

# 绿色给水排水系统设计与实践

潘晓玥<sup>1</sup>,董淑秋<sup>1</sup>,刘哲<sup>1</sup>,李萌<sup>2</sup>

(1.北京清华同衡规划设计研究院有限公司,北京 100085; 2.万若(北京)环境工程技术有限公司,北京 100085)

**摘要:**以“贵安新区生态文明创新园”给水排水系统设计为例,详细地阐述了绿色给水排水系统的设计理念、项目创新及新技术应用、系统设计方案等,希望能为推动我国绿色给水排水系统设计提供一定的参考。

**关键词:**绿色给水排水系统;分质供水;负压排水;污水源分离;低影响开发;非常规水资源利用

**中图分类号:** TU 991.02; TU 992.02      **文献标志码:** B      **文章编号:** 1009-7767(2018)01-0151-06

## Design and Practice of Green Water Supply and Drainage System

Pan Xiaoyue, Dong Shuqiu, Liu Zhe, Li Meng

所谓绿色给水排水系统设计,是指既能满足当代人的生活需求,又不影响后代人需要的一种尊重自然规律的发展模式<sup>[1]</sup>。要想真正实现给水排水系统的绿色化发展,需要我们从宏观、中观、微观等多个层面不断地思考与探索,积极寻求新的给水排水系统设计理念,不断推陈出新研发新的给水排水适应技术。同时,以小区、各类园区为着力点开展中试研究,以点带面地推动绿色给水排水系统设计。

### 1 国内外绿色给水排水发展现状

国内外绿色给水排水发展现状,大致包含直饮水系统的建设、低碳化的污水处理、雨水的综合利用及水资源的可持续利用 4 个方面。

#### 1) 直饮水系统的建设

可以说直饮水是当今世界发展的主要潮流,也是发达国家的重要标志。在发达国家直饮水已经比较普遍,美国、欧洲、日本的普及率分别为 60%、56%和 38%。而我国的直饮水事业与国外相差较大,直饮水量仅占城市供水量的 1%~3%<sup>[2]</sup>。

#### 2) 低碳化的污水处理

有人说“自进入 21 世纪以来,集中式污水处理正在被分散式污水处理所取代”。在美国,分散式污水处理已经走过了 100 多年的历程,它与集中式污水处理相互补充、相得益彰,解决了不同条件下的污水处理问题<sup>[3]</sup>。在德国,通过构建分散式雨污水处理设施系统,就近处理雨污水:其一,建设 PAK 湿地污水处理系统,利用介质层和湿地植物营造生态系统;其二,将污水分

为雨水、灰水和黑水分别处理,实现资源回收与利用<sup>[4]</sup>。在我国,如山西科技城等创新园区、科技园区、生态园区的排水系统设计也在不断地摸索与践行类似的低碳、绿色化的污水处理系统,在方案设计时引入了污染分离消纳、循环利用的理念。

#### 3) 雨水的综合利用

雨水的综合管理是城市发展的必然趋势,将防汛排涝、雨水利用和面源污染控制综合考虑,解决城市雨水问题。在日本,雨水主要用于补充地下水、复活泉水、恢复河川基流、改善生态条件,目前屋顶集水面积已超过 20 万 m<sup>2</sup><sup>[5]</sup>;澳大利亚推行的是以“节水”为核心的城市雨水利用,从源头收集控制雨水,用水箱收集雨水并用于冲厕和户外用水<sup>[6]</sup>;美国则以提高雨水天然入渗能力为主,建立屋顶蓄水系统和由入渗池、入渗井、草地、透水地面组成的地表回灌系统;而我国也正在积极推行以“渗、滞、蓄、净、用、排”相结合的海绵城市,实现雨水的自然净化、自然积存、自然渗透。

#### 4) 水资源的可持续利用

水资源的可持续利用是全世界共同的任务,一些国家较早认识到了水资源危机的严重性,将水资源保护和利用提升到重要战略高度,并开展了大量实践工作。马德里的污水处理率为 100%,年处理量 3 亿 m<sup>3</sup>,净化后的再生水通过长约 150 km 的地下管道供给喷泉和城市清洁等公共用水,年利用量高达 600 万 m<sup>3</sup><sup>[2]</sup>。新加坡则将雨水全部收集回用,全国有一半的国土面积是集水区,雨水收集存储后,输送至自来水厂处理,

