

铁路路基基床 病害与整治

黄淑森 编著



中国铁道出版社

内 容 简 介

本书重点收集哈尔滨铁路局各工务段近些年来整治铁路路基基床病害的资料,同时参考了部分其他铁路局典型的基床病害整治方案。讨论了路基基床在提速情况下受力分析的新的基本理论,对路基基床病害的分类、成因、整治方法作了较详细地叙述。重点介绍了铁路路基基床病害整治的新技术和新方法。

本书可作为铁道工程专业路基工程教学参考用书,也可供铁路工务工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

铁路路基基床病害与整治/黄淑森编著. —北京:中国铁道出版社,2005.1(2007.6重印)
ISBN 978-7-113-06278-1

I. 铁… II. 黄… III. 铁路路基-病害-防治
IV. U216.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 139883 号

书 名: 铁路路基基床病害与整治
作 者: 黄淑森
出版·发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)
责任编辑: 许士杰 电话: 市(010)51873065, 路(021)73065
封面设计: 蔡 涛
印 刷: 北京市兴顺印刷厂
开 本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 5.875 字数: 156 千
版 本: 2005年1月第1版 2007年6月第2次印刷
印 数: 3 001~4 000 册
书 号: ISBN 978-7-113-06278-1/TU·795
定 价: 13.20 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

电话:市(010)63545969,路(021)73169

前 言

基床病害是路基病害的一部分,也是常见的、普遍发生的病害现象,它对轨道及行车稳定性的影响更直接。近年来,铁路工务部门对路基基床病害进行了大量的研究与整治,取得了明显的效果。随着我国国民经济的迅猛发展,铁路运量的大幅度增加和行车速度的不断提高,基床病害产生的速率呈显上升趋势。为此,防治基床病害,确保基床稳固越来越重要。

本书收集了哈尔滨铁路局各工务段近些年来整治基床病害的实例,同时参考了其他部分铁路局典型的基床病害整治方案。讨论了路基基床在提速情况下受力分析的新的基本理论,对路基基床病害的分类、成因、整治方法作了比较详细地叙述。重点介绍了路基基床病害整治的新技术和新方法。

目的在于通过本书的编写过程,积累基床病害整治的经验资料,从中找出基床病害及其整治的规律,为基床病害整治专家系统模型建立数据库、知识库提供更多、更完整的资料。同时希望本书的出版,能对铁路路基基床病害的整治工作提供参考。

在本书编写的过程中,得到了哈尔滨铁路局各工务段技术室工程技术人员的的大力支持,杨建君、赵显英、张宏光、刘广涛、付春岩等同志为本书编著提供了有价值的现场调研资料,在此一并表示感谢。

作 者

2004 年 11 月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 路基工程发展新思路	1
第二节 路基面上的动应力	5
第三节 路基基床	12
第四节 基床病害及其整治研究	18
第二章 基床病害的分类及分级	21
第一节 基床病害的类型及特征	21
第二节 基床病害的分级	26
第三节 基床病害的成因及形成过程	32
第三章 基床病害的调查与分析	41
第一节 基床病害的调查	41
第二节 基床病害的分析	56
第四章 基床病害的预防	62
第一节 路基排水	62
第二节 基床土质及密实度要求	72
第五章 基床病害的整治	80
第一节 基床病害整治的设计原则	80
第二节 土工合成材料的应用	81
第三节 基床翻浆冒泥的整治	88
第四节 基床下沉及挤出的整治	98
第五节 基床冻害的整治	102
第六节 土质改良加固基床	122
第七节 改善基床土的排水条件	126

第六章 基床病害整治实例.....	130
第一节 应用土工合成材料整治基床病害.....	130
第二节 综合整治措施实例.....	153
第七章 铁路路基基床病害评估专家系统模型.....	175
参考文献.....	182

