

覆面防渗复合土工膜材料和施工工艺试验

彭维能 张建华 张福田

(水电五局)

提 要 复合土工膜是近年来迅速发展起来的一种防渗材料。本文总结宝珠寺水电站施工中应用复合土工膜的施工方法和测试手段。并介绍了在施工过程中对复合土工膜的一些试验研究。

关键词 复合土工膜 宝珠寺电站 施工围堰

一、概 述

宝珠寺水电站二期上游围堰防渗形式原定为粘土心墙。由于坝址附近可以利用的防渗土料极为短缺,必须用一种行之有效的防渗材料代替。经过分析研究后确定:将粘土心墙改为覆面式复合土工膜防渗。为进一步探讨其施工的可行性、经济性、快速性,决定在宝珠寺一期上游渡汛围堰中首先试用,以便为二期围堰施工积累经验。一期上游围堰施工自1991年4月15日开始至5月20日完工,共铺设复合土工膜1600m²。经过汛期几个月的运行证明,防渗效果良好,达到设计要求。

二、围堰布置

围堰剖面采用与二期围堰类似形式,见图1。围堰布置在右岸导流明渠引渠段,座落在砼底板上,基础防渗为砼齿槽。明渠底板高程485.0m,堰顶高程498.0m,堰顶加1.2m高防浪墙,堰长43m。

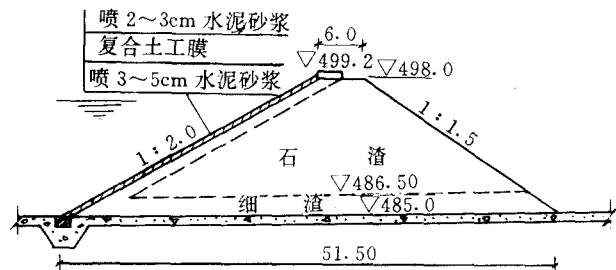


图1,围堰剖面图

三、复合土工膜材料试验

选择3种复合膜进行类比及测试结果,选用无锡橡塑制品厂生产的复合膜做围堰防渗材料,其形式为“一膜二毡”,中间为0.8mm厚的PVC主膜,两侧为300g/m²的无纺布,幅宽1.15~1.20m。通过试验测定了其各种力学特性,见表1~3。

试验结论:

1. 复合膜粘结情况下的抗拉强度达到母材强度的 91%~94%，且全在母材处断裂，表明按 5cm 的粘结长度即可满足其抗拉要求。

表 1 复合土工膜强度测试成果表

试验项目	抗拉强度								顶破强度		撕裂强度		
	宽条(20cm)				窄条(5cm)				圆头	平头	纵向	横向	
	纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向					
	强度(N)	伸长率(%)	强度(N)	伸长率(%)	强度(N)	伸长率(%)	强度(N)	伸长率(%)	(N)	(N)	(N)	(N)	
材料制备情况	未粘结	6110	85	6292	101	1400	94	1584	109	3506	5500	868	828
	粘结	5555	38	5885	59					6485	9675	1460	1510

注: 1. 粘结情况下, 纵向抗拉强度为母材的 91%, 横向为母材的 94%。主膜强度 1600~1900N, 主膜断裂时伸长达 180%~220%。2. 未粘结时, 织物先被顶破、位移量 2.5cm, 主膜顶破时位移量 2.8cm, 强度 800N。3. 未粘结时, 复合膜顶破位移 5.9cm, 主膜顶破位移 6.7cm, 强度 3000N。粘结后织物与主膜同时断裂, 位移 7cm 左右。4. 粘结后, 撕裂过程出现轻微接头滑移现象。

表 3 复合土工膜浸泡一天的试样渗透系数估算值

孔径(mm)	破损率(%)			
	主膜		复合膜	
	0.05×10^{-5} (cm/s)	0.1×10^{-4} (cm/s)	0.05×10^{-5} (cm/s)	0.1×10^{-4} (cm/s)
2.5	53	11	64	13
4.0	20	14	86	17.1
6.0	1.7	34	3.0	60
8.0	6.0	1.2	7.5	1.5
10.0	7.5	1.5	9.2	1.84

