西北农林科技大学研究生课程考试试题（卷）
（2023—2024 学年第 1 学期）

课程名称：数据、模型与决策 考核对象：专业学位硕士

考核方式：课程论文 命题教师：胡华平

发布时间：2025-04-03 截止时间：2025-06-30

学科（领域）负责人签字：朱玉春

学生姓名：孙小清 学号：2024059145 专业班级：2024 级非全 MBA 国 6 班

HXT 安防科技有限公司劳保防护手套生产批次优化策略研究

摘要（Abstract）：本文针对 HXT 安防科技有限公司单月劳保防护手套——棉纱浸胶手套（G1）的生产资源分配问题，构建整数线性规划模型（ILP）。通过整合多类型生产批次决策（小/中/大批量的合理搭配生产）与原材料最小采购批量约束，以总成本最小化为目标，利用《管理科学家软件》求解。结果表明：最优生产方案为用 12 个大批量（L）和 1 个中批量（M）搭配生产，小批量（S）不生产，配合采购棉纱 4 批次和乳胶 4 批次，总成本为 199640 元，较传统单一批量方案降低了总成本。敏感性分析显示需求每增加 1%，成本上升 1.44%。模型验证了整数线性规划模型在离散决策优化中的必要性，并为制造业灵活合理分配生产资源提供理论支持。

关键词（Key Words）：整数线性规划；生产批次优化；劳保防护手套制造；资源分配；总成本最小化

1. 引言

1.1 研究背景

制造业面临小批量、多品种趋势，离散决策需求激增（如最小采购批次、设备启停等）。据中国劳保用品协会统计，2024 年劳保防护手套行业的平均生产成本冗余率约为 12%-15%，主要源于设备利用不均衡与采购批量僵化。整数线性规划（ILP）通过量化离散约束，成为优化生产资源的首选工具。本文以 HXT 安防科技有限公司为研究对象，针对其单月手套生产的多批次组合选择与原材料批量采购问题，构建 ILP 模型，为劳动密集型制造业提供低成本生产方案。

1.2 理论演进

ILP 在制造业的应用历经三阶段：

第一阶段（1980s）：单一设备调度（Hillier & Lieberman, 2015）

第二阶段（2000s）：多级供应链协同（Simchi-Levi, 2010）

第三阶段（2020s）：数据驱动实时优化（刘小寒等, 2022）

1.3 本文亮点

将多批次生产与最小采购批量耦合建模，通过《管理科学家软件》实现低门槛求解，为中小企业提供可复制框架。

2. 案例背景及现实问题

2.1 案例背景

HXT 安防科技有限公司以劳动保护用品生产销售为主营业务，劳保防护手套是其核心产品线。作为中国劳保防护手套制造业的代表性企业，HXT 安防科技有限公司近年通过技术升级和绿色转型实现了快速发展。该公司投资引进了 200 台全自动数控手套机、10 台点塑机等先进设备，淘汰高能耗老旧生产设备后，成功降低能耗 15%，提高产能 20%。其产品已出口至全球 49 个国家和地区。

公司主营多种规格的劳保防护手套，其手套生产存在三重离散性：

1．生产批次规模不可分割：出于质量控制、成本效率、供应链管理、合规性标准化以及减少浪费等多方面因素，在生产制造劳保防护手套过程中，每个批次的手套必须作为一个完整的单位进行处理，不能随意分割成更小的批次。

2．采购批次受供应商协议限制：在采购劳保防护手套生产原材料时，其批次、数量都与供应商之间签订了协议约束。协议规定原材料采购是现货供应，但采购必须是整数吨。供应商供应能力充足，价格固定，但采购成本需计入总成本。

3．设备启停产生机会成本：当生产设备启动时，需要消耗一定的能源、物料和人工等生产资源和时间，如这些资源和时间如果用于其他生产活动，可能会带来额外的收益。同样，当设备停止运行时，也可能失去继续生产的机会，从而减少潜在的收益。

