

# 地面—车辆系统导论

《地面—车辆系统导论》翻译组译

机械工业出版社

# 地面-车辆系统导论

〔美〕 M. G. 贝克 著

《地面-车辆系统导论》翻译组 译



机械工业出版社

全书分为二篇共15章。第一篇：地面。阐述了与车辆行驶有关的地面物理特性和几何特性以及它们对车辆行驶的影响，介绍了土壤值的测试技术和仪表，最后回顾了土壤研究的技术状况，并提出了新的途径。

第二篇：车辆。说明车辆任务和构型的涵义，讨论了车辆的舒适性、稳定性、操纵性、越障性能、功率要求和燃料消耗等方面的数学模型化，为研究、试验评价及选型设计的计算机化提供基础。然后根据给定的环境和任务，选择和评定最佳车辆的程序与确定最佳车辆的形式、尺寸、重量、功率和部件类型的方法。书中附有较详细的参考文献目录。

本书供从事车辆的研究、设计和制造方面的技术人员参考，也可供高等院校有关专业的教学参考。

INTRODUCTION TO  
TERRAIN-VEHICLE SYSTEMS  
M. G. BEKKER  
THE UNIVERSITY OF MICHIGAN  
PRESS, 1969

\* \* \*

地面-车辆系统导论

[美] M. G. 贝克著

《地面-车辆系统导论》翻译组译

\*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本 850×1168 1/32·印张 23 1/4·插页 2·字数 577千字

1978年12月北京第一版·1978年12月北京第一次印刷

印数 0,001—5,500·定价 2.90元

\*

统一书号：15033·4460

## 译者的话

本书著者将地面和车辆作为一个系统进行分析、评价和选型设计，较全面地讨论了地面特性和越野行驶中各方面的问题，提出了发展与设计地面越野车辆的新途径。

全书分为二篇共十五章。第一篇：地面。阐述了与车辆行驶有关的地面物理特性和几何特性，并作了定量分析，建立了地面土壤值系统，介绍了土壤值的测试技术和仪表，并详细地讨论了地面特性对车辆行驶的影响以及自然界条件对土壤值的影响。最后回顾了土壤研究的技术状况，并提出了新的途径。第二篇：车辆。首先从多方面说明车辆任务和构型的涵义；其次，根据地面环境和任务要求，讨论了地面-车辆系统的数学模型以及舒适性、稳定性、操纵性、越障性能、功率要求和燃料消耗等方面的数学模型化，为研究、试验评价及选型设计的计算机化提供基础。然后介绍了根据给定的环境和任务，选择和评定最佳车辆的程序与确定形式、尺寸、重量、功率和部件类型的方法。最后回顾了过去在这方面做了些什么工作，提出了将来可做些什么和怎样做的设想。书中附有较详细的参考文献目录。

在农业机械化方面，如何更好地解决拖拉机和农业机械在水稻田中、在低洼及泥泞地区以及雨季的行走问题？在矿山车辆以及工程机械等方面，也涉及无路地带的行驶问题。拖拉机、农业机械和越野车辆的构型设计，如何适应地面环境的要求？怎样深入地对面情况进行试验研究？此书对这些问题的试验研究工作，有其参考价值。也可供从事越野行驶研究试验及越野车辆包括拖拉机农业机械的设计、制造、使用的工人、技术人员以及教师和工农兵学员们参考。

贝克是为资产阶级服务的学者，他的资产阶级世界观必然要在书中反映出来。我们阅读本书，必须遵照毛主席的教导，以我

国社会主义革命和建设的实际需要为基础，“批判地吸收”。

本书翻译组由一机部机械研究院农业机械研究所、吉林工业大学、镇江农机学院、华北农机化学学院、洛阳拖拉机研究所、洛阳农机学院、湖北农机学院和东北农学院等八个单位组成。在翻译中，名词尽量采用已通行的，但有许多新出现的术语译法未必很恰当。人名、地名除已通行的外，一律不译，以便于查阅参考文献。书中有少数地方专谈市场推销，已作了删减。有的公式、数据、图表存在明显错误，已由译者改正或指出，并加附注。

