

高压架空线路附近危急塔吊的成套计算方法

马 辉，曹亚非，杜蕴莹

（徐州供电公司，江苏 徐州 221005）

摘 要：高压架空输电线路附近经常会有建房塔吊进行施工，塔吊具有高度高、塔臂长，吊绳易甩动，吊物形状不固定等特点，威胁着输电线路的安全稳定运行，电力线路保护区规定很难克服这一威胁，易忽略保护区外塔吊对线路造成的威胁，本文详细介绍判定高压架空线路保护区内外塔吊是否会威胁输电线路安全的计算方法，并提出了危及线路安全塔吊的处理方案。

关键词：高压架空线路；危急塔吊；线性静力分析；成套计算方法。

0 引言

当前，国内经济发展日趋迅速，城市周边地区的各种建设日益增加。高压输电架空线路在城市周边和城乡结合部应用较多，沿线路附近经常会有新建的开发区、住房、厂房等，因此施工过程中使用塔吊造成输电线路跳闸的事件时有发生，而且施工部门涉及社会各个层面，人员复杂，造成了很难管理的局面，关键原因是没有一套科学的计算方法可以说服施工部门，给输电线路的安全稳定运行带来了巨大的隐患(见图1)。2009年7月有一实际案例，塔吊距离线路51m，吊臂远高于导线，巡视人员未考虑到，结果造成了塔吊碰线的严重事故(见图2)。通过本文的计算方法，能准确判断电力保护区以外威胁线路运行的塔吊，以及电力保护区内的不威胁线路运行的塔吊，并提出科学的处理方案，保证了线路的安全稳定运行，减少了施工部门和电力部门的劳动量，缓解了施工塔吊和高压线路之间的矛盾。



图1 施工塔吊和高压线路之间的矛盾

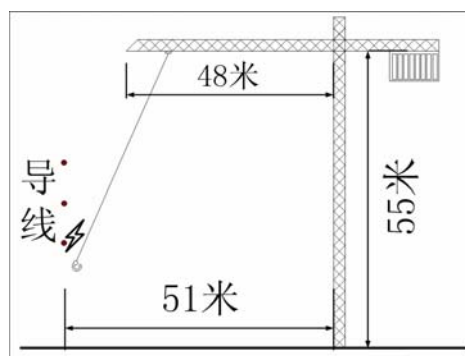


图2 真实案例简易图

1 现行对是否威胁线路运行塔吊的判定方法

1.1 通过运行经验来判断保护区内外塔吊是否威胁线路运行

在线路运行单位，巡视人员经常会通过运行经验来确定线路保护区内外塔吊是否威胁线路运行。

该方法的优点是：1) 能最快速度的确认是否是危急塔吊；2) 能结合多年的事故教训。缺点是：1) 缺乏对施工部门的说服力度；2) 运行人员的技术和理论水平会影响判断；3) 观察角度和视觉误差会影响判断。

综合分析，该方法缺点较多，由于人员本身能力不同，观察视角受限程度不同，用这种方法确认塔吊是否威胁线路运行是不科学的。

1.2 通过国家规定和运行规程要求的电力通道保护区来确认施工塔吊是否威胁线路运行

这种方法的优点是对于电力通道保护区以内的危急塔吊说服能力强，可通过规定说服施工部门整改。而它的致命缺点就是，对于线路通道保护区外

的危急塔吊不能做有力的整改，从而造成了线路通道保护区外的危急塔吊频频对电力设施进行破坏。

另一方面，因为施工实际不同，该方法还有很大的局限性，有些塔吊在线路保护区内但不会威胁线路运行（见图3），有些塔吊在线路保护区外却能很容易破坏线路（见图4），所以用该方法来确认危急塔吊会存在大量的失误。

