

岩石的声波参数与饱水时间的关系

颜玉定

(广东省地震局)

摘要 用砂岩、凝灰岩、页岩三类岩石试件进行长时间的饱水,对声波参数 V_p 、 V_s 和 E_d 随饱水时间的变化进行研究,得出了①水对岩石各动态参数的作用有物理、化学两种效应,以及两种效应均具有初期快速效应和长期缓慢效应的特点;② V_p 、 V_s 、 E_d 的值尽管初期效应时有增减,但长期的结果都比风干状态的值低。

一、前言

自然界中,水对地壳岩体的影响是多方面的。随着水工建设及各类大型地下工程的日渐增多,人们对水给予岩体的物理、力学及化学等方面的影响已越来越重视。笔者用广西龙滩水库区的砂岩、凝灰岩、页岩三类岩石试件,进行风干状态和不同饱水时间条件下的纵波速度、横波速度和动态弹性模量的测试,研究各参数与饱水时间的关系。

二、试件

共选用54个试件,其中长石石英粉砂岩(以下简称砂岩)18个,层凝灰岩(简称凝灰岩)10个,页岩砂页岩(简称页岩)26个。砂岩和凝灰岩试件的宏观结构比较均匀、致密,页岩试件中绝大部分内含较多的层状结构。表1列出三类岩石的组成成份和结构¹⁾。

表1 岩石的组成成份与结构
Table 1 The component part and structure of rocks

岩石名称	组成成份	结 构
长石石英粉砂岩	碎屑:长石34%、石英31%、硅质岩1%、方解石5%、白云母1%、绿泥石1%、胶结物:绢云母15%、硅质10%、粘土10%、方解石2% 微量矿物:电气石、木屑石、菱铁矿	碎屑主要为长石,石英。颗粒大小在0.03—0.05mm左右。滚圆度为次圆状。长石碎屑有甲长石和斜长石,以钾长石为主。方解石含量分布不均匀,局部较多。胶结物以绢云母为主,有少量硅质、粘土和方解石,胶结物有重结晶现象。岩石未见构造运动痕迹。

¹⁾ 李健康,廖远群,广西龙滩岩样物理力学试验报告,广东省地震局水库室,1984

续上表

岩石名称	组成成份	结 构
层凝灰岩	碎屑：石英3%、长石2%、绿泥石1%。 胶结物：硅质53%、粘土矿物40%。 微量矿物：白云母、方解石、菱铁矿、绢云母、电气石、锆石	岩石主要由硅质和粘土矿物组成，呈微晶—隐晶结构，硅质与泥岩二者混合出现。尚有少量碎屑，主要是小颗粒的石英和长石，大小在0.03—0.04mm左右，其中长石多为斜长石，具聚片双晶，滚圆变为次棱角状。微量矿物呈星散状分布。岩石未见构造运动痕迹。
页岩砂页岩	水云母82%、高岭石10%。 绿泥石2%、石英1—2%。 方解石（次生）2%。 黄铁矿2%、赤铁矿2%。	主要由粘土矿物组成，水云母呈隐晶或微晶小鳞片集合体，大致定向分布，水云母中有不少高岭石混杂。石英和绿泥石分布在粘土矿物中，石英呈微小他形颗粒，绿泥石呈微小鳞片。黄铁矿和赤铁矿的微粒呈星散状分布。方解石呈细脉状分布，充填在早期构造裂隙中。岩石未见其它构造运动痕迹。

表2 为三种岩石的物理和力学参数¹⁾

表 2

岩石的物理力学参数

Table 2 The physical and mechanical parameter of rocks

项 目 岩石名称	比 重 (g/cm ³)	容 重 (g/cm ³)	总孔隙率 (%)	单轴抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (巴西法) (MPa)	静态弹性模量 (×10 ⁴ MPa)	泊松比
长石石英粉砂岩	2.73	2.71	0.73	214.8	22	7.1	0.26
层凝灰岩	2.73	2.72	0.37	181.7	21	8.2	0.21
页岩砂页岩	2.75	2.73	0.75	118.0	4	8.0	0.24

