

# 利用全站仪直线放样功能测量定线的精度分析

何英伟<sup>1</sup>, 刘飞<sup>2</sup>, 曹军奇<sup>1</sup>, 徐思睿<sup>1</sup>

(1. 中国人民武装警察部队黄金第十一支队, 湖南 宁乡 410600; 2. 武汉大学遥感学院, 湖北 武汉 430212)

**[摘要]** 针对测量定线过程中出现的问题, 介绍了全站仪直线放样功能用于测量定线的基本原理, 并对测线上的特点和整条测线进行了精度分析。为了提高测线精度, 提出了依据实地观测条件, 分别在各测线段引入转点分段测量的方法。

**[关键词]** 全站仪; 直线放样; 定线; 分段测量; 精度分析

**[中图分类号]** P258

**[文献标识码]** B

**[文章编号]** 1007-3000(2010)04-4

在许多水电勘测项目、道路施工、地质剖面测量等工作中, 经常涉及到对测线或路线的定向工作, 在地形起伏不大、通视条件良好的地区, 通常方法是在已知控制点设站使用全站仪坐标放样功能或经纬仪解析交会法在实地放样出测线或路线的某一点, 然后将全站仪或经纬仪架设在端点上瞄准另一端点, 直接在测线上选定测量控制点的位置, 并以木桩标记, 逐步向前搬站完成整条测线的定线工作。如果地形起伏较大, 通视条件不好的地区, 应在图上沿测线设计控制点的位置, 并依据设计坐标, 按极坐标法或解析交会法进行测设。但实际上, 特别在山高林密的山区, 植被较厚, 通视条件非常不理想, 同时地形起伏较大, 使用上述方法效果并不理想, 其效率和精度很低, 人力付出较大, 而且在测线上定点过程中需要人为参与计算, 其成果出错的可能性较大。

如果有一种方法可以把控制点引到测线上的任意位置定点, 然后由此点作为转点或测线的控制点开始测线的测设工作, 而且测线可以分为连接的多段直线, 根据地形条件和与控制点通视情况分别引入转点分段进行测量, 这样将大大提高测量定线的工作效率和精度。全站仪直线放样测量可以用于求取所测点相对于确定基线的水平距离和垂直距离, 如果把待测测线本身定义为基线, 把直线放样的偏距值设置为“0”, 则直线放样功能可以应用于测线的定线工作。

## 1 直线放样功能测量定线原理

其应用原理如图1,

首先取测线I的起始点和终点作为基线的起算点, 定义为点P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>, 一般以测线的两端点作为基线的起始点和终点参与计算, 理论上测线上的任意两已知点都可作为起始点和终点定义基线, P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>两点坐标可从大比例尺的地形图上量取, 也可以由甲方给予。

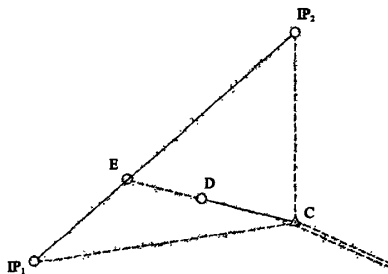


图1 直线放样功能定点原理

要由已知测量点C把测量控制点引入测线上, 首先在已知测量控制点C设站, 在测线附近与C点通视的任一位置设置棱镜, 此点设为D, 旋转仪器照准棱镜进行测量, 得到CD间的距离, 方位角和垂直角以及D点的坐标和高程。对已知点P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>和P<sub>1</sub>、C点进行坐标反算, 可得P<sub>1</sub>、C间的距离设为S<sub>P1C</sub>, 并由P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>和P<sub>1</sub>、C的方位角计算出基线和P<sub>1</sub>、C的延长线(即棱镜与测站的连线)和以P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>两点作为起始点和终点的测线I交点为E, 则交点E就是所两线的夹角, 设为∠B。由C、D两点坐标反算出C、D两点的距离S<sub>CD</sub>和方位角α<sub>DC</sub>, 设C、D两点连线要测定出在测线I上的转点。

由P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>的方位角和DC的方位角得夹角:

$$\angle P_2EC = \alpha_{DC} - \alpha_{P_1P_2} = \alpha_{DC} - \alpha_{P_1P_2} \quad (1)$$

$$\text{则, } \angle P_2EC = 180^\circ - (\alpha_{DC} - \alpha_{P_1P_2}) = 180^\circ - \alpha_{DC} + \alpha_{P_1P_2} \quad (2)$$

