

# 大型场馆雨水利用系统的优化设计

李海燕<sup>1</sup>, 车伍<sup>1</sup>, 李俊奇<sup>1</sup>, 黄延<sup>2</sup>

(1. 北京建筑工程学院 城市建设工程系, 北京 100044; 2 北京市环境保护监测中心, 北京 100044)

**摘要:** 总结了大型场馆雨水利用的特点并提出了几种典型的雨水利用系统。详细介绍了雨水利用系统的优化设计方法, 并列举了东京穹顶体育馆、北京国家体育馆等工程实例。

**关键词:** 大型场馆; 雨水利用; 优化设计

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000 - 4602(2006)10 - 0050 - 04

## Optimal Design of the Rainwater Utilization System in Large Gymnasium

LI Hai-yan<sup>1</sup>, CHE Wu<sup>1</sup>, LI Jun-qi<sup>1</sup>, HUANG Yan<sup>2</sup>

(1. Department of Urban Construction, Beijing Institute of Civil Engineering & Architecture, Beijing 100044, China; 2 Beijing Environmental Protection & Monitoring Center, Beijing 100044, China)

**Abstract:** The paper summarizes the characteristics of the rainwater collecting and utilization system in large gymnasium and suggests several typical rainwater utilization systems. The methods of the optimal design of the rainwater utilization system are introduced in detail. The engineering examples of the Tokyo dome gymnasium and the Beijing national gymnasium are also given.

**Key words:** large gymnasium; rainwater utilization; optimal design

现代城市雨水利用是一种新型的多目标综合性技术, 可实现节水、水资源涵养与保护、控制城市水土流失和水涝、减少水污染和改善城市生态环境等功能。近 10 年来, 城市雨水利用技术有了突飞猛进的发展, 以适应现代化城市对水资源保护与可持续发展的要求。

2001 年国务院批准了包括雨洪利用规划内容的“21 世纪初首都水资源可持续利用规划”, 北京市规划委员会和北京市水利局于 2003 年 3 月共同制定并发布了《关于加强建设工程用地内雨水资源利用的暂行规定》, 其中规定今后在北京市新建、改建、扩建工程时要同时建设雨水利用工程, 建设中水利用设施的工程也必须同时考虑建设雨水利用设施。目前北京市已建或在建的不同类型的雨水利用工程已有数十项, 在奥林匹克场馆建设中也将采用雨水利用技术。

经过几年的不懈努力, 北京城市雨水利用已进入实质性的实施推广阶段, 成为带动我国城市雨水利用技术发展的龙头, 通过一批示范工程, 预计在 5 ~ 10 年内城市雨水利用标准化和产业化的目标能够如期实现<sup>[1]</sup>。

对于冲厕、绿化、消防等用水量极大的文化体育场馆而言, 雨水利用系统对提高其水循环利用率和用水效率、实现水资源的可持续发展和利用具有重要的意义。奥运申办书中明确指出, 奥运村内将设有先进的中水处理、雨水收集系统, 要借助奥运场馆的建设展示城市雨水排放新理念, 实现绿色奥运的承诺, 这对于我国其他城市具有重要的指导和借鉴意义。

### 1 场馆雨水利用系统

大型场馆具有很多自身的特点: 具有比较大的屋面汇水面积, 一般所要求的排洪标准较高, 可收

集利用的屋面雨水量或雨水的峰值流量相对较大,要求有较大的调蓄容积,输水管系、截污装置、净化和配水等各种设施的规模也相对较大;大型场馆尤其是奥运体育场馆具有较高的建筑设计标准,作为极具表现力的大型城市公共建筑,应是城市的补白之笔,因此其雨水利用系统也要遵循美化环境的特点展开设计;场馆屋面雨水排水系统的构造、排水性能、自身荷载等也是影响场馆结构体系安全性的重要因素之一;体育场馆的雨水可回用于冲厕、绿化、冲洗地面、景观用水、足球场草坪养护、消防及冷却水补水等,科学合理地确定雨水的用途及相应的水质要求是场馆雨水利用系统优化设计的前提。图 1 列出了几种可用于场馆的典型雨水利用系统。

流带入水体的污染物。

当雨水水质条件较好时,可直接收集雨水,再采用简单的物理化学方法处理后回用(见图 1b)。该工艺简单易行,成熟可靠,投资、运行成本相对较低,可在雨水水质条件较好的缺水地区采用。

雨水水质条件虽然较好,但回用雨水的用途广且对水质要求较高时则需要选择更先进、可靠的雨水处理工艺(见图 1c),如可采用先进的膜滤技术,有除盐要求时还可采用反渗透除盐等处理方式,处理出水可回用于消防及冷却水补水。由于该工艺投资运行费用较高,所以在选用时应特别注意。

