

绿色建筑节水与水资源利用系统 整合设计研究



重庆大学硕士学位论文

学生姓名：杨 婧

指导教师：何 强 教授

专 业：市政工程

学科门类：工 学

重庆大学城市建设与环境工程学院

二 00 九年四月

Study on Integrated Design of Water-saving and Water Reuse in Green Building

A Thesis Submitted to Chongqing University
in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Master of Engineering

By
Yang Jing

Supervior: Prof. He Qiang

Specialty: Municipal Engineering

Faculty of Urban Construction & Environmental
Engineering of Chongqing University, Chongqing, China

April, 2009

摘 要

随着我国建设资源节约型和环境友好型社会的发展以及建筑节能事业的大力推广,绿色建筑理念正不断深入人心,受到越来越多人的关注。节水与水资源利用是绿色建筑“四节一环保”中的重要内容之一。针对我国绿色建筑刚刚起步,绿色建筑节水与水资源利用系统的设计缺乏系统性,普通建筑(小区)设计中各专业各司其职,全局把握绿色建筑节水与水资源利用系统的整体设计能力低等问题,开展了绿色建筑节水与水资源利用系统整合设计研究,主要研究内容和结论如下:

①通过研究绿色建筑节水与水资源利用系统整合设计的技术方法,提出了绿色建筑节水与水资源利用系统的整合设计三大要素:资源整合、技术整合和专业整合。其中技术整合是整个整合设计的核心,主要涉及节水与水资源利用技术与其他专业技术的整合,以及整个节水与水资源利用系统内各子系统的技术整合。绿色建筑节水与水资源利用整合系统主要包括建筑供水节水子系统、中水处理与回用子系统、雨水收集与利用子系统、景观水体水质保障等子系统。

②绿色建筑节水与水资源利用系统全过程整合设计研究及实践结果表明:整合设计应贯穿项目规划、方案设计到施工图设计整个过程,在项目规划阶段,应有节水与水资源利用的专业人员介入,综合考虑地区资源与气象条件、建筑类型、建筑平面布局、当地经济发展水平等各方面因素,提出绿色建筑节水与水资源利用初步方案并与其他专业研讨技术交叉和整合研讨,在后续的初步设计及施工图设计阶段,需综合建筑、规划、景观、结构、建筑节能、建筑给排水、建筑电气、自动化控制等各个专业,使各工种有机整合,密切协作,深入分析建筑自身特点及区域自然资源、环境,根据项目实际需求,形成一整套可行的、因地制宜的、内部有机相连的绿色建筑节水与水资源利用系统方案与实施措施。

③绿色建筑节水与水资源利用系统方案整合设计技术研究及实践结果表明:系统方案整合设计的核心内容包括绿色建筑(小区)设计条件分析、用排水量计算与水量平衡分析、绿色建筑节水与水资源利用各子系统的方案设计。通过绿色建筑节水与水资源利用系统方案整合设计技术在我国南方某“双百示范工程”实施结果表明,采用了经济适用、因地制宜的方案整合设计后,该示范工程项目节约年市政供水量为 118883m^3 ,节水率为 25.2%,超过了《绿色建筑评价标准》控制项 8%的要求;设计非传统水源使用量为 75374m^3 ,非传统水源利用率为 17.62%,超过了《绿色建筑评价标准》一般项中非传统水源利用 10%的要求。

④绿色建筑节水与水资源利用系统施工图整合设计技术研究及实践结果表

明：施工图整合设计的核心内容包括方案阶段收集的基础资料的补充和完善、各子系统的施工图设计与整合。绿色建筑节水与水资源利用系统施工图整合设计在我国西南某高校“节能省地型建筑”示范工程中实施，示范项目用地 226852m²，建筑面积 214400m²，节水率 32.23%，非传统水源利用率 26.86%。在中水收集与处理子系统方面，完成了中水收集管网及其中水处理站的施工图设计；在雨水收集与利用子系统方面，根据方案设计并结合建筑周边设施，完成了卵石沟、沉砂检查井、雨水人工湿地处理池等雨水收集与利用系统的施工图设计；在景观水体水质保障子系统设计方面，完成了人工湖的生态设计与水质保障设施施工图设计。

本论文的研究成果，将为绿色建筑节水与水资源利用系统优化设计提供技术支撑，为建筑给排水工程师进行绿色建筑节水与水资源利用系统的设计提供参考，具有重要的现实意义。

关键词：绿色建筑，节水，水资源利用，整合设计

ABSTRACT

With the development of construction resource-saving and environment-friendly society, green building concept has been popular which is concerned by more and more people. Water-saving and water reuse is one of the important contents of “Four saving and one environment protection” in green building. Aiming at the condition that the development of green building in China has just started, the design of water saving and water reuse system in green building is lack systematization. At the same time each design specialty focus on their own work in general architectural design in China, the ability to grasp the overall situation design of water saving and water reuse system in green building is very low, so that integrated design of water saving and water reuse in green building was researched. The conclusions are as follows:

①Based on the research of integrated design method of water saving and water reuse system, the method of integrated design including three points: integrated resources, integrated techniques, integrated specialties. The core of integrated design is integrated techniques. The techniques includes the integration of water saving techniques and techniques of other specialties, the integration of subsystem of water saving techniques includes water saving techniques of water supply system, reclaimed water treatment and utilization techniques, rainoff collection and utilization techniques, techniques of water quality control system for landscape water.

②The research and practice results of the whole integrated design of water saving and water reuse system in green building showed that: Integrated design of water saving and water reuse system includes the process from project planning to construction drawing design. The specialty of the water-saving and water reuse should participate in the initial stage, the scheme of water saving and water reuse system was put forward by comprehensive consideration, the construction drawing was designed combined with specialty of architecture, planning, landscape, structure, energy saving, water supply and wastewater engineering, electric and automatic control. Each specialty combined organically, corporated closely and deeply analysed the characteristics of construction and regional natural resource environment. According to the actual needs of the project, a set of feasible and appropriate water-saving and water reuse techniques system was formed.

③The research and practice results of integrated scheme design techniques of

water saving and water reuse system in green building showed that: The core content of scheme design of water saving and water reuse system includes: Analysis of design condition, calculation of water consumption, analysis of water balance, scheme design of subsystem of water saving and water reuse system. The scheme integrated techniques of water-saving and water reuse was demonstrated in a “Double hundred demo project” in south China, the economical and applicable scheme integrated techniques was adopted in the demo project, which realized 118883m³ per year municipal water saved, the water saving rate is 25.2%, exceeded 8% (The control terms of evaluation standard for green building.) and utilized 75374 m³ per year unconventional water, the utilization rate of unconventional water is 17.62%, exceeded 10% (The general terms of evaluation standard for green building.)

④The research and practice results of construction drawing integrated design techniques of water saving and water reuse system in green building showed that: The core content of construction drawing integrated design includes: Supplement and consummation for the basis data which collected in scheme planning phase, construction drawing integrated design for subsystems. Construction drawing integrated design of water saving and water reuse system in green building was demonstrated in “Energy saving and land saving architecture” of a university in southwest China. The demo project landed 226852 m², building area was 214400m², water saving rate was 32.23%, the utilization rate of unconventional water 26.86%. The construction drawing design of collection pipe of reclaimed water and reclaimed water treatment station had been completed; The construction drawing design of cobble ditch, grit settling inspection well, rainwater artificial wetland pool and some other rainwater collection techniques had been completed; The construction drawing design of ecosystem of artificial lake and facilities of water quality control in landscape water had been completed in all subsystems of water saving and water reuse system.

Research results will provide technical support to optimal design of water saving and water reuse systems in green building, provide reference for water saving and water reuse systems design in green building to water and waste water engineer in building, and have great practical significance.

Key words: Green building, Water saving, Water reuse, Integrated design

目 录

中文摘要.....	I
英文摘要.....	III
1 绪论	1
1.1 课题的研究背景	1
1.1.1 绿色建筑的发展概况	1
1.1.2 绿色建筑节水与水资源利用发展概况	3
1.1.3 整合设计概述	8
1.2 课题研究的目的、内容和意义	9
1.3 课题研究的方法和技术路线	10
2 绿色建筑节水与水资源利用系统整合设计方法研究.....	11
2.1 整合设计理论基础	11
2.2 整合设计的原则	11
2.3 整合设计的要素	13
2.3.1 资源整合	13
2.3.2 技术整合	14
2.3.3 专业整合	15
2.4 整合设计的程序	15
3 绿色建筑节水与水资源利用系统方案整合设计技术研究	17
3.1 绿色建筑节水与水资源利用系统方案整合设计内容	17
3.2 设计条件分析	18
3.3 水量计算和水量平衡分析	18
3.3.1 用水量计算	18
3.3.2 排水量计算	20
3.3.3 非传统水源分析	21
3.3.4 非传统水源可替代的用水途径	22
3.3.5 水量平衡分析	23
3.4 系统总体方案的确定	23
3.5 绿色建筑节水与水资源利用子系统方案设计技术	25

3.5.1 建筑供水节水子系统技术方案	25
3.5.2 中水处理与回用子系统技术方案	27
3.5.3 雨水收集与利用子系统技术方案	34
3.5.4 景观水体水质保障子系统技术方案	41
3.6 绿色建筑节水与水资源利用系统方案设计实例	42
3.6.1 项目概况	42
3.6.2 气象资料分析	43
3.6.3 水量计算和水量平衡分析	44
3.6.4 系统总体设计	48
3.6.5 中水处理子系统方案	50
3.6.6 雨水收集与利用子系统方案	53
3.6.7 景观水体水质保障子系统方案	55
3.6.8 节水效果评价	55
3.7 本章小结	56
4 绿色建筑节水与水资源利用系统施工图整合设计技术研究	59
4.1 绿色建筑节水与水资源利用系统施工图整合设计内容	59
4.2 基础资料调查和完善	59
4.3 绿色建筑节水与水资源利用子系统施工图设计技术	60
4.3.1 中水收集管网子系统施工图设计技术	60
4.3.2 中水处理子系统施工图设计技术	60
4.3.3 雨水收集子系统施工图设计技术	61
4.3.4 雨水处理子系统施工图设计技术	63
4.3.5 景观水体水质保障子系统施工图设计技术	65
4.4 绿色建筑节水与水资源利用系统施工图设计实例	66
4.4.1 项目概况	66
4.4.2 设计内容	67
4.4.3 系统总体设计	67
4.4.4 中水收集管网设计	68
4.4.5 中水处理站设计	69
4.4.6 雨水收集系统设计	76
4.4.7 雨水处理系统设计	79
4.4.8 景观水体水质保障系统设计	81
4.4.9 节水效果评价	83

4.5 本章小结	83
5 结论和建议	85
5.1 结论	85
5.2 建议	86
致 谢	87
参考文献	89
附 录	93

1 绪 论

1.1 课题的研究背景

1.1.1 绿色建筑的发展概况

①世界绿色建筑的发展

国际上对绿色建筑的探索和研究始于 20 世纪 60 年代。60 年代美籍意大利建筑师保罗·索勒瑞把生态学和建筑学两词合并,提出“生态建筑学”的新理念,1963 年 V·奥戈亚在《设计结合气候:建筑地方主义的生物气候研究》中,提出建筑设计与地域、气候相协调的设计理论^[1]。1969 年美国风景建筑师麦克哈格在其著作《设计结合自然》一书中,提出人、建筑、自然和社会应协调发展并探索了建造生态建筑的有效途径与设计方法,它标志着生态建筑理论的正式确立^[1]。在 70 年代两次世界能源危机的背景下,一些欧美建筑师应用生态学思想设计了不少被称之为“生态建筑”的住宅。在设计上一般基于这样的思路:利用覆土、温室及自然通风技术提供稳定、舒适的室内气候;风车及太阳能装置提供建筑基本能源;粪便、废弃食物等生活垃圾用作沼气燃料及肥料;温室种植的花卉、蔬菜等植物提供富氧环境;收集雨水以获得生活用水;污水经处理后用于养鱼及植物灌溉^[2]。1976 年,生态建筑运动的先驱施耐德在西德成立建筑生物与生态学会;1987 年联合国通过《我们共同的未来》,明确提出“可持续发展”的概念。1992 年,在联合国环境与发展大会里约热内卢峰会上,达成了《21 世纪议程》,它标志着人类自觉全面地对待环境与发展问题的时代到来^[3]。

随着绿色建筑的兴起,为了规范绿色建筑的发展,不同国家和研究机构相继推出不同类型的绿色建筑评估法。世界上第一个绿色建筑评估法是 1990 年由英国建筑研究所(BRE)提出的“建筑研究所环境评估法”BREEAM 评估体系。BREEAM 评价建筑的整个全生命周期,其评价项目覆盖了管理、能源、健康舒适、污染、运输、土地使用、场地的生态价值、材料、水资源消耗和使用效率等 9 个方面,分别归类于“全球环境影响”、“当地环境影响”和“室内环境影响”3 个环境表现类别^[4-5]。加拿大、瑞典、挪威和奥地利等 14 个主要国家研制的绿色建筑挑战(Green Building Challenge, GBC),最终确立了一个合理评价建筑物能量及环境特性的方法体系——GBTool。GBC 评价体系共分 8 个部分:环境的可持续发展、资源消耗、环境负荷、室内空气质量、可维护性、经济性、运行管理和术语,各部分内容都有各自的分项和更为具体的指标,分项和各标准的都有权重^[6]。美国绿色建筑委员会(The U.S. Green Building Council, USGBC)提出了 LEED 评估体系,LEED 评估内容包括场地规划、能源与大气、节水、材料与资源、室内空气质量和技术

创新等 6 大方面^[7]。LEED 体系从最初的只针对公共建筑，发展到目前的可用于既有建筑的绿色改造标准 LEED-CB、新的商业建筑和大多数革新项目 LEED-NC，商贸建筑绿色装修标准的 LEED-CI 等^[8-10]。除了以上 3 种绿色建筑评估体系之外，还有其它国家的一些评估指标，如日本的环境效率综合评价体系（CASBEE）、澳大利亚的国家建筑环境评价系统 NABERS，瑞典的 EcoEffect，法国的 ESCALE 等。国外的绿色建筑评估体系绝大多数都采用评分制，大部分对整个全生命周期的各个阶段进行评价，都涉及了节水与水资源利用方面，而且都在不断的更新和发展。这些发达国家构架的各种绿色建筑评估系统，为绿色建筑的实践和推广做出了重大的贡献，也成为其它各国建立新型绿色建筑评估的重要参考^[11]。

③我国绿色建筑发展现状

20 世纪 90 年代，节能减排成为制定《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)、《联合国生物多样性公约》(UNCBD) 以及《京都议定书》的技术基础。我国是世界上最早签约 UNFCCC 和 UNCBD 的国家之一，随后绿色建筑的概念开始引入我国。1994 年我国发表了《中国 21 世纪议程》，同时开始启动“国家重大科技产业工程——2000 年小康型城乡住宅科技产业工程”。1996 年，我国国家自然科学基金会正式将“绿色建筑体系研究”列为“九五”计划重点资助课题。同年，又发表了“中华人民共和国人类住区发展报告”，对进一步改善和提高居住环境质量提出了更高的要求 and 保证措施^[12]。1999 年在北京召开的国际建筑师协会第二十届世界建筑师大会发布的《北京宪章》，明确要求将可持续发展作为建筑师和工程师在新世纪中的工作准则^[13]。2001 年 9 月，由建设部科技司组织编写，建设部科技发展促进中心、中国建筑科学研究院、清华大学三家单位参与编写的《生态住宅技术评估手册》正式出版，这是我国第一部生态住宅评估标准。以北京申办 2008 年奥运会成功为契机，我国学者和研究人员在广泛研究世界各国绿色建筑评估体系的基础上，结合我国特点，于 2003 年 8 月也出版了中国第一套完整的评估体系《绿色奥运建筑评估体系》(Green Olympic Building Assessment System, GOBAS)^[14]。2004 年 9 月建设部“全国绿色建筑创新奖”的启动标志着我国的绿色建筑进入了全面发展阶段。2005 年 3 月，在北京召开“首届国际智能与绿色建筑技术研讨会”，同时发表了《北京宣言》，公布“全国绿色建筑创新奖”获奖项目及单位。2006 年 3 月，在北京召开了“第二届国际绿色与智能建筑和建筑节能大会”，建设部在大会上正式颁布了《绿色建筑评价标准》。2007 年，建设部又出台了《绿色建筑评价技术细则（试行）》和《绿色建筑评价标识管理办法》，开始建立起适合中国国情的绿色建筑评价体系。2008 年 3 月，召开“第四届国际智能、绿色建筑与建筑节能大会”，筹建城市科学研究会节能与绿色建筑专业委员会，启动绿色建筑职业培训和政府培训。同年，评选出了我国第一批绿色建筑设计评价标识项目，例如上

海市建筑科学研究院绿色建筑工程研究中心办公楼，是三星级绿色建筑（公共建筑）设计评价标识项目。该示范楼形成了自然通风、超低能耗、天然采光、健康空调、再生能源、绿色建材、智能控制、资源回用、生态绿化、舒适环境等十大技术特点^[15]。2009年3月，“第五届国际智能、绿色建筑与建筑节能大会暨新技术与产品博览会”在北京召开，大会根据目前国内国际建筑节能与绿色建筑工作实际，围绕绿色建筑设计评价标识、既有建筑节能改造、可再生能源建筑应用、大型公共建筑节能运行监管与节能服务市场、供热体制改革、住宅房地产业健康发展、应对气候变化等重大问题而展开。

1.1.2 绿色建筑节水与水资源利用发展概况

① 节水和水资源利用的必要性

绿色建筑是指在建筑的全生命周期内，最大限度地节约资源（节能、节地、节水、节材）、保护环境和减少污染，为人们提供健康、适用和高效的使用空间，与自然和谐共生的建筑^[16]。因此，发展和研究节水与水资源利用技术，是发展绿色建筑面临的关键问题之一。我国是一个干旱缺水严重的国家，淡水资源总量为28000亿 m^3 ，占全球水资源的6%，但人均只有2200 m^3 ，仅为世界平均水平的1/4、美国的1/5，在世界上列第121位，是全球13个人均水资源最贫乏的国家之一。扣除难以利用的洪水径流和散布在偏远地区的地下水资源后，总量仅为11000亿 m^3 左右，人均可利用水资源量只有900 m^3 ，而且其分布极不均衡^[17]。另一方面，我国的水污染现象也十分严重。2006年，全国地表水总体水质属中度污染。在国家环境监测网（简称国控网）实际监测的745个地表水监测断面中（其中，河流断面593个，湖库点位152个），Ⅰ～Ⅲ类，Ⅳ、Ⅴ类，劣Ⅴ类水质的断面比例分别为40%、32%和28%。国控网七大水系的197条河流408个监测断面中，Ⅰ～Ⅲ类，Ⅳ、Ⅴ类和劣Ⅴ类水质的断面比例分别为46%、28%和26%。其中，珠江、长江水质良好，松花江、黄河、淮河为中度污染，辽河、海河为重度污染^[18]。同时，随着建筑业的蓬勃发展，建筑水耗会不断增加，建筑在开发和维护、使用过程中消耗水资源的量是相当惊人的，约占水资源量的50%^[19]。我国每年新建住宅5亿平方米，用水量约10亿 m^3/a ，如果其综合节水率规划为30%，则全国新建住宅小区每年可节水3亿多立方米，到2010年仅新建住宅小区即可达到年节水量约30亿立方米，相当于“南水北调”中线年调水量的1/5，约等于“南水北调”京津地区的年调水量总和^[20]。因此，在我国这样一个水资源紧张的国家进行大规模的建设，有必要全面深入开展建筑节水工作，降低水耗以缓解城市水资源的紧张状况。节约用水是实现水资源的可持续发展、改善住区生态环境的首要环节，其意义在于把我们对环境的影响降到最低。

② 国外绿色建筑节水与水资源利用系统发展现状

1) 中水处理与回用

中水一词源于日本，它是指各种排水经处理后，达到规定水质标准，可在生活、市政、环境等范围内杂用的非饮用水^[21]。中水回用的主要优点表现在两个方面^[22]：第一、减少污水排放。第二、开源节流。国外某些研究表明：中水系统必须满足了这四个关键点：即卫生学安全性、美观性、环境耐受性和技术经济可行性^[23]。

在日本，早在 20 世纪 80 年代中期，日本的城市污水回用量就已达到了 $0.63 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{d}$ 。日本东京的许多大型建筑和公寓中都建有双管供水系统（其一为饮用水系统，另一为再生水系统，即“中水道”系统）和就地处理及再利用中水的设施，中水道的再生水一般用于冲洗厕所、浇灌城市绿地及消防^[24]。

在美国，早在 1926 年，美国亚利桑那州的 Crand Canyon 国家公园将处理过的废水回用于冲厕所、草地喷水、冷却水和锅炉给水。1960 年，科罗拉多州修建了一套中水回用系统，提供高尔夫球场、公园、高速公路等的景观用水。美国在 1975 年的中水利用量，占总取水量的 38.17%，并以每年 4%~5% 的速度增加。1977 年，佛罗里达州建成一套 200km 长的中水系统，为公园、高尔夫球场、校园、住宅区草地、冷却塔提供水源。目前，哥伦比亚城有 1/3 经生物处理的城市污水，回用作为城市杂用水；加利福尼亚州约有 200 余座中水工程，城市污水回用中水量占污水总量的 31%^[25]。

以色列是在中水回用方面最具特色的国家。占全国污水处理总量 46% 的出水直接回用于灌溉，其余 33.3% 和约 20% 分别回灌于地下或排入河道，其回用程度之高堪称世界第一。采用的回用处理过程为：城市污水收集—传输到处理中心处理—季节性储存—输入到用户使用及安全处置。在回用方式上，包括小型社区的就地回用，中等规模城镇和大城市的区域级回用^[26]。

加拿大温哥华的英属哥伦比亚大学亚洲研究办公楼（C.K.Choi Building）是运用生物学原理使能源的消耗和产出提高到一个较高水平的平衡的典型生态建筑。C.K.Choi 楼以“不用水的堆肥坐便器”与自然的通风设计，成为加拿大有名的绿色建筑代表，总楼地板面积 3000 平方英尺的办公空间每天用水量仅为 500 公升，为相同规模办公建筑的 7.1%^[27]。

悉尼奥运村中水回用工程，是 2000 年悉尼举办世界奥林匹克运动会实施的环保工程之一。本工程的核心工艺采用先进的连续膜过滤系统（Continuous Membrane Filtration，缩写为 CMF）和反渗透膜过滤系统（Reverse Osmose membrane filtration system 缩写为 RO）中水回用厂的水源来自奥运村污水处理厂，污水处理厂的来水有奥运村营地排水，生活污水和雨水。中水厂出水回用于奥运村和 Homebush Bay 公共服务设施的绿地灌溉和冲厕。每年可节省淡水资源二百万立方米，价值 64 万

澳元^[28]。

另外，在欧洲、非洲等国家也开展了不同程度的建筑中水处理与回用的研究。将污水进行分流排放，采用不同的处理方式。主要处理技术包括 SBR 工艺、生物滤池、生物膜反应器等。

2) 雨水收集与利用

国际上对雨水利用技术的研究比较广泛。20 世纪 80 年代初就成立了国际雨水集流利用系统协会 (IWRA)^[29]。国外的城市雨水利用技术主要有：屋顶蓄水系统、地下水池蓄水系统、雨水入渗和地下水回灌^[30]。通过屋顶蓄水系统可用来在平或较平屋顶上接蓄雨水，可就地调节径流。地下水池蓄水系统将暴雨径流收集到地下水池内贮蓄，水池上部面积可以利用。通过雨水入渗和地下水回灌进行雨洪利用的设施主要有：透水性路面、长草洼地、檐下渗井、排水花管和渗沟、渗渠、渗坑、渗井系统等。

德国是开展雨水利用工程最好的国家之一。1989 年德国就制定了雨水利用设施标准 (DIN1989)，德国城市雨水利用技术已进入标准化、产业化阶段，并逐步向集成化，综合化方向发展。柏林等一些城市已将城市雨水利用和城市环境、城市生态建设等结合起来进行设计，已建或正在建成一批各具特色的生态小区基于雨水利用的城市绿地规划研究水利用系统^[31]。德国有大量雨水利用工程成功实例。如柏林坡斯坦广场 (Potsdamer Platz) 雨水利用，采取的主要方案是对适宜建设绿地的屋顶全部建成绿色屋顶，利用绿地的滞蓄作用滞蓄雨水，一方面延缓径流的产生，起到防洪作用，另一方面增加雨水的蒸发，起到增加空气湿度、改善生态环境的作用；对不宜建设绿地的屋顶，将屋顶雨水通过雨漏管除去前期径流，经过滤后引入地面蓄水池，同时构造水景观，水景观与位于楼寓地下室的泵站相连，形成循环流动水流。泵站前设水质自动监测系统，若水流水质不能满足要求时，要先进入处理系统，处理达标后再进入循环系统；若水流水质满足要求，则直接进入循环系统^[32]。

日本的降雨量丰富，超过年蒸发量，但其水资源缺乏，因此，日本十分重视雨水的利用。20 世纪 60 年代，日本开始收集路面雨水，70 年代修筑集流面雨水，采用各种渗透设施截流雨水或收集利用，做了大量的研究和示范工程，并纳入了国家下水道推进计划，并在政策和资金上给予支持^[33]。日本于 1992 年颁布了“第二代城市下水总体规划”，正式将雨水渗沟、渗塘及透水地面作为城市总体规划的组成部分。要求新建和改建的大型公共建筑群必须设置雨水就地下渗设施。日本“降雨蓄存及渗滤技术协会”经模拟试验得出：在使用合流制雨水管道系统地区合理配置各种入渗设施的设置密度，强化雨水入渗，使降雨以 5mm/h 的速率入渗地下，可使该地区每年排出的 BOD 总量减少 50%^[34]。

英国的雨水利用。以伦敦世纪圆顶的雨水收集利用系统为例，泰晤士河水公司为了研究不同规模的水循环方案，设计了英国 2000 年的展示建筑——世纪圆顶示范工程。在该建筑物内每天回收 500 m^3 水用以冲洗该建筑物内的厕所，其中 100 m^3 为从屋顶收集的雨水。这使其成为欧洲最大的建筑物内的水循环设施。从面积相当于 12 个足球场大小的 10 万 m^2 的圆顶盖上收集来的雨水，经过 24 个专门设置的汇水斗进入地表水排放管中，初降雨水含有从圆顶上冲刷下的污染物，通过地表水排放管道直接排入泰晤士河。由于储存容积有限，多余的雨水排入泰晤士河。收集的雨水在芦苇床中进行处理，芦苇床还能增加城市的景观多样性^[35]。

3) 节水器具应用情况

建筑供水节水技术的运用主要是节水型卫生器具的使用，包括节水型便器、节水型龙头、节水型淋浴器具等。一般节水型器具的应用较传统用水器具低的卫生器具，普遍可以节省 10%~50% 的生活用水。特别近几年，节水型器具开发和应用加快，促进了住宅节水的发展。新加坡从 1983 年 11 月开始，政府强制在公用洗手间内安装延时自关水龙头、水流调节器及减压阀等节水设施。公用事业局还定期检查这些设施，以确保其正确安装和正常使用。从 1978 年起，高层政府组屋中间楼层的水表两侧开始安装节水套筒，用来减少过度的水压。所有的厕所必须安装复式冲刷水梢^[36]。美国为推行和规范更换安装节水型用水器具，1992 年颁布了节水型室内用水器具的效率标准，使居民室内的旧型水龙头、厕所和淋浴头三种用水器具，更换为节水型器具后可节水 50% 以上。美国许多缺水城市也在推行节水器具使用，预计至 2025 年，更换的新型节水器具将使全国可节水 36%。美国的能源政策条例要求全部建筑系统采用高效用水管通，包括用水量为 4.6L 冲洗阀的便器。近年来，美国许多卫生陶瓷生产厂家已研制出多种节水型便器（如：冲洗式为 4L/次、空气压水渗气式为 2L/次），节水能力最高达到 80% 以上。2003 年，美标公司就研发了 4 升超省节水座厕以及使用 Falcon 技术的无水小便斗。同时美标还研发了先进的近距离传感器，设置程序以后可以应用于包括小便斗和水龙头在内的多种产品，从而控制冲水量。安装了整套感应设备的小便斗比目前市场上的普通产品可节省 70% 以上的水^[37]。

③我国绿色建筑节水与水资源利用系统发展现状

1) 中水处理与回用

我国的中水回用事业大致可以分为三个阶段，1985 前的“六·五”期间是起步阶段，1986~2000 年的“七·五”、“八·五”、“九·五”，这十五年时间是技术储备、示范工程引导阶段，2001 年以“十五”纲要明确提出污水回用为标准，中水回用进入到全面启动的阶段^[38]。以北京、天津、大连、青岛、深圳等缺水大城市为代表，相继开展了中水回用试验研究。如北京市 2001 年 5 月 29 日发布的《关

于加强中水设施建设管理的通告》，明确要求新建工程中，建筑面积 2 万 m^2 以上的宾馆、饭店、公寓等，建筑面积 3 万 m^2 以上的机关、科研单位、大专院校和大型文化、体育等建筑，建筑面积 5 万 m^2 以上，或可回收水量大于 $150\text{m}^3/\text{d}$ 的居住区和集中建筑区等，必须建设中水设施；对于属于前两项范围的，应根据条件逐步配套中水设施。天津市人大 2003 年 9 月 10 日通过《天津市城市排水和再生水利用管理条例》，规定“建筑面积超过 2 万 m^2 的宾馆、饭店、公寓、综合性服务楼和高层住宅等建筑；规划人口在 1 万人以上的住宅小区；建筑面积超过 3 万 m^2 的机关、非企业单位和综合性文化体育设施”，应当按照再生水利用规划和建设规范、标准，建设再生水利用设施。2005 年 7 月 19 日天津市人大通过了该条例修正案并正式发布^[39]。在中水设施处理工艺选择方面，以生物接触氧化法最为普遍。调查表明，目前北京市的中水设施选择以生物为主的生物—物化组合工艺者最多，共 67 套，占总数的 75%；选择以物化工艺者 22 套，占总数的 25%；在选择生物—物化组合工艺的设施中，以生物接触氧化法为主的工艺最多，占 80%^[40]。近年来，膜处理工艺已开始在中水处理中应用，如大连香格里拉大饭店中水回用工程设计规模为 $60\text{m}^3/\text{d}$ ，采用 MBR 工艺，占地 48m^2 。2001 年 10 月投产以来运行性能良好，出水水质 COD 为 $3.92\sim 7.84\text{mg/L}$ （平均 6.16mg/L ）， BOD_5 为 $0.45\sim 0.67\text{mg/L}$ （平均 0.57mg/L ）^[41]。以水生/湿生植物为主体的生态工程技术也逐步推广应用，人工湿地系统能有效地去除水体中的氮、磷等营养物质，防止富营养化的产生，同时具有运行费用低、易管理等特点。人工湿地系统还可以营造一个半自然空间，具有美化、绿化建筑小区的作用^[42]。

