

国家地震局“八·五”计划重点项目成果

财政部行政事业类项目《我国地震重点监视防御区活动断层地震危险性评价》和
科技部公益性行业科研专项《中国地震活动断层探索》联合资助出版

天景山活动断裂带

张维歧 焦德成 柴炽章 等 著



地震出版社

国家地震局“八·五”计划重点项目成果

财政部行政事业类项目《我国地震重点监视防御区活动断层地震危险性评价》和
科技部公益性行业科研专项《中国地震活动断层探索》联合资助出版

天景山活动断裂带

张维歧 焦德成 柴炽章 等 著

地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

天景山活动断裂带/张维歧等著. —北京: 地震出版社, 2015. 1

ISBN 978-7-5028-4573-5

I. ①天… II. ①张… III. ①山—活动带—研究—宁夏 IV. ①P315.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 008903 号

地震版 XM2936

天景山活动断裂带

张维歧 焦德成 柴炽章 等 著

责任编辑: 张友联

责任校对: 凌 樱

出版发行: 地震出版社

北京市海淀区民族大学南路 9 号

发行部: 68423031 68467993

门市部: 68467991

总编室: 68462709 68423029

专业图书事业部: 68721991 68467982

<http://www.dzpress.com.cn>

邮编: 100081

传真: 88421706

传真: 68467991

传真: 68455221

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大天成印务有限公司

版 (印) 次: 2015 年 1 月第一版 2015 年 1 月第一次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

字数: 456 千字

印张: 18.25

书号: ISBN 978-7-5028-4573-5/F (5265)

定价: 80.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

序

被人称为世界屋脊的青藏高原是我国西部，乃至亚洲地区一个现代构造活动和地震活动均极为强烈的地区，它是新生代以来印度板块向北碰撞、俯冲，产生强烈挤压作用的结果。高原构造活动区范围十分广大，其北界已达阿尔金、祁连山北缘和河西走廊一带。北部边界构造带向东仍作北西西向延伸到宁夏南部，止于鄂尔多斯断块以西，并与青藏高原东部南北向边界构造带相会合。所以，青藏高原东北部是一个活动构造十分复杂的地区。

在青藏高原东北部发育了4条活动构造带，由南向北它们是海原活动断裂带、天景山活动断裂带、烟筒山活动断裂带和牛首山活动断裂带，其共同特点是晚新生代以来断裂西段走向北西西向，为左旋走滑断裂，东段转成北北西向乃至近南北向的活动逆断裂及其控制的活动褶皱，且走滑段的走滑量与挤压段的缩短量相互平衡。在海原活动断裂带上曾发生过1920年海原8½级地震，在天景山活动断裂带上发生过1709年7½级地震，此外，在青藏高原东北部还有1561年7¼级地震等。本书就是一部关于天景山活动断裂带最新活动特征及其与大地震关系的专门著作。

早在20世纪60~70年代，宁夏回族自治区地震局及有关部门已经对青藏高原东北部的宁夏南部地区的地质构造及其活动性进行了许多工作。1980年，在银川召开第一次全国活动断裂学术讨论会后，在张维歧等同志的引领下，我和我的同事们对宁夏南部地区的海原活动断裂带和天景山活动断裂带等活动构造进行了初步考查，并选定在这一地区开展走滑型活动断裂与大地震关系研究，通过对一条活动断裂带进行1:50000大比例尺地质填图，完成了对海原活动断裂带的定量研究工作。我们与张维歧等同志共同开展的这一试验研究工作历时长达六七年，最终分别于1988年和1990年出版了海原活动断裂带地质图(1:50000)和专著。与此同时，我们还共同沿天景山断裂、烟筒山断裂和牛首山断裂等进行了程度不同的调查和研究工作，包括1:50000初步地质填图，但工作均有待深入。其后，我们的研究工作重点转向了挤压性构造，工作地区转移到了天山地区。鉴于天景山活动断裂带的重要性，张维歧同志领导的科研团队在国家地震局的支持下，自1988年开始，经过多年的努力，终于在1992年完成了天景山活动断裂带全带的1:50000地质填图和定量研究工作。

我国活动构造和地震地质工作在1966年邢台地震后得到了很大发展，不仅队伍迅速扩大，而且开始了全国性的研究工作。70年代初提出了“由老到新，由浅入深，由静到动，由定性到定量”的指导思想和基本工作原则，并开始贯彻于调查研究工作之中。通过海原活动断裂带的研究，形成了利用活动构造大比例尺地质填图开展活动构造定量研究，逐渐深入地活动构造带的几何学、运动学和动力学及其与大地震关系进行研究，包括对活动构造

