

七级昌马地震研究

石特临 李清河 赵广坤
秦保燕 刘百箴 刘万忠 编

地震出版社

序

1964年昌马地震综合考察队的组建是在我国经历了大跃进之后,国家进入三年困难时期,强调加强地震科学的基础研究的背景下进行的。所以,按照中国科学院地球物理研究所领导的指示,作为建队的指导思想是:通过执行任务,促进地震学科的发展。因此,从一开始,我们就注意了打破地震烈度鉴定的传统做法,不是单纯根据历史地震记载,应用简单的重复性原则,鉴定工程所在地点的基本烈度,而是深入现场,考察大地震形成的特殊构造条件与构造运动的差异性;运用微震观测台网了解大地震所在地区目前的运动状态;详细考察当地文献和碑文,增加历史地震资料;最后,运用综合分析方法,对地震烈度进行综合判定。这样的一套做法在我国具有一定的开创意义(请参阅本集郭增建的论文)。

正因为开展了一系列科学研究,并运用了综合分析方法,所以最后得到的昌马基本烈度是Ⅷ度,它比历史地震资料给定的Ⅶ度要高出一度。这个结论的得出无疑经过了多方面的研究与反复讨论才得出的,并且经过兰州和北京两地的专家会议认可,最后才提交水电部的。同时,专家们还对昌马地震考察队的指导思想和做法予以充分肯定。

翌年,西北地震考察队在执行酒钢任务,西南地震考察队在执行西昌一渡口任务中继续了上述思路与做法,并进一步发展。某些科研成果被用于70年代的二代烈度区划图的编制。笔者与郭增建、时振梁合写的《昌马地震烈度综合考察报告》被许多同志辗转借阅,到今不知丢失在何处?实在可惜!

令笔者告慰的是:在昌马地震考察队开辟的道路上后继者很多,而且取得了许多科学价值更高的成果,如对大地震现场地震断裂带的详细考察,已经获得了不少重要成果,它们对认识中国大地震的成因和规律都是极其重要的。单是昌马地震断裂带本身的考察研究也在不断深入。如本集中吕德徽、郭敬信、才树华等人的论文就是这方面工作的反映。至于昌马地震队开始的地震烈度评定的原则更是得到了广泛而又深入的发展。

那些在地面上留下痕迹的大地震是人类认识地震不可多得的宝贵的资料。“不入虎穴，焉得虎子”。昌马地震现场考察为我们展示了许多室内无法想象的震源断层上的形变与破裂现象。这类资料的积累对我们认识地震的形成过程具有重要意义。但是，大地震的现场多数是在荒无人烟的地方，环境的恶劣是难以设想的。每当我回想起当年在祁连山工作的那些日日夜夜，同志们那种不怕苦，不怕死的精神，至今仍使我激动不已。科学需要献身精神，地震科学尤其如此。但愿这种精神也能后继有人，并发扬光大。

梅世蓉

1993. 10. 18 于北京

前 言

1932年12月25日在甘肃省昌马地区发生了7.6级地震,造成了271人死亡,11000间房屋倒塌的巨大损失。

1964到1965年,为适应我国社会主义经济建设和国防建设的需要,原中国科学院地球物理研究所、地质研究所、兰州地球物理研究所等单位联合组队,对昌马地震进行了大规模的综合考察,不仅获得了大批第一手有关该地震的地震构造、地震危险性划分、地震地质等资料,而且提出了一些有关地震烈度和区域划分的方法。这是我国首次为工程建设评定地震烈度而组织的大型考察,为后来在全国开展地震预报和工程地震奠定了基础。

近年来,我国地震科学家又对昌马地震进行了更详细的考察研究,取得了更深入的认识和更丰硕的研究成果。

进入90年代以来,我国大陆地震活动水平起伏增强,地震活动的主体在西部。工作在地震监测预报、科研岗位的我国地震科学家,为探索大地震的形成奥秘,捕捉近期可能发生的7级以上大震孜孜不倦地工作。提出了一些有科学依据的见的。

1992年8月28日至9月2日,由国家地震局兰州地震研究所、甘肃省地震局、酒泉钢铁公司、嘉峪关市政府、甘肃省地震学会联合发起在甘肃省嘉峪关市举办了昌马地震60周年纪念暨7级强震学术讨论会,国家地震局及其下属13个单位、国家自然科学基金会、酒泉钢铁公司抗震办公室等单位代表出席并提交了有关昌马地震考察,昌马地震研究,我国大陆7级以上强震发生的背景、条件、环境及未来7级以上强震发生预测的论文。会上,60年代考察队队员深情地回顾当年考察的战斗历程,深切地怀念当年参加过考察而现已逝世的多位老前辈和同仁,大家心情激动,当场赋诗填词,抒发昔日之豪情,陈展今日之壮志,决心为地震科学事业,为最大限度地减轻地震灾害贡献毕生精力。

