

# 自锚试桩等效转换计算插件在桩基检测工程中的应用与验证

寿焯玲\*, 董小英, 张哲伦

浙江省地球物理技术应用研究所有限公司, 浙江 杭州

收稿日期: 2026年4月14日; 录用日期: 2026年5月7日; 发布日期: 2026年5月13日

## 摘要

现阶段, 现代信息技术持续推动基础工程信息化转型, 而BIM核心建模软件Revit存在桩基族库单一、缺少计算模块的局限性, 难以满足复杂基础与新型试桩的建模——计算一体化应用需求。基于自锚试桩法适用高承载力桩基检测的工程实际要求, 本文依托自主研发的自锚试桩 $Q-s$ 曲线等效转换计算插件, 结合实际工程案例开展验证和对比分析, 系统探究该插件在自平衡试桩的适用性, 为BIM技术应用于桩基检测工程提供参考, 助力基础工程信息化高质量发展。

## 关键词

Revit, 二次开发, 参数化建模, 桩基检测

# Application and Verification of Self-Anchored Test Pile Equivalent Conversion Calculation Plug-In in Pile Foundation Detection Engineering

Yeling Shou\*, Xiaoying Dong, Zhelun Zhang

Zhejiang Institute of Geophysical Technology Application Research Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

Received: April 14, 2026; accepted: May 7, 2026; published: May 13, 2026

## Abstract

At this stage, modern information technology continues to promote the information transformation of foundation engineering. However, the BIM core modeling software Revit has the

\*通讯作者。

文章引用: 寿焯玲, 董小英, 张哲伦. 自锚试桩等效转换计算插件在桩基检测工程中的应用与验证[J]. 建模与仿真, 2026, 15(5): 40-48. DOI: 10.12677/mos.2026.155069

limitations of single pile foundation family library and lack of calculation module, which is difficult to meet the modeling-calculation integration application requirements of complex foundation and new test pile. Based on the practical engineering requirements of the self-anchored pile test method for high-capacity pile foundation detection, this paper relies on the self-anchored pile  $Q$ - $s$  curve equivalent conversion calculation plug-in, and combines the actual engineering cases to carry out verification and comparative analysis. The applicability of the plug-in in the self-balanced test pile is systematically explored, which provides a reference for the application of BIM technology to the pile foundation detection project, and helps the high-quality development of foundation engineering information.

## Keywords

Revit, Redevelopment, Parametric Modeling, Pile Foundation Detection

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

目前,传统试桩法是最常用、技术最成熟确定单桩承载力的方法[1]。而现阶段随着桩基础朝着大承载力方向发展,对桩基进行静载荷载试验取得极限承载力越来越困难[2]。因此,提出了一种新的试桩理论——自锚试桩法[3]。同时,计算机辅助设计技术在建筑工程设计与生产实践中的深度应用已成为行业发展趋势[4][5]。因此,基于自锚试桩二段转换法[6],开发了自锚试桩  $Q$ - $s$  曲线等效转换为传统试桩  $Q$ - $s$  曲线的计算插件。为了拓展自锚试桩  $Q$ - $s$  曲线转换插件的适用范围,对自平衡试桩的  $Q$ - $s$  曲线进行等效转换。本文深入讨论自锚试桩  $Q$ - $s$  曲线转换插件在自平衡试桩工程检测中的应用,根据试验桩参数,创建自平衡试桩参数化模型,并将试验数据分别通过自锚试桩转换插件、自平衡试桩简单转换法[7]和精确转换法[8]计算得到了自平衡试桩参数化模型以及等效转换后的  $Q$ - $s$  曲线,并与传统静载荷试桩  $Q$ - $s$  曲线进行可视比较,验证了自锚试桩  $Q$ - $s$  曲线转换插件在工程实际的适用性,为 BIM 技术应用于桩基检测工程提供参考,助力基础工程信息化高质量发展。

## 2. 方法原理

自锚试桩等效转换计算插件基于二段转换法[6]:

承载力转换公式为:

$$Q_{whi} = (\alpha_u + 1)Q_i - \alpha_u G_p \quad (2-1)$$

位移转换公式为:

$$s_{whi} = s_{eqi} = \beta_u s_{ui} \quad (\text{线性段}) \quad (2-2)$$

$$s_{whi} = s_{eqi} + s_{di} = \beta_u s_{ui} + s_{di} \quad (\text{非线性段}) \quad (2-3)$$

