

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2022.02.014

甘肃省天水市活动断裂带主要特征及活动性分析

温志亮¹, 曾庆铭¹, 田中英¹, 刘江¹, 张新社¹, 孟晓捷¹, 牛千¹, 孙少珍²

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心(西北地质科技创新中心), 陕西 西安 710054;

2. 西安西北有色物化探总队有限公司, 陕西 西安 710068)

摘要:通过地面地质调查、深部地球物理探测和高精度遥感影像解译相结合的手段,对天水市活动断裂带开展了综合地质调查和研究,基本查明了该区活动断裂的空间分布、出露情况、错断规模及断裂特征。活动断裂主要有北西西、北西和北东向 3 组,其控制了天水市新生代以来地质地貌格局。其中,北西西向断裂是天水城市规划范围主要活动断裂,沿断裂走向延伸大、断裂破碎带出露宽,活动性强-极强;北西向断裂中等;北东向断裂活动性较弱。该研究对提高天水市城市活动断裂研究、国土空间规划及防灾减灾等有重要意义。

关键词:活动断裂;断裂特征;活动性;天水市

中图分类号:P546,P553

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2022)02-0166-10

Characteristics and Activity Analysis of Main Active Faults in Tianshui City, North Margin of Western Qinling Mountains

WEN Zhiliang¹, ZENG Qingming¹, TIAN Zhongying¹, LIU Jiang¹, ZHANG Xinshe¹,

MENG Xiaojie¹, NIU Qian¹, SUN Shaozhen²

(1. Xi'an Center of China Geological Survey (Northwest China Center for Geoscience Innovation), Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Xi'an Northwest Nonferrous Geophysical & Geochemical Exploration Co. Ltd., Xi'an 710068, Shaanxi, China)

Abstract: Based on the comprehensive geological survey and research of the active fault zone in Tianshui city by means of combining the ground geological survey, deep geophysical exploration and high precision remote sensing image interpretation, the distribution, exposure, scale and fault characteristics of the active fault zone in this area are basically identified. There are three groups of, NWW, NW and NE active faults, which control the geological and geomorphological pattern of Tianshui city since Cenozoic. The NWW fault is the main active fault in Tianshui city, with large extension along the fault strike, wide exposed fracture zone, and strong to strong activity. The NW fault is medium, and the NE fault is weak. This study is of great significance for improving the research degree of active faults, land space planning and disaster prevention and mitigation of Tianshui city.

Keywords: active fault; fracture characteristics; activity; Tianshui

收稿日期:2021-06-07;修回日期:2021-11-22;网络发表日期:2022-05-10;责任编辑:吕鹏瑞

基金项目:中国地质调查局“关中平原城市群综合地质调查”项目(DD20190294)。

作者简介:温志亮(1964-),男,教授级高级工程师,主要从事地质矿产调查和研究工作。E-mail:wzhl2000@sina.com。

十余年来,前人对位于西秦岭东段天水市活动断裂的研究取得了一些重要进展。随着天水市城市建设的快速发展,研究者对该地区活动断裂的分布、出露、断层特征、断层气(成玉祥等,2009)、活动特征(韩竹军等,2001)和断裂活动性(吴赵等,2016)等开展了有关的研究工作,但对天水市城区和三阳川新区活动断裂的研究、断裂活动对城市地质环境的影响评价研究程度均不够深入。随着关中平原城市群综合地质调查的开展,笔者利用地面地质调查、深部地球物理探测和高精度遥感影像解译等手段对天水市城区及三阳川新区活动断裂开展了综合地质调查研究,对活动断裂分布、特征及断裂活动性进行了探讨,为区内国土空间规划及防灾减灾等提供了新资料。

1 区域地质背景

天水地区位于甘肃省东部陇南山地与黄土高原的过渡地带,地处青藏高原东北缘;其大地构造位置处于中央造山系中段祁连造山带和北秦岭造山带的接合部位;同时,横跨中国中部贺兰山-川滇南北向构造带,是特提斯构造域和太平洋构造域复合叠加的构造部位。区域上以新阳-元龙大型韧性剪切构造带为界,北为祁连造山带,南为西秦岭造山带。西秦岭造山带主要由北秦岭构造带、李子园-关子镇俯冲-碰撞杂岩构造带和中秦岭晚古生代沉积盆地构造带组成。天水市位于西秦岭造山带北缘的北秦岭构造带,正好处于祁连-北秦岭造山带的衔接、过渡、转换、交接部位(张维吉等,1994;霍福臣等,1995;温志亮,2017)。

天水城区一带出露较老地层为古元古代中深变质的秦岭岩群(Pt_1Q),因经历多期变质、变形叠加改造,原生层理已无保留,层序难以恢复,区域上表现为层状无序的几种变质岩石组合(张维吉等,1994);其次为泥盆纪大草滩群(李永军,1995),该地区大面积出露的地层是中生代、新生代地层,主要有侏罗纪炭和里组 and 火麦地组(赵宗宣,1998)、白垩纪麦积山组、新近纪甘肃群和小河子组(温志亮,1996)及第四系等。该地区区域地质及构造格局总体受北秦岭构造带控制,区域断裂构造极为发育,区域断裂、地层展布总体呈北西向、北西西向,总体构造从东向西延伸均不同程度地斜接交汇于新阳-元龙大型剪切带(张维吉等,1994)。古元古代中深变质的秦岭岩群组成了该地区的结晶基底,区域上天

水以南分布的早古生代地层代表了秦岭板块构造演化的产物,晚古生代地层是秦岭造山带板内伸展裂陷演化的产物。印支期末的碰撞造山作用使秦岭地区全面进入陆内演化,在区内沉积了大量的中生代内陆河湖相沉积;新生代以来,由于青藏高原的挤压和隆升作用,在水一带形成了一系列的活动断裂。岩浆岩在麦积区东部出露,有加里东期花岗闪长岩、二长花岗岩岩基和燕山期二长花岗岩等。秦岭造山带大致经历了晚太古代—古中元古代前寒武纪基底的形成演化、新元古代—中三叠世现代板块构造体制的板块构造演化和印支期全面碰撞造山阶段(霍福臣,李永军,1995;张国伟,2001),中—新生代陆内造山作用与构造演化等3个不同的构造演化阶段(裴先治等,2004)。

