

# 炎陵高速沔渡河桥互通 A 匝道桥桩基静载试验

冯星

湖南省交通建设质量监督检测有限公司

DOI:10.32629/btr.v9i1.5034

**[摘要]** 桩基静载试验是评价桩基承载力最直接可靠的方法,针对炎陵高速公路沔渡河互通A匝道桥3-2号桩基,采用反力梁锚杆法开展了现场竖向抗压静载试验,并对试验结果进行了分析讨论。结果表明:在最大试验荷载7936kN作用下,桩顶最大沉降为28.102mm,卸载回弹率达54.7%;荷载-沉降曲线呈缓变型特征,未出现明显破坏迹象。依据相关规范综合判定,该桩基竖向抗压极限承载力不小于7936kN,满足设计要求。试验验证了反力梁锚杆法在大吨位桩基检测中的适用性,也为类似地质条件下桩基设计与检测提供了重要参考。

**[关键词]** 桩基工程; 静载试验; 反力梁锚杆法; 荷载-沉降曲线; 承载力评价

**中图分类号:** U443.15 **文献标识码:** A

## Static Load Test on Pile Foundations of Ramp A at Meandu River Interchange on Yanmu Expressway

Xing Feng

Hunan Communications Construction Quality Supervision and Inspection Co., Ltd.

**[Abstract]** Static load test of pile foundation is the most direct and reliable method for evaluating the bearing capacity of pile foundation. For pile foundation No. 3-2 of Miandu River Interchange A Ramp Bridge on Yanmu Expressway, a vertical compressive static load test was carried out on site using the reaction beam anchor method, and the test results were analyzed and discussed. The results showed that under the maximum test load of 7936kN, the maximum settlement of the pile top was 28.102mm, and the unloading rebound rate reached 54.7%; The load settlement curve shows a gradual deformation characteristic, with no obvious signs of damage. According to relevant regulations, the vertical compressive ultimate bearing capacity of the pile foundation is not less than 7936kN, which meets the design requirements. The experiment verified the applicability of the reactive beam anchor method in the detection of large tonnage pile foundations, and also provided important references for the design and detection of pile foundations under similar geological conditions.

**[Key words]** pile foundation engineering; Static load test; Reaction beam anchor method; Load settlement curve; Capacity evaluation

### 1 引言

桥梁桩基础因桩-土相互作用机理复杂,理论计算常与实际情况存在差异,因此现场静载试验成为确定桩基承载力最可靠的方法。静载试验通过模拟桩顶受荷测定荷载-沉降关系。反力梁锚杆法具有结果直观、反力稳定、适用于大吨位加载等优势,在桩基静载试验检测中广泛应用。为验证桩基承载力,对具有代表性的炎陵高速沔渡河桥互通A匝道桥3-2号桩基进行了竖向抗压静载试验。本文介绍反力梁锚杆法试验实施过程,并对试验结果进行分析,旨在为类似工程提供技术参考。

### 2 工程概况与地质条件

#### 2.1 工程概况

炎陵高速公路沔渡河互通A匝道桥上部结构采用3×20m预应力混凝土空心板,先简支后桥面连续;下部结构为柱式墩,采用钻孔灌注桩基础。

本次静载试验桩基设计桩径1.5m,桩长23m,桩端置于全风化花岗岩层中,按摩擦桩设计。该桩混凝土浇筑完成后养护时间已超过28天,混凝土强度达到设计要求。静载试验前,已对该桩进行了超声波透射法检测,检测结果表明桩身完整性良好,被评定为I类桩。

#### 2.2 地质条件

根据工程地质勘察报告,试验桩基场区地貌类型为丘陵,地形相对平坦,地面标高在264.40~269.00m之间。地层结构自上

而下依次为: (1)种植土层: 厚度约0.3m。(2)粉质粘土层: 厚度约5.50m, 褐红色, 硬塑状态, 含约5%的中粗砂颗粒。该层土质相对均匀, 具有一定的强度, 但厚度较薄, 不是桩基的主要持力层。(3)全风化花岗岩层: 厚度大于34.70m, 灰黑色夹灰白色, 原岩结构清晰可辨, 但已完全风化成土状或砂土状, 岩芯呈中密~密实状态。矿物成分以石英、长石为主, 其中石英含量约占60%, 长石约30%。该层是桩基的主要持力层, 其工程特性对桩基承载性能起决定性作用。

