

排球强攻击球点的空间位置与有效过网区间的多变量研究

陈少坚(集美大学体育学院, 厦门 361021)

刘志坚(厦门大学, 厦门 361005)

摘要: 本文以排球为质点, 建立强攻的击球点空间位置与有关参数之间的数学模型, 该软件能为主攻队员的强攻训练和实战运用提供量化数据。

关键词: 排球 强攻 数学模型 击球点空间位置 有效过网区间

A Variable Study on the Relationship between the Spiking point in Space and the Effective Zone over the Net of Volleyball

Chen Shaojian, et al

(Institute of Physical Education, Jimei University, Xiamen, 361021)

Abstract Regarding a volleyball as a point, the article sets up a mathematical pattern between the spiking point in space and the relative parameters. The software will provide data information for the key players in their spiking training and competitions.

Key words volleyball spike mathematical pattern spiking point in space effective zone over the net

1 前言

排球比赛中, 强攻(指对方能组成集体拦网状态下的进攻)的重要性是毋庸置疑的。我国女排近年来在冲顶夺冠及我国男排在努力重返世界强队行列的国际大赛中屡屡受阻, 强攻不强是主要原因之一。在我国对如何提高强攻能力进行了多方面的研究, 但仍较少涉及对击球点空间位置和有效过网区间的多变量的综合研究, 而且对扣球轨迹的描述常见于误差较大的直线法, 对影响技术应用的诸因素的研究还较多地停滞在表述已出现的现象, 缺乏预测和设计可能出现的现象。本文以4号(2号同)区平网及纵深强攻为例, 旨在通过数学模型的建立, 揭示与强攻有关的击球点空间位置、速度、角度、时值等多变量间的规律, 并指导于实践。

2 研究对象与方法

2.1 研究对象: 男助跑摸高在3.36—3.81米之间, 女助跑摸高在3.05—3.30米之间的国家、省级排球运动员。

2.2 研究方法: 把排球作为质点, 其运动轨迹呈斜下抛, 运用数学、力学的基本方法, 建立多变量数学模型, 借助IBM兼容机(586)在Fox PR026上完成数据处理。

3 结果与分析

研究对象的基本数据: 击球点高度(助跑起跳指摸高度减去排球半径)为 h 米, 击球最快初速度为 v 米/秒。此二项数据可以通过运动生物力学法获得, 本文略。

第一作者简介: 陈少坚, 男, 1956年2月出生, 副教授。

3.1 建立击球点空间位置与有关变量的数学模型

如图1, 设击球点空间位置边距为 y 米($y \leq 3$), 网距 x 米($x > 0$)。如图2, 男子网最低过网高度为2.58米(即: 男子网高2.43米+球半径0.11+免于球触网的上调高度0.04米)。同理, 女子网最低过网高度为2.39米。球初速度方向与边线夹角 θ , 俯角 φ 。

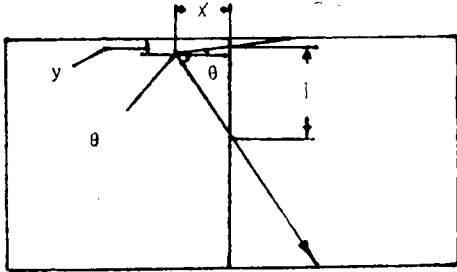


图1 俯视图

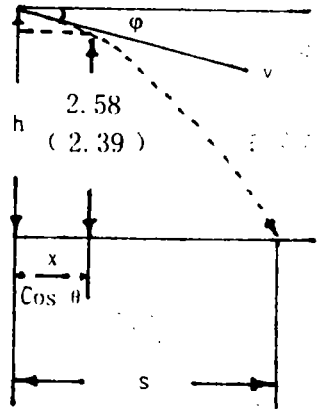


图2 质点轨迹图

求: 能确保球(质点)恰好过网的多变量数学模型。

以男子为例, 由关系式:

$$\begin{cases} h - 2.58 = v t \sin \varphi + 0.5 g t^2 \\ x / \cos \theta = v t \cos \varphi \end{cases}$$

得多变量数学模型:

$$\operatorname{tg}^2 \varphi + \frac{2 v^2 \cos^2 \theta}{g x} \operatorname{tg} \varphi + 1 - \frac{2 v^2 (h - 2.58) \cos \theta}{g x^2} = 0 \quad \dots\dots (\text{公式1})$$

