

复杂环境背景下的深大基坑支护与降水技术

李静 刘英驹

山东正元建设工程有限责任公司临沂分公司

摘要: 随着社会经济发展速度不断加快,土地资源更加紧张,大部分工程逐渐趋向于地下发展,对基坑支护与降水效果提出了更高要求。现阶段深大基坑支护与降水技术种类增多,具体实施期间的要求更为复杂,需要在工程设计阶段结合施工现场工程地质与水地质文条件,对比分析不同深大基坑支护与降水技术适用范围,对基坑支护与降水设计方案进行不断优化。本文就针对以上背景,以复杂环境背景下深大基坑支护与降水特征及具体实施要求为切入点,结合具体案例工程,提出深大基坑支护及降水设计方案,对工程进行施工后监测,以供参考。

关键词: 复杂环境; 深大基坑支护; 降水

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.14.034

前言: 现阶段深大基坑支护设计、施工过程中面临着周边建筑密集、交通及地下管线复杂等问题,在具体支护过程中不仅需要依据施工要求开展基坑土方开挖工作,还需要切实保障土体结构的稳定性,避免对土壤环境造成严重扰动。由于深大基坑支护及降水技术种类较多,在具体设计过程中需要结合工程地质环境特征,评估技术方案的可行性与经济适用性,做好支护结构内力及变形计算工作,配合使用现场监测数据对比分析方式,及时发现并改正施工技术方中存在的漏洞问题。

一、复杂环境背景下深大基坑支护特征及要求

(一) 深大基坑支护特征

在深大基坑支护工作开展过程中,设计人员应当结合施工现场具体勘查结果,对设计方案展开全面统筹规划及部署,针对土方开挖等关键步骤,制定出专项可行的质量及安全保障对策。

通常情况下,深大基坑体系为临时结构,在具体应用期间的安全隐患较大。由于深大基坑周边地形环境较为复杂,极易受到环境因素、技术因素、管理因素等影响出现施工安全隐患^[1]。同时,复杂环境背景下的深大基坑也会在地下水的作用下产生渗漏等问题,需要在深基坑支护设计过程中选择适宜的降水技术,不断优化降水施工方案内容,确保工程施工工作能够顺利开展。具体来说,深基坑支护工程特征主要体现在以下几个方面:

第一,区域性。在深基坑工程支护结构设计与施工环节,不同区域的工程地质与水文地质条件存在较大差异,基坑特点也各不相同。为避免深基坑工程由于区域性产生较大差异的建设理念,应当结合具体项目的工程地质与水文地质特征,展开针对性的设计工作,切实保障深基坑支护的设计和施工水平。

第二,综合性^[2]。深基坑工程施工与岩土工程、结构工程施工经常会出现相互交叉情况,需要在深基坑设计方案制定期间着重做好支护强度、变形控制、地层透

透度等调查工作,提升深基坑设计方案的综合性。

第三,动态性。动态性特征主要是指深基坑支护施工工作开展期间,施工现场地质特征与施工条件等受环境因素、技术因素及操作因素的影响出现变化。在土质特征与实际不符以及施工条件改变的情况下,工程深基坑建设特征也会随之更改,实际施工期间的各类风险因素更多,需要对设计及施工方案进行持续动态调整。

(二) 深大基坑支护要求

深大基坑支护及降水工作涉及的流程较多,施工要求更为严格。总结现有工程设计及施工经验,发现在深大基坑支护过程中需要以保障基坑坑壁结构的稳定性为目标,需要设计部门与施工部门、现场勘察部门进行协调沟通,结合施工现场具体情况切实优化深大基坑支护方案内容,避免工程的具体实施期间经常出现变更问题,对工程整体效益造成不利影响。

二、工程概况

(一) 深大基坑支护工程案例

本文以某市金山郡府工程为例,该工程位于纬十七路南侧、黄河大道西侧。工程拟建住宅楼5栋,酒店1栋,地上18~20层,地下2层,采用剪力墙结构,钻孔灌注桩与筏板基础,以第10层的粉质黏土为桩端持力层。基坑深度8.6m,基坑安全等级为二级。基坑平面为长方形,南北宽度为91.2m,东西长度为337.9m,基坑周长902m,开挖面积约30090m²。

