

# Urban Geological Work Tools

— Controlled Source Audio Magnetotelluric Sounding and  
Microdynamic Sounding

# 城市 地质工作的 利器

——可控源音频大地电磁测深与微动测深



徐光辉 著



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.

Urban  
Geological Work Tools  
——Controlled Source Audio Magnetotelluric Sounding and  
Microdynamic Sounding

# 城市地质工作的利器

——可控源音频大地电磁测深与微动测深

徐光辉 著



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.

## 内 容 提 要

本书通过对多年实践及研究成果的总结,对比分析了各种物探方法在北京地区地质工作中的应用效果,重点介绍了一些新方法、新技术在北京地区的应用情况(如可控源音频大地电磁法和微动测深法),用实例说明它们发挥的重要作用及取得的丰硕成果。它们是城市地质工作不可替代的利器。

全书共六章,分别为绪论、北京城市物探工作、新的物探方法技术在北京地区的应用、城市地质工作的利器——可控源音频大地电磁测深、城市地质工作的利器——微动测深、综合物探方法的应用。

本书可供地质调查人员、科研人员及相关专业院校师生参考学习。

### 图书在版编目(CIP)数据

城市地质工作的利器:可控源音频大地电磁测深与微动测深/徐光辉著. —北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.6

ISBN 978-7-114-13868-3

I. ①城… II. ①徐… III. ①城市地质环境—地下物探—研究 IV. ①P631.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第048223号

书 名:城市地质工作的利器——可控源音频大地电磁测深与微动测深

著 者:徐光辉

责任编辑:刘彩云 李 梦

责任校对:尹 静

责任印制:张 凯

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京凯鑫彩色印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:6.5

字 数:121千

版 次:2018年6月 第1版

印 次:2018年6月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-13868-3

定 价:32.00元

(有印刷、装订质量问题的图书,由本公司负责调换)

# 个人简介

## Personal Profile

**徐光辉**,男,博士,高级工程师,现就职于北京市华清地热开发集团公司(北京市地热研究院),副总经理。主要研究方向(工作领域)为深、浅层地热资源勘查及开发利用。

个人工作经历如下:

1987—1992年,就职于原北京地质矿产局物化探队四分队,主要从事工程物探专业工作,先后从事浅层地震、常时微动、超声波检测、基桩无损检测等专业技术工作。

1992—1997年,就职于北京市地质勘察技术院(前身为北京地质矿产局物化探队),主要从事工程物探工作,并涉及水文物探、地热地质勘查等专业技术领域。

1997—2003年,主要从事地热地质勘查工作。

2003年至今,主要从事深、浅层地热能资源勘查及利用研究工作。

多年来,主持完成了十余项公益性地质科研项目以及几十个地热勘查、金属矿勘查领域市场项目,取得了丰硕的社会效益和经济效益。

个人主要工作业绩如下:

1987—1990年,参加北京市重点建设区区域稳定性调查项目。

1991年,参加北京市亦庄工业区地质环境评价项目。

1993年,参加北京市平谷电厂王都庄水源地物探工作项目。

1989—1996年,主持完成京津塘、京石、济青、沪宁、首都机场、石安(石家庄—安阳)、八达岭等高速公路基桩检测工作。

1997年,主持完成北京市来广营—望京地区地热物探调查工作。

1998年,主持完成北京市沙河—白浮地区地热资源普查项目。

1999—2000年,主持完成北京市奥体中心至北苑北小区地热资源物探勘查项目。

2000—2001年,主持完成北京市城区地热资源潜力调查项目。

2002年,主持完成北京市科学技术委员会组织的利用综合物探手段在深部地热勘查中应用的研究项目。

2002年,主持完成北京市发展和改革委员会组织的北京市延庆平原区地热资源物探普查项目。

2006年,参与中国地质调查局组织的北京市浅层地温能资源评价示范项目,任项目负责人。该项目首次对浅层地温能资源评价方法进行探索性研究,有许多创新点。参与北京市发展和改革委员会组织的北京平原区浅层地温资源评价及开发利用规划项目。

