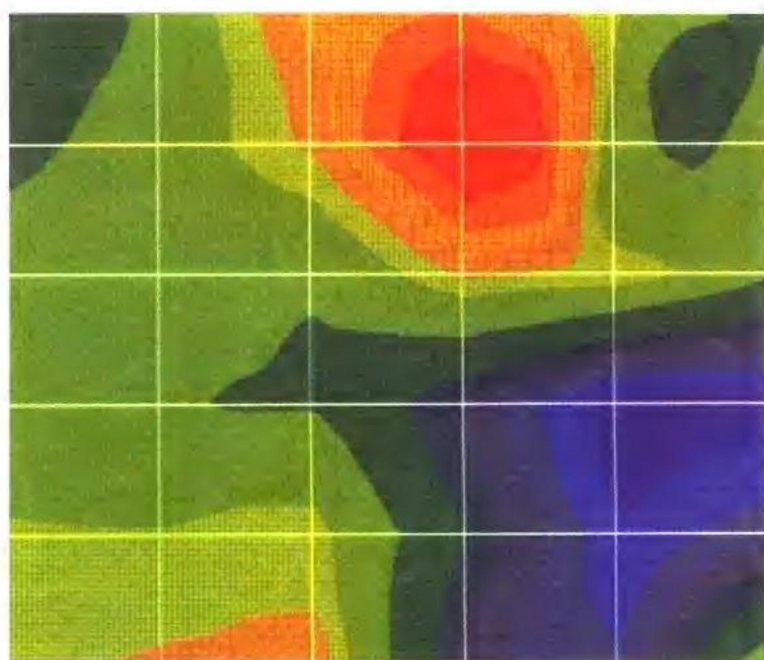


鄂尔多斯西缘与西南缘 深部结构与构造

○ 李清河 郭守年 吕德徽



地震出版社



内 容 提 要

本书系统、详尽地介绍了在鄂尔多斯西缘及西南缘开展人工地震测深、大地电磁测深、重力剖面、大地热流值观测、重磁反演、人工地震和天然地震联合三维反演等深部地球物理探测结果,地震波、重力、电磁与地热等多种地球物理资料联合反演与解释方法,总结研究了该区地壳上地幔结构的特征,对深部地球物理模型进行了地质解释,探讨了该区地球动力学机制及其演化过程,研究了强震形成的深部环境和介质条件。本书是研究区第一部较为系统、详尽介绍深部地球物理探测、深部结构、构造的专著。可供地质、地震、石油等系统的科研人员参考。

鄂尔多斯西缘与西南缘深部结构与构造

李清河 郭守年 吕德徽

责任编辑:姚家榴

责任校对:张晓梅

*

地质出版社出版

北京民族学院南路9号

北京地大彩印厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 17印张 435千字

1999年10月第一版 1999年10月第一次印刷

印数 001—500

ISBN 7-5028-1641-0/P·938

(2108) 定价:25.00元

序

本书所指的鄂尔多斯西缘及西南缘研究区的范围为 $33^{\circ}\sim 39.5^{\circ}\text{N}$, $104^{\circ}\sim 108^{\circ}\text{E}$, 行政上包括甘肃省东部、宁夏回族自治区、陕西省西部及内蒙古自治区的部分地区, 在大地构造上处于青藏高原东北部与华北克拉通的鄂尔多斯地块、阿拉善地块以及华南地块西北缘之间的地带。区内分布着祁连褶皱带、西秦岭褶皱带、鄂尔多斯西缘褶皱带以及银川盆地等。由于巨大的青藏高原在新生代以来强烈变形和隆升的影响, 在此区发育了一系列的活动断裂带, 区内构造变形多样, 地形、地貌景观复杂。此区蕴藏有丰富的石油、天然气、有色金属及煤炭等资源。此外, 本区位于我国南北地震带的北段, 地震频度高, 强度大, 历史上有文字记载相当 8 级以上的强烈地震就有 4 次, 7 级以上的地震 13 次, 5 级以上地震超过百次, 地震灾害之重可见一斑。造成 25 万人死亡, 灾情极为惨重的 1920 年海原 8.6 级大地震即发生在此区。由于上述的这些情况, 这里一直是受到国内外地学界十分瞩目的一个地区。对这一地带的地面地质、地貌、构造、地震等曾有过大量的调查研究, 这方面的文献也颇为丰富。但是由于一些条件的限制, 对本区深部地球物理探测方面的综合解释和系统研究则比较欠缺, 对这样一个在探讨大地震形成的深部环境与研究大陆内部地球动力学有重要意义的地区来说, 实在是一个重大的缺憾。

本书作者近十年来在研究区进行了大量的深部结构探测与研究, 付出了艰辛的劳动, 获得了人工地震测深、人工地震与天然地震的联合反演、重力反演与解释、航磁反演与解释、大地电磁测深、大地热流的观测与反演、深源岩石的物理化学性质测定等一批可贵的新资料 and 结果, 他们首次大规模地对此区的地质、地球物理资料进行提粹、综合和概括, 经过各种地球物理资料的联合反演和解释, 得到了有关此区深部结构主要特征的新认识。作者对深部地球物理模型进行了地质解释, 并对本区大地震的孕育环境和地球动力学问题进行了较为全面深入的探讨和研究, 获得了许多有意义的结果。

《鄂尔多斯西缘及西南缘深部结构与构造》一书是作者及其同事们十年来承担原国家地震局(现中国地震局)几个科研课题和国家自然科学基金项目研究工作的结晶, 相信本书的出版必然会对这一地区的地球科学研究, 对防震减灾以及对资源探测与开发作出积极贡献。

