

青藏高原应力场与成因机制的讨论

陈家超 冯霞英 赖松

(广东省地震局)

对青藏高原应力场及其成因机制,中外学者进行过许多讨论。一般认为本区应力场主压应力属水平作用力,力源主要来自印度板块向青藏高原的挤压俯冲。在这种应力场作用下,虽然可以促使近代高原隆起、地壳增厚、构造活动加剧、地震活动加强,但是有一些现象用印度板块俯冲引起的水平作用力很难进行圆满的解释。

近年来,一些学者用重力不均衡作用来解释高原应力场的成因^[1],但青藏高原已达到重力均衡补偿,而且还有过剩,它不但不能导致高原抬升,反而会引起高原下降。实际上,高原至今还处在隆起状态。

笔者对这些问题很感兴趣,在这里提出自己的见解以供讨论。

一、青藏高原应力场特点

本文所讨论的范围系指恒河盆地与喜马拉雅山接壤的主边界断裂以北,西昆仑—阿尔金山前断裂、北祁连断裂以南,龙门山断裂以西地区。地理上包括青海、西藏自治区全部及甘肃、宁夏、四川、云南的部分地区。此外,还包括有锡金、不丹两国全部和尼泊尔、印度、巴基斯坦、缅甸四国部分地区,面积约为300余万平方公里。

青藏高原应力场变化较大,它在空间分布上的差异导致高原不同地区或同一地区不同构造部位的构造活动方式和活动强度不同(图1)。

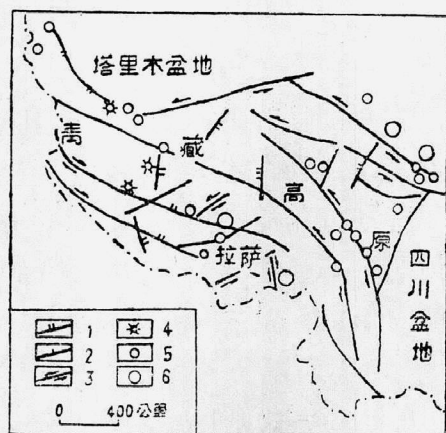


图1 青藏高原断裂构造基本特征

1.逆冲断层 2.正断层 3.平推断层 4.现代火山
5. $M=7.0-7.9$

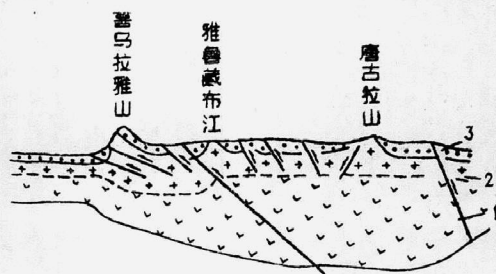


图2 青藏高原南部地区剖面示意图

1.玄武岩 2.花岗岩层 3.沉积盖层

南部地区中段,构造应力场与印度板块向北推挤有着直接关系。目前,印度板块仍以5~10厘米/年的速率向北运移^[2、3],主压应力轴优势方位近南北向,有时偏东或偏西,在这一带由于受到巨大近南北向水平作用力,东西向向北倾斜的断裂向南逆冲(图2),北东向断裂发生左旋、北西向断裂发生右旋滑动。同时派生出一种垂直作用力,造成山间和山前巨厚磨

拉石建造。南部西段，水平主压应力轴方位发生了变化，由近南北向转向北北西、北东或近东西向。因此，北西、北西西向断裂主要表现出右旋走滑兼有逆冲运动。这一地区可能由于物质分异作用，也出现了一些正断层〔2〕，表面在水平作用力基础上迭加有垂直作用力。南部东段，主压应力优势方位由北东渐渐转向北西，因此，北东向断裂表现出左旋走滑兼有逆冲性质〔4、5〕，北西、北北西断裂表现出右旋走滑兼逆冲，1950年墨脱8.5级地震，震源断裂沿北东方向作左旋滑动。

东部地区水平构造应力场主压应力优势方位接近东西向，有时偏北东或北西，在这种应力场作用下，北西向断裂表现出左旋走滑运动，北东或近南北向断裂表现出逆冲或兼有右旋滑动。

北部地区水平作用力优势方位为北东、北东东向，因此，北西和北东东向两组断裂都具有左旋平推运动兼有逆冲性质。但是，在局部地区由于构造应力场变化，或迭加有垂直作用力派生的水平作用力，它与区域水平作用力方向相反，不仅抵消了所在地段区域水平作用力，而且迫使原作左旋滑动的断裂产生了右旋（图3）。

