

主管单位：四川省住房和城乡建设厅
主办单位：四川省土木建筑学会 四川华西集团有限公司

ISSN 1007-8983
CN 51-1133 / TU

四川建筑

SICHUAN ARCHITECTURE

第42卷 总第204期

2022 **2**

Sichuan Jianzhu

中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊 中国期刊全文数据库收录期刊 (中国核心期刊(遴选)数据库) 收录期刊 (中文科技期刊数据库) 收录期刊 龙源期刊网收录期刊



龙峰佳苑农民统建安置小区项目
成都建工第九建筑工程有限公司总承包

成都地区排桩支护结构受力变形特征

吴 兵, 吕 宝, 丁 斌, 向文涛, 吕晶日

(四川志德岩土工程有限责任公司, 四川成都 610061)

【摘要】 排桩支护是深基坑支护的一种常用形式, 在成都的建筑深基坑中有着广泛的应用。文章以成都某地铁站深基坑工程为依托, 应用大型有限元软件对该工程的开挖、支护进行数值模拟, 计算各个工况下围护桩的变形、内力、桩后土压力、支撑轴力等, 并与现场实测数据进行对比, 以分析支护结构的受力变形特征。

【关键词】 基坑排桩支护结构; 有限元; 土压力; 变形

【中图分类号】 TU94⁺2

【文献标志码】 A

排桩支护结构是国内深基坑普遍应用的一种支护形式, 在成都地区深基坑工程中有着广泛的应用。本文以某工程实例为依托, 应用有限元软件对其开挖、支护进行数值模拟, 计算得到围护结构的变形、内力、桩后土压力等, 并与现场监测数据进行对比, 分析排桩支护结构的受力变形特征。

1 工程概况

1.1 工程特点

成都地铁某广场站深基坑开挖深度约 23.54 m, 采用“排桩 + 内支撑”支护体系。排桩采用 $\phi 1200 @ 2200$ mm 钢筋混凝土桩, 桩长为 27 m, 嵌固深度为 3.5 m; 内支撑采用 $\phi 603 \times 12$ mm 钢管, 水平间距 2.7 ~ 3.5 m, 竖向设置 4 道; 桩间土体采用 $\phi 8 @ 150$ mm $\times 150$ mm 钢筋网片加 150 mm 厚 C20 混凝土防护。明挖基坑标准段围护结构剖面见图 1。

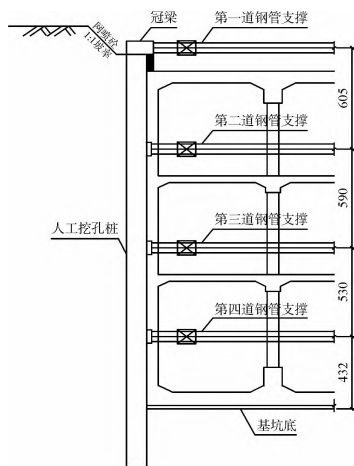


图 1 基坑标准段围护结构剖面(单位: cm)

1.2 工程地质及水文地质条件

站区地处成都平原岷江Ⅲ级阶地, 为山前台地地貌。场地范围内上覆第四系人工填土层, 第四系中、下更新统冰水沉积(Q_{2-1}^{el})黏土、粉砂、含卵石黏土和含黏土卵石, 下伏基岩为白垩系灌口组泥岩。

地下水主要有 4 种类型: 一是赋存于黏土层之上的上层滞水, 二是赋存于黏土中的裂隙水, 三是第四系松散土层(含

卵石黏土和含黏土卵石)的孔隙潜水, 四是基岩裂隙水。

2 有限元数值模拟

2.1 基本假设及计算模型

(1) 该工程属于典型的长条形基坑, 计算时假设沿基坑长度方向无限长, 取其中 1 根桩及 1 倍桩间距土体为研究对象。

(2) 由于在基坑开挖时通过降水使地下水位一直在坑底以下, 故不考虑地下水的渗流作用。

(3) 不考虑桩间挂网喷射混凝土对桩间土的支护作用。

(4) 砂卵石、泥岩采用 Mohr - Coulomb 模型; 黏性土采用线性 Drucker - Prager 模型; 围护桩和钢支撑均采用线弹性本构关系。土体和围护桩采用实体建模, 采用 C3D8R 单元; 钢支撑采用仅压杆单元 T3D2。

