

ICS 07.040

CCS A78

TB

团体标准

T/CSGPC 032-2024

陀螺定向测量技术规程

Technical regulation for gyroscopic orientation measurement

2024-09-10 发布

2024-09-10 实施

中国测绘学会 发布

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

中国测绘学会团体

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

中国测绘学会团体

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

中国测绘学会团体

目次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	2
5 陀螺经纬仪测量	3
5.1 一般规定	3
5.2 悬挂带陀螺经纬仪测量	4
5.3 磁悬浮陀螺经纬仪测量	7
6 仪器常数测量	10
6.1 基本要求	10
6.2 仪器常数边点位的选取	10
6.3 仪器常数边建立方法	10
6.4 仪器常数边已知数据准备	10
6.5 子午线收敛角的计算	10
6.6 仪器常数边真方位角计算	10
6.7 仪器常数边测量要求	10
6.8 仪器常数计算	11
6.9 仪器常数精度计算	11
7 定向边测量	12
7.1 定向边点位选取	12
7.2 定向边已知数据准备	12
7.3 定向边测量要求	12
7.4 定向边坐标方位角计算	12
8 陀螺定向成果精度评定	13
9 质量控制	14
10 成果提交	14
附录 A (资料性) 陀螺经纬仪组成结构	15
附录 B (资料性) 逆转点法观测操作程序及记录表	17
附录 C (资料性) 中天法观测操作程序及记录表	19
附录 D (资料性) 积分法观测操作程序及记录表	22
附录 E (资料性) 磁悬浮陀螺经纬仪定向记录表	24
附录 F (资料性) 子午线收敛角计算方法	25
附录 G (资料性) 仪器常数边真方位角计算方法	28
参考文献	30

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

中国测绘学会团体

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

中国测绘学会团体

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

中国测绘学会团体

前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国测绘学会提出并归口。

本文件起草单位：长安大学、福建省地质测绘院、甘肃省地质矿产勘查开发局测绘勘查院、中铁隧道局集团有限公司、中国矿业大学、西安中科星云空间信息研究院有限公司、浙江省工程物探勘察设计院有限公司、陕西省一八五煤田地地质有限公司、新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司、广州市城市规划勘测设计研究院有限公司、上海市自然资源调查利用研究院、拓普康索佳（上海）科贸有限公司、沈阳鑫蓝图科技有限公司、河南省中纬测绘规划信息工程有限公司、浙江鸿晨建筑工程设计研究院有限公司、铁正检测科技有限公司、湖北省地质局第一地质大队、山西省煤炭地质物探测绘院有限公司（自然资源部矿业城市自然资源调查监测与保护重点实验室）、中铁四局集团有限公司、上海宝冶集团有限公司、河北省地质矿产勘查开发局第六地质大队（河北省地质矿产勘查开发局航空测量应用中心）、自然资源部第一大地测量队、中核勘察设计研究院有限公司、中铁十六局集团第四工程有限公司、陕西能源职业技术学院、中国水利水电第八工程局有限公司、河北省地质矿产勘查开发局第九地质大队、青岛捷利达地理信息集团有限公司、河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司、北京中企政融信息技术研究院。

本文件起草人：杨志强、石震、刘迪、种绍龙、曾波、委民正、杜志刚、张秋昭、王苗苗、李世烜、袁荣才、周勇、朱占荣、冯彦东、熊福文、吕裕恒、高波、刘慎栋、俞晓飞、张宇、吴健、杨文府、徐钦国、翟华、聂庆微、刘胜震、贾光辉、赵琛、沈绍罗、张永生、王余沛、赵波、徐耀汉、崔团团、管仁杰、张宇、张庆涛、汪翔宇、闫占瑞、邓波、张庆元、唐继民、朱晓江、付岩君、田辉辉、宋海娟、吴高林、雷秀海、高永海、田东坡、黄锋、陈钧、黄孝祖、杨子毅、邹晨曦、周秋、张辉。

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

引 言

陀螺定向测量是利用陀螺经纬仪通过敏感地球自转测定北方向,并以此为基准测定测线方位角的惯性测量技术。由于该技术可以实现全天候、全天时无依托自主寻北定向,被广泛的应用于城市地铁、江河海底隧道、公路铁路隧道、输水隧洞、城市地下管廊以及大型矿山等各类隐蔽工程。

目前,在测绘领域中尚没有专门针对陀螺定向测量基本要求、陀螺经纬仪测量、仪器常数测量、定向边测量、陀螺定向成果精度评定、质量控制与成果提交等重要内容的相关标准。本文件针对陀螺定向测量工作中涉及到的技术流程、内容和相关要求进行了规定。

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

中国测绘学会团体标准 (CSGPC)

陀螺定向测量技术规程

1 范围

本文件规定了陀螺定向测量的基本要求、陀螺经纬仪测量、仪器常数测量、定向边测量、成果精度评定、质量控制与成果提交的内容和要求。

本文件适用于采用机械式陀螺经纬仪进行的陀螺定向测量工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50026 工程测量标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

陀螺仪 gyroscope

一种绕自身转轴高速旋转的均质规则刚体，通过采用悬挂带、磁悬浮等支承技术，使其具备一定的空间自由度，并利用自身的定轴性与进动性测量其相对所在惯性空间的姿态或方位变化的惯性测量仪器。

3.2

陀螺经纬仪 gyroscope theodolite

一种将陀螺仪与经纬仪或与经纬仪等效功能的测量仪器，如：全站仪，集成连接于一体，通过陀螺仪敏感地球自转角动量，独立测定北方向，并配合经纬仪照准目标方向，从而测定目标方向方位角的惯性定向测量仪器。

[来源：JJG 5201-2013，3.2，有修改]

3.3

悬挂带陀螺经纬仪 suspended band gyroscope theodolite

陀螺经纬仪的陀螺仪部分采用悬挂带支承技术的陀螺经纬仪。

3.4

悬挂带零位 suspension band zero position

悬挂带陀螺经纬仪在陀螺马达不转动时，陀螺灵敏部受悬挂带和导电游丝扭力矩作用而引起扭摆的平衡位置（扭力矩为零的位置）与陀螺仪目镜分划板零刻线位置之间的偏差。

磁悬浮陀螺经纬仪 maglev gyroscope theodolite

陀螺经纬仪的陀螺仪部分采用磁悬浮支承技术的陀螺经纬仪。

3.6

真北方向 true north

某点子午线的北方向。

3.7

真北方位角 true north azimuth

在水平面内，从某点真北方向沿顺时针至目标方向的水平角。

3.8

陀螺北方向 gyroscope north

陀螺经纬仪通过敏感地球自转所确定的北方向。

3.9

陀螺方位角 gyroscope azimuth

在水平面内，从某点陀螺北方向沿顺时针至目标方向的水平角。

3.10

仪器常数 instrument constant

由于陀螺经纬仪自身结构设计的原因，使得陀螺经纬仪指示的陀螺北方向与真北方向之间所产生的固定偏差。

注：仪器常数一般用 Δ 表示，当陀螺北方向在真北方向以东时，仪器常数为正值，在以西时，仪器常数为负值。

3.11

陀螺定向测量 gyroscope orientation measurement

通过采用陀螺经纬仪测量已知边的陀螺方位角，并将该陀螺方位角与已知边真北方位角进行比对，获得陀螺经纬仪的仪器常数，再将陀螺经纬仪在定向边上测量的陀螺方位角加上该仪器常数，从而计算出定向边的真北方位角。在此基础上，通过子午线收敛角改正，得到定向边坐标方位角的测量过程。