丁国瑜

(中国科学院院士)

前 言

在中国地质构造图上，有一个颇为奇特的地区——鄂尔多斯及周缘。一个稳定的鄂尔多斯台坳，四周断裂丛生，地震频繁，大地震灾害严重，1739年平罗8级地震和1920年海原8.6级地震死亡人口近百万。构造活动强烈。这样奇特的地质现象是长时间以来地壳运动的结果，又是观察和了解构造运动与地球动力学过程的窗口。

我们所研究的鄂尔多斯西缘及西南缘是指 $33^{\circ}\sim 39.5^{\circ}\text{N}$ ， $104^{\circ}\sim 108^{\circ}\text{E}$ 的范围内，在行政上包括甘肃省的天水、平凉、庆阳、白银、定西等地(市)区，宁夏回族自治区全部，陕西的汉中、宝鸡、榆林、延安等地(市)区，内蒙古自治区的伊克昭盟、阿拉善盟等地。在这一片广袤的土地上蕴含着丰富的石油、天然气、煤炭、有色金属等矿藏，农业发达，水利资源丰富，文化历史悠久。

在地理上鄂尔多斯高原指黄河向北折向东，又指向南的Ⅱ字形黄河河套包围的地区，在行政上属内蒙古自治区伊克昭盟；然而地质上所称的鄂尔多斯块体，则其范围更广。其北边是黄河，东边是山西的吕梁山脉，南边是渭河河谷及秦岭、华山，西边则是桌子山、云雾山。

从地貌上看，鄂尔多斯是高原，但其东边是山西裂谷带的一系列盆地，再东边是五台山及霍山；南边是渭河断裂带上的一系列凸起与凹陷带，其外侧是秦岭和华山；西侧则有银川至吉兰泰盆地，其外侧是贺兰山；北侧是河套断陷带，其外侧是阴山。从外到内呈现地形高、低、较高的形态(国家地震局《鄂尔多斯周缘活动断裂系》课题组，1988)。

鄂尔多斯的西缘与西南缘是秦岭褶皱带、祁连褶皱带、走廊过渡带和阿拉善地块。沿着南北成带的地震分布带，构成了鄂尔多斯块体与其西部褶皱带的边界，这一明显的地质构造、地形地貌、地震活动的差异是该区最为明显的标志。

在大地构造上，研究区跨中朝准地台、祁连山褶皱系和秦岭褶皱系。若干条著名的深大断裂把各一、二级及次级构造分割开，这些构造现今多数活动。本区位于著名的青藏块体的东北角，印度板块向北推挤的巨大作用在此形成了北东向强大的挤压应力，但受到坚硬的块体阻挡，形成了本区独特的构造形态和地形、地貌。显然，鄂尔多斯西缘及西南缘的构造、深部结构与地质、地貌、矿藏等的形成均与该区地球动力学过程有关，自然，我们也可以此为窗口认识青藏高原与华北地块和蒙古地块之间的作用。

我们选择这一地区进行研究还有一个非常重要的原因,即该地区位于中国著名的中枢地震带——南北地震带的北段。此段有文字记载以来就发生了8级以上地震4次,7级以上地震13次,6级以上地震39次,5级以上地震124次,其频度之高,强度之大在全国属少见。本世纪以来我国大陆最著名的1920年海原8.6级大震即发生在此处。那次地震造成了25万人死亡,无以计数的人流离失所,无家可归,其灾情惨重,闻者悸心。可见地震灾害是本研究区最重要的灾害。在这样一个十分重要的地区开展地质、地球物理工作自然是广大科学工作者十分渴望的。许多科学家,特别是地质学家在此作了大量的科学研究工作(丁国瑜,1982;邓起东等,1984;邓起东,1985a,1985b;刘百篪等,1985;冯学才等,1984;汪一鹏等,1982,1986;张维岐等,1982;陈志泰等,1982;宋方敏等,1983,1987;杨景春等,1985;环文林等,1986;周特先等,1985;翁文灏,1921,1922;谢家荣,1924;韩源,1960;蒋溥等,1985;廖玉华等,1982;潘德扬,1958;国家地震局兰州地震研究所等,1980;国家地震局《鄂尔多斯周缘活动断裂系》课题组,1988;国家地震局地质研究所等,1990),这些地质研究结果系统而详实。本区由于资源开发而进行的石油、煤炭、金属地球物理勘探和地质钻探获得了大量浅部构造的资料。为地球科学基础研究开展的深部地球物理探测也有一些结果,然而,相比之下则显得量小且深入程度不够,较大范围和区域构造研究,则主要源自地质资料。

本区的地震研究成果已有一定深度,除了对南北地震带北段地震活动特点进行了研究之外,还专门研究了海原大地震、平罗大地震等(邓起东,1985b;李孟奎等,1981,1984;李孟奎,1985,1986;何寿欢,1979;秦保燕,1986;国家地震局兰州地震研究所,1980;国家地震局《鄂尔多斯周缘活动断裂系》编写组1988;国家地震局地质研究所等,1990)。然而近几十年来,本区一直未发生较大地震,所以,只能对历史上曾发生过的地震进行研究。海原8.6级大震,平罗8级大震研究程度不够,天水8级大地震,9次7~7.9级地震研究程度就更差了。因此,本区的地震问题仍有许多课题有待深入研究。

