

美国石油地质学家协会进修丛书

阿诺德·博曼 等

近海地质风险

石油工业出版社

(十八)



美国石油地质学家协会进修丛书 (十八)

近海地质风险

阿诺德·博曼 等

孙惠文 刘素华 译
陶 起 柴俊杰

石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了在美国沿海大陆架及其邻近大陆坡上实施工业工程时所能遇到的地质风险因素。

书中首先对地质风险因素进行了分类并指出了识别方法。然后介绍了土工技术在松软沉积物中的应用、近海地质作用与风险之间的土工技术工程环节、海相沉积物中的工程特性及对风险因素的防范措施,并以一些实例分析了识别地质风险的方法。最后对密西西比河三角洲海水下沉积物不稳定性的形成背景和浅部构造特征等进行了论述。

本书适合于海洋地质工作者、沉积地质工作者、工程地质工作者及有关的工程设计人员阅读,对有关专业的院校师生也有一定参考价值。

美国石油地质学家协会进修丛书(十八)

近海地质风险

阿诺德·博曼 等

孙惠文 刘宗华 陶起 柴俊杰 译

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 13印张 322千字 印1-1,800

1990年1月北京第1版 1990年1月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0249-3/TE·245

定价: 3.45元

译 者 的 话

这是一本短训班教学笔记。介绍了在美国近海大陆架及其邻近大陆坡上实施工业工程时所遇到的和将要遇到的地质风险因素。随着工业的发展,沿海必将成为主要的开发对象,其中不仅仅限于石油和天然气的生产,还包括某些核电站、电站、供水管线、电话电缆、采矿业以及某些类型的工业工厂等。陆地工厂和居民区的污水排放、固体原料及放射性或化学物质的堆放等与海洋环境是紧密相关的。因此,如何识别近海地质风险因素,判断海底地形的稳定性,对规划和开发水下工程是至关重要的。本书介绍了美国在开发墨西哥湾、太平洋和阿拉斯加外陆架区以及密西西比河三角洲区所取得的研究成果。

随着我国沿海城市及经济特区的开发,沿海地区的大陆架和上陆坡区的开发和利用必将成为今后重点发展的地区。如何识别近海地质风险因素,判断地质工程的稳定性,保护海洋环境,对不利因素预先给出防范措施等,是今后重点的研究课题。本书所介绍的内容是十分值得借鉴的。在我国的渤海、东海和南海,石油和天然气正在勘探和开发。随着工业化的发展,沿海地区必将会有更多的水下工程出现,也会有更多的学者研究该区的地质因素。我们译出这本书(参考文献从略)就是为了满足这方面读者的需要,希望本书内容能对开发利用我国沿海地区起到参考作用。

本书的第一篇由孙惠文译,张菊明、柯保嘉校;第二、三篇由刘素华译,陶起校;第四篇由陶起译,刘素华、柯保嘉校;第五篇由柴俊杰译,孙惠文、陈海泓校。限于译者的水平,书中会有不妥之处,恭请读者批评指正。

译者

1988年7月

目 录

第一篇 近海地质风险绪论——识别方法及存在场地	(1)
一、引言	(1)
二、风险的概率性质	(2)
三、风险资料来源	(2)
四、近海地质风险	(3)
(一) 地震活动和活动断层	(3)
(二) 近地表岩石的破裂	(5)
(三) 火山活动	(7)
(四) 沉积物的不稳定性	(7)
(五) 侵蚀作用和沉积作用	(15)
(六) 冰的有关特征	(25)
五、海洋和气象风险资料来源 (附录 I)	(32)
六、美国太平洋和北极外大陆架区地球环境风险的地理分布 (附录 II)	(33)
(一) 太平洋和阿拉斯加外大陆架区	(33)
(二) 墨西哥湾	(38)
第二篇 土工技术在松软沉积物中的应用	(40)
一、引言	(40)
二、底部运动对海上建筑物的影响	(40)
(一) SEASWAB II 试验结果证实强度降低与周期性加荷有关	(41)
(二) 由横向沉积物运动引起的拖曳力	(44)
(三) 松软沉积物的物性	(46)
(四) 拖曳因子的结构	(47)
三、根据连续近似法计算的沉积物移动	(48)
(一) 作为弹性物质模拟的土壤	(48)
(二) 作为粘弹性物质模拟的土壤	(49)
四、甲烷气作用的研究	(52)
(一) 岩芯筒设计	(52)
(二) 操作方法	(53)
(三) 测试承压样品的方法	(53)
(四) 试验结果	(54)
第三篇 近海地质作用与风险之间的土工技术工程环节	(57)
一、引言	(57)
二、土壤——特别是海相沉积物的工程特性原理	(57)
三、软弱可压缩沉积物	(63)
四、海底沉积物的滑塌和滑移	(71)
五、地震、波浪和其它周期性加荷作用	(76)
六、冻土的工程特性	(83)

第四篇 一种识别地质风险的系统方法——以墨西哥湾西北部大陆架和大陆坡的地质作用与海底稳定性为例	(86)
一、引言	(86)
二、得克萨斯南部大陆架和上陆坡	(87)
(一) 系统方法和综合方法	(87)
(二) 研究方法	(87)
(三) 根据对分析数据和解释资料的综合研究得出的研究区地质特征	(90)
(四) 海底的相对稳定性	(129)
三、更新世分布趋势: 得克萨斯东部和路易斯安那近海外陆架和上陆坡	(156)
四、墨西哥湾西北部大陆架和大陆坡的地质作用及海底稳定性分析	(157)
(一) 花园滩	(157)
(二) 大陆架与大陆坡交界处的底辟作用	(158)
第五篇 密西西比河三角洲近海水下沉积物的不稳定性	(175)
一、引言	(175)
二、密西西比河三角洲的背景	(175)
三、地下浅部地质构造	(196)
四、结语	(201)

