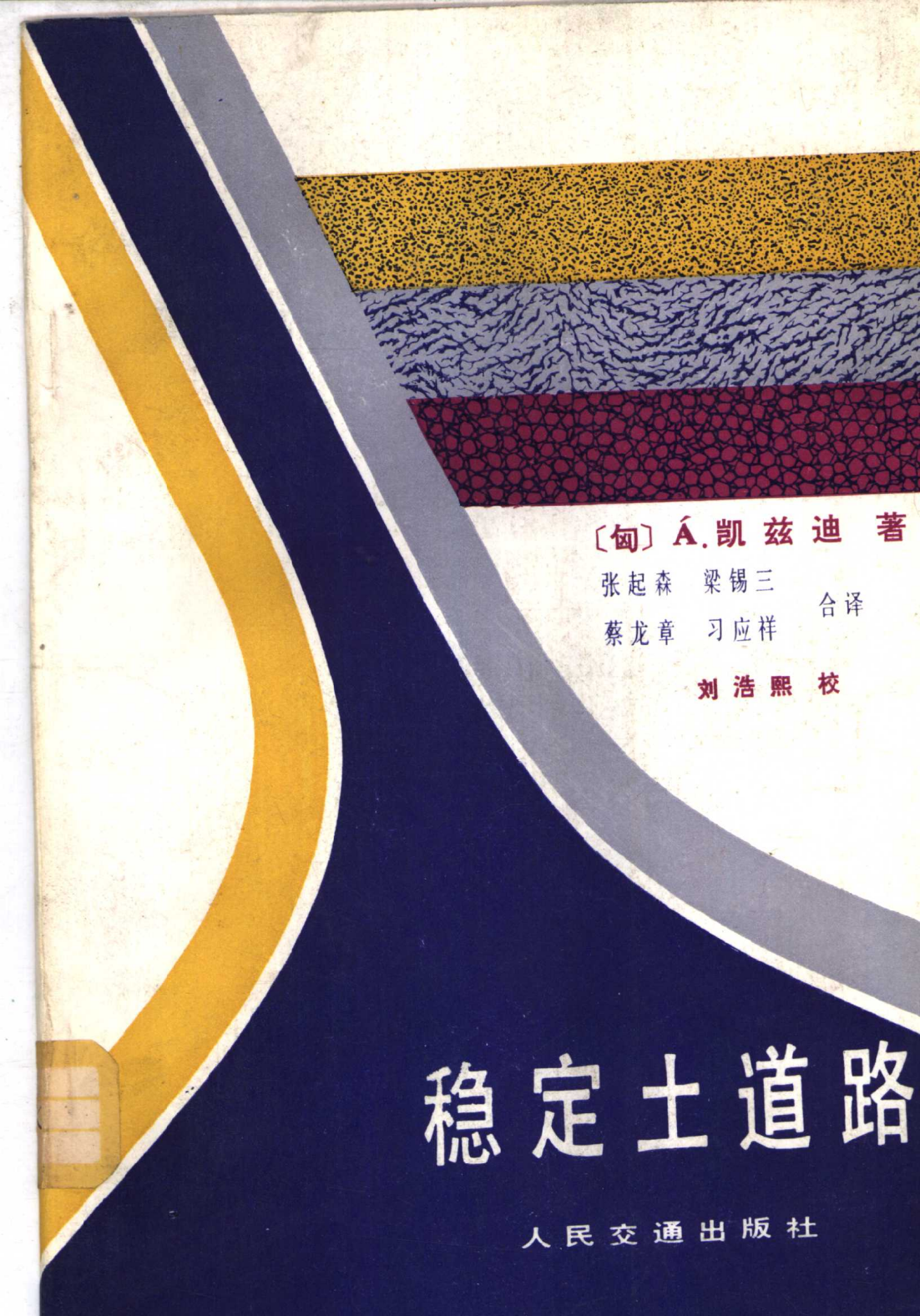




[匈] Á.凯兹迪 著

张起森 梁锡三 合译
蔡龙章 习应祥

刘浩熙 校

稳定土道路

人民交通出版社

WEN DING TU DAO LU

稳 定 土 道 路

〔匈〕 A.凯兹迪 著

张起森 梁锡三
蔡龙章 习应祥 合译

刘浩熙 校

人民交通出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了机械、石灰、水泥、沥青和化学稳定土的原理和方法,以及稳定土道路的设计和施工。对公路、城市道路及其他有关工程部门从事科研、设计、施工和教学工作的技术人员有一定的参考价值。对于高等学校的学生和研究生,也是一本很好的参考读物。