(5) 本文采用接触面加摩擦的方式来模拟支护结构与土之间的接触特性, 摩擦系数统一取值 0.35。

整个模型土体共计 11 841 个单元, 支撑 40 个单元和围护桩 1 242 个单元, 桩土界面建立 7 个接触对(图 2)。

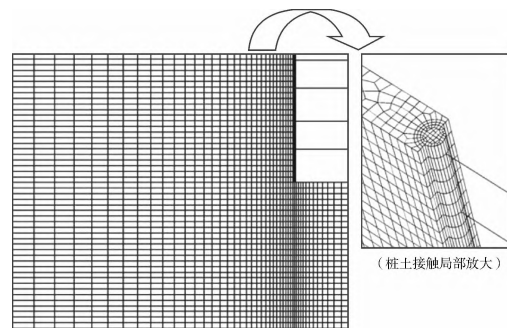


图 2 有限元计算网格

2.2 材料参数选取

(1) 土岩的物理力学参数。为简化计算, 对实际地层进

[定稿日期] 2021 - 04 - 22

[作者简介] 吴兵(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事岩土工程工作。

行了适当简化,将地层分为黏性土、卵石、泥岩 3 层,根据工程勘察资料,其计算参数如表 1 所示。

表 1 土(岩)层的计算物理力学参数指标

土(岩)名称	层厚/m	重度/(kN·m ⁻³)	弹性模量/MPa	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)
黏性土	17.0	20.0	8	35	16
卵石	8.0	21.0	55	5	35
泥岩	25.0	23.0	3000	600	43

(2) 钢筋混凝土灌注桩。混凝土强度等级 C30,桩身纵筋为 25φ25 mm,钢筋等级为 Q235,围护桩的弹性模量 E 近似取值为 30 GPa,泊松比 ν 取值为 0.2,密度取值为 2 400 kg/m³。

(3) 钢管内支撑。弹性模量 E 取值为 210 GPa,泊松比 ν 取值为 0.2。

2.3 计算工况

根据基坑开挖和加撑的施工工序,每层土体开挖和加撑均单独作为一个工序,工况划分:开挖至 1.5 m—加第一道支撑—开挖至 7.5 m—加第二道支撑—开挖至 13.5 m—加第三道支撑—开挖至 18.5 m—加第四道支撑—开挖至 23.5 m (基底)—拆除第四道支撑。

各道支撑安装完成后,立即施加预加轴力。因取 1 根桩(间距为 2.2 m)进行计算分析,所以应按支撑水平间距(3.5 m)对支撑施加轴力进行折减,折减比为 $2.2/3.5 = 0.63$ 。计算模型中预加轴力取值自上而下依次为 40 kN、200 kN、350 kN、350 kN。

3 计算结果及分析

选取的计算模型近似于基坑长边中部的围护桩及桩周土体,所以计算结果与基坑长边中部的围护桩的实测结果进行比较分析(图 3~图 7)。

3.1 围护桩水平位移

计算结果表明:在开挖第一层土体(工况 2)后,由于及时加撑并施加预加轴力,使得桩顶发生向坑外方向的水平位移,随着开挖深度的增大和支撑的设置,桩顶位移不会明显增大,桩身中部向坑内凸出,桩身最大水平位移也相应地逐渐下移,开挖至基坑底部时,最大水平位移发生于桩顶以下约 16.0 m 处,其位移计算值约 32.0 mm。

