

# 武汉钰龙金融广场超深基坑工程设计方案选型

杜 魁, 余小国, 岳丽娜, 李 超  
(武汉地质勘察基础工程有限公司, 湖北 武汉 430072)

**摘要:**以武汉钰龙金融广场超深基坑工程为实例,在结合常用的深基坑设计方案的基础上分别从基坑总体设计方案选定、基坑围护体系选定和设计、支撑体系选定、基坑降水选定、土方开挖方案选型和换撑方案的选定等方面进行探讨,并确定最终的基坑工程设计方案选型,即地下连续墙围护+3道内支撑+管井降水处理承压水的支护方案。

**关键词:**超深基坑;基坑支护;地下连续墙;内支撑;管井降水

**中图分类号:**TU473.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2015)12-0028-06

**Design Scheme Selection of an Ultra-deep Foundation Pit in Wuhan/**DU Kui, YU Xiao-guo, YUE Li-na, LI Chao  
(Wuhan Geological Prospecting and Foundation Engineering Co., Ltd., Wuhan Hubei 430072, China)

**Abstract:** With an engineering case of ultra-deep foundation pit in Wuhan, based on the common-used deep foundation pit design scheme, the discussion was made on the overall design scheme selection, the selection and design of foundation pit maintenance system, selection of supporting system, foundation pit dewatering method, earth excavation scheme and support-changing plan. The final design scheme is underground continuous wall enclosure + 3 internal supports + confined water dealt with tube well dewatering.

**Key words:** ultra-deep foundation pit; foundation pit support; underground continuous wall; internal support; tube well dewatering

## 0 引言

在用地愈发紧张的城市中心,结合城市发展和建设,开发大型地下空间已成为一种必然。地下空间开发规模越来越大,越来越深,这些深大基坑通常都位于各种建筑密集的城市中心,紧邻建筑物、地铁隧道、交通干道及种种地下管线等,用地紧张、施工条件复杂、工期紧迫。所有这些因素导致基坑工程的设计和施工的难度越来越大,重大恶性基坑事故不断发生,工程建设的安全生产形势越来越严峻。

基坑在早期一直作为一种地下工程施工措施而存在,它是施工单位为了便于地下工程开挖施工而采用的临时性的施工措施。基坑工程最简单的方法是大放坡开挖,但在城市中心经常由于场地局限性,在红线以外没有足够的空间放坡,人们不得不采用附加结构体系的开挖支护系统,即在基坑四周设置一定的挡土结构。

为了给地下工程敞开开挖创造条件,基坑围护结构体系必须满足以下几个方面的要求。

(1) 适度的施工空间。围护结构能起到挡土的作用,为地下工程的施工提供足够的作业场地。

(2) 干燥的施工环境。采用降水、排水、隔水等各种措施,保证基坑内施工的作业面在地下水水位以上,方便基坑内施工作业。

(3) 安全。地下工程施工期间,应确保基坑本体的安全和周边环境的安全。

(4) 最大限度缩短工期和减少工程造价。

近几年来,为了节省费用,经常将围护结构做成地下室的外墙的一部分,改变了围护结构的临时性的特点,这样围护结构就必须满足主体结构作为永久性结构的要求,要按永久性结构的要求处理,在强度、变形、防渗、耐久性等方面的要求均要提高,最终导致深基坑的设计方案选型更加重要,需要在设计方案选型上更加精确,更加谨慎。

## 1 工程概况

钰龙金融广场位于武汉市建设大道745号,其周边环境如图1所示。东侧为24层高的中信银行大厦;南侧为建设大道,地铁7号线正在建设大道下施工;西侧为一栋30层高的中国人民银行银监大楼;北侧为另一正在施工的工地,其基坑开挖深度为

12 m,另有一条高压线从北侧两工地之间穿过。该项目由1栋38~55层主楼及5层商业裙房(带4层地下室)组成,基坑开挖裙楼及地下室开挖深度为19.1 m,主楼区域普挖21.1 m,电梯井区域最大开挖深度达26.1 m,属超大型深基坑,基坑保护等级为一级。裙楼区域与主楼普挖处高差达2 m,采用放坡挂网喷锚处理。采用中深井降水处理承压水。

