

地震的分类、发生及预测

陈运泰 曾融生 吴忠良

一、从地震的分类说起

地震和刮风下雨一样，是一种自然现象。因此，地震是可以
通过科学去研究，去认识的。

在科学中最基本的知识是分类。分类反映了人们对自然现象
的认识的水平。

对地震的分类的研究可以追溯到 19 世纪。1878 年，德国科学
家霍尔尼斯把地震分成三类：火山地震、陷落地震、构造地震。

这个分类的缺点是过于简单，它反映了当时人们的观测视野
的局限。在 19 世纪中叶还没有地震仪。

最早的近代意义上的地震仪出现于 1870~1880 年代，人类第
一次记录到距离记录仪器很远的地震则是在 1889 年，饶有兴味
的是，那次地震并不是在地震仪上，而是在扮演地震仪角色的倾斜
仪上记录到的。

（一）浅源地震与深源地震

地震仪的出现使人们可以对地球内部结构进行详细的研究。
20 世纪初至 30 年代末就在物理学家发现电子、质子和中子的同
时，地震学家发现了地壳、地幔、液态地外核和固态地内核。对
地球内部结构的了解反过来使地震学家可以准确地测定地震的位
置，尤其是地震的深度。

早期的地震学有一个认识上的局限，就是认为所有的构造地

震都是很浅的。当时的地质学家也认为，地震不可能发生在特别深的地方。从 20 年代开始，越来越多的观测数据表明，构造地震可以分成两类。浅源地震，大多发生在地表以下 30km 深度以上的范围内；而中深源地震，最深的可以达到 650km 左右，并且形成一个倾斜的地震带——称为本尼奥夫带。把浅源地震和深源地震在“血缘”上联系在一起的，是板块构造学说这一被称为“地球科学革命”的全球构造理论。在俯冲型的板块边界上，最初由扩张而产生的海洋岩石层板块在俯冲带上最终找到自己的归宿，与地幔对流有关的“传送带”的运动导致了深源地震的发生。板块构造运动同样是浅源地震的动力来源。全球大多数地震都发生在板块边界上。

以板块构造为参考，我们又有了一个更有意义的分类：板间地震、板内地震。美国西部、日本列岛、台湾岛的地震属于板间地震，中国大陆上的大部分地区和俄罗斯远东地区的地震属于板内地震。板内地震多数发生在大陆内，有时又称为大陆地震。

海洋板块很年轻，大陆板块较古老，因此与发生在板块之间的地震相比，大陆地震具有空间分布范围广（而不是像板间地震那样具有接近线性的分布）、构造环境复杂（而不是像板间地震那样具有相对说来较为简单的构造环境）、破裂过程复杂（兼有破裂和摩擦成分，而不是像板间地震那样以摩擦滑动为主）、前兆范围较大、前兆图像复杂（而不是像板间地震那样前兆范围较小，前兆很弱）等特点。对大陆地震的研究是目前地球科学中的一个挑战性的前沿课题。

（二）大地震与小地震

早期人们主要是用烈度，即地震造成的破坏的程度来度量一次地震的大小，这种度量好像是用炸弹造成的破坏来度量一颗炸弹的 TNT 当量。20 世纪 30 年代，里克特引入震级的概念，它相当于在距离炸弹很近的一个“标准距离”上，用炸弹引起的空气

振动的幅度来度量炸弹的威力，这样就客观多了。里克特使用的是地面运动的振幅的对数。他使用的“标准”地震仪是伍德-安德森式短周期地震仪。

自从里克特提出“里氏震级”的概念以后，很多地震学家针对不同的仪器提出了不同的震级。长期以来，地震学家一直相信这些震级之间可以互相“换算”，即“一个地震只能有一个震级”。但是 70 年代人们终于发现这种统一是不可能的，原因是地震具有复杂的频谱结构，而每一种特定的震级都是针对一个特定的频段测得的。作为持续近半个世纪的统一震级的努力的终结，德国地震学家杜达把地震分成蓝地震（即以高频为主的地震）和红地震（即以低频为主的地震），这个分类标志着人类对地震认识的一次重要的进步。

