

# 多扩头挖孔桩基础在输电线路中的应用

黎景辉<sup>✉</sup>

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** [目的] 为了提高输电线路基础上拔承载力, 节约工程造价。[方法] 提出多扩头挖孔桩基础, 分析其上拔承载力计算方法, 并与传统挖孔桩比较其承载力和经济性。[结果] 分析结果表明: 同样承载力条件下, 多扩头基础相对单扩头基础节省混凝土4%~26%, 而且随着深径比增加而增大。[结论] 多扩头挖孔桩用于大型输电线路, 能较大幅度提升基础上拔承载力, 节省混凝土量。相同条件的多扩大头基础与单扩大头相比, 上拔承载力提高了9%~34%。

**关键词:** 多扩头; 挖孔桩; 输电线路; 上拔承载力

**中图分类号:** TM7; TM75

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8676(2020)S2-0045-05

**开放科学(资源服务)二维码:**



## Application of Multiple Heads Pile Foundation in Transmission Line

LI Jinghui<sup>✉</sup>

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** [Introduction] The paper aims to improve the uplift bearing capacity of transmission tower foundations and to save the cost of project. [Method] In this paper, a method for calculating the uplift bearing capacity of pile foundation with multiple expanded heads was proposed, and its bearing capacity and economy were compared with the traditional pile foundation. [Result] The results we obtained demonstrate that with the same bearing capacity, the multiple heads foundation saves 4% ~ 26% of concrete compared with the single head foundation, and increases with the increase of the ratio of depth to diameter. [Conclusion] Our data suggest that using the multiple heads foundation in large-scale transmission lines can greatly improve the uplift bearing capacity of the foundation and save the concrete. In the same condition, the uplift capacity of multiple heads foundation improves 9%~34% comparing to the single head foundation.

**Key words:** multiple heads; pile; transmission line; uplift bearing capacity

挖孔桩基础具有操作简单, 施工场地占地小、噪音小、造价低等优点, 在输电线路中应用广泛。随着输电电压等级及回路数增加, 特别是“十二五”、“十三五”电力建设规划以来, 特高压线路“三纵三横一环网”建设加快, 以及沿海线路抗台风风灾的可靠度要求越来越高, 强风区多回路线路建设越来越多, 这都导致铁塔设计荷载越来越大, 铁塔基础作用力也越来越大, 基础上拔承载力对基础的设计有着关键的影响。

输电线路中一般采用单扩大头挖孔桩, 可以按

照《建筑桩基技术规范》<sup>[1]</sup>设计, 由于扩大头的作用范围有限, 对于大电压等级多回路的塔, 往往需要多桩承台基础才能满足其承载力, 这样施工难度及基础混凝土量都将大幅增加。为了节约工程造价, 需要寻找提高挖孔桩基础上拔承载力的新方法。

本文提出了多扩头挖孔桩基础, 对于常见的山地地质, 扩大头作用范围可以扩大到桩埋深部分的全长, 增加了扩大头作用范围, 较大幅度提升了上拔承载力。同时给出了多扩头上拔承载力计算方法、多扩头桩施工护壁及施工顺序、比较了工程经济性, 为多扩头桩在山地地区推广应用奠定了基础。

收稿日期: 2019-11-14 修回日期: 2020-04-23

基金项目: 中国能建广东院科技项目“基于阵风效应的线路防风能力设计评估方法与已建维护改造策略研究”(EV04651W)

## 1 多扩头挖孔桩基础

根据规范要求<sup>[2-3]</sup>,传统扩大头的作用范围根据地质不同取 $4\sim 10d$  ( $d$ 为挖孔桩直径)。由于输电线路地质勘探的离散性较大,工程中一般偏于保守取 $3\sim 4d$ 进行扩大头设计。为了加大扩大头作用的范围,在桩身上增加多个扩大头,扩大头间距可以取 $3\sim 4d$ <sup>[4]</sup>。扩大头的尺寸应满足常规扩大头的要求。如图1所示。