3.12

仪器常数边 instrument constant traverse line

陀螺定向测量中为标定陀螺经纬仪仪器常数所选择的已知边。

4 基本规定

4.1 陀螺经纬仪由陀螺仪、经纬仪照准部或与经纬仪照准部等效功能的测量装置，如：全站仪照准部、对中系统、整平系统构成，陀螺经纬仪结构见附录A。

4.2 按陀螺仪与经纬仪照准部的组合形式，陀螺经纬仪可分为上架式陀螺经纬仪和下架式陀螺经纬仪，且陀螺仪与经纬仪照准部应能够保持同一整平对中状态。

4.3 用于陀螺定向测量的陀螺经纬仪应定期检定或校准，并在检校有效期内使用。

4.4 陀螺经纬仪精度等级按照一次定向的标称精度来划分，见表1。

表1 陀螺经纬仪精度等级划分

单位：″

仪器等级	I	II	III
标称精度 m_B	$m_B \leq 5$	$5 < m_B \leq 15$	$15 < m_B \leq 30$

4.5 陀螺定向测量应根据测量要求选用相应等级的陀螺经纬仪。

4.6 陀螺定向测量应包括：仪器常数测量和定向边测量，并符合以下要求：

- a) 仪器常数测量应在定向边测量前、后各进行一次，且每次不少于两个测回；
- b) 每条定向边一次测量应不少于两个测回；
- c) 具备多种寻北模式的陀螺经纬仪，在一次陀螺定向测量过程中，仪器常数测量和定向边测量应采用同一种寻北测量模式。

4.7 在困难地段进行陀螺定向测量或对陀螺定向测量有特殊要求时，可根据情况进行专门陀螺定向测量方案设计，并在技术设计书或成果报告中体现。

4.8 从事陀螺定向测量人员应具备相应的专业知识和技能，应严格按照测量规范和标准操作，能够正确使用陀螺经纬仪及其辅助测量设备和工具。

4.9 陀螺定向测量应在适宜的环境和条件下进行，避免外界因素对陀螺定向测量的影响。例如：应避免在强磁场、强电场、高温、高湿等环境下进行测量。

5 陀螺经纬仪测量

5.1 一般规定

5.1.1 陀螺经纬仪测量过程包括：陀螺寻北测量和目标照准测量。目标照准测量应在陀螺寻北测量后立即进行；磁悬浮陀螺经纬仪也可先进行目标照准测量，然后立即进行陀螺寻北测量。

5.1.2 陀螺经纬仪一测回测量应包括：一次陀螺寻北测量与两测回目标照准测量。

5.1.3 陀螺经纬仪寻北测量过程中，不应同步进行目标照准测量，自动寻北陀螺经纬仪不应触碰仪器。

5.1.4 陀螺经纬仪测量时应注明所在测区的纬度，纬度数值精确至 $0.1''$ 。

5.1.5 陀螺经纬仪寻北测量可分为：动态摆幅式寻北测量和静态力矩平衡式寻北测量；动态摆幅式寻北测量又可分为：跟踪式测量和不跟踪式测量。

5.1.6 在启动陀螺马达达到额定转速前和陀螺马达制动过程中，陀螺灵敏部应处于锁紧或抱紧状态。

5.1.7 目标照准测量过程中，方向照准读数应符合GB 50026要求，具体要求见表2。

表2 目标照准测量技术要求

单位：''

陀螺经纬仪照准部 仪器精度等级	陀螺定向测量一测回内 方向照准测回间2C互差限差	陀螺定向测量一测回内 方向照准测回间较差限差
0.5'' 级仪器	≤ 5	≤ 3
1'' 级仪器	≤ 9	≤ 6
2'' 级仪器	≤ 13	≤ 9

5.1.8 每测回测量前后，应严格检查陀螺经纬仪整平对中，水准气泡偏离不应超过0.5格，对中偏差不超过3mm。陀螺经纬仪测量过程中，整平对中状态不应发生变化。

5.1.9 使用陀螺经纬仪对同一方向进行多测回测量时，任意两测回测量结果间的较差不应大于相应等级仪器标称精度的2倍。

5.1.10 陀螺经纬仪各测回观测应独立进行；测回间应重新安置架设陀螺经纬仪；连续观测三测回及以上时，测回间应停机、断电间隔10min以上。

5.1.11 野外测量时应避免机械振动、强气流、长时间阳光直射等不良因素的干扰，如遇大风、雨雪、高温等恶劣气象条件，应停止野外观测或采用间接测量方式。

5.1.12 由地面（洞外）至地下（洞内）或由地下（洞内）至地面（洞外）转站时，宜将陀螺经纬仪开箱静置于作业环境30min后，再开始测量。

5.1.13 陀螺经纬仪目镜、物镜受水汽、雾气等污染时，先用软毛刷轻拭，然后用镜头纸或软绒布擦拭。

5.1.14 陀螺经纬仪运输和存放过程中，应使用专门包装箱，不应倒置或长时间倾斜放置；存放环境应保持干燥、清洁、通风良好，不应置于热源或强电磁场附近。

5.2 悬挂带陀螺经纬仪测量

5.2.1 基本流程

悬挂带陀螺经纬仪测量基本流程见图1。



图1 悬挂带陀螺经纬仪测量基本流程

5.2.2 测前悬挂带零位观测

5.2.2.1 将悬挂带陀螺经纬仪整平对中。

5.2.2.2 启动陀螺马达前，下放陀螺灵敏部，通过陀螺目镜观察陀螺灵敏部目标线，如图2所示，根据目标线在分划板上的摆动情况，连续读取三个逆转点格值读数 a_1 、 a_2 、 a_3 ，估读到0.1格。

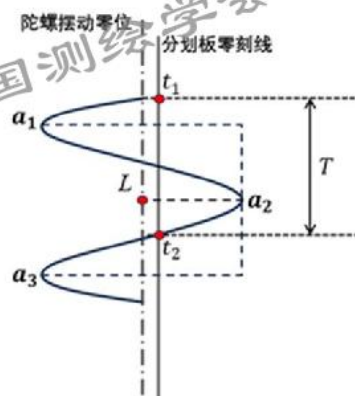


图2 零位观测原理图

图中： a_1 、 a_2 、 a_3 ——各逆转点的格值读数；

t_1 ——陀螺灵敏部目标线首次穿过分划板零刻线的时刻；

t_2 ——陀螺灵敏部目标线摆动一个周期后再次穿过分划板零刻线的时刻；

T ——陀螺自由摆动周期， $T = t_2 - t_1$ ；

L ——陀螺摆动零位。

5.2.2.3 通过三个逆转点格值读数计算陀螺摆动零位 L ，见图2，计算方法见（1）式：

$$L = \frac{1}{2} \left(\frac{a_1 + a_3}{2} + a_2 \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中： a_1 、 a_2 、 a_3 ——各逆转点的格值读数；

L ——陀螺摆动零位。

5.2.2.4 悬挂带零位观测过程中，应同时对陀螺自由摆动周期 T 进行测定。通过陀螺目镜观察陀螺灵敏部目标线的摆动，目标线穿过分划板零刻线时启动秒表记录时刻 t_1 ，待目标线摆动一个周期再次穿过分划板零刻线时记录时刻 t_2 ，两次记录的时间差即为陀螺自由摆动周期 T 。

