



体育教育训练学

隔网持拍对抗性项目运动员自备比赛器械的冗余参赛*

王效红, 石岩

(山西大学 体育学院, 太原 030006)

摘要: 采用访谈法、问卷调查法和数理统计法对隔网持拍对抗性项目运动员自备比赛器械冗余参赛问题进行了调研, 结果表明: (1) 隔网持拍对抗性项目中, 乒乓球运动员的自备比赛器械多为双冗余, 网球和羽毛球运动员的自备比赛器械多为多冗余; (2) 隔网持拍对抗性项目运动员对自备比赛器械使用概率的高低之分、赛中换用器械因素的主次之别表明, 运动水平越高的运动员, 其器械感的精细程度越高; (3) 为了实现自备比赛器械的冗余参赛, 隔网持拍对抗性项目运动员需要综合考虑球拍及其备件的材料、参数和性能, 并结合自身的技术特点和个人习惯来选择球拍配置(优秀运动员要求更高, 基本上是“私人定制”), 权衡影响自身确定器械冗余度的因素决定所需准备的器械数目, 赛前对所备的球拍进行适应性训练以缩小主拍和备用拍之间“器械感”的差距。

关键词: 隔网持拍对抗性项目; 自备比赛器械; 冗余参赛

文章编号: 1001-747X(2015)02-0241-11

文献标识码: A

中图分类号: G846.25

DOI: 10.16063/j.cnki.issn1001-747x.2015.02.021

Athletes' Redundancy Participation in the Racket Games with Self-providing Competitive Apparatus

WANG Xiao-hong, SHI Yan

(PE School, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract: This paper investigated and studied the racket games athletes participating redundantly with self-providing competitive apparatus, the results show: (1) Among the racket games, the self-providing competitive apparatus of table tennis athletes are mostly dual-redundancy, the self-providing competitive apparatus of tennis and badminton athletes are mostly multi-redundancy. (2) The probability of using the competitive apparatus the athletes bring and factors in replacing the competitive apparatus show that the athlete at a higher level has an acuter sense of the apparatus. (3) To achieve true redundancy participation with self-providing competitive apparatus, the racket games athletes need choose their own racket configuration based on the characteristics of the athletes, the rackets and spare parts, including the material, parameters and performance of the rackets and the athletes' own habits. As for the elite athletes, their apparatus are basically "private customized", the athletes need determine the number of competitive apparatus to bring by weighing the decisive factors in redundancy of apparatus, the athletes need have training to adapt to the alternative rackets before a competition.

Key words: racket games; self-providing competitive apparatus; participating redundantly

冗余(redundancy)的概念来自自动控制系统可靠性理论,指利用多余资源来保证设备在发生故障时仍能正常工作^[1]。冗余度是从安全角度考虑多余的一个量,是为了保障仪器、设备或某项工作在非正常情况下也能正常运转^[1]。2006年,高等教育出版社出版的《运动训练学》在器械准备部分中首次提出“冗余”^[2]一词。2011年,人民体育出版社出版的《竞技参赛学》中首次提出“冗余备赛原则”^[3]。这两本书中所提“冗余”都与参赛准备有关,其中包

括器材准备。在运动竞赛中想要取得好的成绩或名次,仅有好的竞技状态还不够,还要把握竞赛中的制胜规律。制胜规律是一个系统,它包括两个方面:主体因素(包括教练员和运动员)和客体因素(包括所使用器械和设备工具等)^[4]。在比赛中有时会出现比赛器械、装备的故障,适当配备备用装备和器械是确保比赛万无一失的重要保障^[5]。这种配备备用器械的行为正是对器械进行冗余。借鉴冗余和冗余度的概念对器械冗余和器械冗余度进行界定:器械

* 收稿日期: 2014-08-21; 修回日期: 2014-10-09

基金项目: 国家体育总局重点研究领域攻关课题(2013B029)

作者简介: 王效红(1975-),女,山西运城人,讲师,博士生,研究方向为运动训练学;石岩(1966-),男,山西汾阳人,教授,博士,博士生导师,研究方向为体育心理学与竞技参赛学。

冗余(Competitive Apparatus Redundancy)是指利用多余的器械来保证运动员顺利参赛的可靠性;器械冗余度则是指赛前进行器械准备时从保障运动员顺利参赛方面考虑多余的一个量。

隔网持拍对抗性项目中乒乓球、网球、羽毛球 3 个项目属于自备比赛器械项目,其中乒乓球和羽毛球属于中国的传统优势项目,网球则是中国潜优势项目之一^[6]。对乒乓球、网球、羽毛球 3 个项目高水平运动员(一级及一级以上)和二级运动员进行了问卷调查,对部分健将级运动员、专家进行了访谈。通过对这些优势和潜优势项目自备比赛器械的冗余参赛进行研究,期望能为同类或类似项目运动员参赛提供一定的理论参考和实践指导。

1 乒乓球运动员自备比赛器械的冗余参赛

1.1 乒乓球运动员自备比赛器械的冗余现状

乒乓球项目的自备器械及备件主要是指球拍和

胶皮。由表 1 可见 2 名健将级运动员参加全运会、城运会、省运会、市运会均带了 2 支球拍,其中 1 名健将级运动员准备了 3 块胶皮,另外 1 名健将级运动员只在参加全运会时准备的胶皮多于 5 块,其它运动会均准备了 3 块胶皮。2 名健将级运动员表示多数比赛中只用了 1 支球拍,参赛以来分别曾用过 1 块和 2 块备用胶皮。

10 名一级运动员中,有 4 人参加全运会时,都准备了 2 支球拍、2 块胶皮;1 人参加城运会时,带了 3 支球拍、5 块胶皮;5 人参加省运会时均带了 2 支球拍,其中有 2 人准备了 2 块胶皮,1 人准备了 4 块胶皮;1 人参加市运会带了 2 支球拍、4 块胶皮。9 名一级运动员表示多数比赛中也只用到了 1 支球拍,1 名运动员表示用到了 2 支球拍;10 名一级运动员中,有 5 人曾用过 1 块备用胶皮,2 人曾用过 2 块备用胶皮。

表 1 乒乓球高水平运动员参加不同规模运动会时自备比赛器械情况($n=12$)

