

高速铁路桥梁群桩基础补桩方案研究

吴宏杰

(中国铁路设计集团有限公司, 天津市 300000)

摘要: 受地质条件、作业环境、施工水平等因素影响,在铁路桥梁桩基施工过程中废桩现象偶有发生,从而严重影响基础施工进度和质量。以某高速铁路群桩基础为例,研究了在不同位置补1根桩、同侧补2根桩、以基础中心为对称点对称补2根桩等不同补桩方案对基础配筋、桩长、整体受力、基础刚度和单桩承载力等指标的影响,并结合现场实际情况,确定了以废1补2对称补桩方案为最优补桩方案;同时提出了补桩设计的基本思路 and 注意事项,为后续类似情况提供借鉴。

关键词: 高速铁路桥梁;群桩基础;摩擦桩;断桩;补桩

中图分类号: U443.15

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)02-0291-04

Research on Pile Filling Scheme for Pile Group Foundation of High-speed Railway Bridge

WU Hongjie

(China Railway Design Group Co., Ltd., Tianjin 300000, China)

Abstract: Affected by geological condition, working environment, construction level and other factors, the phenomenon of abandoned pile occurs occasionally in the construction process of railway bridge pile foundation, which seriously affects the progress and quality of foundation construction. Taking a pile group foundation of a high-speed railway as an example, the effects of different pile filling schemes, such as one pile filling at different positions, two piles filling on the same side, and two piles filling symmetrically with the center of the foundation, on the indexes of foundation reinforcement, pile length, overall force, foundation stiffness and bearing capacity of single pile are studied. And based on the actual situation on site, it is determined that the symmetrical pile filling scheme of "waste 1 and fill 2" will be the optimal pile filling scheme. At the same time, the basic ideas and precautions of pile filling design are put forward, which provides reference for the following similar situations.

Keywords: high-speed railway bridge; pile group foundation; friction pile; broken pile; filling pile

0 引言

钻孔灌注桩基础在高速铁路桥梁基础中被大量使用,其施工工艺和技术水平已相当成熟^[1]。但是,受地质条件复杂多变、施工作业人员素质参差不齐、施工管理和混凝土供应水平不同等多方面因素影响,缩孔、钻孔漏浆、卡钻、塌孔等现象偶有发生,导致断桩或桩身强度不足,在桩检时不能满足要求而形成废桩^[2-3]。

当前,对废桩的处理措施通常有旁位补桩和原位重筑2种方案^[4]。原位重筑需要将已浇筑的桩身混凝土凿除并重新浇筑,常常因施工风险较高且时

间不可控,一般在工期较紧时不作为备选方案^[5]。旁位补桩是在废桩附近或者合适位置补充1至2根桩基,对基础进行补强的一种措施^[6-8]。本文结合工程实际重点,研究了不同补桩方案对桥梁基础受力和刚度的影响,为后续工程施工及设计中遇到的类似问题提供一些思路 and 解决措施。

1 补桩的基本思路及原则

补桩设计通常是在部分桩基已施工完成的情况下,因无法通过调整桩长、桩径、桩间距来满足基础承载力、刚度及沉降的要求,而需要选择合适位置增加桩基根数对基础进行补强。补桩设计一般应满足以下几点要求:

(1)补桩设计应尽量保持原来的桩基布置形式。为保证基础刚度不被削弱,通常在原桩基外侧选择

收稿日期: 2025-06-08

作者简介: 吴宏杰(1990—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

合适位置进行补桩,且后补桩与原桩基桩间距应满足《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10093—2017)中的相关要求,钻(挖)孔灌注摩擦桩的中心距不应小于2.5倍设计桩径,钻(挖)孔灌注桩的中心距不应小于2倍设计桩径^[9]。

(2)考虑到部分桩基已施工完成,补桩后桩基单桩承载力不应有较大增长,以保证已施工桩满足配筋、桩长及单桩承载力要求。

(3)补桩后,新的群桩基础桩长、桩基配筋不应大于原设计值,且其纵横向刚度、沉降均能满足设计要求。

(4)为减小补桩对原桩基的受力影响,后补桩应能更多承担外荷载。

(5)补桩设计应关注承台刚性角的变化,必要时需适当加高承台或增加承台配筋,并综合考虑因承台加大引起的自重荷载加大所造成的单桩承载力增大问题。

2 工程实例分析

2.1 工程概况

某高速铁路特大桥,72号墩位于 $R=8\,000\text{ m}$ 的曲线上,两侧均为32 m箱梁(通桥(2016)2322A-II-1),桥墩为圆端形实体墩,墩全高9.5 m,桩基采用8-1 m矩形布置,设计桩长45.5 m,桩基配筋按照构造配筋,配筋面积为 43.2 cm^2 。施工单位已完成1、2、5号桩施工,在灌注6号桩基础时,由于混凝土供应不及时造成断桩,需要进行补桩设计。桩基布置见图1;基础所处地质情况见表1。