注: 试验时水头差 $\Delta h = 11 \sim 18\text{cm}$

损而引起渗漏。

表 2 复合土工膜未粘结情况

摩擦材料	摩擦试验成果			
	强度参数			
	C 值($\times 10^{-2}\text{MPa}$)		tg ϕ	
	干	湿	干	湿
砂与土工膜	1.47	1.37	0.54	0.53
砂砾料与土工膜	1.57	1.27	0.39	0.39
编织袋装砂砾料与土工膜	0	0	0.39	0.39

2. 粘结接头处复合膜为双层, 其顶破强度及撕裂强度大约为母材强度的两倍。

3. 三种垫层材料中, 复合膜与砂的摩擦值最大, 满足围堰上游坡面稳定要求, 复合膜与砂砾料及编织袋的摩擦系数不满足稳定要求。

4. 复合膜承受 3.92MPa, 的水头压力而未发生渗漏现象, 说明其抗渗性能良好。

5. 鼓破压力只有 0.353MPa, 因此对堰体填筑的坡面密实度要求较高, 应选择合适的垫层材料, 并要求坡面平整, 无显著凸凹现象, 以使复合膜有较好的衬垫面。

6. 复合膜粘结好后, 应立即加压并进行仔细检查, 以防复合膜破

四、施工工艺

(一) 堰体填筑

堰体填筑材料采用坝基开挖的页岩和钙硅质粉砂岩弃渣并有部分土料。堰体填筑前, 首先用红油漆在左右边墙绘出设计边坡线。为防止填料损坏明渠底板及左边墙砂要求水平第一层及靠左边墙砂附近填细渣料。堰体最大填筑粒径等于或小于 50cm 采用端进法施工, 自卸汽车直接上料, 推土机平整, 铺料厚度 80cm, 大型振动碾有振碾压 4~6 遍, 边角处采用电动蛙夯薄层夯实。为保证上游坡面的碾压质量, 要求填料超出设计线 2.1m。围堰填筑完成后, 用推土机自上而下削坡, 对削坡后的坡面人工检出大于 80mm 的石块。由于石砾料取样测干容重费时, 为加快填筑进度只控制压实参数, 要求每班有人记录控制铺料厚度和碾压遍数。施工技

术人员每天在工地察看,发现问题及时处理,最后以记录资料做为评价堰体压实质量的依据。

(二)复合膜的垫层施工

为使上游坡面保持平整,原计划设置厚 60cm(垂直坡面)的砂砾石垫层,垫层材料粒径小于或等于 40mm。由于工期及填筑密实度难以保证等原因而被取消,改为直接在清理过的坡面上喷射 3cm 厚水泥砂浆,其作用有二:

1. 增加复合膜与堰体坡面的摩擦系数。由室内试验得知:复合膜与砼间的摩擦系数为 0.54,与砂砾料之间的摩擦系数为 0.39。因此只有喷砼垫层才能使复合膜保持稳定;
2. 防止在铺设复合膜过程中踩踏坡面,也可防止铺膜前雨水冲刷。

水泥砂浆配合比为 1:1(胶凝材料中粉煤灰占 1/2 喷砂浆面初凝前,按预定拼宽后的复合膜幅宽 4.3m 的间距,用砂浆顺坡面抹一条 30cm 宽的平整带,以便于宽幅膜现场接缝粘结。砂浆面养护 3d 后,才允许在其上进行下一道工序的施工。

(三)复合膜的加工制作

大批到货的复合膜,由于厂家没有检验资料,我们对此进行了抽检,其试验结果见表 4。

由表 4 可知,土工膜的生产质量不够稳定。

1. 粘结剂 粘接材料采用与室内试验相同的粘结剂,即:主膜与

主膜之间粘结采用湖北大学,生产的 HB-PVC 软胶,该胶系单组分溶剂型粘剂。涂胶后需立即粘结并加压。两侧织物之间粘结采用葛洲坝产 LDJ-246 胶,该胶为强力胶,涂胶需晾干后才能粘结。由于对用胶量估计不准,上述两种胶备量不足,施工时出现短缺,不得不采用同 LDJ-246 相同性质的 HJ-801 强力胶粘结。从实际粘结结果比较,PVC 胶粘结效果差,801 较好,以 LDJ-246 粘结效果最佳,其现场粘结抽检实验结果见表 5。

