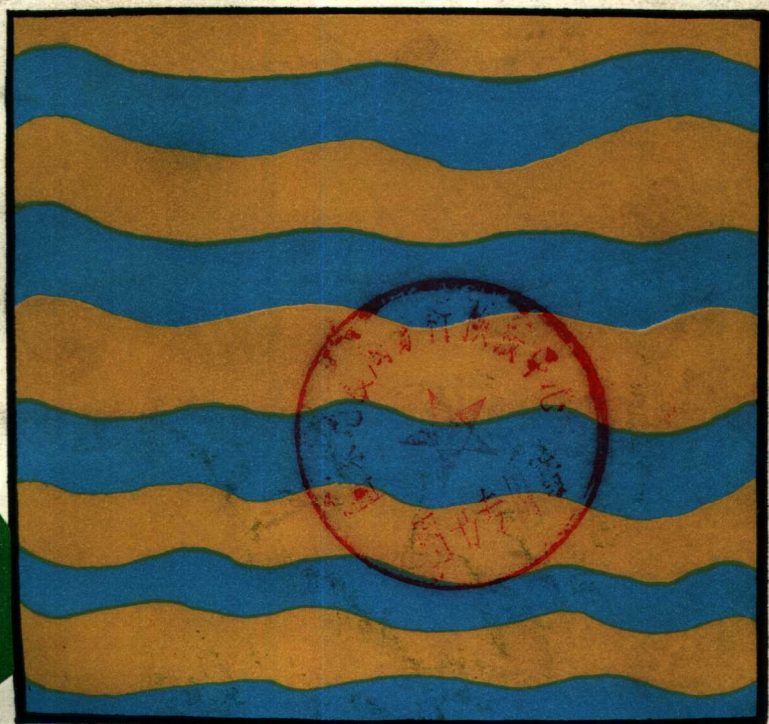


56.25
5757

地震和地下水

[苏] И.Г.基辛著 单修政译



地震出版社

地震和地下水

(苏) И. Г. 基辛

单修政 译 张炜 校

地震出版社

1986

内 容 提 要

本书主要介绍了水文地质学和地震学之间发展起来的新的研究方向,探讨了地下水和地震之间的相互联系和相互依赖关系,同时也涉及到地震预报、人工地震等问题。作者避开了繁杂的数学推导,力求用通俗易懂的语言让更多的读者掌握地震知识。

读者对象:从事地震、地球物理、地震地质的专业人员和具有高中文化程度以上的业余地震工作者。

И.Г.КИССИН
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И
ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ
ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1982

地震和地下水

(苏) И.Г.基辛 著

单修政 译 张炜 校

责任编辑:单心福

地震出版社出版

北京复兴路63号

测绘出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

787×1092 1/32开 5.125印张 116千字

1986年2月第一版 1986年2月第一次印刷

印数:0001—2500

统一书号:13180·306 定价:1.25元

引 言

在地下深处，一刻不停地发生着改变地球外貌的内部过程，这些变化大都是缓慢的和逐渐的。精密测量表明，地面上的一些地区在上升，另一些地区在下降，甚至各大陆之间的距离也不是一成不变的。有时，内部过程进行得异常剧烈，地震或火山喷发的巨大自然力使城市变为废墟，使整个地区毁灭。

受地震威胁的地区很大，很多人口稠密区，甚至整个国家，例如日本都处于地震威胁之下。地震的最大危害在于它的突发性和不可避免性。但是，近年来的科学成果不仅开创了预报地震的可能性，而且开创了控制地震发展过程的可能性。

众所周知，在很多情况下，地震是由人类活动引起的。已经查明，水是人对于天然地震现象起作用的有效媒介。

这是一本有关地震和地下水关系的书。地下水广泛分布于地壳上部。作为最重要的矿产，它的价值是不可估量的。地下水是最好的供水水源。矿水是治疗许多疾病所必不可少的。热水（温泉水）是为数不多的新兴的能源之一。含有贵重矿物成分的工业水被用作化学原料。地下水是地壳最活动的组成部分——它参与了包括地震在内的许许多多的地质过程。

当前，不同学科间相互渗透已是司空见惯的事。仅仅在不久前，地震学（关于地震的科学）和水文地质学（关于地下水的科学）还很少有共同之处，但近 10—15 年来已经查明，地下水可以影响地震的孕育过程，而地下水和气体特征在数

