

中国地质调查局
地质调查专报 E1 号



青藏高原中西部 航磁调查

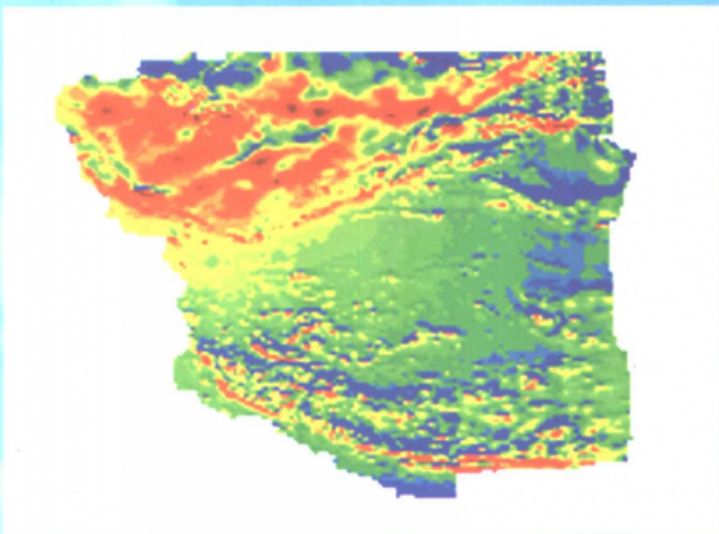
中国国土资源航空物探遥感中心

熊盛青 周伏洪 姚正煦 薛典军 段树岭 等著



地质出版社

AEROMAGNETIC SURVEY IN CENTRAL AND WESTERN QINGHAI-TIBET PLATEAU



Xiong Shengqing, Zhou Fuhong,
Yao Zhengxu, Xue Dianjun,
Duan Shuling et al.

China Aero Geophysical
Survey & Remote Sensing Center
for Land and Resources

ISBN 7-116-02824-2



9 787116 028241 >

Geological Publishing House
Beijing

ISBN 7-116-02824-2

P·2023 定价: 36.00元

中国地质调查局
地质调查专报E1号

青藏高原中西部航磁调查

项目名称：青藏高原中西部航磁概查
任务书编号：中勘院勘任〔1998〕14号

中国国土资源航空物探遥感中心

熊盛青 周伏洪 姚正煦
薛典军 段树岭 刘振军 著
张永军 郭志宏 梁秀娟

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

青藏高原中西部航磁调查项目的完成,填补了我国西部高山区 114 万 km^2 的航磁空白,从而基本实现了我国大陆的航磁覆盖。本书是该项目的成果总结。

作者们为克服世界屋脊地形、气象等复杂自然条件,采集可靠的航磁数据,专门组装了适用于高寒山区的高精度、大跨度航磁测量系统,在测量方法上也有重要创新,使我国航空磁测上升到新水平;第一次在青藏高原大范围实现了地面磁日变网的同步连续观测和逐点校正;编制提交了覆盖该区域的高质量的基础地球物理资料。书中对本次航磁发现的许多重要磁场现象进行了详细的叙述和解释,对岩浆活动、基底性质、构造格架、高原形成和隆升、油气和主要金属矿产找矿远景等展开了较深入的讨论,提出了不少新认识,为深化高原地学研究提供了可靠的依据,也为矿产资源部署提出了方向。书后附有成果图件。

本书可供广大地学工作者和相关专业的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

青藏高原中西部航磁调查/熊盛青等著. —北京:地质出版社, 2001.12
ISBN 7-116-02824-2

I. 青… II. 熊… III. 青藏高原-航空物探:磁法勘探-成果-地质解释 IV. P631.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 069222 号

责任编辑:陈军申

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 29 号, 100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京印刷学院实习厂印刷

开 本:889 × 1194¹/₁₆

印 张:14.25 图版:4 页

字 数:380 千字

印 数:1—900 册

版 次:2001 年 12 月北京第一版·第一次印刷

定 价:36.00 元

ISBN 7-116-02824-2/P·2023

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

序

青藏高原独特的自然地理环境、地貌地质特征及其在地学研究中的重大意义而一直受到国内外地学界的瞩目,并成为全球地学界科学家们竞相研究的热点。特别是进入 20 世纪 80 年代以来,国内外科学家以岩石圈结构构造及其动力学、高原隆升机制的研究为主题,地质、地球物理、地球化学相结合,在一些重点地区进行了地质填图、地学断面研究和矿产资源勘查,开展了高层次、多学科的综合研究和多种形式的国际合作研究,取得丰富的地质调查研究成果,获得一系列新的发现,大幅度地提高了青藏高原的地质研究程度。青藏高原具备良好的成矿地质条件,蕴藏有丰富的矿产资源,找矿潜力巨大,是我国重要的矿物原料接替基地。为了加快青藏高原地质调查和矿产勘查步伐,促进高原地区经济建设和社会发展,航空物探因为方法速度快、成本低、效果好和作业受地面因素影晌小,而成为高原地区首选调查方法。

原地矿部和现国土资源部下达的 1998~2000 年间实施的青藏高原中西部 1:100 万航磁概查项目,是中国国土资源航空物探遥感中心继 20 世纪 70 年代青藏高原东部航空磁测之后实施的又一重要项目。它的完成填补了我国陆地最大一片航磁空白区,为高原地区地质勘查和“西部大开发”战略部署提供了一份高质量的航磁基础资料。

为执行该项航磁概查任务,保证工作质量,航遥中心针对高原复杂多变的作业环境和高精度要求,采用了一系列先进的方法技术和保证措施,组装了适于高寒地区作业的大跨度航磁测量系统,首次实现了大范围地面磁日变网同步观测和全区航磁数据日变校正,使我国航磁测量方法技术跃上了一个新台阶,继续保持着国际先进水平。这次完成的航空磁测覆盖面积达 114 万 km²,编图范围扩大至 160 万 km²,第一次向人们全面地展示了青藏高原中西部的磁场面貌和特征。