第一篇 近海地质风险绪论——

识别方法及存在场地

(Arnold H. Bouma)

一、引言

美国所有的大陆架及与其相邻的上陆坡部分，现在和不久的将来都是勘探和开发的对象，对世界上的很多大陆边缘来说也是如此。已在进行的和将要进行的大多数开发是工业性的，它们主要是生产石油和天然气，但某些开发也包括核电站、供水管线、电站、电话电缆选址及采矿业。海上建筑师们正在规划水下开发基地，甚至一些工业工厂也可能建于海上。挖掘出的废石堆积，公共居住区和工业中心污水的排放，以及其他固体废料如放射性物质和某些化学物质的堆放等，同样为我们所关注。其中的每个问题都由它们自身的一套规则所控制，而这些规则又决定于这些活动的性质，它们对环境可能产生的影响，以及环境与这些活动之间的相互作用。

自然灾害是指某个区域受到的地质、土工、地震、海洋和气象等现象的最大影响。风暴、波浪、水流、地震、冰、断层、侵蚀和沉积以及低承载力的沉积物等，是海洋环境中众所周知的自然现象，它们可以对近海建筑物的安全构成威胁，产生灾害。

一个近海建筑物必须在设计、安装和使用过程中考虑到潜在灾害的影响；否则，上述现象可能构成污染、破坏之类的威胁，或使生命和设备受到损失。因而，必须识别自然风险，而且在近海开发中必须对它们的影响作出评价。同时还必须考虑人工建筑物对环境的影响，以及由此引起的风险。

人们常对“风险”这个术语产生误解。通常，公众以及许多机构认为风险是“活动的”地质现象，它可能或者已经对近海活动造成危险。如果认为这个术语是日常用语中不可或缺的一个词汇的话，那么就应该对这个术语作出更为恰当的描述。在这本简短的讲稿中，“地质风险”这一术语用于能使近海活动受到工程限制的任何地质现象。

虽然几乎每种潜在的地质风险都会在世界上的某些地区出现，而且很多地质现象相互有联系，且建立在动力作用的基础上，但是为了便于讨论，必须把上述现象进行分类。而且，描述和分析环境地质风险的人，多数并非在这方面的专门工作者，他们对在一特定的实际工程项目中评价地质灾害的技术又不十分熟悉。此外，这是地质学中较新的领域，而且由于成本高、难度大、缺乏合适的或足够的测量仪器以及按地质时代来表示时，这些事件发生频数低，因而使人们的认识受到限制。基于这些事实，人们要求的“隔夜答案”是难于提供的。

本文提供的是我们现有知识的某种概括。文章描述和讨论了一些较高等级的地质风险及个别具潜在风险的地质现象；讨论和说明了每种类别的地质风险，并提供了所选择的参考文献。对那些这类现象存在着疑难的地区，文中也给出了一些例子。

美国内务部负责有组织地、安全地开发和管理国家矿物资源。外大陆架区油气开发的管理和监督是美国地质调查所 (USGS) 安排的。下面的讨论主要基于美国地质调查所对近海

潜在地质风险所作过的工作上。

二、风险的概率性质

大多数地质风险是作为潜在的，而不是现实的和持续的威胁而存在。因此，它们并不总是适合于直接测量或短期观察。因而，大多数风险只能以概率方式描述。产业的和联邦政府的代理机构已经制订了潜在风险的标准，该标准是根据可能发生的最大强度参数（最高波浪，最强地震等）制订的。例如，由于缺乏历史资料，对最强运动只能作最明智的近似预测，而且发生的频度也是一种估计值。因此，超出经济水准、造价过高的保险设计常可见到。虽然海上地区的研究可能是昂贵的，但是，详细规划过的调查将有助于逐渐增加安全度和降低投资。然而，在列举可能来自自然现象的风险之前，我们必须了解现象本身及其识别准则。

下面，对潜在的地质风险进行分组讨论，着重于地质的识别，而不是风险度的测量，因为后者在每个区域都有变化。在对风险条件进行分类时，既需要定量资料，也需要定性的描述。地质学家一般用定性的方法对地质特征进行描述，这种方法应该是近海研究方面的首要手段。然而，为了能把海洋地质特征作为潜在风险分类，或由于其与海洋开发有重要联系，所以对这些特征也应作定量分析。

三、风险资料来源

由于这是个国际问题，所以石油工业已经收集了来自世界许多不同地区的大量风险资料，这些资料的大多数都具有专利性质。联邦政府的代理机构没能获得收集足够资料所必须的资金，这在某种程度上阻碍了评价和进展。美国的资料也很分散，虽然有资料库，但它们的设计并不利于回收风险资料，美国以外的资料并不总是容易得到的。除去正规出版物以外，国际之间尚未开展资料交换。

表 1-1 地震风险主要资料来源（据 Energy Interface Assoc., 1977, 作了修改）

与地震有 关的风险类型	全 国 地 球 物 理 中 心	国 家 料 海 中 洋 心	美 国 调 查 所 地 质	美 国 国 防 部	大 学	工 业	美 国 各 州
强地面运动	D	ND	D	F	D	D	D
弱地面运动	D	ND	D	F	D	D	D
原始断层破裂（活动断层）	ND	D	D	F	D	D	F
老断层复活	ND	ND	ND	ND	ND	ND	F
与断层有关的高压渗漏	ND	ND	F	ND	F	ND	F
基底不稳定性 and 滑坡	ND	ND	F	F	ND	D	F
液化作用	ND	ND	F	F	F	D	F
海啸	ND	A	ND	D	D	D	F

