

中国现今区域构造应力场 与地壳运动趋势分析

孙 叶 谭成轩

(中国地质科学院城市与工程场地稳定性研究中心)

摘 要 本文对中国现今地壳形变场、断层位移场、地应力场、地质灾害场、地壳深部结构构造等分别研究和分区。首次较全面地论述了中国现今区域构造应力场的主要特征,讨论了中国现今地壳运动问题。对中国地壳运动的某些过程、时空发展演化及运动规律的新认识,为中国地壳运动理论补充了现今构造应力场资料,同时也为国民经济规划、减灾防灾提供了依据。

关键词 构造应力场 地形变场 断层位移场 地质灾害场

0 概述

地壳形变简称地形变,严格地讲是在地应力作用下,引起地壳表面形态的变化。1951—1982年期间,我国进行了重复精密大地水准测量,国家地震局对之进行系统整理编制了中国地壳垂直形变速率等值线图,以大陆升降平均值为零点,展示了现今地壳形变具有明显的条块分割,总体显示南升北降的趋势(图1)。全国主要受纬向带和经向带切割分块,东、西部地形变条带方向和升降速率也存在显著差别。

1 中国现今断层位移特征与位移场分区^[1-3]

中国大陆地处环太平洋活动构造带与地中海活动构造带的交接部位,各种性质、各种类型的现今活动断层较为普遍,分布具有明显的区域性规律和地域性特征(图2)。

(1) 由主要的经向带、纬向带将中国切割成东部、西北部、西南部三大地域,分别较为集中发育现今活动的张扭性断层、逆断层和平移断层。

(2) 现今活动断层可以分为:极震区突发活动的形变断裂带;老断层现今继续活动断裂带两大类。现今活动速率,总体讲西部高于东部。

(3) 中国东部现今以新华夏系活动为主;西北部以西域系、河西系活动为主;西南部以反“S”型活动为主。

2 中国现今区域地应力状态与应力场分区^[4-12]

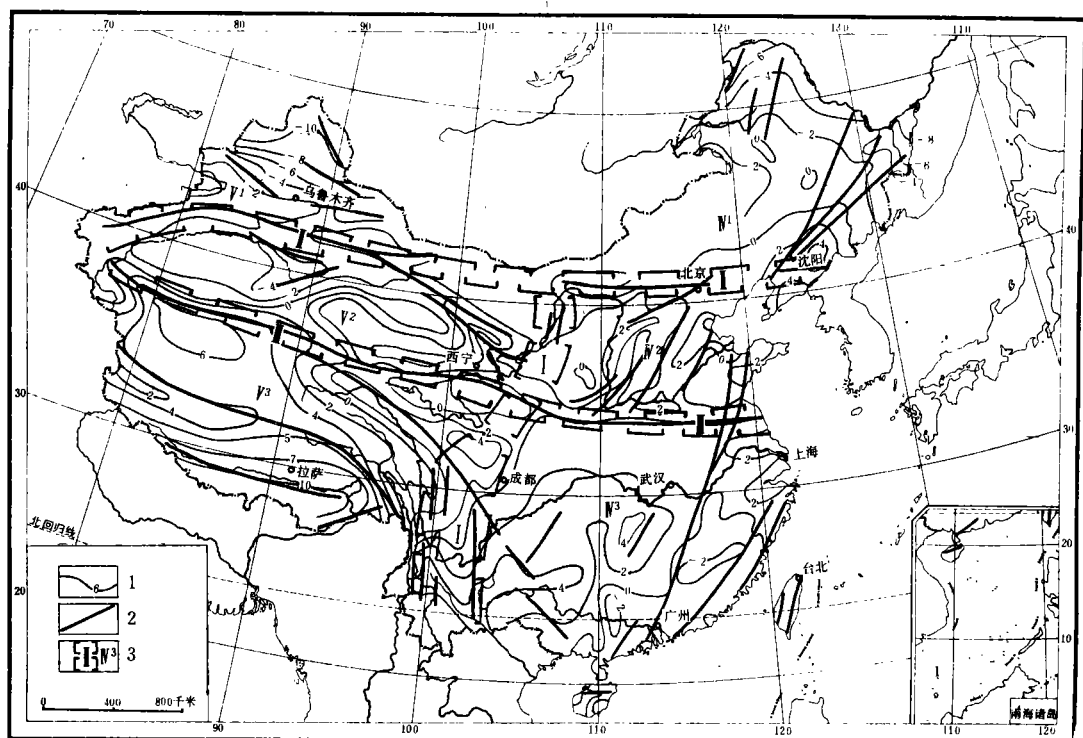


图 1 1951—1982 年中国区域地壳形变速率与现今地形变场分区略图

Fig. 1 Sketch map showing crustal deformation rate from 1951 to 1982 and its present crustal deformation zonation in China

1. 地壳垂直形变速率等值线(mm/a); 2. 现今活动明显的断裂; 3. 构造带与分区编号: I. 经向构造带; II. 天山—阴山纬向构造带; III. 昆仑—秦岭纬向构造带; IV. 中国东部新华夏系地形变活动区: 东北亚区(IV¹)、华北亚区(IV²)、华南亚区(IV³)、台湾亚区(IV⁴); V. 中国西部地形变活动区: 准噶尔亚区(V¹)、塔里木—柴达木亚区(V²)、青藏反“S”型亚区(V³)

2.1 中国现今地应力状态变化特征^①

本文根据全国 2011 个地应力实测数据,垂向上采用的计算深度分别为:20、100、350、850、1500、2500、3800m 等。为了保证有足够的数满足统计分析的需要,统计时跨距随深度变化相应取:10—30、50—150、200—500、700—1000、1300—1700、2200—2800 和 >3500m 等。统计分析结果表明,中国现今地应力状态具如下规律:

