

# 基于目标优化的羽毛球胜负和各技战术指标的关系模型

## 摘要

本文主要采用聚类分析和优化模型对林丹在比赛生涯中各个阶段的战术风格进行确定以及预测他与各类型对手交锋时的比赛胜负，最后对羽毛球比赛中面对各类对手的战术方案进行深入探讨、并得出合理结论。

针对林丹的比赛风格有无明显差异，我们通过定性分析将羽毛球比赛中各个技术归为进攻、控制、防守三类，通过观察林丹历年技战术数据确定他每段时期的战术风格，然后建立层次分析模型的出最终结论：2005 年由于赛制的改变，使比赛节奏加快，林丹由下压控网改变为快速高吊结合突击的打法；2012 你那伦敦奥运会后林丹由于年龄的增长、变速突击能力下降、打法慢慢一防守反击为主。

针对预测林丹对阵某一运动员的胜负，以及决定关键因素，我们首先利用聚类将林丹所有对手分为四类，对应四个风格。针对每一类对手，我们都建立了“胜负模型”。通过线性分类器量化模型中的“胜负判别式”，进而由各类指标的权重分析出影响比赛胜负的关键指标。判别式不仅可以预测比赛胜负，还可以通过系数大小判断出各项击球技术对最终结果影响程度。最后得出结论：面对变速突击打法的对手，关键指标为高远球、平抽挡、杀球、推后场；面对快速高吊结合突击打法的对手，关键指标为：吊球、扑球、平抽挡、杀球；面对压控网打法的对手，关键指标为扑球、网前控制、高远球、杀球；面对守中反击的对手，关键指标为扑球、推后场、高远球、挑球。

针对羽毛球比赛中比赛战术的制定，我们建立了“目标优化模型”得到了在面对出不同类型对手时的最佳战术方案，然后通过我们建立的模拟系统模拟真实的比赛计算比赛战术调整前后对胜率的影响程度，进而说明的模型的可行性，最后我们得出结论：在使用最佳战术后，下压控网类型的球员面对变速突击类型的球员时，实力比自己强的胜率由 27.7% 提升到 37.6%；实力与自己相当时，胜率由 42.2% 提升到 89.8%；实力比自己弱时，胜率由 87.2% 提升到 99.9%，其他结果见附录 V。

问题四中，我们结合前面的分析与结论，通过通俗易懂的语言展示我们的研究成果。

**关键字：** 聚类分析   标准化欧式距离   目标优化   胜负模型   判别函数

## 一、问题重述

近些年来，羽毛球运动愈加火热，男女老少都开始参与其中。无论是运动员还是普通人，都希望在赛场上获得胜利。除了具备娴熟的技术，良好的身体素质，还有很重要的一点就是要具有一定的羽毛球战术意识。羽毛球无论是单打还是双打，都需要战术作为支撑。战术是一项运动的灵魂。

战术方案是运动员和教练为了在比赛中取得优秀成绩，而不断训练和调整运动员的对战风格和战术思想的一种方法。林丹是我国著名的羽毛球运动员，从 02 年至今都还活跃在世界各大羽毛球比赛场上。为了总结出规律，一个羽毛球俱乐部收集了林丹近年来的比赛数据，基于此数据解决下列问题：

1. 分析林丹在其职业生涯中，战术风格是否有明显的变化？
2. 根据数据指标的变化建立模型，来预测林丹在对阵某一个运动员时的胜负，分析哪些指标对胜负的影响更关键。
3. 在教练员的帮助下，怎么样制定战术方案，能影响比赛的胜负？分析制定战术的可行性，对胜负的概率影响的程度。
4. 给该俱乐部的教练组提交一份不超 2 页的报告，向他们展示研究结果。

## 二、问题分析

本题以羽毛球为背景，要求分析林丹在其职业生涯中战术风格的变化，用其数据来预测胜负，最后通过探究给出能影响胜负的战术方案，并分析可行性。

### 2.1 问题一分析

为了研究林丹战术风格的变化。首先需要搜集相关资料了解决定球员战术风格的主要指标以及球员战术风格的划分，然后我们利用林丹技术统计数据做折线图初步分析出林丹战术风格的变化情况，最后可以建立层次分析模型来验证林丹的战术风格在不同时期的变化情况的正确性。

### 2.2 问题二分析

为了预测林丹对阵不同运动员时的胜率以及分析出对影响胜负的关键指标，需要林丹对阵多类对手的多组比赛数据。由于所给的数据很少，我们首先需要建立聚类模型对球员分类来增加同类对手的数据量，然后可以建立“胜负模型”来预测林丹对阵不同类型对手时的胜负并进行检验，最后通过得到“胜负模型”来分析影响比赛胜负的关键因素。

### 2.3 问题三分析

首先利用题目中的数据，将不同阶段不同风格的林丹作为不同类型的运动员的，每阶段的对手也作为不同类型的运动员。结合第二问，我们需建立不同类型球员比赛中的胜负判别式，然后根据“目标优化模型”求解面对各种类型对手时的最优战术。最后需要模拟真实的比赛得出战术调整前后的胜率，进而分析出制定的战术的可行性。图 1 是我们战术方案制定的流程：



图 1 战术方案制定流程图

## 2.4 问题四分析

通过对问题一、二、三的分析与结论，结合实际球员风格和比赛，我们向俱乐部的教练组展示我们的成果。

## 三、模型假设

1. 假设题目所给数据来源可靠，准确无误。
2. 每场别赛中，林丹和对手的发挥均正常、无心理等因素的干扰。
3. 林丹对阵同一对手时所使用的技战术基本相同，对阵同一类型对手时使用的技战术差异很小。

## 四、变量说明

变量名称	含义
$P$	由各类击球技巧使用比率组成的向量，即运动员的比赛战术
$P_{0i}$	林丹对阵第 $i$ 类选手的各类击球技巧的最佳使用比率，即最优战术
$m_i$	样本中第 $i$ 类击球技巧的使用比率的均值
$s_i$	样本中第 $i$ 类击球技巧的使用比率的标准差
$d_j$	样本 $P$ 与最优战术的标准化欧式距离
$K$	林丹的竞技能力
$G$	对手在比赛中对林丹造成的制约
$c$	林丹在比赛中的发挥评价
$\omega$	胜负判别函数中的权向量
$D$	增广化后的击球技巧向量与判别函数的超平面的距离
$E$	单类击球技巧得分率
$S$	对阵双方实力比
$R$	单局比赛胜率

## 五、模型的建立与求解

### 5.1 问题一

对于第一问，我们将通过分别分析林丹的发球和击球风格变化，综合得出林丹各时期的战术风格。

#### 5.1.1 模型的准备

通过查阅大量文献，首先对羽毛球基本技术进行归类 and 划分：主要分为制约性技术和非制约性技术。这样有利于对运动员比赛得分情况的统计和分类 [1]。

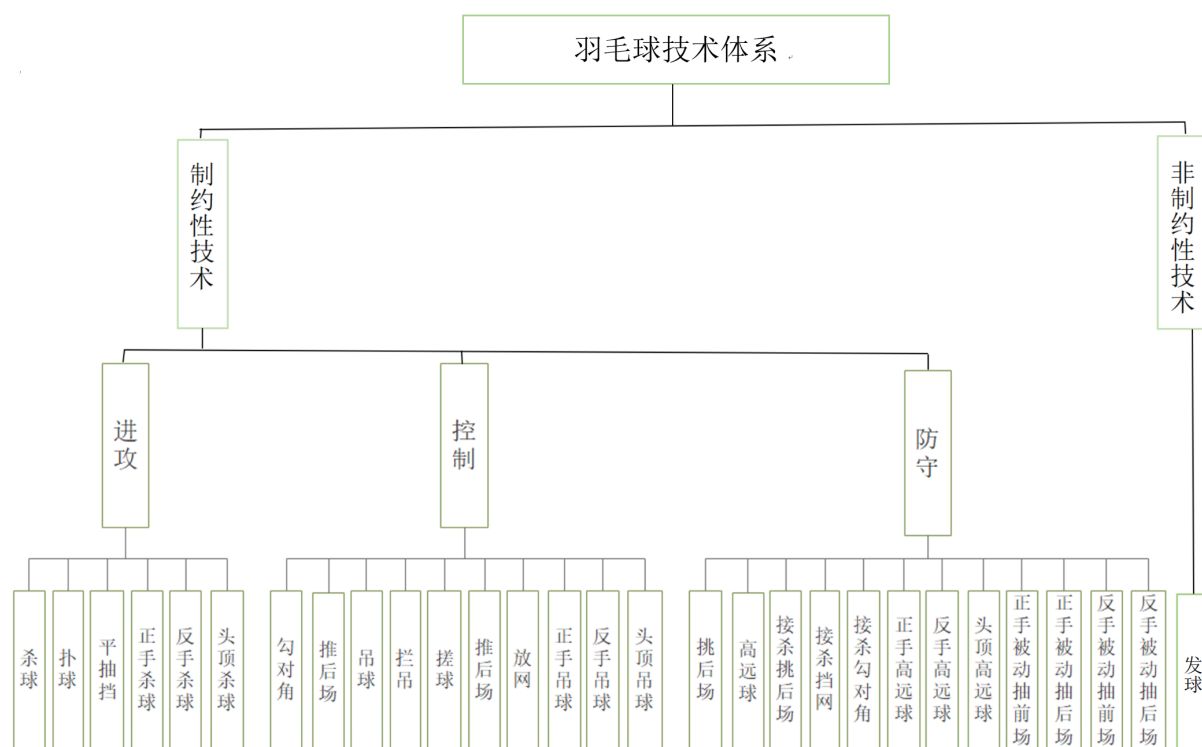


图 2 羽毛球技术体系

#### (1) 林丹发球风格分析

非制约性技术得分主要是指发球得分情况。在羽毛球技术体系中，发球仅由运动员自己控制，完全不受对方限制，所以在之后层次模型建立时，不作为评估依据之一，而是把发球作为单独因素考虑。从技术统计表中我们可以得出林丹发球落点区域分为 9 个，通过查询相关资料，结合林丹在实际比赛中的发球落点区域分布，我们推理得出对应 9 块发球落点区域划分如下：

7	8	9
4	5	6
1	2	3
羽毛球网		

图 3 发球落点区域划分

图中 1-9 区域代表林丹发球落点区域。1-3 号区域代表发前场球，4-6 号区域代表发中场球，7-9 号区域代表发后场球。通过对林丹数据统计可得到下图：

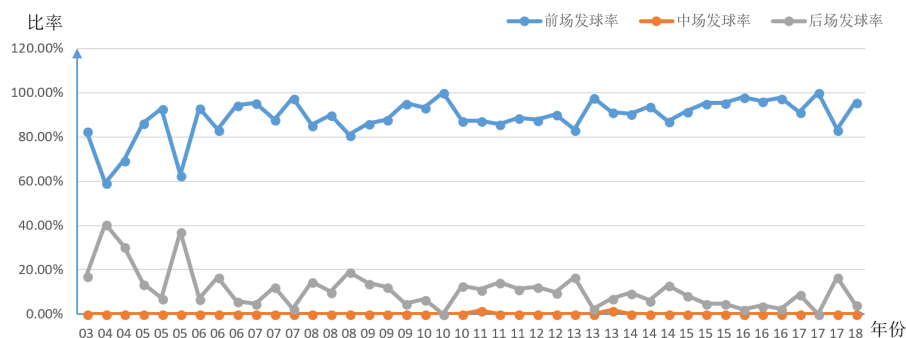


图 4 林丹发球落点区域比率变化

图中横坐标表示比赛所在年份的后两位，纵坐标表示发球落点区域所占比例。从图中我们大致可以看出林丹发前场球比率随着时间增长呈上升趋势，发后场球比率则呈下降趋势，发中场球大部分时间保持为零。05 年的时候，羽毛球的规则由一局 15 球改成了 21 球，计分规则也有变化，运动员也因此由保守型转变成进攻型 [2, 3]，林丹也不例外。在 12 年左右，林丹的在发前场球的比率也有较为显著的上升。因而，我们将林丹 02-18 年的时间分为三个阶段：

1. 03-05 年：处于 15 球赛制，林丹作为新人发球比率不固定，打法比较灵活，所以发前场球比率与发后场球比率的波动较大。
2. 06-12 年：赛制改为 21 球，整体比赛转为进攻型，林丹打法趋于稳定，主要以反手发网前小球为主；发球落点区域主要在 1 号和 2 号 [4]。
3. 13-18 年：林丹由于年龄的增长以及身体的原因，选择了改变自己的发球方式：更多的发前场球；主要发球落点区域还是在 1 号和 2 号。

