关于乒乓球参赛人选安排的建模分析

PB19010450 和泳毅

摘要

东京奥运会上，中国乒乓球国家队取得了 4 金 3 银的好成绩。但如何以我们黄金竞技阶段的运动员继续迎战强劲的对手仍然是值得思考的问题，所以利用统计数据研究参赛策略是必要的。在参赛安排中主要有两个问题，问题一是如何选取合适的参赛人选；问题二是在已知参赛人选的情况下，如何给出团体比赛合适的出场顺序。

针对问题一，本文首先从赛季积分、历史胜率、比赛场次三个维度综合评价运动员的能力水平，给出评价分数。为了描述运动员兼项对其能力带来的影响，引入了可以调整的能力衰减因子。在此基础上，分别给男子团体、女子团体、男子单打、女子单打、混合双打这五个比赛项目进行打分，将五个项目评分之和作为最优化的目标，求解该最优化模型，即能得到最优参赛人选。

针对问题二，本文在已知参赛人选的基础上，为了描述同场比赛中运动员第二次出场的能力衰减情况，引入了会随着休息场次增加而降低其带来影响的能力衰减因子。接着分别给团体比赛中的五局比赛分别进行打分，将五局比赛的评分之和作为最优化的目标，求解该最优化模型，即能得到团体比赛最优顺序安排。

最后，本文以东京奥运会乒乓球比赛报名为例求解测试。针对问题一，得到的最优参赛人选与国家队首发阵容完全一致。针对问题二，能给出最优顺序安排。并且考虑东京奥运会规则改变以及刘诗雯伤退的情况，对模型进行相应的更改，得到的最优顺序安排与真实情况也完全一致。

关键字：建模分析； 人员安排； 乒乓球； 运动员分析；

目录

一、 问题重述

奥运会乒乓球有男子团体、女子团体、男子单打、女子单打、混合双打这五个比赛项目。每个国家可以报名三名男选手和三名女选手，并且其中各有两名男/女选手参加单打，各有一名男/女选手组成一队参加混双，允许兼项。团体比赛所有选手均参加，三位选手分为第一单打、第二单打、第三单打。团体比赛采取五场三胜制，第 1,2,4,5 场为单打，第 3 场为双打，第一单打需参加两场单打，第二单打和第三单打需参加一场单打和一场双打。我们需要以主教练的角度分析设计参赛目标，并根据模型给出参赛人选以及每个选手参加的项目和团体顺序。

1.1 问题背景

东京奥运会上，中国乒乓球国家队取得了 4 金 3 银的好成绩，展现了强大的实力。但纵观奥运会乒乓球历史以及各项国际大赛最终成绩可以发现，德国队和日本队依旧是中国乒乓球队强劲的对手。有研究指出，我国大部分优秀乒乓球运动员的黄金竞技年龄段为 23-28 岁，28 岁以后会逐渐丧失竞技力。而在目前中国乒乓球队的大名单之中，现年 24 岁的樊振东、21 岁的孙颖莎、22 岁的王曼昱，其年龄都与黄金竞技年龄段相重叠，届时将是巴黎奥运会乒乓球项目夺冠的热门人选。东京奥运我们取得的成绩已经成为过去，中国队将面临下一届巴黎奥运会的巨大考验。如何以我们黄金竞技阶段的运动员继续迎战德国队和日本队是值得思考的问题，所以利用统计数据研究参赛策略是必要的。

1.2 需要解决的具体问题

利用运动员统计数据与奥运会乒乓球赛事规则，通过建模分析，确定参赛目标，在奥运会参赛候选人中选取合适的参赛人选，并确定团体比赛出场顺序。

二、 问题分析

根据我国乒乓球运动员实情，国家队分为一队与二队，一队是国际赛事的主要力量。并且一队中的第一梯队有六个名额，这六个人就是奥运会的参赛候选人。我们需要各从男子、女子的第一梯队中选取三人参加比赛。其中男子、女子各选两人参加单打比赛，各选一人组队参加混双比赛，允许选手兼项。

