

基于 MARC 的桥梁改扩建工程桩基加固方案对比研究

吾仁巴特

(新疆维吾尔自治区交通建设管理局 项目执行一处, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 以某桥梁改扩建工程为背景, 采用 MARC 数值模拟软件, 对分别改变桩侧注浆参数、桩基数量、桩基长度、桩基直径 4 种桩基加固方案的效果进行数值模拟分析。结果表明, 4 种方案对桩基沉降的控制效果排序为改变桩基数量>改变桩基直径>改变桩基长度>改变桩侧注浆参数; 最佳桩基加固方案为桩基采取双桩布置形式, 桩基长度从原设计 15.0 m 增加至 20.0 m, 桩基直径保持原设计方案 1.5 m 不变; 由于注浆加固质量难以控制, 注浆加固方案不可取; 在新旧桥梁拼接前采取静置或堆载预压方式消除新旧桥梁基础的沉降变形差异, 加固施工完成 365 d 后, 桩基累积沉降量小于 2 mm, 符合规范和设计要求。

关键词: 桥梁; 桩基加固; 沉降控制; 改扩建; MARC 数值模拟

中图分类号: U445.6

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2024)02-0118-04

随着汽车保有量的持续增加, 一些道路桥梁很难满足日益增长的出行需求, 很多重要路段出现不同程度的交通拥堵, 对社会经济发展和人们出行造成严重影响, 道路改扩建成为当前基础设施建设的一个重点^[1-2]。相对于普通路面改扩建, 桥梁改扩建的技术难度更大, 是道路改扩建的重中之重^[3-4]。由于既有桥梁在经过多年运营后地基土固结已基本完成, 桩基沉降变形基本保持稳定, 进行桥梁改扩建, 新建桩基与原有桩基之间势必产生沉降差, 且随着时间增长沉降差增大, 如果控制不好新桩基的沉降变形及与既有桩基的沉降变形差, 会引起新旧桥梁拼接部位开裂。因此, 有必要对改扩建桩基进行加固处理^[5-7]。本文采用数值模拟+现场监测方式, 模拟分析分别改变桩侧注浆参数、桩基数量、桩基长度、桩基直径 4 种桩基加固方案的沉降控制效果, 从中优选最佳加固方案, 为类似桥梁改扩建设计、施工提供借鉴。

1 工程背景

某桥梁长 367.04 m, 全桥分为八联 24 孔(预制梁 18 孔+现浇预应力梁 6 孔), 上部结构为装配式预应力混凝土空心板+预应力混凝土连续箱梁, 下部结构为柱式桩基础。桥面原设计宽度为 24.0 m, 原设计桩基长度为 15.0 m、直径为 1.5 m。桥址区地质条件复杂, 主要以第四系松散岩类(砂土和风化

砂岩)为主。由于当地私家车数量逐年增多, 上下班高峰期该桥拥堵严重。为缓解这一现象, 对该桥进行改扩建, 由原来的 24.0 m 宽度扩建为 $2 \times 21.35 \text{ m} = 42.7 \text{ m}$ 宽度双幅八车道桥梁。

2 模型建立与沉降控制方案设计

2.1 数值模型

采用 MARC 数值模拟软件对不同桩基加固方案的沉降控制效果进行对比分析。在构建数值模型时, 将顺桥向、横桥向和桩基础方向分别设置为模型的 X、Y、Z 方向, 模型计算宽度取 10 倍桩基直径、深度取桩底往下 20.0 m。模型中各土层参数取值见表 1。

表 1 数值模型中各土层参数取值

| 土层 | 湿重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$) | 压缩模 量/MPa | 内摩擦 角/(°) | 黏聚 力/kPa | 极限摩阻 力/kPa |
|-----------|---|--------------|--------------|-------------|---------------|
| 素填土 | 18.6 | 3.85 | 16.8 | 33.0 | 35 |
| 砂土 | 19.2 | 4.27 | 17.5 | 35.0 | 45 |
| 细砂 | 19.5 | 4.65 | 16.5 | 39.0 | 48 |
| 强风化 砂岩 | 19.7 | 5.12 | 13.1 | 47.4 | 80 |
| 中风化 砂岩 | 19.9 | 5.66 | 15.4 | 48.0 | 100 |

