

渠道机械化混凝土渠底衬砌施工工艺

项 目：南水北调五标项目部

姓 名：何利超

日 期：二 00 九年七月

南水北调五标渠底衬砌技术总结

一、工程概况

南水北调中线京石段应急供水工程第五施工标位于河北省徐水县境内，总干渠设计桩号 150+260~157+108.7，总长 6848.7m。其中西黑山节制闸占用渠线长度 92m，其余渠道长 6756.7m。渠道设计流量 100~125m³/s，设计纵坡 1/25000~1/30000，设计底宽 14.5~19.5m，设计水深 4.5m，边坡系数 2.5。渠道断面以半挖半填为主，兼有部分全挖（有部分石方开挖）段和全填段。

二、设计要求

渠道过水断面型式为倒梯形，采用现浇混凝土衬砌，边坡厚 10cm，底板厚 8cm，特殊部位适当加厚。为满足混凝土衬砌板沉降变形要求及温胀要求，混凝土衬砌板纵向（顺水流向）分缝为：坡面每隔 4m 设一道半缝，坡脚和渠底各设一道通缝；横向（垂直水流向）分缝为：每 4m 设一道半缝，每 12m 设一道通缝。半缝缝宽 1cm，通缝缝宽 2cm，通缝缝内上部为 2cm



成型渠道

厚明渠专用聚硫密封胶止水，下部为聚乙烯闭孔泡沫塑料板隔缝。约 4300m 渠段铺复合土工膜加强防渗，约 6000m 渠段铺设聚苯乙烯泡沫塑料板防冻胀。

渠底衬砌纵缝分缝表

| 桩号 | 底宽 | 分缝宽度（从左至右） | 备注 |
|-------------------------|-------|--------------------------------|----|
| 105+260.00~151+545.016 | 19.5m | 3.9m, 3.9m, 3.9m, 3.9m, 3.9m, | |
| 151560.013~151+615.000 | 14.5m | 3.625m, 3.625m, 3.625m, 3.625m | |
| 151+707.00~154+405.245 | | | |
| 154+415.010~157+108.700 | 16.5m | 3m, 3.5m, 3.5m, 3.5m, 3m | |

三、渠道机械化混凝土衬砌主要施工方法

工艺流程

堤身填筑——施工放样——底面修整——基面处理——基准线设置——保温板/土工膜铺设——衬砌机就位——混凝土浇筑——混凝土抹面压光——混凝土养护——混凝土切缝——闭孔泡沫板填缝——密封胶嵌缝

（一）渠道填筑碾压

填筑土料为黄状壤土，施工前按照《土工试验规程》（SL237-1999）进行土样击实试验，确定土的最大干密度和最优含水率，以土的最大干密度进行质量控制。本工程渠道填筑压实度不得小于 0.98。填筑施工按铺土、平整，碾压，检测三个阶段进行流水作业。

1、铺料、平整

渠道填筑采用进站法铺土。由挖掘机挖土，自卸汽车运输，推土机推平，保证铺料厚度均匀。

2、压实

压实机械选用 ZY18T 自行式凸块振动碾，中速行驶，压实方法采用进退错距法，沿渠道水流方向碾压。每层虚铺厚度不大于 0.4m，静压 2 遍，振压 5 遍；分段碾压时设明显标志，防止漏压、欠压。上、下层分段位置错开。顺碾压方向搭接宽度不小于 3.0m，垂直碾压方向为 0.5m。铺料与压实工序连续进行，防止填筑料被晒干，对已风干的填筑层，进行洒水湿润处理。



3、检测

碾压完成后，质检人员配合试验室对碾压渠段用环刀法进行干密度检测，检测严格按土工试验规程执行，每层均在 500m² 范围内检测一组，每个检测点均达到设计要求，满足压实度指标 0.98，对检测结果做详细记录，确认无误后，报监理工程师核验。监理工程师验收合格后，再进行下一道工序的施工。

（二）施工放样

衬砌施工放样按照设计要求进行。渠底边线的允许偏差：直线段±20mm、曲线段±50mm、高程 0~-10mm。衬砌前，针对渠底衬砌，对渠道沿线重新进行三等水准点布设，根据新测量成果进行施工放样、控制渠底高程。

