

柔性路面加固

(译文)

黑龙江省林业设计研究院
科技情报室编译组组编

一九八八年六月

柔性路面加固

主编 [苏] 技术博士·教授 O·T·巴特拉柯夫

翻译 刘俊德

1988年6月

序 言

加快发展汽车运输事业，对公路网提出了更高的要求。

提高汽车运输密度，轴载和在交通组成中大载量汽车的比重成为在维修和改造设计道路时路面加固的现实问题。解决这个问题需要大量材料和劳力消耗。与此相联的具有特别意义的是正确确定消费和保证有效利用资金。

在最小材料和劳力消费条件下，保证道路的经营指标是加固和重新设计的任首要务。

这个任务的解决复杂在于考虑大量实际情况，其中包括现有道路状况，远景交通密度，现有道路建筑材料、结构的坚固性、使用寿命、工艺性能，自然气候条件以及运输安全，环境保护等问题。

道路加固的问题具有一系列的突出特点。如此，与增加公用路网的同时，尽可能增加集体农庄和国营农场内部企业的道路网。按照苏共中央五月全体委员会（一九八二年）采纳苏联政府粮食供应计划的决定，在农业区到一九九〇年须建设二八〇千公里硬质路面道路。必须完成集体农庄和国营农场现有的道路网维修和改造设计。因此需要考虑农业道路的工作特殊情况。

与提高运输载量相联系的工业道路的维修和改造设计问题亦是很重要的。如露天的矿区开采目前广泛采用总重为3000KH极重的汽车，而远景达到5000KH。地方工业潜力的发挥提出了沿公路行驶大尺寸、重荷载达8000KH的运输课题。为此利用重型拖车。一系列问题与这些道路上的汽车拖车作用联系起来，缺乏足够的研究，在计算上遇到了困难。

在这本书里推荐了结构设计的现代方法，和加固与改造道路时路面计算方法。为了减轻设计者的工作，采用了计算图表和诺模图。特别注意的问题是降低材料用量，首先考虑采用地产材料，工业和农业的副产品，引用了新的和地产材料的资料。论述了工艺操作和施工组织特点以及在改造设计和维修道路时降低工作量。阐明：在重荷载下道路和集体农庄、国营农场路的加固的特殊问题。

诺模图考虑全苏国家道路科学研究所、全苏工业运输科学研究设计院、莫斯科汽车公路学院、基辅公路工程学院、哈尔科夫公路学院，苏联国家铁矿、锰矿熔剂耐火原料及萤石工业企业设计院和其它研究这些问题的机关的工业经验以及国外的经验。

序言，1—4章由О.Т.Батраковым写；3.2, 3.3, 3.6节由В.П.Плевако写，5章由В.Н.Ряпухиным写；2章由О.Т.Барановым和Н.А.Медведковий合写；3.1, 3.4, 3.5节由Н.А.Медведковой、В.П.Плевако、В.Н.Ряпухиным合写。

目 录

序 言

1 符合运输要求的公路评价方法.....	(1)
1.1 对公路的要求和它的使用期.....	(1)
1.2 道路路面的使用指标和它的评价方法.....	(2)
1.3 符合运输要求的公路综合评价.....	(8)
2 加固和改建路面的设计.....	(11)
2.1 路面结构的流变模型.....	(11)
2.2 加固结构的论证.....	(14)
2.3 选择加固和改建材料.....	(27)
2.4 柔性路面设计原则.....	(29)
2.5 加固路面结构的特殊情况.....	(31)
3 加固和改建路面的计算.....	(36)
3.1 设计原则和计算图示.....	(36)
3.2 弹性理论主要公式和板的技术理论及发展.....	(33)
3.3 随拉力和剪力变化控制结构的特点.....	(47)
3.4 在低刚性基础上随弹性模量连续变化的加固层计算.....	(49)
3.5 分析在提高了刚性基础上带有连续变化的弹性模量的层状体应力形变 状态.....	(59)
3.6 路面加固设计方法.....	(64)
4 路面加固层的施工组织与工艺.....	(80)
4.1 加固层施工工艺.....	(80)
4.2 路面加固施工组织.....	(89)
5 路面加固的经济效益.....	(92)
5.1 加固经济效益的论证.....	(92)
5.2 最优化的加固层.....	(96)
参考资料.....	(100)

