

1989年 四川巴塘强震群

四川省地震局 编著

地震出版社



序

1989年四川巴塘强震群的发生曾引起不少人的关心和重视。在中国大陆地震记载中,震群活动虽然很多,但像巴塘这样的包含若干次6级以上地震的强震群,却是屈指可数的。1966年河北邢台地震之后,这样突出的强震群活动,则是唯一的。因此,对从事地震学和地震预报研究的地震科学工作者来说,巴塘强震群确实是难得的重要研究对象。

巴塘强震群发生在横断山脉的北段,自然环境使地震现场工作遇到了不少困难,但强烈的责任感、顽强的意志和对科学的执著追求精神,使巴塘现场地震工作队伍不仅出色地完成了震灾损失调查、评估和震情监视预报任务,取得了良好的社会效益,而且获得大量的宝贵资料,对这次强震群进行了较全面、系统的研究。《1989年四川巴塘强震群》不是一般的现场总结,而是一项具有特色的地震科学考察和综合研究成果。在读了这本书的初稿之后,我认为有两点是尤为重要的:一是作者充分运用了震区及周围地区一切可利用的资料,对巴塘强震群发生的条件和复杂的破裂过程及时空扩展特征进行了综合的研究,所得到的一些重要结果,不论是对促进震源物理,还是地震预报研究的深入都是很有价值的。二是巴塘强震群作为近二十多年来在我国大陆发生的最突出的强震群活动,这次现场科学考察所取得的大量宝贵资料和相应的研究成果,对促进地震序列研究的深入将起积极的作用。地震序列的研究,不论是对认识地震发生的条件与过程,还是对减轻地震灾害及地震的社会影响,其重要性都是不言而喻的。但序列类型的划分和怎样在序列活动的“早期”,对序列可能的类型作出科学的预测,以及不同强度的震群,其发生条件的差别、震群活动与区域地震活动背景的关系等,一直是地震学和地震预报研究中的重要课题。尽管二十多年来的研究,已取得了不少的进展,但许多重要的科学问题尚在探索中,期望巴塘强震群研究成果的出版,将有助于地震预报,尤其是地震序列研究的深入。

陳章立

一九九四年七月三十日

目 录

前言	(1)
第一章 地震参数、空间分布和震源机制	(3)
第一节 强震基本参数	(3)
第二节 地震序列的空间分布	(7)
第三节 强震震源机制解的分析	(10)
第四节 小震机制解图象	(12)
第二章 强震群时间序列的分布特征	(22)
第一节 强震群序列阶段性释放过程的分析	(22)
第二节 震群序列的 b 值特点	(26)
第三节 强震群序列的频度衰减及异常判别	(29)
第四节 强震群序列峰值准周期与等待时间	(32)
第五节 强余震前的前兆性平静	(38)
第六节 震群序列的分数维和熵值	(42)
第三章 强震形势和区域地震活动性分析	(45)
第一节 地震活动格架与中期强震形势	(45)
第二节 川滇强震活跃幕与巴塘地震	(47)
第三节 相关地震活动区	(50)
第四节 震兆清理和分析	(54)
第四章 前兆观测与异常特征	(65)
第一节 地形变	(65)
第二节 甘孜地电和地磁	(71)
第三节 地下水和水化	(76)
第四节 环境因子和宏观异常	(85)
第五节 巴塘地震前兆的基本特征	(89)
第五章 烈度与震害	(97)
第一节 烈度的评定标准	(97)
第二节 地震烈度分布与震害	(99)
第三节 7月21日5.8级强余震的震害	(108)
第四节 各类房屋的震害分析	(110)

第六章	构造背景及发震构造讨论	(114)
第一节	震区地质构造背景	(114)
第二节	震区线性构造格局	(117)
第三节	主要活动断裂	(119)
第四节	发震构造讨论	(122)
第七章	地震灾害经济损失与社会影响	(124)
第一节	地震灾害与经济损失	(124)
第二节	地震的社会影响	(129)
第八章	强余震记录的谱分析结果	(132)
第一节	强余震的监测和记录资料	(132)
第二节	记录的谱分析结果	(134)
第九章	巴塘强震群复杂时空扩展图象的初步解释	(151)
第一节	巴塘强震群的典型特征	(151)
第二节	强震群不稳定时序扩展的初步解释	(151)
第三节	时序层次结构的讨论	(155)
第四节	次级序列的时空扩展	(156)
第五节	地震破裂面分析	(159)
第六节	由强余震前后的形变观测分析震区断层运动	(160)
第七节	多次强破裂图象的初步解释	(161)
第十章	地震预报实践的技术总结	(164)
第一节	中、短期地震趋势的估计	(164)
第二节	现场地震预报	(166)
第三节	地震序列参数与地震类型判定的讨论	(168)
第四节	现场经验性综合判定及震后趋势估计	(178)
第十一章	监测预报预防工作的组织与对策	(183)
第一节	震前监测预报预防工作	(183)
第二节	现场工作的组织与对策	(186)
第三节	问题和体会	(190)
第十二章	对重建家园的建议	(192)
第一节	注意抗震设防和场地选择	(192)
第二节	重视房屋结构和施工质量	(193)
参考文献		(195)
1989 年巴塘强震群资料照片		

前 言

1989年4月16日起陆续发生的四川巴塘6.7级强震群,地处横断山脉北段、在中国大南北地震带西侧,距巴塘县城南东15—25公里一带。至9月底,巴塘震区共记录 ≥ 1.0 级地震1.96万次,其中6.0~6.7级4次,5.0~5.9级4次。两次6.7级地震形成两个Ⅳ度极震区。同属一组的北北西—南北向的岗托-尼西断裂和柯落洞-乡城断裂分别是这两次地震的发震构造。4月16日4时34分发生的6.7级地震,微观震中为北纬 $29^{\circ}58'$ 、东经 $99^{\circ}15'$,震源深度15公里;宏观震中为北纬 $29^{\circ}56'21''$ 、东经 $99^{\circ}12'50''$,位于巴塘县城东南约15公里的江巴顶、小巴冲一带。4月25日10时13分发生的6.7级地震,位于第一次6.7级地震北东东方向约17公里处,微观震中为北纬 $29^{\circ}59'$ 、东经 $99^{\circ}25'$,震源深度10公里;推测的宏观震中约在北纬 $29^{\circ}59'$ 、东经 $99^{\circ}23'$,理塘、巴塘县交界附近。此后又相继发生了5月3日6.4、6.2级地震和7月21日5.8级地震。这次强震群影响巴塘、理塘、芒康、乡城、白玉、得荣、稻城、贡觉、德钦等九县20余万人;最大的有感范围南抵云南德钦、中甸,北至德格、甘孜,东到康定,西达西藏昌都。强震群造成山崩地裂,房屋破坏,人畜伤亡,公路交通一度受阻,供水、供电、邮电通讯几遭中断,不少工程设施、乡村驿道、水渠、堰塘被毁和损坏,给国家、集体和人民的生命财产造成了严重的损失。

