

# 川西坳陷地震波衰减定量估算及分析

涂远良, 王达远, 李华科

(中国石化西南油气分公司 勘探开发研究院, 四川 成都 610000)

**摘要:** 川西坳陷海相勘探目的层埋藏较深, 反射资料频带窄, 地震分辨率无法满足勘探要求, 地层吸收衰减是导致分辨率低的主要原因, 为了解深层地震波的衰减情况, 首先根据低速带资料和测井资料建立川西坳陷地层模型, 然后定量估算球面扩散、吸收衰减和透射损失引起的地震波衰减量, 以估算的衰减值为参考, 同时结合地震采集资料、井中零偏 VSP 和 Walkway-VSP 资料来分析影响深层反射波高频信号接收的因素。分析指出 1 500 m 以上浅层强吸收衰减是造成川西坳陷深层反射波高频成分缺失的主要原因, 5 000 m 以下海相地层反射波频带只能达到 40 Hz 左右, 深层资料采集应以降低背景干扰为重点, 并在提高资料采集密度上下功夫, 以达到增强深层弱反射信号、提高地震勘探精度的目的, 而不应单纯强调提高分辨率。

**关键词:** 地震波; 吸收衰减; 品质因子; 球面扩散; VSP

**中图分类号:** P631.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000 - 8918(2013)04 - 0596 - 07

近期实施的川科 1 井钻获高产气流, 揭示川西坳陷海相地层具有良好的勘探前景, 但海相地层埋深超过 5 000 m, 地震波衰减严重, 资料频带窄 (10 ~ 40 Hz), 分辨率低, 极大地制约了深层地震勘探的精度。深层反射波高频成分损失的原因, 初步认识是由于川西坳陷地表分布有厚薄不一的卵石层, 松散的表层结构对地震波产生强烈的吸收衰减作用, 加上地震波传播路径长, 传播过程中能量损耗大, 高频成分衰减殆尽, 造成深层反射资料频带窄。但是, 深层地震波高频成分究竟被衰减到什么程度? 是否已衰减到地震采集系统可接收的范围之外? 造成高频成分损失的主要原因是什么? 对这些基础问题还缺乏深入的研究, 没有明确的结论, 生产中迫切需要对地震波的衰减情况作更详细的分析研究, 以指导深层勘探工作。为此笔者根据表层调查和井中资料建立川西坳陷地层模型, 对地震波的衰减情况进行定量的估算, 同时结合实际地面地震资料和 VSP 资料, 分析地震波的衰减特征和影响高频成分接收的关键因素, 为深层勘探野外采集方法设计提供参考依据。

## 1 地震波衰减估算的方法原理

影响地震波振幅和频率成分的因素非常多, 但主要是两个方面: 一是受野外施工方法的影响, 如井深和药量, 检波器数量与埋置, 炮点、检波点耦合情

况等; 二是受地震波在地层中传播机制的影响, 包括波前扩散、吸收衰减、透射损失、散射、薄层效应、波型转换、振幅随偏移距变化等。地震波衰减定量估算主要是计算地震波在地层中传播时产生的振幅频率衰减变化, 并且通常只考虑波前扩散、吸收衰减、透射损失的影响, 地震波传播过程中的衰减主要是由这三项引起的, 其他衰减因素作用相对较小且难以定量估算, 地震资料处理中振幅恢复补偿一般也只考虑这三项, 因此仅就地震波扩散、吸收和透射损失的衰减估算结果, 用以大致了解地震波衰减特征和指导深层勘探采集设计, 其精度是足够的。

炸药震源产生球面波, 因此波前扩散通常又叫作球面扩散, 球面扩散衰减与频率无关。波从震源开始往外传播, 波前面越来越大, 单位面积上的地震波能量越来越小, 能量密度与传播距离的平方成反比, 又与地震波振幅的平方成正比, 因此地震振幅与传播距离成反比。设初始传播距离  $r_0$  处的振幅为  $A_0$ , 传播距离为  $r$  处的振幅为  $A$ , 则  $A/A_0 = r_0/r$ , 将振幅比取对数就得到球面扩散衰减分贝数  $D$

$$D = 20\lg(A/A_0) = 20\lg(r_0/r), \quad (1)$$

式(1)是假设地层为均匀介质时导出的, 通常地层为层状介质, 衰减还与炮检距有关, 这时波前扩散又叫作几何扩散, 可以推导出水平层状介质地震波法向入射时的振幅扩散因子<sup>[1]</sup>:  $D_0 = \frac{v_1}{tw_{rms}^2}$ , 不过这是相

对于单位传播距离( $r_0 = 1$ )时求得的,应用时还需作归一化处理,且  $v_1$  很难取准,因此零炮检距波前扩散衰减理论估算采用式(1)更可靠。

地层为非完全弹性介质,地震波传播中部分能量将转换成热能损耗掉,通常称这种衰减为地层的吸收衰减,吸收衰减与频率有关,频率越高,衰减越大。可用岩石品质因子  $Q$  来描述衰减特性,品质因子  $Q$  定义为地震波传播一个波长距离后原储能量  $E$  与耗散能量  $\Delta E$  之比: $Q = 2\pi E/\Delta E$ ,岩石越疏松, $Q$  值越小,对地震波的衰减越大;反之, $Q$  值越大,对地震波的衰减越小。地震波在地层中传播时的衰减机理非常复杂<sup>[2]</sup>,影响品质因子  $Q$  的因素很多<sup>[3]</sup>,通常  $Q$  值在地震勘探使用的频带范围内变化不大,可看成常数,但是很难精确测定地层的  $Q$  值,实验室用小块岩石测定的  $Q$  值不能代表实际地层的吸收特性,已开发了多种  $Q$  值提取方法<sup>[4]</sup>,但这些方法都存在局限性,理论计算一般根据  $Q$  与地层速度的统计关系来估算  $Q$  值,进而估算地层的吸收衰减<sup>[5]</sup>,适合国内探区的  $v$ - $Q$  经验公式为