1 符合运输要求的公路评价方法

1.1 对公路的要求和它的使用期

在维修和改造公路时评价它是否符合运输要求是重要问题之一。做为最重要的要求实际上是保证公路的运输性。许多作者确定安全性如公路性能一样。保证在标准和设计使用期内接近最佳的平均速度汽车的安全行驶。

但是在确定这个时，需要准确理解安全运输，最佳平均速度。

在公路安全情况下较合理的解释它的能力是在标准使用期内规定的运输安全水平时，保证汽车以一定运行速度的要求交通密度。此时，要注意的是不允许超过国家汽车检查机关规定的最大汽车运行速度。最小速度的汽车运行导致不能充分和用汽车运输的可能性并经济亦不合理。

为了评价道路的营运质量，除了安全性概念外，人们广泛采用了道路工作能力概念，在这个概念下解释汽车在规定的交通密度和速度下保证安全运输道路的性质。道路工作能力取决于交通密度和组成。汽车的载货量和载客量，运输速度和全安性。实际上确定道路无论是全安性还是工作能力会遇到一系列困难。因为这些指标受大量因素影响，其中一些因素考虑是困难的。

与道路的安全性和工作能力概念相联系是使用期，它等于道路交付使用到改造或大修期间隔，或者是改造和大修期间隔。公路的安全性和工作能力主要依靠它的重要构造部件——路面的状态。

适应路面使用安全性能可以理解它是这样状态，在此状态下路面营运的特征与规定定额不同不大于要求或然率的允许值。使用路面工作能力理解是它规定轴载和交通密度下保证安全运输的性质。路面工作性能取决于交付使用到大修期间沿道路通过汽车数量总和。

路面的安全性和寿命表现于使用期 T ，它取决于交通速度 N 。

根据 В.В.Смльякова [50] 的资料，在计算加固路时交通密度的增长可按几何级定理确定：

$$N = N_0(1 + q)^{T-1} \quad (1.1)$$

式中 T ——使用年限，

N_0 ——使用头一年交通密度，辆/昼夜，

q ——交通密度平均年增长系数。

在同一本书中 [50] 为了确定交通密度提出了其它公式，但它在计算加固时得到接近按公式 [1.1] 的结果。

如果所有型号汽车年交通密度变化是相同的，在研究大量的情况下，那么路面工作能力：

$$p_c = \frac{N_0 m}{I_n(1 + q)} [(1 + q)^{T_c-1} - 1] \Sigma Q \Phi \quad (1.2)$$

式中 m ——年工作天数;
 Q_{ϕ} ——已知型号汽车实际重量, 吨;
 T_0 ——路面使用年限。

按汽车种类以公式 (1、2) 进行汇总。

规定汽车的实际重量 [49]

$$Q_{\phi} = [Q_n - Q_0] k_{rp} + Q_0 \quad (1.3)$$

式中 Q_n 、 Q_0 ——装载全车重量和原载空车重量;

k_{rp} ——汽车载量利用系数;

如果路面工作能力是已知数, 那么可以确定它的使用期。

$$T_0 = \frac{l_n(A+1)}{l_n(1+q)} + 1, \quad (1.4)$$

$$\text{式中 } A = \frac{P_0 l_n(1+q)}{N_0 m \Sigma Q_{\phi}} \quad (1.5)$$

表1.1

路 面	使 用 期 年	
	到大修期	到中修期
沥青砼	18	6
次高级路面	12	4
未加工的碎石路面	8	3
面 层	16	8
砾 石	9	3

路面工作能力和使用期根据交通组成, 自然——气候条件, 路面构造和其它一系列因素范围内有很大变化。大约到大修和中修使用期列入表1.1。

关于道路的工作能力和使用期的结束判定与运输要的营运指标相符合

1.2 道路路面的营运指标和它的评价方法

路面强度、磨耗度平整度和车轮与路面的粘着力是路面主要营运指标。

车轮与路面间的粘着力主要影响制动距离和运输安全, 根据国家汽车运输科学研究所的资料, 由于路面和轮胎的粘着力不足, 发生运输车祸的占全部运输的20%。

为了说明和评价粘着力采用粘着系数, 它等于轮胎与路面接触区的最大切向荷载与垂直轮荷载的比值。粘着系数可由直接或间接方法测定。属于直接方法的: 汽车制动法, 测力法、试验法。属于间接方法: 路面表面微型剖面机械记录法, 轮迹法, 砂渍法等等。