确定参赛人选离不开对参赛选手实力的评价，本文选取运动员**赛季积分**、**历史胜率**和**比赛场次**作为选手实力的评价指标。其中赛季积分能反映运动员本赛季的活跃度、能力水平以及大赛表现，参加的比赛水平越高，获得的名次越高，得到的积分值就越高；历史胜率能反映运动员长久以来的胜负情况，可以作为对运动员比赛胜负的期望指标；比赛场次能反映运动员的比赛经验，并且大赛场次越多，也代表运动员在国家队受到的

重视度越高。并且根据文献，我们认为按照重要性排序，赛季积分 > 历史胜率 > 比赛场次。

考虑到兼项会对运动员表现造成影响，根据东京奥运会的比赛顺序：混双—男子/女子单打—男子/女子团体，单打选手需要考虑混双兼项的影响，团体选手需要考虑混双、单打的兼项影响，并且团体赛队内也需要考虑双打兼项影响，为此引入不同的**能力衰减因子**来描述不同兼项对运动员能力造成的影响。

最后根据对选手的实力评价以及兼项衰减因子的设计，能分别得到不同参赛安排下混合双打、男子单打、女子单打、男子团体、女子团体的评分，分别记为 E_1, E_2, E_3, E_4, E_5。总评分为五个项目评分之和：

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5,$$

使总评分最大化即为参赛目标，其最优解为最终的参赛人选安排。

得到参赛人选之后再考虑团体赛上场顺序安排，引入新的衰减因子来描述同一场比赛内运动员第二次出场受到的影响，该衰减因子带来的影响会随着运动员休息场次的增加而减小，并取双打比赛评分为两位运动员评分的均分。根据中国国家队排兵布阵的保守方针，累加五局比赛的得分作为总分 F，目标为最大化该分数，最优解即为最优出场顺序。

三、 符号说明

符号	**含义**	**符号**	**含义**
A_{m_i}	男选手 i 的评分	A_{f_j}	女选手 j 的评分
$B_{i,j}$	男选手 i 与女选手 i 的混双评分	$x_{m_i,f}$	男选手 i 是第一单打的状态变量
$x_{m_i,s}$	男选手 i 是第二单打的状态变量	$x_{m_i,t}$	男选手 i 是第三单打的状态变量
$x_{f_j,f}$	女选手 j 是第一单打的状态变量	$x_{f_j,s}$	女选手 j 是第二单打的状态变量
$x_{f_j,t}$	女选手 j 是第三单打的状态变量	y_{m_i}	男选手 i 参加混双的状态变量
y_{f_j}	女选手 j 参加混双的状态变量	α_1	混双兼项单打的能力衰减因子
α_2	混双兼项团体的能力衰减因子	α_3	单打兼项团体的能力衰减因子
β_1	团体赛第一单打能力衰减因子	β_2	团体赛第二单打能力衰减因子
β_3	团体赛第三单打能力衰减因子	E_i	第 i 个比赛的评分
E	比赛参赛人选安排总评分	F	团体赛顺序安排总评分

表 1　符号说明

四、 模型建立

4.1 参赛人选安排

4.1.1 混双比赛

由于混双比赛最先进行，所以不用考虑兼项影响。由于混双男女组队的特殊性，我们仅考虑本赛季有过组队经历的搭配。所以当男子第 i 个队员与女子第 j 个队员有过组队经历时，混双成员的评价 $B_{i,j}$ 为其真实评价分数，反之 $B_{i,j}=0$。则混双比赛评分为：

$$E_1=\sum_{i=1}^{6}\sum_{j=1}^{6}y_{m_i}y_{f_j}B_{i,j}. \tag{1}$$

4.1.2 单打比赛

按照惯例，单打比赛由队伍中的第一单打和第二单打参加。考虑混双与单打兼项的影响，引入能力衰减因子 $\alpha_1\in[0,1]$。设单打比赛评分为两队员评分的均值，则单打比赛评分为：

$$\begin{aligned}E_2&=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{6}(1-y_{m_i}\alpha_1)(x_{m_i,f}+x_{m_i,s})A_{m_i},\\E_3&=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{6}(1-y_{f_i}\alpha_1)(x_{f_i,f}+x_{f_i,s})A_{f_i}.\end{aligned} \tag{2}$$

