

地震重力测量规范

国家地震局制定

1073

Z

地震出版社

地震重力测量规范

国家地震局制定

地震出版社

1997

《地震重力测量规范》制定小组

组长 贾民育

成员 (按姓氏笔划为序)

石亚雄	刘冬至	刘克人	孙少安
邢灿飞	李清林	沈建华	项爱民
赵世玖	高荣胜	贾民育	潘怀文

地震重力测量规范

国家地震局制定

责任编辑：吴冰

责任校对：张晓梅

地质出版社出版发行

北京民族学院南路9号 邮编 100081

中国地质大学校印刷厂印刷

787×1092 1/32 4.125 印张 98 千字

1997 年 9 月第一版 1997 年 9 月第一次印刷

印数：001—300

ISBN 7-5028-1469-8/P·902

(1910) 定价：8.00 元

编 者 的 话

国家地震局于1982年制定了《地震重力重复测量规范》，简称《规范》，该规范是针对当时地震系统使用石英弹簧重力仪和汽车运输作业的情况编写的。从1985年开始，地震部门开始改用 LaCoste & Romberg (LCR) 重力仪，为适应这一变化，国家地震局在1987年临时印发了地震重力重复测量规范补充规定《拉科斯特 G 型重力仪作业技术细则》（简称《细则》）。《规范》和《细则》对统一重力测量方法、提高观测质量起了很大作用。随着仪器的更新改造和人们认识水平的不断提高，新的测量方法不断出现，《规范》和《细则》在不少方面已不能适应当前实际测量工作的要求。因此，国家地震局于1990年决定制定新规范，并成立了规范制定小组。经过两年的工作，该小组于1992年编写出《地震重复重力测量规范》（讨论稿），并发至各单位。1996年国家地震局决定在讨论稿的基础上，制订正式规范，制定小组对1992年编写的讨论稿进行了全面审定、修改，并作了部分补充，形成了这本《地震重力测量规范》。

该规范吸收了多年来的科研成果和实践经验，既考虑到当前的实际状况，又考虑到地震监测预报的需要和国内外的发展趋势。正文部分对观测地球重力场动态变化的主要环节和技术方法作了全面的规定；附录部分提供了大量的具体实例，为使用者正确理解和执行规范作了详实的说明，本规范供地震部门使用 LCR 重力仪和落体绝对重力仪监测重力场变化，进行地震预报研究使用，也可作为其他高精度重力测量和

地球动力学研究的参考。

由于我国幅员广大、情况复杂,加之地震预报尚处于探索阶段,重力测量技术也在不断地发展,所以各单位在从严执行规范的前提下,还应努力提高测量精度,探索新思想、新方法。

在本规范的编制过程中,国家地震局地震研究所、国家地震局物探中心等单位给予了大力支持;魏文元、马丽、唐九安、王晓权、李家正、唐伯雄、丘其宪等以及各省地震局重力测量小组的许多同志曾提出很多宝贵意见,在此一并致谢!

目 录

第一章	总则	(1)
第一节	目的任务	(1)
第二节	学科特点	(1)
第三节	关键问题	(2)
第四节	适用范围	(2)
第二章	测网布设	(3)
第一节	测网布设原则	(3)
第二节	测网类型	(3)
第三节	测网联接	(4)
第四节	测点选择和标志设立	(5)
第三章	重力仪的标定基线及仪器标定	(7)
第一节	重力仪的标定基线	(7)
第二节	相对重力仪的标定	(7)
第三节	LCR 重力仪仪器参数的区域适定	(9)
第四节	绝对重力仪的标定	(9)
第四章	绝对重力测量	(10)
第一节	仪器的选择和人员组织	(10)
第二节	仪器安置与调整	(10)
第三节	测量要点	(11)
第四节	垂直梯度测量	(11)
第五节	测量中的各项改正与精度评定 ...	(12)
第五章	相对重力测量	(13)

	第一节	重力仪的维护与保管	(13)
	第二节	重力仪的检验	(13)
	第三节	汽车运输重力测量	(14)
	第四节	飞机运输重力测量	(17)
	第五节	火车运输重力测量	(18)
	第六节	观测数据的野外计算	(18)
第六章		资料处理分析	(19)
	第一节	相对重力测量资料的预处理	(19)
	第二节	资料的平差计算	(20)
	第三节	误差及干扰因素分析	(21)
	第四节	异常识别及报告	(21)
第七章		资料管理	(23)
	第一节	资料归档	(23)
	第二节	资料报送	(23)
	第三节	资料的检查验收	(24)
	第四节	观测资料评比	(26)
第八章		岗位职责	(27)
	第一节	技术管理部门的职责	(27)
	第二节	外业测量小组各类人员的职责	(28)
	第三节	资料处理验收人员的职责	(29)
附录 1		测网布设的精度设计	(31)
附录 2		地震重力点的标石规格及埋设要求	(34)
附录 3		地震重力点点志记	(37)
附录 4		地震重力点测量标志委托保管书	(38)
附录 5		重力仪标定基线	(47)
附录 6		LCR 重力仪一次项系数的标定	(48)