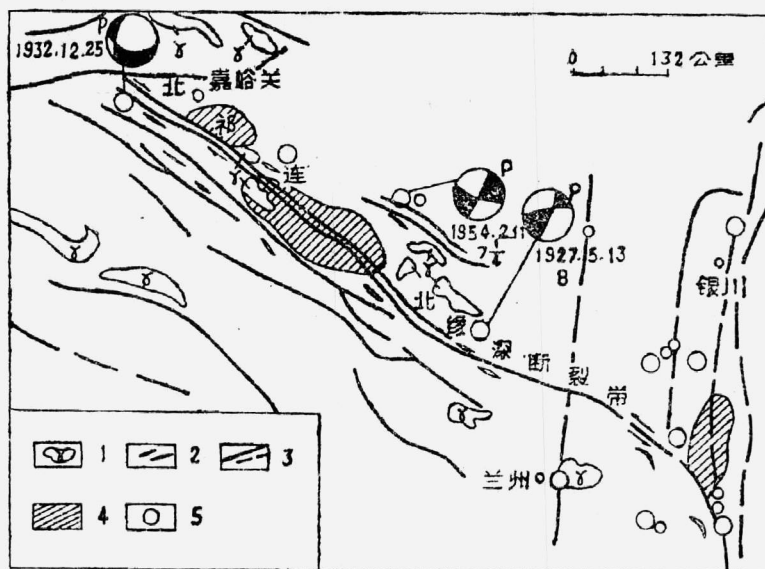


图3 北祁连深断裂带

1.花岗岩 2.基性超基性岩体 3.断裂及推测断裂 4.深部隆起 5.地震

中部地区地壳整体抬升，现阶段以垂直作用力占主导，地壳上部产生拉张作用。

以上就是青藏高原应力场的概况，若将青藏高原主压应力投影在高原平面图上，可以看出水平主压应力大致垂直高原周边向着中部收敛（图4）。

二、青藏高原地球物理特征

1.地壳厚度变化特点

高原边缘外侧地壳厚度一般只有35—45公里，属较为典型的大陆地壳。进入高原内部地壳厚度急剧增加到50~60公里，然后向高原中部逐渐加厚到70~73公里。高原南侧

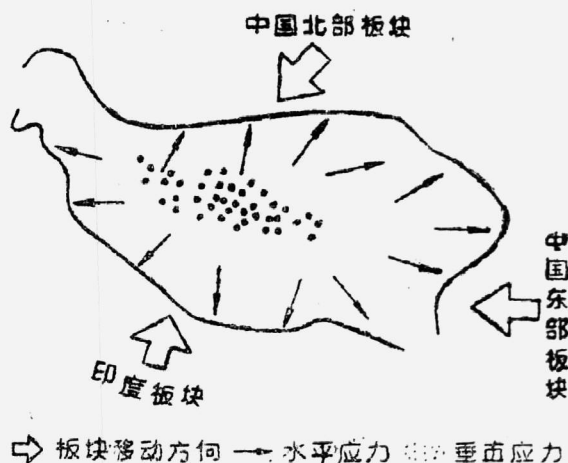


图4 青藏高原地壳水平和垂直应力平面分布示意图

压，用到，

金甘、构图

5 在断磨

边界主断裂地壳厚度44公里,雅鲁藏布江已达到60~66公里,唐古拉山68公里,藏北高原73公里。总之高原边缘是一条地壳厚度急剧变化地带,中间是一片宽阔、平缓、厚度巨大的壳体。目前这个壳体仍以每年2毫米速度增厚。

根据重力、人工地震等资料,本区地壳层状结构已比较清晰,可分出玄武岩层和花岗岩层。不过花岗岩层厚度变化与整个地壳厚度分布变化相反,它在喜马拉雅地区厚度较大,到雅鲁藏布江沿岸达最大厚度,以后往北到高原腹地又逐渐变薄,而玄武岩层则自南而北逐渐增厚,到唐古拉山达最大值(图2),反映出边缘地壳物质分异较好,中部地区地壳厚度虽然较大,但分异程度较差,正处在剧烈分异阶段。

2. 青藏高原地热活动状态

本区地热较中国其它大陆地壳高,在高原腹地出现大面积地热异常,并有岩浆活动,即使在南部拉萨附近地热流值也达到 $2.0 \pm (\text{HFV})$ 〔6〕,接近大洋中脊的热流值(2.5~3.0)。

地热异常区常伴有高温热泉出露,已查明的热泉活动区达四百多处,多数与岩浆活动有关,西藏600多个热泉点主要属这种类型。其中查孜沸泉海拔5500米,水温86℃,是目前世界上已知的海拔最高的热泉。一般热泉受到南北或近东西向新生断裂控制。如从格尔木至安多公路段温泉出露和冻土融化区严格受南北向正断层和北西西向断层控制,其中唐古拉山口以北的温泉地区,沿着南北向正断层形成的地堑出露有成千个温泉点,泉群往往集结在上述两组断裂的结点上,沿南北和北西西向断裂分布数量较少,至今新的泉点还不断向外扩张。西藏谢通门集热泉也沿着南北向断裂分布,特别是念青唐古拉山南缘和唐古拉山北麓断裂组成的地堑热泉规模最大,羊八井热田就是其中之一。据前人调查该处地热梯度85℃/公里,推测地下9公里深度可达710℃,已达花岗熔融温度¹⁾。此外,东部巴塘热坑位于玛曲河上游河谷,海拔3600米,沿着河谷断裂分布有36个泉眼,水温达96℃。

