

# 汽车企业全厂排产优化问题

## 一、介绍

汽车生产工艺复杂，一辆汽车的制造需要完成焊装、涂装、总装三大工艺，经过焊装车间、涂装车间、总装车间。各车间存在上下游关联关系，每个车间有自己的优化排序目标，需要综合考虑多种复杂的排序规则及工艺约束，制定合理的混流装配排序计划，通过对车身序列进行排序优化，从而保证生产物料消耗的均衡性以及各个生产工位的负荷均匀化等。其中生产流程如下图所示，首先确定车辆生产序列，再按照该序列进入各个车间进行生产。



目前大多数元启发式算法对于该问题进行优化可得到一组满足生产目标的方案。

## 二、问题定义

其中每辆车拥有 6 个信息，分别是：

- (1) 车型：A、B；
- (2) 车身颜色：薄雾灰，天空灰，飞行蓝，水晶紫，水晶珍珠白，明亮红，闪耀黑；
- (3) 车顶颜色：黑曜黑，石黑，无对比颜色，特殊颜色（绿色）；
- (4) 发动机：燃油，混动；
- (5) 变速器：二驱，四驱；
- (6) 备注物料：车

例如：

	车型	车身颜色	车顶颜色	发动机	变速器	备注物料
车 1	A	天空灰	石黑	燃油	二驱	车
车 2	B	飞行蓝	无对比颜色	混动	四驱	车

车的生产在不同车间有不同的约束，所以我们需要优化一个车辆进入生产的顺序，使其尽可能的满足生产目标。

优化问题：

优化进入生产的顺序，使得车出总装顺序能够满足生产目标（如既定出厂顺序计划、完工时间等），即如何找到使出厂（出总装）车辆顺序符合生产目标的入厂（进焊装）车辆顺序。

若有  $n$  辆车，则决策变量为一个长度为  $n$  的序列  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ ，代表进入生产的顺序。例如，若有 7 辆车的生产订单，决策变量可以为  $(7, 6, 1, 3, 2, 5, 4)$ ，即先生产订单中第 7 辆车、再生产第 6 辆车、第 1 辆车、... 第 4 辆车。

现有一个实际生产订单共有 103-2776 辆车。即决策变量为一个长度为 103-2776 的生产序列。该问题中进焊装车间的顺序等于出焊装车间的顺序，进涂装车间的顺序等于出涂装车间的顺序，进总装车间的顺序等于出总装车间的顺序，同时出焊装车间的顺序等于进涂装车间的顺序，出涂装车间的顺序等于进总装车间的顺序。故只需要优化一个进入焊装车间的顺序。

问题中待优化目标共有 4 个，分别是：

（1）当车进入焊装车间时，由于焊装时不同车型使用的设备不同，需要根据车型切换生产，故该车间中设备的切换次数越少越好。

（2）当车进入涂装车间时，由于喷漆（因车每 5 辆车清洗喷头或颜色切换也需额外清洗喷头）限制偏向颜色以 5 的倍数的车生产，故该车间中尽量连续生产颜色相同的车，且数量为 5 的倍数。



车的颜色分为车顶颜色和车身颜色，喷漆顺序为：先喷车顶再喷车身。若一辆车车顶与车身颜色不同，则认为需要颜色切换，即需要额外清洗喷头，若一辆车车身颜色与下一辆车顶颜色不同，也认为需要颜色切换。相邻两辆车在喷漆过程中若发生了颜色切换就认为颜色不连续。

如：

例 1	车 1	车 2
-----	-----	-----

车顶	白	红
车身	红	红
例 2	车 1	车 2
车顶	白	红
车身	白	红

例 1 和例 2 都认为是两辆车颜色不连续。

例 3	车 1	车 2	车 3	车 4	车 5	车 6
车身	白	白	白	白	白	绿
车顶	白	白	白	白	白	绿
例 4	车 1	车 2	车 3	车 4	车 5	车 6
车身	红	白	白	白	白	绿
车顶	红	白	白	白	白	绿
例 5	车 1	车 2	车 3	车 4	车 5	车 6
车身	红	红	白	白	白	绿
车顶	红	红	白	白	白	绿

