

康胜军,何志堂,赵丕,等. 2025. 测段数量对相对重力仪性能试验的影响分析[J]. 地震研究, 48(4): 693–701, doi:10.20015/j.cnki. ISSN1000–0666. 2025. 0071.

Kang S J, He Z T, Zhao P, et al. 2025. Analysis of the influence of the number of gravimetric sections on the performance test of the relative gravimeter[J]. *Journal of Seismological Research*, 48(4): 693–701, doi:10.20015/j.cnki. ISSN1000–0666. 2025. 0071.

测段数量对相对重力仪性能试验的影响分析*

康胜军¹, 何志堂¹, 赵丕^{1*}, 汪健², 史志刚¹

(1. 自然资源部第一大地测量队, 陕西 西安 710054; 2. 中国地震局地震研究所
地震大地测量重点实验室, 湖北 武汉 430071)

摘要: 为了分析测段数量对相对重力仪性能试验的影响, 对 2021—2024 年 4 台 CG-6 型和 4 台 BURRIS 型相对重力仪的性能试验数据进行处理, 选取 2~9 段段差计算动态精度和 3 种仪器组合数的一致性中误差。发现 CG-6 型、BURRIS 型相对重力仪动态精度的均值分别为 $(1\sim3)\times10^{-8}\text{ m/s}^2$ 、 $(4\sim16)\times10^{-8}\text{ m/s}^2$; 3 台仪器组合较 6 台仪器组合的一致性中误差更容易满足限差。剔除读数异常的仪器干扰后进一步分析发现, 测段数量与相对重力仪的性能试验结果密切相关。随着测段数量的增加, 动态精度和一致性中误差结果会逐渐趋于稳定; 当测段数量为 5~7 段时, 各台仪器的动态精度和多台仪器一致性中误差达到峰值, 之后逐渐减小或保持稳定。

关键词: 相对重力仪; 性能试验; 动态精度; 一致性中误差; 测段数量

中图分类号: P315.62 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000–0666(2025)04–0693–09

doi:10.20015/j.cnki. ISSN1000–0666. 2025. 0071

0 引言

地球重力场是反映地球系统物质分布和迁移的基本物理场, 可用于研究各种地球系统过程的时空特性, 被广泛应用于矿产资源勘探、水资源变化监测、地震活动性分析以及国防军事等领域(祝意青等, 2022; 韩建成等, 2022; 胡敏章等, 2021; Xing et al., 2024)。相对重力测量是获取地球重力场数据的主要手段之一(邢乐林等, 2016; 韩宇飞等, 2017)。相对重力仪的性能状态是影响相对重力测量结果精度的重要因素(隗寿春等, 2019; 郝洪涛等, 2016; 梁伟锋等, 2015)。因此, 在相对重力测量实施前对相对重力仪进行性能试验十分必要。动态试验和多台一致性试验作

为性能试验中的重要组成部分, 主要目的是检验运动状态下相对重力仪的状态、精度以及多台仪器的成果一致性(张则宇等, 2016)。

我国现行的多个标准均对相对重力仪性能试验有明确规定, 但因行业和测量的目的不同, 技术规定也各有差异。《国家重力控制测量规范》(GB/T 20256—2019)中涉及的重力测量等级较高, 其中规定相对重力仪性能试验(动态试验与一致性试验同时进行)必须在点数不少于 10 个、最大重力段差不小于 $50\times10^{-5}\text{ m/s}^2$ 的场地进行。《加密重力测量规范》(GB/T 17944—2018)中涵盖的重力测量等级较低, 性能试验可在最大重力段差不小于 $50\times10^{-5}\text{ m/s}^2$ 的两点间进行。地震行业标准《地震观测仪器进网技术要求——重力仪》(DB/T 23—2007)对重力仪动态零点漂

* 收稿日期: 2024–10–28.

基金项目: 国家自然科学基金(42374104, 41604014); 陕西测绘地理信息局科技创新项目(SCK2024–02).

第一作者简介: 康胜军(1981–), 高级工程师, 主要从事重力数据采集及分析研究工作.

E-mail: 13571898260@163.com.

通信作者简介: 赵丕(1986–), 高级工程师, 主要从事重力数据采集及分析研究工作. E-mail: 583954561@qq.com.

移检测没有直接规定具体的观测点数, 只明确测站间距离不大于 30 km, 最大重力段差不小于 $50 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。但根据检测场地宜选择短基线场的建议, 以及《地震台网设计技术要求——重力观测网》(DB/T 39—2010) 中对短基线的定义可以得出, 重力仪动态零点漂移检测点数宜在 4~10 个。石油天然气行业标准《陆上重力磁力勘探技术规程》(SY/T 5819—2016) 规定相对重力仪性能试验场地点数可为 8~10 个, 相邻点间重力段差不小于 $2 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。地质矿产行业标准《区域重力调查规范》(DZ/T 0082—2021) 规定动态试验点数可选择 2 个或 2 个以上, 而一致性试验的点数应不少于 15 个, 且相邻点间重力段差应不小于 $3 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。上述标准中列明的测点数量, 对应的是性能试验中测段数量的要求, 可以看出差异较为明显。

