

某地铁停车场出入线基坑支护 方案优化设计及变形模拟

姚进 花丽娟

(中船勘察设计研究院有限公司,上海 200331)

【摘要】 研究基于某地铁停车场出入段线基坑支护方案的优化设计,利用比选排除法得出适合该研究区基坑支护方案并对每个方案进行支护设计,进而利用数学模糊评判方法对所有适用方案进行综合评分,选出最优方案。对基坑设计进行验算,ADINA 软件进行模拟,验证了最终方案的可行性,对基坑支护方案选型及设计有一定的参考意义。

【关键词】 基坑支护;方案选择;对比加权评分法;支护结构设计;ADINA 变形模拟

【中图分类号】 TV 551.4;TU 942

【文献标识码】 B

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2012.03.006

Line of the Foundation Pit Optimization Design and Simulation of Deformation

Yao Jin Hua Lijuan

(The China Shipbuilding Survey and Design Institute Co., Ltd, Shanghai 200331, China)

【Abstract】 This research is based on a section of subway line parking excavation programs to optimize the designs. Excluding the using of comparison and selection methods to get the study area for the excavation of each program and relevant supporting design. Thus the use of mathematical methods for fuzzy evaluation composite score for all applicable programs and selecting the optimal solutions. After checking the design of the pit and using ADINA software to simulate, the author verify the feasibility of the final programs.

【Key words】 foundation pit; program of choice; contrast weighted scoring method; supporting structure design; ADINA deformation simulation

0 引言

基坑支护工程是一个综合性很强的系统工程,其支护方案的优劣直接影响工程进度、质量和成本,在整个基坑施工工程中占有重要的地位^[1-2]。随着我国城市土地资源紧缺状况越来越严重,地下空间的利用变得越来越重要,这对基坑工程的开挖与支护提出了更高、更严格的要求。同时深基坑支护结构一般是临时支护,如果一味追求安全,就会造成不必要的浪费。因此,在深基坑开挖时,就应寻求一种安全、经济、可行的支护方案,减少费用,达到较高的经济效益;对比加权评分法^[3]是通过有效控制主观和客观权值在整个评估中的得分,缩小主观因素在评估中的影响,达到最终优化目的的综合模糊评判方法^[4-6],为基坑方案的选择提供评判条件;本文采用 ADINA 模拟软件进行模拟,它是基于有限元技术的大型通用分析仿真平台,其广泛应用涉及到各个领

域,ADINA 系统是一个单机系统的程序,用于进行固体、结构、流体以及结构相互作用的流体流动的复杂有限元分析,本文借助 ADINA 系统,对基坑支护前后变形进行模拟,验证基坑支护后的稳定性。

1 对比加权评分法

1.1 对比加权评分法原理

对比加权评分法是根据对比分析以及施工经验分别给出每个方案在安全可靠、造价、施工难度、工期、对环境的影响以及对其它工序的影响等几个方面的量化得分,再根据各指标的重要性赋予不同的权重,用该方案在各指标下的得分乘以权重再求和,就是该方案的最终得分(见表 1),各方案中最终得分最高的即为最优方案。表中 $\{Y_i\} = \sum [X_{ij}] \{W_j\}$ 。式中: Y_i 为第 i 方案总评分; X_{ij} 为第 i 方案在 j 指标下的得分。 X_{ij} 分为两类:一类为量化指标如造价、工期等,可以使用确定的数字来代表,可以按下公式计算:当数值

越小越好时采用 $X_{ij} = [1 + (A_j - A_{ij})/A_j]^c$ 公式评分,当数值越大越好时采用 $X_{ij} = [1 + (A_{ij} - A_j)/A_j]^c$ 评分,其中 $A_j = \sum_{i=1}^m A_{ij}/m$,式中 A_{ij} 为 i 方案在 j 指标时的具体数值; A_j 为各方案在 j 指标时的平均值; c 为指标数值差异对评分的影响系数, c 越大,则该指标在数值上的变化对方案评分影响越大,一般取 $c=1$ 。另一类为定性指标,如可靠度、施工难度、环境影响等,可以依据经验直接评分,然后通过公式 $X_{ij} = [1 + (A_{ij} - A_j)/A_j]^c$ 转换为加权评分法中的评分,得出 X_{ij} 。式中 A_{ij} 为 i 方案在 j 指标时的具体数值, A_j 为各方案在 j 指标时的平均值;其中 $c=1$ 。 W_j 为 j 指标与其它指标相比时的权重(根据对比法确定)。