由于我们的政治思想和业务水平很不够，错误和不妥之处，在所难免，请读者批评指正。

《地面-车辆系统导论》翻译组

## 原 序

几年以前，我埋头于证明在月球表面上行驶，轮子是不会受到别种异乎寻常的方式的挑战的。但是，不久便很清楚，常规的车辆形式，特别是小车辆的形式，可能是不合适的，这促使我系统地探索新的车辆形式和基本原理。

就在那时，L. S. Wilson 博士在看到从这种探索中诞生的一个非传统的月球车辆，一个能很容易地在平地上滚动和不费力地爬越垂直墙的车辆之后，提出了许多更深入的问题：对于新的地面车辆构型是否也像月球车辆构型那样进行详尽的研究与评定？有没有一个概括了“地面运动性”领域的新途径相结合的研究方法大纲？如果月球行驶的评定在方法上是协调一致的和针对性很强的，那么，我们在地球上是否也采用了相似的途径？如果我们已为月球开拓了新的车辆构型，那么，我们为地球又准备了什么？我们的研究与国际上的努力比起来怎么样？它包括哪些研究范围？所研究的问题有什么重要性？都涉及哪些学科？从技术、组织和管理的观点来看，我们对它的处理是否得当？

我可以回答其中的某些问题。尽管我不能回答所有这些问题，但是我觉得对整个越野行驶领域作出系统的和批判性的回顾以填补现有的空白，加进新的经验和可能回答 Wilson 博士提出的这些问题的时机已经成熟。

本着这种精神我提出了这本书。在写作过程中，陆军研究部门的代表兼科学指导 R. A. Weiss 博士，以及环境科学部主任 L. S. Wilson 博士给了充分的鼓励和协助，而 Durham 陆军研究处的 W. V. Royen 博士则亲自监督这一计划的实行。

虽然陆军部支持我的研究，但这种支持不应理解为所得结论就代表陆军官方的原则。

看来在评定地球上的车辆方面所作的工作还赶不上对在月球

表面行驶所作的详尽的工程评定。因此在编纂本书时，我曾大量取材于我在国家航空宇宙航行局和航空宇宙工业公司，特别是在加州理工学院喷气推进实验室、马歇尔宇宙飞行中心和在波音公司任职时的工作。这样，本书便大部分是从空间研究结果中分离出来的副产品，尽管在许多年以前，当 Jules Verne 还是一个在月球开发方面的仅有的权威时，我由于更着眼于本世界，在概念上便对这一报告作过设想。

这本书不是为任何科学或技术领域的专家写的。我的希望是本书会有助于一般技术人员、系统经理、教师、学生和个别的发明家，使他们能按照正确的观点，在各种跨学科的努力中，去寻求合理化的解决方案。我也希望这本著作将帮助越野行驶系统的用户明确使用要求和如何进行验收试验，以及帮助决策人在制订技术政策的各个阶段作出抉择。为了这个目的，我试图开辟一个与实际工程相结合的实用途径，避免抽象的概括，而用具体的例子说明问题方法的涵义。另外，也致力于说明什么是地面-车辆系统分析可以做到的，什么是不应指望它做到的。因此，这本书着重于探讨研究问题的方法，而具体的解决办法则应当看作是问题的阐明及解决过程的例证，而不是一套现成的处方。

本书的篇幅限制了关于细节的讨论，但有些章节曾加以扩大，以容纳首次发表的或从新的角度报导的资料。假定读者熟悉我以前写的《陆用车辆行驶原理》\* 和《越野行驶》\*\* 两书，因为它们构成了本书中要加以分析的发展方面的基础。当遇到有其他较好的基本解决方法、模型和输入条件可以采用时，也把他们纳入这里提出的方法论的结构中去。由于这个原因，我将本著作定为地面-车辆系统导论。