附录 7	LCR 重力仪周期误差参数的标定	(50)
附录 8	静电反馈转换系数的标定及检查	(53)
附录 9	D 型仪器格值非线性的测定	(56)
附录 10	垂直梯度测量	(57)
附录 11	LCR 重力仪漂移特性检验	(60)
附录 12	外界磁场对重力仪观测结果影响的检验	(62)
附录 13	仪器气压补偿装置性能的检验	(64)
附录 14	环境温度变化对重力仪观测结果影响的检验	(66)
附录 15	LCR 重力仪水准器及读数线的检验与调整	(68)
附录 16	CPI 电子读出装置的检查与调整	(71)
附录 17	仪器状态日常检查记录格式	(73)
附录 18	重测与成果取舍	(75)
附录 19	野外测量记录簿记录格式	(77)
附录 20	野外测量计算机记录要求	(78)
附录 21	仪器读数换算成重力值	(79)
附录 22	地球潮汐理论值计算	(81)
附录 23	野外重力测量段差计算	(86)
附录 24	重力仪漂移率计算	(88)
附录 25	重力网经典间接平差及算例	(90)
附录 26	重力网拟稳平差及算例	(93)
附录 27	重力网自由网平差及算例	(95)
附录 28	各台仪器段差观测值及自差、互差统计表	(97)
附录 29	平差后各点重力值及其变化	(98)

附录 30	平差后各测段重力差及其变化	(99)
附录 31	重力段差变化时序图	(100)
附录 32	重力点值变化时序图	(101)
附录 33	重力点值变化平面图	(102)
附录 34	系统误差的检验	(103)
附录 35	趋势性变化量的拟合及精度估算	(108)
附录 36	人为因素高程变化重力效应的计算	(112)
附录 37	采矿重力效应的计算	(116)
附录 38	预报意见表	(118)
附录 39	重力测量基本情况表	(119)
附录 40	异常段段差及其变化登录表	(120)
附录 41	异常点点值及其变化登录表	(121)
附录 42	年度技术总结提纲	(122)

第一章 总 则

第一节 目的任务

第1条 以监测预报地震为目的,在同一测点(线、网)上反复进行的重力测量,称为地震重力测量(以下简称重力测量)。重力测量的主要任务是监测构造活动区重力场随时间的非潮汐变化,研究地震孕育、发生和调整过程中重力场的时、空、强变化,提取地震前兆信息,进行地震预报研究。

第2条 重力测量的另一任务是利用地球重力场的空间分布特征和非潮汐变化研究地球内部构造和地球动力学过程,这也是认识地震事件所必需的。

第二节 学科特点

第3条 地球重力场是质量分布状态和测点位置的函数,物理意义明确。干扰源种类少且干扰数值小,引力固体潮汐是迄今唯一能事先精确计算出理论值的动态物理量,并可从观测值中予以扣除,有利于地震前兆信息的提取。重力测量具有速度快、耗资少、覆盖面大、灵活机动等特点,能有效地监测地壳运动和地球内部的构造活动。

第4条 地震事件过程中地球重力场时、空、强变化,及其他地球物理场变化和地壳形变等现象反映同一地球动力学过程,因此,要注意和其他方法的配合,努力从不同侧面认识地震事件的机理和规律。

第5条 重力测量的直接结果是重力加速度,其法定单

位为米每二次方秒(m/s^2)^①

第三节 关键问题

第6条 重力测量要有合理的测网布设和复测周期,这是达到测量目的的前提。必须有明确的原则,合理的方案,切实的措施,并且应当不断地、及时地总结经验,根据地震活动趋势适时加以调整。

第7条 测量成果的精度是实现重力测量目的的关键。必须采取严格措施,不断更新、改进仪器和工作方法,努力达到 $10\text{nm} \cdot \text{s}^{-2}$ (微伽级)的测量精度。

第8条 数据处理是从观测成果中提取地震信息的重要环节,必须采用严格的数据处理方法和步骤,同时加强新方法、新技术的研究。

第四节 适用范围

第9条 《地震重力测量规范》是国家地震局重力测量的技术法规,必须严格遵守。规范的解释权在国家地震局。未经国家地震局批准,任何单位和个人都无权对规范进行修改和补充。

第10条 本规范适用于拉科斯特重力仪(LaCoste & Romberg gravimeter,以下简称 LCR 重力仪)和落体绝对重力仪,也可以作为其他高精度重力仪测量时的参考。

