

China International Academic Forum on Mine Surveying 2017

矿山测量

研究进展与应用

2017中国国际矿山测量学术论坛文集

袁亮 主编

中国矿业大学出版社

China International Academic Forum on Mine Surveying 2017

矿山测量

研究进展与应用

2017中国国际矿山测量学术论坛文集

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书由2017中国国际矿山测量学术论坛组委会组织编写。全书共分为四篇,分别为“三下”采矿理论与技术篇、土地复垦与环境保护篇、3S技术进展及应用篇、矿山测量人才培养篇。论文集涉及矿山测量多个研究方向,是矿山测量研究与技术应用方面的成果总结。

本书可供从事矿山测量、矿区土地复垦、测绘工程等学科方向或专业的现场技术人员和高校相关专业学生阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿山测量研究进展与应用:2017中国国际矿山测量学术论坛文集/袁亮主编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2017.9

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3722 - 4

I. ①矿… II. ①袁… III. ①矿山测量—学术会议—文集 IV. ①TD17-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第245745号

书 名 矿山测量研究进展与应用
——2017中国国际矿山测量学术论坛文集
主 编 袁 亮
责任编辑 潘俊成 王美柱 孙建波
责任校对 杨 洋
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 33.25 字数 851 千字
版次印次 2017年9月第1版 2017年9月第1次印刷
定 价 128.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

《矿山测量研究进展与应用》 编审委员会

主 编 袁 亮

副 主 编 黄乐亭 邹友峰

执行主编 徐良骥

编审人员 (以汉语拼音为序)

戴华阳 冯遵德 郭庆彪 胡炳南 胡海峰

黄礼富 刘国林 刘小生 刘 辉 卢 霞

申宝宏 滕永海 王 磊 杨洪泉 杨建华

姚顽强

前 言

矿山测量是综合应用光学、声学、惯性、重力、电磁等手段及空间信息等理论方法,研究与矿产资源开发利用有关的从地面到地下、从矿体/工程到围岩的动静态空间信息监测监控、定向定位、集成分析、数字表达、智能感知和调控决策等的科学与技术。研究内容涵盖矿山信息采集与三维表达,地下定位与导航,多源复杂信息整合与集成处理,数字矿山与物联感知,沉陷监测与变形控制,“三下”采煤,矿体几何与储量动态管理,土地复垦与环境整治,地下空间环境评估等。我国矿产资源需求量大,开发工程多,矿山测量专业在保障资源安全、高效、绿色、节约开发利用方面发挥了重要作用,产生了巨大的应用效益,具有广阔的社会需求及发展前景。

我国的矿山测量事业历经六十多年的发展,现已形成较为完整的学科建设、科学研究及人才培养体系。伴随着矿山开采技术的迅速发展及人们对矿山生态环境保护意识的不断增强,矿山测量事业也需不断革新、与时俱进地发展,适应我国国民经济发展及社会的需求。

2017 中国国际矿山测量学术论坛将于 10 月 12 日至 14 日在安徽理工大学召开,组委会从提交的参会论文中遴选优秀论文 60 篇,由中国矿业大学出版社出版了《矿山测量研究进展与应用》文集。论文来自武汉大学、中国矿业大学、中国矿业大学(北京)、河南理工大学、安徽理工大学、中煤科工集团等多所高校及企业,内容涉及矿山开采沉陷损害防护与控制、“三下”采矿理论与技术、矿区环境与灾害遥感监测、矿区环境保护与土地复垦、矿山测量学科人才培养等多个方面,涵盖了矿山测量事业发展的多个方向,可供从事矿山测量、矿区土地复垦与生态修复、测绘工程等学科方向或专业的科研、教学及现场技术人员参考。

本书由袁亮院士主编,黄乐亭研究员、邹友峰教授副主编,徐良骥教授执行主编,本书的编审委员会成员在本书出版过程中付出了辛勤劳动,安徽理工大学对本书的出版给予了支持与资助,中国煤炭学会与中国科协对会议举办给予了支持与资助,《测绘通报》编辑部杨洪泉研究员、《金属矿山》编辑部黄礼富研究员在组委会推荐优秀论文发表过程中给予了极大的支持,在此深表感谢!由于时间仓促,书中不足之处敬请读者批评指正。

