

# 北京某山坡湿陷性土层地基处理可行性分析与建议

刘 伍, 樊金桂, 张 贺  
(北京市地质工程设计研究院, 北京 100050)

**摘要:**北京市密云区某拟建别墅工程,属于山体边坡地基基础工程,任务要求对湿陷性地基土层进行湿陷性消除,并将其地基土承载力特征值提高到 $f_{ak} \geq 130$  kPa。此外,还需要考虑边坡稳定性及其永久性加固问题。对该项目进行了深入分析、研究,并采用概念设计方法,对其进行设计预演,发现该项目存在工序复杂、不易实施、在永久性使用方面存在一定隐患、并具有责任不当等问题。对该地基基础工程进行了重新分析,建议取消地基处理措施,改用嵌岩桩作为拟建物的基础。

**关键词:**山体边坡;湿陷性土层;地基土承载力;边坡稳定性分析;永久性加固

**中图分类号:**TU47 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)11-0075-05

**Feasibility Analysis and Suggestions of Slope Collapsible Soil Foundation Treatment in Beijing/LIU Wu, FAN Jingui, ZHANG He** (Beijing Geological Engineering Design Institute, Beijing 100050 China)

**Abstract:** The proposed project in this paper is mountain slope foundation engineering, the collapsible subsoil should be eliminated and the characteristic value of bearing capacity  $f_{ak} \geq 130$  kPa is required. In addition, slope stability and permanent reinforcement should be taken into account. The project was deeply analyzed and concept design method was used to preview the design. As complex process, difficult practice and some hidden troubles for permanent use were found, the project was re-analyzed, and it was suggested to take the socket pile as the foundation in stead of the original foundation treatment measures.

**Key words:** mountain slope; collapsible soil; bearing capacity of foundation soil; slope stability analysis; permanent reinforcement

## 0 引言

山体边坡建筑工程往往比较复杂,常涉及地基土层严重不均匀、局部承载力不足、湿陷性土层、边坡稳定性,甚至存在危岩、崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害,由于多种问题之间的相互干扰、制约,使得在岩质边坡上的拟建工程在选择基础形式、地基处理、边坡加固及地质灾害治理上需要综合考虑,既要满足结构设计的最终要求,又要满足可行性要求,这就需要建设单位、结构设计单位、岩土工程勘察设计及施工单位共同努力,找出最佳的可行方案。

## 1 工程概况

### 1.1 地形地势及拟建物基本特征

本工程为一拟建别墅,位于北京市密云区的一座灰岩山坡的中下部,山坡坡向北西,拟建场地附近的山坡原有坡度约 $24^\circ$ ,场地北西外侧附近坡度略缓,南东侧附近地势突然降低约 $2.0$  m,并存在1个

向南东方向延伸的废弃矿洞。

拟建别墅沿等高线方向布置,编号为30号楼,由4个单体楼座及小院组成,总长约 $129$  m,宽约 $19$  m,地上3层,地下1层,筏板基础,单体楼座自北东向南西编号为30-1、30-2、30-3、30-4。

参见表1,图1。

表1 30号楼各单体楼座基本参数

单体楼编号	$\pm 0.00$ / m	基底垫层底 标高/m	室外地坪标高/m	
			北西侧	南东侧
30-1	100.65	-4.51	-3.35	-0.15
30-2	101.70	-4.51	-3.35	-0.15
30-3	102.75	-4.51	-3.35	-0.15
30-4	102.90	-4.51	-3.35	-0.15

### 1.2 地层情况

基底标高以下的岩土层物理力学特征如表2所示。

根据岩土工程勘察报告,拟建场地湿陷性土层

收稿日期:2016-04-19; 修回日期:2016-08-10

作者简介:刘伍,男,汉族,1965年生,高级工程师,从事岩土工程勘察、设计、施工及地质灾害治理工作,北京市西城区南纬路4号201室, liuwu1832@163.com。