模型采用实体单元网格,部分区域进行加密处理,网格尺寸从桩基础到模型边界逐渐增大。桥梁基础、桩侧土体分别采用弹性模型和弹塑性模型模拟,模型底部对 X、Y、Z 方向进行约束,模型四周对 X、Y 方向进行约束,模型四周可以在竖向自由移动^[8-13]。

2.2 基础沉降控制方案

模拟分析分别改变桩侧注浆参数、桩基数量、桩基长度、桩基直径 4 种桩基加固方案的沉降控制效果。其中:改变桩侧注浆参数包括不注浆、注浆 1~4 共 5 种工况,将桩基础土层简化为 3 层,每层注浆后岩层参数见表 2;改变桩基数量包括单桩、双桩和三桩 3 种工况,采取双桩布设时桩间距为 3.00 m,采取三桩布设时桩间距为 2.83 m;改变桩基长度包括 15 m、18 m、20 m、22 m、25 m 5 种工况;改变桩基直径包括 1.5 m、1.8 m、2.0 m、2.2 m、2.5 m 5 种工况。数值模拟几何模型见图 1。

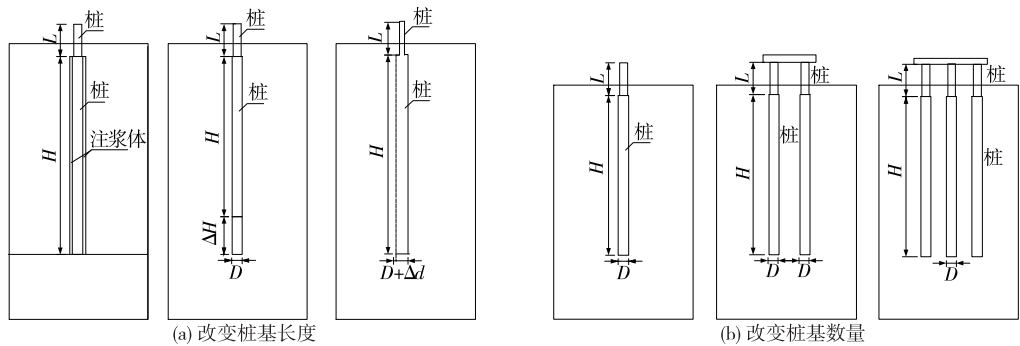


图 1 不同桩基加固方案的数值模拟几何模型

2.3 计算过程

- (1) 根据桥址区地质参数和桩基设计参数,利用 MARC 数值模拟软件模拟不同桩基加固方案下极限承载力。
- (2) 根据极限承载力计算桩基承载力。
- (3) 将桩基承载力作为控制荷载,利用数值模拟软件计算不同加固工况下桩基沉降量 S_b 。
- (4) 扣除桥梁上部恒载,计算桩基的恒载沉降量 S_h 。
- (5) S_b 减去 S_h , 得到桩基沉降预测值 S_d 。根据新旧桥梁拼接部位混凝土应力和应变特性,要求新旧桥梁桩基之间的沉降变形差 ≤ 5 mm。

3 模拟结果分析

3.1 桩侧注浆的沉降控制效果

不同桩侧注浆参数下桩基沉降控制效果见

表 2 不同注浆方案下岩层参数

| 注浆方案编号 | 土层 | 内摩擦角/(°) | 黏聚力/kPa | 弹性模量/MPa | 泊松比 |
|--------|------|----------|---------|----------|------|
| 方案 1 | 土层 1 | 28 | 28 | 35 | 0.22 |
| | 土层 2 | 32 | 33 | 45 | 0.22 |
| | 土层 3 | 33 | 37 | 420 | 0.22 |
| 方案 2 | 土层 1 | 30 | 30 | 40 | 0.22 |
| | 土层 2 | 35 | 35 | 50 | 0.22 |
| | 土层 3 | 35 | 40 | 440 | 0.22 |
| 方案 3 | 土层 1 | 33 | 33 | 45 | 0.22 |
| | 土层 2 | 38 | 38 | 55 | 0.22 |
| | 土层 3 | 37 | 43 | 460 | 0.22 |
| 方案 4 | 土层 1 | 35 | 35 | 50 | 0.22 |
| | 土层 2 | 40 | 40 | 60 | 0.22 |
| | 土层 3 | 39 | 45 | 480 | 0.22 |