## (2) 林丹击球风格分析

为了建立战术风格的层次分析模型，我们首先需要通过林丹的技术统计表得出多项评估依据。

在建立模型和求解之前，我们需要对数据进行预处理，得到各技术的使用比率：

$$\text{击球技巧使用比率} = \frac{\text{单场此击球技巧使用数量}}{\text{单场所有击球技巧使用数量}}$$

得出的数据绘制成折线图如下：

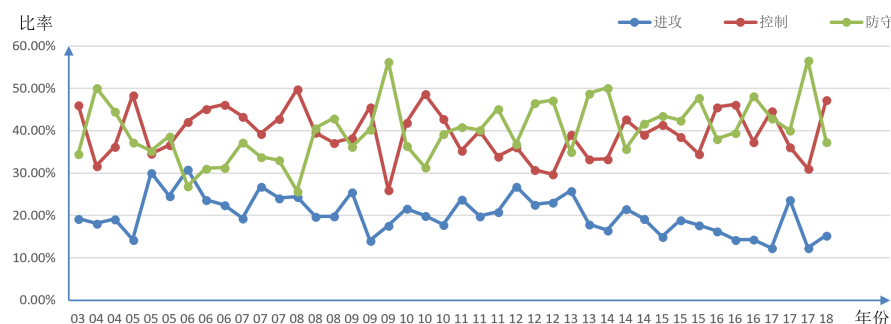


图 5 林丹击球技巧类型比率变化

通过观察，我们可以整体看出林丹的进攻技巧率随着时间逐渐降低，防守技巧率呈微微上升的趋势，而控制技巧率变化较为平稳。同样可以看出，在 03-18 年间，林丹的各项技术使用比率情况可分为三个阶段：03-05 年间，15 球制使得运动员打法趋于保守，进攻类技巧使用都偏少。05 年以后，21 球制让大家使用进攻类技巧的比率上升。12 年后，由于年龄的增长，体能下降，林丹增加防守技巧的使用率，来找到更加适合自己的打法。

为了对三个阶段进行区分，我们查询资料后找到了羽毛球单打打法类型 [5]：

表 1 单打打法类型及特点

打法类型	战术特点
快速高吊结合突击	运用快速准确的平高球或吊球的配合，控制其落点，进行多拍调动，当对方回球质量不高时，抓准机会突击扣杀。
变速突击	通过自身动作速度的加快，争得突击进攻的机会。通常是高、吊配合，高、杀配合结合判断抢点突击，或者推、搓以后的后退加速起跳突击。
下压控网进攻	以发球抢攻为主，特别是发网前低球结合发平球，迫使对方回球向上，然后通过大力扣杀或吊、轻杀、点杀、劈杀的配合，紧接着上网控制网前，运用搓、推、扑、勾技术，再创造中后场的进攻，尽量使球下压。当然该打法还须配合平高球的运用。
守中反攻	通过高、吊球的配合，调动控制对方底线，以及在防守中运用球路的变化，消耗对方体力，利用对方急躁心理造成失误，当对方陷于被动或进攻质量稍差时，及时抓住有利战机进行反击。由于反击的及时、快速、凶狠，往往给对方以致命打击。

通过查阅相关文献，我们得知球员的打法风格主要由其在比赛中攻、控和守三种技巧的使用比率决定，故我们设法通过层次分析法来得出打法类型对应的攻防技巧使用率。

### 5.1.2 层次分析模型的建立

我们建立的层次分析模型如图 5。

为了将层次分析法中的判断矩阵和我们羽毛球三类技巧使用率结合起来，我们分别使用三个阶段三类技巧的平均值之间的倍数关系作为判断矩阵的标度。（如：假设 A1 中的进攻比率是防守比率的 0.43 倍，则判断矩阵 A1(1,2) 的值就为 0.43）首先计算三个阶段各技巧使用率的均值：

表 2 林丹三阶段各技巧平均使用率

阶段	进攻技巧平均使用率	控制技巧平均使用率	防守技巧平均使用率
第一阶段 A1	0.1772	0.4063	0.4164
第二阶段 A2	0.2258	0.4027	0.3715
第三阶段 A3	0.1807	0.3830	0.4363

由此我们可以根据每个技巧使用率之间的倍数大小关系得出准则层的三个判断矩阵，即准则层一致性矩阵，见表 3。

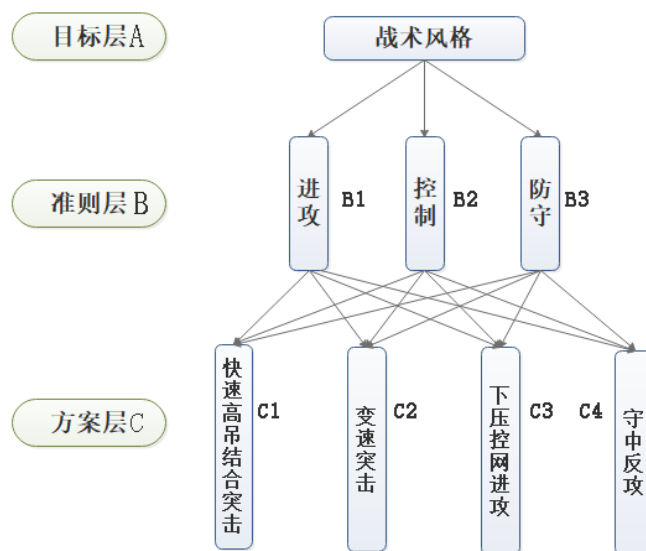


图 6 确定打法类型的层次结构

表 3 准则层一致性矩阵

A1	B1	B2	B3	A2	B1	B2	B3	A3	B1	B2	B3
B1	1	0.4361	0.4256	B1	1	0.5607	0.6078	B1	1	0.4718	0.4142
B2	2.2928	1	0.9758	B2	1.7873	1	1.084	B2	2.1195	1	0.8778
B3	2.3497	1.0248	1	B3	1.6453	0.9225	1	B3	2.4145	1.1392	1

对于方案层判断矩阵的构造，我们采用类似于 Saaty9 级标度法的方法，通过对比四种打法类型的进攻、控制和防守技巧使用比率，给每一种打法的每一种技巧赋予权重：

表 4 四种打法对应三种技巧所赋权值

权重	进攻	控制	防守
C1: 快速高吊结合突击	2	4	3
C2: 变速突击	3	2	2
C3: 下压控网	4	1	1
C4: 守中反击	1	3	4

权值是按照每一列来赋值的，通过对比每一列的技巧在四种打法类型中所占比率，结合表 1 中对四种打法类型的描述，分别给  $C_1 - C_4$  赋予 1-4 的权值。所占比率最大的打法类型赋予 4，所占比率最小的打法类型赋予 1。

然后，我们便可以利用上表来建立方案层的判断矩阵，即方案层一致性矩阵：

表 5 方案层判断矩阵

B1	C1	C2	C3	C4	B2	C1	C2	C3	C4	C3	C1	C2	C3	C4
C1	1	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	2	C1	1	2	4	$\frac{4}{3}$	C1	1	$\frac{3}{2}$	3	$\frac{3}{4}$
C2	$\frac{3}{2}$	1	$\frac{3}{4}$	3	C2	$\frac{1}{2}$	1	2	$\frac{2}{3}$	C2	$\frac{2}{3}$	1	2	$\frac{1}{2}$
C3	2	$\frac{4}{3}$	1	4	C3	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{3}$	C3	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{4}$
C4	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	1	C4	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{2}$	3	1	C4	$\frac{4}{3}$	2	4	1

一致性矩阵的任一列向量都是特征向量，正互反矩阵的一致性较好，数学上已经证明，其列向量一位近似特征向量，故可取其某一意义下的平均作为特征向量的近似解。

### 5.1.3 模型的求解算法

**Step1** 按列向量对一致性矩阵求和并归一化，计算得到特征向量。

**Step2** 根据特征向量  $\omega$  求解特征值  $\lambda$ 。

**Step3** 利用特征值  $\lambda$  和矩阵阶数  $n$  来计算一致性指标 (CI):  $CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$ 。通过查询随机一致性指标 (RI) 表可得到对应的 RI 的值:

表 6 随机一致性指标 (RI) 表

n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41

其中  $n$  表示一致性矩阵的阶数。对于 A1, A2, A3 来说，矩阵阶数  $n$  为 3, RI=0.58; 对于 B1, B2, B3 来说，矩阵阶数  $n$  为 4, RI=0.9;

**Step4** 由随机一致性指标 (RI) 和一致性指标 (CI) 求出一致性比率指标 (CR):  $CR = \frac{CI}{RI}$ 。

**Step5** 通过把打法类型对应技巧分类的权值矩阵和各阶段准则层的权值矩阵相乘，得到最底层（打法类型）中各方案对于目标的排序权重，得出总权值，从而进行击球类型分类。

### 5.1.4 模型的求解结果及分析

在对一致性矩阵进行归一化处理之后，利用 MATLAB 编程求解出了特征向量：

$$\begin{aligned}\omega_{A1} &= [0.1772, 0.4063, 0.4164] \\ \omega_{A2} &= [0.2258, 0.4027, 0.3715] \\ \omega_{A3} &= [0.1807, 0.3830, 0.4363] \\ \omega_{B1} &= [0.2000, 0.3000, 0.4000, 0.1000] \\ \omega_{B2} &= [0.4000, 0.2000, 0.1000, 0.3000] \\ \omega_{B3} &= [0.3000, 0.2000, 0.1000, 0.4000]\end{aligned}$$

根据特征向量求解的 6 个特征值为：

$$\lambda_{A1} = 3, \lambda_{A2} = 3, \lambda_{A3} = 3$$

$$\lambda_{B1} = 3, \lambda_{B1} = 3, \lambda_{B1} = 3$$

接着求解出的一致性指标 (CI) 和一致性比率指标 (CR) 的值如下表：

表 7 一致性指标 (CI) 和一致性比率指标 (CR) 表

	A			B1	B2	B3
	阶段一 (A1)	阶段二 (A2)	阶段三 (A3)			
一致性指标 (CI)	$-1.30 \times 10^{-5}$	$-7.38 \times 10^{-06}$	$9.29 \times 10^{-06}$	0	0	0
一致性比率指标 (CR)	$-2.23 \times 10^{-05}$	$-7.38 \times 10^{-06}$	$1.60 \times 10^{-05}$	0	0	0



从表中数据可以发现：A1、A2、A3、B1、B2 和 B3 的一致性比率指标都远远小于 0.1，所以矩阵的一致性可以接受，特征向量即之前求出的特征向量  $\omega_{A1}$ 、 $\omega_{A2}$ 、 $\omega_{A3}$ 、 $\omega_{B1}$ 、 $\omega_{B2}$ 、 $\omega_{B3}$ 。则进行方案选择四种打法类型分别对应三种技巧分类的权值如下表：

表 8 打法类型对应技巧分类的权值

	C1	C2	C3	C4
进攻	0.2	0.3	0.4	0.1
控制	0.4	0.2	0.1	0.3
防守	0.3	0.2	0.1	0.4

表 9 各阶段的准则层权值

	进攻	控制	防守
第一阶段	0.1772	0.4063	0.4163
第二阶段	0.2258	0.4027	0.3715
第三阶段	0.1807	0.383	0.4363

通过表 5 和表 6 的数据转换为矩阵相乘，得出总权值如下表：

表 10 各阶段的总排序权值

	C1: 快速高吊结合突击	C2: 变速突击	C3: 下压控网	C4: 守中反击
第一阶段	0.1532	0.2177	0.3229	0.3062
第二阶段	0.3117	0.2226	0.1677	0.292
第三阶段	0.2802	0.2181	0.1542	0.3475

比较上表总权值的大小，可以判断出林丹各阶段最符合的打法类型。由此得出结论：

- 第一阶段 (03-05 年)：下压控网进攻为主。
- 第二阶段 (06-12 年)：快速高吊结合突击为主。
- 第三阶段 (13-18 年)：守中反攻的打法为主。

### 5.1.5 整体结果分析

通过对林丹 02-18 年发球风格和击球风格变化，我们将其分为三个阶段：2003 到 2005 年赛制为 15 分发球得分制，比赛节奏比较缓慢。此时林丹为羽坛新人，发球比较灵活，前后场均为发球主要落点区域。且主要使用网前控制技术和后场的杀吊技术，尽量使球下压，打法大开大合，没有合理控制节奏的变化和球场的空间。2006 年到 2012 年，赛制改为 21 球，计分方法改变，使比赛整体节奏加快，对体能的要求增加，从下压控网进攻为主转变为快速高吊结合突击，通过体能消耗较低的高吊技术拉扯出空间，在结合突击使出致命一击，体能运用合理，得分高效。2013 年到 2018 年，林丹改变自己的发球方式：更多的发前场球；主要发球落点区域还是在 1 号和 2 号。由于年龄的增大，体能下降，守中反攻的打法增强，而快速高吊结合突击的打法减弱，能够在比赛中发挥更加稳定。

### 5.2 问题二

对于问题二，我们将通过定性分析对击球方式分类，对对手用聚类分析分类，建立胜负模型来预测林丹对战不同类型的对手时的比赛结果。进而分析出对比赛胜负影响更为关键的指标。

5.2.1 模型的准备

为了简化之后分析胜负指标的模型，我们把题目所给数据中的多种击球技巧合并成如下几种类型：

表 11 击球技巧类别合并表

新类	包含技巧	特点
高远球/挑球	挑后场、高远球	弧线比较高，无法从中场截击，但球速慢
推后场	推后场	推向后场的球，弧线较低，球速快，但容易被截击
网前控制	勾对角、搓球、放网	控制对方的进攻手段，使对手无法有效进攻
平抽挡	平抽挡	中前场用于连贯的手段，具有一定攻击性
吊球	吊球、拦吊	从后场吊到对方前场，迫使对方大范围移动
被动球	接杀(挑后场)、正/反手被动抽前/后场	主要由杀球和被动抽球组成
杀球	杀球	从后场打出的有强进攻性下压球，速度快，力量大
扑球	扑球	前场抢得高点后的扑杀

