

Polygonal Chain

—Calculation Examples of Closed Conductors and Error Reduction Methods

Lei Hu

China Railway Twenty-Four Bureau Nanchang Company, Nanchang Jiangxi
Email: 821378321@qq.com

Received: Feb. 24th, 2019; accepted: Mar. 10th, 2019; published: Mar. 18th, 2019

Abstract

Conductor layout has strong mobility and flexibility, suitable for small area plane control survey. Adjacent two control points are connected with a straight line, the overall form of broken line, known as the conductor; among them, the control point is called traverse point. Traverse measurement is to determine the side length of each traverse and the angle of each turning angle. From the starting data, the coordinate azimuth of each edge is calculated in turn, so as to obtain the coordinates of the unknown points of each traverse.

Keywords

Azimuth, Closure, Total Station, Turning Angle

导线测量

——闭合导线计算实例及误差减小方法

胡 磊

中铁二十四局南昌铁路工程有限公司, 江西 南昌
Email: 821378321@qq.com

收稿日期: 2019年2月24日; 录用日期: 2019年3月10日; 发布日期: 2019年3月18日

摘 要

导线布设具有较强的机动性和灵活性, 适用于小地区平面控制测量。相邻两控制点依次用直线连接起来, 总体构成折线形式, 称为导线; 其中的控制点称为导线点。导线测量是通过对各导线边的边长和各转折角的角度测定, 由起算数据, 依次推算出各边的坐标方位角, 从而求出各导线未知点的坐标。

关键词

方位角, 闭合差, 全站仪, 转折角

Copyright © 2019 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

导线测量是现场技术人员必须掌握的一项技能, 它简单却繁琐。外业方面它涉及不到高深的技术问题, 内业方面也没有高难度的理论计算; 它最重要的一个难点在于测量人员的责任心强度和细心程度。

2. 导线的布设形式

导线从一已知控制点 A 出发, 经过多个未知控制点后仍回到该已知控制点 A 所形成的导线称为闭合导线。闭合导线可以从角度和距离两个方面进行误差分析, 客观上对于观测成果具有严密的检核作用。适用于隧道洞内外以及高等级平面控制测量。

导线从一已知控制点 A 出发, 经过多个未知控制点后, 最终附合到另一已知控制点 B, 称为附合导线。附合导线和闭合导线一样能从角度和距离两个方面判定观测成果是否满足精度等级要求。适用于已知控制点多、精度要求高的平面控制测量。

导线从一已知控制点 A 出发, 经过多个未知控制点, 最终既不回到 A 点, 也不附合到另一已知控制点, 称为支导线。支导线没有检核条件, 测量中出现错误概率大, 测量成果的准确性无从保证, 一般不宜采用。

3. 导线测量的等级及技术

导线及导线网依次可分为三、四等和一、二、三级, 其主要技术要求如表 1~4。

Table 1. Main technical requirements for road traverse measurement [1]

表 1. 公路导线测量的主要技术要求表[1]

等级	导线长度 (km)	测角中误差 (")	测距中误差 (mm)	测回数			方位角闭合差 (")	导线全长相对闭合差
				J1	J2	J3		
三等	≤18	1.8	14	6	10	/	$3.6\sqrt{n}$	≤1/52,000
四等	≤12	2.5	10	4	6	/	$5\sqrt{n}$	≤1/35,000
一级	≤6	5	14	/	2	4	$10\sqrt{n}$	≤1/17,000
二级	≤3.6	8	11	/	1	3	$16\sqrt{n}$	≤1/11,000

Table 2. Main technical requirements for high-speed rail wire measurement [2]
表 2. 高铁导线测量的主要技术要求表[2]

等级	测角中误差 (")	测距相对中误差 (mm)	测回数			方位角闭合差 (")	导线全长相对闭合差
			J0.5	J1	J2		
二等	1	1/250,000	6	9	/	$2.0\sqrt{n}$	$\leq 1/100,000$
隧道二等	1.3	1/250,000	6	9	/	$2.6\sqrt{n}$	$\leq 1/100,000$
三等	1.8	1/150,000	4	6	10	$3.6\sqrt{n}$	$\leq 1/55,000$
四等	2.5	1/80,000	3	4	6	$5.0\sqrt{n}$	$\leq 1/40,000$
一级	4	1/40,000	/	2	2	$8.0\sqrt{n}$	$\leq 1/20,000$
二级	7.5	1/20,000	/	1	1	$15\sqrt{n}$	$\leq 1/12,000$