表1 加权评分表

方案	稳定系数	造价	工期	施工难度	环境影响	其他因素	总分
A	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	Y_1
B	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}	X_{26}	Y_2
C	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}	X_{35}	X_{36}	Y_3
D	X_{41}	X_{42}	X_{43}	X_{44}	X_{45}	X_{46}	Y_4
E	X_{m1}	X_{m2}	X_{m3}	X_{m4}	X_{m5}	X_{m6}	Y_m
权重(W_n)	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	

1.2 对比法确定 W_j (各因子权重)

对比法将各评价因子一一对比,重要者得1分,不重要的得0分,为了防止权值出现0的情况,用各加1分的方法进行修正,最后用各因子的得分除以修正后的总得分即得各权值,(各评价因子必须满足归一条件即 $\sum_{i=1}^n P_i = 1$ [6])过程见表2。

表2 对比法赋值表

因子代号	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	得分	修正得分	权值 P_i
I		0	0	0	0	1	1	0	0	2	3	0.07
II	1		1	1	1	1	1	1	1	8	9	0.20
III	1	0		0	1	1	1	1	1	6	7	0.15
IV	1	0	1		1	1	1	1	1	7	8	0.17
V	1	0	0	0		1	1	0	1	4	5	0.11
VI	0	0	0	0	0		1	0	0	1	2	0.05
VII	0	0	0	0	0	0		0	0	0	1	0.03
VIII	1	0	0	0	1	1	1		1	5	6	0.13
IX	1	0	0	0	0	0	1	1		3	4	0.09
合计										36	45	1

2 某地铁出入段线工程地质条件

2.1 基坑等级

该场地基坑主体分两部分:地下区间段(RDK0+000.000~RDK0+468.646)和敞口区间(RDK0+

468.646~RDK0+701.505)。其中敞口区间为地面和地下区间的衔接段,最大深度约9.740 m,地下水位距地表4~5 m,周围无重要建筑物,该段基坑安全等级可定为三级;地下区间段开挖深度为9.74~15.32 m,周围除一条排污渠(施工时改线迁移),无其他重要建筑物,基坑安全等级可定为二级。

根据初步比选,敞口段为地表与地下衔接部分,其深度由0~9.74 m,考虑其整体稳定性及基坑形状的局限性,基坑宽度较窄,最宽处14 m,故逆作拱墙支护型式应排除,水泥土墙适合开挖深度不大于6 m的基坑,故排除,可选方案为放坡、排桩、土钉墙;地下区间段基坑最大深度15.32 m,且受其形状影响同样排除水泥土墙和逆作拱墙支护型式,故可选方案为排桩、地下连续墙、土钉墙支护型式。

2.2 初选方案的设计

1) 锚拉式地下连续墙

如果采用地下连续墙加一道锚杆方案进行支护,可采用以下参数:地下连续墙厚0.6 m,墙高19.92 m,墙顶距地面2 m,嵌入基坑深度6.6 m,墙体配筋为内侧纵筋 $\Phi 32@120$ 、外侧纵筋 $\Phi 32@120$ 、水平分布筋 $\Phi 12@200$ 。在距地面4.5 m处设一排锚杆,锚杆间距为3 m,锚杆直径为0.15 m,配筋为7根 $\Phi 5$ 钢绞线,自由段长度为4 m,锚固段长度为13 m,地下连续墙混凝土强度为C30,钢筋保护层厚度为50 mm。

2) 钻孔灌注桩+旋喷桩止水

如果采用灌注桩+旋喷桩止水帷幕进行支护,可以确定各种参数如下:采用钻孔灌注桩,灌注桩之间加旋喷桩做止水帷幕。桩径800 mm,桩间距950 mm,桩顶距地面高度为2 m,在桩顶处设冠梁。砼等级:钻孔桩C30级水下砼;冠梁C30级;边坡砼C25级喷射砼;桩间砼C25级喷射砼。钢材:钢支撑采用外径 $\Phi 600$ mm 钢管,壁厚12 mm, Q235 钢;钢腰梁:工字钢及 Q235b 钢板组合而成。受力钢筋的保护层厚度,钻孔桩70 mm,冠梁50 mm。

灌注桩+旋喷桩止水帷幕方案总造价估算为630.49万元,工期约为210天,安全可靠性较好,对周边环境影响较小,而且在该地区应用广泛,有丰富的施工经验。

3) 土钉墙(局部锚拉桩)+降水

土钉墙+降水方案,在基坑四周设降水井降水,总造价为423.28万元(不含土方开挖);整个施工过程是挖土与土钉墙施工穿插进行,即挖一层土,做一步土钉墙,土钉墙施工完毕,基坑也就挖好了,因而