简化后的分类能够有效的体现出羽毛球比赛中技巧运用的区分，也更加有利于对运动员击球方式的分析。

然后通过题目所给数据求出林丹在每场比赛中所用各种新分类技巧类型的比率，对手类型进行分类。对于只比赛过一场的对手，我们取对应场次数据为对阵此对手的数据；对于多次比赛的对手，我们取多次比赛的平均数据为对阵此对手的数据。需要注意的是，我们需要去除林丹输球的比赛的数据，因为胜利的场次代表林丹执行了正确的战术，而失败的场次代表林丹执行了错误的战术。使用错误的数据不能达到正确判断对手风格的目的。最后得到的林丹应对各对手使用技巧比例表见附录 G。

5.2.2 胜负判断模型的建立

(1) 聚类模型的建立

由于所给数据较少，并且为了充分利用数据。我们决定将相同风格的对手归为一类。进而分析林丹对阵每一类对手的胜负以及影响胜负的关键指标。为此建立了聚类分析模型 [6]。

用数量化的方法对林丹的对手进行分类，就必须用数量化的方法描述每个对手之间的相似程度。我们用定性分析合并后的八个指标来刻画林丹对每个对手所采用的战术。如果我们将每个指标作为变量，每个对手作为一个样本点，则每个样本点可以看成是  $R^8$  空间中的一个点。因此，很自然的想到可以用距离来度量样本点之间的相似程度。由于每一种击球类型对比赛胜负的影响程度不同，所以采用求解标准化欧式距离来消除这个影响。标准化欧氏距离是针对简单欧氏距离的缺点而作的一种改进方案。

通过聚类模型，便能将林丹的 17 个对手按照不同打法类型分类。

## (2) 胜负模型的建立

利用聚类结果,对每一类对手分别建立胜负模型。在胜负模型输入之前对阵的数据,便可以较为准确的预测胜负情况。

在羽毛球比赛中,影响比赛胜负的因素有很多。一场羽毛球比赛中每一个球的得与失是运动员的成绩,田麦久在《运动训练学》中指出运动成绩是由运动员在比赛中的表现决定、对手在比赛中的表现以及竞赛结果的评定所决定的。而运动员自身与对手在比赛中的表现都决定于他们所具有的竞技能力在比赛中的发挥程度,竞技能力是指运动员的参赛能力,由具有不同表现形式和不同作用的体能、技能、战术能力、运动智能以及心理能力所构成,并综合表现于专项竞技的过程之中 [7]。

通过上述分析,可以认为林丹在一场比赛中的胜负是由林丹和对手在赛场上的表现决定的,以及林丹自身的竞技能力所决定。因此,我们建立了胜负模型,模型如下:

$$c = P^T G K \quad (1)$$

此模型中,  $P$  指的是林丹在比赛中各项技术的使用比率,  $K$  表示林丹的竞技能力,  $G$  表示对手在比赛中的表现对林丹造成的制约,  $c$  表示林丹在比赛中发挥的评价。

通过之前的分析,我们将合并后的八项指标分别赋予  $x_1, x_2 \dots x_8$ 。在一场比赛中,林丹运用这八项技能的比率用  $p_1, p_2 \dots p_8$  表示,用  $P = (p_1, p_2 \dots p_8)^T$  表示林丹在比赛中大发挥,即各项击球技巧的使用比率。他的竞技能力可以由这个比率反映出来。因此,我们将林丹在一场比赛中的竞技能力用  $k_1, k_2 \dots k_8$  来刻画。同样,对手在比赛中的发挥用  $g_1, g_2 \dots g_8$  来表示。此外,对手在比赛中发挥的程度对林丹在本场中运用各种技术的比率有着很强的影响。

我们对 (1) 式进一步分析:

$$c = [p_1 \ p_2 \ \dots \ p_8] \begin{bmatrix} g_1 & & & \\ & g_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & g_8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_8 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$= p_1 g_1 k_1 + p_2 g_2 k_2 + \dots + p_8 g_8 k_8$$

令  $w_i = p_i g_i$ , 则上式可化简为:

$$c = \sum_{i=1}^8 w_i p_i, \quad \left( \sum_{i=1}^8 p_i = 1 \right)$$

当  $c \geq c_0$  时, 林丹胜;  $c < c_0$  时, 林丹负。其中,  $c_0$  表示阈值, 即要取得比赛胜利时,  $c$  至少要达到的值。此问题则可转化为线性二分问题, 我们可以利用每类对手的比赛胜负情况以及林丹的技术统计, 对多个不同类别对手对应的多个胜负模型进行定量的计算。

我们对模型作进一步的变换, 令  $w_0 = -c_0$ :

$$f(p_1, p_2 \dots p_8) = \sum_{i=1}^8 w_i p_i + w_0 = \mathbf{w}^T P + w_0 \quad (3)$$

此时判断胜负的依据变成:  $f(p_1, p_2 \dots p_8) > 0$ , 林丹胜;  $f(p_1, p_2 \dots p_8) < 0$ , 林丹负。由于  $f(p_1, p_2 \dots p_8)$  是一个线性函数, 我们可以通过设计线性分类器来建立关于林丹胜负的线性判别函数。而确定性分类器的迭代算法 [8] 是设计线性分类器常用的一个算法。它能通过对训练模式样本集的“学习”得到判别函数的系数。  $f(p_1, p_2 \dots p_8)$  即是本模型

中的判别函数，阈值  $c_0$  是常数  $-w_0$ 。接下来便对多类对手进行分析预测。

$$f(\mathbf{p}_i) = w^T \mathbf{p}_i \begin{cases} x > 0 & \mathbf{p}_i \in n_1 \\ x < 0 & \mathbf{p}_i \in n_2 \end{cases}$$

如果存在一个  $w$  使得样本集中的全部样本满足上式，则称样本集为线性可分的， $f(x)$  称为线性判别函数。

利用 MATLAB 对此类选手的数据进行了判别函数系数和常数的计算。我们使用确定性分类器的迭代算法里的 H-K 算法，验证样本集的线性可分性。进而得到了此类对手对应的判别函数的系数和常数。

为了预测出林丹接下来与此类对手第一场比赛的胜负，我们需要由林丹之前和此类对手比赛的数据分析计算出下一场比赛中，八类技巧的使用率，然后利用判别函数计算  $f(p_1 \dots p_8)$ ，得出结果。

拟采用回归分析拟合和傅里叶拟合来预估林丹下场比赛八种技巧的使用率。由于羽毛球中异常数据的存在，导致如果使用回归分析将会受到较大的影响；而傅里叶拟合则会智能筛选掉偶然情况，把它作为异常数据舍弃。并且由于可能存在的异常点，极大可能影响回归分析拟合的归一性。

对比之后傅里叶拟合更为适合。傅里叶拟合的函数形式为：

$$g_{ij}(x) = a_0 + a_1 \sin(\omega x_i m) + b_1 \cos(\omega x), j = 1, 2, 4, i = 1, 2 \dots 8$$

其中  $j$  表示第  $j$  类选手， $x_i$  表示第  $i$  类击球技巧使用率， $g_{ij}(x)$  表示下一次林丹面对第  $j$  类对手时，第  $i$  类技巧的使用率。 $a_0, a_1, b_1, \omega$  为需要求解的量，使用傅里叶函数对此类对手，林丹的八类技巧使用率进行拟合，并对各类技巧使用率之和进行验证。

模型最后把所预测的数据带入前面求出来的对应此类对手的判别函数，通过函数值的大小来预测胜负情况，并且通过查找比赛资料来验证预测情况的正确性。

最后，通过比较此类对手的判别函数每个击球技巧对应的系数的绝对值的大小，分析出对判别函数值影响大的几类击球技巧。即为林丹对阵此类对手时，对胜负影响更为关键的击球技巧（指标）。

### 5.2.3 模型的求解算法

#### (1) 聚类模型的求解算法

通过建立聚类模型来对林丹的 17 个对手分类，求解四种分类的步骤如下：

设  $\Omega = \{a_1, a_2 \dots a_{17}\}$ ，其中  $\Omega$  是样本点集， $1, 2 \dots 17$  分别对应各个对手，如下表所示：

表 12 所有对手样本集以及对应的编号

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
姓名	黄宗翰	盖德	陶菲克	波萨那	鲍春来	索尼	陈郁	陈金	朴成焕
编号	10	11	12	13	14	15	16	17	
姓名	王睁茗	李宗伟	谌龙	西蒙	佐佐木翔	田厚威	安塞龙	石宇奇	

**Step1** 通过 MATLAB 中“pdist”函数，计算 17 个样本点两两之间的距离  $l_{ij}$ ，记为矩阵  $L = (l_{ij})_{17 \times 17}$

**Step2** 首先构造 4 个类，每一个类中只包含一个样本点，每一类的平台高度（样本距离）均为零；

- Step3** 合并距离最近的两类为新类，并且以这两类间的距离值作为聚类图中的平台高度（样本距离）；
- Step4** 计算新类与当前各类的距离，若类的个数已经等于 1，转入步骤 5)，否则，回到步骤 3)；
- Step5** 通过使用 MATLAB（源代码见附录 B），带入这 17 个对手的数据，利用 MATLAB 中函数“dendnagram”绘制出聚类图。

## （2）胜负模型的求解算法

分别选出林丹和多类对手全部的对战数据作为每个模型的训练模式样本集。对每组完整数据进行增广化和符号化。以某一类对手为例，设  $T^{(17)} = \{(p_1, \varphi_1), (p_2, \varphi_2) \dots (p_t, \varphi_t)\}$  为其对应样本集（训练集）， $t$  为林丹与此类对手的比赛的总场次。 $\varphi_i \in \{+1, -1\}$  为样本  $p_i$  对应的类别号，即比赛中林丹的胜负。用  $n$  表示类别，所以两个类别为  $(n_1, n_2)$ ，当  $p_i \in n_1$  时， $\varphi_i = +1$ ； $p_i \in n_2$  时， $\varphi_i = -1$ 。 $\mathbf{p}_i = [p_i^T, 1]^T$  定义为增广的样本向量， $\mathbf{w} = [\mathbf{w}^T, w_0]^T$  定义为增广的权向量。根据  $\varphi$  的正负来对增广后的样本向量进行符号化。具体带入题中所给数据可得如下两种形式的数据：

对于林丹胜的数据增广化和符号化后得： $\mathbf{P}_i = (p_{i1}, p_{i2}, p_{i3} \dots p_{i8}, 1)^T$

对于林丹败的数据增广化和符号化后得： $\mathbf{P}_j = (-p_{j1}, -p_{j2}, -p_{j3} \dots -p_{j8}, -1)^T$

所有林丹和多类对手对阵数据经过处理后得到的数据见附录 H-附录 K。

将样本向量和权向量增广后，问题就转化为如何利用训练样本集寻求满足如下条件的权向量。通过建立模型阶段对对手的样本向量和权向量增广之后，我们利用确定性分类器的迭代算法来判断样本集的线性可分性。

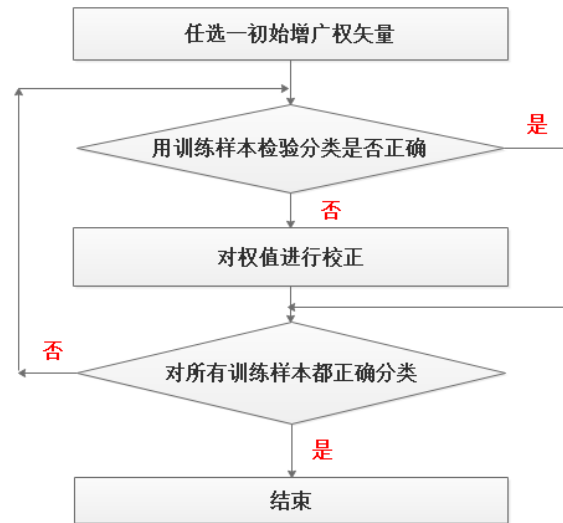


图 7 确定性分类器的迭代算法流程图

具体步骤为（源代码见附录 C）：

- Step1** 对规范化后的数据  $\mathbf{p}$  求其伪逆： $\mathbf{p}^+ = (\mathbf{p}^T \cdot \mathbf{p})^{-1} \mathbf{p}^T$
- Step2** 置初始值裕量  $\mathbf{w}(1) > 0, k = 1, \varphi = \frac{1}{2}$ 。设置判断标志  $flag = 0$
- Step3** 计算： $\mathbf{w}(k) = \mathbf{p}^+ \cdot \mathbf{w}(k)$ ， $\mathbf{e}(k) = \mathbf{p} \cdot \mathbf{w}(k) - \mathbf{b}(k)$ 。
- Step4** 如果  $\mathbf{e}(k)$  的各分量停止变为正值，并且不为 0，则标志  $flag = 1$ ，退出循环，数据线性不可分；如果  $\mathbf{e}(k) = 0$ ，则输出  $\mathbf{w}(k)$  并且退出循环，此  $\mathbf{w}(k)$  即为迭代计算出的最终权向量；如果  $\mathbf{e}(k) > 0$ ，则  $\mathbf{w}(k+1) = \mathbf{w}(k) + \varrho \mathbf{p}^+(\mathbf{e}(k) + |\mathbf{e}(k)|)$   
 $\mathbf{w}(k+1) = \mathbf{w}(k) + \varrho(\mathbf{e}(k) + |\mathbf{e}(k)|)$
- Step5** 循环次数  $k+1$ ，回到第 3 步继续循环。

