

青藏块体及邻区强震活动特征分析*

屠泓为¹, 杨丽萍¹, 罗国富², 姚家骏¹

(1. 青海省地震局, 青海 西宁 810001; 2. 宁夏回族自治区地震局, 宁夏 银川 750001)

摘要: 结合1900~2013年的历史地震目录, 对青藏块体及其邻区不同震级段地震的发生频率进行计算分析, 得出如下结论: 1900年以来, 青藏块体及邻区仅5年未发生 $M \geq 5.5$ 地震, 有16年未发生 $M \geq 6.0$ 地震, 有36年未发生 $M \geq 6.5$ 地震, 即 $M \geq 5.5$ 、 $M \geq 6.0$ 及 $M \geq 6.5$ 地震年发生概率分别为0.956、0.86及0.68。对该区域历史有记载的地震进行分震级段的 b 值计算, 得出 $5.5 \leq M \leq 7.0$ 震级段地震的 b 最低为0.59, 最高为0.899, $M \geq 7.1$ 震级段的 b 值均大于1.0, $M \geq 7.5$ 震级段的 b 值明显低于相邻震级段, 表明未来存在发生7.5级左右地震的可能。最后对2000年以来研究区 $M \geq 6.5$ 地震的空间迁移规律进行分析, 得出青藏块体内部地震存在顺时针迁移的特征的结论。

关键词: 青藏块体; 强震活动; 发生频率; 迁移特征; b 值

中图分类号: P315.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2014)增刊-0034-06

0 引言

我国是大陆强震最多的国家, 在占全球陆地面积7%的陆地上, 发生了大约全球陆地上33%的地震。1900年之前的地震主要分布在我国东部区域, 而1900年以来强震多发生于大陆西部, 青藏块体及邻近区域一直以来都是中国大陆强震最活跃的区域(张国民, 张培震, 2000), 该区域大型断裂构造众多, 相互作用极其复杂(邓起东等, 2002; 马宗晋等, 1998; 李海兵等, 2006), 1900~2013年共发生了 $M \geq 8$ 地震7次, $7 \leq M \leq 7.9$ 地震36次, $6 \leq M \leq 6.9$ 地震284次。自2000年以来, 青藏块体及邻近区域已发生2次 $M \geq 8$ 地震及6次 $M \geq 7$ 地震及10余次 $M \geq 6.5$ 地震, 例如, 2001年11月14日昆仑山口西8.1级地震及2008年5月12日汶川8.0级地震等。强烈的地震活动表明未来的一定时期内, 青藏块体仍将是我国中强以上地震的强烈活动区域。

屠泓为等(2007, 2008, 2009, 2011)根据历史地震活动特征对青藏高原及大陆西部区域的强震危险性进行了预测, 部分地震事件得到了验

证, 例如2008年于田7.3级地震、2010年玉树7.1级地震等。梅世蓉等(2009)研究认为在昆仑山口西8.1级地震和汶川8.0级地震前都出现了大规模的地震活动增强区和中强地震的活动异常带, 因此, 对相应区域的地震特征的多角度分析研究是十分迫切和必要的, 本文选取的研究区域为($25 \sim 40^\circ\text{N}$, $75 \sim 110^\circ\text{E}$), 拟从研究区域历史地震年发生频率和优势周期等方面分析地震活动特征, 并探讨未来地震的优势发生区域。

1 研究及分析基础

印度、太平洋、菲律宾海板块与欧亚板块的相互作用及欧亚板内深部地球动力作用造就了中国大陆不同类型的活动构造, 控制着中国大陆强震的空间展布格局(Molnar *et al.*, 1975; Teng *et al.*, 1979; 邓起东等, 1980), 其最显著的特征之一就是晚第四纪活动断裂十分发育, 将中国大陆切割成不同级别的活动地块, 活动地块的运动及其相互作用对中国大陆强震孕育和发生起着直接的控制作用(张培震等, 2003; Wang *et al.*, 2001)。但对于大陆西部尤其是青藏块体, 其历史

* 收稿日期: 2014-08-30.

