

复杂环境下深基坑支护设计研究

王培 石娜*

河北建研建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要] 伴随着我国的城市化建设不断深入进行, 地下工程建设规模越来越大, 深基坑工程往往需要在建筑物密集、地下管线纵横交错、以及地质情况较差等地段开展施工, 对于围护结构的设计就提出了很高的要求, 本文较为全面地分析了其所存在的主要问题及难点, 总结了相关的围护设计方案及其分析手段。本文的主要研究方向即复杂地层条件下适合的设计方案体系以及如何对施工过程中可能出现的风险进行防范。认为必须要从系统的角度、发展的观点出发来进行设计, 在设计的过程中要充分考虑到地质勘探、变形监测、施工管理以及风险管理等方面的因素, 只有这样才能做到既保证安全又降低环境影响。

[关键词] 复杂环境; 深基坑; 支护设计; 变形控制; 风险控制

DOI: 10.33142/aem.v8i1.18916

中图分类号: U448

文献标识码: A

Research on the Design of Deep Excavation Support in Complex Environments

WANG Pei, SHI Na*

Hebei Jianyan Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the continuous deepening of urbanization construction in China, the scale of underground engineering construction is becoming larger and larger. Deep foundation pit engineering often requires construction in areas with dense buildings, criss crossing underground pipelines, and poor geological conditions, which puts forward high requirements for the design of enclosure structures. This article comprehensively analyzes the main problems and difficulties that exist, summarizes relevant enclosure design schemes and analysis methods. The main research direction of this article is the design scheme system suitable for complex geological conditions and how to prevent potential risks during the construction process. It is believed that design must be approached from a systemic and developmental perspective, taking into account factors such as geological exploration, deformation monitoring, construction management, and risk management during the design process. Only in this way can safety be ensured while reducing environmental impact.

Keywords: complex environment; deep foundation pit; support design; deformation control; risk control

复杂的地层中, 深基坑支护经常遇到地下水丰富以及周围环境复杂等众多问题, 在保证其基坑自身稳定的基础上还需严格限制由于土体变形和水位变化引起的周边环境附加变形。对支挡结构形式的选择、地下水处理措施和施工过程管理都有极高的标准, 常规支护手段在变形控制和防水效果上有所不足, 急需寻找新的更加安全、合理并且绿色的支护技术方案, 所以综合考虑复杂的环境条件, 进行支护方案的设计分析显得尤为重要, 开发出更加安全、合理, 并且环保的方法理论迫在眉睫。

1 复杂环境深基坑工程特点与挑战

1.1 复杂环境的主要类型与影响

复杂环境对深基坑工程影响是综合性和长期性的, 主要可以分为几类。第一是复杂的周围建筑物环境, 基坑紧邻高楼大厦、文物建筑或者正在运行中的地铁隧道等, 该类结构物对于基础沉降极其敏感, 其容许沉降量和水平位移都十分苛刻, 限制了方案的选择与控制指标的制定。第二是复杂的地下管网环境, 城市中心地下存在着错综复杂的各种生命线工程管道, 种类多样, 作用重大但是耐受力土体变形的能力很低, 挖掘造成的位移很容易使管线遭到破

坏。第三是复杂的水文地质环境, 比如承压含水层的砂层、岩溶区域、软土地段, 地下水处理难度大, 土体稳定性较差, 发生流沙、流土、涌土的概率大大增加。第四则是狭小的作业场地、严格的噪声振动限制等施工场地条件也是重要的环境因素。以上几类往往是相互交织在一起的, 所以基坑工程就是一个与周围环境密切关联的复杂体系。