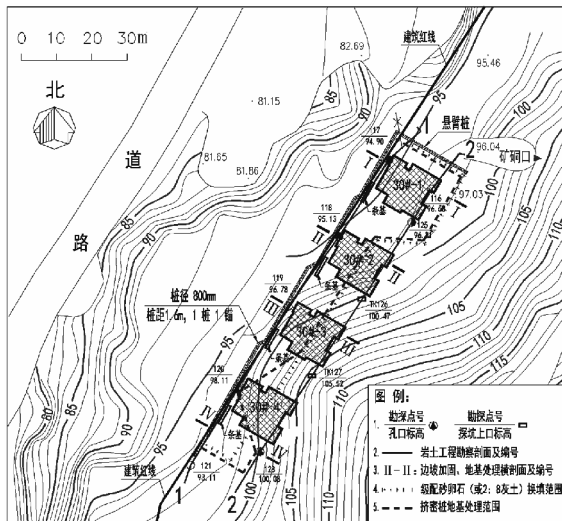


图1 30号楼地基处理及边坡加固概念设计平面布置图

表2 30号楼基底以下各岩土层物理力学参数

土层编号	土层名称	湿陷性	厚度/m	孔隙比 $e$	压缩模量 $E_s$ /MPa		地基承载力特征值 $f_{ak}$ /kPa
					$P_z + 100$	$P_z + 200$	
①	碎石填土						
① <sub>1</sub>	粘质粉土 - 粉质粘土填土						
②	粉质粘土	有	0.0 ~ 4.80	0.74	5.8	6.4	100
② <sub>1</sub>	粉质粘土 - 粘质粉土	有	0.0 ~ 4.80	0.74	10.6	11.6	120
② <sub>2</sub>	碎石混粘性土						140
⑥	全风化灰岩		0 ~ 7.50		30(经验值)		280
⑦	强风化—中等风化灰岩		0.70 ~ 6.20		50(经验值)		450

为粉质粘土②层、粉质粘土 - 粘质粉土②<sub>1</sub>层,确定为非自重湿陷性黄土场地,地基湿陷等级为Ⅰ级(轻微) — Ⅱ级(中等)。

### 1.3 地下水情况

除因大气降水产生基岩裂隙水,及沿山坡坡面渗流外,无其它地表水及地下水影响。

### 1.4 不良地质现象

根据岩土工程勘察报告及实地踏勘,本场地不存在危岩、崩塌、滑坡、泥石流等灾害隐患。但须考虑拟建场地北西侧及南东侧的边坡稳定性问题。

### 1.5 建设单位指定工作任务

对拟建物基底以下土层进行加固处理,消除粉

质粘土②层,及粉质粘土 - 粘质粉土②<sub>1</sub>层的湿陷性,并将地基土承载力标准特征值提高到  $f_{ak} \geq 130$  kPa。

## 2 工程难点分析

### 2.1 地基土层均匀性分析

在平面上,基底大约有 1/4 的面积是与其下的基岩直接接触,大约有 2/4 是与其下的填土层直接接触或高于现状地面标高,大约有 1/4 是直接与其下的粉质粘土②层、粉质粘土 - 粘质粉土②<sub>1</sub>层及碎石混粘性土②<sub>2</sub>层直接接触。

在垂向上,基底与基岩之间的土层厚度为 1.2 ~ 8.5 m,厚度变化极大。

显然,本楼座下的地基土层在水平向及垂向上存在严重的不均匀性,这极大的增加了地基土层的处理难度,且对拟建物的地基均匀沉降非常不利。

### 2.2 拟建物北西侧及南东侧边坡现状分析

围绕边坡稳定性分析,主要存在以下 2 个问题:

第一,拟建物北西侧及南东侧附近无勘察工程控制,需要补充勘察,尤其应对南东侧废弃矿洞的现状进一步调查,查明其对拟建物的潜在影响;

