

北京南部某基坑支护工程实例分析研究

张新蕊

中化岩土工程股份有限公司 北京市 102600

摘要 本文通过某办公楼地基护坡工程，初步揭示了北京南部永定河冲积扇中上部冲积平原地区的工程地质特性及其在工程建设中应用的经验。通过实例计算分析，验证了本方法的可行性，研究对今后基坑支护的设计具有一定的实际意义。

关键字 基坑支护；土钉墙；边坡；稳定性

An analysis on engineering geological characteristics of its application to engineering of western Beijing

Zhang xinrui¹

1. China Zhonghua Geotechnical Engineering Co., Ltd., Beijing, 100026

Abstract: Through the foundation slope protection project of the integrated building of our building, the authors analyze the Engineering geological characteristics of in upper part of Yongding River alluvial fan, south of Beijing, and summarize the experience of processing the problem of Geotechnical Engineering in the similar terrain, which provide a dependable gist for the further research of the Engineering geological characteristics of the similar terrain. On the basis of practical calculation the feasibility of the method is verified and it is of significance for the design of deep pit.

Key words: Foundation pit supporting Soil nail wall Slope Stability

中图分类号：U213.1+3 文献标识码：A

0 引言

随着经济的发展与人们居住环境要求的提高，近年来我国建筑、市政等工程得到飞速发展。高层及多层建筑的地下室、地下商场、地下车库等工程施工，都会面临地基基础工程和深基坑工程。我国的地基基础工程已经形成了研究、设计、施工及监测等一整套的科学指导理论。从 80 年代末期到现在，我国在深基坑工程的研究、设计、施工及监测等方面也取得了长足的进步，既吸取了世界发达国家的先进技术，又研究、开发了一系列适应我国国情的设计方法与施工技术。深基坑工程技术在我国已逐渐趋于成熟。

1 工程概况

该场地位于北京市大兴区大兴工业开发区，处于科苑路与金科巷交界的西北角。项目建设总用地面积约 6662.51 m²，总建筑面积 22257m²，其中地上建筑面积 16650m²，地下建筑面积 5607m²。规划建筑主要为一栋高 45m 的 12 层技术服

务楼，另一栋 4 层综合楼，均设有二层地下室，本工程±0.00 标高相当于 40.10m，地下二层基础底标高为 -11.05m，自然地坪平均标高约 39.40m，基坑深度 3.80-10.35m。

2 场地周边环境

拟建场地南侧为主干道，其地下管线处于基坑施工影响范围之外，其中搭建的临设距基坑边 2.4m；东侧为巷道，其南北走向的供水管道距离基坑较近，埋深小于 3.0m，其中供水井距离基坑边缘 0.9m；西侧为供热厂堆煤车间，距离基坑较远，对基坑施工基本无影响；北侧为某企业工厂，四层楼房，基础埋深相对于±00=39.75m 为-2.55m。厂房基础外墙距离本基坑边缘约 13.7m。基坑开挖深度范围内无地下水，根据《建筑基坑支护技术规程》(DB11/489-2007)，本工程基坑侧壁安全等级为二级。