3.2 确定有效过网区间

在 h, v 确定下, 任一击球点都对应着一个有效过网区间。

设: $\theta(\theta')$ 是对应有效过网区间右(左)端点的击球初速度与边线的夹角, φ 是对应此 $\theta(\theta')$ 方向的最大俯角。这时, 角 θ 是满足(公式2)的最大角,

$$s \sin \theta \leq 9 - y \quad \dots\dots (\text{公式2})$$

而角 θ' 是满足(公式3)的最大角,

$$s \sin \theta' \leq y \quad \dots\dots (\text{公式3})$$

所以, 在该空间位置(x, y, h)上击球时, 其有效过网区间的长度是:

$$x(\operatorname{tg} \theta + \operatorname{tg} \theta')$$

3.3 击球点沿 x 或 y 方向移动与有效过网区间(1)大小的关系

如图3, y 固定时, x 越大则有效过网区间越大。

如图4, x 固定时, y 在某处能获得较宽的有效过网区间。

3.4 确定在有效攻击时值内对应的最佳击球点空间位置、相应的最宽有效过网区间

3.4.1 由3.3可知, x 越大则有效过网区间也越长, 反之越窄。但若无限制地通过加大 x 来扩大过网区间, 则球出手至落地时间 t (称为攻击时值)也同时加大, 使对方有足够的时间进行地面防御, 这是不可取的。本文把直线有效攻击时值限制在0.3秒展开讨论。这样, 就

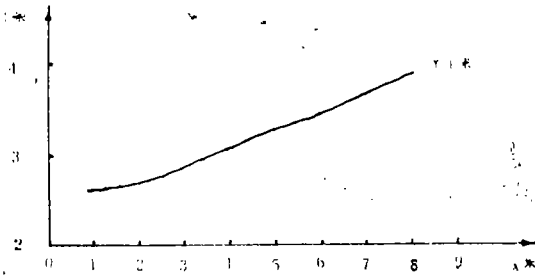


图3 y固定时, x与有效过网区间的关系

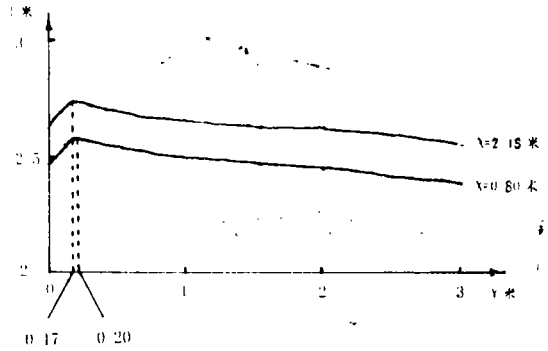


图4 x固定时, y与有效过网区间的关系

可得到一个最佳击球点空间位置及对应于此位置的一个最宽的有效过网区间。

为保证有效攻击时值 t 为0.3秒, 从关系式:

$$\begin{cases} h = v t \sin \varphi + 0.5 g t^2 \\ s = v t \cos \varphi \end{cases}$$

求得初速俯角 φ , 结合公式1, 可得出: x 与 θ 应满足

$$\frac{2v^2(h-2.58)}{g} \cdot \left(\frac{\cos \theta}{x}\right)^2 - \frac{2v^2 \operatorname{tg} \varphi}{g} \cdot \frac{\cos \theta}{x} - 1 - \operatorname{tg}^2 \varphi = 0$$

即: 只要限定 t (可以根据个人扣球初速及预期达到的时值的不同而变更), 就可以确定 x 与 θ 的关系, 从而得出对应于 x 的有效过网区间。

3.4.2 求: 在直线扣球时值为0.3秒时的最佳击球点空间位置、相应的最宽有效过网区间及往右(左)端点扣球的时值、俯角。

由3.4.1公式, 令 $\theta = 0$, 可得 x 的值。借助专制软件, 确定 y 值及相应的最宽有效过网区间1, 往有效过网区间右(左)端点扣球的时值 t_1 (t_2)、初速俯角 φ_1 (φ_2)。见表1(女子见表2)。

从表1、表2可见, 若初速不变, 应发展高度才能获得较宽的有效过网区间。若高度不变, 初速越慢, 时值增加, 过网区也越宽, 这从强攻所需达到的力度和速度上看, 是不提倡的。但仍可以利用较宽的网长进行轻扣或吊球。

3.5 应用举例

已测得: 某男排主攻队员助跑摸高3.56米, 最快扣球初速度28米/秒。

应用1: 求在直线攻击时值为0.3秒(此时斜线时值 < 0.5 秒), 能发挥最高弹跳、最快扣球初速度的最佳击球点空间位置和相应的最宽有效过网区间以及其它相关变量值。