STABILIZED EARTH ROADS

A. KEZDI

ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING

COMPANY—1979

稳定土道路

[匈] A.凯兹迪 著

张起森 梁锡三 合译

蔡龙章 习应祥

刘浩熙 校

责任编辑:郭思涛

人民交通出版社出版发行

(北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

顺义牛栏山一中印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 11.125 字数: 274千

1989年2月第1版

1989年2月第1版第1次印刷

印数: 0001-2360册 定价: 6.20元

译 序

随着公路运输的不断发展，稳定土已日益广泛地应用于道路工程。稳定土不仅广泛地用在地方道路、农业道路和森林道路，而且也被用于交通繁忙的干线公路上。实践证明，稳定土在技术与经济方面有着较为显著的效果。

在我国，石灰稳定土已有悠久的历史，除了在道路工程方面外，其他建筑领域也都有较广的应用，并且积累了不少经验。然而，对于其他稳定方法，如水泥土、沥青土和化学稳定土等，发展还比较缓慢。匈牙利布达佩斯科技大学凯兹迪（A. KEZDI）教授编著的这本“稳定土道路”，系统地介绍了土壤稳定的各种方法、原理以及稳定土道路的设计与施工，这对进一步发展我国稳定土道路技术具有实用的参考价值。

本书第一章、第八章、第九章由张起森同志翻译，第二章、第三章由梁锡三同志翻译，第四章，第五章由蔡龙章同志翻译；习应祥同志翻译第六章、第七章并参加部分校对。全书由刘浩熙、蔡龙章、张起森同志总校。

由于我们的业务水平和翻译水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

1981年6月长沙

英文版前言

我十分高兴“稳定土道路”这本书继匈牙利文和德文版后，今天又以英文版面世，这将会使它更为广泛地流传。

所述的稳定方法已经有所发展且为过去二十年的经历所证明：稳定处理已用于路面并成为路面层状结构的一个组成部分，为了替这些稳定方法提供扎实的基础以及更完整地了解这一领域，我的意图是介绍一下土壤稳定方面的物理、化学原理。

如果我这样做是成功的话，无疑会对从事道路建筑土木工程师们有所帮助。同时，我还希望对发展有益于人类的道路系统作出贡献。

在匈牙利文第一版中，我感谢贝拉·拉吉瓦第 (Béla Nagyváti) 和拉兹罗·法卡斯 (László Farkas) 的协助。遗憾地说明一下，他们虽然均已作古，然而，他们对本书所作的贡献我经常是以诚挚的谢意来肯定的。

布达佩斯 1978年10月

Árpád Kézdi

匈牙利文版前言

我对“稳定土道路”这本手稿的出版感到极其高兴，因为我相信它的内容开创了匈牙利与筑路有关的土壤稳定的新时代。可惜准备工作、实验和积累经验这一段时间之长远超出所料。在匈牙利的文献中初次阐述以土力学原理为根据的稳定技术是在30多年前的事，后来为了在国内大量推广稳定土道路作了反复的努力。这本首次全面考察土壤稳定理论和实践的书，其主要目的是为读者提出土壤稳定的物理、化学和土力学原理，并通过这些原理的相互关系来阐述和评价迄今获得的经验。我不打算提供详细的规则、设计和施工手则，因为这是属于主管道路建设计划的政府机构的职责。然而，我认为，仔细研究书中提出的资料对正确制订这样的应用文件会有很大的帮助。这本书试图完成在匈牙利科学院道义和财政支持下、József Jáky教授-博士1984年于布达佩斯科技大学土力学实验室开始的、自1950年以来由作者主持的研究工作，许多研究结果已在书中列出。实验室工作和试验路段现场施工所得到的结果，现在必须借助在常规大规模施工的稳定土道路上的调查研究予以补充。我完全相信，由于共同努力、良好组织和正确管理，匈牙利这种大规模施工计划的必要条件是可以获得的。因此，我信赖我们的主管机构将会很快理解这件事的重要性，农业的进一步发展是同它密切相关的。