图 2。由图 2 可知:采取注浆措施控制桩基沉降时,恒载沉降变形基本不变,不受注浆参数的影响,而控制荷载沉降变形和预测沉降变形均随着注浆参数的提高而降低。未注浆情况下,桩基的沉降预测值为 7.3 mm,采取注浆方案 1~4 加固后,桩基沉降变形预测值分别降至 4.5 mm、4.2 mm、3.9 mm、3.6 mm,降低幅度分别为 38.4%、42.5%、46.6%、

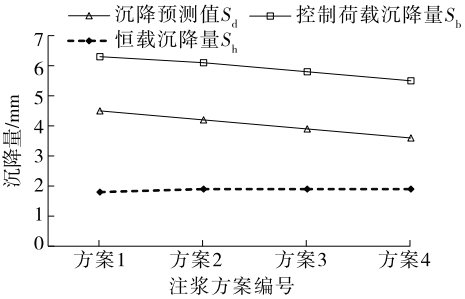


图 2 不同桩侧注浆方案下桩基沉降变形控制效果对比

50.7%, 桩侧注浆加固方案对桩基沉降的控制效果较明显。桩侧注浆可以提升岩体力学性质, 增强桩基的极限承载力和桩侧摩阻力, 其中桩侧摩阻力的提升效果较明显, 从而降低桩基沉降变形。但注浆质量难以控制, 且注浆造价较高。

3.2 改变桩基数量的沉降控制效果

不同桩基数量下桩基沉降控制效果见图 3。从图 3 可以看出: 桩基的恒载沉降量、控制荷载沉降量、沉降预测值均随着桩基数量的增加而减小。采用单桩时, 桩基的沉降预测值为 5.5 mm; 采用双桩时, 桩基的沉降预测值降至 3.4 mm, 比单桩时降低 38.2%, 且沉降变形量小于桩侧注浆方案 4 下的沉降变形量; 桩基数量由双桩增加至三桩时, 沉降预测值降至 2.8 mm, 比双桩时降低 17.6%, 桩基沉降变形有所减小, 但效果不再明显。考虑到工程建设成本, 建议采用双桩布设方案。

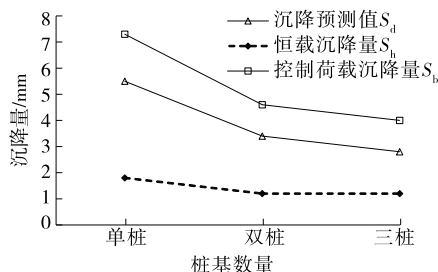


图 3 不同桩基数量下桩基沉降变形控制效果对比

3.3 改变桩基长度的沉降控制效果

不同桩基长度下桩基沉降变形控制效果见图 4。从图 4 可以看出: 荷载沉降变形量随着桩基长度的增加而降低并最终趋于稳定, 桩基长度超过 20 m 时, 恒载沉降变形量不再随桩基长度增长而变化。控制荷载沉降量和沉降预测值随桩基长度增加而减小, 桩基长度为 15~18 m 时, 桩基的沉降变形预测值变化不大, 从 5.2 mm 降至 5.1 mm; 桩基长度达到 20 m 时, 沉降控制效果逐渐明显; 桩基长度分别为 20 m、22 m、25 m 时, 沉降预测值分别降至