本书收集的24篇论文就是从此次会议提交的报告中精选出来的。60年代昌马考察队队长、我国著名地震学家梅世蓉研究员为本书作序。本书大体分为四个部分:1.昌马地震和昌马地震考察队回

顾;2. 昌马地震研究;3. 我国大陆未来 7 级以上大震预测方法和预测;4. 我国大陆 7 级以上强震发生的背景、环境、条件研究等,考虑到地震预报的社会学问题,书中对作者提出的具体预测意见加以删除。

本书由石特临、李清河、赵广坤、秦保燕、刘百箴、刘万忠组织编写,冯爱敏绘制书中图件。由于时间紧张,学识水平有限,疏漏谬误难免,敬请读者惠予扶正。

目 录

昌马大震和昌马考察队回顾	郭增建(1)
昌马活动断裂带粘滑段与蠕滑段的划分	吕德徽等(9)
昌马活动断裂新活动特征	郭敬信等(15)
晚更新世末期以来昌马断层位错与古地震	才树华(24)
滇西南及邻近地区未来大震趋势探讨	杨继登(32)
兰州地区地磁短周期异常与 1990 年中强震	曾小苹等(37)
1987 年以来南北地震带前兆异常时空演化及青藏块体	
北部地区 7 级强震危险性研究	毛 可等(39)
中国大陆强地震组的预测	陈绍绪(46)
东南地震区(带)未来地震趋势的探讨	魏柏林等(51)
中国西部 2000 年前大震形势	罗兰格(57)
东亚地区强震活动的 50 年周期	刘正荣(60)
中国大陆 7 级以上地震的一些特点	吴富春等(63)
阿拉善块体及周边强震活动的研究	孙加林(70)
我国西部及邻区 7 级地震活动特征研究	敖雪明等(77)
甘肃及邻区地震活动基本特征和预测方法	石特临等(82)
大震时震源断层面错动对近场横向断层的致锁作用和	
大震预报	秦保燕(96)
强震是大尺度构造活动的产物	许绍燮(102)
“震兆信息场”与大地震活动时段的预报	王泽皋等(108)
中国大陆强震的成组活动和概率预报	李钦祖等(114)
走滑活断层的障碍体与破裂分段	刘百箴等(121)
南北地震带北段地壳速度结构与大地震	李清河等(129)
尾波散射系数测定的前兆性试验研究	顾瑾平等(137)
海城地震与地壳上地幔异常结构	卢造勋(143)
大震震源区内次级共轭破裂机制与强余震预测	秦保燕等(148)

CONTENTS

The Changma Earthquake and the Changma Expedition in Retrospect	<i>Guo Zengjan</i> 1
Division of Stick Slip and Creep Slip Segments in Changma Active Faultzone	<i>Lü Dehui et al.</i> 9
Recent Activity Characters of the Changma Active Fault	<i>Guo Jingxin et al.</i> 15
Palaeoearthquakes and Changma Fault Dislocation Since the End of Upper Pleistocene	<i>Cai Shuhua</i> 24
The Trend of Future Great Earthquake in Southwest Yunnan and Its Adjacent Areas	<i>Yang Jideng</i> 32
Short-period Geomagnetic Anomalies in Lanzhou Region and Medium and Strong Earthquakes in 1990	<i>Zeng Xiaoping et al.</i> 37
The Research on Temporal and Spatial Evolution of Precursory Anomalies in North-South Earthquake Zone Since 1987 and Possibility of $M \geq 7$ Earthquakes in Northern Qinghai-Xizang Block	<i>Mao Ke et al.</i> 39
Prediction of the Strong Earthquake Group in the Chinese Continent	<i>Chen Shaoxu</i> 46
Estimation of Seismic Risk of Southeast Seismic Belt	<i>Wei Bailin et al.</i> 51
Earthquake Situation of the West China before A. D. 2000	<i>Luo Lange</i> 57
50 Years' Period of Strong Seismicity in East Asia Region	<i>Liu Zhengrong</i> 60
Some Characters of $M \geq 7$ Earthquakes in Chinese Continent	<i>Wu Fuchun et al.</i> 63
Prediction of Strong Earthquakes in Alashan Block and Its Circumferential Areas	<i>Sun Jialin</i> 70
On Activity Characters of $M \geq 7$ Earthquakes in West China and Its Adjacent Areas	<i>Ao Xueming et al.</i> 77
Basic Characters and Prediction Methods of Seismicity in Gansu and Its Adjacent Areas	<i>Shi Telin et al.</i> 82
The Effect of Source Fault Surface Dislocation to Make Near-field Lateral Faults Be Locked During Great Earthquakes and Its Prediction	<i>Qin Baoyan</i> 96
Strong Earthquakes Are Products of Big Scale of Tectonic Activity	<i>Xu Shaoshie</i> 102
"Seismic Precursor Information Field" and Prediction of Time Segment of Strong Seismicity	<i>Wang Zegao et al.</i> 108

