文章编号：1006-6616（2017）02-0224-08

新疆哈密地区砂岩地震波速的实验研究及其对特殊地质填图物性工作的启示

王怀民[1,2]，王红才[1]，殷昌吉[3]，李阿伟[1]，赵卫华[1]，杜　威[1,2]

（1. 中国地质科学院地质力学研究所，北京 100081；
2. 中国石油大学（北京）地球科学学院，北京 102249；
3. 中石化新星湖北新能源开发有限公司，湖北 武汉 430000）

摘　要：本文在特殊地质填图的过程中研究了哈密地区砂岩的地震波速，利用 ZBL-U520 非金属超声检测仪和 Autolab2000 多功能岩石物性设备，在 0～200 MPa（约 0～7000 m 地下深度）下研究了密度、孔隙度和压力三个因素对砂岩地震波速的影响。研究发现：砂岩的波速与密度呈正相关关系，但与孔隙度呈负相关关系；纵波与密度和孔隙度的线性关系好于横波；波速与压力呈对数关系。此外，本文还分析了 ZBL-U520 与 Autolab2000 两种仪器测试方法的适用性。最后针对地质填图的特点给出建议：在特殊地质填图中，不仅要按照规范采集标本，测试其在常温常压下的岩石波速，还应该适当考察不同地层压力状态下的速度特征，才能更全面地认识填图区地震波的性质。

关键词：特殊地质填图；哈密地区砂岩地震波速；围压；孔隙度；密度

中图分类号：P623　　**文献标识码：**A

0　引言

在特殊地质填图中，物性工作的研究可以刻画特殊地质地貌区的岩石与地层的物性特征，为地球物理勘探提供基础数据。为了有效评价填图区的物性特征，有必要定量研究岩石的物性参数特征，如地震波速度等。实验研究地震波速度可以定量认识岩石的物性差异，这对建立基于原始测试数据的物性数据库和提升基础地质填图工作有重要意义。

国内外学者在密度、孔隙度、压力与波速的关系上已经取得了丰硕的成果[1~9]。Birch[10] 提出了密度和纵波速度的经验公式，指出波速与密度呈正线性关系；Volarovich 等[11] 测量了很多前苏联境内的岩石标本，给出了不同围压下岩浆岩与密度的经验公式，验证了 Birch 定律；史謌等[12] 通过实验研究发现岩石的波速与孔隙度有良好的负线性关系。

哈密地区是我国重要的油气勘探区域，但目前缺乏地震波速方面的报道。此外，在现有的地质填图工作中，地震波速的测量与研究主要集中在常温常压下，忽略了不同地层压力下的不同岩石类型的物性差异，其不利于完善地质填图工作。基于此，本文以哈密地区野外露头砂岩为例，在不同压力下研究了地震波速与密度、孔隙度和压力的关系，分别得到了适用于哈密地区的波速与密度、孔隙度和压力的经验公式，这为该区域物探测井的数据分析提供了参考和基础。用 ZBL-U520 非金属超声检测仪测量了样品在常温常压下的波速，同时，用 Autolab2000 多功能岩石物性设备测量了相同样品在地层模拟条件下的波速，将两者的波速数据进行比较，分析了其规律性并探

收稿日期：2016-10-15

基金项目：中国地质调查局项目“特殊地质地貌区填图试点”（DD20160060）

作者简介：王怀民（1992-），男，硕士研究生，地质工程专业，主要从事石油地质、岩石物性的研究。E-mail：wanghuaimin1016@163.com

通讯作者：王红才（1964-），男，研究员，博士生导师，主要从事岩石力学、岩石物性实验与应用及应力场模拟研究。E-mail：13911082285@139.com

