

北京西部永定河第四纪冲积扇基坑边坡稳定性分析

陈 辉^{1,2}, 何淑军¹

CHEN Hui^{1,2}, HE Shu-jun¹

1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 中国非金属地质工程勘察研究院, 北京 100102

1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*

2. *Chinese Nonmetal Geological Engineering Exploration Academy, Beijing 100102, China*

摘要:北京舞蹈学院综合楼地基开挖工程,揭示了北京西部永定河冲积扇全新世和晚更新世地层的垂向分布特征和工程地质特性。该地区工程地质特性满足一般高层建筑(高度小于 100 m)所需的承载力,建筑的持力层多位于全新世和晚更新世地层的第五层或第七层,不需要进行桩基处理,直接采用天然地基或复合地基即可。该地区一般高层建筑的主要工程地质问题为开挖深基坑的边坡稳定性问题,采用桩锚支护体系进行基坑支护,并配合必要的监测手段,可使基坑周围建筑物的沉降、边坡位移和边坡稳定性满足规范要求。

关键词:北京西部;永定河第四纪冲积扇;基坑边坡稳定性

中图分类号:P694

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2008)11-1888-06

Chen H, He S J. Analysis of pit slope stability in the Quaternary alluvial fan of the Yongding River, western Beijing, China. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(11):1888-1893

Abstract: The excavation of the foundation of a building of Beijing Dance College has reveals the vertical distribution characteristics and engineering geological properties of the Holocene and late Pleistocene strata in the Yongding River alluvial fan, western Beijing. The engineering geological properties in this area can meet the bearing capacity of general high-rise buildings ($h \leq 100$ m), and the bearing strata are mostly in the 5th or 7th layer of the Holocene and Late Pleistocene strata, with no foundation treatment needed. We may directly use the natural foundation. The major engineering geological problem for the general high-rise building in this area is the slope stability of the excavated deep foundation pit. By using pile-anchor supporting system combined with some necessary monitoring means for foundation pit support in this area, the subsidence of the building around the pit, slope displacement and slope stability of the pit can all meet related standards.

Key words: western Beijing; Quaternary alluvial fan of the Yongding River; pit slope stability

北京平原的主体由永定河、潮白河、拒马河、温榆河、洹河和错河形成的洪积扇和冲积平原组成。堆积物的成因类型在山麓地带为残积、坡积和洪积物;在平原区以洪积、冲积物为主,并分布零星的湖沼堆积物和风积物;在城镇地区,表层堆积有较厚的人工填土。堆积物的成分由山麓到平原有明显的过渡现象。平原与山地的交界地带分布有漂砾、卵石、碎石、

粘性土或黄土层。各大河流洪冲积扇以厚层粗粒砂、砾石和卵石为主。各条河流出山后的上游河段,沉积物以卵石和砾石为主,愈向下游颗粒愈细,即表现出从山麓向平原、从上游到下游,颗粒由卵石→砾石→砂→粉砂→粘性土由粗到细的递减规律。岩土体的分布及工程地质特性是工程建设需要考虑的基础地质问题^[1-3]。本文结合北京舞蹈学院综合楼地基开

收稿日期:2008-08-04;修订日期:2008-08-29

地调项目:中国地质调查局项目(编号:1212010814052)资助。

作者简介:陈辉(1968-),男,博士,高级工程师,从事工程地质和地质灾害研究。E-mail:chenhui516@yahoo.com.cn

挖工程,讨论了北京西部永定河冲积扇全新世和晚更新世地层的工程地质特性,并分析了其在工程建设中的应用及需要注意的问题,为附近类似的地下工程提供参考。

1 地层概况

北京舞蹈学院综合楼工程场区位于永定河冲洪积扇轴部偏北地段。本次勘查所揭露地层的最大深度为 30 m,根据钻探揭露与原位测试、室内土工试验结果,按照时代、成因类型及岩性将勘查深度范围内的地基土层划分为 7 个大层(图 1)。自上而下描述如下。

