

深基坑支护设计选型实例分析

肖 杨¹ 刘 颂² 金庆文² 杨锦泉² 刘 赞² 李梓维²

1. 中国建筑一局（集团）有限公司 北京 100071

2. 中建一局集团第五建筑工程有限公司 北京 100020

摘 要：针对深圳市某项目复杂周边工程环境，阐述了深基坑支护设计方案选型；本文采用理论联系实际的方式，通过数值计算得出相应的结论，以期为企业进行深基坑的设计提供借鉴，为后续的相关研究提供支持。

关键字：复杂环境；深基坑；支护体系；选型

Example analysis of deep foundation pit support design and selection

Xiao Yang¹, Liu Song², Jin Qingwen², Yang Jinquan², Liu Yun², Li Ziwei²

1. China Construction First Bureau (Group) Co., Ltd. Beijing 100071

2. China Construction First Bureau Group Fifth Construction Engineering Co., Ltd. Beijing 100020

Abstract: Aiming at the complex surrounding engineering environment of a project in Shenzhen, the design scheme of deep foundation pit support in such areas is introduced in detail. Aiming at a case of deep foundation pit support engineering under complex conditions, valuable conclusions are drawn through numerical calculation, which provides theoretical guidance for the design and stability control of deep foundation pit, so as to provide reference for similar engineering design.

Keywords: complex environment; deep foundation pits; support system; lectotype

引言

近年随着经济的发展，尤其是城镇化进程的持续推进，建筑向地下空间发展的趋势愈演愈烈。在大中型城市，更多的基坑工程相继出现，而这类工程的实施往往会影响到周边建筑物和管线；相对来说，我国深圳地区用地紧张的问题日益凸显，在这类城市中基坑选型不合理通常会引起一系列问题，比如基坑位移大，坍塌、周边管线损坏等，进而造成难以估量的后果。故而，如何合理选择支护型式，以最低的成本获得最大效益受到更多同行的关注。

本文采用理论联系实际的方式，以深圳市某深基坑支护项目为案例，深入探讨复杂环境下基坑支护选型，并通过参数计算得出相应结论，以期为企业实践提供理论上的参考。

1 工程概况及周边环境

1.1 基坑规模：本项目三层地下室，基坑深度约为14.6~15.1米。基坑深度大，总周长近300米。

1.2 周边环境：基坑周边环境条件极为复杂，分布有工

业厂房、市政主干道、地下管线等建筑设施，且该地区多数建筑物距离基坑边线约3米。由于这一地区建筑密集、周围环境非常复杂，一旦局部支护出现偏差，则会引起一系列麻烦。根据以往的实践经验来看，基坑施工中最常规经济的支护型式为桩锚支护，然而该方法通常会受到施工区域周边环境的制约。以下给出的是项目周边建筑、管线统计表。

表格1：周边毗邻建（构）筑物统计表

名称	基础形式	距基坑最小距离（m）	结构形式	方向
仙名宿舍及厂房	浅基础	19	砖混结构	北侧
杨宇富五金制造厂	浅基础	3	钢结构+砖混	东侧
意境膳厨（私人餐厅）	浅基础	14	砖混	南侧
意境膳厨（围墙）	浅基础	14	砖砌	南侧
意境膳厨（水塘）	/	21	/	南侧
裕新路	天然地基	13	/	西侧

表格2：周边管线统计表

管道类型/位置	埋深（m）	最小距离（m）	材质	管径
给水（J）/西侧	0.67~0.94	13	铁	A400
给水（J）/北侧	0.82~1.12	基坑内	塑胶	A100

续表:

管道类型/位置	埋深 (m)	最小距离 (m)	材质	管径
雨水 (Y) /南侧	0.66~2.49	基坑内	砼	A800
污水 (W) /北侧	0.50~4.10	17	砼	A300
电力 (L) /西侧	0.05~1.90	7	砖/塑料/铁	1150×1600/100/100
电力 (L) /南侧	1.70~2.82	2.1	塑料	300×150
电力 (L) /南侧	1.50~2.50	基坑内	塑料	300×150
电信 (D) /西侧	0.45~0.78	10	塑料	200×300
电信 (D) /西侧	0.45~0.78	10	塑料	200×100
电信 (D) /西侧	0.45~0.78	10	塑料	100/50
路灯 (LD) /西侧	0.10~0.21	6	塑料	30
路灯 (LD) /场内	0.10~0.21	基坑内	塑料	30