我的著作的完成，要感谢我的同事们。研究工程师Béla Nagy-váti准备了这个手稿，更重要的是，他积极、热情地参加了关系到所获成果并对它作出很大贡献、历时17年的研究工作，他为校阅这本手稿所作的努力同样值得感谢。Jenő Járny博士也阅读了这本手稿，他是匈牙利土壤稳定方面的另一位先驱者，由于他卓

越的专业评论和观察力,使这本手稿消除了许多错误。感谢Tibor Buócz校核了第6章。

研究同事László Farkas在我们历时17年的土壤稳定研究中也提供了帮助,他极端仔细、严谨而且热心于工作的精神,总是保证着实验最精密地进行。

感谢F. Panrok 女士,她打字迅速、正确,而且仔细,为我们提供了很大帮助。

最后,我还要感谢匈牙利科学院出版社,他们对出版这本手稿的工作进行得既耐心又完美。

作 者

目 录

第一章 绪 论	(1)
第1.1节 稳定土道路修筑的重要性	(1)
第1.2节 历史背景	(9)
第1.3节 稳定土道路的施工方法	(11)
第1.4节 推荐的著作	(18)
第二章 土壤稳定的物理和化学问题	(21)
第2.1节 土壤物理学的基本定义	(21)
2.1.1 土壤的物理性质	(21)
2.1.2 土的分类	(36)
2.1.3 稳定土的试验	(40)
第2.2节 土壤各成分的相互作用	(50)
2.2.1 水的性质	(50)
2.2.2 固体颗粒的某些性质, 颗粒之间的连结	(58)
第三章 土壤的机械稳定	(62)
第3.1节 颗粒集料的空隙状态	(62)
3.1.1 等球体颗粒组成的集料	(62)
3.1.2 二组分和三组分颗粒集合体	(68)
第3.2节 空隙比最小的连续级配混合料	(72)
第3.3节 配合比的确定	(83)
第3.4节 土壤混合料的阿氏限度	(90)
第3.5节 土壤混合料受水影响的性质	(95)
第四章 水泥稳定	(104)
第4.1节 引言	(104)
第4.2节 水泥与土壤间的相互作用	(106)

第4.3节	水泥处治土的性质	(114)
4.3.1	引言	(114)
4.3.2	强度特性	(116)
4.3.3	变形特性	(127)
4.3.4	塑性和体积变化	(129)
4.3.5	水份影响的特性	(133)
4.3.6	压实的最佳含水量和最大干密度	(135)
第4.4节	施工方法和外掺料对水泥处治土性质的影响	(136)
第4.5节	水泥土混合料的设计和试验	(146)
4.5.1	水泥土成份的检验	(147)
4.5.2	确定需要的水泥用量	(150)
4.5.3	稳定混合料的水泥用量确定	(165)
第五章	石灰稳定	(168)
第5.1节	引言	(168)
第5.2节	石灰的物理和化学效应	(170)
第5.3节	石灰对土的物理性质的影响	(174)
第5.4节	各种外掺料的影响	(177)
第5.5节	石灰土混合料的设计	(179)
第六章	沥青和焦油稳定	(182)
第6.1节	引言	(182)
第6.2节	沥青稳定	(185)
6.2.1	稳定剂	(185)
6.2.2	稳定的物理-化学和力学特性	(190)
6.2.3	沥青稳定土的性质	(199)
6.2.4	外掺剂对沥青稳定土的影响	(207)
6.2.5	沥青混合料的设计	(213)
第6.3节	焦油稳定	(217)
第七章	化学稳定土	(225)
第7.1节	化学稳定土的方法	(225)

第7.2节	氯化物稳定土.....	(231)
第7.3节	磷酸稳定土.....	(239)
第7.4节	天然的和合成的聚合物.....	(243)
7.4.1	聚合物稳定类型.....	(243)
7.4.2	树脂稳定.....	(243)
7.4.3	丙烯酸钙稳定.....	(246)
7.4.4	糠醛苯胺稳定.....	(249)
7.4.5	亚硫酸盐废液稳定.....	(252)
7.4.6	其他合成树脂稳定.....	(254)
7.4.7	用RRP处治土.....	(256)
第八章	稳定土道路的设计.....	(259)
第8.1节	引言.....	(259)
8.1.1	各种稳定方法的应用范围.....	(259)
8.1.2	气候因素对设计的影响.....	(262)
第8.2节	稳定土道路的工程特性.....	(264)
8.2.1	纵断面设计.....	(264)
8.2.2	水平和垂直线形.....	(268)
8.2.3	牵引力和速度.....	(270)
第8.3节	路面设计.....	(272)
8.3.1	概述.....	(272)
8.3.2	稳定土道路的破坏.....	(273)
8.3.3	路面和底层土壤的强度控制.....	(276)
8.3.4	水泥稳定土路面的变形.....	(288)
8.3.5	机械稳定土的厚度.....	(293)
8.3.6	车辙形成.....	(293)
第九章	稳定土道路的施工.....	(298)
第9.1节	引言.....	(298)
第9.2节	土壤拌和.....	(305)
第9.3节	压实.....	(310)
第9.4节	现场拌和的稳定土道路施工.....	(314)

