

铁塔基础地基处理和桩基础技术经济对比分析

对于铁塔基础处于回填土层较厚的地质时，选用何种基础型式直接关系工程的整体造价。本文选用了夯扩水泥渣土桩地基处理后采用板式柔性基础，和直接采用灌注桩基础进行了技术经济对比分析。分析结果表明采用夯扩水泥渣土桩地基处理后采用板式基础，虽然地基处理对施工质量和施工技术要求高，但基础采用板式基础，施工简单方便，经济效果明显。

张学礼 李志鹏 / 北京电力经济技术研究院



张学礼/高级工程师

关键词/Keywords

回填土·
基础处理·
灌注桩·
技术经济·

0 引言

在城市周边，在塔位处遇到大面积回填土层比较常见，而且回填土层较厚。由于回填土不能直接作为杆塔基础的持力层，因此基础型式选择应综合考虑技术和经济两个方面的因素。

针对实际工程中某塔位处地质为21 m回填土，回填土以建筑垃圾和素填土为主的地质，采用了两种技术方案：一种是采用夯扩水泥渣土桩对地基进行处理，然后采用板式柔性基础；另一种是直接采用灌注桩基础。通过对这两种基础型式进行技术经济比较，分析结果表明采用夯扩水泥渣土桩后用板式柔性基础比较经济，适合在回填土层较厚的地质中应用。

1 方案设计

1.1 夯扩水泥渣土桩地基处理方案

夯扩水泥渣土桩设计方案如下：有

效设计桩长10.0 m，保护桩长0.5 m，桩径550 mm，桩间距1.50 m。

1) 其单桩竖向承载力特征值 R_a

按下式计算：

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + q_p A_p \quad (1)$$

式中， u_p 为桩的周长(m)； n 为桩长范围内所划分的土层数； q_{si} 为桩周第 i 层土的侧阻力特征值(kPa)； q_p 为桩端端阻力特征值(kPa)； l_i 为第 i 层土的厚度(m)； A_p 为桩的截面面积。

经计算并结合地区经验，单桩竖向承载力特征值取100 kN。

2) 复合地基承载力

计算公式为：

$$f_{sp,k} = m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1-m) \times f_{sk} \quad (2)$$

式中， $f_{sp,k}$ 为处理后复合地基承载力特征值； m 为面积置换率，取10.55%； R_a 为单桩竖向承载力特征值，取100 kN； f_{sk} 为天然地基承载力标准值(处理后)，取120 kPa。

根据该公式，计算得处理后复合地基承载力特征值为151.9 kPa(大于要求的150 kPa)。

3) 板式柔性基础计算

对于自立式铁塔基础上拔稳定，按下式计算：

$$\gamma_f T_E \leq \gamma_E \gamma_s \gamma_{l1} (\gamma_l \Delta v_l - V_0) + Q_f \quad (3)$$

式中， γ_{l1} 为基础底板上平面坡角影响系数，当坡角 $\theta_0 < 45^\circ$ 时，取 $\gamma_{l1} = 0.8$ ，当坡角 $\theta_0 \geq 45^\circ$ 时，取 $\gamma_{l1} = 1.0$ ； V_l 为 h_l 深度内土和基础的体

积, m^3 ; ΔV_i 为相邻基础影响的微体积, m^3 ; V_0 为 h_0 深度内基础的体积, m^3 ;

1.2 直接采用灌注桩基础计算方案

对于直接采用灌注桩基础, 轴心竖向作用力下的桩基中的基桩桩顶所承受的轴向力, 可按下式计算:

轴心竖向作用力下

$$N = (F + G) / N \tag{4}$$

式中, N 为轴心竖向力作用下任一复合基桩或基桩的竖向力设计值 (当为负值时为拉力改成 T (kN)); F 为作用于桩基顶面的竖向力设计值 (下压时取正值, 上拔时取负值kN); G 为承台或连梁及其上部土自重的设计值 (对地下水位以下部分应扣除水的浮力kN)。

2 技术比较

2.1 夯扩水泥渣土桩地基处理后采用板式基础

2.1.1 夯扩水泥渣土桩施工方法及施工工序

1) 材料及质量要求: 水泥宜用PO 32.5水泥或PS 32.5水泥。渣土采用原地渣土, 不得采用腐质土、冻结土、白垩土、硅藻土、淤泥质土和生活垃圾等土。水泥掺量约15%。对材料和质量要求较高。

2) 夯扩水泥渣土桩施工工艺要求: ①采用夯扩桩机柱锤成孔, 夯填水泥渣土成桩的施工工艺, 夯扩桩的工艺流程为: 平整场地 → 桩位放线 → 桩机就位 → 夯扩成孔 → 拌料 → 填料夯实。②具体施工工艺: 采用细长锤成孔, 成孔至设计深度, 分批向孔内投入水泥渣土填料, 用细长锤反复夯实、挤密, 施工工艺流程如图1所示。③施

