

高迟滞水凝胶拉伸测试

AGS-062

摘要：本文采用岛津 AGS-X 10 kN 电子万能试验机，配合 50 N 气动双推夹具，对高迟滞水凝胶试样进行循环拉伸加载 - 卸载测试。参考文献的试验方法，测定水凝胶的迟滞能和能量耗散系数。试验结果显示，岛津 AGS-X 10 kN 电子万能试验机能够满足水凝胶循环拉伸试验要求。

关键词：水凝胶 循环 拉伸

技术特点：

- ❖ 岛津 AGS-X 10 kN 电子万能试验机测量精度高，确保测试结果的准确性和可靠性。
- ❖ TRAPEZIUM X 软件功能强大，配置多类型试验模块，可完成不同类型试验并对指定位置进行数据分析。

水凝胶作为一种具有三维网络结构的高分子材料，能够在水中溶胀但不溶解，凭借其独特的软物质特性和生物相容性，在生物医学、柔性电子、组织工程等众多领域展现出广阔的应用前景。其中，高迟滞水凝胶因其在加载和卸载过程中呈现出显著的能量耗散特性而备受关注。

在生物医学领域，作为人工软骨替代材料，高迟滞水凝胶能够有效吸收关节运动时产生的冲击能量，减少关节磨损，为关节提供良好的缓冲保护；在柔性电子器件中，它可用于制备压力传感器，其高迟滞特性有助于将外界压力变化更有效地转化为

电信号，提高传感器的灵敏度和稳定性。

然而，目前对于高迟滞水凝胶的力学性能研究仍在深入研究，尤其是在拉伸过程中的能量耗散机制和力学行为。高迟滞水凝胶的迟滞性能通过加载 - 卸载循环中的能量损失来表征。迟滞能决定材料在单次形变中的能量吸收能力，是抗冲击、抗疲劳设计的核心指标；能量耗散系数反映材料在动态载荷下的能量转化效率，直接影响减震、隔音等性能。在本试验中，对水凝胶进行循环加载 - 卸载试验，得到水凝胶试样每次加载 - 卸载的最大力、迟滞能和能量耗散系数。

■ 实验部分

1.1 仪器

AGS-X 10 kN 电子万能试验机
TRAPEZIUM X 软件（循环模块）

50 N 气动双推夹具

1.2 试验条件

试验温度：25℃
载荷传感器：50 N（0.5 级）

试验速度：50 mm/min
试验夹具：岛津 50 N 气动双推夹具

1.3 试验样品设置

用于加载 - 卸载试验的水凝胶试样见图 1。试样长度为 61.50 mm，宽度为 40.50 mm，厚度为 0.78 mm，调节夹具间距调整为 25 mm。测试开始前，分别用上下夹具夹住试样两端，启动样品保护功能使试样受力载荷保持在 0 N 附近。

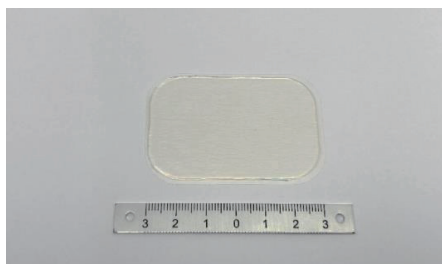


图 1 水凝胶试样

试样安装方法如下图：

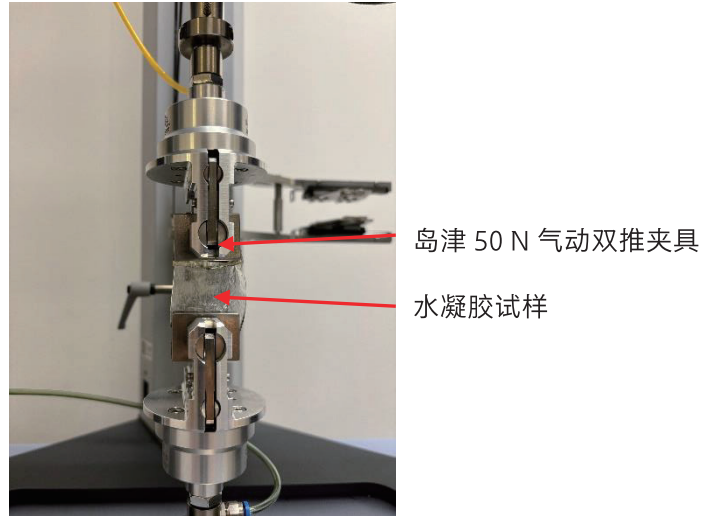


图 2 水凝胶试样拉伸测试过程

试样尺寸信息如下：

表 1 试样尺寸信息

样品	厚度 (mm)	宽度 (mm)	夹具间距 (mm)
水凝胶	0.78	40.50	25.00

■ 加载 - 卸载试验介绍

采用 TRAPEZIUM X 软件循环模块，设定预加载为 0.5 N，到达预设载荷后以 50 mm/min 速度拉伸至 20% 行程应变，再以相同试验速度卸载至行程原点，循环 20 次。通过软件计算得到每次加载 - 卸载过程的最大力，迟滞能和能量耗散系数。计算公式如下：

$$\Delta E = \int_{\text{Loading}} \sigma d\varepsilon - \int_{\text{Unloading}} \sigma d\varepsilon;$$

$$\eta = \frac{\Delta E}{\int_{\text{Loading}} \sigma d\varepsilon} \times 100\%;$$