2017 中国国际矿山测量学术论坛组委会

2017 年 9 月

目 录

“三下”采矿理论与技术篇

- 井下等边直伸形方向附合导线优化方法及平差通用模型研究 … 池深深,王磊,魏涛,等(3)
- 盐穴收缩引起的地表下沉预计 …… 姜岳,杨伦,马振和(11)
- 建筑物下压煤条带煤柱巷柱式加固技术及应用 …… 戴华阳,廖孟光,田秀国(18)
- 基于时效 Knothe 函数的开采沉陷动态精准预计方法研究 …… 魏涛,王磊,池深深,等(28)
- 大型地质异常体极不稳定围岩耦合注浆控制技术 …… 徐燕飞,陈永春,安士凯,等(38)
- 基于 Rayleigh 法的开采沉陷相似准数研究 …… 张文志,任筱芳(53)
- 高潜水位多煤层开采地表沉陷积水区动态演变预测研究 …… 高旭光(60)
- 建筑物下充填条带开采方案设计及效果评价 …… 张琪,刘辉,翟树纯,等(67)
- 基于非均布载荷下梁结构破断理论的地表破坏规律 …… 张文静,胡海峰,廉旭刚(75)
- 开采沉陷动态下沉模型及其参数研究 …… 张劲满,徐良骥,李杰卫,等(83)
- 建筑物下压煤开采地表变形预计及建筑物损害分析 …… 蒯洋,刘辉,郑刘根,等(89)
- 矸石密实充填采煤地表沉陷预计模型 …… 吕鑫,郭庆彪,王磊(97)
- 带状充填开采地表沉陷预计方法研究 …… 朱晓峻(108)
- 基岩裸露山区倾斜煤层开采地表沉陷规律研究 …… 王启春,郭广礼(116)
- Research on Surface Subsidence of Solid Backfilling Mining by
Numerical Simulation …… CHAI Huabin, YAN Chao, ZHANG Ziyue(124)
- 基于动态预报模型的充填开采地表沉陷反演研究 …… 林怡恺,郭广礼,郭庆彪(133)
- 基于物联网的煤矿实时监测的拓扑可靠性设计与优化分析 …… 田立勤,马亚楠(140)
- 高速公路穿越煤矿老采空区安全性评价程序、内容与方法
…… 杨锋,郭广礼,郭庆彪,等(147)
- Innovational Methods of Geomonitoring—the Most Effective Way of Providing Industrial
Safety in Mines …… M. Nurpeisaova, G. Kyrgyzbaeva, S. Soltabaeva, et al(156)
- Monitoring of the Engineering Structures Stability Conditions
…… M. Nurpeissova, A. Ormambekova, A. Bek, et al(165)
- 基于 LiDAR DEM 不确定性分析的矿区沉陷信息提取 … 于海洋,杨礼,牛峰明,等(177)

- 基于 D-InSAR 的矿区地表沉陷监测方法 李楠,王磊,池深深,等(188)
- 利用 InSAR 和修正概率积分法预计不同采动程度下的矿区地表变形
 杨泽发,李志伟,朱建军,等(196)

土地复垦与环境保护篇

- 不同低分子量有机酸对煤矸石养分释放的影响作用 汪梦甜,余健,房莉,等(207)
- 挤压和含水量对采煤塌陷地不同秸秆还田复垦土壤碳转化的影响
 周光,余健,房莉,等(216)
- 煤矸石充填复垦地修复效果研究
 ——以淮南市大通矿区为例 刘曙光,徐良骥(225)
- 泊江海子流域 30 a(1987—2016)生态演替与气候响应 刘玮玮,劳从坤,刘畅,等(232)
- 基于高分辨率遥感影像的大通废弃煤矿区生态修复林淹水胁迫灾情信息提取
 王楠,汪桂生,张震(245)
- 基于 MODIS NDVI 的淮南矿区植被覆盖度动态监测 汪桂生,仇凯健(254)
- 矿业城市景观格局时空演变分析
 ——以淮南市潘集区为例 于伟宣,毛亚,刘樾,等(265)
- 城区重度污染水体遥感识别研究 李佳琦,戴华阳,李家国,等(274)

3S 技术进展及应用篇

- GPS 三频信号仿真电离层误差补偿模型研究及精度分析 陈少鑫,徐良骥(287)
- 煤炭资源空间分布的分形特征和厚度变化规律的分形滤波方法研究 刘星(294)
- 基于 H^∞ 滤波的 SINS/GPS 组合无人机定位 王昆仑,陶庭叶,黄祚继,等(306)
- 利用 NMF 算法确定 ZTD 格网产品空间分辨率 刘志平,朱丹彤,王潜心,等(313)
- 百度地图坐标解密方法精度分析 杨丁亮,刘志平(323)
- 多卫星导航系统钟差解算效率分析 毛亚,王潜心,于伟宣,等(331)
- 北斗 IGSO/GEO/MEO 卫星三频单历元变形解算中随机模型的比较研究
 严超,余学祥,徐炜,等(340)
- 基于 JavaScript 的 3D GIS 中的八叉树索引研究 汪玲玲(350)
- 基于 ANUDEM 的县南沟流域坡长尺度效应研究 樊宇,郭伟玲(357)
- GPS 高程拟合方法研究 方懿(366)
- 基于 RBF 神经网络的 GPS 对流层延迟插值算法 马健武,陶庭叶,尹为松(375)
- 基于 ArcEngine 建筑物保护煤柱留设自动化及三维可视化研究 洪娅岚(381)

