

损伤土工膜液胀强度试验研究

束一鸣¹, 潘江²

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 长江水利委员会勘测设计院, 湖北 武汉 430010)

摘要 对存在不同划痕损伤的土工膜进行了液胀试验, 结果表明, 损伤土工膜的最大应力均随划痕深度的增加而减小, 而最大应变并不随划痕深度的增加而减小; 在支承孔径、膜厚、应力水平相同的情况下, 随着损伤程度的增加, 膜的切线变形模量变小, 膜的液胀强度随膜的损伤程度的增大而减小, 呈二次指数关系。损伤土工膜与无损土工膜之间在液胀状态下的强度存在较大差异。

关键词 损伤土工膜; 液胀强度; 应力应变; 损伤程度

中图分类号: TV441 文献标识码: A 文章编号: 1006-7647(2005)06-0034-03

Mullen strength experiment on damaged geomembrane//SHU Yi-ming¹, PAN Jiang²(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China)

Abstract The result of mullen experiments on geomembrane with different nicks shows that there are great differences in the strengths between damaged geomembrane and undamaged geomembrane under liquid pressure. The maximum stress of damaged geomembrane decreases as the depth of nicks increases, however, the maximum strain does not follow the same regularity. Without change of the diameter of holding aperture and thickness of geomembrane, the development of the damage to geomembrane results in the decrease of tangential deformation modulus and the secondary exponential decline of the mullen strength under the same stress level.

Key words damaged geomembrane; mullen strength; stress-strain; degree of damage

土工膜是水利水电工程中的新型低渗透性防渗材料, 在我国中低水头土石堤坝的防渗工程中已有较广泛的应用, 但在应用基础理论与设计方法方面尚待系统深入的研究。在土工膜厚度设计中, 常以水液胀顶破作为指标, 目前的设计方法至少有以下两个方面需要完善: ①计算公式基于曲面变形(即膜在受水压作用后处于各向受拉状态), 然而采用的膜的强度为单向拉伸强度; ②土工膜在现场施工中的擦痕损伤几乎难以避免, 但设计中却未能较为定量地予以考虑。问题的完善需建立液胀压力与液胀变形之间的关系以及掌握不同损伤程度的膜的液胀特性。

1 液胀变形膜的内力与变形

在某一高程的水压力集度 p 下, 处于支持层颗粒之间孔隙部位的膜会发生顶胀变形。由于作用面积较小, 可以认为水压力集度 p 是均匀的且大小相同。在室内试验中, 将膜支持层孔隙概化为圆形, 假定圆孔型夹具上的膜受均匀水压力后的变形呈球面状。因为膜基本上不能承受弯矩与剪力, 所以除球面

圈固定端处外, 该假定是可以接受的。随着水压力集度的增加, 膜变形增大, 球面冠高 h 增大, 球面半径 r 减小, 而球冠底面的半径 $b/2$ 始终保持不变。

球面壳体受均布压力作用时的膜内张拉应力为

$$T = \frac{b}{8} \left(\frac{b}{2h} + \frac{2h}{b} \right) p \tag{1}$$

若按薄膜理论分析, 当悬空在多孔介质上的薄膜微元体受水压力集度 p 时弯曲成曲面, 如图 1 所示。

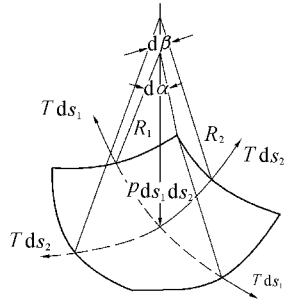


图 1 膜顶胀弯曲变形

示。膜内产生的张拉应力 T 将与 p 平衡, 有

$$p ds_1 ds_2 = 2T \left(ds_1 \sin \frac{d\beta}{2} + ds_2 \sin \frac{d\alpha}{2} \right) \tag{2}$$

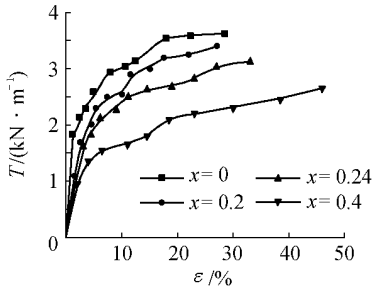
式(2)经推导也可得出式(1).