量和质量上的某些变化又成为地震的前兆。

地下水和地震的关系还表现在其它方面。地震烈度的变化与地下水位有关，比如，地下水位为 1 米深的地区的地震破坏效应明显地比地下水位是 10 米的地区高。强震对地下水有很大的影响：新水源出现，旧水源消失，地下水的流量和水质发生变化。

地下水在与人类活动有关的地震机制中起着特殊的作用。天然均衡的破坏导致自然过程向不利的方向发展，这样的事例越来越多。以容易受到人类影响的地壳和地表为对象的地质体（Геологическая среда），好象是周围环境中最稳定的和一成不变的。然而经验表明，人类以很少的能量改变水动态时，能够引起强烈的甚至是破坏性的地震。

涉及到地震和地下水关系的许多问题都是不久前才出现的，其中某些问题刚刚开始探讨。正因为如此，本书中叙述的问题不都是无可争辩的。显然，本书论及新的研究方向——地震学中的水文地质方法，争议是不可避免的。

目 录

引 言

自然破坏力	(1)
1. 地震史料	(1)
2. 地震和地形	(6)
3. 地震发生在什么地方	(14)
震源和地震孕育过程	(22)
1. 什么是震源	(22)
2. 地震的孕育	(26)
地球内部的水	(30)
1. 岩石——地下水的贮藏所	(32)
2. 地下水成因分类	(33)
3. 地下水的物理性质和化学成分	(37)
4. 关于地壳不同地带和上地幔水的现代概念	(40)
地下水对地震孕育和地震活动的影响	(49)
1. 水和震源力学过程	(50)
2. 地震孕育中的雷宾德尔效应和其它物理 化学现象	(55)
3. 地震活动性与地下水动态的关系	(61)
4. 地下水对地震烈度和震害的影响	(66)
激发地震或人工地震	(68)
1. 地震和水库	(68)
2. 地震和压力钻孔	(77)
3. 激发地震的主要特征	(81)
水——激发地震的主要因素	(84)
1. 是重力负荷还是地下水的压力	(84)

2. 激发地震的水文地质条件	(87)
3. 雷宾德尔效应对激发地震的可能影响	(90)
4. 降低孔隙-裂隙压力与地震活动性	(91)
5. 控制地震的前景	(95)
地震对地下水的影响	(100)
1. 地震的水文地质效应	(100)
2. 地震对矿化水的影响	(108)
3. 地震和石油开采	(113)
地震能否预报	(114)
1. 困难的地震预报之路	(114)
2. 地震前兆	(122)
流体地震前兆	(129)
1. 地下水是怎样随着时间变化的	(130)
2. 地震的水文地球动力学前兆	(134)
3. 地震的水文地球化学前兆	(144)
参考文献	(154)

自然破坏力

1. 强震史料

1979年4月4日在巴黎的一个联合国教科文组织总部的大厅里放映了一部影片。日本的地震学家和记录片制造商收集了20世纪以来强震时拍摄的珍奇镜头：建筑物正在坍塌，列车在倾倒，巨浪冲击着海岸，冲去沿途的一切。大厅里坐着国际地震预报讨论会的代表，他们之中有来自日本、苏联、美国和其它一些国家的最有名望的地震学家。但是，即使是这些熟知强震后果的人们离开大厅之后，也为来自地下的灾难所震惊。

地震在地球的各个地方周期性地发生，其破坏后果是各种自然灾害中最主要的。从历史资料看，强震主要发生在地中海区域、中国、日本和其它一些国家。

公元526年地中海沿岸的一次地震造成巨大破坏，死亡达20万人。在中国的陕西省，由于1556年1月23日的灾难性地震，死亡人数达83万，居住在窑洞中的农民因巨厚黄土层的坍塌而毙命，还有许许多多的人由于饥饿和流行于地震区的疾病而丧生。

据统计资料，从公元5世纪起，日本人平均6.5年遭遇一次地震，而且，巨大的灾难不只由陆地上的地震引起，还有海啸——发生在海底的地震产生的巨浪。海啸的产生多半与海底地壳的垂直运动有关——与位于该地壳之上的水柱的抬升或沉降有关，结果，产生了速度很大、传播距离很远的波浪。

历史资料记载了 1755 年 11 月 1 日的里斯本一次最大的地震。这天，在间隔不长的时间内，一个紧接着一个共发生了 3 次地震，结果使这座拥有许多宫殿和大教堂的美丽城市遭到彻底毁灭。市内还燃起了大火，因道路堵塞和断水，烈火无法熄灭。第二次地震时，站在堤岸上企图逃难的人们连同堤岸一起沉入水中。震后，该地区海湾的深度达 200 米。