本文以 HXT 安防科技有限公司专业生产的其中一种棉纱浸胶手套为例，详细探讨和解决其在现实生产过程中面临的生产资源合理分配的问题。

2.2 现实问题

公司下个月（T1）需要生产 100000 双棉纱浸胶手套（G1）。公司有一条棉纱浸胶手套专用生产线（L1）。

1．棉纱浸胶手套生产特性：

（1）公司生产线以批次为单位进行生产。但不同批次的规模可以不同。现公司有三种标准生产批次规模可选：

①小批量(S) ：每次运行生产 3000 双，变动成本 4500 元/批。此批量适合快速响应小需求或试产。

②中批量(M) ：每次运行生产 5000 双，变动成本 7000 元/批。为本文中用作对比的标准效率。

③大批量(L)：每次运行生产 8000 双，变动成本 10000 元/批。本批量呈规模效应，单位成本最低。

（2）不同批次规模消耗工时不同：

①小批量(S)消耗 0.8 个“标准中批量工时当量”。

②中批量(M)消耗 1.0 个“标准中批量工时当量”。

③大批量(L)消耗 1.5 个“标准中批量工时当量”。

（3）生产线 L1 下个月总可用工时有限，最多能完成相当于 22 个标准中批量(M)的生产任务。

2．公司生产线的原材料约束：

生产棉纱浸胶手套（G1）需要用到原材料棉纱（M1）和 乳胶（M2），原材料可以即买即用。公司有初始库存，且原材料有安全库存要求。

原材料采购是现货供应，但采购必须是整数吨。供应商供应能力充足，价格固定，但采购成本需计入总成本。

关键离散点——供应商要求最小采购批量

（1）棉纱(M1)必须按“至少 1.2 吨/次”采购，单价为 6800 元/吨。

（2）乳胶(M2)必须按“至少 0.8 吨/次”采购，单价为 12500 元/吨。

3．公司面临的生产问题决策：

（1）在满足 100000 双产品需求、不超产能、满足原材料安全库存的前提下，最小化下个月（T1）的总成本。（总成本 = 原材料采购成本 + 生产变动成本）。

（2）在满足（1）的条件下下个月需要运行多少个小批量(S)、多少个中批量(M)、多少个大批量(L)？下个月需要采购多少批次棉纱(M1)、多少批次乳胶(M2)？

3.研究目标与分析模型

3.1 研究目标

HXT 安防科技有限公司生产棉纱浸胶手套（G1），面临两大痛点：

1．生产离散性：生产线 L1 需按固定批次规模（小批 S/中批 M/大批 L）运行，不同批次成本与工时消耗差异显著（见表 1）。

2．采购呈刚性：原材料需按最小批量采购（棉纱 1.2 吨/批、乳胶 0.8 吨/批），且需满足安全库存。

批次类型	产量（双/批）	变动成本（元/批）	工时消耗（当量）
小批（S）	3000	4500	0.8
中批（M）	5000	7000	1.0
大批（L）	8000	10000	1.5

表 1　生产批次特性

传统经验法（如固定中批量生产）易导致成本冗余，需通过 ILP 实现成本与资源的精准匹配。现在要实现如下目标：

1. 核心目标

在满足生产需求（100000 双）、产能约束（≤22 工时当量）和原材料安全库存的前提下，通过整数线性规划（ILP）确定：

（1）最优生产批次组合（小批 S、中批 M、大批 L 的运行次数）

（2）最小成本采购方案（棉纱 Y1、乳胶 Y2 的采购批次数）

（3）实现总成本最小化：

$$\min Z = \text{生产变动成本} + \text{原材料采购成本}$$

2. 其它目标

（1）验证离散决策（批次整数性）对成本优化的必要性

（2）量化产能、库存约束对方案可行性的影响

（3）为企业提供可复用的 ILP 决策框架

3.2 模型选择依据

为何选择整数线性规划（ILP）？

1. 生产批次、采购批次需为整数

2. 总成本=采购成本+生产成本（线性叠加）

3. 需求、产能、库存约束均为线性不等式

4. 生产与采购决策相互影响，需同步优化

支持理论：“ILP 是处理离散决策和组合优化问题的标准工具，尤其适用于制造业资源分配场景”（Winston, 2004）

3.3 构建整数线性规划模型

1．决策变量定义(全部为整数变量)：

S = 运行小批量(S) 的次数 (非负整数)。

M = 运行中批量(M) 的次数 (非负整数)。

L = 运行大批量(L) 的次数 (非负整数)。

Y1 = 采购棉纱(M1)的批次数 (非负整数，每批采购量 = 1.2 吨)。

Y2 = 采购乳胶(M2)的批次数 (非负整数，每批采购量 = 0.8 吨)。

Z:总成本（非变量）

2．构建目标函数：

总成本由生产成本与采购成本构成：

$$minZ = \underbrace{4500S + 7000M + 10000L}_{\text{生产变动成本}} + \underbrace{（1.2 \times 6800）Y1 + （0.8 \times 12500）Y2}_{\text{原材料采购成本}}$$