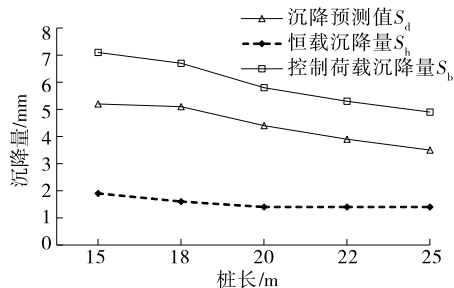


图 4 不同桩基长度下桩基沉降变形控制效果对比

4.4 mm、3.9 mm、3.5 mm, 与原设计桩基长度 15 m 相比, 沉降预测值分别降低 15.4%、25.0%、32.7%。因此, 应将桩基长度至少延长至 20 m。

3.4 改变桩基直径的沉降控制效果

不同桩基直径下桩基沉降变形控制效果见图 5。由图 5 可知: 桩基直径对桩基沉降变形的影响较大, 桩基沉降量随着桩基直径的增大而减小, 但桩基直径增加至一定值后, 沉降变形降低幅度逐渐变缓, 桩基直径超过 2 m 后, 沉降预测值的降低幅度已很小。原设计 1.5 m 桩基直径下, 沉降预测值为 5.6 mm, 无法满足基础沉降控制在 5 mm 范围内的要求; 将桩基直径分别增大至 1.8 m、2.0 m、2.2 m、2.5 m 时, 桩基沉降预测值分别降至 4.5 mm、3.8 mm、3.4 mm、3.3 mm, 降低幅度分别为 19.6%、32.1%、39.3%、41.1%。将桩基直径扩大至 2.0 m, 桩基沉降变形控制效果较好。

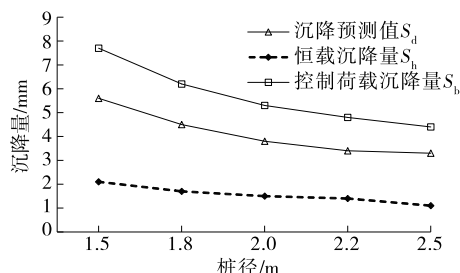


图 5 不同桩基直径下桩基沉降变形控制效果对比

3.5 加固方案对比

综上, 4 种桩基加固方案对桩基沉降的控制效果排序为改变桩基数量>改变桩基直径>改变桩基长度>改变桩侧注浆参数。增大桩基直径可以获得较好的沉降控制效果, 但会导致与原桩基形成异径桩的问题, 不利于抗震。采取桩侧注浆虽然可在一定程度上控制桩基沉降变形, 但注浆质量难以控制, 且注浆造价较高。综合比较, 最终确定对桩基数量和桩基长度进行一定修正, 采用桩基直径为 2.0 m 的双桩布置方案进行桥梁改扩建。

4 应用结果

改扩建施工完成后, 随机选取 2 个断面 (K、M) 的 4 根桩基 (K-1、K-2、M-1、M-2) 进行为期 365 d 沉降变形监测, 监测桩位见图 6, 沉降监测结果见图 7。

