

队伍编号	900441
题号	C

基于多目标规划的喷漆次序排布模型

摘 要

生产排程问题是典型的 NP-hard 问题，高效的调度算法对企业实现低成本、高产能生产具有重要意义。本文针对生产过程中不同颜色、类型零件的加工顺序问题，基于多目标规划和整数规划思想，在资源约束、颜色排布约束、零件排布约束等多约束条件的基础上建立喷漆次序排布模型，并使用分层列序法与 Gurobi 软件对模型进行求解。

本文先对附件数据加工处理：构造零件加工的需求矩阵与规格矩阵、对零件及颜色进行编码。注意到本文所提供的生产资源不能够满足所有的加工任务，使用“任务达标量”作为满足生产需求的依据、将减少“换色”的问题转化为尽量增加生产零件数量的问题。以每个滑橇是否进行某种零件及相应颜色的喷涂任务为 0-1 变量，结合题目条件建立线性化约束，并将优化目标进行分级表示，建立多目标规划模型。为了解决大规模多目标整数规划复杂度高的问题，我们使用分层序列法作为决策方法，以百分比界差 Gap 作为解优劣的判定依据，最后使用 Python 调用 Gurobi 进行优化求解。

针对问题一：题目要求在尽量满足生产需求的同时，降低换色次数。由于换色次数越多，过渡滑橇使用量也越多，造成总零件产量下降，因此以“任务达标量”最大化为第一级目标，“任务完成率”为第二级目标，建立多目标规划模型。模型求解结果显示：所有零件生产任务中能够完成 82 项（共 83 项零件任务），有效加工零件 13323 件（共 13445 件零件需求），任务达标率为 98.8%，任务完成率为 99.1%，平均每圈更换 20 次颜色。

针对问题二：在问题一的基础上，考虑尽量减少相同滑橇的零件支架更换个数。引入支架数量更换的指标变量，以支架数量更换数为第三级优化目标，进行三级多目标规划模型。模型求解结果显示：所有零件生产任务中能够完成 81 项（共 83 项零件任务），有效加工零件 13413 件（共 13445 件零件需求），任务达标率为 97.6%，任务完成率为 99.7%，平均每圈更换 19 次颜色，平均每圈更换支架 248 个。

最后，本文对模型进行了客观的评价，给出了具体的模型改进方案，并将该模型推广至其他应用领域及更为一般的生产资源情况。问题一、问题二排布结果显示，本文提出的喷漆次序排布模型实用性强、效果优良，能合理地解决所提出的问题。

关键词：多目标规划 喷漆次序排布模型 Gurobi 分层列序法 百分比界差

目 录

1 问题综述.....	1
1.1 问题背景.....	1
1.2 问题提出.....	1
1.3 资料条件.....	2
2 模型假设与符号说明.....	2
2.1 模型基本假设.....	2
2.2 符号说明.....	3
3 数据预处理.....	3
3.1 反向映射表.....	3
3.2 零件、颜色编号.....	3
3.3 需求矩阵与规格矩阵.....	4
3.4 任务达标量与任务完成度.....	4
4 问题分析与模型建立.....	5
4.1 问题分析.....	5
4.2 基于 0-1 整数规划的喷漆次序排布模型.....	6
4.2.1 定义决策变量.....	6
4.2.2 全局约束条件确定.....	6
4.3 目标函数.....	10
4.4 模型求解算法与软件.....	11
4.4.1 分层列序法简介.....	12
4.4.2 百分比界差.....	12
4.4.3 Gurobi 简介.....	12
5 模型应用及结论分析.....	13
5.1 现有生产资源无法满足所有任务需求.....	13
5.1.1 目标函数.....	13
5.1.2 约束条件.....	13
5.1.3 模型求解及分析.....	14
5.2 问题一模型应用.....	15
5.2.1 目标函数.....	15
5.2.2 约束条件.....	15
5.2.3 模型求解及分析.....	16
5.3 问题二模型应用.....	19

5.3.1 目标函数	19
5.3.2 约束条件	19
5.3.3 模型求解及分析	20
6 模型评价与推广	24
6.1 模型的优点	24
6.2 模型的缺点	24
6.3 模型的改进与推广	24
6.3.1 模型改进	24
6.3.2 模型推广	25
参考文献	26
附 录	27
附录 A: “颜色-零件”对照表	27
附录 B: 需求矩阵	28
附录 C: 问题一喷漆次序排布方案	29
附录 D: 问题二喷漆次序排布方案	45
附录 E: 主要程序	61

1 问题综述

1.1 问题背景

随着私家车的普及，中国汽车零配件制造行业也进入了发展的黄金时期，在汽配件制造过程中，喷涂是其中一项重要的环节。但在此过程中，企业也面临着各式各样的问题，如：如何合理安排喷漆顺序，在尽量满足生产需求的情况下怎样充分利用生产资源等。在各种零配件需求不断扩大，而生产力和生产资源又十分有限的背景下，传统的生产排程方式容易产生生产效率低下、人力负担重等问题，严重影响企业生产效益。因此需要寻找新的方式给出合理的生产排程方案。

加工顺序排布问题是 NP 难问题，随着生产规模的增大，求解的算法复杂度也呈指数级增大。目前，已经有很多学者对企业面临的生产排程问题进行了研究，也提出了很多方法来解决此类问题。传统的方法是人工换件、顺序喷涂等。虽然这些方法可以得到所需零配件，但这却是通用性框架，只能保证少数情况下的合理性，大多数情境下可能出现供不应求、资源无法充分利用、人力负担重等问题。近几年随着计算机硬件高速发展，也涌现出各种算法进行资源调度，如遗传算法、模拟退火算法、神经网络算法。但这些算法只能得到理想解，对于规模较大的排布问题也很难快速求解，求得的解也不一定满足生产需求。

针对具体的问题，深入挖掘系统内部的运作规律，进行合理的分析假设，并建立专一性更强、可靠性更高的调度模型，日渐成为各大生产企业急需解决的难题。本文也以此为目标，运用运筹学知识与计算机算法，建立一个实用性更强、又不失问题特殊性的模型。

1.2 问题提出

工业生产领域中，越来越多的企业关注成本控制与提高工作效率。在智能调度与工艺流程排布方面，如何进行智能化生产调度、提高机械化生产程度，是实现现代化生产的关键。本题描述了工序中对零件喷漆作业的详细过程，并要求针对生产不同种类型、不同颜色的零件，制定出的具体生产计划。

本问题中某汽零配件制造商在对所需加工零件喷漆时，采用自动化装置作业。该装置由 1 条环形传送带、303 个滑橇（滑橇由 2 面组成，每面最多安放 3 个支架，支架可拆卸，且 1 个零件对应 1 个支架）、1 个喷枪组成。喷涂 1 个滑橇工序节拍约 1min，一个生产周期为“一圈”约 5.5h。喷涂过程对支架数量、零件加工顺序、颜色的排布顺序等都有限制。根据每日交付情况，现需生产出一批零件，且在未来 8 圈的生产计划中应尽量满足生产需求。喷涂作业大致生产过程见下图：

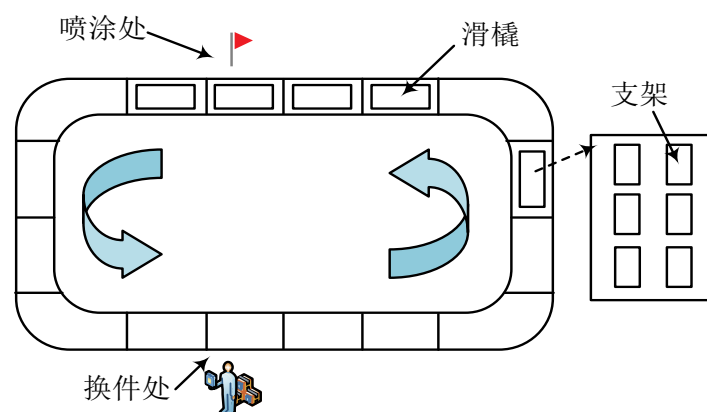


Figure 1 喷涂过程示意图

基于以上背景，现需解决以下两个问题：

- (1) 在尽量减少换色次数且尽可能满足生产需求的情况下，制定完整 8 圈的详细排序喷涂计划，并统计出平均每圈的换色次数及未满足生产需求的零件个数。
- (2) 在问题(1)既有优化目标的基础上，且保证圈与圈之间更换支架数量总数尽可能少，进一步优化排产方案。需给出完整 8 圈的详细喷涂计划，并统计平均每圈的换色次数、未满足生产需求的零件个数及平均每圈更换支架个数。

1.3 资料条件

附件由以下三个工作簿构成，其中：

- Sheet1: 各类零配件生产需求量表；
- Sheet2: 特定零配件的先后排布约束条件；
- Sheet3: 装载各类零配件的支架数量上限表。

2 模型假设与符号说明

2.1 模型基本假设

- (1) 所有零配件在出入口处完成底漆与清漆的喷涂，本文只考虑对零配件进行面漆喷涂的排布问题；
- (2) 换件只在整圈喷涂作业结束后才进行，而不是逐个加工后立马进行换件；
- (3) 只有生产零件数达到对应的任务需求量，才能产生直接经济效益。未满足任务需求量的零件，无法直接产生经济效益；
- (4) 每一圈开始工作时，第一个滑梯的换色不计入换色总次数，即不考虑本圈结束与下一圈开始之间的换色情况；
- (5) 摆放支架与零配件时，为避免产能浪费，必须一个滑梯摆满再进行另一个滑梯支架的填充，从而保证不浪费滑梯的空间资源，且无特殊原因，不摆放空支架；

- (6) 作为过渡配件的底漆件无零件类型要求，也无数量限制，因此本文假设放置过渡配件的支架不计入使用的支架数；
- (7) 特定的某些零件不能相邻排布，但可以间隔一个“过渡零件”排布。

2.2 符号说明

本文定义了如下 10 个使用次数较多的符号，其余符号在使用时注明。

符号	含义
i	第 i 种零件 ($i \in I; I = \{1, 2, \dots, 31\}$)
j	第 j 种颜色 ($j \in J; J = \{1, 2, \dots, 10\}$)
k	第 k 个滑橇 ($k \in K; K = \{1, 2, \dots, 303\}$)
n	第 n 圈 ($n \in N; N = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$)
$x_{ijk}^{(n)}$	决策变量. 第 n 圈 k 滑橇上进行 i 零件 j 颜色的喷漆作业
y_{ij}	指示变量. 是否完成 i 零件 j 颜色的喷漆作业
D_i	i 种材料的支架数量上限
$X_{ij}^{(n)}$	第 n 圈喷涂时，生产第 i 种零件第 j 种颜色的总数量
\tilde{X}_{ij}	i 零件 j 颜色有效加工零件数
R_{ij}	第 i 种零件第 j 种颜色的需求量

3 数据预处理

数据预处理部分代码见附录 E-代码清单 1。

3.1 反向映射表

附件 Sheet1 提供了“零件-颜色”需求对照表，“零件-颜色”对照表便于分析不同零件的排布要求，由于本文还需要考虑不同颜色零件的排布情况，我们对“零件-颜色”需求对照表作反向映射，生成“颜色-零件”需求对照表（见附录 A）。

3.2 零件、颜色编号

为方便后文模型建立时的表述，此处对所有的零件、颜色进行编号。颜色编号情况见 Table 1，零件编号情况见 Table 2。

Table 1 颜色编号对照表

所属类	颜色	编号	所属类	颜色	编号
白色	极地白	1	蓝色	光耀蓝	6
	钻石白	2	银色	米兰银	7
红色	宝石红	3		铱银	8
蓝色	牛仔蓝	4	黑色	宇宙黑	9
	宝石蓝	5		曜岩黑	10

Table 2 零件种类编号对照表

所属类	零件	编号	所属类	零件	编号	所属类	零件	编号
上格栅	A	1	后保	B	12	门槛	C	23
	B	2		C	13		D	24
中间扰流板	A	3		D	14		E	25
前保	A	4		E	15	门槛装饰条	A	26
	B	5		F	16	雷达支架	A	27
	C	6		G	17		B	28
	D	7	外壳	A	18		C	29
	E	8	轮口装饰件	A	19		D	30
	F	9		B	20		E	31
	G	10	门槛	A	21			
后保	A	11		B	22			

3.3 需求矩阵与规格矩阵

为便于后文建立模型时引用, 我们引入以下需求矩阵 R 与规格矩阵 D .

定义 1 (需求矩阵) 以各零件种类为行标签 i , 各种颜色为列标签 j , 定义零件-颜色的需求矩阵 $R = (R_{ij})$. 例如: 中间扰流板-极地白的需求量为 $R_{3,1} = 149$, 需求矩阵完整内容见附录 B.

定义 2 (规格矩阵) 附件 Sheet3 中给出了各个零件的支架个数, 定义零件 i 的支架个数为 D_i , $D = [D_1, D_2, \dots, D_{31}]$ 称为规格矩阵. 例如: 上格栅 A 的支架个数为 $D_1 = 34$.

3.4 任务达标量与任务完成度

为了更精确地刻画任务需求量的完成情况, 本文定义任务达标量和任务完成度两个指标.

定义 3 (任务达标量) 某类零件及相应颜色喷漆零件个数达到或超过任务需求量, 则认为该类零件及相应颜色达标. 所有零件及相应颜色达标的数量称为任务达标量.

定义 4 (任务完成度) 任务完成度刻画没有达标的任务的加工情况. 任务达标时, 完成度为 100%, 超额完成加工任务也认为它的任务完成度为 100%.

任务达标量是从整体的角度来看, 衡量了达到任务需求量的零件种类个数, 有助于企业分析相应的零件是否满足需求、可以交付; 而任务完成度则是从单一的零件种类来看, 衡量了加工任务的进度, 有助于企业分析是否应该增设喷漆圈数 (生产资源).

4 问题分析与模型建立

4.1 问题分析

本题以零件加工制造为背景,描述了工序中对零件喷漆作业的详细过程,并要求针对生产不同种类型、不同颜色的零件,制定出的具体生产计划.

在每一圈的喷漆过程中,传送带先将一圈的待喷漆零件传送至喷涂处进行喷涂作业,所有零件喷涂结束后该圈任务结束,此时可以进行换色、进行下一圈的喷涂任务.喷涂过程中,需要考虑特定的零件不能相邻排布,本文认为这些零件虽然不能相邻排布,但只要距离足够大,仍然是可以进行喷涂的(考虑到极端情况下,如果只加工 2 个零件,是可以在一圈中完成任务的),因此设定这些特定零件间要么插入一个“过渡零件”,要么不相邻排布.

此外,不同颜色的喷涂任务之间也需要插入一个“过渡零件”,我们注意到换色次数与最大加工零件数是相关联的(考虑到极端情况,喷涂处一直换色,则会占用较多滑橇,导致零件加工量减少),因此可以以理论可加工零件最大化作为换色次数最小化的等价目标.

由于生产资源有限,提出的任务需求量不一定能够满足.结合实际考虑,尽量满足零件需求可以有以下两种理解:

- **任务完成度尽可能高:** 所有零件生产量达到需求量的一定比例,并且这个比例尽可能高(例如: 满足需求量的 80%, 90%等);
- **任务达标量尽可能高:** 使得满足任务需求量的零件种类尽可能多,但应该避免产能过剩(即尽量达到任务需求,但又不超额完成太多,超额完成加工任务意味着抢占了其他零件的生产资源).

对比这两种理解,我们认为**任务达标量尽可能高**在本文的背景下是较为合理的(本文提供的数据背景属于生产资源有限类型,无法满足所有的生产需求,在本文 5.1 部分进行说明).一方面,尽量多地达标任务,能缩短交付周期、提高作业效率;另一方面,减少对下一个生产周期的压力(零件种类越少,越容易进行调配).

具体到每个滑橇是否进行某种零件及相应颜色的喷涂任务,这种变量形式类似于指派问题的 0-1 变量,因此以滑橇摆放的支架类型作为 0-1 变量,将各类约束表示为线性形式,从而建立喷漆次序排布的多目标规划模型.

本文总体框架如下图所示:

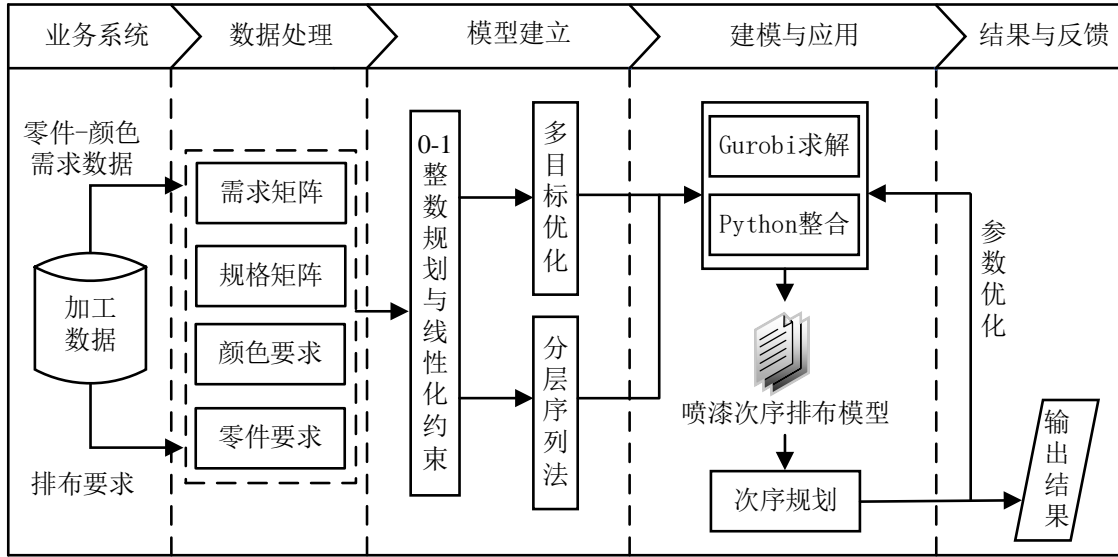


Figure 2 本文整体框架

4.2 基于 0-1 整数规划的喷漆次序排布模型

4.2.1 定义决策变量

(1) 滑橇加工零件种类及对应颜色决策变量

根据上文分析, 决策变量是在第 n 圈 k 滑橇上安排何种零件及对应的颜色进行喷漆作业. 由题设易知, 在一个滑橇上安排了一种零件及其对应的颜色后, 这个滑橇上的喷漆任务就完全确定, 在同一圈中该滑橇不能再安排其他零件喷漆作业, 因此这是 0-1 变量, 定义如下:

$$x_{ijk}^{(n)} = \begin{cases} 1 & \text{第 } n \text{ 圈第 } k \text{ 滑橇上进行 } i \text{ 零件 } j \text{ 颜色的喷漆作业} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

保证该变量不冲突的约束为:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijk}^{(n)} \leq 1 \quad k \in K; n \in N \quad (2)$$

(2) 是否完成加工零件及对应颜色指示变量

完成加工任务的零件种类可以直接产生经济效益, 未满足加工任务的零件种类需要增加圈数进行生产. 引入指示变量 y_{ij} 表示是否完成 i 零件 j 颜色的喷漆作业:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{完成 } i \text{ 零件 } j \text{ 颜色的喷漆作业} \\ 0 & \text{未完成 } i \text{ 零件 } j \text{ 颜色的喷漆作业} \end{cases} \quad (3)$$

4.2.2 全局约束条件确定

(1) 资源约束——支架使用量限制

每一圈中零件的加工数受对应的支架个数约束, 而同一种支架也可能对应着同一种零件的不同颜色. 因此, 为表示出支架使用量资源约束, 先定义如下概念:

定义 5 (零件-颜色总产出量) 定义符号 $X_{ij}^{(n)}$ 表示第 n 圈喷漆作业时, i 种零件 j 种颜色的总加工量, 则它满足表达式如下式:

$$6\left(\sum_{k \in K} x_{ijk}^{(n)} - 1\right) + 1 \leq X_{ij}^{(n)} \leq 6 \sum_{k \in K} x_{ijk}^{(n)} \quad i \in I; j \in J; n \in N \quad (4)$$

此外, 总产出零件数量受支架数量约束. 规格矩阵 D 表示了每种零件的支架数量, 因此具有如下约束:

$$\sum_{j \in J} X_{ij}^{(n)} \leq D_i \quad i \in I; n \in N \quad (5)$$

注 由模型假设, “过渡零件” 不计入使用的零件支架个数. 并且如果滑撬摆放某种零件, 会尽量摆满 6 个 (Figure 3 及 Figure 4 说明该种情况). 因此上述约束所对应的 $X_{ij}^{(n)}$ 恰好就能用来表示第 n 圈喷漆作业时, i 种零件 j 种颜色的总加工量.

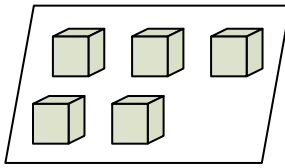


Figure 3 不合理摆放方式

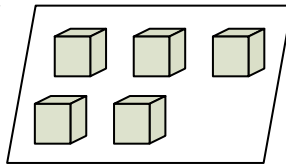


Figure 4 合理摆放方式

(2) 需求约束——总零件产量满足需求数量

根据题设, 总加工的 i 零件 j 颜色数量 $\sum_{n \in N} X_{ij}^{(n)}$ 应该尽量满足零件生产需求, 数据预处理部分定义了需求矩阵为 R , 因此应尽量满足约束:

$$\sum_{n \in N} X_{ij}^{(n)} \geq R_{ij} \quad i \in I; j \in J \quad (6)$$

由于生产规模有限, 约束(6)不一定成立. 超过需求量的零件不会产生直接的经济效益, 因此限制零件总加工量不能超过需求量的 2 倍, 将约束(6)改写为:

$$R_{ij} \cdot (y_{ij} + 1) \geq \sum_{n \in N} X_{ij}^{(n)} \geq R_{ij} \cdot y_{ij} \quad i \in I; j \in J \quad (7)$$

注 此处的 y_{ij} 是是否完成加工零件及对应颜色指示变量.

(3) 颜色排布约束 I——换色时需要使用“过渡滑撬”

根据题设, 如果相临前后两批滑撬上的零件需要喷涂不同的面漆颜色, 则意味着对应的喷枪需要更换涂料颜色, 为了保证面漆颜色喷涂时正常衔接, 需要插入一个“过渡滑撬”. 由于“过渡滑撬”不做种类要求, 对应的零件也不计入总产出, 因此假设“过渡滑撬”处可以不放置支架(即允许该滑撬不进行喷涂作业). 对应的情况如 Figure 5 所示:

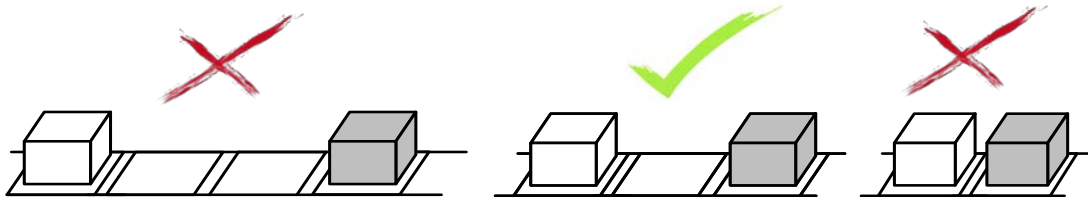


Figure 5 过渡滑撬的使用

满足上述关系的约束如下:

$$\underbrace{\sum_{i_1 \in I} x_{i_1, j_1, k}^{(n)}}_{\textcircled{1}} + \underbrace{\sum_{i_2 \in I} \sum_{\substack{j_2 \in J \\ j_2 \neq j_1}} x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)}}_{\textcircled{2}} \leq 1 \quad j_1 \in J; k \in K - \{303\}; n \in N \quad (8)$$

$$\sum_{i_1 \in I} \sum_{j_1 \in J} x_{i_1, j_1, k}^{(n)} + \sum_{i_2 \in I} \sum_{j_2 \in J} x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} \geq 1 \quad k \in K - \{303\}; n \in N \quad (9)$$

注 1 式(8): 当 k 处滑梯有喷涂颜色为 j_1 的零件时表达式①的值为 1, 为满足上述约束要求, 在 $k+1$ 处滑梯零件其它颜色不能进行喷涂, 即表达式②的值为 0, 而相同颜色的零件不受该约束影响.

注 2 式(9): 对于任意零件任意颜色, 相邻两个位置至多只能有一个位置为空. 这也能保证有效加工零件数最大化.

(4) 颜色排布约束 II——特定颜色不能相邻使用

根据题设, 某些特定颜色涂料不能相邻使用, 其中包括以下三种:

- 约束 a : 任意红色和任意蓝色后面不能安排任意白色 (见 Figure 6, Figure 7);
- 约束 b : 极地白色后面不能安排任意黑色 (见 Figure 8);
- 约束 c : 钻石白色前面必须安排极地白色 (见 Figure 9).

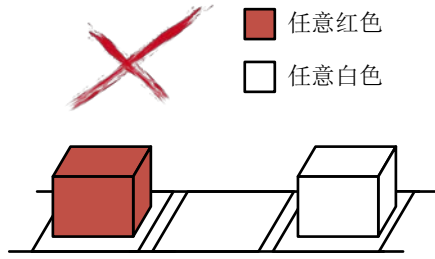


Figure 6 任意红与任意白

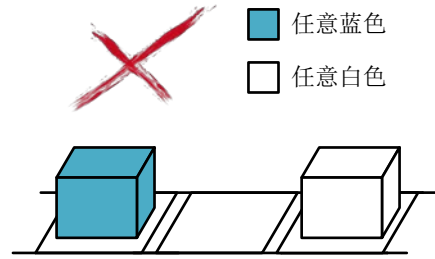


Figure 7 任意蓝与任意白

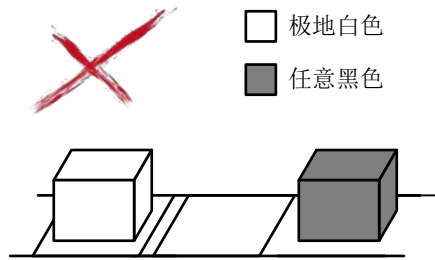


Figure 8 极地白与任意黑

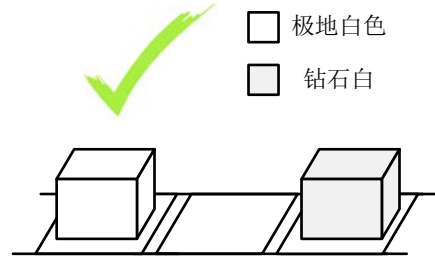


Figure 9 极地白与钻石白

1) 约束 a : 任意红色和任意蓝色后面不能安排任意白色

$$\underbrace{\sum_{i_1 \in I} x_{i_1, j_1, k+2}^{(n)}}_{\textcircled{3}} + \underbrace{\sum_{i_2 \in I} x_{i_2, j_2, k}^{(n)}}_{\textcircled{4}} \leq 1 \quad j_1 \in \{1, 2\}; j_2 \in \{3, 4, 5, 6\}; k \in K - \{302, 303\}; n \in N \quad (10)$$

注 1 当 $k+2$ 处滑撬有零件喷涂颜色为白色时表达式③的值为 1, 为满足上述要求, 在 k 处滑撬零件不能喷涂红色或蓝色, 即表达式④的值为 0, 而其他情况不受该约束影响.