膜张拉后的弯曲应变为

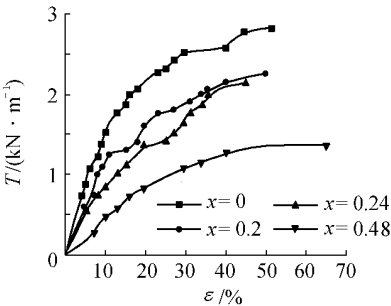
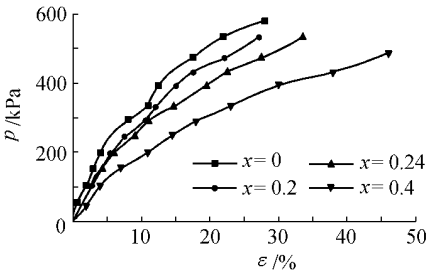
$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{2bh}{b^2 + 4h^2} \right)^2 \tag{3}$$

2 液胀试验方法

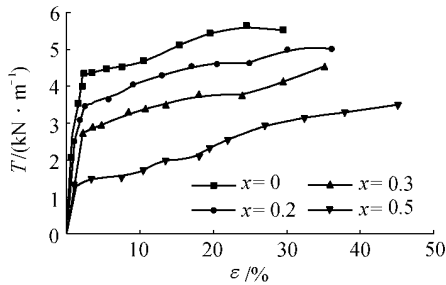
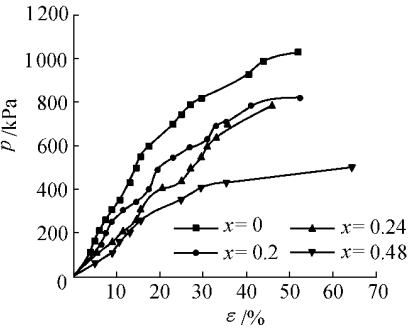
液胀试验在抗渗仪上进行^[1]. 悬空膜的钢模具圆孔孔径分别为1 cm和2 cm, 采用分级水压加载, 基本上以50 kPa为一级荷载, 每一级荷载持续稳定15 min, 通过量测膜的张曲挠度(张曲冠高)以及对应的水压荷载, 计算膜内拉力与膜的张拉应变, 绘制成应力应变曲线. 曲线上某一点的切线斜率, 即为该应力应变状态下的切线变形模量.



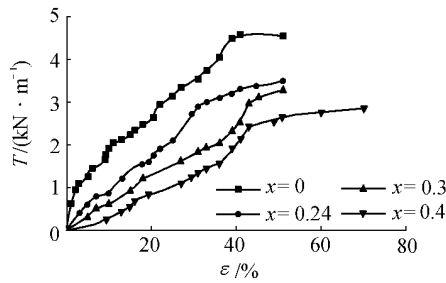
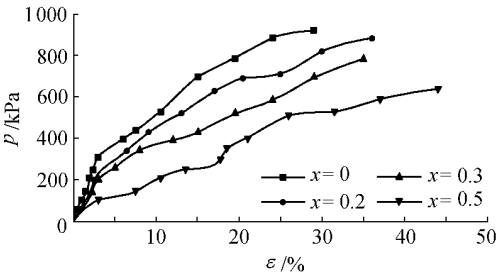
(a) 悬空孔径为2 cm, 膜厚度为0.25 mm



(b) 悬空孔径为1 cm, 膜厚度为0.25 mm



(c) 悬空孔径为2 cm, 膜厚度为0.5 mm



(d) 悬空孔径为1 cm, 膜厚度为0.5 mm

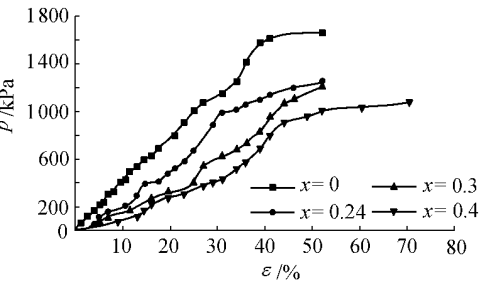


图2 不同悬空孔径、不同膜厚、不同损伤程度下土工膜的应力应变曲线

试验材料采用山东塑料三厂生产的厚度分别为0.25 mm、0.3 mm和0.5 mm的PE膜和厚度分别为1.0 mm和1.2 mm的PVC膜. 试样上沿悬空圆孔的直径方向刻划不同深度的划痕, 以不同划痕深度与膜厚度的比值 x 作为膜损伤程度的指标. 模具和试样均在工厂制备.

3 试验结果及其分析

3.1 损伤膜的应力应变规律

由试验可得各种工况下损伤膜的应力应变关系曲线, 因篇幅所限, 仅列出悬空孔径为1 cm和2 cm, 膜厚为0.25 mm和0.5 mm的PE膜的情况, 如图2所示. 从试验过程和对这些曲线的分析得出以下带有

