 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i7.11031

Research on Collaborative Construction Technology of Foundation Pit Engineering and Building Foundation

Yingjun Liu

Middling Coal Jiangnan Construction Development Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510080, China

Abstract

Foundation pit engineering and building foundation construction are interconnected in urban underground space development and high-rise building construction. They mutually influence each other in terms of time, space, and mechanical behavior, thereby determining the safety and economy of the entire project. This article starts with the engineering significance of collaborative construction, systematically analyzes the mutually restrictive relationship between foundation pit excavation and foundation construction, proposes a collaborative construction technology system characterized by deformation coordination, time sequence optimization, and information feedback, and discusses in detail three typical application scenarios: the collaboration between earth excavation and pile foundation construction, the collaboration between internal support and raft slab pouring, and the collaboration between dewatering and foundation reinforcement. Research has shown that creating an integrated construction organization and process control method for foundation pits and foundations can significantly reduce adverse interference between adjacent processes, improve resource utilization, and enhance the overall stability of the structure.

Keywords

foundation pit engineering; ground foundation; collaborative construction; deformation control; process optimization

基坑工程与建筑地基基础协同施工技术研究

刘英俊

中煤江南建设发展集团有限公司，中国·广东 广州 510080

摘　要

基坑工程和建筑地基基础施工在城市地下空间开发和高层建筑建设中互相联系，二者在时间、空间以及力学行为上相互影响，从而决定整个工程的安全性和经济性。本文从协同施工的工程意义入手，对基坑开挖和地基基础施工之间相互制约的关系进行了系统地分析，提出了以变形协调、时序优化、信息反馈为特征的协同施工技术体系，并就土方开挖与桩基施工协同、内支撑与筏板浇筑协同、降水与地基加固协同这三种典型的应用场景进行了详细地论述。经研究得知，创建基坑同地基基础一体化的施工组织和过程控制手段，可以明显减少相邻工序间的不利干扰，改善资源利用情况以及结构整体稳定状况。

关键词

基坑工程；地基基础；协同施工；变形控制；工序优化

1 引言

基坑工程属于临时性围护，地基基础属于永久性的承载系统。传统施工中基坑支护、土方开挖和基础施工分别由不同的队伍分阶段进行，缺少协调机制，容易造成基坑变形、桩基位移、底板开裂等问题。随着深大基坑的增多，两者相互影响越来越明显，基坑开挖影响桩基承载性状，基础施工又反过来影响围护结构受力变形。因此有必要跳出传统的工序关系，把两者看作一个整体系统，研究协同施工关键技术。

【作者简介】刘英俊（1988–），男，中国河南信阳人，本科，工程师，从事地基与基础研究。

2 基坑工程与建筑地基基础协同施工的工程意义

2.1 基坑与地基基础在时空上的深度耦合关系

基坑与地基基础施工同在空间，又处在时间上高度重叠。基坑作为基础施工的作业场所，基础成型之后又反过来约束着基坑围护结构的进一步变形。深大基坑中底板、地下室结构常被用作永久水平支撑来代替临时内支撑，支护体系和主体结构要有序转换。基坑开挖后又进行工程桩施工，桩机行走、钻进会破坏坑底土体应力状态，加重隆起和侧移；基坑开挖前全部完成工程桩，基坑卸荷会引起桩侧负摩阻力或者桩身上浮。时空耦合决定了两者要形成协同机制。

2.2 协同施工对工程质量与安全的关键保障作用

围护结构失稳、基础承载力不够、交界面破坏属于常

见风险点。协同施工依靠合理的工序安排和控制手段，削减基坑开挖给已经完成的桩基带来的侧向推挤和上拔，防止基础施工给支护体系造成超限加载 [1]。分区、分块、分层开挖与底板浇筑交替进行可以有效地控制基坑的时空效应，防止围护结构由于暴露时间过长而产生过大的变形。协同施工可以保证工程桩和底板的锚固作用，防止桩头偏位或者断裂，从根本上消除质量隐患。

2.3 协同施工对工期与成本控制的综合效益

传统串行施工模式下，基坑全部完成之后才能进行基础施工，使基坑暴露时间变长，支护结构的使用周期和维护成本也随之增加。协同施工可以保证在安全的前提下进行并行作业，大面积土方开挖的同时，已完成开挖的分区就可以开始垫层、桩头处理和底板钢筋绑扎，从而缩短整体工期。工期缩短会直接削减基坑监测、降水运作以及支护租赁等费用。协同施工避免了由于变形过大而采取二次加固或者纠偏措施造成的成本增加。从全寿命周期来说，一体化施工组织还有减少资源消耗和碳排放的环境效益。