4.1.3 团体比赛

考虑混双与团体兼项、单打与团体兼项的影响，引入能力衰减因子 $\alpha_2,\alpha_3\in[0,1]$。设双打评分为两运动员评分的均值，团体比赛评分为五场评分的均值，则团体比赛评分为：

$$\begin{aligned}E_4&=\frac{1}{5}\sum_{i=1}^{6}(1-y_{m_i}\alpha_2)[(1-\alpha_3)(2x_{m_i,f}+1.5x_{m_i,s})+1.5x_{m_i,t}]A_{m_i},\\E_5&=\frac{1}{5}\sum_{i=1}^{6}(1-y_{f_i}\alpha_2)[(1-\alpha_3)(2x_{f_i,f}+1.5x_{f_i,s})+1.5x_{f_i,t}]A_{f_i}.\end{aligned} \tag{3}$$

4.1.4 模型约束

结合式 (1)-(3)，我们可以得到如下最优化模型：

$$
\max \quad E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5
$$

$$
\begin{cases}
x_{m_i,f}, x_{m_i,s}, x_{m_i,t}, x_{f_i,f}, x_{f_i,s}, x_{f_i,t} \in \{0,1\}, \quad i = 1, ..., 6 \\
y_{m_i}, y_{f_i} \in \{0,1\}, \quad i = 1, ..., 6 \\
\sum_{i=1}^{6} x_{m_i,f} = \sum_{i=1}^{6} x_{m_i,s} = \sum_{i=1}^{6} x_{m_i,t} = 1 \\
\sum_{i=1}^{6} x_{f_i,f} = \sum_{i=1}^{6} x_{f_i,s} = \sum_{i=1}^{6} x_{f_i,t} = 1 \\
\sum_{i=1}^{6} y_{m_i} = \sum_{i=1}^{6} y_{f_i} = 1 \\
\sum_{i=1}^{6} x_{m_i,f} x_{m_i,s} = \sum_{i=1}^{6} x_{m_i,f} x_{m_i,t} = \sum_{i=1}^{6} x_{m_i,s} x_{m_i,t} = 0 \\
\sum_{i=1}^{6} x_{f_i,f} x_{f_i,s} = \sum_{i=1}^{6} x_{f_i,f} x_{f_i,t} = \sum_{i=1}^{6} x_{f_i,s} x_{f_i,t} = 0 \\
\sum_{i=1}^{6} (x_{m_i,f} + x_{m_i,s} + x_{m_i,t}) y_{m_i} = \sum_{i=1}^{6} (x_{f_i,f} + x_{f_i,s} + x_{f_i,t}) y_{f_i} = 1
\end{cases}
\tag{4}
$$

其中约束一、二表示这些变量为 0/1 变量，取 1 表示是，取 0 表示否，如当 $x_{m_1,f} = 1$ 时表示男子 1 号运动员是男子第一单打；约束三、四、六、七表示第一、二、三单打各有且只有一名，约束五、八表示混双有且只有一对。

4.2 团体比赛出场顺序安排

在得到参赛人选之后，对团体赛出场顺序进行建模分析。由于每位运动员会出场两次，考虑第二次出场时的能力水平受到第一次出场的影响，引入新的能力衰减因子。令第一单打第二次出场的能力衰减因子为 β_1，令第二单打、第三单打第二次出场的能力衰减因子为 β_2, β_3，$\beta_i, \in [0,1] (i = 1,2,3)$。并且该能力衰减因子会随着运动员两次出场间隔场数的增加而减小其带来的影响：

$$
\beta_i^* = \frac{\beta_i}{2^k}, \tag{5}
$$

其中 k 为运动员两次出场的间隔场数。这是符合实际的，当 k 越大，表示运动员两次出场间隔越长，得到的休息越充分，受到第一次出场的影响自然就越小。

记得到的男子参赛运动员序号为 a_1, a_2, a_3（按照第一、二、三单打的顺序），令 $\gamma \in \{0,1\}$，则男子团体比赛评分可以计算为：

$$
\begin{aligned}
&F_1 = A_{m_{a_1}} + (1 - \beta_1^*) A_{m_{a_1}}, \\
&F_k = \gamma[(1 - \beta_k^*) A_{m_{a_k}} + \frac{1}{2} A_{m_{a_k}}] + (1 - \gamma)[\frac{1}{2}(1 - \beta_k^*) A_{m_{a_k}} + A_{m_{a_k}}], \quad k = 2, 3, \\
&F = \sum_{i=1}^{3} F_i,
\end{aligned}
\tag{6}
$$

