

两种先张法预制梁张拉台座的对比分析

何 亮

保利长大工程有限公司 广东 广州 510620

【摘 要】：以中山市西部外环高速公路为背景工程，对该项目 35m 跨预制梁的两种体系张拉台座进行了有限元分析对比。分析结果表明，两种预制梁张拉台座都能满足规范要求，而钢筋混凝土反力架体系张拉台座变形值更小、经济性好，施工可控性及可操作性都优于钢结构反力架体系张拉台座。

【关键词】：预制梁张拉台座；有限元分析；钢筋混凝土反力架体系

Comparative Analysis of Two Prefabricated Beam Tensioning Pedestal

Liang He

Poly Changda Engineering Co. Ltd. Guangdong Guangzhou 510620

Abstract: Taking the west outer ring highway in Zhongshan as the background, the finite element analysis of the two-tensioning pedestal has been carried out in prefabricated beam with a span of 35m. The results have shown that two prefabricated beam tensioning pedestals can meet requirements of the specification. Relative to steel structure, the system of reaction frame made of reinforced concrete has smaller deformation, better economy, and is more controllable and more maneuverable.

Keywords: Prefabricated beam tensioning pedestal; Finite element analysis; System of reaction frame made of reinforced concrete

引言

目前国内外跨海大桥、高速公路和铁路桥梁中，应用最多的预制梁形式为后张法空心板、后张法小箱梁、后张法 T 梁、先张法空心板、先张法 T 梁，而折线先张法工字梁应用较少。在此以中山市西部外环高速公路建设项目的 35m 折线先张法工字梁为背景，对先张法工字梁 2 种张拉台座的设计及施工建设和应用情况进行对比分析，采用钢筋混凝土反力架体系比钢结构反力架体系的张拉台座具有成本较低、结构可靠、操作方便、施工速度快等优点。希望本工程下钢筋混凝土反力架体系张拉台座经济、高效的施工经验，能为其他同类型工程施工方案的制定提供一定的借鉴意义。

1 工程背景

中山市西部外环高速公路主线全长 78.1km，全线采用六车道高速公路标准，设计速度采用 100km/h。其中，主线桥梁上部采用工字梁截面，下部结构部分墩柱采用中央独柱墩+大悬臂预应力钢筋混凝土盖梁形式。

本项目 35m 跨预制梁横截面为“工”字形结构，拟在张拉台座上采用先张法施工工艺施工，针对该项目预制梁设计了钢结构反力架体系工字梁张拉台座和钢筋混凝土反力架体系工字梁张拉台座，分别对二者进行了有限元分析并进行了对比。

2 预制梁张拉台座结构概况

张拉台座全长 87.1m，采用 C30 混凝土扩大基础，由扩大基础、底座、张拉系统（反力架体系）、转向系统组成。

台座基础采用 C30 混凝土扩大基础，扩大基础上浇筑砼条形块作为台座，张拉端以 6 根 $\Phi 50$ 预应力混凝土管桩+混凝土

承台进行基础处理；反力架体系主要为反力墙与斜撑采用钢结构形式和反力墙与耳墙采用钢筋混凝土结构形式 2 种；锚固车与转向架均采用钢板焊接加工而成的结构；转折器以混凝土扩大基础自重来抵抗上拔力。

