

耕作和牵引

土壤动力学

[美] W. R. 吉 尔 编
G. E. 范德伯奇

中国农业机械出版社

耕作和牵引土壤动力学

[美] W.R. 吉尔 编
G.E. 范德伯奇

耕作和牵引土壤动力学翻译组 译

中国农业机械出版社

内 容 提 要

本书共九章，分为三部分。前三章讨论土壤的动力性质，阐述了土壤的剪切、拉伸、压缩和摩擦等性能及其测定以及综合参数的测定；第四章至第六章讨论了耕作部件力学和设计问题，以及耕作部件性能的测定和评价；第七章至第九章讨论了牵引和运输力学、土壤压实及土壤-机器系统的发展等问题。

本书可供从事耕作机械及拖拉机的研究、设计及教学的工程技术人员和教师参考，也可供在工程机械及兵工等方面的有关技术人员参考。

SOIL DYNAMICS IN TILLAGE AND TRACTION

Willam R. Gill, Glen E. Vanden Berg
Agricultural Research Service, U.S.D.A

* * *

耕作和牵引土壤动力学

〔美〕W.R. 吉 尔 编
G.E. 范德伯奇

耕作和牵引土壤动力学翻译组 译

*

中国农业机械出版社出版

北京市海淀区阜成路东钓鱼台乙七号

河北新城印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

新华书店经售

*

850×1168 32开 17 2/1 印张465千字

1983年11月北京第一版 · 1983年11月北京第一次印刷

印数：0,001—3,200 定价：2.15元

统一书号：15216·128

前 言

科学工作者、教师和工程师在科学技术工作中最感困难的问题之一，就是为正在研究、教授或施工的专门科目获得全部现有的有用知识。

解决这个问题，至少要有两种方法。一种是为收集与专门科目有关的出版物提供方便。这种方法正得到广泛的支持，而且在研究机构、教育机关、专业团体和图书馆的有力推动下，取得了很大进展，尽管收集资料的方法十分繁杂。

另一种方法是在一册或一批书籍中汇集、整理、评价与专门科目有关的所有重要论据以供查阅。这是一种单调的、耗费时间的工作，必须对该专业有广泛的了解和熟练的技能，才能完成这一工作。但是，如果能很好地做到了，则所汇集的论据对科学部门将是非常有价值的。其实，这种定期性的评述资料，对于任何学科的发展，即使具有最完善的收集资料的方法，也是必不可少的辅助。它们可作为科学知识发展道路上的里程碑。

《耕作和牵引土壤动力学》就是这样一个里程碑。

美国农业部农业研究处
农业工程研究室主任
Eugene G. McKibben

原 序

土壤动力学是研究土壤运动的学科。土壤的运动是由于人类企图改变土壤的现有状况使之成为更适用的状态，或者是土壤的承载车辆和车辆的运转而引起的。因此，土壤动力学的研究领域是包括耕作和牵引在内的土壤-机器系统。由于有关土壤基本性能的知识可应用于多方面，所以土壤动力学的研究也不局限于农业土壤和农业方面的问题。

全世界在建筑、军事和采矿方面大量的土工建筑和平整土地，使得用机器来处理土壤变得愈来愈重要。土壤动力学知识的最终应用可能不同，但其原理是一样的。

本书试图向对于耕作和牵引感兴趣的科技人员介绍有关土壤动力学确定的和实际的知识，这些知识是与亚拉巴马州 (Alabama) 奥本 (Auburn) 的国立耕耘机械实验室的研究任务一起总结出来的。

这是一本关于想法和概念的手册，而不是关于方法和程序的手册。该书的目的是试图将互相孤立的零碎知识联接成为一个有组织的知识整体，这个知识整体定名为土壤动力学。在书中力图做到既有叙述又有分析，以便能正确认识文献中的资料的重要意义。只要有可能，就用定量的数学处理方法来表达特定的土壤-机器的关系，假定这些关系必定遵循基本定律。

土壤性能的基本形式，诸如剪切破坏和滑动摩擦，人们已经能够识别并可用性能方程来定量地描述。书中也提出了一些能够把从属的性能分离出来并作定量描述的原理。确定的参数是每个描述土壤性能的基本方程中所固有的。对这些参数加以识别和估算将对说明土壤运动性能的特征提供一个基础。