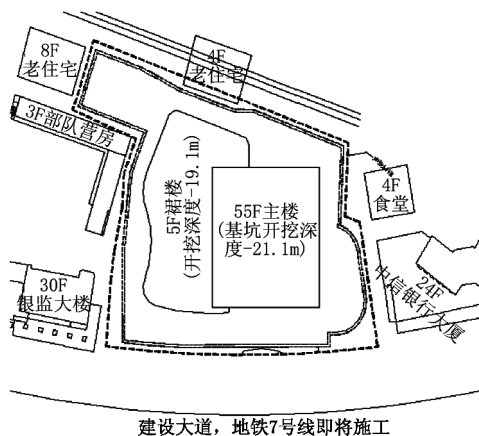


图1 基坑周围环境图

## 2 基坑设计方案选型

### 2.1 基坑总体设计方案选定

类似特点和规模的基坑工程基于不同经济和工期等因素的要求,可选择的总体方案有“顺作法”、“逆作法”、“顺逆结合”等。

(1)采用逆作法相比于常规顺作法时的临时支撑要多很多,因此必须考虑加大立柱承载力;逆作法设计与主体结构关联度较大,受主体结构设计进度的制约,本工程因基坑设计单位与主体设计单位不是同一单位,主体结构设计相对滞后;而且采用逆作法需在支撑板下挖土,作业环境较差,结构施工质量易受影响等诸多原因,该基坑放弃逆作法。

(2)本工程基坑面积相对较小,若采用“顺逆结合”需考虑分区,施工工作面需更细分,将严重制约工期。

综合考虑本基坑的面积、开挖深度、工期、施工难度等原因,采用顺作法施工是比较合理的。

### 2.2 基坑围护体选定及设计

#### 2.2.1 基坑围护体选定

本基坑属于超深基坑,对周边环境保护的要求极高,为了最大限度控制基坑开挖阶段对周边环境产生的不利影响,根据以往大量基坑的成功经验,基

坑拟采用板式围护体系,类似基坑可采用的围护体有TRD工法、SMW工法、钻孔灌注桩结合三轴搅拌桩、地下连续墙结合高压旋喷桩等。

(1)TRD工法。即等厚度水泥土地下连续墙工法内插入型钢,是一种先进工法,技术难度较高,且设备造价较高,暂不考虑该方案。

(2)SMW工法。即型钢水泥土搅拌墙,三轴搅拌桩施工深度 $>26$  m时施工质量无法保障,该方案桩抗侧刚度有限,基坑开挖深度 $>13$  m的深基坑工程中,采用该工法时基坑的变形难以控制。而该基坑开挖深度达21.1 m,经初步估算,即使采用刚度最大的 $\varnothing 850@415$ 三轴搅拌桩,内插满 $H600 \times 250 \times 20$ 型钢,计算出来基坑变形仍然偏大,不能满足规范的要求。且型钢的起拔难度较高,租赁时间较长,故不考虑该方案。

(3)钻孔灌注桩结合三轴搅拌桩。该方案作为一种成熟且经济的方案,其施工工艺简单,质量易控制,尤其在顺作法中大量应用。但排桩一般设置于地下室外墙外距地下室外墙800 mm的位置,仅在基坑开挖阶段用作临时结构,后期效应难以发挥,浪费了大量土地。而且排桩接缝较大,渗漏点较多。故也不考虑该方案。

(4)地下连续墙结合高压旋喷桩。地下连续墙施工工艺成熟,施工对环境影响较小,水平抗侧刚度大,水平变形小,可有效地保护周围环境,已大量应用于武汉的深基坑工程中,有着成熟和丰富的设计和施工经验。同时考虑经济性等因素,地下连续墙采用“两墙合一”的设计思路,即地下连续墙作为围护结构的同时又作为地下室外墙,基坑工程施工阶段地下连续墙作为挡土结构和止水帷幕,同时地下连续墙在结构永久使用阶段作为主体地下室结构外墙,通过与主体地下结构内部水平梁板构件的有效连接,不需再另外设置地下结构外墙部,可大大节省成本及空间。故本基坑采用地下连续墙结合高压旋喷桩作为基坑围护体。

#### 2.2.2 基坑围护体设计

地下连续墙厚度综合基坑挡土止水、周围环境条件以及主体结构使用要求等因素进行计算确定为800 mm。地下连续墙既作为承受侧向水土压力的受力结构,同时又兼有隔水的作用,因此地下连续墙的入土深度需要考虑挡土和隔水两方面的要求。作为挡土结构,地下连续墙入土深度需满足各项稳定