5.2.3 粗略定向

5.2.3.1 精密定向前应进行粗略定向，使陀螺经纬仪照准部的视准轴置于近似北方向。

5.2.3.2 配有粗略定向罗盘的陀螺经纬仪，可采用罗盘进行粗略定向；在已知边上，可利用已知边方位角进行粗略定向；也可使用陀螺经纬仪通过两个逆转点法进行粗略定向，逆转点法见附录B。

5.2.3.3 具备全自动寻北功能的陀螺经纬仪，应根据陀螺经纬仪外部标识位置安置陀螺经纬仪，使北向标识位置指向北方向 $\pm 10^\circ$ 范围内；粗略定向过程可由陀螺经纬仪自动完成。

5.2.4 精密定向

悬挂带陀螺经纬仪精密定向方法可采用：逆转点法、中天法或积分法等。具体操作程序及数据记录表格见附录B、C、D。

5.2.5 测后悬挂带零位观测

5.2.5.1 测后零位观测方法同测前零位观测，具体过程同本文件5.2.2。

5.2.5.2 测前、测后零位观测互差限差要求见表3。测前、测后零位观测互差不满足表3要求或陀螺自由摆动周期发生变化时，应进行零位改正。

表3 测前测后零位观测互差限差要求

仪器等级	测前测后零位观测互差限差要求
I	≤ 0.1
II	≤ 0.2
III	≤ 0.5

单位：格

5.2.5.3 零位改正值的计算方法见（2）式：

$$\Delta\alpha = \lambda \cdot \Delta a \dots\dots\dots (2)$$

式中： $\Delta\alpha$ ——零位改正值，单位：秒；

Δa ——零位变化, $\Delta a = mh$, m 为目镜分划板分划值, h 为零位格数;

λ ——零位改正系数; $\lambda = (T_1^2 - T_2^2) / T_2^2$, 其中 T_1 、 T_2 分别为跟踪和不跟踪摆动周期。

5.2.6 目标照准测量

目标照准测量步骤如下:

- 第一测回: 盘左, 照准目标方向, 并读取水平度盘读数 L_1 ; 盘右, 照准目标方向, 并读取水平度盘读数 L_2 ;
- 第二测回: 盘左, 照准目标方向, 并读取水平度盘读数 L_3 ; 盘右, 照准目标方向, 并读取水平度盘读数 L_4 。

目标照准测量过程中的各读数限差应符合本文件 5.1.7 要求。

5.2.7 陀螺方位角计算

根据目标照准方向在水平度盘上的读数值和陀螺北方向在水平度盘上的读数值进行陀螺方位角计算, 具体计算方法见 (3) 式:

$$\alpha_T = \frac{L_1 + (L_2 \pm 180^\circ) + L_3 + (L_4 \pm 180^\circ)}{4} - N_T \dots\dots\dots (3)$$

式中: α_T ——陀螺方位角;

L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 ——目标照准方向在水平度盘上的读数值;

N_T ——陀螺北方向在水平度盘上的读数值。

5.3 磁悬浮陀螺经纬仪测量

5.3.1 基本流程

磁悬浮陀螺经纬仪测量基本流程主要包括: 粗略定向和精密定向, 具体流程见图3。

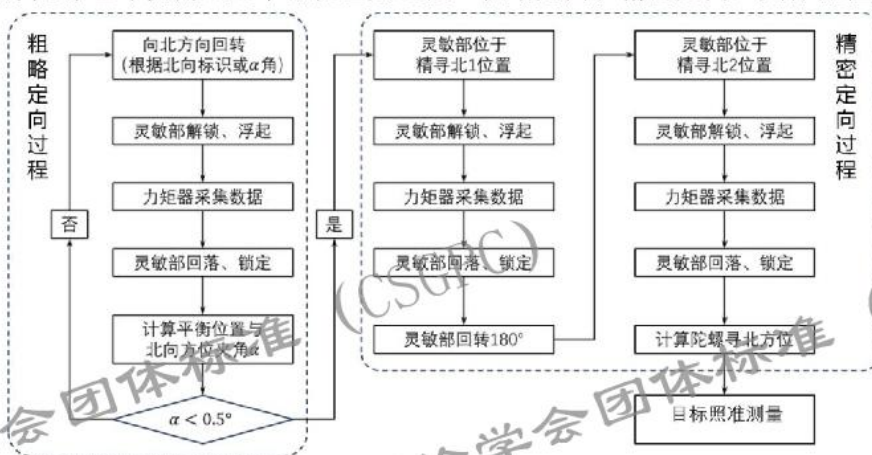


图3 磁悬浮陀螺经纬仪定向测量基本流程

5.3.2 粗略定向

5.3.2.1 将磁悬浮陀螺经纬仪整平对中。

5.3.2.2 输入测区纬度值，数值精确至 0.1° 。

5.3.2.3 启动陀螺马达，陀螺灵敏部在回转系统的作用下，使陀螺旋转轴方向回转至北向标识方位。

5.3.2.4 锁定系统解锁，陀螺灵敏部悬浮。

5.3.2.5 力矩测量系统对陀螺灵敏部施加与指向力矩大小相等、方向相反的平衡力矩，并采集平衡力矩数据。

5.3.2.6 力矩采集结束，陀螺灵敏部下落并锁定。

5.3.2.7 根据采集的平衡力矩数据，计算陀螺旋转轴方向与陀螺北方向之间的夹角，具体计算方法见（4）式：

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{n \cdot H \omega_e \cos \varphi} \dots\dots\dots (4)$$

式中： α ——陀螺旋转轴方向与陀螺北方向之间的夹角；

M_i ——采集的第 i 个平衡力矩值；

n ——采集平衡力矩值的数量；

H ——陀螺角动量；

ω_e ——地球自转角速度；

φ ——测区纬度。

5.3.2.8 回转系统根据计算的夹角值 α ，使陀螺旋转轴方向回转至更加接近真北方向的平衡位置。

5.3.2.9 重复5.3.2.4~5.3.2.8直至 α 角小于 0.5° ，此时粗略定向过程结束，陀螺旋转轴方向位于精寻北1位置。

5.3.3 精密定向

5.3.3.1 陀螺旋转轴方向位于精寻北1位置，并重复5.3.2.4~5.3.2.6。

5.3.3.2 陀螺旋转轴方向回转 180° 至精寻北2位置，并重复5.3.2.4~5.3.2.6。

5.3.3.3 计算精寻北1位置与陀螺北方向之间的夹角，见（5）式：

$$\alpha = \frac{M_1 - M_2}{2 \cdot H \omega_e \cos \varphi} \dots\dots\dots (5)$$

式中： α ——精寻北1位置与陀螺北方向之间的夹角；

M_1 ——陀螺旋转轴方向在精寻北1位置采集力矩的平均值，见（6）式；

M_2 ——陀螺旋转轴方向在精寻北2位置采集力矩的平均值，见（7）式；

H ——陀螺角动量；

ω_e ——地球自转角速度；

φ ——测区纬度。

$$M_1 = \frac{\sum_{i=1}^n M_{1i}}{n_1} \dots\dots\dots (6)$$

式中： M_{1i} ——精寻北1位置采集的第*i*个平衡力矩值；

n_1 ——精寻北1位置采集平衡力矩值的数量。

$$M_2 = \frac{\sum_{i=1}^n M_{2i}}{n_2} \dots\dots\dots (7)$$

式中： M_{2i} ——精寻北2位置采集的第*i*个平衡力矩值；

n_2 ——精寻北2位置采集平衡力矩值的数量。

5.3.3.4 计算陀螺经纬仪北向标识与测得陀螺北方向之间的夹角，见（8）式：

$$N_r = (L - O_1) + \frac{O_1 - (O_2 \pm 180^\circ)}{2} + \alpha \dots\dots\dots (8)$$