第二,北西侧建筑红线与拟建物基础外轮廓线之间净距仅约 1 m,北西侧以外地面未征用,建设单位及结构设计单位只同意采用护坡桩解决边坡永久性保护问题。

### 2.3 建设单位指定任务硬性指标分析

任务要求既要消除粉质粘土②层、粉质粘土 - 粘质粉土②<sub>1</sub>层的湿陷性,又要将地基土承载力特征值提高到  $f_{ak} \geq 130$  kPa,显然,这涉及到地基处理方法的合理选择问题。

## 3 地基处理及边坡加固分析

### 3.1 地基处理方法比选分析

#### 3.1.1 强夯法可行性分析

对于本工程从质量控制效果方面分析,强夯法最佳。先清除拟建场地表层填土及腐殖质后,采用 1: 12 灰土回填至基底标高,并按 1: 1 外扩,北西侧及南东侧按 1: 2 外扩,然后采用强夯进行地基处理,此法既可消除地基土层的湿陷性,又能确保地基土层的承载力标准值达到 130 kPa。但存在另一问题,现有的强夯设备笨重,山坡道路运输困难,很难到达本场地,最关键的问题是工作量太小,很难找到

施工承担单位。因此,强夯办法基本被排除。

### 3.1.2 先“碎石夯扩挤密桩”+后“上部分层回填碾压”方法可行性分析

从消除地基土层湿陷性及提高地基土层承载力方面分析,碎石夯扩挤密桩法是可行的,将粉质粘土②层及粉质粘土-粘质粉土②<sub>1</sub>层的承载力标准特征值由100 kPa提高到130 kPa,需要选用合理的碎石桩桩径及桩间距进行夯扩。对于本楼座范围内基底以下的土层,因厚度变化极大,且基底以下1/4面积没有土层,在进行柱锤夯扩成桩过程中,质量不易控制。

在对现有标高以下土层进行夯扩成桩以后,可以采用勘察钻探原位测试及取原状土样试验的方法,验证加固后的桩间土层湿陷性消除效果及地基土承载力特征值是否达到130 kPa,检测合格后,进行碾压底,分层回填碾压2:8灰土或天然级配砂卵石至基底标高即可。此外,对于回填碾压部分,需按1:1外扩,北西侧及南东侧按1:2外扩。

需要指出的是,此种地基加固方法的效果仅是桩间土层挤密,而不形成复合地基,因此,需要桩间土挤密后,桩间土的承载力特征值必须达到130 kPa。

### 3.1.3 先“分层回填碾压”+后“碎石(或干硬混凝土)夯扩挤密桩”方法可行性分析

先清除地表面层填土及腐殖质,然后采用震动碾压底,再采用素土(粉土或粘性土)在最优含水量控制条件下分层回填碾压至基底标高,并按1:1外扩,北西侧及南东侧按1:2外扩。

然后采用“碎石(或干硬混凝土)夯扩挤密桩”

进行加固,形成复合地基。此种方法既可消除土层湿陷性,又能确保地基承载力标准值达到130 kPa。

### 3.1.4 特殊部位处理

对于基底与基岩直接接触的部位,须对基岩下挖不小于0.50 m,采用2:8灰土分层回填夯实至基底标高,并且满足外扩要求。

### 3.1.5 地基处理方法比选结果

通过上述分析对比,既要消除地基土层湿陷性,又要确保加固后地基土层承载力特征值达到130 kPa,采用先“分层回填碾压”+后“碎石(或干硬混凝土)夯扩挤密桩”方法最可靠。参见图2、图3。

## 3.2 北西侧边坡采用护坡桩加固可行性分析

拟建物北西侧附近边坡(即勘察1-1剖的北西侧)在边坡稳定性及地基处理方面对拟建物影响较大,但缺少必要的勘察工程控制,应进行补充勘察。本次如采用护坡桩来解决北西侧边坡永久性保护问题,需要进一步全面深入分析其可行性。参见图4、图5。