处理后的水用于居民饮用。在我国,无论是污水再生利用还是雨水利用都处于刚刚起步阶段,全国污水再生利用率不足 30%,雨水利用率则低于 10%。

## 2 项目概况及核心设计理念

### 2.1 项目概况

贵安生态文明创新园(下文简称“创新园”)位于贵州省贵安新区中心区,是中英两国生态技术战略合作的开端。园区规划用地约 6.9 hm<sup>2</sup>,总建筑面积 9 672 m<sup>2</sup>,总容纳人数约 410 人,西邻百马大道和月亮湖公园,南邻贵安新区临时行政中心,北侧为松林,区位条件优

良。园区建设以“生态、低碳、安全、智慧”为核心,并致力于打造一个独特且领先的绿色技术展示平台。

### 2.2 核心设计理念

结合国内外绿色给水排水技术的发展及创新园的功能定位(创新园给水排水系统的总体定位为“生态、低碳、安全、智慧”),通过构建基于节水优先的分质供水系统、基于源头分离的负压排水系统、基于海绵城市的自然排水系统、基于资源化利用的末端处理系统,形成高效循环的水资源体系,如图 1 所示。

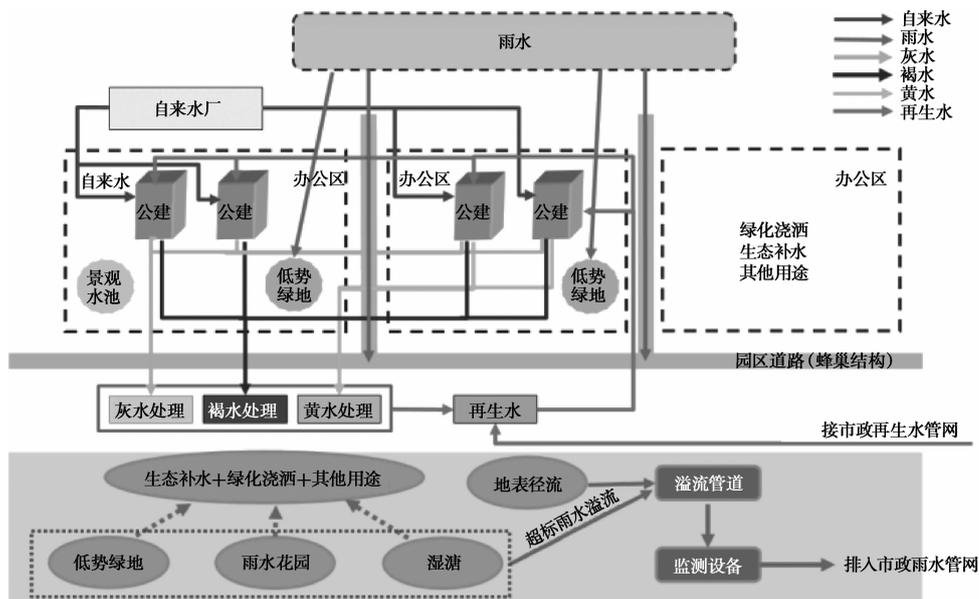


图 1 高效循环的水资源体系构建图

## 3 项目创新及新技术应用

创新园的建设理念先进,但其项目开发及建设时序存在着一定的不确定性,因此设计方案不仅要立足于创新园的实际需求,还要涵盖给水排水领域的全部内容,与创新园绿色化发展的理念相契合,这样才能很好地应对项目的分期开发,从而保证创新园支撑系统的稳定运行。因此,该项目在规划设计时引入了源分离污水处理系统、负压污水收集系统、低影响开发雨水利用系统等多项技术。

