

# 树根桩在上海新罗店变电站基础加固中的应用

许德华<sup>1</sup>, 刘永球<sup>2</sup>

(1. 湖南省汨罗市水利局, 湖南 汨罗 414400; 2. 湖南省电力勘测设计院, 湖南 长沙 410007)

**摘要:**通过上海宝山区 35 kV 新罗店变电站基础加固工程实例,介绍了树根桩的应用范围、工作机理,以及树根桩的施工工艺和施工中应注意的问题,总结了树根桩加固技术的优点。实践证明该技术用于地基加固、托换等方面具有较高的实用价值,是值得推广的地基基础加固处理方法。

**关键词:**树根桩;变电站基础;基础加固;注浆;施工工艺

**中图分类号:**TU473.1 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2009)04-0063-03

**Application of Root Pile for Foundation Reinforcement in Xinluodian Substation of Shanghai/XU De-hua<sup>1</sup>, LIU Yong-qiu<sup>2</sup>** (1. Hunan Miluo Municipal Bureau of Water Resources, Miluo Hunan 414400, China; 2. Hunan Surveying and Designing Institute, Changsha Hunan 410007, China)

**Abstract:** With the engineering case of 35kV Xinluodian substation of Shanghai, the paper introduced root pile about its application range, working mechanism, construction technology and matters needing attention; summed up the advantages of foundation reinforcement with root pile technology. It proved that the technology has high practical value in foundation reinforcement and underpinning and is worth to be popularized.

**Key words:** root pile; foundation of substation; foundation reinforcement; grouting; construction technology

## 0 前言

树根桩系通过一定的方法或手段在地基中先成孔,再在孔中下入设计所要求的钢筋笼和注浆用的注浆管,经清孔后在孔中投入一定规格的石料或细石硅,再用水泥浆液替代出孔中的水(投细石硅时无此工序)进行压力注浆所形成的直径为 90~300 mm 的同径或异径的灌注桩<sup>[1]</sup>。树根桩实际上是一种小直径群桩基础,利用它处理既有建筑物基础不均匀沉降问题时,具有重要的应用价值<sup>[2]</sup>。通过在地基土中设置多根竖直或倾斜、平行或放射状等形式的小直径就地钻孔灌注桩并与原有基础相连,将部分荷载传递到深部土层,从而达到增加地基承载力、控制基础沉降的目的。

树根桩施工简单灵活、占用场地小,施工机具轻便、振动小、易于操作;施工对原有基础损伤小,对地基土的扰动小,不会引起建筑物产生过大的附加沉降;设计时可根据实际情况灵活确定桩径、桩长、桩数和布置形式,适合于在各种地基土中应用<sup>[3,4]</sup>。然而,树根桩往往是带荷施工,无法进行载荷试验,如何准确确定树根桩的承载力并计算其沉降量,还是目前设计中尚未完全解决的问题。树根桩布置形式往往比较复杂,对桩与土共同作用的效应不容易

作出足够准确的分析,设计中对桩的尺寸、桩距、桩长、排列方式等参数,一般都是根据实践经验确定的<sup>[5,6]</sup>。

本文结合具体的工程实例,阐述树根桩的工作原理和设计施工要点,以供同类工程参考。

## 1 树根桩工作机理

树根桩的工作机理主要可以从 3 方面考虑。

(1) 桩周土摩阻力的提高作用。依据注浆工法、桩基工法的施工工艺,树根桩在最后成桩前要进行静压注浆,压力一般控制在 0.3~0.5 MPa,并采取表层封闭、节长控制、时间控制、二次注浆和进行稳压工作等一系列措施,使得原来桩壁与周围土层接触不好的地方被强行压入的水泥浆强制充填。从而使得桩侧与桩周土体接触良好。同时在水泥浆的水解、水化作用下,粘土颗粒与水泥水化物作用、碳酸盐化作用下,更加增强了树根桩与其桩周土之间的胶结力,大大提高了注浆微型桩桩周土的摩阻力。

(2) 桩间土的改良作用。通过静力压浆后,大部分浆液会被压入到桩间土体的孔隙中去,在一定的压力下,浆液会沿阻力最小的方向强力渗透至周围土层,使桩体与周围土层在高压作用下形成不规

