

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2019.02.010

# 四类非传统水资源开发工艺的可视化及可利用量计算

顾佳卫, 解建仓, 赵津, 连亚妮, 李少轩, 陈晨

(西安理工大学 省部共建西北旱区生态水利国家重点实验室, 陕西 西安 710048)

**摘要:** 随着最严格水资源管理制度的推进,以及“节水优先”战略的落实,面对紧缺的水资源问题,开发利用海水、再生水、雨水、微咸水等非传统水资源已成为水资源利用的重要方向。对比地表和地下传统水资源,非传统水资源的开发利用难度大,且问题关键在于水质。本文针对四类非传统水资源从处理工艺入手,采用可视化技术和流程管理方式,把非传统水资源的收集、处理、利用等过程流程化描述,使过程中的节点、工艺以及关键技术能够清楚展示。在过程中分阶段对水量和水质进行控制,并计算可利用量。结合天津滨海新区的非传统水资源利用状况,开展了检验和应用案例分析,建立了基于平台、组件、知识图及可视化工具的非传统水资源过程化管理及可利用量计算系统,进一步为区域水资源配置提供服务。

**关键词:** 非传统水资源; 可视化; 可利用量

**中图分类号:** TV21

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-4710(2019)02-0200-12

## Visualization of four types of unconventional water resources exploitation processes and available amount calculation

GU Jiawei, XIE Jiancang, ZHAO Jin, LIAN Yani, LI Shaoxuan, CHEN Chen

(State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region of China, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** The most stringent water resources management system and the implementation of the “water saving priority” strategy are carried out. In face of the shortage of water resources, the exploitation and utilization of unconventional water resources such as seawater, reclaimed water, rainwater and brackish water is an important direction of water resources utilization. Compared with traditional surface water resources and underground water resources, the exploitation and utilization of unconventional water resources is difficult, with the key issue lying in water quality. This paper starts with four kinds of unconventional water resources from the processing technology, adopts the visualization technology and process management method, and describes the process of collecting, processing and utilizing unconventional water resources, so that the nodes, processes and key technologies in the process can be clearly understood and shown. The water quantity and water quality control are carried out in stages through the process, with the available amount calculated by mass division. Combined with the unconventional water resources utilization status of Tianjin Binhai Area, the inspection and application case analysis are carried out, with the unconventional water resources process management and availability calculation system based on platform, component, knowledge map and visualization tools established, thus providing services for regional water resources allocation.

**Key words:** unconventional water resources; visualization; available amount

21 世纪人口的快速增长和城市化进程的加快 带来了许多世界范围的水危机问题,主要表现为洪

**收稿日期:** 2019-02-01

**基金项目:** 国家重点研发计划资助项目(2016YFC0401409)

**作者简介:** 顾佳卫,男,硕士生,研究方向为水利信息化。E-mail:gary0912@126.com

**通讯作者:** 解建仓,男,教授,博导,博士,研究方向为水利信息化及水资源管理。E-mail:jcxie@xaut.edu.cn

水、水资源短缺和水污染等。解决水资源短缺问题的传统方法已经达到极限,新型水资源的开发与利用将成为水利工作的主题。除了对传统的水资源进行开源、节流外,开发利用非传统水资源无疑是一个解决水资源危机的重要途径<sup>[1]</sup>。为大力推进非传统水资源的开发利用,提高水资源配置效率和利用效益,近日发布的《水利部关于非常规水源纳入水资源统一配置的指导意见》(水资源[2017]274号),明确了非传统水源纳入水资源统一配置的总体要求,大力推进污水处理和中水回用,积极开展海水淡化和综合利用,高度重视雨水、微咸水利用,将非传统水源纳入水资源统一配置有利于推进节约用水、减少污水排放、削减污染负荷,提高水的利用效率。

国内外对非传统水资源利用的研究已经有近百年的历史,包括英国、美国、以色列、日本和中国等国家,都在非传统水资源的开发利用技术上进行了大量研究,取得了许多研究成果。进入 21 世纪以来,随着科技发展,水处理技术的进步,使得海水淡化以及再生水的水质、产量都大大提高,生产成本逐渐降低;同样,雨水收集技术以及灌溉技术的改进,也大大推动了雨水和微咸水的利用,目前许多国家非传统水资源利用技术已经十分成熟。尽管非传统水资源在区域水资源开发利用中占有越来越重要的地

位,但是在具体的实施过程中仍然遇到一些阻力和困难,主要问题就在于开发工艺的管理及可利用量的确定。对于非传统水资源可利用量的计算以及配置等方面的研究还比较缺乏,所以存在利用效率不高的问题。

本文从四类非传统水资源的处理工艺入手,探讨了区域非传统水资源可利用量计算的新思路,在处理工艺流程中分阶段对水量和水质进行控制,计算可利用量及对应水质;从信息化的角度出发,通过可视化技术和流程管理方式,对非传统水资源的收集、处理、利用等过程进行流程化、可视化描述,将非传统水资源开发工艺流程中的关键技术清楚展示,利用信息化手段实现区域非传统水资源可利用量计算。

## 1 非传统水资源开发工艺可视化研究

### 1.1 非传统水资源开发工艺可视化构建基础

非传统水资源开发工艺可视化是基于综合集成平台<sup>[2]</sup>实现的,综合集成平台根据《中华人民共和国水利行业标准:水利信息处理平台技术规定(SL538-2011)》的要求设计和建设。综合集成平台给非传统水资源开发工艺提供了一个可视化流程构建和业务应用的环境,是实现水量水质转化过程与工艺流程耦合的应用基础,综合集成平台架构如图 1 所示。

