

## 通信铁塔垂直度检测方法

袁晓辉<sup>1</sup> 刘丹英<sup>2</sup>

1 中国铁塔股份有限公司陕西省分公司, 陕西 西安 710075

2 陕西中基项目管理有限公司, 陕西 西安 710075

[摘要] 本文总结了铁塔垂直度检测的多种方法, 便于维护人员、工程管理人员有效及时地进行检测, 对塔桅整体的可靠性进行判定, 为通信铁塔的使用和改造提供安全依据。

[关键词] 垂直度; 检测; 偏移

DOI: 10.33142/sca.v6i10.10223

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

## Measurement Method for Verticality of Communication Tower

YUAN Xiaohui<sup>1</sup>, LIU Danying<sup>2</sup>

1 Shaanxi Branch of China Tower Corporation, Xi'an, Shaanxi, 710075, China

2 Shaanxi Zhongji Project Management Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710075, China

**Abstract:** This article summarizes various methods for detecting the verticality of iron towers, which are convenient for maintenance personnel and engineering management personnel to conduct effective and timely inspections, judge the overall reliability of the tower and mast, and provide a safety basis for the use and renovation of communication iron towers.

**Keywords:** verticality; detection; deviation

### 引言

通信铁塔为高耸结构, 主构件为钢管或角钢等, 抗拉、抗压能力强, 抗剪、抗弯能力较弱。塔身高宽比较大, 轻微的水平偏斜就会产生很大的 P- $\Delta$  效应, 铁塔的倾斜是铁塔主要安全隐患之一, 未及时处理的情况下, 轻则导致基站停服, 重则发生安全事故。判断铁塔塔体是否倾斜、偏移, 科学合理的检测手段很重要, 本文对铁塔垂直度检测从基层工作出发总结了多种方法供实际工作应用。

### 1 一般规定

根据《移动通信钢塔桅结构工程验收规范》YDT 5123-2021 规定, 自立式塔架塔身中心垂直倾斜不得大于全塔高度的 1/1500; 单管塔中心垂直倾斜不得大于全塔高度的 1/750, 桅杆中心垂直倾斜不得大于全塔高度的 1/1500。

### 2 通信铁塔垂直度检测方法

目前常用的通信铁塔垂直度检测方法主要有经纬仪检测法、吊线锤检测法、激光垂准仪检测法等, 都是借助仪器、器具对塔体的垂直度进行测试, 判断塔体是否有偏移。

#### 2.1 经纬仪(全站仪)检测法

本方法实用性强, 精度高, 适用于常见通信铁塔(角钢塔、三管塔、四管塔、单管塔、拉线塔等)的垂直度的检测, 也是目前使用最广泛的测量方法。

需要准备工具有: 经纬仪或全站仪、地质罗盘、塔尺、钢直尺。

经纬仪检测法的主要步骤包括: 选择地形、安置仪器、

调平、对中、清晰度调整、测量等。

(1) 选择地形。选择的地势应该开阔平坦, 视野开阔, 被测目标前无遮挡物; 距离塔体 1.5 倍塔高距离; 采用经纬仪或全站仪在两个互相垂直的方向进行测量, 观测点选择(如下图所示)。

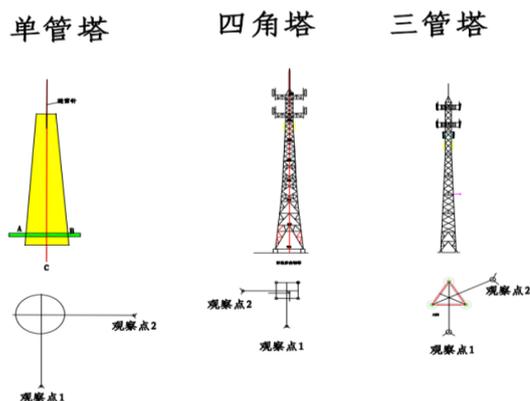


图1 观测点示意图

(2) 安置仪器。安置三角架于地势平坦的区域, 使三角架的平面基本保持水平, 无明显的高低差。观测高度需与视线平齐方便观察, 调节螺栓不可强制拧紧。

一手握住仪器的照准部, 一手握住三角基座, 将仪器轻轻地固定在三角架顶部, 转动中心固定螺旋, 再转动脚螺旋, 使圆形水泡居中, 将仪器在三角架上小心地移动, 对准被测站点后拧紧中心固定螺旋。