性和强度要求;作为隔水帷幕,地下连续墙入土深度需要根据地下水控制要求确定。

### 2.2.2.1 根据稳定性确定入土深度

作为挡土受力的围护体,地下连续墙底部需要插入基底以下足够深度并进入较好的土(岩)层,以满足嵌固深度和基坑各项稳定性要求,该基坑最终确定墙底进入强风化泥质粉砂岩 $\leq 1$  m。在软土地层中,地下连续墙在基底以下的嵌固深度一般接近或大于开挖深度方能满足稳定性要求,基坑开挖深度为21.1 m,在地下连续墙进入强风化岩后,其埋入基底深度一般达到30 m左右。

### 2.2.2.2 考虑隔水作用确定入土深度

当基坑开挖深度内存在饱和软土层和含水层及坑底以下存在承压水层时,地下连续墙作为止水帷幕,为避免产生流砂、管涌、坑底突涌,防止坑壁土体坍塌,保证施工安全和减少基坑开挖对周围环境的影响,需要选择合适的方法进行基坑降排水。本场区分布有上层滞水及孔隙承压水2种类型地下水,上层滞水嵌在于地表杂填土层中,水位埋深稳定在0.9~1.8 m,孔隙承压水主要嵌在于8~45 m之间的砂类土中,与长江水具有水力联系,其上覆粘性土层及下伏基岩为相对隔水层。

地下连续墙设计时根据地下水控制要求需要隔断地下水或增加地下水绕流路径时,地下连续墙底部需穿过隔水层隔断坑内外潜水及承压水的水力联系,或插入基底以下足够深度以确保形成可靠的隔水边界。根据隔水要求确定的地下连续墙入土深度大于根据受力和稳定性要求确定的入土深度时,为减少经济投入,地下连续墙为满足隔水要求而加深的部分可采用减少配筋或者素混凝土浇筑。本止水帷幕最终确定墙底进入强风化岩层1 m以切断内外水系联系,并在基底3 m以深开始主筋数量减少3/4以上。

### 2.2.2.3 内力和变形计算以及承载力验算

墙体内力和变形计算应按照主体工程地下结构的梁板布置以及施工条件等因素,合理确定支撑标高和基坑分层开挖深度,同时也应该考虑土方开挖、换撑拆撑等工况在时间上的先后顺序和空间上的不同位置,进行各种工况下的连续完整的设计计算。

根据以上分析,钰龙金融广场深基坑采用了入强风化泥质粉砂岩的地下连续墙作为围护结构,接头位置是地下连续墙的薄弱位置,接头采用工字钢

刚性接头,在接头外侧施工3 $\varnothing$ 800 mm深度为28 m高压旋喷桩用以处理接头,同时为最大限度减少地下连续墙开挖对周围建筑物的影响,在施工地下连续墙前先行在基坑周围有建筑物的区域施工了 $\varnothing$ 650 mm三轴搅拌桩用于槽壁加固,其加固深度为22 m,施工区域如图2所示。

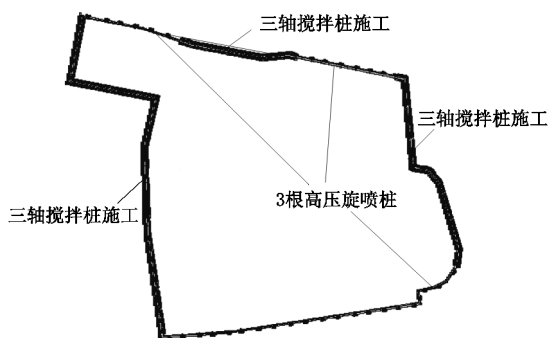


图2 基坑围护体平面布置图

## 2.3 支撑体系选定

### 2.3.1 水平传力体系选定

深基坑支护体系中常用的水平传力体系有水平内支撑和锚杆2种形式,结合本工程基坑开挖深度范围内分布有较厚的高压缩性的软弱淤泥质粘土,该土层中难以提供锚杆足够的锚固力;而且四周紧邻区域建筑物地下结构特殊,采用锚杆很难满足对周边环境保护的要求;此外本工程地下室外墙与用地红线距离较小,也不具备锚杆的空间。综合以上3方面的因素,本方案选用水平内支撑作为基坑开挖阶段的水平传力体系。

#### 2.3.1.1 支撑材料选择

水平支撑主要有钢筋混凝土支撑和钢支撑2种形式。

由于本基坑工程面积大、开挖深度深,采用钢支撑体系主要有4个方面的不利因素;(1)钢支撑刚度相对小,需增加钢支撑数量,挖土空间较小,在一定程度上会降低挖土效率;(2)单个方向钢支撑过长,拼接点较多易积累形成较大的施工偏差,传力可靠性无法保障;(3)基坑太大,钢支撑刚度相对较小,不利于控制基坑变形和对周边环境的保护;(4)需设置施工栈桥作为挖土平台和材料堆场,如果用钢支撑必须设置大面积的钢平台,会大大增加工程造价。