全风化花岗岩表现为结构松散、遇水易软化崩解、承载力低、变形模量小。但是在天然含水量状态下, 该地层具有非常高的强度, 能够提供可观的桩侧摩阻力。如果地下水浸泡或雨水渗透该土层时, 桩侧摩阻力下降, 导致桩基承载力不足。桩基承载力需要考虑这种特性, 也是本次试验需要验证重点内容。

### 3 试验装置

#### 3.1 反力梁锚杆系统设计

本次试验采用“反力梁”法提供加载反力, 该系统由反力梁、拉地锚杆、加载装置和变形测量装置四部分组成。反力梁系统由两根主梁正交叠加组成, 主梁采用型钢焊接, 具有足够的强度和刚度。拉地锚杆系统是承受反力装置的核心, 每主梁段布设8根锚杆, 共布设32根锚杆。锚杆材料选用 $\Phi 32$ 精轧螺纹钢, 具有强度高、连接可靠的特点。锚杆长度分为两种规格: 1-16号锚杆总长25m(埋深20m, 地面以上5m), 17-32号锚杆总长26.5m(埋深20m, 地面以上6.5m)。

加载装置采用两台800t千斤顶并联工作, 通过高压油泵统一控制。千斤顶与桩头之间设置刚性垫板, 铺设砂层, 确保荷载均匀传递。荷载测量通过精密压力表实现, 压力表精度等级为0.2MPa, 并按照千斤顶标定曲线将油压值转换为荷载值。

#### 3.2 锚杆施工关键技术

锚杆制作采用 $\Phi 32$ 精轧螺纹钢, 锚杆使用前须进行抽样和试拉试验, 合格后方可应用。钻孔孔径为150mm, 钻孔精度要求孔底偏斜度不大于锚杆长度的3%, 孔深不小于20m。锚杆注浆采用P.032.5水泥拌制水泥砂浆, 水灰比0.38~0.45, 浆体强度不低于25MPa, 强风化岩层可适当加大水灰比以充填裂隙。采用底部进浆法, 进浆管距孔底0.5m, 止浆塞位于孔口下0.5m, 注浆压力0.5~1.0MPa, 边注边缓慢拔管。

#### 3.3 桩顶处理与测量系统

为保证桩顶在高压下不被压坏, 对桩头进行了专门加固处理, 凿除桩顶浮浆至新鲜密实混凝土面, 绑扎2-3层加密钢筋网, 并与桩身主筋可靠连接, 最后用高强度等级水泥砂浆抹平压实。桩顶处理后的标高比试验基坑地面高60cm以上, 为安装加载和测量装置提供了足够空间。

沉降测量系统采用4个大量程百分表, 对称布置在桩顶直径方向。百分表安装在独立的基准梁上, 基准梁一端固定在基准桩上, 另一端自由伸缩, 有效隔离了温度变化和地面振动对测量结果的影响。荷载测量通过标定好的千斤顶油压换算得到, 测量系统在试验前进行了全面的检查和校准。

## 4 试验方法

### 4.1 加载方法

采用慢速维持荷载法, 即逐级加载, 每一级荷载达到相对稳定后, 再加下一级荷载, 直至破坏, 然后卸载至零。

### 4.2 慢速维持荷载法

①加载总量要求: 本次试验加载总量根据设计院提供的数据, 3-2号桩基试验荷载为 $2 \times 3968 = 7936\text{kN}$ 。②荷载分级: 按试桩的预计最大试验加载力等分为10级进行逐级等量加载。③测读桩沉降的间隔时间(1)每级加载的观测时间规定为: 每级加载完毕后按15、30、45、60min测读桩顶沉降量; 以后每隔30min观测一次; (2)试桩沉降相对稳定标准: 每级加载下沉量, 在最后30min内如不大于10倍0.01mm时即可认为稳定; (3)当桩顶沉降达到相对稳定标准时, 再施加下一级荷载。④加载终止条件。(1)总位移量大于或等于40mm, 本级荷载下沉量大于或等于前一级荷载下沉量的5倍时, 加载即可终止, 取终止时荷载小一级的荷载为极限荷载; (2)总位移量大于或等于40mm, 本级荷载加上后24h未达稳, 加载即可终止, 取此终止时荷载小一级的荷载为极限荷载; (3)施工过程中的检验性试验, 一般加载应继续到桩的2倍设计荷载为止, 如果桩的总沉降量不超过40mm, 及最后一级加载引起的沉降不超过前一级加载引起沉降的5倍, 则该桩可予以检验。⑤卸载规定。每级卸载值为加载增量的2倍, 按5级进行卸载。

