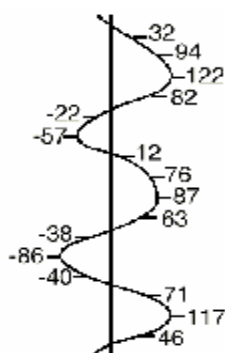


地震属性原理

振幅统计类属性能反映流体的变化、岩性的变化、储层孔隙度的变化、河流三角洲砂体、某种类型的礁体、不整合面、地层调协效应和地层层序变化。反映反射波强弱。用于地层岩性相变分析，计算薄砂层厚度，识别亮点、暗点，指示烃类显示，识别火成岩等特殊岩性。

1. 均方根振幅 (RMS Amplitude)

均方根振幅是将振幅平方的平均值再开平方。由于振幅值在平均前平方了，因此，它对特别大的振幅非常敏感。适合于地层的砂泥岩百分比含量分析，也用于地层岩性相变分析，计算薄砂层厚度，识别亮点、暗点，指示烃类显示，识别火成岩等特殊岩性。

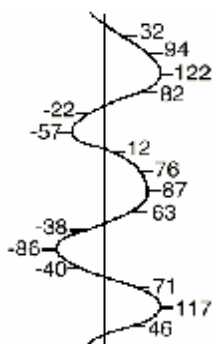


$$\begin{aligned} RMS &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i^2} \\ &= \sqrt{\frac{1}{16} (32^2 + 94^2 + \dots + 117^2 + 46^2)} \\ &= \sqrt{\frac{1}{16} (83945)} \\ &= \sqrt{5246.56} \\ &= 72.43 \end{aligned}$$

2. 平均绝对值振幅 (Average Absolute Amplitude)

平均绝对值振幅没有均方根振幅那样，对特别大的振幅敏感。

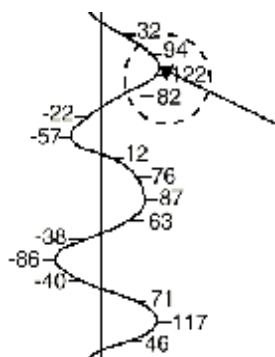
适于地层的岩性变化趋势分析，地震相分析，也可用于地层岩性相变分析，计算薄砂层厚度，识别亮点、暗点，指示烃类显示，识别火成岩等特殊岩性。



$$\begin{aligned} \text{Average Absolute Amplitude} &= \frac{\text{sum of absolute amplitudes}}{\text{number of samples}} \\ &= 1045/16 \\ &= 65.31 \end{aligned}$$

3. 最大波峰振幅 (Maximum Peak Amplitude)

最大波峰振幅的求取方法是，对于每一道，PAL 在分析时窗里做一抛物线，恰好通过最大正的振幅值和它两边的两个采样点，沿着这曲线内插可得到最大波峰值振幅值。



PAL 画一个使这三个采样点适合曲线并且沿这一曲线确定出最大值。

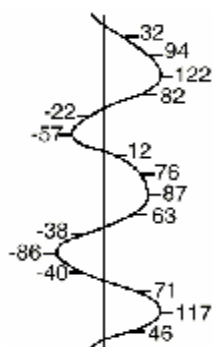
最大波峰振幅= 125

最大波峰振幅是分析时窗内的最大正振幅，最适合绘制层序内或沿着特定的反射体上的振幅异常图；这些异常可能是由于气体和流体的聚集，不整合，或是调谐效应而引起的。

适于沿某一层面进行储层分析，也可用于地层岩性相变分析，计算薄砂层厚度，识别亮点、暗点，指示烃类显示，识别火成岩等特殊岩性。

4. 平均波峰振幅 (Average Peak Amplitude)

平均峰值振幅是对每一道在分析时窗里的所有正振幅值相加，得到总数除以时窗里的正振幅值采样数得到的。

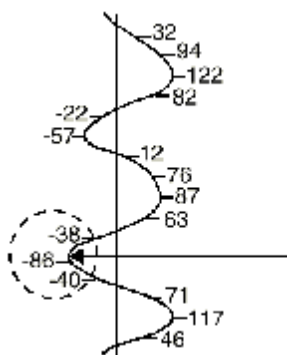


$$\begin{aligned} \text{Average Peak Amplitude} &= \frac{\text{sum of positive amplitudes}}{\text{number of positive samples}} \\ &= 802/11 \\ &= 72.91 \end{aligned}$$

