

文章编号:1004—5716(2005)10—0029—04

中图分类号:TV441 文献标识码:B

# 土工膜袋在永定河卢沟晓月湖工程中的应用

张彦昭,丛蔼森

(北京市京水建设工程有限责任公司,北京 100094)

**摘要:**通过工程实例,介绍了土工膜袋的设计、选用原则,及施工方法和质量控制措施。

**关键词:**土工膜袋;永定河;工程;应用

## 1 工程概况

卢沟晓月湖工程位于北京市永定河卢沟桥的河道中。主要建筑物有拦河橡胶坝、东西横堤、湖底防渗和两岸加固工程等,是为了恢复历史景观“卢沟晓月”而兴建的。整个工程都是按河道顺利通过  $2500\text{m}^3/\text{s}$  或以上的洪水流量进行设计的。河底高程 56.7~59.0m。

橡胶坝长 300m,分为 5 孔,每孔长 60m,坝高 3.5m,上游回水长度 1274m,可形成约  $40 \times 10^4 \text{m}^2$  水面供浏览,可蓄水  $80 \times 10^4 \text{m}^3$  左右。由于河底为砂、砾卵石等透水材料,为保证蓄水,在河底铺了  $38 \times 10^4 \text{m}^2$  的聚乙烯(PE)和复合土工膜(一布一膜)。在右堤铺设了长 1020.2m 的澳大利亚土工膜袋(砂浆),在左堤铺设了 317.6m 的国产土工膜袋(砼),分别使用了澳大利亚和国产的土工膜袋。

## 2 土工膜袋的设计

永定河卢沟晓月湖的堤岸防护工程中使用从澳大利亚进口的土工膜袋(水泥浆垫)。北京市水利规划设计研究院据此进行了设计。河道右堤身为天然砂、卵石(局部为细粉),抗冲刷能力差,决定采用土工膜袋加以防护。为了减少渗漏,保持浏览水面,在流量  $2500\text{m}^3/\text{s}$  水位以下膜袋下面又铺设了厚 0.5mm 聚乙烯(PE)。

原设计膜袋顶高程为  $2500\text{m}^3/\text{s}$  水位加上超高 0.5m,卢沟晓月湖工程中将膜袋顶高程降低至  $2450\text{m}^3/\text{s}$  水位,并根据灌浆后波组消除的局部多次反射的特征,仅在界面交界处存在一个强反射波脉冲,这是由于化学—水泥浆料的界电常数与混凝土的界电常数有明显的差异所致。无局部的多次反射波特征说明了灌浆后消除了空的空气层的存在,证明灌浆比较密实。而水稳层之下的强反射波组已经消失,说明底基层经灌浆后已经达到密实,消除了疏松,达到了预期的灌浆效果。

### 3.2.2 结果判定

注浆后抽芯结果见表 1。注浆层厚度与雷达检测时间剖面中的反射能量幅度吻合,根据灌浆前后的相同测线的实测数据的对比分析,本次的灌浆效果良好,灌浆后不再存在脱空区。

## 4 结论

透地雷达可以检测路面层脱空发育程度,确定脱空的发育程度、位置、范围,为灌浆工作的施工提供了依据。对灌浆后的检测结果表明灌浆的效果良好,灌浆后不再存在脱空区。对水泥化学灌浆后的路面使用透地雷达、钻孔取芯检测均取得良好效果。

万方数据

桥以下段改为与正常蓄水位 60.2m 相平。

由于堤身为砂、砾透水料,水位变化速度很慢,所以可不设排水孔,采用无反滤点的土工膜袋。土工膜袋应能承受 5m/s 水流的冲刷。经核算,采用厚度 100mm 的膜袋在 1:2 边坡条件下,仍能保持稳定。

## 3 土工膜袋的选用

### 3.1 澳大利亚土工膜袋

本工程使用的土工膜袋是由澳大利亚 FORESHORE PROTECTION Pty Ltd 公司生产的。它具有以下特点:

- (1) 可有效地防止水土流失和水流冲刷。
- (2) 能耐酸、耐碱、耐有机溶剂和生物侵蚀以及动物撕咬。
- (3) 能适应各种形状的地面,可任意裁剪成所需要的形式。
- (4) 施工快捷,适应性强:水上水下均可施工,雨天晴天均可施工。