这个导论是以下列方式构成的：

---

\* 密西根大学出版社，1956年第一版，1962年第二版。（译者注：该书译本已由中国工业出版社1962年出版。）

\*\* 密西根大学出版社，1960年出版。（译者注：该书译本，已由国防工业出版社1965年出版。）

第一篇，地面：第一章使本书与我的《陆用车辆行驶原理》和《越野行驶》两书相衔接，因为它涉及到这两本书出版以来所发展和引用了的有关地面值测量的基本技术和测试仪表。

第二、三、四、五章讨论实际运用这些测试仪表来确定土壤物理状态的最新资讯；也讨论所得结果在工程上的解释。试验室和研究工作中的问题是这里讨论的主要的内容（但不是唯一的背景），因为它们很容易对方法及其潜力和极限提供一个概括的哲学展望。本着这种精神，首次以例证来说明为系统分析而进行的非均匀土壤的工程评定。在过去十年中地面运动性学者所提出的每个重要问题构成这几章的纲目。

第六章是关于地面几何特性的详细说明。除了回顾技术现状以外，还包括至今未发表过的关于越野行驶障碍的论述。本章也包括广义谐波分析的最近发展。由于它们用于越野行驶还是比较新近的事，便增加了概括性的简短介绍（书末还附有广泛的参考文献目录），以方便读者。由于对地面不平度的评定，必须联系车辆几何特征来进行，因而要使评定具有意义，就要对车辆形式加以考虑。

在对测定和解释地面的物理及几何特征所用的方法作了教学性的叙述以后，我们便能依照它对自然界中有关的土壤值进行分析。在第七章中就讲到这些内容。这里我们较少涉及“人工”土壤如浮面土（Pumice）及珍珠岩土（Perlite），而较多地（即使不是全部地）涉及粘土、沙、壤土、泥和雪。文中讨论了气候通过湿度这一媒介对土壤强度的影响。用例证说明了土壤及地面值的实地分布。强调了问题的统计特性。叙述了地面障碍的形状、大小、特性和在自然界中的分布。

也许这样就可以结束第一篇了。但我强烈地感到，如果不对第七章中叙述的地面特性进行分类和对为分类而进行的地面取样的方法加以讨论，这一篇还不算完整。

第八章便是处理这些问题的。这一章批判地回顾了技术现状并提出新的途径。希望它能帮助那些为作地面-车辆系统分析而



计划收集资料的野外工作者；本章并为这种计划草拟了大纲。

第二篇，车辆：假定“系统”的一个部分（地面）已在本书第一篇作了定量的描述，第二篇详细地阐述车辆。第一章是关于车辆的任务。它从拖拉机耕地、推土机推土、在坦克的厚装甲中作战、开发月球等多方面来说明任务中的功用和运用特征。时间表、运行路线，尤其是运行费用都包括在任务的涵义之中。

讨论了在特定地区期望车辆做些什么之后，就可以系统地阐述车辆构型的涵义。为了对地面-车辆这一系统进行分析，整个车辆及其主要部件的构型是以形式、尺寸、重量、动力的关系来限定的。汇集成一个相当大的“数据库”，作为计算机的输入。

在确定了环境、任务和车辆构型的涵义之后，便朝着系统的最优化逼近。为了这个目的，在第二章中讨论了地面-车辆关系的数学模型。批判地回顾了轮子、履带、轮胎和其他机构的模型化，各种基本方程或已重新写出，或者请读者在各种参考资料中查阅。

第三章从振动、稳定性、控制、越障性能和人的舒适性等方面继续讨论车辆性能领域的数学模型化。

第四章专门讨论车辆性能其他方面的数学模型化，如障碍越过、动力要求、燃料消耗、内损失等。

假定系统的数学模型都已具备，第五章一开始便试图对从许多供选择的方案中选择一个最佳的车辆构型的过程加以程式化。给出了这个程序的例子，包括说明有关计算的方块图。考虑了定数的和统计的系统评定。

