

土工织物的孔洞曲线和瓶颈曲线及其应用

庄艳峰, 王 钊

(武汉大学土木建筑工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要:介绍土工织物的孔洞曲线和瓶颈曲线及其相关的概率分析, 提出了设计中应注意的一个参数——渗径孔洞数 m . 这两种曲线和参数 m 一起, 更加完整地反映了土工织物滤层的渗滤性能. 在理论分析的基础上, 提出了一种新的滤层设计方法, 并提供了可供设计使用的计算图, 该方法同时考虑了 O_{100} 和 m 两个参数, 解决了具有相同或相似特征孔径织物的优选问题.

关键词:土工织物; 特征孔径; 滤层; 孔洞曲线; 瓶颈曲线

中图分类号: TU531.7

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2002)04-0034-02

土工织物的孔径是织物滤层的一个重要参数, 但目前在设计中所考虑的仅是最大特征孔径, 而较少考虑土工织物的孔径分布对滤层设计的影响. 为此本文着重考虑了与土工织物孔径相关的两种分布曲线——孔洞曲线和瓶颈曲线, 运用概率方法进行分析, 并给出其在实际滤层设计中的运用.

1 C 线和 O 线及其性质

土工织物可以看作是由 m 层组成的, 土颗粒以一定的渗滤路径通过织物, 也就是通过了 m 个孔洞. 假定通过每一个孔洞均看作是独立事件, 且恰好落在纤维骨架上的颗粒会改变方向, 去寻求一个近处的孔洞, 那么颗粒能否穿过织物就仅仅依赖于颗粒与通道瓶颈之间的大小关系^[1]. 因此完整的土工织物孔径信息应该包含两条曲线: C 线和 O 线. C 线是指孔洞累积频率曲线, 该线反映的是织物材料及组成结构的特性, 与孔隙率 n 、纤维直径 d_f 有关, 而与织物厚度无关; O 线是指织物的瓶颈累积频率曲线, 该线反映的是某种特定织物的性质, 与织物厚度有关. 如果从概率的角度来看: 孔洞累积频率 P_c 可以认为是颗粒在每层遇到小于其粒径 d 的孔洞的概率, 亦即颗粒通不过该层的概率, 而瓶颈累积频率 P_o 则可以看作是颗粒通不过织物的概率, 且 P_o 与 P_c 之间存在有关系式: $P_o = 1 - (1 - P_c)^m$. 有关 C 线和 O 线关系概率分析可参见文献[1].

C 线和 O 线有如下性质 (C_x , O_x 分别表示累积频率为 $x\%$ 的孔洞和瓶颈尺寸):

a. $O_0 = C_0$, 因为对于任一块织物而言, 通道的数量都是很大的 (大于 1000 个/cm²), 因此可以近似看作 ∞ , 那么至少有一条通道瓶颈尺寸为 C_0 的概率实际上为 100%. 又因为 C_0 为最小孔洞尺寸, 所以 $O_0 = C_0$.

b. $O_0 < O_n < C_{100}$, 这一点是显然的, 因为作为通道的瓶颈, 它的尺寸必定不会超出组成它的孔洞的尺寸范围.

c. 图 1 给出了 4 条 O 线示意图, 分别对应于以下 4 种情况: ①无限厚织物; ②相对较厚织物; ③相对较薄织物; ④无限薄织物. 这里假定它们由相同材料构成, 且具有相同组织结构. 注意到对于无限薄的情况 O 线与 C 线重合. 又因为 C 线与织物厚度无关, 因此以上 4 种情况具有相同的 C 线.

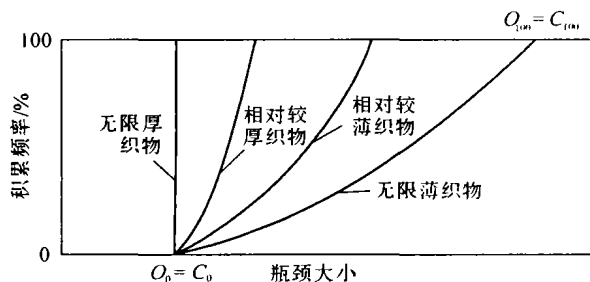


图 1 相同材料和结构的不同厚度织物 O 线分布

2 基于 C 线和 O 线的设计运用

Giroud 给出了 $O_{100}/d_f \sim T_g/d_f$ 的关系曲线图, 如图 2^[2] 所示, 图中, n 为织物孔隙率, d_f 为纤维直

基金项目: 水利部科技推广中心资助项目 (00437201000081)

作者简介: 庄艳峰 (1978—), 男, 福建永泰人, 硕士研究生, 主要从事环境工程和岩土工程研究.

