

柔性路面论文集

ROUXING LUMIAN LUNWENJI

人民交通出版社

柔性路面论文集

交通部科学研究院重庆分院等 编

人民交通出版社

1977·北京

内 容 提 要

本书介绍有关柔性路面厚度计算方法及有关参数等论文计15篇。其内容包括：容许弯沉及车辆换算、路面厚度计算方法（经验公式法、理论法）、设计参数、路面强度新指标等。

本书可供公路、城市道路科研、设计人员及有关院校师生参考。

柔性路面论文集

交通部科学研究院重庆分院等 编

人民交通出版社出版

（北京市安定门外和平里）

北京市书刊出版业营业许可证出字第006号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：14.875 字数：280千

1977年11月 第1版

1977年11月 第1版 第1次印刷

印数：0001—3,300册 定价（科四）：1.55元

（限国内发行）

毛主席语录

阶级斗争是纲，其余都是目。

百家争鸣是一种发展科学的方法。

一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。

出 版 说 明

在毛主席革命路线指引下，无产阶级文化大革命以来，我国许多公路科研单位，以阶级斗争为纲，组织规模很大的三结合科研协作组，和许多生产单位（设计施工单位）一起做了不少的试验路和室内试验，获得大量的资料，对柔性路面设计方法的研究取得了较好的成绩。现已初步提出比较符合路面实际使用情况计算柔性路面厚度的经验公式法，此外，还提出了采用双圆荷载图式计算柔性路面厚度的方法。但对有些问题还存在不同的意见，尚须通过讨论和进一步实践加以解决。为促进我国柔性路面设计科学技术的发展，遵照伟大领袖毛主席关于“百家争鸣是一种发展科学的方法”的教导，现出版本专集以供全国交通及其他有关部门从事道路科研、设计人员研究参考，并便于广大道路职工对提出的各方法在实践中验证，为早日制订出符合我国情况的新的柔性路面设计方法，从而为多快好省地进行社会主义公路建设提供有利条件。

目 录

关于柔性路面容许弯沉与车辆换算的 一些问题	交通部科学研究院重庆分院 (1)
容许弯沉值与车辆换算	同济大学公路工程研究所 (35)
关于柔性路面弯沉设计方法的 商榷	湖南省交通科学研究所 (52)
用弯沉计算柔性路面厚度	云南省交通局科学研究所 交通部科学研究院重庆分院 (94)
计算多层路面厚度的应力加权法	交通部科学研究院重庆分院 (143)
多层路面结构的弯沉计算	湖南省交通科学研究所 (168)
采用双圆荷载图式计算柔性路面厚度 的探讨	交通部科学研究院公路研究所 (198)
就四川省试验路的加铺效果论旧路加固 经验公式	四川省交通局设计院 (216)
黑色路面强度衰变问题的探讨	山西省公路局科学研究所 (323)
土基压实与新路路面设计	山西省公路局科学研究所 (345)
关于土基相对含水量计算值问题	北京柔性路面设计资料汇总会议路基小组 (374)

土基回弹模量值的确定方法

..... 西安公路学院路面设计方法教研组(393)

柔性路面的设计指标问题

..... 浙江省交通局公路设计研究室(404)
..... 同济大学公路工程研究所

整体性材料结构层板底拉应力的计算

..... 北京柔性路面设计资料汇总会议路面小组(429)

关于路面强度补充指标——曲率半径的研究

..... 湖南省交通科学研究所(441)

关于柔性路面容许弯沉与车辆 换算的一些问题

交通部科学研究院重庆分院

路面容许弯沉值反映了行车对路面的强度要求，是现行柔性路面设计中一项主要控制指标。路面在预计的使用年限内，只要实际的弯沉值不超过容许值，便不会因交通荷载重复作用而发生疲劳破坏。路面容许弯沉值是按路面使用的最不利时期确定的。在最不利时期（冰冻区为春融期，非冰冻区一般为雨季后期），路面常常因土基变软，在交通荷载作用下产生过量变形而开裂破坏。因此，容许弯沉值主要是限制由于土基或路面下层变软而导致路面破坏的情况。显然这仅是弯沉值与路面破坏现象之间的一种外观联系，还没有说明路面在车轮荷载作用下应力与抗力的内在关系。