讨了测试方法的适用性，最后针对特殊地质填图中的物性工作提出了相应的建议。

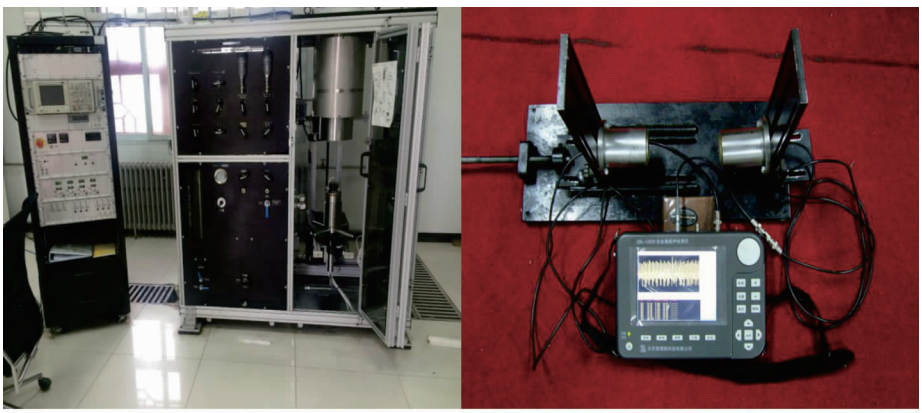
1　实验样品与设计

1.1　实验样品

实验样品来自于新疆哈密地区板房沟幅 1∶5 万特殊地质填图试点区的露头，一共 22 组砂岩，其地层为中二叠统塔尔朗组，且属于湖相沉积。实验前，先将样品加工成直径为 25 mm、高度为 50 mm的圆柱体，然后将其两端的表面抛光，其误差为 ±0.1 mm。

1.2　试验方法及仪器

本文的实验全部在中国地质科学院地质力学研究所的十三陵实验基地的岩石物性实验室中进行。图 1 为两种实验仪器的照片。



Autolab2000　　ZBL-U520

图 1　实验仪器

Fig. 1　Experimental instruments

不同压力下的波速实验在 New England Research（NER）公司生产的多功能岩石物性自动测试系统 Autolab 2000[13~15]上测试完成。最大测试围压可以达到 200 MPa，其测量误差为 ±0.5%，可以模拟地壳内部 0 ~ 7 km 的压力环境。波速测量的方法是声波脉冲穿透法[16]。该仪器可以同时获取纵波和两个相互正交的横波（SH 波和 SV 波[13~15]）的数据结果。其纵波换能器主频为 700 kHz，横波换能器主频为 250 kHz。根据 Hornby 的方法[17]，计算出纵波和横波的相对误差分别在 1.0% 和 0.77% 以下。由于两个横波的速度差异较小，所以忽略其各向异性，取两组横波的平均值作为样品的横波速度。

在实验过程中，从 5 MPa 开始测量第一组数据，然后升压到 10 MPa，最高测量围压为 200 MPa，每间隔 10 MPa 测量一组波速数据。在每个围压下保持足够长的时间（至少 30 min），以保证样品内部的应力分布均匀。由于岩石的地震波速有一定的滞后性，所以一个测试循环需考察升压测试（5 ~ 200 MPa）和降压测试（200 ~ 5 MPa）两个部分。

测量样品孔隙度时，先将样品放入真空干燥箱，在 105 ℃的恒温真空环境下烘干 48 小时以上，认为样品完全干燥。在高精度电子天平上称量干燥样品的质量 M_d，天平精度可达 0.001 g。然后将烘干的样品用蒸馏水浸泡，放入密封真空箱中，用真空泵连续抽真空，直到样品表面的气泡完全消失，认为是完全饱和。称量样品在水中和空气中的重量 M_w 和 M_g，则样品孔隙度 ϕ 的计算公式为：

$$\phi = \frac{M_g - M_w}{M_g - M_d} \tag{1}$$

2　原位条件下实验结果与分析

2.1　波速与密度的关系

本文所用的 22 组样品的孔隙度与密度是自然状态下的数值。因为考虑到 0 ~ 200 MPa，压力的变化并不是太大，根据郝晋昇对华北地区典型岩石压力与密度的实验分析可知，当压力从 0 kb 上升到 10 kb 的过程中，砂岩的密度变化很小[2]。由于 1 MPa = 10 bar，本文的 0 ~ 200 MPa 相当于 0 ~ 2 kb，所以砂岩的密度变化应该很小。在实验过程中，将其作为了常量，再分析不同密度下，砂岩

波速随压力的变化关系。

图 2 是样品的波速与密度的关系图，波速与密度的线性拟合公式见表 1。由于当压力变化不大时，波速与孔隙度的关系不明确，所以本文选取了具有一定间隔的压力值来分析波速与密度的关系，即 5 MPa、60 MPa、120 MPa 和 200 MPa。从图 2 中可以看出：

纵横波速度随密度增加而增加，在四个不同压力下，纵横波速度与密度的拟合直线近似平行，高压下的斜率稍微小于低压，这是因为随着压力增加，样品内部结构会被缓慢压实，导致增加速率变慢；图 2 纵波的直线斜率为 4000 左右，明显大于横波的 1300 左右，说明横波速度随密度的变化率小于纵波。