地震发生后,党中央、国务院和四川省委、省人民政府极为重视和关怀,迅即发了慰问电,派出慰问团、医疗队和人民解放军深入震区视察灾情、慰问受灾群众,开展抗震救灾。震区藏汉各族人民在各级党组织和政府领导下,团结一心,经两个月的顽强拼搏,查清了灾情,灾区人民生活得到了妥善安置,群众情绪稳定,较快地恢复了正常的社会秩序。

这次强震群之前,四川省地震局曾有一定程度的长期预测,有较准确的中期预报,短期有所察觉,并相应地采取了一些力所能及的跟踪强化监视对策,但终因该区监测能力较差,加之预报尚未过关,未能作出临震预报。地震发生后,全省地震系统闻震而动,四川省地震局领导和有关处室人员快速到岗,一面立即报告国家地震局和省人民政府,组织紧急会商;一面按《地震现场工作大纲和震情分析指南》(试行)、《四川省地震系统大震应急对策条例》(征求意见稿)迅速调集队伍,在罗灼礼局长带领下,日夜兼程,奔赴震区,并随即组成了由罗灼礼为指挥长、周湘泉为副指挥长的“四川省地震局巴塘地震现场工作指挥部”,强化了现场监测台网和通讯网络,开展了宏观考察和现场震情监视分析预报工作,对强余震和续发地震作了较好预报,为当地政府领导抗震救灾提供了有效服务。国家地震局孙其政副司长率领工作组迅速赶到现场,对我们的工作给予了热情的指导和帮助。现场工作结束时,现场工作指挥部安排有关科技人员编写了现场震情监视预报、宏观考察报告和现场工作总结,这是全体现场人员的共同劳动成果。

《1989年四川巴塘强震群》一书是以现场的报告、总结为基础,补充若干资料,深入研究

编写而成的。该书主要包括 1989 年 4 月 16 日巴塘 6.7 级、4 月 25 日 6.7 级、5 月 3 日 6.4 级、6.2 级和 7 月 21 日 5.8 级系列地震的现场多次震灾损失调查和评估,地震烈度的合理评定和发震构造环境的研究,地震参数和震源机制的测定,序列时空扩展特征的跟踪分析,强余震、震后趋势的较好预报,近场地震运动记录和这些记录的各类谱分析结果,地震发生前后地震活动性和观测异常的研究,社会经济影响的定量分析及现场地震工作的组织与对策等研究成果。

巴塘强震群是非常特殊和复杂的强震群。本项研究对于复杂强震序列的判别和现场监视预报,对于复杂震群的震源破裂过程、力学机制、破裂特征和地面运动及其所造成的震害特点,以及对于地震形势研究等方面都有重要的科学意义和相当程度的实用价值。

本书主编罗灼礼,副主编程万正、刘盛利、周湘泉、陈天长、陆联康,各部分主要执笔人为:前言周湘泉;第一章陈天长、程万正、范军、游凤林、郭明奎;第二章程万正、王维恩;第三章程万正、罗伟;第四章程万正、葛培基、周泽前、谢文正;第五章陆联康、刘盛利;第六章胡德江、罗治江、王新民;第七章刘盛利、袁灿林;第八章黄兴建、钟国平、王守源、赖敏、刘洪德;第九章程万正;第十章程万正、罗灼礼;第十一章周湘泉;第十二章刘盛利。为第四章提供前兆研究结果和资料的有王德富、罗伟、李军、邓一维、官志君、王伯维、杜方、钱玉章、李致民,参加室内资料整理等工作的还有曾进、覃乾文、李尚富、黄义书、郭劲、张庆云等。本书图件由赵桂英清绘植字。

本书在编写出版过程中得到四川省地震局有关领导的关心、支持和帮助,国家地震局和四川省地震局有关专家提出了很多好的修改意见,陈章立研究员为本书的出版作序,在此一并特表谢意。由于编著者水平有限,书中错误、缺点在所难免,冀望读者批评指正。

1994 年 3 月

第一章 地震参数、空间分布和震源机制

第一节 强震基本参数

巴塘地区地震台站稀少,除巴塘台外,震区 200 公里内只有四个台且在震区的东侧,这给地震的定位带来困难。对 $M_L \geq 3.0$ 的地震,周围台站才有清晰的 P 波到时,可以较好地测定震源位置。4 月 16 日巴塘地震后,现场考察队于 19 日、20 日在雅洼和竹巴笼设置了流动地震台(图 1-1)。受地形和交通条件限制,二个流动台选择的位置与巴塘台在一条线上,对只有这三个台记录到清晰初动的弱小地震($M_L < 2.0$),仍无法测定震源位置。在流动台观测期间,对 $M_L \geq 2.0$ 的序列可以测定震中,列入序列目录。5 月 20 日两个流动台停止观测。对 $M_s \geq 5.0$ 的地震,可以用双曲线法和单震相法测定震中,不同方法确定的结果基本一致。4 月 16 日和 4 月 25 日两次 6 级以上地震的交切范围误差不超过 3 公里,取的平均位置见表 1-1。表 1-1 中也列出了 ISC 报告和“中国地震台网临时报告”(以下简称“临报”)的结果。

在 ISC 和“临报”中没有列出 4 月 25 日 10 时 16 分 14.3 秒地震,可能是这个地震前三分钟 10 时 13 分 20.0 秒($M_s = 6.1$)地震的干扰,在很多地震台的记录上无法识别。在巴塘台的记录中,可确认这次地震,但无法给出其参数。

“临报”中所列这几次地震的震级 M_s 比 ISC 中所列的地震震级高 0.2~0.4 级,国家地震局快报给出的震级比“临报”给出的震级还高 0.2 级左右。

四川台网、ISC 和“临报”中给出的震源参数略有差别,但几次强震的震源位置差别不大。由于没有巴塘地区的地壳速度分层资料,震中区及附近的台站密度不够,测定震源参数的误差较大。表 1-1 中可以看出,ISC 报告中列出的几次强震 $pP - P$ 得到的震源深度的变化与四川台网测定结果是一致的。