① 过去习惯使用的“伽(Gal)、毫伽(mGal)、微伽(μGal)”为非法定计量单位,目前属限制使用的单位,它们与法定计量单位的换算关系是:

$$1 \text{ 伽} = 0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2};$$

$$1/1000 \text{ 伽} = 1 \text{ 毫伽} (\text{mGal}) = 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} = 10 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-2};$$

$$1/1000 \text{ 毫伽} = 1 \text{ 微伽} (\mu\text{Gal}) = 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} = 10 \text{ nm} \cdot \text{s}^{-2}.$$

第二章 测网布设

第一节 测网布设原则

第 11 条 测网(线)应根据地震监测预报和科研任务的要求进行布设;点距和复测周期要考虑到监测中、强地震,进行长、中、短临预报的不同需要。

第 12 条 测网(线)应根据地震活动趋势的变化和新的科研成果适当进行调整。调整时应注意资料的延续性,同时应尽可能保留原测网(线)的测点。

第 13 条 在布设不同类型和规模的测网时应考虑到相应规模的地质构造。

第 14 条 测网可按测线和测环两种形式布设,在条件许可时应布设成环,测点的分布应力求均匀。

第 15 条 各类测网布设时都要进行精度设计(附录 1)。

第 16 条 注意综合研究,重力测量要与台站重力、地壳形变、地下水等观测相结合。网区必须配有水准和地下水位观测,有条件时争取同步观测。

第二节 测网类型

第 17 条 全国动态重力基准网:

1. 研究全国范围内,大尺度的重力随时间变化,并为次级网提供动态的绝对重力基准。此网应与国家基准网和国际绝对重力基本网联测。

2. 由绝对重力点和航空重力点组成。

3. 各绝对重力点的精度应优于 $50\text{nm} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

4. 点距可在几百至几千公里的范围内。

5. 复测周期一般为1~3年。

第18条 区域动态重力监测网：

1. 监测地质构造活动区内或政治、经济上具有相对独立意义的区域重力场的中、长期变化，为研究该区的深部构造和动力学过程提供资料。

2. 测网要跨越主要构造单元和活动断裂带。

3. 汽车测线点距为10~50km，火车测线可适当放宽。在条件许可时，应尽量减少传递段数和独立支线长度。

4. 复测周期，重点地区为3个月到半年，非重点地区为半年到一年。

5. 各测点观测值经过平差后的精度一般应优于 $100 \text{ nm} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

第19条 局部动态重力监测网：

1. 监测局部构造活动，获取短周期和短波长的重力变化，配合区域网研究地震孕育、发生的全过程。

2. 测网应跨活动断裂带、重力梯级带，点距一般在1~10km范围内。

3. 复测周期为几天至三个月（随震情或异常变化而定）。

4. 各测点观测值平差后的精度应优于 $50 \text{ nm} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

第20条 特种网：

主要用于环境干扰（如地下水、气象、大型工程建设等）和新理论、新方法（如梯度测量）的实验研究。点距、复测周期、观测精度和观测方法可根据需要而定。

第三节 测网联接

第21条 4种网应相互联接，形成整体，以利于研究重

力绝对变化量的时、空特征。一个区域网最好包含两个以上,至少包含一个全国基准网测点;局部网或特种网也应与全国基准网或区域网相联接,以获得绝对重力变化量。但要注意精度估算,在精度不够时,可研究区域变化背景上的相对变化。

第 22 条 航空重力点、火车测线点、3 个环以上的公共点和 4 个方向以上的结点均应设立副点,主、副点之间的距离一般不超过 500m。在建网时至少用两台仪器进行主、副点之间的联测,各台仪器至少完成 4 个单程测量,精度应优于 $30\text{nm} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

第四节 测点选择和标志设立

第 23 条 建立测网首先要进行室内设计,根据地震、地质、地形、交通等资料进行充分的分析研究,在图上确定测点位置,制订出野外选埋实施计划。

第 24 条 重力点应选在基础稳固且振动及其他干扰源影响小的地方。应远离陡峭地形、高大建筑物和大树等,避开地面沉降漏斗、冰川及地下水位剧烈变化的地区。若这些条件不能满足,观测结果应进行相应改正。

