



大理

SCEN

大理風情錄

水 坝 与 地 震

[印] H. K. 古普塔 B. K. 拉斯托吉 著

王卓凯 刘锁旺等 译

地 震 出 版 社

1 9 8 0

责任编辑：李协军 黄敏

摄影：杨士斌 杨振华 李维江
王子荣 章 鵬 杨焕英

题 字：杨向阳

篆 刻：谢长辛

大理风情录

尹明举 施立卓

张 楠 张世庆

云南教育出版社出版发行 (昆明市书林街100号)

云南专利印刷厂印装

开本：787×1092 1/36 印张：5 $\frac{11}{18}$ 字数：100,000

1996年10月第2版 1996年10月第1次印刷

印数：10000

ISBN 7-5415-1260-5/Z·24 定价：6.80元

原 序

由于兴建的水库越来越多，在地球物理学家们面临的许多问题中，水库蓄水引起的地震活动现象便受到了特别注意。因此，将有关这一领域的研究进展情况着手进行一次历史的回顾也许是有益的。

1967年12月10日，在当时被认为是印度的无震地区发生了一次破坏性地震；这次地震造成了严重的伤亡和极大的物质损失；斯特拉斯堡“国际地震中心局”计算确定的震中与地震严重破坏的柯伊纳大坝坝址几乎完全一致。1966年希腊克雷马斯塔大坝附近发生的地震，科罗拉多河上的米德湖（胡佛大坝）蓄水后发生的更早的地震活动（即早在1945年卡德尔业已详细描述的地震活动），以及1968年我们在法国进行的一些类似的观测，使我立即明白了柯伊纳水库蓄水与1967年12月10日地震之间的因果关系。

1967年12月29日，巴黎《世界报》根据我对它们的科学通讯记者的一次接见，发表了一篇名为“地震可能是人为引起的”文章。这篇文章概括了我所掌握的某些大型水库大坝附近地震活动的论述。第二天，在我阅读该文时，《新科学家》杂志的主编打电话要我把这个题目写出一篇更为详尽的报道。这篇译成英文的报道是在1968年7月11日以“水库蓄水引起地震”的标题发表的，这一标题过于笼统，以致不能很好反映我在该文中所表达的想法。

1969年1月，在智利圣地亚哥第四届世界地震工程会议上，我打算将看到的不同事例写一篇详细的比较性文章。那时许多地质学家和地球物理学家对大坝水库蓄水引起地震的可能性还有怀疑，显然是由于几处已知实例是孤立地研究的，因而很自然地认为地震与蓄水之间的关系是巧合了。特别是在柯伊纳地震以后发表的几篇报告中作出的结论也已成为上述看法的理由。事实上，专家委员会在1968年写道：“所以，委员会的意见是，水库与1967年9月和12月的主震无关”。

在单独研究每一个实例时反复读到的这种巧合，值得进行一次更全面的比较研究，以便在今日使人们对这种现象的真实性无所怀疑。

这个问题在理论上和实践上看来都很有意义，为此，联合国教科文组织（UNESCO）在1970年建立了一个“与大型水库有关地震现象工作小组”。

由于在丹佛附近对在加压下将液体注入深井后引起地震活动的观测，还由于在兰吉利（科罗拉多州）和拉克（法国）油田中进行的另外一些模拟观测的鼓舞，目前发表了越来越详细的大量研究，因之文献目录年年有所增加。

古普塔(H. K. Gupta)和拉斯托吉(B. K. Rastogi)有机会在现场研究了柯伊纳地震并着手于地震仪记录的详细检查工作。对于在某些大型水库蓄水之际全面地编辑一本搜集和评论世界上不同地点的观测结果的著作，这两位作者是特别适任的。

使我特别注意的是本书探讨诱发地震中孔隙压力所起的作用这一章。这是一个重要和崭新的问题，其后果将导致我们对地震机制能有更好的了解，甚至对直接与天然地震作斗争方面开创了一条道路。

负责确保大坝安全的工程师们将发现最末一章中的一些有益的介绍，和在大坝蓄水前、蓄水中和蓄水后记录地震活动的一些方法，特别是对轻便地震仪台网设置提出的正确的意

见。

本书及其所列丰富的文献目录，将为科学家们提供宝贵而广泛的资料。
为此，我们必须向作者们致谢。

斯特拉斯堡国际地震中心局局长

罗泰 (J. P. ROTHÉ)

