

第一章 区域构造背景及地震活动基本特征

1.1 青藏高原北部地区构造背景及地震活动基本特征^①

1.1.1 区域构造背景

1. 区域主要活动地块划分

青藏高原北部地区的西北以阿尔金山断裂为界；东北以祁连山山前断裂及榆木山、大黄山、文殊山三个隆起的北边界断裂为界，与阿拉善地块相连；东部以六盘山断裂和龙门山断裂与鄂尔多斯地块和华南地块相邻；南边以库玛断裂为界，与藏北地块毗连。周边完全被活动断裂所围限。这些活动断裂的运动学特征各不相同，阿尔金山断裂是以 NEE 向的左旋走滑活动为主；北边界断裂所构成的三个横向隆起以推覆为主，兼左旋走滑；东部边界的六盘山断裂和龙门山断裂以逆冲推覆为主；南边界的库玛断裂则以挤压型的左旋走滑运动为主。显然，不同边界的不同运动性质，应当是祁连山活动地块与相邻的同等级活动地块的相互作用造成的。活动地块的边界及次级地块的划分如图 1.1 所示。

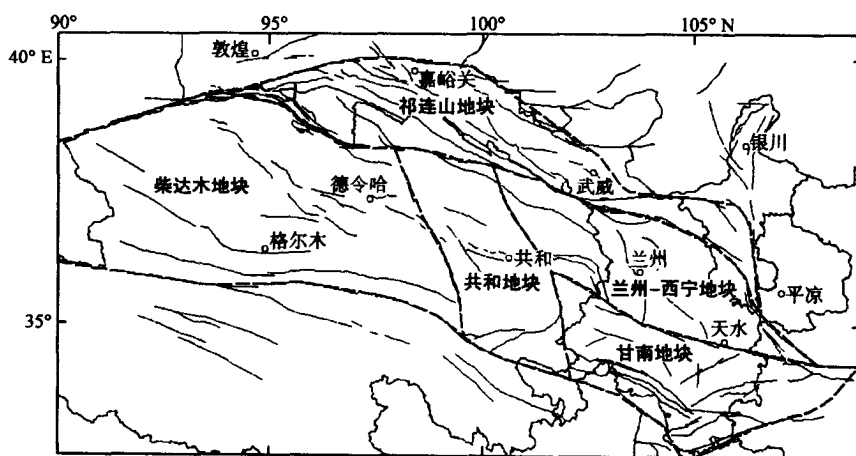


图 1.1 青藏高原北部地区活动地块划分

各主要次级地块的构造属性简述如下：

(1) 祁连山次级地块

祁连山次级地块位于祁连山活动地块的北部，四周分别被深大走滑活动断裂包围，形成

本节主要作者：杨立明、刘小凤、袁道阳等。

一个相对独立的十分活动的次级地块 其南部边界为 NW-NWW 向的海原-老虎山-毛毛山左旋走滑活动断裂、冷龙岭左旋走滑活动断裂和疏勒山南缘左旋走滑活动断裂，西部边界为 NEE 向阿尔金山左旋走滑活动断裂，北部是 NWW 向金塔南山断裂、大红山断裂、NW 向龙首山北缘活动断裂，东缘是由 NNW 向天景山弧形断裂和六盘山挤压逆冲推覆构造组成。块体内部有昌马活动断裂和榆木山活动断裂。在 NNE 向区域应力场作用下祁连山次级地块内部发生挤压逆冲，形成一系列推覆体构造，由西向东分别为酒西盆地的北祁连山冲断推覆构造、老君庙冲断推覆带和武威盆地的古浪推覆体构造。这些推覆体的总体特征为，西部规模大，形成时代久；而东部的规模较小，形成时代相对较新，反映了块体的旋转运动特征。区内发生过 1920 年海原 8.5 级、1927 年古浪 8 级等巨大地震。

(2) 兰州-西宁次级地块

兰州-西宁次级地块位于青藏高原北部活动地块中部，北部边界是 NWW 向海原左旋走滑活动断裂，南部边界是 NWW 向西秦岭北缘左旋走滑活动断裂，西部边界为 NNW 向拉脊山北缘挤压逆冲断褶带，东部边界为六盘山挤压逆冲推覆构造带，由此形成一个 NW 向菱形活动地块。块体内部被 NNW 向庄浪河挤压逆冲断裂划分为东西两个次级地块，即兰州和西宁次级地块，在兰州次级地块内部发育 NW 向兴隆山-马衔山活动断裂。自晚更新世以来该地块一直处在 NE 向区域应力场的作用下，导致块体南北边界 NWW 向断裂发生左旋走滑运动，而东西边界发生挤压逆冲运动，块体内部则向 SE 方向挤出，表现为整个次级地块向 SE 或 SEE 方向的滑移和 EW 向地壳的缩短，基底断裂受压而产生逆冲和掀斜断块运动。在这样的动力学环境下沿块体边界和内部断裂发生了一系列地震，如 1125 年兰州金城关 7 级、1718 年通渭 7½ 级等 7 级以上强震（袁道阳等，2002）。

(3) 甘南次级地块

甘南次级地块位于青藏高原北部活动地块的东南部，是青藏高原东北缘一系列 NW-NWW 向构造和青藏块体东部近 SN 向构造的过渡地区，地壳活动十分活跃，区内构造复杂，地震活动强烈。次级地块北部边界为 NWW 向西秦岭北缘活动断裂，西边界为 NNW 向拉脊山北缘活动断裂，南边界为 NWW 向库玛断裂东段，东边界为 NE 向龙门山断裂带。区域新构造运动特征和震源机制解结果均显示自晚更新世以来该地区一直处于 NE-NEE 向区域构造应力场作用下 导致块体内部向 SE 方向的挤出。块体内部发生过 1654 年天水 8 级、1879 年武都 8 级等巨大地震。

(4) 共和次级地块

共和次级地块北部边界为 NWW 向冷龙岭左旋走滑活动断裂，东部边界为 NNW 向拉脊山北缘右旋走滑活动断裂，南部边界为 NWW 向库玛断裂东段，西部边界为 NNW 向鄂拉山右旋走滑活动断裂。块体内部有一些 NE 或 NW 向的次级断裂。晚更新世以来该地区的运动状态为向右的旋转运动。块体内部发生过 1990 年共和 7.0 级地震。

(5) 柴达木次级地块

柴达木次级地块北部边界为 NW 向疏勒山活动断裂，西部边界为 NEE 向阿尔金山左旋走滑活动断裂，南部边界为 NWW 向库玛左旋走滑活动断裂，东部边界为 NNW 向鄂拉山右旋走滑活动断裂。块体内部有 NWW 向和 NW 向的次级断裂。第四纪以来该地区以向右的旋转运动为主。

平原内部还发育了一些 NNE 向张性活动断裂。银川地块内发生过 1739 年平罗 8 级地震。

2. 主要活动构造及其基本属性

青藏高原北部地区活动构造十分复杂。主要边界活动断裂有 13 条以 NNW、NW-NWW 向断裂最为发育。断裂活动性质主要为挤压逆冲兼走滑剪切活动，走滑活动为主，兼逆冲分量 均为晚更新世-全新世活动断裂。块体内部还有许多次级活动断裂。这些活动断裂分布如图 1.2 所示，其中 m1~m5 依次表示祁连山、兰州-西宁、甘南、共和、柴达木等次级地块，1、2、3... 依次代表区内主要的活动断裂。以下对这 13 条主要活动断裂的几何学、运动学、力学特征及历史地震活动简要予以介绍。

(1) 阿尔金山断裂

断裂全长 480km，走向 NEE，倾向 SE，为一条全新世左旋走滑兼具逆冲活动断裂，断错上更新统-全新统砂、砾石层及洪积层，造成一系列山脊、水系、阶地、洪积扇等位错，晚更新世以来活动强烈，其平均水平滑动速率达 4~4.5mm/a。发现 3 期古地震事件 分别为 18620a.BP、12590a.BP、7080a.BP。