由已知, $h = 3.45$ 米(把助跑摸高高度减去球半径0.11米)

$$v = 28 \text{ 米/秒}$$

查表1, 得 $x = 2.18$ 米 $y = 0.17$ 米 $l = 2.74$ 米

$$t_1 = 0.416 \text{ 秒} \quad \varphi_1 = 12.9 \text{ 度}$$

$$t_2 = 0.300 \text{ 秒} \quad \varphi_2 = 21.0 \text{ 度}$$

这就是说, 该主攻队员为保证直线有效攻击时值为0.3秒, 其最佳击球点的 $x = 2.18$ 米, $y = 0.17$ 米, 此空间位置有最宽的有效过网区间, 其长度 l 为2.74米, 且在此处向有效过网区间右端点扣球的最大俯角 $\varphi_1 = 12.9$ 度, 时值 $t_1 = 0.416$ 秒, 往右端点扣球最大俯角 $\varphi_2 = 21$ 度,

时值 $t_2 = 0.3$ 秒。这些变量值便成为该主攻队员强化强攻训练设计与达标和比赛模拟的定量化数据。

主攻队员向有效过网区间实施扣球攻击时,尚需了解不同方向的 φ 值与 t 值的变化情况,从左至右端点,最大俯角是由21度逐渐减少至12.9度,时值是从0.3秒逐渐增大至0.416秒。掌握这一规律后方可酌情应用。

应用2:在网距小于2.18米的近网处实施强攻的有关变量及其应用。

接上例,在实施强攻时,若主攻队员在高度上或扣球技巧上占有优势,或受扣球初速所限需缩短时值来保证攻击力量,此时击球点空间位置可向近网处取点。下面仅以距网1.5米和0.8米的中、近网区强攻扣球列表3。

表 1 男排初速度、击球点空间位置与有效过网区间、俯角、时值对照表

v 米/秒	h米										
	3.25	3.30	3.35	3.40	3.45	3.50	3.55	3.60	3.65	3.70	
22	x米	1.38	1.44	1.51	1.57	1.63	1.69	1.74	1.79	1.84	1.89
	y米	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18
	l米	2.46	2.57	2.67	2.79	2.90	3.00	3.09	3.18	3.27	3.35
	t_1 秒	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
	φ_1 度	11.9	12.2	12.4	12.7	12.9	13.2	13.4	13.7	14.0	14.2
	φ_2 度	25.2	25.7	26.1	26.6	27.1	27.6	28.1	28.6	29.1	29.6
24	x米	1.53	1.60	1.68	1.75	1.82	1.88	1.94	2.00	2.06	2.11
	y米	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.19	0.19
	l米	2.38	2.50	2.61	2.72	2.83	2.92	3.02	3.11	3.20	3.29
	t_1 秒	0.45	0.45	0.45	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
	φ_1 度	12.1	12.3	12.6	12.8	13.0	13.3	13.6	13.8	14.1	14.3
	φ_2 度	23.0	23.4	23.8	24.3	24.7	25.1	25.6	26.0	26.5	26.9
26	x米	1.68	1.76	1.84	1.92	2.00	2.07	2.14	2.20	2.27	2.33
	y米	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
	l米	2.33	2.45	2.57	2.67	2.78	2.88	2.93	3.06	3.15	3.23
	t_1 秒	0.43	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
	φ_1 度	12.1	12.3	12.6	12.8	13.0	13.2	13.5	13.7	14.0	14.2
	φ_2 度	21.1	21.5	21.9	22.3	22.7	23.1	23.5	23.9	24.3	24.7
28	x米	1.82	1.92	2.01	2.10	2.18	2.26	2.34	2.41	2.48	2.55
	y米	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
	l米	2.29	2.41	2.52	2.63	2.74	2.84	2.93	3.02	3.11	3.19
	t_1 秒	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
	φ_1 度	12.0	12.2	12.4	12.6	12.9	13.1	13.3	13.6	13.8	14.0
	φ_2 度	19.5	19.9	20.3	20.6	21.0	21.3	21.7	22.1	22.5	22.8
30	x米	1.97	2.07	2.17	2.26	2.35	2.44	2.53	2.61	2.68	2.76
	y米	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18
	l米	2.27	2.38	2.49	2.60	2.70	2.80	2.90	3.00	3.08	3.17
	t_1 秒	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41