2) 雨水收集与利用方面

国内的雨水利用研究始于 20 世纪 80 年代，许多地方进行了雨水利用的尝试，例如甘肃的“121”工程、陕西的“甘露”工程、山西的“123”工程、宁夏的“窖窖工程”等，这些工程针对缺水地区的农村，技术还较落后，缺乏系统性，更缺乏法规和法律保障体系。到了 20 世纪末，一些缺水地区展开了雨水利用的小型、局部非标准化应用研究，而此时大中城市处于探索和研究阶段。例如山东长岛县，大连獐子岛，浙江舟山市，辽宁的葫芦岛雨水集流利用工程^[43]。近几年，我国的雨水利用技术有了较快的发展，进入 90 年代以后，我国特大城市的一些建筑物已建有雨水收集系统，主要集中在北京、上海、大连等几个主要的环境城市，城市雨水利用逐渐成为热门的课题。北京市由于缺水形势严峻，其城市雨水利用的研究和应用走在了全国前列。北京市政府 66 号令（2000.12.1）中明确要求开展市区的雨水利用工程，在 2008 奥林匹克场馆建设中也采纳了雨水利用技术。2006 年，《建筑与小区雨水利用工程设计规范》(GB50400—2006)的颁布实施，标志着我国建筑雨水收集与利用进入全面推广阶段。北京奥林匹克公园中区重要景观及

龙形水系设计考虑了水资源的循环利用,把雨洪控制与利用纳入到实际的建设中,充分利用水系,对雨水实施有效管理,蓄泄结合,以蓄为主,合理拦蓄雨水资源。减少区域内因开发建设造成的降雨径流系数的增大,严格控制外排水量^[44]。获得我国首届绿色建筑创新奖的南京聚福园小区,采用 MBR 处理雨水,将处理后的雨水作为景观水体的补充水源,全年可利用雨水 30600m³,雨水利用率达到 40%^[45]。青岛市浮山新区“山水居”组团住宅非机动车道路、地面停车场等硬质地面采用高透水地面,降低地表径流;改造自然水库形成的人工湖保留了自然水系,积蓄雨水用作绿化浇灌,达到了很好的节水效果。该组团荣获了“第二届全国绿色建筑创新奖综合奖”三等奖。这是获奖项目中唯一的一个住宅项目^[46]。

3) 节水器具应用现状

在节水器具的使用方面,我国已颁布了行业标准《节水型生活用水器具》(CJ164—2002)。国家标准化委员会已经决定在 2004 年将《6 升水便器配套系统》列为国家强制性标准。国内许多大城市也制定了相应了地方标准,天津市制定了《天津市节水型居民生活小区标准》和《居民生活小区节水型用水器具改造方案》,对已建成的居民小区家庭的卫生洁具和水龙头进行节水型器具改造。自 2002 年以来,天津先后完成了 12 片居民生活小区节水型器具改造工程,推广节水器具 30 万套,年节水 30 万立方米^[47]。北京市的要求是新建、改建、扩建建筑工程禁止设计、采购、使用不符合《节水型生活用水器具》标准的用水器具;禁止生产和销售不符合《节水型生活用水器具》标准的用水器具;并限期更换各公共建筑中使用的不符合节水标准的用水器具^[48]。2006 年,北京市水务局、市建委等部门出台相关管理办法,节水器具已在机关、学校、医院、宾馆、商场等公共场所基本得到普及,城镇家庭普及率也达到 85%^[49]。

1.1.3 整合设计概述

①整合的理念

整合作为一个专门术语,最早由英国哲学家赫伯特·斯宾塞在 1862 年出版的《第一原理》一书中为阐释进化哲学而创用的。20 世纪以来,在科学高度分化和综合特别是边缘科学、交叉科学和跨学科知识的丰富发展中,这一术语更被广泛的借用于生物学、生理学、社会学和心理学等学科领域。“整合”既准确表述了事物间的动态作用又强调了事物间结合成一个整体的独特性质^[50]。

②整合设计研究概况

整合设计的概念,最初是针对城市中规划与建筑设计的割裂,强调空间形态的完整与功能统一所提出的。弗朗西斯·弗谷森在《建筑·城市与系统研究》一书中指出,城市中的建筑之间存在着潜在的联系,这一联系必须用“整合设计”来体现。以这种观念,城市是一个由不同的局部相互联系构成的整体,从设计而

论，空间的内外是不可分割的，也即“环境的形式是整体的统一和局部的变化，房屋是局部，环境是整体”。“整合设计”代表一种将事物联合起来去解决问题的观念^[51]。

目前，对于整合设计方面的研究多见于城市规划层面和建筑设计层面，瑞士建筑师托马斯·赫尔佐格的整合设计的概念与建筑设计的联系更为紧密：侧重于通过一种科学的设计方法，整合多个学科的最新科学知识，并将之体现在最终的建筑设计或者建筑概念的发展中。这里的整合设计是一种动态的研究型设计，需要在设计的不同阶段，发现不同的设计问题，同时必须时刻保持对问题的敏锐把握，进行开放式的思考和研究，而所有这一切工作，均需要建筑师与各个工种的专业人员，例如物理学家、工程师，甚至医生、生物学家和材料科学家等，共同组成设计团队，展开建筑设计研究工作，建筑设计的每一个过程，均有各个工种的工程师、科学家等专业人士的介入^[52-53]。美国建筑师西姆·范·德莱恩曾针对建筑生态化提出过“整合设计”的概念。在其 1981 年的著作《整合设计》，他认为：由于可再生能源的紧缺，以及由于利用这些能源造成的环境问题，建筑设计必须在“有限资源”条件下进行综合考虑，形成一种整合设计思想^[54]，和谐地利用其他形式的能量，并且将这种利用体现在建筑环境的形式设计中就是“整合设计”。通过强调设计仿效自然，将自然系统的工作原理运用于人工环境与建筑的设计中，获得有利用可持续发展的建筑^[55]。可见西姆的整合设计主要是指从生态系统的概念出发，将建筑与外部环境作为一个整体的、内在联系的统一考虑。

1.2 课题研究的目的、内容和意义

①研究目的

本文以绿色建筑节水与水资源利用系统整合设计为研究对象，结合建筑供水节水子系统、中水处理与回用子系统、雨水收集与利用子系统、景观水体水质保障子系统四个方面，以整合设计方法和整合设计技术为主要研究内容，分别归纳出各个子系统的设计方法和技术措施、遵循人与自然和谐共处、水资源可持续利用、提高用水效率与节流、优质优用、低质低用、因地制宜、保障水质与水量的安全性等原则，研究出最合适的设计体系，以期为绿色建筑节水与水资源利用系统的设计做出指导。

②研究内容

- 1) 绿色建筑节水与水资源利用系统整合设计方法研究
- 2) 绿色建筑节水与水资源利用系统方案整合设计技术研究
- 3) 绿色建筑节水与水资源利用系统施工图整合设计技术研究

③研究意义

绿色建筑节水与水资源利用一方面可以减少自来水取水量，另一方面可以减少排污量，减少污水排放而减轻水体的净化负担，使水环境承载能力和水环境质量提高。因此，研究绿色建筑节水与水资源利用系统，是降低建筑水耗并缓解城市水资源紧张状况的有效途径，同时也增强居民节水意识，推动整个社会向着节约型方向发展。绿色建筑节水与水资源利用系统整合设计的研究成果，将为绿色建筑节水与水资源利用系统优化设计提供技术支撑，为建筑设计中给排水工程师在水系统设计时提供参考，具有重要的现实意义。

1.3 课题研究的方法和技术路线

①研究方法

通过对工程图纸、文献和其它与绿色建筑节水与水资源利用系统设计相关的资料分析，获得对过去和现在已有的研究成果的认识。在大量收集资料、广泛阅读文献的前提下，分析绿色建筑节水与水资源利用系统发展状况，涉及了市政学科、环境学科、建筑学、生态学等诸多学科，综合借鉴多学科的理论方法，结合具体的工程实践案例，形成对研究目标的全面认识。

②技术路线

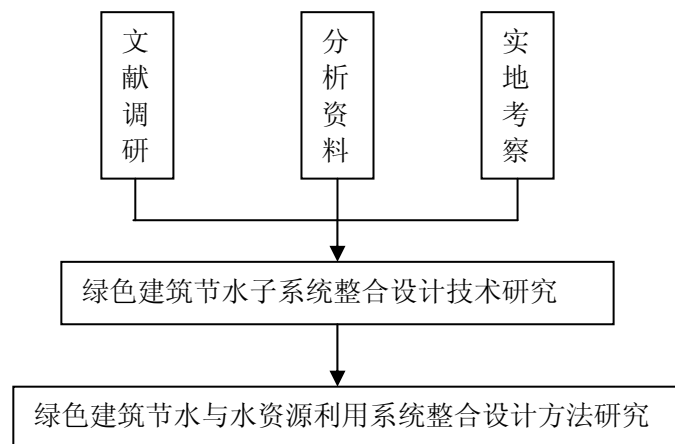


图 1.1 研究的技术路线

Fig. 1.1 Technology route of research

2 绿色建筑节水与水资源利用系统整合设计方法研究

2.1 整合设计理论基础

世界，因为有多如泉涌的信息、能量和材料，而生机勃勃。每种定义这些事物的有着固定关系的网络，形成了一个系统^[56]。系统论的创建者 L.V.贝塔朗菲认为：“所谓系统，就是由一定要素组成的具有一定的层次和结构，并与环境发生关系的整体^[57]。”绿色建筑节水与水资源利用系统是由相互作用和相互依赖的系统要素组成，具有一定结构和功能并处在一定环境中的复杂人工系统。

系统科学为人们提供了一种崭新的科学思维方式——系统思维方式，以整体性、综合性、层次性、动态性和开放性的原则来解决多因素、动态多变的有组织的复杂系统问题，系统研究的主要任务就是以系统为研究对象，从整体出发来研究系统整体各要素的相互关系，从本质上说明其形式、结构、功能，从而把握系统的整体性。系统思想的突出特点是强调整体性以及整体与部分的关系，因此我们应以系统思想为指导，全方位、整体的看待绿色建筑节水与水资源利用系统设计问题。

2.2 整合设计的原则

绿色建筑节水与水资源利用系统的整合设计，包括了从项目规划、方案设计到施工图设计的整个过程，在建筑、规划、景观、结构、建筑节能、建筑给排水、建筑电气、自动化控制等各个专业的参与下，使得整个系统达到设计要求。整个过程是个复杂的、综合的过程，应全面考虑地区的自然资源环境、地区经济水平、建筑类型、景观、水量平衡、水质保障等因素。

在进行节水与水资源利用系统整合设计时，应坚持以下几点基本原则：

①全生命周期原则

产品生命周期有两种不同的含义。一是商业和市场开拓意义上的产品市场周期，指某种产品从开始投放市场、市场发展、市场饱和、市场需求衰退到完全退出市场的过程；二是开发和使用意义上的个体产品存在寿命，指一个产品从客户需求、概念设计、工程设计、加工制造到服务支持的时间过程^[58]。绿色建筑节水与水资源利用项目的全生命周期指的是后一种涵义，即包括从项目可行性研究、准备、建设、竣工验收、运营管理、后评价到回收再利用的整个生命周期。关注全生命周期，意味着不仅在规划设计阶段充分考虑并利用环境因素，而且确保施工过程中对环境的影响最低，运营管理阶段能为人们提供健康、舒适、低耗、无害空间，拆除后又对环境危害降到最低，并使拆除材料尽可能再循环利用。

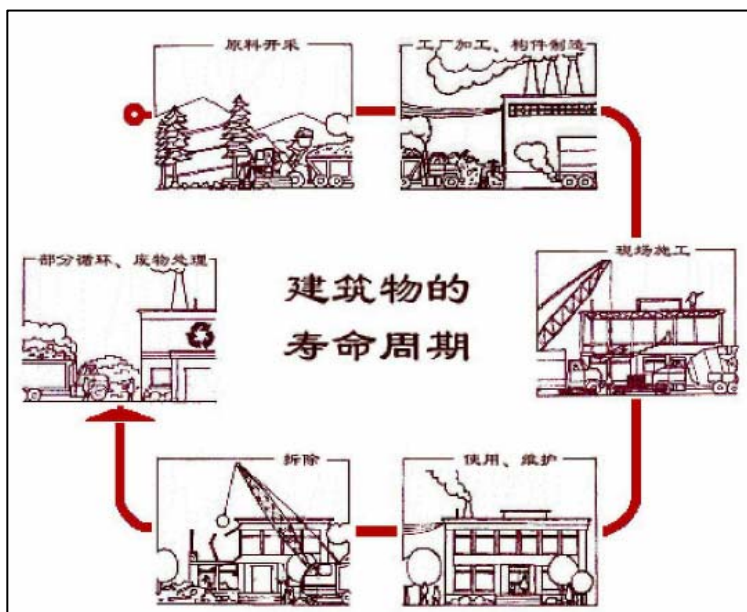
图 2.1 建筑全生命周期过程^[59]

Fig2.1 Life cycle of building

②可持续性原则

可持续的利用水资源是为了社会的永续发展及水环境的恢复和维持，通过法律、行政、经济、技术等手段，使社会合理有效的取用有限的水资源。主要采用开源节流的方式。城市水源主要由地表水、地下水、外调水、再生水、海水、雨水等组成。开源就是在利用传统水源的同时寻求新的水源，如再生水、雨水、海水等非传统水源。而每一种水源的开发利用均不是盲目而无度的，需要进行环境、经济、社会以及文化等多方面的考量，各种水源的利用不仅与城市各种用水途径对水量和水质的要求密切相关，还受到自然条件、经济及社会发展水平等诸多因素的影响和限制。节流就是节约用水，提高用水效率。节流的措施主要是采用节水设备和加强节水系统设计等。建立水资源循环利用系统也是可持续利用的一方面。首先要明确水资源自然循环和社会循环的关系。当人类的活动参与到水的自然循环中，采取一系列的水资源开发利用行为，水就进入了社会循环的范畴。可以说水的社会循环依赖于水的自然循环，同时也决定着水的自然循环的功能与价值。循环利用必须注重多水源的统筹和合理配置，重视污水的处理和再生回用，使得排放到自然水体中的水能够满足水体的环境容量要求，从而使有限的淡水资源能够为人类可持续的利用^[60]。

③因地制宜的原则

中国是一个幅员辽阔的国家，地区差异明显。从气候、自然资源条件、地理

环境特点，地区经济发展水平、人民的生活水平等各个方面差异很大。因此，在进行节水与水资源利用系统的设计前，应先细致的分析当地的情况，根据当地的特点进行可行性研究后，再进行方案的规划和设计。

④与环境协调发展原则

能源危机、环境污染已经成为影响社会持续发展的主要矛盾之一，而对正处于快速发展阶段的中国，生态环境与自然资源状况更加不容乐观，社会的发展应走与环境相适应的道路。与环境的协调发展即是要把整个系统的经济效益、社会效益和生态环境效益有机统一起来，综合平衡，谋求建筑与人类社会和自然环境和谐共生，既要考虑对已建成环境的影响，又要考虑对未来发展的影响。综合平衡过去、现在和未来的关系，保持环境发展的关联性和连贯性，实现继承与创新的统一。应充分利用建筑场地周边的自然条件，尽量保留和合理利用现有适宜的地形、地貌、植被和自然水系；在工程选址、布局、形态等方面，充分考虑当地气候特征和生态环境；工程的规模和周围环境保持协调，保持文化与景观的连续性；尽可能减少对自然环境的负面影响。

⑤安全性原则

水资源安全涵盖了水量安全 and 水质安全两个方面。水量安全即是要求水的供给能力略大于需求量，而当水供给远远超过水的需求时，就会形成洪涝灾害，这时就需要拥有抵御洪涝灾害的能力。水量安全与很多因素有关，它涉及到建筑所在区域的自然条件、所在区域的水资源状况以及建筑自身用水需求等。例如，供水系统应设有备用水源、溢流装置及相关切换设施等，以保障水量安全。水质安全是指在建筑的各用水环节需保证各种用途的水不对用户、建筑环境、生态环境产生不利的影响，也即在建筑用水环节中要保证将由水质引起的风险控制在可接受的范围内。例如，雨水、再生水等非传统水源在储存、输配等过程中要有足够的消毒杀菌能力，且水质不会被污染，以保障水质安全。景观水体采用雨水、再生水时，在水景规划及设计阶段应将水景设计和水质安全保障措施结合起来考虑。安全性原则是节水与水资源利用的一个重要的原则，包括对人体健康的安全、对周围环境的影响的安全，水资源利用必须考虑水安全保障策略、技术和措施。

2.3 整合设计的要素

2.3.1 资源整合

资源整合是指对不同来源、不同层次、不同结构、不同内容的资源进行识别与选择、汲取与配置、激活和有机融合，即资源的调整、合理分配和充分利用，使其具有较强的柔性、条理性、系统性和价值性，并创造出新的资源的一个复杂的动态过程。资源整合是系统论的思维方式。根据项目需求，通过组织和协调，

把内部彼此相关但却彼此分离的资源进行重新配置。在进行绿色建筑节水与水资源利用系统的设计前，首先应进行资源的收集和整理，包括项目所在地的自然条件，用水情况和排水现状、居民生活水平和经济条件等。其次，进行资源的筛选和分类整理，即是将收集过后的资料，进行合理的分配和整合。最后，在进行项目方案设计和施工图设计时，进行资源的分析并充分利用。

2.3.2 技术整合

绿色建筑节水与水资源利用系统设计的每个环节都要求对节水技术做恰当的选择和配置，技术是在实现设计目标的可能性中做出探索，而整合则保证了实现设计的最大可能性和提供最高品质的成果。技术整合探索将客观的、独立的技术元素按照主观的设计意向和设计目标组织成为有机和谐的技术体系，通过整合我们可以选择优良的技术，使它们更好地服务于我们的总体设计意向。技术整合包括两层概念^[63]：一是多层次技术的组合与设计相结合；二是从整体目标的角度将不同种类不同系统的技术相集成。因此，它是一种技术组合优化的创新概念，不是简单的综合，而是以最高生态效益为目标的一种创造性技术重组。正如《北京宣言》所述：“从技术的复杂程度来看，低技术、轻技术和高技术各不相同，并且效别很大，因此每一个设计项目都必须选择适合的技术路线，寻求具体的整合途径，亦即要根据各地自身的建设条件，对多种技术加以综合利用、继承、改进和创新^[64]。”在确立技术整合的原则之前，必须明确本文中技术所指的范畴。本文所指的技术是指服务于绿色建筑节水与水资源利用系统整合设计目标的技术手段的总和，包括建筑供水节水技术、中水处理与回用技术、雨水收集与利用技术、景观水体水质保障技术等。节水与水资源利用系统是一个有机的整体，因此，对技术进行科学的整合，应以因地制宜，适用技术为主，实现技术与其它建筑要素以及技术与技术之间的互相协同。所谓技术的“适用性”就是应尽可能选择应用符合地方特殊条件的技术，以地区和社会需要为出发点，进行比较和选择，强调技术与地域的自然条件、文化传统和经济状况相协调。选择的原则有：

①与自然条件适应的原则。选择某个技术时，一定要考虑到当地的自然条件，例如地质、地貌、水文气象条件等，在这些条件允许下，再做技术的选择和确定。

②经济适用原则。技术的选择一定要保证成本和效益的平衡，技术的选择方面倾向于利用目前成熟的技术，应进行各个技术的经济比较后，再确定最优的技术，必须评估其经济性指标，实现低成本，高效益。“低耗高能”、“少费多用”是技术内在价值追求的终极理想目标，也就意味着经济效益和经济利润的最大化。

③高效性原则。技术高效性是指在技术选择时要注重技术的实际功效，选择性能好、效率高的应用技术。技术的高效性是一个相对的、综合的指标，它是指在技术的投入和产出之间，单位的投入可以产出更高的能效，即强调技术的性价

比。

④简洁性原则。技术简洁性是指在技术选择以当地人们习惯为准，应相对简单，以操作灵活的技术为主。

2.3.3 专业整合

我国现有的设计体系中，各设计阶段和设计角色比较以自我为中心，不注重多角色的参与、多阶段的综合，设计信息线性单向传递，缺乏交流、反馈。节水与水资源利用系统的设计一般由给排水设计专业人员完成，设计过程往往缺少了建筑、结构等其他相关专业的参与，各个专业之间缺乏弹性互动。“没有任何一门学科能够创建整体性，因为的确没有任何一门学科试图去创建它”^[61]。因此，我们必须转变过去片面的设计方法，在设计时，各个专业之间应遵循以下几点：

①不同专业之间要相互尊重。不同专业的人员必须相互尊重，不应以某个专业为主导地位，各个专业应以平等的角度，从自己的专业出发，并积极的配合其他专业，做到全面的思考并解决问题。例如，建筑专业与水专业在共同讨论整个系统的设计时两个专业应相互配合，根据节水的要求，建筑设计在某些方面应做出适当的调整，以满足节水需要，例如，如果石板路面、屋顶和道路，都被设计成可以吸水的形式，就没有必要采用昂贵的措施，来对地面积水加以控制。在砂石路基上面，铺上一层可渗水的沥青，大雨过后，停车场中积聚的雨水，就会慢慢渗透，最终进入地下水系当中。屋顶也可以设计成相近的形式，从而减少雨水滴下来的数量，沙砾层不仅可以吸水，使大雨过后的凹凸和水洼变得平坦，而且还有助于过滤来自停车场和道路上的污染物质^[62]。

②设计语言要统一。各个专业的人员必须了解明白其他专业的专业术语，才有助于更好的相互了解和沟通。

③了解各专业不同的问题，积极地进行磨合。各个专业应该了解自身在设计中涉及的问题，并阐述出设计的难点，积极的与其他专业进行磨合。定期进行各个专业的整合研讨会，分析出现的问题，并共同讨论解决办法。

2.4 整合设计的程序

先进的设计理念与技术必须由科学的设计程序与方法将其付诸实践，才能产生效用。与绿色建筑节水系统整合设计相对应，需要根据其理论内涵对具体的设计程序和设计方法进行相应的调整与发展，建立多目标综合、多学科交叉设计体系。整合设计方法在设计有一定的逻辑顺序，它是贯穿与整个建筑全生命周期的，整合设计方法的运用根据不同项目的特点有不同侧重。各个设计层面之间的作用是一个相互促进、相互启发的过程。在设计流程上具有一定的顺序性，同时又是因地制宜、具体情况具体分析的过程。具体的程序如下：

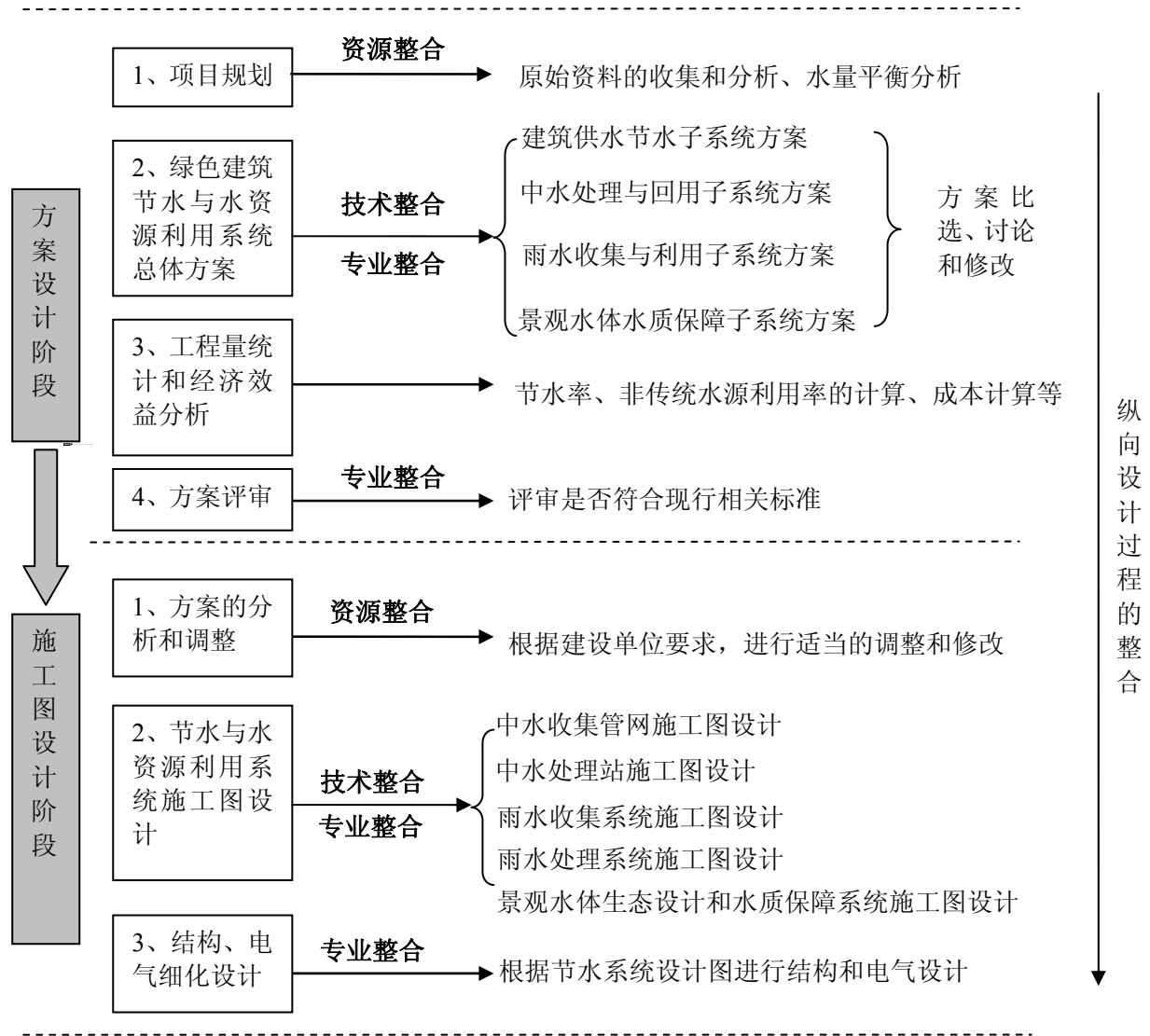


图 2.2 绿色建筑节水与水资源利用系统整合设计程序图

Fig 2.2 Process of integrated design of water-saving and water reuse system in green building

3 绿色建筑节水与水资源利用系统方案整合设计技术研究

3.1 绿色建筑节水与水资源利用系统方案整合设计内容

绿色建筑节水与水资源利用系统方案整合设计是根据项目规划要求，项目当地实际情况，对设计条件进行整体分析，选用适宜的节水与水资源利用技术，对节水与水资源利用子系统的有机整合，其设计内容如下：

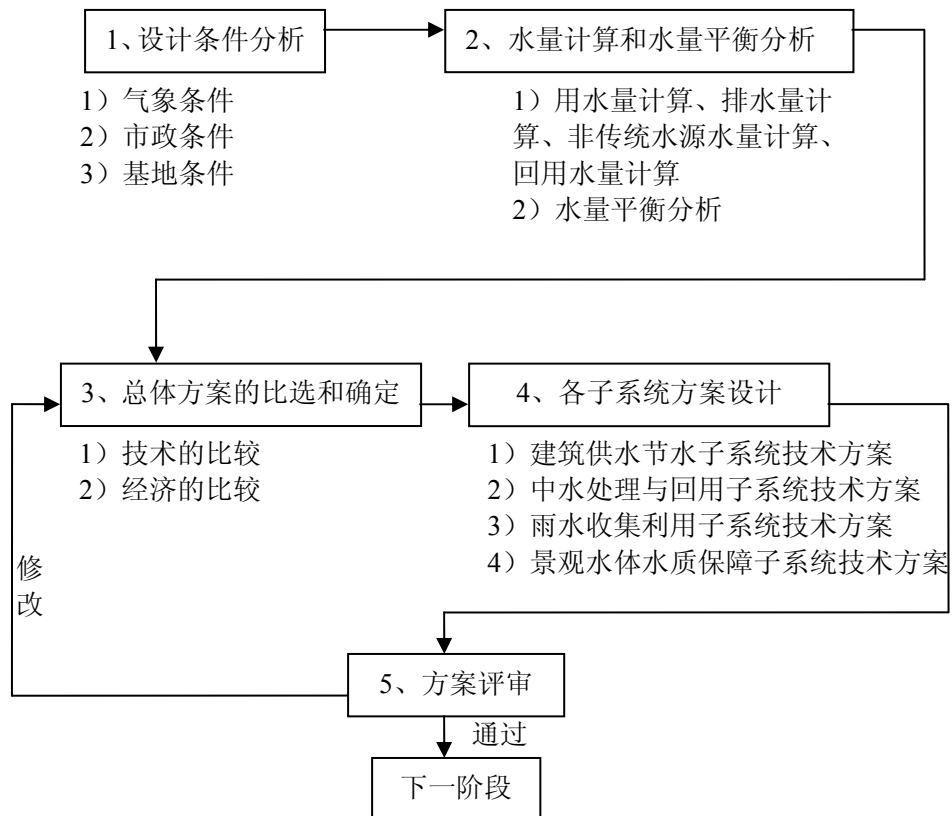


图 3.1 节水与水资源利用系统方案整合设计流程图

Fig 3.1 Flow diagram of the scheme intergrated design on water-saving and water reuse system