Activity in Groups of Strong Earthquakes in Chinese	
Continent and Probability Prediction	<i>Li Qinzuo et al.</i> 114
The Barriers of Strike-slip Fault and Segmentation of Fractures	<i>Liu Baichi et al.</i> 121
The Relationship Between Crustal Velocity Structure Along the Northern Segment of the North-south Earthquake Belt and Great Earthquakes	<i>Li Qinghe et al.</i> 129
The Precursive Test and Study on Determination of Coda Scattering Coefficient	<i>Gu Jinping et al.</i> 137
Anomalous Structure of Crustal and Upper Mantle and the Haicheng Earthquake in Chian	<i>Lu Zaoxun</i> 143
On the Formation Mechanism of Secondary Conjugate Fractures Within Source Regions of Great Earthquakes and Prediction of Strong Aftershocks	<i>Qin Baoyan et al.</i> 148

昌马大震和昌马考察队回顾

郭 增 建

(国家地震局兰州地震研究所)

1932年12月25日昌马地区发生的7.6级大震距今已有60年了,它是我国著名大震之一。1964年为我国核基地解决供水问题需在昌马河谷建设大水库,故组织了大型地震考察队——中国科学院西北地震综合考察队(简称昌马考察队),以确定昌马地区潜在的地震危险程度,作为建坝抗震的依据。这一地震烈度考察的历史事件距今也有28年了,该考察队是我国第一次为工程建设地区评定地震烈度组织的大型考察队。

为了纪念昌马大震发生60周年以及昌马考察队建队28周年,并为了预防今后我国可能发生的7级以上大震,中国地震工作者于今聚集在嘉峪关(昌马地震考察结束后的第二年执行酒钢考察任务的西北地震考察队队部所在地)纪念昌马大震和昌马考察队的历史事件,并讨论我国今后7级以上大震可能发生的地区问题。由于昌马考察队的队长梅世蓉同志因事未到会,所以我作为昌马地震考察队的负责人之一作一回顾性发言。我的回顾只到昌马考察队工作结束时为止,即1965年2月考察报告全部打印在京最后作汇报时止。后来许多同志对昌马地区的地震问题和地震地质问题都作过有价值的考察研究,并发表了有意义的论文,对这些,我的回顾则不包括。

一、对1932年12月25日昌马大震的回顾

关于这个大震涉及的许多问题,刘晓玲同志曾写了专文回顾,在这里我就不重复了(此文将发表于中国减灾报)。我所要回顾的是,当时对昌马大震进行通信调查并向全世界收集该地震地震波初动符号而写了第一篇昌马大震文章的金咏深先生。金咏深先生是在我国近代史上建立第二个地震台的创业者。第一个台是已故的李善邦先生于1930年在北京附近的鹫峰山建立的。金咏深先生于1932在南京创建了第二个地震台。该年冬天,他的地震仪记录到了1932年昌马大震。抗日战争爆发后,在南京沦陷前金咏深先生奉命向大后方撤退,但退到武汉后就无下落了。解放后亦不知他的去向。在今天纪念昌马大震60周年的时候,我们对地震事业的创业者之一金咏深先生表示深切的怀念。他于1933年在《科学》杂志上发表的“民国二十一年十二月二十五日甘肃北部地震略述”的论文,不仅在1964年昌马地震考察时为大家所引用,即使现在,他在文中列举的该地震发生时世界上8个地震台(即北京、南京、上海、马尼拉、东京、巴达维亚、海防和斯图加特的P波初动资料,仍是了解昌马大震震源机制的独有的可贵资料,因为国际地震资料汇编(I. S. S.)从1933年才开始报道P波初动资料。1982年《西北地震学报》曾发表了现南京地震台唐兆华和方家福二同志写的纪念金咏

深先生的文章，并刊登了金咏深先生早年在日本留学时和日本地震研究所专家合影照片。

解放后我国开始了第一个五年建设计划，当时全国都在计划兴建大型水库和发电站。因之1954年甘肃省水利厅派人去昌马地区考察，曾发现1932年的大震震中区有一条地震断裂带，走向为北西西，南升北降。他们只追踪了61km。另外铁道部和甘肃省工业厅也曾派人对这个地震进行了考察。他们的考察成果及资料，后来被昌马地震考察队所继承和引用。