而且，路面容许弯沉值不能确切反映因路面上层刚度过小导致塑性变形而引起的开裂。如果路面土层刚度相当大，且各层的刚度从下而上依次增高（指结构组合合理的正常情况），则路面在双轮荷载作用下横向弯沉曲线呈单峰形，如图 1 a，测得的曲线中心点的弯沉值即最大弯沉值，该值确能表征路面整体刚度的大小。但当路面上层刚度较小，如沥青路面在高温状况下，或表面处治泥结底层含泥量大而显软的情况下，其横向弯沉曲线往往呈图 1 b 的双峰形，弯沉最大值出现于轮胎接触面下的 A 点，而不在所测的双轮间隙处

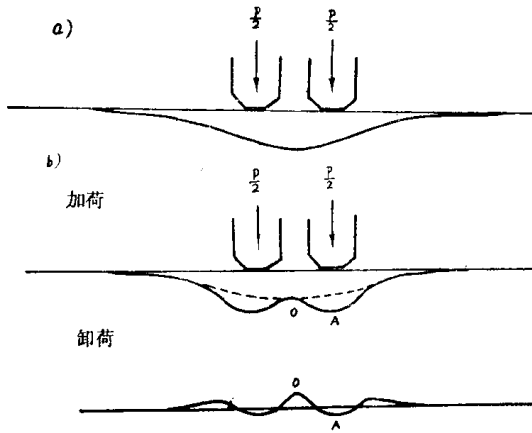


图 1

的 O 点。车轮通过后，往往留下明显车辙，双轮间隙和两侧产生局部隆起，如图1b的卸荷情况。这种局部隆起现象，从卸荷时测得的负残余弯沉值能够得到证实。在局部隆起处的表面，因路面向上弯曲最易产生裂纹，这种局部隆起破坏是由于路面下层软弱，在车轮压力下，路面材料向车轮两侧挤出，产生塑性剪切变形所致。应用弹性层状体系理论是无法得到解释的。因上层刚度不足而产生的油路破坏，在我国大量沥青表处泥结底层的路面中是相当常见的，包括通常所说的泥结底层含泥量大而引起的稳定性破坏在内，此时，测得的 O 点弯沉值并不大，往往小于 1 毫米，但它绝不能真实代表路面的整体强度（用承载板测定则较能说明问题），说明单纯用容许弯沉值已不能解释路面的破坏了。

用曲率半径来表征路面在轮载作用下的弯曲程度，说明路面开裂的原因，本是合理的方法。但因限于目前的量测手段，对于上层刚度不足的情况，不能测得轮胎下面 A 点的弯沉与双峰形的弯沉曲线，只好用通过 O 点的单峰形的弯沉曲线

(虚线)来代替通过 O 、 A 点的双峰形弯沉曲线(实线),从而得到不真实的、偏大的曲率半径,实际上 O 、 A 处的曲率半径都很小。至于通过 O 点的纵向弯沉曲线,因 O 点弯沉偏小,其曲率半径也会相应变大,即得到偏于安全的估计。以致在实际工作中,常常不能有效地解释路面的开裂现象。

我们认为,对于上层较软的路面结构,由于存在双峰形的弯沉曲线及局部隆起破坏,加之通常所测弯沉(双轮间隙处)值的含义与测定手段的局限性,单纯用容许弯沉及曲率半径来设计路面都难得到实际效果。目前较好的办法是,对这类结构,除满足容许弯沉的条件外,首先须根据实践经验,规定上层材料合理的技术指标,保证上层具有足够的刚性与水、温稳定性,使路面不致发生破坏。今后这类结构的上层设计,似应从车轮对路面的剪切应力和上层材料的抗剪强度来进行控制,这将是柔性路面设计发展的重要组成部分。而路面容许弯沉值仅对于一般的上硬下软的路面结构,才是一项有效的设计指标。

路面的容许弯沉值不仅取决于交通荷载的大小与通行数量,面层与基层的类型,同时也决定于道路等级与要求。路面的容许弯沉值靠大量已成路面使用情况的调查测定与经验总结来确定。但它同荷载大小、加载次数之间的规律性,要靠专门的环道试验才能正确得出。

一、容许弯沉与交通量的关系

国外在規定路面容许弯沉时,都同路面等级(使用年限)与类型、设计车型与通过数量联系在一起。例如,东德设计轮载5吨,设计年限按路面等级为8~20年,当换算为设计汽车每车道日交通量为5~350以上时,对非水泥加固基层

$l_s = 1.6 \sim 0.7$ 毫米；对水泥加固基层 $l_s = 1.2 \sim 0.6$ 毫米。波兰设计轮载亦为 5 吨，其设计年限为 10~20 年，当换算为计算汽车每车道的日交通量为 4~335 以上时， $l_s = 1.6 \sim 0.6$ 毫米。匈牙利与波兰的规定基本相同。加拿大设计轴载为 18 千磅，其容许弯沉视交通量变化于 0.02~0.06 英寸。