适合研究某一层的岩性变化，也可用于地层岩性相变分析，计算薄砂层厚度，识别亮点、暗点，指示烃类显示，识别火成岩等特殊岩性。

5. 最大波谷振幅 (Maximum Trough Amplitude)

最大波谷振幅的求取方法是，对于每一道，PAL 在分析时窗里做一抛物线，恰好通过最大负的振幅值和它两边的两个采样点，沿着这曲线内插可得到最大波谷振幅值。



PAL 画一个适合这三个采样点的曲线

并且沿着这一曲线确定出最大值。

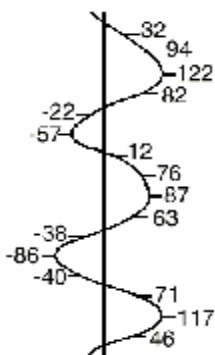
最大波谷振幅= $|-90| = 90$

最大波谷振幅是指定分析时窗内的最大负振幅，所以最适合绘制层序内或沿着特定的反射体上的振幅异常图；这些异常可能是由于气体和流体的聚集，不整合，或是调谐效应而引起的。

它与最大峰值振幅极性相反，应用相同。

6. 平均波谷振幅(Average Trough Amplitude)

平均波谷振幅是对每一道在分析时窗里的所有负振幅值相加，得到总数除以时窗里的负振幅值采样数得到的。



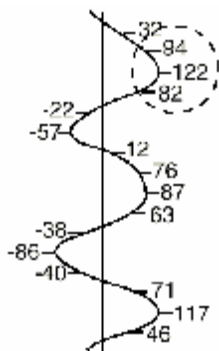
$$\begin{aligned} \text{Average Trough Amplitude} &= \left| \frac{\text{sum of negative amplitudes}}{\text{number of negative samples}} \right| \\ &= \left| -243/5 \right| \\ &= \left| -48.60 \right| \\ &= 48.60 \end{aligned}$$

与平均波峰振幅极性相反，应用相同。

7. 最大绝对值振幅 (Maximum Absolute Amplitude)

计算每道的最大绝对值振幅的求取方法是，首先在分析时窗内计算出波峰和波谷的值，得出最大的波峰或波谷值，然后，PAL 画一抛物线，恰好通过最大波峰或波谷振幅值和它两边的两个采样点，沿着这曲线内插可得到最大绝对值振幅值。

适合岩性分析，砂岩百分比研究，也可用于地层岩性相变分析，计算薄砂层厚度，识别亮点、暗点，指示烃类显示，识别火成岩等特殊岩性。

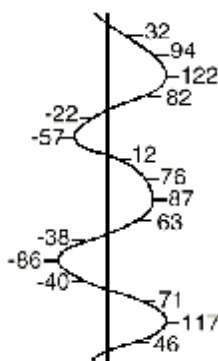


PAL 画一个适合这三个采样点的曲线
并且沿着这一曲线确定出最大值。

最大绝对值振幅= 123.6

8. 总绝对值振幅 (Total Absolute Amplitude)

总绝对值振幅是计算确定时窗内的所有道的绝对值振幅值。



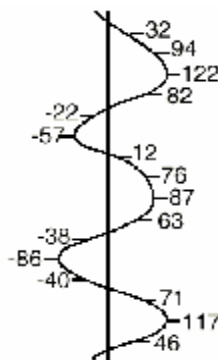
总绝对值振幅 = 振幅绝对值之和
= 1045

适合大套地层变化趋势分析和某一岩性的含量分析,也可用于地层岩性相变分析,计算薄砂层厚度,识别亮点、暗点,指示烃类显示,识别火成岩等特殊岩性。

9. 总振幅 (Total Amplitude)

每一道的总振幅是,在层内对采样点求取总的振幅值。

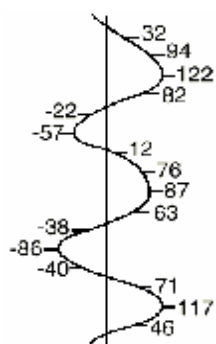
适合大套地层变化趋势分析,也可用于地层岩性相变分析,计算薄砂层厚度,识别亮点、暗点,指示烃类显示,识别火成岩等特殊岩性。