1	.....	第一章
1	.....	第一章
2	.....	第二章
31	.....	第三章
31	.....	第四章
35	.....	第二章
35	.....	第一章
35	.....	第二章
35	.....	第三章
44	.....	第三章
44	.....	第一章
45	.....	第二章
53	.....	第四章
53	.....	第一章
57	.....	第二章
60	.....	第五章
60	.....	第一章
61	.....	第二章
68	.....	第三章
69	.....	第四章
105	.....	第五章
131	.....	第六章
139	.....	第七章

第一章 绪 论

第一节 路基工程发展新思路

路基是轨道的基础。作为铁路线路下部结构,对行车安全起着很重要的作用。由于客观和人为的多种因素影响,在实际工作中,从路基标准的制定到设计、施工及养护,真正的把路基工程当作基础,当作一种土工结构物来对待,是很困难的。20 世纪 80 年代以来,国民经济的高速发展,对铁路运输提出了大轴重、高密度、高速度的要求,为了适应这一要求,必须提高路基的设计标准,严格控制工程质量,发展重载、高速技术。同时经济的发展也大大促进了路基工程技术的进步。本节将简要介绍路基工程方面一些新的设计思想和设计方法。

一、高速铁路线路的多层结构型式

就线路结构领域看,传统的结构型式是轨道/道床/路基面,我们把这样的结构型式称为两层系统。目前,为了适应更高的要求,在有碴轨道中,从轨道至路基面这个过渡介层范围内,除了道碴/土这种两层系统外,还有多层结构型式。例如:日本在道床与基床之间加设 25 mm 厚的橡胶垫层;法国的线路结构型式为:道碴层/底碴层/基层/反滤层;德国在上部建筑与基床之间加钢筋混凝土板;我国大秦线重载铁路对路基基床不同深度范围的填料与密实度有不同要求等等。见图 1—1~图 1—7。

多层结构型式的发展,以强化基床的整体性,提高基床的强度和承载力,改善基床的排水条件为前提,以改善基床的刚度,减小变形性为目的,为迅速发展的高速、快速铁路提供一个平坦、均匀和稳定的轨下基础。

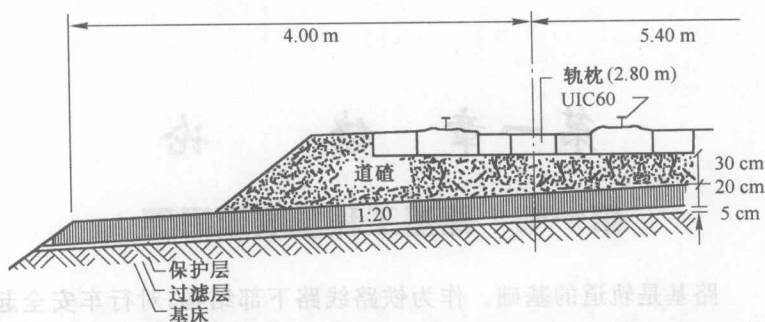
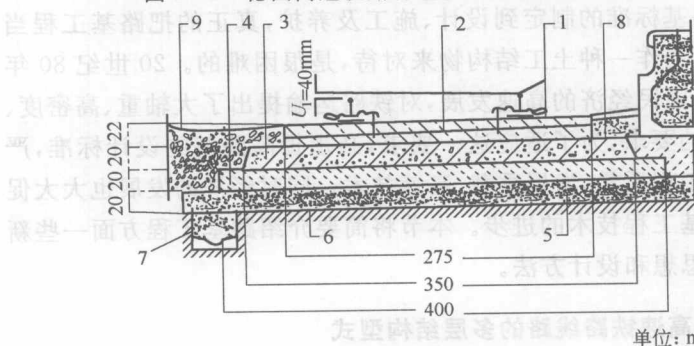