作者对获得的航磁资料,结合前人工作成果进行了较为深入的综合研究,提出了许多新发现和新认识。研究结果表明高原基底属于弱磁性,不存在大范围太古宇强磁性结晶基底,青藏高原具有与塔里木盆地截然不同的区域磁场。雅鲁藏布江航磁异常带由北、南两条平行分布的线性异常带组成,作者认为这可能主要由蛇绿岩所引起,北带是一条规模更大的蛇绿岩带;并提出了新特提斯洋可能存在两次成洋、两次闭合的演化过程。塔里木盆地与青藏高原之间的西昆仑山—阿尔金山弧形航磁异常带构成相邻两大区域磁场的分界线,阿尔金断裂并未伸入可可西里—巴颜喀拉地块。北北东向深部负磁异常带与地壳表层北西西—近东西向分布的磁异常带呈“立交桥式”结构。对于这种比较少见的航磁现象,作者推测是在晚近地质时期,高原深部热流沿北北东方向上升引起磁性层底部部分消磁作用所致,这与印度板块持续向北挤压有关。通过对航磁资料的综合分析,对青藏高原基底和缝合带性质、断裂构造格架、构造单元划分等重大地质问题以及成矿地质条件等,都获得一些新的研究成果,对高原地质研究和矿产资源及地质环境评价,都有重要参考价值。

项目组在磁场解释和岩性填图的基础上,结合测区内外铬、铜、金和铁等金属矿床的成矿地质条件及其地球物理场特征,在全区选编了近 200 处局部航磁异常,运用层次分析法进行了异常分类和找矿远景预测,圈出 21 个找矿远景区。以磁性基底深度计算结果为主,在测区内圈定了 11 个沉积盆地,其中羌塘盆地和羊湖—雪景湖盆地可能具有良好的找油气远景。

本书还比较全面地介绍了航磁测量方法技术,包括一些第一次在本项目中应用的方法技术。本项目所使用的方法技术基本上代表了我国当前的航空物探技术水平,并对我国航空物探技术方

法的发展做出了贡献。

青藏高原是我国乃至全世界地学界的一块瑰宝，它在科学研究、资源勘查和环境评价上都有巨大的潜力，经过详细研究将会在科学上有更多新的重大发现，成为诞生地学新理论、新学说的圣地之一。由于人所共知的原因，青藏高原地质研究程度较低，交通和工作条件困难，地质调查和矿产资源勘查欲取得更大成效，特别需要高新技术的支撑，航空磁测就是这种高新技术方法之一。航磁成果的精细解释和研究，对于提高地质调查和资源勘查质量和效率，都将发挥重要作用。中国地质调查局决定以地质调查专报的形式公开出版该项航磁调查成果报告，以便使有关部门和广大地学工作者更早地获得这一成果，并应用于生产和科研实践，这是我国地学界值得庆幸的一件大事，希望从事青藏高原调查研究的地学工作者更多地利用它，让航磁成果为高原的地学调查研究和地质找矿发挥更大作用。

李延栋

2001年10月19日

目 录

序	
第一章 绪论	(1)
第二章 区域地质及地球物理研究概况	(5)
第一节 地质、地球物理研究程度	(5)
第二节 区域地质简述	(8)
第三节 地球物理概况	(18)
第三章 航磁概查方法技术	(30)
第一节 概述	(30)
第二节 测量系统集成	(31)
第三节 航磁测量系统的试验飞行	(35)
第四节 测量方法技术	(36)
第五节 磁日变观测与校正	(40)
第六节 数据处理与成图	(46)
第七节 测量质量评价	(48)
第四章 航磁数据位场转换和定量计算	(51)
第一节 航磁 ΔT 数据位场转换处理	(51)
第二节 航磁 ΔT 异常的深度计算	(53)
第三节 地温梯度计算方法	(53)
第四节 航磁异常轴向统计	(55)
第五章 航磁推断岩浆岩分布	(57)
第一节 岩浆岩的航磁异常特征	(57)
第二节 岩浆岩分布	(64)
第三节 对岩浆岩一些问题的认识	(104)
第六章 航磁反映的区域地质构造特征	(111)
第一节 航磁异常分区特征	(111)
第二节 基底岩相构造	(114)
第三节 断裂构造格架	(117)
第四节 构造单元划分及特征	(130)
第五节 对有关构造问题的探讨	(147)
第七章 含油气远景和地热资源分析	(163)
第一节 沉积盆地的圈定与特征	(163)
第二节 含油气远景预测	(167)
第三节 地热资源分析	(174)
第八章 局部异常评价与金属矿产预测	(180)
第一节 地质、地球物理和地球化学找矿标志	(180)
第二节 局部异常选编	(182)

第三节 局部异常评价	(184)
第四节 找矿远景预测	(201)
第九章 结论与建议	(209)
参考文献	(214)
英文摘要	(217)
图版 青藏高原中西部及邻区航磁 ΔT 剖面平面图	
青藏高原中西部及邻区航磁 ΔT 等值线平面图	
青藏高原中西部及邻区航磁 ΔT 化极上延 10 km 等值线平面图	
青藏高原中西部及邻区磁性体埋藏深度图	
青藏高原中西部及邻区区域构造图	
青藏高原中西部推断岩浆岩分布略图	
青藏高原中西部及邻区油气远景评价图	
青藏高原中西部航磁异常分布及金属矿找矿预测图	