钢筋混凝土内支撑具有刚度大、变形小的特点,对减少围护体的水平位移和保证围护体稳定具有重

要作用。同时混凝土支撑施工适应性强,可适用于各种复杂形状和基坑面积超大的基坑工程。采用钢筋混凝土支撑体系,第一道支撑杆件在适当加强后又可作为土方开挖过程中的挖、运土用的施工栈桥和材料的堆放平台,可以解决施工场地狭小的问题,同时又方便施工,加快了出土效率,大大减少了工程造价。故本工程选择钢筋混凝土支撑材料。

### 2.3.1.2 支撑平面布置分析

钢筋混凝土支撑体系可采用圆环布置形式以及对撑角撑布置形式,两种支撑体系布置形式各有特点,从技术角度上都能满足基坑的工程要求。但对比可以发现,环形整体性较强,需要先施工完环形支撑后再进行土方开挖。而采用对撑角撑可先将基坑分为若干区域进行土方开挖,基坑各区域分别开挖影响较小。对于该特大基坑来说,尽量减少基坑暴露时间非常重要,同时业主对工期要求较严。经过多方面考虑,本基坑决定采用对撑角撑体系。

### 2.3.2 竖向支承的设计

基坑竖向支承系统最常用的办法是钢立柱插入立柱桩的形式,钢立柱一般由角钢+缀板拼接而成,立柱桩常采用钻孔灌注桩,可以利用工程桩,在无法利用工程桩时可施工临时立柱桩。基坑工程的立柱与主体结构的竖向钢构件最大不同在于,立柱需在基坑开挖前先行施工,并在土方开挖过程中逐层与水平支撑构件完成连接,其截面尺寸要受到限制。由于钢立柱主要承受竖向压力,应按照轴心受压杆件进行计算,同时应考虑立柱与水平支撑的连接及与底板连接位置的止水构造要求。一般其垂直度 $\geq 1/200$ 。

基坑设置3道钢筋混凝土支撑,呈桁架加对撑角撑布置,该支撑布置形式受力明确,可加快土方开挖、出土速度。同时第一道支撑又可作为施工中挖、运土用的栈桥,方便了施工,降低了施工技术措施费。基坑开挖到坑底后再由下向上顺作地下室结构,并相应拆除支撑体系。地下连续墙顶部设置压顶圈梁兼作第一道支撑的围檩。图3为支撑结构平面图。

## 2.4 基坑降水方案选定

目前基坑降排水的主要方法有集水明排、轻型井点降水、电渗井点、管井降水等,按照其适用降水深度,该基坑采用管井降水。

止水帷幕穿过承压水含水层,并进入承压含水层底板以下的弱透水层中,止水帷幕已切断降水漏斗

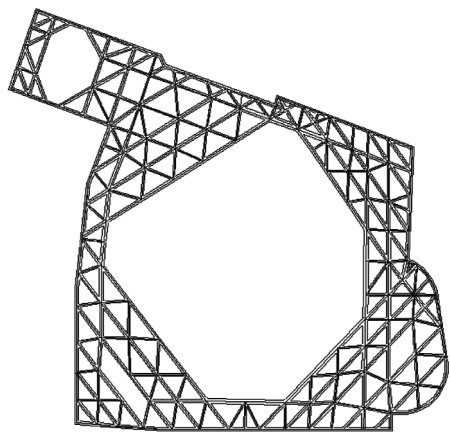


图3 基坑内支撑平面布置图

曲线的外侧延伸部分,阻断了基坑内外承压含水层之间的联系。这样既不妨碍开挖施工,又可大大减轻对周围环境的影响。

根据降水的目的、含水层位置、厚度、止水帷幕的深度、周围环境对工程降水的限制条件、施工方法、围护结构的特点、基坑面积、开挖深度、场地施工条件等一系列因素综合考虑,该基坑共设置了25口深度为38 m、孔径为600 mm、管径为273 mm的降水井;另在基坑外设置4口观测井,井深26~29 m,管径为91 mm。