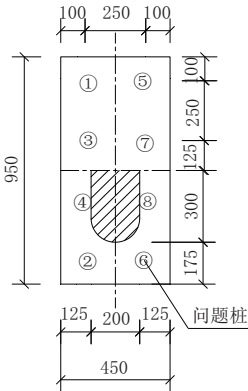


图1 桩基布置图(单位:cm)

2.2 补桩方案研究

2.2.1 补桩方案

结合断桩位置及桩基布置情况,提出了在断桩附近纵向补1根桩、在断桩附近横向补1根桩、在断

表1 基础所处地质情况

序号	土层名称	土层厚度/m	基本承载力/kPa	压缩模量/MPa
1	粉土	3.5	150	17.8
2	粉质黏土	8.1	150	12.1
3	细砂	5.0	210	17.4
4	粉质黏土	9.1	180	20.0
5	细砂	4.8	300	20.0
6	粉质黏土	3.5	220	23.0
7	细砂	1.3	300	25.3
8	粉质黏土	9.1	220	20.0
9	细砂	5.2	300	26.2
10	粉砂	2.9	200	22.3

桩附近同侧纵向补2根桩、纵向对称补2根桩、横向往对称补2根桩这5种方案。

补桩方案布置图见图2。

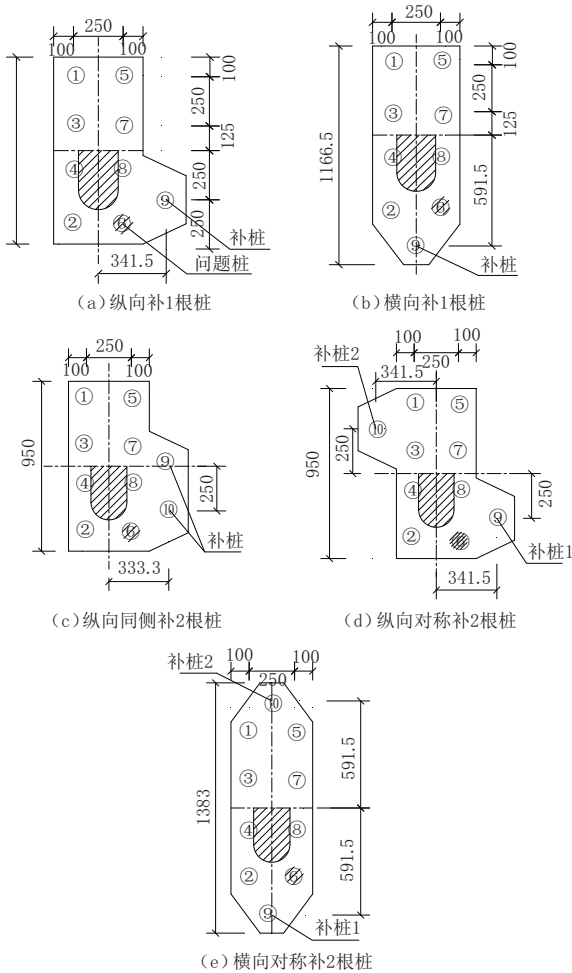


图2 补桩方案布置图(单位:cm)

2.2.2 根据基础刚度变换坐标系

当基础全部为竖直构件且对称时,基础坐标原点 o 设于对称轴上。当诸构件的 p_1 (p_1 为当承台沿构件轴线方向产生单位位移时所引起的构件顶面处轴向力)不相等(如各构件平面位置不对称)时,坐标原点 o 设于诸 p_1 的合力处^[8]。以纵向对称补2根桩和

