

---

# 500kV 输电线路施工技术

---

中国电力出版社

TM726.1  
L129

199110

# 500kV 输电线路施工技术

主 编 李博之

参 编 (按章节顺序署名)

何若瑜	张 西	于林澍	陈其泽
艾肇富	尚大伟	潘永清	张仲贤
黄原璞	李 克	张文昇	杨盛辉
毛璇娟	陈耀华	王 中	王味橙
邢凌洲	黄克信	蔡生泉	李照明
王复季	李博之	张绍辉	

中国电力出版社

## 内 容 提 要

本书采取专题形式,专门介绍500kV超高压输电线路建设方面某些先进施工工艺、施工机具和相应的施工计算。在基础方面,包括有湿陷性黄土地基钻扩桩、软土地基旋锚桩、嵌固式岩石锚桩基础施工。在组塔方面,包括有座地式摇臂抱杆、悬浮旋转式摇臂抱杆、液压提升装置、直升机组塔施工,另外还包括塔顶摇臂抱杆、液压提升装置吊装筒形钢筋混凝土跨越高塔塔头和内附着式塔吊吊装跨越高塔施工。在架线方面,包括有张力架线施工原理和相关的放、紧、挂线施工工艺,氢气球、直升机展放导引绳施工,大跨越直升机牵放牵引绳、大跨越不封航展放导线施工。在介绍中,对有关工艺原理、机具设计以及作业过程均有详尽叙述和图示,可供从事高压输电线路施工、设计和运行部门的专业人员使用和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

500kV输电线路施工技术/李博之主编.-北京:中国电力出版社,1999

ISBN 7-5083-0059-9

I. 50… II. 李… III. 超高电压-输配电线路, 500kV-电力工程-工程施工-技术 IV. TM726.1

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第17682号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

1999年8月第一版 1999年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 17印张 .412千字

印数 0001—4000册 定价 26.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

# 前 言

500kV 超高压输电线路的不断创建, 促使我国输电线路施工技术发展进入到一个全新时期, 其特点是在基础施工、铁塔吊装、架线施工三个主要工序中均有不同于传统的新颖施工方法和施工机具出现, 从而科学地解决了某些工程中的施工难点, 使其在施工科学化、现代化上迈上了一个新高地。

我们以极其审慎的态度, 专门选取了某些具有典型性和代表性的先进而成熟的施工方法和机具, 加以系统整理总结, 汇成本书, 以向广大输电线路施工界推介。基于以上理由, 本书采取了专题形式, 通过对具体工程的具体实践来阐述、总结 500kV (个别为 500kV 以下) 输电线路施工新技术、新机具的内容, 对于那些在 500kV 线路工程中仍采用的传统施工方法和机具, 原水利电力出版社已有众多的专著出版, 本书不再重复。虽书中个别的施工技术当前已不见推广, 然考虑其在技术发展过程中的历史作用, 我们认为仍应予以载入, 以示后人。

输电线路施工技术, 包括施工工艺、施工机具、施工计算三个主要部分, 在编写中均分别详作叙述, 以期加深理解, 这点是其他专业施工书籍所不及的。相信本书的内容, 对广大的输电线路施工工作者是具有一定现实意义和参考价值的, 若果如此, 则我们全体将深感幸甚。

编 者

1999 年 5 月

# 目 录

## 前言

### 第一章 基础施工 ..... 1

- 第一节 湿陷性黄土地基钻扩桩基础施工 ..... 1
- 第二节 软地基旋锚桩基础施工 ..... 10
- 第三节 嵌固式岩石锚桩基础施工 ..... 20

### 第二章 铁塔吊装 ..... 40

- 第一节 座地式摇臂抱杆吊装酒杯型塔 ..... 40
- 第二节 悬浮式旋转摇臂抱杆吊装跨越高塔 ..... 57
- 第三节 索式液压提升装置全倒装宽基跨越高塔 ..... 70
- 第四节 索式液压提升装置全倒装拉线跨越高塔 ..... 79
- 第五节 塔顶摇臂抱杆、滑轮组吊装筒形钢筋混凝土  
特高跨越塔塔头 ..... 86
- 第六节 液压提升装置吊装筒形钢筋混凝土跨越  
高塔塔头 ..... 103
- 第七节 内附着塔吊吊装特高跨越塔 ..... 113
- 第八节 直升机吊装铁塔 ..... 129

### 第三章 张力架线 ..... 146

- 第一节 综述 ..... 146
- 第二节 张力放线 ..... 147
- 第三节 环形牵引张力放线 ..... 169
- 第四节 牵引场侧向远离线路牵引放线 ..... 174
- 第五节 紧线 ..... 184
- 第六节 耐张塔挂线 ..... 196
- 第七节 大跨越不封航氢气球展放导引绳 ..... 201
- 第八节 直升机牵放导引绳 ..... 219
- 第九节 大跨越直升机放牵引绳 ..... 237
- 第十节 大跨越不封航张力放线 ..... 250

## 第一节 湿陷性黄土地基钻扩桩基础施工

甘肃送变电工程公司 何若瑜  
甘肃电力设计院 张 西

我国湿陷性黄土分布面积约 64 万  $\text{km}^2$ ，占世界黄土分布面积的 4.9% 左右，主要分布于西北、华北等地区，是我国分布较广的区域性土。在黄土上的输电线路铁塔基础，我国主要采用大开挖式台阶基础，自 80 年代中期以来，西北地区的电力工作者开始对黄土钻扩桩基础进行了试验和研究工作，并在线路基础建设中采用。实践证明，钻扩桩基础由于充分利用原状土的物理力学特性，因而具有抗拔承载力高、造价低、施工便利等特点，是黄土地区理想的铁塔基础型式。

钻扩桩基础是在原状土中钻好的基础孔内置入钢筋笼浇灌混凝土而形成的现浇基础。其形状如图 1-1-1 所示， $d$  为基础身直径， $D$  为扩大头直径， $H$  为基础埋深。