国内一些学者已经就不同数量的测段与相对重力仪性能试验开展了一些研究, 如玄松柏等 (2018) 选取 3 个测段对 2 台 CG-6 型相对重力仪进行动态试验, 结果表明 2 台仪器的动态精度优于 $10 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$; 张锐等 (2011) 选取 3 个测段对 5 台 BURRIS 型相对重力仪进行动态试验, 结果表明该类型重力仪动态精度优于 $15 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$; 邓友茂等 (2021) 选取 9 个测段对 6 台 CG 型相对重力仪进行动态试验, 结果表明 CG-6 型相对重力仪动态精度及零漂率明显优于 CG-5 型。上述研究结果没有明确相对重力仪性能试验最为合理的测段数量, 测段数量是否对相对重力仪动态精度及多台仪器一致性中误差有影响, 这些问题需要进一步的研究。鉴于此, 本文以 8 台相对重力仪连续 4 年的性能试验数据为基础, 分别选取各台仪器不同数量测段段差重新计算其动态精度及多台一致性中误差, 分析不同数量测段对相对重力仪性能试验结果的影响。

1 试验数据来源

2021—2024 年, 自然资源部第一大地测量队对 2018 年 6 月投入生产的 4 台 CG-6 型和 2012 年 11 月投入生产的 4 台 BURRIS 型相对重力仪进行

了 4 次性能试验。每次试验方法相同, 严格按照《国家重力控制测量规范》(GB/T 20256—2019) 要求实施, 即: 选取 10 个点位, 点位最大重力段差不小于 $50 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$; 按照顺序往返对称观测的方法实施观测, 至少实施 3 个测回。在经过潮汐改正、格值改正、零漂改正、一次项比例因子改正后, 求得 10 个点位相邻两点之间的重力差值 (段差)。仪器动态精度 M_{dy} 计算公式为:

$$M_{dy} = \sqrt{\frac{[VV]}{(l-n)}} \quad (1)$$

式中: V 为该仪器在同一测段的各个段差值与平均值之差; l 为该仪器全部测段的段差观测值的个数; n 为试验场地测段的个数。

多台仪器一致性试验与动态试验同时进行 (采用动态试验数据), 一致性中误差 m_c 计算公式为:

$$m_c = \sqrt{\frac{[vv]}{(m-n)}} \quad (2)$$

式中: v 为同一测段上各台重力仪段差观测值与平均值之差; m 为全部仪器所有测段的段差观测值的总数。

2 测段选取

上述试验数据中 2 个相邻点形成 1 个段差, 10 个点位共有 9 个段差, 计算每次试验结果时, 均采用全部 9 个测段的段差值。为了分析测段数量不同时试验精度的变化, 对测段重新组合, 计算测段数量变化时每台仪器的动态精度以及多台仪器一致性中误差。

按照组合数的算法, 不同数量测段的选取远不止上述一种情况。比如, 仅 2 个测段的段差组合就可以有 120 组。组合形成的段差值多数为非直接观测结果, 而是依托原段差计算所得, 难免引入中间点传递误差, 且不同数量测段组合形成的段差不是基于同一个起始点, 不利于最终结果的比对分析。因此本文采用不同数量测段的选取方法为: 保持已有试验段差不变, 以已有试验数据中的 1 号点为起始点, 分别以 3、4、5、6、7、8、9、10 号点为结束点, 作为 2~9 个段差对应的 8 组试验数据。

3 分析与讨论

3.1 不同测段数量对动态精度的影响

按照上述不同数量测段的选取方法，分别对2021—2024年实施完成的试验数据进行整理，并

按照式（1）重新计算每年度每台仪器2~9段试验数据对应的动态精度，结果见表1。从表1可以看出，各台仪器在不同测段的动态精度的最大值仅为 $18.1 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ ，表明全部仪器的动态精度均满足《国家重力控制测量规范》（GB/T 20256—2019）的技术要求，即CG-6型和BURRIS型相

表1 2021—2024年不同测段数动态精度
Tab.1 Dynamic accuracy of different numbers of gravimetric sections during 2021 - 2024

