

复合土工薄膜及其防渗设计

陶同康

(南京水利科学研究院水工所, 210029)

提 要

复合土工薄膜是以土工薄膜和土工织物在工厂通过挤压、滚压或喷涂等工艺所制成的整体结构, 它兼有薄膜防渗和织物排水的功能, 起着薄膜加垫层的作用, 并改善了薄膜的工程性能及简化施工程序, 保证施工质量, 是一种较为理想的防渗材料。文中针对复合土工薄膜用作斜墙铺盖防渗, 从铺盖和透水地基界面的接触冲刷概念出发, 导出了极限铺盖长度和渗流量的计算公式, 经新疆桑株水库土坝坝面铺盖防渗工程实例计算比较, 误差甚小, 可供设计参考。文中根据薄膜理论建立了复合土工薄膜在其法向应力作用下的顶破强度计算公式和织物排水的公式, 经云南恨虎水库堆石坝的校核, 可合理选择复合土工薄膜。

前 言

土工薄膜防渗应用, 可追溯到30年代, 美国采用聚氯乙烯薄膜作游泳池的防渗处理。苏联自50年代以来, 塑料薄膜广泛用于渠道防渗。近20年来用于土石坝坝体及铺盖防渗, 发展较快。我国用塑料薄膜作渠道防渗已有30年的历史, 但用于堤坝方面还不普遍。随着土工薄膜的生产、研究和工程实践的迅速发展, 70年代以来国外土工薄膜材料的品种不断更新, 应用领域不断扩大, 施工技术也越来越先进, 在堤坝工程的应用日趋广泛。并正由低坝向高坝方向发展, 如西班牙的Poze de Los Ramos堆石坝, 坝高97m(1984年建成)。1984年6月在美国丹佛市召开了首届国际土工薄膜学术讨论会, 会议标志土工薄膜已从原始的农用塑料薄膜和日用塑料薄膜发展为土木工程专用的土工薄膜, 在研究和应用方面取得了突破性进展, 确立了土工薄膜作为岩土工程中的一种新颖防渗工程材料的地位。

一、复合土工薄膜

土工薄膜膜在作防渗处理时, 可能会遭受以下几种破坏情况: ①石块和其它尖棱物的刺破; ②支撑材料在承受水和土压力所产生局部下沉或者化学作用及溶蚀所产生的空穴; 或者混凝土面层的开裂; 或者管道破坏时所导致薄膜破裂; ③支撑材料中有机物分解产生的气体、或者铺设土工薄膜时被封闭的气囊、或者土体孔隙中的空气随地下水位上升所排挤出来的气体或液体等顶托薄膜, 导致薄膜应力集中而破裂; ④土工薄膜两侧介质因位移或温度变化所产生的胀缩、水位变化或浪击等作用所引起的界面滑动, 造成薄膜过渡伸长、撕裂或擦伤; 等等。鉴于上述可能出现的破坏情况, 土工薄膜在防渗处理时将根据工程不同条件, 在其一

侧或二侧加以保护,土工织物乃是最佳的保护材料,此时,土工织物则起排水、排气、缓冲受力及垫层等作用。早期,土工薄膜和土工织物按其要求依次铺设,它们之间没有内在结构联系。为了改善这种防渗结构体系、简化施工程序、保证工程质差,国内外已趋于将土工薄膜和土工织物在工厂通过挤压、滚压或者喷涂等工艺制成整体结构——复合土工薄膜。它既能提高单一土工薄膜的抗拉、抗撕裂、抗顶破及抗穿刺等力学强度及其变形模量;又易于消散单一薄膜与支撑材料间的气压和孔隙水压;并改善了单一土工薄膜的受力状态和工程特性,故复合土工薄膜是一种颇为理想的新颖防渗材料。国内已将该材料成功地应用于云南省李家箐水库土坝(1987)^[1]、福建省水口水电站上游堆石围堰(1990年)^[2]等土石坝工程。

