

# 利用闪电数据库的数据来测绘 断层和自然资源

H. Roice Nelson, Jr.<sup>1</sup>, 谢志双(Steven)<sup>2</sup>, D.  
James Siebert<sup>1</sup>, L.R. Denham<sup>1</sup>

<sup>1</sup>动态测量有限责任公司,  
上海能威能源科技有限公司.<sup>2</sup>

21 April 2014

Copyright © 2014  
Dynamic Measurement LLC.

CPS/SEG Beijing 1

今天，我们向大家介绍一种新的自然资源的勘探方法。我们发现，闪电的落地位置并不是随机的。它们受到大地电流的影响。这个新的方法就是通过分析以前收集的用于保险、气象和其他用途的闪电数据，来进行矿藏情况的研究分析。我演讲的题目是“利用闪电数据来测绘断层和自然资源。”

罗伊斯自1982年开始，在兰德马克图形公司工作之前就一直在开发新的勘探技术。吉姆-西伯特博士在休斯敦的一个电视频道—“福克斯新闻”任首席气象学家，他同时在休斯敦的一所大学教授地质和气象学两门课程。勒斯-登海姆是一位非常有经验的地球物理学家，曾在南极越冬并在格陵兰工作过2年。他也在热带和温带的地区工作过，如：澳大利亚、美洲、欧洲、亚洲、以及非洲。以上三位是是动态测量有限公司的联合创始人。谢志双是一位中国企业家，他负责代理动态测量有限公司在中国的业务，给中国公司和以中国为基地的公司提供相关技术服务。

# 闪电探测的起源



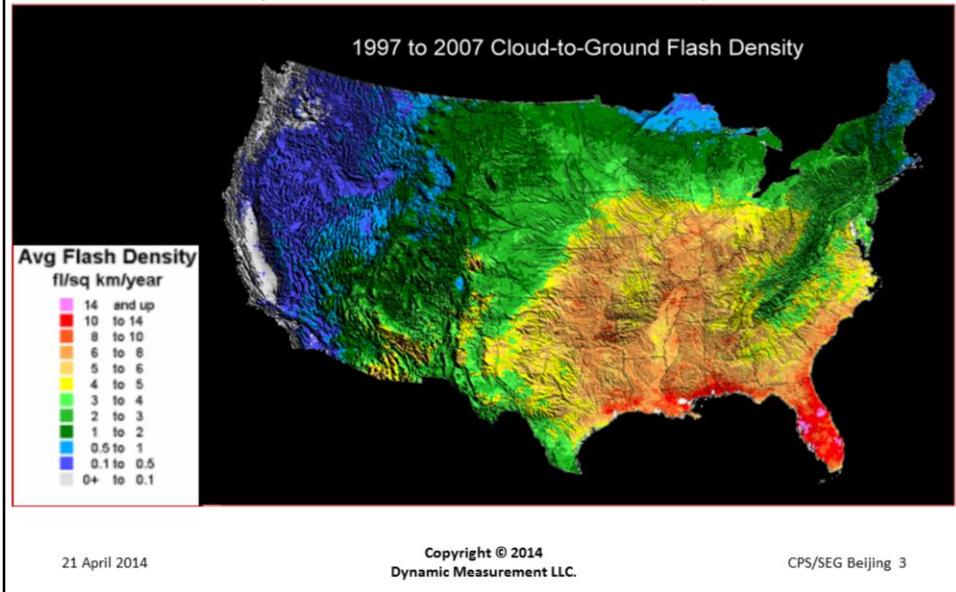
本张幻灯片总结了闪电探测的起源。李察E.奥维尔博士于1982年3月在奥尔巴尼的纽约州立大学创建了NLDN（国家闪电监测网络），他现在德克萨斯农机大学工作。

背景图像是一个早期的测向装置。它包括一个拖车，用于支撑平板天线来检测电场。配套的电子及通信设备被安装在拖车内部。通常在拖车一侧的20米外安装一种正交交叉环形天线塔，用于检测磁场。

底部右侧的插图显示了从1984年到1988年底美国闪电探测网络的覆盖范围不断扩大。自1989年1月起美国国家闪电探测网络由维萨拉公司掌管并已连续运营至今。在左上方的地图中，加拿大境内的闪电探测网络（CLDN）传感器的位置用蓝色显示，而在（美国）国家闪电监测网络（NLDN）中的传感器位置用红色标注。

在幻灯片上部中间显示的IMPACT传感器在上世纪九十年代早期就替代了原有的传感器。保险公司一直在资助美国国家闪电探测网络的持续运行和发展，因为针对家庭房屋损坏或损毁的闪电保险索赔的案件，其中60%被发现是虚假或歪曲的。

## The NLDN (美国国家闪电探测网络)



这张地图显示了在国家闪电监测网络（NLDN）数据库里从1997年到2007年期间每平方公里发生的闪电次数。

图中的灰色区域，像在加利福尼亚的莫哈韦沙漠，每年每平方公里最多有0.1次云落地闪电。在深蓝色的区域每年每平方公里有0.1到0.5次云落地闪电。请注意，在爱达荷州沿着蛇河平原的火山泥流区域则较少有闪电的出现。在美国大陆发生的大多数云落地闪电是位于落基山脉和阿巴拉契亚山脉之间。这个区域是加拿大寒冷空气由北向南穿越美国中部大陆的天然路径。来自北方的寒冷空气与来自墨西哥湾的暖空气互相撞击，是产生众多云落地闪电的气象条件。

闪电是一种气象现象。但准确地讲，闪电是一种地质现象。在佛罗里达州能够清楚地观察到这种气象现象，风暴几乎每天都从大西洋和墨西哥湾向该州登陆。在这个州每年每平方公里有超过14次云落地闪电，或换句话说讲，根据美国国家闪电探测网络数据库的统计，该州过去15年每平方公里遭遇过超过210次的云落地闪电。在美国另一个有如此频繁闪电的区域位于从阿拉巴马州到德克萨斯州东部沿海岸一带，这个区域有许多大型的油气田。

美国国家闪电监测网络（NLDN）监测到的闪电被汇聚到一个庞大且不断增加的数据库内，这些闪电被认为落向地下矿藏。该网络和相应的数据库是由维萨拉公司所拥有。

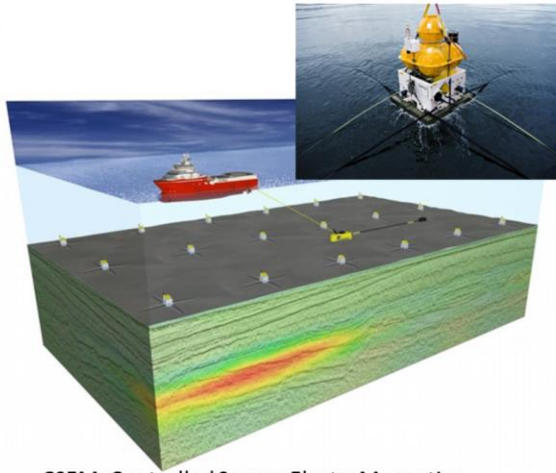
动态测量有限公司已获得维萨拉公司全世界范围的授权，可以利用维萨拉公司的数据库进行自然资源的勘探。这些数据库里的数据包含维萨拉公司在过去4年利用GLD-360卫星网络系统从美国大陆以外地区所采集到的数据。

# 大地电磁学和可控源电磁技术



Magnetotelluric Station

<http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetotellurics>



CSEM: Controlled Source ElectroMagnetics

<http://www.emgs.com/content/932/A-guide-to-CSEM-and-MT>

21 April 2014

Copyright © 2014  
Dynamic Measurement LLC.

CPS/SEG Beijing 4

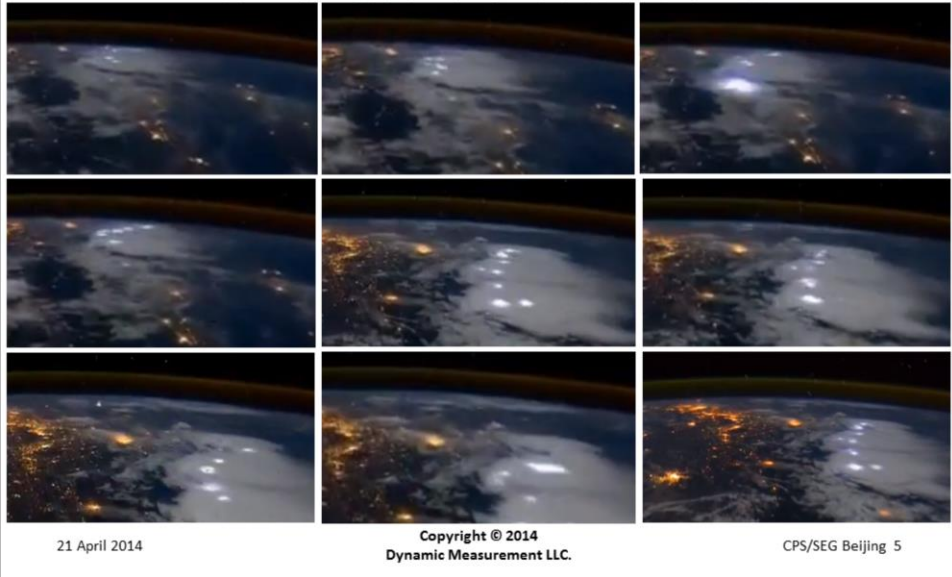
电学方法用于勘探领域已经有很长的时间。人们可能争论当本杰明富兰克林用放风筝来证明闪电是一种电学现象时，实际上进行了第一次地球系统的地球物理测量。