还可以根据场馆的地形地势将主场馆和场区的雨水分别进行处理利用,将主场馆中可利用的雨水进行渗透或直接收集利用,而将场区的雨水分别收集并进行投资较低的处理后,再进行回用处理达到回用要求(见图 1d)。

另外,考虑到不同城市之间自然条件的差异性极大,如在雨季相对集中、有明显的旱季及雨季之分的地区,还可根据实际场馆的回用水要求将处理后的雨水与中水联合使用,根据雨季及非雨季的不同进行切换,以保证回用水的供给。

当场馆的汇水量大且用水量也较大时,可以采用组合工艺,如将渗透与收集处理回用相结合、高新技术与常规处理技术相结合等。

此外在场馆雨水利用系统中,如对运行管理的要求较高且资金条件允许,可考虑采用成套的雨水截流、处理装置及自动控制系统等。

## 2 场馆雨水利用系统的优化设计

### 2.1 设计关键

高效率的城市雨水收集利用系统设计中的一个关键技术问题是合理控制初期雨水。首先是设计弃流量的确定,弃流量取决于汇水面积的大小、污染状况、系统内水量平衡关系及后续的处理工艺和利用方式等。对水质较好的场馆屋面收集系统,可以按 1~2 mm 弃流设计<sup>[2]</sup>,如果收集面包括场馆周边的地面,汇水面积又较大则可适当加大设计弃流量<sup>[3]</sup>。弃流装置有两种:一种是容积法装置,特点是将分离的初期雨水全部储存并进行处置,技术要求低、简单易行、效果好,适合小规模系统,但汇水面很大时需要比较大的池容,土建费用高;另一种是切换式装置,特点是将分离的初期雨水直接排走,节省了弃流池的土建费用,适合大规模雨水收集系统,但

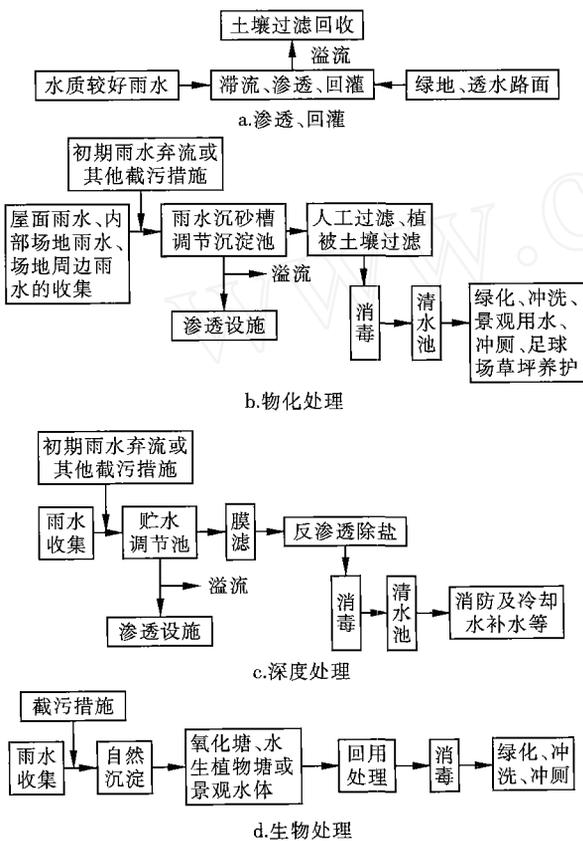


图 1 几种典型的场馆雨水利用系统

Fig 1 Typical rainwater utilization systems of gymnasium

在雨水水质条件较好、地下水位较低、平均坡度小且土壤渗透能力较好的场馆绿地、道路(透水性路面)区,可采用渗透、回灌雨水利用方法(见图 1a)。该方法规模大小因地制宜,设施简单,可减轻对雨水收集、输送系统的压力,补充地下水,还可以充分利用表层植被和土壤的净化功能减少径

技术要求高,有时受现场高程等条件的限制。

对于弃流雨水的处置,当水量较小、雨水水质较好、场馆具有较小的地面坡度、地下水位较低、绿地可满足雨水滞留时,可将初期弃流雨水直接引入绿地,而不进行单独处置;当弃流量大、雨水水质又不太好时则可就近排入附近的污水管道。

雨水利用系统中的调蓄规模和溢洪控制也是非常重要的,当以雨水收集为主要目的时,如无特殊排洪任务,建议调蓄规模的设计重现期 1 年<sup>[4]</sup>。溢流口等设施的设计应保证当雨水调蓄池满后能通畅地将雨水排走,不会造成泛水,溢洪的标准不应小于该项目的排洪标准。在有条件的情况下溢流雨水可采用适当的渗透设施回灌地下。