Table 3. Major technical requirements for angle measurement (High speed rail, Highways) [1]
表 3. 测角的主要技术要求表(高铁、公路) [1]

等级	仪器等级	半测回归零差	一测回内 2C 互差	同方向各测回互差
四等及以上	0.5"级	4"	8"	4"
	1"级	6"	9"	6"
	2"级	8"	13"	9"
一级	2"级	12"	18"	12"

Table 4. Technical requirements for side length measurement (High speed rail) [2]
表 4. 边长测量的技术要求(高铁) [2]

等级	测回数	一测回读数较差限值	测回间较差限值	往返观测平距较差限值
二等	往返各 4			
三等	往返各 2	2 mm (5 mm)	3 mm (7 mm)	$\leq 2 m_D$
四等	往返各 2			

4. 工作

4.1. 外业工作

1) 踏勘选点：点位要选定在土质坚实、视野开阔、便于加密和扩展的位置，要符合点位选取的相关规定。

2) 转折角测量和记录：

现场测量转折角多使用全站仪；

测量前保证测量仪器符合精度要求并检定合格，测量时根据测量环境修改全站仪内温度和气压值；

测角时必须统一测一个方向的角度，即全部测左角或者全部测右角(闭合导线应测多边形的内角)；
根据仪器精度和导线精度要求确定测回数；
测角记录时要计算测量角度值是否满足水平角观测法的技术要求，不满足时要重新测量。

3) 导线边长测量和记录：

现场测量导线边长多使用全站仪，一级以下也可以采用普通钢尺量距；
测量前保证测量仪器符合精度要求并检定合格，测量时根据测量环境修改全站仪内温度和气压值；
根据仪器精度和导线精度要求确定测回数；
测边记录时要计算测量边长值是否满足边长测量技术要求，不满足时要重新测量。

4.2. 内业工作

- 1) 角度闭合差的计算及转折角的调整；
- 2) 坐标方位角的计算；
- 3) 导线点坐标增量闭合差的计算及调整；
- 4) 各导线点坐标的计算。

5. 实例

以重庆铁路枢纽东环线项目经理部罗家坝隧道进口洞内控制点加密为例。

5.1. 工作准备

1) 洞内加密控制点由 DNJK01-DNJK05 共计 5 个，按照选点、布点的相关要求选取和埋设，示意图如图 1。

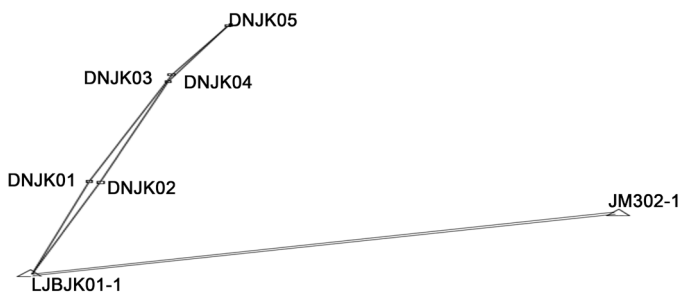


Figure 1. Traverse point layout diagram
图 1. 导线点布设示意图

- 2) 采用四等闭合导线方式进行平面控制测量，仪器采用检定合格的 TS09Plus1"级全站仪。
- 3) 测量人员 4 个，相关测量设备若干。
- 4) 隧道内无作业，测量环境良好。

5.2. 外业工作

- 1) 全站仪内温度和气压值已根据现场量测值改正；
- 2) 角度测量：记录结果满足半测回归零差 6"内、一测回内 2C 互差 9"内、同方向各测回互差 6"内、2C 差 18"内；
- 3) 边长测量满足边长测量的技术要求；
- 4) 整理好的原始数据如图 2。

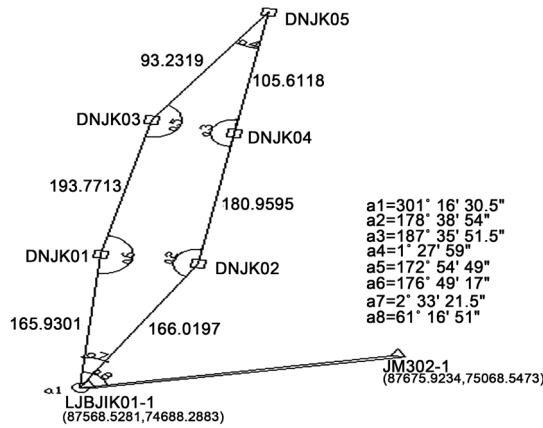


Figure 2. Traverse diagram (including raw data)
图 2. 导线示意图(含原始数据)