试件由岩芯制备成带中心孔的圆柱体，直径50mm，中心孔直径10mm，两端面不平整量小于0.05mm。

三、测试原理及方法

当岩体内存在波源（如地震震源，爆破源）时，波将沿岩体介质向周围空间传播。由安置在各测点内的换能器获取讯号，经声波仪或其它有关仪器可得到各类波由波源到达测点的传播时间。如能测定波源与测点间的距离，即可求得各种波在该介质内的传播速度。以纵波和横波为例，设波源与测点间的距离为S，纵、横波到时分别为 t_0 、 t_s ，则

$$\text{纵波速度：} V_s = S/t_s \quad (1)$$

1) 广东省地震局水库室，广西龙滩水库岩样软化与室内水压致裂试验报告，1986。

横波速度: $V_s = S/t$,

(2)

设岩体为弹性体, 其动态弹性模量 E_d 、泊松比 μ_d 亦可求得, 即

$$E_d = \frac{\rho V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2)}{V_p^2 - V_s^2} \quad (3)$$

式中 ρ —岩石密度。

$$\mu_d = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (4)$$

得到 E_d 、 μ_d 后, 便可根据弹性理论的有关公式, 导出其它一些弹性参数。

当岩石处于饱水状态时, 因水给予岩石介质的物理、化学作用, 会使岩石的性质发生一些变化, 而饱水时间的长短, 其变化程度又有差异。由于介质发生变化, V_p 、 V_s 、 E_d 等亦随之发生变化, 据此可探求出不同饱水时间的岩石, 其声波参数相应变化的特点。

图 1 为实验装置示意图。由声波仪内的发射系统经紧贴在岩石试件一端的换能器向试件发射超声波, 由紧贴在试件另一端的换能器接收讯号, 输入声波仪内的接收系统, 声波仪即显示出波形, 从波形中测取各类波的到时。因试件长度可量出, 这样 V_p 、 V_s 、 E_d 等即可求得。

本实验所用的仪器为:

声波仪——SYC—3B型超声岩石参数测试仪, 测量精度 $\pm 0.005\mu S$;

换能器——HP型超声波换能器, 频率 550KH₂。

为了能更直观、更合理地表示 V_p 、 V_s 、 E_d 随岩石饱水时间的变化特征, 采用各量的相对变化率 k_i 来表示, k_i 定义为

$$k_i = \frac{x_i - x_0}{x_0} \cdot 100\% = \frac{\Delta x}{x_0} \cdot 100\% \quad (5)$$

式中 x_i —各参数在不同饱水时间的值, x_0 —各参数风干的时值。

相对变化率 (简称变化率) 分平均变化率和最大、最小变化率, 由各特定饱水时间的 x_i 的最大、最小值算出。最小—最大变化率的范围称变化范围。

按试件的不同饱水时间, 分 0 (风干)、3、24、89、200、272 天, 共进行六次测试。

四、结 果

表 3 列出了在上述六个时间内所测的 V_p 、 V_s 、 E_d 和它们的平均变化率及变化范围的数据; 图 1 示出了 V_p 、 V_s 、 E_d 的平均变化率随饱水时间的变化曲线。

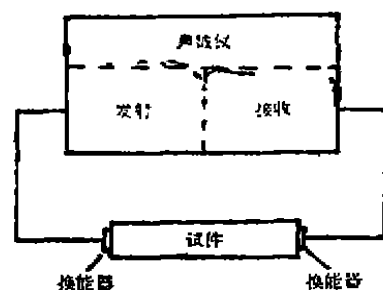


图 1 实验装置图

Fig. 1 Sketch map of experimental device

表3 砂岩、硬灰岩、页岩在不同饱水时间条件下的波速、动弹模及其相对变化率

Table 3 Wave velocity, dynamic and elastic model of sand stone, tuff and shale under different time of saturation and their rate of corresponding variance