表 1-2 中列出了几次 $M_s \geq 5.0$ 地震 P 波初动解结果,这是根据巴塘地区周围台站和“临报”中的初动资料得到的。

图 1-2 是采用震源上半球的等面积投影表示的 P 波初动。由于其中有三次 6 级地震,即 4 月 16 日 04 时 34 分、4 月 25 日 10 时 13 分及 5 月 3 日 13 时 53 分的记录资料较多,断层面解较可靠。对使用的初动 P 波都由来自不同方位的具有尖锐(周期小于 1.0 秒)初动的远震作了极性判别,排除了不可靠的台站记录。有了 ISC 报告更多的初动资料后,对比了 ISC 报告给出的 4 月 25 日 10 时 13 分地震的初动分布与表 1-2 给出的节面划分没有发现大的差别。

表 1-1

巴塘序列 $M_s \geq 5.0$ 地震基本参数

序 号	地震日期	四 川 台 网	ISC	“临报”
1	1989. 4. 16	04-34-10.5 29°58'N 99°15'E $h = 15\text{km}$ $M_s = 6.7$	20-34-10.1 ± 0.093 29.97°N ± 0.022 99.23°E ± 0.020 $h = 21\text{km} \pm 6.9$ ($pP - P: 15\text{km} \pm 3$) $M_s = 6.3$	04-34-10.3 29.99°N 99.22°E $h = 24\text{km}$ $M_s = 6.5$
2	1989. 4. 25	10-13-20.0 29°59'N 99°25'E $h = 10\text{km}$ $M_s = 6.7$	02-13-20.9 ± 0.11 30.01°N ± 0.021 99.43°E ± 0.020 $h = 8\text{km}$ ($pP - p: 10\text{km} \pm 1.9$) $M_s = 6.1$	10-13-22.7 30.05°N 99.44°E $h = 26\text{km}$ $M_s = 6.5$
3	1989. 4. 25	10-16-14.3 (因干扰无法测定震源位置) $M_s \approx 5.0$	(没给出结果和数据)	(没给出结果和数据)
4	1989. 5. 1	07-05-24.5 29°58'N 99°26'E $h: 10\text{km}$ $M_s = 5.4$		07-05-28.8 30.02°N 99.52°E $h = 32\text{km}$ $M_s = 5.2$
5	1989. 5. 3	13-52-59.6 30°01'N 99°27'E $h = 10\text{km}$ $M_s = 6.4$	05-53-01.1 30.091°N 99.475°E $h = 14\text{km}$ $M_s = 6.1$	13-53-00.03 30.09°N 99.50°E $h = 10\text{km}$ $M_s = 6.3$
6	1989. 5. 3	23-41-29.3 29°59'N 99°28'E $h = 5\text{km}$ $M_s = 6.2$		23-41-30.6 30.06°N 99.54°E $h = 9\text{km}$ $M_s = 6.1$
7	1989. 5. 4	01-28-19.3 30°04'N 99°24'E $h = 10\text{km}$ $M_s = 5.2$		01-28-21.0 30.10°N 99.46°E $h = 10\text{km}$ $M_s = 5.0$
8	1989. 7. 21	11-09-10.8 29°57'N 99°26'E $h = 20\text{km}$ $M_s = 5.8$	03-09-15 ± 1.2 30.02°N ± 0.027 99.46°E ± 0.028 $h = 25\text{km} \pm 8.9$ ($pP - P: 29\text{km} \pm 3.3$) $M_s = 5.4$	11-09-16.1 29.98°N 99.54°E $h = 32\text{km}$ $M_s = 5.8$