	技术等级	运动会名称	人次	数目
所备乒乓球拍	健将	全运会	2	2
		城运会	2	2
		省运会	2	2
		市运会	2	2
	一级	全运会	4	2
		城运会	1	3
		省运会	5	2
		市运会	1	2
所备胶皮	健将	全运会	1;1	>5;3
		城运会	2	3
		省运会	2	3
		市运会	2	3
	一级	全运会	4	2
		城运会	1	5
		省运会	2;1	2;4
		市运会	1	4
所用乒乓球拍	健将	—	2	1
	一级	—	9;1	1;2
所用胶皮	健将	—	1;1	1;2
	一级	—	5;1	1;2

乒乓球运动员准备 2 支球拍和 2 块胶皮的占多数。单从数据的集中趋势,可以看作球拍和胶皮多为双冗余。根据访谈资料,乒乓球拍和胶皮的准备是属于同质性准备。乒乓球项目常有主拍和副拍之分,主拍是指运动员比赛中经常用的球拍,副拍则是指作为备用的球拍。主、副拍的配置一般是一样的,属于同质性准备。

1.2 乒乓球运动员赛前对自备比赛器械的冗余

1.2.1 乒乓球运动员对球拍配置的选择

乒乓球拍都是由运动员亲手粘的,最能体现“自备”比赛器械的特点。运动员首先要了解乒乓球拍各组成部分的物理特性及力学性能等,才能更好地与自己的技术特点相结合来选择球拍的配置。一支乒乓球拍由底板、胶皮、海绵和粘合剂构成。

1.2.1.1 底板的物理力学性能及其选择

许明山依据材料力学原理、乒乓球运动规律,认为影响底板作用的主要性能指标有密度、弹性模量、比模量、硬度、振动与反馈、强度^[7]。

乒乓球底板常见的结构有纯木夹层构造、单层纯木构造、木材与高性能材料复合构造^[7]。根据对乒乓球健将级运动员的访谈资料,省队运动员一般都是自费购买底板,大多是纯木夹层或单层纯木构造。国家队队员底板多是“私人定制”,多是木材与高性能材料复合构造。

底板的选择可能会因击球方式的不同而有所差异^[8]:(1) 弧圈方式,如欲以加大出球弧度为技术手段达到打出旋转和前冲的效果,选用表层较软的高模量底板较为合适,反之,如欲减小弧度打出速度,近台、远台分别选择表层较硬的中模量和高模量底板较为合适;(2) 拍击方式选用表层较软的中高模量和中高密度底板较相宜;(3) 推挡方式选择表层较硬的中低模量和高密度底板较合适;(4) 搓切方式适合选用表层硬度低、中低模量、低密度的底板;(5) 削球方式,如想削出的球旋转而弧线低平,选用表层较软、模量较低的低密度底板较合适,但如欲加强远台的速度和力量,底板的模量则得适量增高,密度得适度加大。

1.2.1.2 胶皮

球拍胶皮一般分为反贴胶和颗粒胶两大类。反贴胶又分为反胶和防弧胶;颗粒胶又分为正胶、长胶和生胶^[9]。不同的胶皮性能不同:反胶击球稳定、旋转力强、易控制,能较好地兼顾球的速度与旋转的要求;防弧胶皮表面光滑且轻微发涩、无粘性,击出球运行的速度较慢且弧线短;正胶击球稳、弹性好、速度快,适合近台快攻;生胶颗粒向上、直径大于高度,此类胶皮球拍击球下沉,搓球旋转弱。

1.2.1.3 海绵

球拍用海绵贴在底板和胶皮之间,它是一种发泡橡胶制品。海绵选择的关键是厚度、硬度和弹性^[9]。海绵越厚,弹性越大,击出的球后劲足,制造旋转的效率越高。胶制品中有 A、C、D 等 3 种硬度指标:A 类为“邵氏硬度”,被红双喜沿用至今;C 类硬度为大多数球拍海绵所采用;D 类是用于硬质橡胶的。当海绵厚度一定时,其硬度越大,击球的速度越快,能够制造的旋转效果就越差,控制性也随之降低,反之亦然。球拍海绵分为高弹和低弹两类,高弹海绵回球的旋转较强,速度较快,而低弹海绵控球稳健,但对运动员的击球力量要求更高。

1.2.1.4 乒乓球拍用粘合剂

2007 年世乒赛上,国际乒联(ITIF)宣布自 2008

-09-01 起,全面禁止有机胶水。根据国际乒联(ITIF)的规定,海绵、胶皮、粘合剂总厚度 ≤ 4 mm。高水平运动员参加国内外重大比赛时,所使用的胶皮和粘贴胶皮用的胶水必须是已获得国际乒联批准的,其边缘印有清晰的商标型号和国际乒联的标识。

乒乓球是中国的传统优势项目,小小球拍各构件的物理特性、力学性能和功能的确非常讲究。运动员进行器械准备时,需根据自己的技术特点来选择球拍的各个构件,然后按照自己的个人习惯粘合,进行因人而异的“同质化”的准备,才可能实现名副其实的“双冗余”。

1.2.2 乒乓球运动员自备比赛器械冗余度的影响因素分析

由表 2 可见,乒乓球高水平运动员认为影响确定自备比赛器械冗余度因素中排在前 3 位的是竞赛规则、自己的参赛经验、将要参赛的场数,而二级运动员认为相对重要的前 3 位则是自己的参赛经验、球拍质量、球拍维护。

表 2 乒乓球运动员自备比赛器械冗余度影响因素排序($n=36$)

因素	高水平(12)	二级(24)
竞赛规则	1	6
比赛规模	4	8
比赛类型	5	6
教练安排	5	8
老运动员的建议	5	7
自己的参赛经验	2	1
自己将要参赛的场数	3	4
对对手的重视程度	6	5
球拍的质量	7	2
球拍的维护	7	3
球拍的经费	8	9

对于竞赛规则是影响确定冗余度的重要因素问题,被访谈的乒乓球健将级运动员说“球拍检测算是竞赛规则的补充部分。自从改革使用无机胶水以来,球拍检测更为严格。比赛时,对球拍的平整度、气味、光亮度、胶皮的厚度都要进行检测”。规则的变化必然带来训练方法、手段的变化,带来制胜规律的变化,带来参赛准备的变化^[10]。另外,对于高水平运动员而言,球拍的质量可能不属于其考虑的范围,只需参考自己的参赛经验和考虑将要参赛的场数来进行器械准备,而对于二级运动员而言,球拍一般属于自己考虑的范围。

