



高球力学

原理与应用

王立军 编著

清华大学出版社

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是一本写高尔夫球的力学书。应用空气动力学、物体运动学原理,对高尔夫球自击出后经历的空中飞行、落地反弹、滑行、滚动直至停止的全过程进行了研究。

本书主要包括两部分内容,一部分为基本理论,包括对空气阻力、空气升力的分析研究;另一部分为应用研究,包括击球后对球起飞、空中轨迹、反弹和滚动的球运动全过程的研究,另外也对推杆时球的滚动做了全方位研究。

版权所有,侵权必究。举报:010-62782989, beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目(CIP)数据

高球力学:原理与应用/王立军编著. —北京:清华大学出版社,2022.10

ISBN 978-7-302-61913-0

I. ①高… II. ①王… III. ①应用力学 IV. ①O39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 178323 号

责任编辑:秦 娜

装帧设计:陈国熙

责任校对:赵丽敏

责任印制:丛怀宇

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-83470000 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市东方印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:165mm×235mm 印 张:7.25 字 数:133 千字

版 次:2022 年 11 月第 1 版 印 次:2022 年 11 月第 1 次印刷

定 价:98.00 元

产品编号:097549-01

序 Foreword

非常荣幸受到清华博士王立军大师的邀约为他的《高球力学——原理与应用》一书作序。王博士是我的高球好友,结构工程大师,他是一位左手将,最好成绩 79 杆,也可称得上是位业余高手了。从本书可以看出,正是出于对高尔夫炙热的喜爱和多年经验的积累才使得王博士对高球力学有如此深刻的见解。本书中王博士对挥杆、球杆、球、飞行轨迹等各个方面从力学角度进行了深入的分析和解读。以往我们看到的高尔夫书籍都是以动作为主的解释,而王博士采用力学原理清晰全面地分析了整个高尔夫球运动的过程。横看成岭侧成峰,《高球力学——原理与应用》为我们认识高尔夫运动提供了一个全新的视角,无论是对职业选手、业余选手、球杆和球的设计都提供了详细的力学原理依据。《高球力学——原理与应用》立意新颖,视角独到。作为一个球友和从业者能为本书作序感到非常荣幸!也感谢王博士对高尔夫运动做出的贡献和付出!

中国职业高尔夫选手

中国职业高尔夫 12 个冠军获得者

中国高尔夫巡回赛奖金王

2022 年 6 月 23 日于北京

清华大学出版社

前言 Preface

本书是写高尔夫的,但不是写打球的人,而是写被打的球。对于球手,要想打好球,需要学习击球的原理,如挥杆等。这方面的书很多,像本·侯根、尼克劳斯、老虎伍兹等都出版过这类书。相比之下,写击球人的对立面,即被打的高尔夫球的书不多。究其原因,可能还是从人的角度写顺理成章,而写球有些无从下笔,即使写出来也会枯燥无味。如果说打球体现的是高尔夫爱好者的乐趣,那么写球则是结构工程师研习力学的一个新视角。从这个角度讲,其实写球与打球关系不大,它更像力学爱好者借助高尔夫球这个媒介完成对力学世界的又一次探索。

高尔夫球的运动是球被击打后在空中飞行、在地面滑行滚动的过程。球被击打后以一定的初速度做抛物体运动,因而它本质属运动学范畴。然而,球在空中飞行时会受到空气的作用,这时要用到空气动力学原理,从这个角度讲,又属动力学范畴。因此本书定名为《高球力学——原理与应用》,以全面解释高尔夫球被击打后空中飞行、落地反弹、滑行、滚动直至停止的全过程。

在本书的写作过程中,作者参考了国外经典高球力学和近年来国外最新研究成果。全书由挥杆、球运动(含击球、距离、反弹和滚动、推杆)、理论(含空气阻力、空气升力、基本理论)、一杆进洞四部分组成。

挥杆不是本书的重点,故这里重点介绍基于数据统计的职业挥杆特点,主要参考了《职业挥杆》的内容。这是一本非常好的从科学家角度介绍职业挥杆特点的书,爱好高尔夫的朋友看后都说受益匪浅。希望这一章对大家提升挥杆技术水准有所帮助。有关球运动的内容中有三章,写的是球起飞、空中轨迹、反弹和滚动的运动全过程,还有一章全面介绍了推杆。我的体会是,通过对推杆的反复研习,可以大大提高推杆水准,目前我每场推杆基本保持在 30 杆以内。理论部分结合专业实践即结构设计中有关风工程的体

会,对高尔夫球的风阻力进行了深入剖析,厘清了仅属于高尔夫球风工程的一些基本问题。一杆进洞集高尔夫运动的技术、运气和下场次数因素为一体,体现出这项运动的独特魅力,因而也成为本书的点睛之笔。

本书在编排上也独具匠心,全书按章布局,按专题排列,共分 86 个专题,使球友在阅读时便于找到关注点。这种编排特别适宜现代人生活节奏快、阅读碎片化的特点。

本书自酝酿至完成,共计十五年。其间既包括作者如饥似渴地学习,也包括苦思冥想的钻研,还渗透着作者学以致用的研习。经本人不断地学习—研究—实践的反复迭代,希望这本书读起来不会让人太乏味。当然,如果读起来能达到爱不释手,甚至旁若无人的程度,那是作者最为高兴不过的事情了。

本书读者对象为高尔夫爱好者、球手、教练、研究人员,也可作为高尔夫学习的教材或参考书。在本书的写作过程中,得到了许多业内同仁和高尔夫球友的大力帮助和鼓励。在此特别感谢高 7 人小队、小孔和小薛对本书出版过程中的支持。由于本人水平有限,写高尔夫力学又属跨界,书中难免存在错误,欢迎广大球友和高球专家批评指正。

2022.1.1

001

002

004

005

006

006

007

008

009

010

010

012

013

013

014

015

015

016

017

019

020

021

021

023

023

024

026

028

029

029

029

031

目录
Contents



第一章 挥杆

- 1 职业挥杆
- 2 基本挥杆
- 3 杆头速度
- 4 加速度和力
- 5 离心力
- 6 杆头的离心力
- 7 力的合成
- 8 杆身传到杆头的力
- 9 手腕的作用
- 10 杆身的弯曲
- 11 杆身弹性的影响
- 12 身体上的力
- 13 能量
- 14 能量来源
- 15 重力效应
- 16 空气阻力效应
- 17 距离与什么有关
- 18 节奏

第二章 击球

- 19 反弹
- 20 旋转
- 21 高尔夫球杆的反弹
- 22 恢复系数
- 23 杆头质量效应
- 24 自杆头的旋转
- 25 球体内部
- 26 能量传递
- 27 作用在球上的力
- 28 旋转效果
- 29 击球的三种失误(mis-hits)
- 30 杆面不方正