(1) 按照不同深度分别计算我国各大区的地应力大小、分布频度,并将其分别与全国相应地应力平均值相比,可以看出地应力展布特征是,华北区属低—中等地应力值区,华南区属中—低地应力值区,西北区、西南区、康滇区均属高地应力值区(表 1)。

(2) 由上述地应力平面展布特征可知,虽然在平面上实测地应力值因地区不同而变化,且随深度的增加地应力值都在增大,但不同地区应力值随深度的变化梯度是各不相同的。全国各地区地应力值随深度梯度线性回归方程的对比(表 2),可以清楚地看出变化规律。地应力值均

^① 孙叶,地应力场的研究现状及其当前面临的课题。地质力学通讯(9),1985。

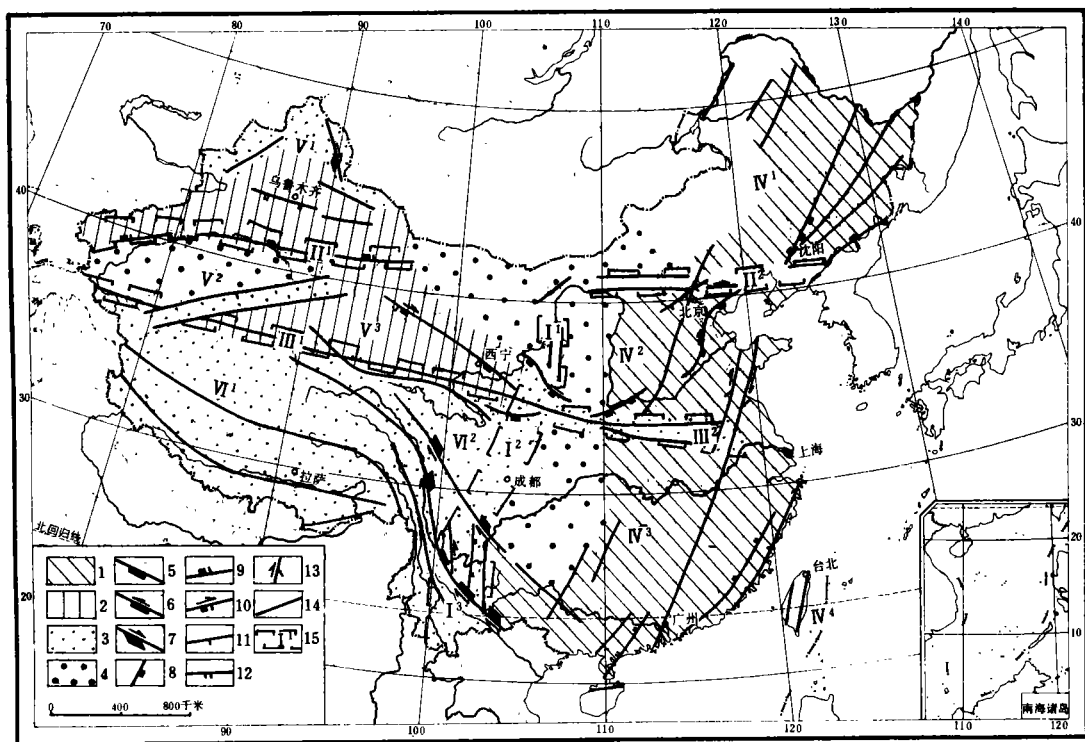


图2 中国断层现今位移活动分区略图

Fig. 2 Sketch zonation of present fault displacement activity in China

1. 现今以张扭性断层为主活动区; 2. 现今以逆断层为主的活跃区; 3. 现今以平移断层为主的活跃区; 4. 断层不发育地区; 5. 速率 $>10\text{mm/a}$ 高速活动正断层; 6. 速率 $>10\text{mm/a}$ 的高速活动的张扭性断层; 7. 速率 $>10\text{mm/a}$ 的高速活动平移断层; 8. 速率 $10-1\text{mm/a}$ 较高速活动的正断层; 9. 速率 $10-1\text{mm/a}$ 较高速活动的逆断层; 10. 速率 $10-1\text{mm/a}$ 较高速活动的压扭性断层; 11. 速率 $0.9-0.1\text{mm/a}$ 中速活动的正断层; 12. 速率 $0.9-0.1\text{mm/a}$ 中速活动的逆断层; 13. 速率 $0.9-0.1\text{mm/a}$ 中速活动的平移断层; 14. 据现今地壳形变等值线分析的现今活动断层或者低速 ($0.09-0.01\text{mm/a}$)、微速 ($<0.01\text{mm/a}$) 现今活动的断层; 15. 构造带与地块的分区及其编号: I. 中国南北向现今活动断裂带; II. 天山—阴山东西向现今活动断裂带: 阴山断裂现今活动相对较弱地段 (II¹)、天山断裂现今活动相对较强地段 (II²); III. 昆仑—秦岭东西向现今活动断裂带: 秦岭断裂现今活动地段 (III¹)、昆仑断裂现今活动相对较强地段 (III²); IV. 中国东部现今以张扭性断层活动为主的地域: 东北断裂现今活动低速区 (IV¹)、华北断裂现今活动中速区 (IV²)、华南断裂现今活动低速区 (IV³)、台湾断裂现今活动较高速区 (IV⁴); V. 中国西北部现今以逆断层活动为主的地域: 准噶尔断裂现今活动高速区 (V¹)、塔里木断裂现今活动中速区 (V²)、柴达木断裂现今活动较高速区 (V³); VI. 中国西南部现今以平移断层活动为主的地域: 青藏高原顶部断裂现今活动中至较高速区 (VI¹)、青藏高原周边断裂现今活动高速区 (VI²)