收稿日期:2008-07-06; 改回日期:2009-02-25

作者简介:许德华(1968-),男(汉族),湖南汨罗人,湖南省汨罗市水利局工程师,水利水电专业,从事地基处理和水利水电相关技术工作,湖南省汨罗市新市自来水厂。

则的圆状水泥浆包裹混合层,从而大大增加了桩的摩擦阻力和抗水平荷载的能力,同时改善了邻近土层的结构,使密度增大,地基土的承载力提高。这对砂土和人工填土尤为明显,根据对已有工程的实践资料分析后认为,经树根桩处理后的地基桩间土的强度一般会提高10%~30%。

(3) 桩体的作用。由于注浆树根桩桩体的变形模量远远大于桩间土的变形模量,当注浆树根桩与周围土体共同承担上部基底应力时,基底应力会向树根桩桩体集中。因此,树根桩降低了基底下一定深度范围内土层中的附加应力,从而也就减少了持力层内可能产生的大量压缩变形。另外,注浆树根桩对桩间土具有侧向约束作用,限制了桩间土的侧向位移,从而也使地基土的承载力得到了提高。

## 2 工程概况

宝山区35 kV新罗店变电站位于上海市宝山区抚远路,该变电站为一幢地下一层、地上2层的砖混结构房屋,房屋建筑平面呈矩形,长44.04 m、宽17.94 m,总建筑面积约为1990 m<sup>2</sup>,建于1995年,1996年竣工并交付使用。房屋在使用过程中,发现主体结构出现开裂现象,并有明显的不均匀沉降,整个建筑发生了倾斜,并且不均匀沉降有增大趋势。由于变电站设备对不均匀沉降较敏感,为了不影响变电站的使用,需对原建筑进行加固处理。

拟建场地地貌类型属滨海平原类,场地内地势较平坦,起伏较小,土层物理力学性质指标见表1。

表1 土层物理力学参数表

| 层序 | 名称    | 层厚<br>/m | 容重<br>/(kN·m <sup>-3</sup> ) | 承载力特征值<br>$f_{ak}$ /MPa | 压缩模量<br>$E_s$ /MPa |
|----|-------|----------|------------------------------|-------------------------|--------------------|
| 1  | 杂填土   | 1.5      |                              |                         |                    |
| 2  | 粉质粘土  | 2.3      | 18.9                         | 98                      | 4.5                |
| 3  | 淤泥质粘土 | 6.3      | 18.1                         | 69                      | 4.3                |
| 4  | 淤泥质粘土 | 11.0     | 17.2                         | 70                      | 2.6                |
| 5  | 粉质粘土  | 8.6      | 19.1                         | 109                     | 5.6                |
| 6  | 粉质粘土  | 15.6     | 20.1                         | 220                     | 7.8                |

通过在房屋四周设置沉降观测点(见图1),按变形观测的一级测量要求,对各沉降点的绝对沉降值进行了监测。监测结果表明,2006年9月4日~2006年12月8日期间,C1~C7沉降观测点沉降有趋于稳定的趋势,而C8~C14沉降观测点有进一步加速下沉的趋势。C8~C14沉降观测点沉降速率在-0.0237~-0.011 mm/天之间,其值均超过上海市工程建设规范《地基基础设计规范》(DGJ 08-11-1999)中一般工程沉降稳定的判断值(沉降速率

<-0.011 mm/天)的要求,表明沉降仍未趋于稳定。

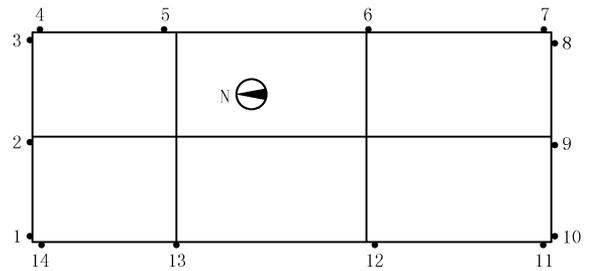


图1 监测孔位布置图

表2给出了2006年9月4日~12月8日期间房屋相对不均匀沉降实测结果,从表中可以看出,房屋南北向整体表现为中间沉降大、两端沉降小的相对不均匀沉降趋势,东西向整体也表现为中间沉降大、两端沉降小的相对不均匀沉降趋势。另外,从表2中还可以看出,2006年10月31日~12月8日期间和2006年9月4日~10月31日期间相比较,相对不均匀沉降均有所减缓。