二、昌马地震考察队回顾

1963年国家提出要建昌马水库，以便为造原子弹的地区供水，于是上级把鉴定昌马地区地震烈度的光荣任务交给了当时的地震工作者，即中国科学院地球物理研究所和兰州地球物理研究所的同志们。中国科学院地质研究所的徐煜坚先生——中国第一代地震烈度区划图编制的领导者之一，也参加了昌马地震烈度的考察、鉴定工作。任务是艰巨的，但也是光荣的，昌马考察队的组成虽不能说是我国地震队伍的倾巢出动，但也达及70%了。1963年是准备阶段，在这个阶段中值得指出的是该年10月29日在北京水电部水电总局召开的“昌马地震问题会议”。已故的我国地震事业的创始人之一——李善邦先生在会上发表了重要的学术性讲话，他说：“从能量积累的角度来看，昌马地区最大的地震是在不久的30年前发生的，估计像那样大的地震还不致于在最近几十年内发生。另外，从地震统计角度来看，我国数千年的地震记载也表明，烈度为Ⅹ度的地震在同一地方重演是稀少的，即使重演的地震也都相隔较长的时间——约在百年以上。这一点也可作为我们估计昌马地区未来地震危险性的借鉴。但是，另一方面，我国历史地震的统计资料也表明：烈度为Ⅶ度和Ⅷ度的地震在同一地方重演却是比较常见的，这种强度的地震很难说在近期内不在昌马地区发生，因之我个人认为，昌马地区地震烈度定为Ⅶ度或Ⅹ度比较适宜。如果低于Ⅶ度，恐怕有危险，如果高于Ⅹ度，近期似不必要”。

以上讲话被引述在刘正荣1964年12月6日执笔所写的《昌马水库库坝区场地烈度》的报告中，该报告是昌马考察队专题报告之三。

李善邦先生的讲话，是他对1957年领导编制中国第一代烈度区划图原则的发展，那时的原则是过去发生过多大的地震将来还会重演，但没有指出不同强度地震重演的时间间隔。在1972年和1990年我国编制第二代和第三代烈度区划图时实际上是沿用了他的思路。在今天，纪念昌马地震60周年的时候，我们也怀念中国地震科学的奠基人之一——李善邦先生。

三、1964年昌马烈度任务的执行

1964年以梅世蓉为队长，刘多域、王贵美（兼支部书记）和本人为副队长的昌马考察队组成。其中包括中国科学院地球物理研究所，兰州地球物理研究所和水电部的同志们。徐煜坚先生也亲临昌马现场进行指导。昌马地震考察共分五个方面的工作，即宏观地震考察、地震地质、仪器观测、地震分析、场地区划和其他有关研究。在考察队工作结束时共写出了一份总报告和八份考察研究分报告。总报告：总论昌马地区地震危险性（梅世蓉执笔。）

分报告是：

- 1) 昌马及邻近地区的宏观地震考察与研究（刘正荣、康哲民、姚国干、王式钧、杨天

锡);

2) 昌马地区地震观测数据处理方法与结果(张诚执笔,参加人有秦保燕、王泽皋和刘成吉);

3) 1932年昌马地震的自然破坏现象及地震形成原因的初步探讨(主要参加人员有时振梁、环文林、周光、谢原定、姚国干,考察裂缝带的还有冷士国,另外朱皆佐、刘正荣、康哲民和杨天锡也参加了短期考察);

4) 昌马水库库坝区场地烈度(刘正荣执笔,参加人员有刘正荣、杨六通、杨天锡,以上微观);

5) 从震源地方的运动特征讨论祁连山西北部的构造应力情况(郭增建、秦保燕);

6) 年轻而强的差异运动在估计祁连山地区地震危险性上的意义(郭增建、杨治国);

7) 从地质力学观点来看昌马地区地震危险性(周光、谢原定);

8) 现代构造运动的差异与最大地震强度的关系(郭增建)。

为了执行昌马地震烈度鉴定任务,共设了昌马、安西、石包城、石油沟、黄花、赤金堡和西湖等地震台,还有为坝区烈度小区划进行土质条件对比的新义城台(昌马台也参加了对比)。在这些台上工作的有:杨嘉文、郑志英、董廷弼、和景昊、祁国泽、方汝林、王杰、胡秉礼、张国柱、祁文博、马顺兴、张永成、李文虎、巴登峰和宋宗义等。石特临、童汪练二人负责台站仪器常数保证和维修工作。李钦祖亦在昌马台进行过观测工作。罗正德参与了台网的管理工作。为了分析处理台站观测资料,考察队的地震分析组设在玉门镇招待所。主要成员有梅世蓉、张诚、秦保燕、王泽皋,另外,刘成吉也参加了部分工作。