如果计算出来的  $\text{flag}=0$ ，则说明样本集是线性可分，判别函数的系数和常数就为输出的  $\mathbf{w}(k)$ ； $\text{flag}=1$ ，则样本集不是线性可分的。

#### 5.2.4 模型的求解结果及分析

通过 MATLAB 编程，代入 17 个对手的数据后，画出的聚类图如下：

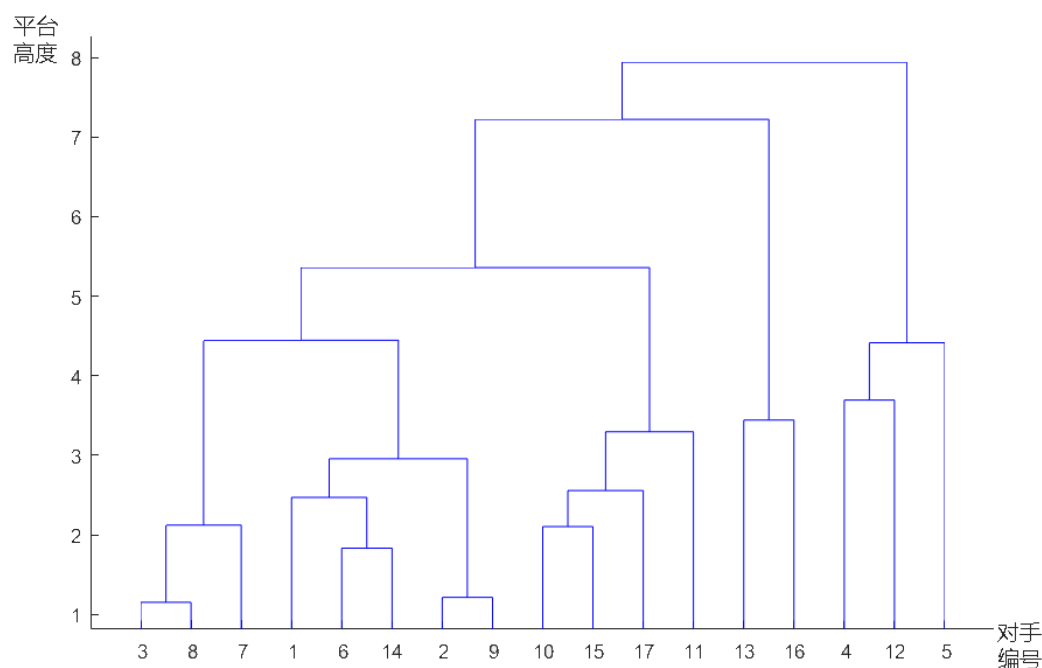


图 8 林丹对手聚类图

通过对聚类结果以及实际情况的分析，将林丹的对手分为四类。这样既保证较多分组的数据量足够，又保证类与类之间的区别明显。分类的结果如下表：

表 13 对手分类结果

战术类型		对手
第一类	变速突击	黄宗翰、盖德、陶菲克、索尼、陈郁、陈金、李宗伟、佐佐木翔
第二类	快速高吊结合突击	朴成焕、王睁茗、田厚威、石宇奇
第三类	下压控网	西蒙、安塞龙
第四类	守中反击	波萨那、鲍春来、谌龙

四类对手的数据在经过 HK 算法之后，输出的  $\text{flag}$  都为 0，说明四类对手的数据都是线性可分的。把由四种数据求出的  $\mathbf{w}(k)$ ，即判别函数的系数和常数（具体结果见附录

P), 带入 (3) 式中, 得到四个判别函数:

$$\begin{aligned}
f_1(p_1, p_2 \dots p_8) &= 16.687p_1 + 5.9148p_2 - 1.574p_3 + 15.9909p_4 - 5.1819p_5 \\
&\quad - 6.4287p_6 + 12.4263p_7 + 48.3886p_8 - 6.3649 \\
f_2(p_1, p_2 \dots p_8) &= -0.004p_1 - 0.6391p_2 - 1.5224p_3 + 1.1055p_4 - 1.6891p_5 \\
&\quad - 1.7236p_6 + 1.0831p_7 + 1.3183p_8 + 0.2144 \\
f_3(p_1, p_2 \dots p_8) &= 0.5483p_1 - 5.0321p_2 + 2.2204p_3 + 0.8853p_4 - 5.3810p_5 \\
&\quad - 0.9477p_6 - 3.8682p_7 + 18.2849p_8 + 0.363 \\
f_4(p_1, p_2 \dots p_8) &= 25.1084p_1 + 45.8496p_2 - 2.2766p_3 + 12.1441p_4 - 18.6713p_5 \\
&\quad - 80.9659p_6 - 2.226p_7 + 31.2872p_8 - 0.8207
\end{aligned}$$

接下来分别将四类对手的数据带入对应的判别函数, 第一类选手得到的结果如下表, 其余选手数据见附录 Q:

表 14 第一类对手判别结果和实际结果

样本编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$f(p_1 \dots p_8)$	0.205	1.5018	2.0008	-0.8701	1.3426	0.1	-0.0999	0.1	0.9776	0.1	0.1	-0.1	1.3353
实际胜负	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1
是否相同	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

样本编号	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$f(p_1 \dots p_8)$	1.3804	0.1131	0.6553	1.4751	1.0095	2.4284	1.2013	3.2993	3.3917	1.5446	1.1674	-0.1032
实际胜负	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
是否相同	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

上表中,  $f(p_1 \dots p_8) > 0$  为正时, 表示根据判别函数判断出此次比赛林丹胜;  $f(p_1 \dots p_8) < 0$  为负时, 表示根据判别函数判断出此次比赛林丹负。实际胜负为 1 表示实际此场比赛为胜, 0 为负。通过比较第三和第四行, 我们发现判别函数判别结果和实际情况完全符合, 由此可以说明我们用此算法求出的判别函数有效。第二类 and 第四类选手的数据经过验证, 判别函数的结果和实际情况的结果也完全符合, 判别函数有效。

最终拟合第一类对手的八类技巧使用率得出的结果如下表, 需要注意的是: 傅里叶拟合需要至少 4 组数据, 对于少于 4 组数据对手分类, 无法准确的对其进行拟合预测, 所以这类对手在计算阶段需要被舍弃。其余两类的技巧使用率拟合结果见附录 R:

表 15 第一类对手八类击球技巧拟合结果

	高远球/挑球	推后场	网前控制	平抽挡	吊球	被动球	杀球	扑球
$a_0$	0.315	654200	0.2234	0.0690	0.0826	0.0913	0.1182	0.0106
$a_1$	0.0341	-654200	-0.0437	0.0128	-0.0067	-0.0146	-0.0057	0.0012
$b_1$	0.0501	-30.98	0.0014	-0.0054	-0.0237	-0.0024	0.0245	0.0064
w	1.84	0.0003	13.65	16.61	2.384	6.329	4.379	9.818
$g_{1j}(x)$	0.3601	0.1021	0.1897	0.0576	0.0903	0.0896	0.0968	0.013

$g_{ij}(x)$  表示预测的林丹下一次面对第 j 类对手时, 第 i 类技巧的使用率。下面验证三种情况的归一性:

$$\sum_{j=1}^8 g_{1j}(x) = 1.0577 \quad \sum_{j=1}^8 g_{2j}(x) = 1.0262, \quad \sum_{j=1}^8 g_{4j}(x) = 1.0915$$

三种情况下，八种击球率之和（概率和）与 1 的差距及其微小，说明了我们利用傅里叶拟合是合理的。

由于林丹的第三类对手比赛数据只有 3 场，无法进行傅里叶拟合。将三类对手的傅里叶拟合的结果带入之前的判断函数，计算得： $f_1(p_1 \dots p_8) = -1.8192$ , 结果  $>0$ ，说明林丹和第一类对手的下一场比赛会败。通过“BADMINTON WORLD FEDERATION”网站查询到在题目所给的最后一个比赛记录之后，林丹与三类对手的皆有比赛，模型预测结果和实际结果比较如下表：

表 16 胜负模型预测结果和实际结果比较表

比赛名称	对手	所属类别	判别函数 $f(x)$	预测结果	实际结果
2018 年马来西亚公开赛	石宇奇	第一类	1.8192	林丹胜	林丹胜
2016 印度尼西亚公开赛	李宗伟	第二类	-0.0193	林丹败	林丹败
2017 亚运会	谌龙	第四类	-1.1364	林丹败	林丹败

通过以上三组数据的预测情况与实际情况的比较，发现预测情况与实际情况完全相符，模型是合理的。

### 5.2.5 总结分析

通过上述分析，我们建立的胜负模型可行性很高。因此，我们用八类击球技术的系数分别来反映出，林丹对阵两类对手时，对胜负影响更关键的指标。

对阵第一类变速突击打法的球员，系数由大到小分别为扑球、高远球/挑球、平抽挡、杀球、推后场、网前控制、吊球、被动球。因此在和变速突击打法的球员对阵时应该多打扑球、高远球/挑球、平抽挡，少打网前控制、吊球，减少被动球。

对阵第二类快速高吊结合突击打法的球员，系数由大到小分别为吊球、扑球、平抽挡、杀球、高远球/挑球、推后场、网前控制、被动球。因此在和快速高吊结合突击打法的球员对阵时应该多打吊球、扑球、平抽挡，少打推后场、网前控制，减少被动球。

对阵第三类下压控网打法的球员，系数由大到小分别为扑球、网前控制、平抽挡、高远球/挑球、被动球、杀球、推后场、吊球。因此在和下压控网打法的球员对阵时应该多打扑球、网前控制、平抽挡，少打杀球、推后场、吊球。

对阵第四类守中反击打法的球员，系数由小到大分别为扑球、推后场、高远球/挑球、平抽挡、杀球、网前控制、吊球、被动球。因此在和守中反击打法的球员对阵时应该多打扑球、推后场、高远球/挑球，少打网前控制、吊球，减少被动球。

### 5.3 问题三

为了给俱乐部中不同类型运动员制定相应的战术方案，我们通过分析不同时期林丹对阵不同类型对手的多组对战数据来得出最优方案。由于三个时期的林丹打法技巧和战术风格皆有较为明显的变化，所以可以把三个时期的林丹看作三个战术风格不同的运动员，每个时期的对手也按照战术风格分类。然后为了求解每种情况的最佳战术，结合上一问求出的判别函数，以此为目标函数，判别函数的值越大，战术方案的胜率越高。利用已知数据寻找出约束条件，用蒙特卡洛发随机生成数据，模拟大量场次的比赛来得出胜率。然后再改进战术方案，比较改进前后胜率的变化情况，证明制定方案的有效性。



5.3.1 模型的准备

(1) 对阵分类

为了得到多种类别选手对阵的数据，结合林丹三个阶段战术风格变化较明显。首先将林丹三个阶段的数据看作是不同的运动员的对阵数据。由第一问求解得到的结果。设林丹第一阶段的数据所对应的运动员为下压控网类；第二阶段数据所对应的运动员为快速高吊结合突击类；第三阶段所对应的运动员为守中反攻类。

对于在不同时期，林丹对阵相同的手时，我们也将这个对手看作不同的运动员。对于每一个己方，都有多个对手的多场或单场比赛。因为将林丹不同时期看成了不同的运动员，所以要对每个己方对应的运动员。如果某种战术风格对应的比赛只有一场，或者此类数据则无法准确得出判别函数，将此类对阵数据舍弃。最终得到有效对阵如下图：

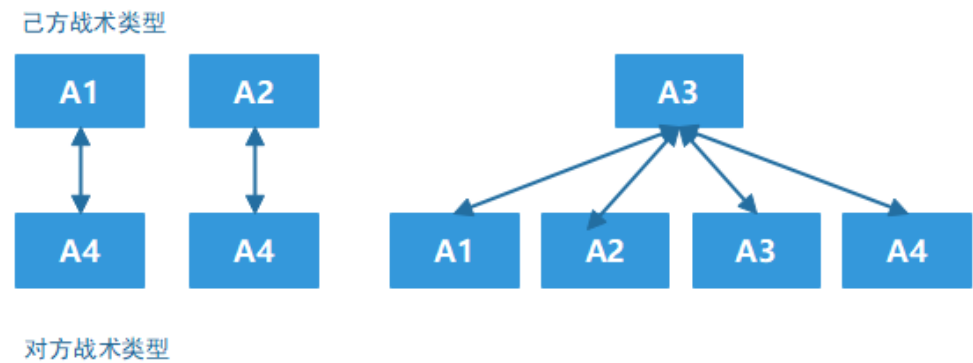


图 9 有效对阵图

其中，A1 表示下压控网；A2 表示快速高吊结合突击；A3 表示守中反击；A4 表示变速突击。

(2) 胜负判别函数

根据战术风格的不同，利用第二问的胜负模型来求出对应的判别函数的系数和常数。具体数值如下：

表 17 有效对阵判别函数的系数和常数表

	A1 vs A4	A2 vs A4	A3 vs A1	A3 vs A2	A3 vs A3	A3 vs A4
$\omega_1$	0.5433	-1.5883	-0.9616	0.0488	0.2865	0.088
$\omega_2$	2.2458	-2.0426	0.4252	-2.6481	3.4541	-2.0349
$\omega_3$	-0.1508	-1.4697	-1.9801	-0.2518	-0.3409	0.0188
$\omega_4$	4.2765	-0.9877	4.1149	-0.5892	-1.1835	-1.4609
$\omega_5$	3.0353	-0.9698	-1.9146	-0.0798	-1.9926	0.4292
$\omega_6$	3.3739	-1.9414	3.4325	0.2718	-1.8865	-0.5413
$\omega_7$	-5.3987	1.1356	0.428	2.364	0.6109	2.5021
$\omega_8$	13.8645	2.6574	-5.7967	0.4812	6.3319	1.2128
$\omega_0$	-0.6219	1.1469	0.3686	-0.0266	0.03	-0.0578