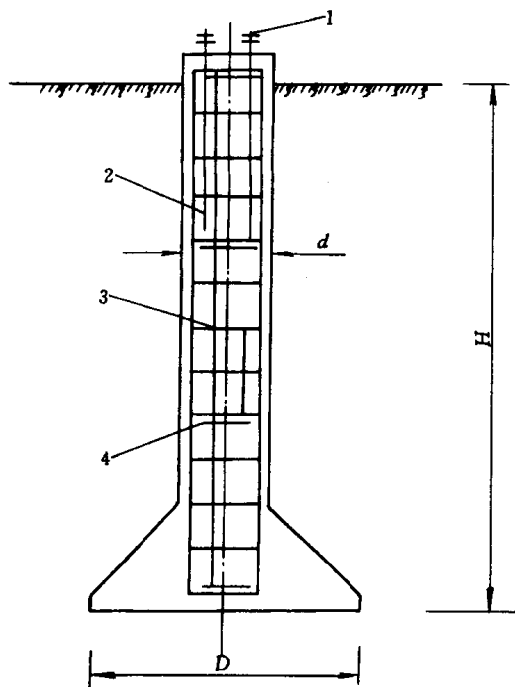


图 1-1-1 钻扩桩基础

1—地脚螺栓；2—主筋；3—外箍筋；4—内箍筋

常用的黄土钻扩桩基础规格见表 1-1-1，其与底板式基础相比较有下述优点：

(1) 施工速度快。由于不需要大开挖、支模板、混凝土养生、拆模板和回填夯实基础坑，施工速度快。在 330kV 白（银）—景（泰）线、330kV 刘（家峡）—白（银）线路施工中，在山区一般一天可完成 1 基 4 个孔的钻孔施工，在平地两天可完成 3 基 12 个孔的钻孔施工，每基浇灌混凝土仅需 5h。

(2) 承载能力强。因该基础施工时土层未受到大的扰动，充分利用了原状土体强度。

(3) 质量易保证。由于以土代模，混凝土浇灌中不会出现跑浆，从而可有效避免出现

蜂窝、空洞等质量缺陷现象。

(4) 对环境的影响小。不需大开挖，施工中钻出的土可均匀撒开，从而保护了植被。

(5) 基础造价低<sup>①</sup>。据统计同等受力条件下，与大开挖台阶式基础比较，可节省费用 35% 左右。

表 1-1-1 常用的钻扩桩基础

序号	规格	主筋	型式
1	$H=3.5\text{m}$ $d=\phi 0.6\text{m}$ $D=\phi 1.4\text{m}$	14 $\phi 14\text{mm}$	
2	$H=4.5\text{m}$ $d=\phi 0.6\text{m}$ $D=\phi 1.4\text{m}$	14 $\phi 14\text{mm}$	
3	$H=5.5\text{m}$ $d=\phi 0.6\text{m}$ $D=\phi 1.6\text{m}$	18 $\phi 16\text{mm}$	

根据 1983 年的资料可知：钻扩桩基础在美国输电线路用量约为四支腿杆塔基础的 22%。我国对输电线路杆塔钻扩桩基础的研究始于 60 年代，直到 80 年代中期才开始使用，当时使用量极少。自从东北电力设计院、西北电力设计院、甘肃送变电工程公司、甘肃省电力设计院分别在东北粘性土地区和西北黄土地区做了大量钻扩桩基础试验研究，并提出了设计理论，研制出成孔机具，总结出比较成熟的施工工艺，在 80 年代后期钻扩桩基础的用量逐渐增多，特别是在西北湿陷性黄土地区为甚。本节着重总结西北黄土地区钻扩桩基础的研究与应用情况。

### 一、钻扩桩基础的抗拔机理

黄土钻扩桩基础在上拔荷载作用下，由桩柱周围的摩阻力和扩大头的支承，将上拔作用力传递给土体。对于“深宽比 ( $H/D$ )”较小的基础，当上拔荷载较小时，基础底部脱离出现较小裂缝，底板上部土体被挤压，随着荷载的增加，靠近底板上部土体逐渐出现弯拱，底板周边土体逐渐出现向外倾斜的剪切面，直至弯拱发展为半球体后，剪切面延展至土体表面实际剪切面（见图 1-1-2）；对“深宽比 ( $H/D$ )”较大的基础，当荷载较小时与前者相同，荷载继续增加后，底板上部土体亦出现弯拱，并随荷载的增大而发展为“半球体”，但周边土体剪切面并不随荷载的增大向上延展，而是底板逐渐向正上方挤压而失去稳定，在失稳过程中，底板上部只带着半球体沿周边向正上方滑移，使底板正下方形成桶状剪切面（见图 1-1-3）。上述表明，上拔抗力由三部分组成，即基础自重、剪切面内土体重和剪切面剪阻力的垂直分量。

铁塔基础设计的控制条件往往是上拔承载力，因此，对上拔作用力下基础的抗拔机理和计算方法是黄土钻扩桩基础应用的关键课题。我国电力设计工作者自 60 年代以来，通过大量的模型试验和真型试验，对土体抗拔机理和计算理论进行了深入研究，提出对铁塔基础的抗拔计算，主要采用“土重法”和“剪切法”。“土重法”适用于回填土体，“剪切法”适用于原状土体（指处于天然结构状态的粘性土和经夯实达到天然状态密实的砂类回填土），因此，黄土钻扩桩基础较适用于“剪切法”对抗拔承载力的计算。

根据土体极限平衡理论，东北电力设计院提出了“剪切法”计算上拔稳定公式，并纳入

<sup>①</sup> 西北电力设计院、甘肃送变电工程公司在 330kV 刘（家峡）—陇（西）线中采用钻扩桩基础，与开挖式基础相比较，每基造价可节约 34.8%。甘肃电力设计院、甘肃送变电工程公司在 220kV 大（峡）—皋（兰）线中采用钻扩桩基础，每基可节约费用约 38%。