图 1、图 2 为钢结构反力架体系工字梁张拉台座和钢筋混凝土反力架体系工字梁张拉台座立面设计图。

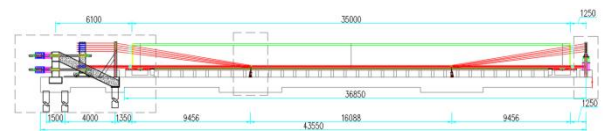


图 1 钢结构反力架体系工字梁张拉台座 1/2 总体立面图

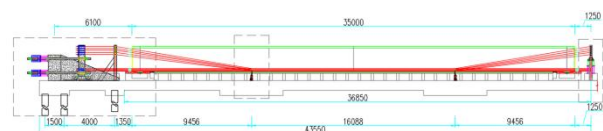


图 2 钢筋混凝土反力架体系工字梁张拉台座 1/2 总体立面图

3 有限元分析模型及参数假定

本文采用 Midas/Civil 进行建模分析：

（1）所有加工构件钢板以板单元模拟，其截面特性值由程序自带的截面特性值计算器计算。

（2）张拉反力以节点荷载进行模拟加载。

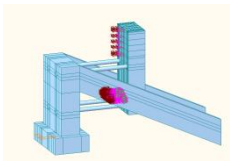
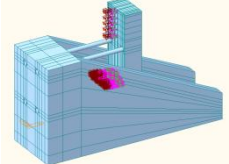
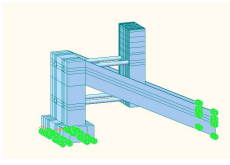
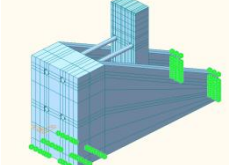
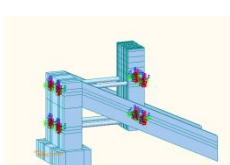
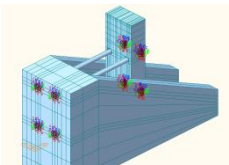
（3）张拉反力墙结构按实际结构尺寸进行建模模拟。

（4）下表为材料特性取值，详情见表 1：

表1 材料特性

名称	材料规格	弹性模量 (MPa)	容许应力/内力、设计强度
钢板	Q345	2.1×10^5	$[\sigma] = 310 \text{MPa}$
A3 钢焊缝	Q235	2.1×10^5	$[\sigma] = 160 \text{MPa}$
精轧螺纹钢	$\Phi 32 \text{mm}$	2.1×10^5	$R_m = 500 \text{MPa}$

表2 钢结构反力架体系与钢筋混凝土反力架体系对比

反力架体系	钢结构反力架体系	钢筋混凝土反力架体系
荷载施加 示意		
边界条件 设置		
		

4 钢结构反力架体系分析

4.1 分析工况

35m 工字梁共有 36 根钢绞线，总张拉力 720 吨。先张法张拉采用 4 台 400T 千斤顶利用反力墙进行张拉，反力墙承受所有张拉力，计算其张拉工况下的应力与变形。

4.2 分析结果

4.2.1 反力墙、斜撑及锚固车结构分析

(1) 反力墙、斜撑、锚固车应力计算

反力墙、斜撑、锚固车最大组合应力为 $282.6 \text{MPa} < [\sigma] = 310 \text{MPa}$ ，满足施工要求。如图 3 所示：

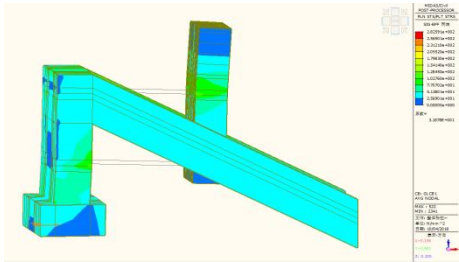


图3 钢结构反力架体系应力图

(2) 反力墙位移计算

反力墙的最大位移为 $2.7 \text{mm} > 2 \text{mm}$ ，最大位移处在圆形预埋孔位置，由于迈达斯模型不能直接建立曲线，而是以直线代曲，此计算结果不影响正常施工。如图 4 所示：

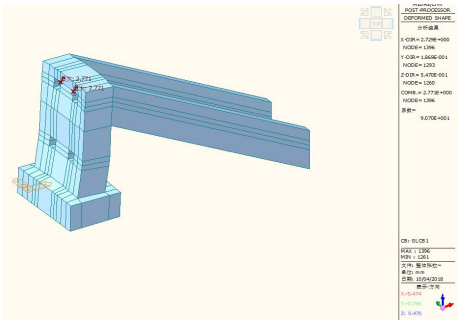


图4 钢结构反力架体系位移图

4.2.2 斜撑及锚固车填芯混凝土 C50 应力分析

混凝土最大组合应力为 $45.7 \text{MPa} < 50 \text{MPa}$ ，满足施工要求。如图 5 所示：

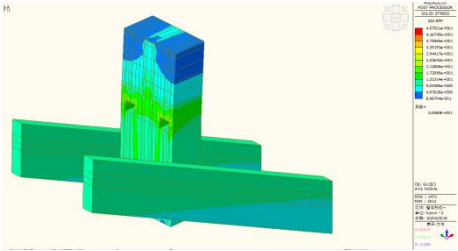


图5 钢结构反力架体系斜撑及锚固车填芯混凝土应力图

5 钢筋混凝土反力架体系分析

5.1 分析工况

35m 工字梁共有 36 根钢绞线，总张拉力 720 吨。先张法张拉采用 4 台 400T 千斤顶利用反力墙进行张拉，反力墙承受所有张拉力，计算其张拉工况下的应力与变形。