①资源整合

结合项目当地的气象资料、市政条件、基地条件进行设计、调查当地经济发展状况，当地居民生活水平和当地水价等资料，分析项目所在的位置及周边水资源概况，提出节水技术方案。

②技术整合

结合项目用地情况并根据建设单位需求，以及水质水量的预测情况，通过技术经济比较后，选用适用的建筑供水节水技术、中水处理与回用技术、雨水收集

与利用技术、景观水体水质保障技术，从项目整体需求进行各子系统技术的整合。

③专业整合

在项目规划阶段应有多个专业参与讨论，包括建筑、景观、建筑节能、给排水等，共同分析讨论整个项目中节水的要求，同时整合项目中“四节一环保”中对节能、节地、节材和环境保护方面的要求。

3.2 设计条件分析

①气象条件

向当地气象部门查阅降雨量资料和蒸发量资料，包括年平均降雨量和蒸发量，多年逐月平均年降雨量和蒸发量。如条件允许，可搜集更为详尽的降雨资料，如年均最大 24h 降雨量、年均最大 3d、7d 降雨量等，方便后续设计计算。

②市政条件

包括供水管网现状、供水水压、排水管网现状等。

③其他要求事项

包括基地条件（建筑规模、用途）等。

3.3 水量计算和水量平衡分析

在进行绿色建筑节水与水资源利用系统设计时，应进行用水量、排水量、非传统水源水量及回用水量的分析和计算，然后再进行整个系统水量平衡分析，使各种水量在总量和时间上保持协调。

3.3.1 用水量计算

一般情况下，建筑小区设计用水量包括如下几个部分：

①居民生活用水量

$$Q_{\text{居民生活}} = 10^{-3} \times N \times q$$

式中： $Q_{\text{居民生活}}$ ——生活用水量（ m^3/d ）

N ——人口数（人）

q ——平均日用水定额（ $\text{L}/\text{人} \cdot \text{d}$ ）

居民生活用水定额的确定应从区域整体用水上来考虑，参照《城市居民生活用水量标准》（GB/T 50331-2002）、当地《水资源公报》、《室外给水设计规范》（GB50013-2006）、《建筑给水排水设计规范》（GB50015-2003）、地方颁布的用水定额标准等规定的用水定额，并结合当地经济状况、气候条件、用水习惯等，根据实际情况合理地确定。

②公共建筑用水量

集体宿舍、旅馆等公共建筑的生活用水定额及小时变化系数，根据卫生器具

完善程度和区域条件，可按《建筑给水排水设计规范》(GB50015-2003)表 3.1.10 确定。

$$Q_{\text{公共建筑}}=10^{-3}\times N\times q\times\alpha$$

式中： $Q_{\text{公共建筑}}$ ——公共建筑用水量 (m^3/d)

N ——人口数 (人)

q ——公共建筑最高日生活用水定额 ($\text{L}/\text{人}\cdot\text{d}$)

α ——最高日折算成平均日给水量的折减系数，按《室外给水设计规范》中的用水定额分区和城市规模确定，一般取 0.67~0.91。

③绿化用水量

绿化用水量按下式计算：

$$Q_{\text{绿化}}=10^{-3}\times q\times n\times F_{\text{绿化}}$$

式中： $Q_{\text{绿化}}$ ——绿化用水量 (m^3/d)；

q ——绿化浇洒用水定额 ($\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{次})$)；

n ——浇洒次数 ($\text{次}/\text{d}$)；

$F_{\text{绿化}}$ ——绿化面积 (m^2)。

④浇洒道路广场用水量

浇洒道路广场用水量按下式计算：

$$Q_{\text{道}}=10^{-3}\times q\times n\times F_{\text{道}}$$

式中： $Q_{\text{道}}$ ——浇洒道路广场用水量 (m^3/d)

q ——道路浇洒用水定额 ($\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{次})$)

n ——浇洒次数 ($\text{次}/\text{d}$)

$F_{\text{道}}$ ——道路广场用地面积 (m^2)

⑤景观水体用水量

景观水体用水主要是景观水体的补充水，补充水量应根据蒸发、飘失、渗漏、排污等损失确定，根据当地的气候条件、景观水体的规模、循环设施和循环水量来确定。其中当地的气候条件主要涉及日照、温度、降水、风力、湿度等，这些都是确定景观水体蒸发量的综合因素。国内外普遍采用彭曼(penman)、莫顿(Morton)、布德科和桑斯维特公式进行准确计算湖面蒸发量^[65]，如果资料缺乏、条件不具备的情况可参考当地多年平均蒸发量估算，即：

$$Q_{\text{景观}}=10^{-3}\times y\times F_{\text{景观}}$$

式中： $Q_{\text{景观}}$ ——景观水体补充水量 ($\text{m}^3/\text{年}$)

y ——多年平均蒸发量 ($\text{mm}/\text{年}$)

$F_{\text{景观}}$ ——景观水体表面积 (m^2)

⑥公共设施用水

公用设施用水量，应由该设施的管理部门提供用水量，当无重大公用设施时，不另计用水量。如果小区内有汽车洗车用水或车库地面冲洗用水可如下计算：

1) 洗车用水量

洗车用水根据当地的经济发展水平、小区规划停车的数量、用途、道路路面等级和污染程度，以及采用的冲洗方式，可按照下式计算：

$$Q_{\text{洗车}} = 10^{-3} \times n_1 \times n_2 \times X$$

式中： $Q_{\text{洗车}}$ ——洗车用水量（ m^3/d ）

n_1 ——每日洗车次数（次/d），根据实测获得或由建设单位提供

n_2 ——每日洗车数（辆/d）

X ——汽车冲洗用水定额（L/辆·次），参照表 3.1 确定

表 3.1 汽车冲洗用水定额^[66]（L/辆·次）

Tab 3.1 Water demand quota of motor vehicle washing

冲洗方式	软管冲洗	高压水枪冲洗	循环用水冲洗	抹车
轿车	200~300	40~60	20~30	10~15
公共汽车/载重汽车	400~500	80~120	40~60	15~30

2) 洗车场或车库地面冲洗用水量

$$Q_{\text{车库}} = 10^{-3} \times F_{\text{车库}} \times N_{\text{车库}} \times S$$

式中： $Q_{\text{车库}}$ ——洗车场或车库地面冲洗用水量（ m^3/d ）

$F_{\text{车库}}$ ——洗车场或停车库地面面积（ m^2 ）

$N_{\text{车库}}$ ——洗车场或车库地面冲洗用水定额（L/ $\text{m}^2 \cdot \text{次}$ ），停车库为 2~3 L/ $\text{m}^2 \cdot \text{次}$

S ——每日冲洗次数（次/d），由实测获得或由建设单位或建筑专业提供

对于节水效果的评价，应按平均日定额确定更为合理^[67]，因此本节中计算的水量均为平均日用水量，若按最高日用水定额计算，需换算成平均日定额。

3.3.2 排水量计算

根据《建筑给水排水设计规范》（GB 50015-2003），排水量按照用水量来计算，考虑在人体吸收、蒸发等损失，按照用水量的 80%~90%考虑。

$$Q_{\text{排水}} = Q \times y$$

式中： $Q_{\text{排水}}$ ——排水量（ m^3/d ）

Q ——居民生活用水量或公共建筑用水量（ m^3/d ）

y ——按给水量计算排水量的折减系数，80%~90%

3.3.3 非传统水源分析

非传统水源指不同于传统市政供水的水源，包括中水、雨水等。

①中水

根据《建筑中水设计规范》(GB 50336—2002)，应优先选择水量充裕稳定，污染物浓度低，水质处理难度小。中水水源可选择的种类和选取顺序为：a.卫生间、公共浴室的盆浴和淋浴等的排水；b.盥洗排水；c.空调循环冷却系统排污水；d.冷凝水；e.游泳池排污水；f.洗衣排水；g.厨房排水；h.冲厕排水。

$$Q_{\text{中}} = \sum 10^{-3} \times \beta \times Q \times n \times b$$

式中： $Q_{\text{中}}$ ——中水原水量 (m^3/d)

β ——建筑物按给水量计算排水量的折减系数，一般取 0.8~0.9；

Q ——平均日用水定额 ($\text{L}/\text{人} \cdot \text{d}$)

n ——人数 (人)

b ——建筑物用水分项给水百分率，根据《建筑中水设计规范》(GB50336-2002)，建筑内部排放的污水除了涵盖了室内厕所排水、厨房排水、洗衣排水、盥洗排水和淋浴排水等，如表 3.2 所示：

表 3.2 各类建筑物分项给水百分率 (%)

Tab 3.2 Percentage of different use of water supply on various building

分类	住宅	宾馆、饭店	办公楼、教 学楼	公共浴室	餐饮业、营业餐厅
冲厕	21.3~21	10~14	60~66	2~5	6.7~5
厨房	20~19	12.5~14	—	—	93.3~95
沐浴	29.3~32	50~40	—	98~95	—
盥洗	6.7~6	12.5~14	40~34	—	—
洗衣	22.7~22	15~18	—	—	—
总计	100	100	100	100	100

注：沐浴包括盆浴和淋浴

②雨水

可收集利用的雨水量按下式计算：

$$Q_{\text{雨}} = \sum 10^{-3} \times H \times A_{\text{汇水}} \times \Psi_{\text{平均}} \times \alpha$$

式中： $Q_{\text{雨}}$ ——可收集利用的雨水量 (m^3)

H ——设计降雨厚度 (mm)，根据当地气象资料确定

$A_{\text{汇水}}$ ——汇水面积 (m^2), 按汇水面水平投影面积计算

α ——初期弃流系数, 初期弃流系数的取值应以实际弃流措施为准, 一般取 0.8~0.9

$\Psi_{\text{平均}}$ ——地表平均径流系数

径流系数是雨水下垫面上的径流量 (扣除土壤吸收、渗透、蒸发等损失) 与降雨量之比, 径流系数为小于 1 的无量纲参数。各种下垫面的径流系数见表 3.3。

根据各类下垫面的径流系数, 以及各类汇水面积所占的比率确定平均径流系数,

$$\Psi_{\text{平均}} = \sum S_i \times \Psi_i$$

式中 S_i ——各类地面汇水面积百分比

Ψ_i ——各种地面的径流系数

表 3.3 径流系数

Tab 3.3 Runoff coefficient

类 型	径流系数 ψ	类型	径流系数 ψ
硬屋面、没铺石子的平屋面、沥青屋面	0.8~0.9	干砌砖、石及碎石路面	0.4
铺石子的平屋面	0.6~0.7	混凝土和沥青路面	0.8~0.9
绿化屋面	0.3~0.4	块石等铺砌路面	0.5~0.6
绿地	0.15	非铺砌的土路面	0.3
地下室覆土绿地(覆土厚度 $\geq 500\text{mm}$)	0.15	水面	1
地下室覆土绿地(覆土厚度 $< 500\text{mm}$)	0.3~0.4		

在实际应用中, 还需要考虑绿地截流、雨水的渗透和蒸发等情况产生的损失, 因此实际可利用的雨水量小于以上计算结果。由以上计算公式可知, 雨水利用量的确定与当地的气候条件、降雨时节、地质地形条件、建筑类型以及雨水的需求量有关。

3.3.4 非传统水源可替代的用水途径

根据项目实际情况选择非传统水源用水点, 非传统水源的利用途径主要有绿化用水、道路广场用水、冲厕用水、水景补充用水、冲洗车辆、车库用水等杂用水。按 3.3.1 节所述方法进行水量的计算。优先考虑绿化、道路广场浇洒用水及水景补充用水。绿化用水、道路广场用水、水景补充用水、冲洗车辆、车库用水量按 3.3.1 节所述方法计算。冲洗厕所的用水量可以根据当地居民生活用水量标准,

按照表 3.2 中冲洗厕所的用水百分比确定冲洗厕所用水量。

3.3.5 水量平衡分析

水量平衡分析首先要确定可收集的非传统水源水量、其次确定非传统水源用水点及其用水量，水量计算根据 3.3.1~3.3.4 节所述方法进行计算。一般情况下，按月进行水量平衡分析，列出水量平衡分析表，如表 3.4：

表 3.4 水量平衡分析示意表

Tab 3.4 The schmatic table of water balance

非传统水源				非传统水源用水点						
1	2	3= 1+2	4	5	6	7	8=4+5 +6+7	9=3-8		
逐月 份	逐月年 平均降 雨量 (mm)	小区可 利用雨 水量 (m ³)	中水量 (m ³)	总和 (m ³)	绿化 Q _{绿化} (m ³)	浇洒道 路广场 其他 Q _道 (m ³)	逐月年平 均蒸发量 (mm)	景观水体 补水量 Q _{景观} (m ³)	总和 (m ³)	盈亏水 量(m ³)
1										
2										
...										
12										
全 年										

①盈亏水量 >0 ，表示非传统水源量大于用水点水量，则非传统水源可满足用水点的水量需求；盈亏水量 <0 ，表示非传统水源量小于用水点水量，则非传统水源不能满足用水点的水量需求，允许出现少数月份不满足，但必须核实是否可通过其它月份盈余的水量来调节。

②根据盈亏水量的情况，可调整非传统水源量和非传统水源用水点及其用水量。

3.4 系统总体方案的确定

根据水量平衡表及项目实际情况，比较多种非传统水源的利用方案，确定最优方案后，进行系统的详细方案设计。一般的总体流程如图 3.2、图 3.3，具体采用的方案还应根据项目实际情况进行调整。

①有景观水体的情况

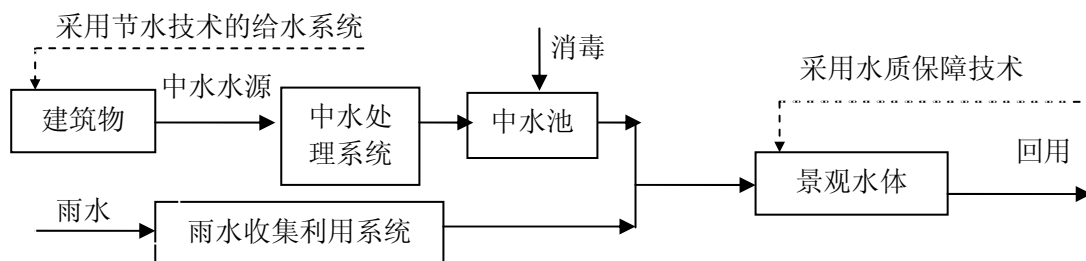


图 3.2 系统总体流程图（具有景观水体的情况）

Fig 3.2 Process of the whole system (Including scenic water body)

流程说明：建筑供水系统应采用节水技术措施，收集建筑中水进入中水处理系统后并达到回用水水质标准后回用，当项目规划范围内有景观水体时，可利用景观水体作为雨水调蓄池，雨水经过雨水收集利用系统处理后进入景观水体，景观水体根据水质要求需采用相应的水质保障技术，达到回用水水质标准后进入回用水供水系统。

②无景观水体的情况：

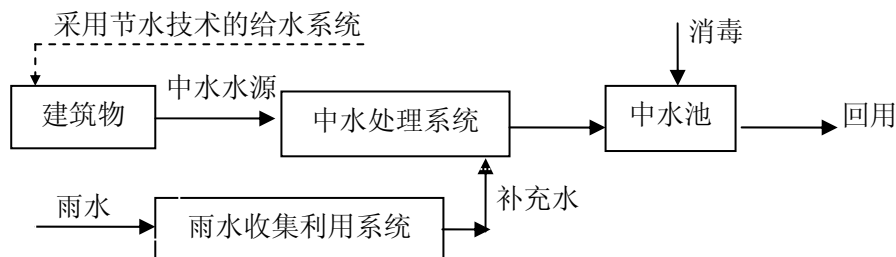


图 3.3 系统总体流程图（无景观水体的情况）

Fig 3.3 Process of the whole system (Not including scenic water body)

流程说明：建筑供水系统应采用节水技术措施，收集建筑内部中水进入中水处理系统后达到回用水水质标准后回用，当项目规划范围没有景观水体时或景观水体不能用作雨水调蓄池时，雨水经过雨水收集利用系统处理后中水处理流程的某些阶段、经处理后用作中水的补充水，达到回用水水质标准后进入回用水供水系统。

3.5 绿色建筑节水与水资源利用子系统方案设计技术

3.5.1 建筑供水节水子系统技术方案

建筑供水节水子系统即在满足用水需求的前提下，加强管理，依靠技术的快速发展，采取先进措施，提高水的有效利用率，防止泄漏，减少无用耗水量等。主要有以下几点建筑节水技术：

①推广使用节水器具

《绿色建筑评价标准》(GB50378)的控制项规定：节水器具应优先选用《当前国家鼓励发展的节水设备》(产品)目录中公布的设备、器材和器具。根据我国建设部颁布的《节水型生活用水器具》(CJ164—2002)中的规定，节水型生活用水器具(Domestic water saving devices)是满足相同的饮用、厨用、洁厕、洗浴、洗衣等用水功能，较同类常规产品能减少用水量的器件、用具。包括节水型水嘴(水龙头)、节水型便器及冲洗设备、节水型淋浴器等。节水器具的选用应根据项目实际要求和当地经济条件水平，选用高效的、合理的、经济的节水器具。

1) 节水龙头

我国已严令淘汰了传统的水龙头，如铸铁螺旋升降式水龙头和铸铁螺旋升降式截止阀。节水龙头主要是通过控制龙头的水流过水断面来降低龙头的出流量达到节水的效果，同时改善材料性能和气密性提高龙头的使用寿命。现在采用的节水龙头主要有陶瓷阀芯水龙头、充气节水龙头、和延时自闭水龙头等，对于供水不足地区还可以采用停水自动关闭水龙头。

2) 节水便器

节水便器包括大便器和小便器。目前我国使用较多节水便器主要有压力流防臭节水便器、压力流冲击式节水便器和脚踏式高效节水便器，国外的节水便器种类较多，如将无压水箱改造为密闭的有压水箱、带洗手水龙头的水箱坐便器、无水真空抽吸坐便器、气水混合冲洗以及生态厕所等。小便器通常用于公共建筑。目前使用较多节水小便器主要有延时自闭式、光电控制式小便器。随着节水技术的进步和节水力度的加强，免冲水小便器也整逐步推广使用。

3) 节水淋浴器

节水淋浴器可通过高效的冷、热水混合器提高水温的调节效率达到节水效果。同时，通过改变控制系统如采用脚踏式淋浴装置、电磁式淋浴装置、非接触自动控制淋浴装置等，其节水效果也较显著。在淋浴头内增加了增压设施或者采用加气装置，限流装置、增氧防垢装置从而减少了过流量，也节约了水量。

4) 其他节水电器

家庭采用的节水型电器包括节水型洗衣机，洗碗机等。通过调整洗衣控制程序加强水的利用效率，来达到节约用水的目的。

②减少给水管网系统的超压出流

卫生器具给水配件阀前压力大于流出水头，给水配件在单位时间内的出水量超过额定流量的现象，被称为超压出流现象，该流量与额定流量的差值，为超压出流量。超压出流会破坏给水系统中水量的正常分配，同时产生了无效用水量，而在使用过程中，这部分浪费的水量不易被察觉。因此，应采取必要的技术措施控制超压出流现象的发生，主要措施有^[68]：

1) 合理分区，限制管网压力

《建筑给水排水设计规范》(GB 50015—2003)中从防止给水配件承压过高会导致损坏的角度考虑，对给水配件和入户支管的最大压力做了限制，但是压力要求过于宽松，对限制超压出流基本无效。根据建筑给水系统超压出流的实际情况，宜对给水系统的压力做出合理限定，使生活给水系统入户管表前供水压力 $\leq 0.2\text{MPa}$ ；优先采用节能的给水系统，如叠压给水（利用市政余压）系统、变频给水、高效水泵等；高层建筑生活给水系统应分区合理，低区充分利用市政给水压力，高区采用减压分区，每区给水压力 $\leq 0.35\text{MPa}$ 。

2) 设置减压装置

在给水系统中合理配置减压装置是将水压控制在限值要求内、减少超压出流的技术保障。设置减压阀、减压孔板或节流塞均可有效减压。减压阀具有改善系统运行工况和潜在的节水作用，其节水效率可达 30%以上^[69]；设置减压孔板系统相对比较简单，投资较低，管理方便，节水效率达 15%~20%，但减压孔板只能减动压，不能减静压，且下游的压力随上游的压力和流量而变，不够稳定^[68]；节流塞的作用与减压孔板基本相同，适于在小管径及其配件中安装使用。

③控制管网漏损技术

管网漏损现象多表现为跑、冒、滴、漏，水资源浪费严重，通常情况下与管材、附件质量有关，也与施工质量有关。为避免管网漏损，可采取以下措施：

1) 给水系统中使用质量合格的管材、管件，并应符合现行产品行业标准的要求；

2) 选用高性能的阀门和水表；

3) 做好管道的防腐；

4) 加强管道施工过程监督；

5) 加强日常检修维护工作。

④减少热水系统的无效冷水量

各种热水供应系统，在开启热水配水装置后，往往要放掉不少冷水后才能正常使用，这部分流失的冷水未产生任何效益，称为无效冷水。减少无效冷水的排放，可采取以下措施：

- 1) 采用支管、立管、干管的热循环方式;
- 2) 减少调温造成的水量浪费;
- 3) 采用性能优良的加热与贮热设备。

⑤绿化节水灌溉技术

绿化节水灌溉技术主要有喷灌和微灌等节水高效型技术,喷灌是利用专门的系统(动力设备、水泵、管道等)将水加压后通过喷头将水分散成细小水滴后均匀喷洒到土壤表面的一种灌溉方式。微灌是利用微灌设备组装成微灌系统,将有压水输送分配到绿地,通过灌水器以微小的流量湿润作物根部附近土壤的一种局部灌水技术。包括滴灌、微喷灌、涌泉管和地下漫灌。



图 3.4 喷灌和微灌

Fig 3.4 Sprinkler irrigation and micro-irrigation

3.5.2 中水处理与回用子系统技术方案

中水处理与回用子系统方案设计方案内容为:中水处理站进出水水质分析、中水处理系统设计规模的确定,以及中水处理工艺的比选。

①进出水水质分析

1) 中水原水水质分析

中水原水是指来自建筑内部的生活污水、生活废水和冷却水,其含污染物成分与居民生活习惯、建筑物用途等因素有关,分类见表 3.5。

中水原水通常有以下三种组合形式:

- a. 优质杂排水:洗浴排水、盥洗排水、冷却水、洗衣排水
- b. 杂排水: a+厨房排水
- c. 生活污水: b+厕所排水

根据《建筑中水设计规范》(GB50336-2002),中水原水水质应以实测资料为准,在无实测资料时,各类建筑物各种排水的污染浓度可参照表 3.6 确定。

表 3.5 建筑内部排水分类及特点^[70]

Tab 3.5 Classification and features of drange from building inside

序号	名称	来源	特点
1	洗浴排水	淋浴和浴盆排放的废水	有机物浓度低，但皂液含量高
2	盥洗排水	洗脸盆、洗手盆、盥洗槽 排放的废水	有机物浓度较低、悬浮物浓度较高
3	冷却水	空调系统循环冷却水排放 的废水	水温较高、污染较轻
4	洗衣排水	洗衣房、洗衣机排水	洗涤剂含量高、有机物浓度较低、悬浮物浓度较高
5	厨房排水	厨房、食堂、餐厅等排放 的废水	有机物浓度高、浊度高、油脂含量高
6	厕所排水	大便器、小便器排水	有机物浓度、悬浮物浓度和细菌含量高

表 3.6 各类建筑物各种排水污染浓度表 (mg/L)

Tab 3.6 Water-quality index of drainage of various building

类别	住宅			宾馆、饭店			办公楼、教学楼		
	BOD ₅	COD	SS	BOD ₅	COD	SS	BOD ₅	COD	SS
冲厕	300~450	800~1100	350~450	250~300	700~1000	300~400	260~340	350~450	260~340
厨房	500~650	900~1200	220~280	400~550	800~1100	180~220	—	—	—
沐浴	50~60	120~135	40~60	40~50	100~110	30~50	—	—	—
盥洗	60~70	90~120	100~150	50~60	80~100	80~100	90~110	100~140	90~110
洗衣	220~250	310~390	60~70	180~220	270~330	50~60	—	—	—
综合	230~300	455~600	155~180	140~175	295~380	95~120	195~260	260~340	195~260

续表 3.6

类别	公共浴室			餐饮业、营业餐厅		
	BOD ₅	COD	SS	BOD ₅	COD	SS
冲厕	260~340	350~450	260~340	260~340	350~450	260~340
厨房	—	—	—	500~600	900~1100	250~280
沐浴	45~55	110~120	35~55	—	—	—
盥洗	—	—	—	—	—	—

续表 3.6

类别	公共浴室			餐饮业、营业餐厅		
	BOD ₅	COD	SS	BOD ₅	COD	SS
洗衣	—	—	—	—	—	—
综合	50~65	115~135	40~65	490~590	890~1075	255~285

2) 回用水水质分析

中水主要回用于环境景观用水、冲厕、道路清扫、消防、绿化用水、车辆冲洗、车库冲洗等杂用水。中水回用于城市杂用水和建筑杂用水时，中水水质应符合国家标准《城市污水再生利用 城市杂用水水质》^[71]标准（GB/T 18920-2002）中水回用于景观环境用水时，中水处理应达到《城市污水再生利用 景观环境用水水质》标准^[72]（GB/T 18921-2002）。

表 3.7 《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）

Tab 3.7 Reuse of urban recycling water--Water quality standard for miscellaneous use

序号	项目	冲厕	道路清扫、 消防	城市 绿化	车辆 冲洗	建筑 施工
1	pH			6.0-9.0		
2	色度≤			30		
3	嗅			无不快感		
4	浊度/NTU≤	5	10	10	5	20
5	溶解性总固体/（mg/L）≤	1500	1500	1000	1000	-
6	（BOD ₅ ）/（mg/L）≤	10	15	20	10	15
7	氨氮/（mg/L）≤	10	10	20	10	20
8	阴离子表面活性剂/（mg/L）≤	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0
9	铁/（mg/L）≤	0.3	-	--	0.3	--
10	锰/（mg/L）≤	0.1	-	--	0.1	--
11	溶解氧/（mg/L）≥			1.0		
12	总余氯（mg/L）		接触 30min 后≥1.0，管网末端≥0.2			
13	总大肠菌群/（个/L）≤			3		

表 3.8 《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T18921-2002)

Tab 3.8 Reuse of urban recycling water--Water quality standard for scenic environment use

序号	项目指标	观赏性景观环境用水			娱乐性景观环境用水		
		河道类	湖泊类	水景类	河道类	湖泊类	水景类
1	基本要求	无漂浮物, 无令人不愉快的嗅和味					
2	PH 值(无量纲)	6~9					
3	(BOD ₅) (mg/L) ≤	10	6	6			
4	悬浮物 (mg/L) ≤	20	10	—			
5	浊度(NTU)≤		—			5.0	
6	溶解氧(mg/L)≤		1.5			2.0	
7	总磷(以 P 计 mg/L)≤	1.0		0.5	1.0		0.5
8	总氮 (mg/L)				15		
9	氨氮 (以 N 计 mg/L)≤				5		
10	粪大肠菌群(个/L)≤	10000		2000	500		不检出
11	余氯≥				0.05		
12	色度(度)≤				30		
13	石油类(mg/L)≤				1.0		
14	阴离子表面活性剂(mg/L)≤				0.5		

对比《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T18920-2002)和《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T18921-2002)可以发现回用于景观水体的水质对总氮和总磷进行了要求。当中水需要同时满足多种用途时, 其水质应按最高水质标准确定。

②设计规模的确定

根据 3.3 节水量计算和水量平衡分析, 已计算了中水水量, 综合水量平衡分析的结果, 确定中水处理工艺的设计规模按下式计算:

$$q = \frac{Q_c}{t}$$

式中 q ——中水处理设施规模 (m^3/h)

Q_c ——经过水量平衡计算后的中水处理量 (m^3/d)

t ——中水处理设施每日设计运行时间 (h)

③中水处理系统工艺的比选

中水处理工艺流程应根据中水原水的水量、水质和中水使用等要求, 选择工

艺遵循以下五点原则：

- a. 处理工艺技术成熟、流程简单、设备及管道布置较少；
- b. 经济合理，尽可能节省投资、运行费用和占地面积；
- c. 处理工艺中，噪声、气味或其他因素对周边环境不造成严重的影响；
- d. 选用设备的操作过程简单，易于运行和维护；
- e. 保证出水水质达到需求的水质指标。

中水处理系统按其处理水质的差别，分为以下两类：

1) 以优质杂排水或杂排水作为水源

优质杂排水即是洗浴、盥洗排水、冷却水等，其水质特点是污染物浓度较小，水量和水质变化较大，因此必须要考虑抗冲击负荷能力较强的工艺。一般采用生物—物化组合流程或物化流程两类工艺，典型工艺有以下几种：

a. 以生物接触氧化为主的工艺流程（见图 3.5）

生物接触氧化是生物膜法的一种，目前国内应用较多，它适用于低浓度废水的处理。生物接触氧化法不需要回流污泥，污泥产量少，不产生污泥膨胀，耐冲击负荷能力强，运行管理方便。由于阴离子表面活性剂等可溶性杂质易在生物处理中去除，沉淀效果稳定且投资低，故生物处理后的物化处理一般采用混凝沉淀处理即可。过滤单元一般根据沉淀池出水水质及回用用途选择，一般为直接过滤，也可以使微絮凝过滤。