总振幅= 振幅之和
= 559

10. 平均能量 (Average Energy)

对于每一道的平均能量的求取方法是,对分析时窗内的振幅值平方相加,对总数除以时窗内的采样数求得。

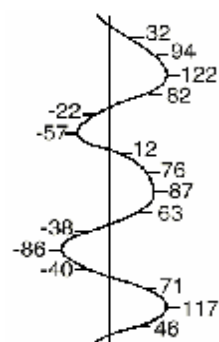


$$\begin{aligned}\text{Average Energy} &= \frac{\text{sum of squared amplitudes}}{\text{number of samples}} \\ &= 83,945/16 \\ &= 5307\end{aligned}$$

是均方根振幅值的平方，变化趋势和应用与均方根振幅相同。

11. 总能量(Total Energy)

对于每一道总能量的求取方法是，对分析时窗内的振幅值平方相加求和得到的。是振幅的平方和，应用与总振幅相同。



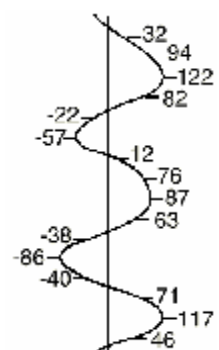
$$\begin{aligned}\text{总能量} &= \text{振幅的平方和} \\ &= 83,945\end{aligned}$$

适合于研究岩性趋势变化，可用于岩性解释，也可用于地层岩性相变分析，计算薄砂层厚度，识别亮点、暗点，指示烃类显示，识别火成岩等特殊岩性。

12. 平均振幅 (Mean Amplitude)

对于每一道的平均振幅的求取方法是，对分析时窗内的振幅值相加，总数除以非零采样点数得到的。

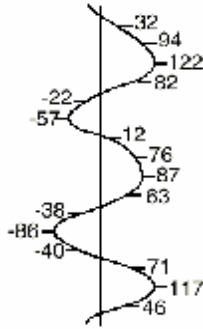
适合于研究岩性趋势变化，可用于岩性解释，也可用于地层岩性相变分析，计算薄砂层厚度，识别亮点、暗点，指示烃类显示，识别火成岩等特殊岩性。



$$\begin{aligned}\text{Mean Amplitude} &= \frac{\text{sum of amplitudes}}{\text{number of non-zero values}} \\ &= 559 / 16 \\ &= 29.81\end{aligned}$$

13. 振幅的平方差 (Variance in Amplitude)

对于每一道的振幅的平方差的求取方法是,对分析时窗内的每个振幅值减去平均值累加,总数除以非零采样点数得到的。

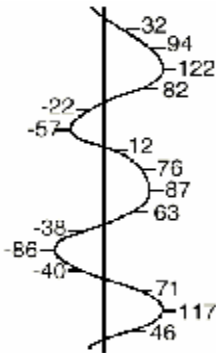


$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{x})^2 \\ &= \frac{1}{16} \sum (x_i - 34.94)^2 \\ &= \frac{1}{16} 64414.88 \\ &= 4025.93 \end{aligned}$$

振幅偏差和离散程度,用于研究振幅值的细微变化,用于研究小断层/裂缝和地震微相的变化。适合地层稳定、振幅变化不大的地区。

14. 振幅的立方差 (Skew in Amplitude)

对于每一道的振幅的立方差的求取方法是,对分析时窗内的所有采样点求取平均值,然后减去每道的平均值,计算差值的立方,求出这些值的总和,除以采样点数就可得到。



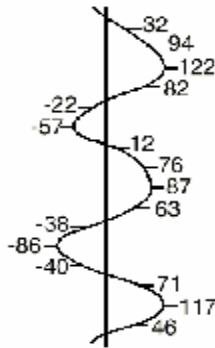
$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{x})^3 \\ &= \frac{1}{16} \sum (x_i - 34.94)^3 \\ &= \frac{1}{16} 1,748,392.31 \\ &= 109,274.52 \end{aligned}$$

比平方差振幅更夸大振幅值的变化和偏差及离散程度,用于研究振幅值的细微变化,用于研究小断层/裂缝和地震微相的变化。适合地层稳定、振幅变化不大的地区。

15. 振幅的峰态 (Kurtosis in Amplitude)