注 2 约束(8)(9)也限制了若 k 和 $k+2$ 分别表示不同颜色喷涂作业的滑撬, 则 $k+1$ 处不会摆放任何支架. 在下面的颜色摆布约束 b 和颜色排布约束 c 中, 约束(8)(9)也起同样的作用, 不再赘述.

2) 约束 b : 极地白后面不能安排任意黑色

$$\underbrace{\sum_{i_1 \in I} x_{i_1, j_1, k+2}^{(n)}}_{\textcircled{5}} + \underbrace{\sum_{i_2 \in I} x_{i_2, j_2, k}^{(n)}}_{\textcircled{6}} \leq 1 \quad j_1 \in \{9, 10\}; j_2 \in \{1\}; k \in K - \{302, 303\} \quad (11)$$

注 当 k 处滑撬有零件喷涂颜色为极地白时表达式⑥的值为 1, 为满足上述要求, 在 $k+2$ 处滑撬零件不能喷涂任意黑色, 即表达式⑤的值为 0, 而其他情况不受该约束影响.

3) 约束 c : 钻石白前面必须安排极地白

$$\underbrace{\sum_{i_1 \in I} x_{i_1, 2, k+2}^{(n)}}_{\textcircled{7}} \leq \underbrace{\sum_{i_2 \in I} (x_{i_2, 2, k+1}^{(n)} + x_{i_2, 1, k}^{(n)})}_{\textcircled{8}} \quad k \in K - \{302, 303\}; n \in N \quad (12)$$

注 当 $k+2$ 处滑撬有零件喷涂颜色为钻石白时表达式⑦的值为 1, 而钻石白可能是由极地白切换颜色而来的 (k 处), 也可能是前一个零件为钻石白 ($k+1$ 处). 同时约束(8)(9)也恰好保证了上述情形中表达式⑧的 $x_{i_2, 2, k+1}^{(n)}$ 和 $x_{i_2, 1, k}^{(n)}$ 不会同时为 1. 因此, 式(12)可以表达钻石白的所有可能的布局情况 (见 Figure 10).

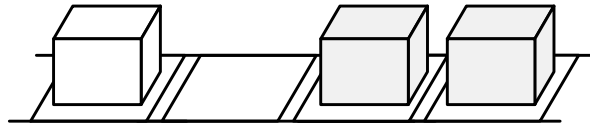
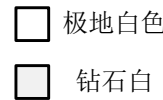


Figure 10 钻石白前 1 个滑撬为钻石白或前 2 个滑撬为极地白

(5) 零件排布约束

附件 Sheet2 指出, 某些特定零件不能相邻排布, 避免相互划伤损害零件, 但这些零件可以间隔一个“过渡零件”排布 (见 Figure 11).

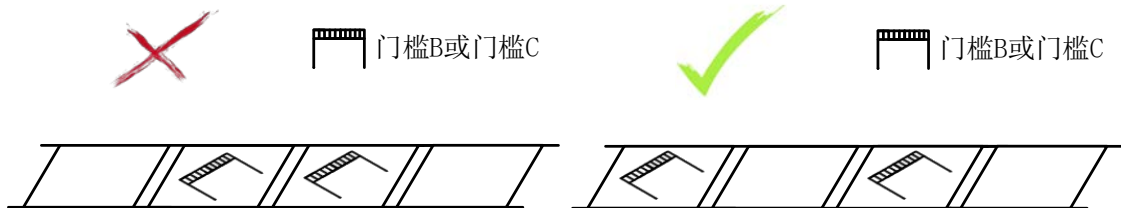


Figure 11 特定零件不能相邻排布, 但可以间隔一个“过渡零件”排布

为方便下文约束式书写, 引入如下记号表示这些特定的零件:

Table 3 零件排布约束相关记号

符号	含义
$I_1 = \{22\}$	门槛 B
$I_2 = \{23\}$	门槛 C
$I_3 = \{11, 21, 24, 26\}$	后保 A, 门槛 A, 门槛 D, 门槛装饰条 A
$I_4 = \{27, 28, 29, 30, 31\}$	雷达支架 A, 雷达支架 B, ..., 雷达支架 E

1) I_1, I_2, I_3 不同项目零件不能相邻放置

$$2(1 - \sum_{i_1 \in I_m} \sum_{j_1 \in J} x_{i_1, j_1, k}^{(n)}) \geq \sum_{i_2 \in I_1 \cup I_2 \cup I_3 - I_m} \sum_{j_2 \in J} (x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} + x_{i_2, j_2, k-1}^{(n)}) \quad m \in \{1, 2, 3\}; k \in K - \{1, 303\}; n \in N \quad (13)$$

注 当 k 处有滑梯摆放 I_m 类零件时, 左式取值为 0. 此时右式取值也必须为 0. 对应的含义为 $k+1$ 处和 $k-1$ 不能放置 $I_1 \cup I_2 \cup I_3 - I_m$ 类零件; 当 k 处滑梯不摆放 I_m 类零件时, 左式取值为 2, 而右式取值范围为 $\{0, 1, 2\}$, 即前后位置放置零件种类不受约束.

2) $I_1 \cup I_2$ 不能与 I_4 相邻放置

$$2(1 - \sum_{i_1 \in I_1 \cup I_2} \sum_{j_1 \in J} x_{i_1, j_1, k}^{(n)}) \geq \sum_{i_2 \in I_4} \sum_{j_2 \in J} (x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} + x_{i_2, j_2, k-1}^{(n)}) \quad k \in K - \{1, 303\}; n \in N \quad (14)$$

注 当 k 处有滑梯摆放 $I_1 \cup I_2$ 类零件时, 左式取值为 0. 此时右式取值也必须为 0. 对应的含义为 $k+1$ 处和 $k-1$ 不能放置 I_4 类零件; 当 k 处滑梯不摆放 $I_1 \cup I_2$ 类零件时, 左式取值为 2, 而右式取值范围为 $\{0, 1, 2\}$, 即前后位置放置零件种类不受约束.

4.3 目标函数

(1) 尽量满足生产需求

定义 6 (有效加工零件数) 在任务需求量范围内的零件数称为有效加工零件数, 具体表达式如下:

$$\tilde{X}_{ij} = \min\{\sum_{n \in N} X_{ij}^{(n)}, R_{ij}\} \quad i \in I; j \in J \quad (15)$$

联系实际并结合问题分析, 本文将“尽量满足生产需求”定义为二级目标:

- 第一级目标: 任务达标率尽可能大. 满足任务需求的零件类别尽可能多, 且对应的有效加工零件数尽可能多:

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (R_{ij} \cdot y_{ij}) \quad (16)$$

- 第二级目标: 任务完成率尽可能大. 即所有零件的有效加工零件数尽可能多:

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \tilde{X}_{ij} \quad (17)$$

注 根据问题分析, 在生产规模较小、无法满足加工任务需求时, 有效加工零件数越多, 对应的换色次数越少, 因此“尽量满足生产需求”的优化目标也包含了换色次数越少.

(2) 尽量避免圈与圈之间同个滑橇更换支架类型

注意到下式:

$$\left| \sum_{j_1 \in J} x_{i,j_1,k}^{(n)} - \sum_{j_2 \in J} x_{i,j_2,k}^{(n+1)} \right| = \begin{cases} 0 & \text{第 } n \text{ 圈和第 } n+1 \text{ 圈 } k \text{ 滑橇处都摆放 } i \text{ 支架} \\ 1 & \text{其他} \end{cases} \quad (18)$$

可以表示第 n 圈与第 $n+1$ 圈在 k 滑橇处摆放的零件是否相同, 因此以

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{n \in N - \{8\}} \left| \sum_{j_1 \in J} x_{i,j_1,k}^{(n)} - \sum_{j_2 \in J} x_{i,j_2,k}^{(n+1)} \right| \quad (19)$$

为目标即可表示“尽量避免圈与圈之间同个滑橇更换支架类型”. 但绝对值在优化时难以线性化表示, 本文采用另外的方式实现.

引入指标变量 $S_{ik}^{(n)} \in \{0,1\}$, 它满足如下关系:

$$\underbrace{\sum_{j_1 \in J} x_{i,j_1,k}^{(n)}}_{\textcircled{9}} \leq \underbrace{\sum_{j_2 \in J} x_{i,j_2,k}^{(n+1)}}_{\textcircled{10}} + S_{ik}^{(n)} \quad i \in I; k \in K; n \in N - \{8\} \quad (20)$$

当表达式⑨的值为 1 时, 右侧的值至少取得 1. 如果式⑩的值也为 1, 则 $S_{ik}^{(n)}$ 可以取 0, 对应的含义为 $n+1$ 圈时 k 滑橇支架类型与 n 圈时 k 滑橇支架类型都是 i . 若式⑩的值为 0, 则为保证等式成立, $S_{ik}^{(n)}$ 必须取 1. 因此, 可以设置优化目标:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{n \in N - \{8\}} S_{ik}^{(n)} \quad (21)$$

这个目标就能达到“尽量避免圈与圈之间同个滑橇更换支架类型”的目标.

4.4 模型求解算法与软件

一般情况下, 求解整数规划问题的精确解是 NP 难的. 整数规划问题被看作数学规划里、乃至世界上最难的问题之一, 被很多其他领域 (例如机器学习) 认为是不可追踪 (Intractable) 的问题, 从而不考虑直接求解该问题的精确解, 而是退而求其次求解近似解或局部最优解.

本文建立的喷漆次序排布模型, 该模型将零件喷漆次序问题转化为 0-1 整数规划问题, 并设定了多级目标函数. 由于本题规模量较大, 选择合适的求解算法及求解工具非常重要. 我们使用分层序列法解决多目标规划中的层次问题, 使用 Python+Gurobi 作为求解工具进行编程求解.

4.4.1 分层列序法简介

本题中的模型有多个目标, 由于同时处理多个目标较为麻烦, 因此采用运筹学中的经典方法——分层序列法进行决策[1].

分层序列法的主体思想是根据各目标的重要程度依次排序, 分为最重要目标、次要目标等, 对每个目标的最优解, 并以最优解的解集作为下一级目标的可行域, 再进行下一级目标的最优化, 直到所有目标优化完毕. 具体的算法过程如下:

设多个优化目标的优先级序列为: $f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)$. 首先对第一优先级目标 $f_1(x)$ 求最优解, 并在该最优解集合 R_1 中求解第二优先级目标 $f_2(x)$ 的最优解, 以此类方式逐个求解, 直至最后求 $f_m(x)$ 最优解结束, 即为多目标问题的最优解集合 R_m . 其有解的前提是 R_0, R_1, \dots, R_{m-1} 非空, 且 R_0, R_1, \dots, R_{m-2} 至少有两个元素. 相对于常规的赋权优化方法, 分层序列法性能优越, 且每步都有较为合适的现实含义与决策背景, 便于解决问题时与实际结合, 是一种有效的决策方法.

$$\begin{aligned} f_1(x^\circ) &= \max_{x \in R_0 \subset R} f_1(x) \\ f_2(x^\circ) &= \max_{x \in R_1 \subset R_0} f_2(x) \\ &\dots \\ f_m(x^\circ) &= \max_{x \in R_{m-1} \subset R_{m-2}} f_m(x) \end{aligned}$$

4.4.2 百分比界差

由于整数规划问题求解的复杂度较高, 运算过程中每一步得到的可行解往往很难判断它是否达到最优, 因此需要引入其他的衡量标准. 在数学规划领域常用百分比界差作为整数规划问题解质量的评估指标[1]. 百分比界差(Gap)的定义如下:

$$\text{Gap}(f(x)) = \frac{\text{OPT}(f(x)) - \text{LP}(f(x))}{\text{LP}(f(x))} \quad (22)$$

$\text{OPT}(f(x))$ 为当前的最优解, $\text{LP}(f(x))$ 为去掉整数约束后的松弛最优解. Gap 描述了问题松弛解与最优解之间的绝对差距.

4.4.3 Gurobi 简介

根据独立第三方优化器评估报告, Gurobi 凭借自身卓越的性能跻身大规模优化器的领袖地位, 成为各大企业的首选大规模优化器. 该优化器由美国 Gurobi Optimi 公司开发, 属于全球性能领先、性价比突出、可极大降低成本的大规模优化器. 常用于解决剪复杂度、规模庞大的在生产制造、金融、保险、交通等各个领域的问题[2].

线性混合整数规划 MILP								
1 线程	CBC	CPLEX	GUROBI	SCIP	SCIPS	XPRESS	MATLAB	SAS
速度比例	39	1.74	1	5.75	7.94	2	72.2	2.9
解决问题数量	53	87	87	83	76	86	32	84
4 线程	CBC	CPLEX	FSCIPC	FSCIPS	GUROBI	XPRESS	MIPCL	SAS
速度比例	34.8	1.5	9.9	12.1	1	1.66	7.29	3
解决问题数量	66	86	80	79	87	87	84	85
12 线程	CBC	CPLEX	FSCIPC	FSCIPS	GUROBI	XPRESS	MIPCL	SAS
速度比例	27	1.49	9.8	13	1	1.57	6.53	3.39
解决问题数量	69	87	78	76	87	87	82	82
速度比例为1是最快的速度，其他数值为该速度的倍数。								

Figure 12 在全球最著名的专业优化器评比网站 **Decision Tree for Optimization Software** (<http://plato.asu.edu/bench.html>) 中, Gurobi 比其他大规模优化器有明显优势

本文建立的模型及本题提供的数据属于大规模的线性规划求解问题. 使用 Gurobi 进行模型求解十分合适, 结合 Python 中的 Pandas 模块, 实现模型结果整合与分析.

5 模型应用及结论分析

5.1 现有生产资源无法满足所有任务需求

对于问题一与问题二, 使用“尽量满足生产需求”等效替换“换色次数少”的前提是生产规模较小. 因此, 此处先验证现有的生产资源无法满足所有的任务需求.

5.1.1 目标函数

为验证现有生产资源是否能满足所有任务需求, 只需使用优化目标式:

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (R_{ij} \cdot y_{ij}) \quad (23)$$

该式表示达标的零件数量最大化, 若模型的最优解满足下式(24), 则说明现有的生产资源不能满足所有任务需求.

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (R_{ij} \cdot y_{ij}) < \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} R_{ij} \quad (24)$$

5.1.2 约束条件

根据本文 4.2.2 确定的一系列约束, 此部分模型的约束条件如下:

$$\begin{aligned}
\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijk}^{(n)} &\leq 1 & k \in K; n \in N \\
6\left(\sum_{k \in K} x_{ijk}^{(n)} - 1\right) + 1 &\leq X_{ij}^{(n)} \leq 6 \sum_{k \in K} x_{ijk}^{(n)} & i \in I; j \in J; n \in N \\
\sum_{j \in J} X_{ij}^{(n)} &\leq D_i & i \in I; n \in N \\
R_{ij} \cdot (y_{ij} + 1) &\geq \sum_{n \in N} X_{ij}^{(n)} \geq R_{ij} \cdot y_{ij} & i \in I; j \in J \\
\sum_{i_1 \in I} x_{i_1, j_1, k}^{(n)} + \sum_{i_2 \in I} \sum_{\substack{j_2 \in J \\ j_2 \neq j_1}} x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} &\leq 1 & j_1 \in J; k \in K - \{303\}; n \in N \\
\sum_{i_1 \in I} \sum_{j_1 \in J} x_{i_1, j_1, k}^{(n)} + \sum_{i_2 \in I} \sum_{j_2 \in J} x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} &\geq 1 & k \in K - \{303\}; n \in N \\
\sum_{i_1 \in I} x_{i_1, j_1, k+2}^{(n)} + \sum_{i_2 \in I} x_{i_2, j_2, k}^{(n)} &\leq 1 & j_1 \in \{1, 2\}; j_2 \in \{3, 4, 5, 6\}; k \in K - \{302, 303\}; n \in N \\
\sum_{i_1 \in I} x_{i_1, j_1, k}^{(n)} + \sum_{i_2 \in I} x_{i_2, j_2, k}^{(n)} &\leq 1 & j_1 \in \{9, 10\}; j_2 \in \{1\}; k \in K - \{302, 303\}; n \in N \\
\sum_{i_1 \in I} x_{i_1, 2, k+2}^{(n)} &\leq \sum_{i_2 \in I} (x_{i_2, 2, k+1}^{(n)} + x_{i_2, 1, k}^{(n)}) & k \in K - \{302, 303\}; n \in N \\
2\left(1 - \sum_{i_1 \in I_1} \sum_{j_1 \in J} x_{i_1, j_1, k}^{(n)}\right) &\geq \sum_{i_2 \in I_2 \cup I_3} \sum_{j_2 \in J} (x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} + x_{i_2, j_2, k-1}^{(n)}) & k \in K - \{1, 303\}; n \in N \\
2\left(1 - \sum_{i_1 \in I_2} \sum_{j_1 \in J} x_{i_1, j_1, k}^{(n)}\right) &\geq \sum_{i_2 \in I_1 \cup I_3} \sum_{j_2 \in J} (x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} + x_{i_2, j_2, k-1}^{(n)}) & k \in K - \{1, 303\}; n \in N \\
2\left(1 - \sum_{i_1 \in I_3} \sum_{j_1 \in J} x_{i_1, j_1, k}^{(n)}\right) &\geq \sum_{i_2 \in I_1 \cup I_2} \sum_{j_2 \in J} (x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} + x_{i_2, j_2, k-1}^{(n)}) & k \in K - \{1, 303\}; n \in N \\
2\left(1 - \sum_{i_1 \in I_1 \cup I_2} \sum_{j_1 \in J} x_{i_1, j_1, k}^{(n)}\right) &\geq \sum_{i_2 \in I_4} \sum_{j_2 \in J} (x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} + x_{i_2, j_2, k-1}^{(n)}) & k \in K - \{1, 303\}; n \in N
\end{aligned}$$

5.1.3 模型求解及分析

此部分为单目标优化模型，仅用于测试所给情境是否为生产资源匮乏。目标函数及约束条件都是线性式，变量类型包含 0-1 变量、整数变量。其中包含 754230 个变量，70948 个约束。

模型求解代码见代码清单 2，求解结果见附加材料 table/模型适用性验证.xlsx，此处给出简要分析：

Table 4 问题一模型求解分析

任务完成情况	总零件生产量完成情况	Gap	求解时间上限
70/83	13318/13445	1.2272%	2000s
平均每圈换色次数		平均每圈更换支架个数	
21.75		251.25	

所有 83 项零件生产任务中，任务达标率仅为 84.3%，但任务完成率为 99.1%。尽管本文设置了求解时间上限（本题规模量较大，搜索全局最优解需要花费较长的时间），但

Gap 值仅有 1.2272%，零件总产量非常接近松弛最优解。即：最理想情况下，现有生产资源也无法满足所有任务需求。

5.2 问题一模型应用

本文 5.1 部分已经验证了所提供的生产环境无法满足所有的加工零件需求，因此可以使用“尽量满足生产需求”等效替换“换色次数少”。

5.2.1 目标函数

使得尽量满足生产需求（任务达标量高、任务完成率高）的目标函数为：

$$\begin{aligned}\text{Obj}_1 : \max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (R_{ij} \cdot y_{ij}) \\ \text{Obj}_2 : \max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \tilde{X}_{ij}\end{aligned}$$

5.2.2 约束条件

根据本文 4.2.2 确定的一系列约束，此部分模型的约束条件如下：

$$\begin{aligned}\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijk}^{(n)} &\leq 1 & k \in K; n \in N \\ 6(\sum_{k \in K} x_{ijk}^{(n)} - 1) + 1 &\leq X_{ij}^{(n)} \leq 6 \sum_{k \in K} x_{ijk}^{(n)} & i \in I; j \in J; n \in N \\ \sum_{j \in J} X_{ij}^{(n)} &\leq D_i & i \in I; n \in N \\ R_{ij} \cdot (y_{ij} + 1) &\geq \sum_{n \in N} X_{ij}^{(n)} \geq R_{ij} \cdot y_{ij} & i \in I; j \in J \\ \sum_{i_1 \in I} x_{i_1, j_1, k}^{(n)} + \sum_{i_2 \in I} \sum_{\substack{j_2 \in J \\ j_2 \neq j_1}} x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} &\leq 1 & j_1 \in J; k \in K - \{303\}; n \in N \\ \sum_{i_1 \in I} \sum_{j_1 \in J} x_{i_1, j_1, k}^{(n)} + \sum_{i_2 \in I} \sum_{j_2 \in J} x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} &\geq 1 & k \in K - \{303\}; n \in N \\ \sum_{i_1 \in I} x_{i_1, j_1, k+2}^{(n)} + \sum_{i_2 \in I} x_{i_2, j_2, k}^{(n)} &\leq 1 & j_1 \in \{1, 2\}; j_2 \in \{3, 4, 5, 6\}; k \in K - \{302, 303\}; n \in N \\ \sum_{i_1 \in I} x_{i_1, j_1, k+2}^{(n)} + \sum_{i_2 \in I} x_{i_2, j_2, k}^{(n)} &\leq 1 & j_1 \in \{9, 10\}; j_2 \in \{1\}; k \in K - \{302, 303\}; n \in N \\ \sum_{i_1 \in I} x_{i_1, 2, k+2}^{(n)} &\leq \sum_{i_2 \in I} (x_{i_2, 2, k+1}^{(n)} + x_{i_2, 1, k}^{(n)}) & k \in K - \{302, 303\}; n \in N \\ 2(1 - \sum_{i_1 \in I_1} \sum_{j_1 \in J} x_{i_1, j_1, k}^{(n)}) &\geq \sum_{i_2 \in I_2 \cup I_3} \sum_{j_2 \in J} (x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} + x_{i_2, j_2, k-1}^{(n)}) & k \in K - \{1, 303\}; n \in N \\ 2(1 - \sum_{i_1 \in I_2} \sum_{j_1 \in J} x_{i_1, j_1, k}^{(n)}) &\geq \sum_{i_2 \in I_1 \cup I_3} \sum_{j_2 \in J} (x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} + x_{i_2, j_2, k-1}^{(n)}) & k \in K - \{1, 303\}; n \in N \\ 2(1 - \sum_{i_1 \in I_3} \sum_{j_1 \in J} x_{i_1, j_1, k}^{(n)}) &\geq \sum_{i_2 \in I_1 \cup I_2} \sum_{j_2 \in J} (x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} + x_{i_2, j_2, k-1}^{(n)}) & k \in K - \{1, 303\}; n \in N \\ 2(1 - \sum_{i_1 \in I_1 \cup I_2} \sum_{j_1 \in J} x_{i_1, j_1, k}^{(n)}) &\geq \sum_{i_2 \in I_4} \sum_{j_2 \in J} (x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} + x_{i_2, j_2, k-1}^{(n)}) & k \in K - \{1, 303\}; n \in N \\ \tilde{X}_{ij} &= \min \{ \sum_{n \in N} X_{ij}^{(n)}, R_{ij} \} & i \in I; j \in J\end{aligned}$$

5.2.3 模型求解及分析

此部分为多目标优化模型，使用分层序列法进行求解，目标函数及约束条件都是线性式，变量类型包含 0-1 变量、整数变量。其中包含 754540 个变量, 71568 个约束。

模型求解代码见代码清单 3，相关参数分析见 Table 5，第一圈的求解结果见 Table 6，完整求解结果见附录 C。

Table 5 问题一模型求解分析

任务完成情况	总零件生产量完成情况	Gap	求解时间上限
82/83	13323/13445	1.3340%	2000s
平均每圈换色次数		平均每圈更换支架个数	
20.875		248.625	

在附录 C 所给出的喷漆次序排布方案下，所有 83 项零件生产任务中，任务达标率为 98.8%，任务完成率为 99.1%，平均每圈换色次数 20 次。尽管本文设置了求解时间上限（本题规模量较大，搜索全局最优解需要花费较长的时间），但 Gap 值仅有 1.6%，即我们的喷漆次序排布方案效果很好，总产量非常接近松弛最优解。

综上，我们给出结论：附录 C 给出的排布方案能够满足“尽量满足生产零件需求”同时又能保证“换色次数少”的条件。

Table 6 问题一求解结果（空白位置为过渡滑橇）

滑橇编号	颜色	产品名称	滑橇编号	颜色	产品名称	滑橇编号	颜色	产品名称
1	极地白	后保 A	102	光耀蓝	前保 F	203	钻石白	前保 C
2	极地白	前保 F	103	光耀蓝	后保 A	204	钻石白	前保 E
3	极地白	前保 F	104	光耀蓝	前保 E	205	钻石白	前保 E
4	极地白	前保 F	105	光耀蓝	前保 E	206	钻石白	后保 G
5	极地白	前保 F	106	光耀蓝	前保 F	207	钻石白	前保 E
6	极地白	轮口装饰件 A	107	光耀蓝	前保 A	208	钻石白	后保 C
7	极地白	前保 A	108	光耀蓝	轮口装饰件 A	209	钻石白	前保 E
8	极地白	前保 F	109	光耀蓝	门槛 A	210	钻石白	前保 E
9			110			211	钻石白	前保 G
10	铱银	上格栅 B	111	铱银	门槛装饰条 A	212	钻石白	前保 G
11	铱银	门槛装饰条 A	112	铱银	上格栅 A	213	钻石白	后保 G
12	铱银	门槛装饰条 A	113			214		
13	铱银	上格栅 B	114	极地白	门槛 A	215	极地白	前保 F
14	铱银	上格栅 B	115	极地白	前保 A	216	极地白	前保 F
15	铱银	门槛装饰条 A	116	极地白	前保 A	217	极地白	前保 F
16	铱银	门槛装饰条 A	117	极地白	前保 A	218	极地白	前保 A
17	铱银	门槛装饰条 A	118	极地白	后保 A	219	极地白	前保 A