地震产生的巨浪（根据有的资料记载，里斯本的浪高达 26 米）洗掠了沿岸地带；同时，有数万人丧生。在西班牙沿海的加的斯海湾，海浪高达 20 米左右；在非洲沿海，丹吉尔的浪高 6 米。葡萄牙和西班牙的许多城市都受到里斯本地震的破坏，其后果在西欧许多国家都有记载。

地震造成的破坏和伤亡，并非都能反映出地震的强度。损失不仅取决于地震的强度，而且取决于震中附近极震区的人口密度、建筑结构特征、发震时间。地震的强度用烈度表示。苏联和其它许多国家采用Ⅷ度烈度表。地震的能量指标用震级表示，一次最大能量的地震，其震级不超过 9 级。

在 20 世纪的地震目录中，有许多破坏性地震的资料，在各大洲都发生了震级大于等于 8 级、烈度为Ⅸ—Ⅹ度的破坏性地震。根据某些资料统计，死亡总人数约为 150 万。

1906 年 4 月 18 日 5 时 12 分，美国加利福尼亚的圣安德烈斯断层活动了。许多强烈地震都曾与地壳上这个巨大的、在太平洋沿岸延伸数百公里的断层有关。地震时，断层两盘曾发生相对位移。

长达 400 公里的圣安德烈斯断层几乎都发生了错动，根据分段测量，沿断层的最大水平位移是 6.4 米。震中位于圣弗兰西斯科（旧金山）附近。建在松散堆积层地区的建筑物受灾最重，而坚硬基岩上的建筑物保存得较好。由于供水系

统遭到破坏，无法扑灭烈火，烈火给城市造成的损失更大。熊熊烈火烧了三天三夜，圣弗兰西斯科所有有用的东西都遭到破坏。

加利福尼亚地震的有感范围是 78 万平方公里，震级 8.2 级，震中烈度Ⅺ度。除圣弗兰西斯科外，遭受强烈破坏的城市还有圣何塞、帕洛阿尔托、圣罗莎等。结果，700 余人丧生，25 万人受伤。

1923 年 9 月 1 日日本东京地震。发生在本州岛最繁华地区的这次地震，其震级是 8.2 级，震源位于相模湾的海底。地震和与之伴生的 10 米多高的海啸给海湾沿岸的许多城市造成巨大灾难。

距这次地震震中分别为 90 公里和 65 公里的东京和横滨遭到了破坏。这些城市因地震和火灾损失了几十万幢房屋。地震发生在中午，许多人因在公园和开阔地带而脱险。但火势也蔓延到这些地方，例如，在东京的一个广场上，炙热的空气烤死了 4 万余人，当时，广场周围所有的建筑物都燃起了熊熊烈火(Ходжсон, 1966)。桥梁和地铁也被毁坏，东京到横滨间的一些列车翻倒了。大约有 15 万人死于这次地震，财产损失估计达 30 亿美元。

1948 年 10 月 6 日苏联阿什哈巴德地震。毁坏了土库曼首都的这次地震发生在 1 时 12 分。主震之前经常发生的、能给出预报信号的前震，在这次地震前没有发生。这次地震的震级是 7.3 级，震中烈度Ⅸ—Ⅺ度。这次地震在莫斯科造成的地动位移为 0.4 毫米。部分地区地面产生的地震裂缝长度超过 70 公里。极震区的走向沿着科佩特山山前地带。

阿什哈巴德的大多数工程设施被毁坏，很多砖坯建筑坍塌。附近的居民点以及伊朗城市杰列格兹、哈克斯捷尔、克

拉特遭到类似的破坏，伊朗境内 30 多个村庄成为一片废墟（苏联本土的新强震目录，1977）。地震破坏了阿什哈巴德地区的铁路网，地面出现了许多裂缝，震中区的一些裂缝宽达 0.5 米。正如地球物理学家 Г.П. 戈尔什科夫所说，以前在这个地区没有发生过如此强烈的地震，建于 1540 年的 安娜乌清真寺以及许多其它古代建筑物保存完好就足以证实这一点。