A—资料充足；D—资料仅限于某些地区；F—只有很少的资料，精度未知；ND—无资料

对有关风险知识方面最大的社会贡献是由学术界、联邦政府和某些州立机构，以及由美国国土管理局的环境调查计划提供资金的一些工业机构所进行的各种研究。美国国土管理局计划的性质对各个外大陆架是不同的，其重点在于收集生物的和化学的资料。气象的、地质

的和物理的海洋资料正在按计划收集，但是在这方面所花的资金比前二者要小得多。综合会议上论证了这些计划的价值，但同时也指出：该计划缺乏最现代的准则，而且对需要调查的有关问题也缺乏深入的了解（表 1-1）。

四、近海地质风险

当对近海开发可以起到限制作用的地质现象进行分类后，可对它们进行最佳的描述。然而，任何的分类都是人为的，且成组的及独立的风险，都很少是彼此无关的。

根据地质准则和现有知识，使用了下述主要的类别：

地震活动和活动断层

近地表的岩石破裂

火山活动

沉积物的不稳定性

侵蚀作用和沉积作用

冰控作用、永久冻土和笼形包合物

这些章节中的某些部分比较短，这是因为缺乏可用资料并受讲授时间的限制。由于笔者不熟悉碳酸盐岩，所以没有讨论与碳酸盐岩有关的现象，如岩溶、溶解和胶结作用等。讨论的重点是由墨西哥湾（东部除外）和阿拉斯加得知的潜在地质风险。然而，读者可以很容易地将这些特征运用于任何其他区域。

（一）地震活动和活动断层

地震活动在地质学词汇中被定义为地壳运动的现象（Bates 等，1980）。地震活动本身由强地面运动（ 10^{-1} 到 $1g$ ）、弱地面运动（ 10^{-3} 到 $10^{-1}g$ ）、断层活动以及诸如滑坡、液化、地震海浪（海啸）等派生运动反映出来。

地震可以把巨大的负荷加载于构造上，大量的能量可以以地震的体波和面波的形式释放出来。震中上面的构造位于震源区内，而震源区内的地壳里，应力弹性回跳最大。弹性回跳理论表明，在震源区会发生水平的和（或）垂直的弹性松弛，而且达到最大值。根据断层运动的方向和断层面的指向，该最大值在断层附近或断层面上，从理论上可以预测出来（Knopoff, 1958; Chinnery, 1961）（参看 Sangrey 的第三篇）。

震源区的地壳震动是一种弹性现象。但是接近震源，把破裂的有限长度、深度及持续时间联系起来，会使那些运动性质的理论预报明显地复杂化。使用波传播的线性理论可以预测震源区以外的地壳运动的性质，然而，通常由于缺乏震源函数（震源随时间变化过程）、转换函数（沿地震波传播路径的弹性和非弹性参数）和位置函数（在一个特定位置上地层柱上部的弹性和非弹性参数）的知识而使这个理论在应用上受到影响（Pakiser 等，1969）。

没有单一因素能完全代表地震的潜在影响。速度、加速度、位移、运动方向、频率范围，以及运动持续时间在确定对土壤、基底和上覆构造的影响时都起着重要的作用（Bea, 1976; Cornell and Vanmarcre, 1975;）。区域地质和局部地质，以及局部构造模式都对上述各项因素有很大影响。

对于每对给定的地震与场地来说，都有唯一的一个强震加速度谱，因此要确定任何一对地震与场地的抗震设计标准，都必须根据多台记录谱作统计预报来完成。然而，对海洋位置来说，则没有公开的强地面运动数据。

活动断层的定位和识别,从断裂和潜伏震源的观点来看提供了有关风险性质的资料。由于许多断层很复杂,所以这种定位和识别很困难,而要将活动断层与静止断层区别开来也许是不可能的。从地下抽出流体或往地下注入流体,可以使一个静止断层重新复活,引起沉降作用 (Castle and Yerkes, 1969; Barrows, 1974; Kovach, 1974)。平行于老断层的地表断层,且有垂直和(或)水平断错,会在差异沉降区出现。这种断层也可以起“管道”作用,使地下的高压液流流出地表,或者在油砂和含水层之间建立流动通道。

能源联络协会 (Energy Interface Association, 1977, 第 627 和 628 页) 对外大陆架活动断层提出下列分级:

I 级 在以往两百万年期间一直在活动的断层。

I 类: 全新世期间 (近 11000 年) 活动者。其活动性由最年青的现代沉积物的水平断错表明,沉积物基本上是连续沉积的。更新世和全新世期间的沉积物通常可明显地区别开来。

II 类: 第四纪期间活动者。最年青的现代沉积物或没有水平断错,或缺乏这方面的证据。

II 级 在人类文明史上曾出现过大地震或地震滑移的断层。

I 类: 历史上曾记录过有重要地震活动、但地表没有出现破裂的断层 (如 1933 年 Long Beach 地震和 Newport-Inglewood 断层)。

II 类: 历史上曾记录过有主要地震活动且地表出现了破裂的断层 (如 1964 年阿拉斯加地震)。

III 类: 历史上曾记录过有地震滑移 (蠕变) 的断层。

III 级 微震震中 ($m \geq 3$) 沿断层线排列,特别是近二百万年期间,地震的破裂证据可疑或者不足的断层。

在每个外大陆架区域内,甚至对一个特定的位置或地区,依据断层破裂来评价潜在风险是广泛地建立在新构造运动的基础上的。一般来说,断层活动愈新,则近期破坏的可能性就愈大 (Ziony 等, 1973)。