大地电磁学自上世纪五十年代起已成为一种勘探手段。

可控源电磁技术（CSEM）自1967年起就已在文献中讨论。

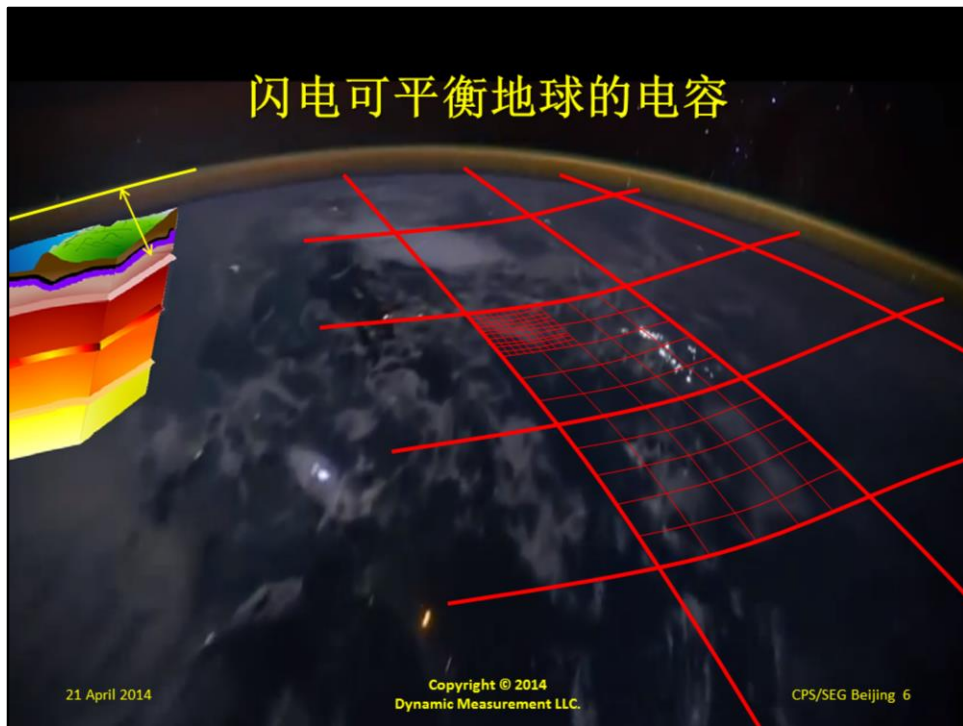
在地震测量活动中被动测量方面的新进展与在闪电被动测量方面的研究有相似性。但对于闪电而言其巨大的差异是其具有的数据库储存了数以亿计的记录可用于数据分析，并且它是一种全新的用于勘探的数据类型。

## 闪电在任何地方都会出现并可在专用或公共数据库中获取相关数据

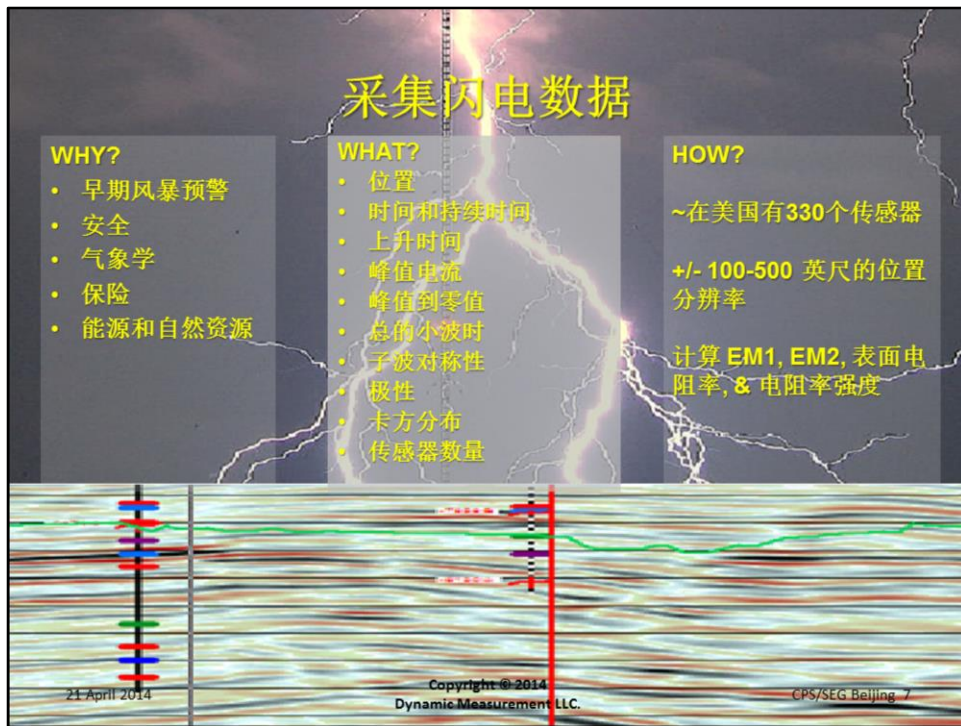


闪电作为勘探工具的一个关键优势是它在任何地方都会出现，并可在私有和公共数据库中获得。

本张幻灯片中的这些照片来自从国际空间站拍摄的电影，显示了发生在世界各地的闪电。仅从20世纪90年代中期以来，科学家们发现并经航天员和宇航员证实，高空大气也存在闪电活动，现在被称为“红电光闪灵”和“精灵”。这些能量的来源是什么，竟然能让这些闪电活动发生在大气层以外并运移达60公里？



环绕地球的电离层和地壳（从地球表面到地幔的顶部）就如同电容器的两块电极板一样。作为气象成因，闪电架起了一个桥梁来平衡电离层和地壳两者之间的电荷差异。闪电落地的位置不是随机的。闪电落地的位置主要还是由大地电流来控制，引导先导闪电并提供上行回击行程的位置。由于闪电无处不在，我们可以运用GIS技术，在传统的地质图上，将闪电数据和物探数据关联起来。在闪电数据库中可以提取到任何地方的闪电数据，每平方公里的闪电数从几个到几百个不等。这些闪电和它们的属性可以进行概括、平均及绘图，测绘出的图可以反映地下大地电流所受到的干扰，其原因可能是断层、有电阻地方（含水层、油田、气田、盐丘等）和导电地方（热蚀变、卤水、矿物等）。



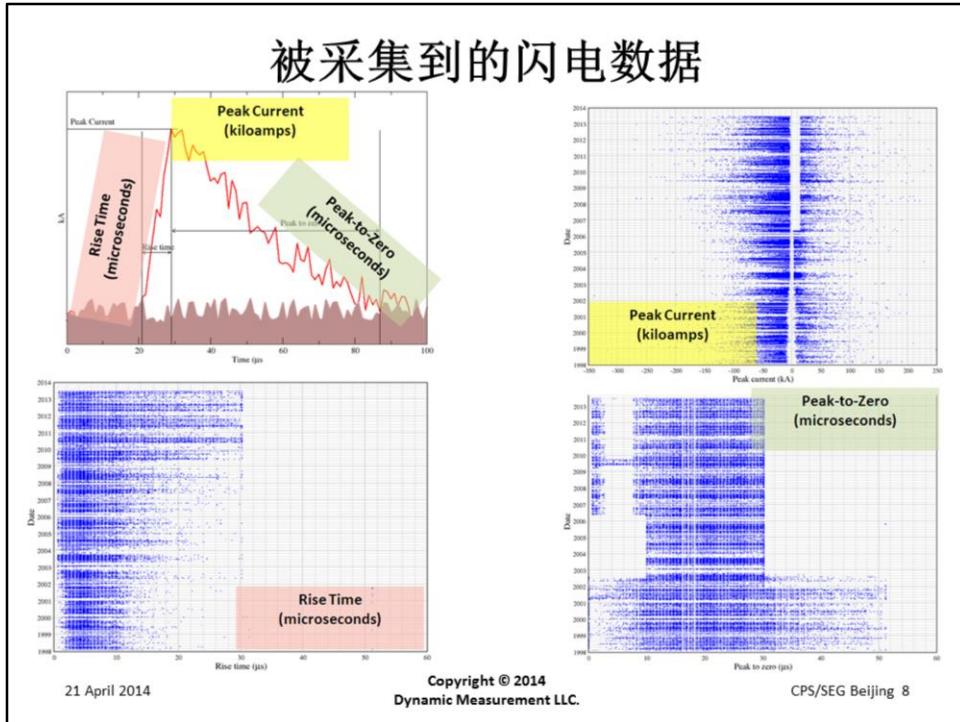
闪电记录的收集在起初是用于气象目的：早期风暴预警、安全、以及天气预报。在气象文献里对数据的采集和处理程序有描述。

其后，保险公司也发现这类数据是有用的，并用它来验证保险索赔案件，如被烧毁的房子，被毁坏的变压器等。具体方法是通过查询闪电数据库，来验证索赔案件所发生的时间段及所处位置附近是否发生过闪电。

自2008年以来，我们一直在研究闪电落地位置、闪电密度、以及闪电属性图对自然资源勘探的影响。美国国家闪电探索网络数据库包含的闪电位置，在美国大陆的分辨率为60-100米，而其他地区GLD-360数据库里的分辨率为100-300米。

举例说明：在德克萨斯州每道闪电是被8-14个传感器所记录到。这些传感器记录每道闪电的时间为微秒（10-6微秒）精度级。用不同传感器测量到的闪电属性被解析并且进行一个品质测量记录，这被称之为卡方分布。国家闪电探测网络所测量的闪电属性包括：极性、上升时间（或从背景电噪声到峰值电流的时间）、峰值电流、峰值到零值时间（或从峰值电流回到背景电噪声的时间）。大多数闪电具有负的极性。正极性的闪电倾向于发生在风暴的结束阶段，并往往具有更高的峰值电流。利用这些属性计算总的小波时、子波对称性、表面电阻率、电阻率强度、EM1、EM2等。GLD-360所测量和记录闪电的关键属性是峰值电流。美国国家闪电探测网络有330个地面传感器。GLD-360网络由卫星和地面传感器相结合而组建的。类似美国国家闪电探测网络这样的专用网络可以在世界任何地方进行设置。

