

探讨半刚性与柔性基层沥青路面结构力学性能

杨宗霖

常德市海绵城市建设投资开发有限公司

摘要：半刚性路面和柔性路面是道路工程领域最常见的路面结构形式，通过Bisar软件分析二者在不同应力下的受力状况可知，二者内部的结构受力特点完全不同，需针对不同的道路特点选择对应的路面结构形式。本文研究分析了半刚性与柔性基层沥青路面两种结构的力学性能，其目的是为了区分两种材料的受力特点，能为结构设计及现场施工提供一定层面的技术借鉴，能为建设者提供有益的理论参考。

关键词：公路工程项目；半刚性基层；柔性基层；结构力学性能

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2021.01.104

引言

道路路面工程结构的理论力学基础为弹性层状体系，因此各材料的特性也以弹性参数来反应其物理、力学特性。本文以弹性层状体系为理论研究基础，分析了两种路面结构形式在标准荷载作用下的不同受力特点，以沥青层内剪应力分布、土基压应变、水平应力等各项参数进行对比分析，以区分两种材料的受力特点。

一、工程概况

本文分析依托实践案例为银牛路新建公路工程，主要工程包括路基路面、桥梁涵洞、交安监控等相关设施。此项目全长2880.34米，桩号为K0+000至K2+880.34，设计车速40km/h。

二、沥青路面的结构特点

半刚性结构和柔性基层结构是我国道路工程最常见的基层结构形式，因此选取这两种形式进行对比。具体数据见表1：

表1 两种基层路面结构参数

序号	半刚性结构	柔性结构
01	沥青混凝土，1200MPa，18cm	沥青混凝土，1200MPa，10cm
02	水泥稳定碎石，1500MPa，30cm	沥青稳定碎石，1000MPa，20cm
03	水泥土，800MPa，20cm	级配碎石，350MPa，20cm
04	土基，40MPa	土基，40MPa

(一) 水平应力的分布

(1) 水平应力是基层结构最重要的参数之一，两种基层形式的水平应力分布见图1：

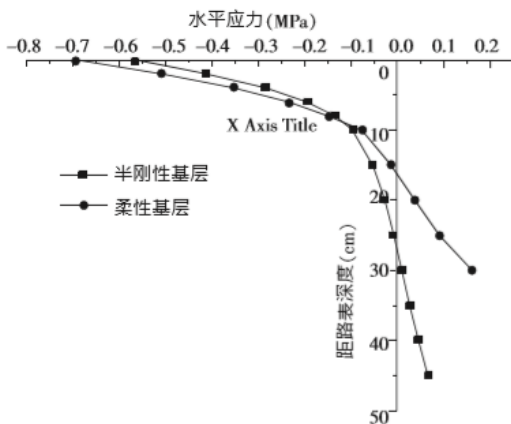


图1 不同基层沥青路面水平应力分布图

(2) 从图1可知，半刚性基层受压不受拉，因此针对半刚性基层沥青路面，重点是检测其受拉性能，而不需要检测其抗

弯拉疲劳性能。

(3) 柔性基层路面在不同结构位置的受拉受压情况不同。其中在路面结构底部的受拉应力最大，从下往上依次减弱。而对于沥青面层和基层上部，受压较大，随着深度的增加，这种情况逐渐减小。这也就解释了我国沥青路面结构裂缝为何是从低到上逐渐展开。

(二) 沥青层内压应变的分布

(1) 竖向应力是基层结构最重要的参数之一，两种基层形式的水平应力分布见图2：

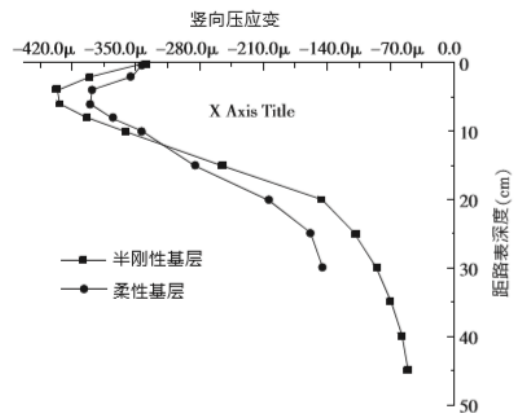


图2 不同基层沥青路面面层内竖向压应变分布图

(2) 竖向压应变最大值随着路面深度的增加而增大，在5cm处达到最大值，之后应变逐步减小。这主要是因为高温条件下沥青路面结构在5cm深度处温度达到最大值导致的，最终会导致较大的永久变形；