年份	仪器型号	动态精度/ ($\times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)								平均值/	标准差/
		2段	3段	4段	5段	6段	7段	8段	9段	($\times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)	($\times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)
2021	C071	1.1	1.0	1.2	1.3	1.2	1.2	1.3	1.7	1.3	0.2
	C074	1.6	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.4	0.1
	C075	2.5	2.5	2.4	2.8	2.5	2.4	2.3	2.2	2.5	0.2
	C077	2.2	1.9	1.8	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.7	0.2
	B074	11.6	9.5	10.5	9.6	8.9	11.0	10.5	10.1	10.2	0.9
	B080	15.6	12.8	11.2	10.8	15.1	14.1	13.3	12.5	13.2	1.7
	B085	18.1	14.9	13.9	12.5	14.6	14.3	13.6	13.1	14.4	1.7
	B089	2.4	2.4	7.5	6.8	7.7	7.3	7.2	7.3	6.1	2.3
2022	C071	1.5	1.2	1.8	2.1	2.2	2.6	2.4	2.9	2.1	0.6
	C074	2.7	2.4	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	2.2	2.3	0.2
	C075	3.2	2.9	2.8	3.0	2.9	2.7	2.7	2.5	2.8	0.2
	C077	3.3	3.1	2.7	2.5	2.3	2.2	2.2	2.1	2.6	0.4
	B074	7.2	6.8	6.4	7.0	17.6	16.3	15.3	14.7	11.4	5.0
	B080	2.9	2.4	4.4	5.6	5.1	4.8	8.1	10.1	5.4	2.6
	B085	5.8	4.9	4.3	3.9	4.1	4.0	3.8	5.9	4.6	0.8
	B089	8.9	8.8	8.8	9.3	11.0	11.6	12.6	12.3	10.4	1.6
2023	C071	2.1	1.8	1.7	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	1.7	0.1
	C074	2.6	2.2	1.9	1.8	2.0	2.3	2.2	2.5	1.9	0.3
	C075	3.5	3.0	2.7	2.4	2.3	2.2	2.2	2.2	2.7	0.5
	C077	2.9	2.6	2.3	2.1	2.0	1.9	2.1	2.1	3.1	0.3
	B074	4.8	5.6	5.8	6.1	6.5	8.0	7.5	14.6	9.6	3.1
	B080	7.1	8.6	8.3	11.8	11.5	10.7	11.5	10.9	15.9	1.8
	B085	4.8	4.7	4.1	3.7	4.1	5.7	5.7	5.4	5.2	0.8
	B089	14.3	14.9	15.9	17.0	16.1	17.9	17.0	16.6	13.3	1.2
2024	C071	1.8	1.6	1.6	1.8	1.9	1.8	1.7	1.6	1.7	0.1
	C074	2.0	1.8	1.7	1.7	1.9	2.0	2.0	2.0	1.9	0.1
	C075	3.6	3.1	2.7	2.4	2.3	2.4	2.7	2.7	2.7	0.4
	C077	3.2	3.1	3.5	3.1	3.1	2.9	2.9	2.8	3.1	0.2
	B074	3.7	3.8	4.7	9.4	8.7	15.2	15.1	16.0	9.6	5.3
	B080	16.6	17.4	15.4	17.1	15.9	15.3	14.5	15.0	15.9	1.0
	B085	6.9	5.9	5.6	5.0	4.6	4.5	4.6	4.5	5.2	0.9
	B089	17.5	14.4	14.8	13.4	12.4	11.5	10.8	11.4	13.3	2.2

注：CG-6型仪器编号以C开头，BURRIS仪器编号以B开头。

对重力仪的动态精度应小于 $40 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。按照实施任务过程中提高效率、节约经费的原则,可以断定仅实施 2 段就可以达到低等级重力测量仪器所需的动态试验精度,因为《加密重力测量规范》(GB/T 17944—2018)中仅要求进行 1 个测段,且动态精度的要求为 $250 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$,远大于本次试验的实测精度。但对应高等级重力测量仪器的动态试验要求,仍需探讨分析。

由表 1 可看出,CG-6 型仪器动态精度值普遍较小,表示精度较高,最大值仅为 $3.6 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$,最大标准差仅为 $0.6 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。BURRIS 型仪器重力态精度值则普遍较大,表示精度较低,该类仪器不仅占据最弱精度,还存在最大标准差,达到 $5.3 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。为了更清楚对比 2 种类型仪器,绘制 4 个年度不同仪器动态精度平均值变化,其中不确定度为各台仪器的标准差值,如图 1 所示。

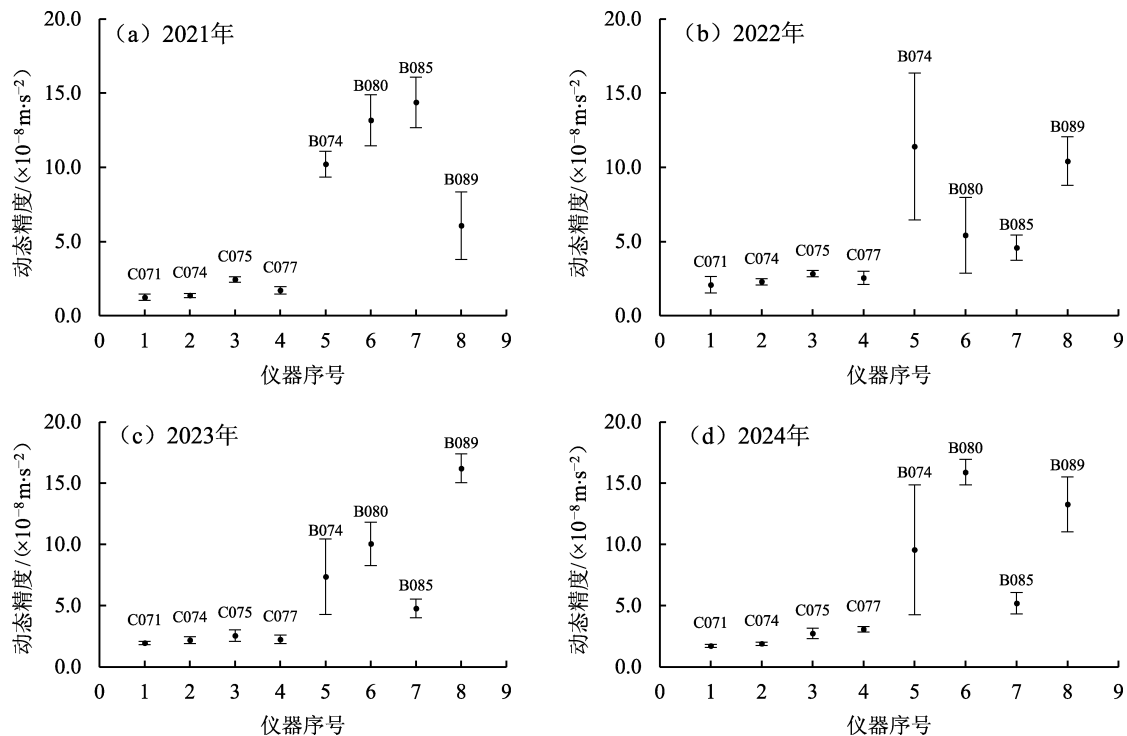


图 1 2021—2024 年 8 台仪器动态精度平均值变化

Fig. 1 Changes in the average dynamic accuracy of 8 gravimeters during 2021 – 2024