第一章 绪 论

青藏高原以其独特的地学研究意义，成为国内外地学界研究的热点。由于高原的自然地理条件限制，除了路线地质调查和几条地球物理剖面外，针对整个高原所做的面积性地质和地球物理工作极为稀少。航磁只是在高原的中东部地区在较早时期进行过 1:100 万概查。基础性资料的缺乏使地学界对高原的研究在许多方面无法深入进行。20 世纪 90 年代后期，我国大陆大部分地区已完成了航磁覆盖，惟有青藏高原中西部尚有超过 100 万 km^2 的航磁空白区，这严重制约了对我国国土资源的全面了解和青藏高原地学研究的深入进行。

为贯彻中央关于加快我国中西部地区发展的指示精神，提高国土研究程度，填补西部地区的航磁最大空白区，并配合在该地区开展的油气、金属矿产的资源调查和区域地质调查，我单位最早于 1993 年 9 月就进行了青藏高原中西部航磁概查的立项工作，并向原地质矿产部呈交了立项申请。1994 年我单位致函西藏自治区地矿局，建议由西藏自治区政府向国家计委申请青藏高原中西部航磁概查项目，并向自治区地矿局领导进行了汇报；同时也致函西藏自治区政府江措副主席，希望对立项工作给予支持，争取使国家计委尽早批准实施。1995 年 9 月西藏自治区计划经济委员会和西藏自治区地矿局，联合向国家计委和原地质矿产部申请包括青藏高原中西部航磁概查在内的西藏地质勘查专项经费。1997 年 2 月我单位又向有关部门呈交了青藏高原中西部航磁概查的实施方案和航磁概查经费的说明，同年 11 月呈交了航磁概查计划。1998 年原地质矿产部地质调查局决定设立专项在青藏高原中西部开展 1:100 万航磁概查（图 1-1）。

本项目的具体任务为：

(1) 完成 12 万 km 测线的航磁测量任务，获取高质量的航磁基础数据，编制该区完整的航磁图件。

(2) 以航磁资料为主，结合地质、物化探等资料，以及周边地区的研究成果，研究测区及青藏高原地质构造特征。

(3) 探讨磁场及其与内生金属矿床的内在联系，圈定找矿远景区带。

(4) 研究磁性基底起伏和沉积层厚度，圈定中、新生代沉积盆地，并评价其找油气远景。

为保证该项目任务的全面完成，我单位专门设立青藏高原中西部航磁概查项目组。项目组分设野外生产队、成果解释报告组和研究课题组，并设立项目协调办公室，由项目负责人负责组织本项目工作。

项目负责人：熊盛青

野外生产队长：薛典军

报告组长：周伏洪

课题一组长：段树岭

课题二组长：薛典军

项目协调办公室由王守坦、姚正煦、金国、付敖云、李建国等组成，该协调办公室为保证项目的顺利进展做了大量的工作。

为了保证在极其复杂的地形和恶劣的气象等自然条件下高质量地完成航磁测量任务，项目组设立两个相应的研究课题，改装了适合于高海拔区飞行测量的飞机，解决了适合于高寒地区的航磁测量系统集成、大数据量多种信息的快速同步收录、降低飞行高度等飞行方法技术、多站磁