昌马考察队的工作于1965年2月结束。在兰州和北京向上级领导作了汇报。在今天回顾昌马地震考察的时候,让我们为后来陆续去世的考察队成员表示哀悼。他们是:地震地质学家徐煜坚先生,地震地质学家周光先生,地震分析专家张诚同志,另外还有台站观测专家罗正德,李文虎和巴登峰同志。

四、昌马考察队的学术成果回顾

应指出的是在梅世蓉执笔的总报告中,以深刻的科学分析,对各方面作了详细论证,认为昌马库区的地震烈度定为Ⅷ度为宜。另外对库区两个坝址进行了小区划的分析对比,提出了明确的对比结果,这就是说考察队圆满完成了任务,这是我国烈度考察首次综合报告,但由于报告当时未打印,今原稿已找不到,不能较具体的在此介绍。下面就当时有打印材料并分别保存于国家地震局地球物理所和兰州地震研究所档案室的八份报告进行简略介绍:

1) 宏观地震考察组,在昌马千佛洞发现有一石碑,上面记载着1832年8月地震的破坏情况,千佛洞的烈度被定为Ⅶ—Ⅷ度。这不仅为我国6级以上地震目录增加了一条新资料,也为证实地震重复性增加了依据。现在全国地震目录中正式把此震定为6.5级。另外该组还通过调查得知昌马大震前无有感小震,主震前降雪12—15cm,地震前虽天晴,但雾气沉沉。这对今后分析大震前兆和制定大震对策是有价值的。由于宏观地震组的考察,划定了现在还在沿用的1932年大震等震线。这个小组是刘正荣和康哲民领导的。

2) 地震小区划组,在库坝地区为了对比四号坝址和峡中坝址哪个场地条件好,在我国首次用仪器观测与宏观资料相结合进行了地震小区划,最后对两个坝址方案进行了优劣选择。应

当指出,在这次小区划中比较明确地讨论了1957年李善邦先生和徐煜坚先生领导(苏联专家果尔什可夫顾问)编制的中国第一代地震烈度区划图上所标的度数相应的标准土的问题,这个标准土是我国一般居民点所在的土质条件,具体说来就是地下水位较低的沙-粘土。这项工作是由刘正荣负责的。

3)地震观测分析组,在极其艰苦的条件下完成了台网的观测,取得了可贵的资料,并对我国新研制出的63A型晶体管地震仪进行了性能考察和对比。在分析方面首次在我国系统地区分了爆破和天然区域小震的地震波特征;大量分析了在莫氏面反射的 P^H 和 S^H 震相,由于区域小震要与具体断层对比,所以震源位置精度要求较高,故系统讨论了定震源的误差问题;由小震分布估算了1932年昌马7.6级大震的震源体积;求得了昌马地区小震深度一般为20km。这些工作在今天亦有参考价值。分析组的负责人是梅世蓉和张诚,观测组的负责人为刘多域。

4)地震地质组,在艰苦条件下沿1932年大震在地表形成的断裂带进行追踪考察,得到1932年7.6级昌马大震在地表形成的断裂带长度为120km(原甘肃省水利厅只考察了61km),首次在我国作了地面破裂带不同段破坏程度图,幅度最大在中段;发现地震断裂带与构造断裂带一致。合理的分析了地震形成的机制;发现了地震断裂带上的破裂和形变多样性,如网格、锯齿、雁行、S型、羽状、土埂和陡坎等。他们还首次在我国作出了震源深度剖面分布,以说明深断层错动的产状。他们正确的指出了1932年昌马大震发生是水平挤压力与垂直运动的叠加。这个组的负责人是时振梁。

5)地震地质方面的另一份研究报告是周光先生和谢原定写的。他们发现了昌马地震破碎带上有水平擦痕。提出了构造体系部位相同时其发震情况相似的观点,如昌马和三河平谷同为祁连吕贺山字型的反射弧部位,其发震情况应相似,这与果尔什可夫提出年轻的、强烈的垂直差异运动带为发生大震的地质指标是不同的。指出了压力所致构造地震危险性小,扭动所形成的构造地震危险性大;大地震的发生多为不同构造相复合,联合作用的结果,参与构造复合的规模越大,其所能积累的应力亦多,构造越复杂,应力越容易集中,发生地震的可能性越大。他们还指出,孕震构造规模越大,其所涉及的深度越深,地震危险性越大,这些观点至今亦未失其价值。