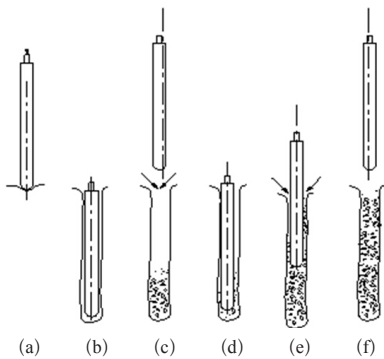


图1 夯扩水泥渣土桩施工工艺流程

(a) 夯击就位 (b) 夯击成孔 (c) 桩击投料 (d) 填料夯击
(e) 再提夯锤, 填料 (f) 形成碎石桩

工误差要求: 对于密实程度不同的土层, 夯扩水泥渣土桩施工桩径会有变化, 桩径误差宜控制在5 cm以内; 施工桩长不得小于设计桩长; 桩垂直度偏差小于1.5%, 孔位放线偏差小于50 mm; 施工中成桩的中心偏差不大于150 mm; 成孔至预定深度后, 记录3击贯入量 (夯锤重35 kN, 落距5 m)。④成孔要求: 夯扩桩机柱锤直径为377 mm, 柱锤质量为3.5 t, 夯扩成桩直径为550 mm, 正负误差在5 cm以内; 对于易坍塌的砂层, 夯击成孔时可插入套管, 套管底距孔底高度不得大于2 m; 钢丝绳上应有深度标志, 以便观测和检查成孔的深度; 对于土质松软、地下水位高的情况应进行详细记录, 成孔时可采用填生石灰块或加护筒等技术措施处理, 以保证成桩顺利进行。⑤夯实成桩参数: 夯击次数: 在控制每次夯填量基础上根据现场施打试验桩情况确定; 设计填料量: 按虚方控制填料量时, 设计填料量应为1.1~1.2倍的桩身计算体积, 实际填料量不应小于设计值的95%。

2.1.2 施工质量检验

施工完成后1周可进行施工质量检验。按照规范要求, 进行静载荷试验以检测地基承载力, 检测数量为桩数0.5%, 且每个单体工程不少于3点, 则每个塔位3个试验点, 共21点。单桩复合地基静载试验依据 JGJ 79-2002 《建筑地基处理技术规范》。

2.2 采用灌注桩基础

2.2.1 夯扩水泥渣土桩施工方法及施工工序

材料及质量要求; 主要为C25级混凝土和HPB300和HRB。淤泥层或者回填土比较厚, 地基承载力低的地质。

2.2.2 施工情况

要用专用钻孔设备, 设备进出场费用高, 排污处理难。

2.2.3 使用情况

目前在输电线路中使用不多。

2.2.4 经济情况

基坑土石方量最小, 钢筋量, 混凝土方量多, 造价高。

2.2.5 主要优点

适应性强、成本适中、后期质量稳定、承载

力大对于淤泥层比较厚，基础不需要大开挖，土方量与混凝土之可以控制在1.25:1，施工时处理好泥浆就不会对环境和农田造成影响。有单桩、双桩承台、多桩承台和四桩连梁等多种形式，在实际设计上要根据地质情况和基础作用力做方案比较，以取得经济性和安全合理性的最佳结合。

3 经济比较

3.1 地基处理费用计算

地基处理费主要包括本体费用和施工费用。本体主要是钢筋、水泥和石子等费用，施工费用主要是地基处理时机械和人工等费用。

地基处理后采用板式基础。板式基础的费用主要是钢筋和混凝土的费用，两者之和是地基处理的费用。

地基处理的费用计算主要是材料量乘以综合单价，主要是以北京地区的定额为计算依据。

3.2 灌注桩费用计算

灌注桩基础本体费用主要是钢筋和混凝土费用。费用计算同地基处理。

3.3 经济比较

通过综合经济比较，地基处理的费用远远低于灌注桩基础的费用。

4 算例分析

在实际工程中选取一基处在21m回填土上，回填土以建筑垃圾和素填土为主。对基础型式分别采用夯扩水泥渣土桩地基处理和灌注桩基础做技术经济比较。

铁塔参数见表1。

表1 铁塔参数 (单位: m)