5.2 分析结果

5.2.1 反力墙、斜撑及锚固车结构分析

(1) 锚固车应力计算

锚固车最大组合应力为 $144.1 \text{MPa} < [\sigma] = 310 \text{MPa}$ ，满足施工要求。如图 6 所示：

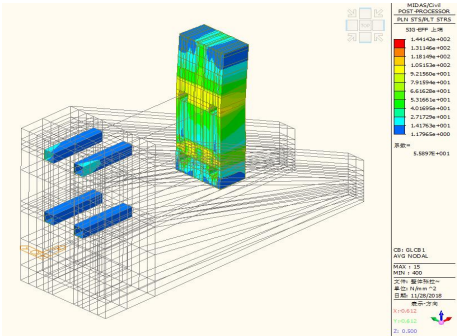


图6 钢筋混凝土反力架体系锚固车应力图

(2) 反力墙位移计算

反力墙的最大位移为 $0.24\text{mm} < 2\text{mm}$ ，满足施工要求。如图7所示：

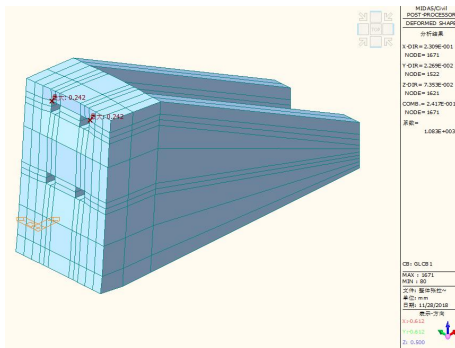


图7 钢筋混凝土反力架体系位移图

5.2.2 反力墙、耳墙及锚固车填芯混凝土 C50 应力分析

混凝土最大组合应力为 $45.8\text{MPa} < 50\text{MPa}$ ，满足施工要求。如图8所示：

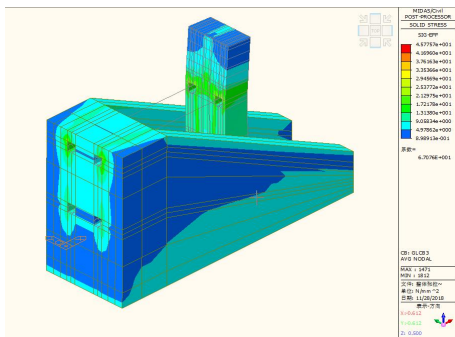


图8 钢筋混凝土反力架体系混凝土应力图

6 预应力管桩受力计算

6.1 反力墙反力分析

根据两种支架结构拟采用钢结构反力架体系，建立如下模型如图9：



图9 钢结构反力架体系反力图

模型说明：反力墙拉力大小等于预应力管桩抗拔力。

由上反力墙的上拔力 $N=304.6\text{T}$ ，前段钢管桩支撑力 $N_2=305\text{T}$ ，钢管桩受力不得小于此值。

6.2 预应力管桩摩擦抗拔极限承载力计算

张拉端钢管桩均支撑在粘土层上，按摩擦桩计算其容许承

载力。根据《建筑桩基技术规范》（JGJ 94-2008）中的 5.4.6-1 预应力管桩抗拔极限承载力计算公式：

$$T_{uk} = \sum_{i=1}^n \lambda_i q_{sik} u_i l_i$$

式中： T_{uk} ——基桩抗拔极限承载力标准值；

u_i ——桩身周长（m）；等直径桩 $u = \pi d$ ；

n ——土的层数；

l_i ——台座底面或局部冲刷线以下各土层的厚度（m）；

q_{sik} ——桩侧表面第 i 层土的抗压极限侧阻力标准值（按梁厂地质报告建议值取值）；

λ_i ——抗拔系数。

按照入土 16m 进行计算，则本预应力管桩单根极限承载力如下表：

表3 预制场地质情况如下

地质层	λ_i	q_{ik} (kPa)	u_i	厚度 l_i (m)	摩擦力 f (kN)
素填土	0.5	40	1.57	3	94.2
粉质粘土	0.7	120	1.57	9.6	1266.05
砂质粘性土	0.6	100	1.57	3.4	320.28
桩基极限抗拔承载力 T_1					1680.53