带的结构、演化历史、分段活动特征、运动学参数及其变化、古地震及其重复间隔、大地震发震构造和震源断裂破裂特征、地震原地复发模型、大地震危险性和危害性、活动断裂未来错动量等方面的工作。可以说,经过几十年的发展,我国活动构造研究已进入定量研究阶段,定量活动构造学已初步形成。目前,虽然它在许多方面还存在一定的不确定性,但活动构造的定量研究技术及其取得的各种参数,已经广泛应用于工程安全性评价,城市环境安全性评价和地震重点监视防御区发震断裂研究等许多方面,从而与社会经济发展和防震减灾密切相关。

天景山活动断裂带大比例尺地质填图与地震重复性研究是我国自“八·五”计划以来开展的主要活动断裂带 1:50000 地质填图项目的一部分,虽然由于多种原因,这一重点项目在一定时期内有所停顿,但现今又得以恢复和发展,在全国地震重点监视防御区中的许多活动构造带上加紧进行。作为该重点项目中的一项主要工作,天景山活动断裂带野外调查和填图工作进行了三年有余,工作中对断裂带的结构和分段特征、活动断裂走滑段的变形和运动学参数、挤压段的变形和缩短量及两者的转换平衡关系,开展了全面的研究;特别是在断裂带东南段庙山活动褶皱带开展了专门性工作;获得了各段断裂在晚第四纪以来的位移量、位移年龄及位移速率;通过多个探槽开挖及多探槽古地震事件的对比,识别了古地震事件及其复发间隔;对 1709 年 7½ 级地震及地表破裂带的分布、同震位移量等进行了实测;对天景山活动断裂带上大地震的活动及其与青藏高原东北缘构造应力场的关系和动力学背景进行了分析和讨论;对活动断裂带不同断裂段的地震危险性进行了评估;由于拟建的黄河黑山峡大柳树水利枢纽坝址位于断裂带西段附近,作者还立足于在天景山活动断裂带上所取得的实际资料,对工程坝址的安全性问题进行了讨论。本书这些十分丰富的内容反映了作者们杰出的工作,所取得的实际资料为地震危险性判定和工程安全评价打下了良好的基础,并已被应用于实际工作中。遗憾的是,由于十分特殊的原因,与“八·五”期间许多项目一样,本书的成果虽然早已得到广泛的应用,但却未能及时出版。为此,我们一直深感遗憾。好在现在本书能得以走出资料库,以便这些可贵资料和成果更广泛地得到应用,这仍然是可喜可贺的。

在此谨向可敬的作者和可爱的读者致以衷心祝贺,往日并肩行进于崇山峻岭的时刻,至今记忆犹新,宝贵的劳动成果得以更好地发挥作用更是可喜可贺。

中国科学院院士

邓志华

二〇一二年十一月二十六日

前 言

天景山活动断裂带地质填图是国家地震局大比例尺地质填图和定量研究项目——活动断裂研究中的一个，该项目是国家地震局“八·五”计划中一个重点项目，由宁夏地震局承担。从1989年开题至1992年上半年，用三年半的时间开展野外工作，然后用一年多的时间，对资料进行分析、研究和总结，最后撰写本专著。

天景山活动断裂带是青藏高原东北部一系列活动断裂中的一条。该断裂位于宁夏回族自治区的中、南部，西起中卫县的西梁头附近，向东南经中宁、同心和海原三县，止于固原县李旺以南，总长200余千米。地貌上，断裂带的南西侧为香山、天景山和同心西山等中低山脉，海拔高度在1500~2300m之间；其北东侧为（中）卫（中）宁盆地，地面海拔高度在1300~1400m。在盆地与山地之间以及盆地内部，分布着许多活断层，总体上构成一个向北东突出的弧形地貌带。地质构造上，该断裂带位于祁连山地槽褶皱区与阿拉善地块之间的走廊过渡带东端。处于青藏高原的东北边缘，其东紧邻鄂尔多斯地块，北靠阿拉善地块，是三个地块之间的一条特殊的构造边界，以发育一组向北东突出的弧形构造为特色。第四纪以来，这些弧形断裂带表现出强烈的挤压及左旋走滑运动，区别于其北部银川盆地内的正走滑活动断裂。