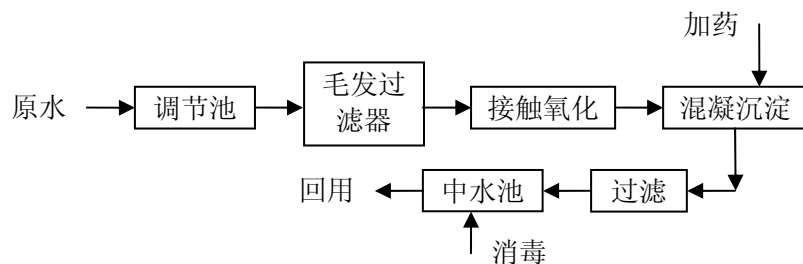


图 3.5 以生物接触氧化为主的中水处理流程图

Fig 3.5 Process chart of reclaimed water treatment with biological contact oxidation

b. 以曝气生物滤池（BAF）为主的工艺流程（见图 3.6）

曝气生物滤池是普通生物滤池的一种变形形式，也可看成是生物接触氧化法的一种特殊形式，与传统的生物滤池相比，采用了人工曝气供氧，与生物接触氧化工艺具有更多的共同点。该工艺最大特点是集生物氧化和截留悬浮固体于一体，反应器本身是高负荷淹没式固定化生物膜三相反应器，兼有活性污泥法和生物膜法两者的优点，并将生化反应与物化过滤合为一体。

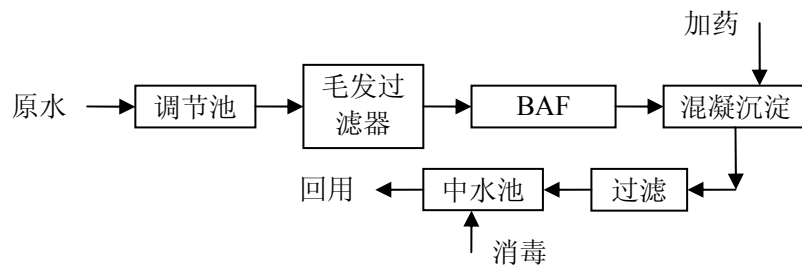


图 3.6 以曝气生物滤池（BAF）为主的中水处理流程图

Fig 3.6 Process chart of reclaimed water treatment with biological aerated filter(BAF)

c. 以混凝沉淀（气浮）为主的工艺流程（见图 3.7）

物化处理宜采用混凝气浮。混凝主要去除原水中的悬浮物和胶体杂质，对可溶性杂质（如阴离子表面活性剂）去除能力较差，沉淀与气浮都是混凝反应后的有效分离手段，但由于气浮池中的微小气泡可以粘附带有极性的表面活性剂，易上浮分离，因此适合在建筑中使用。该工艺可间歇运行，特别适用于住（客）房使用率波动较大、水源水量变化较大或间歇性使用的公共建筑的中水处理^[73]。若过滤后的水质还需深度处理，可采用活性炭吸附的工艺。

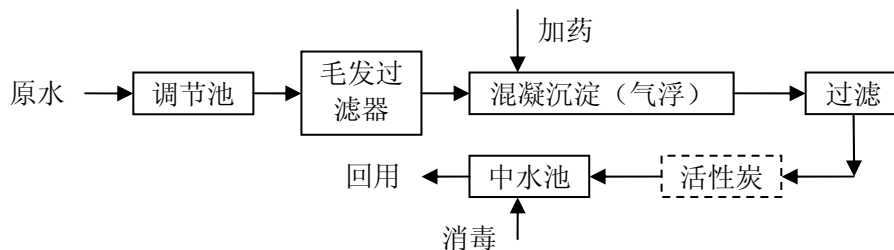


图 3.7 以混凝沉淀（气浮）为主的中水处理流程图

Fig 3.7 Process chart of reclaimed water treatment with coagulation and flotation

d. 结合人工湿地的工艺流程（见图 3.8）

当项目内有景观水体存在时，除了与物化和好氧生物处理相结合外，由于优质杂排水的营养物质缺乏、水温较高等特点，宜将人工湿地处理工艺与景观水体结合，不仅可以节约投资、降低能耗、简化操作和维护，改善了污水的可生化性能，同时人工湿地有很强的生态景观效应，可以很好的融于小区的绿化景观。该工艺具有出水水质稳定、排泥少、投资和运行费用低等优点，适合在拥有景观水体的绿色建筑小区中推广使用。

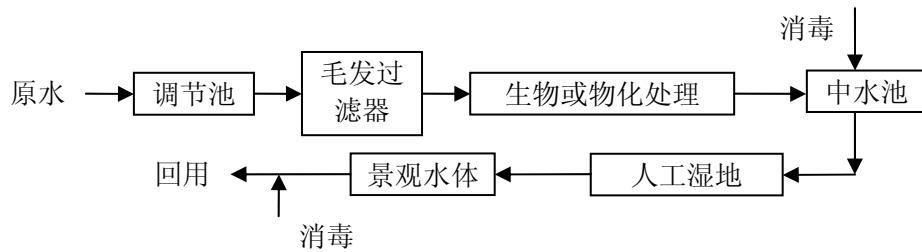


图 3.8 结合人工湿地的工艺流程

Fig 3.8 Process chart of reclaimed water treatment with constructed wetland

由于《城市污水再生利用 景观环境用水水质》对氮、磷指标的要求较高，则进入人工湿地前的生物处理必须考虑脱氮或硝化的要求。脱氮生物处理易宜采用具有脱氮功能的前置反硝化接触氧化法、前置反硝化曝气生物滤池、SBBR 等工艺，主要降解原水中的有机物、氨氮、总氮、总磷，SS 等通过后续物化处理去除。硝化生物处理也宜采用接触氧化法、曝气生物滤池等高负荷工艺，但是在设计时应以硝化负荷为主要设计参数。硝化生物处理运行期间主要以曝气进行有机物降解和氨氮硝化为主，无需设置缺氧区脱氮，从而可提高生化池的设计负荷。总氮主要集中在后续人工湿地中的缺氧环境中通过反硝化去除。对于反硝化所需的碳源，可以采用原水补充，也可以将人工湿地同时用于中水处理和景观水体的循环处理，由景观水体提供碳源^[73]。

2) 以生活污水作为水源

生活污水较优质杂排水、杂排水污染程度相对严重，一般情况下采用生物处理为主的工艺，典型工艺有以下几种：

a. 以两级生物接触氧化为主的工艺流程（见图 3.9）

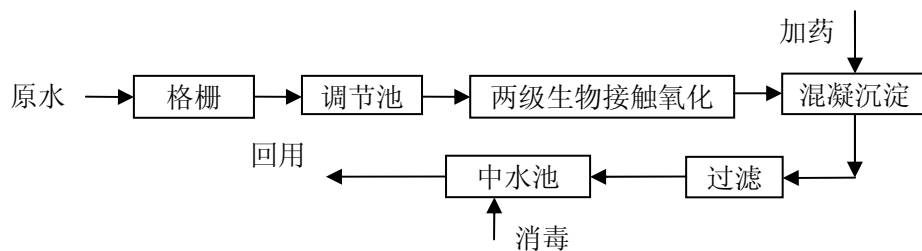


图 3.9 以两级生物接触氧化为主的工艺流程

Fig 3.9 Process chart of two-stage biological contact oxidation

二级接触氧化系统是前置反硝化接触氧化池和后续好氧接触氧化池的组合，在保证高效去除有机污染物的同时具有脱氮除磷功能。适用于原水污染物浓度较高的情况。

b. 以膜生物反应器为主的工艺流程（见图 3.10）

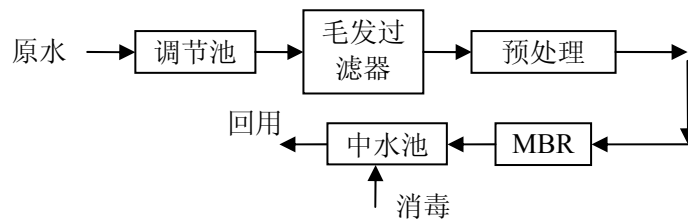


图 3.10 以 MBR 反应器为主的中水处理工艺

Fig 3.10 Process chart of reclaimed water treatment with MBR

膜生物反应器又称 MBR 生物反应器，是将膜分离技术与生物处理工艺相结合而开发的新型系统，两者的结合取代了传统工艺的二沉池。膜生物反应器从整体构造上来看，是由膜组件及生物反应器两部分组成，应用于膜生物反应器废水处理工艺中的膜是微滤膜或超滤膜，结构型式多采用中空纤维式、平板式、管式等。工艺紧凑、出水水质高是 MBR 最为明显的优点。该工艺具有占地少、出水水质稳定、排泥少、自动化程度高等优点。但 MBR 工艺投资和运行费用均较高，而且滤膜易堵塞，堵塞时可能会导致出水发黑、发臭，会对周围环境产生不良影响。随着膜组件的清洗、再生技术的成熟，该工艺将会在绿色建筑中推广使用。

3.5.3 雨水收集与利用子系统技术方案

①雨水收集与利用系统方案设计要点

- 1) 根据项目所在地的气象、水文和项目实际情况来综合确定雨水利用的方案。
- 2) 根据雨水收集点的不同，如屋面雨水、绿地雨水、具有渗水铺装的路面雨水、普通道路雨水，分别设计其最为经济适用的收集和处理方案。
- 3) 应注意雨水收集利用系统的安全性，即雨水的收集利用系统不应对整个区域排洪系统造成影响。

②雨水水质分析

城市雨水在降落和地表径流的过程中受到落水下垫面、空气质量、气温、降雨强度与雨量、降雨历时、建筑的地理位置等诸多因素的影响，水质情况比较复杂，主要分为屋面雨水、道路雨水、绿地及具有渗水铺装的路面雨水三种。雨水水质应以实测资料为准。在无实测资料时，根据《建筑与小区雨水利用工程技术规范》，屋面雨水经初期雨水冲刷后，COD 可稳定在 70~100mg/L，SS 可稳定在 20~40mg/L，道路的 COD 和 SS 均能稳定于 150mg/L 以下。雨水设计水质参考表 3.9。

表 3.9 雨水设计水质 (mg/L)

Tab 3.9 Design water quality of rainwater

指标	COD	BOD ₅	SS
屋面雨水	70~120	8~18	20~40
路面雨水	100~150	12~30	50~100

②雨水收集处理方案选择

建筑区域内雨水收集利用系统可分为三种：一是雨水直接利用，即对雨水进行收集、储存、水质净化，然后回用于绿化、道路广场浇洒、洗车、景观用水等。二是雨水间接利用，即雨水渗透利用系统，雨水渗透利用系统是把雨水转化为土壤水，其设施主要有地面入渗、埋地管渠入渗、渗水池并入渗等。三是雨水综合利用系统，即是将屋顶绿化、景观水体、雨水直接利用、雨水间接利用等结合在一起的综合性设计。分为如下两类典型流程：

1) 景观水体作为雨水调蓄池

a. 雨水收集利用系统流程一 (图 3.11)

雨水的收集：屋面雨水通过雨水立管收集后汇入建筑周边的浅草沟；屋面雨水收集时，可根据工程投资、建筑结构和产品定位等要求，有条件选择是否使用绿色屋面。绿地雨水及具有渗水铺装的路面或广场雨水通过绿地内的浅草沟或路

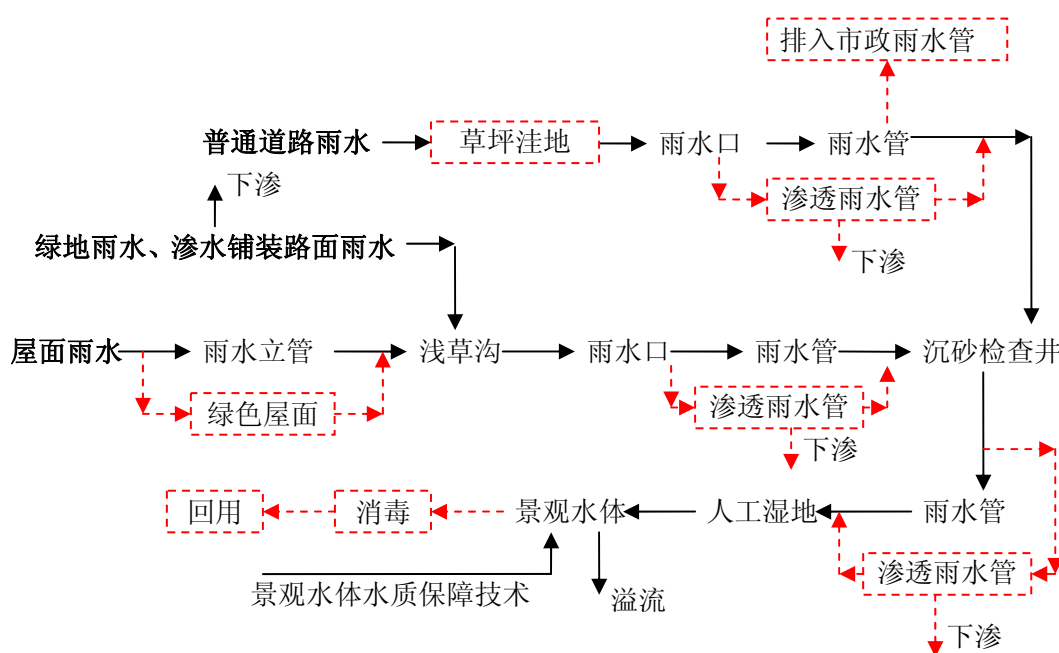


图 3.11 雨水收集利用流程一

Fig 3.11 Process of rainwater utilization system 1

面周边的浅草沟进行收集；普通道路雨水通过道路上的雨水口汇入雨水管，进行收集。流程中的雨水管道若改为渗透雨水管（图中虚线部分），则考虑雨水的渗透利用。若建筑小区内有大面积的绿地的情况，可将大面积绿地设置成草坪洼地的形式，则普通道路雨水可通过草坪洼地进行收集后，通过草坪洼地中的雨水口汇入雨水管，进行收集。

雨水的处理和回用：雨水通过分散的人工湿地处理后再进入景观水体。流程中若最终考虑雨水的回用与绿化或浇洒广场道路用水等，则景观水体的水必须根据回用水水质要求，采用消毒后在回用。

c. 雨水收集利用系统流程二（图 3.12）

流程二中雨水收集系统的核心是卵石沟，卵石沟类似于浅草沟，但沟内无需种植草皮，可在建筑小区内与建筑周边雨水沟结合起来统一考虑，可不用在绿地内设置。

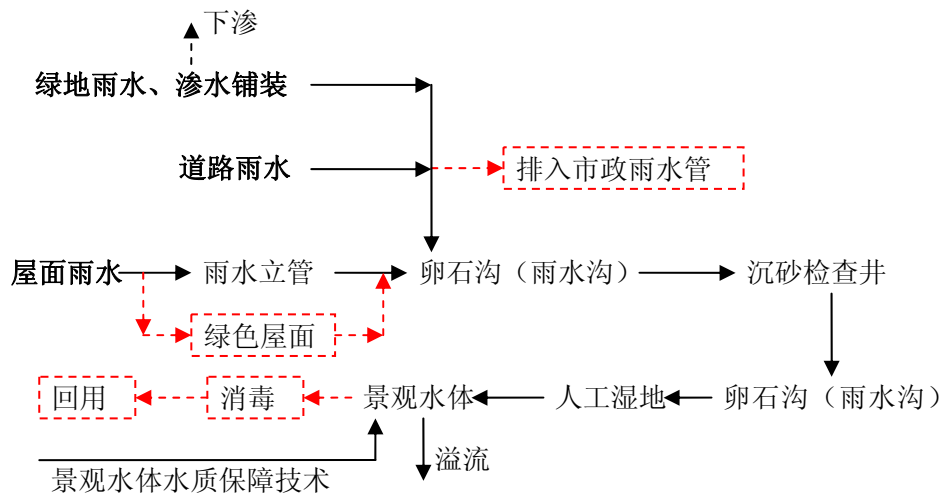


图 3.12 雨水收集利用流程二

Fig 3.12 Process of rainwater utilization system 2

2) 无景观水体或景观水体不做雨水调蓄池

雨水收集后由于场地限制、地面标高的影响，能使雨水自流汇至景观水体的汇流面积有限，因此雨水收集后不通过景观水体作为雨水调蓄池，必须建造独立的雨水调节池进行雨水的贮存和调蓄。

a. 雨水收集利用系统流程三（图 3.13）

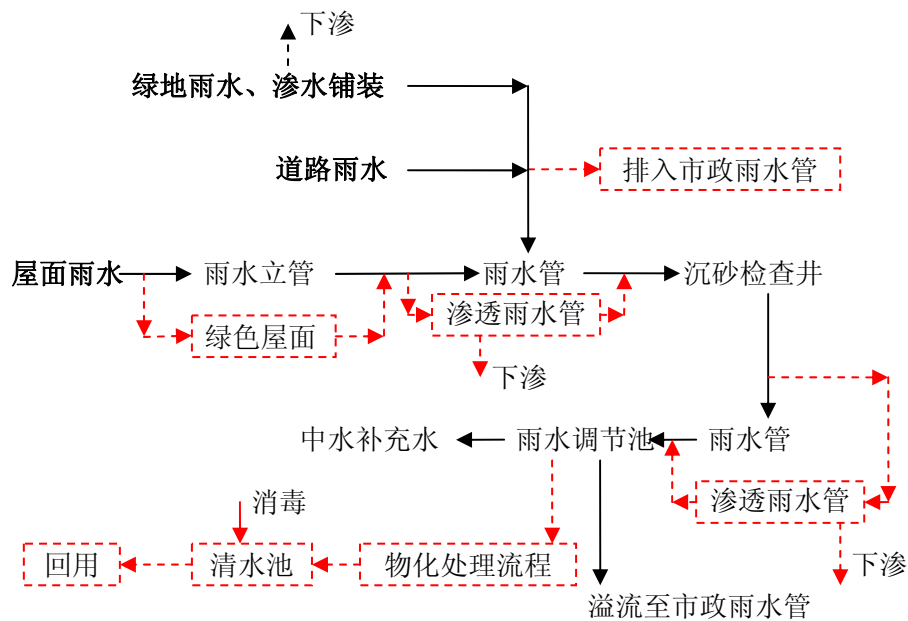


图 3.13 雨水收集利用流程三

Fig 3.13 Process of rainwater utilization system 3

雨水的收集：由于雨水调节池一般为埋地式，一般情况下不采用卵石沟或浅草沟收集雨水的方式。屋面雨水、绿地雨水及具有渗水铺装的路面或广场雨水、普通道路雨水均通过雨水管道收集。若雨水管道改为渗透雨水管，则考虑雨水的渗透利用。

雨水的处理和回用：雨水的处理可采用与中水处理站流程结合的方式，但需注意由于雨水的可生化性较差，雨水不需经过生化处理段而直接引入中水处理流程的物化处理段。若区域内无中水处理站或与中水处理站结合不方便时，则需单独设置雨水处理站，通过简单的物化处理流程进行处理后回用。

b. 雨水收集利用流程四（图 3.14）

流程四适用于当景观水体不做雨水调蓄池，但景观水体作为回用水水池时，同时需要采用雨水补水时，雨水处理通过独立的雨水调节池后，用提升泵提升至景观水体，用于景观水体的补水，如考虑回用与绿化和道路浇洒等其它用水则需根据水质指标的要求，进行消毒后再回用。

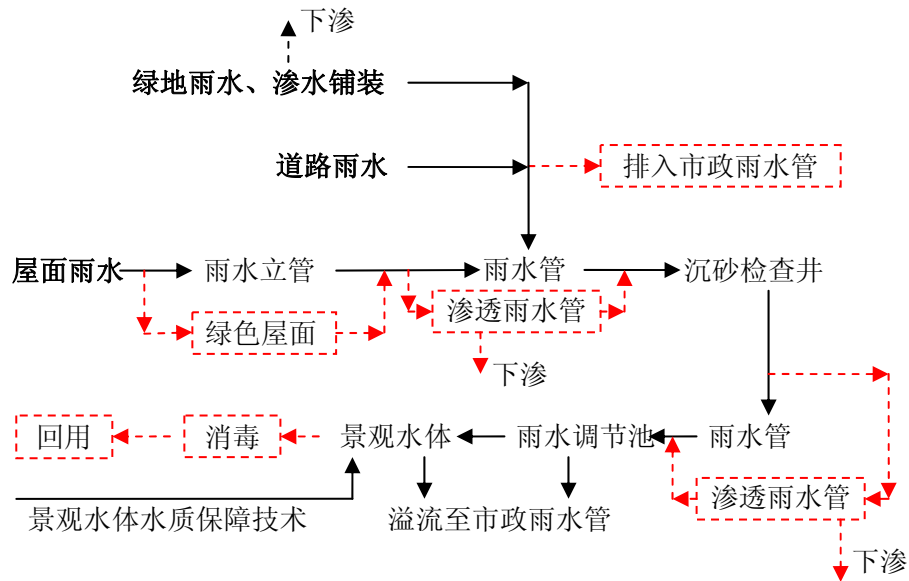


图 3.14 雨水收集利用流程四

Fig 3.14 Process of rainwater utilization system 4

③典型技术措施分析

a. 浅草沟

浅草沟是利用地表植物和土壤来收集净化雨水径流污染物的一种措施。浅草沟内填有较大粒径的砾石和卵石，并种有根系发达的长草形成草皮，利用这种近似自然植被的生态条件增强对雨水（尤其是初期雨水）减水减沙的过滤和水土保持作用。同时，污染物通过过滤、渗透、吸收被初步去除。在枯水期，排水只在砾石层进行，形成潜流湿地；遇暴雨时，泄洪雨水漫过砾石层成为泄洪沟。



图 3.15 浅草沟应用实例图

Fig3.15 Instance graph of low-lying greenbelt

b. 卵石沟

卵石沟是在雨水沟的基础上，在渠内铺设粒径不同的卵石或砾石，当雨水流过卵石沟，污染物通过过滤作用被初步去除，同时也减缓了雨水流速，使颗粒物

得到沉淀，满足雨水输送和雨水净化的要求,一般在卵石沟上还应根据实际要求加盖雨水算子。

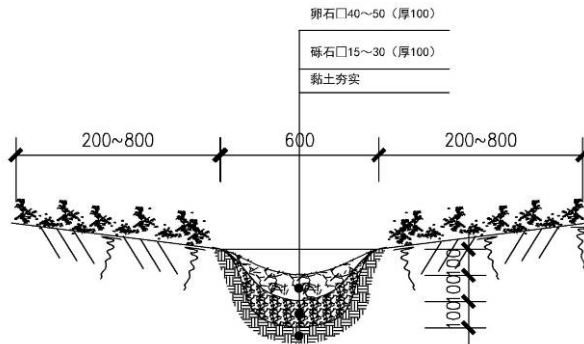


图 3.16 卵石沟示意图

Fig3.16 Schematic diagram of cobble ditch

c. 渗透雨水管

渗透管是在传统雨水管道的基础上，将雨水管改为渗透管（穿孔管），周围回填砾石，雨水通过埋设于地下的多孔管材向四周土壤层渗透。渗透管的优点是占地面积少，可以与雨水管网或其它渗透设施综合使用，也可单独使用。

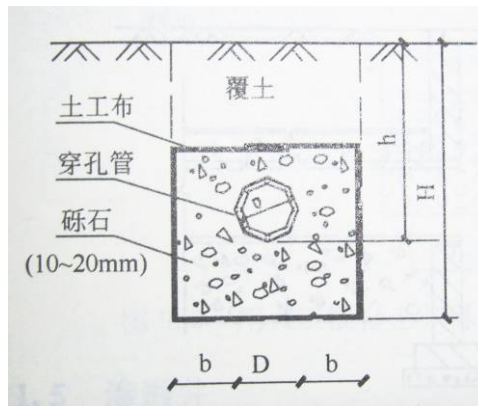


图 3.17 渗透管示意图

Fig3.17 Schematic diagram of permeation tube

d. 沉砂检查井

沉砂检查井对雨水有悬浮物截流、初期雨水的弃流等处理作用，能沉淀雨水中冲刷夹杂的较大粒径的悬浮固体物，减少雨水悬浮物含量。若地下水位低于管道埋深，可设计成渗水井底井，即在井底内铺砌渗水砖，砖下依次为卵石铺砌和素土夯实。井内设有爬梯方便清掏。

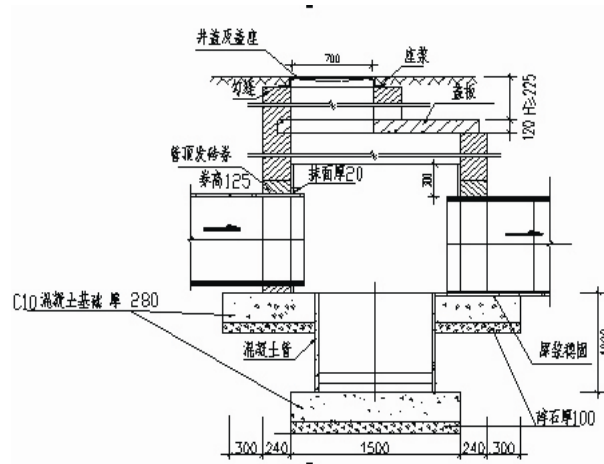


图 3.18 沉砂检查井剖面示意图

Fig 3.18 Structure diagram of sand inspection chamber

e. 草坪洼地

草坪洼地中设有雨水口，并且雨水口坎高程高于绿地高程而低于路面高程，这样就可形成草坪洼地，降雨后的雨水径流可流入草坪洼地，经蓄渗作用后多余的雨水径流再从雨水口流走。利用草坪洼地可以充分将天然降水资源就地转化为土壤水和地下水，同时可以减少绿地市政用水和浇水工作量，有效缓解城市缺水的紧张状况，有利于尽快恢复城区地下水采补平衡。同时路面雨水依靠标高差自流进入草坪洼地，可以减少大量的配套雨水井和雨水管，通常只有汛期中的部分暴雨雨水流走。采用这方法可减轻城市汛期排水紧张状况和防止大量天然降水资源白白流失，其经济、环境、社会效益相当显著。

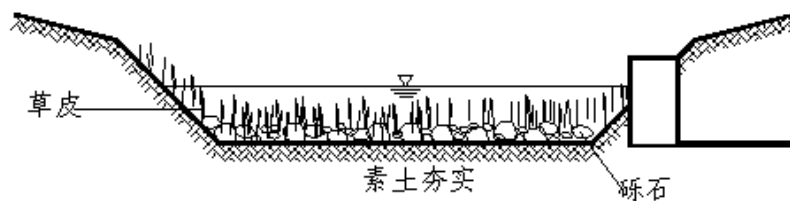


图 3.19 草坪洼地示意图

Fig 3.19 Structural sketch map of low-lying greenbelt

f. 绿色屋面

屋面绿化是以建筑物屋面为依托平台，在其上铺设一定厚度的人造土、泥炭土、腐殖土等轻型栽培基质（如浮石、蛭石、膨胀珍珠岩、硅藻土颗粒）及输水骨架层，以植物材料来覆盖屋顶的空间绿化形式。依靠屋面的植被和土壤基质作用，将 70~90% 的屋面雨水就地拦截，使得屋面雨水径流系数由 0.9 减小到 0.3 左

右^[74]。屋面绿化不仅有效的控制了雨水污染，改善了小区的微气候，同时也营造了良好的空间景观。

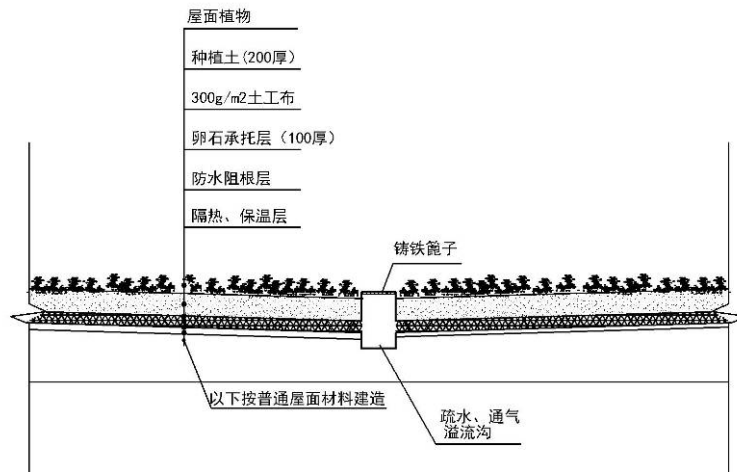


图 3.20 屋面绿化结构示意图
Fig 3.20 Structural sketch map of green roofs

3.5.4 景观水体水质保障子系统技术方案

①景观水体水质保障方案设计要点

《绿色建筑评价标准》规定景观用水不采用市政供水和自备地下水井供水，宜利用非传统水源，因此景观水体的水质安全是维护小区整体环境的关键。

1) 明确设计水质目标

景观水体水质目标为保证景观水体水质能达到并保持《城市污水再生利用 景观环境用水水质》（GB/T18921-2002）。

2) 合理选择景观水体水质保障技术措施

②景观水体水质保障技术措施分析^[75]

1) 景观水体生态设计

a. 景观水体外源污染控制

景观水体采用的非传统水源一般包括城市污水再生水、中水、雨水等，城市污水再生水及小区中水都经过处理达标后排入景观水体，雨水由于水质较好，但也应经过雨水分收集处理或作为中水补充水经过人工处理后排入水体。同时，在景观水体沿岸要严格控制入水口，防止误接管道排入未经处理的污水入湖。

b. 景观水体的流动设计

景观水体的流动设计有利于降低景观水的处理负荷，促进景观水体的水质保障，有条件的景观水体应进行流动设计。流动水体不仅增加了水体动感，美化环境，而且有利于保持景观水体水质。景观河道类水体的水力停留时间宜在 5 天以