### 3.1 源分离污水处理系统

源分离污水处理系统,即将污水分为褐水、黄水和灰水分别进行处理、利用与资源化,与创新园“低碳、绿色”的发展理念相契合。

#### 1) 褐水处理系统

褐水主要是指粪便等营养盐含量较高的混合生

活污水,一般污染物质量浓度较高的厨房废水也可归入此类,园区的绿化垃圾如秸秆、树枝等也可以通过褐水处理系统一并进行处理。在处理时,秸秆和树枝等可通过厌氧热解生成生物炭,粪便、餐厨垃圾和有机垃圾等可通过厌氧发酵形成沼气和绿色肥料<sup>[7]</sup>。

#### 2) 黄水处理系统

黄水主要是指尿液废水,其处理工艺主要采用的是吸附塔的结晶流化床工艺,该工艺能有效地去除黄水中的氮、磷等营养元素并获取有机肥料<sup>[7-8]</sup>。

#### 3) 灰水处理系统

灰水是指洗浴、盥洗、洗衣机等杂排水,其特点是水中的悬浮物、有机物、营养物(氮、磷)及微生物含量比混合生活污水低<sup>[9]</sup>。灰水处理主要采用的是农村微动力一体化设备,利用生物化学处理和 MBR 处理,提高出水水质,达到回用于景观水体的标准。

### 3.2 负压污水收集系统

考虑到园区项目分期建设,先期建设的项目污水产生量相对较少,而污水经源头分离后,各管道内实际流动的污水量及流速也会明显减小,易造成污染物在管道内淤积并腐蚀管网,而负压污水收集系统由于其特殊的工作原理与工作特性,刚好可有效解决以上问题,为创新园绿色给水排水系统设计与实践提供了便利。

负压污水收集系统由负压收集器、负压管道及负压收集站组成。负压收集器为污水的前端收集系统,当负压收集器内的污水达到预定液位后,会发出一个信号传递给末端的负压收集站,负压收集站开始工作,形成负压,将负压收集器内的污水抽吸至负压收集站,再将收集到的污水不断地输送给终端的污水处理系统。

负压管道是负压污水收集系统的一个中间环节,基于负压污水收集系统的工作原理及工作特点,负压管道的管径较常规重力流污水管道明显减小,其管径多介于75~160 mm之间。在敷设过程中负压管道可成束排列,管道埋深也可明显减小,对管道坡降的要求也相对较低,更适用于复杂地形,一般情况下亦无需按照常规污水管道每隔30 m设置1个检查井,可节约土方、管材、空间。

### 3.3 低影响开发雨水利用系统

#### 3.3.1 透水铺装

为了充分发挥“海绵体”的特性,园区路面及停车场采用高分子纳米合金材料和四维蜂巢约束系统(见图2),该系统具有使用寿命长、施工周期短、维护成本低、便于雨水下渗、可减少水土流失等优点。同时在进行园区建设时还将石料填入柔性钢丝笼中达到一定的孔隙率,逐层砌筑成柔性挡土构筑物,从而形成石笼挡墙(见图3),保证水土自然交换,防止水土流失,保证园区排水安全。

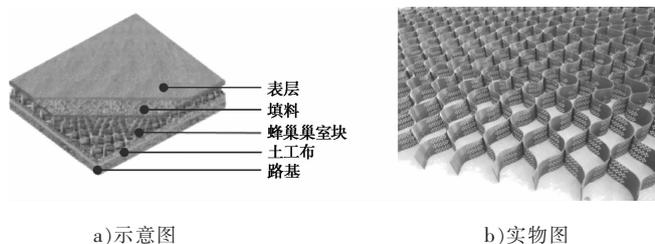


图2 四维蜂巢约束系统

#### 3.3.2 多级台地

依据原始地形,借鉴贵州省当地梯田模式设置台地化解高差(见图4),台地内部平缓。挡墙与平台之间



图3 石笼挡墙示意图

留100~200 mm的高差,用于滞水。充分借助自然力量,选择顺应地形、成本低、维护少的技术措施,大大降低建设成本。



图4 多级台地示意图

#### 3.3.3 下沉式绿地

下沉式绿地可利用植被截留、土壤渗透截留净化雨水。园区的西北角、东南角及东北角地势较低,现状为天然的洼地,适宜进行下沉式绿地建设与改造。

#### 3.3.4 湿塘

湿塘是具有雨水调蓄和净化功能的景观水体,平时发挥正常的景观及休闲、娱乐功能,暴雨发生时发挥调蓄功能。创新园在地形上呈马鞍形,形成了大、小2个台地及1个谷地,具备建设湿塘的天然条件。

