

# 扬州市职业大学

## 毕业论文

题目：扬州市职业大学雨洪利用及中水回  
系统建设的初步思考

学 院： 资源与环境工程学院

专 业： 环境监测与治理技术

班 级： 环监 101

姓 名： 曹玉梅

学 号： 100501102

指导教师： 鲍家泽、石光辉、于智勇

完成时间： 2013 年 5 月

## 诚信声明

本人郑重声明：本人所呈交的毕业设计（论文），是在指导老师的指导下独立进行研究所取得的成果。毕业设计（论文）中凡引用他人已经发表或未发表的成果、数据、观点等，均已明确注明出处。除文中已经注明引用的内容外，不包含任何其他个人或集体已经发表或在网上发表的论文。

特此声明。

论文作者签名： 曹玉梅

## 摘要

鉴于当前我国水资源缺乏和水灾害严重的现实性，论文以扬州市职业大学为例，研究分析了我校雨洪利用与中水回用的现状，对并提出具体的对策建议。结论如下：

（1）以扬州市职业大学为例研究了该校文昌校区的雨水概况，并考察了雨水收集利用情况；在此基础上，因地制宜地提出了校园雨水收集技术工艺，主要包括地面雨水、屋顶雨水的收集，进而构建了校园雨水处理及利用系统。

（2）以扬州市职业大学生活污水为例，研究了校园生活污水的概况，并考察了扬州职业大学的用水量，因地制宜地提出了校园生活污水处理工艺，进而构建了校园生活污水处理及利用系统。

（3）以扬州职业大学为例，经过分析学院给排水现状及污水水质，提出了中水系统工程建设路径，并对中水处理系统的成本效益进行了较详细的分析，论证了整个校园改造工程的经济效益。提出了适合高校校园中水回用系统的处理工艺，认为在高校校园内建设中水系统，即有社会效益和环境效益，也有一定的经济效益，对相关高校有一定的借鉴作用。

**关键词：**校园；雨水；生活污水；中水回用系统

## Abstract

In view of the reality of the current shortage of water resources and water disasters in China, the paper analyzed the status situation of the rainwater utilization and water reuse taking Yangzhou Polytechnic College as example, and put forward countermeasures and suggestions. The conclusions are as follows:

The paper researched on the general situation of rainwater in Wenchang Campus, and studied rainwater collection and utilization. On the basis, the author proposed the process of campus rainwater harvesting, which included the collection of ground water and roof rainwater. And then, the system of processing and utilization of campus rainwater was constructed in this paper.

The general situation of campus sewage was also studied, and the water consumption was investigated. The process of campus sewage treatment was developed, and the system of the processing and utilization of campus sewage was also constructed at the same time.

By the analysis of the water quality and the situation of water supply and drainage, the path of water system engineering construction was proposed in this paper. The cost and effectiveness of the treatment system was analyzed in detail. The reclaimed water treatment system was put forward for the campus, and the author developed that the construction of the water system in the university campus had social benefits, environmental benefits and economic benefits, which had certain reference function to the relevant universities.

**Keywords:** the university campus; rainwater; sewage; water reuse system

# 目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
1 绪论.....	1
1.1 课题研究背景.....	1
1.2 研究现状及发展趋势.....	1
1.2.1 研究现状.....	1
1.2.2 发展趋势.....	1
1.3 课题研究的主攻方向及主要内容.....	1
1.3.1 课题研究的主攻方向.....	1
1.3.2 课题研究主要内容.....	2
1.4 课题研究技术路线.....	2
1.5 课题研究的目的是与意义.....	3
1.5.1 课题研究目的.....	3
1.5.2 课题研究意义.....	3
2 校园雨水收集及处理系统构建.....	4
2.1 概述.....	4
2.2 校园雨水及其收集利用的基本情况.....	4
2.2.1 校园雨水概况.....	4
2.2.2 校园雨水收集利用基本情况.....	4
2.3 校园雨水收集技术.....	4
2.4 校园雨水处理及利用系统.....	4
2.4.1 雨水直接利用.....	5
2.4.2 雨水间接利用.....	7
2.4.3 雨水收集利用系统中的弃流设计.....	8
2.4.4 建立校园雨水利用系统存在的问题.....	8
2.5 小结.....	9
3 校园生活污水处理及利用系统构建.....	10
3.1 概述.....	10
3.2 校园生活污水及处理利用基本情况.....	10
3.2.1 校园用水基本情况.....	10
3.2.2 校园生活污水处理利用基本情况.....	10
3.3 校园生活污水处理技术工艺.....	11
3.3.1 废水来源及水质水量.....	11
3.3.2 不同水质废水回用技术的比较.....	11
3.3.3 SBR 工艺介绍.....	11
3.3.4 SBR 工艺适用情况.....	12
3.3.5 SBR 工艺优点.....	12
3.3.6 工艺流程.....	12
3.4 小结.....	13
4 校园雨污处理后的中水综合利用系统构建.....	14

4.1 概述.....	14
4.2 校园平面布置.....	14
4.3 中水综合利用系统构建及布局规划.....	15
4.3.1 学校给排水现状.....	16
4.3.2 雨水收集处理及中水回用分系统构建.....	16
4.3.3 生活污水收集处理及中水回用分系统构建.....	17
<b>5 结论与展望.....</b>	<b>21</b>
5.1 结论.....	21
5.2 展望.....	21
<b>参考文献.....</b>	<b>22</b>
<b>致谢.....</b>	<b>23</b>

# 1 绪论

## 1.1 课题研究背景

当今社会，水资源已不再是一种“取之不尽，用之不竭”的自然资源。水资源匮乏，水体污染严重，水资源浪费，供水矛盾日益突出。水资源不足将成为制约我国国民经济和社会发展的的重要因素，水资源问题能否得到安全解决关系到中国梦的实现。因此，开辟非传统水资源和改善水环境成为当前的热点问题。实施中水回用，实现污水再生利用，是当今世界节水方式的趋势之一。

目前，随着我国高等教育发展，高校校园建设日新月异。高校校区规划面积较大，校园用水量与日俱增。校园污水排放量不断增加，造成当地水污染负荷的上升。同时校园生活污水回用的方面的研究却较少，未能真正的做到校园生活污水的就地资源化和无害化，如卫生冲洗、校园绿化浇灌及清洁道路等，大学校园的中水回用还有很大的空间<sup>[1]</sup>。另一方面，高校作为城市的用水大户，具有用水量及排水量大、水质成分简单、易于处理等特点，非常适合建设中水回用系统，在高校建设中水回用系统不但可以实现污、废水资源化，缓解水资源不足，还可以减少污染排放，减轻城市排水设施的负担，具有明显的经济效益、社会效益和环境效益<sup>[2-6]</sup>。因此，建立高校中水回用系统，实现高校污水再生利用具有现实意义和迫切性。

本课题正是在上述背景下，以扬州市职业大学校园生活污水为研究对象，在文献调研和实验研究的基础上，研究校园生活污水的处理处置方法，并构建校园中水回用系统，以期为学校创建生态校园建设提供理论依据和技术支撑。

## 1.2 研究现状及发展趋势

### 1.2.1 研究现状

国外对雨水利用技术的研究已经较为成熟,基本形成了相应的理论体系和完善的技术措施,并开发生产出了系列化的设备。但国内在这方面的研究尚不成熟,相关政策法规管理还不健全,未引起重视。校园作为城市特殊的一部分,每天都需要大量的用水,水资源问题也日益突出。南京江宁县河海大学校区利用大型实验室屋面和路面建有许多“地下水库”贮存了大量雨水资源,解决了绿化浇灌、路面清洗等水资源问题,同时减轻了排水系统压力和路面积水问题。但是国内绝大多数校园都没有对雨水进行利用,大量雨水资源被浪费掉。目前,校园污水处理工程还不多,未能推广开来,现有的污水处理技术一般有生物技术、物理处理技术、化学处理技术及薄膜处理应用技术等。

### 1.2.2 发展趋势

随着生态校园和可持续发展的提出,校园污水雨水的处理利用工程必将得到各有关领导的重视和一定的政策支持与倾斜。所有这些都说明校园污水雨水利用工程作为生态校园建设的重要一环,也作为一种发展趋势,其实施是有基础的,有依据的,是可行的。

## 1.3 课题研究的主攻方向及主要内容

### 1.3.1 课题研究的主攻方向

- (1) 高校校园因地制宜的雨水收集、利用工艺系统构建
- (2) 高校生活污水处理及利用系统构建
- (3) 校园中水综合利用系统构建及布局规划

### 1.3.2 课题研究主要内容

(1) 研究综述：主要介绍课题的研究背景，分析高校校园雨污处理及中水利用系统构建的必要性；在查阅文献资料的基础上，综述了当前高校雨水、污水处理及综合利用的研究现状，总结该领域的发展趋势；

