

中华人民共和国地质矿产部

地质专报

五 构造地质 地质力学 第13号

亚东—格尔木岩石圈地学断面综合研究

青藏高原重力测量
与岩石圈构造

孟令顺 高锐 等著

地质出版社

中华人民共和国地质矿产部

地质专报

五 构造地质 地质力学 第13号

亚东—格尔木岩石圈地学断面综合研究

青藏高原重力测量与 岩石圈构造

孟令顺 高 锐 等著

地质出版社

(京)新登字 085 号

内 容 摘 要

本专著为国家自然科学基金会重点资助、地矿部“七五”重点科技攻关项目“亚东—格尔木地学断面综合研究”课题中的“重力路线补点及岩石圈重力构造”专题研究内容。它根据国内、外在重力研究中的一些新方法、新技术总结了作者几年来在青藏高原进行重力测量所取得的新成果、新认识。概括阐明了青藏高原以亚东—格尔木地学断面为主的重力场特征及岩石圈构造。在地震资料控制下,采用人机交互系统,利用重力异常计算出莫霍界面深度;分析了均衡异常与新构造运动之间的关系以及地壳上地幔内的均衡信息;并对喜马拉雅、雅鲁藏布江等较为重要的构造单元在地球动力学方面进行了具体的讨论;利用布格异常与测点高程的相关统计并结合重力场形态,在研究区内划分出9个地体、12条较大断裂;通过对重力异常的图象处理,探讨地壳现代构造形迹和地体边界断裂的走滑形变特征;用重力观点提出了板块碰撞及高原隆升模式;讨论了重力测量外部改正以及在研究深部地壳构造中存在的问题。

本专著可供应用地球物理工作者、地学研究人员及地质院校师生参考。

中华人民共和国地质矿产部 地质专报

五 构造地质 地质力学 第13号

亚东—格尔木岩石圈地学断面综合研究

青藏高原重力测量与岩石圈构造

孟令顺 高 锐 等著

*

责任编辑:徐淑贞

地质出版社出版发行

(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

*

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:8 字数:176000

1992年3月北京第一版·1992年3月北京第一次印刷

印数:1—650册 定价:7.65元

ISBN 7-116-00983-3/P·842

项 目 总 序

“亚东—格尔木岩石圈地学大断面综合研究”是我国参加的“国际岩石圈计划”中的重要项目——“全球地学大断面计划(GGT)”内的一项，亚东—格尔木岩石圈地学大断面也是我国承担的大断面中最先完成的一条。

“国际岩石圈计划”原是国际地学界在 80 年代之前进行过的“上地幔计划”和“地球动力学计划”的基础上，为使固体地球研究更向地球内部深入，并进一步探讨一些重大的地质学问题而拟定的。计划本身即标志着地球科学发展的前缘和它的多学科性与全球性。为此，在固体地球科学的两个国际联合会，即国际地质科学联合会（IUGS）和国际大地测量和地球物理学联合会（IUGG）的共同要求下，国际科学联合会理事会（ICSU）于 1980 年建立了国际岩石圈委员会来负责组织进行这项计划。

岩石圈的研究涉及面广，计划的内容几乎包括了岩石圈研究的全部内容，并希望通过这项计划解决地质学中的一些重大问题。岩石圈委员会于 1985—1986 年间重新将其内部组织和任务加以调整。目前共有 6 个工作组和 7 个协调委员会。“全球地学大断面计划”是由其中的第七协调委员会负责执行的。

该项计划是参照“北美地质学陆-洋断面 10 年计划”的模式提出的。因为它包括了岩石圈计划的许多基本原则，所以被认为是最能体现国际岩石圈计划的精神的。它的目标是：综合有关的地质、地球物理、地球化学和大地测量的资料和数据，作出横切地球上具有关键性意义的地质和构造地区，如火山带、地堑、沉积盆地和容易遭受地震、火山等灾害区的岩石圈断面，以达到能够进行直接对比研究的要求。为此，对地学大断面的编制就需要有一个统一的规范性要求。目前已在全球范围内部署了 175 条这样的地学断面，同时希望能够在这些关键性地带的地学断面所提供的基本资料基础上，检查有关岩石圈性质和演化的各种假说，并且发现需要在下一步用先进的手段深入进行下一步工作的地区或地段。