黄河在本区以北东方向穿越黑山峡，过天景山活动断裂带后，流经中卫、中宁盆地。盆地环境独特，自古以来，农业发达，人口密集，素有“塞上江南”的美称。地下埋藏有丰富的石膏、煤炭等矿产资源。黄河塑造了长达48千米的黑山峡，其出口附近是拟建的大型水利枢纽工程——大柳树坝址所在位置。包兰铁路横卧工作区之北，宝中铁路穿行于研究区之东。区内公路纵横，且有水运之利，故交通方便。中卫沙坡头位于腾格里沙漠的南缘，沙漠研究人员通过近三十年的努力，遏制了沙漠南进，实现了人进沙退的伟大壮举，确保了包兰铁路的畅通。其治沙经验闻名中外，并已成为独具特色的沙漠旅游区。如今，

这里的回汉族人民正以他们的勤劳和智慧谱写着使大自然朝良性环境变化和社会历史进步的新篇章。对于地质和地震学家来说,吸引力更大的莫过于该区发育的活断层及其伴生的次生灾害。据历史记载,区内6级以上地震曾发生过2次。其中1709年中卫南7½级大地震,塌民房两千余间,倒城墙六百六十余丈,压死男妇两千余口。1852年以来,本区虽无大地震,但中小地震时有发生。对未来地震活动趋势作如何估计?潜在震源如何划分?对这些问题的回答有赖于对活动断裂的深入研究。尽管这些问题十分复杂,但努力揭示活动断裂的现今活动特征与规律性,对防震减灾、地质灾害评价具有重要意义。

纵贯我国中部的南北构造带和绵延东西的秦岭—祁连构造带将我国划分为四个象限,青藏高原与华北块体互为对角。与青藏高原不同,华北地区不是一个强烈的挤压区,而是一个具有强烈拉张和走滑拉张活动的构造区(邓起东,范福田,1980)。已有的研究表明,青藏高原的隆起和推挤对华北构造活动有明显的控制作用和强烈影响(邓起东,尤惠川,1985;汪一鹏,1986)。因而,研究青藏高原东北边缘弧形断裂带的活动特征具有重要的地壳动力学意义。

在宁夏南部,由北向南依次分布有牛首山—罗山、烟筒山、天景山和海原四条活动弧形断裂带。它们都处在同一个构造部位,在演化历史、变形机制、几何学和动力学等方面存在着很大的相似性。但是,在规模和活动强度等方面,却存在着一定的差异性,并呈现有规律的由南向北逐渐减弱,这些都是与青藏高原的隆起密切相关的。历史上,上述断裂带发生过1561年7¼级、1622年7级、1709年7½级和1920年8.6级大地震,更说明了青藏高原东北边缘地区正经历着强烈的现代构造活动。为了对青藏高原东北部现今构造活动有一个全面的了解,更深入地认识这一地区的构造活动、地震活动及两者的相互关系,在完成了海原活动断裂带研究之后,再对天景山活动断裂带开展详细的研究是十分必要的。通过这两条活动断裂带的对比分析,可以总结出本地区活动断裂带的几何学、运动学特征与规律性,这将对青藏高原动力学及华北地震活动和构造活动的进一步分析起到积极作用。同时,也为本区潜在震源区划分及大震危险性的估计提供重要依据,为地震区划和工程地震服务。

本区早期的地质和地震研究工作开始于20世纪20年代。1920年12月16日海原大地震发生后几个月,翁文灏等6人就到灾区进行了实地调查,留下了一份具有很高科学价值的地震考察记录(翁文灏等,1922)。解放后,围绕着资源调查和工程建设,在本区开展了大规模的地质测量、地球物理勘探与钻探工作。60年代末至70年代初,甘肃、宁夏两省(区)的地质部门先后完成了本

区的1:20万区域地质测量,编制了本区1:50万~1:100万地质图、构造体系图等基础图件,积累了系统、丰富的地质资料。煤炭和石油地质工作对了解区内的构造特征也做出了有益的贡献。为了适应工程设防的需要,地震的研究工作早在20世纪50~60年代就已正式起步。1958年,李善邦先生编辑出版了我国第一部中国地震目录,绘出了第一张1709年地震的等震线图,确定其震中烈度为IX~X度,震级为 $7\frac{1}{2}$ 级。1960年,韩源对南北地震带北段的地震地质特征第一次作了具体的分析;1965年中国科学院西北分院地震考察队、1970~1974年兰州地震大队天水地质考察队,都对1709年10月14日中卫南 $7\frac{1}{2}$ 级地震做过工作,圈划了该次地震等震线图,并首次确定了极震区烈度为IX度。