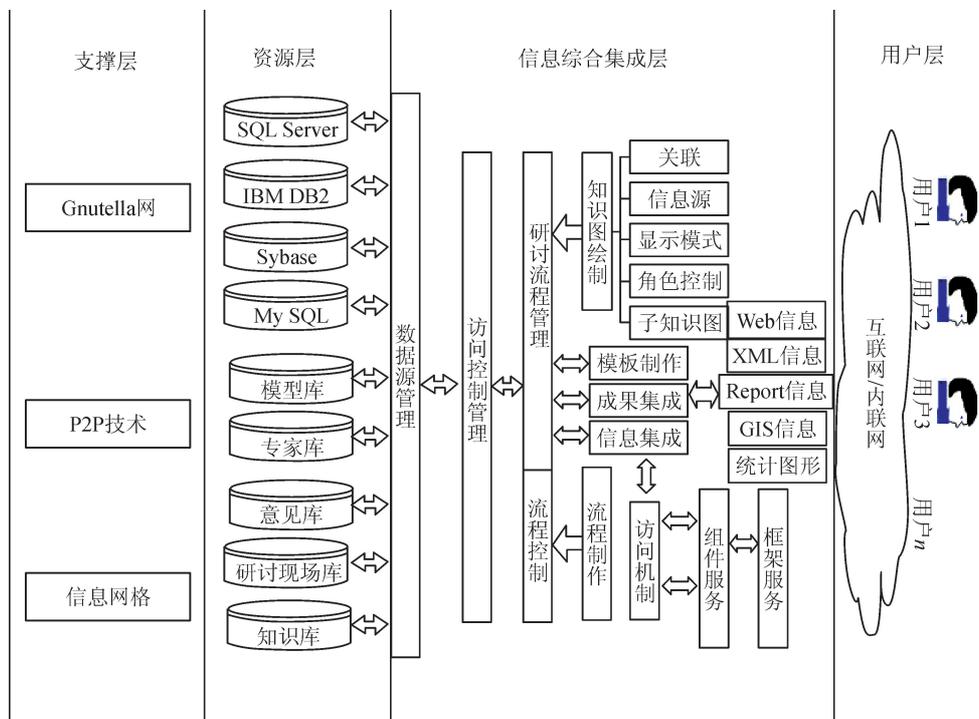


图 1 综合集成平台总体架构设计图

Fig. 1 Integrated architecture platform overall architecture design

图 1 自左向右依次分为 4 大层次:支撑层、资源层、信息综合集成层、用户层;其中关键部分包括知识图集成、组件和框架服务、数据资源库、研讨资源库、网络等。支撑层主要以 P2P 技术和 Gnutella 网做综合集成平台的技术支撑。资源层主要用于存储工艺流程可视化业务应用相关的数据、信息、工艺流程节点元素、工艺设备概化图形、业务组件、业务流程等。信息综合集成层主要用于支撑实现工艺流程图的构建、业务组件网的定制等,该层还定义了基于工艺可视化的业务应用服务的访问机制。从综合集成平台框架结构上可以看出,综合集成平台没有设置业务应用层,因为基于该平台的非传统水资源业务应用都是通过综合集成层的工艺流程图和相关计算组件共同构建的,因此可通过综合集成平台实现开发工艺的可视化流程构建及业务应用。

1.2 非传统水资源开发工艺可视化实现技术

本文基于四类非传统水资源开发工艺流程,通过分析管线的连接方式和连接特点,应用计算机图形技术、可视化技术、面向对象技术和数据库技术,建立一个可视化的非传统水资源开发利用环境,用户在该环境中,可以直观可视地查看不同阶段非传统水资源的收集、处理、利用情况,最终得到四类非传统水资源的可利用量。

1.2.1 非传统水资源开发工艺的图形化

由于非传统水资源开发工艺结构复杂、设备繁多,本文通过分析管线的连接方式和连接特点,基于

四类非传统水资源开发工艺流程,对开发工艺流程进行设备流程抽象,通过综合集成平台实现了图形化的工艺流程绘制与存储。

1) 可视化工艺流程图中的元素概化

可视化工艺流程图中包含两种元素,分别是点状元素、线状元素。

点状元素指的是流程图中的节点,主要分为两类:一类是工艺流程中的实体设备,如水泵、阀门等,将其形状概化,并添加至流程相应位置;另一类是在工艺流程中产生水质水量变化的过程,将其在工艺流程图中概化为计算节点。

线状元素指的是流程图中的线段。线状元素是工艺流程图中的水流向和水量相关关系的节点间的有向线段,反映了流程中设备之间的水量流通关系。

2) 可视化工艺流程图的描述

对工艺的流程描述主要基于图中的点状元素与线状元素之间的关系。点状元素表示工艺流程中各个设备或者水量水质的变化节点,线状元素表示输水管道等水量输送路线,用线状元素将点状元素串联起来,使得整个工艺流程直观可视。

1.2.2 非传统水资源开发工艺流程图的数据存储

本文将非传统水资源开发工艺流程图概化成由节点和边构成的有向图,如图 2 所示,图 2(a)为雨水收集利用的开发工艺流程图,图 2(b)为抽象概化的有向图。将开发工艺中的设备、计算节点等抽象为有向图的节点,工艺流程中的管道抽象为有向边。

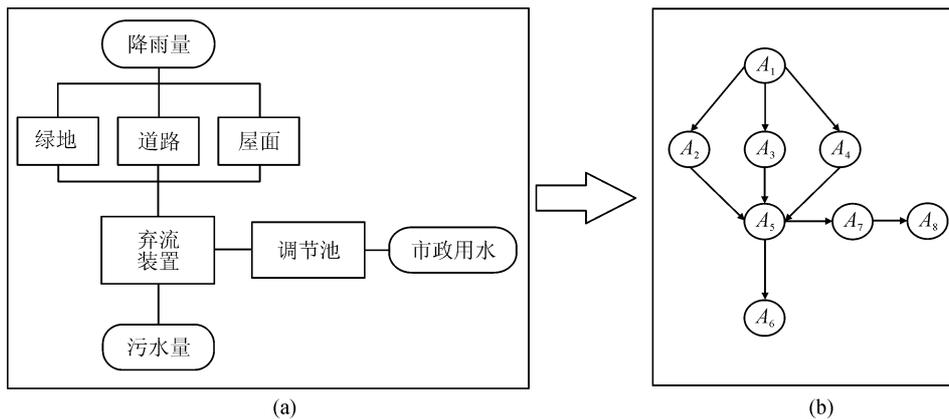


图 2 基于开发工艺流程图抽象的有向图

Fig. 2 Abstract topology based on development process diagram

定义有向图  $G$  中节点构成的有穷非空集合为  $Vertex(G) = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ , 其中  $V_1, V_2, \dots, V_n$  表示有向图中的  $n$  个节点,有向边的集合为  $Edge(G) = \{\{V_1, V_2\}, \dots, \{V_m, V_n\}\}$ , 其中  $\{V_1, V_2\}$  表示从  $V_1$  到  $V_2$  的有向边,  $V_1$  为起始点,  $V_2$  为终点, 于是有向图可以理解为是由这两个集合组合而成的, 记为:

$$G = \{Vertex(G), Edge(G)\}$$

按照此定义,图 2(b)中节点的集合为:

$$Vertex(Gb) = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8\}$$

有向边的集合为:

$$Edge(Gb) = \{\{A_1, A_2\}, \{A_1, A_3\}, \{A_1, A_4\}, \{A_2, A_5\}, \{A_3, A_5\}, \{A_4, A_5\}, \{A_5, A_7\}, \{A_5, A_6\}, \{A_6, A_8\}, \{A_7, A_8\}\}$$

$\{A_6, A_8\}$

因此,图 2(a)的开发工艺流程图经过抽象概化后的有向图为:  $G_b = \{Vertex(G_b), Edge(G_b)\}$ 。

本文通过邻接表<sup>[3]</sup>进行非传统水资源开发工艺的存储,邻接表是一个二维容器,第一维描述某个点,第二维描述这个点所对应的边集们,由于邻接表是图的一种链式存储结构,需要对图中的每个顶点建立一个单链表,这样就可以通过遍历每个顶点的链表,从而得到该顶点所有的有向边,图 2(a)的邻接表如图 3 所示。

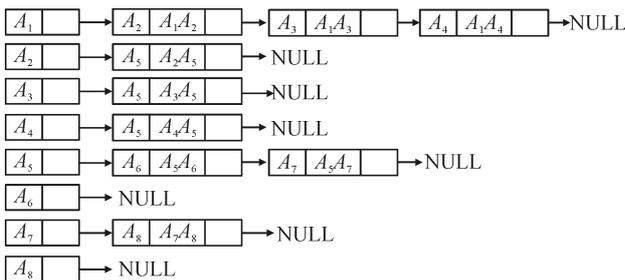


图 3 有向图存储结构示例

Fig. 3 Directed graph storage structure example

### 1.3 非传统水资源开发工艺可视化实现

非传统水资源开发过程主要可以概括为四类内容,即取水、出水、排水以及工艺流程。非传统水资源的取水过程、出水过程以及排水过程相对简单,主要考虑其水质和水量。每类非传统水资源的开发原理以及核心工艺都存在巨大差异,需要通过信息技术对其进行可视化,从而使得整个开发过程中的关键信息直观可见。