(1)人工填土层:主要为粘质粉土和砂质粉土,暗黄色,松散,稍湿,含砖渣、石灰渣。该层层底标高 49.87~51.83 m,一般厚度为 2.0 m。

(2)砂质粉土、粘质粉土层:黄褐色,中密—密实,稍湿—湿,属中高—中压缩性土,含有机质。该层层底标高 46.24~50.08 m,一般厚度为 1.1 m。

(3)粉砂层:黄褐色,中密,湿,属中低压缩性土,含云母、氧化铁。该层层底标高 44.44~46.69 m,一般厚度为 4.1 m。

(4)细砂层:黄褐色,密实,湿,属低压缩性土,含氧化铁、云母。该层层底标高 40.87~42.23 m,一般厚度为 3.4 m。

(5)圆砾卵石层:杂色,中密,湿,属低压缩性土,最大粒径不小于 80 mm,一般粒径 5~15 mm,大于 2 mm 的颗粒含量约占总含量的 80%,亚圆形,黄褐色细砂充填。该层层底标高 33.96~34.67 m,一般厚度为 7.9 m。

(6)重粉质粘土层:棕黄色,可塑—硬塑,含氧化铁,属中—中低压缩性土。该层层底标高 32.13~33.74 m,一般厚度为 1.1 m。

(7)圆砾卵石层:杂色,密实,湿,属低压缩性土,最大粒径不小于 100 mm,一般粒径 8~15 mm,大于 2 mm 的颗粒含量约占总含量的 85%,亚圆形,黄褐色中砂充填。该层未被穿透。

2 工程地质特性分析

本次勘查结果表明,拟建场区无不良地质作用和特殊性岩土,场地内第四系分

布较为均匀,建筑场地的稳定性和适宜性良好。

据统计,本场区地基土的基本物理力学性质(图 1)具有以下特征。

(1)天然孔隙比(e)中等偏高,一般为 0.59~1.0,随着地层自上而下逐渐减小。

(2)塑性指数(I_p)变化范围比较大,在 4.1~17.0 之间,随着地层自上而下逐渐增大,根据规范按照塑性指数分类^[4-6],其以砂质粉土、粘质粉土和重粉质粘土为主。

(3)压缩模量(E_s)值较高,大部分在 4~15 MPa 之间。其中(2)层内的粉质粘土夹层和(3)层内的重粉质粘土夹层压缩模量较低。

(4)随着沉积地层由下部的晚更新世冲洪积层向上部的新近沉积层逐渐过渡,沉积物粒度渐细,地层的密度逐渐变小。下伏的卵砾石层为良好的地基持力层。同一砂层在同一平面上由于上覆土体的厚度不同,上覆荷载的大小也会产生变化,导致同一砂层的密度在不同的地点具有一定差异。