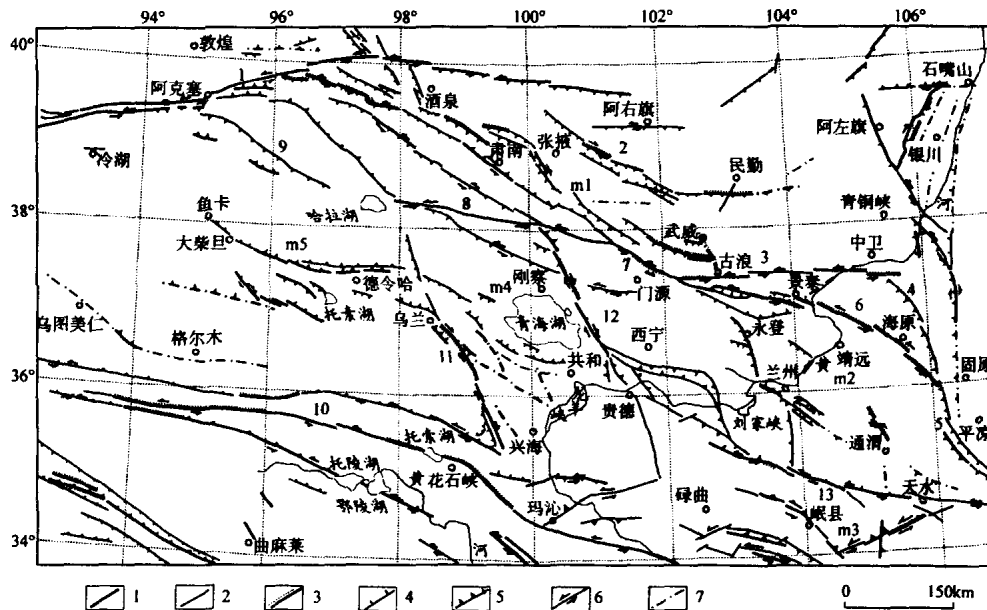


图 1.2 青藏高原北部地区主要活动断裂分布图

1. 全新世断层；2. 晚更新世断裂；3. 地震破裂带；4. 正断裂；5. 逆断裂；6. 走滑断裂；7. 隐伏断裂

(2) 祁连山北缘断裂

祁连山北缘断裂包括榆木山北缘断裂和榆木山东缘断裂。榆木山北缘断裂全长 60km，走向 NW，倾向 SW，为一条晚更新世-全新世活动断裂，以右旋逆走滑活动为主。该断裂多处断错晚更新世及全新世地层。断裂东段上更新统砾石层微有变形，中、西段断层陡坎、鼓包、地裂缝、断错水系等地震破裂现象沿断层分布，为 180 年高台 7½ 级地震的发震断裂。全新世垂直滑动速率为 1.6mm/a 水平滑动速率为 1.5mm/a。榆木山东缘断裂全长 110km，走向 NNW，倾向 SW，为一条晚更新世-全新世活动断裂，以挤压逆冲兼左旋走滑活动为主。该断裂中段活动强烈，南北两端相对较弱，于中更新世末或晚更新世初停止活动。中段多处

断错山脊、水系，断层陡坎明显，据黑河口地震崩积楔表明有 3 次古地震发生。晚更新世垂直滑动速率为 2.5mm/a 水平滑动速率为 1.1mm/a。

(3) 古浪断裂（天桥沟-黄羊川断裂）

断裂全长 145km 左右，总体走向 NWW-EW，晚更新世以来活动强烈，形成了各种断错微地貌，表现为以左旋走滑运动为主。全新世以来水平滑动速率为 2.9~4.1mm/a，垂直滑动速率为 0.2~0.3mm/a。探槽资料揭露出 7 次古地震事件，它们在时间分布上是不均匀的，平均复发间隔为 3350 年，最大震级为 7¼ 级（戴华光等，1995）。

(4) 香山-天景山断裂

断裂由天景山断裂带和庙山断褶带两部分组成，全长 124km 断裂走向自西向东由 NWW 向转为 NW 或近 NS 向 总体倾向 SW，断裂几何结构复杂，由 5 条次级剪切断层左阶羽列组成。中更新世以来表现为逆走滑活动，平均水平滑动速率为 0.34~2.28mm/a，历史上曾发生过 1709 年中卫 7½ 级地震，在地表形成了大于 30km 的地震破裂带。探槽揭示断裂西段有 6 次古地震事件，平均复发间隔为 5600 年 中段有包括 1709 年中卫 7½ 级地震在内的 5 次古地震事件，平均复发间隔为 4000 年 东段有 5 次古地震事件 平均复发间隔为 4000~6000 年。

(5) 六盘山断裂

断裂全长 215km 总体走向 NW-NNW，倾向南西，由 5 条次级断裂右阶斜列组成。该断裂北自海子峡与海原活动断层相连，南至泾河源马家新庄与陇县-宝鸡活动断层斜接。自第三纪末形成以来表现为挤压逆冲活动，中更新世后具有强烈的挤压逆冲兼左旋走滑特征，在地貌上形成了负地形陡坎、断层崖和一系列断错山脊及水系。无历史强震记载。

(6) 海原断裂

海原断裂是祁连山东段一条主要的全新世左旋走滑活动断裂，全长 237km 东段走向 NW 西段为 NWW 向 断裂带几何结构复杂 由 11 条倾向不同的次级断裂羽列组成，各段之间以拉分盆地或挤压隆起相过渡。断裂早期以挤压逆冲活动为主，中更新世以来转换为左旋走滑活动，形成一系列典型的构造微地貌现象，断裂平均水平滑动速率达 5~8mm/a，1920 年海原 8.5 级地震沿断裂形成了长达 237km 的地震地表破裂带。探槽揭露有 9 次古地震事件，在不同段古地震次数及复发间隔各不相同，东段南西华山北麓断层上的古地震事件多发生在全新世中晚期，古地震复发间隔为 1000 年左右，西段哈思山-米家山段的古地震事件多发生在全新世早期，古地震复发间隔为 2000 年左右，整个断裂的平均复发间隔为 1200 年。

(7) 冷龙岭断裂

冷龙岭断裂属于北祁连山活动断裂带的一部分。断裂东端与古浪断裂及毛毛山断裂相接，西端与托莱山断裂相连。断裂全长 127km，整体走向 N60°~70° W 倾向 NE 倾角 50°~60°。断裂带由一组近于平行的次级断裂组成，带宽 1~3km。根据不同段落的形态、走向、结构和连续性，并考虑断裂活动性质和地貌特征的变化，可将冷龙岭断裂分成 3 段，即东段双龙煤矿-假墙丫豁段 中段假墙丫豁-硫磺沟口段，西段硫磺沟口-八道班段。中更新世以来各时代的断裂平均滑动速率分别为中更新世 2.14~4.64mm/a，晚更新世 2.86~4.07mm/a，全新世 3.35~4.62mm/a。全新世以来断裂平均垂直滑动速率为 0.38mm/a。1986 年 8 月 26 日曾在该断裂中段发生了门源 M_s 6.4 地震。

(8) 中祁连山北缘断裂

该断裂又称托莱山南麓断裂。西起托莱山南麓，经野牛沟至大梁北与昌马-俄博断裂斜

接。断裂全长 300km,走向 NW,倾向 SW,该断裂早期以挤压活动为主,晚更新世以来表现为左旋走滑兼逆冲的活动性质。地貌上形成一系列鞍状负地形、断层谷及断层三角面。中更新世晚期以来水平滑动速率为 2.0mm/a,晚更新世时期为 3.6mm/a,全新世以来为 2~2.5mm/a。断裂带上发生了 1993 年托莱 6 级地震。