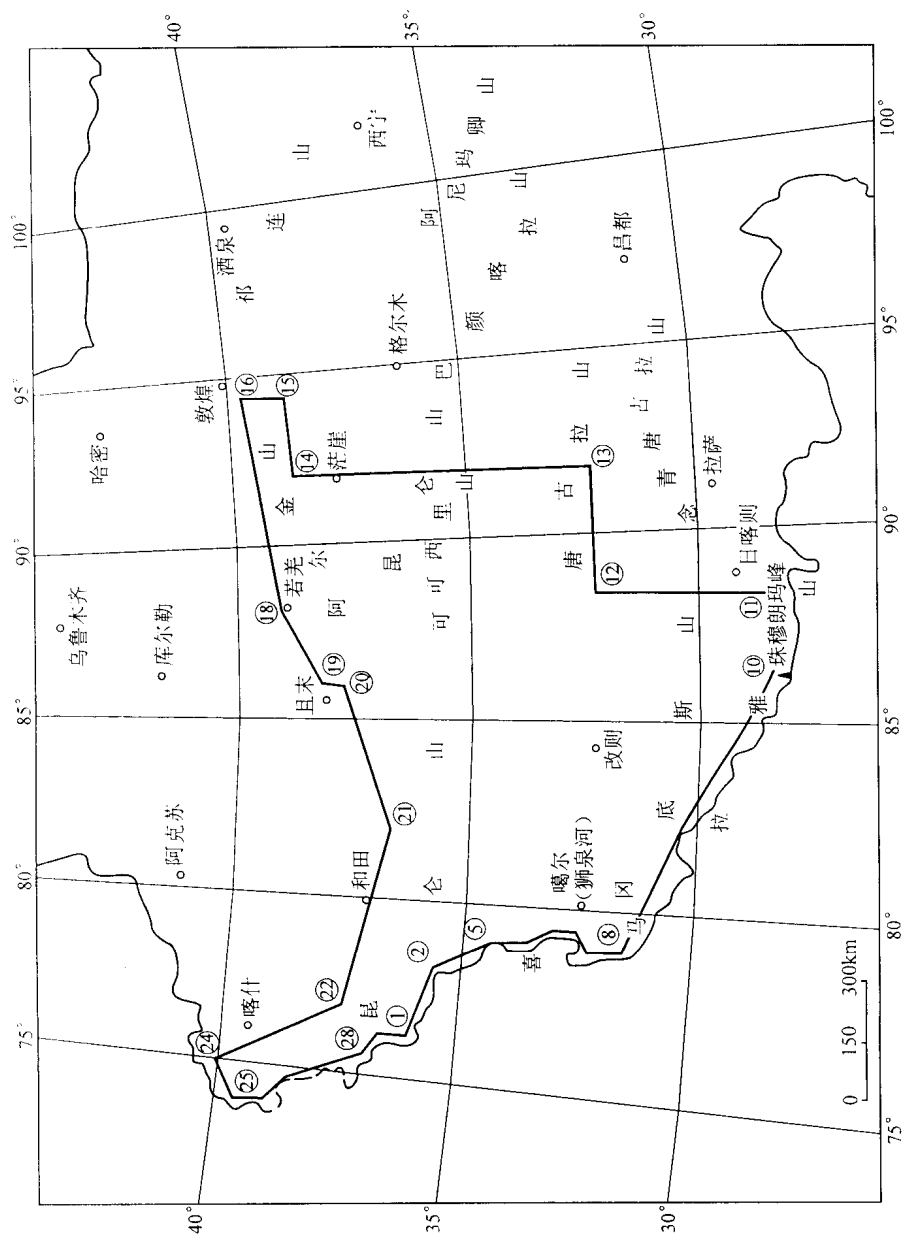


图 1-1 青藏高原中四部航磁概查测区位置图

(图中数字为测区部分角点编号)

日变校正与成图方法等技术难题,以及飞行安全和生活保障等问题,确保了本次航磁测量任务的圆满完成。

在野外测量中,先后以新疆和田机场、青海格尔木机场、新疆库尔勒机场、西藏贡嘎机场为飞行基地,使用了经专业改装的中飞公司呼唤飞机一架(机号:B-4105),机载设备有HC-90K氦光泵磁力仪、AADC-2实时软补偿仪、CG-24双星座卫星导航定位接收仪、BG3.0无线电高度计、DS3数据收录系统。地面磁日变观测使用了HC-85D氦光泵磁力仪及3057便携式模拟记录仪。

野外飞行从1998年9月开始,至1999年4月完成测量任务,历时8个多月,飞行122架次,使用572小时51分,完成测线114740 km,切割线16042.3 km,重复线4694.5 km(含不同高度测量),累计完成工作量135476.8 km。在野外飞行期间,先后在新疆维吾尔自治区且末县、青海省花土沟、西藏自治区阿里地区噶尔(狮泉河)等七个地区设立磁日变站网进行磁日变观测,解决了磁日变站网的设置及生活保障、数据同步采集、磁日变校正方法及校正精度等一系列技术上的问题,取得完整的磁日变资料。

1999年7月底完成数据处理及基础图件成图工作。

参加飞机改装、测量系统集成的主要人员有:段树岭、王庆尊、董继国、付敖云、孙文裕、付淑萍、袁福广、王金龙、梁韧、宋燕兵等。

参加野外测量任务的904队主要人员有薛典军(队长兼技术负责)、赵玉刚(副队长)、郭建华,负责多台站磁日变的协调与指挥;梁秀娟,负责数据预处理、数据处理和成图;段树岭、王庆尊,负责仪器保障;梁韧、宋燕兵,为空勤操作员;庞声盛、古标、陈海旺、安战峰、金龙哲、张强、王启,负责磁日变观测;乔广志,负责数据处理和成图。

参加野外测量任务的中飞通用航空公司B-4105机组——领队,马军、周辛基;机长,郝立功、孔祥勤、张德兴、刘选利;领航,李竞生、赵军明;机务,赵彩滨、张彦利、吴安国、訾耀华、姚雪、王志伟、唐学庆、胡军。

为保证测量质量,地调局特聘高仁载、欧介甫为项目监理,以检查和解决野外飞行测量中所存在的问题。

航磁概查报告的编写于1999年下半年开始进行。报告组人员有周伏洪、姚正煦、刘振军、张永军、郭志宏、罗锦荣等。报告编写分工如下:

周伏洪:报告编写负责,第一章、第六章第一、四、五节和第九章的编写,报告统稿与初步定稿,并编制磁性体深度图、基底深度图和区域构造图等。

姚正煦:报告金属部分负责,负责第五章编写和协助第八章编写并修改,岩浆岩图的编制和金属矿找矿预测图的协助编制等。

刘振军:野外物性调查,负责报告第二章第三节、第四章第四节、第八章和局部异常登记表的编写,金属矿找矿预测图的编制。

张永军:野外物性调查,负责报告第二章第一、二节和第六章第二、三节以及第七章的编写,基底岩相构造图和地质地球物理综合剖面图的编制。

郭志宏:计算机磁异常深度计算,航磁位场转换处理和报告第四章第一、二、三节的编写。

薛典军、段树岭、梁秀娟负责报告第三章编写。

熊盛青:报告第一章、第三章和第九章的编写,并负责统稿和最终定稿。

罗锦荣负责航磁基础图件的上色,推断图件和报告插图的清绘、整饰等。报告附图的微机制图工作由杨玲羽、桑小芹、阎汉屏完成。此外,王德发、乔春贵参加了野外异常查证,另有西藏地矿厅二队总工办主任李国良参与了野外磁性测定和异常查证工作。

为了提高报告编写质量,2000年5月底在报告推断图件基本完成时,根据地调局的指示,报告组曾在部十三陵培训中心向地调局和有关专家进行了初步成果汇报与咨询,同时报告组也到

