

田径运动技术的力学原理 和分析

H·G·戴森 <英国> 著

北京体育师范学院基础理论教研室

秦正光译

本书是为我院学员学习运动生物力学的参考书。也可作教师,特别是田径专项的教师、教练员进修提高专业理论的学习用书。

本书虽属于重点讲解田径各专项技术的生物力学专门理论,但内容还涉及到跳水、体操、花样滑冰等项目的动作,故也可作为各有关专项教师教学理论提高的参考用书。

书中所涉及的各项技术中的新动作,将可作为各项动作今后科研继续充实完善的借鉴。结合我们的教学和训练实践创立适合我国运动员身体和技术特点的相应动作。

本书译编曾经国家体委科研所运动生物力学研究室及国家田径队有关教练员的审阅,并提出宝贵意见,在此表示感谢。

本书作者H. G戴森(Dyson)的简介

自1949——1961年，完成了英国业余田径协会教练员的培训，并担任教练工作。由于工作成绩显著，经协会的批准，为荣誉1952年、1956年、1960年奥运会英国田径代表团的总教练。

戴森氏曾运用身体运动力学的原理，指导运动员的体力训练，得到各体育协会和世界各国体育界的高度评价。1962年，他在希腊雅典主持了国际奥运会教练员训练会议，并主讲者。1968年，曾应邀到美国主持美国体育协会与美国体育保健协会共同召开纪念“泰得·麦克茨”会议的讲课。

1963年2月——1968年3月，去加拿大担任指导并制定全国体育训练工作计划，后任威斯康星大学体育部长。

戴森现任英国业余田径协会会长。

译者 的话

田径运动的技术和训练是所有体育项目的基础。为了充实田径技术动作的生物力学理论,我们翻译了“田径运动技术的生物力学原理和分析”这本书。

由于现代体育运动的发展和提高,越来越依赖人们对动作规律认识的自觉性。因之须重视体育科学技术动作的基础理论研究,并加强体育科技情报资料工作。及时掌握并了解田径技术发展动向。这不仅是为了适应我国体育事业发展的需要,也是今后开展体育科学研究的需要。因此这也正是我们翻译本书的目的。

为了教练员、运动员、体育专业院校教师和学院今后教学和训练的需要。本书第一部分翻译了基础理论知识。第二部分是对各专项技术的力学原理和分析。有关田径技术易犯的错误及正确动作的规律,分别安排在每一具体章节的实例进行说明。译者也作了相应的注明。

由于我们的水平所限,翻译中难免有不当和错误之处,望读者予以指正。

北京体育师范学院

基础理论教研组

秦正光

1980年6月

10-77/5

目 录

第一章 序 论	1 — 1
第一部	
第二章 运 动	2 — 1
1. 运动的种类	2 — 1
(1) 直线运动	2 — 1
(2) 回转运动(转动)	2 — 1
2. 匀速运动和变速运动	2 — 3
3. 速度	2 — 4
4. 加速度	2 — 4
5. 自由落体	2 — 5
6. 速度合成的平行四边形法则及其分解	2 — 8
7. 抛物体轨迹	2 — 10
第三章 力(I) 牛顿定律	3 — 1
1. 牛顿第一定律	3 — 1
2. 牛顿第二定律	3 — 4
3. 牛顿第三定律	3 — 5
第四章 力(II)	4 — 1
1. 力	4 — 1
(1) 力的大小	4 — 1
(2) 力的方向	4 — 3
(3) 力的作用点	4 — 5

目 2

2. 加速运动	4 — 5
3. 冲量	4 — 7
4. 有效力	4 — 8
5. 力的积累	4 — 9
6. 力的合成和分解	4 — 11
(1) 同一直线上作用的力	4 — 11
(2) 力合成的平行四边形法则	4 — 12
(3) 力的分解	4 — 14
7. 功和能	4 — 15
8. 功率	4 — 18
9. 向心力和离心力	4 — 20
10. 重力	4 — 24
11. 重量和密度	4 — 25
12. 失重状态	4 — 26
13. 重心	4 — 28
(1) 不脱离地面的有支撑运动	4 — 31
(2) 无支撑的腾空空间运动	4 — 32
14. 摩擦	4 — 35
15. 静平衡和动平衡	4 — 37
(1) 静平衡及其稳定性	4 — 38
(2) 动平衡	4 — 40