3 基坑工程与建筑地基基础协同施工的关键技术

3.1 基于变形协调的工序时序优化技术

协同施工首先要解决的是先挖后桩还是先桩后挖的问题，在不同的施工阶段怎样控制变形的传递和累积。时序优化技术的关键就是根据基坑的实际深度、土层分布特点、桩基类型、周围环境等因素来合理确定桩基施工与土方开挖之间穿插节点和作业顺序。对于摩擦型桩，应尽量在基坑大规模开挖前完成成桩工作，利用桩侧摩阻力提前参与受力，严格控制分层分块开挖厚度和范围，每层开挖后及时浇筑垫层约束桩身侧向变形，防止桩体在土体卸荷时产生过大水平位移 [2]。对端承型桩来说，可以采用先开挖到桩顶标高以上一段距离，再进行成桩，最后清底封底的方式，既可以避免长行程空钻造成的施工效率低、桩身过长的问题，又可以保证桩端可靠地嵌入持力层。

时序优化还要用有限元数值模拟方法，在施工前对不同的工序组合下围护结构水平位移、坑底隆起量和桩身附加内力进行预先计算，通过多方案比选得到变形最小的最优工序组合。模拟时要重点研究土方开挖过程中桩体受卸荷的影响范围，以及各种工况下桩土相互作用的发展过程。实际施工时要设置一些关键控制点，例如第一道支撑完成节点、底板浇筑完成节点等，用以作为工序转换的标志。以变形协调为前提的时序优化方法，能很好地减少桩基与基坑围护结构之间的相互影响，在时间、空间上达到协同作业的目的。

3.2 基坑支护与主体基础结构一体化转换技术

深基坑工程中，地下室底板、中间楼板和顶板一般起着代替多道内支撑的作用，因此要实现临时支护构件到永久结构受力体系的平滑过渡。一体化转换技术的关键之处在于防止由于拆撑造成的应力突然变化给地基基础带来损害，保证荷载传递途径的连续性、可靠性。在底板施工时应留出与地下连续墙或者排桩有效连接的构造，用预埋插筋、设置接驳器或者型钢接头等方法保证围护结构所受水平力可以顺利传到永久底板上。浇筑底板混凝土前，应有计划地将基坑最底层支撑部分的荷载提前转移到底板上，例如采用临时传力构件或者分层拆除部分次要支撑，避免支撑拆除时围护结构突然释放弹性能，造成墙体内力重分布失控。

对工程桩与底板的连接节点，应采用桩顶留有足够长的锚固钢筋，深入底板承台或筏板内，保证桩头在拆撑和上部结构施工全过程中保持完好，不发生混凝土开裂或者钢筋屈服。一体化转换还要严格控制混凝土龄期差引起的收缩裂缝。由于底板、楼板、顶板的浇筑时间不同，早期浇筑的混凝土已经发生了部分收缩，后期浇筑的结构因为受到约束而产生拉裂。因此可以合理设置后浇带，在两侧混凝土收缩基本完成后再进行封闭浇筑；或者采用掺加膨胀剂的补偿收缩混凝土，利用微膨胀抵消收缩变形。

3.3 基于实时监测的信息化协同控制技术

协同施工过程具有明显的动态变化特点以及不确定性，不能依靠施工前的理论计算和数值模拟来完全预测和规避所有的异常变形风险。信息化协同控制技术在关键部位安装分层沉降管、测斜管、钢筋应力计和孔隙水压力计等监测设备，及时得到基坑和地基基础重要响应参数，把监测数据深入到施工决策中。监测系统要涵盖桩顶位移、坑底隆起量、围护墙深层水平位移曲线、各道支撑轴力变化、周边建筑物和管线沉降倾斜等各方面内容，从而形成全方位、全过程的感知网络。

当实测变形速率或者累计变形量达到预设的预警值的时候，系统就会发出工序调整指令，比如停止相邻区域的土方开挖工作，提前浇筑垫层来加强坑底约束，局部增设临时支撑或者实施跟踪注浆加固等。信息化控制的关键就是创建变形反馈体系，把监测数据由原来的“事后记载”变成“事中调节”的直接参照，从而达成从“依照图纸施工”到“依照变形状况施工”的改变。

4 基坑工程与建筑地基基础协同施工的典型应用

4.1 土方开挖与桩基施工的竖向协同应用

在软土地区大型深基坑中，工程桩数量多、分布密，采用先桩后挖的方式，在机械开挖过程中容易碰撞桩头或者造成桩身倾斜。竖向协同应用采用分层开挖、分层验桩、分层保护的方式，把基坑竖向分成若干作业层，每层厚度控制在一到两米之间，保证大型机械一直工作在已经形成水平约束的稳定层上。开挖到第一层设计标高，暴露该层范围内工程桩的桩头完整性，对偏位桩进行纠偏或者补强，然后浇筑该层垫层或者构造板，对桩身提供水平约束，减小桩身后期

开挖时侧向土压力不均引起的二次偏位。然后向下开挖第二层，依次循环。该方法把桩基施工的保护工作由单一的开挖完成后验收，变为贯穿整个开挖过程的动态保护，使质量问题在最短的时间内被发现并处理掉，防止缺陷积累到最后验收时才暴露出来。