1960 年 5 月 22 日智利地震。这次地震波及到智利中南部的广大地区，是 20 世纪最大的一次地震灾难。根据不同的地震台站的资料计算，这次地震的震级在 8.4—8.9 级之间。智利地震引起许多学者的注意，其中有著名的火山学家 Г. 塔齐耶夫，他曾在地震后不久即抵达智利，在他的一本有趣的书中（1968），对这次灾难作了清晰的描述，我们引用了其中的几段。

烈度为Ⅷ度的第一次地震是在 5 月 21 日早晨记录到的，其震中位于康塞普西翁市之南，阿拉乌科半岛上，该市和其它一些城市的许多建筑物遭到破坏。随后，很快发生了烈度相同的第二次地震，之后是一系列小震。

主震发生在 5 月 22 日 15 时 11 分，主震前的 15 分钟有两次强前震，它们引起居民的极度惊恐，迫使他们撤离房舍。对成千上万的居民来说，这是个救命的信号，他们在街道上逃避了灾难。烈度为Ⅺ度的主震破坏了瓦尔迪维亚市、普埃尔托蒙特市和卡斯特罗市，毁坏了太平洋沿岸大约 600 公里长的地带，这里彻底毁坏了 5 万多幢房子。震中位于康塞普西翁和瓦尔迪维亚之间的大断层上，该断层呈近南北走向，长达数百公里。在很长的一段时间内，许许多多的余震（其中有震级达 7 级的强余震）不时地摇撼着这个灾区。

正如Г.塔齐耶夫在著作中指出的那样，在智利的受灾区，各地区破坏的程度又因土质条件的差异而有明显的不同。在古河道上，以及建在松散、饱水土层上的建筑物全部倾倒，这些地区的地震烈度最高。在瓦尔迪维亚和普埃尔托蒙特，由于振动使饱水粘土层发生液化，并流向附近的低洼地带。与此同时，地面塌陷也引起了次生灾害。在地层坚硬的地区，震害显然轻一些。

智利地震在陆地上引起一些地区下沉，一些地区上升。主震后两天，普耶乌埃火山也开始猛烈地喷发。

智利地震产生的巨大海啸也造成了破坏和伤亡。主震后海水很快后退，随后，高达5米的海浪扑向海岸，接踵而来的海浪更大：第二个浪高8米，第三个超过10米。海啸之前海水迅速地退却露出了海底。巨浪吞噬了港口和沿岸低洼地区的房舍，死亡1千余人。

智利海啸的波浪以每小时700公里的速度沿太平洋推进。在夏威夷群岛，12米高的海浪冲击着希洛，沿岸一带荡涤无余。在这里，虽然对海啸的来临作了及时的预告，但很多人因来不及撤离而丧生。地震后22小时，巨浪到达日本本州岛和北海道的太平洋沿岸，结果，因受海啸的侵袭，在这些岛上有数万人受伤，舰船和港口设施严重受损。

1964年3月27日美国阿拉斯加地震。这次地震震中位于布里斯-维利亚姆海湾沿岸，该海湾位于阿拉斯加南部，烈度是Ⅹ—Ⅺ度，震级是8.4—8.6级。这次地震与穿过阿拉斯加南海岸的阿留申深海沟地区的地块运动有关。

地震在2万平方公里的范围内造成巨大破坏，严重地摧毁了震中西边130公里的安科雷季市：许多设施由于地震引起的沙土液化和多处滑坡而倾塌。地震在很大范围内引起地

面变形：隆起、沉陷、大断裂。

阿拉斯加南部沿海地区还受到海啸的袭击，冲向海岸的巨浪吞没了船坞，荡涤了距震中 70 公里的瓦尔迪兹市近海地区。海啸冲向美国、夏威夷群岛和日本海沿岸，给加利福尼亚的克列先特-西季市造成巨大损失，该市宽达 0.5 公里的滨海地区被海水淹没了。

2. 地震和地形

地壳在永无休止地运动着，其运动分为缓慢的，长期的，以及快速的(地震)。无论那一种运动，在漫长的地质史上都有表现，就是现在，各种运动仍然持续不停。

地壳结构中最古老和最稳定的部分是地盾。在地盾的边界地带，前寒武纪的结晶岩出露于地表。但是，即使在这些最稳定的构造部位上也能观测到现代构造运动。例如，占有斯堪的纳维亚半岛和苏联西北部很大区域的波罗的海地盾正在隆起，隆起的速率在地盾中央每年达 8—9 毫米，近 7 千年来上升的总幅度超过了 100 米。高精度重复水准测量表明，目前坎达拉克沙仍以每年约 2 毫米的速率上升(Нико-
нов, 1977)在乌克兰地盾的很多地区，现代垂直运动的速率也是每年 2—4 毫米。