实测结果表明:在开挖第一层土体(工况 2)后,桩顶水平位移向坑内方向约 7 mm,之后施工过程中,桩顶水平位移逐渐减小,桩身最大水平位移位置逐渐下移,开挖至基底,最大水平位移发生于桩顶以下约 15.0 m 处,其位移值约为 35.0 mm。由于实际施工中第一道支撑未及时架设,围护桩悬臂深度过大,导致桩顶水平位移实测值大于计算值。

比较计算结果和实测结果的桩身水平位移曲线,形状较为相似,呈“鼓肚”形状,计算与实测的桩身最大水平位移及发生位置较为接近。总体来讲,计算结果所反映的围护桩的变形趋势与实际较为吻合的。

3.2 桩身弯矩

(1) 由计算结果可知:在弯矩有拐点的位置基本上都是

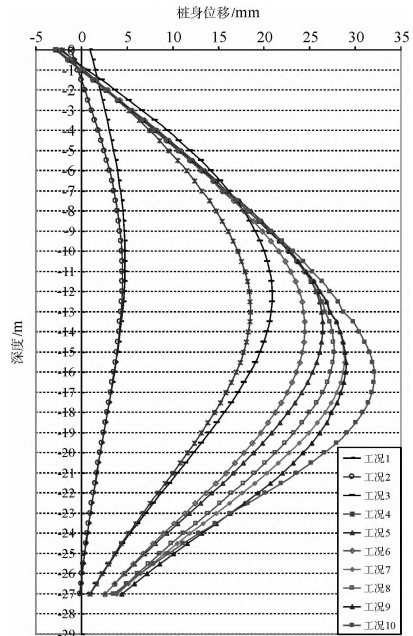


图 3 桩身水平位移计算结果

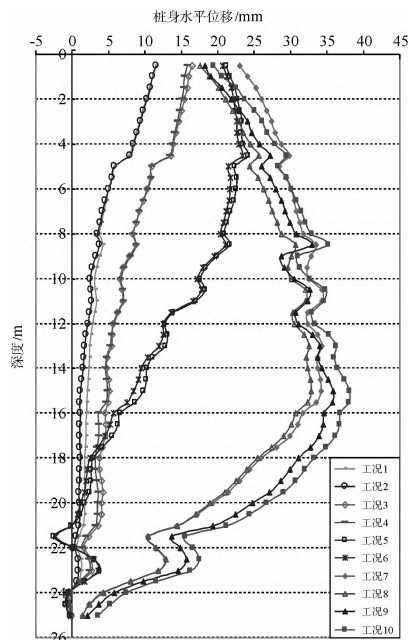


图 4 桩身水平位移实测结果

在支撑位置附近,说明支撑的设置并施加合理的预加轴力能有效减小桩身弯矩。最大弯矩值随开挖深度的增加而增大,最大弯矩值的位置随开挖深度的增加而往下移。桩身的最大正弯矩出现在开挖第四层土体时(工况 8),最大值 1 300 kN·m 发生深度在桩顶以下 15 m 处;最大负弯矩出现在开挖至基底(工况 10)时,最大值 -1 400 kN·m 发生深度在桩顶以下 25 m 处。

(2) 实测结果表明:基坑开挖结束时,桩身钢筋计最大拉应力实测值为 35.64 MPa,换算成弯矩值为 1 115.5 kN·m,发生深度在桩顶以下 16 m 处;最大压应力实测值为 -20.85 MPa,换算成弯矩值为 -652.6 kN·m,发生深度在桩顶以下