自20世纪70年代末期以来,我国的地震地质工作者在许多断裂带上开展了活动断裂研究,并越来越重视第四纪晚期以来的活动断裂的由定性到定量、由静到动的不断发展演化的研究,同时积极开展全新世古地震及断裂分段性的研究。1980年在宁夏召开的全国活动断裂与古地震学术讨论会对此起到了很好的推动作用(中国地震学会地震地质专业委员会,1982)。1981年,贾云鸿等6人首先发现了1709年中卫南 $7\frac{1}{2}$ 级地震地表破裂带,并指出了该地震的宏观震中位于碱沟一带。1984~1986年,在国家地震局地质研究所和宁夏地震局联合对“鄂尔多斯周缘活动断裂系”西南边缘弧形断裂束的研究中,对天景山断裂带中段第四纪活动特征进行了调查,包括沿其中段进行1:5万地震地质填图、第四纪活动历史和活动特征的综合研究,指出了1709年地震地表破裂带的表现形式、延伸范围,测定了第四纪以来的最大左旋走滑位移量为3.2km(张维歧,1986;张维歧等,1988;国家地震局鄂尔多斯周缘活动断裂系课题组,1988)。1986年,闵伟曾沿这一条断裂带东南段进行了1:5万初步地质填图工作,对该段断裂的几何结构、运动学特征等进行了综合性研究(闵伟,邓起东,1991)。值得指出的是,自1983年以来,围绕着黄河黑山峡、大柳树坝址的地震安全性评价问题,宁夏地震局和宁夏地矿局、兰州地震研究所、国家地震局地质研究所、国家地震局分析预报中心等七个单位先后开展工作,从不同角度对天景山断裂带(主要是西段)进行过研究,汇集了丰富的资料。尤其是古地震研究方面,开挖了多个探槽,获得了系统和大量的古地震资料。其中汪一鹏等(1990)还根据断裂带活动性等资料对其进行了分段研究。可以说,近十余年来,天景山活动断裂带的地震地质研究工作有了长足的进展,为地震烈度区划和工程地震提供了重要的资料和认识。

1987年,在完成海原活动断裂带1:50000地震地质填图和综合定量研究后,

使我们更加认识到青藏高原东北部主要活动断裂的研究具有重要的理论和实际意义。为此,“海原活动断裂带”课题组认为,有必要对其余三条活动断裂即天景山、烟筒山和牛首山活动断裂带进行专题研究,并向国家地震局提出了申请。1989年春,国家地震局震害防御司以[89]震科合字第010号合同书的形式,给宁夏地震局下达了完成“天景山活动断裂带1:50000地质填图及地震重复性初步研究”的课题,并以重点研究课题的方式,进行了三年半的地质填图及研究,1990年该课题并入国家地震局八·五计划重点项目之中。

本课题是在前人研究成果的基础上,开展了沿天景山活动断裂带以1:50000地质填图为中心的活动断裂研究。课题组由张维歧、焦德成和柴炽章组成,张维歧为课题负责人。闵伟、王增光和廖玉华参加了部分野外工作。1988年,主要进行前期准备工作,收集分析前人资料,对工作区内的1200张1:48000和1:38000黑白航空照片进行了判读,并有选择地进行了踏勘,最后确定了整个课题的工作计划与方法。1989年至1992年6月,历时三年半,开展并完成野外工作。按先易后难的顺序,1989年首先完成中部李旺—喊叫水、西王团—小洪沟两个段落的地质填图;1990年,完成了小洪沟—双井子的填图任务,同时完成了双井子—西梁头的补充填图工作;1991年至1992年6月完成东南段的地质填图及整个填图区的补充工作。在野外工作过程中,坚持边填图、边揭露(探槽)和边整理的三边工作方法。根据断裂带各段落的复杂性、活动特征和前人工作精度的不同,采用了不同的填图方法。中部第四纪以来尤其是全新世断裂活动现象丰富,并集中在一条狭窄的条带内。因此,在填图中采用追踪法;东南部第四纪以来的新活动以断裂和褶皱活动为主,故采用追踪和穿越相结合的填图方法;西部前人工作基础较好或有的段落已进行了同样比例尺的填图工作,所以,主要以补点为主。为了取得扎实、定量的基础资料,对某些关键地段的典型现象进行了大比例尺的测绘。在三年半的时间内,课题组完成了总长232km的1:50000填图工作。其中天景山断裂带的填图长度127km,宽2~8km。庙山断褶带填图长度105km,宽2~10km;完成地质观测点606个,实测左旋位移值208个,1709年地震左旋位移值37个;1:100和1:500比例尺的局部平板仪测图10处,实测地质剖面5条,开挖探槽20个,采集了与地层及古地震研究相关的孢粉样22个, ^{14}C 和热释光年龄样50个,断层泥黏土成份及颗粒分析样2个,并做了光弹实验。