(3) 调平。调平仪器底座, 先使用调节螺旋将圆形

水平镜粗调至水平基本居中。再用调节螺旋细调：调节螺旋应和水泡方向对应，即同时向内或同时向外调，直至长型水泡居中，左右调好后转 120°，再调另一只螺旋，直至长型水泡居中。返回后再调，直至长水泡在各个方向都居中。

(4) 对中。照准部对准大目标，使镜头上方瞄准器与铁塔同一直线，锁紧制动，然后看望远镜对焦调整，直至目镜能清晰可见十字丝。

(5) 清晰度调整。根据自身视力及测距的情况，使用望远镜上的调节器将望远镜筒的清晰度进行调整，直至清晰可见被测物为止。

(6) 测量。以单管塔为例：在塔体底部拉一条米尺，米尺与测量者和塔体构成的直线垂直；将仪器粗瞄准器对准塔体避雷针，在目镜中观察是否约在中间位置，然后拧水平制动螺旋固定经纬仪；反复轻调水平微动螺旋，观察目镜，使目镜中十字丝与避雷针底座法兰盘中间位置重合；垂直方向调整目镜，直至看清塔体下方米尺，记录此时十字丝在米尺上的读数(C 值)，然后调整目镜位置，记录 A、B 两点的数值。若塔体未倾斜，则  $LAC=LBC$ ，反之则塔体倾斜， $C-(A+B)/2$  的值为塔体在某一方向的垂直偏差值。

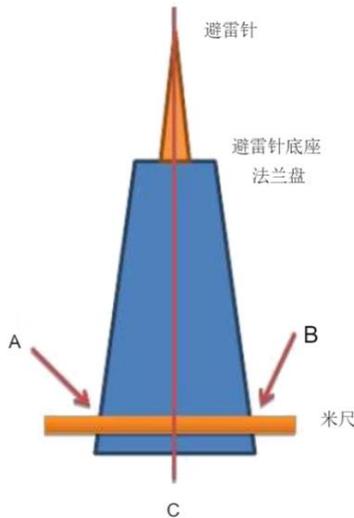


图 2 单管塔测量示意图

在与之前测量成 90° 方向的位置再次测量，计算得出另一个方向的垂直偏差值。

塔体整体垂直偏差值等于两个方向垂直偏差的平方根的值。

计算公式：两个方位偏差数的均方根为该塔整体垂直度偏离值 c。

截面为正方形的塔正交面计算公式：  
$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2.1-1)$$

截面为三角形塔两个面测量计算公式：  
$$= \sqrt{\frac{4}{3}(a^2 + b^2 - 2ab \cos C)} \quad (C \text{ 为 } 60^\circ \text{ 或 } 120^\circ) \quad (2.1-2)$$

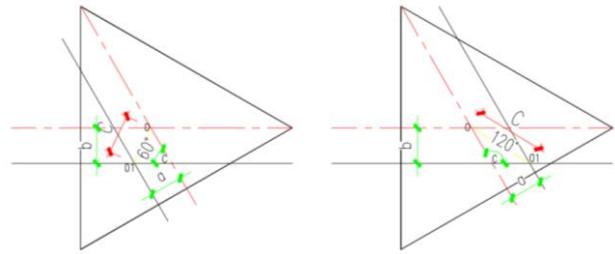


图 3 三角塔偏移计算示意图

测量示例：

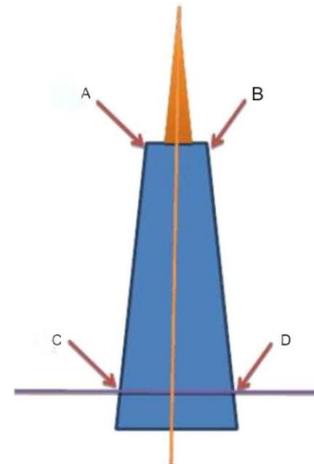


图 4 角度测量法示意图

实测 A、B、C、D 四点的水平角度值分别为： $300^\circ 20' 0''$ ， $300^\circ 3' 30''$ ， $300^\circ 32' 0''$ ， $299^\circ 56' 0''$ 。已知该站避雷针法兰盘直径为 370mm。由上可知： $\angle A - \angle B = 300^\circ 20' 0'' - 300^\circ 3' 30'' = 16' 30'' = 16.5'$