2 区域性断裂概况

天水市区域断裂构造由北向南依次为新阳-元龙大型韧性剪切带、西秦岭北缘断裂带、关子镇-李子园俯冲-碰撞蛇绿混杂构造带(图1),它们控制了天水地区基本地质构造格局,也构成了天水周边断裂体系。这些断裂形成于不同地质历史演化时期,表现为构造活动的长期性、阶段性、继承性,常构成大地构造单元的边界和分界断裂。

新阳-元龙大型韧性剪切带:该剪切带是西秦岭造山带北秦岭构造带与祁连造山带的构造边界,位于天水以北的新阳、三阳川和元龙一带;构造带宽2~3.5 km,大部分被新生代地层所覆盖,主要由眼球状黑云母斜长质糜棱岩和钙质糜棱岩等组成;韧性剪切变形非常强烈,平面上以右行走滑剪切运动为主,但在早期(石炭纪)曾横切北秦岭、祁连山造山带,有过左行走滑剪切运动,该剪切构造带在水市以北呈北西西向,产状为 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}/40^{\circ}\sim 50^{\circ}$,拉伸线理产状为 $300^{\circ}/10^{\circ}\sim 20^{\circ}$,韧性剪切带内广泛发育有不对称剪切褶皱、A型褶皱及不对称布丁构造等。

西秦岭北缘断裂带天水段:西秦岭北缘断裂带是青藏高原东北部的一条边界断裂带,断裂带东起宝鸡,向西经天水和武山,西至临夏以西的青海同仁一带,长约420 km,总体走向为 $280^{\circ}\sim 310^{\circ}$,由几条近于平行的断层组成。该断裂带由6条规模不等的次级断裂呈左行雁列组合而成,自西向东依次为锅滩断裂、黄香沟断裂、漳县断裂、武山-天水断裂、

凤凰山-天水断裂、天水-宝鸡断裂(杨为民,2016)。研究区主要出露武山-天水断裂(F_3)、凤凰山-天水断裂(F_2)和天水-宝鸡断裂(F_1)(图 2);它们是天水市最为重要的断裂,不仅控制了天水市中、新生代地质演化,同时断裂带第四纪以来的活动也控制了天

水市现有的地貌格局。
关子镇-李子园俯冲-碰撞蛇绿混杂构造带:该构造带是商(洛)-丹(凤)蛇绿混杂带的西延部分,总体呈北西西向展布。西段位于天水市西关子镇一藉口一带,多被中新生代地层覆盖而呈零星块体出露,

