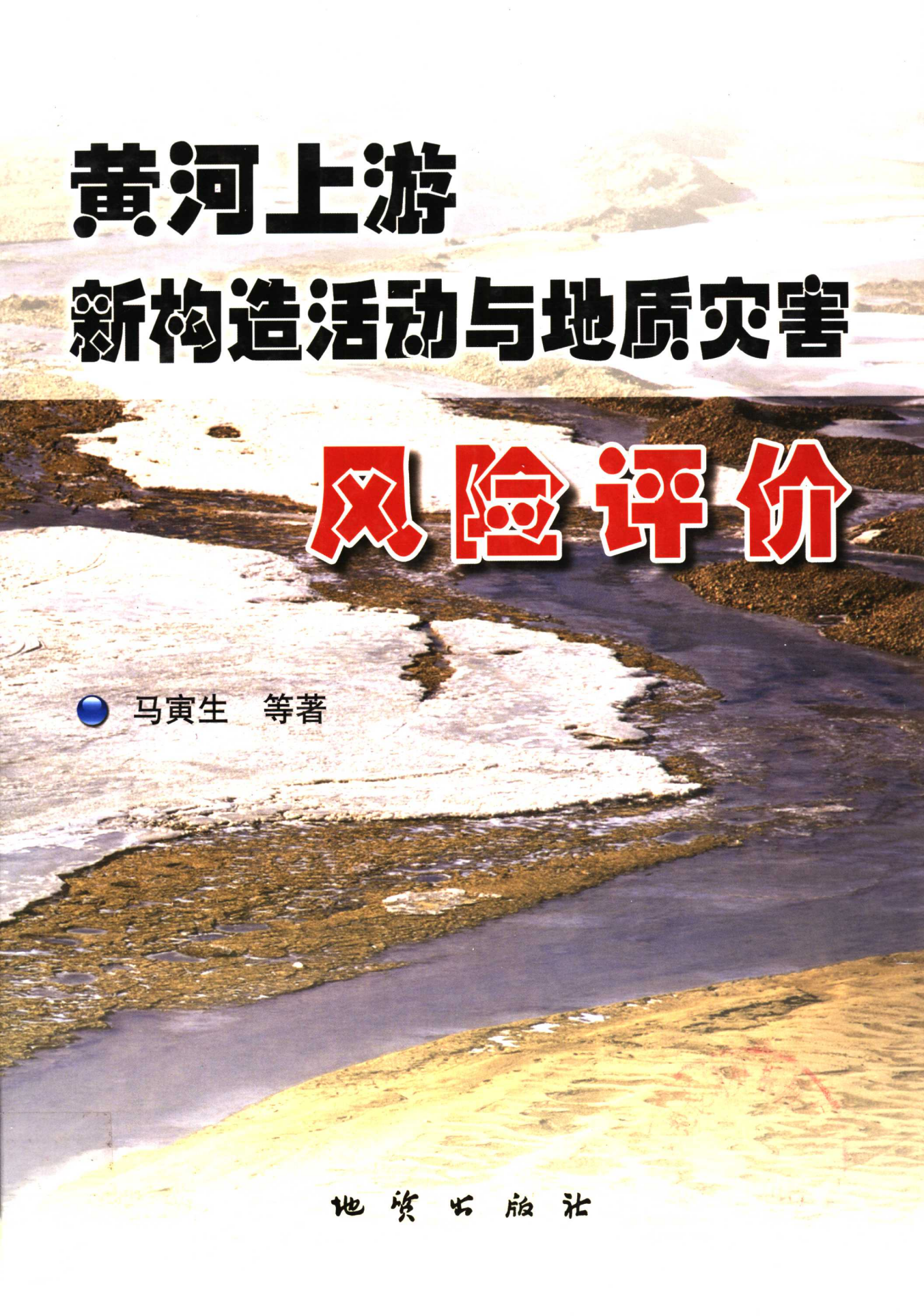




黄河上游 新构造活动与地质灾害

风险评价

● 马寅生 等著

地质出版社

地质调查项目成果

黄河上游新构造活动与 地质灾害风险评价

马寅生 廖椿庭 张业成 吴满路 张春山
赵志中 施 炜 张岳桥 蒋复初 曾庆利 著
杜建军 王红才 徐 刚 乔子江

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书是“黄河上游新构造运动与地壳稳定性调查研究”项目的研究成果。经过艰苦、细致的工作,基本查明黄河上游地区新构造运动特征,以及新构造运动与环境变化,并针对该区严重地质灾害的背景、条件进行研究,进行了地质灾害综合区划和地质灾害风险评价。

本书可供从事新构造运动、地质灾害研究的人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

黄河上游新构造活动与地质灾害风险评价/马寅生等著.-北京:地质出版社,2003.12
ISBN 7-116-03966-X

I.黄… II.马… III.①黄河中、上游-现代地壳构造运动-研究②黄河中、上游-现代地壳构造运动-关系-地质灾害-研究
IV.P548.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 103695 号

Huanghe Shangyou Xingouzao Huodong Yu Dizhi Zaihai Fengxian Pingjia

责任编辑:祁向雷 周乐耘

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 31 号,100083

电 话:(010)82324508(邮购部);(010)82324577(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京中科印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm^{1/16}

印 张:18.125 彩 图:8 面

字 数:450 千字

印 数:1—800 册

版 次:2003 年 12 月北京第一版·第一次印刷

定 价:50.00 元

ISBN 7-116-03966-X/P·2434

(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)

前 言

万里黄河,从青藏高原发源,经黄土高原、华北平原,奔腾东流入海,在祖国大地上塑造了壮丽的山河,哺育了中华民族的成长。黄河流域作为中华民族发展的摇篮地区之一,不仅在历史上,而且现今一直是我国社会经济发展的重要地区之一。

从内蒙古托克托县河口镇至黄河源头的黄河上游地区,是我国西北青海、甘肃、宁夏、内蒙古四省的经济文化中心区,也是西部大开发的重点地区之一。区内水利资源丰富,水力资源理论蕴藏量 1880.7 万千瓦,占黄河干流水资源理论蕴藏量 2976.6 万千瓦的 63.18%;区内拟选电站数 31 座,装机容量可达 1884 万千瓦,年发电量可达 783.1 亿度,占黄河干流资源比重的 75.2%;区内已建成电站 4 座,装机容量 202.9 万千瓦,年发电量 102.0 亿度。区内已兴建和规划的这些大型水利枢纽工程,对本区乃至全国的经济的发展都具有重要影响。同时,黄河上游地区又是我国通向西北的咽喉要地,交通要道。我国计划实施的南水北调西线工程、西气东输工程都涉及本区。但是,该区新构造活动强烈,地质灾害频发,已经成为制约本区经济发展的重要因素。因此,黄河上游地区新构造活动和地质灾害的区域性调查与评价,对于国土资源科学规划、减灾防灾以及保证国民经济的持续健康发展具有重要的意义。