这种进步的意义到了 80 年代才开始为大多数地震学家所认识。宽频带地震学的出现使地震学家对地震的描述由“单色”的变成“彩色”的。但是促使这一进步的出现的因素却并不是理论上的突破，而是观测技术上的突破。1975 年前后，两项关键性的技术引入地震观测，一是电子反馈技术，二是数字化技术。这两项技术的引入给地震学带来一次革命性的变革。

早在里克特引入震级之后不久，地震学家古登堡和里克特就发现，不同震级的地震的频度 N 与震级 M 之间存在一个简单的对数关系：

$$\lg N = a - bM$$

这个关系称为古登堡-里克特定律。一般说来，大地震少，小地震多，这并不出人意料，但是大地震和小地震之间（至少在一定的范围内）存在一个“干脆利落”的对数关系，却不能不让人深思。

另一方面，古登堡-里克特关系却并不像当初人们认为的那么“单纯”。人们发现，由这一定律可以把地震分成两类：小地震、大地震。小地震的频度满足标准的古登堡-里克特关系，而大地震的频度则偏离这种线性关系，这种分类对于通过小地震来预测大地

震具有重要的意义。至于为什么会有这种偏离，却是一个有待研究的问题。

小地震还可以进一步分成小地震和更小的地震。更小的地震也同样偏离标准的古登堡-里克特关系。应当指出的是，对更小的地震的研究只能在现代地震学中才能做到，因为要记录到这么小的地震，就需要非常好的记录仪器和很密集的观测网络。这种针对小地震的观测并非是一种纯学术的兴趣，它对防震减灾很有实际意义。用小地震的分布图像来勾画地下的断层，和由心电图上的微小差别来诊断疾病的道理是相像的。

从地震学建立的时候起，人们就注意到地震可以分成两类，主震和余震。在比较大的地震(主震)之后，常常跟随着一些更小的地震(余震)。时间越长，余震越小，余震的数目也越少。当然，这只是统计上的结果，真正地震的情况要比这复杂得多。余震可以分成两种，小余震一般分布在主震断层附近2~3km的范围内，而且震源的运动方式与主震相似，而大余震一般距主震比较远，震源的运动方式也与主震有很大的差别。对余震的研究有三个意义。一是它有助于深化人们对主震的理解，如果说地震这盏灯照亮了地球的内部，那么余震这些灯则帮助我们照亮了震源区，而主震之后对余震的强化观测，常常对认识主震很有帮助；二是对强余震的预测，可以很有效地减轻地震造成的损失；三是今天看到的很多小地震，也许是过去的大地震的余震。“认出”它们来，有助于在判断未来的地震危险性的过程中“去粗取精、去伪存真”。

(三) 诱发地震及其他

随着人类的本领越来越大，霍尔尼斯的地震分类也越来越显示出它的不完备，50年代，继人类“造出来”的地震(如地下核试验)进入地震分类的表列之后，又一类地震——人类“惹出来”的地震，出现在地震分类的表列中。20世纪，很多重大工程投入建设。这些大型工程，主要是水库和矿山，“诱发了”地震活动。最

大的水库诱发地震可达 6 级以上。

在现代意义上的矿山地震中，塌陷仅仅是其中的一种。在给矿山造成破坏的矿山地震中，还包括柱体的崩塌、掘进面附近的剪切破裂和张性破裂以及矿山开采引起的应力变化导致的天然地震等。区分不同类型的矿山地震，对保证采矿的安全是非常重要的。

霍尔尼斯对火山地震的认识，在相当程度上来自他的老师洪堡。洪堡曾亲身经历过南美洲的火山喷发和伴随着火山喷发的地震活动，并由此萌发了地震的“火山说”。他认为，火山是地震的“安全阀”，当火山不能“顺顺当当”地喷发时，就发生了地震。现在知道，与火山区有关的地震可以分成几种：长周期事件、短周期事件、火山震颤，这些地震与岩浆房中的岩浆的不同的运动方式有关。火山区也有一些通常的，与火山活动关系不大的地震活动，它可能与当地的应力状态和介质非均匀性有关。