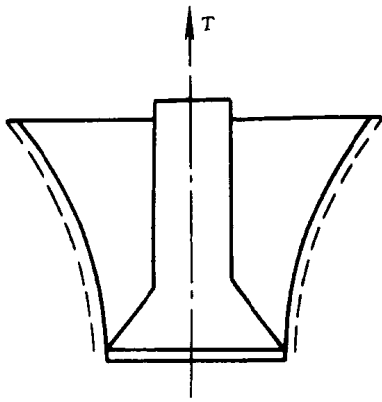


图 1-1-2 浅基础剪切示意图

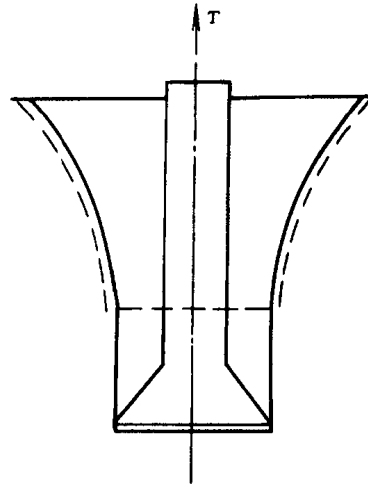


图 1-1-3 深基础剪切示意图

SDGJ62—84《送电线路基础设计技术规定》，为黄土钻扩桩基础的应用提供了基本计算理论。但黄土具有其特殊性，按照“剪切法”计算出的抗拔力比真型试验在容许变位下的实际抗拔力小得多，如按该法设计，黄土的抗拔能力不能被充分利用，尚不能充分发挥其经济性。

## 二、黄土钻扩桩基础的试验

鉴于“剪切法”计算与黄土钻扩桩真型试验有较大差异，为研究满足黄土特性要求的钻扩桩基础设计理论和实用抗拔力计算公式，以及为钻扩桩基础在黄土中的推广积累施工经验，西北电力设计院、甘肃送变电工程公司、甘肃省电力设计院于1985~1990年间作了数十基真型和模型试验，取得了大量的资料，总结出黄土钻扩桩基础的设计理论、计算公式和较成熟的施工工艺，先后在220kV白（银）—靖（远）线、220kV皋（兰）—桃（树村）线、220kV大（峡）—皋（兰）线等累计使用163基，在330kV刘（家峡）—陇（西）线、330kV白（银）—景（泰）线，330kV刘（家峡）—白（银）线等累计使用108基，保证了工期，节约了费用，至今，使用过的钻扩桩基础运行良好，取得了很好的效果。

西北电力设计院的试验认为土体抗拔受力分为三个阶段：①弹性阶段；②弹塑性阶段；③塑性阶段，并按静力平衡方程的条件，推荐出各阶段的抗力计算公式。

弹性阶段：当基础上拔时，大部分的上拔力通过扩大头斜面均匀地传递给土层来承受，小部分由桩周表面与土壤的摩阻力来承受，两种力均随桩身的垂直变位增大而增大，当该变位增大到某一值时，摩阻力开始减小。将产生最大摩阻力值之前的变化区域规定为弹性区域，对应的桩身变位值规定为弹性范围变位控制值（通过试验分析，桩身垂直变位为10mm时为分界点）。受力情况如图1-1-4，抗拔力计算公式如下：

$$T \leq A_t f_u + A_b R_u + G \quad (1-1-1)$$

式中  $T$ ——基础的抗拔力，kN；

$A_t$ ——基础桩身与土壤接触面积， $m^2$ ；

$f_u$ ——土壤与桩身表面的极限摩阻力， $kN/m^2$ ；

$A_b$ ——扩大头水平投影面积减去桩身水平投影面积， $m^2$ ；

$R_u$ ——扩大头上部土体的极限抗压力， $kN/m^2$ ；

$G$ ——基础自重力，kN。



弹塑性阶段：基础继续上拔，桩周表面的摩阻力达到一定值后就不能与土壤的极限抗压力合作而让位于土壤的凝聚力 and 极限抗压力，随基础垂直位移的逐渐增大，扩大头上部的土壤发生压缩变形，直至刚发生破坏前的过程为弹塑性阶段（经试验分析，桩身垂直变位为45mm时为弹塑性区域的有效终点值）。受力情况如图1-1-5，计算公式如下：