式中： N_r ——陀螺北向标识与陀螺北方向的夹角；

L ——陀螺经纬仪北向标识位置在陀螺度盘上的读数；

O_1 ——精寻北1位置在陀螺度盘上的读数；

O_2 ——精寻北2位置在陀螺度盘上的读数；

α ——陀螺旋转轴方向位于精寻北1位置与陀螺北方向之间的夹角。

5.3.4 目标照准测量

目标照准测量步骤同本文件5.2.6。

5.3.5 测线陀螺定向方位角计算

根据目标照准测量读数和陀螺寻北测量结果计算测线的陀螺方位角，见（9）式：

$$\alpha_r = \frac{L_1 + (L_2 \pm 180^\circ) + L_3 + (L_4 \pm 180^\circ)}{4} + N_r \dots\dots\dots (9)$$

式中： α_r ——陀螺方位角；

L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 ——目标照准测量读数；

N_T ——陀螺经纬仪北向标识指示方向与测得陀螺北方向之间的夹角。

6 仪器常数测量

6.1 基本要求

6.1.1 不同陀螺经纬仪的仪器常数不应交叉使用。

6.1.2 定向边测量前后两次仪器常数测量的时间间隔不应超过72小时。

6.1.3 仪器常数边测站点与定向边测站点间水平距离不应超过10km，当测区范围较大时，应增加仪器常数边。

6.2 仪器常数边点位的选取

仪器常数边点位的选取应满足如下要求：

- a) 点位应选在土质坚实、稳定可靠的地方，同时要便于陀螺经纬仪安置与观测；
- b) 点位周围不应有影响陀螺经纬仪测量的振动、强磁场等干扰源；
- c) 测站点与目标点之间通视情况良好。

6.3 仪器常数边建立方法

可采用天文测量、全球卫星定位测量系统、边角控制网测量等方式，直接或间接获得仪器常数边的方位信息。

6.4 仪器常数边已知数据准备

仪器常数边的方位计算应准备以下数据：测站点与目标点的大地坐标或平面坐标。

6.5 子午线收敛角的计算

可根据测站点的大地坐标或平面坐标计算子午线收敛角，具体计算方式见附录F。

6.6 仪器常数边真北方位角计算

可利用测站点的大地坐标或平面坐标计算仪器常数边的真北方位角，具体计算方式见附录G。

6.7 仪器常数边测量要求

仪器常数边测量的一般要求同本文件5.1。

6.8 仪器常数计算

陀螺经纬仪仪器常数可利用陀螺经纬仪在仪器常数边定向测量结果，通过与仪器常数边真方位角的比对计算得到，见（10）式：

$$\Delta = A - \alpha_T \quad \text{..... (10)}$$

式中： Δ —— 仪器常数；

A —— 仪器常数边真方位角；

α_T —— 陀螺经纬仪测量的仪器常数边陀螺方位角。

6.9 仪器常数精度计算

仪器常数精度包括：仪器常数一次测定中误差和仪器常数最或是值中误差，计算方法如下：

a) 陀螺经纬仪在仪器常数边进行多测回测量，并根据（10）式计算出各测回仪器常数，再根据仪器常数平均值计算各测回仪器常数的均值改正数，按（11）式计算仪器常数一次测定中误差：

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{n-1}} \quad \text{..... (11)}$$

式中： m —— 仪器常数一次测定中误差；

V_i —— 第 i 测回仪器常数的改正数， $V_i = \alpha_{Ti} - \bar{\alpha}_T$ ；

α_{Ti} —— 第 i 个测回测量的陀螺方位角；

$\bar{\alpha}_T$ —— 各测回陀螺方位角平均值；

n —— 测回数。

b) 仪器常数最或是值中误差计算见（12）式：

$$m_{\Delta} = \frac{m}{\sqrt{n}} \quad \text{..... (12)}$$

式中： m_{Δ} —— 仪器常数最或是值中误差；

n —— 测回数；

m —— 仪器常数一次测定中误差。

c) 仪器常数计算表见表4。

表4 仪器常数计算表

测线	真北方位角 ° ′ ″	陀螺方位角 ° ′ ″	仪器常数Δ ″	V ″	VV ″
	平均值			Σ	
仪器常数一次测定中误差： $m = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{n-1}}$			仪器常数最或是值的中误差： $m_{\Delta} = \frac{m}{\sqrt{n}}$		

7 定向边测量

7.1 定向边点位选取

定向边点位选取要求同本文件6.2。

7.2 定向边已知数据准备

需准备定向边的测站点与目标点的平面坐标或大地坐标。

7.3 定向边测量要求

定向边测量的一般要求同本文件5.1。

7.4 定向边坐标方位角计算

定向边坐标方位角计算步骤如下：

a) 根据仪器常数Δ和由陀螺定向测量获得的定向边陀螺方位角 α'_T ，计算定向边真北方位角，计算方法见(13)式：

$$A' = \alpha'_T + \Delta \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中：A'——定向边真北方位角；

α'_T ——定向边陀螺方位角；

Δ ——仪器常数。

b) 利用定向边测站点已知数据,按本文件6.5,计算定向边子午线收敛角 γ ;

c) 计算定向边坐标方位角,计算方式见(14)式:

$$\alpha' = A' + \gamma' \quad (14)$$

式中: α' ——定向边坐标方位角;

A' ——定向边真北方位角;

γ' ——定向边测站点子午线收敛角。

8 陀螺定向成果精度评定

陀螺定向测量成果可采用一次定向中误差进行精度评定,计算方法见(15)式:

$$m_a = \pm \sqrt{m_\Delta^2 + m_T^2 + m_\gamma^2} \quad (15)$$

式中: m_a ——陀螺经纬仪一次定向中误差;

m_Δ ——仪器常数最或是值的中误差,见(12)式;

m_T ——定向边陀螺方位角平均值中误差,见(16)式;

m_γ ——子午线收敛角的计算误差。(子午线收敛角的误差一般较小,在实际陀螺定向测量成果精度评价时可忽略不计)。

$$m_T = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} \quad (16)$$

式中: m_T ——定向边陀螺方位角平均值中误差;

m' ——定向边陀螺方位角一次测定中误差,根据具体情况,计算方法见(17)式或(18)式;

n ——定向边测回数。

当只有一条定向边且只观测两个测回,并认为仪器常数边与定向边观测条件大致相同时,定向边陀螺方位角一次测定中误差的计算方式见(17)式:

$$m' = m \quad (17)$$

式中: m' ——定向边陀螺方位角一次测定中误差;

m ——仪器常数一次测定中误差,具体计算方式见(11)式。

当有多条定向边时,且每条定向边观测两个测回,可按双次观测列计算定向边陀螺方位角一次测定中误差,具体计算方式见(18)式:

$$m' = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{2n}} \quad (18)$$

式中： m' ——定向边陀螺方位角一次测定中误差；

d_i ——第 i 条定向边陀螺经纬仪两测回测量方位角之间的差值；

n ——定向边的数量。

9 质量控制

9.1 所使用的陀螺经纬仪标称等级应满足工程要求，检定或校准证书齐全，且在有效期内。

9.2 陀螺定向测量流程检验应符合下列要求：

- a) 陀螺经纬仪每测回测量完成后应随即检查原始记录的可靠性、正确性和完整性，如有漏测、误读、误记或异常，应及时补测、复测、确认或更正；
- b) 每条定向边测量不应少于2个测回；
- c) 在定向边测量前后应在同一条仪器常数边分别进行不少于2测回的仪器常数测量；
- d) 同一条边任意两次定向结果互差不应超过所使用陀螺经纬仪标称精度的2倍。