基金项目: 青海省地震局地震科学基金(2012A01)、青海省工程地震研究院(2012)及地震科技星火计划项目(XH14054Y)联合资助.

地震记载和监测能力都十分有限,1900 年以前的地震记载寥寥无几,考虑到本研究区域的样本量和本文的分析方式及地震资料的可信性,一般研究本区域的历史地震时都选取 1900 年以后的地震目录进行分析。参考相关的研究(黄玮琼等,1994a,1994b;屠泓为等,2010)并考虑到样本数量和频次的分布时间,对于地震活动性的研究,本文选取 1900~2013 年的地震目录作为研究对象。地震活动性一直是地震研究的基础内容,形成了许多理论,例如地震空区、地震条带、GL 值、地震频度、 b 值等,这些研究在一定的程度上丰富了地震研究的内容。本文基于这些研究基础,对历史地震进行了多方面统计和分震级段分析,根据历史地震进行年发生率计算;根据地震数据运用正态分布及泊松分布理论进行线性拟合,进而讨论地震优势发生周期;根据地震的时空分布讨论地震的迁移特性等。

2 地震特征研究

2.1 历史地震活动频次特征

如图 1 所示,1900 年以前的地震多分布在东部的南北地震带区域,青藏块体内部的地震主要发生在 1900 年以后,而现今青藏区域成为了我国大陆的强震活动的主要区域之一(青海省地震局,1999)。古地震研究认为,仅东昆仑山断裂就考查出 68 条古地震事件(夏玉胜等,2013)。因此,可以推测在 1900 年以前该区域由于人口稀少、文化落后、缺乏地震记载能力,加之该区域的居民以游牧生活为主,故很难对历史地震进行可靠记载而导致地震的漏记,因此不能断定 1900 年以前该区域地震活动性较弱。综上所述,对青藏块体的强地震常用 1900~2013 年地震目录来进行相关研究。

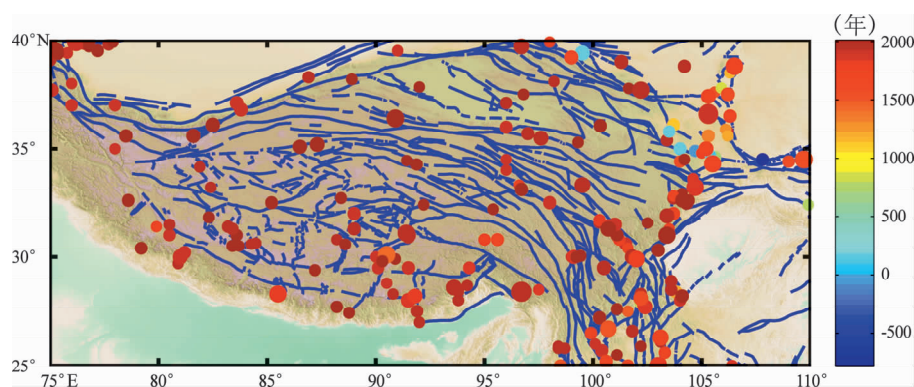


图 1 断裂分布及历史 $M \geq 6.5$ 地震的时空分布图

Fig. 1 The distribution of fault and spatial and temporal distribution of $M \geq 6.5$ earthquakes in Qinghai-Tibet block

如图 2 所示,本文分别选用了 $M \geq 5.5$ 、 $M \geq 6.0$ 、 $M \geq 6.5$ 地震作为分析对象, $M \geq 5.5$ 地震统计分析表明(图 2a):1900 年以来仅有 5 年未发生 $M \geq 5.5$ 地震,平均每年发生 13 次地震的年数为 6 年,平均每年发生 5 次左右的年数为 80 年;对于 $M \geq 6$ 地震的统计分析(图 2b):有 16 年未发生 $M \geq 6$ 地震,平均每年发生 1 次地震的年数为 25 年,平均每年发生 2 次地震的年数为 23 年,平均每年发生 3 次地震的年数为 14 年,平均每年发生 4 次地震的年数为 13 年;对于 $M \geq 6.5$ 地震的分析(图 2c):有 36 年未发生 $M \geq 6.5$ 地震,平均每年发生 1 次地震的年数为 42 年,平均每年发生 2 次

