

# 1985年墨西哥地震的经验与教训 (上)

Denis Mitchell 等

## 引言

1985年9月19日,在墨西哥 Jalisco 与 Oaxaca 之间的离太平洋海岸处发生了一次 8.1级地震。

这次地震在靠近海岸的旅游城镇只造成了中等破坏,但是墨西哥城所遭受的破坏和生命财产的损失却是前所未有的。地面运动的特点以及由于墨西哥城下卧软土层,使得这种地面运动的放大作用,导致地面运动罕见的强烈。据估计,这次地震约使1万人丧生,20万人流离失所。

地震发生之后,加拿大地震工程委员会(CANCEE)派出了一个五人调查组到墨

西哥城进行现场考察。

现场调查开始于1985年10月7日,其中包括在墨西哥城市区的震害调查和太平洋沿岸震中地区的地震考察。

## 一、震源特征

构造背景:

Cocos 板块向北美板块下面俯冲导致了墨西哥的太平洋沿岸的一些大地震的发生(见图1)。俯冲区的绝大部分长度是沿着一条深海沟和火山构成的一条内陆线。靠近1985年的断裂处,Cocos板块大约以每年60毫米的速度向东北方向俯冲。

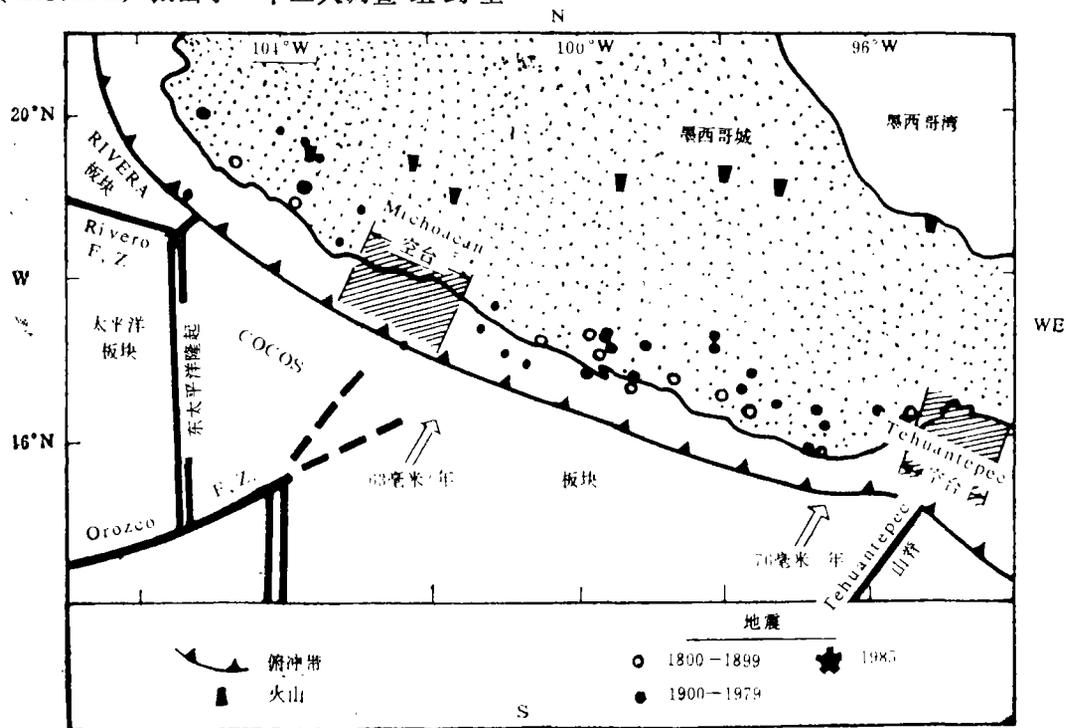


图1 墨西哥地震的构造简图

过去的地震，特别是震级为7.4~8.0级的地震，使得俯冲带约每30—70年就有一次长为100公里的区段发生断裂，唯独 Michoacan段在过去的70年当中或许从1800年或更早开始，一直没有发生过断裂。Singh 等经过反复考虑，认为Michoacan段可能是个地震空区(Seismic gap)，在这个空区大地震的重现周期不是30—70年而是200年。1985年地震明显地证实，由于板块俯冲使Michoacan区段发生了地震。