西藏地矿厅和成都地矿所等有关单位汇报了航磁初步成果，与地矿厅所属的区调队和有关地质队交换了意见。另外也向地科院正在进行青藏高原研究的有关专家进行了汇报与交流。

这一项目于2000年11月完成，2001年4月通过了由中国地质调查局组织的以李廷栋、肖序常为首的专家组的评审和验收。

在项目立项和实施过程中，得到了中国地质调查局、原中国地质勘查技术院、西藏地矿厅、中飞公司等单位以及中心各部门的大力支持和协作，特别是承蒙陈毓川、张洪涛、肖序常、任纪舜、孙文珂、刘士毅、赵文津、吴功建、袁学诚、万子益、曹佑功、杨华、郭铁鹰、牟绪赞、刘纪选、张晓山、乔日新等领导和专家的大力指导和支持，在此谨表示衷心感谢。

第二章 区域地质及地球物理研究概况

第一节 地质、地球物理研究程度

一、国外地质学家对青藏高原的地质及地球物理调查

中华人民共和国成立以前,仅有少数国外地质工作者对西藏的地层作过一些调查和研究,资料十分有限。20世纪60年代以来,板块构造学说的兴起,国际合作的“上地幔”计划的完成和“地球动力学”计划的实施,青藏高原被视为研究和解决造山带地质演化和大陆板块岩石圈发展模式的理想地区,是解决亚洲乃至全球构造问题的一个关键地区。国外地质学家主要研究结果如下:

1931~1935年E. Norin在喀喇昆仑南坡一带考察,确立了霍尔巴错(Horpatso)岩系,这是在藏北首次确定的类似于克什米尔集块板岩的冰海沉积岩系。

1973~1977年原苏联、印度、意大利、巴基斯坦等国利用人工爆炸探测了一条长达1500 km的地球物理剖面。该剖面所反映的深部壳幔结构和构造特征为:①帕米尔—喜马拉雅岩石圈剖面表现出复杂的多层结构;②高原地区的地壳一般偏厚,但厚度有明显变化,莫霍面大体表现为浅盘形态,四周浅中部深;③高喜马拉雅山系无山根,地壳并非最厚,仅65 km,深10~40 km的范围内可能存在低速层;④高原地壳被一系列大型高角度深断裂切割,断层面无固定倾向,断距一般为5~6 km,最大断距10~15 km;⑤印度河—雅鲁藏布江蛇绿岩一直延伸至70 km深度,未见分层现象。这说明蛇绿岩中的超基性岩下延是很深的,此带莫霍面深约70~73 km;⑥该区固结地壳的波速较印度地盾偏低,但上地幔顶部层位的波速正常,为8.1~8.4 km/s;⑦高原下软流层呈透镜状,顶板深120 km,底板深300 km,向高原边缘变薄。

此外,印度、意大利、日本、尼泊尔、美国等国的一些地球物理学家还在青藏高原进行过重力测量和研究,并编制了各种重力图。其中美国的卫星重力测量覆盖了全区,并编制了青藏高原 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 布格重力异常图。得出的结论是:①沿青藏高原四周为布格重力异常等值线的密集梯度带,它可能是高原与其周围地区地壳结构有明显差异的反映;②整个高原以高负值重力异常为特征,高原内绝大部分地区的异常值在 $-400 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 以上;③青藏高原具有世界上最大的地壳厚度,一般推算结果为70 km左右;④大多数研究者认为,高喜马拉雅地区至今未达到均衡,高喜马拉雅的均衡异常值为800~1000 g.u.;⑤在喜马拉雅低密度中心上面叠加了一个高密度区。

二、我国及国际合作项目对青藏高原的地质及地球物理调查

从1929年至20世纪40年代初期,先后有谭锡畴、李春昱、崔克信、曾鼎乾等人对青藏高原进行过地质矿产调查研究。解放后,我国政府和各有关地质部门十分重视青藏高原的地质调查研究工作。20世纪50年代初期,以李璞教授为首的中国科学院西藏工作队在西藏中、东部进行过历时两年的路线地质调查。此后,地质部在柴达木盆地和川西、藏东、藏南等地开展了石油普查和区域地质矿产的调查。青藏高原大规模的地质调查研究工作是从20世纪60年代开始的。1960~1961年、1963年和1966~1968年,中国科学院三次组织综合考察队和科学院考察队,对

西藏希夏邦马峰、珠穆朗玛峰等地及其毗邻地区进行了地层古生物、岩石、构造等多学科的地质考察。青海、甘肃、西藏、四川、云南等省、自治区地质局在本地区内开展了中、小比例尺的地质调查和矿产普查，会同有关科研单位完成了除西藏以外的各个地区百万分之一（温泉幅、玉树幅、昌都幅、重庆幅等）地质矿产图的测、编工作和若干二十万分之一图幅的地质矿产调查工作。中国地质科学院和四川、青海、新疆地质局在川西、西藏等地进行了区域地质综合研究和铬铁矿、石油、煤等矿产普查工作。20世纪70年代，除各有关省、自治区地质局继续在更大范围开展中比例尺地质调查和若干矿种的普查、勘探工作以外，还进行了拉萨幅、日喀则幅及西昆仑山等地百万分之一的地质填图工作。中国地质科学院会同有关地质局队，在西藏、祁连山等地开展了以基性、超基性岩及铬铁矿为主要对象的专题研究，进行了格尔木—拉萨路线地质调查和青海、川西、藏东铁、铜矿产的专题研究。中国科学院于1973~1976年再次组织综合考察队，在藏南、藏北进行了更广泛的地质、地球物理的调查研究工作，并编撰出版了系列专著。

从1980年开始，我国各有关部门在青藏高原开展了第二轮大规模的地质和地球物理的调查研究工作。地质矿产部青藏高原地质调查大队对整个青藏高原及其周边地区的地质矿产开展了深入的调查研究。与此同时，地质矿产部青藏高原地质调查大队会同有关省、自治区地质矿产局加强了对已有成果的综合研究，于1980年编制出版了一百五十万分之一的青藏高原地质图，编撰出版了《青藏高原地质文集》和《青藏高原区域地层简表》等专论和专著。