本部黄河上游新构造活动与地质灾害风险评价专著是“黄河上游新构造运动与地壳稳定性调查研究”项目的研究成果。该项目是中国地质科学院 2000 年启动的大调查预警工程类科研项目(编号:DKD2003003),项目周期为 3 年,起止时间:2000 年 1 月~2002 年 12 月,项目负责单位为地质力学研究所。项目的工作任务是:查明黄河上游新构造运动特征;区域稳定性评价;区域地质灾害评价、区划与风险评估的方法和原则。

2002 年 4 月,在中国地质调查局地质调查项目整合过程中,该项目被整合为“新构造运动与国家重大工程安全”实施项目的子项目(子项目编码:200012400103)。总体目标任务是:查明黄河上游新构造运动特征;区域稳定性评价;区域地质灾害评价、区划与风险评估的方法和原则;现今地应力测量。项目周期和起止时间不变。

通过三年的调查研究,取得了如下新认识和新进展:

1. 前新生代构造背景

黄河上游地区跨越了华北克拉通上几个不同的构造单元和华北克拉通西南(青藏高原东北缘)不同时代的增生地体,总体上处于不同构造单元的结合部,其前新生代构造背景控制了该区新构造运动的展布与分区,许多活动构造带就是沿前新生代构造边界,重新以新的方式活动的。

2. 地壳岩石圈结构特征

黄河上游地区的地壳与岩石圈结构,总体上处于地壳与岩石圈结构的转变带、过渡带和梯度带上,它们是黄河上游地区新构造活动展布与分区的最根本的控制因素,地表许多大的

活动断裂带往往可以延伸到地壳深部,往往是深部作用过程的表层响应。

3. 新构造运动方式、阶段、期次与强度

黄河上游地区新生代的构造运动方式以活动地块的断块隆升和相互作用为主要特征,断块内部的缩短——褶皱作用并不强烈。古近系常表现为宽缓的褶皱,新近系和第四系经常为水平地层,断块整体隆升强烈,断块之间被活动断裂分隔。断块之间的相互作用分为两个大的阶段,早期阶段古近纪和新近纪以伸展作用为主,形成一些断陷湖盆。新近纪末发生较强烈的挤压作用,在块体边缘形成逆冲断裂和推覆体。晚期阶段第四纪断块之间的相互作用转变为左旋走滑为主,形成一些大型的走滑断裂和小的拉分盆地。新生代的挤压作用主要有两期,第一期发生在渐新世末,强度较弱,影响程度西南部较强,向东北方向逐渐减弱。第二期发生在上新世末,强度大,在全区都有明显影响。

4. 活动断裂的活动性、运动方式、活动速率及其演化

黄河上游地区的活动断裂包括两个影响深达上地幔的活动断裂系——鄂尔多斯周缘活动断裂系和青藏高原东北缘活动断裂系。前者环绕鄂尔多斯地块分布,在研究区内包括鄂尔多斯北缘河套盆地断裂带、西缘银川盆地断裂带和鄂尔多斯西南缘六盘山断裂带,以伸展断陷为主,第四纪平均垂直运动速率约 1.0mm/a ,新生代以来表现为持续伸展断陷。后者为一系列弧形山系和压陷盆地之间的向东北突出的弧形断裂带,由西南向东北分为东昆仑-玛曲断裂带、西秦岭北缘断裂带、乌鞘岭-六盘山断裂带、香山-天景山断裂带、烟筒山断裂带和牛首山-罗山断裂带,以左旋走滑运动为主,左旋走滑运动速率在花石峡-玛曲断裂带为 $10\sim 12\text{mm/a}$ 、西秦岭北缘断裂带为 2.5mm/a 、乌鞘岭-六盘山断裂带为 $5\sim 10\text{mm/a}$ 、香山-天景山断裂带为 $2.7\sim 5.5\text{mm/a}$ 、烟筒山断裂带尚未获得其运动速率、牛首山-罗山断裂带为 $3\sim 4\text{mm/a}$,该断裂系在第三纪表现为伸展作用,控制一系列第三纪盆地发育,第三纪末-第四纪初发生挤压逆冲,然后转变为左旋走滑运动。两个断裂系在六盘山地区交汇、复合,呈挤压逆冲活动。

5. 昆仑山活动断裂带玛曲段活动特征及其东延

通过遥感分析和野外追踪、测量,发现昆仑山-玛曲活动断裂带玛曲段第四纪左旋走滑兼正断活动现象明显,且表现出明显的地震断层特征。该段断裂走向 $N105^{\circ}E$,倾向南。地震地表破裂带主要表现形式有断层陡坎、沟槽、拉分凹地及河流、冲沟的左旋错动。从实际测量统计结果来看,活动断层切过早中更新世冰碛层形成的陡坎最高达 23m ,切过黄河四级阶地形成的陡坎高约 17m ,切过晚更新世晚期黄河三级阶地形成的陡坎高 $1.5\sim 3\text{m}$ 。断裂左旋错动黄河四级阶地陡坎 690m ,使得一级冲沟左旋错动 382m ,二级冲沟左旋错动 $135\sim 152\text{m}$,三级冲沟左旋错动 $25\sim 56\text{m}$ 。断裂在晚更新世晚期至今的平均走滑运动速率为 $10.15\pm 0.34\text{mm/a}$,早更新世晚期至晚更新世晚期的垂直运动速率约为 0.01mm/a ,晚更新世晚期至今的垂直运动速率为 0.25mm/a ,水平走滑运动速率超过垂直运动速率 40 倍以上。

玛曲以东,断裂带分为三支,三条 NWW 向断裂以左阶斜列的方式继续沿秦岭南缘向东延伸。南边一支是玛沁-玛曲断裂向东的继续延伸,自玛曲县城南侧往东,进入若尔盖盆地,沿黑河南侧穿过草地,经沙木唐、阿细龙曲北侧、森多括、本多、下黄寨,至银青附近逐渐消

失。断裂走向 $N100^{\circ}E$, 过求吉后向南偏转为南东向, 长度约 160km。中间一支迭部-武都断裂西自哈拉塘、沿代桑曲南侧山前向东, 经尕海盆地南侧、热当坝盆地北缘、热尔、卡坝、多儿、插岗, 至武都继续向东, 走向 $N100^{\circ} \sim 120^{\circ}E$, 长度超过 320km。上述两支断裂相距约 20km。北边一支迭山地震破裂带, 发育在迭部北约 25km 处, 走向 NWW, 与迭部-武都断裂近平行延伸。

