城市小学校园雨水利用规模与效益分析

张丽峰，徐得潜
（合肥工业大学 土木与水利工程学院，安徽 合肥，230009）

摘　要：雨水收集利用，具有开发水源、滞洪、蓄洪、美化环境等多重功能。学校雨水可收集范围大，冲厕、绿化浇灌用水用量较大，可优先作为雨水利用示范区域。以合肥市某小学为例，依据多年日降雨数据记录，利用 MATLAB 软件编程进行水量日平衡法模拟，从水量平衡、经济性角度计算出最佳的蓄水池容积、雨水利用率及自来水替代率等利用能力指标，分析评价了雨水利用规模和效益。随着水资源日益紧缺，面源污染的加剧，学校雨水利用具有较好的节水意义和发展前景。

关键词：雨水收集；蓄水池容积；学校雨水利用；效益分析
中图分类号：TU991.11　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1672-643X(2012)04-0164-03

Scale and benefit of rainwater utilization in primary school campus

ZHANG Lifeng , XU Deqian
(*School of Civil and Hydraulic Engineering*, *Hefei University of Technology*, *Hefei* 230009, *China*)

Abstract: The rainwater utilization possesses multiple functions as water sources exploration, flood detention, flood storage, and environment beautification. Since there is a great need of water for toilet-flushing, irrigation of gardening campus, and the rainwater collecting area on campus is large, so it can be identified as the exemplary zone for rainwater utilization. This research imitated the daily water balance method by using MATLAB programming and based on the daily rainfall data records in a primary school of Hefei. The reasonable reservoir volume, rate of rainwater utilization and tap water substitution were determined from the perspectives of water balance, economical efficiency, the scale and benefit of campus rainwater utilization. With the ever increasing scarcity of water resources and the water pollution, rainwater utilization in school campus has a great water saving significance and developing prospect of development.

Key words: rainwater colection; reservoir volume; rainwater utilization in sohool; benefit analysis

0　引　言

合肥市处亚热带与暖温带的过渡地带，多年平均降雨量 991.8 mm，降水的季节变化较明显：春季(3－5 月)26.6%，夏季(6－8 月)44.0%，秋季(9－11 月)18.9%，冬季(12－2 月)10.5%。降雨量较为充沛，适合进行雨水利用。学校雨水可收集范围较大，冲厕等用水量集中，绿化用水量较大，台湾有较多的实例，但国内雨水利用尚未产业化，学校的雨水利用仍停留在示范和探索阶段[1-2]。本文对学校雨水利用系统进行了设计，利用 1997－2004 年各年的逐日降雨量资料及用水量资料、汇水面积、雨量径流系数，对雨水利用系统的工况进行逐日模拟，可以得到合理蓄水池容积，并进行了经济性分析。

1　工程概况

某小学总用地面积 2.99 hm^2，学生 2 700 人，建筑占地面积 4 838 m^2，生态景观绿地面积 1.32 hm^2，道路面积 4 101 m^2，体育场地面积 7 761 m^2（其中足球人工草场地 4 131 m^2）。

雨水利用设计：收集教学楼 A、B、C 及行政楼 D、体育馆 E 的屋面雨水并收集场地雨水（乒乓球场、篮球场及足球场），屋面雨水和场地雨水均经过初期弃流井进行初期弃流。场地雨水经沉淀过滤池再流入储水池中。路面设置高于周围绿地，设计低势绿地与下排水系统，使路面雨水自然流入绿地或植被草沟中，进行净化，设置溢流井，较大降雨溢流至市政雨水管道。建筑布局及雨水收集回用管线见图 1。

收稿日期：2012-02-08；　**修回日期**：2012-04-04
作者简介：张丽峰(1986-)，女，黑龙江双城人，硕士研究生，研究方向：城镇给水排水工程与技术。