(9) 党河南山断裂

该断裂西起阿尔金山,东至哈拉湖西,沿党河南山北麓平行延伸。全长 150km,走向 NW,倾向 SW 或 NE。其中北麓断裂连续性较好,地貌上为平直的基岩高山与山前洪积丘陵接触带,在乌兰布拉克至温泉一带,山前冲洪积扇面上发育长 20km 线状断坎。南麓断裂在小苏干湖-塔尔巴斯沟 80km 区段及巴音泽尔马勒至响水河长 90km 区段,晚更新世以来有较强活动。沿带最大历史地震记录为 5½ 级。

(10) 库玛断裂

该断裂带是青藏块体内部一条重要的左旋走滑活动断裂带,也是中国大陆著名的活动断裂之一。断裂的深度达到地壳莫氏界面,全新世以来活动十分强烈,是一条明显的重力梯级带和地壳厚度转变带,为青藏高原南部隆起和北部凹陷的分界断裂,沿带地震活动具有强度大和重现周期短的特点。断裂西起库赛湖以西,东至甘肃玛曲,全长 1000km,可以划分成四段。第一段为库赛湖段,从库赛湖以西向东延至昆仑山口以北,走向 NWW,长度大于 200km,晚更新世以来水平滑动速率可达 13~14mm/a,是 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级地震的发震构造。第二段为东西大滩段,该段西起昆仑山口北西,往东经东大滩、西大滩至西藏大沟,长度为 100km,走向近 EW 向,水平滑动速率为 7~9mm/a,全新世以来有 4 次古地震事件,史料显示没有历史强震发生。第三段为阿拉克湖段,西起阿拉克湖以西,向东沿红水川谷地和托索河河谷穿过托索湖至阿尼玛卿峰北坡,总体走向 NWW,全长 310km,由 6~7 条呈左阶羽列组合的分断裂组成,水平滑动速率为 6~8 mm/a,该段是库玛断裂带上结构最为复杂,又是第四纪晚期以来活动强烈的地段,因此是强震活动十分活跃的地带,全新世以来揭露出 5 次古地震事件,曾发生过 1937 年托索湖 7½ 级地震。第四段为大武-玛曲段,西起东倾沟,向东经大武滩盆地进入甘肃的西科河谷地至玛曲县城南侧,全长 220km,总体走向近东西,该段由 5~6 条羽列状分断裂组成,水平滑动速率为 9~10mm/a,全新世以来发现 3 次古地震事件,1900 年以来未发生 6 级以上地震,和整条断裂相比本段活动相对较弱。

(11) 鄂拉山断裂

该断裂北起布特南麓,沿鄂拉山东麓向东南延伸到温泉。断裂全长 200km,走向 NNW 向,倾向 NE-SW,为晚更新世-全新世右旋走滑活动断裂。主要由两条近于平行的断裂所组成,航片上线性特征清晰,地貌上出现一系列垭口、陡坎和水系、山脊右旋断错。断裂晚第四纪活动强烈,但西侧断裂活动较弱,断错 III 级阶地, I、II 级阶地没有断错。东侧断裂全新世活动强烈,切错洪积扇,形成陡坎和鼓梁,全新世以来平均水平滑动速率为 3.46mm/a,沿带地震活动多,现今弱震活动密集成带。

(12) 明山-热水煤矿断裂

断裂北起大通河以北,向南经热水煤矿,过大通山、日月山北北西向隆起的西侧到日月山后与拉脊山断裂带斜接,由 3 条 NNW 向的右旋走滑断层右阶排列而成。断裂全长 180km,走向 NNW 向,倾向 NE-SW,为晚更新世-全新世右旋走滑活动断裂。新活动明显,其中公麻寺至热水煤矿段保存有一条长 60km 较连续的地震形变带,有地震鼓包、陷坑、断

塞塘。据断坎计算全新世可以分为三期活动：1.2~1.1 万年、0.585 万年和 0.383 万年左右。全新世水平滑动速率为 3.5mm/a。

(13) 西秦岭北缘断裂

断裂全长 440km, 走向 NWW-EW 向, 倾向 NE。该断裂为一条形成较早的压性断裂带。中更新世以来转变为以左旋走滑为主兼正断分量, 由一系列次级断层左阶羽列而成, 自东向西分别为天水断裂、甘谷-武山断裂、漳县断裂及锅麻滩断裂。其水平滑动速率为 2.1~2.8mm/a, 垂直滑动速率为 0.4~0.7mm/a。水平活动东强西弱, 垂直活动则西强东弱。全新世期间曾发生过三期构造运动: 1~1.3 万年, 4500~6000 年以及东段(甘谷-武山段) 143 年的甘谷 7 级地震, 西段(锅麻滩段) 1936 年康乐 6½ 级地震。大震复发间隔为 5000 年左右。中段(漳县断裂) 具有发震的较大危险性。

1.1.2 区域地震活动基本特征

1. 区域 7 级地震活动基本特征

青藏高原北部地区地震活动强烈, 有记录以来发生 $M_S \geq 7$ 级地震 27 次, 是我国主要的强震活动区之一。受区域构造的控制, 22 次 7 级以上地震沿祁连-海原地震带和南北地震带北段等地区分布, 5 次 7 级以上地震分布在青藏高原北部地区内部。同时, 几乎所有的 7 级以上地震均分布在祁连-海原断裂带、南祁连-西秦岭断裂带及库玛断裂带和南北地震带北段等大断裂带及其附近地区 表现出地震活动受主要构造控制的事实。以下以 1900 年以来发生的 7 级以上地震为例, 揭示 7 级以上地震演化的共性特征及区域差异性。

1900 年以来青藏高原北部地区发生 7 级以上地震 10 组(次), 对该 10 组(次)地震孕育演化过程的系统研究表明, 祁连山地震带、西秦岭北缘断裂带的 7 级以上地震前, 震中区表现为长时间的平静, 在平静区内部发震; 而库玛地震带的 7 级以上地震前具有不同演化过程的阶段性。在时间方面, 一个共同的特点是, 震前 1~5 年表现为整个区域 5 级以上地震的活跃状态, 意味着震前普遍存在中强以上地震的活跃过程, 其中独立的 5 级以上地震年频次 ≥ 5 是区内发生 7 级地震的中期指标之一(杨立明等, 2000)。

(1) 地震活动增强的共性特征

研究表明, 本区中强震年频次 ≥ 5 , 对 $M_S \geq 7.0$ 地震预报具有指标意义。1930 年以来, 青藏高原北部地区中强地震年频次超过 5 次的年份及其与本区 7 级以上地震的对应关系如表 1.1 所示。可以看出, 1930 年以来年频次达到或超过 5 次的现象共有 7 次, 其中 6 次后在 1~5 年的时间内发生了 7 级以上地震; 而该区 1930 年以来发生 7 级以上地震 9 次, 除 1932 年昌马 7.6 级、1947 年达日 7.7 级地震外, 其余的 7 次 7 级以上地震前均存在类似的现象。因而, 年频次 ≥ 5 对青藏高原北部地区 7 级以上地震预报具有指示意义, 可能是该区发生 7 级以上地震前 1~5 年的中期指标之一。

(2) 地震活动的空间差异性

库玛地震带的 7 级地震具有三阶段演化的特征: 一般表现为震前 11~13 年起 整个库玛地震带处于平静状态, 没有一次 5 级以上地震活动, 持续时间约 6 年左右, 为第一阶段; 震前 5~7 年起, 地震带内开始出现 5 级以上地震活动, 为第二阶段; 震前 1~5 年, 整个青藏高原北部地区出现中强地震频发, 5 级以上地震年频次 n 达到或超过 5 次, 为第三阶段。不同地震的演化过程如表 1.2 所示, 1937 年托索湖 7½ 级、1963 年阿拉克湖 7 级、1976 年松潘-

平武 7.2 级、2001 年昆仑山口西 8.1 级等地震均符合这种演化模式，其中 T_1 、 T_2 分别表示第一阶段、第二阶段的持续时间， T_3 代表频次 $n \geq 5$ 年度距发震的时间间隔，单位为年。部分地震空间演化图像如图 1.3 所示。