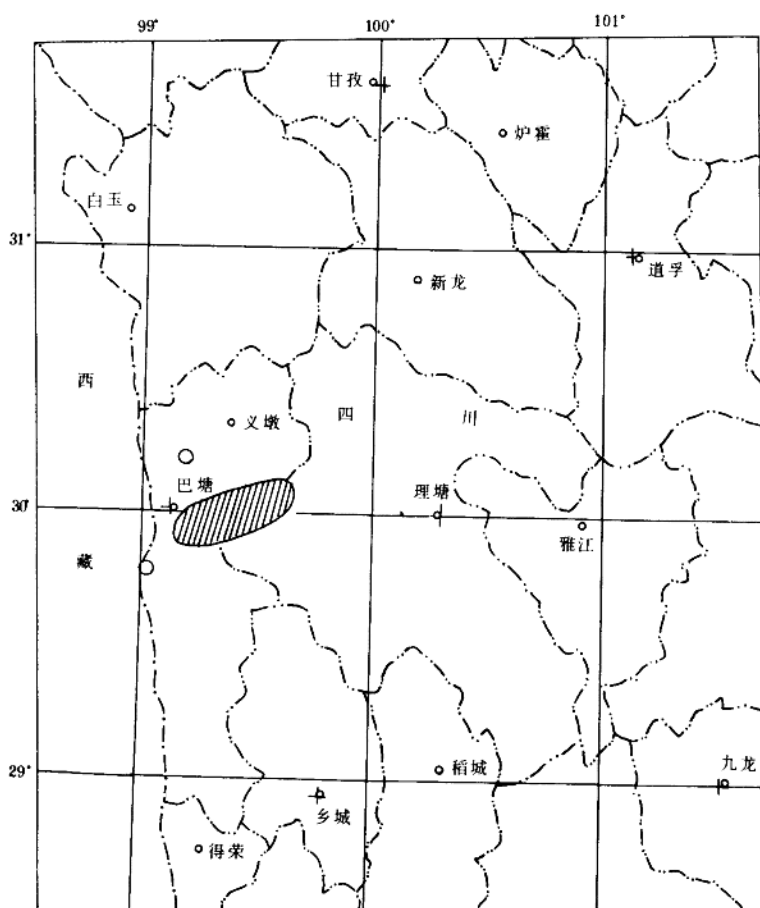


图 1-1 巴塘地区地震台的分布

+ 区域地震台; ○震后建立的临时地震台; ⊗巴塘地震序列震中分布区域

表 1-2

巴塘序列 $M_s \geq 5.0$ 地震 P 波初动解

时间	M_s	节面 I			节面 II			X 轴		Y 轴		P 轴		T 轴		N 轴	
		走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角
4.16	6.7	16°	SEE	70°	101°	NEE	75°	10°	15°	106°	20°	58°	14°	150°	4°	249°	65°
4.25	6.7	12°	SEE	85°	104°	SSW	65°	194°	25°	102°	5°	240°	13°	145°	21°	1°	64°
5.1	5.4	14°	NWW	75°	117°	NE	52°	25°	37°	284°	15°	71°	14°	330°	37°	177°	48°
5.3	6.4	17°	SEE	85°	108°	SSW	73°	197°	17°	108°	5°	244°	19°	152°	16°	2°	62°
5.3	6.2	52°	NW	67°	145°	NE	85°	54°	5°	323°	23°	276°	12°	11°	19°	155°	67°
5.4	5.2	136°	NE	55°	166°	SWW	45°	256°	45°	46°	35°	241°	2°	337°	75°	150°	15°
7.21	5.8	40°	SE	85°	130°	SW	75°	129°	5°	220°	15°	266°	6°	174°	13°	22°	75°

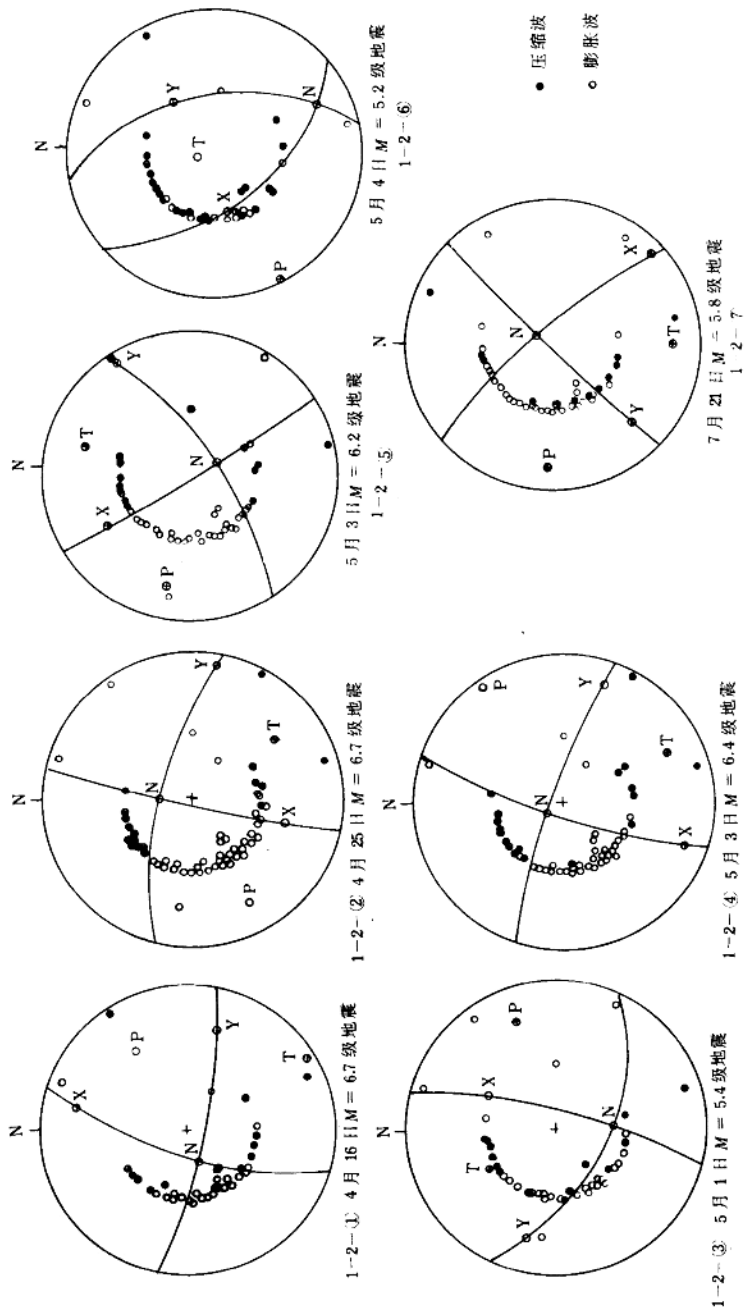


图 1-2 巴塘地震序列 $M_s \geq 5.0$ 级地震的震源机制解
(震源上半球投影)

第二节 地震序列的空间分布

巴塘地震序列中有四次 $M_s \geq 6.0$ 的地震,其震级最大相差 0.5,序列属震群型。图 1-3-① 是 4 月 16 日 6.7 级地震后至 8 月 31 日的 $M_L(M_s) \geq 3.0$ 的地震震中分布。从图中可以粗略地用椭圆圈定序列的震中分布范围,该椭圆的长轴走向北东 70° ,长 48 公里,短轴 22 公里,面积为 820 平方公里。实际上巴塘地震序列是一次复杂的破裂过程,为了能比较清楚地认识这一点,现分阶段进行讨论。

(1) 4 月 16 日 6.7 级地震后至 4 月 25 日 6.7 级地震前(图 1-3-②)。在 4 月 16 日 6.7 级地震后三个小时内,接连发生地震,相互叠加干扰,很多小地震无法定位。从地震图上可确定,除有一次 $M_L = 4.1$ 地震无法定位外,图 1-3-② 中没有丢失其它的 $M_L \geq 4.0$ 地震。值得注意的是,三次能定位的 4 级地震,有一次在 6.7 级地震震中附近,另外二次在接着发生的 6.7 级地震,即 4 月 25 日 6.7 级地震震中(图 1-3-② 中用虚线圆表示)附近,位于序列分布的北东端。1976 年松潘、平武 7.2 级地震群和 1976 年盐源、宁蒗地震群也有类似的现象,即序列中地震分布在下次强震震中附近比较集中,或者向这个方向靠近。

如用椭圆勾划余震分布的轮廓,长轴走向为北 80° 东,长 29 公里。分布在 6.7 级地震的北东方向,长约 17 公里,南西西方向 12 公里。

(2) 4 月 25 日 6.7 级地震至 5 月 3 日 6.4 级地震前(图 1-3-③)。图上实线椭圆划出这一时段地震序列的分布,虚线椭圆是上一阶段的余震分布范围。从图中可以看到,这一时期的 $M_L \geq 4.0$ 地震在这两个椭圆之间。表明了地震分布以向外扩散为主,而 4 月 16 日 6.7 级地震周围的地震活动则比较弱。