#### 3.3.5 蓄水模块及雨水资源化利用

贵安新区多年平均降雨量约为1106 mm,而创新园总建设用地面积为6.9 hm<sup>2</sup>,则园区内年均降雨总量约为7.6万 m<sup>3</sup>,下沉式绿地、蓄水模块等积蓄的雨水可用于园区的绿化、道路浇洒等,缓解再生水的用水压力。蓄水模块示意图如图5所示;雨水回用于景观水池如图6所示。

## 4 系统设计方案

### 4.1 基于节水优先的分质供水系统

考虑优水优用的原则,将园区内的供水分为两大系统,一路为供给生活的自来水系统,一路为供给建筑

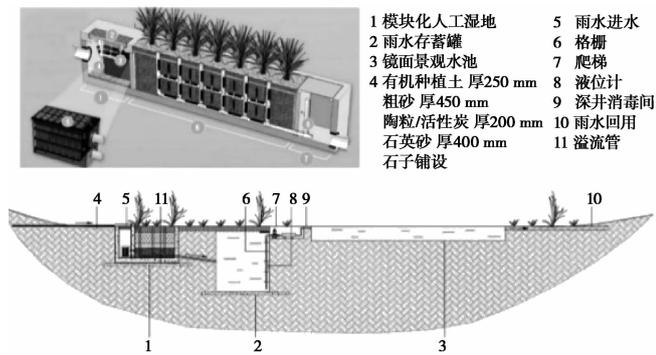


图5 蓄水模块示意图



图6 雨水回用于景观水池

冲厕及绿化浇洒等的非常规水系统。其中非常规水资源主要为园区的再生水及通过低影响开发设施收集到的雨水。

#### 4.1.1 供水配置方案

园区内的建筑由餐饮、办公及配套公建组成,最高日室内用水量约为  $82 \text{ m}^3/\text{d}$ 。考虑优水优用的原则,建筑冲厕用水由再生水供给,约占室内总用水量的  $60\%^{[10]}$ ,生活用水由自来水供给,每日新鲜水需求量约为  $33 \text{ m}^3$ 。

#### 4.1.2 再生水供给策略

再生水是园区可利用的重要水资源之一,宜将其纳入园区水资源统一调配,并优先回用于建筑冲厕,其余用于绿化、道路浇洒及园区生态补水,其产水能力及需求分析如表1所示。

表1 创新园再生水供需平衡分析

来源	供水能力		用途	用水需求	
	产水系数	产水量/ ( $\text{m}^3/\text{d}$ )		用水量/ ( $\text{m}^3/\text{d}$ )	总需水量/ ( $\text{m}^3/\text{d}$ )
黄水	0.8	46	建筑冲厕	49	$\geq 129$
褐水	0.8		绿化、道路浇洒	80.1	
灰水	0.9		生态补水		

因此,为满足园区再生水的使用需求,除自供给外仍需要贵安新区城市再生水管网补充供给。

## 4.2 基于源头分离的负压排水系统

### 4.2.1 负荷预测

园区内污水由居民生活污水和公建污水组成,污水排放系数取  $0.85$ ,日变化系数为  $1.3$ ,污水集中处理率为  $100\%$ ,平均日污水总量约为  $54 \text{ m}^3/\text{d}$ 。冲厕用水约占  $60\%$ ,可近似认为园区内实际产生的灰水量占污水总量的  $40\%$ ,黄水与褐水按  $1:1$  进行分配各占  $30\%$ ,则灰水、黄水、褐水的排放量分别为  $22$ 、 $16$ 、 $16 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

### 4.2.2 系统设计与设施布局

在园区东南角设置污水资源化中心1座,设置灰水、黄水和褐水3套污水处理工艺,其中灰水处理设施按再生水标准设计,资源化中心总占地面积约  $780 \text{ m}^2$ 。并设置灰水、黄水、褐水3套负压排水管道,将污水分类收集并输送至资源中心,如图7所示。