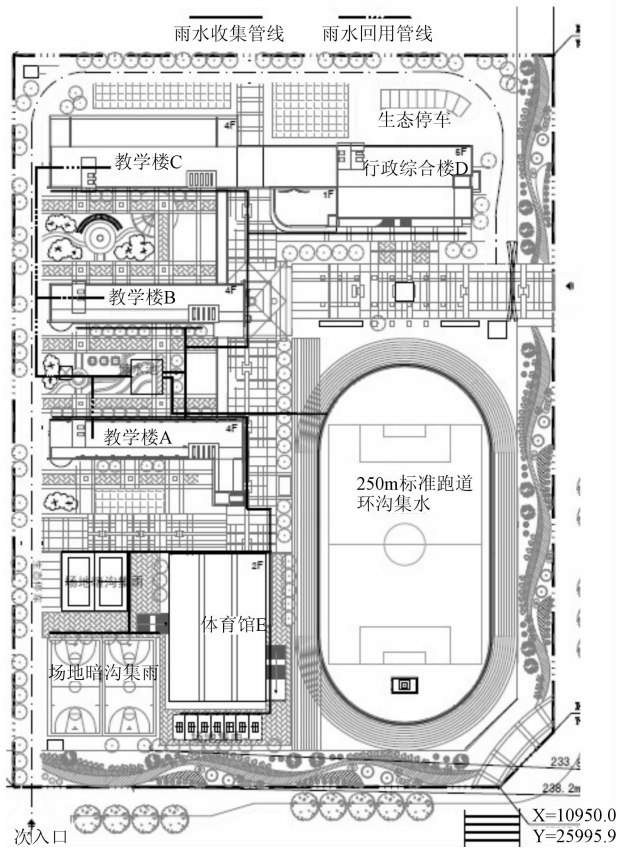

图 1　雨水收集回用管网布置示意图

2　水量平衡分析

2.1　用水量分析

某小学日雨水利用量拟包括绿化用水量和冲厕用水量:由建筑给水排水规范,绿化用水量 2 L/(m^2 · d),小学冲厕用水量 15 L/(人 · d)。考虑绿化月份为 3 月 –11 月,雨天不需绿化。考虑寒暑假基本不冲厕,寒假 2 月份,暑假 7 月中旬到 8 月底。

Q_1 = 用水量标准 [2L/(m^2 · d)] × 绿化面积

= 2.0 × 13 200 = 26.4 m^3/d

Q_2 = 15 × 2 700 = 40.5 m^3/d

2.2　月水量平衡分析

根据月水量平衡分析结果,可初步判断雨水收集回用方案的合理性,如需调整,则需要将新的利用方案重新进行水量平衡分析。可收集雨水量按式 $W = 10\psi_c h_y F_i$ 计算[4],考虑每次降雨初期弃流 2 mm,月降雨量为合肥 1989 – 2009 年的月平均降雨量,校园雨水收集汇水面积及径流系数见表 1,分析结果详见表 2。

2.3　日水量平衡分析

用 Matlab 软件编写程序进行模拟计算,程序框图见参考文献[4]。

(1)将日降雨量数据、日用水量数据、弃流深度、汇水面积与径流系数、容积范围和步长等数据输入程序(考虑降雨随机性,降雨量一般为 10 年数据);

(2)运行程序模拟计算每日的水量收支平衡,得出每年不同存储容积下的年雨水收集量、年雨水利用量、雨水利用率和自来水替代率;

(3)绘制蓄水池容积与雨水利用率、自来水替代率、年雨水利用量关系曲线;

(4)由曲线初步确定较优的蓄水池容积;

(5)经济效益分析,校核并确定蓄水池的经济规模。

表 1　某小学雨水收集汇水面积及径流系数　　m^2

下垫面类型	面积	径流系数 ψ_c
A、B、C、D、E 屋面	4838	0.9
场地(乒乓球场、篮球场、羽毛球场、足球场跑道)	3630	0.9
足球场人工草地	4131	0.75
总　计	12599	0.85

表 2　月水量平衡表　　mm, d, m^3

月份	月降雨量 h_y	降水日数	可收集雨水量	绿化用水量	冲厕用水量	水量合计
1	48.0	9	321.3	0	1255.5	–934.2
2	55.4	8	421.9	0	0	421.9
3	79.7	10	639.3	554.4	1255.5	–1170.6
4	82.6	11	649.0	501.6	1215.0	–1067.6
5	86.6	11	691.8	528.0	1255.5	–1091.7
6	152.4	11	1396.5	501.6	1215.0	–320.13
7	155.6	9	1473.6	580.8	607.5	285.3
8	137.8	12	1218.7	501.6	0	743.5
9	56.3	6	474.4	633.6	1215.0	–1441.1
10	42.2	8	280.58	607.2	1255.5	–1515.2
11	59.6	7	488.34	607.2	1215.0	–1400.8
12	35.6	7	231.32	0	1255.5	–983.7
合计	991.8	109	8286.74	5016.0	11745.0	–8474.3

利用 1997 – 2004 年各年的逐日降雨量资料及用水量资料、汇水面积、雨量径流系数,蓄水池容积计算取值范围在 100 ~ 2 000 m^3,步长为 50。分析 1997 – 2004 各年的蓄水池容积与雨水利用率、自来水替代率、年雨水利用量关系曲线,如图 2、图 3 所示为 1999 年份(接近多年平均降雨量)的相关曲线。初步设定蓄水池容积为 300 m^3。

