

人工湿地多层布管填料施工工法

—永定河园博园水源净化工程

中国水电二局园博园水源净化工程课题组

摘要：人工湿地污水净化工艺越来越受到全国的普遍重视，而该工艺核心部分为滤料池及基质填料的施工过程。本文详细介绍了永定河园博园水源净化工程滤料池及基质填料的施工全过程，总结了当前的施工方法，旨在为人工湿地污水处理技术的施工研究提供有益的参考。

关键词：大型多层管人工湿地 基质填料施工过程 施工工法

中图分类号：S342.2 文献标识码：A

1. 前言

人工湿地指用人工筑成水池或沟槽，底面铺设防渗漏隔水层，填充一定深度的土壤或是基质（填料）层，种植芦苇一类的维管束植物或是根系发达的水生植物，未经处理的水由湿地的一端通过布水渠进入，以推流方式与布满生物膜的介质表面和溶解氧进行充分的植物根区接触而获得净化。人工湿地分为表流人工湿地和潜流人工湿地，潜流人工湿地又可分为水平流人工湿地和垂直流人工湿地。

在人工潜流湿地中，无论是水平流还是垂直流，都是为了能更好地净化水源。而填充的基质的方法以及质量的好坏直接影响着净化效果，单元池中内的管道又起到均匀布水、充分集水及运送净化水的作用，施工中合理安排管道与填料之间的关系，十分重要。

人工湿地有多种形式，但其基本原理都是采用基质填料和水生植物以及与空气充分接触对水质进行净化，这里只针对园博园水源净化工程的特点进行了论述，其余的与此大同小异。

2. 工法特点

2.0.1 本工法主要介绍湿地以垂直流为主搭配少量的表流湿地的工艺。

2.0.2 湿地单元池分为并联的几级，每级单元池由一个下行单元池和一个上行单元池组成。本工法以每个单元池的尺寸基本上都是 75 米长 × 40 米宽，面积约为 3000 平方米的大型池体为例。

2.0.3 湿地填料基质选择的种类很多，在国外破碎的炉渣、轻质的膨胀黏土颗粒、陶粒、破碎的玻璃等都可用以作为人工湿地的基质。在国内沸石、粉煤灰、煤渣、草炭、石灰石等也被应用作为人工湿地填料基质。本例以碎石、陶粒和火山岩基质为例，其中碎石有四种粒径，总计共有 3 类 4 种填料。

2.0.4 每级并联单元池由混凝土隔墙分开，每级上下行单元池由底部开洞的花墙分割。

2.0.5 湿地单元池各支管都为开孔花管，每个单元池都布设两层管道。下行单元池上料面布置布水花管；上行单元池上料面布置集水管，每级单元池最底层设置通长排空管，以连接上下行单元池。

3. 适用范围

本工法适用于大型潜流人工湿地填筑基质及填筑基质内布置多层管。

4. 工艺原理

通过管道将水导入布水渠，然后通过布水渠流入各个单元池。单元池通过上层开孔布水管道将水均匀的布置到单元池，通过各种基质组合，将水渗透过滤到底层，然后通过最下层排水管道将渗透到底部的水排到入下个单元池，经过各种基质的组合净化后，将水源导入基质上层的开孔集水花管内，或流入下级单元池，或通过湿地排空管流入表流湿地。净化过程

见图 4-1 一级典型湿地单元池剖面图。

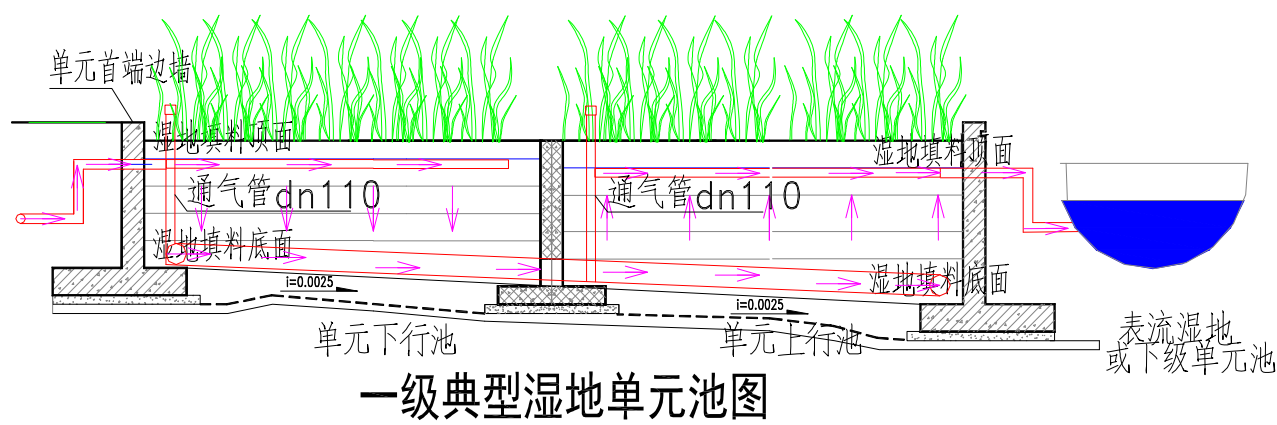


图 4-1 一级典型湿地单元池剖面图

5. 施工工艺流程及操作要点

5.1 施工工艺流程

在地基处理、混凝土墙体及防渗工程结束后进行填料工程，工序如下：

铺设无纺布→安装底部管道→填筑基质→安装上层管道→单元池池体封口

5.2 操作要点

5.2.0.1 填料前实验：通过在现场找一处 10 米 × 10 米的位置，下挖 1.8 米深的池子，在池底铺设 PE 膜，并四周上翻至池体顶部，并加以固定。根据施工填料要求，进行填料，料层厚度严格控制。在填料过程中池体四周及中间位置设置 5 处测量区，以透明玻璃插入到填料底部，上至填料层顶部，便于测量各料面实际高度，并记录。通过向池内注水，达到设计注水高度后，再次测量各点料面高度。算出沉降差值，以便于填料预留量的计算。