随深度增加而增大, 而梯度各区均不相同。笔者主要根据 850m 深度以上地应力实测数据推算线性回归方程, 求得最大主压应力梯度变化为华北区 29.32MPa/km , 华南区 30.3MPa/km , 西北区 41.67MPa/km , 西南区 26.74MPa/km , 全国平均为 29.89MPa/km 。可以看出, 经过数据归一化处理以后, 回归方程的拟合系数 (R) 更高, 拟合度更好。

表 1 全国各区不同深度地应力值变化表

Table 1 Variation of crustal stress magnitude at different depth in every region of China

地 应 力 测 量		华北区	华南区	西北区	西南区	康滇区
深度(m)	数量(个)					
20	670	低应力值	低应力值	高应力值	高应力值	高应力值
100	233	低应力值	中等应力值	高应力值	高应力值	——
350	280	低应力值	中等应力值	高应力值	高应力值	——
850	105	中等应力值	低应力值	高应力值	高应力值	——

表 2 全国各地区地应力值随深度变化线性回归方程一览表

Table 2 Linear regression equation of crustal stress with depth gradient in every region of China

归 一 化 处 理 后			归 一 化 处 理 前	
华北区	$\sigma_H=0.02932H+1.3548$	$R=0.9893$	$\sigma_H=0.02890H+2.5462$	$R=0.9888$
	$\sigma_h=0.01801H+1.0018$	$R=0.9938$	$\sigma_h=0.01769H+1.8425$	$R=0.9936$
	$\sigma_v=0.02532H+0.4177$	$R=0.9977$	$\sigma_v=0.02532H-0.4935$	$R=0.9978$
华南区	$\sigma_H=0.03030H+2.5242$	$R=0.9853$	$\sigma_H=0.03355H+2.9261$	$R=0.9055$
	$\sigma_h=0.01718H+0.8866$	$R=0.8641$	$\sigma_h=0.01620H+2.6515$	$R=0.9778$
	$\sigma_v=0.02320H+0.2668$	$R=1.0020$	$\sigma_v=0.02331H+0.3076$	$R=1.0031$
西北区	$\sigma_H=0.04167H+10.4458$	$R=0.9984$	$\sigma_H=0.01411H+10.8198$	$R=0.9976$
	$\sigma_h=0.02667H+4.8347$	$R=0.9543$	$\sigma_h=0.02652H+4.7453$	$R=0.9632$
	$\sigma_v=0.03021H+0.4546$	$R=0.9984$	$\sigma_v=0.03067H+0.6779$	$R=0.9882$
西南区	$\sigma_H=0.02674H+6.3074$	$R=0.9924$	$\sigma_H=0.07575H+6.1969$	$R=0.6026$
	$\sigma_h=0.01808H+4.2875$	$R=0.9967$	$\sigma_h=0.02375H+4.2612$	$R=0.8755$
	$\sigma_v=0.01757H+0.8558$	$R=0.9874$	$\sigma_v=0.01739H+0.9617$	$R=0.9919$
全国	$\sigma_H=0.02989H+2.7984$	$R=0.9966$	$\sigma_H=0.02689+7.1847$	$R=0.9930$
	$\sigma_h=0.01766H+1.0583$	$R=0.9987$	$\sigma_h=0.01617H+5.0533$	$R=1.0285$
	$\sigma_v=0.02532H+0.8177$	$R=0.9995$	$\sigma_v=0.02502H+0.3342$	$R=0.09981$

式中： H 为深度； R 为回归方程的拟合系数； σ_H 为最小水平主压应力； σ_h 为最小水平主压应力； σ_v 为垂向应力。

(3) 根据全国 502 个地应力实测数据(以压应力为主,个别出现张应力)以及 80 个 1960 年以来 $M \geq 5.0$ 的地震震源机制解进行统计分析,发现各地区最大主压应力方向及其变化具有如下规律:

①在地壳深度 1500m 以上,由于各地区实测地应力点所处构造位置及其内部各种差异,测得最大主压应力方向变化很大。如东北地区为近 EW 向,华北地区为 NE—EW 向,华南地区为 NW—EW 向,西北地区为 NE—NNE 向,西南地区为 NNE 向;②随着深度的增加,最大主压应力方向渐趋一致,中国西部总体以近 SN 向为主,东部以近 EW 向为主;③地应力方向随地区的不同和深度的变化,方向的稳定程度有差异。如中国东部各区地应力方向稳定程度由北往南逐渐降低(图 3)。

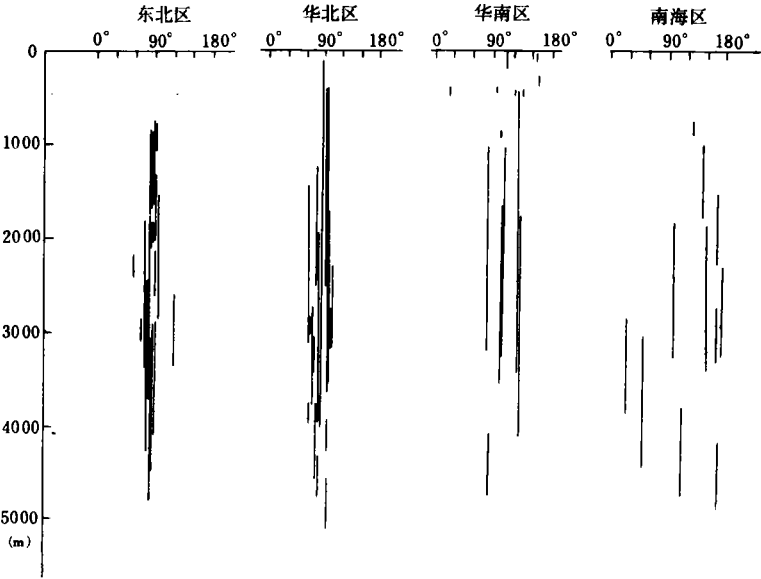


图 3 中国东部及相邻海域最大水平主压应力方向随深度变化关系图(据高建理等,1992)