- 探地雷达技术在矿区的应用..... 胡荣明,王舒,李岩(387)
- 三维空间实体自动拓扑构建研究..... 鹿凤(392)
- 时序双极化 SAR 开采沉陷区土壤水分估计 马威,陈登魁,王夏冰,等(397)
- 基于地形梯度的皖南地区土地利用类型分布特征..... 张平,陆龙妹,赵明松(412)
- 基于 PSR 模型的稀土矿区生态安全评价 李恒凯,杨柳(419)
- 后差分技术及像控点密度对无人机摄影测量精度影响研究
..... 陈鹏飞,胡海峰,廉旭刚,等(430)
- 三维激光扫描点云边界提取研究 杜秋,郭广礼(436)
- 基于无人机倾斜摄影的露天矿工程量计算方法 王果,沙从术,蒋瑞波,等(444)
- 数字水准仪二等水准测量记录、计算程序的开发应用..... 曾振华,王炎(451)
- 三维激光扫描技术在相似模型实验的应用..... 焦晓双,胡海峰,廉旭刚(460)
- 一种 Web 数字校园路径查询研究与实现 韩海涛(467)
- 全站仪视准线测小角观测法在紫金山金铜矿重点大坝边坡安全监测中的
设计与应用..... 刘国元(474)
- 基于 Matlab 的 SIFT 和 SURF 算法在无人机影像配准中的对比研究
..... 徐妍,王鹏辉,焦明连(483)
- 三维动态测量技术在地下矿山的测绘与安全生产管理应用
..... 王飞,康锡勇,代邵波(489)
- 混合大地坐标和笛卡儿坐标的赫尔默特转换模型..... 林鹏,高井祥,常国宾(496)
- GPS 实时三频电离层改正方法及精度分析 陈少鑫,徐良骥(506)

矿山测量人才培养篇

- 基于项目导向的矿山测量专业人才培养体系研究与实践..... 邓军,冯大福,李天和(515)

“三下”采矿
理论与技术篇

井下等边直伸形方向附合导线 优化方法及平差通用模型研究

池深深,王磊,魏涛,李楠,吕挑

(安徽理工大学测绘学院,安徽淮南,232001)

摘要:为了解决井下控制测量中陀螺仪定向边位置优化以及方向附合导线平差问题,本文综合运用理论研究和模拟分析方法,开展了井下等边直伸形方向附合导线优化方法及平差通用模型研究,主要获得如下结论:(1)基于拉格朗日乘数法讨论了等距离加测陀螺仪定向边为井下最优方向附合导线形式的理论依据,并进一步分析了不同贯通类型、不同定向精度时陀螺仪定向边加测的规律;(2)基于条件平差推导了井下任意条陀螺仪定向边导线平差模型,并利用模拟的方向附合导线算例验证了模型的正确性。研究成果对井下方向附合导线优化和数据处理具有重要参考价值。

关键词:陀螺仪定向边;方向附合导线;平差模型;贯通测量;最佳加测位置

Research on Optimization Method and General Model of the Adjustment of the Underground Equilateral Straight-extended form of Connecting Traverse

CHI Shenshen, WANG Lei, WEI Tao, LI Nan, LV Tiao

(School of Geomatics, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: In order to solve the problem of the optimization of the observed Peg-top Azimuths position and the adjustment of the Direction connecting traverse, in this paper, the theory and simulation analysis method are used to carry out the research on the optimization method and the general model of the adjustment of the underground equilateral straight-extended form of connecting traverse. The main conclusions are as follows: (1) Based on Lagrange's extreme value method, it is proved that the equal distance is the best form to measure the observed Peg-top Azimuths, and obtain the law of the position of the observed Peg-top Azimuths with different types and different orientation accuracy. (2) Based on the adjustment of the condition observations, this paper establishes the model of the Direction connecting traverse adjustment of the Peg-top Azimuths, and verifies the correctness of the model with the simulative example of a Direction connecting traverse. The results of research have important reference for the optimization of the underground direction connecting traverse connection and data processing.

