

责任编辑：屠学农

封面设计：马 冬



中国地质调查出版物

宁夏中上地壳电性结构特征研究

宁夏中上地壳电性 结构特征研究

NING XIA ZHONG SHANG DI QIAO DIAN XING
JIE GOU TE ZHENG YAN JIU

尹秉喜 闵刚 主编

尹秉喜 闵刚 主编

ISBN 978-7-5525-1606-7



9 787552 151606 >

定 价：38.00元



黄河出版传媒集团
阳光出版社

黄河出版传媒集团
阳光出版社



中国地质调查出版物

宁夏中上地壳电性结构特征研究

尹秉喜 闵刚 主编



黄河出版传媒集团
阳光出版社

图书在版编目(CIP)数据

宁夏中上地壳电性结构特征研究 / 尹秉喜, 闵刚主编. — 银川: 阳光出版社, 2014.11
ISBN 978-7-5525-1606-7

I. ①宁… II. ①尹… ②闵… III. ①地壳-大地电磁场-研究-宁夏 IV. ①P548.243 ②P315.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第290476号

宁夏中上地壳电性结构特征研究

尹秉喜 闵刚 主编

责任编辑 屠学农

封面设计 马冬

责任印制 岳建宁

黄河出版传媒集团

出版发行

阳光出版社

地址 宁夏银川市北京东路139号出版大厦(750001)

网址 <http://www.yrpubm.com>

网上书店 <http://www.hh-book.com>

电子信箱 yangguang@yrpubm.com

邮购电话 0951-5014124

经销 全国新华书店

印刷装订 宁夏报业传媒印刷有限公司

印刷委托书号 (宁)0000150

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 11.5

字数 240千字

版次 2014年12月第1版

印次 2014年12月第1次印刷

书号 ISBN 978-7-5525-1606-7/P·16

定价 38.00元

版权所有 翻印必究



中国地质调查“宁夏大地电磁测深剖面测量
(编号 1212011120928)”项目资助

宁夏中上地壳电性结构特征研究

- 主 编** 尹秉喜 (宁夏地质调查院)
 闵 刚 (成都理工大学)
- 副主编** 杨 勇 (宁夏地质调查院)
 余秋生 (宁夏地质调查院)
 程建华 (宁夏地质矿产调查局)
- 编写人员** 张 洁 (宁夏地质调查院)
 夏时斌 (成都理工大学)
 赵 强 (宁夏地质调查院)
 杨文明 (宁夏地质调查院)
 付文祥 (宁夏地质调查院)
 王 飞 (宁夏地质调查院)
 马立荣 (宁夏地质调查院)
 冯 涛 (宁夏地质调查院)
 朱譞赫 (宁夏地质调查院)
 武 丹 (宁夏地质调查院)

内 容 简 介

本项工作是依据中国地质调查局下达宁夏实施的《宁夏大地电磁测深剖面测量》项目成果编撰完成的。通过利用横跨宁夏主要构造单元7条大地电磁测深剖面,以大地电磁测深所获得的中上地壳精细电性结构剖面为主轴,结合研究区的已有地质地球物理资料,研究宁夏地区主要边界断裂和次级构造单元的深部电性结构及其空间变化规律,揭示了宁夏中上地壳电性结构特征。全书除前言外共8章,分自然地理概况、大地电磁测深技术方法、宁夏及邻区大地电磁测深进展、区域地质地球物理场特征、大地电磁测深剖面定性解释、宁夏中上地壳电性结构特征、综合地质地球物理解释、结论与建议。本书资料翔实丰富、覆盖面广,融理论性、资料性和科研性于一体,为重新厘定宁夏构造单元提供了较为翔实的深部地球物理资料。