径, ρ_f 为纤维密度, T_g 为织物厚度, μ_g 为单位面积织物质量. 从图中可以看出, $n = \text{常数}$ 的曲线有水平渐近线, 它所对应的 O_{100} 即为 $T_g = \infty$ 时的 O_{100} , 因此该值即为 C_0 , 又根据前面提到的性质, $O_0 = C_0 = (O_{100})_{T_g = \infty}$.

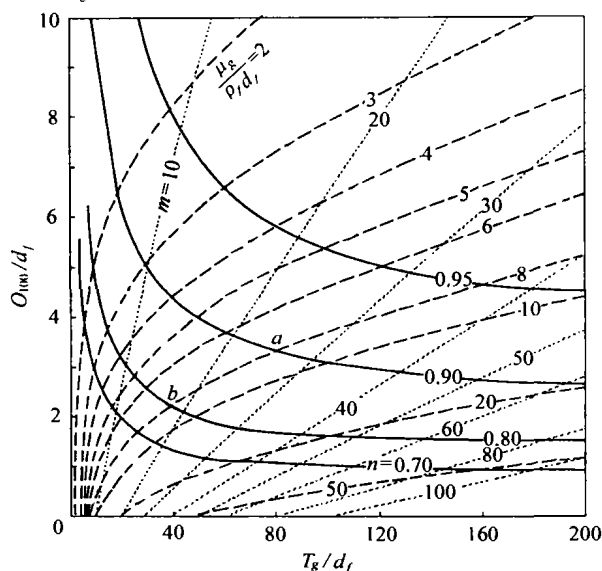


图2 $O_{100}/d_f \sim T_g/d_f$ 关系曲线

$O_{100} - O_0$ 的大小反映了织物的均匀性. $O_{100} - O_0$ 的值越大, 织物的均匀性越差, 反之亦然. 从图2可以看出, 当 $m < 15$ 时, 织物的均匀性差, 而当 $m > 25 \sim 30$ 时, 织物均匀性好. 对于具有相同特征孔径的土工织物, 均匀性差的织物将比均匀性好的织物更易于阻挡颗粒. 因此, 在一些对防淤堵要求高的工程中, 就要求使用均匀性好的织物.

如上所述, 为了保证均匀性, 要求 $m > 25 \sim 30$, 但并不是 m 越大越好, 理由可简要说明如下:

为了简单起见, 考虑具有相同 O_{100} , m 分别为 60 和 30 的两种织物, 如图3所示. 两种织物的 O_{100} 相同, 则 m 小的织物 C 线较平(不均匀性), 且较靠左(孔洞较小), 而 m 大的则相反. 设滤层所要保持的土料骨架粒径在 d_s (d_s 为土料骨架的特征粒径) 区段范围内, 所包围的面积 PASS, IN, ON 就分别为颗粒透过织物、截留在织物内、截留在织物面上的概率.

如果滤层设计正确, 即 d_s 范围落在 O_{100} 之右时, $m = 30$ 的织物颗粒截留在织物面上的概率要大于 $m = 60$ 的织物, 这说明对于 $m = 30$ 的情况, 骨架颗粒移动较小, 因而土层骨架受扰动也小, 有利于渗滤稳定.

如果设计错误或土料特性发生不可预期的变化, d_s 范围包含 O_{100} 时, $m = 30$ 的织物比 $m = 60$ 的织物更能阻止骨架颗粒的流失.