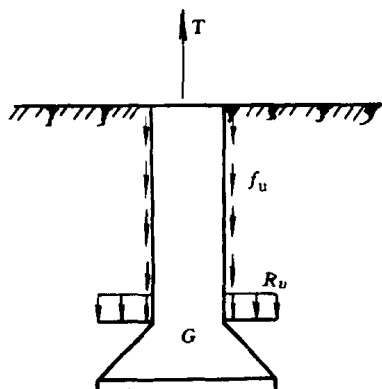


图 1-1-4 弹性阶段抗力因素图

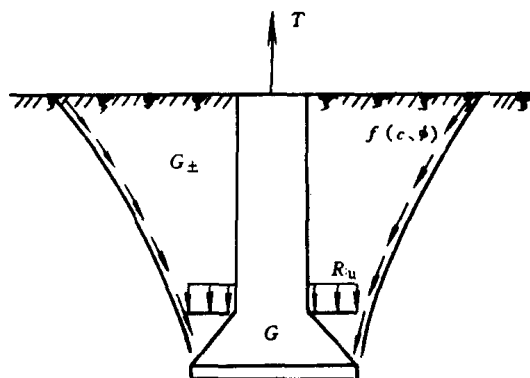


图 1-1-5 弹塑性阶段抗力因素图

$$T \leq A_b R_u + f(\phi, C) + G \quad (1-1-2)$$

式中： $f(\phi, C)$  为计入了整个剪切面上的土的凝聚力  $C$ ，按照内摩擦角  $\phi$  的规律分布而组成的垂直方向上的合力，kN。

塑性阶段：土体完全破坏，土体内在的抗力因素仅存破坏范围内土体的重力。计算公式如下

$$T = Q_G + G$$

式中  $Q_G$ ——破裂曲面内土体重力，kN。

以上三个阶段相互衔接，有序出现，揭示了钻扩桩基础和原状土共同工作抵抗上拔力的全过程。

真型试验结果如表 1-1-2。

表 1-1-2 甘肃榆中钻扩桩基础试验成果一览表

试桩号	$d$ (m)	$H$ (m)	$D$ (m)	$H/D$	推荐公式 (1-1-1)	垂直变位 10mm	推荐公式 (1-1-2)	垂直变位 65mm
					计算值 (kN)	处试验值 (kN)	计算值 (kN)	处试验值 (kN)
2号	0.6	2.9	1.8	1.61	270.2	258	306.8	398
3号	0.6	3.2	1.6	2.0	378.7	402	478.0	504
4号	0.6	3.2	1.6	2.0	239.5	305	290.6	462
5号	0.6	3.2	1.6	2.0	239.5	265	290.6	12.8mm 回零后反 复测试无确值
6号	0.6	5.6	1.4	4.0	320.6	323	507.9	500/50mm
7号	0.6	6.3	1.4	4.5	355.6	460	653.7	657

从表 1-1-2 中各对应值可以看出，推荐公式(1-1-1)、(1-1-2)的计算值基本与试验值吻合。

甘肃院通过对室内模拟试验及研究，应用土体破坏服从库伦准则及极限平衡分析法，在变分理论下建立了反映极限平衡破坏状态下的土体抗拔承载力是一个由土壤性能 ( $C$ 、 $\phi$ 、 $\gamma$ )、基础尺寸 ( $H$ 、 $D$ ) 及可能破坏面等确定的泛函数，并通过泛函数边值问题和约束的确定，得到钻扩桩基础上拔破坏面的微分方程与积分后的破坏面方程，它的计算剪切面是对数旋转曲面形式，同大量模拟试验的结果对比，计算值与试验值吻合情况良好（见表 1-1-3）。

在西北黄土地区设计应用钻扩桩基础的几个问题。

(一) 土壤物理学指标取用

试验表明,西北地区黄土指标中凝聚力 $C$ 、内摩擦角 $\phi$ 分散度较大。由于凝聚力对抗拔承载力影响甚大,因此,凝聚力 $c$ 指标的选取是关键。黄土抗剪强度随试验方法、试验仪器、剪切标准、取值标准及运输扰动等情况不同,会得出不同的结果。由于送电线路延伸长,途经的地质条件变化大,逐基挖坑取样显然不现实,因此从工程实用角度出发,根据探坑土样的实验值,结合线路所经地区黄土特性,取用全线或分段的土壤指标偏小值。国内外有关原状土基础抗拔的试验研究及计算理论较多,由于该基础破坏机理的复杂性以及土体的多样化,目

表 1-1-3 试验计算成果一览表

试基 编号	主要尺寸 (设计尺寸/实际尺寸) (m)				按 SDGJ62-84 《送电线路 基础设计技术规定》 推荐公式计算 $T$ (kN)	按甘肃电力设计院推 荐公式计算 $T$ (kN)	试验值 $T$ (kN)	备注
	$H$	$D$	$d$	$H/D$				
1	3.00	1.20	0.60	2.50	290	460	440	
	3.00	1.24	0.60	2.40				
2	3.00	1.20	0.60	2.50	290	461	455	
	3.00	1.25	0.60	2.40				
3	3.00	1.20	0.60	2.50	290	480	635	
	3.10	1.25	0.60	2.48				
4	3.60	1.20	0.60	3.00	315	573	610	
	3.60	1.24	0.60	2.90				
5	3.60	1.20	0.60	3.00	315	574	635	
	3.60	1.25	0.60	2.90				
6	3.60	1.20	0.60	3.00	315	573	585	
	3.60	1.24	0.60	2.90				
7	3.60	1.80	0.60	2.00	660	750	760	
	3.64	1.80	0.60	2.00				
8	3.60	1.80	0.60	2.00	660	742	510	
	3.61	1.80	0.60	2.00				
9	4.50	1.80	0.60	2.50	950	958	930	
	4.48	1.80	0.60	2.50				
10	4.50	1.80	0.60	2.50	950	963	910	
	4.50	1.80	0.60	2.50				
11	4.50	1.80	0.60	2.50	950	963	930	
	4.50	1.80	0.60	2.50				
12	5.40	1.80	0.60	3.00		610	650	无扩头
	5.40	0.60	0.60	2.50				
13	5.40	1.80	0.60	3.00	975	1200	950	
	5.40	1.80	0.60	2.50				

注 计算中土壤参数采用土样的平均值,即内摩擦角 $\varphi=32^{\circ}03'$ ,天然容重 $\gamma_1=13.7\text{kN/m}^3$ ,凝聚力 $C=12.2\text{kN/m}^2$ 。

前尚没有对各种土体中钻扩桩基础的计算方法规范,黄土钻扩桩也不例外,因此在计算方法尚不成熟的情况下,经试验各指标推荐选用如下值: $\gamma=13.5\sim 14.5\text{kN/m}^3$ , $c=5\sim 10\text{kN/m}^2$ , $\varphi=24^\circ\sim 30^\circ$ 。

### (二) 基础尺寸选用

根据铁塔受力及钻扩机成孔能力,建议一般采用基础深度 $H=2.0\sim 3.0D$ ,孔径 $d=\phi 0.6\text{m}$ 左右,扩大头直径 $D=\phi 1.5\sim 3.0d$ ;有效埋深应考虑地表扰动程度而适当加深,原则上有效埋深应为未受扰动的原状土内的深度,一般绝对深度不要小于 $3\text{m}$ 。