6. 新生代隆升过程

黄河上游地区新生代期间大致经历了三期强烈的地面抬升, 两次较长时间的夷平。三期强烈的地面抬升分别在 30Ma 以前, 23~15Ma 和 3.4Ma 以后。两次较长时间的夷平形成两期主要夷平面。早期夷平面——山顶面形成于 24Ma 以前的渐新世晚期, 晚期夷平面——主夷平面的形成时代在上新世初, 结束于 3.4Ma 前。

从 3.4MaBP 起, 黄河上游地区与青藏高原一同开始整体强烈隆升、主夷平面瓦解。这期强烈的地面抬升过程又可以进一步分为三个次级隆升阶段, 分别发生于 3.4Ma、2.5Ma 和 1.7MaBP。

1.7Ma 以来的隆升阶段可再进一步分为 1.5Ma、1.1Ma、0.6Ma、0.15Ma、0.05Ma 和 0.01Ma 六个次级的隆升事件, 其中以 1.1Ma、0.6Ma 和 0.15Ma 三个隆升事件地面抬升更为强烈。

7. 新构造运动与环境演化

通过黄河源鄂陵湖西侧剖面、共和盆地剖面研究, 结合前人在临夏盆地的研究结果表明, 黄河上游地区新生代的环境变化与新生代的构造运动关系密切。与新生代构造运动的阶段相对应, 新生代环境变化也分为古近纪-新近纪炎热干燥与第四纪寒冷干燥两个时期。

在古近纪和新近纪炎热干燥时期, 气候环境又可分为多个阶段。特别在中新世期间, 气候变动很大, 在全球可以对比。渐新世晚期和中新世初(30~21.71Ma)气候干旱, 为干热草原阶段。21.71Ma 左右气候由干变湿, 植被发生巨大变化, 草原多被阔叶树森林草原代替, 中新世早、中期(21.71~14.7Ma)气候以凉湿为主。14.7Ma 前后有一次明显降温, 之后又恢复到凉湿气候, 并持续到约 10.15Ma。中新世晚期(10.15~7Ma)气候温暖, 为森林或森林草原发展阶段。在中新世末(自 7Ma 开始)气候曾一度变得非常干燥。

在第四纪寒冷干燥时期, 可进一步分为早期(2.1~0.079Ma)气候相对温和与晚期(79.2ka 至今)气候相对干旱两个阶段。早期阶段可进一步划分为三个气候期, 五个气候亚期。第一个气候期(2.1~1.85Ma), 为温和轻湿或暖和偏湿气候期, 发育针阔叶混交林植被; 第二个气候期(1.85~0.93Ma), 属温和稍干气候期, 发育针阔叶混交林植被或疏林—稀树草原型植被。该气候期包括两个气候亚期, 早期相对干旱气候亚期(1.85~1.68Ma), 晚期相对潮湿气候亚期(1.68~0.93Ma)。第三个气候期(0.93~0.079Ma), 属温和偏干或干爽气候期, 发育森林草原型植被。也分为早晚两个气候亚期, 早期相对干旱气候亚期(0.93~0.62Ma), 晚期相对潮湿气候亚期(0.62~0.079Ma)。晚期阶段(79.2ka 至今), 属于温和较干或干爽气候期, 发育稀疏草原或森林草原型植被。

黄河源地区 1000 年来的环境变化可以分为三个大的阶段, 1000 年以前和 360 年以来气候相对比较干旱, 1000~360 年期间气候相对比较湿润。在后两个大的阶段中又可以进一

步划分出四个相对暖湿的气候段和三个相对干冷气候段,形成三个暖湿-干冷-暖湿的气候变化旋回。

8. 地应力测量与构造应力场研究

共完成 8 个地点的现今地应力测量,获得 8 个地点的现今地应力实测数据。其中,青藏高原东北缘临夏-玛曲之间 5 个测点和鄂尔多斯地壳西南缘华亭附近 3 个测点。根据本项目的现今地应力测量结果,结合该区原有的地应力实测数据,初步形成一个横跨青藏高原东北缘的北东向实测地应力走廊剖面,显示黄河上游地区的现今地应力方向总体呈北东向,西秦岭地块是现今地应力的一个过渡带,由北向南,最大主应力方向由 NE 逐渐转变为 EW、SEE 向,现今地应力实测数据与现今构造活动特征相吻合。

在现今地应力测量和新构造运动研究的基础上,运用有限单元方法和光弹实验方法对研究区的构造应力场进行了模拟分析,获得了区域应力场的大小和方向。

综合黄河上游地区区域构造变形分析,现今地应力测量和构造应力场模拟研究结果显示:黄河上游地区新构造期的构造活动总体受北东-南西向应力作用,受来自于青藏高原向东北方向的作用力控制,即受印度板块与青藏高原碰撞的作用力控制。在印度板块与青藏高原陆陆碰撞过程中,可能由于碰撞的边界条件随时间推移发生变化,致使青藏高原向东北方向的作用力方向随时间发生顺时针方向的偏转,造成黄河上游地区在新近纪末主要受北北东方向应力作用,在青藏高原东北缘形成一系列北西西向的逆冲断裂,在第四纪主要受北东东向应力作用,致使青藏高原东北缘一系列北西西向活动断裂在第四纪主要呈左旋运动。在整个新构造期,虽然黄河上游地区不同构造单元的地应力无论在数值上还是在方向上都有局部变化,但总体上最大主压应力方向为北东向,鄂尔多斯和阿拉善地块上始终为地应力相对稳定和相对较低的区域,构造应力主要在几个断裂带内集中。

9. 地质灾害基本特征

黄河上游地区是我国地质灾害活动强烈的地区之一,地质灾害种类多、分布广、活动频繁而又强烈。地质灾害可分为突发性地质灾害和缓发性或累进性地质灾害两类。突发性地质灾害主要为地震、崩塌、滑坡、泥石流,其次为瓦斯爆炸、矿井突水、地裂缝等;缓发性或累进性地质灾害主要为水土流失、土地沙漠化、土地盐渍化,其次为湿陷性黄土、冻融、煤自燃等。

地质灾害空间分布很不均衡。崩滑流地质灾害主要发生在中部的甘肃东部、宁夏南部地区,其次发生在北部的贺兰山和南部的阿尼玛卿山地区,形成 10 个崩滑流密集带,其中以天兰铁路、兰新铁路沿线和黄河刘家峡-龙羊峡地带最发育。水土流失亦以甘肃东部、宁夏南部地区最严重。土地沙漠化主要发生在北部的内蒙古、宁夏北部地区。土地盐渍化主要发生在北部的河套平原和宁夏平原。湿陷性黄土主要发育在中部的甘肃东部、宁夏南部地区。冻融活动主要发生在西北边缘的冷龙岭和南部的阿尼玛卿山、巴颜喀拉山地区。煤自燃和矿井地质灾害主要发生在宁夏、甘肃的一些煤田或煤矿。