5.3. 内业工作

1) 角度闭合差的计算及转折角的调整

多边形理论内角和为: $\Sigma f_{a理} = (n - 2) * 180^\circ = 720^\circ$ (n 为多边形边数);

多边形测量内角和为: $\Sigma f_{a测} = a_2 + a_7 = 720^\circ 00' 12''$;

角度闭合差: $f_a = \Sigma f_{a测} - \Sigma f_{a理} = 12''$;

角度允许最大闭合差: $f_{a允} = \pm 5\sqrt{n} = 12.2474''$ (n 为测站数) $f\beta < f\beta允$ 满足角度闭合差要求;

闭合差分配: $V_i = -f_a/n = 12''/7 = -1.71''$ (n 为包括连接角在内的导线转折角数);

改正后的导线转折角计算: $a_{改} = a_{测} + V_i$ 依次得出改正后的角度如下:

$a_1 = 301^\circ 16' 28.79''$ $a_2 = 178^\circ 38' 52.29''$ $a_3 = 187^\circ 35' 49.79''$
 $a_4 = 1^\circ 27' 57.29''$ $a_5 = 172^\circ 54' 47.29''$ $a_6 = 176^\circ 49' 16.29''$
 $a_8 = 61^\circ 16' 49.29''$

2) 坐标方位角的计算

起始边 JM302-1 至 LBJJK01-1 方位角: $\beta_8 = \arctan(74688.2883 - 75068.5473 / 87568.5281 - 87675.9234)$
 $= 254^\circ 13' 44''$

由 $\beta_{前} = \beta_{后} + a_{左} - 180^\circ$ 依次求得各导线边的方位角如下:

LBJJK01-11 至 DNJK02: $\beta_1 = 15^\circ 30' 12.8''$

DNJK02 至 DNJK04: $\beta_2 = 14^\circ 9' 5.1''$

DNJK04 至 DNJK05: $\beta_3 = 21^\circ 44' 54.9''$

DNJK05 至 DNJK03: $\beta_4 = 203^\circ 12' 52.2''$

DNJK03 至 DNJK01: $\beta_5 = 196^\circ 7' 39.4''$

DNJK01 至 LBJJK01-1: $\beta_6 = 192^\circ 56' 54.7''$

LBJJK01-1 至 JM302-1: $\beta_7 = 74^\circ 13' 44''$

$\beta_7 + 360^\circ - \beta_8 = 180^\circ$

3) 导线点坐标增量闭合差的计算及调整

由 $\Delta x = D * \cos\beta$, $\Delta Y = D * \sin\beta$ 依次求得坐标增量如下:

LBJJK01-11 至 DNJK02: $\Delta x_1 = 159.979$; $\Delta Y_1 = 44.377$

DNJK02 至 DNJK04: $\Delta x_2 = 175.468$; $\Delta Y_2 = 44.242$

DNJK04 至 DNJK05: $\Delta x_3 = 98.094$; $\Delta Y_3 = 39.133$

DNJK05 至 DNJK03: $\Delta x_4 = -85.683$; $\Delta Y_4 = -36.75$

DNJK03 至 DNJK01: $\Delta x_5 = -186.145$; $\Delta Y_5 = -53.825$

DNJK01 至 LJBK01-1: $\Delta x_6 = -161.711$; $\Delta Y_6 = -37.181$

$\sum \Delta x_{\text{测}} = 0.002$; $\sum \Delta Y_{\text{测}} = 0.004$; $\sum \Delta x_{\text{理}} = 0$; $\sum \Delta Y_{\text{理}} = 0$

坐标增量闭合差为 $f_x = 0.002$, $f_y = 0.004$

导线全长闭合差 $f_d = \sqrt{(f_x^2 + f_y^2)} = 0.004$

导线全长相对闭合差 $K = f_d / \sum d = 1/226381 < 1/40000$ 符合要求

坐标增量调整: $V_{xi} = f_x * D_i / \sum D$, $V_{yi} = f_y * D_i / \sum D$

改正后坐标增量如下:

LJBK01-11 至 DNJK02: $\Delta x_1 = 159.979$; $\Delta Y_1 = 44.378$

DNJK02 至 DNJK04: $\Delta x_2 = 175.468$; $\Delta Y_2 = 44.243$

DNJK04 至 DNJK05: $\Delta x_3 = 98.094$; $\Delta Y_3 = 39.133$

DNJK05 至 DNJK03: $\Delta x_4 = -85.683$; $\Delta Y_4 = -36.75$

DNJK03 至 DNJK01: $\Delta x_5 = -186.145$; $\Delta Y_5 = -53.824$

DNJK01 至 LJBK01-1: $\Delta x_6 = -161.711$; $\Delta Y_6 = -37.18$

4) 各导线点坐标的计算

$X_i = X_{i-1} + \Delta x_{\text{改}}$; $Y_i = Y_{i-1} + \Delta y_{\text{改}}$

导线点 DNJK02 的坐标: $X_1 = 87568.5281 + 159.979 = 87728.5071$; $Y_1 = 74688.2883 + 44.378 = 74732.6663$

导线点 DNJK04 的坐标: $X_2 = 87903.9751$; $Y_2 = 74776.9093$

导线点 DNJK05 的坐标: $X_3 = 88002.0691$; $Y_3 = 74816.0423$

导线点 DNJK03 的坐标: $X_4 = 87916.3861$; $Y_4 = 74779.2923$

导线点 DNJK01 的坐标: $X_5 = 87730.2411$; $Y_5 = 74725.4683$

6. 导线结果不满足精度要求的原因以及解决方法

导线计算结果错误或者不满足精度要求的主要原因是: 测量误差过大; 其次是内业处理时人为存在计算错误。

原因:

1) 仪器精度不能满足导线要求, 仪器没有进行检定或者检定结果不合格; 仪器存在问题那么在进行外业角度和边长测量时, 测量的结果绝对满足不了角度和边长相关的技术要求。

2) 全站仪内温度和气压没有使用现场测量值; 倘若温差和气压较大则容易导致边长测量时多次测量也无法满足其技术要求。

3) 测量时存在大型机具施工、空气浑浊等外部情况; 这样在进行外业角度和边长测量时, 测量的结果很难满足角度和边长相关的技术要求。

4) 测回法进行角度测量时, 单测回角度划分不正确; 这样在进行外业角度测量时, 测量的结果可能满足不了角度相关的技术要求。

5) 人为导致误差: 仪器架设不正确、棱镜架设不正确、边角测量时存在错误、记录时存在错误等; 这样在进行外业角度和边长测量时, 测量的结果肯定满足不了角度和边长相关的技术要求。

6) 起始边方位角计算错误、其他计算错误; 这样计算出来的成果肯定也是错误的。

解决方法:

- 1) 外业测量时确保相关仪器设备的精度满足导线等级要求并且检定合格，在全站仪内输入现场温度和气压测量值。
- 2) 测量前确保测量场地无干扰、空气质量良好并且避免在高温环境下测量。
- 3) 测回法测角时单测回角度按 $180^\circ/n$ (n 为测回数)增加设置。
- 4) 测量人员具备导线测量经验，具有很强的责任心。
- 5) 起始方位角计算时，要判定该直线所在象限确定其方位角是否加上 180° 或者加上 360° ；方位角 β_{AB} 即 AB 边方位角，方位角 β_{BA} 即 BA 边方位角。
- 6) 内业计算人员必须清楚坐标方位角的含义，了解方位角的推算原理和导线点坐标的推算原理。

7. 总结

做好闭合导线工作首先要熟练掌握仪器的使用和外业测量步骤，其次要明白各种测量误差的来源。测量误差主要存在于三个方面：仪器误差、观测误差、外界影响误差。首先在仪器选择上精度要满足等级要求；其次测量人员提高自身工程测量水平，掌握正确的方法，规范操作；最后通过各种处理数据的数学方法减少误差。

参考文献

- [1] 中华人民共和国行业标准. JTG C10-2007 公路勘测规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [2] 中华人民共和国行业标准. TB 10601-2009 高速铁路工程测量规范[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2329-549X，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱：gst@hanspub.org