Fig. 3 Direction of the maximum horizontal principal compressive stress with depth changing in every region of east China and its adjacent seas

(4) 根据全国 2011 个实测地应力数据分析,不仅不同地区、不同深度,地应力大小不同,即使同一地区的同一深度,地应力实测值也会因岩石力学性质差异而大小各异。全国不同地区不同深度,各类岩石的最大主压应力实测平均值具有以下规律:①花岗岩类与变质岩类实测最大主压应力值,大致在相同量级范围,即 $\sigma_{\text{花}} : \sigma_{\text{变}} = 1.3 : 1$;②砂岩类与灰岩类的实测最大主压地应力值,也大致在相同量级范围,即 $\sigma_{\text{砂}} : \sigma_{\text{灰}} = 1.6 : 1$;③火山岩类岩性较为复杂,力学性质差别也较大,加之统计数量较少,目前尚不能提出较为可信的对比量级范围;④统计结果表明,侵入岩类、变质岩类中实测最大主压应力值,与沉积岩类(主要指砂岩、灰岩类)之间的比值大致为: $\sigma_{\text{侵}} : \sigma_{\text{沉}} = 2.4 : 1$ 。考虑到部分侵入岩类、变质岩类的地应力测点,受地形影响局部会出现应力集中现象,或者部分变质岩类由于年代古老而引起应力增大,因此建议将侵入岩类、变质岩类的地应力实测值减少 2.0—2.4 倍(即除以 2.0—2.4)后,作改正(校正或归一化)处理以后,大致可以与沉积岩类中的地应力实测值对比。

2.2 中国现今区域地应力场分区概述

根据我国境内不同地点和不同深度,实测地应力数据所显示的不同的地应力状态,结合全

国构造体系的展布进行现今区域地应力场分析,可以看出:纬向带、经向带将全国切割成条块状,现今地应力具有各自独特的特征,形成条块状现今地应力场分区(图4)。经向带将全国分为东、西两部分:东部最大主压应力方向,以 $NWW-EW$ 向为主,地应力值一般低于全国平均值,主要显示新华夏系现今地应力场活动的特征;西部最大主压应力方向大都接近 SN 向,包括 NE 向和 NW 向,地应力值常常高于全国平均值,主要显示西域系、河西系和反“S”型现今地应力场活动特征。

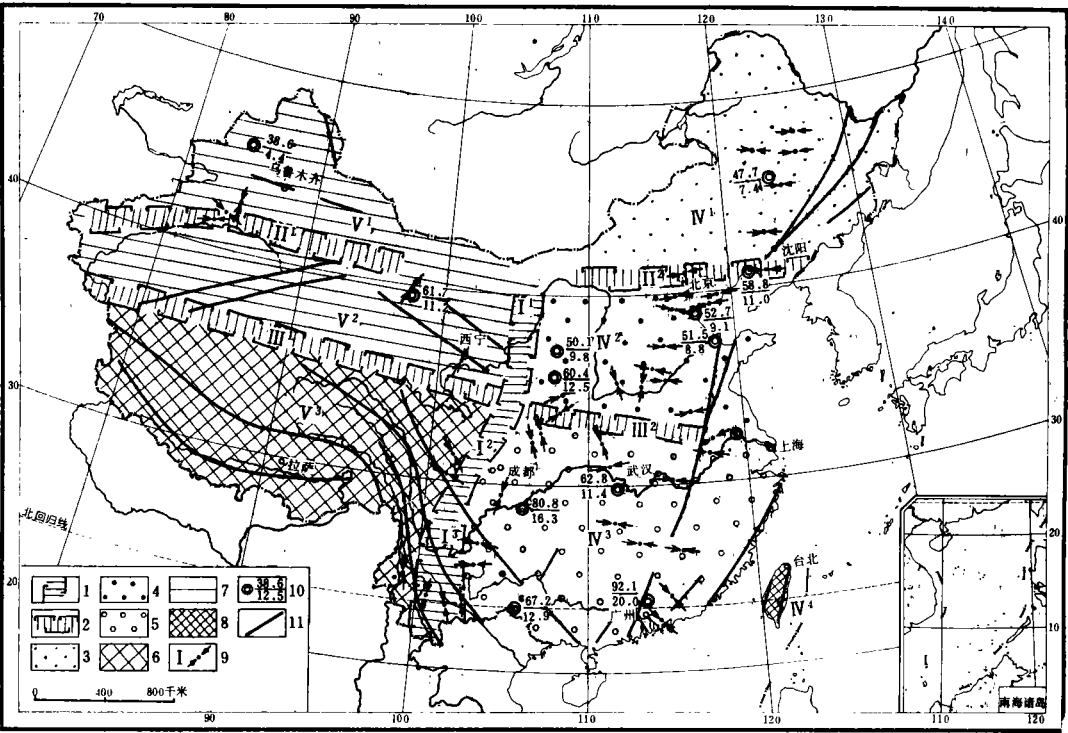


图4 中国区域现今地应力场分区略图

Fig. 4 Sketch zonation of present regional stress field in the earth's crust in China

1. 南北向(经向)应力带(I);2. 纬向应力带(II、III);3. 东北应力稳定低值区(N^1);4. 华北应力较稳定低值区(N^2);5. 华南应力较稳定、低值、高应力梯度区(N^3);6. 台湾区(N^4);7. 西北高应力值、高应力梯度、应力急剧变化区(V^1 、 V^2);8. 青藏断裂旋扭高应力值区;9. 现今地应力分区编号及实测最大水平主压应力方向;10. 石油钻孔2000m深度最大主压应力值(分子)与最大剪切应力值(分母)(单位:MPa);11. 主要断裂