地质灾害随时间变化,呈现不规则的周期性强弱变化和不断发展累进的长期性变化特点,且不同地质灾害的变化规律不一。自 17 世纪中叶以来的大约 500 年时间里,本区地震活动出现 5 个活跃幕和平静幕的交替变化。据本区勘探资料基本确认的最早崩滑流活动为中更新世或晚更新世,迄今至少有 5 次长时间活动;据历史记载,自南北朝以来的约 1500 年

时间,可能在隋唐、南宋后期、明朝中期、清朝的康乾、光绪年间和 20 世纪 30 年代崩滑流活动比较强烈;近 50 年来历史记录의崩滑流活动大致经历了 7 次强弱交替变化,每个周期时间大约为 5~8 年。水土流失、土地沙漠化和土地盐渍化历史悠久,但自唐宋以后,特别是明清以来发展加快;近 50 年来,在得到局部治理的同时,在总体上水土流失急剧发展,大部分地区平均每年扩展速率 0.5%~3.0%,局部地区大于 5%;土地沙漠化迅速发展,年平均扩展速率 1.1%~3.5%;土地盐渍化缓慢发展。

10. 地质灾害对社会经济的危害

地质灾害对社会经济既具有十分严重的直接破坏作用和间接破坏作用,又具有广泛的深远危害。直接破坏作用主要表现为地震、崩滑流等突发性地质灾害不仅造成大量人口伤亡,而且严重破坏城镇和房屋、铁路、公路、水库、电站、矿山等工程安全,造成严重的财产损失;间接破坏作用主要表现为影响城市发展和工业、农业、交通运输、电力工业等,造成巨大的经济损失;深远危害主要是水土流失、土地沙漠化、土地盐渍化等灾害严重破坏土地资源、水资源、生物资源和生态环境,导致当地居民生活、生产条件恶化,严重削弱区域社会经济可持续发展能力。

11. 地质灾害形成条件与区域背景

通过对洒勒山滑坡、甘肃白银露天矿滑坡、兰州市泥石流和黄河刘家峡-龙羊峡河段崩塌、滑坡、泥石流等典型地质灾害调查研究和区域地质灾害综合分析,认为黄河上游地区地质灾害是在多种因素综合作用下发生、发展的,岩土性质、地质构造和地形地貌等因素是地质灾害形成与发展的基础条件;断裂活动、地震、暴雨、融雪、洪水与人为活动等因素是地质灾害形成与发展的动力条件或激发条件。在该区地质灾害活动中自然条件(包括地质、地形地貌、气候水文等条件)控制了地质灾害的区域分布和时间演化过程,具有主导作用;人为条件(包括耕植、放牧、采樵、挖药、开矿、用水、工程建设以及防治工程等)是地质灾害形成与发展的辅助条件,它可以促进或者抑制某些自然活动过程,并且控制某些局部性地质灾害活动,但无法改变自然环境和地质灾害的基本规律。新构造运动导致青藏高原隆起和黄土高原的形成,控制了区域地质自然环境、气候环境的演化和地形地貌的形成,为地质灾害的形成和发展提供了物质条件和触发因素,是控制区域地质灾害形成与发展的根本因素。

12. 地质灾害综合区划

综合黄河上游地区的地质灾害类型、发育程度以及地质灾害的形成条件,可以将研究区分为三个灾害区和 13 个灾害亚区,各个灾害区和灾害亚区的地质灾害特点与形成条件有显著差异。北方区——气候干旱、风力侵蚀活动强烈,活动断裂发育,以土地沙漠化、土地盐渍化和地震灾害为主,区内分为 5 个灾害亚区;中部区——活动断裂发育,分布有大面积黄土,地形起伏切割剧烈,以地震、崩滑流、水土流失灾害为主,区内分为 4 个灾害亚区;西北边缘和南部区——活动断裂比较发育,为高山、高原,气候寒冷,以冻融灾害为主,区内分为 4 个灾害亚区。

地质灾害分区格局是地质条件、地貌条件、气候条件、社会经济条件以及区域地质自然环境的综合反映。

13. 地质灾害风险评价

地质灾害风险研究是近年来兴起的一个越来越受到重视的新领域,是指地质灾害活动及其对人类破坏损失的可能。它所反映的是发生地质灾害的可能机会与破坏损失程度,是地质灾害自然属性和社会经济属性的综合反映。

本项目调查研究了国内外有关自然灾害风险评价的最新进展,深入分析了地质灾害风险的主要特征、地质灾害风险构成与基本要素,提出地质灾害风险评价的目的是清晰地反映评价区地质灾害总体风险水平与地区差异,为指导国土资源开发、保护环境、规划与实施地质灾害防治工程提供科学依据。地质灾害风险评价主要内容包括地质灾害危险性分析、易损性分析和期望损失分析三个方面。地质灾害风险评价根据灾种可分为单灾种风险评价和多灾种综合风险评价两种类型。根据评价范围或面积,可分为点评价、面评价、区域评价三种类型。在此基础上建立了地质灾害风险评价的指标体系、地质灾害风险评价的步骤与方法,建立了一个以 Mapinfo 平台为基础,并以 Foxpro 为数据库为辅的计算机地质灾害风险评价系统。完成了西宁-兰州-天水地区崩滑流地质灾害风险评价和黄河上游地区崩滑流地质灾害风险评价。在西宁-兰州-天水地区的评价结果中,兰州市为高风险区,西宁市、秦安县和甘谷县为较高风险区,中度风险区有 18 个县市,较低风险区有 17 个县市,低风险区为同仁县。高风险区和较高风险区均为重度-较重度危险区和高易损区。在黄河上游地区的评价结果中,不同地区崩滑流地质灾害风险程度相对差异较大,总体分布特点是中部地区较高,北部和南部较低。高风险区为兰州市、西宁市、临夏市;较高风险区为石嘴山市、秦安县、广河县、天水市、庄浪县;其它地区为中等风险区、较低风险区和低风险区。