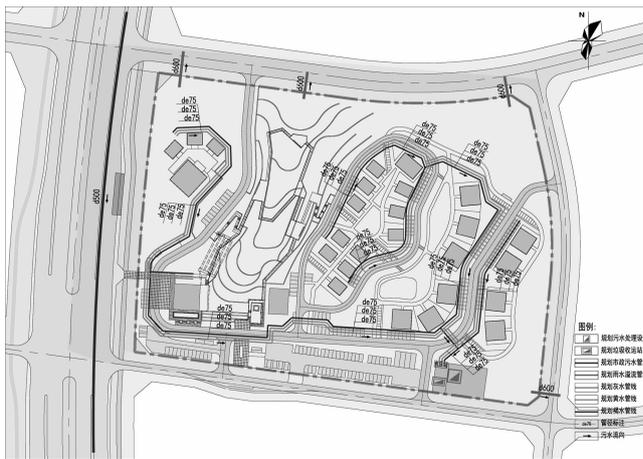


图7 污水收集处理系统示意图

园区内各建筑物内需采用源分离洁具,以实现粪便和尿液的分离,保证园区污水分类收集、分类处理的可行性。

## 4.3 基于海绵城市的自然排水系统

### 4.3.1 指标选取

参照《贵安新区中心区海绵城市专项规划》中的相关建设标准,确定规划区的年径流总量控制率为  $85\%$ ,其对应的设计降雨量为  $32 \text{ mm}$ 。

创新园现状以耕地为主,开发建设前的综合径流系数约为  $0.15$ ,开发建设后虽然下垫面组成发生了变化,但通过采取透水铺装、下沉式绿地等措施,尽量维持开发后的水文特征接近于开发前的水文特征。

### 4.3.2 场地分析及功能设施布局

结合创新园的天然产汇流分析、天然汇水分区以及创新园的用地布局(见图8),将园区划分为4个主要的排水分区,并以此作为创新园海绵化建设的设计分区,落实建设任务。

### 4.3.3 自然排水系统

创新园雨水系统规划以“自然积存、自然渗透、自然净化”为核心,取消传统的雨水管渠集中收集的模式,使区域内的雨水就近下渗及顺地势排放至下沉式绿地、湿塘等调蓄设施,从而实现雨水的间接利用。自然排水系统如图9所示。