本书可供从事地震稳定性评价、地质灾害评估、矿产资源勘查等方面科技工作者及大专院校有关专业师生参考阅读。

前 言

宁夏大地构造位置地处柴达木—华北板块的鄂尔多斯地块、阿拉善微陆块及祁连早古生代造山带，是青藏高原向北东推挤的前锋地区，该地区自晚新生代以来一直遭受着地壳缩短和剪切，伴随着垂直差异性隆升作用，形成了典型的挤压盆山构造格架，加上没有过多遭受到后期地质事件的改造，众多地质学家把宁夏弧形带及邻区选择为研究青藏高原向北东运动的动力学机制的理想场身；另外宁夏及邻区中强地震活动频繁，历史记载曾发生过近30次7级以上地震，如1920年海原8.5级大地震、1739年平罗8级地震等。因此，加强宁夏地区深部地球物理勘探与地质地球物理综合研究，对进一步开展青藏高原新生代构造运动的远程效应研究、深部地震孕震构造及发震规律研究及灾害与环境评价具有十分重要的实际意义。

本书是依托中国地质调查局计划项目“成矿带区域地球物理调查”的工作项目“宁夏大地电磁测深剖面测量”项目（1212011120928）成果完成的。通过在横跨宁夏主要构造单元布置的7条大地电磁测深剖面测量，以大地电磁测深剖面所获得的中上地壳精细电性结构剖面为主轴，结合已有的地质地球物理资料。重点研究了宁夏地区主要边界断裂和次级构造单元的深部电性结构及空间变化规律，通过分析海原地震区深部孕震构造探讨了海原地震的孕育机制，利用银川断陷盆地上地壳电性结构空间变化特征探讨了银川断陷盆地形成演化特点，并取得了一些新的认识和结论。主要可概括为：（1）宁夏弧形构造带中上地壳电性结构剖面显示出高阻与低阻地块相间排列及分布其间的电性梯度带，主要表现为“碎块状”构造样式，且在深部断续存在壳内低阻高导低速层，是研究区中上地壳有别于层状电性结构和块状电性结构的最基本电性结构特征。在宁夏弧形构造带内壳内高导层总体呈现南西深北东浅的构造样式，中上地壳壳内高导层普遍与深大断裂或低阻滑脱面交汇，且终止部位一般都位于具有一定规模的高阻地块的构造边界带；（2）宁南弧形构造带内主要的动力学边界条件为古生代石炭纪煤系滑脱面、早元古或中元古滑脱面及中上地壳内的壳内低阻高导低速地层，宁南弧形构造带依托上述边界

条件表现为祁连造山带向东仰冲、逆冲推覆，阿拉善地块是向南俯冲，鄂尔多斯地块是向西俯冲的动力学态势；(3) 烟筒山-窑山冲断带存在不连续分布高阻地块，地震剖面及重力资料在高阻地区表现为高速高密度的特征，推断该高阻高速高密度地块为晚古生代或早中生代发育在盆地基底构造上的“岛链式”古隆起，该发现为地震灾害评估及青藏高原东北缘地区的动力学背景研究提供了可靠资料；(4) 过海原地震宏观震中的大地电磁剖面都显示海原断裂深部电性结构表现为具有一定宽度的低阻异常，且震源附近存在壳内低阻层或滑脱面地层，处于电性强烈变化的区域且靠近高阻地块一侧，上述现象为开展地震灾害综合评估提供了一定参考；(5) 大地电磁剖面显示银川断陷盆地沉积地层下的高阻-低阻电性结构特征与贺兰山褶断带内高阻-低阻的电性结构特征相似，结合银川断陷盆地新生代沉积地层下面断续或连续分布的中元古代中高阻地层单元(Pz)的空间展布特点，进一步确认了银川断陷盆地是在张性构造环境下依托燕山期的逆冲挤压断层出现不连续断陷而形成的。