## 被采集到的闪电数据

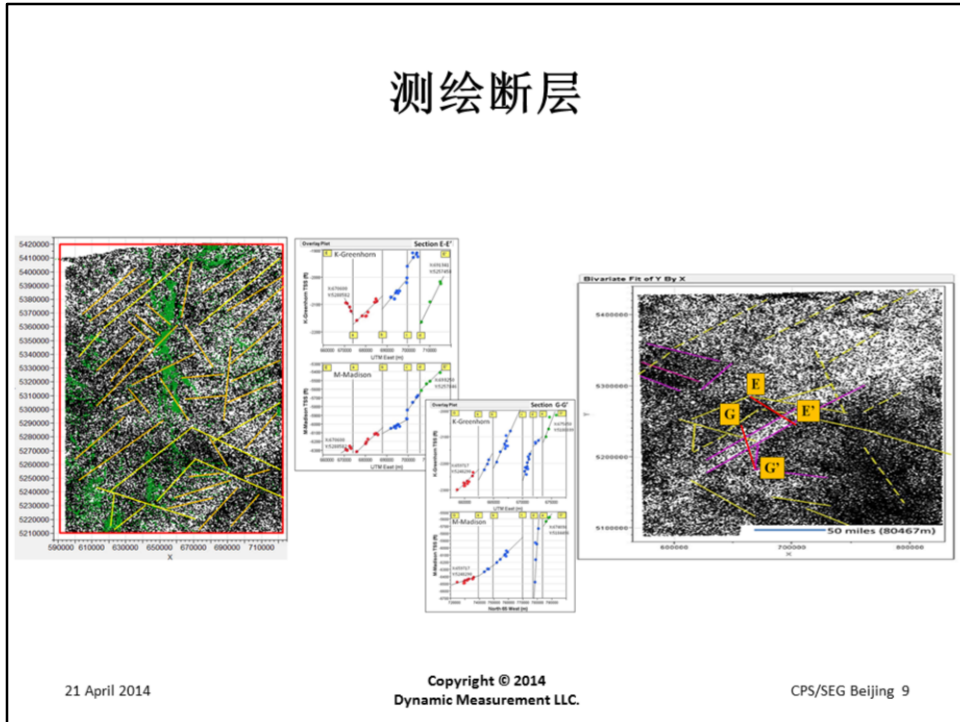


左上的卡通归纳了闪电的几个关键属性：上升时间，峰值电流，峰值到零值。其他三个图显示的是在德克萨斯州进行的用于商业目的的闪电监测分析项目。注意在左下图表有一个上升时间为30.2微秒的衰减。右上角的峰值电流图显示了数值较低（小于10千安培）的闪电，自2006年年中之后就再没有记录到该类型闪电。这是因为闪电数据库中减少了云间闪电的数量。这也表明，大多数的闪电具有负的极性。在右下角针对峰值到零值的测量，在属性衰减中有最大的变化。这张图显示了在2002年和2006年进行了仪器的升级，那个30.2微秒衰减自2002年年中以来是一致的。

最新的传感器具备记录闪电全波形数据的能力。然而，具备了亚微秒级的读取能力，则意味着有庞大的数据生成，此时只能用光纤将传感器连接到中央存储库，然后仅用于研究目的。动态测量有限公司期待能够开发一种计算程序，当闪电无论在何处发生时都能将全波形数据转换并创建一种等效的声阻抗数据。我们最近开发的数学算法利用从国家闪电探测网络数据库中提取的电性能数据进行表面电阻率和电阻强度的计算。



# 测绘断层



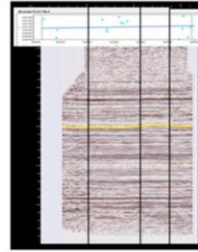
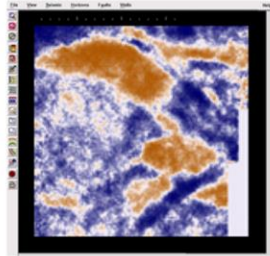
接下来的六张幻灯片展示出的是，动态测量有限公司已经能够依据闪电数据在地质特征上所表现出的一致性来标注断层位置。2013年《地球科学国际期刊》中的一篇论文对发生在中国四川省的闪电密度与现代地震活动之间的关联性进行了陈述。该论文主要侧重于年代较久远的地质断层。

在本张幻灯片显示的第一个例子是来自北达科他州，标出的断层解释是基于选取油井中的地质分层跟从闪电数据得出的断层位置相对照。左边显示的是在北达科他州西部跨越尼森背斜的闪电图。闪电密度的一般格局是横跨背斜上密集钻井的区域、Beaver Lodge油田、并且东边的50英里及西边的50英里的范围都没有基础设施，这点是非常相似的。动态测量有限公司并不认为基础设施能对闪电落地位置有显著影响。

图中的轮廓线显示的是解释后断层。右图显示是在尼森背斜南端邓恩县的一个放大的图。幻灯片着重显示了中部的两条剖面的平面位置（E-E'和G-G'）。从23个地质分层中选取了两个标志层---格林霍恩（上）和麦迪逊（下），并通过比对区域内众多油井的分层数据完成了其剖面图的绘制。这是一个克拉通内盆地，岩石具有年代久远、硬度、以及较脆的特性。当基底断裂移动，像叠玻璃板一样的上覆岩层也随之断裂成块。沿23个层的断点，在垂向上连接成线，则代表一个断层。这些断层线与闪电分析得出的轮廓线相吻合。

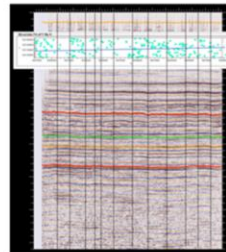
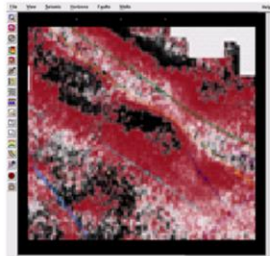
## 三维地震来验证断层的预测

- Predicted an area of minor faulting



(3 faults on seismic)

- Predicted an area of major faulting



(20+ faults on seismic)

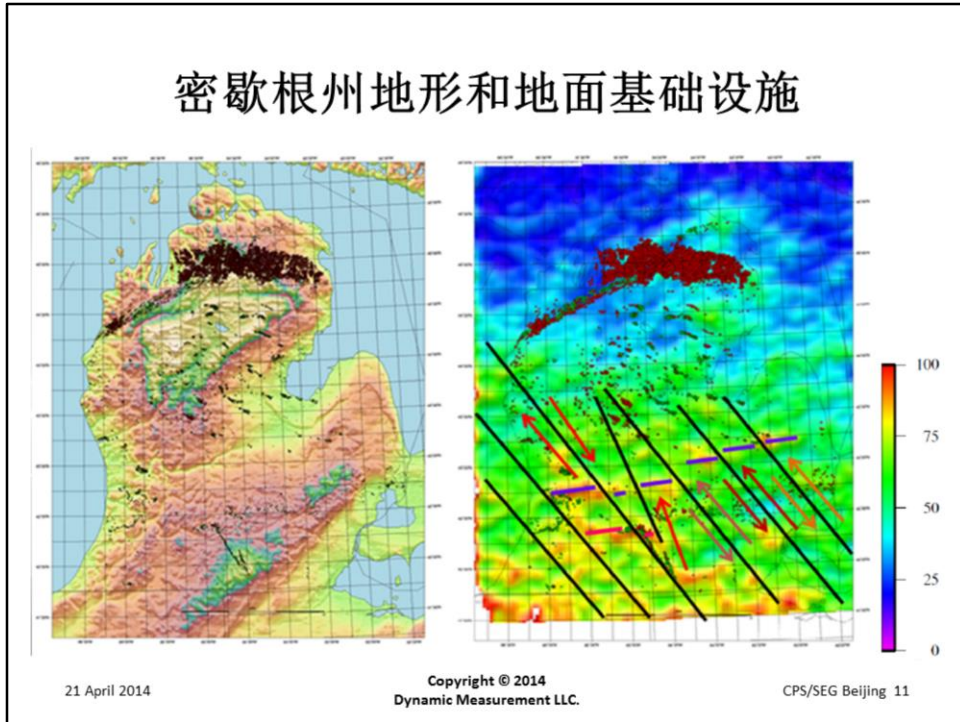
21 April 2014

Copyright © 2014  
Dynamic Measurement LLC.

CPS/SEG Beijing 10

这个例子显示了三维地震解释断层位置与闪电数据解释断层位置的匹配关系。动态测量有限公司利用闪电落地密度分析，对两个区域进行了预测，在一个区域我们期望能观察到少量的断层并且在另一个区域，我们期望能观察到较多的断层。我们能够在这两个区域调取到三维地震勘探的资料。在我们预测有少量断层的区域，地震解释有三个断层。闪电的落地位置标于图中，显示闪电集群位于断层之间。在我们预测到有较多断层的区域，地震解释表明此处有超过20个的断层。同样的，闪电集群位于地震解释出的断层位置之间。三维地震勘探的测量间距为25米，而闪电的空间分辨率为60米到100米之间。

## 密歇根州地形和地面基础设施

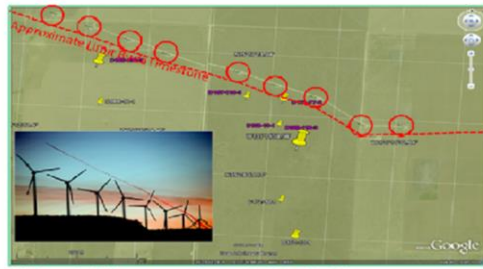


通过在密歇根湖、休伦湖与伊利湖，根据陆地和海上地势、地面基础设施和闪电密度，这个例子展示了经解释得出的走滑断层。左边的地形图显示的是密歇根半岛。像北达科他州，这是一个克拉通内盆地。沿盆地边缘发育的塔礁，是该区主要的油气圈闭类型之一。在这些地图上部的红点显示的是钻达塔礁的气井，如果你知道去哪里找，你可以看到这些礁位于这个圈的南部。绿色的点是油井的位置，这些油井属于西布朗西庇阿和斯托尼柏恩特油田，这些油田位于这些地图下部的中心地带。这两个油田的形成是在白云石的钙镁碳酸盐分子替代方解石的碳酸钙分子并形成大孔隙度的白云岩层后，热流体沿走滑断层和右翼倾斜断层运移后的结果。观察右边的闪电密度图，一系列的闪电异常（标注为紫色）显示出了断层可能的走向。一系列解释出的平行构造线，表明那里可能有其他的走滑断层。当把这张图呈给一名在此地区工作了20年的地震资料解释员时，他说：“我知道这些断层位于这些位置。我从来没有在地震解释资料中看到它们。这是我第一次看到显示这些断层位置的地图。”另外，请注意在右侧没有任何模式的闪电数据来对应地形。底特律是一个主要的工业城市，与另一个工业中心即安大略的温莎，位于右边图中从上部到底部的约三分之一处，在这个地区没有闪电异常，尽管此地在地面上有很多的钢铁和基础设施。还要注意，在海岸线闪电密度是没有变化的。在其他项目中，动态测量有限公司揭示了用闪电密度和其属性的模式来继续测绘出德克萨斯近海大陆架断裂带。在地图上，北部地区的闪电密度比南部的要低。这是由于较少的雷暴导致的气象学效应。

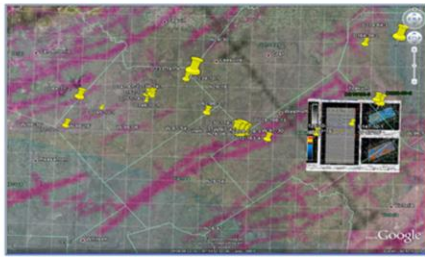
## 德克萨斯州午间雷暴: 2010年3月8日12:00-1:00



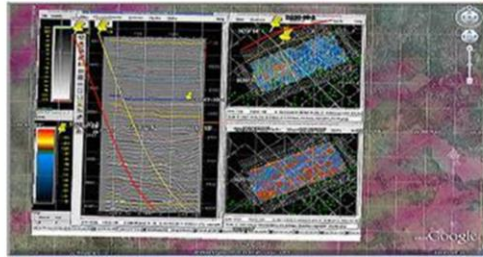
261 Full-Waveform Strikes recorded in 1 hour.