14. 区域稳定性评价

在综合研究内外动力地质作用、表层场地特征和地壳结构特征的基础上,选择地震活动、活动断裂、地应力、地壳或岩石圈结构、崩滑流地质灾害的危险性和场地岩土体的性质作为黄河上游地区区域稳定性评价的六种因素,然后将研究区按经度 $10'$ 和纬度 $10'$ 划分成 2300 个单元网格,对每个单元的每个因素,均按照稳定、基本稳定、比较稳定、较不稳定和不稳定五个等级进行单因素评价和分区,在单因素评价的基础上,根据各因素对区域稳定性的影响程度进行区域稳定性综合评价。评价结果显示,黄河上游地区区域稳定性受新构造活动所控制,稳定区占 7.04%,基本稳定区占 27.61%,较稳定区占 43.17%,较不稳定区占 18.92%,不稳定区占 3.26%。不稳定区主要分布在河套的呼包凹陷、临河凹陷,南北带的银川-平罗一带、中宁附近、海原-固原一带、六盘山地区和天水-武山一带,以及化隆-民和之间、贵德附近和花石峡一带。较不稳定区主要沿河套断陷、南北带的银川-六盘山一线、海原断裂带、秦岭北缘和花石峡-玛沁一线分布。稳定区和基本稳定区主要分布在鄂尔多斯、阿拉善地块、兰州盆地和共和-贵南一带。

参加本项目的研究人员有马寅生、廖椿庭、张业成、吴满路、张春山、赵志中、施炜、张岳桥、蒋复初、王红才、曾庆利、徐刚、乔子江。项目实施过程中,地质力学研究所区明益研究员参加了地应力测量工作,国土资源部实物地质资料中心的胡景江、高庆昭、张智慧、赵立永参与了地质灾害部分的研究工作。在项目研究过程中,项目负责人马寅生与美国纽约州立大学巴佛罗分校地震工程研究中心 P.J. Barosh 教授合作进行了“渭河盆地、鄂尔多斯西缘活动

断裂研究”,通过合作加深了对黄河上游地区新构造运动的认识。

本书共分十三章,前言、第一章、第四章、第五章、第六章由马寅生编写,第二章由马寅生、曾庆利编写,第三章由施炜编写,第七章由马寅生、张春山、廖椿庭、吴满路编写,第八章、第十一章、第十二章由张业成、张春山编写,第九章、第十章由张业成、张春山、马寅生编写,第十三章由马寅生、张春山编写。最后由马寅生负责统稿,排版、插图清绘由施炜、曾庆利、杜建军负责完成。

三年来,在中国地质调查局、中国地质科学院和地质力学研究所各级领导的关怀下,在陈庆宣院士、崔盛芹教授、吴锡浩研究员和易明初研究员的指导下,项目组成员努力工作,紧密配合,团结协助,圆满完成了本项目的研究任务。

在研究过程中,得到了中国地质科学院副院长董树文研究员,地质力学研究所所长杨万来,副所长赵越研究员、吴珍汉研究员,地质力学研究所科技处赵志中处长、雷伟志、白嘉启副处长的指导、支持和关怀,在野外工作中得到甘肃省地质矿产开发局罗建民、徐军、段永民高级工程师、陕西省地质调查院齐文副院长、地调局西北项目办杜玉良、赵玉杰高级工程师、援藏基金会黄京主任、甘肃省统战部秦耀处长、甘南州地矿局尕尔英局长、夏河县地矿局、碌曲县地矿局、玛曲县政府等方面的热心帮助,在有限单元计算中得到谭成轩研究员的帮助,在样品测试分析中得到地质力学研究所古地磁实验室杨振宇、孙知明、赵越、任小娟、第四纪实验室刘科、ESR 实验室吴乃芬,国家地震局地质研究所 ^{14}C 实验室尹金辉、刘粤霞、郑勇刚、孢粉实验室严富华、麦学舜、光释光实验室陈杰、张克旗,中国地质科学院环境地质开放实验室申建梅、王成敏等的协助和支持,在此一并对他们表示衷心感谢。

目 录

前 言

第一章 黄河上游地区前新生代地质背景	(1)
第一节 自然地理与社会经济概况	(1)
第二节 前新生代地质概况	(2)
第三节 前新生代构造演化	(8)
第二章 黄河上游地区地球物理场和岩石圈三维结构	(14)
第一节 地球物理场基本特征	(14)
第二节 地球物理测深剖面	(22)
第三节 岩石圈结构特征	(28)
第三章 黄河上游地区新生代地层	(33)
第一节 古近系	(33)
第二节 新近系	(37)
第三节 第四系	(40)
第四章 黄河上游地区活动断裂	(44)
第一节 活动断裂的几何学特征	(44)
第二节 活动断裂运动学特征	(71)
第三节 古近-新近纪活动断裂及新生代断裂演化	(77)
第五章 黄河上游地区新生代构造隆升与新构造运动阶段划分	(81)
第一节 古近-新近纪的隆升和夷平	(81)
第二节 3.4Ma 以来隆升的阶段性的	(84)
第三节 新构造运动方式和时间序列	(88)
第六章 黄河上游地区新生代环境变化	(92)
第一节 黄河源地区 1000 年来环境变化研究	(92)
第二节 共和盆地剖面第四纪环境变化研究	(100)
第三节 古近-新近纪环境变化	(113)
第七章 黄河上游地区构造应力场	(118)
第一节 现今地应力测量	(118)
第二节 构造应力场有限单元模拟	(124)
第三节 构造应力场光弹实验模拟	(128)
第八章 黄河上游地区地质灾害基本特征及其对社会经济的危害	(136)
第一节 地质灾害发育程度与时空分布特征	(136)
第二节 地质灾害对社会经济的危害	(153)
第九章 黄河上游地区地质灾害形成条件与区域背景	(158)
第一节 地质灾害基本要素与控制条件	(158)
第二节 主要地质灾害活动的动力条件与影响因素	(160)

第三节	地质灾害形成与发展的区域背景	(171)
第十章	黄河上游地区崩滑流典型灾害分析	(179)
第一节	黄河刘家峡-龙羊峡河段崩滑流地质灾害	(179)
第二节	洒勒山滑坡	(188)
第三节	甘肃白银露天矿滑坡	(192)
第四节	兰州市泥石流	(194)
第十一章	黄河上游地区地质灾害综合区划与分区特征	(201)
第一节	地质灾害综合区划的目的原则与依据	(201)
第二节	地质灾害分区特征	(202)
第十二章	黄河上游地区区域地质灾害风险评价	(211)
第一节	区域地质灾害风险评价的理论与方法	(211)
第二节	黄河上游地区崩滑流地质灾害风险评价	(219)
第三节	西宁-兰州-天水重点地区崩滑流地质灾害风险评价	(247)
第十三章	黄河上游地区区域稳定性评价	(263)
第一节	影响地壳稳定性因素分析	(263)
第二节	区域稳定性单因素评价	(265)
第三节	区域稳定性综合评价	(272)
	图版及图版说明	(276)