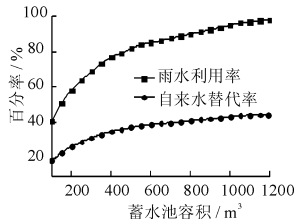

图 2 蓄水池容积与雨水利用率、自来水替代率关系曲线

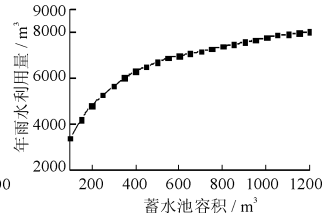

图 3 蓄水池容积与雨水利用量关系曲线

3 经济效益分析

3.1 经济效益

包括直接效益和间接效益两部分。直接效益为雨水利用节约的水费。间接效益包括消除污染而减少的社会损失和节省城市排水设施的运行费用两部分。

雨水替代自来水收益:目前合肥市阶梯水价分为三级用水基数,其中第一级为 12 t 以下,第二级为 12 ~ 20 t,第三级为 20 t 以上。一级水价为每吨 2.31元,二级为每吨 2.77 元,三级为每吨 3.79 元。按 2.31 元,雨水回用年节约水费为年雨水利用量与当前水价乘积。

消除污染而减少的社会损失:为消除污染每投入 1 元可减少的环境资源损失是 3 元,即投入产出比为 1: 3[5]。国家环境保护部《排污费征收标准管理办法》规定:污水排污费按排污者排放污染物的种类、数量以污染当量计征,每一污染当量征收标准为 0.7 元。则:消除污染而减少的社会损失 = 年雨水利用量 ×0.7 ×3。

节省城市排水设施的运行费用。城市排水设施中,每立方米的管网运行费用为 0.08 元,则:节省的城市排水设施运行费用 = 年雨水利用量 ×0.08。

3.2 投资与成本分析

固定资产投资包括土建工程费用(含构筑物和管道等)、设备及安装工程费和其他工程费等。年总成本包括年运营成本及折旧费。年运营成本包括动力费,药剂消耗费,维护管理费[6]。不锈钢水箱按 1 000 元/m^3;水泵功率 3 kW,流量 Q = 8.8 m^3/h,扬程 H =33 m,市场价格约 1 000 元,水泵工作时间按每天 4 h。

3.3 效益计算结果及储水池容积选择

效益计算结果见表 3,随着水价的上涨,直接效益费用比必将大于 1,可以选择蓄水池容积较小的 300 m^3,即蓄水池设计降雨量 28.0 mm。该容积下不同年份的雨水利用情况详见表 4。

表 3 年雨水利用量与投资效益分析 m^3, %, mm, 万元

蓄水池容积	雨水利用率	自来水替代率	年雨水利用量	蓄水池设计降雨量	运行日数	满蓄次数	固定资产总投资	年运营成本	年直接效益	年间接效益	寿命期内总费用现值	静态直接效益/费用
200	58.28	26.73	4798.24	18.7	108	18	19.6	0.50	1.11	1.05	25.78	0.96
250	63.97	29.34	5266.49	23.3	116	18	22.1	0.53	1.22	1.15	28.77	0.96
300	68.82	31.57	5666.49	28.0	124	16	24.5	0.57	1.31	1.24	31.62	0.94
400	76.65	35.16	6310.72	37.4	136	15	29.0	0.62	1.46	1.38	36.77	0.92
500	81.51	37.39	6710.72	46.7	144	13	33.2	0.66	1.55	1.46	41.38	0.88
600	84.90	38.94	6990.20	56.0	148	11	37.1	0.68	1.61	1.52	45.55	0.84
700	87.33	40.06	7190.20	65.4	151	11	40.9	0.69	1.66	1.57	49.48	0.81
800	89.76	41.17	7390.20	74.7	156	9	44.5	0.71	1.71	1.61	53.35	0.78

表 4 某小学不同年份的雨水利用情况(V = 300 m^3) mm, m^3, %

年份	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997
年降雨量	811.00	1353.80	1074.90	808.00	967.00	999.60	1133.20	767.70
年雨水利用量	5154.10	7742.22	5907.56	4766.07	5049.94	5666.49	6762.43	5091.42
雨水利用率	78.65	67.57	67.46	73.99	62.99	68.82	71.20	86.82
自来水替代率	28.72	43.13	32.91	26.55	28.13	31.57	37.68	28.37

4 结 语

(1)本次设计的雨水利用系统主要投资为贮水池投资,年运营成本较低,社会环境效益方面优势明显,但相对当前水价从直接利益方面并无较大优势。随着水资源日益紧缺,面源污染加剧,建议初期政府可给予部分优惠以鼓励雨水利用的开展。

(下转第 170 页)