∴当水平角度差为 16.5' 时，长度偏差为 370mm。

又 ∵  $(\angle A + \angle B) / 2 = (300^\circ 20' 0'' + 300^\circ 3' 30'') / 2 = 300^\circ 11' 45''$

$(\angle C + \angle D) / 2 = (300^\circ 32' 0'' + 299^\circ 56' 0'') / 2 = 300^\circ 14' 0''$

∴  $(\angle C + \angle D) / 2 - (\angle A + \angle B) / 2 = 2' 15'' = 2.25'$

设垂直度偏差值为 X，

∴  $370 / 16.5 = X / 2.25$

∴  $X = 2.25 * 370 / 10.5 = 50.5 \text{ mm}$

(7) 仪器使用要点。经纬仪超过检定有效期、遭受严重撞击或其他损害应送检定单位检定；在小于 2 级风、光线良好无日光照射的情况下进行测试；避免剧烈振动，运输时应放在驾驶室内使用时应保持整洁，不要戴脏手套，取或放时要用双手托住底座。

不可将仪器装在三角架上长距离背着走注意防潮，如遇水淋、受潮应凉干、擦净后才可装箱放置正确，不能盲目放入箱内，箱盖不合应检查仪器放置是否正确。

## 2.2 吊线锤检测法

检测步骤包括：选择地形、安置工具、测量、计算。

(1) 选择地形。选择的地势应该开阔平坦，视野开阔，被测目标前无遮挡物；距离塔体一倍塔高距离；

(2) 安置工具。安置三角架（木杆、竹竿或其他支撑杆），将带有细线（直径1毫米以内且不能为白色）的吊锤固定在高出测试员头顶的位置。

(3) 测量。待吊锤不再摆动时，一只眼睛通过吊线对准铁塔，调整目光位置，使其吊线与塔底部中心位置重合，缓慢抬头沿吊线看到塔顶，观测塔顶偏离吊线在塔上的投影距离，依据塔顶部的主体直径、避雷针、抱杆及其他已知构件的宽度，用实物比较法估算出被测铁塔顶部偏离中心的距离，即某方位的偏差值  $a$ （测量方位可用指南针获得）。移动吊锤到铁塔的另一正交位置，用同样的方法步骤测出另一方位的偏差数  $b$ 。

(4) 计算。计算参考公式 2.1-1、2.1-2。

(5) 操作要点

- a. 吊锤选购标准吊线锤，吊线和吊锤比例匹配；
- b. 吊锤固定位置要能看到整个铁塔；
- c. 吊线下部要与塔体中心重合；
- d. 吊线应处自然垂吊的静止状态；
- e. 晴朗无风的天气测量；
- f. 需要提前了解参照物主体直径、避雷针、抱杆及其他已知构件的宽度。

### 2.3 激光垂准仪检测法

(1) 安置仪器

脚架高度适中，稳固。根据自身身高调节，直至望远镜目镜大致与人眼等高。

(2) 对中

三角架对中要求：三角架高度适中，架头改平，大致对中，稳固可靠。

激光垂准仪对中：打开对点激光开关，调节对点调焦手轮，使激光聚焦被测站点上。

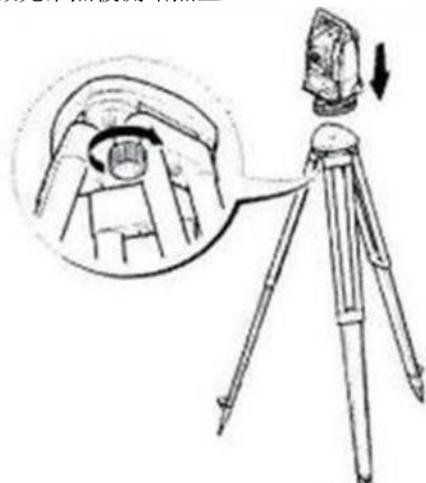


图5 三角架对中示意图

(3) 整平

三角架整平：转动照准部使管水准轴与所选两个脚腿支点地面连线水平，升降一个腿脚使管水准器气泡居中；转动照准部使管水准轴转动  $90^\circ$ ，升降第三个脚腿使管水准器气泡居中，多重复一两次，直至所有气泡全部居中。