表 1.1 1930 年以来青藏高原北部地区中强地震年频次 ≥ 5 与区域 7 级以上地震的对应关系

序号	年号	5 级以上地震频次	后续 7 级以上地震
1	1934	5	1937.01.07 托索湖 7½ 级
	1938	6	
2	1950	5	1954.02.11 山丹 7¼ 级
	1952	10	1954.07.31 民勤 7¼ 级
3	1959	7	1963.04.19 阿拉克湖 7 级
	1960	5	
	1961	7	
	1962	6	
4	1971	5	1976.08.16 松潘-平武 7.2 级
			1976.08.23 松潘-平武 7.2 级
5	1986	6	1990.04.26 共和 7.0 级
	1987	5	
	1988	6	
	1991	7	
6	1994	6	
	1995	6	
7	2000	11	2001.11.14 昆仑山口西 8.1 级

表 1.2 库玛地震带 7 级以上地震演化的阶段性

7 级以上地震	阶段性演化过程					
	第一阶段		第二阶段		第三阶段	
	特征及持续时间	T_1/a	特征及持续时间	T_2/a	特征及 $n \geq 5$ 年度	T_3/a
1937 年托索湖 7½ 级	库玛带 5 级地震平静 (1924.07~1930.02)	6	库玛带开始 5 级地震活动 (1930.02~1937.01)	7	青藏高原北部中强震活跃 (1934)	3
1947 年达日 7.7 级	库玛带 5 级地震平静 (1940.02~1946.12)	6	库玛带开始 5 级地震活动 (1946.12~1947.03)			
1963 年阿拉克湖 7 级	库玛带 5 级地震平静 (1952.12~1958.08)	6	库玛带开始 5 级地震活动 (1958.08~1963.04)	5	青藏高原北部中强震活跃 (1959、1960、1961、1962)	4
1976 年松潘-平武 7.2 级	库玛带 5 级地震平静 (1964.01~1969.09)	5	库玛带开始 5 级地震活动 (1969.09~1976.08)	7	青藏高原北部中强震活跃 (1971)	5
2001 年昆仑山口西 8.1 级	库玛带 5 级地震平静 (1988.01~1995.11)	7	库玛带开始 5 级地震活动 (1995.11~2001.11)	6	青藏高原北部中强震活跃 (2000)	1

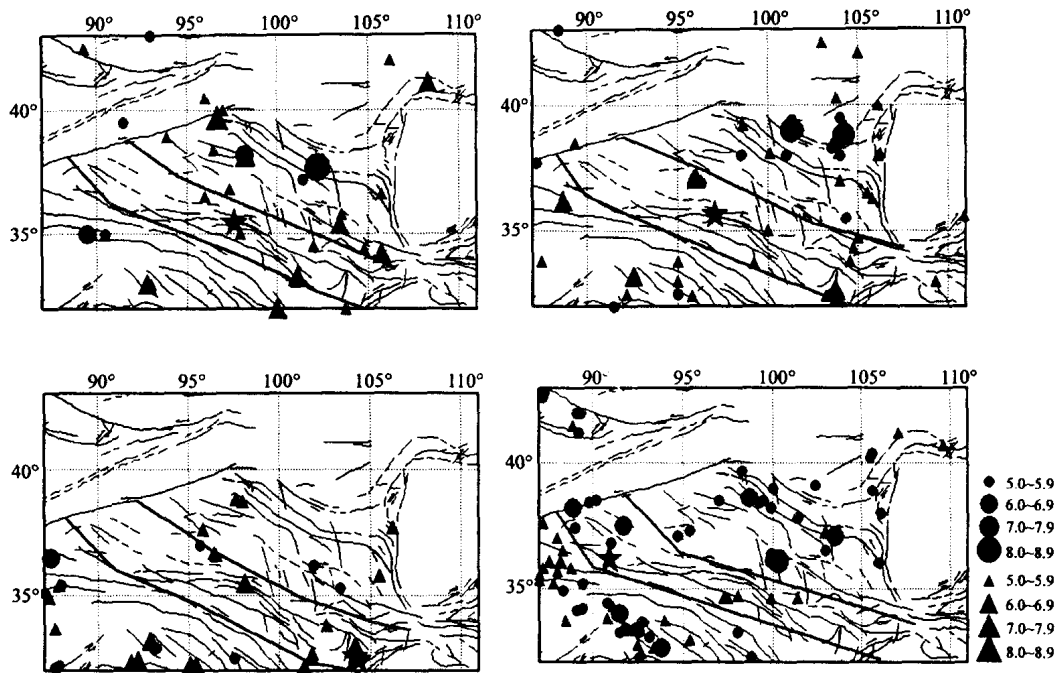


图 1.3 库玛带 7 级以上地震阶段性

●：第一阶段地震；▲：第二阶段地震；★7 级以上地震

1900 年以来，祁连山地震带、西秦岭北缘断裂带发生 7 级以上地震 4 组（6 次）其共同点在于震前震中区表现为长时间的平静，在平静区内部发震。不同地震前的平静时间统计如表 1.3 所示。图 1.4 是 1954 年山丹 7¼ 级和民勤 7.0 级、1990 年共和 7.0 级等地震前的平静图像。其中 1954 年 2 月 11 日山丹 7¼ 级地震前的平静始于 1929 年 5 月 1 日，至地震的发生，整个祁连-海原断裂带持续了长达 25 年的中强地震平静；1990 年 4 月 26 日共和 7.0 级地震前的平静始于 1969 年 1 月 1 日，至共和地震的发生，西秦岭北缘断裂带持续了长达 21 年的中强地震平静。其它发生于这两个地震带的 7 级地震震前具有类似的活动图像，一般持续平静时间 15~25 年。

表 1.3 祁连-西秦岭北缘地震带 7 级以上地震前的演化过程

7 级以上地震	阶段性演化过程			
	第一阶段		第二阶段	
	特征及持续时间	T_1/a	特征及 $n \geq 5$ 年度	T_2/a
1920 年海原 8.5 级 1927 年古浪 8 级	几乎整个祁连带 5 级地震平静 (1900.01~1920.12)	20		
1932 年昌马 7.6 级	祁连西段 5 级地震平静 (1917.10~1932.12)	15		
1954 年山丹 7¼ 级 1954 年民勤 7.0 级	整个祁连带 5 级地震平静 (1929.05~1954.02)	25	青藏高原北部地区中强震活跃 (1950、1952)	4、2
1990 年共和 7.0 级	西秦岭北缘断裂带 5 级地震平静 (1969.01~1990.04)	21	青藏高原北部地区中强震活跃 (1986、1987、1988)	4、3、2

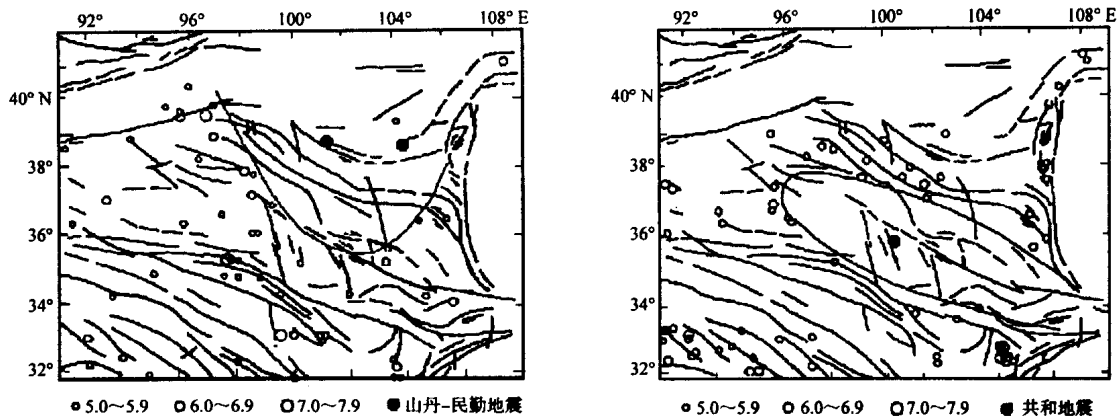


图 1.4 祁连-海原地震带、西秦岭北缘地震带 7 级以上地震演化图像特征

2. 区域中强震活动基本特征

1900 年以来, 青藏高原北部地区 $M_S \geq 5.0$ 、5.5、6.0 等不同强度层次的地震活动如图 1.5 所示。由图清楚地显示出该区地震时间分布的不均匀性, 明显地可划分成 7 个活跃期和 6 个平静期 (杨立明等, 2001)。活跃期地震活动基本参数如表 1.4 所示。可以看出, 活跃期内一般发生 $M_S \geq 6.0$ 地震 7~15 次, $M_S \geq 7.0$ 地震 1~3 次; 而平静期一般没有 $M_S \geq 6.0$ 地震活动, 最大震级处于 5.2~5.7 级之间, 持续时间为 57~84 个月, 即 5~7 年; 第 2 活跃期是一个较强的活跃期, 其持续时间、发震频度等都超过了其它活跃期。