1.2 深基坑支护设计的关键问题

在前述苛刻环境中设计支护结构, 主要需要解决几个难点问题: 首先是变形制约的问题, 目的已经从追求自身稳定性转换成严加限制开挖造成的周围环境变化。这就要求不仅仅是考虑内部应力强度还要准确地估计计算并加以约束变形体的位置。其次是支挡结构的选择以及搭配问题, 不存在一劳永逸适用全部环境的设计类型, 必须依据不同的约束情况地质状况、经济效益要求来选择和搭配地下连续墙排桩内撑锚杆等结构类型。第三是地下水处置方面的难点, 在这种特殊环境下处理方法不合理将会带来地面下沉或者水质污染等问题, 这就要求我们采取细致并且灵活的策略。第四就是风险管理和突发事件预防措施, 开挖施工过程中存在很大的不可预见性, 必须全面系统的辨

识可能存在的风险源同时制定完备的应对措施。这几个方面彼此之间联系紧密构成设计上的难点。

2 复杂环境下深基坑支护设计理论

2.1 支护结构选型原则与方法

支护结构的选择是设计成功的第一步,必须要满足安全可靠、适用合理、经济节约和便于施工等基本要求。而在复杂的环境中,适用性的要求尤为明显,即支护系统必须主动适应环境的制约作用。选择的过程应该是一个系统的流程,先要详细列出环境的约束条件清单,比如到临近重要建筑物的距离,管线的埋深及其材质等,再者参考地质勘察的结果了解土体层次情况以及物理指标,这样就可以初选出几个从技术上能满足要求的备选方案。比如在紧挨着地铁线路的超深基坑中,刚度足且防渗好的地下连续墙加若干层钢筋混凝土内支撑可能是最优选择,而在较为空旷但是地质情况较差的基坑里面,型钢水泥土搅拌桩加拉锚的方式会更加节省造价。最后的选择方案需要依靠以往的工程经验、借鉴类似的案例并用简单的数值计算来进行比较优选,找出一个可以最大程度的调和矛盾冲突的最佳支护方案。

2.2 变形控制标准与设计要点

变形控制是复杂环境下基坑设计的本质,指标设定要考虑到工程、环境两方面的安全性。对基坑自身而言,其指标常与结构容许应力、整体稳定性安全系数有关;而对环境来讲,控制指标就是来自于所要保护对象所能承受的最大限度。譬如框架式建筑物、历史砖混构造物、城市地下管线和铁轨道床都有不同的沉降量、沉降差和水平位移容许值。设计重点就在于如何将他们反向解构成为围护墙顶部变形、墙后地面沉降曲线相关参数的具体控制目标。思路是以目标为中心,运用变形控制的设计理念,从调节支护刚度、支撑预加力、开挖流程等入手,积极主动地引控变形趋势走向。为了达到苛刻的环境保护目标,有时不得不采取加固支护、先撑后挖之类的稳妥方案。

2.3 稳定性分析理论与计算模型

稳定性分析是保障安全的前提,包括整体稳定、抗倾覆、坑底隆起以及抗渗流稳定性等。常规做法是建立在极限平衡基础上的方法,比如用圆弧滑动法对整体稳定进行分析,这些方法简单明了,通俗易懂。但是对于复杂地质条件下的复杂支护以及考虑应力路径的条件下极限平衡法显得无能为力。伴随着计算机的发展,数值解法,尤其是有限元法已经成为必不可少的手段,这些手段可以处理复杂的土体本构关系、土—结构相互作用并能实现分步开挖过程,更加真实的反映出位移、内力、压力变化的趋势。所以说目前的设计都是理论分析结合数值分析,先用传统的公式粗略核算之后再借助详细模型来预测和优化,并相互印证提高可信度。

3 复杂环境深基坑支护设计方法

3.1 地质与环境条件调查评估

系统、详尽的地质及环境勘测研究是合理设计的前提。

地质调查除了了解常见的地层信息、土层物理力学指标外,还需要进一步了解一些特殊的地质条件,例如:软土、回填土、孤石等分布状况承压水层的深度、高度及渗透系数等。勘探孔数量、钻探深度须符合规范规定,同时在变化大的地段还应当适当增加勘探孔的数量。环境调查是一个复杂而且非常重要的环节,要通过现场踏勘、收集资料等方式,查明基坑周边既有构筑物基础类型、结构状况、建造年份与已发生变形程度;查明地下管道种类、材质、直径尺寸、埋设深度、方向、连接类型与使用状况。对环境敏感点现状进行拍照记录并评价,必要时采取预先加固措施或达成保护协议。所有调查资料汇总至同一信息管理系统中,生成三维地质模型及环境模型,便于后期的设计参考。

