

文章编号: 0451-0712(2006)04-0220-05

中图分类号: U416.217

文献标识码: A

沥青稳定基层沥青混凝土路面 抗剪性能的理论分析

吕伟民

(同济大学交通运输学院 上海市 200092)

摘 要: 沥青稳定基层沥青混凝土路面是否会出现严重车辙, 为人们所担忧。理论计算分析表明, 在静力荷载作用下沥青层中最大剪应力发生在深度 8 cm 处, 且随着基层厚度的增加剪应力降低, 故采用沥青稳定柔性基层不会产生结构性车辙; 当基层模量增大时, 沥青层中下层剪应力反而增大; 沥青混凝土面层采用高模量材料能有效降低剪切应变, 而当采用复合基层时也有利于面层剪应力的减小。

关键词: 道路; 沥青稳定基层; 沥青混凝土路面; 剪应力; 车辙

采用沥青材料作为结合料, 在热态或冷态下与砂石集料拌和而成混合料, 用于铺筑沥青混凝土路面基层, 虽然在国外已经有大量的研究成果和工程实践, 然而我国还缺乏对它的系统研究和认识, 人们特别对于采用沥青稳定柔性基层是否会出现严重车辙存在疑虑。然而要科学正确地回答这些问题是很困难的, 因此需要对沥青稳定基层沥青混凝土路面的工作特性进行研究分析。

1 国外对柔性基层沥青混凝土路面抗车辙性能的评述

对于沥青稳定柔性基层沥青混凝土路面, 一般来说整个沥青混凝土层的厚度将要达到 25~35 cm, 甚至达到 40~50 cm, 因此人们担心是否会出现严重车辙。沥青混合料是粘弹性材料, 在荷载作用下具有明显的蠕变特性, 因此而产生永久变形。然而, 国外许多研究认为, 沥青稳定基层沥青混凝土路面并没有想象中会出现严重的车辙, 反而认为当沥青混凝土层厚度大于 18 cm, 出现车辙的速率会迅速降低。英国 45 条密级配碎石基层道路调查结果指出, 当沥青混凝土层厚度为 18~36 cm 时, 车辙率与厚度无明显的关系。同时认为厚沥青混凝土层道路, 大部分车辙发生在表层, 此时的车辙不表示道路的整体结构强度不足, 不会发生结构性变形^[1]。然而, 国外对于柔性基层沥青混凝土路面车辙为什么不是想象中

那么严重的原因何在, 尚未见详细的报道。为此本文就这一问题进行如下理论分析。

2 沥青混凝土层中剪应力分布的理论分析

2.1 沥青混凝土层中最大剪应力的位置

沥青混凝土层的粘性流动通常是在路面温度较高的情况下, 车轮荷载的剪应力超过了沥青混合料的抗剪强度, 致使沥青混凝土层出现了剪切变形。剪切变形的积累, 则逐渐形成大的变形, 即产生了车辙。显然在材料模量一定的情况下, 剪应力越大, 所产生的剪切变形也越大。

就目前沥青混凝土路面设计规范按静力荷载计算应力的方式(不考虑行车荷载的水平力)^[2], 寻找最大剪应力出现的位置, 为此需计算不同位置 and 不同深度(层位)的剪应力。在计算车轮荷载时是将后轴双轮简化成两个当量直径为 21.3 cm 的圆形均布荷载, 其压强为 0.7 MPa, 两圆的中心距为 $1.5 \times 21.3 = 31.95$ cm。假设的路面结构及其参数列于表 1。

表 1 路面结构及其参数

路面层次	厚度/cm	回弹模量/MPa	泊松比
沥青混凝土面层	12	1 600	0.25
沥青稳定基层	20	1 400	0.25
级配碎石底基层	20	300	0.25
土基		50	0.35

采用壳牌公司开发的层状弹性体系计算软件 BISAR 3.0, 计算距离双圆荷载中心不同位置的剪应力 τ_{xz} 。计算的层位(深度)分别为5 cm 和10 cm, 这是因为在这样的层位受到的剪应力可能达到最大; 计算的横向距离分别至双圆中心 0 cm、10.65 cm、21.3 cm 和 31.95 cm。计算结果列于表 2, 同时绘于图 1 中。

表 2 不同位置的剪应力

层位(深度) cm	至双圆荷载中心不同距离(cm)的剪应力/MPa			
	0	10.65	21.3	31.95
5	0	0.074	0.106	0.092
10	0	0.059	0.123	0.124

