

陆用車輛行駛原理

M·G·培克 著

孙凱南 譯

中国工业出版社

陆用車輛行駛原理

M·G·培克 著

孙凱南 译

中国工业出版社

本书是美国车辆越野性专家培克氏所著。本书内容从土壤力学的观点出发，研究各种车辆行路机构的效能，探讨其最优的结构及尺寸。提出了一系列的新的概念和新的方法。例如砂土、泥沼与冰雪地带对越野车辆的行路机构的不同要求，车辆履带的合理结构及合理尺寸，车辆越野性的试验方法等等，都是过去没有系统地提出过的。

本书适于越野汽车及一般汽车的设计人员、研究人员和专业学校师生的参考。

陆用车辆行驶原理

M·G·培克 著

孙 凯 南 译

*

机械工业出版社编辑部编辑（北京东黄城根外大街29号）

中国工业出版社出版（北京东黄城根外大街29号）

（北京市书刊出版业登记证出字第110号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行，各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $14 \frac{3}{16}$ · 字数 351,000

1962年12月北京第一版 · 1962年12月北京第一次印刷

印数 001—807 · 定价(10-6)2.20元

*

统一书号：15165·1783(一机-366)

譯 序

本书的作者 M. G. 培克氏是第二次世界大战中加拿大国防部车辆試驗室負責人，战后为美国斯蒂文斯工业学院牵引坦克組的主任，从事于各种越野車輛的試驗多年。本书就是他这項工作的总結。在书中，作者論述了汽車的型式，各种行駛部履帶、車輪、雪橇与不同的介质如土壤、沙、雪等的相互关系，提出了很多有启发性的問題和概念。这些問題不但对于汽車的意义，对拖拉机也是非常重要的，对我国这两方面的研究工作很有参考价值。

除了上述特点以外，作者在书中叙述了越野汽車的发展史，总结了在发展越野汽車的工作中的經驗，最近并列举了 346 項參料，对进一步的研究很有用处。

本书也有一些缺点，在摘录，引用的資料方面虽然也包括了苏联的資料，但是从比重上看来，还远远不能包括苏联学派卡沃夫(Львов)，迈得維捷夫(Медведев)，克利斯蒂(Кристи)的研究成果。其次作者仅从理論上进行分析，沒有結合現有车型进行分析，具体数据也非常少。这些是資本主义国家技术書籍的共同特点。作进一步研究时，可以參考 A. C. Антонов 氏的履帶行駛原理等书。

总的說来，本书牽涉的面很广，引用的資料相当丰富，某些資料也很新穎，有启发性，不失为一本好书。

譯 者

目 录

译序	3
一、导言	7
二、自然界中的运动现象	8
水在槽中的流动	8
动物的运动	11
跑与跳	11
爬行	13
滑行	19
步行	22
运动的阻力与移动的方式	24
人为的与动物式的运动	26
三、车轮的运动	30
古代的车轮	30
早期的道路与车轮	30
越野车辆的发明	31
近代技术发展的开端	37
第一次大战时期	41
第一次大战以后的时期	44
第二次大战时期	49
公路及越野机动车辆的发展	51
军用及工业用车辆的要求	53
将来的发展趋势	58
四、机动车辆的形态学及其与环境的联系	62
形状指数	62
比重量	65
尺寸与形状	66
履带式车辆的形状	69

轮式车辆的形状	71
车辆形状与环境的关系	72
车辆形状与环境的关系的评价	78
形状的稳定性与车辆的概念	82
形态学的研究	84
临界尺寸	89
列车的概念	92
五、土壤和雪的若干力学问题	94
稳定性与弹性问题	94
时间因素	95
二向度的应力函数: 直角座标	96
极座标的应力函数: 平面问题	100
垂直线性负荷及应力分布	102
任意方向的线性负荷作用下的应力	103
带状负荷作用下的应力	103
主应力和带状负荷	103
主应力的轨迹	108
剪力的分布	110
带状负荷作用下的压强分布	111
集中于一点的负荷	112
作用于圆形、椭圆形及长方形面积上负荷的	