初步的分析认为，1985年9月19日的 $M_s$ 为8.1级的地震主要是向西北传递，在东南方向有一个短的破裂区段，总的断裂长度约为150公里。1985年断裂表明，它在靠近1981年 Playa Azul地震( $M_s=7.3$ )的震中，就已经开始了，只是1981年那次地震还不具备足够大的能量来填补上述地震空区。1985年9月20日的一次最大的余震( $M_s 7.5$ 级)发生在空区的东端，断裂长度只有50公里。其他余震似乎是散布于主震和上述最大一次余震所造成的断裂区稍微远一些的地方，它们自 Petatlan 区段的西端至 Colima 区段的东端把 Michoacan空区全部填满了。Petatlan 和 Colima 这两个区段分别在1973年和1979年发生过断裂。由于应变能积累不够，在1985年没有再次发生断裂。然而1985年地震的几次余震，已经分布到 Petatlan 空区，并进入到邻近的Guerrero空区。Guerrero空区在1899年和1907—1909年发生过断裂。由于先前一系列的墨西哥俯冲地震已经趋于向东南方向迁移。必须估计到Guerrero空区有发生大地震的可能性。

#### 强烈地面运动：

从Guerrero加速度台阵的20个台站和墨西哥城的5个台站获得了1985年9月19日地震的良好的数字化地面强震记录。

震中在 $150 \times 80$ 公里的平面上的初始断裂点距离La Villita观测台址仅45公里，估计断裂面正好在该观测台址下面20—30公里处通过。自震中，破裂以大约4公里/秒的扩展

速度跨越150公里的平面，因此能量的释放持续了30—40秒。从La Villita的记录可以看出，大约在初始断裂40秒以后出现了第二次断裂，代表第二次能量爆发，它使得振动持续时间延长(见图2)。近源地面运动的主要特点包括持续时间长峰值加速度想象不到的低。断裂带上方的地面峰值加速度在0.12—0.17g的范围以内。紧靠断裂带上方观测到中等程度的加速度并非一定是由于其他俯冲地震所致。例如，1985年智利俯冲地震的震中加速度达到0.7g (Anderson等1986)。

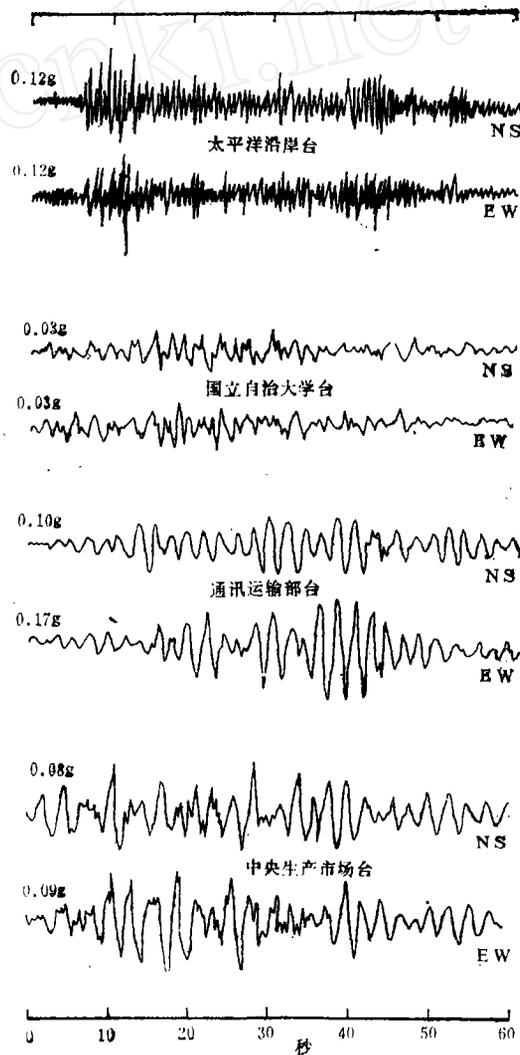


图2 各台加速度水平分量记录

## 二、震中区的破坏情况

考察队在震后三星期沿海岸的震中地区只在少许地点进行了观测。虽然在 Zihuatanejo, Lazaro Cardenas, Playa Azul, La Mira和Guacamayas等乡镇看到结构物有明显的破坏,但很多脆性的砌体结构却无破损。Balsas三角洲:

在靠近Balsas河口的Lazaro Cardenas镇,据在我们之先的考察者的估计,大约有85%的建筑物破坏,按照修订后的 Mercalli烈度表定为Ⅷ—Ⅸ度(Lomnitz和Casatnos1985),所有的10幢近代中高层(5—8层)旅馆遭到破坏并不得不停止营业。在相隔仅2—3公里之遥的河口附近,出现了烈度为Ⅸ或Ⅹ度的破坏,邻近的坚硬岩石上地面运动加速度都小于0.17g,这种高烈度可能是由于三角洲的软弱沉积层引起地面运动放大所致。

位于Balsas河三角洲南部尖端接近完工的Fertimex工厂,强烈的地面变形的迹象包括铁路道床的断裂,路轨屈曲,大约六处冒砂宽达三米;斜坡上的混凝土板发生屈曲,表明地表产生了约为0.001的永久应变。这个化肥工厂的大多数结构物都建在桩基上,虽然地面沉降达30厘米,震后却保持完好。

这次地震伴有海啸,估计高约两米(Lomnitz和Castanos 1985)。

在通往Lazaro Cardenas港的路上,两座并排的现代混凝土桥梁在可动支座处,由于相邻跨的相互碰撞,出现了剥落的痕迹,圆形桥墩由于箍筋间距过大,混凝土保护层剥落,纵向钢筋屈曲。附近的一根1.5米直径的混凝土水管在地下屈曲。建造在一座10层钢筋混凝土粮仓顶上的五层底檐,在根部出现了严重破坏。由于窗肚墙很高,墙柱实际长度很短,而产生了剪切破坏,结果使整个底檐下沉了约一米。在附近的码头上,一部分钢筋混凝土传输结构由于支承墩在基底处破坏而出现倾覆。

水电设施:

Morelos坝是一个高60米的堆土石坝,它建造在70米厚的淤积层上,坝冠出现少许沉降,并且有为数不多的混凝土栅栏板倾覆了。这个水坝和它的30.4万千瓦电厂及开关站都离La Villita加速度台很近,虽然该处台站记录到的加速度为0.12g,但电厂开关站和水坝均无破坏。坝冠沉陷达32厘米,上游坝肩向外位移16厘米,下游坝肩为10厘米;两个坝肩上纵向裂缝宽达15厘米。

在Morelos坝上游35公里处的Infiernillo坝,是建造在基岩上的高为146米高堆土石坝,此坝和它的92万千瓦的电厂只受到轻微的损坏,尽管在坝冠出现了12厘米的沉降,还有一些宽为10厘米的纵向裂缝。

Ixtapa的旅馆:

Ixtapa是一个旅游胜地,有九个主要的海滨宾馆,其中八个是10—15层的高层建筑。在主震时,所有的宾馆都遭受破坏,只留有四个开业。大多是建筑上的破坏,其中最古老的Aristos宾馆遭受这样的破坏已有三次。在Sheraton宾馆的破坏较严重,在窗肚墙的地方出现了大的水平移位,导致牛腿和梁支座的破坏。这些大的移位几乎最终使这座15层的主要宾馆建筑物的窗肚墙完全失去牛腿的支承。在“假日”宾馆,自顶部往下数的第三层,有少数角柱出现剪切裂缝。在宾馆周围的很多地方可以观测到达30厘米的沉陷。

Camino Real宾馆一级一级地建造在岩石小山坡上,除了位于山坡顶部的六层前厅外,它实际上是一幢1—2层的结构。据说该建筑物在主震中未遭到破坏,但在余震时受到轻微损坏,或许这是因为震源谱的差异。

## 三、墨西哥城下卧土层及其对地面运动和基础的效应

虽然墨西哥城座落在离太平洋海岸300—400公里的地方,绝大多数主震都发生在

那里，那里独特的地基下层土对城市某些部位的建筑物的严重破坏和人员的惨重伤亡起了重要的影响。实际上早在1957年7月28日和1979年3月4日的两次地震就已经展现了地基下层土对城市地震破坏的显著影响。地基下层土条件和基础构筑情况：