由此可见渗径孔洞数 m 是一个重要因素, 一方

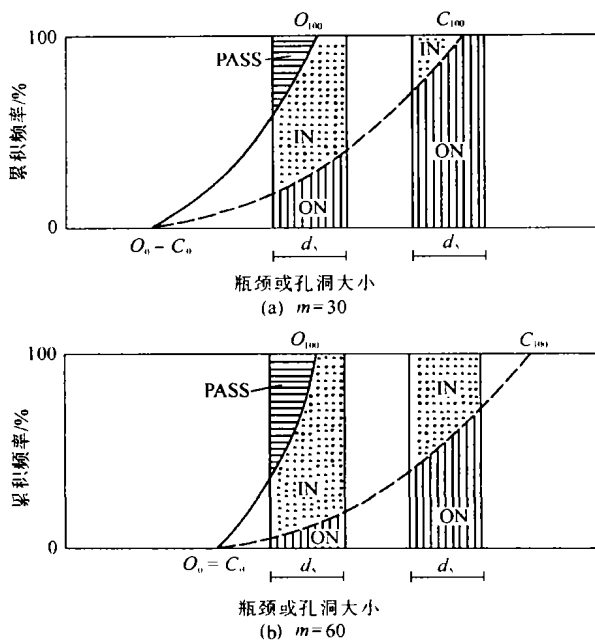


图3 O_{100} 为 $125 \mu\text{m}$ 时两种土工织物的 C 线和 O 线分布
面保证均匀性, 要求 $m > 25 \sim 30$, 另一方面保土性要求 m 不能过大. 建议 m 取值范围为 $25 \sim 30$.

图2提供了一种滤层设计方法, 它同时考虑了 O_{100} 和 m 两个参数, 解决了在设计中常遇到的具有相同或相似特征孔径的织物的优选问题. 具体设计方法是: 根据几种待选织物已知的 μ_g, ρ_f, n, d_f 值, 在图2中, 求取 $\frac{\mu_g}{\rho_f d_f} = \text{常数}$ 的曲线和 $n = \text{常数}$ 的曲线的交点, 读出 m 和 O_{100} 的值. 据此选择最符合条件 $O_{100} < \lambda d_s, m \in (25 \sim 30)$ 的织物, 其中 λ 为倍比系数, 其选取准则与传统规范相同.

3 设计算例

某路端排水工程中, 采用土工织物滤层, 待滤土为紧密的砂性土 (ML), 含 15% 的无塑性细颗粒, 土体相关参数为: $C_c = 2.0, C_u = 5.0, I_D = 80\%, d_{85} = 0.105 \text{ mm}$. 现有两种锦纶 (PA) 针刺无纺土工织物 A, B 待选. 经测定它们的最大特征孔径 O_{95} 都为 $98 \mu\text{m}$, 其他的物理参数分别为: 织物 A: $\mu_g = 275 \text{ g/m}^2, n = 0.9, d_f = 30 \mu\text{m}$; 织物 B: $\mu_g = 410 \text{ g/m}^2, n = 0.8, d_f = 45 \mu\text{m}$. 锦纶的密度 $\rho_f = 1140 \text{ kg/m}^3$. 根据 m 值对这两种织物进行优选.

解: 根据渗滤准则 $O_{95} < d_{85}$ 判断, 待选织物 A, B 都符合要求, 但应用上述设计方法却可以对它们进行优选.

对于织物 A, 曲线 $\frac{\mu_g}{\rho_f d_f} = \frac{275 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2}{1140 \text{ kg/m}^3 \times 30 \times 10^{-6} \text{ m}} = 8$ 与曲线 $n = 0.9$ 相交于点 a (见图2), 该点落在曲线 $m = 20$ 和 $m = 30$ 之间, (下转第 51 页)

大都是块石堆填,极易与上游决口处理不良处或古减水坝面连通,形成渗水通道.深塘的存在使大堤两侧水压力相差过大,易使堤防倾覆.此外,深塘存在以下隐患:①塘内积水清澈,有一定流速,说明可能得到湖水的补给;②在 52.3K 处理设测压管钻探时就发现,第 6 层承压水与排涝河水连通,根据棱角塘处的钻探结果发现第 6 层承压水又与湖水连通,由此可见湖水确实通过第 6 层承压水与排涝河连通;③根据同位素示踪和隐患探测,同时得出了堤后冒水来自洪泽湖的结论,因此堤后深塘的存在形成出水点,构成渗漏通道,危及大堤安全.