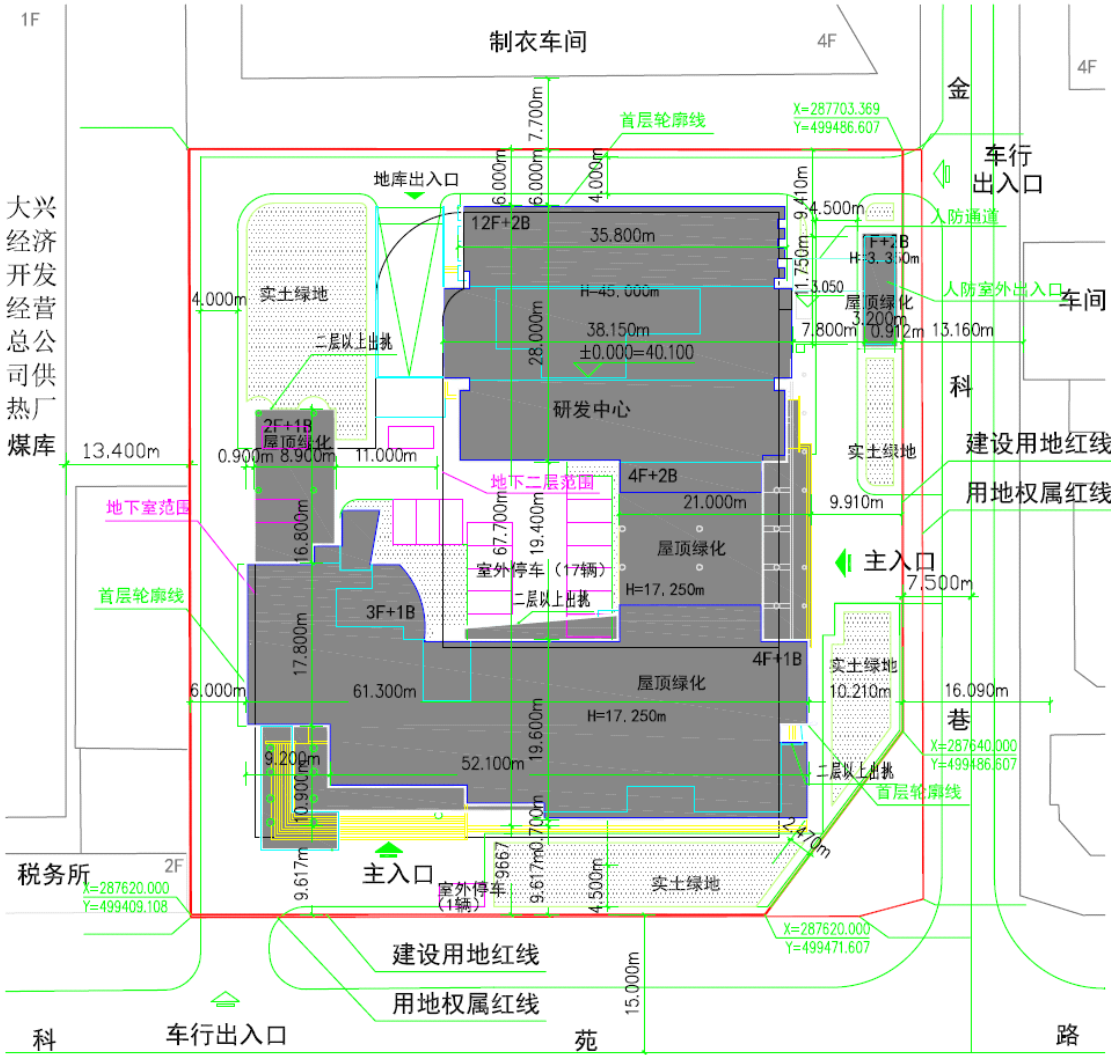


图 1 基坑总平面图

3 场地岩土工程条件

3.1 场地地层条件

根据该场地的岩土工程详细勘察报告，场区地形平坦，岩土层层序较清晰，地层结构简单，第四系最厚约 25m，主要由素填土、粉质粘土、粉土、细砂以及卵石层组成^[1,2]，根据勘察资料，场地自然地面以下 25.0m 深度内地层的物理力学性质如下：

表 1 土的物理力学性质

层号	岩土名称	平均厚度 (m)	重度 (kN/m³)	粘聚力 Cu(kPa)	内摩擦角 Φu(°)	锚杆极限 摩阻力标 准值(kPa)
①	素填土	2.41	19.5	15.0	10.0	16.0
②	粉质粘土	1.43	19.9	22.0	15.0	45.0
③	粘质粉土	2.18	19.8	20.0	15.0	66.0
④	粉质粘土	1.10	19.9	18.0	22.0	52.0
④ ₁	砂质粉土	1.07	19.9	5.0	18.0	66.0
⑤	细砂	4.06	20.0	0	27.0	63.0

3.2 工程地质特性分析

在已知初步设计条件下，预计的基础埋深、可能采取的基础形式等条件，建议本工程一期的四层办公楼的基础底面埋深选取在③层粘质粉土层，底面标高不低于 32.5 米；二期十三层办公楼如设置 2 层地下室，则建议基础底面埋深选取在④₁层密实的砂质粉土层和⑤层密实的细砂层上，底面标高建议置于 33.0-34.0m 之间；设置 1 层地下室，则基础底面埋深选取在③层粘质粉土层，底面标高不低于 32.5 米；在其下④层粉质粘土层等变形与承载力满足要求的情况下可采用天然地基，如不能满足设计变形与承载力要求，则需对其进行地基处理。

地基各个土层承载力选取可根据前述野外测试、室内统计分析确定的各土层承载力标准值确定，可参考下表中建议值进行地基承载力和变形验算。

表 2 地基承载力标准值及压缩模量

地层编号	岩土名称	土工试验	动力触探 试验	标准贯入 试验	建议值	
		压缩模量 Es(MPa)	标准值 fka(kPa)	标准值 fka(kPa)	标准值 fka(kPa)	压缩模量 Es(MPa)

①	素填土	6.07	/	110	100	5
②	粉质粘土	5.89	/	120	120	5
③	粘质粉土	9.42	/	160	160	9
④	粉质粘土	5.66	/	110	110	5
④ ₁	砂质粉土	/	/	280	220	15
⑤	细砂	/	/	350	300	22
⑥	粉质粘土	/	/	200	200	10
⑥ ₁	粘质粉土	13.65	/	200	200	10
⑦	粘质粉土	17.05	/	220	220	15
⑦ ₁	粉砂	/	/	220	220	15
⑧	砂质粉土	20.11	/	250	250	20
⑧ ₁	粘质粉土	/	/	250	250	15
⑨	粉质粘土	10.00	/	200	200	10
⑩	卵石	/	550	/	550	50
⑩ ₁	细砂	/	/	450	450	40
⑩ ₂	细砂	/	/	450	450	40