$$Q = 14 \times v^{2.2} \quad (2)$$

地层的衰减系数  $\beta$  定义为地震波传播一个波长的振幅衰减分贝数,于是  $Q$  与  $\beta$  有

$$\beta = 27.29/Q \quad (3)$$

关系。对时间厚度为  $\Delta t$  的地层,频率为  $f$ (周期  $T$ ) 的地震波,可计算出地震波在该层内传播所产生的吸收衰减分贝数:

$$D = -(\Delta t/T) \times \beta, \quad (4)$$

还可以定义一个“层吸收指数” $G$ 来表征地层的吸

收特征,用层吸收指数乘以频率,就可得到地层对该频率的衰减分贝数

$$G = D/f = -(\Delta t) \times \beta, \quad (5)$$

地震波在层状介质中传播,每穿过一层,都有一部分能量反射回去,下传能量减少,称为地震波的透射损失衰减,反射层位越多,透射损失越大。对某一反射层,地震波反射能量强度不仅与该界面反射系数大小有关,还与上覆地层的透射系数有关。设地震波入射振幅为  $A_0$ ,第  $i$  层的反射系数为  $R_i$ ,则来自第  $n$  层的反射波振幅

$$A = A_0 \prod_{i=1}^{n-1} (1 - R_i^2) R_n,$$

将上式取对数,就可得地震波的透射损失衰减分贝数

$$D = 20\lg(A/A_0) = 20\lg\left[\prod_{i=1}^{n-1} (1 - R_i^2) R_n\right] \quad (6)$$

## 2 地层模型建立及地震波衰减估算

估算地震波衰减之前需先建立合理的地层模型。川西坳陷地层模型的建立,表层参数采用微测井和小折射调查资料,下部地层参数采用地震测井资料提供的地层速度和厚度信息。由于勘探程度较高,这两类资料都比较丰富,综合大量生产实测资料,可以建立比较准确的地层模型(表1),保证地震波衰减估算的可靠性。

球面扩散衰减计算的是相对振幅衰减量。实际资料采集中,初至波振幅是最强的,因此应计算相对于初至波振幅的衰减。野外采集时,考虑到菲涅耳

表1 川西坳陷地层球面扩散衰减

川西坳陷地层模型					平均速度	均方根速度	球面扩散衰减
系	组	底深/m	层厚度/m	层速度/(m/s)	m/s	m/s	dB
第四系	低速层	2.0	2.0	328			
	降速层	4.4	2.4	1029			
	第二降速层	72	67.6	2500			
白垩系	剑门关组	230.0	158.0	3200	3200	3200	-10.6
侏罗系	蓬萊镇组	1504.6	1274.6	4350	4184	4203	-27.1
	遂宁组	1876.6	372	4376	4222	4238	-29.0
	上沙溪庙组	2292	415.4	4282	4233	4246	-30.7
	下沙溪庙组	2519.8	227.8	3970	4207	4220	-31.6
	千佛崖组	2562	42.2	3970	4203	4215	-31.7
	白田坝组	2664	102	4340	4208	4220	-32.1
三叠系	须五段	3221.5	557.5	3898	4149	4161	-33.7
	须四段	3823.5	602	4210	4159	4169	-35.2
	须段	4659	835.5	4397	4200	4209	-36.9
	须二段	5478.5	819.5	4680	4267	4277	-38.3
	小塘子组	5569	90.5	4525	4271	4281	-38.5
	马鞍塘组	5682	113	5255	4287	4299	-38.6
	雷四段	6031	349	6345	4370	4400	-39.2
	雷三段	6324	293	6235	4432	4473	-39.6

带效应,地震波初至能量主要体现的是低降速带底界面(高速顶)的贡献,故采用来自低降速带底界面的地震波振幅作为参考计算球面扩散衰减。川西坳陷地层模型低速底埋深 72 m,采集井深一般为 12 m,因此  $r_0$  取 132 m,  $r$  取目的层深度的 2 倍,按式(1)估算的球面扩散衰减值见表 1 右列。

收衰减与地层的品质因子  $Q$  和地震波频率有关,表层较疏松,  $Q$  很小,吸收衰减可比深层衰减大

几十到几百倍。高频成分单位距离内传播的波数比低频成分波数多,因此高频成分衰减比低频成分衰减大,地震记录随时间增大高频成分总是越来越少,频带越来越窄。同样吸收衰减计算考虑井深的影响,表层 12 m 只计算单程旅行时,其余计算双程旅行时,按式(2)、式(3)、式(5)计算  $Q$ 、 $\beta$  和  $G$ ,再按式(4)计算地层模型对 10、50、100、150 Hz 四种频率成分的吸收衰减,计算结果见表 2。