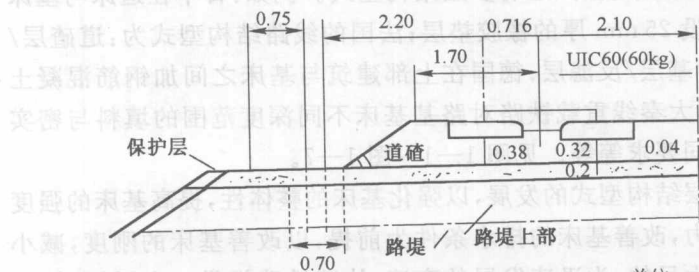
图 1—1 德国高速铁路有碴轨道路堤的断面型式



单位: m

图 1—2 德国高速铁路无碴轨道路堤的断面型式

- 1—UIC60 钢轨扣件; 2—钢筋混凝土连续板; 3—混凝土绝热层及支持层; 4—素混凝土; 5—矿碴混凝土; 6—下伏土层; 7—透水材料; 8—冷沥青层; 9—道碴。



单位: m

图 1—3 法国高速铁路路堤的断面型式

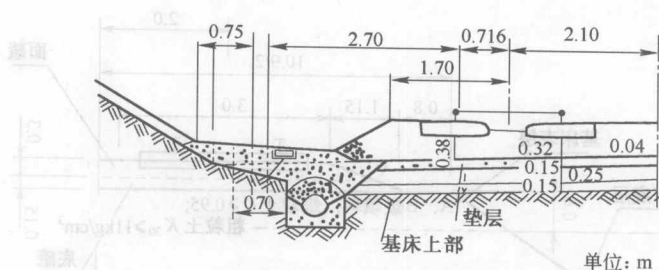


图 1—4 法国高速铁路路堑的断面型式(基床土质差)

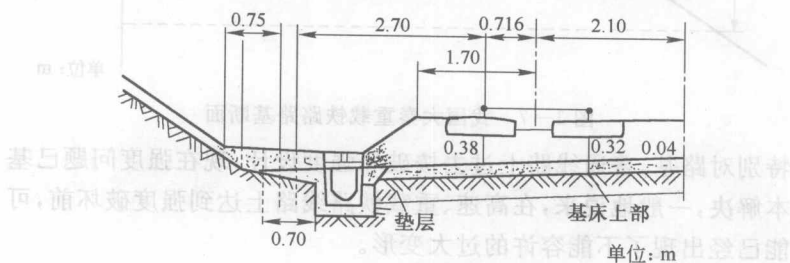


图 1—5 法国高速铁路路堑的断面型式(基床土质好)

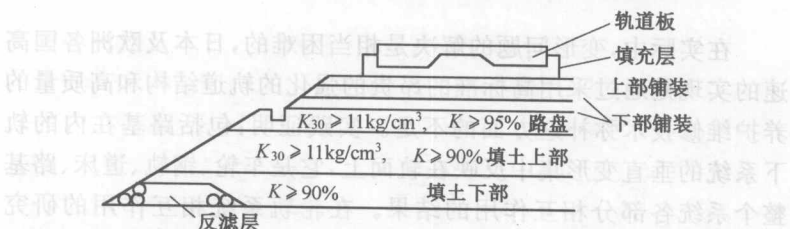


图 1—6 日本高速铁路板式轨道的断面型式之一

二、路基设计的控制因素

有碴轨道的轨下基础是由散粒材料组成的道床和基床,它是最薄弱的也是最不稳定的环节,是轨道变形的主要来源,它们在多次重复荷载的作用下,所产生的累积永久变形造成轨道不平顺。同时它们的刚度对轨面的弹性变形有关键性的作用,因而对列车的高速走行条件有重要的影响。高速行车对轨道变形有严格的要求,因此,变形问题便成为高速铁路设计所考虑的主要控制因素。