对于每一道的振幅的峰态的求取方法是,对分析时窗内的所有采样点求取平均值,然后减去每道的平均值,计算差值的四次方,求出这些值的总和,除以采

样点数就可得到。



$$\begin{aligned} K &= \frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{x})^4 \\ &= \frac{1}{16} \sum (x_i - 34.94)^4 \\ &= \frac{1}{16} 488,396,997.64 \\ &= 30,524,812.35 \end{aligned}$$

其作用是进一步夸大振幅偏差和离散值，用于研究振幅值的细微变化，研究小断层/裂缝和地震微相的变化。适合地层稳定、振幅变化不大的地区。

复数道统计类属性这类属性帮助分析气体、流体的特征、岩性、河道与三角洲砂岩、礁体、不整合面、地层序列、裂缝、调协效应。

1. 平均反射强度 (Average Reflection Strength)

反射强度可认为是与相位无关的振幅值，它是地震数据的包络。对于每一个时间采样点，反射强度由下式计算：

$$\text{反射强度} = ((\text{实地震道})^2 + (\text{虚地震道})^2)^{1/2}$$

因而，反射强度总是正的，并且与实地震道同一数量级。

在分析时窗内，PAL 将每一输入数据道转换为反射强度然后计算它的平均值。

因为振幅信息从相位信息中分离出来，所以平均反射强度对振幅异常更为敏感。因而，平均反射强度对于检测由于岩性和地层改变而引起的时间序列振幅值上的变化很有帮助，也对由于气体和流体聚集，不整合，和调谐效应而引起的振幅异常识别很有帮助。

平均反射强度突出振幅的异常。可用于识别火成岩、砾岩体、盐丘等形成的振幅异常；识别三角洲河道、洪积扇等地质现象。适于大套厚地层，不适于薄层。

2. 平均瞬时频率 (Average Instantaneous Frequency)

瞬时频率表示以时间为函数的瞬时相位的变化率。它是对相位地震道的斜率的一个估算，是相位的导数。值的范围是从 -Nyquist 频率到 + Nyquist 频率；然而，大多数的瞬时频率都是正值。对于每一输入地震数据道，先计算瞬时频率，

然后将分析时窗内的所有瞬时频率的平均值输出。

平均瞬时频率提供了一种追踪主频的方法，它是与气体饱和度或地层断裂，或岩性及地层改变相联系的。在某一些环境下，气体饱和砂体削弱地震高频，引起了与 RMS 振幅异常（亮点或暗点）一致的反常低平均瞬时频率值。

平均瞬时频率用于检测频率吸收情况。可检测含气层、识别小断层、裂缝带等吸收系数大的地层。

3. 平均瞬时相位(Average Instantaneous Phase)

瞬时相位描述的是相位移（由时间序列的实组分和虚组分组成的旋转向量）和实轴（是一个时间的函数）之间的角度。因而，它总是在 -180° 和 $+180^{\circ}$ 之间。PAL 将每一输入道转换为瞬时相位，然后计算在分析时窗内的平均值。

平均瞬时相位提供一个地震时间间隔内的总的相位特征的一个平均值。相位上的横向变化可能与沉积物中的流体容量改变或是一个层序中地层特征的变化有关。

瞬时相位对振幅调谐效应有响应。换句话说，当振幅属性由于反射体的相长干涉与相消干涉而有所偏差时，它们值将会十分接近，瞬时相位可以确定振幅的改变是由调谐而不是由烃或其它效果引起。

注意瞬时相位有一个不连续的，锯齿状的特征，这是由于相位是从 $+180$ 度到 -180 度突然的变化。因而，分析时窗大小是非常重要的，并且是应该相当小的。

平均瞬时相位反映地震反射层的相位特性。确定地层的尖灭点，帮助对比解释超复、尖灭等不整合界面。还可以根据相位特征进行地震新、相的划分。

4. 反射强度的斜率（Slope of Reflection Strength）

PAL 将每一输入道转换为反射强度，然后在分析时窗内用一个最小二乘法回归来做拟合反射强度值的曲线。这个曲线的斜率就输出到属性层位文件中。

如果反射强度在整个间隔内保持不变，其斜率将接近零值。如果反射强度到间隔底部是逐渐增加的，则斜率值是正值。如果反射强度到间隔底部是逐渐减少的，则斜率值是负值。

反射强度的斜率对于绘制主要的纵向地层趋势很有用处。例如，海侵或海退的层序可在高振幅砂岩和低振幅页岩之间产生纵向分级。反射强度的斜率中的特殊模式可证明这些纵向上的改变，绘制这个属性将提供一个砂岩和页岩位置的横

