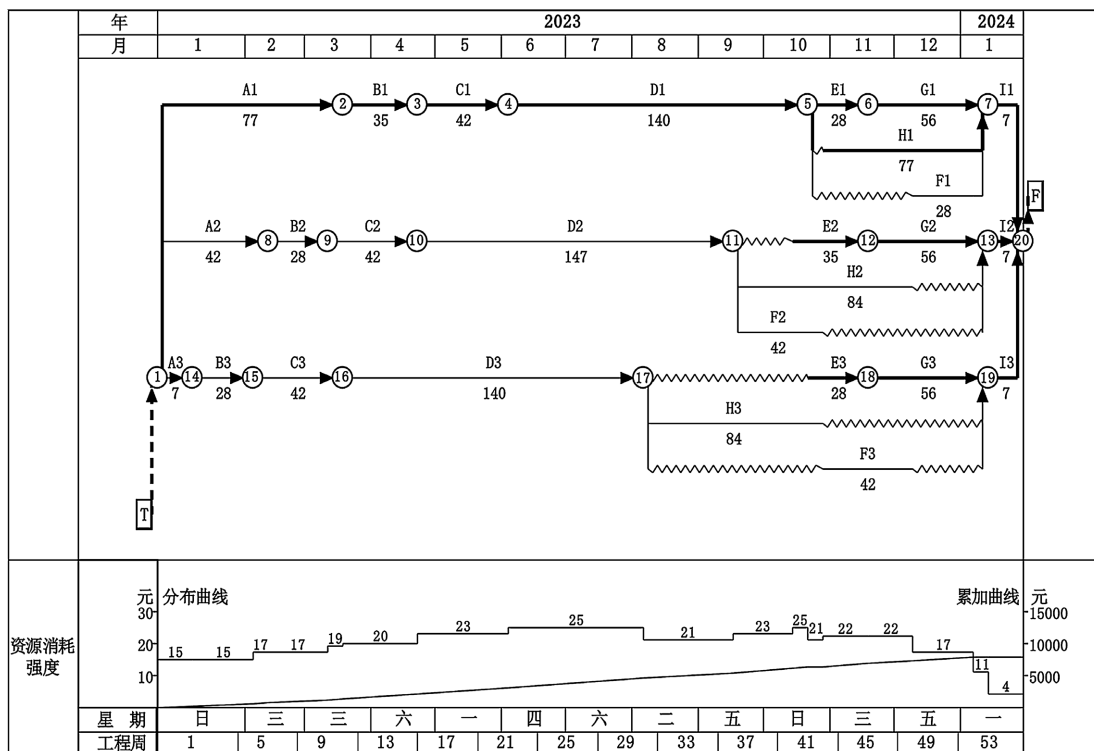


Figure 5. Optimized network plan diagram
图 5. 优化后网络计划图

Table 3. Resource equalization results table
表 3. 资源均衡结果表

	优化前	优化后
不均衡系数	1.52	1.23
极差值	19.38	16.38
方差值	58.16	16.49

Table 4. Table of risk factor scores (in persons)
表 4. 风险因子得分情况表(单位：人)

风险因子	高风险	较高风险	中等风险	较低风险	低风险
U_{11}	2	11	7	7	1
U_{12}	4	9	9	4	2
U_{13}	2	12	8	5	1
U_{21}	2	7	18	0	1
U_{22}	3	9	8	6	2
U_{23}	2	11	7	8	0
U_{31}	3	6	11	7	1
U_{32}	3	8	8	8	1
U_{33}	2	8	9	9	0
U_{41}	5	9	6	6	2
U_{42}	3	13	6	5	1
U_{43}	4	9	12	3	0

根据评估打分结果，利用公式(9)，建立各二级指标的隶属度矩阵，如下所示：

人力风险模糊关系矩阵 $R_1 = \begin{bmatrix} 0.071 & 0.393 & 0.250 & 0.250 & 0.036 \\ 0.143 & 0.321 & 0.321 & 0.143 & 0.072 \\ 0.071 & 0.429 & 0.286 & 0.178 & 0.036 \end{bmatrix}$