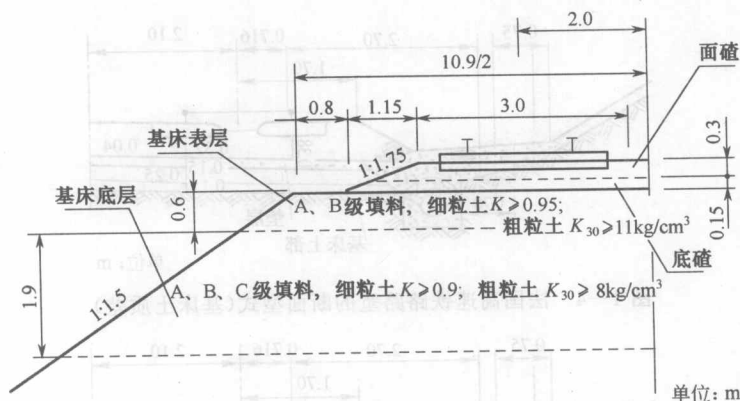


图 1—7 我国大秦重载铁路路基断面

特别对路基,普通线路上过去按破坏强度设计,现在强度问题已基本解决,一般地说来,在高速、重载铁路线路上达到强度破坏前,可能已经出现了不能容许的过大变形。

三、列车/线路整体系统的相互匹配

在实际中,变形问题的解决是相当困难的,日本及欧洲各国高速的实现是通过采用高标准的昂贵的强化的轨道结构和高质量的养护维修技术弥补这方面的不足。实践证明:包括路基在内的轨下系统的垂直变形集中反映在轨面上,它是车轮、钢轨、道床、路基整个系统各部分相互作用的结果。在轮轨系统相互作用的研究中,必须把各个部分作为一个整体系统来分析。在轮轨接触的研究中,力学模型的选取是很重要的。专家们指出:不正确的简化假设将导致不正确的理论条件,不能在不正确的条件基础上考察车辆走行的稳定性和振动特征。他们认为,没有任何轮对能在一个刚性基础上作稳定的滚动,而只能依循着不平顺的走行平面和刚度有变化的轨道运动。因此,不应当不顾及轨下基础部分,孤立地研究轮/轨的相互作用。轮/轨系统的相互作用不应当狭义地理解成仅仅直接发生于轮轨接触部分的几何的和力学的关系,而应广义地理解为车/路系统及其相互作用。

西南交通大学翟婉明教授提出的模型为目前国际上最先进的分析模型之一,参见图 1—8。该模型能够考虑包括路基在内的轨下基础的许多影响因素。

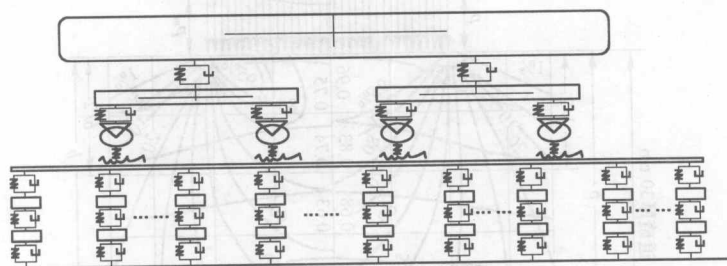


图 1—8 列车线路动力分析模型

该模型的最下部分不只是道碴,其他诸如线路纵向不同的地段路基土的变化,高架结构的各组成部分、隧道内的变化、隧道地段的地基和下卧土层等因素都应包含进模型中。

在高速技术的研究中,无论机车车辆、轨道结构或路基专业,都应当把自己问题放在整个系统中去考虑,设计中所采用的设计参数应当使系统的各个部分相互间有合理的匹配。对于路基来说,这些参数主要是:弹性系数、阻尼、参振质量、变形模量、动刚度、固有频率以及与之联系的密实度、含水量等。

第二节 路基本面上的动应力

一、路基本面上的动应力分布规律

轨枕顶面的荷载通过轨枕和道床向下往路基中传播。轨枕底面与道床的接触压力因轨枕的刚度的不同而不同。木枕视为柔性板,接触压力大致为均布。而钢筋混凝土轨枕刚性大,视作刚性板,接触压力分布较为复杂。图 1—9 表示单根轨枕在线路纵向即轨枕横断面方向上的传播情况,图中左侧为木枕情况,右侧为钢筋混凝土轨枕情况。