“亚东—格尔木岩石圈地学大断面综合研究”项目的完成，标志着我国地学研究已进入一个新的阶段。特别是对于地质条件特殊、举世瞩目的青藏高原这个具有重要意义的地区来说，由于它的系统地质-地球物理工作起步较晚，而如今能在较短的时间内一跃而入世界固体地学研究的前缘，确实难能可贵。当这项成果的初稿于 1989 年在美国华盛顿第 28 届国际地质大会上展示时，立即得到国际上知名专家的高度评价。以后又吸取了一些专家的意见加以充实和提高，同时国际岩石圈委员会也决定出版作为国际交流的第一批成果。现在，项目的综合研究报告和其中 11 个课题和专题报告的出版，除了反映这条大断面本身的研究成果之外，也将无疑地促进我国岩石圈研究的加速前进。

值得注意的是这批报告，尤其是许多课题和专题报告的内容，不仅反映了工作成果，而且 also 包括了所运用的深部地球物理方法和技术方面的新成果。由于深部研究的特点，取得第一性数据的手段和方法以及数据的处理和解释也需要不断地针对实际情况加以改进和提高。在这方面提供的材料和经验也是具有重要意义的。

目前国际地学界关注的一个问题是：由于各分支学科快速发展，各自运用了许多新技术、新方法，而且不断吸取其它基础学科方面的新成就，致使各分支学科之间的了解增加了困难。一方面某学科的成就不易及时被相邻的分支学科了解和利用，另一方面又使某一学科内还未成熟的新成果被相邻学科当作已被公认的东西来使用。多学科之间的相互了解和协作是促进本来是一个整体的地球科学的健全而快速发展的必由之路。希望这批报告的出版能在增进我国地质学和地球物理学之间在探讨深部问题时的相互了解、相互促进方面起到积极的作用。

人类对自然界的认识是无止境的，尤其是对青藏高原的地球科学研究也绝不是一次能够完成的。《亚东—格尔木岩石圈地学大断面综合研究》系列专著中提出的若干观点当然还有待于今后多方面的检验、充实和修正。由于实际情况的限制，地球化学资料还显得不足，这应是今后需要大力补充的一个方面。

中华人民共和国地质矿产部
科学技术高级咨询中心主任
中国科学院地学学部委员
国际地质科学联合会副主席

张炳熹

1991年7月

前 言

目前世界上地壳活动与上升比较强烈的地区主要集中在海岭区、岛弧与年轻的山脉地带。近年来，由于对海底广泛的地球物理测量和海底扩张学说的出现以及对板块理论的进一步研究，使得与前两种区域上升机制有关的一些重要问题变得清楚一些。而对后一种形成山脉地带上升的力量了解的较少。原因是山脉地带的上升过程非常复杂，并且目前掌握的主要依据是地质资料，缺乏大量的地球物理资料。所以选择有利地带，深入研究大陆造山作用是地学基础领域中的一个重要内容。

我国地质构造条件复杂，发育着世界著名的大陆架和陆坡，而位于我国西南边陲的青藏高原又是研究现代大陆碰撞造山作用极为有利的地带。该区长期存在着印度板块向中国大陆俯冲、碰撞的机制，深度与广度以及若干地质边界性质和运动方式等重大地质问题。

青藏高原的西南以喜马拉雅山脉和喀喇昆仑山脉为界，北边是昆仑山和阿尔金山，而东面是金沙江、澜沧江、怒江（简称三江）地区。总面积达三百余万平方公里。自70年代执行国际地球动力学计划以来，国际上先后在不同地区开展了大规模的科技协作活动，主要目的是试图从新的观念来探讨大洋板块和大陆构造活动带的动力学问题，实际是试图解决板块运动的机制问题。而青藏高原内的喜马拉雅造山带被列为区域性专题研究的重要地区。以往对该地区的研究主要集中在喜马拉雅山的南北两侧及三江地区，而对探索这一问题占有极特殊地位的高原内部以及喀喇昆仑地区却只进行了少量的地质与地球物理工作。所以，在青藏高原，选择有利地带，进行地质与地球物理的综合研究，对探索以上问题无疑是一件很有意义的工作。

小比例尺的重力测量是区域地球物理调查中的一项基础方法。它的任务是在国家重力控制网的统一控制下，取得系统误差较小，精度较高的区域性重力基础资料，研究从沉积盖层到上地幔结构和构造特征。全面分析重力场的特征并结合地震、地质及其它物探资料，可给出研究区内的莫霍界面深度、起伏形态；地壳与上地幔内的均衡信息。所以在青藏高原内部开展一定数量的区域重力测量工作，对国际地球动力学计划以及目前正开展的国际岩石圈计划，探讨大陆板块运动的动力学机制、岩石圈的结构、成分和演化等问题具有十分重要的意义。