5.2.0.2 严格按照设计要求选购填料，并合理选择填料基质堆场及场内运输路线，道路布置等。

5.2.0.3 施工时采用专用小型机械设备，避免填料混合，同时避免对填料底部防渗层及管道的损害。填料采用自卸汽车运输，轮式装载机入仓，长臂单斗挖掘机配合人工摊平的办法。上层填料达到设计高度后应在设计技术人员的指导下试水浸泡填料，并用填料将湿陷部分补足。

5.2.0.4 所有可以用水清洗的填料在进场前均需使用清水冲洗多次，尽量减少填料表面碎屑及积泥。以免堵塞湿地及管道系统。

5.2.0.5 分层填料铺设时应严格按照设计高度找平，在填料过程前，在池体墙面上弹线画出料面应填筑高程（算上预留沉降量），在单元池内以 15 米 × 15 米的间距设立标尺，以保证填料厚度的挖掘机粗找平控制，细找平控制高程时，主要采用人工两边按照画出的料面高程拉线，人工配合挖掘机和 3 米长 100mm × 50mm 的木刮杠顺线找平。

5.2.0.6 铺设方式：在安装好底部的排空管和通气管后，填料自下而上逐层铺设，上表层填料铺设完毕后安装布水和集水管道，再将填料顶端补足至设计的标高/高度（按设计要求将布、集水管盖于填料以下）。

5.2.1 湿地进水、出水系统施工

湿地外部管道为钢管，从水源处引入湿地布水渠内。布水渠在通过一系列阀井布水井，流入湿地单元池内。

湿地内管主要为湿地单元内部布水、集水管道，管径为 dn110、dn200 和 dn300 三种，属重力流管道工，程选用低压给水 PVC-U 管。由于湿地布水和集水面积较大，布水管道和

集水管道需要开孔。湿地内管主要铺设在湿地填料过程中，分上层布水管和集水管，下层排空管，除接阀井的干管外，其他管道均为开孔花管。布水和集水开孔花管管径 110mm，间隔 2m，底部排空集水管道管径 200mm，间隔 5m。开孔花管均为孔道布集水，管头密封。见（图 5.2.1 湿地管道系统图）布水管和集水管安装时应严格控制其开孔中心与管道中心方向夹角，管道安装前均需在管端设置堵口，以免填料滑入其中，造成管道堵塞。

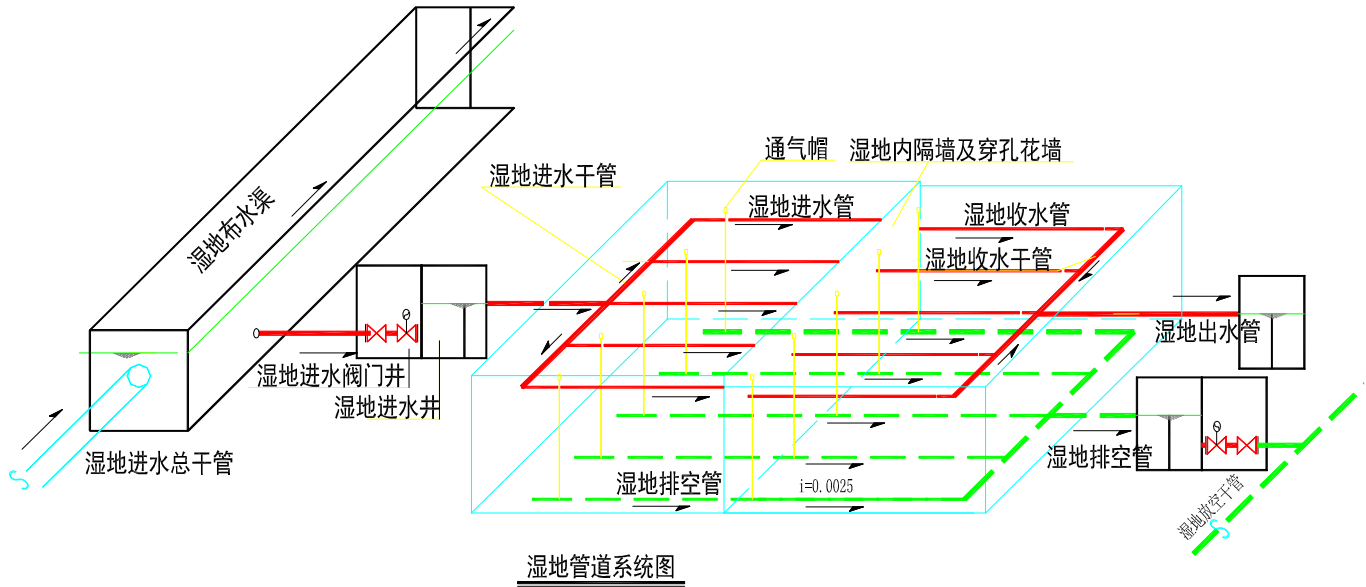


图 5.2.1 湿地管道系统图

5.2.1.1 底层管道为管径 DN200mm 的四孔排空花管,坡度为 0.002,排空管道联通单元上下行。在铺设无纺布后填料前布设安装，安装时圆孔与水平呈 45° 角(见图 5.2.1.1 DN200 排空花管详图)。排空管在各个单元池首端安装竖向通气管，上端设置通风帽，其高度应符合设计要求，在管道安装完成后及时将通气帽安装上，避免施工过程中杂物进入（平面布置图及透气管大样图图见图 5.2.1.1-2 排空管布置平面图、图 5.2.1.1-3 排空管透气管大样图）。