3.2 支护体系组合设计与优化

对于复杂环境条件限制,单一的支护方式很难达到效果,一般情况下需要使用复合式的支护系统,方案优化是一个循环的过程。首先初设阶段,依据选择标准来选择主体支护体系即围护墙的形式以及初步设定支撑与锚杆层数、间距、位置。随后借助数值仿真软件搭建模型并进行模拟基坑逐层开挖支护过程,得到初步方案变形与内力计算结果。之后再对计算结果同设计限值指标进行对照分析,若变形过大或者内力偏大,就需要对设计方案进行修正调整,例如增加支撑道次,增大围护墙厚度、嵌固深度、改变支撑刚度、施加预应力、调整开挖分区、开挖顺序等,在经过调整后再一次地计算分析,这一步骤可能要重复好几次,直到设计方案能够符合所有安全性、周围环境指标为止。优化设计既要做到技术上可行又要考虑经济效益,在具有足够的安全保障系数的基础上也要防止过于保守带来不必要的资源浪费。

3.3 变形预测与监测方案设计

变形预测是预警工程的风险,指引设计方案调整的重要方式,除了上述的数值计算预报外,还可以采取经验公式法、人工智能预测等方式进行多种方式预测,互相检验,提升其准确性。但无论怎样预测都有一定的模糊性,所以,一个完备的施工期间监测方案是对设计进行复验,对施工进行引导,对安全进行守护的眼睛。要包含重要的观测项目:支护结构顶水平位移及竖向位移、深层水平位移也叫测斜、支撑轴力、立柱沉降、坑外地下水位、坑外土体分层沉降及水平位移,还有对周边建(构)筑物、地下管线的沉降及倾斜等;布设监测点要有代表性,重点集中在预计变形最大的区域与环境较敏感的地方;监测频率要根据开挖情况随时变化,在关键工序进行时加大频率,而在关键工序完成后则减少频率;所有的数据要及时地整理、分析和反馈,用来判定基坑和周围环境的安全状况,同时也为是否要对设计方案进行调整提供依据。

3.4 地下水控制与环境保护措施

基坑降水措施的选择应综合考虑水文地质条件和环境影响因素后慎重制定,在基底以下有承压含水层并且可

能发生突涌的情况下要进行减压计算,对于周边环境对降水沉降敏感的地区,应先考虑使用悬挂式止水帷幕切断围护结构内外侧水力联系并采取坑内疏干的方法进行基坑降水,当止水帷幕难以完全切断含水层或者需要降低承压静水位时可以采取坑外回灌措施来减少降水对周边环境的影响。除地下水控制外,环境保护还包括控制振动与噪声,例如:选用低噪声作业设备、安装声屏障;控制扬尘污染,例如:裸露土覆盖、洒水喷雾降尘;以及合理妥善处置施工废弃泥浆、渣土等,以上措施都彰显出工程绿色建设理念和社会责任感。

4 支护结构施工与风险控制

4.1 施工工艺与支护结构协同

好的设计离不开精良的施工,施工工艺必须要跟支护设计方案紧密配合。如地下连续墙的槽壁垂直度、泥浆护壁效果以及水下混凝土浇筑质量都会关系到其成墙体后止水效果的好坏和抗弯能力的强弱;又比如支撑架设时间早晚,施加预压力多少都会影响到围护结构初期变形量和终期变形大小,而土钉或者锚杆的钻孔工艺和注浆工艺都会影响到其锚固力大小。施工方必须按图及专项施工方案施工,重要工序严把质量关,同时设计师应该深入工地一线熟悉施工工艺上的局限性,让设计更加贴近施工实际,在必要时进行一些小规模的设计变更。