在三角形△P<sub>1</sub>CE中, 由正弦定理得以下列式:

$$\frac{S_{P_1C}}{\sin \angle P_1EC} = \frac{S_{CE}}{\sin \angle B} \quad (3)$$

$$\text{则, } S_{CE} = \frac{S_{P_1C} \sin \angle B}{\sin \angle P_1EC} = \frac{S_{P_1C} \sin \angle B}{\sin(180^\circ - \alpha_{DC} + \alpha_{P_1P_2})} \quad (4)$$

**[收稿日期]** 2010-04-23

**[作者简介]** 何英伟(1982—), 男, 汉族, 江西进贤人, 工程师, 学士, 研究方向为地质工程测量。

$$\text{得: } S_{DE} = S_{CD} - S_{CE} \quad (5)$$

这样就求出了在与测站的连线上,测量点D到测线的距离 $S_{DE}$ ,当 $S_{DE}$ 为正值,表示在与主站的连线上,棱镜要向靠近测站的方向移动 $S_{DE}$ 米到测线;当 $S_{DE}$ 为负值,表示在与主站的连线上,棱镜要向背离测站的方向移动 $S_{DE}$ 米到测线。

## 2 精度分析

结合全站仪直线放样功能测量定线的作业过程,要对测线进行精度分析,需要分两步进行,首先要对测线上的转点E进行精度分析,然后再对测线I进行整体的精度分析。

### 2.1 转点E的精度分析

假定已知控制测量点C无误差,按照测量误差理论,转点E点的点位中误差可表示为:

$$m_E^2 = m_s^2 \sin^2 Z + S^2 \cos^2 Z m_z^2 / \rho^2 + \left[ \frac{\sin(\alpha_{P_1 P_2} - \alpha_{CD}) - S_{P_1 C} \sin \angle B \cos(\alpha_{P_1 P_2} - \alpha_{CD})}{\sin^2(\alpha_{P_1 P_2} - \alpha_{CD})} \right]^2 \frac{d^2(\alpha_{P_1 P_2} - \alpha_{CD})}{\rho^2} \quad (6)$$

$m_s$ 是 $S_{CD}$ 的测距中误差,则 $m_s = \pm(A + B \times 10^{-6} \times D_{\text{距}})$ ,A为全站仪测距的标称中误差, $B \times 10^{-6} \times D_{\text{距}}$ 为比例误差, $D_{\text{距}}$ 为CD边的测距; $m_z$ 是天顶距测量中误差, $\rho = 206265$ 。式(6)第三项中, $S_{P_1 C}$ 、 $\angle B$ 和基线的方位角 $\alpha_{P_1 P_2}$ 皆可由已知点坐标计算得出, $S_{P_1 C} \sin \angle B$ 表示已知测量点C到测线I垂直距离, $(\alpha_{P_1 P_2} - \alpha_{CD})$ 是DC边和测线I的夹角设为 $\beta$ , $m_\beta$ 是CD边方位角的测角中误差,则:

$$S_{P_1 C} \sin \angle B = S_{CE} \sin(\alpha_{P_1 P_2} - \alpha_{CD}) \quad (7)$$

这样转点E的精度误差公式可简化为:

$$m_E^2 = m_s^2 \sin^2 Z + S^2 \cos^2 Z m_z^2 / \rho^2 + \left[ S_{CE} \frac{\cos \beta}{\sin \beta} \right]^2 m_\beta^2 / \rho^2 \quad (8)$$

由于已经预设棱镜D点在测线I附近设站,考虑到式(8)第三项中分母 $\rho$ 数值巨大,这样 $S_{CD}/\rho$ 和 $S_{CE}/\rho$ 在计算结果差异非常小,所以在误差分析计算中以 $S_{CD}$ 代替 $S_{CE}$ 参与计算,则测线I上转点E的点位精度公式为:

$$m_E^2 = m_s^2 \sin^2 Z + S^2 \cos^2 Z m_z^2 / \rho^2 + \left[ S \sin Z \frac{\cos \beta}{\sin \beta} \right]^2 m_\beta^2 / \rho^2 \quad (9)$$