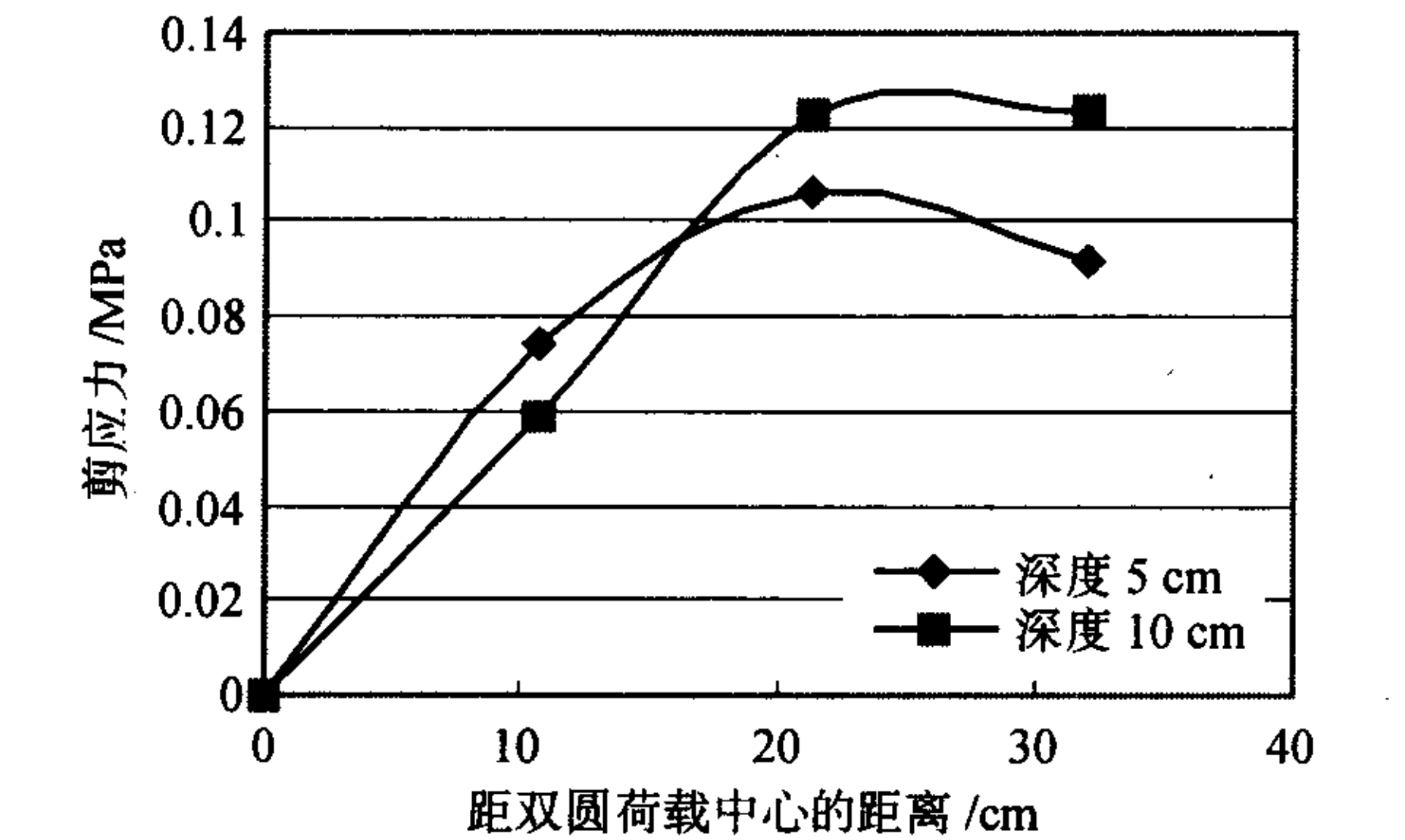


图 1 最大剪应力的位置

由图 1 可见, 在双圆荷载的中心处, 几乎不产生剪应力, 而随着离开双圆中心距离的增大, 剪应力增大。当距离中心 21.3 cm, 即在单圆荷载中心处, 剪应力达到最大值, 这样就确定了最大剪应力的位置。下文讨论不同情况下的最大剪应力均为此位置。

2.2 沥青层不同深度下的最大剪应力

由图 1 看出, 在距离双圆中心 21.3 cm 处, 深度 10 cm 比深度 5 cm 受到的剪应力要大。由于剪应力沿深度分布关系到沥青混凝土路面车辙产生的深度和层次, 为此本研究对剪应力沿深度方向数值变化进行计算分析。计算的路面结构同表 1, 但沥青稳定基层的厚度分别为 10 cm、20 cm 和 30 cm, 计算的层位深度分别为 3 cm、5 cm、8 cm、12 cm、15 cm、18 cm、22 cm 和 25 cm。计算结果列于表 3, 同时绘成图 2, 以便直观地进行观察和分析。

图 2 表明, 在静力荷载作用下接近路面表面剪应力并不大, 而随着深度的增加剪应力增大, 直至深 8 cm 处达到最大值。然后随着深度的进一步增大, 剪应力进一步减小, 至 18 cm 深度其剪应力降低不

表 3 最大剪应力沿深度的变化

层位(深度) cm	最大剪应力在不同基层厚度(cm)下的变化/MPa		
	10	20	30
3	0.074	0.063	0.059
5	0.122	0.107	0.100
8	0.146	0.127	0.118
12	0.129	0.112	0.101
15	0.109	0.097	0.087
18	0.085	0.084	0.075
22	0.041	0.069	0.063
25	—	0.058	0.056