其中 $\gamma = 0$ 表示选手在双打前参加过单打，$\gamma = 1$ 反之。女子团体比赛模型同理。

五、 模型求解

5.1 参赛人选安排

以东京奥运会乒乓球比赛报名为例求解本文模型，东京奥运会乒乓球比赛报名截止日期为 2021 年 5 月 15 日，故选取 2021 年 5 月前的积分用于评价，并结合运动员历史参与场次与胜率，中国国家队一队男子第一梯度数据为：

姓名	胜率	场次	积分
樊振东	0.87004	631	11094
许昕	0.86865	906	10356
马龙	0.86276	991	10212
林高远	0.78093	493	8034
梁靖昆	0.78036	387	6723
王楚钦	0.83486	436	5871

表 2　男子运动员第一梯度数据

姓名	胜率	场次	积分
陈梦	0.86775	552	11850
孙颖莎	0.88071	394	9840
王曼昱	0.84348	460	8733
刘诗雯	0.85211	852	7245
王艺迪	0.82008	239	6621
陈幸同	0.82769	325	6222

表 3　女子运动员第一梯度数据

为了在同一尺度下描述运动员三个维度的指标，分别对三个维度的分数进行归一化：

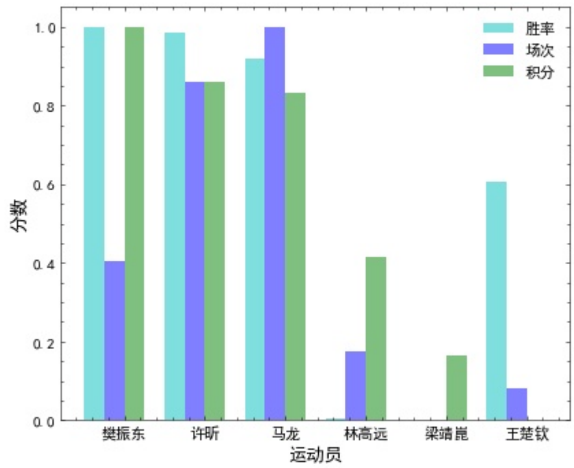

图 1　男子运动员第一梯度数据对比

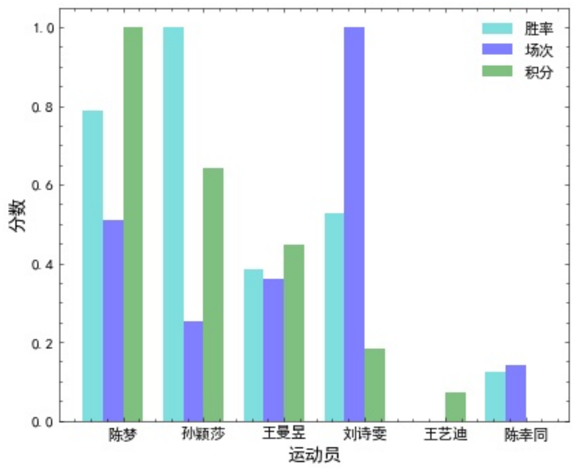

图 2　女子运动员第一梯度数据对比

再根据三个维度的指标，认为按照重要性排序，赛季积分 > 历史胜率 > 比赛场次。于是将 $\frac{1}{3}(1.5\times$ 赛季积分 $+$ 历史胜率 $+0.5\times$ 比赛场次) 作为运动员最终的评价分数：

ID	姓名	评分
121404	樊振东	0.900662
110267	许昕	0.900730
105649	马龙	0.888507
115910	林高远	0.238433
119588	梁靖崑	0.081562
121558	王楚钦	0.216093