由图 1 可知,CG-6 型仪器在 4 个年度的动态精度较为稳定,均值为 $(1 \sim 3) \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$,不确定度较小。BURRIS 型仪器在 4 个年度的动态精度变化较大,均值为 $(4 \sim 16) \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$,不确定度明显较大。上述结果与其他学者的研究结论基本一致。考虑到仪器性能可能会随着使用时长增加而逐渐降低的因素,可利用更多仪器、更长期的数据进行分析探讨。采用相同方法对 2016 年、2017 年和 2019 年 10 台 BURRIS 型仪器(包含本文的 4 台仪器)的动态精度进行分析,结果显示,该类型仪器动态精度的均值为 $(4 \sim 17.9) \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$;对 2018 年、2019 年 8 台 CG-6 型仪器(包含本文的 4 台仪器)的动态精度

进行分析,结果显示,该类型仪器动态精度的均值为 $(1 \sim 3.1) \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。并且 2 种仪器是同期观测的,外部观测环境也完全相同。由此可以看出,CG-6 型仪器的动态精度更优,是由于仪器自身性能较好的缘故。

B074 仪器在 2022 年(图 1b)和 2024 年(图 1d)表现异常。通过查阅资料发现,该仪器在这 2 个年度的动态试验中发生了读数突跳的现象,致使段差互差偏大,对应于表 1 中 2022 年和 2024 年的 B074 的 6 段、7 段的动态精度值显著增大。建议观测者应在仪器试验的过程中,密切关注仪器的状态,确保试验结果准确、可靠。

为了分析不同测段数量对动态精度的影响,绘制各年度不同测段数动态精度变化图(图2)。

由图2可知,CG-6型仪器动态精度整体变化幅度较小,可认为所有年度均从5段开始变化更小。2022年(图2b)、2023年(图2c)和2024年(图2d)的B074仪器最后一段表现异常,2022年(图2b)B080仪器的后两段突然升高,结合观测资料分析,应该是由仪器的异常状

态引发的。排除异常情况的干扰,仍能发现BURRIS型仪器的动态精度随着测段数量的增加而逐渐趋于稳定,2021、2023年均是从7段开始逐渐减小(图2a、c),2024年则是从5段开始逐渐减小(图2d)。