为了防止大型挖机直接碾压桩顶，采用小型挖机配合人工修整的方式逐层揭土，在桩顶区域铺设土工布或者钢板来分散荷载，把集中荷载变为均布压力，减小对桩头的冲击性破坏。竖向协同应用的另一个优点就是减小了桩间土的扰动范围，分层开挖使得每次暴露出来的土体面积较小，小型化设备反复碾压的范围也随之缩小，被扰动的土体主要集中在浅表区域 [3]。现场监测数据表明，竖向协同工艺施工的基坑桩基损坏率比传统工艺降低 60% 以上，也未造成由于桩身质量问题造成的工期拖延和补桩费用增加，一根偏位桩的补强费用可以节省几千到几万元，经济效益好。

4.2 内支撑拆除与基础底板浇筑的水平分区协同应用

大面积深基坑一般会布置多道水平内支撑，支撑拆除带来的动力扰动和应力重分布会对底板及工程桩造成不良影响，轻则造成底板混凝土开裂，重则引发围护结构失稳。水平分区协同应用的关键就是把底板分成若干个浇筑区块，每个区块的平面尺寸控制在二十米乘二十米以内，按照“拆一块、浇一块、换撑一块”的原则组织施工。施工时先拆除与某一区块对应的局部支撑段，再对该区块的垫层、防水层和底板钢筋进行绑扎并浇筑混凝土，当底板混凝土达到设计强度的 75% 以上时，底板就可作为永久性水平支撑承受围护结构传来的土压力，使基坑的安全状态由临时支撑平稳过渡到底板承重。此时拆除相邻区域的支撑，然后逐步推进，形成一个有条理的拆浇循环。

分区分步拆浇方式防止整层支撑一次性拆除造成围护结构突然大变形，相邻区块的支撑一直保留着，围护体的位移控制在毫米级以内。为了保证分区接缝处的防水和整体性，在接缝处设置钢板止水带或者凿毛处理，在接缝位置加密桩顶锚固构造，使后浇区块和先浇区块形成可靠的传力路径。水平分区协同应用还可以改善施工资源调配状况，各个区块之间可以开展平行流水作业，底板养护的时候相邻区块正在做支撑拆除或者钢筋绑扎，劳动力和机械设备的利用效率明显提高。对于超大面积底板来说，该方法可使底板总工期缩短 20% 到 30%，且能减少底板暴露时间过长造成的干缩裂缝风险。

4.3 基坑降水与地基加固的降升协同应用

基坑降水会引起坑内外水头差，使土体有效应力增大而产生地面沉降，地基加固如注浆、搅拌桩等会改变土体的渗透性及力学强度。两者如果不能协同工作，会造成降水造成加固浆液流失，浆液还没有凝固就被地下水流冲散，加固的效果就会大打折扣；或者加固区域形成隔水帷幕后反而改变降水效果，使原定的降水方案失效。降升协同应用需要在施工图阶段就将降水井布置和地基加固分区进行一体化设计，对两者之间的影响做数值模拟验证。水平方向上先做外围止水帷幕施工，形成封闭的隔水边界，在帷幕内侧分区布置降水井和加固点位，保证降水影响范围在基坑内部，减少对外围环境的影响。从时间上来说，先进行初步降水来降低地下水位，使注浆或者搅拌桩作业能在相对干燥的土层中进行，提高加固质量。

待地基加固到一定的强度之后，再根据需要调节降水强度，防止由于过早停止降水而造成坑底突涌，特别是在承压水层分布区，突涌风险是施工安全的重要控制因素。对于高渗透性砂土层，采用降水、加固、回灌三者结合的方式，在坑内降水的同时坑外设置回灌井，保持坑外地下水位稳定，使坑内外水头差处于安全范围内，既保证了基坑的安全，又减少了地基加固施工对周围环境的影响。该协同应用较好地解决了坑底隆起和附近建筑物沉降之间的矛盾，减少了由于降水造成的环境纠纷。采用降升协同方式以后，邻近建筑物的累计沉降量可以控制在五毫米之内，坑底隆起量下降百分之四十以上，给软土深基坑工程提供了一种环境友好型的解决办法。

5 总结

基坑工程和地基基础施工是力学、时间、空间三者耦合在一起的系统工程。关键技术有工序时序优化、支护和基础一体化转换、信息化协同控制，形成三维技术体系。典型的应用有土方和桩基竖向协同、内支撑和底板分区协同、降水和地基加固协同。协同施工用系统思维打破专业壁垒，把临时和永久结构统一起来进行管理。未来应该把 BIM 同智能传感结合起来，从而达到全过程可视化和自适应控制的目的，促使岩土工程由被动纠偏变为主动协同。

参考文献

[1] 朱余佳.软土地区深基坑开挖对临近既有建筑物的影响[J].武夷学院学报,2025,44(09):18-23.

[2] 范金刚.邻近浅基础公共建筑深基坑工程安全风险管理研究[D].湖南大学,2024.

[3] 蔡忠祥,岳建勇,张凯,等.软土地基文物建筑正下方基坑支护设计与实践[J].地下空间与工程学报,2023,19(S1):235-244.