31	杆头斜向运动
32	偏心击球
33	严重击球失误

第三章 空气阻力

34	牛顿力学
35	气流
36	达朗波特悖论
37	斯托克斯模型
38	边界层
39	伯努利效应
40	气流的分离
41	湍动的尾流
42	临界速度
43	球手的发现
44	临界速度时发生了什么?
45	气象条件影响

第四章 空气升力

46	马格努斯-罗宾效应
47	对于升力的解释
48	马格努斯-罗宾效应的物理学原理
49	一项简单实验
50	升力是多少?
51	旋转能量学

第五章 基本理论

52	雷诺数
53	阻力系数
54	升力系数
55	阻力和旋转
56	轨迹的计算

031
032
034

035

036
037
037
038
038
039
039
040
040
041
042
043

045

046
047
048
049
049
051

053

054
054
055
056
057



059

- 060
- 062
- 063
- 064
- 066
- 067
- 069
- 069
- 071
- 072
- 074
- 074

077

- 078
- 079
- 080
- 081
- 082
- 082
- 083

085

- 086
- 087
- 089
- 091
- 091
- 093

第六章 距离

- 57 理想飞行
- 58 阻力效应
- 59 阻力加爬升
- 60 最优起飞角
- 61 作用在球上的力
- 62 跑动距离
- 63 总距离中跑动的效应
- 64 杆头速度的依赖性
- 65 一个棘手的问题
- 66 风的影响
- 67 侧风
- 68 大气压力和海拔高度的影响

第七章 反弹和滚动

- 69 反弹
- 70 自拽五的反弹
- 71 强倒旋反弹
(bounce with high back-spin)
- 72 滚动(rolling)
- 73 “长推”(the “long putt”)
- 74 滚动能量学
- 75 果岭速度

第八章 推杆

- 76 击球
- 77 简单滚动
- 78 进洞
- 79 沿坡推杆
(putting on a slope)
- 80 跨坡推杆
(putting across a slope)
- 81 优化推杆

82 风的影响

83 偏心球

84 泥球

第九章 一杆进洞
(Hole in one)

85 一杆进洞的概率

86 多少?

参考文献

096

099

100

101

103

104

105

清华大学出版社



第一章



挥杆



清华大学出版社



1 职业挥杆

高尔夫最苦恼的是打不远。职业选手打 320 码(1 码=0.9144 米),不可比;别人打 230 码,比不了。球晃晃悠悠不到 200 码,怎么办,看职业选手挥杆!挥杆分 10 节点,由上杆、下杆、收杆三部分组成(图 1)。

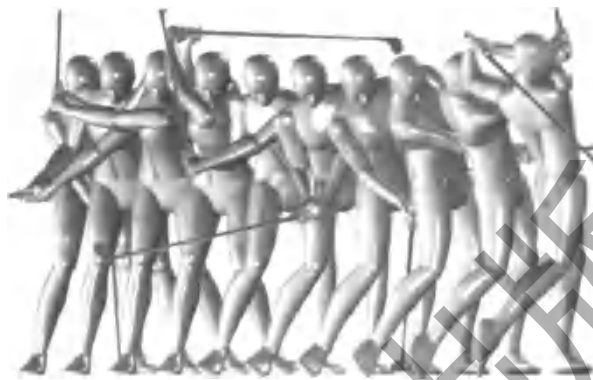


图 1

上杆保持肩-左臂-右臂三角形(图 2(a)),转胯带动上杆并转肩(图 2(b))。胯转 45° ,肩转 90° ,相当于背部自腰部至肩部转动 45° (图 2(c))。

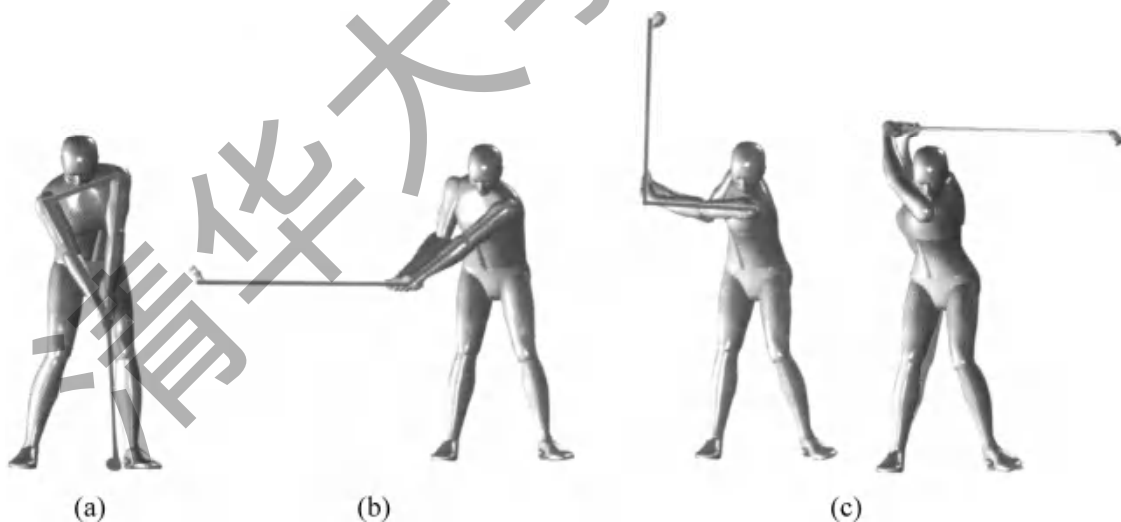


图 2

下杆胯启动,重心前移产生第一力 $F=ma$ (图 3(a)),同时肩背转回 90° 产生第二力 $V=\omega r$ (图 3(b)),前脚蹬地产生第三力 $R=\omega$ (图 3(b)),顺势向下挥杆(图 3(c))击球(图 3(d))。