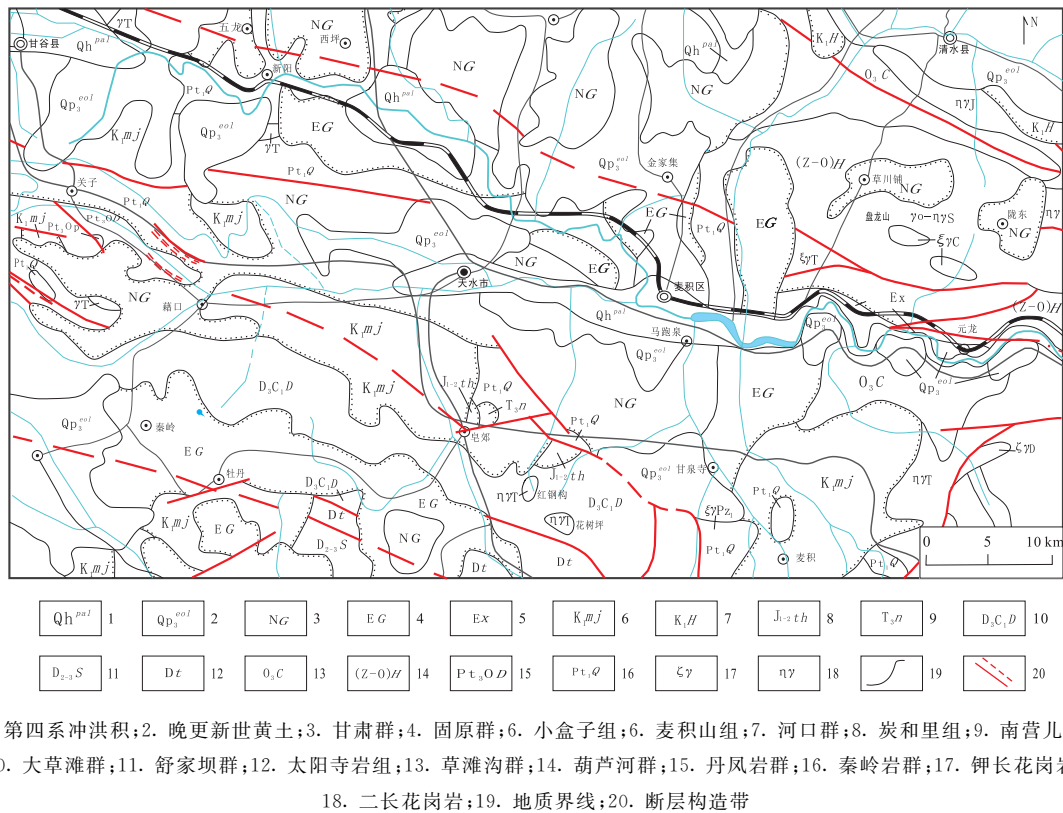


图 1 研究区区域地质略图

Fig. 1 Regional geological sketch of the study area

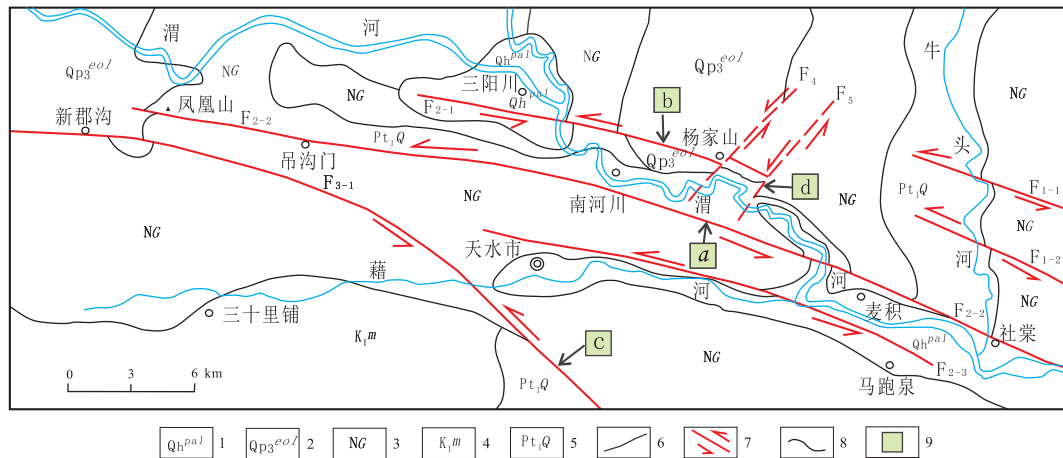


图 2 天水市一带活动断裂分布示意图

Fig. 2 Distribution diagram of active faults in Tianshui area

出露最宽 10 km;中段为天水南店子—娘娘坝—李子园一线,其内部构造线和主要构造边界及主要的前中生代地质体均呈北北西向展布,出露宽约15~20 km;东段为天水李子园以东地段,呈近东西—北西西向展布,出露宽约 6~17 km。该带由新元古代木其滩岩组变质基性火山岩、早古生代关子镇蛇绿岩带、早古生代李子园群浅变质活动陆缘沉积-火山岩系等组成。天水李子园木其滩组变质基性火山岩(斜长角闪片岩)全岩 Sm-Nd 等时线年龄为(932 ± 54) Ma($MSWD=0.34$),关子镇蛇绿岩中辉长岩锆石 U-Pb 年龄为(499.7 ± 1.8) Ma($MSWD=2.2$),表明关子镇-李子园俯冲-碰撞蛇绿混杂构造带活动时代为新元古代—早古生代(裴先治等,2007)。

3 活动断裂及其特征

天水城市规划区活动断裂较为发育,按其走向可分为北西西向、北西向和北东向 3 组,其中北西西向的西秦岭北缘活动断裂构成天水市活动断裂的主体(图 2)。

3.1 北西西向断裂带

北西西向断裂带主要有凤凰山-天水断裂带(F_2)、天水-宝鸡断裂带(F_1)的西延部分。凤凰山-天水断裂带由南向北依次由 3 条大的次级断裂组成:水眼寨断裂(F_{2-3})、凤凰山-麦积断裂(F_{2-2})和三阳川断裂(F_{2-1})。

水眼寨断裂(F_{2-3}):分布于秦城区藉河河谷北岸,距离藉河 200~800 m,沿红旗山、孙家坪、水眼寨,东延至马跑泉一带。该断裂是凤凰山-天水断裂带(F_2)南分支断裂,发育在更新统黄土及第四系松散沉积层内,见断层角砾、构造透镜体等(图 3);断裂活动具多期性,断裂走向北西 15° ;断裂擦痕向西测伏,测伏角为 15° ,剖面上有由南西向北东的高角度逆冲特征。地球物理探测显示,全新世中晚期该断裂有明显活动,剖面上具有逆冲特征(图 4)。该断裂带总体走向北西西,断裂带宽约 150~200 m,地表可见断距大于 3 m,为左行走滑断裂,断层总体产状 $205^\circ \angle 60^\circ \sim 80^\circ$,该断裂控制了新生代天水藉河盆地的发育及走向。

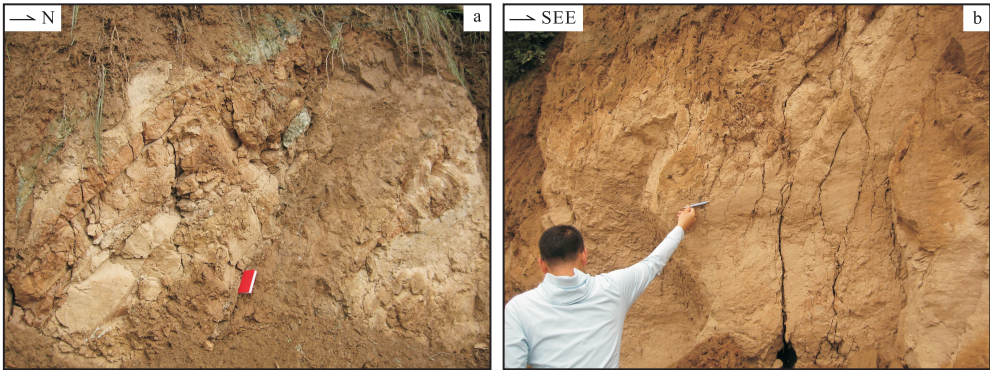


图 3 (a)水眼寨断裂带内发育的构造透镜体和(b)断层擦痕

Fig. 3 (a) Structural lenticular body and (b) fault striations developed in Shuiyanzhai fault zone

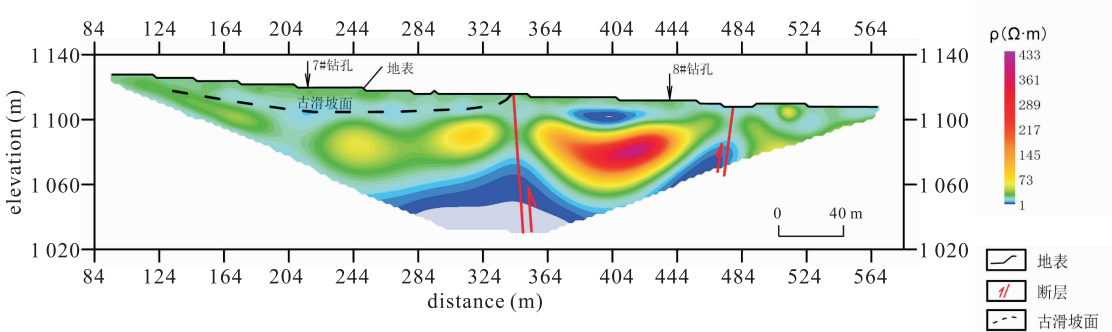


图 4 水眼寨断裂带高密度电法剖面及断裂解析图

Fig. 4 High density electrical section and fracture analysis in Shuiyanzhai fault zone