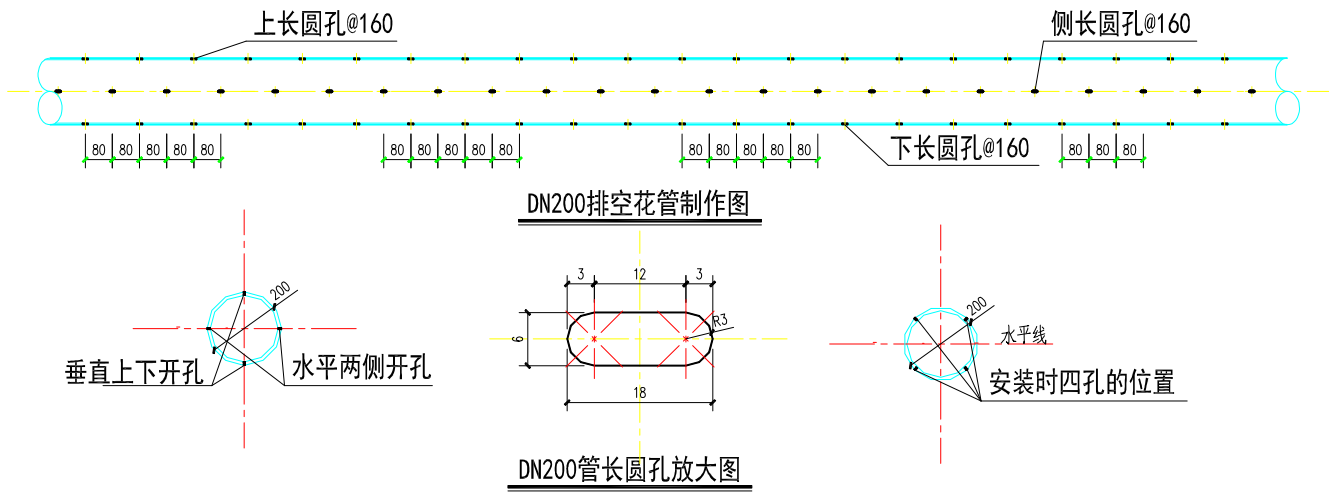


图 5.2.1.1-1 DN200 排空花管详图

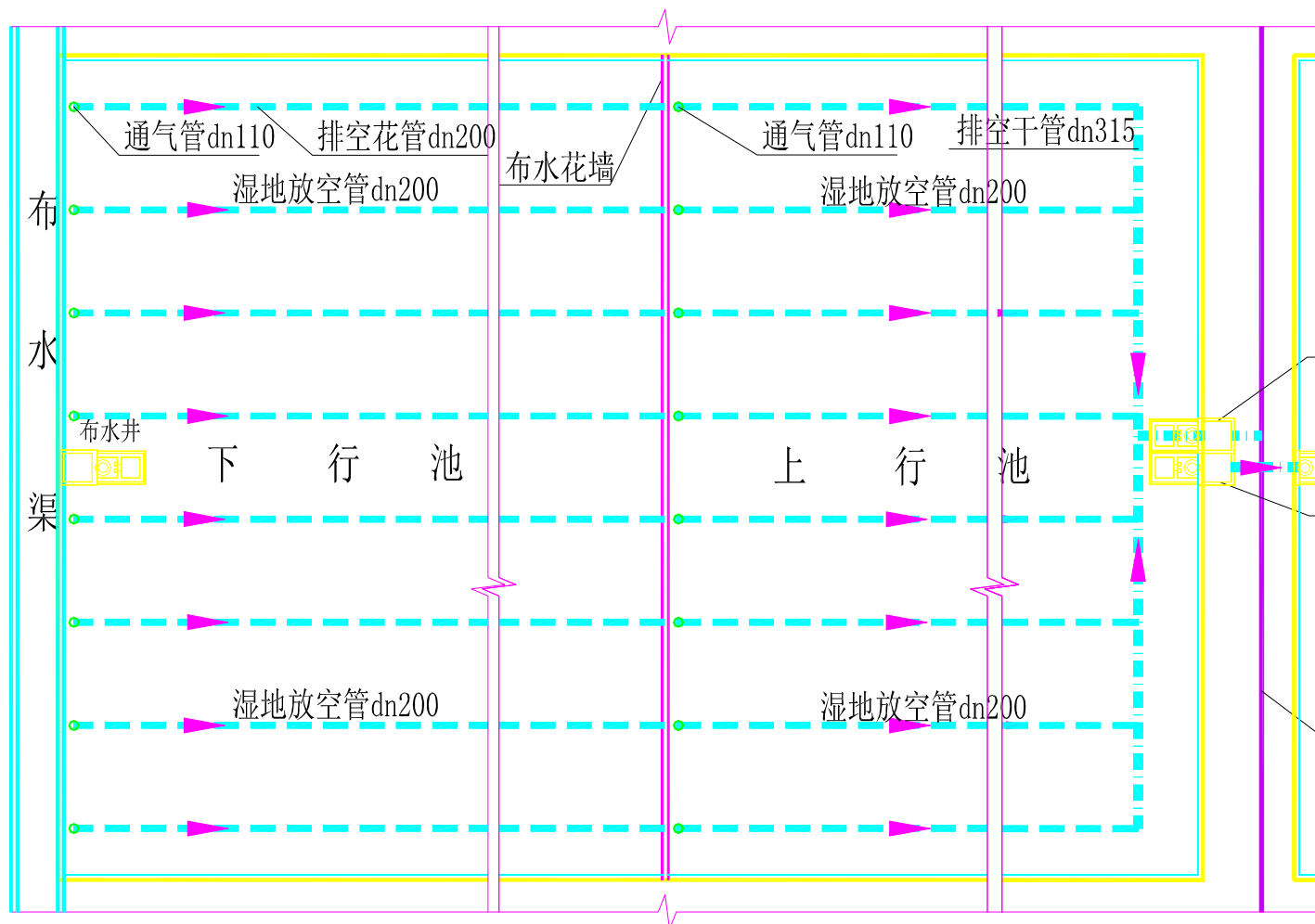


图 5.2.1.1-2 排空管布置平面图

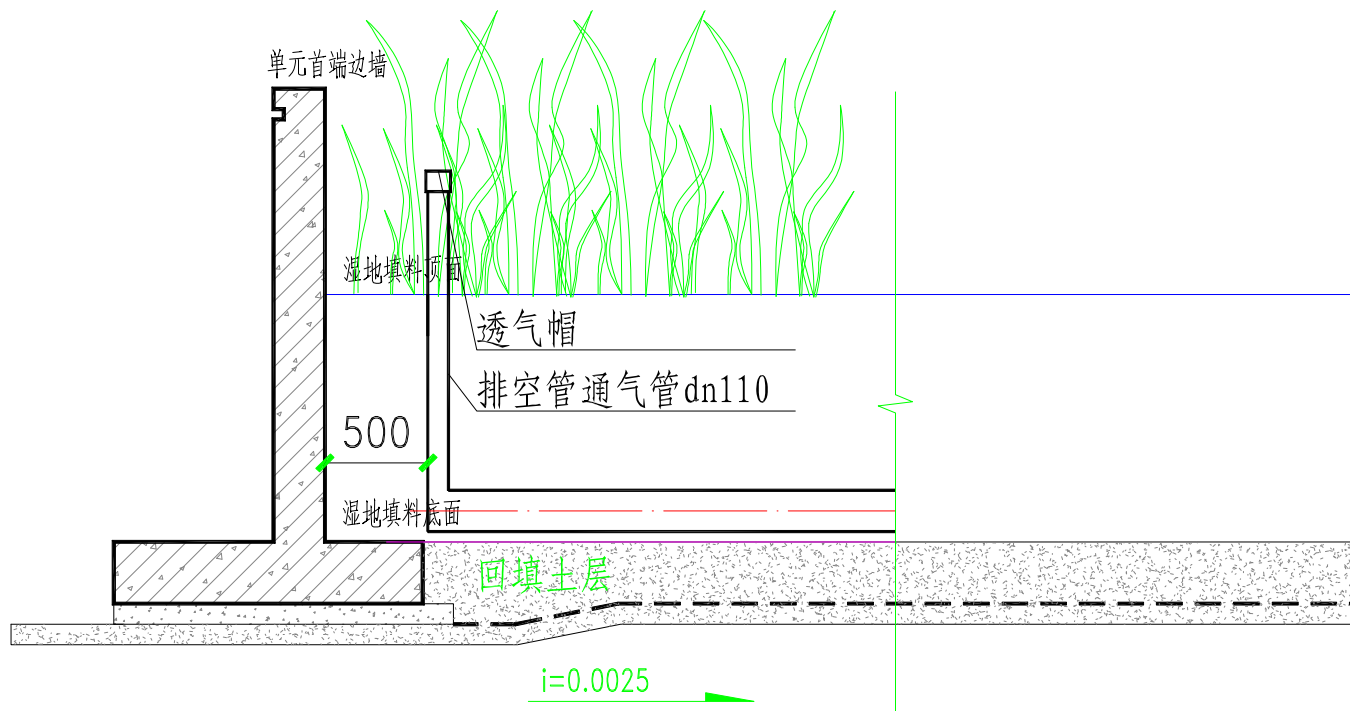


图 5.2.1.1-3 排空管透气管大样图

5.2.1.2 下行单元池管道安装布设

下行单元池上层管道为管径 DN110mm 的两孔布水花管,坡度为 0.002, 在铺设无纺布后填料前布设安装, 安装时两圆孔向下, 与水平呈 45° 角 (见图 5.2.1.2-1 DN110 布水花管详图、图 5.2.1.2-2 布水花管布置平面图)。