Keywords: Gyro orientation; direction-connecting; traverses; adjustment model; surveying; optimal position of additional surveying

井下控制测量导线(特别是基本控制导线)布设一般是随着巷道的掘进以支导线的形式向前发展,为了满足大型巷道贯通等测量的要求,须要严格控制基本控制导线方向误差累

积,为此《煤矿测量规程》^[1]中规定基本控制导线必须每隔 1.5~2 km 加测一条陀螺定向边。但笔者通过对《煤矿测量规程》及相关文献^[2-8]研究,认为井下方向附和导线优化及数据处理还存在两方面不足:(1) 井下方向附和导线形式的优化缺乏理论依据。对于不同定向精度、服务不同贯通类型的方向附和导线,尚未提出加测陀螺定向边个数、加测陀螺定向边位置及模式的理论依据。(2) 未建立任意条方向附和导线平差通用模型。当 $\sqrt{2}m_{\alpha 0}/\sqrt{nm_{\beta}} > 1/3$ 时,陀螺边定向边为非坚强方向^[3],数据处理时须要考虑陀螺定向误差的影响,为此文献^[5]基于条件平差方法建立了加测 2 和 3 条非坚强方向附和导线平差模型,但未建立任意个数方向附和导线平差通用模型。本文针对上述不足,拟开展井下等边直伸形方向附和导线优化方法及平差通用模型研究,成果对井下方向附和导线布设和数据处理具有重要参考价值。

1 井下等边直伸形方向附和导线优化方法研究

1.1 陀螺定向边加测模式理论依据

等边直伸形导线是井下大巷中常见的导线形式,本文将讨论等边直伸形方向附和导线的优化问题。假设不按等距离间隔加测陀螺边,且全部边长均为 l ,当等边直伸形导线加测 N 条陀螺边时,且终边加测陀螺边,设各段边数为 $n_1, n_2, n_3, \dots, n_N$,导线的总边数为 n ,可以把导线分成 N 段,即有:

$$n = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_N \quad (1)$$

将每段可以视作附和导线,第一段加测陀螺定向边的位置位于第 n_1 边,其终点横向误差的计算公式为:

$$M_{n_1}^2 = \frac{m_{\beta}^2 n_1 l^2 (n_1 + 1)(n_1 + 2)}{\rho^2 \cdot 12} + \frac{m_{\alpha}^2 n_1^2 l^2}{2\rho^2} \quad (2)$$

第二段加测陀螺定向边的位置位于第 n_2 边,其终点横向误差的计算公式为:

$$M_{n_2}^2 = \frac{m_{\beta}^2 n_2 l^2 (n_2 + 1)(n_2 + 2)}{\rho^2 \cdot 12} + \frac{m_{\alpha}^2 n_2^2 l^2}{2\rho^2} \quad (3)$$

依次类推,则导线的终点横向误差为:

$$M_{x_k}^2 = \frac{1}{12} \left(\frac{m_{\beta} l}{\rho} \right)^2 [n_1(n_1 + 1)(n_1 + 2) + n_2(n_2 + 1)(n_2 + 2) + \dots + n_N(n_N + 1)(n_N + 2)] + \frac{1}{2} \left(\frac{m_{\alpha} l}{\rho} \right)^2 [n_1^2 + n_2^2 + \dots + n_N^2] \quad (4)$$

由拉格朗日乘数法建立方程:

$$F(n_1, n_2, \dots, n_N) = \frac{1}{12} \left(\frac{m_{\beta} l}{\rho} \right)^2 [n_1(n_1 + 1)(n_1 + 2) + n_2(n_2 + 1)(n_2 + 2) + \dots + n_N(n_N + 1)(n_N + 2)] + \frac{1}{2} \left(\frac{m_{\alpha} l}{\rho} \right)^2 [n_1^2 + n_2^2 + \dots + n_N^2] + \lambda(n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_N - n) \quad (5)$$

将上式分别对 $n_1, n_2, n_3, \dots, n_N$ 求导且令其为:

$$\begin{cases} m_{\beta}^2 l^2 (3n_1^2 + 6n_1 + 2) + 12m_a^2 l^2 + 12\rho^2 \lambda = 0 \\ m_{\beta}^2 l^2 (3n_2^2 + 6n_2 + 2) + 12m_a^2 l^2 + 12\rho^2 \lambda = 0 \\ \dots \\ m_{\beta}^2 l^2 (3n_N^2 + 6n_N + 2) + 12m_a^2 l^2 + 12\rho^2 \lambda = 0 \\ n_1 + n_2 + \dots + n_N - n = 0 \end{cases} \quad (6)$$

