[文章编号]1002-8528(2007)02-0096-05

# 住宅建筑水资源综合利用及水环境改善案例

陈和平[1] ,车　伍[2] ,李俊奇[2] ,张　炜[2]
(1. 中国深圳出入境检验检疫局 ,深圳 518045 ;2. 北京建筑工程学院 ,北京 100044)

[摘　要] 以北京某住宅区为例 ,对城市住宅建筑区雨水、污水资源的综合利用系统作了简要介绍 ,重点对该小区水系统原有设计方案及人工湖存在的问题、所采用的改进设计方案进行了分析和比较 ,对采取的改进措施、效果和不足作了讨论 ,提出建议。为城市住宅建筑区雨水、污水资源综合利用及水系统的合理设计提供借鉴。

[关键词] 住区 ;水资源 ;水环境 ;雨水 ;再生水 ;利用
[中图分类号] TU-023 ;TU991. 11　　[文献标识码] A

## Water Resources Comprehensive Application in Urban Residential Building District

*CHEN He-ping*[1] , *CHE Wu*[2] , *LI Jun-qi*[2] , *ZHANG Wei*[2] (1. *Shenzhen Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau* , *Shenzhen* 518045 , *China* ; 2. *Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture* , *Beijing* 100044 , *China*)

[**Abstract**] In this paper , taking the residential building district in Beijing as an example , the water resources comprehensive application was briefly introduced. This is followed by analyzing problems and related improved design strategies of old design scheme and man-made lake , also the improved measures , effectiveness and disadvantages were discussed. It could be believed that the issues presented in this paper would be beneficial for the water resources comprehensive application and the water system reasonable design in urban residential building district.

[**Keywords**] residential building district ;water resources ;water environment ;rainfall ;reclaimed water ;application

## 1　住区设计概况

该住宅建筑区位于北京郊区的潮白河西岸。一期工程总占地面积是 29hm$^2$ ,其中:住宅用地为 3. 9hm$^2$ ,道路(含广场和停车场)用地为 6. 0hm$^2$ ,绿化用地为 15. 30hm$^2$ ,人工湖占地 3. 8hm$^2$ 。住宅楼为地上 2. 5～4. 5 层 ,地下 1 层。

地下水位埋深 3. 4～4. 8m ,场地土层 15m 内主要为潮白河冲积形成的砂层 ,渗透性能好 ,但整个地势较低 ,防洪排涝压力大。

该小区周围无市政雨水、污水管线 ,生活污水经生物接触氧化、过滤等工艺处理后排入人工湖 ,雨水通过雨水管系统排入人工湖 ,再从人工湖中抽水用于小区绿地灌溉。

该小区二、三期工程占地面积约为 205hm$^2$ ,人工湖面积为 16hm$^2$ ,高尔夫球场为 66. 7hm$^2$ ,喷灌用水也从人工湖中取水。

[收稿日期] 2006-10-10
[作者简介] 陈和平(1954-) ,男 ,硕士 ,工程师
[联系方式] chenheping13168 @163. com

## 2　原有设计方案存在的主要问题

该工程已经完成水系统的设计 ,景观湖已竣工 ,但原设计方案存在一些问题:

1) 雨水采用传统的管道系统收集和排放 ,造价高 ,施工量大 ;受高程限制 ,入湖管道末端在水位之下 ,雨季湖水水位上升对排水不利。没有充分考虑利用自然地形、地势组织地面排水。

2) 小区内绿化、高尔夫球场和人工湖耗水量很大 ,但小区内大量的雨水资源流失 ,没有得到充分利用 ,增大小区排洪压力 ,对大环境也造成不利影响。

3) 已建成的景观湖采用完全硬化的堤岸 ,缺少水生植物和其它生物 ,缺乏流动和循环 ,自净能力低、生态功能脆弱 ,水深不足 0. 8m ,容易发生富营养化 ,导致水质恶化。