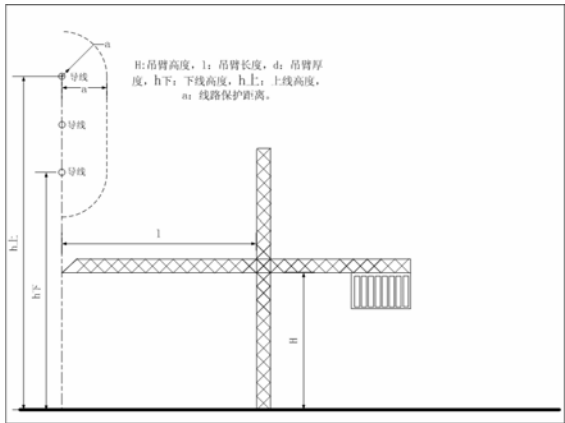


图3 线路保护区内不危急塔吊

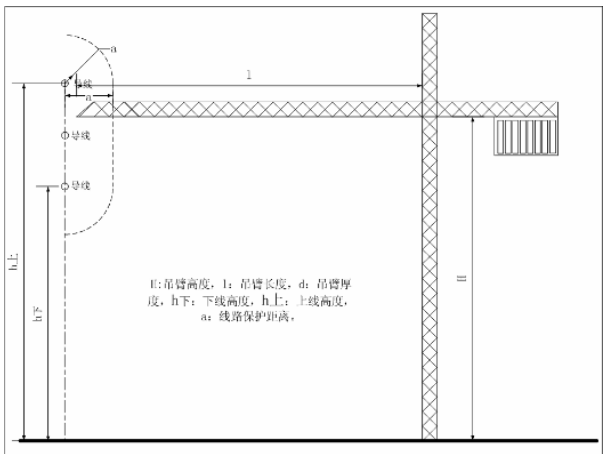


图4 线路保护区外危急塔吊

2 线路通道内外危急塔吊计算方法的推导过程

2.1 科学的论证计算方法的有效性

本计算方法主要用到的是立体几何和线性静力分析的知识，然后通过不小于电力安全距离用不等式表示整套计算方法。不使用任何经验、猜想等数据，保证了该计算方法的有效性。

2.2 相关数据的收集

塔吊数据的收集主要是从中国塔吊网 www.ta-diao.com 上查询。现行国内常用的塔吊型号有TC5008 塔吊、QTZ63/80 塔吊、TC5610 塔吊、

QTZ315 塔吊、QTZ315 塔吊等 16 种塔吊。查阅需要的数据得知，塔吊的高度范围为：0 到 60m 之间。吊臂回转速度为：0.47 至 0.72r/min 之间。吊钩重量为 250kg。

2.3 各种天气条件下，各电压等级线路最小安全距离的确认

各种天气特征中，大雾和毛毛雨是最容易发生放电的天气，不放电的最小距离，根据中华人民共和国电力行业标准，DL/T 741-2001，架空送电线路运行规程（P26），参照表 1 导线在最大弧垂、最大风偏时与树木之间的安全距离。见表 1。

表 1 导线在最大弧垂、最大风偏时与树木之间的安全距离

线路电压 kV	35~110	154~220	330	500
最大弧垂时垂直距离 m	4.0	4.5	5.5	7.0
最大风偏时净空距离 m	3.5	4.0	5.0	7.0

所以将 35~110kV 最小距离定为 3.5m。154~220kV 最小距离定为 4.0m。500kV 最小距离定为 7.0m。

2.4 计算公式推算过程

根据各个施工现场实际情况不同，还需要知道两个现场数据：（1）塔吊根部离导线的距离。（2）上下导线对地距离。

吊臂高度在两个区间内时将影响线路的安全稳定运行，第一个区间为：塔吊高度高于下导线减去安全距离和塔吊高度低于上导线加上安全距离之间，在这个区间内吊臂将是造成线路威胁的最大隐患。第二个区间为：塔吊高度高于上导线加上安全距离，在这个区间内钢绳和吊物将是造成线路威胁的最大隐患。所以计算需要分三步完成。

（1）将已知的数学量全部用字母代替，见表 2。

表 2 数学量对应的字母表

已知数学量	字母
吊臂高度	H
吊臂长度	L
塔吊根部离导线的水平距离	A
下导线高度	$h_{下}$
上导线高度	$h_{上}$
最小安全距离	a
被吊重物最大长度	l'
吊臂回转速度	ω
吊臂对钢绳的最大甩动角	β
吊钩重量	G

