

金属矿产地质勘查中 地球物理方法应用综述

蔡运胜 编著

地质出版社

金属矿产地质勘查中地球物理 方法应用综述

蔡运胜 编著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书系统论述了在金属矿产的地质勘查找矿中,地球物理方法技术的有效性及其勘查应用效果,论述了重力、磁法、充电法、自然电场法、直流激电法(IP)、交流激电法(SIP)、可控源音频大地电磁法(CSAMT)、高频电磁测深法(EH-4)、时间域脉冲瞬变电磁法(TEM)以及各种参量地球物理测井的方法技术特点,列举了多个野外生产实例进行对比和分析说明,同时对物探方法的应用原则、常见主要矿床类型及其地质特征、成矿地质模式及地球物理异常特征等分别进行了详细叙述,总结出十余种地质-地球物理找矿模型可用于生产实践。

书中内容注重理论联系实际,结合各类物探方法的工作原理、适用范围、仪器性能特点及侧重面的不同等,对各类矿种及矿床上的勘查效果、利弊得失进行分析研究,有其针对性和适用性,形成了一套有效的、经济的找矿方法技术组合,得出规律性的认识,对从事野外生产一线的地球物理工作者具有一定指导作用和参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

金属矿产地质勘查中地球物理方法应用综述 / 蔡运胜编著. —北京:地质出版社, 2015. 5

ISBN 978-7-116-09256-3

I. ①金… II. ①蔡… III. ①金属矿-地球物理勘探-研究 IV. ①P618.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 096824 号

责任编辑:田野 陈磊

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010) 66554642 (邮购部); (010) 66554631 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010) 66554686

印 刷:北京地大天成印务有限公司

开 本:787mm×1092mm $1/_{16}$

印 张:6

字 数:136 千字

版 次:2015 年 5 月北京第 1 版

印 次:2015 年 5 月北京第 1 次印刷

定 价:36.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-09256-3

(如对本书有意见或建议,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前言

当今,随着经济社会的高速发展,我国对金属矿产资源的需求量急剧增加,而目前众多矿山企业的资源储量正在或已经枯竭,供需矛盾日益尖锐,为缓和与解决矛盾,必须加强地质找矿工作。随着地表露头矿、浅部埋藏矿体的日渐稀少,中深部找矿已势在必行,但中深部地质找矿难度成倍增大。众所周知,在中深部地质找矿中地球物理方法的勘查应用必不可少,其作用和效果越来越得到显现,但物探方法多种多样、侧重面不尽相同,加之地质环境与矿产资源类型纷繁复杂,如何有效地利用物探方法,得出准确可靠、符合客观实际的解释推断结论,为地质找矿提供可信的依据,这是每一位地球物理工作者都必须面对的问题。因此,很有必要结合实际情况对物探方法的技术特点进行研究和讨论,总结出各种常用方法的适用范围、性能特点并加以推广应用,切实提高物探方法在地质找矿中的作用与效果,实现地质找矿的重大突破。

全书较详细地分类介绍了在金属矿产勘查中经常采用的物探方法,按照测量参数和测量方式分为:重力、磁法、充电法、自然电场法、直流激电法(IP)、交流激电法(频谱激电法 SIP)、可控源音频大地电磁法(CSAMT)、高频电磁测深(EH-4)、时间域脉冲瞬变电磁法(TEM)以及各类参量地球物理测井,每种方法均介绍了工作原理、适用范围、影响因素、测量仪器、野外方法、数据资料处理与反演解释、应用实例及效果分析、问题的探讨等多个方面。在重力勘查中重点对重力异常强度特征、重力异常类型及研究意义,重力勘查资料的转换处理与反演解释等进行了详细论述;磁法勘查中对地磁要素、磁异常强度概念、南北半球磁异常的分布特征、磁测基点(日变站、校正点)的选址观测、岩(矿)石磁参数测定计算方法、有效磁化强度矢量等进行了描述,纠正了一些模糊或错误的理解,介绍了磁测资料的反演处理以及野外常用的半定量解释方法;电法勘查主要介绍了直流激电法,侧重叙述了常用的装置形式、对激电异常的评价方法、数据资料的二级参量转换、电测深数据的层析法反演计算原理及应用效果等;作为目前较为推崇的交流激电法(频谱激电法),理论推导了交流激电法的频率特性与直流激电法的时间特性等效,对频谱激电法的应用效果进行了深入分析,指出了方法本身存在的固有缺陷;在可控源音频大地电磁法一节详细描述了 CSAMT 方法的工作方式,剖析了