6)前述第五个报告是由本人和秦保燕写的。文中提出了一些证据以驳斥前一年新西兰地震学家F. F. Evison在美国地震学报(B. S. S. A)1963年第五期上发表的否定断层学说和推出相变学说的观点。之所以要讨论这个问题是因为断层学说如被否定,就动摇了1957年编制的中国地震烈度区划图的基础,也否定了执行昌马任务的科学基础。另外在该文中还研究了昌马地区和其外围地区1932、1941、1951和1952年四次5.5级到7.5级强震震源机制资料,发现它们在震源地方的错动情况以平推分量为主,倾滑分量为次。这再一次证明了本人在1963年中国地球物理年会上所发表的我国大震以平推为主的结论。这个结论也是与以前的结论不一致的。事实上,作者1960年就根据震源机制资料得出我国现代构造运动以平推为主的结论,好心的徐煜坚先生于1961年把这个结论的论文投地质学报,因当时垂直派占统治地位,所以稿件被退回了。只有等到1963年中国地球物理年会时,该文才予以发表。1966年邢台大震后,我国发生了多次大地震,无论震源机制资料,还是大地测量资料或是地表看到的宏观错动资料都证明平推为主,倾滑次之的结果。到此,60年代初期的争论就算结束。

在讨论平推运动的时候,使我想起1958年以谢毓寿先生为首翻译出版的苏联著名地震学家萨瓦连斯基所著《地震学与测震学》一书,该书是地质出版社出版的。在书中介绍了美国

学者在 1952 年用河流拐弯求断层错动的观点。然而当时我国由于垂直派占统治地位（垂直派也有它的长处）所以无人问津这一介绍。20 年后，我国学者才开始由水平错动研究走滑断层的运动。

7) 前述第六个和第八个分报告是本人执笔的。当时作者看到 1932 年昌马 7.6 级大震在地表形成的断层长度和发震构造长度差不多（发震构造是昌马盆地南缘断层以及通至二道川谷地的断层），因之认为发震构造的分段长度与震级应有相应关系。当时曾暂借用 1958 年美国 Tocher 发表的地震形成的地表断层长度与相应震级的关系式，即把该公式中的地震造成的断层长度作为构造分段长度去预测震级。应当指出的是 Tocher 的公式是纯粹的统计公式，他用的地震断层造成的断层长度资料全取自美国，美国的地壳介质情况，震源深度情况和震源机制情况不见得与中国大陆的相同。他的另一个统计公式是用最小二乘法进行“平均化”处理的，这样作其与震源断层长度的关系不明。因为同一震级的地震完全可因某些原因而有的到地表时衰减得剩下很短一段。有的却衰减少，而在地表剩余较长。如果把两者加以平均，它就不能代表该震级的地震在震源地方的断层长度了。要代表震源地方的断层长度取同震级地震在地表造成的最大断层长度最宜。1965 年本人和秦保燕在酒钢烈度任务中就按此观点并依据中国和中国毗邻的蒙古人民共和国以及原苏联中亚地震的有关资料建立了一个可代表震源断层长度的公式，即 $M = 3.3 + 2.1 \log L(\text{km})$ ，式中 L 为断层长度。最后指出 Tocher 发表他的公式时并未联系到用于构造分段求震级，这是我们 1964 年借用他的公式，构造分段完全不同的另一个概念。1965 年本人与秦保燕在酒钢烈度任务中对构造分段的指标和公式进行了较全面的讨论。可以这样说，应用构造分段求未来震级是从 1964 年昌马任务开始，而在次年酒钢任务中定型的。这是在我国首次把地震地质资料用于地震时定量化。1971 年我们在全国地震烈度工作会议与《地震战线》编辑部合编出版的《地震烈度资料汇编》中建议用构造分段来求震级，论文题目是《陕甘宁三省区地震迁移现象讨论》。

五、怀念徐煜坚先生

在本文将要结束的时候，作者谨向在昌马任务中进行现场指导的徐煜坚先生表示致敬。这主要是因为他的工作精神和学术见解为青年地震工作者所敬仰。

1964 年 10 月 3 日昌马地震考察队在玉门镇召开的昌马地区地震问题的讨论会上，徐煜坚先生根据对历史地震资料及昌马地区的新构造运动的系列迹象分析，认为库坝区的基本烈度定为Ⅱ度是适当的。这一见解在刘正荣执笔的分析报告，即前述的第四个报告中记述着。

前已述及，在水平运动与垂直运动的争论中，徐先生热情地代表本人去向地质学报投稿，当未采纳时，他遗憾地把稿件退给我。他在去世前（1992 年 3 月 23 日去世）曾于 1991 年 10 月 8 日—12 日在北京国家地震局地质研究所召开的第二届全国活断层研讨会闭幕式上还讲到中国现代构造运动以走滑为主的观点是作者首先提出的。另外，在 1965 年酒钢烈度任务的总体讨论会上，当秦保燕同志代表震源物理组（酒钢任务的六个学科组之一）讲述 Tocher 公式用于构造分段上的缺点并建议用新的公式时，徐煜坚先生即席指出，敢对外国人挑战是好的！