在描述断层的水平错断时,“长期不活动”或“休眠”这种术语要比“不活动”更恰当。术语的这种差别对于构造活动区 (如美国西海岸和阿拉斯加东部地区) 内的断层特别重要。这些区域内断层的再滑动时间间隔长短不一,可以从几年一直到跨越了该构造区整个地史年龄中很长的一段。

地震风险的观测技术

A、断层的描绘

在近海地区,利用地震反射剖面方法可以很好地完成有关地质构造和断层的填图。为了获得穿透距离和析象能力的范围,必须使用各种不同类型的设备,如: 12 和 3.5kHz 微型电火花器,单杆悬臂 (Uniboom) 电火花器,空气枪和侧向扫描声纳。海岸地震网已被广泛地应用,但对远离海岸的地震进行外推时会随距离的增加而变得不准确。使用海底地震检波器 (OBS) 是需要的,但是还没有充分广泛使用,所以还不能通过微震活动对断层作定量的评价。

B、强地面运动

用三分量强运动加速度测量仪得到的地面震动记录,来评价地面位移历史,持续时间、振幅大小和振动频率。当一个地震的初动超出了 $10^{-1}g$ 通常预定的加速度值时,这些仪器往往被这个地震事件的初动所触发。

C、弱地面运动

由远距离地震传来的长周期表面波，能产生弱地面运动。在稳定边缘的斜坡上，这种波可以引起海底的滑动和液化作用。

弱地面运动可以持续 10s 到 60s，这些数据不可能由强震加速度测量仪测得，可以通过标准的长周期地震仪测量。

D、地震活动

局部的和区域的地震活动对强运动的评价是极其重要的。确定地震活动性包括两个关键因素：

- a) 地震量级的空间和时间分布；
- b) 一个区域中最可信和最可能的地震量级、发震的时间间隔和震中的位置。

虽然地震活动是出现在每个区域中的一种现象，但某些带，如板块边界则地震活动频繁。对这种区域进行开发时，设计规范要考虑这些影响（图 1-1；Oliver 等，1974）。

在考虑最可信地震时，除去对发生概率足够大的地震给予注意以外，很少注意到地震发生概率。在确定最可信地震时，要考虑下列几点：

- a) 区域地震史。
- b) 区域构造背景。
- c) 主要断层的长度。根据经验，断层的长度必须至少是表面破裂最大长度的两倍（Henyey 和 Teng，1976）。
- d) 断层的类型。

如果可能的话，地震活动的研究，一般要包括断层面的分析。这就是说，如果台网覆盖面积足够大的话，对代表性的地震事件都要确定其滑动的方向和断层面的方位。这些数据不仅提供了关于“断层性质”的信息，而且也给出了最大压应力的方向。

E、滑坡和液化的可能性

在后面几章将要讨论滑坡和液化的可能性。在 Sangrey 的文章中也要讨论到它们。

F、海啸

除非海啸事件是局部的，海啸预报系统都能提前几个小时发出海啸预报。海啸导致的风险取决于其运动方向、局部水深和海岸线的形态。理论上的和实验室规模的模型，能对远距离的和本地的地震海浪提供很好的、合理的定量数据。这种分析是花费时间的，因此必须提前进行。海啸对岸边建筑物和设备的破坏，可以远远大于地震的直接破坏。

G、地震风险资料的来源

在表 1 中列出了地震风险资料的主要贮存和有效数据类型的近似评价。工业方面的数据几乎都是有专利权的，因此可得到的信息是不详细的。

（二）近地表岩石的破裂

这一短章重复了上面的部分内容，对下面几章的内容也有所重复。区域性地震活动可以是造成近地表岩石破裂的主要原因，但不是唯一的原因。同生断层、大断层和沉降作用可以造成附加的断层，以释放张力和压力；所形成的断层可以将固结的海底物质断开（参看 Sidner 等，1978，Bouma 等，1978a 中的其他文献）。

滑动也是造成断层和近地表岩石破裂的原因，特别是当大的固结块体顺坡滑动的时候。然而，同样的结果也可以在相当年青的胶结石灰岩中产生。如果未胶结带起到了剪切带的作用，那么也可以发生滑动和滑塌。