本区岩浆活动较剧烈,在高原中部有第四纪火山活动(图1)。1951年5月17日在阿什库勒也出现过火山喷发。据地球物理资料,地壳下部30~50公里和地壳底部70公里部位分别存在6~10公里低速层和10公里熔融层,上地幔上部也存在这种层位〔3、6〕。反映下部物质分异强烈。

3. 布格重力异常特征

从布格重力异常图看出(图5),高原边缘重力负异常值在-200~-250毫伽之间,向

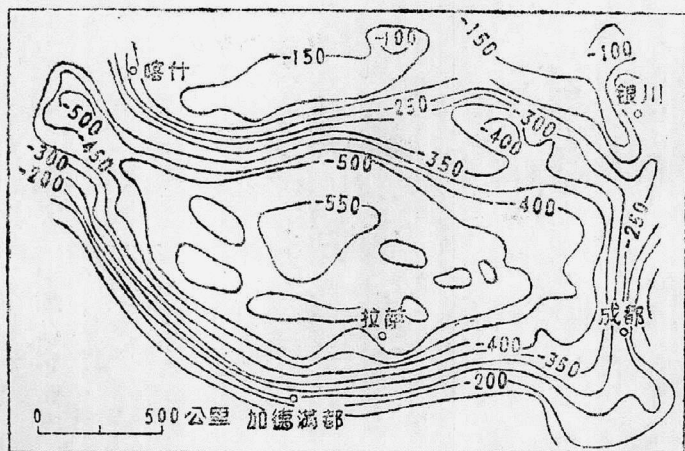


图5 青藏高原及邻区布格重力异常图(据滕吉文)

1) 廖志杰等, 青藏高原的热状态, 1977.

廖志杰, 青藏高原的地热和隆起的关系, 1978.

着中部负异常值逐渐增大，在藏北达到-575毫伽，中间是一片平稳、开阔负异常高值区，变化只有几十毫伽。相反高原边缘是一条重力梯级带，它与边缘地壳厚度变异带、强震带和深大断裂带吻合。如在北祁连布格重力梯级带上，布格异常值在-200~-400毫伽，梯度最大值1.5毫伽/公里，那里正是北祁连深断裂和强震带的所在。由此可见，高原地壳岩石密度较小，其中，中部地区又小于边缘地壳。

三、应力场成因机制的讨论

从上述列举的事实看出，青藏高原应力场变化较大，也比较复杂。在不同地区构造应力场可以不同，就是在同一地区处在不同的构造部位应力场也有较大差别。这种复杂性和多变性反映出应力场成因机制可能是多方面造成的。

从高原周围板块对高原的作用以及高原地壳构造形迹、活动特征、主压应力轴分布等方面来看，本区南边无疑受到印度板块挤压，产生近南北方向水平作用力。高原东部地区由于中国东部壳体向西挤压，产生近东西向水平作用力，北部地区受到中国北部壳体挤压产生北东东或北东向水平作用力。另一方面，高原地壳和上地幔处在强烈分异阶段，新的物质加入地壳，地壳加厚、受热膨胀隆起，使高原中部产生强大垂直作用力，其主压应力轴垂直地面，往高原边缘逐渐转化为水平作用力并对边缘产生水平挤压。同时伴随高原隆起产生了重力附加应力场，它与垂直作用力方向相反，两者夹挤产生一种水平作用力迭加在上述应力场上，大大加强高原块体对周边的挤压。正是这些水平和垂直作用力联合作用的结果，造成了高原现有的构造格局、高原抬升和地震在空间的分布。

四、结束语

本文采用震源机制解和地震地质等方面的资料，分析了本区应力场分布情况，并讨论了它的形成机制。但由于本区地质构造复杂，应力场变化较大，资料较贫乏以及个人知识水平所限，存在的问题不少，本文仅提出自己的一些见解以供讨论。

参 考 文 献

- [1]周玖等，在重力作用下的我国西南地区地壳物质流，地震地质，Vol.2, No.4, 1980.
- [2]叶洪等，喜马拉雅地区的地震活动与近期地壳运动，地震地质，Vol.3, No.2, 1981.
- [3]Chun, K.Y., Crustal structure of the Tibetan Plateau: A surface-wave study by a moving window analysis, B.S.S.A., Vol.67, No.3, 1977.
- [4]Ben Menahem, A.et al., The source of the great Assam earthquake—An interplate wedge motion, Phys.Earch Planet.Inter., Vol.9, No.4, 1974
- [5]郭增建等，1949年到1960年中国大地震的震源机制研究，地球物理学报，Vol.11, No.1-2, 1962.
- [6]潘裕成等，喜马拉雅板块活动证据兼论青藏高原形成模式，地震地质，Vol.2, No.2, 1980.