

# 杭州西溪湿地绿道工程多类型路面材料耐久性对比及优化 策略研究

车紫薇

杭州园林设计院股份有限公司 浙江 杭州 310000

**【摘要】**本文以杭州西溪国家湿地公园绿道工程为研究实例，旨在探讨湿地特殊环境下多类型绿道路面材料的耐久性表现。项目秉持“因地制宜”原则，在不同地貌和功能区域分别采用了砂石路、架空混凝土仿木栈道（预制桩基础）、实铺混凝土仿木路面、印尼菠萝格桥面及MC功能性路面。通过对项目建成后两年的跟踪调研与对比分析发现，不同路面材料的耐久性表现差异显著。其中，基于预制桩基础的架空混凝土仿木栈道出现了大面积的板面开裂、断裂及基础不均匀沉降等严重病害；而印尼菠萝格桥面及采用稳定垫层基础的实铺混凝土仿木路面等则基本完好。研究深入剖析了导致架空栈道过早失效的关键因素在于基础形式与湿地软土地基的不匹配性，以及上部结构材料对不均匀沉降的低耐受性。基于此，论文提出了针对湿地环境的绿道基础形式优化、上部结构选材及施工工艺改进等一系列工程优化对策，旨在为未来同类生态敏感区域的绿道建设提供具有实践价值的技术参考和决策依据。

**【关键词】**湿地绿道；路面材料；耐久性；混凝土仿木；工程优化；西溪湿地

DOI:10.12417/2705-0998.25.19.069

## 引言

杭州西溪国家湿地公园是我国首个国家湿地公园，其典型的“水网、村落、田园、芦荡”复合生态系统，决定了其内部绿道建设必须在工程扰动、生态影响和使用功能之间达到精妙平衡。

路面是绿道系统的核心构成要素，其材料的选择、结构的设计直接关系到绿道的服务品质、安全性、景观协调性以及全生命周期的经济成本。目前，国内外学者在城市绿道路面技术方面已开展了广泛研究，成果多集中于透水铺装技术、再生骨料应用、海绵城市理念融合等方面。然而，现有研究多针对一般城市环境，对于湿地公园内普遍存在的饱和软土地基、高地下水位、强季节性干湿交替以及严格的环保要求等综合性挑战下的路面材料耐久性对比研究，尤其是对同一材料在不同基础形式下的长期性能追踪与失效机理分析，尚显不足。

本文依托西溪湿地绿道工程的丰富实践，通过对多种路面材料（砂石、两种不同基础形式的混凝土仿木、印尼菠萝格、MC材料）服役两年后的性能表现进行系统的对比分析，重点剖析了工程中出现的典型病害——架空混凝土仿木栈道的过早失效问题，探究其深层原因，并提出针对性优化策略。本研究旨在填补湿地环境下绿道路面材料耐久性实证研究的空白，为同类工程的规划设计与建设管理提供科学指导。

## 1 工程概况与路面材料应用方案

### 1.1 西溪湿地工程环境特点

西溪湿地地处杭州西部，属亚热带季风气候，区域内水网密布，河港、池塘、湖漾、沼泽星罗棋布。其工程地质环境具有以下典型特征：

**软弱地基：**地表普遍分布厚度不均的淤泥质粉质黏土、淤泥等，具有含水率高、压缩性高、承载力低、灵敏度高等特点，是典型的不良工程地质地基。

**高地下水位：**地下水位常年处于地表以下0.5-1.5米，对路基的稳定性和路面材料的抗水损能力提出了极高要求。

**生态敏感性：**植被繁茂，生物多样性丰富，任何大规模的开挖、填筑和压实作业都可能对原生生态系统造成不可逆的破坏。

### 1.2 绿道“因地制宜”的材料布局

为应对复杂的工程环境并实现生态影响最小化，项目设计团队采取了“因地制宜、一处一策”的材料应用方案。

**耕地属性内——砂石路：**在保留的农耕区域，为维持土地原有的生态功能和透水性，采用了级配砂石铺设路面。此方案优点是生态干扰小、成本低廉、与田园风光高度协调。

**较窄田埂路——架空混凝土仿木栈道：**在宽度仅1-1.5米的狭窄田埂上，为避免开挖破坏田埂结构和两侧植被，采用了架空方案。上部结构为预制的混凝土仿木板，基础采用小型机械即可施工的预制混凝土方桩。此方案旨在以“点式”基础最小化对土地的占用和扰动。

