

● 足球训练必备基础 ● 理论结合实践 ●

足球力学



● 苏曾燧 著



全面解析足球运动中的
力学问题



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

本书获得福建神州建设集团有限公司资助

足球力学

ZUQIU LIXUE

● 苏曾燧 著



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

内 容 提 要

本书根据数学、运动学、动力学、流体力学、人体解剖学和运动生物力学的基本原理来论述足球运动的规律以及踢足球时人体动作的规律,为读者提供足球技术方面的理论依据。

本书可供体育院校师生和从事足球工作者参考,也可作为喜爱足球的中学生、大学生的课外读物。

图书在版编目(CIP)数据

足球力学 / 苏曾燧著. —广州: 华南理工大学出版社, 2017. 7
ISBN 978-7-5623-5345-4

I. ①足… II. ①苏… III. ①足球运动-运动生物力学
IV. ①G843.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 174958 号

足球力学

苏曾燧 著

出 版 人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼 邮编: 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutc13@scut.edu.cn

营销部电话: 020-87113487 87111048 (传真)

责任编辑: 林起提

印 刷 者: 虎彩印艺股份有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/32 印张: 4.75 字数: 115 千

版 次: 2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 20.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

足首勤練功
球技能精通
力大體結實
學術要登峰

歲次丁酉蘇敏雄



前 言

凡是人体和物体的运动，都涉及力学，踢足球也不例外。足球运动涉及数学、运动学、动力学、流体力学、解剖学和生物力学等。笔者以这些学科来解析与足球运动有关的力学问题。

多年前，深圳市罗湖区体委为提高足球教学工作者的足球技术理论水平，曾在深圳市开办“足球力学”讲习班，参加人员有各省市高等院校的体育老师、足球专业队的教练员以及足球科研人员。笔者负责编写讲义并主讲，苏皓晴当助教，讲习班上课五个星期。

归于当前我国足球水平处于落后状态，为激发国人对足球事业的关心，笔者把以前讲习班的讲义修改整理成书，希望能为足球爱好者提供足球技术方面的理论参考。

本书能出版，要感谢我的学生谢勇成的支持和鼓励，感谢福建神州建设集团有限公司的资助，感谢挚友翟雅儿画绘插图，感谢讲习班的主办者、助教以及全体学员的鼓励。

苏曾燧

2017年6月



目 录

1 足球所受的力	(1)
1.1 力的概念	(1)
1.1.1 力的初步认识	(1)
1.1.2 力的三要素	(2)
1.1.3 力的单位	(4)
1.1.4 力的图示法、矢量	(4)
1.2 球所受的力	(6)
1.2.1 重力	(6)
1.2.2 摩擦力	(9)
1.2.3 冲击力	(12)
1.2.4 空气的作用力	(14)
1.3 力的合成与分解	(14)
1.3.1 力的合成	(14)
1.3.2 力的合成法则	(15)
1.3.3 力的分解	(18)
2 踢足球的简单运动	(22)
2.1 空间、时间与球的运动	(22)
2.1.1 球在空间中运动	(22)
2.1.2 球运动需要时间	(24)
2.2 球心的运动	(26)
2.2.1 质点	(26)



2.2.2	直线运动	(27)
2.2.3	曲线运动	(37)
2.3	平动	(40)
2.3.1	刚体	(40)
2.3.2	踢球中的平动	(40)
2.4	球体的转动	(43)
2.4.1	描述转动的量	(43)
2.4.2	力矩	(47)
2.4.3	转动定律	(48)
2.4.4	转动惯量	(51)
3	足球的复合运动	(53)
3.1	速度合成和相对速度	(53)
3.1.1	速度的合成	(53)
3.1.2	速度的分解	(55)
3.1.3	相对速度	(57)
3.2	球的抛射运动	(60)
3.2.1	抛射点与落地点在同一水平面上	(61)
3.2.2	抛射点高于落地点	(65)
3.3	足球的平面运动	(66)
3.3.1	力的平移定理	(67)
3.3.2	空中旋转球	(68)
3.3.3	地滚球	(70)
3.4	足球在空气流体中运动	(73)
3.4.1	流体的概念	(73)
3.4.2	空气的阻力	(78)
3.4.3	旋转效应	(80)