第六章从另一观点来处理和第五章相同的问题。它从一个设想或创造开始，并试图说明如何在多种供选方案的背景下来评定那个设想，而不是从一个庞大的车辆-地面供选系统开始。

第七章类似结尾。它提出过去做了些什么，将来可以做些什么。它还讨论技术预见的方法、组织、用户的联系、经营管理和研究，以及系统分析所需要的试验设备。

直接或间接帮助写作这本《导论》的人们的名单是很长的，

在这里不能一一提及，我仅提到下面几位。美国陆军坦克自动车司令部的主任科学家 E. N. Petrick 博士给我许多启发，特别是关于第二篇结尾的一章。通用汽车公司的 D. Schuring 博士阅读原稿，并辛勤地对结构和内容作了仔细的评阅。美国陆军坦克自动车司令部的 R. J. Otto, R. A. Llston 和 Z. Janosi 诸位先生在多次讨论中直接给以协助并进行了本书中提到的许多决定性的试验。

我也应感谢 Litton 公司的 H. K. Weiss 和 R. L. Helmbold 两位先生，加州理工学院的 R. F. Scott 教授和加州大学的 R. N. Colwell 教授，他们看了原稿并提出了许多宝贵的意见。

(下略)

M. G. Bekker

1968年3月1日

# 目 录

译者的话

原序

## 第一篇 地 面

第一章 测量地面值的技术和仪表 .....	1
一般背景 .....	1
在均匀和不均匀土壤中用的贝氏仪 .....	3
细粒土壤用的圆锥穿入仪 .....	12
空投圆锥穿入仪 .....	14
圆锥指数和贝氏值 .....	15
土壤湿度 .....	17
土壤密度 .....	19
泥浆的粘度 .....	19
冰的强度 .....	20
植被的强度 .....	21
地面障碍和不平度 .....	22
第二章 垂直应力-应变关系的评定 .....	29
载荷-沉陷曲线的几何学 .....	29
穿入试验提供的资料和误差 .....	37
仪表和土壤局部的随机不均匀性的影响 .....	40
曲线拟合和内插的影响 .....	47
平板形状的影响 .....	62
平板的临界尺寸和最小载荷 .....	67
土壤变形速率和动力加载的影响 .....	68
土壤普遍不均匀性和成层性的影响 .....	75
第三章 水平应力-应变关系的评定 .....	99
载荷-剪切曲线的几何学 .....	99
剪切试验提供的资料 .....	103
仪器类型的影响 .....	104
剪切板形状和尺寸的影响 .....	106

土壤表面结构和成层性的影响 .....	113
变形速率的影响 .....	116
曲线拟合和内插的影响 .....	117
<b>第四章 土壤在水平和垂直载荷下的复合载荷-变形关系 .....</b>	<b>122</b>
滑动沉陷和水平变形 .....	122
滑动沉陷和垂直载荷 .....	126
车辙深度 .....	128
<b>第五章 反复加载和沉陷 .....</b>	<b>129</b>
垂直载荷和沉陷 .....	129
水平载荷和沉陷 .....	134
反复加载中的不均匀性和土壤成层性 .....	137
<b>第六章 地表几何学 .....</b>	<b>139</b>
地表几何和车辆失效模式 .....	139
地面不平度、离散值和连续值 .....	141
障碍轮廓、间隙失效模式和倾复失效模式 .....	141
顶起失效的障碍条件 .....	144
栽头失效的障碍条件 .....	150
地面不平度的广义谐波分析 .....	158
不可越过的障碍和迂道的统计学 .....	167
障碍间的自由路径和车辆的超出量 .....	177
地表不平度的近-微观特征对越野行驶的影响 .....	178
<b>第七章 地面物理值和几何值的分布和变化 .....</b>	<b>180</b>
土壤物理值和湿度 .....	180
土壤物理值的时间性变化 .....	190
土壤物理值和地面状态规范 .....	197
土壤物理值的空间性变化 .....	200
土壤物理值组的结构 .....	207
土壤强度随深度的变化 .....	212
地表障碍的形态学 .....	213
地表障碍的几何学和地形学评定 .....	223
坡度的评定 .....	231
地表的功率谱密度 .....	235