**较宽田埂路——实铺混凝土仿木：**在宽度大于2米的田埂或陆地区域，施工条件相对便利，采用了实铺方案。即在经过适当处理的原地基上铺设级配碎石垫层和混凝土垫层，再铺设混凝土仿木面层。

**人行桥——印尼菠萝格：**跨越河港的人行桥梁，桥面系统选用了高档硬木——印尼菠萝格。该木材质地坚硬、密度高、天然抗腐蚀性极强，无需额外化学防腐处理，能很好地适应湿

地高湿度的环境。

**跑步功能区——MC 材料路面：**在部分人流量大、定位为健康跑道的区域，采用了专业的 MC 高弹性复合材料路面。该材料能提供优良的冲击吸收和防滑性能，提升跑步者的舒适度和安全性。



图 1 西溪湿地绿道不同路面材料分布示意图

## 2 多类型路面耐久性现状对比与评价

项目建成并投入使用两年后，我们对各路段进行了详细的现场勘查和性能评估。

### 2.1 评价方法

本次评价主要采用现场目视检查与拍照记录相结合的方法，重点评估指标包括：路面平整度、结构稳定性（有无沉降、位移）、面层完好度（有无开裂、破损、剥落）、接缝状况以及使用功能满足度等。

### 2.2 架空混凝土仿木栈道（预制桩基础）的破损分析

架空混凝土仿木栈道是本次调研中发现病害最严重的路面类型，其完好率不足 30%。

**现象描述：**主要病害表现为：（1）板面断裂与开裂：大量预制板出现横向或纵向的贯穿性断裂，或呈现网状的龟裂纹。（2）接口严重错台：相邻两块板之间出现明显的高差，形成安全隐患。（3）结构倾斜与失稳：部分路段整体向一侧倾斜，桩基出现位移和沉降。这些病害严重影响了栈道的通行功能和景观效果，并带来了安全风险。



图 2 架空混凝土仿木栈道严重破损照片

**原因剖析：**经过深入分析，我们认为其过早失效是基础、结构和材料作用下的系统性问题，其中基础形式选择不当是根本原因。

**基础因素：**预制桩在西溪湿地的软土地基中存在天然的“水土不服”。首先，小型预制桩长度有限，桩端很可能未能穿透软弱土层到达稳定的持力层，主要依靠桩侧摩阻力承载，承载力储备不足。其次，软土地基的固结沉降和次固结沉降在后期仍会持续，导致桩基发生长期的不均匀沉降。当沉降差异超过上部结构所能承受的极限时，结构破坏便不可避免。

**结构与材料因素：**混凝土仿木板本质上是小尺寸的预制混凝土薄板，其优点是外观逼真、免维护，但缺点是脆性大、抗弯拉能力弱。当桩基发生不均匀沉降时，栈道板被强迫置于受弯甚至受剪状态，板内产生的拉应力远超混凝土的抗拉强度，从而导致其开裂甚至断裂。

**施工工艺限制：**在狭窄的田埂上，小型打桩设备难以保证桩的垂直度和桩位的精确性，施工偏差进一步加剧了后期荷载传递不均和不均匀沉降的风险。

### 2.3 其他路面材料的耐久性表现

**实铺混凝土仿木：**与架空栈道形成极其鲜明的对比，实铺的混凝土仿木路面除个别接缝有轻微破损外，整体平整、稳定，完好率超过 95%。其成功的原因在于，坚实且连续的垫层将荷载均匀地扩散到地基上，有效避免了应力集中和不均匀沉降，充分发挥了混凝土材料抗压性强的优势。



图 3 实铺混凝土仿木路面完好状况照片

**印尼菠萝格桥面：**经受住了两年的风雨考验，桥面木板无明显开裂、腐朽和变形，仅表面颜色因日晒而自然变为银灰色，结构稳固，展现出优异的耐久性和环境适应性。



图 4 印尼菠萝格桥面状况照片

**砂石路与 MC 材料路面：**砂石路基本保持了其生态功能，

但部分路段因雨水冲刷和行人踩踏出现材料流失和坑洼，平整度下降，需要定期补充和整平，后期养护成本较高。MC 材料跑道弹性良好，使用反馈极佳，表面无老化、脱粒现象，功能性表现优异。