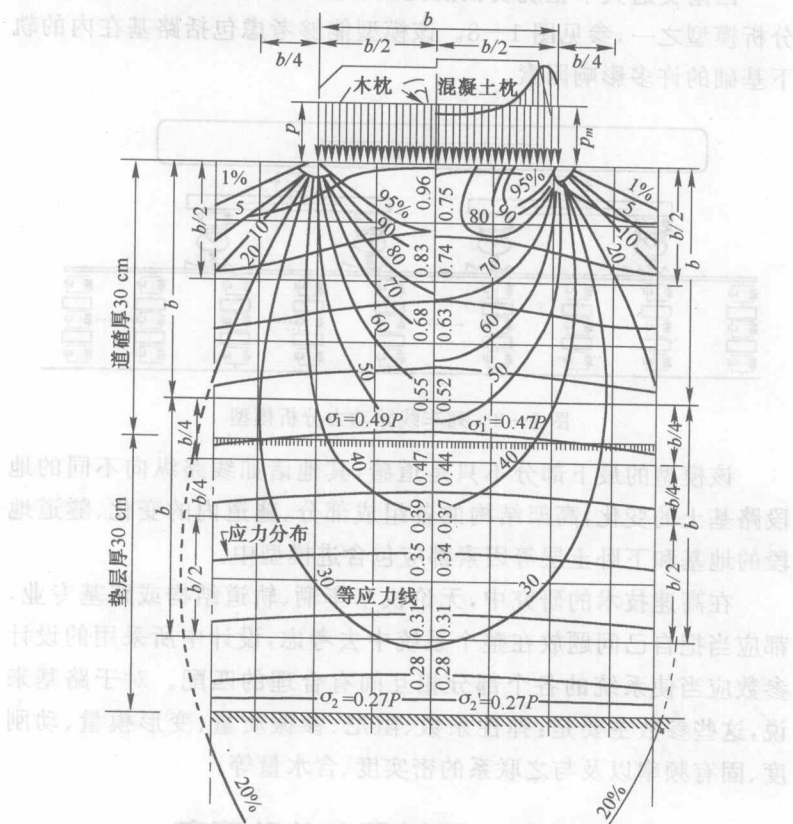


图 1—9 单根轨枕下的压力分布

木枕和混凝土枕两种情况的等压线的数值在较浅深度范围内差别较大,若在相同深度处则以混凝土枕情况为小。但是当深度达到 60 cm 左右时,则两种情况差不多。美国的实测也表明,在 30 cm 深处实测的压力值比 Boussinesq 理论值大很多,但在 60 cm 深处则很一致,见图 1—10。

图 1—10 表示邻枕对压力分布的影响。可见,当深度达到轨枕宽度的 3 倍时,沿线路纵向的压力分布就比较均匀了。

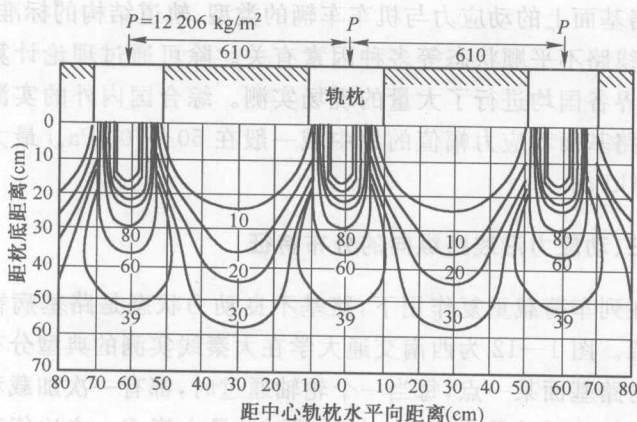


图 1—10 美国的实测结果

二、路基面上的动应力幅值及沿线路纵断面的分布特征

路基面上动应力的大小及其沿深度的衰减可按半空间弹性理论公式计算。铁道科学研究院参考了日本的简化计算方法,建议按图 1—11 的计算图式计算路基面动应力最大值,并以此作为高速铁路路基的设计荷载,其计算公式为

$$\sigma_d = 2.6 \cdot P \cdot (1 + \alpha v) \quad (\text{kPa})$$

式中 α ——速度冲击系数,高速铁路、无缝线路, $\alpha = 0.003$;