在加利福尼亚，沿圣安德列斯断层的水平位移在地质史上持续了很长一个时期。根据美国地质学家 M. 希尔的资料，在晚白垩纪时位移量已超过 500 公里，从更新世起，断层两侧的错距差不多达 1.6 公里。在中亚的地球动力试验场，根据 A. A. 尼科诺夫的资料，现代垂直运动与地震没有直接关系，它的速率是每年数十分之一毫米到十分之几毫米，而在活断层地区，则是每年几毫米到数十毫米。

显然，地壳的长期运动不可能明显地改变地形，与地震有关的快速运动则截然相反。强烈的地震产生大裂缝，陆地或海底大规模地隆起或下沉，引起山崩或滑坡，形成新的湖泊。

1911年2月18日在帕米尔山区发生了一次震级大约是7.4级的地震，它引起巨大的山崩，从而截断了木尔加布河，随之形成了萨列兹湖。这次灾难发生在交通闭塞、人烟稀少的地区，很长时间内只有断续报道，直到1913年秋，Г.А.什皮尔科领导的帕米尔区域考察队才对湖区进行了详细考察，编制了新湖泊图，并对震害作了描述。由于地震在河谷地区引起山石松动，山崖崩塌把乌索伊村的54个村民全部埋葬在一大堆山石之下。乌索伊山崩是历史上已知的最大的一次：崩塌的岩体重达70亿吨，筑起的堤坝高达600—800米。在截断的木尔加布河谷，水位迅速上升，湖水很快淹没了萨列兹村。根据Г.А.什皮尔科的资料，1981年秋湖泊长26公里，现在长约75公里，面积88平方公里，最大深度超过500米。

有趣的是，当初，有些地震学家认为大规模的山崩是乌索伊地震的成因，而不是其后果。其它一些强震引起的山崩和滑坡也造成了堰塞湖。1959年8月，在美国的蒙大拿州，滑坡堵塞了密苏里河的峡谷，形成了克维伊克湖。为了防止堤坝决口淹没下游地区，很快挖掘了一个能够控制湖水位动态的泄水道。

1923年关东（日本）地震使地面产生了大幅度的水平位移和垂直位移。重复水准测量表明，相模湾沿岸的某些地区上升了1.5—2米，整个震区向东南移动，最大水平位移达4.5米。相模湾的海底地形也有很大变化——不同地区其

上升或下降可达 100—250 米。在 1300 余平方公里的海底发生如此大的垂直运动，即使是最强烈的地震，这也是一种异常事件。为了解释这种现象，日本的学者提出了各种成因：海底滑坡，沉积收缩，地块活动。但是，这些解释都不能令人信服。

1957 年 12 月 4 日戈壁阿尔泰地震 (8.1 级, XI—XII 度) 对地面作用的规模是独一无二的。这次地震发生在蒙古人民共和国南部。苏联科学院通讯院士 H.A. 弗洛连索夫和 B. II. 索洛年科率领苏联-蒙古考察队曾调查了这次地震的震情 (戈壁阿尔泰地震, 1963)。

据目击者反映，震时地震波是从地面传来的，这种波在其它强震时也常见到。然而，学者们总对这些目击者表示怀疑，因为震后在看到震波的地区没留下裂缝和任何变形的痕迹。有人推测，震波效应可能与强震对观测者视觉的生理作用有关，或者与震时大气圈的波动有关。

戈壁阿尔泰地震时出现了可见地面波，根据保留下来的形变痕迹判断，地面波由西向东传播，并和主破裂垂直。B. II. 索洛年科描述了可逆和不可逆波状位移，前者之后留下了裂隙网。裂隙的分布表明波状很陡直，波长达数米。在个别地段，地形上还保留着不可逆波状位移，其波长在 5—7 至 280 米之间。

戈壁阿尔泰地震极震区的面积是 7000 平方公里，呈走向北西-南东、长约 300 公里的条带。正象 B. II. 索洛年科所指出的那样，这里几乎形成了构造地质学中各种类型的构造断层，在整个极震区，延伸着裂隙组，有些地区裂隙很复杂，形成一些裂隙带。

