



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106193261 A

(43)申请公布日 2016.12.07

(21)申请号 201610707102.6

(22)申请日 2016.08.24

(71)申请人 中国水利水电科学研究院  
地址 100048 北京市海淀区车公庄西路20号中国水科院旧主楼416

(72)发明人 曾平 张丽丽 钟莉 鲁欣  
冷艳杰 焦剑 张婷

(74)专利代理机构 北京国林贸知识产权代理有限公司 11001  
代理人 李桂玲 李富华

(51)Int.Cl.  
E03F 5/10(2006.01)  
E03F 5/14(2006.01)  
E02B 1/00(2006.01)  
E02B 3/16(2006.01)

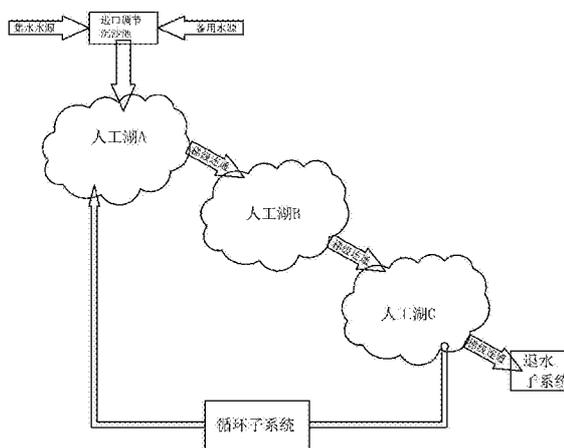
权利要求书3页 说明书11页 附图2页

(54)发明名称

一种湿陷性黄土地区雨洪集蓄梯级人工湖系统和设计方法

(57)摘要

本发明涉及一种湿陷性黄土地区雨洪集蓄梯级人工湖系统和设计方法,包括:进口调节沉沙池,所述进口调节沉沙池与至少两个以上具有防湿陷层和防渗层的人工湖泊连接,所述各人工湖泊依次按高度排列形成阶梯并连接,最低水位的湖泊还设有退水子系统。针对湿陷性黄土这一十分特殊的地质条件,本发明在使用现代防渗、防漏措施的同时,在储存系统的整体结构上采用的阶梯人工湖的方式,控制单个人工湖的体积,使湿陷性黄土有限的承载能力,承载更大的储水量。在蓄水防洪的同时,利用人工湖培育水生植物和陆生植物,形成人工滩地和湿地,并利用水流落差建造人工水景观,在改善环境的同时为人们提供观赏游览的场所。



1. 一种湿陷性黄土地区雨洪集蓄梯级人工湖系统,其特征在于,包括:进口调节沉沙池,所述进口调节沉沙池与至少两个以上具有防湿陷层和防渗层的人工湖泊连接,所述各人工湖泊依次按竖向高度排列形成阶梯并连接,最低水位的湖泊还设有退水子系统。

2. 根据权利要求1所述的人工湖系统,其特征在于,进口调节沉沙池上游设有分流控制子系统,所述的分流控制子系统包括:控制涵闸和涵闸自动控制分系统,所述的控制涵闸上游与城市雨水集水管网连接,所述的控制涵闸下游分岔为与退水系统连接和与进口调节沉沙池连接。

3. 根据权利要求1所述的人工湖系统,其特征在于,所述的人工湖包括:深水区、浅水区、缓坡区、滩地区。

4. 根据权利要求1所述的人工湖系统,其特征在于,所述防湿陷层包括:人工翻夯层和10%水泥土层或三七灰土层,压实系数大于等于0.95,地基处理深度大于等于80cm。

5. 根据权利要求4所述的人工湖系统,其特征在于,所述的防渗层包括:复合土工膜和上垫层,所述的上垫层为30~50cm厚的压实素土。

6. 根据权利要求4所述的人工湖系统,其特征在于,所述的复合土工膜为:大于等于700g/m<sup>2</sup>两布一膜复合土工膜,膜材厚度大于0.3mm。

7. 根据权利要求1所述的人工湖系统,其特征在于,所述的人工湖系统还设有循环子系统,所述的循环子系统是:最高水位的上游湖泊与最低水位的下游湖泊之间通过管道连接循环泵站。

8. 根据权利要求1-7之一所述的人工湖系统,其特征在于,所述的退水子系统包括:溢流堰、泄洪闸和消力池。

9. 一种设计上述权利要求所述人工湖系统的设计方法,其特征在于,所述的设计方法步骤如下:

一、人工湖体系统规模确定:

(1)集雨效率和集雨径流量:

根据上游集雨场区地势分布以及雨水管网分区布置条件、不同材料集流面在不同年降雨量地区的年集流效率,采用各集雨分区集雨面积加权平均法确定整个集雨场的集流效率;

设计年频率条件下的各集雨分区可集蓄径流量计算如下:

$$W = F \times \phi \times P_p$$

式中:W——集雨面年可集蓄径流量,单位m<sup>3</sup>;F——集雨面积,单位m<sup>2</sup>;j——集流效率;P<sub>p</sub>——降雨频率为p的年降雨量,单位m;

(2)设计洪峰流量及洪量:

在湿陷性黄土地区用于雨洪集蓄的梯级人工湖体系统各集雨分区均属小流域,分别采用地区经验公式法、推理公式法和地区暴雨强度公式法计算设计洪水,再通过综合比较分析论证,确定设计洪水计算方法和计算成果;

(3)集蓄雨水资源利用方案:

集蓄水资源配置原则:在满足生活用水、生态需水的前提下安排生产用水;生产用水中,优先考虑农业用水,保证粮食安全;多余水量可进行工业用水与商业用水配置;

人工湖体系统兴利计算原则:

雨水集蓄利用、水土保持是人工湖系统建设的两大主要目标；

人工湖体系统防洪调蓄原则：

人工湖系统雨洪水集蓄为年调节，兴利调节计算选取中等枯水年；

集蓄雨水资源利用方案每年提供一定数量的灌溉水资源；

兴利调节计算：根据工程区域水文气象条件，以及水资源利用条件，兴利调节计算选取中等枯水年工况进行年内调节计算；人工湖面蒸发损失按当月水面积乘以水面蒸发水深计算；渗漏损失按月末湖体水量的0.5%~10%计算；