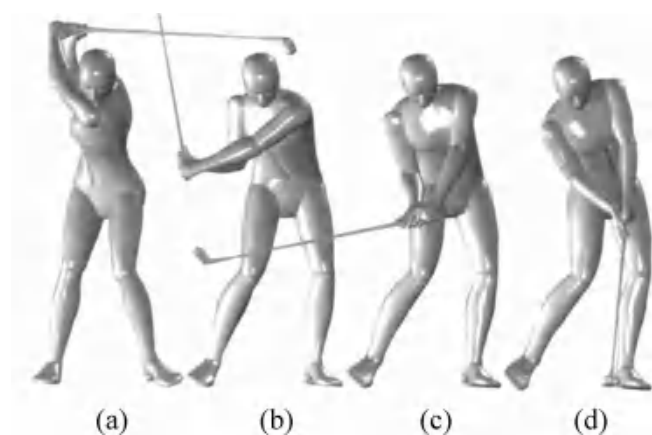


图 3

收杆(图 4),做事要顺势而为,收杆也是如此。

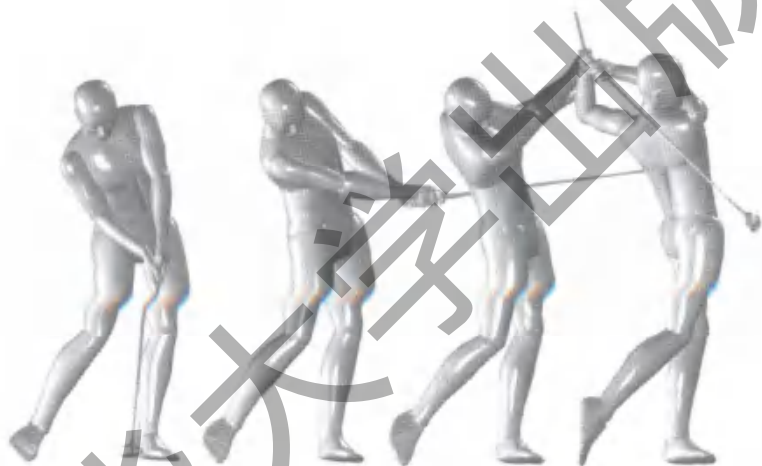


图 4

小结: 高尔夫击球力量的三个来源——重心前移 $F=ma$, 转肩背 $V=\omega r$, 蹬地 $R=\omega$ 。

如果再打不到 230 码,80 杆,我也没辙了,找 Ben Hogan 去吧。

挥杆关键节点: 后坐(squat)。在挥杆过程中,有一个十分重要的节点,发生在上下杆转换的那一刻,对应于图 2(c)的位置。此时上杆的所有动作已经完成,身体的重心已移至右脚后跟(左手球手为左脚后跟),全身的力量处于积聚待发之势。在上杆的转体过程中身体会有一个自然向上的趋势,但以这个趋势结束上杆是错误的。因为上杆要以“后坐”结束,即随着上杆过程的转胯动作,大部分身体重量自然转向右侧并落在右脚后跟上,这时身体保持向下并呈螺旋状态。此时你会感到身体处于一个强有力



的活跃位置,这种“后坐”姿势牵拉腿部和躯干的肌肉,为有力、可控的以身体带动的下杆做好了准备。因此可以说,有没有“后坐”是高尔夫挥杆过程中能否成功实现转体的试金石。

联系到其他运动的经历,每个人或多或少都能回想起“后坐”的感觉。网球、乒乓球运动的正手击球和棒球手摆好姿势准备挥棒打,都是运动中“后坐”的最好例子。

2 基本挥杆

挥杆线基本上是一个平面,与垂直面成 45° ,如图 5 所示。

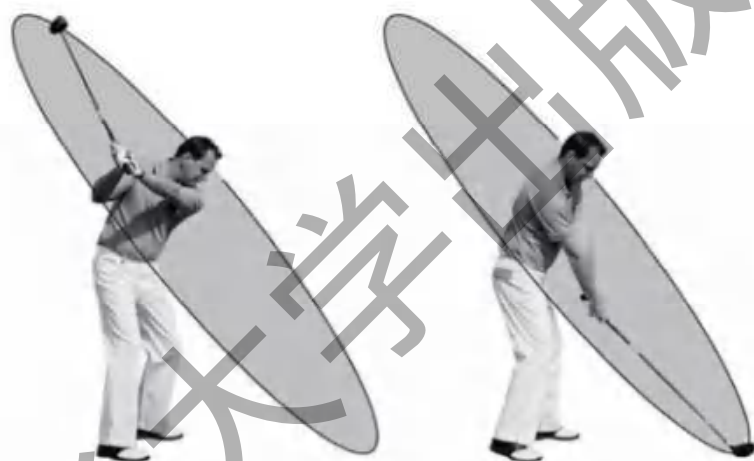


图 5

每一个球手都有自己的挥杆轨迹。即使对于同一个人,每一次击球挥杆也不一定能保持同一轨迹。然而,对于所有挥杆,无论短的长的,快的慢的,基本性质是相同的。因而,为简化起见,我们的研究将聚焦于标准挥杆。

图 6 为由摄像机拍摄的职业球手的挥杆轨迹。杆和胳膊构成的双杆模型以 0.02 秒的时间间隔展示。下杆的时间是 $1/4$ 秒,杆头速度为 100 英里/小时(1 英里=1.6 千米),拽五(driver,指 1 号木)开球距离为 270 码。

由图 6 可以看出两点:(1)杆头速度在挥杆过程中逐渐加快;(2)挥杆过程的初期杆身滞后于手臂,它们之间保持一个较大的夹角,这个夹角随挥杆过程逐渐减小,最后为零。