压强	113	較	179
应力集中系数	116	負荷分布与車輪尺寸对	
雪中的压强分布	117	軟地上車輛滚动阻力	
刚性体下的压强分布	118	的影响	181
土壤中的实际压强分		彈性車輪在剛性地面	
布	118	上; 接触面积問題	182
塑性状态	120	彈性輪胎在剛性地面上	
平面中的塑性問題	121	的压强分布	184
塑性流动中的应力与剪		彈性輪胎在剛性地面上	
力状况	122	的滚动阻力	187
土壤的剪力强度	127	彈性輪胎在軟性地面上	
半无限連續的土壤中的		的一般情况	188
塑性平衡	130	合理的車輪形状	191
作用于牆壁上的土壤压		車輪的承載能力与浮	
力	137	力	195
土壤在带状負荷下的承		牽引力; 剛性車輪的輪	
載能力	140	齿及輪胎的花紋	197
雪地問題	143	輪胎胎面花紋滑轉問	
雪的剪切强度	144	題	204
雪与土壤問題中的弛豫		七、履带式車輛的履环	207
現象	146	履带下的接触面下陷現	
雪的机械性能的变化	150	象和压强分布	207
雪的摩擦性能	152	履带下陷現象与負重輪	
土地的彈性变形	157	数的关系	212
負荷的形状与面积对土		負重輪下的負荷分布与	
地彈性变形的影响	160	下陷現象	214
土壤与雪的非彈性变		履带板的变形与橫向負	
形	161	荷分布	217
六、車輪的力学	167	履带的承載能力	222
刚性車輪在剛性路面		主牽引力計算	226
上	167	履刺对总牽引力的影	
单个刚性車輪在軟地面		响	229
上	168	履带滑移与牽引力的关	
纵列的刚性車輪在軟地		系	233
面上	174	滑移引起的履带下陷	242
纵列与并列双輪的比		土壤压实和推土作用的	

阻力	245
履带式車輛的合理形	
状	248
履带与車輪的比較	250
八、雪車	257
雪橇下压强的分布及雪	
橇的軸綫位置	257
雪橇的承载能力	260
雪的压实所引起的滑行	
阻力	261
粘性阻力	264
滑行的动阻力	267
滑行总阻力	269
雪的状态	270
雪橇的形状	272
九、机动车辆的力学	277
輪式車輛的負荷分布	277
履带式車輛的負荷分	
布	280
車輛行駛时的动負荷	287
車輛性能的指标	293
輪式車輛的轉向与稳定	
性	298
履带式車輛的稳定性	300
履带式車輛的轉向	305
車輛的速度与振动	325
車輛的越障性能	334
螺旋桨推进的雪車的几	
个問題	343
水陆两用車輛的一般問	
題	346
車形和車型与土壤性能	
和地形的关系	353
十、車輛的性能与土壤的	
行駛性	359

土壤的行駛性的定义	359
土壤行駛性指标的測	
定	362
土壤与雪的分类	366
車輛性能的測定	369
車輛性能的評价	371
車輛速度与发动机功	
率	373
发动机扭矩与車輛性	
能	375
燃料消耗率与傳动系	381
越野車輛的实际与名义	
燃料消耗率	387
越野运输的效率	389
行駛性区域图	393
机动车辆性能及經濟性	
的根本改善	395
十一、模型試驗与因次	
理論	399
样車試驗, 模拟試驗与	
模型試驗的用途及限	
制性	399
因次分析原理	402
模型試驗的理論	407
車輛模型試驗的条件	409
試驗結果与实际情况的	
对照及校核	418
因次分析理論	424
車輛模型試驗举例	427
試驗数据的統計处理方	
法	427
綫性关系	434
試驗的設計	436
参考文献	438

一、导言

五十年来，机动车辆已经有极大的发展，而且它的发展前途也是很远大的。这些车辆的发展，不但表现在尺寸和重量的不断加大，而且也表现在技术的复杂性上；例如过去认为机动车辆只能在公路上以30公里/小时左右的速度行驶，因为这是人能够忍受的最高速度，但是现在的越野汽车的车速也远不止此，人怎样适应这样一种情况就需要作很多研究工作了。