2007年,主持北京平原区浅层地温资源相关参数研究专题。

2007—2009年,参与编制《浅层地热能勘查评价规范》(DZ/T 0225—2009)。

2008年,主持实施内蒙古东乌旗海勒斯台及阿鲁科尔沁沙布嘎图多金属矿勘查项目,该项目至2011年10月结束普查工作,实施的10眼勘探钻孔均见有工业品位矿层。

2012年,主持完成北京岩溶水资源勘查评价工程项目(勘察类第三包:水文地质物探标段2)。

2015年,主持完成北京市昌平区地热勘查项目。

多年来在地热勘查领域主持实施几十项地热井前期勘查论证市场项目,取得了丰硕的社会及经济效益。在北京与同事共同努力,通过精细勘查,填补了多处地热资源开发利用空白区。

# 前 言

## Foreword

随着城市建设的不断发展,地质工作在其中的地位显得越来越重要,发挥的作用愈来愈大。作为城市地质工作方法之一的地球物理勘探,在服务于城市建设之初就发挥了无可替代的作用,取得了很好的勘探成果。目前城市物探工作正在得到逐步加强,应用领域不断扩大,随着科学的进步,新的物探手段不断涌现,解决城市地质问题的能力也在不断提高。本书通过对多年实践及研究成果的总结,对比分析了各种物探方法在北京地区地质工作中的应用效果,以点代面重点介绍一些新方法、新技术(如可控源音频大地电磁法和微动测深法)在北京地区的应用情况,用实例说明它们发挥的作用。这两种方法技术在北京地区的城市地质工作中发挥了非常重要的作用,利用这两种方法取得了丰硕的勘查成果,这两种方法可称为城市地质工作不可替代的利器。所有的物探方法都是以物性差异为前提才能发挥其作用的,单一的物探方法必然有其局限性及多解性。虽然可控源音频大地电磁法和微动测深法有其无可替代的优点,但其亦存在局限性。本书通过大量的实践资料认为,在进行城市物探工作时,根据勘查区域地质背景及物性特征,应以可控源音频大地电磁法和微动测深法为主,投入不同的物探方法组合,并以科学的工作程序开展勘查工作,这样才能充分发挥两种物探方法的长处,以获得最佳勘查成果。

全书共分六章。第一章是绪论,主要描述了城市地质工作的基本情况及其作用,回顾了其发展历程和国内外现状,评述了物探方法在城市地质工作中的作用;第二章介绍了物探方法在北京地区城市建设、城市资源勘查、城市环境(工程)等领域的应用情况;第三章介绍了在北京地区应用的新方法、新技术,通过对比分析客观地评价了各种方法的应用效果,认为可控源音频大地电磁法和微动测深法在城市地质工作中具有不可替代的作用;第四章简要介绍了可控源音频大地电磁法的相关理论,重点描述了该方法的应用情况,以大量的实例评价了其在城市地质工作中取得的勘查成果;第五章重点介绍了城市地质工作另一个重要的物探方法——微动测深法,从其理论、特征到应用成果等方面评述其在城市地质工作中的地位;第六章论述了综合物探方

法的重要性,并提出在不同地质构造单元应采取的物探方法组合建议。

本书是作者多年城市物探工作的提炼与总结,也是北京物探工作者辛勤汗水的结晶。作者希望本书能够给城市地质工作者提供些许借鉴,也希望本书能起到抛砖引玉的作用,通过物探工作者的不断总结提高,使得城市物探技术不断发展进步,在城市建设中发挥更大的作用。