塔型	呼高	塔头高	全高	铁塔跟开	
代号				正面	侧面
SZ2	48	24.2	72.2	14.098	14.098

夯扩水泥渣土桩设计参数见表2。
工作量见表3。

表2 地基处理主要参数

设计参数	面积为900 m²塔位
塔位数/个	1
处理后天然地基承载力特征值/kPa	120
处理后地基承载力特征值/kPa	150
桩顶标高/m	基底标高
桩径/mm	550
有效桩长/m	10.0
保护桩长/m	0.5
桩距（横向×竖向）/m	1.50×1.50
桩数/根	400×1=400
实际面积置换率（%）	10.55
桩身材料	渣土和水泥，水泥掺量15%

表3 地基处理工作量表

塔位号	夯扩水泥渣土桩/m³	土方增加量/m³	开挖深度/m	桩数/根
P26	900	768	4.00	400

“土方增加量”项来源如下：不采用夯扩水泥渣土桩方案，基槽施工工作面一般为800mm，而该方案的夯扩机械施工工作面为2.0m，即基槽开挖范围为地基处理范围外扩2.0m，由此，土方工作量增加。其中土方开挖和回填均包含该土方增加量。

4.3 板式柔性基础型式计算

通过对此塔地基处理采用板式柔性基础进行计算，计算结果如图2所示。

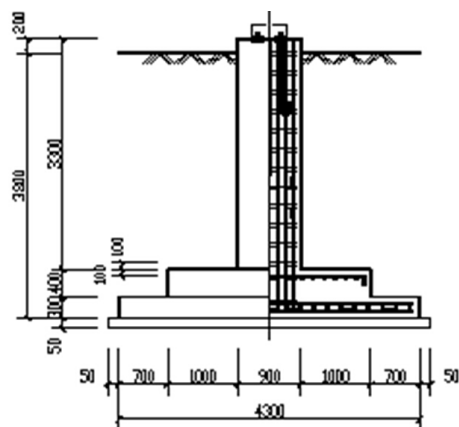


图2 板式柔性基础

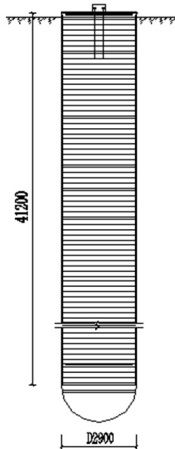


图3 灌注桩基础

4.2 灌注桩基础型式计算

通过对此塔直接采用灌注桩基础进行计算，
计算结果如图3所示。

经济比较见表4。

表4 技经技经比较结果

岩土参数	基础作用力	基础类型	基础尺寸/mm	混凝土/m³	钢筋(kg)	施工情况	造价/万元	比较值
杂填土：0~16.90范围内，杂色，松散，稍湿，以建筑垃圾为主，混有部分生活垃圾，充填物主要为粉土		地基处理后用板式基础	底板×埋深：3 800×4 300	50.64	6278.7	地基处理不方便，基础施工方便	67（地基处理+板式基础费用）	1
素填土：16.90~21.20范围内，褐黄色~杂色，松散，湿，以粉土、回填卵石为主，混有少量建筑垃圾	$T=1623\text{ kN}$ $T_x=208\text{ kN}$							
卵石：21.20~27.50范围内，杂色，稍密~中密，湿，以亚圆形为主，一般粒径为3~8 cm，最大粒径约16 cm，充填物主要为细、中砂，含量约30%~45%，偶见漂石	$T_y=193\text{ kN}$ $N=1258\text{ kN}$ $N_x=168\text{ kN}$ $N_y=153\text{ kN}$							
卵石：27.50~40.00范围内，杂色，中密~密实，湿~饱和，以亚圆形为主，一般粒径为5~12 cm，最大粒径约20 cm，充填物主要为中、粗砂，含量约20%~35%，见有漂石		弹性连梁基础	桩径×桩长：2 400×33 000	847.4	55150.5	不方便	233	3.48

5 结束语

通过技术经济对比，建议在回填土层较厚的塔位处，基础型式应优先选择夯扩水泥渣土桩地基处理方案，配合以采用板式基础。地基处理后采用板式基础比采用灌注桩基础，降低造价约65%，经济效果明显。地基处理对施工质量和施工技术要求高，但基础采用板式基础，施工简单方便；采用弹性连梁基础，施工难度较大，需要专用的钻孔设备，施工成本高。

参考文献

[1] DL/T 5024—2005 电力工程地基处理技术规程[S].北

京：中国电力出版社，2005.

[2] DL/T 5219—2014 架空输电线路基础设计技术规程[S].北京：中国电力出版社，2014.
[3] JGJ 94—2008 建筑桩基技术规范[S].北京：中国建筑工业出版社，2003.

作者简介

张学礼（1982—），男，高级工程师，硕士，主要从事架空线路设计。

（收稿日期：2015-12-10） EA

（编辑：朱历）