1974年12月31日

前 言

现已充分证明，水库蓄水后便开始或增强地震活动的实例约有30起。有几次水库地震是破坏性的，震级在6级以上。1967年12月10日印度柯伊纳地震夷平了柯伊纳规划区，夺去了200多人的生命，约使1500人受伤和成千上万的人无家可归。这些与水库有关地震的破坏作用引起了全世界工程师和地球科学家们的注意，促进了对这一现象的研究。

本书目的在于总结当前与大型人工湖有关的地震知识。第一章对这个问题作了总的介绍。第二章提出柯伊纳地震震源参数和宏观地震的评价。仪器和宏观地震资料均证实柯伊纳地震是一个复发地震活动的论点。第三章描述了所有已知水库地点的地质、水文和地震活动，并且探讨了深井注入液体后诱发地震活动的三处已知事例。本章还描述了水库水位或注入液体体积与震动频度之间可能的相互关系。第四章描述了与水库有关地震特有的地震特征以及它们在水库附近岩体力学性质变化上有怎样的反映。第五章简述了水库附加应力增量的计算程序细节。关于产生剪切破坏的孔隙压力效应的理论和实验室实验构成第六章的主题。该章包括触发丹佛、兰吉利、卡里巴、克雷马斯塔和柯伊纳地震中孔隙压力增大所起的作用，还简明地描述了液体流应力分析和现场应力测量最近的进展。全面报道孔隙液体压力问题是不可能的。只是介绍了一些有助于了解与水库有关地震的显著特征。第七章包括坝址调查和水库区地震监视的一些意见。该章对为什么有一些大型水库无震也作了评论。

本书系讨论这一主题的第一本书，我们已尽量将大多数有关题目包括进去，并提出了不同的观点。

H. K. 古普塔和 B. K. 拉斯托吉

1975年8月

目 录

原序	(v)
前言	(vii)
第一章 引论	(1)
第二章 1967年12月10日柯伊纳地震震源参数和宏观地震 效应	(4)
震中和发震时间	(4)
震源深度	(11)
震级	(12)
根据野外证据和强震数据作出的推断	(12)
等震线图	(14)
等加速线图	(15)
地面裂缝、裂隙和岩石坍落	(16)
对土木工程建筑的破坏情况	(17)
建筑物	(17)
桥梁和公路	(21)
港口	(22)
柯伊纳大坝及附属工程的破坏	(22)
第三章 发生地震的水库的位置：它们的地质和地震活动	(27)
印度柯伊纳大坝	(28)
地质	(28)
火山岩	(30)
褶皱、断层和破裂	(30)
重力异常、折射剖面 and 温泉	(32)
水文	(33)
地震活动性	(34)
水库水位与地震频度	(36)
赞比亚卡里巴湖	(39)

地质	(39)
主应力的性质	(41)
水文	(41)
地震活动性	(42)
水库水位与地震频度	(42)
希腊克雷马斯塔湖	(44)
地质	(44)
水文	(46)
地震活动性	(47)
水库水位与地震频度	(48)
美国米德湖	(49)
地质	(49)
大地测量观测	(51)
地震活动性	(51)
水库水位与地震频度	(54)
美国丹佛	(54)
美国兰吉利	(55)
美国代尔	(56)
澳大利亚塔尔宾哥大坝	(56)
南非(阿扎尼亚)亨德里克韦尔沃德大坝	(58)
意大利瓦让大坝	(59)
法国蒙大纳大坝	(60)
法国格兰瓦尔大坝	(61)
希腊马拉松湖	(61)
苏联努累克大坝	(62)
日本黑部大坝	(62)
阿尔及利亚弗达河大坝	(63)
瑞士康特拉大坝	(64)
巴基斯坦曼格拉	(64)
新西兰本莫尔湖	(66)
日本釜房大坝	(68)
中国新丰江大坝	(68)
其他坝址	(69)
水库水位与地震频度的统计分析	(71)
影响地震频度的因素	(71)

