国外自然科学资料

地震
气候
控制论

China需要全本请访问 www.ertongbook.com

国外自然科学资料

（地震、气候、控制论）

上海科学技术出版社

China

国外自然科学资料

（地震、气候、控制论）

上海科学技术出版社出版

（上海瑞金二路 450 号）

新华书店上海发行所发行　上海群众印刷厂印刷

开本 850×1156　1/32　印张 5　字数 121,000

1978年8月第1版　1978年8月第1次印刷

印数 1—19,000

书号：13119·722　　定价：0.50 元

目　录

地震预报

地震预报……F·普雷斯（1）

地震能够预报和控制吗？……M·约翰斯顿等（13）

地震预报的策略……力武常次（27）

地震预报的现状……浅田敏（36）

中国地震的群测群报……力武常次（47）

动物异常和地震前声发射的关系

……B·H·阿姆斯特朗（54）

气候问题

气候的变迁……土屋　岩（57）

气候变迁的原因……H·H·拉姆（72）

全球大气环流……片山昭（84）

行星列线、太阳活动与气候变迁的关系

……J·格里宾（94）

气候变化：大规模的全球性的进程尚属未知

……G·S·沙茨（99）

关于控制论的讨论

纪念维纳讨论会上的报告

二十五年来的控制论

——对系统理论和大脑理论的个人见解……M·A·阿比布（106）

China

生物控制论和人工智能的挑战
……H·J·布雷默曼（117）
维纳的《控制论》出版二十五周年纪念…… O·衡里（125）
对维纳的回忆——其人及其思想……K·W·多伊奇（133）
维纳和时间的控制论概念…… 渡边 慧（142）

国外书刊动态

东方科学…… K·桥本（150）

China 需要全本请访问 www.ertongbook.com

地震预报

F·普雷斯①

〔内容提要〕② 本文介绍了近年来地震预报研究的进展，分析了地震前地壳所产生的一系列物理、化学变化，提出了岩石“扩容”理论。作者因地震研究没有得到政府支持而感到不满；对“许多有希望的重要的方法不能得到试验”、有人测到了地震因怕误报赔款而不公开预报表示遗憾；同时又十分强调仪器的作用，认为有了大型计算机便能预报地震。文章对苏联、日本的情况也作了分析，认为“一个遍及广大地区的、实际工作的预报系统今后十年在苏联不会出现”，日本近几年“处于停滞不前状态”。

作者赞扬我国对地震预报“倾注了极大的努力”。

灾害的预测工作是一种历史悠久而受人尊敬的职业。但是仅在最近几年地震预报才同占卜术与占星术分离开来成为一项严格的科学研究。目前主要在美国、苏联、日本和中国，数百名地球物理学家和地质学家正在把地震预报作为直接目标来加以研究。大多数研究者相信地震预报的目的是能够达到的。少数研究者较为悲观。个别人居然认为地震预报的副作用失多于得，所以应放弃

① 作者普雷斯(Frank Press)是美国麻省理工学院地球科学与行星科学系主任、地球物理学教授。

② 本书各篇的“内容提要”均为译者所加。

China

这个目标。地震预报的研究成了当代社会面临的许多问题的实例：技术评定，负有使命的大规模计划的筹划和组织，为获得预算进行的竞争，以及同意进入其他国家以前不准进入的地区这种微妙的政治问题。

我和大多数同事持同样的看法，地震预报是大有必要达到的目标。由于美国的地震易发区的人口密度大大增加，如发生在1906年的旧金山那样的强震造成的损失是数万人死亡，数十万人受伤，财产损失将达数十亿美元。此种规模的惨剧在美国历史上是史无前例的，但大多数地震学家认为迟早总要发生这样的强震。美国的地震危险图标明了那些最可能发生强震的地点。地震危险图主要是根据地震史绘制的，未将发震频度考虑在内。因此按图中所示，波士顿的危险度和洛杉矶一样(主要原因只是1755年波士顿地区发生了一次大震)。美国东部海岸的发震频度是西部海岸发震频度的十分之一。美国人口的三分之一居住在这两个高度危险的地区，这是值得冷静思考的。