2 工程地质和水文条件

2.1 工程地质

根据本次钻探揭露,结合区域地质资料,本工程场地勘察深度范围内主要岩土层从上至下依次为:人工填土层,第

四系上中更新统坡积层,第四系中更新统残积层,场地下伏基岩为侏罗系中下统塘厦组粉砂岩^[1]。

2.2 土层参数:

表格3: 土层参数表

土层	层厚 (m)	重度 (kN/m ³)	浮重度 (kN/m ³)	黏聚力 (kpa)	内摩擦角 (°)	与锚固体摩擦阻力 (kpa)	黏聚力水下 (kpa)	内摩擦角水下 (°)
素填土	10.20	18.0	8.0	18.00	12.00	12.0	18.00	12.00
粘性土	1.90	18.5	8.5	25.00	20.00	35.0	25.00	20.00
粘性土	3.10	19.0	9.0	23.00	22.00	35.0	23.00	22.00
强风化岩	3.60	19.5	9.5	28.00	25.00	45.0	28.00	25.00
强风化岩	2.20	20.0	10.0	---	---	75.0	32.00	28.00
强风化岩	6.00	21.0	11.0	---	---	80.0	35.00	33.00

3 基坑支护设计方案分析与计算

3.1 设计方案比选

根据基坑支护规模以及项目所在区域的地质条件,总结出本基坑支护设计要点如下:

(1) 结合项目所在区域的地质情况以及施工要求,应采用围护结构,比如连续墙和排桩。在具体施工过程中若不采用逆作法,则可以考虑成本更低的支护形式,即排桩。(2) 对围护结构沿基坑纵深设置支点,施工期间可设内支撑和锚索;若采用后者,由于其容易受周边环境制约,故而要结合实际情况来选择最适宜的方案。(3) 对基坑进行降水或止水帷幕。分析已收集的勘察资料可知,该工程地下水相对丰富、环境对沉降敏感,综合各方面的因素加以考虑,可采用止水帷幕^[2]。对于本项目,可选择的支护形式为:

a. 逆作法。即先沿着建筑物地下部分外墙或周围施工地下连续墙,同时建筑物内部的有关位置浇筑或打下中间支撑桩和柱,作为施工期间于底板封底之前承受上部结构的支撑,然后施工地面一层的梁板楼面结构,作为地下连续墙刚度很大的支撑,随后逐层向下开挖土方和浇筑各层地下结构,直至底板封底。

b. 半逆作法。该方法是相对于全逆作法而言的,其围护

结构采用排桩,在基坑中部放坡开挖,该部分施工结束后,再以建设好的地下结构设置支撑并挖去四周盆边土方;

c. 桩锚支护。桩锚支护是边坡稳定支护中最常用的一种形式,它由桩和锚杆两部分组成。其围护结构采用排桩,在施工过程中通常需要边打设锚索边开挖基坑,地下部分开挖到底后由上到下开展作业桩锚支护结构受力明确,且能提供较大的侧向约束,桩锚支护适用于地下水存在较多、开挖深度较大的重要工程。

d. 桩撑支护。与前者相同,这种支护方式的围护结构同样采用排桩,其特点是以内支撑对基坑进行支护,经过参数计算可确定内支撑数量和间距。桩撑支护具有较大的侧向刚度,可以提供较大的侧向约束,从而减小桩的间距,节省材料,施工方便。对于开挖深度较大、地下水丰富、土质较差的地段,当设置桩锚支护无法满足要求时,则应考虑采用桩撑支护^[3]。

3.2 设计方案确定

基于上文的论述,结合项目实际情况,本文给出可选基坑支护方案如下:

采用桩撑方案:采用排桩+角撑+对撑支护。

3.3 基坑支护设计计算

3.3.1 基本信息

表格4：基坑支护计算基本信息一览表

规范与规程	《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120-2012
内力计算方法	增量法
支护结构安全等级	一级
支护结构重要性系数 γ_0	1.10
基坑深度 h (m)	15.100
底固深度 (m)	8.400
桩顶标高 (m)	-0.500
桩材料类型	钢筋混凝土
混凝土强度等级	C30
桩截面类型	圆形
桩直径 (m)	1.200
桩间距 (m)	1.600
有无冠梁	有
防水帷幕	无
放坡级数	0
超载个数	1
支护结构上的水平集中力	0

3.3.2 超载信息

超载类型：均布荷载；超载值：20kpa。

3.3.3 土层信息

表格5：土层信息一览表

土层数	6	坑内加固土	否
内侧降水最终深度 (m)	16.100	外侧水位深度 (m)	3.000
内侧水位是否随开挖过程变化	否	内侧水位距开挖面距离 (m)	---
弹性计算方法按土层指定	×	弹性法计算方法	m 法
内力计算时坑外土压力计算方法	主动		