(5) 抗辐射,抗老化,寿命可达 30~50 年以上。

(6) 质量可靠。

膜袋规格:

(1) 有反滤点——厚度 125、200、240mm 三种,满宁系数  $n=0.025 \sim 0.03$ ;

(2) 无反滤点——厚度 100、150、400mm 三种,满宁系数  $n=0.015 \sim 0.016$ ;

表 1 注浆层厚度检测结果表

桩号	注浆层厚度平均值 (mm)	桩号	注浆层厚度平均值 (mm)
K43+847	2	K43+918	42.5
K43+862	2	K43+923.1	25
K43+882	4	K43+938	25.5
K43+903	17.5	K43+951	9
K43+915.7	43.5	K43+954	23.5

注:分项工程及施工部位 K43+845~43+965,检测日期 2005.1.24。

实践证明,采用透地雷达无损检测公路水泥混凝土路面脱空发育程度与无损检测灌浆处理水泥混凝土脱空效果是一种有效、快速、经济的方法。

(3) 铰链块型——厚度 150、200mm 两种, 满宁系数  $n = 0.03$ ;

(4) 植草型——厚度 75mm, 格栅厚 190mm, 满宁系数  $n = 0.15$ 。

所有膜袋的 28 天强度均可达到 20MPa 以上。

无反滤点膜袋是由斜向拉线(筋)连接的双层织物(我国哑铃形)组成, 这些拉线应能保证膜袋充胀到一个均匀的厚度而不破环。

根据我国的土工合成材料检验办法对上述材料进行了抽样检验。通过各种计算和分析研究, 认为采用厚 100mm 的膜袋可以满足本工程的各项要求。

根据“水利水电工程土工合成材料应用技术规范”(SL/T225—98)的有关要求, 膜袋护坡工程设计应包括: 厚度选定、稳定性分析、排水和抗滑措施。

经计算求得安全系数  $F_s = 1.61 > 1.50$ , 可满足要求。

为了确保膜袋在施工和运行期间的稳定, 在施工过程中, 我们把膜袋在堤顶部加长 0.5~0.7m, 灌注后将其埋入锚固槽内。

### 3.2 国产土工膜袋的选用

我国自 1982 年开始引进日本的土工膜袋进行试验性施工以来, 1983 年江苏开始试制应用, 至今已应用到了全国各地的几十项工程中。但北京尚未用过。卢沟晓月湖左堤(老石桥—橡胶坝)使用了长 317.6m 的由无锡市亿丰产业用布厂生产的 WYFM—150 型涤纶土工膜袋, 也是国内首次使用这种新材料, 它的抗老化性能比过去常用的丙纶膜袋要好得多。

膜袋护坡的设计厚度为 150mm, 灌注砼。设计龄期采用 90 天, 强度不小于 20MPa, 抗渗 > S4, 抗冻 > D50, 其 28 天强度不小于 16~18MPa。

## 4 土工膜袋的施工

### 4.1 主要施工设备(见表 1)

表 1 土工膜袋施工设备表

序号	名称	单位	规格	数量	说明
1	发电机	kW	120	1	
2	砼拌和机	L	强制	2	
3	砼罐车	m³	5	2	
4	砼泵	m³/h	60	1	
5	空压机	m³/h	9	1	仅用于灌注砼时(左岸)
6	橡胶软管	mm	Ø50	100m	
7	橡胶软管	mm	Ø125	48m	(用于左岸)
8	变径接头	cm	Ø150~Ø50	3	
9	钢管	cm	Ø125	150m	用于左岸
10	手提缝纫机	台		2	右岸用进口机

施工过程中, 发电机和水管都随着膜袋施工段的移动而移动。

### 4.2 施工方法和施工程序

本工程采用了国内外两种土工膜袋, 由于两者的织物结构和充填材料不同, 施工方法也是不一样的。在施工过程中, 我们根据本工程的特点, 改变了两种膜袋的原有施工方法, 取得较好效果。

