

岩石扩底锚桩基础抗拔承载力计算方法

蒲 奥, 孙珍茂

(四川电力设计咨询有限责任公司, 成都 610016)

摘 要: 岩石扩底锚桩基础下部采用扩底型式, 在提高承载力的同时, 还减小岩石锚桩的位移, 使其能够适用于较破碎的全风化、强风化岩石地区, 扩大了岩石锚桩基础的适用范围。通过研究其力学特性并结合有限元模拟、真型试验, 提出了岩石扩底锚桩基础抗拔承载力计算方法, 为今后在其他工程的应用提供了参考。

关键词: 输电线路; 岩石锚桩; 扩底

中图分类号: TU431

文献标志码: A

文章编号: 1000-582X(2014)S2-178-4

锚桩基础材料用量较少, 基本上没有土石方开挖, 可以降低对植被的破坏, 减少工程量。在硬质岩地区, 该技术具有极强的工程价值, 但在风化岩层地区和高电压等级线路中, 等直径锚桩基础在上拔负荷的作用下, 锚桩可能因摩擦力不足, 发生滑动。因此在强风化岩层中锚桩基础通过扩底方式来提高其上拔承载力, 但目前对于扩底锚桩的力学机理研究比较少, 本文主要对扩底锚桩上拔承载力的计算方法进行探究。

1 扩底锚桩上拔承载力的计算

1.1 荷载传递法

荷载传递法的原理是将锚桩~岩石界面间的粘结~滑移关系简化为线性或非线性的切向弹簧, 如图 1 所示: 该方法的基本思想是把锚桩划分为许多弹性单元, 每一个单元与岩体之间采用弹簧联系, 模拟锚桩~岩石间的荷载传递关系^[3]。

岩石锚桩上拔承载力可分为弹性极限状态 P_E 和弹性极限状态 P_R , 在工程设计中建议以弹性极限状态下 P_E 作为岩石锚桩~岩石界面的粘结极限承载力。计算公式表明岩石锚桩~岩石界面的粘结极限承载力存在工程临界锚固长度, 因此单纯通过增加锚桩长度来提高锚桩~岩石界面的粘结极限承载力并不现实, 在设计中不可一味通过增加锚桩长度来保证提高输电线路基础的安全稳定性。

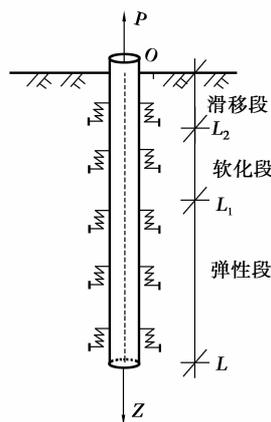


图 1 界面弹簧分析模型

$$P_E = \omega_1 E_m A_c \beta_1 = \tau_b \sqrt{\frac{E_m A_m \pi D}{k_b}}$$

临界锚固长度 $L_{c2} = 3/\beta_1$, 其中 $(\beta_1 = \sqrt{\frac{k_b \pi D}{E_m A_m}}, \omega_1 =$

$$\frac{\tau_1}{k_b})$$

$$E_m = \frac{E_s A_s + E_c A_c}{A_s + A_c}, A_m = A_s + A_c$$

同时可得到弹性状态下桩顶位移为:

$$\omega = \frac{P}{E_m A_c \beta_1} \frac{\cosh(\beta_1 L)}{\sinh(\beta_1 L)}$$

分别按上述理论公式和《架空送电线路基础设计技术规定》(DL/T5219-2005) 公式 10.2.3 计算, 计算结果如图 2 所示:

(1)锚桩与岩体间的粘结承载力临界长度应在 3.0~4.0 m 之间,在临界长度以内,采用公式 10.2.3 的计算结果略小于按本文理论公式计算结果。但理论公式计算较复杂,且涉及地质参数较多,不利于工程实际设计中推广。因此锚桩与岩体间的粘结承载力推荐采用规程公式 10.2.3 计算。

(2)随着锚桩埋深的增加,公式 10.2.3 的计算结果与按理论公式计算结果误差逐渐增大,因此锚桩埋深应控制在锚桩的有效锚固长度附近,单纯的增加埋深不能有效提高上拔承载力。