3 中国内动力地质灾害及分区^[4,7,13,14]

各种内动力地质灾害都是现今地壳运动直接或间接的表现形式,尽管各自运动特征、表现形式、活动速率等呈现复杂的状况,包括地壳块体升降、带状错动、缓慢形变、突发冲击、骤然爆发等等,但都受控于现今构造应力场。因此,它们是现今构造应力场的研究内容之一,并在国家经济建设中具有重大意义。

3.1 中国内动力地质灾害类型^[15]

中国地域辽阔,地质情况复杂,地处环太平洋和地中海构造活动带的交接部位。境内多发生各种类型的内动力地质灾害,诸如:地面沉降或掀斜;活动断裂的位移;构造地裂缝;高地应力与高能量集中引起的灾害(又可以分为坑道变形、采矿钻孔套损、瓦斯突出、冲击地压、岩爆、地震(包括水库诱发地震、矿山开采诱发地震、注水诱发地震等);火山灾害;地下热害等等。上述各种类型内动力地质灾害主要是构造应力作用的结果,有的是由于人类活动叠加了采动应力或者荷载应力等联合作用的结果。

3.2 中国内动力地质灾害的主要特征

各种内动力地质灾害,实质上都是地壳运动过程中,采取不同方式释放能量造成的。

(1) 各种类型地质灾害的内动力与地壳运动。各种类型地质灾害的内动力主要是地应力,它也是推动地壳运动的力源。地壳运动是长期连续的过程,运动速率既有长期相对的均匀性,又具有不均匀的变化;既具有演化发展的趋势性,又具有往返复杂的周期性。

(2) 活动构造体系对内动力地质灾害的控制。各种内动力地质灾害常发生在特定的地质构造部位,主要受现今活动构造体系的控制,而各个现今活动构造体系内部的不同部位对灾害类型又具有选择性。此外,某些活动构造带内灾害的发生经常具有重复性,发生部位又具有迁移性;不同类型的灾害发生地带或地点既可重叠,也有分选;既同步,又补偿等等。如:纵贯我国东部的长春—广州活动断裂带内,各种类型的地质灾害,如地震、瓦斯突出、岩爆、冲击地压、钻孔套损、地下热害等,具有明显的分段选择性,上述特征表现明显。表明活动构造体系对内动力地质灾害的控制是一个系统复杂的演化发展的过程,概言之,是现今地应力场演化发展的结果。

(3) 内动力地质灾害发生的周期性。历史记载,各类内动力地质灾害分别具有几百年、几十年、甚至几年的周期性活动。仪器测量也显示年周期性、月周期性、日周期性的活动规律;地壳固体潮也记录了上述周期性活动。这种周期性活动规律与地球在宇宙空间的运动规律大体对应。

3.3 中国内动力地质灾害分区

笔者根据内动力地质灾害的时空分布,主要构造体系的条块分割与其中的活动构造体系的控制作用,将我国分为3大灾害区及5大灾害构造带(图5),概述如下:

(1) 纬向构造带(I):天山—阴山纬向构造带(I₁);昆仑—秦岭火山纬向构造带(I₂);南岭纬向构造带(I₃);

(2) 经向构造带(II):(1)银川—昆明经向地震构造带;

(3) 新华夏系构造带(III):东南沿海地震、地热构造带(III₁);长春—广州地震、瓦斯突出、冲击地压、钻孔套损、构造地裂缝、热害构造带(III₂);兴安岭—雪峰山瓦斯突出、构造地裂缝、火山、地震构造带(III₃);

(4) 中国东部新华夏系控制的内动力灾害区(IV):东北钻孔套损灾害亚区(IV₁);华北地震灾害亚区(IV₂);华南瓦斯突出亚区(IV₃);南琼亚区(IV₄);台湾多种严重灾害亚区(IV₅);

(5) 西域系构造带(V):东准噶尔构造带(V₁);天山—祁连山构造带(V₂);

(6) 西域系,河西系控制的灾害区(VI);

(7) 青藏反“S”型构造带(VI):河西走廊南山—冷龙岭北缘断裂构造带(VI₁);柴达木北缘断裂构造带(VI₂);阿牙克木湖—冬给措纳湖断裂构造带(VI₃);曲麻莱—康定地震断裂构造带(VI₄);喀喇昆仑山—唐古拉山地震构造带(VI₅);冈底斯山地震构造带(VI₆);喜马拉雅山地震