地震年数为 21 年,平均每年发生 3 次地震的年数为 13 年。表明各震级区间的地震十分活跃,1900 年以来 $M \geq 6.5$ 、 $M \geq 6.0$ 和 $M \geq 5.5$ 地震平均每年发生概率分别为 0.68、0.86 和 0.956。几乎每年都会发生 1 次 $M \geq 5.5$ 地震,在地震安全性评价中大陆西部区域的本底地震震级为 5 级。

根据对历史地震的正态分布和泊松分布拟合(图 3),得出各震级段地震的优势发生周期如下:平均 2 个月左右会发生 1 次 $M \geq 5.5$ 地震,平均每 4 个月左右会发生 1 次 $M \geq 6$ 地震,平均每 10 个月左右会发生 1 次 $M \geq 6.5$ 级地震。这表明青藏块体的强地震活动十分活跃,值得继续探索和研究。

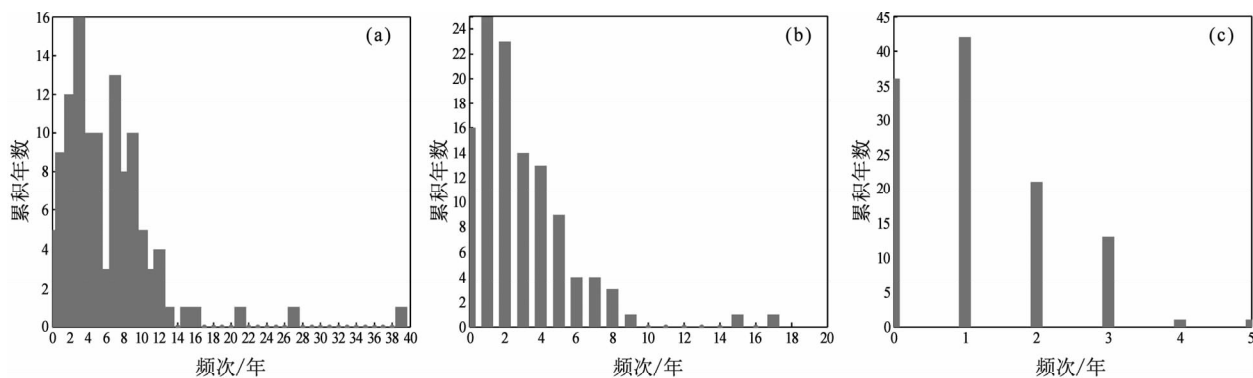


图2 分震级段地震年频次累计年数统计

(a) $M \geq 5.5$; (b) $M \geq 6.0$; (c) $M \geq 6.5$

Fig. 2 The yearly incidence cumulative of earthquake in different magnitude segment