第四章 与水库有关的地震特征

频度-震级关系	(74)
---------------	------

主震震级和最大余震震级关系.....	(81)
与水库有关的前震和余震的时间分布.....	(82)
前震-余震震型.....	(85)
地震的震源机制解.....	(88)
米德湖	(88)
柯伊纳	(90)
卡里巴	(90)
克雷马斯塔	(91)
丹佛	(92)
兰吉利	(93)
从水库蓄水推测地壳岩层力学性质的变化.....	(93)

第五章 水荷载引起的应力增量和沉陷 (95)

二维情况的应力方程.....	(95)
三维情况的应力方程.....	(97)
卡里巴湖水荷载引起的应力增量.....	(99)
破坏模式	(100)
其他水库的应力增量.....	(101)
卡里巴湖水荷载引起的向下的弹性变位.....	(101)
计算其他水库下的变位.....	(102)

第六章 诱发地震中孔隙压力所起的作用 (103)

应力关系.....	(103)
注液孔隙对岩体中应力分布的影响.....	(105)
在逆掩断层中液体压力所起的作用.....	(107)
不同断层环境下孔隙液体压力对有效应力的影响.....	(108)
正断层作用	(111)
走向断层作用	(111)
冲断层作用	(111)
孔隙压力变化达到基岩深度时有效应力的变化.....	(112)
孔隙压力的变化与地震.....	(113)
丹佛	(113)
兰吉利	(114)
卡里巴	(115)
克雷马斯塔	(116)
柯伊纳	(116)
孔隙压力研究的某些最近的进展.....	(117)

伺服控制试验	(117)
现场应力测量	(118)
耦合应力-流量分析法	(119)
第七章 另外一些课题.....	(121)
坝址调查.....	(121)
坝址的地震测试设备.....	(121)
计算震源参数的误差来源	(122)
地震台的数目和位置	(122)
大地测量.....	(124)
无震湖.....	(124)
参考文献.....	(126)
作者索引.....	(135)

第一章 引 论

人们直到最近还以为只有小地震才可能与人工湖有关。这些地震都被解释成是由于水的荷载和随之发生的地壳调整造成水库基底下陷引起的。到了六十年代初期,尽管人们在许多人工湖已注意到地震活动的增强,可是在没有任何破坏性地震的情况下(最大地震为美国科罗拉多河胡佛大坝拦蓄的米德湖发生的5级地震),这种情况并未引起人们多大的担心。在六十年代,赞比亚—罗得西亚(津巴布韦)边界地区的卡里巴,希腊的克雷马斯塔,和印度的柯伊纳等大型水库附近均发生了破坏性地震。这些震级 ≥ 6 的地震夺去了许多人的生命并造成了局部极大的破坏,因而引起了全世界的注意。联合国教科文组织(UNESCO)应地方政府的请求派出研究代表团调查了柯伊纳和巴基斯坦曼格拉地震。鉴于这一现象在社会经济上的重要性,1970年联合国教科文组织成立了一个研究“与大型水库有关地震现象”(Seismic Phenomena Associated with Large Reservoirs)的工作小组。一些国际组织对这个主题已经组织过多次讨论会,而且正在筹划新的讨论会。

1970年12月联合国教科文组织工作小组的第一次会议对30处大型水库作了评议。这些水库约有一半是在蓄水的同时和以后发生地震活动的。这些水库地震的频度和烈度均高于当地正常水平,而且它们的震源位置似乎都在水库附近。与水库相关的地震活动的事例,现已有详细记录(Rothé, 1968, 1969, 1970; National Academy of Sciences, U. S. A., 1972; Gupta, et al., 1972a, 1973)。这类事例还在继续增加。

有几位工作者报道了这些地震发生的原因。韦斯特加德和艾德金斯(Westergard and Adkins, 1934)提出了由于水荷载引起水库盆地下陷和下伏地层的再调整,导致库区大地构造活动的假说。卡德尔(Carder, 1945)首次指出美国米德湖的水荷载使该区原有的断层重新活动。在许多地方曾看到了水库地区的沉陷。如以卡里巴为例,计算和观测的沉陷是一致的(D. I. Gough and W. I. Gough, 1970a)。D. I. 高夫和 W. I. 高夫(1970b)认为,由于水库荷载附加的应力,对处于临界应力状态的原有断层起了触发作用。哈伯特和鲁比(Hubbert and Rubey, 1959)注意了液体压力在逆掩断层作用中所起的作用。人们在过去几年已经把注意力集中在水库蓄水后孔隙压力增加这个重要问题上。