象典型的底辟那样，物质局部向上运动一般会引起断层和破裂，常常造成油和气的渗出

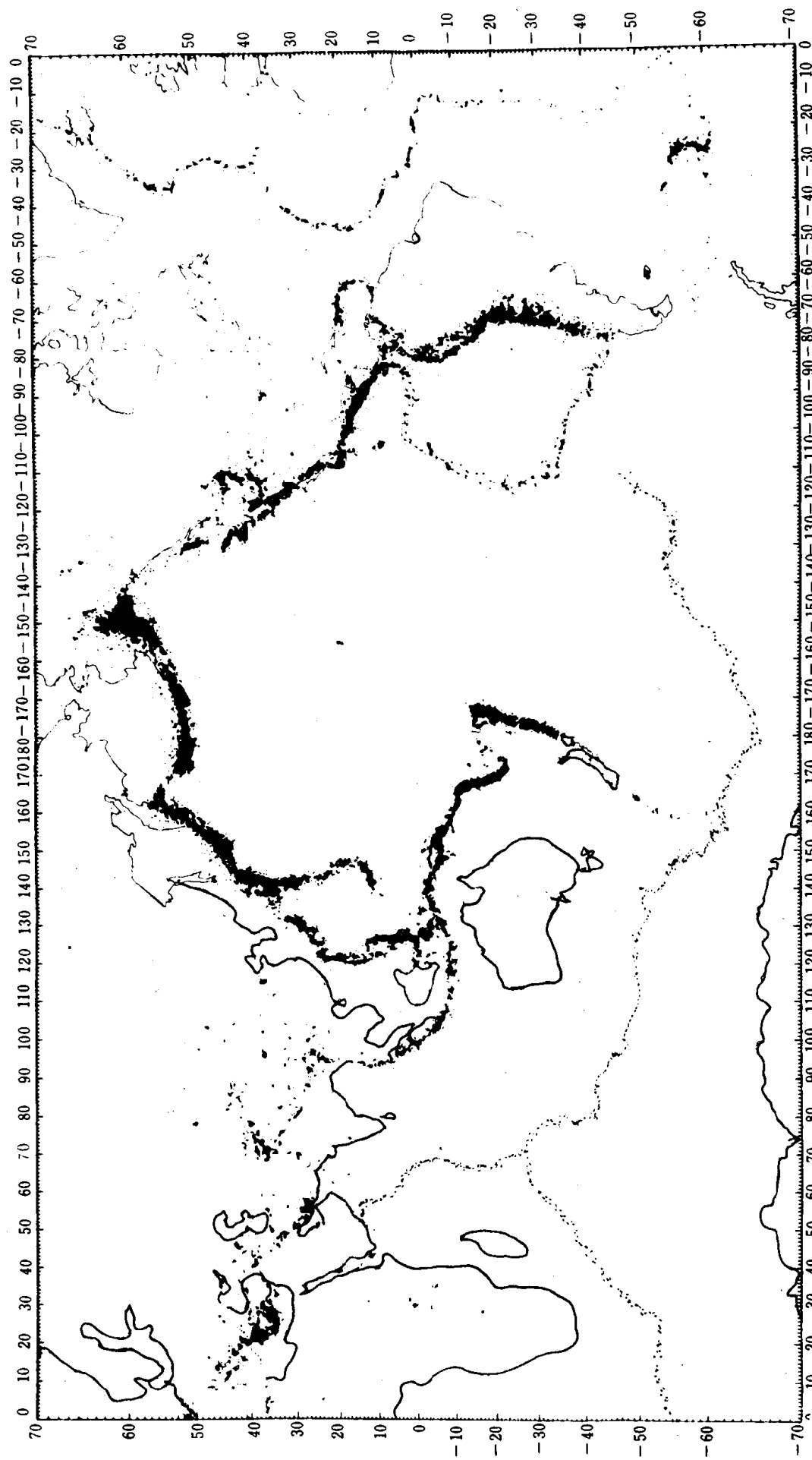


图 1-1 世界上 0 到 100km 深度的浅震震中分布图 (1961~1967) (据 Oliver 等, 1974)

以及充填气体的沉积物（参看 Halbouty, 1967, 和下面几节）。

（三）火山活动

已租让出去的外大陆架中除了一个以外，其他所有的都没有受到附近火山活动的威胁。然而，除去阿拉斯加的下库克湾和阿留申山脊以外，美国本土以外的其他产油区都非常靠近活火山。

当主要的火山喷发（例如 Krakatau）引起海啸时，海底火山活动可以对近区和远区的近海和岸边的设备造成危害。海啸的影响在浅水区应该最大。

虽然空气和水的震荡波、海底熔岩流、海底的震动、火山碎屑降落以及热气体和酸气体等都可以起到破坏或腐蚀作用，但小面积的火山活动对近海建筑物的破坏性通常最小（取决于接近的程度）。

Augustine 岛位于外大陆架租用区的下库克湾里，它是一个活火山。对于这个火山几乎没有可利用的关于海洋风险的资料。而高分辨率地震剖面所表示的熔岩流不能确定时代，不知是属于海底熔岩流，还是过去低海平面时期所产生的地表熔岩流。Juergen Kienle（阿拉斯加大学，个人意见交换，1978）计算出这个火山在 1976 年 1 月份的活动释放出的能量是 1883 年 Krakatau 火山喷发时所释放能量的四倍。其产物的岩相学特征及对它的观察表明，当时它呈现出炽热火山云产状（快速流动和湍流气态云状物，有时炽热，在下部含火山灰和其他火山碎屑物质）。在小安的列斯群岛的马提尼克岛上，培雷火山喷发时，由炽热火山云引起的破坏是很著名的。这次喷发是在 1902 年，瞬间圣皮尔城几乎全部毁灭，造成大约 30000 人死亡（Bolt 等，1975）。测出的速度超过 150km/h。当炽热火山云遇水时，它所表现的性质尚未作过科学的观察和测量，虽然就火山灰运载而论，移动 10km 远的距离是很可能的。非气化部分到底运移多远还未作过有效的观察。

炽热火山云可能是一种非常严重的潜在威胁。一个火山的出露或淹没部分可能导致地热活动和出现高的热流值，如果没有采取有效的保护措施，两者都可能影响石油的生产（Pulpan 和 Kienle, 1979）。

火山灰雨及其他喷出物可能会对近海的工作及人员构成威胁，但正常的预报可以避免事故的发生。天然湖坝的破漏可以引起火山泥流，这对下游会产生非常大的破坏。Juergen Kienle（阿拉斯加大学）认为这种事件将会在 Iliamna 附近及阿拉斯加下库克湾西边的 Mt.Redoubt 地区发生。