不仅火山可以引起地震，地下核爆炸也可以引起地震。一般说来，在地下核爆炸时，同时存在三类震源，一是爆炸本身；二是爆炸所触发的地震破裂；三是由爆炸冲击波引起的岩石碎裂。此外，核爆炸也伴随着余震活动。对它们的认识，是地下核爆炸的地震监测的重要内容。

（四）再谈地震分类

现在我们可以把霍尔尼斯的地震分类表做一个扩展和细化了。这种分类的扩展和细化反映了 20 世纪以来人类对地震的认识的进步。

构造地震分类	有关的规律或定律
浅源地震、中深源地震	俯冲带
板间地震、板内地震(大陆地震)	板块构造
“红”地震、“蓝”地震	震源谱
“大”地震、“小”地震、“更小的”地震	古登堡-里克特定律
主震、余震	余震现象

火山地震：短周期地震、长周期地震、火山震颤、火山区的地震活动、伴随火山喷发的地震。

陷落地震-矿山地震：塌陷、柱体崩塌、掘进面附近的岩石破裂、采矿引进的天然地震。

人工地震：化学爆炸、地下核爆炸（岩石碎裂、爆炸、爆炸引起的地震）。

诱发地震：采矿引起的天然地震、水库诱发地震、其他工程诱发地震、核爆炸诱发地震。

毫无疑问，在这个分类中还有很多我们不清楚的地方，而那些不清楚的地方，正是科学家可能作出新发现的未开垦的处女地。

二、地震是怎样发生的？

（一）地震发生在什么地方？

中国是一个多地震国家。在中国，很多人都听说过 1976 年唐山大地震，但是在世界上，并不是所有的地方都有地震。

如果把全世界的地震在地面上的位置（“震中”）都标示在地图上，那么可以看到世界上的地震分布是非常不均匀的。粗略地说，世界上的地震主要集中在三条大的“地震带”上，第一条地震带差不多环绕了整个北太平洋沿岸，因此称为环太平洋地震带；第二条地震带沿着欧亚大陆南部展布，因此被称为欧亚地震带；第三条地震带沿着洋中脊展布，因此又叫洋中脊地震带。

能够记录全球地震活动的全球性的地震台网，到 20 世纪 50 年代才初具规模。在此之前，人们还不清楚大洋中的地震的情况。不过，在一些具有悠久历史的国家，例如在中国、希腊、意大利、伊朗等，从浩瀚的历史文献中也可以得到很多关于历史上的地震分布的信息。

但直到 20 世纪 60 年代末，科学家才开始明白这样一个极不均匀的地震分布究竟意味着什么。原来，全球绝大多数地震都分布在板块边界上，比如喜马拉雅山地区的地震，就是印度板块与

欧亚板块碰撞的结果，这种碰撞也是使珠穆朗玛峰成为“世界屋脊”的主要原因。洋中脊是海底扩张的发源地，是一个重要的板块边界，因此在那里也有地震活动。在俯冲型的板块边界，可以看到本尼奥夫地震带。

一些地方尽管现在已经不再是板块的边界，但它曾经是历史上的板块边界，所以还“残留”着地震活动。比如在罗马尼亚，有一个地质历史上“残留的”俯冲带，那里仍不时有非常深的地震发生。美国密西西比河流域现在已经不再是板块的边界，但是那里发生的地震却是和古老的板块边界的故事联系在一起的。科学家认为中国的大陆地震中的很多地震，也发生在历史上的（比如数亿年前的）板块边界上。板内地震之所以比板间地震复杂，道理也就在这里。

（二）地震是怎样发生的？

那么，一个具体的地震，比如1906年旧金山大地震，又是怎样发生的呢？地震学家经过近一个世纪的探索，总算“拼凑”成了一个完整的故事。其大体情节是这样的：作为一级近似，板块像一个坚硬的块体（“刚体”），不同板块之间的边界却不那么“坚硬”。另一方面，板块的相对运动在板块边界上积累了很大的变形，就好像用力弯曲一根竹棍，使竹棍发生变形一样。当这种变形超过了竹棍的承受能力时，确切地说，当这种变形超过了竹棍上最薄弱的部位的承受能力时，它就要发生断裂。地震就是发生在板块边界或古老的板块的边界附近的岩石的断裂。这是一个典型的悲剧故事，悲剧的主角是板块边界。在板块边界处，岩石所承受的变形最大，但同时，在这里，岩石的承受能力又最小。