地震是岩石剪切破裂作用引起的。岩石的剪切强度与沿着断层的剪切应力和穿过断层面的法向有效应力的比值有关。法向有效应力等于法向应力减去孔隙压力。孔隙液体压力增加时,剪切应力并不发生变化,但有效应力却以同等数量减少。因此,剪切应力和法向应力的比值增高。事实正是这样,如果岩石处于初始应力情况下,那么液体压力的增加便能触发剪切破裂而引起地震。有效应力的这个理论在实验中作过试验并在加压下将液体注入科罗拉多州丹佛(Evans, 1966)和兰吉利(Raleigh, 1972)以及纽约代尔(Sykes et al., 1973)深井的例子中得到了证实。孔隙液体压力在岩石扩容现象中起着重要作用,从而清楚地解释了大多数地壳地震发生前的物理过程(Scholz et al., 1973)。

既然蓄水引起的应力与地震释放的应力相比都很小,所以必须假定所谈论的岩体在水库注水前处于接近破裂状态。水荷载增加的应力超过10巴的非常少。就拿世界上最大的卡里巴

水库来说（水的容积为 175000×10^6 立方米），计算得出的由于水荷载而增加的最大垂直法向应力为6.68巴，发现增加的最大剪切应力为2.12巴。人工湖引起增加的孔隙压力可能是几十个巴。汉丁和纳尔逊(Handin and Nelson, 1973)估计美国鲍威尔湖（容积为 120000×10^6 立方米）蓄水后的孔隙压力至少增加了15巴。这些应力与结晶岩石强度相比是很小的，后者的强度可达千巴级，但是它们足以引起临界应力状态的断层的破裂。海姆逊(Haimson, 1972)在科罗拉多兰吉利油田用水力压裂法进行了现场应力测量。他得出的三个主应力为590巴（水平的），472巴（垂直的，假定岩石静压力为0.23巴/米·深度）和314巴（水平的），据此雷利等人(1972)计算穿过了已知发生过地震的断层上的法向和剪切应力分别为347巴和77巴。他们通过在实验室对该岩石强度的测量，估算出发生地震滑动需要257巴的孔隙压力。此值非常接近地震频繁时在试验井中观测的275巴的井底压力。这些水井压力降到35巴以后地震活动便停止。实验证明，只需要增加几十个巴的孔隙压力就能在准稳定断层上触发地震滑动(seismogenic slip)。

就兰吉利地震而论，因为已知许多井的井底压力，所以计算整个地震带的液体压力是可能的。可是在许多水库地点却不能进行类似的计算。而且，一般也不知道现场应力、方位和现有断层的强度。

为了设想一个岩体破裂的几何形状，现在正在研制一些计算相互关系的参数，渗透率和应力分析的工具(Morgenstern and Guther, 1972; Noorished et al., 1972; Rodatz and Wittk, 1972)。迪特里希(Dieterich)等人(1972)根据在兰吉利油田设想的破裂几何形状试图在重新注入液体时预报未来的地震。

目前大多数研究人员似乎接受哈伯特和鲁比关于孔隙液体压力增加使岩石强度降低的岩石破坏理论。其他实质上可能影响应力场的一些因素包括冷水进入热岩石引起的热应力和压力梯度的影响。计算这些影响的研究正在进行。

戈居尔(Goguel, 1973)曾争论说，水库荷载的影响如果显著，应该有助于减少山体附近岩石静压力所引起的深处的应力差，就该点而论，水库影响应该是增加区域稳定性的一种因素。斯诺(Snow, 1972)从理论上证明，在冲断层环境中，水库注水将莫尔圆推离破坏的包迹，因而导致了稳定性。米基(Mickey, 1973a)曾报道，在科罗拉多河上距亚利桑那州格伦峡谷和犹他州弗雷明两个大坝0—40公里范围内地震活动随着水库荷载而降低，这两处大坝分别位于胡佛大坝上游约300和800公里。但是米基提到，大多数震中位于离水库200—350公里的包括较大的北北东向断层的一个构造带内。因为水库蓄水不太可能影响这样远距离的地震活动，所以，即使有什么影响的话，这些变化也必然是与自然力有关的。

