

市政道路路基压实度检测技术研究

文 / 李上礼 广州开发区建设工程检测中心有限公司

摘要：市政道路路基压实度检测是强化道路性能、延长其使用年限的关键，为实现上述目标，文章将结合某工程项目展开分析，在说明案例工程项目的基本信息后，分别从环刀法检测、灌砂法检测两方面入手，对该工程项目中市政道路工程的路基压实度检测技术要点展开研究，并分别说明了上述两项检测技术实施阶段的注意事项。根据案例项目的路基压实度测试结果可知，路基性能满意可以用于公路工程项目建设。

关键词：市政道路；路基压实度；环刀法检测；灌砂法检测

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.22.058

引言

市政道路作为城市交通体系的核心，其路基工程施工质量对道路承载力、使用年限等有直接影响。但从道路市政工程项目建设现状来看，在城市化全面推进的大背景下，市政道路的建设规模持续扩大、技术水平显著提升，且持续提升的交通荷载对路基压实度等提出了更高要求，为避免因为压实度不足而造成的路面开裂、路基变形等质量缺陷，需要寻找一种科学有效的路基压实度检测技术，这也是本文研究的主要目的。

一、工程概况

黄埔区临江大道（鱼珠湾隧道）建设工程包括临江大道（鱼珠湾隧道）、港前路（丰乐南路-石化南路）、港前路（丰乐南路-石化南路）北侧道路升级改造三部分，项目全长约 3.51 公里。其中临江大道（鱼珠湾隧道）全长约 1.55 公里，港前路（丰乐南路-石化南路）全长约 1.06 公里，道路等级为城市主干路，双向 6 车道，桥梁单跨 29 米，总长 58m。港前路（丰乐南路-石化南路）北侧道路升级改造项目，全长约 0.9 公里，双向 2 车道，道路等级为城市支路。建设内容包括道路工程、隧道工程、交通工程、桥梁工程、给排水工程、照明工程、电力管沟工程、绿化工程等。

二、基于市政道路工程的路基压实度检测技术要点

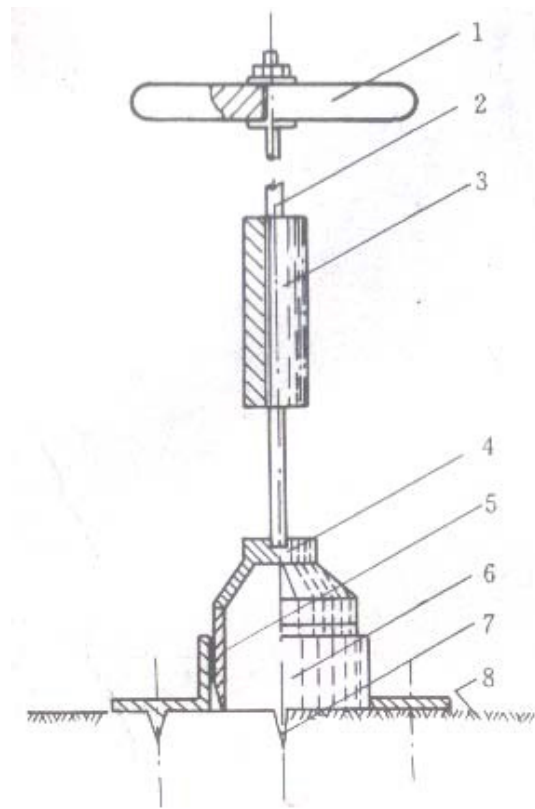
为有效消除道路施工建设阶段的质量问题，案例项目高度重视市政道路工程的路基压实度检测工作，并以《公路路基路面现场测试规程》（JTG 3450-2019）等规定为基础制定了一系列科学的检测方案。

（一）环刀法检测方法

环刀法主要适用于现场测试细粒土与龄期不超过 2d 的无机结合料稳定细粒土的密度检测，根据施工压实度计算结果可以精准评价结构层的压实质量情况。

1. 准备工作

环刀法现场检测准备工作的重点是做好仪器设备准备与现场选点，其中案例项目中所用设备为人工取土器（见图 1），包括环刀、环盖、定向筒和击实锤系统（导杆、落锤、手柄）。环刀内径 6cm ~ 8cm，高 2cm ~ 5.4cm，壁厚 1.5mm ~ 2mm。