汽车制动法是最简单和最普遍的方法, 通过加速度和制动长度测量。在第一种情况下,

如果制动产生到汽车完全停止，粘着系数：

$$\phi = \frac{v^2}{254S_T} \pm i, \tag{1.6}$$

式中 v ——汽车运行速度，公里/小时；
 S_T ——制动距离，米；
 i ——路段纵坡，

在制过程中确定加速加速度时

$$\phi = i_{max}/g, \tag{1.7}$$

式中 i_{max} ——在制动时最大加速度；
 g ——自由落实加速度。

制动长度取决于不同汽车运行速度。

在试验测定时，采用速度为40公里/小时，或50公里/小时，而在潮湿或泥泞路面而采用为30—40公里/小时，以不同速度在直线和曲线方向上通过三次来完成测定。在以不同速度重复通过时，必须较准确地保持汽车在那运输带上，使轮迹沿辗压带或接近它产生。

根据CH_{ДП} II—Д.5—72粘着系数评定路面质量列入表1.2。最大的汽车允许速度取决于粘着系数（表1.3）〔49〕。允许速度与运输条件有关（表1.4）〔49〕

表1.2

评 价	路 面 粘 着 系 数	
	干 燥	潮 湿
优 良	0.98	0.61
好 的	0.82—0.97	0.51—0.60
满 意 的	0.66—0.81	0.41—0.50
不满意的	小于 0.65	小于 0.40

表1.3

路面状态	粘着系数	汽车最大允许速度公里/小时	
		轻 车	重 车
粗 糙 干 燥	0.70—0.75	90	85
粗 糙 潮 湿	0.45—0.50	80	75
局部磨耗，潮湿	0.30	65	60

表1.4

平曲线半径 (米)	转 角 (度)	在粘着系数为下值时夜间最大允许车速 (公里/小时)		
		0.7	0.5	0.3
100	5	70	65	55
	10	60	55	45
	大于15	50	45	40
250	5	75	70	60
	10	65	60	50
	大于15	60	55	45
500	5	75	70	60
	大于10	70	65	55
750	5 或大于	80—75	70	60
1000	5 或大于	到80	80	60—65

对于路面计算营运指标——相对粘着系数

$$k_c = \phi / \phi_{np}, \quad (1.8)$$

式中 ϕ ——实际的车轮与路面粘着系数，通过实验确定；

ϕ_{np} ——车轮和路面极限粘着系数。

系数 k_c 说明了车轮和路面粘结程度并确定运输安全性。根据这个系数判断提高路面粗糙度的必要性。

路面平正度是主要营运指标之一。确定平正度可用直接或间接方法。但直接方法主要是测量路面微小变化，可能提供评价汽车与道路动态作用的可能性。测量路面表面和按排在路面内三米皮尺低边的空隙。空隙的测量每百米桩内有三个断面，其中每个断面平整度由三个位置确定，轴线，和距路面边缘1米处。在米尺下的空隙测5个点。CHwΠⅢ—40—78规定空隙为：对用有机胶结料建成的路面是5毫米；对于块石、砾石和矿渣路面而是15毫米；对用胶结料加固的砾石路面是7毫米。

较客观的道路平正度指标可以借助于按装在汽车上的冲击仪获得。

表1.5

路面状态	道路的冲击仪指标 (厘米/公里)	
	I、II级路	III级
优 良	小于50	小于50
好 的	50—100	50—150
满 意 的	100—200	150—300
不满意的	大于200	大于300

在哈尔科夫公路院设计的冲击仪里和它的变态ТХК—2在行驶速度为50公里/小时，受总振幅和轻型车弹簧压缩来控制。根据哈尔科夫公路学院的资料，推荐不同路面如下计算冲击指标大小〔49〕：

沥青砼路面.....	小于 80
水泥砼路面.....	小于 80
带有表面处治的用有机胶结料加工的碎石路面.....	小于 110
碎石、砾石路面.....	小于 150