4) 污水处理站出水中的残余污染物和雨水径流带来的污染物不断对湖水水质构成威胁。

经过综合分析 ,需要对原设计方案进行修改 ,重点解决以下问题:

1) 充分利用自然地形、地势布置雨水收集排放

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

系统,处理好与二期工程水系的关系,保证一定的排洪标准,并尽量减少施工量和工程造价。

2)安全有效地充分利用小区内的雨污水资源,改善小区和周边环境,有效地控制雨污水中的污染物,保障景观湖的水质。

3)解决景观湖完全硬化的堤岸设计、缺乏水生动植物赖以生存的条件和生态功能脆弱、水质恶化等问题,进行适当的改造。

4)将小区内的雨水、再生水、景观水体、绿化和景观等有机的结合,进行综合性的生态化设计,保持整个水环境的协调和持续稳定性。

因此,该项目是一个复杂的系统工程。

## 3　改进设计方案

### 3.1　总体方案流程及设计要点

针对上述问题,在控制资金额的前提下,经与甲方充分讨论和方案比较,提出图 1 所示综合性技术方案。

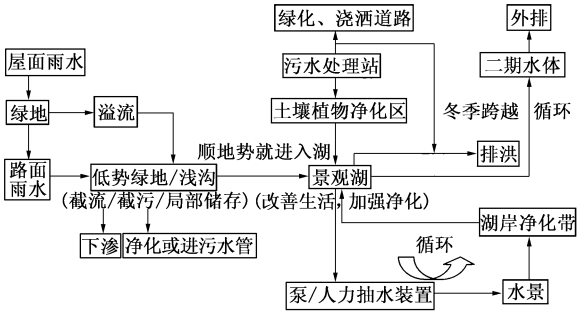


图 1　水系统关键技术措施及总体方案

以景观湖为核心,以截污截流、循环、生态修复、"自然净化"和"自然排放"为关键技术手段进行综合性设计,实现景观湖水质保障、雨污水资源综合利用、排洪防涝、景观效果等多目标。

### 3.2　水量平衡计算

为了最大限度地减少小区排放水量,有效地利用雨污水资源,首先对一期工程进行水量平衡分析:

1)年可利用总水量

小区再生水量为:

$V_1 = 540\text{m}^3/\text{d} = 1.62$ 万 $\text{m}^3$/月 $= 19.44$ 万 $\text{m}^3$/年

小区年均径流雨水量为:

$V_2 = \Psi \times H \times A$

其中,$A$ 为汇流面积,$\text{m}^2$;$H$ 为年均降雨量,按 571.8mm 计;$\Psi$ 为径流系数,$\Psi = (3.9 \times 0.9 + 6 \times 0.8 + 15.3 \times 0.15 + 3.8 \times 1.0)/29 = 0.5$。

该小区总占地面积为 $29 \times 10^4\ \text{m}^2$,故该小区年均雨水径流量为:

$V_2 = 0.5 \times 571.8 \times 10^{-3} \times 29 \times 10^4 = 8.3$ 万 $\text{m}^3$

年可利用总水量为:

$V' = V_1 + V_2 = 19.44 + 8.3 = 27.74$ 万 $\text{m}^3$

2)年均用水量估算

绿化用水量为:

$V_3 = 153000 \times (0.001 \times 180 + 0.003 \times 180)$

$= 11$ 万 $\text{m}^3$/年

喷洒道路用水量为:

$V_4 = 60000 \times 0.0005 \times 360 = 1.08$ 万 $\text{m}^3$/年

人工湖蒸发水量为:

景观水体的平均水深 0.8m,$38000 \times 0.8 = 3.04$ 万 $\text{m}^3$。景观水体面积为 $3.8\text{hm}^2$,蒸发按 1802.5mm/年计,则每年水面蒸发量为

$V_5 = 38000 \times 1802.5 \times 10^{-3} = 6.85$ 万 $\text{m}^3$/年

年用水总量为:

$V'' = V_3 + V_4 + V_5 = 18.93$ 万 $\text{m}^3$

损失量:

损失量按 $(V_3 + V_4 + V_5)$ 的 10 %计,

$V''' = 0.1 \times (V_3 + V_4 + V_5) = 1.89$ 万 $\text{m}^3$

3)盈亏水量分析

$V = V' - V'' - V''' = 27.74 - 18.93 - 1.89 = 6.92$ 万 $\text{m}^3$。

按照北京市多年月均降雨和蒸发量统计资料,按月均水量平衡分析见表 1。

如表 1 所示,本方案中该小区人工湖补水以径流雨水为主,雨水量不足时,考虑用再生水补水;再生水主要用于绿化和喷洒道路。以雨水作为人工湖的补充水源,年雨水利用量为 6.4 万 $\text{m}^3$/年(见第 2、4 列)。为了保证人工湖水位处于常水位,2～6 月需要用再生水补水(见第 5 列)。考虑到冬季人工湖水面冰冻,补水时间定为 3～6 月。小区 5、6 月份的可利用再生水量不能同时满足绿化、喷洒道路和人工湖补水用水量,应适当调整绿化和喷洒道路用水量用于补充人工湖,保证人工湖的正常运行(见第 6、7 列),年再生水利用量为 14 万 $\text{m}^3$/年(见第 8 列)。

该水量平衡是基于理论计算,由于降雨的不均匀性,实际运行时应根据降雨和湖水水位具体情况调整补水方案。用再生水补水时需经植物土壤净化

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

处理后进入水体,不补水时也可将人工湖水提升至植物土壤净化系统进行处理,实现水体自身的循环净化,有利于人工湖的水质保障。

表1 月均水量平衡分析表

| 月份 | 雨水径流量/($m^3$/月) | 蒸发量+损失量/($m^3$/月) | 人工湖外排水量/($m^3$/月) | 人工湖需补充水量/($m^3$/月) | 再生水补充人工湖用水量/($m^3$/月) | 绿地浇灌和喷洒道路用水量+损失量/($m^3$/月) | 再生水用量/($m^3$/月) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 以溢流水位为准 | 以常水位为准 | | | |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) |
| 5月 | 4959 | 9907 | 0 | 4948 | 3450 | 12750 | 16200 |
| 6月 | 11325 | 12206 | 0 | 881 | 882 | 15318 | 16200 |
| 7月 | 26854 | 11453 | 4001 | 0 | 0 | 16137 | 16137 |
| 8月 | 23157 | 8360 | 14797 | 0 | 0 | 16137 | 16137 |
| 9月 | 6598 | 6855 | 0 | 0 | 0 | 16137 | 16137 |
| 10月 | 3161 | 6479 | 0 | 0 | 0 | 16137 | 16137 |
| 11月 | 1073 | 5225 | 0 | 0 | 0 | 6039 | 6039 |
| 12月 | 406 | 3177 | 0 | 0 | 0 | 6039 | 6039 |
| 1月 | 392 | 1108 | 0 | 0 | 0 | 6039 | 6039 |
| 2月 | 711 | 2299 | 0 | 1404 | 0 | 6039 | 6039 |
| 3月 | 1204 | 2842 | 0 | 1639 | 3450 | 6039 | 9489 |
| 4月 | 3074 | 5434 | 0 | 2360 | 3450 | 6039 | 9489 |
| 总计 | 82911 | 75345 | 18798 | 11232 | 11232 | 128850 | 140082 |

注:1)绿化用水量5～10月按3L/($m^2$·d)计,11～4月按1L/($m^2$·d)计,面积为15.3$hm^2$;喷洒道路用水量按0.5 L/($m^2$·d)计;2)一个月按30天计,一年按360天计;3)人工湖调蓄高度为0.3m,即溢流水位高于常水位0.3m。

