

# 2023 年度“杉数杯”数学建模精英联赛

## C 题：生产员工的培训与产线分配

### 一、背景介绍

生产员工管理通过有效的管理措施，提高员工的工作效率和工作质量，同时促进员工的个人发展和企业发展。本题关注以装配测试为主的生产型企业，该类型企业普遍对员工具有较高的用工要求，员工入职后需要进行针对多个产品进行专业培训，培训计划往往持续较长时间。新员工经过培训逐步进入产线工作，后续既可完成多个岗位的工作又可以将经验归纳并传授新员工。但是，受到薪酬水平、生产环境、职业发展等因素的影响，员工的流动往往比较频繁。在新老员工交替阶段，产线的产能和产品质量往往会产生较大的波动，严重的还会引起发货周期的延长或者客户投诉率的提高。

因此，某生产企业决定优化目前对生产员工培训与产线分配的策略，聘请你们的队伍担任企业顾问，在员工流动时，保持产能的基本稳定并且对于新员工，提供最优化的培训策略，以确保新员工可以无缝的加入后续生产队列，进而节约生产制造成本，增强企业核心竞争力，提升生产管理水平。

### 二、业务规则

产线员工调度问题可以描述为：有  $m$  个产线员工在  $n$  条产线上工作，每条产线生产的产品不一定相同。企业会收到来自不同用户的订单，每件订单需要生产不同数量的产品，其中产品的种类可能有多种。每件订单已经分配好生产产品的产线。每件产品在产线上生产需要花费一定时间，标准生产时间记为标准工时。每件订单包含相应用户给定的完工截止时间，订单中最后一件产品生产完毕的时间记为订单的实际完工时间。如果实际完工时间超过完工截止时间，则订单视为超时完成。每条产线每个时段只能生产同伴订单的同种产品，每条产线有相应的工位数，对应能够同时生产同伴订单同种产品的员工数量。

每位员工在不同产线存在技能水平差异，分为 N（无经验）、O（操作工）、E（专家）3 档（附件 2 提供了每位员工对标不同产线的技能水平矩阵），不同水平代表该员工对应产线上的生产效率不同（产品实际生产时间 = 产品标准工时 / 对应产线的生产效率）。对于缺乏某些产线相关经验的员工，需要进行培训。培训分为理论培训与产线培训：理论培训需由老员

工带教，期间新老员工产能均记为 0；产线培训期间，操作的是实际的生产订单任务，仍由老员工带教，老员工生产效率按照自身生产效率的 60% 计算（O 级员工对应 48%生产效率，E 级员工对应 60%生产效率），新员工产能仍记为 0。当新员工对应产线技能水平由 N 升级为 O 时，员工能在该产线独立进行作业，并可进行新员工的培训。O 级员工从升级开始，若在相应产线操作累计满 150 小时可以升级到 E 级员工。

### 三、数据描述

该企业共有 12 条产线, 20 名员工。员工每周工作 5 天，每天记 450 分钟，数据当中的时间已经按照标准工作时间换算成分钟量级，故时间可视为从 0 时刻开始的连续时间戳。数据中的换算按照每天工作时间 450 分钟累计（不是 24 小时），不考虑非工作时间，每天所有员工均同时开始上班，同时下班，不考虑轮班情况。

#### 附件 1：40 天生产订单

附件给出了该企业 40 天内的生产订单。一条订单对应一个或多个产品，产品由产品名称唯一标识。数据给出了每个产品到相应产线的分配，以及产品的标准工时。每件订单均有相应的唯一完工截止时间。数据中最大完工截止时间为 18000 分钟，对应 40 天\*450（分钟/天）。

#### 附件 2：生产员工技能表

附件给出了该企业 20 名员工在不同产线的技能水平矩阵。员工技能水平分为 3 档，对应的级别、每个级别的技能说明以及不同级别之间如何升级在表格右边有详细阐述。

#### 附件 3：产线培训周期

附件给出了员工在不同产线上从 N 级升级到 O 级，所需要的理论培训以及产线培训时间。

### 四、问题设置

请你们团队根据问题描述和实际情况完成以下任务，利用数据科学知识和运筹优化技术，研究下列问题：

- (1) 请结合附件 1 中的数据，假设企业存在足够多员工，且员工在所有产线上的技能水平均为 E（不考虑培训与升级），设计最优分配方案，使得所有订单的超时分钟数之和最小（每个订单的超时=该订单实际完工时间-该订单完工截止时间）。写出分配方案与超时分钟数之和。
- (2) 请结合附件 2 中的数据，考虑员工数量有限、员工技能水平存在差异、员工不能进行培训与升级、员工无增减变化情况下的生产计划分配，设计分配方案，使所有订单的超时分钟数之和最小，写出分配方案与超时分钟数之和。
- (3) 请结合附件 2 与附件 3 中的数据，考虑员工数量有限、员工技能水平存在差异、员工可以培训升级、员工无增减变化情况下的生产计划分配，设计分配与培训方案，使所有订单的超时分钟数之和最小，写出分配、培训方案与超时分钟数之和（注意你们团队的解法应适用于各类数据集，如果在某些数据集情况下发现和第(2)问结果相同，请解释为何不需要培训。此时我们可以在完成订单的同时尽可能提升员工的技能水平，请探讨此时应如何分配和培训，必要时可适当牺牲一些超时分钟数）。
- (4) 在第三问的生产计划分配（不考虑同时提升员工技能水平的情况）的基础上，假设由于工作安排，该企业于第 2250 分钟下达通知，将在第 4500 分钟调离 PE001 到 PE010 这十位员工，同时将安排十位新员工在第 6750 分钟入职，新员工的所有技能水平均为 N，给出相对较优的生产计划调整方案，说明此调整方案的合理性，同时尽量使得所有订单的超时分钟数之和最小，写出此超时分钟数之和（此问不优化员工技能水平提升的程度）。

#### 分配方案样例：

| 订单编号     | 订单开始时间<br>(分钟) | 实际完工时间<br>(分钟) | 分配员工                   |
|----------|----------------|----------------|------------------------|
| 11356788 | 0              | 138            | PE001, PE002,<br>PE003 |
| ...      | ...            | ...            | ...                    |

视情况增删表格中的无用列（比如第一问可以删除“分配员工”列）

注 1：本课题研究不考虑加班，轮班，设备维修等情况。

注 2：每条产线在做每个订单的时候，员工不能替换。

注 3：一件产品只能由一个员工完成，不能中途替换员工。