

内蒙古兴安盟经济技术开发区扎赉特旗产业园
区域性地震安全性评价

场地土动力特性试验报告

四川大学水利水电工程实验中心
二〇二一年十二月



目录

1、前言1

2、试验仪器与试验方法 1

 2.1 试验仪器 1

 2.2 试验过程与方法 1

 2.3 试验计算方法与结果 1

 2.4 试样尺寸与固结3

3、试验结果3

 3.1 试验土样及试验条件3

 3.2 试验结果4

1、前言

受河南国岩工程技术有限公司的委托，对内蒙古兴安盟经济技术开发区扎赉特旗产业园区区域性地震安全性评价项目工程场地钻探所取的典型土样进行动剪切模量与阻尼比的动三轴试验研究。

2、试验仪器与试验方法

2.1 试验仪器

本次试验仪器采用了北京市新技术研究所生产的 DDS-70 微机控制电磁式多功能静动三轴试验系统。该系统主要由主机、电控系统、静压控制系统和微机系统等组成。其工作原理是将圆柱形土试样置于充无气水的三轴室内上下活塞之间。通过气体压力对试样施加轴、侧向静压力。激振器和功率放大器将微机系统提供的一定频率、幅值的电讯号转换为轴向激振力，经下活塞施加至土试样上。测量系统将振动过程中的力、位移、孔隙水压力值记录下来。微机系统对试验进行控制和对试验数据进行处理并输出成果报告。

系统主要技术指标：

试样尺寸：直径 39.1mm，高 80mm
轴向最大动出力：1370N (p-p)
侧向压力：0—1.0 MPa
反压：0—1.0 Mpa
波形：正弦波角波、方波
频率范围：1—10 Hz
最大允许轴向位移：20 mm (p-p)

2.2 试验过程与方法

将试样置于三轴室内上下活塞之间，通过气体压力对试样施加轴、侧向静压力，使其固结。待土样固结完成后，在不排水的条件下，对试样施加由小到大的轴向激振力进行动弹模试验。试验期间，测量系统将振动过程中的力、位移、孔隙水压力值记录下来。微机系统对试验进行控制和对试验数据进行处理并输出成果报告。

2.3 试验计算方法与结果

试验中，土样在各级荷载下轴向应力 P 和轴向应变 ε 的时间历程将被记录下来，由应力应变时程绘出应力应变滞回曲线，由滞回曲线 B 点的应力应变值可求得试样的轴向模量 E ，由 E 可求得土样在该级荷载下模量：

$$E = \frac{P_B}{\varepsilon_B} \quad (1)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2)$$

式中, p_B 、 ε_B 分别为滞回线 B 点所对应的应力应变值, ν 为泊松比, 由土类而定。对所求得各级荷载下不同幅值的模量, 进行统计分析时, 应力应变关系用双曲线函数表示:

$$\tau = \frac{\gamma}{A + B\gamma} \quad (3)$$

式中, τ 和 γ 为剪应力和剪应变幅值, A 和 B 为回归常数, 若令 $\tau/\gamma = G$, 则:

$$\frac{1}{G} = A + B\gamma \quad (4)$$

如果以 $1/G$ 为纵坐标, γ 为横坐标, 将实验结果标在该图中, 可以近似用一条直线来表示它们的关系, 显然当 $\gamma \rightarrow 0$ 时, 可以得到系数 A 等于最大剪切模量的倒数, 即 $1/G_{\max}$, 因此可得到对应不同模量与最大模量的比值和剪应变的关系:

$$\frac{G}{G_{\max}} = \frac{1}{1 + \gamma \cdot \frac{B}{A}} \quad (5)$$

继而, 求出动三轴试样的不同剪应变下的动剪切模量比。

试样在荷载下的阻尼比 D 可用下式求得:

$$\lambda = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{\Delta W}{W} \quad (6)$$