工程场地中存在的粉质粘土、粉砂、细砂层，对基坑支护尤为不利，尤其是对深基坑支护，当其失水后，自稳能力极弱，容易引起基坑变形、塌陷、失稳等诸多事故。因此须采取有效的基坑支护措施，如采用锚杆支护的方法进行支护，同时配合有效的监测方法。

4 基坑支护设计方案

4.1 工程特点

本工程是当地的一个重点和难点工程，本工程具有以下几个明显的特点：

（1）场地土层为黄泛区新近淤积而成，工程性质差且不稳定，具有较明显的蠕变性，失水变形明显。

（2）场地水文地质条件复杂，潜水埋深浅，且承压水水头较高。

（3）基坑周边狭窄，无放坡空间，必须垂直开挖。且基坑周边环境复杂，需保护的老旧建筑物较多，对变形控制要求较高。

（4）基坑开挖面积虽较大，但基坑开挖深度不大，故业主对工程造价和工期要求均较高。

（5）地下室设计复杂，基坑开挖深度差异较大，客观上增加了工程复杂性。

4.2 基坑支护方案设计原则

鉴于本工程的复杂性与特殊性，按一级基坑进行设计和施工。而根据现行规

范，对一级基坑，一般均采用动态设计、信息化施工方法。所谓动态设计，是以岩土力学作为理论基础，以信息化施工法现场监测的资料作为反馈信息，借助工程经验，对设计方案等进行再验证，如确认原设计条件有较大变化，则应及时补充、修改原设计的设计方法。因此，动态设计法虽然没有明确系统这一概念，但其方法本身已部分地体现了系统工程的观念。它的整个过程可以归纳成阐明问题、分析研究、评价比较三个阶段。在本工程中，我们运用系统工程的观念，采用定性类比、定量计算及综合集成的科学方法，从系统整体出发，根据系统总体最优化的原则，综合考虑设计、施工、工期、造价、气候等诸因素，采用动态设计法及信息化施工法，以达到优化设计、降低造价和缩短工期的目的。

4.2.1 方案优化选择

深基坑工程可以看作是一个集地下水控制、土石方开挖、边坡围护及环境保护于一体的复杂系统。也就是说，它可以划分为地下水控制、土石方开挖、边坡围护及环境保护四个子系统，其重点自然是边坡围护与环境保护系统；而其关键则是地下水控制系统，地下水控制方案对围护结构的选型等起着关键的、决定性的作用；其核心是环境保护系统，环境保护是我们的主要目标之一。

本工程支护设计的主要目的是确保基坑周边建筑物的安全，同时确保基坑边坡安全、稳定，在本基坑的南侧设临时设施，应保证设施的稳固；基坑周边建筑物较多，地下管道复杂，对施工造成一定的难度。基坑所处环境条件较为复杂，建设单位考虑全基坑采用土钉加锚杆的支护体系，在考虑了造价、工期等因素，该方案比较合理，我方认为设计方案可行。

我方在认真研究设计方案前提下，因地制宜，根据基岩面埋深、周边环境、地下水赋存特征和坡顶位移限制等综合环境条件，采用土钉、预应力锚杆结合（1-1'、2-2'、3-3'、5-5'、7-7'、8-8'、9-9'剖面）、土钉墙（4-4'、6-6'剖面）等支护体系^[3-5]。同时，在基础埋置深度内，无地下水出露的可能，故可不考虑地下水对基础施工和建筑物使用期间的影 响。这样，既能确保基坑安全、稳定，同时又满足经济、合理、节省工期的原则。

⑦ 土钉墙本身变形很小，对相邻建筑物影响不大。

4.2.2 支护设计

土钉墙结构采用以分项系数表示的极限状态进行设计。基坑支护结构极限状

态分为下列两类：一类是承载能力的极限状态对应于支护结构达到最大承载能力或土体失稳，过大变形，导致支护结构或基坑周边环境破坏。另一类是正常使用极限状态，对应于支护结构变形已妨碍地下结构施工或影响基坑周边环境的正常使用功能。图 2 为基坑各支护单元平面图，图 3 至图 5 分别为典型支护单元的支护剖面图。