表 4　男子运动员第一梯度评分

ID	姓名	评分
112019	陈梦	0.847182
131163	孙颖莎	0.696904
121411	王曼昱	0.411817
105482	刘诗雯	0.433647
124110	王艺迪	0.035448
121403	陈幸同	0.065221

表 5　女子运动员第一梯度评分

由于混双比赛缺少胜率、场次的数据记录，只采用积分作为混双评分：

姓名	评分
许昕/刘诗雯	1.000000
王楚钦/孙颖莎	0.182609
许昕/孙颖莎	0.130435
王楚钦/王曼昱	0.078261
林高远/王曼昱	0.010870
许昕/陈梦	0.000000

表 6　混双组合搭配评分

接着将运动员评分带入模型，因为混双比赛后紧接着是单打比赛，设置混双对单打的能力衰减因子为 0.2；因为混双比赛与团体比赛中间间隔着单打比赛，故其影响要略小，设置混双对团体的能力衰减因子为 0.1；因为单打比赛后紧接着是团体比赛，设置单打对团体的能力衰减因子为 0.2。即设置 $\alpha_1=0.2,\alpha_2=0.1,\alpha_3=0.2$。由于该模型变量不多且样本量很小，使用穷举法求解，最优解如下：

混双：许昕/刘诗雯
男子单打：樊振东、马龙
女子单打：陈梦、孙颖莎
男子团体：樊振东、马龙、许昕（分别为第一、二、三单打）
女子团体：陈梦、孙颖莎、刘诗雯（分别为第一、二、三单打）
得分：3.96672

可以看到，这与本届冬季奥运会的首发阵容是**完全一致**的。

5.2 团体比赛出场顺序安排

接着将团体名单带入模型（5），设置 $\beta_1 = 0.7, \beta_2 = \beta_3 = 0.8$，由于在已知团体人选的情况下，顺序安排只有 9 种情况，使用穷举法求解最优顺序：

男子团体顺序：许昕　樊振东　马龙/许昕　樊振东　马龙　得分：5.02135
女子团体顺序：陈梦　刘诗雯　孙颖莎/刘诗雯　陈梦　孙颖莎　得分：3.70066

由于东京奥运会团体比赛的顺序安排规则发生改变，为先双打再单打，与本文问题不一致，所以无法比较，但可以看到我们在将五场比赛评分的累加作为目标时，得到的结果是保守的。

为了测试模型的合理性与通用性，我们按照东京奥运会的团体顺序安排规则，对模型进行调整，令第 1 场为双打，第 2、3、4、5 场为单打，并且考虑刘诗雯因伤退出团体比赛，替换为王曼昱的真实情况，再次求解最优顺序：

男子团体顺序：马龙/许昕　樊振东　马龙　许昕　樊振东　得分：4.28374
女子团体顺序：陈梦/王曼昱　孙颖莎　王曼昱　陈梦　孙颖莎　得分：3.14650

东京奥运会男子团体决赛中，中国队对战德国队，以 3：0 的比分获胜，意味着只出场了前三名运动员，前三位顺序为马龙/许昕、樊振东、马龙，与模型给出的结果是完全一致的。东京奥运会女子团体决赛中，中国队对战日本队，也以 3：0 获胜，前三位出场顺序为陈梦/王曼昱、孙颖莎、王曼昱，与模型给出的结果也是**完全一致**的。

六、模型评价

6.1 模型的优点

1. 本文提出的模型可以较好地解决主要问题，即给出最佳参赛人选，并给出团体比赛最佳顺序安排；

2. 本文提出的模型具有简洁性、通用性。将问题简化，并且可以根据不同规则进行更改；
3. 本文的模型从运动员的赛季积分、历史胜率、比赛场次三个维度综合评价运动员的能力水平，是充分的、可信的；
4. 利用东京奥运会前的数据作为测试，本文的模型给出的结果与真实结果完全一致，具有很高的可信度。

6.2 模型的缺点

1. 本文提出的模型只从己方运动员角度思考，并未考虑敌方运动员的数据，并未考虑运动员之间可能存在的克制情况；
2. 本文提出的模型没有考虑每个运动员的特性、优势与劣势。