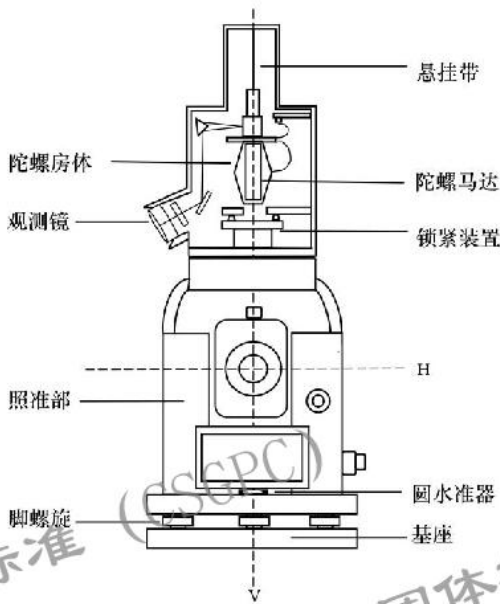
10 成果提交

陀螺定向测量完成后，提交的测量成果应包含以下内容：

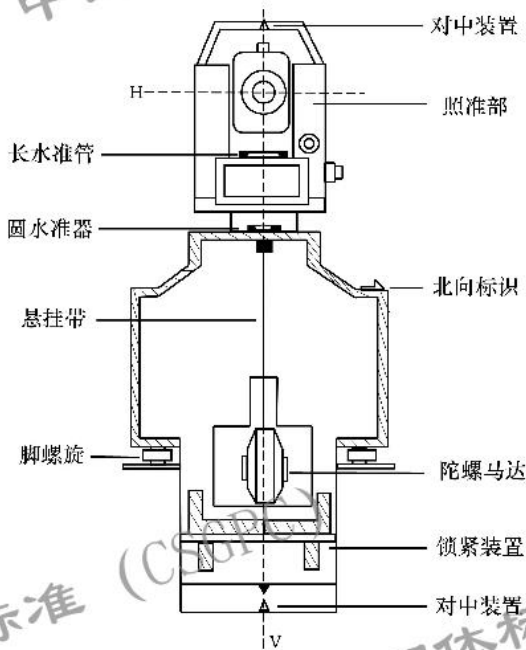
- a) 陀螺定向测量工作任务说明（包括：工程概况、测区纬度、海拔、已知点位坐标等，应明确定向工作需求和目标）；
- b) 设备使用情况说明（包括：陀螺经纬仪的类型、编号、等级等）；
- c) 陀螺定向测量实施方案；
- d) 野外观测记录，包括：观测时间、气象条件、测区纬度、仪器编号、观测者、记录者各定向边测站点、照准点点名、测站位置（仪器常数边、定向边）、每个测回陀螺寻北值、目标照准值以及定向测量结果等；
- e) 仪器常数计算表；
- f) 定向成果计算流程；
- g) 结论与建议；
- h) 已知点坐标数据表（须注明坐标系）；
- i) 陀螺经纬仪检定或校准证书。

附录 A
(资料性)
陀螺经纬仪组成结构

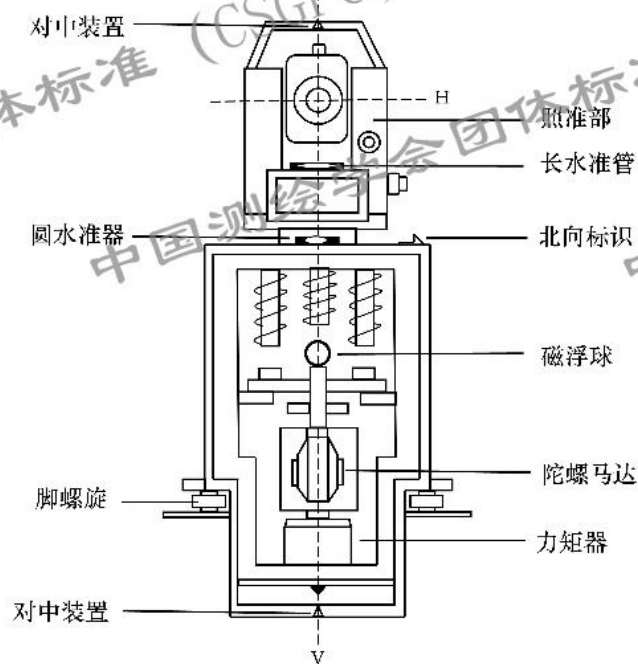
陀螺经纬仪由陀螺仪、经纬仪照准部或与经纬仪照准部等效功能的测量仪器：如全站仪照准部、对中系统、整平系统构成，陀螺仪安装在经纬仪的上部或者下部，并确保陀螺马达回转轴心位于经纬仪照准部竖轴的延长线上。陀螺经纬仪的结构示意图见图A.1-A.3，各部件结构及功能如下：



图A.1 上架式悬挂带陀螺经纬仪结构示意图



图A.2 下架式悬挂带陀螺经纬仪结构示意图



图A.3 磁悬浮陀螺经纬仪结构示意图

a) 陀螺仪

结构主要包括：陀螺灵敏部机械转子、支承系统、寻北功能控制系统（如：力矩阻尼、回转马达、角度方位测量）、数据采集处理系统以及标记在陀螺仪外部壳体上，用以指示陀螺轴向方位的北向标识。

通常具备通过敏感地球自转独立测定北向方位并能够记录和显示的功能。

b) 经纬仪照准部

结构主要包括：望远镜、竖直旋转轴、水平旋转轴、竖直制动螺旋、水平制动螺旋、水平度盘、竖直度盘、长水准管等部件。通常具备全方位照准目标和水平角度测量、显示功能。

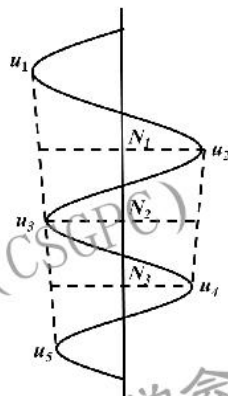
附录 B

(资料性)

逆转点法观测操作程序及记录表

采用逆转点法观测时，陀螺经纬仪在一个测站的操作程序如下：

- 根据粗略定向方位，将望远镜视准轴转到近似北向位置；水平制动照准部，使照准部的水平微动螺旋位于中间位置；
- 启动陀螺马达，达到额定转速后，缓慢下放陀螺灵敏部至半脱离位置，观察陀螺灵敏部目标线移动稳定后再全部下放，光标摆幅宜在 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 范围。
- 跟踪摆动：水平微动螺旋调整照准部方向，使陀螺灵敏部目标线与分划板零刻线保持重合，在跟踪摆动过程中，连续读取5个逆转点读数；跟踪摆动时，还需用秒表测定连续两次同一方向经过逆转点的时间，即跟踪摆动周期。逆转点法观测原理见图B. 1：