由于作者水平有限,虽倾尽全力,但书中难免存在错误与疏漏,凡此,敬请读者批评指正。

作 者

2018年5月

# 目 录

## Contents

第1章 绪论 .....	01
1.1 国外城市地质工作进展 .....	01
1.2 我国城市地质工作进展 .....	02
第2章 北京城市物探工作 .....	07
2.1 物探方法在城市区域地质调查中的应用 .....	07
2.2 物探方法在城市工程地质、环境地质方面的应用 .....	10
2.3 物探方法在城市水文地质调查方面的应用 .....	12
2.4 物探方法在地热资源勘查方面的应用 .....	14
第3章 新的物探方法技术在北京地区的应用 .....	16
3.1 各种物探方法有效性分析 .....	16
3.2 微动测深法在北京地区的应用情况 .....	17
3.3 可控源音频大地电磁法(CSAMT)在北京地区的应用情况 .....	18
3.4 大地电磁测深法(MT、DPEMT)在北京地区的应用情况 .....	18
3.5 大地电磁场岩性探测类方法在北京地区的应用情况 .....	19
第4章 城市地质工作的利器——可控源音频大地电磁测深 .....	23
4.1 工作原理与工作方法 .....	24
4.2 CSAMT法的特点 .....	26
4.3 地热田的勘查 .....	28
4.4 地下水资源凿井前期勘查 .....	32
4.5 地热井钻井前期勘查 .....	35
4.6 发现与圈定断裂构造 .....	42
4.7 可控源存在的主要问题 .....	59
4.8 提高与改进地层解释质量 .....	62
4.9 对CSAMT法的几点认识和工作建议 .....	65

4.10	可控源解释推断基础——电性特征 .....	68
<b>第5章</b>	<b>城市地质工作的利器——微动测深 .....</b>	<b>72</b>
5.1	基本原理 .....	72
5.2	国内外发展现状 .....	77
5.3	方法特点 .....	79
5.4	微动测深法在地热资源勘查中的应用 .....	80
5.5	微动测深法在其他领域的应用 .....	86
<b>第6章</b>	<b>综合物探方法的应用 .....</b>	<b>88</b>
6.1	物探方法组合 .....	88
6.2	地热物探勘查合理的工作程序 .....	90
6.3	综合物探应用实例 .....	90

# 第1章 绪论

随着人口向城市的不断集中,与地质有关的各种城市地质问题也相应出现,如大型建筑物增加了地基负荷,就地取材的矿产资源(包括热水、矿泉水等)的评价和开发;水资源的保护情况;过量开采地下水导致地下水的持续下降;天然地震产生的可能性和预防;人类活动引起的一系列地质灾害,如城市地面下沉、滑坡、边坡坍塌;城市及周边旅游地质资源的开发;大量废弃物的堆放场所;废弃物及其他排放物的环境污染,等等。这些情况,都直接或间接地与地质有关,如果不考虑地质因素,盲目进行城市发展,将会产生长期难以克服的危害。因此,开展中、大比例尺的区域地质、地球物理调查,系统了解城市所在地及管辖范围内的地质环境,是城市规划不可或缺的前期工作。

## 1.1 国外城市地质工作进展

国外城市地质工作始于20世纪初,最早起于加拿大,该国皇家协会曾发表过关于地质对城市中心的意义和重要性认识的论文。

20世纪20年代末期,德国率先出版了用于城市规划的特殊土壤图系,用以支持城市规划;第二次世界大战后,城市地质工作得到发展,在欧洲和北美地区实施了系统的地质填图,以指导城市规划与建设。

20世纪60~70年代,欧美发达国家的城市地质工作在工作内容延伸、工作区域扩展、信息系统化方面取得了重大进展。城市地质工作内容扩大到水土污染调查评价、城市废弃物危害的调查评价,以及地质相关资源潜力和开发利用的勘查评价等多个方面。工作区域也从单个城市扩展到城市群,同时注重城市地质作为环境规划和土地利用规划服务,提高了成果的实用性。

20世纪80年代,城市地质工作开始引用、普及计算机编图技术,建立地下水和地质环境数值模型和管理模型,大大提高了工作效率,提高了地质工作成果的质量及可视化程度。在城市地质工作中,对地质资源保护意识增强表现在地下水资源研究工作从注重水量转变为水质、水量并重,解决含水层问题从调查治理转变为预防与治理