#### 1) 海水淡化

目前海水淡化工艺主要有低温多效、多级闪蒸以及反渗透等,其中低温多效海水淡化由于其对原料海水预处理要求不高、过程循环动力消耗小、出水水质高等特点,是目前最具发展前景的海水淡化技术之一。我国许多地区利用发电厂高温蒸汽作为热源,以低温多效海水淡化技术制水,实现水电联产,极大地降低成本节约能源。

以横管降膜低温多效海水淡化工艺<sup>[4]</sup>为例,其主要原理为将海水进行一定的预处理后喷淋在各个蒸发罐内的蒸发横管上,形成液膜螺旋下流,经由管内流动的高压蒸汽加热后,形成水蒸气,作为下一效热源的同时凝结成淡化水。将各效的淡化水和浓海水分别收集,从而实现海水淡化。作为热源的高压蒸汽一部分在末效冷凝器内凝结后作为回炉水,一部分经闪蒸后再次作为热源蒸汽,海水淡化工艺流程如图 4 所示。

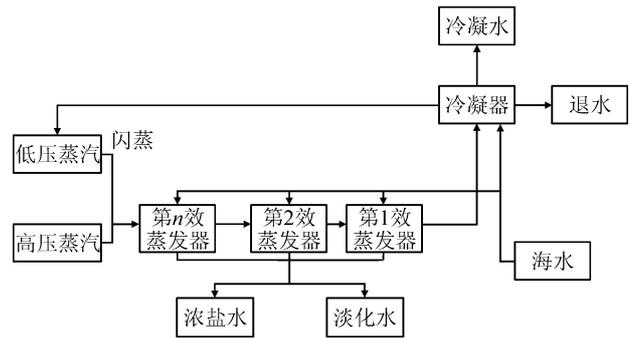


图 4 横管降膜海水淡化工艺

Fig. 4 Cross-tube film desalination process

依据海水淡化的原理,工艺流程中,进料主要包括海水、高压蒸汽,产物主要有淡化水、浓盐水、回炉水以及低压蒸汽。过程中主要涉及各级蒸发器中的淡化水和浓盐水。依据整体流程以及关键节点,横管降膜海水淡化可视化效果如图 5 所示,以黑色线条构造出装置轮廓及内部结构,蓝色线条表示海水管道,黄色线条表示浓盐水管,淡蓝色线条表示淡化水管,灰色线条表示蒸汽管道,并以箭头指示管道内流动方向。以图形节点表示阀门、水泵等设备类型及位置,并添加其参数信息。在重要工艺节点,如蒸发器淡水收集、冷凝器水量等处设置带文字的框型节点,使得可视化效果更为直观。

#### 2) 污水再生利用

常规污水处理流程如图 6 所示,再生水在污水处理基础上进行深度处理得到水质更好的再生水。从污水收集到污水处理厂后,首先经过粗、细格栅将固体污染物滤除,再经过初沉池将泥沙排出,然后通过生化反应将水体中胶体或溶解性污染物降解,最后经过二沉池并消毒后得到二级出水。在此基础上,再生水厂经过深度处理后得到水质更好的再生水。

污水再生利用工艺<sup>[5]</sup>主要进水为污水,产物为再生水和污泥,过程中主要节点有一级出水和二级出水,对重要节点可视化后的污水再生工艺效果如图 7 所示,以淡蓝色线条表示污水在各个设备间的流动顺序,以图形节点表示格栅、水泵等设备的位置及作用。在产生水量水质变化的重要工艺节点,如初沉池出水、二沉池出水等处设置带文字的框型节点。

#### 3) 雨水利用

图 8 为城市雨水主要利用模式<sup>[6]</sup>,城市土地利用类型主要有路面、建筑用地、绿地以及水面,除了无法收集降落在水面的雨水,其他三类下垫面根据其径流系数的不同均可以收集到不同量的雨水,设置地下集雨池将雨水收集并简单处理后,可用作市政道路浇洒、绿化等。