植被障碍 .....	245
第八章 地面值的取样和分类 .....	250
地面取样目的、范围和一般方法 .....	250
地表几何值取样 .....	253
土壤物理值取样 .....	266
地表的分类 .....	271
地面值的像片判读 .....	275
土壤的可行驶性和分类 .....	282
绘制地面值地图 .....	297
越野行驶地理学 .....	303
符号表 .....	310
参考文献 .....	312

## 第二篇 车 辆

第一章 车辆的任务及构型 .....	329
任务的涵义 .....	329
货运规范 .....	331
功用规范 .....	334
车辆-土壤工作机械组合的功用规范 .....	338
车辆运用的空间和时间规范 .....	346
任务的限制 .....	351
车辆的构型 .....	356
车辆构型诸要素间的关系 .....	359
第二章 土壤-车辆关系的基本模型 .....	372
被牵引的刚性轮、运动阻力及沉陷 .....	372
被牵引的充气轮胎的充气压力、压实阻力及沉陷 .....	376
驱动轮：挂钩牵引力，运动阻力和沉陷 .....	382
轮子的推土阻力 .....	387
串联轮，重复通过 .....	390
重复通过中的滑动沉陷 .....	396
当前土壤-轮子研究的趋势 .....	397
土壤-轮子关系中的输入误差 .....	405
轮子模型，误差评定中的因次分析 .....	409

在泥泞的及被淹没的地面上的轮子 .....	414
履带、运动阻力、挂钩牵引力、沉陷、滑动 .....	415
步行机构 .....	424
水中及陆地上的螺旋驱动 .....	429
<b>第三章 车辆动态特性模型 .....</b>	<b>434</b>
转换函数、牛顿和拉格朗日方程 .....	434
乘坐舒适性和货物安全性 .....	441
方向控制和稳定性 .....	451
列车式车辆的动力性能 .....	461
设计参数和车辆动力学 .....	470
越障动力学和能量消耗 .....	474
车辆动力学中的人的因素 .....	481
<b>第四章 车辆性能模型 .....</b>	<b>486</b>
车辆内部损失及车辆部件效率 .....	486
加速及制动 .....	496
越障静力学；台阶及壕沟 .....	501
越障几何学；车辆的坡度-高度函数 .....	512
越障几何学中的比例效应 .....	521
越过障碍的概率 .....	525
车辆的坡度-高度性能的分类及效率 .....	527
转弯时车辆超出量 .....	529
功率、速率、燃料消耗及行动范围 .....	537
挂钩牵引力/重量比值，滑动及沉陷 .....	545
水陆两用车辆性能模型 .....	550
性能的综合指标 .....	552
<b>第五章 根据给定的任务及环境选择车辆构型 .....</b>	<b>561</b>
地面-车辆系统分析 .....	561
车辆形式、尺寸、重量、功率的确定 .....	564
按平均载荷估计燃料消耗和活动范围 .....	575
重量、载重量和运输效率的细致考查 .....	579
轻捷性的评定 .....	582
用综合指标确定性能和效用 .....	586
成本计算、可靠性及维保性 .....	588

## XIV

初步最佳化和确定部件设计 .....	592
构型选择过程的次序 .....	597
收集现代技术水平的方程和输入数据 .....	599
计算机程序 .....	601
评定统计模型 .....	608
<b>第六章 车辆或部件构型的评定</b> .....	<b>619</b>
设想与发明的探讨 .....	619
鉴定显著特征、效益及问题范围 .....	620
历史分析 .....	623
任务和环境的鉴定 .....	626
选择备选方案 .....	628
运用及成本-效果分析 .....	631
<b>第七章 地面-车辆系统评定的进行</b> .....	<b>644</b>
自动车辆技术前景一般预测 .....	644
越野行驶前景的一般预测 .....	651
研究规划、目的和步骤 .....	655
组织与管理 .....	663
运动性试验和满足用户的要求 .....	668
设备和费用 .....	676
研究在日常工作中的应用 .....	685
<b>符号表</b> .....	<b>692</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>696</b>