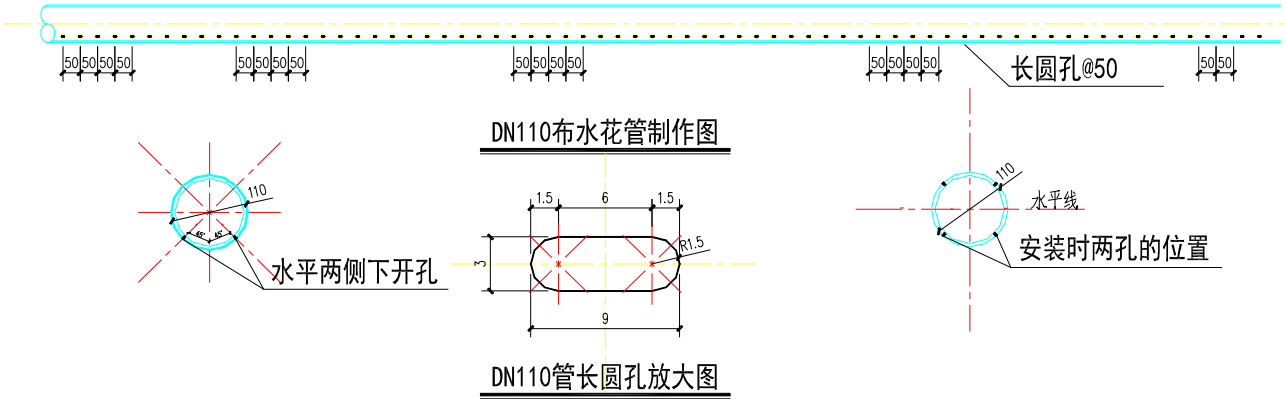


图 5.2.1.2-1DN110 布水花管详图

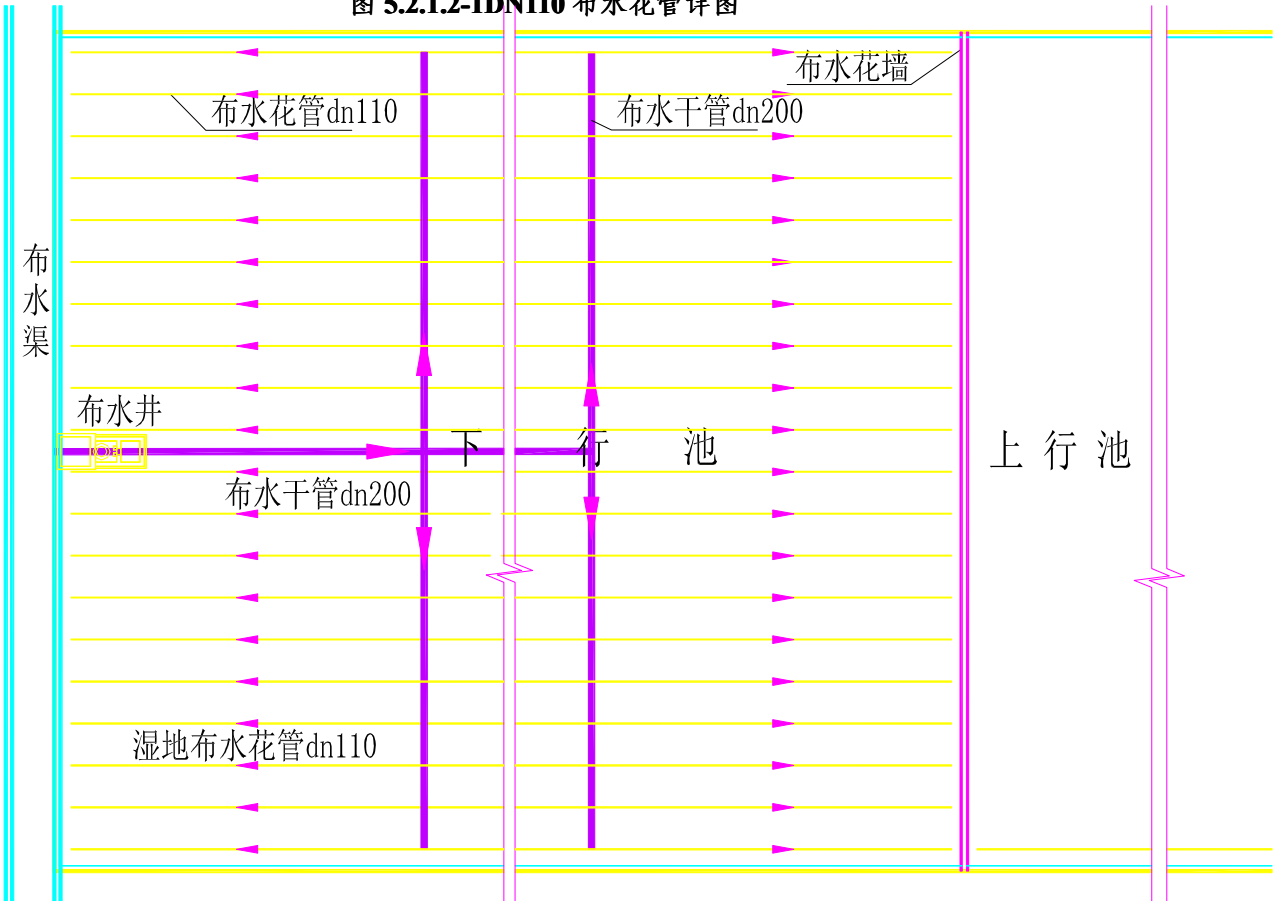


图 5.2.1.2-2 布水花管布置平面图

5.2.1.3 上行单元池管道安装布设

上行单元池上层管道为管径 DN110mm 的两孔布水花管,坡为 0.002, 在铺设无纺布后填料前布设安装, 安装时两圆孔向下, 与水平呈 45° 角(见图 5.2.1.3-1 DN110 集水花管详图及图 5.2.1.3-2 集水花管布置平面图)。