在物理学里，一个“模型”就是一个故事，一个关于物理过程的故事。这个故事讲得好不好，第一要看它与实际情况符合得好不好（即模型应该能够解释观测到的现象）；第二要看它是不是符合常理（即如非特殊需要，一般不应与已知的科学原理相矛盾；

并不是说一定不能与已知的科学原理相矛盾,但如果确实需要这样做的话,一定要证明这样做是必要的,而这种必要性,主要是与实际符合的程度,就是“实践是检验真理的唯一标准”);第三要看它是不是很“精彩”(即与其他模型相比,惟它应该能更简单地解释和预测更多的现象)。

人类的祖先对于地震的发生曾经有过很多富有想象力的设想。比如在古代的日本,人们认为地震的发生是地下的鲛鱼翻身造成的,因此不妨叫做“鲛鱼模型”。古代的印度人认为地震的发生是地下的大象发怒造成的,因此不妨叫做“大象模型”。古代的中国人抽象一些,他们认为地震的发生是由于“阴”和“阳”的“关系失调”造成的,因此可以叫做“阴阳模型”。但是这些故事并不是好的故事,因为它与实际符合得并不好,我们至今还没有看到力量有这样大的鲛鱼和大象。“阴”和“阳”的想法比起鲛鱼和大象显然要高明得多,但同样是无法验证的。

然而上面我们介绍的地震学家“编造”的故事却有很多优点。我们在日常生活和科学实验中积累了很多关于断裂现象的经验,关于地震的假说并不与物理学的一般知识相矛盾。而更重要的是,这个模型可以解释很多观测现象,比如说,如果地震的发生可以看成是一种破裂,那么在不同方位观测到的地面运动就应该具有不同的方向和大小,它既不应该像爆炸一样是各向同性的,又不应该是杂乱无章的,它应该具有“四象限”型的分布。如果情况的确是那样,那么地震学家的模型可能是对的;而如果不是这样,那么地震学家的模型肯定是错的。实际观测果然看到了“四象限”型的分布。此外,还有很多其他的证据。在一些地方,比如在加利福尼亚,地质学家可以亲眼看到从地下穿透至地面的地震破裂。因此这个故事也就为很多科学家所接受。

(三) 为什么地震预测很困难?

上面关于地震发生的故事,同时揭示了地震预测为什么很困

难。

在上面的故事中的一个细节，甚至直到今天很多地震学家也还没有注意到。变形的积累，从来不是从零开始的，地震所释放的变形，也从来不是“淋漓尽致”地释放到零。在地壳中，总是存留着非常高的“预应力”，而每次地震释放的应力，最多只占它的百分之几。一次大地震所释放的能量，最多只占地球给板块运动所提供的能量的千分之一。换句话说，我们是生活在一个巨人身上的小人国，发生地震，并不需要巨人大发雷霆，它不小心轻轻一动，对我们来说就是一次地震。对地震前兆的监测，不是对巨人是否发怒的监测，而是对巨人的微小动态的监测。因此，这种监测必须有足够高的精度。

一个更恰当的比喻也许是，很高的“预应力水平”或者很大的能量输入，使我们一直处在不稳定的边缘。同时，每一次地震所释放的应力又仅仅是一个很小的“微扰”而已。也就是说，一些本来很小的变化，也足以使我们有可能越过稳定性的“警戒值”而“触发”地震。这种情况就好像一头已经驮了 500kg 重的货物快要累倒的骆驼，也许再增加一根稻草的负担就会使它累倒趴下，这一根稻草的负担不是导致它累倒的主要原因，却可以直接导致它累倒。问题是我们能有把握监测到所有可能的触发地震的微小变化吗？现在看来，情况并不乐观。