1-手柄；2-导杆；3-落锤；4-环盖；5-环刀；6-定向筒；7-定向筒齿钉；8-试验地面

图 1 人工取土器结构

同时在现场选点时应根据规范要求（如每 1000 m² 检测 3 点），在碾压完成后的路基上随机选取测点，其中应确保测点位于结构层的中部，并注意避免压路机轮带等特殊区域。

2. 现场取样方法

在现场取样阶段，案例工程在现场相邻的两处位置作为平行试验的测试点，并根据路基不同土质分别采取不同取样技术。

其中在黏性土及无机结合料稳定细粒土密度，需先清理环刀并记录环刀重量（记为 M₂，重量精度达到 0.1g），之后即可在实验地面上清理一块面积为 30cm×30cm 的地块，并铲除表面浮动或者不平整部分；确认地表状态

满意后, 可将定向筒齿钉固定于铲平的地面上再依次放入环刀、环盖, 并使其与地面垂直。在保证导杆状态垂直的状态后, 即可用落锤将环刀打入压实层中, 其中在质量检测中应确保环刀中部被固定在压实层内约 1/2 深度^[1]。之后可去掉定向筒与石锤, 再挖出环刀及其试样。获得试样后可取下环盖并清除两端余土直至修平为止; 擦清环刀外壁用天平记录环刀与试样的合计重量(记为 M1, 精度 0.01g)。最后可从环刀中取出试样并至少提取 100g 的试样。

在砂性土或砂层密度检测中, 若现场为湿润砂土, 在测试过程中应避免使用定向筒与击实锤, 可先挖出较环刀外径略大的砂土柱, 保持环刀刃口向下, 操作者两手平稳压下环刀, 使其中部处于压实层厚约 1/2 深度位置。之后可销掉环刀口上的多余砂土再用直尺刮平, 再在环刀口上盖上平滑木板, 一手固定木板, 另一只手即可用装置切断试样并将装满试样的环刀翻转过来, 削去环刀上的多余砂土后用直尺刮平。再擦干净环刀外壁, 记录环刀与试样合计重量 (M1, 精度达到 0.01g)。

3. 室内实验步骤

在室内试验中可从环刀中取出具有代表性的土样(通常全部取出), 放入已知质量的铝盒中, 之后可立即盖紧盒盖, 防止水分蒸发; 称取重量后可打开盒盖并将其放入 110℃ 干燥箱中烘干 8h 以上, 再取出并冷却室温并测量铝盒干土重量。

4. 数据计算

数据计算过程中将严格执行相关规定检测试样湿度与干密度情况, 其计算过程如公式(1)、公式(2)所示。

$$p = \frac{4 \times (M1 - M2)}{\pi \cdot d^2 \cdot h} \quad \text{公式(1)}$$

$$p_d = \frac{p}{1 + 0.01\omega} \quad \text{公式(2)}$$

在公式(1)与公式(2)中, p 表示试样湿密度 (g/cm^3); $M1$ 表示环刀或取芯套筒与试样的合计总重量 (g); $M2$ 表示环刀或取芯套筒的重量 (g); d 表示环刀或取芯套筒直径 (cm); h 表示环刀或取芯套筒的总高度 (cm); p_d 表示试样干密度 (g/cm^3); ω 表示试样含水率 (%)。

在压实度计算中, 可使用公式(3)。

$$K = \frac{p_d}{p_c} \times 100 \quad \text{公式(3)}$$

在公式(3)中, K 表示压实度; p_c 表示击实试验得到的材料最大干密度 (g/cm^3)。

5. 环刀法检测的注意事项

在环刀法检测中, 为保证测试结果精度, 案例项目中应做好现场取样环节的质量管理要求。

(1) 环刀状态检查。在取样前应检查环刀道口完整性, 严禁使用有卷边或者明显变形情况, 其中刀口钝化或变形会导致取土时挤压土体, 使密度偏大, 因此需预防此类质量缺陷出现^[2]。