材料风险模糊关系矩阵 $R_2 = \begin{bmatrix} 0.071 & 0.250 & 0.643 & 0 & 0.036 \\ 0.107 & 0.322 & 0.286 & 0.214 & 0.071 \\ 0.071 & 0.393 & 0.250 & 0.286 & 0 \end{bmatrix}$

设备风险模糊关系矩阵 $R_3 = \begin{bmatrix} 0.107 & 0.214 & 0.393 & 0.250 & 0.036 \\ 0.107 & 0.286 & 0.286 & 0.286 & 0.035 \\ 0.072 & 0.286 & 0.321 & 0.321 & 0 \end{bmatrix}$

财务风险模糊关系矩阵 $R_4 = \begin{bmatrix} 0.179 & 0.322 & 0.214 & 0.214 & 0.071 \\ 0.107 & 0.464 & 0.214 & 0.179 & 0.036 \\ 0.143 & 0.321 & 0.429 & 0.107 & 0 \end{bmatrix}$

根据上述矩阵以及各二级指标的权重集，利用公式(10)，得到各二级指标的模糊综合评价矩阵为

$$\begin{aligned} B_1 &= A_1 \times R_1 = (0.496 \quad 0.264 \quad 0.240) \begin{bmatrix} 0.071 & 0.393 & 0.250 & 0.250 & 0.036 \\ 0.143 & 0.321 & 0.321 & 0.143 & 0.072 \\ 0.071 & 0.429 & 0.286 & 0.178 & 0.036 \end{bmatrix} \\ &= (0.090 \quad 0.383 \quad 0.277 \quad 0.204 \quad 0.046) \end{aligned}$$

同理可得:

$$B_2 = (0.080 \quad 0.299 \quad 0.468 \quad 0.115 \quad 0.038)$$

$$B_3 = (0.098 \quad 0.254 \quad 0.342 \quad 0.279 \quad 0.027)$$

$$B_4 = (0.153 \quad 0.352 \quad 0.280 \quad 0.174 \quad 0.042)$$

根据公式 $R = (B_1, B_2, B_3, B_4, B_5)^T$ 和一级指标的权重集, 利用公式(11), 得到模糊综合评价矩阵 B 为

$$B = A \times R = \begin{pmatrix} 0.520 & 0.243 & 0.091 & 0.146 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 0.090 & 0.383 & 0.277 & 0.204 & 0.046 \\ 0.080 & 0.299 & 0.468 & 0.115 & 0.038 \\ 0.098 & 0.254 & 0.342 & 0.279 & 0.027 \\ 0.153 & 0.352 & 0.280 & 0.174 & 0.042 \end{bmatrix}$$

$$= (0.097 \quad 0.346 \quad 0.330 \quad 0.185 \quad 0.042)$$

评价结果分析: 根据综合模糊评价的计算结果, 按照隶属度最大的原则, 得到各风险因子的评价结果如表 5 所示。

Table 5. Risk factor evaluation table

表 5. 风险因子评价表

风险因子	高风险	较高风险	中等风险	较低风险	低风险	评价结果
人力风险	0.090	0.383	0.277	0.204	0.046	较高风险
材料风险	0.080	0.299	0.468	0.115	0.038	中等风险
设备风险	0.098	0.254	0.342	0.279	0.027	中等风险
财务风险	0.153	0.352	0.280	0.174	0.042	较高风险

(1) 从项目整体来看, 模糊综合评价矩阵 B 中的最大值为 0.346, 根据隶属度最大原则, 可以判断出项目的资源风险等级为较高风险, 需要企业进一步识别下一级的风险因子, 制定出针对性的防范控制策略, 加强资源调配与监控, 并及时调整优化, 以降低风险等级至中等风险。

(2) 从表 5 的数据来看, 材料风险和设备风险均处于中等风险水平, 属于可接受的风险, 企业在项目施工阶段要加强对这两类风险各个环节的管理与控制, 做好监控工作。值得注意的是, 人力风险和财务风险处于较高风险水平, 这两者的管理状况很大程度上影响着整个项目的风险等级, 是需要重点关注的对象, 企业应针对性地制定科学合理的优化策略和风险应对措施, 以确保项目的顺利实施。