内，当水温超过 25℃时景观湖泊类水体静止停留时间不宜超过 3 天。

c.景观水体湖岸的生态设计

景观水体湖岸合理的生态设计是控制水质恶化的有效措施。景观水体湖岸宜将部分堤岸设计为具有一定边坡，采用斜坡或块石堆砌的形式。湖岸宜进行不同层次的植物栽种，使净化植物呈环带状分布，即由沿岸向湖心方向依次种植挺水植物、浮水植物和沉水植物，组成完整的生态系列。湖底和湖岸可采用膨润土，防渗采用粘土夯实防渗。

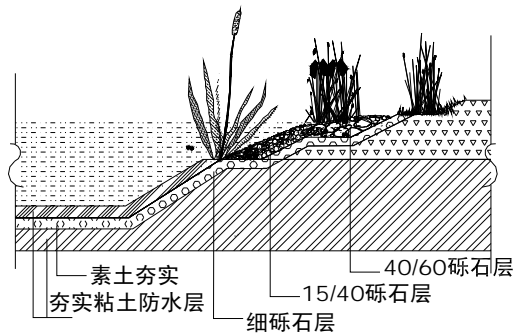


图 3.21 滨湖植物群落层次结构图

Fig. 3.21 Structural of lakeshore's phytocoenosium

2) 景观水体水质生态净化处理保障技术

采用非传统水源的景观水体由于含好氧微生物、氮磷等污染物较高，而且水体的稀释自净能力较差，在合适的外界条件下，极易爆发水华。氮磷等营养杂质是导致景观水体发生富营养化的主要物质采用人工湿地生态处理、景观水体生态圈修复相组合的自然净化处理技术由于投资与运行费用低、水质处理效果好并且兼具小区美化环境等优点。

3) 景观水体水质保障其它技术

景观水体水质保障的其它技术包括加强景观水体的水力循环、加强景观水体的补氧以及加强景观水体的日常水质管理三个方面。

3.6 绿色建筑节水与水资源利用系统方案设计实例

3.6.1 项目概况

本文选取的方案设计实例为我国南方某“双百示范工程”，示范项目用地 96540m²，总建筑面积 41.77 万 m²，绿色建筑节水与水资源利用系统示范区为是本项目的二、三期部分。其中住宅建筑用地 1.05 万 m²，公共绿化用地 3.92 万 m²，道路及广场用地 1.62 万 m²，水景面积 0.27 万 m²，设计住户数 1699 户，总计 5437 人。

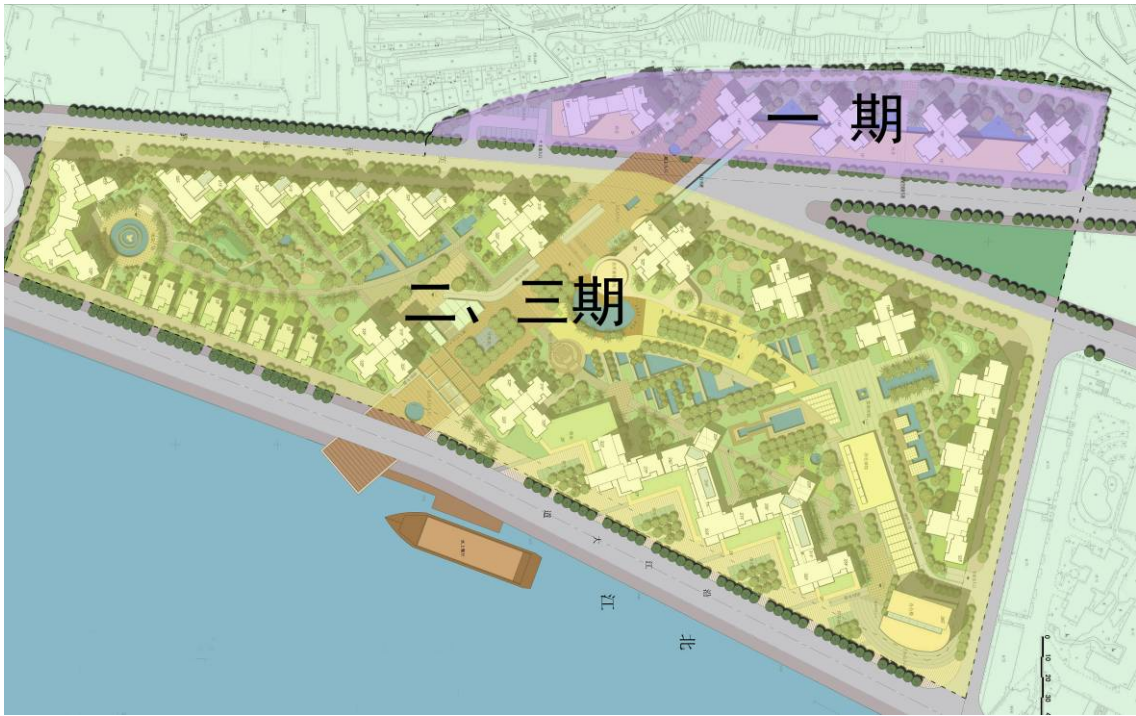


图 3.22 南方某绿色建筑示范小区项目总平面示意图

Fig 3.22 Planar graph of demo-project in south of China

该项目的总体目标为：申报成为建设部“双百示范工程”，同时住区达到《绿色建筑评价标准》二星标准。根据《绿色建筑评价标准》中节水与水资源利用的要求，方案设计如下：

3.6.2 气象资料分析

项目所在地多年平均降水量为 1300~2400mm，4~6 月降水总量占全年降雨总量的 45~50%，汛期 4~10 月降水总量占全年降水量的 75%，11 月至翌年 3 月降水总量占全年降水量的 25%。7 月下旬以后主要为台风雨，由于台风过境的次数不多，且影响范围和程度不大，故其带来的雨量也不多，容易造成秋旱。根据建设单位提供资料，多年平均降雨量、蒸发量年内分配情况见表 3.10。

表 3.10 多年平均年降雨量、蒸发量年内分配统计单位:mm

Tab 3.10 Precipitation and evaporation of Shaoguan

项目	逐月多年平均降雨量												多年平均 降雨量
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
降雨量	68	110	181	246	273	217	162	140	91	62	43	44	1637
蒸发量	73	67	79	108	141	173	230	207	157	113	90	90	1528

3.6.3 水量计算和水量平衡分析

① 用水量计算

用水量计算根据 3.3.1 中公式进行，该住宅小区设计用水量包含如下几部分：

1) 居民生活用水量

根据设计原始资料，人口数为 5437 人，用水指标的确定通过以下确定：

表 3.11 用水指标确定表

Tab 3.11 Water use index

参考标准	指标项	数值
《2004 年水资源公报》	城镇居民人均综合生活用水量	183L/人·d。
《城市居民生活用水量标准》 (GB/T 50331-2002)	城镇居民生活用水量标准	150~220L/人·d。
		最高日, 140~230L/
	居民生活用水定额	人·d; 平均日, 100~
我国《室外给水设计规范》 (GB50013-2006)		170 L/人·d。
		最高日, 220~370L/
	综合生活用水定额	人·d; 平均日, 170~
		280 L/人·d。
《建筑给水排水设计规范》 (GB50015-2003)	最高日生活用水定额：住宅（II 类：有大便器、洗脸盆、洗涤盆、洗衣盆、热水器和沐浴设备器）	130~300L/人·d
《当地用水定额（试行）》	人均居民综合生活用水定额（中等城市）	250L/人·d,
	人均居民生活用水定额	180L/人·d,

综合上述各统计数据，并根据小区的实际情况，小区的住宅人均居民生活用水定额为平均日：200L/人·d。按照节水器具使用的普及程度进行折减，本项目中折减系数取 10%，则采用节水器具后，人均居民生活用水指标为平均日：180L/人·d，则平均日居民生活用水量为：

$$Q_{\text{居民}} = 979 \text{ m}^3/\text{d} = 352318 \text{ m}^3/\text{a}$$

2) 绿化用水量

本项目中绿化用水指标按 1.5L/（m²·d）计算，绿化用地为 39186m²，浇洒次数根据季节气候变化分配如下：5~9 月：2 次/d；4 月与 10 月：1 次/d；其余月份：0.5 次/d。见表 3.12，表 3.13。

表 3.12 绿化浇洒次数分配统计 单位:次/d

Tab 3.12 Distribution times of Afforestation of the year

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
浇洒次数	0.5	0.5	0.5	1	2	2	2	2	2	1	0.5	0.5

则绿化用水量计算如下:

表 3.13 绿化用水量统计

Tab 3.13 Water consumption of afforestation of the year

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
日浇洒量 (m ³ /d)	29	29	29	59	118	118	118	118	118	59	29	29
月浇洒量 (m ³ /月)	882	882	882	1763	3527	3527	3527	3527	3527	1763	882	882
年浇洒量 (m ³ /a)	25569											

3) 道路浇洒用水量

本项目中浇洒道路广场用水指标按 2.5L/(m²·d) 计算, 二期和三期的道路广场用地为 16169m²

$$Q_{\text{道}}=40\text{m}^3/\text{d}=14552\text{m}^3/\text{a}$$

4) 水景补充水量

水景补充水量包括水景蒸发量和动水景损失水量, 根据蒸发资料分析, 年蒸发量为 1528mm。水景占地面积为 2709m²。则:

$$\text{水景年蒸发量为: } Q_{\text{蒸发}}=4139\text{m}^3/\text{a}$$

$$\text{水景损失量按水景蒸发量的 0.5\% 计算, 则水景损失水量为: } Q_{\text{损}}=21\text{m}^3/\text{a}$$

$$\text{则水景补水量为: } Q_{\text{补水}}=Q_{\text{蒸发}}+Q_{\text{损}}=4139+21=4160\text{m}^3/\text{a}$$

5) 停车库地面冲洗水

根据项目具体情况, 本项目中可考虑地下停车库地面冲洗水, 二、三期地下车库面积为 34548m², 停车库地面冲洗水指标取 2.5L/m²·d, 所以停车库地面冲洗水量为:

$$Q_{\text{车库}}=86\text{m}^3/\text{d}=31093\text{m}^3/\text{a}$$

6) 总用水量计算

$$Q_{\text{总用水量}}=Q_{\text{居民}}+Q_{\text{绿化}}+Q_{\text{道路}}+Q_{\text{车库}}+Q_{\text{补水}}=427692\text{m}^3/\text{a}$$

②排水量计算

按照居民生活用水量的 85%~90%考虑: 平均日排水量为:

$$Q_{\text{排}}=832 \text{ m}^3/\text{d}=299470\text{m}^3/\text{a}$$

③非传统水源水量计算

1) 中水

根据建设单位要求以及项目情况，用水组成及指标如表 3.14

表 3.14 住宅分项给水百分率(L/人·d)

Tab 3.14 percentage of different kind of water supply in the house		
分类	占总用水量的比重 (%)	用水指标 (L/人·d)
冲厕	21	38
沐浴	32	58
洗衣	22	40
厨房	19	34
盥洗	6	10
总计	100	180

考虑收集住宅内优质杂排水为中水原水，沐浴用水指标为 58L/人·d，盥洗用水指标为 10L/人·d。小区平均日排水指标为 $180 \times 85\% = 153\text{L/人}\cdot\text{d}$ ，考虑在使用、输送和处理过程中的损耗量为 10%，小区平均日优质杂排水指标为 $(58+10) \times 0.9 = 62\text{L/人}\cdot\text{d}$ ，其余排水为厕所冲洗、厨房等排水，则指标为 $(153-62) = 91\text{L/人}\cdot\text{d}$ 。

由于二期西北角设有人防工程、空间不够，不考虑收集编号为 E1、E2、E3；D1、D2 共 5 栋建筑的优质杂排水；三期编号为 J1~J6 的 6 栋别墅，由于水量太少，设分质排水管网在经济上不合理，不考虑收集。三期编号为 K 的建筑由于收集管网距离中水处理站太远，收集管线过长，不考虑收集。（见图 3.23）故考虑收集优质杂排水的楼栋编号为：C、H、M、I、L、G。可收集优质杂排水的人数按 3581 人计，则小区二、三期可收集优质杂排水量 $Q_{\text{杂}}$ 为：

$$Q_{\text{杂}} = 62 \times 3581 \div 1000 = 220\text{m}^3/\text{d} = 79361\text{m}^3/\text{a}$$

考虑再生水处理系统的自耗水量，自耗水量为可收集杂排水量 10%，则可回用的优质杂排水量为原水量的 90%。即中水原水量：

$$Q_{\text{中}} = 220 \times 90\% = 198\text{m}^3/\text{d} = 71425\text{m}^3/\text{a}$$

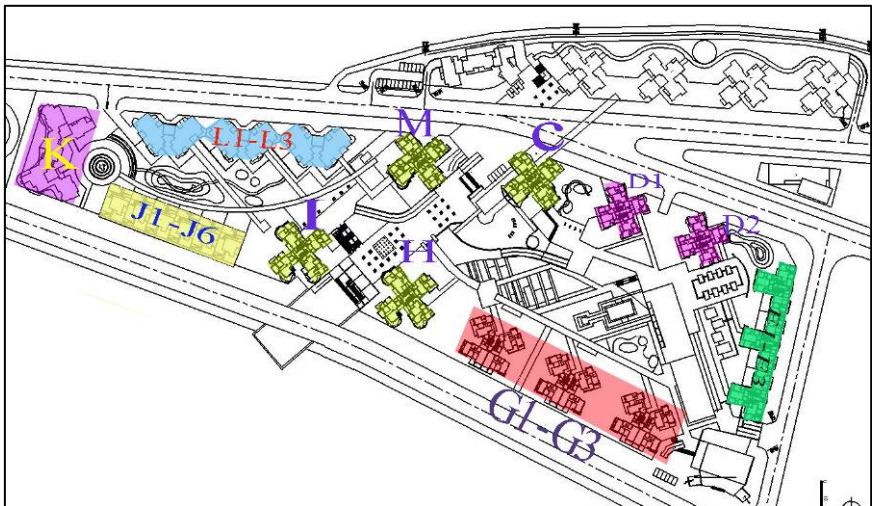


图 3.23 收集楼栋编号图

Fig 3.23 Number of building

2) 雨水

雨水收集考虑小区二、三期自然雨水，汇水面积按地面和屋面水平投影面积计算，总汇水面积 68560m²。由于初期雨水水质较差，考虑初期弃流系数 0.87。雨水量计算如表 3.15:

表 3.15 小区雨水量计算表

Tab 3.15 caculation of the rainwater

路面性质	水系	建筑屋面	混凝土和 沥青路面	绿地	铺地	总和
A_i (m ²)	2709	10496	2496	39186	13673	68560
Ψ_i	1	0.9	0.9	0.15	0.6	
所占总面积 百分比 S_i	4.0%	15.3%	3.6%	57.2%	19.9%	100%
雨水量	3858	13453	3199	8371	11684	40566
$\Psi_i * S_i$	0.04	0.14	0.03	0.09	0.12	0.42

雨水可回用量宜按雨水收集水量的 90%~95%计(由于该项目考虑了初期弃流，则回用量取 95%)，则可回用雨水量为：

$$Q_{\text{雨}}=40566\times 95\%=38538\text{ m}^3/\text{a}$$

④非传统水源可替代的用水途径

根据本项目实际情况，非传统水源可替代的用水途径有：绿化用水量、浇洒道路广场用水量、停车库地面冲洗用水量、景观水体补水量。

按月进行水量平衡分析，见表 3.16，水量平衡图见图 3.24。

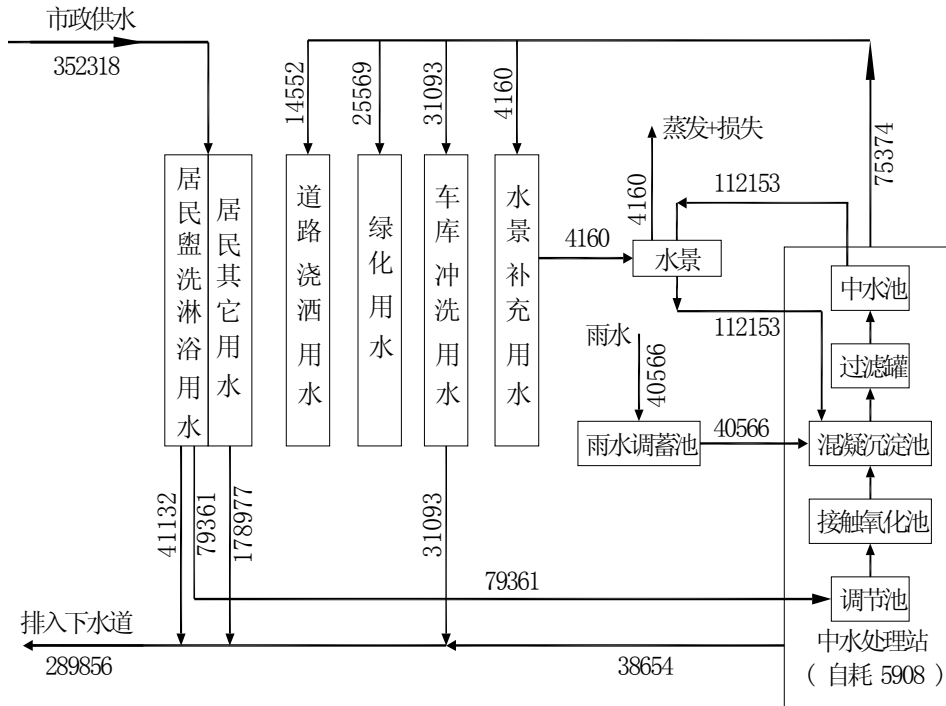


图 3.24 水量平衡图

Fig 3.24 Schematic diagram of water balance

3.6.4 系统总体设计

根据系统总体方案要求以及各子系统的方案设计，将建筑供水节水子系统、中水处理与回用子系统、雨水收集利用子系统、景观水体水质保障子系统进行有机的整合，示范项目节水与水资源利用系统总体方案整合设计示意图如图 3.25。

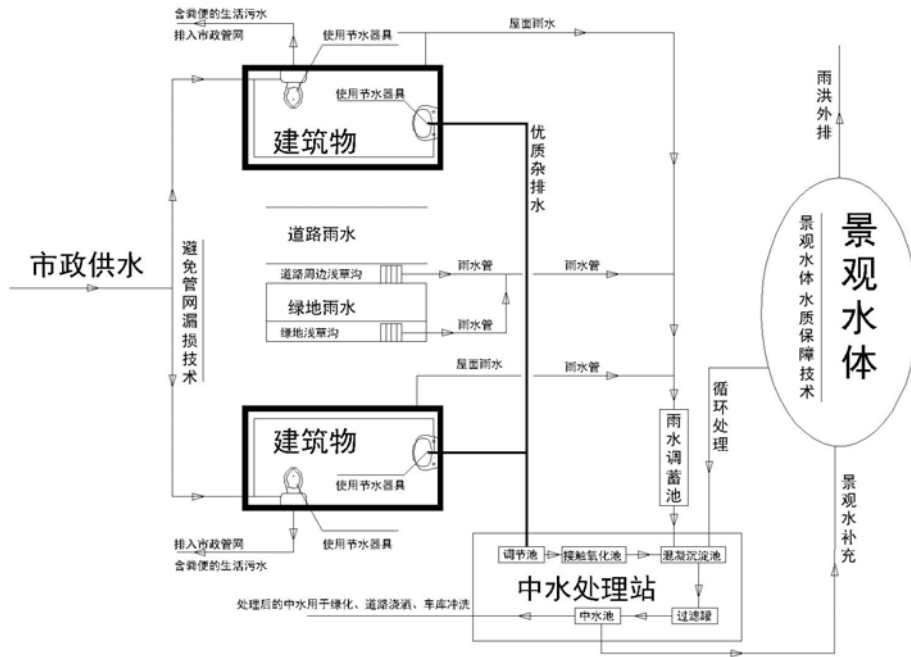


图 3.25 系统总体方案示意图

Fig 3.25 The whole process flow diagram for the system

3.6.5 中水处理子系统方案

优质杂排水处理工艺选择“生物—物化”处理工艺，因此选择以下两个方案进行比较：

①方案一：接触氧化系统+物化处理

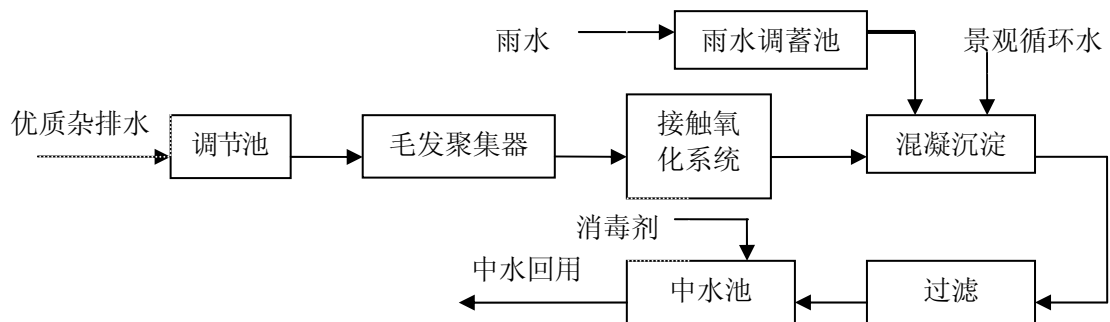


图 3.26 方案一处理工艺流程图

Fig 3.26 Treatment process of scheme 1

处理构筑物初步计算见表 3.17

表 3.17 方案一处理构筑物初步计算表

Tab.3.17 Primary caculation of the treatment unit of scheme 1

项目	尺寸
调节池	$L \times B \times H = 6 \times 5 \times 4.0\text{m}$
接触氧化池	$L \times B \times H = 4.5 \times 4.0 \times 3.5\text{m}$
混凝沉淀池	$L \times B \times H = 1.5 \times 1.5 \times 3.0\text{m}$ （单组），采用两组运行
中水池	$L \times B \times H = 8.0 \times 7.0 \times 3.0\text{m}$

方案一的总占地面积为： $S_{\text{总}}=130\text{m}^2$

②方案二：接触氧化预处理+MBR

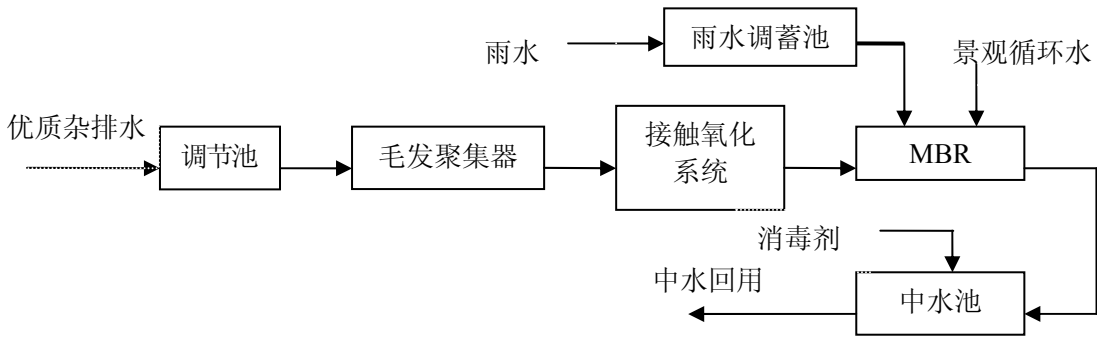


图 3.27 方案二处理工艺流程图

Fig 3.27 Treatment process of scheme 2

处理构筑物初步计算见表 3.18

表 3.18 方案二处理构筑物初步计算表

Tab.3.18 Primary caculation of the treatment unit of scheme 2

项目	尺寸
调节池	$L \times B \times H = 6 \times 5 \times 4.0\text{m}$
接触氧化池	$L \times B \times H = 4.5 \times 4.0 \times 3.5\text{m}$
MBR	$L \times B \times H = 5 \times 5 \times 3.5\text{m}$
中水池	$L \times B \times H = 8.0 \times 7.0 \times 3.0\text{m}$

方案二的总占地面积为： $S_{\text{总}}=160\text{m}^2$

③经济技术比较

技术上, 方案一工艺流程简单, 技术成熟。基本上可以实现无人操作。同时, 方案一的能耗比方案二低。方案一进水水质有机物含量低, 加上处理流程简化, 发生出水水质恶化的风险小于方案二, 方案二运行过程中有可能发生膜堵塞或污染等问题, 需要有专业的管理人员进行管理。

经济上, 方案一处理设施工程总投资省, 并且运行维护费用低。同时, 方案一每年节省的水费高于方案二。

1) 方案一:

a. 一次性投资

处理构筑物的投资为 54.38 万元

b. 运行费用分析

总运行功率为 13.65Kw 则年耗电为: $13.65\text{Kw} \times 24\text{h} \times 360\text{d} = 117936\text{KW} \cdot \text{h} / \text{年}$, 营业用电电费价格为 0.69 元/ KW·h, 则年电费为:

$0.69 \text{ 元/ KW} \cdot \text{h} \times 117936\text{KW} \cdot \text{h} / \text{年} = 8.13 \text{ 万元/年}$

需专职管理人员 1 名, 工资 1000 元/月计, 则年人工费为 12000 元。

直接年运行费用为: $8.13 \text{ 万元} + 1.2 \text{ 万元} = 9.33 \text{ 万元}$

运行成本为 $9.33 \text{ 万元/年} \div (672\text{m}^3/\text{d} \times 360\text{d/年}) = 0.38 \text{ 元/ m}^3 \cdot \text{d}$

按当地水价 1.25 元/ m^3 计, 年节省水费为 $(672\text{m}^3/\text{d} \times 360\text{d}) \times 1.25 \text{ 元/ m}^3 - 93300 \text{ 元} = 20.9 \text{ 万元}$ 。

2) 方案二

a. 一次性投资

整套处理系统的一次性投资为: 88.74 万元。

b. 运行费用分析

总运行功率为 20.8Kw, 则年耗电为: $20.8\text{Kw} \times 24\text{h} \times 360\text{d} = 179712 \text{ Kw} \cdot \text{h} / \text{年}$, 营业用电电费价格为 0.69 元/ Kw·h, 则年电费为:

$0.69 \text{ 元/ Kw} \cdot \text{h} \times 179712\text{Kw} \cdot \text{h} / \text{年} = 12.4 \text{ 万元/年}$

需专职管理人员 1 名, 工资 1000 元/月计, 则年人工费为 12000 元。

直接年运行费用为: $12.4 \text{ 万元} + 1.2 \text{ 万元} = 13.6 \text{ 万元}$

运行成本为 $13.6 \text{ 万元/年} \div (672\text{m}^3/\text{d} \times 360\text{d/年}) = 0.56 \text{ 元/ m}^3$

按项目当地水价 1.25 元/ m^3 计, 年节省水费为 $(672\text{m}^3/\text{d} \times 360\text{d}) \times 1.25 \text{ 元/ m}^3 - 136000 \text{ 元} = 16.6 \text{ 万元}$ 。

表 3.19 处理工艺经济比较

Tab 3.19 Economic comparison of treatment process

	方案一	方案二
处理设施工程总投资（万元）	54.38	88.93
占地面积（m ² ）	130	160
年直接运行费用（万元）	9.33	13.6
直接运行成本（元/m ³ ）	0.38	0.56
年节省水费（万元）	20.9	16.6

所以，推荐选用方案一。

3.6.6 雨水收集与利用子系统方案

根据雨水的来源特点及雨水的水质特点，本项目中雨水经过处理后主要用于中水补充水，首先考虑作为小区的绿化的补充水，其次为道路浇洒和车库冲洗、景观水体补水等。

①路面雨水及绿地雨水收集利用方案

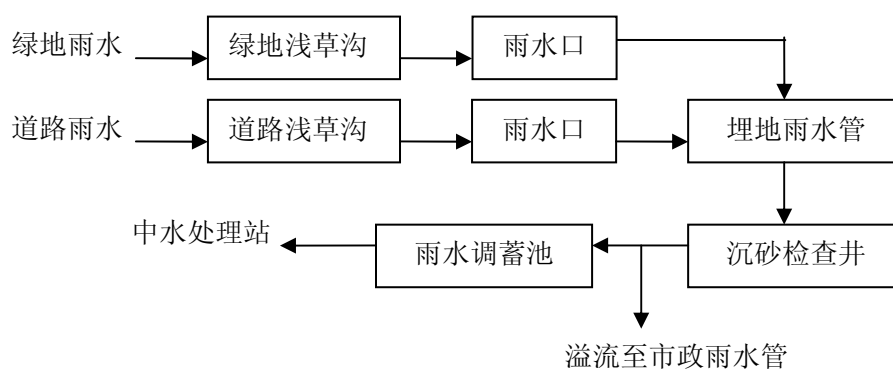


图 3.28 路面、绿地雨水处理流程示意图

Fig 3.28 rainwater treatment process of road and greenspace

路面雨水、绿地雨水收集利用以浅草沟和沉砂检查井为主。浅草沟设在室外绿地或道路两旁绿地内，沟内设有雨水口，与埋地雨水管相连。道路及绿地的雨水汇集入浅草沟，经过浅草沟的初步处理后，通过雨水口汇至埋地雨水管道，由雨水管道接入沉砂检查井进行预处理后进入雨水调蓄池，再进入中水处理站的物化处理段后作为中水的补充水源。

②屋面雨水收集利用方案

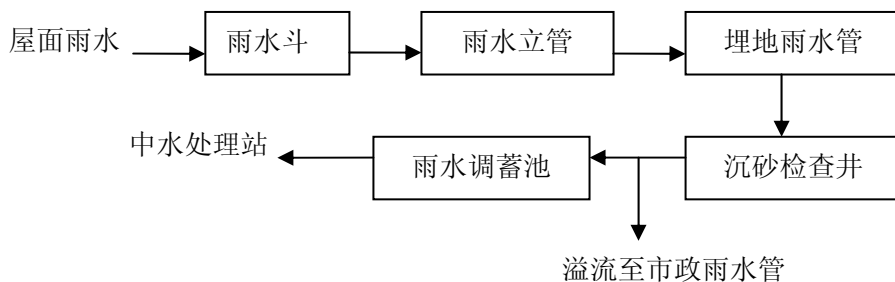


图 3.29 屋面雨水处理流程示意图

Fig 3.29 Rainwater treatment process of roof

屋面雨水经过初期弃流后的水质较为稳定，悬浮固体的含量较低，容易处理，所以屋面雨水收集利用流程如下：屋面雨水通过屋面的找坡汇入雨水斗，经过雨水立管流入埋地雨水管汇集后进入雨水调蓄池，再进入中水处理站的物化处理段处理后作为中水的补充水源。同时，路面和绿地雨水经过分散处理收集后，污染物浓度也大大降低，水质较好，分散处理后的雨水进入雨水调蓄内，可以作为中水补充水再生回用。