## 5 试验结果与分析

### 5.1 主要试验数据

试验获得的主要数据如图1所示, 可以看出在最大试验荷载7936kN作用下, 桩顶最大沉降量为28.102mm。卸载至零后, 残余沉降为12.725mm, 总回弹量为15.377mm, 回弹率达到54.7%, 表明桩-土体系具有较好的弹性恢复能力。

### 5.2 荷载-沉降关系分析

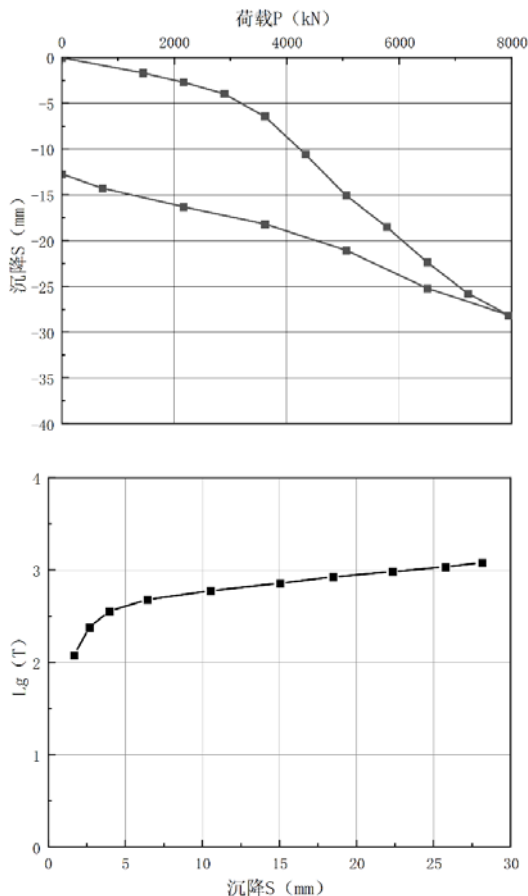
图1给出了该桩的荷载-沉降(P-S)曲线, 该曲线具有以下显著特征: (1)随着荷载的增加, 沉降逐渐增大, 但每级荷载下的沉降增量基本保持在同一数量级, 未出现急剧增大的现象; P-S曲线形态呈现缓变型, 且光滑连续, 无明显拐点或陡降段。(2)初始阶段(0-3000kN)曲线斜率较小, 沉降增长缓慢, 主要反映桩身弹性压缩和浅层土体变形。中间阶段(3000-6000kN)曲线斜率略有增加, 沉降增长加快, 对应于桩侧摩阻力的充分发挥和深层土体的塑性变形。最终阶段(6000-7936kN)曲线斜率未继续增大, 反而趋于平缓, 表明在接近最大试验荷载时, 桩基的承载性能仍保持稳定。

### 5.3 承载力判定与安全评价

单桩竖向抗压极限承载力可按下列方法综合确定: (1)根据沉降随荷载变化的特征确定, 也即对于陡降型P-S曲线, 取陡降段起点对应的荷载值。但本次试验P-S曲线为缓变型, 无陡降段, 故此方法不适用。(2)根据沉降随时间变化的特征确定, 也即取S-lgt曲线尾部明显向下弯曲的前一级荷载值。但本次试验的S-lgt曲线(图2)未出现明显向下弯曲的特征。(3)根据沉降量确定: 对于缓变型P-S曲线, 可取S=40mm对应的荷载值。但本次试

验最大沉降仅28.102mm, 小于40mm。(4)根据最大试验荷载法确定:当桩基未达到极限状态时,取最大试验荷载值为极限承载力。这是本次试验适用的判定方法,综合以上分析,3-2号桩基在7936kN荷载作用下工作状态正常,未达到极限破坏状态。因此,该桩的竖向抗压极限承载力 $Q_u \geq 7936\text{kN}$ 。

