

贝克曼梁法测试路基路面回弹弯沉在市政道路中的应用

武 波

阳泉路达市政养护工程有限公司 山西阳泉 045000

摘 要: 回弹弯沉是衡量路基路面刚度和强度的重要指标之一, 贝克曼梁法是市政道路路基路面回弹弯沉测试的有效手段之一。因此, 文章以一个市政道路工程为例, 从选择测试点、调节测试车、安装弯沉仪等几个方面, 分析贝克曼梁法测试路基路面回弹弯沉的操作过程, 并汇总市政道路路基路面回弹弯沉的测试结果, 希望为贝克曼梁法在市政道路中的应用提供一些参考。

关键词: 贝克曼梁法; 路基; 沥青路面; 回弹弯沉; 市政道路

前言:

城市化进程中, 市政道路建设如火如荼, 市政道路质量问题逐步出现, 过度弯沉是其中之一。过度弯沉问题的出现, 不仅导致市政道路路面裂缝损坏, 而且威胁市政道路交通安全。利用贝克曼梁法测试市政道路路面回弹弯沉, 可以及时发现路基路面刚度与强度不足并及时解决, 保障市政道路交通安全可靠。因此, 探究贝克曼梁法测试路基路面回弹弯沉在市政道路中的应用具有非常突出的现实意义。

1. 贝克曼梁法测试路基路面回弹弯沉在市政道路中的应用背景

一市政道路为主干道, 起止里程为 K0+024~K0+732, 长约 11.81km, 主线和辅道均采用双向六车道, 规划路幅宽度为 58.20m, 主辅道行车速度分别为 60.00km/h、40.00km/h。市政道路横断面布置人行道、辅道(机动车与非机动车混行)、绿化带、机动车道、双黄线等, 路基结构为 AC-20 中粒式沥青混凝土 + SMA-13 细粒式沥青混凝土。路面结构为水稳底基层 + 水稳下基层 + 水稳上基层 + AC-25 粗粒式沥青混凝土 + AC-20 中粒式沥青混凝土 + SMA-13 细粒式沥青混凝土, 路基路面设计弯沉值为 27.50 (0.01mm), 要求弯沉值小于等于设计验收弯沉值, 合格率大于等于 95.00%。

2. 贝克曼梁法测试路基路面回弹弯沉在市政道路中的应用过程

2.1 准备仪器设备

根据《城镇道路工程施工与质量验收规范》(CJJ 1-2008) 以及市政道路工程施工图, 准备测试仪器设备。案述市政道路路基路面回弹弯沉测试用仪器为 JZC-G5400 贝克曼梁,

长 5.40m, 贝克曼梁上设置合金铝材质水准泡, 前臂与后臂长度比为 2/1^[1]。

根据试验荷载需求, 准备单后轴、单侧双轮组的后轴 100kN 的 BZZ-100 标准加载车, 后轴标准轴载为 100kN ± 1kN, 轮胎间隙宽度为自由插入弯沉仪测头, 单侧双轮荷载为 50.00kN ± 0.50kN, 轮胎充气压力为 0.70MPa ± 0.50MPa, 单轮传压面当量圆面积 (3.56 ± 0.20) × 104mm²。

在贝克曼梁与测试车准备完毕后, 准备分辨力小于等于 1℃ 的路表温度计、钢直尺、百分表 (0.01mm) 及表架等仪器设备。

2.2 选择测试点

在市政道路沥青路基路面结构层材料类型、设计厚度已知的情况下, 依据每车道、每 20.00m 测 1 点的标准, 沿市政道路主线沥青路基路面行车车道的轮胎痕迹带设置贝克曼梁法测试点。同时, 依据 5m 测 1 点的标准, 沿市政道路路轴线分左右两幅布置测点。主线与路轴线共检测 222 个测点。在确定测点后, 利用粉笔 (或白油漆) 标记测点。

2.3 调节测试车

在确定 BZZ-100 标准加载车制动性能、行驶情况与轮胎气压均达标的情况下, 对 BZZ-100 标准加载车进行配重并利用地中衡称量 BZZ-100 标准加载车的单侧双轮荷载、后轴总质量, 确保 BZZ-100 标准加载车行驶以及贝克曼梁测试回弹弯沉期间后轴重量无较大变化^[2]。在利用地中衡称量 BZZ-100 标准加载车单侧双轮荷载与后轴总质量时, 应提前准备与地中衡测量相关的资料、设备, 包括驾驶证、车