1982年，中法地球物理学家合作在藏南地区的羊卓雍错和普莫雍错进行了热流测量。Jaupart等（1985）认为：①藏南地区有一个 $(54 \pm 12) \text{ mW/m}^2$ 的热流密度异常；②羊卓雍错的平均热流密度值达 $(146 \pm 17) \text{ mW/m}^2$ ，热导率为 $0.84 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ，普莫雍错的平均热流值为 $(91 \pm 5) \text{ mW/m}^2$ ，热导率为 $0.87 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ；③藏南地壳热异常的幅度可高达 70 mW/m^2 ，因而推断该异常值只能起因于新生的浅热源，深度不超过10 km，形成年龄小于1 Ma。

1980~1982年，中法共同完成了那曲至洛扎的大地电磁测深剖面。剖面长400 km，共测13个点，另外在羊八井热田地区增测4个测深点。经分析对青藏高原的地壳和上地幔电性结构有如下认识：①雅鲁藏布江以北的地壳内普遍存在着厚约10 km的低阻层，其电阻率一般为几欧姆·米，它的埋藏深度一般为20~30 km，往南低阻层明显变浅；②低阻层与地震成果中的低速层的深度基本接近，表明它们可能是统一地壳层的反映；③通过大地电磁测深资料分析，在洛扎发现了一个早于主中央断层而倾角相反的逆掩断层，推断温度较低的印度板块沿此断层及雅鲁藏布江缝合带向北俯冲到西藏陆壳之下；④在倒不龙一带可能存在着熔融地幔岩的底辟上升；⑤本区岩石圈厚度为120~170 km，南部薄北部厚。

1981~1982年中国与法国合作完成了一系列地震剖面，具体有藏南佩枯错—定结—普莫雍错纵剖面、藏北色林错—蓬错—雅安多纵剖面、以色列林错为炮点的嘎拉—安多扇形剖面、以昂仁为炮点的嘎拉—那曲扇形剖面、以蓬错为炮点的谷露—安多扇形剖面、以普莫雍错为炮点的德古—古宗错扇形剖面、以定结为炮点的聂拉木扇形剖面、以佩枯错为炮点的马哈巴拉特扇形剖面、以蓬错为炮点的谷露—曲水扇形剖面。对其中的主要非纵剖面法国地球物理学家A. Him（1984）作了解释，解释要点是：①在高喜马拉雅山以北的拉轨岗日山脉西侧地带的莫霍面形成一条深约70 km左右的深槽，在雅鲁藏布江以北莫霍面抬升到深度50 km，雅鲁藏布江附近莫霍面出现了约20 km的台阶，这被认为是地体边界或板块缝合带发生走向滑动的有力证据；②在班公错—怒江缝合带附近深约70 km的莫霍面与雅鲁藏布江附近的情形非常相似，也可看到20 km的台阶，因此在那里也同样可能存在缝合后的走向滑动；③雅鲁藏布江以南，至少可以辨认出三个叠覆的莫霍面断片，三个断面是向北倾斜的；④在拉轨岗日一带的莫霍面深槽向南延伸到喜马拉雅以北30~40 km地带，其上被深约45~55 km的另一莫霍面所叠覆，此断片向北翘起；⑤在高喜马拉雅与主中央逆冲断层以南的加德满都盆地之间所获得的横剖面，从底到顶包括深度大致为50 km

的喜马拉雅莫霍面，它可以追索到高喜马拉雅以南至少 50 km 的地方，深度在 35 km 左右的反射层，在高喜马拉雅地区莫霍面顶部向北上翘，在加德满都盆地以下深 10 km 有一界面向高山区倾斜，在高山区之下深 20 km 处存在反映上地壳物质底部的反射层，它向北延伸深度达到 30 km，相当于藏南东西向剖面上、下地壳的分界面；⑥在每一条主要逆冲断层上，至少在康马逆冲断层、主中央逆冲断层和主边界逆冲断层上，北部的上一中地壳单元逆冲到了南部的上地壳层或它们的沉积盖层之上；⑦在深部所获得的构造运动的证据，与在地表获得的证据有明显不同，在地表见到的是逆冲断层带，在深部这种证据是由岩石圈内的标志层（即地壳与地幔之间的莫霍面）错断所显示的。

自 1993 年以来中国石油天然气总公司对青藏高原的局部地区进行了较为详细的油气资源研究，国内多个生产勘探和研究单位、多所院校参加了该项工作，先后完成了 10 多条石油地质综合研究大剖面、多种比例尺遥感地质解释、重点地区的 1:5 万遥感地质填图以及重、磁、电、地震等物探和化探工作，与此同时还进行了基础地质方面的多项专题研究。这些工作为青藏高原的研究提供了大量宝贵的新资料。

1992~1996 年中国与美国、德国、加拿大等国家合作开展了“国际喜马拉雅和西藏高原深剖面和综合研究”，完成了横贯喜马拉雅和西藏高原的深地震反射剖面及多学科多方法的综合调查研究，对青藏高原的构造特征和隆升机制等进行了系统阐述。

1995 年青藏高原的研究被纳入国家攀登计划，“青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究”被列为国家重大基础研究项目，从而使青藏高原的科学考察工作进入了第二期。1999 年新一轮国土资源大调查地质调查开始以来，中国地质调查局在青藏高原及周边地区设立了许多有关 1:25 万区调、矿产资源勘查评价以及基础地质调查研究方面的项目，并取得可喜的进展。

三、航磁工作程度

青藏高原的航磁工作从 1969 年开始，主要集中在藏东地区，已完成 1:100 万国际分幅航磁图 13 幅。范围包括西藏东部、青海南部、四川西部和云南中西部，面积达 150 万 km²（表 2-1-1、