以连续 5 辆车为例，如上三个例子中，例 3 是最符合生产需求的。例 4 是 4 辆车连续；例 5 是一个 2 辆车连续加上 3 辆车连续构成，此时认为例 4 比例 5 更好。

**注：**车顶颜色为无对比颜色时，认为车顶与车身颜色相同。

(3) 当车进入**总装**车间时，四驱车尽量连放但连放次数<4 为优。即连续两辆或连续三辆四驱车相邻都认为是符合预期的，故**该车间中尽量使得四驱车连放，但是连放数<4。**



(4) 这批订单总的完工时间，该完工时间越短越好。

$$\min_x f_4 = t_1 + t_2 + t_3$$

其中 $t_1$ 代表这批车全部通过焊装车间的时间； $t_2$ 代表这批车全部通过涂装车间的时间， $t_3$ 代表这批车全部通过总装车间的时间。

时间计算规则如下：

(1) 中焊装一辆车需要 80s，此外焊装设备有个最小使用时间 30min/次。若在 30min 中内发生设备切换，则需要等到第 30min 才可切换；若连续使用 30min 后发生切换，只需要考虑焊装时间即可。(2) 中涂装一辆车分为涂装车身和车顶，分别耗时 40s，清洗喷头耗时 80s。(3) 中总装车间总装一辆车的耗时 80s，该车间耗时是一个固定值，最终直接加到总完工时间内即可。

### 三、评估标准

本次比赛共有 100 个数据集，每个数据集的参数相同，数据量从 103 至 2776 条数据。选手需要设计算法优化该问题，对每个数据集依次进行优化，得出优化后的序列。最终得分为每个数据集的优化序列上传到报名网站计算得出的 HV 值之和。

#### 要求：

- (1) 上传文件为 excel，包含 100 个 sheet，按数据集排序。（格式参考报名网站示例文件）
- (2) 每个数据集的优化结果最终提交的解集不超过 50。（注：选手设计的算法可产生 N 个解，但最终上传的解集不超过 50）

#### 评分标准：

以 HV 值作为评分标准，选手提交优化序列集到报名网站，系统自动计算 HV 值，得分显示在排行榜。

进入决赛的选手需提交官方赛事开发平台项目模板，以保证算法代码的原创性。组委会会评估代码的原创性以及计算性能。在得分相同的情况下，提交时间越早，排名靠前。

最终得分以比赛官网排行为准，对得分如有异议可联系组委会进行反馈。

### 四、其他说明

#### 开发环境说明：

本次大赛选手可根据自身擅长领域选择不同开发环境，选手可通过报名网站直接进入开发环境，根据官方说明文档进行学习完成赛题。同时组委会定期提供开发环境使用说明直播教学，选手可以加入社群即时了解信息动态，互动交流和学习。

#### 数据说明：

数据已集成在开发环境内，选手登录后可直接引用。

## HV 值规则说明：

介绍非支配解集的概念，选手提供的一组解集中的方案解存在好坏之分。例如对于该问题有两个解 $P_1=(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ 和 $P_2=(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ ，该问题有 4 个目标函数，若 $f_i(P_1) \leq f_i(P_2), i \in \{1, 2, 3, 4\}$ ，并且 $\exists j \in \{1, 2, 3, 4\}, f_j(P_1) < f_j(P_2)$ ，则认为  $P_1$  比  $P_2$  好；反之，认为 $P_1$ 、 $P_2$ 相当。因此选手提供的解集最终会产生一部分解，这些解比原解集中的其他解都好，但是这些解之间相当，这些解构成的就称之为非支配解集。

使用 HV 指标为评分标准。HV 指标是指算法获得的非支配解集与参照点围成的目标空间中区域的大小。以 2 目标为例，如图：



白色的点为一组非支配解集，黑色点为参考点，其围成的面积为 HV 值。该问题中，4 个目标函数都进行了归一化操作，目标值在  $[0, 1]$  之间，参考点设置为  $[1, 1, 1, 1]$ 。因为该问题被设计成最小化问题，所以最终产生的解越靠近零点越好，与参考点围成的面积也越大，因此 HV 值越大，说明算法的综合性能越好。