(2) 校园雨水收集及处理系统的构建：以扬州市职业大学为例，研究了校园雨水收集及处理系统的构建。主要包括地面、屋顶雨水收集、处理及利用的工艺路线设计，构建雨水收集及利用系统。

(3) 校园污水处理及利用系统构建：以扬州市职业大学为例，在考察校园生活污水及处理利用的现状基础上，提出可行的污水处理工艺路线，进而构建生活污水处理及利用系统。

(4) 校园中水综合利用系统构建及布局规划：在前述的校园雨水收集及处理系统构建、校园污水处理及利用系统构建的基础上，结合扬州市职业大学校园实际情况，因地制宜地进行中水综合利用系统构建及布局规划，实现中水的多途径回用。同时，还分析了校园雨污利用及中水回用系统构建的效益。

(5) 总结与展望：在上述研究基础上，总结校园雨污处理利用的基本现状及扬州职业大学校园雨污利用系统初步设计的主要结果，总结系统构建的效益，指出在高校校园构建雨污处理及中水利用系统的必要性和现实可行性；展望了今后高校校园雨污利用及中水回用的主要发展思路及需要进一步开展的工作。

## 1.4 课题研究技术路线

课题研究技术路线见图 1-1。

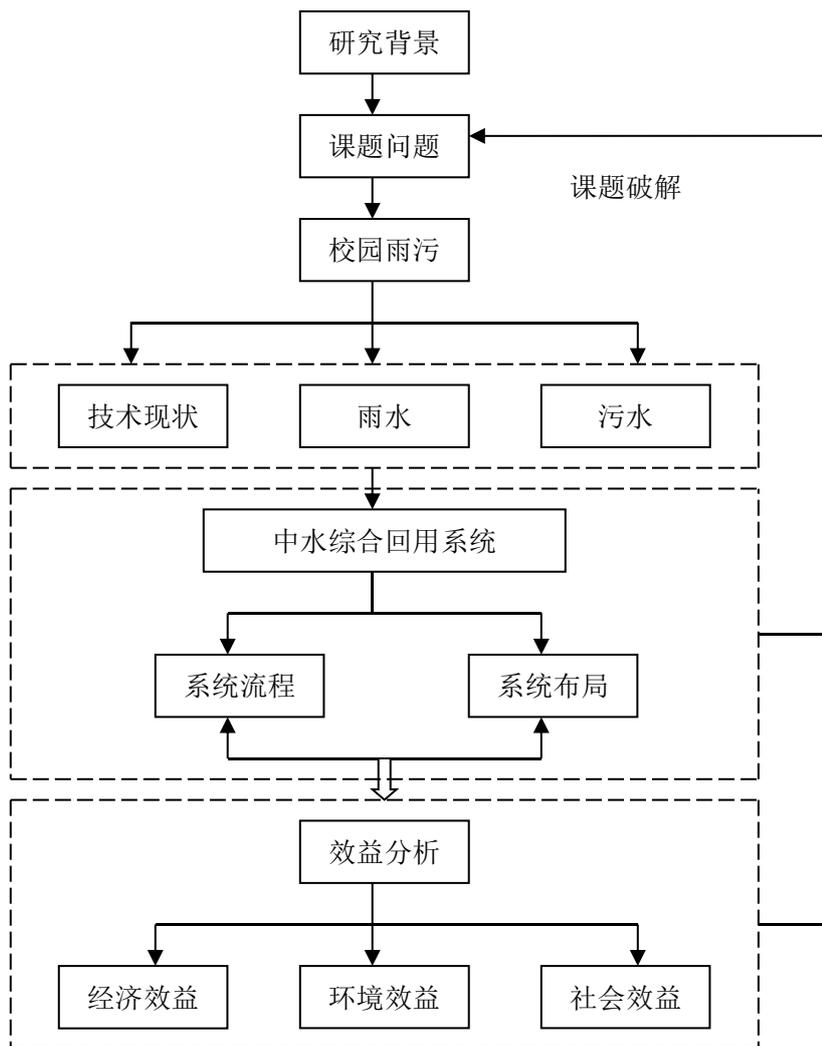


图 1-1 课题研究技术路线

## 1.5 课题研究的目的是与意义

### 1.5.1 课题研究目的

通过在文献调研的基础上，结合现场实际考察，以校园生活污水处理及回用试验为基本出发点，构建校园中水处理及利用综合系统，实现校园的水资源（生活污水）回用于学校的绿化、冲厕、拖地等，达到节约水资源、节省用水开支的目的，同时为学校低碳校园建设及其它高校校园的水资源综合利用提供理论依据和技术指导。

### 1.5.2 课题研究意义

校园作为用水大户，其水资源的综合利用具有重要的现实意义和示范意义。论文以扬州市职业大学为例，构建了校园生活污水处理回用试验及工艺初步设计系统，可间接地扩大学校的“供水量”、减少学校的“需水量”和“排水量”，缓解对城市供排水系统的压力。课题研究成果，可为我国生态校园、低碳型校园建设提供参考，可进一步提升高校校园在生态环境保护中的示范作用。

## 2 校园雨水收集及处理系统构建

### 2.1 概述

本章首先以扬州市职业大学为例研究了该校文昌校区的雨水概况，并考察了雨水收集利用情况；在此基础上，因地制宜地提出了校园雨水收集技术工艺，主要包括地面雨水、屋顶雨水的收集，进而构建了校园雨水处理及利用系统。

### 2.2 校园雨水及其收集利用的基本情况

#### 2.2.1 校园雨水概况

扬州市职业大学总占地 1062 亩，分为教学区和生活区，校舍建筑面积 42.2 万平方米。设计方案主要是将两个区域的雨水通过雨水管网汇入集水池内，经过初期雨水弃流、雨水沉淀及处理设施处理后作为校园绿化用水、景观用水等，校园其它部分雨水经校园两侧分别排入市政雨水管网。

#### 2.2.2 校园雨水收集利用基本情况

学校目前的雨水收集情况：目前校区雨水主要是经过地表径流排入雨水管道；部分雨水经过地表径流排入校园内的人工湖、池塘；在降雨高峰期（特别是夏季梅雨季节），当降雨量过大持续时间过长时，大量的雨水径流由于雨水管道部分堵塞而直接排入污水管网甚至形成校园内涝。屋顶雨水经过屋顶及雨落管直接排泄到雨水管道，未进行收集利用。

学校文昌校区是新建的校区，校园雨水、污水管网比较健全，人工湖比较大，校园绿化面积较大。这些均为校园雨水径流收集及处理处置创造了良好的基础条件。

### 2.3 校园雨水收集技术

(1) 雨水径流收集 来自屋面等面积的降水径流初期受到轻度污染，水质较差，实测资料表明，COD 为 2000mg/L，SS 为 1000-3000 mg/L，随着降雨时间迅速降低，降雨后期 COD 为 100 mg/L，SS 为 20-50 mg/L，色度 45 度。收集雨水时，一般要经过初期弃流，将水质较差的雨水经过初弃装置，排至校园雨水管道，初期弃流量为 2mm 降雨量计。

(2) 径流传输与贮存由于降雨的随机性，间断性和地理、气候、经济条件等因素，一般就地利用，贮存池不宜过大，造成浪费，一般按 1 年的水量存贮设计。

(3) 雨水径流过滤，控制与处理经过初期弃流的雨水水质较为稳定，且悬浮固体含量较低，经贮水池调节，沉淀后过滤，一般过滤有两种形式，一种是压力滤池过滤，一种是利用人工土壤自然净化。根据实测资料，经过这两种过滤净化后的雨水，COD 去除率为 65%，SS 去除率为 88%，色度去除率为 56%。水质能满足《生活杂用水水质标准》。

### 2.4 校园雨水处理及利用系统

雨水利用不仅是开源节流的一条途径，而且对生态环境的改善、水污染的控制等方面也具有重大意义。雨水利用主要有以下两种形式：①渗透回灌以补

充地下水；②作中水回用。

雨水在实际利用时要受到许多因素的制约，如气候条件、降雨季节的分配、雨水水质情况等自然因素的制约以及特定地区建筑的布局和构造等其它因素的影响。且随着城区规模的不断扩大，道路硬化面积的增加，年降雨径流量逐年增加。一般来说对于城区雨水主要有屋面、道路、绿地 3 种汇流介质。根据我国城市卫生状况及我们对雨水水质测定的实测情况，在这 3 种汇流介质中，地面径流雨水水质较差，城市道路初期雨水中 COD 通常高达 3000~4000mg / L；而绿地径流雨水又基本以渗透为主，可收集雨量有限；比较而言屋面雨水水质较好、径流量大、便于收集利用，其利用价值最高。