书中对土壤性能方程联合起来变成一个简单的土壤-机器力

学方程的可能性提出了论证；阐明了能够发展一种完整力学的过程，这样一种土壤力学能够描述和预测机器性能的作用。本书提出并规定机器性能的准则，对这些准则的评估将对设计作用可以控制并且使之最佳化的机器提供一种依据。

由于今天我们已经掌握的只是初步的土壤性能方程和土壤-机器力学原理，还不存在一种完善的土壤耕作和牵引机械的设计理论基础。在缺乏理论方法的情况下，我们提出了用经验方法建立起来的方程来代替。经过适当的发展，这些方程将为土壤耕作和牵引机械的设计提供资料。这些资料也有助于发展一种严密而精确的理论力学。

本书不准备对一些问题进行解答，而是建立土壤动力学，提供一种解答问题的基本方法。本书试图对土壤动力学在范围、深度和广度方面加以发展，以便确定和构划出这一将成为新学科的知识领域。书中对解决大多数土壤动力学问题所需的资料提出了一些研究课题。

感谢国立耕耘机械实验室研究人员A.W.Cooper, W.F.McCreery, M.L.Nichols, C.A.Reaves和I.F.Reed对本书在准备材料和修订过程中的帮助。

特别感谢马里兰州Beltsville的农业工程研究所的E.G.McKibben, W.M.Carleton, L.A.Liljedahl, 及S.W.Mc Birney等人对本书的鼓励和支持。

感谢国立耕耘机械实验室成员以外的诸先生对本书的技术校对，他们是：衣阿华州立大学农业工程系W.F.Buchele；Clemson大学农业工程系L.O.Drew和T.H.Garner；奥本大学农业工程系J.G.Hendrick；国际水稻研究所农业工程室L.Johnson；密执安州立大学农业工程系S.Persson；伊利诺斯大学农业工程系J.A.Weber以及贝尔电话实验室技术人员J.L.Dais, D. N. Koppes, N.Osifchin, A.G.Vedejs, G.F.Weissmann, R.N.White和W.W.Wood。

译者序

本书是美国农业部农业研究处出版的关于农业土壤-机器系统力学的一本手册性专著，内容全面、丰富，基本上概括了美国、英国、加拿大和西德等国在该领域内曾出版过的重要文献，评述了主要研究者的研究成果与不足，并指出发展该门学科所必需的步骤。本书的学术价值在于客观地总结和评价了该学科的发展水平，因此，正如 E. G. McKibben 在前言中所说的，本书可作为该学科发展道路上的一个“里程碑”。

对于有关的科研、设计人员，本书不仅为查找文献资料提供很大的方便，而且可以从中全面了解土壤-机器系统力学领域中的各种观点、研究方法、已经解决的问题和尚未解决的问题。无疑，这些都是很有参考价值的。

本书第一、二、三章由张德骏译、赵诚斋校；第四章由郭允熙、陈桂英译，第五、六章由穆韦丰译，此三章由张德骏、马廷玺校；第七章由汪裕安、喻谷源译，第八章由王瑞麟译，第九章由张贞良译，此三章由陈秉聪和王瑞麟校。此外，凤元洪和唐才林同志对第五章至第九章进行了审校。

本书虽经多次校阅，但由于译者水平有限，错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

《耕作与牵引土壤动力学》翻译组

一九八一年十一月

目 录

前言

原序

译者序

第一章 绪论	1
1.1 历史	1
1.2 土壤动力学	3
1.3 研究中心	6
1.3.1 亚拉巴马州奥本国立耕耘机械实验室	8
1.3.2 密苏里州维克斯堡陆军机动研究中心	9
1.3.3 密执安州沃伦陆地行驶试验室	10
1.3.4 英国摄尔苏国立农业工程研究所	11
1.3.5 西德沃尔金若德农业工程基础研究所	12
1.3.6 日本鸿巢农业机械化研究所	12
1.3.7 其他研究中心	14
第二章 土壤的动力性质	16
2.1 引言	16
2.2 土壤的应力	16
2.3 土壤的应变	19
2.4 应力-应变关系	23
2.5 土壤强度	26
2.6 应力分布	27
2.7 应变分布	34
2.8 土壤的屈服	37
2.8.1 剪切	38
2.8.2 压缩	42
2.8.3 拉伸	43
2.8.4 塑性流动	45