多种干扰因素的特征,简单介绍了全区张量可控源和广域可控源两种新的测量方式,对 CSAMT 方法的勘查效果给出了评述与建议;EH-4 高频电磁法测量以其仪器轻便、工作效率高、勘查效果好为特点,非常适合于多金属矿产的地质构造勘查,该节中详细介绍了对测量资料的编辑整理过程,IMAGEM 反演软件的功能及效果并建议推广,同时列举多个实例加以说明;在时间域脉冲瞬变电磁法勘查中,重点叙述了瞬变电磁资料的精细化处理技术,转换求得的视电阻率、视时间常数等参量更直观地反映出地质体的电性特征,勘查效果明显突出;对地球物理测井中常用的井壁电阻率和极化率测量、激发极化法方位测井、井中磁测和脉冲瞬变电磁法测井的方式、作用及效果,进行了详细介绍;最后对地球物理方法应用的原则、常见主要矿床类型及其地质特征、成矿地质模式及地球物理异常特征等,进行了详尽的论述,共列出十多种地质-地球物理找矿模型指导生产实践。

书中内容注重理论联系实际,以实用、有效为原则,简明扼要,突出重点,与相关的技术规范、规程形成互补,旨在对从事野外生产一线的广大地球物理工作者提供参考与借鉴,以期共同提高物探方法在地质找矿中的作用和效果。

本书是编者多年来从事地球物理勘查工作经验的积累,也是对多种物探方法深入研究与探讨成果的总结,在二十多年的工作实践中,曾得到天津华北地质勘查局、河南省有色金属地质矿产局众多同事、朋友的大力支持与帮助,也得到自己家人的理解和鼓励,使得书稿能够顺利完成,全书由夏训银教授级高工审阅,在此谨向他们表示最诚挚的感谢。

由于编者水平有限,错误和不妥之处在所难免,希望读者批评指正。

编 者

2014 年 10 月于天津

目 录

前 言

0 金属矿产地球物理勘查方法概述	1
1 重力勘查	3
1.1 重力勘查概念	3
1.2 重力场随时间的变化	3
1.3 重力异常值特征	3
1.4 重力勘查应用条件、范围及主要影响因素	4
1.4.1 重力勘查应用条件及范围	4
1.4.2 重力勘查主要影响因素	4
1.5 金属矿产重力勘查地形校正	4
1.6 常用重力仪型号及性能特点	5
1.7 重力勘查类型与测量方式	5
1.8 重力异常类型	6
1.8.1 布格重力异常	6
1.8.2 自由空间重力异常	7
1.8.3 均衡重力异常	7
1.8.4 剩余重力异常	7
1.9 重力异常的识别与描述	7
1.10 重力勘查资料处理与反演解释	8
1.10.1 数据资料转换处理	8
1.10.2 反演计算方法	8
1.10.3 实际工作中常用到的处理解释方法	10
1.11 重力勘查应用实例	10
2 磁法勘查	13
2.1 磁法勘查概念	13
2.2 地球磁场、磁测要素及磁异常单位	13
2.2.1 地球的磁场	13
2.2.2 地磁要素	14
2.2.3 磁测异常及单位	14
2.3 磁异常与重力异常间差异	15

2.4	磁法勘查应用条件及范围	15
2.4.1	金属成矿区的圈定	15
2.4.2	固体矿产勘查中的直接找矿和间接找矿	15
2.5	磁法勘查仪器设备	16
2.6	磁法测量及磁异常	17
2.6.1	磁法测量	17
2.6.2	南、北半球磁异常分布特点	17
2.6.3	剩余磁异常	17
2.7	磁测基点、日变站、校正点的选址观测	17
2.8	岩(矿)石磁参数测定计算方法	18
2.8.1	梯度方式	18
2.8.2	总场方式	19
2.9	有效磁化强度	19
2.10	磁测资料处理与反演解释	20
2.10.1	磁测资料转换处理	20
2.10.2	磁异常反演计算	21
2.10.3	野外工作中常用的半定量反演方法	22
2.11	磁法勘查应用实例	23
2.11.1	直接寻找磁铁矿	23
2.11.2	间接找其他金属矿	23
3	电法勘查	26
3.1	电法勘查概念	26
3.2	电法勘查分类	26
3.3	充电法	26
3.3.1	充电法仪器装备及工作原理	26
3.3.2	充电法测量方式	27
3.3.3	充电法资料解释	27
3.3.4	充电法应用效果分析	27
3.4	自然电场法	28
3.4.1	自然电场法工作装备及方法	28
3.4.2	自然电场法应用效果分析	28
3.5	直流激电法	28
3.5.1	常用工作装置形式	29
3.5.2	仪器设备种类	29
3.5.3	应用领域、条件及范围	30