纵向同侧补 2 根桩这 2 种方案为例,对补桩后基础原点及单桩承载力的变化情况进行分析研究。

纵向对称、纵向同侧补 2 根桩方案的基础中心坐标及桩基坐标见表 2、表 3。

表 2 纵向对称补桩方案基础中心坐标及桩基坐标

桩号	桩基坐标		单桩承载力/kN	新的基础坐标原点	
	x	y		x'	y'
1	-1.111	3.333	2 395	-0.139	0.417
2	-1.111	-4.167	3 387	-0.139	0.417
3	-1.111	0.833	2 726	-0.139	0.417
4	-1.111	-1.667	3 056	-0.139	0.417
5	1.389	3.333	2 494	-0.139	0.417
7	1.389	0.833	2 825	-0.139	0.417
8	1.389	-1.667	3 155	-0.139	0.417
9(补桩)	3.554	-2.917	3 406	-0.139	0.417
10(补桩)	-3.237	2.083	2 475	-0.139	0.417

表 3 纵向同侧补桩方案基础中心坐标及桩基坐标

桩号	桩基坐标		单桩承载力/kN	新的基础坐标原点	
	x	y		x'	y'
1	-1.870	3.611	3 506	0.62	0.139
2	-1.870	-3.889	4 021	0.62	0.139
3	-1.870	1.111	3 677	0.62	0.139
4	-1.870	-1.389	3 849	0.62	0.139
5	0.630	3.611	2 326	0.62	0.139
7	0.630	1.111	2 541	0.62	0.139
8	0.630	-1.389	2 712	0.62	0.139
9(补桩)	2.795	-0.139	1 642	0.62	0.139
10(补桩)	2.795	-2.639	1 814	0.62	0.139

表 4 不同补桩方案的基础计算情况

补桩方案	计算桩长/m	控制桩号	单桩承载力/kN	单桩容许承载力/kN	配筋面积/cm ²	墩顶水平线刚度/(kN·cm ⁻¹)		基础刚性角/(°)	
						纵向	横向	纵向	横向
原设计	45.5	1	3 820	3 853	43.20	465	1 597	21.5	33.3
纵向补 1 根桩	46.5	1	3 943	3 945	43.20	648	1 451	56.9	33.3
横向补 1 根桩	50.0	5	4 235	4 249	65.97	345	1 433	21.5	70.7
纵向同侧补 2 根桩	47.5	2	4 021	4 025	43.20	686	1 258	56.9	33.3
纵向对称补 2 根桩	41.5	9(补桩 1)	3 406	3 471	43.20	850	1 598	56.9	33.3
横向对称补 2 根桩	41.5	9(补桩 1)	3 445	3 471	43.20	444	2 367	21.5	70.7

由表 4 可见:

(1)纵向补 1 根桩方案中,控制桩号为 1 号桩,桩基单桩承载力较原基础形式有一定程度增大,桩长较原设计增加了 1.0 m。在已有桩基施工完成的情况下,不满足补桩要求。

(2)横向补 1 根桩方案中,桩长、配筋面积及单桩承载力均有较大程度增加,且对纵向刚度削弱较大,已不满足设计规范要求,不能作为补桩方案。

(3)纵向同侧补 2 根桩方案中,受基础中心与外力中心偏位的影响,桩长较原设计增加 2 m,同样不

群桩基础中心坐标为:

$$x' = \frac{\sum_{i=1}^n P_{li} x_i}{\sum_{i=1}^n P_{li}} \tag{1}$$

$$y' = \frac{\sum_{i=1}^n P_{li} y_i}{\sum_{i=1}^n P_{li}} \tag{2}$$

则单桩的新坐标为:

$$x = x_o - x' \tag{3}$$

$$y = y_o - y' \tag{4}$$

由表 2、表 3 可知,采用纵向对称补 2 根桩方案,新的基础中心与外力中心偏位为 0.439 m;采用纵向同侧补 2 根桩方案,新的基础中心与外力中心偏位为 0.635 m;前者比后者小 0.196 m。因此,采用纵向对称补桩方案因偏位造成的附加弯矩较小,更有利于基础受力。

从单桩承载力计算结果看,采用纵向对称补桩方案,后补 2 根桩基共承担了群桩总合力的 22%;同侧补桩方案承担了群桩总合力的 13.2%,说明采用纵向对称补桩能够更多地分担上部结构传递的外力。所以,无论是从因补桩造成基础重心与外力中心偏位的角度,还是在承担外力比例角度来看,采用纵向对称补桩方案,在基础受力上均更有利。