地震不是在到处都能发生，而是发生在地下那些最薄弱的地方。怎样找到这些最薄弱的地方，是地震学家面临的一个挑战性问题。上天有路，入地无门。人类毕竟不能像土行孙那样钻到地下去，另一方面，地震波探测地球内部结构的分辨率是有限的，这种有限性与我们用伽利略时代的望远镜看不清木星光环是一样的道理。

因此困难在于，在体检中，我们的目标是发现病变的区域。但是我们的 CT 检查的分辨率却不足以使我们看到这样大小的区域。况且，我们还不能保证，即使能够看得见，我们是否就一定

可以鉴定它是不是恶性的。

因此，我们必须告诉读者这样一个事实，我们有责任告诉读者事实的真相，这就是：迄今为止，在现在的地震学的认识范围内，依靠现在的地震学的观测技术，地震预测，确切地说，那种通常意义上的，可以给出确切的时间、地点、大小和发生概率及这些参数的范围的，时间尺度为几天的预测（地震学家称之为“短临地震预测”），是非常困难的。

三、地震学家在做什么？

既然短临地震预测至今还有相当大的困难，那么，地震学家又在做什么呢？地震学家又有什么用处呢？

概括起来说，地震学家正在做四件事。

第一，尽管那种我们通常理解的，可以给出确切的时间、地点、大小和发生概率及它们的范围的地震预测是非常困难的，但是“退而求其次”的预测，却不是做不到的。这种情况就好像一座房子，我们虽然不知道它什么时候倒塌，但却可以用很可靠的方法，确定它是否已经非常危险，不适于居住。直接导致它倒塌的原因，可能是一次风雨的袭击，也可能是一只鼯鼠的破坏，甚至是某人无意地踢它一脚，但是它注定要倒塌，却是无疑的。地震学家现在有很多方法来进行这样的估计，即某个比较大的地区（比如河北省北部），在某段较长的时间里（比如10年内），可能发生多大的地震。这种预测对于建筑和工程的规划是非常有用的，像地震学家编制中国地震烈度区划图，就是一种“退而求其次”的预测，它为防震减灾提供了重要的基础资料。

第二，地震本身带来的伤亡比较小，造成更大的伤亡的，是地震引起的建筑物的破坏。建筑物破坏的主要原因，一个是在地震时出现的地基的物理化学变化，另一个是地震波造成的地面运动。对于这两个问题，地震学家都有比较深入的理解。地基的变化主要取决于当地的结构，而地面运动主要取决于地震波的传播。

地震波在地球内部的传播规律比较复杂，地球内部的非均匀性可以造成地震波的“聚焦”。因此，同样一个地震在某些地区注定会造成更大的破坏。比如：1976年唐山地震时，北京东部廊坊地区的破坏就比周围的其他地区大得多。究其原因，是因为地震波在这里出现了“聚焦”。工程结构的特点是，它们通常对某些类型的地面运动最“敏感”。比如传统的民居特别“害怕”高频地震加速度，而立立交桥更容易受长周期地震位移的破坏。把这些规律搞清楚，以后在建设中，即使再遇上大地震，无论地震预测成功与否，伤亡和损失也会大大地降低。

这个领域，实际上是三类专家在联手攻关。地震学家的任务是，搞清楚一个地区在一段时间内发生地震的概率有多大，搞清楚万一地震发生，某个地方会出现什么样的地面运动。工程地震学家的任务是，把地震学家的信息作为“输入”信息，搞清楚建筑或工程结构是怎样被这些地面运动破坏的。而地震工程师的任务是根据工程地震学家提供的“输入”信息，设计出可以避免这些破坏的更好的结构。

第三，地震学家建立了地震台网，用来监测地震活动和记录地震。前面所说的地震危险性研究和强地面运动研究，就是用这些地震台网记录到的地震和地面运动的资料作为输入参数的。