综合2种仪器的情况表明,随着测段数量的增加,动态精度的变化逐渐趋于稳定,且可认为测段数量达到5~7段时,动态精度值开始逐渐减小。

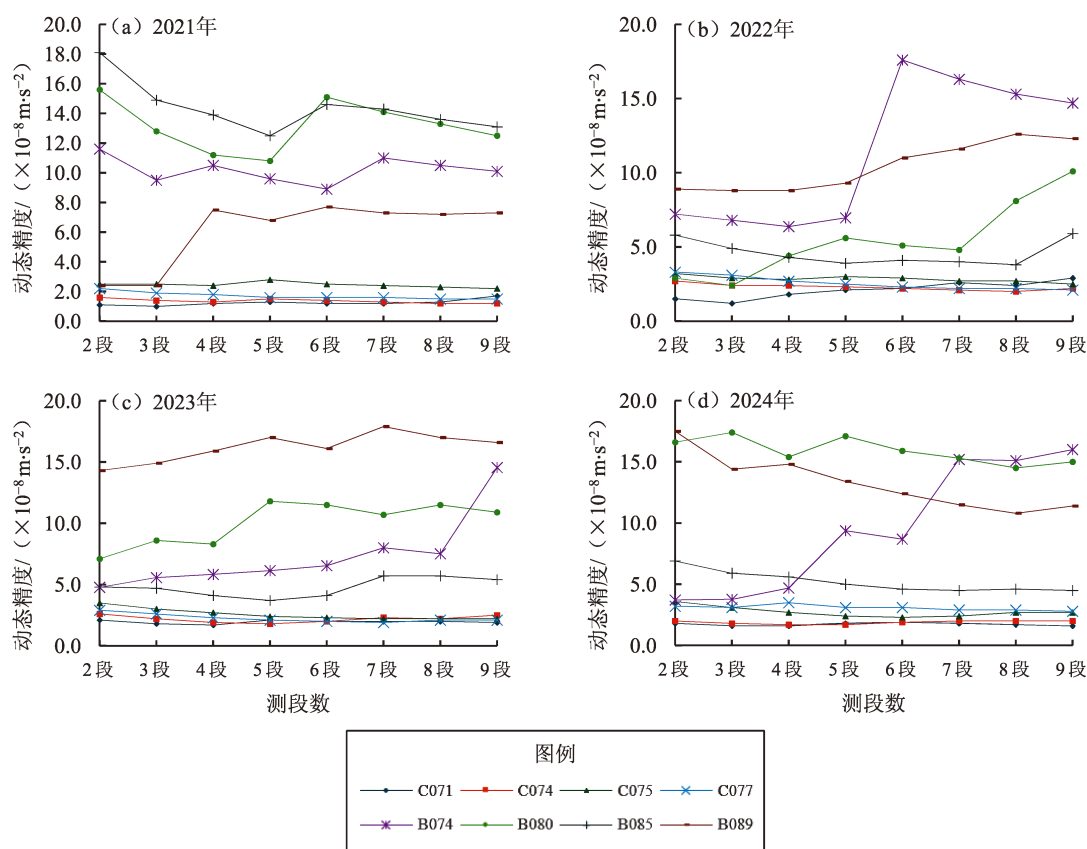


图2 2021—2024年不同测段数动态精度变化

Fig. 2 Changes in dynamic accuracy of different numbers of gravimetric sections during 2021 – 2024

3.2 不同测段数量对一致性中误差的影响

按照上述不同数量测段的选取方法,分别对2021—2024年多台仪器一致性试验数据(共用动态试验数据)进行整理,并按照式(2)重新计算每年度多台仪器组合的2~9段试验数据对应的一致性中误差。按照《国家重力控制测量规范》(GB/T 20256—2019)中相对重力联测等级分类对应的最少仪器数要求,本文仅对3台、4台以及6台仪器组合进行一致性中误差计算,对应的相对重力联测等级依次是一等点、基本点和短基线,一致性中误差的限差分别是 50×10^{-8} 、 20×10^{-8}

和 $10 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。

按照组合数的算法,从8台仪器中分别取出3台、4台以及6台仪器的组合数依次为56、70和28,每种组合均可计算出对应的一致性中误差。因2021、2024年的一致性试验中,均有1台仪器未与其他仪器进行同场地观测,因此该仪器不能参与一致性中误差的计算,即表示这两个年度的一致性试验是从7台仪器中选取对应的仪器数,相应的组合数分别是35、35和7。图3分别为2021—2024年不同测段数多台仪器组合一致性中误差变化曲线。

图中黑直线是规范中限差要求, 每一根线条代表不同仪器组合随着测段数量变化对应的一致性中误差的变动。例如, 图 3a-2 中最下方的线条对应的组合仪器编号是 C071、C074、C075、C077, 在 2~9 段分别对应的一致性中误差值为

$(3.7、3.8、4.6、6.4、6.5、6.3、6.7、6.4) \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。其他线条数据类同, 此处不再赘述。