这时期地震分布总体走向仍和上阶段的北 80° 东走向一致, $M_L \geq 4.0$ 的地震在 6.7 级地震的附近。

(3) 5 月 3 日 13 时 52 分 6.4 级地震后至 5 月 10 日(图 1-3-④)。这一阶段中地震活动仍显活跃,5 月 3 日 13 时 52 分 6.4 级地震后 10 小时,发生 6.2 级地震,5 月 4 日又发生 5.2 级地震。从图上看,序列分布似乎与上二个阶段相似,存在北北东的总体分布走向。但只考虑 $M_L \geq 4.0$ 地震的分布(图 1-4),情况就不同了。图 1-4-① 表示 4 月 16 日 6.7 级地震后至 5 月 3 日 6.4 级地震前的 $M_L \geq 4.0$ 地震分布,与 $M_L \geq 3.0$ 地震的分布一致,成北北东向总体分布。而 5 月 3 日 6.4 级地震以后的 $M_L \geq 4.0$ 地震分布明显地改变了方向,总体走向成北 30° 西。

从 4 月 16 日 6.7 级地震至 5 月 4 日 01 时 28 分 5.2 级地震,是巴塘地震序列主要活动时期。该震群可能与复杂地质背景有关,巴塘地区至少是二个活动断裂的交汇地区。它的破裂过程开始阶段近东西走向扩展,而后转入北西走向扩展。7 月 21 日 5.8 级地震发生在 4 月 16 日 6.7 级地震序列空间分布范围内,4 月 25 日 6.7 级地震后这一范围的序列地震活动较弱(图 1-3-⑤)。在 5 月 10 日以后至 7 月 21 日 5.8 级地震之间,地震活动比较弱。

图 1-5 是 4 月 16 日至 5 月 14 日序列的震源深度分布。图上突出的是在 10 公里左右深度地震占大多数。与四川其它地区的地震深度分布比较,相差不大。图 1-5-① 是 $M_L \geq 3.0$

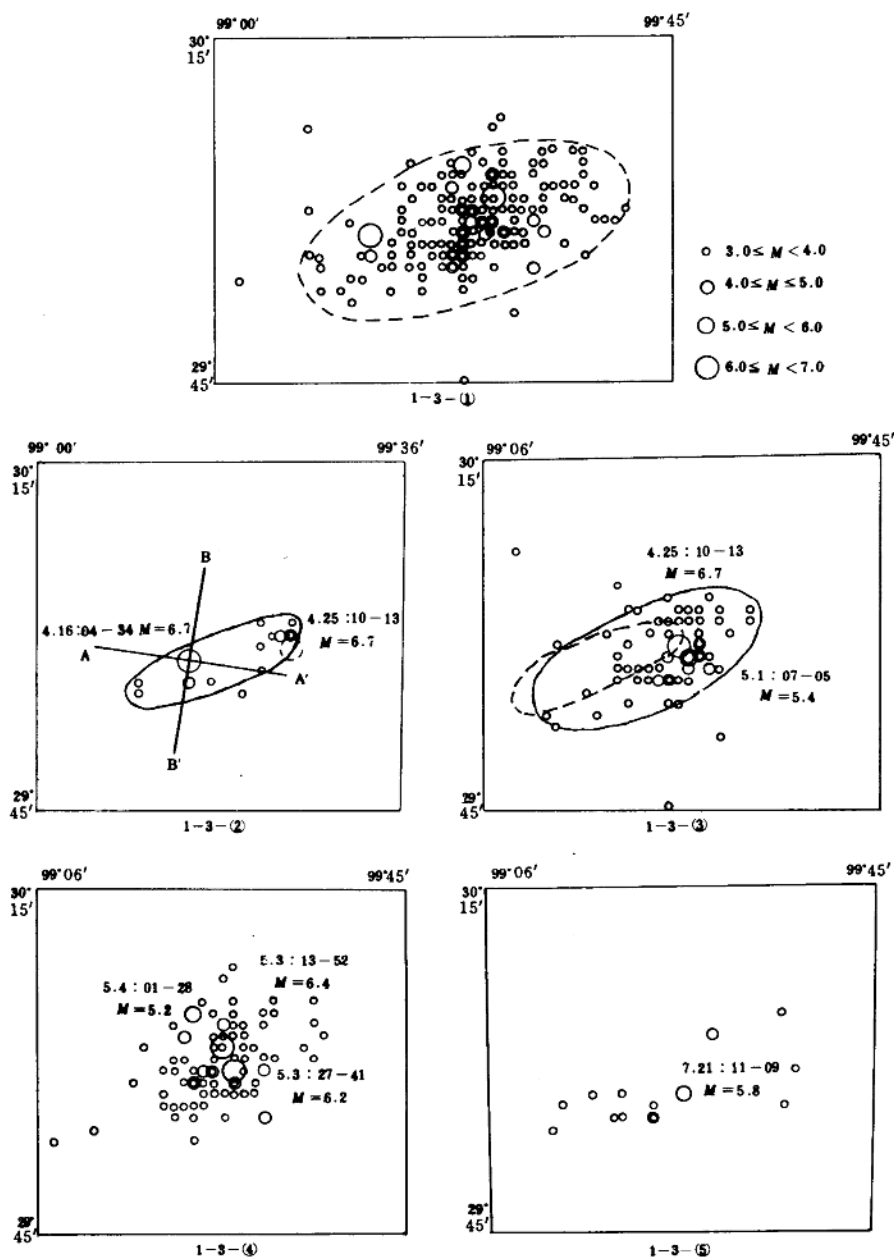


图 1-3 巴塘地震的震中分布

- ① 4月16日至8月30日地震的震中分布 ($M_L \geq 3.0$) ;
- ② 4月16日(04-34)6.7级地震后至4月25日(10-13)6.7级地震前序列的震中分布;
- ③ 4月25日(10-13)6.7级地震后至5月3日(13-52)6.4级地震前序列的震中分布;
- ④ 5月3日(13-52)6.4级地震后至5月10日序列的震中分布;
- ⑤ 7月21日(11-09)5.8级地震后至8月30日序列的震中分布