图B.1 逆转点法观测原理图

- 锁紧陀螺灵敏部，制动陀螺马达；
- 计算陀螺摆动平衡位置在水平度盘上的平均读数，计算方法见 (B. 1) 式、(B. 2) 式：

$$\begin{cases} N_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{u_1 + u_3}{2} + u_2 \right) \\ N_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{u_2 + u_4}{2} + u_3 \right) \\ N_3 = \frac{1}{2} \left(\frac{u_3 + u_5}{2} + u_4 \right) \end{cases} \dots\dots\dots (B. 1)$$

$$N_T = \frac{1}{3} (N_1 + N_2 + N_3) \dots\dots\dots (B. 2)$$

式中： $u_1, u_2, \dots, u_5$ ——逆转点读数；

N_1, N_2, N_3 ——相邻三个逆转点中点位置；

N_T ——陀螺摆动中点平均位置。

注：陀螺仪相邻、间隔摆动逆转点中点位置均值的互差应不超过20″。

f) 采用逆转点法观测时，陀螺经纬仪定向记录表见表B.1：

表B.1 陀螺经纬仪定向记录表（逆转点法）

测线名称：GFZ1-GFZ2			记录者：XXX			
仪器号：JT ₁₅ —79563			观察者：XXX		日期：xxx年xx月xx日	
逆转点读数	左方		中值		右方	
	1° 15′ .0					
	(1° 14′ .1)		0° 00′ .35		358° 46′ .6	
	1° 13′ .2		0° 00′ .38		(358° 47′ .55)	
	(1° 12′ .25)		0° 00′ .38		358° 48′ .5	
	1° 11′ .3					
	平均值		0° 00′ .37			
	周期		8m38s			
测前零位			测后零位			
左方	中值	右方	左方	中值	右方	
+1.25					-1.86	
(+1.245)	-0.178	-1.60	-1.50	-0.178	(-1.855)	
1.24					-1.85	
周期	38.0s		周期	38.1s		
测线方向	正镜	4° 25′ .5		4° 25′ .6		附注
	倒镜	184° 25′ .2		184° 25′ .3		
	平均	4° 25′ .35		4° 25′ .45		
计算	测线方向值	4° 25′ 24″				天气：晴 气温： 风力：3~4级 振动： 开始时间：20h33min 启动时间：1min36s 制动时间：57s 停止时间：0h55min 运转时间：22min
	陀螺方位	0° 00′ 22″ .2				
	零位改正数					
	陀螺方位角	4° 25′ 01″ .8				
	仪器常数	+4′ 44″ .4				
	真北方位角	4° 29′ 46″ .2				
	子午线收敛角	+4′ 13″ .2				
坐标方位角	4° 25′ 33″					

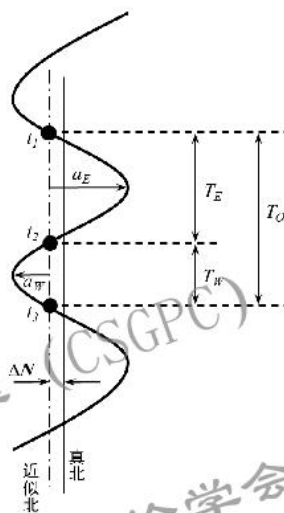
附录 C

(资料性)

中天法观测操作程序及记录表

采用中天法观测时，陀螺经纬仪的起始架设方位应位于真北方向 $\pm 15'$ 以内；观测过程中，经纬仪照准部应固定在近北方向上，具体操作程序如下：

- 根据粗略定向方位，将经纬仪照准部固定在近似北方向 N' 上，并记录下 N' 值；定向过程中，照准部始终固定在这个方向上；
- 启动陀螺马达，待达到额定转速后下放陀螺灵敏部，经限幅，光标摆幅宜在 ± 8 格范围。如图C.1：



图C.1 中天法观测原理图

- 灵敏部目标线经过分划板零刻线时启动专用秒表，读取中天时间 t_1 ；
- 灵敏部目标线到达逆转点时，在分划板上读取摆幅读数 a_E ；
- 灵敏部目标线返回零刻线时读出秒表上读数 t_2 ；
- 灵敏部目标线达到另一逆转点时读摆幅读数 a_W ；
- 灵敏部目标线返回零刻线时再读秒表上中天时间 t_3 。
- 重复进行上述操作，一次定向需连续测定5次中天时间，并记录不跟踪摆动周期 T_2 。
- 观测完毕，托起并锁紧灵敏部，制动陀螺马达。

c) 基本计算具体方式如下：

$$1) \text{ 摆动半周期 } T_E, T_W: T_E = t_2 - t_1, T_W = t_3 - t_2;$$

$$2) \text{ 时间差 } \Delta t: \Delta t = T_E - T_W;$$

$$3) \text{ 摆幅值 } a: a = \frac{|a_E| + |a_W|}{2};$$

4) 比例系数 c , 计算方法如下:

——利用实际观测数据计算比例系数 c , 将经纬仪照准部摆在偏东 $10'$ 和偏西 $10'$ 位置, 分别用中天法观测, 求出时间差 Δt_1 和 Δt_2 , 以及摆幅值 a_1 和 a_2 , 具体计算方式见 (C.1) 式、(C.2) 式:

$$\begin{cases} N_T = N'_1 + ca_1\Delta t_1 \\ N_T = N'_2 + ca_2\Delta t_2 \end{cases} \dots\dots\dots (C.1)$$

$$c = \frac{N'_2 - N'_1}{a_1\Delta t_1 - a_2\Delta t_2} \dots\dots\dots (C.2)$$

注: c 值与地理纬度有关, 在同一地区南北不超过 500km 范围内可使用同一 c 值, 超过这个范围须重新测定。隔一定时间后抽测检查。

——利用摆动周期计算比例系数 c , 具体计算见 (C.3) 式:

$$c = m \frac{\pi T_1^2}{2 T_2^3} \dots\dots\dots (C.3)$$

式中: m ——分划板分划值;

T_1 ——跟踪摆动周期;

T_2 ——不跟踪摆动周期。

5) 近似北方向偏离平衡位置的改正数 ΔN : $\Delta N = ca\Delta t$;

6) 陀螺经纬仪测量的北方向位置 N_T : $N_T = N' + \Delta N = N' + ca\Delta t$;

7) 以一个测回测定待定或已知测线方向值, 前、后两测回的限差要求同逆转点法, 取前、后两次的平均值作为测线方向值;

d) 采用中天法观测时, 陀螺经纬仪定向记录表见表 C.1:

表C.1 陀螺经纬仪定向记录表（中天法）

测线名称：GFZ3-GFZ4

记录者：李 XX

仪器号：GAK—1—26263

观察者：杨 XX

日期：xxxx 年 xx 月 xx 日

N'度盘读数	中天时间		摆动时间		时间差	摆幅
	t		左	右	Δt	a
	(min)	(s)	(min)	(s)	/s	/格
0°00'00".0	0	00.00				
$\Delta N = ca\Delta t$	3	12.36	+3	12.36		+10.0
					-3.57	
-1'47".30	6	28.29	-2	15.93		-10.2
					-3.46	
$N = N' + \Delta N'$	9	40.76	+3	12.47		
					-3.65	
359°58'12".70	12	56.88	-2	16.12		平均
					-3.56	10.10
测前零位			测后零位			
左	中值	右	左	中值	右	
+9.6			+9.3			
(+9.55)	-0.42	-10.4	+(9.25)	-0.39	-10.0	
+9.5			+9.2			
周期	57.77s		周期	57.88s		
测线方向	正镜	306°04'40".00	306°04'50".0	附注		
	倒镜	126°04'48".00	126°04'48".0			
	平均	306°04'44".00	306°04'49".0			
计算	测线方向值	306°04'46".50		天气：晴 气温：+11℃ 风力：3 级 振动：有 开始时间：21h30min 启动时间：1min00.7s 制动时间：49.0s 停止时间：21h57min 运转时间：27min c=2.98409/格·s (c为多次观测平均值)		
	陀螺方位	359°58'12".70				
	零位改正数					
	陀螺方位角	306°06'33".80				
	仪器常数	-45".01				
	真方位角	306°05'48".76				
	子午线收敛角	-25'58".04				
	坐标方位角	306°31'46".8				

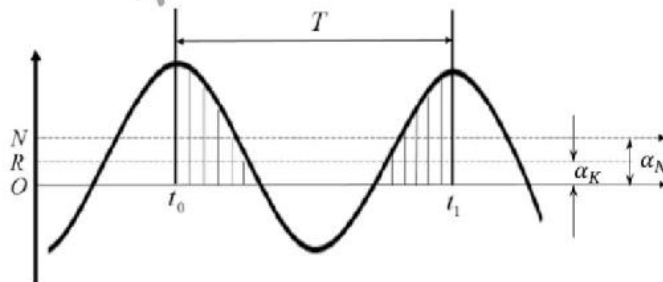
附录 D

(资料性)

积分法观测操作程序及记录表

采用积分法观测时，具体操作程序如下：

- a) 积分法应连续获取完整的陀螺摆动数据，其过程见图D. 1。



图D. 1 积分法原理图

图中： N ——陀螺在无阻尼情况下，摆动曲线的中心位置；

α_N ——陀螺旋转轴方向偏离真北方向角度；

α_K ——陀螺运动阻尼影响使陀螺摆动平衡位置偏离陀螺零刻线 R 方向的角度；

t_0 ——为曲线积分开始时刻；

t_1 ——为曲线积分结束时刻；

T ——从 t_0 到 t_1 一个陀螺摆动周期时间；

$f(t)$ ——以 R 为中心的周期函数。

- b) 陀螺北方向位置计算见 (D. 1) 式：

$$N_T = N' + C' \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) dt \quad \dots\dots\dots (D. 1)$$

式中： N_T ——陀螺北方向位置；

N' ——近似陀螺北方向位置；

t_0 ——为曲线积分开始时刻；

T ——从 t_0 到 t_1 一个陀螺摆动周期时间；

$f(t)$ ——以 R 为中心的周期函数；

C' ——陀螺摆动曲线与电荷耦合器件图像传感器采集像素间的换算关系。

- c) 采用积分法观测时，陀螺经纬仪定向记录表见表D. 1

表D.1 陀螺经纬仪定向记录表（积分法）

工程项目：	仪器型号：	编号：		
日期：	天气：	观测：	记录：	复核：
环境温度：	环境气压：			

测线	开始 时间	结束 时间	陀螺寻北读数 ° ′ ″	盘左读数 ° ′ ″	盘右读数 ° ′ ″	陀螺方位角 ° ′ ″
☐ 仪器常数边 ☐ 定向边						
☐ 仪器常数边 ☐ 定向边						
☐ 仪器常数边 ☐ 定向边						

附录 E
(资料性)

磁悬浮陀螺经纬仪定向记录表

采用磁悬浮陀螺经纬仪进行定向测量时,磁悬浮陀螺经纬仪定向记录表见表E.1:

表E.1 磁悬浮陀螺经纬仪定向记录表

观测时间:	观测地点(海拔):
仪器编号:	地理纬度:
观测人员:	记录人员:

测线	N	Z		Acp
	° ' "	盘左	盘右	° ' "
☐ 仪器常数边 ☐ 定向边				
☐ 仪器常数边 ☐ 定向边				

N: 为陀螺北方向与陀螺马达轴的夹角值

Z: 经纬仪测量值

Acp: 测回定向计算结果

附录 F

(资料性)

子午线收敛角计算方法

子午线收敛角可采用下列方式计算：

a) 根据测站点大地经纬度坐标计算子午线收敛角，具体计算方式见 (F.1) 式：

$$\gamma = \sin B \cdot l + \frac{1}{3} \sin B \cos^2 B \cdot l^3 (1 + 3\eta^2 + 2\eta^4) + \frac{1}{15} \sin B \cos^4 B \cdot l^5 (2 - \eta^2) + \dots \quad (\text{F.1})$$

$$\text{式中： } t = \tan B, \eta^2 = \frac{e^2}{1 - e^2} \cdot \cos^2 B;$$

e ——第一偏心率；

B ——测站点的大地纬度；

l ——为测站点与中央子午线的经度差；

b) 根据测站点高斯坐标计算子午线收敛角，具体计算方式见 (F.2) 式：

$$\gamma = \frac{\rho}{N_f} y t_f \left[1 - \frac{y^2}{3N_f^2} (1 + t_f^2 - \eta_f^2) \right] \dots \quad (\text{F.2})$$

$$\text{式中： } N_f = a / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B_f}, \eta_f = e' \cos B_f, t_f = \tan B_f;$$

B_f ——中央子午线上纵坐标等于已知点纵坐标时的子午线弧长所对应的纬度（称为底点纬度）；

a ——地球椭球的长半轴；

e ——第一偏心率；

e' ——第二偏心率；

ρ ——取 206265''。

$$B_f \text{ 可按照子午线弧长公式 } X = a_0 B - \frac{a_2}{2} \sin 2B + \frac{a_4}{4} \sin 4B - \frac{a_6}{6} \sin 6B + \frac{a_8}{8} \sin 8B,$$

进行迭代计算，初始时设 $B_f^0 = \frac{X}{a_0}$ ，按照 (F.3) 式进行迭代计算：

$$\begin{cases} B_f^{i+1} = \frac{X - F(B_f^i)}{a_0} \\ F(B_f^i) = -\frac{a_2}{2} \sin 2B_f^i + \frac{a_4}{4} \sin 4B_f^i - \frac{a_6}{6} \sin 6B_f^i + \frac{a_8}{8} \sin 8B_f^i \end{cases} \dots \quad (\text{F.3})$$

