

双排桩支护在河防工程上的应用

孙 雷

中交（西安）铁道设计研究院有限公司 陕西 西安 710061

摘 要：在河岸防护中，浸水挡墙在河流长期的冲蚀下，由于地基不稳定而造成支挡结构变形破坏。受冲刷深度影响，基础往往埋置较深，给施工带来诸多困难，已成为工程设计和施工中日益重要的关键问题。双排桩支护结构可视为一种由两排桩构成的、具有空间稳定性的门架式框架体系，桩间采取对土体的有效利用以及桩之间的相互作用机制，极大的释放空间协同效应，展现出显著的抗侧向刚度优势，实现形变幅度的有效控制。本文以某铁路为研究背景，阐述了桩基托梁挡墙结构体系在河防工程中的实践应用，通过弹性地基梁理论与有限元数值模拟技术开展力学性能分析，研究显示该加固工程对边坡侧向位移及冲刷侵蚀具有显著的约束效应，避免了施工中河道深挖的困扰。

关键词：河岸防护；浸水挡墙；双排桩托梁；控制变形；河道深挖

1 前言

铁路沿线过程中经常会遇到河流、湖泊等流域，而随着高铁的不断发展，河流日积月累的冲刷、侵蚀对附近铁路造成了极大的安全隐患，引起了建设主管部门的重视；因此，铁路附近河岸防护工程在设计阶段已成为重中之重。

在河岸防护中，往往以混凝土护坡、浸水挡墙最为常见，但对于铁路百年工程，浸水挡墙在河流长期的冲蚀下，由于地基不稳定而造成支挡结构变形破坏也时有发生；在施工过程中，受冲刷深度影响，基础往往埋置较深，给施工带来诸多困难，所以，对于铁路而言，一般的浸水挡墙已捉襟见肘、略显不足，如何做到既安全稳定、合理经济，同时又不影响到周边环境破坏和污染，已成为工程设计和施工中日益重要的关键问题。

双排桩支护结构可视为一种由两排桩构成的、具有空间稳定性的门架式框架体系，桩间采取对土体的有效利用以及桩之间的相互作用机制，极大的释放空间协同效应，展现出显著的抗侧向刚度优势，实现形变幅度的有效控制，目前主要应用于深基坑支护和大型滑坡的治理中。

在双排桩支护结构的研究分析领域，当前主要依赖以下三种计算方法及理论

- ① 经典土压力理论为基础的极限平衡分析法
- ② Wenkler假定框架下的弹性地基梁理论
- ③ 数值分析方法

三种计算理论，数值分析方法能够全面考虑桩与土之间的相互作用以及桩与桩之间的空间影响效应，能够模拟复杂环境下的地基变形趋势，计算结果更为切合实际。

本文以某铁路为研究背景，阐述了桩基托梁挡墙结

构体系在河防工程中的实践应用，通过弹性地基梁理论与有限元数值模拟技术开展力学性能分析，研究显示该加固工程对边坡侧向位移及冲刷侵蚀具有显著的约束效应，避免了施工中河道深挖的困扰。

2 工程案例

2.1 工程概况

1) 某铁路桥梁墩台距离某河道最近15m，根据桥梁水文资料：设计流量 $Q_{100} = 3206\text{m}^3/\text{s}$ ，设计流速 $V_p = 2.5\text{m/s}$ ，后期冲刷深度较深，对墩台存在安全隐患。

2) 地层主要为第四系全新统冲积砂质黄土、粉土、细圆砾土，下伏白垩系下统砂岩。砂质黄土具Ⅱ级（中等）自重湿陷性。

2.2 工程措施

1) 根据现场地形地貌及周边环境条件，若采取浸水挡墙，根据冲刷深度，基础需要埋置5m深，开挖将会影响整个河道，且施工效果不理想，为减少河道深挖，有效控制河流的冲刷影响，采用双排桩托梁挡墙结构支护体系（具体详见图1）。

2) 双排桩托梁挡墙采用钻孔灌注桩，桩间距2.5m，桩沿线路方向间距4.0m。灌注桩采用C40混凝土灌注，桩直径1.0m，桩长11m。钻孔桩桩顶设冠梁，冠梁高度为1.5m，宽度4.5m，采用C40钢筋混凝土浇筑。