在阿留申群岛的南部也有活火山，这一地区的部分区域已列入了未来出租的计划中。

（四）沉积物的不稳定性

“沉积物不稳定性”这个术语涉及了很广泛的一些现象，其中包含滑动、滑塌、流动和液化，以及由于固结度、渗漏、气体充填沉积物、构造活动性和底辟作用等因素引起的不稳定性。由溶解产生的塌陷现象（如喀斯特现象）可能属于这一类。虽然不应小看塌陷的影响，但本文将不讨论喀斯特现象。

下面列出了一些主要特征。这些特征有可能表示了不稳定的沉积物：

- ① 具有扭动表面的阶梯状断层；
- ② 变形层理，不连续的地震反射层；
- ③ 内夹混杂物；
- ④ 起伏地形；
- ⑤ 外来岩块；

- ⑥外来岩块，平面上呈伸长状、剖面上呈透镜状；
- ⑦迁移过的岩性或生物群；
- ⑧声波穿透层；
- ⑨沉积物异常厚的堆积；
- ⑩平滑地形；
- ⑪具有明显的平滑基底及不规则顶部的沉积单元；
- ⑫拉裂型沉积构造；
- ⑬层变薄；
- ⑭浅断层和裂隙；
- ⑮砂火山，其内、外有排水特征；
- ⑯封闭凹陷；
- ⑰边缘滑动；
- ⑱渗漏；
- ⑲伏冰；
- ⑳大、小底辟，沉积岩墙或泥质块体；
- ㉑地震波速的下降或上升，地震剖面上相位的改变。

1. 影响因素

对沉积物不稳定性可以产生影响的因素是以下几点。

A、倾斜底面

在堆积的速度很快而造成低固结和高孔隙压力的物质中，即使坡度角远小于 1° ，也可以发生滑动或滑塌。

B、厚层堆积物

这些堆积可能是在较长时期，以缓慢速度堆积的；或是在较短时间内以高速度堆积而成。当堆积速度缓慢时，如果脱水作用与沉积作用相适应，而且胶结又起着重要作用的话，固结作用可以是正常的，甚至是快速的；这样形成的沉积物通常是稳定的。快速堆积会阻碍正常的脱水，使沉积物固结不好，因而沉积物堆积易于不稳定。当正常固结或超固结的沉积物上有一个或多个低固结层呈互层时，便产生这些因素的综合，这时没有内部变形也可使块体移动。

C、沉积物在高地势上的堆积

高地势上堆积的物质很容易滑下来，因为其周围都是斜坡。但是，不稳定性仍然是堆积速率、固结度和倾斜梯度的函数。即使沉积物附着很好，但如果外层物质比内部物质松散，或者荷重太大，或者上层物质在基底物质上停歇不住，或者存在严重的生物扰动，或者基底物质也运动的话，则部分块体也会向下运动。一个近海建筑物，特别是能引起震动或自上而下传递震动和运动（风、水作用）的建筑物，在该类区域定址之前，应该考虑进行充分的区域调查。

D、断层密集地区

如果断层不活动而且表面又分解为地垒和地堑，则沉积物可以在易保存的地堑区与相邻的地垒区以不同的速率堆积，这些不同的速率会产生不同的固结度。因此，在陡峭的斜坡和顶部的边缘将不稳定（参见3）。在活动断层带，当沿断层产生运动且由于地震波穿过沉积物，破坏了其内部强度时，沉积物也会发生运动，造成滑塌、流动、液化或共生气体的释放。

E、大暴风浪

大暴风浪可以引起一个构造内部的剧烈震动，而震动又可以传播到海下的沉积物；大暴风浪也可以直接影响海底沉积物（参看下一章）。为了了解一定类型的沉积物是否受到这种作用的影响，研究者需要得到关于水的深度以及预测的最大暴风浪的高度、周期和方向方面的资料（Suhayda, 1977）。

F、倾斜坡

当陆上的岩石建造由各种不同强度的岩层组成，或者由很容易吸附雨水而溶蚀的岩层组成，则倾斜坡的不稳定性是众所周知的。这种影响在水下可能不严重，除非构造使一个软弱层过于陡峭而成了一个滑动面。

G、内部强度低的岩层（参看第二篇）

当我们在得克萨斯 Galveston 之外的上大陆架使用一种柔性的衬管岩芯提取器时，我们注意到了在正常固结沉积物之间有一层大约 10 厘米厚的软层。对这一含水低固结带的成因没有作详细的考察。有人认为这可能是一含水层。我们也注意到，在同一位置取的一个活塞岩芯不包含这个软弱带，而在射线照片上表现为一段细的接触线，这表明此软弱带在取芯时被挤到岩芯外面去了。这种带可以出现在不同深度上，而且不可能被取芯。如果测井的分辨力足够高，那么电法测井可以显示出这种异常。根据这个软弱带的分布范围、坡度以及此带的固结程度与彼邻物质固结程度的差别，可以确定出附加荷重，特别是附加的动力荷重是否会引起灾变。

H、泉或含水层

象前面提到的那样，泉或含水层可以使一个区域的岩层软化。注入水的盐度和其它化学成分与层间水的盐度和成分的差异，可以增加或削弱沉积物的强度。

I、快速沉积（参看上面 B 的内容）

低固结是细粒沉积物快速沉积的正常结果，使得沉积物趋于非稳定状态。这种沉积物将有高的含水量（大的孔隙压力）和低剪切强度。常规的地质工程测量将会提供有关沉积物强度的资料。