### (3) 针对每类对手的数据处理

为了便于后面求解优化模型，我们先对每组有效对阵的数据求出他们各自的均值  $m$  和标准差  $s$ 。通过每组的平均数据来计算出每组有效对阵的标准化欧式距离，并且通过对每个数据的标准化欧式距离的比较，选出最大的标准化欧式距离为  $d_{max}$ ，最小的为  $d_{min}$ 。每个有效分组的均值、标准差、 $d_{min}$ 、 $d_{max}$  的表见附录 S。

#### 5.3.2 最佳战术目标优化模型的建立

为了求解不同风格或者相同风格的两个球员一方的最佳战术方案，需要对每种不同的对阵都建立相应的优化模型。假设 A, B 对阵， $A \in A1, A2, A3$ , B 是 A 的某个对手。

通过第二问的分析，得到的增广化后的权向量  $\omega$  可以看成是一个九维空间“平面”的法向量，同样增广化后的战术数据  $\mathbf{P} = (p_1, p_2 \dots p_8, 1)^T$  可以看成是这个九维空间的一个“点”。这个“点”离“平面”的正向距离 D 越大，则分类效果越好。距离 D 的求解公式如下：

$$D = \frac{\omega^T \cdot \mathbf{P}}{\|\omega\|}$$

##### (1) 优化目标：最优战术（胜率最高）

由于  $\omega$  的模是一个定值，则在距离最大的时候，相当于求  $\omega^T \cdot \mathbf{P}$  的最大值， $\omega^T \cdot \mathbf{P}$  即利用同样方法求解出来的每个不同风格选手的判别函数。所以优化模型 [9] 的目标函数即为运动员 B 对应的判别函数，需要寻找其最大值来寻找 A、B 对阵时，A 胜率最大的战术，目标函数为如下形式：

$$f_{AB}(p_1, p_2 \dots p_8) = \sum_{i=1}^8 w_i^B p_i + w_0^B$$

目标函数达到最大时，即为对应的最优战术。

##### (2) 决策变量与约束条件

运动员 A 的八个技巧使用率之和为 1，即概率函数的归一性我们可以得到第一个等式约束条件：

$$\sum_{i=1}^8 p_i = 1$$

由于运动员 A 每种技巧的使用率有个上限值和下限值，而上下限即为这几组比赛数据中对应击球技巧使用率的最大值和最小值，所以我们可以得到约束条件：

$$p_{imin} \leq p_i \leq p_{imax}$$

对于最优战术来说，它与平均技巧使用率的距离  $d_p$  肯定小于数据中与平均技巧使用率距离最大的值  $d_{imax}$ ，即为：

$$d_p \leq d_{imax}$$

### (3) 优化模型汇总

通过对最优战术界限的界定，列出了目标函数约束条件。得到的目标规划模型为：

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{i=1}^8 w_i^B p_i + w_0^B \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} \sum_{i=1}^8 p_i = 1 \\ p_{imin} \leq p_i \leq p_{imax} \\ d_p \leq d_{imax} (i = 1, 2 \dots 8) \end{cases} \end{aligned}$$

#### 5.3.3 战术可行性的分析

假设面对同类型对手，各类击球技巧的使用率不变，各类击球技巧得分率改变。假设比赛对阵双方的实力比等于双方各类技巧得分率之比。

##### (1) 单类击球技巧得分率的计算

为了求解出每组数据的胜率，需要建立一个羽毛球运动员对抗模拟的程序，通过模拟程序的算法来模拟运动员的比赛情况，利用较多数目的模拟来求出单个有效对阵中己方的胜率。而为了实现这样的算法，我们需要知道这类选手每类击球技巧的得分率，设为  $E$ 。由此我们可以得到以下关系式：

$$\sum_{i=1}^8 p_i E_i = \frac{s_A}{s_A + s_B}$$

此式子计算了运动员 A 的得分率， $i$  表示击球技巧， $p_i$  表示此运动员此类击球技巧的使用率， $s$  表示此类运动员本场比赛的得分率。

##### (2) 比赛双方实力分析

我们将对手 B 分为三种类型：比 A 强，和 A 实力相当，比 A 弱。因为在面对同类型对手，各类击球技巧的使用率不变，各类击球技巧得分率改变，所以评判 A、B 实力强弱可以用他们同一场比赛的得分率之比  $S$ 。且对于同一组的 AB 来说， $s_A + s_B = 1$  如：

$$S = \frac{s'}{s} = \frac{\frac{s'_A}{s'_A + s'_B}}{\frac{s_A}{s_A + s_B}} = \frac{E'_i}{E_i} \quad (4)$$

当  $S > 1$  时，表示对手 B 比 A 强； $S = 1$  时，A 与 B 实力相当； $S < 1$  时，A 比 B 强。上式表示单局得分率之比就是这类选手每类击球技巧的得分率之比。由此可以用  $E_i$  表示  $E'_i$ ：

$$E'_i = \frac{s'_A}{s_A} E_i \quad (5)$$

### (3) 胜率求解

为了求解出单个运动员每类击球技巧的得分率  $E_i, i = 1, 2, \dots, 8$ , 我们需要八场比赛来组成方程组, 列出方程组如下:

$$\begin{cases} E_1^1 p_1 + E_2^1 p_2 + \dots + E_8^1 p_8 = \frac{s_A^1}{s_A^1 + s_B^1} \\ E_1^2 p_1 + E_2^2 p_2 + \dots + E_8^2 p_8 = \frac{s_A^2}{s_A^2 + s_B^2} \\ \vdots \\ E_1^8 p_1 + E_2^8 p_2 + \dots + E_8^8 p_8 = \frac{s_A^8}{s_A^8 + s_B^8} \end{cases} \quad (6)$$

利用上面推出的 (5) 式, 将未知量合并成 8 个便可以求解出每类技巧得分率  $E$ , 通过 (4) 式便可以求出每局的胜率  $s$ 。接着计算出每个难度的对手对应的单局胜率  $R$ :

$$R = \sum_{i=1}^8 p_i E_i$$

利用 Python 编写比赛模拟程序, 源程序代码见附录 H。通过模拟比赛的方法, 输入双方运动员单局的胜率, 对不同三个等级的对手进行多次模拟比赛, 以输出的胜负场次来计算出己方 A 的胜率。

最后通过对比三种情况下, 战术改变前后胜率的变化来验证模型的有效性和可行性。

#### 5.3.4 模型的求解算法

##### (1) 标准化欧式距离的算法

设计算得到的均值为  $m_i$ , 标准差为  $s_i (i = 1, 2, \dots, 8)$ ,  $i$  表示第  $i$  类击球技巧,  $j$  表示样本编号,  $p_{ji}$  代表第  $j$  个样本的第  $i$  类击球方式使用的比率,  $n$  为样本个数 +1 (即加上最优解)。

**Step1** 先对此样本集求出平均值和标准差:

$$m_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n p_{ji}, \quad s_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (p_{ji} - m_i)^2}$$

**Step2**  $p_{ji}$  的“标准化变量”则为:  $p_{ji}^* = \frac{p_{ji} - m_i}{s_i}$

**Step3** 标准化变量的数学期望为 0, 方差为 1。因此样本集的标准化过程用公式描述就是: 标准化后的值 =  $\frac{\text{标准化前的值} - \text{分量的均值}}{\text{分量的标准差}}$

**Step4** 经过简单的推导就可以得到某个样本  $(p_{j1}, p_{j2}, \dots, p_{jn})$  与最优解  $(p_{01}, p_{02}, \dots, p_{0n})$  间的标准化欧氏距离:

$$d_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{p_{ji} - p_{0i}}{s_i} \right)^2} \quad (7)$$

## (2) 模拟比赛求解胜率的算法

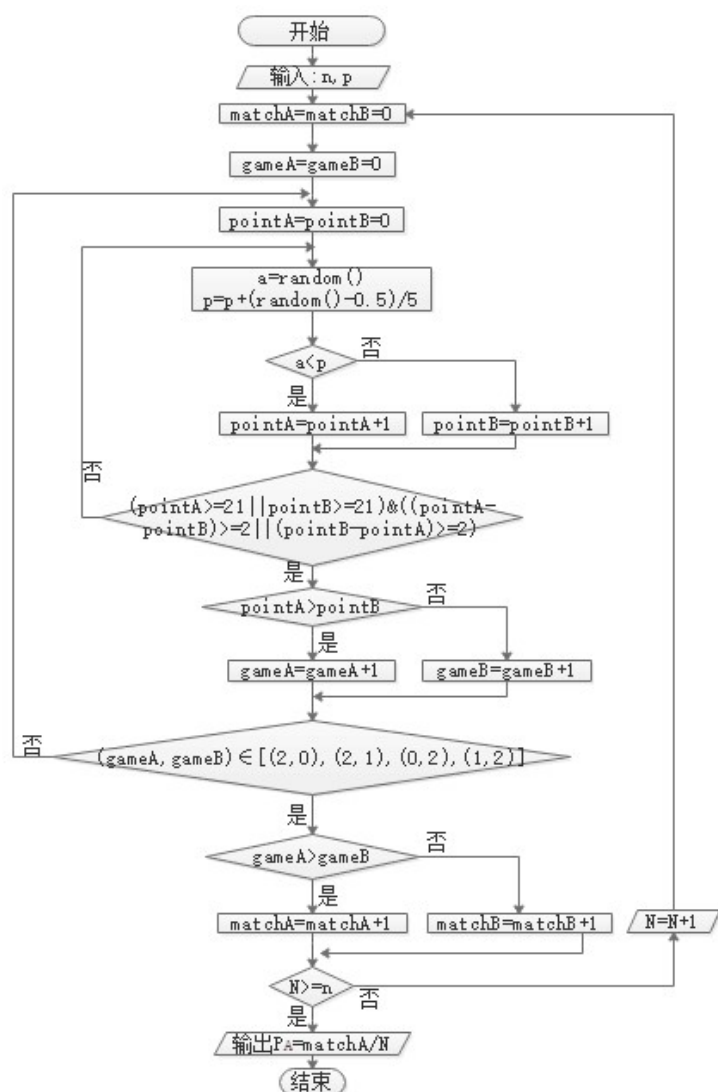


图 10 模拟比赛求解胜率算法流程图

算法步骤:

- (1) 输入:  $p$ , 运动员 A 每局的得分率;  $n$ , 比赛场次;
- (2) 运动员每场比赛成绩 ( $matchA$ 、 $matchB$ ) 为 0;
- (3) 初始化: 运动员每局比赛成绩 ( $gameA$ 、 $gameB$ ) 为 0;
- (4) 初始化: 运动员 A、B 比分 ( $pointA$ 、 $pointB$ ) 为 0;
- (5) 随机生成 0 1 之间一个数, 如果  $a < p + (random() - 0.5) / 5$ ; 则 A 的比分加 1; 否则 B 的比分加 1;
- (6) 若果 A 得分不少于 21 分并且分差至少 2 分, 则 A 的胜利的局数加一; 若果 B 得分不少于 21 分并且分差至少 2 分, 则 B 的胜利的局数加一; 否则转到第 (5) 步;
- (7) 如果 A、B 局比分为 2:0 或 2:1, 则 A 胜利的场次数加 1; 如果 A、B 局比分为 0:2 或 1:2, 则 B 胜利的场次数加 1; 否则转到第 (4) 步;
- (8) 如果模拟比赛的场次数大于  $n$ ; 输出 A 的胜率  $PA = matchA / n$ ; 否则转到第 (2) 步。

5.3.5 模型的求解结果及分析

通过最佳战术目标优化模型，利用 MATLAB 计算出了每种情况下判别函数的最优解和最优值，以 A1 vs A4 为例，其余数据见附录 T：

表 18 A1 vs A4 情况下，判别函数的最优解和最优值

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8
最优解	0.3276	0.0532	0.2951	0.0397	0.0755	0.0786	0.1303	0.0000
最优值	0.4081							

接着，分别对比自己强/弱/实力相当的对手求解每一种有效对阵的胜率方程组，求出来的解为 (以 A1 vs A4 为例)，其余结果见附录 U：

表 19 A1 vs A4 情况下，三种实力对手对应的每类击球技巧得分率

	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$	$E_7$	$E_8$
强	0.2586	0.2815	0.2324	0.2625	0.2379	0.1762	0.2798	0.4286
相当	0.5516	0.6005	0.4958	0.5599	0.5075	0.3759	0.5968	0.9144
弱	0.6084	0.6623	0.5468	0.6175	0.5597	0.4146	0.6582	1.0085