水库诱发地震活动的水平似乎受到几种因素的影响。这些因素各自的关系将因不同情况而异。有关的地震活动在水库水深超过100米时尤其明显(Rothé, 1970)。因此水的高度和局部应力水平好像比某些事例中的水库总容积更为重要。水位增加速度和高水位的持续时间也像是影响诱发地震活动的因素(Gupta et al., 1972a)。意大利皮耶韦迪卡多尔大坝在很快把水放空以后也发现地震活动增加(Caloi, 1970)。这里水位的交替升降同地震明显增加是相互关联的。

水库有关地震显示了某些共性，这些共性使它们和有关区域的一些正常地震有所差异。这些特征也表明水库蓄水后相邻岩体在力学特性上的变化。

然而，大多数水库包括很大水库在内，并没有出现地震活动。所以，我们认为触发对工

程有影响的地震是需要特殊地质和水文条件的。有震库址的地质研究表明，现有的强地层在水的参与下多少显得不那么有力和不均匀了。根据透水岩石和裂缝的存在，人们推断在许多地区水力连续到较深层位。在有些地区也观察到可能已重新复活的断层。我们推断水库蓄水是在临界应力状态地区诱发地震的。为了进一步了解随着水库蓄水发生的地震活动，详细调查为什么多数大型水库保持无震是特别重要的。

第二章 1967年12月10日柯伊纳地震

震源参数和宏观地震效应

最大的一次与人工湖蓄水和深处理井注入液体有关的地震，是1967年12月10日柯伊纳地震。它使大约200人丧生，1500多人受伤，并使成千上万的人无家可归。柯伊纳纳加尔区成为一片废墟，百分之八十以上的房屋或者全毁或者不适宜居住。远距震中230公里的孟买及其郊区受到了震动。惊慌失措的居民为了安全都跑到公路上去，柯伊纳水力发电工程不堪使用使全区工业瘫痪。

柯伊纳大坝和希伐基萨加尔湖位于印度半岛地盾上，过去以为该地不会有什么大的地震活动。由1962年印度标准研究所 (Indian Standards Institution) 编绘，并在1966年修订的印度地震区划图表明该区是无震的。然而，在柯伊纳地震以后，引证附近地区历史上发生过的一些地震，使我们联想到，尽管半岛地盾在地质上一向稳定，但如果完全排除发生这样地震的可能性是错误的。

1962年柯伊纳水库蓄水后不久，关于坝址附近微震的报道开始广为流传。从1963年中期起，微震频度有很大增加。这些微震总是带有爆炸那样的声音 (Mane, 1967)。最强的微震使窗户格格作响，用具及其他物品摇晃。1963年当该地流传有感地震的消息时，为了监视这些地震建立了一个由四个地震台组成的闭合台网。发现震中群集在该湖附近很浅的地方。1967年，在12月10日地震以前，已发生过五次强度足以使印度许多地震台站记录到的地震。1967年9月13日那次地震为5.5级，并造成局部的轻微破坏。

为了估计损失情况，许多工作人员调查了柯伊纳地震的极震区。许多机构也确定了震源参数 (Narain Gupta, 1968a, b, c; Tandon and Chaudhury, 1968; Guha et al., 1968; Geological Survey of India, 1968; Committee of Experts, 1968; Gupta et al., 1969, 1971; Jai Krishina et al., 1970; and others)。印度政府设立了一个由工程师、地震学家和地质学家组成的专家委员会调查地震各方面的问题。该委员会还包括联合国教科文组织地震研究代表团的成员。下面简略地讨论一下我们和其他人在柯伊纳地区对1967年12月10日地震的震源参数及其宏观效应进行的调查工作。

震中和发震时间

1967年12月10日柯伊纳地震的震中和发震时间许多机构都分别作了测定。表 I 中概括了这些计算的一些结果。杜塔 (Dutta, 1969) 用统计方法检查了这些解。按照印度标准时间，这次地震是在1967年12月11日凌晨 04:21 时发生的，因而也常把这次地震说成是12月11日的地震。

中央水利发电勘察站使用柯伊纳、科伐尔考特、萨塔拉和马哈巴累斯瓦附近四个台站的数据测定了发震时间和震中 (图 1)。所有这些台站都装备了灵敏的短周期地震仪 ($T_s=1$ 秒, $T_g=1$ 秒; 放大率=11000) 和每分钟运转60厘米的记录器，而且均位于柯伊纳大坝几十公