根据《建筑桩基技术规范》（JGJ 94-2008）中的 5.4.5 公式： $N_{uk} \leq T_{uk}/2 + G_p$

T_{uk} ——基桩抗拔极限承载力标准值；

N_{uk} ——按荷载效应标准组合的基桩抗拔力；

G_p ——基桩及构件自重。

本项目折减系数取 2，当满足此条件时认为满足抗拔力计算。

本张拉端预应力管桩本身摩擦抗拔力：

$$T_{uk}/2 + G_p = 4 \times 1680.53/2 + 160 = 3521.06\text{kN} > 3046\text{kN}$$

6.3 预应力管桩填芯混凝土抗拔力验算

根据《预应力混凝土管桩基础技术规范》（DGJ32/TJ109-2010）式中的 4.5.22-6 当通过管腔内填芯微膨胀混凝土（不低于 C40）确定单桩抗拔承载力时，按下式计算：

$$N_l = K_1 \pi d l f$$

同时填芯混凝土内纵向钢筋应满足单桩抗拔承载力要求。

式中： N_l ——管桩单桩上拔力设计值；

K_1 ——经验系数，取 0.8；

d ——填芯混凝土直径（管桩内径 mm）；

l ——填芯混凝土长度（mm）；

f ——填芯混凝土与管桩内壁之间的粘结强度设计值，取

0.48N/mm²。

本管桩填芯 2m， $N_1=0.8 \times 3.14 \times 340 \times 2000 \times 0.48=819.916\text{kN}$ 。

4根预应力管桩填芯抗拔力 $N_1=4 \times 819.916=3279.7\text{kN} > 3046\text{kN}$ 。

故填芯混凝土抗拔力满足要求。

6.4 预应力管桩本身结构抗拉力

管桩处于一般环境或设计一般要求不出现裂缝时：

$$N_1 \leq (\sigma_{pc} + f_t)$$

式中：

f_t —桩身混凝土轴心抗拉强度设计值。

单根抗拔力 $N=(4+3.45) \times 0.1055=785.9\text{kN}$ ，4根预应力混凝土抗拔力 $N_1=4 \times 785.9=3143.9\text{kN} > 3046\text{kN}$ ，管桩本身结构能够满足抗拉要求。

综合 6.2、6.3 知，从填芯连接、摩擦力、管桩结构本身均能满足张拉端抗拔要求。

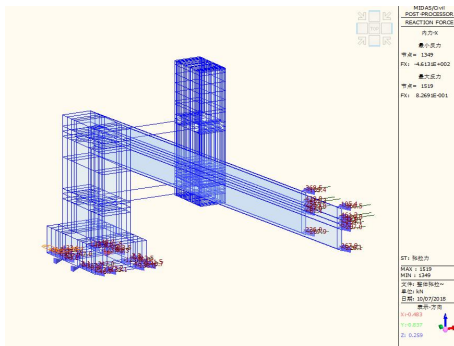


图 10 钢结构反力架体系反力图

水平推力通过台座扩大基础进行传递至伸缩缝端，此处压力 $N=11329.3\text{kN}$ ，整个台座接触面应力 $\sigma = N/S = 11329.3/1.5 \times 0.8 = 9.4\text{Mpa}$ ，小于混凝土抗压强度 C50，满足要求。

6.5 预应力混凝土管桩受压验算

本台座受压钢管桩支撑在粘土层上，按摩擦桩计算其容许承载力。根据《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG3363-2019) 式中 6.3.5 的沉桩的承载力容许值公式，则桩的容许承载力为：

$$R_a = 1/2 \left(u \sum_{i=1}^n a_i l_i q_{ik} + a_r \lambda_p A_p q_{rk} \right)$$