滑梯编号	颜色	产品名称	滑梯编号	颜色	产品名称	滑梯编号	颜色	产品名称
18	铱银	上格栅 A	119	极地白	门槛 A	220	极地白	前保 A
19	铱银	后保 A	120	极地白	外壳 A	221	极地白	门槛 D
20	铱银	门槛装饰条 A	121	极地白	前保 A	222	极地白	门槛 D
21	铱银	门槛装饰条 A	122	极地白	门槛 D	223	极地白	后保 A
22	铱银	前保 A	123	极地白	前保 A	224	极地白	前保 A
23	铱银	上格栅 B	124	极地白	前保 F	225	极地白	前保 F
24	铱银	门槛装饰条 A	125	极地白	后保 A	226	极地白	门槛 D
25	铱银	前保 A	126	极地白	前保 F	227	极地白	门槛 D
26	铱银	上格栅 A	127	极地白	前保 F	228	极地白	后保 A
27	铱银	上格栅 A	128	极地白	前保 F	229	极地白	轮口装饰件 A
28	铱银	上格栅 A	129	极地白	后保 A	230	极地白	前保 F
29	铱银	门槛装饰条 A	130	极地白	前保 F	231	极地白	门槛 A
30	铱银	门槛装饰条 A	131	极地白	前保 A	232	极地白	前保 F
31	铱银	门槛装饰条 A	132	极地白	前保 A	233	极地白	前保 F
32			133	极地白	前保 A	234	极地白	后保 A
33	曜岩黑	后保 C	134	极地白	门槛 A	235	极地白	轮口装饰件 A
34	曜岩黑	后保 C	135	极地白	前保 A	236	极地白	前保 F
35	曜岩黑	前保 C	136	极地白	门槛 D	237	极地白	前保 A
36	曜岩黑	后保 C	137	极地白	中间扰流板 A	238	极地白	轮口装饰件 A
37	曜岩黑	前保 C	138	极地白	前保 A	239	极地白	前保 A
38	曜岩黑	前保 D	139	极地白	后保 A	240	极地白	门槛 D
39	曜岩黑	前保 D	140	极地白	门槛 D	241	极地白	前保 F
40	曜岩黑	前保 D	141	极地白	前保 F	242	极地白	前保 A
41	曜岩黑	门槛 B	142	极地白	前保 A	243		
42	曜岩黑	门槛 B	143	极地白	前保 F	244	宝石红	门槛 A
43	曜岩黑	前保 C	144	极地白	中间扰流板 A	245	宝石红	门槛 A
44	曜岩黑	前保 C	145	极地白	门槛 D	246		
45	曜岩黑	前保 D	146	极地白	前保 F	247	曜岩黑	门槛 B
46	曜岩黑	后保 C	147			248	曜岩黑	前保 D
47	曜岩黑	后保 C	148	宝石蓝	门槛 A	249	曜岩黑	门槛 B
48			149	宝石蓝	门槛 A	250	曜岩黑	前保 D
49	极地白	前保 A	150	宝石蓝	门槛 A	251	曜岩黑	中间扰流板 A
50			151			252	曜岩黑	前保 A
51	钻石白	门槛 B	152	曜岩黑	后保 F	253	曜岩黑	前保 A
52	钻石白	前保 G	153	曜岩黑	门槛 B	254	曜岩黑	前保 D
53	钻石白	前保 E	154	曜岩黑	门槛 B	255	曜岩黑	前保 D
54	钻石白	后保 F	155	曜岩黑	前保 D	256	曜岩黑	前保 D

滑梯编号	颜色	产品名称	滑梯编号	颜色	产品名称	滑梯编号	颜色	产品名称
55	钻石白	后保 F	156	曜岩黑	后保 C	257	曜岩黑	前保 D
56	钻石白	前保 E	157	曜岩黑	门槛 C	258	曜岩黑	后保 C
57	钻石白	后保 G	158	曜岩黑	后保 C	259	曜岩黑	后保 C
58	钻石白	前保 E	159	曜岩黑	前保 E	260	曜岩黑	前保 D
59	钻石白	后保 G	160	曜岩黑	前保 D	261	曜岩黑	门槛 C
60	钻石白	前保 G	161	曜岩黑	后保 F	262	曜岩黑	前保 C
61	钻石白	后保 F	162	曜岩黑	门槛 B	263	曜岩黑	前保 D
62	钻石白	前保 E	163	曜岩黑	后保 C	264	曜岩黑	后保 F
63	钻石白	前保 E	164	曜岩黑	后保 C	265	曜岩黑	门槛 B
64	钻石白	后保 F	165	曜岩黑	门槛 B	266	曜岩黑	后保 C
65	钻石白	前保 E	166	曜岩黑	后保 C	267	曜岩黑	中间扰流板 A
66	钻石白	前保 G	167	曜岩黑	前保 E	268	曜岩黑	前保 E
67	钻石白	前保 E	168	曜岩黑	门槛 B	269	曜岩黑	前保 D
68	钻石白	后保 G	169	曜岩黑	后保 C	270	曜岩黑	前保 D
69	钻石白	前保 G	170	曜岩黑	后保 F	271	曜岩黑	前保 D
70	钻石白	后保 F	171	曜岩黑	前保 C	272	曜岩黑	中间扰流板 A
71	钻石白	后保 G	172	曜岩黑	门槛 C	273	曜岩黑	前保 A
72	钻石白	前保 E	173	曜岩黑	前保 D	274	曜岩黑	门槛 C
73	钻石白	后保 C	174	曜岩黑	后保 C	275	曜岩黑	前保 E
74	钻石白	前保 E	175	曜岩黑	前保 D	276	曜岩黑	前保 D
75	钻石白	后保 G	176	曜岩黑	前保 A	277	曜岩黑	门槛 B
76	钻石白	前保 E	177	曜岩黑	前保 A	278	曜岩黑	后保 C
77	钻石白	前保 C	178	曜岩黑	前保 D	279	曜岩黑	门槛 B
78	钻石白	前保 E	179	曜岩黑	前保 D	280	曜岩黑	前保 D
79			180	曜岩黑	门槛 B	281	曜岩黑	前保 A
80	光耀蓝	前保 F	181	曜岩黑	前保 C	282	曜岩黑	后保 F
81	光耀蓝	轮口装饰件 A	182	曜岩黑	前保 D	283	曜岩黑	门槛 C
82	光耀蓝	前保 A	183			284	曜岩黑	后保 F
83	光耀蓝	前保 A	184	光耀蓝	后保 F	285	曜岩黑	后保 C
84	光耀蓝	前保 A	185	光耀蓝	前保 E	286	曜岩黑	前保 A
85	光耀蓝	轮口装饰件 A	186	光耀蓝	后保 F	287	曜岩黑	后保 C
86	光耀蓝	前保 A	187	光耀蓝	前保 F	288	曜岩黑	后保 C
87	光耀蓝	后保 A	188	光耀蓝	门槛 A	289	曜岩黑	前保 C
88	光耀蓝	后保 A	189	光耀蓝	前保 F	290	曜岩黑	前保 D
89	光耀蓝	前保 A	190	光耀蓝	中间扰流板 A	291	曜岩黑	前保 C
90	光耀蓝	后保 A	191	光耀蓝	轮口装饰件 A	292	曜岩黑	门槛 B
91	光耀蓝	后保 F	192	光耀蓝	前保 A	293	曜岩黑	前保 D

滑梯编号	颜色	产品名称	滑梯编号	颜色	产品名称	滑梯编号	颜色	产品名称
92	光耀蓝	门槛 A	193	光耀蓝	后保 F	294	曜岩黑	前保 A
93	光耀蓝	后保 A	194			295	曜岩黑	后保 F
94	光耀蓝	门槛 A	195	米兰银	门槛 E	296	曜岩黑	后保 C
95	光耀蓝	后保 F	196	米兰银	外壳 A	297	曜岩黑	门槛 C
96	光耀蓝	后保 A	197			298		
97	光耀蓝	后保 A	198	极地白	外壳 A	299	极地白	前保 A
98	光耀蓝	门槛 A	199	极地白	轮口装饰件 A	300	极地白	前保 A
99	光耀蓝	前保 E	200	极地白	轮口装饰件 A	301	极地白	前保 F
100	光耀蓝	前保 F	201	极地白	前保 F	302	极地白	前保 F
101	光耀蓝	前保 F	202			303	极地白	前保 A

5.3 问题二模型应用

问题二在问题一的基础上，进一步考虑减少相同滑梯的零件支架更换个数。因此只需要在问题一的基础上增加一级目标函数即可。但问题一中的模型需要耗时 1800s 左右，Gap 值才收敛到 1.3%，直接添加目标函数可能会进一步延长收敛所需时间。因此，对问题二模型求解时，将时间限制放宽到 6000s。

5.3.1 目标函数

根据上述分析，定义问题二中，使得尽量满足生产需求、尽量减少相同滑梯的零件支架更换个数的目标函数为：

$$\begin{aligned}
 \text{Obj}_1 &: \max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (R_{ij} \cdot y_{ij}) \\
 \text{Obj}_2 &: \max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \tilde{X}_{ij} \\
 \text{Obj}_3 &: \min \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{n \in N - \{8\}} S_{ik}^{(n)}
 \end{aligned}$$

5.3.2 约束条件

根据本文 4.2.2 确定的一系列约束，此部分模型的约束条件如下：

$$\begin{aligned}
\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijk}^{(n)} &\leq 1 & k \in K; n \in N \\
6\left(\sum_{k \in K} x_{ijk}^{(n)} - 1\right) + 1 &\leq X_{ij}^{(n)} \leq 6 \sum_{k \in K} x_{ijk}^{(n)} & i \in I; j \in J; n \in N \\
\sum_{j \in J} X_{ij}^{(n)} &\leq D_i & i \in I; n \in N \\
R_{ij} \cdot (y_{ij} + 1) &\geq \sum_{n \in N} X_{ij}^{(n)} \geq R_{ij} \cdot y_{ij} & i \in I; j \in J \\
\sum_{i_1 \in I} x_{i_1, j_1, k}^{(n)} + \sum_{i_2 \in I} \sum_{\substack{j_2 \in J \\ j_2 \neq j_1}} x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} &\leq 1 & j_1 \in J; k \in K - \{303\}; n \in N \\
\sum_{i_1 \in I} \sum_{j_1 \in J} x_{i_1, j_1, k}^{(n)} + \sum_{i_2 \in I} \sum_{j_2 \in J} x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} &\geq 1 & k \in K - \{303\}; n \in N \\
\sum_{i_1 \in I} x_{i_1, j_1, k+2}^{(n)} + \sum_{i_2 \in I} x_{i_2, j_2, k}^{(n)} &\leq 1 & j_1 \in \{1, 2\}; j_2 \in \{3, 4, 5, 6\}; k \in K - \{302, 303\}; n \in N \\
\sum_{i_1 \in I} x_{i_1, j_1, k+2}^{(n)} + \sum_{i_2 \in I} x_{i_2, j_2, k}^{(n)} &\leq 1 & j_1 \in \{9, 10\}; j_2 \in \{1\}; k \in K - \{302, 303\}; n \in N \\
\sum_{i_1 \in I} x_{i_1, 2, k+2}^{(n)} &\leq \sum_{i_2 \in I} (x_{i_2, 2, k+1}^{(n)} + x_{i_2, 1, k}^{(n)}) & k \in K - \{302, 303\}; n \in N \\
2\left(1 - \sum_{i_1 \in I_1} \sum_{j_1 \in J} x_{i_1, j_1, k}^{(n)}\right) &\geq \sum_{i_2 \in I_2 \cup I_3} \sum_{j_2 \in J} (x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} + x_{i_2, j_2, k-1}^{(n)}) & k \in K - \{1, 303\}; n \in N \\
2\left(1 - \sum_{i_1 \in I_2} \sum_{j_1 \in J} x_{i_1, j_1, k}^{(n)}\right) &\geq \sum_{i_2 \in I_1 \cup I_3} \sum_{j_2 \in J} (x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} + x_{i_2, j_2, k-1}^{(n)}) & k \in K - \{1, 303\}; n \in N \\
2\left(1 - \sum_{i_1 \in I_3} \sum_{j_1 \in J} x_{i_1, j_1, k}^{(n)}\right) &\geq \sum_{i_2 \in I_1 \cup I_2} \sum_{j_2 \in J} (x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} + x_{i_2, j_2, k-1}^{(n)}) & k \in K - \{1, 303\}; n \in N \\
2\left(1 - \sum_{i_1 \in I_1 \cup I_2} \sum_{j_1 \in J} x_{i_1, j_1, k}^{(n)}\right) &\geq \sum_{i_2 \in I_4} \sum_{j_2 \in J} (x_{i_2, j_2, k+1}^{(n)} + x_{i_2, j_2, k-1}^{(n)}) & k \in K - \{1, 303\}; n \in N \\
\tilde{X}_{ij} &= \min\left\{\sum_{n \in N} X_{ij}^{(n)}, R_{ij}\right\} & i \in I; j \in J \\
\sum_{j_1 \in J} x_{i, j_1, k}^{(n)} &\leq \sum_{j_2 \in J} x_{i, j_2, k}^{(n+1)} + S_{ik}^{(n)} & i \in I; k \in K; n \in N - \{8\}
\end{aligned}$$

5.3.3 模型求解及分析

此部分为多目标优化问题，使用分层序列法进行求解，目标函数及约束条件都是线性式，变量类型包含 0-1 变量、整数变量。其中包含 829684 个变量，137319 个约束。

模型求解代码见代码清单 4，相关参数分析见 Table 7，第一圈的求解结果见 Table 8，完整求解结果见附录 D。

Table 7 问题一模型求解分析

任务完成情况	总零件生产量完成情况	Gap	求解时间上限
81/83	13413/13445	0.2386%	6000s
平均每圈换色次数		平均每圈更换支架个数	
19.375		248.5	

在附录 D 所给出的喷漆次序排布方案下, 所有 83 项零件生产任务中, 任务达标率为 97.6%, 任务完成率为 99.7%, 平均换色次数为 19 次, 平均每圈更换支架个数 248 个。尽管本文设置了求解时间上限 (本题规模量较大, 搜索全局最优解需要花费较长的时间), 但 Gap 值仅有 0.2386%, 即我们的喷漆次序排布方案效果很好, 总产量非常接近松弛最优解。

综上, 我们给出结论: 附录 D 给出的排布方案能够满足“尽量满足生产零件需求”同时又能保证“换色次数少”、“换支架个数少”的条件。

Table 8 问题二求解结果 (空白位置为过渡滑橇)

滑橇编号	颜色	产品名称	滑橇编号	颜色	产品名称	滑橇编号	颜色	产品名称
1	曜岩黑	前保 D	102	钻石白	后保 F	203	光耀蓝	后保 A
2	曜岩黑	门槛 C	103	钻石白	前保 E	204	光耀蓝	后保 F
3	曜岩黑	中间扰流板 A	104	钻石白	后保 G	205	光耀蓝	前保 E
4	曜岩黑	后保 C	105	钻石白	前保 E	206	光耀蓝	后保 F
5	曜岩黑	前保 D	106	钻石白	后保 F	207	光耀蓝	前保 A
6	曜岩黑	门槛 B	107	钻石白	前保 E	208	光耀蓝	后保 F
7	曜岩黑	门槛 C	108	钻石白	后保 F	209	光耀蓝	前保 A
8	曜岩黑	前保 E	109	钻石白	后保 G	210	光耀蓝	前保 A
9	曜岩黑	门槛 B	110	钻石白	后保 G	211	光耀蓝	轮口装饰件 A
10	曜岩黑	门槛 C	111	钻石白	后保 G	212	光耀蓝	后保 F
11	曜岩黑	前保 D	112	钻石白	前保 E	213	光耀蓝	前保 A
12	曜岩黑	前保 D	113	钻石白	雷达支架 C	214	光耀蓝	前保 E
13	曜岩黑	门槛 B	114			215	光耀蓝	前保 F
14	曜岩黑	后保 C	115	曜岩黑	前保 D	216	光耀蓝	前保 A
15	曜岩黑	前保 D	116	曜岩黑	后保 C	217	光耀蓝	后保 A
16	曜岩黑	门槛 C	117	曜岩黑	门槛 B	218	光耀蓝	前保 F
17	曜岩黑	前保 C	118	曜岩黑	门槛 B	219	光耀蓝	前保 A
18	曜岩黑	前保 A	119	曜岩黑	前保 E	220	光耀蓝	外壳 A
19	曜岩黑	前保 E	120	曜岩黑	前保 E	221	光耀蓝	前保 F
20	曜岩黑	前保 C	121	曜岩黑	前保 C	222	光耀蓝	门槛 A
21	曜岩黑	前保 D	122	曜岩黑	前保 C	223	光耀蓝	前保 A
22	曜岩黑	前保 E	123	曜岩黑	前保 E	224	光耀蓝	前保 F
23	曜岩黑	后保 C	124	曜岩黑	后保 F	225		
24	曜岩黑	前保 C	125	曜岩黑	前保 A	226	铱银	上格栅 B
25			126	曜岩黑	后保 C	227	铱银	上格栅 B
26	米兰银	门槛 A	127	曜岩黑	门槛 B	228		
27	米兰银	后保 G	128	曜岩黑	门槛 B	229	极地白	轮口装饰件 A
28	米兰银	后保 B	129	曜岩黑	前保 D	230		

滑梯编号	颜色	产品名称	滑梯编号	颜色	产品名称	滑梯编号	颜色	产品名称
29	米兰银	雷达支架 D	130	曜岩黑	前保 C	231	钻石白	后保 G
30	米兰银	后保 F	131	曜岩黑	门槛 C	232	钻石白	后保 C
31	米兰银	后保 G	132	曜岩黑	前保 E	233	钻石白	后保 G
32	米兰银	后保 G	133			234	钻石白	后保 G
33	米兰银	后保 B	134	光耀蓝	门槛 A	235	钻石白	前保 E
34	米兰银	后保 F	135	光耀蓝	前保 E	236	钻石白	后保 G
35	米兰银	后保 B	136	光耀蓝	后保 A	237	钻石白	前保 G
36	米兰银	门槛 A	137	光耀蓝	轮口装饰件 A	238	钻石白	后保 G
37			138			239	钻石白	前保 E
38	曜岩黑	前保 E	139	曜岩黑	门槛 B	240	钻石白	前保 E
39	曜岩黑	后保 C	140	曜岩黑	门槛 C	241	钻石白	雷达支架 C
40	曜岩黑	后保 C	141	曜岩黑	后保 C	242	钻石白	后保 C
41	曜岩黑	前保 D	142	曜岩黑	门槛 B	243	钻石白	后保 C
42	曜岩黑	门槛 B	143	曜岩黑	前保 C	244	钻石白	前保 C
43	曜岩黑	前保 E	144	曜岩黑	前保 D	245	钻石白	门槛 B
44	曜岩黑	前保 C	145	曜岩黑	后保 C	246	钻石白	后保 C
45	曜岩黑	后保 C	146	曜岩黑	前保 C	247		
46	曜岩黑	门槛 C	147	曜岩黑	门槛 B	248	铱银	上格栅 A
47	曜岩黑	门槛 B	148	曜岩黑	前保 D	249	铱银	上格栅 B
48	曜岩黑	后保 C	149	曜岩黑	后保 C	250	铱银	上格栅 A
49	曜岩黑	后保 C	150	曜岩黑	门槛 B	251	铱银	门槛装饰条 A
50	曜岩黑	前保 D	151	曜岩黑	后保 C	252	铱银	上格栅 A
51	曜岩黑	门槛 B	152	曜岩黑	门槛 B	253	铱银	上格栅 A
52	曜岩黑	前保 A	153	曜岩黑	前保 C	254	铱银	门槛装饰条 A
53	曜岩黑	后保 F	154	曜岩黑	前保 C	255	铱银	上格栅 B
54	曜岩黑	后保 F	155	曜岩黑	后保 F	256	铱银	上格栅 A
55	曜岩黑	后保 C	156	曜岩黑	前保 A	257	铱银	门槛装饰条 A
56	曜岩黑	后保 C	157	曜岩黑	后保 F	258	铱银	后保 A
57	曜岩黑	后保 C	158	曜岩黑	中间扰流板 A	259	铱银	上格栅 B
58	曜岩黑	后保 C	159	曜岩黑	门槛 B	260	铱银	门槛装饰条 A
59	曜岩黑	门槛 C	160	曜岩黑	后保 F	261		
60			161	曜岩黑	前保 D	262	极地白	前保 A
61	极地白	门槛 D	162	曜岩黑	后保 C	263	极地白	前保 A
62	极地白	门槛 D	163	曜岩黑	门槛 B	264	极地白	后保 A
63	极地白	前保 A	164	曜岩黑	前保 C	265	极地白	前保 F
64			165	曜岩黑	后保 C	266	极地白	门槛 A
65	钻石白	前保 E	166	曜岩黑	后保 C	267	极地白	门槛 D

滑梯编号	颜色	产品名称	滑梯编号	颜色	产品名称	滑梯编号	颜色	产品名称
66	钻石白	前保 E	167	曜岩黑	前保 C	268	极地白	后保 A
67	钻石白	后保 F	168	曜岩黑	门槛 B	269	极地白	前保 F
68	钻石白	后保 G	169	曜岩黑	后保 F	270	极地白	前保 F
69	钻石白	前保 G	170	曜岩黑	中间扰流板 A	271	极地白	门槛 A
70	钻石白	门槛 B	171	曜岩黑	中间扰流板 A	272	极地白	前保 A
71	钻石白	后保 F	172	曜岩黑	前保 C	273	极地白	后保 A
72	钻石白	后保 G	173	曜岩黑	后保 F	274	极地白	后保 A
73	钻石白	后保 G	174	曜岩黑	后保 C	275	极地白	后保 A
74	钻石白	前保 G	175			276	极地白	门槛 A
75	钻石白	后保 G	176	极地白	前保 A	277	极地白	前保 F
76	钻石白	后保 F	177	极地白	前保 A	278	极地白	前保 A
77	钻石白	后保 G	178	极地白	门槛 A	279	极地白	门槛 A
78	钻石白	后保 G	179	极地白	门槛 A	280	极地白	前保 A
79	钻石白	后保 F	180	极地白	前保 F	281	极地白	前保 A
80			181	极地白	前保 A	282	极地白	门槛 D
81	极地白	前保 F	182	极地白	前保 A	283	极地白	门槛 A
82	极地白	后保 A	183	极地白	前保 A	284	极地白	后保 A
83	极地白	前保 F	184	极地白	前保 F	285	极地白	前保 A
84	极地白	后保 A	185	极地白	前保 F	286	极地白	门槛 D
85	极地白	前保 A	186	极地白	前保 F	287	极地白	前保 A
86	极地白	外壳 A	187	极地白	后保 A	288	极地白	门槛 D
87	极地白	前保 A	188	极地白	门槛 D	289	极地白	后保 A
88	极地白	外壳 A	189	极地白	门槛 D	290	极地白	前保 F
89	极地白	门槛 D	190	极地白	前保 A	291	极地白	门槛 D
90	极地白	后保 A	191	极地白	前保 F	292	极地白	后保 A
91	极地白	前保 F	192	极地白	中间扰流板 A	293	极地白	后保 A
92	极地白	前保 A	193	极地白	前保 F	294	极地白	后保 A
93	极地白	前保 A	194	极地白	前保 A	295	极地白	门槛 D
94	极地白	前保 F	195	极地白	前保 F	296	极地白	前保 F
95	极地白	前保 F	196	极地白	中间扰流板 A	297	极地白	前保 A
96	极地白	前保 F	197	极地白	后保 A	298	极地白	前保 A
97			198	极地白	中间扰流板 A	299	极地白	门槛 A
98	钻石白	前保 E	199	极地白	轮口装饰件 A	300	极地白	前保 F
99	钻石白	后保 C	200	极地白	门槛 A	301	极地白	外壳 A
100	钻石白	后保 G	201	极地白	前保 A	302	极地白	前保 F
101	钻石白	后保 G	202			303	极地白	门槛 D

6 模型评价与推广

6.1 模型的优点

- (1) 模型假设充分结合实际, 简化三类喷漆加工过程为只考虑面漆喷涂、对喷枪类型进行合理假设, 且忽略前圈末与后圈始之间的换色情况, 并规定了合理的支架摆放方式. 在如上合乎常理的假设下建立的模型更贴近加工生产的真实情况, 具有较高的应用价值;
- (2) 本文充分结合运筹学相关理论, 使用混合整数规划、多目标规划、分层序列法构建模型, 求解软件性能卓越, 能较快地输出问题的解. 且每一步都有较适当的实际含义与决策背景, 便于结合实际分析、解决问题.
- (3) 零件加工排产的具体及相关数据大都以图片和表格的形式呈现, 直观反映了模型分析、建立与求解的过程, 便于阅读和理解.
- (4) 模型的输出效果较好, 能够完成绝大部分需求任务, 且换色次数较少、圈与圈之间同个滑橇更换次数也较少.

6.2 模型的缺点

- (1) 本文提出的模型对于现有条件使用效果较好, 但由于时间限制, 没有对模型结果进行检验与误差分析.
- (2) 实际应用中, 圈始与后圈末的“换色”可能也是重要的因素, 但本文未能考虑到这些因素的影响, 一定程度上影响了模型的准确性与适用范围;
- (3) 模型输出侧重于不同颜色喷漆排布方案, 没有对相同种类零件进行合并摆放.

6.3 模型的改进与推广

6.3.1 模型改进

- (1) 改进生产流程的安排: 将目标规划转化为动态规划问题, 即每次零件加工完毕后立马逐个对零件换件, 此时需考虑前圈始与后圈末的“换色”情况, 动态支架分配也是需要研究的重点.
- (2) 改进算法: 采用分层序列法进行多目标优化时, 随着优化层级不断增多, 其解集可能缩小为一个有限集合甚至一个点, 从而限制了优化范围. 因此, 可采用其改进形式——宽容分层序列法, 这种方法允许在达到下一级目标最优的基础上牺牲上一级目标函数微弱的最优值, 从而扩大目标优化范围.

6.3.2 模型推广

(1) 针对任务完成度尽可能高的目标函数

本文建立的模型是基于任务达标率最大的多目标规划模型. 从任务完成度尽可能高的角度出发, 可以引入正负偏差变量来修正模型, 将问题转化为目标规划问题.

模型的约束式(6)修正为:

$$\sum_{n \in N} X_{ij}^{(n)} \geq R_{ij} + s_{ij}^+ - s_{ij}^- \quad i \in I; j \in J \quad (25)$$

该式中, s_{ij}^+ 称为正偏差变量, 表示 i 零件 j 颜色超过计划需求量的个数; s_{ij}^- 称为负偏差变量, 表示 i 零件 j 颜色未满足计划需求量的个数. 根据这种定义, 决策值不可能既超过目标值同时又未达到目标值, 因此 s_{ij}^+ 和 s_{ij}^- 还满足如下关系:

$$s_{ij}^+ \cdot s_{ij}^- = 0 \quad i \in I; j \in J \quad (26)$$

$$s_{ij}^+ \geq 0, s_{ij}^- \leq 0 \quad i \in I; j \in J \quad (27)$$

目标函数修正为:

$$\max \quad -P_1 \cdot \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} s_{ij}^- + P_2 \cdot \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} s_{ij}^+ \quad (28)$$

其中 P_1 和 P_2 是权系数, 且有 $P_1 \gg P_2 > 0$. 模型求解时, 为了使式(28)取得最优解, 负数项 $-P_1 \cdot \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} s_{ij}^-$ 会尽量小, 因此 s_{ij}^- 会尽可能取 0, 对应的实际意义为尽量满足生产计划. 接着, $P_2 \cdot \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} s_{ij}^+$ 会尽可能大, 即满足生产需求的同时尽可能多地生产零件.