第五章 回转运动

1. 转动力矩	5 — 1
(1) 平衡力矩	5 — 3
(2) 转动力矩	5 — 7
2. 杠杆	5 — 10

(1) 第一类杠杆	5—11
(2) 第二类杠杆	5—13
(3) 第三类杠杆	5—15
3. 转动轴	5—18
(1) 有支撑的转动轴	5—19
(2) 空间转动轴	5—21
4. 转动惯性	5—23
5. 角速度	5—26
6. 动量矩守恒原理	5—28
7. 确定动量矩的方法	5—32
8. 自地面开始形成旋转的条件	5—36
(1) 直线运动的制动	5—36
(2) 动量转移	5—39
(3) 偏心推力	5—42
9. 身体腾空后的转动	5—44
(1) 作用和反作用	5—44
(2) 相对的转动惯量	5—47
(3) 反作用对空中姿势的调整	5—48
(4) 错觉	5—51
(5) 相对转动惯量的利用	5—53
(6) 付轴	5—57
(7) 空中的平衡	5—62
10. 章动和旋转环动	5—65
11. 动量矩的交换	5—68
12. 进动	5—71

第二部分

第六章 跑动的力学

1. 腿部动作

(1) 足间摆振动作

(2) 蹬地阶段

(3) 偏心的动作

2. 臂和肩部动作

(1) 短距离跑

(2) 长距离跑

3. 躯干和头部应保持的正确位置

(1) 后蹬力及其水平分力和垂直分力的平衡

(2) 矢状面内的迴转

(3) 动作外型

(4) 空气的阻力

(5) 头部的正确姿势

4. 跑时能量的消耗

第七章 跨栏和跳越障碍的方法

1. 跨栏

(1) 过栏的方法

(2) 过栏方法的几种不同意见

2. 跳越障碍的方法

第八章 跳跃运动的力学

I. 急行跳高的力学

1. 助跑	8 — 2
(1) 助跑的方向	8 — 2
(2) 助跑的速度	8 — 4
2. 踏跳	8 — 5
(1) 使身体获得最大的垂直速度	8 — 6
(2) 产生使身体空中回传的力矩	8 — 13
3. 过杆	8 — 18
(1) 合理的过杆姿势	8 — 21
(2) 空中动作	8 — 24
4. 落地	8 — 27
II. 急行跳远的力学	8 — 28
1. 助跑	8 — 30
2. 踏跳	8 — 30
(1) 得到较大的垂直速度	8 — 30
(2) 产生旋转效果	8 — 31
3. 空中姿势	8 — 33
(1) 着地姿势	8 — 33
(2) 空中动作	8 — 35
III. 三级跳远的力学	8 — 38
1. 第一跳(单足跳)	8 — 43
2. 第二跳(跨步跳)	8 — 43
3. 第三跳(蹲踞跳)	8 — 46
第九章 撑杆跳高的力学	9 — 1
1. 助跑的速度与握杆的高度	9 — 3
2. 踏跳	9 — 4
3. 悬垂摆体	9 — 6

目 6

4. 后倒举腿	9 — 8
5. 引体转体与腾越过杆	9 — 9
6. 动作的开始时间和撑杆的特	9 — 13
7. 使用玻璃钢撑杆的技术特点	9 — 14
 第十章 投掷运动的力学	10 — 1
I. 投掷的一般力学原理	10 — 1
1. 初速度	10 — 1
2. 投射角	10 — 12
3. 空气动力对投掷物的作用和 影响	10 — 18
(1) 一般的原理	10 — 18
(2) 铁饼在空间的飞行	10 — 23
(3) 标枪在空间的飞行	10 — 27
II. 投掷技术的力学分析	10 — 31
1. 掷链球	10 — 31
(1) 使链球水平方向的加速	10 — 34
(2) 使链球垂直方向的加速	10 — 37
2. 掷铁饼	10 — 39
3. 推铅球	10 — 43
4. 掷标枪	10 — 47

第一章 序 论

在业余田径竞技联盟所制定的指导教学计划中，一项重要任务之一是田径技术动作不可缺少的力学原理知识的普及。这是因为人体的运动形式变化虽然复杂，但必须遵从有关的力学原则，同时，最高水平的运动技术，正是把这些原理充分灵活运用结果。

今日的年轻人是异常关心科学的。应用力学原理，说明解释体育动作的形成规律，已经引起青少年，尤其是男少年极大的兴趣。在课堂把物理学和体育动作的形成密切结合起来是个极好办法。讲授物理课时结合说明很多的体育运动实例；将比引用一般的实例更生动活泼和有意义。

但是，在田径场，体育馆，游泳池进行体育技术教学时，应用力学分析说明动作还必须慎重。这是因为运动选手们的理解力、文化水平和每个人的愿望要求有着千差万别。虽然有些人因接受理论使其运动技术得到改善，但也有些人确相反，甚而茫然不解。

由于运动员学习某个体育动作，一般是通过观察别人和自身练习，并结合身体肌肉运动感觉和体会来进行的缘故，就希望多利用形象的语言描述（即使从力学原理尚不够精确也好），比用难懂的力学术语更为有利。正因如此，在教练员进行运动技术教学时，存在着一个是否合乎科学性的问题。