作者以及与其有关同志从1976年—1987年间先后五次进入青藏高原的不同地区，开展重力剖面测量以及各项改正方法的探讨研究，取得了研究青藏高原的第一手重力资料，并总结出高原地区开展重力测量工作的一套方法技术。

1976年，作者与现云南大学地球物理系吕梓令副教授以及西藏物探大队（原121地质大队）的同志共同协作，先后在藏北依拉山、藏南择当红旗铬矿等地区进行了“高山地区重力测量各项改正的理论研究与改正方法的探讨”。这项任务是1973年由原国家地质总局科技组下达的。1981年—1983年，作者参加了中法“喜马拉雅地质构造与地壳上地幔的形成演化”合作项目。先后由中法双方共同完成了羊八井—日喀则—聂拉木以及中方单独完成的佩估错—岗巴、狮泉河—叶城等剖面的1:50万重力测量工作。1987年长春地质学

院和中国地质科学院岩石圈研究中心受中国地质科学院的委托,共同承担了“青藏高原亚东—格尔木岩石圈 GGT 断面综合研究”课题中的《重力路线补点及岩石圈重力构造》专题研究内容。该课题是国家自然科学基金委员会重点资助并列为地矿部“七·五”重点科技攻关项目“中国岩石圈结构与构造的地质—地球物理综合研究”中的重要研究内容。为跟踪国际地学前沿,参加并被纳入全球地学大断面(简称 GGT)计划。本次工作测量了亚东—格尔木、尼木—东拉二条重力剖面。

以上剖面除佩估错—岗巴近东西向分布外,其余都近南北向展布。剖面横跨青藏高原,与构造走向近于垂直。本区是利用重力资料研究青藏高原的地壳结构、构造及高原隆升机制等方面极为有利的地带。

亚东—格尔木重力剖面全长 1619 km,在不同地段上前人已做过一些工作,由于个别地段测点较稀,满足不了本课题研究内容的需要,所以开展了部分地段的补测点工作(共补测 150 个有效物理点)。此外,为进一步研究雅鲁藏布江深大断裂的性质、接触关系,又加测了横跨雅鲁藏布江的尼木—东拉全长近 100km 的剖面。

狮泉河—叶城重力剖面全长近 1070 km。横跨喀喇昆仑山,平均海拔 5000 m,地势险要,气候恶劣。该区除前人建立少量重力控制点外,其它基本属重力测量空白区。1983 年沿国防边境公路均匀布测了 107 个测点,获得了较高精度的重力资料。

中法合作调查沿羊八井—日喀则—聂拉木剖面进行,全长约 1600 km。测点在近南北向展布的羊八井—拉萨、定日—聂拉木两段较密,其它段较稀,共测量了 230 个有效物理点。

以上不同段落的重力测量,比例尺均为 1:50 万。测点的点位与高程主要从 1:5 万、1:10 万地形图上及国家 I、II 等水准点获取。部分测点用小型高度表直接测量。采用 1956 年北京坐标系,1954 年黄海高程系统。布格重力异常总精度各段分别保持在 $0.53\text{—}1.50 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 均比原设计精度提高近一倍。

本专著研究内容是以亚东—格尔木地学断面提供的数据为基础,其它几条剖面作为辅助内容适当加以介绍。全文共分五章,由长春地质学院和中国地质科学院岩石圈研究中心两单位共同编写。其中第一章为青藏高原重力工作方法、数据整理及精度评价。重点介绍了高原地区在不进行测地工作的前提下,怎样获取重力测量中要求精度较高的测点点位与高程数据,以保证采集到可靠的原始资料。第二章为青藏高原重力场效应的分析。介绍了亚东—格尔木地学断面 1:100 万剖、平面布格重力异常、均衡异常及自由空气异常的获取,并以此为根据,对研究区内的重力场特征、构造形态、深大断裂的划分以及均衡异常(特别是喜马拉雅地区的)与地球动力学关系等方面进行了讨论。第三章讨论了重、磁力对应分析在地壳构造分析中的应用以及布格重力异常与高程相关统计进行地体的划分。第四章主要分析重力异常与地壳构造的关系以及重力异常图像处理与地壳现代构造形迹。采用先进的人机交互系统计算地壳厚度,并在此基础上对喜马拉雅、雅鲁藏布江深部地壳构造、青藏高原的隆升机理等地质界关心的几个重要地质问题作了讨论。第五章讨论了重力测量各项外部改正以及重力异常的划分、解释在研究地壳构造中存在的问题。