当本文结束时，我对昌马考察队所有同志们当时不怕苦，不怕累，不计报酬，一心为国的精神表示崇敬。愿这种精神后继有人，再放光芒。

1974年地质研究所同志编写出版了《地震烈度的鉴定》一书。这是我国第一本地震烈度鉴定的专门书籍。在此书83—85页上,对我们在1964—1965年昌马和嘉峪关地震考察中(此考察队由中科院地球物理所、地质研究所、兰州地球物理所和兰州地质研究所的同志组成)由构造分段推求未来最大震级的研究有简略介绍,现摘录于下:

建立和利用地震地质的经验公式:从第二章的分析中,已经指出,烈度工作的一个主要矛盾就是定量标准问题。作为烈度鉴定主要手段之一的地震地质方法长期来只能作出定性的分析,不能满足烈度鉴定工作的需要。国内外不少研究者为了克服这一弱点作了不少努力。他们试图在地质构造运动的规模、幅度、速度、梯度、持续时间等等量值与未来地震的强度等要素之间建立理论推导的或经验关系的公式。下面我们介绍几个主要的经验公式。

未来地震强度和发震断裂长度的经验关系式:

$$M = a + b \log L$$

这一公式原是从归纳多次强震产生的地表断裂中得到的,而后借用于发震断裂长度来估算未来地震的强度。系数 a 及 b 在不同地区有不同的数值。在国外,D. Tocher 所得的数据是:

$$M = 5.65 + 0.98 \log L \quad (L——\text{km})$$

我们在研究嘉峪关地区地震烈度时,总结了适合当地的系数:

$$M = 3.3 + 2.1 \log L \quad (L——\text{km})$$

公式中的 L 代表第四纪以来确实活动的断裂长度。 L 的取值直接影响到计算结果,在实际应用中是一个关键问题。根据上述公式,宁夏地震队在作宁夏地震烈度区划时,就根据下面的关系来估算未来地震的烈度。

像这一类经验公式,需要在实践中反复地检验和修正,并在不同的地区寻找适用于本地区的表现方式和系数。

根据地震总能量的计算公式:

$$E = \frac{1}{2} \frac{\sigma_s^2}{\mu} \cdot K \lambda L^3$$

公式中: E 为地震总能量, $\sigma_s = 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ 是震源处岩石耐剪强度的上限值, $\mu = 10^{12} \text{ dyn/cm}^2$ 是震源处岩石切变系数的上限值,常数 $K=1$,表示震源地方的弹性位能全部变为地震能, $\lambda = 3 \times 10^{-2}$ 。根据1932年昌马地震资料得到:

$$\lambda = ab/L^2$$

式中, b 为震源体深度, a 为震源体宽度, L 极震区长度,可以以差异运动带的长度来代表,也即是可能同时释放能量的断裂长度。

在计算出 E 之后,考虑其百分之一转化为地震波能量:

$$E_{\text{波}} = 1/100 E$$

再按震级公式:

$$\log E_{\text{波}} = 11.8 + 1.5 M$$

便可计算得到未来地震的最大地震强度。1965年作者曾用此方法计算昌马盆地疏勒河出口地区未来震级为7级,烈度为X度,约比实际地震烈度高出一度。

另外,根据实验的结果,在地壳形变速度大时,应力增长迅速,可能积累较大的能量,发生强震。当形变速度小到所积累的应力达不到岩石的耐剪切强度时,那地震就不可能发生。

根据理论计算,形变速度 $\epsilon_0 < 10^{-7}$ /年时就不发生地震。据此,有可能利用发震构造差异

运动的速度梯度来推测未来地震的强度。计算表明,在开尔文体的条件下,当一个地区形变速度比另外一地区大10时,则岩石强度提高一个数量级。这在地震强度上造成的后果相当于烈度提高一度;在麦克斯韦尔体的条件下,破坏应力与弹性体应变速度成正比。

以上是汪一鹏同志根据昌马任务报告之八——现代构造运动的差异与最大地震强度的关系(郭增建,1965年2月,油印本),以及酒钢地震考察报告之七——用发震构造显示的构造规模来估计地震的最大强度(郭增建,秦保燕,1965年11月,油印本)所作的介绍。上述地震总能量与断层长度关系和由能量求震级的诸公式最后可归纳为以下的关系式:

$$M = 3.58 + 2\log L(\text{km})$$

在介绍中的D. Tocher的公式原并非用于构造分段求震级,是我们在上述2月份报告中引用来代替构造分段的。

在介绍中说,“1965年郭增建用此法计算昌马盆地疏勒河出口地区未来震级为7级,烈度为X度”。这是上述2月份报告中由构造分段得到的。当时是对与昌马库区有关的河西走廊大断层共分了以下几个地段。