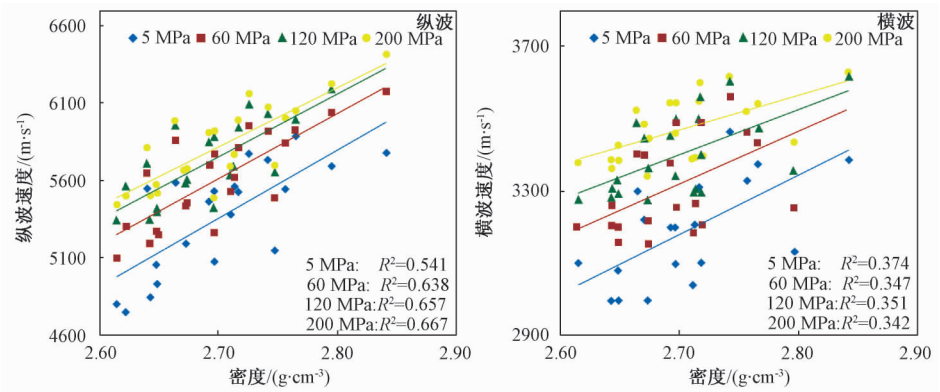


图 2 不同压力条件下波速与密度的关系图

Fig. 2 The relationship between wave velocity and density under different confining pressures

表 1 不同压力条件下波速与密度和孔隙度的拟合关系

Table 1 The fitting of density and porosity with respect to wave velocity under different confining pressures

压力/MPa	密度/（g·cm⁻³）		孔隙度/%	
	拟合公式	R^2	拟合公式	R^2
5	$V_p=4419\rho-6576$	0.541	$V_p=-161.6\varphi+5902$	0.739
60	$V_p=4252\rho-5871$	0.638	$V_p=-103.1\varphi+6007$	0.614
120	$V_p=4079\rho-5261$	0.657	$V_p=-83.41\varphi+6029$	0.526
200	$V_p=3830\rho-4524$	0.667	$V_p=-77.22\varphi+6068$	0.507
5	$V_s=1651\rho-1276$	0.374	$V_s=-58.35\varphi+3420$	0.493
60	$V_s=1461\rho-623$	0.347	$V_s=-53.86\varphi+3535$	0.375
120	$V_s=1246\rho+38.29$	0.351	$V_s=-52.57\varphi+3585$	0.362
200	$V_s=964\rho+869$	0.342	$V_s=-40.08\varphi+3564$	0.420

随着压力升高，纵波速度与密度的线性关系会增加，在低压下增加速度快，当压力达到一定值后，其增加速度变缓。例如，当压力为 60 MPa 时，纵波速度与密度的相关系数比 5 MPa 下的提高了 0.097，而 200 MPa 下的相关系数相对于 120 MPa仅仅提高了 0.01。

纵横波速度与密度的线性关系较弱，不过随着密度变大，线性关系会明显变好。此外，纵波与密度的线性相关性比横波强。

2.2 波速与孔隙度的关系

由于密度的变化很小，所以岩石样品的孔隙空间压缩也较小，因此在 0 ~ 200 MPa，认为孔隙度的变化也很小，将其作为常量，再分析不同孔隙度下，砂岩波速随压力的变化关系。

同样选取 5 MPa、60 MPa、120 MPa 和 200 MPa 四个不同压力条件下的数据来分析波速与孔隙度的关系。图 3 是不同压力下波速与孔隙度的关系图，不同压力下波速与孔隙度的拟合公式见表 1，分析表 1 和图 3 可知：

纵横波速度随孔隙度增加而减小。纵波与孔隙度的线性关系要好于横波。对于纵波，随着压力增加，孔隙度与波速的线性关系变差。从图中可见，5 MPa 下的线性关系较好，其相关系数为 0.739，但加压到 60 MPa 后，其相关系数下降到 0.614，120 MPa 和 200 MPa 下的相关系数则分别是 0.526 和 0.507。从相关系数来看，从 5 MPa 到 60 MPa，相关系数减少了 0.125，其线性关系明显减弱，从 60 MPa 到 200 MPa，其相关系数才减少