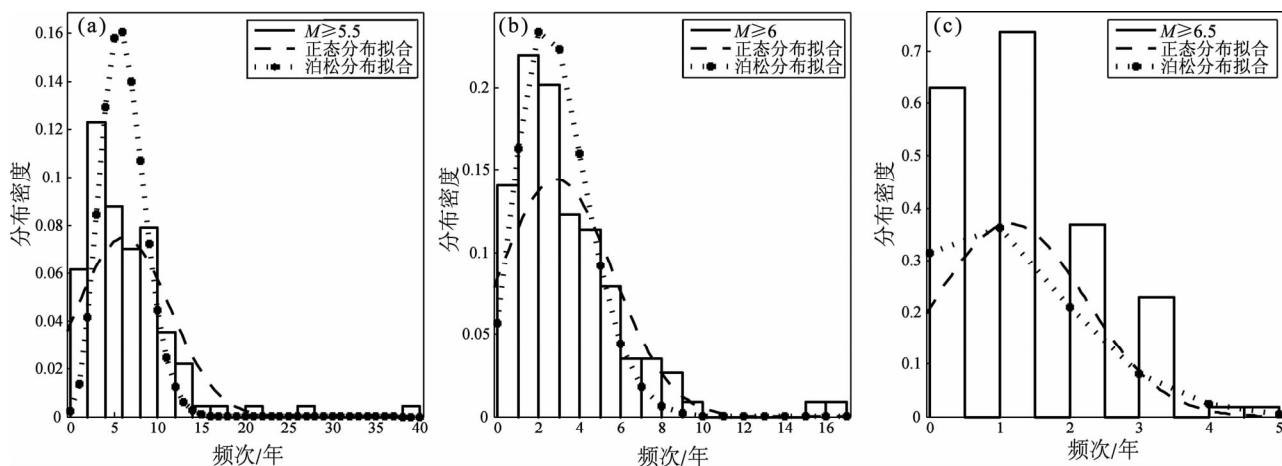


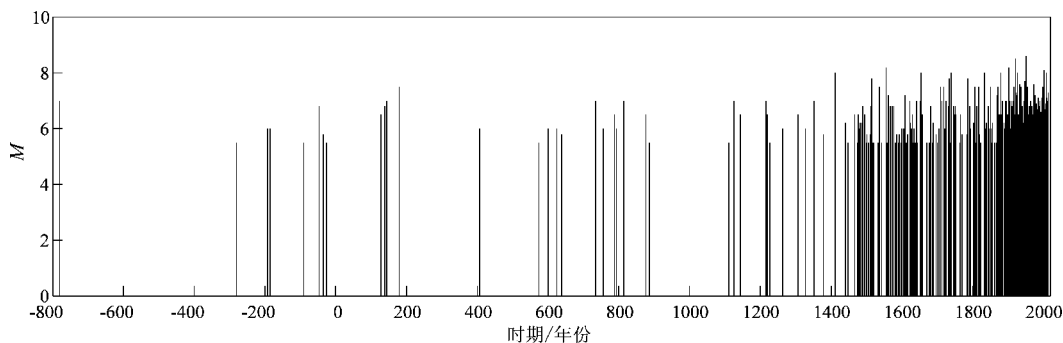
图3 地震年频次分布概率

Fig. 3 The distribution probability of yearly earthquake incidence in different magnitude segment

2.2 地震活动特征

对该区域所有记载的 441 次 $M \geq 5.5$ 地震进行分析 (图 1、图 4), 得出如下结论, 在公元 1500 年以前, 只有一些零星的地震记载, 且这些地震主要分布在青藏块体边缘区域, 尤其是东部区域

较多; 公元 1500 年以后, 地震记载相对密集, 这个阶段的地震分布仍以块体边界为主, 至 1900 年后, 青藏块体内部地震记录迅速增多。这表明了研究区域内部可能是因为人口分布稀少, 文化落后等原因导致了很多地震的漏记。

图4 $M \geq 5.5$ 地震的 $M-T$ 图Fig. 4 $M-T$ plot of $M \geq 5.5$ earthquakes

如图 5 所示, 根据分震级段 b 值计算分析认为, b 值存在随着震级段增高而增大的现象, 在 $M \geq 5.5$ 震级段 b 值最低, 平均为 0.59 左右, 到 7.0 级震级段就上升为 0.889, 在 $M \geq 7.1$ 震级段就上升为 1.0, 尤其是在 $M \geq 7.9$ 震级段上, b 值出现了最大值, 达到了 2.027 左右。很多研究表明低 b 值段容易发生地震, 高 b 值段发生地震的概率相对较低。而图 5 所展现的数据正表明了这种现象, 例如在低震级段区间的 b 值相对较低, 而高震级段的 b 值较高, 事实也证明高震级段的地震频度十分低, 而低震级段的地震频度相当高。表明了青藏高原块体上大地震活动频繁, 而中强震发生的频率更为突出, 尤其是近 100 年以来, 该区域是我国内陆大震的主体区域。