向变化图。

同样地，一个储层的流体体积改变，反射强度的斜率在响应上也会有改变。绘制这一属性图你可用来定义气层和油层的横向位置。

反射强度的斜率反映反射强度的变化梯度，可用于识别不同时代的地层的分别范围。在地震资料好的情况下应用，其应用类似反射强度。

5. 瞬时频率的斜率 (Slope of Instantaneous Frequency)

PAL 将每一输入地震道转化为瞬时频率，然后在分析时窗内用一个最小二乘法回归来做拟合频率值的曲线。这个曲线的斜率就输出到属性层位文件中。

如果瞬时频率在整个间隔内保持不变，其斜率将接近零值。如果瞬时频率到间隔底部是逐渐增加的，则斜率值是正值。如果瞬时频率到间隔底部是逐渐减少的，则斜率值是负值。

在频率垂向上的变化常常是由气体饱和度的吸收效果或是裂缝引起的。特别是在气层下的含气砂体可立即显示出频率渐变带，而在更低的反射体中频率逐渐增加。这个垂向变化可由瞬时频率的斜率检测出来，它可做气体区域的横向绘图。

瞬时频率的斜率可确定在一个层段内的吸收效应的变化。类似瞬时频率。

频谱统计类这类属性可揭示裂缝发育带、含气吸收区、调协效应、岩性或吸收引起的子波变化。

1. 有效带宽 (Effective Bandwidth)

数据体时窗的有效带宽是由数据体的零延时的自相关函数值除以采样周期与道两边所有自相关函数值之和的乘积。

$r(t)$ = the two-sided auto-correlation of the data in the window

$$EB = r(0) \div \left[T \sum_{n=-M}^M r(n) \right] \quad T = \text{sample period}$$

Window length = $2M+1$

有效带宽被看作是定量化的相似数据体。狭窄的带宽就是比较相似的数据体；而较宽的带宽是不太相似的数据体。因此，宽的带宽表示不均质的反射特征，被认为是复杂的地层；窄的带宽表示的是较简单的或平滑的反射特征，认为是均质的地层模式。带宽能帮助我们在数据体中识别噪声区，有噪声的数据体比没有

噪声的数据体有很明显宽的带宽。

应用地震地层学的方法，可以从与其它属性相配合的有效带宽中推断出一系列地震反射所代表的沉积环境。如一个狭窄的带宽区域，低振幅，高频，连续的平行反射代表了低能量沉积环境，认为是深海页岩。

可用于识别均质地层和非均质地层，沉积环境分析。

2. 弧长 (Arc Length)

弧长是作为地震道的波形长度来定义的，它是在时窗内对所有地震道的变化范围的比例测量。假想，用道的波形样式绘制地震道曲线，然后想象一根绳子放在地震道上跟着每个波形波动。地震道的弧长就是当绳子伸展开的总长度。

$$S = \frac{1}{NT} \sum_{i=1}^N \sqrt{[a(i+1) - a(i)]^2 + T^2}$$

$a(i)$ = amplitude at the i th sample T = sample period

N = number of samples in the window

弧长是用于高振幅高频率和高振幅低频率之间与低振幅高频率和低振幅低频率之间的区别。如因为页岩和砂岩的界面，一般有一些突变和高阻抗的反差，弧长就用于页岩层序和含砂量较高的层序之间的识别，带宽越小，弧长就越接近总绝对值振幅。这一属性相似于反射的非均质性。

区分强振幅高频和强振幅低频、弱振幅高频和低频反射。用于砂泥岩和砂岩地层的含砂岩量分析以及层序地层分析。

3. 过零值平均频数 (Average Zero Crossings Frequency)