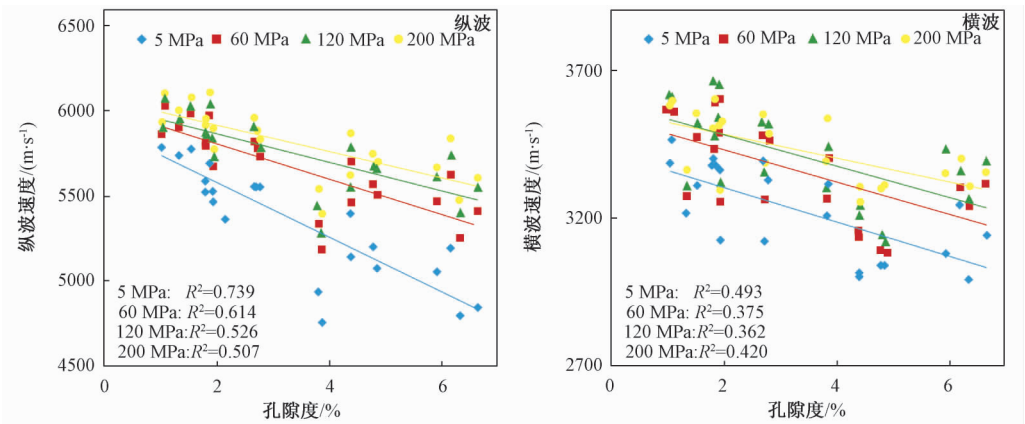


图 3　不同压力下波速与孔隙度的关系图

Fig. 3　The relationship between wave velocity and porosity under different pressures

了 0.107，而从 120 MPa 到 200 MPa，其减小值是 0.019。这是因为随着压力增加，样品的内部孔隙会快速闭合，在高压下，样品孔隙度的缩小程度相对于低压更大，导致孔隙度对波速的影响变小，此时主要由样品的骨架结构影响波速；但对于横波，当压力改变时，孔隙度与波速的线性关系没有固定的变化趋势，随着压力增加，整体趋势是先减小后增加。

当压力为 5 MPa 时，纵波速度随孔隙度变化的斜率最大，压力从 5 MPa 上升到 60 MPa 的过程中，其斜率明显减小，但在 60 MPa 之后，三条直线的斜率相差不大，说明在高压下，其变化速率已经基本稳定。这是因为随着压力增加，低压下岩石的内部孔隙会迅速闭合，但当压力增加到一定程度后，孔隙基本不再闭合，所以当压力从 5 MPa 变到 60 MPa，这种减小的速率会明显变缓，而后又趋于稳定。对于横波，无论是在高压还是低压下，波速与孔隙度的斜率基本不变。

围压为 5 MPa 左右时，用孔隙度模拟纵波速度所产生的误差较小，所以可以用拟合公式推测该地区岩石的纵波速度。

孔隙度除了影响地震波速的大小外，还会影响样品在不同压力下的波速差。孔隙度越大，波速随压力变化的变化量也越大，即孔隙度大的样品，在高压下，其孔隙空间相对于低压下会缩小更多，波速变化更大。

图 4 是纵横波的速度差（200 MPa 与 5 MPa 下的纵横波速度差）与孔隙度的关系图。从图中可以看出，波速差随着孔隙度的增加而变大，验证了上面的结论。纵波速度差跟孔隙度的线性关系较好，其相关系数高达 0.827。这一规律对于测井数据处理有重要意义：在同一套地层的测井资料中，对于纵波速度随深度变化快的地层，其对应岩石的孔隙度较大。

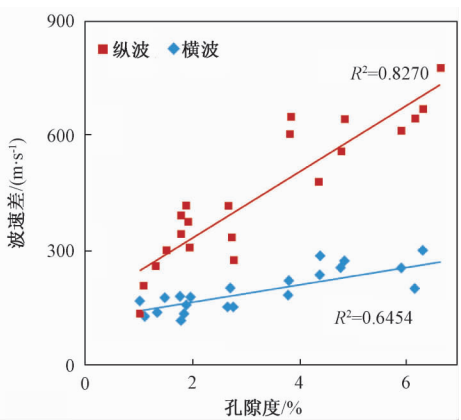


图 4　孔隙度与速度差的关系图

Fig. 4　The relationship between porosity and wave velocity difference

2.3　波速与压力的关系

因为研究区的 22 组样品的波速与压力的关系很相似，所以本文以两组样品为例来做分析，样品的基本信息见表 2。

表 2　实验样品基本信息

Table 2　The basic information of experimental samples

样品编号	密度/(g·cm⁻³)	状态	矿物组成/%			孔隙度/%
			石英	长石	其它	
H1	2.604	自然	55	25	20	2.66
H2	2.629	自然	55	25	20	4.61