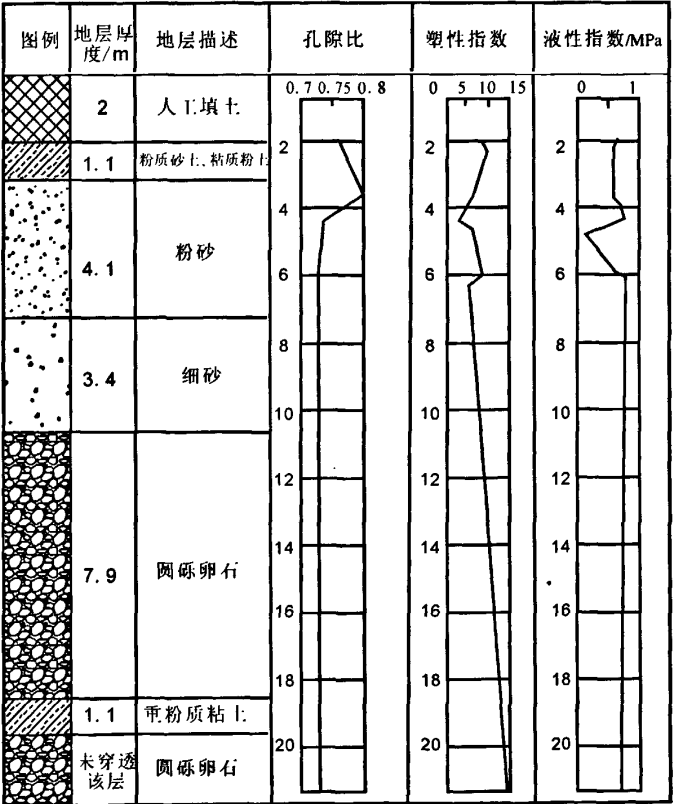


图 1 工程地质综合柱状图
Fig. 1 Integrated engineering geological column

(5)在新近沉积旋回中形成的泛滥沉积物,因形成时代新和含水量较高,故土质疏松,固结不好。

(6)北京市勘察设计院进行的原位平板载荷试验结果表明:载荷试验的压力值(p)和下沉值(s)的双对数关系曲线呈简单的折线形状(图 2)。可以通过 4 个参数将 p — s 曲线唯一地确定下来,4 个参数包括: U_0 —折线第一段的斜率; U_1 —折线第二段的斜率;折点(p_k, s_k)和“单位下沉压力”,即载荷板下沉 1 cm 对应的压力值点(p_1, s_1), $s_1=1$ cm。这 4 个参数称为载荷试验 p — s 曲线的特征值。

对于新近沉积土、一般第四纪沉积土,只要知其物理、力学指标,则其载荷试验的 p — s 曲线的特征变化形态就可以得到,通过 p — s 曲线便可以确定新近沉积土的承载力^[4-6]。

3 工程应用分析

3.1 工程概况及存在的主要工程地质问题^①

拟建的北京舞蹈学院综合楼工程建筑物总面积 38100 m²,地上 5~9 层,地下 3 层,基础埋深约 -16.9 m,标高为 53.65 m,基坑最大深度为 16.9 m,基坑东侧结构距市政水管 5 m、距留学生公寓 12.4 m,基坑北侧距舞蹈学院附中楼 8 m,基坑西侧、南侧为市政道路。

工程场地地层的工程地质特性基本满足建筑物地基承载力的要求,但其中存在的巨厚砂质粉土、粉砂和细砂层对基坑支护极为不利,尤其是对深基坑支护。砂土层失水后自稳能力极弱,容易引起基坑变形、塌陷、失稳等事故,因此该地区建筑的主要工程地质问题是开挖基坑的边坡稳定性,必须采取有效的基坑支护措施,如采用桩锚支护的方法进行支护,同时配合有效的监测方法。

根据场地周围的环境、基坑深度的具体条件和有关技术要求,经充分研究及综合对比,基坑总体支护方案为:采用护坡桩+挡土墙的支护体系。根据不同的周边荷载,共分 3 个剖面进行设计(图 3)。下面以 1-1 剖面为例进行基坑边坡稳定性分析。

3.2 基坑位移监测结果分析

为了在基坑土方开挖过程中,随时掌握支护结构内力、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)的变形情况和基坑边坡的稳定性状态,对基坑水平位移进行了观测,其中东侧水平测点的布置见图 3,监测结果见

表 1 和图 4。

监测结果表明:开挖初期,未施工锚索时,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,随着第一步预应力锚索的设置,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,第二步预应力锚索设置后,坡顶位移得到了有效的控制,此时基坑位移基本上稳定。