饱水时间 (天)	岩性	砂				硬灰岩				页岩			
		波速 (m/s)	平均 值	最大 值	最小 值	平均 变化率 (%)	变化率范围 (%)	平均 值	最大 值	最小 值	平均 变化率 (%)	变化率范围 (%)	平均 值
0	Vp	5740	5931	5484	0	-4.46—3.33	5697.57025626	0	-1.25—0.09	5778	6301	5418	0
	Vs	4228	4623	3836	0	-9.27—9.34	4128.42593996	0	-3.20—3.17	4011	4504	3649	0
	Ed	87.9	91.7	81.5	0	-7.28—4.32	87.890.391.7	0	-6.95—2.85	90.9	108.2	79.6	0
3	Vp	5843	6064	5460	1.79	-4.88—5.64	5650.57235540	-0.82	-2.76—0.46				
	Vs	4093	4463	3420	-3.19	-19.11—5.56	4010.41053848	-2.86	-6.78—0.56				
	Ed	92.5	99.6	80.4	5.23	-8.53—13.31	86.889.081.7	-1.19	-6.95—1.37				
24	Vp	5813	6304	5432	1.27	-5.37—9.83	5671.57715596	-0.46	-1.77—1.30	5729	6389	5354	-0.85
	Vs	4083	4510	3686	-3.43	-12.82—6.67	3916.40423700	-5.14	-10.37—-2.81	3922	4358	3588	-2.22
	Ed	91.5	97.4	78.7	4.10	-10.47—7.74	87.189.182.8	-0.80	-5.60—1.48	88.9	108.4	76.7	-2.20
80	Vp	5817	6029	5432	1.34	-5.37—5.03	5760.58385630	1.11	-1.18—2.47	5787	6389	5354	0.16
	Vs	4965	4306	3686	-3.86	-12.82—1.70	3887.39553635	-5.84	-11.94—-4.10	3897	4320	3543	-2.84
	Ed	91.6	97.9	79.0	4.21	-10.13—11.38	88.991.182.1	1.30	-6.49—3.76	90.0	108.0	77.9	-0.99
200	Vp	5829	6029	5432	1.55	-5.37—5.02	5738.58905659	0.72	-0.67—3.39	5783	6469	5354	0.09
	Vs	3954	4240	3510	-6.48	-16.98—0.28	3853.39783674	-6.66	-11.00—-3.63	3846	4349	3551	-4.11
	Ed	91.0	98.0	76.2	3.53	-13.31—11.49	88.092.782.3	0.23	-6.26—5.58	89.1	112.3	76.2	-1.98
272	Vp	5769	5994	5367	0.51	-6.50—4.43	5703.57895630	0.11	-1.18—1.61	5735	6389	5327	-0.74
	Vs	3896	4240	3482	-7.85	-17.64—0.28	3838.39633661	-7.27	-11.31—-4.00	3787	4331	3527	-5.58
	Ed	88.9	96.4	78.0	1.14	-11.26—9.67	86.090.182.7	-1.00	-5.81—2.62	87.2	110.1	75.4	-4.07

• 变化率是指各指标的增量 ΔX 与试件风干状态的平均值 \bar{x}_0 的比值, 即 $\frac{\Delta X}{\bar{x}_0} \cdot 100\%$