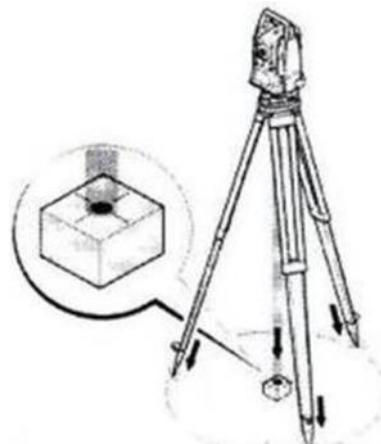


图6 三角架整平示意图

精确整平：转动照准部使管水准轴与所选两个脚螺旋中心连线平行，相对转动两个脚螺旋使管水准器气泡居中；将照准部转动  $90^\circ$ ，转动第三个脚螺旋使管水准器气泡居中；重复以上步骤直至使水准器气泡精确居中。

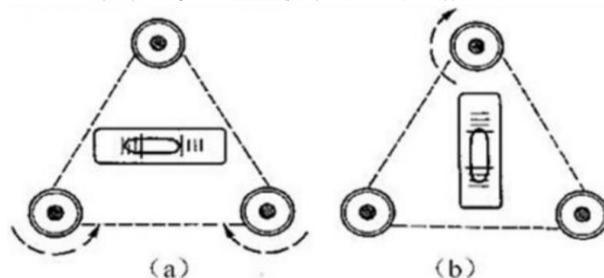


图7 精确整平示意图

(4) 测量

打开垂准激光开关，会有一束激光从望远镜中射出，并聚焦在激光靶上，激光从光斑中心处到塔顶中心的距离即为观测值。在与之前测量成  $90^\circ$  方向的位置再次测量，读出另一个方向的观测值。即可通过计算得出整塔的垂直度偏差值。

### 2.4 手机检测法

随着社会进步，科技的不断发展，除了以上介绍的常用方法之外，出现了会有一些新的检手段比如说手机检测法。该方法将手机置于与地面平行，利用手机上指南针软件，选取一个绝对笔直的物体作为参照物立于指南针中心位置，保证选取物体与手机绝对垂直后对准被测站点，根据目测可观察塔体是否倾斜。

### 3 结语

通过实践综合比较以上几种检测方法，总结应用情况如下：

**表 1 检测方法对比表**

检查方法	适用塔型	优点	缺点	精确度
吊锤检测法	单管塔、拉线桅杆、快装站等单体式铁塔	工具简单易携带, 操作简单, 可估算	不适用三管塔、角钢塔等多边型桁架式铁塔; 不能精确读数	高
仪器检测法	所有塔型	精确度高, 可量化, 适合所有塔型	仪器不能随身携带、对测量场地要求较高	精确
激光垂准仪	三管塔、角钢塔等多边型桁架式铁塔	仪器较轻便, 较易携带, 操作较为简单	不适用单管塔、拉线桅杆、快装站单体式铁塔。	精确
手机辅助法	所有塔型	不用携带仪器上站, 操作简单	误差大, 无法得出垂直度偏差值, 只能大致判断塔体是否倾斜, 不可量化	一般

**[参考文献]**

- [1] YD/T5132-2021, 移动通信工程钢塔桅结构验收规范[S]. 中华人民共和国工业和信息化部发布.
- [2] 沈之容, 倪阳, 徐华刚. 钢结构单管通信塔自振基本周期的研究[J]. 特种结构, 2008, 25(2): 3.
- [3] 蹇峡. 铁路通信铁塔监测系统信息采集技术研究[J]. 中国新技术新产品, 2019(20): 29-31.
- [4] 刘军保. 经纬仪投影法测量铁塔倾斜度误差分析[J]. 中南七省. 中国电机工程学会, 2002(3): 105.
- [5] 张帆, 张阳, 屠海明等. 平台式通信单管塔体形系数风洞试验研究[J]. 特种结构, 2020, 37(5): 44-47.
- 作者简介: 袁晓辉(1986.12—), 男, 宁夏理工学院, 机械工程自动化, 中国铁塔股份有限公司陕西省分公司, 部门主管, 工程师; 刘丹英(1973.8—), 女, 西北大学, 工商管理硕士(MBA); 现为陕西中基项目管理有限公司综合部主任, 中级通信工程师。