过零值平均频率的计算方法是通过数据体时窗中的过零点的个数 (N_{zc})，和求出第一个通过零值的反射时间和最后一个通过零值的反射时间，根据下式计算出过零点平均次数 (f_{zc})。

$$f_{zc} = \frac{N_{zc} - 1}{2(t_2 - t_1)}$$

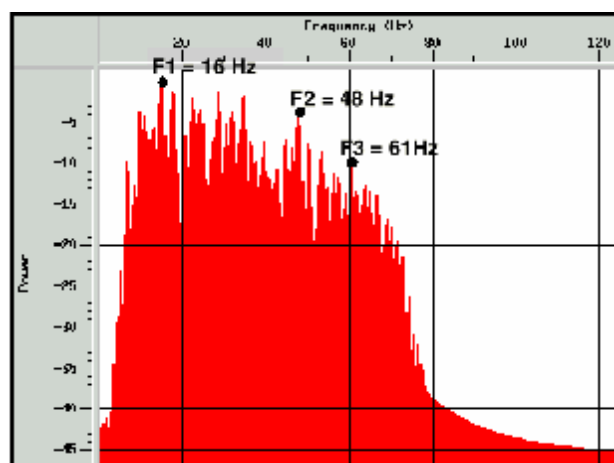
t_1 = 第一个过零值时间

t_2 = 最后一个过零值时间

对于过零值平均频数的用途相似于瞬时频率，由于它不会有尖脉冲，并且它的值不会为负值或无穷大，因此它是一个比较稳定的量。当时窗比较小时，过零值平均频数对波形中较小的变化比平均瞬时频率敏感。

4. 主频系列 F1、F2、F3 (Dominant Frequency Series F1、F2、F3)

对于所确定时窗的每一个输入道的估算值是由能量谱中的三个最主要频率分量组成，如下图中的 F1、F2、F3。其中 F1 是低频段中的峰值，F2 是中间频段中的峰值，F3 是高频段中的峰值。运行这些属性，PAL 就会用最大熵方法，对每道进行谱分析，六次多项式是用于能量谱模式和识别它的三个峰值。它应用的优点是能够输入有限的数据得到可靠的估算值。对于一定的输出格式必须由 40ms 的数据，当分析时窗在 40ms 以下时，PAL 将会输出无效值。



上图所绘的能量谱图是通过对所有道进行快速傅立叶变换得到的，主频估算值是在 50ms 的分析时窗中得到的。最大熵方法是在有限的时间时窗内得到可靠的估算值，但这些是对三个主频的数学方法估算值，并且这些估算值可能不总是于与你在实际能谱上看到的峰值一样。

这三组属性帮助你在数据时窗内来确定主频特征，在任意或所有主频系列属性里的侧向变化可能有由油气饱和度或断裂导致的频率吸收效应的特征。例如，油气饱和的砂体削弱了较高的频率，这样你就会看到较低的一个或所有的主频。

虽然同样的是计算峰值谱频率，因为它可以显示在振幅谱中的最重要的三个点，所以主频系列有更多的信息。通过更多的振幅谱特征，主频系列可以揭示与地层或岩性有关的频率趋势。

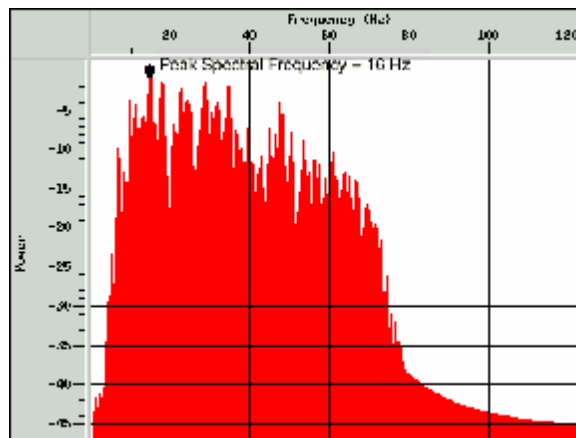
检测地层的频率吸收。可用于检测油气饱和度、断层/裂缝、岩性变化、非均质地层等和频率吸收有关的地质因素。

5. 峰值谱频率 (Peak Spectral Frequency)

