 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i7.11049

Deep Foundation Pit Rock and Soil Excavation Construction Technology and Deformation Control Measures

Hailin Li

Hunan Chemical Geology Engineering Investigation and Design Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410004, China

Abstract

This paper takes the deep foundation pit project of Star River Building in Sanya as an example, analyzing the stratum structure, hydrological conditions, and surrounding environment of the project site. It discusses the main construction techniques such as layered excavation, triaxial mixing piles, cast-in-place piles, and internal supports. It analyzes the deformation causes such as rock and soil bodies, groundwater, and construction loads, and proposes corresponding excavation, support, dewatering, and surrounding protection control measures. In addition, an information-based monitoring system is established, and an emergency handling plan for leakage and deformation exceeding standards of the foundation pit is formulated. This can provide engineering references for the excavation and deformation control of deep foundation pits in complex coastal strata and similar projects.

Keywords

deep foundation pit; rock and soil excavation; construction technology; deformation control

深基坑岩土开挖施工技术及变形控制措施

李海林

湖南化工地质工程勘察院有限责任公司，中国 · 湖南 长沙 410004

摘　要

本文以三亚星河大厦深基坑工程为例，对项目场地地层结构、水文条件、周边环境等进行分析。论述深基坑分层开挖、三轴搅拌桩、灌注桩、内支撑等主要施工工艺，分析岩土体、地下水、施工荷载等变形诱因，提出相应的开挖、支护、降水、周边防护控制措施。另外建立信息化监测系统，制订基坑渗漏、变形超标的应急处理方案，可以给类似滨海复杂地层深基坑开挖和变形控制提供工程参考。

关键词

深基坑；岩土开挖；施工技术；变形控制

1 引言

滨海地区地层含砂层、软弱土层多，地下水丰富，深基坑开挖易造成侧壁滑移、地表沉降、邻近建筑物损坏等。三亚星河大厦基坑开挖深度大、周围建构筑物多，安全等级为一级，施工风险高。为了保证施工安全和周围环境的稳定，对岩土开挖技术及变形控制措施进行研究，总结出可行的施工工艺和控制措施，给现场施工以及同类工程提供一定的理论和实践上的借鉴。

2 工程概况与场地地质水文条件

2.1 项目概况及基坑设计

本工程为三亚星河大厦商住办公项目，拟建 17 层高层写字楼，设地下 3 层地下室，建筑总高约 94.5m。场地 ±0.00 绝对标高 7.90m，地下室筏板底标高 -7.80m，基坑开挖深度 15.10 ~ 17.60m，基坑围护总周长约 218m。

本基坑安全等级为一级，重要性系数为 1.1，支护结构设计使用年限为 1 年，属于超过一定规模的危险性较大的分部分项工程，施工全过程必须严格按照专项设计和专家论证的要求进行作业。

开挖及支护方式：A-B 支护段采用上部土钉墙＋下部灌注桩（桩后三轴搅拌桩止水）＋混凝土内支撑的形式进行支护；其它支护段采用灌注桩（桩后三轴搅拌桩止水）＋混凝土内支撑的形式进行支护。

地下水的防治：1、采用 ϕ600 管井降水，抽水设备使用根据现场实际水量进行配置和调控启动与关闭，土方开挖至底板标高时如还存在明水，增加轻型井点降水：直径 ϕ50PVC 管，深度 5m 每根，间距 2 米 / 根，具体施工工程量以现场实际施工工程量为准；2、采用三轴搅拌桩止水；3、在坡顶设置 300×300 截水沟，坑内设置 300×300 排水沟，