9.4.1	准备工作.....	(314)
9.4.2	粉碎.....	(318)
9.4.3	外掺稳定剂.....	(325)
9.4.4	压实和整平.....	(329)
9.4.5	移动式设备的施工.....	(332)
9.4.6	现场控制.....	(333)
参考文献		(335)

第一章 绪 论

第1.1节 稳定土道路修筑的重要性

自古以来，人类曾采用天然土表面作为运输和交通。这些土路被行人和动物的来往以及畜力运输车轮子的压实，作为一种天然产物，近乎自然地发展成为道路。以后，人们将这些道路表面拓宽，并覆盖上碎石或砂砾，使其适应早期的少量交通。但是，这些道路周期性的因春秋雨水而变成泥浆，因夏季马车行走而产生大量的灰尘。

社会的向前发展，不再容许这样的道路状况。大约在 150 年以前，逐渐开始发展任何气候条件下都能通行的道路。这样，首先诞生了砾石铺面的碎石（Macadam）道路，之后，仅在最近几十年才出现沥青、混凝土和其他承载能力较高的道路。后来，为了开拓更多的通道以供交通的先驱——汽车行驶，并能使重型荷载运输设备以从前难以置信的速度安全通行，修建了耐久、平整的路面，以抵抗增大的荷载和气候条件的变化。

过去历史上形成的路线，由于几乎精确地循着自然坡度和其他地形特征而不得被废弃，道路的设计和施工则采用了与早先仅为铁路采用的相同的工程原理。然而，除了用很高造价的高级面层完成的道路网之外，农业和其他的连接补给线，由于有关村镇的财政资源不允许这样多的投资，虽然这些道路有时承受着过量的运输（例如收获季节），但仍然保留着他们原来的土壤表面条件。由于一般的土路仅仅在某个季节可以通行，使得一部分收成受到损害或在价钱上遭到很大的损失，所以经过这些差的道路

运输会导致惊人的额外费用。由于缺少可以永久通行的道路，乡村村民们实际上被剥夺了文化生活，工农业物品的交换也相当困难。不首先创造基本的交通运输条件，对生活水平的任何改善都是不可思议的。同样，修建几条国家道路网最起码的主要线路乃是任何经济不发达国家发展的起点。

因此，筑路能满足中等交通需要，同时既容易修建又经济，且全年可通行的低价道路的要求在世界各国都被提出来了。然而，这个要求无论用有150年历史的传统石料道路，或者用新发展的施工技术，都不可能得到满足。由于过多的投资和养护费用，又缺少足够的道路施工能力，因此必须寻找新的方法和采用新的建筑材料。于是，工程师们转回到古代道路的“建筑材料”：到处都有的土壤。但是这个返回是在一个比过去更高水平上的退回，因为科学研究弄清了土壤的性质，同时，土力学的发展也教会了我们如何用一些处理方法来改变当地土壤的性质，这样使得我们能够将土壤变得适合于修建永久性道路这个目的。我们可以通过处理天然土壤，或把一些材料添加到土壤中去，而产生一些新的材料。若能正确地修建和养护，那么这种材料将能永久地抵抗车和气候的影响，也就可以把它们看作是稳定的。

稳定的程度和承载能力主要决定于材料的抗剪强度，再者，这个抗剪强度又是土壤种类和状态的函数。这样，由于土壤状态的不断变化，在一年中，天然土路的抗剪强度呈现出很大的波动，这当然就不是稳定的。