其中:  $Q_{whi}$  为转换为传统桩后桩身第  $i$  段轴力, N;  $\alpha_u$  为摩阻力转换系数;  $Q_i$  为自锚试桩第  $i$  级荷载, N;  $G_p$  为上段桩重力, N;  $s_{whi}$  为第  $i$  级荷载下转换后的桩身沉降, mm;  $s_{eqi}$  为第  $i$  级荷载下自锚试桩上段桩转换后的等效沉降, mm;  $\beta_u$  为位移转换系数;  $s_{ui}$  为第  $i$  级荷载下自锚试桩上段桩的沉降, mm;  $s_{di}$  为第  $i$  级荷载下自锚试桩下段桩的沉降, mm。

自平衡试桩方法虽与自锚试桩法不同，但二者的加载原理及上段桩、下段桩受荷机理是相同的，且二者对于  $Q-s$  曲线的转换思路也是相似的，即分别用上、下段桩的承载力值(位移值)乘以修正系数，以得到相对应的传统试桩的  $Q-s$  曲线。因此，本文研究方法，不仅能用在自锚试桩  $Q-s$  曲线转换上面，亦能推广应用在自平衡试桩的  $Q-s$  曲线转换上面。

为验证自锚试桩等效转换计算插件及二段转换法对自平衡试桩  $Q-s$  曲线转换的适用性，此处采用自平衡试桩的简单转换法和精确转换法对工程案例试桩进行  $Q-s$  曲线转换，同时利用二段转换法(插件计算方法)对工程案例试桩进行  $Q-s$  曲线转换，并将转换结果进行对比分析。

自平衡试桩  $Q-s$  曲线简单转换按式(2-4)和(2-5)进行计算[7]:

$$Q = \frac{Q_s - G_s}{\lambda} + Q_x \tag{1-4}$$

$$s = s_x + \Delta s = s_x + \frac{[(Q_s - G_s)/\lambda + 2Q_x]L}{2E_p A_p} \tag{1-5}$$

其中:

$Q$  为转换后的承载力;  $G_s$  为上段桩自重;  $Q_s$  为上段桩承载力;  $Q_x$  为下段桩承载力;  $\lambda$  为转换系数, 一般粘性土、粉土中取 0.8, 砂土中取 0.7, 岩石取 1.0, 卵石层取 0.75;  $s$ -转换后的位移值;  $s_x$ -下段桩位移;  $A_p$  为桩横截面积;  $E_p$  为桩基弹性模量。

自平衡试桩  $Q-s$  曲线精确转换法[8]将上段桩体分为  $n$  段进行受力分析, 如图 1 所示。记单元  $i$  的上部轴力为  $Q_i$ , 上部位移量为  $w_i$ , 则  $Q_i$  和  $w_i$  可表示为:

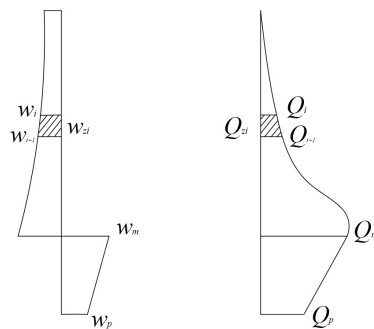


Figure 1. The stress analysis diagram of self-balanced pile  
图 1. 自平衡桩受力分析示意图

$$Q_i = Q_m + \sum_{k=i}^n \tau_k \cdot C \cdot l_k \tag{2-6}$$

$$w_i = w_m + \sum_{k=i}^n \frac{Q_k + Q_{k+1}}{2A_p E_p} l_k = w_{i+1} + \frac{Q_i + Q_{i+1}}{2A_p E_p} l_i \tag{2-7}$$

其中:

$Q_i$  为单元  $i$  的上部轴力;  $Q_m$  为单元  $i$  的下部轴力;  $\tau_k$  为单元  $k$  ( $i \leq k \leq n$ ) 处的侧摩阻力;  $C$  为桩截面周长;  $A_p$  为桩横截面积;  $E_p$  为桩基弹性模量;  $l_k$  为单元  $k$  ( $i \leq k \leq n$ ) 的高度。