2 隐患处理措施

a. 继续引进同位素示踪、电测法、DB-3¹ 堤防管涌渗漏探测技术,以及地震波法等高科技探测技术,对 67.25 km 的洪泽湖大堤进行全面检测,全面彻底地掌握大堤的隐患现状,以便于采取相应的工程与非工程措施.

b. 引进 3S,4D 等监测技术与管理手段对洪泽湖的水情、工情和资源及洪泽湖大堤的垂直、水平位移、浸润线进行监测,对可能出现的险情进行预警、预报.

c. 由于大部分堤段防浪林台的高程不足,当湖水水位超过 14.00m 时(其中 66K 处仅 13.5m),防浪林台下水,堤防渗径长度减小近一半,极易造成渗漏.同时,当出现高水位时由于防浪林台下水,堤身单薄,堤防稳定性偏低,消浪能力不足.因此,考虑将来对洪泽湖的规划宜将目前高程 14.00 m 左右的防浪林台增加到 15.00 m,以增加渗径长度.对九龙湾和 60K+515 和 64K+470 段及 37K+800,40K+350,60K+770 等快剪强度较低的堤段,还应加高加厚,

以保证其稳定性.

d. 针对上述堤基土隐患,宜在防浪林台处有针对性地对部分工段灌注地下连续墙以截断堤基和堆土渗流通道,增强大堤抗渗稳定性.

e. 针对上述堤身堆土和古决口、古建筑等隐患,宜在堤顶采用压密注浆等手段提高堤身密实度,减少堤身空隙,截断堆土渗流并增强堤身稳定性.

f. 根据检测情况堵截洪泽湖渗水入口,将渗漏严重的 52K,53K,56K 等堤段上游条石护坡改为混凝土护坡,同时填平九龙大湾、52K 和各古减水坝处等堤后深塘,封堵冒水孔.

3 结 语

2000 年和 2001 年汛前,在 52K 处采用振动沉模防渗墙及压密注浆后,渗漏量减少 61.5%,浸润线下降 32.5%,只剩下部分绕渗的影响(由于施工长度偏短相邻堤段产生的渗流),53K 与 56K 处实施压密注浆工程后,渗漏和堤后管涌状况明显好转,达到了预期的目的.由此可见,压密注浆和地下连续墙这两种工程措施产生了较好的效果,只是 52K 段由于施工长度偏短而产生了绕流现象,因此宜在两端继续延伸,增加施工长度.然而,由于洪泽湖大堤隐患较为严重,且其成因复杂,隐患种类也五花八门,有些隐患还与历史背景和古代治水方略相关,因此,应针对各段的特点辨证施治和管理.

参考文献:

- [1] 韩成银,陈斌,徐铭,等. DB-3¹ 型堤坝管涌渗漏检测系统在洪泽湖大堤渗漏检测中的应用[J]. 水利水电科技进展,2002,22(3):51~53.

(收稿日期:2002-03-01 编辑:张志琴)

(上接第 35 页)通过插值得 $m = 27$;同理,对于织物 B,曲线 $\frac{\mu_g}{\rho_f d_f} = \frac{410 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2}{1140 \text{ kg/m}^3 \times 45 \times 10^{-6} \text{ m}} = 8$ 与曲线 $n = 0.8$ 相交于点 b(见图 2),该点 m 值为 19.

由此可见,织物 A 的 m 值在 25~30 范围内,而织物 B 的 m 值不落在该区间,因此织物 A 比织物 B 更优.

4 结 语

通过以上讨论可以看出特征孔径相同而孔洞曲线和瓶颈曲线不同的土工织物其渗滤性能是不同的.为此,本文提出了滤层设计中应注意的一个参数

——渗径孔洞数 m ,建议在设计中将 m 值控制在 25~30 之间.通过同时考虑 O_{100} 和 m 两个参数,还可以解决具有相同或相似特征孔径织物的优选问题.

参考文献:

- [1] 庄艳峰,王钊.土工织物的孔径测试方法[J].长江科学院院报,2002,19(3):33~36.
- [2] Giroud J P. Theoretical basis for the development of a two-layer geotextile filter[A]. In: Rowe R K. Sixth International Conference on Geotextiles Geomembranes and Related Product[C]. Georgia USA: Industrial Fabrics Association International, 1998. 1037~1044.

(收稿日期:2001-04-27 编辑:熊水斌)