总之,本文以重力场效应为基本依据,并结合其它地质、地球物理资料,采用国内、外一些先进的计算方法和处理技术,对青藏高原深部地壳结构、地体界限划分、深大断裂位置及高原隆升机理等地质问题提出了一些新的观点和认识。希望通过几年来在青藏高原

进行的重力工作能对我国岩石圈基础研究做出一定的贡献。

本文第一章之第二节中的 MM-1 小型高度表工作方法部分由周富祥编写；第二章之第二节中的走廊域及其邻区均衡异常（艾礼部分）的计算由张琳编写；第三章之第二节由吕庆田编写；第四章第一节由高锐编写，第二节中的 GMES 人机交互系统中的正、反演拟合由李莉完成，而其中的 Parker-Oldenbury 正、反演公式的推导由王华嘯完成；其余各章节包括前言、第一章第一节、第二节中的一、第三节，第二章第一节、第二节中的二、三，第三章第一节，第四章第二、三、四节，第五章、结论等均由孟令顺编写并统编全文。

此外，参加野外工作人员有孟令顺、高锐、周富祥、秦爽和吕庆田。室内资料整理除以上人员又增加了李莉与王华嘯二位同志。对于青海物探大队、西藏物探大队、北京地质仪器厂在野外工作中给予的大力支持，在此一并表示感谢。

由于水平有限，时间匆促，资料尚不够充分，所以利用重力资料进行的解释及阐述的一些观点难免出现问题，望指正。对书中出现错误和不妥之处，恳切希望读者批评指正。

目 录

第一章 青藏高原重力测量工作方法、数据整理及精度评价	1
第一节 工作方法	1
一、资料收集	1
二、重力仪常数测定	1
三、工作方法	1
第二节 测点点位与高程的获取	5
一、测点点位与高程的获取	5
二、MM-1 高度表工作方法	6
第三节 资料整理与质量评价	7
第二章 青藏高原重力场的分析	10
第一节 布格重力异常	10
一、区域重力场特征与地壳厚度变化	10
二、亚东—格尔木走廊域 1:100 万布格重力异常条带图及构造形态分析	10
三、亚东—格尔木剖面重力异常与断裂带的划分	13
第二节 均衡异常	16
一、走廊域及其邻区 1:100 万均衡异常的计算	17
二、均衡异常与地球动力学的关系	20
三、喜马拉雅地区正均衡异常的讨论	23
第三节 自由空气异常	28
第三章 相关分析与地体划分	31
第一节 利用布格重力异常与高程的相关统计进行地体的划分	31
第二节 重、磁对应分析与地壳构造	39
一、方法介绍	40
二、重、磁对应分析在地壳构造分析中的应用	41
第四章 重力异常与地壳构造	44
第一节 走廊域及其邻区布格重力异常数字图像处理与地壳现代构造形迹	44
一、数字滤波与图像处理	46
二、地壳现代构造与走滑断裂	48
第二节 重力异常与青藏高原的地壳结构	53
一、亚东—格尔木地壳构造与莫霍面深度的计算	53
二、佩估错—岗巴莫霍面深度的计算	75
三、羊八井—聂拉木莫霍面深度的计算	77
四、狮泉河—叶城莫霍面深度的计算	78
五、喜马拉雅深部地壳构造	79
第三节 雅鲁藏布江缝合带的讨论	83

第四节 板块碰撞与高原隆升	89
第五章 重力测量在研究地壳构造中存在的问题	97
第一节 各项外部改正方法的讨论	97
一、正常改正公式与重力基准点	97
二、高度改正系数	98
三、中间层密度的选取	99
四、均衡改正	100
第二节 重力异常的划分	101
第三节 重力异常解释中存在的问题	102
结论	104
参考文献	106
英文摘要	109

Contents

Chapter I Working Method, Data Processing and Precision

Appraise of the Gravity Survey in the Qinghai-Xizang(Tibet)

Plateau 1

Section 1 Working Method..... 1

1. Data Collecting 1

2. Constant Determination of Gravimeter..... 1

3. Working Method..... 1

Section 2 Selection of the Station Position and Elevation 5

1. Selection of the Station Position and Elevation 5

2. Working Method of the Model MM-1 Micro Altimeter 6

Section 3 Data Processing and Precision Appraise7

Chapter II Analysis of Gravity Field in the Qinghai-Xizang(Tibet)