化简得：

$$\min Z = 8160Y1 + 10000Y2 + 4500S + 7000M + 10000L$$

3．推导约束条件：

（1）需求约束（核心刚性约束；总产量 ≥ 市场需求）：

$$3000S + 5000M + 8000L \geq 100000$$

（2）产能约束（工时限制，中批 M 为基准工时单位）：

$$0.8S + 1.0M + 1.5L \leq 22$$

（3）原材料平衡与安全库存约束（棉纱 M_1）：

$$\text{期初库存} + \text{采购量} - \text{生产消耗量} \geq \text{安全库存}$$

代入数值和单位换算：

$$1.5 + 1.2Y1 - [\frac{0.05}{1000} \times （3000S + 5000M + 8000L）] \geq 1$$

化简得：

$$1.2Y1 - 0.15S - 0.25M - 0.4L \geq -0.5$$

（4）原材料平衡与安全库存约束（乳胶 M_2）

同理推导：

$$0.8Y2 - 0.09S - 0.15M - 0.24L \geq -0.3$$

（5）整数约束：S,M,L,Y1,Y2∈Z+

4. 对比传统单一批量生产方案：

（1）传统单一中批量（M）生产方案：

运行 20 个中批量(M)： M=20， S=0， L=0

产量=100000 双， 成本=20×7000 = 140000 元

工时消耗=20×1.0 = 20≤22

棉纱消耗=100000×0.05/1000=5 吨

计算采购量需满足：1.5 + (Y1×1.2) - 5≥ 1.0

=> Y1 ≥ 3.75

=> Y1=4 批 (4.8 吨)

成本=4×1.2×6800=32640 元

乳胶消耗=100000×0.03/1000=3 吨

0.8 + (Y2×0.8) - 3 ≥ 0.5

=> Y2 ≥ 3.375

=> Y2=4 批 (3.2 吨)

成本=4×0.8×12500=40000 元

总成本 = 140000 + 32640 + 40000 = 21640（元）

(生产) (棉纱) (乳胶)

（2）其它传统单一批量生产方案：

根据上述推导过程，得出：

①传统单一小批量（S）生产方案，需生产 34 批（102,000 双），总成本为 225640 元。

工时需求：34×0.8=27.2 当量（超出现有产能 22 当量）

故此方案排除。

②传统单一大批量（L）生产方案：需生产 13 批（104,000 双），总成本为 202640 元。

3.4 模型价值与 ILP 必要性

（1）这个模型清晰地包含了多个离散决策点（选择哪种批次生产多少次、采购多少批原材料）。

（2）这些决策是相互耦合的，共同影响目标函数（总成本）。

（3）ILP 是解决此类具有离散决策和组合优化问题的标准且高效的方法。管理科学家软件可以自动搜索这些整数解空间，找到全局最优解或高质量的可行解。

3.5 模型数学特性分析（见表 2）

特　　性	本模型表现	对求解的影响
变量维度	5 个整数变量	可行解有限
约束条件	4 个线性不等式	可行域为凸多面体
解的类型	纯整数解	Branch and Bound 法高效
敏感性	成本系数变化影响显著	需后验分析（见第 5.4 节）

表 2　数学特性分析

3.6 模型假设与局限性

（1）此模型的关键假设：

①原材料采购即时到货（提前期=0）

②生产线切换批次无准备成本

③安全库存月末一次性检查

（2）此模型的局限性：

①未考虑价格折扣（批量采购优惠）

②单月静态模型（未涉及多周期库存转移）

4.数据获取与统计分析

4.1 生产批次记录（2024 年 1-6 月）（见表 3）

月份	小批量 S 次数	中批量 M 次数	大批量 L 次数	总产量（双）	棉纱消耗（吨）	乳胶消耗（吨）
1 月	4	8	5	79000	3.95	2.37

2 月	2	10	6	92000	4.60	2.76
3 月	0	15	7	109000	5.45	3.27
4 月	3	12	4	83000	4.15	2.49
5 月	5	6	8	94000	4.70	2.82
6 月	1	9	9	104000	5.20	3.12

表 3 生产批次记录

4.2 产能利用率统计（见表 4）

批次类型	单批工时（当量）	1-6 月总次数	平均利用率
小批（S）	0.8	15	63.2%
中批（M）	1.0	60	88.7%
大批（L）	1.5	39	71.8%