第一章 黄河上游地区前新生代地质背景

第一节 自然地理与社会经济概况

一、自然地理概况

黄河上游地区是指黄河源头至内蒙古托克托县河口镇的黄河上游流域全区(图 1-1),面积 $38.6 \times 10^4 \text{km}^2$, 占整个黄河流域面积 $75.2 \times 10^4 \text{km}^2$ 的 51.3% (水利部黄河水利委员会, 1989)。黄河上游河段主流长 3472km, 支流水系主要有多曲、热曲、拉多曲、白河、黑河、曲什安河、隆务河、大夏河、洮河、湟水(大通河)、庄浪河、祖厉河、清水河、苦水河、都思兔河、大黑河等^①。此外,研究工作还涉及黄河中游的渭河上游地区。

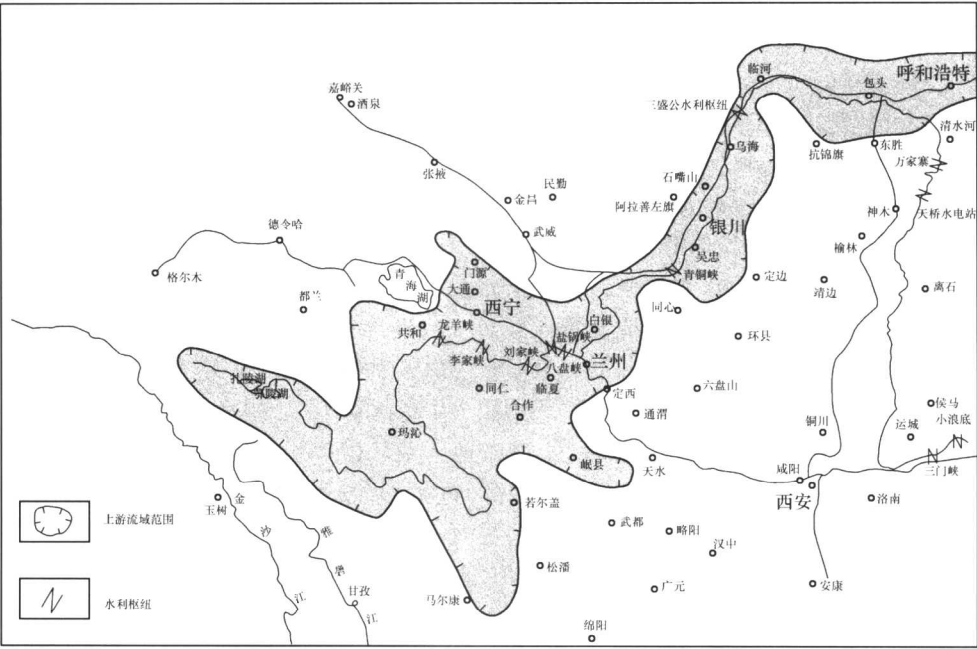


图 1-1 黄河上游流域范围及交通位置图

研究区海拔高程均在 1000m 以上,最高超过 5000m。地形起伏比较剧烈,地貌类型多样。兰州以北地区,属鄂尔多斯高原和黄土高原,除六盘山、贺兰山、阴山为侵蚀地貌外,其他为侵蚀的黄土丘陵(梁、峁)和堆积河谷平原。兰州—西宁以南和研究区西北边缘为山地,

① 地质矿产部兰州水文地质工程地质中心,1987,黄河流域环境地质图系总说明书。

分为两种类型:一类是侵蚀山地,分布在阿尼玛卿山以北,主要包括陇中高原及其南缘的西秦岭山脉;另一类型为冰川、冰缘作用的山地,包括祁连山的东缘部分和阿尼玛卿山系与巴颜喀拉山系。研究区除河套平原、宁夏平原比较平坦外,其他地区地形起伏和切割比较剧烈。北部黄土丘陵地区沟壑纵横,南部侵蚀山地地区,峰峦叠嶂,狭谷深邃。

研究区的北部属于中温带大陆性干旱、半干旱气候,西南部属于亚温带、亚寒带高原气候。全年平均气温变化较大,西北大部分地区为 $6\sim 8^{\circ}\text{C}$,西南高山高原地区在 6°C 以下,黄河源头地区最低,平均气温低于 -4°C 。大部分地区年平均降水量为 $150\sim 500\text{mm}$,自西北向东南增加。

二、社会经济概况

按行政区划,研究区包括内蒙古自治区西南部、宁夏自治区大部、甘肃省中部和东部、四川省西北部、青海省东部,共计有25个地(市、盟)、137个县(市、区、旗)。

研究区人口大约2800万,人口密度变化较大:兰州、西宁、银川、呼和浩特、包头地区平均人口密度在 $200\text{人}/\text{km}^2$ 以上;这些城市的城区和近郊区达 $600\sim 1000\text{人}/\text{km}^2$;甘肃中部和东部、宁夏平原、河套平原地区平均人口密度为 $50\sim 100\text{人}/\text{km}^2$;其他地区低于 $50\text{人}/\text{km}^2$;其中青海东南部、四川西北部,平均人口密度只有 $1\sim 10\text{人}/\text{km}^2$ 。

研究区交通以铁路、公路为主,集中在以呼和浩特、包头、兰州、天水、西宁为中心的城市之间。公路密度分布不均,在省会城市和各地级城市之间,公路密度和道路等级比较高,县城和部分乡镇有公路相通,祁连山和黄河源头地区公路稀少。

研究区水能资源丰富,水利工程数量较多,且规模较大。主要有龙羊峡水电站、李家峡水电站、刘家峡水库、盐锅峡水库、八盘峡水库、青铜峡水库、长山头水库,此外还有三盛公水利枢纽和河套灌区、宁夏灌区等。

研究区有耕地大约330万公顷,以旱地为主,由于许多地区发生日益严重的水土流失、土地沙漠化、土地盐碱化,所以耕地质量比较差。农业生产以粮食生产为主,农业种植以小麦、玉米、水稻、谷子、高粱等粮食作物为主,部分地区种植胡麻、棉花、烟草、甜菜等经济作物。研究区草地面积比较广,是我国重要牧区。主要牲畜为羊,其次还有马、牛等。由于气候、土壤条件影响和大部分地区过载放牧,许多地区草场发生退化,畜牧生产受到严重限制。研究区林地面积比较小,主要分布在研究区南部,林木主要为经济林、生态林,其次为用材林。