3.3 基坑边坡稳定性计算分析

依据基坑的工程地质特性、支护设计和监测结果,确定了计算和分析基坑边坡稳定性所用的参数

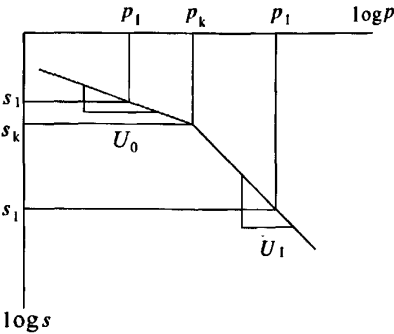


图 2 荷载试验 p — s 曲线
Fig. 2 Logarithmic curve p — s in load test

表 1 基坑水平位移观测结果
Table 1 Observations of horizontal displacement of the pit

开挖 天数	B1 /mm	B2 /mm	B3 /mm	开挖 天数	B1 /mm	B2 /mm	B3 /mm
0	2	2	2	36	14	15	15
2	2	3	2	38	15	16	15
4	3	3	2	40	15	17	16
6	2	4	3	42	17	19	18
8	2	4	2	44	15	17	16
10	3	4	3	46	16	18	17
12	4	5	3	48	16	18	17
14	4	5	3	50	17	19	17
16	5	6	5	52	18	19	18
18	5	6	4	54	18	20	18
20	6	7	5	56	19	20	19
22	7	8	5	58	19	21	19
24	8	8	7	60	19	21	19
26	9	9	8	62	20	22	20
28	9	10	9	64	20	22	20
30	10	12	11	66	20	22	20
32	11	13	12	68	20	22	20
34	13	15	14				

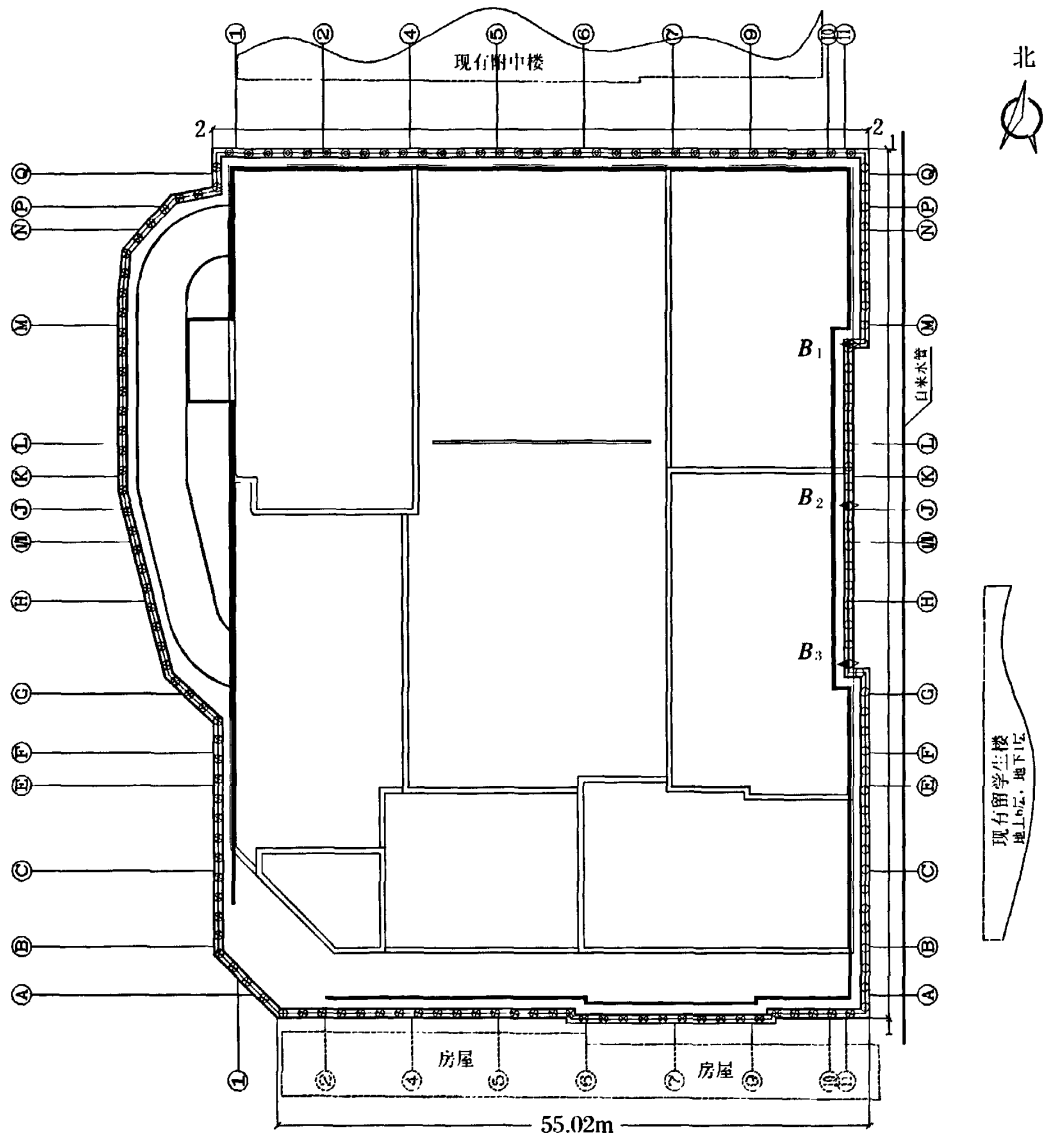


图 3 基坑东侧水平位移观测点布置图

Fig. 3 Layout of observation stations for horizontal displacement east of the pit foundation