工期较短,总工期(含土方开挖)约为150天;整体安全性可靠,施工工艺简单。

2.3 支护方案的优化选择

利用加权评分法对以上三种初选方案进行最优化选择,以确定该研究区域最终的支护方案;其中 a_1 、 a_2 、 a_3 分别代表连续墙、排桩、土钉墙三种方案,对各评价因子一一对比,重要者得1分,不重要的得0分,为了防止权值出现0的情况,用各加1分的方法进行修正,具体见表3、表4。

表3 各因子赋权表

因子	稳定性	造价	工期	环境扰动	难度	其他因素	得分	修正得分	权值
稳定性	1	1	1	1	1	1	5	6	0.29
造价	0	1	1	1	1	1	4	5	0.24
工期	0	0	1	1	1	1	3	4	0.19
环境扰动	0	0	0	1	1	2	3	3	0.14
难度	0	0	0	0	1	1	2	2	0.09
其他因素	0	0	0	0	0	1	1	1	0.05
合计							15	21	1

综上所述, $W_1=0.29$, $W_2=0.24$, $W_3=0.19$, $W_4=0.14$, $W_5=0.09$, $W_6=0.05$

表4 明挖段加权评分表

方案	稳定系数(可靠性)	造价	工期	环境影响	施工难度	其他因素	总分
a_1	1.3	0.99	0.99	1.33	0.78	0.33	1.05
a_2	1.18	1.53	1.53	1	1.11	2.33	1.36
a_3	0.83	1.87	1.87	0.67	1.11	0.33	1.26
权重	0.29	0.24	0.19	0.14	0.09	0.05	

由表4可知最终结果: $a_2 > a_3 > a_1$,故采用排桩+旋喷桩止水方案。

依上同理, a_1 、 a_2 、 a_3 分别代表放坡、排桩、土钉墙,评分结果见表5。

表5 敞口段评分表

方案	稳定系数(可靠性)	造价	工期	环境影响	施工难度	其他因素	总分
a_1	0.81	1.87	1.87	0.67	1.33	1.67	1.34
a_2	1.21	0.99	0.99	1.33	0.67	1.67	1.11
a_3	1	1.53	1.53	1	1	0.56	1.21
权重	0.29	0.24	0.19	0.14	0.09	0.05	

最终结果: $a_1 > a_3 > a_2$,故采用放坡开挖方案。

3 基坑支护结构设计、验算

由于基坑整体分为敞口段和明挖段,分别取最深处做支护结构设计;区间提前采用井点降水的方式进行施工前的水位处理,计算时考虑水位的折减,

土层主要为黄土状土、中砂和粗砂,统一按水土分算考虑,场地水位埋深一般4.4~8.6m,含水层为透水性极强的中粗砂砾卵石,而地下线轨底埋深11.0~15.0m,水位降深要求达到基坑底板下1.5~2.0m,因此采用泵整体抽水,另打旋喷桩做止水帷幕,从而达到止水目的。

3.1 敞口段

敞口段在总应力状态法条件下采用瑞典条分法对其整体稳定验算,其结果见图1。

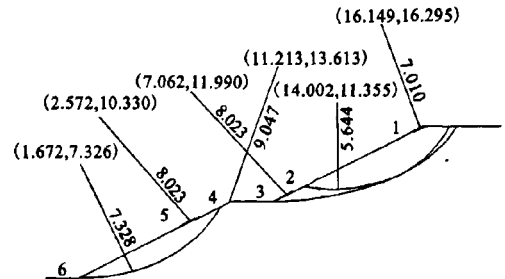


图1 滑移面示意图

根据计算,在坡面上有可能形成6个滑移面(见图1),最小安全系数(第6号滑移面)为1.01,可在该滑移面施工时注意增设插筋、挂网和喷砼,增加边坡的安全性,以满足规范要求。

3.2 明挖基坑段

1)地下区间段采用排桩支护(取最深断面处进行支护设计);地下水位在5m以下,且土层以填土、粉土为主,因而从经济性因素考虑采用整体放坡5m,且基坑最深处距地面15.32m,采用 $\Phi 800 @ 950$ 灌注桩围护结构,桩长为16.82m,桩顶标高为-5m,计算时考虑地面超载20kPa,见图2;共设两道撑,见表6;基坑附近有附加荷载见表7和图3。