对使用钻扩桩基础的塔位应逐基鉴定,对设计参数要认真分析、慎重选用,在浇灌混凝土前,设计人员要对孔内土壤进行检查,如发现裂缝、夹层等不良地质情况,应提出处理方案。

### (三) 黄土钻扩桩的使用范围

钻扩桩基础真型试验时,仅使用快速加荷法,此加荷方式符合直线塔的荷载特性,尚不能反映耐张塔的荷载特性,因此钻扩桩基础目前仅考虑在直线塔上使用,适用的地质条件为无地下水影响、无塌陷、无溶洞等条件的可湿陷性黄土。

## 三、黄土钻扩桩基础的施工

钻扩桩基础是隐蔽工程,由于无法对已浇灌的混凝土基础进行外观检查,因此,必须采取妥善的施工措施,从成孔、浇灌等方面严格把关,以保证施工质量。

### (一) 钻扩机

针对西北黄土地区钻扩桩基础的成孔施工,甘肃送变电工程公司研制成一种半机械化钻扩机(见图 1-1-6),该机轻巧灵活、运输方便、施工安全、操作简单、成孔质量高,适用于任何地形条件。

#### 1. 性能参数

钻孔直径	$d=\phi 0.5\sim 0.6\text{m}$
扩大头直径	$D/d\leq 3$
钻孔深度	$H\leq 6\text{m}$
外形尺寸	$1500\times 1500\times 2000\text{mm}$
总重量	$450\text{kg}$
最大分解重量	$70\text{kg}$

#### 2. 结构

整机主要由机架、钻杆、钻土桶、帽状转盘、取土小车和机动绞磨组成。

(1) 机架。为一钢结构骨架,底盘平置于地面,四角用钢钎锚固,钻机的所有部件都安装在机架上。

(2) 帽状转盘。在机架上部,通过螺纹机构与机架连接,转盘钢筒外圆上的四个套管内安装推杠。

(3) 钻杆。分为内钻杆和外钻杆。外钻杆为一空心矩形方钢,插在帽状转盘顶部的方孔内,并用活动销子连接,底端与钻土桶连接;内钻杆为一圆形钢管,顶端为丝杠,与固定在外钻杆上端的丝母配合,在丝杠上端安装一手轮,内钻杆下端与钻土桶内扩孔刀机构连接。

(4) 钻土桶。为一空心钢桶,内部安装有扩孔刀机构,侧面开有扩孔口和取土侧门,下

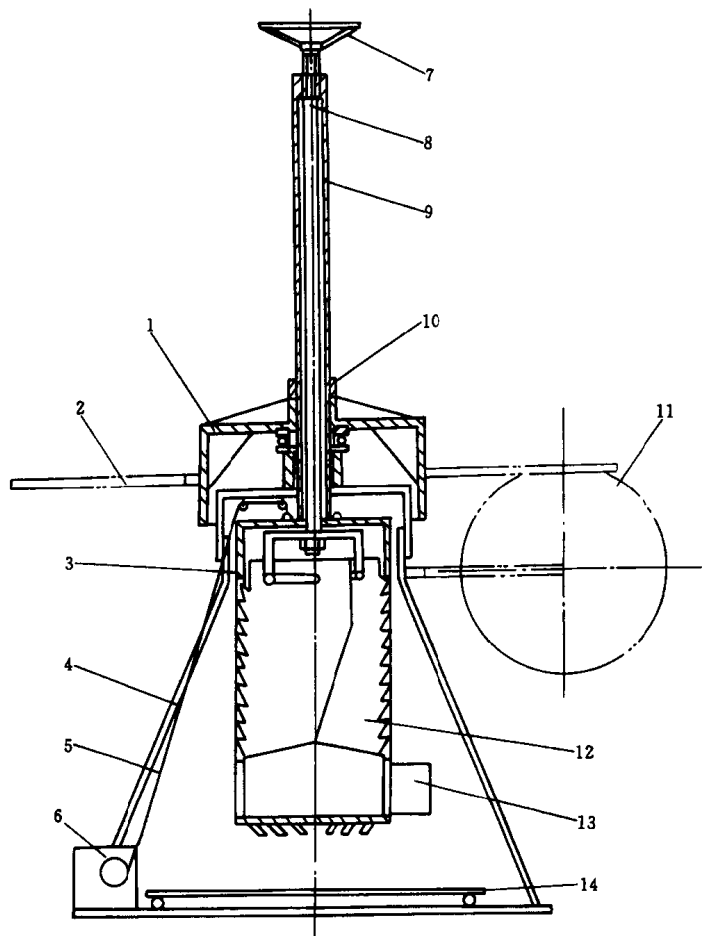


图 1-1-6 钻扩机结构示意图

1—帽状转盘；2—推杠；3—钻土桶；4—机架；5—钢丝绳；6—机动绞磨；7—手轮；8—内钻杆；9—外钻杆；10—定位卡子；11—轮胎；12—扩孔刀；13—侧门；14—取土小车

端装有切土刀。

(5) 机动绞磨。安装在机架底盘上，磨芯上的钢丝绳绕过机架顶端的滑轮和钻土桶通过吊勾与吊环连接。

(6) 取土小车。安装在机架底盘轨道上，下端装有滚轮，在轨道上可移动。

(7) 轮胎。为人工三轮车用轻便轮胎，轮胎轴上安装两竖管，插入机架管套中并销紧，将整机翻倒，即可将其推动运输（见图 1-1-7）。

### 3. 工作原理

人力推动推杠（一般 4 人，对于较硬土质需 6~8 人），扭矩通过帽状转盘传至外钻杆，外钻杆带动钻土桶旋转以切土钻孔，当帽状转盘转动时，由于螺纹机构使转盘沿垂直方向向下移动，通过活动销将这种运动传给外钻杆和钻土桶，从而使钻土桶向下钻进吃土。当钻土桶装满土时，停止推杠，将钢丝绳吊