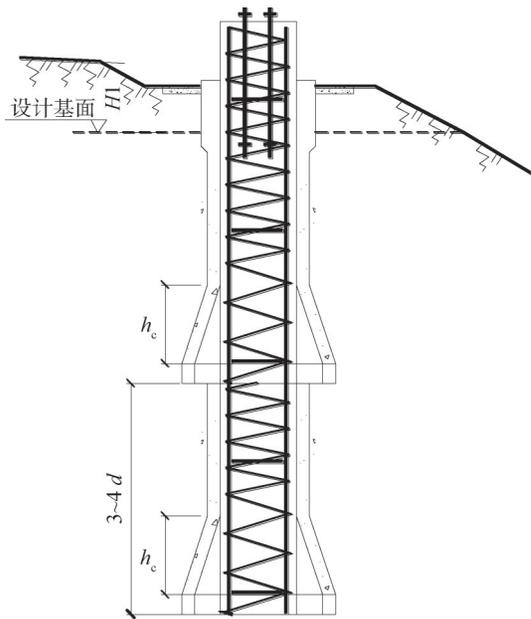


图1 多扩头挖孔桩基础

Fig. 1 Pile foundation with multiple expanded heads

由于挖孔桩基础人工施工安全的局限性,目前一般的挖孔桩基础在 $6\sim 15\text{ m}$ 之间,桩径在 $1.2\sim 2.4\text{ m}$ 之间,其深径比一般在 $5\sim 10d$ 。因此,多扩头挖孔桩基础相对常规扩大头基础只需增加 $1\sim 2$ 个扩大头即可,施工难度不大,但是上拔作用的范围却可以扩大到整个桩埋深范围。

## 2 多扩头挖孔基础的设计方法

挖孔桩基础是原状土基础,其上拔承载力主要靠侧阻力及桩土自重承担。多扩头挖孔基础受力模式与常规单扩头挖孔基础相同,可以参考常规的扩大头设计方法,上拔承载力计算按照下面公式计算。但是其扩大头作用范围应该取桩埋深全部。如图2桩身虚线部分所示。

$$N_k \leq \frac{T_{uk}}{2} + G_p \quad (1)$$

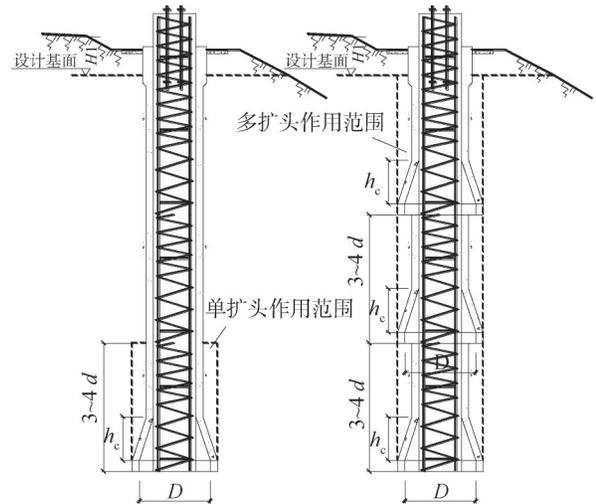


图2 多扩头挖孔桩基础作用范围对比

Fig. 2 Comparison of action range between single and multiple expanded heads

$$T_{uk} = \sum \lambda_i q_{sik} u_i l_i \quad (2)$$

式中:  $N_k$ 为桩上拔作用力标准值;  $T_{uk}$ 为基桩抗拔极限承载力标准值;  $q_{sik}$ 为抗压侧阻力标准值;  $\lambda_i$ 为抗拔系数;  $u_i$ 为桩身周长,多扩底桩取 $u_i = \pi D$ ,  $D$ 为扩大头直径;  $G_p$ 为桩、土自重;  $l_i$ 为桩侧阻力作用范围内第 $i$ 层土厚度。