【作者简介】李海林（1974–），男，中国湖南安仁人，本科，高级工程师，从事岩土工程研究。

抽出的地下水通过排水管排放到市政雨水管道。

2.2 基坑周边建构筑物及环境条件

拟建场地位于三亚市迎宾路西北侧、中铁置业广场西南侧，场地现状为空地。基坑东北侧距离 26 层中铁置业大楼约 8m，该建筑为桩基础框架结构；西南侧距 7 层砖混居民楼仅 3m，采用天然浅基础；东南侧紧邻城市主干道迎宾路；西北侧为特殊用地。场地周边建构筑物密集、距离近，地下管线分布复杂且没有完整的管线图纸，基坑开挖及支护施工容易对周边建筑、道路、管线产生扰动，对变形控制要求很高。

2.3 场地地层结构与岩土工程特性

根据场地详细勘察报告可知，基坑开挖范围内的自上而下为素填土、砾砂、粘土、粉砂、粉质粘土等多层岩土体。第①层素填土结构松散、均匀性差，工程性质较弱；第②层砾砂、第④层粉砂、第⑤层砾砂为松散～中密状，透水性强；第③层、第⑥层粘土呈可塑～硬塑状态，压缩性中等，承载力较好。各土层物理力学指标、抗剪强度、压缩模量、承载力特征值清楚，土层分布起伏不大，但砂层富集、透水性强，开挖容易造成渗水、流砂、边坡失稳等问题，给开挖施工和变形控制带来很大困难。

2.4 场地地下水分布及水文地质特征

场地无地表水分布，地下水主要是潜水和少量的孔隙裂隙水，勘察期间地下水位埋深为 5.60 ～ 6.10m，水位标高为 1.46 ～ 2.04m，年水位变幅约为 2.0m。粉砂、砾砂层为强透水层，粘土、粉质粘土为弱透水层，地下水主要靠大气降水和层间渗流补给。经水质检测可知地下水对混凝土具有弱腐蚀性，对钢筋有微腐蚀作用，基坑施工时应做好降水、止水、防腐防护，控制地下水渗流引起的基坑变形和侧壁渗漏。

3 深基坑岩土开挖及配套支护施工技术

3.1 深基坑分层分段开挖施工工艺

本基坑严格按照分层、分段、对称、限时开挖的原则进行施工，每层开挖厚度控制在 2.0m 以内，纵向分段开挖长度不大于 20m，开挖面高差严格控制在 2m 以内。采用机械开挖结合人工清底的方式，机械开挖距基底预留 200 ～ 300mm 原状土由人工修整，防止扰动坑底岩土体。开挖工序与支护、内支撑施工同步穿插，上一道支撑混凝土达到设计强度的 75% 后才能进行下一层土方开挖，严禁超挖、陡挖，减少基坑无支护暴露时间，从工艺源头控制侧向变形 [1]。

3.2 坑中坑及土石方开挖施工要点

本工程地下室电梯井、集水井为坑中坑形式，开挖深度大，边界条件不好，施工风险高。坑中坑开挖应单独编制专项方案，按照先整体后局部、分层逐级下挖的原则进行施工，严禁一次挖深。土石方开挖时严禁在基坑周围堆放土石方、建筑材料，重载车辆不得长时间停放在基坑边缘；雨季停止大面积开挖，对已开挖的坡面进行覆盖防护，防止雨水冲刷造成坡体滑移和地表沉降。开挖完毕后 24h 内及时浇筑垫层，封闭坑底土体。

3.3 三轴搅拌桩止水帷幕施工技术

本基坑用 ϕ650 三轴水泥土搅拌桩做止水帷幕，采用套接一孔法施工，转角处用十字搭接工艺。水泥选用 P.O42.5 普通硅酸盐水泥，水泥掺量为 20%，水灰比为 1.5，28d 无侧限抗压强度不小于 1.0MPa。施工严格控制桩机垂直度偏差 ≤1/200，搅拌下沉速度 0.6m/min、提升速度 1.5m/min，送浆压力控制在 1.5 ～ 2.5MPa。桩体搭接间隔不超过 24h，防止施工冷缝的出现，通过成桩试验来确定最佳工艺参数，形成连续封闭的止水系统，阻止地下水侧向渗流。