2. 宽幅复合膜加工制作 厂家出厂的复合膜幅宽 1.15m。如完全在现场拼接,受现场施工条件限制,施工质量难以保证,因而将复合膜在加工场拼接,加工成幅宽 4.45m 的复合膜,搭接长度为 5cm,粘结形式见图 2。

3. 伸缩节制作 为使土工膜更好地适应围堰堰体变形,在坡脚及坡面设置水平伸缩节及左右岸的坡面伸缩节,两向伸缩节相交处,则用多边形伸缩节连接。经反复研究后认为:由于堰体高度较低,且碾压质量有保证,水平向伸缩节作用不大,而多边形伸缩节的加工与粘结困难,因而在施工中取消。为减少伸缩节被拉开时层面之间的摩擦,拟在复合膜上、下层织物上各铺一层厚 0.05mm 的聚乙

表 4 复合土工膜强度检验成果

试样编号	抗拉强度及伸长率(未粘结)								顶破强度		撕裂强度	
	宽条(20cm)				窄条(5cm)				圆头(N)	平头(N)	纵向(N)	横向(N)
	纵向		横向		纵向		横向					
	强度(N)	伸长率(%)	强度(N)	伸长率(%)	强度(N)	伸长率(%)	强度(N)	伸长率(%)				
1	5840	74	5432	88	1380	71			2641	5175	820	930
2	5616	67	5632	91			1393	103	2998	5550	960	1017
3	5510	64	5456	87			1354	100	2886	5025	892	907

表 5 现场粘结试样强度测试成果表

试样编号	4-246	5-246	6-246	7-801	8-801	9-801
	抗拉强度及伸长率(样宽 20cm)	强度(N) 5820	5300	5100	4200	4400
	伸长率(%) 57	57	53	54	59	52

注:1. 246 指用 LDJ-246 胶粘结,801 指用 HJ-801 胶粘结,主膜均用 PVC 胶粘结。2. 粘结效果很好,拉伸中织物粘结牢固,无滑移现象。强度差别由材料本身不均匀性或主膜粘胶未干透决定。

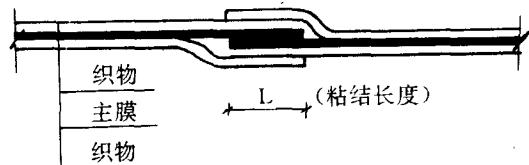


图 2 复合膜粘结示意图

烯膜(一般农用膜),每隔 50cm 与织物粘设定位,实际加工时,粘设定位情况很差,各种胶都难以粘结,又考虑到织物与织物之间的摩擦力与其抗拉强度相比微乎其微,因而也被取消。仅设左、右岸伸缩节,其制作形式如图 3 所示。

(四) 粘结工艺

1. 织物与主膜的分离 复合膜出厂时,按我们要求,在一侧预留 5cm 的粘结宽度(该宽度内主膜与一侧的织物未粘结)。但由于厂家预留宽度不均匀,人工分离织物与主膜非常困难。粘结前用四氢呋喃与丙酮(1:1)混合液或丙酮浸透织物后,可非常方便地使其分离。

2. 预涂底胶 因两侧织物吸胶量很大,为减少粘结时间,需预先涂一层底胶。要求粘胶涂满且浸透织物并隔 80cm 用木棍支撑以使织物与主膜隔开,待胶晾干或用碘钨灯烤干后备用。

3. 粘结 粘结时,将 30cm 宽、5cm 厚平整光滑的木板垫在接缝下侧(以保证粘结面平整),如为平整的砼底面,则可不垫木板。在下层织物接缝面上涂胶,干后粘结,然后清擦 PVC 主膜粘结面,其上涂 PVC 软胶,立即粘结,按上述要求再粘结上层织物。