可得结果为:

$$n_1 = n_2 = \dots = n_N = \frac{n}{N} \quad (7)$$

由上式可知,当加测 N 条陀螺定向边时,且终边加测陀螺边时,等间距加测陀螺边,可使终边横向中误差最小。

如图 1 所示,考虑等边直伸导线的形式,在 A 点至 K 点等距离间隔加测 N 条陀螺边,共测量 n 条边,每段边长均为 l ,即导线全长为 $L=ln$,忽略导线起点 A 的误差影响时,设导线复测了 T 次,并假定 A 点为假定坐标系的原点,沿导线直伸方向设为 y ,垂直于直伸方向设为 x 轴,直接给出贯通点在水平重要方向的中误差 $M_{x_k}^2$ 的计算公式为:

$$M_{x_k}^2 = \frac{m_{\beta}^2 n l^2 n l^2 (n+N)(n+2N)}{\rho^2 12TN^2} + \frac{m_a^2 n^2 l^2}{\rho^2} \left(\frac{1}{N} - \frac{1}{2N^2} \right) \quad (8)$$

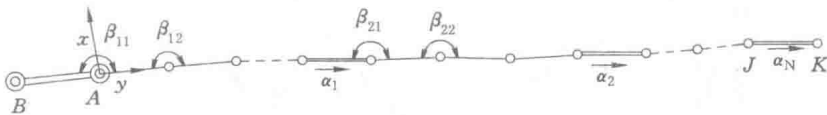


图 1 等边直伸形多条陀螺定向边的方向附和导线

1.2 陀螺定向边个数设计理论依据

在 1.1 节中讨论了等边直伸形方向附和导线形式的优化问题,本节将在此基础上进一步讨论陀螺定向边个数设计理论依据问题。假设基本控制导线的测角误差 $m_{\beta}=7''$,导线边长 $l=120$ m,陀螺定向精度需要满足一井和二井巷道贯通测量要求。下面讨论常见陀螺仪定向精度 $m_a=5''$ (比如 Y/JTD-2 高精度 $5''$ 级全自动陀螺全站仪)、 $m_a=10''$ (比如 TDJ83 陀螺全站仪)、 $m_a=15''$ (比如 JT₁₅ 型陀螺经纬仪)时,陀螺定向边个数设计理论依据。

对于一井内巷道贯通横向偏差应控制在 300 mm 以内,两井巷道贯通横向偏差应控制在 500 mm 以内,则贯通测量横向允许中误差分别为: $M_{x_{k1}}=300/2\sqrt{2}=106.1$ mm, $M_{x_{k2}}=500/2\sqrt{2}=176.8$ mm,则根据公式(8)可求解不同定向精度、不同贯通类型方向附和导线在导线长度一定的情况下需要加测陀螺定向边的个数,求解结果如图 2 和图 3 所示。

从图 2、图 3 可以看出:(1) 当巷道贯通长度达到 6 km 时,为了满足一井内巷道巷道贯通测量要求,对于定向精度为 $15''$ 、 $10''$ 和 $5''$ 的陀螺仪理论上需要加测陀螺边的个数分别为 17 条、9 条和 3 条,因此从定向效率和成本角度衡量,对于一井内巷道巷道贯通测量宜加测定向精度为 $5''$ 的高精度陀螺定向边;(2) 当巷道贯通长度达到 6 km 时,为了满足二井间巷道巷道贯通测量要求,对于定向精度为 $15''$ 、 $10''$ 和 $5''$ 的陀螺仪理论上需要加测陀螺边的个数分别为 7 条、4 条和 3 条,因此从定向效率和成本角度衡量,对于两井内巷道巷道贯通测量宜加测定向精度为 $10''$ 的高精度陀螺定向边;(3) 采用多项式拟合的方法拟合了需贯通导线