由(2-7)可得, 单元  $i$  的中点位移量  $w_{zi}$  为:

$$w_{zi} = w_{i+1} + \frac{Q_i + 3Q_{i+1}}{8A_p E_p} l_i \tag{2-8}$$

由(2-6)~(2-8), 可得:

$$w_i = w_{i+1} + \left[ Q_m + \sum_{k=i+1}^n \tau_k \cdot C \cdot l_k + \tau_i \cdot C \cdot \frac{l_i}{2} \right] \frac{l_i}{A_p E_p} \quad (2-9)$$

$$w_{zi} = w_{i+1} + \left[ Q_m + \sum_{k=i+1}^n \tau_k \cdot C \cdot l_k + \tau_i \cdot C \cdot \frac{l_i}{4} \right] \frac{l_i}{2A_p E_p} \quad (2-10)$$

当  $i = n$  时,

$$w_n = w_m + \left[ Q_m + \tau_n \cdot C \cdot \frac{l_n}{2} \right] \frac{l_n}{A_p E_p} \quad (2-11)$$

$$w_{zn} = w_m + \left[ Q_m + \tau_n \cdot C \cdot \frac{l_n}{4} \right] \frac{l_n}{2A_p E_p} \quad (2-12)$$

根据试验测得的桩身轴力和沉降量, 计算得到桩侧摩阻力, 从而计算得出  $w_n$  和  $w_{zn}$ 。

### 3. 工程概况

方兴[9]对襄阳市汉江三桥工程桩基进行自平衡检测并与传统试桩进行对比。襄樊汉江三桥工程桩基采用钻孔灌注桩方法施工。其中 Z1 采用的是自平衡检测方法, 位于襄阳市汉江三桥引桥南滩桥 9#墩与 10#墩中轴线之间; P1 采用的是锚桩堆载检测方法, 位于 52#墩附近, 其试桩参数见表 1。该工程所处位置表层土质为淤泥质粘性土层、中间层为粉细砂层(6~7m)、底部为卵石层(35~40m), 详细地层情况见表 2。自平衡试桩及传统试桩荷载位移测试结果见图 2 及图 3。

Table 1. Pile foundation parameters

表 1. 桩基参数

试桩名称	桩号	桩长/m	桩径/m	钻孔方式
自平衡试桩	Z1	55 m	1.5 m	正冲, 孔外造浆
传统静载荷试桩	P1	55 m	1.5 m	正冲, 孔外造浆

Table 2. Geological soil conditions

表 2. 地质土层情况

名称	状态	桩侧阻力标准值 $q_{sik}/\text{kPa}$	桩端阻力标准值 $q_{pk}/\text{kPa}$
①-2 黏性土	硬塑	84~96	1600~1800
	可塑	53~68	750~800
	软塑	38~53	300~450
①-3 淤泥质土	流塑 - 软塑	21~53	300~450
①-4 粉砂	松散 - 稍密	24~42	650~750
	中密	42~62	1100~1200
①-4 细砂	松散 - 稍密	22~46	1500~180
	中密	46~64	1500~1880
①-5 卵石	稍密 - 中密	140~170	3000~4000
	密实	140~170	3000~4000
②-1 泥灰岩	强风化	140~200	1400~2200
③-2 泥岩	半成岩	160~240	1800~2800