由于所取的两组样品的矿物组成基本相同，两组岩石样品的密度也相差不大，唯一的差别是

孔隙度，据此可以深入讨论上文孔隙度对波速的影响。

图 5 是 H1 与 H2 的纵横波速度与压力的关系图，从图中可以看出：随着压力增大，两组样品的纵横波速度都呈对数关系显著增加，即在低压下增加快，高压下增加趋势变缓且呈现出平缓的线性关系，其相关系数都在 0.96 以上。

H1 样品的波速增加速度和增加量都明显小于 H2。从曲线的变化率来看，H1 样品的纵波、横波与压力的变化率分别是 83.27 和 44.57，远小于 H2 样品的 108.9 和 80.56。从表 2 可以看出，H2 样品的孔隙度几乎是 H1 的 1.8 倍，正是孔隙度的差异导致了它们的变化速率不同，证实了上文中孔隙度与波速的关系。

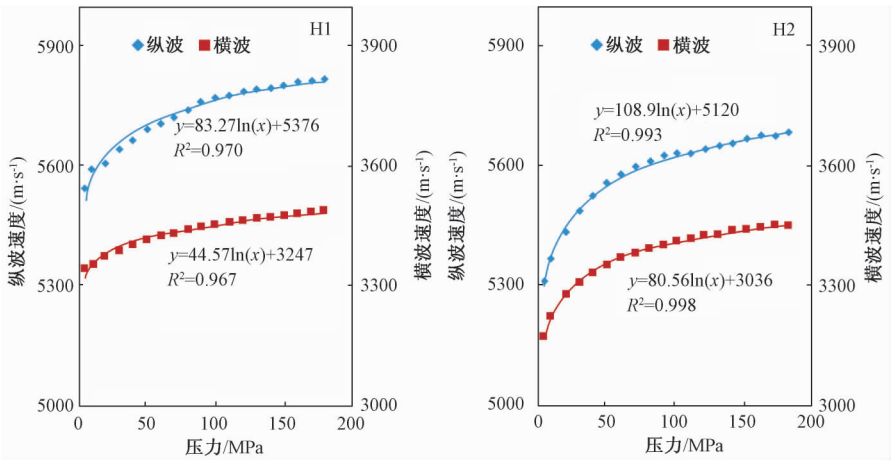


图 5 H1 和 H2 样品波速与压力的关系图

Fig. 5 The relationship between wave velocity and porosity for H1 and H2

由于岩石的地震波速相对于压力存在一定的滞后效应，即在升压和降压过程中的同一围压下的速度值不同。图 6 是 H1 和 H2 两组样品在升压和降压过程中纵横波与压力的关系图，从图中可以看出，在同一高压（大于 100 MPa）下，升压和降压过程中的纵横波速度差较小，说明滞后效应弱；而在同一低压（小于 100 MPa）下，升压和降压过程中的纵横波速度差较大，说明滞后效应明显。此外，在相同的压力下，降压过程中的波速明显大于升压过程中的波速，这与李阿伟等[18]的研究是一致的。

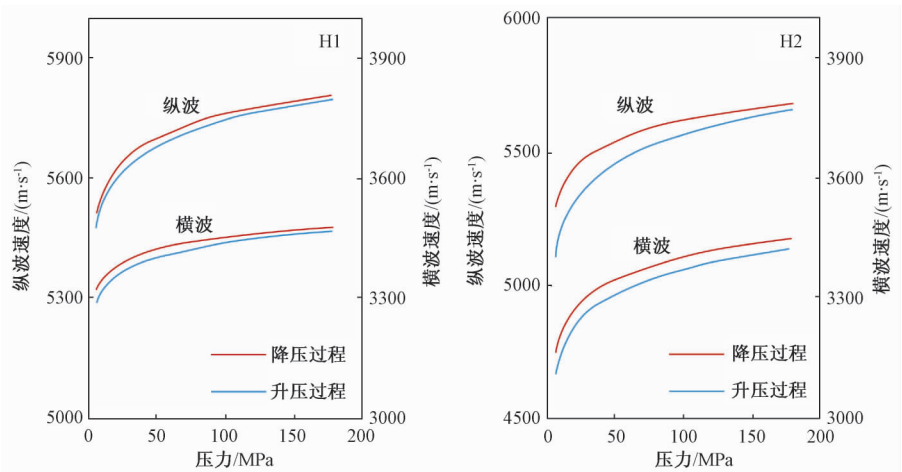


图 6 H1 和 H2 样品在升压和降压过程中的波速变化对比图

Fig. 6 The comparison diagram of velocity variation under the raising and reducing pressure process for H1 and H2