（三）底面修整及处理

采用人工配合推土机和平地机进行清底整平，按照设计高程挂线、人工精修整平。渠底高程控制指标为 0~-10mm。然后采用大型光面振动碾进行碾压（靠近渠坡角 1 米范围

内采用小型光面振动碾碾压), 碾压后进行压实度检测, 基面修整完成后, 进行压实度检测。压实度控制指标为: 挖方段压实度大于 0.85 或大于本段自然干密度), 填方段与本段填筑控制压实度相同, 压实度大于 0.98。若出现不合格时, 需进行换填处理, 处理时按照设计高程挂线、整平、碾压; 同时严禁超挖, 若出现超挖现象, 应加以回填夯实, 密实度达到设计要求, 平整度控制在 10mm/2m 以内。各项指标符合设计要求后, 验收合格后进行下道工序。

工序: 机械初平 → 挂高程线
人工精平 → 碾压



人工配合机械清理渠底

(四) 保温板及土工膜铺设

1、保温板铺设

保温板设计厚度分别为 30、40、50、60、70mm, 密度 25kg/m³, 压缩强度 80kpa, 导热系数 ≤ 0.04W/(m·℃)。施工前清除基面一切杂物, 在局部不平处铺撒石粉, 并用 2m 靠尺刮平, 保持基面平整。保温板按设计尺寸切割, 从渠底向渠坡敷设, 板与板之间紧密结合。保温板敷设完成后平整与渠坡紧密结合, 并用小木楔(2.5×2.5×15cm)钉牢。



保温板铺设

2、复合土工膜铺设

复合土工膜为 576g/m² 二布一膜, 垂直渗透系数 < 1×10⁻¹¹, 断裂延长率 > 50%。在渠基及保温板工程验收合格后进行铺设。复合土工膜在铺设前, 检查有无砂眼、疵点杂质等。复合土工膜保持自然松弛, 与基层或支持层之间贴实, 不出现褶皱现象。铺设后, 边缘部位压紧固定, 为便于接缝, 复合土工膜两侧预留 10cm 宽光面膜, 垂直于水流方向铺设, 接缝宽度 10cm, 上游边压下游边, 土工膜采用焊接法拼接, 首先将底层布用手工进行缝合, 再将防渗膜焊接完成后, 缝合上层布。焊接温度 250℃, 焊接速度为 2 米/min。当边角或不方便焊接时粘接采用 KS 热熔胶, 现场焊(粘)接前, 先进行场外焊(粘)接试验, 确认焊(粘)质量满足要求后, 再进行正式焊(粘)接施工。

铺设过程中作业人员不得穿皮鞋和带钉子的鞋，土工膜铺设完成但尚未进行渠道混凝土衬砌的部分，及时对土工膜进行保护，防止被破坏。在土工膜施工区域禁止吸烟，禁止使用电气焊，防止烫伤防渗膜或发生火灾。

3、复合土工膜搭接

复合土工膜的搭接分两种形式，

一种是焊接、一种是粘接。焊接是利用 TH-501 型土工膜焊接机，将土工膜顺水流方向搭接 10cm，将焊接速度和行走速度调整好，进行焊接。粘接时采用 KS 胶将土工膜接头部位粘接在一起，将块状的 KS 胶在金属容器内加热至液体状，用金属辊子蘸胶涂抹于被粘接面上，粘合后，迅速用橡皮锤敲击粘接面，使两粘接面充分结合紧密。



土工膜焊接

抹于被粘接面上，粘合后，迅速用橡皮锤敲击粘接面，使两粘接面充分结合紧密。

4、复合土工膜充气检测

土工膜焊接或粘接完成后，应认真检查焊接（粘接）质量，利用充气检验法或外观目测法对接缝逐条进行检验，确保无渗漏。检查方法：焊接接头的充气法检验采用充气检测仪，充气压力值在 0.15-0.2MPa 之间，30s 内无明显下降，即为合格；粘接接头采用外观目测法进行检验，对接缝全数进行外观检查，并利用手撕法判断