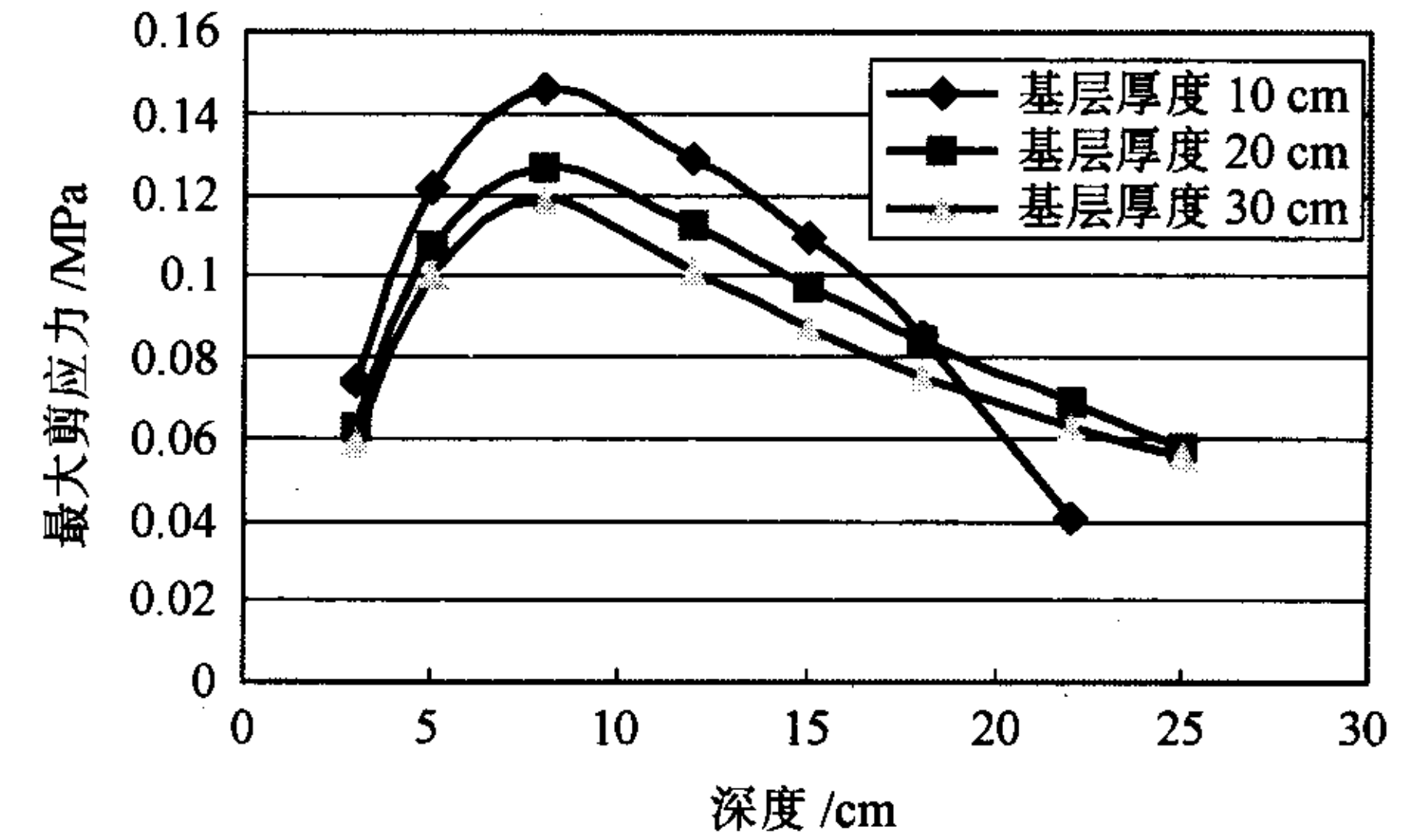


图 2 最大剪应力沿深度的变化

足 0.1 MPa。剪应力大于 0.1 MPa 主要发生在 15 cm 深度以内, 因此车辙主要可能发生在 10 cm 以内沥青结构层中, 下层出现车辙的可能性较小。同时就同一深度而言(如在深度 8 cm 处), 当基层厚度增大时其剪应力也随之降低。这说明增加基层厚度有利于剪应力降低, 也就是说厚沥青层出现车辙的可能性反而降低。

2.3 剪应力与基层厚度的关系

为了进一步考察基层厚度对剪应力的影响, 拟将结构层中剪应力达到峰值层位处, 即深度 8 cm 和 12 cm 处的剪应力与基层厚度的关系列在表 4 中加以比较。

表 4 不同基层厚度沥青层中剪应力计算值

层位(深度) cm	不同基层厚度(cm)沥青层中的剪应力/MPa			
	10	20	30	40
8	0.146	0.127	0.118	0.113
12	0.129	0.112	0.101	0.095

从表 4 和图 3 清楚地看出, 基层厚度增加, 在层位 8 cm 和 12 cm 的剪应力都随之降低, 而且降低的幅度较大。这表明增加基层厚度有助于沥青混凝土

面层剪应力的降低,从而能有效地防止出现车辙。由此可见,采用沥青稳定碎石等材料铺筑基层,适当增加基层厚度,并不一定会增加出现车辙的危险性,相反,由于基层厚度的增加,面层剪应力降低,从而可以减少车辙的发生,这与国外观察结果是一致的,本文则通过理论分析得到了证明。交通部公路科学研究院曾对柔性基层沥青混凝土路面进行了加速加载试验,以模拟实际现场交通情况下路面工作状态,同时与半刚性基层路面结构比较,结论认为对于柔性结构加厚面层在抗车辙性能上是不必担忧的^[3]。