研究区工业门类比较多,主要有电力、煤炭、石油、化工、有色冶金、建材、机械等,工业企业主要集中在包头—呼和浩特、石嘴山—银川、天水—兰州—西宁一带。

第二节 前新生代地质概况

一、地 层

1. 太古宇

黄河上游地区出露的最老地层是太古宙变质岩,主要分布在大青山-狼山地区、阿拉善地块北部(内蒙古自治区地质矿产局,1991)和贺兰山北部地区(宁夏回族自治区地质矿产

局,1990),钻井和地球物理资料显示鄂尔多斯地块基底、河套盆地基底和银川盆地基底均有太古宇发育(张福礼等,1994;),包括贺兰山北段的贺兰山群,大青山、乌拉山、狼山地区的集宁群、乌拉山群,千里山、桌子山地区的千里山群和阿拉善地区的下阿拉善群。主要由一套中深变质的矽线石石榴子石黑云斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩、黑云变粒岩、大理岩和石英岩组成,构成华北克拉通的基底。

2. 元古宇

元古宇在黄河上游地区有两种情况。其一是分布在华北克拉通上的元古宇,主要分布在大青山、乌拉山、狼山、贺兰山、鄂尔多斯、阿拉善等地,古元古界变质较深,下部以各种片麻岩、片岩和变粒岩等为主,多含有磁铁石英岩和磁铁矿层,上部以千枚岩、片岩和大理岩为主。中、新元古界区域变质程度较浅或者没有变质,保存有较多的原始沉积特征,含有大量的碳酸盐岩地层和叠层石(内蒙古自治区地质矿产局,1991;宁夏回族自治区地质矿产局,1990)。中元古界为长城系和蓟县系,新元古界为青白口系,普遍缺失震旦系。长城系总体上是一套浅变质的海相碎屑岩,主要为石英岩、石英砂岩、粉砂质板岩、板岩和少量砾岩。蓟县系总体上是一套浅海相碳酸盐岩,主要为白云岩、叠层石白云岩、夹含有硅质条带和结核的白云岩、泥质白云岩。青白口系为碎屑岩和碳酸盐岩交互沉积的环境,下部为各类杂色板岩、变质粉砂岩,夹少量泥灰岩,上部为硅质板岩和白云岩互层。第二种是华北克拉通西南增生地体上的元古宇,主要分布在中祁连山和柴达木盆地周边,在东昆仑山南坡和西秦岭仅有零星出露。其主要特征是除震旦系为未变质的粗碎屑岩-碳酸盐岩外,古元古界和中、新元古界长城系-青白口系均经受区域变质作用。古元古界变质较深,以角闪岩相变质为主,主要由一套片麻岩、角闪岩、大理岩、片岩及石英岩、千枚岩组成。中、新元古界变质较浅,形成绿片岩相变质岩。长城系为石英岩-砂泥质岩沉积,蓟县系为碳酸盐岩沉积,青白口系为砂泥质岩沉积。

3. 古生界

古生界在黄河上游地区广泛发育,在华北克拉通上,古生界发育寒武系、下中奥陶统、中上石炭统和二叠系,缺失上奥陶统-下石炭统(内蒙古自治区地质矿产局,1991;宁夏回族自治区地质矿产局,1990;陕西省地质矿产局,1989)。下古生界为一套浅海相碎屑岩和碳酸盐岩沉积,上古生界以海陆交互相碎屑岩为主,夹有碳酸盐岩沉积和煤系地层沉积。属于稳定环境下的盖层沉积。华北克拉通西南增生地体上的古生界发育完整,各时代地层均有发育,下古生界以海相碎屑岩、碳酸盐岩和海相中、基性火山岩沉积为主,上古生界以海陆交互相碎屑岩沉积为主,泥盆系底部在祁连山地区发育陆相红色磨拉石建造(甘肃省地质矿产局,1989;青海省地质矿产局,1991;陕西省地质矿产局,1989)。

4. 中生界

黄河上游地区中生界发育齐全,三叠系、侏罗系、白垩系均有出露。三叠系在南祁连和秦岭以北为陆相红色河湖碎屑岩沉积,以南中下三叠统为海相复理石沉积和碳酸盐岩沉积,上三叠统为海陆交互相碎屑岩沉积。侏罗系和白垩系全区为陆相河湖沼泽相沉积,岩性主要为陆源碎屑岩,侏罗系普遍夹有煤系地层,白垩系底部普遍发育磨拉石沉积和粗碎屑岩沉积(内蒙古自治区地质矿产局,1991;宁夏回族自治区地质矿产局,1990;陕西省地质矿产局,1989;甘肃省地质矿产局,1989;青海省地质矿产局,1991)。

二、岩 浆 岩

黄河上游地区岩浆活动始于太古宙,止于新生代,火山喷发和岩浆侵入均有发生,但岩浆活动分布很不均匀。鄂尔多斯地块和阿拉善地块内部没有岩浆活动出露,岩浆活动主要分布在阴山、祁连山、西秦岭、东昆仑、阿尼玛卿山和巴颜喀拉山等构造带上。

在华北克拉通北缘的阴山地区,岩浆活动分为三个大的阶段,太古宙—古元古代克拉通基底发育时期,中元古代—古生代克拉通盖层形成阶段和中新生代陆内造山作用阶段。岩浆活动沿狼山—色尔腾山—大青山一线呈近东西向展布,与区域构造线方向一致。太古宙的岩浆活动一方面有多次中基性岩浆喷溢,形成集宁群、乌拉山群、千里山群和下阿拉善群的原岩物质;另一方面发育中酸性岩浆侵入和硅铝质物质重熔,形成混合花岗岩。侵入岩的岩性主要为石英闪长岩和二长花岗岩。混合花岗岩主要分布在包头市以北和以东的柳林沟、根皮敖包、大庙和老爷山一带,乌海市东北的桌子山北端和阿拉善左旗迭布斯格东北等基底岩系出露区,分别赋存于乌拉山群、千里山群上部和下阿拉善群上部(内蒙古自治区地质矿产局,1991)。古元古代的岩浆活动有中性岩浆喷溢和中酸性岩浆侵入和混合岩化作用,岩性主要有混合花岗岩、闪长岩和花岗岩。中元古代早期岩浆岩主要为酸性岩浆侵入,主要岩性为斜长花岗岩、花岗闪长岩和花岗岩,中元古代晚期岩浆活动除酸性岩浆侵入外,中基性和基性—超基性岩浆侵入也比较发育,岩性有花岗岩、花岗闪长岩、石英闪长岩、闪长岩和零星分布的基性—超基性岩类。新元古代—古生代岩浆活动微弱,仅在与兴蒙褶皱带接触带附近有少量加里东期和海西期中酸性岩浆侵入。阴山地区岩浆活动在中生代印支、燕山期主要表现为沿乌拉特前旗—呼和浩特深断裂、狼山—色尔腾山南缘深断裂的酸性岩浆侵入。