冲击指标的意义是用于评价路面状态。对于沥青砼路，在ГАЗ—51型汽车里安设冲击计得到的指标引入表51。

根据冲击计平正度指标大取决于很多因素——汽车类型，轮胎型式，轮胎里的压力，弹簧的状态和因此产生相对原因，它描述了这个汽车在确定的运输速度下与路面间的相互作用。

汽车道的舒适性和可能性在同样的平正度指标时，轮胎面积越大就越高。在满载10吨汽车——翻斗车运输时，在实际中路面的状态按表1.5评价为不满意的但不感到不平正。

路面平正度主要在影响汽车速度和粘着力。根据В.М.Сиденко和С.Н.миховача的资料在允许汽车速度 v_d 和道路平正度 S 间有如下关系：

$$v_d = 850\sqrt{S} \quad (1.9)$$

已知冲击计指标，可以确定路面平正度系数（使用系数）：

$$k_p = S_{np}/S \quad (1.10)$$

式中 S_{np} ——对于不同路面型式，规定极限平正度，厘米/公里；

S ——由试验确定的实际平正度，厘米/公里；

因为路面的平正度主要影响汽车运行速度，那么 k_p 可以用速度表示：

$$k_p = v_d/v_p \quad (1.11)$$

式中 v_d ——道路允许速度，公里/小时；

v_p ——根据道路等级确定的计算速度，公里/小时

平正度系数允许估计可能的运输速度和确定必须重新要求平正工作的进行。

路面强度是营运的主要指标之一。目前路面计算用弹性理论方法，因此路面弹性换算模量是强度的综合指标：它的大小取决于在计算期路面结构静的、动的、冲击的荷载。

用不同方法确定弹性模量结果，彼此之间可能有很大差别。在哈尔科夫公路学院、基辅公路工程学院为了确定得到模量值中间的相对关系曾进行了研究。研究是在1975—1982年春季在不同的基础上沥青砼路面的Ⅰ级、Ⅱ级道路上进行的。（Дороги, Киевской, Днепропетровской, Донецкой, Харьковской, Тамбовской, Белгородской, Воронежской区的公路）。试验结果用数理统计方法加工。相应的数据列入表1.6。

表1.6

加载方法	方法误差%	偏差系数	换算系数
通过静载板	5	0.13—0.15	1.0
通过固定汽车轮	8—10	0.20—0.25	1.4
通过主动轮	15—20	0.30—0.35	2.5—3.0
通过振动荷载车轮	25—35	0.40	5—10

弹性模量的换算系数:

$$k_{np} = E_{cp} / E_{шт}$$

(1.12)

式中 E_{cp} , $E_{шт}$ ——用已知方法和通过承载板加载时平均弹性模量值。

分析试验数据指出, 设计指数的分布在大多数情况下属于正态规律。因此可以评价这个或那个取决于比例率值 n 的储备系数 k_3 的或然率。例如 $n=2$ 时, 储备系数值保证或然率为 95%, $n=3$ 时或然率为 99.7%。

试验的最大偏差系数列入表1.7。

保证加快试验速度采用路面冲击作用法 [1, 2, 55, 56] 莫斯科汽车公路学院加工它花费了大量的投资。冲击荷载作用持续性和最大应力接近路面汽车荷载作用, 此时试验次数有很大的增长。

按着 Ю. Т. Абдурахманова 的资料, 不同型式的冲击荷载 (动荷载) 所铺设路面强度的比较结果如下所述 [1]:

铺设型式:

УДН—НК, УДН—НК, ДИНА—З

试验结果:

最大误差 (平均) %

4.6 7.4 12.9

偏差系数

0.051 0.048 0.076

莫斯科公路学院设备 УДН—НК 保证了最好的效果。道路路面偏差系数在此试验中取决于路面状态 (表1.8)

路面强度系数:

$$k_n = E_{\phi} / E_{тп},$$

(1.13)

式中 E_{ϕ} , E ——实际与要求的路面弹性模量

在评价当量弹性模量值和按公式 (1.13) 评价强度系数时, 必须首先考虑自然气候条件。当然土壤条件在高级、次高级、过渡式路面时亦是很重要的。在具有沥青砼层时温度影响最明显。

许多情况必须考虑路面结构的特点。当然在用沥青砼加固路面时, 现有道路面的表面常常设置不用胶结料加工的碎石正平层, 它的表面为了加固铺一层新的沥青砼。在用承载板和汽车车轮压入方法确定当量弹性模量时, 这样强的结构变形是很小的, 弹性模量值是很高的。但是在汽车动力作用下, 此时由于产生了振动和新老沥青砼之间没有粘结性这时路面很易破