七、结论

本文先从赛季积分、历史胜率、比赛场次三个维度综合评价运动员的能力水平，再根据评价分数，引入能力衰减因子描述运动员兼项带来的影响，为混合双打、男子单打、女子单打、男子团体、女子团体比赛这五个项目进行评分，将五个项目的总分作为模型最优化的目标值，从而通过求解该模型得到最佳参赛人选。根据得到的最佳参赛人选，再对团体比赛进行分析，为每一种不同安排情况进行打分，得到最优参赛顺序安排。最后以东京奥运会乒乓球比赛报名为例测试本文模型，得到的参赛人选与国家队首发名单完全一致，并且在考虑比赛规则改变以及刘诗雯伤退的情况下，适当地更改模型，得到的团体比赛顺序安排也与真实情况完全一致，说明模型具有很高的可信度。

参考文献

[1] 于洋. 中国乒乓球队奥运周期赛训特征研究[C]. 第十二届全国体育科学大会论文摘要汇编——专题报告（运动训练分会）,2022:49-50.

[2] 张瑛秋, 周星栋, 金烨, 包晓辉. 东京奥运会乒乓球团体赛制改革背景下中国队夺金策略——基于团体新赛制及其排阵策略的视角[J]. 北京体育大学学报,2019,42(12):44-52.

[3] 王雨阳, 黄诚胤. 中国乒乓球队巴黎奥运会成绩展望与备战策略探析[J]. 西南师范大学学报 (自然科学版),2022,47(04):125-132.