表2 房屋各沉降观测点变形实测结果

| 次数  | 1          |          | 2       |          | 3       |          | 累积沉降<br>/mm |
|-----|------------|----------|---------|----------|---------|----------|-------------|
|     | 日期         | 9月4日     | 10月31日  | 12月8日    | 日期      | 9月4日     |             |
| 测点  | 初次高程<br>/m | 高程<br>/m | 本次沉降/mm | 高程<br>/m | 本次沉降/mm | 高程<br>/m | 本次沉降/mm     |
| C1  | 5.4166     | 5.4160   | -0.6    | 5.4165   | 0.5     | -0.1     | -0.1        |
| C2  | 5.4040     | 5.4033   | -0.7    | 5.4035   | 0.2     | -0.5     | -0.5        |
| C3  | 5.4091     | 5.4091   | 0.0     | 5.4091   | 0.0     | 0.0      | 0.0         |
| C4  | 5.4323     | 5.4314   | -0.9    | 5.4318   | 0.4     | -0.5     | -0.5        |
| C5  | 5.4027     | 5.4011   | -1.6    | 5.4010   | -0.1    | -1.7     | -1.7        |
| C6  | 5.3757     | 5.3738   | -1.9    | 5.3737   | -0.1    | -2.0     | -2.0        |
| C7  | 5.3950     | 5.3951   | 0.1     | 5.3953   | 0.2     | 0.3      | 0.3         |
| C8  | 5.4086     | 5.4087   | 0.1     | 5.4082   | -0.5    | -0.4     | -0.4        |
| C9  | 5.3891     | 5.3888   | -0.3    | 5.3884   | -0.4    | -0.7     | -0.7        |
| C10 | 5.4276     | 5.4277   | 0.1     | 5.4271   | -0.6    | -0.5     | -0.5        |
| C11 | 5.4190     | 5.4189   | -0.1    | 5.4185   | -0.4    | -0.5     | -0.5        |
| C12 | 5.3704     | 5.3698   | -0.6    | 5.3691   | -0.7    | -1.3     | -1.3        |
| C13 | 5.3883     | 5.3872   | -1.1    | 5.3863   | -0.9    | -2.0     | -2.0        |
| C14 | 5.3905     | 5.3904   | -0.1    | 5.3895   | -0.9    | -1.0     | -1.0        |

## 3 沉降原因分析及方案选择

### 3.1 不均匀沉降原因分析

工程事故发生后,经过查阅该变电站原设计、施工技术文件以及对现场工程地质资料的复查,并经重新进行地质勘探后,查明其主要原因是局部地基存在暗浜,但在以前的勘察中没有发现,也未对暗浜进行处理,造成地基承载力不足,引起建筑物在暗浜区域产生较大沉降,同时带动其他区域下沉,使建筑物产生较大的整体沉降和差异沉降。

### 3.2 地基加固方案选择

加固的目的是控制原建筑物的沉降量及不均匀沉降,且能托换部分荷载以满足加层要求。通过对地基不均匀沉降的原因分析可知,该场地地质情况较差,可比选方案如下。

第一种,采用锚杆静压桩。但经现场开挖到基础底面发现,原有筏板基础外伸的宽度有的地方不到20 cm,锚杆静压桩的桩架无法竖立,故不能使用此法。

第二种,采用压力注浆加固地基。同样由于地基土太差,在灌浆压力作用下,淤泥质土发生触变,结构强度丧失,加大建筑物沉降和不均匀沉降,且由于上部加层,加固效果难以控制,不易量化,亦不宜使用。

第三种,采用树根桩加固地基。此方法对软土的扰动较小,施工时原有建筑内的设备可不停产,对周围居民的生活影响不大;施工设备简单,操作方便,移动灵活。

由于变电站在施工过程中不能停电,综合考虑后决定采用树根桩托承结构来对工程基础进行加固。尽管建筑物出现部分裂缝,但只要控制好差异沉降,合理设计加固参数进行整修,不会影响建筑物的继续使用。

#### 4 加固方案的设计

根据建设方提出的要求,考虑到变电站设备的敏感性,树根桩的设计考虑到2个方面的因素:

(1)根据建设方提出的沉降控制要求,采用合理的桩长和桩径,并在注浆压力和浆液配比上严格控制;