辆行驶证、车辆照片等。准备完毕后，将标准加载车驶入地中衡上，确保标准加载车平衡无偏斜且轮胎干燥无积水，记录标准加载车重量、轮胎重量。

因市政道路沥青路基层路面主要浇筑在水泥稳定碎石基础上，基层材料为半刚性，极易因路面荷载增加而出现受力传导范围扩大情况，弯沉值及弯沉影响范围随之增大。因此，应合理设定标准加载车后轴轮载，避免标准加载车超出市政道路沥青路基层路面指定弯沉值而出现平缓下沉情况。利用数方格（或求积仪）测算单个轮胎印下痕迹范围内的面积（单轮传压面当量圆面积），精确至 0.10cm^2 。

确定 BZZ-100 标准加载车单轮传压面当量圆面积达标的情况下，将加载车停放到测试市政道路 K0+024~K0+732 沥青路基层路段，后轮停靠到市政道路行车轮胎痕迹带。

2.4 安装弯沉仪

在 BZZ-100 标准加载车后轮轮胎痕迹位置插入 JZC-G5400 贝克曼梁，贝克曼梁插入方向与标准加载车行进方向相同，梁身与标准加载车身平行，且左右臂均与标准加载车轮胎无接触。同时，在标准加载车轮胎痕迹中心前方 $40.00\text{mm} \pm 10.00\text{mm}$ （或左后轮轮胎痕迹带外侧 15.00cm 位置）位置放置 JZC-G5400 贝克曼梁的测头^[3]。贝克曼梁测头放置完毕后，利用温度计测量市政道路 K0+024~K0+732 沥青路基层路面测点及周边温度。

在明确市政道路 K0+024~K0+732 沥青路基层路面环境温度后，安装百分表与三角表架。确定百分表测量灵敏度达标，将百分表测头安装放置到 JZC-G5400 贝克曼梁测定杆顶面并轻轻叩击，促使百分表回归到正常位置，即百分表指针起始数值为 100（0.01mm）。一般 JZC-G5400 贝克曼梁不需进行支点变形修正，在特殊情况下，需要检测 JZC-G5400 贝克曼梁支点是否发生形状异变，若存在形状异变，则将一台新的贝克曼梁安装到测试用 JZC-G5400 贝克曼梁的后方，新测点与 JZC-G5400 贝克曼梁的支点重合，随着 BZZ-100 标准加载车行进而连续读取 5 次百分表数值并完成支点变形修正，修正公式如下：

$$l_t = (l_1 - l_2) \times 2 + (l_3 - l_4) \times 6 \quad (1)$$

式（1）中， l_t 为修正后市政道路沥青路基层路面测点回弹弯沉值； l_1 为标准加载车轮中心临近 JZC-G5400 贝克曼梁百分表测头时的最大读数（0.01mm）； l_2 为标准加载车驶出弯沉影响半径后百分表稳定读数（0.01mm）； l_3 为标

准加载车车轮临近贝克曼梁测头时检测用弯沉仪读数最大值（0.01mm）； l_4 为标准加载车驶出弯沉影响半径后检测用弯沉仪读数最大值（0.01mm）。

2.5 测试操作

在专人指挥下，BZZ-100 标准加载车依据 5.00km/h 的速度前进，百分表指示数值随着沥青路基层路面回弹变形值的增加而增加，读取 JZC-G5400 贝克曼梁百分表指针（内部小圈上数值）的最大指示值并记录^[4]。一般百分表小圈指针在 0~1 之间表示数值位于 0~100（0.01mm）范围内，百分表小圈指针指示 2~3 表示数值位于 200~300（0.01mm）范围内。确定百分表小圈指针指示 2~3，大针指示 60~70，需要累加大针和小针的指示数值，即 260~270。

读取一次数值后，继续由专人指挥 BZZ-100 标准加载车向前方行驶，百分表指示数值逐渐减小（逆时针旋转），待 BZZ-100 标准加载车行驶到市政道路沥青路基层路面弯沉影响范围 3.00m 以外时，读取恢复稳定的百分表指示数值。利用同样的方法，由专人指挥 BZZ-100 标准加载车沿着市政道路沥青路基层路面轮胎痕迹带前进到下一测点，重复操作，完成市政道路 K0+024~K0+732 沥青路基层路面回弹弯沉测试。