表 2 川西坳陷地层品质因子、衰减系数及吸收衰减

川西坳陷地层模型					层内旅行时 ms	总旅行时 s	$Q$	$\frac{\beta}{\text{dB}/\lambda}$	$G$ dB/Hz	$D/\text{dB}$				
系	组	底深 m	层厚度 m	层速度 m/s						10Hz	50Hz	100Hz	150Hz	
第四系	低速层	2	2	328	6.10	0.006	1.2	22.6407	-0.1381	-1.38	-6.90	-13.8	-20.7	
	降速层	4.4	2.4	1029	2.33	0.008	14.9	1.8302	-0.0043	-0.04	-0.21	-0.43	-0.6	
	第二降速层	72	67.6	2500	51.04	0.059	105.1	0.2596	-0.0133	-0.13	-0.66	-1.33	-1.9	
白垩系	剑门关组	230	158	3200	98.75	0.158	180.9	0.1508	-0.0149	-0.15	-0.74	-1.49	-2.2	
	蓬莱镇组	1504.6	1274.6	4350	586.02	0.744	355.5	0.0768	-0.0450	-0.45	-2.25	-4.50	-6.7	
累计层吸收指数和吸收衰减分贝数									-0.2155	-2.2	-10.8	-21.5	-32.3	
侏罗系	遂宁组	1876.6	372	4376	170.02	0.914	360.2	0.0758	-0.0129	-0.13	-0.64	-1.29	-1.9	
	上沙溪庙组	2292	415.4	4282	194.02	1.108	343.4	0.0795	-0.0154	-0.15	-0.77	-1.54	-2.3	
	下沙溪庙组	2519.8	227.8	3970	114.76	1.223	290.7	0.0939	-0.0108	-0.11	-0.59	-1.08	-1.6	
	累计层吸收指数和吸收衰减分贝数									-0.2545	-2.5	-12.7	-25.5	-38.2
	千佛崖组	2562	42.2	3970	21.26	1.244	290.7	0.0939	-0.002	-0.02	-0.10	-0.20	-0.3	
	白田坝组	2664	102	4340	47.00	1.291	353.7	0.0771	-0.0036	-0.04	-0.18	-0.36	-0.5	
三叠系	须五段	3221.5	557.5	3898	286.04	1.577	279.2	0.0977	-0.028	-0.28	-1.40	-2.80	-4.2	
	须四段	3823.5	602	4210	285.99	1.863	330.8	0.0825	-0.0236	-0.24	-1.18	-2.36	-3.5	
	须三段	4659	835.5	4397	380.03	2.243	363.9	0.0750	-0.0285	-0.28	-1.42	-2.85	-4.3	
	须二段	5478.5	819.5	4680	350.21	2.594	417.5	0.0654	-0.0229	-0.23	-1.14	-2.29	-3.4	
	累计层吸收指数和吸收衰减分贝数									-0.3631	-3.6	-18.2	-36.3	-54.5
	小塘子组	5569	90.5	4525	40.00	2.634	387.7	0.0704	-0.0028	-0.03	-0.14	-0.28	-0.4	
	马鞍塘组	5682	113	5255	43.01	2.676	538.8	0.0506	-0.0022	-0.02	-0.11	-0.22	-0.3	
	雷四段	6031	349	6345	110.01	2.786	815.6	0.0335	-0.0037	-0.04	-0.18	-0.37	-0.5	
	雷三段	6324	293	6235	93.99	2.880	784.8	0.0348	-0.0033	-0.03	-0.16	-0.33	-0.5	
累计层吸收指数和吸收衰减分贝数									-0.3750	-3.8	-18.8	-37.5	-56.2	

根据经验公式可计算出岩石密度  $\rho = 0.3125 \times v_p^{0.25}$ , 则第  $i$  层与  $i + 1$  层间的反射系数  $R_i = \frac{\rho_{i+1}v_{i+1} - \rho_i v_i}{\rho_{i+1}v_{i+1} + \rho_i v_i}$ 。依次算出川西坳陷地层模型各界面的反射系数,然后根据式(6)计算各层的透射损失衰减,计算结果见表 3。

当上覆反射界面不是太多时,某层的透射衰减主要取决于该层反射系数的大小,但是沉积盆地总是由厚薄不一的多套地层组成,每套地层内又可细分出许多小的层位,地震记录上某界面对应的反射波,实际上是由来自该界面附近很多个小反射界面上的反射波干涉叠加的结果,因此,对深部地层而言,上覆界面较多,透射系数的累积影响是比较大的,但这种影响又无法准确计算,因此根据少数主要界面

估算的透射衰减,只能当作大套地层界面附近大致的估计值。

根据表 1 ~ 3 中估算出的地震波在地层模型中传播时的衰减结果,整理出川西坳陷第四系以及蓬莱镇组、沙溪庙组、须家河组和雷口坡组四套主要目的层深度处地震波的总衰减量(表 4)。如前所述,透射衰减随着地层埋深增大逐渐增加,并且应该是反射界面深度附近衰减量的大致平均值,综合分析,表中四个目的层的透射损失衰减分别按 -20dB、-22 dB、-25 dB、-25 dB 的保守值给定。考虑到地震波传播过程中引起衰减的因素还有很多,因此地震波在实际地层中传播时产生的衰减只会比表 4 中估算出的衰减量更大。