净化水质的保证和雨水利用的安全性紧密相关,设计时需要注意雨水的水质及其变化特性,如颗粒分布与沉淀性能、水质与流量的变化、污染物种类和含量等。要根据不同的场馆雨水水质及所具备的经济条件,确定安全可靠、合理适用的处理工艺。

### 2.2 优化设计

场馆雨水集蓄利用系统规划设计程序如图 2 所示。

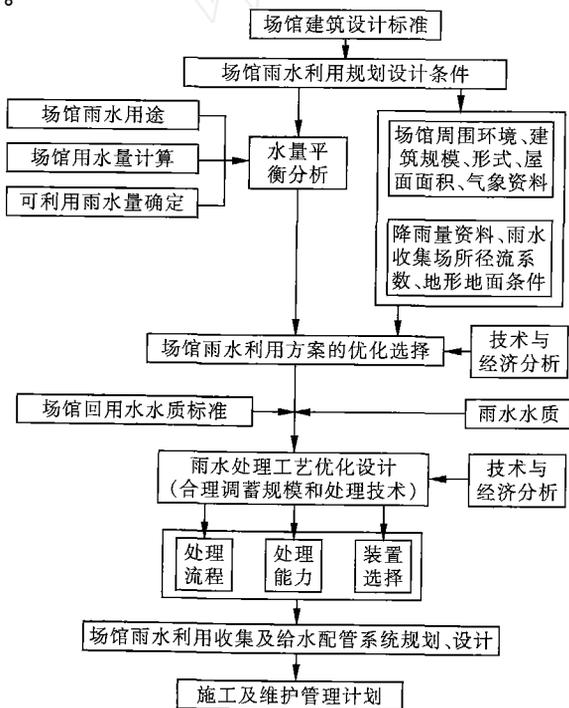


图 2 场馆雨水集蓄利用系统规划设计程序

Fig 2 Planning and design process of gymnasium rainwater utilization system

根据场馆的建筑设计,确定其雨水利用系统的规划设计条件(场馆的建筑规模、形式、雨水收集面及径流系数、地形地面条件、气象条件等),并结合场馆区域内的用水量及可利用雨水量进行水量平衡分析,确定合理的雨水用途及雨水回用水质标准;

在进行技术与经济分析的基础上,充分利用场馆的地形特点优化选择科学合理的场馆雨水利用方案,如可得到较高的投资效益比,则可以考虑进行雨水的回收利用,对于用量不大又要求较高的用水则不必非要通过雨水利用的方式解决;

按照雨水回用水质标准和现有雨水水质条件,结合技术与经济分析进行雨水处理工艺的优化设计。首先,应科学合理地确定雨水利用系统设计重现期,对雨水进行合理的调蓄,使调蓄池容积既能满足需要,又不致造成设施的过分闲置。可以根据用途要求的不同选择雨水利用常规技术或高新技术。设计时应力求做到技术的实用性、安全性和经济性高度统一,这也是场馆雨水利用系统优化设计的核心。

### 3 雨水利用实例分析

#### 3.1 日本东京穹顶体育馆

东京穹顶体育馆位于东京都文京区后乐园,主要用途是室内球场,其雨水利用系统如图 3 所示。

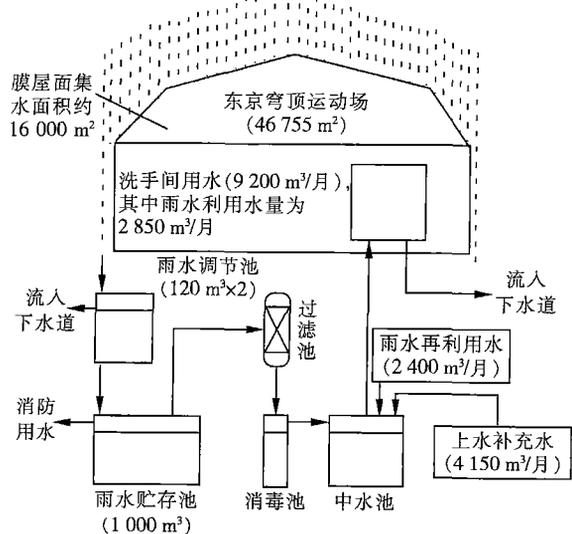


图 3 东京穹顶体育馆雨水利用系统示意图

Fig 3 Rainwater utilization system of Tokyo dome gymnasium

系统采用巨大的四氟乙烯树脂玻璃钢膜屋面,

收集的雨水分 2 处汇入初期雨水调节池中,将一部分污浊的初期雨水排掉后再进入雨水贮存池,收集的部分雨水呈弱酸性 (pH 值约 5.4),雨水贮存池的调节作用可使雨水的 pH 值缓慢上升,从而达到回用水的 pH 值要求,雨水贮存池出口的各项水质指标已完全满足再利用水暂定水质标准,能作为消防用水,因此不必对其进行进一步处理而直接利用;其余的雨水则经过进一步的砂滤及次氯酸钠 (NaClO) 消毒后送入中水池中,用于厕所冲洗,雨水与中水的混合可提高中水的水质。