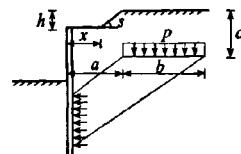


图2 附加荷载示意图

表6 内撑信息表

中心标高/m	刚度/(MN·m ⁻²)	预加轴力/(kN·m ⁻¹)
-5.5	236.45	
-11	236.45	

表7 参数信息表

h/m	x/m	$s/(^\circ)$
5	1.5	41

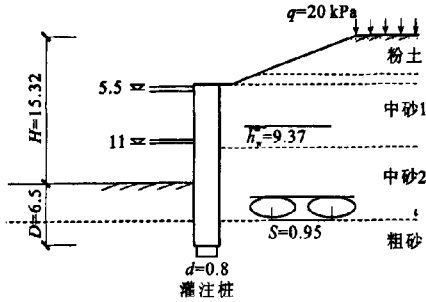


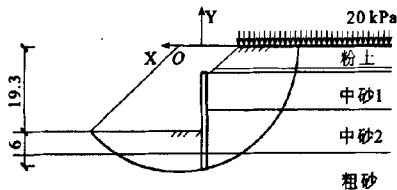
图3 排桩示意图(单位:m)

2)地质条件:场地地质条件和计算参数见表8, 地下水位标高为-9.37 m。

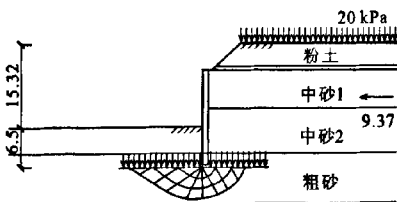
表8 地层参数表

土层	层底标高 /m	层厚 /m	重度 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	$\varphi/(\text{°})$	c/kPa	$M /(\text{kN} \cdot \text{m}^{-4})$
素填土	-0.5	0.5	16.4	12	10	2 680
粉土	-4	3.5	17.3	25	26	13 720
粉细砂	-5.1	1.1	14.6	29	3	13 920
中砂1	-11.6	6.5	10.4	30	3	15 300
中砂2	-19.4	7.8	10	30	3	15 300
粗砂	-28.2	8.8	10.8	33	3	18 780
粉质粘土	-30.5	2.3	9.8	28	30	16 080

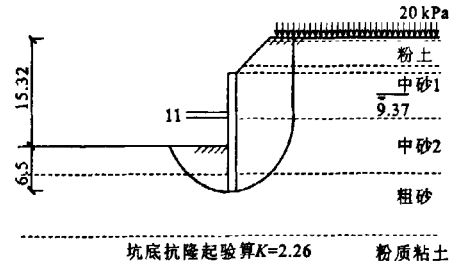
3)整体稳定性、墙底、坑底抗隆起以及抗管涌验算:由图4—图8知安全系数 $K=1.57 > 1.0$, 墙底、坑底抗隆起 > 1.2 , 抗管涌 $K > 1.5$ 最大水平位移 17.1 mm, 小于 30 mm 及 $0.002H$, 符合规范要求^[7]。



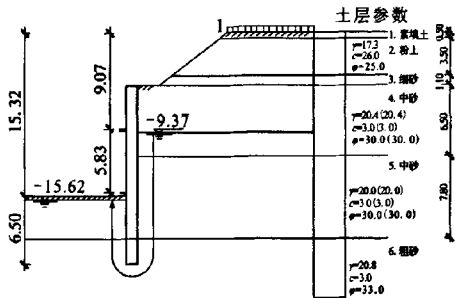
安全系数 $K=1.57$, 圆心 $O(3.81, 0)$ 粉质粘土
图4 整体稳定性验算图(单位:m)



Prandtl: $K=6.73$ Terzaghi: $K=8.32$ 粉质粘土
图5 墙底抗隆起验算图(单位:m)



坑底抗隆起验算 $K=2.26$ 粉质粘土
图6 坑底抗隆起验算图(单位:m)



$K=3.014 > 1.5$, 满足规范要求。

图7 抗管涌验算图(单位:m)