本书共8章28节，主要编写人员为：尹秉喜、闵刚、王绪本、杨勇、夏世斌。其中，第一章自然地理概况由余秋生、杨勇执笔，主要介绍了宁夏的交通、地形地貌、气象、水文及社会经济概况；第二章大地电磁测深技术方法由闵刚、杨勇执笔，主要介绍了大地电磁测深野外工作方法、野外资料质量评述及资料处理解释技术；第三章宁夏及邻区大地电磁测深进展由王绪本、闵刚执笔，主要介绍了以往一维、二维大地电磁测深成果及存在的问题；第四章区域地质地球物理场特征由尹秉喜、杨勇执笔，主要介绍了宁夏区域地质特征、区域地球物理场特征及岩石物性特征情况；第五章大地电磁测深剖面定性解释由尹秉喜、闵刚执笔，主要分析了电性结构维数、最佳电性主轴走向及视电阻率曲线和阻抗相位特征；第六章宁夏区中上地壳电性结构特征由闵刚、杨勇执笔，主要分析二维反演剖面置信度、中上地壳电性结构及重点地段浅部电性结构特征；第七章综合地质地球物理解释由尹秉喜、闵刚、王绪本、夏世斌执笔，建立了宁夏地区拟三维电性结构，重点对鄂尔多斯地块、海原地震区孕震构造带、宁南弧形构造带及银川盆地深部电性结构动力学特征进行了初探；结论与建议部分由尹秉喜、闵刚执笔，主要介绍了本项研究取得的成果及存在的问题与建议；尹秉喜最后对全书进行了统稿。

项目野外实施中，宁夏地质调查院赵强、杨文明、王飞、付文祥，成都理工大学夏时斌、邱林、周佃刚、朱崇利、聂军强、周亚东、罗威等人先后参与了本项目的野外实施。

在本书的编写过程中，得到了中国地质科学院李廷栋院士、成都理工大学蔡学林教授、宁夏回族自治区地质矿产勘查开发总工程师局程建华教授级高工、宁夏回族自治区

地质调查院书记孟方教授级高工及副总工程师王成高级工程师对资料综合解释中重大的关键技术问题提供了技术指导。在本书成稿过程中，作者还学习并引用了大量前人的研究成果和资料。在此表示衷心感谢。

本书是作者基于宁夏大地电磁测深剖面测量成果，对宁夏中上地壳电性结构进行了研究，是宁夏及周边的深部电性结构、地震孕育构造及动力学特征等问题的一些认识和思考。如果能对推动宁夏地震灾害综合评估、油气勘探及水文地质研究有参考作用，那么将是作者莫大的欣慰。

由于编写时间仓促，作者水平所限，不当之处敬请读者批评指正。

作者

2014年7月

目 录

前言

第一章 自然地理概况	1
第一节 研究区交通位置	1
第二节 地形地貌	2
第三节 气象条件	2
第四节 水文概况	3
第五节 社会经济概况	3
第二章 大地电磁测深技术方法	4
第一节 野外工作方法	4
第二节 野外资料质量评述	10
第三节 资料处理解释技术	11
第三章 宁夏及邻区大地电磁测深进展	25
第一节 一维大地磁测深成果	25
第二节 二维大地电磁测深成果	39
第三节 大地电磁测深主要成果及存在问题	48

第四章 区域地质地球物理场特征	50
第一节 区域地质特征	50
第二节 地球物理场特征	68
第三节 岩石物性特征	81
第五章 大地电磁测深剖面定性解释	86
第一节 电性结构维数分析	86
第二节 最佳电性主轴走向分析	94
第三节 视电阻率曲线和阻抗相位特征分析	100
第六章 研究区中上地壳电性结构特征	109
第一节 二维反演剖面置信度分析	109
第二节 研究区中上地壳电性结构特征	115
第三节 重点地区浅部电性结构特征	134
第七章 综合地质地球物理解释	146
第一节 研究区中上地壳拟三维电性结构特征	146
第二节 鄂尔多斯西缘中上地壳深部结构	149
第三节 烟筒山—小关山冲断带深部结构	154
第四节 海原地震区孕震构造电性结构特征	161
第五节 银川断陷盆地形成演化的大地电磁证据	163
第六节 宁南弧形构造中上地壳动力学特征	165
第八章 结论与建议	169
第一节 主要成果	169
第二节 问题及建议	170
参考文献	172