当然, 也可以将目标函数(28)转化为多目标规划:

$$\begin{aligned} \text{obj}_1 : \min & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} s_{ij}^- \\ \text{obj}_2 : \max & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} s_{ij}^+ \end{aligned} \quad (29)$$

该目标函数使用分层序列法即可求解.

(2) 应用场景推广

本文基于零件加工排产问题建立的模型, 还可用于高校的排课问题等. 在教师、教室资源有限的情况下, 考虑到频繁更换上课地点可能会造成楼道拥堵或者或者在短暂的课间休息时间内无法按时赶到制定的上课地点, 需要尽可能减少相邻两类课的上课地点的更换, 从而给出对学生课时、上课起始时间及上课地点、任课教师的详细安排. 将滑梯位置替换成上课地点, 零件颜色与类型的冲突替换为任课教师与上课时间等, 适当调整相关参数, 便能使用该模型合理解决高校排课问题.

参考文献

- [1] 《运筹学》教材编写组. 运筹学.第 4 版[M]. 清华大学出版社, 2012.
- [2] Gurobi Optimization, LLC. "Gurobi Optimizer Reference Manual". 2019. [Online].
Available: <http://www.gurobi.com>
- [3] 冯国双. 白话统计[M]. 电子工业出版社, 2018.
- [4] 张良均. Python 数据分析与挖掘实战[M]. 机械工业出版社, 2016.
- [5] 茆诗松, 程依明, 濮晓龙, 等. 概率论与数理统计教程第二版[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011
- [6] 周志华. 机器学习[M]. 清华大学出版社, 2016.
- [7] Rachel Schutt, Cathy O'Neil. 数据科学实战[M]. 人民邮电出版社, 2015.
- [8] 姜启源, 谢金星, 叶俊. 数学模型.第 4 版[M]. 高等教育出版社, 2011.
- [9] 韩中庚. 数学建模方法及其应用-第 2 版[M]. 高等教育出版社, 2009.

附 录

附录 A: “颜色-零件”对照表

Table 9 “颜色-零件”反向映射表

颜色	零件种类	需求量	颜色	零件种类	需求量
光耀蓝	中间扰流板 A	39	宇宙黑	前保 G	43
	前保 A	249	宝石红	前保 E	99
	前保 C	12		后保 A	372
	前保 E	115		后保 F	101
	前保 F	128		外壳 A	7
	后保 A	174		门槛 A	351
	后保 F	115		雷达支架 A	5
	外壳 A	13	曜岩黑	中间扰流板 A	72
	轮口装饰件 A	51		前保 A	212
	门槛 A	204		前保 C	424
宝石蓝	前保 A	80		前保 D	992
	前保 B	27		前保 E	373
	前保 C	3		后保 C	808
	前保 D	15		后保 D	3
	后保 A	3		后保 F	278
	后保 C	85		门槛 A	47
	外壳 A	18		门槛 B	579
	轮口装饰件 A	6		门槛 C	276
	门槛 A	86		雷达支架 D	4
	门槛 B	94	极地白	中间扰流板 A	149
	雷达支架 B	12		前保 A	885
牛仔蓝	外壳 A	6	极地白	前保 B	28
牛仔蓝	轮口装饰 B	4		前保 F	961
	雷达支架 E	5		后保 A	565
钻石白	前保 C	78	极地白	后保 E	6
	前保 E	475		外壳 A	87
	前保 G	121		轮口装饰件 A	168
	后保 C	87		门槛 A	505
	后保 F	323		门槛 D	468
	后保 G	427		雷达支架 B	32
	轮口装饰件 B	26	米兰银	中间扰流板 A	76
	门槛 B	177		前保 A	84

颜色	零件种类	需求量	颜色	零件种类	需求量
铱银	雷达支架 C	26		前保 E	75
	雷达支架 E	6		前保 G	20
	上格栅 A	135		后保 B	75
	上格栅 B	150		后保 F	41
	前保 A	40		后保 G	79
	前保 B	24		外壳 A	3
	后保 A	35		门槛 A	83
	后保 D	11		门槛 E	12
	门槛 A	10		雷达支架 D	3
	门槛装饰条 A	299			

附录 B: 需求矩阵

Table 10 零件-颜色需求矩阵 (空白位置即无该零件需求, 也无相应支架)

	极地白	钻石白	宝石红	牛仔蓝	宝石蓝	光耀蓝	米兰银	铱银	宇宙黑	曜岩黑
上格栅 A								135		
上格栅 B								150		
中间扰流板 A	149					39	76			72
前保 A	885				80	249	84	40		212
前保 B	28				27			24		
前保 C		78			3	12				424
前保 D					15					992
前保 E		475	99			115	75			373
前保 F	961					128				
前保 G		121					20		43	
后保 A	565		372		3	174		35		
后保 B							75			
后保 C		87			85					808
后保 D								11		3
后保 E	6									
后保 F		323	101			115	41			278
后保 G		427					79			
外壳 A	87		7	6	18	13	3			
轮口装饰件 A	168				6	51				
轮口装饰件 B		26		4						
门槛 A	505		351		86	204	83	10		47
门槛 B		177			94					579
门槛 C										276
门槛 D	468									
门槛 E							12			
门槛装饰条 A								299		
雷达支架 A			5							
雷达支架 B	32				12					
雷达支架 C		26								
雷达支架 D							3			4
雷达支架 E		6		5						

附录 C: 问题一喷漆次序排布方案

编号	第一圈			第二圈			第三圈			第四圈		
	零件	颜色	数量	零件	颜色	数量	零件	颜色	数量	零件	颜色	数量
1	后保 A	极地白	6	后保 A	宝石红	6	前保 E	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
2	前保 F	极地白	6	门槛 A	宝石红	6	前保 C	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6
3	前保 F	极地白	6	门槛 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
4	前保 F	极地白	6	后保 A	宝石红	6	前保 E	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
5	前保 F	极地白	6				前保 C	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
6	轮口装饰件 A	极地白	6	后保 A	铱银	6	前保 C	曜岩黑	6	轮口装饰件 A	极地白	6
7	前保 A	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
8	前保 F	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	后保 C	曜岩黑	6	中间扰流板 A	极地白	6
9				后保 A	铱银	6	后保 F	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
10	上格栅 B	铱银	6	上格栅 B	铱银	6	后保 F	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
11	门槛装饰条 A	铱银	6				门槛 B	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
12	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 A	光耀蓝	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6
13	上格栅 B	铱银	6	前保 F	光耀蓝	6	前保 A	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
14	上格栅 B	铱银	6	前保 F	光耀蓝	6	门槛 B	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
15	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 F	光耀蓝	6	前保 E	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
16	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 E	光耀蓝	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
17	门槛装饰条 A	铱银	6				前保 D	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
18	上格栅 A	铱银	6	门槛 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
19	后保 A	铱银	6	前保 A	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6			
20	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 E	米兰银	6
21	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 G	米兰银	6
22	前保 A	铱银	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	后保 G	米兰银	6
23	上格栅 B	铱银	6				后保 C	曜岩黑	6	后保 G	米兰银	6
24	门槛装饰条 A	铱银	6	后保 F	宝石红	6	门槛 B	曜岩黑	6			
25	前保 A	铱银	6	门槛 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
26	上格栅 A	铱银	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 A	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
27	上格栅 A	铱银	6	后保 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
28	上格栅 A	铱银	6	门槛 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6
29	门槛装饰条 A	铱银	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 C	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
30	门槛装饰条 A	铱银	6	后保 A	宝石红	6	前保 C	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
31	门槛装饰条 A	铱银	6	门槛 A	宝石红	6	前保 C	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
32				后保 A	宝石红	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
33	后保 C	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
34	后保 C	曜岩黑	6				后保 C	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6
35	前保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6

36	后保 C	曜岩黑	6	门槛 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6
37	前保 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
38	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
39	前保 D	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6
40	前保 D	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6
41	门槛 B	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 A	曜岩黑	6	外壳 A	极地白	6
42	门槛 B	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6
43	前保 C	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6			
44	前保 C	曜岩黑	6	前保 A	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 E	米兰银	3
45	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 B	米兰银	6
46	后保 C	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6			
47	后保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
48				前保 D	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
49	前保 A	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
50				门槛 B	曜岩黑	6	前保 A	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
51	门槛 B	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6			
52	前保 G	钻石白	6	后保 F	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	中间扰流板 A	极地白	6
53	前保 E	钻石白	6	门槛 A	曜岩黑	5	后保 C	曜岩黑	6	中间扰流板 A	极地白	6
54	后保 F	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
55	后保 F	钻石白	6	后保 F	曜岩黑	6				门槛 D	极地白	6
56	前保 E	钻石白	6	后保 F	曜岩黑	6	前保 E	光耀蓝	6	门槛 A	极地白	6
57	后保 G	钻石白	6				后保 A	光耀蓝	6	后保 A	极地白	6
58	前保 E	钻石白	6	门槛装饰条 A	钛银	6	门槛 A	光耀蓝	6	前保 A	极地白	6
59	后保 G	钻石白	6	门槛装饰条 A	钛银	6	后保 F	光耀蓝	6	前保 F	极地白	6
60	前保 G	钻石白	6	上格栅 B	钛银	6				前保 A	极地白	6
61	后保 F	钻石白	6	门槛装饰条 A	钛银	6	后保 A	宝石红	6	后保 A	极地白	6
62	前保 E	钻石白	6	前保 B	钛银	6	后保 A	宝石红	6	门槛 D	极地白	6
63	前保 E	钻石白	6	上格栅 B	钛银	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 A	极地白	6
64	后保 F	钻石白	6	上格栅 A	钛银	6	前保 E	宝石红	6	中间扰流板 A	极地白	6
65	前保 E	钻石白	6				门槛 A	宝石红	6	前保 F	极地白	6
66	前保 G	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	后保 A	宝石红	6	前保 F	极地白	6
67	前保 E	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6				前保 A	极地白	6
68	后保 G	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
69	前保 G	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
70	后保 F	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6
71	后保 G	钻石白	6	后保 A	宝石红	6	后保 F	曜岩黑	6			
72	前保 E	钻石白	6				前保 C	曜岩黑	6	后保 C	宝石蓝	6
73	后保 C	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 A	宝石蓝	6

74	前保 E	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 D	曜岩黑	3	门槛 B	宝石蓝	6
75	后保 G	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6			
76	前保 E	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 B	米兰银	6
77	前保 C	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 C	曜岩黑	6	中间扰流板 A	米兰银	6
78	前保 E	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 G	米兰银	6
79				后保 C	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	后保 G	米兰银	6
80	前保 F	光耀蓝	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 E	米兰银	6
81	轮口装饰件 A	光耀蓝	6	前保 A	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 G	米兰银	6
82	前保 A	光耀蓝	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	后保 G	米兰银	6
83	前保 A	光耀蓝	6	前保 E	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 E	米兰银	6
84	前保 A	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 A	米兰银	6
85	轮口装饰件 A	光耀蓝	6	门槛 B	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6			
86	前保 A	光耀蓝	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
87	后保 A	光耀蓝	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
88	后保 A	光耀蓝	6	门槛 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
89	前保 A	光耀蓝	6	前保 A	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
90	后保 A	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
91	后保 F	光耀蓝	6				门槛 B	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
92	门槛 A	光耀蓝	6	上格栅 B	铱银	6	前保 C	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
93	后保 A	光耀蓝	6	上格栅 A	铱银	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
94	门槛 A	光耀蓝	6	门槛装饰条 A	铱银	6	门槛 C	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
95	后保 F	光耀蓝	6	上格栅 B	铱银	6				后保 A	极地白	6
96	后保 A	光耀蓝	6	上格栅 B	铱银	6	前保 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6
97	后保 A	光耀蓝	6	前保 A	铱银	6	前保 F	极地白	6	前保 A	极地白	6
98	门槛 A	光耀蓝	6	上格栅 A	铱银	6	中间扰流板 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6
99	前保 E	光耀蓝	6				门槛 D	极地白	6	门槛 A	极地白	6
100	前保 F	光耀蓝	6	前保 A	米兰银	6	前保 A	极地白	6			
101	前保 F	光耀蓝	6	中间扰流板 A	米兰银	6	门槛 D	极地白	6	后保 G	钻石白	6
102	前保 F	光耀蓝	6	后保 B	米兰银	6	前保 F	极地白	6	后保 G	钻石白	6
103	后保 A	光耀蓝	6	门槛 A	米兰银	6	前保 A	极地白	6	后保 F	钻石白	6
104	前保 E	光耀蓝	6	前保 E	米兰银	6	门槛 D	极地白	6	门槛 B	钻石白	1
105	前保 E	光耀蓝	6	前保 E	米兰银	6	前保 F	极地白	6			
106	前保 F	光耀蓝	6	前保 E	米兰银	6	前保 F	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6
107	前保 A	光耀蓝	6	前保 A	米兰银	6	前保 F	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6
108	轮口装饰件 A	光耀蓝	6	前保 A	米兰银	6	前保 F	极地白	6			
109	门槛 A	光耀蓝	6	前保 E	米兰银	6	门槛 D	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6
110				后保 F	米兰银	6	前保 F	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6
111	门槛装饰条 A	铱银	6	后保 G	米兰银	6	门槛 D	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6

112	上格栅 A	铱银	6			前保 F	极地白	6	门槛 C	曜岩黑	6	
113				门槛 D	极地白	6	后保 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6
114	门槛 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6
115	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6
116	前保 A	极地白	6							前保 D	曜岩黑	6
117	前保 A	极地白	6	前保 E	钻石白	6	外壳 A	牛仔蓝	6	前保 C	曜岩黑	6
118	后保 A	极地白	6	前保 E	钻石白	6				前保 C	曜岩黑	6
119	门槛 A	极地白	6	后保 G	钻石白	6	前保 G	宇宙黑	6	前保 E	曜岩黑	6
120	外壳 A	极地白	6	后保 G	钻石白	6	前保 G	宇宙黑	6	前保 D	曜岩黑	6
121	前保 A	极地白	6	前保 C	钻石白	6	前保 G	宇宙黑	6	前保 E	曜岩黑	6
122	门槛 D	极地白	6	前保 E	钻石白	6						
123	前保 A	极地白	6	前保 E	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛装饰条 A	铱银	6
124	前保 F	极地白	6	雷达支架 C	钻石白	6	中间扰流板 A	曜岩黑	6	门槛装饰条 A	铱银	6
125	后保 A	极地白	6	后保 G	钻石白	6	前保 C	曜岩黑	6	门槛装饰条 A	铱银	6
126	前保 F	极地白	6	后保 F	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	上格栅 A	铱银	6
127	前保 F	极地白	6	前保 E	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛装饰条 A	铱银	6
128	前保 F	极地白	6	后保 G	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6			
129	后保 A	极地白	6				后保 C	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
130	前保 F	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 A	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6
131	前保 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
132	前保 A	极地白	6	后保 F	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
133	前保 A	极地白	6				中间扰流板 A	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
134	门槛 A	极地白	6	后保 A	宝石红	6	前保 C	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
135	前保 A	极地白	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 C	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
136	门槛 D	极地白	6	后保 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
137	中间扰流板 A	极地白	6	门槛 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
138	前保 A	极地白	6	后保 F	宝石红	6	门槛 B	曜岩黑	6			
139	后保 A	极地白	6	后保 F	宝石红	6	前保 E	曜岩黑	6	上格栅 B	铱银	6
140	门槛 D	极地白	6	门槛 A	宝石红	6	前保 E	曜岩黑	6	上格栅 A	铱银	6
141	前保 F	极地白	6	后保 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 A	铱银	6
142	前保 A	极地白	6	门槛 A	宝石红	6	前保 E	曜岩黑	6			
143	前保 F	极地白	6	后保 A	宝石红	6	门槛 B	曜岩黑	6	轮口装饰件 A	极地白	6
144	中间扰流板 A	极地白	6	后保 A	宝石红	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
145	门槛 D	极地白	6	后保 A	宝石红	6				前保 F	极地白	6
146	前保 F	极地白	6	后保 A	宝石红	6	门槛 D	极地白	6	前保 F	极地白	6
147				门槛 A	宝石红	6	后保 A	极地白	6	外壳 A	极地白	6
148	门槛 A	宝石蓝	6	门槛 A	宝石红	6	后保 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6
149	门槛 A	宝石蓝	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 D	极地白	6	前保 A	极地白	6

150	门槛 A	宝石蓝	6	门槛 A	宝石红	6	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6
151				门槛 A	宝石红	6				前保 F	极地白	6
152	后保 F	曜岩黑	6	前保 E	宝石红	6	后保 G	米兰银	6	前保 A	极地白	6
153	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6				门槛 D	极地白	6
154	门槛 B	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	门槛 A	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
155	前保 D	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
156	后保 C	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6	前保 A	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
157	门槛 C	曜岩黑	6	外壳 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
158	后保 C	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	门槛 C	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
159	前保 E	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6
160	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6			
161	后保 F	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6
162	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6
163	后保 C	曜岩黑	6				前保 D	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6
164	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6
165	门槛 B	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6
166	后保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6
167	前保 E	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 C	钻石白	6
168	门槛 B	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6						
169	后保 C	曜岩黑	6				后保 F	宝石红	6	门槛 A	极地白	6
170	后保 F	曜岩黑	6	轮口装饰件 A	极地白	6	后保 A	宝石红	6	后保 A	极地白	6
171	前保 C	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	前保 E	宝石红	6	门槛 A	极地白	6
172	门槛 C	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6				后保 A	极地白	6
173	前保 D	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	前保 F	光耀蓝	6	后保 A	极地白	6
174	后保 C	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	前保 A	光耀蓝	6	门槛 D	极地白	6
175	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6	前保 F	光耀蓝	6	中间扰流板 A	极地白	6
176	前保 A	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6	前保 A	光耀蓝	6	门槛 D	极地白	6
177	前保 A	曜岩黑	6	后保 E	极地白	3	门槛 A	光耀蓝	6	前保 F	极地白	6
178	前保 D	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	后保 F	光耀蓝	6	前保 F	极地白	6
179	前保 D	曜岩黑	6	前保 B	极地白	6	后保 F	光耀蓝	6	前保 A	极地白	6
180	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6	前保 C	光耀蓝	6	门槛 A	极地白	6
181	前保 C	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	后保 F	光耀蓝	6	前保 F	极地白	6
182	前保 D	曜岩黑	6	雷达支架 B	极地白	6	后保 A	光耀蓝	6	门槛 D	极地白	6
183				后保 A	极地白	6	中间扰流板 A	光耀蓝	6	后保 A	极地白	6
184	后保 F	光耀蓝	6	前保 A	极地白	6	门槛 A	光耀蓝	6	前保 F	极地白	6
185	前保 E	光耀蓝	6	雷达支架 B	极地白	6	前保 A	光耀蓝	6	门槛 A	极地白	6
186	后保 F	光耀蓝	6	前保 A	极地白	6	后保 F	光耀蓝	6	门槛 A	极地白	6
187	前保 F	光耀蓝	6	前保 F	极地白	6	门槛 A	光耀蓝	6	门槛 A	极地白	6

188	门槛 A	光耀蓝	6	门槛 D	极地白	6	门槛 A	光耀蓝	6	后保 A	极地白	6
189	前保 F	光耀蓝	6	门槛 D	极地白	6	前保 A	光耀蓝	6	外壳 A	极地白	6
190	中间扰流板 A	光耀蓝	6	门槛 D	极地白	6	门槛 A	光耀蓝	6			
191	轮口装饰件 A	光耀蓝	6	门槛 D	极地白	6	前保 A	光耀蓝	6	前保 F	光耀蓝	6
192	前保 A	光耀蓝	6	后保 A	极地白	6	轮口装饰件 A	光耀蓝	6	前保 A	光耀蓝	6
193	后保 F	光耀蓝	6	前保 B	极地白	6	前保 A	光耀蓝	6	后保 F	光耀蓝	6
194				前保 F	极地白	6	后保 A	光耀蓝	6	前保 A	光耀蓝	6
195	门槛 E	米兰银	3				门槛 A	光耀蓝	6	前保 E	光耀蓝	6
196	外壳 A	米兰银	3	后保 A	宝石红	6	门槛 A	光耀蓝	6	前保 A	光耀蓝	6
197				后保 F	宝石红	6	门槛 A	光耀蓝	6			
198	外壳 A	极地白	6				门槛 A	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6
199	轮口装饰件 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6				后保 C	曜岩黑	6
200	轮口装饰件 A	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
201	前保 F	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
202				前保 A	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
203	前保 C	钻石白	6	后保 F	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
204	前保 E	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
205	前保 E	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6			
206	后保 G	钻石白	6	前保 A	曜岩黑	6	前保 A	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
207	前保 E	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
208	后保 C	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6
209	前保 E	钻石白	6	前保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
210	前保 E	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
211	前保 G	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 C	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
212	前保 G	钻石白	1	前保 D	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
213	后保 G	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
214				前保 D	曜岩黑	6	门槛 A	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
215	前保 F	极地白	6	门槛 C	曜岩黑	6				门槛 A	极地白	6
216	前保 F	极地白	6	前保 E	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6	门槛 D	极地白	6
217	前保 F	极地白	6	门槛 C	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	前保 F	极地白	6
218	前保 A	极地白	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	前保 A	极地白	6
219	前保 A	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6
220	前保 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	后保 A	极地白	6
221	门槛 D	极地白	6				前保 F	极地白	6	后保 A	极地白	6
222	门槛 D	极地白	6	后保 C	宝石蓝	6	门槛 D	极地白	6	门槛 A	极地白	6
223	后保 A	极地白	6	后保 C	宝石蓝	6	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6
224	前保 A	极地白	6	门槛 A	宝石蓝	6	门槛 D	极地白	6	前保 A	极地白	6
225	前保 F	极地白	6	后保 C	宝石蓝	6	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6

226	门槛 D	极地白	6	前保 D	宝石蓝	6	门槛 D	极地白	6	门槛 A	极地白	6
227	门槛 D	极地白	6	门槛 B	宝石蓝	6	中间扰流板 A	极地白	6	前保 F	极地白	6
228	后保 A	极地白	6	前保 A	宝石蓝	6				外壳 A	极地白	6
229	轮口装饰件 A	极地白	6				后保 A	光耀蓝	6			
230	前保 F	极地白	6	门槛 E	米兰银	3	门槛 A	光耀蓝	6	门槛 B	宝石蓝	6
231	门槛 A	极地白	6	前保 A	米兰银	6	前保 E	光耀蓝	6	前保 A	宝石蓝	6
232	前保 F	极地白	6	前保 A	米兰银	6	后保 A	光耀蓝	6	门槛 B	宝石蓝	6
233	前保 F	极地白	6				后保 A	光耀蓝	6	前保 A	宝石蓝	6
234	后保 A	极地白	6	后保 A	极地白	6				门槛 B	宝石蓝	6
235	轮口装饰件 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6	后保 C	宝石蓝	6	前保 A	宝石蓝	6
236	前保 F	极地白	6				前保 D	宝石蓝	3	前保 A	宝石蓝	6
237	前保 A	极地白	6	后保 F	钻石白	6				门槛 B	宝石蓝	6
238	轮口装饰件 A	极地白	6	前保 E	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 A	宝石蓝	6
239	前保 A	极地白	6	前保 C	钻石白	6	前保 E	曜岩黑	6	门槛 B	宝石蓝	6
240	门槛 D	极地白	6	后保 G	钻石白	6	中间扰流板 A	曜岩黑	6	门槛 B	宝石蓝	6
241	前保 F	极地白	6	前保 G	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	宝石蓝	6
242	前保 A	极地白	6	前保 E	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 B	宝石蓝	6
243				前保 E	钻石白	6	中间扰流板 A	曜岩黑	6	门槛 B	宝石蓝	6
244	门槛 A	宝石红	6	后保 G	钻石白	6	前保 A	曜岩黑	6	后保 C	宝石蓝	6
245	门槛 A	宝石红	6	后保 F	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6			
246				后保 G	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
247	门槛 B	曜岩黑	6	前保 G	钻石白	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
248	前保 D	曜岩黑	6	前保 G	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
249	门槛 B	曜岩黑	6	轮口装饰件 B	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
250	前保 D	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
251	中间扰流板 A	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	后保 F	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6
252	前保 A	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6	中间扰流板 A	曜岩黑	6
253	前保 A	曜岩黑	6	前保 G	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6
254	前保 D	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 A	曜岩黑	6
255	前保 D	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
256	前保 D	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	前保 A	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
257	前保 D	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
258	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
259	后保 C	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6	中间扰流板 A	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6
260	前保 D	曜岩黑	6				门槛 B	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
261	门槛 C	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
262	前保 C	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
263	前保 D	曜岩黑	6	后保 F	宝石红	6	后保 F	曜岩黑	6			

264	后保 F	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
265	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6
266	后保 C	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
267	中间扰流板 A	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	门槛 C	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
268	前保 E	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6
269	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	后保 F	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
270	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6
271	前保 D	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
272	中间扰流板 A	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6				前保 F	极地白	6
273	前保 A	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 D	极地白	6	中间扰流板 A	极地白	6
274	门槛 C	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6	后保 A	极地白	6	前保 F	极地白	6
275	前保 E	曜岩黑	6	后保 F	宝石红	6	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6
276	前保 D	曜岩黑	6	前保 E	宝石红	3				前保 A	极地白	6
277	门槛 B	曜岩黑	6				前保 E	钻石白	6	前保 F	极地白	6
278	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	光耀蓝	6	前保 C	钻石白	6	前保 F	极地白	6
279	门槛 B	曜岩黑	6	前保 A	光耀蓝	6	后保 G	钻石白	6	后保 A	极地白	6
280	前保 D	曜岩黑	6	前保 A	光耀蓝	6	前保 G	钻石白	6	前保 F	极地白	6
281	前保 A	曜岩黑	6	前保 A	光耀蓝	6	前保 E	钻石白	6	前保 F	极地白	6
282	后保 F	曜岩黑	6	前保 A	光耀蓝	6	后保 F	钻石白	6	门槛 A	极地白	6
283	门槛 C	曜岩黑	6	前保 A	光耀蓝	6	后保 C	钻石白	6	门槛 A	极地白	6
284	后保 F	曜岩黑	6	前保 F	光耀蓝	6	前保 E	钻石白	6	门槛 A	极地白	6
285	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	光耀蓝	6	前保 G	钻石白	6	前保 A	极地白	6
286	前保 A	曜岩黑	6	前保 E	光耀蓝	6	前保 E	钻石白	6	前保 A	极地白	6
287	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	光耀蓝	6				门槛 A	极地白	6
288	后保 C	曜岩黑	6				门槛 B	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
289	前保 C	曜岩黑	6	前保 A	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
290	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
291	前保 C	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
292	门槛 B	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
293	前保 D	曜岩黑	6	门槛 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
294	前保 A	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	1
295	后保 F	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6
296	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6
297	门槛 C	曜岩黑	6	门槛 C	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
298				前保 C	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	轮口装饰件 A	极地白	6
299	前保 A	极地白	6	门槛 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	外壳 A	极地白	6
300	前保 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6
301	前保 F	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6

302	前保 F	极地白	6	前保 E	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6
303	前保 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	3	前保 F	极地白	6