### 3.3 再生水植物土壤净化

污水处理站出水是小区水体稳定的补充水源,但因水体功能脆弱,自净能力低,处理站出水仍含有N、P等少量污染物,对湖水构成潜在威胁。设计约600$m^2$的土壤/植物渗滤净化系统,依靠具有强净化能力的人工混合土壤、植物根系和土壤中丰富的生物种群对补充湖水的再生水作进一步深度处理,使其达到优良水质。整个处理系统外观设计呈自然坡地,生长繁密的芦苇、美人蕉等亲水植物,净化后清澈的水通过绿地上自然弯曲的水沟流往人工湖,构成一幅自然景观。

### 3.4 雨水渗透

根据水量平衡计算,小区还有大量的雨水外排,因此考虑采用渗透措施让部分雨水下渗补充地下水资源,减少湖的调蓄容积或外排水量。因小区绿化面积较大,土壤渗透性能好,故考虑主要利用绿地进行渗透。在雨水径流量相对集中的地方,做少量的地下渗沟(trench)进行调蓄,增加渗透量。

土壤渗透系数根据现场实测数据确定,如图2所示。从图可见,土壤的渗透能力随时间的延续而降低,最后趋于稳定,该稳定值为土壤稳定渗透系数$K$,取0.25cm/min。

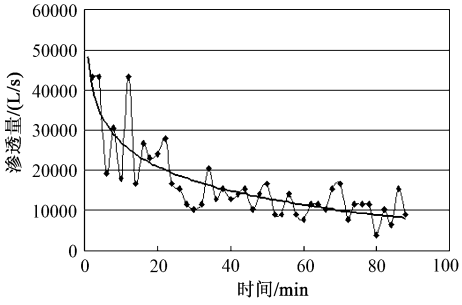


图2 实测小区土壤渗透能力

计算表明(略),小区绿地具有足够大的渗透容量。考虑到绿地的实际分布情况,在降雨过程中,只是部分绿地可利用接纳屋面和路面的雨水径流。

如果将接纳屋面、路面雨水径流的绿地设计成落差为10cm的低势绿地,还可以增加约1000$m^3$的储存量。依此计算,对重现期为0.5年的降雨,仅利用部分低势绿地就比传统雨水排放方案的外排雨水量减少约40%。

### 3.5 雨水收集、输送与污染控制系统

由于该小区建筑和道路环绕人工湖布局,向湖面方向约有0.3%～1%的地面坡度,有利于组织雨水的地面收集排放,因此放弃原有雨水管道系统设计方案。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1) 屋面雨水就近汇入建筑附近的低势绿地,低势绿地按低于路面 10cm 设计,达到削减雨水径流量、去除初期雨水污染物和节约绿化用水的目的。低势绿地溢流口或自然坡面与输送排放雨水的植被浅沟(swale)连通,避免局部过量积水。

2) 路面和停车场雨水首先汇入附近低势绿地、带状绿化截污带或路边浅沟,对初期雨水径流进行截流、截污后向湖内输送排放。

对污染量较大的集中停车场,在排水沟内设计特制初期雨水自动弃流装置,将污染的初期雨水分流,通过小区污水管系统进入中水处理站。在流量较集中的排水区域,还设置浅沟底部碎石储存空间和三处雨水储存池,并设置提水景观设施,增加补充地下水量,改善局部景观效果。

3) 小区汇集的雨水经源头截流截污后,通过绿地中自然弯曲的多条自然植被浅沟就近汇入人工湖。在入湖口前的沟内设置简易格栅,去除落叶等大块杂物,同时利用环湖步行道边的低势绿地对集中汇流起到进一步截流、截污和缓冲的作用,保护景观湖并改善绿地生长条件。

### 3.6　湖体改造与景观水循环

由于人工湖已经竣工,为避免增加过多工程量和投资,采取以下措施改善湖体生态状况:

1) 设计多处潜水泵增加湖水循环流动,兼顾湖水供氧和景观。

2) 配合湖水循环系统,利用湖边绿地设计多处湖岸人工湿地生态净化区,对湖水中的污染物进一步吸收净化,改善湖岸景观。

3) 增设湖内植物浮岛和水边的水生植物区,改善湖体自身的生态功能,提供一定的自净能力,也为各种水生物和鸟类提供必要的觅食、栖息的场所,使人工湖更具生机,改善湖体整体景观效果。

4) 设计一期湖与二期湖的循环通路。

5) 适当地养殖鲢鳙等鱼类,抑制藻类。

### 3.7　排洪安全与设计

在雨水截流和充分利用景观湖调蓄能力的基础上设计小区一期工程的排洪渠,可削减排洪渠建设费用,同时满足或提高小区排洪设计标准。

由于一期工程建筑物最低点高程为来访中心楼,控制标高为 25.20m。一期湖设计常水位为 24.8m,设计洪水位为 25.15m。即人工湖可利用的调蓄容积约 13000$m^3$,加上绿地渗透及其调蓄量,对重现期 $P = 1$ 的 2h 降雨量,可实现小区雨水零排放。

为提高小区的排洪标准,在景观湖东侧设置溢洪口,按重现期 $P = 5$ 设计。排洪渠总长为 500m,与二期水体相接,再由二期的总排洪口进入外界的排洪系统。

## 4　费用与效果分析

表 2 列出所采用的改进设计方案与原排水设计方案的比较结果。两个方案的投资额为粗略估算,原排水设计方案的投资额只包括雨水管道部分。

表 2　方案比较

| 项目 | 原排水设计方案 | 改进设计方案 |
|---|---|---|
| 设计特点 | 传统雨水管线;再生水直接入湖,存在水体富营养化的威胁 | 采用生态设计,改善湖的生态和水质;雨水截污、净化、渗透、利用和自然排放进行综合考虑;再生水自然净化后入湖,减少污染源 |
| 优点 | 雨水排除较隐蔽;施工过程单一 | 水质有保障;改善小区水环境,雨水渗透与利用量更多 |
| 主要不足 | 湖体生态功能差,水质无保障 | 对小区管理要求提高 |
| 投资/万元 | 150 | 130 |
| 综合评价 | 差 | 好 |

实际运行情况:

1) 经过土壤渗滤和湿地系统净化的湖水水质明显改善,但已发生富营养化的湖水容易造成土壤的堵塞,使渗滤系统的渗透能力很快下降。

2) 经过三个雨季降雨检验(包括几十年一遇的特大暴雨),低势绿地渗透对消纳雨水径流效果显著,浅沟集水输送系统排水通畅,无积水现象。包括人工湖在内的小区蓄洪、排洪能力明显提高,无水涝隐患。

3) 初期雨水经绿地浅沟截污,入湖雨水径流水质大大改善,有效地控制人工湖的面源污染。

4) 土壤净化区、小湿地和湖内的生物浮岛植物长势良好,改善了人工湖景观效果,吸引翠鸟等水鸟的光临。

5) 通过部分实施措施(包括上述措施和加大水循环、养鱼等),湖水水质明显改善。

## 5　不足与建议

1) 由于湖中的内源污染物和施工过程不断带入

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的污染,2002年和2003年5月初(改进设计方案措施尚未实施),湖水发生较严重的"水华"。湖体的污染状况比预想的情况更严重。

2)由于仅有部分居民入住,再生水量距设计水量相差甚远,再生水水源不足。

3)改造工程为了控制投资,设计的循环水量、净化区和湖内的水生植物浮岛相对湖的面积规模都太小,实际循环水量也明显不足。

4)当湖水发生"水华",藻类对土壤容易造成堵塞,应采取其它临时性杀藻措施(如投加杀藻剂)。已出现富营养化的湖水不宜用土壤过滤净化措施,可采用地表漫流、湿地或其它净化系统。