第一章 自然地理概况

第一节 研究区交通位置

宁夏回族自治区地处黄河中、上游地区,西北、东北边与内蒙古自治区接壤,西南、东南部与甘肃省、陕西省毗邻,位于北纬 $35^{\circ}14' \sim 39^{\circ}23'$ 、东经 $104^{\circ}17' \sim 107^{\circ}39'$ 之间,东西宽 $50 \sim 250\text{km}$,南北长约 456km ,国土面积 51954.34km^2 。至2012年末,全区人口6471908人,其中汉族占63.68%,回族占35.56%,其他少数民族占0.76%,是我国回族聚居地区之一。首府银川市坐落于贺兰山下、黄河之滨,是一个风景秀丽的塞上古城,为全区政治、经济、文化的中心。现辖5个地级市,2个县级市、9个市辖区、11个县。

宁夏交通较为发达,堪称方便(图1-1)。铁路有包(头)-兰(州)、宝(鸡)-中(卫)、太(原)-中(卫)-银(川)铁路干线及其支线;公路主要有高速公路G6(北京-拉萨)、G20(青岛-银川)、G70(福州-银川)、G2012(定边-武威),国道G109(北京-拉萨)、G110(北京-银川)、G211(西安-银川)、G307(河北黄骅港-银川)、G309(山东荣成-固原-兰州)、G312(上海-新疆霍尔果斯口岸)及省道S101、S102、S108、S201、S202、S203、S301、S302等,通车里程26522km。另外还有银川河东机场、中卫香山机场和固原六盘山机场3个民用机场,开通北京、上海、天津、广州、沈阳、西安、青岛、济南、太原、乌鲁木齐、南京、成都、重庆、长沙、郑州、台北等40余条航线,通航里程61406km。宁夏邮电通信设施和技术装备的现代化程度是西部最好的省份之一,形成了以西安-银川-兰州-乌鲁木齐和北京-呼和浩特-银川-兰州光缆为干线的大通路光缆传输网,通达全区各县的移动通信网和数字微波网及多媒体信息网。

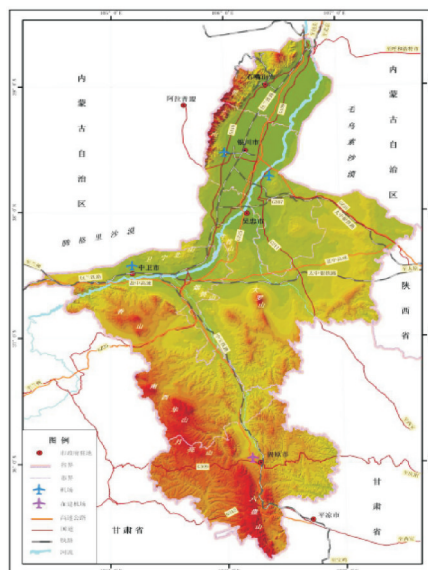


图1-1 工作区交通地理

第二节 地形地貌

宁夏地跨黄土高原和内蒙古高原,海拔 1000m 以上,地势南高北低。地貌兼有山地(约占总面积的 16.4%)、高原(丘陵、台地约占总面积的 47.7%)、平原(或盆地,约占总面积的 29.8%)和沙(丘)地(约占总面积的 6.1%)。

山地主要分布于西部,挺拔于西北部的贺兰山呈北北东走向,绵延 200 余公里,主峰敖包圪塔海拔 3556m,也是全区最高峰。贺兰山不仅恰成宁夏、内蒙古两区的自然分野,而且也是我国内流区和外流区的主要分界,起着扼制西北寒风侵袭银川平原、阻挡腾格里沙漠东移的天然屏障作用;耸立西南部的六盘山,大致为北西西走向,向南延入甘肃省境内,一般海拔 2000m,其主峰米缸山海拔 2942m,为陕北黄土高原和陇西黄土高原之界山及渭河与泾河的分水岭;境内西南的南华山与西华山略呈北西-南东向遥相对应,海拔分别达 2955m 和 2703m;高耸在黄河之南的香山、牛首山,基岩裸露,山势峥嵘。香山海拔 2356.8m。大罗山、小罗山近南北向巍然屹立于宁夏腹地,大罗山最高海拔 2624m。