上边、下边的阿拉伯数圈码和左边、右边的英文字母圈码为轴线;1-1、2-2 为剖面;B₁、B₂、B₃ 为观测点

(表 2), 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见图 5。基坑支护设计整体抗滑稳定安全系数计算如下:

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

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的夹角

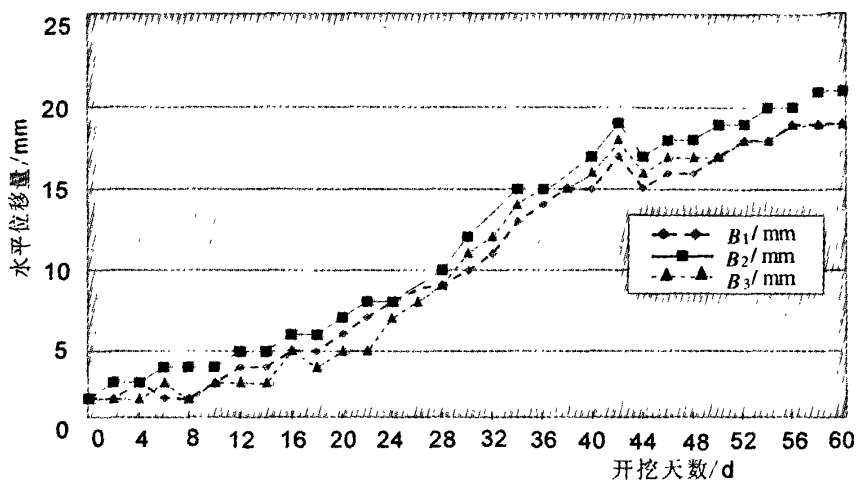


图 4 基坑东侧水平位移观测结果

Fig. 4 Plot of horizontal displacement east of the pit

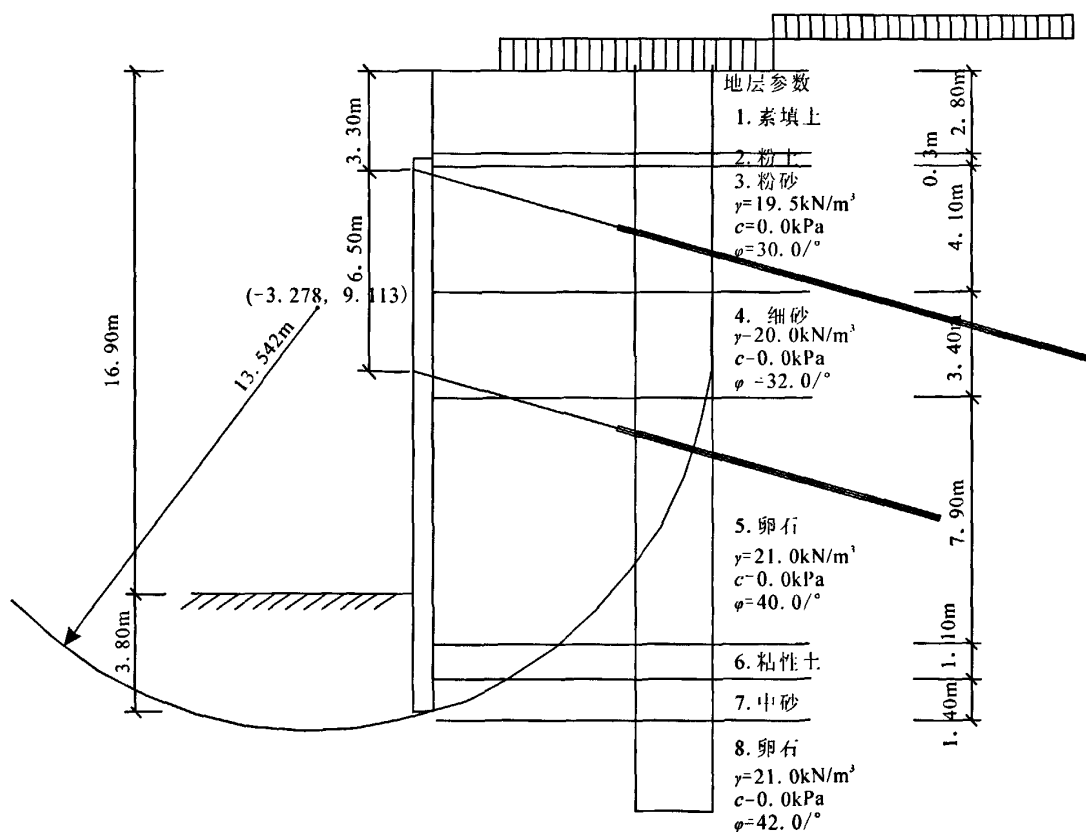


图 5 基坑支护设计整体稳定验算简图

Fig. 5 Diagram of check computation of the over-all stability of the design of pit support

(°); φ_i —第 i 分条土的内摩擦角(°)。

经计算边坡整体稳定系数 $K_s=1.392$, 满足规范要求, 基坑支护方案可行。

4 结论与认识

(1)北京西部永定河冲积扇地区工程地质特性分析表明:该地区工程地质特性满足一般高层建筑(高度小于 100 m)所需的承载力,建筑的持力层多位于全新世和晚更新世地层的第五层或第七层,不需要进行桩基处理,直接采用天然地基或复合地基即可。该地区一般高层建筑的主要工程地质问题为开挖深基坑的边坡稳定性问题。

(2)采用桩锚支护体系进行基坑支护,并配合必要的监测手段,可使基坑周围建筑物的沉降、边坡位移和边坡稳定性满足规范的要求。

(3)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。对北京舞蹈学院综合楼地基开挖工程进行综合分析,对于北京西部永定河冲积扇全新世和晚更新世地层的工程地质特性有了进一步的认识和了解,可为附近类似的地下工程提供参考。