3.3.4 支锚信息

类型：内支撑；

3.3.5 各工况图

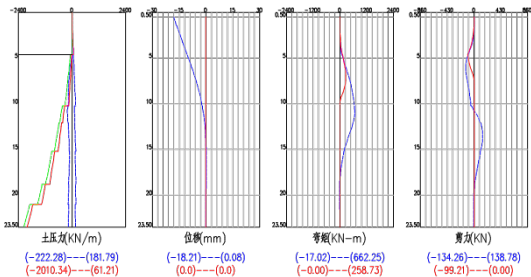


图1：工况1—开挖

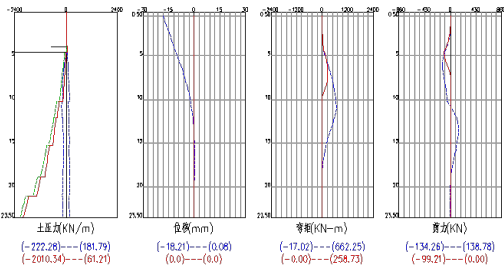


图2：工况2—加撑

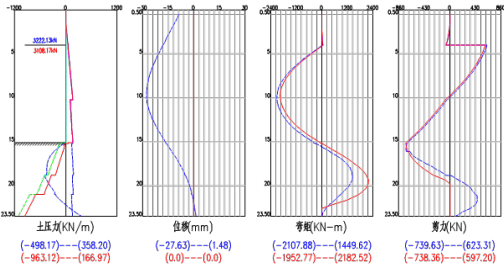


图3：工况3—开挖

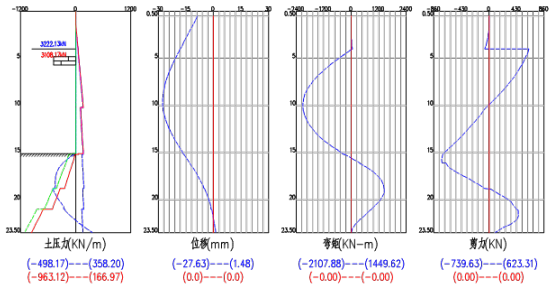


图4：工况4—加刚性铰

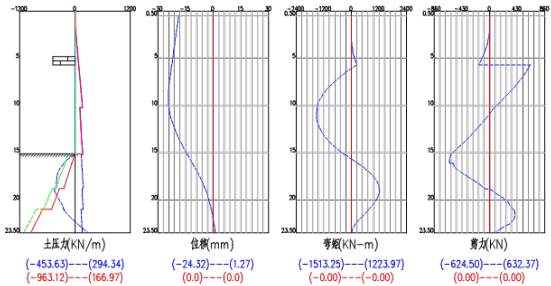


图5：工况5—拆撑1

3.3.6 内力位移包络图

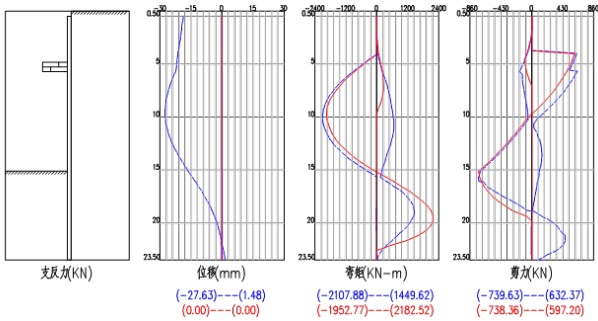


图6：内力位移包络图

3.3.7 地表沉降图

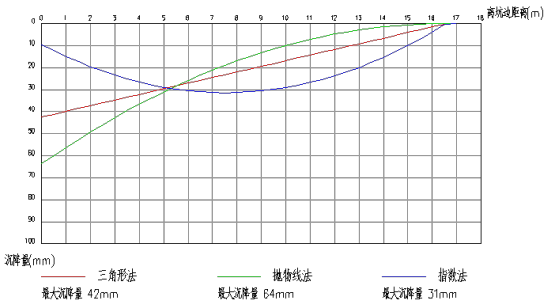


图7：地表沉降图

3.3.8 整体稳定性验算

这部分的计算中主要是采用瑞典条分法来验算；

应力状态采用有效应力法进行验算；

采用条分法计算时，已知土条宽度: 1.00m

滑裂面数据如下：

圆弧半径 $R = 23.501$ ，单位（米）

圆心坐标X $X = -3.297$ ，单位（米）

圆心坐标Y $Y = 14.667$ ，单位（米）

已知, 整体稳定安全系数 $K_s = 2.262 > 1.35$, 检验通过, 可展开后续分析。

3.3.9 抗倾覆稳定性验算

本文主要是采用以下方法来验算抗倾覆(对支护底取矩)稳定性:

$$K_{ov} = \frac{M_p}{M_a}$$

上式中分子 M_p 代表被动土压力及支点力对桩底的抗倾覆弯矩。

分母 M_a 代表主动土压力对桩底的倾覆弯矩。

工况1:

$$K_{ov} = \frac{57018.957 + 0.000}{15345.293}$$

$K_{ov} = 3.716 > 1.250$, 满足规范要求。

工况2:

$$K_{ov} = \frac{57018.957 + 26000.001}{15345.293}$$

$K_{ov} = 5.410 > 1.250$, 满足规范要求。

工况3:

$$K_{ov} = \frac{8739.859 + 26000.001}{15345.293}$$

$K_{ov} = 2.264 > 1.250$, 校验通过。

工况4:

分析可知, 由于已存在刚性铰, 因而工后续工况均不计算抗倾覆。安全系数最小的工况为工况3。

经过对比分析得出最小安全 $K_{ov} = 2.264 > 1.250$, 校验通过。接下来开展抗倾覆(踢脚破坏)稳定性验算:

主要是校验绕最下道支撑的抗倾覆稳定性,

公式如下:

$$K_t = \frac{\sum M_{ap}}{\sum M_{Ba}}$$

上式中分子, $\sum M_{ap}$ 代表被动区抗倾覆作用力矩总和; 分母代表主动区倾覆作用力矩总和, 单位均为 $(\text{kN} \cdot \text{m/m})$;

本次设计中, 结合项目设计要求取 $K_t \geq 1.250$ 。

工况1:

这种情况下可忽略抗倾覆稳定性验算。

工况2:

$$K_t = \frac{140273.533}{17679.585}$$

$K_t = 7.934 > 1.250$, 校验合格。

工况3:

$$K_t = \frac{49543.519}{17679.585}$$

$K_t = 2.802 > 1.250$, 校验通过。

工况4:

经过分析可知, 由于已存在刚性铰, 因而后续工况均不予验算。

对比分析得出安全系数最小的工况号为工况3。

其相应的最小安全 $K_t > 1.250$, 校验通过, 可展开进一步的分析。

3.3.10 嵌固段基坑内侧土反力验算

工况1:

$P_s \leq E_p = 16188.102$, 验算通过。

工况2:

$P_s \leq E_p = 16188.102$, 验算通过。

工况3:

$P_s \leq E_p = 4782.226$, 验算通过。

工况4:

$P_s \leq E_p = 4782.226$, 验算合格。

工况5:

$P_s \leq E_p = 4782.226$, 验算通过。

此处:

P_s 代表基坑内侧土反力合力, 单位 (kN) ;

E_p 代表被动土压力合力, 单位 (kN) 。

综上所述, 工程采用桩径1.2m的排桩+内支撑的方式进行基坑支护, 基坑满足要求。由于基坑安全对周边影响较大, 故可以采用咬合桩进行止水。

4 实施效果

项目基坑支护结构的施工时间为2021年12月-2022年12月, 地下施工期间发生多场大暴雨, 截至目前, 整个工程已全部结束, 因在前期设计阶段对各种影响因素进行了综合考虑, 且基坑支护选型科学, 基坑开挖结束后未发生内部渗漏等情况, 经过检测得出, 整个基坑变形小, 稳定性良好, 满足要求^[4]。

结论: 本工程实践证明, 结合场地地质条件、周边环境等因素, 通过对比不同的支护方案, 最终选取适用于本项目的支护体系, 该方法不仅效益高, 且便于开展作业, 基坑变形可控、稳定性良好。真正实现了以最少的成本获取最大效益。反之一旦选型不正确, 则很容易造成变形等问题; 基于此本文做出如下总结:

(1) 本项目根据周边环境以及项目实际情况, 采用了经济、可靠的桩撑支护体系。对于开挖深度大、项目周边条件复杂的情况, 这种支护方法最适用。(2) 本文所选用的支护方法整体刚度大, 适应性强, 这为企业实践提供了理论上的参考。

参考文献

- [1]建筑基坑支护技术规程: JGJ 120—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [2]建筑基坑支护工程技术规程: 广东省标准 DBJ/T 15—20—2016[S]. 北京: 中国城市出版社, 2017.
- [3]龚晓南. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [4]混凝土结构设计规范: GB 50010—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.