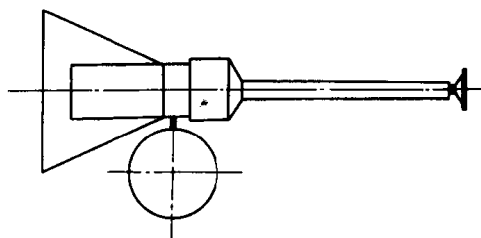


图 1-1-7 钻扩机翻倒运输示意图

钩与钻土桶上的吊环勾接，取掉帽状转盘与外钻杆的活动连接销，开动机动绞磨，将钻土桶提升至孔口，此时外钻杆以帽状转盘上的方孔为导向，推入取土小车至钻土桶下方，打开钻土桶上的取土侧门，将钻土桶内的土掏到取土小车上，将小车推出完成取土。开动绞磨将钻土桶降至孔内，摘掉吊钩，反转帽状转盘，使螺纹啮合回到顶部，继续钻孔。当达到孔深尺寸时开始扩孔，在外钻杆上卡紧定位卡子，钻杆不再下移，打开螺纹机构，帽状转盘不再下移，只带动外钻杆旋转，转动内钻杆上端的手轮，内钻杆下移，推动扩孔机构，扩孔刀张开，进行扩孔作业，当钻土桶存满土后，反向转动手轮收回扩孔刀，出土。这样反复操作直到扩孔尺寸符合要求。

外钻杆上设有孔深刻度，内钻杆顶部设有扩孔直径刻度。

据统计，6~8人6h可完成深4.5m，扩大头为 $\phi 1.4\text{m}$ 的基础孔4个，包括钻机的到位、组立和拆除。

## (二) 混凝土原材料

(1) 水泥。425号或525号普通硅酸盐水泥。

(2) 砂。中砂，砂料应化验合格。

(3) 卵石。一般3~8cm，以不超过钢筋笼主筋间距的2/3为宜，保证卵石通过钢筋笼进入扩大头和孔壁与钢筋笼之间。

(4) 混凝土配合比。由于现场砂石点较多，砂石质量不同，应根据实际情况定出配合比，严格控制水灰比。

(5) 坍落度。6~8cm，在浇灌扩大头部分时取上限值，以保证流动性。

## (三) 施工工艺及要求

(1) 对塔位基面进行操平。

(2) 用经纬仪布置井字桩，定出各基孔的中心及控制框（控制框为钻机安装基面，根据钻机底盘面积而定），并对控制框操平。

(3) 以基孔中心为准人工掏挖深约300mm的孔，要求位置准确。

(4) 组立钻机，机架就位后，钻土桶入孔，不能偏心，要求外钻杆垂直基面（用垂球找正），不得倾斜。然后在机架四个角打入钢钎定位。

(5) 开动钻机，按照钻机使用方法进行钻孔和扩孔作业；每下钻1m，即应测量孔的垂直度，随时纠正。

(6) 钻完孔后，拆除钻机。

(7) 清理孔底余土，复查各部尺寸。

(8) 用卵石在孔底铺约100mm厚保护层。

(9) 下钢筋笼，并用事先浇制好的混凝土块（强度和尺寸根据当次混凝土强度和钢筋笼与孔壁间距而定），沿孔壁分段将钢筋笼固定。

(10) 浇灌混凝土。①在浇灌之前应在孔口置如图1-1-8所示的铁皮护板，防止孔口塌落；②为防止混凝土离析，宜采用图1-1-9所示的帆布溜槽下料，钢筋环卡在铁皮护板孔的上面；③混凝土的搅拌与振捣是钻扩桩基础质量的关键环节，混凝土需用机械搅拌均匀，浇灌时需分层用振捣棒振捣，一般大头部分浇至约400mm厚进行第一次振捣（此厚度可根据钻扩桩大头部分高度而定），再浇灌300mm进行振捣，进入立柱部分每隔500mm振捣一次，其振捣棒插入的深度和振捣的时间按常规进行，振捣棒不得碰在孔壁上，以防壁土落入混凝土中。

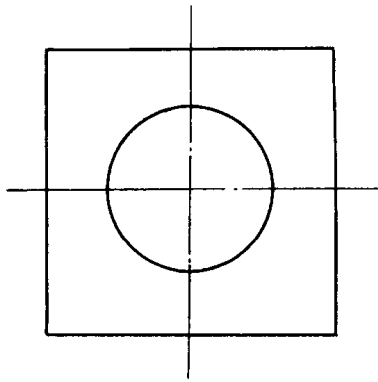


图 1-1-8 铁皮护板

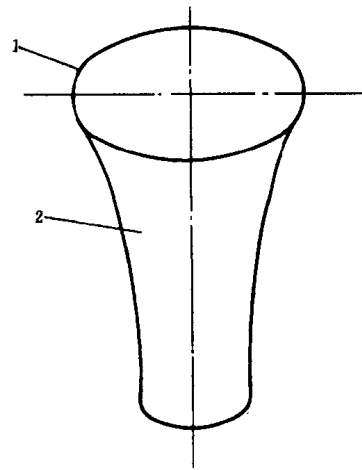


图 1-1-9 帆布溜槽

(11) 浇灌到孔口附近时下地脚螺栓，同时进行操平、找正，复核对角线、根开尺寸，然后继续浇灌到孔口。

(12) 每孔必须一次连续浇完，不得中断。

(13) 混凝土浇灌完后，用草袋或塑料薄膜罩住，12h 后开始浇水养生，拆孔口模板后覆盖约 400mm 厚土层，用水湿透进行自然养护。

#### (四) 注意事项

(1) 钻好的基孔如不立即浇灌，需加盖并做标记，防止人畜误入发生事故。如遇雨天应防止雨水进入。

(2) 钻出的土应就地均匀散开。

(3) 钻孔中如出现洞穴、夹层、土质松散、砂土、卵石均向上级报告以备处理。

(4) 下孔人员必须戴安全帽，孔口无杂物，并留有专人监护，用专用梯子下孔，不得在孔壁挖小坑踩入下孔，以免孔壁塌落。

#### (五) 质量控制

钻扩桩基础成形后，不像大开挖式台阶基础拆模后可检查浇灌质量，因此，该基础的浇灌施工质量是一个严格的全过程控制，除要有针对性强的施工技术措施并严格按照规定操作外，浇灌时必须要有发包方专门人员监督并将每个孔的施工操作和控制参数填写到监控记录中，实行当场验收，以有效地保证质量。