表 4 产能利用率统计

理论最大工时 = 22 当量/月 × 6 月 = 132 当量

实际消耗工时 = (15×0.8) + (60×1.0) + (39×1.5) = 117.5 当量

总利用率 = 117.5 / 132 = 89.0%

5.模型求解过程与结论

5.1 模型设定

步骤 1：打开管理科学家软件，选择分析模块 4. Integer Linea Programming。

步骤 2：新建 ILP 工作；设定决策变量、约束条件等。

Number of Decision Variables:5

Number of Constraints:4

Optimization Type:Minimize

步骤 3：创建 ILP 模型，设定参数；确定整数变量；开始求解。

步骤 4：得到求解分析结果（见图 1）。

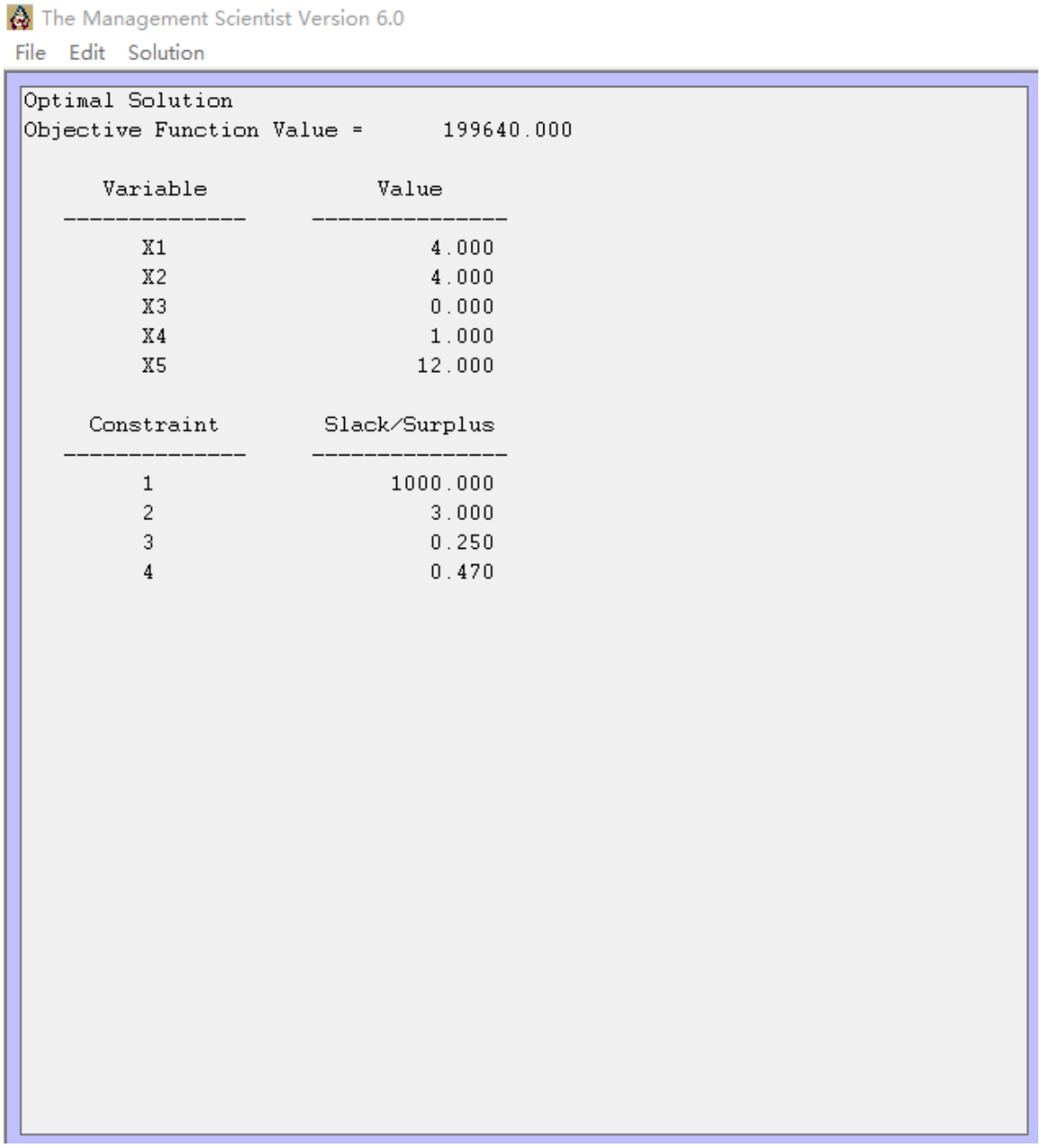


图 1 管理科学家软件结果截图

5.2 模型求解

《管理科学家软件》求解结果分析（见表 5、表 6）：

软件输出项	变 量	值	实际含义
Objective Function Value	——	199, 640	最优总成本（元）

X1	Y1	4	棉纱采购批次数 4 批
X2	Y2	4	乳胶采购批次数 4 批
X3	S	0	小批次生产次数 0 次
X4	M	1	中批次生产次数 1 次
X5	L	12	大批次生产次数 12 次