3.5.4	激电异常评价方法探讨	30
3.5.5	数据资料整理与参量转化	32
3.5.6	电测深数据资料的反演计算	32
3.5.7	层析法电测深数据反演	33
3.5.8	直流激电法应用实例	34
3.6	交流激电法	37
3.6.1	交流激电法基本原理	37
3.6.2	仪器设备类型	39
3.6.3	测量方法技术特点	40
3.6.4	交流激电法应用实例	41
3.6.5	频谱激电法应用效果分析	42
3.7	频率域电磁法	44
3.7.1	大地电磁法	44
3.7.2	音频大地电磁法	45
3.7.3	可控源音频大地电磁法	45
3.7.4	高频电磁测深法	50
3.7.5	时间域脉冲瞬变电磁法	56
3.8	电法勘查方法总结与对比	62
3.8.1	激电测量法	63
3.8.2	电磁测深法	63
3.8.3	时间域脉冲瞬变电磁法	63
4	地球物理测井	64
4.1	常用地球物理测井方法	64
4.2	井壁电阻率、极化率测量	64
4.3	激发极化法方位测井	64
4.3.1	野外测井	64
4.3.2	质量检查	65
4.3.3	资料成图与解释	65
4.4	井中磁测	65
4.5	脉冲瞬变电磁法测井	66
4.6	常用仪器设备	66
5	地球物理勘查其他方法	67
5.1	人工地震勘查	67
5.1.1	方法原理	67
5.1.2	地震勘查分类和应用条件	67

5.2	放射性勘查	67
5.2.1	方法原理	67
5.2.2	勘查方法分类和应用条件	68
6	地球物理勘查方法应用综述	69
6.1	地球物理方法应用的必要性	69
6.2	地球物理勘查应用的条件	69
6.3	地球物理勘查方法选择的原则	69
6.3.1	以取得明显地质效果为原则	69
6.3.2	以取得明显工作效率和经济效益为原则	70
6.4	地球物理方法解决地质问题的过程	70
6.5	地球物理勘查资料解释的基本问题	70
6.6	减少异常解释多解性的有效办法	71
6.7	对地球物探勘查方法的评述及应用展望	71
7	不同地质勘查阶段地球物理勘查模式	72
7.1	区域地质调查阶段	72
7.1.1	地质任务	72
7.1.2	地质、地球物理综合方法预测成矿远景区	72
7.1.3	成矿远景区类型划分	73
7.2	矿区地质普查找矿阶段	73
7.2.1	地质任务	73
7.2.2	地质、地球物理综合方法普查找矿	74
7.3	矿床详查勘探阶段	74
8	常见的矿床类型及地质特征	75
8.1	岩浆矿床	75
8.2	(气水)热液矿床	75
8.3	接触交代矿床	76
8.4	变质矿床	76
8.5	风化矿床	77
8.6	沉积矿床	77
8.7	伟晶岩矿床	78
9	成矿地质模式及其地球物理异常特征	79
9.1	内生金属矿床成矿地质模型与地球物理异常特征	79
9.1.1	与侵入体分异有关的矿床(岩浆矿床)	79
9.1.2	与未或弱分异基性-超基性岩有关的矿床(岩浆矿床)	79

9.1.3 热液沿裂隙构造充填交代形成的矿床(热液矿床) 80

9.1.4 矽卡岩型矿床(接触交代矿床) 81

9.1.5 伟晶岩型矿床 81

9.2 变质矿床成矿地质模型与地球物理异常特征 82

9.3 风化矿床成矿地质模型与地球物理异常特征 82

9.4 沉积矿床成矿地质模型与地球物理异常特征 82

9.4.1 沉积铁矿床 83

9.4.2 沉积锰矿床 83

9.4.3 铝土矿床 83

后记 84

主要参考文献及资料 85

0 金属矿产地球物理勘查方法概述

金属矿产资源是国民经济建设需要和寻找的主要对象之一,伴随着经济社会的高速发展,对矿产资源的需求量日益增大。而当前众多地表矿、浅埋藏矿正在快速减少、资源面临枯竭,中深部隐伏矿产的勘查与开发已成趋势和必然。