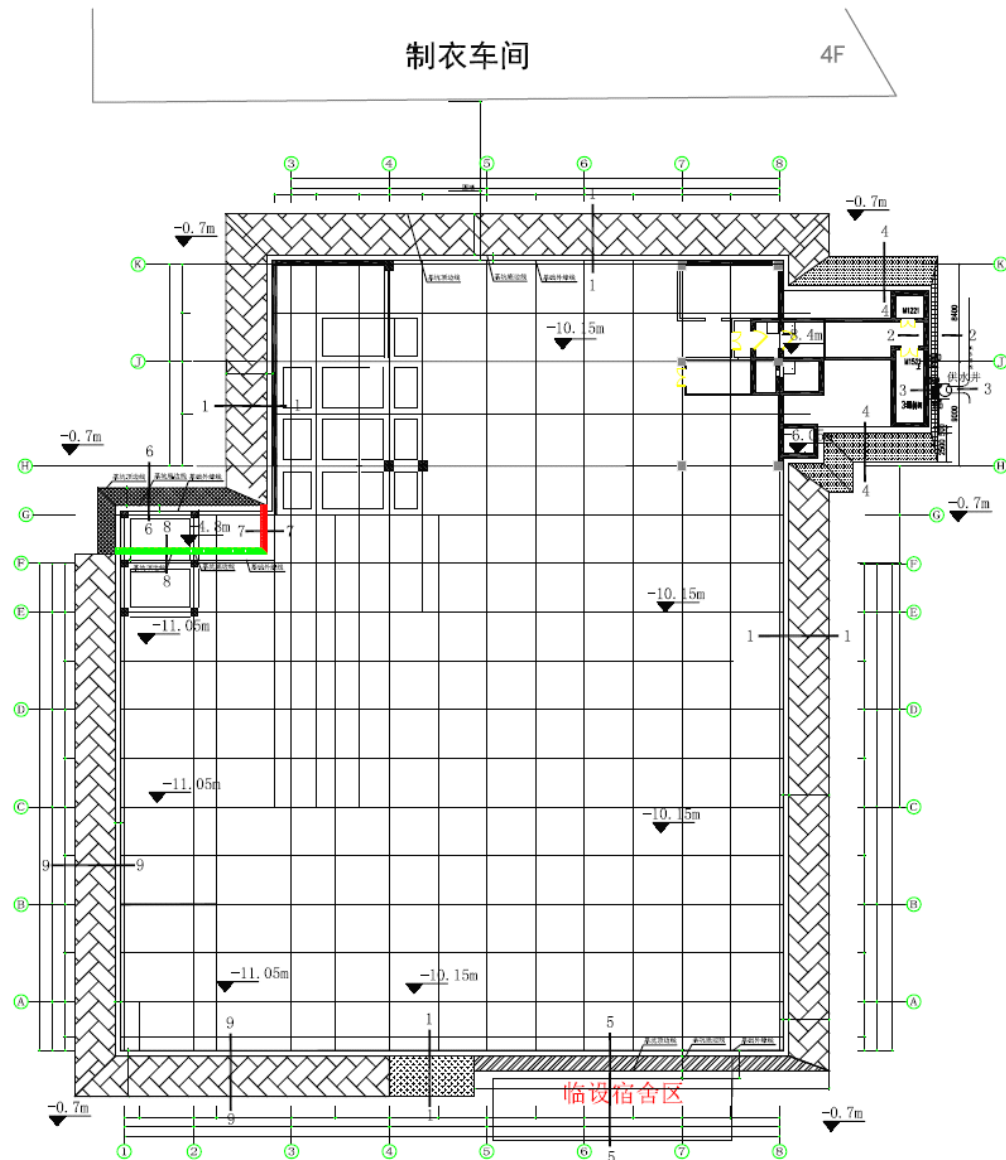


图 2 基坑开挖支护分区平面布置图

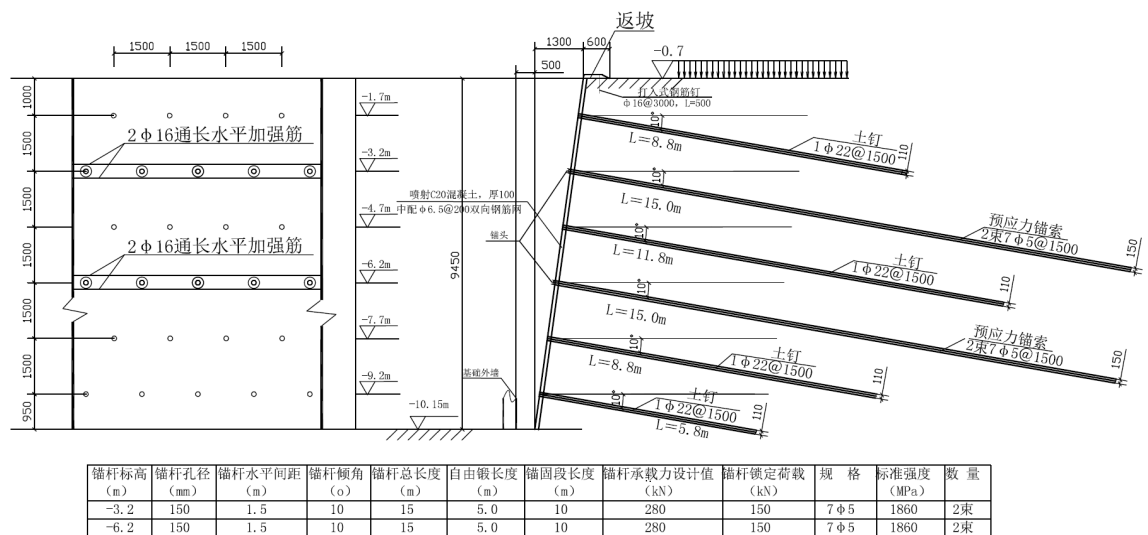


图 3 5-5' 支护剖面图

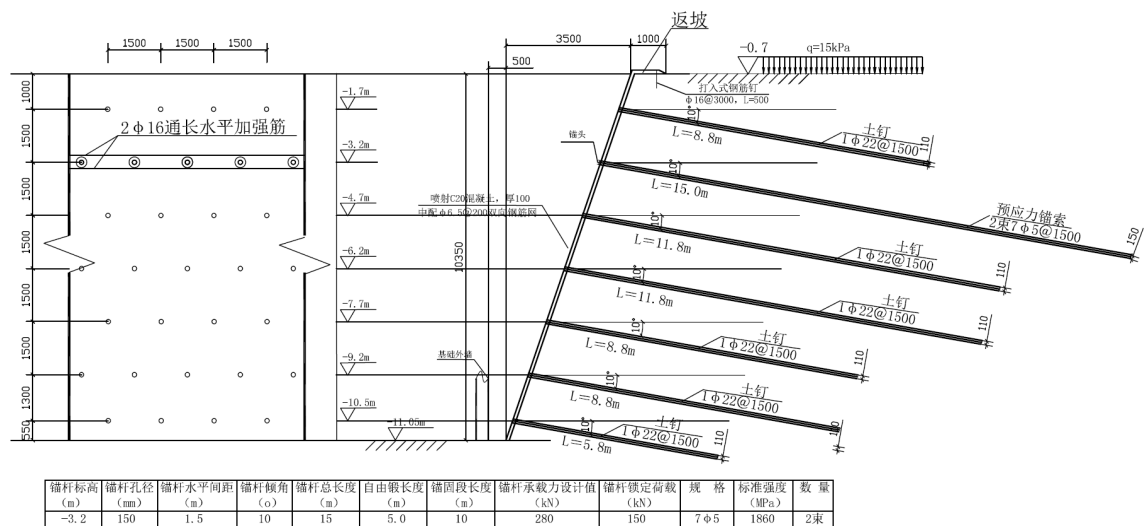


图 4 9-9' 支护剖面图

5 基坑边坡稳定性计算分析

依据基坑的工程地质特性、支护设计以及监测结果等，确定了基坑边坡稳定性计算分析参数（表 3），运用理正深基坑支护软件对基坑边坡的稳定性进行计算。基坑支护设计整体稳定性验算如图 5 所示，基坑支护设计整体抗滑稳定安全系数计算如下：

表 3 基坑边坡稳定性计算分析参数

层号	土类名称	平均层厚	重度	粘聚力	内摩擦角	与锚固体摩擦阻力	计算 m 值
		(m)	(kN/m³)	(kPa)	(度)	(kPa)	(MN/m⁴)
1	素填土	2.41	19.5	15.0	10.0	30	5