通过以上分析和式(9)可以看出,转点E的点位误差,主要受CD边的测距误差、天顶距测量误差和水平角测量误差3方面的影响。在式(9)第三项中, $\beta$ 表示DC边和测线I的夹角,其中既有已知量 $\alpha_{P_1 P_2}$ ,又有观测量 $\alpha_{CD}$ ,需要以不同的夹角分别进行精度分析。 $\beta$ 的值一般在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间变化,设 $\cos \beta / \sin \beta$ 为K, $\beta$ 分别取 $10^\circ, 30^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 85^\circ$ 代入进行计算,则

CD边和测线I的不同夹角对水平角测量误差关系影响如表1所示。

表1 夹角 $\beta$ 和K值关系

夹角 $\beta/^\circ$	K值
10	5.671
30	1.732
50	0.839
60	0.577
70	0.364
85	0.087

从表1可以看出,视线CD和测线I的夹角 $\beta$ 小于 $10^\circ$ 时,水平角测量精度很低,对测线精度影响很大,之后影响值迅速变小, $\beta$ 角大于 $50^\circ$ 后,精度提高的幅度越来越小,在 $90^\circ$ 时达到最小值,对测线精度影响为0,所以测量定线过程中,应恰当选择立镜位置,尽可能使得夹角大于 $50^\circ$ ,对保证转点E的测量精度作用明显。由于 $\beta$ 的值一般在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间,而测站点C到测线I一 endpoint P1 的距离SB一般不超过500m,综合各项因素,以夹角为 $60^\circ$ 时的K值( $K = 0.577$ )作为方位角测量误差的基本精度系数代入公式,得转点E的精度普遍公式:

$$m_E^2 = m_s^2 \sin^2 Z + S^2 \cos^2 Z m_z^2 / \rho^2 + (0.577 \times S \sin Z)^2 m_\beta^2 / \rho^2 \quad (10)$$

设全站仪测距误差为 $m_s = \pm(2 + 2 \times 10^{-6} \times D_{\text{距}})$ , $m_z = m_\beta = \pm 2''$ ,天顶距分别取值 $30^\circ, 60^\circ, 85^\circ$ ,则不同误差源对转点E的误差影响,如表2,表3,表4。

表2  $Z = 30^\circ$ 时的计算结果

斜距/m	测距误差影响/mm	天顶距误差影响/mm	水平角误差影响/mm	点位误差/mm
50	1.1	0.4	0.1	1.2
100	1.1	0.8	0.3	1.4
200	1.2	1.7	0.6	2.2
300	1.3	2.5	0.8	2.9
400	1.4	3.4	1.1	3.8
500	2.0	4.2	1.4	4.9

表3  $Z = 60^\circ$ 时的计算结果

斜距/m	测距误差影响/mm	天顶距误差影响/mm	水平角误差影响/mm	点位误差/mm
50	1.8	0.2	0.2	1.8
100	1.9	0.5	0.5	2.0
200	2.1	1.0	1.0	2.5
300	2.3	1.5	1.5	3.1
400	2.4	1.9	1.9	3.6
500	2.6	2.4	2.4	4.3

表4 Z=85°时的计算结果

斜距/m	测距误差 影响/mm	天顶距误差 影响/mm	水平角误差 影响/mm	点位误差 /mm
50	2.1	0.1	0.3	2.1
100	2.2	0.1	0.6	2.3
200	2.4	0.2	1.1	2.6
300	2.6	0.3	1.7	3.1
400	2.8	0.3	2.2	3.6
500	3.0	0.4	2.8	4.1

转点E的点位精度,在CD间的斜距小于300m时,随着天顶距的增大,其精度越来越低;当斜距大于300m时,随着天顶距的增大,点位精度越来越高。

距离测量误差主要受仪器测量精度的限制,在天顶距较小时,测距误差的影响较小,随着天顶距的增大,其误差影响也随之增大。天顶距的测量误差主要受仪器的测量精度和大气垂直折光的影响,该影响在天顶距较小,其误差影响十分明显,而随着天顶距越来越大,其误差影响随之变小,当天顶距为60°时,天顶距测量误差影响和水平角测量误差影响相当。水平角的测量误差主要受测量过程、外界误差、仪器误差的影响,在天顶距较小时,其误差影响非常小,随着天顶距增大,水平角测量误差随之增大,然而其变化值并不明显。测量过程的误差影响主要是照准误差,照准误差受外界条件的影响很大,所以应该选择在有利的观测时间进行测量;外界条件的影响主要通过输入实时的气象参数(温度和气压),由仪器自动进行气象改正来减小大气流动和大气密度变化对精度的影响;仪器误差一般都可以通过一定的测量操作步骤来抵消或减小其误差的影响。因此,对于水平角的测量误差,选择有利的观测时间和严格按照测量操作程序进行测量作业是提高水平角测量精度的有效途径。