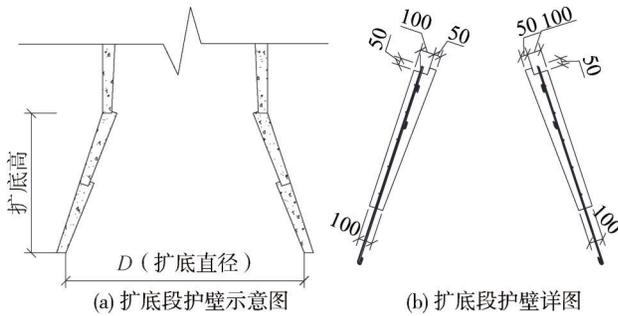
对于常规的单扩大头桩,  $u_i$ 的作用范围有限,由于输电线路涉及的地质范围广,地质勘探相对粗糙,地质离散性较大。因此,在输电线路设计中保守采用,一般取 $3\sim 4d$ 左右。而对于多扩头桩,摩擦力的作用范围及 $G_p$ 的桩土自重范围,均可取埋深全长,因此相比单扩头挖孔桩,多扩头桩的上拔承载力有较大幅度提高<sup>[5]</sup>。

## 3 多扩头基础承载力施工

为了充分发挥多扩头挖孔桩基础侧阻力,应当充分保护开挖过程中坑壁的完整性。

对于多扩头基础,扩大头的高度及扩大头的大小应该满足规范<sup>[2]</sup>要求,高度 $h_c$ 为 $0.3\sim 0.35$ 倍桩径;直径 $D$ 不宜大于 $3$ 倍桩径。为了保护施工中工人的安全,桩身及扩头部分应该视地质成孔性能来考虑设置护壁。一般来说,对于成孔良好的硬塑土或较完整的中风化及上的地质,不需要设置护壁。对于含沙量较大或者破碎程度较高的岩石地质,需要设置护壁。多扩头桩扩大头部分更应该加强设置护壁。

常见的扩大头护壁的设计如图3所示。



注：图中尺寸单位为 mm。

图3 扩大头部分的护壁设计

Fig. 3 Protection wall design at expanded heads

施工过程中应该根据护壁是否设置来决定挖坑及扩底的顺序。对于无需设置护壁的多扩头桩，其扩大头部分应该在桩身开挖完成后再加以掏挖完成，以免在后续施工中由于天气变化降雨，导致雨水浸泡坑壁而引起塌孔事故；对于设置护壁的，为了保证护壁连续性，应当从上至下顺序开挖时，加以扩底，并及时浇筑护壁。基坑掏挖成多扩底挖孔桩后，应该及时浇筑混凝土成桩。

### 4 多扩头基础承载力提高效果

对于500 kV多回路及特高压输电线路，基础上拔作用力标准值一般在1 MN~7 MN，对于硬塑土山地地区，其桩径一般在1.2~2.0 m之间，由于人工挖孔作业安全的原因，一般最深在14 m左右。

山地典型硬塑土地质参数如表1所示。

表1 山地典型地质参数<sup>[6-7]</sup>

Tab. 1 Typical geological parameters of mountainous area

土壤类型	侧摩阻力 /kPa	内摩阻力 /kPa	有效重度 /(kN·m <sup>-3</sup> )	凝聚力 /kPa	端阻力 /kPa
粉质粘土	85	16	18	20	1500