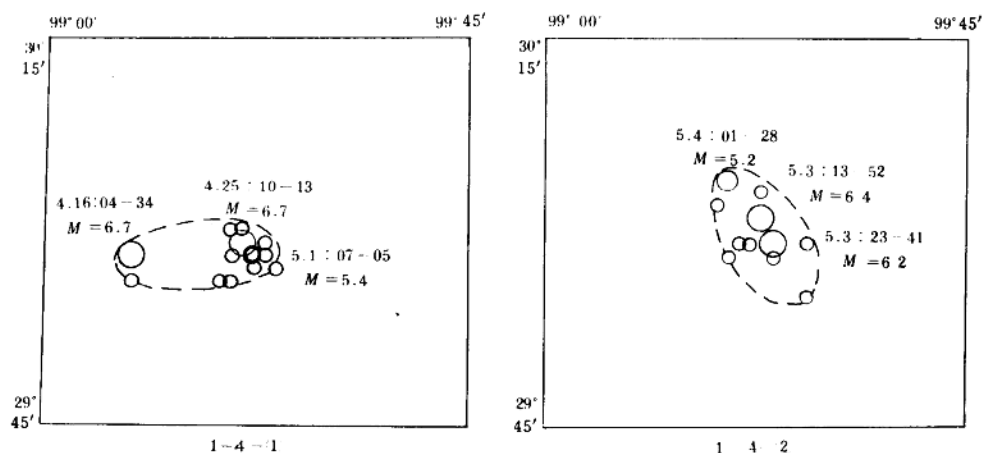


图 1-4 巴塘 ($M_L \geq 4.0$) 地震的震中分布

① 4 月 16 日 (04-34) 6.7 级地震至 5 月 3 日 (13-52) 6.4 级地震前的震中分布;

② 5 月 3 日 (13-52) 6.4 级地震后至 5 月 10 日的震中分布

(图例同图 1-3)

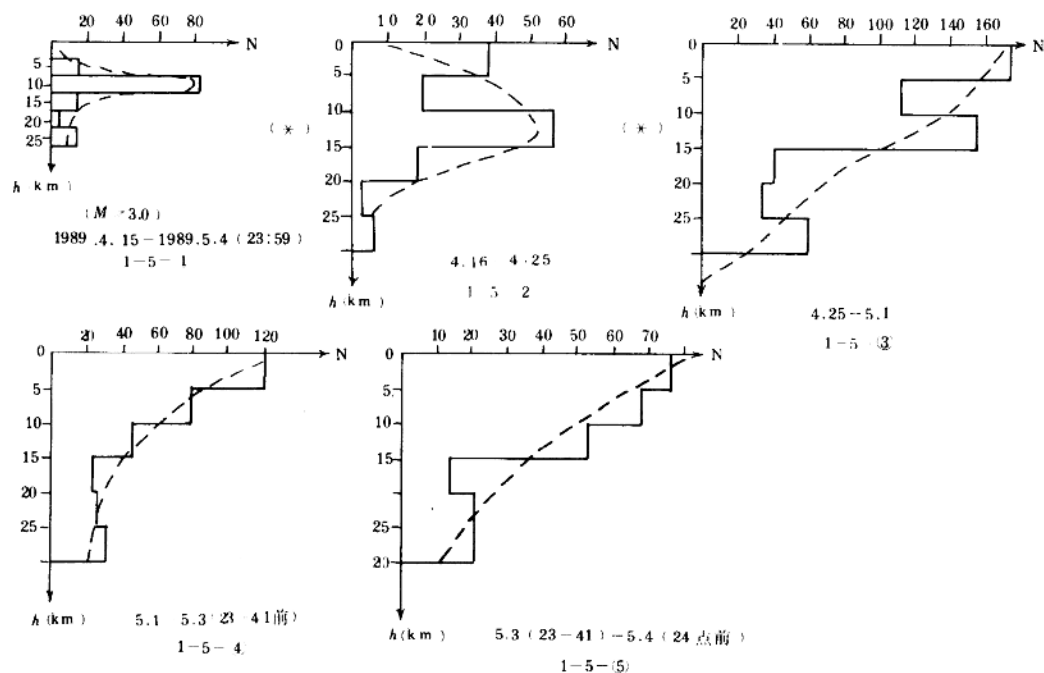


图 1-5 巴塘地震的震源深度分布

① 4 月 16 日 (04-34) 6.7 级地震后至 5 月 4 日 $M_L \geq 3.0$ 地震的震源深度分布;

② 4 月 16 日 6.7 级地震后至 4 月 25 日 6.7 级地震前 $M_L \geq 2.0$ 地震的震源深度分布;

③ 4 月 25 日 6.7 级地震至 5 月 1 日 5.4 级地震前 $M_L \geq 2.0$ 地震的震源深度分布;

④ 5 月 1 日 5.4 级地震至 5 月 3 日 (23-41) 6.2 级地震前 $M_L \geq 2.0$ 地震的震源深度分布;

⑤ 5 月 3 日 6.2 级地震至 5 月 4 日 $M_L \geq 2.0$ 地震的震源深度分布

地震的震源深度分布,与其它的 $M_L \geq 1.0$ 的震源深度分布相比可见, $M_L \geq 3.0$ 地震震源深度比较集中,在10公里左右, $2.0 \leq M_L < 3.0$ 的地震,除10公里深度有分布外,在0~10公里也有较多分布。

第三节 强震震源机制解的分析

图1-6表示 $M_s \geq 5.0$ 地震震中和对应的震源机制解, P 波初动的分布并不能判断两个可能的断层面(节面)中哪一个是实际的破裂面。利用地震的余震空间分布可以初步判断实际破裂面,即余震空间展布应与实际破裂面一致。现对4月16日6.7级地震作一分析。这次地震节面Ⅰ走向为北16°东,节面Ⅱ走向北79°西。取与这二个节面走向的垂直方向(在地平面上),图1-3-②上用 AA' 和 BB' 表示,沿 AA' 和 BB' 作垂直面,将6.7级地震的余震(即4月25日6.7级地震前的序列)空间位置分别投影在通过 AA' 和 BB' 垂直面上(见图1-7)。当余震沿真正破裂面分布时,则在真正破裂面的垂直截面上,地震分布成狭窄的带状,且带有与水平夹角和倾向应与真正破裂面的倾角、倾向一致。