为了适应这种不断发展的变化，早期汽车的简单传动系统和行路机构已经发展成为一套复杂的机构，它们的作用有赖于很多复杂而精密的元件系统，其它一些部件系统也莫不如此。事实上，近代汽车已经尽量采用了技术上的新成就，因此它能够适应非常复杂的使用情况，例如高速、越野、雪地、沙漠、水陆两栖以及高温、低温等等。

对于汽车与国民经济以及人民的生活习惯各方面的关系，已经进行过很多研究，资本主义国家也很注意这个问题¹。但是对于汽车以及它的零部件对与汽车相接触的道路、土壤、或雪、沙等行驶介质之间的关系，以及如何从这种关系中寻求最合理的汽车设计或使用的这一部分工作，却很少大规模，系统地进行过。大家对于这方面知识缺乏的认识是比较迟了一些，因此只对于寻求一个研究汽车设计的发展趋势的工具进行了一些初步的探索^{2,3,4}。

汽车工程师与使用者都希望有一个系统的理论分析方法，特别是关于越野汽车方面的理论，以便比较确切地确定经济而合理的运输系统的长远发展方案⁵，这一点到目前为止是很难着手的。

本书企图建立这一方面的比较广泛的理论，对于汽车及其它机动车辆行驶的介质的性质，以及它们与车轮，履带，雪橇等行路机构的关系进行讨论。

二、自然界中的运动现象

陆上运输并不是人类首先发明的，在自然界中早就有大量的水与泥沙流过地面的现象。其它动物与人类本身也都担负过不同的运输任务，它们采取的方式是多种多样的，车轮与车辆的发明是这些运动及运输的延续。

水在槽中的流动

大家都知道某些技术过程是可以和自然现象互相比较的，而在近代的机器中进行的技术过程一般都是自然现象的延续⁶，我们就不妨对河流的流动作比较详尽的研究，因为它和近代陆地运输问题的一般基础有相当密切的关系。

在河中流动的水受到的是地球重力的作用，这种力使水有克服河床阻力而流动的能力，如果我们考虑图 1 所示的一小块水在均匀地流动，则阻力 R 即等于水的重量沿它的流动方向的分力，即

$$R = W \sin \alpha。 \quad (1)$$

水的重量可以用图 1 中的符号表示

$$W = \gamma bdl,$$

式中 γ 为水的比重。由于 $\sin \alpha$ 通常是很小的，所以可以用河床倾斜角度的正切 $S = \frac{h}{l}$ 来代替。对于单位长度的水的流动阻力

$$R = \gamma d S b。 \quad (2)$$

由水力学原理⁷可知：图 1 所示河床中的水的流速可以用以下的半经验数式来表达：

$$v = \frac{1.486}{n} d^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

式中的 n 是根据槽壁性质而定的常数。

将 (3) 式中的 S 值代入 (2) 式中, 得出

$$R = \frac{n^2 \gamma b v^2}{(1.486)^2 d^{1/3}} \quad (4)$$

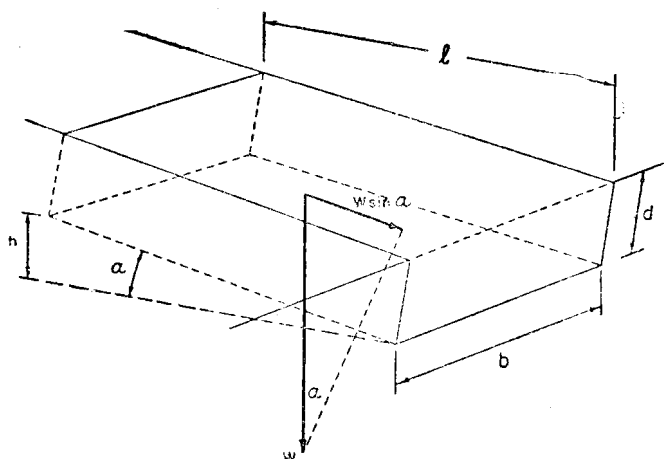


图 1

因此克服水的流动阻力所需的功率 $P = Rv$ 将为

$$P = \frac{n^2 \gamma b v^3}{(1.486)^2 d^{1/3}} \quad (5)$$

由于这一小块水的单位重量是 $W = \gamma db$ (磅/呎³), 因此使单位重量的水在一定速度下流动所需的功率是

$$\frac{P}{W} = \frac{n^2 v^3}{(1.486)^2 d^{1/3}} \quad (6)$$

如果命

$$K = \frac{n^2}{(1.486)^2 d^{1/3}} \quad (7)$$

则有

$$\frac{P}{W} = K v^3 \quad (8)$$

根据以上的推演, 可以看到河床对水流动的阻力相当大, 因为消耗的功率是与流速的三次方成正比的。由图 2 可以看到消耗的功率与流速的关系, 图中的功率消耗是用马力/吨表示的。