附录 A 编程语言与软件

编程语言为 Python 3.8，编程软件为 Pycharm。论文排版使用 LaTeX。

附录 B 核心代码

```python
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import pandas as pd
import itertools

### 确定参赛人选 ###

# 读入数据
df1 = pd.read_excel('运动员数据.xlsx',sheet_name='Sheet1')
df2 = pd.read_excel('运动员数据.xlsx',sheet_name='Sheet2')
df3 = pd.read_excel('运动员数据.xlsx',sheet_name='Sheet3')

# 归一化评价指标
s1 = MinMaxScaler()
df1.iloc[:,2:] = s1.fit_transform(df1.iloc[:,2:])
df1['评分'] = (df1.iloc[:,2] + df1.iloc[:,3]*0.5 + df1.iloc[:,4]*1.5)/3
s2 = MinMaxScaler()
df2.iloc[:,2:] = s2.fit_transform(df2.iloc[:,2:])
df2['评分'] = (df2.iloc[:,2] + df2.iloc[:,3]*0.5 + df2.iloc[:,4]*1.5)/3
s3 = MinMaxScaler()
df3['评分'] = s3.fit_transform(df3.iloc[:,3:])

# 设置能力衰减因子
alpha1=0.8
alpha2=0.9
alpha3=0.8

# 穷举法求解模型
choice = itertools.permutations([0,1,2,3,4,5], 3)
choices=[]
for c in choice:
    choices.append(list(c))

for i in range(len(choices)):
    for j in range(len(choices)):
        for p in range(len(choices[i])):
            for q in range(len(choices[j])):
                # 混双比赛
                a = list(df3[(df3['ID1']==df1.iloc[choices[i][p]]['ID']) &
```

```
                  (df3['ID2']==df2.iloc[choices[j][q]]['ID'])]['评分'])
              if a:
                  E1 = a[0]
              else:
                  E1 = 0
                  pbar.update(1)
                  continue
              # 男子单打
              alpha=[1,1,1]
              alpha[p] = alpha[p]*alpha1
              E2=0.5*(df1.iloc[choices[i][0]]['评分']*alpha[0]+df1.iloc[choices[i][1]]['评分']*alpha[1])
              # 男子团体
              alpha=[1,1,1]
              alpha[p] = alpha[p]*alpha2
              E4=0.2*(2*df1.iloc[choices[i][0]]['评分']*alpha[0]*alpha3
                     +1.5*df1.iloc[choices[i][1]]['评分']*alpha[1]*alpha3
                     +1.5*df1.iloc[choices[i][2]]['评分']*alpha[2])
              # 女子单打
              alpha=[1,1,1]
              alpha[q] = alpha[q]*alpha1
              E3=0.5*(df2.iloc[choices[j][0]]['评分']*alpha[0]+df2.iloc[choices[j][1]]['评分']*alpha[1])
              # 女子团体
              alpha=[1,1,1]
              alpha[q] = alpha[q]*alpha2
              E5=0.2*(2*df2.iloc[choices[j][0]]['评分']*alpha[0]*alpha3
                     +1.5*df2.iloc[choices[j][1]]['评分']*alpha[1]*alpha3
                     +1.5*df2.iloc[choices[j][2]]['评分']*alpha[2])
              # 计算总目标
              E=E1+E2+E3+E4+E5
              # 选取最优情况
              if E>best_score:
                  best_score=E
                  best_mix=[choices[i][p],choices[j][q]]
                  best_choice=[choices[i],choices[j]]

# 输出结果
print('男子: ',
     df1.iloc[best_choice[0][0]]['姓名'],
     df1.iloc[best_choice[0][1]]['姓名'],
     df1.iloc[best_choice[0][2]]['姓名'])
print('女子: ',
     df2.iloc[best_choice[1][0]]['姓名'],
     df2.iloc[best_choice[1][1]]['姓名'],
     df2.iloc[best_choice[1][2]]['姓名'])
print('混双: ',list(df3[(df3['ID1']==df1.iloc[best_mix[0]]['ID']) &
                  (df3['ID2']==df2.iloc[best_mix[1]]['ID'])]['姓名'])[0])
print('分数: ',best_score)
```

```python
### 确定最优顺序 ###

df1_1 = df1.iloc[[0,2,1],:]
df2_1 = df2.iloc[[0,1,3],:]
df4=pd.read_excel('团体赛顺序.xlsx')

# 设置能力衰减因子
b1=0.7
b2=0.8
beta1=[b1,b1,1-(1-b1)/4,1-(1-b1)/4,1-(1-b1)/8,1-(1-b1)/8,1-(1-b1)/2,1-(1-b1)/2,b1,b1]
beta2=[b2,1-(1-b2)/2,b2,1-(1-b2)/2,b2,b2,1-(1-b2)/2,1-(1-b2)/2,1-(1-b2)/2,b2]
beta3=[1-(1-b2)/2,b2,1-(1-b2)/2,b2,b2,b2,1-(1-b2)/2,1-(1-b2)/2,b2,1-(1-b2)/2]
beta=[beta1,beta2,beta3]

# 穷举法求解模型
df5=df1_1
best_F=0
best_order=[]
for i in range(df4.shape[0]):
    flag = [0,0,0]
    F = 0
    for j in range(df4.shape[1]):
        num = df4.iloc[i,j]
        if j==2:
            if flag[1] == 0 and flag[2] == 0:
                flag[1]=1
                flag[2]=1
                F += 0.5*(df5.iloc[1,-1]+df5.iloc[2,-1])
            if flag[1] == 0 and flag[2] == 1:
                flag[1]=1
                F += 0.5*(df5.iloc[1,-1]+df5.iloc[2,-1]*beta[2][i])
            if flag[1] == 1 and flag[2] == 0:
                flag[2]=1
                F += 0.5*(df5.iloc[1,-1]*beta[1][i]+df5.iloc[2,-1])
            else:
                F += 0.5*(df5.iloc[1,-1]*beta[1][i]+df5.iloc[2,-1]*beta[2][i])
            continue

        if flag[num] == 0:
            flag[num] = 1
            F += df5.iloc[num,-1]
        else:
            F += df5.iloc[num,-1]*beta[num][i]
    if F>=best_F:
        best_F = F
```

```
        best_order=df4.iloc[i,:]

# 输出结果
print('出场顺序：',
      df5.iloc[best_order[0],1],
      df5.iloc[best_order[1],1],
      '{0}/{1}'.format(df5.iloc[1,1],df5.iloc[2,1]),
      df5.iloc[best_order[3],1],
      df5.iloc[best_order[4],1])
print('分数',best_F)
```