2	粉质粘土	1.43	19.9	22.0	15.0	65	38.05
3	粘质粉土	2.18	19.8	20.0	15.0	70	37.5
4	粉质粘土	1.10	19.9	18.0	22.0	80	43.2

5	砂质粉土	1.07	19.9	5.0	18.0	190	70
6	细砂	4.06	20.0	0	27.0	58	11.25

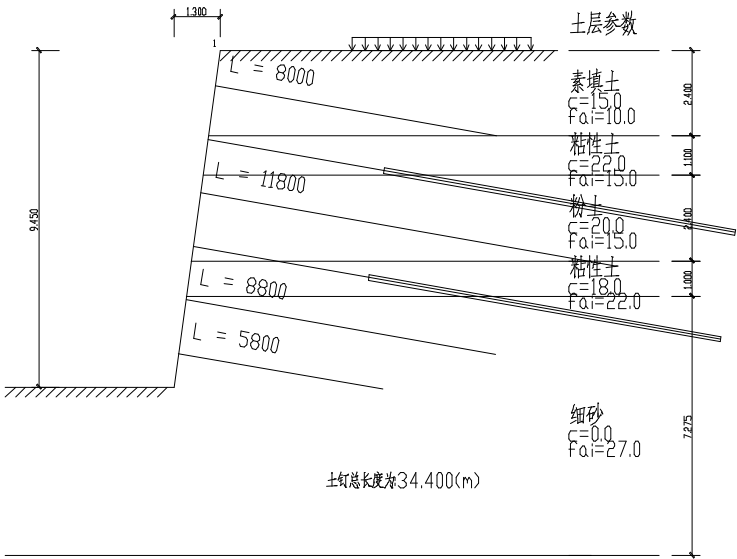


图 55 基坑支护设计整体稳定验算简图

基坑边坡稳定性验算公式如下：

$$K_s \ll \frac{\sum_{i=1}^n c_i l_i + \sum_{i=1}^n q_i b_i + \sum_{i=1}^n \gamma_i b_i h_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i}{\sum_{i=1}^n q_i b_i + \sum_{i=1}^n \gamma_i b_i h_i \sin \alpha_i}$$