编号	第五圈			第六圈			第七圈			第八圈		
	零件	颜色	数量	零件	颜色	数量	零件	颜色	数量	零件	颜色	数量
1	前保 F	光耀蓝	6	前保 D	宝石蓝	6	前保 A	宝石蓝	6	前保 A	宝石蓝	6
2	后保 A	光耀蓝	6	前保 C	宝石蓝	3	后保 C	宝石蓝	6	后保 C	宝石蓝	6
3	门槛 A	光耀蓝	6	轮口装饰件 A	宝石蓝	6	门槛 A	宝石蓝	6	门槛 A	宝石蓝	6
4	门槛 A	光耀蓝	6	前保 B	宝石蓝	6	外壳 A	宝石蓝	6	外壳 A	宝石蓝	6
5	前保 E	光耀蓝	6	门槛 A	宝石蓝	6						
6	前保 A	光耀蓝	6				前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
7	轮口装饰件 A	光耀蓝	6	前保 E	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
8	门槛 A	光耀蓝	6	前保 A	光耀蓝	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6
9				前保 F	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
10	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	光耀蓝	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6
11	门槛 C	曜岩黑	6	外壳 A	光耀蓝	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
12	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	光耀蓝	6	后保 F	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6
13	门槛 C	曜岩黑	6	前保 F	光耀蓝	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6
14	门槛 C	曜岩黑	6	后保 F	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
15	前保 C	曜岩黑	6	前保 E	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
16	门槛 B	曜岩黑	6	前保 A	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
17	前保 A	曜岩黑	6	门槛 A	光耀蓝	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
18	后保 C	曜岩黑	6									
19	后保 C	曜岩黑	6	上格栅 B	铱银	6	门槛 A	宝石蓝	6	门槛 A	宝石蓝	6
20	前保 E	曜岩黑	6	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 A	宝石蓝	6	前保 A	宝石蓝	6
21	后保 C	曜岩黑	6	门槛装饰条 A	铱银	6	门槛 A	宝石蓝	6	门槛 A	宝石蓝	6
22	前保 D	曜岩黑	6	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 A	宝石蓝	6	前保 A	宝石蓝	6
23				前保 B	铱银	6	后保 C	宝石蓝	6	后保 C	宝石蓝	6
24	后保 B	米兰银	6				门槛 A	宝石蓝	6	门槛 A	宝石蓝	6
25	前保 A	米兰银	6	前保 F	极地白	6	前保 B	宝石蓝	6	前保 B	宝石蓝	6
26	后保 G	米兰银	6	前保 A	极地白	6						
27	后保 B	米兰银	6	轮口装饰件 A	极地白	6	后保 F	宝石红	6	后保 F	宝石红	6
28	中间扰流板 A	米兰银	6	前保 A	极地白	6	后保 A	宝石红	6	后保 A	宝石红	6
29	前保 G	米兰银	6	门槛 D	极地白	6	后保 A	宝石红	6	后保 A	宝石红	6
30	前保 A	米兰银	6	前保 A	极地白	6	后保 A	宝石红	6	后保 A	宝石红	6
31	前保 G	米兰银	6	前保 F	极地白	6	后保 A	宝石红	6	后保 A	宝石红	6
32	门槛 A	米兰银	6	前保 F	极地白	6	后保 A	宝石红	6	后保 A	宝石红	6
33	前保 A	米兰银	6	前保 F	极地白	6	后保 A	宝石红	6	后保 A	宝石红	6

34		门槛 D 极地白 6	后保 A 宝石红 6	后保 A 宝石红 6
35	门槛装饰条 A 铱银 6	轮口装饰件 A 极地白 6	前保 E 宝石红 6	前保 E 宝石红 6
36	上格栅 B 铱银 6	门槛 D 极地白 6	后保 A 宝石红 6	后保 A 宝石红 6
37	门槛装饰条 A 铱银 6	前保 F 极地白 6	门槛 A 宝石红 6	门槛 A 宝石红 6
38	门槛装饰条 A 铱银 6	前保 F 极地白 6	后保 A 宝石红 6	后保 A 宝石红 6
39	门槛装饰条 A 铱银 6	外壳 A 极地白 6	后保 A 宝石红 6	后保 A 宝石红 6
40	门槛装饰条 A 铱银 6	前保 F 极地白 6	后保 A 宝石红 6	后保 A 宝石红 6
41	上格栅 A 铱银 6	门槛 D 极地白 6	门槛 A 宝石红 6	门槛 A 宝石红 6
42	门槛装饰条 A 铱银 6	轮口装饰件 A 极地白 6	前保 E 宝石红 6	前保 E 宝石红 6
43	上格栅 B 铱银 6	轮口装饰件 A 极地白 6	门槛 A 宝石红 6	门槛 A 宝石红 6
44	后保 A 铱银 6	前保 A 极地白 6	前保 E 宝石红 6	前保 E 宝石红 6
45	门槛装饰条 A 铱银 6	后保 A 极地白 6		
46	上格栅 A 铱银 6	前保 F 极地白 6	后保 F 米兰银 6	后保 F 米兰银 6
47	门槛装饰条 A 铱银 6	前保 A 极地白 6	前保 A 米兰银 6	前保 A 米兰银 6
48	门槛装饰条 A 铱银 6	前保 F 极地白 6	后保 B 米兰银 6	后保 B 米兰银 6
49	后保 A 铱银 6	轮口装饰件 A 极地白 6	中间扰流板 A 米兰银 6	中间扰流板 A 米兰银 6
50	上格栅 A 铱银 6	前保 A 极地白 6	门槛 A 米兰银 6	门槛 A 米兰银 6
51	上格栅 A 铱银 6	门槛 D 极地白 6	后保 B 米兰银 6	后保 B 米兰银 6
52	上格栅 B 铱银 6	轮口装饰件 A 极地白 6	门槛 A 米兰银 6	门槛 A 米兰银 6
53	上格栅 B 铱银 6	前保 A 极地白 6	中间扰流板 A 米兰银 6	中间扰流板 A 米兰银 6
54	后保 D 铱银 6		前保 G 米兰银 6	前保 G 米兰银 6
55	门槛装饰条 A 铱银 6	雷达支架 C 钻石白 6	前保 A 米兰银 6	前保 A 米兰银 6
56	门槛装饰条 A 铱银 6		门槛 A 米兰银 6	门槛 A 米兰银 6
57	后保 A 铱银 6	门槛 B 曜岩黑 6	中间扰流板 A 米兰银 6	中间扰流板 A 米兰银 6
58	上格栅 B 铱银 6	门槛 B 曜岩黑 6	后保 F 米兰银 6	后保 F 米兰银 6
59		后保 F 曜岩黑 6	前保 E 米兰银 6	前保 E 米兰银 6
60	雷达支架 B 宝石蓝 6	后保 C 曜岩黑 6	中间扰流板 A 米兰银 6	中间扰流板 A 米兰银 6
61	后保 C 宝石蓝 6	后保 C 曜岩黑 6	后保 F 米兰银 6	后保 F 米兰银 6
62	门槛 B 宝石蓝 6	前保 D 曜岩黑 6	后保 F 米兰银 6	后保 F 米兰银 6
63	门槛 B 宝石蓝 6	前保 D 曜岩黑 6		
64	前保 A 宝石蓝 6	前保 C 曜岩黑 6	门槛 A 宝石蓝 6	门槛 A 宝石蓝 6
65	前保 B 宝石蓝 6	前保 C 曜岩黑 6	外壳 A 宝石蓝 6	外壳 A 宝石蓝 6
66	后保 C 宝石蓝 6	门槛 C 曜岩黑 6		
67	后保 C 宝石蓝 6	前保 E 曜岩黑 6	门槛 B 曜岩黑 6	门槛 B 曜岩黑 6
68		前保 C 曜岩黑 6	前保 D 曜岩黑 6	前保 D 曜岩黑 6
69	前保 A 米兰银 6	门槛 B 曜岩黑 6	前保 D 曜岩黑 6	前保 D 曜岩黑 6
70	门槛 A 米兰银 6	后保 C 曜岩黑 6	门槛 B 曜岩黑 6	门槛 B 曜岩黑 6
71	后保 B 米兰银 6	前保 C 曜岩黑 6	前保 E 曜岩黑 6	前保 E 曜岩黑 6

72	门槛 A	米兰银	6			门槛 B	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	
73	后保 G	米兰银	6	前保 F	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
74	门槛 A	米兰银	6	后保 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
75	中间扰流板 A	米兰银	6				门槛 C	曜岩黑	6	门槛 C	曜岩黑	6
76	前保 E	米兰银	6	轮口装饰件 B	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
77	前保 A	米兰银	6	后保 C	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
78	前保 E	米兰银	6	后保 C	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
79				后保 G	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
80	前保 A	极地白	6	后保 C	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
81	后保 A	极地白	6	后保 C	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
82	前保 A	极地白	6	后保 C	钻石白	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6
83	门槛 D	极地白	6	后保 G	钻石白	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6
84	后保 A	极地白	6	前保 E	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
85	前保 F	极地白	6	后保 F	钻石白	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6
86				前保 E	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
87	门槛 B	钻石白	6	后保 G	钻石白	6	前保 A	曜岩黑	6	前保 A	曜岩黑	6
88	后保 G	钻石白	6	轮口装饰件 B	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
89	后保 G	钻石白	6	前保 E	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
90	后保 G	钻石白	6	轮口装饰件 B	钻石白	3	前保 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6
91	后保 F	钻石白	6	前保 G	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
92	前保 E	钻石白	6	前保 E	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
93	后保 F	钻石白	6	后保 G	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
94	前保 E	钻石白	6	后保 G	钻石白	6	前保 A	曜岩黑	6	前保 A	曜岩黑	6
95	后保 G	钻石白	6	前保 E	钻石白	6						
96	前保 E	钻石白	6	后保 G	钻石白	6	门槛 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6
97	前保 C	钻石白	6	前保 G	钻石白	6	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6
98	前保 E	钻石白	6	前保 C	钻石白	6	中间扰流板 A	极地白	6	中间扰流板 A	极地白	6
99	前保 E	钻石白	6	前保 E	钻石白	6	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6
100	后保 C	钻石白	6	前保 E	钻石白	6	轮口装饰件 A	极地白	6	轮口装饰件 A	极地白	6
101	后保 G	钻石白	6				轮口装饰件 A	极地白	6	轮口装饰件 A	极地白	6
102	后保 G	钻石白	6	前保 C	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6	后保 A	极地白	6
103	雷达支架 C	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6						
104	前保 E	钻石白	6	前保 E	曜岩黑	6	门槛 B	钻石白	6	门槛 B	钻石白	6
105	后保 F	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 C	钻石白	6	前保 C	钻石白	6
106	前保 E	钻石白	6	门槛 C	曜岩黑	6	雷达支架 E	钻石白	6	雷达支架 E	钻石白	6
107	后保 G	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6	后保 G	钻石白	6
108	后保 F	钻石白	6	后保 F	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6	后保 F	钻石白	6
109	后保 F	钻石白	6	前保 E	曜岩黑	6						

110	后保 F	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6
111	前保 E	钻石白	6	前保 E	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6	后保 A	极地白	6
112	后保 G	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6
113	前保 E	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6
114				后保 F	曜岩黑	6	轮口装饰件 A	极地白	6	轮口装饰件 A	极地白	6
115	后保 C	宝石蓝	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6
116	前保 A	宝石蓝	6				门槛 D	极地白	6	门槛 D	极地白	6
117	门槛 B	宝石蓝	6	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6
118	门槛 B	宝石蓝	6	前保 A	极地白	6	轮口装饰件 A	极地白	6	轮口装饰件 A	极地白	6
119	门槛 B	宝石蓝	6				前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6
120	前保 B	宝石蓝	3	前保 E	钻石白	6	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6
121				后保 G	钻石白	6	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6
122	中间扰流板 A	光耀蓝	6	后保 G	钻石白	6	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6
123	门槛 A	光耀蓝	6	前保 E	钻石白	6	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6
124	中间扰流板 A	光耀蓝	6	后保 G	钻石白	6	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6
125	后保 A	光耀蓝	6	后保 G	钻石白	6	后保 A	极地白	6	后保 A	极地白	6
126	前保 A	光耀蓝	6	后保 G	钻石白	6	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6
127	后保 A	光耀蓝	6	后保 G	钻石白	6	中间扰流板 A	极地白	6	中间扰流板 A	极地白	6
128	前保 F	光耀蓝	6	后保 G	钻石白	6	门槛 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6
129	前保 A	光耀蓝	6	后保 C	钻石白	6						
130	后保 A	光耀蓝	6	后保 F	钻石白	6	门槛 A	宝石蓝	6	门槛 A	宝石蓝	6
131	门槛 A	光耀蓝	6	前保 E	钻石白	6	前保 B	宝石蓝	6	前保 B	宝石蓝	6
132	后保 A	光耀蓝	6	前保 E	钻石白	6	后保 C	宝石蓝	6	后保 C	宝石蓝	6
133	前保 F	光耀蓝	6	前保 E	钻石白	6	门槛 B	宝石蓝	6	门槛 B	宝石蓝	6
134	轮口装饰件 A	光耀蓝	6	后保 G	钻石白	6	前保 A	宝石蓝	6	前保 A	宝石蓝	6
135	后保 A	光耀蓝	6	后保 G	钻石白	6	外壳 A	宝石蓝	6	外壳 A	宝石蓝	6
136	后保 A	光耀蓝	6	后保 F	钻石白	6	门槛 A	宝石蓝	6	门槛 A	宝石蓝	6
137				后保 F	钻石白	6						
138	后保 F	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
139	门槛 C	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	中间扰流板 A	曜岩黑	6	中间扰流板 A	曜岩黑	6
140	前保 C	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6	门槛 A	曜岩黑	6	门槛 A	曜岩黑	6
141	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
142	前保 A	曜岩黑	6				后保 F	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6
143	前保 A	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
144	前保 D	曜岩黑	6	门槛 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
145	前保 A	曜岩黑	2	后保 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6
146	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
147	门槛 C	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6

148	前保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
149	门槛 B	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	曜岩黑	6	前保 A	曜岩黑	6
150	前保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 C	曜岩黑	6	门槛 C	曜岩黑	6
151	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6
152	门槛 B	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
153	前保 D	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6
154	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
155	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
156							前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
157	门槛 D	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
158	前保 F	极地白	6	前保 B	铱银	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
159	门槛 A	极地白	6	上格栅 B	铱银	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
160	后保 A	极地白	6	上格栅 B	铱银	6	后保 F	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6
161	前保 A	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6
162	前保 A	极地白	6	前保 B	铱银	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
163	前保 F	极地白	6	上格栅 A	铱银	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6
164	门槛 A	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	后保 F	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6
165	前保 B	极地白	6	上格栅 A	铱银	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
166	前保 A	极地白	6	上格栅 A	铱银	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
167	前保 F	极地白	6				前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
168	前保 F	极地白	6	门槛 C	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
169	前保 A	极地白	6	后保 F	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
170	门槛 A	极地白	6	后保 F	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6
171	前保 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6
172	前保 A	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
173	雷达支架 B	极地白	2	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
174	前保 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
175	门槛 A	极地白	6	门槛 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
176	前保 F	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6
177	前保 A	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6						
178	前保 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6	后保 A	极地白	6
179	门槛 A	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6	后保 A	极地白	6
180	前保 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6	后保 A	极地白	6
181	前保 F	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6
182	门槛 D	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	雷达支架 B	极地白	6	雷达支架 B	极地白	6
183	前保 A	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6
184	前保 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6	门槛 D	极地白	6
185	门槛 D	极地白	6	门槛 C	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6

186	前保 A	极地白	6	门槛 C	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6
187	门槛 D	极地白	6	前保 A	曜岩黑	6	轮口装饰件 A	极地白	6	轮口装饰件 A	极地白	6
188	前保 F	极地白	6	后保 F	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6
189	中间扰流板 A	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6						
190	前保 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	前保 E	钻石白	6
191	前保 A	极地白	6	前保 E	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6	后保 F	钻石白	6
192				前保 C	曜岩黑	6	后保 C	钻石白	6	后保 C	钻石白	6
193	后保 G	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6	后保 G	钻石白	6
194	雷达支架 C	钻石白	3	前保 A	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	前保 E	钻石白	6
195	前保 E	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6	后保 G	钻石白	6
196	后保 C	钻石白	6				前保 E	钻石白	6	前保 E	钻石白	6
197	后保 G	钻石白	6	后保 B	米兰银	6	前保 E	钻石白	6	前保 E	钻石白	6
198	前保 E	钻石白	6	后保 F	米兰银	6	后保 F	钻石白	6	后保 F	钻石白	6
199				后保 B	米兰银	6	后保 F	钻石白	6	后保 F	钻石白	6
200	门槛 B	曜岩黑	6	前保 A	米兰银	6	后保 G	钻石白	6	后保 G	钻石白	6
201	后保 C	曜岩黑	6	后保 G	米兰银	6	前保 C	钻石白	6	前保 C	钻石白	6
202	后保 C	曜岩黑	6	后保 B	米兰银	6	前保 G	钻石白	6	前保 G	钻石白	6
203	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	米兰银	6	后保 G	钻石白	6	后保 G	钻石白	6
204	中间扰流板 A	曜岩黑	6				前保 C	钻石白	6	前保 C	钻石白	6
205				门槛 A	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6	后保 F	钻石白	6
206	前保 F	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6	后保 G	钻石白	6
207	门槛 D	极地白	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	前保 E	钻石白	6
208	后保 A	极地白	6	后保 F	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6	后保 F	钻石白	6
209	门槛 A	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6	雷达支架 C	钻石白	6	雷达支架 C	钻石白	6
210	前保 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	前保 E	钻石白	6
211	前保 F	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6	后保 G	钻石白	6
212	前保 F	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	前保 E	钻石白	6
213	外壳 A	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 C	钻石白	6	前保 C	钻石白	6
214	后保 A	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6	后保 C	钻石白	6	后保 C	钻石白	6
215	前保 F	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	前保 E	钻石白	6
216	门槛 D	极地白	6	前保 E	曜岩黑	6						
217	门槛 D	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	上格栅 B	铱银	6	上格栅 B	铱银	6
218	门槛 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛装饰条 A	铱银	6	门槛装饰条 A	铱银	6
219	后保 A	极地白	6	前保 E	曜岩黑	6	门槛装饰条 A	铱银	6	门槛装饰条 A	铱银	6
220				后保 C	曜岩黑	6						
221	外壳 A	光耀蓝	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6	后保 A	极地白	6
222	后保 F	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6	轮口装饰件 A	极地白	6	轮口装饰件 A	极地白	6
223	前保 F	光耀蓝	6	门槛 C	曜岩黑	6						

224	后保 A	光耀蓝	6	前保 E	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6	后保 G	钻石白	6
225	后保 A	光耀蓝	6	门槛 B	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6	后保 F	钻石白	6
226	后保 F	光耀蓝	6	前保 E	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6	后保 F	钻石白	6
227	前保 E	光耀蓝	6	前保 E	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6	后保 F	钻石白	6
228	前保 F	光耀蓝	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	前保 E	钻石白	6
229	外壳 A	光耀蓝	1	后保 F	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6	后保 F	钻石白	6
230	后保 F	光耀蓝	6	门槛 B	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6	后保 G	钻石白	6
231	前保 A	光耀蓝	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 B	钻石白	6	门槛 B	钻石白	6
232	后保 A	光耀蓝	6	中间扰流板 A	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6	后保 G	钻石白	6
233	门槛 A	光耀蓝	6	前保 A	曜岩黑	6	门槛 B	钻石白	6	门槛 B	钻石白	6
234	门槛 A	光耀蓝	6	门槛 C	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	5	后保 F	钻石白	5
235	前保 A	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 G	钻石白	6	前保 G	钻石白	6
236	后保 F	光耀蓝	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	前保 E	钻石白	6
237	门槛 A	光耀蓝	6	前保 E	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6	后保 G	钻石白	6
238	前保 C	光耀蓝	6	门槛 B	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6	后保 G	钻石白	6
239	后保 A	光耀蓝	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	前保 E	钻石白	6
240	中间扰流板 A	光耀蓝	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 B	钻石白	6	门槛 B	钻石白	6
241	后保 A	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6						
242	轮口装饰件 A	光耀蓝	6	后保 F	曜岩黑	6	前保 A	铱银	6	前保 A	铱银	6
243	后保 F	光耀蓝	6				前保 A	铱银	6	前保 A	铱银	6
244	门槛 A	光耀蓝	6	前保 G	宇宙黑	6	门槛装饰条 A	铱银	6	门槛装饰条 A	铱银	6
245	门槛 A	光耀蓝	6	前保 G	宇宙黑	6	门槛装饰条 A	铱银	6	门槛装饰条 A	铱银	6
246	前保 E	光耀蓝	6	前保 G	宇宙黑	6						
247	门槛 A	光耀蓝	6	前保 G	宇宙黑	6	门槛 A	米兰银	6	门槛 A	米兰银	6
248	前保 E	光耀蓝	6	前保 G	宇宙黑	1	中间扰流板 A	米兰银	6	中间扰流板 A	米兰银	6
249	中间扰流板 A	光耀蓝	3				门槛 A	米兰银	6	门槛 A	米兰银	6
250	前保 A	光耀蓝	6	前保 A	光耀蓝	6	后保 F	米兰银	5	后保 F	米兰银	5
251	门槛 A	光耀蓝	6	门槛 A	光耀蓝	6	后保 G	米兰银	6	后保 G	米兰银	6
252	门槛 A	光耀蓝	6	后保 A	光耀蓝	6	后保 B	米兰银	6	后保 B	米兰银	6
253	门槛 A	光耀蓝	6	门槛 A	光耀蓝	6	门槛 A	米兰银	6	门槛 A	米兰银	6
254	前保 A	光耀蓝	6	前保 A	光耀蓝	6	中间扰流板 A	米兰银	6	中间扰流板 A	米兰银	6
255	后保 A	光耀蓝	6									
256	前保 E	光耀蓝	6	后保 F	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 A	宝石红	6
257	后保 F	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	后保 A	宝石红	6
258	前保 E	光耀蓝	6	门槛 C	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	后保 A	宝石红	6
259	后保 A	光耀蓝	6	前保 C	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 A	宝石红	6
260	轮口装饰件 A	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 A	宝石红	6
261	前保 A	光耀蓝	3	门槛 B	曜岩黑	6	前保 E	宝石红	6	前保 E	宝石红	6

262				后保 F	宝石红	6	后保 F	宝石红	6
263	中间扰流板 A	米兰银	6	上格栅 A	铱银	6	后保 A	宝石红	6
264	后保 G	米兰银	6	前保 A	铱银	6	门槛 A	宝石红	6
265	中间扰流板 A	米兰银	4	上格栅 B	铱银	6	雷达支架 A	宝石红	5
266	门槛 A	米兰银	6	门槛 A	铱银	6	后保 A	宝石红	6
267	前保 G	米兰银	2	门槛装饰条 A	铱银	6	门槛 A	宝石红	6
268	门槛 A	米兰银	6	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 E	宝石红	6
269				门槛装饰条 A	铱银	6	外壳 A	宝石红	1
270	门槛 D	极地白	6	后保 D	铱银	5	后保 A	宝石红	6
271	前保 F	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 E	宝石红	6
272	前保 F	极地白	6	上格栅 A	铱银	6	后保 F	宝石红	6
273	前保 F	极地白	6	上格栅 A	铱银	4	门槛 A	宝石红	6
274	前保 A	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	5	门槛 A	宝石红	6
275	前保 A	极地白	6				后保 F	宝石红	6
276	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6	后保 A	宝石红	6
277	门槛 A	极地白	6	前保 F	极地白	6	门槛 A	宝石红	6
278	门槛 D	极地白	6	前保 A	极地白	6	门槛 A	宝石红	6
279	前保 F	极地白	6	前保 A	极地白	6	后保 A	宝石红	6
280	前保 A	极地白	6	轮口装饰件 A	极地白	6	后保 A	宝石红	6
281	后保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6	后保 A	宝石红	6
282	门槛 D	极地白	6	前保 A	极地白	6	门槛 A	宝石红	6
283	门槛 A	极地白	6	前保 F	极地白	6	门槛 A	宝石红	6
284	外壳 A	极地白	6	前保 A	极地白	6	门槛 A	宝石红	6
285	后保 A	极地白	6	前保 F	极地白	6	门槛 A	宝石红	6
286	前保 A	极地白	6	前保 F	极地白	6	门槛 A	宝石红	6
287	门槛 D	极地白	6	前保 F	极地白	6	前保 E	宝石红	6
288	前保 A	极地白	6	后保 A	极地白	6	门槛 A	宝石红	6
289	中间扰流板 A	极地白	5	后保 A	极地白	6	后保 F	宝石红	5
290	前保 A	极地白	6	前保 F	极地白	6			
291	后保 A	极地白	6	前保 F	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6
292	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6			
293	门槛 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6	后保 A	极地白	6
294	前保 A	极地白	6	前保 F	极地白	6	轮口装饰件 A	极地白	6
295	后保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6	前保 F	极地白	6
296	前保 F	极地白	6	前保 A	极地白	6	前保 F	极地白	6
297	门槛 D	极地白	6	前保 A	极地白	6	后保 A	极地白	6
298	前保 A	极地白	3	前保 F	极地白	6	后保 A	极地白	6
299	门槛 D	极地白	6	前保 F	极地白	6			

300		前保 F 极地白 6	门槛 A 宝石蓝 6	门槛 A 宝石蓝 6
301	后保 C 宝石蓝 6	前保 A 极地白 6	门槛 A 宝石蓝 6	门槛 A 宝石蓝 6
302	雷达支架 B 宝石蓝 6	前保 F 极地白 6	门槛 A 宝石蓝 6	门槛 A 宝石蓝 6
303	后保 A 宝石蓝 3	前保 A 极地白 6	后保 C 宝石蓝 6	后保 C 宝石蓝 6

附录 D: 问题二喷漆次序排布方案

编号	第一圈			第二圈			第三圈			第四圈		
	零件	颜色	数量	零件	颜色	数量	零件	颜色	数量	零件	颜色	数量
1	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
2	门槛 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
3	中间扰流板 A	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6
4	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6
5	前保 D	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6				前保 E	曜岩黑	6
6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 E	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6
7	门槛 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	门槛 B	曜岩黑	6
8	前保 E	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 E	宝石红	6	门槛 B	曜岩黑	6
9	门槛 B	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	门槛 B	曜岩黑	6
10	门槛 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 F	宝石红	6	后保 C	曜岩黑	6
11	前保 D	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 E	宝石红	6	前保 E	曜岩黑	6
12	前保 D	曜岩黑	6	前保 A	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	前保 E	曜岩黑	6
13	门槛 B	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	门槛 B	曜岩黑	6
14	后保 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 E	宝石红	6	门槛 B	曜岩黑	6
15	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6			
16	门槛 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6				中间扰流板 A	极地白	6
17	前保 C	曜岩黑	6	门槛 C	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
18	前保 A	曜岩黑	6	前保 A	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6
19	前保 E	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
20	前保 C	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6
21	前保 D	曜岩黑	6				后保 F	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
22	前保 E	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
23	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6
24	前保 C	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6
25				前保 F	极地白	6				前保 A	极地白	6
26	门槛 A	米兰银	6	后保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6
27	后保 G	米兰银	6	前保 F	极地白	6	轮口装饰件 A	极地白	6	前保 A	极地白	6
28	后保 B	米兰银	6	轮口装饰件 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6	前保 A	极地白	6
29	雷达支架 D	米兰银	3	前保 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6	前保 F	极地白	6
30	后保 F	米兰银	6	前保 B	极地白	6	中间扰流板 A	极地白	6	中间扰流板 A	极地白	6
31	后保 G	米兰银	6	前保 F	极地白	6	门槛 A	极地白	6	后保 A	极地白	6