# 第一篇 地 面

## 第一章 测量地面值的技术和仪表

### 一 般 背 景

地面-车辆系统的工程评价是建立在与车辆和其环境两者都有关系的一些参数的测定的基础上的。

从力学观点看，车辆在越野行驶中的物理环境是由覆盖在地面上的表土、植被、湖泊、河流、以及自然或人为的静止障碍之类的物体所组成的。

从这种以磅-呎-秒制或厘米-克-秒制量度的环境的物理和几何特性可导出地面-车辆关系的数学模型，而地面-车辆关系则涉及由工程力学和运用要求所确定的运动的机械效率、完成任务的效果和费用。

从这些模型得出设计和性能参数的涵义，而这些参数本身在所谓构型\*确定阶段又服从于车辆构型的最佳化。这种最佳化不一定包括那些数值和程序：这些数值和程序，如果未对随机过程或者特定统计假设进行广泛的分析，便不能直接用物理、几何或无因次的术语表示。

虽然如此，由于地面值的变化特性，可能需要对设计和性能参数进行统计处理，但是，这不一定必须超出评定置信水平、收集样本和选择衡量标准等现已确立的方法。

虽然从早期应用机动车辆于越野运行时起便已进行了一些土壤坚实度的测定 (Bekker, 1926)，但这种技术还没有充分地确

---

\* 原文为 Concept，第二篇第二章定义为形状、尺寸、重量、功率关系的综合体，现译为构型 (译者)。



立，尽管对土壤穿入试验的必要性已有清楚的认识，并在很早以前就已开始引用 (Bernstein, 1913)。

在第二次世界大战期间，美国陆军工程队的水道试验站 (WES) 研制了一种用圆锥头测定土壤可行驶性的不能自行记录的穿入仪；通过实验使圆锥所承受的穿入阻力与车辆的“可通过”和“不可通过”的性能相关 (WES, 1947)。值得注意的是，Bernstein 更早便使用了圆锥穿入仪 (1913)，但不是用于土壤的测定；土壤的测定是用穿入平板进行的。圆锥只是用来检查每次试验前的土壤的均匀性和土壤处理情况。

在同一时期，一个英国军事作战研究单位研制了一种圆锥穿入仪，有描绘受试土壤的恒速加载-沉陷曲线的记录装置。另外用一种剪切十字板测量土壤强度 (Evans, 1948)。

在英国战时研究车辆运动性\*期间已提出了土壤的摩擦和内聚力的测定 (Micklethwaite, 1944)。实际上在同时，在加拿大独立地创制了第一具进行这种测定的野外使用的仪器 (Bekker, 1946, 1947)，稍后，在美国又有另一具 (Welss, 1950)。

地面测定技术情况便这样延续到1955年；那时，对更多定量资料的需要变得迫切了，同时新的测定型式也被引用了，这些测定是以垂直和水平应力-应变关系的概念和地面不平度的几何定义为基础的 (Bekker, 1955)。

土木工程师几十年来一直在测定别的一些土壤值，如湿度、密度、塑性指数、液限等。在第二次世界大战期间，他们的方法曾被美国陆军工程队用于土壤可行驶性的实验研究上 (WES, 1948)。

将土壤的变化对车辆性能及设计参数的关系进行统计处理，在土壤-车辆关系的“概念结构”及恰当的数学模型被提出 (Bekker, 1961) 以前，一直是不可能的。

差不多在同时，提出了在越野行驶车辆的振动问题中应用广

\* 关于运动性的意义，第二篇第七章有专门叙述，这里是指“机械的运动性”，主要是关于车辆越野行驶性能，也可称为“通过性” (译者)。