相结合。地下水的可供能力、地下水含水层脆弱性评价研究与编图作为对地下水资源进行保护的重要措施,并成为 20 世纪 80 年代后期城市地质工作的主题。

20 世纪 90 年代初期,英国地质调查局启动了“伦敦计算机化地下与地表项目”(LOCUS)。该项目的目标是生产用于土地利用规划、土木工程建设及解决地质和环境问题的各种主题图件。在技术方法上,尤其注重利用 GIS、RS、GPS 技术进行环境地质调查、地质灾害监测,建立 GIS 平台的地质信息空间数据库和自然灾害风险评估决策支持系统等,较好地实现了城市地质快速响应城市发展的需求。

东南亚和太平洋地区从 20 世纪 80 年代中期开始城市地质的研究工作,目前已出版了 11 卷城市地质文集。

国外城市地质工作的发展历程及其经验、教训对我国城市地质工作的开展具有较好的启发和借鉴作用。

## 1.2 我国城市地质工作进展

我国城市地质工作可以追溯到中华人民共和国成立初期。20 世纪 50 年代,以北京为代表的历史文化大都市和以包头为代表的新型工业化城市供水水源地勘查、地下水开采以及在这个基础上开展的地下水动态监测工作,标志着我国城市地质工作的开始。

20 世纪 60 ~ 70 年代,全国开展水文地质普查工作。为满足大规模的城市建设和经济发展的需要,开展了各种比例尺的区域性和专门性的水文地质、工程地质、环境地质调查、评价工作。上海于 20 世纪 60 年代着手开展地面沉降勘察,70 年代初在地面沉降形成机理和防治上取得了突破性的进展。与此同时,全国的重点城市、重点地区的地下水动态监测站开始建立。

20 世纪 80 年代,我国城市地质工作获得了空前发展,以城市为中心的水工环地质综合调查研究也全面展开,工作区域从单个城市到国土综合开发区、大江大河流域。先后完成了长江、黄河流域的环境地质调查和编图,17 个国土综合开发重点地区<sup>[1]</sup>和 21 个沿海开放城市的水资源和地质环境评价,80 多个城市地下水集中供水水源地的评价以及京、津、沪等 75 个主要城市的水资源预测。

20 世纪 90 年代以来,随着可持续发展理论的深入和计算机的广泛使用,我国城市地质工作越来越多地融入社会、经济、环境等因素,逐步建立地下水资源管理模型<sup>[2,3]</sup>。上海、天津、西安、苏州、无锡、常州、嘉兴等城市的地面沉降研究取得了不同程度的进展。1990 年原地矿部地质环境管理司发布《沿海主要城市水资源及地质环境评价》报告,1992 年原国家计划和改革委员会与原地矿部地质环境管理司共同出

版《中国重点城市和地区地下水资源开发利用现状及供水对策图集》。2000年中国地质调查局组织开展矿山地质环境调查,其中包括部分矿山城市的环境地质问题的调查。2001年3月,国土资源部组织召开全国地质环境与城市规划研讨会。

我国正在适应新的形势,积极推进地质工作的根本转变,城市地质工作日益受到重视。地震、石油、化工、煤炭、建材、农业、城建、水利、航运、交通等相关部门也从各自专业角度积累了大量有关城市的地质资料。各部门、各专业从相关专业角度提出了一些城市地质工作的技术要求。

新一轮国土资源大调查,进一步加强了城市地质调查和地质灾害防治工作。应用“3S”技术进行基础地质、环境地质调查,在GIS平台上建立地质信息空间数据库和信息系统也已经成为新一轮国土资源大调查城市地质新的主流模式。

城市地质工作,就是在城市及其周围地区或潜在城市化地区的特定空间范围内,综合考虑各种地质要素,研究其对城市发展所提供的资源、所施加的约束条件以及城市发展对各种地质要素所产生的影响,为城市规划、建设和管理服务的地质工作。城市地质工作主要研究城市区域内与城市规划、建设和管理有关的地质条件、地质资源和地质问题。其主要研究内容是:①城市区域地质;②水文地质和工程地质条件的勘察、评价和研究;③城市区域地质资源,主要是矿产资源、地下水资源、地热资源、能源资源、建筑材料资源、旅游地质资源等的普查、勘查和开发利用;④城市区域环境地质,包括环境水文地质和环境工程地质以及地质灾害的勘察、监测、预测预报和防治(见图1-1)。与之相关的研究内容,还有城市区域地球化学场的分布及其与人类活动的关系,城市区域土壤地质,国土规划与整治,城市地质研究方法,城市地质资料数据库的建立、管理和使用等。