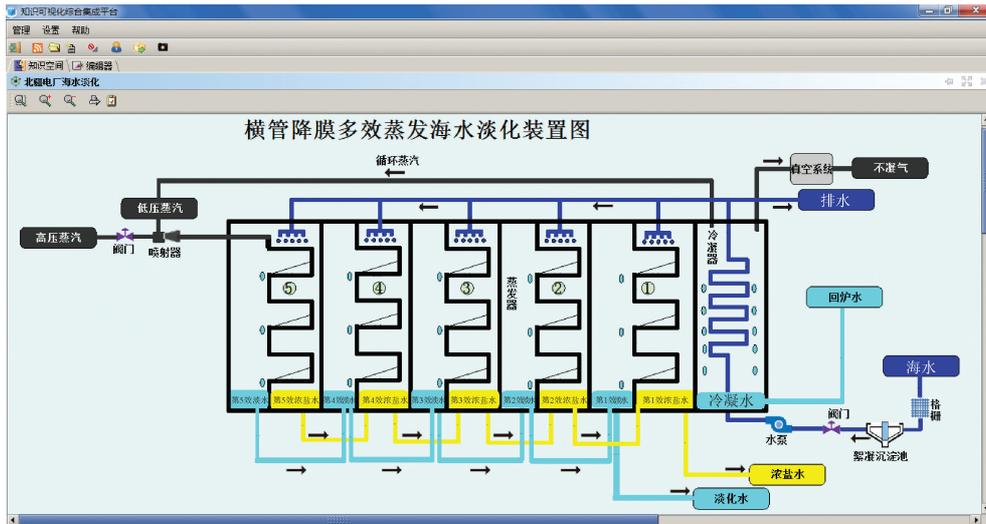


图 5 横管降膜海水淡化开发工艺  
Fig. 5 Cross-tube membrane desalination exploitation process

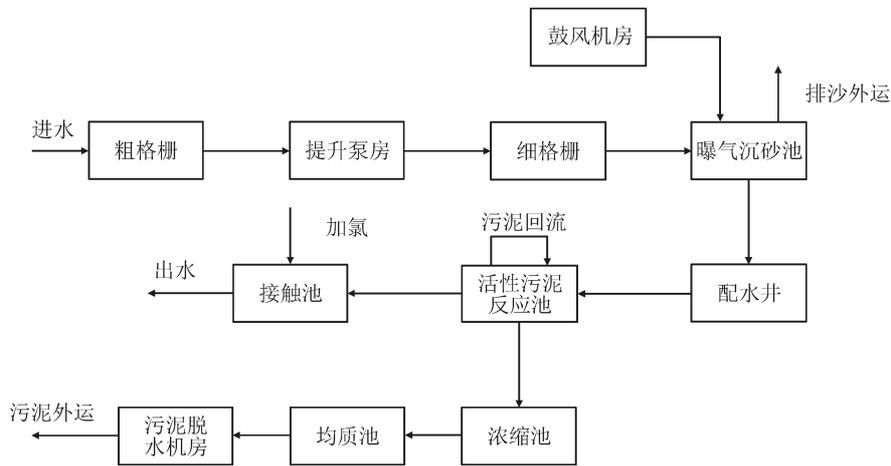


图 6 污水处理工艺  
Fig. 6 Sewage treatment process

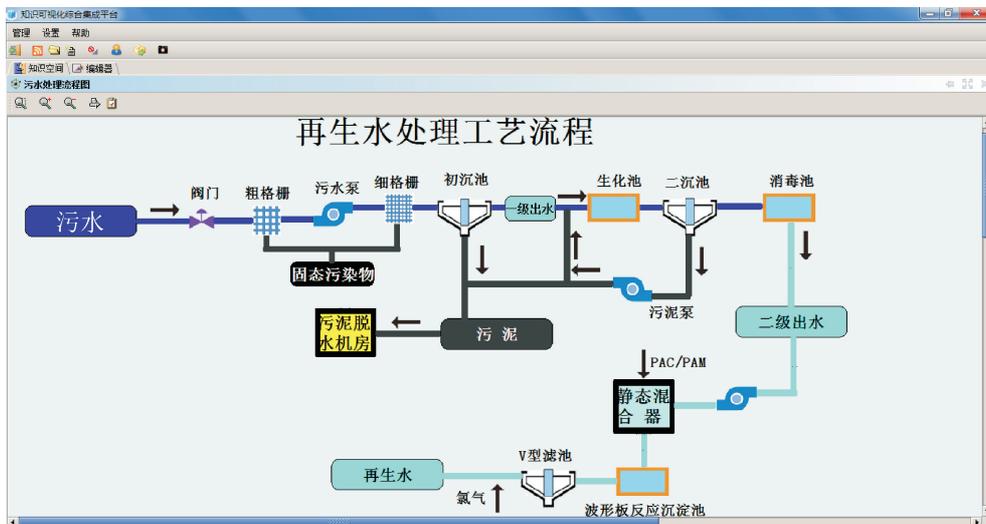


图 7 再生水工艺流程  
Fig. 7 Reclaimed water process

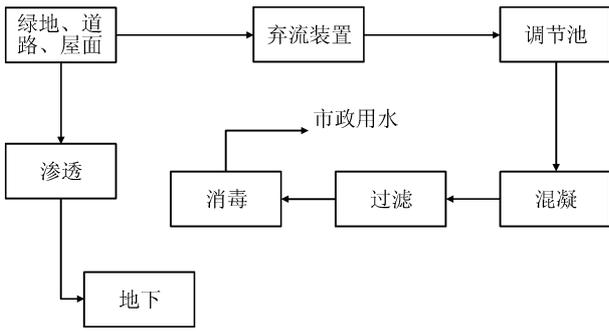


图 8 雨水利用模式

Fig. 8 Rainwater utilization mode

雨水收集利用原理较为简单,来水为天然降水,出水为收集处理后的雨水,过程中主要涉及三类下垫面的可收集量及弃流,对其工艺流程进行可视化,效果如图 9 所示,以蓝色线条串联整个雨水收集过程,线条交叉表示雨水分流或汇集。以图形节点表示蓄水池、弃流装置等设备的位置及作用。在关键流程处设置带文字描述的框型节点,直观展示工艺各流程的作用。

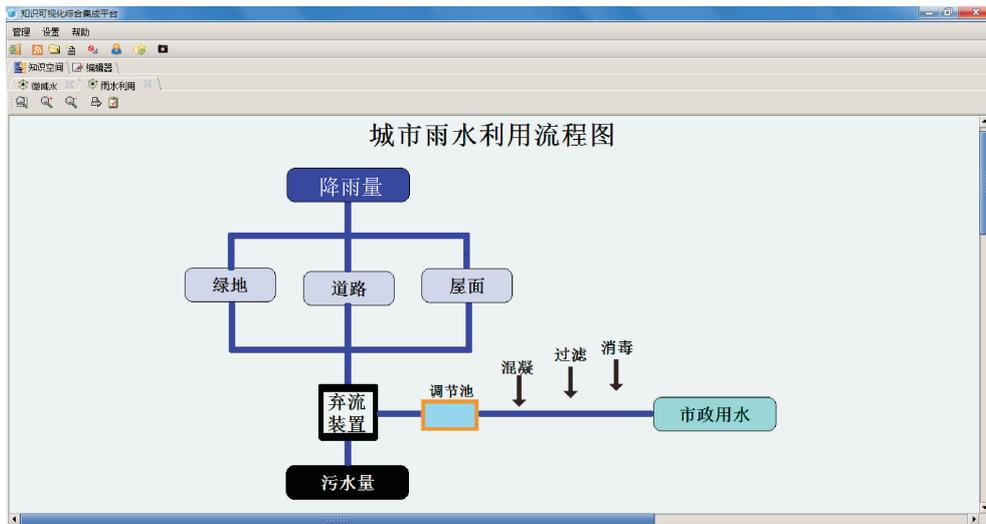


图 9 雨水利用工艺流程

Fig. 9 Rainwater utilization process

#### 4) 微咸水利用

微咸水一般是指矿化度在 2~5g/L 的含盐水,我国微咸水主要用于农业灌溉,主要利用方式包括直接灌溉和咸淡混浇。微咸水可直接灌溉海水稻等耐碱作物,咸淡混浇技术是在现有深机井旁打浅机井,利用管道技术将浅层微咸水与深层淡水按一定比例送入混合水塔或者混合水池,再通过管道或者明渠输送至田间。图 10 为微咸水的主要利用方

式<sup>[7]</sup>,微咸水主要存在于浅层地下,依靠降水、河道等渗透补给,利用微咸水可减少深层地下水的压采,也利于抽咸补淡。

水源为微咸水和深层地下水,出水为混合水,微咸水可供水量由五类入渗补给量及可开采系数确定。可视化效果如图 11 所示,以蓝色线条表示微咸水流向,以淡蓝色线条表示深层地下水流向,以图形节点表示水泵、阀门等设备的位置及作用。