Plateau10

Section 1 Bouguer Gravity Anomalies10

1. Regional Gravitational Characteristics and the Crustal Thickness10

2. The Map of Bouguer Anomalies (1:1 000 000) and Analysis of the Geotectonic Formations in Yadong-Golmud Geologic Transect10

3. Gravity Anomalies and Division of Fault Zone on Yadong Golmud Profile13

Section 2 Isostatic Anomalies.....16

1. Calculation of Isostatic Anomalies (1:1 000 000) in Yadong-Golmud and Adjacent Area17

2. Relations between Isostatic Anomalies and the Earth's Geodynamics.....20

3. Discussions of the Himalayan Positive Isostatic Anomalies.....23

Section 3 Free-Air Anomalies.....28

Chapter III Correlation Analysis and Divison of the Terrance31

Section 1 Division of Terrance by Using Correlative Statistics between Bouguer Anomalies and the Elevation.....31

Section 2 Crustal Structure and Corresponding Analysis of Gravity-Magnetic Anomalies.....39

1. Method40

1. Application in the Crustal Structure Analysis41

Chapter IV Gravity Anomalies and Crustal Structure44

Section 1 The Digital-image Processes of Gravity Anomalies and Recent Crustal Structure in Yadong-Golmud

Geologic Transect and Adjacent Area.....	44
1. Digital Filtering and Image Processes.....	46
2. Recent Crustal Structure and Sliding Faults	48
Section 2 Gravity Anomalies and Crustal Structure of the Qinghai-	
Xizang(Tibet) Plateau	53
1. Calculation of Moho-Depth and Crustal Structure Along Yadong-Golmud	
Geologic Transect	53
2. Calculation of Moho-Depth Along the Profile of Paikü Co-Gamba	75
3. Calculation of Moho-Depth Along the Profile of Yangbajian-Nyalam.....	77
4. Calculation of Moho-Depth Along the Profile of Shiquanhe-Yecheng	78
5. Himalaya Deep Crustal Structure	79
Section 3 Discussions of the Yarlung Zangbo Suture Zone.....	83
Section 4 Plate Collision and Uplift of the Plateau.....	89
Chapter V The Existing Problems of Gravity Survey in the	
Research of Crustal Structure	97
Section 1 Discussions of each Peripheral Corrections	97
1. Formula of Normal Correction and Base Stations of Gravity	97
2. Elevation Correction Factor.....	98
3. Selection of Stone Slab Density.....	99
4. Isostatic Correction	100
Section 2 Division of Gravity Anomalies.....	101
Section 3 The Existing Problem in the Interpretation of Gravity	
Anomalies	102
Conclusion	104
Reference.....	106
Abstract in English.....	109

第一章 青藏高原重力测量工作方法、数据整理及精度评价

第一节 工作方法

一、资料收集

为工作需要,几年来分别从陕西省测绘局、陕西省测绘研究所、国家测绘总局、中国地质科学院及长春地质学院等单位收集购买了:(1)工区内现有全部 1:50 万、1:10 万及部分地区 1:5 万地形图;(2)工区内全部测地资料,主要有格拉(格尔木—拉萨)、狮叶(狮泉河—叶城)线 I 等及拉亚(拉萨—亚东)线 II 等水准成果表并包括线路图及水准点之记;(3)青藏高原内部由中国人民解放军总参测绘总局 1975—1978 年连测的国家 I 等重力基点 8 个;国家测绘局 105 队 60 年代联测的 II 等重力基点 40 个, I、II 等基点均为波茨坦系统。此外,又收集了利用意大利都灵计量研究所的绝对重力仪于 1981 年实测的 4 个绝对重力值点,分布在敦煌、拉萨、格尔木(2 个)。其中误差最大不超过 $9 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$;(4)区内现有全部 1:100 万布格重力和自由空气异常图及与其相配套的重力异常成果表。