当前地震研究的初步结果表明，可在强烈地震发生前许多年作出预报。地震的短期预报，如在短至数周或数天内作出地震预报的方法看来也正在研究发展。由于上述的双重可能性，制订一种大大减轻人员伤亡和减少物质损失的补救对策应成为可能。例如，大地震的长期预报作出后，可在受到地震威胁的地区加固现有的建筑物，敦促所在地区当局加强实施现行的建筑物和土地使用规则，修订新造建筑物的规范。并可着手开展有关安全措施的社会教育活动。

地震短期预报作出后可发动抗震救灾活动，着手撤离出不牢固的建筑物，尤其是从那些易于失火或其他危险地区疏散出来。在地震短期预报发出后，要关闭某些特殊设施，如核电站和气体管路，并撤离将受到海啸或地震"潮波"冲击的地势较低的海岸地区。

如何将地震预报的消息以及发出警报(有些可能是误报)所产

China

生的后果向社会公众传达，这些问题目前正在研究。对于地震预报的社会方面的研究，可能会随同物理学上解决地震预报课题的进展而有所发展。由于这些原因，大多数专家认为地震预报的能力，是既有人道主义的，也有经济上的合理依据的。

随着板块构造理论的提出，全球地震带的分布变得容易理解了。根据这种理论，地球的岩石圈即地球的外壳被分割为大约十二块相互运动的刚性板块。大部分大规模的地质活动，如火山作用、造山运动、海沟的生成以及地震都集中发生于板块边界，或在板块边界附近发生。由于板块的相互运动受到摩擦力的阻挡，因此沿着板块边界积累应力的原因就明确了。当应力的增加超出岩石圈岩石的强度，或者超过了板块边界的摩擦力的时候，便发生了破裂，从而导致地震。板块构造模型与地震统计学相结合，可以根据气候学的判断预报地震，鉴定特别危险的地区，估计危险的相对程度。然而我们急需的是与天气预报更类似的地震预报，即下一次地震将在何时何处发生？

在过去五年中，由于实验室实验和野外实验的结合，地震预报问题的研究已有了突破。当岩石被挤压，便发生形变，最终导致破裂。就在破裂发生前，由于微小裂隙的张开和扩展，岩石发生膨胀。当应力达到岩石抗断强度的半数时，便开始发生这种非弹性的体积膨胀。这就是长期来实验室研究者称之为扩容的一种现象。六十年代中期，麻省理工学院的威廉F·布雷斯和他的同事阐明，在实验室实验中，伴随扩容现象发生了可测定的物理变化；这些物理效应包括岩石电阻率的变化和通过岩石的弹性波传播速度变化。布雷斯提出，在地壳中可检测扩容现象及其效应，从而为地震预报提供了基础，当时，布雷斯的见解令人非常兴奋，因为它揭示了在发震前可观测到前兆物理变化的可能性。

六十年代末期，两位苏联科学家A·N·赛蒙诺夫和I·L·纳瑟索夫报告了塔吉克加尔姆地区地震前地震波速发生异常变

化，震动了全世界的地震学家。之后，俄国人又宣称他们在加尔姆、塔什干和堪察加地震震中区观测到电阻率变化和深井水中放射性气体氡含量的变化。

这些报告在美国哄动一时，为了取得这些第一手观测资料，许多美国地震学家纷纷前往苏联。他们也开始安排自己的实验以观测前兆现象。从此俄国、美国和日本研究者撰写的有关此类现象的学术论文在学术会议与杂志上发表，数量不断增多。1974 年，一行美国地质学家和地球物理学家访问了中国，获知中国正在实施一项大规模的地震预报计划，并取得了重要成果，这些成果在国际会议上或出版物上还未见报告。

值得高兴的是，根据不同的物理测定，发现了若干地震前兆现象。按照若干独立的证据线索作出预报，地震预报的可靠性就提高了。每一个独立的证据都伴随有显著的“噪扰”史和警告将发生地震的显著的异常。那末，前兆异常是如何观测的呢？

地震台阵可用于观测通过地震震源区的压缩波与剪切波速度的前兆变化。使用的地震波可产生于震源区的较小地震，震源区外的较大地震，爆破或力学装置形成的人工震源。美国、苏联和中国的若干地点观测到了这种异常变化。