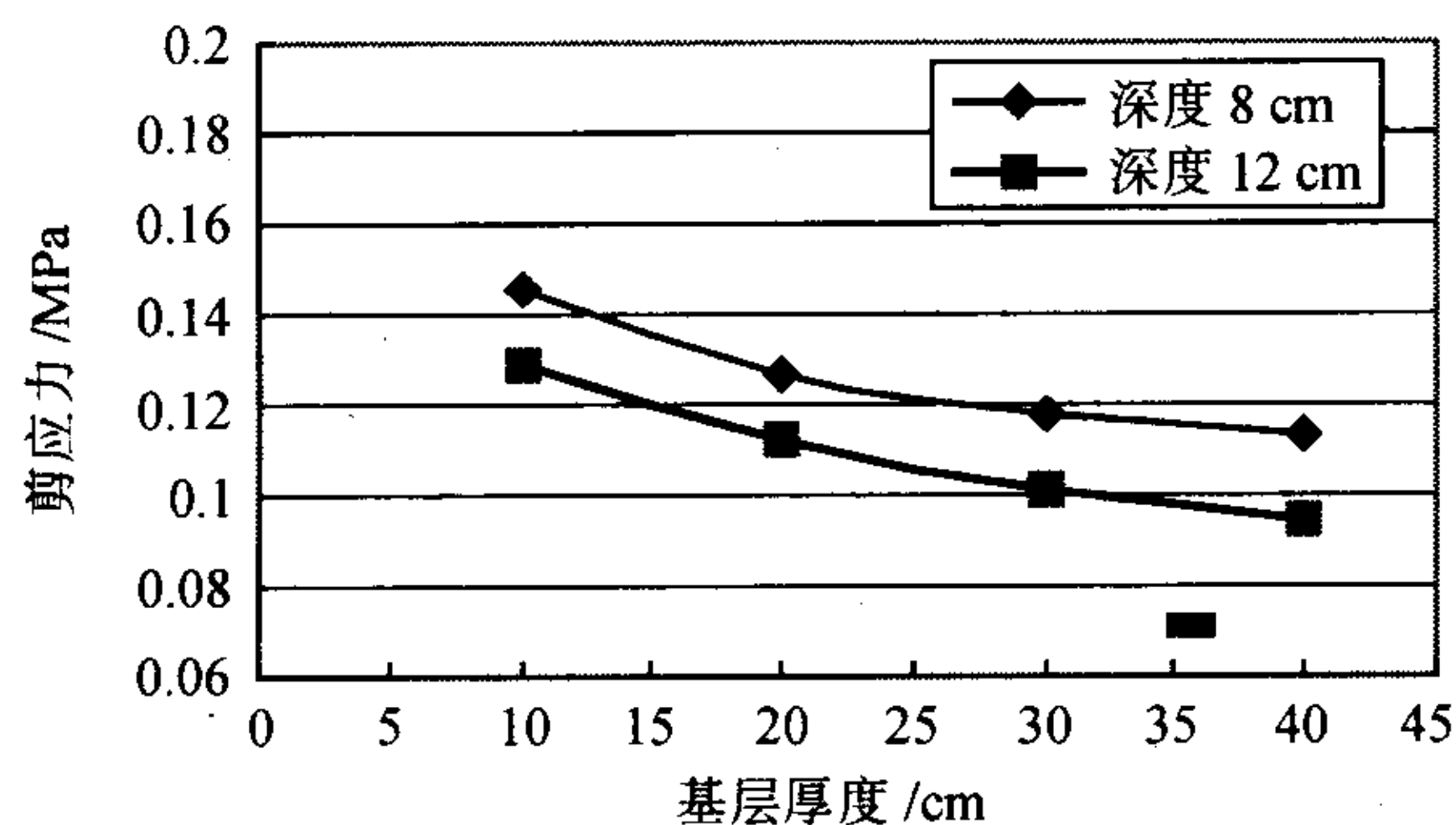


图3 剪应力与基层厚度的关系

3 材料性质对面层剪应力的影响

3.1 基层模量对面层剪应力的影响

柔性基层与半刚性基层虽然在规范中其模量基本上差不多,但是实质上两者有着明显的区别。就材料模量而言,规范中的模量与实际测试值有很大的差别,现场半刚性基层施工,业主与监理都会要求不得少用水泥或石灰,施工单位为了在竣工验收时路面弯沉能满足要求,往往也增加水泥或石灰的用量,以获得高模量的基层,达到降低表面弯沉的目的。有文献认为半刚性基层的模量约为 $(7\sim 28)\times 10^3$ MPa,泊松比变动于0.10~0.20之间。可以说实际上半刚性基层的模量比规范值要高得多。为了研究基层模量对沥青混凝土面层中剪应力的影响,计算不同基层模量条件下沥青混凝土面层中的剪应力。基层模量分别取1 400 MPa、2 000 MPa、3 000 MPa、4 000 MPa和5 000 MPa,计算在层位8 cm、12 cm和15 cm处最大剪应力,计算结果列于表5中。

分析表5和图4可以得知,增大基层模量,层位8 cm处的最大剪应力随之降低,对于沥青混凝土面层是有利的;层位12 cm处剪应力与基层模量关系不大,基本上保持原来的水平,成为一个过渡层位;层位15 cm处剪应力则随着基层模量的增大而增

表5 不同基层模量条件下沥青层中的最大剪应力 MPa

层位(深度) cm	不同基层模量(MPa)下沥青层中的最大剪应力				
	1 400	2 000	3 000	4 000	5 000
8	0.127	0.120	0.112	0.107	0.102
12	0.112	0.116	0.117	0.116	0.115
15	0.109	0.104	0.110	0.114	0.116