图 5 砂石路建成即可与 2 年后状况对比照片

## 2.4 耐久性综合对比

为直观展示各方案的优劣，我们从多个维度进行了综合对比评价。

表 1 多类型路面耐久性综合对比评价表

材料类型	基础形式	初期投资	耐久性表现	维护成本	生态影响
混凝土仿木	混凝土垫层实铺	约 930 元/ $m^2$	好	低	中
混凝土仿木	预制桩架空栈道	约 2700 元/ $m^2$	差	中	中
印尼菠萝格	预制桩架空栈道	约 2500 元/ $m^2$	中	中	低
MC 材料	混凝土垫层实铺	约 650 元/ $m^2$	好	中	中
砂石路	垫层压实实铺	约 500 元/ $m^2$	差	中	低

## 3 湿地绿道路面工程优化对策与建议

基于以上对比分析，尤其是对架空栈道失效案例的深刻反思，我们提出以下工程优化对策。

### 3.1 针对架空栈道破损问题的优化方案

在湿地环境中，架空结构作为保护生态的有效手段仍有其应用价值，但必须进行系统性优化。

基础形式优化：

采用螺旋桩：螺旋桩是一种通过旋转压入土中的桩型，施

工过程无振动、无噪音、少扰动，其承载力可通过扭矩实时监控，非常适合在生态敏感的软土地基中使用。

采用小直径静压桩或灌注桩：在施工空间允许的情况下，采用能穿透软土层、将荷载传递至深部稳定土层的桩基形式，是保证长期稳定性的根本。

基础梁/板结构：在桩顶设置连续的混凝土基础梁或小型承台板，将上部荷载更均匀地传递给桩基，并增强结构的整体性，以抵抗不均匀沉降。

上部结构与材料优化：

材料替代：考虑采用韧性更好、重量更轻的材料替代混凝土仿木板，如高性能的木塑复合材料（WPC）、玻璃纤维增强塑料（FRP）格栅板或型材。这些材料对基础的微小变形具有更好的适应性。

结构改进：若仍需使用混凝土仿木，应从设计上进行改良。例如，增加板的厚度和配筋率，提高其抗弯能力；或采用更小尺寸的板材，并设置更多、更灵活的铰接缝，以“柔性”适应变形而非“刚性”抵抗。

## 4 结论与展望

### 4.1 主要结论

本研究通过对杭州西溪湿地绿道工程多种路面材料的长期性能对比，得出以下主要结论：

在湿地软土地基环境下，路面系统的耐久性高度依赖于其基础形式的合理性。采用稳定垫层的实铺路面结构表现出远优于采用预制桩点式基础的架空结构。

架空混凝土仿木栈道的过早、大面积失效，其根本原因在于预制桩浅基础在软土中难以避免的不均匀沉降，与上部脆性混凝土板材之间存在致命的力学不匹配。这是一个典型的系统设计失误，而非单一材料的缺陷。

### 4.2 不足与展望

本研究主要基于定性的现场观察与分析，缺乏长期的、定量的沉降观测和材料性能衰减数据，这是未来需要加强的方向。展望未来，建议在湿地公园的建设和运维中，建立关键路段的长期健康监测系统，积累宝贵的实测数据。同时，可开展针对湿地环境的新型轻质、高强、耐腐蚀复合材料的应用研究，构建更为科学、完善的湿地绿道路面技术体系和选材决策支持系统，以更好地服务于国家公园和生态廊道的建设。

## 参考文献：

- [1] 易舜,张定邦,王罗晓轩,等.废弃建筑材料在绿道建设中的应用[J].湖北理工学院学报,2022,38(04):55-58.
- [2] 李元忠,郝军,郑军.LQFM 防滑路面材料工艺在园林绿化项目中的应用价值[J].山东林业科技,2023,53(05):102-105.
- [3] 陈晗,刘俊琴.双组分彩色陶瓷颗粒沥青混凝土路面在城市绿道中的应用[J].工程技术研究,2020,5(14):136-137.