式中, ΔW 为一个循环消耗的能量, 用应力应变滞回曲线所围的面积表示, W 为施加的最大应变能。

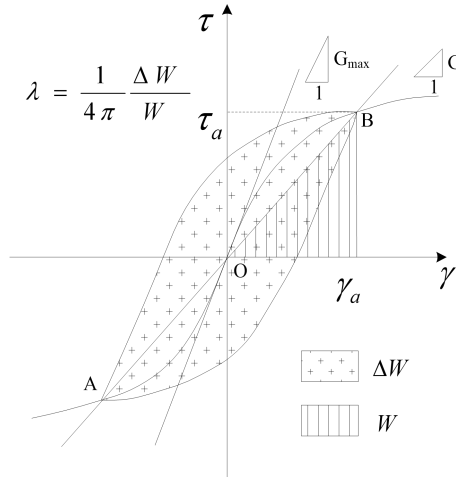


图 1 剪切模量和阻尼比的定义

由于该模型参数较少, 对部分土样拟合的效果不理想, 而采用三参数的 **Davidenkov** 模型对各类土的 $G/G_{\max} \sim \gamma$ 关系曲线进行拟合, 实践表明该模型适用性较好。Davidenkov 模型的函数关系式为:

$$G = G_{\max} [1 - H(\gamma)] \quad (7)$$

其中, 函数 $H(\gamma)$ 定义为:

$$H(\gamma) = \left[\frac{(\gamma/\gamma_0)^{2B}}{1 + (\gamma/\gamma_0)^{2B}} \right]^A \quad (8)$$

式中: A, B 和 γ_0 为拟合参数。由此模型可绘出从 $10^{-6} \sim 10^{-1}$ 剪应变幅值范围内的曲线。

土的阻尼比 λ 随剪应变幅值而变化, 其经验关系如下:

$$\lambda = \lambda_{\min} + \lambda_0 (1 - G/G_{\max})^{n_\lambda} \quad (9)$$

式中 $\lambda_{\min}$ 为土的基本阻尼比，与土的性质、固结状态等因素有关。根据动三轴的试验结果，在 $10^{-6} \sim 10^{-1}$ 剪应变幅值范围内用双对数坐标绘制 $\lambda \sim (I - G/G_{\max})$ 关系曲线，可求出 $\lambda_{\min}$ 、 λ_0 、 n_λ ，并将 $\lambda \sim \gamma$ 关系曲线与 $G/G_{\max} \sim \gamma$ 曲线绘在同一图中。

2.4 试样尺寸与固结

动三轴试验土样尺寸：直径 D=3.91cm，高 H=8.00cm。

试验过程：按试验预定条件制备试样；安装试样；给试样施加等向固结压力并使其固结；逐级增加振动应力，测取试样的相应的应力、应变、阻尼，计算动剪切模量和阻尼比。试验在均等固结压力下进行。通常实际地层正应力大于侧向应力，试验用的均等固结压力取为正应力的 2/3。