（2）区间一：塔吊高度高于下导线减去安全距离且低于上导线加上安全距离，用数学式表达为

$$h_{上} + a \geq H \geq h_{下} - a$$
，见图 5：

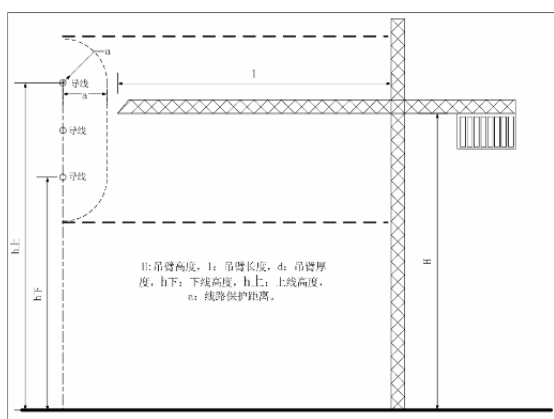


图 5 吊臂高度示意图

根据图形当 $h_{上} > H > h_{下}$ 时吊臂长度 L 要满足 $L < (A - a)$ ，见图 6：

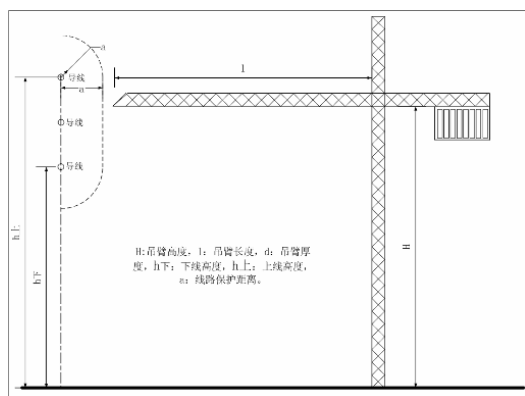


图 6 吊臂高度示意图

当 $h_{上} + a \geq H \geq h_{上}$ 时吊臂长度 L 要满足：

在上导线上方绘制局部小三角形由勾股定理得

出： $L < A - \sqrt{a^2 - (H - h_{上})^2}$ ，见图 7：

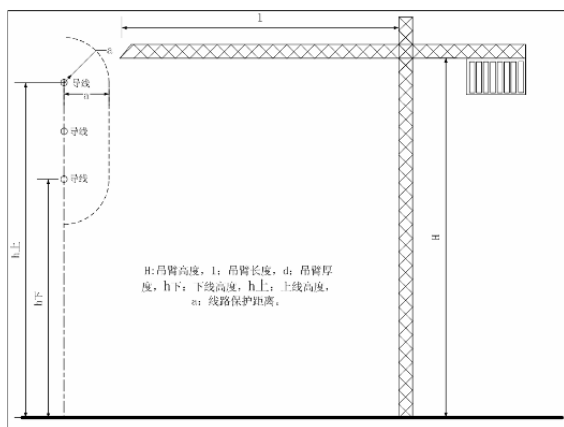


图 7 吊臂高度示意图

根据图形当 $h_{下} \geq H \geq h_{下} - a$ 时吊臂长度 L 要满足：

由勾股定理得出

$$L < A - \sqrt{a^2 - (h_{下} - H)^2}, \text{ 见图 8:}$$

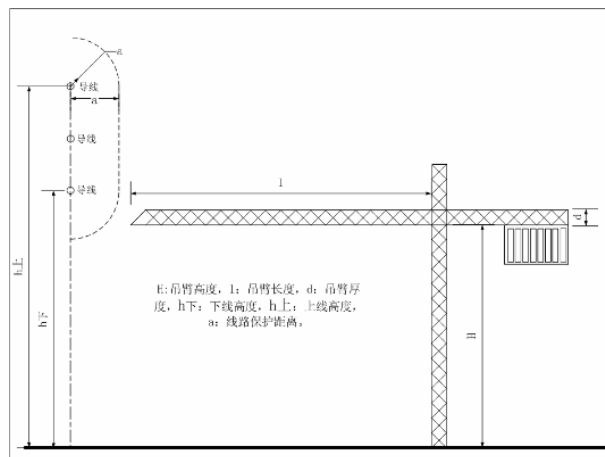


图 8 吊臂高度示意图

综上所述得出：

当：

$$h_{上} + a \geq H \geq h_{上} \quad L < A - \sqrt{a^2 - (H - h_{上})^2}$$

$$h_{上} > H > h_{下} \quad L < (A - a)$$

$$h_{下} \geq H \geq h_{下} - a \quad L < A - \sqrt{a^2 - (h_{下} - H)^2}$$

(3) 区间二：塔吊高度高于上导线加上安全距离，用数学式表达为 $H > h_{上} + a$ ，见图 9：

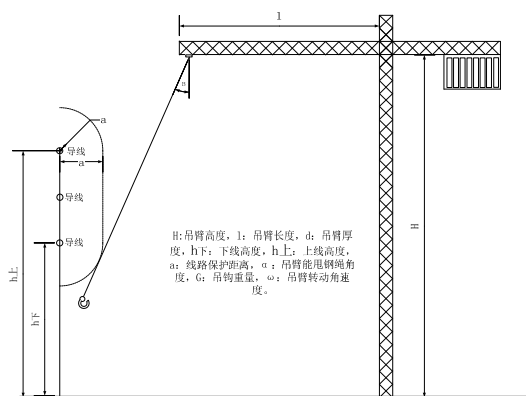


图 9 钢绳对线路的威胁

当塔吊没有吊物体时：

对吊钩进行线性静力分析如图 10：

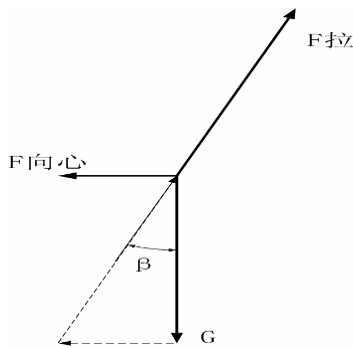


图 10 吊钩线性静力图

则： $\tan\beta = F^{\text{向心}} / G$,

根据向心力公式： $F^{\text{向心}} = m\omega^2 r$,

由图形知： $r = A - a$,

故 $\tan\beta = \frac{m\omega^2(A-a)}{G}$

在这一点 L 需满足：

$$L < A - a - (H - h_{\text{下}}) \tan\beta$$

$$L < A - a - \frac{m\omega^2(A-a)(H-h_{\text{下}})}{G}$$

又： $G = mg$

则：
$$L < A - a - \frac{\omega^2(A-a)(H-h_{\text{下}})}{g}$$

在这个区间内，还存在一种特殊情况，即塔吊起吊大型重物（如钢筋、脚手架，铁笼等），可能危急线路运行，如图 11 所示：

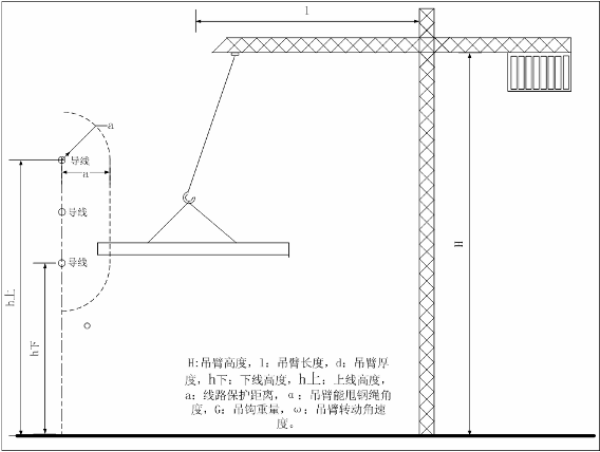


