

# 浅谈复合土工膜厚度的确定

张俊杰, 高贵全\*

(云南农业大学水利水电与建筑学院, 云南 昆明 650201)

**摘要:** 复合土工膜是一种性能可靠的防渗材料。目前在确定土工膜厚度时, 曲线交合法是一种最简便, 最常用的方法。利用曲线交合法结合工程实例, 确定复合土工膜的厚度及选择适当的型号, 通过全苏水工科学院公式进行验证, 发现用曲线交合法求得的膜厚度能满足实际工程需要。经工程运行, 所选复合土工膜防渗效果很好。

**关键词:** 复合土工膜; 应力应变关系; 曲线交合法

**中图分类号:** TU 579    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1004-390X (2008) 05-0880-03

## Determination of the Thickness of Composite Geomembrane

ZHANG Jun-jie, GAO Gui-quan

(Faculty of Water Resource and Hydraulic Power Architecture, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

**Abstract:** The composite geomembrane is a reliable impermeable material and curve intersection method is the most simplest and convenient and the commonest method to calculate the thickness of the composite geomembrane. In this paper, curve intersection method with engineering examples was used to determine thickness of composite geomembrane and choose proper models. Finally, the test of soviet hydraulic engineering academy formula found that the thickness of composite geomembrane calculated by curve intersection method could meet the needs of projects. Project practice proved that composite geomembrane had a good effect of impermeability.

**Key words:** composite geomembrane; the relationship of stress and strain; curve intersection method

复合土工膜是聚乙烯膜或聚氯乙烯膜等聚合物膜与针刺土工织物加热压合或用胶粘剂粘合而成的不透水材料, 其垂直渗透系数 ( $K_n$ ) 多为  $n \times 10^{-10} \sim n \times 10^{-13}$  cm/s, 其平面导水系数一般为  $1.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-4}$  m/s, 是理想的防渗材料<sup>[1]</sup>。国际上土工膜的应用可追溯到 20 世纪 30 年代, 首先用于游泳池和灌溉渠道防渗, 然后发展到土石坝、水闸及其它土建工程<sup>[2]</sup>。国外使用土工膜防渗历史迄今已有 70 余年, 而我国正式使用土工膜的历史仅有 30 余年。虽然起步比较晚, 但是目前复合土工膜防渗技术在水利水电、铁路、公路、隧道、垃圾处理厂、建筑等现代建设工程

中广泛应用<sup>[3]</sup>。

### 1 方法探讨

铺在颗粒地层或缝隙上的土工膜受水压力荷载时厚度有以下 3 种计算方法: (1) 顾淦臣 (1985) 薄膜理论公式<sup>[4]</sup>; (2) 前苏联全苏水工科学研究所的经验公式<sup>[5]</sup>。(3) J·P·Gi-roud (1982) 的铺在窄缝上的膜近似公式<sup>[4]</sup>。本文将从薄膜理论公式来确定薄膜厚度, 并通过全苏水工科学院公式进行验证。

#### 1.1 薄膜理论公式

将薄膜张在边界上如图 1。受均匀水压力

收稿日期: 2007-11-22    修回日期: 2008-02-26    \* 通讯作者 E-mail: ggq\_888@126.com

作者简介: 张俊杰 (1984-), 河南邓州人, 在读研究生, 主要从事水工结构方面的研究。

E-mail: junjie012000@163.com

(单位面积的力), 膜发生挠曲变位  $\omega(x, y)$ , 并受到均匀拉力  $T$  (单位长度的力)。此时形成膜的平衡表面。根据微元各边的拉力在  $\omega$  轴方向的投影之和与水压力  $pdx dy$  平衡的条件, 从图 1 上的力系就可得到下列偏微分方程<sup>[6]</sup>

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial^2 y} = -\frac{P}{T} \quad (1)$$

由边界条件, 各边界上变位  $\omega = 0$ , 便可求得此式的解。根据膜的变位方程式, 用积分法求膜在各个方向的伸长量, 进而求得应力 (单位长度的力) 与应变关系的方程式如下<sup>[4]</sup>。推导过程在此不详述。