3、试验结果

3.1 试验土样及试验条件

按照技术要求，对所送土样进行了动剪切模量、阻尼比试验研究。表 1 是土样编号、土样描述、取土深度及试验时施加的固结压力 σ_c 。

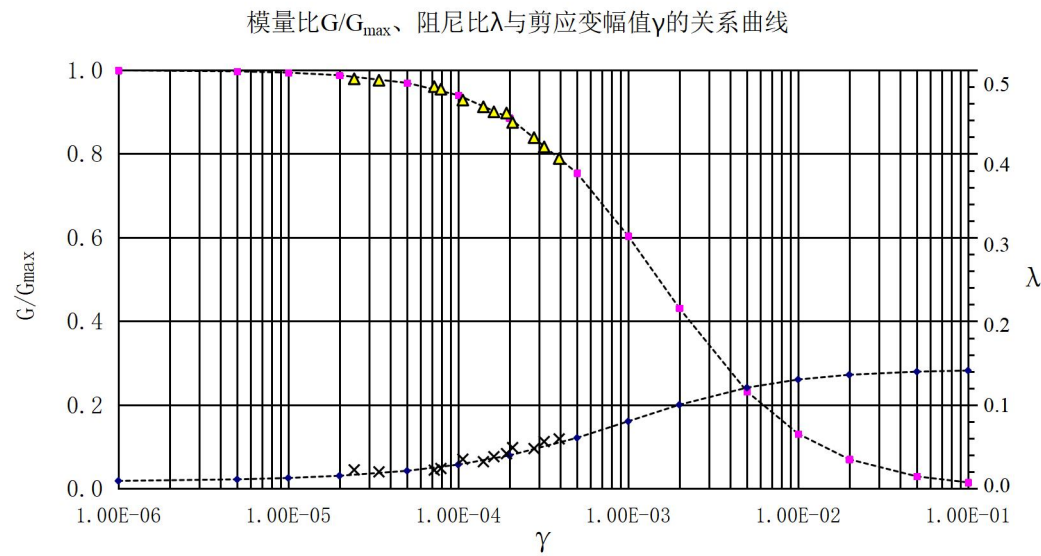
表 1 土样编号、土样描述、取土深度及试验时施加的固结压力 σ_c

试验 编号	现场编号	取样深度(m)	土样描述	γ (kN/m^3)	σ_c (kPa)
G1	Zk1-1	0.8-1.0	粉土	19.70	50
G2	Zk1-2	2.5-2.7	粉质粘土	19.86	50
G3	Zk3-1	1.0-1.2	粉土	19.18	50
G4	Zk4-1	0.9-1.1	粉质粘土	19.04	50
G5	Zk8-1	1.1-1.3	粉质粘土	19.23	50
G6	Zk12-1	1.1-1.3	粉土	19.13	50
G7	Zk15-1	1.0-1.2	粉质粘土	19.52	50
G8	Zk18-1	2.0-2.2	粉土	19.42	50
G9	Zk18-2	5.0-5.2	粉质粘土	19.86	70

3.2 试验结果

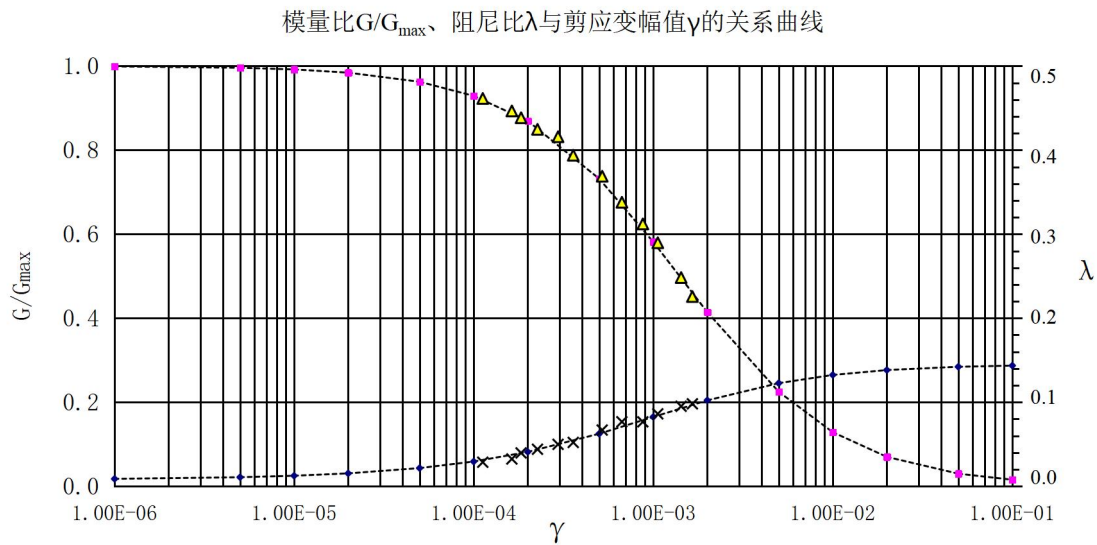
1-1 (0.8-1.0) G1 动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.997	0.994	0.969	0.940	0.754	0.604	0.232	0.131
λ	0.0111	0.0127	0.0213	0.0287	0.0607	0.0804	0.1207	0.1304



1-2 (2.5-2.7) G2 动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.996	0.992	0.963	0.929	0.732	0.582	0.225	0.129
λ	0.0107	0.0125	0.0216	0.0294	0.0624	0.0824	0.1226	0.1324