式中：

R_a ——单桩轴向受压承载力容许值 (kN)，桩身自重与置换土重 (当自重计入浮力时，置换土重也计入浮力) 的差值作为荷载考虑；

u ——桩身周长 (m)；周长 $u=1.57$ ；

n ——土的层数；

l_i ——承台底面或局部冲刷线以下各土层的厚度 (m)；

q_{ik} ——与 l_i 对应的各土层与桩侧摩阻力标准值 (kPa)，宜采用单桩摩阻力试验确定或通过静力触探试验测定，当无试验条件时按规范给定值选用；(按地质报告建议值取值)；

q_{rk} ——桩端处土的承载力标准值 (kPa)，宜采用单桩试验确定或通过静力触探试验测定，当无试验条件时按规范给定值选用；

α_i 、 α_r ——分别为振动沉桩对各土层桩侧摩阻力和桩端承载力的影响系数对于锤击、静压沉桩其值均取为 1.0；

λ_p ——桩端土塞效应系数。取值为 1.0；

A ——桩的截面积。

按照预应力管桩打入 20m 深计算，考虑预应力管桩闭塞效应，本台座取值 1.5 进行验算。

$$\begin{aligned} R_a &= 1/1.5 (u \sum_{i=1}^n a_i l_i q_{ik} + a_r \lambda_p A_p q_{rk}) \\ &= (1.57 \times 1 \times (3 \times 40 + 9.6 \times 120 + 9.4 \times 100) + 1 \times 1 \times 3.14 \\ &\quad \times (0.5 \times 0.5 - 0.34 \times 0.34) / 4 \times 240) / 1.5 \\ &= 2332\text{kN} > 3005/2 \\ &= 1502.5\text{kN} \end{aligned}$$

根据计算，预应力管桩打入 22m 深，前端两根受压预应力管桩能满足抗压要求。

7 两种体系施工工艺及应用效果

7.1 施工工艺

钢结构反力架体系施工：预应力管桩施工→基础开挖→测量放样→钢结构反力架安装→基础混凝土浇筑→斜撑填芯混凝土浇筑。

钢筋混凝土反力架体系施工：预应力管桩施工→基础开挖→测量放样→基础钢筋及反力墙预埋钢筋绑扎→基础混凝土浇筑→墙身、耳墙钢筋绑扎及预埋孔安装→模板安装→墙身及耳墙混凝土浇筑。

7.2 应用效果

钢结构反力架体系施工周期为 8 天一个，施工过程中钢结构反力架安装精度误差需控制在 2mm 以内，且需要投入吊装机械进行辅助安装。

钢筋混凝土反力架体系施工周期为 5 天一个，可同步大面积施工。反力墙预埋孔施工精度，可以通过墙身预埋钢筋进行调整，不需要投入吊装机械进行辅助安装。

应用结果表明钢筋混凝土反力架体系张拉台座经济性好，施工可控性及可操作性都优于钢结构反力架体系张拉台座。

8 结论

通过对钢结构反力架体系工字梁张拉台座和钢筋混凝土反力架体系工字梁张拉台座的分析结果进行对比:

- (1) 两种预制梁张拉台座均满足相应设计要求;
- (2) 钢筋混凝土反力架体系张拉台座的反力墙变形值较

钢结构反力架体系更小, 其余指标相差不大;

- (3) 钢筋混凝土反力架体系张拉台座需要浇筑混凝土, 施工速度没有钢结构反力架体系张拉台座快;
- (4) 钢结构反力架体系张拉台座成本高, 钢结构预埋基础施工时要求精度高; 而钢筋混凝土反力架体系的基础跟墙身可以分开施工, 施工可控性高。

参考文献:

- [1] 郑新伟,曹敏.先张法台座设计及施工[J].浙江水利科技,2004,01:44-45.
 - [2] 王晓五.先张法台座设计及施工技术探析[J].技术与市场,2011,18(02):36-37.
 - [3] 中冶京诚工程技术有限公司.钢结构设计规范:GB 50017-2017[S].北京:中国建筑工业出版社,2017.
 - [4] 中冶建筑研究总院有限公司.钢结构高强度螺栓连接技术规程:JGJ 82-2011[S].中国建筑工业出版社,2011.
 - [5] 中交一公局集团有限公司.公路桥涵施工技术规范:JTG/T 3650-2020[S].人民交通出版社,2020.
 - [6] 中国建筑科学研究院.建筑桩基技术规范:JGJ 94-2008[S].中国建筑出版社,2008.
 - [7] 中交公路规划设计院有限公司.公路桥涵地基与基础设计规范:JTG 3363-2019[S].人民交通出版社,2019.
- 作者简介: 何亮(1988.03.26-), 男, 汉族, 广东广州人, 本科学历, 工程师, 主要从事路桥(土木工程)施工方面的研究工作。