式中：

ΔE ：迟滞能，单次循环中负载做功与卸载做功之差，单位为 kJ/m^3 ；

η ：能量耗散系数，负载曲线与卸载曲线的差异可以评估水凝胶形变过程的迟滞，单位为 %；

σ ：载荷，单位为 N；

ε ：位移，单位为 m。

注：软件自动计算的数值单位为 J，需在软件编辑定义公式，迟滞能 J 换算 kJ 再除以水凝胶有效体积（即夹具间距 × 宽度 × 厚度）得到 kJ/m^3 。

■ 试验结果

测试结束后获取循环加载 - 卸载曲线，记录相关测试数据并计算。

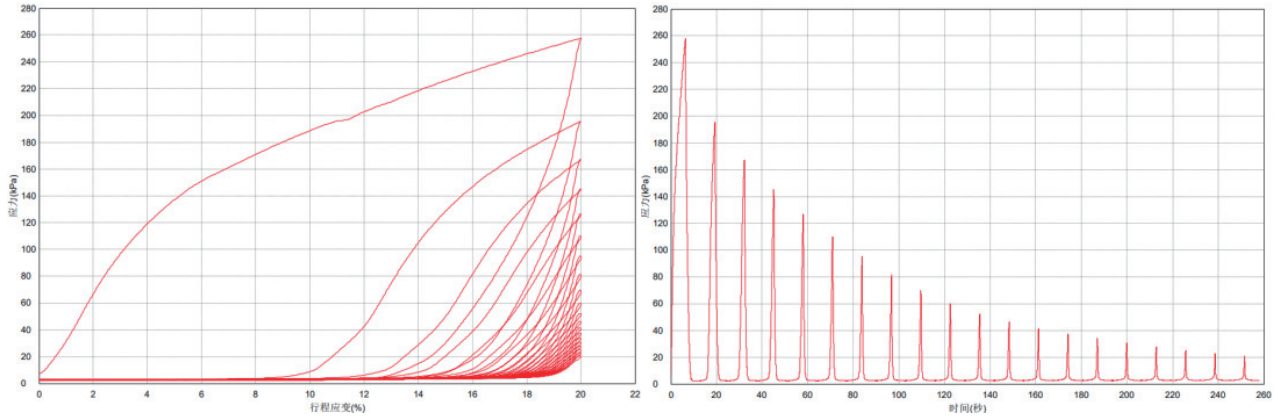


图3 循环加载 - 卸载过程应力 - 行程应变曲线和应力 - 时间曲线

表2 试验结果

名称	最大值_载荷 (N)	加载能量 ($\times 10^{-5}$ kJ)	卸载能量 ($\times 10^{-5}$ kJ)	能量耗散系数 (%)	最大值_应力 (kPa)	迟滞能 (kJ/m^2)
Cycle 1	8.156	2.926	0.544	81.40	257.66	30.10
Cycle 2	6.195	0.996	0.328	67.10	195.72	8.44
Cycle 3	5.296	0.586	0.243	58.50	167.30	4.33
Cycle 4	4.600	0.395	0.193	51.13	145.34	2.55
Cycle 5	4.006	0.289	0.160	44.62	126.55	1.63
Cycle 6	3.486	0.224	0.137	38.89	110.13	1.10
Cycle 7	3.010	0.181	0.120	33.84	95.10	0.77
Cycle 8	2.574	0.152	0.107	29.54	81.33	0.57
Cycle 9	2.200	0.131	0.097	26.18	69.52	0.43
Cycle 10	1.892	0.116	0.089	23.14	59.77	0.34
Cycle 11	1.653	0.105	0.083	20.62	52.22	0.28
Cycle 12	1.468	0.096	0.079	18.36	46.38	0.23
Cycle 13	1.314	0.089	0.075	16.21	41.51	0.18
Cycle 14	1.183	0.084	0.071	14.47	37.36	0.15
Cycle 15	1.070	0.079	0.069	12.71	33.80	0.13
Cycle 16	0.971	0.075	0.066	11.36	30.67	0.11
Cycle 17	0.880	0.072	0.064	10.15	27.81	0.09
Cycle 18	0.797	0.069	0.063	9.09	25.19	0.08
Cycle 19	0.722	0.067	0.061	8.24	22.80	0.06
Cycle 20	0.653	0.065	0.060	7.58	20.63	0.06

从图 3 和表 2 可以看出，第一周的循环加载 - 卸载曲线出现了明显的迟滞环，这是高迟滞性能的表现，表明材料在形变过程中耗散了大量能量；在第二周和之后的循环中，水凝胶迟滞环和最大应力出现了大幅度的下降。这一结果说明了第一次加载 - 卸载过程中发生了明显的内部断裂，而这一现象需要一定时间才可以恢复。经过 20 次循环加载 - 卸载过程，水凝胶的最大应力由 257.66 kPa 减小至 20.63 kPa，迟滞能由第一周的 30.10 kJ/m³ 减小至 0.06 kJ/m³。通过循环加载 - 卸载试验，我们可以从实验软件直接得到相应的迟滞参数，确定的抗疲劳性能，从而更好地调节水凝胶制备配方。

■ 结论

综上所述，使用岛津 AGS-X 电子万能试验机，配合 50 N 气动双推夹具，通过 TRAPEZIUM X 软件循环模块对高迟滞水凝胶试样进行加载 - 卸载测试，并自动积分求算试验曲线的迟滞能和能量耗散系数，具有操作简单，数据准确的特点，大大节省了计算量，在科研以及质量控制环节中起到重要作用。

岛津应用云