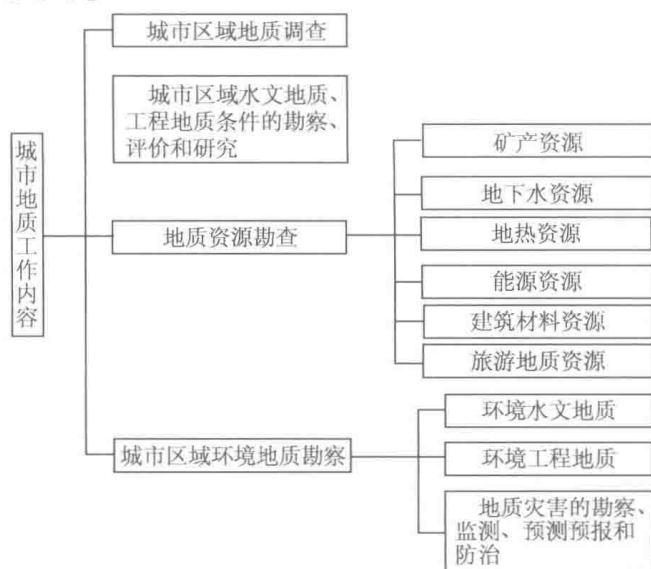


图1-1 城市地质工作主要内容

城市地质工作涉及众多学科领域。就地质科学而言,它涉及基础地质、水文地质、工程地质、环境地质、矿产地质、旅游地质、地质测量(地质制图)、地质勘探、地球化学、地球物理、遥感地质<sup>[4]</sup>等许多地质学科,因此,城市地质工作具有高度的综合性和渗透性。

在进行城市地质工作时,人们希望采用非破坏的方式,而地球物理勘探(简称物探)方法正是符合这一要求的无损勘查方法,因此被广泛用于城市地质工作中,在城市地质工作中发挥了重要作用。城市物探方法包括重力勘探(简称重力法)、磁法勘探(简称磁法)、电法勘探(简称电法)、电磁场法、弹性波类法、放射性类法等方法,可进行地面、空中和井下的各种测量工作。图 1-2 为城市地质工作中涉及的主要物探方法,它们可以在城市规划、建设和管理的不同阶段发挥不同的作用。因此,城市物探可以分为区域性和开发性两种。区域性城市物探主要用于为城市规划布局服务的城市地质研究。开发性物探则主要用于为城市建设项目服务的城市地质研究。一般说



图 1-2 应用于城市地质工作中的主要物探方法

来,区域性城市物探主要采用航空物探、重力法、磁法、电法等方法。开发性城市物探主要采用弹性波类法、电法、电磁场法、测井等方法,还可以有选择地采用磁法、放射性测量、地质雷达、微动测深等方法。在开展物探工作时,应根据工作目的及应用领域,采用不同的物探方法或方法组合,以获得理想的勘探成果。表 1-1 为城市物探方法在不同应用领域组合特征。

城市物探方法在不同应用领域组合特征

表 1-1

应用领域	常用方法(组合)	工作方式	勘探精度	解释推断
区域地质调查	重力勘探、磁法勘探、电法勘探、放射性测量等	面积性勘探	工作比例尺为 1:5 万~1:20 万	定性
区域地壳稳定性评价及地震烈度小区划	重力勘探、磁法勘探、弹性波类法、常时微动、波速测井等	面积性勘探	工作比例尺为 1:10 万~1:50 万	定性、半定量
水文地质调查(勘查)	电阻率法、高密度电阻率法、激发极化法、放射性测量、甚低频电磁法、核磁共振	剖面性勘探	区域性 1:5 万~1:10 万 开发性 1:5000~1:2.5 万	定量
地热资源勘查	重力勘探、磁法勘探、直流电阻率测深、浅层测温、放射性测量、CSAMT、MT、微动测深、	面积性勘探 剖面性勘探	区域性 1:5 万~1:10 万 开发性 1:5000~1:2.5 万	定量
工程地质调查	常时微动、波速测井、瑞雷波勘探、声波测井、电测深浅层地震、地质雷达、放射性测量、电磁场法等	点测、剖面性勘探	根据探测目标体规模、形态确定	定量
环境地质调查	放射性测量、直流电法、高密度电阻率法、浅层地震等	点测、剖面性勘探	根据探测目标体规模、形态确定	定量