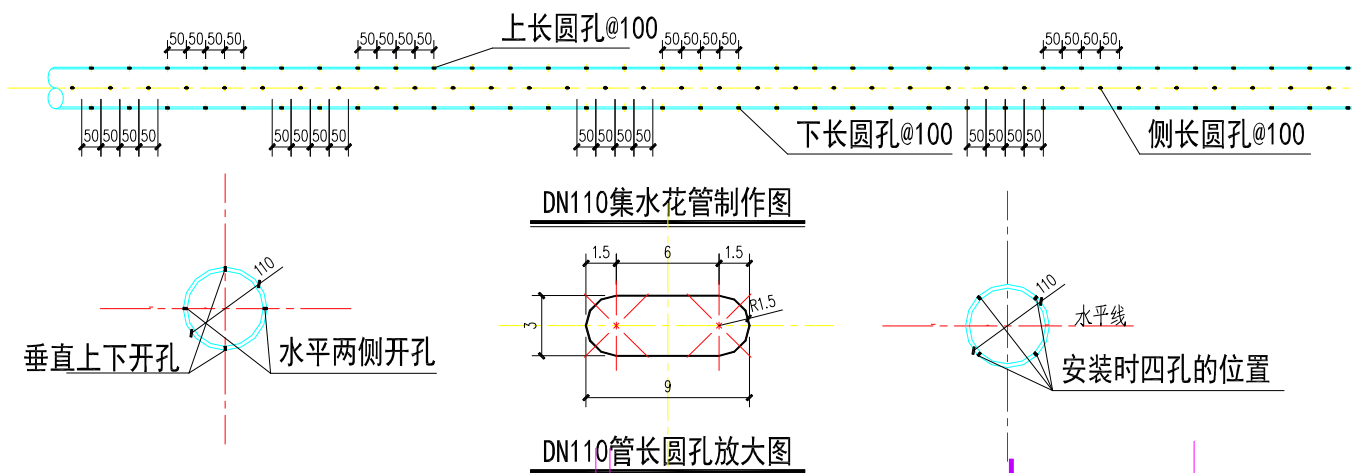


图 5.2.1.3-1DN110 集水花管详图

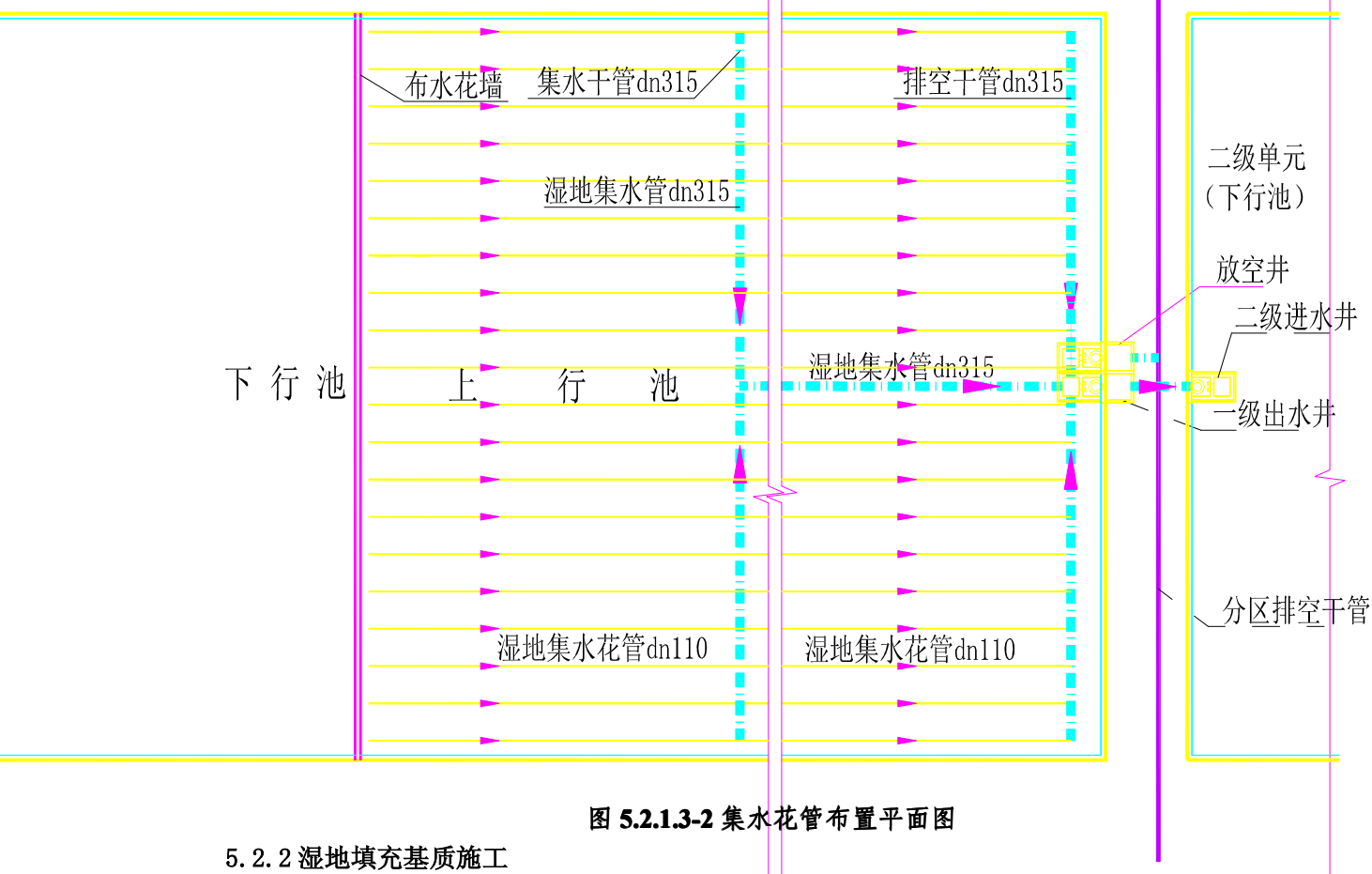


图 5.2.1.3-2 集水花管布置平面图

5.2.2 湿地填充基质施工

本工法主要基质材料要求

1、填料基质种类(表 5.2.2.1)

表 5.2.2.1 填料基质种类及规格用途

序号	品名	粒径 (mm)	单位	用途	种类
1	湿地填料 1	粒径 4~8	m ³	潜流湿地填料	碎石
2	湿地填料 2	8~16	m ³	潜流湿地填料	陶粒
3	湿地填料 3	16~32	m ³	潜流湿地填料	碎石
4	湿地填料 4	32~64	m ³	潜流湿地填料	碎石