宁夏东部的黄土高原位于黄河以南及六盘山以东,是我国黄土高原的一部分,黄土覆盖厚度百余米,大致由南向北厚度渐减。

宁夏平原位于贺兰山脉与鄂尔多斯高原、黄土高原之间,属断陷冲积平原,南起沙坡头,北至石嘴山,海拔 1100~1200m。在著名的青铜峡以北为银(川)吴(忠)平原,南北长 150km,东西宽 40 余公里;其南为中(卫)(中)宁平原,长不足 100km,宁夏平原地势平坦,自古受益“黄灌”之利,为本区主要农业区。

第三节 气象条件

宁夏地处内陆,冬季正当西北高寒气流南下之要冲,夏季处于东南湿润气流北行的末梢,形成明显的大陆性气候。其基本特征是:辐射强、日照长、温差大;南凉北暖、南湿北干;冬寒长、夏热短、春暖快、秋凉早。

宁夏年太阳总辐射为 544.28~640.58kJ/cm²。年日照时数为 2000~3000h,是我国太阳光能最丰富的地区之一。宁夏平原年平均气温 8℃~9℃,六盘山地区 5℃~6℃。银川最高平均气温 25.4℃,极端最高温 39.3℃;最低平均气温-14.6℃,极端最低气温-30.6℃。平原地区全年无霜期 4~5 个月,南部山区 3~4 个月。年降雨量 670~935mm,银吴平原只有 200mm。六盘山、贺兰山是宁夏南、北两个低温、多雨中心,年平均气温水分别为 0.9℃和 -0.8℃,年降雨量分别为 700mm 和 200mm。全区夏季降水量约占全年的 60%,有利于作物生长,但时有冰雹危害,尤以南部山区为甚。宁夏多年平均蒸发量达 2075.1mm,是多年平均降水量的 7 倍。宁夏春冬季多风,主要风向为西北风和北风,年平均风速 1.74~4.3m/s,定

时最大风速 34m/s,大风之日多伴沙暴。

第四节 水文概况

宁夏水系主要有黄河及其支流清水河、苦水河、红柳沟、葫芦河、泾河、茹河等。黄河是本区最大的河流,自中卫市南长滩入境,呈东西向穿过卫宁盆地,至鸣沙变为近南北向,穿青铜峡入银吴盆地,呈北北东向沿银川盆地东缘蜿蜒北流,至石嘴山市头道坎北的麻黄沟出境,区内流程 397km。宁夏中、南部地区的黄河支流,大体以六盘山为中心呈放射状分布。北流的清水河源出于固原境内六盘山东侧。它与苦水河、红柳沟、祖厉沟等水系多下切黄土及其下伏的红色地层。河水溶解大量的硫酸钠盐类,不宜人畜引用和灌溉,且水量小、水质差、含砂量大、时间变率大等水文特点。南流的葫芦河、泾河、茹河等水系,一般具有水量较大、水质较好、含砂砾亦大的水文特点。同心、南山台子及盐(池)环(县)定(边)等扬水工程的建成,对改善宁夏人民生活具有重要意义。

第五节 社会经济概况

宁夏山川秀丽,物产资源丰富。黄河灌区的银吴平原,自然条件得天独厚,素有“塞上江南”之美称。这里沃野千里,沟渠纵横,稻香鱼鲜,旱涝保收,盛产水稻、小麦、油料、甜菜和瓜果,是全国商品粮基地之一,南部山区宜林宜牧。东部 26664km²草原是很有发展前途的天然牧场。宁夏出产的枸杞、甘草、贺兰石、滩羊二毛皮,驰名中外。矿产资源较为丰富,开发潜力较大,目前已发现 36 种矿产,主要有:煤、石油、天然气、铁、铜、铅、锌、镁、金、银、石膏、盐、芒硝、磷、石灰岩、白云岩、石英(砂)岩(硅石)、粘土等,其中煤、石膏、石灰岩、白云岩和石英(砂)岩(硅石)是优势矿种。