然而地震台网还有另一个用处，就是在地震发生之后，很快地给出地震在哪里发生，地震有多大等一系列信息，这些信息对于政府和社会组织救灾是必不可少的。通常，地震发生之后的几分钟时间内，这些信息就可以上报给政府。而仅通过一个地区一个地区扫描式的报告的方式，要做到这么快是不可能的。在少数采用智能化的“地震预警系统”的地方，还可以利用早到达的地震波和造成破坏的、通常是较迟到达的地震波之间的“时间差”，这种“时间差”一般只有几秒，但用来关闭高速铁路、核电厂、金融信息系统等重要设施却是非常有用的。也许以后卫星遥感技术发展以后，对地震的快速反应会更快。在地震救灾中，时间就是

生命，而时间是用地震台网“抢”出来的。

第四，我们前面所说的“地震预测很困难”，讲的是在现在的地震学的认识范围内，依靠现在的地震学的观测技术，是非常困难的。但另一方面，地震学家也在探讨突破现在的认识水平的局限，突破现在的观测技术的局限的可能性。实际上，地震观测技术和地震学研究的每一项进展，都会导致对地震的认识的深化。

也有可能，有一天地震学家告诉大家，短临地震预测就像永动机一样是不可能的。果真如此，他们也会明白地告诉大家，到底在什么地方出了问题。实际上，在科学中“不可能”并不可怕。热力学定律说，永动机不可能，但是由这些研究所改进的蒸汽机却引导了生产力的巨大进步。相对论说，超过光速不可能，但是由相对论所揭示的质能关系，却成为核能利用的先声。所以，果真可以证明短临地震预测不可能说不定也会发现某种重要的规律，并由此促进科学和技术的发展。

地震学还有很多“副产品”，有些“副产品”看上去似乎比地震学本身还重要。在石油和其他矿产资源的勘探中，用地震波进行勘探是最有效的方法之一（称为“勘探地震学”或“地震勘探”）。利用地震台网监测和识别地下核试验，在维护世界和平的外交政治斗争中扮演了重要的角色（称为“核爆炸地震学”）。尽管目前地震预测水平仍不高，但用地震方法预测火山喷发却有很大的进步（称为“火山地震学”）。对水库等诱发地震的预测水平已经可以达到为水库等安全“保驾”的程度（称为“水库地震学”或“诱发地震学”）。对矿山地震的监测是保证矿山安全的重要手段之一（称为“矿山地震学”）。地震波是研究地球内部物理学的最有效的工具（由于必须使用全球地震资料而称为“全球地震学”）。地震学关于地球自由振荡的知识在认识太阳和行星的结构方面发挥了巨大的作用（称为“日震学”或“行星地震学”）。

防震减灾与社会发展

陈 颢

1999年，国际减灾十年活动结束了，但对防震减灾的社会需要和社会关注远远没有结束，随着社会发展和科学进步，对防震减灾的科学研究正在不断深入发展，出现了一些值得注意的新方向。

第一，随着经济的发展和人口的城市化，自然灾害造成的损失不断增加。城市，特别是大城市的防震减灾问题越来越引起人们的注意。联合国和各种国际学术组织，今后几年将召开一系列城市减灾的会议，城市减灾问题的重要性变得越来越明显。另一方面，城市是一个特殊的研究主体，在城市地区，存在着自然现象和人文活动的强烈相互作用，存在着自然科学、工程科学和社会经济科学的交叉渗透。城市的这些特点，决定了研究城市问题要用新的概念、新的方法。因此，减轻城市震灾成为了防震减灾中的一个重要的方面。

第二，巨大的地震灾害多数发生在大陆地区。目前，我们对海洋已经取得了许多科学认识，特别是板块构造提供了认识海洋的理论框架；但是，对于具有漫长历史的大陆，认识它的当今的构造活动仍然是个科学的前沿，我们需要发展认识大陆的理论框架，目前，国际上称之为大陆动力学的研究，很有希望成为大陆地震成因和机理的理论基础。大陆动力学中活动构造的研究，将带动新一代的地球观测技术，提出新一代的概念和理论，成为大陆地震机理和预测研究中的一个新的发展点。