最后，通过 Python 编写的代码，输入运动员 A 每局的胜率和比赛次数，来计算出最终胜率。此次我们将比赛次数设为 10000，能够有效的计算出胜率，得到的结果如下 (以 A1 vs A4 为例)，其余结果见附录 V：

表 20 A1 vs A4 情况下，改进战术前后胜率比较

	弱	一般	强
改进前得分率	64.21%	38.17%	17.89%
最优得分率	75.81%	52.68%	24.69%
改进前胜率	88.00%	47.10%	0.40%
改进后胜率	98.30%	59.20%	2.00%
提高比例	10.30%	12.10%	1.60%

5.3.6 结果分析

根据上述优化模型计算得到的最优解，制定出不同对阵情况的战术方案样例如下，其他情况的打法及胜率见问题四的报告：

下压控网类型的球员与变速突击类型的球员进行对阵，应该多打高远球/挑球、网前控制、杀球，少打平抽挡、扑球、吊球，使用我们的最优战术之后，下压控网类型球员对阵实力比自己强的变速突击类型对手时，胜率由 4% 提升到 20%；对阵实力与自己相当的变速突击类型对手时，胜率由 47.1% 提升到 59.2%；对阵实力比自己弱的变速突击类型对手时，胜率由 88% 提升到 98.3%。

## 5.4 问题四

我们将 41 种击球技巧进行了分类,归纳成 8 个新的击球技巧指标,分别是高远球/挑球、推后场、网前控制、平抽挡、吊球、被动球、杀球、扑球,同时,我们通过对林丹进行分析,建立了具有泛用性的模型,通过我们的模型可以得出不同类型不同实力的球员之间进行比赛时该如何采取最优战术使得胜率提高。

我们由林丹的历年比赛数据得出了以下具有通用性的方案:

下压控网类型的球员与变速突击类型的球员进行对阵,应该多打高远球/挑球、网前控制、杀球,少打平抽挡、扑球、吊球,使用我们的最优战术之后,下压控网类型球员对阵实力比自己强的变速突击类型对手时,胜率由 4% 提升到 20%;对阵实力与自己相当的变速突击类型对手时,胜率由 47.1% 提升到 59.2%;对阵实力比自己弱的变速突击类型对手时,胜率由 88% 提升到 98.3%。

快速高吊结合突击类型的球员与变速突击类型的球员进行对阵,应该多打杀球、扑球、平抽挡、吊球,少打高远球/挑球、网前控制、推后场,使用我们的最优战术之后,快速高吊结合突击类型球员对阵实力比自己强的变速突击类型对手时,胜率由 27.7% 提升到 37.6%;对阵实力与自己相当的变速突击类型对手时,胜率由 42.2% 提升到 89.8%;对阵实力比自己弱的变速突击类型对手时,胜率由 87.2% 提升到 99.9%。

守中反击类型的球员与下压控网类型的球员进行对阵,应该多打高远球/挑球、网前控制、吊球、杀球、扑球,少打推后场、平抽挡,使用我们的最优战术之后,守中反击类型球员对阵实力比自己强的下压控网类型对手时,胜率由 36.7% 提升到 39%;对阵实力与自己相当的下压控网类型对手时,胜率由 64% 提升到 67.3%;对阵实力比自己弱的下压控网类型对手时,胜率由 73.6% 提升到 86.7%。

守中反击类型的球员与快速高吊结合突击类型的球员进行对阵,应该多打推后场、平抽挡,少打高远球/挑球、网前控制、平抽挡、吊球、杀球、扑球,使用我们的最优战术之后,守中反击类型球员对阵实力比自己强的快速高吊结合突击类型对手时,胜率由 23% 提升到 24.8%;对阵实力与自己相当的快速高吊结合突击类型对手时,胜率由 42.8% 提升到 55.5%;对阵实力比自己弱的快速高吊结合突击类型对手时,胜率由 91.9% 提升到 92.9%。

守中反击类型的球员与守中反击类型的球员进行对阵,应该多打网前控制、吊球、平抽挡,少打高远球/挑球、推后场、杀球、扑球,使用我们的最优战术之后,守中反击类型球员对阵实力比自己强的守中反击类型对手时,胜率由 12.3% 提升到 25.9%;对阵实力与自己相当的守中反击类型对手时,胜率由 44.8% 提升到 72.9%;对阵实力比自己弱的守中反击类型对手时,胜率由 62.8% 提升到 89.7%。

守中反击类型的球员与变速突击类型的球员进行对阵,应该多打高远球/挑球、推后场、网前控制、平抽挡,少打杀球、扑球,使用我们的最优战术之后,守中反击类型球员对阵实力比自己强的变速突击类型对手时,胜率由 24.5% 提升到 36.9%;对阵实力与自己相当的变速突击类型对手时,胜率由 60.1% 提升到 78.9%;对阵实力比自己弱的变速突击类型对手时,胜率由 67.4% 提升到 87.9%。

## 六、模型的评价及改进

### 6.1 模型优点

1. 本文所使用的数据尽可能地来自官方网站、相关论文等来源可靠,增加文章的可靠性
2. 在分析林丹战术风格时,我们采用了层次分析法,有效地降低了主观因素对模型结果产生的影响。
3. 在对比赛胜负进行预测的模型中,我们首先通过聚类分析,将同类型的球员归为一类,有效的利用所给的数据;然后通过定性分析,有效地将各个指标归并为几个少

量的指标，避免了考虑过多指标使得问题的模型复杂化。

4. 在模拟比赛时，由于运动员在每局比赛中的胜率不可能总是一样的。对此，为了模拟出比赛的真实性，我们在每局比赛中，运动员的胜率加了 5% 的浮动。

## 6.2 模型缺点

由于所给林丹的比赛数据过少，我们对问题的分析存在局限性，同时我们对模型中的一些参数进行了人为主观赋值，影响了结果的精确程度。

## 6.3 模型的改进

可以搜集林丹更多的比赛详细数据，对他面对不同类型对手时胜率，以及最优战术做更为细致的研究。

## 参考文献

- [1] 虞丽娟, 张辉, and 凌培亮. 隔网对抗项目技战术分析的系统研究. 体育科学, 28(10):41–48, 2008.
- [2] 费瑛. 浅析羽毛球 21 分赛制对比赛的影响. 辽宁体育科技, 28(6):64–64, 2006.
- [3] 钟建萍. 羽毛球新旧赛制优秀男子单打运动员后场技, 战术分析. 中国体育科技, (1):93–96, 2010.
- [4] 李宝强. 2010-2013 赛季羽毛球运动员林丹主要得分手段与得分能力的分析研究. Master's thesis, 西安体育学院, 2014.
- [5] 佚名. 单打打法类型及技、战术特点. <http://www.bbeshop.com/ht1yqjs/yqjs071jz.htm>. 2018.7.21.
- [6] 司守奎. 孙玺菁. 数学建模算法与程序. 海军航空工程学院, 9:95–98, 2007.
- [7] 田麦久. 运动心理学, 2009.
- [8] 边肇其, 张学工, et al. 模式识别, 2000.
- [9] 杨启帆, 方道元, et al. 数学建模, volume 9. 浙江大学出版社, 1999.



## 附录清单

编号	名称
A	层次分析模型 MATLAB 源代码
B	聚类分析 MATLAB 源代码
C	H-K 算法 MATLAB 源代
D	目标优化 LINGO 源代码
E	标准化欧式距离计算 MATLAB 源代码
F	羽毛球比赛模拟程序 Python 代码
G	林丹应对对手使用的击球技巧比率表
H	第一类对手的增广化表
I	第二类对手的增广化表
J	第三类对手的增广化表
K	第四类对手的增广化表
L	第一类对手样本集的标准化变量值表
M	第二类对手样本集的标准化变量值表
N	第一类对手样本集表
O	第二类对手样本集表
P	剩余三类对手对应判别函数和系数表
Q	剩余三类对手对应判别函数判别结果和实际结果
R	剩余三类对手对应判别函数判别结果和实际结果
S	第二、四类对手八类击球技巧使用率拟合结果
T	剩余五组最优解和最优值表
U	剩余五组各类技巧得分率表
V	剩余五组胜率比较表

## 附录 A 层次分析模型 MATLAB 源代码

```
n1=3;%一致性矩阵阶数
%准则层判断矩阵
a=[ 1.0000 0.4361 0.4256
2.2928 1.0000 0.9758
2.3497 1.0248 1.0000];
ri=[0 0 0.58 0.9 1.12 1.24 1.32 1.21 1.45];%一致性指标
%对一致性矩阵进行归一化
Wa=zeros(n1);
for i=1:n1
for j=1:n1
Wa(j,i)=a(j,i)/sum(a(:,i));
end
end
Wa;
%将Wa按列求和
Wa=sum(Wa,2)
%将Wa归一化得到Waa
for i=1:n1
Waa(i)=Wa(i)/sum(Wa);
end
Waa %获得准则层特征向量
WaWa=a*Waa'
sum=0;
for i=1:n1
sum=sum+WaWa(i)/Waa(i);
end
lamda=sum/n1 %特征值
ci0=(lamda-n1)/(n1-1) %一致性指标
cr0=ci0/ri(n1) %一致性比率
```

## 附录 B 聚类分析 MATLAB 源代码

```
load 1.txt %把原始数据保存在纯文本文件1.txt中
X2=zscore(X2); %数据标准化
y=pdist(X2); %求对象间的距离,每行是一个对象
z=linkage(y,'average'); %按类平均法聚类
dendrogram(z); %画聚类图
k=5;
fprintf('划分成%d类的结果如下: \n',k)
T=cluster(z,'maxclust',k); %把样本点划分成k类
for i=1:5
tm=find(T==i); %求第i类的对象
tm=reshape(tm,1,length(tm)); %变成行向量
fprintf('第%d类的有%s\n',i,int2str(tm)); %显示分类结果
end
fprintf('*****\n');
```

## 附录 C H-K 算法 MATLAB 源代码

```
%H-K算法
function testHK
data=xlsread('1.xlsx')
%data1是经过增广,符号化后的数据
[w,flag]=HK(data);
```

```

w %判别函数系数
flag %标志位
function [w,flag]=HK(data)
flag=0;%标志位 flag为0代表线性可分 否则为线性不可分
n=size(data,1);
b=ones(n,1)./10;
c=0.6;
xx=(data'*data)\data';
w=xx*b;%伪逆矩阵
e=data*w-b;%判别函数
while (1)
temp=min(e);
temp1=max(e);
if temp>-1e-4 && temp<0
temp=0;
end
if temp>1e-3
deltab=e+abs(e);
b=b+c.*deltab;
w=w+c.*xx*deltab;
e=data*w-b;
else
if temp>=0 && temp1<1e-4
break;
else
if temp1<0 %线性不可分
flag=1;
break;
else
deltab=e+abs(e);
b=b+c.*deltab;
w=w+c.*xx*deltab;
e=data*w-b;
end
end
end
end
end
end
end

```

## 附录 D 目标优化 MATLAB 源代码

```

function zuiYouZhanshu
options=optimset('largescale','off');
a=[];
b=[];
Aeq=ones(1,8);
beq=1;
L=[0.277978339 0.052238806 0.194029851 0.043283582 0.086567164 0.084168337 0.077617329
0.01002004
];
U=[0.368656716 0.102888087 0.25631769 0.048096192 0.102888087 0.119402985 0.134268537
0.02166065
];
[x,y]=fmincon(@fun1,rand(1,8),a,b,Aeq,beq,L,U,@fun2,options)
function f=fun1(x)
xishu=[0.088
-2.0349
0.0188
-1.4609
0.4292

```

```

-0.5413
2.5021
1.2128
];
f=x*xishu-0.0578
function [g,h]=fun2(x)
xJun=[0.326433462 0.07575706 0.226268151 0.044900358 0.093211871 0.106966614 0.110429617
0.016032867
];
xStd=[0.0373 0.0208 0.0255 0.0023 0.007 0.0161 0.024 0.0048
];
g(1)=sum(((x-xJun)./xStd).^2)-3.2951;
g(2)=2.5122-sum(((x-xJun)./xStd).^2);%标准化欧式距离
h=[];

```

## 附录 E 标准化欧式距离计算 MATLAB 源代码

```

load 1.txt %加载没类球员的数据以及最优战术值
[m,n]=size(X1)
mm=mean(X1) %计算不同维度的均值
a=std(X1) %计算不同维度的标准差
x=zeros(m,n);%计算各个数据标准值
for i=1:m
for j=1:n
x(i,j)=(X1(i,j)-mm(j))/a(j);
end
end
xlswrite('第一类标准化数据.xls',x);
D= pdist(X1, 'seuclidean',a) %每两个对手之间的标准化欧式距离
k=1;
d=zeros(m,n);
for i=1:m
for j=i+1:m
d(i,j)=D(k);
k=k+1;
end
end
dd=zeros(m,1); %标准化欧式距离
for i=1:m
dd(i)=d(i,m);
end

```

## 附录 F 羽毛球比赛模拟程序 Python 代码

```

from random import random

def getInputs():
    p = input("Player A's winning prob: ")
    n = input("How many matches to simulate? ")
    return p, n

def simNMatches(n,prob,rule):
    matchA = matchB = 0
    for i in range(n):
        gameA , gameB = oneMatch(prob,rule)
        if gameA > gameB:
            matchA = matchA + 1