二、重力仪常数测定

具有精度高、性能稳定的重力仪是野外获取高质量数据的基本前提。要正确的使用它,就必须首先了解它的各项性能。几年来,投入使用的仪器除中法喜马拉雅科学考察时采用法方自带渥登(Worden) 757 型重力仪外,其余全部采用北京地质仪器厂生产的 ZSM 系列产品。各类仪器在投入生产前、后,都进行各项性能的测定。如亚东—格尔木断面测量使用的仪器是 ZSM-6 型(No.54)。该仪器是 1987 年初试制生产的一种新型产品。进入工区前,于北京南口国家 I 级重力基点上,对仪器的格值及零点漂移情况进行了三次试验。结果给出该台仪器零点漂移每小时最大不超过 0.5 格,格值测定相对均方差分别为 $1/10870$ 、 $1/9434$ 、 $1/4717$ 。而地矿部“区域重力调查技术规定”(1983)中的标准是不大于 $1/2000$ 即可。进入工区后,对仪器的静态与动态掉格情况进行了试验。结果是静态 11 小时内漂移 5 格,动态 10 小时漂移不到 1 格。工作结束后,在西藏拉萨哲蚌寺利用西藏物探大队自建的重力基点又对仪器性能进行了试验,结果见图 1。本次格值测定的相对均方差为 0.000234 (即 $1/4274$),仍满足规定中的要求。以上结果说明,仪器在工作期间,始终保持良好工作状态,所测数据可靠。

三、工作方法

几年来,青藏高原重力测量使用的控制基点主要是由中国人民解放军总参测绘局 1975 年—1978 年联测的 8 个 I 级基点。并以此建立相应的 II 级基点。如狮叶线,除利用两个分布在狮泉河和大红柳滩国家 I 级重力基点外,又利用这两个基点作控制点,在日

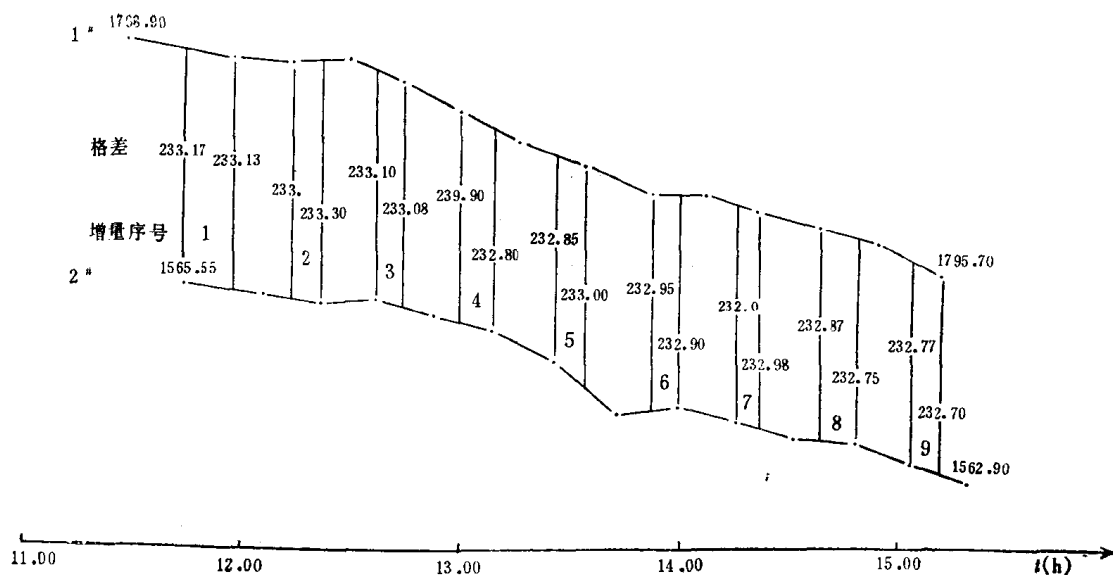


图 1 ZSM-6 型重力仪 (No. 54) 在西藏拉萨哲蚌寺重力基点 1*, 2* 的性能试验 (动态与格值)

Fig. 1 Gravimeter (ZSM-6 model, No. 54) performance test. (moved state and calibration)

土、多玛、界山大板、甜水海和 500 km 界碑自建了 II 级重力基点。连测精度为 $0.045 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。格尔木—拉萨段是利用 5 个分布在纳赤台、沱沱河、温泉、黑河及羊八井的国家 II 级重力基点。为控制尼木—东拉段，利用贡嘎机场 I 级基点向外引测一个支点作为控

表 1 自 检 精
Table 1. Gravimeter precision

检 查 点 号	5	7	15	40	41	54	55	78	80
第一次观测值	978 859.20	848.62	709.22	322.62	321.29	272.03	250.72	053.72	057.43
第二次观测值	978 859.10	848.72	709.21	322.61	321.39	271.97	250.69	053.64	057.25
二次观测值差 $ \delta $	0.10	0.10	0.01	0.01	0.10	0.06	0.03	0.08	0.18
δ^2	0.01	0.01	0.0001	0.0001	0.01	0.0036	0.009	0.064	0.0324

$$\text{精度评价公式: } \varepsilon_{\text{自}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{2n}}$$