墨西哥城座落在墨西哥谷，在1789年 Nochistongo排水道工程完成之前，它是一个有许多湖泊的封闭的盆地，这些湖泊已经部分地被淤积物和由火山岩风化形成的粘土所填充。城市建造在 Texcoco 湖中的一个岛屿上。那里是Aztec人古都 Tenochtitlan的遗址。墨西哥城从这个古老的岛屿不断向外扩展，跨越旧湖床，延伸到周围小山。

由于地基下层土性状的极大差别，对抗震设计来说有必要将城市分成三个区：山麓区或坚硬地基地区，过渡区，以及湖泊区或软弱土区（见图3）。山麓区是熔岩或非常坚硬的土，但在湖区内则几乎全是中等松软的可压缩性大的粘土，夹以较为坚硬的粘质砂层。过渡区地下土由较薄的压缩性较小的湖相沉积层所构成。

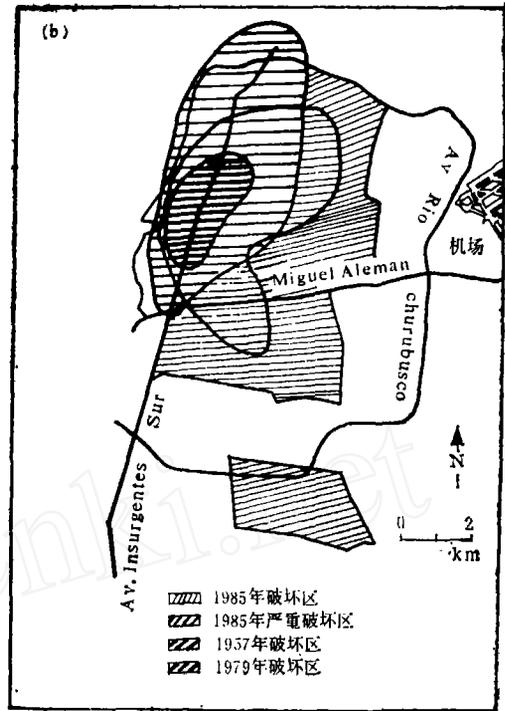


图3 (a) 墨西哥城场地土层分区和台阵分布  
(b) 1957、1979、1985年破坏区

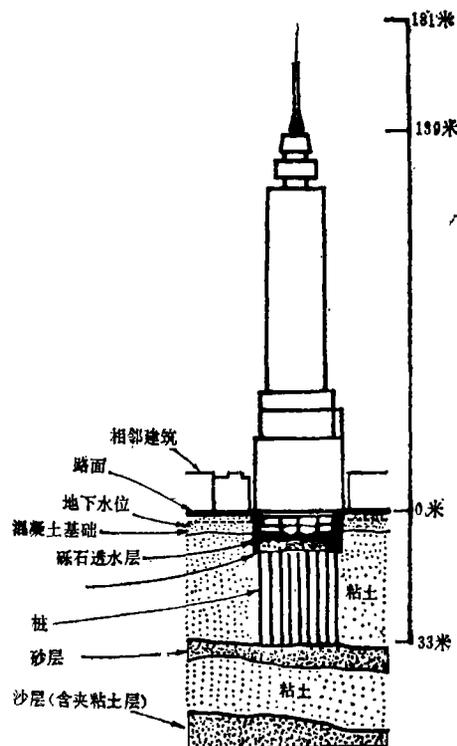
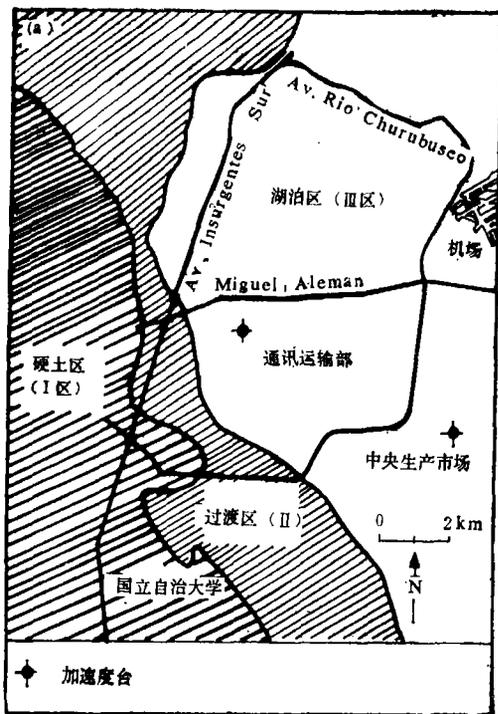