### 四、钻扩桩基础的经济性

由于钻扩桩基础利用了原状土的物理力学特性，与大开挖式台阶基础相比较，节约了原材料和人工费。目前，黄土钻扩桩基础的使用刚刚起步，在工程中代替大开挖式台阶基础尚需留有余地，适当提高安全系数，以策安全。钻扩桩基础造价计算尚未形成定额，因此不能准确地计算其造价，只能按工程的预算原则，与大开挖式台阶基础进行比较。表 1-1-4 为 330kV 刘（家峡）—陇（西）线按一基基础技术经济的详细比较，可节省费用 1440 元/基，效益显著；表 1-1-5 为 330kV 刘（家峡）—白（银）线路设计试验基础与大开挖式台阶基础的经济性比较。

经计算分析，按现行价格，黄土钻扩桩基础与大开挖式台阶基础比较，降低造价的原因

有下述几个方面：

表 1-1-4 钻扩桩基础与大开挖式台阶基础技术经济比较

基础类型	设计上拔力 (kN)	设计水平力 (kN)	埋深 (m)	混凝土用量 (m <sup>3</sup> )	钢材 (kg)	土方量 (m <sup>3</sup> )	施工时间 (天)	施工所需工 日(工·日)	一基的总造 价(元)
330kV 基础汇编 102型	186	16.5	2.4	9.56	604	95.12	4	114.7	4136
钻扩桩	220	17	4.0	5.2	437	5.2	2	25	2696

表 1-1-5 330kV 刘白线设计钻扩桩与大开挖式台阶基础经济比较

设计荷载	T=137kN, H <sub>x</sub> =11kN H <sub>y</sub> =8kN		T=220kN, H <sub>x</sub> =13.5kN H <sub>y</sub> =10.7kN		T=251kN, H <sub>x</sub> =16.5kN H <sub>y</sub> =12.6kN	
	基础型式	钻扩桩 H=3.0m D=1.6m d=0.6m	基础型式	钻扩桩 H=3.6m D=1.6m d=0.6m	基础型式	钻扩桩 H=3.6m D=1.8m d=0.6m
混凝土耗量 (m <sup>3</sup> )	台阶式 (m) 1.8×1.8×2.2	5.0	台阶式 (m) 2.2×2.2×2.4	6.42	台阶式 (m) 2.4×2.4×2.4	7.92
	100%	62%	100%	59%	100%	63%
钢材耗量 (kg)	410.6	379.8	648.6	503.7	1067.0	557.0
	100%	93%	100%	78%	100%	53%
基坑开方量 (m <sup>3</sup> )	73.2	5.0	107.5	6.42	120.6	7.92
	100%	7%	100%	6%	100%	7%
投入劳动工日 (工·日)	175	90	235	120	270	140
	100%	51%	100%	51%	100%	51%
造价 (元/基)	4443	3183	6071	3889	7611	4218
	100%	72%	100%	64%	100%	55.4%

注 H<sub>x</sub>—基础横向水平力, kN; H<sub>y</sub>—基础纵向水平力, kN。

- (1) 材料耗量小, 混凝土一般可减少 40% 以上, 钢材 30% 左右;
- (2) 投入劳动工日少, 可减少 50% 左右;
- (3) 施工材料耗量少, 每立方米混凝土可节省 30 元左右;
- (4) 基坑开方减少 90%, 且不回填土, 因而相应费用每基节省 100 元左右。

## 第二节 软地基旋锚桩基础施工

北京送变电公司 于林澍 陈其泽 艾肇富 尚大伟  
 华北电力设计院 潘水清  
 电力建设研究所 张仲贤

高压输电线路要穿过各种复杂的地质地段, 在基础设计和施工时, 常遇到淤泥土质或地

下水位较高而又难以开挖的软地基。目前较为适用的基础型式是旋锚桩基础。它的优点在于不用开挖基坑，机械化施工，技术含量高，施工时不受季节限制，施工速度快，还可减少人工等。

在接近塑流状态的淤泥质土中，一般大开挖的基础形式无法施工，灌注桩基础因其自重太大，在桩侧摩阻力及桩端承载力很小的情况下采用显然不经济。对于旋锚桩可根据土质的松软程度，对起支撑作用的螺旋锚片直径和间距进行优化设计，使桩侧界面的摩阻力变为破坏沿螺旋片外边缘土的剪切，以提高旋锚桩的承载能力。旋锚桩的旋进方向可与铁塔主材方向一致，故此比混凝土灌注桩更能满足软地基中的侧向稳定要求。

为解决旋锚桩的基础设计、施工及旋锚机研制问题，北京送变电公司与华北电力设计院对此进行了长期研究、试验和工程应用。首先于1990年在孟加拉国达卡地区220kV双回线路工程中；又于1995年在北京的昌（平）—安（定）500kV二回线路工程中，与电力建设研究所合作，对旋锚桩在各种不同的地质条件下，进行了单桩上拔试验。其目的是验证旋锚桩单桩极限承载力的计算值，并对旋锚桩结构设计和抗拔机理及施工工艺做进一步探讨。通过对旋锚桩基础的设计、试验和工程应用，证明了理论计算值符合实际的承载力数值；证明了旋锚桩基础施工方法是可行的，先进合理的；也证明了北京送变电公司研制的BTP50型旋锚机性能满足技术要求。这是科研与工程应用紧密结合而取得的一项成果，在国外受到业主及英国咨询公司的好评；在国内首次应用于500kV线路工程中，得到国内同行专家及施工人员的高度评价，同时该项目获得华北电管局1996年度科技成果一等奖，及电力部1997年科技进步三等奖。