地震发生在地下几公里至几十公里,只有将震源所在地方的结构搞清楚才能把地震成因说清楚,也就是说,需要用深部地球物理方法去研究深部结构,这正是本书后面章节的内容。

与著作颇丰的地质文献相比,该区深部地球物理资料显得凌乱、无序,缺少系统的研究和理性的概况分析。这无疑为本区地球科学研究的重大缺憾。

本书作者及其同事近十年来致力于从事本研究区的深部地球物理探测和结果的综合解释,在归纳总结前人工作基础上,补充我们自己从事的野外地球物理探测工作和反演工作的新成果,从中提炼上升,总结出本区深部地球物理的基本

特征,形成初步的地球物理模型,并对其进行地质解释,研究本区地球动力学问题和大地震形成的深部环境与条件。以上工作是作者及其同事在国家地震局1989年立项的课题“南北地震带北段深部地球物理探测综合解释”和国家自然科学基金1994年立项资助课题“鄂尔多斯西缘及西南缘深部结构与构造研究”的基础上完成的。1996年,地震科学联合基金批准资助出版专著《南北地震带北段深部地球物理探测综合解释》,也就是本书。

本书的宗旨之一在于向读者,特别是地球科学工作者提供有关鄂尔多斯西缘及西南缘的尽可能详尽客观的地球物理资料。阅读了本书之后,读者可望获得到目前为止本研究区深部地球物理探测结果的全貌和可供参阅的资料,然而,本书决不纯粹是资料的堆砌。

宗旨之二是提粹出本区地球物理场的基本特点,这将有助于对该区的地球物理场全貌有一个较为本质的规律性认识。当然,限于资料密度和认识的水平,这些基本特点的归纳也难免有不妥之处。

宗旨之三是按地质构造主要单元分析认识它们的地球物理场特征差异,试图对这些地球物理场的特征差异进行深部地质解释,再结合地震活动、构造应力场等,对本区地球动力学过程有一个新的认识,对本区较大地震的深部环境进行初步的研究和揭示。

本书的前言由李清河执笔。正文有六章。第一章为本区地质构造,简要论述了本研究区大地构造单元划分及其特征,地层、岩浆岩分布及特点,盆地和褶皱构造、断裂构造及其演化,由吕德徽执笔。第二章为深部地球物理探测及其结果,包括人工地震探测、天然地震反演获得的地壳上地幔三维P波速度结构、地壳上地幔S波速度结构及泊松比分布、Q值结构、重力场特征及重力反演结果、小点距重力剖面测量结果、航磁反演结果、大地电磁测深及反演结果、地热场的主要结果和现代构造应力场的结果。本章主要是从资料角度较详细地介绍各种地球物理探测的主要结果。重力、航磁及大地电磁测深的有关内容由郭守年执笔,其余内容由李清河执笔。第三章为联合解释方法及结果。为了增强解的可靠性与唯一性,我们引进并改进了密度和速度联合反演方法,电阻率和温度联合解释方法,并在国内首次进行了电阻率-速度联合数值模拟研究。本章中的密度-速度联合反演,电阻率-温度联合解释的内容由郭守年执笔,电阻率-速度联合模拟则由李清河执笔。根据大地构造和实际地球物理探测结果,第四章把研究区分为天水、通渭-西吉-海原-中宁、银川、鄂尔多斯台坳与鄂尔多斯西缘褶皱带五个地区,归纳总结了各个区域的地壳结构特征,包括速度结构、Q值结构、重力、航磁、电性、地热特征。本章与第二章的区别在于我们概括、提粹各区的各地球物理参数的主要特征,力图使人们从中得出结论性的特点和理性思维。本章各节中重力、航磁及电

性特征由郭守年执笔，其余均由李清河执笔。在第五章中，我们建立了研究区的深部地球物理模型，通过对深源岩石性质及其分布的研究，对深部地球物理模型进行地质解释。在上述地球物理模型的基础上，结合青藏高原的隆起与运动、应力场特征等，对本区地球动力学问题进行了初步探讨。本区深部地球物理模型一节由李清河执笔，深源岩石的性质与分布由吕德徽执笔。吕德徽和李清河共同执笔完成深部地球物理模型的地质解释。地球动力学部分由吕德徽执笔。最后在第六章，在研究本区地震活动的基础上，初步研究了本区大地震形成的深部环境与条件，特别重点研究了1654年天水8级大地震，1739年平罗8级大地震和1920年海原8.6级大地震形成的深部环境与条件。本章第一、二、三节由李清河执笔，第四、五节由郭守年执笔。本书的后记由李清河执笔。全书由李清河最后修改定稿。

概括起来，本书有以下几个特点：

(1) 较详尽地给出了本区的地球物理资料，这些资料是最可宝贵的基本素材。

(2) 开展了多种地球物理方法联合反演或解释，获得了一些有价值的结果。其中有些联合反演方法是我们首次提出并首次应用的，获得了某些其他方法无法单独获得的深部地球物理参数。

(3) 归纳、总结、提粹了本研究范围内不同区域的深部地壳结构特征，这是对本区深部结构特点的首次认识。

(4) 建立了本区深部地壳结构模型，并进行了地质解释，这些模型的建立基于大量多方面的地球物理资料，不仅论证明确可靠，而且有些认识之深是以前我们自己未曾得到的，也是在国内首次提出的。基于上述认识给出的地球动力学解释也有相当新意。