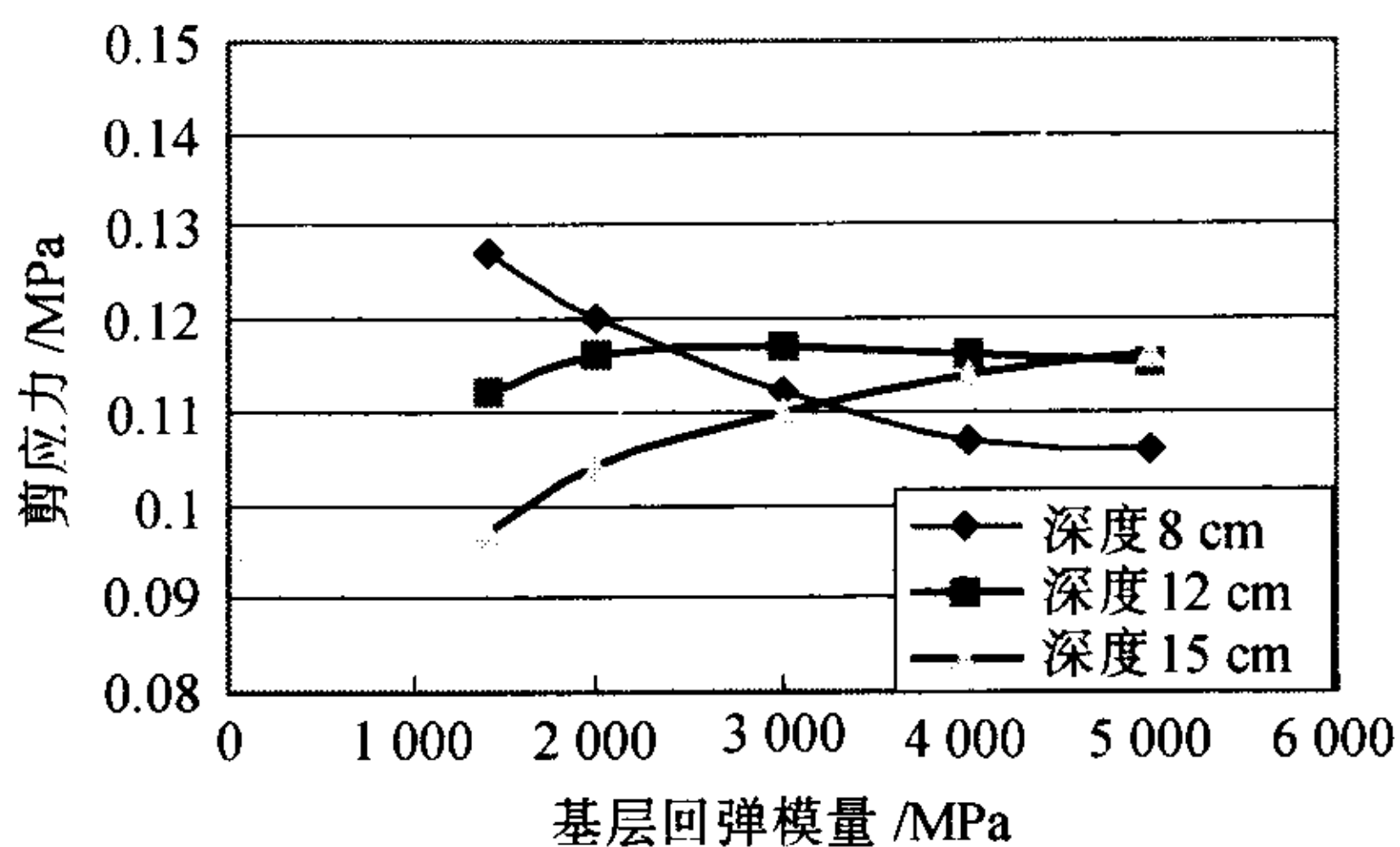


图4 基层模量对面层剪应力的影响

大,于路面结构不利。一般来说,沥青混凝土面层厚度大都为15~17 cm,所以当基层刚度很大时,对沥青混凝土面层的稳定性并不有利,因此半刚性基层比柔性基层反而容易引发沥青混凝土面层出现车辙,其原因即在于此。

3.2 应用硬质沥青对沥青混凝土层抗车辙的作用

为了提高沥青混凝土路面的抗车辙性能,近年来一些国家,如法国、英国等国家采用高模量的沥青混合料作为沥青混凝土面层。如英国采用针入度为50号甚至30号的硬质沥青^[4],也有的采用改性沥青;国内有的省修建高速公路,其上、中面层,甚至包括下面层全采用改性沥青。硬质沥青和改性沥青的应用明显地提高了材料的性能,表征其刚度的回弹模量与普通沥青混合料相比,也有了大幅提高。高模量沥青混合料作为面层,对于抗车辙性能有怎样的贡献,试做以下计算分析。设高模量沥青混凝土面层路面结构的厚度与材料参数如表6所示。采用高模量沥青材料与普通沥青材料的面层,其最大剪应力和最大剪应变随层位深度的分布分别绘于图5和图6中。

表6 高模量沥青混凝土面层路面结构与参数

路面层次	厚度/cm	回弹模量/MPa	泊松比
沥青混凝土面层	12	2 500	0.25
沥青稳定基层	20	1 400	0.25
级配碎石底基层	20	300	0.25
土基		50	0.35