下面一些图表，将从不同的角度对以上新方向作些说明。

图 1 显示人口向城市里集中是个全球趋势。这张由联合国提供的图显示了全世界人口城市化的情况。50 年前,只有不到世界人口 30%的人口居住在城市中,而今天,约 50%的人口居住在城市之中。人口的城市化,导致了社会生产力和社会财富向城市这种十分有限地域的高度集中。高楼林立,生命线工程错综复杂,分布广泛的通讯、金融、交通运输网络,从灾害预防角度来说,使得城市变得更容易遭受灾害袭击,一旦受到灾害袭击,即使是中小灾害,其损失将超过历史上的任何时代。人类社会在不断发展的同时,把更多的弱点暴露给灾害,城市变得更脆弱了(Vulnerable)。

图 2 说明社会进步、经济发展和人口城市化,随着这些进程的加快,自然灾害所造成的经济损失随之迅速增加。准确的灾害损失数字是比较难于得到的。这张图给出了慕尼黑再保险公司关于灾害损失随时间变化的结果。图 2(a)给出每年自然灾害事件的数目,斜线代表的地震事件数目,从 1960 年开始 30 多年的统计结果表明,世界上每年发生灾害性地震的数目大体维持在一个水平上,尽管有的年份多一些,有些年份少一些,但总的趋势是平稳的。图 2(b)表示灾害造成的经济损失随时间而增加的情况,图 2(b)中的实线代表保险业赔偿的情况,由保险赔偿得到的损失估计,往往是可信的。灾害数目大体不变,而灾害却随着时间急剧增加,这是研究防震减灾时不容忽略的一个重要事实。

图 3 给出了全世界各国 GDP 之总和(据世界银行,1995)与全球自然灾害造成总损失(据慕尼黑再保险公司,1997)的关系。经济发展的程度可以用国内生产总值(GDP)来表示。GDP 越高,表示经济越发展。从 1980~1993 年的数字来看,随着经济的发展,GDP 的增加,灾害的损失将更为迅速的增长。如果 GDP 翻一番,则灾害损失将变为 4 倍;如果经济翻两番,则灾害损失将变为原来的 16 倍。

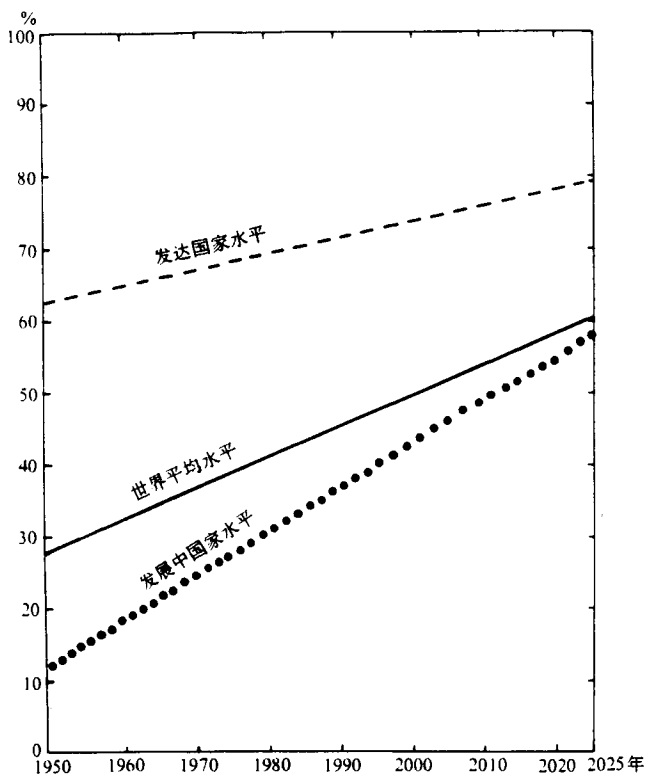


图 1 世界人口城市化趋势

表 1 1960~1998 年巨大自然灾害统计

	1960~1969	1970~1979	1980~1989	1989~1998
	60 年代	70 年代	80 年代	过去 10 年
数 目	16	29	70	53
经济损失	52.5	100.9	160.9	479.3
保险损失	7.0	11.8	32.3	106.9

* 表中单位为万亿美元 (1998)