3) 挡土墙高度5.0~6.0m，采用C40混凝土浇筑，挡墙胸、背坡坡率1:0.30，基础置于托梁上。

4) 桩基之间及内侧设高压旋喷桩防冲刷止水帷幕，桩径0.8m，间距0.6m，桩长7m，采用二重管法施工。

5) 挡土墙外设临时草袋围堰隔水，草袋围堰断面形式采用梯形，高3m，上宽1.5m，迎水侧边坡坡率1:1.5，背水侧1:1.0。

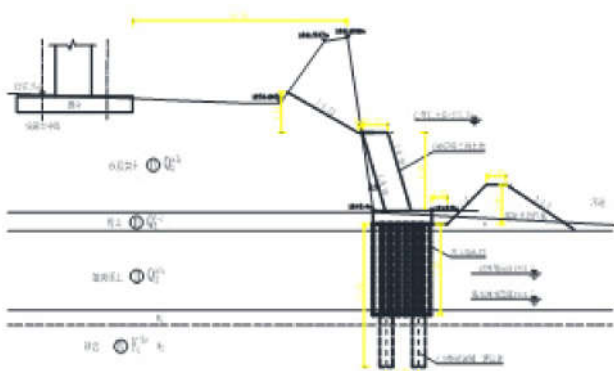


图1 双排桩基托梁典型断面

3 计算分析

3.1 浸水挡土墙计算

挡土墙采用库伦土压力计算分析，墙背岩土参数： $\varphi = 35.0^\circ$ 、 $r = 19.00\text{kN/m}^3$ 、 $r_b = 12.00\text{kN/m}^3$ ，地基参数： $f = 0.40$ 、 $\sigma_0 = 400.0\text{kpa}$ ，计算所得墙后主动土压力 $E_a = 98\text{kN/m}$ ，破裂角 $\theta = 42^\circ$ ，对应墙后水平土压力 $E_x = 98 \times 0.74 = 73\text{kN/m}$ 。在以下分析方法中，支护结构上的水平集中力取 $73 \times 1.2 = 88\text{kN/m}$ 。

3.2 弹性地基梁法

设计采用单排桩与双排桩分别进行分析计算，根据受力变形确定布置形式：

1) 根据水文资料，假设冲刷深度影响范围为5.5m（即开挖深度5.5m），按单排桩（ $\phi 1\text{m}@4\text{m}$ ）考虑时，冲刷深度按临空考虑，其结构受力等同于悬臂状态（图2），滑面处最大位移高达24.3mm，最大承受的弯矩约为 $1991\text{kN} \cdot \text{m}$ 。由此可知，单排桩受力时，桩顶和滑动面处的变形较为明显，远超出规范地面处桩水平位移不宜大于10mm的要求。