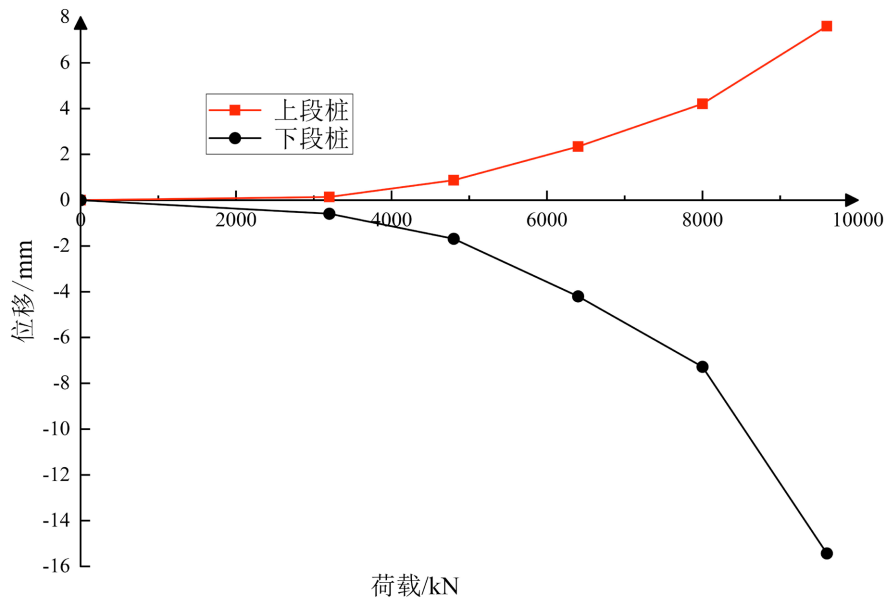


Figure 2.  $Q$ - $s$  curve of Z1 self-balanced pile test  
图 2. Z1 自平衡试桩  $Q$ - $s$  曲线

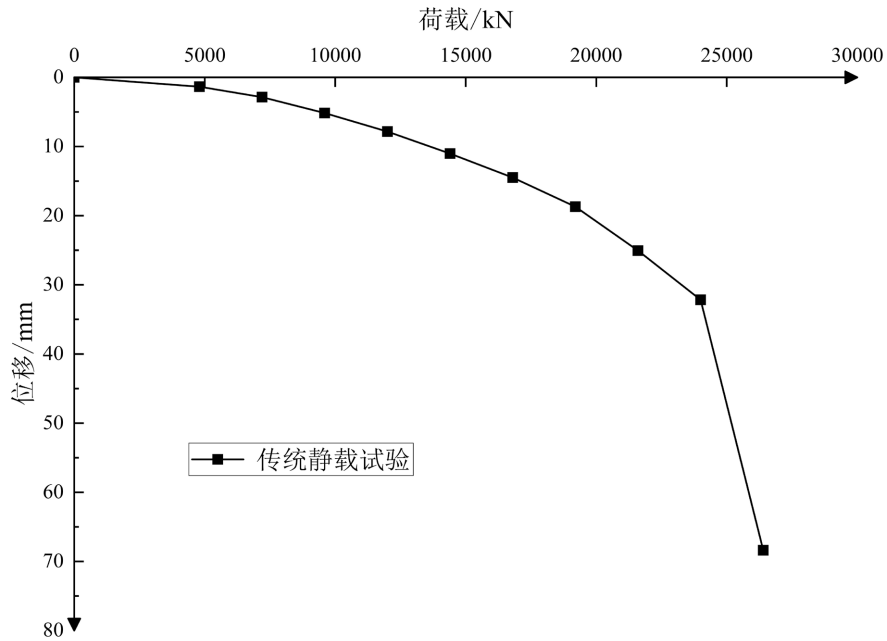


Figure 3. P1  $Q$ - $s$  curve of traditional static load test pile  
图 3. P1 传统静载试桩  $Q$ - $s$  曲线

#### 4. 参数化模型的建立

启动 Revit 2018，新建结构样板项目。在项目中载入自锚试桩等效转换计算插件中的参数化桩基族后 [10]，启动 Revit 面板上的“Creat Pile”按钮，打开建模界面，根据表 1 的数据设置试桩参数，运行程序即可生成自平衡试桩模型，同时还可以根据 Revit 自锚试桩族生成方法 [10]，对模型进行参数修改，如图 4 所示。