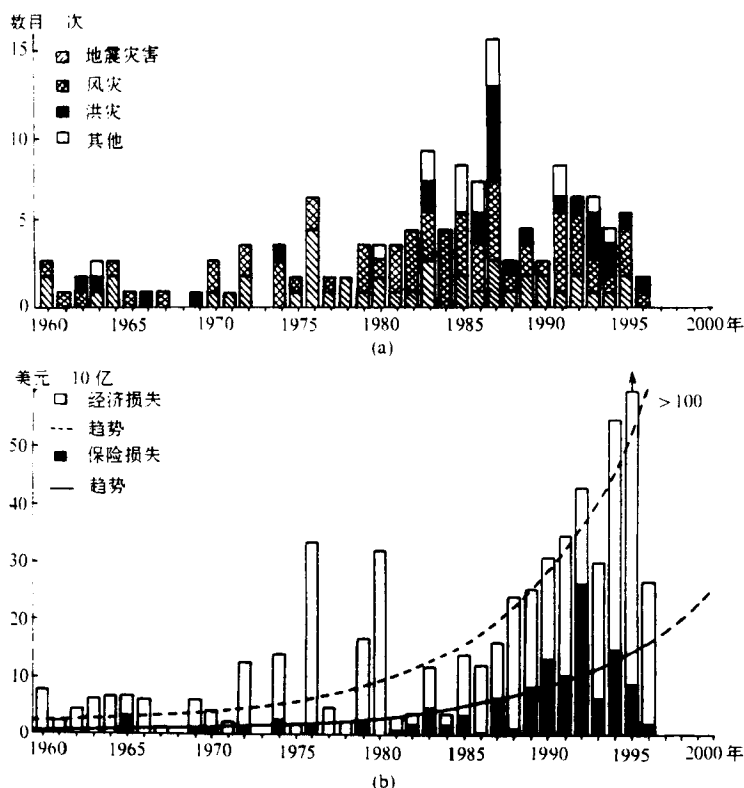


图2 1960~1996年巨大自然灾害(a)及其损失(b)图

从表1可以看出,过去10年之间各种自然灾害造成的损失为60年代自然灾害损失的9.1倍。近年,土耳其、台湾、美国连续不断发生破坏性地震,引起了各国公众和新闻媒体的密切关注。许多人在问,到处都在报道发生大地震,是不是全世界都进入了地震活跃期?我们且先不谈活跃期的问题,从上表可以看出,随着经济的发展,地震灾害的严重程度将越来越受到重视,而且可以不夸张地说,今后整个国际社会对地震灾害的重视,还要超过今天。重视这个问题,正视这个问题,已经是各国政府和社会公众

表 1

年 代	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
GDP (万亿美元)	10.83	11.25	11.13	11.39	11.89	12.33	14.32
损 失 (10 亿美元)	32	2.2	2.1	7.4	2.1	11	12
年 代	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
GDP (万亿美元)	16.17	18.16	19.07	21.02	21.85	23.21	23.58
损 失 (10 亿美元)	9.5	23	17	18	25	17	24

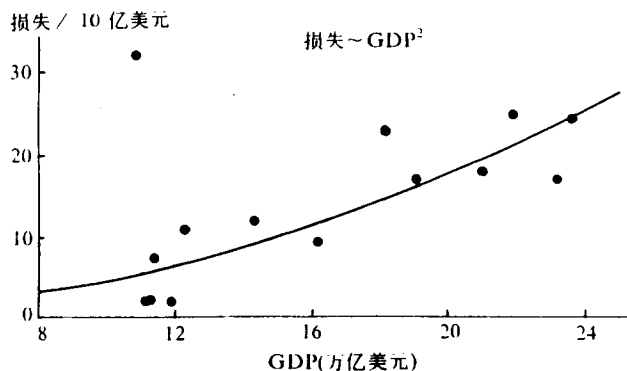


图 3 全球自然灾害损失与 GDP 的关系图表

所必须面对的现实。

图 4 直观的介绍了解害定量化的问题。

为了作好城市的防震减灾工作,必须将地震科学(地震危险性分析)、工程科学(易损性分析)和社会经济科学(社会财富的结构、总量及其分布)结合起来,对未来震灾作出量化的预测,找出其