一直以来,在金属矿产地质勘查中地球物理方法与技术的应用十分广泛,曾经取得了十分显著的勘查效果,也积累了非常丰富的找矿经验。但现如今,随着中深部地质找矿的大规模开展,面对埋藏深、规模小、复合型、品位低、干扰多等物性特征不明显和许多不利因素的影响,勘查找矿难度成倍增加;而且金属矿产种类繁多、矿床类型复杂多样、成矿地质条件千变万化,如何有效地、有针对性地利用好物探方法,充分发挥其中深部找矿中的应有作用,是一个很现实而且必须面对的问题。为此,有必要结合现有各种物探仪器的性能特点、方法的工作原理,对其适应范围、找矿效果等进行梳理与研究,总结出成功的条件因素和规律性的认识加以推广,切实提高地球物理勘查方法在地质找矿中的应用效果。

地球物理勘查是应用物理学的原理解决地学及矿产资源勘查问题的理论和方法技术的学科,是地球物理的一个分支。地球物理勘查方法多种多样,目前初步统计大致有重力、磁法、电法、地震和放射性勘查共5大类计20余个亚类,相比较而言,地球物理勘查方法具有简便、快捷、成本低、效果好等特点,能够提供点、线、面、体等丰富物理场信息为其优势。

各种地球物理勘查方法的应用要以适用、有效为原则,根据所要解决的地质目标与任务合理选择,充分发挥各种新型仪器和综合方法手段的优势,野外合理部署工作、精细测量,全面采集到真实可靠的第一手资料;室内结合地质、地球化学勘查等综合资料进行仔细分析研究,反复推敲、不断修改、逐次深化,精细化定性与定量反演解释,得出符合客观实际的准确的推断结论,供地质人员参考和利用。

地球物理方法勘查效果的好坏,仪器设备性能至关重要,其作用是准确真实地采集到地下目标地质体的物理场信息,要求具有性能稳定、分辨率高和抗干扰能力强。因此,对于每种方法、常用仪器设备按照仪器的性能特点、技术指标进行了列表说明与介绍,供使用者参考并选择。

决定地球物理勘查效果的另一个重要因素是对资料的处理与解释能力,其本质在于人,因此要求技术人员要具备丰富的经验,掌握多种资料处理解释手段,了解地质情况、选对方法、精细处理,得出最佳的推断解释结论。书中尽可能多地列举出各种勘查资料的处理解释方法,同时说明各方法的实质性作用,供大家参考选用。

在金属矿产的地质勘查找矿中,常用的、有效的地球物理方法通常是重力、磁法和电法3个大类,其中电法勘查分出的亚类较多,如:充电法、自然电场法、直流激电

法（IP）、交流激电法（频谱激电法 SIP）、可控源音频大地电磁法（CSAMT）、高频电磁测深法（EH-4）、时间域脉冲瞬变电磁法（TEM）等，考虑到其涉及内容多、用途广以及在金属矿产勘查中的重要作用，电法勘查篇幅安排与重力、磁法等同，对各亚类方法分别进行介绍和论述。

1 重力勘查

1.1 重力勘查概念

重力勘查是地球物理勘查方法中的一个分支，其理论依据为牛顿万有引力定律。根据观测到的地球重力场强度（重力加速度）的变化，研究地球的构造，确定地质体的性质、空间位置、形状及大小的一种地球物理勘查方法。重力加速度的变化与地下物质密度分布不均匀有关，是从地表到地球深处所有密度不均匀体引起，通过研究重力场的分布特征，可以达到了解地球的结构、构造和对矿产资源进行勘查等目的。

在国际单位（SI）制中，重力场强度的单位为 m/s^2 ，它的百万分之一称为一个重力单位（gravity unit），简记为 g. u.，即： $1\text{g. u.} = 10^{-6}\text{m/s}^2$ 。