5	湿地填料 5	8~16	m ³	潜流湿地填料	碎石
6	湿地填料 6	16~32	m ³	潜流湿地填料	火山岩

2、基质回填（见图 5.2.2.1 典型上下行单元池填料布置图）

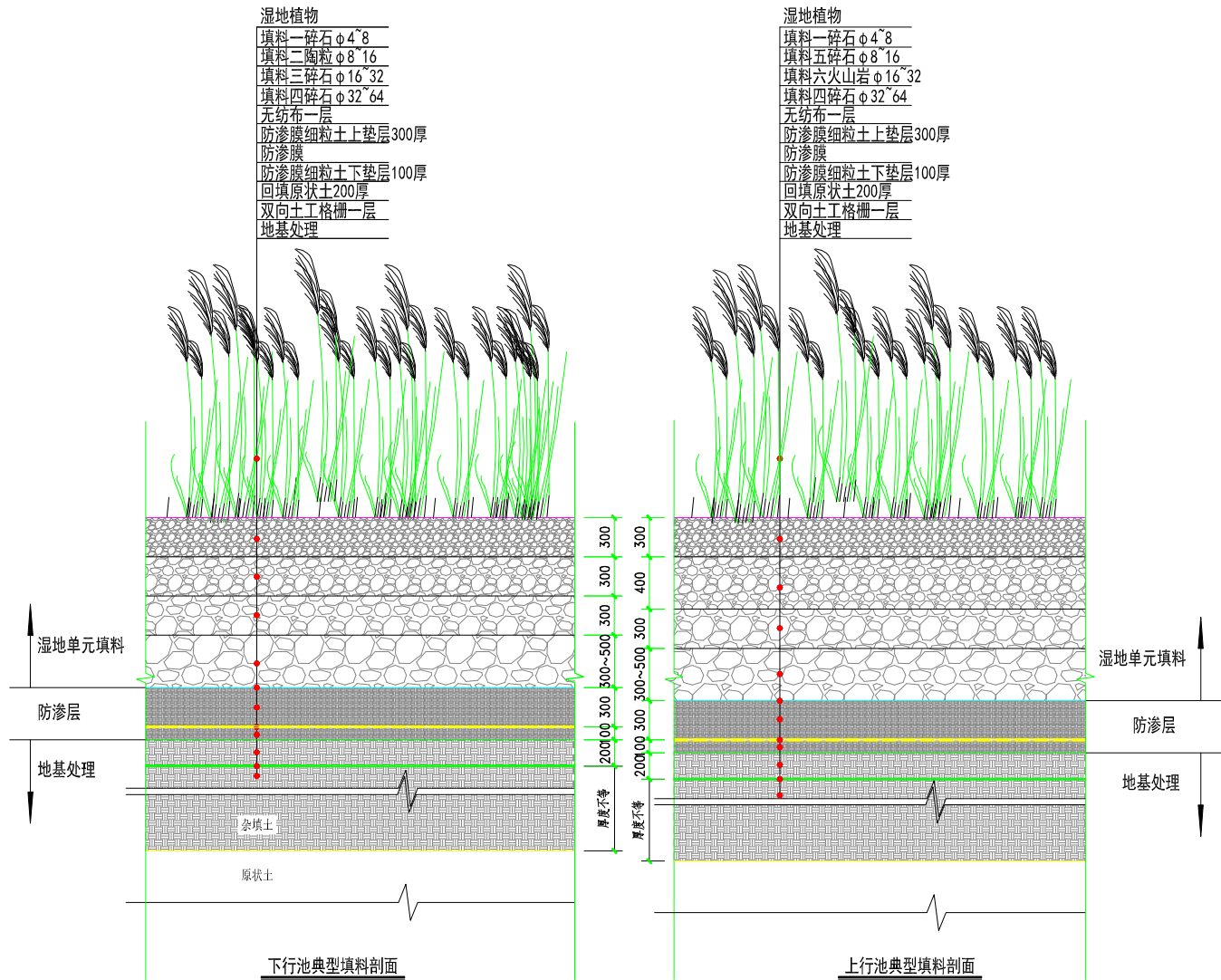


图 5.2.2.1 典型上下行单元池填料布置图

- 1) 基质回填过程中不得把外部泥土带入湿地工作面内，同时防止运料车斗内粉末倒入湿地工作面内。
- 2) 各级粒料应按设计要求严格分层装填。
- 3) 湿地单元粒料回填时应注意管道安全，避免管道损坏及细料从花管孔隙或管口进入管内，如出现管道损坏应立即停止回填，并将损坏管修好后才能继续填筑。
- 4) 回填施工要求采用后退施工，避免对结构及粒料的碾压。
- 5) 填料过程中，为防止破坏底层防渗结构，填料层要达到 600mm（包括 300mmPE 膜上的细粒土保护层）后才能在料面上使用机械施工，因此先在池内利用底层（300-500mm 厚）碎石铺设一条池内环形道路。
- 6) 最上层填料粒径为 4-8mm，粒径较小，为防止堵塞上层布水管及集水管孔洞，故在布水管及积水管两侧各 50cm 宽，深度为此填料层高的范围内布设 16-32mm 碎石。如下图



图 5.2.2.1-1 布水（集水）管周边填料布置图

7) 由于最上层填料和布管的关系是先将 4~8mm 的填料全单元池填平，然后人工管线挖出管沟，安装管道，填筑 16~32mm 碎石，最后将整个池面找平至设计标高。为了避免材料的多次倒运，在最上一层填料前，先计算好本池内的管路体积和最后准备填筑的 16~32mm 碎石的体积。折减这部分材料后，计算出最上一层 4~8mm 的实际填筑高度，人工找平后，才进行挖管沟安装管道，挂线填筑 16~32mm 石子，最后将挖出的 4~8mm 的填料找平表面。

8) 填料的最上表层在管道布置完成后的高程找平是关键中的关键，必须专人负责挂线刮杠找平，以便最后池内通水后造成整个池面由于填料不平，呈现在个别部位高出水面 5~6cm，个别部位还在水面以下几厘米的水中岛现象，处理起来相当费时。

5.3 湿地填充基质施工

湿地区域内单元划分较多，隔墙、隔堤、边墙较多、管道布置较多，工序交叉多，这样就形成了各个单元区域之间既独立存在又相互联系。针对上述特点，对湿地填料的埋设部署如下：

1、湿地填料施工部署要服从施工总体安排，同时要结合防渗层施工、管道铺设、土工材料铺设、湿地隔墙等进行。

2、湿地填料单元的划分同防渗层单元划分，即：按照设计单元划分进行，同时结合防渗层施工、填料的填筑等进行。在每个单元内部，根据设计填料的种类进行填料埋设，同时要在相应部位结合安装放空管、布水管、集水管。

3、在各单元隔墙花墙浇筑时，要合理预留施工口，以供回填时材料设备进出。

4、为保证填料时不对已经安装完成的管道造成破坏，靠近管道的填料采用人工回填，施工机械只把填料送入回填面附近即可。在每个单元池最后封堵的隔墙浇筑之前，计算好所缺填料数量，在紧邻封堵隔墙的单元池开始填料至可以进入施工机械时，将前一个填料封堵隔墙附近的缺料及时用装载机填入，配合人工完成最后的找平工作。

5、因为部分基质需要水洗，根据施工组织设计单元施工填料的先后，设计一处洗料和堆料场地，洗料堆料场地采用 150cm 厚，C20 砼浇筑的场地上进行，洗料可以采用装载机上料，高压水冲洗，电动筛和皮带机进行堆料，根据填料进度配置洗料设备。