3.4.4	“香蕉球”	(81)
4	力学定律在踢足球中的应用	(89)
4.1	牛顿定律的应用	(89)
4.1.1	惯性的利用	(89)
4.1.2	作用力和反作用力的利用	(90)
4.2	动量	(92)
4.2.1	动量定理的应用	(92)
4.2.2	动量守恒定律的应用	(97)
4.3	碰撞定律的应用	(101)
4.3.1	碰撞定律	(101)
4.3.2	碰撞定律的应用	(103)
4.4	关于功、能定律的应用	(106)
4.4.1	踢足球中的功和功率	(106)
4.4.2	足球的动能	(110)
4.4.3	动能定理的应用	(112)
4.4.4	势能	(113)
4.4.5	足球运动中的机械能守恒	(117)
4.4.6	能量转化和守恒定律的应用	(118)
5	足球技术的生物力学	(121)
5.1	骨和肌肉的力学机能	(121)
5.1.1	骨的力学性质	(121)
5.1.2	肌肉的力学性质	(121)
5.1.3	人体中的骨杠杆	(122)
5.2	足球技术力学分析	(127)
5.2.1	跑	(128)



5.2.2	跳	(129)
5.2.3	掷界外球	(131)
5.2.4	踢球	(132)
5.2.5	头顶球	(134)
5.3	足球技术中的角动量守恒	(138)
5.3.1	角动量定理	(138)
5.3.2	角动量守恒定律	(140)
5.3.3	足球技术中的角动量守恒	(141)
参考文献		(144)

1 足球所受的力

任何一种体育运动都很讲究力，踢足球也不例外。人们通过长期实践，对力的认识逐步上升到理论的高度。我们首先应了解力的概念，懂得力的表示方法，然后熟悉在踢足球运动中所受到的几种力。为了以后掌握矢量的简单运算，以及为学习运动定律打下基础，本章还介绍有关力的运算法则。

1.1 力的概念

1.1.1 力的初步认识

在日常生活、生产劳动和体育运动中，我们要经常用力。当我们推车、走路、打球、游泳的时候都要用力，用力时就会感到肌肉紧张。因此，人们对力的认识，最初是从肌肉紧张的感觉和现象获得的。

扔球、踢球的时候，人用了力，球就受了力，一般地说，人是施力物体，球是受力物体。不仅人能对物体施加力作用，物体之间也能够相互施加力作用。例如，球与球之间碰撞，足球碰在球门柱等。

彼此不直接接触的物体之间，也能发生力的作用。例如：让磁铁移近铁钉（并没有接触）就能把铁钉吸起来，这表明磁铁对铁钉施加了力；又如：被抛出的球，最后总得要落在地面上，这是因为球受到地球引力的作用。

从这些例子中可以看出，力是物体对物体的作用。一个物体受到了力，必定有另一个物体对它施加了力。没有物体，就不会



有力的作用。物体受到力的作用，会发生怎样的变化呢？让我们举几个例子来说明一下。

当足球向你飞来时，如果你用脚踢一下，球就被踢开去。本来向你运动的球，现在被踢（受力作用）却向另一个方向运动了。如果球原来是放在地面上的，用脚踢它就会运动。这些说明球受力作用使其运动状态发生了改变。

当你用手指压足球或用脚踩它的时候，球会凹进去一些，这意味着球的形状体积都发生了改变；当守门员用手拉着球门楣悬挂的时候，门楣就要向下弯曲，这也属于形变。

从这些例子中可以看出，力的作用能使物体的运动状态或形状改变。

1.1.2 力的三要素

上面指出，力的作用能使物体运动状态改变或形状改变，实践中告诉我们，不同的力作用于同一物体，或相同的力作用于同一物体的不同部位，引起的物体运动状态改变的情况会有不同，如果是形状改变，改变的程度也会不同，也就是说，力的作用所产生的效果不同。之所以不同，是因为：

1. 力有不同大小

例如：成年运动员踢球的力大于小孩踢球的力。踢球用力大时，球就运动得快，而且去得远；用力小时，球就运动得慢，而且去得近。扔界外球时也是如此。

从上述的例子可以知道，力有大小之分，力的大小是由各种因素决定的。对于人体来说，主要由骨和肌肉的结构决定，从这种意义上，选材是重要的，训练也是重要的。力的大小一般可以用砝码的重量或弹簧秤测定。目前用测力仪能测定各种体育运动中的力。当然，用拳击球，用脚踢球的力也可以用测力仪测定。