二、梯级数量的选择：

梯级数量的确定取决于进水系统设计洪峰流量、梯级人工湖水系调洪库容和退水系统设计下泄流量，计算方法如下：

$$\text{第1级: } q_{1,p} = Q_p \left( 1 - \frac{V_1}{W_p} \right)$$

$$\text{第2级: } q_{2,p} = q_{1,p} \left( 1 - \frac{V_2}{(W_p - V_1)} \right)$$

.....

$$\text{第n级: } q_{n,p} = q_{n-1,p} \left( 1 - \frac{V_n}{(W_p - V_1 - V_2 - \dots - V_{n-1})} \right)$$

式中， $Q_p$ 为设计频率 $p$ 所对应的入库洪峰流量；

$W_p$ 为设计频率 $p$ 所对应的入库洪量；

$V_n$ 为第 $n$ 梯级人工湖调洪库容；

$q_{n,p}$ 为设计频率 $p$ 所对应的第 $n$ 梯级人工湖下泄流量；

通过上述计算过程，结合各级人工湖库容曲线和最高洪水水位的设计，以进水系统设计洪峰流量 $Q_p$ 通过反复迭代计算推求满足退水系统设计下泄流量的最优梯级数量及各梯级库容，下泄流量的设定需满足下游河道及建筑物的设计要求；

三、人工湖体结构布置：

按照湿陷性黄土地区人工湖水深和功能的不同，分为深水区、浅水区、缓坡区和滩地区四大类型，各区均需进行防湿陷性处理和防渗处理，所述各区具体分布如下：

深水区：主要功能是形成蓄水库容，构造人工湖区主要湖体，除满足护坡护砌结构要求条件外，还应考虑湖体防渗层结构的稳定布置，布置在人工湖底深水平底区域；

浅水区：浅水区除满足护坡护砌结构要求条件外，更多地应考虑充分利用浅水植物、湿生植物、浅水型大缓坡构造生态型水景观空间，布置在人工湖区正常蓄水位以下的浅水区域，设计正常水深0.1~0.7m；

缓坡区：设计开挖边坡尽量缓，但需要考虑占地面积问题，布置在浅水区以上的缓坡区，坡度取为1:3.0~1:5.0；

滩地区：底坡皆设计砂砾石滤层，设计坡度为1:5.0~1:10.0。

10. 根据权利要求9所述的设计方法，其特征在于，所述防湿陷性处理和防渗处理为：

防湿陷性处理：

在岩土工程勘察的地基湿陷等级基础上对人工湖各区基础应进行消除地基土湿陷性处理；地基处理深度不小于80cm，采用整片深挖碾压夯填的地基处理方案，先行对湖底基础向下进行翻夯处理，再铺设不小于30cm厚的10%水泥土或三七灰土，压实系数不小于0.95；

防渗处理：

防湿陷性地基处理后铺设复合土工膜，以上铺设30~50cm厚的压实素土作为上垫层，用以保护复合土工膜；湿陷性黄土地区人工湖湖底防渗材料设计选用不小于700g/m<sup>2</sup>两布一膜复合土工膜，膜材厚度大于0.3mm。

## 一种湿陷性黄土地区雨洪集蓄梯级人工湖系统和设计方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种湿陷性黄土地区雨洪集蓄梯级人工湖系统和设计方法,是一种水利设施及设计方法。

### 背景技术

[0002] 湿陷性黄土广泛分布于中国东北、西北、华中和华东部分地区。这些地区的全年雨量并不稀少,但其中有60%以上的降雨集中在7~9三个月,降雨径流的时空分配极不均衡。集中的雨量对湿陷性黄土层完全是破坏性的。湿陷性黄土是一种特殊性质的土,其土质较均匀、结构疏松、孔隙发育。在未受水浸湿时,一般强度较高,压缩性较小。当在一定压力下受水浸湿,土结构会迅速破坏,产生较大附加下沉,强度迅速降低。在大量雨水的冲刷下,湿陷性黄土的缺陷表露无遗,其表面被浸润后,强度下降,迅速崩塌,形成沟壑,沟壑又进一步增加了浸润和崩塌,形成恶性循环。雨季来临时,洪水泛滥,雨水根本无法积存利用,也无法形成湿地等湿润环境的生态环境。雨季过后,地面迅速干枯,形成了干旱。因此,尽管雨季雨量相对丰沛,但湿陷性黄土区域是水资源十分缺乏的干旱地区。

[0003] 由于湿陷性黄土在水的浸润下强度很低,一旦浸润就会崩塌,因此,千百年来,无论是自然或是人工都难以在湿陷性黄土区域形成较大规模的水储存系统。在一些湿陷性黄土层很厚的地区,设置大规模的储水设施十分的艰难。例如:储水用的人工湖,其湖底必须十分谨慎的做防水,一旦泄露将是灾难性的,底部土层在湖水的压力下会更加快速的崩塌,并迅速形成洪流。与一般人工湖不同的是:一般人工湖只是在水坝的位置会出现安全隐患,只需监控水坝,则基本上不会出现大的灾难,而湿陷性黄土上建立的人工湖却处处都是安全隐患。由此看来,在湿陷性黄土区域建立人工湖需要进行系统化研究设计。

[0004] 现代防水技术虽然在一定程度上可以解决地下渗漏和对土层的浸润问题,但对于湿陷性黄土区域这种特殊的地形地貌还远远不够,必须在整体结构上予以考虑,综合解决浸润崩塌的问题。

### 发明内容

[0005] 为了克服现有技术的问题,本发明提出了一种湿陷性黄土地区雨洪集蓄梯级人工湖系统和设计方法。所述的人工湖系统和方法使用阶梯型设置,尽量减少湖水对土层的压力,设置的安全措施将浸润崩塌的危险降得最低。

[0006] 本发明的目的是这样实现的:一种湿陷性黄土地区雨洪集蓄梯级人工湖系统,包括:进口调节沉沙池,所述进口调节沉沙池与至少两个以上具有防湿陷层和防渗层的人工湖泊连接,所述各人工湖泊依次按竖向高度排列形成阶梯并连接,最低水位的湖泊还设有退水子系统。

[0007] 进一步的,所述的进口调节沉沙池上游设有分流控制子系统,所述的分流控制子系统包括:控制涵闸和涵闸自动控制分系统,所述的控制涵闸上游与城市雨水集水管网连接,所述的控制涵闸下游分岔为与退水系统连接和与进口调节沉沙池连接。