对于相同埋深及露高的挖孔桩基础，将单扩头的基础与多扩头的相对比，计算中单头基础按照4d的作用范围考虑扩大头作用。

由表2可知，在与单桩同等条件下，增加扩大头个数，承载力提高幅度在9%~34%，而且随着深径比的增加而增大。

对于混凝土量，由于增加了扩大头数量，混凝土量增加幅度为6%~12%，随着深径比增加，其增大的幅度变小。

表2 多扩头基础承载力增加比例

Tab. 2 Increase proportion of bearing capacity of multi expanded head foundation

桩径/ m	埋深/ m	深径 比	单扩头		多扩头		承载力 增加	砼2/ 砼1	
			N <sub>k1</sub> / kN	砼1/ m <sup>3</sup>	扩头/ 个	N <sub>k2</sub> / kN			砼2/ m <sup>3</sup>
1.2	6.0	5.0	1316	8.1	2	1439	8.8	0.09	1.09
1.2	8.0	6.7	1594	10.3	2	1916	11.1	0.20	1.07
1.2	10.0	8.3	1873	12.6	3	2397	14.1	0.28	1.12
1.2	12.0	10.0	2151	14.9	3	2873	16.3	0.34	1.10
1.4	7.0	5.0	1863	12.7	2	2041	13.9	0.10	1.09
1.4	8.0	5.7	2031	14.2	2	2330	15.4	0.15	1.08
1.4	10.0	7.1	2367	17.3	2	2909	18.5	0.23	1.07
1.4	12.0	8.6	2702	20.4	3	3495	22.7	0.29	1.11
1.4	14.0	10.0	3038	23.5	3	4074	25.8	0.34	1.10
1.6	8.0	5.0	2528	18.8	2	2773	20.6	0.10	1.09
1.6	10.0	6.3	2924	22.8	2	3461	24.6	0.18	1.08
1.6	12.0	7.5	3320	26.9	2	4149	28.6	0.25	1.06
1.6	14.0	8.8	3715	30.9	3	4847	34.4	0.30	1.11
1.8	8.0	4.4	3091	24.1	2	3243	26.6	0.05	1.10
1.8	10.0	5.6	3549	29.2	2	4047	31.7	0.14	1.08
1.8	12.0	6.7	4008	34.3	2	4850	36.8	0.21	1.07
1.8	14.0	7.8	4466	39.4	2	5653	41.8	0.27	1.06
2.0	10.0	5.0	4247	36.4	2	4668	39.8	0.10	1.09
2.0	12.0	6.0	4771	42.7	2	5593	46.1	0.17	1.08
2.0	14.0	7.0	5296	48.9	2	6518	52.3	0.23	1.07
2.0	16.0	8.0	5820	55.2	2	7444	58.6	0.28	1.06

如果在平丘适合机械化施工的地区，采用可扩头的机械化钻头代替人工作业，其埋深可达20 m以上，深径比可以达到16左右，其承载力提高幅度更大，混凝土量增加比例越少。

### 5 多扩头桩经济性

同样采用上文中的地质参数，取露高0.5 m。由表3可知，多扩头挖孔桩基础与单扩头基础上拔承载力相当，而混凝土量却可较大幅度节省。深径比5~10的多扩头桩，其节省混凝土量在4%~26%，随着深径比的增加而节省幅度更大。

在人工作业地区，一般工程中最大不超过14 m，而且桩径越小限值越低。多扩头埋深在临界时，与之相当的单扩头桩需要增加一级桩径，因此，混凝土增加比例将更大。

表3 多扩头基础混凝土节省比例

Tab. 3 Concrete saving ratio of multiple expanded head foundation

$N_k/kN$	单扩头			多扩头				1-(砼2/砼1)
	桩径/m	埋深/m	砼 1/m <sup>3</sup>	桩径/m	埋深/m	扩头/个	砼 2/m <sup>3</sup>	
1 455	1.2	7.0	9.2	1.2	6	2	8.8	0.04
1 873	1.2	10.0	12.6	1.2	8	2	11.1	0.12
2 360	1.2	13.5	16.6	1.2	10	3	14.1	0.15
2 870	1.4	130.0	21.9	1.2	12	3	16.3	0.26
2 031	1.4	8.0	14.2	1.4	7	2	13.9	0.03
2 283	1.4	9.5	16.6	1.4	8	2	15.4	0.07
2 870	1.4	13.0	21.9	1.4	10	2	18.5	0.16
3 517	1.6	13.0	28.9	1.4	12	3	22.7	0.21
4 122	1.8	12.5	35.6	1.4	14	3	25.8	0.27
2 825	1.6	9.5	21.8	1.6	8	2	20.6	0.06
3 517	1.6	13.0	28.9	1.6	10	2	24.6	0.15
4 122	1.8	12.5	35.6	1.6	12	2	28.6	0.20
4 902	2.0	12.5	44.2	1.6	14	3	34.4	0.22
3 320	1.8	9.0	26.6	1.8	8	2	26.6	0.00
4 122	1.8	12.5	35.6	1.8	10	2	31.7	0.11
4 902	2.0	12.5	44.2	1.8	12	2	36.8	0.17
5 763	2.2	12.5	53.9	1.8	14	2	41.8	0.22
4 771	2.0	12.0	42.7	2.0	10	2	39.8	0.07
5 614	2.2	12.0	52.0	2.0	12	2	46.1	0.11
6 541	2.4	12.0	62.4	2.0	14	2	52.3	0.16
7 374	2.4	14.5	73.7	2.0	16	2	58.6	0.20