1) 红口子到东大口地段。这一段就是昌马峡出口断层地段,它的西头红口子是祁连山性质的构造向阿尔金性质的构造转变的地点,它的东头大口是酒泉西盆地的末端。(此段即《地震烈度鉴定》一书中所说的疏勒河出口地区的地段)。

2) 酒泉西盆地南缘地段。我们把盆地分开,其位置大致在文殊山附近。地质学家也常把盆地分成两部。

3) 酒泉东盆地南缘地段。这个地段西起文殊山之南,东至红崖子以东,再向东就是与祁连山相接着的榆木山了。在这个地段中1609年曾发生过烈度为X度的地震。

4) 榆木山与祁连山相连接的地带。

5) 民乐盆地南缘地段。

对于昌马水库来说,至关重要的是红口子到东大口这一段。根据许多河流现象来看,这一段有显著的新构造运动,因之它是具备发生地震的力学条件的。另外这一段的长度大致已有50km了,因之它是具备发生大震的体积条件的。……Tocher关于地震断裂长度与震级之间的经验公式就可借来应用,只是把断裂长度换为强烈差异运动带的长度罢了。……考虑到红口子到东大口这一段,其间没有特殊的差别,所以可以把它看作是将来可能同时释放能量的最大长度,这个长度大约等于50km。

把上述50km代入Tocher公式,求得震级 $M=7.2$,这个数值约折合震中烈度X度。

把上述50km代入《地震烈度鉴定》一书所介绍的能量公式,即 $C=50\text{km}$,则震级为7级左右,烈度为X度。由于当时昌马地震考察队最后综合各学科的结果把坝址地区烈度定为X度,所以《地震烈度鉴定》一著中说“约比实际地震烈度高出一度。”

1964—1965年昌马和酒钢地震烈度考察中所得到的由构造分段求震级的定量研究也被1970年应用到宁夏的地震烈度区划。对此《地震烈度鉴定》一书在125页上也有介绍,其原文是:

地震发生的强度,取决于同时释放能量的发震断裂的长度。因此,可以根据预测的发震断裂的长度,按下面的经验公式推算未来强震的震级:

$$M = 3.3 + 2.1\log L$$

式中, L 为同时释放能量的发震断裂带的长度(km)。

发震断裂分段长度的择取，主要根据大型基底断裂带通过地区，新构造运动速度相似而且构造复合关系相当的地段进行划分的。

1972年广州地震大队综合队亦应用我们在1965年嘉峪关任务中得到的公式以及用昌马任务中开始得出的构造分段的方法对1969年阳江6.4级地震，1936年灵山6.7级地震和1962年河源6.1级地震进行了验证，发现结果较好（见广州地震大队综合队对地震烈度工作的一些看法，中长期地震预报经验交流会议资料汇编，《地震战线》编辑组编，1972）。

昌马活动断裂带粘滑段与蠕滑段的划分^①

吕德徽 向光中 张志坚 胡存德

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文研究了昌马活动断裂中断层岩的特征,根据作者提出的粘滑和蠕滑的标志,对该断裂带的滑动性质进行讨论。

引 言

研究断层岩是探讨断层活动性质的一条途径。本文的主要内容是通过对该断裂断层岩的类型及结构构造的研究,结合断层泥内石英颗粒表面形貌特征的分析,探讨该断裂的活动性质。关于断层岩的研究,本世纪40年代和70年代王嘉荫教授就曾经发表过专门的论文。这项工作自80年代开展活动断层研究以来,又有了新的进展,但在我国西北地区几乎处于空白,在国内对断裂进行粘滑段与蠕滑段划分的报道也不多。本文是在对昌马活断裂断层岩进行区域性调查的基础上所取得的实际资料和实验结果写成的,而且也是首次在该区进行这方面的工作。

一、昌马活断裂断层岩的特征

昌马断裂从昌马盆地的南缘向东经红窑子、月牙大坂、大泉口至西水峡沟脑,全长约120km。断裂总体走向为北70—80°西,个别地段为北70—80°东。断裂经历了多期构造变动,现代构造活动强烈,特别是晚更新世以至全新世以来活动频次高、强度大,许多古地震事件的发现和剧烈的构造变形即是有力的证据。该断裂的展布及断层岩采样地点如图1所示。

根据地震形变带发育的强度和岩层变形的类型以红窑子为界把断裂分为东、西段。断层岩主要发育在昌马断裂的东段,即红窑子以东至大泉口、西水峡口。其中的断层泥可以分为黑色和非黑色两类。与阿尔金山断裂的断层泥相比较,前者不太发育,后者虽见于个别地段,但它与阿尔金的同类断层泥具有类似的特征,而且位于地震变形最强烈的地段内,这就为研

① 地震联合基金资助项目。