规律性的认识：

a. 损伤 PE 膜和损伤 PVC 膜的最大应力均随划痕深度的增加而减小 ,但其最大应变并不随划痕深度的增加而减小 ,这是悬空张拉变形与单向拉伸变形较为明显的区别。

b. 同样的膜厚 ,悬空孔径越大 ,膜承受的水压力集度越小 ,而膜内最大拉应力却增大 ,由于受同样大小的均匀水压作用后 ,支承孔径大的 ,膜的张曲变形曲率小 ,内力就大 ,应力随应变增加的速度快 ,即切线变形模量较大 ,反之亦然。

c. 基于上述原理 ,同样的膜厚 ,大悬空孔径达到最大应力时膜的变形小于小悬空孔径时膜的变形 ,PE 膜前者约为 30% ~ 40% ,后者约为 40% ~ 50% ,而 PVC 膜前者约为 80% ~ 100% ,后者约为 120% 。

d. 在悬空孔径、膜厚、应力水平相同的情况下 ,随着损伤程度的增加 ,膜的切线变形模量变小。

3.2 损伤膜的液胀强度

液胀强度为膜顶胀破坏时的水压力集度^[2]。当悬空孔径、膜厚均相同时 ,膜的液胀强度 y 与膜的损伤程度 x 经拟合分析并适当外推后得出如图 3 所示的关系。

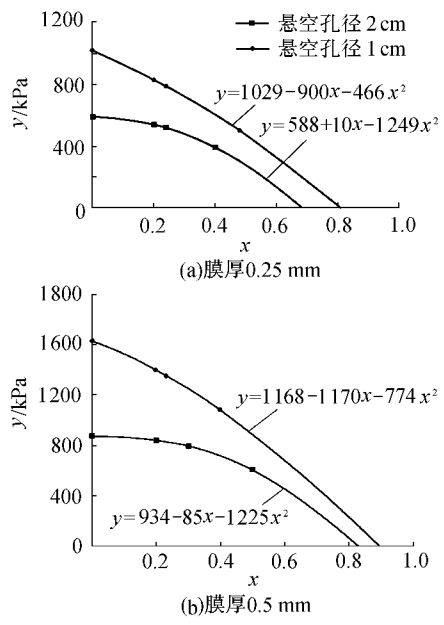


图 3 PE 膜的液胀强度与损伤程度关系曲线

由图 3 可得 :①膜的液胀强度随着膜损伤程度的增大而减小 ,呈现二次指数关系 ;②膜厚相同 ,损伤程度相同时 ,悬空孔径为 1 cm 时的液胀强度比悬空孔径为 2 cm 时的液胀强度大 50% 以上 ;③本次试验的液胀强度的零值对应的膜的损伤程度在 0.65 ~ 1.0 之间 ,随着膜厚增大 ,零值对应的损伤程度呈增大趋势 ;④悬空孔径为 1 cm 时膜的液胀强度随损伤程度增大而减小的速度大于悬空孔径为 2 cm 时

液胀强度减小的速度。

4 结 语

尽管目前的试验研究只显示了损伤膜的液胀应力应变与液胀强度方面的一些带有规律性的认识 ,但从试验的定量数据可大致知道损伤膜与无损膜在液胀强度及应力应变关系方面的差异 ,可供今后深入研究以及在工程实际中设计、评价损伤膜的影响作参考。

参考文献：

[1] 南京水利科学研究院.土工合成材料测试手册[M].北京:水利电力出版社,1991.115—123.
[2] 束一鸣,叶乃虎.LDPE 土工膜液胀极限荷载的工程仿真实验[J].水利水电科技进展,2003,23(5):1—3.
(收稿日期 2004-08-30 编辑 骆超)

·简讯·

国际大坝委员会第 22 届大坝会议 将在西班牙召开

国际大坝委员会第 22 届大坝会议将于 2006 年 5 月在西班牙巴塞罗那召开 ,大会的议题是：

a. 大坝设计和施工中缩短工期、降低工程造价的技术措施 ①施工导流中的技术创新方案和设计准则 ;②基础设计与基础处理的创新 ;③大坝非常规断面和材料 ;④新溢洪道设计改建中节省造价的技术 ;⑤在枢纽布置、项目实施等方面的创新方法。

b. 大坝运行过程中对下游地区影响的管理 :①大坝泄水及安全措施 ;②预警系统 ;③泄水对大坝下游的环境影响 ;④环境和生态系统影响监测。

c. 土坝和堆石坝的大坝安全 :①考虑大坝安全级别和规程的大坝安全等级划分 ;②风险评估及准则 ;③极端洪水、闸门堵塞和滑坡涌浪引起漫顶的预防、补救以及安全措施 ;④溃口形状、发生初始条件和发展过程 ;⑤渗漏的预防、探测和正确的工程处理措施。

d. 洪水、干旱的评估和管理 :①流域地区内洪水、干旱的评估与再评估 ,气候变化造成的影响 ,坝及溢洪道改扩建设计准则的重新评价 ;②洪水及干旱预测 ,意外事件的预测 ;③利用已建和新建大坝进行洪水管理和干旱管理 ;④增强大坝安全的各种水文和水工水力学工程措施。

(本刊编辑部供稿)