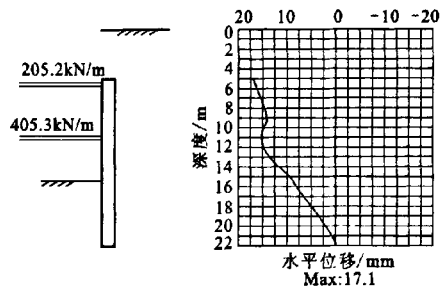


图8 包络图

4 基坑支护后变形模拟

4.1 模型的建立

该模型只考虑在横向和轴向的位移变化情况, 故采用平面模拟方法。该基坑在开挖前整体放坡 5.0 m, 倾角 45°, 地面超载 20 kPa; 模型中整个区域划分为 5 个单元体和 1 个支撑梁, 分别与 4 个地层、桩体和内支撑相对应, 材料属性见表 9 和表 10。边界条件: 限制模型中轴向边界在横向上的移动, 底边界限制竖向的移动。

表9 地层及材料性质参数表

土类名称	层厚/m	重度 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	杨氏模量 /MPa	泊松比	粘聚力 /kPa	内摩擦角 /(°)	粘聚力(水下) /kPa	内摩擦角(水下) /(°)
粉土	5.0	17.3	100	0.35	26.00	25.00		
中砂	9.0	20.4	100	0.3	0.00	30.00	0.00	30.00
中砂	6.0	20.0	100	0.3			0.00	30.00
粗砂	9.0	20.8	100	0.25			0.00	33.00

表 10 桩体和内撑参数表

桩体类型	重度 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	杨氏模量 /GPa	泊松比	撑的类型	重度 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	杨氏模量 /GPa	泊松比
钢筋砼桩	25.0	15	0.2	刚性撑	25.5	29	0.2

4.2 支护后基坑变形模拟

基坑支护后整体轴向变形模拟云图见图 9, 从该云图可知打桩后整体轴向位移变化较小, 对周边环境影响影响不大, 最大沉降位移变化为 0.029 13~0.031 67 m; 基坑支护后周边土体横向变形模拟云图见图 10, 从该云图可知打桩后基坑周边土体横向位移变化范围为 0.003 99~0.010 14 m, 整体轴向位移变化较小, 对周边建筑物及环境影响不大, 符合基坑支护变形一般过程。

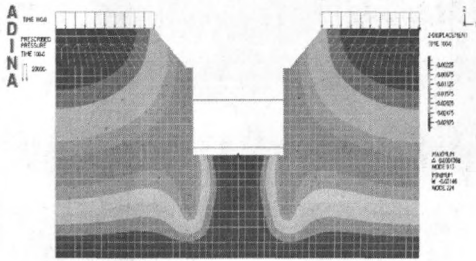


图 9 基坑支护后轴向变形云图

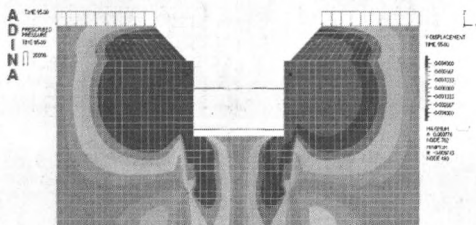


图 10 基坑支护后横向变形云图

5 结论

1) 本文以某地铁停车场出入段线基坑为研究对象, 根据初步比选敞口段可选方案为放坡、排桩、土钉墙; 地下区间段基坑可选方案为排桩、地下连续

墙、土钉墙支护型式。

利用加权评分法对初选方案进行优化, 得出适合该基坑的最优方案为: 在敞口段采用二级放坡, 在明挖段采用钻孔灌注桩+旋喷桩止水方案。这种优化方法的采用减少了主观因素和客观判定之间的误差, 综合了两者在工程中的评判, 切实可行。

2) 对所选支护方案进行验算, 结果表明稳定性、基底抗隆起等均符合规范要求, 支护方案可行。

3) 利用 adina 软件对基坑支护后变形进行模拟, 基坑支护后, 整体变形量小, 对周围环境影响小, 符合一般基坑支护变形要求。

参 考 文 献

- [1] 宫卫民. 深基坑支护方案优选[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2008, 27: 124-126.
- [2] 张贵然. 深基坑支护技术的发展和展望[J]. 洛阳大学学报, 2004(2): 102-105.
- [3] 刘 华, 姚 进, 王振福. 对比加权评分法在边坡治理方案优选中的应用[J]. 陕西地质, 2010(1): 104-109.
- [4] 谢全敏, 夏元友. 岩体边坡治理决策的模糊层次分析方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 24(1): 1117-1120.
- [5] 张玉清, 宓永宁, 王铁良, 等. 综合评分法在护坡方案优选中的应用[J]. 中国水土保持, 2008(8): 8-10.
- [6] 黄崇福, 王家鼎. 模糊信息分析与应用模式[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1992.
- [7] 常士骥, 张苏民, 等. 工程地质手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.

收稿日期: 2012-02-16