上海市政工程设计研究所以汽-13 作设计汽车（轴重 9 吨， $p = 5$ 公斤/厘米²， $D = 34$ 厘米）得出路面容许弯沉值 l_s （以毫米计）为〔1〕：

沥青混凝土	$l_s = 1.7 - 0.31 \lg N_D$
黑色碎石	$l_s = 1.8 - 0.31 \lg N_D$
表面处治	$l_s = 2.15 - 0.41 \lg N_D$

联合调查组在一些省市进行大量路面调查后，提出相应于解放牌汽车的容许弯沉值（以 0.01 毫米计）为〔2〕

渣油表处泥结底层

$$l_s = 210 - 35 \lg N_D$$

软煤沥青表处泥结底层

$$l_s = 198 - 35 \lg N_D$$

以上日交通量与容许弯沉之间都取用单对数关系。而国外大小环道试验资料表明，使路面遭到疲劳破坏的加载次数与容许弯沉之间，都存在双对数关系，并非单对数关系。

例如美国加州室内环道试验得出，沥青混凝土路面容许弯沉与 5 千磅等值轮载重复次数存在双对数关系〔3〕，如图 2（图中纵座标单位：英寸，曲线上单位：英尺）。

按图线整理可得下列关系：

$$1.2 \text{ 厘米表处} \quad l_s = \frac{1,860}{N^{0.165}}$$

$$3 \text{ 厘米沥青混凝土} \quad l_s = \frac{1220}{N^{0.165}}$$

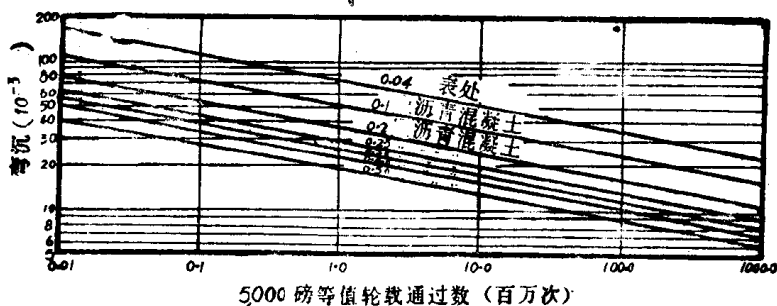


图 2

$$6 \text{ 厘米沥青混凝土 } l_s = \frac{850}{N^{0.165}}$$

$$12 \text{ 厘米沥青混凝土 } l_s = \frac{560}{N^{0.165}}$$

式中: l_s ——相应于 5 千磅轮载的容许弯沉, 0.01 毫米;

N ——5 千磅等值轮载累计通过数。

美国地沥青协会综合了 AASHO 道路试验、加拿大好路

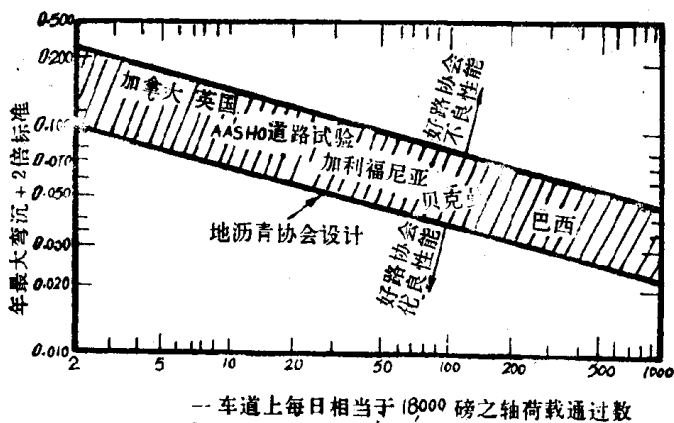


图 3

协会、英国、巴西、加利福尼亚以及贝克曼的容许弯沉资料，得出了如图 3（图中纵座标单位：英寸）的设计线〔4〕。

此设计线可以下式表示

$$l_s = \frac{300}{N^{0.432}}$$

式中： l_s ——相应于 18 千磅等值轴载的容许弯沉，0.01 毫米；

N ——每日每车道 18 千磅等值轴载通过数。

故按照环道试验的规律性，以双对数关系整理联合调查组的容许弯沉资料，将以可靠性分类的一、二、三类资料的权分别取为 3、2、1，得到：

渣油表处泥结底层

$$l_s = \frac{279}{N_{\text{日解}}^{0.46}} \quad \begin{array}{l} \text{相关系数 } r = -0.82 \\ \text{方程均方差 } s = 0.033 \end{array}$$