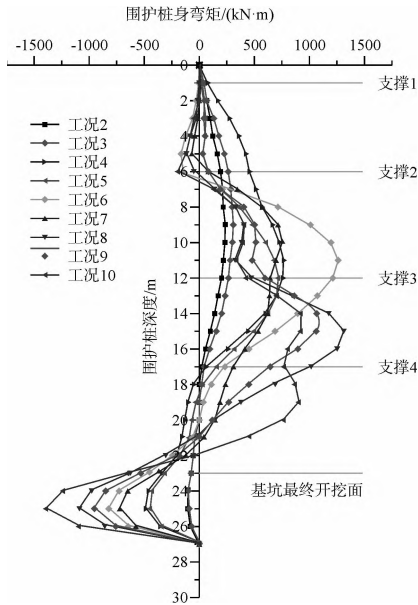


图5 桩身弯矩计算结果

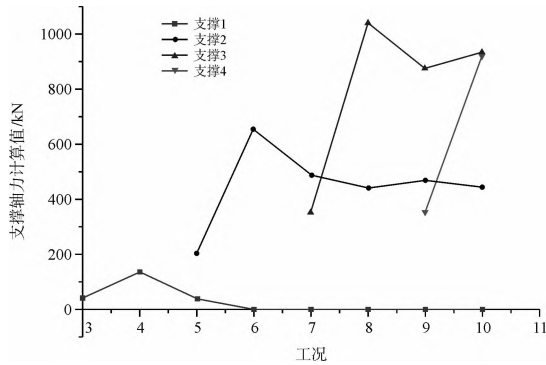


图6 支撑轴力计算结果

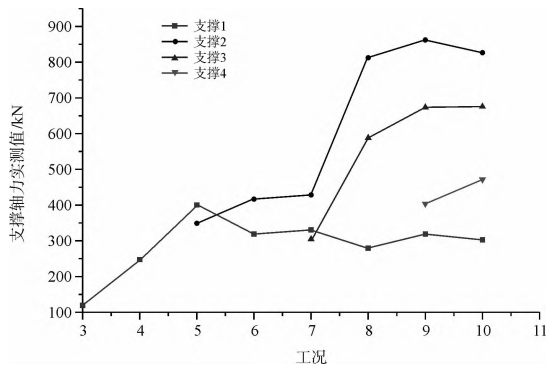


图7 支撑轴力实测结果

23 m 处。计算结果与实测结果存在差异,尤其是桩的嵌固段,计算的弯矩值比实测值大很多。

3.3 支撑轴力

(1) 计算结果表明:随着下一道支撑发生作用,上一道支撑的轴力趋势发生明显的减小,这是因为下道支撑分担上道支撑承受的压力。支撑1在支撑3发生作用时其轴力几乎为零,支撑2在支撑3参加工作以前轴力不断上升,且轴力增幅较大;随着支撑3发挥作用,其轴力变化趋势为缓慢下降并在后续工况趋于稳定;支撑3的情况则与支撑2比较类

似;支撑4因为加入体系后的工况较少,只剩下基坑开挖至底部这一工况,所以只能看出其轴力的上升过程。

(2) 从实测结果可看出,在基坑开挖整个开挖过程中,支撑1始终没有轴力为零,只是在支撑2和支撑3发生作用后,轴力在减小。支撑2、3的轴力没有经历减小的过程而是在一直增大,最后趋于稳定。在计算模型中支撑是用杆单元与桩共节点连接作用,与实际中钢管支撑与桩的相互作用存在差异;另外实际施工过程中支撑会应力松弛、损耗,导致实测值比计算值小。计算结果与实测结果在数值上有所差异,但总体变化趋势是一致的。

(3) 计算结果表明:基坑开挖结束,第3道支撑轴力最大,其值为1050 kN;第1道支撑轴力最小,其值为0,计算值小于设计容许值。

3.4 桩后土压力

(1) 桩后土压力的大小和分布是随着基坑的开挖和支撑的设置而变化的,并非朗肯土压力理论中墙后土压力分布形式,而是呈“R”形非线性分布的。

(2) 基坑开挖的整个过程,桩后土压力有限元计算值基本上都小于朗肯主动土压力计算值的,由于朗肯土压力理论忽略挡土墙与墙后填土存在摩擦力的事实,使得主动土压力计算值偏大。实际工程设计中桩后土压力采用朗肯主动土压力分布模式,导致设计偏于保守。