### 4.3.4 溢流及监测系统

为了更好地实时掌握低影响开发设施的运行状态,实现园区“海绵”建设效果的量化评估,将在园

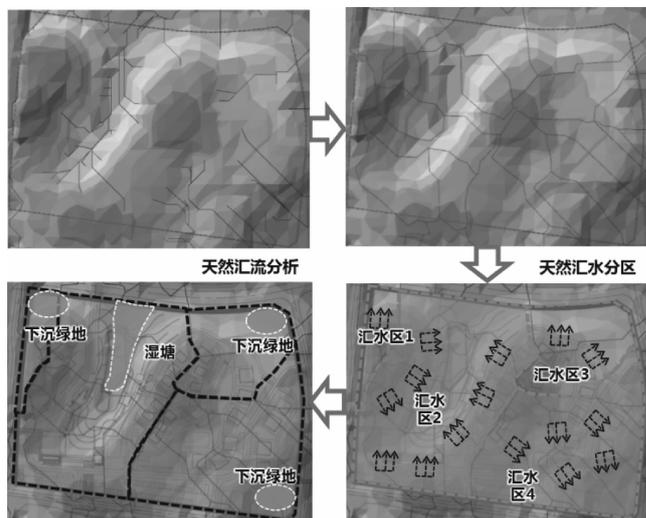


图8 场地分析及功能设施布局图

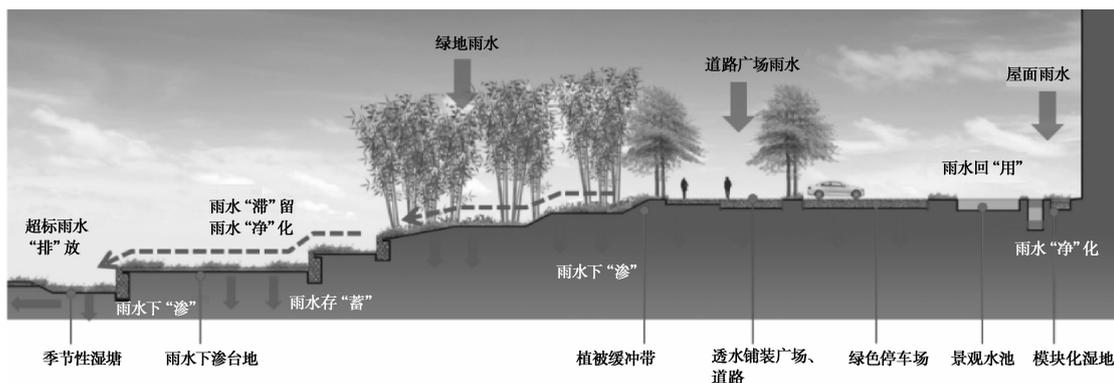


图9 自然排水系统示意图

区设置2个雨量计、4个流量计和10个液位计分别监控园区的降雨量、雨水外排量和雨水下渗利用量。

从保证园区排水安全的角度出发,按50年一遇强降雨的标准,对园区消纳、滞留、积蓄雨水的能力进行校核,并在园区北侧及东南侧下沉式绿地中设置4处雨水溢流口,溢流管管径为600mm,保证强降雨时园区内的雨水可在2h内全部排除。

### 4.4 基于资源化利用的末端处理系统

在末端进行分类处理和资源化回收,形成再生水和有机肥料,建立水、营养物质与能源的循环圈,实现污废零排,是生态文明创新园建设的终极目标。

园区内的餐厨垃圾产生量按0.1kg/(人·d)考虑,则园区每天产生的餐厨垃圾总量约为41kg,经厨余垃圾粉碎机粉碎后,由褐水系统收集至资源中心,经厌氧发酵处理回收利用,无需单独收集及转运。园区绿化垃圾则由环卫工人收集后,清运至资源中心,进行生

态化处理。绿化垃圾产生量按20kg/hm<sup>2</sup>估算,则园区每年产生的绿化垃圾总量约为93kg。

### 5 结语

给水排水规划是城市建设规划中的重要一环,绿色、环保、节能已成为未来城市发展的方向,在规划设计时要勇于创新,通过新的理念、新的技术更好地支撑给水排水的设计工作,用以指导我国城市的科学建设与发展。

污水处理是我国实现节能减排、低碳绿色发展的重要途径,在系统规划、建设和运行的全过程中,需要梳理低碳规划理念,选择适宜的低碳污水处理技术,在保障处理效果的前提下,最大限度地削减碳排放,并尽可能地实现资源回收。

贵安新区生态文明创新园只是绿色给水排水系统设计的一个探讨与应用,其运行效果尚待时间的检验,

(下转第159页)

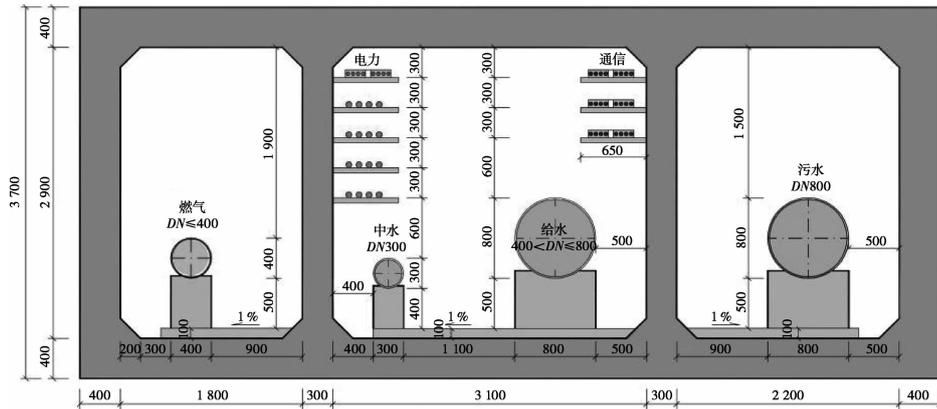


图2 3 舱断面(燃气舱+综合舱+污水舱)