随着城市建设的发展,地质工作在其中的地位显得越来越重要<sup>[1]</sup>,发挥的作用愈来愈大。作为城市地质工作方法之一的地球物理勘探(物探),在服务于城市建设之初就发挥了无法替代的作用,取得了很好的勘探成果。目前,城市物探工作正在得到逐步加强,应用领域不断扩大,随着科学的进步,新的物探手段不断涌现,解决城市地质问题的能力也在不断提高。本书以北京地区为例,介绍了各种物探方法在城市地质工作中的应用情况,并以点代面重点介绍了一些新方法、新技术(如可控源音频大地电磁测深、微动测深)在北京地区的应用情况,用实例说明其发挥的作用。这两种方法技术在北京地区的城市地质工作中发挥了非常重要的作用,利用这两种方法取得了丰硕的勘查成果。这两种方法可称之为城市地质工作的不可替代的“利器”。

## 本章参考文献

- [1] 鲁毅钜,张道.全国国土综合开发重点地区水资源和地质环境评估[M].北京:地质出版社,1994.
- [2] 谢新民.地下水资源系统经济管理模型研究[J].水文地质工程地质,1991,18(4).
- [3] 邵景力,崔亚莉,李慈君.地下水多目标管理模型及其应用[J].现代地质,1998,12(2).
- [4] 黄力军,等.可控源音频大地电磁测深在北京城市地质调查中的作用[J].工程地球物理学报,2006,3(3),177-180.

## 第2章 北京城市物探工作

### 2.1 物探方法在城市区域地质调查中的应用

近30年来,北京市地质勘查部门在北京平原区,针对区域地质、水文地质、工程地质、区域稳定性和地下水资源等地质问题开展了区域性物探工作,取得了丰硕成果,为北京市城市规划和城市发展总体规划部署提供了基础资料,对城市发展起着积极的作用<sup>[1]</sup>。开展中、大比例尺的区域地质、地球物理调查,系统了解城市所在及其管辖范围内的地质环境,是城市规划中不可缺少的前期工作。在北京地区开展区域物探采用的方法主要有航空物探、重力勘探、电阻率测深、磁法勘探、浅层地震勘探、常时微动测量、地球物理测井等,区域物探工作比例尺为1:50000,以测为主,编测结合。通过这些工作取得了以下成果。

#### 2.1.1 北京平原区基底构造格架的确定

由重力资料(见图2-1)推断北京平原基底为两隆一凹的构造格架,即京西北隆起(西山迭拗褶)、大兴隆起(大兴迭隆起)和北京凹陷(北京迭断陷)(见图2-2)。北京迭断陷总体走向北东至北东东,是在中生代断陷基础上继续下陷形成的,凹陷接受了第三纪及第四纪沉积,新生界沉积厚度几百米至数千米不等。凹陷内有次一级的凹陷和凸起,如坨里—丰台凹陷、顺义凹陷、来广营凸起、良乡凸起等(见表2-1)。大兴迭隆起位于北京东南通州至大兴一线,基底以中、上元古界及下古生界为主,为中、新生代相对隆起幅度较大的地区。