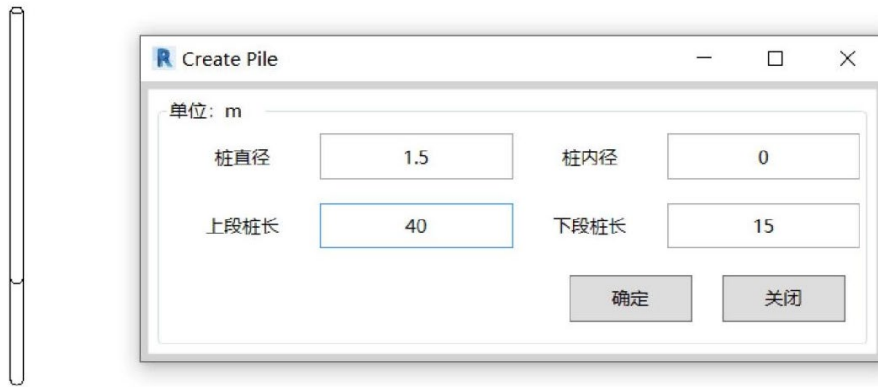


Figure 4. Z1 self-balanced pile test model  
图 4. Z1 自平衡试桩模型

### 5. 自锚试桩 $Q-s$ 曲线转换插件应用

利用自锚试桩转换插件，在计算界面中输入 P1 试桩锚桩法测试结果以及 Z1 试桩自平衡测试数据，输入完成后点击“确认”按钮即可自动转换自平衡试桩  $Q-s$  曲线。通过 Revit 计算插件得到自平衡试桩等效转换后  $Q-s$  曲线和传统静载荷试桩  $Q-s$  曲线见图 5。

上段桩长(m)	上段桩自重(kN)	下段桩长(m)	下段桩自重(kN)	自锚桩荷载(kN)	上段桩位移(mm)	下段桩位移(mm)
40	1696	15	636	3200	-0.14	0.59
40	1696	15	636	4800	-0.87	1.69
40	1696	15	636	6400	-2.34	4.20
40	1696	15	636	8000	-4.21	7.28
40	1696	15	636	9600	-7.60	15.43

(a)

横截面积(m <sup>2</sup> )	桩直径(m)	桩长(m)	桩重(kN)	荷载(kN)	位移(mm)
1.76625	1.5	55	2332	4800	1.36
1.76625	1.5	55	2332	7200	2.86
1.76625	1.5	55	2332	9600	5.16
1.76625	1.5	55	2332	12000	7.84
1.76625	1.5	55	2332	14400	11.03

(b)

**自平衡试桩**

桩外径(m)	1.5	上段桩长(m)	61	位移转换系数	1.94
桩内径(m)	0	上段桩自重(kN)	1766	摩阻力转换系数	1.82
桩横截面积(m <sup>2</sup> )	1.77	下段桩长(m)	15	上段桩位移(mm)	-7.6
弹性模量(GPa)	36	下段桩自重(kN)	636	下段桩位移(mm)	15.43
自平衡荷载(kN)	9600				

更新 删除 添加

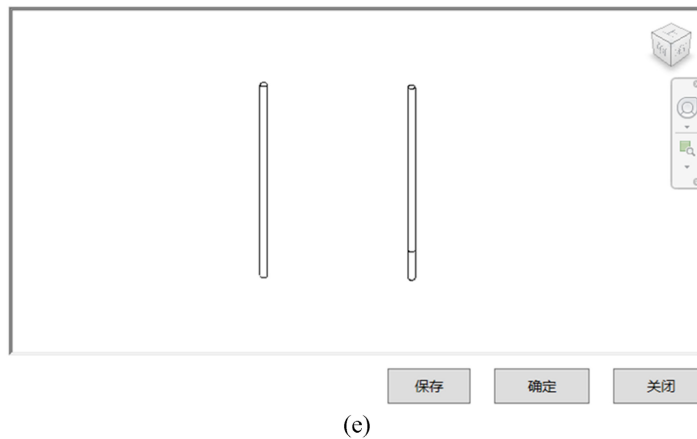
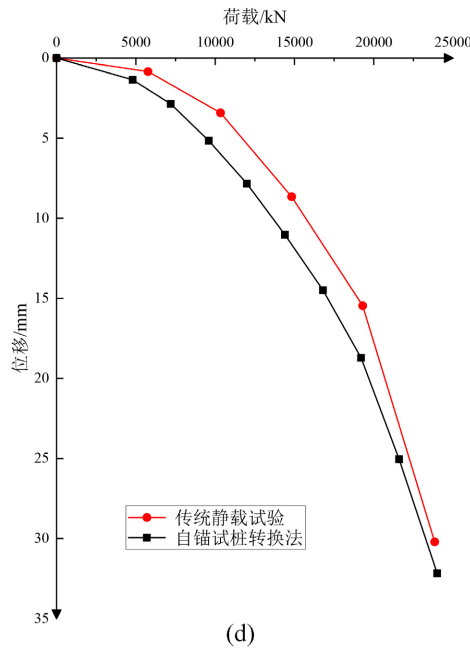
---