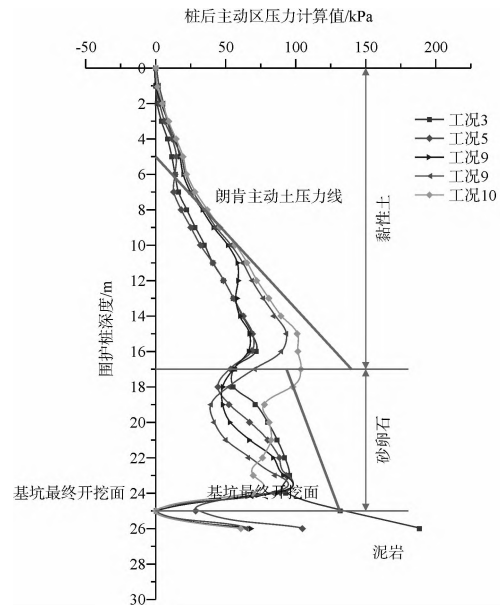


图8 桩后主动土压力计算结果

4 结束语

(1) 计算结果和实测结果的桩体水平位移曲线,形状较为相似,呈“鼓肚”形状。桩体最大水平位移值的计算值与实测值相差较小,最大水平位移发生位置也比较接近。

(2) 桩体的最大正弯矩计算值为1300 kN·m,实测值为1115.5 kN·m,发生深度均在桩顶以下15 m附近;围护桩嵌固段,桩体最大负弯矩计算值与实测值存在较大差异。

(3) 钢支撑轴力计算值与实测结果在数值上有所差异, (下转第200页)