3　常温常压和原位条件下波速测试对比与讨论

在现有的地质填图工作中，地震波的测量与研究主要集中在常温常压下，忽略了不同地层压力下不同岩石类型的物性差异。由于常温常压下测试得到的物性参数不能代表实际状态下岩石的物性特征，所以研究平面上不同岩石和地层的物性（地震波、磁性、电阻率和密度等）并不能完全揭示研究区的物性特征，只有同时分析物性特征在平面与深度上的变化关系才能对地质特征有一个较为清楚的认识。

为了探讨常温常压和不同压力下地震波速的测量方法与仪器的适用性，本文分析了两种波速测量仪器（ZBL-U520 非金属超声检测仪和 Autolab2000 多功能岩石物性设备）的测试结果，其实验数据见表 3。

表 3　ZBL-U520 和 Autolab2000 两种仪器下的三次纵波速度值

Table 3　The three measurements of P-wave velocity values under ZBL-U520 and Autolab2000

	ZBL-U520 非金属超声检测仪			Autolab2000 多功能岩石物性设备（5 MPa）		
	第一次	第二次	第三次	第一次	第二次	第三次
H1 的纵波速度/（m·s^{-1}）	5198	5217	5179	5521	5555	5538
H2 的纵波速度/（m·s^{-1}）	4907	4871	4913	5293	5321	5306

从表 3 和表 4 中可以看出，利用 ZBL-U520 非金属超声检测仪和 Autolab2000 多功能岩石物性设备测量的三次纵波速度的变化都很小，两者的极差、标准差和最大波动幅度基本一致，说明了两种仪器的实验数据都非常稳定。

表 4　ZBL-U520 和 Autolab2000 两种仪器的三次纵波测量数据精度分析

Table 4　The analysis of the accuracy of three P-wave measurements of ZBL-U520 and Autolab2000

样品号	ZBL-U520 非金属超声检测仪				Autolab2000 多功能岩石物性设备（5 MPa）			
	极差	平均值/（m·s^{-1}）	标准差	最大波动幅度	极差	平均值/（m·s^{-1}）	标准差	最大波动幅度
H1	38	5198	19	0.73%	34	5538	17	0.62%
H2	42	4897	22.7156	0.86%	28	5307	14.0119	0.53%

为了探讨两种仪器在常温常压下的实验数据是否一致，本文用图 5 中 H1 与 H2 样品的纵波速度与压力的拟合公式 $V_p = 83.27\ln(p) + 5376$ 与 $V_p = 108.9\ln(p) + 5120$，恢复了样品在常温常压（0.1 MPa）下的纵波速度。H1 与 H2 样品纵波速度的恢复值分别为 5184 m/s 和 4869 m/s。对比 Autolab2000 仪器的恢复值与 ZBL-U520 仪器的测量值发现，两种仪器在常温常压下波速差值很小，说明了两种仪器都能达到测量常温常压下纵波速度的目的。但 ZBL-U520 非金属超声检测仪可以直接测量常温常压下的波速，且该仪器具有操作简单、实验测量时间短、携带方便等优点，不过其缺点在于只能测量常温常压下的波速。而对于 Autolab2000 多功能岩石物性设备，其需要通过拟合压力与波速的关系后才能求取常温常压下的波速，且该仪器每一次实验所用时间长、操作复杂、成本较高，但其能够模拟原位压力条件下的波速，分析地震波速随深度的变化关系。

综上所述，在地质填图中研究地震波速时，需要结合波速测量仪器的自身特点，从常温常压与不同压力下来分析填图区岩石的地震波速。当测量常温常压下样品的波速时，使用 ZBL-U520 仪器较为合适，但在分析波速在深度上的变化特征时，使用 Autolab2000 仪器最为合适。