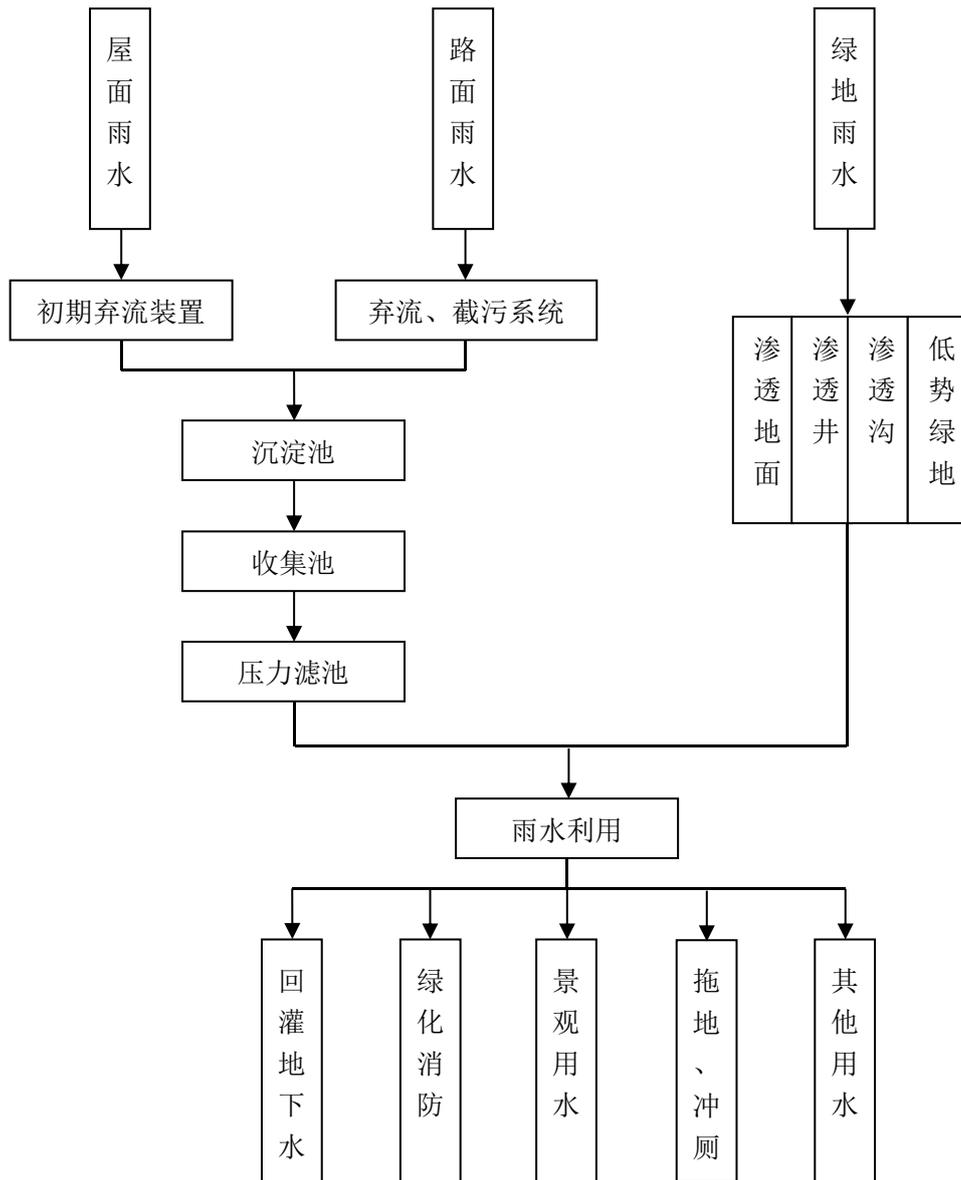


图 2-1 学校雨洪利用系统总体设计

## 2.4.1 雨水直接利用

### (1) 屋面雨水收集利用

屋面径流污染也比较严重，尤其初期雨水污染最为严重。水质浑浊、色度大。经试验研究发现雨水水质不仅与降雨强度有关，也与屋面材料、空气质量、气温、

两次降雨间隔时间等因素有关。而且从试验结果可以看出初期径流水质较差，所测COD多在500mg/L以上，有些高达2000~3000mg/L，甚至更高(如夏季沥青油毡屋面雨水)，故雨水利用时应考虑初期弃流。经研究初期弃流量可定为2mm。试验研究还表明，屋面雨水水质的可生化性较差，一般BOD/COD的值在0.10~0.15。由此可见，屋面雨水处理不宜采用生化方法，宜采用物化方法。

根据雨污分流的排水体系，可在建筑物周围的雨水集水井的基础上，进一步拓宽地下空间，建造地下雨水贮水池。初期弃流后的屋面雨水经雨水斗、雨水立管和过滤器过滤后注入贮水池，贮水池兼具有贮藏、调节、沉淀的作用。同时在地下设施中设置提升泵站，提升泵站将收集处理后的雨水打入中水集水井，作为中水的补给水源之一，用于楼宇前绿地浇灌和道路喷洒。

我校屋面皆采用水泥质屋面，屋面雨水水质较好，径流量大、便于收集利用。宿舍楼区、教学区、办公区等建筑屋面雨水在经过初期弃流装置将初期径流排出后可采用絮凝沉淀工艺进行处理，工艺简便、易操作且处理效果较好。处理后的雨水可用于道路喷洒、建筑周围绿地浇灌等杂用。屋面雨水利用工艺流程如下图2-2所示。其中，溢流管道的水可以通过管道进入人工湖或多余的雨水通过排水管排入市政管网。

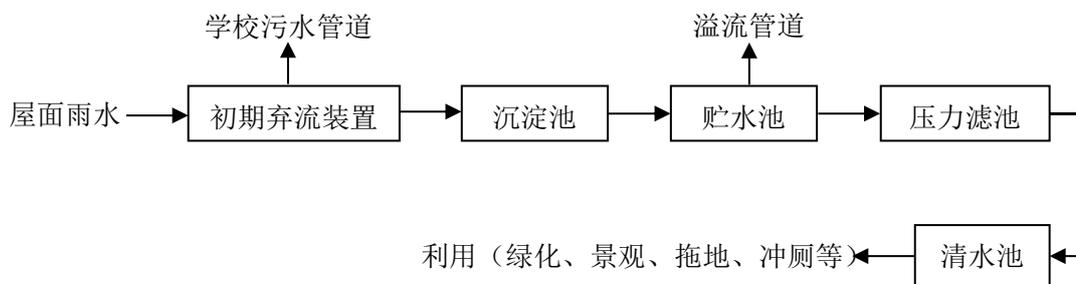


图 2-2 屋面雨水利用工程流程图

在设计方案中，屋面雨水经雨落管进入初期弃流装置，通过初期弃流装置将初期较脏的雨水排至学校污水管道，进入城市污水处理厂处理后排放，防止了初期径流中污染物对环境的影响，同时为屋面雨水进一步处理利用创造条件。经初期弃流后的雨水通过管、渠送至贮水池收集，该池兼具贮藏、调节、沉淀的作用。然后经泵提升至压力滤池，在进入压力滤池之前，即泵的出水管道上通过混凝加药装置投加混凝剂，考虑到初期弃流后的雨水水质较为稳定，且悬浮固体含量较低，所以混凝形成絮体后进入压力滤池直接过滤，以充分利用深层滤料中的接触凝聚或絮凝的作用，而且直接过滤工艺简单，混凝剂用量少，较为经济。出水经过消毒进入中水池，用于学校各种生活杂用水，如绿化、喷洒路面、拖地、冲厕等。考虑到降雨的间断性和随机性，可以通过池体构造的合理设计，将贮水池和中水池合二为一，以减少占地和基建费用。再如学校设有水景设施（教学区人工湖、喷泉广场与实验楼西南角的沟渠、美食广场的小池塘），也可纳入雨水的收集利用系统进行综合设计，以促进雨水收集利用系统的优化。

收集后的雨水经过收集管道底部的预过滤设备，进入储水池进行储存。利用水泵提升，并经进水口的浮筒式过滤器过滤后用于教学楼、宿舍楼冲洗厕所或洗衣服。

## （2）道路雨水收集利用

大学校区校园道路雨水不同于城市道路雨水，污染物、油渍等物质较少，处理工艺流程较为简单。扬州市职业大学新校区地势稍有一定的坡度，西南略高东

北低，便于道路雨水收集。道路雨水可在雨水口处过滤，拦截道路上的树叶、悬浮固体等杂物，并使之最终流入雨水贮水池。雨水贮水池依据地势可建在人工湖北侧绿地处，将通过道路两侧用于收集排放雨水的管线进行改造，直接将管线铺至雨水贮水池下方；另外绿地溢流出的雨水经下凹式绿地雨水明水沟排入雨水管线，与道路雨水一起进入雨水贮水池，后经过自然沉淀及混凝作用使雨水进行初步处理，再利用泵站将贮水池内的雨水提升至湖南侧入水口外，在湖水南侧水域对雨水做进一步的生态处理。具体做法如下：将南侧湖域用隔水板分隔成若干小单元，在各个小型单元内种植作用不同的水生植物以进一步净化雨水，根据工艺流程及观赏效果的需要，分配布置植物优势种和点缀种，各植物床、植物塘单元以优势种命名，具体流程如图2-3所示。其中芡实对COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>等有降解作用，睡莲对COD<sub>Cr</sub>等有降解作用，芦苇、鸢尾、旱伞莲、香蒲和水葱等植物根系对重金属具有吸收作用，荷花则对砷、汞、悬浮物等具有吸收作用。此外，在人工湖大面积区域内放养具有观赏价值和具有水质检测作用的鱼类，一方面增加生态效果，另一方面检测雨水水质是否达到要求，还可以避免在夏季出现水藻爆发的问题。