(二) 基坑周边环境

周边环境较为复杂,详述如下。

北侧开挖边线距离施工道路约1.1~3.4m,宽度4.0m,距离用地红线约5.1~7.4m,红线外侧为纬十七路绿化带,宽度15.0m。

东侧开挖边线距离用地红线约3.4m,红线外侧为黄河大道绿化带,宽度23.0m;距离雨水管线(砼1200)轴线约3.4m,管底埋深约4.0m。

南侧开挖边线距离用地红线约1.3~7.5m,距离临建(铁皮)约6.8m,距离变电室约0.7m。

西侧开挖边线距离用地红线约8.6m,红线外侧为新华路绿化带,宽度12.0m;距离已建7#楼独立基础边线4.4m,基础埋深2.8m,荷载100KPa。

(三) 工程地质条件及水文特征

施工现场相对平坦,属于黄河冲积平原地貌。基坑开挖能够影响的地质范围主要包括素填土、粉土、粉砂等多种类型。其中,粉土层数多,具备湿~很湿、稍密~中密等特征。

工程地下水为第四系孔隙潜水,潜水的含水层岩性主要为粉土及粉砂,补给来源为大气降水,具体排泄方式为人工开采及地下径流。水位埋深约2.10m,水位的年变幅值约为1.0~2.0m,近3~5年的最高水位埋深为1.0m。

（四）工程施工重点及难点

由于该工程位于城市中心地带，深基坑支护及降水环节面临的地上与地下环境十分复杂，建筑物、地下管网以及线路等距离基坑的开挖边线较近，需要严格控制基坑变形度。基坑开挖面积大、开挖深度较深，结合施工现场地质勘察结果，要求对深基坑支护方案及降水技术手段进行不断论证，避免地下水位降幅过大引发土体沉降变形问题，对深基坑支护结构的稳定性造成不利影响。

三、复杂环境背景下深大基坑支护与降水方案设计

（一）深基坑支护方案设计

1. 常见深基坑支护方式

现阶段关于深基坑工程的支护方式种类不断增多，具体可包括土钉墙、复合土钉墙、水泥土重力式挡土墙、悬臂式围护结构、拉锚式围护结构、内撑式围护结构、门架式围护结构等多种类型。

土钉墙及复合土钉墙结构主要用于维持土体稳定性，施工期间的材料用量少，能够切实保障基坑侧壁或边坡稳定。复合土钉墙结构主要就是将土钉墙与止水帷幕、微型桩或预应力锚杆等结合在一起。土钉墙与预应力锚杆的组合方式能够有效切实提升基坑稳定性，控制基坑变形度，适用于对基坑变形要求更高的工程中。

水泥土重力式挡土墙主要就是将水泥作为固化剂，将固化剂及地基石搅拌在一起，形成具有一定厚度的连续搭接的水泥土柱状加固体挡墙。水泥土重力式挡土墙也可作为封闭止水帷幕，实际止水性更强。但在具体应用过程中存在占用空间大、围护结构位移控制力弱等缺陷。

悬臂式围护结构是一种具有一定刚度的板式支护体，具体可包括型钢水泥土搅拌墙、钢板桩及地下连续墙等多种类型。由于悬臂式围护结构，必须敞开式开挖，对施工场地面积具有较高要求，具体实施期间的应用成本较高。

拉锚式围护结构由挡土结构及拉锚系统组成，挡土结构可使用钻孔灌注桩、钢板桩等，拉锚结构可以使用锚杆和腰梁。通过将挡土结构与拉锚系统结合在一起，能够切实提升基坑结构的稳定性。相较于其他围护结构而言，拉锚式围护结构具有整体刚度大、构件尺寸小、侧向位移小等特征，可以应用在开挖面积大、对周边环境变形控制要求高的基坑工程内，切实提升了土方开挖与地下室结构施工的效率。锚杆需要依赖土体的强度提供锚固力，因此土体强度越高、锚固效果就越好。值得注意的是，在拉锚结构使用过程中，需要严格控制锚杆施工全过程的质量，避免锚杆的强度及稳定性不佳，导致后续周边土体结构出现大幅度沉降问题。

内撑式围护结构具有承载力大、变形小、安全系数高等特征，现阶段应用范围逐步扩大。内撑式围护结构具体可以分为水平支撑体系、竖向斜撑体系两种类型。其中，水平支撑体系较为常见，在具体施工过程中的中心岛可以结合竖向支撑围护结构，从根本上提升整体结构的稳定性。内支撑围护结构也可分为钢支撑、钢筋混凝土支撑两种支撑体系组合形式。其中，钢支撑主要

就是在基坑中配合使用钢构件焊接或螺栓连接方式，提升支护结构整体稳定性。由于钢支撑的架设与拆除速度快，在架设完毕后不需要养护就可直接开挖地下土层，且钢支撑可以回收再利用，施工期间的经济效益更加显著。