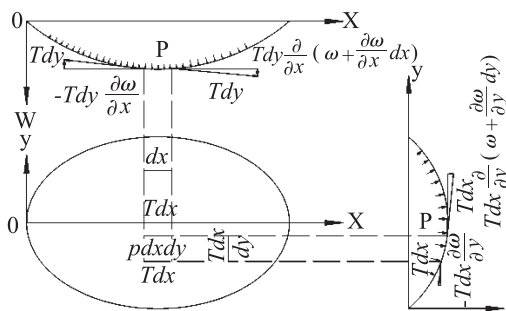


图 1 薄膜变形原理图

Fig. 1 Schematic diagram of the thin film distortion

在圆形边界上的膜, 在直径方向, 即  $x = \frac{a}{2}$  线上, 拉应力最大, 为:

$$T = 0.01pa / \sqrt{\varepsilon} \quad (2)$$

式中:  $T$  为拉应力, 为单位宽度膜的拉力 (kN/m);

$\varepsilon$  为拉应变, 以小数表示;

$p$  为水压力荷载 (kPa);

$a$  为圆的直径 (m)。

此公式以曲线表示, 见图 2。

对于承受低压水头作用的复合土工膜, 把应力应变关系曲线和不同厚度复合土工膜的应力应变关系曲线按照相同比例绘在同一张图纸上, 用曲线交会法即可确定所需土工膜的厚度。

### 1.2 全苏水工科学院公式

$$\delta = \frac{\rho H d^{1.03}}{\sqrt{(\delta_{190n} / 0.34)^3 / E}} \quad (3)^{[5]}$$

$\delta$  为膜厚 (mm);

$\rho$  为水的重力密度  $9.8 \text{ kN/m}^3$ ;

$H$  为膜所承受的最大水头 (m);

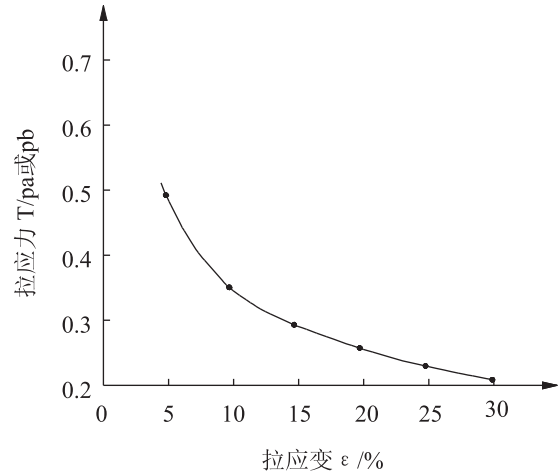


图 2 圆形边界上的膜的拉应力-应变关系曲线  
Fig. 2 Relationship curve of the membrane tensile stress-strain in circular boundary

$d$  为与膜接触的石子或砂石粒径 (mm);

$\delta_{190n}$  为膜的允许拉力为 ( $10^5 \text{ Pa}$ );

$E$  为膜的弹性模量 ( $10^5 \text{ Pa}$ )。

## 2 工程实例

云南省呈贡县乌龙村落污水及农田水回归水循环利用示范工程中, 汛期利用雨水灌溉, 旱季将污水进行处理后需储存起来, 以备旱季灌溉之用, 为此修建一直径  $d = 11.1 \text{ m}$ ,  $h = 3.3 \text{ m}$  的圆型水池, 底部采用复合土工膜防渗, 复合土工膜以上为  $20 \text{ cm}$  的干砌块石, 以下为厚  $50 \text{ cm}$  的低渗透性土。

复合土工膜上面保护层干砌块石粒径不能太大, 以免刺破土工膜, 假设块石均匀, 且直径为  $20 \text{ mm}$ , 承受最大压力水头为  $3.3 \text{ m}$ , 紧密的颗粒均匀的块石, 其孔隙直径约为均匀粒径的  $0.4$ , 即  $a = 20 \times 0.4 = 8 \text{ mm}$ , 将孔隙形状按圆形考虑, 用公式 (2) 计算, 则

$$\begin{aligned} T &= 0.11pa / \sqrt{\varepsilon} \\ &= 0.11 \times 9.8 \times 3.3 \times 0.008 / \sqrt{\varepsilon} \\ &= 0.02846 / \sqrt{\varepsilon} \end{aligned} \quad (4)$$

取图 3 中厚  $0.75 \text{ mm}$  和  $0.4 \text{ mm}$  的聚氯乙烯膜进行计算<sup>[2]</sup>。

(4) 式用曲线表示见图 3 曲线①, 此曲线与  $0.75 \text{ mm}$  聚氯乙烯膜的拉应力-应变曲线交点  $T = 0.227 \text{ kN/m}$ ,  $\varepsilon = 1.671\%$ 。则应力安全系数为  $10.5 / 0.227 = 46.25$ , 应变安全系数为  $250 / 1.671 = 149.6$ 。此曲线与  $0.40 \text{ mm}$  聚氯乙烯膜的拉应力