坏。高的路面弹性模量当量值在这种情况下不能保持实际的路面强度。

表1.7

道路等级	推荐标准值	试验时偏差系数最大允许值		
		承 载 板	车轮压入	车轮驶过
I	1.0	0.15	0.20	0.23
II	1.5	0.20	0.27	0.30
III	2.0	0.25	0.30	0.33

表1.8

路 面 状 态	高 级 路 面 偏 差 系 数	
	重 型	轮 型
没有故障，单独裂缝	0.10—0.20	0.15—0.20
个别或稀少裂缝	0.17—0.27	0.19—0.32
经常裂缝	0.18—0.30	0.27—0.35
网裂、不大的辙槽	0.25—0.35	0.30—0.40
沉降、车辙、断裂	0.35—0.44	0.38—0.54

除此而外，在过剩或甚至减少含水量情况下，不加固的碎石这层处于不利状态，因为它位于在较坚硬和排水性能较弱的面层间。经过上层裂缝在秋冬期产生水分聚积，在下层产生水分转移，它集聚在碎石层中。潮湿的碎石层特别是经常采用低强度的山岩为此导致它的破坏。

对于沥青砼路面具有重要意义的是正确选择试验期的温度，因为变形和强度指标主要取决于温度。

对于磨损的路面必须重新设计和加固。与确定当量弹性模量同时确定当量变形模量。经哈尔科夫公路学院的道路多年观察试验指出，在许多情况下，在大量破坏的路段上，可以看到仅考虑重复变形，当量弹性模量是比较高的。在这样路段比较客观描述路面强度是形变模量。对于大荷载汽车，（载重100吨或大些）确定其道路当量弹性模量仅是在这样汽车车轮压入时。与此相联系，对极重汽车由于车轮荷载大，在车轮下弯沉和整个汽车引起的弯沉相叠加，它的影响范围达4—5米。由此曲率半径提高弯沉曲线外形比较平滑。路面内的拉应力相应减少。路面试验用的标准荷载A组是找不到这个的。这种情形为了计算代替实际得到的当量弹性模量值和形变模量 E_{ϕ} 利用如下计算值：

$$E_p = k_{CT} E_q \quad (1.14)$$

式中 k_{CT} ——考虑影响路面特性的极重形荷载系数。

在汽车——翻斗车总重为2000кН $k_{CT} = 1.2$ ；在重为3000кН， $k_{CT} = 1.3$ ；大于4000кН $k_{CT} = 1.5$ 。

除此而外，在许多情况下，为了比较路面结构强度性质的评价适宜采用在荷载下路面弯沉半径这样指标。

为了评定路面经营性质被测的值有路面磨损系数：

$$k_H = (h_{TP} / h_q) - 1 \quad (1.15)$$

式中 h_q 、 h_{TP} ——实际和需要的路面厚度。

这个系数值的确定通常借助在路面埋设的水准点或通过直接测量。

路面经营指标彼此间是相互影响的这需要综合评价路面的强度和解决关于它受力作用的必要性问题。

1.3 综合评价适应于运输要求的公路

路面的加固和重新设计的必要性发生于经营指标不符合运输要求时。此时可以有如下情况：

1) $k_c < 1.0$ ； $k_p > 1.0$ ； $k_H > 1.0$ ——设置表面处治

2) $k_c < 1.0$ ； $k_p < 1.0$ ； $k_H > 0.9$ ——大修

3) $k_c < 1.0$ ； $k_p < 1.0$ ； $k_H > 0.8$ ——加固或重设计

描述路面状态仅仅用一个经营性质指标是不够的。强度系数是经营性质的最普遍的指标。但这个指标不完全反映路面的实际状态。〔57〕

与此相联系路面总的综合评价是有特殊意义的，它需要考虑其实际状态。在道路初步调查时路面损坏的划分是这种评价的第一阶段，它的采用适用于有系统按规定评价道路的强度和路面计算。〔26〕

在苏联采用的破坏级别划分是最详尽的。它可以用密实度描写破坏的特点和查明它的主要原因。在其它国家破坏级别划分概括得多。例如，在大不列颠评价路面状态仅仅考虑存在的裂缝和两米R下的间隙。