在断裂构造中，有水平位移和垂直位移都很大的裂隙。

根据沿地震区延伸很长的裂隙判断，其南盘向东位移的剪切量是2—3米，部分地方达6—8米。垂直位移量亦达几米，多半不超过4—5米。在拉伸区，形成宽2—2.5米、局部达10—25米的张裂缝。

极震区中部分布着比图特构造，这里地震造成的断裂和破裂规模很大。由于地震，沿正断层大块岩体下陷，下陷的最大幅度达328米，据测定，水平位移数十米。在这里还产生了宽达12米、深4—5米的塌陷裂缝，在这个构造区内，山峰崩塌，坡度大的山坡发生塌方。在离比图特构造不远的乌利亚苏泰峡谷，也发生了山崩，山崩倾覆在河道上，一下子形成两个湖。

1960年智利地震时，在很大范围内地形发生了明显变化，极震区北部的滨海地带几乎上升了1.5米。在瓦尔迪维亚市区和奇洛埃岛，长500公里、宽20—30公里的沿海地区下沉了，致使发生了水灾。Г.塔齐耶夫(1968)考察了该地区后写道：“我的理智使我无法承认这个触目惊心的事实：在一分钟内，大片的陆地下沉了2米。瓦尔迪维亚以东和东南部的广阔山区，是因为滑坡和山崩受灾的，在一些情况下，大块的岩体沿着缓坡下滑，这种现象只有强烈的振动才会发生。

1964年阿拉斯加地震几乎引起长达1000公里的地带发生了变形。穿过科迪亚克岛、克纳伊半岛，然后到达安科雷季地区，下降幅度达2米(图1)。在下降区的东南方，紧接着是一片范围很大的上升区，上升区包括大陆架和大陆斜坡的毗邻地带以及维立亚姆太子湾的滨海地区，该地区的某些地方上升达11米。

地震曾造成大量的滑坡和山崩。山区一次大滑坡使体积

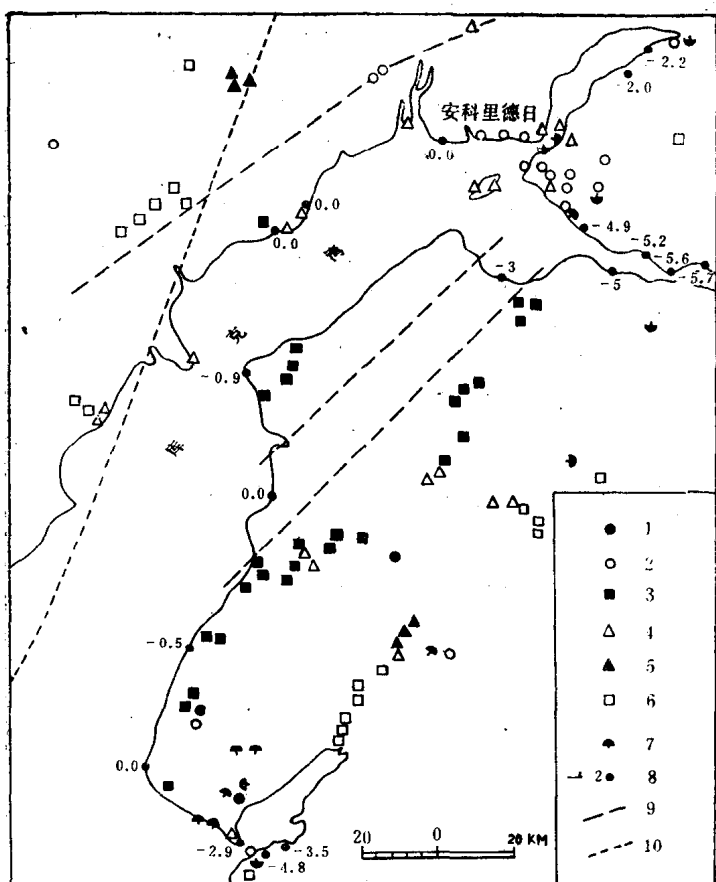


图 1 1964 年 3 月 27 日阿拉斯加地震在安科雷季地区产生的地面变形 (据福斯特和卡尔勒斯特罗姆)

- 1——从裂缝中喷出的含沙潜水；2——土壤裂缝；3——沼泽区裂缝或喷出的泥浆；4——岩层下沉产生的裂缝；5——喷沙裂缝；6——河流沉积的沙砾层上土壤受到破坏；7——滑坡；8——地面下沉或上升，单位英尺(1英尺=30.5厘米)；9——推测断层；10——地面水平变化的零线