从安全角度评价,试验荷载已达到设计荷载的2倍,桩基仍保持稳定,表明实际承载力有较大的安全储备。考虑到全风化花岗岩遇水软化的潜在风险,设计中已留有足够的安全系数,本次试验结果进一步验证了设计的安全合理性。



## 6 讨论

### 6.1 地质条件对承载性能的影响分析

桩基所处场区地质条件对桩基承载性能有重要影响,全风化花岗岩作为主要持力层,在天然状态下表现出良好的工程性质。从P-S曲线的形态可以推断,桩侧摩阻力随着荷载的增加而逐步增加。初始阶段沉降较小,说明浅层土体(粉质粘土)提供了一定的摩阻力。随着荷载增大,深层全风化花岗岩的摩阻力开始发挥作用,由于该地层在天然状态下强度较高,能够提供可观的侧摩阻力,这是桩基承载力较高的主要原因。

对于摩擦桩,桩端阻力通常占总承载力的比例较小。从沉降数据看,在最大荷载下总沉降仅28.102mm,且回弹率较高,表明桩端尚未产生显著的刺入变形,桩端阻力的发挥有限。这也符合摩擦桩的荷载传递机理。

全风化花岗岩遇水软化的特性在本次试验中未显现,因为试验期间天气干燥,地层处于天然含水量状态。但这一特性提醒我们,在长期使用过程中,如果地下水位升高或地表水渗入,地层强度可能降低,桩侧摩阻力可能下降。因此,在桩基设计和安全评估中,必须考虑这一最不利情况。

### 6.2 试验技术的适用性评价

反力梁法在本次试验中表现出良好的适用性,32根锚杆组成的反力系统成功承受了近8000kN的上拔力。采用的跟管钻进和压力注浆技术有效解决了这一问题,确保了锚杆的锚固质量。这一经验可为类似地质条件下的锚杆施工提供参考。采用独立基准梁的沉降测量系统有效隔离了环境干扰,获得的沉降数据连续、可靠。总体而言,反力梁法在大吨位桩基静载试验中具有直观明显优势。

## 7 结束语

本文通过对炎陆高速公路沔渡河互通A匝道桥3-2号桩基的竖向抗压静载试验,可以得出以下主要结论:

(1)采用的反力梁锚杆加载系统设计合理,施工质量可靠,成功实现了7936kN大吨位加载;严格执行慢速维持荷载法确保了试验数据的准确性和可靠性。针对全风化花岗岩地层特点采用的跟管钻进和压力注浆技术,为类似地质条件下的锚杆施工提供了成功经验。(2)在最大试验荷载7936kN作用下,桩顶最大沉降28.102mm,卸载回弹率达54.7%,荷载-沉降曲线呈缓变型特征,未出现破坏迹象,表明该桩基在实际工作荷载下将表现出良好的变形控制和稳定性。(3)3-2号桩基竖向抗压极限承载力不小于7936kN,满足设计及规范要求,表明桩基承载力有较大的安全储备。(4)本次试验验证了全风化花岗岩在天然状态下的良好工程性质,但是也需关注其遇水软化存在的潜在风险,在桩基长期性能评估中,应考虑地下水变化对承载力的可能影响。

## 【参考文献】

- [1]《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106-2014)[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [2]《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T3650-2020)[S]北京:人民交通出版社,2020.
- [3]《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG3363-2019)[S]北京:人民交通出版社,2019.
- [4]刘金砺.桩基工程技术进展[M].北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [5]谢鹏,董天文,郑颖人,等.单桩静载试验的桩顶沉降稳定收敛特征研究[J].地下空间与工程学报,2022,18(4):1276-1283.
- [6]曹文昭,杨志银,王雪阳.大直径超长桩静载试验中试桩-锚桩相互影响分析[J].工业建筑,2022,52(9):206-213.
- [7]宋威.全风化花岗岩地区桥梁灌注桩成桩质量研究[J].铁道建筑技术,2023(10):45-49.

## 作者简介:

冯星(1977--),男,汉族,河南信阳人,硕士研究生,职称:高级工程师,从事的研究方向:桥梁隧道检测咨询。