由苏联道路科学院制定哈尔科夫公路学院补充并精确的路面状态评价系统：

好的状态……没有裂缝，二米R下间隙小于10毫米。

临界状态……没有裂缝，2米R下间隙10—20毫米

坏的状态……整个车道裂缝，R下间隙大于20毫米。

这个评价可以使目视检查结果具体化。它与有效弹性模量 $E_{9,q}$ 和当量弹性量 E_9 有直接关系：

$$E_{9,q} = k_H E_9 \quad (1.16)$$

式中 k_H ——按地区系统评价的强度系数，与表1.9相适应；

E_{φ} ——实际有效的弹性形变模量；

E_s ——实际当量的弹性形变模量。

在道路目视调查时在许多情况下用设计的弹性形变模量值，按着修正系数改正。

表1.9

分 级	行 车 道 部 分 状 态 强 态	强度系数
I/1	行车道部分表面平正。设计横断面完整无缺。没有产生因结构强度不足的变形。行车速度不受行车道部分的限制。	1.00
I/2	有个别的横向缝（经过10~15米）或其它单独变形。	0.95
I/3	有个别稀疏的短的横向裂缝和稀少的纵向裂缝，路面不大平整和脱落。	0.90
I—II	指出在现有运输情况下，路面在强度范围内工作时，路段仅仅开始出现个别的变形。横断面有轻微的畸变。（碾压带有细小的纵向裂缝、横向裂缝）	
II	在路面强度达到要求的路段，有个别的面积不大的出现结构的变形。（经常的纵向、横向、弯曲的裂缝。纵、斜交替裂缝成网横、纵向而有一些地方畸形。沿着带有小裂缝网的碾压带有个别的不深的沉降。	0.85
	在载重汽车通过时，路面轻微变形，没有形成可以看出的积累变形。	0.75—0.80
	横向有相当大的不平整性，产生在春季路面强度不足时，存在个别的断裂。在重载汽车通过时路面可是到变形（有可见的累积变形）。	0.75—0.65

在全苏国家道路科学研究院的方法中，确定计算当量模量没有包括这种或那种形式的所有路面结构，特别是某些个别层的状态。此时必须考虑因素就是这样的（按С·И·Миховича）

个别层的强度与组成综合体强度和不同的胶结料状态有关系。

实施这些层时施工质量是不同的，特别是碾压和拌和过程；

各层使用条件中的差别，也就是不同点的可能潮湿程度，在路面多层体系中的位置，以及荷载作用程度；

在使用期间路面层磨损程度，特别是碎石路面；

据此在评价模量时，推荐利用修正系数：组成各层强度的影响系数 k_{Π} ，粘结影响系数 $k_{\perp}$ ，施工质量影响系数 k_1 ，使用条件影响系数 $k_{\text{。}}$ 。

这样以来，路面每层计算的实际的形变模量值：

$$E_{\varphi} = E_{\text{табл}} k_{\Pi} k_{\perp} k_1 k_{\text{。}} \quad (1.17)$$

式中 $E_{\text{табл}}$ ——表中的模量值。

根据厚度的大小（某些目视测量的平均值）和规定的计算的层变形模值确定路面计算的当量弹性模量 E_3 。

在评价路面状态时除了技术要求外，必须考虑司机的直观评价。

这个评价的最简单方法曾采用著名AASHO研究成果，其中采用那个包括司机对路面日估的通行情况瞬时指标。

对于柔性路面通行情况指标：

$$\bar{P} = 5.03 - 1.91 \lg(1 + SV) - 0.01 \sqrt{C + P} - 1.38(RT)^2, \quad (1.18)$$

式中 SV ——行车道平均坡度；

C 、 P ——取决现有裂缝的值；

RT ——不平整度。

在通行能力指标 $\bar{P} = 2.45$ 时，对于运输是适宜的。由此，最大不平整度应是3.45厘米〔28〕。根据资料，〔28〕对于德意志联邦共和国公路，这个关系同某些正确的修正联系。但是这个方法不同于试验。较远的方法是和用人工的方法，它考虑司机的心理要求。