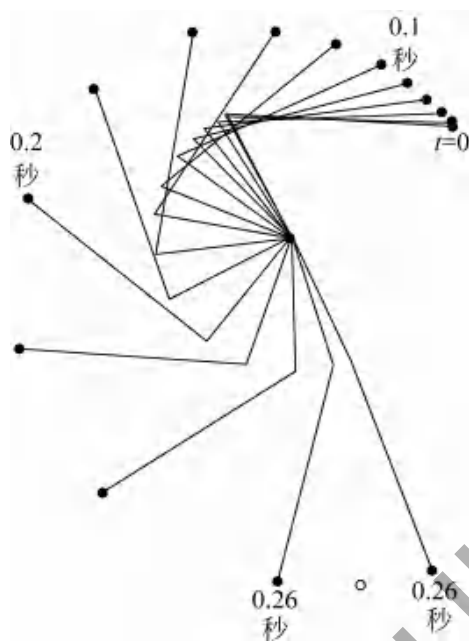


图 6

3 杆头速度

通过测量每一时间间隔杆头行进的距离可以计算出该间隔的杆头速度,由此可以得到速度与时间的关系图,如图 7 所示。

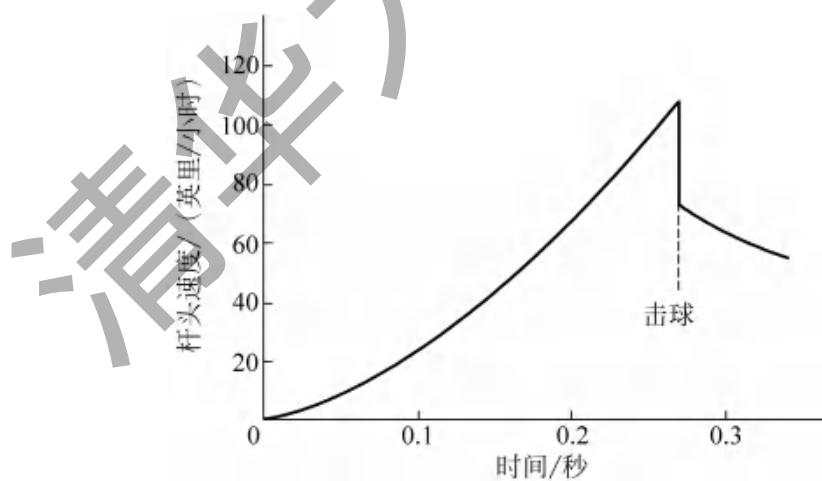


图 7

可以看到初期杆头速度不快,之后杆头逐渐加速,击球时速度可达到 107 英里/小时,随后杆头损失动量速度降低。



4 加速度和力

有了与速度相关的时间,我们可以直接计算杆头沿其路径运动的加速度。加速度等于速度的变化率,任意时刻的加速度等于图 7 中曲线的斜率。有了加速度我们可以由牛顿第二定律计算相应的力:力等于杆头质量乘以加速度。

由图 7 速度的斜率计算出加速度,可得到杆头上的力。假设杆头质量为 0.45 磅(1 磅=0.45kg),经计算我们得到图 8 所示数据。

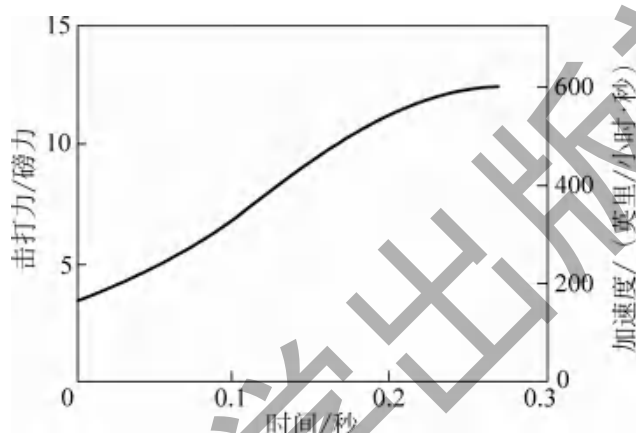


图 8

由图可以看到加速度最高可上升到 600 英里/小时·秒,这是一个很大的数。产生这个加速度的力达到 12 磅力(1 磅力=4.54 牛顿),为杆头重量的 27 倍。因而杆头的重力效应很小,与之相比可以忽略不计。

图 8 给出了用拽五击球时沿其路径加速产生的击打力。我们发现杆头还有一个很大的力,即向心力。这个力经常会引起误解,因而这里我们将偏离一下主题,对此做一简单解释。

5 离心力

考虑一个简单的例子,在绳的一头拴上一块石头使其做圆周运动。牛顿定律告诉我们,如果石头没有受到任何外力的作用,它将沿初始速度方向做匀速直线运动。在我们的例子中,运动轨迹由直线变为圆形的原因在于绳对石头的拉力,如图 9(a)所示。指向转动中心的加速度叫向心加速度,向内的力叫向心力。如果我们从石头的角度考虑这个问题,会得到一个等价的描述。这时石头受到两个力作用,即向内的向心力和向外的离心力,如



图 9(b)所示。这两个力大小相等、方向相反、相互抵消,因石头所受的力为 0,结果是石头与圆心保持一个不变的距离做圆周运动。

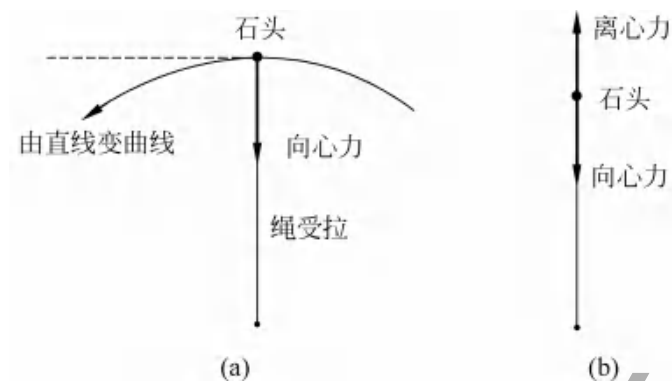


图 9

离心力这一名称的描述符合我们的直觉。例如,我们熟悉的离心力包括汽车突然转向时给我们身体的感觉,在游乐场乘坐飞车的感受。

6 杆头的离心力

杆头的离心力由下面方程给出:

$$\text{力} = \frac{\text{杆头质量} \times (\text{杆头速度})^2}{\text{半径}}$$

可以看到,力与杆头速度的平方成正比,即 2 倍的速度产生 4 倍的离心力。

现在我们可以计算杆头的离心力及挥杆过程中其变化情况,结果见图 10,可以看到杆头与球撞击时离心力达到 60 磅力。

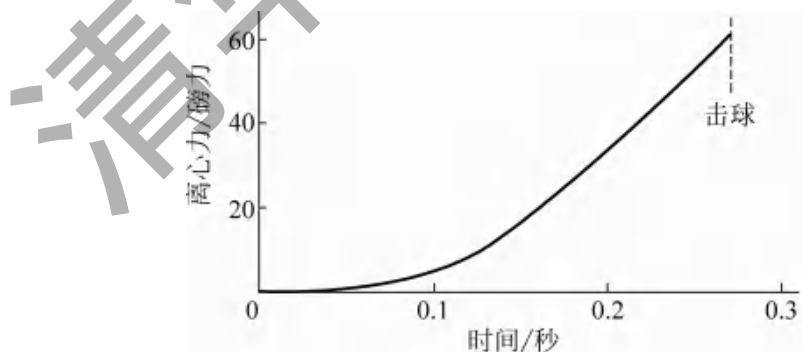


图 10

将离心力与杆头的击打力进行比较也很有趣,见图 11。我们看到在挥杆的前半程离心力小于击打力,之后离心力超过击打力,击球时离心力是击打力的 5 倍。

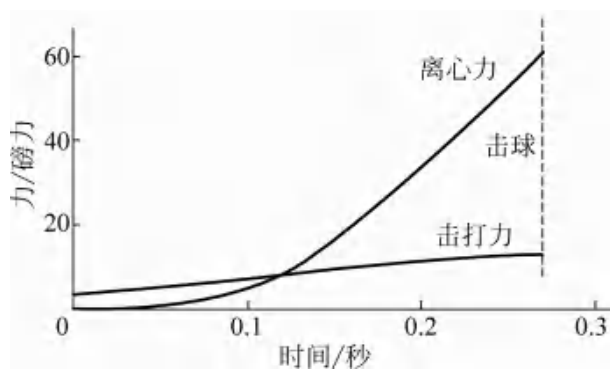


图 11

7 力的合成

我们计算了作用于杆头的力,但还需要知道这对球手意味着什么。第一步是了解通过杆身作用于杆头的力。此时杆身有两个力,沿杆头行进路径的击打力和与之垂直的向心力,见图 12。