表 3 川西拗陷地层透射损失衰减

川西拗陷地层模型				密度/(g/cm <sup>3</sup> )	底界面 反射系数	$\prod_{i=1}^{n-1} (1 - R_i^2)$	透射损失 衰减/dB
系	组	底深/m	层速度/(m/s)				
第四系	低速层	2.0	328	—	—	—	—
	降速层	4.4	1029	—	—	—	—
	第二降速层	72	2500	2.19	0.1531	1.0000	-16.3
白垩系	剑门关组	230.0	3200	2.33	0.1896	0.9766	-14.6
侏罗系	蓬莱镇组	1504.6	4350	2.52	0.0037	0.9415	-49.1
	遂宁组	1876.6	4376	2.52	-0.0136	0.9414	-37.8
	上沙溪庙组	2292	4282	2.51	-0.0472	0.9413	-27.0
	下沙溪庙组	2519.8	3970	2.46	—	0.9392	—
	千佛崖组	2562	3970	2.46	0.0556	0.9392	-25.6
	白田坝组	2664	4340	2.52	-0.0670	0.9363	-24.0
三叠系	须五段	3221.5	3898	2.45	0.0481	0.9321	-26.9
	须四段	3823.5	4210	2.49	0.0272	0.9299	-31.9
	须三段	4659	4397	2.52	0.0390	0.9292	-28.8
	须二段	5478.5	4680	2.56	-0.0210	0.9278	-34.2
	小塘子组	5569	4525	2.54	0.0932	0.9274	-21.2
	马鞍塘组	5682	5255	2.64	0.1173	0.9193	-19.3
	雷四段	6031	6345	2.77	-0.0109	0.9067	-40.1
	雷三段	6324	6235	2.75	—	0.9066	—

表 4 川西拗陷第四系及主要目的层深度地震波总衰减

地层	底深/m	双程反射 时间/s	累计层吸收 指数/(dB/Hz)	球面扩散 衰减/dB	透射损失 衰减/dB	吸收衰减/dB				地层总衰减/dB			
						10Hz	50Hz	100Hz	150Hz	10Hz	50Hz	100Hz	150Hz
第四系	72	0.059	-0.1557	—	—	-1.6	-7.8	-15.6	-23.2	-2	-8	-16	-23
蓬莱镇组	1504.6	0.744	-0.2155	-27.1	-20	-2.2	-10.8	-21.5	-32.3	-49	-58	-68	-79
沙溪庙组	2519.8	1.223	-0.2545	-31.6	-22	-2.5	-12.7	-25.5	-38.2	-56	-66	-79	-92
须家河组	5478.5	2.594	-0.3631	-38.3	-25	-3.6	-18.1	-36.3	-54.5	-67	-81	-99	-118
雷口坡组	6324.0	2.880	-0.3750	-39.6	-25	-3.8	-18.8	-37.5	-56.2	-68	-83	-102	-120

### 3 川西拗陷地震波衰减特征

考虑到造成地震波衰减的因素比较复杂,以表 4 中给出的地震波衰减估算结果作为参考值,同时结合野外地震资料和 VSP 资料,分析川西拗陷地震波的衰减特征及造成深层高频成分缺失的主要原因。

#### 3.1 川西拗陷与东部新生代盆地地震波的吸收衰减比较

在 2.5 s 左右反射深度,川西拗陷累计层吸收衰减指数  $G$  为  $-0.363$  dB/Hz,东濮拗陷<sup>[6]</sup>大约是  $-0.689$  dB/Hz,松辽盆地<sup>[7]</sup>是  $-0.57 \sim -0.668$  dB/Hz,计算结果表明川西拗陷地层对地震波的累计吸收衰减比东部盆地要小。原因在于,川西拗陷第四系地层虽然吸收衰减大,但厚度较小,累积衰减有限,进入中生代,地震波速度很快上升到 4 km/s 以上,因此理论估算的地震波累计吸收衰减比东部盆地小。这是否意味着提高深层勘探分辨率比东部盆地来得容易?用实际资料分析,发现地震波在浅表层的衰减远比理论估算值大,表明对地震波衰减机制的描述还不准确,依据式(4)的吸收衰减估算还存在较大误差。另外川西拗陷地层速度高,深层

波组抗差小,球面扩散和透射衰减都比较大,地震波的总衰减较大,因此提高深层勘探分辨率的难度仍然较大。

#### 3.2 深层反射波高频弱信号的记录范围

目前采用的 24 位地震仪(以 408XL 为例)有 23 个数字位,第 24 位是符号位,仪器噪声占据最低的 2 位,故 24 位地震仪的瞬时动态范围最大为 126 dB 左右( $21 \times 6.02$  dB),但是,地震仪在记录深层弱地震信号时达不到满刻度记录,瞬时动态范围将大大下降<sup>[8]</sup>。表 4 中最强的 10 Hz 低频信号在雷口坡组相对于浅层衰减了 66 dB,因此地震仪记录深层信号时的瞬时动态范围不超过 60 dB( $126 - 66 = 60$  dB)。因球面扩散和透射衰减与频率无关,根据表 4 中的吸收衰减绘出各目的层地震波频率衰减曲线(图 1),对于深层海相雷口坡组地层,按 60 dB 瞬时动态记录范围,则理论上可记录到的有效反射波最高频率成分可达 160 Hz 左右,可见 24 位地震仪的记录动态范围在理论上是能够满足对深层弱信号的记录要求的。