32	后保 G	米兰银	6	门槛 D	极地白	6	前保 F	极地白	6	外壳 A	极地白	6
33	后保 B	米兰银	6	前保 A	极地白	6	前保 F	极地白	6			
34	后保 F	米兰银	6	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6	轮口装饰件 A	光耀蓝	6
35	后保 B	米兰银	6	前保 F	极地白	6	门槛 D	极地白	6	前保 A	光耀蓝	6
36	门槛 A	米兰银	6	中间扰流板 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6	前保 F	光耀蓝	6
37				轮口装饰件 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6	后保 A	光耀蓝	6
38	前保 E	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	前保 F	极地白	6	前保 A	光耀蓝	6
39	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6	后保 A	光耀蓝	6
40	后保 C	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6	外壳 A	极地白	6	前保 A	光耀蓝	6
41	前保 D	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	前保 A	极地白	6	后保 F	光耀蓝	6
42	门槛 B	曜岩黑	6				后保 A	极地白	6	后保 A	光耀蓝	6
43	前保 E	曜岩黑	6	前保 A	光耀蓝	6	外壳 A	极地白	6	后保 A	光耀蓝	6
44	前保 C	曜岩黑	6	前保 E	光耀蓝	6	中间扰流板 A	极地白	6	前保 C	光耀蓝	6
45	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	光耀蓝	6				前保 F	光耀蓝	6
46	门槛 C	曜岩黑	6	门槛 A	光耀蓝	6	前保 A	光耀蓝	6			
47	门槛 B	曜岩黑	6	后保 A	光耀蓝	6	中间扰流板 A	光耀蓝	6	后保 A	宝石红	6
48	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	光耀蓝	6	前保 A	光耀蓝	6	后保 A	宝石红	6
49	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	光耀蓝	6	前保 F	光耀蓝	6	后保 A	宝石红	6
50	前保 D	曜岩黑	6	轮口装饰件 A	光耀蓝	6	中间扰流板 A	光耀蓝	6	后保 A	宝石红	6
51	门槛 B	曜岩黑	6				前保 E	光耀蓝	6	门槛 A	宝石红	6
52	前保 A	曜岩黑	6	前保 E	宝石红	6	前保 A	光耀蓝	6	后保 F	宝石红	6
53	后保 F	曜岩黑	6	前保 E	宝石红	6	后保 A	光耀蓝	6	后保 F	宝石红	6
54	后保 F	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6	后保 F	光耀蓝	6	雷达支架 A	宝石红	5
55	后保 C	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6				外壳 A	宝石红	6
56	后保 C	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6
57	后保 C	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6
58	后保 C	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6	前保 C	曜岩黑	6			
59	门槛 C	曜岩黑	6	后保 F	宝石红	6	门槛 C	曜岩黑	6	前保 A	米兰银	6
60				门槛 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6			
61	门槛 D	极地白	6	门槛 A	宝石红	6	后保 F	曜岩黑	6	后保 E	极地白	3
62	门槛 D	极地白	6	后保 F	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6			
63	前保 A	极地白	6	后保 A	宝石红	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6
64										前保 E	钻石白	6
65	前保 E	钻石白	6	前保 E	光耀蓝	6	门槛装饰条 A	铱银	6	后保 G	钻石白	6
66	前保 E	钻石白	6	门槛 A	光耀蓝	6	前保 A	铱银	6	前保 G	钻石白	6
67	后保 F	钻石白	6	前保 F	光耀蓝	6	门槛装饰条 A	铱银	6	后保 C	钻石白	6
68	后保 G	钻石白	6	后保 A	光耀蓝	6	前保 A	铱银	6	前保 E	钻石白	6
69	前保 G	钻石白	6	后保 A	光耀蓝	6	上格栅 B	铱银	6	前保 E	钻石白	6

70	门槛 B	钻石白	6	中间扰流板 A	光耀蓝	6	上格栅 A	铱银	6	后保 G	钻石白	6
71	后保 F	钻石白	6	前保 F	光耀蓝	6	上格栅 B	铱银	6	后保 G	钻石白	6
72	后保 G	钻石白	6	门槛 A	光耀蓝	6	门槛装饰条 A	铱银	6	后保 G	钻石白	6
73	后保 G	钻石白	6	轮口装饰件 A	光耀蓝	6	前保 B	铱银	6	前保 C	钻石白	6
74	前保 G	钻石白	6	前保 F	光耀蓝	6	门槛装饰条 A	铱银	6	后保 F	钻石白	6
75	后保 G	钻石白	6	后保 A	光耀蓝	6	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 E	钻石白	6
76	后保 F	钻石白	6	后保 F	光耀蓝	6	上格栅 B	铱银	6	前保 G	钻石白	6
77	后保 G	钻石白	6				门槛装饰条 A	铱银	6	后保 C	钻石白	6
78	后保 G	钻石白	6	上格栅 A	铱银	6	上格栅 B	铱银	6	后保 G	钻石白	6
79	后保 F	钻石白	6	上格栅 B	铱银	6				后保 F	钻石白	6
80				后保 D	铱银	6	后保 C	曜岩黑	6			
81	前保 F	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6
82	后保 A	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
83	前保 F	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
84	后保 A	极地白	6	上格栅 A	铱银	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
85	前保 A	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 C	曜岩黑	6	门槛 C	曜岩黑	6
86	外壳 A	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 A	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6
87	前保 A	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
88	外壳 A	极地白	6	上格栅 B	铱银	6				后保 C	曜岩黑	6
89	门槛 D	极地白	6	上格栅 A	铱银	6	门槛 A	宝石蓝	6			
90	后保 A	极地白	6	上格栅 B	铱银	6	门槛 B	宝石蓝	6	后保 A	宝石红	6
91	前保 F	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 A	宝石蓝	6	门槛 A	宝石红	6
92	前保 A	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 B	宝石蓝	6	后保 F	宝石红	6
93	前保 A	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	门槛 B	宝石蓝	6	后保 A	宝石红	6
94	前保 F	极地白	6				前保 B	宝石蓝	6	后保 A	宝石红	6
95	前保 F	极地白	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 A	宝石蓝	6	后保 A	宝石红	6
96	前保 F	极地白	6	门槛 A	宝石红	6	轮口装饰件 A	宝石蓝	6	后保 A	宝石红	6
97				前保 E	宝石红	6	门槛 B	宝石蓝	6	后保 A	宝石红	6
98	前保 E	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 A	宝石蓝	6	门槛 A	宝石红	6
99	后保 C	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 A	宝石蓝	6	后保 A	宝石红	6
100	后保 G	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 A	宝石蓝	6	后保 F	宝石红	6
101	后保 G	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 B	宝石蓝	6	门槛 A	宝石红	6
102	后保 F	钻石白	6	后保 F	宝石红	6				后保 A	宝石红	6
103	前保 E	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	后保 B	米兰银	3	前保 E	宝石红	6
104	后保 G	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	前保 E	米兰银	6			
105	前保 E	钻石白	6	前保 E	宝石红	6	后保 F	米兰银	5	前保 E	米兰银	6
106	后保 F	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	前保 A	米兰银	6	后保 F	米兰银	6
107	前保 E	钻石白	6	后保 F	宝石红	6	外壳 A	米兰银	3	后保 B	米兰银	6

108	后保 F	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6		前保 A	米兰银	6		
109	后保 G	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 C	曜岩黑	6	后保 B	米兰银	6
110	后保 G	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	前保 E	曜岩黑	6	门槛 A	米兰银	6
111	后保 G	钻石白	6	前保 E	宝石红	6	门槛 B	曜岩黑	6	中间扰流板 A	米兰银	6
112	前保 E	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	前保 A	曜岩黑	6	门槛 A	米兰银	6
113	雷达支架 C	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	前保 C	曜岩黑	6			
			门槛 A	宝石红	6	后保 F	曜岩黑	6	前保 A	曜岩黑	6	
					中间扰流板 A	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6		
115	前保 D	曜岩黑	6				后保 C	曜岩黑	6	门槛 C	曜岩黑	6
116	后保 C	曜岩黑	6	门槛 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
117	门槛 B	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
118	门槛 B	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
119	前保 E	曜岩黑	6	前保 A	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6
120	前保 E	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6
121	前保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
122	前保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
123	前保 E	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6
124	后保 F	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
125	前保 A	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6
126	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
127	门槛 B	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6
128	门槛 B	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
129	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
130	前保 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
131	门槛 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
132	前保 E	曜岩黑	6	门槛 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6
133				后保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
134	门槛 A	光耀蓝	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6
135	前保 E	光耀蓝	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6
136	后保 A	光耀蓝	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6
137	轮口装饰件 A	光耀蓝	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
138				前保 D	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
139	门槛 B	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
140	门槛 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6
141	后保 C	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	门槛 C	曜岩黑	6
142	门槛 B	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
143	前保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
144	前保 D	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
145	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6

146	前保 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6
147	门槛 B	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
148	前保 D	曜岩黑	6				前保 E	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6
149	后保 C	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6				前保 D	曜岩黑	6
150	门槛 B	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	前保 B	宝石蓝	3	前保 D	曜岩黑	6
151	后保 C	曜岩黑	6				后保 C	宝石蓝	6	前保 E	曜岩黑	6
152	门槛 B	曜岩黑	6	后保 C	钻石白	6	前保 A	宝石蓝	6	前保 E	曜岩黑	6
153	前保 C	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6	后保 C	宝石蓝	6	前保 D	曜岩黑	6
154	前保 C	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6	门槛 A	宝石蓝	6	前保 D	曜岩黑	6
155	后保 F	曜岩黑	6	门槛 B	钻石白	6	门槛 A	宝石蓝	6	门槛 B	曜岩黑	6
156	前保 A	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6	后保 C	宝石蓝	6	前保 D	曜岩黑	6
157	后保 F	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6	前保 D	宝石蓝	6	后保 C	曜岩黑	6
158	中间扰流板 A	曜岩黑	6	门槛 B	钻石白	6	门槛 A	宝石蓝	6	前保 D	曜岩黑	6
159	门槛 B	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	前保 A	宝石蓝	6	后保 C	曜岩黑	6
160	后保 F	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	门槛 B	宝石蓝	6	前保 D	曜岩黑	6
161	前保 D	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6	外壳 A	宝石蓝	6	前保 D	曜岩黑	6
162	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	门槛 B	宝石蓝	6	前保 D	曜岩黑	6
163	门槛 B	曜岩黑	6	前保 C	钻石白	6				后保 C	曜岩黑	6
164	前保 C	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6	前保 E	米兰银	6	前保 D	曜岩黑	6
165	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	门槛 A	米兰银	6	后保 C	曜岩黑	6
166	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	前保 A	米兰银	6	门槛 B	曜岩黑	6
167	前保 C	曜岩黑	6	后保 C	钻石白	6				后保 C	曜岩黑	6
168	门槛 B	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	前保 A	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6
169	后保 F	曜岩黑	6	门槛 B	钻石白	6	门槛 A	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6
170	中间扰流板 A	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6	前保 F	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6
171	中间扰流板 A	曜岩黑	6	门槛 B	钻石白	6	后保 A	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6
172	前保 C	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6	门槛 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6
173	后保 F	曜岩黑	6	轮口装饰件 B	钻石白	6	前保 F	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6
174	后保 C	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6	前保 F	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6
175				前保 E	钻石白	6	门槛 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6
176	前保 A	极地白	6	后保 G	钻石白	6	前保 A	极地白	6	前保 E	曜岩黑	6
177	前保 A	极地白	6	后保 F	钻石白	6	前保 F	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6
178	门槛 A	极地白	6	轮口装饰件 B	钻石白	6				前保 D	曜岩黑	6
179	门槛 A	极地白	6	前保 E	钻石白	6	后保 F	光耀蓝	6	后保 C	曜岩黑	6
180	前保 F	极地白	6				前保 A	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6
181	前保 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 A	光耀蓝	6	后保 C	曜岩黑	6
182	前保 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 A	光耀蓝	6	门槛 B	曜岩黑	6
183	前保 A	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6	后保 F	光耀蓝	6	后保 F	曜岩黑	6

184	前保 F	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	光耀蓝	6	后保 F	曜岩黑	6
185	前保 F	极地白	6	门槛 A	曜岩黑	6	后保 A	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6
186	前保 F	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	光耀蓝	6	门槛 A	曜岩黑	6
187	后保 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 F	光耀蓝	6	后保 C	曜岩黑	6
188	门槛 D	极地白	6	前保 E	曜岩黑	6				前保 D	曜岩黑	6
189	门槛 D	极地白	6	前保 A	曜岩黑	6	前保 G	宇宙黑	6	门槛 B	曜岩黑	6
190	前保 A	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 G	宇宙黑	6	后保 F	曜岩黑	6
191	前保 F	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6				前保 D	曜岩黑	6
192	中间扰流板 A	极地白	6	前保 A	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6	后保 F	曜岩黑	6
193	前保 F	极地白	6	后保 F	曜岩黑	6				前保 C	曜岩黑	6
194	前保 A	极地白	6	前保 A	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	门槛 C	曜岩黑	6
195	前保 F	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6	门槛 B	钻石白	6	门槛 C	曜岩黑	6
196	中间扰流板 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6
197	后保 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6
198	中间扰流板 A	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6
199	轮口装饰件 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 B	钻石白	6			
200	门槛 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 C	钻石白	6	前保 A	极地白	6
201	前保 A	极地白	6	前保 A	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6			
202				后保 C	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	前保 G	钻石白	6
203	后保 A	光耀蓝	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 G	钻石白	6	前保 E	钻石白	6
204	后保 F	光耀蓝	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	后保 F	钻石白	6
205	前保 E	光耀蓝	6	前保 C	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6	后保 G	钻石白	6
206	后保 F	光耀蓝	6	前保 C	曜岩黑	6	门槛 B	钻石白	6	前保 E	钻石白	6
207	前保 A	光耀蓝	6	后保 C	曜岩黑	6				前保 E	钻石白	6
208	后保 F	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 G	宇宙黑	6	后保 F	钻石白	6
209	前保 A	光耀蓝	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 G	宇宙黑	6	前保 E	钻石白	6
210	前保 A	光耀蓝	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 G	宇宙黑	6	前保 E	钻石白	6
211	轮口装饰件 A	光耀蓝	6	后保 C	曜岩黑	6				后保 G	钻石白	6
212	后保 F	光耀蓝	6	前保 A	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6
213	前保 A	光耀蓝	6	后保 F	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6
214	前保 E	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6
215	前保 F	光耀蓝	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 F	曜岩黑	6	雷达支架 C	钻石白	5
216	前保 A	光耀蓝	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6
217	后保 A	光耀蓝	6	前保 A	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6
218	前保 F	光耀蓝	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6
219	前保 A	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6
220	外壳 A	光耀蓝	6	前保 C	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6
221	前保 F	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6	中间扰流板 A	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6

222	门槛 A	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 A	曜岩黑	6	前保 C	钻石白	6
223	前保 A	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6						
224	前保 F	光耀蓝	6	前保 E	曜岩黑	6	外壳 A	牛仔蓝	6	后保 A	极地白	6
225				后保 C	曜岩黑	6	雷达支架 E	牛仔蓝	5	前保 F	极地白	6
226	上格栅 B	铱银	6	后保 F	曜岩黑	6	轮口装饰件 B	牛仔蓝	4	轮口装饰件 A	极地白	6
227	上格栅 B	铱银	6							后保 A	极地白	6
228				门槛 A	宝石红	6	前保 A	光耀蓝	6	前保 F	极地白	6
229	轮口装饰件 A	极地白	6	门槛 A	宝石红	6	外壳 A	光耀蓝	6	前保 A	极地白	6
230				门槛 A	宝石红	6	前保 C	光耀蓝	6	前保 F	极地白	6
231	后保 G	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	前保 F	光耀蓝	6	后保 A	极地白	6
232	后保 C	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	轮口装饰件 A	光耀蓝	6	前保 F	极地白	6
233	后保 G	钻石白	6	前保 E	宝石红	6	后保 A	光耀蓝	6	轮口装饰件 A	极地白	6
234	后保 G	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 A	光耀蓝	6	前保 B	极地白	6
235	前保 E	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 A	光耀蓝	6	前保 A	极地白	6
236	后保 G	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	前保 A	光耀蓝	6	后保 A	极地白	6
237	前保 G	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	后保 F	光耀蓝	6			
238	后保 G	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	前保 A	光耀蓝	6	前保 F	光耀蓝	6
239	前保 E	钻石白	6	后保 A	宝石红	6	门槛 A	光耀蓝	6	前保 A	光耀蓝	6
240	前保 E	钻石白	6	前保 E	宝石红	6	前保 E	光耀蓝	6	前保 F	光耀蓝	6
241	雷达支架 C	钻石白	3	门槛 A	宝石红	6	门槛 A	光耀蓝	6	前保 A	光耀蓝	6
242	后保 C	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	后保 F	光耀蓝	6	前保 A	光耀蓝	6
243	后保 C	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6				外壳 A	光耀蓝	1
244	前保 C	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 A	光耀蓝	6
245	门槛 B	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	上格栅 A	铱银	6	前保 A	光耀蓝	6
246	后保 C	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	上格栅 A	铱银	6	后保 A	光耀蓝	6
247							上格栅 A	铱银	6			
248	上格栅 A	铱银	6	上格栅 A	铱银	6	前保 A	铱银	6	后保 A	宝石红	6
249	上格栅 B	铱银	6	门槛装饰条 A	铱银	6	上格栅 A	铱银	6	后保 A	宝石红	6
250	上格栅 A	铱银	6	门槛装饰条 A	铱银	6	上格栅 B	铱银	6	后保 F	宝石红	6
251	门槛装饰条 A	铱银	6				前保 B	铱银	6	后保 A	宝石红	6
252	上格栅 A	铱银	6	外壳 A	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	后保 A	宝石红	6
253	上格栅 A	铱银	6	前保 F	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	后保 A	宝石红	6
254	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 F	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	后保 A	宝石红	6
255	上格栅 B	铱银	6	前保 A	极地白	6	上格栅 A	铱银	4	前保 E	宝石红	6
256	上格栅 A	铱银	6	后保 A	极地白	6	前保 A	铱银	6			
257	门槛装饰条 A	铱银	6	门槛 D	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	门槛 A	曜岩黑	6
258	后保 A	铱银	6	门槛 D	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6			
259	上格栅 B	铱银	6	前保 F	极地白	6	上格栅 B	铱银	6	前保 F	极地白	6

260	门槛装饰条 A 铱银	6	门槛 A	极地白	6		前保 A	极地白	6
261			门槛 A	极地白	6	中间扰流板 A 曜岩黑			
262	前保 A	极地白	6	中间扰流板 A	极地白	6	后保 F	曜岩黑	6
263	前保 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6	门槛 C	曜岩黑	6
264	后保 A	极地白	6	后保 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6
265	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6
266	门槛 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6	后保 F	曜岩黑	6
267	门槛 D	极地白	6	门槛 D	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6
268	后保 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6	门槛 A	曜岩黑	6
269	前保 F	极地白	6	门槛 D	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6
270	前保 F	极地白	6	前保 A	极地白	6	前保 A	曜岩黑	6
271	门槛 A	极地白	6	前保 F	极地白	6			
272	前保 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6	门槛 D	极地白	6
273	后保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6			
274	后保 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6	门槛 B	钻石白	6
275	后保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6	前保 G	钻石白	6
276	门槛 A	极地白	6	前保 A	极地白	6	轮口装饰件 B	钻石白	6
277	前保 F	极地白	6	前保 A	极地白	6	后保 G	钻石白	6
278	前保 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6	雷达支架 C	钻石白	6
279	门槛 A	极地白	6	中间扰流板 A	极地白	6	门槛 B	钻石白	6
280	前保 A	极地白	6				后保 F	钻石白	6
281	前保 A	极地白	6	后保 A	宝石红	6	后保 G	钻石白	6
282	门槛 D	极地白	6	门槛 A	宝石红	6	后保 G	钻石白	6
283	门槛 A	极地白	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 B	钻石白	6
284	后保 A	极地白	6	外壳 A	宝石红	1	后保 G	钻石白	6
285	前保 A	极地白	6	门槛 A	宝石红	6	后保 C	钻石白	6
286	门槛 D	极地白	6	门槛 A	宝石红	6	后保 G	钻石白	6
287	前保 A	极地白	6	门槛 A	宝石红	6			
288	门槛 D	极地白	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 B	曜岩黑	6
289	后保 A	极地白	6				前保 C	曜岩黑	6
290	前保 F	极地白	6	门槛装饰条 A 铱银	5		前保 E	曜岩黑	6
291	门槛 D	极地白	6				前保 A	曜岩黑	6
292	后保 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6	门槛 C	曜岩黑	6
293	后保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6
294	后保 A	极地白	6	后保 A	极地白	6	前保 A	曜岩黑	6
295	门槛 D	极地白	6	前保 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6
296	前保 F	极地白	6	前保 A	极地白	6	门槛 A	曜岩黑	6
297	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6

298	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6	前保 A	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6
299	门槛 A	极地白	6	前保 F	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6
300	前保 F	极地白	6	后保 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6
301	外壳 A	极地白	6	后保 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 G	钻石白	6
302	前保 F	极地白	6	前保 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6
303	门槛 D	极地白	6	前保 F	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6

编号	第五圈			第六圈			第七圈			第八圈		
	零件	颜色	数量	零件	颜色	数量	零件	颜色	数量	零件	颜色	数量
1	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 G	米兰银	6	后保 G	钻石白	6
2	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	中间扰流板 A	米兰银	6	后保 F	钻石白	6
3	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	中间扰流板 A	米兰银	6	前保 C	钻石白	6
4	前保 E	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 F	米兰银	6	后保 G	钻石白	6
5	后保 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 G	米兰银	6	前保 G	钻石白	6
6	门槛 C	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 E	米兰银	6	后保 G	钻石白	6
7	后保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 A	米兰银	6	后保 G	钻石白	6
8	前保 E	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 E	米兰银	6	前保 G	钻石白	6
9	门槛 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 E	米兰银	6	前保 E	钻石白	6
10	门槛 B	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6				门槛 B	钻石白	6
11							前保 F	极地白	6			
12	中间扰流板 A	极地白	6	后保 C	宝石蓝	6				门槛 B	曜岩黑	6
13	门槛 A	极地白	6	雷达支架 B	宝石蓝	6	后保 G	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6
14	门槛 A	极地白	6	前保 A	宝石蓝	6	门槛 B	钻石白	6	前保 A	曜岩黑	6
15	中间扰流板 A	极地白	6	门槛 B	宝石蓝	6	前保 E	钻石白	6	后保 F	曜岩黑	6
16	中间扰流板 A	极地白	6	前保 A	宝石蓝	6	门槛 B	钻石白	6	前保 E	曜岩黑	6
17	前保 F	极地白	6	后保 C	宝石蓝	6	前保 E	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6
18	门槛 A	极地白	6	后保 C	宝石蓝	6	前保 G	钻石白	6	后保 F	曜岩黑	6
19	前保 F	极地白	6	前保 A	宝石蓝	6	前保 E	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6
20	前保 F	极地白	6	前保 A	宝石蓝	6	门槛 B	钻石白	6	门槛 B	曜岩黑	6
21	前保 A	极地白	6	后保 C	宝石蓝	6	后保 F	钻石白	6	中间扰流板 A	曜岩黑	6
22				前保 D	宝石蓝	6	后保 G	钻石白	6	后保 C	曜岩黑	6
23	门槛 A	宝石蓝	6	前保 A	宝石蓝	6	前保 G	钻石白	6	前保 D	曜岩黑	6
24				后保 C	宝石蓝	6	前保 E	钻石白	6			
25	前保 E	曜岩黑	6	门槛 B	宝石蓝	6	门槛 B	钻石白	6	门槛 A	极地白	6
26	门槛 B	曜岩黑	6	前保 B	宝石蓝	6	前保 E	钻石白	6	前保 F	极地白	6
27	前保 E	曜岩黑	6				门槛 B	钻石白	6	前保 F	极地白	6
28	前保 E	曜岩黑	6	后保 A	铱银	6	门槛 B	钻石白	6	轮口装饰件 A	极地白	6
29	前保 D	曜岩黑	6	门槛 A	铱银	6				门槛 A	极地白	6

30	后保 C	曜岩黑	6	上格栅 A	铱银	6	后保 F	宝石红	6	后保 A	极地白	6
31	门槛 C	曜岩黑	6	上格栅 B	铱银	6	后保 A	宝石红	6	前保 A	极地白	6
32				前保 B	铱银	6	后保 A	宝石红	6	后保 A	极地白	6
33	后保 A	极地白	6	后保 A	铱银	6	后保 A	宝石红	6	外壳 A	极地白	6
34	前保 A	极地白	6	上格栅 A	铱银	6	后保 A	宝石红	6	前保 A	极地白	6
35	前保 F	极地白	6							前保 F	极地白	6
36	后保 A	极地白	6	后保 A	光耀蓝	6	门槛 A	光耀蓝	6	前保 A	极地白	6
37	后保 A	极地白	6	前保 E	光耀蓝	6	前保 E	光耀蓝	6	前保 A	极地白	6
38	前保 A	极地白	6	后保 F	光耀蓝	6	前保 E	光耀蓝	6	门槛 A	极地白	6
39	中间扰流板 A	极地白	6	中间扰流板 A	光耀蓝	6	后保 A	光耀蓝	6	前保 F	极地白	6
40	前保 F	极地白	6	后保 A	光耀蓝	6	后保 A	光耀蓝	6	前保 A	极地白	6
41	门槛 A	极地白	6	后保 F	光耀蓝	6	后保 F	光耀蓝	6	前保 A	极地白	6
42	后保 A	极地白	6	门槛 A	光耀蓝	6	门槛 A	光耀蓝	6	前保 F	极地白	6
43	前保 A	极地白	6				门槛 A	光耀蓝	6	前保 A	极地白	6
44	门槛 A	极地白	6	门槛 C	曜岩黑	6	前保 F	光耀蓝	6	前保 A	极地白	6
45				门槛 C	曜岩黑	6	前保 E	光耀蓝	6	外壳 A	极地白	6
46	前保 E	米兰银	6	前保 E	曜岩黑	6						
47	后保 B	米兰银	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 G	宇宙黑	6	后保 G	钻石白	6
48	门槛 A	米兰银	6	前保 A	曜岩黑	6	前保 G	宇宙黑	6	后保 F	钻石白	6
49	后保 G	米兰银	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 G	宇宙黑	1	后保 F	钻石白	6
50	前保 A	米兰银	6	前保 A	曜岩黑	6				后保 F	钻石白	6
51				后保 F	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6	前保 C	钻石白	6
52	雷达支架 D	曜岩黑	4	前保 D	曜岩黑	6	雷达支架 B	极地白	6	前保 E	钻石白	6
53	前保 D	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	中间扰流板 A	极地白	6	后保 F	钻石白	6
54	门槛 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6	后保 F	钻石白	6
55	前保 E	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	后保 F	钻石白	6
56	前保 A	曜岩黑	6	门槛 C	曜岩黑	6	轮口装饰件 A	极地白	6	后保 G	钻石白	6
57	前保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	前保 C	钻石白	6
58	后保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6			
59	后保 C	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6
60	前保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	轮口装饰件 A	极地白	6	后保 A	极地白	6
61	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	后保 A	极地白	6
62	前保 E	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6	前保 F	极地白	6
63	前保 D	曜岩黑	6	前保 E	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6	前保 F	极地白	6
64	后保 C	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6	前保 A	极地白	6
65	前保 E	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6	前保 F	极地白	6
66	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6	后保 A	极地白	6
67	后保 C	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	后保 A	极地白	6