All by wind farm struck eroded Buda Limestone outcrop.



2012 BEG Fault Map correlates with strikes.



3-D Survey shows faults at 2 positive strikes locations.

21 April 2014

Copyright © 2014  
Dynamic Measurement LLC.

CPS/SEG Beijing 12

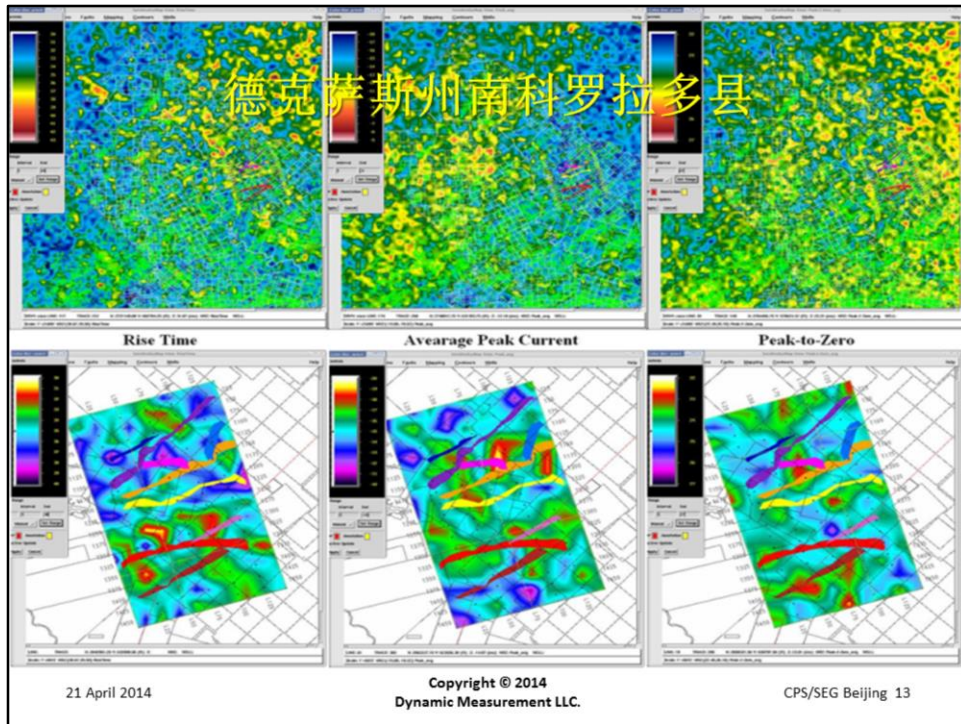
下面这些例子是通过维萨拉公司提供给动态测量有限公司的266次闪电中的755个全波形波瓣，显示了基础设施和断层对闪电的影响。动态测量有限公司获得了全波形的闪电数据，用于进行转换闪电数据的持续研究。如上部左边显示的图，这些数据取自2010年3月8日中午12点到下午1点期间所发生的三个雷暴。

期间在德克萨斯州的狭长走廊发生了八次闪电。这些闪电落地点附近有一个由布达石灰岩形成的山脊，在其上有九个巨型风力发电机。风车高约50米。布达露头岩石覆盖有6米，其下为44米的瓦世塔赫和弗雷德里克斯堡组页岩，依此过渡到谷底。

虽然这些风车的顶部距谷底的高度约100米，但也没有一道闪电击中这些风车。在这个地区所有的8次闪电都落在了下倾的页岩上，这些页岩的导电性比布达石灰石要强。其中的一道闪电非常接近风力发电机，闪电落地的位置到风力发电机之间的距离比风车的塔高尺寸都要小。

无论是地形还是地面基础设施都无法控制闪电的落地位置。再往南，德克萨斯州的经济地质局根据闪电绘制出了最新的断层地图。在底部的左边，请注意在这个区域所有的19次闪电都是沿着断层走向。在这个南部区域是可以调取到一个小型三维地震勘探资料的，那么当两道闪电落在勘探区域的北部，根据该三维地震项目地震数据解释得出的断层位置，则正好位于那两道闪电落地位置的下方。

我们的结论是地下断层影响大地电流，从而因此影响到闪电落地的位置。

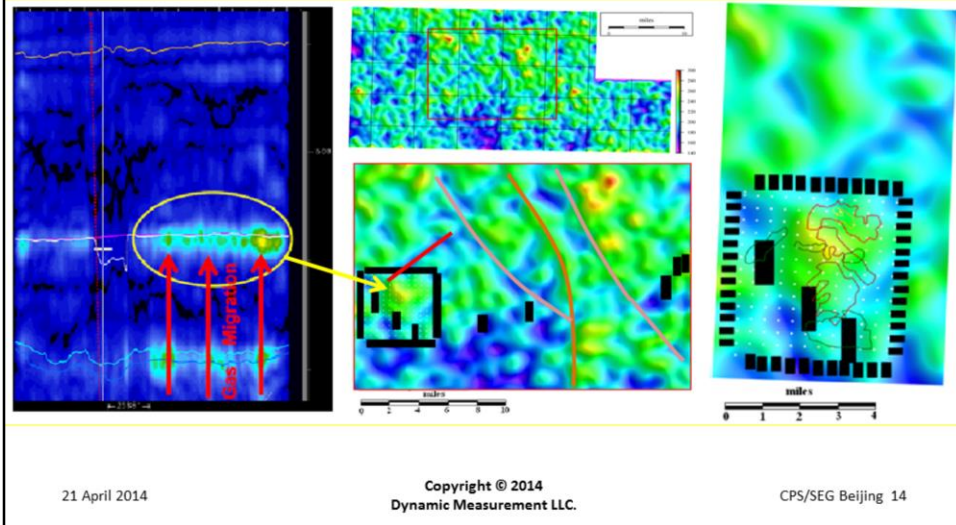


动态测量有限公司在科罗拉多县发现橡树的位置和主动闪电落地的位置也存在较小可能的相关性，但总的来讲，植被对闪电的落地位置几乎没有影响。断层的影响效果更重要。闪电和橡树的相关性也可能跟橡树的根系、根系发育的土壤、或树本身的电性能特点有关。

围绕这个主题有很多问题需要毕业学生来进行分析。在这张幻灯片上有两个图是关于上升时间、两张图是关于峰值电流、还有两张图是关于峰值到零值时间。顶部的地图是区域地图，底部的图有闪电数据，这些闪电数据已经被写进一个关于地震解释层位的文章中。

观察上部的三张图，就会发现从左至右上升时间、平均峰值电流，峰值到零值各图之间有多大的差异。在每一个图中，根据小型三维地震数据解释出的断层被标注在图上。底部图只显示了地震探测的区域。同样的差异在三幅闪电属性图中也明显地显现出来。然而，如果你观察北面或南面大多数的由地震资料解释出的断层，你会发现，根据地震资料解释出的断层与相关闪电的三个不同属性之间，在图形上有差异。动态测量有限公司根据在图形中的一致性来试图在闪电分析项目中解释构造线。动态测量有限公司希望在接下来的几年里能达到自动完成这个线性要素解译的过程。

## 带比例尺的区域地质图、油气运移图、有利圈闭图

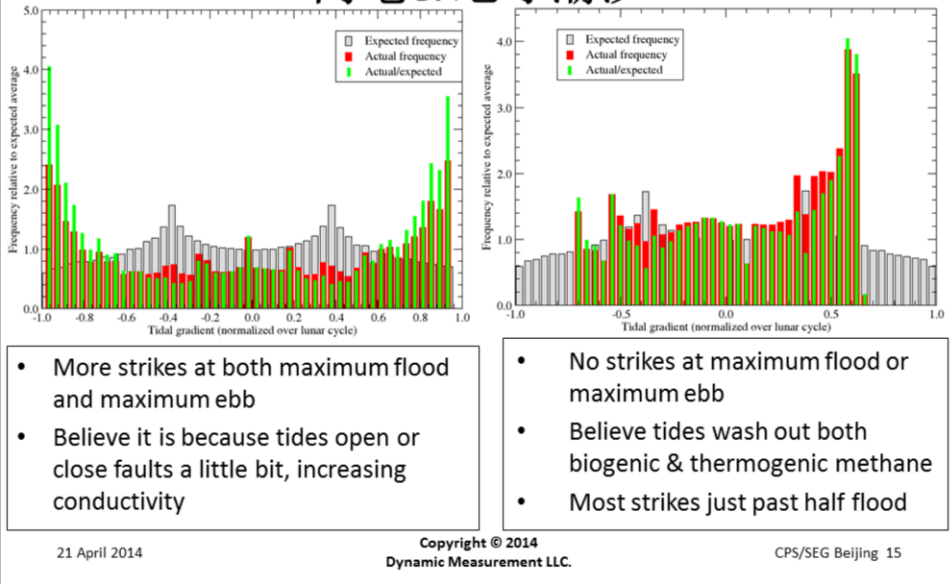


这个例子中带比例尺的区域地质、油气运移和有利圈闭图，突出展现了可能的油气溢出与断层之间的关系。这个项目是在德克萨斯，并且是在罗伊斯内尔森展示了根据三维地震解释后做出的初步地图之后才开始的。一个图显示了自同态谱地震属性中提取的振幅，这已被证明跟传统AVO“亮点”技术（DHI）有关。左边的地震属性剖面用黄色圈出了异常的部位。