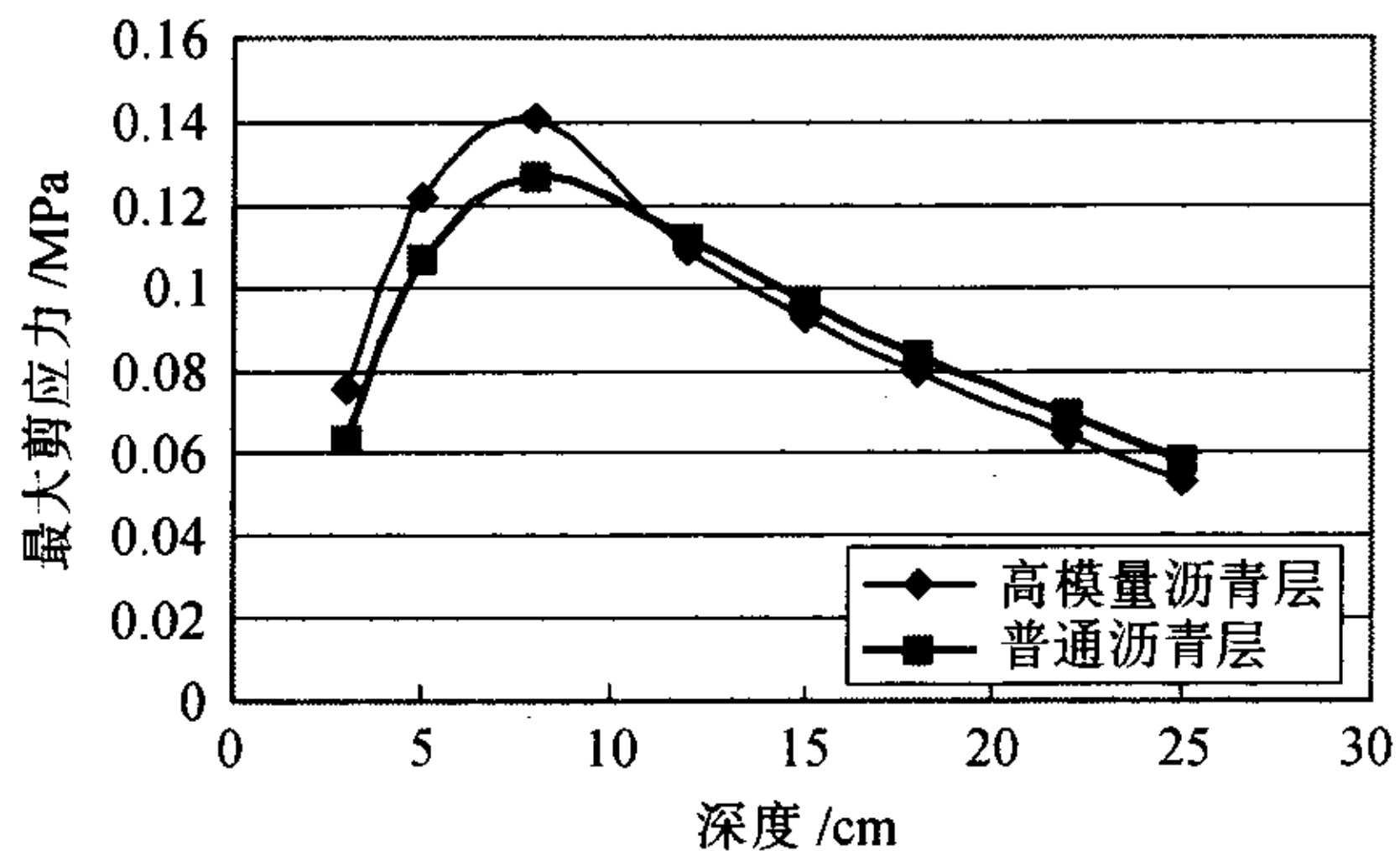


图5 高模量沥青混凝土层对最大剪应力的影响

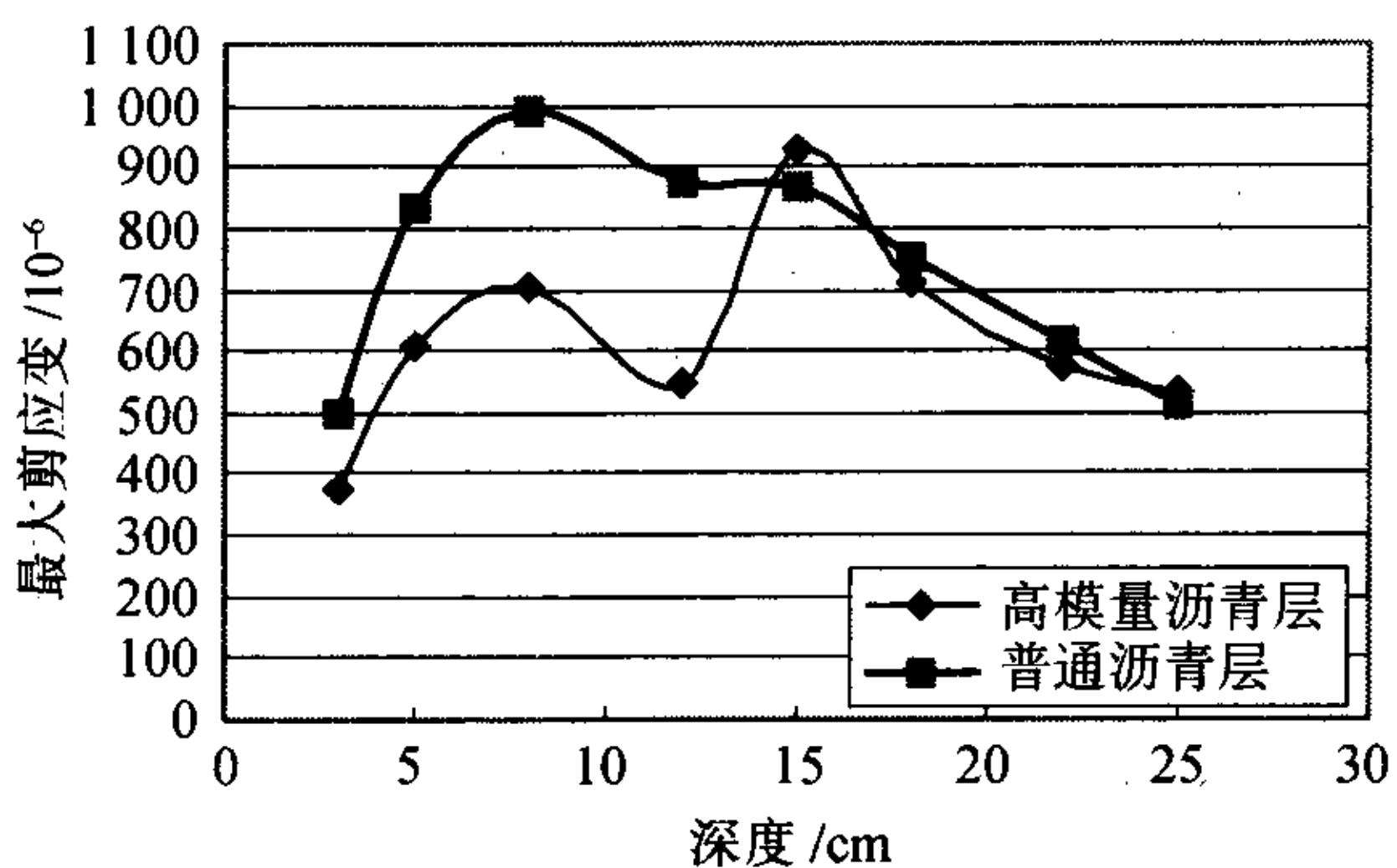


图6 高模量沥青混凝土层对最大剪应变的影响

由图5和图6可见,在12 cm处高模量沥青混凝土面层内,其最大剪应力比普通沥青混凝土层有所增大,而最大剪应变明显减小,与普通材料的面层相比,最大剪应变约减小30%,这说明采用高模量沥青混凝土面层将能有效地提高抗车辙性能。有文献研究也表明,采用粘度高的沥青混合料能大幅提高路面材料的耐流动性^[5]。而在下层剪应力与剪应变略有降低,说明采用高模量材料铺筑面层对下层受力没有明显改善作用。

4 复合基层对沥青混凝土面层抗剪性能的影响

鉴于我国在高等级道路建设中已经积累了铺筑半刚性基层的很多经验,而且半刚性基层成本比较低廉,所以在路面设计中采用复合基层还是可取的方案,即上基层采用沥青稳定柔性基层,下基层采用半刚性基层,以达到减薄沥青基层厚度的目的。但这种想法是否合理,需要通过实践加以考察验证,但也可以通过理论计算进行分析。

路面结构及参数列于表7中。计算半刚性基层在不同厚度情况下沥青混凝土面层中层位8 cm、12 cm处的最大剪应力,计算结果见表8和图7。

图7曲线表明,当复合基层的半刚性下基层厚度增大时,沥青混凝土面层中的剪应力随厚度增加

表7 复合基层沥青混凝土路面结构与参数

路面结构	厚度/cm	回弹模量/MPa	泊松比
沥青混凝土面层	12	1 600	0.25
沥青稳定基层	15	1 400	0.25
水泥稳定碎石	20	4 000	0.1
级配碎石	20	300	0.25
土基			0.35

表8 不同半刚性基层厚度下沥青混凝土面层的剪应力

层位(深度) cm	不同半刚性基层厚度(cm)下沥青混凝土面层的剪应力 MPa			
	15	20	25	30
8	0.112	0.108	0.106	0.104
12	0.095	0.090	0.087	0.085