**传统试桩**

横截面积(m <sup>2</sup> )	1.77	桩长(m)	55	荷载(kN)	16800
桩直径(m)	1.5	桩重(kN)	2332	位移(mm)	14.49

更新 删除 添加

(c)



**Figure 5.** The measured curve of Z1 self-balanced pile test and the  $Q-s$  curve after plug-in conversion. (a) Z1 test pile parameters and data display interface; (b) P1 pile test parameters and data display interface; (c) Parameter input interface; (d) Self-anchored conversion curve and traditional pile test curve; (e) Three-dimensional model interface between self-balanced test pile and traditional test pile  
**图 5.** Z1 自平衡试桩实测曲线及插件转换后  $Q-s$  曲线。(a) Z1 试桩参数及数据显示界面；(b) P1 试桩参数及数据显示界面；(c) 参数输入界面；(d) 自锚转换曲线与传统试桩曲线；(e) 自平衡试桩与传统试桩的三维模型界面

根据式(2-1)和(2-2)，将襄阳市汉江三桥工程自平衡试桩  $Q-s$  曲线通过简单转换法进行转换。其中，转换系数  $\lambda$  根据不同土层的经验取值，由土层厚度加权计算所得，相关数据如表 3、表 4 所示；根据式(2-3)~(2-9)，将襄阳市汉江三桥工程自平衡试桩  $Q-s$  曲线通过精确转换法进行转换，得到相关数据如表 5 所示。

**Table 3.** Load conversion table (simple conversion method)  
**表 3.** 荷载转换表(简单转换法)

$Q/kN$	$Q_s/kN$	$Q_s/kN$	$G_s/kN$	转换系数 $\lambda$
5014.87	3200	3200	1766.25	0.79
8640.19	4800	4800	1766.25	0.79

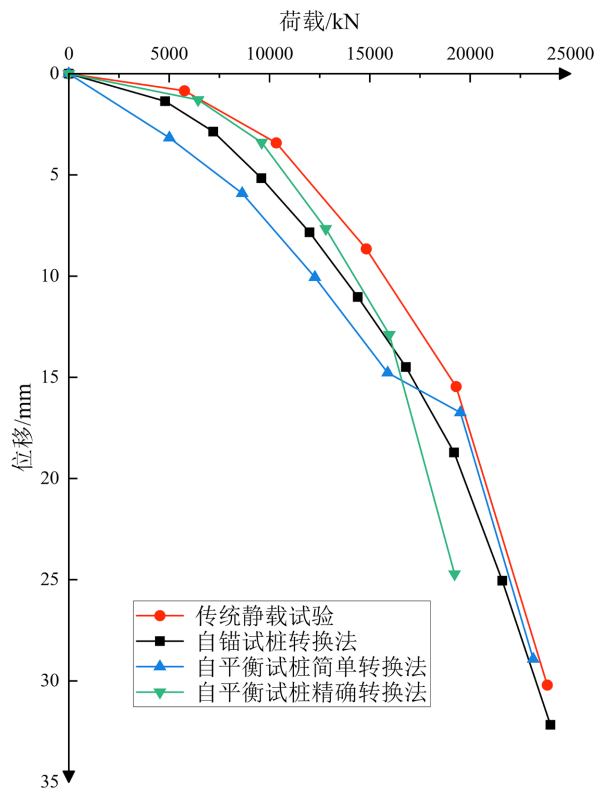
续表

12265.51	6400	6400	1766.25	0.79
15890.82	8000	8000	1766.25	0.79
19516.14	9600	9600	1766.25	0.79
23141.46	11,200	11,200	1766.25	0.79

**Table 4.** Displacement conversion table (simple conversion method)

**表 4.** 位移转换表(简单转换法)

$s/\text{mm}$	$\Delta s/\text{mm}$	$s_v/\text{mm}$	$Q_v/\text{kN}$	$E_p/\text{GPa}$	$A_p/\text{m}^2$	转换系数 $\lambda$
3.17	2.58	0.59	3200	36	1.77	0.79
5.91	4.22	1.69	4800	36	1.77	0.79
10.06	5.86	4.20	6400	36	1.77	0.79
14.78	7.50	7.28	8000	36	1.77	0.79
16.74	9.14	7.60	9600	36	1.77	0.79
28.92	10.78	18.14	11,200	36	1.77	0.79