4　结论与建议

哈密地区砂岩样品的波速与密度呈正相关关系。纵波与密度的线性关系要好于横波，而且压力越高，线性关系越好。

砂岩样品的波速与孔隙度呈负相关关系。纵波跟孔隙度的线性关系好于横波，但线性关系会随着压力的升高变差。

波速与压力呈对数关系。在 60 MPa 以前，随着压力增加，波速迅速增大，60 MPa 后波速增加幅度变缓，且呈一定的线性关系。

地震波速有一定的滞后效应，在相同压力下，降压过程的波速明显大于升压过程的波速。这是

由于样品在升压过程中其内部孔隙会被部分压实，而在降压过程中没有完全张开所导致的，这种滞后效应与样品的内部结构相关。

在特殊地质填图的工作中，测量常温常压下的波速时可选择常规仪器，如 ZBL-U520 仪器，而欲考察地下某一范围内地质体的波速特征时，应选择能够改变围压的波速仪器，如 Autolab2000 仪器。

在特殊地质填图中建议：不仅要按照规范采集标本测试常温常压下的地震波速，还应该适当考察不同地层压力下的波速。

参 考 文 献

[1] Gao S, Kern H, Liu Y S, et al. Measured and calculated seismic velocities and densities for granulites from xenolith occurrences and adjacent exposed lower crustal sections: a comparative study from the North China craton [J]. Journal of Geophysical Research, 2000, 105 (B8): 18965 ~ 18976.

[2] 郝晋昇, 刘晓红, 李纪汉. 华北地区典型岩石在 1 万巴压力下的密度和弹性波速度的实验研究 [J]. 地震学报, 1985, 7 (3): 276 ~ 284.
HAO Jin-sheng, LIU Xiao-hong, LI Ji-han. An experimental study on the density and elastic wave velocity of typical rocks of north China under high pressure up to 10kb [J]. Acta Seismologica Sinica, 1985, 7 (3): 276 ~ 284.

[3] 刘永祥, 吴福元, 张世红. 高温高压下岩石弹性波速特征及其在深部地质研究中的意义 [J]. 地球物理学进展, 1995, 10 (3): 82 ~ 94.
LIU Yong-xiang, WU Fu-yuan, ZHANG Shi-hong. The characteristics of elastic wave velocity of rocks at high T and P: implications for the study of deep seated geology [J]. Progress in Geophysics, 1995, 10 (3): 82 ~ 94.

[4] 李华, 王良书, 李成, 等. 塔里木盆地岩石高温高压下波速的实验研究及其地质意义 [J]. 高校地质学报, 2005, 11 (4): 601 ~ 607.
LI Hua, WANG Liang-shu, LI Cheng, et al. Experimental study on wave velocity of rocks from Tarim basin at high PT conditions and its geological implications [J]. Geological Journal of China Universities, 2005, 11 (4): 601 ~ 607.

[5] 卢琳, 闫桂京, 陈建文. 地层温度和压力对地震波速的影响 [J]. 海洋地质动态, 2005, 21 (9): 13 ~ 16, 21.
LU Lin, YAN Gui-jing, CHEN Jian-wen. Influences of temperature and pressure on velocities of seismic wave [J]. Marine Geology Letters, 2005, 21 (9): 13 ~ 16, 21.

[6] 陈祖安, 伍向阳. 砂岩孔隙度和含泥量与波速关系的模型 [J]. 地球物理学进展, 2000, 15 (1): 78 ~ 82.
CHEN Zu-an, WU Xiang-yang. A model for the relation between wave velocity and porosity as well as clay content in sandstone [J]. Progress in Geophysics, 2000, 15 (1): 78 ~ 82.

[7] GUO Bin-bin, WANG Hong-cai, ZHAO Wei-hua, et al. Analysis of seismic anisotropy of the typical slate from the Gaoligong Mountains, Yunnan Province, China [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2014, 57 (2): 154 ~ 165.

[8] 马中高, 解吉高. 岩石的纵、横波速度与密度的规律研究 [J]. 地球物理学进展, 2005, 20 (4): 905 ~ 910.
MA Zhong-gao, XIE Ji-gao. Relationship among compressional wave, shear wave velocities and density in rocks [J]. Progress in Geophysics, 2005, 20 (4): 905 ~ 910.