(2) 保持垂直。在环刀压入土体中时应确保环刀与碾压面保持绝对垂直, 倾斜采样可能会导致土样体积大于环刀实际体积, 计算的密度偏小。

(3) 缓慢均匀压入。在取样过程中应垂直、均匀、缓慢地敲击环盖, 让环刀平稳地切入土层, 且严禁猛烈快速击打或使用振动器, 剧烈的震动会使环刀周围的土体被挤实, 导致测得的密度偏大, 这是最常见的人为误差。

6. 环刀法检测结果

案例项目经环刀法现场检测后, 其检测结果如表 1 所示。

表 1 案例项目中环刀法检测结果

里程及位置	试样湿密度 (g/cm^3)	含水率平均值 (%)	试样干密度 (g/cm^3)	最大干密度 (g/cm^3)	压实度 (%)
K0+987、1 车道	2.08	14.8	1.81	1.88	96.3
K0+004、1 车道	2.04	13.0	1.81	1.88	96.3
K0+021、1 车道	2.04	12.3	1.82	1.88	96.8
K0+038、1 车道	2.08	14.4	1.82	1.88	96.8
K0+055、1 车道	2.08	14.7	1.81	1.88	96.3
K0+072、1 车道	2.11	14.5	1.84	1.88	97.9

根据表 1 所统计的相关数据可以认为, 经环刀法检测后市政道路路基压实度满足现场施工建设标准。

(二) 灌砂法检测方法

灌砂法适用于现场测试基层或底基层、砂石路面及路基结构的压实度, 以评价结构层的压实质量。

1. 准备工作

灌砂法准备工作中需要灌砂设备, 包括灌砂筒、标定罐(结构见图 2)与基板。

2. 现场取样与灌砂

该技术的基本测试步骤如下。

(1) 在道路工程建设现场选取一块平坦表面, 并将地块清扫干净, 避免残留杂物且面积应大于等于基底面积。

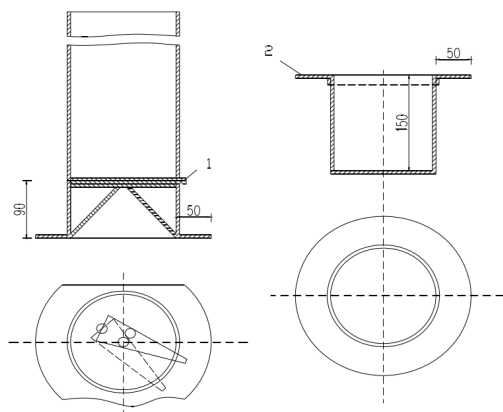


图 2 灌砂筒和标定罐

(2) 固定基板, 当表面粗糙度偏大时, 可将盛有适量砂的灌砂筒放置在对孔位上并做好标识; 再打开灌砂筒开关使砂能自然流入基板孔中直至砂不再下流; 再取下灌砂筒并称取筒内砂质量 (其称量重量精度控制在 1g)。

(3) 取走基板并收回试验地点未混入杂质的量砂再重新清扫表面。

(4) 将基板放回原位后即可沿基板中凿孔。在凿孔作业中应避免丢失凿出的材料, 并将其装入塑料袋中或大铝盒内密封, 防止水分蒸发。试洞的深度应等于测试层厚度, 但不得有下层材料混入 [3]。

(5) 从挖出的全部材料中取出有代表性试样, 再将其放在铝盒或干净瓷盘中计算含水率。在取样量的设定上, 要求小灌砂筒测试中的细粒土总量达到 100g; 中粒土的取样量应达到 500g。而在中灌砂筒测试时, 对于细粒土, 不少于 200g; 对于各种中粒土, 不少于 1000g; 对于粗粒土或水泥、石灰、粉煤灰等无机结合料稳定材料, 宜将取出的材料全部烘干, 且不少于 2000g。

(6) 将储砂筒中放满砂料后再将其安放在试坑原位上, 使下口对准基板中孔再打开灌砂筒使砂流入坑内。在上述加工环节中应不碰触灌砂筒直至装置内的砂不再下流, 再关闭开关。