重复迭代至 $\varepsilon B_f^{i+1} - B_f^i < \varepsilon$ 为止， ε 可根据实际工程的要求确定。

c) 采用查表法计算子午线收敛角, 子午线收敛角系数见表F.1。

表F.1 子午线收敛角系数表

X/km	K	Δ	X/km	K	Δ	X/km	K	Δ	X/km	K	Δ
100	0.008 5	85	1600	0.139 0	91	3100	0.286 5	110	4600	0.476 8	153
200	0.017 0	85	1700	0.148 1	92	3200	0.297 5	111	4700	0.492 1	157
300	0.025 5	86	1800	0.153 7	93	3300	0.308 6	114	4800	0.507 8	162
400	0.034 1	86	1900	0.166 6	93	3400	0.320 0	116	4900	0.524 0	167
500	0.042 6	86	2000	0.175 9	95	3500	0.331 6	118	5000	0.540 7	172
600	0.051 2	86	2100	0.185 4	95	3600	0.313 4	120	5100	0.557 9	178
700	0.059 8	86	2200	0.194 9	97	3700	0.355 4	123	5200	0.575 7	184
800	0.068 4	87	2300	0.204 6	97	3800	0.367 7	125	5300	0.591 1	190
900	0.077 1	87	2400	0.214 3	99	3900	0.380 2	129	5400	0.613 4	197
1000	0.085 8	87	2500	0.224 2	100	4000	0.393 1	131	5500	0.632 8	205
1100	0.094 5	88	2600	0.234 2	102	4100	0.406 2	131	5600	0.653 3	212
1200	0.103 3	88	2700	0.244 4	103	4200	0.419 6	138	5700	0.675 4	222
1300	0.112 1	89	2800	0.254 7	104	4300	0.433 4	141	5800	0.696 7	230
1400	0.121 0	90	2900	0.265 1	107	4400	0.447 5	144	5900	0.719 7	240
1500	0.130 0	90	3000	0.275 3	107	4500	0.461 9	149	6000	0.747 3	248

算例: 已知平面坐标 $x=4435km$, 平面坐标 $y=143km$, 求 γ 。

由表查得子午线收敛角系数: $K=0.4475+0.0144 \times 0.35=0.4525$;

由此可计算出子午线收敛角 $\gamma=0.4525 \times 143=64.71'=1^{\circ}04'43''$

d) 根据独立坐标系, 计算子午线收敛角, 具体见 (F.4) 式:

$$\gamma = \frac{(\tan B \times y)}{N} \dots \dots \dots (F.4)$$

式中: γ ——该点子午线收敛角, 以分为单位;

y ——该点横坐标；

B ——测站点大地纬度；

N ——卯酉圈曲率半径, $N = 1/\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}$, e 为第一偏心率；

注：采用独立坐标系时，应提供独立坐标系与大地坐标系的转换参数。

附录 G

(资料性)

仪器常数边真北方位角计算方法

仪器常数边真北方位角可采用下列方式计算：

a) 利用大地坐标计算真北方位角。计算时应注明所采用的椭球参数。步骤如下：

1) 辅助计算：

$$W_1 = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B_1}, \quad W_2 = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B_2}, \quad \sin u_1 = \frac{\sin B_1 \sqrt{1 - e^2}}{W_1}, \quad \sin u_2 = \frac{\sin B_2 \sqrt{1 - e^2}}{W_2},$$

$$\cos u_1 = \frac{\cos B_1}{W_1}, \quad \cos u_2 = \frac{\cos B_2}{W_2}, \quad L = L_2 - L_1, \quad a_1 = \sin u_1 \sin u_2, \quad a_2 = \cos u_1 \cos u_2,$$

$$b_1 = \cos u_1 \sin u_2, \quad b_2 = \sin u_1 \cos u_2. \quad e \text{ 为第一偏心率}$$

2) 用趋次渐进法同时计算起点大地方位角及经差 $\lambda = L + \delta$ ：第一次趋近时，取 $\delta = 0$ ，

$$p = \cos u_2 \sin \lambda, \quad q = b_1 - b_2 \cos \lambda$$

$$A_1 = \arctan \frac{p}{q}$$

p	+	+	-	-
q	+	-	-	+
A_1	$ A_1 $	$180^\circ - A_1 $	$180^\circ + A_1 $	$360^\circ - A_1 $

$$\sin \sigma = p \sin A_1 + q \cos A_1, \quad \cos \sigma = a_1 + a_2 \cos \lambda, \quad \sigma = \arctan \frac{\sin \sigma}{\cos \sigma}$$

$\cos \sigma$ 符号	+	-
σ	$ \sigma $	$180^\circ - \sigma $

 $|A_1|$ 、 $|\sigma|$ 第一象限的角度。

$$\sin A_0 = \cos u_1 \sin A_1, \quad x = 2a_1 - \cos^2 A_0 \cos \sigma$$

$$\delta = [\alpha \sigma - \beta' x \sin \sigma] \sin A_0$$

$$\left\{ \begin{aligned} \alpha &= [33523299 - (28189 - 70 \cos^2 A_0) \cos^2 A_0] \times 10^{-10} \\ \beta' &= 2\beta = (28189 - 94 \cos^2 A_0) \times 10^{-10} \end{aligned} \right.$$

用算得的 δ 计算 $\lambda_1 = l + \delta$ ，按上述步骤重新计算得 δ_2 ，再用 δ_2 计算 λ_2 ，一直迭代，直到最后两次 δ 相同或小于实际工程要求给定的允许值。 λ 、 A_1 、 σ 以及 $\sin A_0$ 均采用最后一次计算的结果。

3) 反方位角计算方法见 (G.1) 式：

$$A_2 = \arctan \left(\frac{\cos u_1 \sin \lambda}{b_1 \cos \lambda - b_2} \right) \dots\dots\dots (G.1)$$

p	+	+	-	-
q	+	-	-	+
A_2	$ A_2 $	$180^\circ - A_2 $	$180^\circ + A_2 $	$360^\circ - A_2 $

b) 利用平面坐标计算真北方位角的步骤如下:

1) 根据测站点与照准点的平面坐标计算测线坐标方位角, 计算方法见 (G.2) 式:

$$\alpha_{OP} = \arctan \frac{y_P - y_O}{x_P - x_O} \dots\dots\dots (G.2)$$

式中: α_{OP} ——测线 OP 的坐标方位角;

x_O ——为测站点纵坐标;

y_O ——为测站点横坐标;

x_P ——为照准点纵坐标;

y_P ——为照准点横坐标。

2) 根据测站点坐标计算测站点处子午线收敛角, 可参照附录F计算测站点子午线收敛角 γ_O ;

3) 测线真北方位角计算方法见 (G.3) 式, 必要时应考虑高斯投影方向改化, 高斯投影方向改化的计算方式见 (G.4) 式。

$$A_{OP} = \alpha_{OP} + \gamma_O \dots\dots\dots (G.3)$$

式中: A_{OP} ——测线 OP 的真北方位角;

α_{OP} ——测线 OP 的坐标方位角;

γ_O ——测站点 O 的子午线收敛角。

$$\delta_{OP} = \frac{1}{4R_m^2} (x_O - x_P)(y_P + y_O) \dots\dots\dots (G.4)$$

式中: δ_{OP} ——高斯投影方向改化;

R_m ——点 O 的平均曲率半径;

x_O ——为测站点 O 的纵坐标;

y_O ——为测站点 O 的横坐标;

x_P ——为照准点 P 的纵坐标;

y_P ——为照准点 P 的横坐标。

参 考 文 献

- [1] GB/T 15314-1994 精密工程测量规范
 - [2] GB/T 50308-2017 城市轨道交通工程测量规范
 - [3] GB 55018-2021 工程测量通用规范
 - [4] JJF 1350-2012 陀螺经纬仪校准规范
 - [5] JJG 5201-2013 陀螺经纬仪检定规程
-