[0008] 进一步的,所述的人工湖包括:深水区、浅水区、缓坡区、滩地区。

[0009] 进一步的,所述防湿陷层包括:人工翻夯层和10%水泥土层或三七灰土层,压实系数大于等于0.95,地基处理深度大于等于80cm。

[0010] 进一步的,所述的防渗层包括:复合土工膜和上垫层,所述的上垫层为30~50cm厚的压实素土。

[0011] 进一步的,所述的复合土工膜为:大于等于700g/m<sup>2</sup>两布一膜复合土工膜,膜材厚度大于0.3mm。

[0012] 进一步的,所述的人工湖系统还设有循环子系统,所述的循环子系统是:最高水位的上游湖泊与最低水位的下游湖泊之间通过管道连接循环泵站。

[0013] 进一步的,所述的退水子系统包括:溢流堰、泄洪闸和消力池。

[0014] 一种设计上述人工湖系统的设计方法,所述的设计方法步骤如下:

#### 一、人工湖体系统规模确定:

##### (1)集雨效率和集雨径流量:

根据上游集雨场区地势分布以及雨水管网分区布置条件、不同材料集流面在不同年降雨量地区的年集流效率,采用各集雨分区集雨面积加权平均法确定整个集雨场的集流效率;

设计年频率条件下的各集雨分区可集蓄径流量计算如下:

$$W = F \times \phi \times P_p$$

式中:W——集雨面年可集蓄径流量,单位m<sup>3</sup>;F——集雨面积,单位m<sup>2</sup>;j——集流效率;P<sub>p</sub>——降雨频率为p的年降雨量,单位m;

##### (2)设计洪峰流量及洪量:

在湿陷性黄土地区用于雨洪集蓄的梯级人工湖体系统各集雨分区均属小流域,分别采用地区经验公式法、推理公式法和地区暴雨强度公式法计算设计洪水,再通过综合比较分析论证,确定设计洪水计算方法和计算成果;

##### (3)集蓄雨水资源利用方案:

集蓄水资源配置原则:在满足生活用水、生态需水的前提下安排生产用水;生产用水中,优先考虑农业用水,保证粮食安全;多余水量可进行工业用水与商业用水配置;

人工湖体系统兴利计算原则:

雨水集蓄利用、水土保持是人工湖系统建设的两大主要目标;

人工湖体系统防洪调蓄原则:

人工湖系统雨洪水集蓄为年调节,兴利调节计算选取中等枯水年;

集蓄雨水资源利用方案每年提供一定数量的灌溉水资源;

兴利调节计算:根据工程区域水文气象条件,以及水资源利用条件,兴利调节计算选取中等枯水年工况进行年内调节计算;人工湖面蒸发损失按当月水面积乘以水面蒸发水深计算;渗漏损失按月末湖体水量的0.5%~10%计算;

#### 二、梯级数量的选择:

梯级数量的确定取决于进水系统设计洪峰流量、梯级人工湖水系调洪库容和退水系统设计下泄流量,计算方法如下:

$$\text{第1级: } q_{1,p} = Q_p \left( 1 - \frac{V_1}{W_p} \right)$$

$$\text{第2级: } q_{2,p} = q_{1,p} \left( 1 - \frac{V_2}{(W_p - V_1)} \right)$$

.....

$$\text{第n级: } q_{n,p} = q_{n-1,p} \left( 1 - \frac{V_n}{(W_p - V_1 - V_2 - \dots - V_{n-1})} \right)$$

式中,  $Q_p$  为设计频率  $p$  所对应的入库洪峰流量;

$W_p$  为设计频率  $p$  所对应的入库洪量;

$V_n$  为第  $n$  梯级人工湖调洪库容;

$q_{n,p}$  为设计频率  $p$  所对应的第  $n$  梯级人工湖下泄流量。

[0015] 通过上述计算过程,结合各级人工湖库容曲线和最高洪水位的设计,以进水系统设计洪峰流量  $Q_p$  通过反复迭代计算推求满足退水系统设计下泄流量的最优梯级数量及各梯级库容,下泄流量的设定需满足下游河道及建筑物的设计要求;

### 三、人工湖体结构布置:

按照湿陷性黄土地区人工湖水深和功能的不同,分为深水区、浅水区、缓坡区和滩地区四大类型,各区均需进行防湿陷性处理和防渗处理,所述各区具体分布如下:

**深水区:** 主要功能是形成蓄水库容,构造人工湖区主要湖体,除满足护坡护砌结构要求条件外,还应考虑湖体防渗层结构的稳定布置,布置在人工湖底深水平底区域;

**浅水区:** 浅水区除满足护坡护砌结构要求条件外,更多地应考虑充分利用浅水植物、湿生植物、浅水型大缓坡构造生态型水景观空间,布置在人工湖区正常蓄水位以下的浅水区域,设计正常水深 0.1~0.7m;

**缓坡区:** 设计开挖边坡尽量缓,但需要考虑占地面积问题,布置在浅水区以上的缓坡区,坡度取为 1:3.0~1:5.0;

**滩地区:** 底坡皆设计砂砾石滤层,设计坡度为 1:5.0~1:10.0。

[0016] 进一步的,所述防湿陷性处理和防渗处理为:

#### 防湿陷性处理:

在岩土工程勘察的地基湿陷等级基础上对人工湖各区基础应进行消除地基土湿陷性处理;地基处理深度不小于 80cm,采用整片深挖碾压夯填的地基处理方案,先行对湖底基础向下进行翻夯处理,再铺设不小于 30cm 厚的 10% 水泥石土或三七灰土,压实系数不小于 0.95;

#### 防渗处理:

防湿陷性地基处理后铺设复合土工膜,以上铺设 30~50cm 厚的压实素土作为上垫层,用以保护复合土工膜;湿陷性黄土地区人工湖湖底防渗材料设计选用不小于 700g/m<sup>2</sup> 两布一膜复合土工膜,膜材厚度大于 0.3mm。

[0017] 本发明产生的有益效果是:针对湿陷性黄土这一十分特殊的地质条件,本发明在使用现代防渗、防漏措施的同时,在储存系统的整体结构上采用的阶梯人工湖的方式,控制

单个人工湖的体积,使湿陷性黄土有限的承载能力,承载更大的储水量。在蓄水防洪的同时,利用人工湖培育水生植物和陆生植物,形成人工滩地和湿地,并利用水流落差建造人工水景观,在改善环境的同时为人们提供观赏游览的场所。