凤凰山-麦积断裂(F_{2-2}):该断裂西起凤凰山,经天水市吊沟门、李家庄东延至南河川、麦积城区北和社棠镇一带,是凤凰山-天水断裂的主断裂,呈北西西向,断裂长度约 50 km,由数条次级小断裂组成;断裂带地表发育在更新统黄土内,局部地段构成秦岭岩群与新近纪甘肃群的分界,断裂切割了秦岭岩群、新近系等,在渭河河谷地段造成黄土与新近纪甘肃群呈断层接触(图 5a),发育断层角砾带、挤压片理化带、碎裂岩化带等;断裂活动错碎了晚更新世黄土,发育挤压片理带,构造活动使晚更新世黄土破碎,并发育一系列错动面,形成宽约 100~130 m 的构造活动带(图 6);沿断裂带地表发育断层崖、断层三角面、负地形地貌等,在社棠东则为山前断裂,构成渭河盆地与北缘梁茆的分界;断层地表断距一般为 35~40 m,在南河川麻坪村次级断裂断距为 1.5~2 m。在吊沟门东曹子沟附近,断裂最新一期活动左旋错断了曹子沟全新世冲积层堆积,垂直断距为 1 m,左旋水平位错量为 7 m,断裂热释光年龄

距今 0.64 万 a,此段断裂错移冲沟的最大左旋位错达 120 m(韩竹军,2001);该断裂地表露头发育北西西向断层擦痕,并显示左行走滑特征,在麦积下曲湾一带,该断裂造成山系、水系等均发生明显的左行位错,其走向由北东向改变为近南北向,在遥感影像上有清晰明显(图 7)。

三阳川断裂(F_{2-1}):该断裂西起三阳川、东延至渭河北岸马家山、徐家底下和杨家山一带,属凤凰山-天水断裂带(F_2)北分支断裂;断裂带长度约 11 km,由 2~3 条次级小断裂组成,断裂地表发育在更新世黄土内,带内发育断层角砾带、碎裂岩化带等;断裂活动切割了更新世黄土和新近系(图 8),在黄土内形成宽约 80~100 m 的断裂活动带,地表发育断层崖、鞍状负地形、北西西向大冲沟负地形等,断层地貌特征明显(图 5b);断裂活动造成黄土与新近系泥岩呈断层接触关系,地表可见断层断距大于 5 m;该断裂走向 $280^{\circ}\sim 290^{\circ}$,平面为左行走滑断裂,剖面上表现为北倾的正断裂,早期活动表现为局部