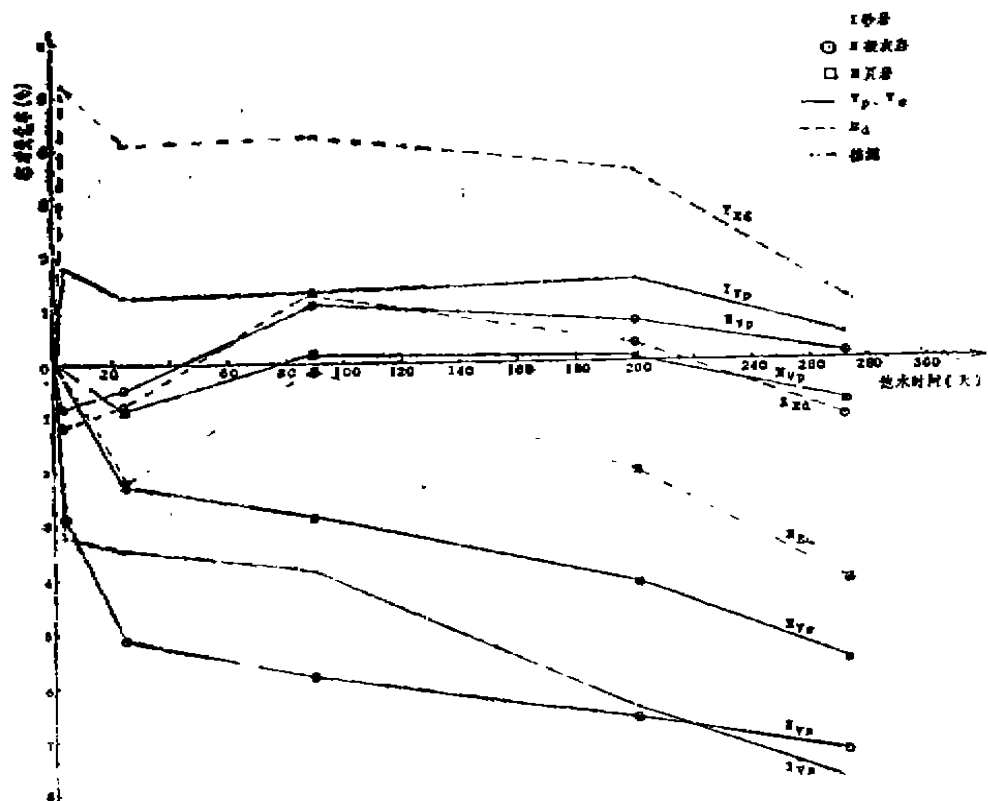


图2 不同饱水时间的岩石波速、动弹模变化率

Fig. 2 Variable rate of wave velocity, dynamic and elastic model in rocks under different time of saturation

由图2和表3可见:

(1) 砂岩的纵波速度 V_p 饱水3天后迅速上升, 平均值由风干状态的 5740m/s 上升至 5843m/s , 上升率为 1.79% , 尔后逐渐下降, 至第24天时, V_p 只比风干状态高 73m/s 。以后再缓缓上升, 至第200天时, 又回升了 16m/s 。接着开始缓慢下降, 至第272天, V_p 只有 5769m/s , 上升率仅为 0.5% 。据此变化趋势, 约在饱水306天后, 砂岩的 V_p 值将比风干状态时低。

(2) 凝灰岩试件的 V_p 平均值饱水3天后降低了 47m/s , 后逐渐上升, 第44天后才超过风干时的值, 第89天时上升到 5760m/s , 比风干时高 63m/s , 上升率为 1.11% 。尔后 V_p 值缓慢下降, 约至第283天后将低于风干时的值。

(3) 页岩的 V_p 平均值在饱水24天后(3天时未测), 由风干时的 5778m/s 下降到 5729m/s , 上升率为 -0.85% , 以后逐渐回升, 至第80天恢复到风干时的值, 后以接近风干状态的值一直延续至第200天。尔后渐渐下降, 至第272天时, V_p 值已降至 5735m/s , 上升率为 -0.74% 。

(4) 三类岩石的横波速度 V_s 的平均值, 自饱水以后一直降低, 24天前下降速率较大。

(5) 三类岩石的动弹模 E_d 的平均值都有一个共同特点——其变化趋势与相应岩石

V_p 的变化趋势几乎完全一致。然而,二者的变化速率却不同,一般总是 E_d 的大,它们的变化幅度也不相同。此特点在图2中清楚可见。

(6)从表3罗列的三类岩石在不同饱水时间条件下的 V_p 、 V_s 、 E_d 的最大、最小值及它们的变化范围中,可看出各类岩石内部结构的不均匀程度。在相同饱水时间的条件下,各参数值与相应的平均值相差越少,说明岩石内部的结构越均匀,反之则不均匀。对比表3各项数据,可知三类岩石中,页岩数据的离散性最大,内部结构不均匀;凝灰岩的离散性最小,结构均匀;砂岩则介于二者之间。此结果与试件的宏观结构颇为一致。