### 3.2.1 护坡桩类型选择分析

建设单位特别强调不再向北西侧征地,如此一来致使北西侧护坡桩与拟建物基础外边缘之间净距仅约1.0 m,从而导致拟建物的基底压力扩散角直接覆盖到护坡桩上,显然,从设计责任方面考虑,地基处理单位是不主张采用护坡桩来承担这种地基压力扩散引发的永久性风险,另外,从永久安全及控制变形方面考虑,结合地质、地形因素,该部位即使采用护坡桩支护,也不应采用悬臂桩,而应采用桩锚支护体系。

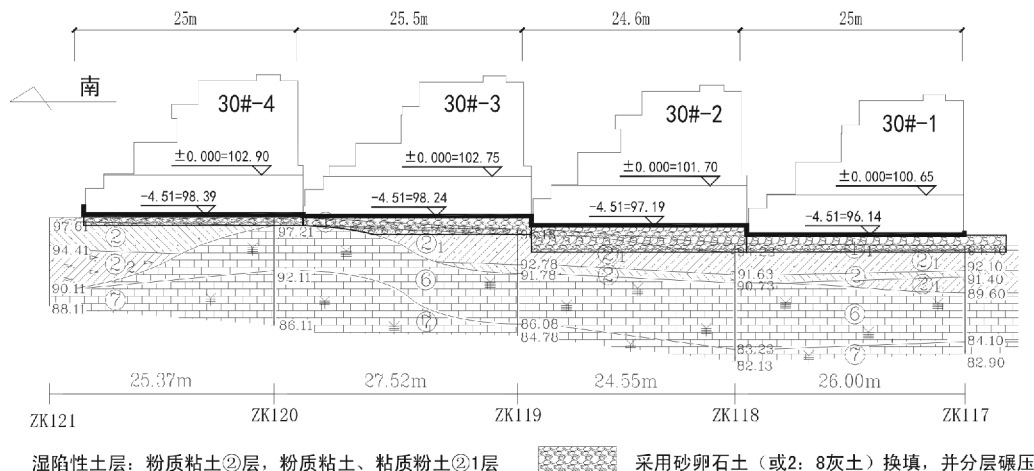


图2 30号楼北西侧立面与勘察地质剖面(1-1剖)砂卵石换填示意图

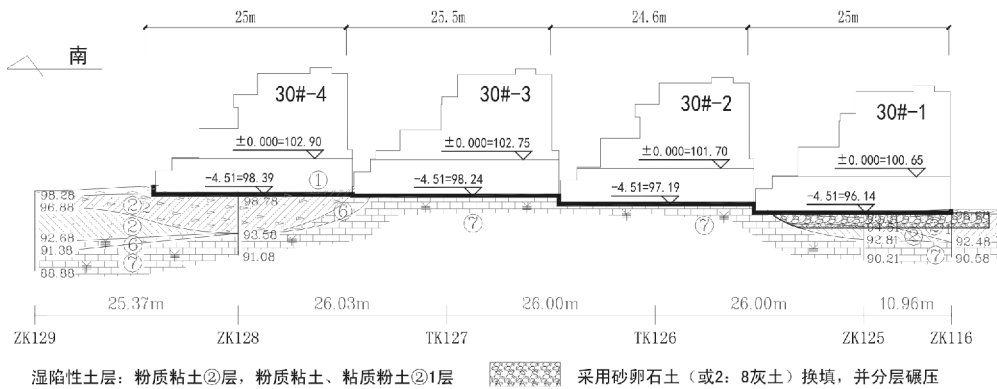


图3 30号楼南东侧立面与勘察地质剖面(2-2剖)砂卵石换填示意图

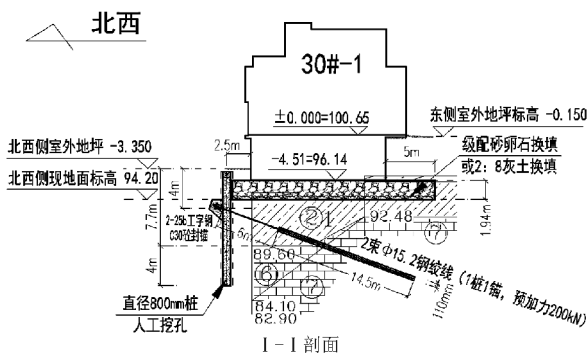


图4 30号楼北西侧边坡加固剖面示意图(I-I剖)