③构筑物初步计算

1) 雨水调蓄池

根据《建筑与小区雨水利用工程技术规范》^[76]，用降雨量估算法计算，即根据雨水表面的径流系数、汇水面积和设计降雨量确定汇集的径流雨水量，从而确定调节池池容。

雨水调蓄池的容积计算参考如下公式：

$$V = Q_{\max} \times t_c \times \alpha$$

其中： Q_{\max} ——集雨面至雨水调蓄池干管的设计流量，(m³/s)

$$Q_{\max} = \sum \Psi_i \times q \times A_i \times 10^{-3}$$

t_c ——对应于 Q_{\max} 的设计降雨历时。(s)

α ——初期弃流系数，取 0.87

计算出 $V=358\text{m}^3$ ，则设计雨水调蓄池尺寸为：L×B×H=11×10×3.5m

则雨水作为中水处理站的补充水，7月为用水最高月，考虑首先保证绿化用水的情况下，调蓄池贮存的水量可以保证3天的绿化用水。

2) 雨水的物化处理流程

雨水经过调蓄池调节后，进入中水处理站的物化处理流程段，即混凝沉淀+过滤后进入中水池作为中水的补充水。流程见图 3.30，混凝沉淀与过滤罐的设计参

考方案一中构筑物的初步设计计算。

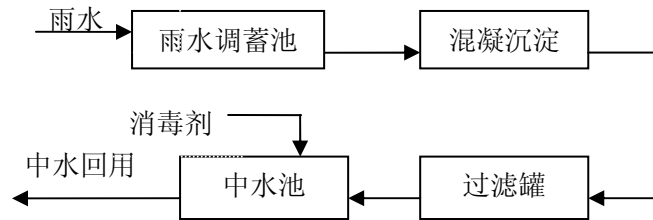


图 3.30 雨水物化处理流程图

Fig 3.30 Physicochemical method of rainwater treatment process

3.6.7 景观水体水质保障子系统方案

①控制外源污染

本项目中，景观水体采用的非传统水源包括雨水和优质杂排水。雨水和优质杂排水必须经过处理达标后排入景观水体。同时，在景观水体的沿岸要严格控制入水口，防止误接管道排入未经处理的污水进入景观水体。

②增加景观水体流动的水力循环系统

水景面积为 2709m^2 ，水体深度按 0.45m 计算，则水景总用水体积为 $V=1219\text{m}^3$ ，水景采用的更新方式为 5~9 月每 3 日更新一次，其余月份每 5 日更新一次。则 5~9 月，水景循环量为 $406\text{m}^3/\text{d}$ ，其余各月水景循环量为 $244\text{m}^3/\text{d}$ 。则水景年循环更新水量为： $Q_{\text{循环}} = (406 \times 5 \times 30 + 244 \times 7 \times 30) = 112153\text{m}^3/\text{a}$

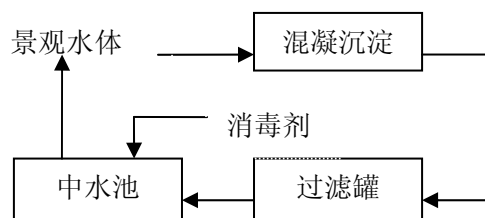


图 3.31 景观水体循环处理流程图

Fig 3.31 Treatment process of the scenic waterbody

③加强景观水体的人工补氧

④加强景观水体的日常水质管理

3.6.8 节水效果评价

①节水率

节水率指的是采用包括利用节水设施、非传统水源在内的节水手段实际节约的水量占设计总用水量的百分比，即总节水率，可通过下列公式进行计算：

$$R_{WR} = \frac{W_n - W_m}{W_n}$$

式中： R_{WR} ——节水率，%；

W_n ——总用水量定额值，按照定额标准，根据实际人口或用途估算的建筑用水总量， m^3/a ；本项目中， W_n 为采取节水措施前的用水量定额值估算的建筑用水总量，按此计算出 $W_n=471201m^3/a$

W_m ——实际市政供水用水总量，按照住区各用水途径测算出的总量， m^3/a 。

本项目中， $W_m=352318m^3/a$

经计算 $R_{WR}=25.2\%$ ，超过了《绿色建筑评价标准》控制项 8%的要求

②非传统水源利用率

根据《绿色建筑评价标准》非传统水源利用率的计算公式如下：

$$R_u = \frac{W_u}{W_t} \times 100\%$$

$$W_u = W_R + W_r + W_s + W_o$$

其中， R_u ——非传统水源利用率，%；

W_u ——非传统水源设计使用量 m^3/a ；

W_R ——再生水设计利用量， m^3/a ；

W_r ——雨水设计利用量， m^3/a ；

W_s ——海水设计利用量， m^3/a ；

W_o ——其它非传统水源利用量， m^3/a

W_t ——设计用水总量， m^3/a 。

根据水量平衡表和水量平衡图：

$$W_u=75374 m^3/a$$

$$W_t=\text{设计用水总量}=427692m^3/a$$

所以非传统水源利用率=17.62%，超过了《绿色建筑评价标准》一般项中非传统水源利用 10%的要求。

3.7 本章小结

在整合设计理念的指导下，提出了绿色建筑节水与水资源利用方案整合设计的主要内容和方案整合设计技术，并通过南方某“双百示范工程”为实例，综合资源整合、技术整合和专业整合，对其进行节水与水资源化利用系统方案整合设计。

①绿色建筑节水与水资源利用方案整合设计技术主要包括建筑供水节水子系统方案设计技术、中水处理与回用子系统方案设计技术、雨水收集与利用子系统方案设计技术、景观水体水质保障等子系统方案设计技术。

②南方某“双百示范工程”项目方案设计研究结果表明：在方案设计时应整合示范工程本地的气象资料、当地经济发展状况（如当地居民生活水平和当地水价）等资料，以及分析项目所在的位置及周边水资源概况后，提出了节水与水资源利用技术方案。

③南方某“双百示范工程”项目方案整合设计中整合了建筑小区的用地情况、市场需求等条件、进行了水质预测与水量平衡，提出了两种中水处理与回用的技术方案并通过技术经济比较后，确定中水处理采用以“接触氧化+混凝沉淀”为主的处理工艺，雨水收集与利用技术方案采用以分散收集和初步处理为主，并与中水处理“混凝沉淀”工艺段相结合的流程。

④南方某“双百示范工程”方案整合设计中，在方案设计阶段就已有多个专业参与讨论，包括建筑、景观、建筑节能、建筑给排水等，各个专业集合在一起，召开多次现场研讨会，将不同专业进行有机整合，该示范项目节约年市政供水量为 118883m^3 ，节水率为 25.2%，超过了《绿色建筑评价标准》控制项 8%的要求；年非传统水源使用量为 75374m^3 ，非传统水源利用率为 17.62%，超过了《绿色建筑评价标准》一般项中非传统水源利用 10%的要求，达到了很好的节水效果。

4 绿色建筑节水与水资源利用系统施工图整合设计技术研究

4.1 绿色建筑节水与水资源利用系统施工图整合设计内容

①资源整合

明确在施工图设计阶段的设计目标和设计内容，根据方案设计阶段所提出的节水与水资源利用系统方案，将最新收集的资料进行合理的分析和整理，为施工图设计做好准备。

②技术整合

各个子系统施工图设计有其各自的技术方法，在进行各子系统设计时，同时需综合考虑项目总体的施工图设计技术整合，考虑节水技术与其他专业技术如建筑、景观、电气、自动化技术的整合，施工图设计阶段的设计内容包括：

- 1) 中水收集管网施工图设计
- 2) 中水处理站施工图设计
- 3) 雨水收集系统施工图设计
- 4) 雨水处理系统施工图设计
- 5) 景观水体水质保障系统施工图设计

③专业整合

进行施工图设计时，需同时结合市政、环境、建筑、景观等，与其他专业进行整合研讨，各个专业提出问题并讨论解决问题的方法，寻找出最合适的绿色建筑节水与水资源利用系统施工图设计方法。各个工种在此阶段的配合为整合的重点，如中水收集管网布置方面需市政提供给水、排水、雨水、电力、燃气、通信等管道布置，同时考虑建筑小区平面和竖向布置，综合两个方面的要求，再进行中水收集管网的布置。中水处理站工艺设计需考虑周边的环境，将对环境的不利影响降到最低，需建筑、景观专业进行配合设计，使中水处理站的设计风格与周围环境一致，雨水收集系统的设计需结合建筑总图考虑，根据场地标高要求进行详细的设计计算，雨水处理需结合景观一并考虑，同时景观水体的水质保障系统的设计应结合中水处理与回用、雨水收集与利用系统以及建筑小区对整个景观的要求综合考虑。

4.2 基础资料调查和完善

①进行现场实地踏勘、完善设计资料

设计资料一部分由建设单位提供，同时为取得准确可靠的设计资料，还应进行现场踏勘，必要时向提供原始资料的部门查询。

②整合分析资料

1) 分析与本工程有关的道路、给水、排水、电力、电信、防洪、环保、燃气、园林、绿化等要求

2) 分析现有工程管线的布置情况

3) 分析气象、地质、水文资料

气象资料包括设计地区的气温、风向和风速、降雨量和蒸发量、当地的暴雨强度公式、日照情况、空气湿度等。地质、水文资料包括设计地区地表组成物质及其承载力；地下水分布及其水位、水质；当地的地震烈度等。

4) 分析地形图、场地标高等

4.3 绿色建筑节水与水资源利用子系统施工图设计技术

4.3.1 中水收集管网子系统施工图设计技术

①中水收集管网系统分析

建筑内部给排水系统根据方案阶段的要求已明确。因此，需分析建筑内部的给排水管网施工图，例如排水出户管的要求和标高等。

②管道平面布置

中水收集管道平面布置应遵循以下原则：

- 1) 充分利用地形，使管道走向符合地形趋势；
- 2) 尽可能使管线较短、埋深较小；
- 3) 尽可能的避免与其他地下管线的交叉；
- 4) 考虑道路的宽度和交通情况，不宜敷设在交通繁忙而狭窄的道路下。

③设计流量的确定

设计流量根据方案设计阶段水量与水量平衡计算确定。

④管网水力计算

具体分析水质特点和水量特点后，进行管网水力计算，确定管径、设计流速、设计充满度、管道坡度，计算各管段的水面标高、管底标高和埋深。

⑤管道平面图绘制和纵断面图绘制

管道的平面布置需明确管长、管径、坡度、管线与其他地下管线的平面距离，与其他管线交叉处的标高等。管道的纵断面图需注明管长、管径、坡度、地面标高、管内底标高、埋深、管材等。

4.3.2 中水处理子系统施工图设计技术

①中水处理站选址

中水处理站的选址应遵循以下原则：

- 1) 应与选定的中水处理工艺相适应；

2) 保证中水处理站对周围环境影响最小化;

3) 尽量保证管网建设成本最低。

②中水处理站各工艺单元设计

根据方案阶段的所确定的流程,细化各部分的设计。其中包括工艺单元单体的设计计算、设备选型、工程量统计等。

③中水处理站总平面布置

中水处理站内包括:各处理单元构筑物,连接各处理单元的管线,其它辅助建筑物等。布置原则如下:

1) 处理构筑物之间,应保持一定的间距,保证敷设管线的要求;

2) 处理构筑物之间连接管线尽量顺直、避免迂回;

3) 中水处理站内的辅助建筑尽量与处理站合建,尽量布置在便于观察处理站运行情况的位置。

④中水处理站高程布置

确定各处理单元的标高,各处理单元之间连接管线的尺寸和标高,计算各处理单元中的水面标高。

⑤中水处理站总平面图、高程图、各单体平面图和剖面图绘制。

4.3.3 雨水收集子系统施工图设计技术

①雨水收集系统平面布置

根据方案设计阶段雨水收集利用流程的分析,进行雨水收集系统的平面布置,根据收集措施的不同,以浅草沟与卵石沟为例,平面布置要点如下:

1) 浅草沟的平面布置

浅草沟布置时应与总平面布置图密切配合,统一考虑。浅草沟布置一般布置在道路两侧、地块边界或不透水铺装地面周边的绿地内,与场地排水系统、道路排水系统构成一个整体。

2) 卵石沟平面布置

卵石沟布置时应与总平面布置图密切配合,统一考虑。卵石沟根据雨水收集的位置分为建筑周边的卵石沟、道路及绿地周边卵石沟、广场卵石沟三种。建筑周边的卵石沟可与建筑周边的雨水沟结合起来统一考虑,道路及绿地周边的卵石沟一般布置在道路两侧绿地周围,广场内的卵石沟须加盖雨水算,雨水算的形式与广场的设计风格配套,采用带孔的混凝土算或铸铁雨水算用于收集广场雨水。

②雨水收集系统设计参数的确定

1) 浅草沟

浅草沟的断面形式有三角形、梯形和抛物线形。设计参数取值如表 4.1:

表 4.1 浅草沟设计参数表

Tab 4.1 Design parameters of low-lying greenbelt

设计参数	取值
顶宽 (m)	0.5~2
深度 (mm)	50~250
最大边坡 (水平:垂直)	3:1
纵向坡度 (%)	0.3~5
最大允许流速 (m/s)	0.8
最小长度 (m)	30
粗糙系数 n	0.2~0.3
草的高度选择 h_0 (mm)	50~200
水力停留时间 (min)	6~8

2) 卵石沟

表 4.2 卵石沟设计参数表

Tab 4.2 Design parameters of cobble ditch

设计参数	取值
顶宽 (m)	根据沟渠上加盖的雨水算子尺寸确定, 一般不大于 0.7
深度 (mm)	250~1000
最大边坡 (水平:垂直)	3:1
纵向坡度 (%)	0.2~0.3
最大允许流速 (m/s)	0.8
粗糙系数 n	0.025~0.03

③雨水设计流量计算

1) 计算暴雨强度 q

选用当地的暴雨强度公式计算暴雨强度 q 。

设计重现期 P 的选取: 雨水设计重现期应按当地雨水管道的设计重现期相关规定选取。如果收集系统采用各种措施的综合, 各种设施综合设计重现期不应低于设计排放标准。

2) 根据平面位置布置, 划分汇水面积 F , 并对管渠进行编号, 计算该汇水面积的综合径流系数 Ψ , 分段计算设计径流流量, 按类似雨水管道的计算方法进行。

计算公式如下：

$$Q = \Psi_q F$$

④雨水收集系统实际过流流量计算

以浅草沟或卵石沟为例：

采用明渠均匀流计算公式

$$Q' = AR^{0.67} S^{0.5/n}$$

式中： Q' ——实际过流流量（ m^3/s ）

n ——粗糙系数（无量纲）

S ——纵坡，垂直高度/水平宽度（无量纲）

A ——横断面积（ m^2 ）

R ——水力半径（ m ）

断面为三角形时， $R = \frac{md}{2\sqrt{m^2+1}}$ ；

断面为梯形， $R = \frac{bd + md^2}{b + 2d\sqrt{m^2+1}}$ ， $m=0$ 时，即为矩形断面；

断面为抛物线， $R = \frac{T^2 d}{1.5T^2 + 4d^2}$ ；

式中： T ——三角形、梯形、抛物线形顶宽（ m ）

d ——径流雨水深度（ m ）

m ——边坡系数，边坡水平宽度/深度

b ——梯形底宽（ m ）

⑤调整断面尺寸或管径以及纵坡 S ，使得实际过流流量 $Q' >$ 设计流量 Q

⑥验算流速

核算流速 $v=Q/A$ ，对于浅草沟或卵石沟系统，流速 v 尽量满足不大于 0.8m/s ，流速过大会降低过滤性能，若渠内流速大于 0.8m/s ，则考虑设置消能措施。

4.3.4 雨水处理子系统施工图设计技术

①雨水调节池

根据雨水收集与利用子系统方案设计，当项目场地地势平坦，部分区域雨水自流汇集到景观水体或景观水体不能用作调节贮存雨水时，采用独立的雨水调节池实现雨水利用的有效途径，主要作用为调节暴雨时的雨水量和沉淀雨水中携带的杂质。雨水调节池的设计计算如下：

1) 调节池池容计算

用降雨量估算法计算，即根据雨水表面的径流系数、汇水面积和设计降雨量确定汇集的径流雨水量，从而确定调节池池容。

$$V_1 = C \times \Psi \times F \times h$$

V_1 ——雨水调节池的容积 (m^3)

C ——单位换算系数, 取 10

Ψ ——径流系数

F ——汇水面积 (hm^2)

h ——设计降雨厚度 (mm), 设计降雨厚度为一个连续的、不间断的降雨时段内的降雨厚度。根据项目所在地多年的降雨资料和雨水利用工程投资规模、水量平衡分析等因素来确定。

2) 容积校核

计算出调蓄容积后, 需与降雨间隔时段的用水量 V_2 进行对比分析, 最终确定调蓄容积 $V = \min\{V_1, V_2\}$

②雨水人工湿地系统

由于雨水具有轻污染、高流速的特点, 雨水人工湿地处理池与一般的人工湿地的设计方法不同。设计计算如下:

1) 人工湿地雨水池容积计算

在美国、加拿大、欧洲, 湿地的最佳储存容积应当是使汇水区达到 13mm 水位的容积^[77]。大约能收集 80%~90%的径流量, 储存容积可用下式计算^[78]。

$$V = C \times y \times A_{ws}$$

式中: V ——人工湿地雨水池的储存容积, m^3

C ——单位换算系数, 取 10

y ——汇水区的设计径流深度, 取 13mm

A_{ws} ——汇水区的表面积, hm^2

2) 湿地有效水深的确定

有效水深 $H_{\text{有效水深}} = H_{\text{填料}} + H_{\text{填料上水深}}$, 填料区高度 $H_{\text{填料}} = 0.4 \sim 0.8\text{m}$, $H_{\text{填料上水深}} = 0.2 \sim 0.4\text{m}$ 。湿地深度 $= H_{\text{有效水深}} + H_{\text{超高}}$, 雨水人工湿地属于浅水系统。一般地, 如果栽种挺水植物, $H_{\text{超高}}$ 取 $0.3 \sim 0.6\text{m}$ 是相对安全的^[77]。

3) 人工湿地雨水池面积

$$S = \frac{V}{H_{\text{有效水深}}}$$

式中: S ——人工湿地雨水池面积, m^2

其余符号同上

4) 填料和植物的选择

人工湿地系统一般采用砾石作为填料, 选取的植物主要为芦苇、菖蒲、伞草、荷花和慈姑。在选择时应注意:

- a. 能忍受较大变化范围内的水位、含盐量、温度和 pH 值；
- b. 在本地适应性好的植物，最好是本地的原有植物；
- c. 被证实对污染物有较好的去除效果；
- d. 有广泛用途或经济价值高。

4.3.5 景观水体水质保障子系统施工图设计技术

①处理景观水体循环水的人工湿地设计

为保障景观水体水质，宜在景观水体中修建人工湿地对水质进行进一步净化和保持。人工湿地的形式可采用折流湿地或侧向潜流湿地。

1) 设计参数的确定

人工湿地的设计参数见表 4.3

表 4.3 人工湿地设计参数表

参数	单位	范围
水力负荷	$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$	0.052~0.070
折流式人工湿地厚度	m	0.7~1.0
侧向潜流人工湿地厚度	m	0.4~0.8
人工湿地流速	m/s	0.03

2) 设计处理水量

根据景观水体的置换周期设计每天需要处理的水量,计算公式如下:

$$Q_x = V/T$$

式中 Q_x ——循环处理水量, m^3/d

V ——景观水体中的水量, m^3

T ——置换周期, d, 根据当地气候条件确定

3) 人工湿地面积计算

$$A_x = Q_x / HL$$

式中 A_x ——对景观水体的水进行循环处理需要的人工湿地的面积, m^2

HL ——水力负荷, 根据表 4.3 确定

4) 人工湿地平面布置

人工湿地平面布置根据景观水体及中水收集情况综合确定, 适合修建在景观水体岸边。

5) 循环泵选型

水泵设计流量根据处理水量确定, 水泵扬程根据具体地形位置所确定。

②人工补氧措施

进行人工曝气是保持湖水水质的有效措施，为了保持水中充足的溶解氧、抑制底泥中磷释放和阻碍水中藻类的生长，在人工水体设计喷泉曝气泵，参照水中的实际溶解氧量增加喷泉开启曝气的时间。

4.4 绿色建筑节水与水资源利用系统施工图设计实例

4.4.1 项目概况

西南某高校“节能省地型建筑”示范工程，校区合计建筑面积近 40 万 m^2 ，预计 2009 年 7 月一期建设完成。项目示范区域用地 226852m^2 ，建筑面积 214400m^2 。



图 4.1 西南某高校绿色建筑示范项目总图

Fig 4.1 Planar graph of demo-project in southwest China

4.4.2 设计内容

- ①西区学生生活区中水收集管网系统设计
- ②西区学生生活区的中水处理站设计
- ③教学区雨水收集系统设计
- ④教学区雨水处理系统设计
- ④人工湖水水质保障系统设计

4.4.3 系统总体设计

- ①系统总流程说明

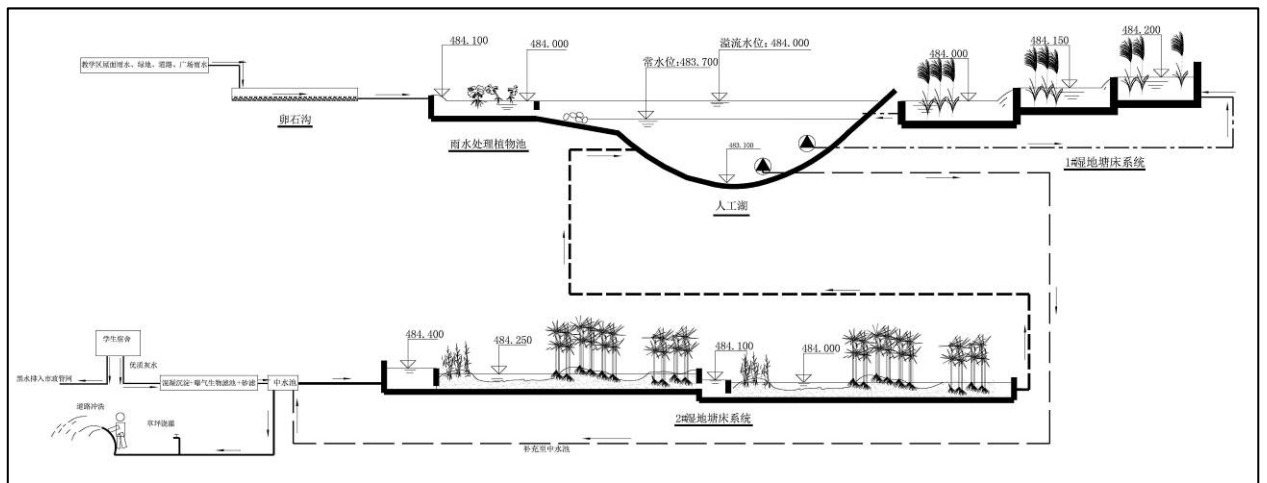


图 4.2 系统总体流程图

Fig 4.2 The whole process flow diagram for the system

1) 中水收集管网：收集学生宿舍 C-1, C-2, C-3, C-4, C-5 的优质杂排水（盥洗与淋浴废水）作为中水的原水，学生宿舍楼其余污水、高级学生公寓以及教学楼排放的生活污水不纳入本系统，直接排放到市政排水管网。（见图 4.3）

2) 中水处理系统：设中水处理站处理优质杂排水，处理工艺为生物+物化处理工艺，核心处理单元为：混凝沉淀+曝气生物滤池+砂滤，出水回用于绿化、浇洒道路及广场路面用水，景观水体补充用水，当中水用作景观水体的补充时，根据《城市污水再生利用 景观环境用水水质》标准，中水池出水还需进一步通过人工湿地系统进行处理，再进入人工湖。中水处理设施和管道系统可以相对独立，不会对校区的室外污水和雨水管网产生明显影响。

3) 雨水收集系统：采用卵石沟对教学区的屋面雨水、路面雨水进行分散收集和初步处理。

4) 雨水处理系统：在人工湖边缘设置分散的人工湿地雨水处理池处理进入人工湖体的雨水，人工湖中设置溢流孔连接市政雨水管，作为人工湖的泄洪通道。

5) 人工湖水水质保障：设置一个独立的人工湿地系统，用于循环处理人工湖湖水，保障人工湖水水质。

4.4.4 中水收集管网设计

①中水收集管网的布置

根据建筑内部优质杂排水出户管的标高及位置布置中水收集管网。

②管网水力计算

管网按最高日设计流量计算，经测算，学生宿舍人数为 5600 人，根据《建筑给水排水设计规范》用水指标定为 $120\text{L}/\text{人} \cdot \text{d}$ ，给水转化为排水指标的折减系数 0.85，盥洗+淋浴+洗衣用水比例为 50%，所以，管网设计流量 $Q=285\text{m}^3/\text{d}$

小区室外排水管网一般选用 HDPE 管，根据设计流量和流速及充满度的要求，管径定为 DN150，坡度为 4‰，但考虑到小区室外管网最小管径为 200mm，由于排除的是优质杂排水，水质较一般污水管网中的水质好，因此，选用设计管径为 DN200，坡度定为 3‰。中水收集管网布置示意图如图 4.3：

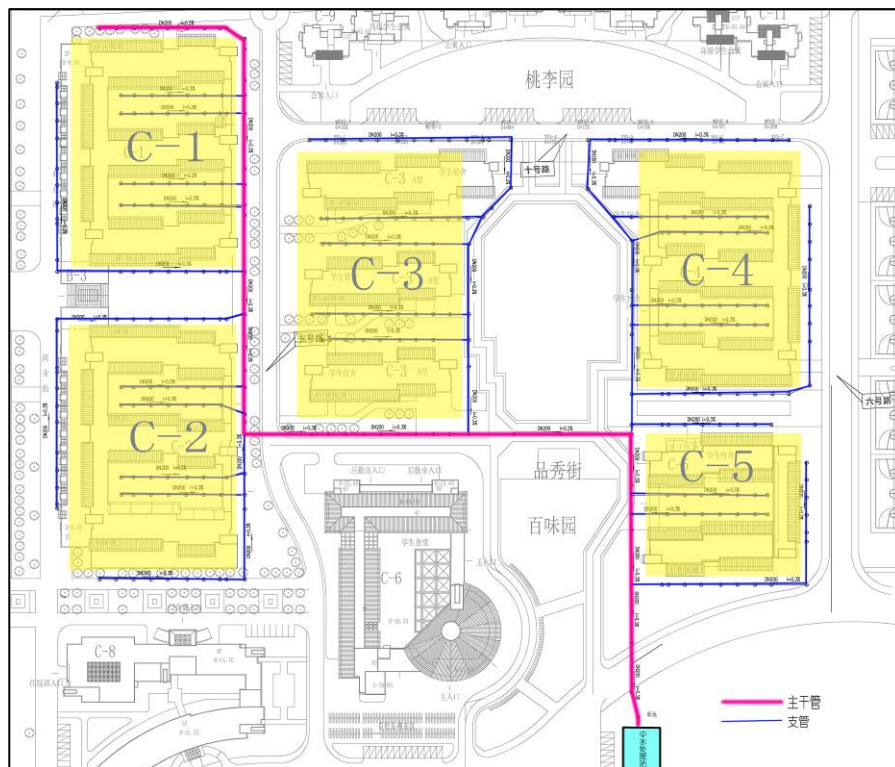


图 4.3 中水收集管网示意图

Fig 4.3 Middle water collection pipelines

4.4.5 中水处理站设计

①处理站设计规模

根据本项目方案设计阶段水量平衡计算及建设单位的要求，中水处理站规模定为 $200 \text{ m}^3/\text{d}$ 。考虑到一天中优质杂排水排放量时变化较大，主要集中在早、午、晚三个生活用水高峰期，因此，处理设施采用间歇运行，每天运行两班，共 16 小时，每班 8 小时，5: 00~13: 00，17: 00~次日 1: 00，设计流量 $12.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 。当流量较大时，适当延长运行时间。

②处理站工艺流程

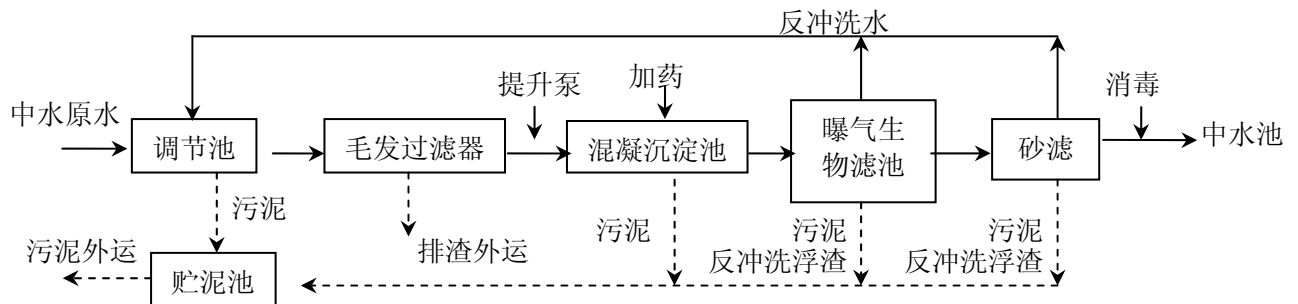


图 4.4 处理站推荐工艺流程图

Fig 4.4 Middle water treatment process

③处理站选址

为了实现中水处理系统的最优化，以及新校区环境效益、景观效益的最大化，现综合考虑处理站运行管理、对周围环境的影响、处理站土建成本与管网建设成本等多方面因素，提出三个选址方案：