式中： K_s —整体抗滑稳定安全系数； c_i —第*i*分条土的粘聚力(kPa)； l_i —第*i*分条土的圆弧长度(m)； q_i —第*i*分条土的地面超载(kN/m²)； γ_i —第*i*分条土的重度，无渗流作用时，地下水位以上取土的天然重度计算，地下水位以下用土的有效重度计算(kN/m³)； b_i —第*i*分条土的宽度(m)； h_i —第*i*分条土的平均高度(m)； α_i —第*i*分条弧线中点切线与水平线夹角(度)； φ_i —第*i*分条土的内摩擦角(度)。

经计算整体稳定系数 $K_s=1.527$ ，满足规范要求，基坑支护方案可行。

6 监测结果分析

在基坑土方开挖过程中，随时掌握支护结构内力和变形的发展情况、基坑周围保护对象（临近的地下管线、建筑物基础、运输道路等）的变形情况，对基坑位移进行了监测，其中监测点布置见图 6 所示，监测结果如表 4 和图 7 所示。

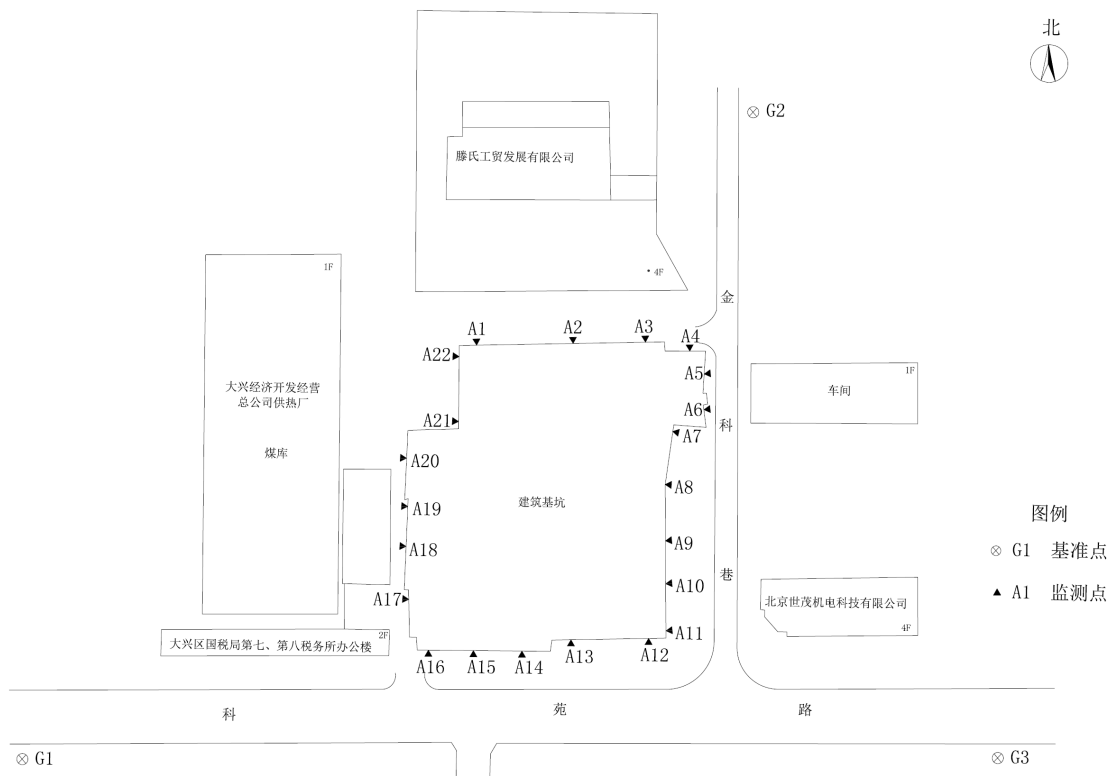


图 6 监测点及基准点位置平面图

表 4 基坑水平位移观测结果

点号	最终水平位移量(mm)	最终平均水平位移速率 (mm/day)
A1	3	0.01
A2	5	0.02
A3	7	0.03
A4	5	0.02
A5	4	0.02
A6	4	0.02
A7	7	0.03
A8	7	0.03
A9	5	0.02
A10	5	0.03
A11	3	0.02
A12	3	0.01
A13	3	0.02
A14	5	0.03
A15	6	0.04
A16	3	0.02