**Figure 6.** Comparison of conversion effects of different conversion methods

**图 6.** 不同转换法转换效果对比

**Table 5.** Load-displacement conversion table (exact conversion method)

**表 5.** 荷载 - 位移转换表(精确转换法)

$Q/\text{kN}$	$s/\text{mm}$
6441.83	1.29

续表

9610.46	3.40
12805.23	7.66
15973.86	12.89
19220.92	24.72

将自平衡试桩转换法和自锚试桩转换法进行对比计算, 结合表 3~5 和图 5, 得到三种转换方法和传统静载曲线对比图, 如图 6 所示。

上图表明, 自锚试桩转换法等效转换后的  $Q-s$  曲线与传统静载荷试桩  $Q-s$  曲线走势较为一致, 且曲线平滑, 不存在突变点, 可见区分非线性段的转换方法更为精准。同时, 自平衡试桩 Z1 经插件转换后的极限承载力为 23857.43 kN, 简单转换法计算所得极限承载力为 19516.14 kN, 精确转换法计算所得极限承载力为 19220.92 kN, 传统静载荷试桩 P1 的极限承载力为 24,000 kN, 自锚试桩转换法计算误差(0.59%)明显优于精确转换法(19.91%)和简单转换法(18.68%), 说明在此种土质情况下, 自锚试桩转换插件具有较高的精度来确定单桩的极限承载力, 能满足实际工程所需。

## 6. 结论

本文依托应用自平衡试桩法的襄樊汉江三桥工程, 通过自锚试桩转换插件和自平衡试桩转换法计算得到了自平衡试桩参数化模型以及等效转换的  $Q-s$  曲线, 并与传统静载荷试桩  $Q-s$  曲线进行可视比较。结果表明: 自锚试桩转换法等效转换后的  $Q-s$  曲线与传统静载荷试桩  $Q-s$  曲线吻合度较好, 且曲线平滑, 不存在突变点, 具有较高的精度。对于线性段的转换, 自锚试桩转换法和自平衡试桩精确转换法都具有较好的转换效果, 而在非线性段曲线的转换, 自锚试桩转换法效果更佳, 可见区分非线性段的转换方法更为精准, 应用范围更广。该研究结果为桩基设计与计算提供了新想法, 也为类似工程提供参考。

## 参考文献

- [1] 华南理工大学, 浙江大学, 湖南大学. 基础工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019: 111-123.
- [2] Ma, H., Ma, Y. and Zhang, H. (2022) Experimental Research on the Additional Stress Characteristics in Soil Caused by a Self-Anchored Test Pile. *Arabian Journal of Geosciences*, **15**, Article No. 396. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09680-5>
- [3] 周鹏. 自锚试桩荷载传递规律室内模型试验及数值模拟分析[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江理工大学, 2021.
- [4] 石晶. BIM 技术在计算机辅助建筑设计中的应用[J]. 机械设计, 2021, 38(11): 155-156.
- [5] 李智昊, 贾兴利, 刘凯, 等. 基于 BIM 二次开发的盾构管片参数化拼装方法[C]//2022 世界交通运输大会(WTC2022)论文集(桥梁工程与隧道工程篇). 北京: 人民交通出版社, 2022: 550-555.
- [6] 马海龙, 马宇飞, 应志杰. 自锚试桩  $Q-s$  曲线转换试验研究及转换式的构建[J]. 工业建筑, 2022, 52(12): 142-148.
- [7] 舒浩亮. 基桩自平衡转换系数及影响因素研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2022.
- [8] 周鹏海. 大型桩基承载力自平衡测试技术工程应用研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2011.
- [9] 方兴. 超厚砂卵石层大直径深水桩基承载力分析与试验研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2015.
- [10] 寿焯玲, 马海龙. 基于 Revit 的自锚试桩族参数化研究[J]. 浙江水利水电学院学报, 2023, 35(5): 74-80.