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

表 2 计算和分析基坑边坡稳定性所用的参数

Table 2 Parameters for calculation and analysis of pit slope stability

层号	名称	层厚 /m	重度 /kN·m ⁻³	粘聚力 /kPa	内摩擦角 /°	¹⁾ 锚固体摩 擦阻力/ kPa	计算 m 值 /MN·m ⁻⁴
1	素填土	2	18.5	10	10	30	5
2	粉土	1.1	18.5	13	29	65	38.05
3	粉砂	4.1	19.5	0	30	70	37.5
4	细砂	3.4	20	0	32	80	43.2
5	卵石	7.9	21	0	40	190	70
6	粘性土	1.1	19	35	10	58	11.25
7	中砂	1.4	20.5	0	35	100	52.5
8	卵石	8	21	0	42	200	77.7

注:地面超载 20kPa,作用宽度 9m,距坑边的距离 2m;基坑相邻建筑超载 24kPa,作用宽度 10m,距坑边 11m; m :地基土水平抗力系数的比例系数

特性分析[J].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[J].北京大学学报(自然科学版),2004,40(1):139-143.

[3]李树德,袁仁茂,任明达,等.国家大剧院新近沉积粘性土特征初探[J].北京大学学报(自然科学版),2003,39(2):52-57.

[4]中华人民共和国北京市.北京地区建筑地基基础勘察设计规范(D)JB 01-501-92[S].1992.

[5]中华人民共和国建设部.建筑基坑支护技术规范(JGJ120-99)[S].北京:中国建筑工业出版社,1999.

[6]中华人民共和国建设部.建筑边坡工程技术规范(GB 50330-2002)[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.

①北京城建勘测设计研究院有限责任公司.北京舞蹈学院综合楼工程岩土工程勘察报告(房建详勘 051).2006.