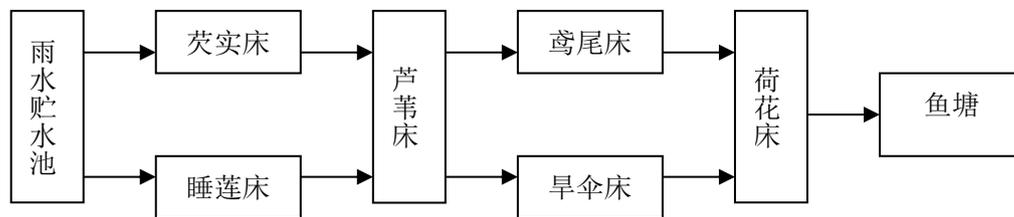


图 2-3 道路雨水收集利用流程图

## 2.4.2 雨水间接利用

### (1) 下凹式绿地<sup>[7]</sup>

草坪地面低于路面的入渗量比高于地面时多2~3倍。在相对标高设计上采取“建筑物>硬化地面>绿地>排水口”的模式，即通常所说的下凹式绿地。

目前，各种绿地多为上凸式或平地式，为促进雨水下渗，校园绿地标高宜低于道路标高，规划建设下凹式绿地，将校园绿地建成天然的汇集池。下凹式绿地具有蓄渗雨水、削减洪峰流量、过滤水质和防止水土流失等优点，是雨水利用的重要途径之一。下凹式绿地可以减少灌溉次数和灌溉量。此外，以往道路必备的大量配套雨水井和雨水管也可以大大减少。

扬州职业大学主校区大多为上凸式或平地式绿地，对这两种类型不同的绿地有着相似的改造方法，一是可在绿地边缘或中央设置雨水明沟，以防止雨量较大时造成绿地雨水溢流至道路或人行道，另一种方法是选择冷季性草坪或耐旱、耐践踏及保持水土性较强的植被以增加雨水在绿地的渗透量。

### (2) 透水性铺地

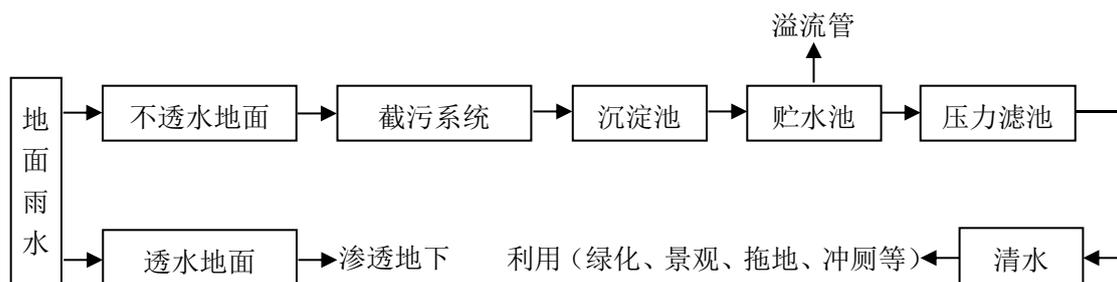


图 2-4 地面雨水利用系统流程图

透水性铺地是指能使雨水直接渗入路基的人工铺筑路面，一般有良好的透水、透气性能，雨水可直接渗透到地下。对植物而言，透水性铺地能改善植物生长条件和生存环境，增加根系生长深度，加快植物的生长速度，增强抗逆性，直接减少对人工灌溉的需求。透水性铺地还能调节温度和湿度，改善校园生态环境。

扬州市职业大学可采用嵌草铺地、植草砖铺地、植草板铺设、路面透水性铺装、渗透设施铺设等方式，与下凹式绿地不同点在于这几种雨水间接利用方式都需要人为铺设雨水构筑物以促进雨水的下渗，植草砖、植草板需要设置适合当地情况的孔径以利于孔洞中草种的生长，路面透水、渗透设施则需要设置以透水性混凝土和PVC管等为主要原料的渗透性铺设以促进雨水进一步下渗。

### 2.4.3 雨水收集利用系统中的弃流设计

屋面雨水污染物主要来源为屋面材料分解，大气中的沉积物和天然降水。由于屋面径流雨水经常表现出初期冲刷效应，初期径流雨水中污染物浓度较高，水质混浊，随着降雨的持续，一旦冲刷效应完成，径流雨水的水质将明显提高。这一变化规律对雨水收集利用设计具有重要价值，若我们在雨水收集时弃流掉初期污染严重的径流雨水，便可以大大减轻后续处理构筑物的负担，节约投资，减少运行费用。

根据我校屋顶面积及其形状，在每栋建筑前后墙各设1根雨落管，分别通过各自的初期弃流装置将初期雨水排至学校污水管道。初期弃流量按2mm降雨量设计，根据所收集屋面的大小，确定所需弃流装置的容积。经初期弃流后的雨水可以在很大程度上降低雨水利用的难度、提高净化系统效率，并降低其运行成本。初期雨水经弃流器进入弃流池，弃流器中的浮球随着弃流池中的水位提高而逐步上升，当弃流池中的水位到达设计水位时，浮球也上升至弃流器顶部，堵住了弃流器的进水口，之后产生的径流雨水便改道流入雨水储存池，从而完成对污染严重的初期径流雨水的弃流。对于已收集的初期弃流，降雨结束后可以打开放空管上的阀门使其流入学校污水管道。

### 2.4.4 建立校园雨水利用系统存在的问题

#### ① 资金方面

项目资金是首当其冲要解决的问题。雨水利用需要增加投资，而且会增加建设项目的复杂性和周期。校园基础设施建设属于财政拨款和公益性建设项目，国家对此投资控制很严格，一般建设资金都比较紧张，而且工期要求也比较严格，很难有富余的资金和时间建设雨水利用项目。另外，自来水水价较低，投资回收期长，节水的经济效益不明显，因此雨水利用的推行缓慢，从全国范围看，我国的雨水收集与利用率还很低。各级政府的领导和支持是解决问题的关键，应尽快出台相应的鼓励和资金补贴政策，加大雨水利用项目的资金扶持，提高雨水利用积极性，同时给予政策优惠，以促进雨水收集利用设施的顺利普及。

#### ② 技术和产品方面

虽然《建筑与小区雨水利用工程技术规范》总结了大部分现阶段的研究成果，但仍存在很多雨水利用领域的技术问题有待解决。如：雨水利用设施建成后如何评价其性能，如何减少雨水排放设施的规模等。此外，雨水利用产品不丰富，目前只有少数厂家生产雨水利用产品，与形成独立的产业还相差较大，而国外的产品价格过高，全部依赖进口会使雨水利用项目投资增加很多。建立校园雨水利用系统就要很好的解决这些问题，尤其是综合性高校，应充分发挥其技术密集的优势。

势，解决技术难题。校园雨水利用系统可分步建设，也可一次性建设完成。通过产学研相结合，探索雨水利用的新途径，新方法，开发雨水利用新产品等，最终形成具有自主知识产权的雨水利用新技术，提高我国雨水利用的整体水平。

### ③运行与维护方面

雨水利用系统通过竣工验收后，要加强后期运行与维护管理。维护的好可以延长系统生命周期，减少相应投入。维护不善会使系统效率低下，设备寿命降低，增加不必要的成本投入。

雨水利用系统运行后至少应做到：定期对系统运行状态进行观察，发现异常情况及时处理；注意及时清理漂浮物和沉淀物；保持汇流管，溢流管（口）的畅通；雨水利用设施必须按照操作规程和要求使用与维护，一般设专人管理。

雨水利用系统的后期评价也很重要，应建立和完善后评价体系。通过对项目规划设计，项目实施，项目运营等情况的综合研究和总结，衡量和分析项目的实施运营与经济效益情况及其预测情况的差距，为今后改进系统积累经验。

## 2.5 小结

本章主要以扬州职业大学为例，通过实地考察针对该校的屋面、地面雨水设计了相对的雨水收集系统，使得雨水能得到更好的回收利用。

### 3 校园生活污水处理及利用系统构建

#### 3.1 概述

本章主要以扬州市职业大学生生活污水为例，研究了校园生活污水的概况，并考察了扬州职业大学的用水量，因地制宜地提出了校园生活污水处理工艺，进而构建了校园生活污水处理及利用系统。