门架式围护结构就是配合使用前后排钻孔灌注桩相结合方式，将压顶梁与连续梁组成刚度较大的门架，切实提高围护结构的整体抗变形能力，并在前后排钻孔桩之间借助水泥土进行进一步加固。门架结构具有施工效率高、开挖便捷等优势，但在具体应用期间的结构变形量较大、占用现场面积大，多数被应用在开挖深度较浅的基坑工程中。

2. 深基坑支护设计方案选择

在深基坑支护工程设计工作开展期间，应当着重考虑施工现场地质条件，明确基坑开挖深度、基坑周边环境条件、主体工程建设要求、施工现场温湿度、施工单位具体施工能力等各项因素。

着重关注常用支护结构的计算工作，对支护结构的内力进行全面分析。现阶段常见支护结构数据分析方式主要包括等值梁法、弹性地基法以及数值分析法。在等值梁法计算过程中，主要就是计算出多锚杆挡土结构内力值。首先假定挡土结构弹性曲线反弯点即假想铰的位置，如果假想铰的弯矩值为0，可把挡土结构划分为上下两段，上部为简支梁结构，下部为超静定结构，可以依照弹性结构连续梁得出挡土墙剪力、弯矩以及支撑轴力值，设置合理的锚杆位置及开挖深度值。

在本文案例工程中的基坑开挖深度较大，周边无大放坡空间、地上建筑及地下线路均较为复杂，对基坑支护结构的变形要求更为严苛，适用的结构为桩锚支护结构、内支撑支护结构、斜支撑支护结构、内支撑与桩锚相结合的支护结构等。出于对施工整体经济效益、安全效益的考虑，初步选择使用桩锚支护方案。

具体支护过程中，就是将自然放坡与钢筋混凝土排桩、预应力锚索结合在一起。结合施工现场地质勘察结果，基坑开挖深度以及粉砂层厚度较大，可以使用桩锚支护以及短构筑土钉相结合的方式。

（二）深基坑支护结构实施

1. 放坡支护体系

在本文案例工程中，支护结构的侧壁安全等级为二级，大放坡空间不足，为降低工程造价，在不影响周边建筑物及管线安全的基础上可考虑局部进行放坡，上部3.0m土层采用1:0.8比例放坡，坡面整体采用挂网喷射混凝土，混凝土的强度等级为C20，厚度为60mm。

2. 桩锚支护体系

深基坑支护结构使用了钢筋混凝土排桩、预应力锚索相结合的方式，基坑支护结构简图见下图1。钢筋混凝土排桩桩径为0.8m，排桩间距为1.5m，桩身长度为15m，桩纵筋采用HRB400。锚索布置采用一桩一锚，2层锚索拉结，考虑到粉砂、粉土地层较厚，普通锚索成孔施工易塌孔缩径，施工质量不易保证，采用高压旋喷锚索施工工艺。锚索长度为16~17m，锚固体直径500mm，钻孔倾斜度为20度。锚索端部腰梁采用22a双拼槽钢，

桩间土挂设钢筋网，喷射混凝土的厚度为60mm，强度为C20。

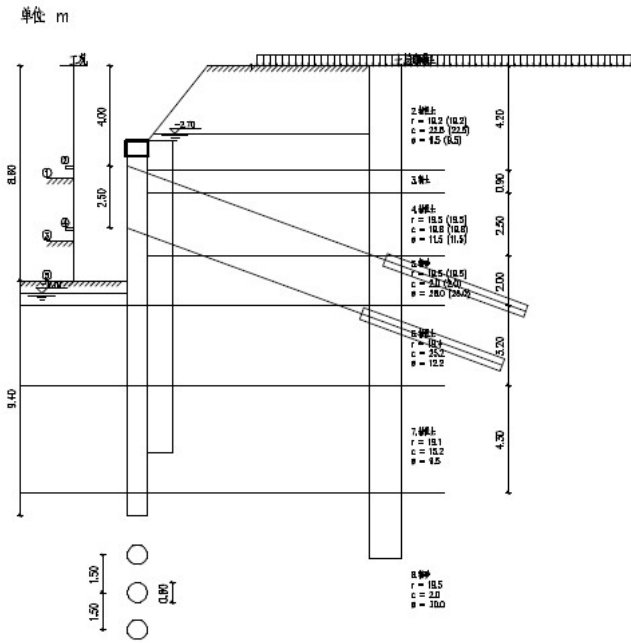


图1 基坑支护剖面示意图

3. 基坑截水设计

经过实际调查研究发现，地下水位较高、基坑较深，长时间降水对周边环境的沉降影响较大，为避免降水对周边环境造成恶劣影响，基坑采用悬挂式三轴搅拌桩止水帷幕，形成封闭的截水防护体系。帷幕桩长16.6m，桩底进入渗透系数较小的第⑦层粉质黏土层，桩径 $\phi 850\text{mm}$ ，套接一孔，采用P.O 42.5普通硅酸盐水泥，水泥掺入比按15%控制，每幅每延米掺灰量不少于 $300\pm 30\text{kg}$ ，水泥浆水灰比取1.5。