本专著是对上述工作的全面总结。我们将详细论述通过天景山活动断裂带1:50000填图和前述其他有关工作所获得的实际资料,以及由此得出的认识。第

一章简要介绍了研究区地质概况,包括地层、构造、演化历史、地震活动及新构造等内容。第二章详细讨论了天景山活动断裂带的几何学和运动学特征,附有较多的基础图件及实际资料,从中可以看到该活动断裂带的内部结构、新活动特征等种种表现。在填图区内,实际上有两条构造带。在天景山活动断裂带以南,展布一条规模较小的庙山断褶带。两条构造带不仅在构造变形和活动强度等方面有明显的不同,而且又各自具有一定的独立性。第三章描述了庙山断褶带的展布、构造组合特征、新构造活动表现、与天景山断裂带的关系及其第四纪地壳缩短量。第四章讨论了天景山活动断裂带第四纪以来,尤其是晚更新世以来的左旋走滑位移量和分布,分析确定了位移的年代;用大量的表格及定量数据展示了不同段落、不同时间段的断裂左旋走滑速率。第五章对天景山弧形构造带的演化历史及活动断裂带的形成、发展进行了深入的讨论。重点探讨了该左旋走滑断裂带中的拉分构造、推挤型构造和次级剪切断层纵向上的贯通和横向上的活动迁移,直至最后演化成为如今一条弧形线性走滑断裂带的过程。第六章专题论述了1709年中卫南7½级地震地表破裂带的展布、地震遗迹的类型和地震位移,最后分析了这次地震孕育和发生的构造条件。第七章运用第四章得到的平均滑动速率和第六章给出的1709年地震的最大位移值,计算了天景山活动断裂带全新世以来7级大地震的平均重复间隔。通过断裂带各段探槽剖面的观察和分析,确定了各段的古地震事件的次数、年代、震级大小,获得了各段大地震的实际重复间隔。第八章归纳概括了天景山活动断裂带各段晚第四纪以来活动习性的差异和古地震重复序列特征的差别,结合断裂带的几何学、历史地震地表破裂带的展布及其特性等资料,对该断裂带进行了分段。第九章叙述了天景山断裂带及青藏高原东北部的区域构造应力场特征,在总结该断裂带的运动学特征的基础上,与其他活动断裂进行了对比分析,最后综述了该断裂所在区域的新构造运动学和动力学特征。第十章,黄河黑山峡、大柳树水利枢纽坝址位于天景山断裂带西段的南侧,近几年来,不少单位曾围绕坝址地震安全性评价中的有关地震地质问题开展过专题研究,对其中一些问题至今尚未达成共识。在本课题中,对此亦作为一项重要研究内容。因此,本章以天景山活动断裂带的分段资料为基础,对天景山断裂带的潜在震源区作了划分,依据断裂的结构与规模、历史地震和古地震等资料,对各段未来的地震危险性进行了分析,最后对紧邻坝址的夜明山-小洞山断层(F_7)的地震危险性进行了评价。

本书各章节的执笔人如下:

张维歧：前言、第五章、第六章第七节、第八章；

柴炽章：第一章一至四节、第七节、第三章和第四章；

王增光：第一章第五、六两节；

焦德成：第二章、第六章第一至第六节、第七章；

闵伟、张维歧：第九章；

廖玉华、张维歧：第十章；

张维歧、焦德成：结束语。

《天景山断裂带 1:50000 地质图》和本书插图由焦德成统一编绘；《天景山断裂带 1:50000 地质图》数字化制图由崔瑾完成；全书插图数字化制图由焦德成、杜鹏、崔瑾完成；焦德成对文字部分、《天景山断裂带 1:50000 地质图》及全书插图进行了统一汇总和修改；柴炽章完成了文字输排。