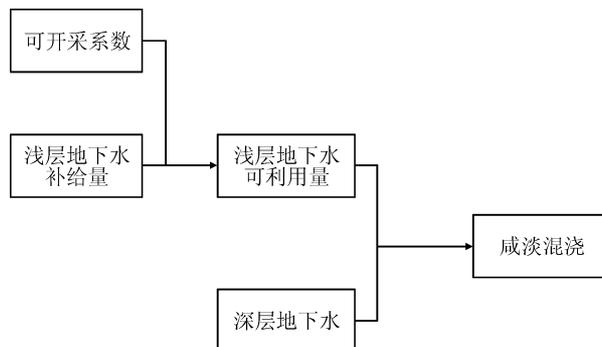


图 10 微咸水利用

Fig. 10 Brackish water utilization

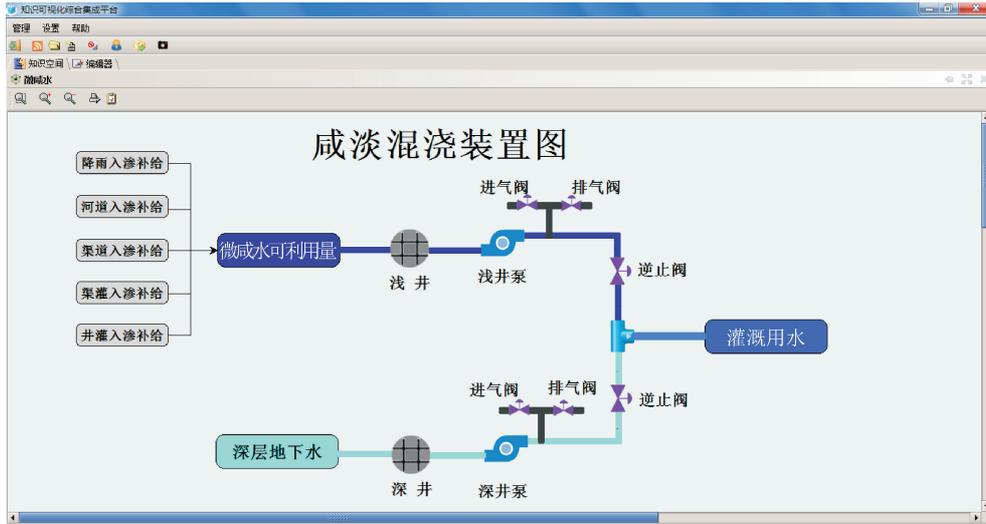


图 11 微咸水开发工艺  
Fig. 11 Brackish water exploitation process

## 2 基于工艺可视化的可利用量计算

水资源可利用量的计算是水资源综合规划和优化配置的一项重要前期工作,可为水资源的可持续利用提供坚实的科学依据。非传统水资源可利用量的计算主要是依据工艺流程计算其对应水源的可利用量。本文基于工艺可视化,将可供水量计算流程化,依据流程各节点编写计算组件,最终计算出对应可利用量。

### 2.1 可利用量计算组件的逻辑划分

#### 2.1.1 再生水计算组件划分

污水先后经过污水处理厂和再生水厂的处理后得到再生水。在该过程中涉及的水量水质变化的工艺节点主要有初沉池和二沉池。各节点具体计算方法为:

1) 初沉池出水量

$$Q_c = Q_w \cdot n_c \quad (1)$$

式中: $Q_c$ 为初沉池出水量,万  $m^3/d$ ;  $Q_w$ 为污水量,万  $m^3/d$ ;  $n_c$ 为初沉池出水系数。

2) 二沉池出水量

$$Q_e = Q_c \cdot n_e \quad (2)$$

式中: $Q_e$ 为二沉池出水量,万  $m^3/d$ ;  $n_e$ 为二沉池出水系数。

3) 再生水出水量

$$Q_z = Q_e \cdot n_z \quad (3)$$

式中: $Q_z$ 为再生水出水量,万  $m^3/d$ ;  $n_z$ 为波形板反应沉淀池出水系数。

4) 污泥量

$$Q_n = Q_w - Q_z \quad (4)$$

式中: $Q_n$ 为污泥量,万  $t/d$ 。

在上述计算式中,初沉池出水系数、二沉池出水

系数以及波形板反应沉淀池出水系数一般与地区污水水质、处理工艺等挂钩,依据每个污水处理厂的经验累积和实测数据推算。

依据计算方法划分组件逻辑如图 12 所示。

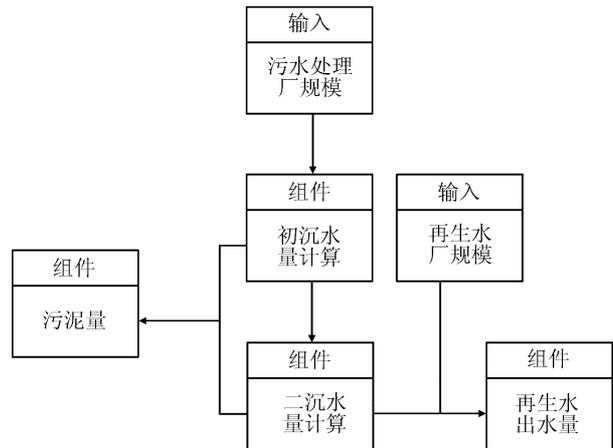


图 12 污水再生利用水量组件逻辑  
Fig. 12 Sewage recycling water consumption calculation process

#### 2.1.2 海水计算组件划分

以横管降膜海水淡化为例,在其工艺过程中涉及的水质水量变化主要在蒸发器内,计算方法为:

1) 第  $i$  效蒸发器淡化水量

$$Q_{di} = \frac{Q_s - Q_t}{N} n_i \quad (5)$$

式中: $Q_{di}$ 为第  $i$  效蒸发器淡化水量,万  $m^3/d$ ;  $Q_s$ 为取海水总量,万  $m^3/d$ ;  $Q_t$ 为退水量,万  $m^3/d$ ;  $n_i$ 为第  $i$  效蒸发系数,  $N$  为蒸发效数。

2) 第  $i$  效蒸发器浓盐水量

$$Q_{yi} = \frac{Q_s - Q_t}{N} (1 - n_i) \quad (6)$$

式中: $Q_{yi}$ 为第  $i$  效蒸发器浓盐水量,万  $m^3/d$ 。

3) 淡化水总量

$$Q_d = \sum_{i=1}^N Q_{di} \quad (7)$$

式中:  $Q_d$  为淡化水出水量, 万  $m^3/d$ 。

4) 浓盐水总量

$$Q_y = \sum_{i=1}^N Q_{yi} \quad (8)$$

式中:  $Q_y$  为浓盐水出水量, 万  $m^3/d$ 。

在上述计算式中, 蒸发系数  $n_i$  与具体淡化厂的设备蒸汽温度有关, 通常由经验累积和实测数据推算, 一般在 0.4 左右。

依据计算方法划分组件逻辑如图 13 所示。

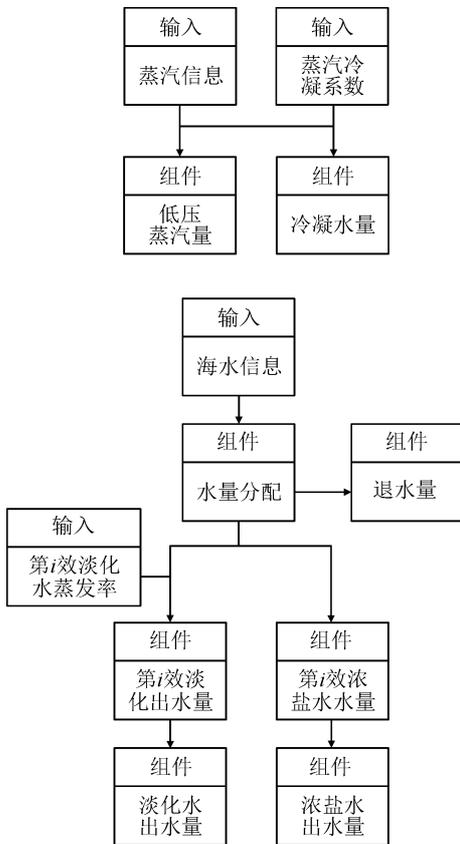


图 13 海水利用水量组件逻辑

Fig. 13 Seawater utilization calculation process

2.1.3 雨水计算组件划分

城市土地利用类型主要可分为建筑用地、道路、绿地、水面四大类。以城市雨水利用为例, 雨水降至水面补充水体水量, 但无法收集利用; 雨水降至绿地可通过渗透补充地下水, 当雨强达到一定程度产生径流后, 可通过雨水花园工程将其收集至地下蓄水池, 用于绿化; 降至道路及屋顶的雨水, 初期径流由于路面及屋顶本身存在灰尘垃圾等, 水质较差进行弃流, 中后期雨水水质较好, 收集后经简单处理, 可用于市政、消防以及居民冲厕。