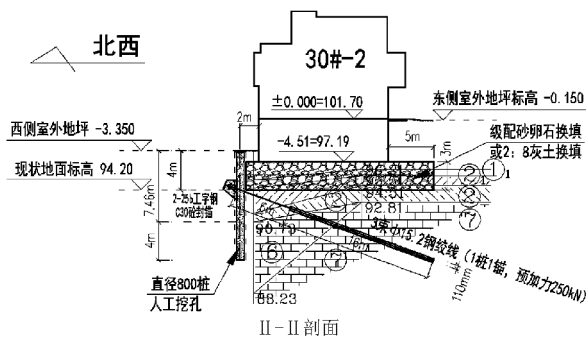


图5 30号楼北西侧边坡加固剖面示意图(II-II剖)

### 3.2.2 施工工序分析

按理想的施工顺序,应在地基处理工作全部完成后再进行护坡桩施工,但这样需要解决另外一个问题,即在护坡桩成桩后,需要施工锚索孔,且锚索孔绝对不可以碰到碎石(或干硬混凝土)夯扩挤密桩,否则会造成碎石桩桩体坍塌,并导致地基土层形成空洞,其后果非常严重。

本工程的护坡桩宜选择 $\varnothing 800$  mm的人工挖孔桩,桩间距宜选择1600 mm(受成孔混凝土护圈影响,桩间距不宜再小),如果完全避免锚索成孔不碰到夯扩桩,应采用1600 mm $\times$ 1600 mm的夯扩桩网度,并且须与护坡桩桩位相一一对应,根据类似工程

经验,该夯扩网度能否将粉质粘土②层及粉质粘土-粘质粉土②层的原地基土承载力特征值由100 kPa提高到130 kPa值得商榷。在进行试成桩挤密之前,此种夯扩网度的有效性是无法确认的。如果小于这个网度,就无法保证锚索成孔不碰到夯扩桩。在没有试桩的前提下,为了确保挤密后的桩间土承载力达到130 kPa,必须将夯扩桩网度小于1600 mm $\times$ 1600 mm,并采用跟管潜孔锤成孔,也许能避免针对碎石桩形成空洞而引起桩体坍塌这种隐患,但这种缩小网度的办法对于硬混凝土夯扩挤密桩可行性较差。

### 3.2.3 采用护坡桩的最大隐患分析

根据建设单位要求,指定在拟建物北西侧采用护坡桩解决边坡的永久性保护问题,因护坡桩与拟建物之间距离太近,护坡桩不仅承担着边坡的稳定性功能,还直接承担了拟建物基底压力扩散,从长期使用方面分析,虽然锚索、锚头采用防腐措施,但在拟建物整个有效使用期50年内,各种不确定因素对桩锚系统构成的威胁是难以预料的,笔者认为,采用护坡桩方案来解决北西侧边坡稳定性问题是不妥的,不赞成这种边坡加固措施。

## 4 建议

### 4.1 建议一:采用重力式挡土墙解决北西侧边坡稳定性问题

从安全性、可行性方面分析,采用重力式挡墙作为边坡永久性保护及承担拟建物的基底压力扩散,是最佳的选择,如此一来,需要先对拟建场地北西侧附近边坡进行补充勘察,并且在施工顺序上应先施工重力式挡墙,再进行地基处理工作。

显然,这会因挡土墙施工开挖及占用场地而向

西越过建筑红线,需要建设单位继续征地或进行协调,这可能就是建设单位指定必须采用护坡桩进行边坡加固的最主要原因。

## 4.2 建议二:采用桩基础形式

### 4.2.1 建设单位提出的任务要求所存在的弊病分析

(1)本工程如采用地基处理措施,会因场地条件复杂、整体施工工序繁琐,干扰因素多,并且工作量较小等原因,在如今以市场经济为主导的条件下,很难找到施工承担单位,这是客观存在的事实,作为建设单位应该给予充分考虑;