4. 基坑降水设计

因基坑设置了封闭的悬挂式三轴搅拌桩止水帷幕，有效延长了坑外地下水的渗流路径，故在基坑内侧设置了疏干井疏干地下水，疏干井深度15.6m，间距约30m，成井直径600mm。考虑到粉土、粉砂渗水性较差，电梯井、集水坑增设潜水泵进行明排、挖设盲沟及局部轻型井点降水的方案。

降水工作需要在基坑开挖前2~3周开展，抽取的地下水经沉淀池沉淀后需要使用管道集中排放到场外市政管道。在进行疏干井运行前，需要首先测量各井口之间的标高值、井内静止水位，然后对管井进行试运行，确保施工现场布置的抽水设备、抽排水系统能够切实满足降水要求。

四、复杂环境背景下的深基坑支护监测

在复杂环境下深基坑开挖与监测过程中，需要配合使用信息化管理手段，对施工期间的支护结构、土体变形情况、周边道路及建筑物进行监测。实际监测频率应当满足施工现场具体要求。要求监测结果应当及时精准，针对发现的基坑支护结构变形、位移等情况需要立

即制定相关解决方案，在变形问题解决完毕后才可开展后续施工作业工作。

重点关注基坑监测环节，避免基坑支护工作对周边土体以及建筑物造成过大扰动。及时开展监测建筑物变形、位移等情况，在基坑变形超过变形值或报警值的情况下，需要立即启动应急预案并采取补救措施。

在基坑工程施工期间使用自动化监测技术取代人工监测手段，对基坑施工进行全过程、全方位、全时段监测。针对基坑重要监测指标，加大监测频率，向建设单位及施工单位提供全面实时的监测数值，及时发现与解决存在于基坑施工期间的隐患问题。对比分析自动化监测参数，在基坑变形度超过预警值的情况下第一时间发出预警，增强基坑施工期间的安全性。借助自动化监测系统中的数据管控系统，提升监测数据收集与处理水平，有效控制基坑数据处理期间的误差情况。

现阶段基坑工程自动化监测工作内容主要分为构筑物主体、围护结构、地下水、支撑轴力监测等。由于基坑自动化监测内容复杂、监测点位及监测频率不一致，需要结合基坑工程具体设计要求，选择适宜的自动化监测技术。

基坑开挖势必会引起周围土体应力状态的改变，导致坑壁土体以及基护结构出现位移或变形问题，具体可表现为基坑内土体隆起、支护结构与土体水平位移、垂直位移等情况。在本文基坑工程中，主要对支护结构位移、地下水位变化、周边建筑物沉降、锚索内力、深层水平位移等进行了动态监测。监测结果发现，桩顶的最大位移值、土体最大深层水平位移值、地表裂缝值等整体变形量均处于监测预警范围内，附近构筑物以及管线的变形数值也符合设计要求，证明深大基坑支护与降水技术的应用可行性良好。

总结

总而言之，深大基坑工程是现阶段各类建设工程重要项目之一，基坑支护与降水的设计和施工水平可直接影响到工程后续运营期间的安全性。随城市化建设进程不断加快，工程建设期间面临着施工场地狭窄、周边环境复杂等问题。通过分析案例工程水文地质条件，发现在深大基坑支护及降水设计工作中选择使用自然放坡与桩锚支护结构相结合的方式，具备安全可靠、经济效益显著、施工工期短等优势。不仅如此，桩锚支护体系属于超静定结构，对复杂环境下的深基坑适用性更强，但仍需要在具体施工期间做好巡视工作，对基坑支护结构的变形情况进行实时监测与动态管理，推动深基坑支护及降水全面监管工作有序开展。

参考文献

[1] 孟坚, 陶世强. 复杂环境背景下的深大基坑支护与降水技术[J]. 中国高新科技, 2022 (07): 92-93.
 [2] 李广, 杨泽平, 张敏思, 程新俊, 梁海安, 胡光阳, 曾浩. 复杂环境下深大基坑逆作法拉森钢板桩支护设计[J]. 建筑结构, 2021, 51 (22): 141-146+108.
 [3] 路志南. 砂岩层较厚地层深大基坑支护、降水设计实例[J]. 甘肃科技纵横, 2021, 50 (03): 36-40.