1) 方案一

将处理站布置在 C-9 高级学生公寓北部的绿化带内，按半地下式建筑设计。受中水收集管进水标高的限制，调节池和贮泥池埋深较大，采用全埋地处理，其余构筑物布置在半地下式屋内，房屋高 4.5m，管理用房、加药间和加氯间则为地面建筑。

该方案紧邻校园围墙，又为 C-9 公寓所遮挡，对校园景观影响很小。但此处位置狭窄，处理站距 C-9 公寓极近，对公寓一、二楼住户影响较大，若围墙采用通透式设计，中水处理站会影响校园外观；同时，该方案也存在收集的中水和处理后回用水往复输送的问题，增大了管网建设费用和运行费用。

2) 方案二

处理站修建在图文科技楼会议中心北面，按半地下式建筑设计，高程布置和平面布置原则与方案一相同。

该方案将处理站布置在中水收集区域和回用区域之间，使整套管网系统达到了最优化，运行费用降到了最低。而且此处面积充足，处理站的平面布置也可实现最优化设计。此外，与之相邻的会议中心高 10.70 米，处理站高 4.5 米，二者完全可以统一设计风格，融为一体，最大限度减少处理站对校园景观的影响。

3) 方案三

处理站按埋地式设计，布置在中水收集区域和回用区域之间的绿地地下。

该方案以处理站不影响校园景观为原则设计，所有建筑均进行埋地处理，但建设成本较高，而且埋深加大后回用水扬程增大，运行费用增加。此外，埋地设计对通风要求更高，增加了通风设备的建设和运行费用，对处理站日常运行的管理要求也更高。

三个方案的比选见表 4.4，位置分布见图 4.5，确定方案二为推荐方案。

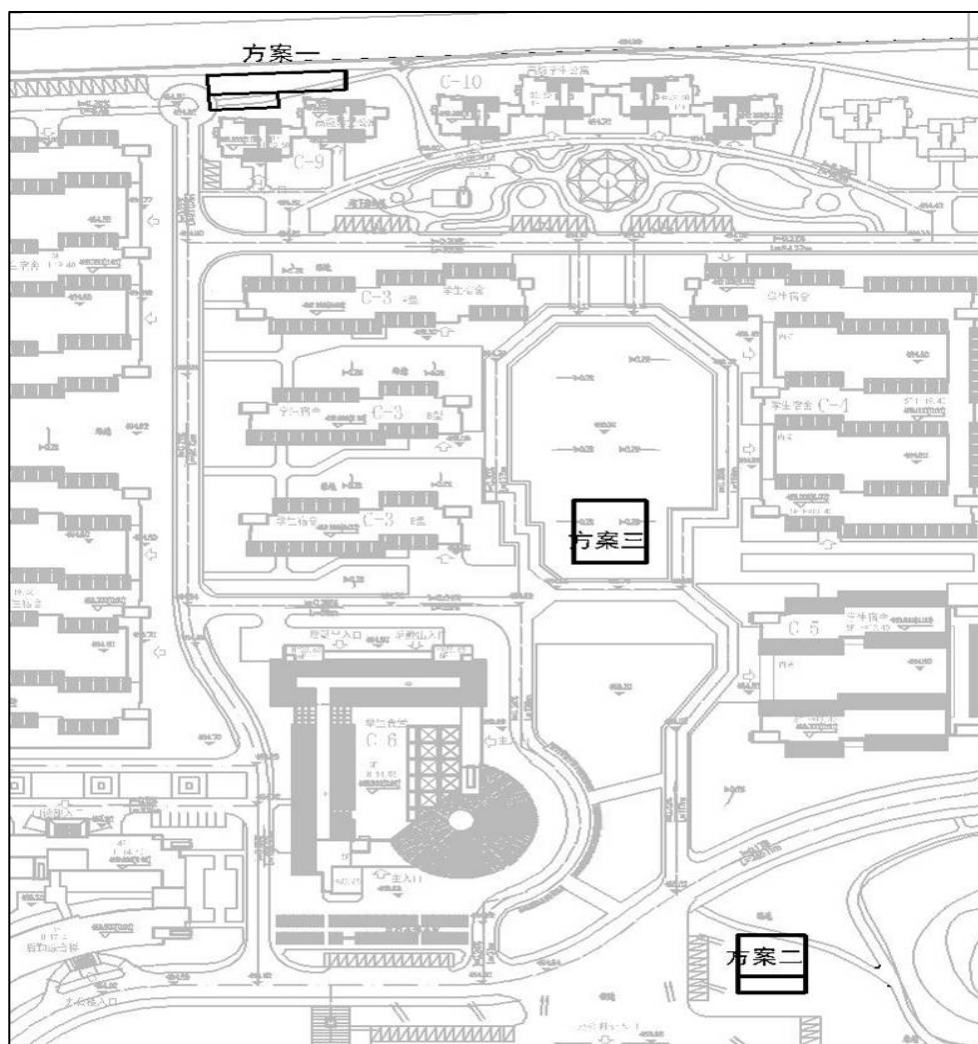


图 4.5 中水处理站选址比较图

Fig 4.5 Different location of middle water treatment station

表 4.4 中水处理站选址方案比选

Tab 4.4 Location comparison of middle water treatment station s

	方案一	方案二	方案三
选址	C-9 高级学生公寓北面	图文科技楼会议中心北面	绿地地下
形式	半地下式	半地下式	埋地式
占地	350m ²	250m ²	422m ²
房屋土建 成本估算	59.83 万元	30 万元	153.71 万元
管网建设 成本	高	低	低
运行成本	中（回用水扬程较方案二大）	低	高（回用水扬程最大， 需通风面积最大）
运行维护	方便	方便	不便
对环境的 影响	影响 C-9 宿舍一楼、二楼住 户，若采用通透式围墙，会 影响校园临街景观	外观可结合图文科技楼风格 设计	不影响景观

④处理站平面布置和高程布置

1) 平面布置

根据中水收集管网出口位置，处理站的平面布置按照功能分区、管线简洁、方便管理、节省能耗的原则进行布置。

本处理站平面大致分为处理区和控制区两个区域。处理区部分构筑物埋深较大，设置为半地下式，要求布置合理、紧凑，满足构筑物的施工、设备安装、运行调试、管道敷设及维护管理的要求，同时考虑最大设备的进出要求确定大门宽度。贮泥池设在处理站西侧，靠近道路，方便排泥；调节池标高与贮泥池相近，二者合建，其余构筑物和设备根据处理流程顺序，依次布置。站内管线尽量做到短捷，少交叉，少逆行，构筑物之间充分考虑管线布置所需距离。在管线集中地带设置公用管廊，以方便施工、检修，同时可减少管线敷设的占地，站内地下室需布置排水沟。控制区设置在地面，分为控制室、加药间和加氯间，自控和化验设施都布置在控制室内，加药间和加氯间也做贮药间使用，存放各自所需药剂。

处理站总占地 250m²。

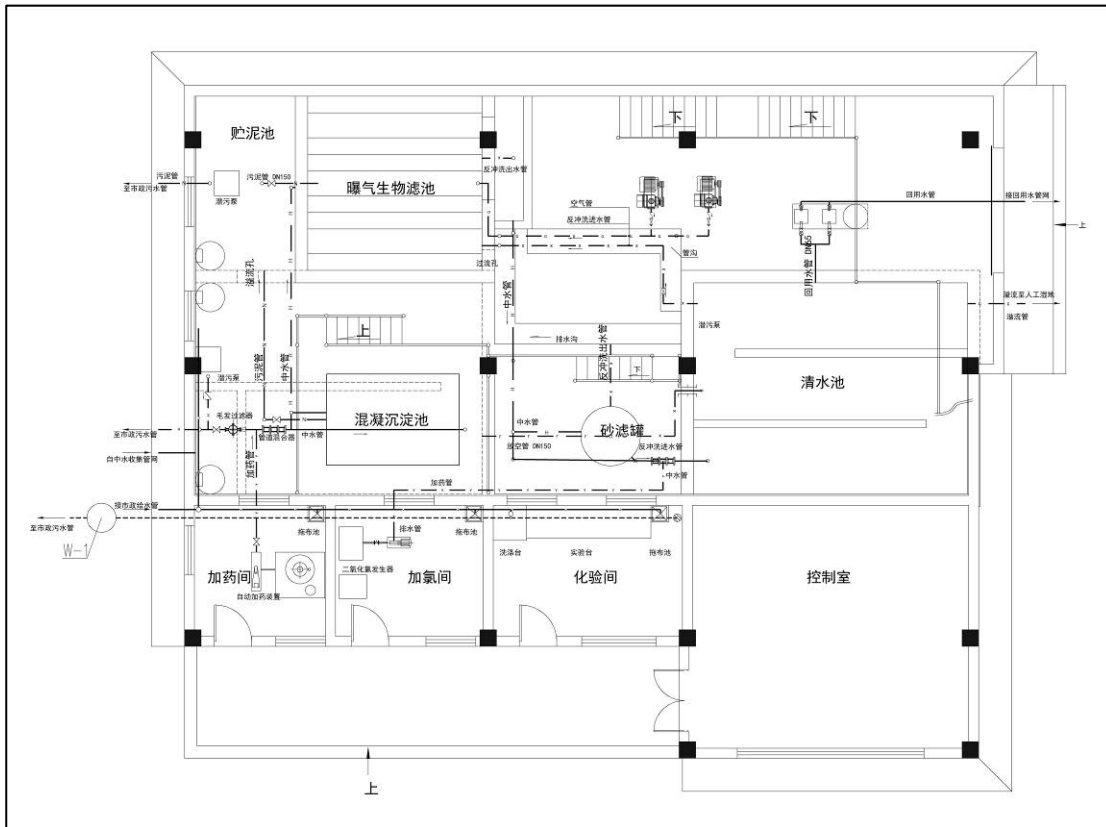


图 4.6 中水处理站平面图

Fig 4.6 Planar graph of middle water treatment station

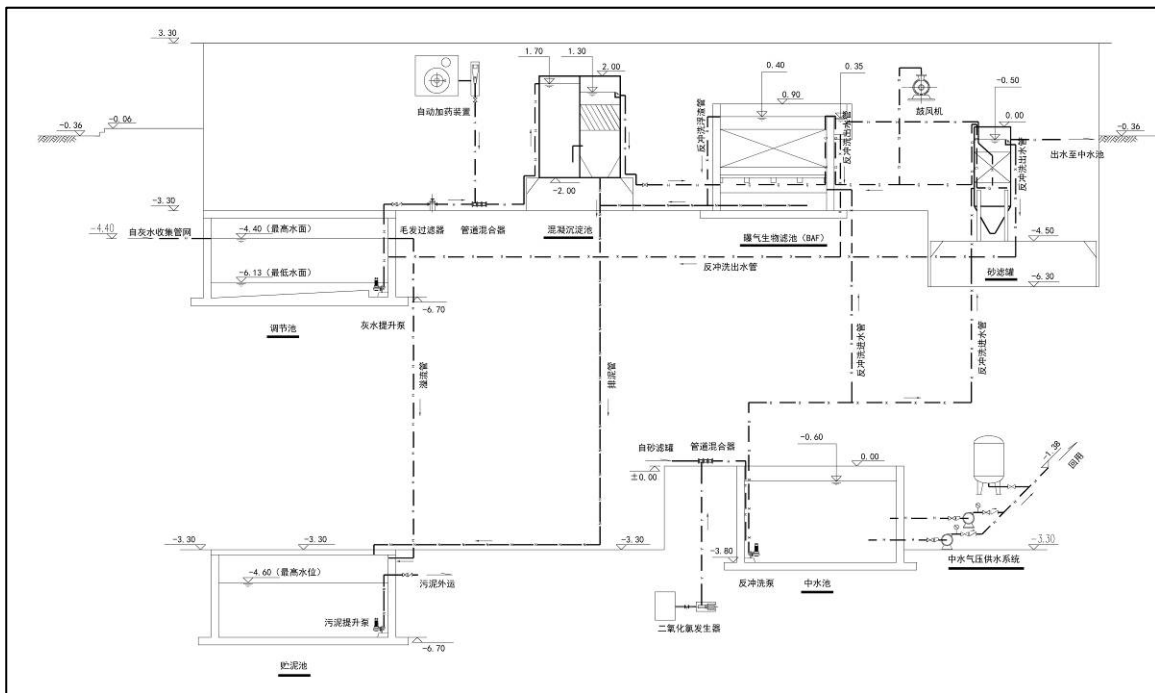


图 4.7 中水处理站高程图

Fig 4.7 Elevation graph of middle water treatment station

2) 高程布置

根据校区的总体设计，处理站地坪标高定为 485.60，以此标高作为处理站设计的相对±0.00，则进水管管底标高为 481.60m，即-4.00m。根据进水标高确定调节池和贮泥池液面标高。为减少埋深，降低造价，调节池出水用水泵提升，后续处理构筑物中最大池体为中水池，以中水池池顶标高为 0.00m 确定提升后各构筑物标高。

调节池与贮泥池埋深最大，埋地布置，以池顶为处理站地面，在其上布置混凝沉淀池、曝气生物滤池、毛发过滤器以及鼓风机等构筑物与设备，砂滤池池底较低，在处理站局部降低放置，具体高程布置见图 4.7。

⑤处理站工艺设计

1) 调节池：

a.确定设计参数：

设计流量： $Q=12.5\text{ m}^3/\text{h}$ ；

调节容积按中水系统平均日用水量的 35%计算；

b.调节池尺寸计算：

调节容积 $V_{\text{调节}}=0.35Q=70\text{m}^3$

有效调节水深 $H_{\text{调节有效}}=2.3\text{m}$ ，则调节池面积： $F=\frac{V_{\text{调节}}}{H_{\text{有效调节}}}=\frac{70}{2.0}=35\text{m}^2$

因此，调节池平面尺寸为： $L_{\text{调节}}\times B=6.9\times 5.1\text{m}$

调节池高度 $H_0=h_{\text{保护}}+H_{\text{有效调节}}=3.1\text{m}$

故，调节池尺寸为： $L\times B\times H=6.9\times 5.1\times 3.1\text{m}$ 。

2) 毛发过滤器

毛发过滤器安装在水泵出水管上，根据某厂家毛发过滤器样本选型，规格：DN200；接口管径：DN50；适用流量：1~30m³/h。根据厂家样本确定安装位置。

3) 混凝沉淀池

项目中混凝沉淀池选用成套设备，流量 12.5m³/h。絮凝时间 20min，沉淀表面负荷 $q'=9\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，根据厂家样本确定安装位置。

4) 曝气生物滤池

a. 确定设计参数

设计流量： $Q=200\text{ m}^3/\text{d}=12.5\text{m}^3/\text{h}$ ；（每天运行 16h）

污染物浓度：进水： $\text{BOD}_5=60\text{mg/L}$ ，出水 $\text{BOD}_5=20\text{mg/L}$ ；

进水总氮 $N_t=25\text{mg/L}$ （以 N 计）=30.3mg/L（以氨氮计），

出水氨氮 5mg/L。其余参数的选择见表 4.5。

表 4.5 曝气生物滤池计算参数

Tab 4.5 Calculation parameters of BAF

参数	单位	范围
好氧区 BOD ₅ 容积负荷 N_V	kgBOD ₅ /(m ³ ·d),	0.4~0.6
好氧区氨氮容积负荷 (以氨氮计) $N_{\text{氨氮}}$	kgNH ₃ -N / (m ³ ·d)	0.12~0.20
污泥产率系数 Y	Kg 污泥 / kgBOD ₅	0.08~0.15
气水比 D_0	m ³ 空气/ m ³ 水	8~12
反冲洗空气强度 D_0 反冲洗	L / (m ² ·s)	5
反冲洗气冲时间	min	5
反冲洗气水联合冲洗强度	L / (m ² ·s)	5
反冲洗气水联合冲洗时间	min	3
反冲洗水冲洗强度	L / (m ² ·s)	5
反冲洗水冲洗时间	min	3

b. 曝气生物滤池池体尺寸计算

采用容积负荷法进行计算有效池容:

$$V_{\text{好氧}} = \frac{0.001Qt(L_i - L_o)}{N_V} = \frac{0.001 \times 12.5 \times 16 \times (60 - 20)}{0.5} = 16 \text{ m}^3$$

校核硝化氨氮容积负荷:

$$N_{\text{氨氮}} = \frac{0.001Qt(N_{\text{te}} - N_{\text{ae}})}{V_{\text{好氧}}} = \frac{0.001 \times 12.5 \times 16 \times (30.3 - 5)}{16}$$

$$= 0.32 \text{ kgNH}_3\text{-N} / (\text{m}^3 \cdot \text{d}), \text{ 不合格}$$

采用容积负荷法进行计算有效池容:

$$V_{\text{好氧}} = \frac{0.001Qt(N_{\text{te}} - N_{\text{ae}})}{N_{\text{氨氮}}} = \frac{0.001 \times 12.5 \times 16 \times (30.3 - 5)}{0.2} = 25.3 \text{ m}^3$$

总面积:

设计填料高度 $h_{\text{填料层}}$ 取 1.5m (共 1 层), 故:

$$F_{\text{好氧}} = \frac{V_{\text{好氧}}}{H} = \frac{25.3}{1.5} = 16.9 \text{ m}^2 \leq 50 \text{ m}^2, \text{ 合格}$$

取 $L=4.2\text{m}$, 则 $B=4.2\text{m}$, 即单格好氧区尺寸 $L \times B=4.2 \times 4.2\text{m}$

池体总高度:

污泥斗高: 设 3 格泥斗, 每格泥斗尺寸: $4.2 \times 1.4\text{m}$, 斗壁坡度 $\text{tg}60^\circ$, 斗高 0.7m, 则斗底宽: $h_{\text{泥斗}} = 1.4 - \frac{2 \times 0.7}{\text{tg}60^\circ} = 0.6$, 曝气生物滤池总高:

$$H_0 = H + h_{\text{超高}} + h_{\text{填料层}} + h_{\text{承托层}} + h_{\text{滤板}} + h_{\text{承托梁}} + h_{\text{配水区}} + h_{\text{泥斗}} = 4.2\text{m}$$

所以, 池体尺寸: $L \times B \times H = 4.2 \times 4.2 \times 4.2\text{m}$

c. 曝气量计算

气水比法曝气量计算：

$$D = D_0 \cdot Q = 8 \times 12.5 = 100 \text{ m}^3/\text{h} = 1.67 \text{ m}^3/\text{min}$$

反冲洗空气曝气量：

$$D_{\text{反冲洗}} = 3600 D_0 \cdot F_{\text{好氧}} = 3.6 \times 5 \times 17 = 306 \text{ m}^3/\text{h} = 5.1 \text{ m}^3/\text{min}$$

反冲洗时启动充氧曝气鼓风机和备用鼓风机。

d. 反冲洗流量计算

$$Q = \frac{5 \times A \times 3600}{1000} = \frac{5 \times 4.2 \times 4.2 \times 3600}{1000} = 317.52 \text{ m}^3/\text{h}$$

e. 剩余污泥量计算

$$\Delta X = 0.001 Y \cdot Q t (L_i - L_o) = 0.8 \text{ Kg 污泥/d,}$$

设剩余污泥浓度为 15 Kg/m^3 , $\Delta X = 0.05 \text{ m}^3 \text{ 污泥/d}$ 。

f. 设备选型：

反冲洗泵： $Q = 317.52 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 10 \text{ m}$, 选型：200QW360-15-30。流量 $360 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程 15 m , 转速 980 , 功率 30 KW , 出口直径 200 mm , 重量 820 kg 。

鼓风机：NSR65: $500 \times 780 \times 970$; NSR80: $530 \times 863 \times 1130$

5) 砂滤

以某公司的砂滤设备为样本，选用成套设备，直径 1435 ，总高 4450 ，过滤面积 1.5 m^2 。（滤料粒径 $0.6 \sim 1.2 \text{ mm}$ ）

6) 中水池

中水池容量按中水系统日用水量的 30% 来设计，日用水量为 $284 \text{ m}^3/\text{h}$ ，中水池有效容积为 85 m^3 ，配合中水处理站的平面与高程布置，清水池总深高取 3.1 m ，以室内地坪标高为 ± 0.00 ，水位标高 -0.60 m ，有效水深 $3.1 - 0.6 = 2.5 \text{ m}$ ，所以，中水池面积： $85/2.5 = 34 \text{ m}^2$ ，根据中水站平面尺寸，中水池平面尺寸为 $L \times B = 6.6 \times 5.1 \text{ m}$ 。中水池尺寸： $L \times B \times H = 6.6 \times 5.1 \times 3.1 \text{ m}$

7) 贮泥池

贮泥池用于贮存中水处理站产生的污泥和废水，及时排入市政管网。配合调节池与曝气生物滤池尺寸，贮泥池尺寸定为： $6.9 \times 4.2 \times 3.1 \text{ m}$ 。

8) 加药与混合设备

为保证最佳的处理效果，混凝剂、助凝剂的选择和用量在调试阶段根据现场实验确定。混凝剂投药系统选用成套设备，参考某公司产品，配计量泵，药剂罐给水 $Dg25$ ，药剂罐排水 $Dg32$ 。外形尺寸： $L \times B \times H = 3.2 \times 2.2 \times 4.0$ ，采用管式静态混合器，快速混合方式，混合时间一般为 $10 \sim 60 \text{ s}$ 。混合设施与后续处理构筑物的距离越近越好，采用直接连接方式，其连接管道的流速 $0.8 \sim 1.0 \text{ m/s}$ 。

9) 消毒设备

采用二氧化氯消毒, 投加量 $0.1 \sim 1.2 \text{mg/L}$, 取投加量 0.8mg/L , 按最高日最高时用水量计算投药量, 则投药量为 $0.8 \times 123 = 98.4 \text{g/h}$, 参考某公司产品 (包含盐溶解槽), 选用发生量 100g/h , 耗盐量 1.6g/g 气, 电源功率 1.2YD , 电源电压 220V , 电解电流 ≤ 100 , 外形尺寸 $800 \times 650 \times 1200$, 接管口径 $Dg1: 20, Dg2: 20, Dg3: 15$ 。

10) 回用水气压给水

根据建设单位的需求调整后, 回用水优先用于景观水体的补充用水, 需要在用于绿化和道路广场浇洒用水, 按此确定回用需要的最大扬程为 36m 。参考公司提供的设备样本, 选用 BQS12-36 型气压给水设备, 配用 1 台气压罐 BQS12-36, $Q=12 \text{m}^3/\text{h}$, $H=36 \text{m}$, $N=2.2 \text{Kw}$; 两台附泵 40BDL8-10 \times 3 型, 单台 $Q=6.4 \sim 10 \text{m}^3/\text{h}$, $H=28 \sim 31 \text{m}$, $N=2.2 \text{Kw}$ 。

11) 提升泵

调节池和贮泥池各需安装污水提升泵一台, 所需扬程 10m , 流量 $12.5 \text{m}^3/\text{h}$, 选用 50QW18-15-1.5 型泵, 扬程 15m , 流量 $18 \text{m}^3/\text{h}$, 转速 2840r/min , 电压 380V , 电流 38A , 效率 62.8% , 出口直径 50mm , 电机功率 1.5KW , 重量 60kg 。

4.4.6 雨水收集系统设计

沿道路及绿地周边铺设卵石沟, 收集并初步净化道路和绿地雨水, 沿建筑周边铺设卵石沟收集并初步净化建筑屋面雨水, 卵石沟的断面采用矩形断面, 断面尺寸根据设计径流量而定。各个卵石沟在入湖前, 进入分散的人工湿地处理后再汇入人工湖中, 以保障入湖水质。如图 4.8

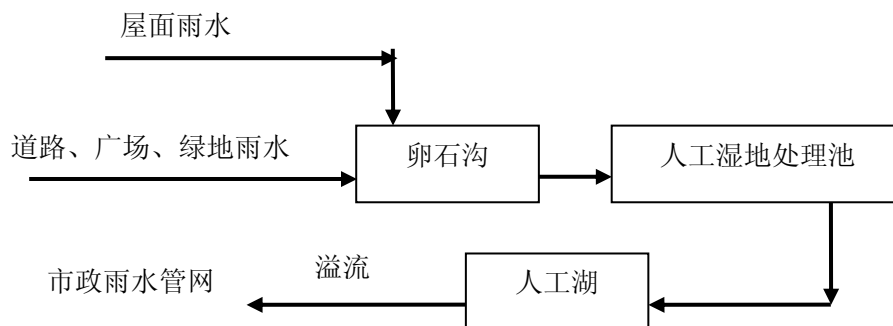


图 4.8 雨水利用流程图

Fig 4.8 Process of rainwater utilization

①卵石沟平面布置

1) 卵石沟布置时应与总平面布置图密切配合, 统一考虑。

2) 卵石沟根据雨水收集的位置分为建筑周边的卵石沟、道路及绿地周边卵石沟、广场卵石沟三种。建筑周边的卵石沟主要用于收集和就地初步处理屋面雨水。屋面雨水通过雨水立管收集后, 直接通过建筑周边散水排入卵石沟进行初步处理。道路和绿地周边卵石沟沿道路两侧的绿地内设置卵石沟, 代替道路排水边沟, 绿地内设置草坪洼地, 设计一定坡度坡向绿地周边的卵石沟, 可促进初期雨水的入渗, 并对后期雨水进行过滤和输送。广场卵石沟根据建筑广场竖向设计, 设置广场内的卵石沟, 广场内的卵石沟必须加盖雨水算, 雨水算的形式与广场的设计风格配套, 采用带孔的混凝土算或铸铁雨水算用于收集广场雨水。

3) 注意在人流交通出入口等地方均需考虑设置雨水算, 深度大于 0.4m 的卵石沟也应考虑设雨水算。

4) 在卵石沟交汇、转弯、沟渠尺寸或坡度改变、跌水等处以及相隔一定距离的直线段上设置沉砂检查井。

②卵石沟断面设计

1) 卵石沟断面形式采用矩形断面。断面形式: 从上到下依次为: 粒径为 40~50mm 的卵石 (厚 200mm), 粒径 15~30mm 的砾石 (厚 200mm), 见图 4.9。

设计流量计算公式如下:

$$Q=AR^{0.67}S^{0.5}/n$$

其中: 水力半径: $R = \frac{bd}{b+2d}$; b 为矩形断面宽, d 为设计径流深度。

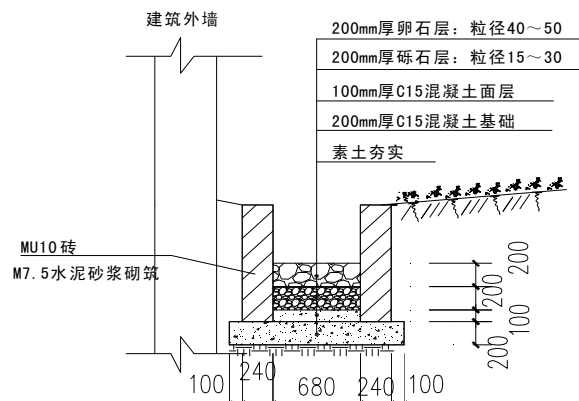


图 4.9 卵石沟断面设计图

Fig 4.9 Design section of cobble ditch

式中: A——断面面积= $b \times d$

S——纵坡不大于 3‰

n——粗糙系数根据渠道表面的性质, 取 $n=0.025$

2) 计算暴雨强度 q 。

采用当地暴雨强度公式：

$$q = \frac{2806(1 + 0.803 \lg P)}{(t + 12.8P^{0.231})^{0.768}}$$

式中： Q ——暴雨强度 L/s·ha

P ——设计重现期

t ——集水时间

设计重现期 P 的确定：若用卵石沟排出全部径流雨水时，雨水设计重现期应按当地雨水管道的设计重现期相关规定选取。本设计选用 $P=2$ 年。

3) 卵石沟水力计算

根据卵石沟平面位置布置，划分汇水面积 F ，并对卵石沟渠段进行编号，进行。根据各类性质地面的面积与总的汇水面积的比值确定百分比，然后根据各种地面的径流系数确定综合径流系数 $\Psi_{\text{综合}}$ ，分段计算实际径流流量，按类似雨水管渠的方法进行。根据 $Q = \Psi q F$ 计算设计流量。

4) 计算实际过流流量 $Q' = AR^{0.67} S^{0.5} / n$

调整断面 b 、 d 或纵坡 S ，使得实际过流流量 $Q' >$ 设计流量 Q ，在调整断面尺寸时，应注意尽量满足水力最优断面的条件，即 $b=2d$ ；

5) 根据市政管网的要求，卵石沟最低标高的控制，即入湖渠底的标高的要求，还应调整卵石沟的设计长度 L ，使之满足要求，未收集到雨水的位置，设置雨水口就近排入附近的雨水管道。

6) 核算流速 $v = R^{0.67} S^{0.5} / n$ ，流速 v 尽量满足不大于 0.6m/s ，列出水力计算表格，如表 4.6 所示。

表 4.6 卵石沟水力计算表

Tab 4.6 Hydraulic calculation of cobble ditch

汇水 面积 分区	渠 段	设计径流量 Q							
		汇水 面积 F	综合径 流系数 Ψ	汇水面 汇水时 间 t_1	渠内流 行时间 t_2	累计渠 内流行 时间 $\sum t_2$	降雨 历时 $t=t_1+$ $\sum t_2$	暴雨强度 q (L/s.ha)	设计流量 Q
		2	3	4	5	6	7=4+	8	9
							6		
1 区									

续表 4.6

汇 水 面 积 分 区	实际过流流量 Q'						标高计算				
	宽 b(m)	设计 径流 深度 d(m)	水 力 半 径 R	卵石 沟长 L	纵 坡 S	坡 降 SL	实际过 流量 Q' (L/s)	起端 地面 标高	起端渠 底标高	终 端 地 面 标 高	终端渠 底标高
	10	11	12	13	14	15	16	17	18(=17-11)	19	20(=18-15)
1 区											
...											