例如，若将砂或粘土直接用作交通和运输道路的行车道表面，这些土壤将经受气候条件、荷载和道路车辆交通的广泛的影响。在潮湿条件下，由于毛细应力，使得砂有适当的粘聚力，因此它具有足够的承载力。然而，在干燥的气候条件下，它的颗粒是分离的，在整个表面土壤的承载力几乎变为零，此时，它不能承受荷载，否则，车轮会陷进去。含水量变化时，砂的体积几乎不变。另一方面，在干燥的条件下，粘土产生很大的粘结力，并有较高的承载能力。然而，粘土的承载力将随着含水量增加而迅

速降低，所以在潮湿的气候条件下，由于水分和车轮搓揉作用的结果，粘土将变成稀软的泥浆。以后，当粘土再度变干时，就会产生很大的收缩。这样看来，砂和粘土都是不稳定的，二者都不宜单独用于修建永久性土路。但是，若把粒状土铺撒在粘土上，或者用松砂同一些粘土混合起来，那么两者的承载力都会得到增强。这样将获得一种新材料，在充分压实情况下，由于材料中两种成份的有利特性联合作用，而提供了一种在任何气候条件下都可通行中等交通的路面。这就是古典的和最简单的土壤稳定形式。

这样看来，土壤稳定意味着那种土壤抗剪强度的增加以符合给定的要求，并且它的稳定性应与气候条件或交通周转率无关。

由于对土壤某些被选择的性质，例如消除收缩、冰冻危害、高压缩性，以及它在这个改善水平上的养护，也起着类似的重要作用。因此，稳定包含着强度和耐久性同样地增加。希望任何这样的改善——增加强度或耐久性——应当定量地表示出来，即从物理性质的数值来表示。这样，根据它的材料和强度，稳定土作为代表道路的承重结构部分可能是适宜的。

土壤稳定总是包括土壤的某些处治措施，这些措施又包括复拌、掺合其它土类或外掺材料以及这些混合料的压实。由此看来，土壤稳定不应当与在天然条件下旨在增加现场土体强度，而一般对其结构没有任何扰动的土壤固结相混淆。另一方面、土壤稳定产生了新的材料，如果正确地使用和养护，这种材料可以抵抗气候和交通的作用，并容许在各种气候条件下运输和通行。

即使上面说到的最简单的稳定技术情况下，稳定土道路的经济效果亦很容易论证。图1描述了砂和粘土无侧限抗压强度随含水量的变化情况。由于牵引力要求主要决定于轮辙的深度，而轮辙的深度又与无侧限压强度成反比，因此有效的牵引力可以用一条反向特性曲线来说明它是随含水量变化的。

应当记住，在差的道路条件下，不仅牵引力，同时运输速度也将急剧地减小，那么每天的运输量可根据图2，作为土路条件

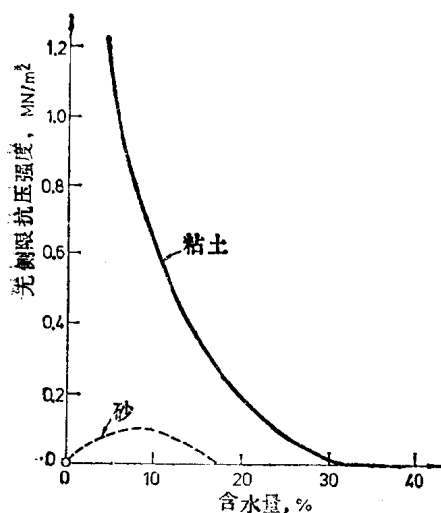


图1 以含水量为函数的砂和粘土的
无侧限抗压强度

的函数大致推算出来。

然而，若土壤稳定的意图是近似地保持其强度为一固定值，那么运输量将以点划线连续地表示出来。该结果的意义可用这样的事实最好地说明，即在许多地区大多数农产品的运输是在雨季完成的。