(5) 本区大地震乃至巨大地震较多，本书重点研究了1654年天水8级、1739年平罗8级、1920年海原8.6级大震的深部环境与条件，获得了一些有益的认识。

综合地球物理解释是建立模型、认识深部结构特点的有效途径，本书是一次有益的尝试，也是一次有成效的研究过程，其意义决不仅限于本区。

本书是在我们相识和不相识的科学家的劳动基础上所写成，特别是在与本书作者共同开展“南北地震带北段深部地球物理探测综合解释”和“鄂尔多斯西缘及西南缘深部结构与构造研究”课题研究的同仁们的工作成果的基础上写成，其中有梁桂培、陈爱玲、梁恕信、闵祥仪、张元生、周民都、朱佐全、董治平、向光中、谢原定、林长佑、徐扬、李渭娟、姚政生、王新林、邵世勤、邵顺妹、刘希强、涂毅敏、师水月、盛国英、范兵、刘宝勤、屈建鹏等。我们摘录了他们已发表过的文章和部分研究报告，与他们进行了认真而有益的讨论，他们的名字虽然未能署在本书的封面上，但他们的劳动已渗透在本书的字里行间。

本书的图件多数由马兰花绘制，文字多由薛瑞芳、范兵录入，在此对她们的辛勤劳动表示感谢。

当本书即将出版之际，我们谨向中国地震局科技发展司、中国国家自然科学基金会、地震联合科学基金会表示衷心的感谢，没有他们的鼎力支持则不可能有本书的问世。

尽管作者竭尽全力，终难免存在资料的挂一漏万，认识的一孔之见。我们真诚地欢迎读者不吝指教。

目 录

第一章 研究区区域地质构造	(1)
一、大地构造单元的划分及特征	(1)
(一) 华北陆块(I)	(1)
(二) 秦祁昆造山带(Ⅱ和Ⅲ)	(2)
(三) 松潘-甘孜印支造山带(Ⅳ)	(4)
(四) 扬子陆块(V)	(4)
二、主要地层	(4)
(一) 前古生代地层	(6)
(二) 古生代地层	(6)
(三) 中生代地层	(8)
(四) 新生代地层	(8)
三、岩浆岩	(9)
(一) 前古生代	(9)
(二) 早古生代	(11)
(三) 晚古生代	(11)
(四) 中生代	(11)
(五) 新生代	(12)
四、盆地和褶皱构造	(12)
(一) 盆地构造	(12)
(二) 褶皱构造	(14)
五、断裂构造	(15)
(一) 北西或北西西向断裂构造	(15)
(二) 北东方向断裂构造	(18)
(三) 北北西方向断裂	(19)
(四) 近东西方向断层	(19)
(五) 南北方向断裂	(21)
六、构造演化	(25)
第二章 深部地球物理探测及其结果	(28)
一、人工地震与天然地震获得的地壳P波三维速度结构	(29)
(一) 景泰-白银人工地震测深剖面	(29)
(二) 门源-平凉-渭南人工地震测深剖面	(29)
(三) 郑州-银川人工地震测深剖面	(32)
(四) 徽县-礼县人工地震测深剖面	(35)
(五) 天水地震区人工地震测深	(35)

(六) 人工地震与天然地震获得的地壳与上地幔 P 波三维速度结构	(39)
(七) 速度差异分析	(49)
二、地壳上地幔 S 波速度结构及介质泊松比	(50)
(一) 利用人工地震体波获得的地壳上地幔 S 波速度结构及介质泊松比	(50)
(二) 利用天然地震面波获得的地壳上地幔 S 波速度结构	(60)
三、地壳上地幔 Q 值结构	(66)
(一) 人工地震获得的天水地震区 Q 值结构	(66)
(二) 天然地震面波获得的地壳上地幔 Q 值结构	(70)
四、重力、航磁的主要结果	(71)
(一) 重力场特征	(71)
(二) 天水地区重力剖面测量结果与地壳结构	(81)
(三) 航磁反演结果	(86)
五、地壳上地幔电性结构的大地电磁解释结果	(96)
(一) 概况	(96)
(二) 主要观测结果	(98)
(三) 关于低阻层的讨论	(107)
(四) 有关大地电磁测深资料的思考	(108)
六、地热场主要结果	(111)
(一) 地温场特征	(111)
(二) 岩石热导率的测定与计算	(111)
(三) 大地热流的分布	(114)
(四) 岩石圈热结构	(117)
七、现代构造应力场	(124)
(一) 研究方法	(124)
(二) 主要结果	(125)
第三章 联合解释方法及结果	(139)
一、密度-速度联合反演方法	(139)
二、大地电磁和地热资料的联合反演方法	(141)
三、天水地震区综合地球物理剖面的建立及模拟结果分析	(142)
四、下地壳地震波速度与电性的联合数值模拟及结果	(147)
(一) 部分熔融模型	(147)
(二) 南北地震带北段地区下地壳部分熔融模型	(149)
(三) 速度和电阻率的计算	(150)
(四) 结果的分析与讨论	(150)
第四章 鄂尔多斯西缘及西南缘地壳结构的主要特征	(153)
一、天水地区地壳结构的主要特征	(153)
(一) 人工地震测深获得的二维地壳速度结构	(153)
(二) 天然地震获得的三维地壳速度结构	(156)
(三) Q 值特征	(157)