从有关资料可知,土工薄膜所采用的基材以塑料材料居多,如聚氯乙烯(PVC)、低密度聚乙烯(LDPE)、高密度聚乙烯(HDPE)、氯化聚乙烯(CPE)、氯磺聚乙烯(Hypalon)等,根据这些材料的性能(如表1所示)及国外发展趋势并结合国内具体情况,着重开发研制了以聚氯乙烯和针刺型土工织物为基材的复合土工薄膜^[3]。部分力学强度测试结果(如表2所示)表明,复合土工薄膜与单一土工薄膜相比,其力学强度指标有明显提高,抗拉强度、圆球顶破、CBR和水力鼓破强度分别提高了2.88~3.96倍,2.14~3.19倍,2.33~4.28倍和5倍以上。复合土工薄膜强度的增加倍数与所选用织物的基材、织造工艺和形式、单位面积重量以及复合加工工艺等因素有关,总之,它是与土工织物自身强度密切相关。

表1

几种土工薄膜基材性能的比较

项 目 \ 薄 膜		氯化聚乙烯 CPE	高密度聚乙烯 HDPE	聚氯乙烯 PVC	氯磺聚乙烯 CSPE	耐油聚氯乙烯 PVC-OR
力学特性	顶破强度	好	很好	很好	好	很好
	撕裂强度	好	很好	很好	好	很好
	伸长率	很好	很好	很好	很好	很好
	耐磨性	好	很好	好	好	—
热力特性	低温柔性	好	好	较差	很好	较差
	尺寸稳定性	好	好	很好	差	很好
	最低现场施工温度	-12℃	-18℃	-10℃	5℃	5℃
渗透系数(m/s)		10^{-14}	—	7×10^{-15}	3.6×10^{-14}	10^{-14}
极限铺设边坡		1:2	垂直	1:1	1:1	1:1
现场拼接	溶剂	很好	好	很好	很好	很好
	热力	差	—	差	好	差
	粘结剂	好	—	好	好	好
	现场最低粘结温度	-7℃	10℃	-7℃	-7℃	5℃
相对造价		中等	高	低	高	中等

表2

复合土工薄膜部分力学性能比较

复合土工薄膜的型式和重量(g/m ²)	厚度(mm)	抗拉强度			圆球顶破			CBR			水力戳破		
		G_m (kN/5cm)	C_m (kN/5cm)	$\frac{C_m}{G_m}$	G_m (kN)	C_m (kN)	$\frac{C_m}{G_m}$	G_m (kN)	C_m (kN)	$\frac{C_m}{G_m}$	G_m (kPa)	C_m (kPa)	$\frac{C_m}{G_m}$
PVC-400 一布一膜 2538	3.37	0.466	1.354	2.91	0.505	1.285	2.14	1.74	4.05	2.33	—	—	—
PVC-500 二布一膜 3424	8.91	0.466	1.844	3.96	0.505	1.609	3.19	1.74	7.45	4.28	—	—	—
PVC-300 二布一膜 2363	6.15	4.30 (kN/50cm)	12.40 (kN/50cm)	2.88	—	—	—	2.4	6.5	2.71	200	>1000	>5
PVC-800 ⁽⁴⁾ 二布一膜 3930	—	5.3 (kN/m)	76 (kN/m)	14	150 (kPa)	1500 (kPa)	10	—	—	—	—	—	—

注: G_m 表示单一土工薄膜; C_m 表示复合土工薄膜。

二、复合土工薄膜防渗设计

透水地基上的土石坝,斜墙(心墙)铺盖是一种较为普遍的防渗措施,复合土工薄膜广泛用于斜墙(心墙)铺盖的防渗,其原因在于:复合土工薄膜的法向渗透系数通常为 $10^{-11} \sim 10^{-12} \text{cm/s}$,远比粘性土和混凝土的渗透系数为小;而且,复合土工薄膜具有一定的弹性或塑性变形,它可适应土体的沉陷、胀缩或偶然的超载、滑坡和渗漏所造成的适量变形。这些优点为粘性土和混凝土所不及。