(2)布桩和施工顺序上,考虑了控制建筑物不均匀沉降的因素。

根据文献[7]的规定:树根桩承载按摩擦桩设计。树根桩桩长设计为22 m,桩径200 mm,桩身混凝土强度等级为C25,采取二次注浆工艺,以提高桩的极限摩阻力。设计单桩承载力300 kN,共布桩90根。

#### 5 树根桩施工工艺

树根桩须严格按施工操作规程及施工的先后程序施工,才能达到成桩的质量目标,其施工工艺流程如图2所示。

##### 5.1 选用合理的施工机械设备

此树根桩成孔选用立轴可以调整的XY-1型液压钻机,由于本次室内施工房间净高仅3.0 m,施

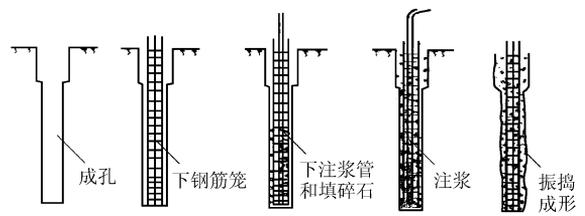


图2 树根桩主要施工过程示意图

工钻进时受到净空低的条件限制,原钻机三角架必须经改造后才能满足施工要求,因而需配制一定数量的短钻具和短钻杆。因此,本次主钻杆和钻杆均加工成1~2 m长。

##### 5.2 测量放线定桩位

根据桩位图用水平仪找平放线,并用钢筋头固定桩的位置。凿除素混泥土坪开挖桩孔,清除孔内垃圾及障碍物,然后进行校核,并在原有建筑物四周的柱上留设4个基准点,以备随时复核。

##### 5.3 成孔及清孔

采用湿钻法成孔,钻孔深度应满足设计桩长 $22\text{ m} + 0.5\text{ m}$ ,钻孔直径 $\leq 200\text{ mm}$ ,在成孔过程中采用从孔口不断泛出的天然泥浆护壁。钻孔至设计标高0.5 m以下时停钻,通过钻杆继续压清水清孔,直至孔口基本上泛清水为止。

##### 5.4 吊放钢筋和注浆管

钢筋笼配筋为:主筋采用 $\text{Ø}16\text{ mm}$ ,箍筋采用 $\text{Ø}6 @ 300$ 。由于本工程部分桩受室内净空高度的限制,不能一次吊放整根钢筋笼,需分节吊放。每节钢筋笼直径160 mm,长度2 m。节间连接采用钢筋套筒挤压连接技术,要求挤压后套筒长度应为原套筒长度的1.1~1.5倍。钢筋笼连接应满足35倍钢筋直径的错位要求。注浆管与钢筋笼分节等长,随钢筋笼同时吊放,节间采用丝扣连接。

##### 5.5 碎石选择及填入

碎石粒径选用20~40 mm,用清水冲洗后填入桩孔,总填量不少于计算体积的0.8~0.9倍。在填放碎石的过程中,仍利用注浆管继续冲水清孔。

##### 5.6 注浆

选用新鲜425普通硅酸盐水泥,浆液水灰比为0.4。注浆分为二次进行,第一次注浆量为总注浆量的70%,注浆压力控制在0.5~1 MPa,第二次注浆量为总注浆量的30%,控制注浆压力在2~4 MPa。二次注浆间隔时间约60 min。注浆时应注意控制压力值和流量,要使浆液均匀上冒,直至在孔口泛出。

##### 5.7 拔注浆管

(下转第69页)

(1) 为了防止进出场运输材料车辆直接在管道上行驶,造成管道的下沉,特别采取如下措施:在车辆进出口,距管道900 mm处,设计2排压密注浆,孔深5 m,注浆孔中心距700 mm,PI32.5水泥,