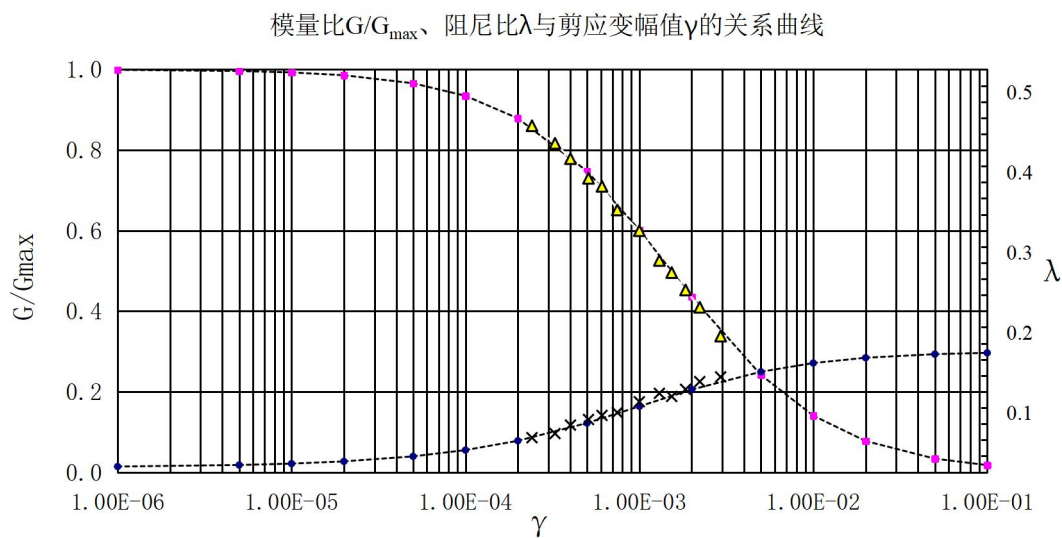


3-1 (1.0-1.2)

G3

动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.996	0.993	0.966	0.935	0.748	0.602	0.242	0.140
λ	0.0089	0.0107	0.0197	0.0274	0.0611	0.0817	0.1247	0.1356

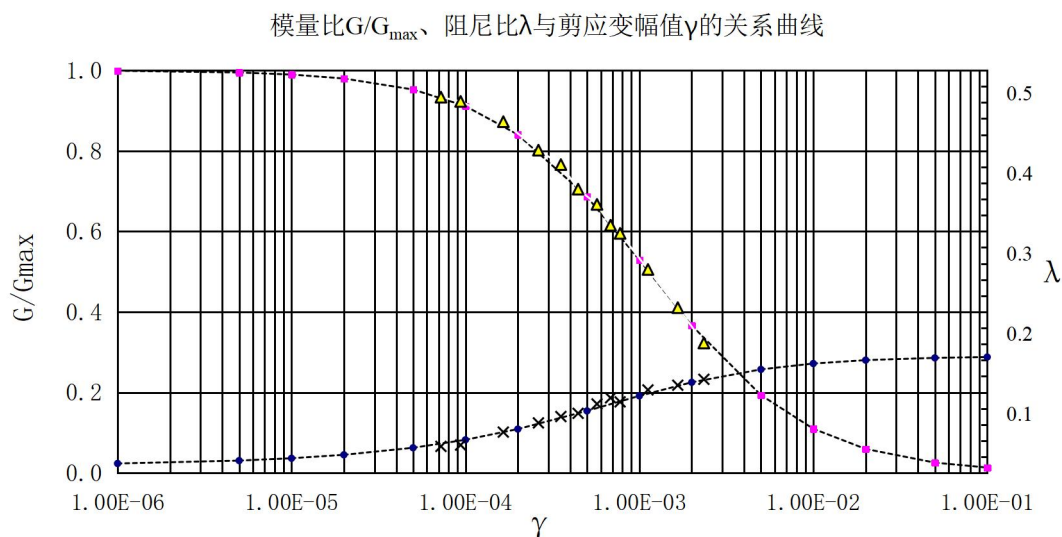


4-1 (0.9-1.1m)

G4

动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.995	0.989	0.952	0.911	0.686	0.529	0.193	0.110
λ	0.0153	0.0182	0.0312	0.0411	0.0770	0.0957	0.1286	0.1359