(一)极限铺盖长度计算

当采用复合土工薄膜作斜墙(心墙)铺盖防渗时,由于复合土工薄膜是一整体结构,虽具一定的柔性,但与透水地基接触时,不可能完全嵌入到下层介质的孔隙中,因此,其接触面上将存在较大的孔隙通道,当沿接触面流动的渗透水流达到某一水力坡降,下层介质的颗粒即失去平衡,以滚动的形式被水流从接触面上的孔隙通道中带走,形成接触冲刷破坏。为防止

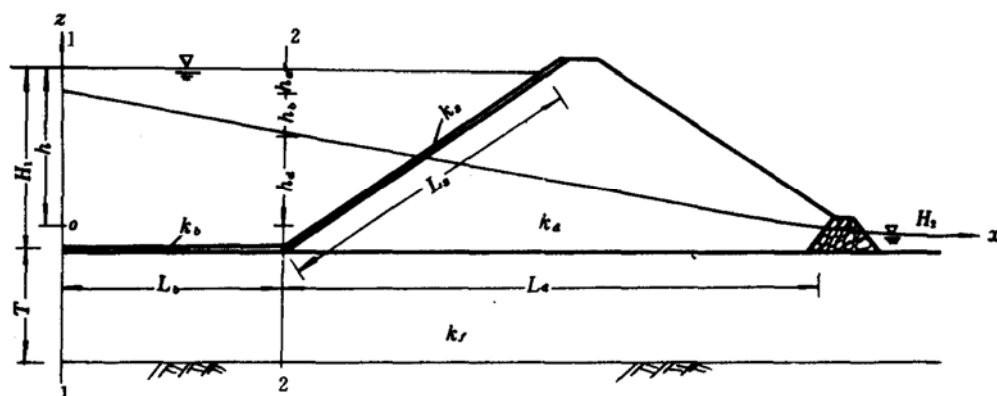


图1 斜墙铺盖剖面

下层介质颗粒的冲刷破坏,则需要复合土工薄膜铺盖具有一个足够的长度,以减少铺盖下的渗透坡降,达到透水地基渗透稳定的目的,此时的铺盖长度称为极限铺盖长度。

按上述分析,将图1所示的斜墙铺盖典型剖面分为进口段、铺盖段和坝体段,其各段的水头损失分别为 $h_0=0.44\frac{q_0}{k_f}$, $h_1=\frac{L_b}{T} \cdot \frac{q_0+q_1}{k_f}$ 和 $h_2=\frac{L(q_0+q_1+q_2)}{TK_f(\frac{h_2}{2}+H_2)k_a}$, (式中: h_0 表示进口水头损失; q_0 表示从铺盖前端进入到透水地基的单宽渗流量; h_1 表示透水地基的渗透系数; h_1 表示渗透水流流经断面1到断面2的水头损失; T 表示透水地基的厚度; q_1 表示通过铺盖长度 L_b 的单宽渗透量; h_2 表示渗透水流流经坝体和坝基的水头损失; L 表示土石坝底宽; H_2 表示下游水头; k_a 表示坝体渗透系数; q_2 表示通过斜墙的单宽渗透量。)将其水头损失相加,经整理忽略微小项 k_s/k_a 和 k_b/k_f (k_s 和 k_b 分别表示斜墙和铺盖所用复合土工薄膜的法向渗透系数),最后可得极限铺盖长度 $(L_b)_{\min}$ 和相对于极限铺盖长度时的单宽渗透量 q_L 为

$$(L_b)_{\min} = \frac{H_1 + T \frac{k_f}{k_a} - 0.44 T J_f - \sqrt{\left(T \frac{k_f}{k_a} + H_2\right)^2 + 2 L T J_f \frac{k_f}{k_a}}}{J_f} \quad (1)$$

$$\text{和} \quad q_L = \frac{k_a}{2L} \left\{ \left[H_1 + T \frac{k_f}{k_a} - (0.44 T + L_{b\min}) J_f \right]^2 - \left(T \frac{k_f}{k_a} + H_2 \right)^2 \right\} \quad (2)$$