1.2.3 乒乓球运动员对所备球拍的适应性训练

乒乓球高水平运动员表示在赛前会对所备球拍

进行适应性训练。由表 3 可见 2 名健将级运动员表示进行适应性训练时所备 2 支球拍投入的时间没有差别; 10 名一级运动员中, 有 1 人对主、副拍投入的时间相同; 其他 9 人表示在主拍和副拍上的适应性训练时间是有差别的, 投入在主、副拍上的时间比分别是: 3 人为 4: 1, 3 人为 5: 4, 各有 1 人分别为 2: 1、2: 1: 1 和 10: 3。

表 3 乒乓球高水平运动员对所备球拍的适应性训练($n=12$)

运动员技术等级	时间比	人数
健将	1: 1	2
一级	1: 1	1
一级	4: 1	3
一级	5: 4	3
一级	2: 1	1
一级	2: 1: 1	1
一级	10: 3	1

国家队运动员张怡宁和马琳在参赛中用到备用拍时感觉“不顺手”。其主要原因: 一是可能高水平运动员器械感(所谓器械感, 亦称“器械意识”, 是指运动员经过长时间专业训练后形成的一种高度发展的专门化、个体化、独立化的感知或体验, 可使主体准确感受或体验各种器械在空间和时间的关系, 控制动作的节奏和速度^[11]) 的精细程度较高; 二是可能他们在平时训练中未注意对备用拍的维护或适应性训练。张怡宁曾说“备用球拍上的海绵还是 3 年前的, 质量要差很多”^[12]。中国乒乓球队意识到此问题, 并且赶上了国际乒联要求自 2008-09-01 起

开始使用无机胶水的新政, 球队要求队员每次都备有 2 块甚至 3 块球板, 1 块主板、2 块备用板^[13]。这样做最主要的目的是保证球拍的检测通过率, 其次才是作为“备用拍”。健将级运动员可能下意识地学习国家队运动员, 对所备球拍进行适应性训练并对其投入时间没有差别, 尽量缩小备用拍和主拍之间器械感的差距, 以备在比赛中万一用到备用拍时不会影响到自己技战术水平的发挥, 已经具备了“有备无患”冗余参赛意识。

10 名一级运动员中大多数表示对所备球拍进行适应性训练时间投入存在差别, 从一定程度上表明水平低运动员: 一是其器械感精细程度可能相对较低; 二是其“有备无患”冗余参赛意识相对缺乏。他们可能在比赛中未曾用过副拍或者是用过副拍但并未感觉到“不顺手”。

1.3 乒乓球运动员赛中对冗余器械的使用

1.3.1 乒乓球运动员对所备球拍的使用概率分析

由表 4 可见, 12 名乒乓球高水平运动员中 2 名健将级运动员表示主拍的使用概率为 100%, 第 1 副拍的使用概率分别为 10% 和 80%, 表明 2 名健将级运动员可能就准备了 2 支球拍, 一主一副。10 名一级运动员中 9 人表示主拍的使用概率为 100%, 1 人表示主拍的使用概率为 90%; 有 1 人表示第 1 和第 2 副拍的使用概率均为 60%; 分别有 3 人、1 人、4 人、1 人表示第 1 副拍的使用概率各为 10%、30%、80%、0%。表示第 1 副拍的使用概率为 0% 的运动员可能只准备了 1 支球拍, 或许也备有 2 支球拍, 只是未曾用过副拍。

表 4 乒乓球高水平运动员对所备球拍的使用概率($n=12$)

技术等级	主拍		第 1 副拍		第 2 副拍	
	人次	概率(%)	人次	概率(%)	人次	概率(%)
健将	2	100	1	10		
			1	80		
一级	9	100	1	60		
			3	10		
	1	90	1	30	1	60
			4	80		
		1	0			

乒乓球高水平运动员表示所备球拍中使用概率最高的为主拍, 副拍的使用概率不尽相同。主拍是运动员最常用并且可能觉得是最顺手的, 相对而言, 副拍的感觉多少会有点别扭。被访谈的健将级运动员认为, 运动水平越高的运动员手上的感觉越是精细, 能够感觉出球拍的细微变化。

1.3.2 乒乓球运动员比赛中换用球拍的因素分析

由表 5 可见, 比赛中乒乓球高水平运动员和二级运动员换用器械各因素得分均值从高到低依次是: 竞赛规则、球拍损坏、器械感、场馆条件(气温等)、比赛规模、针对对手技术特点进行的战术选择需要。

表 5 乒乓球运动员赛中换用球拍因素排序($n=36$)

因素	高水平(12)	二级(24)
竞赛规则	1	1
比赛规模	5	5
场馆条件(气温等)	4	4
器械感	3	3
球拍损坏	2	2
针对对手技术特点的战术选择需要	6	6

乒乓球高水平运动员和二级运动员赛中换用器械各因素主次之分并不存在明显区别。可能因为乒乓球项目球拍是属于同质性准备,运动员针对不同对手多是在技战术上有所变化;不同技术等级乒乓球项目运动员之间可能只存在技战术水平上的差异,器械上差异并不大。

2 网球运动员自备比赛器械的冗余参赛

2.1 网球运动员自备比赛器械冗余参赛的现状

2 名网球高水平运动员中,健将级运动员参加全运会、城运会和世界锦标赛时,所带的球拍数目分别为 2、1、4 把,其中,参加世锦赛时用到了 2 把球拍;一级运动员曾参加过全运会,准备了 4 把球拍,用到 2 把球拍。

由数据的集中趋势看,高水平运动员对网球拍准备可能是多冗余。据对网球专家的访谈资料,网球拍的准备较为“个性化”,有的是同质性准备,有的是异质性准备。普罗克斯曾经为美国选手罗迪克的第一轮比赛穿过 3 种不同磅数的弦,即 58 磅、59 磅和 60 磅,而纳达尔的所有巴伯拉特(BABOLAT)牌球拍磅数都是 56 磅^[14]。

2.2 网球运动员赛前对自备比赛器械的冗余

2.2.1 网球运动员对球拍配置的选择

网球运动员对网球拍的准备并不是严格意义上的“自备”,因为网球比赛一般都有专业的穿线师。网球与拍的撞击,从整个击球的效果来看,球拍与拍弦的作用各占 50%^[15]。运动员必须对自己球拍的构成、参数、性能有一定了解,才能结合自己的技术特点准备球拍。