2. 力有方向性

把足球放在地面，要你踢出一个平射低球，你沿哪一个方向用力呢？当然是沿水平方向。如果要你踢出一个高球，那就要沿斜上方用力。由此可见，力有方向性，主罚 12 码点球的射手踢球时用力的方向更有讲究了。

在体育运动中，要对一个器材（例如，足球之类）施力作用，使其产生预定的效果，力的大小是前提，所以教练员往往把力量的训练放在重要的位置。手无缚鸡之力者，不可能成为一个运动员，尤其是足球运动员，更需要力量。但具有一身牛力而用力欠准的人，也不会成为出色的运动员。所谓用力欠准，主要是指用力的方向性差。

3. 力的作用点

力除去大小、方向以外，在物体上的作用点也很重要。力的作用部位，一般来说并不是一个点，而是物体的某一部分面积。当力的作用面积很小时，就可以看作是作用在一个点上，这个点叫作力的作用点。

在足球比赛中，球被脚踢时或被头顶时，一般来说力作用的面积与整个球的表面积比较是很小的，所以可认为力作用在一个点上。凭经验可知，即使用同样的力沿同一个方向踢球，如果作用点在不同的地方，那么，力产生的效果也会不同。技术高超的运动员，善于利用不同踢球点（作用点）踢出各种旋转球。

总之，如果一个人能够将踢足球中力的大小、方向和作用点三方面处理得好，无疑地，他可被培养成为一名出色的足球运动员。力的大小、方向和作用点合称为力的三要素。

懂得力的三要素，训练的时候就不会盲目；能合理地运用力的三要素，踢球时就会得到良好的效果。



1.1.3 力的单位

为了测量力的大小，必须确定力的单位，因为重量就是一种力，所以我们可以先确定重量的单位，再用它来测定其他的力。常用的重量单位是牛顿（N），质量为1千克的物体的重量就是它在地球表面受到的重力，即是9.8 N。

常用的力的单位有 N，大的单位有吨力，小的单位有克力、达因，这些单位之间的关系如下：

$$1 \text{ 吨力} = 9800 \text{ N}$$

$$1 \text{ 公斤力} = 9.8 \text{ N}$$

$$1 \text{ N} = 10^5 \text{ 达因}$$

$$1 \text{ 克力} = 980 \text{ 达因}$$

N 是国际单位制中力的单位，今后在物理学中都统一采用这个单位制。

有了力的单位，我们就可以用它来测量运动员的力量素质。在1983年有人对我国优秀足球运动员的肌力测得如下数据（平均值）：背力1402.09 N、握力449.52 N、腿力1489.80 N。

1.1.4 力的图示法、矢量

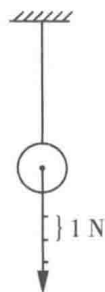


图 1-1



图 1-2

为了把力的三要素直观地用图表示出来，用直线段的长短表示力的大小，用箭头表示力的方向，线段起点表示力的作用点。表示方法：从力的作用点开始，顺着力的方向画一条直的线段，使它的长度和力的大小成正比，再在线段的末端画一个箭头，箭头表示力的方向（有时候也把箭头指着的那一点表示力的作用点）。

例如，把一个球用绳子吊起来，球的重量是 5 N 。如何表示出球的重力呢？

我们可以先选定 1 厘米 长（这个长度可任意选定）的线段表示 1 N ，然后以球心为重力的作用点，从球心沿重力的方向（竖直向下）画一条长 5 厘米 的线段，最后在线段的末端画一个箭头，如图 1-1 所示。按此规定可知，图 1-2 表示运动员以 300 N 的力沿斜上方向踢球。

有大小有方向的量叫作矢量，有大小而无方向的量叫作标量。力是矢量，以后我们还会学到许多其他的矢量和标量。矢量



的书写表示方法：在代表该矢量的符号（一般用拉丁字母或希腊字母）上加上一个箭头，或用粗的印刷体。例如：如果用拉丁字母 F 表示力，则为“ $\vec{F}$ ”或“ $\boldsymbol{F}$ ”。以上规定力的单位以及它的表示方法，是为了便于对物体进行受力分析和受力计算。