J、活动的地震现象（参看 D 及前面的章节）

K、活动褶皱

Hampton 和 Bouma (1977) 得出这样的结论，在阿拉斯加 Kodiak 岛外的上大陆斜坡上，滑塌和滑动最初主要是由斜面的坡度增加而引起的。坡度的增加是由于在陆架坡折之下的背斜生长引起的（参看图形出现的电火花记录和据 Sangrey 所作的 Kodiak 岛外的线条画，见第二篇）。

L、沉积物中的游离气体

对沉积物中有关气体作用的研究越来越重要。在许多地方，利用地震反射记录，我们可以识别有气体充填的沉积物，虽然过去的解释有时可能太任意了。顶部沉积物中，大部分气体是生物成因而不是造岩成因的，其中甲烷是主要成分，也常常是唯一的成分。目前对于气体压力的影响、沉积物孔隙中气体的分布、动力荷载下溶解—分解作用、沉积物的弱化、喷发的可能性以及向上散布的特征等，仍然了解得很少。然而，我们知道气体充填的沉积物可以起到有害的作用，因此，这些研究是头等重要的。

气体沿断层的渗漏逸出，似乎是在不规则的间距上发生的，因为事后要重新确定渗漏的位置常常是不可能的。出现气体渗漏（依靠地震检测或气体检漏仪检测之）是对研究者提出

的警告，但是找到出口的气体比起封闭在沉积体中的气体来，危险性要小些。因为后者没有逸出的机会，因而压力很大。

M、渗透性的反差

在很多地区，沉积物的孔隙度和渗透率通常随深度而变化。不透水层可以封闭下边岩层，如果存在气体，则使得气体的压强增大，或者在固结过程中阻止水的逸出。这种岩层的稳定性减小，但未必会达到危险的程度。渗透性的反差也可以产生降压带，造成钻井时环流物的损失。

N、永久冻土

在任何近海区和海岸上，永久冻土都可以造成严重的问题。北极地区的钻井活动和阿拉斯加输油管线的铺设工作，对了解这些问题做出了巨大的贡献。永久冻土区的主要危害是，由于溶解作用使沉积物强度减弱。

2. 资料

在正常的环境地质研究中，使用高分辨率地震反射仪，侧向扫描声纳和取芯或钻孔设备，可以探测到前面提到和概略地讨论过的很多现象。然而要确定一种特征是否有潜在的风险性，还需要土工测量的定量资料。例如，倾斜的沉积物是最容易滑塌的；位移沉积物的最终停歇位置及其状态可能是极不稳定的。这种滑塌的出现也表明，这个区域中的不稳定条件造成了滑塌。因此，在作土工测量时，不仅对滑塌块体本身，而且对周围区域也应该取芯。

已经出版了许多有关非稳定沉积物的地质和土工技术方面的文章。因而，这里和在本篇的其它段落中都只列出其中的一小部分：Moore, 1961; Dott, 1963; Sharpe, 1968; Sangrey 等, 1969; Wilkinson, 1971; Bouma 等, 1972; Fischer 和 Stevenson, 1973; Carter, 1975; Henyey 等, 1975; Richards 等, 1975; Demars 等, 1976; Idriss 等, 1976; Kallably 和 Capanoglu, 1976; Keller 和 Bennett, 1976; Lane 和 Macpherson, 1976; McClelland, 1976; Suhayda 等, 1976; Westneat 和 Porter, 1976; Anderson 和 Clark, 1977; Embley 和 Jacobi, 1977; Field 等, 1977; Garrison, 1977; Garrison 和 Bea, 1977; Hampton 和 Bouma, 1977; Hampton 等, 1978; Sangrey, 1977; Sidner 等, 1978; Bouma 等 (编辑), 1978a; Teleki 等, 1979; 以及 1979 和 1980 年近海技术讨论会 (OTC) 会议录的其他文献。

同地质风险有关系的资料不是总能数字化的，因此，资料库中只有一小部分可直接使用 (表 1-2)。通常必须同主要研究者取得联系，以获取某些详细的资料。部分土工技术特性以报告的形式发表，有时在文献中也公布了一些结果。

表 1-2 与非稳定沉积物有关的资料库

资 料 来 源 风 险 性	美国国防部	国家海洋和大 气管理局	国土管 理局	美国地质调查 所	石油公司国际 财团	工 业 界	大 学	学 会
“软质”沉积物	D	D	D	D	D?	D	D	D
非稳定沉积物垂直和 水平运动	D	D	D	D	D?	D	D	D
近地表地压下的气体浓度	F	F	F	D	D?	ND?	F	ND
天然油和天然气的渗出	D	D	D	D	D?	D	D	D