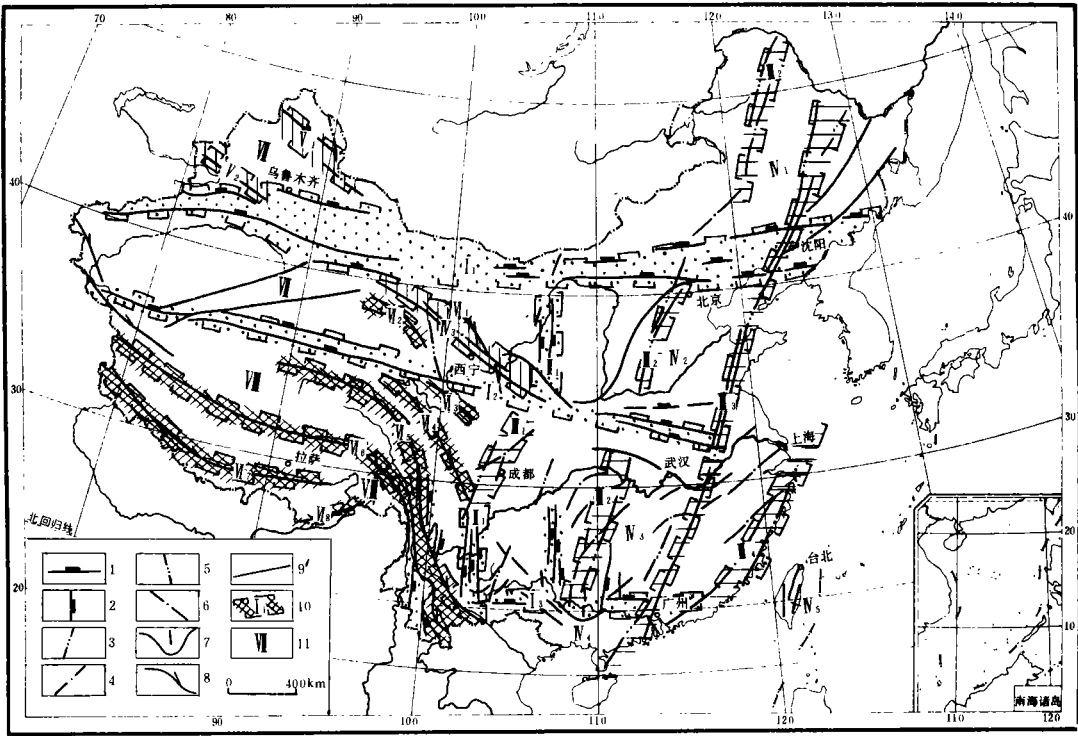


图 5 中国内动力地质灾害分区略图

Fig. 5 Sketch zonation of endogenic geologic hazards in China

1. 纬向构造带; 2. 经向构造带; 3. 新华夏系构造带; 4. 华夏系构造带; 5. 河西系构造带; 6. 西域构造带; 7. 山字型构造; 8. 青藏反“S”型构造带; 9. 其它构造线; 10. 主要灾害构造带展布范围及编号; 11. 内动力地质灾害分区编号

构造带(VI₇);

(8) 中国西南部反“S”型控制的强震发育隆升区(VIII)。

3.4 中国地壳结构构造基本特征^[6,7]

根据中国境内地壳结构构造的各种综合指标,包括地壳厚度,岩石圈厚度,区域性重力梯度变化,区域性航磁变化,地温变化,地壳波速变化,地壳均衡状态,地壳深部断裂分布等,将全国分为 3 个单元(区、带),7 个亚区(图 6)。可以看出中国地壳分区是经向带、纬向带切割分块,同时可以看出地面地质构造及其活动性,与其地壳深部结构构造具有一致性,它们各自活动或稳定程度也与现今地壳活动状况相对应。

4 中国现今构造应力场及现今地壳运动趋势

4.1 中国现今构造应力场分析

广义的中国现今构造应力场,应该包括现今区域地壳形变场、现今断裂位移场、现今区域地应力场、现今内动力地质灾害场以及地表、地壳深部结构构造与介质条件等。为了讨论中国现今区域地壳运动趋势问题,先要进行中国现今构造应力场分析,以便确定现今构造应力场各个区、带内现今活动的主导构造体系,进而讨论中国现今区域地壳运动问题。