(2)采用护坡桩加固北西侧边坡,存在责任不当问题,也是不可取的。

因此,针对本地基工程来说,采用以地基处理为核心的办法似乎不太现实。

### 4.2.2 建议采用桩基(含墩基)的合理性分析

#### 4.2.2.1 承载力分析

采用 $\varnothing 800$  mm人工挖孔嵌岩桩,无论从成孔、成桩及承载力方面,是完全没有问题的。

#### 4.2.2.2 原有地基土层湿陷性解决方法

笔者认为,原则上讲,对本场地的湿陷性土层可不进行处理。首先,拟建物属于乙级建筑;其次,粉质粘土②层及粉质粘土-粘质粉土②<sub>1</sub>层,地基湿陷等级为I级(轻微)—II级(中等),湿陷程度并不严重,湿陷土层厚度0~4.80 m,对于嵌岩桩的竖向承载力,只要充分考虑湿陷土层形成的负摩阻力即可;另外,对拟建物室内室外的地面防水、防渗、外排水系统适当加强,并加强使用期间的维护,在建筑物使用期内不会出现因原有湿陷土层未消除湿陷性而引起严重问题。这种处理方法完全符合《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025—2004)。

#### 4.2.2.3 北西侧、南东侧边坡稳定性解决方法

一旦采用嵌岩桩作为拟建物基础,边坡稳定性问题几乎就不存在了,但仍需在拟建物的北西侧、南东侧进行补勘,进一步确认是否存在对桩基构成边坡稳定性问题的隐患。

## 5 结语

自2014年年初开始讨论此工程,笔者曾向建设单位及结构设计人员及时提交了上述分析,但无进一步结果。此后,建设单位曾组织专家讨论此工程采用地基处理的可行性,据总包单位消息,结论是“如采用地基处理,干扰因素太多,不宜采用,建议采用桩基。”此工程至今仍没有实质进展,具体原因不详。由此可见此工程的复杂性,显然,这里既包括基础形式的合理选择,也存在北西侧边坡永久性保护方法及责任,更有建设单位考虑经济投入与回报等综合因素。虽然此工程规模不大,但其需要深入考虑的因素并不少,需要从事岩土工程设计的人员不可等闲视之。

另外,笔者认为建设单位应对“地基处理及边坡加固的任务书”进一步深入论证其可行性。建议采用桩基,这一提法是否合理,敬请从事岩土工程勘察设计及施工的同行们批评、指正。

## 参考文献:

- [1] GB 50021—2009,岩土工程勘察规范[S].
- [2] GB 50025—2004,湿陷性黄土地区建筑规范[S].
- [3] JGJ 79—2012,建筑地基处理技术规范[S].
- [4] GB 50330—2013,建筑边坡工程技术规范[S].
- [5] JGJ 94—2008,建筑桩基技术规范[S].
- [6] 洪辉.某电厂湿陷性黄土地基处理方法的对比[J].武汉大学学报(工学版),2007,40(S1):8-12.
- [7] 李刚.新疆北岸干渠北山坡渠段湿陷性地基工程处理措施[J].黑龙江水利科技,2015,(1):88-90.
- [8] 张延军,姜广州,郑显春.柱锤夯扩挤密干性混凝土桩在山区地基处理中的应用研究[J].工程勘察,2009,(S2):292-299.
- [9] 朱兵见,贺志军.山坡建筑天然地基及基础处理方法[J].浙江海洋学院学报(自然科学版),2001,20(2):174-176.
- [10] 王方,杨智,李夕兵.山坡地上大体量建筑嵌岩桩基设计与施工[J].中南大学学报(自然科学版),2004,35(3):484-489.
- [11] 梁东,王刚,王华,等.灰土挤密桩处理黄土湿陷工程问题分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):82-84.
- [12] 张军旗,吴彦彪,王德亮.回填湿陷性黄土地基强夯法有效加固深度影响因素分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(10):77-79.