复合土工膜充气检验

粘接质量，若有达不到质量要求者应进行返工处理。

为避免浇筑混凝土及割缝流浆污染土工膜，当土工膜施工完成后，在齿槽外部将土工膜预留部分采用塑料布反包土工膜的方法进行保护。复合土工膜铺设完毕后，必须在 24 小时内进行混凝土衬砌施工，若不能浇筑，则采用彩条布进行覆盖，防止强太阳光暴晒。

（五）混凝土衬砌

渠道底面衬砌使用 QDCQ650 型多功能衬砌机，由河南省安阳豫华机械设备有限公司制

造，由混凝土坡面输送机和渠底衬砌机两部分组成。QDCQ650 型多功能衬砌机将混凝土布料、摊铺、振捣、碾实、压光、行走等功能集中于一体，电气系统总功率 32.4kw。

底衬施工工艺流程、其它配套设备及人员配置与坡衬基本相同，所不同的是土工膜搭接采用焊接和粘接相结合的方式。粘接材料采用 KS 热熔胶，其特点是：无溶剂，储藏、运输方便，对工人及环境无污染。

渠道底面衬砌试验主要技术参数采用坡衬试验成果，实际工作效率为：一台底衬机，当渠底宽在 19.5m 时，一般工作速度为 4~6m/h，当渠底宽在 14.5m 时，一般工作速度为 6~8m/h，一天按 12h 计算，每天可浇筑 48~96m。

1、衬砌机就位

在设备进入施工现场后，根据设备的外形尺寸，为防止道轨压坏土工膜，因此在道轨下焊上一 400*300*8mm 厚铁板，铁板间距为 1.5m，然后在垫板下铺枕木，通过不停的转移枕木和道轨进行浇捣，因此对渠底衬砌机道轨高程控制精度较高。



渠底衬砌施工

2、试运转

将事先组装好的衬砌机调整好高程、位置，使用前根据所需动力匹配合适的外接电缆，接好电源，试开机，查看电机、电器、电缆、线路是否正常。先空载运行试车，查看有无异常噪音和其他故障。

3、混凝土布料、振捣

采用混凝土罐车运输混凝土，经输送带送至布料机接料口，进入箱体内，开动螺旋输料器把混凝土均匀的布至工作面，开动振动器和纵向行走开关，边输料边振动、边行走。振捣时间和行走速度参照工艺性试验提供的技术参数来控制。混凝土罐车和布料机同步行走，若混凝土料供应不足时应立刻停止行走和振动，待混凝土充足时再进行作业。靠坡脚 80cm 范围内拆除模板和轨道后人工补仓。要人工采用插入式振捣器和平板振捣器进行振捣。人工压光要掌握好时间，使表面平整光滑。使混凝土面光滑平整。

浇筑过程中由专人进行现场指挥,观察铺料情况、向机械操作人员传递信息,掌握好振捣时间和机械行走速度。混凝土布料振捣完成后及时机械找平压光。在靠近模板及边角处是机械振捣的薄弱之处,人工采用插入式振捣器或平板振捣器进行补振。



混凝土切缝

4、混凝土养护

为确保混凝土强度和防止表面龟裂养护采用塑料薄膜养护 3 天。三天后,在浇筑完成的桩号两侧用塑料布和土筑一 20cm 高的小围堰,渠坡养护的水可流入渠底,若水体较少时,洒水车可直接往渠底注水,使渠底形成一较低的水平面,保持混凝土表面的湿润。

5、混凝土切缝

衬砌分缝采用人工墨线布缝,纵横缝采用手扶式割缝机割缝,割缝时先横后纵、先通缝后半缝。

6、密封胶嵌缝

渠道伸缩缝采用聚乙烯闭孔泡沫条填塞,上部预留 2cm 深度,用来填注双组份聚硫胶。聚硫密封为明渠专用胶,属双组份反应型高档密封材料,其表干时间 $\leq 24\text{h}$,粘结拉伸强度 $\geq 0.3\text{MPa}$,最大拉伸长度 300%,回复率 $\geq 80\%$,低温柔度 -40°C 。具体施工方法:

- (1) 将基面清理干净,晾晒干燥。
- (2) 分别将双组分按 $A:B=10:1\sim 1.2$ 倒入容器中,充分搅拌均匀。
- (3) 注胶前在清理干净的基面上均匀涂刷一层界面剂,待界面剂完全固化后进行注胶。
- (4) 将聚硫膏装入密封膏专用管中,用施膏枪将密封膏直接挤入缝内,然后人工用刮刀抹平压实,使表面平整光滑,发现起泡及时修补。施工时,配制好的聚硫膏要在 2h 内用完,否则会慢慢增稠而造成施工困难。

(六) 混凝土入仓时的坍落度、温度的控制

根据工艺性试验所提供的技术参数,环境温度在 28°C 以下,混凝土浇筑时的坍落度为 6-8cm,但随着运距的增加,混凝土坍落度有一定的损失,每 1km 运距坍落度损失值为

0.5-1cm；气温越高坍落度损失越大。因此，随着气温和运距的变化，坍落度也随之改变，在浇筑现场应随时观测坍落度的变化，及时将情况反馈到拌和站，调整至适宜的坍落度。

（七）混凝土的振捣密实性的控制

根据工艺性试验所提供的技术参数，混凝土的振动时间为 10-15s，衬砌机正常工作速度 6~8m/h，在混凝土铺料移位时振动。坡脚 80cm 范围内拆除模板和轨道后进行人工补仓。要人工采用插入式振捣器和平板振捣器进行振捣。人工压光要掌握好时间，使表面平整光滑。使混凝土面光滑平整。



混凝土芯样

要人工采用插入式振捣器和平板振捣器进行补振。实测数据见附表 1。

（八）混凝土衬砌厚度及均匀性控制

根据工艺性试验所提供的技术参数，混凝土的松铺系数为 1.1。在设备安装时，按松铺厚度进行控制，安装完成后进行测量、调试，直至满足要求为止。在浇筑过程中，要时常检查是否有变化，并及时调整到正确位置。

混凝土的均匀性直接影响着混凝土的浇筑质量，混凝土的运输采用的时混凝土搅拌运输车，避免了运输当中的混凝土离析现象，在浇筑过程中，该衬砌机的布料形式为通过传送带和下料漏斗布料，它的优点就是布料均匀，从根本上解决了混凝土不均匀的缺陷。

（九）混凝土切缝时间控制

混凝土切缝时间的控制，是混凝土施工过程中的一个重要环节，当切缝时间过晚时，随着混凝土水化热的升高，混凝土内部产生温度应力，易发生温度裂缝。当切缝时间过早时，混凝土强度低，边缘易损坏，缝的两侧不整齐，影响美观。

根据现场的实际经验，切缝时间与气温高低有关，当气温在 20-28℃时，切缝时间可在混凝土浇筑 24 小时后进行切割，并在 24 小时之内切割完成。当温度较低时，应适当延长切割时间，并保证切割时混凝土边缘不被破坏为宜。

（十）混凝土衬砌裂缝防治措施。

1、控制好混凝土坍落度。当坍落度过大时，易产生收缩裂缝。

2、当气温超过 28℃时，安排在夜间施工。

3、控制好割缝时间，应随着气温的升高而缩短，反之将延长。割缝时，以先通缝后半缝、先横缝后纵缝的原则进行施工，每一条缝必须连续切割，不得中断。

4、在混凝土终凝之后，及时洒水养护，并用塑料布覆盖保湿。

5、对于已经出现的裂缝及时进行处理：

将裂缝范围内沿原纵横缝位置和距裂缝边缘 10cm 处的混凝土切割、凿除，清理干净，在切割凿除混凝土时应注意对土工膜的保护，尽量不把土工膜破坏，混凝土清除完成后，检查基面复合土工膜，对局部损坏了的土工膜应进行修补达到无渗漏。

四、结束语

渠道混凝土衬砌施工工艺成功的应用于南水北调输水工程，它具有施工效率高，节约人力资源，混凝土振捣密实性较好，但机械的一次性投入费用较大。

在施工过程中，依照《南水北调中线一期工程施工质量评定验收标准》作为控制依据，经过严格的质量控制，严密施工组织，每一道工序、每一个环节均严格遵循施工规范和技术要求，使混凝土施工质量达到优良标准，目前渠道已通水运行，渠道衬砌面板经历了冬季冰期输水、春季融冰期输水、及夏季高温输水等多种气候条件下的输水状况，工程质量也得到了较好的检验。