### 附图说明

[0018] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。

[0019] 图1是本发明的实施例一、七所述人工湖系统的原理示意图;

图2是本发明实施例二所述带有分流控制子系统的人工湖系统原理示意图;

图3是本发明的实施例四、五所述防湿陷性层和防渗层的结构示意图。

### 具体实施方式

[0020] 实施例一:

本实施例是一种湿陷性黄土地区雨洪集蓄梯级人工湖系统,如图1所示。本实施例包括:进口调节沉沙池,所述进口调节沉沙池与至少两个以上具有防湿陷层和防渗层的人工湖泊(图1中人工湖A、人工湖B、人工湖C。限于制图的限制,图1中只画出了3个人工湖,实际还可以有4个、5个,或者更多)连接,所述各人工湖泊依次按竖向高度排列形成阶梯并连接,最低水位的湖泊还设有退水子系统。

[0021] 本实施例所述的人工湖体系统根据湿陷性黄土地区土质的特点,设计为梯级人工湖水系结构。由于湿陷性黄土地土质在水流流动的作用下,特别容易被切割,迅速形成沟壑,一旦形成沟壑,加速了水流的流动,形成恶性循环,因此,在湿陷性黄土大量存在的黄土高原形成大量的沟壑,这也是在湿陷性黄土地建立储水设施的难题之一。湿陷性黄土地的一个问题是承载能力较差,大量的湖水可能导致湖底的崩塌。虽然现代防水和湖底工程可以有效的解决这个问题,但限于成本和现场环境的限制,大型的储水工程不能完全用钢筋混凝土建造。根据这一特点,本实施例提出了阶梯型人工湖的方案。将储水区域分割为多个,避免大量储水对湖底的过大压力,同时设置了退水子系统,一旦出现过量水,尽快排出。

[0022] 为解决水流冲击沟壑的问题,在人工湖中设置深水区、浅水区、缓坡区、滩地区,利用湖边侧深浅的变化,隔断水流,使水流难于形成对已经形成沟壑的不断冲击,避免沟壑进一步扩大。同时浅水区和滩地区还可以形成湿地,种植大量水生植物,并形成亲水地带,供游人观赏。

[0023] 所述的人工湖系统主要由进水子系统、梯级人工湖子系统、水体循环子系统、退水子系统组成。

[0024] 1)进水子系统:

进水子系统取水口位置通常选定位于规划区雨水管网局部末端,同时也是雨洪水地面径流流向的低洼区域;下游侧布置雨水汇集集雨口,使上游规划区内集雨面积集雨场的雨洪水皆可自流汇集进入位于人工水系首部的分流控制系统;下游设进口调节沉砂池,将收集后的雨洪水进行预调节、沉砂,然后直接引入梯级人工湖系统;调节沉砂池还可连接处理后达标中水、灌溉过境水源或其他水源进水口,作为必要时的补水水源进水系统。

[0025] 2)梯级人工湖子系统:梯级人工湖系统构建主要人工水体,主湖区根据工程区地形条件自高向低梯级布置,各梯级人工湖体之间水体直接或间接连通,共同构成一体湖的

水域景观。人工湖区可设置中心岛、人工湿地等景观型公共设施,增加人工湖系统的亲水性、游览性。

[0026] 梯级人工湖系统各人工湖体设计库容和设计水位应根据工程区集蓄雨水资源利用方案进行调洪计算和兴利调节计算后确定,以保证人工湖系统满足消减下泄洪峰、保堰防汛的同时,还充分考虑到利用人工湖水系改善区域水生态环境的重要作用。

[0027] 3)水体循环子系统:为保证整个人工水系运行期间的水体循环,维系良好的水体水质,同时构建人工水系各人工水体之间的不同设计水位与设计水头,控制水系运行流量,在梯级人工湖系统下游低位人工湖体与上游高位人工湖体之间布设小型水体循环泵站,从而构建完整的人工水系水体循环系统,同时,人工水系循环弃水可二次循环利用于周边农业及绿化灌溉用水。

[0028] 水体循环的设计流量计算:

在非汛期水系正常运行期,为保证整个人工湖水系运行期间的水体循环,维系良好的湖体水质,在下游低位人工湖体与上游高位人工湖体之间设水体循环泵站,将水体从低水位抽回高水位,实现整个人工水系运行期间的水体循环;水体循环泵站主要在非汛期使用,以20~30天内经将人工湖水体整体交换完毕、每年交换水体8~10次作为运行方案;在水体交换的同时,形成流水景观和跌水景观,促进水体曝气增氧,利于水质改善。

[0029] 按照水系正常运行期(非汛期)满足各溢流坝及跌水形成必要的瀑布水流景观设计,溢流坝上水头应 $\geq 0.10\text{m}$ 。按宽顶堰流公式计算流量为:

$$Q = \sigma \epsilon m b \sqrt{2gH_0}^3$$

式中: $\sigma$  ——淹没系数;

$\epsilon$  ——侧收缩系数;

$m$  ——流量系数;

$b$  ——溢流坝顶宽;

$H_0$  ——堰上水头(计入行近流速水头)。

[0030] 设计时,取最宽的过水建筑物顶宽计算;同时,按照水系正常运行期(非汛期)常水位条件下每20~30天水体完整循环一次设计,水体循环泵站以每天平均工作12小时考虑,通过迭代计算,可得出泵站满足水体循环的设计流量。水体循环的设计流量取上述两个计算流量的较大值。

[0031] 4)退水子系统:梯级人工湖系统下游末端设置退水系统,以保证人工水系的超标准洪水正常下泄,经由泄洪明渠或排洪管道组成的泄洪系统排放,必要时退水系统还可作为整个人工湖系统的运行放空通道。退水系统主要由溢流堰、泄洪闸、消力池等设施构成,设计退水下泄流量应满足人工水系超标准洪水正常下泄的设计要求。

[0032] 各个人工湖之间可以直接通过明渠或暗涵直接连接,也可以通过湿地、水跌、滩地、溢流堰等水景观间接连接。

[0033] 人工湖底部进行防渗层和防湿陷层处理,以避免渗漏。

[0034] 实施例二:

本实施例是实施例一的改进,是实施例一关于人工湖的细化。本实施例的进口调节沉沙池上游设有分流控制子系统,所述的分流控制子系统包括:控制涵闸和涵闸自动控制分

系统,所述的控制涵闸上游与城市雨水集水管网连接,所述的控制涵闸下游分岔为与退水系统连接和与进口调节沉沙池连接,如图2所示。

[0035] 人工湖系统所汇集的雨水可以来自于城市或其他自然环境中,本实施例主要来自于城市集雨区,雨洪水通过城市雨水管网和硬化地面汇集进入人工湖集蓄。降雨初期通常有大量污染物通过地表雨水径流冲刷和大气沉降进入水体,城市人工湖蓄水后,将严重影响水体水质状况,已成为许多雨洪集蓄型人工湖工程不可避免的问题。因此,本实施例在人工湖水系首部的雨水汇集集雨口下游设分流控制系统,使水质较差的雨水分流调控排出至退水子系统,而水质较好的水体全部进入人工湖水系。分流控制系统主要由控制涵闸、自控设备、分流泄洪管道等组成。

[0036] 2)分流控制系统设计原理及方法:

根据国内外城市集雨区雨洪水水质分析研究成果,由于城市高密度的建筑物及大量被硬化不透水或透水性很差的地面,使得城市降雨径流形成过程与农村的降雨径流形成过程显著不同。首先表现为洪峰值增加,暴雨径流入河时间缩短。其次,污染物成分复杂、浓度高。因此用普通的流域水质模型难以准确计算城市的暴雨径流的水量和水质。

[0037] 城市集雨区雨洪水集蓄主要来源于屋面雨水径流和路面雨水径流,下垫面材质和其上的沉积物是城市雨水径流污染物的主要来源,主要有屋面和路面材料溶出物、城市垃圾、化学药品、空气沉降物和汽车散落物。径流污染物受城市地表使用功能的影响,城市工业区径流污染与工业生产活动有关;路面径流污染物与交通流量有关;居住区径流污染物与生活垃圾和生活习惯有关;商业区径流污染物与商业活动类型有关。屋面径流的BOD<sub>5</sub>/COD值一般为0.1-0.2,可生化性差,不宜采用生物方法净化处理,应采用物化处理。

[0038] 屋面雨水径流受屋顶材料和沉积物的污染,有调查显示因屋顶材料、结构的不同引起屋面径流细菌的不同,屋顶材料污染程度由低到高依次为:铁质、塑料、石棉、红瓦。波浪形屋顶易沉积灰尘鸟类粪便等,因此屋面初期径流COD值可高达3000mg/l,SS可达1000mg/l左右,石油类、酚、合成洗涤剂等都超过地下水人工回灌标准。后期的水质较好,通常降雨来水10~20分钟左右后COD和SS降低至20-100mg/l和0-50mg/l的水平。

[0039] 路面是城市的主要组成部分,路面径流对城市雨水径流污染起着重要作用。路面径流污染物包括重金属、固态颗粒物、有毒有机物和无机物等。其主要来自汽油不完全燃烧、车辆泄漏物、部件磨损、化学品泄露、除雪剂和路面磨损等。如北京市繁华路面初期径流中的COD和SS值为1000-2000 mg/l,居民区道路初期径流的COD和SS值仅为300-500 mg/l和300-700 mg/l。若持续降,通常降雨来水10分钟左右后的COD和SS值均稳定在300mg/l以下。下表以北京市为例的降雨期间屋面径流和路面径流COD和SS值的变化值。

[0040] 北京市各种雨水径流中的COD和SS浓度值 (mg/l)

指标	屋面径流			路面径流			
	初期径流	稳定值		市区道路		小区道路	
		雨量<20mm	雨量>20mm	初期径流	稳定值	初期径流	稳定值
COD	200-300	80-100	20-50	000-2000	<300	300-500	<150
SS	400-800	20-50	0	1000-2000	<300	300-700	<150

综上所述,只要解决降雨初期大量污染物通过地表雨水径流冲刷和大气沉降进入水体的问题,就能基本保证城市人工湖集蓄的雨水水体水质,本实施例在人工湖系统首部设分流控制子系统,使水质较差的雨水分流调控排出至退水子系统,而降雨来水后期水质较好的水体全部进入人工湖水系。

[0041] 分流控制系统具体设计方法:首先根据进入人工湖水系首部的雨水汇集集雨口设计频率洪水过程,将从开始降雨来水至到达洪峰的整个前期洪水历时过程按照Dt不大于5分钟进行细分计算;然后,根据分流控制系统的分流设计流量,分别选取不同设计频率洪水工况计算满足分流设计流量条件的分流调控时间进行综合比选。通常,分流调控时间不大于30分钟;调控来水时间最短,投资最节省,但同时由于控制时间短,对分流运行自控系统响应要求高。

[0042] 实施例三:

本实施例是上述实施例的改进,是上述实施例关于人工湖的细化。本实施例所述的人工湖包括:深水区、浅水区、缓坡区、滩地区。

[0043] 本实施例按照湿陷性黄土地区人工湖水深和功能的不同,分为深水区、浅水区、缓坡区和滩地区四大类型,各区具体分布如下:

1)深水区:主要功能是形成蓄水库容,构造人工湖区主要湖体,除满足护坡护砌结构要求条件外,还应考虑湖体防渗层结构的稳定布置,布置在人工湖底深水平底区域;

2)浅水区:考虑规划成为可供游人活动的生态型浅水区域,是营造人工湖水景观的主要部位,因此,浅水区除满足护坡护砌结构要求条件外,更多地应考虑充分利用浅水植物、湿生植物、浅水型大缓坡构造生态型水景观空间,布置在人工湖区正常蓄水位以下的浅水区域,设计正常水深0.1~0.7m。

[0044] 3)缓坡区:湖岸缓坡区属于重要的游人亲水活动区域;除满足一定的护坡要求以及湖体防渗层结构的稳定布置条件外,为构造方便人们舒适活动的滨水空间,设计开挖边坡应尽量缓,但需要考虑占地面积问题,布置在浅水区以上的缓坡区,坡度取为1:3.0~1:5.0为宜。

[0045] 4)滩地区:属于人工湖区设计高水位影响范围以上区域,可不考虑护坡护砌结构要求,但要便于周边雨水较平稳地汇集、下渗流入主湖区,主要布置于人工湖岸外侧地形较高处的集流滩地区,为便于周边雨水汇集流入,底坡皆设计砂砾石滤层,设计坡度取为1:5.0~1:10.0为宜。

[0046] 实施例四:

本实施例是实施例三的改进是实施例三关于防湿陷层的细化。本实施例所述防湿陷层包括:人工翻夯层1和10%水泥土层或三七灰土层2,压实系数大于等于0.95,地基处理深度大于等于80cm,如图3所示。

[0047] 人工湖底部需要夯实,特别是湿陷性黄土层较厚的地带,地基处理不小于50厘米,必要是还有可以使用钢筋混凝土加固。

[0048] 实施例五:

本实施例是实施例三的改进是实施例三关于防渗层的细化。本实施例所述的防渗层包括:复合土工膜3和上垫层4,所述的上垫层为30~50cm厚的压实素土,如图3所示。

[0049] 上垫层组成了湖底5,淤积一定的泥土后,可以种植水生植物。压实素土的作用是

保护复合土工膜免受破坏。

[0050] 实施例六：

本实施例是实施例三的改进是实施例三关于防渗层的细化。本实施例所述的复合土工膜为：大于等于700g/m<sup>2</sup>两布一膜复合土工膜，膜材厚度大于0.3mm。

[0051] 复合土工膜是一种土工合成材料，是用聚乙烯或聚氯乙烯和土工布热合而成的材料，具有抗拉、抗顶破、抗撕、强度高、延伸性能好、变形模量大、耐老化、使用期长等特点，它具有较好的防渗效果。

[0052] 实施例七：

本实施例是上述实施例的改进，是上述实施例关于人工湖的细化。本实施例所述的人工湖系统还设有循环子系统，所述的循环子系统是：最高水位的上游湖泊与最低水位的下游湖泊之间通过管道连接循环泵站，如图1所示。

[0053] 为防止储水过程水质腐化，本实施例设置了水循环子系统。水循环子系统可以是最高水位的人工湖与最低水位的人工湖之间通过泵站连接的循环系统，也可以是各个人工湖之间的循环系统。

[0054] 实施例八：

本实施例是上述实施例的改进，是上述实施例关于退水子系统的细化。本实施例所述的退水子系统包括：溢流堰、泄洪闸和消力池。

[0055] 退水子系统关系到整个人工湖系统的安全，必要是还可以设立泵站，加快排水，以保证安全。

[0056] 实施例九：

本实施例是一种设计上述实施例所述人工湖系统的设计方法。

[0057] 所述的设计方法步骤如下：

一、人工湖体系统规模确定：

(1)集雨效率和集雨径流量：

在湿陷性黄土地区用于雨洪集蓄的梯级人工湖体系统的水源主要来自于上游集雨场，包括按照设计条件可以通过地面径流汇入人工湖水系的集雨面积以及湖体本身的水面面积两部分。根据上游集雨场区地势分布以及雨水管网分区布置条件对整体集雨区进行划分，具体划分时应确保各集雨分区全部集雨面积内地面雨洪水皆可自流汇入进水系统。

[0058] 各集雨面上可产径流量主要取决于降雨量和集雨面集流效率，根据《雨水集蓄利用工程技术规范》(GBT50596-2010)确定不同材料集流面在不同年降雨量地区的年集流效率。绿化面积占比大的集雨分区集流效率小、硬化地面占比大的集雨分区集流效率大，人工湖水面积集流效率为100%，最后采用各集雨分区集雨面积加权平均法确定整个集雨场的集流效率。

[0059] 根据上游集雨场区地势分布以及雨水管网分区布置条件、不同材料集流面在不同年降雨量地区的年集流效率，采用各集雨分区集雨面积加权平均法确定整个集雨场的集流效率。

[0060] 设计年频率条件下的各集雨分区可集蓄径流量计算如下：

$$W = F \times j \times P_p$$

式中：W——集雨面年可集蓄径流量，单位m<sup>3</sup>；F——集雨面积，单位m<sup>2</sup>；j——集流效率；

$P_p$ ——降雨频率为 $p$ 的年降雨量,单位 $m$ 。

[0061] (2)设计洪峰流量及洪量:

在湿陷性黄土地区用于雨洪集蓄的梯级人工湖体系统各集雨分区均属小流域,分别采用地区经验公式法、推理公式法和地区暴雨强度公式法计算设计洪水,再通过综合比较分析论证,确定设计洪水计算方法和计算成果。

[0062] (3)集蓄雨水资源利用方案:

集蓄雨水资源主要用于生活、生产辅助用水,生态园林用水和农灌用水。集蓄水资源配置原则:在满足生活用水、生态需水的前提下安排生产用水;生产用水中,优先考虑农业用水,保证粮食安全;多余水量可进行工业用水与商业用水配置。

[0063] 人工湖体系统兴利计算原则:

雨水集蓄利用、水土保持是人工湖系统建设的两大主要目标。因此,通过降低梯级人工湖汛前水位,设置调蓄库容,以消减下泄洪峰流量,从而减少暴雨径流对湿陷性黄土面的切割。人工湖体系统防洪调蓄原则如下:

人工湖系统雨洪水集蓄为年调节,兴利调节计算选取中等枯水年( $p=75%$ )工况。

[0064] 集蓄雨水资源利用方案每年提供一定数量的灌溉水资源;

梯级人工湖之间水体通过连通暗涵、台阶跌水、溢流堰等连接,超标准洪水通过退水系统排泄,整个人工水系的调洪作用由梯级人工湖联合调节来实现。

[0065] 消减下泄洪峰、保塬防汛的同时,应预留人工湖水面面积用于水系水生态环境的重要作用,各人工湖死库容同时满足泥沙淤积库容和 $0.5\sim 1.0m$ 水深的景观库容。

[0066] 调洪演算起始点:新建庆阳湖充分考虑预留足够的人工湖水面面积,庆阳湖从正常蓄水位开始起调;已建天湖重点考虑人工湖水系的度汛安全,天湖从星湖溢流堰堰顶开始起调。

[0067] 退水系统设置泄洪闸门,汛前根据防洪调度需要选择 $1/4$ 开度、半开度或全开度开闸迎汛。

[0068] 湿陷性黄土地区人工湖每年有一定的泥沙淤积,需要定期清淤。

[0069] 运行年初根据未来一年的来水预测情况制定全年景观用水和水资源利用供水计划,在运行调度中根据实际来水量,滚动修正。

[0070] 兴利调节计算:根据工程区域水文气象条件,以及水资源利用条件,兴利调节计算选取中等枯水年( $P=75%$ )工况进行年内调节计算。人工湖面蒸发损失按当月水面积乘以水面蒸发水深计算。渗漏损失按月末湖体水量的 $0.5\%\sim 10\%$ 计算。兴利调节计算人工湖合并来水量来自于上游集雨场和人工水系项目区当地集雨场雨洪水汇集,根据各月的来水、用水、蒸发和渗漏水量的计算,推求兴利库容和正常蓄水位。