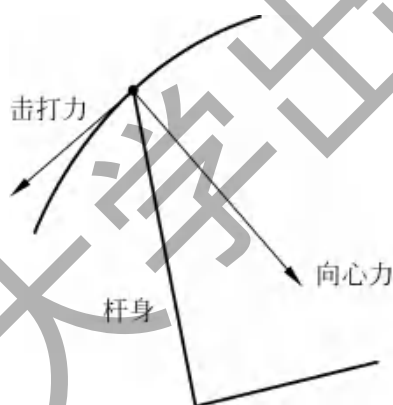


图 12

第二步求合力。力的合成准则很简单,每个力以带箭头的直线表示,其长度正比于力的大小,方向指向力的作用方向。两个力按平行四边形法则求得合力,如图 13 所示。两个力为直角边,对角线的箭头表示合力的方向,长度表示合力的大小。

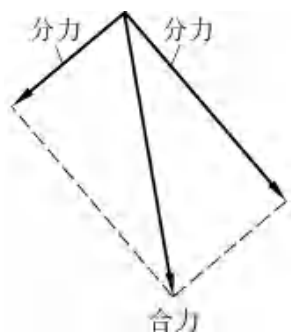


图 13



8 杆身传到杆头的力

为得到由杆身作用于杆头的合力,我们需要用前面的法则将向心力与击打力进行合成。图 14 表示下杆阶段杆头的合力,图中给出力的大小和方向。早期阶段力与杆身的夹角很大,开始时大约为 50° 。这一阶段杆头的力可看成一部分在推杆头,另一部分在拉杆头。随着下杆过程,离心力将起主导作用,此时杆头的力与杆身的夹角变小。挥杆结束时杆头的力沿着杆身方向,此时杆身基本上处于受拉状态。杆身与杆头路径存在夹角,这使得离心力可分解成两个相互垂直的力,其中沿杆身方向的分力与杆身对球的拉力平衡,与杆身垂直的分力对球有向前推的作用,如图 15 所示。图 16 表示挥杆过程中杆头的力与杆身夹角的变化。

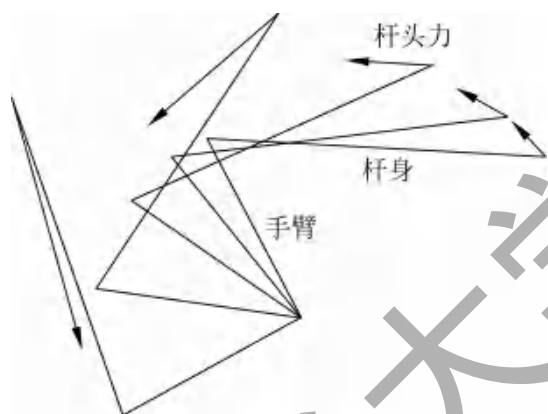


图 14



图 15

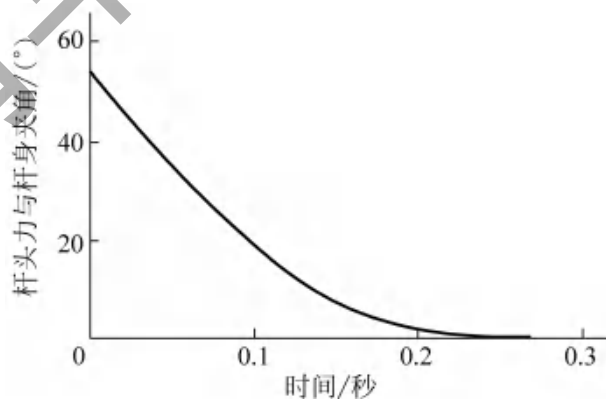


图 16



9 手腕的作用

大多数挥杆,沿杆身的拉力对杆头起控制作用。这表示手腕主要起到轴的作用,不提供很大的扭矩,只是传递给杆头一个垂直于杆身的力。在挥杆的初始阶段需要手腕起到一定的固定作用。图 17(a)表示初期手臂与杆身夹角 60° 时的情况。如果手腕完全放松,像轴一样,杆头将变成折刀,手臂与杆身的角度将关闭,如图 17(b)所示。手腕翘起程度有一个生理极限,在下杆初期的 $1/10$ 秒,手臂与杆身的夹角保持不变,这个效果可由基本挥杆的图 6 看出。手臂与杆身夹角的稳定性表示下杆初期手腕对杆身有一个扭矩作用,结果是扭矩阻止了手臂-杆身夹角的闭合,如图 18 所示。

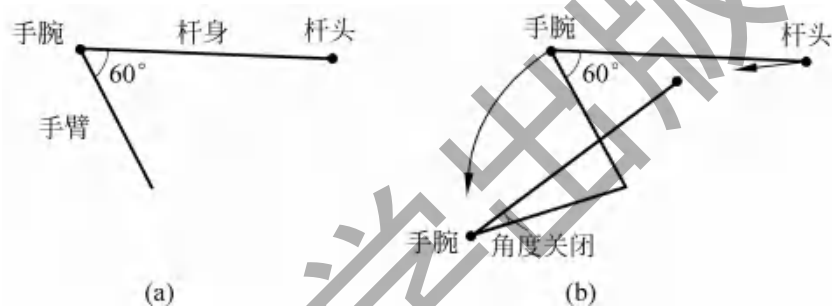


图 17

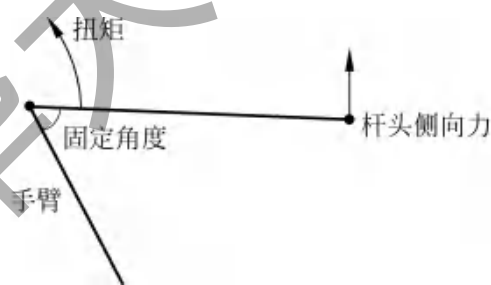


图 18

开始下杆时,垂直于杆身作用于杆头的侧向力约为 2 磅力。这个力随下杆进程逐渐减少,挥杆后期作用于杆头的力的方向与杆身方向逐渐一致。

10 杆身的弯曲

挥杆时作用于杆头的力导致杆身弯曲,最大弯曲出现在挥杆的早期,当杆向后拉时杆身向后弯曲,如图 19 所示。杆头处向后弯曲的最大距离约为 3 英寸(1 英寸 $\approx$ 2.54 厘米)。