2.9	刚体土壤的流动	46
2.9.1	动量	46
2.9.2	摩擦	46
2.9.3	附着力	49
2.9.4	磨蚀	60
2.10	动态和静态特性的比较	60
第三章	土壤动力学性质的测定	62
3.1	土壤是一个物理系统	62
3.2	动态参数	68
3.2.1	独立动态参数的测定	74
3.2.2	合成参数的测定	106
3.3	总动态性能的测定	116
3.3.1	破裂	116
3.3.2	风蚀	119
3.3.3	磨蚀	124
3.3.4	土壤的运动	127
第四章	耕作部件力学	132
4.1	引言	132
4.2	土壤对耕作部件的反作用	133
4.2.1	耕作部件力学的发展原理	133
4.2.2	完整的土壤耕作部件力学	138
4.3	简单反应的力学	142
4.3.1	倾斜耕作部件	143
4.3.2	垂直耕作部件	157
4.3.3	土壤的切削	168
4.3.4	结论	182
4.4	简化系统中的土壤性能	182
4.4.1	土壤-金属间的滑移	183
4.4.2	贯入问题	205
4.5	土壤与部件的几何形状	217
4.5.1	由于土体的形成及其附着导致部件几何形状的改变	217
4.5.2	磨损所引起的部件几何形状的变化	220

4.5.3	土壤与工作部件的几何形状	224
4.5.4	土壤与部件系统的方位	233
4.5.5	相互影响的部件的几何关系	234
4.5.6	结论	236
4.6	复杂反应力学	237
第五章	耕作部件设计	239
5.1	引言	239
5.2	设计方程	240
5.3	耕作部件形状	249
5.3.1	松土翻垡部件	250
5.3.2	铲运土部件	283
5.3.3	结论	289
5.4	部件运动方式	290
5.4.1	方位	291
5.4.2	部件运动轨迹	296
5.4.3	速度	300
5.5	复合动力工作部件	302
5.5.1	电渗	303
5.5.2	旋转部件	306
5.5.3	振动部件	319
5.6	耕作机具	328
5.7	力的施加原则	337
第六章	耕作部件性能	340
6.1	引言	340
6.2	土壤状态描述	342
6.3	耕作目的	352
6.4	性能测定	354
6.4.1	力	355
6.4.2	土壤状态	364
6.4.3	专门耕作作用	373
6.5	性能评价	382

第七章 牵引和运输力学	389
7.1 引言.....	389
7.2 牵引装置力学.....	391
7.2.1 无滚动牵引装置.....	392
7.2.2 滚动牵引装置.....	394
7.2.3 运输装置.....	405
7.3 牵引和运输装置的特性.....	406
7.3.1 动态应力分布.....	406
7.3.2 装置和土壤间的变形或运动.....	414
7.3.3 接触表面的形状.....	416
7.4 牵引性能的评价.....	417
7.4.1 性能的判据.....	418
7.4.2 性能测定.....	430
7.4.3 性能评价.....	432
7.5 牵引和运输装置的设计.....	435
7.5.1 运输装置.....	440
7.5.2 驱动轮.....	447
7.5.3 履带.....	461
7.5.4 辅助装置.....	467
7.5.5 设计因素的使用控制.....	469
7.6 车辆的设计、使用和性能.....	473
7.6.1 车辆形态学.....	473
7.6.2 车辆的能力.....	474
7.7 土壤和车辆对牵引和运输能力的相对重要性.....	476
7.8 预测牵引性能.....	477
第八章 土壤压实	488
8.1 引言.....	488
8.2 压实性能方程.....	489
8.3 耕耘及驱动中的压实.....	501
第九章 土壤-机器系统中的土壤动力学	506
9.1 系统分析.....	506

9.2 土壤动力学学科.....	510
9.3 土壤动力学与耕作.....	512
9.4 土壤动力学与牵引.....	516
9.5 结论.....	519
参考文献.....	522

第一章 绪 论

1.1 历 史

土壤动力学是研究与土壤运动有关的土壤科学和土壤力学系的一个分支，它可定义为研究施加于土壤的力与土壤反作用力之间的关系科学。这一定义对施加于土壤的力的来源是不加规定的，因此，由天然风力和水力及其他来源产生的动力反作用都包括在内。在土壤侵蚀和水文学中，土壤对风和水的反作用是极其重要的，为此，要研究这些反作用的力学。