#### 3.2 校园生活污水及处理利用基本情况

##### 3.2.1 校园用水基本情况

###### (1) 校园用水定额量

根据《建筑给水排水设计规范》(GB50015-2003)规定，集体宿舍用水量为每人每日(最高日)100~200 L，采用公式： $Q=m \times q_d$ 计算(此处， $m=20000$ 人)，用水量为 $20000 \times 150$  (取平均值) $=3000000 \text{ L}=3000\text{m}^3$ ，加之教职工有1500人，分布在办公楼和教学楼中，根据《建筑给水排水设计规范》(GB50015-2003)的规定，用水量为每人每班(最高日)：30~60L，采用公式： $Q=m \times q_d$ 计算，用水量为： $1500 \times 60=90\text{m}^3$ ，故全校每日用水量约为 $3000\text{m}^3+90\text{m}^3=3090\text{m}^3 \approx 3100\text{m}^3$  (与学校平均每日用水4500t/d比较接近)。

###### (2) 校园实际用水量

按扬州市职业大学文昌校区后勤物业管理处提供的月用水记录，结合用水定额标准，学校生均用水量按225L/(人·d)计，在校生人数2万人计，每天用水量至少4500t。

用水特点：

(1) 用水量大，用水额度超出了《建筑给排水设计规范》(GB50015-2003)的用水定额；

(2) 生活废水污染程度低、组分单一，易进行处理；

(3) 可回收处理的废水比例高、废水量大；

(4) 中水回用的环节较多，水量较大，可作校园杂用水；杂用途径也较多；

(5) 校园内作息规律一致，用水和污水排水量变化特点显著；

(6) 给水和排水设施简单。

##### 3.2.2 校园生活污水处理利用基本情况

据统计，各高校人均用水量300~800L/(人·d)，是居民人均生活用水量的1~2倍，水资源浪费十分严重<sup>[8]</sup>。而根据扬州市职业大学文昌校区后勤管理处提供的月用水记录，学校生均用水量按225L/(人·d)计，在校生人数2万人计，则每天用水量至少4500t，污水产生量按80~90%计，由此而产生了至少3400t的废水排放量。

在如此庞大的废水排放量中，洗涤、盥洗废水、食堂废水、冲厕及淋浴废水约占用水量的70~80%，易处理水占总水量的绝大多数。其中，洗涤与盥洗废水、淋浴废水等优质杂排水可以作为首选的中水原水。据调查，其 $\text{BOD}_5 \leq 100\text{mg/L}$ ， $\text{COD} \leq 150\text{mg/L}$ 。同时，宿舍用水占总用水量的比例最高，洗澡、盥洗、洗衣废水占总废水量的比例大。目前这些生活污水是直接排放进入污水管网，未能实现处理利用，十分可惜。

根据其它小区或学校同类型工程的经验，扬州市职业大学文昌校区污水处理后作为校园杂用水可用于冲厕、扫除、绿地浇灌、洗车、景观用水等，可以节省大量的自来水用量。随着自来水价格不断升高，校园中水回用能够为高校带来直接的经济利益。

与此同时，从污水处理上看，校园污水处理系统的工艺原理与城市大型污水处理厂完全相同，处理流程由机械处理、生化处理和污泥处理等阶段组成。随着国内外成熟技术的借鉴和国内的研究实践，校园污水处理技术得到了发展。

### 3.3 校园生活污水处理技术工艺

#### 3.3.1 废水来源及水质水量

##### (1) 废水来源与水量

扬州市职业大学文昌校区现有各类在校学生 2.0 万人。根据后勤物业管理处提供的月用水记录，学校生均用水量按 225L/(人·d) 计，每天需用新鲜水量约 4500t。用水量的 80% 转化为废水，则废水排放量约 3400t/d。考虑到流量总变化系数  $K_z$  ( $K_z=1.80$ )，则设计流量为  $Q_{max}=K_z \cdot Q=1.80 \times 3400t/d \approx 6120t/d$ 。

##### (2) 生活污水水质与回用标准

校园生活污水经 SBR 生化处理和消毒后达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T18920-2002)，用于校园冲厕、道路清扫、消防、校园绿化、车辆冲洗以及建筑施工等。表 3-1 为废水水质水量及处理标准。

表 3-1 废水水质水量及处理标准

项目	COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	pH	SS	色度	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	废水量
废水水质	300	190	6~8	170	100	30	2.0	6120t/d
排放标准	50*	10	6~9	5*	30	10	0.5*	—

注：\*表示《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T18920-2002) 中没有作要求的指标。

#### 3.3.2 不同水质废水回用技术的比较

##### (1) 膜生物反应器 (MBR) 处理回用技术

膜生物反应器 (Membrane Bioreactor, 简称 MBR) 是指将膜分离技术中的膜组件与污水生物处理中的生物反应器相结合的新型处理系统，膜生物反应器综合了膜处理技术和生物处理技术的优点，膜组件作为泥水分离单元反应器综合了膜处理技术和生物处理技术的优点，膜组件作为泥水分离单元可以完全取代二沉池，微孔超滤膜截留活性污泥混合液中微生物絮体和较大分子的有机物从而产生质量较高的膜滤后出水，并且几乎不排剩余污泥，这种新型系统具有技术先进，管理简单，占地面积小等优势，在国际和国内受到了越来越多的关注。

##### (2) 优势菌+SBR处理生活污水

由于校园食堂排水及厕所生活污水的水质不同于洗浴及盥洗废水的水质，校园生活污水的 NH<sub>3</sub>-N 含量和浊度较高，且有臭味水质较差，因此采用传统的 SBR 法处理。

#### 3.3.3 SBR 工艺介绍

序批式活性污泥法工艺 (SBR 法) 是由按一定顺序间歇操作运行的 SBR 反应器组成的。SBR 工艺的一个完整的操作过程包括如下五个阶段：进水、反应、

沉淀、出水、闲置。SBR 法的运行工况是以间歇操作为主要特征。

### 3.3.4 SBR 工艺适用情况

(1) 中小城镇生活污水和厂矿企业的工业废水，尤其是间歇排放和流量变化较大的地方；

(2) 需要较高出水水质的地方，不但要去除有机物，还要求出水中脱氮除磷，防止河湖富营养化；

(3) 水资源紧缺的地方，SBR 系统可在生物处理后进行物化处理，不需要增加设施，便于水的回收利用；或用水紧张的地方。

(4) 非常适合处理小水量，间歇排放的工业废水与分散点源污染的治理。

因此，本课题拟选用 SBR 法处理校园生活污水，研究 SBR 法的相关运行参数，以实现校园污水的处理与回用。

### 3.3.5 SBR 工艺优点

(1) 理想的推流过程使生化反应推动力增大、效率提高，池内厌氧、好氧处于交替状态，净化效果好；

(2) 运行效果稳定，污水在理想的静止状态下沉淀需要时间短、效率高，出水水质好；

(3) 耐冲击负荷，池内有滞留的处理水，对污水有稀释、缓冲作用，有效抵抗水量和有机的冲击；

(4) 工艺过程中的各工序可根据水质、水量进行调整，运行灵活；

(5) 处理设备少、构造简单，便于操作和维护管理；

(6) 反应池内存在 DO、BOD<sub>5</sub> 浓度梯度，有效控制活性污泥膨胀；

(7) SBR 法系统本身也适合于组合式构造方法，利于废水处理系统的扩建和改造；

(8) 脱氮除磷适，当控制运行方式，实现好氧、缺氧、厌氧状态交替，具有良好的脱氮除磷效果；

(9) 工艺流程简单、造价低。主体设备只有一个序批式间歇反应器，无二沉池、污泥回流系统，调节池、初沉池也可省略，布置紧凑、占地面积省。

### 3.3.6 工艺流程

根据废水水质、水量特征，选择一次性投资少、运行费用低、运行稳定的 SBR 工艺+过滤+ClO<sub>2</sub> 消毒处理装置进行校园生活污水处理。工艺流程见图 3-1。相关设计参数及设备选型见表 3-2、3-3。