如果假定这一小块水是沿着河床运动的假想的“列车”的一

部分，則我們可以注意到“列車”的断面尺寸愈小，消耗的功率即随之而迅速加大，这种关系說明了，即使在这样原始形态的运输方式中，車輛的型式与运输的經濟性的基本关系还是存在的，因此在其它陆地运输方式中，这种关系必然更为明显。所以對於車輛形态学的研究的重要性是应当強調的。这方面的工作是尼森（Neesen）氏在大約 15 年以前开始的²，他对于陆地、海面及空中的运输工具都进行了一些研究，我們以后还会提到他的工作。

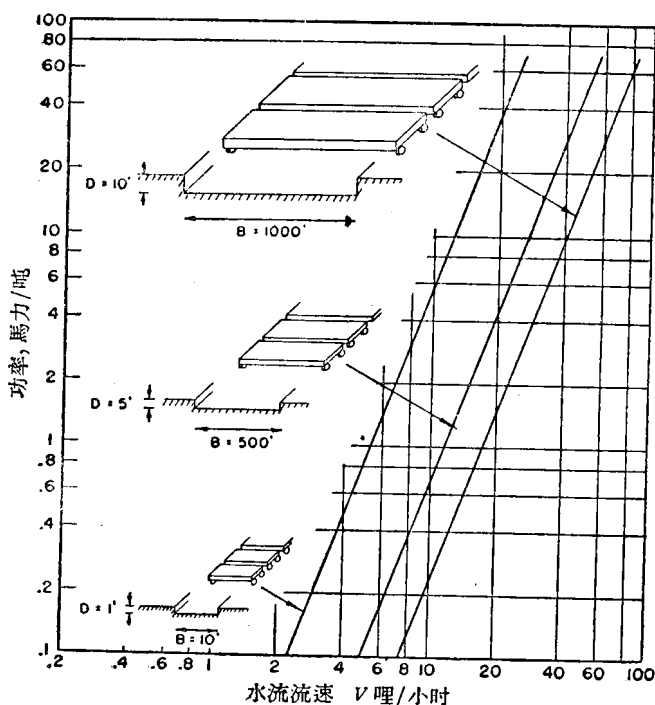


图 2

水在槽中的流动可以与用一种沒有重量，而且其动力由地球的重力作用所代替的車輛来运水的情况作比較。这种車輛的作用是不可倒轉的，因为地球的重力不能反方向作用。如果沒有一种逆方向的力量，地球表面上这种水的流动現象一定早已停止

了，这种逆方向的力就是水的蒸发及在静液压作用下水的上升现象。这种水流动的整个循环现象与陆地运输没有直接的关系，所以我们不去研究。但是应当注意，静液压的起源也还是地球的重力作用，因此整个循环的作用实际上是相同的，太阳是这种作用的能源，它使地球的重力在静液压举升高水的现象中起着间接的作用。

如果没有高度的差别，地球重力就不能起作用，因为重力的特点是只能在垂直的方向作用。因此这种运输系统的缺点就是它的运动方向必定是在倾斜的方向上的，只有运动方向的垂直分矢量不等于零的时候，运动才有可能。

动物的运动

自然界的运输现象不能逆着地球重力的方向进行，但是当动物出现以后，它们有可以逆着重力或不依靠重力的作用而运动的连杆式机构（腿），就可以克服地面的阻力而作水平方向的运动。所以也可以说动物真正解决了运动的问题，并且间接地解决了陆地运输的问题，它们能克服地球重力使它们的躯体下落的影响而作几乎很少限制的运动。这种运动是在没有车轮的帮助下进行的。