```

```

else:
    matchB = matchB + 1
return matchA, matchB

def oneMatch(prob,rule):
    gameOver = [(3,0),(0,3),(3,1),(1,3),(3,2),(2,3)]
    gameA = gameB = 0
    while not (gameA,gameB) in gameOver:
        pointA, pointB = oneGame(prob,rule)
        if pointA > pointB:
            gameA = gameA + 1
            #print "A:%d" % gameA
        else:
            gameB = gameB + 1
            #print "B:%d" % gameB
    return gameA, gameB

def oneGame(prob,rule):
    pointA = pointB = 0
    while not gameOver(pointA,pointB,rule):
        a=random()
        prob=prob+(random()-0.5)/5
        #print "a:%f" %a
        if a < prob:
            pointA = pointA + 1
        else:
            pointB = pointB + 1
    return pointA, pointB

def gameOver(a,b,rule):
    #print "a:b=%d:%d" %(a,b)
    return (a>=rule or b>=rule) and abs(a-b)>=2

def printSummary(a,b):
    n = float(a + b)
    print "Wins for A: %d (%0.1f%%)" % (a, a/n*100)
    print "Wins for B: %d (%0.1f%%)" % (b, b/n*100)

def main():
    p, n = getInputs()
    matchA, matchB = simNMatches(n,p,21)
    print "\nRule: 21 points, best of 3 games." ;printSummary(matchA,matchB)
    #matchA, matchB = simNMatches(n,p,11)
    #print "\nRule: 11 points, best of 3 games." ;printSummary(matchA,matchB)

main()

```

附录 G 林丹应对对手使用的击球技巧比率表

	高远球/挑球	推后场	网前控制	平抽挡	吊球	被动球	杀球	扑球
黄综翰	25.72%	10.64%	25.28%	5.32%	10.20%	8.87%	12.42%	1.55%
盖德	30.99%	7.61%	22.47%	6.13%	7.65%	10.93%	12.41%	1.81%
陶菲克	28.21%	7.85%	21.17%	8.82%	10.25%	9.37%	13.77%	0.55%
波萨那	24.57%	7.96%	19.03%	9.69%	7.61%	10.73%	17.65%	2.77%
鲍春来	19.82%	4.84%	31.11%	10.14%	6.22%	7.14%	18.89%	1.84%
索尼	27.90%	6.63%	24.86%	3.59%	11.88%	9.39%	14.36%	1.38%
陈郁	26.10%	6.25%	19.85%	10.66%	13.24%	7.72%	15.07%	1.10%
陈金	35.87%	5.54%	19.52%	7.11%	9.36%	8.82%	12.84%	0.93%
朴成焕	32.76%	5.94%	23.29%	6.33%	13.34%	7.75%	9.36%	1.23%
王睁茗	24.05%	6.74%	26.69%	7.92%	15.25%	7.33%	10.56%	1.47%
李宗伟	29.68%	9.35%	20.65%	7.08%	7.70%	10.38%	13.23%	1.93%
谌龙	24.19%	7.94%	28.17%	9.73%	4.80%	11.18%	11.23%	2.77%
西蒙	38.73%	5.25%	20.37%	6.17%	7.72%	11.42%	9.41%	0.93%
佐佐木翔	33.27%	7.21%	22.85%	4.81%	9.02%	8.42%	13.43%	1.00%
田厚威	37.91%	3.21%	22.36%	4.45%	12.43%	7.44%	10.98%	1.21%
安塞龙	38.95%	1.84%	19.74%	2.11%	9.47%	17.63%	9.21%	1.05%
石宇奇	32.68%	3.89%	19.46%	8.95%	12.84%	7.39%	12.45%	2.33%

## 附录 H 第一类对手的增广化表

	高远球/挑球	推后场	网前控制	平抽挡	吊球	被动球	杀球	扑球	
黄总翰	0.257206	0.10643	0.252772	0.053215	0.101996	0.088692	0.124169	0.015521	1
盖德	0.37046	0.043584	0.200969	0.050847	0.072639	0.130751	0.116223	0.014528	1
盖德	0.366935	0.072581	0.197581	0.0625	0.092742	0.078629	0.114919	0.014113	1
陶菲克 L	-0.26984	-0.10317	-0.30556	-0.03968	-0.0754	-0.10317	-0.10317	0	-1
陶菲克	0.295775	0.102113	0.179577	0.116197	0.084507	0.091549	0.130282	0	1
盖德	0.192308	0.112179	0.275641	0.070513	0.064103	0.11859	0.141026	0.025641	1
陶菲克 L	-0.2177	-0.10048	-0.25837	-0.05502	-0.10287	-0.09569	-0.15311	-0.01675	-1
索尼	0.279006	0.066298	0.248619	0.035912	0.118785	0.093923	0.143646	0.013812	1
陈郁	0.261029	0.0625	0.198529	0.106618	0.132353	0.077206	0.150735	0.011029	1
陈金	0.235897	0.064103	0.248718	0.082051	0.115385	0.094872	0.146154	0.012821	1
李宗伟	0.151203	0.24055	0.151203	0.061856	0.106529	0.106529	0.161512	0.020619	1
陈金 L	-0.26872	-0.04846	-0.20044	-0.0859	-0.12335	-0.16079	-0.09251	-0.01982	-1
李宗伟	0.283163	0.068878	0.234694	0.089286	0.079082	0.079082	0.155612	0.010204	1
陈金	0.325758	0.060606	0.184343	0.078283	0.093434	0.106061	0.143939	0.007576	1
陶菲克	0.268493	0.054795	0.243836	0.060274	0.120548	0.09589	0.145205	0.010959	1
李宗伟	0.310559	0.072981	0.236025	0.057453	0.119565	0.082298	0.107143	0.013975	1
李宗伟	0.286159	0.083981	0.217729	0.079316	0.051322	0.122862	0.138414	0.020218	1
李宗伟	0.288939	0.099323	0.239278	0.074492	0.060948	0.112867	0.106095	0.018059	1
李宗伟	0.354783	0.053913	0.226087	0.052174	0.05913	0.097391	0.126957	0.029565	1
李宗伟	0.253076	0.087873	0.205624	0.112478	0.068541	0.115993	0.142355	0.01406	1
李宗伟 L	0.391653	0.089888	0.150883	0.075441	0.067416	0.073836	0.134831	0.016051	1
李宗伟	0.374359	0.082051	0.153846	0.066667	0.061538	0.097436	0.133333	0.030769	1
李宗伟	0.368657	0.052239	0.19403	0.043284	0.086567	0.119403	0.119403	0.016418	1
佐佐木翔	0.332665	0.072144	0.228457	0.048096	0.09018	0.084168	0.134269	0.01002	1

## 附录 I 第二类对手的增广化表

	高远球/挑球	推后场	网前控制	平抽挡	吊球	被动球	杀球	扑球	
朴成焕	0.324421	0.064171	0.221034	0.058824	0.110517	0.081996	0.124777	0.01426	1
朴成焕	0.330729	0.054688	0.244792	0.067708	0.15625	0.072917	0.0625	0.010417	1
王睁茗	0.240469	0.067449	0.266862	0.079179	0.152493	0.073314	0.105572	0.014663	1
田厚威	0.32767	0.024272	0.23301	0.065534	0.128641	0.097087	0.104369	0.019417	1
田厚威	0.430588	0.04	0.214118	0.023529	0.12	0.051765	0.115294	0.004706	1
石宇奇 L	-0.33406	-0.07809	-0.26681	-0.04121	-0.10195	-0.09544	-0.08026	-0.00217	-1
石宇奇	0.326848	0.038911	0.194553	0.089494	0.128405	0.07393	0.124514	0.023346	1
石宇奇 L	-0.27038	-0.12525	-0.25249	-0.01988	-0.09543	-0.10338	-0.12525	-0.00795	-1

## 附录 J 第三类对手的增广化表

	高远球/挑球	推后场	网前控制	平抽挡	吊球	被动球	杀球	扑球	
西蒙	0.387346	0.052469	0.203704	0.061728	0.07716	0.114198	0.094136	0.009259	1
阿塞尔森 L	-0.2544	-0.0768	-0.2592	-0.0304	-0.12	-0.1264	-0.112	-0.0208	-1
安塞龙	0.389474	0.018421	0.197368	0.021053	0.094737	0.176316	0.092105	0.010526	1

## 附录 K 第四类对手的增广化表

	高远球/挑球	推后场	网前控制	平抽挡	吊球	被动球	杀球	扑球	
波萨那	0.245675	0.079585	0.190311	0.096886	0.076125	0.107266	0.176471	0.027682	1
鲍春来	0.198157	0.048387	0.31106	0.101382	0.062212	0.071429	0.18894	0.018433	1
谌龙	0.242086	0.078212	0.270019	0.091248	0.042831	0.108007	0.147114	0.020484	1
谌龙	0.241641	0.080547	0.293313	0.103343	0.053191	0.115502	0.077508	0.034954	1
谌龙 L	-0.32143	-0.07857	-0.21786	-0.06786	-0.11786	-0.11429	-0.07143	-0.01071	-1
谌龙 L	-0.36194	-0.02985	-0.23321	-0.08022	-0.08209	-0.11567	-0.06903	-0.02799	-1

## 附录 L 第一类对手样本集的标准化变量值表

样本编号	高远球/挑球	推后场	网前控制	平抽挡	吊球	被动球	杀球	扑球
0(最优)	0.7040	-0.9618	-0.8127	1.4761	-1.2813	-0.1781	-0.2111	1.2584
1	-0.7184	1.4011	2.1619	-0.9587	-1.2815	0.4835	-0.5604	-1.5829
2	-0.3340	1.3621	-1.1704	1.8253	-0.9015	-0.0407	0.5247	-1.5829
3	-1.4912	1.3020	0.9139	-0.4005	-0.1356	0.1462	1.4386	0.8202
4	-0.8490	-0.0942	-0.6691	1.4767	1.0941	-0.6874	1.3435	-0.0002
5	-1.2215	-0.0353	0.6585	0.5829	0.3864	0.1092	1.1601	0.2568
6	0.0906	-0.0328	-0.0738	-0.2622	0.1833	-0.4714	0.3044	0.4635
7	-0.7350	-0.6104	-0.6185	0.7230	0.7185	3.0814	-0.9873	1.2618
8	0.1841	-0.3814	0.5546	0.0610	2.0908	-0.8808	-2.1886	-0.0881
9	2.4198	-0.6786	-2.1710	-0.2124	-1.4296	-0.4914	-0.2599	-0.7470
10	-0.7384	-0.3775	0.5293	-0.2095	0.6017	0.1551	1.1222	-0.0103
11	1.0234	-0.4629	-0.5322	-0.1565	-1.2079	0.9805	-0.9222	-0.2542
12	0.2128	0.2604	0.1225	-0.6525	-0.6649	-0.3735	0.6843	-0.1450
13	0.1388	-1.4996	0.2430	-0.0181	0.9393	0.2090	-0.5126	1.2035
14	1.6643	-0.9213	-0.2568	-1.5464	0.5789	-1.8345	-0.0752	-0.9076
15	0.2335	0.4790	1.1371	-0.9029	-0.1739	0.1350	-1.4777	-1.2716
16	0.1266	-0.9614	-0.7743	0.8537	0.9294	-0.8351	0.2938	1.7673
17	-0.7104	2.2126	0.7581	-1.6791	-0.4460	0.4928	0.3233	-0.4418



附录 M 第二类对手样本集的标准化变量值表

样本编号	高远球/挑球	推后场	网前控制	平抽挡	吊球	被动球	杀球	扑球
0(最优)	-0.1758	-0.9429	1.1853	-0.0431	-1.0932	0.4293	1.2250	-1.1667
1	-0.6004	0.5820	0.6263	-0.8159	0.6869	-0.8407	0.1011	-0.4766
2	1.1811	-0.9433	-0.6420	-0.9379	-0.3439	1.5753	-0.1830	-0.6188
3	1.1257	-0.2395	-0.7249	-0.3371	0.3619	-1.4187	-0.2296	-0.6782
4	-1.6212	0.7216	1.1863	0.0761	-0.6437	0.8767	0.7039	0.9720
5	-0.2575	-0.3920	0.5247	-1.7081	1.2764	-0.5402	0.7976	-0.7212
6	-2.2678	3.8371	-1.8604	-0.3703	0.8461	0.1840	1.4364	0.2531
7	-0.1921	-0.3294	0.1837	1.0442	-0.1177	-1.3927	1.2254	-1.2377
8	-0.8636	-0.3640	0.9713	0.5230	2.4600	-1.7240	-0.5639	-0.5995
9	0.2389	-0.2298	0.2163	-0.5973	1.3038	-1.2079	-0.5077	-0.6979
10	-0.1449	0.0372	-0.2316	0.5301	-1.0925	1.1221	0.6105	0.1957
11	-0.1012	0.4095	0.2960	0.2813	-0.7545	0.5480	-0.5452	-0.1134
12	0.9345	-0.6926	-0.0270	-0.8695	-0.8183	-0.3409	0.2008	1.5337
13	-0.6653	0.1317	-0.5280	2.2401	-0.4878	0.7276	0.7514	-0.6858
14	1.5145	0.1805	-1.8682	0.3303	-0.5274	-1.6940	0.4824	-0.4007
15	1.2424	-0.0096	-1.7957	-0.1222	-0.7337	-0.3384	0.4288	1.7060
16	-0.8382	-0.1028	1.0486	1.1453	-1.3906	0.2689	0.9216	0.2338
17	1.1527	-0.7332	-0.8118	-1.3280	0.1451	0.9235	-0.0693	-0.3482
18	-0.8452	-0.0461	1.6189	1.7691	-1.0268	0.6993	-1.5674	2.3051
19	0.4098	-0.0941	-0.2285	-0.0608	1.2438	0.6295	-1.7847	-1.1646
20	1.0471	-1.2765	0.1474	0.5769	-0.0121	0.7091	-1.8705	1.3075
21	-0.2736	0.4961	0.7132	-1.3260	0.7182	0.8043	-1.5635	0.4022