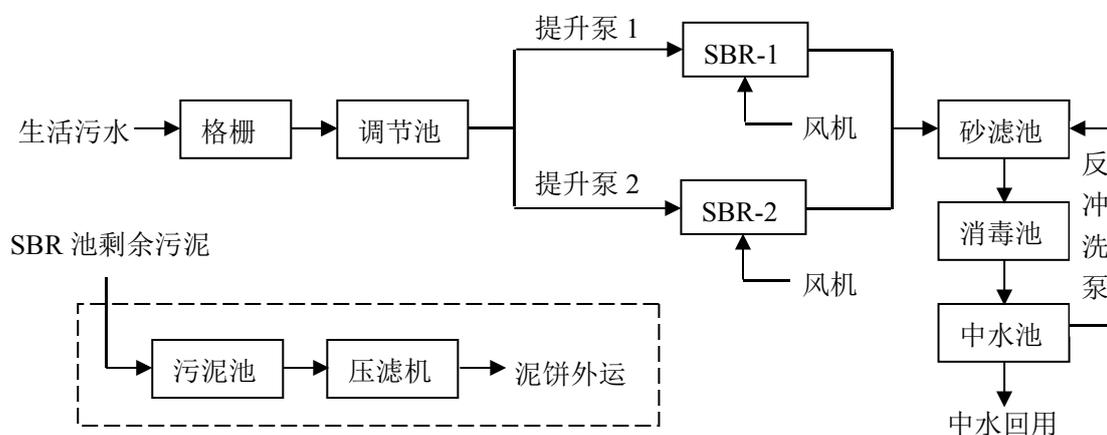


图 3-1 污水处理工艺流程图

表 3-2 各构筑物及设计参数一览表

序号	构筑物名称	尺寸规格	备注
1	格栅井	1m×1m×2.5m	栅间距为 5mm，格栅倾斜角 60°
2	调节池	20m×25m×3.0m	数量：1 座；有效池容：1500m <sup>3</sup>
3	SBR 池	Φ20m×5m	数量：2 座；单池有效容积：750m <sup>3</sup> ；曝气时间：4.0h
4	污泥池	4m×5m×3.0m	数量：1 座
5	中水池	15m×25m×4.5m	数量：1 座；有效容积：150m <sup>3</sup>
6	消毒池	15m×25m×3.5m	数量：1 座；有效容积：1125m <sup>3</sup> ；污泥停留时间：24h

3-3 主要设备选型一览表

设备	数量（台）	型号	功率（kW）
潜污泵	4	150WQ150-15-11	11
SBR 罗茨风机	2	JTS100	15
滗水器	2	旋转式 XBS-3000	0.55
过滤设备	2	XT-8 型自清洗过滤器	0.37
污泥池搅拌机	1	—	2.2
ClO <sub>2</sub> 发生器	1	KW1600	12
污泥压滤机	—	XMZ30/800-UB	3
螺杆泵	—	G30-1	2.2

### 3.4 小结

本章主要以扬州市职业大学生活污水为例，进行了 SBR 法处理污水及中水回用的工艺设计，使校园中的生活污水得到了充分的利用。

## 4 校园雨污处理后的中水综合利用系统构建

### 4.1 概述

本章以扬州职业大学文昌校区为例，基于前面对校园雨水收集及处理系统和校园生活污水处理及利用系统的研究结果，因地制宜地提出了中水综合利用处理工艺，进而构建了校园雨污处理后的中水综合利用系统。

### 4.2 校园平面布置

扬州职业大学校园平面布置见 4-1。



图 4-1 校园平面规划效果图

其中，南部区块为教学区，北部区块为校园生活区，南北区块以扬冶公路相隔，以地下通道连通。图 4-2 为校园的详细规划布置。

南部区块主要有 1#教学楼、2#教学楼、图书馆及院系办公楼、行政楼、实验楼及工程实训中心，主要污水是日常生活污水及实验废水；北部区块为校园生活区，布置了 21 幢学生宿舍楼、2 幢食堂、美食节、人工池塘等。该区块具有一定面积的预留地，且位置适宜。学校所在地夏季主导风向为东南风。

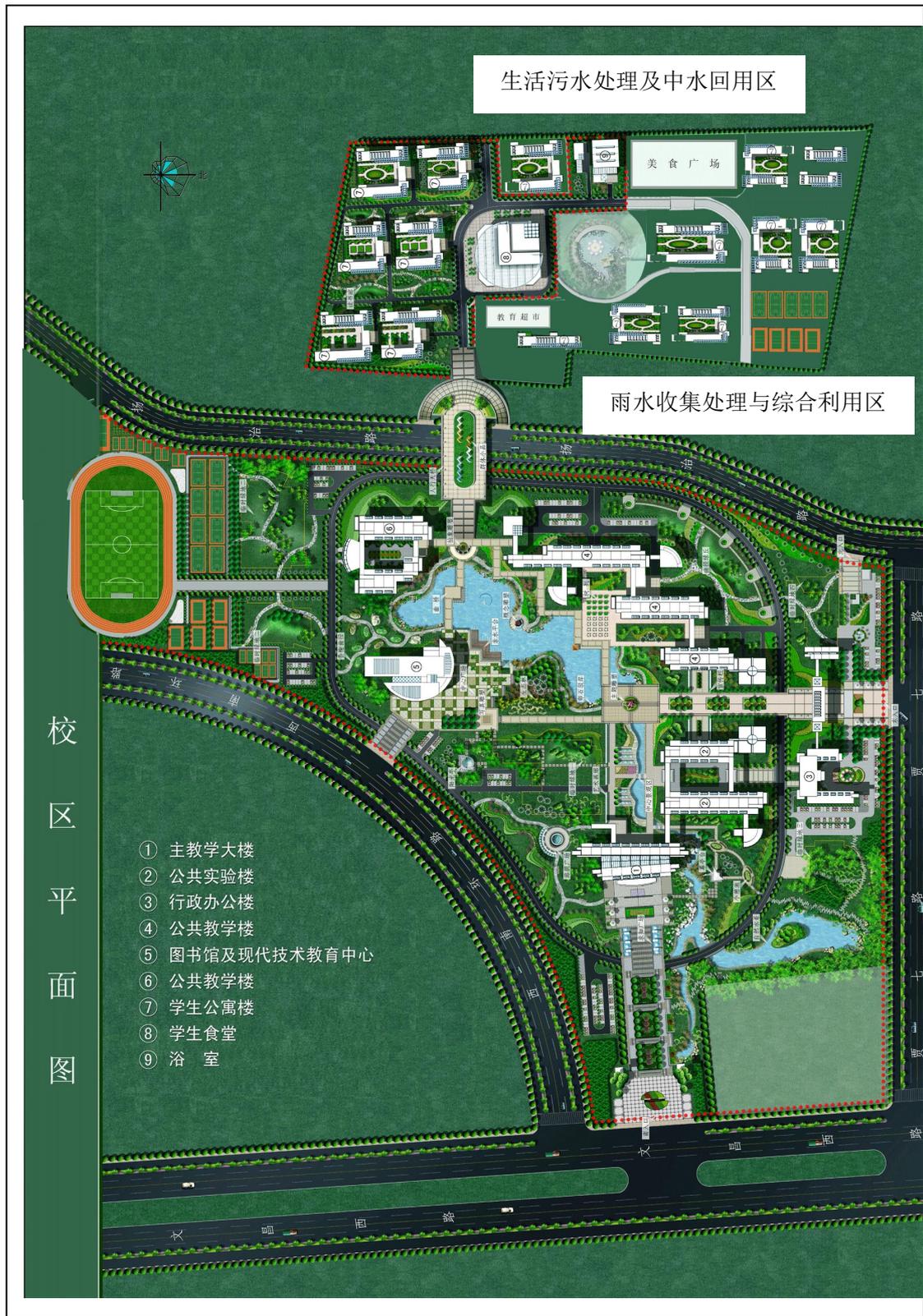


图 4-2 校园的详细规划布置

### 4.3 中水综合利用系统构建及布局规划

结合我校校园建筑布局，可以在教学区和生活区建成小集中型中水回用系统，将处理后的合格中水回用于冲厕用水、校园绿化喷灌用水、景观用水等非人体直接接触用水，以提高水资源利用率，同时能够节省学校的用水开支。

本论文在现场调查基础上并考虑工程施工现实可行性及造价，拟确定教学区为雨水收集处理及综合利用区域、北部的生活区为生活污水处理及中水回用区域，分别构建一套中水回用分系统。

#### 4.3.1 学校给排水现状

根据上述估算数据可知，扬州职业大学每天的用水量约为  $4500\text{m}^3$ ，污水排放量  $3400\text{m}^3$ ，现有的给水系统是从市政管网接入的，排水系统是雨污分流制，生活污水（含学生宿舍楼、教学楼、图书馆及办公楼）经化粪池排入市政管网。而实验楼的实验室废水直接排入室外管网。校园内生活区污水管道接入城市管网的方向在生活区的东北角，校园内教学区污水管道接入城市管网的方向在学院南大门。

#### 4.3.2 雨水收集处理及中水回用分系统构建

##### (1) 工程建设路径

校园内教学区污水管道接入城市管网的方向在学院南大门，故选择在校园的东南方向拟建教学区雨水收集处理站，改造现有的污水排放出口，需新增雨水输送管道约  $1800\text{m}$ 。将原先排入市政管网的雨水一并纳入到雨水收集处理站中进行处理。根据第二章的分析及校园实际情况，确定工艺流程见图 4-3，雨水收集处理及中水综合利用分系统工艺布置见图 4-4。