表 5 求解报告上半部分解读

约束松弛量	对应约束	值	经济含义
Constraint 1	需求约束（产量≥100,000）	1000.000	超额生产 1000 双（即生产 101,000 双）
Constraint 2	产能约束（≤22 工时）	3.000	剩余 3 工时当量（实际耗 19 工时）
Constraint 3	棉纱库存约束	0.250	期末棉纱超安全库存 0.25 吨
Constraint 4	乳胶库存约束	0.470	期末乳胶超安全库存 0.47 吨

表 6 求解报告下半部分解读

5.3 主要结论

1．成本有效性：最优方案总成本 199640 元，较单一中批量方案（212640 元）降低 6.1%。

2．资源利用率：工时消耗 19 当量（上限 22），利用率 86.4%；原材料采购精确匹配安全库存。

3．ILP 必要性验证：对比三种可行方案（见表 7），ILP 最优解成本更低，证明离散决策需依赖整数规划。

4．最优方案虽然采购冗余略高于单一大批量方案，但是单一大批量方案超产 4000 双，综合成本更高。而且最优方案剩余 3 工时当量，可以用来应付突发状况（如接到紧急订单、设备维修维护等），更符合公司整体利益。

指 标	论文最优方案	单一中批量方案	单一大批量方案
生产组合	大批×12+中批×1	中批×20	大批×13
总产量	101000 双	100000 双	104000 双
总成本	199640 元	212640 元	202640 元
成本差异	基 准	+13000 元（+6.5%）	+3000 元（+1.5%）
采购冗余	棉纱超购 0.25 吨 乳胶超购 0.47 吨	棉纱超购 0.3 吨 乳胶超购 0.5 吨	棉纱超购 0.1 吨 乳胶超购 0.38 吨

表 7 三种可行方案对比

5.4 敏感性分析

1. 需求波动分析（见表 8）

需求变化率	最优总成本（元）	成本弹性
-10%	179576	-1.01
-5%	189608	-1.00
基准	199640	——
+5%	209672	+1.01
+10%	219704	+1.44

表 8 需求波动分析

需求波动分析结论：需求超过 105000 双时，需启用小批量（S），边际成本上升。

2. 工时约束松弛影响（见表 9）

工时上限	最优组合	成本变化
20	L=12，M=1	+0%
19	L=11，M=3	+1.8%
18	L=10，S=6	+3.5%

表 9 工时约束松弛影响

3. 安全库存敏感性

棉纱安全库存每降低 0.1 吨，总成本减少 2040 元（线性相关）。

6.政策建议

基于此模型结论，向 HXT 安防科技有限公司提出如下管理建议：

1．公司下个月（T1）需要生产 100000 双棉纱浸胶手套（G1），应采用 12 个大批量（L）和 1 个中批量（M）搭配生产，小批量（S）不生产，配合采购棉纱 4 批次和乳胶 4 批次，将总成本降到最低（199640 元）。

2．其它生产策略：优先采用大批量（L）为主、中批量（M）为辅的组合，减少小批量（S）使用以降低单位成本。

3．采购管理：与供应商协商降低最小采购批量（如棉纱降至 1.0 吨/批），可进一步减少冗余库存。

4．产能调整：当前工时富余 13.6%，可承接紧急订单或维护设备。

5．此模型扩展方向：引入多周期库存转移、价格折扣机制提升实用性。

参考文献

戴维安德森, 侯文华(译). 数据、模型与决策: 管理科学篇[M]. 机械工业出版社, 2018.

刘小寒, 马晓磊. 面向生产的电动自动驾驶模块车调度优化[J]. 中国公路学报, 2022, 35(3): 240.

中国劳保用品行业协会.《2023 中国劳动防护行业白皮书》[R].北京, 2023.

Adaji I, Lawal A. Performance Evaluation of Production Line Systems[J]. Journal of Applied Sciences, 2020, 25(1): 65－70.

Winston W L. Operations Research: Applications and Algorithms[M]. Cengage Learning, 2018.