农场的经理询问那种异常是什么。当我们解释说这可能是一个直接的油气显示，他说到：“我们农场在那个地方的闪电数量特别得多。”

该客户签署了一个对该区域进行闪电分析的合同，这些地图显示的是一个修订版本的结果。在顶部中心部分的图像显示了一个面积大约为200英里x100英里大小的区域。请注意闪电密度的簇集群。在下部中心的有利成藏图显示的是放大到25英里×15英里的区域。可能的断层被解释出来了，在农场中用黄色圈出的闪电异常区域也在三维地震勘查范围内。请注意解释断层为红色的区域，则对应着一个较低的闪电密度构造线。这正好跟基于地震资料而独立解释出的有利圈闭区相吻合，并在带有比例尺的有利圈闭图中用绿色标出了轮廓，这是一个4×10英里的区域。其他绘制出的有利圈闭区域落在闪电异常的区域，这符合油气溢出干扰大气的电性，并能形成一个更多闪电落地通道的模型解释。

## 陆地 vs. 沼泽地区 闪电&地球潮汐



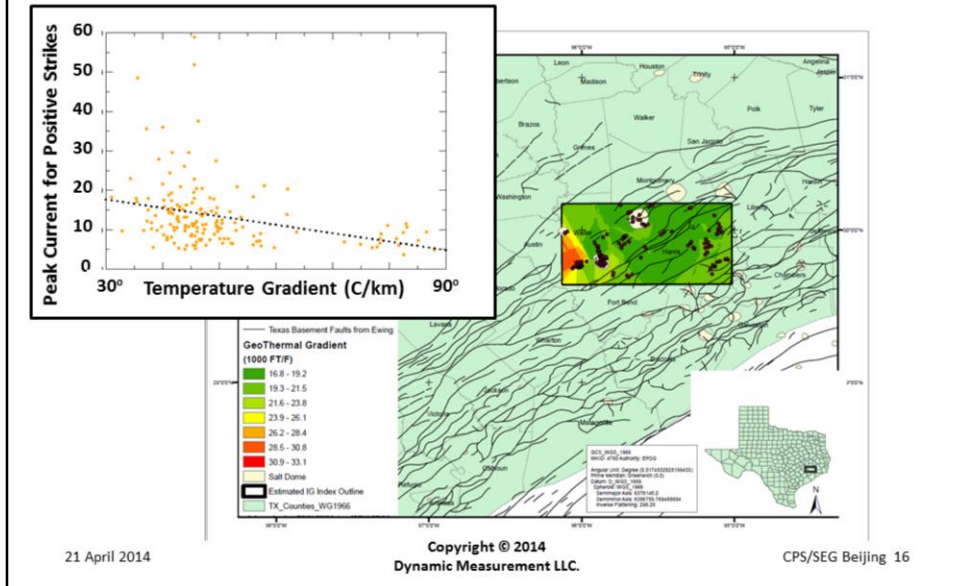
美国国家地理杂志刊登了一篇关于在委内瑞拉马拉开波湖南端闪电与气藏溢出相关的文章。

来自加勒比海的盛行风吹向围绕湖南端的一串山脉，在该区域形成的气象条件导致了几乎每天都有雷暴发生。该地区闪电独特的颜色被认为是由于甲烷溢出的原因而造成的，被认为干扰大气介电。

动态测量有限公司对地球潮汐和每一道闪电跟地球潮汐的关系进行常规计算。从北达科他州到德克萨斯州的范围内，在潮汐变化最剧烈时间段内发生的闪电比潮汐稳定期间发生的闪电多20%-50%。幻灯片左边展示的是在德克萨斯州的一个项目。得出的解释是潮汐能导致断层稍微打开或关闭一点点，并因此增加导电性，也或增加渗漏可能性。在幻灯片的右边显示的是墨西哥湾沿岸附近沼泽地区的结果。

闪电数量的增加跟洪水的最大速率增加相类似。然而，过去的十五年里在该地区没有发生过闪电，即便是在发生最大洪水以及地球和太阳联合导致的最大潮汐的涨落期间。大家已知的是地球潮汐可导致这一地区水井中的水面向上和向下升降，目前的解释是生物气体已经被潮汐所冲刷尽了，导致没有任何溢出的甲烷来干扰大气介电。

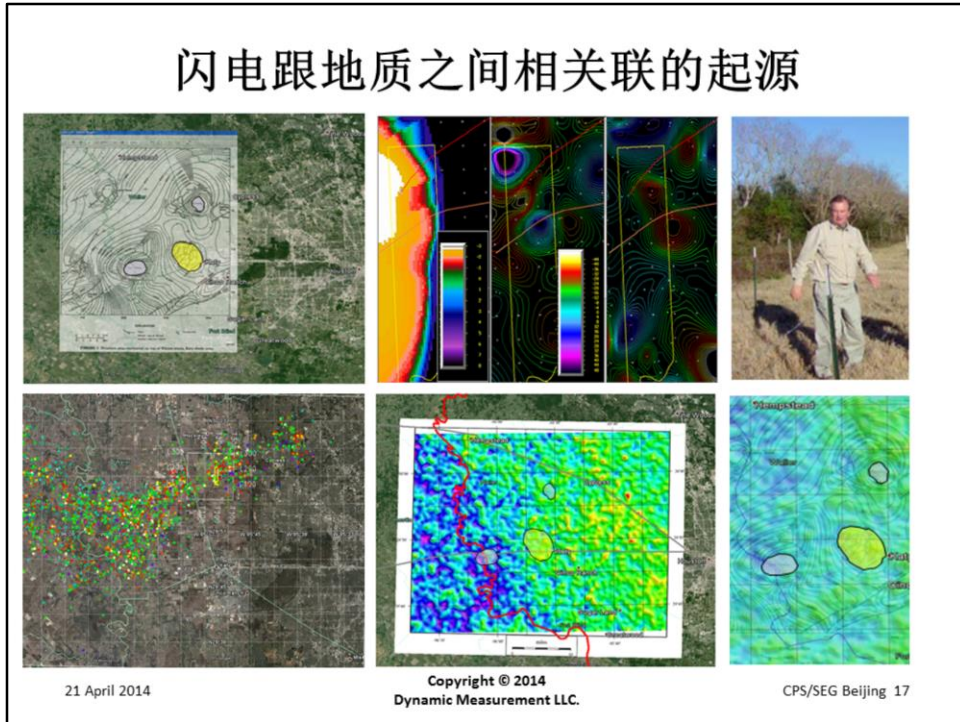
## 整合井底温度数据



虽然动态测量有限公司已研究闪电与地质之间的关系好几年，但仍有许多地球特性要考虑。最近，德克萨斯经济地质局提供了一个被评估区域的井底温度数据。如本幻灯片上部图中所示，正极性闪电的峰值电流与温度梯度之间表现出明显的负相关特性。其他几种闪电属性也显示了类似的相关性。动态测量有限公司计划在丹佛的年度SEG会议上报告该工作的最新结果