式中 J_f 表示透水地基所能承受接触冲刷的渗透坡降,可用接触冲刷临界水力坡降计算^[5]

$$J_f = 0.181 \alpha \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} \left(\frac{1 - n_s}{(L_b)_{\min}} + \frac{1 - n_f}{d_e} \right) d_{10} \quad (3)$$

式中 α 为颗粒形状系数,砂粒 $\alpha = 1.17$; γ_s , γ_w 分别为土和水容重; n_s , n_f 分别为复合土工薄膜的土工织物和透水地基的孔隙率; d_e , d_{10} 分别为透水地基土的等值粒径 $d_e = \left(\sum \frac{p_i}{d_i} \right)^{-1}$ 和有效粒径。

(二) 实例验证

桑株水库位于新疆和田地区皮山县桑株河上游,建于1983年,主坝为粉砂土均质坝,坝高65m,迎水坡为1/6,背水坡为1/4,坝长1050m,坝基为强透水砂卵石层,厚约30~50m。曾采用粉砂土作铺盖防渗,铺盖长300m,厚15m。水库建成蓄水后,坝后即发生渗透变形,下游坝脚呈沼泽化;库区距上游坝趾200m范围内有许多直径不等的孔洞,导致水库严重漏水,水库无法正常运行。该水库按病险处理方案,已于1987年8月在下游距坝脚50m处开挖深为2.5m排水沟。铺设土工织物滤层约2万m²。上游防渗处理因透水地基较深,经技术经济比较,拟采用复合土工薄膜作坝面和铺盖防渗方案,于1987年作了技术论证^[6]。该水库的基本参数为:最高库水位2181.5m,下游水位为2115.8m,坝体和透水地基的颗粒大小分布详见图2所示,在干密度 $\gamma_d = 1.4 \sim 1.45 \text{g/cm}^3$ 和 $\gamma_d = 2.3 \text{g/cm}^3$ 时,相应坝体和地基的渗透系数分别为 $k_a = 8.43 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 和 $k_f = 5.15 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 。此外,根据桑株水库实测资料,当库水位为2157.92m时,坝后出现渗透破坏,其渗流量为218.8~246.9L/s。经有限单元渗流计算,得渗透量为250L/s,与原观测渗流量颇为接近,坝体铺盖下最大水平渗透坡降为0.08。

按式(1)、式(2)和式(3)联立进行计算,其结果与文献[6]有限单元数值计算结果相比较(详见表3所示),可知:①临界渗透坡降 J_f , 式(3)算得为0.0614,文献[6]有限单元计算为0.063,与原观测已出现的破坏渗透坡降0.08颇为接近;②在临界渗透坡降条件下,所要求复合土

工薄膜极限铺盖长度和相对应极限铺盖长度下的单宽渗流量,式(2)和有限单元计算基本一致。

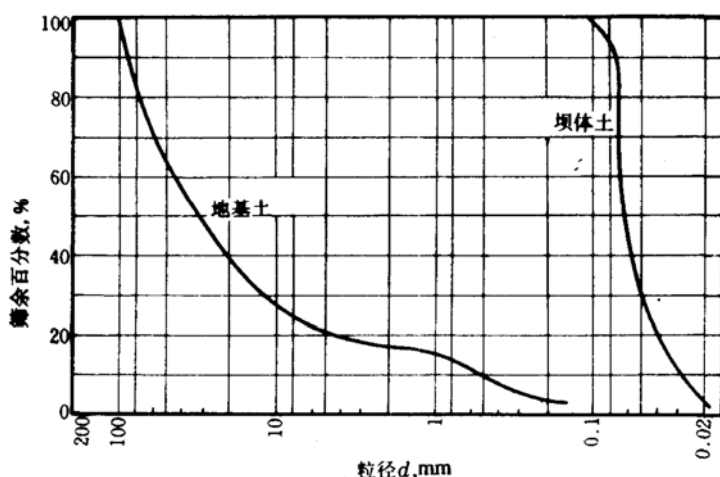


图2 颗粒级配曲线

表3

桑株水库土坝计算结果比较

透水地基深度 (m)	极限铺盖长度 $(L_b)_{\min}$ (m)			单宽渗流量 q_L ($\text{m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$)			接触冲刷临界坡降 J_c		
	文献[6]	式(1)	误差(%)	文献[6]	式(2)	误差(%)	文献[6]	式(3)	误差(%)
30	400	394.0	-1.5	86.6	83.3	-3.81	0.063	0.0614	-2.54
50	400	406.0	+1.5	140.8	136.4	-3.13			