2.2 测线I精度分析

由于测线I的两端点是必放样点,通常的定线方法是在测线某一端点设站,沿测线I方向通过搬点移站法逐步向前完成整个测线的定线工作。一般而言,测线上各导线边长度大致相等,这样可以把测线作为直伸附和导线看待,以直伸附和导线的精度最弱点的中误差作为判定测线最弱点(测线中点)的点位精度,其点位中误差公式为:

$$m_k = \pm \sqrt{m^2_{\text{起}} + \frac{1}{4}m_s^2 + \frac{1}{32}(\frac{m_{\text{起}} \cdot s}{\rho})^2 + (\frac{m_{\text{起}} \cdot s}{\rho})^2 \frac{n+6}{172}} \quad (11)$$

采用索佳SET210K全站仪进行测量,标称测角精度为2",标称测距精度为2mm,假定某条测线总长为700m。 $m_{\text{起}}$ 的精度为2mm,采用搬点移站法从该测线一端点开始施测,各导线边大致为100m,可以判定测

线中点位置的点位精度最弱,把各项数据带入式(12),得:

$$m_k = \pm 3.1mm \quad (12)$$

采用直线放样法在测线上分段测量,假定在测线上引入三个转点H,M,Q,大致位置在离一端点的距离为150m,350m,550m处,设此三点都从相同精度的控制点引入测线,则测线精度最低的点位于HM,MQ两线段的中点,其点位中误差为:

$$m_{\text{弱}} = \pm 2.3mm \quad (13)$$

为了对这两种不同的测量方法的精度进行分析和评定,通过实地测量分别使用搬点移站法和全站仪直线放样法对同一测线进行测量。以部队普查项目曲溪金矿区317号勘探线的地质剖面测量为例,317号勘探线全长700m,其方位角为310°,起始点P<sub>1</sub>平面坐标为(3180411.011,504291.924),终点P<sub>2</sub>平面坐标为(3180860.962,503755.693),测线外已知测量控制点A4(3180426.466,504027.966),N<sub>1</sub>(3180691.163,503518.148)。

①搬点移站法:以控制点A4作为后视,在控制点N<sub>1</sub>设站,放样出勘探线终点P<sub>2</sub>的坐标后,移站到P<sub>2</sub>点设站,照准130°方向上每隔100m设站,即在离端点100m,200m,300m处分别设站,测量出测线中点坐标为(3180635.992,504023.802),其理论值为(3180635.986,504023.809),则317号勘探线点位精度最弱点的点位中误差为:

$$m_k = \pm 9.2mm \quad (14)$$

②直线放样法:依据实测地形和观测条件,以控制点N<sub>1</sub>为后视,在控制点A4设站,离起点距离为311.475m,493.671m处引入转点,设为H和M,其中H,M坐标分别为H(3180611.224,504053.321),M(3180728.338,503913.752)。在H点设站,测距最远的点就是精度最弱点,其距H点平距为182.648的点,坐标为(3180728.630,503913.406),其理论值为(3180728.627,503913.404),则317号勘探线点位精度最弱点的点位中误差为:

$$m_{\text{弱}} = \pm 3.6mm \quad (15)$$

3 结论

通过本文分析和实际测量作业的验证,得到以下结论:

1)使用全站仪直线放样法测量定线,仪器操作简单、布点灵活,各项数据通过全站仪内置程序自动运算,测线定点的速度快,不涉及到任何手工计算。和通常测量定线方法相比,工作效率提高一半以上。

2)测线上转点的点位精度主要受观测边的测距误差、天顶距测量误差和水平角测量误差3方面的影

响。在测距小于 300m 时,随着天顶距的增大,其精度越来越低;当测距大于 300m,随着天顶距的增大,点位精度越来越高,这一特性对在观测条件不佳、地形起伏大的测区进行测量定线作业极为有利。在仪器测距标称精度为 $\pm 2\text{mm}$ ,测角标称精度为 $\pm 2''$ ,测距小于 500m 情况下,其点位中误差不会超过 5mm。