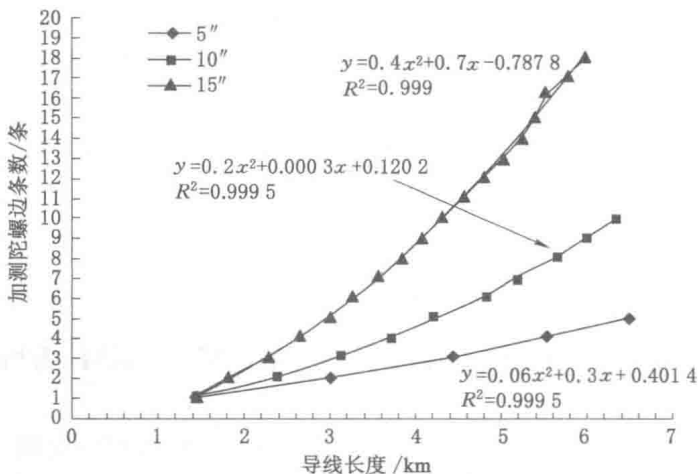


图 2 一井定向加测陀螺边条数分布图

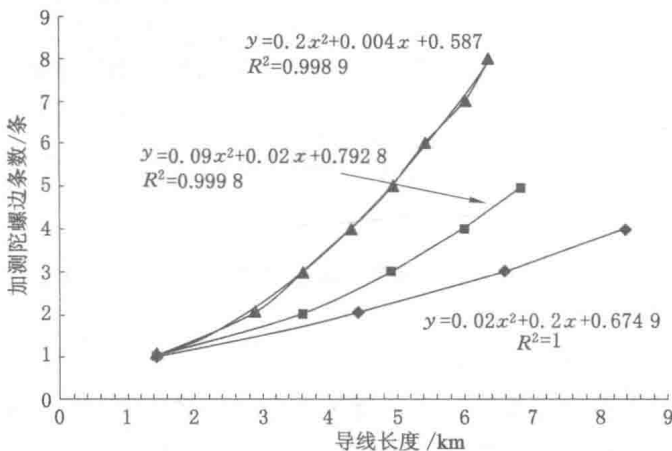


图 3 两井定向加测陀螺边条数分布图

的长度与加测陀螺定向边条数之间的关系,各关系式如图所示。一井定向分布曲线较两井定向曲线陡,即导线达到一定长度时,一井定向需加测的陀螺边较密,这与一井定向要求贯通精度高相一致。

2 井下任意条陀螺仪定向边导线平差模型研究

对于加测 1~3 条陀螺定向边导线的平差模型已有文献^[4]报道,下面将从条件平差的角度重点讨论加测 4 条以上陀螺仪定向边导线平差的通用模型。

假设加测 n 条陀螺边的方向附合导向如图 4 所示,其方位角为 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_N$,这时可将整个导线分为 $N-1$ 部分。即导线 1, 2, 3, \dots , $N-1$, 条件平差过程如下:

(1) 求算陀螺定向边 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_N$ 的定向中误差 $m_{\alpha_1}, m_{\alpha_2}, \dots, m_{\alpha_N}$ 及导线测角中误差 m_{β} (等精度观测时)。

(2) 按条件平差列出观测改正数条件方程式,如图 5 所示,导线 1, 2, 3, \dots , $N-1$, 改正数条件方程式为:

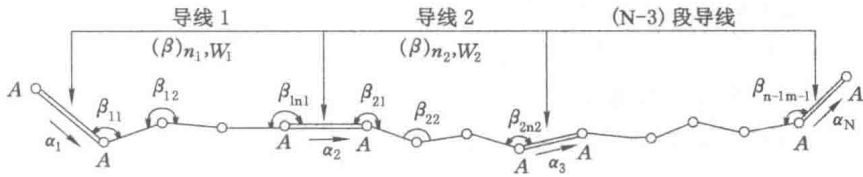


图 4 具有 N 条陀螺定向边导线的平差图

$$\begin{cases} V_{\alpha_1} - V_{\alpha_2} + V_{\beta_{11}} + V_{\beta_{12}} + \dots + V_{\beta_{1n_1}} + W_1 = 0 \\ V_{\alpha_2} - V_{\alpha_3} + V_{\beta_{21}} + V_{\beta_{22}} + \dots + V_{\beta_{2n_2}} + W_2 = 0 \\ \dots \\ V_{\alpha_{N-1}} - V_{\alpha_N} + V_{\beta_{(N-1)1}} + V_{\beta_{(N-1)2}} + \dots + V_{\beta_{(N-1)n_{N-1}}} + W_{(N-1)} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

式中 $V_{\alpha_1}, V_{\alpha_2}, \dots, V_{\alpha_N}$ ——分别为陀螺定向边坐标方位角 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ 的改正数;

$V_{\beta_{i1}}, V_{\beta_{i2}}, \dots, V_{\beta_{in_i}}$ ——导线 i 中角度 β_i 的改正数;

$n_1, n_2, \dots, n_{(n-1)}$ ——分别为导线 i 中角度的个数。

(3) 确定定向边方位角和角度的权

当导线等精度观测时,取导线的测角中误差 m_β 为单位权中误差,即 $P_\beta = 1$,则定向边坐标方位角的权为:

$$p_{\alpha_1} = \frac{m_\beta^2}{m_{\alpha_1}^2}; p_{\alpha_2} = \frac{m_\beta^2}{m_{\alpha_2}^2}; \dots; p_{\alpha_N} = \frac{m_\beta^2}{m_{\alpha_N}^2} \quad (10)$$