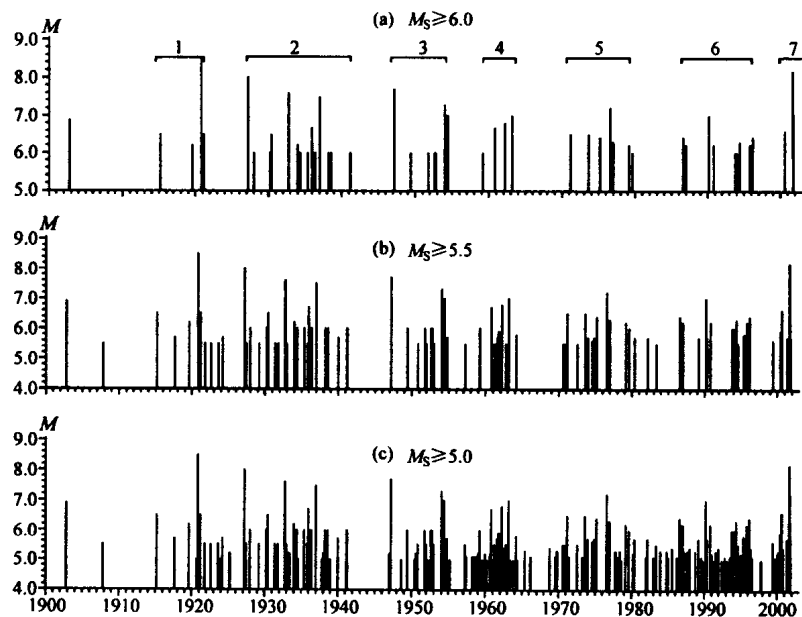


图 1.5 青藏高原北部地区地震活跃期的划分

进一步可归纳出地震活动处于平静期的判据为：没有 $M_S \geq 5.8$ 地震活动；6级地震平静时间超过 38 个月； $M_S \geq 5.0$ 地震累计频次低于 11 次。而进入活跃期的判据为发生 5.8 级以上或 6 级左右地震；6级地震平静时间接近或超过 57 个月； $M_S \geq 5.0$ 地震累计频次达到或超过 11 次。

表 1.4 青藏高原北部地区地震活跃期特征

活跃期	I	II	III	IV	V	VI	VII	
活跃时段	1915~1921	1927~1941	1947~1954	1959~1964	1971~1979	1986~1995	2000~2008 (?)	
最大间隔/月	51	32	30	11	27	38	?	
频次	≥ 5.5	11	35	14	13	17	16	13~17 (?)
	≥ 6.0	7	15	7	4	12	7	7~15 (?)
	≥ 7.0	2	3	3	1	2	1	1~3 (?)
最大地震	8.5	8.0	7.7	7.0	7.2	7.0	8.1 (?)	

1.1.3 不同构造带地震类型分布特征

利用常用的方法（周翠英等，1997；陈玉华等，2000，2001；杨立明等，2001a），结合具体的地震活动特征，可进行地震序列类型的判定。一般来讲，不同震型的判定指标为：

主震-余震型序列： $90.0\% \leq E_m / \sum E \leq 99.9\%$ ， $0.7 < \Delta M < 2.4$ 。

孤立型序列： $E_m / \sum E \geq 99.9\%$ ， $\Delta M \geq 2.4$ 。

前震-主震-余震型序列： $90.0\% \leq E_m / \sum E \leq 99.9\%$ ， $0.7 < \Delta M < 2.4$ ，并在主震前若干天有明显的前震或前震序列活动。

多震型序列： $E_m / \sum E \leq 90.0\%$ ， $\Delta M < 0.7$ ，包括震群型和双震型序列。地震序列中没有突出的主震，由震级相近的 2 次或多次地震组成。

其中 E_m 为最大地震的能量， $\sum E$ 为地震序列累计能量， ΔM 为主震与最大余震之差。由于区域活动构造的几何学、运动学和动力学特征以及孕震构造条件和震源体的地球物理特征的差异，每一次地震都有各自的特点。为了合理地确定地震序列类型，将青藏高原北部地区划分为三个相对独立的、自成一体的构造单元，由北向南依次为祁连-海原地震带、柴达木-共和-兰州地震区和库玛地震带，以便分别讨论不同孕震构造条件下的地震类型特征。

1. 祁连-海原地震带震型特征

祁连-海原地震带内的中强震和强震主要发生在北西向和北西西向左旋走滑活动断裂带上，地震活动频度高，强度大。1970 年以来该区发生 $M_S \geq 5.0$ 地震 16 次，通过对这些地震序列的研究确定出地震类型有孤立型、主震-余震型、前震-主震-余震型和多震型，其中主震-余震型是该区主要的地震类型，占总数的 56.25%，地震序列的主要参数如表 1.5 所示。地震序列类型与发震构造之间有很好的对应关系，孤立型地震主要分布在走滑剪切构造单元，主震-余震型地震主要分布在挤压逆冲构造单元。

2. 柴达木-共和-兰州地震区震型特征

柴达木-共和-兰州地震区主要指由祁连山断裂和库玛断裂所围限的北西向菱形块体。1970 年以来该区发生 $M_S \geq 5.0$ 地震 25 次，通过对这些地震序列的研究确定出地震类型有孤

立型、主震-余震型、前震-主震-余震型和多震型，其中主震-余震型占总数的 52%，孤立型占 28%，地震序列的主要参数如表 1.6 所示。

3. 库玛地震带震型特征

1970 年以来该区发生 $M_S \geq 5.0$ 地震 9 次，通过对这些地震序列的研究确定出地震类型为孤立型和主震-余震型，其中孤立型占 77.78%，主震-余震型占 22.22%。地震序列的主要参数如表 1.7 所示。库玛地震带是以挤压为主的走滑剪切构造带，大多数地震发生后余震活动相对较弱，主震能量释放比较充分，地震序列类型以孤立型为主。