其中: δ_i ——各点原始观测值与检查观测值之差

n ——检查点数 (19 个)

注: * 号表示为尼木—东拉测线点。

制基点。基点联测一般采用三程小循环观测法，每段最少取三个独立增量。各增量间观测时间控制在 4 h 内。以上各段工作路线及基、测点分布见图 2。

本次工作没有利用意大利都灵计量研究所 1981 年在高原内部测定的 4 个绝对重力值点。原因是目前国内联测的 I、II 等国家重力基点均属波茨坦系统，它们之间存在较大重力差值。如贡嘎机场点，同一点位差值达 $17.025 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。若把这些绝对重力值点作为本次测量的控制基点，必然导致新老资料间存在系统差，无法进行对比和解释。

基点联测精度评价公式

$$\varepsilon = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{n(n-1)}} \quad (1-1)$$

式中 V_i ——单个独立增量与平均增量之差； n ——总独立增量数。

测点观测采用自由网，单次观测。闭合基点时间最长不超过 16 h。狮叶段 80% 点采用两台仪器同时观测。互检精度为 $0.137 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ，自检精度为 $0.231 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ；测点观测精度为 $0.145 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。中法合作观测精度为 $0.752 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。亚东—格尔木段共检查 33 个点，占总观测点的 22%。互检点是以检查 1960 年国家测绘局 105 队在该路线沿嘎拉 I 等水准点观测的重力值为准，不同时间（相隔 27 年），不同精度的仪器在同一点位进行对比，最后，总观测精度为 $0.317 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。表 1、2 分别列出亚东—格尔木段自检、互检点数据及精度评价公式。

度 评 价 表
evaluating (self-examined)

92	95	97	102	106	122	3*	7*	13*	20*
					977				
047.42	044.54	057.87	054.15	022.79	926.41	908.39	911.76	052.52	030.16
					977				
047.47	044.35	057.87	054.07	022.79	926.30	908.69	911.97	052.69	030.33
0.65	0.19	0.00	0.08	0.00	0.11	0.30	0.21	0.17	0.17
0.0025	0.0361	0	0.0064	0	0.0121	0.09	0.0441	0.0289	0.0289

$$\sum_{i=1}^{19} \delta_i^2 = 0.3225$$

$$n = 19$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \pm 0.092 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$$

表 2 互 检 精

Table 2. Gravimeter precision

检查点号	15	20	22	31	33	34
原 编 号	I ₁₉	I ₄₄	I ₄₈	I ₅₇	I ₆₀	I ₆₁
原观测值	708.3	397.4	397.9	396.4	383.2	382.9
检 查 值	709.22	397.65	396.86	394.77	383.66	381.66
二次观测值差 $ \delta_i $	0.92	0.25	1.04	1.26	0.46	0.24
δ_i^2	0.8464	0.0625	1.0816	1.5876	0.2116	0.0576

$$\text{精度评价公式 } \epsilon_H = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{2n}}$$