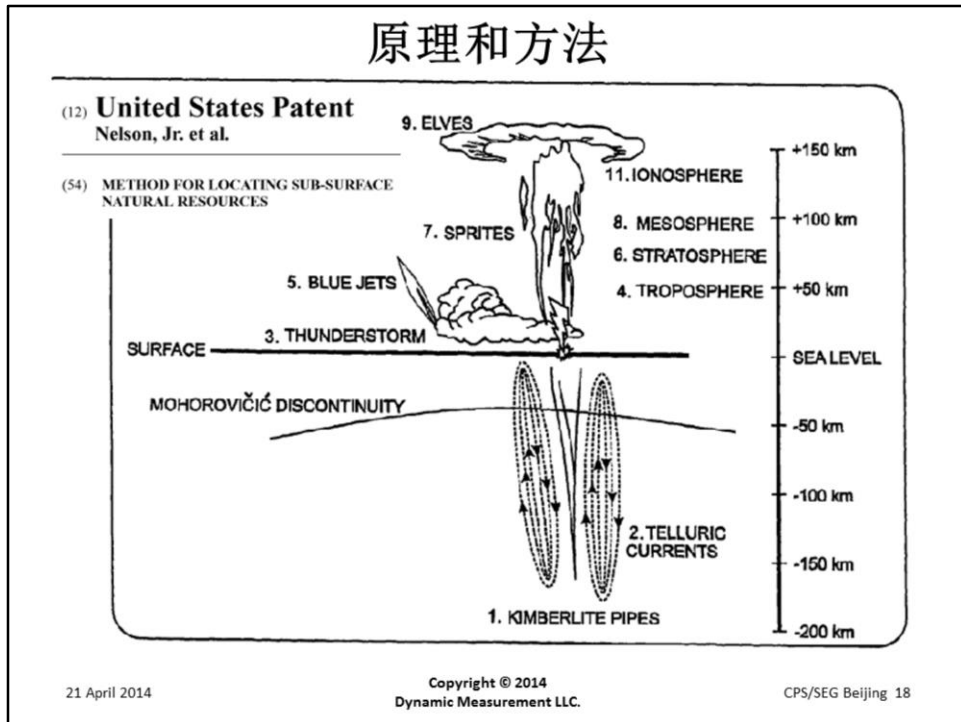


## 闪电跟地质之间相关联的起源



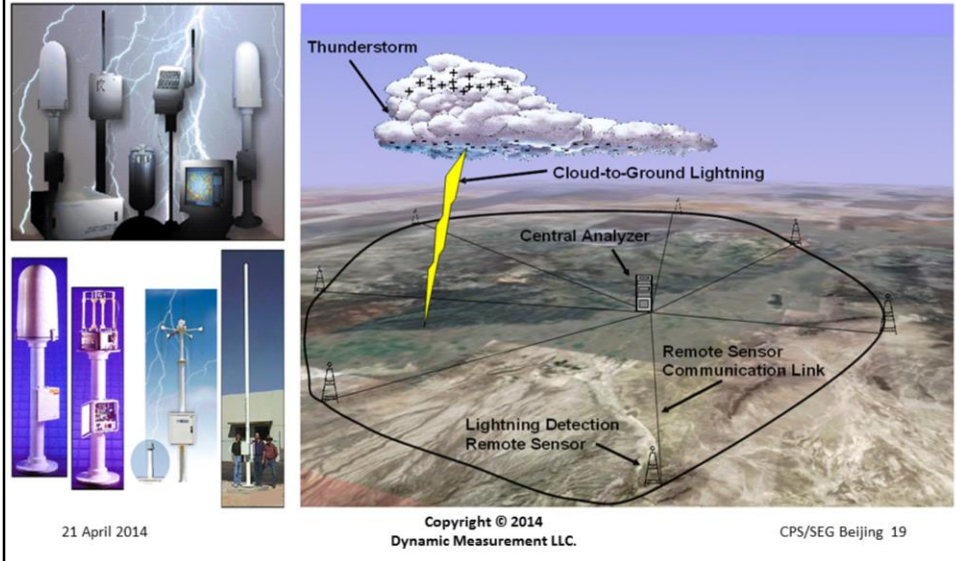
认为闪电可以描述地下构造情况的想法源自于发生在大约同一时间的几次谈话。约瑟夫罗伯茨（上部右侧的照片）曾经在德克萨斯州哈里斯县西北地区的霍克利盐丘一带狩猎野鸭子（在右上侧地图中的盐丘被置于左上图，放大后置于上部中间的地图中）。他很清楚霍克利盐丘盖岩边缘的位置。他当时看到天空聚集起一片巨大的云，并且看到似乎是一道大型闪电围绕着落到霍克利盐丘的边缘。第二年，他观察到了相似的现象，并对此进行了了解。在几年后的2011年9月27日，他第三次观察到了这一现象，并且我们根据美国国家闪电探测网络数据库中的数据证实了这些闪电的存在（下部左边的图显示了这一次风暴中的闪电）。围绕盐丘的闪电密度图上覆在一幅传统的威尔考克斯地层图之上，显示出了围绕盐丘轮廓线的图形（下部中间地图）。在一个较大区域来看，闪电在该地区的峰值电流沿布拉索斯河的两边差异显著（下部中间地图）。一种解释是，布拉索斯河的走向是沿白垩纪转换断层的方向。这个断层由罗伊斯内尔森通过海上做的区域地震解释进行了绘图，并且能够解释为什么布拉索斯河比其他德克萨斯湾沿岸的河流要直。

# 原理和方法

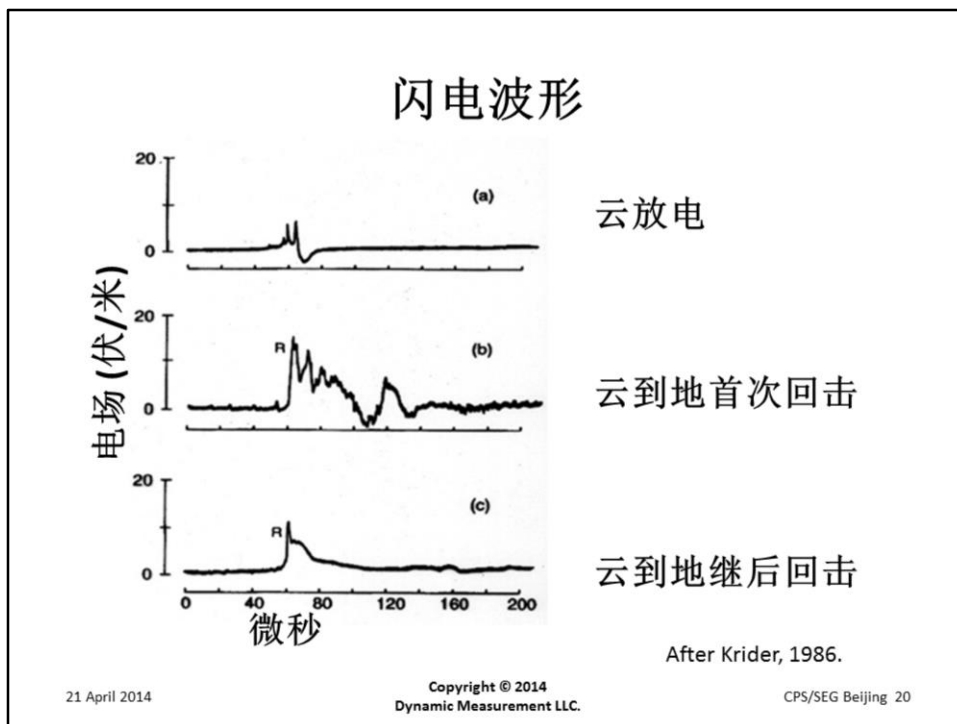


闪电是一种气象现象。但是闪电落地位置和闪电的属性特征似乎是受地质控制。图1总结出了我们的工作原理：大地电流，可受断层、矿化度和流体的影响，它能控制闪电落地的位置，例如：火山熔岩通道。在断层处大地电流也可发生类似的影响，因此处存在流体或具有各向异性。这符合气象学家们所观测到的现象，即云间闪电可以运移80到200公里后才形成一个云落地闪电。

## 三角测量和波形匹配



闪电数据的采集以及处理程序在气象文献里有描述。这张幻灯片显示了维萨拉公司的闪电探测传感器。右边的卡通图片显示了数据是如何从传感器传输到一个中央分析器上的。通过至少三个传感器的测量，闪电落地的位置可通过方向，时间差，和振幅差来最终确定。峰值电流、上升时间、峰值到零值时间是从所测量的脉冲形状上来确定的。每一次闪电可给出几个量值，并存储在数据库中。

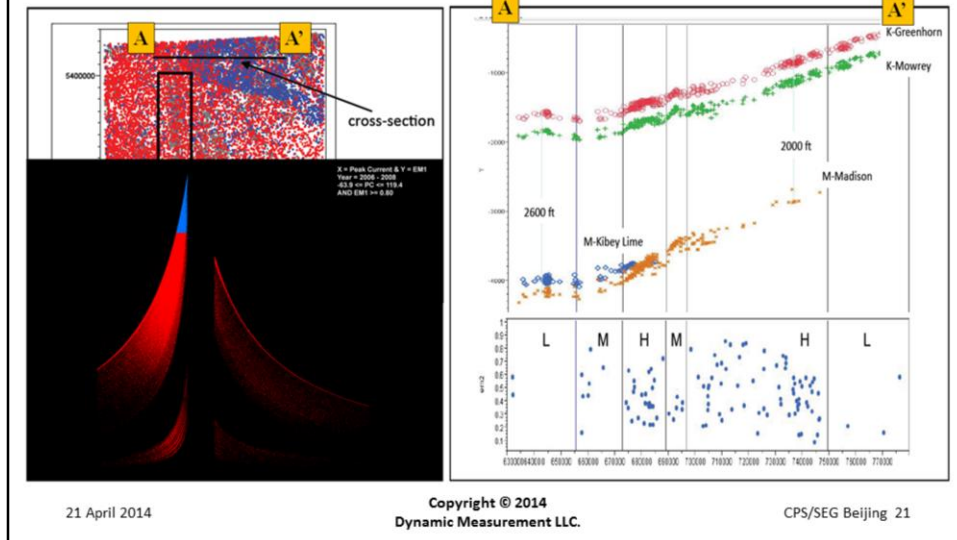


这张幻灯片显示了典型的闪电波形：

- (a) 云放电；
- (b) 云到地首次回击；
- (c) 云到地继后回击。

另外，波形的关键属性为上升时间（RT微秒）、峰值电流（PC千安培）、和峰值到零值（PZ微秒）。由于数据量庞大，因此除非用于科学研究，通常不对全波形进行记录。动态测量公司希望在全波形数据里存在着可观的有用信息，并将在可预见的未来对这些数据进行研究。

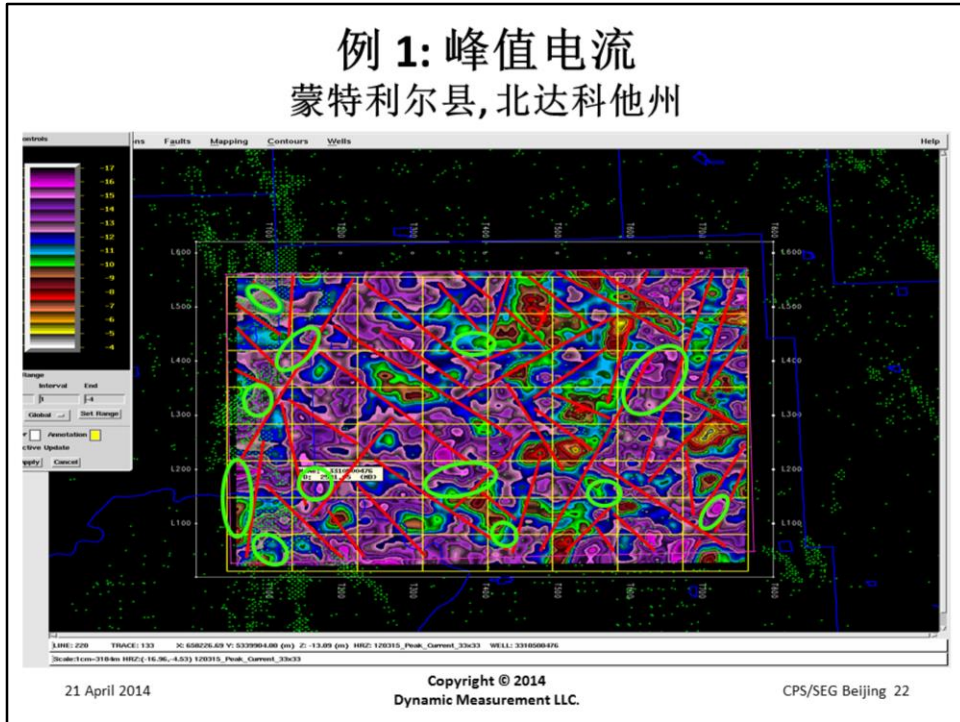
# 闪电极性



正极性的闪电和负极性的闪电有显著差异。该例子发生在北达科他州（在威利斯顿盆地北缘），用图归纳了峰值电流作为水平轴与EM1属性（源自上升时间、峰值电流、峰值到零值的时间）的一个不同之处。最高的EM1值在图中和交会图表上用蓝色标注了出来。右向的A-A'剖面显示了这些较高的振幅在Kibey石灰岩尖灭于麦迪逊层后是如何发生的。这些高值的EM1闪电属性位于图表的底部，这个位于断块内的横截面是依据四个地质分层倾角的变化所绘制的图确定出的，这个横截面位于图的顶部。这个图的纵轴是派生属性EM2。