此外，对运动员上述说明的价值，也因专顾的不同而有差异。比如：跑的力学是很复杂的。很多优秀的中、长跑运动员并没有深入钻研，就掌握了高效率优美的跑法。而另一方面如：短跑、跨栏及田赛的各个项目来说，为形成正确动作的需要，更重要的是掌握对具体动作进行分析。

一般的说,几乎所有运动员对自己的细微的动作结构并不全面了解,力学原理说明的深度能达到对动作中明显缺点的纠正,满足好奇心,增加信心就足够了。

由此可知,对于教师和教练员来说,掌握有关力学知识来分析动作是十分必要的,将作为判断哪些是主要或非主要的,哪些是正确或错误的,哪些是原因,哪些是结果,哪些是可能作到的,哪些是不可能作到等有关问题的理论依据。掌握这方面的知识与不掌握这方面知识相比,将能进一步通过观察分析田径各项动作,发展创建更为合理的新技术。同时还可以加深对田径项目的其它方面,如田径训练方法中采用重量训练法等问题的深入理解。

田径运动的力学,还处于尚未全面开发的阶段,还存在着很多未知的或只知道一部分,尚待进一步研究解决的课题。很多场合还不能精密的进行计算。比如:为了说明人体的运动有时还不得不把刚体的有关原理应用于与其有很大差别的人体上。

由于运动员身体的质量,骨骼的构造,滑杠杆关节的功能及柔韧性等差异,使得分析并确定运动时,身体各种力及肌肉力的大小,方向和效果产生一定困难,有时甚至完全不可能。特别是形态结构相当复杂的体型,被处理为简单的几何形状,有时要牺牲力学上的正确性。

虽然如此,这种推论和大胆的推断,对指导、教练员、教师进行体育教学实践工作还是有一定的实用价值上的正确性。

但这必须是深入观察和解释的结果,而且在分析身体运动时,除注意应用极为重要的力学原则外,还需要注意对力学以外的原则(如生物学等方面的有关原则)留有余地。

本书从理论的完整性来说,尚欠全面,但是出于作者的考虑,是为了解决并达到实用上的目的。因此,本书所包括的内

容对田径项目的教练员、教师来说还是完全必要的。

虽然考虑到对象是没有力学基础知识的人，但期望专家们予以更多的关心。

因此，本书的第一部分是属于力学的基础知识。把基本力学原理和实际常见的体育动作实例结合起来进行说明。出于以上的考虑，本书内容的安排与普通力学教科书有所不同，尽可能不使用公式，说明中并不一定必要有公式，况且对数学不熟悉的人往往对公式迷惑不解。但是，由于不使用公式，必然加多语言阐述的负担，从这一意义来说为正确领会则应认真的阅读。

本书的第二部分是田径各运动项目具体技术的分析，并非完全建立于事实的基础上。这是因为各项目中还存在着很多尚不能完整解释的课题，因此有些内容是属于推论或为今后进一步分析研究的假说。

最后应再一次强调，应用力学的原理分析各田径运动技术，这只不过是一个方面，为了全面的对动作进行分析，还必须借助于其它学科的协同配合。由于其它学科有其专门的实验方法获得事实为依据进行解释说明，最终的结果就必然或多或少的有所差异。

也就是说，从生理学者的观点运动是属于遵循细胞、液体、组织、营养生物体规律的一种现象。从心理学者的观点，把运动员视为一种意识和人格。此外，物理学者通过对运动员身体所表现动作机械适应性和复杂运动形式，使其联想是一个独特的机械。

第二章 运 动

1. 运动的种类

田径运动所包括的全部项目，都是由人体整体或个别部分产生运动并作用于运动器械（如撑竿或铅球等）上使之产生运动。发生运动就必然遵循某些原理，也即无论是生物或非生物以至所有物体都必须受力学原理支配。运动的形式大体分为直线和回转运动两种。

(1) 直线运动：

直线运动（也称之为平动），是指身体在一直线上移动，即身体上各部分在相等的时间内移动的距离、方向、速度完全相同。田径所包括的各个项目中，纯粹属于直线运动的形式是



图 1

没有的，但仍有必须考虑的因素。（图1）乘平底雪橇下滑是属于体育运动中直线运动的一例。

100米短跑运动员从起跑跑到终点撞线，跑动的过程中若看作是一条直线上，（只有在忽略两腿和两臂的摆动和躯干的扭转情况下），被视为直线运动。在田径项目中，属于这种情况是很多的。

(2) 回转运动（转动）

转动是人体或动物运动形式中最常见的一种。从力学的观点看，人体的运动是由转动着杠杆组合作用形成的。同样，在形成田径技术动作过程中，身体的杠杆作用是极为重要的。本书安排了特别章节将予以说明。