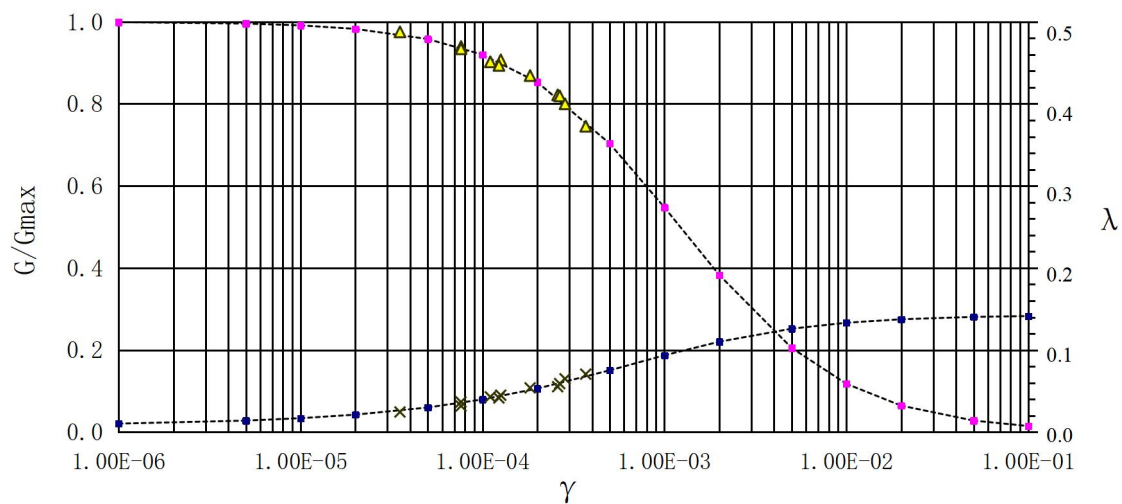


8-1 (1.1-1.3)

G5

动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.996	0.991	0.958	0.920	0.703	0.548	0.205	0.118
λ	0.0140	0.0169	0.0300	0.0398	0.0752	0.0935	0.1260	0.1332

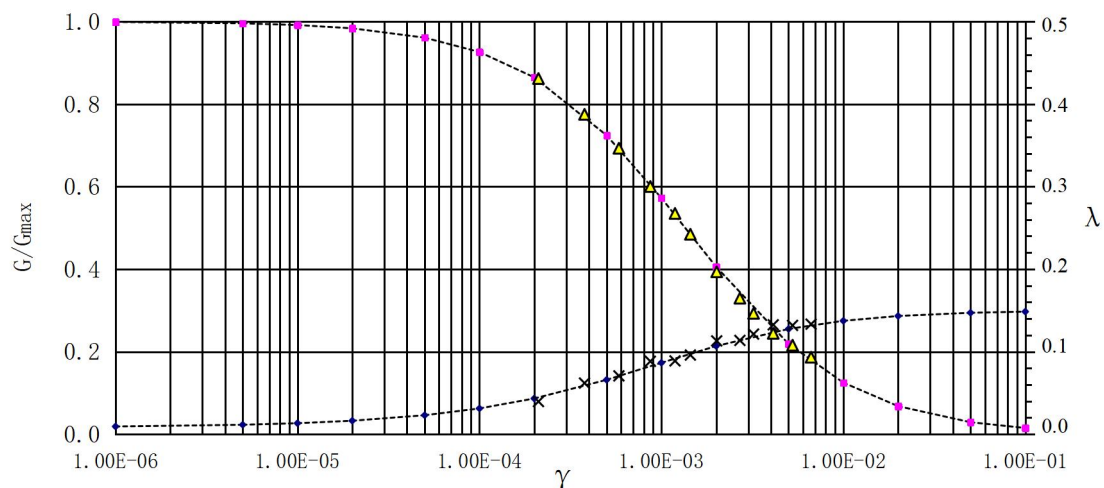
模量比 G/G_{max} 、阻尼比 λ 与剪应变幅值 γ 的关系曲线

12-1 (1.1-1.3)

G6

动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.996	0.992	0.961	0.926	0.724	0.572	0.219	0.125
λ	0.0114	0.0133	0.0230	0.0312	0.0659	0.0865	0.1275	0.1374