图4 拉丁美洲塔基础

图4是湖泊区的典型地下土层剖面。据 Marsal (1975) 报告, 上部和下部的粘土层的含水量分别约为300和200%; 无侧限压缩强度分别约为80和150kpa。第一层持力层(砂粘土)的无侧限压缩强度为230kpa。墨西哥城区粘土土工问题主要表现为: 由于地下水位下降造成的高达9米的区域性下沉、建筑物沉降、由于相邻基础设施使地下土受到扰动以及强烈的地震动。

墨西哥城采用的基础有图5所示的几种形式: 用于轻型结构的浅的浆砌块石或混凝土方基, 用于大型建筑物的“浮筏式”或“补偿式”刚性箱式基础(见图5b); 用于重型结构的端承桩基, 或由于周围土壤沉降可能导致底层高出地面时采用的摩擦桩基, 两种桩交错排列的混合桩基(见图5f)。图5e所示的端承控制桩(见图5e)是通过压缩垫传递建筑物的重量, 压缩垫可调整荷载-变形反应, 这样用控制的方法允许结构物跟随地面而沉降。

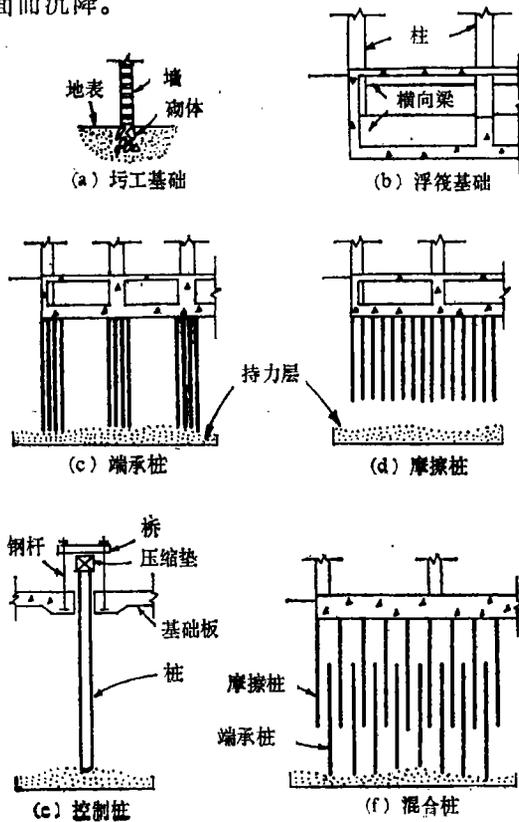


图5 墨西哥城的基础类型

著名的拉丁美洲塔, 既有端承桩又有补偿式基础, 它的基础细部与土层剖面见图4。地面运动、结构破坏和基础性能:

在墨西哥城的坚硬地基上的国立自治大学台址, 距断裂带350公里, 记录到的峰值加速度大约是海岸La Villita台所测得的1/4。此外, 由于高频随距离的衰减, 高频分量减少了(见图2)。国立自治大学台的记录表明, “自由场”的峰值加速度为0.034g(见图2), 加速度超过0.005g的时间长达1—3分钟, 此时地面速度量级为10厘米/秒。

图2所示的两个“自由场”的强震记录, 都是位于厚的湖相沉积层上的台站(通讯运输部台和中央生产市场台)获得的(见图3a)。通讯运输部台记录的最大水平加速度在S60°E方向上达到0.2g, 大约是国立自