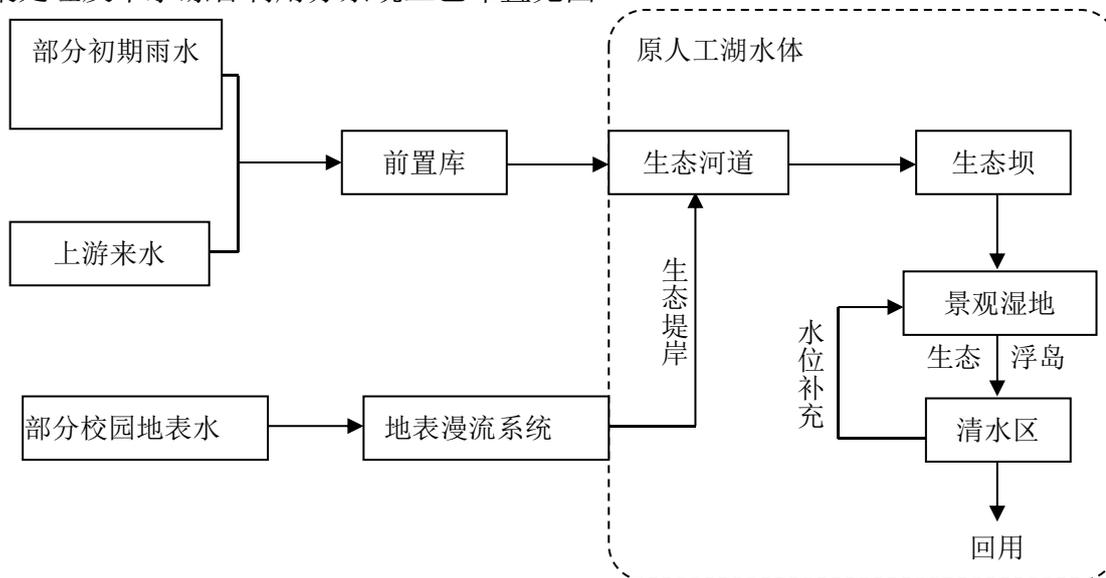


图 4-3 工艺流程图

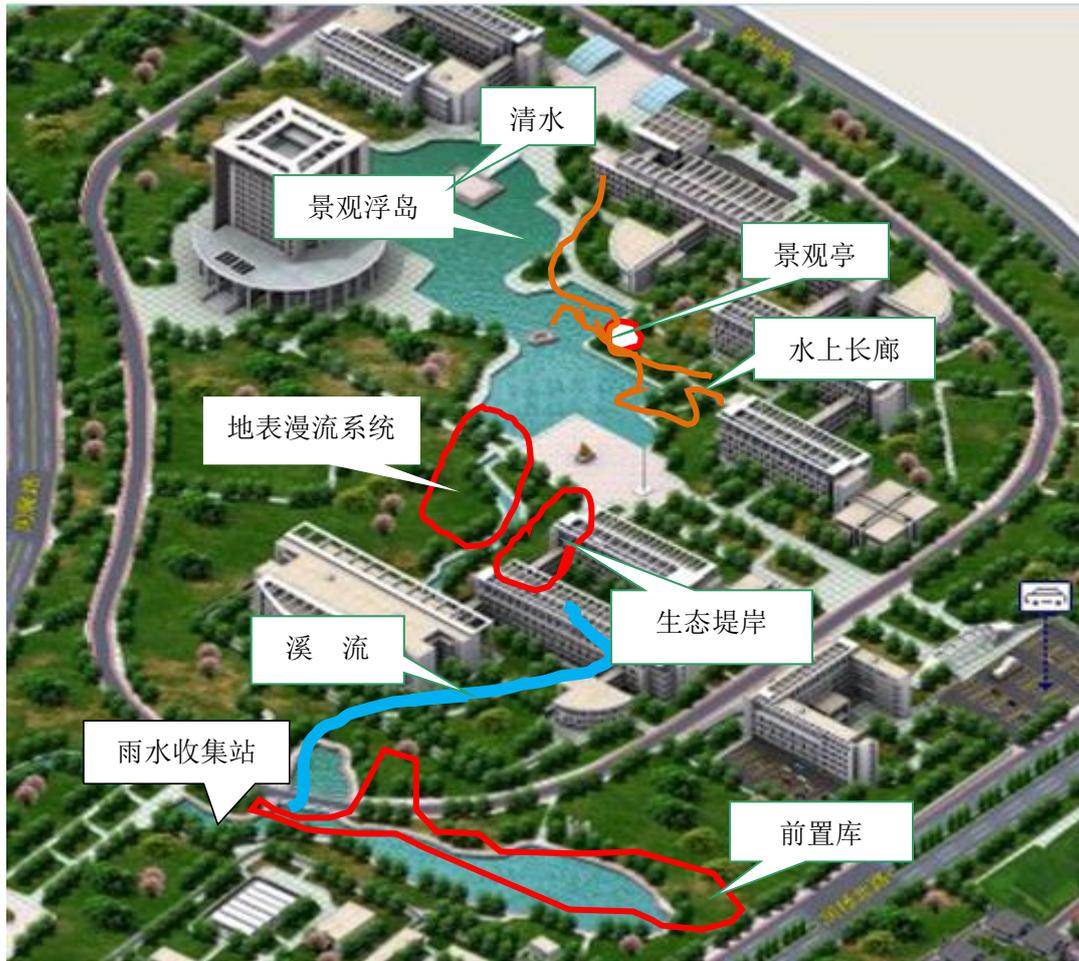


图 4-3 总体规划图

### (2) 雨水中水回用

经上述收集和处理后，位于 1#教学楼和图书馆楼之间的人工湖中的清水可实现回用，用于教学区冲厕、绿化、洗车用、实验用水（如冷却水、冷凝水）等。学校教学区日平均供水量为  $4500\text{m}^3$ ，通过水量平衡计算，按教学区供水量占总供水量 30% 计，则教学区每日供水量为  $1350\text{m}^3/\text{d}$ 。若实现上述回用，按回用水量占原供水量 50~70% 的水平，则可减少自来水供应量约  $675\sim 945\text{m}^3/\text{d}$ 。

### (3) 雨水径流量调控

当降雨量过于集中导致人工湖水位上升超过设计限值时，可适时开启教学区雨水收集站阀门，排入城市管网，以减轻雨水径流量短时间增大对教学区雨水收集处理及综合利用系统的冲击。

## 4.3.3 生活污水收集处理及中水回用分系统构建

### (1) 工程建设路径

在校园生活区内利用或改造现有的污水管道及生活区污水干管，实现生活区内 21 幢宿舍楼的建筑污水排水管与生活区污水干管有机衔接。学生生活污水经建筑污水立管排出口，再经楼层污水收集支管汇入生活区污水干管，再利用适宜的地形坡度和管底坡度自流进入位于小区中央的生活污水收集处理站。管线布置图见 4-4。工艺流程见图 3-1。

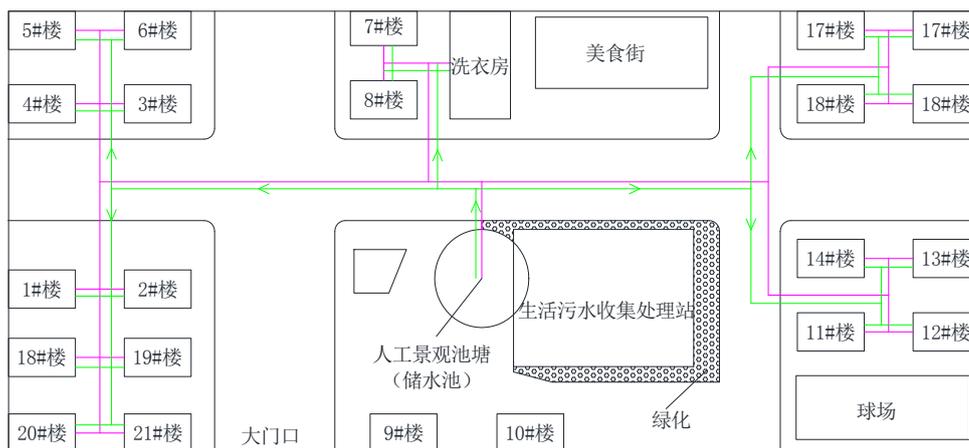


图 4-4 生活污水收集处理及中水回用分系统管线布置

## (2) 生活污水处理及中水回用

中水处理流程应根据中水原水的水质、水量及回用对水质的要求进行选择。进行方案比较时还应考虑场地状况、环境要求、投资条件、缺水背景、管理水平等因素，结合扬州市职业大学排水系统的实际情况和已测定的污水水质参数及对出水水质要求，依据《室外排水设计规范》(GB50014-2006)、《污水综合排放标准》(GB8978-1996)、《建筑给排水设计规范》(GB50015-2003)、《建筑中水设计规范》(GB50336-2002)，在系统研究基础上，对校区污水进行了污水处理与回用设计。