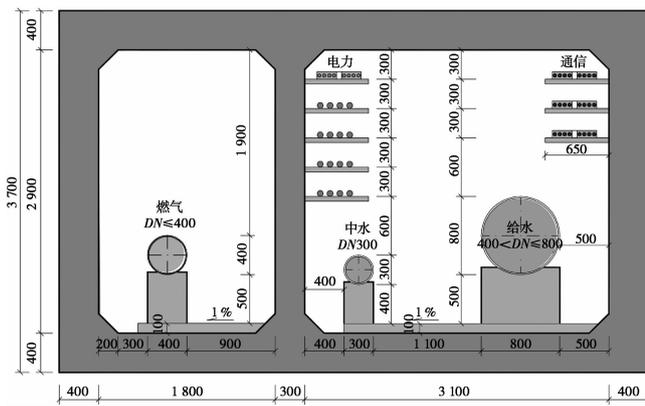


图3 双舱断面(燃气舱+综合舱)

郴州是典型的山地城市,道路路幅宽度具有断面小、起伏大的特点,雨、污水管线均为重力自排,受充满足度、坡度和上下游管线竖向标高的制约。雨、污水管线入廊,在加大工程技术难度的同时,对造价、系统布局

等也有较高的要求。综合管廊建设时,应当结合当地现状及各管线规划,尤其是排水系统规划进行布置,经技术经济比选后,条件不允许时雨、污水管线可不纳入综合管廊。MET

#### 参考文献:

- [1] 靳俊伟,彭颖.山地城市综合管廊规划设计探讨[J].给水排水,2016,42(5):115-117.
- [2] 上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,等.城市综合管廊工程技术规范:GB 50838-2015[S].北京:中国计划出版社,2015.
- [3] 白海龙.城市综合管廊发展趋势研究[J].中国市政工程,2015(6):78-81.

收稿日期:2017-06-16

作者简介:王许兵,男,工程师,硕士,主要从事给排水管网、城市综合管线、城市地下综合管廊的规划与设计工作。

(上接第155页)

而我国绿色给水排水系统设计的推行也需不断地尝试与探索,以点带面逐渐推广。MET

#### 参考文献:

- [1] 王永.给排水工程规划的可持续发展动向研究[C]//中国城市规划学会.2012中国城市规划年会论文集.云南:云南科技出版社,2012:111-120.
- [2] 张辰,谭学军,陈嫣.中国2010上海世博会给排水新技术解读与展望[J].中国给水排水,2010,26(20):7-10.
- [3] 郝晓地,张向萍,兰荔.美国分散式污水处理的历史、现状与未来[J].中国给水排水,2008,24(22):1-5.
- [4] 张鸣,李超君.德国分散式污水处理设计[C]//中国城市规划学会.2008中国城市规划年会论文集.大连:大连出版社,2008:4185-4193.

- [5] 杨文磊.雨水利用在日本[J].水利水电科技进展,2001,21(8):30.
- [6] 童国庆.澳大利亚的城市雨水利用设计[J].水利水电快报,2007,28(15):4-5.
- [7] 李子夫.生活污水的分类收集与处理系统[J].中国给水排水,2001,17(1):64-65.
- [8] 马伟辉,陈洪斌,屈计宁.生活污水源分离、分质处理与资源化[J].中国沼气,2008,26(4):15-19.
- [9] 陈洪斌,陈晨,郑林静,等.半集中式分质供排水处理系统的最适规模探讨[J].给水排水,2011,37(1):131-136.
- [10] 中国人民解放军总后勤部建筑设计研究院.建筑中水设计规范:GB 50336-2002[S].北京:中国计划出版社,2003.

收稿日期:2017-07-20

作者简介:潘晓玥,女,工程师,硕士,主要从事给排水规划设计工作。