三、复合土工薄膜的选择

当复合土工薄膜作土石坝的防渗体时,复合土工薄膜置于上覆材料和支撑材料之间,它将承受水压力和上覆材料自重的作用而弯曲,其弯曲程度取决于压应力的大小,支撑材料的形状、大小以及复合土工薄膜自身的强度和伸长率。若受力弯曲变形达到并超过复合土工薄膜的弯曲断裂伸长率或者超过其抗拉强度时,复合土工薄膜即发生破裂,丧失抗渗性。

根据薄膜理论,当复合土工薄膜在法向应力作用下弯曲如图3所示的曲面时,复合土工薄膜内所产生的张应力 T 为

$$T = \frac{p_1 - p_2}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \quad (4)$$

式中 p_1 , p_2 分别为复合土工薄膜上、下侧的法向应力; R_1 , R_2 分别为两个方向的曲率半径。

对于支撑材料的缝隙长宽比较大时,则视为二向平面问题。则式(4)变为

$$T_2 = \frac{b}{4} \left(\frac{b}{2h} + \frac{2h}{b} \right) (p_1 - p_2) \quad (5)$$

式中 b 为支撑材料缝隙宽度; h 为弯曲挠度。

此时,复合土工薄膜弯曲变形伸长率 ε_2 为

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{2h}{b} + \frac{b}{2h} \right) \frac{\pi}{180} \arcsin \frac{1}{\frac{1}{2} \left(\frac{2h}{b} + \frac{b}{2h} \right)} - 1 \quad (6)$$

复合土工薄膜顶破时的变形模量与其质材品种、成份规格、密度、加工工艺及受力条件

等因素密切相关,又随环境温度的变化而改变。鉴于目前我国复合土工薄膜尚处开发试制阶段,还未形成定型系列产品,故其变形模量只能通过选材后再由试验测定。为便于选择复合土工薄膜,可按试验统计数值加以确定其伸长率,对于采用PVC薄膜和针刺型土工织物制成的复合土工薄膜,其宽条样(试样宽度 $\geq 50\text{cm}$)拉伸试验的断裂伸长率通常在40%~60%之间,为安全起见,取 $\varepsilon_2=30\%$,代入式(5),将 $2h/b=0.70$,故复合土工薄膜在二向平面顶破时的张应力 T_2 为