显然，转动和直线运动不同，作转动的物体上的某一部分

即转动轴，总是相对物体其它部分呈静止状（如图2）所示。



图2

臂以肩关节为轴的转动。（图3中铁饼在空中旋转）。而作直线运动的物体其所有部分，同时从某一位置移动到另一位置，同一时间内移动的距离也是相同的。



图3

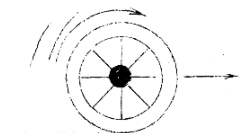


图4

物体也可以呈现即作直线运动而同时又有转动的复合运动形式。也就是作转动的物体其转动轴又沿一定方向运动。如（图4）。向前转动的车轮就是典型的一例。随着车轮的转动，车轮的轴心同时向前沿着直线移动。动物、人体及很多物体都经常从事这种局部转动，而整体沿直线移动的运动。短跑运动员下肢作转动而整体前移呈直线运动。投掷过程中由整个身体的扭转动作，使投掷器械产生直线运动。

在所有田径项目的技术动作中，为了取得良好的效果，经常是采用直线运动和回转运动相结合的方法来完成。例如短跑运动员下肢腿的前后摆动，必须和整个人体向前的直线水平移动密切结合。同样，投掷铅球动作中，身体在投掷圆横移向前，也必须与旋转动作密切结合。

2、匀速运动和变速运动

在一定时间间隔内，物体移动的距离永远相等，这种运动叫做匀速运动。而在一定的时间间隔内，物体移动的距离有变化不相等则为变速运动。假如完全用一定不变的速度跑完1英

2 ~ 4

里，成绩是4分16秒，若对于这样匀速跑动过程中，途中计时就应每110码为16秒。

一个短跑100码成绩为10.2秒的运动员，从途中计时结果：到50码的成绩为5.3秒，到60码的成绩为6.2秒，70码为7.0秒，80码为8.0秒，它表明是属于变速运动。

该短跑运动员在60~70码这一区间，比50~60码区间所用的时间少0.1秒，表明跑速增加，这就是加速运动。自70码以后，其跑速降低就是减速运动。虽然在跑动的每一步中都包含着加速或减速的过程。但并非这样严格的看待。

3、速度

在力学中，速度和速率这两个概念是有所区别的。速度概念中不仅包括着速率含意，更重要的是它还包含着移动的方向。比如说一个运动员用每小时24英里这样的速度进行跑动，就必须包括并指明其移动方向。即它是向正北方向以每小时24英里速度跑动。

运动快慢的数值，也可以说速度，但它仅由长度和时间的单位来确定。如每小时24英里的速度值，也可以写成35.2英尺/秒。

速度不仅表明快慢大小数值，而且还具有方向的含意，因而它是一个矢量，可以用线段长度和图示方法表示。

4、加速度

运动竞赛中，保持速度不变的情况是很少的。经常是数值或方向在改变。甚至更常见的是速度的数值和速度的方向同时发生改变。如前所述（运动员的身体或搜出物）其速度值变化时呈连续的减少即为减速。呈连续的增加就称之为加速。

在力学中，为了说明速度的增加或减少，引用了加速度这一概念。物体的加速度方向与速度方向相反时（如前述70码以后短跑运动员的减速过程），就表明产生了负的加速度。加速

度的方向与速度的方向相同时（如前述短跑运动员自起跑开始阶段的加速过程），表明运动员具有正加速度。

因此，加速度表示了速度的变化率。即每单位时间内速度的改变量。

我们来看产生正加速度的运动实例：一个每秒跑22英尺速度的短跑运动员，用了5秒钟其跑动速度数值变为每秒33英尺，速度的变化值是每秒11英尺，这个量并不是跑者的加速度，而是速度的改变量。

产生11英尺/秒速度的变化所用的时间是5秒，那么相当于每秒内速度的变化，就必须把11被5除，即每秒改变2.2英尺。也就是说，每一秒速度增加2.2英尺/秒。因而加速度（在短跑中使用时又叫做加速跑），为2.2英尺/秒，秒，写为2.2英尺/秒²。

从加速度的表示法可以看出时间单位应用了两次，一次是速度的变化量，另一次是发生此速度变化时所需的时间。

运动过程中，有可能成为加速度恒定不变的匀加速度运动。但体育竞赛中的运动，更多的是属于加速度不断变化的变加速运动。因此为了确定运动过程中，任意一瞬间的加速度值，就必须选取较短时间内速度的改变量来进行计算。

5、自由落体运动

由于进行任何竞技时，都受着重力的作用和影响，有关自由落体的法则就适用于所有的田径项目。严格的说，这些原则虽然是在不考虑空气阻力对空间运动体作用时得出的规律。但在田径比赛中，由于运动的幅度（或高度）还不足以构成重力加速度的误差，因此在实际应用上，对落下物体是忽略空气阻力的。

优秀的跑动技术应使每一步幅中，身体下降的幅度尽可能最小，否则使重心再度上升将浪费体能，应做到身体的向上运