图 1 建筑群三维模型

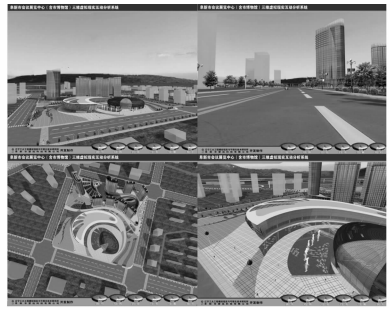

图 2 三维动态分析系统截图

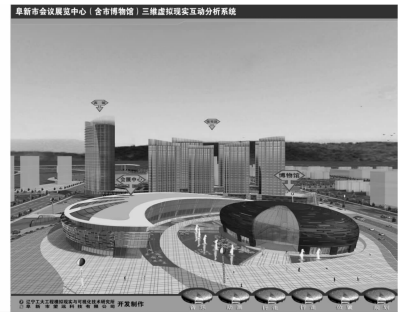

图 3 三维互动分析系统截图

5 结 语

虚拟现实技术是一项新兴的技术,虚拟现实技术在城市建筑规划和设计领域有着广阔的应用前景。本文结合阜新市会展中心建筑群三维动态分析系统开发实例,研究了虚拟现实(VR)技术在大型公共建筑规划论证分析中的应用,得到以下结论:

(1)虚拟现实(VR)技术是实现信息化、智能化、空间可视化、科学规划管理的有效途径。

(2) 城市建筑特别是大型公共建筑有着高标准、要求严格、公众参与等特点,虚拟现实(VR)技术为实现科学规划论证和设计提供了有力的技术保证。

(3)虚拟现实(VR)技术在实时互动、信息查询、全方位可视化等方面在城市建筑规划领域显现出其它技术无可比拟的优势。

(4)虚拟现实(VR)技术创造的沉浸感和接近真实的画质,丰富的交互和信息储备,使得其在建筑及及其领域会有广阔的应用前景。

(5) 目前的虚拟现实技术还有待于发展。实现从概念设计或工程可行性方案到建筑设计、结构设计、工程造价、施工方案选择的全程智能实现系统是广大工程设计人员和工程管理人员的共同理想。

参考文献:

[1] 陈秉钊. 城市规划规划科学性再认识[J]. 城市规划,2003,27(2):81.

[2] 樊好玲,吴成东. 虚拟现实及其在建筑领域中的应用[J]. 建筑智能化,2004(3):21 -24.

[3] 曾庆军,王 钰,黄惟一. 虚拟现实技术的发展及虚拟现实技术中的传感器[J]. 传感技术学报,1996(4):88 -92.

[4] Grigore C. Burdea [美],Philippe Coiffet[法]. 虚拟现实技术[M]. (第二版). 北京:电子工业出版社,2005.

[5] 王嘉亮. 颐和园古典园林多维夜景观的分析与研究[D]. 天津大学,2006.

(上接第 166 页)

(2)校园有湖、塘,则可以利用作为蓄水池,实现功能多元化并节省开支。若用地有限,可修建地下蓄水池。因涉及铺设雨水回用管路,由用水量和可收集雨量的月平衡,初步拟出用水范围,这样可以提高雨水利用系统的雨水利用率。

(3)学校雨水可收集范围较大,冲厕用水集中,所需敷设管路较为简单,绿化用水量较大。经计算,某小学总用地面积 2.99 hm^2,采用 300 m^3 蓄水池,正常年份其年雨水利用量为 5 666 m^3,自来水替代率 31.57%,丰水年可达 7 742 m^3,自来水替代率达到 43.13%。因此,学校雨水利用具有较好的节水意义和发展前景。

(4)合肥市滨湖新区教育科研设计用地为 222 hm^2,若采用实例分析滨湖新区第三小学的数据,则教育科研设计用地年雨水回用量可达 42.07 万 m^3,直接经济效益达 97.18 万元/a。因此,在雨量较为充沛的新建城区优先考虑学校进行雨水利用,具有较好的经济社会环境效益。

参考文献:

[1] 王俊岭. 北京某学校雨水利用设计[J]. 水资源保护,2006,22(1):50 -52.

[2] 徐得潜,李兴彩,张丽峰,等. 合肥市建筑与小区雨水利用[J]. 武汉大学学报,2009,42(6):741 -744.

[3] 车 伍,程文静,李海燕. 雨水利用与水量平衡分析在城市园区水景设计中的应用[J]. 中国园林,2006(12):62 -69.

[4] GB50400 -2006[S]. 建筑与小区雨水利用工程技术规范.

[5] 张书函,陈建刚,丁跃元. 城市雨水利用的基本形式与效益分析方法[J]. 水利学报,2007,38(10):399 -402.

[6] 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,2006:31 -34.