本专著是课题组全体同志的辛勤劳动成果。在课题进行过程中，曾得到国家地震局、宁夏回族自治区地震局有关部门和领导的大力支持和帮助。中国地震局地质研究所邓起东院士在课题立项以及实施过程中提出了许多富有建设性的意见，给予了巨大指导和帮助；国家地震局震害防御司卢寿德、张宏卫、吴建春等同志和国家地震局活动断裂地质填图工作专家组对本课题给予了具体的指导和帮助；国家地震局地质研究所宋方敏、兰州地震研究所杨斌等给本课题提供了有益的资料；国家地震局地质研究所计凤桔和李建平，兰州大学¹⁴C 实验室张宇田等同志在年龄测试方面给予了大力支持；宁夏地震局白铭学、孟广魁和万自成等同志在诸多工作中给予了协助。报告初稿完成后，邓起东、汪一鹏和高维明等填图组专家在百忙中抽出时间审阅并提出了许多宝贵的修改意见，汪一鹏研究员还对文稿进行了具体修改。由于某些特殊的原因，本书一直未能正式出版，现得到财政部行政事业类项目《我国地震重点监视防御区活动断层地震危险性评价》项目和科技部公益性行业科研专项《中国地震活动断层探察》项目及宁夏回族自治区地震局的联合资助，使本书得以出版问世，以服务于各方面的研究和应用工作。对此，我们表示衷心的感谢。

在历时三年半的填图和研究工作中，我们获得了有关天景山活动断裂带的新的宝贵资料，取得了一定的认识，也提出了一些看法。但是，我们所取得的认识还是初步的，讨论问题的深度也有限，难免存在错误和不足之处，敬请读者批评指正。

目 录

第一章 区域地质构造概况	(1)
第一节 区域地层及岩浆活动	(1)
一、区域地层	(1)
二、岩浆活动	(9)
第二节 区域地质演化历史	(9)
一、大地构造位置	(9)
二、前新生代演化简史	(10)
三、新生代古近纪-新近纪演化史	(11)
四、第四纪构造活动史	(13)
第三节 区域地貌概述	(13)
一、北部带状地貌	(14)
二、南部弧形地貌	(14)
第四节 现代地壳变形特征	(16)
一、区域垂直形变场特征	(17)
二、主要活动断裂带的位移	(18)
第五节 区域深部构造环境	(20)
一、区域重力场特征	(20)
二、地壳上地幔电性特征	(21)
三、区域地壳厚度变化特征	(22)
第六节 地震活动特征	(22)
一、地震区、带划分	(22)
二、地震活动基本特征	(23)
第七节 主要活动构造带及其运动学特征	(31)
一、海原活动断裂带	(31)
二、天景山活动断裂带	(34)
三、烟筒山活动断裂带	(34)
四、牛首山-罗山活动断裂带	(35)
第二章 天景山活动断裂带的几何学特征	(40)
第一节 断裂带的空间分布及其地貌特征	(40)
第二节 次级剪切断层	(42)

一、西梁头-红石沟断层 (SF ₁)	(42)
二、孟家湾-粉石沟断层 (SF ₂)	(45)
三、窟窿山-碱沟断层 (SF ₃)	(50)
四、青驼崖-双井子断层 (SF ₄)	(53)
五、寺口子-团部拉断层 (SF ₅)	(55)
六、团部拉-桃山断层 (SF ₆)	(57)
七、杨家河-井家口子断层 (SF ₇)	(59)
八、李家堡子断层 (SF ₈)	(63)
九、次级断层的基本特征	(64)
第三节 岩桥区构造	(66)
一、拉分构造	(66)
二、推挤构造区	(67)
第四节 外围相关断层	(69)
一、孟家湾北断层	(69)
二、下河沿断层	(69)
三、腰岘沟-阴洞沟断层	(70)
四、刘岗井断层	(72)
五、卫星坡断层	(74)
六、蛇腰渠断层	(75)
第三章 庙山断褶带构造特征及其第四纪地壳缩短量	(77)
第一节 庙山褶皱带的组成及其展布	(78)
一、喊叫水背斜	(78)
二、贺家口子背斜	(79)
三、肖家口子背斜	(81)
四、西岭子背斜	(82)
五、黑烟洞山背斜	(82)
六、石峡口背斜	(83)
七、红岭背斜	(84)
八、田子躺背斜	(85)
九、罗泉湾背斜	(86)
十、陈儿山背斜	(89)
十一、大红湾背斜	(89)
第二节 庙山山前斜冲断裂	(91)
一、北段	(91)
二、中段	(91)
三、南段	(93)
第三节 庙山断褶带变形特征及其与天景山断裂带的关系	(99)
一、庙山断褶带的变形特征	(99)