但野外原始资料深层有效波频带一般不超过 40 Hz,分析发现是由于高频成分衰减太强,弱于背景噪声能量,导致记录到的有效反射信号频带较低。

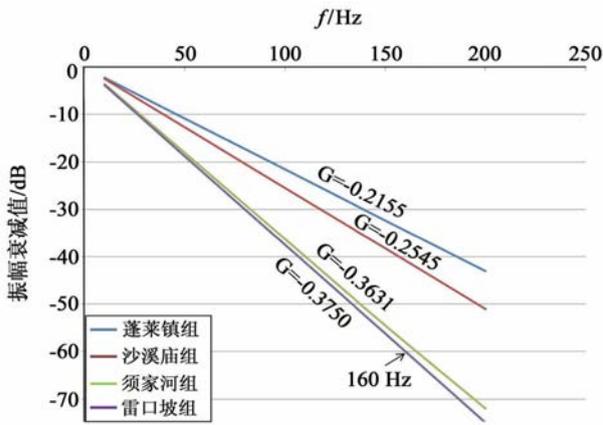
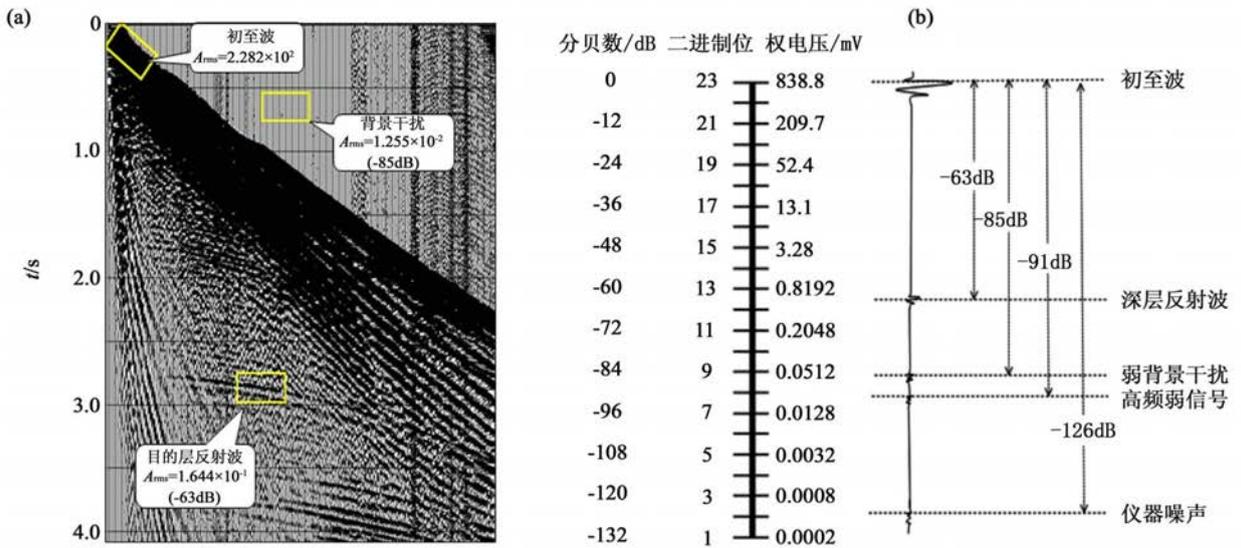


图1 川西坳陷主要目的层深度地震波频率衰减曲线

从野外采集记录中选取若干典型炮,计算初至波、背景干扰、深层目的层反射波的均方根振幅,并计算相对于初至波振幅的衰减分贝数(图2a),再对地震记录作高通滤波,计算出深层目的层反射波40 Hz以上高频成分的均方根振幅为  $6.402 \times 10^{-3}$ ,相对于初至波振幅衰减了 -91 dB。以408XL地震仪接收



a—野外记录振幅及衰减计算;b—图a中不同振幅在A/D转换器中的转换情况

图2 川西野外地震记录高频信号可记录性分析

### 3.3 根据VSP资料作地震波衰减分析

从表4看,浅层蓬莱镇组以上地层累积吸收衰减相对较小,反射波频带应该比较宽,但分析野外采集原始记录,发现浅层反射波高频成分也很难超过60 Hz,说明理论估算地震波衰减量远小于实际的衰减量,为此根据区内VSP资料作衰减分析。对川科1井零偏VSP记录直达波作振幅衰减分析(图3),可以看到,1530 m以上地层,直达波振幅随深度的增加衰减较快(分贝值在0 ~ -37 dB之间),1530 ~ 5730 m地层,直达波振幅随深度增加衰减较上段衰减明显变慢(分贝值在-37 ~ -77 dB之间),

为例,A/D转换器有23位,最低位代表权电压0.2 μV,最高位代表838.8 mV,全部23位最大可表示1680 mV,每高一位相当于信号强6 dB,当输入信号大于该位的权电压,A/D转换器就将在该位产生输出值。假设采集时图2a中最强的初至波振幅可以占满A/D转换器的最高位,则在A/D转换器的最高位即23位上将产生转换输出,深层目的层反射波、弱背景干扰和40 Hz以上反射波高频成分相对于初至波振幅分别衰减了-63 dB、-85 dB和-91 dB,则将分别在A/D转换器的第12位、第9位和第8位上产生转换输出。408XL地震仪采用12 dB时仪器输入噪声为0.68 μV(0.17 × 4 = 0.68 μV),故A/D转换器的最低2位输出为仪器噪声,上述不同信号在地震仪A/D转换器中的转换态势如图2b所示。可见40 Hz以上高频信号转换得到的二进制有效位数比弱背景干扰还要少,高频信号淹没于噪声中,背景干扰成为制约高频弱信号接收的主要因素之一。