(四) S波速度结构特征	(157)
(五) 重力、航磁特征	(158)
(六) 地壳上地幔电性特征	(159)
(七) 地热特征	(159)
二、通渭-西吉-海原-中宁地区地壳结构的主要特征	(162)
(一) 人工地震测深获得的二维地壳速度结构特征	(162)
(二) 天然地震获得的三维地壳速度结构特征	(163)
(三) Q值分布	(163)
(四) S波速度结构特征	(164)
(五) 重力、航磁特征	(164)
(六) 地壳上地幔电性特征	(164)
(七) 地热特征	(165)
三、银川地堑地壳结构的主要特征	(167)
(一) 人工地震测深获得的地壳速度结构	(167)
(二) 天然地震获得的地壳速度结构特征	(168)
(三) Q值特征	(168)
(四) S波速度结构特征	(168)
(五) 重力、航磁特征	(169)
(六) 地壳上地幔电性特征	(169)
(七) 地热特征	(169)
四、鄂尔多斯台坳与台缘地壳结构的主要特征	(171)
(一) 人工地震测深获得的地壳速度结构特征	(171)
(二) 天然地震获得的地壳速度结构特征	(172)
(三) Q值结构	(173)
(四) S波速度结构特征	(173)
(五) 重力、航磁特征	(173)
(六) 地壳上地幔电性特征	(174)
(七) 地热特征	(174)
五、断裂的地球物理特征	(179)
第五章 深部地球物理模型及其地质解释	(184)
一、深部地球物理模型	(184)
(一) 深部地球物理场分区特征参数	(184)
(二) 深部地球物理场的主要特点	(185)
(三) 深部地球物理模型	(187)
二、深源岩石的性质与分布	(187)
(一) 深源岩石的分布	(187)
(二) 岩相学特征	(189)
(三) 岩石化学和地球化学	(190)
(四) 岩石的密度和地震波速度	(194)

(五) 深源岩石与构造的关系	(194)
(六) 玄武岩物源探讨	(195)
三、深部地球物理模型的地质解释	(196)
(一) 地壳结构	(196)
(二) 莫霍面	(201)
(三) 上地幔软流层	(203)
四、本研究区地球动力学问题	(205)
(一) 新构造应力场	(205)
(二) 现代构造应力场	(207)
(三) 现代地壳垂直形变	(208)
(四) 有关地球动力学问题的探讨	(211)
第六章 大地震形成的深部环境与条件	(214)
一、地震活动特征	(214)
二、研究区深部结构与地震的相关关系	(216)
三、1654 年天水 8 级地震形成的深部环境与条件	(219)
(一) 地震基本参数	(219)
(二) 发震断裂	(219)
(三) 深部结构特征	(221)
(四) 天水大地震形成的深部环境与条件	(226)
四、1920 年海原 8.6 级地震形成的深部环境与条件	(229)
(一) 1920 年海原大地震的基本参数	(229)
(二) 地质构造	(230)
(三) 极震区深部结构	(233)
(四) 海原大地震的孕育环境	(236)
五、1739 年平罗 8 级地震形成的深部环境与条件	(238)
(一) 平罗大地震的基本参数	(238)
(二) 基本地质特征	(238)
(三) 震源区的深部特征	(243)
(四) 平罗大地震的孕育环境	(244)
参考文献	(247)
后记	(256)

第一章 研究区区域地质构造

一、大地构造单元的划分及特征

本区在地质构造方面包括了几个不同的构造单元。有关构造单元的划分,不同学者各有己见。其中,黄汲清教授的构造单元划分为许多地质文献所引用(黄汲清,1983,1984)。自70年代板块构造学说被介绍到我国后,许多地质工作者都以新的观点对本区的大地构造进行了分析和讨论(林舸等,1993;赵茹石等,1994)。本区的南北两侧为扬子陆块和华北陆块,两者之间为古生代和中生代的碰撞造山带。这些构造单元的划分如图1-1。

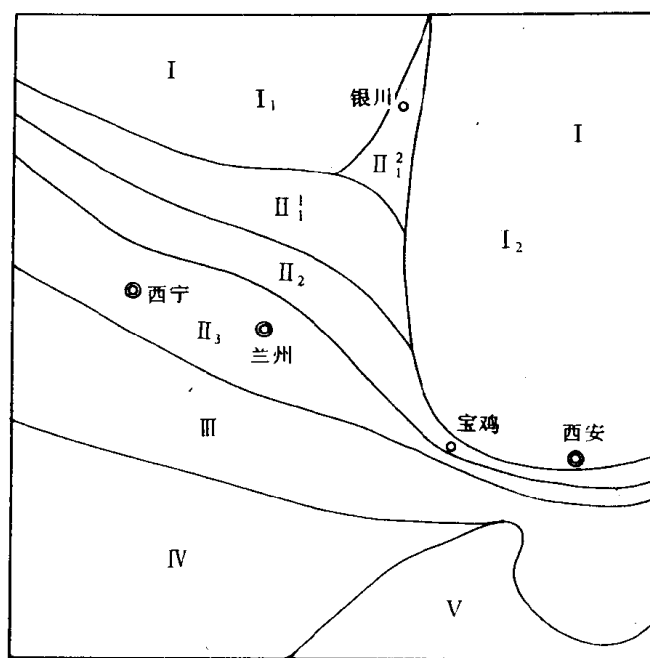


图 1-1 鄂尔多斯西缘及西南缘大地构造分区图

图中: I: 华北陆块; I₁: 阿拉善地块; I₂: 鄂尔多斯地块; II₁: 河西走廊陆缘带;
II₂: 贺兰山拗拉谷; II₃: 北祁连加里东造山带; III: 中祁连地块; III: 秦岭印支造山带;
IV: 松潘-甘孜印支造山带; V: 扬子陆块