软煤沥青表处泥结底层

$$l_s = \frac{272}{N_{\text{日解}}^{0.156}} \quad \begin{array}{l} \text{相关系数 } r = -0.96 \\ \text{方程均方差 } s = 0.01 \end{array}$$

从相关系数看，按双对数关系整理较单对数关系尚好一些。若将上列方程考虑一定的安全度，并将 $N_{\text{日解}}$ 的指数统一调整为 0.15，则我们建议：

渣油表处泥结底层

$$l_s = \frac{270}{N_{\text{日解}}^{0.15}} \quad (1)$$

软煤沥青表处泥结底层

$$l_s = \frac{250}{N_{\text{日解}}^{0.15}} \quad (2)$$

按式(1)、式(2)计算可得表1。

表1

$N_{\text{解}}$ (辆/日)		100	300	500	1,000	3,000	5,000	10,000
l_s (0.01毫米)	渣油表处 泥结底层	135	114	106	96	81	75	68
	软煤沥青表处 泥结底层	125	106	99	89	75	70	63

在设计时也可按图4查得 l_s 解。

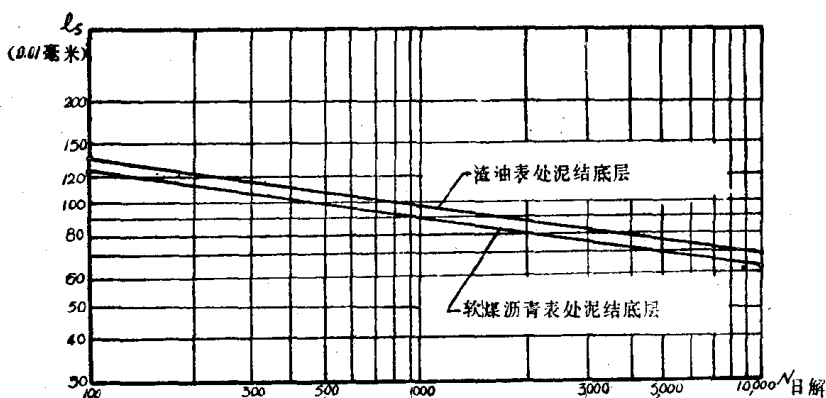


图4 解放牌汽车的容许弯沉与交通量的关系

二、容许弯沉与轮载的关系

我国现有通过路面调查而得的容许弯沉值，大都是相当于解放牌汽车轮载(3吨)的，当设计汽车改变时，同样设计交通量 N (通过次数)的路面容许弯沉是否也应改变呢?

还是采用解放牌汽车的同一数值？这个问题根据路面调查或人们的经验是难于回答的。因为实际道路上都是混合交通，车型与荷载种类繁多，很难区别每一种交通成分对路面的具体作用，更无法说明交通荷载的大小与路面容许弯沉的关系了。只能借助于系统的环境试验才能将各种因素逐个地区别开来。

美国 AASHO 足尺大型环道试验，研究了不同轴载情况下，每一种轴载使路面达到一定极限状态所需的施加次数与路面弯沉值的关系^[5]。图5示出了数值为 6、12、18、22.4 与 30 千磅的不同轴载，每一种轴载使路面耐用指数^①下降到 2.5 时的施加次数与路面春季弯沉值之间的关系，此轴载施

