

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2014.06.013

厦门大学嘉庚学院的雨水资源化潜力分析

林建荣, 陈瑜

(厦门大学嘉庚学院环境科学与工程系, 福建漳州 363105)

摘要:以厦门大学嘉庚学院为集雨实验区进行雨水资源化潜力分析。利用谷歌地球卫星软件及实地测量的方式获得相应的集雨区面积,并依据可利用雨水资源量的公式,计算得到嘉庚学院每年可收集的雨水总量可达74万 m^3 ,同时每年用于校区的道路喷洒、公厕、绿地浇灌和楼层清洁的水量为73.9万 m^3 ,回收的雨水量基本可以满足以上所需。投入约占节约自来水费用的10%左右,经济效益显著;同时可减缓暴雨对校园的冲击。指出实现雨水回收,我国目前尚存在相关政策、法律法规较缺乏和人们的认识不足等问题,对此进行了分析并提出建议。

关键词:雨水资源化;可行性分析;经济效益;生态效益;厦门大学嘉庚学院

中图分类号:TV213.4 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2014)06-0063-04

Rainwater resources utilization in Xiamen University Tan Kah Kee College

LIN Jianrong, CHEN Yu

(Department of Environmental Science and Engineering, Xiamen University Tan Kah Kee College,
Zhangzhou 363105, China)

Abstract: The potential utilization of the rainwater resources at Xiamen University Tan Kah Kee College, which was selected as an experimental plot for rainwater collection, was analyzed. The area of rainwater collection was obtained with the Google Earth software and field observation, and the collected amount of rainwater in the study area was calculated to be 740 000 m^3 per year, using the formula of available amount of rainwater resources. Meanwhile, the amount of water needed for road spraying, flushing, green land irrigation, and floor cleaning was up to 739 000 m^3 per year. Thus, the recycled rainwater can basically meet these needs. The investment accounted for about 10% of the saved tap water expenditure, which indicates a significant economic benefit. In addition, the rainwater recycling can diminish the impact of rainstorm on the campus. However, rainwater recycling in China lacks relevant policies, laws and regulations, and public unawareness. These problems are discussed in this paper.

Key words: rainwater resources utilization; feasibility analysis; economic benefit; ecological benefit; Xiamen University Tan Kah Kee College

随着社会的发展,城市人口日益增长给对城市的能源资源,特别是城市的水资源,带来巨大的压力,城市面临水资源短缺和水质恶化的窘境。

雨水的水质优良,是城市中十分宝贵的水资源,可通过合理的规划和设计,采取相应的工程措施,将城市雨水加以充分利用。若对城市雨水不进行适当的收集和利用,在暴雨时期将会加大城市洪涝灾害的概率,增加排水管网的负荷,随之而来的便是经济

上的损失。为了维护城市水循环的生态平衡以及减少经济损失,因地制宜地利用雨水资源,一方面能够使自然资源得到高效利用,缓解当地水资源的供需矛盾;另一方面能够有效地缓解城市路面积水严重的现状,并在一定程度上减轻了雨水排除设施的压力,从而带来巨大的经济效益和环境效益。厦门大学嘉庚学院具有占地面积较大、建筑物按功能集中布置、人员密集、用水人流量恒定、用水时间相对集

中、污染较小的优点,较适宜开展雨水资源的收集、利用工作,相关工作的开展具有较大的示范意义、教育意义及社会生态效益^[1]。

1 研究区概况

1.1 厦门大学嘉庚学院的基本资料

厦门大学嘉庚学院位于东南沿海闽南金三角的招商局漳州开发区二区内(龙海市港尾镇大径村与店地村地域),与厦门大学本部隔海相望,相距 3.5 海里,占地面积为 171.2 万 m²,规划建设教学生活用房 60.8 万 m²,学生规模 3 万名。该校区的整体布局较为得当,功能区相对集中,较适宜开展雨水收集、利用的工作。

1.2 降水资料

由于嘉庚学院位于沿海地带,临近厦门岛,其气候与厦门岛颇为相似,可采用厦门岛内的年降雨量数据。厦门岛内年平均降雨量为 1 349 mm,年均最大月(8 月)降雨量为 209 mm。其中,3—9 月为春夏多雨湿润季节,每月雨量一般为 100~200 mm,最多的月份可超过 700 mm(受台风影响);10—11 月、12 月至次年 2 月为秋冬少雨干燥季节,每月雨量一般为 30~80 mm。这就意味着,厦门岛的月降雨量处于极不平衡的状态。综合厦门市的气温及降雨特征,可将厦门市(不含山区)的气候季节划分为:春雨季、梅雨季、台风季、秋季、冬季^[2],秋季和冬季可合并计算。

2 集雨区面积分类、量测和计算方法

厦门大学嘉庚学院集雨区共分为建筑屋面、路面和绿地 3 个部分。利用谷歌地球卫星软件(Google Earth Plus 6.0.1.2032 Beta)对建筑屋面、路面以及河流的面积进行测量。Google Earth 是 Google 公司推出的一款全球卫星地图和地理信息演示软件,通过互联网可以访问 Google Earth 服务器、地球图像地理信息数据库。其以高分辨率的卫星影像为底图,真实地反映出所要调查区域地形、海拔等相关地理信息^[3]。此外,该软件的另一大特色是具有自动测量面积的功能,其具体的操作步骤是利用多边形工具将校区的建筑屋面、路面及河流勾绘出来,即可得到相应的多边形面积。其中,校区中的南、北区田径场、篮球场和网球场均以水泥为原材料铺设而成,故将该部分的雨水收集潜力归纳入路面的雨水收集潜力中。之后,根据已知的嘉庚学院总占地面积与软件勾绘得到的建筑屋面、路面及河流的面积即可获悉绿地的总面积数。