本书要研究的仅仅是直接施加于土壤的力所造成的土壤反作用。耕作和牵引的动态反作用可影响处理土壤的机器的设计和使用。因为相互关系是注意的重点，所以耕作工具（或行走机构）和土壤必须一起考虑。

为了不限制研究成果的应用，我们把耕作定义为土壤的机械处理（对任何目的）。这个定义也许不易被接受，因为一种同样的犁可以为农业的目的用来耕翻土壤，也可以为军事目的作为埋设反坦克地雷的机器的基本耕翻部件。推土机为排灌目的推平土地的工作与建造新建筑、新公路和公园所作的平整土地的工作完全是一样的。因此，土壤耕翻可以用施加的力而不是用施加力的目的来定义。

牵引力是拉曳一个载荷时土壤产生出来的力。此力是牵引装置（如车轮、履带、带斜撑的铰盘或锄铲）依靠土壤发挥出来的。提供牵引力的土壤运动阻力是通过牵引装置和土壤的相互作用产生的。这个相互作用非常复杂，解决相互作用所产生的问题进展甚微。

研究土壤耕作和牵引的土壤动力学的实际重要性，多年来已为人们所觉察。然而，土壤动力学的研究工作只是到1920年以后才进行。在那时以前，没有协同一致的努力来汇集情报资料，并指导沿着基础方面研究以解决耕作和牵引中的复杂问题。1918年 E. A. White 在康奈尔大学所写的文章也许可作为美国在农业工程方面的第一篇博士论文。这篇论文的题目是“关于犁体及其对土垡作用的研究”。无疑，这篇论文可以作为一个里程碑，它标志着土壤耕作工具的研究开始了较理论性的探讨。

开始于二十世纪二十年代的土壤动力学的研究，其起始的活跃景象在三十年代中期以前一直是增加的，在三十年代中期由于若干原因又减少了。三十年代的经济大衰退和第二次世界大战是主要的原因。但是除此以外，因为农业机械化和大量的施用肥料，农业产量大量增加，研究经费亦投向于这类研究。另一个不能认为是不重要的理由是，初期活跃于土壤力学研究的研究人员有很多改变了工作岗位，新的岗位大多是管理工作，或是与土壤动力学的研究无关。由于大多数研究工作是由研究人员个人承担的，因此当他离开后，研究计划也就不存在了。

1950年以来土壤动力学的研究有所增进，这一情况表明，这门学科再一次成为被完全承认的研究领域。

美国农业工程师学会 (ASAE) 对建立土壤动力学，使之成为一门特殊的和基础性的研究领域起了很大的作用。与其他一些研究领域相比，这方面近期活动的详细情况是众所周知的。根据 Bayer 的文献 [32]，Schubler 显然是第一个对土壤物理性质作了全面和系统描绘的学者。同样，Bayer 提出 Wollny 是唯一从植物生长的观点阐明土壤物理性质的人。Terzaghi 和 Peck [427] 及其他学者 [184, 421] 使土壤力学形成一个独立的学科。对上述每一个研究工作的启示，无疑是来自大量不知名的研究人员的工作。不过，上述那些人将大量分散的材料整理成系统的知识。

在土壤动力学中，White 的基础研究 [502, 503] 明确指出，研究工作有可能以严密的方式进行。开始时，鼓励的力量主要来自

自于R.W.Trullinger, 当时他在农业部农业试验站管理局任职。他是美国农业工程师学会研究委员会的主席, 提倡基础研究, 并领导学会进入一个土壤动力学蓬勃研究的新纪元 [438, 441]。不过, 应该认识在M.L.Nichols(当时在亚拉巴马州农业试验站工作) 领导下所进行的系统的基础性研究。Nichols和他的同事将他们的许多工作以土壤动力学的标题发表于《农业工程》杂志上。一系列论文成为该刊物的经典性著作[105, 106, 234, 235, 312~320]。这些工作和在亚拉巴马州的Prattville田间的研究工作导致建立国立耕耘机械实验室。当时亚拉巴马州多科学院(现为奥本大学) 和美国农业部农业工程局(现为农业研究处的一部分) 的工作人员提出的计划和意见发展成为一个建议。在美国农业联合协会的支持下, 这一建议后来成为一个法令——于1935年在亚拉巴马州奥本建立实验室, 作为美国农业部的一个研究机构。