#### 4.2.1 澳大利亚土工膜袋施工要点

万方数据

(1) 施工单元的划分: 沿水流方向每 50m 作为一个施工单元。在每个单元, 用缝纫线分隔 6~8 个小单元。每个小单元灌注顺序是由堤顶逐渐向河底灌注。每 50m 之间做有伸缩缝, 膜袋断开并搭接 30cm。后来考虑到本工程是在无水条件下施工, 于是改为: 伸缩缝间距仍为 50m, 将膜袋沿水流方向分成 5~6 个小单元, 每个小单元尺寸约为 50m × (2.5~3.0)m(河底为 50m × 5.0m)。灌注顺序仍是由上游到下游、由堤顶向河底。

(2) 关于膜袋的收缩系数: 本工程的施工是在无水条件下进行的, 膜袋与地基土和聚乙烯膜之间的摩擦系数有了较大变化。所以在开工之前提出收缩系数为 1.20。但是经过前几个施工单元的施工情况表明, 这一估计仍偏大, 实测收缩系数为 1.10 左右。

我们还发现, 从堤顶往下到河底, 土工膜袋分别与砂砾卵石、聚乙烯膜和保护层细料相接触。在从上向下灌注过程中, 水从膜袋中滤出后逐渐向河底汇集, 致使河底的膜袋泡在水中。此时, 膜袋在顺水流方向的收缩规律是: 从坡顶向下, 收缩逐渐加大; 而泡在水中的膜袋收缩最多, 有时可达 1.0~1.5m。

(3) 关于膜袋底部的细料保护层: 原设计在河底的膜袋与聚乙烯膜之间铺有 5~10cm 细料保护层。施工中发现此层细料全被水泡软成泥状, 防碍水从膜袋中滤出, 其中的大石子还可能刺破聚乙烯膜。经设计同意, 后期施工取消了这层细料。

(4) 锚固槽和伸缩缝: 本工程施工过程将原设计的护坡 1:2.5 改为 1:2.0, 约可节省膜袋布 5000m²。但是边坡变陡后, 于抗滑稳定不利, 尤其是底下铺了一层聚乙烯膜, 更为不利。

为了保持膜袋施工和运行过程中的稳定, 我们在膜袋顶部挖了一道深约 50~70cm 的锚固槽, 把膜袋加长 50~70cm。施工时, 先灌注顶部单元, 可防止膜袋下滑。施工后期将顶部膜袋埋入土中或混凝土中。

按设计要求, 每 50m 做一道伸缩缝, 膜袋断开并搭接 30cm。我们在分缝处挖好宽 70cm 深 15~20cm 的槽, 把搭接段卧在槽内。为使水流平顺, 施工时要使上游段盖在下游段上。搭接段内涂上冷沥青。但是, 正如前面所说, 由于膜袋收缩率难于把握, 所以接缝质量不太好。根据施工经验, 今后可取消这种伸缩缝。

(5) 膜袋的缝制和变形调整: 土工膜袋是一种由斜向拉线连接的双层开边织物, 幅宽 3.2m, 每卷长度 80m, 运到现场后, 根据护坡实际尺寸, 缝制成一定尺寸的膜袋, 运到现场铺设。

前面已经说到, 膜袋充入砂浆成形后, 要收缩 10% 左右。澳大利亚的这种膜袋是在缝制膜袋过程中, 大约在每幅布的中间部位, 把两幅布折起 10~15cm, 用手提缝纫线固定, 我们把这条线叫分隔线。在灌注砂浆过程中, 每次灌注一个 (25~50)m × (1.6~1.7)m 的长条形膜袋, 再灌注下一个单元时, 先把分隔线拉断, 使后灌的砂浆与先前灌入的砂浆结合成整体。依此做法, 就可把整片膜袋灌注完成。这样, 就把膜袋灌注过程中约 10% 的收缩变形分成 5~6 段, 逐段完成, 避免大幅度的收缩变形。

(6) 砂浆配比: 根据澳大利亚公司的建议, 采用了如下砂浆配比:

普 525# 水泥 500kg/m³, 粉砂 1800kg/m³, 水 450kg/m³。

其中, 粉砂产自永定河下游, 细度模数 1.20 左右。水灰比 0.9。由于土工膜袋的滤水作用, 可使水灰比由 0.9 降低到 0.5。

左右,从而提高砂浆强度。

(7)特殊处理:

①遇到树木、拉线时,可将膜袋剪开,把树或拉线包在其中,然后再将膜袋缝合,灌注砂浆。

②遇高压电线杆时,应在周围保留一个土台,再用膜袋将其围住,或用浆砌石和砼将其砌在中间。

(8)主要施工技术要求:

①铺设膜袋时应确保其在整个工作面上均匀分布,进入锚固槽内的尺寸要满足要求。

②膜袋表面不得有皱纹、折痕和重迭现象。

③当膜袋护坡中设有搭接式伸缩缝时,膜袋应由下游向上游灌注。

④灌注砂浆应有足够的压力( $3\sim4\text{kg/cm}^2$ ),应使织物充分膨胀,达到设计所要求的厚度。

⑤在灌注过程中,边灌注边用人工脚踩,使砂浆均匀充满膜袋。

⑥灌注过程中要加强观察,发现变形过大或鼓包时,应及时

终止灌注,特别要防止灌口被挤胀变形。

⑦不允许出现扁平的或灌注不充分的断面。

⑧在膜袋充胀后1h内,禁止在上面行走或放上重物。

#### 4.2.2 国产土工膜袋施工要点

(1)施工单元划分:国产土工膜袋都是在工厂内加工成一定尺寸规格的单元,运到现场铺放。本工程膜袋单元为12m(6幅布),长边为17.55m。用布分隔成三条浇注单元。

为降低工程成本,本段膜袋的河底部分采用丙纶膜袋,斜坡采用涤纶膜袋。这是国内首次使用涤纶膜袋。

(2)灌注方案:原计划在每个施工单元中,按照从上游向下游方向,依次灌满3个条状膜袋(见图1),也就是1,4,7,10;2,5,8;11;3,6,9,12。但是试验3个膜袋单元后,发现坡底变形较大。于是将每个施工单元分成4个水平段,自坡底向坡顶逐段灌注,即1,2,3;4,5,6;7,8,9;10,11,12。这样做,可保持护坡表面平整。只是这样做,施工速度放慢了。施工中曾把两个单元( $2\times12\text{m}$ )连在一起灌注,即先灌河底6个小单元,然后依次向坡顶各灌注3次(每次6个小单元)。这样做,速度更慢,今后不宜采用。

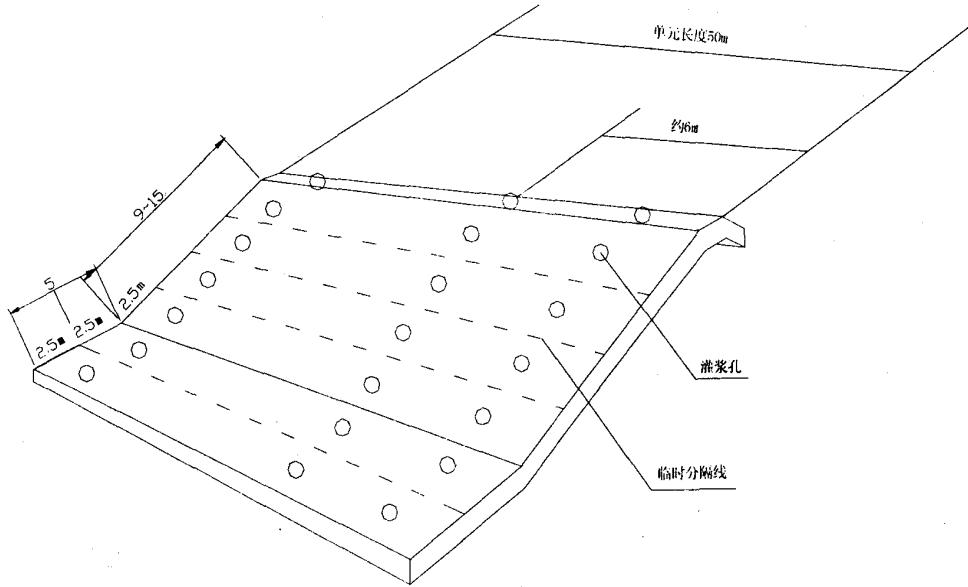


图1 膜袋尺寸和灌注顺序图

(3)膜袋砼:采用豆石砼,最大粒径小于15mm;砂为中砂,细度模数2.5。水泥为矿渣325#水泥。水灰比0.5~0.6,砂率0.45~0.50。坍落度 $22\pm1\text{cm}$ 。