表 I

1967年12月10日柯伊纳地震震源参数

机构名称	震中		发震时间 (GMT)	震级		深度 (公里)
	北纬	东经		mb	Ms	
中央水利发电勘察站(C.M.P.R.S.)	17°31.1'	73°43.9'	22:51:17.0	7.0	6.5	12
印度气象局(I.M.D.)	17°22.4'	73°44.8'	22:51:19.0	7.5		8
苏联莫斯科科学院U.S.S.R.(M.O.S.)	17°30'	73°48'	22:51:19.0	6.4		
国际地震中心局(B.C.I.S.)	17°24'	73°36'	22:51:20.0	6.4		
国际地震简报(I.S.S.)	17°32.4'	73°50.4'	22:51:23.2	5.9		
美国海岸和大地测量局(U.S.C.G.S.)	17°39.6'	73°55.8'	22:51:24.3	6.0		

P 为过量负值
限于33公里范围

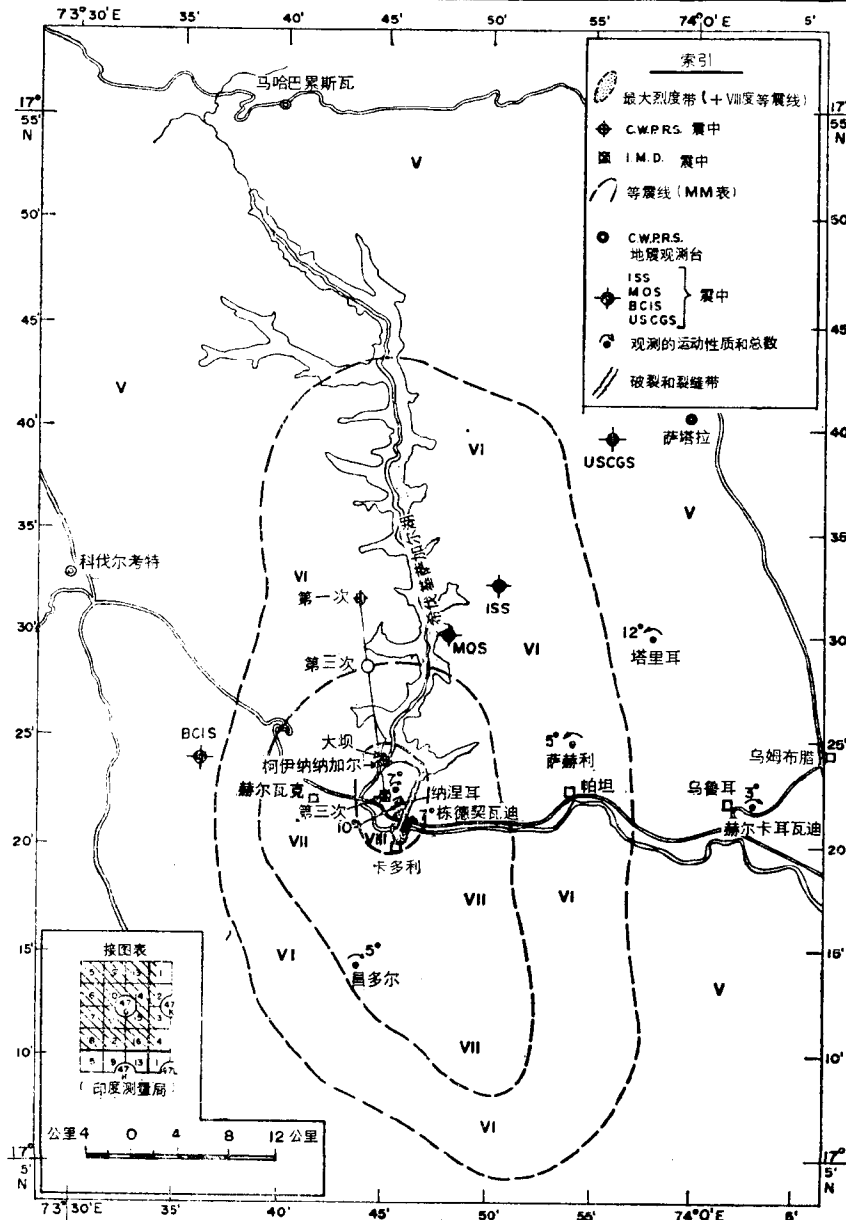


图 1 表示地震台站、各机构确定的震中位置、等震线和旋转位移的柯伊纳地区图。“第二次”和“第三次”表示通过延迟时间分析确定的后发地震的位置

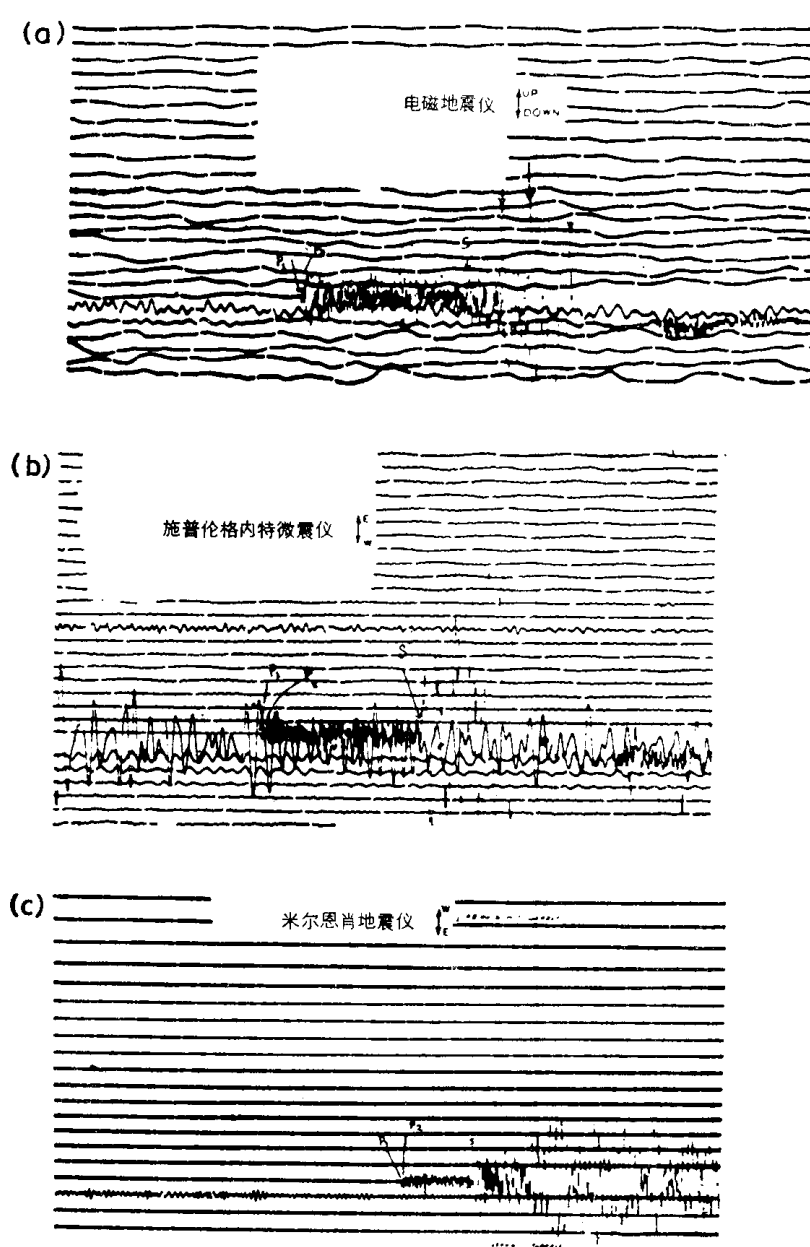


图2 新德里 (a), 米拉特 (b) 和布累尔港 (c) 地震台地震图片段, 它们对1967年12月10日柯伊纳地震是一次多发性地震提供了证明

象局发震时间的残差 (观测值减计算值)。装备灵敏短周期地震仪的观测台表明为负残差, 装备低灵敏仪器的台为正残差。总正残差为10.6秒, 负残差为10.1秒。这表明地震开始后3—4秒钟左右发生了第二次较强的地震, 而这次地震又被一般台站的低灵敏地震仪当作初至记录下来。