五、分析与结论

(1)由于各类岩石的组成成份、内部结构不同,因此声波在其内部传播时的速度也不同, E_d 也不相同。

(2)由 V_p 、 V_s 、 E_d 的变化率的离散性,可分辨岩石组成和内部结构的不均匀程度。离散性越大越不均匀。

(3)水对岩石性质的影响,主要表现在两个方面。其一,水渗入岩石空间,充满其内部孔隙。因纵波能在液体介质中传播,当水充满孔隙后,纵波通过岩石内部的路径变直、变短,速度加快,而横波因不能在液体中传播,其速度无多大影响。为方便叙述,暂称水的这种作用为“第一作用”。其二,水使岩石内的某些成份溶解,使某些成份发生化学反应,破坏和削弱了岩石分子间的联系,结果导致纵、横波速度都降低。水的这一作用暂称“第二作用”。

据上述理论,由图2、表3可见:

①饱水前期,约第20天以前,图2各曲线的斜率都很大,前3天更大,说明饱水初期水对岩石的物理、化学作用都比较强烈。

②饱水初期,砂岩的 V_p 值迅速上升,约至306天后才逐渐低于风干时的值,表明306天前水的第一作用在砂岩内起主导作用,说明组成砂岩的物质溶解度很低和难以与水发生化学反应。

凝灰岩前3天的 V_p 值下降较快,水的第二作用起主导作用。以后 V_p 值逐渐回升,超出风干时的值,此段时间以第一作用为主。持续至第283天后, V_p 值重新低于风干时的。从此,第二作用一直处于主导地位。上述现象表明,凝灰岩内存在着两类能使水起第二作用的物质。二者的溶解度和化学反应的速度不同。易溶解和易反应者在饱水伊始便迅速起作用,其强烈程度胜过第一作用,使 V_p 、 V_s 、 E_d 值下降。3天后,此作用基本完毕,第一作用才显示出来。另一类物质自始至终都在缓慢地进行着第二作用,最终处于主导地位。

从页岩的 V_p 变化曲线看,水的第二作用几乎自始至终起主要作用。

③各类试件的动弹模 E_d 随饱水时间的变化趋势与 V_p 的变化趋势几乎完全一致,但变化幅度不同,一般前者总大于后者,其原因是 E_d 还受 V_p 的影响。(3)式表明, E_d 不仅是 V_p 的函数,亦是 V_s 的函数。

④岩石经相当长的时间饱水后(本实验中砂岩约10个月,凝灰岩约9个月,页岩约7个月),不仅横波速度远比风干时的低,纵波速度和动弹模也低于风干时的。然而,当饱水至一定时间后,它们都将趋于某一稳定的值,不可能无休止地下降。

根据上述结果, 可见对于岩体将长期处于饱水状态的工程, 设计时应取用岩石经较长时间饱水后的动态参数, 只经几天饱水的数据将带来较大的误差。

本次测试因是不定期的, 且各次测试的时间间隔较长, 所以图 2 各曲线仅仅定性地反映各参数的变化趋势, 尤其是各拐点的位置可能与实际情况有一些差别。图 2 中 I_{Ed} 、 I_{Vp} 、 I_{Vs} 曲线的最后部分是根据它们的变化趋势推测的, 可能存在较大误差。

感谢我局水库地震研究室岩石力学实验组提供本次测试的全部试件和岩石的一些物理、力学等参数。

参 考 文 献

- (1) 颜玉定, 室内岩石的水压致裂研究, 岩石力学与工程学报, 1988。

THE RELATIONS BETWEEN SONIC PARAMETER AND SATURATION PERIOD IN ROCKS

Yan Yuding

(Seismological Bureau of Guangdong Province)

[Abstract] A long-term saturation was applied upon sand stone, tuff and shale samples soaked in water, for the purpose of studying the correlation between sonic parameters V_p , V_s and E_d and the variation of saturation period. The study concludes that: (1) Water applies physical as well as chemical effects upon various dynamic parameters of rocks, while both effects feature in primary rapid reaction and long-term slow reaction; (2) Despite that the V_p , V_s and E_d values fluctuate at primary period, yet the long-term result shows that the values are all lower than those obtained at weather-dried condition.