使用配比如下( $\text{kg}/\text{m}^3$ ):

水泥385,水204,砂905,石子905,减水剂(FX-128)1.5%。

#### 4.2.3 国产膜袋施工过程

(1)边坡平整压实:在铺设膜袋之前,应将边坡整平密实,表面平整度(用2m长靠尺)不超过5cm。

(2)开挖顶部锚固槽( $50\text{cm}\times50\text{cm}$ )。

(3)放样:根据平面图及设计断面图,在铺设膜袋布的上下范

万方数据

围和左右起止点进行测量放样,并设立标志(包括接缝处),以便在膜袋铺设时有所依据。

(4)埋设固定桩:在膜袋砼护坡顶端平行等距埋设悬挂膜袋布的固定桩,桩的间距为2.0m左右,并安装松紧(lt手拉葫芦)。本工程用尼龙绳来调整膜袋变形。

(5)铺设管道:采用 $\varnothing125\text{mm}$ 钢管来输送砼,其控制半径80~100m,并应选择最短的输送距离。管子接头要密封不漏浆(气)。出口段可安装1~2节 $\varnothing125\text{mm}$ 软管,以便移动插入灌口。

(6)铺设膜袋布:将膜袋布展开,灌人口朝上,铺设在已验收

合格的平整坡面上，并检查膜袋有无破损、脱线和尺寸大小。膜袋单元长度为 12.0m。

将已铺设好的膜袋分缝处用线缝合在一起。

把Φ50mm 钢管穿入膜袋布上端的套管内，并用尼龙绳与固定桩和该钢管连接。在铺设膜袋布时要注意左右平行、顺直，不得偏斜和折皱。

(7) 砼搅拌和运输：砼原材料进场须经验收合格后方可使用，应有产品质量检验单。严格按照配合比进行配料，严格控制称量误差，以确保砼拌和物的质量。混凝土搅拌后，确保砼坍落度控制在 22±1cm，以保证连续顺利充灌膜袋。

(8) 充灌膜袋砼：膜袋充灌前应用水冲湿膜袋布，以防止膜袋布吸水引起砼坍落度变小而影响砼流动性。泵送前用水泥砂浆(1:2.35)润滑料斗、泵体和输送管道内壁，以减小泵送阻力。充灌次序按自下而上依次进行，每一充灌口的充灌应连续进行。充灌到饱满时，将灌口扎紧，移到下一个灌口。

砼流动困难时，可采用脚踩或调整软管方向等方法，改善砼流动性。

膜袋充灌后将有不同程度的收缩，因此要随时调整和放松顶部松紧器或尼龙绳，并注意每根绳的放松程度，始终保持整块膜袋布顺直和平整。膜袋充灌饱满后 1h，即可用压力水冲洗残留在膜袋表面的砼及杂物。

(9) 封填沟槽和砼养护：在膜袋砼充填结束后，可利用输送砼管道移位的机会，将管内剩余砼灌入锚固槽内。也可另外浇筑砼和回填土料。

对膜袋砼应洒水养护至少 14 天。

## 5 土工膜袋的质量控制

### 5.1 澳大利亚膜袋的质量检验办法

#### 5.1.1 土工膜袋

(1) 根据澳大利亚的技术标准 AS. 3706. 1 进行检验。

(2) 检验项目：织物原材料的规格、单位面积重、握持拉伸试验、顶破试验、刺破试验。

(3) 分批取样，每 1000m<sup>2</sup> 取一组。

#### 5.1.2 膜袋外观质量

(1) 灌注砂浆过程中，应根据灌入方量和施工面积换算膜袋厚度，经常用测针测量膜袋厚度不小于 100mm。

(2) 利用金钢石钻机钻取不同部位的岩芯，测量其厚度不得小于 100mm。利用钻芯测量其容重。钻孔位置应高于 Q=2500m<sup>3</sup>/s 的水位以上。