2.2.1.1 球拍的参数、性能及球拍的选择

球拍的参数主要有拍面、重量、挥重、平衡点、硬度和线床等^[16]。拍面的大小范围一般是 90 ~ 110 平方英寸(581 ~ 710 cm²)。拍面越大,甜区(Sweet Spot)就大,容错空间也大,并且从理论上讲,较大的甜区会减小运动员因未击中球而引起的前臂旋转力,使肘关节损伤的危险性降低^[17]。拍面越小,挥拍速度越快。

球拍的重量一般在 250 ~ 350 g 之间。重量大的球拍比较适合于网前截击。重量越大,挥拍能够产生的能量就越大,球的弹跳能量就会更强。Rod Cross(2004)研究得出了理想球拍重量的计算公式:

$$\sqrt{\text{球重} \times \text{手臂重}} = \text{理想拍重}^{[18]}$$

挥重是当挥拍以后感觉球拍在手中的重量。从专业角度讲,就是从拍柄末端算起 4 英寸(10.16 cm)的位置为支点旋转时的重量^[16]。网球拍挥重相对高的能达到 350 kg · cm²^[16]。挥重大的球拍意味着击出的球力量更大,较适合于底线球员,而发球上网型选手则更适合使用挥重较小的球拍。

平衡点主要用于衡量拍头的轻重,平衡点靠近拍头(把柄)附近的就是拍头重(轻)。

球拍的硬度和其弹性密切相关。球拍的硬度大则其弹性也大。

线床模式就是指线床密度,即横线(副线)与竖线(主线)之间的疏密度。常见的线床模式有 16 × 18、18 × 20、16 × 19 等 3 种。数值越大,球拍的线床就越密集,控球相对会更好,但旋转少。上旋型和平击型运动员可能得分别选用 16 × 18(或 16 × 19)和 18 × 20 的线床,才有利于自己技术特点的发挥。球拍可以增加运动幅度,也可以使包括肘关节在内的动力链所有组成部分负荷增大,而且球拍越长负荷越大,长度越长的球拍必然会引起运动员肘关节损伤几率增大^[17]。

2.2.1.2 拍弦的性能及选择

网球拍弦根据材料不同可以分为天然肠弦和人造复合弦;根据型号大小则一般分为 15、16、17 号 3 种型号^[18]。型号数字越大的拍弦,直径越小,重量越轻。

根据网球运动员的技术类型对拍弦进行选择,上网型技术运动员适合选用较细的拍弦;底线型技术运动员主动发力多,适合选用较粗的拍弦;综合型选手则适合选用中型号或较细的拍弦。

根据网球拍的材质和拍面来选择拍弦:(1)硬性球拍一般选用较细的拍弦,软性球拍常选用较粗的拍弦;(2)在选择拍弦时,大拍面球拍需对拍弦所能承受的最高拉力磅数加以考虑,中拍面球拍所选择的拍弦一般粗细适中、强度较好,小拍面球拍一般选较细、拉力较低的拍弦较合适。

选择拍弦的张力时,一是要考虑厂商推荐的穿弦磅数范围,每支正规的球拍上都标有厂商推荐的穿弦磅数;二是要考虑到击球力量。击球力量弱,拍弦的张力要低,反之亦然。

球拍张力太大或太硬而使其吸收的振动较少,缓冲较差,就会将负荷直接传递到手腕和肘部,容易

导致运动员网球肘发病危险性增高^[17]。

运动员准备网球拍时,需要全面考虑到球拍的参数、拍弦的物理性质和性能以及自身的技术特点,这样才能准备好更有利于发挥自己技战术水平的球拍,实现真正的冗余,而且可以有效预防肘关节的损伤。

2.2.2 网球运动员自备比赛器械冗余度的影响因素分析

网球高水平运动员认为影响确定器械冗余度相对重要的前 3 位因素是自己将要参赛的场数和球拍质量第一、比赛规模第二,其它都是第三。二级运动员认为影响确定器械冗余度相对重要的前 3 位因素是自己的参赛经验、自己将要参赛的场数、比赛类型(见表 6)。

表 6 网球运动员自备比赛器械冗余度影响因素排序($n=30$)

因素	高水平(2)	二级(28)
竞赛规则	3	4
比赛规模	2	4
比赛类型	3	3
教练安排	3	7
老运动员的建议	3	7
自己的参赛经验	3	1
自己将要参赛的场数	1	2
对对手的重视程度	3	4
球拍的质量	1	6
球拍的维护	3	5
球拍的费用	3	8

对于高水平网球运动员而言,自己将要参赛的场数和球拍质量可能会决定运动员所要准备的球拍数目。比赛规模不同,遇到的对手可能会有差别,会决定网球拍拉线磅数的不同。二级运动员考虑更多的是根据自己的参赛经验、自己将要参赛的场数和比赛规模来决定自己需要准备的球拍数目,而对球拍拉线磅数的要求没有达到那么精细的程度。

2.2.3 网球运动员对所备球拍的适应性训练

2 名网球高水平运动员都表示在赛前会对所备球拍进行适应性训练,健将级运动员表示对所备球拍进行适应性训练的时间没有差别,即 1:1:1:1;一级运动员表示进行适应性训练投入在主、副拍上的时间是有差别的,时间比为 4:2:1:1。这样的调查结果,可能与乒乓球项目的解释趋于一致。

2.3 网球运动员赛中对冗余器械的使用

2.3.1 网球运动员对所备球拍的使用概率分析

根据专家访谈资料,高水平网球运动员比赛时所带的几把球拍,磅数上可能会有所差异。为了便于研究,在此把运动员所备的网球拍也界定为主、副

拍。2 名网球高水平运动员表示比赛中都会使用主拍:健将级运动员对第 1、第 2、第 3 副拍的使用概率分别为 80%、40% 和 0%;一级运动员对第 1、第 2、第 3 副拍的使用概率分别为 90%、20% 和 10%。

网球高水平运动员表示所备球拍中主拍的使用概率最高,副拍的使用概率随着其序数的递增而递减。主拍是运动员最常用并且可能是感觉最好的,运动员根据对球拍的感觉将球拍排出次序,第 1 副拍、第 2 副拍等。网球运动员对球拍的“器械感”从一定程度上会影响其比赛中技战术的发挥。

2.3.2 网球运动员比赛中换用球拍的因素分析

由表 7 可见,网球高水平运动员赛中换用器械各因素均值从高到低前 3 名为球拍损坏、器械感和疲劳程度、针对对手技术特点的战术选择需要。二级运动员换用器械各因素均值从高到低前 3 名为比赛规模和器械感、球拍损坏、针对对手技术特点的战术选择需要。