二、庙山断褶带与天景山活动断裂带的关系	(100)
第四节 庙山断褶带形成时代、成因及其第四纪地壳缩短量	(102)
一、庙山断褶带的形成时代及其成因	(102)
二、庙山断褶带的第四纪地壳缩短量	(103)
第四章 天景山活动断裂带的走滑位移及其滑动速率	(106)
第一节 水平位移标志和测量方法	(106)
一、地质体位移	(106)
二、地貌位移标志及其测量方法	(107)
第二节 天景山活动断裂带的水平位移及其分布	(109)
一、地质体位移	(110)
二、地貌位移及其分布	(112)
第三节 天景山活动断裂带的左旋走滑速率	(123)
一、断裂带第四纪平均滑动速率	(124)
二、断裂带晚第四纪水平滑动速率	(125)
第五章 天景山构造带的演化历史及其活动断裂带的形成	(131)
第一节 前新生代构造演化	(131)
一、中卫-同心地区的早期构造变形史	(131)
二、逆冲断裂特征	(133)
第二节 新生代以来的新构造及活动特征	(140)
一、早期挤压活动阶段的构造变形特征	(140)
二、晚期左旋走滑活动阶段的位移标志	(147)
三、断裂力学性质转化的时代	(153)
第三节 天景山活动断裂带的形成与晚更新世晚期以来的活动特征	(154)
一、活动断裂带的发育背景与形成	(154)
二、活动断裂带的发展	(156)
三、断裂带晚更新世晚期-全新世早期和全新世中期以来的活动特征	(160)
第四节 活动断裂带不同段落的力学性质、运动方式与其构造变形特征	(161)
一、活动断裂带不同段落的力学性质与运动方式	(162)
二、活动断裂带的构造变形特征	(163)
三、走滑断裂与其端部挤压构造的转换平衡	(165)
第六章 1709 年中卫 7½ 级地震及其地表破裂带	(167)
第一节 烈度分布	(167)
一、极震区	(168)
二、破坏区 (VI—VIII 度区)	(169)
三、有感区	(170)
第二节 基本参数	(170)
一、宏观震中	(170)
二、震级	(171)

三、震源深度	(172)
第三节 地震地表破裂带的形变遗迹类型	(173)
一、地震沟槽	(173)
二、地震陡坎	(174)
三、地震滑坡和地震土堆	(176)
四、地震断层与水系断错	(176)
五、地震裂缝与鼓包	(176)
第四节 地震地表破裂带的分布	(177)
一、地震地表破裂带的分布范围	(177)
二、地震地表破裂带的分布特征	(178)
三、地震地表破裂带与次级断层及岩桥区的关系	(182)
第五节 1709 年地震位移分布特征	(182)
一、位移判别标志及其位移量的校正	(182)
二、地震最大位移值的确定	(183)
三、位移分布	(184)
第六节 1709 年地震地表破裂带的破裂机制	(188)
一、地震地表破裂带的形成	(188)
二、地震地表破裂带的破裂机制	(189)
第七节 1709 年 7½ 级地震孕育和发生的地质构造条件	(189)
一、1709 年地震发震断层的基本特征	(190)
二、拉分构造区内部张剪切断层与次级走滑断层交会的挤压效应	(190)
三、走滑断裂的运动闭锁是地震孕育和发生的一种机制	(193)
第七章 天景山活动断裂带大地震重复间隔	(195)
第一节 断层滑动速率与大地震平均重复间隔	(195)
一、大地震平均重复间隔的计算方法	(195)
二、大地震平均重复间隔的计算结果	(198)
第二节 天景山活动断裂带古地震事件的确定及大地震实际重复间隔	(199)
一、古地震事件的确定标志	(199)
二、古地震事件的空间分布	(201)
三、古地震事件的时间分布	(211)
四、古地震事件的震级讨论	(213)
第八章 天景山活动断裂带的分段性	(215)
第一节 不同类型分段方法与分段性的研究意义	(215)
一、活动断裂不同类型的分段	(215)
二、活动断裂分段性研究的意义	(216)
第二节 历史地震、古地震事件与断层分段	(217)
一、分段原则与方法	(217)
二、1709 年中卫南 7½ 级地震地表破裂带的特征	(218)