3)对整条测线而言,根据实地观测条件,采用分段测量分别使用不同的方法从测量控制点引入测线上的转点,能大大减少了线上转点和在测线上的设站次数,提高工作效率和测量精度,减少人力付出,在仪器测距标称精度为 $\pm 2\text{mm}$ ,测角标称精度为 $\pm 2''$ ,测线长 700m,引入 2 个转点的情况下,使用全站仪直线放样功能测量定线的测线精度是使用通常方法的近 3 倍。

### 参考文献

- [1] 何英伟,曹军奇,闵芳晖.全站仪直线放样功能在地质剖面测量中的应用[J].北京:中国科技信息,2009(2): 56-57.
- [2] 武汉测绘科技大学《测量学》编写组.测量学[M].北京:测绘出版社,1997:229-233.
- [3] 武汉测绘学院工程测量编写组.工程测量[M].北京:测绘出版社,2000:51-55.
- [4] 岳建平,高永刚,谢波等.利用全站仪极坐标法放样桥梁高塔柱的精度分析[J].北京:测绘通报,2005(8): 39-41.
- [5] 钟正强,吴国忠.边角后方交会与公路路线测设[J].湖南:中南公路工程,2003(3):26-28.

## Precision Analysis of Total Station Line Sampling Function in Setting out Straight Alignment

HE Ying-Wei<sup>1</sup>, LIU Fei<sup>2</sup>, CAO Jun-Qi<sup>1</sup>, XU Si-Rui<sup>1</sup>

(1. NO.11 Detachment of General Gold Party, Chinese People's Armed Police Force, Hunan Ningxiang 410600; 2. Remote Sensing College of Wuhan University, Wuhan Hubei 430212, China)

**Abstract:** In accordance with some problems appeared frequently in setting out straight alignment, Introduced the basic principle and method of Total Station line sampling function used to measuring alignment, Done the accuracy analysis for the transfer point on the measuring line and the entire survey line, in order to improve the accuracy of survey lines, proposed conditions based on field observations, segments were measured in each section to introduce transfer point measurement method.

**Key words:** total Station; line setting out; alignment; section measurement; precision analysis

(上接第 34 页)

- [2] 宋会传,张爱娟,耿丽艳等.航空摄影测量大比例尺地图籍图工艺方法的探讨[J].矿山测量,2008,(1):16-18.
- [3] 郭光锐.GDCORS 在某区像控测量中的应用[J].地理空间信息,2009,7(5):98-101.
- [4] 王佩军,李宏.航测大比例尺数字化测图中的若干问题[J].测绘信息与工程,2001,(1):7-10.
- [5] 杨泽运,康家银,赵广东.利用 Quick Bird 全色遥感影像更新城市大比例尺地形图[J].测绘工程,2005,14(2): 29-31.
- [6] 刘景波,王承志,郭德华.利用 Quick Bird 影像制作 1:2000 地形图的探讨[J].测绘与空间地理信息,2008,31(2):111-112.
- [7] 朱国峰.连续运行 GPS 定位服务系统的探讨[J].测绘与空间地理信息,2008,31(2):108-110.
- [8] 谢士杰.南京市大比例尺地形图的动态更新和维护研究[J].测绘通报,2008,(1):46-49.

## Discussion on Update of Large Scale Topographical Map

ZHANG Jian-hui<sup>1</sup>, CHEN Jing-xin<sup>1</sup>, LUO Yong-xian<sup>2</sup>

(1. Qiqihar Mineral Exploration and Develepment General Institute of Heilongjiang Province, qiqihar 161006, China; 2. The Third Institute and Mineral Exploration of GanSu Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** In recent years, since the topographical map update rate is fall behind the quickly growth of urban development, it is necessary to study update of large scale topographical map. This paper focuses on map update methods such as digital photogrammetry, high-resolution remote sensing image, digital mapping and utilizing other project's data. This article also probes into the update cycle of the large scale topographical map.

**Key words:** large scale topographical map; digital photogrammetry; digital mapping; high-resolution remote sensing image; dynamic update