表 7 网球运动员赛中换用球拍因素排序($n=30$)

因素	高水平(2)	二级(28)
竞赛规则	5	5
比赛规模	4	1
场馆条件(气温等)	4	5
器械感	2	1
自己的疲劳程度	2	4
球拍损坏	1	2
针对对手技术特点的战术选择需要	3	3

高水平运动员的结果似乎更合乎常理,球拍损坏一般是最直接的换用器械因素;运动员会根据器械感和疲劳程度以及对手技术特点换用球拍,在一定程度上解释了网球高水平运动员备有多把球拍且配置不同的原因。高水平运动员和二级运动员的排序结果中,所不同的是疲劳程度和比赛规模。访谈中专家也提及“高水平运动员会根据疲劳程度选择不同磅数的球拍”,这表明高水平运动员对球拍器械感的精细程度高于二级运动员。相对而言,二级运动员参赛经历少,在参加较大规模比赛时,难免会出现心理紧张问题,可能会无意识地借换用球拍来调节紧张情绪。

3 羽毛球运动员自备比赛器械的冗余参赛

3.1 羽毛球运动员自备比赛器械冗余参赛的现状

8 名羽毛球高水平运动员中,2 名健将级运动员参加过全运会和城运会,都是带了 6 支球拍,用到过 3 支球拍。6 名一级运动员分别参加过城运会、省运会和市运会;参加城运会,6 名运动员都带了 6 支球拍;参加省运会和市运会,有 2 人带了 6 支球拍,4

人带了 3 支球拍,其中有 4 人在参赛时用到过 2 支球拍,2 人用到过 4 支球拍(见表 8)。

表 8 羽毛球高水平运动员参加不同规模运动会时自备比赛器械情况($n=8$)

	技术等级	运动会名称	人次	数目
所备羽毛球拍	健将	全运会	2	6
		城运会	2	6
	一级	城运会	6	6
		省运会	2;4	6;3
		市运会	2;4	6;3
所用羽毛球拍	健将	-	2	3
	一级	-	4;2	2;4

据调查数据和访谈资料,高水平羽毛球运动员对球拍的准备可以看作多冗余。运动员对羽毛球拍的准备,有一部分是“同质性准备”,有一部分是“异质性准备”,如:林丹每次比赛都要带 6 支一模一样的球拍^[19];郭振东每次比赛也带 6 支球拍,其中 4 支皮胶球拍和 2 支毛巾胶球拍^[20];而徐晨带 8 支球拍,6 支是 N90,2 支是 N50^[21]。

3.2 羽毛球运动员赛前对自备比赛器械的冗余

3.2.1 羽毛球运动员对球拍配置的选择

与网球一样,羽毛球比赛时也会配备专业的穿线师。运动员对球拍的准备也不是严格意义上的“自备”,但是运动员也是要对球拍的各构成部分有一定了解,才能更好地与自己的技术特点相结合准备球拍。羽毛球拍主要由球拍、拍弦、手胶等构成。

3.2.1.1 球拍参数、性能及选择

(1) 球拍的重量:羽毛球拍的材质从竹木、铁和铝合金向碳纤维、钛合金和碳纳米管的方向发展,不同材质的羽毛球拍重量不同。全碳的羽毛球拍重量大多为 2U(90~94 g)或 3U(85~89 g),铝框球拍的重量一般在 1U(95~99 g)以上。力量大并侧重于进攻的运动员适合用较重的球拍,侧重于防守的运动员更适合用较轻的球拍^[22]。

(2) 球拍的整体结构以及弹性和软硬度:拍杆的弹性好坏决定着拍子顺手的程度,硬度越大的拍子控制性越好,击球力量也越大,对运动员的要求也越高。拍子的整体结构非常重要,最主要就是甜区(Sweet Spot)的大小,甜区大的球拍控球性强,甜区小的击球速度快。与网球类似,羽毛球拍太硬或张力太大,也可能会引起运动员的过劳损伤。

(3) 拍柄:人的手型大小不同,所以要选择不同形状拍柄的球拍才更利于抓握。小号的拍柄迫使运动员的屈肌缩短,并且使手指和手腕的伸肌被拉长^[17],从而增加了前臂内外侧肌腱发生过劳损伤的危险性。

3.2.1.2 羽毛球拍网线的材质、结构及性能

羽毛球拍的网线按材质大致分为羊肠弦、尼龙弦、牛筋弦和化纤羊肠合成弦 4 种。羊肠弦的弹性好,容易磨损、断裂;尼龙弦的外形美观,弹性稍差,受气温的影响也较大;牛筋弦比较结实,价格低,弹性差;化纤羊肠合成弦吸取了前 3 类弦的长处,引进了“VECTRAN”聚酯纤维、碳纤维等,是目前专业选手所选用的拍弦。多年以来,国外球拍网线的线芯材料已从尼龙线逐步发展到可生物降解的“Nature's Bio Gut”线、采用纳米技术的“NANOCUBIC”“VECTRAN”聚酯线。处于羽毛球拍业内世界第一的“YONEX”,对网线的要求已经从耐用型转向了高弹性型^[23]。

网线的结构不同,性能也会有所差异。一是网线的直径,直径 <0.70 mm 为较细的网线,其手感和击球性能较佳,直径 ≥ 0.70 mm 为较粗的网线,其耐打性较好,使用时间较长。目前,国外羽毛球拍网线的直径很少超过 0.70 mm,耐打性也较好,如 YONEX 所有型号。因此,羽毛球拍网线的粗细对球拍击球性能和耐打性的平衡点起着至关重要的作用。二是网线的截面结构,国内的网线结构是均一的,属于多纤维结构,由多股极细的合成纤维丝拧在一起形成一根线,然后通过表层涂覆树脂制作而成,国外的网线是有芯结构,属于复纤维单芯多层结构,由多个较细多纤维内芯组成一股大芯,并在外部有两层纤维包裹^[23]。网线结构的差异可能是其在力学和使用性能存在差异的重要原因。