(3) 流动性车辙在柔性基层和半刚性基层路面产生的情况大同小异，没有明显区别。这主要是因为柔性基层路面沥青下面层的竖向压应变较大，而上面层较小导致的。只需要注意避免高温车辙过大即可，改善方法需从材料本身来提升路面的高温稳定性。

(三) 土基压应变的分布

(1) 柔性路面在外部荷载作用下，其压应变数值要远远大于半刚性路面，一般是其两倍以上，同时其压应变也较大。随着路面深度的增加，半刚性路面的衰减速率较大，柔性路面的衰减速率较小，两种结构形式在路面顶下1m深度处均达到了极限值。根据当前的路基研究理论，分析可知弹性变形会随着塑性变形的增加而增加，会随着其减小而降低，二者呈现出正向关系。所以在荷载的反复作用下，路基的永久变形和压应变都会增大；

(2) 结构性车辙多出现在柔性沥青路面上，而较少发生在半刚性基层路面，这主要是由于半刚性路面的路基永久变形较小所导致的。

(四) 路面剪应力的分布

(1) 工程实践可知随着沥青面层深度的增加，半刚性基层和柔性基层的剪应力逐步衰减，在1m深度处达到衰减的极限值，其中最大剪应力值出现在路面顶面位置荷载作用面处；

(2) 垂直荷载对沥青路面的剪应力影响较大，其中柔性基层的剪应力最大，半刚性基层最小。随着路面深度的增加，两种结构路面的剪应力均衰减较快，在达到临界最大值后又随着深度的增加而降低；

(3) 柔性基层路面产生车辙的可能性较大, 其面层中的剪应力也较大, 与之相比半刚性基层较小。同时工程实践可知沥青面层表面最容易产生车辙, 这主要是由于表面层的剪应力最大, 最容易产生车辙, 因此在施工养护过程中, 需特别注意表面层的抗车辙指标。

(五) 路面结构分布荷载及承载能力

(1) 为比较半刚性基层和柔性基层两种结构对车辆荷载的分布能力区别, 需分别计算双圆荷载的路基顶面压应变和路表弯沉在不同位置下的结果。通过对比分析, 研究两种结构的性能差异。

(2) 通过分析图3两种结构的数据可知, 在一定深度范围内半刚性基层和柔性基层的路基顶面应变存在差异, 对于路表弯沉在半径2m范围内有差异。超出一定范围后, 两种结构形式路面的分布荷载参数相差较小。

(3) 柔性基层路面的荷载分布能力较弱, 半刚性基层路面较强。超出一定范围后, 两种结构形式路面的分布荷载参数相差较小。

(4) 柔性基层的分布荷载能力较半刚性基层低, 且板体作用较差。同时从图中可知, 柔性基层的路基较半刚性基层承担了较大的压应变和压应力, 其路表弯沉值较半刚性基层大。因此半刚性基层的承载能力较柔性基层强。

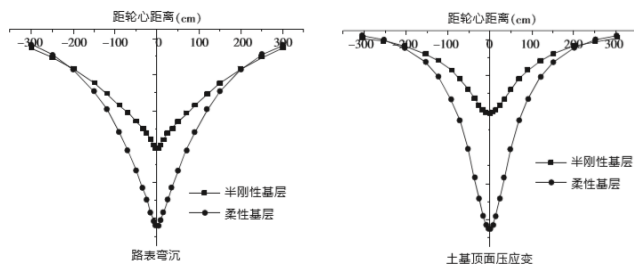


图3 半刚性基层和柔性基层沥青路面分布荷载能力比较图

(六) 重载敏感性分析

(1) 我国公路设计规范所采用的标准轴载是100kN, 但在实际日常运输中, 很多高速、国省干线的超载现象十分严重, 其实际荷载值已经远远超出原本的车辆设计荷载;

(2) 图4为不同荷载作用下对半刚性基层和柔性基层两种结构的底部拉应力结果对比。从图中可以分析得知, 轴载与半刚性基层、柔性基层的底部拉应力呈正比关系, 其中沥青稳定面层随轴载的增加而增大, 其变化率要大于半刚性基层。其轴载应力比的计算公式如下:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} \approx \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^b \quad (01)$$