与美国发展土壤动力学研究的同时, 英国的Rothamsted试验站也开展了相同的研究工作。这个试验站的研究工作的想象力、多样性和成果之丰富是很出色的, Keen曾对它的工作做过很详细的报导[214]。大部分这方面的研究报告刊载在《农业科学》杂志上。苏联和德国的科学家在土壤动力学的研究方面同样也做了大量的工作[28, 103, 158, 342, 515]。然而, 不是所有的土壤动力学的研究工作都是与农业结合起来进行的。一位英国的土木工程师(C.F.Jenkin) 在1932年就指出, Rathje的试验工作和Love的理论工作为迫切需要的犁耕研究提供了一个基础[201]。

1.2 土壤动力学

美国农业工程师学会研究委员会集体的工作产生了一篇由McKibben写的综合性述评, 这篇文章包括了土壤动力学的诸因素[266]。下面是这篇文章的简单摘要:

1. 自然土壤是地质、气候、植被及后两个因素作用于第一

个因素的时间的产物。

2. 土壤是可以由改良措施、自然风化、耕作及其他管理措施而改变的。

3. 这样形成的土壤可以用下列物理的、生物的和化学的特性来描述：

1) 风化的固体物质：元素，无机化合物，有机化合物，微生物，土粒形状和质地及团聚体的结构、大小、形状和排列。

2) 未风化的固体物质：岩石和砾石，植物体。

3) 液体：溶剂和溶质。

4) 土壤温度。

4. 由第三条所列出的许多物理的、化学的和生物的特性所组成的某些复合性质，可在作比较时利用。这些性质包括含水量系数、比重和容重。

5. 由化学的、生理的和生物的特性的排列和结合，产生一定原子及分子吸引的复合体。这种复合体产生下述的诸特性的定义：

1) 内聚力（同类分子间的吸引力）。

2) 附着力（不同分子间的吸引力）。

6. 由第5条所列举的复合体产生的某些土壤的加工和成形特性：

1) 可塑性（弹性限与破裂点的关系）。

2) 坚实度（对永久变形的相对阻力）。

3) 对大部分材料，这些特性可用经验方法来确定，并用人为的尺度来表示。

7. 由第5条所列举的复合体也产生某些比较简单的机械性质，如：

1) 抗拉强度（韧性）。

2) 抗压强度。

3) 抗剪强度。

4) 摩擦系数。

5) 弹性模数。

这些机械性质可以根据数学原理，用多少已经标准化的试验来进行测定。

8. 由第5条所列举的复合体也产生某些综合的机械性质，它们是：

- 1) 穿入阻力。
- 2) 承载强度。
- 3) 耕作阻力特性。
- 4) 牵引特性。

这些性质是用经验性的试验测定的，今后大概仍然需要用这种方法。

关于土壤的评价，大部分仍然以McKibben的报告中所讲的概念为基础。虽则我们（这里指国立耕耘机械实验室的工作人员——译者注）增加了某些上述提纲中未明确包括的领域，但这些增加的内容仅仅是扩张了上述提纲中某些要点。

Nichols对土壤动力学的内容加以组织并进行公式化，对土壤动力学研究中的变数提出了一个一般性的分类。他提出了土壤动力学研究中需要回答的问题，这些问题不仅确定了待研究的范围，而且成为设立研究课题的基础。下面是他提出的一些问题的类型：对于推移性土壤，最好采用何种犁体设计？怎样设计方可达到最小牵引力的给定目标？在一定土壤上牵引一定载荷，多大的车轮尺寸和轮胎宽度最为理想？

土壤动力学的研究范围确定以后，Nichols定了两个研究目标：（1）测定土壤对作用力的反作用特性，这是设计耕作部件的基础；（2）设计简单的试验，以便能对土壤进行比较或能准确预测土壤的作用。

达到第一个目标所需要的是一个程序的逻辑方法，即确定与耕作问题有关的土壤和部件的参数以及这些参数的相互关系。Nichols提出了下述与土壤动力学研究有关的参数分类法，供获得第二个目标之用：