该系统的收集对象是水量庞大的屋面雨水,而对场馆内的其他雨水资源 (如路面雨水) 则未予考虑,从而使收集工艺较简单,提高了雨水利用系统的效益投资比;此外比较单一的雨水来源可使系统的进水水质稳定,不易对处理系统的运行造成冲击负荷;另外雨水与中水的混合使用可使二者互为补充,保证了回用水的合理供给。

### 3.2 北京国家体育馆

作为 2008 年奥运会主会场的国家体育场,其雨洪利用充分考虑了其所在位置的地形特点,用地范围内可渗透回用的雨水先排入绿地,再通过土壤过滤等方式进行回收;可收集雨水的主要来源是场内雨水、屋面雨水及赛场周边地面雨水,在蓄水池附近设置专用弃流池控制初期雨水。采用容积法弃流池,具有简单易行的优点,但由于汇水面较大,需要采用多个弃流池,而且容积也较大,如果有条件采用切换式或高效率初期弃流装置将会大幅度减少弃流池的费用。所收集雨水采用如图 4 所示的流程进行处理后进入回用水水池,处理工艺能确保回用水达到《国家体育场再生水水质标准》<sup>[5]</sup>。

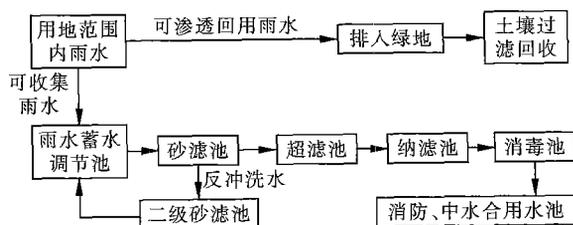


图 4 国家体育馆雨水利用系统流程图

Fig 4 Flow chart of rainwater utilization system of Beijing national gymnasium

处理后雨水与优质中水的供水可根据雨季及

非雨季的不同进行自动切换,以保证回用水的供给。设计中还采用了先进的自动控制技术。

国家体育场雨洪利用系统中的处理技术比较先进,安全可靠,雨水收集量大,回用用途较广 (用于绿化、地面冲洗、冲厕、冷却塔补充用水、洗车等)。由于设计标准较高,故雨水调蓄池容积较大;此外,考虑到不同用途对水质的不同要求,设计中采用了超滤、纳滤等先进的处理技术,以满足不同的水质要求,但同时使处理成本大幅提高,水质要求不太高的绿化、冲厕、洗车等用水也经过了比较复杂的处理,使得设备的运行、管理难度也相应加大。而且,雨水利用系统本身具有非连续性的特点,设备的闲置与腐蚀老化也是需要考虑的问题。另外,消防用水属于应急用水,将其与中水合置于合用水池中也会增加系统的复杂程度。

### 4 结语

场馆雨水利用方案的优化是其雨水利用系统设计的核心问题,其中雨水利用用途的确定、处理工艺的选择更是关键。设计时应根据实际的水量平衡分析及每一种用途的水质要求确定合理的利用方案、处理流程、调蓄规模等,以达到较高的效益投资比,实现环境效益和经济效益的高度统一。

### 参考文献:

- [1] 车伍,李俊奇. 从第十届国际雨水利用大会看城市雨水利用的现状与趋势 [J]. 给水排水, 2002, 28 (3): 12 - 14.
- [2] 车武,刘红,汪慧贞,等. 北京市屋面雨水污染及利用研究 [J]. 中国给水排水, 2001, 17 (6): 57 - 61.
- [3] 车伍,刘翠云. 雨水干管污染物输送规律的初步研究 [J]. 给水排水, 2004, 30 (8): 30 - 35.
- [4] 李俊奇,余苹,车伍,等. 城市雨水集蓄利用工程规模的优化 [J]. 中国给水排水, 2005, 21 (3): 49 - 52.
- [5] 刘鹏,赵昕,郭汝燕. 国家体育场雨洪利用初步设计简介 [J]. 给水排水, 2004, 30 (7): 79 - 81.

电话: (010) 88385871

E-mail: lihaiyan@bicea.edu.cn

lhy01229@yahoo.com.cn

通讯地址: 100044 北京市西城区展览路 1 号北京建筑工程学院城市建筑工程系 李海燕

收稿日期: 2006 - 01 - 17