(一) 华北陆块(I)

华北陆块为一古老的板块,根据基底岩石和沉积盖层又可将本区分为两个次级单元。

1. 阿拉善地块(I₁)

位于本区的北面,形态呈三角形。东界为贺兰山西麓断裂,南面以龙首山南缘断裂为界。关于它的西北面界线,吴泰然及王延印等均有讨论(王延印等,1993),在此不再赘述。地块内最老的地层在宁夏及内蒙古地区,为阿拉善群,由片麻岩、大理岩及变粒岩组成,K-Ar 法

的同位素年龄为 1982Ma, 厚度大于 4900m。同位素年代对比结果表明, 甘肃省境内出露的北大山群和龙首山群为同一时期产物, 厚度也大致相同。有的文献将这套变质岩划归为太古界, 另一些划归为下元古界, 称之为前长城系。这套岩系组成了阿拉善地块陆核的基底。中上元古代地层出露在龙首山和狼山一带, 缺失整个古生代和三叠纪的沉积。侏罗-白垩系出露在地块中的断陷盆地内。新生代沉积物也分布在中生代形成的盆地内。阿拉善地块地处阿拉善高原, 地势平坦, 山脉的相对高差一般小于 150m。地块内山脉的不对称性规律性很强, 一般呈东西延伸, 北陡南缓, 北东走向的山脉, 东陡西缓, 北西向延伸的龙首山为西南陡, 东北缓。杨振德等认为这种现象与层间滑动断裂面的产状有关(杨振德等, 1988)。

2. 鄂尔多斯地块(I₂)

该地块的西界北起桌子山经平凉南下直达宝鸡附近, 呈南北方向延伸。沿这条边界发育着一系列的南北向断裂。航磁及钻井的资料表明, 地块的基底由太古界的变质岩系组成。中上元古界和下古生界为海相沉积, 石炭系为海陆交互相煤系地层, 二叠系以上地层为陆相沉积。现今的鄂尔多斯地块为巨厚的中生界覆盖。

(二) 秦祁昆造山带(Ⅱ和Ⅲ)

秦祁昆造山带在这一地域内, 可按造山带封闭的年代分为: 北面, 祁连山加里东造山带; 南面, 西秦岭印支造山带。在每个造山带内又可根据岩相或岩石组合特征分为几个亚带。

1. 祁连山加里东造山带(Ⅱ)

祁连山加里东造山带北面与阿拉善地块相邻, 以龙首山断裂为界, 南面以甘谷武山利桥为界与西秦岭印支造山带接壤^①。

按岩石组合情况分为几个次一级的构造亚带。

(1) 河西走廊陆缘带(Ⅱ₁): 该陆缘带的范围西起酒泉, 沿河西走廊向东延伸经景泰、海原直达固原。在祁连山造山带形成发展过程中, 东北边缘形成了贺兰山坳拉谷。其中的沉积物多属陆缘相沉积, 所以将其划归于河西走廊陆缘带中, 考虑到坳拉谷有其自身的特点, 描述时分别进行。

河西走廊陆缘带(Ⅱ₁):

河西走廊陆缘带, 位于阿拉善地块南缘, 东端与鄂尔多斯地块相接。北界为龙首山南缘断裂, 其东延部分为元山子断裂, 以后转为北西向的牛首山断裂和南北向的罗山断裂。南界可能为海原断裂带的月亮山、崛吴山断裂和六盘山西缘断裂。该陆缘带呈北西向展布, 但在东端呈凸向北东的弧形。带内寒武纪为复理石沉积, 具少量的中基性火山岩。早—中奥陶世为碎屑岩—碳酸盐沉积及复理石沉积, 厚度大。早—中志留世为浅海生物礁相碳酸盐沉积, 晚志留世形成粗碎屑岩沉积。晚古生代至三叠纪末在山前沉积了磨拉石建造、海陆交互相及陆相含煤建造和碎屑岩建造。三叠纪后形成了含煤、含盐建造及红色建造的断陷盆地。河西走廊陆缘带内的主要沉积物, 在造山带形成前为边缘海相建造, 造山带形成后为陆相的磨拉石建造。因此, 在大地构造相方面相当于磨拉石盆地相类。

贺兰山坳拉谷(Ⅱ₂):

贺兰山坳拉谷也称为贺兰山裂堑, 位于河西走廊陆缘带的东北端。西与阿拉善地块相邻, 以贺兰山西缘断裂为界。东与鄂尔多斯地块接壤, 以桌子山断裂为界, 南面与河西走廊陆缘

^① 殷先明、陶炳昆, 1992, 八十年代甘肃地质工作重要新进展及 2000 年的展望。

带相接。在形态上为一北东向的楔形。贺兰山拗拉谷的基底由古老的太古界或早元古代岩层组成,属于华北古陆的一部分,均为变质岩结晶基底。它的沉积盖层要比华北古陆块内的沉积厚度大得多。中元古界至第四系总厚度达一万多米。前震旦纪主要由陆相—滨海陆源碎屑岩组成。震旦纪时发育有陆源冰水沉积相。下寒武统为浅海陆源碎屑岩和碳酸盐岩。中寒武世至早奥陶世主要是滨浅海到半深海碳酸盐岩。从早奥陶世末到中奥陶世,形成了巨厚的含笔石页岩、碳酸盐岩,滑塌角砾岩相当发育(崔广振等,1985)。后者可作为拗拉谷所特有的构造标志,它的发育程度直接反映出拗拉谷的活动强度。上古生代后,主要为类磨拉石建造。贺兰山拗拉谷虽然在地层方面与华北古陆块的鄂尔多斯地块有某些相似之处,但在岩相和古生物方面都存在着差别,如中元古界、寒武系的岩性和生物群完全可与华北地区对比,但中、下奥陶系、中石炭系的岩相和生物群则与祁连山相同。根据拗拉谷的岩相和构造特征,其大地构造相可与前陆褶皱冲断相或前陆磨拉石盆地相类比。