图 11 塔吊起吊大型重物时的情况

设此处的重物长度为 l' 。

同理，给此处吊钩受力分析， $\tan\beta = F^{\text{向心}} / G$,

$$F^{\text{向心}} = m\omega^2 r,$$

由图 11 可知， $r = A - a - \frac{l'}{2}$ ；故 $\tan\beta = \frac{m\omega^2(A-a-\frac{l'}{2})}{G}$

在这一点 L 需满足：

$$L < A - a - \frac{l'}{2} - (H - h_{\text{下}}) \tan\beta$$

所以

$$L < A - a - \frac{l'}{2} - (H - h_{\text{下}}) \frac{m\omega^2(A-a-\frac{l'}{2})}{G}$$

经化简，得到

$$L < \frac{[g - \omega^2(H - H_{\text{下}})](A - a - \frac{l'}{2})}{g}$$

2.5 汇总

将所有计算公式制表，见表 3。

表 3 计算公式表	
塔吊高度 H 取值	需要满足的不等式
$h_{\text{下}} \geq H \geq h_{\text{下}} - a$	$L < A - \sqrt{a^2 - (h_{\text{下}} - H)^2}$
$h_{\text{上}} > H > h_{\text{下}}$	$L < (A - a)$
$h_{\text{上}} + a \geq H \geq h_{\text{上}}$	$L < A - \sqrt{a^2 - (H - h_{\text{上}})^2}$
$H > h_{\text{上}} + a$ (不吊重物时)	$L < A - a - \frac{\omega^2(A-a)(H-h_{\text{下}})}{9.8}$
$H > h_{\text{上}} + a$ (吊重物时)	$L < \frac{[g - \omega^2(H - H_{\text{下}})](A - a - \frac{l'}{2})}{g}$

再将距离导线最小安全距离制表，见表 4。

表 4 最小安全距离

线路电压 kV	35~110	154~220	330	500
最大风偏时净空距离 m	3.5	4.0	5.0	7.0

根据以上的计算公式，无论线路保护区内外的塔吊，只要满足以上不等式者，都将被判定为不影响线路运行的塔吊，如不满足者，线路运行部门应立即阻止施工，并让其施工方改变塔吊数据。本文建议较容易更改的数据为：吊臂长度（L）、吊臂高度（H）、塔吊根部离导线的水平距离（A）。具体整改方案以现场实际情况而定。

3 结论

本文提出的高压架空线路附近危急塔吊的计算

方法，算法简单，数据充足，结论明确，说服力强。不论塔吊处在线路保护区内外，都可以拿出足够的证据说明塔吊是否危急。尽管需要通过前期的测量和计算才能得到最终的结果，但花费时间很少。因此该方法确认线路附近危急塔吊的先进方法。

作者简介：

马 辉（1981—），男，陕西西安人，技师，工程师，从事输电线路状态管理工作；

曹亚非（1970—），男，河北涿州人，技师，从事输变电设备管理工作；

杜蕴莹（1968—），女，河北景县人，工程师，主要从事科技项目管理工作。