1.2 球所受的力

1.2.1 重力

1. 重力的大小

重力就是物体的重量，地球上任何物体都有重量即都受到重力的作用。重力是由于地球对物体的吸引而引起的，地球对物体的吸引力叫作重力，通常用符号 P 表示。足球要受到地球的吸引力，同样，运动员也要受到地球的吸引力。同一物体，处在地球的不同地方，重量稍有不同，随物体所处位置的高度及纬度而异，但在几百米高度范围内，在同一地区中同一物体其重力的大小可看成是恒定的。显然，在足球比赛中，球所受的重力以及运动员所受的重力也可以认为是不变的。

2. 重力的方向

重力是力的一种，有大小和方向，而且有确定的方向。重力的方向总是垂直于水平地面指向地心。在足球训练和比赛中，不管人体在做怎样的运动，如向上跳、跑步、在空中落下，甚至站着不动等，他所受到的重力始终大小恒定，方向竖直向下。同样道理，无论足球处在怎样的运动状态，如停在地面上，被守门员拿着、被踢中，在空间中旋转飞行，等等，它所受到的重力在任何时候都是大小恒定（等于球的重量）、方向不变（垂直于水平地面向下）的。必须注意到，重力属于非接触力。

3. 重心

一切物体都是由无数个质点组成的。物体的每一个质点都受



到地球引力的作用，这些引力（每个质点的重力）可看作是彼此平行而竖直向下的。这样，我们就可以用一个力来代替所有这些平行力，这个力的大小等于各个平行力之和，它的方向也是垂直于水平地面向下，这个力就是该物体的重力。重力的作用点叫作物体的重心。图 1-3 中的 C 点表示物体 A 的重心。

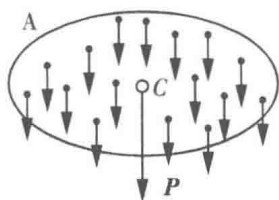


图 1-3

质量均匀，形状有规则的物体的重心与它们的几何中心重合。所谓几何中心，是指物体的体积或面积的中心。例如：篮球、足球、排球等，球心就是它们的几何中心，重心就在球心处。

但像标枪、足球鞋等，由于质量不均匀，它们的重心并不在几何中心处。

4. 人体的重心

人体由许多环节组成，某个环节的重力的作用点，叫作该环节的重心。例如：小腿这一环节重力的作用点，就叫作小腿的重心。整个人体重力的作用点，叫作人体重心。

人体大部分环节的重心都位于环节纵轴的某一位置上。如果我们把小腿这一环节分成 100 等份的话，则它的重心就在该环节纵轴距膝关节中心 42 分，距踝关节中心 58 分处。

整个人体直立时的重心位置，一般来说竖直方向在第三腰椎（脐之下、髋关节之上）的高度位置；前后方向接近于人体正中央的额状面；左右方向接近于纵轴稍向右偏。从侧面看，如图



1-4所示。



图 1-4

对于不同的人，直立时重心位置略有差异。由于性别、年龄、运动项目不同，会使运动员的体型不同，因而其重心位置也有高低之别。一般女性比男性重心要低；儿童、青少年重心比成年人高；足球运动员重心比体操运动员低等等。

即使是同一个人，重心位置也随血液循环、呼吸等变化而有微小变化，且随姿势的变化而变化是很明显的。例如：守门员倒地接球时（如图1-5所示）重心降得很低；接高球时（如图1-6所示）重心尽量升高。人体的重心一般在体内，但对于某些姿势，重心也可以在体外。图1-7所示的是掷界外球的姿势，这时重心是在体外的。

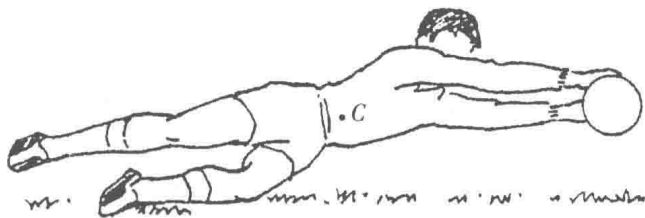


图 1-5