美国海岸和大地测量局和国际地震简报曾报道了更晚一些的发震时间, 那里使用的是分布在全世界的几百个地震台的数据。显然, 相当于地震开始的初至过于微弱以致遥远的观测台记录不到, 因而最小二乘法解得较晚的发震时间。坦登和乔德赫里(1968)算出了相对于印度气象局发震时间的188个世界台站的残差 (观测值减计算值) 走时。其中大多数为正残差, 全部正残差之和为300.9秒, 而负残差总和仅34.1秒。坦登(1954)算出与1950年8月15日

里以内。既然台站离震源这样近, 它们就能记录与最初弱震相应的真正的初至。印度气象局利用另外21个100到1500公里不同距离的台站数据测定了震源参数。人们注意到, 在灵敏的贝尼奥夫短周期地震仪记录的地震图上, “P”初动微弱, 并在以后几秒钟内继之以个别大的运动, 表明了地震的重复性。图2的地震图清晰地表明了多重的“P”震相。得出的柯伊纳地震发震时间和震中不同数值与下面讨论的多发震源模式是十分一致的。印度气象局测定的发震时间比中央水利发电勘察站测定的发震时间迟2秒钟。显然, 这些观测台距震中太远, 因而各处记录不到微弱的初动。表II为印度各观测台相对于印度气

表 II

相对于印度气象局发震时间（放大倍数和周期，凡能得到的均已列出）的 P 波残差时间（观测值减计算值）

观测台	观测值 - 计算值 (秒)	仪器设备	放大倍数	周期 (秒)
浦那	-0.6	贝尼奥夫	50000	1.0
果阿	+0.1	施普伦格内特	5000	7.4
高里比达努尔	-0.6	贝尼奥夫		1.0
马德拉斯	+0.3	施普伦格内特		
科代卡那尔	-0.4	贝尼奥夫		1.0
维扎加帕塔姆	+0.8	施普伦格内特	6000	1.65
特里文德鲁姆	+2.9	施普伦格内特	2500	7.1
德里	-0.5	贝尼奥夫	50000	1.0
罗塔克	+0.6	电磁 (I.M.D)		
索内帕特	+0.8	电磁 (I.M.D)		
波卡罗	+1.4	施普伦格内特	5000	7.3
台拉登	+0.5	施普伦格内特	1500	15
巴克拉	0	电磁 (H)	5600	1
木克里安	0	萩原电磁地震仪		
庞	+0.7	萩原电磁地震仪		
日瓦腊姆基	+0.4	萩原电磁地震仪		
加尔各答	+2.1	施普伦格内特	1000	7
达尔豪济	0	萩原电磁地震仪		
恰特拉	0	贝尼奥夫		
西隆	-3.3	贝尼奥夫		
布累尔港	-4.7	贝尼奥夫		

阿萨姆地震（震中：北纬 28.5° ，东经 96.7° ）类似的残差，其中将分布在全世界61处台站总正残差相加为51.1秒，负残差为34.1秒。大多数远距离观测台震波通过的路线对两个震中（1950年8月15日阿萨姆地震〔即我国察隅地震——译者注〕和1967年12月10日柯伊纳地震）没有什么不同。由于使用了同一个杰弗里斯-布伦走时表，所以比柯伊纳地震负残差大得多的正残差，证实了这些观测台站多半未能记录到柯伊纳地震初至的看法。

在以上讨论 P 波到时分析的基础上，为了证实柯伊纳地震的重复性论断，以后又对48个台站的地震图和澳大利亚的沃腊蒙加 (WRA)，加拿大的耶洛奈夫 (YKA) 及联合王国的埃斯克达勒木伊尔 (EKA) 地震台阵相关图进行了详细分析 (Gupta et al., 1971)。图3表示上述三个地震台阵得到的柯伊纳地震的相关图。瑟拉韦 (Thirlaway, 1963) 指出了单震和爆炸得到的相关图与多震得到的相关图之间的差别。前者以逐渐消失大量积累能为特征，而后者在短时间内具有明显的能量爆发 (图4)。在最初的弱震以后，下次地震的较大能量积累的起点在图3中用箭头表示；并在表III中列出了相对于震动开始的时差。由该表可知，这些相关图上第四次和第五次地震相关很好。

图5和图6表示几张普通的短周期和长周期地震图，图中用箭头标明了微震开始后不同的到时。并表示相对于震动开始的时滞。约在以后2秒和5秒钟发生的第二次和第三次地震