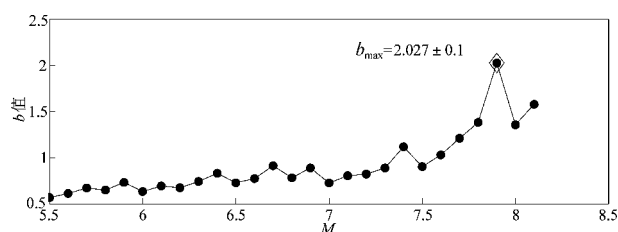


图 5 不同震级地震的 b 值分析

Fig. 5 The b value in different magnitude

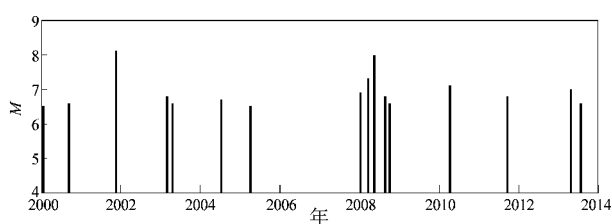


图 6 2000 年以来 $M \geq 6.5$ 地震 $M-T$ 图

Fig. 6 The $M-T$ plot of $M \geq 6.5$ earthquakes since 2000

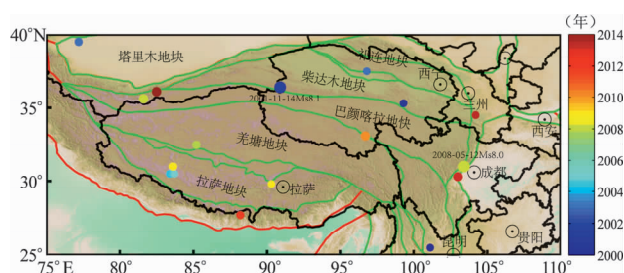


图 7 2000 年以来 $M \geq 6.5$ 地震分布及迁移特征

Fig. 7 The distribution of $M \geq 6.5$ earthquakes and its space migration patterns since 2000

考虑到青藏块体的历史地震活动十分强烈、分布广泛、构造非常复杂等因素, 本文根据地震时空分布选取了 2000 年以来的 $M \geq 6.5$ 地震进行时空相关分析, 分析如图 6、7 所示: 2000 ~ 2004 年的 $M \geq 6.5$ 地震主要分布在巴颜喀拉地块周边区域, 其中发生了 2000 年 9 月 12 日兴海 6.6 级地震、2001 年 11 月 14 日昆山口西 8.1 级地震、2003 年 4 月 17 日德令哈 6.6 级地震等, 而外围区域只发生了 2003 年 2 月 24 日新疆伽师 6.8 级地震。2005 ~ 2007 年只发生了 2005 年 4 月 8 日西藏中巴 6.5 级地震, 该地震位于拉萨地块, 其他地块基本处于 6.5 级地震平静状态, 可以认为这个阶段是相对平静的时段。2008 ~ 2013 年, 青藏块体的强震活动性明显活跃, 地震活动主要分布在巴颜喀拉地块的周缘, 首先发生了 2008 年 1 月 9 日的西藏日土改则的 6.9 级地震, 紧接着发生了 2008 年 3 月 21 日新疆于田 7.3 级地震, 随之发生了 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震, 之后存在短期的 $M \geq 6.5$ 地震平静, 于 2010 年 4 月 14 日发生了青海玉树 7.1 级地震, 2013 年 4 月 20 日的四川芦山 7.0 级地震, 2013 年 7 月 22 日甘肃岷县 6.6 级地震, 在这个时段内发生了 29 次 $M \geq 6$ 地震 (含余震)。表明青藏块体强震活动十分频繁, 大震活动众多。