从图 7 可以看出: 扩建桩基的沉降变形整体上可以划分为加速沉降—减速沉降—稳定沉降 3 个阶段, 施工完成 300 d 时, 桩基的累积沉降量基本达到

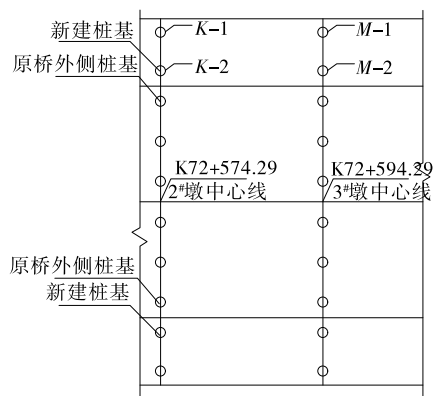


图6 监测桩位示意图

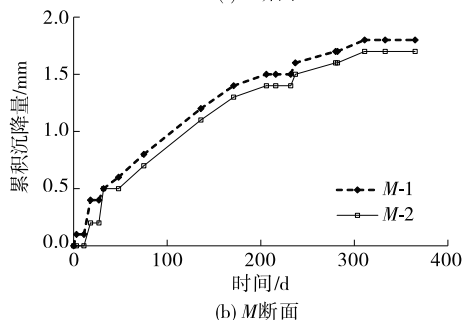
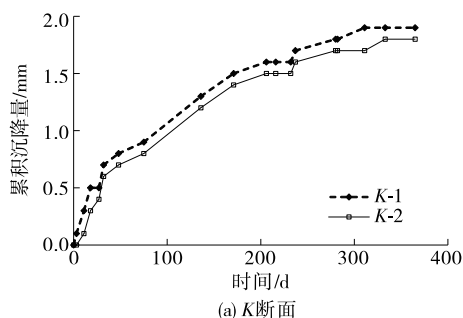


图7 加固处理后桩基沉降监测结果

恒定状态, K-1、K-2、M-1、M-2 桩基在施工完成365 d 时的累积沉降量分别为 1.9 mm、1.8 mm、1.8 mm、1.7 mm, 均小于 5 mm 的沉降变形控制要求。

扩建桥梁桩基在自质量作用下必然会产生一定沉降变形, 除优化设计参数外, 施工过程中还可以在旧桥梁拼接前通过静置或堆载预压等措施使新建桩基提前完成一部分沉降变形, 从而减小桩基沉降差。

5 结论

(1) 桩基沉降变形控制效果排序为改变桩基数

量>改变桩基直径>改变桩基长度>改变桩侧注浆参数, 综合施工、经济等因素考虑, 确定采用桩基直径为 2.0 m 的双桩布置方案进行桥梁改扩建。所有桩基的工后 365 d 沉降变形量均小于 2 mm, 桩基沉降变形控制效果良好。

(2) 可在拼接前采取静置或堆载预压的方式提前完成一部分桩基沉降变形, 减小新旧桥梁桩基工后沉降差。

参考文献:

- [1] 何柏青, 曾利文, 李嘉明. 基于多因素限制条件下中线偏移的高速公路改扩建路线方案[J]. 广东公路交通, 2023, 49(2): 6-10.
- [2] 杨美汪. 改扩建公路路基路面设计分析[J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46(5): 85-87.
- [3] 高子翔. 十车道高速公路连续桥梁段改扩建交通组织方案研究[J]. 公路与汽运, 2021(6): 51-54.
- [4] 孙宁, 高鹏, 康健. 高速公路改扩建项目既有空心板桥的拼宽计算分析[J]. 中外公路, 2019, 39(5): 111-114.
- [5] 陈德绍, 朱勇. 大型桥梁改扩建工程桩基沉降控制技术探讨[J]. 西部交通科技, 2022(12): 101-104.
- [6] 李秋阳. 梁桥加宽桩基础沉降差控制技术分析[J]. 工程技术研究, 2021(17): 185-187.
- [7] 杨红全, 祝隆中, 贾献卓, 等. 新旧拼宽桥梁结构容许沉降差研究及控制[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2015, 11(1): 128-131.
- [8] 林法平. 基于有限元模型的高速公路改扩建桥梁拼接施工关键点分析[J]. 福建交通科技, 2022(7): 84-87.
- [9] 刘雄, 李立锋, 周侨, 等. h 形抗滑桩室内模型试验研究[J]. 公路与汽运, 2023(1): 64-68+74.
- [10] 姚庆, 苗通, 武隽, 等. 考虑桩-土相互作用的高架桥抗震性能研究[J]. 公路与汽运, 2023(3): 127-131.
- [11] 刘庆舒, 谢昔奎, 陈改霞. 基于 3DE 的桩基工程三维建模程序开发研究[J]. 水电站设计, 2023, 39(4): 53-56.
- [12] 张旭. 黄土冲沟区域桥梁桩基横轴向荷载下的承载特性分析[D]. 西安: 长安大学, 2012.
- [13] 黄云, 唐咸远, 杨鉴生. 考虑差异沉降的互通式立交桥改扩建设计探讨[J]. 西部交通科技, 2015(1): 28-32.

收稿日期: 2023-03-21