通常情况下, 雨水可利用量由集水面积、年均降雨量、径流系数、季节折减系数的乘积来计算。

1) 绿地可收集雨量

$$Q_1 = qA_1\phi_1k \quad (9)$$

式中:  $Q_1$  为绿地雨水可收集量, 万  $m^3/d$ ;  $q$  为区域年降雨量, mm;  $k$  为季节折减系数;  $A_1$  为绿地面积,  $km^2$ ;  $\phi_1$  为绿地径流系数。

2) 道路可收集雨量

$$Q_2 = qA_2\phi_2k \quad (10)$$

式中:  $Q_2$  为路面雨水可收集量, 万  $m^3/d$ ;  $A_2$  为路面面积,  $km^2$ ;  $\phi_2$  为路面径流系数。

3) 屋顶可收集雨量

$$Q_3 = qA_3\phi_3k \quad (11)$$

式中:  $Q_3$  为屋顶雨水可收集量, 万  $m^3/d$ ;  $A_3$  为建筑面积,  $km^2$ ;  $\phi_3$  为屋顶径流系数。

4) 雨水可利用量

$$Q_Y = j \sum_{i=1}^3 Q_i \quad (12)$$

式中:  $Q_Y$  为雨水可利用量, 万  $m^3/d$ ;  $Q_i$  为第  $i$  类集雨面可收集雨量, 万  $m^3/d$ ;  $j$  为弃流系数。

在上述计算式中, 雨水季节折减系数与区域气候季节相关, 本文取天津滨海新区季节折减系数为 0.85。绿地径流系数一般为 0.15 左右; 由于城市道路一般为混凝土或者沥青路面, 所以径流系数取 0.9 左右; 屋顶径流系数取 0.9~1。

依据计算方法划分组件逻辑如图 14 所示。

2.1.4 微咸水计算组件划分

微咸水可供应量取决于区域地下水可开采量以及微咸水矿化度。微咸水与深层地下水混合后矿化度应当小于 2 g/L。

1) 浅层地下水补给量

$$Q_b = Q_j + Q_h + Q_q + Q_g + Q_w \quad (13)$$

式中:  $Q_b$  为浅层地下水补给量, 万  $m^3/d$ ;  $Q_j$  为降雨渗透补给量, 万  $m^3/d$ ;  $Q_h$  为河道渗透补给量, 万  $m^3/d$ ;  $Q_q$  为渠道渗透补给量, 万  $m^3/d$ ;  $Q_g$  为渠灌补给量, 万  $m^3/d$ ;  $Q_w$  为井灌补给量, 万  $m^3/d$ 。

2) 微咸水可利用量

$$Q_w = \rho \cdot Q_b \quad (14)$$

式中:  $Q_w$  为微咸水可开采量, 万  $m^3/d$ ;  $Q_b$  为浅层地下水补给量, 万  $m^3/d$ ;  $\rho$  为可开采系数。

在上述计算式中, 可开采系数  $\rho$  根据各地区岩性、单井单位降深出水量资料及后续进行的抽水试验分析补充资料来确定。对开采条件良好的地区(单井单位降深出水量大于 20  $m^3/(h \cdot m)$  的地区),  $\rho$  取值范围为 0.85~0.95; 对开采条件一般的

地区(单井单位降深出水量为  $5 \sim 10 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{m})$  的地区), $\rho$  取值范围为  $0.75 \sim 0.85$ ;对开采条件较差的地区(单井单位降深出水量小于  $2.5 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{m})$

的地区), $\rho$  取值范围为  $0.6 \sim 0.7$ 。

依据计算方法划分组件逻辑如图 15 所示。

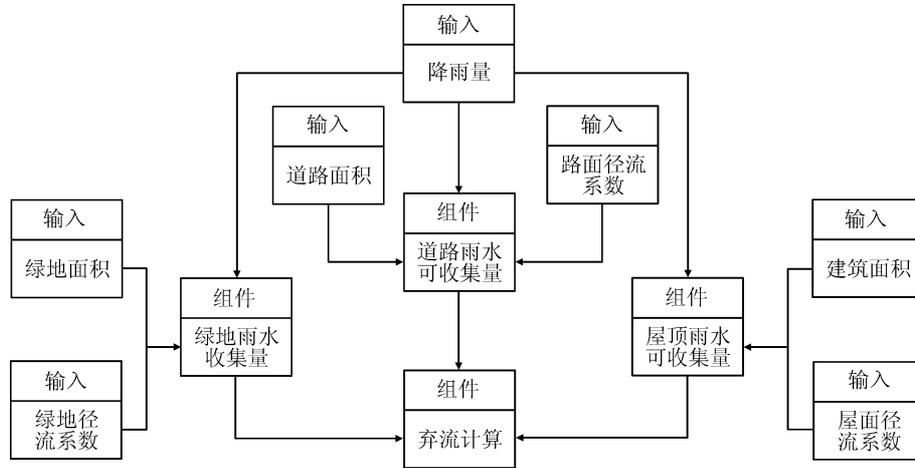


图 14 雨水利用水量组件逻辑

Fig. 14 Rainwater utilization calculation process

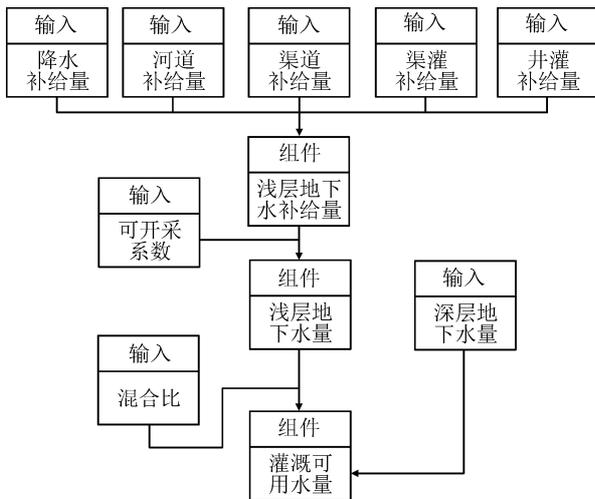


图 15 微咸水利用组件逻辑

Fig. 15 Brackish water utilization calculation process

### 2.2 水量计算组件与工艺可视化耦合

将水量计算组件添加至工艺图相应节点,实现图像与数据交互的非传统水资源开发工艺可视化效果。以雨水利用为例,其工艺流程图与组件耦合示例如图 16 所示。

如图所示,将各计算组件添加至流程图相应节点,使得工艺流程图具有了数据计算及展示功能。将区域年均降雨量、季节折减系数输入绿地、路面以

及屋面的计算组件,结合相应下垫面面积以及径流系数可求出对应的雨水可收集量。将 3 个数据输入弃流计算组件,可计算出区域雨水的总收集量,并计算弃流量以及雨水可利用量。

### 3 案例分析

滨海新区位于华北平原北部,地处天津市中心区的东面,濒临渤海。陆域面积  $2\,270 \text{ km}^2$ ,海域面积  $3\,000 \text{ km}^2$ ,海岸线  $153 \text{ km}$ ,主要包括塘沽、汉沽、大港三个行政区。该区属暖温带大陆性季风气候,全年降水量为  $500 \sim 700 \text{ mm}$ ,年平均蒸发量为  $1\,909.6 \text{ mm}$ 。