对于所确定时窗内的每一输入道，峰值谱频率的估算值是由能量谱中单一

的最主要的频率组分组成。峰值谱频率相似于主频系列，主频系列估算值是由能量谱中的三个最主要的频率段组成。大体上，峰值谱频率将描述的是主频系列（F1、F2、F3）中所给任意道的最主要的谱组分。

运行这些属性，PAL 就会用最大熵方法，对每道进行谱分析，多系数多项式是用于能量谱模式和识别它的最重要的峰值谱频率。它的应用的优点是能够输入有限的的数据得到可靠的估算值。当分析时窗在 40ms 以下时，PAL 将会输出无效值。



上图所绘的能量谱图是通过对所有道进行快速傅立叶变换得到的，主频估算值是在 50ms 的分析时窗中得到的。最大熵方法是在有限的时间时窗内得到可靠的估算值，但这些是峰值谱频率数学方法估算值，并且这些估算值可能不总是与你在实际能谱上看到的峰值一样。

峰值谱频率提供了一种追踪主频特征的方法，主频特征可能由油气饱和度、断裂、岩性、地层的变化有关现象导致的频率吸收效应所带来的特征。例如，油气饱和砂体吸收了较高的地震频率，这样你可能看到较低的峰值谱频率值。

任何大于阈值值的频率都将从峰值谱频率分析中被排除的。在数据体中设定阈值为最大有效频率，一般来说，这个值是信噪比为 1 的频率值。在这个频率值以上，许多的噪声的存在比信息多。因此这个数据不会对整个时间道有建设性的作用。比其它频率属性要稳定，尤其适于噪声强的地震资料。

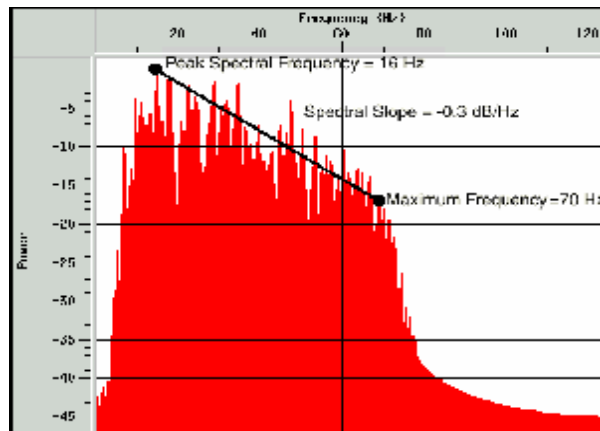
6. 从谱的峰值到最高频率的斜率 (Spectral Slope from Peak to Maximum Frequency)

这个属性表明了和分析时窗内高频成分被吸收的特点。你确定了一个感兴趣的^{最大值}，PAL 就计算出在谱中的峰值频率到你设定的^{阈值}衰减比率。如果斜率是一个高值，高频成分很快被吸收；如果斜率是一个低值，就没有信息被吸收。

对每一输入道，PAL 会用最大熵方法计算峰值谱频率，多系数多项式是用于能量谱模式和识别它的最主要的峰值。

这个过程是用最小二次方回归法确定一个线性关系，适合于在峰值频率和对于谱估算的最大频率之间的所有能量谱模式的线性关系。斜率用 dB/HZ 表示。

下图实例中，所绘的能量谱图是通过对所有道进行快速傅立叶计算得到的，波峰谱频率和从波峰到 70HZ 最大频率的斜率是用 PAL 在 50ms 的分析时窗中得到的。



这个属性想通过对能量谱的衰减的估算，用频率在典型的能量谱内定量表示频率的吸收效应。谱斜率的侧向变化可能由于油气饱和度或断裂或与岩性或地层的变化有关现象导致的频率吸收效应所带来的特征。例如，油气饱和砂体衰减了较高的地震频率，谱斜率就会比较陡峭。

谱估算的最大频率值用于规定了峰值谱频率的上限，也就是，当峰值谱频率计算出来时，任何高于这个^{阈值}的频率都会被排除。在数据体中设定^{阈值}为最大有效频率，一般来说，这个值是信噪比为 1 的频率值。在这个频率值以上，存在的噪声比信息多。因此这个数据不会对整个时间道有建设性的作用。

通过振幅中的衰变模型来确定频率吸收效应的量。用于分析频率屏蔽区的频率特性，进行储层预测。