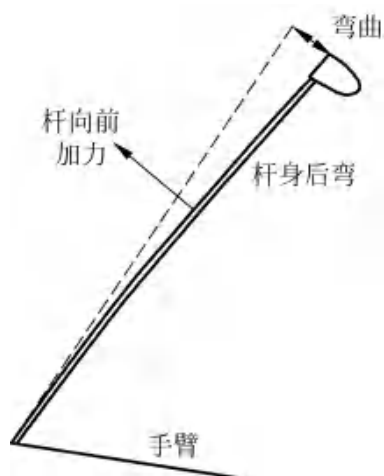


图 19

杆身的弯曲可通过试验进行测试,如图 20 所示,将球杆的握把一侧固定于台钳,在杆头一侧加载。弯曲程度取决于杆身材料,一个标准的杆身在 1 磅力加载下将下弯 1.5 英寸。这意味着一个垂直于杆身的 2 磅力将使杆头下弯 3 英寸。

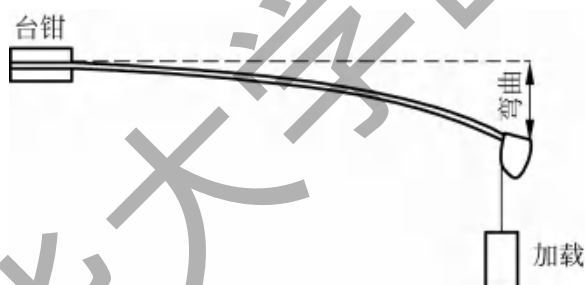


图 20

相关试验还测试了球杆的自振频率。握把一侧仍由台钳固定,给杆头一个向下的位移然后释放杆头,杆头将和杆身一起振动,振动频率为 4~5 次/秒,标准杆身与硬杆身的频率差异很小,约为 15%。

图 21 给出正常下杆时杆身弯曲图。挥杆至一半时,施加载到杆身的扭矩消失,杆身开始挺直。最后阶段杆身反向弯曲,杆头领先于杆身运动。这完全由于杆身的反弹,是对前期杆身向后弯曲的反应。这一阶段,如果杆身固定在台钳里,其作用更像一个轴。

杆头向前弯曲的主要原因是杆头重心与杆身线的偏置引起,如图 22(a) 所示,标准偏置为 1 英寸。正像我们前面看到的,杆头有一个很大的离心力,这个力作用在杆头重心,由此产生的扭矩使杆身向前弯曲,如图 22(b) 所示。

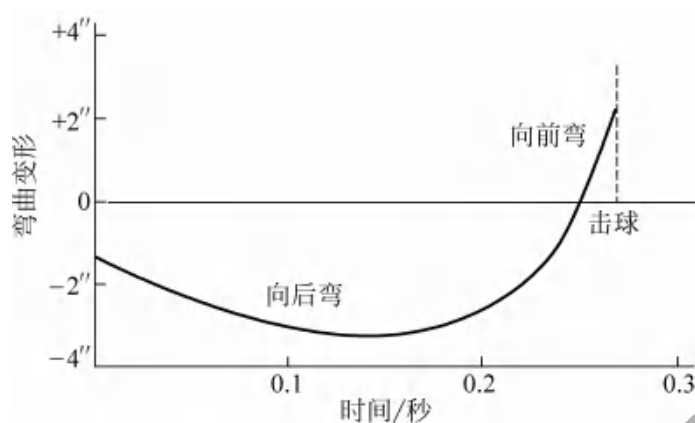


图 21

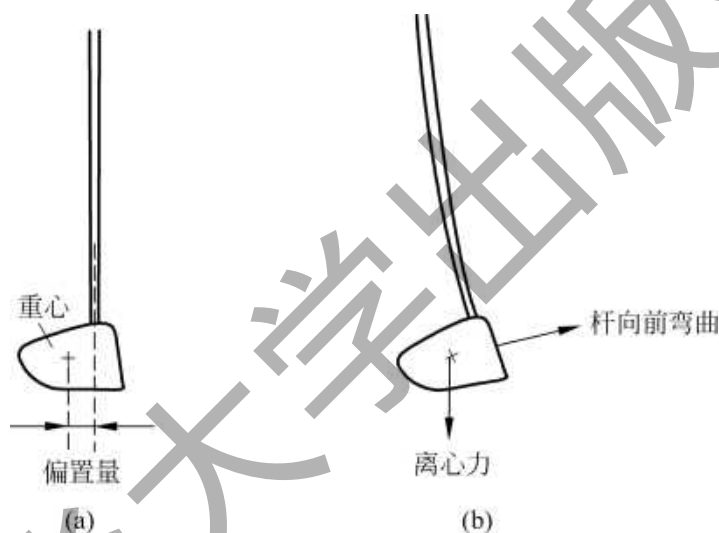


图 22

11 杆身弹性的影响

杆身存在弹性使得击球时杆头有向前弹的趋势。这看似对击球有利，但实际情况并非如此。我们通过试验来说明这个问题。挥杆时杆身弯曲意味着有部分能量储存于杆身，这表示此时杆头上的能量会减少。能否将储存于杆身的能量传递到杆头，取决于球手挥杆节奏与杆身弹性的匹配情况。

杆身弹性还会影响球杆的有效 loft。杆身弯曲会使有效 loft 增加，例如一个 loft 为 9° 的球杆，杆身弯曲会增加 4° 的杆面倾角使有效 loft 变为 13° 。Loft 的这一变化能否化为优势取决于球杆 loft 与球手最优 loft 是否一致。一般来说，杆身弹性对球飞行距离的影响为 ± 10 码。关注此问题的球手在选择球杆的 loft 时会考虑这一点。



12 身体上的力

我们已经看到在挥杆早期手腕是锁住的以抵抗球杆加速时的扭矩。杆头的侧向力为 2 磅力,我们可以想象杆头有一个 2 磅的物体,这个质量对手腕产生了可观的扭矩,好在它在水腕的控制能力之内。

在分析作用在身体上的力时,我们发现,挥杆是在一个与垂直面成一个角度的平面上进行,即使在下杆到达底部时身体中仍存在水平向的力。对一个典型挥杆进行分析,我们会发现在上杆达到顶部时有一个向上的 10 磅力作用在身体上。下杆达到水平位置时作用于身体上的力达 60 磅力,为水平方向。下杆到达底部时存在着向下和水平两个方向的分力,各为 70 磅力,合力为 100 磅力。这个力会传到脚部,结果好像体重增加了 70 磅一样。