5730 m以下地层,直达波振幅随深度增加衰减开始变慢。可见在蓬莱镇组1500 m以上地层内,大部分地震能量就衰减殆尽,高频成分很快弱于背景干扰,造成资料频带窄。再对记录作频率分析,图4、图5分别是川科1井零偏VSP记录(图3a)频谱分析和滤波扫描,扫描记录上5000 m深度50 Hz频率成分已弱于背景干扰,不能识别,直达波频宽仅能达到50 Hz左右。图6是新12井Walkway-VSP资料共深度点记录频率分析,1480 m深度频率最高能达到70 Hz左右,3500 m深度频率最高只能达到50 Hz左右。VSP直达波为单程传播,且背景干扰弱于地

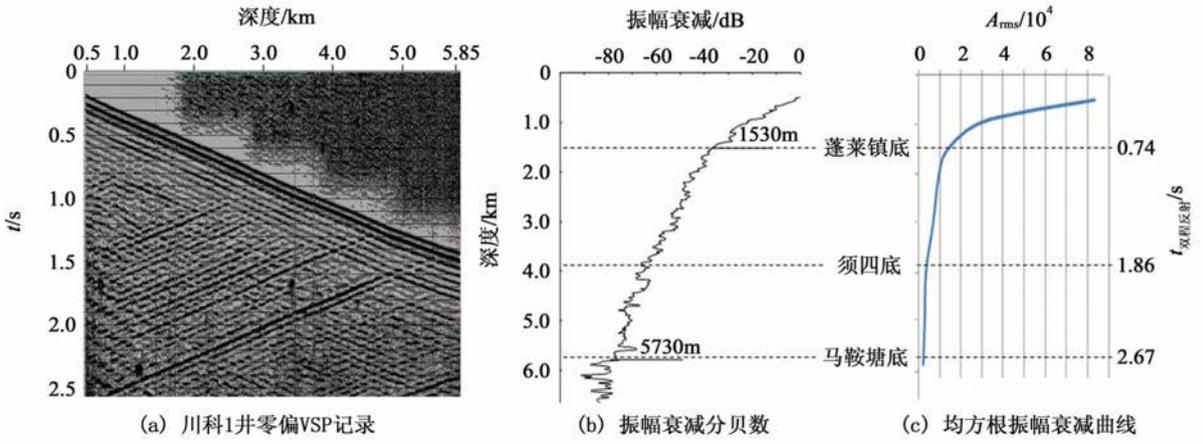


图3 川科1井 VSP 振幅衰减分析结果

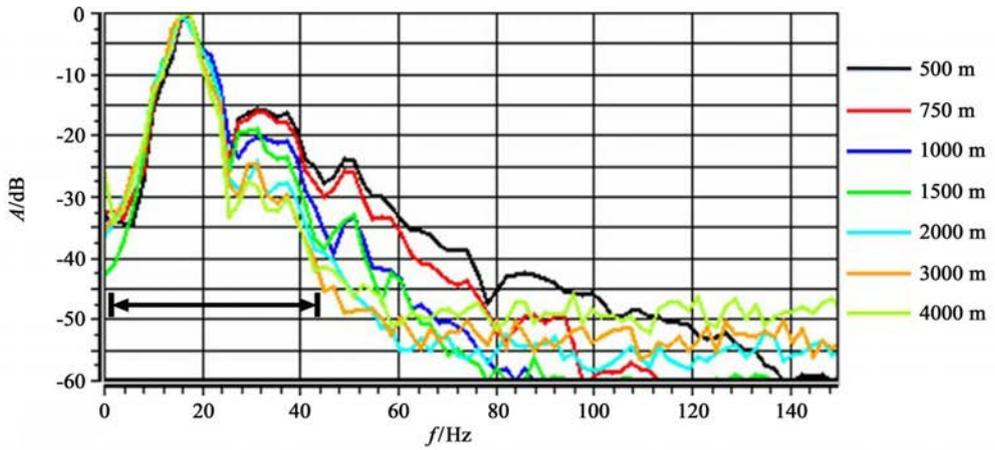


图4 川科1井零偏 VSP 记录不同深度频谱分析

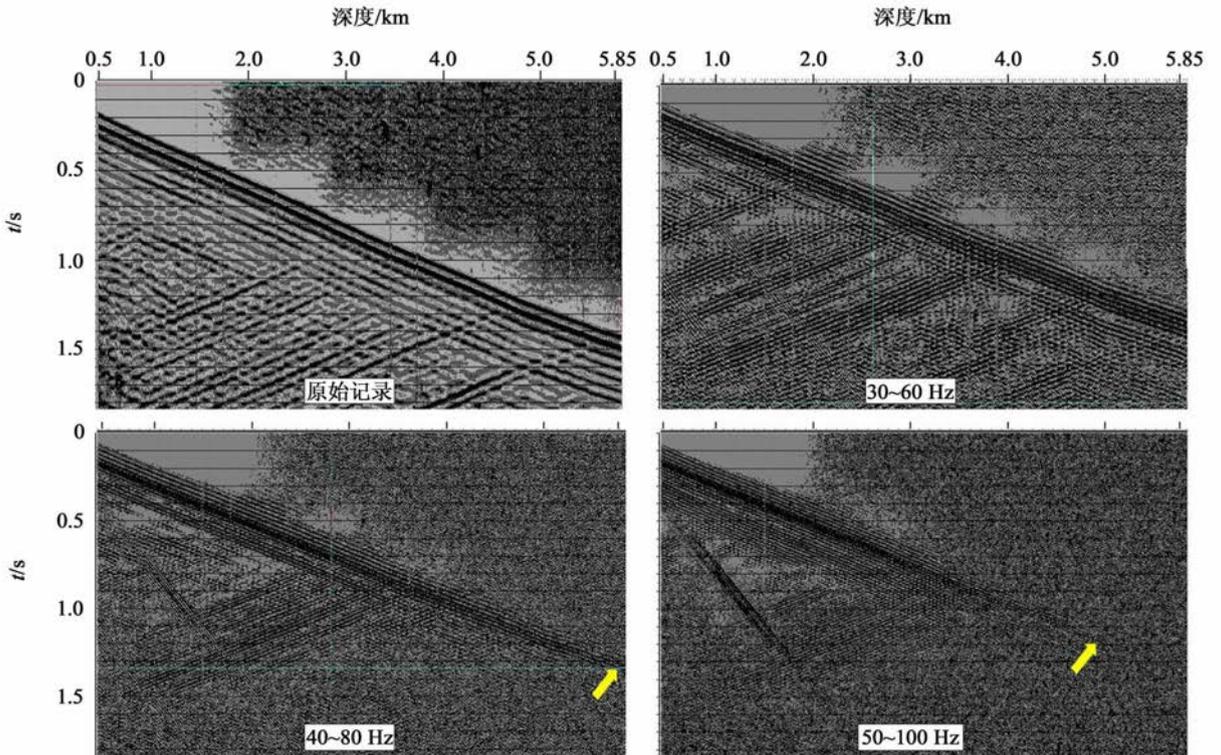


图5 川科1井零偏 VSP 记录频率扫描

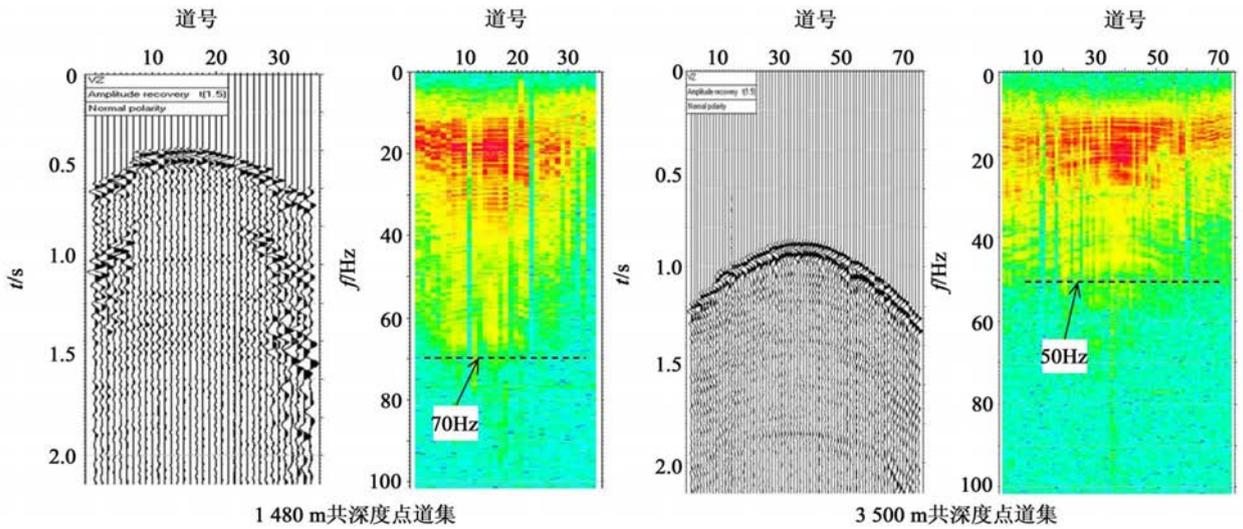