2.2.3 补桩基础整体研究

对几种补桩方案的基础受力、桩基配筋及基础纵横刚度整体情况进行计算^[8-13],结果见表 4。

能满足要求。在此也验证了上述同侧纵向补 2 根桩方案会引起基础中心与外力中心偏位过大,导致附加弯矩增大的问题。

(4)纵向对称补 2 根桩和横向对称补 2 根桩方案中,桩长、桩基配筋、单桩承载力以及纵横刚度都能满足原设计要求。但是,考虑到横向对称补桩方案中横向刚性角增大较多,对承台受力不利,因此不将其作为最优补桩方案。

综合以上计算结果可知,在满足原桩基桩长和桩基配筋不变的情况下,需按照废 1 补 2 的原则进行

补桩;同时,为减少基础中心变化造成桥墩中心与基础中心偏位较大产生附加弯矩,补桩位置应以原基础中心为对称点进行对称补桩。结合本工点情况,为减少补桩对刚性角的影响,以纵向对称补2根桩为最优补桩方案。考虑到承台还未施工,为减小纵向刚性角过大对承台的影响,将承台厚度增加到2.5 m,并根据计算情况调整承台配筋,将承台纵向钢筋N2直径由20 mm调整为28 mm,钢筋根数由94根调整为174根,按照2根1束布置。

3 补桩总结及注意事项

(1)补桩位置通常选在原群桩基础外围,需结合补桩后对基础刚性角影响最小的原则,选择群桩基础的纵向或横向进行补桩。

(2)对于摩擦桩基础,补桩一般需按照废1补2的原则,以原基础中心为对称点进行补桩设计。

(3)对于摩擦桩基础,后补桩与原设计桩桩间距一般按照不小于2.5倍桩径进行布置,应尽量减小与原桩基的距离,以减少因承台增大引起的附加荷载增大。

(4)施工单位应加强技术管理,加强过程控制,严格按照技术规范要求组织施工,减少因人为原因造成的废桩风险。

(5)基础布置受地质条件、墩高、纵横向刚度、沉降等多种条件控制,一旦出现废桩,施工单位严禁私自补桩。应上报建设、监理及设计单位,经设计检算确认后,按照设计提供的位置进行补桩。

4 结 语

(1)该实例所属铁路已建成通车,通过对基础及

桥墩监测,墩顶纵向位移为5.36 mm、基础工后沉降8 mm,均能满足《铁路桥涵设计规范》(TB 10002—2017)中的相关要求,证明补桩设计方案是合理的。

(2)施工单位在桥梁基础施工过程中应加强质量管理,减少人为因素和施工不当造成的废桩风险,给现场施工工期及施工成本造成不必要的损失。现场情况往往复杂多样,当出现废桩情况时,需要综合考虑,以确定经济合理、安全的处理方案。希望本文能为类似工程情况处理提供一些思路和借鉴。

参考文献:

- [1] 赵冠刚.群桩基础补桩方案探讨[J].铁道标准设计,2010(12):65-66.
- [2] 项俊杰,胡少华.桩基工程缺陷补桩施工技术研究[J].建筑技术开发,2023,50(6):32-34.
- [3] 邵世恩.桥梁工程施工中桩基加固技术研究[J].运输经理世界,2021(4):112-113.
- [4] 马凤伟.铁路桥梁群桩桩基基础补桩施工技术浅谈[J].铁道建筑技术,2013(增刊2):8-10.
- [5] 肖德斌.浅析桥梁钻孔灌注桩断桩处理实例[J].湖南水利水电,2022(1):19-20.
- [6] 郭建平.桥梁工程桩基加固技术应用[J].交通建设与管理,2024(2):98-100.
- [7] 陈海涛,马远刚,吕曹炯,等.既有铁路桥梁桩基检测与病害加固处治[J].世界桥梁,2024,52(2):120-126.
- [8] TB 10093—2017 铁路桥涵地基和基础设计规范[S].
- [9] 郑辉.客运专线铁路桥梁桩基础补桩方案研究[J].铁道勘察,2015,41(6):88-90.
- [10] JGJ 94—2018 建筑桩基技术规范[S].
- [11] 王强斌,王苏,唐亚东,等.铁路桥梁桩基补桩后受力性能研究[J].市政技术,2024,42(7):153-160.
- [12] 张晓华,唐亚东,李伟超,等.高铁桥梁补桩后桩基沉降数值模拟[J].工程质量,2024,42(10):26-30.
- [13] 张华.基于m法的桥梁柔性群桩基础计算研究[J].铁道建筑技术,2024(10):138-141;192.