4. 加压静置 按上述要求粘结好,用装 1/2~2/3 砂料的编织袋依次压在接缝上静置 4h 以上方能撤去。不装满的砂袋以保证其可自由变形,使缝面受力均匀。

5. 编号 将做好的宽幅土工膜,幅边一侧(异向)织物与主膜撕开 10cm,预涂底胶后编号备用。

(五) 复合土工膜现场铺设

加工好的宽幅复合膜运至堰顶处,依次堆放,其接缝预留的 30cm 抹光条带对齐,人工清理喷砼坡面(主要清除喷砼回弹料),然后将复合膜自上而下铺成型。考虑到现场施工条件差等原因,将现场粘结的接缝宽度定为 15cm,粘结工艺同前。然后用草袋和编织袋装砂料加压。由于编织袋与复合膜之间摩擦系数较低,经常沿坡面滑动,为此在堰顶打插钎用铁丝拉方木以阻挡编织袋滑动。

在确定接缝位置时(即抹平条带间距),先提出用公式

$$B = (B_1 - B_2) \times 0.99$$

其中 B 为计算间距(cm); B_1 为复合膜的实测宽度(cm); B_2 为现场粘结宽度(cm)。经施工后证明,按此预留的 B 值偏小,因复合膜有一定的刚度,不能随意松弛,因而将上式改为 $B = B_1 - B_2 - 1$ 更为实际。

(六) 复合膜与左、右岸及底部的连接施工

原计划一期围堰拆除后,将复合膜保存以便三期截流使用。为此在明渠底板及左导墙上预留 50cm×50cm 的小沟,沟内预埋 654 型塑料止水带与土工膜粘结,因当时复合膜未到货,实际证明,止水带与土工膜粘结困难,应尽量避免直接埋复合膜为最好。一期围堰拆除后,将复合膜捆卷堆放在小沟内,加钢盖板保护备用。后由于工期紧张且钢盖板在水下难以打开等原因而放弃原计划,改用下述方法连接:

1. 复合土工膜与左岸止水带的连接施工 由于小沟内预埋的塑料止水带不平整,原拟

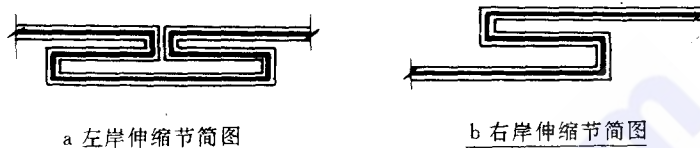


图 3 伸缩节示意图

用两幅复合膜撕去一侧长约18cm的织物后,将止水带夹在中间粘结的方案,后改用一幅复合膜与其粘结。首先将止水带用木锉打毛,在沟内止水带背后顺坡垫方木,粘结后,采用在止水带上面用方木加木楔与下层方木一起夹紧复合膜,达到加压目的。由于在小沟内粘结施工困难,质量难以保证,为弥补其缺陷,加压一天后,取出迎水面方木,在沟内回填壤土捣实增加防渗效果。后在喷砂保护层时,为防止水流淘刷沟内壤土,将小沟表面同复合膜坡面一样喷3cm厚砂浆封闭。

2. 复合土工膜与右岸连接施工 由于右边墙未浇砼,原计划在右岸按图4固定复合土工膜,实际施工中,由于堰面上钻孔困难,且钻孔要求质量高,工期紧张,因此实际施工按图5进行。