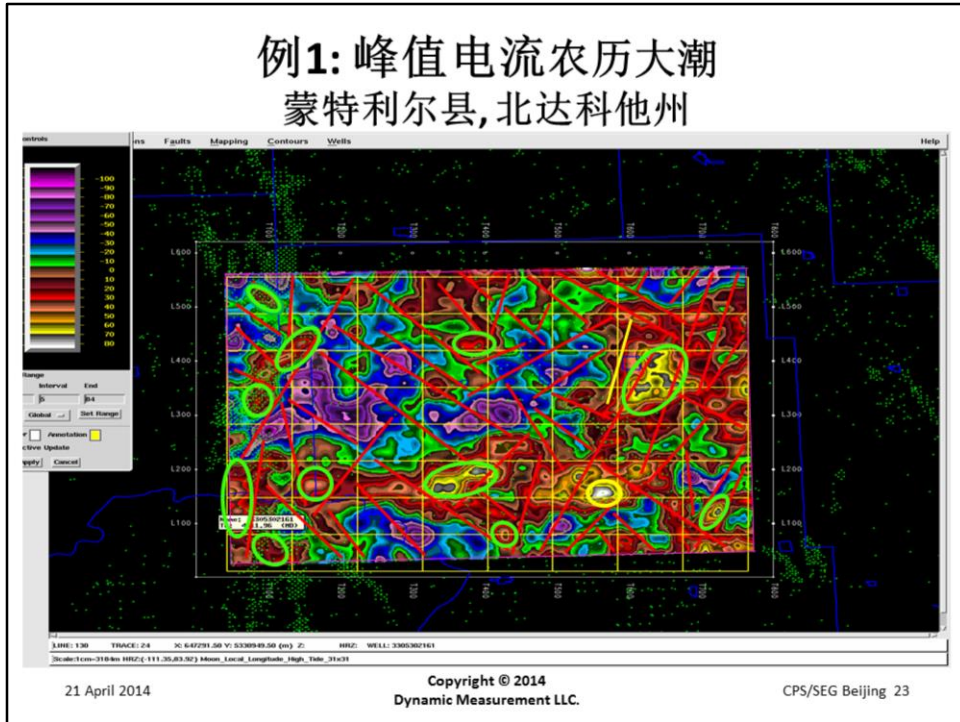
# 例 1: 峰值电流

## 蒙特利尔县, 北达科他州



案例一是通过在北达科他州芒特雷尔县的一个闪电分析项目的结果，显示了闪电峰值电流的空间变化。闪电数据是从美国闪电探测网的数据库中检索到的，并通过使用兰德马克图形公司的Seis-Work软件包进行的绘图。该图描绘的是从2008年到2010年在这个地区的闪电峰值电流。闪电密度随不同的时间间隔、上升时间、正极性峰值电流、负极性峰值电流、绝对峰值电流、峰值到零值、以及其他衍生属性也有类似的空间变化。图上覆盖的解释构成为：由闪电簇群之间绘制的构造线、和其他闪电属性图上标注的异常。

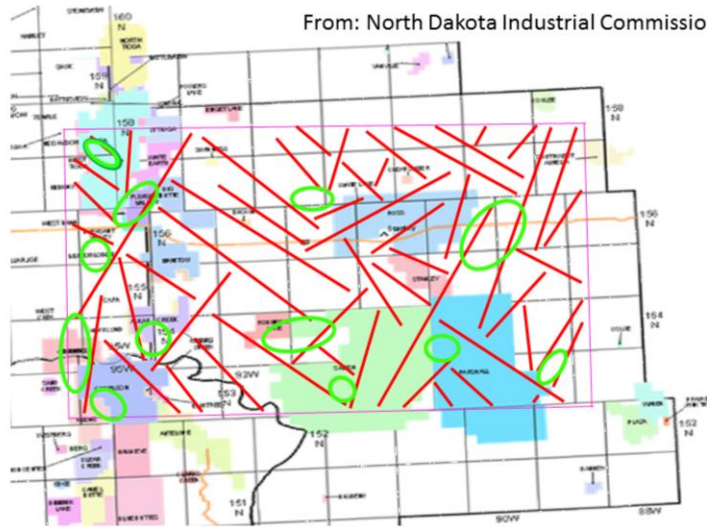
## 例1: 峰值电流农历大潮 蒙特利尔县, 北达科他州



那些用绿色标注的特定的异常，就是在农历大潮发生时闪电密度最大的区域。动态测量有限公司一个初步研究中的惊喜发现是农历大潮对闪电密度的影响。以北达科他州西部地区为例，在农历大潮期间发生的闪电比在低潮汐期间多25%以上。这些变化可能是与油气在地面的溢出相关（烃类在储层中有电阻性的，但在气体状态是可存储大量静电），也或可能是由于在潮汐发生时断层打开导致盐水进入断层。在这个地图第一次被公开展示时，在没有进行任何解释的情况下，一名与会的听众加入进来并说他刚刚在这个地区进行了三维地震勘探的解释，但是看起来闪电分析已揭示出一个主要的断层，可他在地震分析中未能观察得到，在此他用地质分层进行了绘图。这个断层似乎是上面用黄色显示的断层。当展示这一部分时，他说到：“是的，但你有没有注意到Parshall4油田最丰富的部分正是闪电密度最高的区域”（同样在上面用黄色标注）

# 例 1: 构造线和异常 覆盖在油田边界之上

From: North Dakota Industrial Commission 1988



21 April 2014

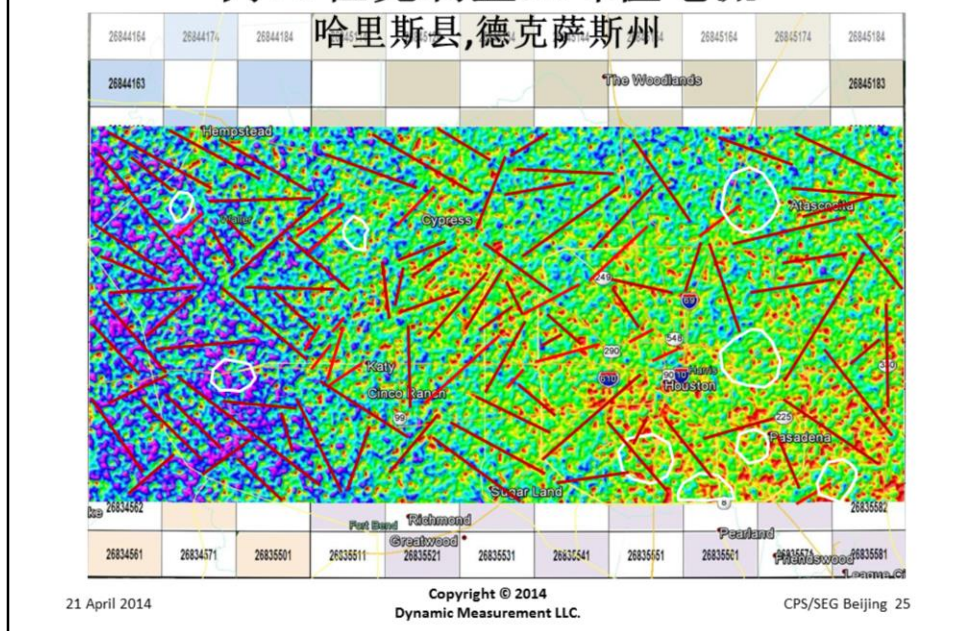
Copyright © 2014  
Dynamic Measurement LLC.

CPS/SEG Beijing 24

这张幻灯片显示的是从闪电数据解释中获得的构造线和异常叠加在从北达科他州工业委员会获得的油气田边界图上。

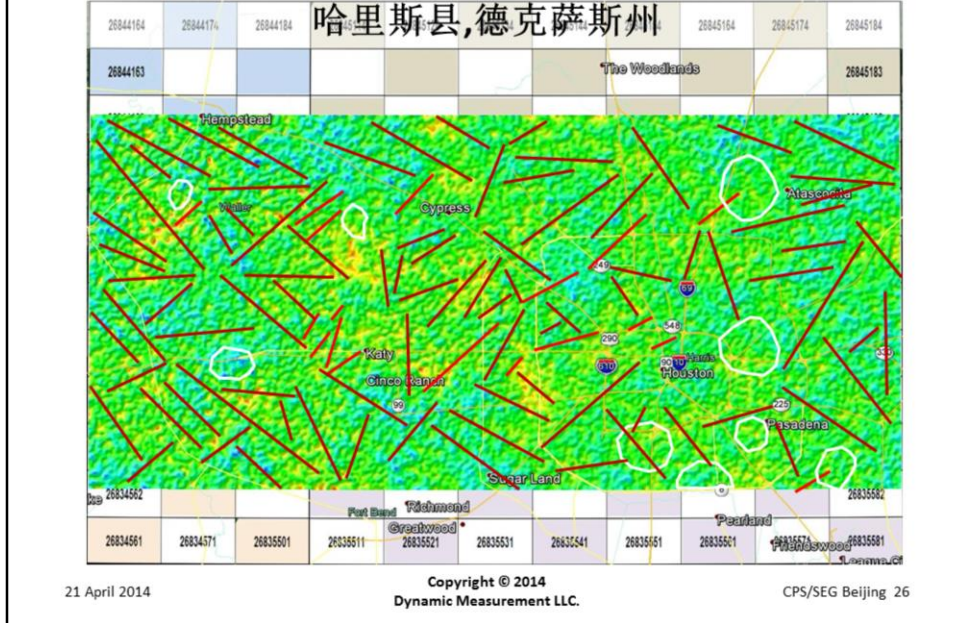


## 例 2: 霍克利盐丘峰值电流



例2是在德克萨斯州南部霍克利盐丘的项目。这些例子涵盖区域的面积比前面的例子大，但没有显示出从2000年到2011年闪电密度图的相对一致性。然而，该地区包括8½盐丘，大峰值电流的边界沿着布拉索斯河，根据众多的闪电解释出的构造线与在该地区跟已知的和测绘出的断层有关联。它延伸到休斯敦大都市区的大部分。另外，这些数据从国家闪电探测网络数据库中检索到的，并经过提纯、归一化、和等值化处理。这些地图显示的是每一年的峰值电流的绝对值，是把每一年的最强闪电归一化后得到的。白色线描绘的轮廓覆盖了突出的盐丘；浅红色线标注的是已知的断层；而暗红色的线则是根据闪电属性图而解释出的构造线。