表 1.5 祁连-海原地震带地震序列参数及类型判定

序号	时间 (年.月.日)	地点	位置		震级 M_S	ΔM	$E_m/\Sigma E$ (%)	全序列持续 时间	序列类型
			北纬	东经					
1	1978.08.16	民乐	38.2°	101.0°	5.0	1.8	99.94	4 天	主震-余震型
2	1982.04.14	海原	36.7°	105.5°	5.7	2.4	99.99	130 天	孤立型
3	1984.01.6	九条岭	37.9°	102.1°	5.3	1.2	99.28	124 天	前-主-余震型
4	1984.02.17	刚察	37.9°	100.7°	5.2	2.0	99.05	66 天	前-主-余震型
5	1986.08.26	门源	37.7°	101.5°	6.4	1.2	98.41	22 天	主震-余震型
6	1988.11.22	肃南	38.4°	99.3°	5.3	0.3	67.41	89 天	多震型
7	1988.12.26	祁连	39.0°	100.0°	5.1	1.4	99.89	71 天	主震-余震型
8	1990.10.20	景泰	37.1°	103.5°	6.2	1.5	99.78	30 天	主震-余震型
9	1991.01.02	祁连	38.2°	99.9°	5.1	1.7	99.61	7 天	主震-余震型
10	1991.10.01	祁连	37.8°	101.4°	5.2	1.6	99.52	12 天	主震-余震型
11	1992.01.12	镜铁山	39.7°	98.3°	5.4	3.0	99.99	1 天	孤立型
12	1992.06.21	祁连	38.5°	99.5°	5.0	2.0	99.82	6 个月	主震-余震型
13	1993.10.26	托来	38.6°	98.7°	6.0	3.2	99.99	47 天	孤立型
14	1996.06.01	天祝	37.2°	102.9°	5.4	2.3	99.95	29 天	主震-余震型
15	2000.06.06	景泰	37.1°	104.0°	5.9	2.7	99.99	10 天	孤立型
16	2001.07.11	肃南	39.2°	98.0°	5.3	1.4	99.74	14 天	主震-余震型

表 1.6 柴达木-共和-兰州地震带地震序列参数及类型判定

序号	时间 (年.月.日)	地点	位置		震级 M_S	ΔM	$E_m/\Sigma E$ (%)	全序列 持续时间	序列类型
			北纬	东经					
1	1972.08.30	霍布逊湖	36.7°	96.4°	5.5	0.2	51.88	3 天	多震型
2	1973.06.16	霍布逊湖	37.6°	95.8°	5.1	1.5	99.77	1 天	主震-余震型
3	1975.01.04	哈拉湖	38.8°	97.6°	5.3	2.7	99.97	2 天	孤立型
4	1977.01.02	茫崖	38.2°	91.2°	6.4	1.5	99.69	2 天	主震-余震型
5	1977.01.19	霍布逊湖	37.1°	95.8°	6.3	1.8	99.63	50 天	前-主-余震型
6	1979.12.02	格孜湖	38.5°	90.3°	5.6	2.4	99.98	4 个月	孤立型
7	1980.04.18	木里	37.9°	99.1°	5.2	0.2	68.39	6 个月	多震型
8	1980.06.01	党河	39.1°	95.6°	5.6	2.3	99.91	1 天	孤立型
9	1980.07.13	乌图美仁	36.5°	94.0°	5.1		100.00	无余震	孤立型
10	1985.08.12	格尔木	36.9°	95.8°	5.4	1.5	99.63	4 个月	主震-余震型
11	1986.12.21	格尔木	36.8°	93.8°	5.3	1.8	99.97	3 天	主震-余震型

续表

序号	时间 (年. 月. 日)	地点	位置		震级 M_S	ΔM	$E_m/\Sigma E$ (%)	全序列 持续时间	序列类型
			北纬	东经					
12	1987.01.08	迭部	34.1°	103.4°	5.8	1.2	99.71	7个月	主震-余震型
13	1987.02.26	茫崖	37.4°	92.0°	6.2	1.6	99.80	1天	主震-余震型
14	1987.10.25	礼县	33.5°	105.1°	5.2	1.8	99.79	2个月	主震-余震型
15	1989.09.21	肃北	38.5°	97.0°	5.1	1.4	99.86	1个月	主震-余震型
16	1990.01.14	茫崖	37.5°	91.7°	6.7	2.7	99.99	1天	孤立型
17	1990.04.26	共和	36.1°	100.3°	7.0	1.5	92.97	6.5年	主震-余震型
18	1991.09.02	镜铁山	37.3°	95.4°	5.1	2.6	99.99	2天	孤立型
19	1993.02.17	新青交界	38.4°	89.8°	5.1	1.0	99.07	45天	主震-余震型
20	1993.09.05	格尔木	37.1°	94.7°	5.1	1.0	96.96	3个月	主震-余震型
21	1994.09.07	若羌	38.5°	90.2°	5.4		100.00	无余震	孤立型
22	1995.07.22	永登	36.5°	103.0°	5.8	2.4	99.60	96天	主震-余震型
23	1999.09.27	河南县	34.6°	101.4°	5.1	1.6	99.28	1个月	前-主-余震型
24	2000.09.12	兴海	35.4°	99.7°	5.1	1.4	99.93	7天	前-主-余震型
25	2001.07.17	兴海	35.5°	99.7°	5.0	1.4	98.13	4个月	主震-余震型

表 1.7 库玛地震带地震序列参数及类型判定

序号	时间 (年. 月. 日)	地点	位置		震级 M_S	ΔM	$E_m/\Sigma E$ (%)	全序列持续 时间	序列类型
			北纬	东经					
1	1971.03.24	托索湖	35.5°	98.05°	6.3	2.7	99.99	3天	孤立型
2	1974.09.23	玛曲	33.8°	102.6°	5.6	2.6	99.99	1天	孤立型
3	1978.02.21	甘德东	34.0°	101.1°	5.1	1.6	99.84	7个月	主震-余震型
4	1980.03.07	卓乃湖	36.1°	91.9°	5.6	2.6	99.92	1天	孤立型
5	1994.12.28	茫崖南	36.78°	91.0°	5.1		100.00	无余震	孤立型
6	1996.10.04	玛沁	34.8°	99.15°	5.0	1.9	99.93	30天	孤立型
7	1999.11.26	玛沁	34.6°	99.9°	5.0	0.7	93.88	14天	主震-余震型
8	2000.11.26	可可西里	36.1°	90.6°	5.1		100.00	无余震	孤立型
9	2001.11.14	昆仑山	36.2°	90.9°	8.1	2.4	99.99	32天	孤立型

4. 不同地震带地震类型的共性和差异性

青藏高原北部地区 50 次 $M_S \geq 5.0$ 地震的序列类型研究表明 不同孕震构造单元的地震序列类型既有共性，又有差异性。同一断裂带上的地震类型共性大于差异性，是一个复杂的综合体。地震序列类型与发震构造的运动性质和动力环境有密切的关系，一般来说，发生在挤压逆冲构造单元的地震由于断裂几何性质复杂，地表浅层断裂与地下深处的基底深大剪切走滑活动断裂之间有千丝万缕的关系。地表一组或多组挤压逆冲断层均为能量释放的通道，因此当主震沿某一条断裂发生后，其它断裂也会受到不同程度的影响，出现一系列弱震的丛状

活动 从而地震序列类型以主震-余震型为主。发生在以走滑剪切活动为主的构造单元中的地震，发震断裂几何结构相对简单，断裂水平剪切运动幅度远远大于垂直运动，使得主震能量释放比较充分，余震活动微弱，从而地震序列类型为孤立型。祁连-海原地震带和柴达木-共和-兰州地震带由于地处青藏高原东北缘 地质构造十分复杂 断裂几何结构及运动性质多样，不同断裂之间和同一断裂不同活动段之间既有挤压逆冲分量又有走滑剪切分量，所以地震序列类型包含了所有的 4 种类型 但主要还是以主震-余震型为主 反映了整个地区以挤压为主的的受力状态。而库玛地震带以孤立型为主。可见这种共性和差异性既存在于不同的地震构造带，也存在于同一断裂的不同活动段。

1.2 天山地区地震构造背景及地震活动基本特征^①

1.2.1 区域构造背景

天山位于中亚腹地，横贯新疆中部，向西近纬向延伸至哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦和塔吉克斯坦境内。在长期的地壳运动作用下，区内岩浆活动频繁，断裂错综复杂，以近 EW 向、NW 向和 NE 向为主的断裂体系将天山切割成规模不等、形状各异的块体构造。该区现代差异构造运动十分强烈，在近 NS 向主压应力作用下，山体不断隆起，盆地继续下沉，在二者的接触部位形成了地壳形变异常。老断裂、老褶皱复活，新断裂、新褶皱发育，天山地区活动断裂主要分布在天山两侧及山前拗陷地带。