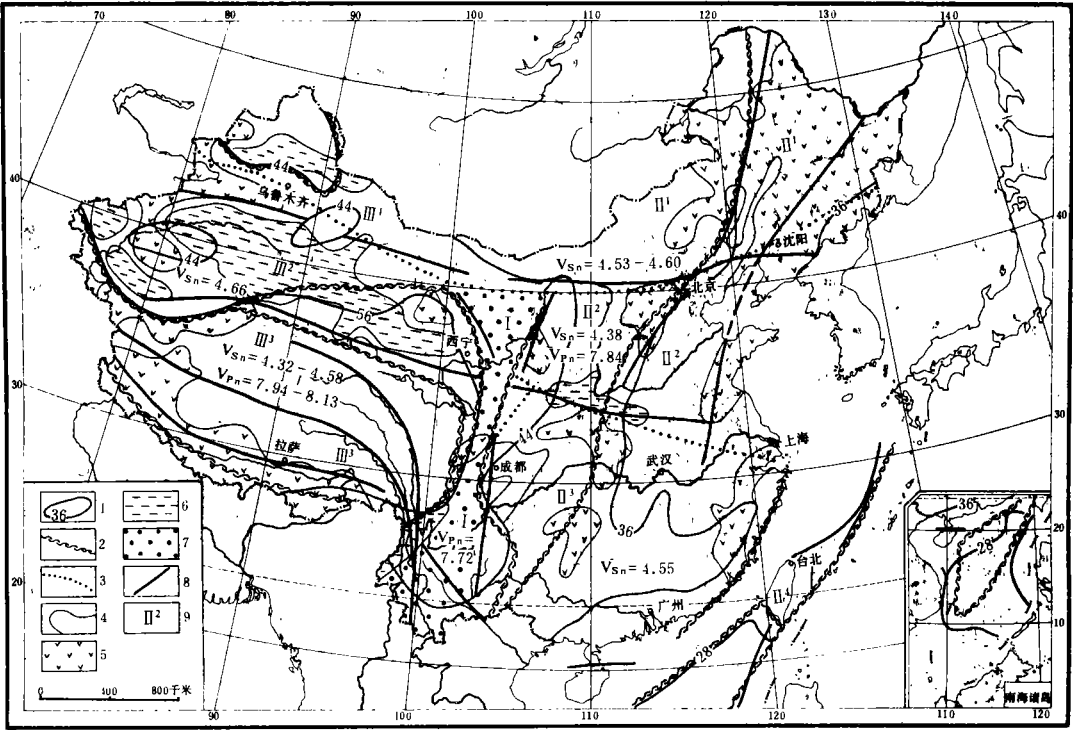


图 6 中国地壳结构构造分区略图

Fig. 6 Sketch zonation of crustal constitution and deep structure in China

1. 地壳厚度等厚线(km); 2. 区域性重力梯度带; 3. 地壳 S 波平均速度及分区, V_{sn} 为上地幔顶部 Sn 波速度(km/s); V_{pn} 为上地幔顶部 Pn 波速度(km/s); 4. 地壳均衡分区界线; 5. 正均衡异常区; 6. 负均衡异常区; 7. 南北带均衡异常区; 8. 地壳主要断裂构造; 9. 地壳结构构造分区及编号: I. 银川-昆明南北向构造带; II. 中国东部地区: 东北地壳相对稳定亚区(II¹)、华北地壳相对较活动亚区(II²)、华南地壳相对稳定亚区(II³)、台湾地壳相对活动亚区(II⁴); III. 中国西部地区: 准噶尔地壳相对较活动亚区(III¹)、塔里木-柴达木相对较活动亚区(III²)、青藏高原地壳相对强活动亚区(III³)

(1) 中国经向、纬向现今活动构造带是现今构造应力场分区的主要边界。特别是银川-昆明现今活动的经向带, 将中国划分为东、西两大部分, 应属一级分区, 两侧构造体系展布特征各异, 但地块运动趋势具有动力学上的对称性。根据中国现今活动的纬向带, 即天山-阴山带、昆仑-秦岭带, 将东西两个大区(地域)划分出若干亚区。如中国东部新华夏系现今构造应力场活动地域, 可以分为 4 个亚区, 即东北区、华北区、华南区和台湾区; 中国西部可以按照不同的现今活动构造体系, 划分出西北部西域系现今构造应力场活动地域和西南部青藏反“S”型构造体系的现今构造应力场活动地域, 并可进一步再划分亚区。

(2) 中国各个地域、各个亚区、各个构造带, 分别发育类型不同、严重程度不同的各种内动力地质灾害。这些无疑都与所在部位的主导控制性构造体系的现今活动, 构造应力场的发展演化, 以及与具体灾害场叠加演化密切相关, 与某种地质灾害的发生条件也密切相关。

4.2 中国现今区域地壳运动趋势^[1,3,16,17]

(1) 以东经 102°-107°附近发育的中国经向现今活动构造带为中轴, 东西两侧对称发育现今活动的旋扭构造体系, 即东侧的华夏系, 西侧的西域系、河西系、反“S”型, 标示着中国大陆地块相对东侧太平洋硅镁层岩块和西侧印度大陆块, 作相对向南水平滑移的趋势性扭动。

东亚大陆地块与东侧太平洋岩块(板块)的边界,是一连串的岛弧和海沟,构成北北东向特异的边界形状。各处运动速度的差异,必将造成不均匀的边界外力系统,构成以水平反扭为主,同时又具有不均匀侧压的边界外力系统。中国大陆地块西南边界与印度大陆地块(板块)相接,呈北西向向西南凸出的弧形边界,边界外力以不均匀挤压为主,也为中国西部大陆地块水平顺扭,包括水平顺时针旋扭,提供了边界条件。中国大陆地块东西两侧主要边界形态的差异,与边界外力系统作用的对称性与差异性,在各处主导构造体系现今活动特征上得到反映。

在上述水平运动与外力系统的作用下,中国大陆地块的垂直升降运动表现为南升北降的趋势,特别是在主要边界外力作用相对强烈的挤压部位。如台湾、喜马拉雅山脉地带,出现了强烈的隆升;中国北部边界则相对急剧沉降。

(2) 中国大陆地块被经向构造带、纬向构造带,以及不同规模、切割地壳不同深度的断裂所分割,形成大小不同,形状各异的岩块。在共同的外力系统作用下,因各个大小不同块体的运动必然出现差异,从而加强了岩块的水平旋扭和垂直升降活动。

(3) 中国东部地域现今活动主要受新华夏系应力场控制。北北东向构造带、现今地壳形变带、断裂位移带、各种地球物理异常带以及各种内动力地质灾害带等,均呈现 NNE 向排列,标志着地块作水平顺扭,甚至连分割东北区、华北区、华南区的阴山纬向带和秦岭纬向带中的东西向断裂,现今也作顺扭拉张活动,与新华夏系现今构造应力场作用一致。

中国东部地域的纬向带被南北向切割分成的不同亚区,又因各自地壳厚度不同,深部结构构造的差异,各自块体完整程度不一,以及周边外力与内部体力的差异,使各亚区在统一的总体运动中,又各具不尽相同的构造应力场状态,产生不同类型的内动力地质灾害。即使在同一亚区内部,由于局部构造条件的变化,岩石力学性质的差异,边界条件的局部变化,以及地壳深部结构的变异等,也可导致部分地区构造应力场发生变化,例如华北亚区中的汾渭地堑现今活动断裂构造带,由于地幔上隆,致使最大主压应力轴直立,平面上主压应力轴面沿地堑带平行展布。

(4) 中国西部按照主导构造体系的展布范围,可以分为西北部和西南部两个地域。西北部以西域系、河西系现今活动为主,显示地块作南北向顺扭活动;西南部以青藏反“S”型旋扭构造体系为主,现今活动在顺时针旋扭活动中急剧隆升。大陆西部现今扭动方向与东部相反,具对称态势。东、西部陆块现今活动量、速率、灾害发育程度等,也有所差别,总体显示西强东弱。如在东部各亚区实测地应力值大都低于全国平均值,而西部则高;现今地形变垂直升降速率东部也低于全国平均值,西部则高;现今断层位移量东部一般也较西部低一个量级,甚至同一条纬向带(天山—阴山带、昆仑—秦岭带)现今活动也是西强东弱,各种地质灾害的严重程度,也具西强东弱之势。由此可见,大陆西部地块现今地壳活动程度明显地大于东部大陆地块,其原因可能与地壳结构构造的差异,不同主导构造体系切割地壳深度不同以外,还与东、西部边界外力作用系统的强度差异有关。