68	门槛 B	曜岩黑	6	后保 D	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6	后保 A	极地白	6
69	前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	轮口装饰件 A	极地白	6	轮口装饰件 A	极地白	6
70	前保 E	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	轮口装饰件 A	极地白	6	轮口装饰件 A	极地白	6
71	前保 D	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	外壳 A	极地白	6	后保 A	极地白	6
72				中间扰流板 A	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	后保 A	极地白	6
73	前保 A	极地白	6	后保 F	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	门槛 D	极地白	6
74	门槛 A	极地白	6	后保 F	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6
75	前保 F	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	门槛 A	极地白	6
76	门槛 A	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6
77	前保 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6			
78	门槛 A	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	前保 C	宝石蓝	3
79	前保 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6	门槛 A	宝石蓝	6
80	门槛 A	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	门槛 A	宝石蓝	6
81	门槛 D	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	门槛 A	宝石蓝	6
82	前保 A	极地白	6	门槛 C	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6			
83	前保 F	极地白	6	前保 A	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6
84	门槛 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	轮口装饰件 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6
85	前保 F	极地白	6	前保 A	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6
86	后保 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6
87	门槛 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6
88	门槛 D	极地白	6	前保 E	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6
89	门槛 A	极地白	6	门槛 A	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6
90	前保 F	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	后保 F	曜岩黑	6
91	前保 A	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6
92	门槛 A	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 B	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6
93	门槛 A	极地白	6	中间扰流板 A	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6	前保 E	曜岩黑	6
94	门槛 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6
95	门槛 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	雷达支架 B	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6
96	前保 A	极地白	6	门槛 A	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6
97	前保 B	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6
98	中间扰流板 A	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6
99	前保 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6
100				后保 C	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6
101	前保 F	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	门槛 C	曜岩黑	6
102	门槛 A	光耀蓝	6	门槛 C	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6			
103	前保 E	光耀蓝	6	前保 A	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6	后保 B	米兰银	6
104	前保 A	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	前保 E	米兰银	6
105				前保 D	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6	前保 A	米兰银	6

106	门槛 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	后保 G	米兰银	6
107	前保 D	曜岩黑	6	前保 C	曜岩黑	6	外壳 A	极地白	6	中间扰流板 A	米兰银	6
108	后保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6	门槛 A	米兰银	6
109	前保 E	曜岩黑	6	前保 A	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	前保 E	米兰银	6
110	门槛 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6				前保 E	米兰银	6
111	前保 E	曜岩黑	6	门槛 C	曜岩黑	6	前保 G	钻石白	6	中间扰流板 A	米兰银	6
112	门槛 B	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6	中间扰流板 A	米兰银	6
113	前保 E	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛 B	钻石白	6	前保 A	米兰银	6
114	门槛 C	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	前保 E	钻石白	6	中间扰流板 A	米兰银	6
115	门槛 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6	后保 G	钻石白	6			
116	前保 E	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6				前保 B	极地白	6
117	门槛 A	曜岩黑	6	门槛 B	曜岩黑	6	上格栅 A	铱银	6			
118	门槛 C	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 A	铱银	5	前保 E	钻石白	6
119				前保 C	曜岩黑	6	上格栅 B	铱银	6	后保 F	钻石白	6
120	门槛 A	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 G	钻石白	6
121	前保 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛装饰条 A	铱银	6	后保 F	钻石白	6
122	后保 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	上格栅 A	铱银	6	后保 G	钻石白	6
123	前保 F	极地白	6	前保 E	曜岩黑	6	上格栅 A	铱银	6	后保 G	钻石白	6
124	门槛 D	极地白	6	前保 C	曜岩黑	6				后保 G	钻石白	6
125	前保 F	极地白	6				前保 F	极地白	6	前保 E	钻石白	6
126	前保 F	极地白	6	前保 A	极地白	6	前保 F	极地白	6	前保 C	钻石白	6
127	前保 A	极地白	6	外壳 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6	前保 E	钻石白	6
128	门槛 D	极地白	6	前保 A	极地白	6	后保 A	极地白	6	后保 F	钻石白	6
129	门槛 D	极地白	6	后保 A	极地白	6	后保 A	极地白	6	前保 E	钻石白	6
130	轮口装饰件 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6	后保 A	极地白	6	后保 C	钻石白	6
131	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6	前保 A	极地白	6	前保 E	钻石白	6
132	前保 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6	前保 F	极地白	6	轮口装饰件 B	钻石白	6
133	门槛 A	极地白	6	后保 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6			
134	后保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6	前保 F	极地白	6	后保 A	极地白	6
135				前保 A	极地白	6	轮口装饰件 A	极地白	6	雷达支架 B	极地白	6
136	前保 A	宝石蓝	6	前保 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6
137	后保 C	宝石蓝	6	前保 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6	前保 F	极地白	6
138	后保 C	宝石蓝	6	后保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6			
139	门槛 A	宝石蓝	2							后保 F	钻石白	6
140	外壳 A	宝石蓝	6	门槛 A	米兰银	6	前保 A	光耀蓝	6	门槛 B	钻石白	6
141	外壳 A	宝石蓝	6	后保 G	米兰银	6	轮口装饰件 A	光耀蓝	6	后保 G	钻石白	6
142	前保 A	宝石蓝	6	中间扰流板 A	米兰银	6	门槛 A	光耀蓝	6	后保 G	钻石白	6
143	后保 A	宝石蓝	3	后保 B	米兰银	6	门槛 A	光耀蓝	6	后保 C	钻石白	6

144		后保 B 米兰银 6	后保 F 光耀蓝 6	后保 C 钻石白 6
145	门槛 A 米兰银 6	中间扰流板 A 米兰银 6	后保 A 光耀蓝 6	前保 E 钻石白 6
146	后保 G 米兰银 6	门槛 A 米兰银 6		
147	前保 A 米兰银 6	前保 E 米兰银 6	前保 E 曜岩黑 6	门槛 D 极地白 6
148	后保 B 米兰银 6	后保 B 米兰银 6	中间扰流板 A 曜岩黑 6	前保 A 极地白 6
149	前保 A 米兰银 6	后保 G 米兰银 6	后保 C 曜岩黑 6	门槛 A 极地白 6
150	后保 G 米兰银 6	门槛 A 米兰银 6	后保 C 曜岩黑 6	轮口装饰件 A 极地白 6
151	前保 A 米兰银 6	中间扰流板 A 米兰银 6	后保 C 曜岩黑 6	前保 F 极地白 6
152	前保 A 米兰银 6	后保 F 米兰银 6	前保 D 曜岩黑 6	前保 A 极地白 6
153	后保 G 米兰银 6	中间扰流板 A 米兰银 6	前保 D 曜岩黑 6	后保 A 极地白 6
154	前保 A 米兰银 6	前保 A 米兰银 6	门槛 C 曜岩黑 6	后保 A 极地白 6
155	中间扰流板 A 米兰银 6			门槛 D 极地白 6
156	门槛 A 米兰银 6	后保 A 极地白 6	后保 A 光耀蓝 6	门槛 A 极地白 6
157	前保 E 米兰银 6	门槛 D 极地白 6	中间扰流板 A 光耀蓝 6	门槛 A 极地白 6
158	门槛 A 米兰银 6	前保 A 极地白 6	门槛 A 光耀蓝 6	前保 F 极地白 6
159	后保 F 米兰银 6	门槛 A 极地白 6	门槛 A 光耀蓝 6	后保 A 极地白 6
160		前保 F 极地白 6	门槛 A 光耀蓝 6	门槛 D 极地白 6
161	前保 A 极地白 6	前保 F 极地白 6	门槛 A 光耀蓝 6	前保 A 极地白 6
162	后保 A 极地白 6	门槛 D 极地白 6	后保 A 光耀蓝 6	前保 A 极地白 6
163	轮口装饰件 A 极地白 6	前保 A 极地白 6	中间扰流板 A 光耀蓝 6	门槛 D 极地白 6
164	前保 A 极地白 6	前保 A 极地白 6	门槛 A 光耀蓝 6	前保 F 极地白 6
165	前保 F 极地白 6	轮口装饰件 A 极地白 6	后保 F 光耀蓝 6	后保 A 极地白 6
166	门槛 A 极地白 6	前保 A 极地白 6	门槛 A 光耀蓝 6	后保 A 极地白 6
167	门槛 A 极地白 6	后保 E 极地白 3	后保 A 光耀蓝 6	前保 F 极地白 6
168	中间扰流板 A 极地白 6	门槛 A 极地白 6	前保 F 光耀蓝 6	前保 F 极地白 6
169	中间扰流板 A 极地白 6	前保 F 极地白 6	前保 E 光耀蓝 6	前保 F 极地白 6
170	前保 F 极地白 6			后保 A 极地白 6
171	后保 A 极地白 6	门槛装饰条 A 钛银 6	前保 A 曜岩黑 6	
172	前保 A 极地白 6	门槛装饰条 A 钛银 6	前保 A 曜岩黑 6	后保 G 钻石白 6
173	雷达支架 B 极地白 6	门槛装饰条 A 钛银 6	前保 D 曜岩黑 6	门槛 B 钻石白 6
174	中间扰流板 A 极地白 6	门槛装饰条 A 钛银 6	前保 C 曜岩黑 6	门槛 B 钻石白 6
175	后保 A 极地白 6	上格栅 B 钛银 6	门槛 C 曜岩黑 6	后保 F 钻石白 6
176		上格栅 A 钛银 6	后保 C 曜岩黑 6	后保 G 钻石白 6
177	后保 B 米兰银 6	门槛装饰条 A 钛银 6	后保 F 曜岩黑 6	前保 E 钻石白 6
178	前保 A 米兰银 6	门槛 A 钛银 4	后保 C 曜岩黑 6	前保 E 钻石白 6
179	后保 G 米兰银 6	上格栅 B 钛银 6	前保 D 曜岩黑 6	雷达支架 E 钻石白 6
180	后保 G 米兰银 6	门槛装饰条 A 钛银 6	前保 D 曜岩黑 6	后保 G 钻石白 6
181	前保 E 米兰银 6		前保 C 曜岩黑 6	后保 F 钻石白 6

182	中间扰流板 A	米兰银	4	门槛 D	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6	后保 F	钻石白	6
183										后保 G	钻石白	6
184	门槛 D	极地白	6	后保 G	钻石白	6	后保 A	宝石红	6	前保 E	钻石白	6
185	前保 F	极地白	6	前保 E	钻石白	6	后保 A	宝石红	6	前保 E	钻石白	6
186	后保 A	极地白	6	前保 E	钻石白	6	后保 A	宝石红	6	后保 F	钻石白	6
187	轮口装饰件 A	极地白	6	前保 E	钻石白	6	后保 A	宝石红	6			
188	前保 F	极地白	6	后保 F	钻石白	6	门槛 A	宝石红	6	后保 F	曜岩黑	6
189	前保 A	极地白	6	前保 E	钻石白	6	后保 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6
190	中间扰流板 A	极地白	6	后保 G	钻石白	6	后保 A	宝石红	6	后保 F	曜岩黑	6
191	前保 F	极地白	6				后保 A	宝石红	6	门槛 C	曜岩黑	6
192	前保 A	极地白	6	雷达支架 B	宝石蓝	6	后保 F	宝石红	6	门槛 C	曜岩黑	6
193				前保 A	宝石蓝	6	后保 A	宝石红	6	后保 F	曜岩黑	6
194	中间扰流板 A	光耀蓝	3	门槛 B	宝石蓝	6	门槛 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6
195	后保 F	光耀蓝	6	后保 C	宝石蓝	6	后保 F	宝石红	6	门槛 B	曜岩黑	6
196	后保 A	光耀蓝	6	前保 B	宝石蓝	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 C	曜岩黑	6
197	轮口装饰件 A	光耀蓝	6	后保 C	宝石蓝	6	后保 F	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6
198	前保 A	光耀蓝	6	前保 A	宝石蓝	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 B	曜岩黑	6
199	后保 A	光耀蓝	6	后保 C	宝石蓝	6	后保 F	宝石红	6	前保 C	曜岩黑	6
200	门槛 A	光耀蓝	6	门槛 A	宝石蓝	6	后保 F	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6
201	前保 F	光耀蓝	6	前保 A	宝石蓝	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 B	曜岩黑	6
202	前保 A	光耀蓝	6	门槛 B	宝石蓝	6	后保 A	宝石红	6	前保 C	曜岩黑	6
203	前保 E	光耀蓝	6	门槛 B	宝石蓝	6	后保 A	宝石红	6	前保 E	曜岩黑	6
204	前保 A	光耀蓝	6	后保 C	宝石蓝	6	后保 A	宝石红	6	门槛 C	曜岩黑	6
205	后保 A	光耀蓝	6	后保 C	宝石蓝	6	门槛 A	宝石红	6	前保 E	曜岩黑	6
206	前保 A	光耀蓝	6	门槛 A	宝石蓝	6	后保 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6
207	前保 E	光耀蓝	6	前保 A	宝石蓝	6	后保 A	宝石红	6	后保 C	曜岩黑	6
208				前保 D	宝石蓝	6	后保 A	宝石红	6	门槛 B	曜岩黑	6
209	后保 F	宝石红	6	门槛 B	宝石蓝	6	后保 A	宝石红	6	后保 C	曜岩黑	6
210	后保 A	宝石红	6	门槛 B	宝石蓝	6	后保 A	宝石红	6	中间扰流板 A	曜岩黑	6
211	后保 A	宝石红	6	门槛 B	宝石蓝	6	前保 E	宝石红	6	前保 C	曜岩黑	6
212	后保 A	宝石红	6	门槛 B	宝石蓝	6	后保 A	宝石红	6	前保 D	曜岩黑	6
213	后保 A	宝石红	6	门槛 B	宝石蓝	6	前保 E	宝石红	6	前保 C	曜岩黑	6
214	后保 A	宝石红	6				后保 A	宝石红	6	后保 C	曜岩黑	6
215	后保 A	宝石红	6	门槛 B	曜岩黑	6				后保 F	曜岩黑	6
216	后保 A	宝石红	6	后保 F	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
217	后保 A	宝石红	6				前保 D	曜岩黑	6	后保 C	曜岩黑	6
218	前保 E	宝石红	6	前保 F	极地白	6	门槛 C	曜岩黑	6	前保 D	曜岩黑	6
219	门槛 A	宝石红	6	后保 A	极地白	6	前保 E	曜岩黑	6			

220	后保 A	宝石红	6	门槛 A	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛装饰条 A	铱银	6
221	门槛 A	宝石红	6	前保 A	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	前保 A	铱银	6
222				前保 F	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	前保 A	铱银	6
223	后保 C	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	后保 D	铱银	6
224	前保 A	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6	后保 F	曜岩黑	6	后保 A	铱银	6
225	后保 C	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6	后保 C	曜岩黑	6	门槛装饰条 A	铱银	6
226	前保 E	曜岩黑	6	前保 F	极地白	6	门槛 B	曜岩黑	6	门槛装饰条 A	铱银	6
227	前保 C	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6	前保 D	曜岩黑	6	门槛装饰条 A	铱银	6
228	前保 A	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6				门槛装饰条 A	铱银	6
229	前保 D	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6	门槛 A	光耀蓝	6	门槛装饰条 A	铱银	6
230	前保 D	曜岩黑	6				前保 E	光耀蓝	6	上格栅 B	铱银	6
231	前保 D	曜岩黑	6	门槛 A	宝石红	6	门槛 A	光耀蓝	6	门槛装饰条 A	铱银	6
232	前保 E	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	后保 F	光耀蓝	6	门槛装饰条 A	铱银	6
233	后保 C	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	前保 A	光耀蓝	6	后保 A	铱银	6
234	前保 D	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	门槛 A	光耀蓝	6	上格栅 B	铱银	6
235	后保 C	曜岩黑	6	后保 A	宝石红	6	门槛 A	光耀蓝	6	上格栅 B	铱银	6
236	前保 D	曜岩黑	6	前保 E	宝石红	6	前保 F	光耀蓝	6			
237				门槛 A	宝石红	6	门槛 A	光耀蓝	6	门槛 C	曜岩黑	6
238	前保 F	极地白	6				门槛 A	光耀蓝	6	前保 E	曜岩黑	6
239	后保 A	极地白	6	上格栅 A	铱银	6	前保 E	光耀蓝	6	门槛 C	曜岩黑	6
240	前保 F	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	门槛 A	光耀蓝	6	前保 A	曜岩黑	6
241	门槛 A	极地白	6	上格栅 B	铱银	6	门槛 A	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6
242	前保 F	极地白	6	上格栅 B	铱银	6	前保 F	光耀蓝	6	后保 C	曜岩黑	6
243	轮口装饰件 A	极地白	6	上格栅 A	铱银	5	前保 A	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6
244	中间扰流板 A	极地白	6	前保 B	铱银	6	后保 F	光耀蓝	6	门槛 B	曜岩黑	6
245	前保 A	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	前保 E	光耀蓝	6	门槛 B	曜岩黑	6
246	中间扰流板 A	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	门槛 A	光耀蓝	6	门槛 B	曜岩黑	6
247	前保 F	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	门槛 A	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6
248	后保 A	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	门槛 A	光耀蓝	6	后保 C	曜岩黑	6
249	后保 A	极地白	6	前保 A	铱银	6	前保 A	光耀蓝	6	后保 C	曜岩黑	6
250	后保 A	极地白	6	门槛装饰条 A	铱银	6	后保 A	光耀蓝	6	后保 C	曜岩黑	6
251	门槛 A	极地白	6	上格栅 B	铱银	6	前保 A	光耀蓝	6	前保 D	曜岩黑	6
252	前保 F	极地白	6							后保 F	曜岩黑	6
253	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6	上格栅 B	铱银	6			
254	门槛 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6				雷达支架 B	极地白	4
255	后保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6
256	前保 A	极地白	6	前保 F	极地白	6	前保 A	极地白	6	前保 F	极地白	6
257	前保 F	极地白	6	门槛 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6	前保 A	极地白	6

258	前保 F	极地白	6	前保 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6	前保 F	极地白	6
259	前保 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6	前保 A	极地白	6	后保 A	极地白	6
260	后保 A	极地白	6	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6
261	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6	后保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6
262	前保 F	极地白	6	雷达支架 B	极地白	4	前保 A	极地白	6	前保 F	极地白	6
263	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6				前保 F	极地白	6
264	前保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6	后保 F	钻石白	6	前保 A	极地白	6
265	前保 F	极地白	6	后保 A	极地白	6	门槛 B	钻石白	6	前保 F	极地白	6
266	后保 A	极地白	6	前保 A	极地白	6	后保 F	钻石白	6	门槛 A	极地白	6
267	后保 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6	后保 G	钻石白	6	后保 A	极地白	6
268	中间扰流板 A	极地白	6	轮口装饰件 A	极地白	6	前保 G	钻石白	6	前保 A	极地白	6
269				前保 A	极地白	6	后保 G	钻石白	6	前保 F	极地白	6
270	后保 A	光耀蓝	6	中间扰流板 A	极地白	6	门槛 B	钻石白	6	前保 A	极地白	6
271	前保 F	光耀蓝	6	门槛 A	极地白	6	门槛 B	钻石白	6	后保 A	极地白	6
272	前保 A	光耀蓝	6	中间扰流板 A	极地白	5	前保 E	钻石白	6	前保 F	极地白	6
273	前保 A	光耀蓝	6	前保 A	极地白	6	门槛 B	钻石白	6	前保 A	极地白	6
274	轮口装饰件 A	光耀蓝	6	门槛 A	极地白	6	前保 E	钻石白	6	门槛 D	极地白	6
275	前保 E	光耀蓝	6	前保 A	极地白	6	门槛 B	钻石白	6	前保 F	极地白	6
276	后保 F	光耀蓝	6	前保 F	极地白	6	前保 G	钻石白	6	前保 F	极地白	6
277	前保 A	光耀蓝	6	前保 F	极地白	6	前保 E	钻石白	6	门槛 D	极地白	6
278	前保 F	光耀蓝	6	前保 F	极地白	6	后保 G	钻石白	6	前保 F	极地白	6
279	前保 A	光耀蓝	6	前保 F	极地白	6	前保 E	钻石白	6	前保 A	极地白	6
280				门槛 A	极地白	6	后保 C	钻石白	6	后保 A	极地白	6
281	门槛 B	曜岩黑	6	门槛 D	极地白	6	门槛 B	钻石白	6	前保 A	极地白	6
282	前保 A	曜岩黑	6	门槛 A	极地白	6	前保 E	钻石白	6	前保 F	极地白	6
283	前保 C	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	后保 G	钻石白	6	门槛 D	极地白	6
284	前保 E	曜岩黑	6	后保 A	极地白	6	后保 G	钻石白	6	前保 F	极地白	6
285	门槛 B	曜岩黑	6	前保 A	极地白	6	后保 F	钻石白	6	后保 A	极地白	6
286				前保 F	极地白	6	前保 E	钻石白	6	门槛 D	极地白	6
287	后保 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6				后保 A	极地白	6
288	前保 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6	前保 A	极地白	6	外壳 A	极地白	6
289	前保 F	极地白	6	门槛 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6	门槛 A	极地白	6
290	轮口装饰件 A	极地白	6	前保 F	极地白	6	门槛 D	极地白	6	后保 A	极地白	6
291	前保 F	极地白	6	后保 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6	外壳 A	极地白	6
292	后保 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6	前保 A	极地白	6			
293	门槛 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6	后保 A	极地白	6	前保 C	钻石白	6
294				门槛 D	极地白	6	前保 F	极地白	6	后保 F	钻石白	6
295	门槛 B	钻石白	6	前保 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6	后保 G	钻石白	6

296	前保 E	钻石白	6	前保 F	极地白	6	前保 F	极地白	6	前保 E	钻石白	6
297	后保 F	钻石白	6	轮口装饰件 A	极地白	6	前保 F	极地白	6	后保 C	钻石白	6
298	前保 E	钻石白	6	门槛 A	极地白	6	前保 A	极地白	6	后保 G	钻石白	6
299	前保 G	钻石白	6	轮口装饰件 A	极地白	6	门槛 D	极地白	6	后保 G	钻石白	6
300	前保 E	钻石白	6	门槛 D	极地白	6	前保 F	极地白	6	后保 F	钻石白	6
301	雷达支架 C	钻石白	6	前保 F	极地白	6	门槛 A	极地白	6	后保 F	钻石白	6
302	后保 F	钻石白	6	前保 F	极地白	6	前保 A	极地白	6	前保 E	钻石白	6
303	后保 F	钻石白	6	门槛 A	极地白	6	门槛 A	极地白	6	后保 F	钻石白	6

附录 E: 主要程序

代码清单 1 数据预处理

代	操作系统: macOS Mojave (Version 10.14.3)
码	编程语言: Python 3.7.1 (Anaconda Navigator 1.9.2)
环	编辑器: Sublime Text (Version 3.2.1, Build 3207)
境	代码详见: code/data_process.py

```

# 导入数据
import pandas as pd
import numpy as np

table1 = pd.read_excel("../table/C题附件.xlsx", index_col=[0, 1],
sheet_name=0)
table2 = pd.read_excel("../table/C题附件.xlsx", index_col=0, sheet_name=2)

# 获取需求量对应支架数量
produce2color = table1.copy()
produce2color['所需滑梯数量'] = np.ceil(produce2color['需求量'] / 6)
# ceil 向上除法

# 合并支架数量
for index in produce2color.index:
    produce2color.at[index, '支架数量'] = table2.at[index[0], '支架数量']
produce2color = produce2color.astype(int) # 取整

# 创建反向映射表
color2produce_index_level1 = []
color2produce_index_level2 = []
for index in produce2color.index:

```



```

color2produce_index_level1.append(index[1])
color2produce_index_level2.append(index[0])

color2produce_index_level = sorted(list(zip(color2produce_index_level1,
color2produce_index_level2))) # 按照颜色组合排序
color2produce = pd.DataFrame(index=[[index[0] for index in color2pro-
duce_index_level], [index[1] for index in color2produce_index_level]])

# 填充反向映射表顺序
for index in produce2color.index:
    color2produce.at[(index[1], index[0]), '需求量'] = produce2color.at[in-
dex, '需求量']
    color2produce.at[(index[1], index[0]), '所需滑梯数量'] = pro-
duce2color.at[index, '所需滑梯数量']
    color2produce.at[(index[1], index[0]), '至少需要圈数'] = np.ceil(pro-
duce2color.at[index, '需求量'] / produce2color.at[index, '支架数量'])
    color2produce.at[(index[1], index[0]), '支架数量'] = pro-
duce2color.at[index, '支架数量']

# 创建规格矩阵
color_produce_type_matrix = pd.DataFrame(index=sorted(table1.index.lev-
els[0]), columns=['支架数量'])
color_produce_require_matrix = pd.DataFrame(index=sorted(table1.index.lev-
els[0]), columns=sorted(table1.index.levels[1], key=lambda item: item[:-
1]))
for index in color2produce_index_level:
    color_produce_type_matrix.at[index[1], '支架数量'] = pro-
duce2color.at[(index[1], index[0]), '支架数量']
    color_produce_require_matrix.at[index[1], index[0]] = pro-
duce2color.at[(index[1], index[0]), '需求量']

# 导出数据
Excel_Writer = pd.ExcelWriter("../table/数据预处理表.xlsx")
color2produce.to_excel(Excel_Writer, '颜色-产品需求表')
produce2color.to_excel(Excel_Writer, '产品-颜色需求表')
color_produce_type_matrix.to_excel(Excel_Writer, '颜色-产品规格矩阵')
color_produce_require_matrix.to_excel(Excel_Writer, '颜色-产品需求矩阵')
Excel_Writer.save()