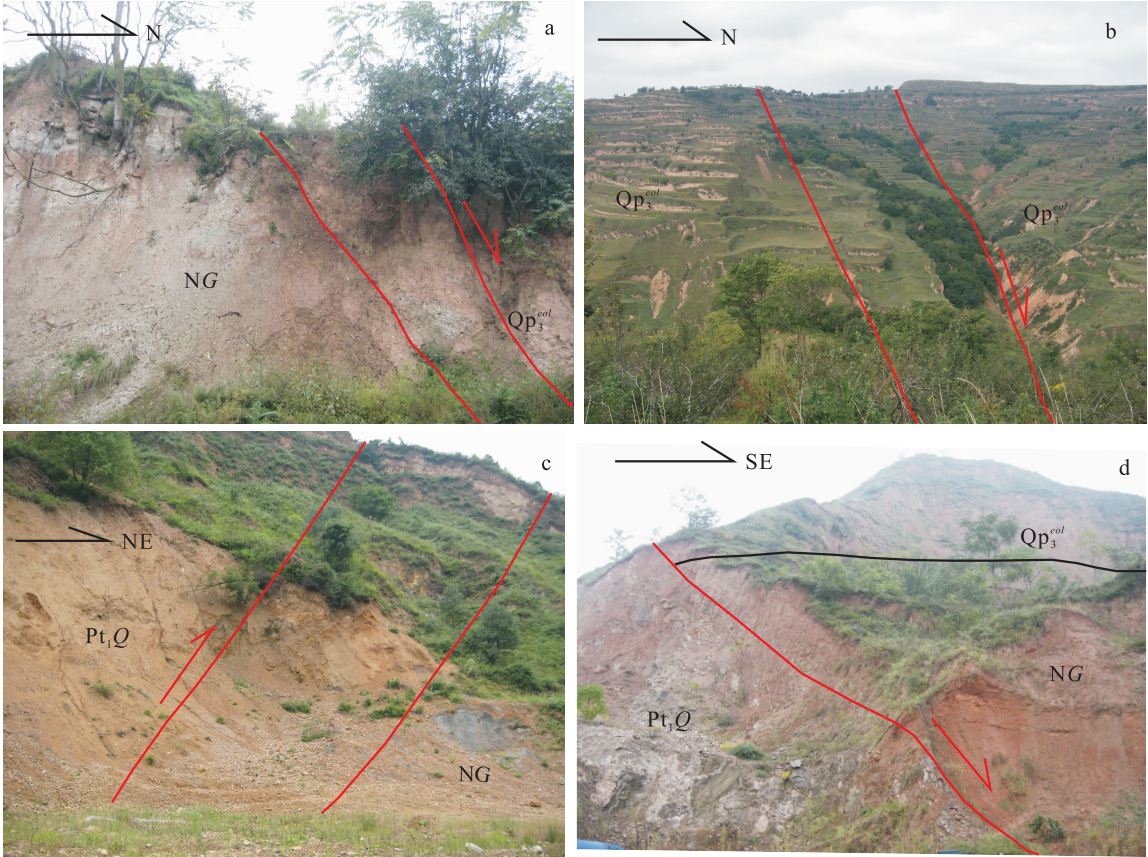


图 5 天水市主要活动断裂地貌特征图

Fig. 5 Geomorphologic features of main active faults in Tianshui area

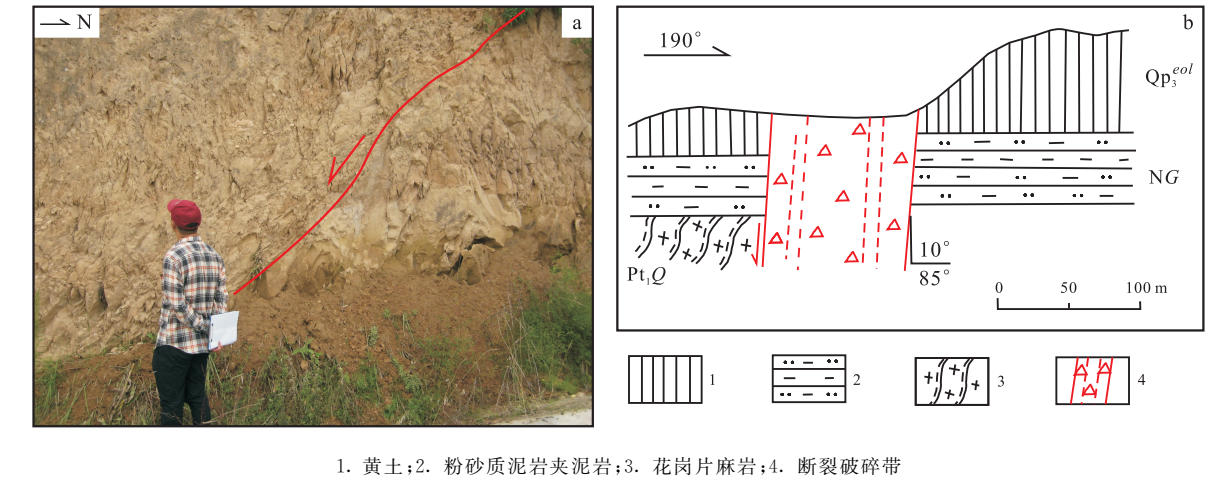


图 6 (a)凤凰山-麦积断裂带黄土内发育的小错动面和(b)断裂总体特征图

Fig. 6 (a) Small dislocation surfaces developed in loess and (b) overall characteristics of faults in Fenghuangshan-Maiji fault zone

南倾的逆断层,具走滑断裂的特征,断层倾角为 $58^{\circ}\sim 70^{\circ}$;该断裂与凤凰山-麦积断裂共同控制了天水渭河盆地的发育,同时也控制了三阳川盆地的发育。

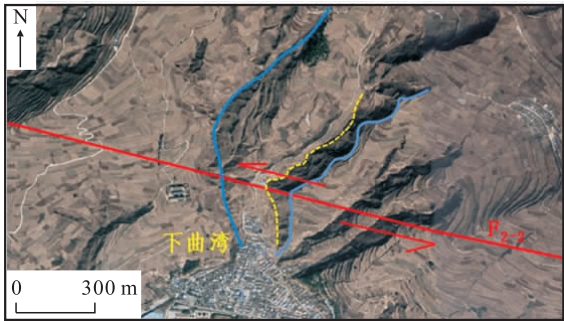


图 7 凤凰山-天水断裂带东段遥感影像特征图

Fig. 7 Remote sensing image characteristics of the eastern part of Fenghuangshan-Tianshui fault zone

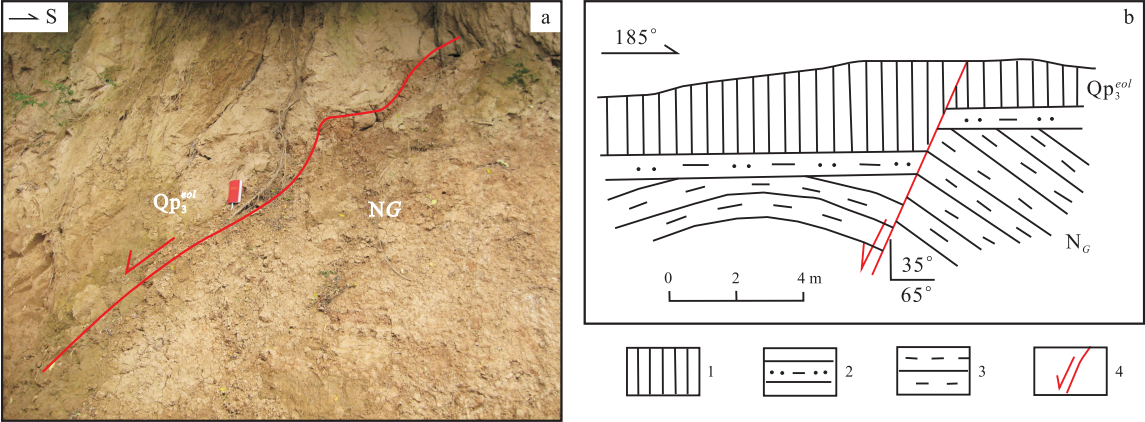
天水-宝鸡断裂带(F_1):天水段分布于麦积城区以东的牛头河、社棠镇,东延至伯阳、元龙渭河以北地区,总体呈北西西向展布,为一左行走滑断裂,由以下 2 条断裂组成。

李家湾-汤家湾断裂(F_{1-1}):该断裂西起李家湾,经张台湾、汤家湾,东延至伯阳镇北半坡、韩家山一带;断层走向北西西向,断裂北盘为新近纪小盒子组灰绿色流纹质角砾岩、流纹质角砾凝灰岩,断裂南盘为秦岭岩群片麻岩,2 套地层均被甘肃群所覆盖;断裂为北倾的正断层,断裂倾角较陡,断裂活动切割了晚更新世黄土,并造成山脊、牛头河水系发生左行位移。

陈家湾-王家崖断裂(F_{1-2}):该断裂西起陈家湾,经上倪、王家崖,东延至伯阳镇北王家湾一带;断层走向为北西西向,断裂北盘为石炭纪灰白色中细粒二长花岗岩,断裂南盘为秦岭岩群片麻岩;断裂为南倾正断层,断裂倾角较陡,断裂活动切割了二长花岗岩、秦岭岩群片麻岩之上的晚更新世马兰黄土,断裂发育处山脊、水系发生明显的左行位移。