(2) 北祁连加里东造山带(Ⅱ₂):北祁连山加里东造山带西起昌马鹰嘴山,其东端在宝鸡以南可能与秦岭北面的“二郎坪裂陷”相通。该带东端的北界为海原断裂和六盘山西缘断裂,南界可能位于永登—华家岭—张家川附近。该带中西段和东段在岩石组合方面是有区别的。中西段包括景泰老虎山以西的地段,发育有典型的蛇绿岩套。它的下部是以斜辉橄榄岩为主的超镁铁质岩,其上为辉长岩和辉长辉绿岩,上部为基性熔岩,由玄武岩、细碧岩及玄武安山岩等组成,具枕状构造(吕德徽,1983;向光中等,1986)。该造山带的东段是由景泰马厂山、米家山往东至静宁张家川一带,它的火山岩虽然发育,但在其底部往往缺失超镁铁质的岩石组合,严克明等将这类岩石组合称为“类蛇绿岩套”(严克明等,1983)。上述岩石组合是下古生代形成的,与一套碎屑岩、碳酸盐岩、硅质岩共生。上古生代的地层多为孤零的或范围不大的海相、海陆相及陆相盆地或山麓沉积。

北祁连造山带内的清水沟、香子沟、百经寺出露有高压低温的蓝闪石片岩,并伴有石榴角闪岩(向光中等,1986)。它们的出现与古板块俯冲碰撞的古缝合线有关,并确定为加里东时代的产物。该古缝合线西起昌马鹰嘴山,沿黑河、祁连河通过俄博向东延至景阳岭附近,再向东其形迹不清楚。根据夏林圪等人的资料,永登县石灰沟发育有非常完整的典型的古岛弧火山岩,在其北侧老虎山一带产生了弧后盆地的火山作用,并发育有小规模的蛇绿岩套(夏林圪等,1991)。由此推测,永登、白银厂、静宁附近可能是北祁连海槽在加里东闭合时的碰撞带。该带的岩石组合及强烈的褶皱冲断构造表明,可能属于混杂相类的大地构造相。

(3) 中祁连地块(Ⅱ₃):中祁连地块又称为中祁连隆起,具有陆块特征,西端在现今山口与阿尔金断裂相接,东端由天水往东可能与“古秦岭隆起带”相连。也有人认为天水附近为中祁连地块的东部端点。北界与北祁连加里东造山带呈断层接触,关于其南界目前暂时确定在武山附近。组成中祁连地块的岩系有下元古界的中深变质岩系,相当于一套复理石—碳酸盐岩—中基性火山岩建造,中、上元古界主要为浅海相碎屑岩组合,震旦系多诺谱尔群有较多的中基性火山岩。早古生代只有零星的沉积,晚古生代和中新生代为海陆相和海相沉积。关于中祁连地块的形成问题,目前尚有不同的看法,许多人认为中祁连地块是由阿拉善地块分裂拉张形成,也有人认为是由扬子陆块分裂漂移而来,还有人将元古代的变质岩系当作太华推覆带的盖层。中祁连地块与两侧单元之间多呈逆断层或逆冲断层接触,在大地构造相方面可与仰冲基底相类比。

2. 秦岭印支造山带(Ⅲ)

秦岭印支造山带西起青海省,向东延伸至陕西,北与中祁连地块相邻,南面与松潘-甘孜印支造山带在略阳、武都、迭部附近的摩天岭北缘分野。整个造山带的走向由西往东为:西部为北 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 西,然后转为近东西方向。西秦岭地区迄今尚未发现大陆基底,下古生界沉积分布的范围很小,仅限于南部的迭部—舟曲—武都一带,而且只有志留系迭部群、舟曲群、白龙江群浅海相碎屑岩,它们是扬子陆块北缘古生代边缘过渡带的产物。据左国朝报道,西秦岭的泥盆系在礼县—麻沿河一线的南面为海滨相和浅海相的碳酸盐岩,而北面以浅海相砂岩、板岩为主或两者的互层,其上部往往有陆相红色的砂砾岩,这套岩层的厚度可达12000m(左国朝,1985),秦岭南部大面积出露中下三叠统,主要建造为复理石或类复理石和碳酸盐岩,构成西秦岭的主体。冯益民在80年代初曾发现西秦岭混杂堆积中的化石混杂现象。它们沿青海湖的橡皮山、循化县毛毛隆沟、夏河夏完尕滩、临滩、岷县及凤县一带分布。混杂堆积中岩块的原始沉积时代有石炭纪,二叠世早、晚期。胶结这些岩块的基质内含有三叠纪的化石种属。这些混杂堆积的生成是古俯冲带的标志之一,也是一条晚古生代早、中三叠世的碰撞带。在大地构造相方面,西秦岭可能属于陆间碰撞的混杂相(王清晨等,1984;李继亮,1992)。

(三) 松潘-甘孜印支造山带(Ⅳ)