4.2 动态设计与信息化施工

复杂地质条件下的基坑工程存在很大的不确定性,地层的空间差异性、施工参数的变化以及环境因素细微变化均可能导致不同结果的发生,因而一定要贯彻实施动态设计和信息化施工的思想。信息化施工的关键在于实施“监测-分析-决策-反馈”这样一个封闭式循环控制程序。即建立实时监测系统获取施工过程中各监测指标的数据,由专职技术人员迅速整理、分析这些数据信息,并对目前基坑及周围环境的安全状况做出判断和预期结果相比较,如果监测值发生突变或者监测值与预期相差很大,则要及时查找原因,并启动动态设计程序,由设计单位以新获得的数据和工况作为依据对下一步的设计方案进行复核和修正,例如调整支撑预应力、变更开挖顺序或者必要时设置临时加固措施等,之后再把调整的通知下发到现场去落实。这一循环往复过程贯穿始终,也是实现整个工程安全性、经济性的动态协调的重要环节。

4.3 风险识别与应急预案

风险管理要覆盖工程建设始终。开工时应当由建设单位牵头组织各参建单位开展彻底的风险识别评价,找出可能导致事故的情形比如基底渗透变形、支护体系破坏、结构开裂等,对频率和影响进行估算并提出防范举措。并且

必须编出有针对性的应急预案。预案里面包含应急组织机构、通讯方法、抢险用品、人员撤离方案和技术应急方案,例如立即灌浆,还有和其他外界单位的协调合作。预案还须经过演练以保证在紧急时刻可以迅速有效地作出反应。

4.4 长期性能与耐久性考虑

对于作为永久结构组成部分的支护,或者施工结束环境开始长期运行的情况下,它的长期性能及耐久性就显得格外重要,在设计的时候要考虑地层中环境对材料的影响程度,比如地下水对混凝土及钢筋的腐蚀性。永久性墙体和桩体的设计要根据它的使用年限的要求做相应的耐久性处理措施,例如降低水胶比或者使用防腐钢筋添加外加剂等。对于一些临时性的锚杆等构件也要设计时考虑到工程结束后需要进行处理的情况,这都体现了对一个建筑物全寿命负责的态度。

5 结束语

复杂条件下深基坑支护设计是涉及众多领域知识的综合性科学技术活动。在严峻的环境制约条件和挑战下,原有的经验和定势思维已经不再适用,必须转变成基于变形控制为核心的,以全生命周期风险管控为主线、以信息技术为依托的系统性新理念。该论文在系统总结了环境种类及其作用的基础上,针对主要难题进行了剖析,对相关理论及其方法进行了论述,并着重介绍了设计方法体系及其施工风险管控的重要性。工程实践证明,唯有坚守精勘测、细设计、精施工、严监理的工作原则,秉持尊重自然、爱护环境的工程价值观,才能保障项目的安全顺利进行。后续的研究还需要从本构关系及相互作用机理到智能监测手段等多方面继续深入进行,促进技术水平提高。

[参考文献]

- [1]彭韬宇,汪俊敏,成怡冲,等.复杂环境下多层次不规则软土深基坑支护设计优化[J].工程质量,2026,44(1):87-93.
 - [2]王路乾,李小争.复杂环境下深基坑支护方案设计与数值模拟验证[J].四川水泥,2025(11):25-27.
 - [3]吴镜泊.复杂环境下深基坑支护设计及施工关键技术[J].中国水运,2025(14):142-144.
 - [4]刘莹,董蔚平,程建伟.复杂场地环境条件下深基坑支护设计[J].砖瓦,2025(6):70-73.
- 作者简介:王培(1986.10—),毕业院校:石家庄经济学院,所学专业:勘查技术与工程,当前就职单位:河北建研建筑设计有限公司,职务:岩土设计,职称级别:高级工程师;*通讯作者:石娜(1988.10—),毕业院校:长安大学,所学专业:岩土工程,当前就职单位:河北建研建筑设计有限公司,职务:岩土设计,职称级别:高级工程师。