在地震活动区，小震的发生较大震远远为多。这种小震的“背景”随时间而变化。科学家经常观测到强震前的平静期。这时背景活动似乎趋于最小值，而在主震前活动增加。地震波辐射图案能反映地壳应力场的状况。俄国研究者在中亚发现，在平静期小震显示的应力图案是随机的，而在主震前三或四个月变得高度规则化了。压缩应力是与未来主震同一方向的。

另一研究方法是测量震源区地壳岩石体积的异常变化。使用倾斜仪、观测海平面变化的装置并进行重复测量可观测到这种变化。在日本和中国的一部分地区，可追溯到数百年前的湖泊、河流和海洋水平面前兆变化的历史记录，它们可能同上述现象有关。

China

深井水位、混浊度和水温的前兆变化可直接观测或用仪器观测。观测井水中的氡含量是苏联和中国广泛使用的方法，水氡含量似乎也是未来地震活动的灵敏的指示物。

如果电流流过地壳内数公里间隔的两点之间，其间的地壳岩石电阻率发生变化，其它两点间的电压会发生变化。美国、苏联和日本都在观测此种前兆变化。

设置在地球表面的地磁仪能够探测到地磁场约十万分之一强度的磁场变化。略去远离震中区设置的"标准"仪器记录的变化，减去太阳发出的带电粒子流(太阳风)的起伏变化引起的噪扰，就能够探测到震源区的异常变化。美国、苏联和中国也一直在观测前兆地磁变化。

虽然人们可以纯粹根据上述经验观测来设想地震预报策略，但是却十分需要有一个能解释这些观测结果的物理模型。这种模型不仅可提高有关预报可能性的基本概念的信赖性，而且将促进更卓有成效的研究措施。

目前科学家已提出两种主要的模型，都是诞生于实验室研究的。1972 年斯坦福大学的 A·M·努尔提出了扩容—扩散理论，1973 年哥伦比亚大学的 C·H·肖尔茨、L·R·赛克斯和 Y·P·阿加瓦尔对这项理论作了发展。许多美国专家都支持这一理论。另一个模型可称为扩容—不稳定理论，是 1971 年莫斯科的苏联科学院地球物理研究所的科学家提出的。美国和日本的若干地震学家支持这项理论。两个模型有一个共同特点，都认为地震前随着地壳中应力的积累，产生了裂隙。

在分别由美苏提出的两个模型中，第一阶段是地壳中形成弹性应变。在下一阶段，地壳应变部分微小裂隙发生张开，于是扩容成了主要因素。根据俄国人的观点，在这一阶段裂隙的发展如同雪崩那样一涌而至。在两个模型中都认为前兆现象真正开始于这个第二阶段，因为张开的裂隙会改变岩石的物理性质。于是地

China

震波速(纵波与横波之比)降低。如果岩石处于干燥状态，电阻率增加，如果岩石处于湿润状态，电阻率减低。这时流经岩石的水量有了增加，因此岩石中更多的氡进入水中。发生扩容的地区体积有了增加。按照美国提出的模型，在这一阶段，小震数量有了减少，这是因为随着裂隙数目的增加，裂隙在水中呈欠饱和状态。其结果滑动摩擦发生增加，抑制了断层作用。

第三阶段是两种模型显著差异之处。在美国的模型中，水扩散进入发生扩容而呈欠饱和状态的区域。这种水流入的主要效应是地震波速增加，裂隙孔隙压力增高。其结果岩石强度减低，于是小震发震次数增加，最终发生主震。在俄国的模型中，第三阶段中水不起任何作用。俄国人认为，裂隙象雪崩那样增多导致了不稳定态，于是在主断层附近快速发生形变。在不稳定形变带周围地区，应力有部分下降，裂隙一部分发生闭合，岩石恢复了某些原有特性。这一系列事件可解释第三阶段中典型观测到的地震波速增加、体积减小及其他变化。随着不稳定态的发展，最终产生了断层作用，随后发生主震。两种模型都认为地震释放了应力，由此地壳岩石恢复了其大多数原有特性。