由图 3 可以看出, 随着测段数量的变化, 同一年度内的 3 种仪器组合的一致性中误差曲线具有较好的相似性, 在同一测段处起伏变化相似,

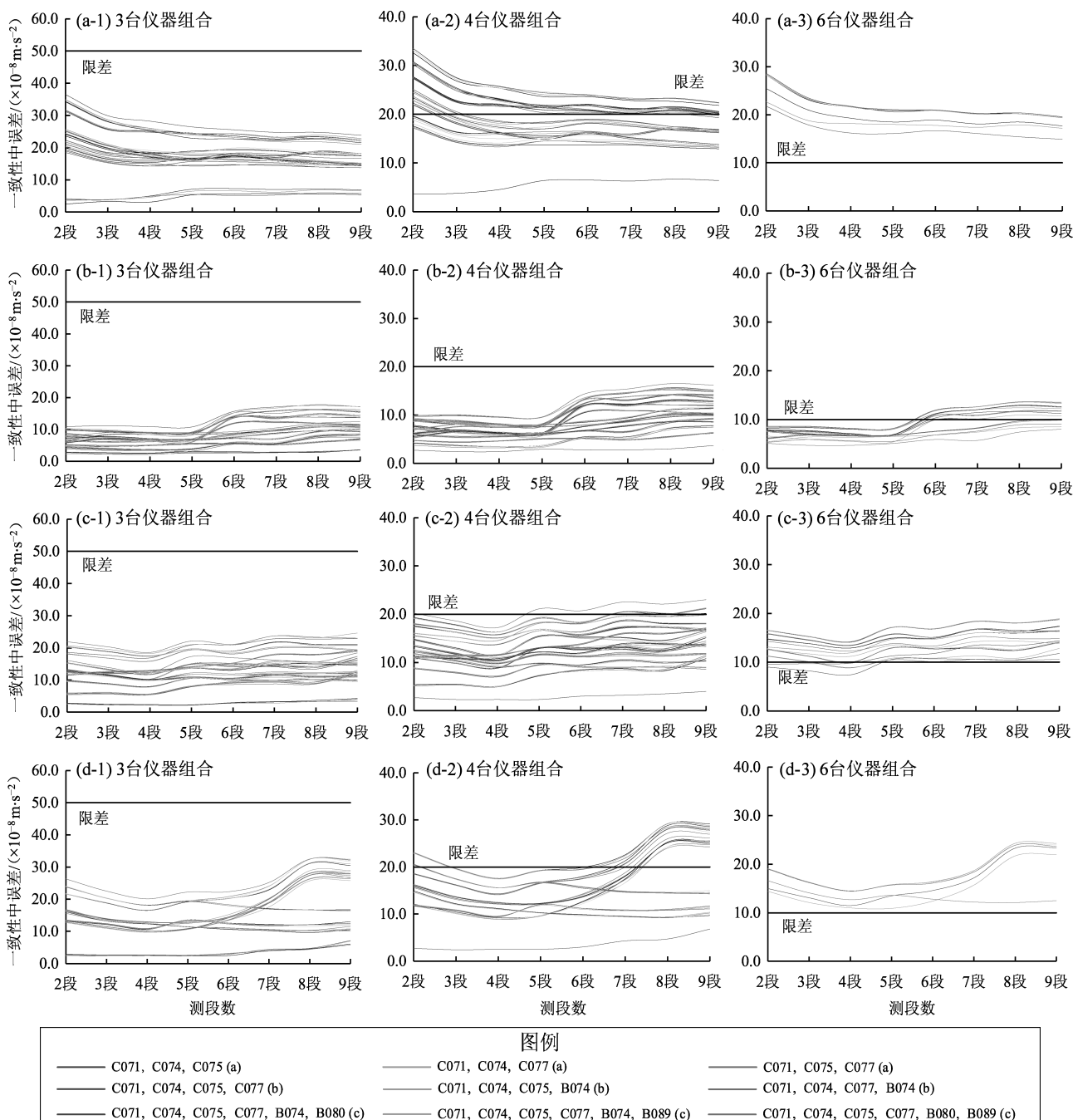


图 3 2021 年 (a)、2022 年 (b)、2023 年 (c)、2024 年 (d) 不同测段数
多台仪器组合一致性中误差变化曲线

Fig. 3 Changes in the mean square error of the consistency of 3 - instrument combination, 4 - instrument combination and 6 - instrument combination with different numbers of gravimetric sections in 2021 (a), 2022 (b), 2023 (c), 2024 (d)

且变化幅度基本相同。一致性中误差变化曲线在2021年前部略有抬升,从5段后保持稳定;在2023年整体上有起伏波动,但从7段后保持稳定;在2022年、2024年分别在6段、8段发生突变,且存在分群现象,应是误差源干扰所致。

结合在2022年、2024年B074仪器的异常表现,可将这2个年度内的B074仪器的数据剔除,重新组合、计算后,绘制不同测段数多台仪器组合一致性中误差变化曲线,如图4所示。由图可见,测段数变化与一致性中误差的规律较为明显,一致性中误差变化曲线在2022年整体变化较小,从6段后保持稳定;在2024年从5段后保持稳定。

综上所述,随着测段数量的增加,多台仪器一致性中误差的变化会逐渐趋于稳定,可认为测段数量达到5~7段时,一致性中误差开始保持稳定。

从图3、4可以观察到,各年度3台仪器组合全部满足限差的要求,即表示8台仪器中任意选取3台均可进行一等重力点的联测。4台仪器组合部分满足限差要求,6台仪器组合极少满足限差要求。这种现象的主要原因是,随着选取仪器数目的增多,限差迅速变小,而一致性误差的变化范围基本固定,不会随着仪器数目的变化而变化。由此可以得出,在进行高精度的重力测量前,必须尽可能多地选择性能较佳的仪器进行性能试验,以便选择满足规范要求的仪器组合。