-应变曲线交点  $T = 0.177 \text{ kN/m}$ ,  $\varepsilon = 2.643\%$ 。则应力安全系数为  $5.6/0.177 = 31.64$ , 应变安全系数为  $210/2.643 = 79.5$ 。目前, 我国尚无土工膜设计的应力安全系数和应变安全系数规范。前苏联全苏水工科学研究所建议容许拉应力采用极限拉应力的  $1/5$ 。故本文采用安全系数为 5。虽然两种厚度的膜都远远满足其应力安全系数要求, 但规范中明确水利工程中一般采用厚度为  $0.5 \text{ mm}$ , 而实际应用的多数在  $0.3 \sim 0.5 \text{ mm}$  之间<sup>[7]</sup>, 从经济角度出发, 故选用  $0.4 \text{ mm}$  聚氯乙烯膜。

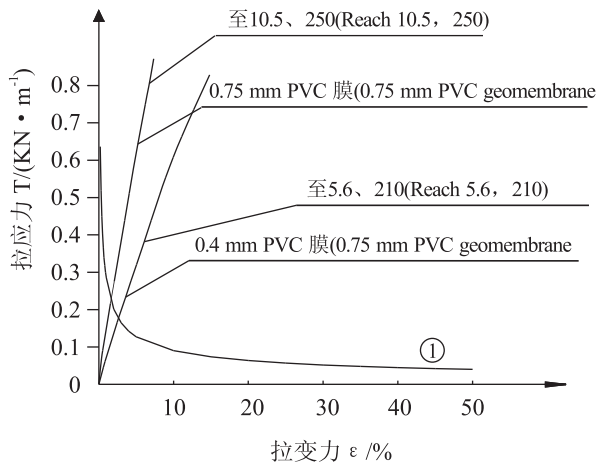


图 3 曲线交会法求土工膜厚度

Fig. 3 Calculation of the composite geomembrane's thickness by curve intersection method

用全苏水工科学院公式 (3) 计算, 其中: 水深  $H = 3.3 \text{ m}$ , 膜的允许拉力  $\delta_{190n} = 22 \times 10^5 \text{ Pa}$ , 膜的弹性模量  $E = 388 \times 10^5 \text{ Pa}$ ,  $d = 20 \text{ mm}$ , 计算出膜厚度为  $0.268 \text{ mm} < 0.4 \text{ mm}$ , 在承受低压水头水利工程中, 曲线交会法求得的厚度和用全苏水工科学院公式求得结果比较吻合, 具有一定的推广使用价值。

### 3 结论

(1) 土工膜厚度的确定方法很多种, 推荐使用的方法有本文开头所说的 3 种方法, 限于篇幅原因, 本文从薄膜理论方法进行了初步探讨, 并通过全苏水工科学院公式进行验证, 曲线交会法和全苏水工科学院公式计算结果比较吻合。

(2) 在求解土工膜厚度时, 曲线交会法只需要知道应力应变曲线即可以迅速求得膜厚, 是一种比较简捷的计算方法。

(3) 通过实际工程运行, 复合土工膜防渗效果显著, 且所选用的复合土工膜厚度及型号均能满足实际运行需要。

(4) 由于目前我国尚无土工膜设计的应力安全系数和应变安全系数规范, 故需要继续探索, 进一步深入研究。

#### [参考文献]

[1] 王辉, 王卉春, 曲洪英, 等. 土工膜及其发展趋势 [J]. 齐鲁石油化工, 2004, 32 (3): 199-202.  
 [2] 国内外聚乙烯土工膜在节水防渗工程中的应用 [J]. 前沿科技聚焦, 2005, 23 (6): 58-64.  
 [3] 胡发亭. 土工合成材料的应用与发展 [J]. 塑料加工, 2002, 35 (1): 47-49.  
 [4] 土工合成材料工程应用手册编写委员会. 土工合成材料工程应用手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.  
 [5] 佟欣. 复合土工膜在沈阳青年湖防渗工程中的应用 [J]. 辽宁省交通高等专科学校学报, 2005, 7 (2): 27-28.  
 [6] 岑威钧, 沈长松, 李星, 等. 堤坝中防渗 (复合) 土工膜的布置型式及计算理论研究 [J]. 红水河, 2004, 23 (3): 70-74.  
 [7] GB50290-98, 土工合成材料应用技术规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1999.