D—只限于某些区域的资料；F—只有少量资料点；ND—无资料

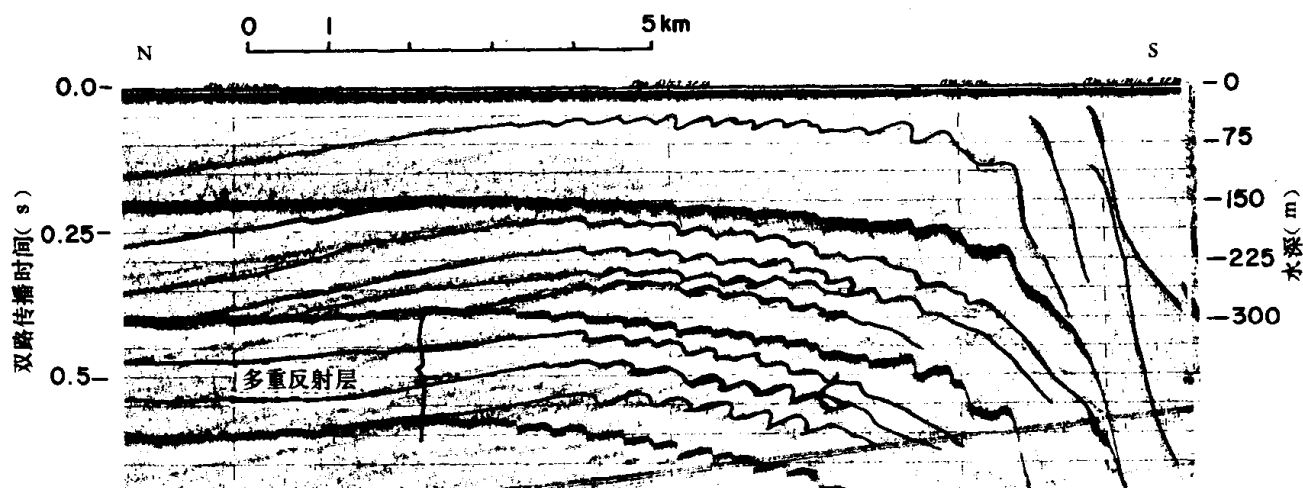


图 1-2 阿拉斯加 Kayak 岛南面陆架边缘上阶梯状断层的微电火花剖面
垂直比例尺约放大 10 倍 (经 P.R.Carlson 同意引用)

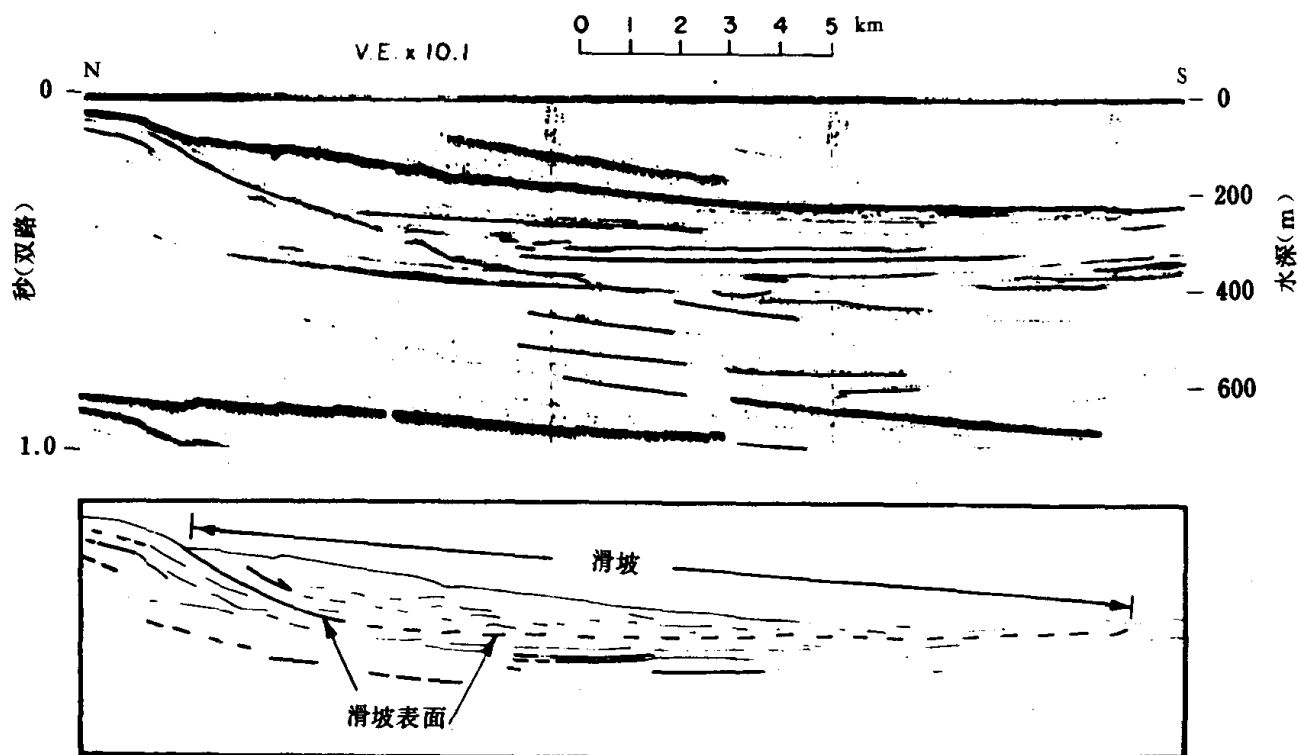


图 1-3 阿拉斯加的 Kayak 海槽滑动块的微电火花记录和线条画 (据 Hampton 等, 1978)

3.对几种风险的评述

A、具有扭动面的阶梯状断层，滑塌

阶梯状断层通常表示滑塌或滑动，而不是构造上的水平断错 (图 1-2)。Varnes (1958) 把“扭动滑塌”这个名词应用于与构造本身比较起来，位移量较小的构造上。这种构造通常是高起伏的，在地震记录上它可以高达 60m。滑动面是弯曲的，顶盘悬崖被削平是很明显的 (图 1-3; Hampton 和 Bouma, 1977; Hampton 等, 1978; Carlson, 1976;