由运费分析所提供的数据仍然是更使人信服的。例如，让我们来考察运费和阻力之间的关系，引用如下的符号：

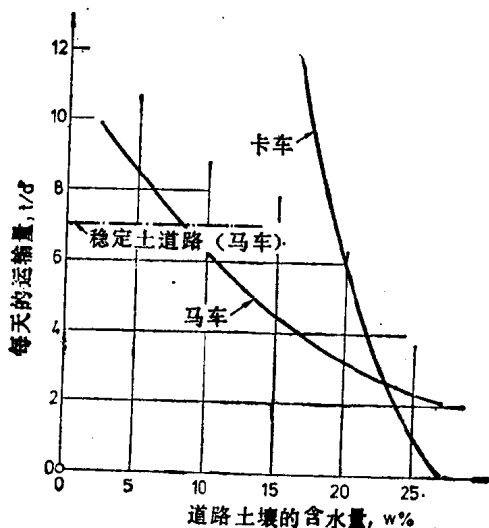


图2 以道路条件（土壤含水量）为函数的每天运输量

运输工具的总重	Q (kg)
运输车辆的自重	βQ (kg)
输送距离	h (km)
运输工具 (使用费) 每	
天的支付	B (货币单位)
每天工作时间	T (h)
运输速度	v (km/h)
装载时间	t_1 (h)
卸载时间	t_0 (h)
比阻力	μ
牵引力	V (N)

采用上面的符号，假定车辆往返的速度相同，或以 v (km/h) 表示平均运输速度，那么运输车辆一趟往返路程所需的时间为

$$t_t = \frac{2h}{v} + t_1 + t_0$$

每天往返的次数：

$$n = \frac{T}{\frac{2h}{v} + t_1 + t_0}$$

每天的输送量：

$$q = \frac{Q(1-\beta)T}{\frac{2h}{v} + t_1 + t_0}$$

这样运输 1kg 货物的费用为

$$k \text{ (货币单位/千克)} = \frac{B}{q} = \frac{B \left[\frac{2h}{v} + t_1 + t_0 \right]}{Q(1-\beta)T} \quad (1)$$

让我们分别用符号 h_1 和 h_0 来表示 $t_1 v$ 和 $t_0 v$ 的数值，它们的意义是在汽车装载和卸载时间内所通过的里程，并且考虑到这样的事实，即总重决定于车辆的牵引力或牵引能力。这样，假定道路是水平的，我们给出

$$V = \mu Q \quad \text{和} \quad Q = \frac{V}{\mu}$$

代入(1)式并重新排列后得:

$$k(\text{货币单位/千克}) = \frac{\mu}{v} \left[\frac{B(2h + h_1 + h_2)}{v} \frac{1}{V(1-\beta)T} \right] = C \frac{\mu}{v} \quad (2)$$

对于同样的车辆和一个给定的运送距离, C 值(括号内的项)将是一个常数, 因此运输费用与阻力成正比, 而与运输速度成反比。由于道路被稳定, 阻力将减小, 运输速度将增加, 运输费用因这两个因素变化而产生有利的影响。考虑到这种节省, 将马车和汽车的费用计算出来, 其结果示于图3。

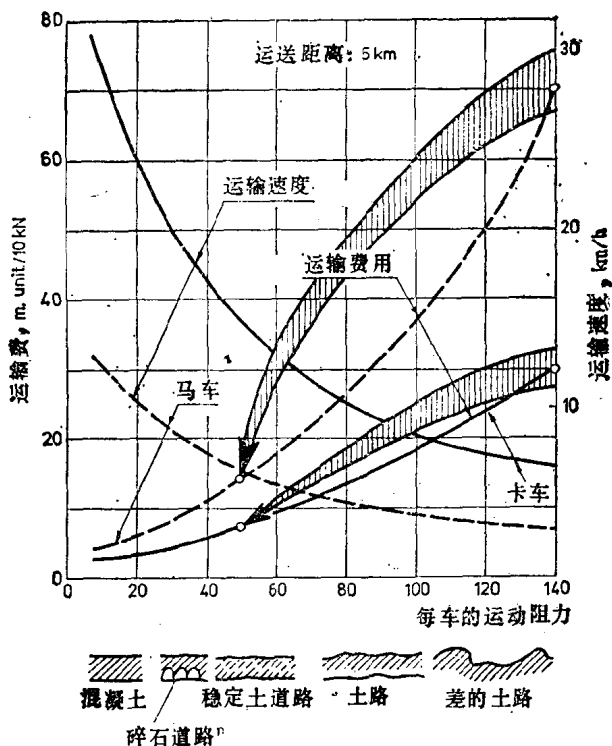


图3 以阻力为函数的运输费用和速度

车辆分别经过普通土路和稳定土路的运费之间的差异是很明显的。例如沿着一条泥泞道路或砂土路行驶, 在 $\mu=140\text{N/kN}$ 时运输速度为2或3km/h, 而在平整的稳定土路上, 速度为 $v=6\sim7\text{km/h}$ 。与此同时, 运费从80m·unit/kN(货币单位/千克)减到