加州理工学院的J·H·惠特科姆、J·D·加曼尼和D·L·安德森所导出的经验公式将前兆异常持续时期与预报地震的震级联系起来。例如，一次里克特震级为5级的地震，它的前兆异常持续时期约为四个月，而一次7级大地震的前兆异常持续时期约达十四年。这一公式的精确度仍是不高的，特别在高震级的范围内，但是它向人们提示，大地震前的警报时间可达十年。在制定抗震救灾对策时，对于发震地点与时间以及地震震级都能预测的这一发现，具有重要的意义。幸运的是，未来地震的震级越大，人类制定抗震救灾计划可资利用的领先时间也就越长。

目前将地震预报技术付诸实施所最迫切需要的是较多的地震预报成功的实例。迄今为止，事前预测到的地震大约只有十次。通

China需要全本请访问 www.ertongbook.com

过复查资料找出前兆现象、事后“测得的”地震次数约为前述的三倍。根据上述方法所作的正式预报中，失败的例子的数量是难以知道的。这个数字可能小于十，对于目前工作尚处于初步阶段研究网来说成绩并不算太差。为了消除不可靠的方法和设计一个综合性的有效的预报系统，这种取样的数量太小了。虽然主要的地震带的长度达数万公里，但是为了试验预报的方法而能设置适当仪器的仅仅是这个距离的一小部分。但是，随着各国收集资料的集中，在今后的数年中连续性事例的数量将迅速增加，对预报方法作统计学上有效试验即将出现。不同国家的地震学家们要同其他学科的科学家那样，将研究结果综合起来，向着一个共同的目标前进。

美国地震预报研究领域的主要机关是美国地质调查所，该所正在加利福尼亚州集中展开一项强有力的计划，还支持着在几所大学开展的研究计划。在圣安德烈斯断层最活动的加利福尼亚州中部，地质调查所设置了由地震计和倾斜仪组成的台网，也从事地磁与地电的观测，但规模较小。在加利福尼亚州南部，美国地质调查所和加州理工学院协作安装了大量的仪器。从这些台阵获得的大部分资料通过电话和微波线路被遥测发送至门罗公园① 和帕萨迪纳② 。目前对地震正确地定位和监测前兆速度变化、地倾斜、地磁变动与电阻率变化的能力增强了，正在开始取得显著的成果。最近，和地质调查所协作的研究者们发现，在加利福尼亚州发生的十次地震前，在震中附近发生了地倾斜变化。据报告，在加利福尼亚州和纽约州发生的大约十次地震地震波波速有前兆变化。

1974 年11 月 28 日在加利福尼亚州中部霍利斯特以北约十英里的地方发生了一次 5 级地震，那时收集的资料也许是最注目和最新的。该次地震前发生了显著的地倾斜变化，地磁变化明显地超出噪扰水平，地震波速也发生了变化。地质调查所的 J·H·希利

① 门罗公园是美国国家地震中心所在地。

② 帕萨迪纳是加利福尼亚大学所在地。

在地震前夜严厉申斥他的同事没有公开宣布未来将发生的地震。

尽管取得了这些深有意义的成果，美国地震预报计划获得的财政支持依然不足，所以在近十年内预报仍不能成为现实。正在试验的方法太少，试验的地点太少。按照目前的财政资助水平，许多有希望的重要的方法不能得到试验，例如监测水位和氡含量的水井的排列，测定电阻率的传感器网，测潮仪，先进的测量技术等等。就目前来说，所积累的资料的数量多于能消化的数量，如能提供大型计算机来详查和自动分析输入的资料，那末这种情况就能得到改善。由于缺乏资金，大学和工业界及其许多研究人才未被充分地动员起来，在加州以外的地区，所开展的研究很少。如每年增加三千万美元的经费，在十年内可使地震预报成为现实。如果回忆起 1971 年洛杉矶以北发生的 6.6 级中强地震——圣费尔南多地震，这次地震造成的损失达五亿美元，那末可清楚地看出上述投资是值得的。