准高速铁路、无缝线路, $\alpha = 0.004$;

P ——机车车辆净轴重(t);

v ——速度(km/h),若 $v > 300$ km/h,仍取 300 km/h 计。

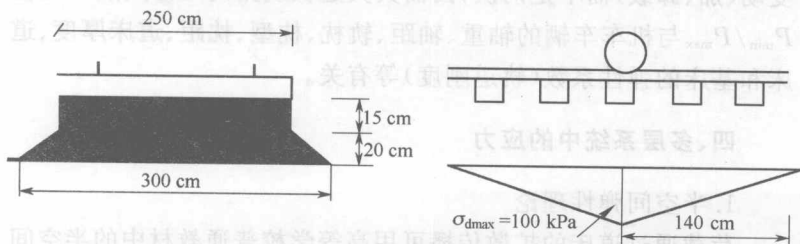


图 1—11 路基面动应力的最大值

路基面上的动应力与机车车辆的类型、轨道结构的标准、行车速度、线路不平顺状态等多种因素有关。除可通过理论计算确定外,世界各国均进行了大量的现场实测。综合国内外的实测数据表明,路基面动应力幅值的集中域一般在 $50 \sim 70 \text{ kPa}$ 。最大值可达 110 kPa 。

三、动应力沿线路纵向的分布特征

在列车荷载重复作用下,路基不良动力状态是路基病害的主要来源。图 1—12 为西南交通大学在大秦线实测的典型分布特征图。对路基面某一点,每当一个轮轴通过时,都有一次加载和卸载循环。卸载时的最小值 $P_{\min}$ 与加载时的最大值 $P_{\max}$ 之比值表示分布特征的不均匀性,这种不均匀性反映荷载重复作用的次数。欲使线路与机车车辆之间能够理想匹配,应使比值 $P_{\min}/P_{\max}$ 最大。

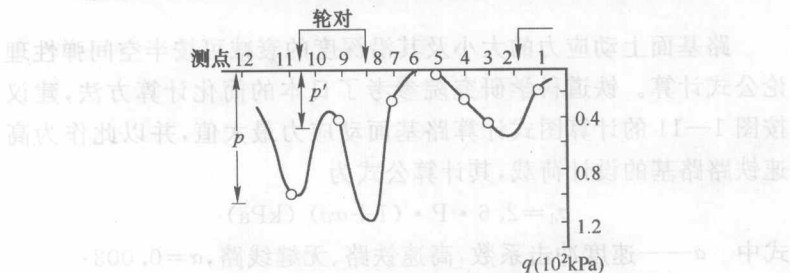


图 1—12 动应力沿线路纵向的分布特征

这样,每通过一个转向架虽然有两个轮载力,但只有一次应力变动(加、卸载)而不是两次,因而大大延长线路的维修周期。比值 $P_{\min}/P_{\max}$ 与机车车辆的轴重、轴距、轨枕、枕型、枕距、道床厚度、道床和基床的弹性系数(轨道刚度)等有关。