3.2.1.3 手胶

手胶主要功能是吸汗和防滑,一般分为皮胶和毛巾胶。选择什么样的手胶,取决于运动员的个人爱好。一般来讲,高手都钟爱毛巾胶,如盖德、陶菲克和林丹就钟爱毛巾胶。

羽毛球运动员在选择和准备球拍时,要综合考虑球拍、网线、手胶等性能和自己的技术特点,才能准备好配置相同的球拍,真正做到多冗余,并且能有效预防损伤。

3.2.2 羽毛球运动员自备比赛器械冗余度的影响因素分析

羽毛球高水平运动员认为影响确定器械冗余度相对重要的前 3 位因素是:自己的参赛经验第一;竞赛规则、教练安排和对对手的重视程度第二;比赛类型和球拍经费第三。二级运动员认为影响确定器械冗余度相对重要的前 3 位因素是:比赛类型、自己的参赛经验、球拍质量(见表 9)。

羽毛球二级运动员多是根据比赛类型、自己参赛经验和球拍质量来判断所需准备的球拍数目;高

水平运动员考虑的因素比较复杂,参赛经验是进行器械准备最重要的因素,竞赛规则、教练安排和对对手的重视程度也是比较重要的因素,如 2012 年伦敦奥运会羽毛球赛制的变化,无形中会增加比赛场数;教练员参赛经验丰富,更擅长从全局出发考虑问题;对手的存在才能体现出运动员的价值,运动员重视对手就是重视实现自己价值的机会;比赛类型不同可能也决定了参赛选手的不同;购买球拍的费用可能是一级运动员需要考虑的问题,而健将和健将级以上的运动员可能不需要考虑。

表 9 羽毛球运动员自备比赛器械冗余度影响因素排序(n=40)

因素	高水平(8)	二级(32)
竞赛规则	2	7
比赛规模	5	5
比赛类型	3	1
教练安排	2	8
老运动员的建议	4	8
自己的参赛经验	1	2
自己将要参赛的场数	5	4
对对手的重视程度	2	6
球拍的质量	4	3
球拍的维护	4	9
球拍的经费	3	10

3.2.3 羽毛球运动员对所备球拍的适应性训练

8 名羽毛球高水平运动员表示在赛前会对所准备的球拍进行适应性训练,并且对主、副拍投入的时间有所不同,投入在主、副拍上的时间比分别是:2 名健将级运动员为 10: 8: 6: 4: 2: 1,有 2 名一级运

动员为 10: 8: 5: 3: 2: 1,其他 4 名一级运动员为 2: 1: 1(见表 10)。

表 10 羽毛球高水平运动员对所备球拍的适应性训练(n=8)

运动员技术等级	时间比	人数
健将	10: 8: 6: 4: 2: 1	2
一级	2: 1: 1	4
	10: 8: 5: 3: 2: 1	2

羽毛球高水平运动员对所准备的球拍进行适应性训练时对主拍投入的时间较多,对副拍投入的时间依次递减。这样的结果表明,羽毛球高水平运动员在赛前进行适应性训练时,会根据自己对所备球拍的器械感先将球拍进行排序(主拍、第 1 副拍……)然后再把训练时间进行分配。这从某种程度上说明了高水平运动员的器械感精细程度较高。

3.3 羽毛球运动员赛中对冗余器械的使用

3.3.1 羽毛球运动员对所备球拍的使用概率分析

由表 11 可见 8 名羽毛球高水平运动员在比赛中都会使用主拍,第 1 副拍的使用概率为 100% 和 80% 的各占一半;第 2 副拍的使用概率为 80%、60%、50%、10% 各占 1/4;第 3 副拍使用概率为 40% 和 50% 的各有 2 名运动员,概率为 0% 的有 4 名运动员;第 4 副拍使用概率为 20% 和 40% 的各有 2 名运动员;第 5 副拍使用概率为 10% 和 20% 的各有 2 名运动员;表示第 3、4、5 副拍使用概率为 0% 的运动员或许就只备了 3 支、4 支或 5 支球拍,或许也备了更多的球拍但从未用过。

表 11 羽毛球高水平运动员对所备球拍的使用概率(n=8)

技术等级	主拍		第 1 副拍		第 2 副拍		第 3 副拍		第 4 副拍		第 5 副拍	
	人次	概率(%)	人次	概率(%)	人次	概率(%)	人次	概率(%)	人次	概率(%)	人次	概率(%)
健将	2	100	4	80	2	80	2	40	2	20	2	10
一级	6	100	4	100	2	10	2	50	2	40	2	20
					2	50	4	0	4	0	4	0
					2	60						

比较而言,羽毛球运动员所准备的球拍最多。羽毛球高水平运动员表示使用主拍的概率最高,副拍的使用概率随着其序数的递增而递减。主拍是运动员最常用并且可能觉得是最顺手的。运动员会根据自己的感觉对球拍排出次序,第 1 副拍、第 2 副拍……。运动员对所用球拍“器械感”的好或差,可能会直接影响其比赛中技战术水平的发挥。但是,这种“只可意会不可言传”的微妙感觉或许只有运动员自己才能感受到。

3.3.2 羽毛球运动员比赛中换用球拍的因素分析

羽毛球高水平运动员赛中换用器械各因素均值从高到低前 3 名为:自己习惯用的球拍(不换)、针对对手技术特点的战术选择需要、自己的疲劳程度。二级运动员换用器械各因素均值从高到低前 3 名为:器械感、球拍损坏、针对对手技术特点的战术选择需要(见表 12)。

高水平运动员换用器械因素排在首位的是“自己用习惯的球拍(不换)”,从其本质上说就是器械

感,被访谈专家也提及“运动员觉得哪支球拍顺手就一直用哪支球拍”,这一点与二级运动员相同。高水平运动员对自己用习惯的球拍的依赖程度、针对对手特点和自己的疲劳程度换用不同磅数球拍,正好从某种程度上解释了其器械感精细程度高于二级运动员。

表 12 羽毛球运动员赛中换用球拍因素排序($n=40$)

因素	高水平(8)	二级(32)
竞赛规则	7	7
比赛规模	6	6
场馆条件(气温等)	5	5
器械感	5	1
自己的疲劳程度	3	4
球拍损坏	4	2
针对对手技术特点的战术选择需要	2	3
自己习惯用的球拍(不换)	1	7

4 对隔网持拍对抗性项目自备比赛器械冗余参赛的思考

4.1 隔网持拍对抗性项目自备比赛器械冗余参赛的必要性

乒乓球、网球、羽毛球 3 个隔网持拍对抗性项目属于同一项群同一类型项目,也都属于自备比赛器械项目。从某种角度讲,球拍及其备件是其竞赛制胜规律客体因素中的重中之重。从数据集中趋势看,乒乓球运动员的球拍及其备件多为双冗余,网球和羽毛球运动员的球拍多为多冗余。运动员所备的冗余球拍及其备件未必能派上用场,但是这种做法充分体现了“有备无患”的冗余思想。