3.2 北西向断裂带

北西向断裂带主要是武山-天水断裂带(F_{3-1})的东延,该断裂带区域上呈北西西向展布,在天水市以南的孙家山、毛集村一带转为北西向展布,分布在天水市以南的孙家山断裂构成该断裂的主体。孙家山断裂区域上是武山-天水断裂带东延部分,构成秦岭岩群与新近系分界断裂,由 3 条次级断裂组成,主体是新近系与秦岭岩群或其他地层的分界断裂,在新近系、秦岭岩群内部各发育次级断裂;主断裂破碎带宽 $5\sim 15\text{ m}$,局部达 30 m ,发育断层角砾岩、断层泥等,在秦岭岩群一侧发育陡峻的断层崖地貌(图 5c);断裂活动错断了全新世坡积碎石层,局部地段使新近系泥岩逆冲在河谷阶地砂砾石层、黄土之上,断层地表可见断距 $2\sim 3\text{ m}$,实际断距远大于 3 m ,断裂走向北西向,区域上为左行走滑断裂,剖面上表现为由南西向北东的逆冲特征,断裂产状 $215^{\circ}\angle 45^{\circ}\sim 78^{\circ}$ 。在毛集村的 T_2 阶地测得 ^{14}C 样品年龄为 $(27\,860\pm 170)\text{ a B. P.}$,断裂左旋位错为 $10\pm 3\text{ m}$,全新世断裂有重要活动,曾诱发公元 143 年甘谷地震及 1765 年甘谷地震等一系列地震活动(吴赵,2016)。



1. 黄土;2. 泥质粉砂层;3. 泥岩;4. 次级断裂

图 8 (a)三阳川断裂带滑动面和(b)次级断裂特征图

Fig. 8 (a)The slip surface of the Sanyangchuan fault zone and (b) the characteristics of secondary faults

3.3 北东向活动断裂

曹家沟断裂(F₄):该断裂在遥感影像上线型特征明显;断裂构造地貌清晰,断裂特征明显。该断裂北起天水市清水县金集镇录树坪,南经曹家沟东、白家崖、杨家山,过杨河村、白家河、东墩村,错段黄土梁;断裂走向为 30°~40°,断裂出露长度约 14 km,断裂性质为高角度的正断层(图 5d);沿曹家沟一带,断裂两侧植被呈明显带状分布,断裂南端天水北坡黄土梁东墩村旁见有泉水出露。

孙家沟断裂(F₅):该断裂在遥感影像上有明显的北东向线型显示,在渭河以北的孙家沟、渭河以南的高集村线型显示及断裂构造地貌较为清晰,断裂特征明显;断裂南东盘出露岩性为秦岭岩群片麻岩,断裂北西盘出露为新近系甘肃群,二者间为断层接触关系,断裂构造控制了北东向沟谷及水系的发育。

4 活动断裂活动性分析

4.1 断裂总体活动情况

天水城区及三阳川规划区活动断裂活动性强,规模大,切割深,具有多期性、继承性的特点;印支运动使天水地区进入地壳收缩时期,由于受特提斯、鄂尔多斯台地影响,产生了自南南西向北东及自西向东的双向挤压收缩,形成了以元龙向形、李子园背形为代表的反 S 区域扭动构造,并产生了近东西向或北西西向及北北东向浅层次脆性、脆性走滑构造。这一构造活动奠定了天水一带近东西向或北西

西向西秦岭北缘断裂带的锥形(温志亮,1996)。燕山期由于地壳伸展西秦岭北缘断裂带发生拉伸走滑,形成拉分盆地,在天水一带沉积了侏罗纪、白垩纪、新近纪等地层,随后抬升。

第四纪以来天水地区由于受西南青藏高原的挤压、隆升,发生了由南西向东北大范围的逆冲推覆,在这种应力作用下形成了北东、北西 2 种破裂面,也就是在天水一带形成了北东、北西 2 种走滑活动断裂,但北东向走滑断裂明显比北西走滑断裂发育。这种自南西向北东的挤压作用由于受其东鄂尔多斯台地的阻挡和反向应力的影响,同时也产生了大致自东向西的剪切走滑,形成了近东西或北西西向雁列状断续分布的构造面,武山-天水断裂带、凤凰山-麦积断裂带、天水-宝鸡断裂带就是在这种联合应力作用下形成的,即挤压抬升转变为后来的断块运动,随着挤压构造应力释放,发生了左旋走滑为主,兼倾滑的水平运动,使一系列北西西向断裂发生左旋走滑运动。

综上所述,天水周边活动断裂有一定的继承性、阶段性,大多是在利用、改造老断裂的基础上重新复活并进一步活动;断裂活动全新世以来的活动常造成冲沟、山脊、水系左行位错,形成的断层三角面、断层陡坎等在遥感影像、DEM 图和构造地貌上有清楚的显示,但新断裂不完全沿袭老断裂,常常出现在老断裂的一侧或附近,形成老断裂带的伴生断裂或次级断裂。

4.2 晚更新世以来断裂活动性分析

晚更新世以来,天水市一带的活动断裂带在遥

感影像上线性显示明显,两侧地貌山脊、水系、地质体一致左旋位错。整个断裂带以左旋走滑为主,兼有倾滑分量。研究认为活动断裂带多次构造变形引起的水平位移量最大,为 300~500 m;断裂晚更新世晚期以来的位移量最大为 40~70 m,断裂带有过多次强烈活动。天水-宝鸡断裂在水段形成 100 m 宽的断层谷,有明显的水平左旋滑移。据水系、冲沟和山脊位错分析,最大左旋滑移量为 200 m(刘锁旺等,1997)。凤凰山-天水断裂在凤凰山西南断错晚更新世马兰黄土,马兰黄土垂直断距为 22 m,山脊和冲沟的左旋位错为 35~40 m;在吊沟门东曹子沟附近,断裂最新一期活动左旋错断了曹子沟全新世冲积层堆积,垂直断距为 1 m,左旋水平位错量为 7 m。此段断裂错移冲沟的最大左旋位错为 120 m;全新世以来平均水平位错速率为 1.1 mm/a(0.64 万 a 以来),平均垂直位错速率为 0.37 mm/a(约 1.66 万 a 以来)和 0.16 mm/a(约 0.64 万 a 以来)(韩竹军,2001);凤凰山-天水断裂在凤凰山一带第四纪以来平均垂直位错速率为 0.54~0.72 mm/

a(成玉祥,2009)。武山-天水断裂更新世中晚期以来的平均水平滑动速率为 2.5 mm/a(成玉祥,2009),全新世以来水平滑动速率为 2.8 mm/a(滕瑞增,1994)。