[0071] 二、梯级数量的选择:

梯级人工湖构建系统的主要人工水体,各人工湖主湖区根据工程区地形条件自高向低梯级布置。梯级数量的确定取决于进水系统设计洪峰流量、梯级人工湖水系调洪库容和退水系统设计下泄流量,计算方法如下:

$$\text{第1级: } q_{1,p} = Q_p \left( 1 - \frac{K_1}{W_1} \right)$$

$$\text{第2级: } q_{2,p} = q_{1,p} \left( 1 - \frac{V_2}{(W_p - V_1)} \right)$$

.....

$$\text{第n级: } q_{n,p} = q_{1,p} \left( 1 - \frac{V_n}{(W_p - V_1 - V_2 - \dots - V_{n-1})} \right)$$

式中,  $Q_p$  为设计频率  $p$  所对应的入库洪峰流量;

设计频率: 与设计水工建筑物等工程时所采用的设计标准相应的频率;

$W_p$  为设计频率  $p$  所对应的入库洪量;

$V_n$  为第  $n$  梯级人工湖调洪库容;

$q_{n,p}$  为设计频率  $p$  所对应的第  $n$  梯级人工湖下泄流量。

[0072] 通过上述计算过程, 结合各级人工湖库容曲线和最高洪水位的设计, 以进水系统设计洪峰流量  $Q_p$  通过反复迭代计算推求满足退水系统设计下泄流量的最优梯级数量及各梯级库容, 下泄流量的设定需满足下游河道及建筑物的设计要求。

[0073] 三、人工湖体结构布置:

按照湿陷性黄土地区人工湖水深和功能的不同, 分为深水区、浅水区、缓坡区和滩地区四大类型, 各区均需进行防湿陷性处理和防渗处理, 所述各区具体分布如下:

深水区: 主要功能是形成蓄水库容, 构造人工湖区主要湖体, 除满足护坡护砌结构要求条件外, 还应考虑湖体防渗层结构的稳定布置, 布置在人工湖底深水平底区域;

浅水区: 浅水区除满足护坡护砌结构要求条件外, 更多地应考虑充分利用浅水植物、湿生植物、浅水型大缓坡构造生态型水景观空间, 布置在人工湖区正常蓄水位以下的浅水区域, 设计正常水深 0.1~0.7m;

缓坡区: 设计开挖边坡尽量缓, 但需要考虑占地面积问题, 布置在浅水区以上的缓坡区, 坡度取为 1:3.0~1:5.0;

滩地区: 底坡皆设计砂砾石滤层, 设计坡度为 1:5.0~1:10.0。

[0074] 实施例十:

本实施例是实施例九的改进, 是实施例九关于湖底的处理方法。本实施例所述的湖底处理方法为防湿陷性处理和防渗处理。所述防湿陷性处理和防渗处理为:

防湿陷性处理:

在岩土工程勘察的地基湿陷等级基础上对人工湖各区基础应进行消除地基土湿陷性处理。地基处理深度不小于 80cm, 采用整片深挖碾压夯填的地基处理方案, 先行对湖底基础向下进行翻夯处理, 再铺设不小于 30cm 厚的 10% 水泥石土或三七灰土, 压实系数不小于 0.95。

[0075] 防渗处理:

防湿陷性地基处理后铺设复合土工膜, 以上铺设 30~50cm 厚的压实素土作为上垫层, 用以保护复合土工膜。湿陷性黄土地区人工湖湖底防渗材料设计选用不小于 700g/m<sup>2</sup> 两布一膜复合土工膜, 膜材厚度大于 0.3mm。

[0076] 最后应说明的是, 以上仅用以说明本发明的技术方案而非限制, 尽管参照较佳布置方案对本发明进行了详细说明, 本领域的普通技术人员应当理解, 可以对本发明的技术