5.4 劳动力组织（见表 5-1）

以此类工程单元池为 75m 长 × 40m 宽计算，需要以下人员即可满足填料及安装管道等工作。

表 5-1 劳动力组织情况表

序号	单项工程	所需人数	备注
1	管理人员	4	含车辆调度
2	技术人员	4	含测量人员
3	管道施工	6	
4	填料施工	10	
	合计	24 人	

6.机械设备

本工法采用的机具设备见表 6-1

以此类工程单元池为 75m 长 × 40m 宽计算，需要以下机械设备即可满足填料及安装管道等工作。

表 6-1 机具设备

序号	设备名称	设备要求	单位	数量	用途
1	液压挖掘机	PC60-8	辆	2	摊铺基质
2	轮式装载机	LG833	台	6	运送填料基质
3	高压水泵		台	2	冲洗填料基质

7.质量控制

7.1 原材料质量保证

由于填料量较大，材料的统一和在使用过程中保持一致是关键。

7.1.1 在选择填料厂家时进行取样试验，满足各项设计指标。

7.1.2 签订材料采购合同时供货厂家必须有足够的供应量。

7.1.3 在施工过程中严格按照批次抽样试验检测，发现不符合要求的材料及时清退出场和处理。

7.1.4 基质的原材料应符合设计要求，不含可见泥土、粉屑、有机杂质。铺填前水洗，洗后总含泥量：<1%

7.1.5 湿地分层填料均须严格达到设计厚度。填料表面层平整，无隆起或坑洼。

7.1.6 管道、阀门验收均须按照《给水排水管道工程施工及验收规范 GB50268-2008》中相关要求及有关规范执行。湿地系统所有构筑物、管道、阀门、填料安装均须达到设计标高，确保满足湿地系统正常安全运行。

7.1.7 碎石或卵石在运输、装卸和堆放过程中，应防止颗粒离析和混入杂质、并按产地、种类和规格分别堆放。堆料高度不宜超过 5m，对最大粒径不超过 20mm 的连续粒级，堆料高度可以增加至 10m。

7.1.8 各种开孔管道，打孔大小位置及管道安装均须严格达到设计要求。

7.2.9 湿地系统运行稳定后，出水达到设计标准。

7.2 控制影响观感的要素

7.2.1 人员素质。

通过岗位培训、技术交底、经验总结和岗位责任制的落实等手段，规范操作行为，明确外观质量标准，从而杜绝外观隐患的发生。

7.2.2 材料质量

单元池内的各种材料质量的优劣，不但影响结构运行后的净化效果和设计标准，同时还会影响外观。

此类工程需用管道较多，且多要进行加工打孔，为了更好地保证管材的打孔统一性和水净化效果，各种管道均要符合设计要求，并且直接从供货商处定制已加工打好孔的管道，防止自己加工，出现尺寸，位置的偏差现象。

7.3 机械设备

经常清洗机械设备，防止其将泥土等其他影响水源净化的物质带入单元池内。

8.安全措施

8.1 安全防范重点

此类工程施工过程中需用的设备较多，装载机、载重汽车、小型挖掘机等，所以安全防范重点为：安全防护、机械安全。

8.2 各主要项目安全措施

8.2.1 各种机械要有专人负责维修、保养，并经常对机械的关键部位进行检查，预防机械故障及机械伤害的发生。

8.2.2 各种设备操作，必须持有特殊工种操作证人员进行，严禁无证人员驾驶。

8.2.3 对所有用于提升的挂钩、挂环、钢丝绳等进行定期检测、检查和标定，如有损坏或使用不当之处立即更换。

8.2.4 各种机械设备视其工作性质、性能的不同搭设防尘、防雨、防砸、防噪音工棚等装置，机械设备附近设标志牌、规则牌和详细的安全操作要点。

9.环保措施

9.0.1 成立对应的施工环境卫生管理机构，在工程施工过程中严格遵守国家和地方政府下发的有关环境保护的法律、法规和规章，加强对施工燃油、工程材料、设备、废水、生产生活垃圾、弃渣的控制和治理，遵守有防火及废弃物处理的规章制度，做好交通环境疏导，充分满足便民要求，认真接受城市交通管理，随时接受相关单位的监督检查。

9.0.2 将施工场地和作业限制在工程建设允许的范围内，合理布置、规范围挡，做到标牌清楚、齐全，各种标识醒目，施工场地整洁文明。

9.0.3 对施工中可能影响到的各种公共设施制定可靠的防止损坏和移位的实施措施，加强实施中的监测、应对和验证。同时，将相关方案和要求向全体施工人员详细交底。

9.0.4 优先选用先进的环保机械。采取设立隔音墙、隔音罩等消音措施降低施工噪音到允许值以下，同时尽可能避免夜间施工。

9.0.5 填料量大，场地扬尘是实际施工中关键需用采取的措施的阶段，要配备专用洒水车不停洒水，防止尘土飞扬，污染周围环境，并对主要临时施工道路进行硬化。

10.效益分析

10.0.1 本工法通过介绍充分的了解水源净化的过程及施工要点难点，将各种填料基质合理堆放，减少二次运输的距离。通过对各装载机的编号，使其固定导入相对应的填料基质，通过施工的调配，合理的安排路线，在填料过程中不仅能使各种基质填筑时分层清晰，而且加速了填料的进度。通过与供应商的协商，采用了直接定制开孔花管的方法，大大节省了材料，减少了投资，为以后城市湿地在类似情况下的规划建设提供了可靠的决策依据和技术指标，新颖的工法技术将促进湿地工程施工技术进步，社会效益和环境效益明显。

10.0.2 由于工程并联的池体过多，施工区域有限，合理利用场地，安排堆料、填料与花墙隔墙施工的进度，在花墙隔墙的施工预留洞口上，合理安排填料路线使其在交叉过程中，互不影响，加快了施工进度，比计划工期提前两个月完成了单元池填料工作，产生了较好的经济效益和社会效益。