[9] 杨树锋, 陈汉林, 姜继双, 等. 高温高压下华南 I 型和 S 型花岗岩的波速特征及其地质意义 [J]. 中国科学 (D 辑), 1997, 27 (1): 33 ~ 38.
YANG Shu-feng, CHEN Han-lin, JIANG Ji-shuang, et al. The velocity characteristics and its geological significance of I and S type granite from Southern China under high temperature and high pressure [J]. Science in China, 1997, 27 (1): 33 ~ 38.

[10] Birch F. The velocity of compressional waves in rocks to 10 kilobars, Part 1 [J]. Journal of Geophysical Research, 1960, 65 (4): 1083 ~ 1102.

[11] Bajuk E I, Volarovich M P, Klíma K, et al. Velocity of longitudinal waves in eclogite and ultrabasic rocks under pressures to 4 kilobars [J]. Studia Geophysicaet Geodaetica, 1967, 11 (3): 271 ~ 280.

[12] 史謌, 杨东全. 岩石波速和孔隙度、泥质含量之间的关系研究 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 2001, 37 (3): 379 ~ 384.
SHI Ge, YANG Dong-quan. The regression analysis study on velocity and porisity, and clay content of rocks [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2001, 37 (3): 379 ~ 384.

[13] Tao H, Zou C C, Pei F G, et al. Laboratory study of fluid viscosity induced ultrasonic velocity dispersion in reservoir sandstones [J]. Applied Geophysics, 2010, 7 (2): 114 ~ 126.

[14] Purcell C, Mur A, Soong Y, et al. Integrating velocity measurements in a reservoir rock sample from the SACROC unit with an AVO proxy for subsurface supercritical CO_2 [J]. The Leading Edge, 2010, 29 (2): 192 ~ 195.

[15] Mur A, Purcell C, Soong Y, et al. Integration of core sample velocity measurements into a 4D seismic survey and analysis of SEM and CT images to obtain pore scale properties [J]. Energy Procedia, 2011, 4: 3676 ~ 3683.

[16] Godfrey N J, Christensen N I, Okaya D A. Anisotropy of schists: contribution of crustal anisotropy to active source seismic experiments and shear wave splitting observations [J]. Journal of Geophysical Research, 2000, 105 (B12): 27991 ~ 28007.

[17] Hornby B E. Experimental laboratory determination of the dynamic elastic properties of wet, drained shales [J]. Journal of Geophysical Research, 1998, 103 (B12): 29945 ~ 29964.

[18] Li A W, Sun D S, Wang H C, et al. Seismic velocity and shear-wave splitting under cyclic loading [A]. 2011 International Conference on Electronics, Communications and Control [C]. Zhejiang: IEEE, 2011, 4506 ~ 4508.

THE EXPERIMENTAL RESEARCH OF SEISMIC WAVE VELOCITY OF SANDSTONES IN HAMI, XINJIANG AND THE ENLIGHTMENT TO THE WORK OF PROPERTY ON SPECIAL GEOLOGICAL MAPPING

WANG Huai-min[1,2], WANG Hong-cai[1], YIN Chang-ji[3], LI A-wei[1], ZHAO Wei-hua[1], DU Wei[1,2]

(1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100081, *China*;
2. *College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing* 102249, *China*;
3. *Hubei Xinxing New Energy Development Company of Sinopec, Wuhan* 430000, *Hubei, China*)

Abstract: The seismic wave velocity of sandstones in Hami in the process of special geological mapping isstudied in this article. The effects of density, porosity and pressure on seismic wave velocity under different pressure (0 ~ 200 MPa) are analyzed by applying ZBL-U520 nonmetal ultrasonic detector and AutoLab 2000 computer-controlled servo hydraulic triaxial test system. The results show that wave velocity and density are positively correlated, but there is a negative correlation between wave velocity and porosity. The degree of linear relationship between density or porosity and P-wave is higher than that of S-wave. Both P- and S-wave velocities of sandstones in Hami area increase notably with the increasing pressure which denotes a strong logarithmic relationship. Besides, the adaptability of test methods of ZBL-U520 nonmetal ultrasonic detector and AutoLab 2000 computer-controlled servo hydraulic triaxial test system are analyzed. In conclusion, in respect of geological mapping it is suggested that not only should we collect samples to test the seismic wave velocity of rocks at normal temperatures and pressure, but also we should analyze the seismic wave characteristics under different formation pressure to comprehensively understand the seismic properties in special geological mapping.

Key words: special geological mapping; seismic wave velocity of sandstone in Hami area; confining pressure; porosity; density