表2-1

重力异常特点	构造特点
坨里—丰台重力低	坨里—丰台凹陷
顺义重力低	顺义凹陷
来广营重力高	来广营凸起
良乡重力高	良乡凸起

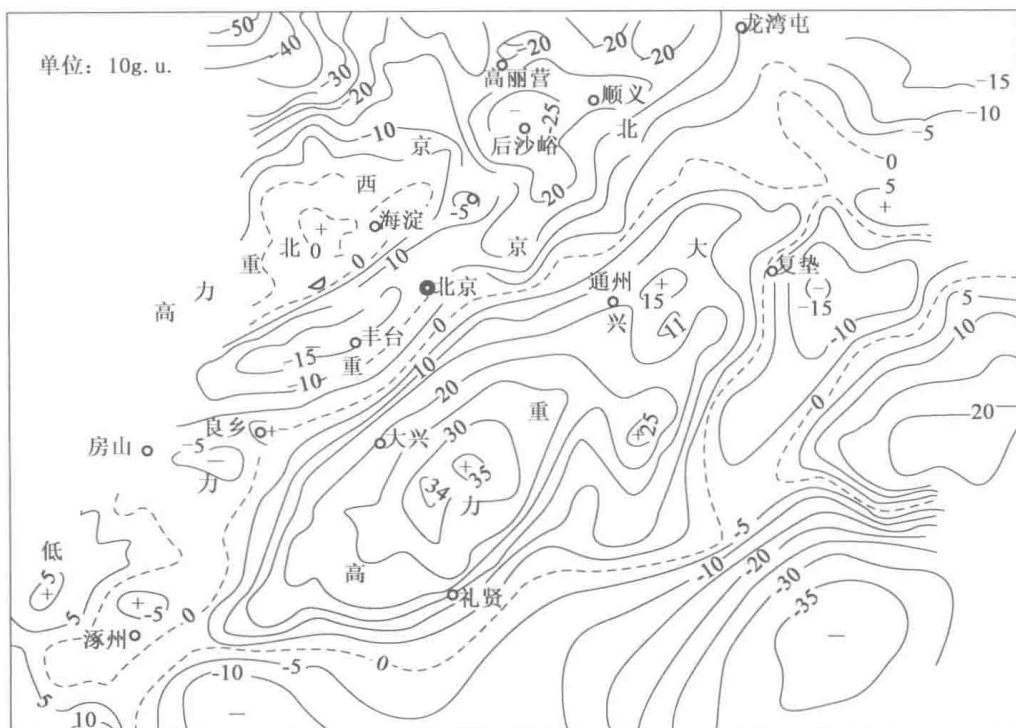


图 2-1 北京平原区布格重力异常等值线平面示意图

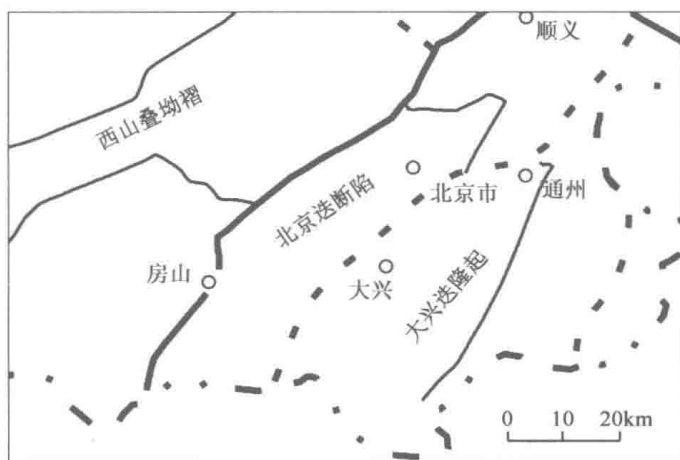


图 2-2 北京平原区基底构造格架示意图

### 2.1.2 对北京平原隐伏岩体及侏罗系火山岩分布的圈定

20 世纪 80 年代,原北京地质矿产局物化探队开展了北京平原区 1:50000 地面磁法区域测量工作,实测面积 5404km<sup>2</sup>。圈定了平原区侏罗系隐伏的火山岩分布,半定量计算了火山岩厚度,圈定了隐伏或半隐伏的房山、阳坊、宰相庄、固安、礼贤、草场等 6 个岩体边界,见图 2-3。