	φ_1 度	11.8	12.0	12.2	12.4	12.6	12.9	13.1	13.3	13.6	13.8	
	φ_2 度	18.2	18.5	18.9	19.2	19.5	19.9	20.2	20.5	20.8	21.2	
32	x米	2.11	2.22	2.33	2.43	2.53	2.63	2.72	2.81	2.89	2.97	
	y米	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	
	l米	2.24	2.36	2.47	2.58	2.68	2.78	2.87	2.97	3.05	3.13	
	t_1 秒	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	
	φ_1 度	11.5	11.7	12.0	12.2	12.4	12.6	12.8	13.0	13.3	13.5	
	φ_2 度	17.0	17.3	17.6	17.9	18.3	18.6	18.9	19.2	19.5	19.8	
34	x米	2.26	2.38	2.49	2.60	2.71	2.81	2.91	3.00	3.09	3.18	
	y米	0.15	0.16	0.16	0.16	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	
	l米	2.22	2.33	2.45	2.55	2.66	2.76	2.86	2.95	3.04	3.12	
	t_1 秒	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	
	φ_1 度	11.3	11.5	11.7	11.9	12.1	12.3	12.5	12.7	13.0	13.2	
		φ_2 度	16.0	16.3	16.6	16.9	17.2	17.4	17.7	18.0	18.3	18.6

注: $t_2 = 0.30$ 秒。

表 2 女排初速度、击球点空间位置与有效过网区间、俯角、时值对照表

v 米/秒		h米									
		2.85	2.90	2.95	3.00	3.05	3.10	3.15	3.20	3.25	
12	x米	0.49	0.53	0.56	0.58	0.60	0.62	0.64	0.65	0.66	
	y米	0.15	0.13	0.14	0.12	0.16	0.13	0.17	0.14	0.14	
	l米	3.50	3.62	3.74	3.84	3.93	4.03	4.12	4.20	4.28	
	t_1 秒	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.76	0.76	0.76	0.76	
	φ_1 度	0.6	0.9	1.2	1.4	1.9	2.1	2.5	2.6	3.0	
		φ_2 度	41.9	43.1	44.1	44.4	46.4	47.6	48.7	50.0	51.3
	14	x米	0.64	0.68	0.72	0.76	0.80	0.83	0.86	0.89	0.91
y米		0.12	0.13	0.13	0.14	0.16	0.16	0.13	0.14	0.17	
l米		2.87	3.10	3.15	3.28	3.40	3.51	3.60	3.70	3.80	
t_1 秒		0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	
φ_1 度		4.7	5.0	5.3	5.9	5.9	6.2	6.4	6.7	7.1	
		φ_2 度	35.0	35.8	36.7	37.5	38.4	39.2	40.2	41.0	41.9
16		x米	0.77	0.83	0.88	0.93	0.98	1.02	1.07	1.10	1.14
	y米	0.13	0.15	0.15	0.16	0.15	0.15	0.15	0.16	0.15	
	l米	2.50	2.66	2.80	2.94	3.06	3.18	3.29	3.40	3.50	
	t_1 秒	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.60	
	φ_1 度	7.2	7.5	7.7	8.0	8.2	8.5	8.8	9.1	9.3	
		φ_2 度	30.1	30.8	31.5	32.2	32.9	33.6	34.3	35.1	35.8
	18	x米	0.89	0.96	1.03	1.09	1.15	1.20	1.26	1.30	1.35
y米		0.14	0.14	0.15	0.14	0.16	0.16	0.16	0.17	0.16	
l米		2.29	2.44	2.59	2.72	2.85	2.98	3.09	3.19	3.30	
t_1 秒		0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	
φ_1 度		8.6	8.8	9.1	9.3	9.6	9.9	10.2	10.4	10.7	
		φ_2 度	26.5	27.1	27.7	28.3	28.9	29.5	30.1	30.7	31.3
20		x米	1.02	1.10	1.17	1.24	1.31	1.38	1.44	1.50	1.55

	y米	0.15	0.15	0.15	0.17	0.16	0.16	0.16	0.17
	l米	2.16	2.30	2.40	2.58	2.71	2.83	2.94	3.16
	t ₁ 秒	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.51	0.51	0.51
	φ ₁ 度	9.4	9.7	9.9	10.2	10.4	10.7	10.9	11.2
	φ ₂ 度	23.7	24.2	24.7	25.2	25.8	26.3	26.8	27.4
22	x米	1.14	1.23	1.31	1.40	1.47	1.55	1.62	1.75
	y米	0.14	0.15	0.15	0.15	0.18	0.16	0.17	0.17
	l米	2.04	2.20	2.34	2.48	2.61	2.73	2.85	2.95
	t ₁ 秒	0.47	0.47	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
	φ ₁ 度	9.9	10.1	10.4	10.6	10.9	11.1	11.4	11.6
	φ ₂ 度	21.4	21.9	22.3	22.8	23.3	23.7	24.2	24.7
24	x米	1.25	1.36	1.45	1.54	1.63	1.71	1.79	1.87
	y米	0.14	0.14	0.16	0.16	0.16	0.18	0.16	0.17
	l米	1.97	2.12	2.27	2.40	2.53	2.65	2.77	2.88
	t ₁ 秒	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.46
	φ ₁ 度	10.1	10.3	10.6	10.8	11.0	11.3	11.5	11.8
	φ ₂ 度	19.5	20.0	20.4	20.8	21.2	21.7	22.1	23.0