表 2-1-1 青藏高原及邻区航空物探勘查程度表

序号	勘查区名称	工作日期	测量比例尺	测 量 方 法				测量质量	
				机型	仪器类型	导航定位	收录	航高/m	总精度 nT
1	塔里木盆地地区	1957	1:100 万	立-2	49 型	目视	模拟	500	±26.6
2	柴达木盆地	1966	1:100 万	Y-12	核旋	目视	模拟	<1300	±2.0
3	西藏中部地区	1969~1972	1:50 万	安-12	302	照相	模拟	1200~2500	±4.3
4	青海中南及西南地区	1975	1:50 万 1:20 万	安-12	302	目视	模拟	1000~2000	±3.0
5	川青地区	1977	1:50 万	安-12	302	目视	模拟	1800~2600	±3.0
6	塔里木西部地区	1978	1:20 万	伊尔-14	302 型	目视	模拟	600~1000	±3.2
7	川西藏东地区	1978~1981	1:50 万	安-12	核旋	目视、照相	模拟	3000	±4.50
8	罗布泊—阿拉善地区	1983	1:100 万	双水獭	核旋	目视、照相	数字	250~1000	±4.0
9	塔里木盆地东部地区	1988	1:20 万	Y-12	光泵	GPS、应答、 多普勒	数字	250	±2.50
10	塔里木盆地西部	1998	1:20 万	Y-12	HC-90K	双星座 GPS	数字	236	±0.98

图2-1-1), 其中西藏中部航磁覆盖面积达20万 km²。这不仅积累了青藏高原的航磁作业经验, 而且编制了较为系统的航磁基础图件, 取得了较好的地质效果(如发现了伊拉山铬铁矿等), 并对测区的地质特征有了较为全面的了解, 发表了一些论文和专著。费鼎等(1982)在进行西藏中部地区航磁资料解释时提出印度板块的仰冲问题, 对雅鲁藏布江缝合带的研究曾起到推进作用。杨华等(1985、1991)对青藏高原的已有航磁资料进行统编, 并系统讨论了高原地壳结构演化和高原的形成。但因为青藏高原独特的地形地貌, 航磁技术尚不能满足覆盖整个高原的要求, 测量范围十分有限, 多数地区仍是航磁空白区。除此以外, 我单位还作过一些遥感工作, 对青藏高原的研究提供了十分宝贵的基础资料。

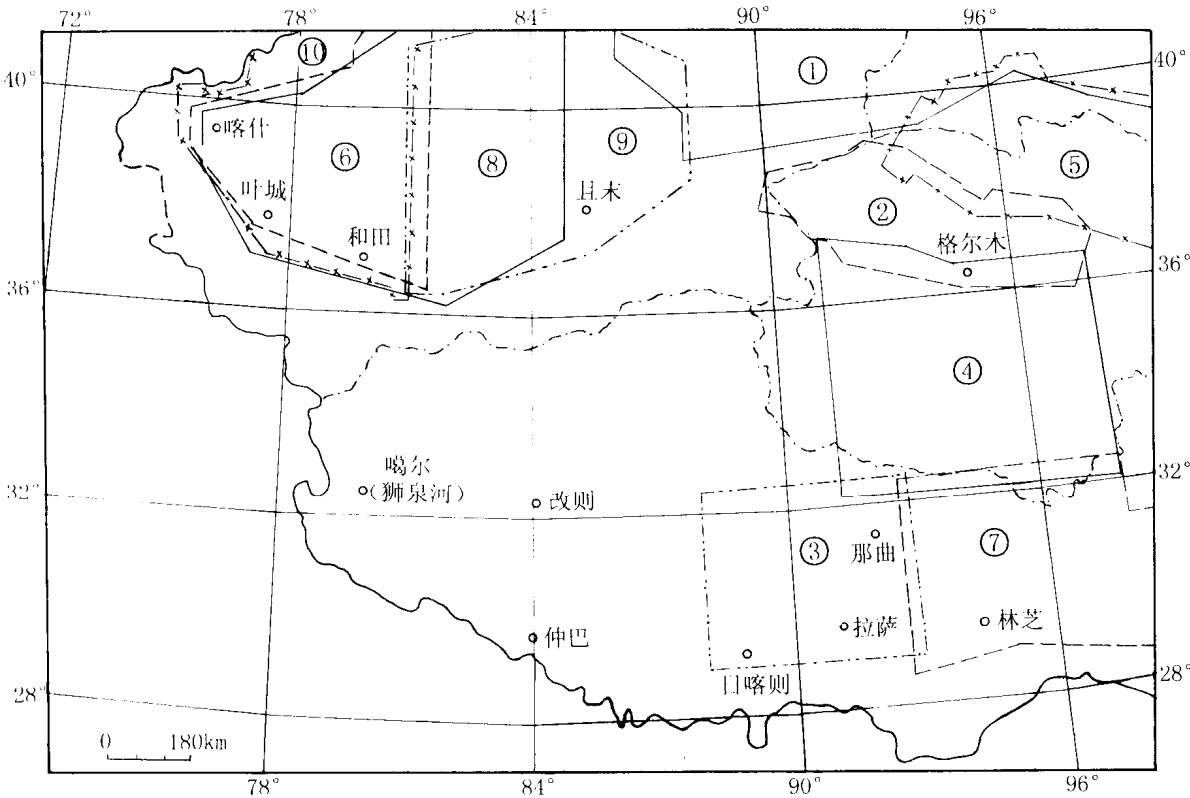


图2-1-1 青藏高原及邻区航空物探勘查程度图
(测区编号名称见表2-1-1)