拉希夫斯基（Rashevsky）氏曾经指出，除了原生动物以外，所有的生物的运动都是一系列杆系的运动。蛇和毛虫类的整个躯体就是一根杆，其它动物的肢体是一系列的杆体⁸。动物的运动也有几种不同的方式，所用的机构也是不同的。对于这些不同的方式进行研究不但可以得到一些一般的概念，而且可以对于人所制造的运输机械的历史意义及其选用的杆系的合理性有所认识。

可以首先考虑一些能够灵活地运动的动物的运动方式，主要是能够跳或跑的四足动物。

跑 与 跳

根据拉希夫斯基的看法，跑这个动作是由一系列的跳跃组成

的。在每一次跳跃时，动物全身都不与地面接触，而它的重心轨迹则成为一个抛物线。在一系列连续的跳跃中，每次都是从静止状态开始的，当时动物的动能完全失去了。因此，如一个袋鼠或一个蚱蜢都要用相当冲击的力来克服这种失去的动能的。

动物的跑与跳的差别并不大。但是在跑的时候可以假定只有垂直方向的动能已经失去，而动物是以比较均匀的速度在跑的。所以跑的动作所消耗的能量要比跳跃少得多。

以下我们可以对这两种动作比较详细地研究一下。但是应当说明，为了使分析简化起见，在研究时作了一些假设，因此得出的结果只是近似的。如果动物的重心是沿一个抛物线运动的，如图3所示，假设在跳跃时，不考虑肢体的伸缩对重心的影响的话，而跳跃所消耗的能量使重心由 O 移动至 O' ，则每一次跳跃消耗的能量即等于动能 $\frac{m v_0^2}{2}$ ， m 是动物的质量， v_0 是被肌肉冲击而获得的初始速度。

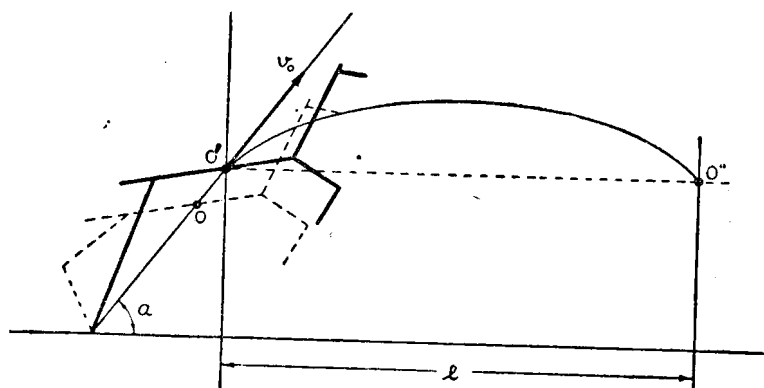


图 3

因此动物的运动可以认为是一个服从外弹道学规律的抛射物；于是，它从 O' 点“飞”到 O'' 点所需的时间等于，

$$t = \frac{l}{v_0 \cos \alpha}, \quad (9)$$

跳跃的距离
$$l = \frac{2v_o^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} \quad (10)$$

“飞行”的时间可以综合 (9) 式与 (10) 式而求得

$$t = \frac{2v_o \sin \alpha}{g} \quad (11)$$

在跳跃中，动物所获得的动能的消耗率是

$$P = \frac{mv_o^2}{2t} \quad (12)$$

将 (11) 式中的 t 值代入 (12) 式中，能量平均消耗率是

$$P = \frac{mgv_o}{4\sin \alpha} \quad (13)$$

换句话说消耗于克服跳跃“阻力”的单位重量能量是

$$\left[\frac{P}{mg} \right]_{\text{跳}} = \frac{v_o}{4\sin \alpha} \quad (14)$$

在跑的过程中，只有垂直方向的动能损失；所以

$$P = \frac{mv_o^2 \sin^2 \alpha}{2t}$$

或
$$\left[\frac{P}{mg} \right]_{\text{跑}} = \frac{v_o \sin \alpha}{4} \quad (15)$$