生活污水处理后的中水供水系统工程包括室内和室外两部分。室内部分需要做的工程内容为，每个寝室（冲洗便器）和公共卫生间（冲洗便器）铺设中水管线和阀门安装。室外中水给水系统的工程内容（用于绿化、冲洗汽车浇洒道路、景观用水等）为新敷设中水阀门井、水表井和绿化井 8 座，以及井内相应的阀门、水表等，室内外的管道均采用给水塑料管<sup>[9]</sup>

## (3) 回用效益

### 1) 污水输送和处理造价估算

生活污水处理后的中水服务面积按 40000m<sup>2</sup> 计，每单位面积需中水站收集体积按 0.02m<sup>3</sup> 计，则需要 40000×0.02=800m<sup>3</sup>。根据实际情况，中水处理站面积按 800 m<sup>2</sup> 设计，即：长×宽=32×25=800 m<sup>2</sup>。设备投资按 1000 元/m<sup>3</sup>，计算为：800 m<sup>3</sup>×1000 元/m<sup>3</sup>=800000 元=80 万元。结合工艺流程，依据 2012 年扬州市土建概算定额，相关设备、材料按照市场价格估算，污水输送和处理造价估算见表 4-1。

表 4-1 污水输送和处理造价估算

项目	规格/m <sup>3</sup>	数量	单价 / (万元/m <sup>3</sup> )	万元
格栅井	1m×1m×2.5m	1	0.06	0.15
调节池	1500	1	0.05	75
SBR 池	750	2	0.08	120
污泥池	4m×5m×3.0m	1	0.1	6

中水池	150	1	0.05	7.5
辅助用房	30m <sup>2</sup>	1	0.15 万元/m <sup>2</sup>	12
管道	DN250	1000 (m)	43 元/m	4.30
	DN300	500 (m)	48 元/m	2.88
	DN400	600 (m)	76 元/m	4.56
栅格	栅条间距 10mm	2	1.2	2.4
污水提升泵	100QW30-10-4	2	0.5	1
毛发聚集器	1~3mm	4	0.6	2.4
消毒池 (含污泥泵)	15m×25m×3.5m	1	4.5	4.5
清水泵	ZX80-80-15	2	0.5	1
检查井			8×0.5 (万)	4
土建费		700	0.022	15.2
总投资			262.89	

## 2) 中水供水系统工程费用

土建费用为 12.10 万元，管道阀门费用为 27.31 万元，两项合计：中水供水系统工程的费用为 39.41 万元。

经过估算需要的费用如下：土建费用为 30.10 万元，管道阀门费用为 52.3 万元，两项合计：中水供水系统工程的费用为 82.4 万元。该项目总投资为 262.89+39.41=302.3 万元。

## 3) 经济效益与环境效益

高校中水回用工程是节水节能、生态校园建设的重要手段，体现了“以人为本，循环使用，持续发展”的建设理念，通过新建的高效污水处理回用系统，按学校现有污水处理能力 6120m<sup>3</sup>/d，学院综合用水价格 2.70 元/m<sup>3</sup>，中水处理成本 1.58 元/m<sup>3</sup>，回用率 50%计算，每年可节省直接经济效益约 95.97 万元。

同时，项目运行后，可以大大减少 COD 排放。按照原水 COD 浓度平均值 350mg/L，工艺处理出水 COD 浓度 50mg/L 计，可削减 COD 排放量约 257.04t/a，每年可减少排污费用 10 万多元，环境效益显著。

可见，采用 SBR 处理工艺，运行稳定可靠，操作简便，占地面积小、出水水质好等<sup>[10]</sup>优点，若预期未来的水价上涨，节水效益将更加显著。采用中水回用处理系统，既提高了用水效率，又取得了社会和经济的双重效益。

投资回收年限： $n=302.3/(10+95.97)=2.85$  年。由此可见，布置中水收集处理及中水回用分系统在我校具有较大的应用前景，具有较大的推广价值。

## 4) 社会效益

目前国内大学校园生活污水排放量是很大的，如果在该校进行生活污水利用的资源化利用能起到较好的示范作用，带动其他校园生活污水处理及中水利用，从而节约大量水资源。校园生活污水收集处理与中水的利用可形成校园产

业，减少校园的财政支出，同时可吸纳一部分贫困学生勤工助学。由此可见，校园生活污水处理及中水资源化利用的经济、环境和社会效益非常明显。

#### **4.5 小结**

本章以扬州职业大学文昌校区为例，进行了中水综合利用系统的构建及布局，并对系统的预期效益进行了分析，其中包括经济效益、环境效益和社会效益三个方面，从而使高校认识到中水回用至关重要。

## 5 结论与展望

### 5.1 结论

(1) 在目前水资源紧张、水污染加重、城市生态环境恶化的情况下，城市雨水作为补充水源加以开发利用，势在必行。

(2) 在不同介质汇流的雨水中以屋面雨水利用价值最高。但屋面初期径流雨水污染较重，收集利用时应考虑初期弃流，初期弃流量约为 2mm。根据实验研究表明屋面雨水水质可生化性较差，宜采用物化处理。

(3) 雨水利用过程应包括雨水的收集、处理和利用相对独立的三个部分，同时考虑到雨水的季节和时间波动性很大，且往往无法预测。因此既要考虑尽可能充分地利用雨水，又应兼顾经济可行，并对不同方案做技术经济分析。同时中水回用以及雨水利用要与区域性水资源利用结合起来，与学校规划及其景观设置统筹考虑，通过全面规划、合理布局达到协调统一，避免重复投资，体现规模效益。

(4) 不同中水水源采用工艺及投资不同。现行建筑中水系统自身仍存在诸多问题。

(5) 中水回用可以给学校带来经济效益、社会效益、环境效益。通过雨水再生利用，在一定程度上缓解了该地区生活用水的紧张，有效地节约了水资源，有着重要的现实意义。此外，还有效地减少了雨水直接排放对环境产生的污染物，并且从一定程度上减少了对市政排水及后续处理系统的处理压力。

### 5.2 展望

雨洪利用和中水回用工程的成功应用，符合“截留优先、治污为本、多渠道开源”的水资源可持续开发利用战略，并且对指导城市供水、用水、节水、污水处理以及促进城市水系统的良性循环具有重要的作用。同时，雨洪利用和中水回用还能够使人们形成节约资源、尊重自然的生态观念，是环保宣传中最具说服力的实例，适合中国建设节约型城市的国情，具有极其广阔的发展前景。

## 参考文献

- [1] 王有乐, 张婷, 李晓燕, 等. 校园污水资源化给排水设计模型研究[J]. 兰州交通大学学报(自然科学版), 2005, 24(1): 66-69.
- [2] 赵晓军, 马威, 曹可生, 等. 高校校园中水回用新方案探讨[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(12): 106-108.
- [3] 赵新华, 李长洪, 肖迪. 高校校园中水回用的研究与规划[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(3): 63-65.
- [4] 于洋, 李喜林. 高等院校中水回用工程研究[J]. 工业安全与环保, 2006, 32(8): 24-25.
- [5] 明占学. 高校建设中水回用系统的经济可行性初探[J]. 给水排水, 2006, 32(4): 76-78.
- [6] 秦学功, 吴炳智. 昆明高校实施中水工程的优势与效益分析[J]. 云南环境科学, 2004, 23(1): 51-52.
- [7] 赖娜娜, 袁承江. 北京中山公园雨水收集利用及下凹式绿地的建造[A]. 中国公园协会 2011 年论文集[C], 2011.
- [8] 任双立, 党志良, 曹小锐, 等. 构建高校中水系统优化设计数学模型[J]. 陕西理工学院学报, 2005, 21(4): 54.
- [9] 邓特刚, 刘洪波, 张宏伟, 等. 中水回用工程在生态校园中应用研究[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(12): 82-85.
- [10] 丁尚起, 王润华. 膜生物反应器在中水工程中的应用[J]. 地下水, 2004, 26(2): 112-114.
- [11] 游春丽. 城市雨水利用可行性研究[D]. 西安建筑大学, 2006.

## 致谢

这篇论文的提交意味着我三年的学习生活即将结束，回首时，要感谢的人很多。

在这里我要特别感谢我的导师鲍家泽老师、于智勇教授、石光辉教授。在我师从鲍老师、于老师和石老师学习的几年中，他们严谨的治学精神，一丝不苟的作风给我留下了深刻的印象，深深的感染和影响了我。导师在生活和学习中都给予了无私的关怀。在我的这篇论文的开题和到终稿的过程中，导师都给了悉心的指导，每次遇到难题向他求助，他们不管忙或闲都会给我提供帮助。这几个月以来，导师不仅在学业上给我以精心指导，同时还在思想上给我以无微不至的关怀，在此谨向恩师致以诚挚的谢意和崇高的敬意。

同时我要感谢扬州职业大学给我求学的机会，感谢扬州职业大学的老师们给我的帮助，感谢各位同学在我做论文期间给予的帮助，感谢室友们在生活和学习上提供的帮助。

曹玉梅

2013年5月 扬州