## 附录 N 第一类对手样本集表

样本编号	高远球/挑球	推后场	网前控制	平抽挡	吊球	被动球	杀球	扑球
1	0.2698	0.1032	0.3056	0.0397	0.0754	0.1032	0.1032	0.0000
2	0.2958	0.1021	0.1796	0.1162	0.0845	0.0915	0.1303	0.0000
3	0.2177	0.1005	0.2584	0.0550	0.1029	0.0957	0.1531	0.0167
4	0.2610	0.0625	0.1985	0.1066	0.1324	0.0772	0.1507	0.0110
5	0.2359	0.0641	0.2487	0.0821	0.1154	0.0949	0.1462	0.0128
6	0.3244	0.0642	0.2210	0.0588	0.1105	0.0820	0.1248	0.0143
7	0.2687	0.0485	0.2004	0.0859	0.1233	0.1608	0.0925	0.0198
8	0.3307	0.0547	0.2448	0.0677	0.1563	0.0729	0.0625	0.0104
9	0.4816	0.0466	0.1417	0.0602	0.0718	0.0816	0.1107	0.0058
10	0.2685	0.0548	0.2438	0.0603	0.1205	0.0959	0.1452	0.0110
11	0.3873	0.0525	0.2037	0.0617	0.0772	0.1142	0.0941	0.0093
12	0.3327	0.0721	0.2285	0.0481	0.0902	0.0842	0.1343	0.0100
13	0.3277	0.0243	0.2330	0.0655	0.1286	0.0971	0.1044	0.0194
14	0.4306	0.0400	0.2141	0.0235	0.1200	0.0518	0.1153	0.0047
15	0.3341	0.0781	0.2668	0.0412	0.1020	0.0954	0.0803	0.0022
16	0.3268	0.0389	0.1946	0.0895	0.1284	0.0739	0.1245	0.0233
17	0.2704	0.1252	0.2525	0.0199	0.0954	0.1034	0.1252	0.0080

## 附录 O 第二类对手样本集表

样本编号	高远球/挑球	推后场	网前控制	平抽挡	吊球	被动球	杀球	扑球
1	0.2572	0.1064	0.2528	0.0532	0.1020	0.0887	0.1242	0.0155
2	0.3705	0.0436	0.2010	0.0508	0.0726	0.1308	0.1162	0.0145
3	0.3669	0.0726	0.1976	0.0625	0.0927	0.0786	0.1149	0.0141
4	0.1923	0.1122	0.2756	0.0705	0.0641	0.1186	0.1410	0.0256
5	0.2790	0.0663	0.2486	0.0359	0.1188	0.0939	0.1436	0.0138
6	0.1512	0.2405	0.1512	0.0619	0.1065	0.1065	0.1615	0.0206
7	0.2832	0.0689	0.2347	0.0893	0.0791	0.0791	0.1556	0.0102
8	0.2405	0.0674	0.2669	0.0792	0.1525	0.0733	0.1056	0.0147
9	0.3106	0.0730	0.2360	0.0575	0.1196	0.0823	0.1071	0.0140
10	0.2862	0.0840	0.2177	0.0793	0.0513	0.1229	0.1384	0.0202
11	0.2889	0.0993	0.2393	0.0745	0.0609	0.1129	0.1061	0.0181
12	0.3548	0.0539	0.2261	0.0522	0.0591	0.0974	0.1270	0.0296
13	0.2531	0.0879	0.2056	0.1125	0.0685	0.1160	0.1424	0.0141
14	0.3917	0.0899	0.1509	0.0754	0.0674	0.0738	0.1348	0.0161
15	0.3744	0.0821	0.1538	0.0667	0.0615	0.0974	0.1333	0.0308
16	0.2421	0.0782	0.2700	0.0912	0.0428	0.1080	0.1471	0.0205
17	0.3687	0.0522	0.1940	0.0433	0.0866	0.1194	0.1194	0.0164
18	0.2416	0.0805	0.2933	0.1033	0.0532	0.1155	0.0775	0.0350
19	0.3214	0.0786	0.2179	0.0679	0.1179	0.1143	0.0714	0.0107
20	0.3619	0.0299	0.2332	0.0802	0.0821	0.1157	0.0690	0.0280
21	0.2780	0.1029	0.2563	0.0433	0.1029	0.1173	0.0776	0.0217

## 附录 P 剩余三类对手对应判别函数和系数表

	第二类	第三类	第四类
1	16.687	0.5483	25.1084
2	5.9148	-5.0321	45.8496
3	-1.574	2.2204	-2.2766
4	15.9909	0.8853	12.1441
5	-5.1819	-5.381	-18.6713
6	-6.4287	-0.9477	-80.9659
7	12.4263	-3.8682	-2.266
8	48.3886	18.2849	31.2872
0	-6.3649	0.363	-0.8207

附录 Q 剩余三类对手对应判别函数判别结果和实际结果

	第二类	第三类	第四类
	0.205	1.5594	1.9034
	1.5018	-0.6235	0.8177
	2.0008	0.2987	1.0745
	-0.8701		0.971
	1.3426		-0.2663
	0.1		-1.8101
	-0.0999		
	0.1		
	0.9776		
	0.1		
	0.1		
	-0.1		
各样本计算结果	1.3353		
	1.3804		
	0.1131		
	0.6553		
	1.4751		
	1.0095		
	2.4284		
	1.2013		
	3.2993		
	3.3917		
	1.5446		
	1.1674		
	-0.1032		
正确率	100.00%	100.00%	100.00%

## 附录 R 第二、四类对手八类击球技巧使用率拟合结果

第二类

	高远球/挑球	推后场	网前控制	平抽挡	吊球	被动球	杀球	扑球
a0	0.2945	8.35E-02	0.2203	0.06881	0.09366	0.1014	0.1214	0.01484
a1	0.0431	1.41E-02	-0.02502	-0.01252	-0.01735	-0.01042	-0.02063	-0.001628
b1	-0.03787	0.02013	-0.01209	0.01093	-0.01513	-0.01203	0.01729	0.005405
w	0.247	1.825	0.6001	1.618	0.3536	2.415	4.379	1.216
预测值	0.3197	0.1054	0.237	0.0689	0.0751	0.0982	0.1364	0.017
下一场比赛	1.8192	赢						

第四类

	高远球/挑球	推后场	网前控制	平抽挡	吊球	被动球	杀球	扑球
a0	-0.1214	2.06E-02	0.0406	-0.002265	-0.008522	-0.0324	0.06147	-3117
a1	0.09603	-1.68E-02	-0.1291	0.01948	0.01621	0.03202	0.01438	3117
b1	0.4112	0.066	0.2927	0.1211	0.08991	0.1525	0.1391	-11.58
w	0.2047	0.0849	0.3593	0.0914	0.0503	0.1012	0.2013	-0.001627
预测值								
下一场比赛	-1.1364	输						

附录 S 六组有效对阵的均值、方差、 $D_{min}$  和  $D_{max}$  值表

A2A4								
	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8
均值	0.636285	0.217059	0.119761	0.087035	0.081214	0.061488	0.097946	0.138327
标准差	0.0602	0.0427	0.0373	0.0188	0.0271	0.0204	0.0182	0.0065
Dmin	1.8471							
Dmax	4.8693							
A3A1								
	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8
均值	0.34374	0.04923	0.220091	0.037727	0.097299	0.138971	0.099414	0.013529
标准差	0.0632	0.0239	0.0278	0.0174	0.0176	0.0269	0.0089	0.0052
Dmin	2.4371							
Dmax	3.3666							
A3A2								
	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8
均值	0.337908	0.061304	0.232195	0.047931	0.114885	0.084321	0.109937	0.011518
标准差	0.0479	0.0243	0.0461	0.0269	0.0109	0.0179	0.0092	0.0072
Dmin	1.9919							
Dmax	3.2459							
A3A3								
	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8
均值	0.291774	0.066795	0.253599	0.085668	0.073992	0.113367	0.09127	0.023534
标准差	0.0519	0.0213	0.0297	0.0131	0.0291	0.0031	0.0324	0.009
Dmin	2.6067							
Dmax	2.9719							
A3A4								
	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8
均值	0.326433	0.075757	0.226268	0.0449	0.093212	0.106967	0.11043	0.016033
标准差	0.0373	0.0208	0.0255	0.0023	0.007	0.0161	0.024	0.0048
Dmin	2.5122							
Dmax	3.2951							

附录 T 剩余五组最优解和最优值表

	A2A4							
	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8
最优解	0.3917	0.1741	0.1509	0.0425	0.0513	0.0738	0.0925	0.0308
最优值	1.008							
	A3A1							
	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8
最优解	0.3493	0.0271	0.2503	0.0241	0.1121	0.1182	0.0997	0.019
最优值	0.2275							
	A3A2							
	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8
最优解	0.2929	0.1252	0.2278	0.0607	0.1134	0.0739	0.0968	0.0092
最优值	0.1928							
	A3A3							
	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8
最优解	0.2834	0.0299	0.2746	0.0959	0.1179	0.1142	0.0734	0.0107
最优值	0.3305							
	A3A4							
	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8
最优解	0.3292	0.0995	0.2287	0.0451	0.0929	0.1115	0.0776	0.0154
最优值	0.1005							

附录 U 剩余五组各类技巧得分率表

A2A4								
	e1	e2	e3	e4	e5	e6	e7	e8
强	0.393505	0.293563	0.424105	0.647879	0.407105	0.223416	0.711942	0.805442
相当	0.4398	0.3281	0.474	0.7241	0.455	0.2497	0.7957	0.9002
弱	0.595858	0.444523	0.642194	0.981039	0.616452	0.338303	1.078045	1.219626
	e1	e2	e3	e4	e5	e6	e7	e8
A3A1								
强	0.375756	0.115734	0.434799	0.728753	0.593114	0.372565	0.826765	0.571278
相当	0.4474	0.1378	0.5177	0.8677	0.7062	0.4436	0.9844	0.6802
弱	0.478401	0.147348	0.553572	0.927825	0.755134	0.474338	1.052611	0.727332
A3A2								
强	0.320718	0.270184	0.584517	0.300194	0.454168	0.095595	0.687318	0.398435
相当	0.3516	0.2962	0.6408	0.3291	0.4979	0.1048	0.7535	0.4368
弱	0.528635	0.445341	0.963451	0.494806	0.748599	0.157568	1.132897	0.656734
A3A3								
强	0.490934	0.559399	0.250347	0.533965	0.260033	0.116449	0.430751	0.586977
相当	0.664	0.7566	0.3386	0.7222	0.3517	0.1575	0.5826	0.7939
弱	0.744411	0.848225	0.379605	0.809659	0.394291	0.176573	0.653153	0.890042
A3A4								
强	0.520584	0.417314	0.381048	0.578955	0.748194	0.216644	0.370427	0.773753
相当	0.6029	0.4833	0.4413	0.6705	0.8665	0.2509	0.429	0.8961
弱	0.628219	0.503596	0.459832	0.698658	0.902889	0.261437	0.447016	0.933732



附录 V 剩余五组胜率比较表

A2A4	弱	相当	强
改进前得分率	0.6433	0.4748	0.4248
最优得分率	0.8893	0.6564	0.5873
改进前胜率	0.872	0.422	0.277
改进后胜率	0.999	0.898	0.376
提高比例	0.127	0.476	0.099
A3A1	弱	相当	强
改进前得分率	0.5824	0.5447	0.4575
最优得分率	0.5915	0.5532	0.4646
改进前胜率	0.736	0.64	0.367
改进后胜率	0.867	0.673	0.39
提高胜率	0.031	0.033	0.023
A3A2	弱	相当	强
改进前得分率	0.6723	0.4472	0.4079
最优得分率	0.6848	0.4554	0.4154
改进前胜率	0.919	0.428	0.23
改进后胜率	0.929	0.555	0.248
提高胜率	0.01	0.027	0.018
A3A3	弱	相当	强
改进前得分率	0.5423	0.4837	0.3577
最优得分率	0.7692	0.6077	0.3754
改进前胜率	0.628	0.448	0.123
改进后胜率	0.897	0.729	0.259
提高胜率	0.269	0.281	0.136
A3A4	弱	相当	强
改进前得分率	0.5551	0.5327	0.26
最优得分率	0.6557	0.6333	0.4605
改进前胜率	0.674	0.601	0.245
改进后胜率	0.879	0.789	0.369
提高胜率	0.205	0.188	0.124