从以上的计算中可以看到，跳跃时消耗能量随着跳的角度 α 加大而逐渐减少，直到 45° 为止，但是跑的时候， α 角愈小，消耗的能量就愈少，这是两种运动不同所在。

在跑的时候，初始速度 v_o 与水平面所成的角度 α 愈小愈好，这是拉希夫斯基氏得出的结论¹⁰。角度 α 愈小，重心 O 的举升量（图 3）也愈小，(15) 式中由于略去了举升重心所消耗的能量而引起的误差也愈小。动物在跑的时候照的相片说明 α 角在 10° 到 20° 之间。以 $\alpha = 10^\circ$ ， $v = 40$ 呎/秒的值代入 (15) 式（这个值相当于赛马跑的速度），计算得出的功率如下：

$$\left[\frac{P}{mg} \right]_{\text{跑}} = \frac{40 \sin 10^\circ}{4} = 1.7 \text{ 呎-磅/秒每磅。}$$

如果用每吨重量消耗的马力来表示则

$$\left[\frac{P}{mg} \right]_{\text{跑}} = \frac{1.7 \times 2000}{550} = 6 \text{ 马力/吨。}$$

在计算马在跑的时候所消耗的功率中包括了一些不可靠的因

素。通过各方面进行研究之后，认为在竞赛中奔驰的馬消耗的功率大約是 4 ~ 5 馬力/吨。在这种情况下，(15) 式得出的数值是相当准确的。

根据(14)式，一个跳跃的动物在相同的情况下($v_0 = 40$ 呎/秒)消耗的功率将为

$$\left[\frac{P}{mg} \right]_{\text{跳}}^{10^\circ} = \frac{40 \times 2000}{4 \sin 10^\circ \times 550} = 200 \text{ 馬力/吨},$$

这个数值是相当惊人的。但是如果跳跃的角度增加到 45° ，则功率消耗就减少到

$$\left[\frac{P}{mg} \right]_{\text{跳}}^{45^\circ} = \frac{40 \times 2000}{4 \sin 45^\circ \times 550} = 51 \text{ 馬力/吨}$$

以上的功率如果不包括空气阻力在内都用于克服外界阻力的。

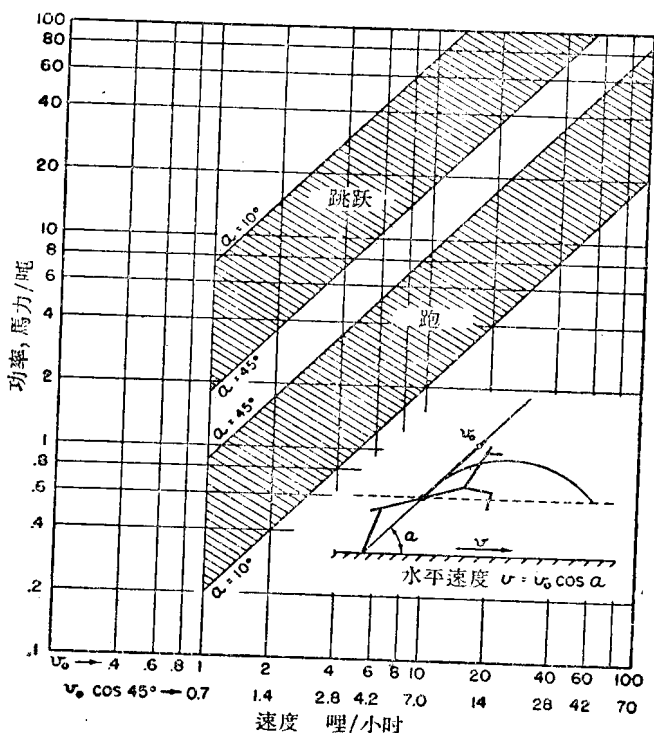


图 4

一个跳跃的兔子 ($v_0 = 20$ 呎/秒) 消耗的功率大約是 26 馬力/吨。如果假定它的重量是 10 磅, 則它的功率大約是 $\frac{26 \times 10}{2000} = 0.13$ 馬力。

图 4 是动物在不同速度下跑或跳跃时消耗的能量的一般情况, 图中表示的是动物以发展完备的肢体在 $\alpha = 10^\circ$ 至 45° 的角度跑或跳跃的时候計算而得到的功率与速度关系, 并且可以认为是动物运动时遇到的阻力的一般数据。在計算时并没有考虑到动物肢体的慣性矩和肢体甩动时消耗功率的影响。有关这方面的詳細情况可以參閱文献 8 及 11。