在厘米克秒（CGS）制中，重力场强度的单位为伽（Gal），它的千分之一为毫伽（mGal），百万分之一为微伽（ μGal ），即： $1\text{Gal} = 10^3\text{mGal} = 10^6\mu\text{Gal} = 1\text{cm/s}^2$ 。

两种单位制之间的换算关系为： $1\text{g. u.} = 10^{-1}\text{mGal}$ 。

从位场做功的角度出发，重力场特征可以用重力位来表示，重力场中某点的重力位 W 等于单位质量点由无穷远移至该点时重力所做的功。

1.2 重力场随时间的变化

重力场随时间的变化包含长期变化和短期变化。

长期变化主要与地壳内部物质变动如：岩浆活动、构造运动、板块移动等有关，重力的长期变化是地球物理研究的重要内容。

短期变化是指重力的日变，其与太阳、月亮和地球之间的相对位置有关。由于地球自转，地面各点与太阳、月亮的相对位置不断发生变化，使得日、月对这些点的引力也不断改变，从而造成了重力变化。地球自身并非刚性体，引力变化除形成海水潮汐外，还引起地球固体部分周期性变形，这种变形称为固体潮，固体潮可引起大地水准面的位移，从而造成重力场的变化。重力日变是指上述两种重力变化的总效应，其变化幅度为 $2\sim 3\text{g. u.}$ ，这在高精度重力测量中是不可忽略的，日变影响可以通过理论计算来消除。

1.3 重力异常值特征

重力场的变化量（异常值）与重力全值相比，微乎其微，一个局部地质构造或矿床

引起的重力值变化约为整体地球引起的重力全值的 10^{-7} ，因此，要观测到这个微小的变化，必须采用灵敏度高、精度高、稳定性好，适合于野外复杂条件、便于携带的专门重力仪器。其次，由于重力仪测量值不全是重力值，它还包含了大量的外部影响，如温度、气压、轻微震动引起的仪器读数变化，这些变化会比重力值变化大许多倍，因此必须消除。再者，根据仪器读数计算出的重力值，也不完全是地下地质体引起，它包含了地形起伏、测点高程变化、固体潮以及地球自转引起的重力变化，只有去掉这些影响，才能得到地下物质密度分布不均匀（矿化体）引起的重力异常。

1.4 重力勘查应用条件、范围及主要影响因素

1.4.1 重力勘查应用条件及范围

(1) 研究地球深部构造、大地及区域性地质构造，划分构造单元；研究结晶基底起伏、圈定沉积盆地范围以及沉积岩系各密度界面的起伏。

(2) 探测、圈定与围岩有明显密度差异的隐伏岩体，追索断裂带及有明显密度差异的地层接触带，进行覆盖区地质填图。

(3) 寻找石油、天然气或煤田等有远景的盆地，寻找有利于储存油气、煤层的各种局部构造，条件允许时还可研究如岩性变化、地层推覆以及生物礁块储油的非构造油气藏。

(4) 与其他地球物理勘查方法配合圈定金属、非金属矿产的成矿带，条件有利时可探测和描述控矿构造或圈定成矿岩体；或者直接发现与追索埋藏浅、密度大、体积大的矿化体。

(5) 探测覆盖层下的基岩面起伏、隐伏断裂与空洞，危岩、滑坡体的监测，地面沉降研究；通过观测重力场随时间的变化，可为地震预报提供依据与资料。

1.4.2 重力勘查主要影响因素

目前影响高精度重力测量精度的主要因素是，测点周围地形起伏变化和近地表处物质分布的不均匀，由改正不完善带来的相应误差。地形起伏变化大造成地形模型不能准确描述，地层岩性分布复杂使得密度参数不能准确赋值。

1.5 金属矿产重力勘查地形校正

在金属矿产的普查、详查阶段，重力勘查多采用大比例尺测量工作，地形改正半径近区 0~20m，中区 20~200m，远区 200m 以远。地形校正最大半径的确定，一般以校正半径以外地形影响小于地形校正允许的误差，或者虽然影响值较大，但对工作区内所有测点来说，其影响值接近于线性变化，在对实测异常进行数据处理时，可当作区域背景场予以消除。

1.6 常用重力仪型号及性能特点

用于重力勘查工作中的重力仪都是相对重力测量仪，其要求是测量出两点之间的重力差。目前，野外测量中常用的仪器型号、性能特点、产品数量及生产厂家等，收集和统计情况见表 1.1。