滨海新区内共有 5 座海水淡化厂,分别是北疆电厂、泰达海水淡化工程、临港海水淡化厂、大港新泉以及大港电厂,其中大港电厂也利用海水作为锅炉冷却水。区内主要有 4 座再生水厂,分别是泰达新水源、开发西区再生水厂、北塘中水厂以及港东污水处理厂。雨水利用方面有滨河公园雨水利用工程,在靠近津南区附近也有微咸水利用。

图 17 为滨海新区非传统水资源可利用量计算主界面。在主界面中点击各个水源所在位置,可查看其对应的开发工艺图。图 18 为部分非传统水资源开发工艺图。

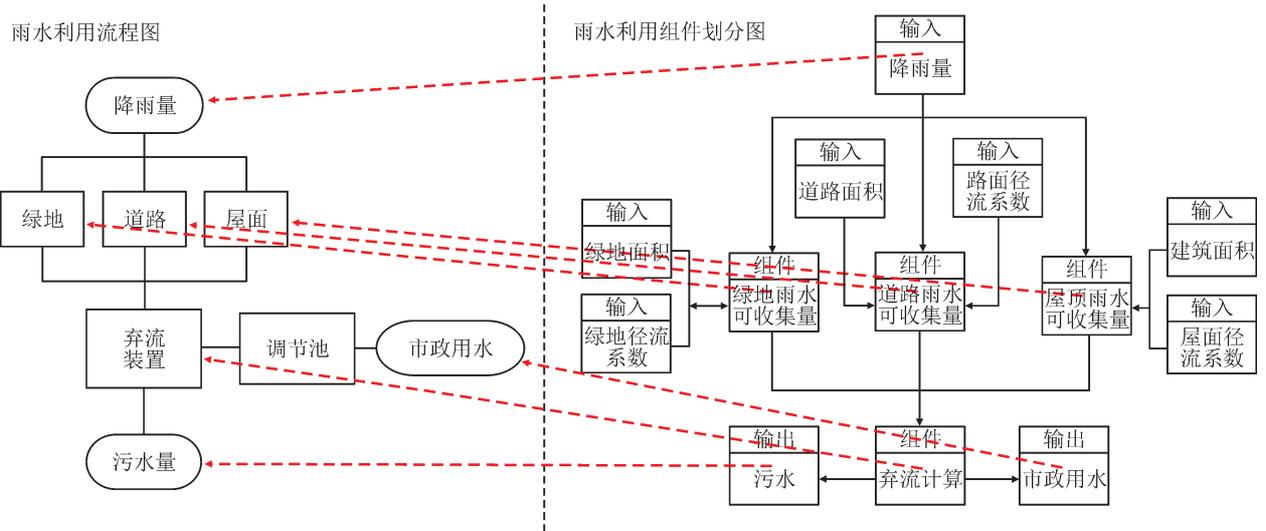


图 16 工艺流程图与组件耦合示例  
Fig. 16 Process flow chart and component coupling example

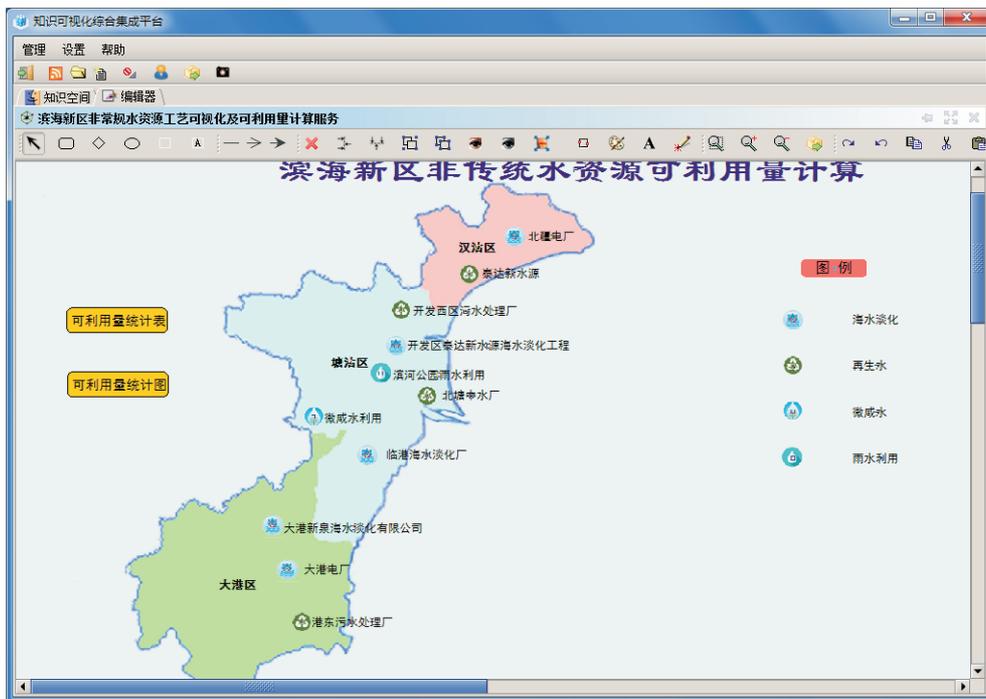


图 17 系统主界面  
Fig. 17 System main interface

在工艺流程图中,点击各节点可查看相应位置的水质水量信息。以北疆电厂海水淡化项目为例,其使用的是横管降膜低温多效海水淡化装置,如图 19所示,可直观看出横管降膜海水淡化工艺流程及原理,点击各个流程可查看相应位置处出水的水质及水量信息,当来水信息及运行工况改变时,其数据也相应改变。通过对工艺中水质水量的可视化,

使得非传统水资源开发利用便于管理。

在主界面点击可利用量统计表节点,可查看区域内各个非传统水源统计信息(如图 20 所示),点击可利用量统计图界面,可查看滨海新区下辖三个分区——汉沽区、塘沽区以及大港区的四类非传统水资源可利用量统计信息,并以柱状图形式直观展现,如图 21 所示。