A17	4	0.03
A18	6	0.04
A19	5	0.03
A20	3	0.02
A21	5	0.03
A22	4	0.02

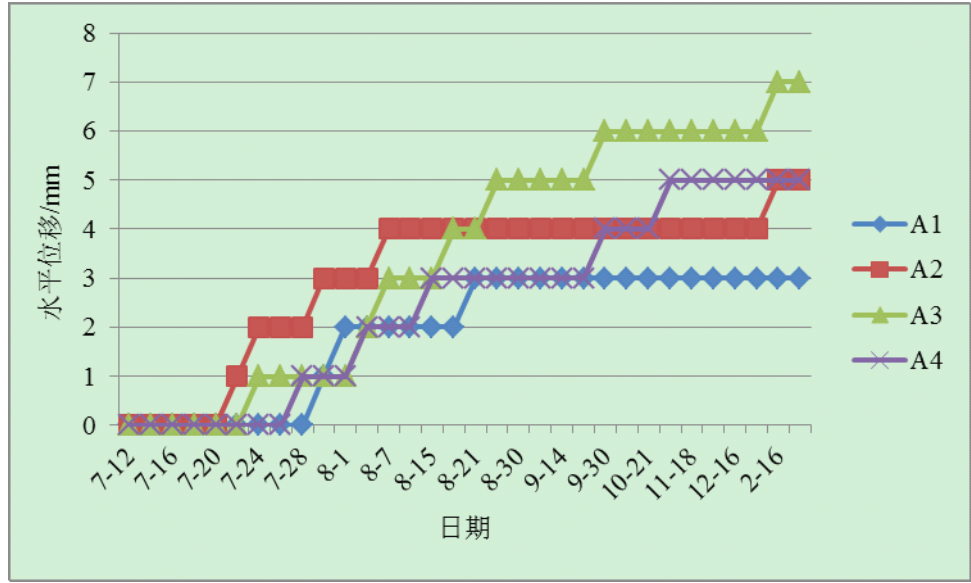


图 7 基坑北侧水平位移-时间曲线图

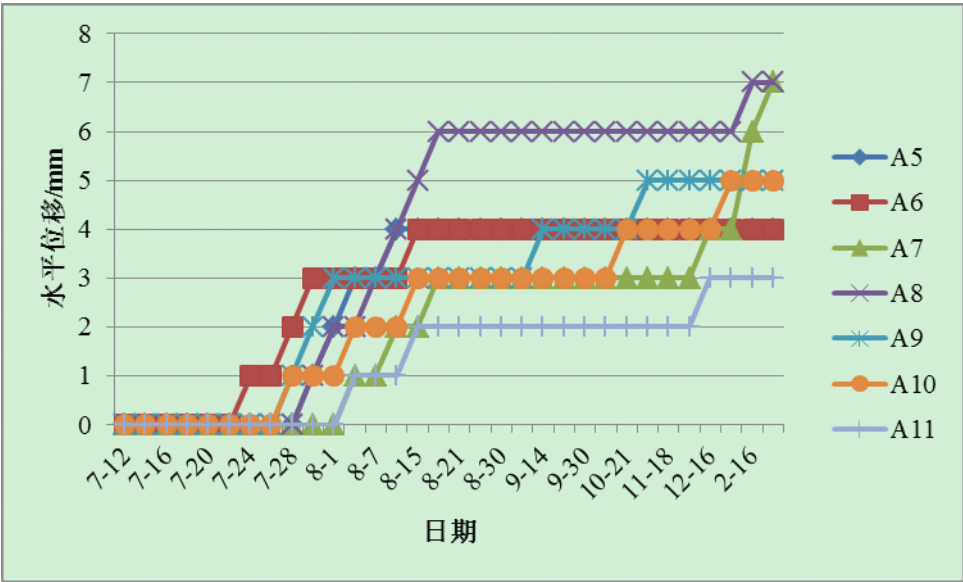


图 8 基坑东侧水平位移-时间曲线图

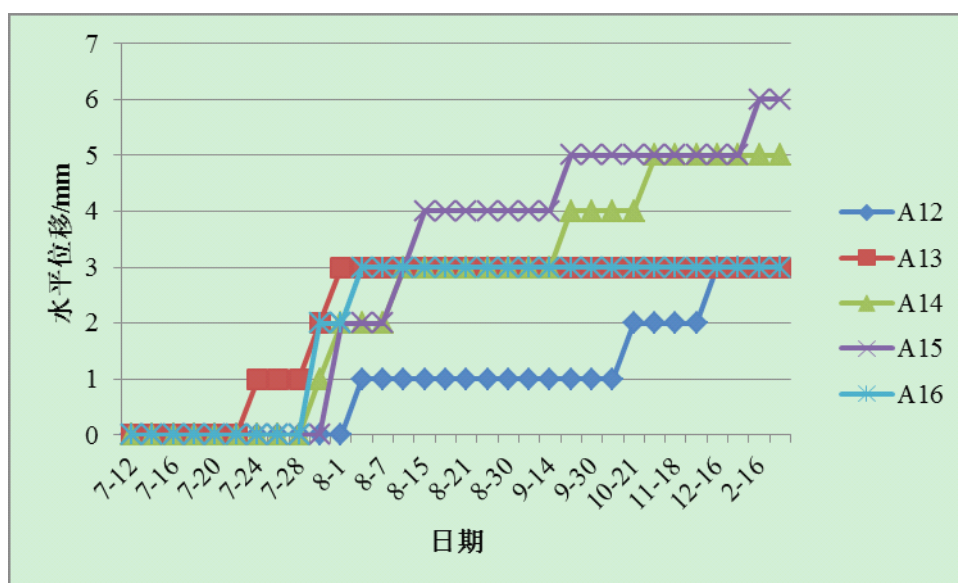


图 9 基坑南侧水平位移-时间曲线图

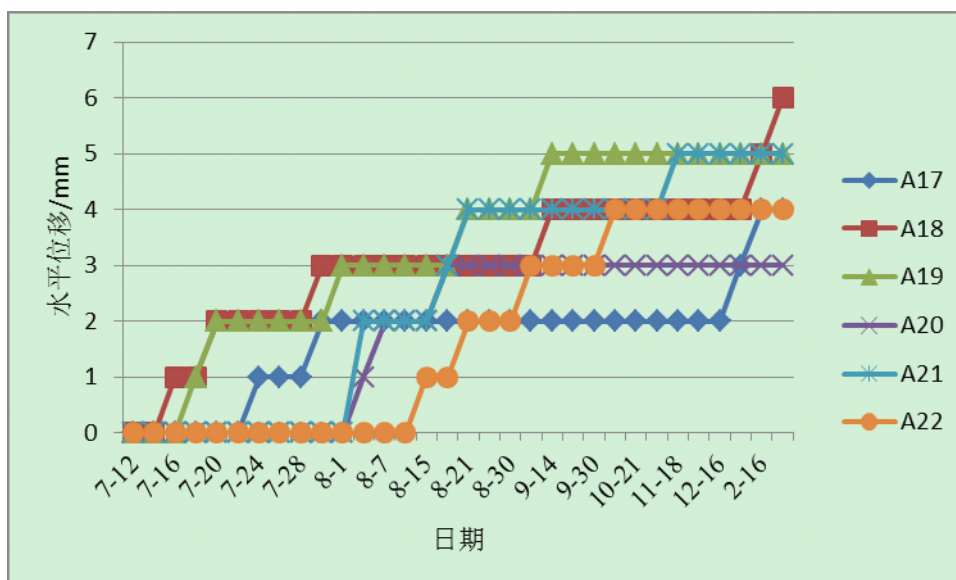


图 10 基坑西侧水平位移-时间曲线图

如图 7、图 8、图 9 和图 10 分别为基坑北侧、东侧、南侧及西侧主要监测点的水平位移时间曲线图，主要反映水平位移变形在整个监测过程中的发展，由图可知：基坑四周整体水平位移变形在监测期间达到稳定，围护结构处于安全稳定的使用状态。基坑四侧水平位移达到稳定的时间，变形主要出现在基坑开挖阶段，至基坑垫层施工阶段，基坑变形基本上进入稳定状态。

开挖初期，未施工土钉锚杆时，向基坑方向产生水平位移，随着基坑开挖，水平位移逐渐增大，随着土钉和锚杆的施工，坡顶位移得到了有效控制；随着基坑开挖深度的增加，水平位移增加速度加快，随着多道土钉和锚杆支护的完成，

坡顶位移得到了有效控制，此时的基坑位移基本上稳定。

7 结论与认识

通过该基坑支护工程的实践表明，主要结论如下：