- [29] 王施涵, 牛富俊, 张恒. 纳米材料在土体改性方面的研究进展[J]. 水利水电技术(中英文), 2021, 52(4): 209-219.
- [30] 曹向阳, 杨建森. 地聚合物及其混凝土的胶凝性质概述[J]. 硅酸盐通报, 2019, 38(7): 2095-2103.
- [31] 刘旭, 张默, 邵龙潭. 地质聚合物加固含硫软土的试验研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2018, 16(4): 136-142.
- [32] 林天干, 何华, 许东风, 等. 地聚合物加固软土力学性能及微观试验研究[J]. 长江科学院院报, 2018, 35(10): 104-108.
- [33] 邵斐, 温现明, 朱朝梁. 丙烯酸胺-丙烯酸乳液聚合物作为土壤防渗剂的研究[J]. 盐湖研究, 2012, 20(2): 35-38.
- [34] 戴艳辉, 王桂尧. 几种生态固化边坡的冲刷试验研究[J]. 中外公路, 2013, 33(6): 16-19.
- [35] Towards Novel Fluorinated Methacrylic Coatings for Cultural Heritage: A Combined Polymers and Surfaces Chemistry Study[J]. Valentina Sabatini; Eleonora Pargoletti; Valeria Comite; Marco Aldo Ortenzi; Paola Fermo; Davide Gulotta; Giuseppe Cappelletti. Polymers. 2019, 11(7): 1190.
- [36] 和玲, 梁国正, 武予鹏. 有机氟聚合物加固保护砂岩文物的可行性[J]. 材料导报, 2003(2): 82-84+78.
- [37] 赵家琛, 吕江, 赵晖, 孙宏磊. 高能级强夯处理抛填路基的有效加固深度[J/OL]. 土木与环境工程学报(中英文): 1-8 [2021-03-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1218.TU.20200728.0928.002.html>.
- [38] 吴火兵, 颜婉鸿. 锦屏一级水电站 f₅ 断层水泥固结灌浆试验[J]. 人民长江, 2008(19): 70-71+84.
- [39] 戴明珠, 王岩滨, 戴明哲. 压力灌浆在加固工程中的应用[J]. 低温建筑技术, 1999(2): 56+76.
- [40] 曾纪全, 来结合, 全海. 溪洛渡水电站软弱岩带固结灌浆试验效果检测[J]. 岩石力学与工程学报, 2001(S1): 1851-1857.
- [41] 王文涛, 刘元元, 师恩来. 高陡碎石土山体边坡支护技术[J]. 建筑技术开发, 2019, 46(20): 88-90.
- [42] 夏海涛. 锚索格构梁在高边坡加固中的应用[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2020, 16(1): 115-116.
- [43] 卢世英, 张德军, 张国栋. 岩土工程中边坡加固工程施工技术探讨[J]. 工程技术研究, 2020, 5(23): 52-53.
- [44] 廖志源. 静压钢管桩在桥梁基础加固中的应用[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2020, 16(10): 190-192.
- [45] 赖波, 韩耕文. 静压钢管桩在桥梁加固中的应用[J]. 中国高新技术企业, 2017(5): 127-128.
- [46] 孙志伟. 静压钢管桩在加固高填方地段房屋基础中的应用[J]. 山西建筑, 2016, 42(15): 69-70.
- [47] 张晓锋. 富水圆砾地层联络通道加固选型及应用[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2016, 29(02): 50-55.
- [48] 陈湘生. 冻结法几个关键问题及在地下空间近接工程中最新应用[J]. 隧道建设, 2015, 35(12): 1243-1251.
- [49] ZHUXianlei; WU Yunlong; HAO Zhenqun. Experimental analysis on frozen soils behavior in freezing method construction[J]. Journal of civil, architectural&environmental engineering, 2018, 40(3): 38-43.
- [50] 陈雪莹, 谭忠盛, 袁杰, 等. 富水圆砾地层盾构隧道联络通道加固技术研究[J]. 土木工程学报, 2017, 50(S1): 105-110.
- [51] 鲍永亮, 郝七振, 唐建忠. 上海地铁 10 号线某旁通道冻结法施工技术[J]. 施工技术, 2009, 38(9): 8-10.
- [52] 王博. 兰州地铁砂岩地层联络通道冻结法加固技术分析[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(11): 116-121.
- [53] 杨平, 陈瑾, 张尚贵, 等. 软弱地层联络通道冻结法施工温度及位移场全程实测研究[J]. 岩土工程学报, 2017, 39(12): 2226-2234.
- [54] 刘智, 陈伟仁. 预应力锚索装置在高速公路强风化高边坡中的应用[J]. 建筑机械, 2021(1): 64-67.
- [55] 赵抚民, 黄震钢, 温平平. 不同因素对基坑桩锚支护结构变形的影响[J]. 南昌大学学报(工科版), 2020, 42(2): 163-168+204.
- [56] 何兴熠. 岩土工程边坡治理中的预应力锚索技术[J]. 西部资源, 2020(4): 79-81.

(上接第 193 页) 但总体变化趋势是一致的。

(4) 桩后土压力有限元计算值基本上都小于朗肯主动土压力计算值的, 若实际工程设计中桩后土压力采用朗肯主动土压力分布模式, 将导致设计偏于保守。

(5) 由于影响基坑围护体系的内力与变形的因素非常复杂, 工程实际条件与有限元计算假定的条件有较大差别, 施工过程又会受到各种因素的影响等原因, 使得计算值与实测值存在一定的差别, 但整体上看, 计算值与实测值基本吻合。

参 考 文 献

- [1] 吴兵. 成都地区地铁车站深基坑排桩支护结构受力规律研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.
- [2] 吴兵. 成都排桩支护结构对土层参数敏感性分析[J]. 四川建筑, 2019(3): 158-161.
- [3] 费康, 张建伟. ABAQUS 在岩土工程中的应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [4] 刘成宇. 土力学[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2006.