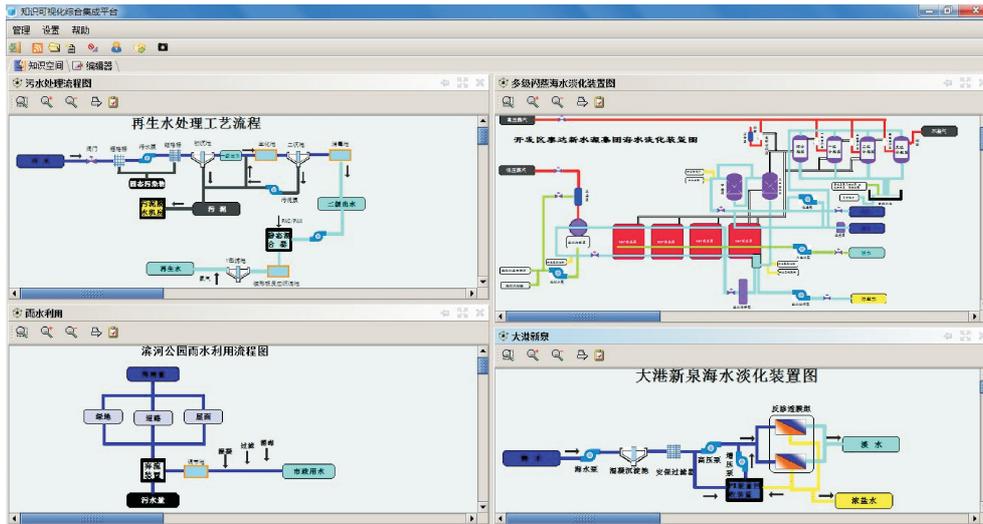


图 18 工艺流程界面  
Fig. 18 Process interface

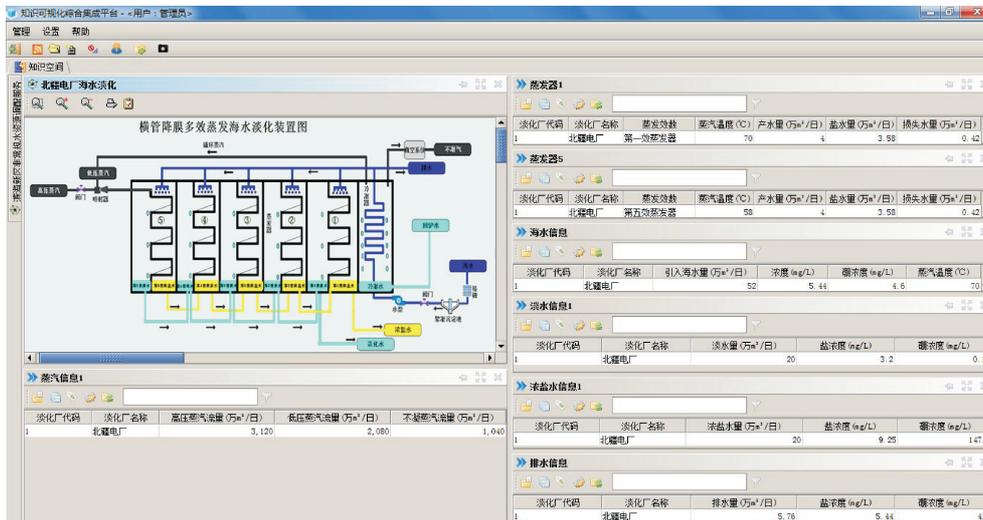


图 19 北疆电厂海水淡化信息  
Fig. 19 Beijiing Power Plant desalination information

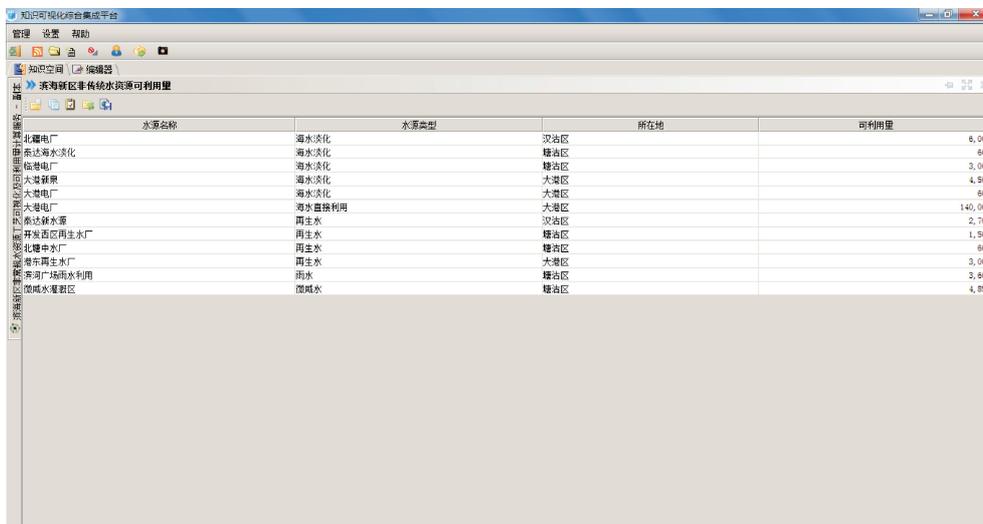


图 20 滨海新区非传统水源统计表  
Fig. 20 Unconventional water source statistics from Binhai Area



图 21 滨海新区非传统水资源可利用量计算柱状图

Fig. 21 Histogram of unconventional water resources availability calculation in Binhai Area

## 4 结论与展望

### 4.1 结论

本文以知识可视化集成平台为基础,通过将非传统水资源工艺流程图形化,并将流程图抽象为有向图再以邻接表的形式储存;依据各个工艺中的流程节点,研究对应的水质水量计算方法,并编写组件添加在工艺流程图的相应位置,实现开发工艺的可视化、流程化管理,将各水源的水质、水量及工艺直观展示。以滨海新区为例,开发非传统水资源工艺可视化及可利用量计算系统,实现区域非传统水源的流程化管理以及可利用量计算。

### 4.2 展望

在已有可利用量计算的基础上,后期可在系统中加入需水量计算、供需平衡分析计算以及分质优化配置等功能,并将非传统水资源纳入整个区域中,与地表水、地下水以及外调水联合配置,实现区域水资源全面优化配置,从而缓解区域缺水矛盾。

#### 参考文献:

- [1] 刘伟. 非常规水资源利用基本问题的研究[D]. 天津: 天津大学, 2004.  
LIU Wei. Research on the problem of the utilization of unconventional water resources [D]. Tianjin: Tianjin University, 2004.
- [2] 解建仓, 罗军刚. 水利信息化综合集成服务平台及应用模式[J]. 水利信息化, 2010,(4):18-23.  
XIE Jiancang, LUO Jungang. Integrated service platform for the information explosion process in water resources industry and its application pattern [J]. Water

Resources Informatization, 2010,(4):18-23.

- [3] 周琰, 周步祥, 邢义. 基于邻接矩阵的图形化网络拓扑分析方法[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(17):49-52,56.  
ZHOU Yan, ZHOU Buxiang, XING Yi. Graphical power network topology analysis based on adjacency matrix [J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(17):49-52,56.
- [4] 孙育文, 周军. 低温多效蒸馏法海水淡化技术的应用[J]. 华电技术, 2009, 31(7):65-67.  
SUN Yuwen, ZHOU Jun. Application of low temperature multi-effective distillation seawater desalination technology [J]. Huadian Technology, 2009, 31(7):65-67.
- [5] 陈艳俊. 城市污水处理工艺流程[J]. 地下水, 2014,36(2):64,83.  
CHEN Yanjun. City sewage treatment process [J]. Ground Water, 2014, 36(2):64,83.
- [6] 于晓晶, 李梅, 陈淑芬. 城市雨水利用模式探讨[J]. 节能与环保, 2008, (5):21-23.  
YU Xiaojing, LI Mei, CHEN Shufen. Discussion on the mode of city rainwater utilization [J]. Energy Conservation and Environmental Protection, 2008, (5):21-23.
- [7] 池文法. 浅谈咸淡水混浇技术的应用[J]. 水科学与工程技术, 2006, (S2):49-50.  
CHI Wenfa. Discussion on the application of salty and fresh water mixing technology [J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2006, (S2):49-50.

(责任编辑 周 蓓)