天山地区构造板块单元间的两条缝合线是 艾比湖-康古尔塔格缝合线是划分准噶尔板块与塔里木板块的界线；米什布拉克-古洛沟-库米什缝合线构成伊犁微板块与塔里木板块的界线。

1. 深部构造

由新疆 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 布格重力异常反演的新疆地壳厚度等值线分布表明，南天山强烈隆起地壳厚 57km，南天山东段地壳厚 55km，以乌鲁木齐-库尔勒为界，东、西天山莫霍面深度不同。

据人工地震测深研究结果 二台-阿克赛人工爆破地震测深剖面表明天山的地壳自上而下由 4 层构成：第四层，地壳表层中新生界沉积及下伏沉积-火山岩，一般厚度在 4km 以内。第三层 花岗质岩层构成的上地壳 在东天山三道岭一带较薄 厚 11km；在哈密盆地内最厚，达 30km。第二层，闪长质岩层构成的中地壳，准噶尔盆地东缘该层最薄，仅 8.8km；哈密盆地以南的北山裂谷带的苦水附近最厚，达 20km。第一层，玄武质岩层构成的下地壳，哈密盆地以南的苦水北山裂谷带厚度最薄，为 8.7km；可可托海以南最厚，达 23km。

沿独山子-库车公路横穿天山的人工爆破地震测深表明，南、北天山莫霍面深 50km 左右，在依连哈比尔尕山下较深，达 58km。莫霍面以上地壳分为 5 层，自上而下为：第五层，沉积层 厚 2~5km 第四层 可能为变质基底层 厚 10~12km 第三层 上地壳 厚 9~10km；第二层，中地壳，在哈尔克山与依连哈比尔尕山间厚达 20 多 km 往南北渐薄 第一层 下地壳 厚 10~12km。

^① 本节主要作者：高国英、沈军等。

2. 深断裂

天山深断裂有 16 条, 见表 1.8。天山深断裂的形成有两个时期: ① 元古代时期形成的深断裂。博罗科努-阿其克库都克超岩石圈断裂、包尔图岩石圈断裂、辛格尔壳断裂、帕尔岗壳断裂在元古代时期活动强烈, 可以认为它们是天山最先形成的深断裂。古生代时期形成的深断裂。早古生代时期 (570~400Ma) 形成的深断裂有喀什河壳断裂和那拉提断裂; 晚古生代 (400~250Ma) 是新疆深断裂最强烈活动时期, 有准噶尔南部壳断裂、东天山北缘壳断裂、吐鲁番-哈密隐伏壳断裂、哈尔克山壳断裂、库尔勒壳断裂、乌恰超岩石圈断裂。

表 1.8 天山深断裂与地震关系的统计表

编号	深断裂名称	走向	长度/km	性质	强烈活动时期	岩浆活动	深度	大震时间 震级	古地震	备注
1	准噶尔南	NWW	590	逆断层	晚古生代 新生代		地壳			隐伏断裂
2	东天山北缘	NEE	360	逆断层	晚古生代		地壳	1965.11.13 6.6		人工地震证实
3	吐鲁番-哈密	近 EW 弧形	370	逆断层	古生代 新生代		地壳	1916 6	有	隐伏断裂
4	阿拉山口	NW	90	右旋 逆断层	古生代 新生代	酸性 侵入岩	地壳	1765.2.9 6½	有	
5	博罗科努-阿其克库都克	NWW NW NEE	1510	逆断层 或正断层 (断面南倾 或北倾 50°~ 80°)	元古代 晚古生代 新生代	超基性岩 蛇绿岩 套混杂岩	超岩石圈	1944.3.10 7¼	有	为准噶尔与塔里木板块的分界线, 将莫霍面正断 2.5km 或逆断 3km (人工地震及转换波显示)
6	喀什河 (尼勒克)	NWW	510	右旋 逆断层	早古生代 新生代	闪长岩	地壳	1812.3.8 8	有	
7	那拉提	NEE	440	左旋 逆断层	早古生代 新生代	超基性岩 基性岩	地壳			晚志留-早泥盆世俯冲带
8	哈尔克山	NEE	360	逆断层	晚古生代	蛇绿岩	地壳			伊犁板块与塔里木板块分界线
9	乌瓦门-包尔图 (拱拜孜)	NWW	300	逆冲断层 或正断层	元古代 古生代	超基性岩 闪长岩 花岗岩 古生代 蛇绿岩套	地壳 或岩石圈			双变质岩, 转换波反映为壳断裂, 大地电磁测深证实为岩石圈断裂
10	乌勇布拉克	NWW	170	逆断层	古生代		地壳			
11	辛格尔	近 EW	280	逆断层 向北 陡倾	元古代 晚古生代	花岗岩	地壳			大地电磁测深证实, 深 25km 以上
12	帕尔岗	NE	150	左旋 断层	元古代		地壳			

续表

编号	深断裂名称	走向	长度/ km	性质	强烈 活动时期	岩浆活动	深度	大震时间 震级	古 地震	备注
13	库尔勒	NEE NW NWW	1010	逆断层	晚古生代 新生代	花岗岩	地壳		有	大地电磁测深证实， 东面为兴地深断裂
14	喀拉铁克	NE	350	逆断层	古生代		地壳			哈萨克斯坦板块与塔 里木板块分界
15	乌恰	近 EW NE	610	逆断层	晚古生代 新生代	超基性岩 基性岩	超岩 石圈	1955.4.15 7.0		
16	卡兹克 阿尔特	NWW	180	右旋 逆断层	古生代 中生代 新生代	枕状玄武 岩蛇绿岩	岩石 圈	1974.8.11 7.3 1985.8.23 7.1	有	

3. 新构造

(1) 新构造运动的继承性和新生性

始新世以来的板块活动与古板块的开合作用相比，既有继承性，又有新生性。

新构造运动的继承性主要表现在对古板块活动的继承性上，是大陆板块内部运动的表现。古板块活动的活跃单元或稳定单元基本上控制了新构造运动相对活动地带或相对稳定地带展布。古板块构造奠定了新构造基础，新构造继承了古板块构造的主要特征，如印度洋板块对欧亚板块的碰撞、挤压与古板块的俯冲作用类似。

新构造运动的新生性突出地表现在现今构造地貌上。受印度洋板块向欧亚板块的碰撞挤压，使天山山地夷平面倾斜，河谷阶地变形，老断裂复活。由于新板块活动形成薄、厚皮构造及滑脱构造，断层活动时受其产状的控制，形成断层滑动、断层弯曲以及断层扩展活动褶皱。

(2) 新构造运动的阶段性和间歇性

据天山地区上第三系红色膏盐建造、第四系下更新统西域组砾岩的磨拉石建造，以及下第三系与上第三系、上第三系与第四系、西域组砾岩的上部和下部、下更新统与中更新统、中更新统与上更新统、上更新统与全新统之间的不整合显现，天山的新构造运动划分出 7 个阶段：古近纪与新近纪之间 23.3Ma 的乌恰运动；哈密隆起运动；新近纪与第四纪之间 2.4Ma 的喀什变动；早更新世早期与晚期之间约 1.57Ma 的盐水沟变动；早更新世与中更新世之间 0.73Ma 的西域变动；中更新世与晚更新世之间 0.12Ma 的库尔勒变动；晚更新世与全新世之间 0.012Ma 的克孜尔变动。

(3) 天山强烈隆起区

天山山脉自新近纪以来迅速崛起，最大隆起幅度在 4km 以上。第四纪隆起幅度为 1~2km。由于天山内部垂直差异活动显著，在天山总体上自西向东隆起幅度逐渐变小的过程中，东、南、西、北、中隆起状况不同，甚至在总体隆起的过程中出现相对拗陷的新构造单元。可划分出 8 个二级构造单元，包括北天山隆起；东天山断块隆起；吐鲁番-哈密拗陷；伊犁拗陷；南天山强烈隆起；库鲁克塔格-北山轻微隆起；天山南麓新隆起；天山北麓新隆起。