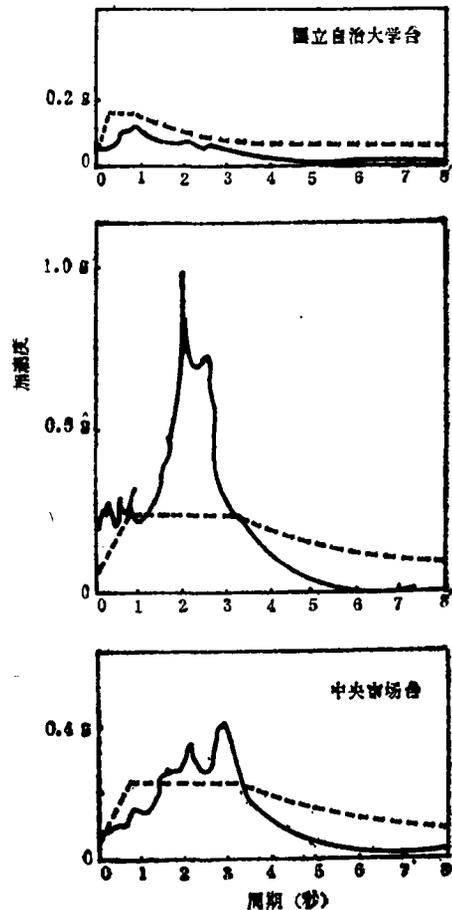


图6 各台站E-W分量5%阻尼的反应谱, 虚线为设计谱 (下转第52页)

7.5 赫芝时, 设备的位移降至 4 毫米。因此尽管频率高于 10 赫芝时设备一些部分的加速度超过地基加速度 4—12 倍, 然而由于设备位移值小, 管道中的应力较小。

采用 BBЭP-440 和 BBЭP-1000 反应堆第一回路管道系统的试验表明, 必须限制管道的自由位移。重型设备(主控制阀、主循环泵)在建筑结构上的刚性固定能使管道中的应力显著减低。

为了确定设备的最佳固定方法, 曾进行了 6 种固定方案的试验, 试验时取地基加速度为 0.4g, 试验分两个方向, 一个是顺蒸汽锅炉纵轴方向, 另一个是垂直于纵轴方

向。

为了了解管道配件的动力特性和应力—应变状态, 曾在地震模拟振动台上对它们进行了试验。试验分  $x, y, z$  三个方向。试验荷载取谐和振动, 其频率范围为 1—30 赫芝, 试验时的频率间隔为 1 赫芝。试验结果表明, 管道配件的个别元件有较高的动力系数, 因此, 在这些地方容易出现故障。

译自: СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ АТОМНЫХ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

(张德富 编译)

(上接第 43 页)

治大学台的五倍, 有 22 秒时间保持在 0.1g 左右, 卓越周期为 2 秒。中央生产市场台位于机场的西南方约 7 公里处, 峰值加速度为 0.095g, 卓越周期 3.2 秒, 最大幅度延续了许多个周。从图 6 所示反应谱可以看到, 墨西哥城的软土区的强地面运动几乎完全没有高频能量。地面运动很明显的是被湖相沉积层放大了, (见图 2 和 6)。从山麓区经过渡区进入湖区, 可以看到加速度和卓越周期两者都增大了。沿这个方向上强地面运动的持续时间也增长了。在过去的地震中也曾观测到过类似的增大现象。

不同下卧土层的区域与破坏区之间的关系可从图 3a 与图 3b 的对比中看出。座落在墨

西哥城旧湖床的西端那里的建筑物重复受到地震的破坏。该端是易压缩性土壤地区的边界, 并且可能是地震波在湖相沉积层中反射的焦点。1985 年地震中破坏区的面积为 65 平方公里, 其中严重破坏区约为 23 平方公里。

虽然地下土层对建筑物破坏的主要影响表现在增大了地面运动, 但也有一些基础破坏的例子, 包括建筑物的沉陷和倾斜。其中的一个实例是一幢 9 层混凝土结构的摩擦桩被拔出, 2.5 米深的箱形基础翻转了 45°。

译自: Department of Civil Engineering and  
Applied Mechanics, Mc Gill University  
原题: Lessons from the 1985 Mexican  
Earthquake

(刘达 译)