爬 行

除了跑和跳跃以外, 爬行也是动物的一种极普通的运动方式。这种方式就是連續不断地折擺和放开肢体的端部, 这是一种最原始的运动方式。图 5 a 可以代表爬行运动, 在折擺时, 身体的前端 I 与地面接触, 在放开的时候后端 II 与地面接触。某些軟體毛虫的运动就是这样的⁸。

在爬行的时候, 动物的身体与地面的摩擦可能是很大的, 現在还没有关于这种运动所需能量的数据。由于这种运动涉及的因素很多, 所以可能有很多不同的数据, 运动的阻力和許多因素有关, 如軀体部分地举升, 摩擦系数等等。

为了决定这种运动所需的能量起見, 需要利用一些理想化的机构来加以分析, 这种机构虽然經過了簡化, 但是与自然界中的动物爬行动作还是很接近的。这种机构如图 5 b 所示。

动物的主体的质量为 m , 它被 n 个足所支承, 这些足的质量假定为 km , k 是一个比例常数。假定动物的足連續地举起来, 并向前移动一个距离 d , 足的重心举起了高 h , 然后再落到地面上来, 如图 5 b 的 a, b, c, d, e 图所示。这些連續运动的结果是使动物身体前移了距离 d 。如果用車輛的运动来比較, 則对于車輛的某一节向前运动的阻力 F 是与这一节的重量 $\frac{mgf}{n}$ 成正比的 (f 是运动的阻力系数)。

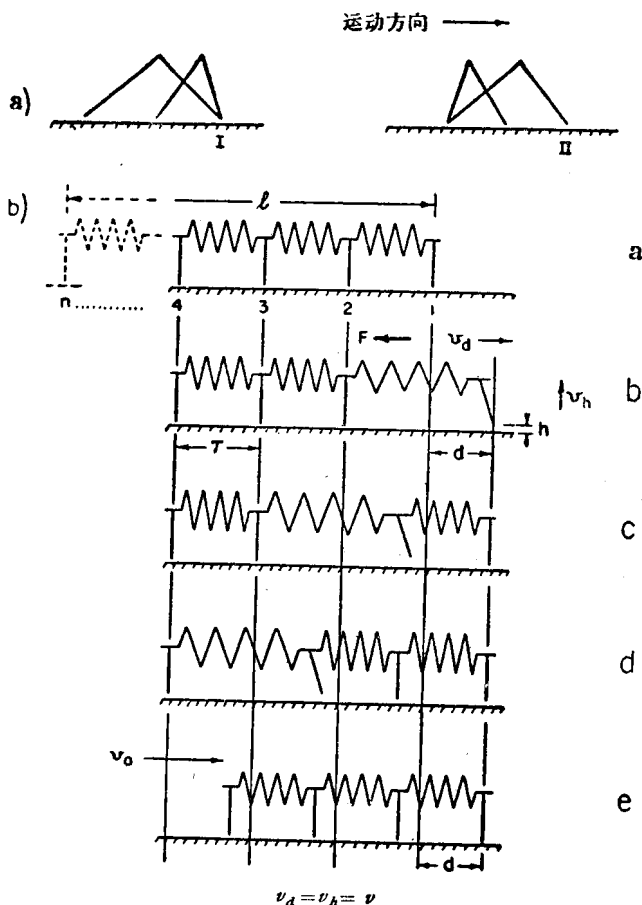


图 5

对某一节向上提升的阻力是 $\frac{kmg}{n}$ 。如果假定爬行的速度很慢，则惯性力可以略去不计，而且提升这一节的速度 v_h 等于向前运动的速度 v_d 。以 v 代表这两种速度。这一节向前运动所需的功率即为 $\frac{mgfv}{n}$ ，提升所需的功率为 $\frac{kmgv}{n}$ 。因此运动消耗的总能量为 $P = (mgfv + kmgv)/n$ ，假定各节的运动是连续而不重叠的。

这个“动物”的速度 v_d 可以用以下方法确定： n 节躯体向前移动所需的时间是 nd/v ，向上举升所需时间是 $\frac{nh}{v}$ 。由于在某一