表 1.1 重力测量仪器设备一览表

名 称	结构特点	测量精度	数量（全球）	生产国家（厂家）	备 注
L&R 重力仪	金属零长弹簧（恒温）	D 型 $0.02 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$ G 型 $0.04 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$	约 1500 台	美国	常用
Worden 重力仪	石英零长弹簧（恒温）	$0.1 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$	约 1500 台	美国 Texas	
CG-3、CG-5 重力仪	石英零长弹簧（恒温）	$0.05 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$	约 250 台	加拿大 Scintex	常用
410 系列重力仪	石英零长弹簧		约 250 台	加拿大	
ZSM 系列重力仪	石英零长弹簧	$<0.3 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$	约 600 台	北京地质仪器厂	

上述不同型号重力仪其结构设计、材料选择可能差别很大，但任何一台重力仪都有两个最基本部分，一是静力平衡系统，又称灵敏系统，用来感受重力场的变化，是重力仪的“心脏”，要求具备足够高的灵敏度以便能准确感受微小变化；二是测读机构，用来观测平衡系统的微小变化并能测量其变化，测读机构要有足够大的放大倍数以分辨出微小变化，同时测量重力变化的范围大，读数与重力变化间的换算简单。

影响重力仪测量精度的主要因素有：温度、气压、电磁力、安置状态、零点漂移和震动等。

1.7 重力勘查类型与测量方式

（1）重力预查。是在重力勘测空白区进行大面积小比例尺的重力测量，以便在短期内获得有关区域性大地构造轮廓等基础性资料。

（2）重力普查。是在有进一步工作价值的地区开展调查，用重力勘查方法了解构造特征、圈定岩体范围及成矿远景区、发现目标体异常等，目标体可以是矿床（体），也可以是某类与成矿有关的地质体。

（3）重力详查。在成矿远景区进行大比例尺重力测量，利用异常规律及特点研究局部构造、分析异常细节、定量解释异常体，确定其规模、产状等特征。

（4）密度剖面测量。为确定中间层密度，在地形起伏大、有代表性且不存在局部异常的地段，布置密度剖面，其测量数量一般为 2~3 条。

（5）典型重力剖面。面积性重力工作时，要在能反映区内不同地层、岩体、构造和矿产及探测目标物的地方布设典型剖面，最好与已有地质剖面重合，并采集密度标本。

剖面数量要依地质情况复杂程度而定，其长度应将已知地质情况的地段包括在内，点距能反映不同探测目标物上的重力场变化特征。

(6) 重力精测剖面。当需对异常进行详细研究时，要在能反映异常特征、干扰最小、最利于进行定量计算的地方布置精测剖面，要求通过异常中心，或尽可能与勘探线重合。剖面数量视任务而定，长度应使剖面两端尽可能达正常场，点距以能测得异常细节为原则。

1.8 重力异常类型

野外重力观测结束后，将各测点相对于总基点的重力差值求出来，但这些差值还不能算作重力异常，因为其中包括了一些其他因素的影响，如：地形、中间层、高度和正常重力场，为此，必须对实测数据进行整理，消除影响，提取有用的重力异常信息。

1.8.1 布格重力异常

矿产地质勘查中通常采用计算布格重力异常值，根据观测和计算方法的不同可分为绝对布格重力异常和相对布格重力异常两种。

1.8.1.1 绝对布格重力异常 ($\Delta g_B = g_C - g_\phi + \delta g_h + \delta g_\sigma + \delta g_d$)

观测值为绝对重力值 (g_C 为从已知点用相对测量方法推出的绝对重力值、 g_ϕ 为测点大地水准面上的正常重力值、 δg_h 为高度校正值、 δg_σ 为中间层校正值、 δg_d 为地形改正值)，布格校正 ($\delta g_h + \delta g_\sigma$) 的高度用海拔高程，密度值统一用 2.67 g/cm^3 (地壳的平均密度)，正常场校正将是各测点的纬度代入正常重力值公式中算出，再从观测值中减去。这种绝对布格重力异常常用在中、小比例尺的重力勘查中，便于大面积拼图和统一资料解释。

1.8.1.2 相对布格重力异常 ($\Delta g_B = \Delta g_C + \delta g_h + \delta g_\sigma + \delta g_d + \delta g_\phi$)