$$T_2=0.532b(p_1-p_2) \quad (7)$$

对于支撑材料的孔隙呈长方形或似圆形时,即孔隙长度和宽度的尺度在同一数量级,并假设弯曲面为轴对称,则为三向空间问题,有

$$T_3=\frac{b}{8}\left(\frac{b}{2h}+\frac{2h}{b}\right)(p_1-p_2) \quad (8)$$

式中 b 为圆孔直径,按均一颗粒最松散(正方形)和最紧密(菱形)排列加以考虑,其平均值为 $b=0.79d$ (详见图4所示)。

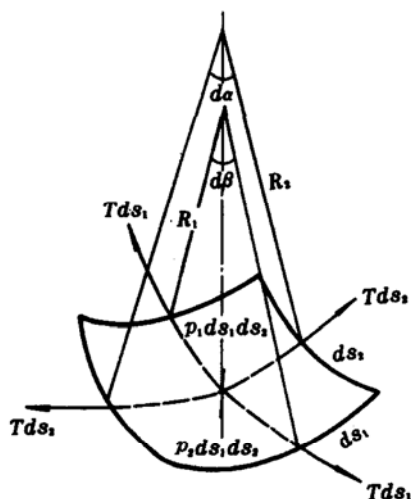


图3 张应力分析

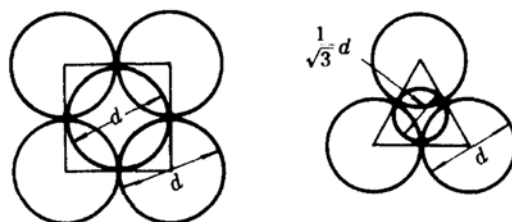


图4 圆孔直径的确定

对于三向空间问题的弯曲变形伸长率 ε_3 为

$$\varepsilon_3=\left(\frac{2h}{b}\right)^2 \quad (9)$$

从三向顶破试验得知,其断裂伸长率通常在20%~30%之间,则取 $\varepsilon_3=15\%$ 代入式(8)算得 $2h/b=0.387$,故复合土工薄膜三向圆球顶破时的张应力 T_3 为

$$T_3=0.37b(p_1-p_2)=0.29d(p_1-p_2) \quad (9)$$

此外,考虑到复合土工薄膜质材的不均匀性,拼接时强度的损失、支撑材料分布的随机性以及理论推导的假设、室内试验和实际情况之间的差异、施工条件等种种因素,故需采用一定的安全系数,取 $F=3\sim 5$ 。

对于复合土工薄膜的土工织物平面排水可根据薄膜的透水性加以确定,所要求织物的厚度 T_g 为

$$T_g=\frac{F}{2T_m} \cdot \frac{k_m}{k_g} \left(\frac{h}{\sin \alpha}\right)^2 \quad (10)$$

式中 T_m 为复合土工薄膜中防渗主膜的厚度; k_m , k_g 分别为复合土工薄膜防渗主膜和织物

平面的渗透系数; h 为水深; α 为铺设复合土工薄膜的坡角; F 为安全系数, 因渗透系数的测定差别较大, 故取 $F=10$ 。

[工程应用实例]^[7]:

恨虎水库位于云南省陆良县, 是一座拟采用复合土工薄膜进行坝面防渗的堆石坝, 设计坝高为52.2m, 其断面如图5所示。

根据堆石料的颗粒级配, 经分析试验所确定的过渡料颗粒大小分布详见表4所示。复合土工薄膜将支撑在过渡料上, 它所承受的压应力 P_1 由水压力和护面块石的重量, 即 $P_1=508.2+6.8=515\text{kPa}$, 考虑到建坝蓄水初期, 坝内浸润线尚未形成(即 $P_2=0$) 属最危险情况。此外, 由于复合土工薄膜直接铺设在过渡料上, 从过渡料级配可知, 粒径 d 大于10mm的颗粒占总重量的15%, 为安全起见, 取式(9)的计算粒径 $d=10\text{mm}$ 。则恨虎水库堆石坝坝面防渗复合土工薄膜的设计强度指标如表5所示。