抽水原则:按照按需抽水、分层抽水,抽水量最小化的原则,以保证在满足建设工程基本要求的前提下,达到节约、保护地下水资源的目。

## 2.5 土方开挖方案选择

本项目挖土方量约20万 $m^3$ ,原设计考虑在基坑中心无支撑区域设计环形栈桥作为挖土、运土平台。由于该基坑较深,面积相对较小,放坡后坡道及环形弧度均较大,渣土车在坑内运转困难,且栈桥及内支撑底下杆件复杂,取土困难。后经过仔细考察和比较,根据基坑实际情况、征求多方意见,从施工工期、造价、安全文明施工等多方面考虑,决定采用-10.2 m以浅放坡道挖机、渣土车直接下到坑底取土运土,-10.2 m以深采用垂直运输方案挖土。

该方案可最大限度利用放坡道下基坑挖土取土的优势,同时也可避免施工弧形栈桥而造成施工困难。同时为保证垂直取土,第一层支撑间隙处采用钢筋混凝土浇筑成板(如图4所示),作为垂直土方开挖时土方堆放平台。

整个土方开挖分4层进行,第一层土方放坡开挖至-2.0 m后,开始边坡喷锚支护并施工第一层

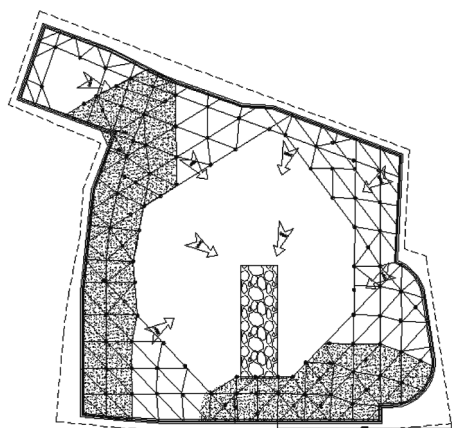


图4 基坑堆土板设计及基坑内转土方向

支撑和堆土板(详见图4),堆土板作为后续垂直取土时的堆土场地。

第二层土方开挖时采用放坡坡道并铺设砖渣至 $-7.6\text{ m}$ ,利用坡道进行土方外运。先开挖基坑四周(即岛式开挖),留出支撑施工作业面,然后开挖中间部分,中间部分土方采用坡道外运,修整后及时进行第二道支撑施工。

第三层土方开挖至 $-12.4\text{ m}$ ,开挖顺序与第二层相似, $-10.2\text{ m}$ 以浅采用放坡铺设砖渣路进行土方开挖外运, $-10.2\text{ m}$ 以深采用垂直运输至堆土板上外运。支撑梁以下角落部位用小型挖机在支撑梁下掏挖进行翻挖作业,大挖机转运至中间采用垂直运输至地面堆土板后外运。

第四层土方开挖至裙楼及地下室筏基 $-19.1\text{ m}$ ,主楼筏基开挖至 $-21.1\text{ m}$ ,开挖时采用垂直运输至地面堆土板上。

具体步骤如图5所示。

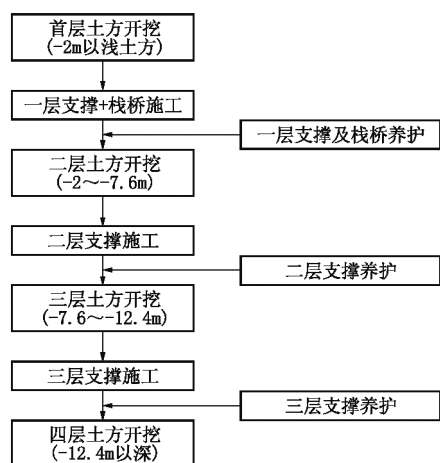


图5 土方开挖流程图

此方案进行土方开挖,栈桥处 $-10.2\text{ m}$ 以深直接采用垂直运输进行土方外运,减少了栈桥施工及养护时间,可以大幅度的缩短基坑开挖时间,减少基坑暴露时间。

## 2.6 换撑

本工程利用地下三层楼板换撑,待分层换撑楼板施工完毕混凝土强度达到80%后方可进行相应支撑拆除,拆除采用人工破除。拆撑顺序应遵循先拆辅撑,后拆主撑;先拆长撑,后拆短撑;先断两端,后破中间的原则,结合基坑监测数据,合理组织拆撑施工。拆撑时应对称拆除支撑,保证基坑支护体系受力变化的均衡性。立柱桩顶标高与地下室底板标高相同,故不需破除混凝土,只需待支撑梁破除后割除立柱桩钢架即可。