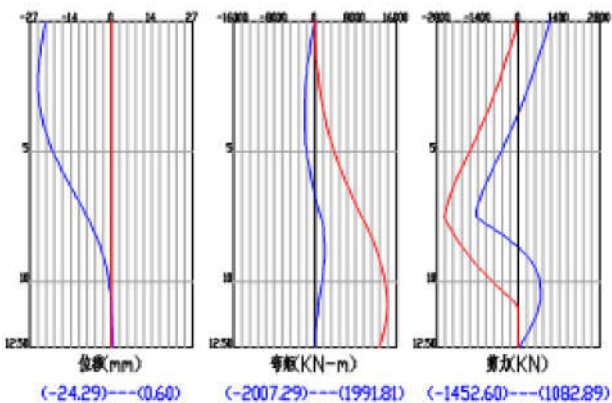


图2 单排桩位移、弯矩及剪力

2) 根据双排桩的结构力学分析及计算结果可以看出（图3），前排桩的最大位移出现在桩顶以下大约4.5米处，位移量约为10.3mm，而后排桩的最大位移则出现在桩

顶，位移量约为4.5mm。桩身的变形得到了有效控制，并且符合规范的要求。

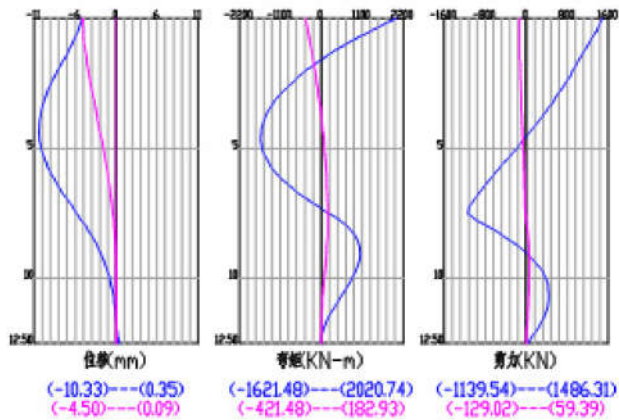


图3 双排桩位移、弯矩及剪力

双排桩通过桩顶的钢筋混凝土冠梁起到连接作用，使其共同发挥作用，但其结构受力变化较大，前排桩弯矩峰值约为 $2020\text{kN} \cdot \text{m}$ ，而后排桩的弯矩峰值约为 $183\text{kN} \cdot \text{m}$ ，相差约11倍。

3) 弹性地基梁法能够全面考虑桩与土、桩与桩之间的相互作用，但在处理桩与桩之间的空间效应以及河流对桩的冲刷影响方面则显得力不从心。

3.3 Midas数值模拟分析

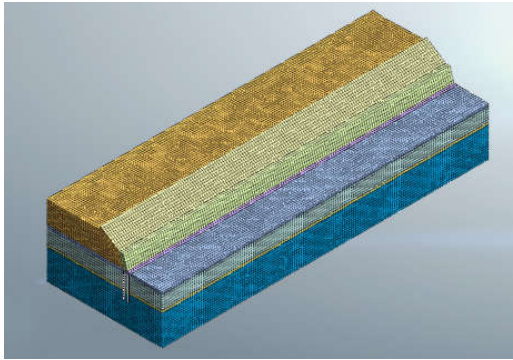


图4 三维有限元模型

采用数值模拟分析，可以切实模拟较为复杂条件下的受力变形分析。图4为本工程的数值模拟分析模型，土、体本构关系采用 Mohr - Coulomb 屈服准则，桩基采用梁单元模拟。

通过计算，前排桩最大水平位移位于桩顶下4.3m处，约为9.9mm，而后排桩的最大位移在桩顶处，最大位移为4.2mm；最大弯矩峰值约为 $1995\text{kN} \cdot \text{m}$ ，后排桩最大弯矩峰值在桩顶处约为 $179\text{kN} \cdot \text{m}$ ，相差约11倍。

3.4 稳定验算

1) 整体稳定性采用瑞典条分法， $K_s = 1.91 > 1.25$ ，满足规范要求。

2) 抗管涌稳定安全系数($K \geq 1.5$):

$$1.5\gamma_0 h' \gamma_w \leq (h' + 2D)\gamma'$$

式中: γ_0 ——侧壁重要性系数;

γ' ——土的有效重度(kN/m^3);

γ_w ——地下水重度(kN/m^3);

h' ——地下水位至基坑底的距离(m);

D ——桩(墙)入土深度(m);

$K = 3.177 \geq 1.5$, 满足规范要求。

3.5 结果比较

从上述结论可以看出, 弹性地基梁法和数值模拟分析法在计算双排桩问题时, 桩身结构受力分布形式及数值都非常接近, 这表明这两种方法在分析双排桩问题是合理且可行的, 但在复杂条件下, 建议采用数值模拟分析法对双排桩结构进行研究, 以便更深入、准确地反映双排桩结构体系的工作机理。

4 结语

总结以上分析, 双排桩加固形式在河堤冲刷防护中的应用是可行的, 通过详细的分析和比较, 我们主要得

出以下结论:

1) 双排桩较排桩一种抗侧刚度较大的结构形式, 且整体稳定性更好。

2) 前排桩的结构受力与后排桩有着明显差异, 前排桩受力是后排桩的11倍。

3) 双排桩属于悬臂结构, 其门式刚架结构与桩间土体形成一个整体, 抗侧刚度较大, 相对单排悬臂桩具有较强的抗倾覆能力, 能有效地控制基坑侧向变形。

4) 工程应用实例证明: 双排桩支护结构解决了本工程难题, 且取得了良好的支护效果, 对进一步研究双排桩的工作性能及工程应用提供了实践依据。

参考文献

- [1]周裕利,张远华.双排桩基坑支护结构设计方法及工程应用[J].广州建筑,2013,41(05):37-42.
- [2]滕忠华.边坡支护中双排桩结构的计算分析[J].福建建设科技,2009,(04):17-18+16.
- [3]李戈.黄土地区深基坑双排桩支护结构设计方法及变形规律研究[D].西安科技大学,2018.