5)必要时,可对湖内的污染源(底泥和湖水)进行彻底清理。

6)严格控制和管理绿化用化肥或农药;严格小区环境管理,杜绝新的污染源,对施工过程的污染控制不好会给小区水体带来很大的麻烦。

7)应在设计阶段解决好住宅建筑区的水环境规划设计,包括水体规模、构造、雨水收集利用、污染源控制和水质保障等。出现严重问题后再进行改造代价高,困难大。

鉴于一期工程的经验,在该住宅建筑区二期工程的更大范围内对雨水利用与水环境系统进行了综合性设计,基本技术思路和工程措施如图1所示。由于从开始就进行新的综合性设计,避免了许多问题,达到比一期工程更显著的雨水资源利用和更好的水环境效果。目前正在进行三期工程的设计。

## [参考文献]

[1] 车武,欧岚,孟光辉,等.屋面雨水土壤层渗透净化研究[J].给水排水,2001,27(9):38～41.

[2] 车伍,李俊奇.生态住宅小区雨水利用与水景观系统-案例分析[J].城市环境与城市生态,2002,15(5):34～36.

[3] Che Wu. The quality and major influencing factors of runoff in Beijing's urban area[C]. 10th International Conference on Rainwater Catchments Systems, Fakt and IRCSA/Europe, Mannheim(Germany), 2001, 13～16.

[4] Che W, Liu Y, Li JQ. Flush model of runoff on urban non-point source pollutants and analysis [J]. Water and Environmental Management Series, Water in China, 2003, 143～150.

(上接第83页)

## [参考文献]

[1] 黄翔.面向环保、节能、经济及室内空气品质联合挑战的蒸发冷却技术[J].建筑热能与通风空调,2003,22(4):1-33.

[2] Mysen M, Schild PG, Hellstrand V. Evaluation of simplified ventilation system with direct air supply through the facade in a school in a cold climate[J]. Energy and Buildings, 2005, 37(2):157～166.

[3] Anu Palmer, Rosie Rawlings. Building-related Sickness [M]. The Chameleon Press Ltd, 2002.

[4] 樊耀峰.相变材料纳微胶囊的制备、耐热性能和过冷现象研究[D].天津:天津工业大学,2003.

[5] Pacheco JE, Praive MR, et al. Journal of Solar Energy Engineering, 1993, 115(3), 123～129.

[6] 杨瑞,金招芬,张寅平,等.纳米光催化材料在空调领域中的应用[J].暖通空调,2001,31(1):42～45.

[7] Jouni JK, Jakola Leenam, ReinikainenOlli P, et al. Indoor air quality requirements for healthy office buildings: Recommendations based on an epidemiologic study [J]. Environment International, 1991, 17(4): 371～378.

[8] AATCC Test Method 100～1999, Antibacterial Finishes on Textile Materials [S]. The American Association of Textile Chemists and Colorists, 1999.

[9] 杨瑞,张寅平,王新坷,等.纳米光催化空气滤网处理空气中微量甲苯效果的实验研究[J].暖通空调,2003,33(5):28～31.

[10] 马秀力,肖勇全,李彬,等.建筑围护结构的综合节能及经济性分析[J].工业建筑,2006,36(1):19～21.

[11] Hadjieva M, Stoykov R, Filipova Tz. Renewable Energy, 19(2000): 111～115.

[12] Hadjieva M, Stoykov R, Filipova Tz. EuroSun98 Ⅳ (2. 11～1).

[13] Hadjieva M, Filipova Tz, Stoykov R, et al. IEA. Annex 10: Phase change materials and chemical reactions for thermal energy storage 6th workshop[R]. Sweden: Stockholm, 22～24 December 2000.

[14] 陆耀庆.实用供热空调设计手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1993.

[15] 赵荣义,范存养,钱以明,等.空气调节[M].北京:中国建筑工业出版社,1994.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net