自 1958 年自治区成立以来,经过 50 多年的发展,宁夏已基本形成了以煤炭、电力、化工、冶金、机械、轻工、建材、医药、食品等为主的工业体系,主要工业产品有 40 个大类、2000 多个品种。宁夏煤炭资源丰富,已探明资源储量 314 亿吨,其中宁东煤田查明煤炭资源储量 273 亿吨,石油、天然气也有一定储量,铀矿、煤层气、页岩气等资源同样有很好的前景和潜力,具备发展油气化工、煤化工乃至核能的良好条件,已成为西北地区重要的能源和煤化工基地。宁夏电力工业发展潜力很大,规划建设火电装机 2500 万千瓦左右,宁夏已被国家确定为 4 个“西电东送”火电基地之一。

宁夏 2012 年地区生产总值 2341.29 亿元,人均地区生产总值 36394 元。2012 年全区采矿业增加值 256.67 亿元,占全区地区生产总值的 11%,占第二产业增加值的 22.1%,占工业增加值的 29.2%。

第二章 大地电磁测深技术方法

大地电磁法(Magneto tellurics)是以天然电磁场为场源的频率域电磁勘查方法,属于被动源电磁法。大地电磁场可近似地看成是垂直入射地面的电磁波。当电磁波在地下传播时,由于电磁感应作用,不同频率(频率范围为 $10^2\text{Hz} \sim 10^{-4}\text{Hz}$)的电磁场具有不同的穿透深度,通过研究大地对天然电磁场的频率响应,可以获得不同深度电阻率的分布,根据电性分布的特点,来解决地质问题。本方法特点是:①具有较大的勘测深度;②不受高阻层屏蔽;③对低阻层有较高的分辨能力。

按其频率范围可分音频大地电磁测深($0.1\text{Hz} \sim 10\text{kHz}$)、宽频大地电磁测深($0.0002\text{Hz} \sim 400\text{Hz}$)和超长周期大地电磁测深。本项研究涉及的方法有音频大地电磁测深($0.1\text{Hz} \sim 10\text{kHz}$)、宽频大地电磁测深($0.0002\text{Hz} \sim 400\text{Hz}$)。

第一节 野外工作方法

一、测点工作

该项研究宽频大地电磁测深控制点距在 2km 左右,音频大地电磁测深点距控制在 $200 \sim 1000\text{m}$,测点定位采用手持GPS,在测线经过的三角点对手持GPS仪进行标定,标定精度均为 $\pm 10\text{m}$ 。

二、观测方法

1. 宽频大地电磁测深(MT)

测量采用加拿大凤凰(Phoenix)公司V8及V5多功能电法仪,频率响应范围为 400Hz 到 0.0002Hz ,采用张量测量方式,观测 R_{xy} 与 R_{yx} 两组视电阻率值及与电阻率相对应的两组视相位值,每个有效测点观测时间均大于 10h ,有效观测频段低频为 1000s ,保证本次大地电磁勘探深度在 30km 以上,达到研究宁南弧形构造中上地壳深部结构的目的。

(1) 野外观测技术方法

① 野外施工采用张量观测方式,一个排列有一组 E_x 、 E_y 、 H_x 、 H_y 、 H_z 布设。 E_x 、 H_x 方向与测线延伸方向一致; E_y 、 H_y 方向与测线延伸方向垂直; H_z 垂地表布置。水平布置的电极、磁棒的方位误差未超过 1° ,布极采用森林罗盘仪确认方向,测绳确认电极距,极距误