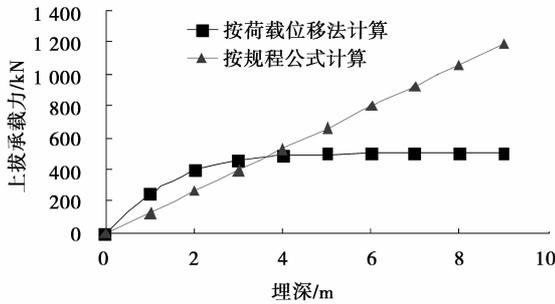


图2 理论公式及规范公式比较图

1.2 扩底锚桩上拔承载力力学模型

扩底锚桩的特点是在锚桩端部局部加大锚桩直径,一方面增加锚固体与岩层的接触面积,从而使得锚固体与岩层相互间的粘结力或摩阻力增大,使锚桩的锚固力提高;另一重要的方面是锚桩锚固体的局部直径扩大,使得锚桩锚固力的产生方式发生很大改变,表现为普通锚固段与扩大头锚固段接触处出现了一个“突出台阶”,该“突出台阶”提供了土体对扩大头突出部分的挤压作用,或称之为“咬合”作用,这种作用的产生大大提高了锚桩的锚固能力。此外,锚桩重复加载试验的资料表明,扩底锚桩是最合适承受反复加载的锚桩型式,因为这种锚桩的“突出台阶”能够咬住相邻地层。扩底锚桩抗拔承载力由三部分组成,其简化力学模型见图 3,计算可用下列几式估算^[4]:

抗拔承载力: $W = W_1 + W_2 + W_3$

其中: $W_1 = \pi D_1 L_1 \tau_b$

$W_2 = \pi D_2 L_2 \tau_{bd}$

$W_3 = \pi(D_2^2 - D_1^2) P_D$

式中: W_1 为普通锚固段侧摩阻力所提供的抗拔力; W_2 为扩大头锚固段侧摩阻力所提供的抗拔力; W_3 为扩大头截面的端阻力所提供的抗拔力; L_1 、 L_2 为普通、扩大头锚固段的长度; D_1 、 D_2 为普通、扩大头锚固段的直径; τ_b 、 τ_{bd} 为普通、扩大头锚固段侧壁与

岩层之间的摩阻力强度; P_D 为土体作用于扩大头截面上的端压力。

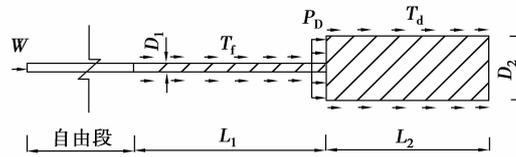


图3 扩大头锚桩力学模型

1.3 扩底锚桩端阻力 P_D 分析

在锚桩扩大头端前取一土体微单元作为考察对象。进行如下假定:

- 1) 忽略扩大头前端锚桩杆体对土体应力状态的影响;
- 2) 扩大头埋深足够大;
- 3) 土体单元一个方向上压力的增量,在与该方向垂直的其他方向上将产生侧压力增量,其侧压力系数为 ξ ,并假定 ξ 各向同性。

以锚桩轴线方向为 Z 轴,垂直于锚桩轴线的水平方向为 X 、 Y 轴,则土体单元受力如下:

$$\sigma_x = \sigma_y = K_0 \gamma h + \xi \sigma_T; \sigma_z = \gamma h + \sigma_T$$

式中: σ_T 为锚桩拉力在土体单元 Z 方向上产生的应力增量。

根据摩尔强度理论可以推导得出公式:

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2(45^\circ + \frac{\bar{\omega}}{2}) + 2c \tan(45^\circ + \frac{\bar{\omega}}{2})$$

$$P_D = \sigma_x = \frac{(K_0 - \xi) K_p r h + 2c \sqrt{K_p}}{1 - \xi K_p}$$

$$K_0 = 1 - \sin(1.3\bar{\omega})$$

$$\xi = (0.50, 0.95) K_a$$

式中: K_p 为扩大头端前土体的朗肯被动土压力系数; K_0 为扩大头端前土体的静止土压力系数; r 为扩大头上覆土层的加权平均重度; h 为扩大头的埋深,即扩大头前端中点到地面的埋深。

2 现场试验结果

莱州东宋试桩真型上拔(破坏)试验^[7]. 试验场地选在烟台莱州东宋,地势较平坦,试验场地为花岗岩岩石强风化,岩石组织结构已大部分破坏。按照标准条件养护后,对岩石扩底锚桩基础进行破坏性试验。首先加载为设计最大上拔荷载的 50%,之后按每级 10% 的加载量分段加载,每 2 级加载之间停 10 min,进行数据测量、读取。加载至试件出现下列情况之一时,即判定锚桩基础已达到破坏荷载:1) 锚桩基础产生突发性位移或持续位移;2) 加载设备已达到最