2.6 计算弯沉值

根据前后两次记录同一测点数值，记录差值。随后，根据 JZC-G5400 贝克曼梁前后臂比例 2/1 的特点，将差值乘以 2，得到每一测点的弯沉值。在贝克曼梁法测试市政道路路基层路面回弹弯沉值后，为评定弯沉测量值的上限，计算市政道路沥青路基层路面弯沉代表值，即：

$$l_r = (\bar{l} + \beta \times S) K_1 K_3 \quad (2)$$

式（2）中， l_r 为市政道路沥青路基层路面弯沉代表值，（0.01mm）； \bar{l} 为市政道路沥青路基层路面弯沉实测均值； S 为市政道路沥青路基层路面弯沉标准差； β 为目标可靠指标，根据《公路工程质量检验评定标准 第一册土建工程》（JTG F80/1-2017）附录 J 表 J.0.2 确定； K_1 为湿度影响系数，根据市政道路工程所在地经验确定沥青路基顶面弯沉值测定湿度影响系数，根据市政道路沥青路面实测弯沉值反算路面模量并修正后得出结构模量值，根据结构模量值推测市政道路沥青路面回弹弯沉测试下的湿度修正系数； K_3 为温度影响系数，在市政道路沥青路基回弹弯沉测试时，温度影响系数取 1，在市政道路沥青路面回弹弯沉测试时，温度影响系

数与沥青结合料类材料层厚度、平衡湿度状态下沥青路面回弹模量、回弹弯沉测试时沥青路面材料层中点材料层预估温度（或实测温度）有关。

3. 贝克曼梁法测试路基路面回弹弯沉在市政道路中的应用结果

根据贝克曼梁法测试市政道路沥青路基路面回弹弯沉

表 1 基于贝克曼梁法的市政道路沥青路基路面回弹弯沉测试结果（局部）

里程桩号及位置	左轮			右轮		
	初读数 (0.01mm)	终读数 (0.01mm)	弯沉值 (0.01mm)	初读数 (0.01mm)	终读数 (0.01mm)	弯沉值 (0.01mm)
K0+024 右幅一车道路基	241	232	18	0	12	24
K0+120 右幅二车道路面	886	875	22	0	11	22
K0+340 右幅二车道路面	623	620	6	0	12	24
K0+360 左幅二车道路基	698	695	6	0	11	22
K0+480 左幅二车道路基	804	800	8	0	7	14
K0+600 左幅二车道路面	549	537	24	0	5	10
K0+080 左幅二车道路面	804	796	16	0	7	14
K0+732 右幅二车道路面	248	238	20	0	4	8

根据表 1，在测点距离荷载中心较近时，弯沉值较大，表明 BZZ-100 标准加载车对测点具有显著的影响，如 K0+600 左幅二车道路面左轮弯沉值显著大于右轮弯沉值。

结果，判定市政道路回弹弯沉合格率，计算公式如下：

$$\text{回弹弯沉合格率} = \frac{\text{合格点数}}{\text{全部检查点数}} \times 100\% \quad (3)$$

将贝克曼梁法测试市政道路沥青路基路面回弹弯沉结果代入式（3），得出结果见表 1、表 2。

在测点距离荷载中心较远时，弯沉值较小，表明 BZZ-100 标准加载车对测点影响较小，如 K0+480 左幅二车道路基左轮仅为 6.41（0.01mm）。

表 2 基于贝克曼梁法的市政道路沥青路基路面回弹弯沉测试汇总

项目	总测区点数	合格区点数	合格率 (%)	平均值 (0.01mm)	标准差	代表值 (0.01mm)
结果	222	222	100.0	15.41	6.31	22.14

根据表 1、表 2，市政道路沥青路基路面（K0+024~K0+732）沥青路基路面弯沉代表值为 22.14（0.01mm），均小于 27.50（0.01mm），合格率达到 100.00%，大于 95.00%。

总结：

综上所述，贝克曼梁法检测市政道路沥青路基路面回弹弯沉的基本原理是利用弯沉仪测量标准轴载作用下的土基回弹值。根据市政道路级别和沥青路基路面材料半刚性，可以选择符合标准轴载要求的测试车和贝克曼梁。利用合规的仪器设备，沿市政道路沥青路基路面测点准确施测，记录并核算沥青路基路面弯沉值，结合弯沉代表值、平均值、标

准差与合格率验算，判定市政道路沥青路基路面强度和刚度是否达标，及时处理，保障市政道路交通安全可靠性。

参考文献：

- [1] 赵德雄. 贝克曼梁法检测路基路面回弹弯沉影响因素研究 [J]. 江西建材, 2021,(12):90-92.
- [2] 马秀丽. 道路改造工程中贝克曼梁法测试路基路面回弹弯沉的影响因素分析 [J]. 广东建材, 2021,(10):30-32.
- [3] 赵一林. 基于贝克曼梁及 FWD 比对分析的 TSD 弯沉测试质量评价 [J]. 湖南交通科技, 2023,(03):93-97.
- [4] 宋瑞嵩. 基于贝克曼梁法的高速公路路基路面强度检测方法 [J]. 西部交通科技, 2022,(06):39-43.