3. 复合土工膜与砼底板连接施工 同左岸一样,复合土工膜与止水带粘结困难,且沟内淤泥杂物较多,汛期已临近,工期很紧张,为方便起见,实际施工按图6进行。

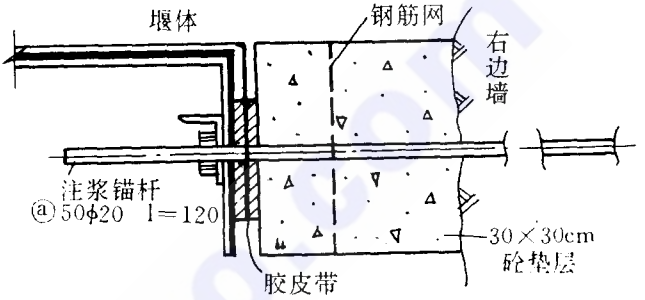


图4 原设计右岸连接图

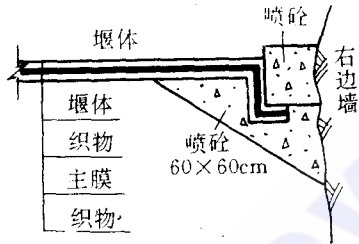


图5 实际施工简图

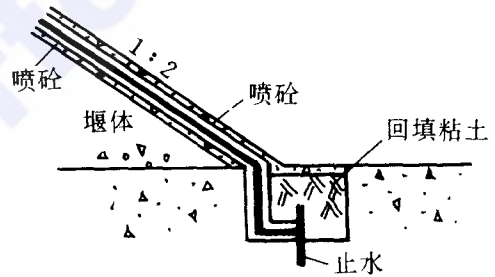


图6 复合膜与底板连接

五、复合土工膜护坡结构试验研究

为保护复合土工膜不受阳光直接照射,并防止冲击物,滚石及人为破坏,应对复合土工膜坡面采取适当的防护措施,原计划在复合膜上堆放一层内装渣料的编织袋,根据室内试验结果

表6 复合土工膜护坡结构试验成果

试验状态	试验条件	摩擦系数		说明	试验状态	试验条件	摩擦系数		说明
		试验值	次数平均值				试验值	次数平均值	
干燥状态	土工膜与编织袋装渣	1	0.414	新编织袋	土工膜及编织袋草袋全浸湿	土工膜上铺草袋与编织袋	2	0.694	
	土工膜上铺草袋与编织袋装渣	1	0.456	草袋竖放		土工膜与编织袋装渣	2	0.586	
	土工膜与草袋内装编织袋	1	0.637	草袋竖放		土工膜与草袋装渣	4	0.675	草袋竖放
	土工膜与草袋内装编织袋	1	0.589	草袋横放		编织袋与土工膜	3	0.494	
	土工膜与草袋装渣	1	0.499	旧草袋竖放	水下滑动试验	土工膜与草袋装渣	3	0.718	草袋竖放
	土工膜与草袋装渣	1	0.637	新草袋		土工膜与草袋装渣	3	0.785	草袋横放
	土工膜与草袋装渣	3	0.675			土工膜表	2	0.991	草袋竖放
						砂与编织袋	2	0.803	
				面喷砂	砂与草袋	2	0.824	草袋横放	

编织袋与复合膜之间摩擦系数小,不稳定。为寻找有效且方便可行的保护形式,进行了现场模

拟试验,测定土工膜与编织袋、土工膜与草袋内装渣的水上、水下及湿润状态下的静止摩擦系数,并进行了土工膜与麻袋,土工膜上喷一层2cm厚砣等试验,虽然试验结果不够精确,但在一定程度上反映出各种防护措施的滑动状况。试验结果见表6。

试验结果分析:编织袋与复合膜表面织物间摩擦系数小,存在滑动失稳现象。麻袋、草袋摩擦系数较大,但存在铺垫时需人工多,在土工膜上搬运易损坏土工膜,且草袋易腐烂,不能长期使用,麻袋价钱较贵等原因。为此施工中,改为在复合膜上喷一层2~3cm的水泥砂浆,效果良好。凝固后的砂浆与复合土工膜胶结成整体,为保证使伸缩节发挥原有的作用,在伸缩节缝面设置3cm×5cm的沥青木板作为结构缝,在围堰沉陷时,使受拉后的水泥砂浆护坡在该处断裂,以适应堰体变形。

六、结 论

(一)围堰建成后经过一段时间的运行和有关室内试验结果表明,照前述工艺粘结的土工膜及与左、右岸、砣底板的连接施工质量均达到设计要求,防渗效果良好,不必考虑其它预防措施。

(二)用LDJ-246及HJ-801粘结的土工织物其力学性能均符合要求,且LDJ-246胶效果更佳,用胶量也少,主膜用的PVC软胶效果较差,由于一期渡汛围堰高度较低,且主膜两侧有织物保护在一定范围内受力基本上全由织物承受。实验表明,粘结接头处的抗拉强度取决于接头处织物的粘结牢固程度,由于粘结接头的影响,接头处为双层受拉,其伸长率减少,抗拉强度基本能达到母材强度。在运行中尚未发生问题。在二期围堰中,由于堰高、水头压力均有较大增加,运行期增长,为保证施工质量,应寻找更好的主膜粘胶。