```

代码清单 2 现有生产资源无法满足所有任务需求——代码验证

代	操作系统: macOS Mojave (Version 10.14.3)
码	编程语言: Python 3.7.1 (Anaconda Navigator 1.9.2)
环	编辑器: Sublime Text (Version 3.2.1, Build 3207)
境	代码详见: code/model_verify.py

```

import time
import pandas as pd
import gurobipy
from gurobipy import quicksum as sum

def get_time():
    return time.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')

# 导入数据
color2produce = pd.read_excel("../table/数据预处理表.xlsx", index_col=[0, 1], sheet_name=0)
produce2color = pd.read_excel("../table/数据预处理表.xlsx", index_col=[0, 1], sheet_name=1)
D = pd.read_excel("../table/数据预处理表.xlsx", index_col=0, sheet_name=2)
R = pd.read_excel("../table/数据预处理表.xlsx", index_col=0, sheet_name=3).fillna(0)

# 创建求解器
MODEL = gurobipy.Model()
print(get_time(), "求解器设置完成...")

# 创建变量
I = range(1, 32)
J = range(1, 11)
K = range(1, 304)
N = range(1, 9)
I1 = {22}
I2 = {23}
I3 = {11, 21, 24, 26}

```

```

I4 = {27, 28, 29, 30, 31}
x = MODEL.addVars(I, J, K, N, vtype=gurobipy.GRB.BINARY, name="x")
y = MODEL.addVars(I, J, vtype=gurobipy.GRB.BINARY, name='y')
X = MODEL.addVars(I, J, N, ub=400, vtype=gurobipy.GRB.INTEGER, name="X")
print(get_time(), "变量创建完成...")

# 更新变量环境
MODEL.update()

# 创建目标函数
MODEL.setObjective(sum(R.iat[i - 1, j - 1] * y[i, j] for i in I for j in J), gurobipy.GRB.MAXIMIZE)
print(get_time(), "目标函数设置完成...")

# 创建约束条件
MODEL.addConstrs(sum(x[i, j, k, n] for i in I for j in J) <= 1 for k in K for n in N)
print(get_time(), "约束 1: 变量不冲突约束, 创建完成...")

MODEL.addConstrs(X[i, j, n] <= 6 * sum(x[i, j, k, n] for k in K) for i in I for j in J for n in N)
MODEL.addConstrs(X[i, j, n] >= 6 * (sum(x[i, j, k, n] for k in K) - 1) + 1 for i in I for j in J for n in N)
print(get_time(), "约束 2: 决策变量与零件-颜色总产出量关系, 创建完成...")

MODEL.addConstrs(sum(X[i, j, n] for j in J) <= D.iat[i - 1, 0] for i in I for n in N) # 支架个数约束零件产出个数
print(get_time(), "约束 3: 支架个数约束零件产出个数约束, 创建完成...")

MODEL.addConstrs(sum(X[i, j, n] for n in N) >= R.iat[i - 1, j - 1] * y[i, j] for i in I for j in J)
MODEL.addConstrs(sum(X[i, j, n] for n in N) <= R.iat[i - 1, j - 1] * (1 + y[i, j]) for i in I for j in J)
print(get_time(), "约束 4: 满足加工需求, 创建完成...")

MODEL.addConstrs(sum(x[i1, j1, k, n] for i1 in I) + sum(x[i2, j2, k + 1, n] for i2 in I for j2 in J if j1 != j2) <= 1 for j1 in J for k in K[:-1] for n in N)
MODEL.addConstrs(sum(x[i1, j1, k, n] for i1 in I for j1 in J) + sum(x[i2,

```

```

j2, k + 1, n] for i2 in I for j2 in J) >= 1 for k in K[: -1] for n in N)
print(get_time(), "约束 5: 颜色排布约束I 不同颜色之间需要摆放过渡支架、不能
连续摆放过渡支架, 创建完成...")

MODEL.addConstrs(sum(x[i1, j1, k + 2, n] for i1 in I) + sum(x[i2, j2, k, n]
for i2 in I) <= 1 for j1 in [1, 2] for j2 in [3, 4, 5, 6] for k in K[: -2]
for n in N)
print(get_time(), "约束 6: 颜色排布约束II 任意红色和任意蓝色后面不能安排任
意白色, 创建完成...")

MODEL.addConstrs(sum(x[i1, j1, k + 2, n] for i1 in I) + sum(x[i2, j2, k, n]
for i2 in I) <= 1 for j1 in [9, 10] for j2 in [1] for k in K[: -2] for n in
N)
print(get_time(), "约束 7: 颜色排布约束II 极地白色后面不能安排任意黑色, 创
建完成...")

MODEL.addConstrs(sum(x[i1, 2, k + 2, n] for i1 in I) <= sum(x[i2, 2, k + 1,
n] + x[i2, 1, k, n] for i2 in I) for k in K[: -2] for n in N)
print(get_time(), "约束 8: 颜色排布约束II 钻石白色前面必须安排极地白色或钻
石白色, 创建完成...")

MODEL.addConstrs(2 * (1 - sum(x[i1, j, k, n] for i1 in I1 for j in J)) >=
sum(x[i2, j, k + 1, n] + x[i2, j, k - 1, n] for i2 in (I2 | I3) for j in J)
for k in K[1: -1] for n in N)
MODEL.addConstrs(2 * (1 - sum(x[i1, j, k, n] for i1 in I2 for j in J)) >=
sum(x[i2, j, k + 1, n] + x[i2, j, k - 1, n] for i2 in (I1 | I3) for j in J)
for k in K[1: -1] for n in N)
MODEL.addConstrs(2 * (1 - sum(x[i1, j, k, n] for i1 in I3 for j in J)) >=
sum(x[i2, j, k + 1, n] + x[i2, j, k - 1, n] for i2 in (I1 | I2) for j in J)
for k in K[1: -1] for n in N)
print(get_time(), "约束 9: I1, I2, I3不同项目零件不能相邻放置, 创建完
成...")

MODEL.addConstrs(2 * (1 - sum(x[i1, j, k, n] for i1 in I1 | I2 for j in
J)) >= sum(x[i2, j, k + 1, n] + x[i2, j, k - 1, n] for i2 in I4 for j in J)
for k in K[1: -1] for n in N)
print(get_time(), "约束 10: I1 ∪ I2 不能与 I4 相邻排布, 创建完成...")

# 执行最优化

```

```

MODEL.Params.TimeLimit = 2000    # 限制求解时间
MODEL.optimize()
print(f"生产任务完成度: {sum(y[i, j] for i in I for j in J).get-
Value()}/{310 - (R == 0).sum().sum()}")
print(f"总零件生产量完成情况: {R.sum().sum() - sum((1 - y[i, j]) * (R.iat[i
- 1, j - 1] - sum(X[i, j, n] for n in N)) for i in I for j in J).get-
Value()}/{R.sum().sum()}")
print(get_time(), "模型求解完成, 正在导出结果...")

# 输出模型结果
Excel_Writer = pd.ExcelWriter("../table/模型适用性验证.xlsx")

for n in N:
    result = pd.DataFrame(index=K, columns=['零件', '颜色', '数量'])
    for i in I:
        for j in J:
            x_num = X[i, j, n].X
            for k in K:
                if x[i, j, k, n].X:
                    result.at[k, '零件'] = R.index[i - 1]
                    result.at[k, '颜色'] = R.columns[j - 1]
                    result.at[k, "数量"] = 6 if x_num > 6 else x_num
                    x_num -= 6
            result.to_excel(Excel_Writer, f"第 {n} 圈")

Excel_Writer.save()
print(get_time(), "完成...")

```

代码清单 3 问题一模型及求解

代	操作系统: macOS Mojave (Version 10.14.3)
码	编程语言: Python 3.7.1 (Anaconda Navigator 1.9.2)
环	编辑器: Sublime Text (Version 3.2.1, Build 3207)
境	代码详见: code/Problem1.py
<pre> import time import pandas as pd import gurobipy </pre>	

```

from gurobipy import quicksum as sum

def get_time():
    return time.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')

# 导入数据
color2produce = pd.read_excel("../table/数据预处理表.xlsx", index_col=[0, 1], sheet_name=0)
produce2color = pd.read_excel("../table/数据预处理表.xlsx", index_col=[0, 1], sheet_name=1)
D = pd.read_excel("../table/数据预处理表.xlsx", index_col=0, sheet_name=2)
R = pd.read_excel("../table/数据预处理表.xlsx", index_col=0, sheet_name=3).fillna(0)

# 创建求解器
MODEL = gurobipy.Model()
print(get_time(), "求解器设置完成...")

# 创建变量
I = range(1, 32)
J = range(1, 11)
K = range(1, 304)
N = range(1, 9)
I1 = {22}
I2 = {23}
I3 = {11, 21, 24, 26}
I4 = {27, 28, 29, 30, 31}
x = MODEL.addVars(I, J, K, N, vtype=gurobipy.GRB.BINARY, name="x")
y = MODEL.addVars(I, J, vtype=gurobipy.GRB.BINARY, name='y')
X = MODEL.addVars(I, J, N, ub=400, vtype=gurobipy.GRB.INTEGER, name="X")
X_ = MODEL.addVars(I, J, ub=400, vtype=gurobipy.GRB.INTEGER, name="X_")
print(get_time(), "变量创建完成...")

# 更新变量环境
MODEL.update()

# 创建目标函数

```

```

MODEL.setObjectiveN(-sum(R.iat[i - 1, j - 1] * y[i, j] for i in I for j in
J), priority=1, index=0)
MODEL.setObjectiveN(-sum(X_[i, j] for i in I for j in J), priority=0, in-
dex=1)
print(get_time(), "目标函数设置完成...")

# 创建约束条件
MODEL.addConstrs(sum(x[i, j, k, n] for i in I for j in J) <= 1 for k in K
for n in N)
print(get_time(), "约束 1: 变量不冲突约束, 创建完成...")

MODEL.addConstrs(X[i, j, n] <= 6 * sum(x[i, j, k, n] for k in K) for i in I
for j in J for n in N)
MODEL.addConstrs(X[i, j, n] >= 6 * (sum(x[i, j, k, n] for k in K) - 1) + 1
for i in I for j in J for n in N)
print(get_time(), "约束 2: 决策变量与零件-颜色总产出量关系, 创建完成...")

MODEL.addConstrs(sum(X[i, j, n] for j in J) <= D.iat[i - 1, 0] for i in I
for n in N) # 支架个数约束零件产出个数
print(get_time(), "约束 3: 支架个数约束零件产出个数约束, 创建完成...")

MODEL.addConstrs(sum(X[i, j, n] for n in N) >= R.iat[i - 1, j - 1] * y[i,
j] for i in I for j in J)
MODEL.addConstrs(sum(X[i, j, n] for n in N) <= R.iat[i - 1, j - 1] * (1 +
y[i, j]) for i in I for j in J)
print(get_time(), "约束 4: 满足加工需求, 创建完成...")

MODEL.addConstrs(sum(x[i1, j1, k, n] for i1 in I) + sum(x[i2, j2, k + 1, n]
for i2 in I for j2 in J if j1 != j2) <= 1 for j1 in J for k in K[:-1] for
n in N)
MODEL.addConstrs(sum(x[i1, j1, k, n] for i1 in I for j1 in J) + sum(x[i2,
j2, k + 1, n] for i2 in I for j2 in J) >= 1 for k in K[:-1] for n in N)
print(get_time(), "约束 5: 颜色排布约束I 不同颜色之间需要摆放过渡支架、不能
连续摆放过渡支架, 创建完成...")

MODEL.addConstrs(sum(x[i1, j1, k + 2, n] for i1 in I) + sum(x[i2, j2, k, n]
for i2 in I) <= 1 for j1 in [1, 2] for j2 in [3, 4, 5, 6] for k in K[:-2]
for n in N)
print(get_time(), "约束 6: 颜色排布约束II 任意红色和任意蓝色后面不能安排任

```

意白色，创建完成...”)

```
MODEL.addConstrs(sum(x[i1, j1, k + 2, n] for i1 in I) + sum(x[i2, j2, k, n]
for i2 in I) <= 1 for j1 in [9, 10] for j2 in [1] for k in K[: -2] for n in
N)
```

```
print(get_time(), "约束 7: 颜色排布约束II 极地白色后面不能安排任意黑色，创
建完成...")
```

```
MODEL.addConstrs(sum(x[i1, 2, k + 2, n] for i1 in I) <= sum(x[i2, 2, k + 1,
n] + x[i2, 1, k, n] for i2 in I) for k in K[: -2] for n in N)
```

```
print(get_time(), "约束 8: 颜色排布约束II 钻石白色前面必须安排极地白色或钻
石白色，创建完成...")
```

```
MODEL.addConstrs(2 * (1 - sum(x[i1, j, k, n] for i1 in I1 for j in J)) >=
sum(x[i2, j, k + 1, n] + x[i2, j, k - 1, n] for i2 in (I2 | I3) for j in J)
for k in K[1: -1] for n in N)
```

```
MODEL.addConstrs(2 * (1 - sum(x[i1, j, k, n] for i1 in I2 for j in J)) >=
sum(x[i2, j, k + 1, n] + x[i2, j, k - 1, n] for i2 in (I1 | I3) for j in J)
for k in K[1: -1] for n in N)
```

```
MODEL.addConstrs(2 * (1 - sum(x[i1, j, k, n] for i1 in I3 for j in J)) >=
sum(x[i2, j, k + 1, n] + x[i2, j, k - 1, n] for i2 in (I1 | I2) for j in J)
for k in K[1: -1] for n in N)
```

```
print(get_time(), "约束 9: I1, I2, I3不同项目零件不能相邻放置，创建完
成...")
```

```
MODEL.addConstrs(2 * (1 - sum(x[i1, j, k, n] for i1 in I1 | I2 for j in
J)) >= sum(x[i2, j, k + 1, n] + x[i2, j, k - 1, n] for i2 in I4 for j in J)
for k in K[1: -1] for n in N)
```

```
print(get_time(), "约束 10: I1 ∪ I2 不能与 I4 相邻排布，创建完成...")
```

```
MODEL.addConstrs(X_[i, j] <= sum(X[i, j, n] for n in N) for i in I for j in
J)
```

```
MODEL.addConstrs(X_[i, j] <= R.iat[i - 1, j - 1] for i in I for j in J)
```

```
print(get_time(), "约束 11: 有效加工零件数，创建完成...")
```

执行最优化

```
MODEL.Params.TimeLimit = 3000    # 限制求解时间
```

```
MODEL.optimize()
```



```

print(f"生产任务完成度: {sum(y[i, j] for i in I for j in J).get-
Value()}/{310 - (R == 0).sum().sum()}")
print(f"总零件生产量完成情况: {R.sum().sum() - sum((1 - y[i, j]) * (R.iat[i
- 1, j - 1] - sum(X[i, j, n] for n in N)) for i in I for j in J).get-
Value()}/{R.sum().sum()}")
print(get_time(), "模型求解完成, 正在导出结果...")

# 输出模型结果
Excel_Writer = pd.ExcelWriter("../table/问题一模型求解.xlsx")

for n in N:
    result = pd.DataFrame(index=K, columns=['零件', '颜色', '数量'])
    for i in I:
        for j in J:
            x_num = X[i, j, n].X
            for k in K:
                if x[i, j, k, n].X:
                    result.at[k, '零件'] = R.index[i - 1]
                    result.at[k, '颜色'] = R.columns[j - 1]
                    result.at[k, "数量"] = 6 if x_num > 6 else x_num
                    x_num -= 6
            result.to_excel(Excel_Writer, f"第 {n} 圈")

Excel_Writer.save()
print(get_time(), "完成...")

```

代码清单 4 问题二模型及求解

代	操作系统: macOS Mojave (Version 10.14.3)
码	编程语言: Python 3.7.1 (Anaconda Navigator 1.9.2)
环	编辑器: Sublime Text (Version 3.2.1, Build 3207)
境	代码详见: Code/Problem2.py
<pre> import time import pandas as pd import gurobipy from gurobipy import quicksum as sum </pre>	

```

def get_time():
    return time.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')

# 导入数据
color2produce = pd.read_excel("../table/数据预处理表.xlsx", index_col=[0, 1], sheet_name=0)
produce2color = pd.read_excel("../table/数据预处理表.xlsx", index_col=[0, 1], sheet_name=1)
D = pd.read_excel("../table/数据预处理表.xlsx", index_col=0, sheet_name=2)
R = pd.read_excel("../table/数据预处理表.xlsx", index_col=0, sheet_name=3).fillna(0)

# 创建求解器
MODEL = gurobipy.Model()
print(get_time(), "求解器设置完成...")

# 创建变量
I = range(1, 32)
J = range(1, 11)
K = range(1, 304)
N = range(1, 9)
I1 = {22}
I2 = {23}
I3 = {11, 21, 24, 26}
I4 = {27, 28, 29, 30, 31}
x = MODEL.addVars(I, J, K, N, vtype=gurobipy.GRB.BINARY, name="x")
y = MODEL.addVars(I, J, vtype=gurobipy.GRB.BINARY, name='y')
X = MODEL.addVars(I, J, N, ub=400, vtype=gurobipy.GRB.INTEGER, name="X")
X_ = MODEL.addVars(I, J, ub=400, vtype=gurobipy.GRB.INTEGER, name="X_")
S = MODEL.addVars(I, K, N, vtype=gurobipy.GRB.BINARY, name="S")
print(get_time(), "变量创建完成...")

# 更新变量环境
MODEL.update()

# 创建目标函数
MODEL.setObjectiveN(-sum(R.iat[i - 1, j - 1] * y[i, j] for i in I for j in J), priority=2, index=0)

```

```

MODEL.setObjectiveN(-sum(X_[i, j] for i in I for j in J), priority=1, index=1)
MODEL.setObjectiveN(sum(S[i, k, n] for i in I for k in K for n in N), priority=0, index=2)
print(get_time(), "目标函数设置完成...")

# 创建约束条件
MODEL.addConstrs(sum(x[i, j, k, n] for i in I for j in J) <= 1 for k in K for n in N)
print(get_time(), "约束 1: 变量不冲突约束, 创建完成...")

MODEL.addConstrs(X[i, j, n] <= 6 * sum(x[i, j, k, n] for k in K) for i in I for j in J for n in N)
MODEL.addConstrs(X[i, j, n] >= 6 * (sum(x[i, j, k, n] for k in K) - 1) + 1 for i in I for j in J for n in N)
print(get_time(), "约束 2: 决策变量与零件-颜色总产出量关系, 创建完成...")

MODEL.addConstrs(sum(X[i, j, n] for j in J) <= D.iat[i - 1, 0] for i in I for n in N) # 支架个数约束零件产出个数
print(get_time(), "约束 3: 支架个数约束零件产出个数约束, 创建完成...")

MODEL.addConstrs(sum(X[i, j, n] for n in N) >= R.iat[i - 1, j - 1] * y[i, j] for i in I for j in J)
MODEL.addConstrs(sum(X[i, j, n] for n in N) <= R.iat[i - 1, j - 1] * (1 + y[i, j]) for i in I for j in J)
print(get_time(), "约束 4: 满足加工需求, 创建完成...")

MODEL.addConstrs(sum(x[i1, j1, k, n] for i1 in I) + sum(x[i2, j2, k + 1, n] for i2 in I for j2 in J if j1 != j2) <= 1 for j1 in J for k in K[:-1] for n in N)
MODEL.addConstrs(sum(x[i1, j1, k, n] for i1 in I for j1 in J) + sum(x[i2, j2, k + 1, n] for i2 in I for j2 in J) >= 1 for k in K[:-1] for n in N)
print(get_time(), "约束 5: 颜色排布约束I 不同颜色之间需要摆放过渡支架、不能连续摆放过渡支架, 创建完成...")

MODEL.addConstrs(sum(x[i1, j1, k + 2, n] for i1 in I) + sum(x[i2, j2, k, n] for i2 in I) <= 1 for j1 in [1, 2] for j2 in [3, 4, 5, 6] for k in K[:-2] for n in N)
print(get_time(), "约束 6: 颜色排布约束II 任意红色和任意蓝色后面不能安排任

```

意白色，创建完成...”)

```
MODEL.addConstrs(sum(x[i1, j1, k + 2, n] for i1 in I) + sum(x[i2, j2, k, n]
for i2 in I) <= 1 for j1 in [9, 10] for j2 in [1] for k in K[: -2] for n in
N)
```

```
print(get_time(), "约束 7: 颜色排布约束II 极地白色后面不能安排任意黑色，创
建完成...")
```

```
MODEL.addConstrs(sum(x[i1, 2, k + 2, n] for i1 in I) <= sum(x[i2, 2, k + 1,
n] + x[i2, 1, k, n] for i2 in I) for k in K[: -2] for n in N)
```

```
print(get_time(), "约束 8: 颜色排布约束II 钻石白色前面必须安排极地白色或钻
石白色，创建完成...")
```

```
MODEL.addConstrs(sum(2 * (1 - x[i1, j, k, n]) for i1 in I1 for j in J) >=
sum(x[i2, j, k + 1, n] + x[i2, j, k - 1, n] for i2 in (I2 | I3) for j in J)
for k in K[1: -1] for n in N)
```

```
MODEL.addConstrs(sum(2 * (1 - x[i1, j, k, n]) for i1 in I2 for j in J) >=
sum(x[i2, j, k + 1, n] + x[i2, j, k - 1, n] for i2 in (I1 | I3) for j in J)
for k in K[1: -1] for n in N)
```

```
MODEL.addConstrs(sum(2 * (1 - x[i1, j, k, n]) for i1 in I3 for j in J) >=
sum(x[i2, j, k + 1, n] + x[i2, j, k - 1, n] for i2 in (I1 | I2) for j in J)
for k in K[1: -1] for n in N)
```

```
print(get_time(), "约束 9: I1, I2, I3不同项目零件不能相邻放置，创建完
成...")
```

```
MODEL.addConstrs(sum(2 * (1 - x[i1, j, k, n]) for i1 in I1 | I2 for j in
J) >= sum(x[i2, j, k + 1, n] + x[i2, j, k - 1, n] for i2 in I4 for j in J)
for k in K[1: -1] for n in N)
```

```
print(get_time(), "约束 10: I1  $\cup$  I2 不能与 I4 相邻排布，创建完成...")
```

```
MODEL.addConstrs(X_[i, j] <= sum(X[i, j, n] for n in N) for i in I for j in
J)
```

```
MODEL.addConstrs(X_[i, j] <= R.iat[i - 1, j - 1] for i in I for j in J)
```

```
print(get_time(), "约束 11: 有效加工零件数，创建完成...")
```

```
MODEL.addConstrs(sum(x[i, j1, k, n] for j1 in J) <= sum(x[i, j2, k, n + 1]
for j2 in J) + S[i, k, n] for i in I for k in K for n in N[:-1])
```

```
print(get_time(), "约束 12: (2) 尽量避免圈与圈之间同个滑橇更换支架类型，创
```

```

建完成...)

# 执行最优化
MODEL.Params.TimeLimit = 6000    # 限制求解时间
MODEL.optimize()
print(f"生产任务完成度: {sum(y[i, j] for i in I for j in J).get-
Value()}/{310 - (R == 0).sum().sum()}")
print(f"总零件生产量完成情况: {sum((1 - y[i, j]) * (R.iat[i - 1, j - 1] -
sum(X[i, j, n] for n in N)) for i in I for j in J).get-
Value()}/{R.sum().sum()}")
print(get_time(), "模型求解完成, 正在导出结果...")

# 输出模型结果
Excel_Writer = pd.ExcelWriter("../table/问题二模型求解.xlsx")

for n in N:
    result = pd.DataFrame(index=K, columns=['零件', '颜色', '数量'])
    for i in I:
        for j in J:
            x_num = X[i, j, n].X
            for k in K:
                if x[i, j, k].X:
                    result.at[k, '零件'] = R.index[i - 1]
                    result.at[k, '颜色'] = R.columns[j - 1]
                    result.at[k, "数量"] = 6 if x_num > 6 else x_num
                    x_num -= 6
            result.to_excel(Excel_Writer, f"第 {n} 圈")

Excel_Writer.save()
print(get_time(), "完成...")

```

代码清单 5 模型效果评估

代	操作系统: macOS Mojave (Version 10.14.3)
码	编程语言: Python 3.7.1 (Anaconda Navigator 1.9.2)
环	编辑器: Sublime Text (Version 3.2.1, Build 3207)
境	代码详见: code/profile_analysis.py

```

import os
import pandas as pd

# 分页显示数据, 设置为 False 不允许分页
pd.set_option('display.expand_frame_repr', False)

# 最多显示的列数, 设置为 None 显示全部列
pd.set_option('display.max_columns', None)

# 最多显示的行数, 设置为 None 显示全部行
pd.set_option('display.max_rows', None)

# 对齐中文文本
pd.set_option('display.unicode.ambiguous_as_wide', True)
pd.set_option('display.unicode.east_asian_width', True)

R = pd.read_excel("../table/数据预处理表.xlsx", index_col=0,
sheet_name=3).fillna(0)

def main(path, file):
    all_produce = pd.DataFrame(0, index=R.index, columns=R.columns) # 总加工零件数量
    ex_color = []
    ex_produce = []
    for i in range(8):
        table = pd.read_excel(path + file, sheet_name=i)
        ex_color.append(table.isna().sum()[0])
        ex_produce.append(table['零件'].tolist())
        for j in table.index:
            if table.at[j, "数量"] > 0:
                all_produce.at[table.at[j, "零件"], table.at[j, "颜色"]] +=
table.at[j, "数量"]
        print("\n* 分析项目1: 换色次数")
        print(f"平均换色次数: {sum(ex_color) / 8} ({ex_color})")
        print("\n* 分析项目2: 换支架次数")
        different = 0
        for k in range(7):

```

```

        for m in range(303):
            if ex_produce[k][m] != ex_produce[k + 1][m]:
                different += 1
        print(different / 8)
        print("\n* 分析项目3: 完成度矩阵")
        print(all_produce)
        print("\n* 分析项目4: 任务完成情况")
        print(f"总零件任务完成情况:  {31 * 10 - (R == 0).sum().sum() - (all_pro-
duce < R).sum().sum()}/{31 * 10 - (R == 0).sum().sum()}")
        print("\n* 分析项目5: 加工零件数量完成情况")
        print(f"总零件生产量完成情况:  {R.sum().sum() + (all_produce -
R) [(all_produce - R) <= 0].sum().sum()}/{R.sum().sum()}")

if __name__ == '__main__':
    files = [file for file in os.listdir("../table") if
file.endswith(".xlsx")]
    print("../table 目录下有下列文件")
    for index, file in enumerate(files):
        print(index + 1, file)
    try:
        a = main("../table/", files[int(input("* 请输入文件编号, 进行描述性
分析: ")) - 1])
    except:
        print("不支持的文件类型")

```