(3) 膜袋外观应平整、密实、无死角、无褶曲、无重复缝合，接缝搭接紧密，搭接长度不小于 300mm。

#### 5.1.3 膜袋砂浆质量检验

按澳大利亚 AS1012 标准制作混凝土抗压试块。每天(约灌注 90~100m<sup>3</sup> 砂浆)在现场灌注一个 0.5m×1.0m 的小膜袋，滤水 15~20min 后将其切开，分三次灌入 150mm×300mm 试膜中。

(1) 采用上述办法，制作砂浆抗渗试块 2~3 组、抗冻试块 1~2 组。

(2) 利用金钢石钻机钻取岩芯，按规范要求进行抗压强度测

试。此项工作属抽检范畴，取样数量 5~6 组。

(3) 砂浆原材料的检验方法同常规做法。本工程要求使用小于 5mm 的粉砂。为了配合检验现场膜袋质量，应进行不少于 5 次的砂浆容重测量。

### 5.2 国产膜袋施工的质量控制

#### 5.2.1 质量保证体系

(1) 现场施工质量检查执行施工单位自检、监理单位抽检制度。

(2) 对边坡、膜袋布和砼原材料质量、砼配料与搅拌、砼泵送和充灌、砼养护等全过程进行全面质量管理，以上每个环节都设专人负责管理。

(3) 严格执行施工质量管理负责制，贯彻技术交底、技术复核、原材料检验和隐蔽工程验收等技术管理制度。

#### 5.2.2 质量管理措施

(1) 膜袋布进场后应逐批检查出厂合格证和产品检验报告单，膜袋布的主要技术性能指标应按设计要求进行抽查复验，抽检数量为每 1000m<sup>3</sup> 一块。

(2) 膜袋砼的原材料(水泥、粉煤灰、砂石骨料、拌和水)质量必须符合现行行业标准《水工混凝土施工规范》(SDJ~207~82)的规定。

(3) 边坡工程应检查坡比、高程、表面平整度、回填碎石的密实度。

(4) 膜袋布工序应检验膜袋布的长度尺寸和充灌口位置是否满足设计要求，有无漏缝、脱线、破洞等缺陷，铺布位置与搭接缝合情况，固定桩的牢固程度，铺布是否平直等。

(5) 混凝土工序应检查原材料出厂合格证、检验报告单、复验报告。原材料配料称量精度、砼施工配合比、砼搅拌时间等，另外需每班抽测一次砼坍落度和每天制作一组抗压强度试件。

(6) 充灌砼工序应检查输送管道是否安全平衡，充灌前膜袋布是否湿润、充灌膜袋砼是否饱满、有无鼓包和塌陷、膜袋砼护坡表面是否及时冲洗干净并进行养护等。另外还需检测膜袋砼充满厚度、表面平整度( $\leq 5\text{cm}/2\text{m}$ )和相邻块接缝宽( $\leq 2\text{cm}$ )等。

(7) 施工单位必须做好详细的施工日记，以备待查。

#### 5.2.3 取样

(1) 每天做 1 组抗压试块。

(2) 整段工程做 2 组抗渗试块，1 组抗冻试块。

(3) 龄期均为 90 天。

(4) 取样方法：每日做一个小膜袋( $0.7\text{m} \times 0.7\text{m} \times 0.15\text{m}$ )，在与施工条件相同的情况下灌注膜袋，滤水 15~20min，将膜袋割开，灌注试膜。需做抗渗或抗冻试块时，膜袋要做大些。

### 6 几点认识

(1) 土工膜袋施工快捷方便，特别是在有水条件下，可节省围堰的费用，加快施工进度。在大江大河中，用膜袋护坡更具有别的方法所不具备的优点。

(2) 通过本工程两种膜袋的对比试验，我们认为今后应深入研究利用砂浆充填膜袋可行性问题。目前需要用膜袋作为河道护坡的工程，大都位于江河下游平原地区，砼用的石子很难在当地找到，但是砂子却是当地材料。如果能够用砂浆来充填膜袋的话，就可充分利用当地资源，并可大大降低工程成本。