3.4 钻孔灌注桩与内支撑施工工艺

基坑支护为钻孔灌注桩加三道钢筋混凝土内支撑的形式，灌注桩用 C30 水下混凝土，严格控制桩位、孔径、垂直度偏差。施工采用隔桩成孔灌注工艺，间隔不小于 24h，孔底沉渣厚度严格控制在规范允许范围内。桩顶浇筑冠梁，同步施工围檩和三道混凝土内支撑，冠梁、支撑梁均采用 C35 混凝土，待强度达到设计要求后方可进行下层开挖。竖向采用型钢格构立柱、灌注桩整体浇筑，严格控制立柱垂直度、安装标高，保证支撑体系整体刚度、受力稳定 [2]。

3.5 喷锚支护、冠梁及格构柱施工技术

基坑上部采用土钉墙＋挂网喷锚支护体系，采用 ϕ48×3.0 钢花管土钉，按 15° 倾角打入土体，采用二次劈裂注浆工艺，水灰比 0.5 ～ 0.55，分级注浆压力严格控制。坡面上设 ϕ6.0@200×200 的钢筋网，喷射厚度为 60mm 的 C20 混凝土分段从下往上升铺，保证坡面防护的整体性。冠梁施工前破除桩顶浮浆，设置垫层和隔离层；格构柱和钢筋笼可靠焊接，控制插入桩基深度，穿越地下室底板处设置止水构造，保证支护体系整体协同受力，防止基坑变形发展。

4 深基坑施工变形影响因素及控制措施

4.1 岩土体与地下水对基坑变形的影响

场地素填土结构松散、自稳能力差，砂层孔隙大、渗透性强，开挖后容易出现侧向滑移和地表沉降；粘土层虽然稳定性好，但是受开挖卸荷容易产生蠕变变形。地下水是引起基坑变形的主要因素，砂层富水性好，止水失效容易产生管涌、流砂，导致坑壁坍塌和周围地面不均匀沉降，水位升降变化会使土体有效应力发生变化，进而加大支护结构的侧向位移和周边建筑物沉降变形。

4.2 开挖工序及堆载作用的变形诱因

土方开挖顺序不合理、分层超挖、支撑滞后，都会破坏基坑原有的应力平衡，使支护结构侧向位移增大。基坑周边违规堆土、建材堆放，重型机械近距离行驶产生的附加荷载会增大侧壁土压力，加重变形。同时坑边临时建筑、施工

便道荷载超标的都会改变土体受力状态，引起坡体开裂、沉降超标等变形隐患，属于现场变形失控的人为因素。

4.3 岩土开挖施工变形管控技术措施

严格实行分层分段对称开挖程序，控制每层开挖厚度和分段长度，缩短无支护暴露时间，坚持“随挖随支、先撑后挖”，保证内支撑、喷锚支护及时闭合[3]。机械开挖留有人工清底层，尽可能保护原状土体；合理安排出土路线和堆土区，明确基坑 3m 内禁止装载区，控制临时荷载标准。雨季做好坡面覆盖、坑内及时排水，防止雨水入渗软化岩土体，从施工全过程控制变形发展。

4.4 支护结构与降水工程变形防控措施

严格控制三轴搅拌桩、灌注桩、喷锚和内支撑施工质量，保证支护结构整体刚度和封闭性。采用管井降水与明沟排水相结合的方式，在坡顶、坑内设 300×300 截排水沟，降水井间距合理布置，按需降水、匀速降水，防止水位突然下降造成附加沉降。当发生帷幕渗漏时，立即用引流封堵、注浆堵漏的方法进行处理，稳定地下水位，减小水土压力对支护结构的影响，达到变形有效的控制目的。