(4) 柯坪阶梯状断块翘起

柯坪断块翘起随着柯坪断裂自北向南推覆出现，翘起幅度为 900 多 m。自南向北，南天山一侧翘起幅度逐渐变小。在翘起同时形成了一些纵向或横向的小断陷，它们从新近纪发育至今。断陷范围不大，但断陷幅度较大。早更新世时断陷 1000~1500m，中更新世以来断陷 500~1000m。受断块翘起的影响，断陷局部隆起，如普昌-卡拉扎里断陷内的第四系湖积或洪积隆起，形成长椭圆状的背斜或不对称的堤状隆起，长数千米，宽数百米，高 20m。此外，沿横切柯坪阶梯状断块翘起的普昌横向走滑断裂有碱性辉长岩岩墙，贯穿了古近纪托卡普岩系。

4. 天山全新世活动断裂

天山全新世活动断裂均为发震断裂，有的还在地表形成断裂带，或发生过古地震，错动全新世地层。其中有：霍尔果斯-玛纳斯-吐谷鲁活动断裂带，位于霍尔果斯-玛纳斯-吐谷鲁背斜带北翼及核部，为南倾的逆断裂带；乌鲁木齐西山活动断裂带，位于西山南麓西山背斜北翼，在卫星照片及航空照片上线性影像清晰，断层面倾向 NWW，倾角 $60^{\circ} \sim 83^{\circ}$ 为逆冲断层；大河沿-洛包泉活动断裂带，位于东天山博格达山与哈尔里克山之间，西起吐鲁番盆地东北缘坎尔其一带经塔孜布拉克（碱泉子）、西盐池、七角井盆地南缘、托莱泉至巴里坤洛包泉。除此还有吐鲁番盆地中央活动断裂带、博罗科努活动断裂带、伊犁喀什河活动断裂带、和静县哈尔莫墩北山山前活动断裂、阿图什县托特拱拜孜-阿尔帕勒克活动断裂带、柯坪县普昌-麻扎塔格活动断裂、拜城县克孜尔活动断裂、阿克陶县卡兹克阿尔特活动断裂带。

5. 晚更新世晚期活动断裂

晚更新世晚期活动断裂一般错动晚更新世堆积物。其中可能有一部分是全新世活动断裂，因缺少准确的年代学资料而暂且将它们划为晚更新世晚期活动断裂，但它们往往是重要的发震构造。目前已查明晚更新世活动断裂有准噶尔南缘活动断裂带、博格达山北麓断裂、可肯达坂活动断裂、霍拉山前活动断裂、塔拉斯-费尔干纳活动断裂、乌恰县乌鲁克恰提活动断裂、阿图什活动断裂、乌恰县吾合沙鲁活动断裂、阔克萨勒活动断裂、柯坪活动断裂、库其活动断裂、却勒塔格活动断裂、东却勒塔格活动断裂、兴地活动断裂、乌恰县肯恩别尔特活动断裂。

6. 天山地震带

北天山地震带的强震活动是以近 EW 向逆断裂为主，与逆冲-褶皱活动构造带关系密切。主要发震构造有大河沿-洛包泉断裂带、博格达弧形断裂带、吐鲁番盆地中央褶皱断裂带、清水河子断裂、霍尔果斯-吐谷鲁断裂、艾比湖-依连哈比尔尕 NW 向断裂构造带、库西木楔克断裂、喀什河断裂、恰克布河断裂、特克斯河断裂。除艾比湖-依连哈比尔尕断裂为右旋逆走滑外，其余断裂均以逆冲为主。

南天山地震带主要分布于我国境内的南天山及其与塔里木盆地的结合部。东起库尔勒东，经库车、拜城、阿克苏至阿图什，在乌什和乌恰以西地段向西延入吉尔吉斯斯坦、哈萨克斯坦、塔吉克斯坦境内。

该带可分为东西两段，库尔勒以东至阿克苏为东段，乌什至阿图什、乌恰一带为西段。东段总体呈近 EW 向展布，其发震构造主要有洪水沟断裂、北轮台断裂、霍拉山山前断裂及却勒塔格断裂。西段总体呈 NEE 向展布，其主要发震构造有柯坪断裂、乌什断裂、

铁列克巴什断裂、托特拱拜孜-阿尔帕雷克断裂,以及 NW 向的塔拉斯-费尔干纳断裂, NNW 向的皮羌(普昌)断裂。该段内地质构造复杂,新构造运动强烈,不仅表现出地震活动强度大、频度高的特点,而且地震类型多样,分别有主震-余震型、双主震型、震群型等。

1.2.2 天山地区地震构造危险性分析

根据地震构造能量积累-释放特征的研究(沈军等,1998a;1999;2004)利用地震活动轮回、断裂的滑动速率与震级、震级频度关系与大粘滑和小粘滑、地震破裂带的平均位错与最大位错、地震活动阶段性差异等方法,对新疆天山主要地震构造区的地震危险性进行了分析。

1. 北天山地震构造

北天山以乌鲁木齐为界分为两大逆冲地震构造,乌鲁木齐以东是博格达推覆构造,以西为北天山玛纳斯南逆断裂褶皱构造。

斜切天山的博罗科努-阿齐克库都克断裂(以下简称博-阿断裂)是天山的一条巨型构造,从现代地震活动性图像来看,它分为 4 段。西北段从精河南至阿拉山口,现代地震十分平静,沿该断裂段发现有大于 7.5 级地震的形变带。根据最新地质考察地震形变带的新鲜程度(沈军等,1998b)以及历史地震资料,估计该地震可能是 1716 年的准噶尔 7½ 级地震。该段断裂带的滑动速率为 3~5mm/a,据此估计断裂带能量积累处于发生 6 级地震的水平。该段的东南,从精河南至独库公路分水岭位置, 年乌苏南 地震的地表破裂位于该段,处于新破裂之后的松弛阶段,估计能量积累水平较低。再向东南,是现在地震活动非常平静的断裂段。该段的断裂痕迹不清楚,仅从其平静的现代地震活动分析,它的能量积累水平较高,与博-阿断裂西北段类似,可能具备发生 级以上地震的能力。博-阿断裂的东南段可能分为两条,一条延伸进入吐鲁番盆地的西南缘,另一条延伸进入焉耆盆地,两条分支都有现代地震活动,震级在 5~5.5 级左右。该断裂段的滑动速率较博-阿断裂的西北段低,北分支右旋走滑速率为 1.4~2mm/a,南分支为 2~3mm/a。对该段缺乏特征地震震级和上次特征地震发生的时间等资料,仅从其现代地震的活动水平估计该段能量积累水平较低,处于发生 5~5.5 级的能量积累水平。

北天山另一地震构造为喀什河断裂,1812 年曾发生新源 8 级地震,前人认为是一逆断层,我们认为它是一条高角度逆断层,能量积累特征与走滑断裂相似,而与天山山前的低角度逆断裂-褶皱构造不同。因缺乏断裂滑动速率(或地壳缩短速率)资料,对其现今能量积累水平难以做出可靠的估计。而且距离上次特征地震的发生已有 193 年,估计其能量积累水平较高,可能达到发生 6.0~6.5 级地震的水平。

乌鲁木齐以东的博格达推覆构造的地震地质工作程度很低,根据作者对该地区资料的分析对比,该构造的地壳缩短速率约为北天山西段的 1/3,约为 1.5mm/a。地表发现有一定规模的地震形变,表明这里曾经发生过大于 7 级的古地震。1965 年在该地震构造带上发生 6.6 级地震,历史上还有若干次 6 级左右地震发生。根据地震构造的规模,其最大地震应相当于 7.5 级。1965 年的 6.6 级地震只是一个特征地震轮回内的次级强震。由该构造的构造活动强度(地壳缩短速率),估计积累 6.6 级地震所需能量需要 490 年;以 1965 年之前的 490 年为起点,估计该地震构造能量积累已经达到发生 6.7 级地震的水平。如果该