大量程;3)基础或地面有明显破坏特征(如裂缝、隆起等);4)锚桩发生滑移、拔出、拉断等情况。

表 1 不同型式锚桩负载能力测试结果对比

锚桩类型	锚桩长度 /m	锚桩直径 /mm	锚固长度 /m	荷载能力/kN
直锚	2	110	2	308
扩底锚	2	110	2	336

3 有限元模拟分析

如图 1 所示。利用有限元分析软件 Ansys 中的线性弹簧单元 combination14 或非线性弹簧单元 combination39 可以模拟界面的粘结滑移关系,该单元为可以设置 2 节点的单向弹簧,节点 I、J 可重合,即单元的长度可为零。通过定义单元的力~位移曲线(F-D 曲线)来描述单元的受力变形特性。该方向的相互作用集中反映了锚桩和岩石之间的粘结滑移特性,其 F-D 曲线可根据试验测试得到的 $r-s$ 曲线来确定。

建立扩底锚桩有限元模型,桩径 110 mm,锚桩扩孔直径 130 mm,不同桩径段、扩大头“突出台阶”采用不同刚度的弹簧单元。



图 4 有限元模型

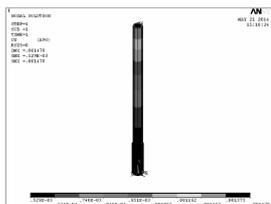


图 5 位移云图

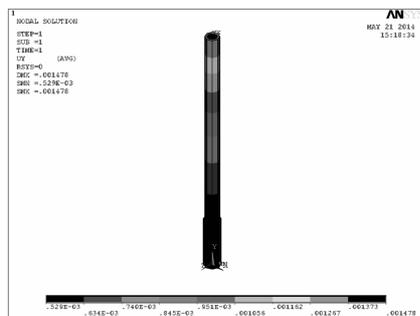


图 6 锚桩竖向方向应力云图

以强风化岩石为例:桩径 110 mm,锚桩扩孔直径 130 mm,其中内摩擦角 50° ,摩阻力 100 kPa。按本文 1.3 节公式计算得到 $K_0=0.0936$; $K_a=0.132$

5 ; $K_p=7.5561$; $P_D=11107$ kPa=11.1 MPa

$$W_3 = \pi(D_2^2 \uparrow - D_2^2 \downarrow) P_D = 41.9 \text{ kN}$$

由有限元计算结果如图 6 所示,锚桩竖向方向应力云图扩大头处锚桩应力为受压,压应力为 10.9 MPa,与按 1.3 节公式计算结构基本一致。因此可采用上述公式计算扩大头截面的上拔端阻力。

将试验数据、理论计算,有限元模拟结果汇总于表 2;公式计算结果与有限元模拟结果基本一致,略小于试验数据,但误差在允许范围内,因此证明该计算公式可用于扩底锚桩上拔承载力计算。

表 2 计算对比表

5 号锚桩试验数据						
荷载/MN	0.56	1.12	1.68	2.24	2.80	3.36
试验位移 /mm	0.20	0.50	0.80	1.01	1.32	1.46
公式计算	0.22	0.44	0.66	0.88	1.10	1.32
有限元模拟	0.21	0.42	0.63	0.84	1.04	1.25

4 经济性分析

通过现场试验结果分析:采用岩石扩底锚桩后,基础的上拔承载力较普通锚桩基础提升了 20% 左右,并且基础的竖向位移较普通锚桩基础减少较多,有效减小岩石锚桩的蠕变特性。

将山区基础常用的 3 种基础形式(板式基础、掏挖基础以及扩底锚桩基础)的材料用量及土方量列表进行比较,如表 3 所示。

表 3 经济性对比表

比较项目	混凝土/ m^3	钢筋量/kg	土方量/ m^3
扩底锚桩基础	6.6	3 054	4.8
板式基础	43.0	4 678	283.0
掏挖基础	49.8	3 821	56.3

由表 3 可看出,与其他 2 种基础比较,岩石扩底锚桩基础可节省混凝土 70%~80%,节省钢筋量 30%~90%,且采用岩石基础开方量约为直柱板式基础的 1/60,直柱掏挖基础的 1/10。因此,在强风化岩石条件下应优先选用岩石扩底锚桩基础,这样不仅可以有效降低工程的本体造价,而且可以大大降低山区运输的工作量,将线路建设对环境的破坏降到最低。

(下转第 183 页)