(三)两侧织物吸胶量较大,实际用胶量每平方米粘结缝达6.6kg,而LDJ-246胶价钱较贵,因此采用宽幅土工膜减少用胶量是降低造价的有效途径。

(四)堰体上游面选择1:2边坡是适宜的,为保证堰体迎水面的填料密实度,填筑堰体时应有一定的富裕宽度,使振动碾能靠边碾压。如有斜坡振动碾,此宽度可适当减少。对机械削坡后的坡面还应人工平整,挑出石块。实践证明,坡面平整度是复合膜铺设效果好坏的关键;坡面上喷2~3cm厚砂浆垫层是复合膜稳定的保证。

(五)试验结果说明,现场拼接粘结缝宽度减少到10cm足以保证其粘结牢固。接缝粘结效果以自然凉干最佳。另外,粘接用胶量的多少除与粘结宽度有关外,天气的影响也很大,阴天粘结用胶量较少。用碘钨灯烘烤时,要注意与土工膜之间保持一定距离,碘钨灯应来回慢慢移动,切禁停留在同一位置烘烤引起火灾。

(六)复合膜的幅宽达7m左右较为适宜。主膜与织物之间的分离直接用丙酮较为经济。

(七)对低围堰可不设水平伸缩节,但应设纵向伸缩节,距离可在50~80m之间选择,复合膜与砣结构物的联接最好采用直接埋入土工膜的方法,以便于粘结。选择上游覆面土工膜的防渗形式便于施工,也便于检查修补,优于心墙形式。

(八)复合土工膜现场粘结后的坡面压缝以采用麻袋装砂砾料较为适宜。复合土工膜坡面上采用喷2~3cm厚砂浆做防护层,这种护坡形式具有简单,粘结牢固,强度高,节省大量劳力,施工速度快等优点,应优先采用。但为使伸缩节发挥作用,应设置必要的结构缝,设置结构缝后土工膜的受力状态有待研究。

(下转 69 页)

表明,全级配砷大试件与湿筛边长20cm小试件抗压强度比值,180d龄期为1.0左右(单掺木钙的比值为0.81),一年龄期为0.95。劈裂抗拉强度两者的比值在0.77~0.96之间。全级配砷受压弹性模量稍高于湿筛砷的弹性模量。

当砷中的含气量超过3.5%以后,其抗压强度有较大的降低,与一般试验成果相符,因此在施工中应引起注意。

风化骨料由于表面风化物的存在影响了砷体内水泥浆与骨料的粘结力,故对砷的抗拉强度有明显的影晌,对高标号抗压强度也有较大的影响。

玄武岩砷与正长岩砷比较,其容重较大、弹性模量偏高,极限拉伸值也较低,因此玄武岩砷抗裂性能相对较差。

参 考 文 献

- 1 A. M. 内维尔著,混凝土的性能,中国建筑工业出版社
- 2 某电站大坝四级配混凝土大试件抗压强度试验报告,水利水电技术,1976年第2期,东北勘测设计院科学研究所。

(上接49页)

Test on Compound Geomembrane Material for Seepage Control of Cladding and Its Construction Technique

Peng Weineng Zhang Jianhua Zhang Futian
(The Fifth Hydroelectric Engineering Bureau)

Abstract Compound geomembrane is a kind of seepage material which is rapidly developed recent years. The construction and test methods for compound geomembrane applied in the construction of Baozushi Hydropower Station are summarized. Experimental studies on compound geomembrane during construction period are presented.

Key Words compound geomembrane, Baozushi Hydropower Station, construction cofferdam.

本刊1992年第5期更正

页 行	误	正
封 2	江瑞玉	江瑞俊
4 3	我局在街子...	我局在铜街子...
4 倒19	沉井23个。(包括...)	沉井23个(包括...)
64 12	分别为13000和6100m ²	分别为13000m ² 和6100m ²
71图1	未注流量单位	单位:流量为 m ³ /s
71 倒14	用载重54的原轮渡驳船	用载重54t的原轮渡驳船
86 13(表3)	3968	2968

(本刊编辑部)