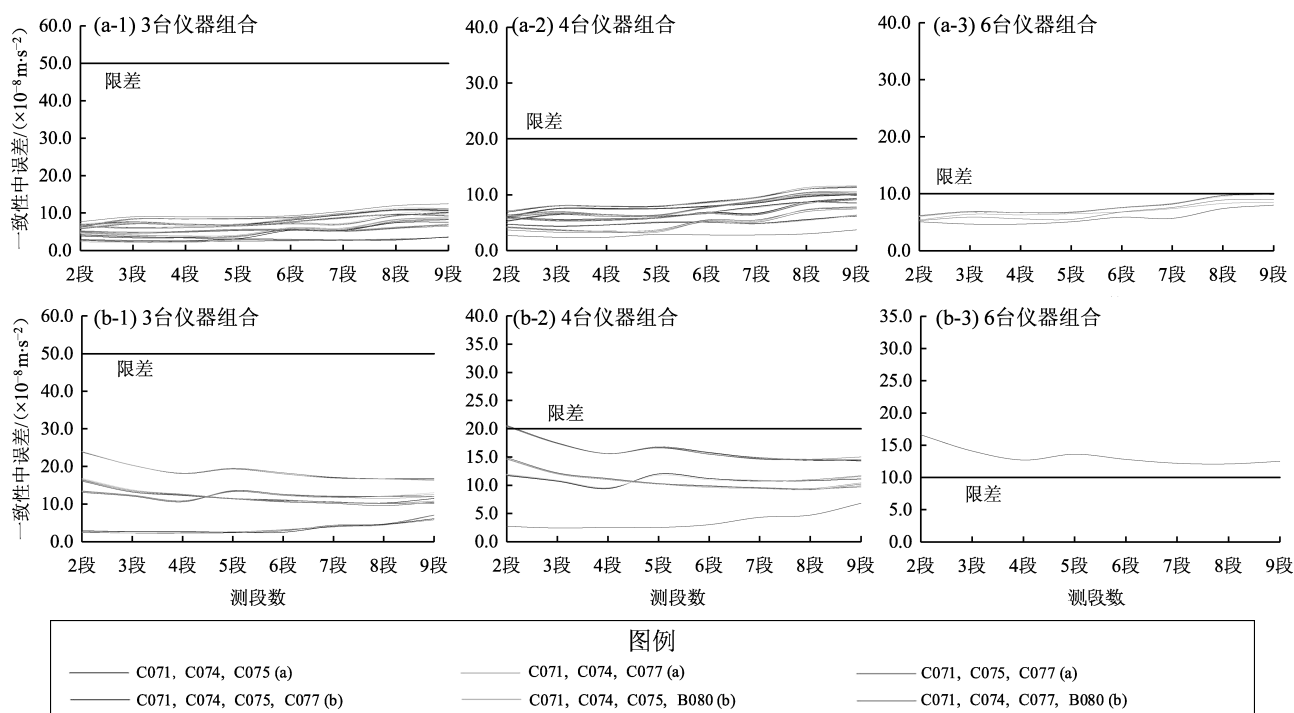


图4 2022年(a)、2024年(b)(剔除B074后的)不同测段数多台仪器组合一致性中误差变化曲线
Fig. 4 Changes in the mean square error of the consistency of 3 - instrument combination, 4 - instrument combination and 6 - instrument combination with different numbers of gravimetric sections in 2022 (a) and 2024 (b) (B074 removed)

2021—2024年4个年度的性能试验场地最大重力段差分别为 $(100、70、90、245) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,从试验结果来看,场地的最大重力段差对试验结果无明显影响。但若顾及相对重力仪的另外一项重要参数(一次项比例因子)的标定,场地的重力段差宜覆盖工作地区重力仪的读数范围,一般建议至少应达到 $150 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。

4 结论

本文利用8台相对重力仪连续4年的试验数据,分析了不同数量测段对相对重力仪性能试验中动态精度和一致性中误差的影响,得到以下结论:

(1) 测段数量与相对重力仪的性能试验结果密

切相关,随着测段数量的增加,动态精度和一致性中误差会逐渐趋于稳定;当测段数量为 5~7 段时,各台仪器的动态精度和多台仪器一致性中误差达到峰值,之后逐渐减小或保持稳定。参考此测段数量进行高等级重力测量前的相对重力仪性能试验,即布设测点数量为 6~8 个时,既可确保试验结果可充分表征相对重力仪的性能状态,又可减少野外数据采集的工作量,因此较为科学、合理。

(2) CG-6 型、BURRIS 型相对重力仪动态精度的均值分别为 $(1\sim3)\times10^{-8}\text{ m/s}^2$ 、 $(4\sim16)\times10^{-8}\text{ m/s}^2$ 。CG-6 型相对重力仪动态精度明显优于 BURRIS 型相对重力仪,该结果完全是因为 2 种仪器自身性能的优劣。

(3) 3 台仪器组合较 6 台仪器组合的一致性中误差更容易满足限差。对于 6 台仪器组合实施的重力测量前的多台仪器一致性试验,需要尽可能多地选择性能较佳的仪器参与,且应该在仪器试验的过程中密切关注每一台仪器的工作状态,避免发生仪器读数突跳,确保试验数据准确可靠,以便选择满足规范要求的仪器组合。

(4) 性能试验的结果与选定场地的最大重力段差没有明显的相关性。建议在兼顾一次项比例因子标定的相对重力仪性能试验时,场地的最大重力段差应不小于 $150\times10^{-5}\text{ m/s}^2$ 。

中国科学院精密测量科学与技术创新研究院高级工程师邢乐林在本文撰写过程中给与热忱的帮助和指导,在此表示衷心的感谢。

参考文献:

- 邓友茂,王振亮,孙诚业. 2021. CG 型重力仪性能对比分析[J]. 大地测量与地球动力学,41(4):432-435.
- Deng Y M, Wang Z L, Sun C Y. 2021. Comparative analysis of the CG gravimeters performance[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 41(4):432-435. (in Chinese)
- 韩建成,陈石,李红蕾,等. 2022. 陆地高精度重力观测数据的应用研究进展[J]. 地球与行星物理理论评,53(1):17-34.
- Han J C, Chen S, Li H L, et al. 2022. The recent progress using high-precision terrestrial gravity measurements[J]. Reviews of Geophysics and Planetary Physics, 53(1):17-34. (in Chinese)
- 韩宇飞,何志堂,刘阳,等. 2017. 灵山重力标定基线场的升级改造与复测[J]. 测绘地理信息,42(4):69-72.
- Han Y F, He Z T, Liu Y, et al. 2017. Reform and repetition measurement of Lingshan gravity calibration baseline field[J]. Journal of Geomatics, 42(4):69-72. (in Chinese)
- 郝洪涛,李辉,孙和平,等. 2016. CG-5 重力仪零漂改正及格值系数