成玉祥等人 2009 年对天水地区主要活动断裂进行了氦气测量,在不同活动断裂上布置剖面进行了测量,测试点距一般为 10~20 m,部分测段因出现异常而加密到 5 m 左右。测试选用仪器为 HDS21 型快速数字闪烁测氦仪;测试时段选用了脉冲 90 s 定量观测;测试数据采集选用了 nt1 与 nt2 分显计量;测试取气深度为 100 cm 以下,取气次数为 20 次,氦气含量峰值最大异常出现于天水-宝鸡断裂的社棠镇丁环岭测点(表 1)。并利用断裂活动性相对判别标准(表 2)进行判别,北西西向天水-宝鸡断裂带、凤凰山-天水断裂带活动性为强-极强,北西向武山-天水断裂带活动性中等,判别结果与断裂活动强度吻合。另外,北东向断裂由于断裂规模不大,出露有限,断裂破碎带出露较窄,位错量小,所以活动性较弱。

表 1 断裂带活动性测氦结果表
Tab. 1 The radon measurement results of fault zone activity

断裂名称	剖面位置	最大异常值(爱曼)	最大异常值高出背景值(爱曼)	最大异常值与背景值之比	最大异常值与最小异常值之差(爱曼)	相对活动级别
天水-宝鸡断裂	社棠北分路下	1.245 3	1.063 2	6.838 6	1.245 3	强
	社棠镇丁环岭	3.177 3	2.995 2	17.448 1	3.177 3	极强
武山-天水断裂	马家窑	0.766 3	0.601 4	4.642 6	0.766 5	中等
凤凰山-天水断裂	梨树湾	1.698 4	1.513 0	9.308 6	1.695 1	极强

表 2 断裂带活动性氦气测量判别标准表
Tab. 2 The criteria for distinguishing activity radon gas measurements in fault zones

RnF 高出 RnB(Rn)	RnF/RnB(倍)	RnEmax 与 RnEmin 之差(Rn)	相对活动性	相对活动级别
<0.30	>2.60	<0.50	弱	Ⅳ
0.30~0.60	2.60~4.80	0.50~0.84	中等	Ⅲ
0.66~1.50	4.80~7.00	0.84~1.50	强	Ⅱ
>1.50	>0.70	>1.50	极强	I

4.3 地质环境影响评价

活动断裂对地震的控制作用:天水市位于兰州-天水地震带上,地震频繁。公元 600 年天水—陇县 6~7 级地震(谢毓寿等,1983)发生在水-宝鸡断裂上,断裂活动诱发了地震;公元 600~735 年,天水、宝鸡发生了 2 次 7 级左右强震,时间间隔为 134 a,

公元 734 年天水 7 级地震,这些地震活动主要发震都与凤凰山-天水断裂、天水-宝鸡断裂有关(雷中生等,2007);中全新世以来的活动断裂是发震原因。

活动断裂对滑坡的控制作用:天水市市区滑坡地质灾害非常发育,主要有地震滑坡、降雨滑坡 2 类。地震滑坡对天水市地质灾害发生强烈影响,是

滑坡的主要类型,地震波对斜坡产生背面坡效应引起地震滑坡的发生,且地震黄土滑坡有集中沿活动断裂带分布的特点。在籍河北岸秦城区红旗山—麦积区水眼寨 11 km 的谷坡上连续发育有 10 处大型滑坡,组成一滑坡群(带),发育断续延伸大规模的后

壁陡坎地貌(图 9a);在渭河两岸南河川—社棠一线分布有北西西向展布的地震滑坡带,其中分布有 100 余处大小滑坡(杨为民等,2016);这些滑坡(图 9b)常造成道路交通、家园建筑损坏,甚至房屋坍塌,给人们生命、财产造成严重损失。

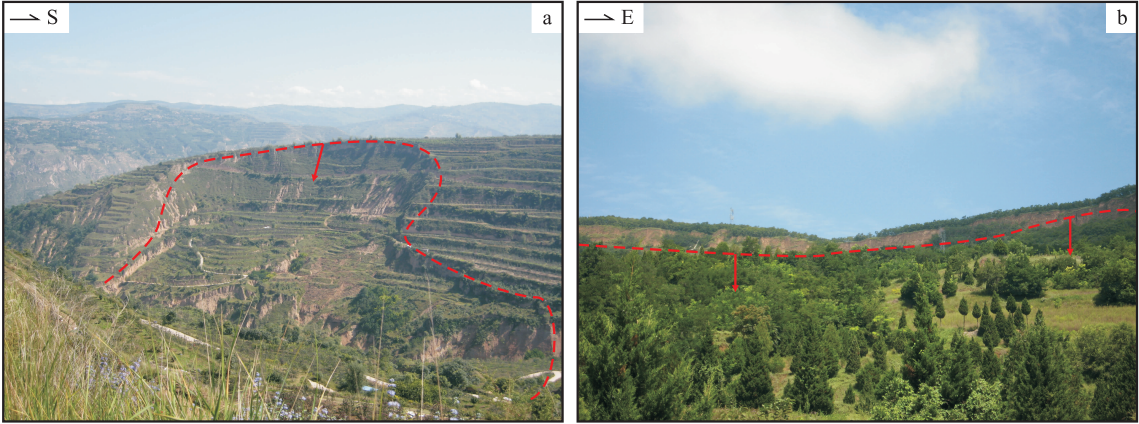


图 9 (a)麦积区南河川和(b)秦城区红旗山近断裂带的断裂滑坡图

Fig. 8 (a) The fault landslides in the Nanhechuan of Maji district and (b) the Hongqishan of Qincheng district

主要对策及建议:在天水主城区、三阳新区活动断裂研究的基础上,开展地壳稳定性评价及国土空间规划等相关工作。初步认为天水城区籍河北岸、渭河两岸 0~2 km 范围为受活动断裂影响的地质灾害高危区或危险区,需谨慎开发,建议建立地质灾害监测网络,健全滑坡、泥石流等地质灾害预警机制。

5 结论

- (1)天水市活动断裂发育,主要的活动断裂有北西西、北西、北东向 3 组,其中北西西向断裂最为发育,断裂规模较大,延伸稳定,断裂均发育明显的断裂破碎带或由多条次级断裂组成。
- (2)活动断裂性质多表现为高角度的走滑断裂,在平面上具左行走滑特征,断裂活动造成地质体、山系、水系等发生左行位错,在剖面上有斜向走滑的特征。
- (3)天水市活动断裂晚更新世以来有强烈活动,其中北西西断裂活动性强—极强,北西断裂活动性中等,北东向断裂规模不大,断裂破碎带一般较窄,位错量小,活动性较弱,常切割稍早期的北西西向断裂。