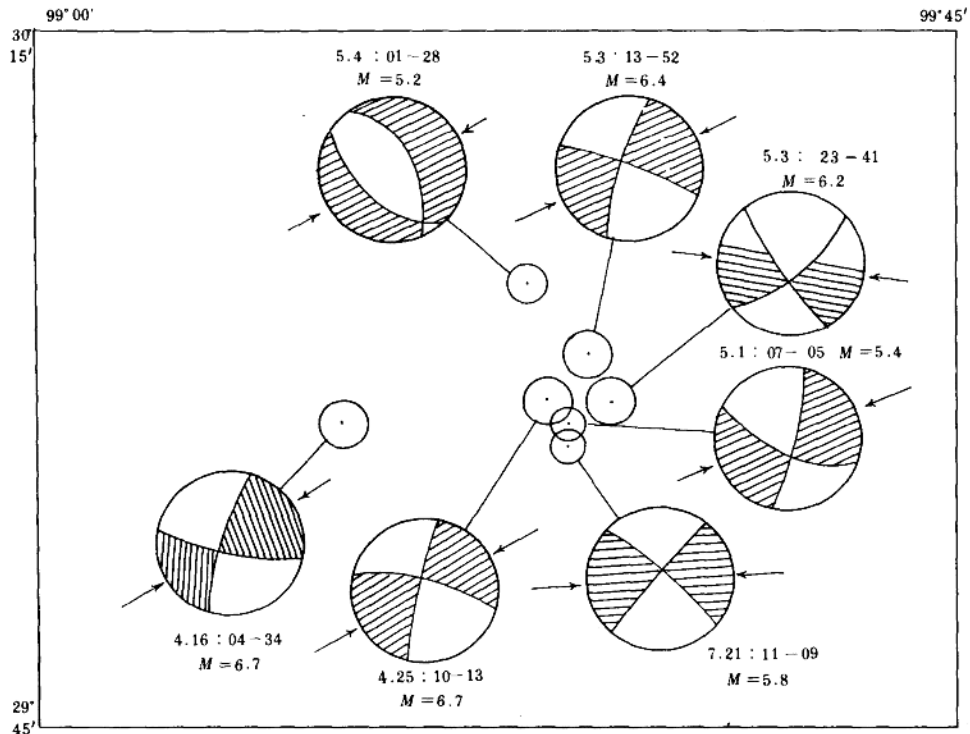


图1-6 巴塘 $M_s \geq 5.0$ 级地震的震中分布和相应的震源机制解
 / 表示主压应力轴水平方向

在图上可见,震源分布在 BB' 剖面上比较集中,且在不同深度上的平均位置的连线与水平夹角约 70° ,倾向B方向,即近似向北。而在 AA' 截面上比较分散。所以从序列分布的角度选取节面Ⅰ(走向为 101° ,倾向北北东,倾角 75°)是比较合适的。尽管巴塘地区地震基本参

数的测定精度不高,但仍能得到初步的结果。另外,在BB'截面上,震源位置与虚线表示的平均位置偏离约5公里左右,与所定位精度相当。在断层面解的两个节面倾角比较大的情况与震中分布长轴相近走向的节面往往是实际破裂面。4月16日和4月25日6.7级地震的节面Ⅰ估计为地震破裂面,这两次地震错动以走滑为主、左旋运动。巴塘序列中 $M_s \geq 5.0$ 地震P波初动解的P轴方位相差不大,在 238° 与 276° 之间,平均 251° ,即主压应力方向为北东东—南西西,应力方向与这一地区受印度板块东端犄角顶撞而形成的北东向主压应力的说法是一致的。

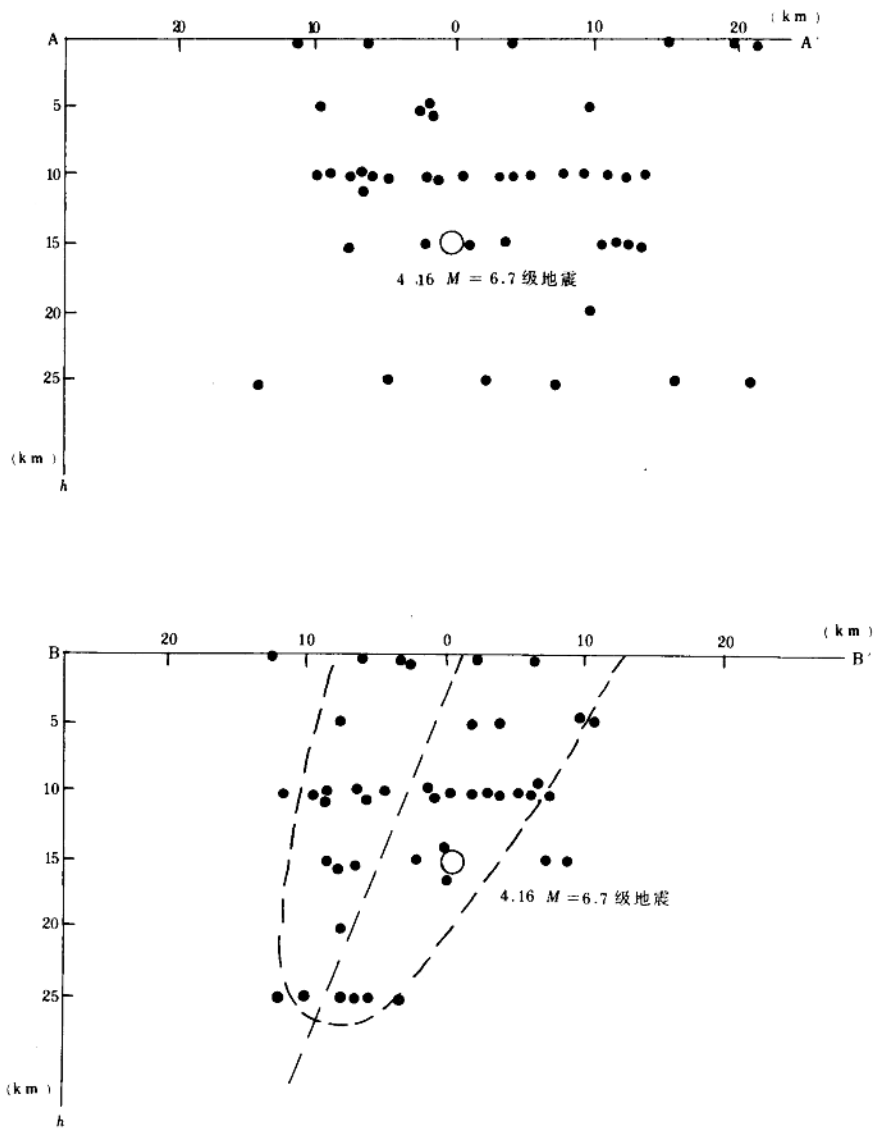


图 1-7 巴塘 4 月 16 日 6.7 级地震后 4 月 25 日 6.7 级地震前的余震震源分别在 BB' 和 AA' 垂直面上的投影(BB' 和 AA' 位置见图 1-3-②)