苏联的地震预报计划集中在莫斯科的地球物理研究所进行。目前正在实行的计划包括实验室研究和野外测量，其水平与美国相当。俄国人进行野外测量大约二十年前就开始了，是迄今为止持续时间最长的测量。由于这种努力，取得了发现前兆异常现象的卓有成效的结果。俄国研究者的策略与美国研究者有所不同，他们在中亚和堪察加的几个实验点进行地震监测，仪器密度较低，与此相比，美国则把重点放在加利福尼亚州的若干特殊地区。此外，俄国人正在探索比美国人为数更多的方法。但是由于缺乏一个新的大前提，一个遍及广大地区的、实际工作的预报系统今后十年在苏联不会出现。作为美苏环境条约的一部分，在地震预报和地震工程领域正在进行两国之间的计划与人员的互惠交换。一个正式的双边研究小组已告成立。这样，美苏的研究者们可了解到最新的、尚未公开发表的进展。目前正在进行共同实验，并相互就对方的研究进行健康的批评。在几年以前，这种密切协作是不可想象的。

China

虽然自本世纪以来，日本的地球科学家一直致力于地震预报概念的研究，但直到1965年才开始进行为此目的的正式研究计划，多年来，在日本发表了有关地震前海平面异常变化和地倾斜的报告，但是资料数量较小，质量也不平衡，因此全世界的地球物理学家对此未留下深刻的印象。从目前看来，其中一些报告肯定描述了真实的前兆现象。但是无论如何，在世界上最优秀的地球物理学家中也包括着日本的科学家。几年来由于罢课，所以使东京大学地震研究所处于停滞不前状态，可以说是一个悲剧。

目前日本人重视每五年进行一次延伸二万公里以上的测量。至今有十七个观测台装备了应变计和倾斜计。还在从事地震活动性水平、地震波速变化以及地磁、地电现象的观测。美国和日本在这一领域进行的合作十分密切。

1974年10月，我作为由十名美国地震专家组成的代表团成员，有幸对中国进行了长达一个月的访问。这次对中国地震研究机关的访问，是作为对去年年初十名中国地震专家访美的回访。由于“文化革命”期间中国的学术出版物都停刊了，因此我们在中国的见闻对我们来说都是新奇的。在1966年邢台破坏性地震发生后，中国人对地震预报领域倾注了极大的努力。毛主席和周恩来总理发表了谈话，指示中国科学家去达到这一目的。目前约有一万名科学家、工程师、技术员和其他人在从事地震预报工作，上述人数是美国地震工作者人数的十倍以上。

中国人采取的方法的唯一特点是，使用大量的业余人员。其中大部分是学生和农民，他们自己制造设备，操作范围很广的专门仪器，对当地人民普及地震常识。迄今为止，已设置了十七个设备齐全的地震台站和二百五十个辅助台站，所获得的有关地震预报的资料总数达五千件。目前中国正在试验本文所述的各项方法。中国人说他们对地震作了成功的预报，让居民从住房中疏散出来，从而拯救了震区人民的生命。他们也公认存在若干误报和失败的

China

例子，他们认为，他们的预报计划是新生的，还处子学习阶段，所以会发生这种情况。中国人对成功地预报地震的动机是强烈的。较高的人口密度、农村建筑物的性质和高度的地震活动性使得中国特别易受地震的袭击。

虽然对中国作短暂访问后尚难以确定中国地震预报计划的质量，但无疑其潜力是巨大的。鉴于中国地震预报计划的规模和该国地震发生较频繁，在近年内中国人收集的地震资料可能会比任何人都多。地震预报方法的首次统计学效度测定也许将在中国出现。如果政治因素妨碍了这方面的密切的国际合作，那将是令人遗憾的。因为为了更迅速地达到相互间热望的目的，与中国共同进行研究会取得一定成果。

虽然本文强调了地震的预报，但是在减少破坏性地震的受灾性的综合计划中还涉及到其他领域的进展：如地震工程、危险分析、土地使用规则、建筑规范和防灾措施。与可表示充分乐观，但至今还不能保证成功的地震预报有所不同，上述领域的研究进展必将减少地震伤亡，并减小经济上的损失。地震工程涉及有效地、经济地设计经得起地面振动的建筑物。其中还包括改造现有建筑物以改善其抗震性能。不仅对住房、商用建筑物、学校、医院、水坝、桥梁和发电站一一加以检查，而且还要考虑到我们称之为一个整体的系统中的各因素的相互作用。只有当所有这些从研究者手中移交给制订建筑规范的专业工作者和政府当局时，这种先进的技术才能起到其作用。