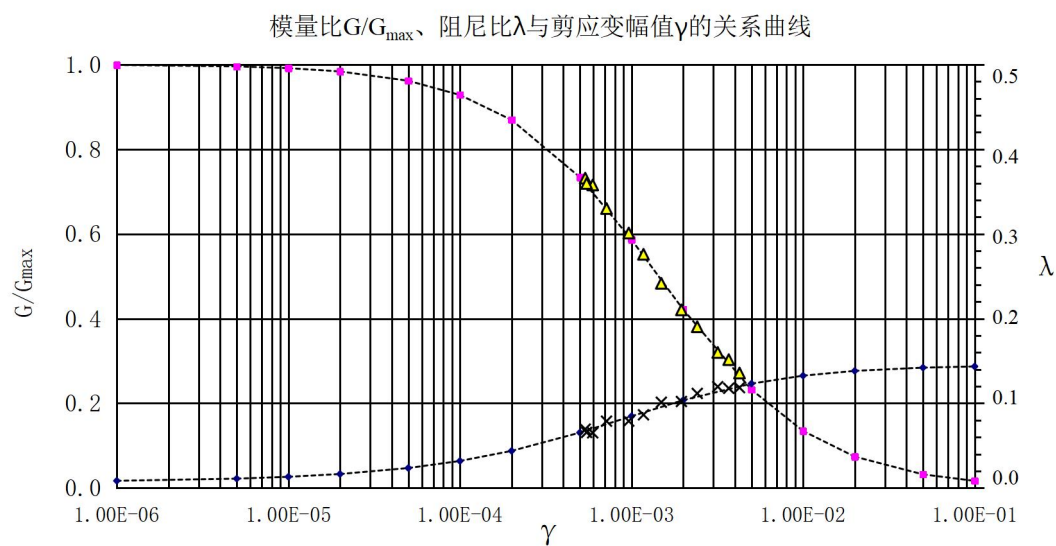
模量比 G/G_{max} 、阻尼比 λ 与剪应变幅值 γ 的关系曲线

15-1 (1.0-1.2)

G7

动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.996	0.992	0.962	0.928	0.734	0.586	0.232	0.135
λ	0.0110	0.0132	0.0235	0.0319	0.0654	0.0847	0.1232	0.1326

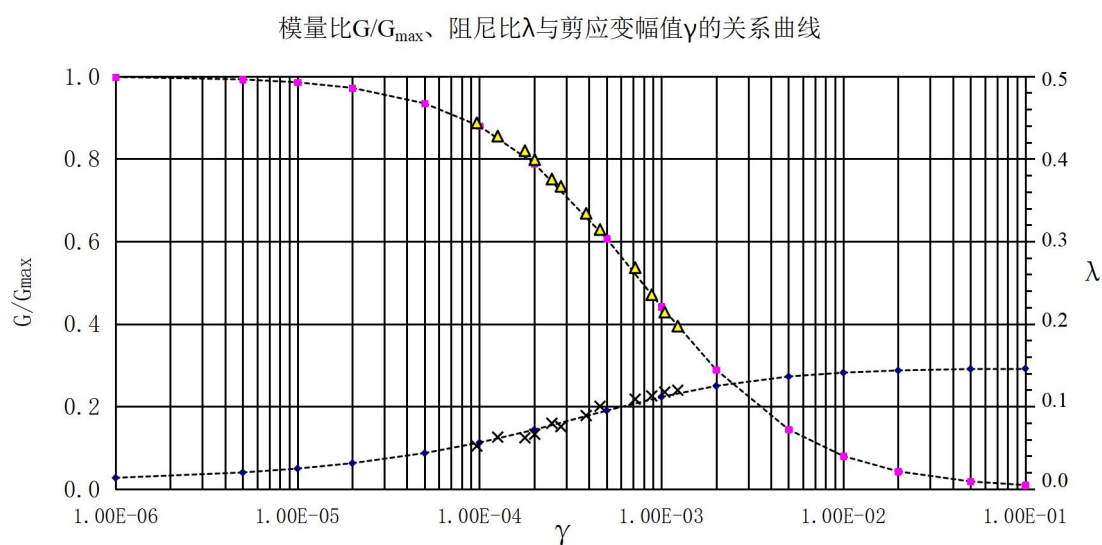


18-1(2.0-2.2)

G8

动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.993	0.985	0.934	0.879	0.607	0.442	0.144	0.080
λ	0.0200	0.0247	0.0434	0.0561	0.0949	0.1115	0.1362	0.1409



18-2(5.0-5.2)

G9

动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
$G/G_{\max}$	0.996	0.992	0.963	0.930	0.743	0.599	0.245	0.144
λ	0.0100	0.0123	0.0230	0.0313	0.0634	0.0818	0.1185	0.1277

模量比 $G/G_{\max}$ 、阻尼比 λ 与剪应变幅值 γ 的关系曲线