图6 新12井W-VSP共深度点道集记录频谱分析

表,地面采集记录频带更窄就不难理解,地震采集5 km 深度反射波频带大约只能达到40 Hz左右。可见川西拗陷地震波在1500 m以上地层内受到极大衰减,浅层强吸收衰减是造成深层高频成分缺失的主要原因。

### 4 结论

(1)理论计算结果显示川西拗陷地震波的吸收衰减比东部新生代盆地要小,但实际资料分析发现地震波在浅部地层内的衰减要远大于理论估算值,川西拗陷地震波的总衰减比东部盆地大,提高深层勘探分辨率的难度仍然较大。

(2)川西深层勘探24位地震仪的瞬时动态范围仅60 dB左右,理论上雷口坡组能记录到的有效波最高频率成分可达160 Hz左右,能够满足对深层高频弱信号的记录要求。但分析发现深层目的层40 Hz以上高频信号就已衰减到弱于背景干扰的程度,背景干扰制约了高频弱信号的可靠接收,造成实际采集资料频带较窄。

(3)根据VSP资料地震波衰减分析,50 Hz以上高频成分在浅部1500 m以上地层内就基本上衰减殆尽,没有多少高频能量下传,因此浅层强吸收衰减是造成深层高频成分缺失的根本原因,深层5 km以下海相地层反射波频带最高只能达到40 Hz左右。