研究表明, 在 2000 ~ 2004 年, 地震沿着巴颜喀拉地块有顺时针迁移的特征, 2008 年以来的地震沿着巴颜喀拉地块亦存在顺时针迁移的特征。这一特征可能揭示了青藏块体的内部的地球动力学背景, 这一结论与李智敏等 (2010) 的研究成果较为一致, 将为未来地震的发生时空分布提供指示作用。随着 2014 年 2 月 12 日于田 7.3 级地震的发生, 结合历史地震、空间大断裂构造展布及由这一地震迁移规律分析认为, 未来的强震区域很有可能发生在昆仑山断裂北部区域的阿尔金断裂及祁连地震带的交汇区域, 乃至青藏块体东部区域的南北地震带上。考虑到这些区域历史上曾经发生过多次 $M \geq 7$ 地震, 如 1920 年 12 月 16 日宁夏海原的 8.5 级地震, 1927 年 5 月 23 日甘肃古浪的 8.0 级地震, 1932 年 12 月 25 日甘肃昌马 7.6 级地震等 10 余次 7 级地震, 除了昆山口西 8.1 级地震发生在 2001 年之外, 其他的 $M \geq 7$ 地震均主要发生在 60 年以前, 而目前这些区域鲜有 7 级左右地震的发生。由此, 可进一步认为这些区域存

在发生大震强震的构造背景和时空背景,故需要关注这些区域的地震活动动态及深入研究。

3 分析与讨论

结合公元 1900 ~ 2013 年地震频次特征分析认为, $M \geq 6.5$ 地震每年发生概率分别为 0.68、0.86 和 0.956。

结合地震发生周期分析认为, $M \geq 5.5$ 地震平均每 2 个月发生 1 次, 每 4 个月左右发生 1 次 $M \geq 6$ 地震, 每 10 个月左右发生 1 次 $M \geq 6.5$ 地震。表明研究区域强地震活动十分强烈。

历史地震的分震级段 b 值计算中, 得出 $M5.5 \sim 7.0$ 地震范围内的 b 值小于 0.899, $M \geq 7.0$ 地震的 b 值在 1.0, 研究表明低 b 值段更容易发生相应地震, 故在青藏块体内部或边界的 $M5.5 \sim 7.0$ 地震的发生频率明显高于 $M \geq 7.0$ 的震级段。而 7.5 级震级段的地震算出的 b 值有明显下降趋势, 表明未来一定时段内青藏高原的一些重大构造上存在发生 7.5 级左右的地震的地震学背景, 而 $M < 7$ 地震在多数断层上都有可能发生。

结合地震迁移规律分析认为, 青藏块体内部地震分布存在短时期的顺时针迁移特征。随着 2014 年 2 月 12 日于田 7.3 级地震的发生, 青藏块体及周边的强地震趋势如何, 是十分有必要关注的问题。结合本文得出的地震年发生率及历史地震的空间分布, 故需要对阿尔金断裂带与祁连地震带交汇区域及南北地震带的中北部等相应构造区域进行深入研究。

参考文献:

邓起东, 张培震, 冉永康, 等. 2002. 中国活动构造基本特征[J]. 中国科学(D 辑), 32(12): 1020 ~ 1030, 1057.
黄玮琼, 李文香, 曹学锋. 1994a. 中国大陆地震资料完整性研究之