(7) 取出储砂筒中的量砂用于下次试验。

(8) 取走基板并将留在试坑中未混入杂质中的砂料回收干净, 在确保坑内无残余砂料后即可回填与被测结构材料相同的填料, 再用铁锤分 3-4 层夯实固定即可。

(9) 回收的量砂烘干、过筛, 并放置 24h 以上, 使其与空气的湿度达到平衡后可以继续使用。若量砂中混有杂质, 则应废弃。

3. 室内试验与计算

砂的质量可采用公式 (4) 计算。

$$\begin{cases} \text{有基板, } mb = m1 - m4 - (m1 - m5) \\ \text{无基板, } mb = m1 - m'4 - m2 \end{cases} \quad \text{公式 (4)}$$

在公式 (4) 中, mb 表示填满试坑砂的质量 (g); $m1$ 表示灌砂前灌砂筒内砂的质量 (g); $m2$ 表示灌砂筒下部圆锥体内砂的质量 (g); $m4$ 、 $m'4$ 表示灌砂后储砂筒内剩余砂的质量 (g); $(m1 - m5)$ 表示灌砂筒下部圆锥体内及基板和粗糙表面间砂的合计质量 (g)。

材料干密度与压实度计算如上文。

4. 试验过程注意事项

灌砂法测试中, 为保证测试结果精度, 应注意以下几方面问题: (1) 天气与场地的选择影响测试结果, 其中应避免大风天气的户外操作, 避免大风吹散沙砾土而导致称量失准 [4]。(2) 挖掘试坑时要小心, 避免使坑周边土体松动, 坑壁要平整。(3) 含水量试样必须立即密封并尽快测定, 这是影响结果准确性的最关键因素之一。(4) 灌砂时速度要均匀, 始终让砂处于自由流动状态, 否则会影响密度。

5. 灌砂法检测结果

经上文提出的实验方法展开灌砂法检测后, 案例项目中灌砂法的测试结果如表 2 所示。

表 2 灌砂法压实度检测结果

里程及位置	含水率平均值 (%)	试样湿密度 (g/cm ³)	试样干密度 (g/cm ³)	最大干密度 (g/cm ³)	压实度 (%)
K1+362、左侧	4.5	2.20	2.11	2.16	97.7
K1+371、左侧	3.1	2.16	2.10	2.16	97.2
K1+372、左侧	2.9	2.14	2.08	2.16	96.3
K1+382、左侧	3.2	2.13	2.11	2.16	95.4
K1+389、左侧	3.5	2.18	2.11	2.16	97.7
K1+407、左侧	2.7	2.17	2.10	2.16	97.7

灌砂法压实度的测试结果也证明, 案例项目的路基性能满足预期, 可满足市政道路工程项目建设要求。

结语

从公路工程项目建设现状来看, 市政道路路基压实度检测技术是保障道路工程质量的关键环节, 其精准性直接关系到道路的承载能力与使用寿命, 文章基于案例工程的实际情况, 从环刀法、灌砂法两方面入手, 对其现场检测技术展开研究, 实践结果证明, 相关技术方案的可行性高, 可以为路基性能综合评价提供有益支持。未来研究中还需要积极探索智能化、自动化技术在路基压实度检测中应用的可行性, 才能牢固道路工程根基, 最终为城市交通安全、耐久提供坚实保障。

参考文献

[1] 李敏. 市政道路路基压实度检测技术探究 [J]. 建材发展导向, 2025, (16): 10-12.
 [2] 张欣. 灌砂法在公路路基压实度检测中的应用 [J]. 汽车周刊, 2025, (09): 146-148.
 [3] 岳大伟, 李林科. 灌砂法在公路路基压实度检测中的应用研究 [J]. 运输经理世界, 2025, (16): 44-46.
 [4] 赵爱慧. 市政路基压实度检测方法及压实度控制策略思考 [J]. 产品可靠性报告, 2025, (04): 74-75.
 作者简介: 李上礼, 1988 年 4 月, 男, 汉族, 广东茂名, 本科, 初级工程师, 研究方向为建筑工程检测。