注: t₂ = 0.30秒。

表 3 网距X米处扣球对应的有关变量值

x米	y米	l米	t ₁ 秒	φ ₁ 度	t ₂ 秒	φ ₂ 度
2.18	0.17	2.74	0.416	12.9	0.300	21.0
1.50	0.17	2.64	0.377	15.1	0.230	29.6
0.80	0.20	2.59	0.346	17.2	0.162	47.1

注: v = 28米/秒, h = 3.45米。

我们可以从图4及表3来比较网距2.18米与0.8米的差别, 相对于O处, 在A处扣球, 最大俯角相对增大(此时的时值也减少), 有效过网区由O处的2.74米缩为2.59米(扣球过网难度和被拦的可能性增多), 落点前移。若能与O处扣球灵活交替应用, 则可以通过变化时值与落点进行攻击。

另外, 由O向近网任一处取点扣球, 只要保证击球点到过网点的距离等于最佳击球点到网的距离2.18米, 均能使时值为0.3秒。

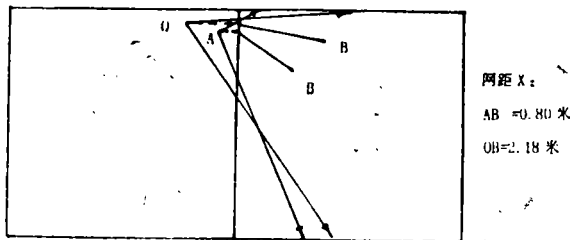


图 5 不同击球点位置的扣球俯视图

应用3: 研究结果的逆向应用。

大赛前, 通用各种媒介可以获得主要对手的主攻队员击球点高度、击球初速及击球点位置分布。运用本研究结果, 可即刻得出场上任一击球点对应的有效过网区间的位置及大小、扣球时值、落地区域分布和其它有关变量值。据此便可进行拦网与后排防守的布防设计, 施于针对性的模拟训练。

4 小结

4.1 击球点的空间位置与有效过网区间的数学模型是公式1—3。该模型揭示了多变量之间的关系, 是研究、设计主攻队员强攻训练有关参数的依据。

4.2 在有效攻击时值确定后, 就能找到一个对应着最宽有效过网区间的最佳击球点空间位置。

4.3 在最佳击球点空间位置往近网处取点扣球, 有效过网区间变窄, 但仍能通过调节初速俯角、偏角进行有效攻击。若往远网处取点扣球, 则因时值延长, 攻击力减弱, 是达不到强攻效果的。

4.4 本研究专制的软件可为主攻队员强化强攻训练的空间位置选择提供各种数据。

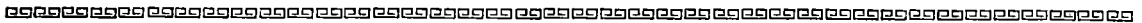
4.5 本研究可以提高防守强攻的针对性, 提高防守水平。

5 参考文献

- [1] 张然(执笔). 发扬优良传统, 重振昔日雄风. 中国排球, 1990年(2)
- [2] 体育学院、系教材编审委员会. 运动生物力学. 人民体育出版社, 1982年
- [3] 黄辅周等. 排球运动科学探蹊. 北京体育大学出版社, 1995年
- [4] 李安格等. 现代排球. 人民体育出版社, 1995年
- [5] 史济民. FoxBASE+ 及其应用系统开发. 清华大学出版社, 1994年
- [6] 龚德恩. 经济数学基础. 四川人民出版社, 1992年
- [7] 刘汉扬等. 运动生理学. 人民体育出版社, 1990年

致谢: 该研究得到福建师大黄汉升教授的支持和帮助, 特在此表示感谢。

收稿日期: 1998—06—15



(上接第16页)

5 结论

5.1 高成功率是高水平举重比赛中决定性的制胜战术。

5.2 我国优秀运动员成功率已达到或超过世界先进水平, 多数运动员以及男子小级别、抓举项目等成功率明显偏低, 必需大幅度提高。

收稿日期: 1998—05—30