其中： δ_i ——各点原始观测值与检查观测值之差，

n ——检查点数。

注：原编号为国家测绘局嘎拉 I 等水准点编号；原观测值为 1960 国家测绘局 105 队实测的。

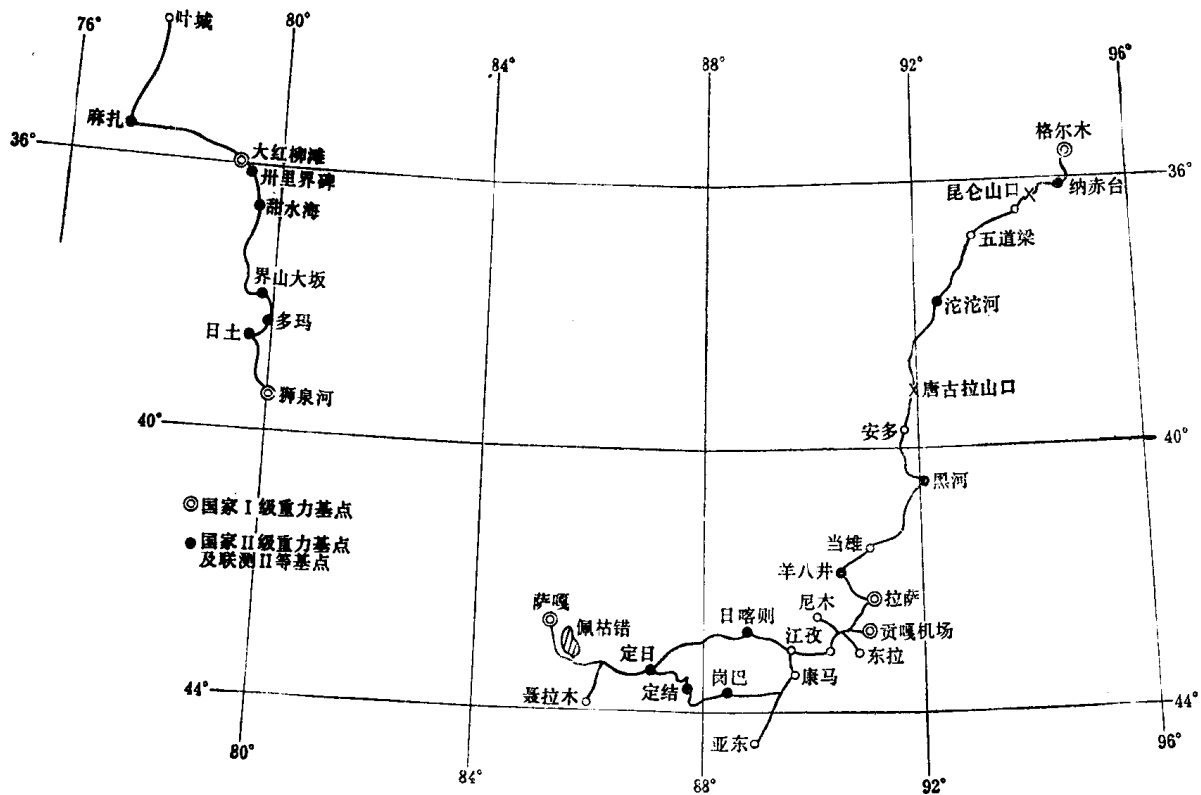


图 2 工作路线与基、测点分布图

Fig. 2 Map of the working route and the distribution of base points and observation points

度 评 价 表
evaluating (each other examined)

38	50	57	59	92	95	14	69'
I ₆₅	I ₆₅	I ₉₉	I ₁₀₄	I ₁₆₉	I ₁₆₄	I ₁₈	I _{124甲}
345.3	281.1	208.3	229.7	047.8	044.8	719.4	081.8
344.34	281.46	208.81	228.89	047.42	044.54	719.21	082.37
0.98	0.36	0.51	0.81	0.38	0.16	0.19	0.57
0.9216	0.1296	0.2601	0.6561	0.1444	0.0256	0.0361	0.3249

$$\sum_{i=1}^{14} \delta_i^2 = 6.3097$$

$$n = 14$$

$$\epsilon_H = \pm 0.475 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$$

第二节 测点点位与高程的获取

一、测点点位与高程的获取

山区重力测量，获取准确的点位与高程数据是提高布格重力异常总精度的重要手段之一。这里是采用三种方法获取的：（1）直接利用工区内现有国家 I、II 等水准点标志与高程数据；（2）采用 1:5 万、1:10 万地形图上的水准点及地形地物控制点的标记及数据，必要时，可在图上进行等高线内插获取；（3）利用美国鲍林系统 MM-1 型小型高度表直接测量。

格尔木—拉萨段的 125 个测点，有 76 个点（占总测点数的 61%）是直接利用国测嘎拉 I 等水准点的数据。这些点与水准点点位重合，高程误差最大不超过 0.5m。32 个点（占 25.6%）布设在 1:10 万地形图上标有高程的典型地物上，如桥头、路口、小河叉等。它们的高程误差不超过 2m，点位不超过 20m。还有 17 个点（占 13.6%）也是布设在 1:10 万图的典型地物上，但没有标明高程，只能利用等高线内插。布点时，尽量选择周围平坦地区，使得这些点的点位误差不超过 50m，等高线内插高程精度也能达到 6m（按 1/3 等高距计算），从而满足了设计要求。

尼木—东拉段共测量了 25 个点，全部用 1:5 万地形图定点。雅鲁藏布江南有 11 个点，其中除 5 个点布设在标有高程的典型地物上，余下各点均布在与羊卓雍湖湖面高程相当，确有明显地物的岸边上。该湖水面标有海拔高程且较为稳定。湖面高程差最大不超过 2m，点位也能保证在 50m 之内。雅鲁藏布江北边 14 个点，除少部分沿江边布设在典型地物上，其余各点高程均从 5 万地形图的等高线内插得出，如按 1/3 等高距计算，高程精度可保证 6m，点位不超过 50m。