第 25 条 相对重力点的观测平台,根据情况可选用基岩、专用水泥标石、固定建筑物和其他种类测量点的观测平台等形式中的一种。重力点的标石规格及埋设要求见附录 2。

1. 基岩点:必须选在没有明显风化现象的基岩上,平台表面应凿平或用混凝土填平。

2. 专用水泥标石:深度应根据当地水文地质条件决定,一般在 0.5~1.0m 之间,北方地区应深入到冻土层以下。

3. 利用固定建筑物时,应选择稳定性好、能永久保存、下面无空洞、周围环境变化小的地方,并须设置永久标志(如嵌

人铜标志)。

4. 利用其他种类测量的观测平台时,平台条件必须满足重力测量的要求。

第 26 条 绝对重力点除特别困难外,应设在远离振动和无较大质量搬迁地区的基岩上。有条件的应设在山洞内,也可建一观测室,室内保持干燥,并有充足的电源。

第 27 条 测点及副点均应绘制点志记,办理委托保管书,并拍摄点位图像资料(附录 3、4)。

第 28 条 因客观原因点位即将遭到破坏或已经被破坏时要及时选建新点,并进行新、老点之间的联测或采取适当措施补救。技术要求同第 22 条。并重新绘制点志记和办理委托保管书,新点的点号要有别于老点。如老点为 006·00,则新点应为 006·01。

第 29 条 重力点上均应设置水准标志,并在平台表面标出磁北方向。

第 30 条 测点的经、纬度及高程,有条件的应直接测定,否则其平面坐标可在比例尺不小于 1:5 万的地形图上量取。

第 31 条 测点选埋工作结束后,应提交下列资料:

1. 重力点志记(包括点位交通略图)。
2. 测量标志委托保管书。
3. 全网(线)平面位置图。
4. 建网工作技术总结:简要说明监测区的自然地理概况、公路交通、选点、埋石情况等。

第三章 重力仪的标定基线及仪器标定

第一节 重力仪的标定基线

第 32 条 重力仪的标定基线分为长基线、短基线和垂直基线。长基线可选用修正过的国家重力基本网(85 网)中的哈尔滨—北京—郑州—武汉—广州或哈尔滨—北京—西安—成都—昆明(拉萨)两条,它们主要用于 G 型仪器格值的一、二次项系数的标定。短基线可选用北京灵山、江西庐山两条。垂直基线可选用武汉垂直基线(附录 5)。短基线和垂直基线主要用于仪器的周期误差、D 型仪器的格值以及静电反馈系统转换系数的标定。

第 33 条 重力长基线、短基线应有精度优于 $50\text{nm} \cdot \text{s}^{-2}$ 的绝对重力测点作控制。而且应每 3~5 年用高精度的绝对重力仪复测一次,以保证重力基线的精确性并检验其稳定性。新建基线时,新基线的重力差、测点分布、标石埋设、观测精度等指标不得低于上述同类基线。

第二节 相对重力仪的标定

第 34 条 多项式系数的标定

1. 选用的标定基线应能覆盖测区的所有读数段(即仪器在基线上的最大、最小读数分别大于和小于测区的最大、最小读数)。

2. G 型仪器一、二次项系数的标定需乘飞机在重力长基线上往返观测,至少要取得 3 个合格的单程测量结果,标定结果的相对精度不低于 1.5×10^{-5} 。

3. 一次项系数一般隔 3 年标定一次。

4. D 型仪器一次项系数的标定须在选定的短基线上往返观测,至少取得 8 个以上合格的单程测量结果,标定结果的相对精度须优于 5×10^{-5} 。标定和计算方法见附录 6。

第 35 条 周期误差参数的标定

1. 周期误差参数须在重力短基线和垂直基线上进行标定。标定和计算方法见附录 7。对于小周期(1.00 周,7.33 周)误差参数也可利用仪器静电反馈系统的线性部分进行标定。

2. 标定精度:初始相位精度 $M_{\phi_{n,N}}$ 应优于 $\pm(30^\circ \sim 35^\circ)$; 振幅与其误差比 $A_{n,N}/M_{A_{n,N}}$ 应优于 $1.5 \sim 2$ 。否则视为标定精度不够或该周期的误差不显著。其格值函数中的有关项以零代之。

第 36 条 静电反馈系统转换系数的标定

1. 静电反馈系统转换系数的标定须在垂直基线上进行。在基线上至少选择重力差基本相同的 3 个分布均匀的基线点,其最大重力差应略小于而又最接近静电反馈系统的线性范围。在相邻两点和两个端点之间至少进行 10 个单程的重复观测。标定和计算方法见附录 8。

2. 利用静电反馈系统进行小重力差和重力梯度测量时,测前测后均需标定转换系数,标定的相对精度须优于 3×10^{-4} 。

3. 仅利用静电反馈系统量测仪器度盘最小分划(G 型仪器为 $\pm 100 \text{ nm} \cdot \text{s}^{-2}$)以下的重力差时,反馈转换系数标定的相对精度须优于 5×10^{-4} 。

第 37 条 D 型仪器格值非线性的标定

选择重力短基线上一重力差略小于 D 型仪器量程范围