（1）工程地质特性表明该地区的高层建筑的持力层位于第④层或第⑤层，可以不进行地基处理，可直接采用天然地基。

（2）根据监测结果得出该地区采用土钉、锚杆进行基坑支护，边坡位移和周围建筑物的沉降满足规范的要求。

（3）稳定性计算结果：11 米的基坑，嵌固深度超过 3.8 米，边坡整体安全系数大于 1.3，也满足目前国家的有关规定。

永定河冲积扇全新世和晚更新世地层是北京城市建设中经常遇到的地基土层，经过对研发中心地基护坡工程进行综合分析，对于北京西部永定河冲积扇全新世和晚更新世地层工程地质特性有了进一步认识和了解，总结了此类场地岩土工程问题处理的经验，为附近类似地下工程提供参考。

参考文献

1. 袁仁茂，孙宏伟，马凤山等. 北京平原区新近沉积土基本工程地质特性分析. 第四纪研究.2005, 25(1): 96-102.
2. 李树德，袁仁茂，吕红华等. 北京地区新近沉积土不同沉积相的工程地质特性及其评价. 北京大学学报（自然科学版），2004, 40(1): 139-143.
3. 中华人民共和国北京市标准，北京地区建筑地基基础勘察设计规范 (DJB 01-501-92)，1992.
4. 中华人民共和国行业标准，建筑基坑支护技术规范（JGJ120-99）. 北京：中国建筑工业出版社，1999.
5. 中华人民共和国国家标准，建筑边坡工程技术规范（GB 50330-2002）. 北京：中国建筑工业出版社，2002.
6. 北京市地方标准，建筑基坑支护技术规程 (DB11/489-2007). 北京：中国建筑工业出版社，2007.