(4)受浅层地质结构条件限制,川西拗陷地震采集分辨率不可能取得大的提高,在地震激发深层高频反射信号难有明显增强的情况下,针对深层的野外采集方法应设法降低背景干扰,同时提高资料采集高密度,增加高频弱反射信号的信息量,以达到增强深层反射信号能量,提高深层勘探精度的目的,而不应单纯强调提高地震分辨率。

需要说明的是,本项研究工作对深层资料分辨率、频带宽度的分析和认识仅基于野外采集原始资料的情况,不能代表经地震数据处理之后的情况。深层地震高频反射信号淹没于噪声中,受地震记录显示方式和人眼分辨率的限制,难以识别,常规地震资料显示方式与地震信号各种频率成分的真实分布有一定差距,而地震信号各种频率成分的真实分布情况的恢复有赖于地震数据处理,通过适当的地震资料处理和特殊处理手段,是可以增强高频段信号的信噪比、展宽资料频带和提高分辨率的,因此,高频弱信号的恢复与增强,采用合适的方式提取与突出显示,对提高深层勘探分辨率和勘探精度也是至关重要的研究课题。

### 参考文献:

- [1] 牟永光,陈小宏,李国发,等.地震数据处理方法[M].北京:石油工业出版社,2007.
- [2] 李振春,王清振.地震波衰减机理及能量补偿研究综述[J].石油地球物理学进展,2007,22(4):1147-1152
- [3] 郝召兵,秦静欣,伍向阳.地震波品质因子Q研究进展综述[J].石油地球物理学进展,2009,24(2):375-381
- [4] 官同举,孙成禹,彭洪超,等.几种提取品质因子方法的对比分析[J].勘探地球物理学进展,2009,32(4):251-256
- [5] 李庆忠.走向精确勘探的道路[M].北京:石油工业出版社,1994.
- [6] 钱绍湖,高建华,谷永兴,等.地层吸收衰减模型的制作及补偿方法的研究[J].石油地球物理勘探,1998(S1):18-24
- [7] 傅朝奎,王建民,王毅军,等.大庆长垣东部地区大地对信号的吸收衰减规律研究[J].石油物探,1998(S1):7-11.
- [8] 袁子龙,李婷婷.地层吸收衰减与地震仪器记录性能[J].石油物探,2004,43(5):450-452.

## GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF TAILINGS FROM THE DEXING COPPER MINE

PAN Han-jiang<sup>1</sup>, CHENG Zhi-zhong<sup>1</sup>, YANG Rong<sup>1</sup>, HE Ling<sup>1</sup>, SHANG Yun-tao<sup>2</sup>

(1. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000, China; 2. Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China)

**Abstract:** Tailing samples were collected by drilling in No. 1 tailing dam from the Dexing mine. The multi-element analytical scheme were applied. The tailing size was determined by the laser grain size analytical instrument, and the mineral form was determined by X-ray powder diffractometry. Some conclusions have been reached: The major particles of the tailing are silty, with quartz and sericite as the main minerals, while the content of metal minerals is less than 1%. The water-sorting action and supergene geochemical process in the tailing dam combined with changes in ore grade and mineral processing caused uneven distribution of elements and particle sizes of tailing. The tailing particle size decreases in the direction of the tailing discharge, and the elements can be divided into 3 zones: Cu, Fe, Mo→SiO<sub>2</sub>, Au→Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Tl. During the supergene geochemical process, the sulfide was weathered into oxides, which led to the significant decrease of the pyrite content, with the loss of Cu, Mo, S, Fe, Ca and C in tailing. Meanwhile sericite changed into illite.

**Key words:** Dexing copper mine; tailing; geochemical characteristics

作者简介: 潘含江(1986-),男,助理工程师,主要从事尾矿及矿产勘查地球化学方面的研究。

上接 602 页

## QUANTITATIVE CALCULATION AND ANALYSIS OF SEISMIC WAVE ATTENUATION IN WESTERN SICHUAN BASIN DEPRESSION

TU Yuan-gen, WANG Da-yuan, LI Hua-ke

(Southwest Exploration and Production Research Institute, Southwest Branch Company of SINOPEC, Chengdu 610000, China)

**Abstract:** In western Sichuan basin depression, the marine facies target layers are buried in great depth, resulting in narrow frequency band of reflected seismic data. Hence seismic resolution can not meet the need of prospecting goals, and low seismic resolution is responsible for stratigraphic absorption attenuation. In order to understand completely the reason for the attenuation of seismic waves, the authors built a model for western Sichuan basin depression strata, then calculated quantitatively spherical divergence, absorption and transmission attenuation of seismic wave based on the model, and combined the calculated attenuation values with seismic data, VSP and Walkway-VSP data to analyze the factors affecting high frequency reflected signal acquisition recording of deep layers. It turns out that the serious absorption attenuation of shallow strata above 1500 meters is the fundamental cause responsible for high frequency component losses of deep layers in western Sichuan basin depression and, as for the marine facies target layers buried deeper than 5000 meters, field acquisition data can only reach about 40Hz frequency band. Therefore, the field acquisition methods aiming at deep target layers should focus on reducing background noises and increasing acquisition density to enhance weak reflection signals of deep layers so as to improve the seismic prospecting precision, rather than solely focus on improving the seismic resolution.

**Key words:** seismic wave; absorption attenuation; quality factor; spherical divergence; VSP

作者简介: 涂远良(1977-),男,1999年毕业于成都理工学院应用地球物理专业,主要从事地震资料采集及方法研究工作。