二——分区地震资料基本完整的起始年分布图象[J]. 地震学报, 16(4): 423 ~ 432.
黄玮琼, 李文香, 曹学锋. 1994b. 中国大陆地震资料完整性研究之一——以华北地区为例[J]. 地震学报, 16(3): 273 ~ 280.
李海兵, 杨经绥, 许志琴, 等. 2006. 阿尔金断裂带对青藏高原北部生长、隆升的制约[J]. 地学前缘, 13(4): 59 ~ 79.
李智敏, 屠泓为, 田勤俭, 等. 2010. 2008 年青海大柴旦 6.3 级地震及发震背景研究[J]. 地球物理学进展, 25(3): 768 ~ 774.
马宗晋, 张家声, 汪一鹏. 1998. 青藏高原三维变形运动学的时段划分和新构造分区[J]. 地质学报, 72(3): 211 ~ 227.
梅世蓉, 薛艳, 宋治平. 2009. 汶川 8.0 级与昆仑山口西 8.1 级地震前地震活动异常特征与启示[J]. 地震, 29(1): 1 ~ 14.
青海省地震局. 1999. 中国地震局地壳应力研究所:《东昆仑活动断裂带》[M]. 北京:地震出版社.
屠泓为, 都昌庭, 万秀红, 等. 2011. 周边大地震对中国大陆 7 级以上地震的指示作用及统计分析[J]. 地球物理学进展, 26(3): 829 ~ 835.
屠泓为, 李智敏, 李文巧, 等. 2010. 青海省及邻近区域历史地震目录完整性分析探讨[J]. 高原地震, 22(3): 10 ~ 18.
屠泓为, 王海涛, 罗国富, 等. 2007. 青藏高原及邻近区域大地震危险性分析和探讨[J]. 灾害学, 22(4): 29 ~ 33.
屠泓为, 杨丽萍, 万秀红. 2009. 青海及邻近区域未来强震趋势分析[J]. 防灾科技学院学报, 11(4): 141 ~ 147.
屠泓为, 张小香, 万秀红, 等. 2008. 中国大陆西部未来强震危险性预测研究[J]. 高原地震, 20(2): 4 ~ 10.
夏玉胜, 李智敏, 屠泓为, 等. 2013. 东昆仑断裂带古地震综合研究[J]. 地球物理学进展, 28(1): 146 ~ 154.
张国民, 张培震. 2000. “大陆强震机理与预测”中期学术进展[J]. 中国基础科学, (10): 6 ~ 12.
张培震, 邓起东, 张国居, 等. 2013. 中国大陆的强震活动与活动地块[J]. 中国科学(D 辑), 33(1): 12 ~ 30.
Molnar P., Tapponnier P. 1975. Cenozoic Tectonics of Asia: Effects of a Continental Collision[J]. Science, 189(4201): 419 ~ 426.
Teng C. T., Chang Y. M., Hsu K., et al. 1979. Tectonic Stress Field in China and its Relation to Plate Movement[J]. Phys. Earth and Planet. Inter., 18: 257 ~ 273.
Wang Q., Zhang P. Z., Jeffrey T., et al. 2001. Present-day Crustal Deformation in Positioning System Measurement[J]. Science, 24: 574 ~ 577.

Analysis on Characteristics of Strong Earthquake Activities in Qinghai-Tibet Block and its Adjacent Area

TU Hong-wei¹, YANG Li-ping¹, LUO Guo-fu², YAO Jia-jun¹

(1. *Earthquake Administration of Qinghai Province, Xining 810001, Qinghai, China*)

(2. *Ningxia Earthquake Administration of Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, Ningxia, China*)

Abstract

Using the history earthquakes catalogue from 1900 to 2013, we analyze the frequency of earthquake occurrence in different magnitude section, and get the following conclusions: there were not occurred $M \geq 5.5$ earthquakes in 5 years, $M \geq 6.0$ earthquakes in 16 years, and $M \geq 6.5$ earthquakes in 36 years in Qinghai-Tibet Block and its adjacent area since 1900. The annual occurrence probability of $M \geq 5.5$, $M \geq 6.0$ and $M \geq 6.5$ earthquakes were close to 0.956, 0.86 and 0.68 respectively. Furthermore, we calculated b -value of each magnitude section of the earthquake recorded in history, and obtained that the b -value of $5.5 \leq M \leq 7.0$ earthquakes was from 0.59 to 0.899, the b -value of $M \geq 7.1$ earthquakes is greater than 1.0, and the b -value of $M \geq 7.5$ earthquakes was significantly lower than the adjacent magnitude section. It shows that there may occur $M7.5$ earthquake in the future. Finally, we analyzed the space migration patterns of $M \geq 6.5$ earthquakes since 2000, and got that the characteristic of earthquake exist the regular of clockwise migration.

Key words: Qinghai-Tibet Block; strong earthquake activity; earthquake frequency; migration characteristics; b -value