## 例 2: 霍克利盐丘潮汐梯度



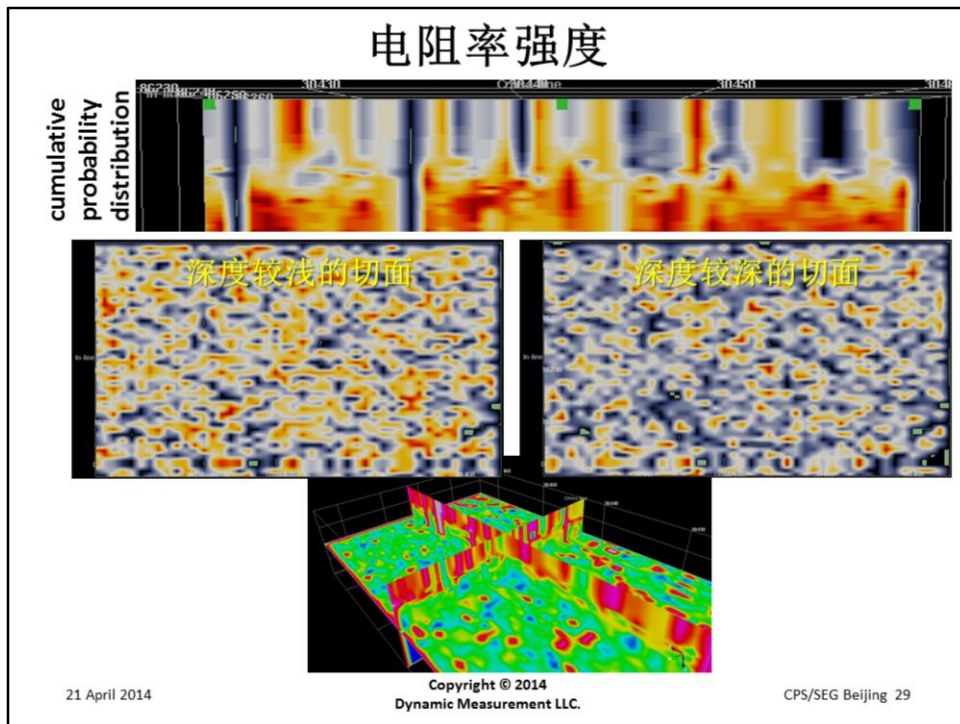
这张幻灯片显示的构造线和盐丘的位置叠加在当闪电发生时并进行平均的潮汐梯度地图之上，每个单元的面积约12000平方米



## 例2: 霍克利盐丘传统地图



这张幻灯片显示的构造线和盐丘轮廓叠加在传统地图上，西侧是威尔考克斯，盐丘和已知的断层位于勘探区域的东侧。对于典型的闪电分析项目可交付的成果包括衍生的闪电数据、许多闪电属性图、对构造线的解释跟众多相关联的闪电属性图、覆盖在传统地图或基础地图上面的构造线和异常的解释。如果合适的话，闪电与公开化的空间或时间数据类型之间的关联性分析，以及客户自己提供的资料也都是可以包括进去的。



动态测量有限公司最近决定利用从美国闪电探测网闪电数据库中所获得的闪电属性来探索计算地面电阻率。地面的电阻率不等同于井筒电阻率的定义，因为地层地质学研究的是薄层并覆盖很大的面积，可轻易地通过2英尺标准间距的井筒电阻率读数来获得。

然而，假定动态测量有限公司预计于今年早些时候在丹佛的SEG大会上将进行更详细的陈述，电阻率强度也是可以计算的。这张幻灯片显示了第一次计算的两个电阻率强度。请注意浅层切片比更深的深层切片具有较高的电阻率（更多的红）。

第一张中的垂直轴是一个未校正的功能，所以跟两个深度切片没有联系。由于我们的软件和技术水平的提高，我们预计深层切片可以利用较大的侧面积与地层地质学的联系来更大程度地测绘出反映含水层，油气藏以及矿化度的图。

而闪电数据不是“银弹”（迅速解决问题的捷径），当这项工作与其他地质和地球物理的数据资料及解释过程整合在一起时，它将提供一种来看待和评价地下地质状况的新途径。

## 结论

- 闪电密度和各种闪电属性，随空间的变化而发生变化。
- 这些变化随着时间的推移在某种程度上有一致性。
- 闪电数据库的数据对于矿藏的勘探而言是提供了一种新的地球物理数据类型。
- 与其他可能的油气田数据类型以及地震数据相整合，可提供出勘探自然资源的一种新途径。
- 特别是断层带和裂缝系统，以及导电区域和油气向地面可能的溢出也都是可以从这些图中解释出来的。

21 April 2014      Copyright © 2014  
Dynamic Measurement LLC.      CPS/SEG Beijing 30

### 结论：

- 闪电密度和各种闪电属性，随空间的变化而发生变化。
- 这些变化随着时间的推移在某种程度上有一致性。抛开纯粹的气象变化，它不是个最完美的技术。
- 闪电数据库的数据对于矿藏的勘探而言是提供了一种新的地球物理数据类型。
- 与其他可能的油气田数据类型以及地震数据相整合，可提供出勘探自然资源的一种新途径。
- 特别是断层带和裂缝系统，以及导电区域和油气向地面可能的溢出也都是可以从这些图中解释出来的。

## 致谢

- 维萨拉公司与动态测量公司签署独家许可协议并提供数据
- 罗伯特埃利希和克里斯廷坎贝尔在北达科他州进行了现场数据测试，查明和剔除了数据中的偏差
- 动态测量公司鼓励这些成果的发布

21 April 2014

Copyright © 2014  
Dynamic Measurement LLC.

CPS/SEG Beijing 31

致谢：

- 维萨拉公司与动态测量公司签署独家许可协议并提供数据
- 罗伯特埃利希和克里斯廷坎贝尔在北达科他州进行了现场数据测试，查明并剔除了数据中的偏差
- 动态测量公司鼓励这些成果的发布

## 参考文献

- Baba, Y., and V.A. Rakov, influence of strike object grounding on close lightning electric fields: *Journal of Geophysical Research*, 113. (D12109, doi:10.1029/2008JD009811).
- Cagniard, L., 1953, Basic theory of the magneto-telluric method of geophysical prospecting: *GEOPHYSICS*, 18, 605–635.
- Cheesman, S. J., Edwards, R.N., and Chave, A. D., 1987, On the theory of sea-floor conductivity mapping using transient electromagnetic systems: *GEOPHYSICS*, 52, 204-217.
- Denham, L.R., Nelson, H.Roice, Jr., Siebert, Lighting data and resource exploration, NS/HA E-P1: Multidisciplinary Studies and Applications, SEG Annual Meeting, 2013.
- Duncan, Peter M., and Eisner, Leo, 2010, Reservoir characterization using surface microseismic, *GEOPHYSICS*, 75, no. 5, 75A139-146.
- Hembury, Nikki, and Holle, Ron, May 2011, Flash of inspiration – latest innovations in worldwide lightning detection: *Meteorological Technology International*, 48.
- Keller, G.V., and F.C. Frischknecht, 1967, *Electrical methods in geophysical prospecting*: Pergamon Press.
- Krider, E. Philip, 1986, *The Earth's Electrical Environment: Studies in Geophysics*, 34.
- Murphy, Martin J., Holle, Ronald L., Demetriades, Nicholas W. S., 2008, Cloud-to-ground lightning warnings using electric field mill and lightning observations: reprint 20<sup>th</sup> International Lightning Detection Conference.
- Nabighian, M. N., 1991, *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*. Society of Exploration Geophysicists.
- Nelson, H. Roice, Jr., D. James Siebert, and L. R. Denham. Lightning data - the new EM "seismic" data: Presented at EM Workshop, SEG Annual Meeting, 2012.
- Nelson, H. Roice, Jr., D. James Siebert, and Les R. Denham, Lightning Data, A New Geophysical Data Type, AAPG Annual Meeting, 2013.
- Nelson, H. Roice, Jr., Roberts, Joseph H., Siebert, D. James, Massell, Wulf F., LeRoy, Samuel D., Denham, L.R., Ehrlich, Robert, Coons, Richard L., July 7, 2011, Method for locating sub-surface natural resources: U. S. Patent Application 2011/0163733 A1.
- Orville, Richard E., February 2008, Sparked by technology – the history of the national lightning detection network: *BULLETIN OF THE AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY*, 89.2.
- Orville, Richard E., March 2012, personal communication.
- Rakov, V.A., and M.A. Uman, *Lightning: physics and effects*, Cambridge, 2003.
- Sheriff, R. E., 2002, *Encyclopedic dictionary of applied geophysics*: Society of Exploration Geophysicists.
- Wilt, M.J., Morrison, H. F., Lee, K.H., and Goldstein, N.E., 1989, Electromagnetic sounding in the Columbia Basin, Yakima, Washington: *GEOPHYSICS*, 54, 952-961.
- Xiaobing Jin, Zhongming Chen, Qiming Ma, Yiding Li, and Junwei Pu, The Correlations between the Lightning Density Distribution of Sichuan Province and the Seismic Area: *International Journal of Geosciences*, 2013, 4, 380-386. (doi:10.4236/ijg.2013.42036)

21 April 2014

Copyright © 2014  
Dynamic Measurement LLC.

CPS/SEG Beijing 32

## 参考文献摘要





闪电数据库的数据分析是一个新兴的商业领域。  
感谢大家对此的关注。