该区的最南地带为构潘-甘孜造山带北部的部分地区。该造山带的北部边缘存在两个由元古界、古生界至中生界组成的断块,其中的褶皱平缓,在一些地质文献中称之为“若尔盖地块”和“摩天岭地块”,后者又称为“黄龙微地块”。前者为后者向西的自然延伸,这两个地块原系扬子陆块的组成部分,以后为岷江断裂割裂分离漂移。赵友年等认为这些断块与“基墨里”大陆的超前小地块类似(赵友年等,1984)。许志琴则认为该造山带的形成和发展不仅复杂,而且奇特,有中国“地质百慕大”的称谓(许志琴等,1992)。松潘-甘孜造山带是晚古生代出现的并于晚三叠世后期封闭的海盆地,沉积的地层为巨厚的三叠系西康群,主要由砂岩和板岩组成的复理石建造。由于该造山带在整个发展过程中比较复杂,可能包括几个不同的大地构造相。与本文有关的地区具有前陆褶皱冲断相的某些特征。

(四) 扬子陆块(Ⅴ)

扬子陆块北与秦岭造山带毗连,西北以龙门山断裂为界,与松潘-甘孜造山带相邻。该陆块由前震旦纪变质火山岩系列、沉积岩系列和混合岩浆岩系列等复杂结晶岩石构成坚固的结晶基底,盖层建造为晚震旦世至三叠纪的海相沉积岩。陆块北部的岩层厚度较大,与陆块内比较,碎屑物更为发育。寒武—奥陶系主要为碳酸岩,但寒武系下部发育碳质碎屑岩,奥陶系上部出现笔石页岩。志留系则以笔石页岩为主,泥盆系和石炭系主要由灰岩组成,局部夹硅质碎屑岩。二叠—三叠系为巨厚的半远洋沉积物及浊积岩,上三叠系和侏罗系主要为陆源沉积。在研究区内的扬子陆块为前陆褶皱冲断相。

二、主要地层

关于本区的地层及其分布前人已做过许多工作,并已进行了总结(甘肃地质矿产局,1989;宁夏回族自治区地质矿产局,1990)。本节主要根据这些资料,列表说明本区各时代地层及相互关系(表1-1),并简要进行描述。

表 1-1 鄂尔多斯西缘及西南缘地层系统划分简表

时代		地层区划	河西走廊—六盘山分区	北祁连分区	陕甘宁盆地分区	西秦岭分区
新生界	第四系	Q ₄	全新统	全新统	全新统	全新统
		Q ₃	上更新统	上更新统	上更新统	上更新统
		Q ₂	中更新统	中更新统	中更新统	中更新统
		Q ₁	下更新统	下更新统	下更新统	下更新统
	第三系	N ₂	甘肃群	甘肃群	甘肃群	甘肃群
		N ₁	干河沟组	临夏组	干河沟组	
		E ₃	红柳沟组	咸水河组	红柳沟组	
		E ₂	固原群	清水营组	固原群	固原群
		E ₁	清水营组	寺口子组	清水营组	
中生界	白垩系	K ₃				
		K ₂				
		K ₁	六盘山群	马莲沟群	庙山湖群	东河群
	侏罗系	J ₃	庙山湖群	河口群	六盘山群	上统
		J ₂	安 定 组	苦水峡群	延 安 组	上统
		J ₁	直 罗 组	王家山组	直 罗 组	龙家沟群
	三叠系	T ₃	延安组	龙凤山群	延 安 组	炭和里组
		T ₂	延长组	大西沟群	延 长 组	后老庙群
		T ₁	铜 川 组	南营儿群	铜 川 组	古浪堤组
			二马营组	西大沟群	二马营组	隆务河群
				丁家窑组		
	二叠系	P ₂	窑 沟 群	下 统	石千峰组	石 关 群
		P ₁	大 黄 沟 群	南 南 组	上石盒子组	
				窑 沟 组	下石盒子组	大关山群
				大 黄 沟 组		
				山 西 组		
	石炭系	C ₃	太 原 组	太 原 组	太 原 组	
		C ₂	羊虎沟组	羊虎沟组	羊虎沟组	草凉
			靖 远 组	靖 远 组	靖 远 组	下加
			臭牛沟组	臭牛沟组		岭组
		C ₁	前黑山组	前黑山组		巴都组
古生界	泥盆系	D ₃	中 宁 组			铁山群
			大岱沟组	沙流水群		大草滩群
		D ₂	石峡沟组	雪 山 群		榆树坪组
		D ₁				雷家坝组
						安家岔组
	志留系	S ₃	早 峡 组	?		清水沟组
		S ₂		泉脑沟山群		吴家山组
		S ₁	照花井群	马营沟群		白龙江群
	奥陶系	O ₃		扣门子组	背锅山组	舟 曲 群
				古 浪 组	姜家湾组	迭 部 群
		O ₂	平 凉 组		银川组	大 堡 群
			米钵山组	中 堡 群	平凉组	
		O ₁	天景山组	阴 沟 群	樱桃沟组	?
	寒武系	ε ₃			中梁子组	
					前中梁子组	
		ε ₂	香 山 群	黑茨沟群	下岭南沟组	未 命 名
					风 山 组	
		ε ₁			长 山 组	
晚中元古界	震旦系	Z			固 山 组	
	青白口系	Qn			张 夏 组	
	蓟县系	Jx			徐 庄 组	
	长城系	Ch			毛 庄 组	
					五道沟组	
早元古界		P ₁			苏峪口组	
					正目观组	
太古界		Ar				