取总基点所在的水准面作为比较各测点异常值大小的基准面，观测值是相对重力值 (Δg_C 为测点相对于总基点的重力值、 δg_h 为高度校正值、 δg_σ 为中间层校正值、 δg_d 为地形改正值、 δg_ϕ 为正常场 (纬度) 校正值)，布格校正用高程是测点对于总基点的相对高程，密度值用测区内地表实测密度的平均值，正常场 (纬度) 校正采用公式 $\{\delta g_\phi\}_{g.u} = -8.14 \sin 2\phi \{D\}_{\text{km}}$ ，在北半球，当测点位于总基点以北时， D 取正号，反之取负号； ϕ 为总基点纬度或测区的平均纬度。这种异常多用于小面积、大比例尺的重力测量中，有利于对局部地区异常做深入细致地研究。

布格重力异常求取中，经过地形校正和布格 (高度和中间层) 校正，相当于把大地水准面以上多余的物质 (正常密度) 取消了，进行正常校正后，大地水准面以下按正常密度分布的物质也消失了，因而布格重力异常是包含了地壳内各种偏离正常密度分布的矿化体与构造的影响，也包括了地壳下界面起伏而在横向上相对上地幔质量的巨大亏损 (山区) 或盈余 (海洋) 的影响。布格重力异常除局部小的变化外，在大范围区域内，陆地特别是山区表现为大面积的负值区，山愈高负值愈大，而在海洋区则为大面积的正值区。

1.8.2 自由空间重力异常

由观测重力值减去正常重力值经过自由空间改正（高度改正），得出自由空间重力异常（ $\Delta g_F = g_C - g_\phi + \delta g_h$ ），反映的是实际地球的形状和质量分布与大地椭球体的偏差，大范围的负值自由空间异常，说明该区域下方物质相对亏损，反之则有物质的相对盈余。与布格重力异常相似，自由空间重力异常主要反映岩石圈质量分布的大地构造特征，反映岩石圈的应力状态，用于研究板块构造。

1.8.3 均衡重力异常

观测重力值减去正常重力值经高度改正、地形改正和均衡改正后，得出均衡重力异常。其中，均衡改正包括两个方面，第一是将大地水准面以上多余的按正常地壳密度分布的物质全部移去，即遍及全球的地形校正；第二是将这移去的质量全部填补到大地水准面以下至均衡补偿面之间的范围内，并计算出填补进去的物质在测点处产生的引力铅垂分量。由于均衡改正过程十分繁杂，在平坦地形条件下大面积均衡异常计算，常用自由空间异常来代替。均衡重力异常主要研究地壳的均衡状态以及地壳运动、地壳结构等特征。

1.8.4 剩余重力异常

从布格重力异常中去掉区域重力异常后的剩余部分，称之为剩余重力异常，剩余异常主要是由局部地质构造或矿化体剩余质量引起，是重力勘查中重要的研究对象。

1.9 重力异常的识别与描述

对于一幅重力异常图，首先要观察异常的总体特征，在平面图上，异常特征主要是指大范围内异常的走向及其分布特点，异常幅度的变化，区域性重力梯级带的展布方向、延伸长度、水平梯度值等；对于局部异常来说，主要是看异常曲线的弯曲状态和圈闭情况，圈闭异常要观察其基本形状，如：等轴或近似等轴状、长轴状或条带状，是重力高还是重力低、高或低异常幅值的大小及分布特点，异常带的走向、长度、幅值变化等。在综合分析区域场和局部异常基本特征后，还可根据异常特征的不同将工作区划分为若干亚区，以便作进一步深入的分析研究。

（1）等轴状异常。重力高或低异常等值线封闭，形态呈圆形或近似圆形，有极值点。反映的地质体可能为囊状、巢状、透镜状的铬铁、铁、铜等致密金属矿体；中基性岩浆（高密度）或酸性岩浆（低密度）的侵入体；地层岩性形成的穹窿，短轴背斜、向斜；基岩的局部隆起或凹陷等。

（2）条带状异常。重力异常等值线延伸大、闭合呈条带状，其中心存在极值线，对应于形体相对规则的水平圆柱体、板状体或脉状体等。反映的地质因素可能为高密度岩性带或金属矿带，低密度岩性带或断裂破碎带，中基性侵入岩形成的岩墙或岩脉，酸性