## 一、旋锚桩结构设计

旋锚桩包括一个导引段和若干延长段。导引段由四个钢旋片结构组成，直径分为 $\phi 260\text{mm}$ 、 $\phi 330\text{mm}$ 、 $\phi 380\text{mm}$ 三种，将四个钢旋片按不同的间距焊在一根 $\phi 89 \times 8\text{mm}$ 的钢管上〔见图1-2-1(a)〕。延长段与导引段连接构成联轴，延长段直径为 $\phi 219 \times 6\text{mm}$ ，并在管段上端焊有一个锚片〔见图1-2-1(b)〕。所有部件为16Mn低合金钢，钢管为16Mn低合金无缝钢管。

延长段顶部露出地面部分被灌注在混凝土桩帽中，连接塔腿的插铁也灌注在桩帽中（见图1-2-2）。

单桩设计承载力计算按下列方法。

### （一）粘土中计算公式

$$Q_u = P_s H_i C_a + n A C N_c \quad (1-2-1)$$

式中  $P_s$ ——锚管周边长，锚头部分为锚片平均直径周边长，m；

$H_i$ ——桩在各层土中的长度，m；

$C_a$ ——土的凝聚力产生的桩壁粘着力， $\text{kN/m}^2$ 。 $C_a = C\alpha$ ，其中 $C$ 为土的凝聚力， $\alpha$ 为界面折减系数， $\alpha$ 随 $C$ 值的大小及界面材料的光滑度而变化；

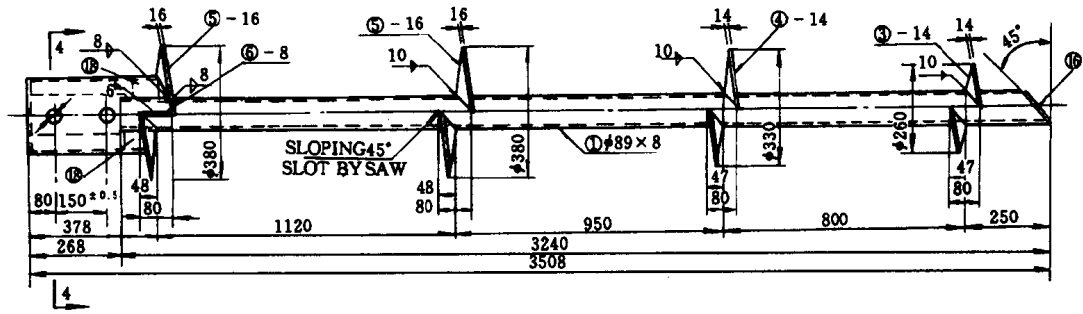
$n$ ——锚片的个数；

$A$ ——锚片的面积， $\text{m}^2$ ；

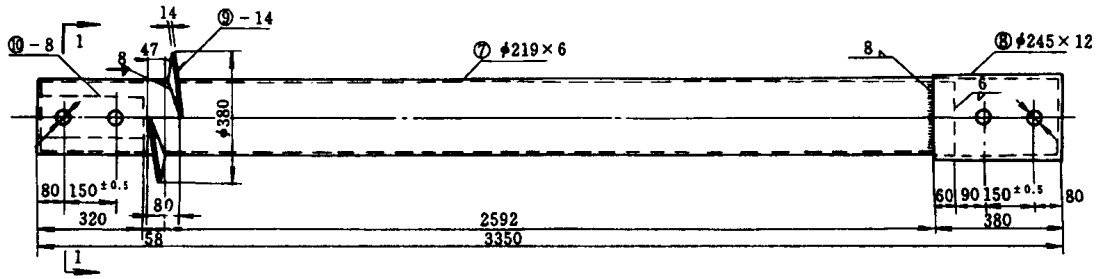
$C$ ——土的凝聚力， $\text{kN/m}^2$ ；

$N_c$ ——凝聚力产生的土的支撑系数，理论值为 $q$ 。





(a)



(b)

图 1-2-1 旋锚桩结构图 (mm)

(a) 导引段; (b) 延长段

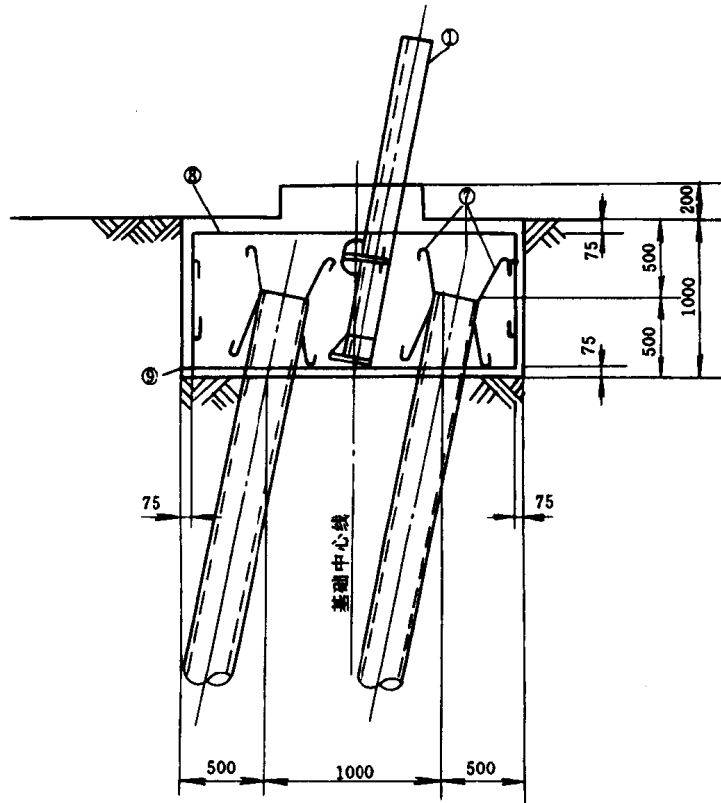


图 1-2-2 旋锚桩基础桩帽 (mm)