贺兰山、桌子山地区岩浆活动相对较弱,可分为太古宙—古元古代、中生代两期,太古宙—古元古代岩浆活动主要表现为太古宙的混合岩化作用和早元古代末期的酸性岩浆侵入,形成太古宙贺兰山群、千里山群的混合花岗岩和早元古代末期黄旗口黑云斜长花岗岩体(内蒙古自治区地质矿产局,1991;宁夏回族自治区地质矿产局,1990)。中生代的岩浆活动仅在贺兰山北段发育基性玄武岩喷发,形成时代为晚三叠世,火山岩在上三叠统顶部,全岩 K-Ar 法同位素年龄值为 $229 \pm 15\text{Ma}$ 。

祁连山地区的岩浆活动虽然从元古宙至新生代均有发育,但主要以早古生代岩浆作用为主(甘肃省地质矿产局,1989;青海省地质矿产局,1991)。元古宙火山岩以古元古代和长城纪较发育,震旦纪次之,蓟县纪火山岩呈夹层产出。岩石类型除超基性岩外,基性至酸性熔岩—火山碎屑岩均有发育。由于经受多次构造运动和变质作用,已成为变质程度不同的变质火山岩。元古宙侵入岩主要分布在马衔山一带,岩石类型为花岗岩。早古生代岩浆活动非常强烈,且沿断裂带展布。在寒武纪、奥陶纪和志留纪地层中发育多个从基性—中基性—酸性的海底火山喷发旋回,岩石类型主要为火山熔岩和火山碎屑岩。与强烈的海底火山喷发相对应,早古生代的侵入岩也很发育,岩性以酸性岩为主,中性岩次之,此外还发育大量的基性、超基性侵入岩。晚古生代岩浆活动大为减弱,火山活动仅在北祁连山东段民乐至景泰一线泥盆纪有小规模火山喷发,一般呈夹层或透镜状产于下一中泥盆统内,为一套杏仁状玄武岩及其凝灰岩。侵入岩仅在清水、静宁、秦安等地有零星分布,岩石类型主要为花岗岩。中生代岩浆活动微弱,火山岩很少,侵入岩主要发育在祁连山东段与秦岭构造带相接的清水一带,岩性主要为花岗岩。新生代的岩浆活动也仅在清水南边见一个小的石英二长岩体和

一个小的正长岩体。

西秦岭地区的岩浆活动与祁连山地区有所不同,岩浆活动以中生代岩浆作用为主(甘肃省地质矿产局,1989;陕西省地质矿产局,1989)。元古宙岩浆岩活动主要表现为碧口地区碧口群的火山岩,主要是基性—中基性熔岩、酸性熔岩、火山碎屑熔岩和火山碎屑岩。早古生代岩浆活动主要分布在水天以东,凤县以北,陕西和甘肃交界地区,以奥陶纪和志留纪火山活动为主,为一套以中酸性火山岩为主的海底喷发的火山熔岩和火山碎屑岩,侵入岩很少。晚古生代西秦岭地区岩浆活动微弱,未发现有火山活动,侵入岩分布零星,岩性变化较大,基性、超基性岩主要沿西秦岭北缘深断裂分布。中生代岩浆活动强烈,既有强烈的火山喷发,又有大量的岩浆侵入。火山岩岩石类型以中酸性熔岩为主,中基性火山岩和中酸性火山碎屑岩次之,超基性和碱性火山岩及潜火山岩较少。侵入岩岩石类型包括超基性岩、中性岩及酸性岩,以酸性花岗岩最发育。岩浆活动与区域构造线方向一致,构成近东西向岩浆岩带。新生代岩浆活动很弱,仅在西和县西南发育十余个潜火山岩体,在陕西甘肃交界处东岔河发育一个石英正长岩岩体。

东昆仑地区岩浆活动非常发育(青海省地质矿产局,1991;中国地质科学院成都地质矿产研究所,1988)。元古宙表现为中基性火山喷发,岩性主要有蚀变玄武岩、凝灰岩、凝灰质砂岩和凝灰质千枚岩等。侵入岩有辉长岩、斜长花岗岩和富斜花岗岩,后者以巨型的岩基产出。早古生代岩浆活动主要分布在东昆仑北坡柴达木盆地南缘,以中基性火山岩为主,由晚奥陶世变拉斑玄武岩组成,可划分为两个火山喷发旋回。第一旋回主要是玄武岩。第二旋回由玄武岩、流纹岩、火山碎屑岩组成。早古生代侵入岩较少,仅在东昆仑北坡有少量岩体分布,以酸性岩为主。晚古生代火山活动和岩浆侵入与早古生代正好相反,火山岩分布较少,侵入岩大量分布。火山岩主要分布在柴达木盆地南缘中、西段,产于上泥盆统陆相—海陆交互相岩系中上部。中部以中、基性熔岩为主,上部以中—酸性熔岩及火山碎屑岩为主。晚古生代侵入岩非常发育,超基性岩主要沿布尔汗布达山分布,构成一近东西向的超基性岩带。中—酸性侵入岩往往组合成巨大的复合岩体和复合岩带,柴达木盆地南缘近东西向展布,早期岩石类型单一,岩性主要为石英闪长岩、花岗闪长岩和二长花岗岩;晚期岩石类型复杂,有闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、斜长花岗岩、富斜花岗岩、二长花岗岩、花岗岩、钾长花岗岩以及正长斑岩等。中生代东昆仑既有强烈的火山喷发又有大量的岩浆侵入。火山活动主要发生在印支期,早—中三叠世为海相喷发,晚三叠世为陆相喷发。早—中三叠世火山岩集中分布在柴达木东缘东昆仑与西秦岭和祁连山的结合部,火山岩为钙碱系列的玄武岩—安山岩—英安岩—流纹岩组合,并发育较多的火山碎屑岩,早三叠世火山岩以中基性、中酸性为主,中三叠世以中酸性、酸性为主。晚三叠世陆相火山岩沿东昆仑自西而东,由酸性向基性发展,西段以流纹岩和流纹质角砾岩为主,东段以安山岩和安山质角砾凝灰熔岩为主。侵入岩也主要发育在印支早期,主要是中酸性侵入岩,岩石类型有石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、富斜花岗岩和花岗岩。新生代东昆仑未见岩浆活动。

阿尼玛卿山的岩浆活动比较简单,岩浆活动历史也比较短(青海省地质矿产局,1991;中国地质科学院成都地质矿产研究所,1988)。火山活动主要发生在早二叠世、早中三叠世和侏罗纪。早二叠世火山岩以中—基性熔岩为主,局部有少量火山碎屑岩及中酸性熔岩。早—中三叠世火山岩以海相喷发的中基性—中酸性熔岩为主。侏罗纪火山岩为陆相喷发,主要由中、酸性喷发岩、凝灰岩组成。岩浆侵入活动主要发生在海西期和印支期。海西期侵入