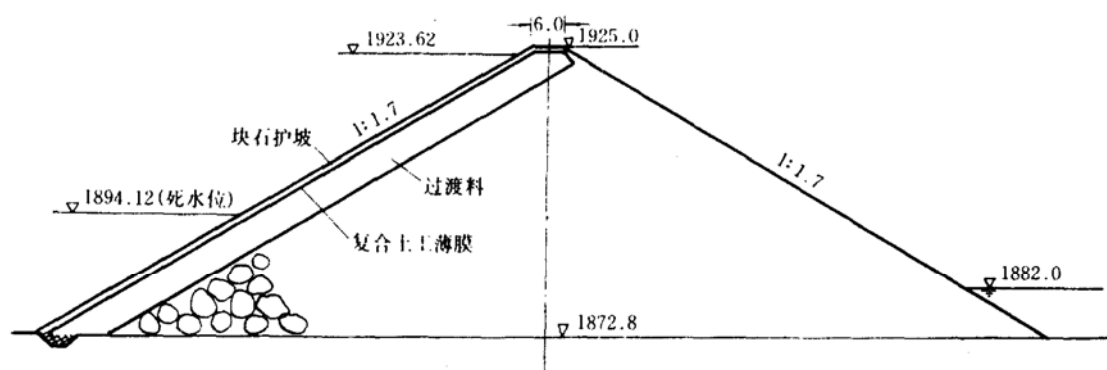


图5 恨虎水库堆石坝断面

表4

堆石料和过渡料颗粒级配

土料	颗粒组成(%)							d_{60}	d_{50}	d_{10}	C_u	比重
	60~40 (mm)	40~20 (mm)	20~10 (mm)	10~5 (mm)	5~2 (mm)	2~1 (mm)	1~0.5 (mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
堆石料	40	20	20	20	—	—	—	40	30	6.8	5.88	2.70
过渡层①	—	—	15~10 15	23	27	18.5	16.5	4.6	3.3	0.76	6.05	2.70
过渡层②	—	15~10 15		27	33	25	—	5.2	4.0	1.3	4.0	2.70

表5

复合土工薄膜设计强度指标

部位	抗拉强度 (kN/m)			织物厚度 T_g (mm)
	式(7)或式(9) 计算值	安全系数 $F=3$	安全系数 $F=5$	(取 $T_m=0.5\text{mm}$, $k_m=10^{-12}\text{cm/s}$ $k_g=10^{-1}\text{cm/s}$)
填石体(三向) ($b=0.79d$)	1.49	4.47	7.45	1.0
周边(二向) ($b=0.5d$)	1.37	4.11	6.85	

按表5复合土工薄膜的设计指标选择: 主膜PVC厚0.5mm, 针刺型土工织物为250g/m²和400g/m²进行二布一膜复合, 进行室内试验论证, 其结果见表6所示, 从表6试验结果看出:

①水力鼓破试验是在圆孔面积为 10cm^2 (即孔径 3.57cm)的孔板仪器上进行,测得上述复合土工薄膜的鼓破压应力为 1.0MPa ,按过渡层的计算粒径 $d=10\text{mm}$ 核算,复合土工薄膜的最大允许应力 $p_{\max}=1 \times 0.0357 / 0.01 \times 0.79 = 4.52\text{MPa}$,远超过校核水位时的 $p_1=0.52\text{MPa}$;
 ②水力刺破试验为内径 600mm 装填现场实际堆石料、过渡料和复合土工薄膜的模拟试验,它真实地反映土工薄膜运用情况,试验结果说明复合土工薄膜能满足防渗要求;③复合土工薄膜中起排渗作用的 $400\text{g}/\text{m}^2$ 土工织物,从平面渗透仪中测得在压应力为 0.6MPa 下的渗透系数为 $8 \times 10^{-1}\text{cm}/\text{s}$,故亦能满足排渗要求。

表6

复合土工薄膜试验结果

项目		单位	复合土工薄膜	参考方法
单位面积重量		g/m^2	1328.2	
厚度 (2kPa)		mm	3.504	GB-3820-83
宽条样 拉 伸	纵向抗拉强度	$\text{kN}/500\text{mm}$	11.24	NFG38014 试样 $100 \times 500\text{mm}$
	纵向伸长率	%	42.4	
	横向抗拉强度	$\text{kN}/500\text{mm}$	15.33	
	横向伸长率	%	60.6	
梯形撕裂	纵向撕力	kN	0.609	GB-3918-83
	横向撕力		0.831	
圆球顶破		kN	1.978	$\phi 20\text{mm}$
CBR		kN	4.958	DIN54307
落 锥		mm	9.7	DSTM16
穿 刺		kN	2.1	NHRI圆台 $\phi 16.5\text{mm}$
抗渗强度		MPa	1.0 (持续48h)	NHRI试样 $\phi 160\text{mm}$
水力鼓破		MPa	1.0 (挠度 13.5mm)	DIN53861圆孔面积 10m^2
织物平面渗透		cm/s	8×10^{-1}	NHRI试样 $100 \times 200\text{mm}$
水力穿刺	过渡层①	cm/s	1.7×10^{-7} (水压 1MPa)	NHRI $\phi 600\text{mm}$
	过渡层②		4.53×10^{-7} (水压 1.2MPa)	