第四节 小震机制解图象

据梁尚鸿等(1984)的方法^[1],以层状介质中点源位错震源模型,采用广义透射系数的快速算法,计算 $\bar{P}$ 、 $\bar{S}$ 综合地震图的各自最大振幅,将其比值与观测资料拟合,反演小震震源机制。

经刁桂苓、程万正、郭铭奎等工作,分析处理了巴塘 6.7 级地震群序列 154 次小震初动和振幅及时间序列,给出各次中小地震两个节面和三个应力方向参数。其中 1989 年 4 月 16 日巴塘 6.7 级地震后余震序列给出了 20 次 3 级地震机制解参数;1989 年 4 月 25 日 6.7 级地震后余震序列给出了 72 次 3 级左右地震机制解参数;1989 年 5 月 3 日 6.4 级地震后余震序列给出了 62 次 3 级左右地震机制解参数,见表 1-3。

对巴塘 6.7 级震群序列中 154 次小震机制解的应力轴和节面的参数分别以 10° 为间隔统计计算归一频数分布(见图 1-8)。

图 1-8 中节面走向 Strike 集聚了两组相互正交的优势取向,一组为 NEE,另一组为 NNW。节面倾角陡立,Dip 多接近 90° ,直立断面占大多数。对地震断面滑动角 Slip 取 $0^\circ \pm 30^\circ$ 和 $180^\circ \pm 30^\circ$ 为走向滑动类型,则由图可见,大多数地震断层走向以滑动为主,少部分地震为斜滑和倾滑错动类型。

巴塘震群序列地震震源机制解的主压应力 P 轴方位 P_{Az} 为 NNE,其次为 SEE,而 T 轴方向优势分布, T_{Az} 为 NWW。 P 轴和 T 轴接近水平,而 N_{Az} 轴接近垂直类型居优势。

现采用系统聚类方法将 154 次序列地震震源机制解划分成 7 类,每类机制解的 P 、 T 轴及给出的平均机制解投影示于图 1-9。平均机制解参数见表 1-4。图 1-9 和表 1-4 中显示 2、7 类型为逆冲型和倾滑错动类型,其余为走滑或近走滑错动类型。其主压应力方位 1、3、4 类为 NNE 和 NE,由 112 次序列地震给出。而 5、6、7 类主压应力方位是 NWW 和 NW,由 43 次序列地震给出。另 2 类主压应力方位是 SN,由 11 次序列地震给出。则 NNE、NWW 和 SN 方位主压应力轴地震数比例分别为 0.67、0.26 和 0.07。

可见巴塘震群序列地震给出的震源机制是非单一结果,总体上呈现两类图象,这有待进一步研究。这些结果表明巴塘强震群震源区应力场和地震断层错动类型亦是复杂的。尤其震源区动态应力场与震群序列中次级序列的时空演变图象,以及与复杂地震波形的关系有待进一步工作才能给出地震构造和力学机制的联系。

表 1-3

巴塘 6.7 级震群序列小震机制解参数

序 号	地 震 时 间			震 中 位 置		深 度 (km)	震 级 M	节 面 I			节 面 II			三个应力轴参数							
	年	月	日	时	分			北 纬 (度)	东 经 (度)	滑动 角(°)	倾向 (°)	走向 (°)	滑动 角(°)	倾向 (°)	走向 (°)	P_{Az} (°)	T_{Az} (°)	T_{Nz} (°)	N_{Az} (°)		
1	1989	04	20		53	29.96	99.38	10	2.6	5	70	241	160	85	333	18	73	285	80	165	65
2	1989	04	20	3	18	29.95	99.39	10	2.8	5	79	66	169	85	157	202	79	111	86	1	12
3	1989	04	20	4	46	29.96	99.39	10	2.6	175	83	153	7	85	62	198	82	288	89	24	8
4	1989	04	20	7	07	29.93	99.22	10	2.6	14	75	133	164	77	227	270	69	180	89	86	21
5	1989	04	20	8	46	30.00	99.44	10	2.8	91	44	35	89	46	217	330	1	126	8	216	89
6	1989	04	20	9	39	29.92	99.23	10	2.7	-5	72	62	-162	86	331	198	81	105	74	318	18
7	1989	04	20	13	49	30.03	99.40	10	2.6	12	62	232	152	79	328	14	63	278	79	167	30
8	1989	04	20	17	10	30.01	99.38	10	2.6	-161	65	326	-27	73	65	14	85	108	59	276	76
9	1989	04	20	17	29	29.92	99.34	10	3.0	4	79	70	169	86	160	206	79	115	86	2	11
10	1989	04	20	22	39	29.99	99.38	10	2.6	133	42	9	59	61	240	19	29	128	79	224	63
11	1989	04	21		12	29.87	99.20	5	2.4	0	69	241	159	90	331	18	75	284	76	151	21
12	1989	04	22		42	30.00	99.42	5	2.6	-81	36	248	-96	54	79	344	81	194	11	75	75
13	1989	04	22	12	02	29.99	99.41	10	3.0	2	66	245	156	88	335	23	72	287	74	159	24
14	1989	04	22	20	55	29.90	99.21	10	2.7	175	78	324	12	85	233	8	78	99	85	213	13
15	1989	04	23	6	27	30.01	99.34	5	2.6	66	40	209	109	54	358	36	17	282	83	190	74
16	1989	04	23	16	49	30.06	99.46	10	2.7	18	64	321	152	74	59	102	59	8	83	267	32
17	1989	04	24	10	50	29.96	99.39	10	2.6	-168	76	134	-14	78	227	180	89	271	71	86	86
18	1989	04	24	13	49	30.03	99.30	25	2.5	-175	77	327	-13	85	58	12	84	103	77	259	14
19	1989	04	25	3	51	30.02	99.31	10	2.8	5	81	51	171	85	142	187	80	96	87	348	10
20	1989	04	25	4	09	30.02	99.31	10	2.5	-175	67	134	-23	85	226	177	77	272	70	57	24
21	1989	04	25	10	42	29.93	99.37	10	3.0	4	83	67	173	86	158	203	82	112	88	7	8
22	1989	04	25	10	52	29.97	99.46	5	3.4	-173	67	332	-23	83	64	16	79	110	69	259	59