(5) 在中国地壳运动总体趋势控制下,各级各类构造应力场的叠加、叠减,构造应力的集中与释放导致各类内动力地质灾害。一场大的地质灾害,例如 1976 年唐山地震,地震构造应力场影响范围,遍布我国东部新华夏系现今活动地域,延续时间达 10 年以上,包括地震构造应力的形成和加强、能量集中和释放及调整恢复;而较小的地质灾害,例如青海关角隧道的坑道变形^[18],尽管展布范围相对较小,但其灾害活动也可达数十年之久,甚至更长。值得重视的是,隧道工程的开挖,加快了坑道变形,增加了工程开挖的难度。

如前所述,中国各种内动力地质灾害,都受控于现今地应力作用。有的只是长期的缓慢活

动,有的却突然爆发,时间上具明显的周期性活动特征。如有几百年的周期、几十年的周期、甚至几年、几月、几天的周期等等。不同周期的同类灾害在地区分布上又具有明显的空间迁移特征,例如西安地裂缝灾害就具有明显的迁移性活动。各类灾害又具有相互叠加、补偿、迁移等多种复杂的特征,表现了个体的复杂性和整体的统一性。

在同一地区(地点)地壳不同深度的地应力状态可以发生不同程度、不同量级的变化,也可以出现应力性质的改变,标志着地壳运动除了在平面分布上的变化外,随地壳深度的变化尚存在着分层变化的趋势。

本文所得出的认识与李四光教授对中国地壳运动问题的阐述,总体上是一致的。中国现今地壳运动是地壳运动史的延续。由于现代技术为我们提供了现今地壳运动的各种数据,使我们对中国地壳运动的一些细节和时空发展演化及其运动规律等,有可能补充新的认识。中国现今构造应力场的新资料,也印证了李四光教授对中国地壳运动论述的可靠性。

参 考 文 献

- 1 李四光,地质力学概论。北京:科学出版社,1973。
- 2 李四光,区域地质构造分析。北京:科学出版社,1974。
- 3 孙殿卿,中生代以来中国大地构造体系与构造运动方式。地质学报,1982,56。
- 4 陈庆宣,岩石变形与构造应力场分析中值得引起注意的几个问题。地质力学研究所所刊(8),北京:地质出版社,1986。
- 5 孙 叶,北京地区现今区域地应力场问题的初步探讨。地质力学文集(3),北京:地质出版社,1979。
- 6 《中国岩石圈动力学地图集》编委会,中国岩石圈动力学概论。北京:地震出版社,1991。
- 7 国家地震局《中国岩石圈动力学地图集》编委会,中国岩石圈动力学地图集。北京:中国地图出版社,1989。
- 8 国家地震局《一九七六年唐山地震》编写组,1976年唐山地震。北京:地震出版社,1982。
- 9 国家地震局地壳应力研究所,地壳构造与地壳应力文集(1—5)。北京:地震出版社,1987—1991。
- 10 高建理等,中国海区及其临域的原地应力状态。地震学报,1992,14(1)。
- 11 安 欧,构造应力场。北京:地震出版社,1992。
- 12 陈彭年等,世界地应力实测资料汇编。北京:地震出版社,1990。
- 13 李四光,地震地质。北京:科学出版社,1973。
- 14 李四光,论地震。北京:科学出版社,1977。
- 15 孙 叶,中国地质灾害类型划分与减灾对策的战略分析。中国地质灾害与防治学报(4),1991。
- 16 李四光,天文、地质、古生物资料摘要(初稿)。北京:科学出版社,1972。
- 17 李四光,地质力学方法。北京:科学出版社,1979。
- 18 王津等,青海关角隧道病害与区域构造挽近活动的关系。中国地质科学院 562 综合大队集刊(4),北京:地质出版社,1983。

AN ANALYSIS OF PRESENT-DAY REGIONAL TECTONIC STRESS FIELD AND CRUSTAL MOVEMENT TREND IN CHINA

Sun Ye Tan Chengxuan

(Urban and Engineering Site Stability Research Centre, CAGS)

Abstract Tectonic stress field is here extended to cover, in addition, crustal deformation field, fault displacement field, deep crustal structures, as well as the factors that may have some influence on the stress field such as structural conditions, geophysical and geochemical conditions and properties of the crustal materials. All these are so closely interrelated that they form a system giving different responses to a crustal movement. Only an integrated, systematic analysis of the tectonic stress field can the trend of the present-day crustal movement be brought to light. Otherwise, what we may have achieved will be only partial expression of the movement. This paper approaches the problem in two steps: a respective analysis and zonation of the various fields mentioned above is first made which is followed by a discussion of the crustal movement trend in China. The results add some new data and knowledge to the present-day crustal movement in China, which may prove useful for the planning and construction of national economy and for disaster reduction and prevention.

Key words tectonic stress field, crustal deformation field, fault displacement field, geological hazard field

作者简介

孙叶,男,1933年生。1955年毕业于长春地质学院,研究员。主要从事现今构造应力场,区域地壳稳定性评价等方面的研究。通讯地址:中国地质科学院城市与工程场地稳定性研究中心。邮政编码:101601。

我所将举办建所 40 周年庆祝活动

由我国卓越科学家李四光教授创建的地质力学研究所,已迎来第四十个春秋。为了颂扬过去,激励未来,地质力学研究所决定在 1996 年春举办庆祝活动。届时拟邀有关领导、老专家来所座谈,组织参观李四光纪念馆、地质力学开放研究实验室、建所以来科技成果交流展,以及观看新录制的“大地回响——地质力学研究所建所四十周年”录像片。我们热诚欢迎曾在地质力学研究所工作或学习过的同志前来参加庆祝活动。

刘特音供稿