四、多层系统中的应力

1. 半空间弹性理论

荷载通过道床的扩散传播可用高等学校普通教材中的半空间弹性理论来计算。为使用方便,德国专家将该计算方法绘成图

1—13 所示的曲线。

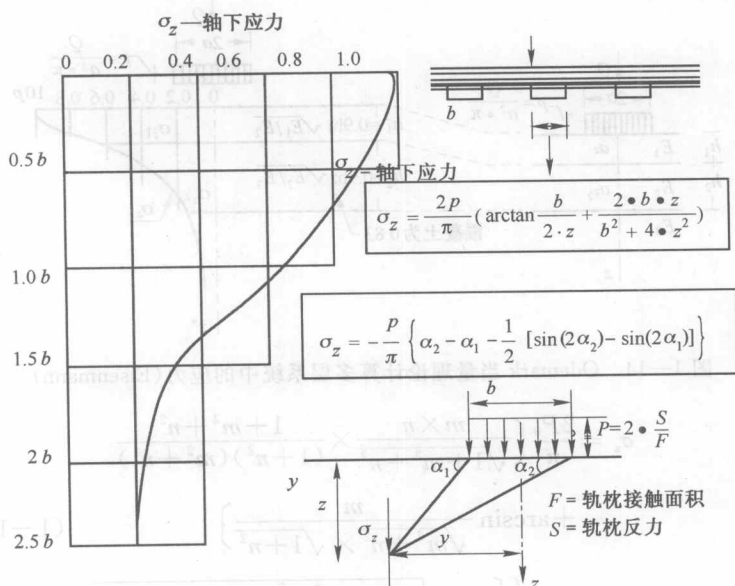


图 1—13 半空间弹性理论计算条形荷载下的应力 (Eisenmann)

考虑一根轨枕,近似地按条形荷载计算,因没有考虑荷载在横断面方向的扩散因此求得的垂直应力值偏高。但是把枕底压力视为均布的假设所带来的误差又对此作了一定的补偿。该计算假定道床和路基具有相同的弹性模量。

2. Odemark 当量理论及两层系统计算公式

当道床和路基之间有一层 25~30 cm 的垫层或路基保护层时,就形成了一个三层系统。日本的高速铁路采用强化的基床结构,也是三层系统。对于这种情况,可按 Odemark 当量理论进行简化,如图 1—14 所示用一个半空间来换算。这种近似计算的结果与严格的多层理论计算结果相符。

当计算矩形均布荷载中心点下方的应力和中心点处的变形时可直接采用公式(1—1)和公式(1—2)。该式与半空间弹性理论公

$2b$ ——荷载的短边；

m —— a/b ；

n —— Z/b ；

p_0 ——荷载强度，路基面应力；

μ ——泊桑比，通常取 0.3；

h ——基床表层厚度；

E_1 ——基床表层的变形模量；

E_2 ——基床下层的变形模量。

上述公式是把三层系统换算为两层系统进行计算，若多层系统为四层以上时，除了 Odemark 当量理论计算方法以外，还有前苏联 1974 年(BCH 46—72)的方法，但这两种方法之间产生的误差较大。目前以我国林绣贤提出的当量厚度换算法较其他方法都优越。

3. 柔性路面的多层体系换算法

多层系统换算法是以三层系统为基础，把多层系统换算成三层系统计算。如图 1—15 所示。图中实线为实际分层，虚线表示换算的当量厚度，以底层为基本层不变，其各层的当量厚度为

$$h_{1e} = m_1 h_1 = \beta \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_0}} h_1 \quad (1-3)$$

$$h_{2e} = m_2 h_2 = \beta \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_0}} h_2 \quad (1-4)$$

式中 E ——回弹模量；

m, β ——换算系数，列于表

1—1，表中 E_0 为基

本层， E_i 为换算层。

表 1—1 换算系数 β 值与 m 值

E_i/E_0	1.0	1.25	1.5	1.75	2	3	4	5	10	20	30	50	100
β	1.0	0.97	0.95	0.935	0.92	0.885	0.87	0.86	0.84	0.83	0.827	0.826	0.825
m	1.0	1.045	1.088	1.027	1.159	1.276	1.381	1.471	1.809	2.253	2.570	3.043	3.830

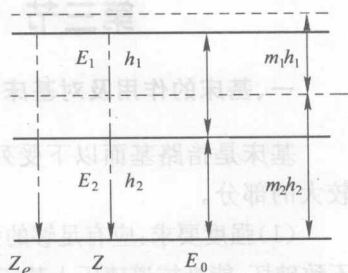


图 1—15 三层体系
换算示意图

如图 1—16 所示，计算多层系统中的应力时，基本层的 E_0 不