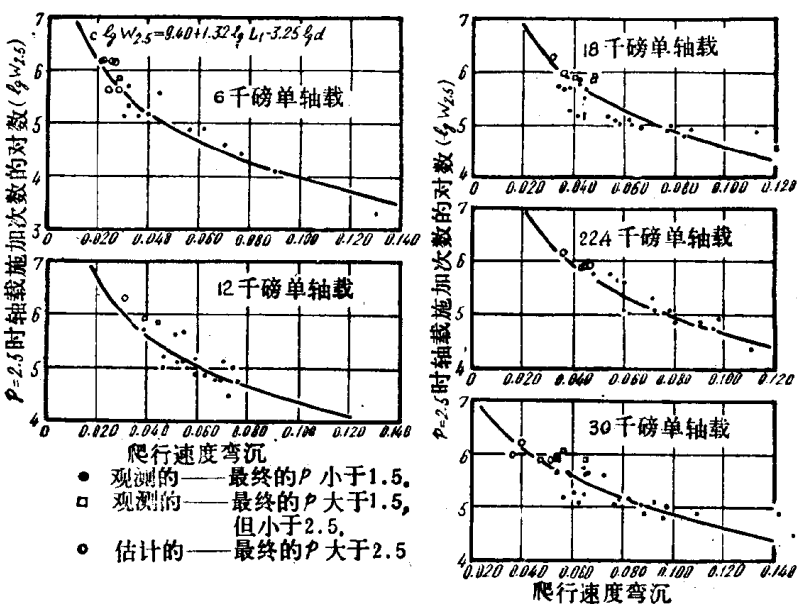


图 5 $P=2.5$ 时的轴载施加次数同 1959 年春爬行速度弯沉之间的关系

注：① 路面耐用指数 P 为表征路面纵向平整度、网裂与修补面积及车辙深度的综合指标。 $P=4\sim5$ 为“很好”， $3\sim4$ 为“好”， $2\sim3$ 为“尚好”， $0\sim2$ 为“劣”。

加次数与秋季弯沉的关系与此相似（图略）。由图 5（图中横座标单位：英寸）可见，相同的加载次数，不同轴载所对应的弯沉值是不同的，例如使路面耐用指数 P 下降到2.5时的加载次数为百万次（对数座标值为6），6千磅轴载对应的弯沉值为0.023英寸；12千磅轴载为0.030英寸；18千磅轴载为0.035英寸；22.4千磅轴载为0.038英寸；30千磅轴载为0.044英寸。由于加载次数是使路面达到一定破坏状况的临界值，故其对应的弯沉值即为容许弯沉值。可见在加载次数相同时，容许弯沉值随轴载增加而增大，并非定值。

图 5 的关系已归纳整理为式（3）

$$\lg W_{2.5} = 9.4 + 1.32 \lg L_1 - 3.25 \lg d \quad (3)$$

$$c^2 = 0.78$$

当耐用指数下降到1.5时，得

$$\lg W_{1.5} = 10.18 + 1.36 \lg L_1 - 3.64 \lg d \quad (4)$$

$$c^2 = 0.66$$

上两式中： L_1 ——轴载，千磅；

d ——春季标准弯沉（总弯沉），0.001英寸；

$W_{2.5}$, $W_{1.5}$ ——分别使路面耐用指数下降到2.5与1.5时的轴载通过数；

c ——方程相关系数。

式（3）的关系如图 6 所示。

如将式（3）、（4）中的 d 当作路面耐用指数下降到某一数值时，与特定轴载通过数 W 相应的路面容许弯沉值，则上两式可改写为：

$$d = \frac{776 L_1^{0.406}}{W_{2.5}^{0.303}} \quad (5)$$

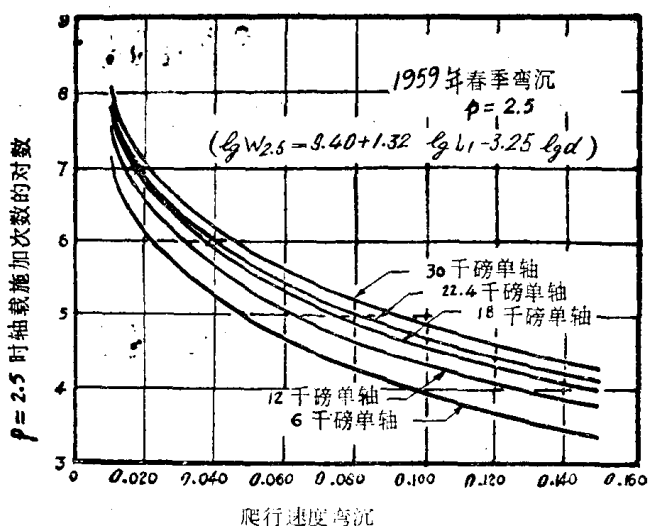


图 6

$$d = \frac{631 L_1^{0.374}}{W_{1.5}^{0.275}} \quad (6)$$

从图 6 (横座标单位: 英寸) 或式 (5)、(6) 清楚看出, 路面容许弯沉值不仅随交通量 W 的增大而减小, 且随轴 (轮) 载的增大而增大。即容许弯沉值是随着设计汽车 (轴载) 变化而异的, 相当于解放牌汽车的容许弯沉值, 并非对其他车型也适用。

按照我们的习惯, 式 (5), (6) 可写成

$$l_s = \frac{AP^a}{N^b} \quad (7)$$

式中: P ——设计轴载;

N ——轴载 P 通过次数。

若有二种设计车型, 对第一种车型

$$l_{s1} = \frac{AP_1^a}{N_1^b}$$