对于作用力大的铁塔,如多回路耐张塔,终端塔,考虑安全系数后,上拔作用力标准值达到7 MN以上,常规的设计需要群桩基础;而在作用力7 MN~9 MN的基础,以采用多扩头基础,将大幅节省混凝土量。

## 6 结论

1) 本文提出多扩大头桩基础新型基础,适用于山地地区特高压、超高压、沿海强风区多回路线路等基础力大的工程。

2) 多扩大头基础扩大头间距不大于4d,扩大头作用范围取全部埋深范围,侧阻力计算取扩大头直径,桩土自重考虑扩大头上部土自重。

3) 多扩头基础按照地质差异设置护壁。对于不设置护壁的应该最后掏挖扩底;设置护壁的应该保证护壁连续性,从上至下顺序扩底成孔;成孔后

均应及时浇筑混凝土成桩。

4) 多扩大头基础与同条件的单扩头基础相比,上拔承载力提高了9%~34%,而混凝土量增加6%~12%,随着深径比的增大优势更明显,承载力提高越多而混凝土量增加越少。

5) 同样承载力条件下,多扩头基础相对单扩头基础节省混凝土4%~26%,而且随着深径比增加而增大。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国建设部. 建筑桩基技术规范: JGJ 94—2008 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.  
Ministry of Construction of the People's Republic of China. Technical code for building pile foundation: JGJ 94—2008 [S]. Beijing: China Construction Industry Press, 2008.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 大直径扩底灌注桩技术规范: JGJ/T 225—2010 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

- Ministry of Housing and Urban Rural Development of the People's Republic of China. Technical specification for large diameter belled cast - in place pile foundation: JGJ / T 225—2010 [S]. Beijing: China Construction Industry Press, 2010.
- [3] 国家能源局. 架空输电线路基础设计技术规程: DL/T 5219—2014 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- National Energy Administration. Technical code for design of foundation of overhead transmission line: DL/T 5219—2014 [S]. Beijing: China Electricity Press, 2010.
- [4] 李旭红. 双扩头桩在人工挖孔桩中的应用 [J]. 福建建筑, 2005(3): 82-83.
- LI X H. Application of double expanded head pile in manual hole digging pile [J]. Fujian Construction, 2005(3): 82-83.
- [5] 许顺德. 桩-岩石锚杆复合基础在架空输电线路中的应用 [J]. 南方能源建设, 2017, 4(增刊1): 116-119.
- XU S D. Application of pile rock anchor composite foundation in transmission line [J]. Southern Energy Construction, 2017, 4(Supp. 1): 116-119.
- [6] 郑伟文. 桩身加载法静载试验在输电线路工程中的应用 [J]. 南方能源建设, 2017, 4(增刊1): 120-124.
- ZHENG W W. The application of self balanced static load test in the transmission line project [J]. Southern Energy Construction, 2017, 4(Supp. 1): 120-124.
- [7] 林城, 韩杰, BENNETT C, 等. 冲刷作用下砂土地层中桩的侧向力学性质分析 [J]. 南方能源建设, 2018, 5(2): 24-36.
- LIN C, HAN J, BENNETT C, et al. Analysis of laterally loaded piles in sand considering scour hole dimensions [J]. Southern Energy Construction, 2018, 5(2): 24-36.

---

作者简介:



黎景辉

黎景辉 (通信作者)

1987-, 男, 广东梅州人, 工程师, 结构工程硕士, 主要从事架空输电线路结构研究及设计 (e-mail) 295015356@qq.com。

(责任编辑 李辉)