- 检测应用研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版),41(9):1265-1271.
- Hao H T, Li H, Sun H P, et al. 2016. Application of zero drift correct and detection of scale parameters of CG-5 gravimeter[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 41(9):1265-1271. (in Chinese)
- 胡敏章,郝洪涛,韩宇飞,等. 2021. 2021 年青海玛多 $M_s7.4$ 地震的重力挠曲均衡背景与震前重力变化[J]. 地球物理学报,64(9):3135-3149.
- Hu M Z, Hao H T, Han Y F, et al. 2021. Gravity flexural isostasy background of the 2021 Maduo(Qinghai) $M_s7.4$ earthquake and gravity change before the earthquake[J]. Chinese Journal of Geophysics, 64(9):3135-3149. (in Chinese)
- 梁伟锋,刘芳,祝意青,等. 2015. 重力仪一次项系数对重力场动态变化的影响研究[J]. 大地测量与地球动力学,35(5):882-886.
- Liang W F, Liu F, Zhu Y Q, et al. 2015. Research on the effect of one degree term of chromatic polynomial of gravimeter on gravity dynamic change[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 35(5):882-886. (in Chinese)
- 隗寿春,祝意青,赵云峰,等. 2019. CG-5 重力仪格值系数对重力数据处理的影响[J]. 大地测量与地球动力学,39(2):210-214.
- Wei S C, Zhu Y Q, Zhao Y F, et al. 2019. Impact on gravity data process of scale factor coefficient of CG-5 gravimeter[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 39(2):210-214. (in Chinese)
- 邢乐林,李辉,李建国,等. 2016. 陆态网络绝对重力基准的建立及应用[J]. 测绘学报,45(5):538-543.
- Xing L L, Li H, Li J G, et al. 2016. Establishment of absolute gravity datum in CMONOC and its application[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 45(5):538-543. (in Chinese)
- 玄松柏,汪健,李杰,等. 2018. 新一代 CG-6 重力仪性能分析[J]. 大地测量与地球动力学,38(1):5-7.
- Xuan S B, Wang J, Li J, et al. 2018. Performance analysis on a new generation of the CG-6 gravimeter[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 38(1):5-7. (in Chinese)
- 张锐,何志堂,郭树松,等. 2011. Burris 重力仪性能测试[J]. 大地测量与地球动力学,31(6):154-158.
- Zhang R, He Z T, Guo S S, et al. 2011. Characteristics test of Burris gravimeter[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 31(6):154-158. (in Chinese)
- 张则宇,赵五小,王应建,等. 2016. 重力仪动态精度检定方法浅析[J]. 北京测绘, (6):111-114.
- Zhang Z Y, Zhao W X, Wang Y J, et al. 2016. Analysis of the dynamic precision verification method of gravimeter[J]. Beijing Surveying and Mapping, (6):111-114. (in Chinese)
- 祝意青,刘芳,张国庆,等. 2022. 中国流动重力监测与地震预测[J]. 武汉大学学报(信息科学版),47(6):820-829.
- Zhu Y Q, Liu F, Zhang G Q, et al. 2022. Mobile gravity monitoring and earthquake prediction in China[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 47(6):820-829. (in Chinese)
- DB/T 23—2007,地震观测仪器进网技术要求——重力仪[S].

- DB/T 23—2007, Technical requirements of instruments in network for earthquake monitoring – Gravimeter[S]. (in Chinese)
- DB/T 39—2010, 地震台网设计技术要求——重力观测网[S].
- DB/T 39—2010, Technical specifications for design of earthquake monitoring network – Gravimetric observation network[S]. (in Chinese)
- DZ/T 0082—2021, 区域重力调查规范[S].
- DZ/T 0082—2021, The standard for regional gravity survey [S]. (in Chinese)
- GB/T 17944—2018, 加密重力测量规范[S].
- GB/T 17944—2018, Specifications for the dense gravity measurement [S]. (in Chinese)
- GB/T 20256—2019, 国家重力控制测量规范[S].
- GB/T 20256—2019, Specifications for the gravimetry control [S]. (in Chinese)
- SY/T 5819—2016, 陆上重力磁力勘探技术规程[S].
- SY/T 5819—2016, Technical specifications for land gravity and magnetic surveys[S]. (in Chinese)
- Xing L, Han Y, Niu X, *et al.* 2024. Gravity change caused by heavy rainfall detected by a gPhone gravimeter in Zhengzhou, China[J]. Journal of Earth Science, 35:1273 – 1276.

Analysis of the Influence of the Number of Gravimetric Sections on the Performance Test of the Relative Gravimeter

KANG Shengjun¹, HE Zhitang¹, ZHAO Pi¹, WANG Jian², SHI Zhigang¹

(1. *The First Geodetic Surveying Brigade of Ministry of Natural Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China*)

(2. *Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Wuhan 430071, Hubei, China*)

Abstract

In order to analyze the influence of the number of gravimetric sections on the performance test of the relative gravimeter, the performance test data of four CG-6 and four BURRIS relative gravimeters for four consecutive years were processed, and the difference between 2 to 9 sections was selected to calculate dynamic accuracy and the mean square error of the consistency of multiple instruments of the three instrument combinations. It was found that the dynamic accuracy of CG-6 relative gravimeter changed in the range of $1 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ to $3 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$, and the dynamic accuracy of BURRIS relative gravimeter was in the range of $4 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ to $16 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$. The mean square error of the consistency of three instruments is more likely to accord with the limit compared to a combination of six instruments. The results of further analysis show that the number of gravimetric sections is closely related to the performance test results of the relative gravimeter after removing the abnormal instrument interference. With the increase of the number of gravimetric sections, the dynamic accuracy and the mean square error of the consistency of multiple instruments will gradually become stable. When the number of gravimetric sections is 5 to 7, the dynamic accuracy and the mean square error of the consistency of multiple instruments reaches the peak, and then the value gradually decreases or remains stable.

Keywords: relative gravimeter; performance test; dynamic accuracy; the mean square error of the consistency; the number of gravimetric sections