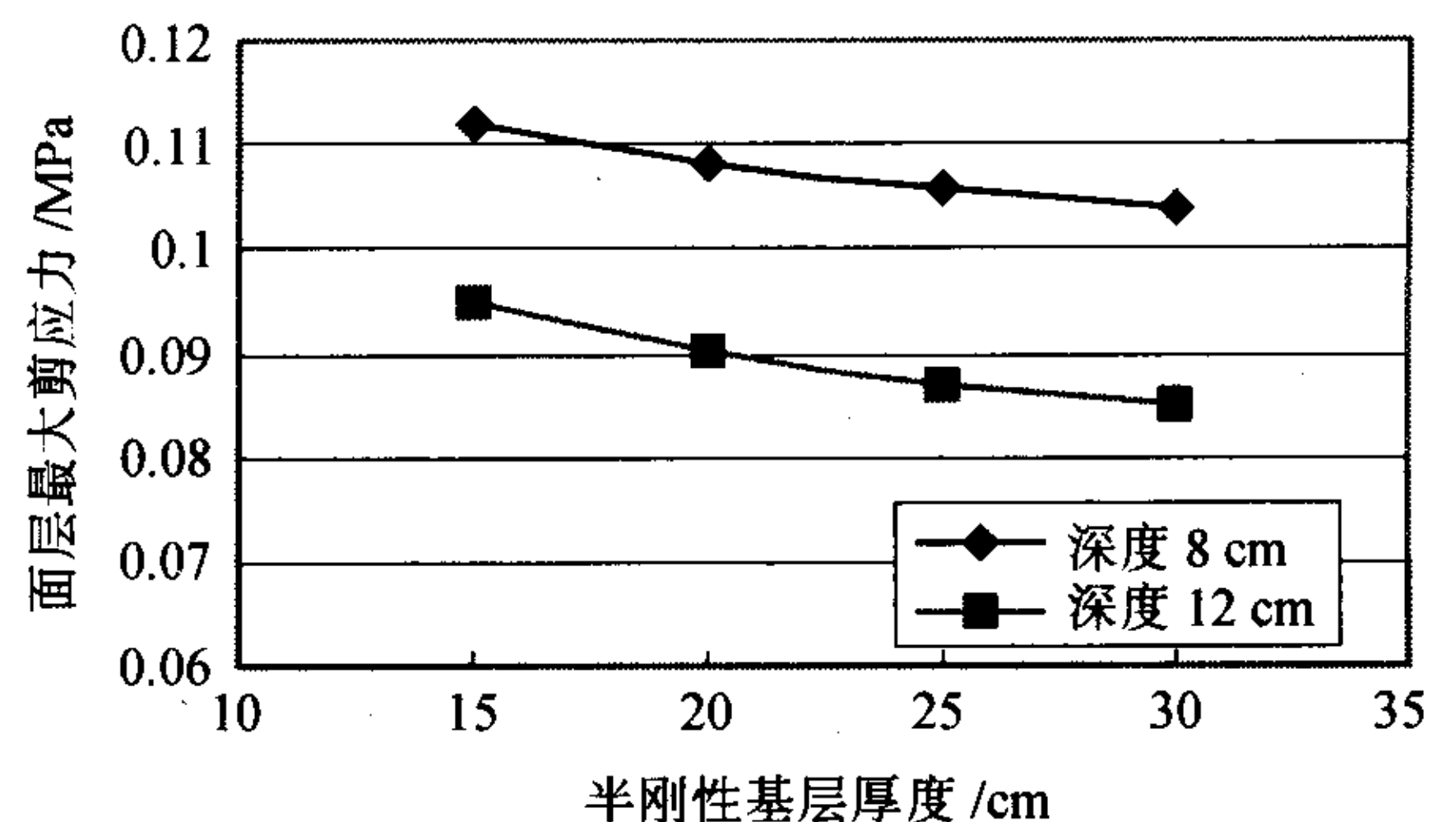


图7 不同半刚性基层厚度下沥青混凝土面层的剪应力

而有所减小,虽然减小的程度并不十分显著,但由于能使沥青混凝土面层的剪应力降低,有助于改善路面结构层的受力状况,减少出现车辙的可能性。因此,在沥青稳定柔性基层下面设置一定厚度的半刚性下基层,不仅可降低成本,而且有利于改善路面结构的受力条件,因而这种复合基层结构是一种可取的路面结构方案。

5 结论

(1)分析表明,沥青层中的最大剪应力出现在距离路表面8 cm处,18 cm深度以下剪应力已降低至很小值,沥青混凝土路面车辙主要发生在深度10 cm以内,因此采用沥青稳定基层不会出现结构性车辙。

(2)理论分析证明,较厚的沥青稳定碎石基层并不会增加车辙的危险性,正是由于基层厚度的增加可以使面层剪应力降低,从而减少车辙的发生,这与国外研究结果是一致的。

(3)基层刚度增大对沥青混凝土面层的稳定性不利,故半刚性基层比柔性基层容易使沥青混凝土

面层出现车辙。

(4) 沥青混凝土面层采用高模量沥青混合料, 有利于降低面层的剪应变, 可以收到减轻车辙的效果。

(5) 在沥青稳定基层下面设置半刚性下基层, 有利于提高路面结构的受力条件, 故采用复合基层结构是可行的方案。

参考文献:

[1] 沈金安主编. 国外沥青路面设计方法总汇(第十二篇——永久性沥青路面的最新发展)[M]. 北京: 人民交

通出版社, 2004.

[2] JTJ 014—97, 公路沥青路面设计规范[S].

[3] 徐全亮, 孟书涛. 柔性基层沥青路面结构加速加载试验研究[A]. 2004 年中国公路学会道路工程学术交流会论文集[C]. 北京: 人民交通出版社, 2004 年.

[4] 吕伟民, 王锡通, 郑录化. 国外沥青稳定柔性基层的材料与结构[J]. 中外公路, 2004, 24(6).

[5] 张金喜, 藤原忠司. 室内单、双层车辙试验及其对道路结构的评价[A]. 2004 年中国公路学会道路工程学术交流会论文集[C]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

Theory Analysis of Resistance to Shear of Asphalt Surface with Asphalt Stabilized Base Course

LU Wei-min

(Institute of Traffic and Transportation, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: People worry about the serious rutting of asphalt concrete pavement with asphalt-stabilized base course. The theory analysis indicates that under static load action the maximum shear stress occurs at a depth of 8 cm below the surface and the maximum shear stress reduces with the increase of the thickness of asphalt-stabilized base course. Hence the structure rutting doesn't occur in asphalt surface with asphalt stabilized base course. With the increase of the module of asphalt stabilized base course, the shear stress situated lower layer of asphalt concrete pavement increases on the contrary. Shear strain in asphalt surface with high-module asphalt is decreased. Shear stress in asphalt concrete pavement with compound base course is decreased also.

Key words: road; asphalt-stabilized base course; asphalt concrete pavement; shear stress; rutting

中央财政安排 170 亿元 今年新改建农村公路 18 万 km

农村公路建设是新农村建设开局之年重点工作之一, 中央财政准备安排国债和车购税资金 170 多亿元, 改建、新建农村公路 18 万 km。

改善农民的生产生活条件, 加强农村的基础设施建设, 这是社会主义新农村建设的一个重要内容, 也是政府履行公共服务职能必须承担的责任。今年是新农村建设的开局年, 要开好局、起好步。根据党中央、国务院关于国家对基础设施建设的重点转向农村的总体要求, 充分考虑到农业、农村、农民目前最现实的、最迫切需要解决的问题, 国家发改委会同有关部门研究确定了投资和项目建设的三个方面的重点, 拟安排 120 亿元提高农业综合生产能力; 在改善农民生产生活条件方面, 要集中力量办好“水、气、路、电”这四件事, 其中在农村公路建设方面准备安排国债和车购税资金 170 多亿元, 改建、新建乡村公路 18 万 km。东中部地区重点是“乡通村”沥青(水泥)路, 西部地区重点是“县通乡”沥青(水泥)路; 安排 60 多亿元加快农村教育、卫生、文化事业。

建设社会主义新农村需要大量的资金投入, 尤其是国家的财政投入。财政部门将按照多予、少取、放活的方针, 让公共财政的“阳光”更多地照耀到广大农村, 让广大农民群众更多地享受到发展和改革所取得的成果。要通过调整财政支出的存量, 同时把增量重点向农村倾斜, 不断地加大对农村和农业的投入, 使建设社会主义新农村有一个稳定的资金来源。