13 能量

挥杆的主要目的是以高速击打球,这需要高的杆头速度。达到高的杆头速度需要在短时间内为杆头提供更多的能量,即需要大的功率。

我们知道,人所能达到的功率仅为 1 马力(1 马力=735 瓦特,瓦特的定义为 1 焦耳/秒)的很小一部分,一个顶级的运动员能够达到的功率接近半马力。

下面我们看一下肌肉中的能量来源。肌肉所需能量来源于腺苷三磷酸(ATP),它形成于体内碳水化合物的分解,碳水化合物可作为糖原储存在肌肉里。糖原的分解要靠储存在肌肉里的氧气完成,氧气是通过血液循环吸入肌肉里的,这一过程就是通常所说的有氧运动。在这一过程中肌肉需要连续的氧气供应,以维持复杂的生物化学反应并生成 ATP。一个人肌肉能力的强弱受为之提供氧气的肺及循环系统的能力的制约。

然而,当需要在短时间内为肌肉提供能量时,以上的有氧运动过程就来不及实现。这时可以用储存在肌肉里的 ATP 直接为肌肉提供能量,而无需再经过氧气对糖原进行分解生成 ATP 这一过程,这时我们称之为无氧运动。高尔夫的下杆,所需时间不到 1 秒,是一个无氧运动过程。

现在我们考虑挥杆时所需的能量。挥杆的目的是将能量传递至杆头,但在挥杆过程中不可避免地会有能量损失,比如在手臂和杆身中都会有能量损失。这就要求挥杆时提供更多的能量。我们可以通过对挥杆过程进行测量以计算作用于各部分的能量。



图 23 表示下杆时球杆和手臂动能的变化情况。能量单位为焦耳,1 焦耳为 1 瓦特在 1 秒产生的能量。由图 23 可见,球杆和手臂的能量随挥杆进程增加。在下杆的前 2/3 阶段,手臂的动能大于球杆的动能。之后,手臂能量减少,球杆能量增加。

图 24 表示球杆的功率和球杆及手臂的总功率随时间的变化情况。下杆过程中球杆的功率持续增加直至达到最大值 4 马力。球杆及手臂的总功率在下杆半程达到最大值。之后,球杆开始受拉,手臂的大部分功率转换给球杆。

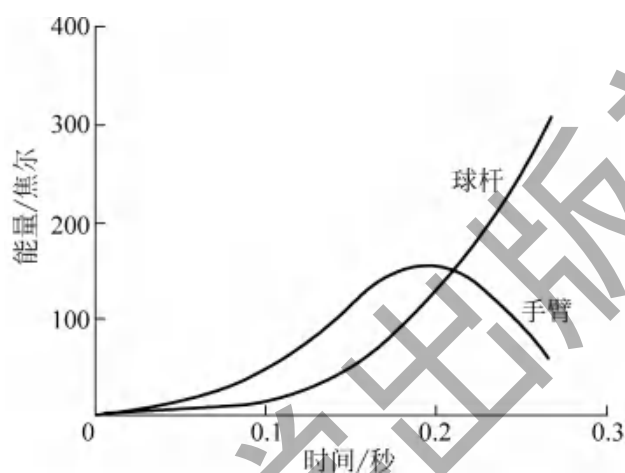


图 23

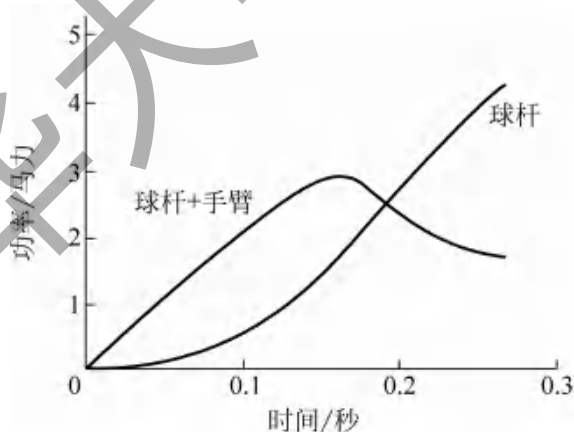


图 24

14 能量来源

挥杆时伴随着复杂的身体运动,因此弄清楚能量的来源很困难。然而,我们可以通过试验估算身体各部分肌肉的作用。



球手用拽五挥杆。首先他仅用手腕挥杆,第二步他用手臂带动手腕挥杆,第三步他仅靠腰部以上的身体挥杆,最后全身运动进行全挥杆,包括腿部肌肉。对每一种挥杆测量击球时的杆头速度,并计算出提供到杆头的能量,结果见表 1,这里传递到杆头的能量以全挥杆能量的百分比表示。

表 1 传递到杆头的能量

运动部位	杆头能量/%
手腕	10
手腕和手臂	20
手腕、手臂和上部身体	40
整体运动(全挥杆)	100

可以看出手腕、手臂、上部身体合在一起传递到杆头的能量不到全挥杆的一半,表明腿部提供超过一半的能量。这个结果可能令人感到吃惊,因为大多数球手都会下意识地认为手臂比腿的贡献大。这个试验结果确认了尼克劳斯的观点“用腿击球”。

15 重力效应

下杆时,重力也对球杆产生作用,这意味着球杆的部分能量来源于重力。从挥杆顶点到击球点,球杆获得的由重力产生的能量约为 4 焦耳。由于球杆总的动能达 300 焦耳,很明显重力效应对球杆的影响是很小的。

下杆时,重力对手臂也产生能量。手臂比球杆下落的距离小但要比杆重很多,一个正常的球手由重力提供给手臂的能量是 30 焦耳。如果将这一能量与图 23 中手臂的能量进行对比,我们会看到重力提供给手臂的能量不小。这个能量的一部分会传递到球杆,准确估算其贡献程度是困难的,但可以肯定这部分能量仅占供给到球杆 300 焦耳能量的很小一部分。

16 空气阻力效应

尽管下杆时杆头的重力会给球杆增加能量,但杆头上的空气阻力也将耗散能量。因此我们猜测大头拽五的引入会增加空气阻力,产生不利效果。

后面将讨论球在空中飞行时的空气阻力。物体上的空气阻力与围绕它流动的空气模式有关,我们将据此对空气阻力做出一个合理的估算。根据气流形式不同,大杆头的能量损失为 10~20 焦耳。杆身的空气阻力也不小,



其量级与杆头的能量损失相当,这可能是由于杆身面积较大的缘故。由空气阻力造成的杆头和杆身的能量损失约为 30 焦耳,占击球能量的 10%,这将使球的飞行距离减少 15 码。