权倒数为:

$$q_1 = \frac{1}{P_{\alpha_1}}; q_2 = \frac{1}{P_{\alpha_2}}; \dots; q_N = \frac{1}{P_{\alpha_N}}$$

(4) 组成法方程式

$$NK + W = 0 \quad (11)$$

$$N = \begin{bmatrix} N_1 & -q_2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -q_2 & N_2 & -q_3 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -q_3 & N_3 & -q_4 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & & -q_{(n-1)} & N_{n-1} \end{bmatrix}$$

其中:

$$N_i = n_i + q_i + q_{i+1}$$

(5) 计算各项改正数

① 由于采用等精度导线观测,各角的改正数为:

$$V_{\beta_i} = V_{\beta_{i1}} = V_{\beta_{i2}} = \dots = V_{\beta_{in_i}} = K_i \quad (12)$$

② 陀螺方位角的改正数为:

$$\begin{cases} V_{\alpha_1} = q_1 \cdot K_1 \\ V_{\alpha_2} = q_2 \cdot (K_2 - K_1) \\ \dots \\ V_{\alpha_i} = q_i \cdot (K_i - K_{i-1}) \\ \dots \\ V_{\alpha_N} = -q_N \cdot K_{n-1} \end{cases} \quad (13)$$

式中 α_i ——陀螺定向边方位角观测值；
 V_{α_i} ——陀螺定向边方位角的改正数；
 β_m ——第 i 段导线各观测角之值；
 V_{β_i} ——第 i 段导线各观测角之改正值。

3 模拟实验研究

假设井下大巷内有一条单一直伸形基本控制导线，导线总长度为 6 km，且为等间距加测陀螺边，测角精度设计为 7"，导线平均边长为 120 m，且该大巷需要在一井内实现贯通。该方向附和导线形式依据本文第 1 节理论进行了优化设计，模拟的实测参数如图 5 所示。

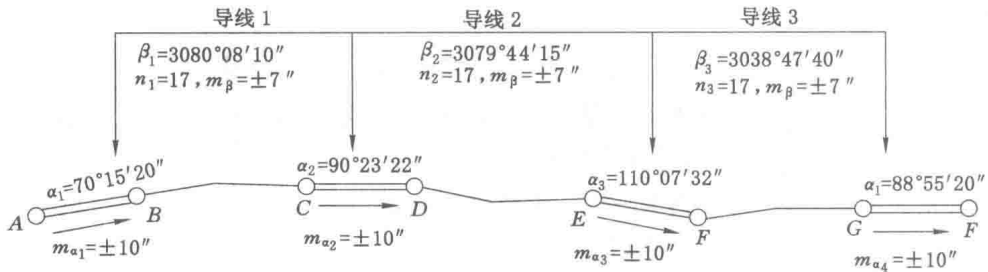


图 5 模拟 4 条陀螺定向边导线

根据本文第二节建立的井下任意条陀螺仪定向边导线平差模型，进行如下平差计算：

(1) 求导线 1、2、3 的角度闭合差

$$W_1 = \alpha_1 - \alpha_2 + [\beta]_1 - n_1 \cdot 180^{\circ} = 70^{\circ}15'20'' - 90^{\circ}23'22'' + 3080^{\circ}08'10'' - 17 \times 180^{\circ} = 8''$$

$$W_2 = \alpha_2 - \alpha_3 + [\beta]_2 - n_2 \cdot 180^{\circ} = 90^{\circ}23'22'' - 110^{\circ}07'32'' + 3079^{\circ}44'18'' - 17 \times 180^{\circ} = 8''$$

$$W_3 = \alpha_3 - \alpha_4 + [\beta]_3 - n_3 \cdot 180^{\circ} = 110^{\circ}07'32'' - 88^{\circ}55'20'' + 3038^{\circ}47'42'' - 17 \times 180^{\circ} = -6''$$

(2) 求权倒数

求导线测角中误差 m_{β} 为单位权中误差，即 $p_{\beta} = 1$

$$q_1 = \frac{m_{\alpha_1}^2}{m_{\beta}^2} = \frac{10^2}{7^2} = 2.04; \quad q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 2.04$$

(3) 法方程

$$\begin{bmatrix} 21.08 & -2.04 & 0 \\ -2.04 & 21.08 & -2.04 \\ 0 & -2.04 & 21.08 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8 \\ 8 \\ -6 \end{bmatrix}$$