拆撑过程中及拆撑后,应加强对基坑支护体系的监测频率,保证24 h对基坑进行实时监测,能够及时反映基坑支护体系的变化情况,便于指导拆撑施工,出现异常情况及时采取应急措施。

## 2.7 设计方案选定

基于以上分析,本工程从安全、技术、工期、经济等方面考虑,最终选择了地下连续墙结合高压旋喷桩(局部三轴搅拌桩加固)+3道钢筋混凝土对撑角撑+立柱桩竖向支撑+管井降水作为基坑围护设计方案,土方开挖方案采用坡道放坡+垂直运输取土2种方案相结合的方法。

## 3 基坑监测

为了确保基坑的安全,不影响周边建筑及环境,要求随时掌握开挖及支护施工过程中基坑的动态变化,因此必须在施工过程中实施信息法施工。施工监测包括对周边环境影响的监测和对基坑本体的监测,及时预报施工过程中出现的问题,验证基坑开挖方案的合理性,预测基坑及临近建筑物的变形发展趋势,及时对其安全性做出评估,并把获得的信息及时反馈到施工工作中去指导施工。同时综合各种信息进行预警和报警,使有关各方及时做出反应,防止事故的发生。

监测数据超过报警值仅代表结构出现不安全的苗头或趋势,并不代表结构不安全,需采取相应的工程措施。为了明确结构是否安全,分析造成不安全趋势的原因,拟定保证工程安全的施工措施,需对监测数据进行进一步分析,预测结构下一个施工阶

段的变形与内力变化情况,判断结构是否安全,对改变施工工艺与流程后的结构响应进行反馈。

#### 4 方案实施效果

截至本论文截稿,该项目基坑仍然未施工完工,已经开挖至-16 m,基坑未见明显变形,周围建筑物及管线变形正常。墙面平整度达到规范要求的100 mm,垂直度均能达到1/300,如图6,基坑开挖后效果良好。



图6 地连墙墙壁开挖效果图

根据本工程特点对工程进行了监测,监测数据如表1。

表1 基坑监测项目及其报警值

序号	监测项目	监测仪器	累计值		变化速率	
			报警设定	2015-09-23 实测值	报警设定	2015-09-23 实测值
1	地连墙顶水平位移	全站仪	>30 mm	7.8 mm	>3 mm/d	0.5 mm/d
2	立柱竖向位移	精密水准仪	>35 mm	4.71 mm	>3 mm/d	0.18 mm/d
3	地下连续墙深层水平位移	测斜管	>50 mm	13 mm	>3 mm/d	0.3 mm/d
4	水平内支撑应力	振弦式钢筋应力计	累计最大变化量构件承载力设计值70%	4.8%	>100 kN/d	28.8 kN/d
5	基坑周边地下管线竖向位移	精密水准仪	>30 mm	6.66 mm	>3 mm/d	0.22 mm/d
6	基坑周边建筑物竖向位移	精密水准仪	>25 mm	5.86 mm	>1 mm/d	0.18 mm/d
7	水位	水位计	持续降水中,水位一直稳定在开挖面以下500~1000 mm			
8	周边道路竖向位移	精密水准仪	>50 mm	5.92 mm	>3 mm/d	0.15 mm/d

#### 5 结语

根据武汉钰龙金融广场超深基坑工程的实际情况,结合笔者自己的观点,对超深基坑工程设计选型在多方面进行探讨研究,提出设计方案选型,使其在经济、安全、适用及工期合理等方面更具优越性。以期对类似超深基坑工程设计方案选型提供借鉴。

#### 参考文献:

[1] 刘国斌,王卫东,等. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.  
[2] 周明超. 地下连续墙在深基坑下部支护的应用[J]. 建筑设计

管理,2011,(3).

- [3] 李桂云. 某基坑支护工程设计方案[J]. 西部探矿工程,2013,(2).  
[4] 蒋金城. 昆明圆砾层地层深基坑强降水技术研究[J]. 施工技术,2012,41(16):107-111.  
[5] 王君,白楠. 不良地质条件下超深地下连续墙施工技术[J]. 天津建设科技,2012,(4).  
[6] 李亮,王天放,曲守全. 旋挖成孔工艺在黔东某电厂桩基工程中的实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(9):30-33.  
[7] 易星,何成燕. 双排桩支护运用于淤泥质软土基坑的实践研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):79-81.  
[8] 车灿辉,刘实,刘静. 深基坑工程结构类型与安全监测要素[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(4):60-64.