对于这个方面的深入研究必须积累这个构件的变形。

2 加固和改建路面的设计

2.1 路面结构的流变模型

结构设计或加固路面时,必须考虑在汽车荷载作用时它的流变性质,它取决于层的结构和土基的性质。在路面里材料呈现接触的,结晶的,凝胶的结构型式。

接触结构产生于矿物颗粒彼此间直接接触。这种结构是碎石、砾石、砂石所具有的。这层的弹性模量依赖于组成各颗粒的矿料性质。随着颗粒尺寸的增加弹性模量值增长。而弹性变形相应减小,但有接触型式的结构材料能抵抗剪切力和压应力。但不承受拉应力。

结晶结构表现如下情况,矿物颗粒之间作用(碎石、砂)是刚性联系。这种结构是水泥砷和无机胶结料加固土所具有的。颗粒之间的联结保证了水泥颗粒和材料的水化作用。结晶联结极其牢固,因此这种材料的弹性模量大大地高于结构接触型式的材料。构造为结晶型式的材料可以承受拉应力和剪应力。这个材料的强度取决于非有机胶结料的强度和成分。(水泥或石灰)。

凝胶结构是包括有固相(矿物颗粒),液相(例水、地沥青,煤沥青)。凝胶结构有潮湿的土壤,地沥青及煤沥青砷。

在这个材料里液态膜覆盖在矿物颗粒上。颗粒间的接触发生于液态薄膜。和颗粒表面相连的薄膜层,位于在来自矿物颗粒方面的分子吸力作用区内。这个力改变了薄层膜的结构。在薄膜中的液相接近固态的性质。液相的这部分叫做坚固结合,分子间作用力强度按与颗粒表面距离增加很快减少,因为在液相坚固结合层外分布弱结合层。还常常分布游离的液体层,其中分子力间作用实际是体现不出来的。液态膜是凝胶结构最弱的部分。因此恰恰是这个部分确定了整个凝胶结构的性质。

胶结型式的结构材料在受压时在矿物颗粒间液相膜受压要比颗粒本身大得多。随着液组成的增加这个材料的薄膜厚度和变形增加。此时弹性模量降低,因为在剪切时在颗粒之间液相薄膜起润滑作用,所以拉剪强度降低了。

主要影响土壤物理力学性质的是含水量和压实系数。在单位含水量里采用流限,也就是在此种情况下土壤由塑性过渡到流动状态并有泥浆的稠度。相对含土量表亦是流限含水量的百分数。

具备有胶结结构型式材料决定无论是瞬时条件的还是缓慢弹性的变形发展可能性。具有接触结构的层决定干燥摩操力产生。层的离散特点除了接触和胶结结构具有外,还决定于不可逆变形逐渐发展的可能性,它无论与破坏的还是强硬的料材有可能结合。具有结晶型式结构决定塑性破坏的可能性。

路面的性质于流变模型容易说明(图21)。这个模型由以下部分组成。

具有弹性模量 E_m 的弹性部件是首要的。在施加荷载时它实际变形是瞬时的。它使矿物

颗粒和液相薄膜弹性压缩模型化。这个部件的变形公式：

$$\sigma = \varepsilon_M \cdot E_M$$

式中 σ —— 荷载；

ε_M —— 部件相对瞬时变形。

以下成分它包括代有弹性模量 E (弹性) 弹性构件和代有粘滞系数 η 的粘性部件 (阻尼器)。

变化的粘滞系数是描述粘滞部件的特征。在卸载时它小，在加载时它大，反映众所周知的土壤和胶结结构型式材料变形的事实。这个情况首先由 O. T. Батраковым 提出 [4.8] 后来其它研究中不止一次提到。

合成部件的形变公式：

$$\sigma = \varepsilon_0 E_0 + \eta(t) \frac{d\varepsilon_0}{dt} \quad (2.2)$$

式中 ε_0 —— 弹性变形；

$\eta(t)$ —— 一般取决于时间的粘滞系数。

这个结构模仿受压过程和粘结的液相薄膜由矿物颗粒间的接触区移动，它有弹性粘性特点。

最后结构体不可逆变形发展模型化，它的变形公式：

$$\sigma = \varepsilon_n^m E_n \quad (2.3)$$

式中 ε_n —— 相对不可逆变形；

E_n —— 使不可逆变形增强模量；

m —— 描述增强不可塑变形的值。在 $m > 1$ 时，变形有破坏的特点，在 $m < 1$ 时有阻尼特点。

这个模型与荷载相互作用过程如下所述。在向研究体施加常量荷载时弹性模量值为 E_M 和 E_n 部分产生受压。此时受压变形与荷载不是直线关系。这以后具有模量 E_n 和粘滞系数为弹性粘性部分发生了逐渐变形。