解法方程求得： $K_1 = 0.418, K_2 = 0.396, K_3 = -0.246$ 。

(4) 计算各改正数

$$V_{\beta_1} = K_1 = 0.418'' \quad V_{\beta_2} = K_2 = 0.396'' \quad V_{\beta_3} = K_3 = -0.246''$$

$$V_{\alpha_1} = q_1 \cdot K_1 = 2.04 \times 0.418 = 0.85''$$

$$V_{\alpha_2} = q_2 \cdot (K_2 - K_1) = 2.04 \times (0.396 - 0.418) = -0.04''$$

$$V_{\alpha_3} = q_3 \cdot (K_3 - K_2) = 2.04 \times (-0.246 - 0.396) = -1.3''$$

$$V_{\alpha_4} = -q_4 \cdot K_3 = -2.04 \times (-0.246) = 0.5''$$

各观测值的最或是值：

$$\alpha_1^0 = \alpha_1 + v_{\alpha_1} = 70^\circ 15' 20'' + 0.85'' = 70^\circ 15' 20.85''$$

$$\alpha_2^0 = \alpha_2 + v_{\alpha_2} = 90^\circ 23' 22'' - 0.04'' = 90^\circ 23' 21.96''$$

$$\alpha_3^0 = \alpha_3 + v_{\alpha_3} = 110^\circ 07' 32'' - 1.3'' = 110^\circ 07' 30.7''$$

$$\alpha_4^0 = \alpha_4 + v_{\alpha_4} = 88^\circ 56' 20'' + 0.5'' = 88^\circ 56' 20.5''$$

$$[\beta]_1^0 = [\beta]_1 + n_1 v_{\beta_1} = 3\ 080^\circ 08' 10'' + 17 \times 0.418'' = 3\ 038^\circ 08' 17.1''$$

$$[\beta]_2^0 = [\beta]_2 + n_2 v_{\beta_2} = 3\ 079^\circ 44' 15'' + 17 \times 0.396'' = 3\ 079^\circ 44' 21.7''$$

$$[\beta]_3^0 = [\beta]_3 + n_3 v_{\beta_3} = 3\ 038^\circ 47' 40'' + 17 \times (-0.246'') = 3\ 038^\circ 47' 35''$$

4 结 论

根据以上对加测陀螺边形成的方向附和导线的研究,结合具体的贯通测量实例,可得出如下结论:基于拉格朗日乘法证明了在井下直伸形巷道贯通测量中,当末边加测陀螺定向边时,等间距加测陀螺边可使贯通点横向中误差最小。并推出等间距加测陀螺边导线终点横向中误差求解的实用公式;本文推出加测 N 条陀螺定向边导线的角度平差模型,利用该模型便可求出角度改正值,进而求出各导线点的坐标值;在长距离巷道贯通时,低等级陀螺定向边已不满足一井巷道贯通要求,应采用高等级的陀螺定向仪。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国煤炭工业部. 煤矿测量规程[M]. 北京:煤炭工业出版社,1998.
- [2] 陈栋栋. 井上下控制测量方法与精度研究[D]. 西安:西安科技大学,2014.
- [3] 康旭. 方向附和导线网的数据处理[D]. 西安:西安科技大学,2011.
- [4] 刘长星. 加测陀螺定向边后方向附和导线的平差[J]. 西安科技大学学报,2001,21(4): 340-343.
- [5] 韩群柱,屈漫丽. 地下工程直伸支导线陀螺定向精度分析研究[J]. 西安工业大学学报,2006,26(3):276-279.
- [6] 张国良. 矿山测量学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2008.
- [7] 潘国荣,王穗辉. 地下导线加测陀螺边最优位置确定及精度分析[J]. 同济大学学报(自然科学版),2004,32(5):656-659.
- [8] 邓军,王胜利. 加测陀螺定向边的井下导线平差方法探讨[J]. 资源环境与工程,2006,20(2):163-167.
- [9] 夏桂锁. 陀螺经纬仪自动寻北关键技术的研究[D]. 天津:天津大学,2007.
- [10] 罗勇康,卢勇,冉伟. 超长巷道贯通误差分析与处理[J]. 矿山测量,2011(6):81-83.
- [11] 张正禄. 工程测量学[M]. 武汉:武汉大学出版社,2005.
- [12] 张恒璟,周利利. 矿井加测陀螺边及其最佳位置的探讨[C]. 2009 全国测绘科技信息交流会暨首届测绘博客征文颁奖论文集,2009.
- [13] 曹汝波,匡伟. 加测陀螺边在煤矿井下巷道贯通中的应用研究[J]. 矿山测量,2013(3): 25-28.
- [14] 朱有彬,李星,费存建,等. 王家塔矿井 3107 主运巷贯通测量方案优化[J]. 煤炭工程,2016,48(4):46-49.
- [15] LIU H, LIU J, YU C, et al. Integrated geological and geophysical exploration for