邓亚萍在捐赠了一支一直陪伴着她的备用乒乓球拍时说“在我征战的每一个奥运会冠军和世界冠军比赛中,都有这支备用乒乓球拍的功劳,正是有了它的存在,使得我在每一场艰苦的比赛中,唯一觉得坦然的是,我手中的‘武器’有‘预备役’,虽然这支备用球拍真正征战沙场的机会并不多,但它在平时和比赛中,却给我最大的精神支持和鼓励,没有它的保驾护航,也不会有我今天的世界冠军”^[24]。

男单比赛中由于运动员爆发力强经常有将球线打断的情况,但一般来说,准备 2~3 支球拍也就够了^[19]。对于每次比赛带 6 支球拍,林丹认为“我觉得自己这样做很正常,没啥奇怪的。而且,我一直都是这样,每次比赛所带的球拍一支也不能少,要不然总感觉少点什么,心里没底!这是我对自己的心理要求,必须满足”^[19]。这表明了备用球拍即使用不上,也必须得备,其对运动员的心理稳定发挥着不可

替代的作用。

4.2 隔网持拍对抗性项目运动员的器械感

运动员权衡影响自身确定球拍冗余度的因素,选择适宜的冗余度;运动员根据自己的器械感,赛前对所备的球拍都进行相应的适应性训练,尽量减少对主、副拍器械感的差距。乒乓球、网球和羽毛球 3 个项目对所备球拍的使用情况是主拍的使用概率最高,副拍的使用概率随其序数的增加而递减。这是随着运动水平的提高,运动员器械感的精细程度也随之提高的表现之一。

“器械感”和“球拍损坏”是乒乓球、网球和羽毛球 3 个项目公认的赛中换用器械的重要因素。越是水平高的运动员,手上的感觉也越精细:林丹的球拍重量只差 0.3 g 也能感觉到;网球高水平运动员会根据自己的疲劳程度来换用球拍。运动员只有赛前对器械进行全面、细化的准备,保障其对器械的“器械感”要求,才可能真正实现冗余参赛。

4.3 隔网持拍对抗性项目运动员球拍的“私人定制”

国内外对体育器材和设备有相应的标准和准则,即使是符合器材标准的器材,性能依然是有差别的,并且器材标准只是设置了最低的要求^[17]。统一规格的器材很难满足不同运动员的要求,自备比赛器械项目为运动员提供了自己选择器械的空间。因此,运动员要充分利用机会来选择适合自己的器械,乒乓球、网球和羽毛球 3 个项目也不例外。

乒乓球、网球和羽毛球各个项目器械都有相应的标准。运动员根据标准,结合自己的技术特点,综合考虑球拍各构成部分的物理特性、参数和性能,选择最适合自己的球拍配置,优秀运动员的球拍甚至是因人而异进行“私人定制”(见表 13)。

乒乓球运动员李晓霞是横板打法,基本技术非常扎实且全面,尤其是正手稳健性和杀伤力;李晓霞在力量和旋转能力上更为突出,上网最主要得分手段是主动和对方形成相持,以高质量的弧圈球压制对手。丁宁属于比赛型选手,打法是横拍两面反胶,弧圈结合快攻,其技术体系非常全面,属于最典型的特长突出而无明显漏洞的高水平选手;丁宁的发球,以及发球或半出台球后正手反拉上旋球的第 3 板进攻,是她前 3 板的特长。网球运动员李娜的技术特点是正手凶狠,灵活,底线好,力量大。羽毛球运动员林丹是左手持拍,技术全面,拉吊突击打法为主;其进攻意识强,场上速度快,进攻落点好,攻击犀利,步伐灵活,扣杀极具威胁。陈金右手握拍,拉开突击,跑动能力强,连续进攻能力强。李晓霞现用的红双喜“狂飚霞”系列和丁宁现用的红双喜“狂飙

宁”系列的横拍、李娜现用的 Babolat Pure Drive GT 网球拍、林丹所用的啸天林 Woods N90 和陈金所用的霹雳火 Flame N55 球拍,不仅符合各项的国际器材标准,而且拍型、材质、结构和性能等都是结合运动员的技术特点、因人而异地为运动员量身打造

的,便于运动员能更好地发挥自己的特长。羽毛球拍甚至连外观也根据运动员的喜好来进行设计,林丹喜欢红色,他的球拍 N90 就是红色的;陈金喜欢红色和黄色,他的球拍 N55 就是红色和黄色的,体现了鲜明的个性化特征。