- (4)天水市晚更新世—全新世的断裂活动控制了近东西向藉河、北西西向渭河及山阳川盆地的发育,同时也奠定了天水市全新世以来的盆—岭地貌格局。
- (5)活动断裂对天水市全新世以来的地震活动、滑坡等地质灾害有重要的控制作用,天水市城区籍河北岸、渭河两岸 0~2 km 范围为高危区或危险区,应慎重开发利用。

参考文献(References):

成玉祥,张骏,刘玉洁. 天水地区主要活动断裂特征与氡气测试成果分析[J]. 煤田地质与勘探,2009,37(3):5-9.
CHENG Yuxiang, ZHANG Jun, LIU Yujie. Analysis on the feature and radon survey result of the main active faults in Tianshui area[J]. Coal Geology and Geology Exploration, 2009, 37(3): 5-9.
韩竹军,向宏发,虢顺民. 初析西秦岭北缘断裂带凤凰山天水断裂晚更新世晚期以来的活动特征[J]. 地震学报, 2001,23(2):217-220.
HAN Zhujun, XIANG Hongfa, GUO Shunmin. The activity characteristics of Fenghuangshan Tianshui fault in the northern margin of Western Qinling Mountains since

- late Pleistocene are analyzed[J]. *Acta Seismologica Sinica*, 2001, 23(2): 217-220.
- 霍福臣,李永军. 西秦岭造山带的建造与地质演化[M]. 西安:西北大学出版社, 1995:1-166.
- HUO Fuchen, LI Yongjun. The Fabrication and Geological Evolution of the Western Qinling Orogenic [M]. Xi'an: Northwest University Press, 1995: 1-166.
- 刘锁旺,甘家思,姚运生,等. 西秦岭北缘断裂和海原断裂的走滑转换变形及其与陇山地块的相互作用[J]. 地壳形变与地震, 1997, 17(3): 73-83.
- LIU Souwang, GAN Jiasi, YAO Yunsheng, et al. Strike Slip Transform Deformation Along the Northern Boundary Fault of Western Qinling and Haiyuan Fault and Interaction Between Them and Longshan Block[J]. *Crustal Deformation and Earthquake*, 1997, 17(3): 73-83.
- 雷中生,袁道阳,葛伟鹏,等. 734 年天水 7 级地震考证与发震构造分析[J]. 地震地质, 2007, 29(1): 51-62.
- LEI Zhongsheng, YUAN Daoyang, GE Weipeng, et al. Textual research on the Tianshui M7 earthquake in 734 AD and analysis of its causative structures[J]. *Seismology and Geology*, 2007, 29(1): 51-62.
- 裴先治,丁仁平,李佐臣,等. 西秦岭北缘关子镇蛇绿岩的形成时代来自辉长岩中 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄的证据[J]. 地质学报, 2007, 81(11): 1550-1561.
- PEI Xianzhi, DING Sapling, LI Zuo Chen, et al. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of the Gabbro from the Guanzizhen Ophiolite in the Northern Margin of the Western Qinling and Its Geological Significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(11): 1550-1561.
- 腾瑞增,金瑶泉,李西候,等. 西秦岭北缘断裂带新活动特征[J]. 西北地震学报, 1994, 16(2): 85-90.
- TENG Ruizeng, JIN Yaoquan, LI Xihou, et al. New active characteristics of fault zone in the northern margin of Western Qinling Mountains[J]. *Northwestern Seismological Journal*, 1994, 16(2): 85-90.
- 温志亮,李普涛,郭周平,等. 西秦岭东段秦岭大堡岩体地球化学特征及地质构造意义[J]. 西北地质, 2017, 50(1): 126-133.
- WEN Zhiliang, LI Putao, GUO Zhouping, et al. Qinling Dabu granite body geochemical character and significance of geological structure in east area of western Qinling [J]. *Northwestern Geology*, 2017, 50 (1): 126-133.
- 温志亮. 北秦岭天水东部地区地壳构造演化探讨[J]. 甘肃地质学报, 1996, 5(2): 57-64.
- WEN Zhiliang. Discussion on Crustal tectonic evolution in the east area of Tianshui, North Qinling[J]. *Acta Geological Gansu*, 1996, 5(2): 57-64.
- 吴赵,袁道阳,王爱国,等. 西秦岭北缘断裂带武山-天水段全新世活动的新证据[J]. 地震工程学报, 2016, 38(2): 249-259.
- WU Zhao, YUAN Daoyang, WANG Aigou, et al. New evidence of Holocene activity in wushan-Tianshui fault zone, northern margin of Western Qinling Mountains[J]. *Journal of Seismic Engineering*, 2016, 38(2): 249-259.
- 谢毓寿,蔡美彪. 中国地震历史资料汇编[M]. 北京:科学出版社, 1983.
- XIE Yushou, CAI Meibiao. Collection of Chinese History Earthquakes[M]. Beijing: Science Press, 1983.
- 赵宗宣. 甘肃的侏罗系[J]. 甘肃地质学报, 1998, 7(2): 1-40.
- ZHAO Zongxuan. Jurassic of gansu province[J]. *Acta Geological Gansu*, 1998, 7(2): 1-40.
- 张维吉,孟宪恂,胡健民. 祁连-北秦岭造山带结合部位构造特征与造山过程[M]. 西安:西北大学出版社, 1994.
- ZHANG Weiji, MENG Xianxun, HU Jianmin. Tectonics Features and Orogenic Process in the Juncture Area of Qilian and North Qinling Orogenic Belt [M]. Xi'an: Northwest University Press, 1994.
- 张国伟,张本仁,袁学诚,等. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京:科学出版社, 2001: 1-855.
- ZHANG Guowei, ZHANG Benren, YUAN Xuecheng. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamayic[M]. Beijing: Science Press, 2001: 1-855.
- 裴先治,丁仁平,李勇,等. 天水市幅 (I48C002003) 1: 250 000 区域地质调查(修测)成果报告[R]. 2004.
- 杨为民,张春山,向灵芝,等. 西秦岭北缘断裂带天水段地震地质灾害调查评价成果报告[R]. 2016.