方案(比如各人工湖阶梯的排列方式、湖底的处理方法、步骤的先后顺序等)进行修改或者等同替换,而不脱离本发明技术方案的精神和范围。

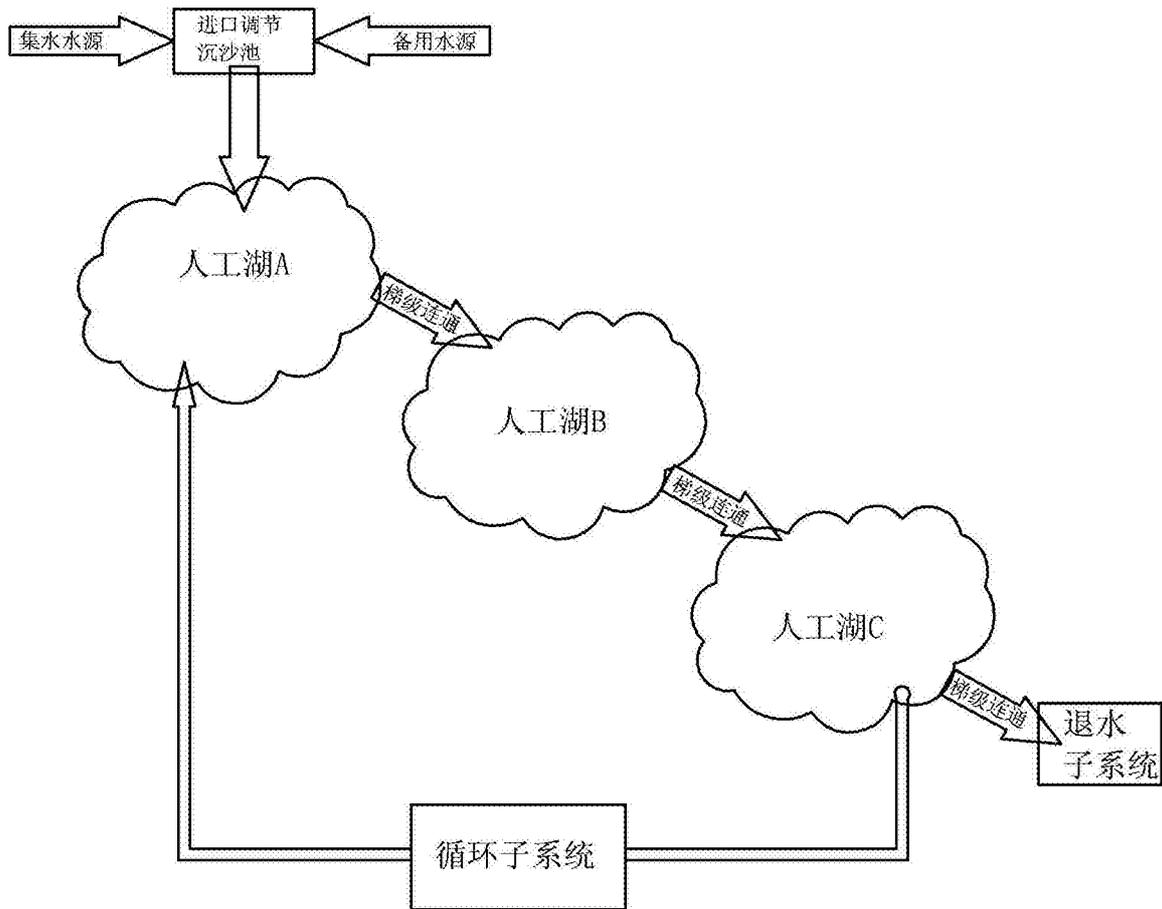


图1

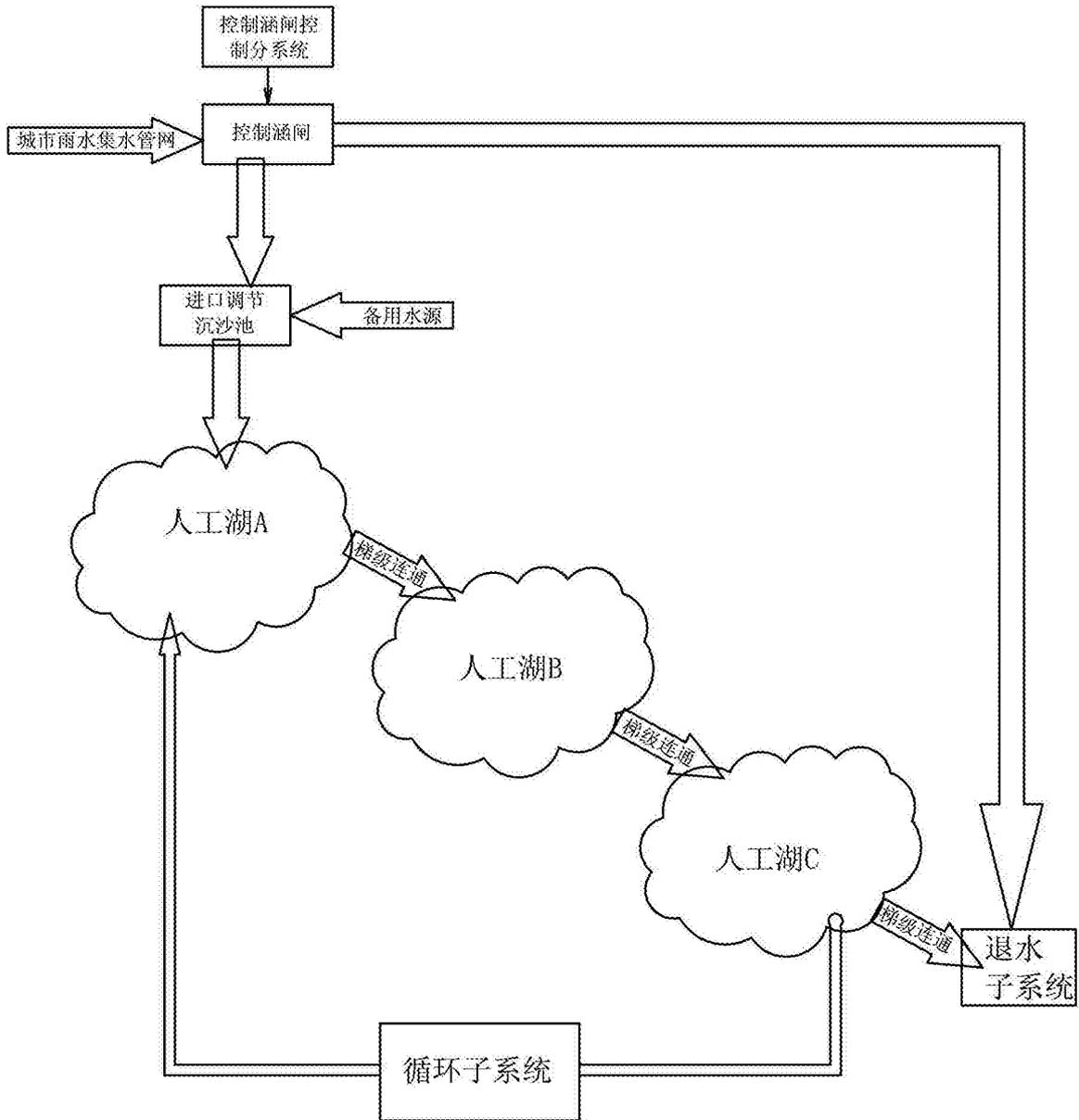


图2

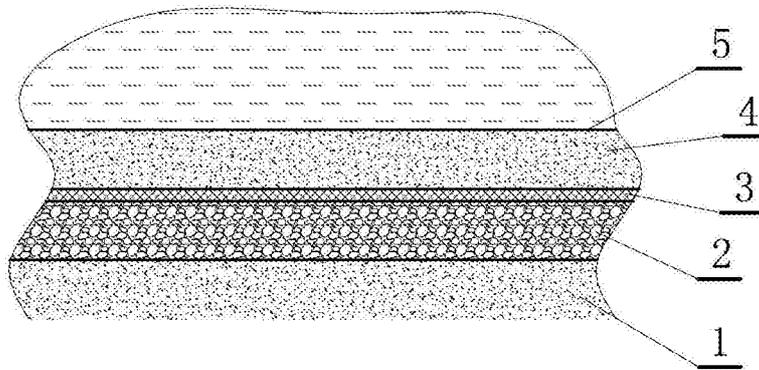


图3