此时整个变形 (变形停止后) 等于所有部件总和。

$$\varepsilon = E_M \sigma_0 + \left(\frac{\sigma_0}{E_n} \right)^m + E_0 \sigma_0 \quad (2.4)$$

在取消荷载后具有弹性模量 E_M 部分产生瞬时弹性变形恢复。描述 E_n 部分的变形是不能恢复的。

这个模型的微分方程：

$$\frac{E_M + E_0}{E_M \eta} \sigma + \frac{E_0}{E_n \eta} \sigma^m + \frac{E_n^m + m E_M \sigma^{m-1}}{E_M \cdot E_n^m} \frac{d\sigma}{dt} = \frac{E_0}{\eta} \varepsilon \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (2.5)$$

对此，在这个模型中除去描述不可逆变形的非直线部分，需要考虑这个部分受压等于

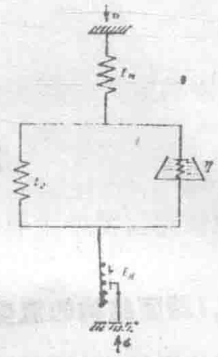


图2.1 路面计算的流变模型

零。为此它的刚度必须是无穷大的, 即 $E_n \rightarrow \infty$ 。在这种情况下由公式 (2.5) 可得到标准的三元流变模型公式:

$$\frac{E_M + E_3}{E \eta} \sigma + \frac{1}{E_M} \frac{d\sigma}{dt} = \frac{E_3}{\eta} \varepsilon \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (2.6)$$

研究这部分变形的某些特殊情况。

如果对模型施加不变的应力 $\sigma_0 = \text{const}$, 那么解这个公式有如下形式:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E} + \frac{\sigma_0^m}{E_n^m} + \frac{\sigma_0}{E_3} \left[1 - \exp\left(-\frac{E_3}{\eta} t\right) \right] \quad (2.7)$$

这样以来, 随着时间变形发展, 产生同样像标准流变的模型公式, 但一般它的范围大于不可逆变形范围。

如果去掉荷载, 那么 E_n 部分将取消, 变形恢复产生同样像标准流变模型公式, 由此区别仅仅是粘滞系数在卸载时与加载时不同。

对于路面在单独荷载作用下不可逆变形是极小的。这证明模量 E_n 是极大的, 也就是

$$E_n \gg E_M \text{ 和 } E_n \gg E_3$$

在这种情况下, 代替模型流变方程式按公式 (2.5) 可研究出近似公式:

$$\frac{E_M + E_3}{E_M \eta} \sigma + \frac{E_3}{E_n^m} \sigma^m \frac{1}{E} \cdot \frac{d\sigma}{dt} = \frac{E_3}{\eta} \varepsilon \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (2.8)$$

如果同样的不可逆变形强度指标接近1, 那么方程式 (2.8) 可以提出下列型式:

$$\frac{E_M E_n + E_n + E_3 + E_M}{E_n E_n \eta} \sigma + \frac{1}{E_M} \frac{d\sigma}{dt} = \frac{E_3}{\eta} \varepsilon \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (2.9)$$

在这种情况下可以利用标准三元流变模型, 其中代替具有模量 E_M 部分需要探讨类似的当量模量体系:

$$E_{3KB} = \frac{E_M E_n}{E_M + E_n} \quad (2.10)$$

由流变学中表现还有一种情况。由两个弹性和一个粘性部分的组合体 (图2.2a和b) 如果有相关关系 [10] 产生同样型式的微分方程式:

$$\frac{E_3' + E_1'}{\eta_3'} = \frac{E_3}{\eta}; \quad E_3 + E_1 = E_3' \quad (2.11)$$

$$\frac{E_3 E_M}{\eta} = \frac{E' E_M}{\eta}$$

这个模型在流变学中称之为等效的, 因为在加工试验数据时它们没有差别。解这些模型的微分方程同样将相等的。

在变形速度不变时, 模型应力按规律增加

$$\sigma = E_3 \nu t + \eta \nu + E_3 \varepsilon_0 + (E_{3KB} \varepsilon_0 - \eta \nu) \exp\left(-\frac{E_{3KB}}{\eta}\right) \quad (2.12)$$