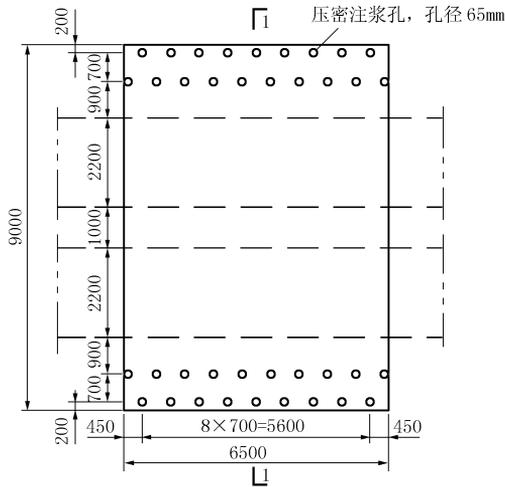


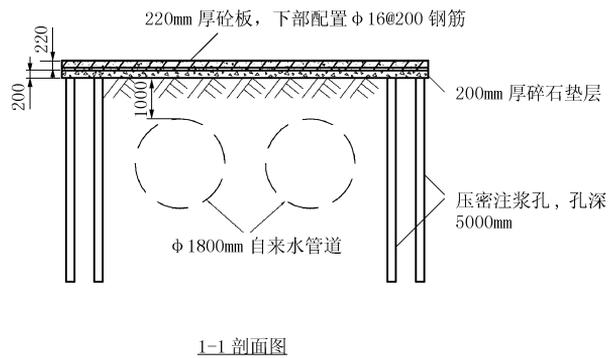
图5 车辆进出口管线保护措施图

(2) 在冠梁上每隔5 m预埋一道 $\text{O}20$  mm钢筋环,作为应急基坑变形时的反拉锚环。

#### 4 结语

经过监测单位对整个基础施工期间的围护墙顶垂直与水平位移、自来水管道的位移与沉降、道路沉降等内容进行了实时观测,从监测数据显示:基坑围护墙顶最大沉降量为0 mm,累计位移量为3.6 mm;

水泥用量 $85 \text{ kg/m}^3$ ,超细粉煤灰30%,水玻璃3%(水泥质量比);车辆进出口,铺设200 mm厚碎石垫层,钢筋网 $\text{O}16@200$ ,并浇筑220 mm C30混凝土,详见图5。



自来水管道的累计位移量为0 mm,累计沉降量为0 mm。

从实际效果来看,基坑围护工程质量可靠,基坑开挖后无渗水现象。自来水管道的运行情况良好,说明西侧重点基坑围护设计方案是安全可靠的,基坑施工方案切实可行,施工中采取的措施是积极有效的,基坑围护局部特大自来水管道的保护工程取得圆满成功。

(上接第65页)

起拔注浆管后,桩顶会有塌陷现象,应采用等强混凝土填补至设计标高。

#### 6 结语

本工程采用树根桩托换技术,在不影响使用的情况下,成功地解决了变电站的不均匀沉降问题。

(1) 该法施工场地小,在平面尺寸小和净空高度低的情况下可以施工。施工时噪声和振动小,基本上不影响办公及周边居民的生活,满足了业主在加固前提出的要求。

(2) 桩孔很小,对基础和地基几乎都不产生应力,也不干扰建筑物的使用。压力灌浆使桩的外表较为粗糙,从而使桩与地基土紧密结合,使桩、承台和墙身联成一个整体。本工程在施工过程中未发现上部结构有什么新问题,证明经过加固的基础和上部结构是可靠的。

(3) 实践证明,树根桩能成功运用于既有建筑物地基加固处理中,它适用于粉土、粘性土、人工填土等地基土上的新建或已建多层建筑物、中小型构筑物 and 厂房的地基加固补强以及处理地基不均匀沉降引起的上部结构倾斜开裂或加层。

#### 参考文献:

- [1] 叶书麟,韩杰,叶观宝.地基处理与托换技术(第二版)[M].北京:中国建筑业出版社,1994.
- [2] 李光明,屠水云,郑绍奇.房屋倾斜沉降的加固实践[J].探矿工程,2003,(4):27-28.
- [3] 李小敏.树根桩在既有建筑物中的应用研究[J].安徽建筑,2008,(1):62-63.
- [4] 郭焕龙,陈明瑞,尹国超.山东某住宅楼地基加固处理案例分析[J].山西建筑,2008,(15):93-94.
- [5] 孙少锐,吴继敏,魏继红,等.树根桩加固边坡的稳定性分析与评价[J].岩土力学,2003,24(5):776-780.
- [6] 杜嘉鸿,夏国斌,王杰.旋喷桩、树根桩加固地基工程实例[J].探矿工程,1997,(2):1-3.
- [7] GB 50007-2002,建筑地基处理技术规范[S].