对最近日本和阿拉斯加地震造成的破坏的研究表明，那些经得起地面振动的建筑物由于基础部分的破坏而倒塌。强烈的地动会导致土地下沉或液化，从而失去支撑建筑物的能力。对于这种了解得很贫乏的现象展开研究是地震工程的一个重要方面。当对此有较全面的了解后，就可能采取对策，或制定土地使用规则，对于在易受地震灾害的土地上，活断层区，可能的滑坡区或易受地震海

China

啸袭击的沿海地区建造房屋加以限制。

一些地区频繁地遭受大地震，而另一些地区则不经常发生大震。在某些地方强烈地动的可能性较大，这是因为地震波的传播衰减较少，或是因为土地与此发生共振，从而放大了地面运动。在某一城市，地震后的问题将是火灾；而在另一城市可能是水灾。有关建筑物的实际问题随地区而有不同。现已清楚地了解到了其中某些因素。某些因素只能用概率方式来表述。所有这些因素和其他因素必须一并加以考虑，对地震危险度作全面估测，并由此决定对策。地震危险度估测是地震研究中一个崭新而重要的部分。对以下问题作经济上的分析，即在具有一定强震概率的地区，建造较安全的房屋所花费的添加费用由于可能拯救生命、财产和企业生产而得到补偿达到如何程度，也有助于为有关地震区的土地使用和建筑物规定提供合理的基础。

由于偶然发现，几年前产生了地震控制与限制的可能性。人们发现对丹佛附近的深井注入废水曾导致一些小震。此后所作的实验室或野外实验表明，在断层带注入流体，由于增加了横过断层的有效正应力，会减低摩擦阻力。在某种意义上说，注入流体起了削弱断层的作用，而抽取流体可使断层增强。如果存在预先已有的应力，由于注入流体断层易于活动，结果就发生地震。对这些想法在野外作实际试验的著名例子是，美国地质调查所在科罗拉多州兰杰利油田所作的实验。他们对注水井注入与抽取流体，发现根据此种方式，他们能使地震活动发生或停息。

将这种结果扩大用于控制圣安德烈斯断层这样的大的活断层，在不久的将来是不大可能的。但在将来可能采取注入流体从而限制地震，对地壳应变作有控制的、逐渐的释放。当然，科学的发展往往较我们预想的更为迅速。即使不是为了我们这一代人，而是为了我们的下一代，总之对地震控制可能性的研究应该受到鼓励。

China

虽然连续性事件的数量太少，以至不能对地震预报的可能性作确凿无疑的叙述，但大多数地震学家同意在不太远的将来地震预报是一个能够达到的目标。不幸的是，对于迅速形成一个有效的预报系统来说，美国目前所作的努力较小而不适应需要。如果一次大地震袭击美国，翌日必定要大量的财源来实施大规模的抗震救灾计划。(中国和苏联的地震预报计划是在本国发生强烈地震后开始实行的。)对于目前已被病魔所围攻的政府机构来说，怎样才能卖给他们防治未来忧患的预防药呢？

我认为，当了解到政府对某些时机和将来的危险作出不适当的反应时，科学家应担当起倡导者的作用。这是地球科学家所应该做的事。他们可对断层带或不稳定山坡上的居民区提出问题。他们可以举例指出，由于中强度的圣费尔南多地震的震动，新建的医院倒塌了。这次地震还造成一座大坝处于应力状态，已接近破裂点。如发生一次稍大的地震，就会造成大坝下游平原数万人的死亡。科学家可对政府的政策提出质问，政府花费了数十亿美元来从事建设，但为什么不能支持保护这种投资不受损失的科学研究呢？他们能够就用于研究可能出现的地震灾害的经费不到建设投资的十分之一提出疑问。他们可以阐明，今天投资一美元的研究资金，明天就能获得拯救生命与保护财产的巨大收益。从整体而言，当基础研究预算与经济增长步调不能取得一致时，地球科学家应强调使社会公众对形成地球的种种力量有新的理解，这是具有实际意义的。

（译自美国《科学美国人》杂志1975年232卷5期
许立达译，映松校）

China需要全本请访问--www.ertongbook.com