4.5 邻近建（构）筑物及地下管线保护措施

施工前查明基坑周围建筑物、道路、地下管线的位置，确定保护重点范围。严格控制基坑变形速率和累计沉降值，按照监测预警标准进行施工；施工全过程采用低扰动工艺，控制施工振动和降水的影响[4]。对西南侧居民楼、东北侧写字楼等近处的建筑加密监测，当沉降、裂缝接近预警值时立即停止开挖，用回填反压、注浆加固等方式来保证既有建筑和管线的安全。

5 基坑信息化监测与施工应急保障措施

5.1 基坑监测项目布设及监测

本工程采取仪器监测和现场巡视相融合的信息化监测手段，主要监测项目有支护桩顶水平及竖向位移、深层水平位移、支撑轴力、地下水位、周边地表沉降、邻近建筑变形、地下管线位移等[5]。按照规范合理布置监测点位，埋设测斜管、应力监测元件，严格按照设计和规范要求布置监测断面，全面采集基坑及周边环境变形数据，为动态施工提供依据。

5.2 施工全过程监测频率与预警阈值

根据基坑开挖的不同阶段来确定监测频率，在开挖深度为 1/3 时每 2 ~ 3 天监测一次，开挖深度为 1/3 ~ 2/3 时每天 1 ~ 2 次，开挖到底后逐步减少到每天 1 ~ 2 次。确定基坑位移、沉降、支撑轴力、建筑裂缝的预警控制值，位移变化速率、累计变形超过预警值时，或者连续 3 次超 70% 阈值时立即发出预警，对原因进行分析，并采取相应的防控措施。

5.3 工程施工重点难点及危大工程管控

本基坑开挖深度大、安全等级高，周边建筑密集、砂层发育、地下水丰富，属于典型的危大工程。施工重点为深基坑分层开挖、止水帷幕质量、内支撑施工、坑中坑支护；难点为砂层防流砂、渗漏治理和近距建筑物变形控制。施工前编制专项方案并组织专家论证，严格控制工序交接、技术交底，严格控制桩、撑、帷幕关键工序的质量，实行全过程旁站和动态控制。

5.4 基坑渗漏及变形超标应急处置措施

制定完善基坑应急预案，在现场经常备足钢管、砂袋、注浆材料等应急物资[6]。当基坑变形速率超过允许值或者位移不断增大时，立即停止开挖，用坑内回填反压、坡顶卸载；出现渗漏、流砂、管涌时，采用引流封堵、双液注浆加固；周边建筑出现新增裂缝或沉降超限时，及时采取回灌地下水、地基注浆加固。内支撑拆除必须按照先换撑后拆除的原则进行，不得违规拆解，保证基坑整体稳定，防止安全事故的发生。

6 结语

文章根据星河大厦的实际工程情况，对场地地质水文及周边环境进行了分析，并对深基坑岩土开挖及配套支护的标准化施工过程进行了总结。分析了地质、水文和施工人为因素对基坑变形的影响，提出了开挖、支护、降水、建筑物保护一体化的控制措施。通过创建信息化监测和应急保障体系，可以有效地控制基坑变形的风险，有关的技术和管理经验可以给滨海地区类似的深基坑工程施工提供一定的参考借鉴。

参考文献

[1] 易柏洲.公共建筑深基坑土石方分层分段开挖施工技术与稳定性控制研究[J].居业,2026,(5):73-75.

[2] 常利鹏.深厚软土地层深基坑变形特征及局部支护失效对其稳定性影响的研究进展综述[J].江西建材,2025,(10):15-17.

[3] 王同华.软弱地层地铁深基坑施工邻近建筑物微变形控制技术[J].都市快轨交通,2025,38(1):129-135.

[4] 王强.岩土工程施工中深基坑开挖支护技术应用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(25):91-93.

[5] 罗劲松.岩土工程施工中深厚软土深基坑开挖支护技术[J].建筑技术开发,2023,50(12):172-174.

[6] 王卫东.软土深基坑变形及环境影响分析方法与控制技术[J].岩土工程学报,2024,46(1):1-25.