表 13 中国优秀乒乓球、网球和羽毛球运动员球拍的参数及其性能

姓名	打法特点	所用球拍	参数及性能
李晓霞	右手横握球拍、两面反胶弧圈球结合快、力量大旋转强	底板: 品牌:红双喜 系列:狂飙霞	拍型:横拍 直拍 层数:7 层 重量:直拍 85 ± 3 g/横拍 89 ± 3 g 厚度:6.2 ± 0.1 mm 适合打法:快攻结合弧圈 材质及性能:黑檀面材,阿尤斯大芯加厚了许多,其余 4 层较薄。攻击快速凶狠,威力超强。拉球容易,稳定性好,中远台是其强项,台内小球处理也能保证手感清晰,极其适合李晓霞的打法。
丁宁	横拍两面反胶,弧圈结合快攻	底板: 品牌:红双喜 型号:狂飚宁	拍型:FL 横拍、CS 直拍 层数:5 重量:横拍 FL 88 ± 3 g/直拍 CS 84 ± 3 g 厚度:5.5 ~ 5.9 mm 打法:弧圈结合快攻 材质及性能:黑檀面材 + 云杉 + 阿尤斯大芯,面材较硬,速度比普通纯木底板更快,出球弧线平直,极易拉出弧线较长的球,旋转能力更强。力度控制与手感清晰,落点极为精准,高质量的攻击一击即中,极其适合丁宁的打法。
李娜	正手凶狠,灵活,底线好,力量大	Babolat Pure Drive GT	拍面大小:100 sq. in. /645 sq. cm 长度:27 inches /69 cm 空拍重量:10.6 oz /300 g 挥拍重量:327 穿线重量:11.2 oz /318 g 平衡点:5pts Head Light 球拍硬度:70 拍框宽度:24 材料:Graphite Tungsten 力度水平:低 - 中 挥拍速度:中 - 快 柄皮:Syntec Grip 线床:16 × 19 拉线磅数:50 ~ 66 材质及性能:拍头部位使用钨纤维缠绕碳纤维,使拍框更稳定,击球更精准。使得击球力量和控制完美结合,适用于喜欢打强力上旋的高水平球手,如李娜。
林丹	头顶滑板吊对角、鱼跃救球	李宁 N90	材质:超刚性碳纤维 + 超导纳米 + 钛 颜色:红色 型号:WOODS N90 重量:W3(85 ~ 89 g) 握把尺寸:S2/S3 弹性:中 平衡点:304 长度:674 握把长度:200 穿线磅数:主线 20 ~ 28 lds;横线 22 ~ 30 lbs 构造及性能:拍头沉,发力凶狠,中管软弹、平衡点高,势道迅猛,扣杀强悍凌厉;拍头边缘以“压缩结构”打造,升级拍框抗扭力与拍面稳定性,控球调度随心所欲。匹配技术全面的力量型打法,与林丹人拍合一,将其一身绝学发挥到极致。
陈金	右手握拍,拉开突击	李宁 N55(全英赛冠军)	颜色:红色 + 黄色 型号:STORM N55 材质:超刚性碳纤维 + 超导纳米 重量:W3(85 ~ 89 g) 握把尺寸:S2/S3 适合类型:进攻性选手 弹性:偏硬 平衡点:295 长度:674 握把长度:200 穿线磅数:主线 20 ~ 28 lds;横线 22 ~ 30 lbs 构造及性能:拍头沉、中管硬、平衡点高,击球力发干钧,扣杀势如猛火;以“压缩结构”打造的拍头边缘,升级了拍框抗扭力与拍面稳定性,使控球调度随心所欲。匹配力量攻击型选手,专属于国羽顶尖高手陈金。

注:根据官方相关网站整理。

总之, 这样的定制, 一是为运动员能够全面发挥最佳技战术水平提供物质保障; 二是尽量减免由于器械与运动员的技术特点匹配问题而造成的损伤。

5 小 结

(1) 隔网持拍对抗性项目中, 乒乓球运动员的自备比赛器械多为双冗余, 网球和羽毛球运动员的自备比赛器械多为多冗余。

(2) 隔网持拍对抗性项目运动员对自备比赛器械使用概率的高低之分、赛中换用器械因素的主次之别表明, 运动水平越高的运动员, 其器械感的精细程度越高。

(3) 为了实现自备比赛器械的冗余参赛, 隔网持拍对抗性项目运动员需要综合考虑球拍及其备件的材质、参数和性能, 并结合自身的技术特点和个人习惯来选择球拍配置(优秀运动员要求更高, 基本是“私人定制”); 权衡影响自身确定器械冗余度的因素决定所需准备的器械数目; 赛前对所备的球拍进行适应性训练以缩小主拍和备用拍之间“器械感”的差距。

参考文献:

- [1]王仲生. 智能故障诊断与容错控制[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2005.
- [2]田麦久, 刘大庆. 运动训练学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [3]田麦久, 熊焰. 竞技参赛学[M]. 北京: 人民体育出版社, 2011.
- [4]王家宏. 运动选材、运动训练学、运动竞赛学[M]. 桂林: 广西师范大学出版社, 2005.
- [5]袁蓓, 魏冬. 教练员对比赛的准备和指导[J]. 中国体育教练员, 2000(2): 38.
- [6]吴澄清, 田雨普, 阿英嘎, 等. 20年来我国奥运项目人才发展变化的研究[R]. 北京: 国家体育总局政法司理论处, 2011.
- [7]许明山. 乒乓球拍底板与击球技术分析[J]. 成都体育学院学报, 2011, 37(6): 52-54.
- [8]王吉生. 乒乓球拍探秘[M]. 北京: 人民体育出版社, 2005: 31.
- [9]孔伟. 乒乓球拍胶皮的制备研究[D]. 合肥: 安徽理工大学, 2010.
- [10]崔大林. 现代训练的发展趋势及赛前训练[J]. 中国体育教练员, 2006(2): 4-6.
- [11]现场: 王皓球板不合格, 效仿张怡宁换备用板[EB/OL]. [2014-05-11]. <http://sports.sohu.com/20100526/n272366611.shtml>.
- [12]张怡宁: 临场换拍心凉半截 赢冯天薇非常不容易[EB/OL]. [2014-05-11]. <http://sports.eastday.com/2008/o/20080821/u1a3820052.html>.
- [13]赵祥, 徐明. 艺术体操运动员器械感训练研究[J]. 成都体育学院学报, 2014, 40(5): 53-56.
- [14]陈育和, 曲克基. 网球拍上的力学原理[J]. 文体用品与科技, 2011(11): 34-35.
- [15]赵晓光. 谈拍弦在网球运动中的重要作用[J]. 辽宁体育科技, 2003, 25(1): 17-18.
- [16]汪涛. 6个参数选球拍[J]. 网球俱乐部, 2013(4): 70-72.
- [17]Bahr R, Engebretsen L. Sports Injury Prevention[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2011.
- [18]Cross R. Racquet Power and the ideal racquet weight[J]. Tennis Industry Magazine, 2004(10).
- [19]林丹为何比赛前只带六支球拍? 这个迷信有道理[EB/OL]. [2014-05-12]. <http://news.liaol.com/newspage/2009/05/4290190.html>, 2009/05/21.
- [20]郭振东: 装备也要讲究搭配[EB/OL]. [2014-05-12]. <http://sports.qq.com/a/20100513/000568.htm>.
- [21]新晋世界冠军徐晨: 我的球拍一定要重[EB/OL]. [2014-05-12]. <http://ymq.ctsports.com.cn/xuangou/Xuchen-qiupai-yaozhong.html>, 2010-6-11.
- [22]张大伟. 选羽毛球拍因人而异[N]. 卫生与生活报, 2007-05-14(2).
- [23]贾伟灿, 汪文, 曹清华, 等. 羽毛球拍网线的研究进展[J]. 高科技纤维与应用, 2011, 36(6): 25-28.
- [24]邓亚萍签名第一备战的乒乓球拍[EB/OL]. [2014-05-12]. <http://encyc.sports.cn/collection/auction/2005-03-07/501846.html>.