三、探槽剖面分析与古地震重复序列	(220)
四、断裂带分段与各段落活动习性的差异	(223)
第三节 分段界限区的稳定性与断层活动的迁移	(227)
一、分段界限区的特征与地震破裂终止	(227)
二、分段界限区的构造演化与地震破裂的关系	(228)
三、分段界限区的稳定性与断层活动的迁移	(231)
第九章 关于青藏高原东北部地壳动力学问题的讨论	(233)
第一节 区域构造应力场	(233)
一、确定构造应力场的地质依据	(233)
二、震源机制解结果	(234)
三、地应力测量结果	(234)
四、形变测量结果	(240)
第二节 天景山活动断裂带的运动学与变形特征	(240)
一、弧顶的迁移	(240)
二、早期褶皱的改造	(241)
三、第四纪断裂活动向南偏转	(241)
四、左旋走滑	(241)
五、弧顶以东的断裂构造变形特征	(242)
第三节 各断裂带活动性对比	(242)
一、海原活动断裂带	(242)
二、天景山活动断裂带	(242)
三、烟筒山活动断裂带	(243)
四、罗山东麓活动断裂	(244)
第四节 次级条状块体的运动特征及所反映的地壳动力学问题的讨论	(246)
第十章 天景山断裂带地震安全性评价	(253)
第一节 天景山断裂带的分段和潜在震源	(253)
一、前人工作的回顾	(254)
二、天景山断裂带的分段与潜在震源划分	(255)
第二节 天景山断裂带各段地震强度和危险度的预测	(256)
一、天景山断裂带各段最大地震强度预测	(257)
二、天景山断裂带未来百年的地震强度	(259)
第三节 夜明山-小洞山断层的地震安全性评价	(263)
一、夜明山-小洞山 (F_7) 断层与第四纪地层	(263)
二、夜明山-小洞山断层的微地貌特征	(267)
三、夜明山-小洞山断层的地震安全性评价	(269)
结束语	(270)
参考文献	(272)

第一章 区域地质构造概况

印度板块与欧亚板块碰撞和由此引起的青藏块体的大幅度隆起是亚洲新生代以来最重大的地质事件之一，一直为地质学家、地理学家和地球物理学家们所关注。天景山活动断裂带是青藏块体东北边缘地区一系列活动构造带中的重要区域。详细研究它的构造变形、发展历史和地震活动特征，不仅可以为了解青藏块体新生代以来的构造变形及其变形机制等提供重要的线索，而且还能够为这一地区的工程地震安全性评价提供可靠的科学依据。青藏块体东北边缘一系列的活动构造具有相近的活动性，彼此关系密切，因此，在专题论述天景山活动断裂带之前，有必要对它所在区域的地层、构造演化历史、地貌、现代地壳变形、深部地球物理场、地震活动以及各相邻主要活动断裂带等情况作一简述。

第一节 区域地层及岩浆活动

一、区域地层

研究区位于青藏高原的东北边缘，构造上属祁连地槽褶皱系走廊过渡带的东部。主要出露的地层有古生界、中生界和新生界。

前人在该区做了大量的地层研究工作，有较系统的资料和成果（宁夏回族自治区区域地层表编写组，1980；甘肃省地层表编写组，1980；宁夏回族自治区地质矿产局，1990）。根据有关资料成果，结合本课题在实际工作中对研究区、特别是填图地层的认识，按由老到新的顺序，进行描述。其中前新生界的划分主要依据前人成果和区测地质资料^{①②③}，仅对个别确有问题的地层时代做了适当修改。古近系-新近系的划分是在区测地质等资料的基础上，根据野外实际观察确定的，因此，有些地层的划分与前人的认识有一定的差别。第四系划分参考了区测资料，但主要根据实地观察，结合年代样品的测定和地貌及岩性对比最终确定的。

1. 寒武系 (ϵ)

研究区仅发育中寒武统 (ϵ_2)，主要分布在天景山、香山、夜明山、长山头、黑阴湾山和牛首山等地，称香山群，自上而下共分4个亚群，其间为连续沉积。

第一亚群分布在天景山、米钵山西南麓。为灰色灰岩、鲕状灰岩、灰绿色板岩、千枚岩夹灰岩透镜体。含 *Peronopsis tianjingshanensis*, *Manchueiella* sp., *Metagraulos dolon*, *Inouyia*

① 甘肃省地质局，1965，J-48-XXVIII（同心幅）地质图说明书。
② 宁夏地质局，1976，J-48-XXII（中卫幅）区域地质调查报告。
③ 甘肃省地质局，19，J-48-XXI（白墩子幅）地质图说明书。