5. 结论

针对建设工程项目的多项目资源均衡优化和风险评价问题, 本文采用最小方差法和模糊综合分析法进行研究, 得到的研究结论如下:

(1) 通过工程实例研究表明, 应用本文建立的资源均衡优化模型能够有效解决资源分配不均衡的问题, 且计算出来的结果比较理想, 验证了该模型在解决资源均衡优化问题方面的有效性, 对实际工程项目提供了有益的参考依据。

(2) 借助模糊综合评价法, 可以直观地得出该工程项目的资源风险等级为较高风险, 针对较高风险评估等级, 管理者不仅需要关注资源的获取与储备, 也要注重资源的利用与保护, 同时还要加强风险预警与应对能力, 以应对复杂多变的市场环境。

(3) 在实际操作中, 企业需要综合考虑资源均衡优化和资源风险的关系, 制定合理的管理策略, 实现资源的优化配置和高效利用, 以确保项目的顺利进行和企业的持续发展^[14]。

基金项目

贵州省省级科技计划项目资助(黔科合基础-ZK [2021]一般 339、黔科合基础-ZK [2022]一般 080)。

参考文献

- [1] Elkliny, A.F., Sanad, H.M. and Etman, E.E. (2023) Time-Cost-Quality Tradeoff Considering Resource-Scheduling Problems. *Ain Shams Engineering Journal*, **14**, Article ID: 102524. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102524>
- [2] Zhang, H., Ma, R. and He, Z. (2024) Project Scheduling Cost Optimization Based on Resource Transfer Costs and Robustness. *Computers & Operations Research*, **161**, Article ID: 106445. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2023.106445>
- [3] 段世霞, 张金茹. 基于改进遗传算法的多项目资源均衡配置研究[J]. 工业技术经济, 2017, 36(10): 96-102.
- [4] 张智涌, 双学珍. 基于遗传算法的水电工程施工“工期固定资源均衡”优化研究[J]. 四川水力发电, 2016, 35(6): 71-73.
- [5] 何立华, 王栎绮, 张连营. 多资源均衡优化中基于专家权重聚类的权重优选法[J]. 系统工程, 2014, 32(12): 124-132.
- [6] 王家, 刘可心, 张学清, 等. 基于子集模拟的建设工程项目多资源均衡优化算法[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2021, 48(7): 168-176.
- [7] 李敬花, 胡载萍, 吕慧超, 等. 基于免疫遗传算法的海工多项目资源均衡研究[J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(9): 3250-3254.
- [8] 梁晓斌, 赵光强, 谭朝成, 等. 基于 FCE-SEW 模型的某工程项目风险评估研究[J]. 油气田地面工程, 2023, 42(12): 42-49.
- [9] 江新, 朱沛文, 徐平, 等. 国际水电工程项目群资源冲突风险测度研究[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(12): 144-149.
- [10] 庞俊勇, 郑靓婧. 依赖模糊层次分析算法的建设工程项目风险分析[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2024, 42(2): 102-105.
- [11] 何立华, 张连营. 基于资源波动成本的工程项目资源均衡优化[J]. 管理工程学报, 2015, 29(2): 167-174.
- [12] Şahin, M. and Kellegöz, T. (2019) A New Mixed-Integer Linear Programming Formulation and Particle Swarm Optimization Based Hybrid Heuristic for the Problem of Resource Investment and Balancing of the Assembly Line with Multi-Manned Workstations. *Computers & Industrial Engineering*, **133**, 107-120. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.04.056>
- [13] 邓肖夫, 陈顺良, 张敏. 工程施工项目资源配置合理性的模糊综合评价模型[J]. 中外建筑, 2013(5): 130-131.
- [14] Tran, D.H., Cheng, M.Y. and Pham, A.D. (2016) Using Fuzzy Clustering Chaotic-Based Differential Evolution to Solve Multiple Resources Leveling in the Multiple Projects Scheduling Problem. *Alexandria Engineering Journal*, **55**, 1541-1552. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.03.038>
- [15] 蔡黔芬, 王军武. 施工项目劳动力资源优化的方差值最小法改进[J]. 统计与决策, 2019, 35(13): 181-184.