4.4.7 雨水处理系统设计

①湿地容积的确定

根据 4.3.4 节雨水人工湿地处理池设计计算：

- 1) 1#雨水处理池，汇水面积 1.3ha， $V_1=170\text{m}^3$ ；
- 2) 2#雨水处理池，汇水面积 1.33ha， $V_2=173\text{m}^3$ ；
- 3) 3#雨水处理池，汇水面积 1.26ha， $V_3=163.8\text{m}^3$ ；
- 4) 4#雨水处理池，汇水面积 0.19ha， $V_4=25\text{m}^3$ ；
- 5) 5#雨水处理池，汇水面积 4.67ha， $V_5=607\text{m}^3$ 。

②湿地有效水深

$$H_{\text{有效水深}} = H_{\text{填料}} + H_{\text{填料上水深}} = 0.6 + 0.4 = 1.0\text{m}$$

③湿地面积计算

根据 4.3.3 节雨水人工湿地面积计算公式，雨水处理池面积计算如下：

- 1) 1#雨水处理池， $S_1=354\text{m}^2$ ；
- 2) 2#雨水处理池， $S_2=360\text{m}^2$ ；
- 3) 3#雨水处理池， $S_3=342\text{m}^2$ ；
- 4) 4#雨水处理池， $S_4=52\text{m}^2$ ；
- 5) 5#雨水处理池， $S_5=1264\text{m}^2$ 。

④填料和植物的选择

人工湿地系统一般采用砾石作为填料，本项目中取填料层的厚度为 600mm。本项目中选取的植物主要为芦苇、菖蒲、伞草、荷花和慈姑。

⑤ 进出水口和溢流口设计

1) 进出水口设计

本项目中由于雨水人工湿地结合了景观的造型设计，形状不规整，进水口同卵石沟出水口设计应整合起来考虑。根据卵石沟的出口位置来决定湿地进水口位置，一个卵石沟对应一个进水口。出水口采用多点出水方式，出水口设置为淹没孔口出流方式，可防止短流，同时减少漂浮物堵塞孔口的问题。

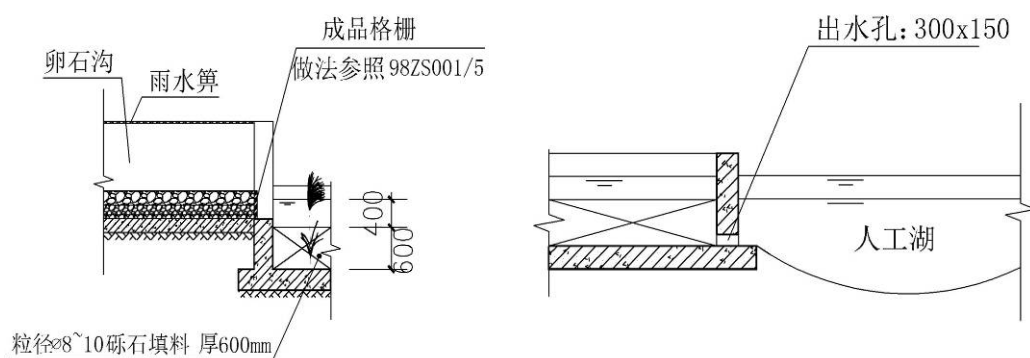


图 4.10 雨水池进出水口设计

Fig 4.10 inlet and outlet of constructed landscape pool

2) 溢流口设计

溢流孔的过流能力大于进水流量，同时也考虑采用多点分散溢流的方式。

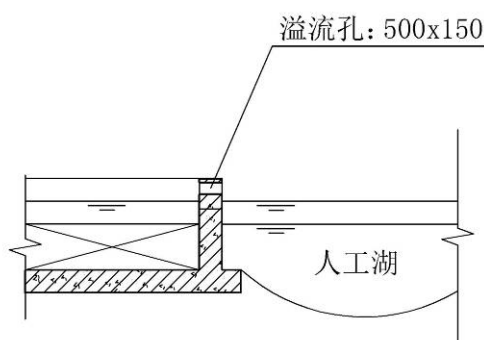


图 4.11 溢流口设计

Fig4.11 Overflow port of landscape pool

3) 其它部分的设计

本项目中人工湿地系统设计与景观进行了很好的结合，除了满足湿地的净化功能外，还考虑了景观美学方面的要求，湿地形状多为不规整的造型，因此还需结合净化功能方面的要求，在湿地处理池内部设置导流隔墙，以防止短流的出现。

4.4.8 景观水体水质保障系统设计

①景观水体生态化设计

根据建筑围合形式、地形特征与空间序列分布以及景观生态化要求，进行了人工湖景观及周边环境的设计。水系统景观设计以生态环保、节水节能为目标，配合校区总体规划与系统工艺、技术流程，旨在营造生态高效、安全洁净、优美宜人的水环境景观。水系统景观设计的生态化方法主要体现在以下几个方面：

1) 配合校区总体规划与可持续水系统工艺、技术流程，顺应地形和基址的标高、坡度等竖向特征，尽量减少对能源的消耗，降低维护成本。

2) 形态上尽量模拟自然状态，以适应湿地生物系统的生境和生物分布格局。除了平面形态上尽量保持自然弯曲，还注重处理水流线路与河床的物理特性，以创造出接近自然的水流道路，并有不同的水流流速带，以利于生物的多样性。

3) 在植物配置，尤其是水生植物配置方面，一是考虑植物种类的多样性搭配，二是考虑湿生植物的生态效益。多种类植物的搭配，不仅在视觉效果上相互衬托，形成丰富而又错落有致的效果，对水体污染物处理的功能也能够互相补充，有利于实现生态系统的完全或半完全的自我循环。

4) 重视水岸空间环境的设计与处理，利用多自然化的手段营造生态化、多样性的水岸空间，避免了采用简单浆砌石块护岸给生态带来的破坏。本设计中大量采用疏林草地缓坡护岸、植栽护岸和亲水岸线，生态和景观效果都极佳。

景观空间从北到南分为三个片区：人工湿地塘床系统，中央景观湖面，人工湿地雨水池。

人工湿地塘床系统主要用于接纳收集的雨水及经处理后多余的中水，经处理后的水质可达到景观用水要求。处理后的出水回用做绿化、道路浇洒用水以及保障景观水体用水。

中央景观湖面主要为观赏型景观水面，除较强降雨时来不及汇入雨水沟的散排雨水外，主要接纳经处理后的雨水，水质较好。中央设高 20 米左右的大型喷泉，除作为中心广场景观轴线的对景外，有很好的曝气补氧作用。东南侧设人工湿地，净化散排入内的雨水并可改善景观水体的水质，净化后的水汇入中央湖面。

人工湿地雨水池包括湿地植物池与景观水面两部分，湿地植物池位于岸际，汇集后的雨水将先经过这些植物池，通过湿地植物的生态净化处理后再排入水池中，处理后的雨水可达到景观水的标准。

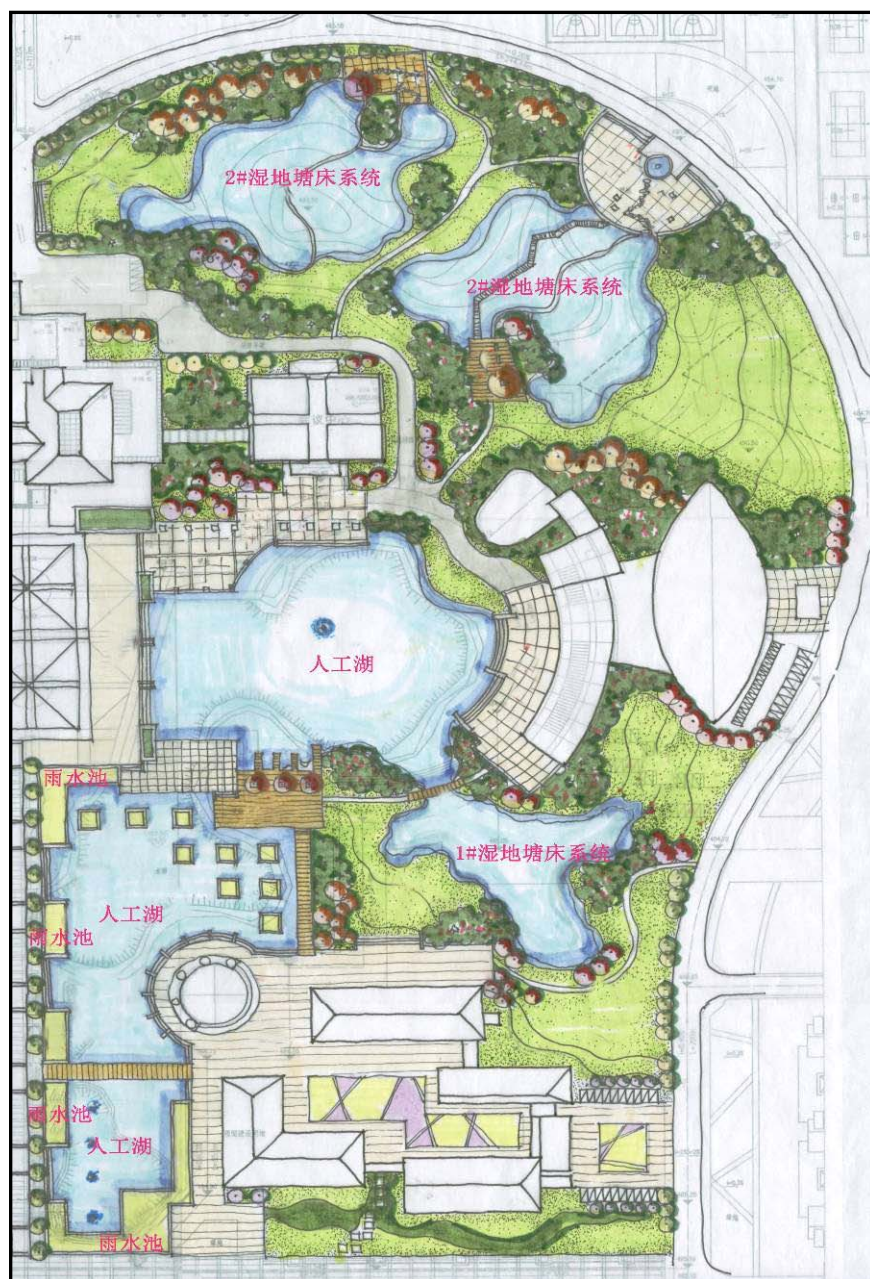


图 4.12 景观水体生态化设计示意图

Fig4.12 Ecologic design of landscape

②景观水体水质保障体系统

1) 湖水的循环和处理

要保证人工湖水质，首先必须控制好进水水质，本系统进水主要是教学区的降雨径流和处理站出水，降雨径流由雨水净化系统进行预处理，处理站出水水质已达到国家杂用水水质标准，因此，进水悬浮物和有机污染物浓度很低，采用人工湿地集中处理后，能进一步去除水中的有机污染物和氮、磷等营养物质，出水能达到本系统的设计出水水质。

表 4.7 湿地处理系统设计进出水水质

Tab 4.7 Design water quality of inlet and outlet of constructed wetland

水质指标(mg/L)	BOD ₅	COD	SS	氨氮	TP	TN	粪大肠菌群
进水水质	25~30	30~80	40~90	3~7	0.5~1	3~8	40000
出水水质	6	30	10	1.5	0.3	1.5	20000

2) 人工湿地工艺设计

本项目中人工湖湖面面积为 14935m², 设计湖水深度为 0.6m, 因此 $V=8961\text{m}^3$, 所以 $Q_x=896.1\text{m}^3/\text{d}$, 计算出处理人工湖循环水的人工湿地的面积为 1121m²。循环泵选型: 100QW70-7-3, $Q=70\text{m}^3/\text{h}$, $H=7\text{m}$, $P=3\text{Kw}$

3) 人工补氧

进行人工曝气是保持湖水水质的有效措施, 为了保持水中充足的溶解氧、抑制底泥中磷释放和阻碍水中藻类的生长, 在人工湖中设计喷泉曝气泵, 其型号参数为 $Q=100\text{m}^3/\text{h}$, $H=20\text{m}$, $N=11\text{KW}$ 。参照水中的实际溶解氧量增加喷泉开启曝气的时间。

4) 人工湖日常水质管理

a. 利用喷泉泵对湖水进行的人工曝气, 一般来说, 湖水溶解氧保持在 3mg/L 左右, 夏季当溶解氧浓度降低时, 应增加曝气时间。

b. 定期进行人工湖中漂浮物(如树叶等)的撇除与打捞。

4.4.9 节水效果评价

根据 3.6.8 节, 节水率和非传统水源利用率的计算方法得出:

示范区内年节约市政供水量 150189 m³, 节水率为 32.23%, 超过了《绿色建筑评价标准》控制项 8%的要求; 年非传统水源利用量为 115989m³, 非传统水源利用率为 26.86%, 超过了《绿色建筑评价标准》一般项 10%的要求。

4.5 本章小结

在整合设计理念的指导下, 提出了绿色建筑节水与水资源利用施工图整合设计技术, 并通过西南某“节能省地型建筑”示范工程项目为实例, 综合资源整合、技术整合和专业整合的要点, 对其进行绿色建筑节水与水资源化利用系统的施工图整合设计。

①绿色建筑节水与水资源利用系统施工图整合设计, 其核心内容包括对于方案阶段收集的基础资料的补充和完善, 各子系统施工图设计的施工图设计, 即中水收集管网系统设计、中水处理站设计、雨水收集管网设计、雨水处理系统设计以及景观水体水质保障系统设计。施工图设计技术较方案设计阶段更为具体化、综

合化。

②通过西南某高校“节能省地型建筑”示范工程，完成了项目施工图整合设计和子系统施工图设计。项目示范用地 226852m^2 ，建筑面积 214400m^2 ，在中水收集与处理子系统方面，完成了中水收集管网及其中水处理站的施工图设计；在雨水收集与利用子系统方面，根据方案设计并结合建筑周边设施，完成了卵石沟、沉砂检查井、雨水人工湿地处理池等雨水收集与利用设计的施工图设计；在景观水体水质保障子系统设计方面，完成了人工湖的生态设计与水质保障设施施工图设计。

③项目示范区域内节水率为 32.23%，超过了《绿色建筑评价标准》控制项 8% 的要求；非传统水源利用率为 26.86%，超过了《绿色建筑评价标准》一般项 10% 的要求。

5 结论和建议

5.1 结论

通过对绿色建筑节水与水资源利用系统整合设计技术方法的研究,结合绿色建筑示范项目方案整合设计和施工图整合设计,得出了如下主要结论:

①通过研究绿色建筑节水与水资源利用系统整合设计的技术方法,提出了绿色建筑节水与水资源利用系统的整合设计三大要素:资源整合、技术整合和专业整合。其中技术整合是整个整合设计的核心,主要涉及节水与水资源利用技术与其他专业技术的整合,以及整个节水与水资源利用系统内各子系统的技术整合。绿色建筑节水与水资源利用整合系统主要包括建筑供水节水子系统、中水处理与回用子系统、雨水收集与利用子系统、景观水体水质保障等子系统。

②绿色建筑节水与水资源利用系统全过程整合设计研究及实践结果表明:整合设计应贯穿项目规划、方案设计到施工图设计整个过程,在项目规划阶段,应有节水与水资源利用的专业人员介入,综合考虑地区资源与气象条件、建筑类型、建筑平面布局、当地经济发展水平等各方面因素,提出绿色建筑节水与水资源利用初步方案并与其他专业研讨技术交叉和整合研讨,在后续的初步设计及施工图设计阶段,需综合建筑、规划、景观、结构、建筑节能、建筑给排水、建筑电气、自动化控制等各个专业,使各工种有机整合,密切协作,深入分析建筑自身特点及区域自然资源、环境,根据项目实际需求,形成一整套可行的、因地制宜的、内部有机相连的绿色建筑节水与水资源利用系统方案与实施措施。

③绿色建筑节水与水资源利用系统方案整合设计技术研究及实践结果表明:系统方案整合设计的核心内容包括绿色建筑(小区)设计条件分析、用排水量计算与水量平衡分析、绿色建筑节水与水资源利用各子系统的方案设计。通过绿色建筑节水与水资源利用系统方案整合设计技术在我国南方某“双百示范工程”实施结果表明,采用了经济适用、因地制宜的方案整合设计后,该示范工程项目节约年市政供水量为 118883m^3 ,节水率为 25.2%,超过了《绿色建筑评价标准》控制项 8%的要求;设计非传统水源使用量为 75374m^3 ,非传统水源利用率为 17.62%,超过了《绿色建筑评价标准》一般项中非传统水源利用 10%的要求。

④绿色建筑节水与水资源利用系统施工图整合设计技术研究及实践结果表明:施工图整合设计的核心内容包括方案阶段收集的基础资料的补充和完善、各子系统的施工图设计与整合。绿色建筑节水与水资源利用系统施工图整合设计在我国西南某高校“节能省地型建筑”示范工程中实施,示范项目用地 226852m^2 ,建筑面积 214400m^2 ,节水率 32.23%,非传统水源利用率 26.86%,在中水收集与处理

子系统方面，完成了中水收集管网及其中水处理站的施工图设计；在雨水收集与利用子系统方面，根据方案设计并结合建筑周边设施，完成了卵石沟、沉砂检查井、雨水人工湿地处理池等雨水收集与利用设计的施工图设计；在景观水体水质保障子系统设计方面，完成了人工湖的生态设计与水质保障设施施工图设计。

5.2 建议

①绿色建筑节水与水资源利用整合设计技术未得到全面的验证，建议在今后的推广实践过程中，加强应用成果的测试与反馈，使趋完善。

②绿色建筑包括了节能、节地、节水、节材、室内环境质量和运营管理等六个方面，绿色建筑节水与水资源利用整合设计技术除了开展子系统设计技术的研究之外，建议加强与绿色建筑其他五个方面的系统整合设计技术的研究与完善。

致 谢

回首在重庆大学七年的求学之路，最大的感触是得到了很多人的关心、鼓励和支持，在此献上我最诚挚的谢意！

首先要感谢我的导师何强教授，学习期间，得到了何老师无微不至的关怀和指导，何老师渊博的知识、丰富的实践经验和严谨治学的态度使我受益匪浅。在论文的选题、调研、撰写时，何老师都为我提供了悉心的指导，使我的论文得以顺利完成。何老师乐观积极的人生态度和丰富的阅历以及严谨的治学风格，使我获得了很多的宝贵的知识和人生经验。

其次，我要感谢深圳清华苑建筑设计有限公司的张旭奎所长及其团队，以及我在深圳两个月工作学习期间帮助我的所有老师、朋友，没有他们的大力支持和鼓励，我也不能顺利完成论文。

感谢翟俊老师和颜文涛老师，在论文写作期间，提供了大量的文献资料，并耐心指导我完成了示范工程项目，同时感谢柴宏祥老师在论文撰写和修改期间给我的细心指导，在此衷心表示感谢！

本科班主任邓晓莉老师自从我 2002 年本科入学以来，一直十分关心我的学习和生活，在此衷心向她表示感谢！

感谢我所在课题组的梁建军、刘鸿霞等老师，以及黄莉、戴臻、王韧超等师兄师姐、在我的论文研究阶段给予了很大的帮助，同时感谢同学杨巍、郑伟青、何蔚、张晓虎、李进丰，贺栋才在平时的工作、学习和生活上给予的关心！

我要深深的感谢我的父亲、母亲以及所有的亲人，感谢父母一如既往的付出、没有他们的理解和支持，我也不能顺利完成学业。谨以此论文献给我的亲人。

最后，对参加本文评议、评阅、答辩和对论文提出宝贵意见的所有专家和老师表示真诚的感谢！

杨婧

二〇〇九年四月

参 考 文 献

- [1] 马芸, 鲍世民. 国外绿色建筑发展概况[J]. 中国地产市场, 2006, (4): 68.
- [2] 安泰. 生态建筑、绿色建筑在可持续发展建筑中的定位[J]. 中国科技信息, 2007, (8): 17-18.
- [3] 张卫军, 徐永荣. 上海绿色建筑室外绿化定量评价体系[J]. 华南农业大学学报, 2007, 28(2): 17-20.
- [4] Building Research Establishment. Building Research Establishment Environmental Assessment Method [M]. 1990.
- [5] Michael Ross Jayne, John Mackay. BREEAM provides new and growing opportunities for work for building surveyors [J]. Structural Survey, 1999, 17(1): 18-25.
- [6] Raymond Cole, Nils Larsson. GBC 2000 Assessment Manual. Ottawa: Green Building Challenge [M]. 2000. 85-88.
- [7] 欧阳生春. 美国绿色建筑评价标准 LEED 简介[J]. 建筑科学, 2008, 24(8):1-3.
- [8] LEED for existing buildings upgrades, operations and maintenance[S]. 2005.
- [9] LEED for new construction&major renovations[S]. 2005.
- [10] LEED for commercial interiors[S]. 2005.
- [11] 李路明. 国外绿色建筑评价体系略览[J]. 世界建筑, 2002, (5): 68-70.
- [12] 陆风华, 王伟. 绿色建筑在我国的发展现状及其前景[J]. 山西建筑, 2006, 32(3): 4-5.
- [13] 赵华. 浅谈绿色建筑在我国的应用[J]. 黑龙江科技信息, 2007(4): 203.
- [14] 绿色奥运建筑研究课题组. 绿色奥运建筑评估体系[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [15] 中国城市科学研究会. 绿色建筑 2009[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [16] 中国建筑科学研究院, 等编. 绿色建筑评价标准 GB50378-2006[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [17] 谭伦高, 陈兆基. 生态小区水资源的开源节流[J]. 广东建才, 2006(2): 130-132.
- [18] 中华人民共和国环境保护部. 2006 年中国环境状况公报[Z]. 2007.
- [19] 李启明, 聂筑梅. 现代房地产绿色开发和评价[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2003.
- [20] 聂梅生, 任华, 李军. 生态住区水环境系统规划[J]. 给水排水, 2004, 30(1): 60-63.
- [21] 中国人民解放军总后勤部基建营房. GB50336-2002 建筑中水设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2003.
- [22] J. (Hans) van Leeuwen. Reclaimed water - an untapped resource[J]. Desalination, 1996(106): 233-240.
- [23] Erwin Nolde. Greywater reuse systems for toilet -flushing in multi-storey buildings-over ten years experience in Berlin[J]. Urban Water, 1999(1): 275-284.

- [24] 邓洁, 许世荣. 中水回用及存在的问题[J]. 山西建筑, 2007, 33(15): 176-177.
- [25] 周明, 徐冰峰, 吴国娟. 绿色建筑与中水技术[J]. 有色金属设计, 2006, 33(2): 78-81.
- [26] 徐建华, 史雪霏, 张道方. 分散式小区污水回用分析研究[J]. 环境科学与管理, 2005, 30(5): 29-32.
- [27] 林宪德. 绿色建筑[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [28] 梁鸿杰. 悉尼奥运村中水回用工程[J]. 深圳土木与建筑, 2005, 2(2): 23-25.
- [29] 王波, 崔玲. 从资源视角论城市雨水利用[J]. 城市问题, 2003, (03): 50-53.
- [30] Jeroen Mentens, Dirk Raes, Martin Hermy. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century[J]. Landscape and Urban Planning, 2006, (77): 217-226.
- [31] Anaya M G, Tovar J S. Different Soil Treatments for harvesting Water for Radish Production in the Mexico Valley[M]. Pro. Water Harvesting Symp. Phonemix AZ ARS. W-22USDA, 1975: 315-320.
- [32] 丁跃元. 德国的雨水利用技术[J]. 北京水利, 2002, (6): 38-40.
- [33] Fakt, IRC SA. Europe. 10th International Conference on Rain Water Catchment System[C]. Mannheim (Germany): Margraf Verlag, 2001: 3-297.
- [34] Zaizen M, Telrakaway, Matsumoto H, et al. The collection of rain water from domestic stadiums in Japan[J]. Urban Water, 1999, (1): 355-359.
- [35] Gantner K. Nachhaltigkeit urbaner Regenwasserbewirtschaftungsmethoden Teil Grundlagen[J]. GWF Wasser und Abwasser, 2003, 144(3): 240-247.
- [36] 郭培章, 宋群. 中外节水技术与政策案例研究[M]. 北京, 中国计划出版社, 2003.
- [37] 李湘洲. 美国节水便器与卫生洁具发展的若干动向[J]. 陶瓷, 2006, (2): 5-7.
- [38] 中国建筑科学研究院. 我国的中水回用历程[EB/OL].
<http://www.zhjieneng.net/showart.asp?id=979>, 2007-04-05.
- [39] 孙亚军, 何苗, 孙友峰等. 社区污水再生利用、雨水蓄用与水景观建设技术与集成化策略[J]. 中国给水排水, 2006, (1), 11-15.
- [40] 刘红. 中水工程实例及评析[M]. 北京, 中国建筑工业出版社, 2006.
- [41] 樊凌云, 欧阳球林. 中水回用工程前景探讨[J]. 节水灌溉, 2006(5): 40-42.
- [42] 陈立, 郭兴芳. 绿色建筑水循环安全保障[M]. 北京, 中国建筑工业出版社, 2007.
- [43] 车伍, 李俊奇. 城市雨水利用技术与管理[M]. 北京, 中国建筑工业出版社, 2006.
- [44] 赵生成. 北京奥林匹克公园中区雨洪利用设计[J]. 北京水务, 2006, (5): 22-24.
- [45] 吕伟娅, 张瀛洲, 关丹桔. 聚福园景观用水的循环处理与雨水利用研究[J]. 给水排水, 2002, 28(5): 56-58.
- [46] 曹明. 山水居绿色住区建设新样板[J]. 住宅科技, 2007, (7): 44-45.

- [47] 天津节水器具普及率达到 55% [EB/OL]. <http://www.bjd.com.cn>, 2006-09-01.
- [48] 吴玉. 节能节水建材产品走俏[J]. 建筑装饰材料世界, 2006,(6): 108-109.
- [49] 85%的家庭已装节水器具[EB/OL].<http://news.sina.com.cn>, 2009-03-20.
- [50] 王艳文. 高校体育馆整合设计策略研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
- [51] 何伟骥. 夏热冬冷地区太阳能利用与建筑整合设计策略研究[D]. 浙江: 浙江大学, 2007.
- [52] 何宁. 当代住区整合设计研究[D]. 北京: 清华大学, 2004.
- [53] 王艳文. 高校体育馆整合设计策略研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2004.
- [54] Sim Van Der Ryn. Integral Design[J]. The Design Connection: Energy and Technology in Architecture. Van Nostrand Reinhold Company, 1981: 29-38.
- [55] Topenergy 绿色建筑论坛. 绿色建筑评估[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [56] (美) 伦纳德 R. 贝奇曼, 梁多林译. 整合建筑——建筑学的系统要素[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [57] (美) 冯·贝塔朗菲. 一般系统论——基础、发展和应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1987.
- [58] Eva Sterner. Green Procurement of Buildings Estimation of Environmental Impact and Life Cycle Cost [J]. Doctoral Thesis of Lulea Tekniska University. 2002, (9): 34-37.
- [59] 孙璐. 面向全寿命周期的绿色建筑设计[D]. 天津: 天津大学, 2005.
- [60] 刘星, 石炼. 城市可持续水生态系统初探——以中新天津生态城为例[J]. 城市发展研究, 2008,(1): 41-43.
- [61] C·亚历山大 H·奈斯 A·安尼诺 I·金. 城市设计新理论[M]. 北京: 知识产权出版社, 2002, 5: 3.
- [62] 布赖恩·爱德华兹著, 周玉鹏, 宋晔皓译. 可持续性建筑[M]. 第二版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [63] 夏海山. 城市建筑的生态转型与整体设计[M]. 南京: 东南大学出版社, 2006.
- [64] 国际建协. 北京宣言[J]. 新建筑, 1999,(1): 4.
- [65] 郭生练. 气候变化与水面蒸发计算[J]. 武汉水利电力大学学报, 1994, 27(1): 99.
- [66] 上海市建设和管理委员会 GB50015-2003, 建筑给水排水设计规范[S].
- [67] 赵锂. 《民用建筑节能设计标准》编制要点[J]. 建设科技, 2008, (07): 102-103.
- [68] 赵姝丽, 陈玉丽. 民用建筑节能措施研究[J]. 节能, 2005, (6): 47-49.
- [69] Edwards K, Martin L, Cook R, *et al.* A methodology for surveying domestic water consumption [J]. J CIWEM, 1995, 9 (10): 477-488.
- [70] 董辅祥, 董欣东. 城市与工业节约用水理论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [71] 中国国家质量监督检验检疫总局. GB/T18920-2002 城市污水再生利用城市杂用水水质[S], 2002.
- [72] 中国国家质量监督检验检疫总局. GB/T18921-2002 城市污水再生利用景观环境用水水质

- [S], 2002.
- [73] 柴宏祥. 绿色建筑节水技术体系与全生命周期综合效益研究[D]. 重庆大学博士论文, 2008.
- [74] 苟红英. 绿色居住小区节水与水资源利用技术研究[D]. 重庆大学硕士论文, 2007.
- [75] 柴宏祥, 何强, 张丽. 绿色建筑小区景观水体水质安全保障技术[A]. 第六届亚太地区基础设施发展部长级论坛暨第二届中国城镇水务发展国际研讨会论文集[C].北京: 2007, 786-790.
- [76] 中国国家质量监督检验检疫总局. GB 50400-2006 建筑与小区雨水利用工程技术规范[S], 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [77] Ben Urbonas, et al. Stormwater: best management practices and detention for water quality, drainage, and CSO management[M]. 1993, 382-389.
- [78] Sherwood C, et al. Natural Systems for Waste Management and Treatment[M]. 1995, 265-268.

附 录

作者在攻读硕士学位期间发表的论文

- [1] 何强,杨婧,夏冰雪.中国东部小城镇污水处理技术在西部的适用性分析.土木建筑与环境工程 (已录用未发表)