杆头的阻力正比于它的表面积。如果我们选择一个超过普通杆头表面积 50%的大杆头,能量损失的差别为 5 焦耳,即对于一个典型的拽五开球距离将减少 2 码。

17 距离与什么有关

后面讨论球的距离时我们将看到,拽五击出的距离取决于球起飞时的角度、速度和旋转。挥杆影响杆头速度,由此决定球的起飞速度和距离。正如之前所述,击球时杆头速度每增加 1 英里/小时拽五的距离增加 3 码。

在本章的挥杆分析中,挥杆持续时间为 0.27 秒,击球时杆头速度是 107 英里/小时。这里讲的是全挥杆,下杆时要求身体的转动尽量快。对于球手来说,半挥杆或许会改善击球的准确性,但会导致杆头速度的损失。通过对全挥杆相应部分的分析可以对半挥杆的速度做出估计。如图 25 所示,挥杆始于杆身垂直,我们计算此时的半挥杆,可以得到杆头速度为 94 英里/小时,比正常全挥杆减少 13 英里/小时,这将减少 40 码的击球距离。

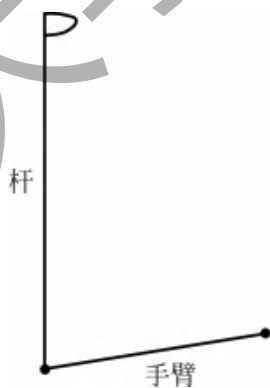


图 25

杆身初始角表示下杆时杆身与水平线的夹角,图 26 给出杆头速度损失与初始角的关系曲线。采用这一方法我们可以计算杆身处于所有初始角度时杆头的速度损失。

对于全挥杆,可达到的杆头速度取决于球手施加的力。可以看到这里有一个简单的准则,对于慢速和快速挥杆来说,杆头行进的距离基本相同,因而平均速度与挥杆时间成反比。进一步讲,我们可以做个合理假设,慢速挥杆的作用力以类似于我们基本挥杆的方式变化,则击球时杆头速度也与

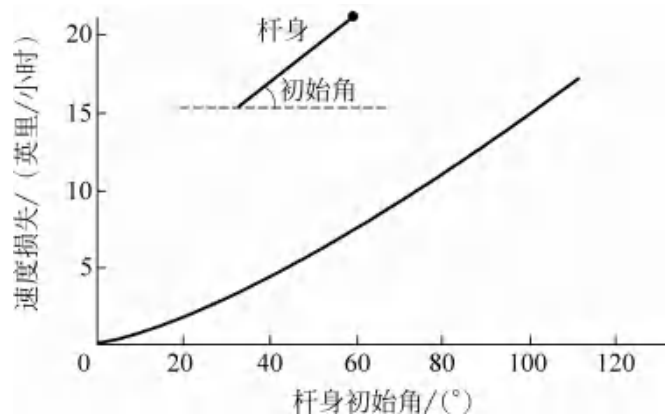


图 26

挥杆时间成反比。例如,如果挥杆慢了 10%,时间为 0.3 秒而不是 0.27 秒,那么击球时杆头速度从 107 英里/小时减少到 $(0.27/0.3) \times 107$ 英里/小时 = 96 英里/小时,杆头速度减少 11 英里/小时,距离减少 30 码。

18 节奏

我们经常听到这样的说法,“这个挥杆节奏好”,但其实我们并没有可信的关于节奏(timing)的解释。名词“节奏”用起来有时不是很好把握,因为它暗含着对发生在某一时刻事情的安排。这个词更适用于类似网球这样的运动,这些运动要求在合适的时刻击球。对于高尔夫挥杆,更好的描述是协调(coordination),这个词在牛津词典定义为“相互联系的不同部分共同和谐地行动”。

我们在本章中已经看到挥杆存在着三个阶段,需要关注的是它们之间的平顺转换以使其看上去浑然一体。第一阶段是手腕锁住,球杆与臂的夹角保持固定并一起转动。这个阶段,约持续 1/10 秒,期间杆头速度增加的相对较慢。第二阶段,球杆和臂绕手腕自由旋转,臂与杆身的夹角增大。这一阶段向心力起主导作用,在下杆的 2/3 时刻,臂、杆头、杆身成直线。第三也是最后阶段为向外挥杆,此时动能从臂转移到球头。

顶级球手的挥杆是一个连续的过程,它暗藏着臂、身体和腿的协调运动。



清华大学出版社

第二章



击球



清华大学出版社



以拽五击球,杆头的触球时间约为 $1/2000$ 秒。时间如此之短,我们用肉眼什么也看不到,甚至记录到这个过程都成问题,需要非常高速的摄像机才能完成。然而,庆幸的是物理学定律能够为我们揭示触球时发生了什么。首先我们认识到触球时发生了反弹——球弹离杆头。因此让我们首先从球弹离地面这一简单的反弹开始说起。

19 反弹

一个理想的反弹,包括球是完全弹性的,地面是坚硬的且表面完全光滑。

理想的反弹表示为球以速度 v 、入射角 α 触地后,以相同的速度 v 、相同的反射角 α 弹出。这与我们的经验不一致,我们看到的是,一个高空落下的球落地反弹后不会回到原先的高度,且在后续的反弹中会逐步降低反弹高度直到球落在地面。

真实情况为反弹时球发生变形并通过球的内部摩擦耗散能量,损失的能量变成热能。另一现象也容易看到,即一个并不旋转的球以一定角度撞击地面,离地后开始旋转。旋转是由于球与地面之间的摩擦力产生的,摩擦力同时产生第三个作用——降低球的水平速度。反弹的这些效果由图 27 说明。球的反弹速度 v_2 ,总是小于它的入射速度 v_1 ,但反射角 α_2 ,可能大于或小于入射角 α_1 ,这取决于球的类型、表面粗糙度、入射角。

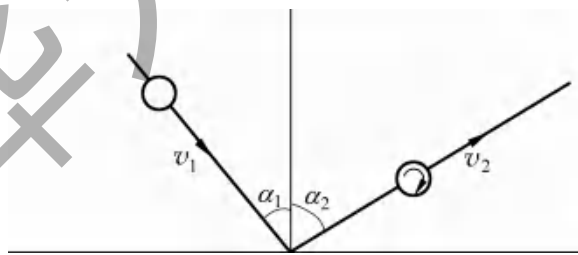


图 27

在以反弹的这些性质分析用球杆击球之前,我们先看一下碰撞时发生了什么。仍以球的地面反弹为例,当球以某一角度到达地面时触地的一侧会被压扁,球会受到一个向上的反力,此时球沿地面滑动,如图 28 所示。滑动引起水平摩擦力,这个力减慢球的速度同时使球开始滚动。随着变形的增加,球受到的向上的力增加,直到垂直速度为零时这个向上的力不再增加。之后反力产生加速度使球向上运动,球与地面的接触面积减少直至接触完全消失,此时球离开地面。