若按全苏水工科学研究院推荐的聚乙烯单一土工薄膜厚度的(计算)公式^[8]

$$T_m \geq \frac{\gamma_w H d^{1.03}}{\sqrt{\frac{(\sigma_{\text{允许}}/0.034)^3}{E}}} \quad (d < 22\text{mm}) \quad (11)$$

式中 γ_w 表示水容重, 为 $1\text{t}/\text{m}^3$; H 表示水头, 为 50.82m ; d 表示接触层土料最大粒径, 为 15mm ; $\sigma_{\text{允许}}$ 表示聚乙烯薄膜允许拉应力, 取 $t=20^\circ\text{C}$ 时的 $\sigma_{\text{允许}}=25\text{kg}/\text{cm}^2$; E 表示聚乙烯薄膜弹性模量在 $t=20^\circ\text{C}$, $E=466\text{kg}/\text{cm}^2$.则聚乙烯单一薄膜厚度 T_m 为 0.895mm 。

四、结 语

1. 土工薄膜作土石坝防渗材料时, 通常在其两侧均需铺设过渡层予以保护, 为改善薄膜的工程性能, 简化施工程序、保证施工质量, 采用聚氯乙烯薄膜和针刺型土工织物进行复合成复合土工薄膜。此时, 薄膜是防渗主体, 织物起保护薄膜和排水过渡层的作用, 因此, 复合土工薄膜是一种颇为理想的防渗材料。

2. 复合土工薄膜用作斜墙(心墙)铺盖防渗材料时,文中从接触冲刷渗透稳定概念出发,导出了极限铺盖长度和渗流量计算公式,通过桑株水库土坝实例计算结果比较,误差均小于4%,可供设计作参考。

3. 根据薄膜理论建立了复合土工薄膜在承受法向应力作用下的二向和三向顶破的强度计算公式,以及织物平面排水公式,通过恨虎水库堆石坝的校核,可供设计人员合理地选取复合土工薄膜。

参 考 文 献

- [1] Tao Tong-kang et al. Application of Geomembrane/Geotextile Composite in Impervious Lining System of Lijiading dam. Proc. 4th International Conference on Geotextiles, Geomembranes, the Hague. 1990.
- [2] 陶同康, 张兆昌. 水口水电站主围堰防渗复合土工薄膜试验报告. 南京水利科学研究院水工所, 1989.
- [3] 唐仁楠, 陶同康. 复合土工薄膜的研制和应用. 南京水利科学研究院水工所, 1989.
- [4] Lafleur J et al. Influence of Geotextile on the Behaviour of Geotextile / Geomembrane Composites. Proc. 3rd International Conference on Geotextile, Vienna, 1986.
- [5] 陶同康, 尤克敏. 无粘性土接触冲刷分析. 力学与实践, 1985, (1).
- [6] 王晓庆. 新疆桑株水库土坝应用复合土工薄膜试验报告. 南京水利科学研究院水工所, 1987.
- [7] 陶同康. 恨虎水库石渣坝复合土工薄膜坝面防渗试验研究. 南京水利科学研究院水工所, 1991.
- [8] 竺慧玲译. 聚合薄膜斜墙的类型与结构. 华东水电技术, 水利电力部华东勘测设计院, 1984.

Design of Impervious Layer for Embankment Dam with Geotextile-Geomembrane Composites

Tao Tong-kang

(Nanjing Hydraulic Research Institute)

Abstract

Geomembranes used in impervious structure of embankment dams can be combined with geotextiles to form a composite in order to increase their tensile strength and resistance to puncturing. The geotextile plays an important role in draining the interstitial water and the air between geomembrane and ground soil. From the concept of contact scour between geotextile-geomembrane composite blanket and ground soil, formulas for calculating minimum length of blanket and corresponding seepage discharge are established. Based on the membrane theorem, formulas for calculating the burst strength of geotextile-geomembrane composite are proposed. Two practical examples computed by finite element method verified that these formulas can be used in designing composite impervious layers for embankment dams.