第二节 区域地质简述

测区位于青藏高原中西部, 从大地构造格架看, 跨越了6个构造单元和5条缝合带(或断裂带)。由于跨越多个大地构造单元, 区内的地层发育、火成岩分布、构造格局等都有很大差异。

一、地层

青藏高原地层可划分为5个分区, 分别为北昆仑区、南昆仑-巴颜喀拉区、羌塘-昌都区、冈底斯-念青唐古拉区和喜马拉雅区。

1. 太古宇

青藏地区最老地层为新太古界, 仅见于阿尔金山东段北坡, 称米兰群, 为一套高角闪岩相-

麻粒岩相变质岩系。

2. 元古宇

北昆仑区基底为新元古界金水口群和冰沟群,以片麻岩、麻粒岩、斜长角闪岩和石英岩、大理岩等深变质岩为主,原岩为基性火山岩、泥质岩和碳酸盐岩。金水口群 U-Pb 同位素年龄值为 1196 ~ 1339.2 Ma, Rb-Sr 同位素年龄值为 1231.2 ~ 1990 Ma。

南昆仑-巴颜喀拉区基底为中、新元古界万宝沟群,由轻微变质的中基性火山岩、碳酸盐岩和碎屑岩组成。

冈底斯-念青唐古拉区中出露的最老地层为元古宇念青唐古拉群,该群以片岩、片麻岩和混合岩为主,大致可与高喜马拉雅聂拉木群对比。目前获得的最老同位素年龄为 1770 Ma。

高喜马拉雅区聂拉木群下部为富铝硅酸盐的片岩、片麻岩、麻粒岩和混合岩;上部为黑云变粒岩,夹硅酸盐片岩、片麻岩和大理岩。所获同位素年龄值主要为 1900 ~ 1000 Ma 和 1100 ~ 600 Ma,最老可达 2250 Ma。

3. 古生界

北昆仑区早古生代发育有以奥陶系祁漫塔格群为主的碎屑岩、碳酸盐岩和基性火山岩建造。晚古生代以地台型碳酸盐岩、碎屑岩建造为主,但在泥盆系、石炭系中夹火山碎屑岩。

南昆仑-巴颜喀拉区仅见石炭系、二叠系地层。石炭系称古里雅群,位于昆仑山脉主脊以南,岩性主要为灰黑色灰绿色板岩、褐灰色千枚岩和灰色砂岩等含炭较高的轻微变质碎屑岩类,有时还夹有含砾板岩、含砾砂岩、硅质岩和灰岩,为一套具有复理石性质的巨厚碎屑岩建造,厚达 3520 ~ 3878 m 以上。二叠系分布零星,仅见下统,为一套巨厚碎屑岩,部分发生浅变质。

羌塘-昌都区分布有奥陶系一二叠系。奥陶系可分为昌都-江达分区和喀喇昆仑分区。昌都-江达分区为灰色砂岩、板岩与灰岩互层,偶夹豹皮灰岩。喀喇昆仑分区为一套浅海相碎屑岩建造。志留系仅分布于饮水河至万泉河一带,呈近东西向延伸的狭长条带。其下与奥陶系兽形湖组连续过渡,其上被中泥盆统不整合覆盖,为一套碳酸盐岩夹碎屑岩,称普尔错群。泥盆系仅见于三江流域及羌塘地区。目前仅见中、上泥盆统,以碳酸盐岩为主,局部为碎屑岩及火山岩,与下伏地层呈假整合接触。石炭系以龙木错—查桑—澜沧江一线为界,分南、北两部分。南部为一套含砾板岩和砂、板岩的互层,间夹火山岩,具复理石建造。北部为碳酸盐岩,下部夹少量含煤碎屑岩。二叠系分布较为广泛,主要展布在羌塘高原的日土、改则、双湖及怒江与金沙江之间,向南延入云南。以碎屑岩和碳酸盐岩为主,间夹火山岩。

冈底斯-念青唐古拉区分布有奥陶系一二叠系。奥陶系可进一步分为拉萨-波密分区和措勤-申扎分区。拉萨-波密分区为一套浅海碳酸盐岩沉积,措勤-申扎分区为一套浅海陆棚相碳酸盐岩夹碎屑岩沉积。志留系措勤-申扎分区以页岩与灰岩互层为主,上部为白云质灰岩,厚 315 ~ 445 m。班戈分区为一套浅海—滨海相碳酸盐岩及碎屑岩,下部夹中酸性火山岩,厚度巨大。泥盆系上、中、下三统均有发育,但下统发育不全,与下伏地层为假整合或断层接触,上与下石炭统为连续沉积。在拉萨-波密分区,下统为海相、过渡相碎屑岩,中、上统为浅海相碳酸盐岩。石炭系在拉萨-波密分区下统以碎屑岩、碳酸盐岩为主,上统为石英砂岩、板岩、灰岩、大理岩和中酸性火山岩。在措勤-申扎分区下统为一套碳酸盐岩,上统为一套碎屑岩夹薄层碳酸盐岩。二叠系地层沿那曲—当雄—尼木一线分布,下统主要为碳酸盐岩,上统为一套板岩、硅质粉砂岩和火山岩。

喜马拉雅区寒武系主要分布在北喜马拉雅以及雅鲁藏布江一带,为一套绿泥石片岩相的低级变质岩,由泥砂质碎屑岩夹碳酸盐岩组成。奥陶系以碳酸盐建造为主,下与寒武系整合接触,上与志留系一般为整合接触,局部地区为断层接触。志留系主要为砂泥岩和碳酸盐岩,与上覆和下伏地层呈整合接触。泥盆系发育齐全,并以浅海碳酸盐岩为主。石炭系下统为碳酸盐岩与碎屑岩