式中, σ_1 , σ_2 为不同轴重作用下基层层底拉应力值; P_1 , P_2 为不同轴重。

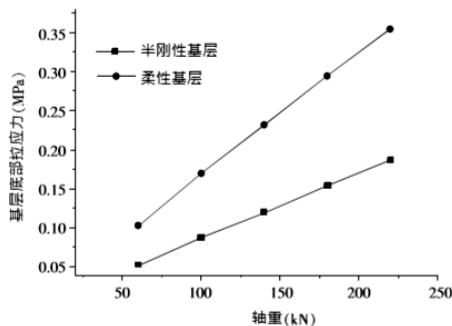


图4 不同轴重作用下基层层底拉应力分布图

(3) 通过分析各结构基层的材料性质, 对本文中的柔性基层b值按照0.95计算, 对半刚性基层b值按照0.97计算。通过分析不同材料内部的疲劳特性, 研究得到的材料疲劳计算公式为:

$$\sigma / \sigma_s = BN^{-c} \quad (02)$$

式中, σ_s 为材料抗拉强度; σ 为荷载作用N次的疲劳拉应力; B、C为材料常数。

(4) 由式(1)、式(2)可以得到基于基层层底拉应力等效的轴载换算公式为:

$$N_1 / N_2 = (P_2 / P_1)^{b/c} \quad (03)$$

(5) 不同的基层材料其轴载换算公式各不相同。按照现行技术规范标准, 对沥青稳定材料的C值按照0.22计算, 对半刚性材料C值按照0.11计算, 得到的换算结果如下:

对于沥青稳定基层

$$N_1 / N_2 = (P_2 / P_1)^{4.32} \quad (04)$$

对于半刚性基层

$$N_1 / N_2 = (P_2 / P_1)^{8.82} \quad (05)$$

(6) 根据基层层底拉应力和材料特点换算得到的标准轴载换算公式, 可以建立标准轴载和轴载次数直接的回归分析联系。通过回归关系公式可知, 半刚性路面的疲劳寿命随着轴载量的增加而降低, 当超过140kN时, 疲劳强度发生突变, 直接降低。这说明半刚性路面的疲劳寿命直接决定了我国道路轴载的大小, 这也是导致我国沥青路面产生破坏的重要诱因。因此我们需要积极改进半刚性基层的疲劳寿命指标。

表2 不同轴载作用次数与标准轴载作用次数的关系

轴重 (kN)	60	100	140	180	220	
N_{100} / N_i	半刚性基层	0.01	1.00	19.45	178.44	1047.53
	柔性基层	0.11	1.00	4.28	12.67	30.15

三、结论

通过上述研究可知, 不同的路面结构受各自材料力学性质的影响, 其路面结构行车荷载有以下几方面特点:

(1) 柔性基层较半刚性基层产生结构性车辙的可能性较大, 这主要是由于柔性基层较半刚性基层的剪应力和路基永久变形要大, 因此产生车辙的可能性也较大。同时柔性路面的上部整体结构也受路基变形的影响。

(2) 柔性基层较半刚性基层产生疲劳裂缝的区域要小很多, 这主要是由于车辆轮胎压力对柔性基层的受压面积较大, 压强较小所导致的。

(3) 对于承载力指标和荷载分布能力指标而言, 半刚性基层路面高, 柔性基层路面低;

(4) 轴载对不同类型路面的疲劳寿命影响较大。其中半刚性材料较为明显, 柔性材料不明显。

参考文献

[1] 於亚辉, 丁泽民, 余晖. 乳化沥青-水泥稳定碎石半柔性基层沥青路面力学性能研究[J]. 福建建设科技, 2016 (01): 77-79+65.
 [2] 张敏江, 王亮, 周宇. 级配碎石上基层沥青路面结构力学响应分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2011, 27 (01): 64-69.
 [3] 於亚辉, 余晖. 乳化沥青-水泥稳定碎石半柔性基层沥青路面力学性能研究[J]. 工程与建设, 2015, 29 (05): 613-615.
 [4] 董晓光, 王霞. 路用水基聚合物稳定基层材料力学性能及路用性能分析[J]. 河套学院学报, 2016, 13 (03): 79-81.