谷歌卫星图在 2008 年之后就不再更新,且同一

时期的嘉庚学院的敬贤园区还处于规划待建设之中。因此,无法利用谷歌地球对敬贤园区的建筑屋面以及路面的面积进行测量,因此,对敬贤园区相关面积进行实地测量。其主要的测量工具为 50.0 m 的布卷尺,具体测量方式如下:①道路:水泥路面面积是先利用布卷尺测量水泥路中两条收缩缝的长、宽距离(其中测量得长度为 7.0 m,宽度为 4.4 m),然后清算位于园区内的收缩缝数量(约 480 条),以此得到水泥路面的面积为 14 753 m²。而各相邻建筑之间的路面面积则是由布卷尺进行长、宽的直接测量,约为 3 700 m²。②建筑:直接利用布卷尺测量各个建筑的长、宽距离,以此相乘得到面积数(其中敬贤 1 与敬贤 2 的长度皆为 61.0 m,宽度皆为 13.0 m;教工公寓的长度分别为:36.0 m、64.5 m、64.5 m、57.0 m、76.0 m,其宽度分别为:12.7 m、12.7 m、12.7 m、14.0 m、14.0 m),总面积约为 5 544 m²。根据以上所描述的面积测量的方式,最终可得到嘉庚学院屋面、路面和绿地集雨区的面积分别为 103 549 m²、269 803 m²和 1 255 635 m²,整个校区不透水性地面面积所占比例较大,适合雨水的集中回收和利用。

3 结果

3.1 校区可收集雨量计算

嘉庚学院的雨水收集利用共分为建筑屋面、路面和绿地雨水收集利用 3 个部分。其中,屋面雨水收集利用是指将建筑物或构筑物的屋顶或平台作为集雨面的雨水利用系统;路面雨水收集利用是指将道路、广场作为集雨面的雨水利用系统。

可收集的雨水量可依据表 1 和表 2 的数据,通过式(1)^[4]计算而得:

$$W = \alpha \varphi H A \quad (1)$$

式中:W 为年均可利用雨水资源量, m³; H 为多年平均降雨量, m; A 为汇水面积, m²; φ 为综合径流系数; α 为季节折减系数,取 0.98。其中,可查得建筑屋面和混凝土路面的综合径流系数取值为 0.90;绿地的综合径流系数取值为 0.15^[5]。

由此,可计算得嘉庚学院年可收集雨水总量约为 74 万 m³,各季度雨水收集潜力如表 1 所示。

表 1 嘉庚学院可收集雨量 m³

季节	可收集雨量			合计
	屋面	路面	绿地	
春雨季(3—4 月)	24 284.71	63 275.23	49 079.38	136 639.32
梅雨季(5—6 月)	31 910.78	83 145.41	64 491.67	179 547.86
台风季(7—9 月)	43 217.46	112 605.63	87 342.47	243 165.56
秋冬季(10 月至次年 2 月)	18 795.76	48 973.45	37 986.22	105 755.43

3.2 校区用水需求分析

依据校区的实际情况,即一般1月中旬至2月中旬、8月分别为寒、暑假,主要用水为绿化用水;春假和秋假亦存在着用水人流量明显减少的趋势,其主要用水也为绿化用水。其余月份为上课期间,人流量较大且稳定,主要用水量除了绿化用水还包括人员的日常生活用水。

在校区中收集到的雨水经过简易的中水处理后,可用于道路喷洒、冲厕及清洁等。其中,依据《给水排水设计手册》^[6]杂用水标准计算道路喷洒的年用水量:每次用水 1.5 L/m^2 ,每年按6个月,每月按30 d计算得到每年用于道路喷洒的水量为 $72\,847\text{ m}^3$ 。

对于宿舍楼、教学楼、办公楼和实验楼主要为冲厕用水。根据GB/T50331—2002《城市居民生活用水量标准》可知人均每天生活用水量为143 L(本文为便于计算取150 L),用水人数约3万人,冲厕用水按生活用水30%~35%(取30%),一年按照365 d来计算。故此,可计算出冲厕的年用水量为 $492\,750\text{ m}^3$ 。

对于绿地用水,以平地绿化用水量 1.5 L/m^2 计算,每年以180 d计算^[6]。嘉庚学院的绿地面积为 $1\,255\,635\text{ m}^2$,其中需要人工浇灌绿地的面积约为 $381\,484\text{ m}^2$,则年绿化用水量为 $103\,000\text{ m}^3$ 。

综上,嘉庚学院的年用水需求量约为 $668\,600\text{ m}^3$,而校区的年可收集雨量约为 $740\,000\text{ m}^3$ 。显然可以看出,其年可收集的雨水量在满足校区的用水需求之下还是有所富余的,富余量为 $71\,400\text{ m}^3$ 。所富余的雨水量可在简易的净化处理后用于宿舍楼、教学楼、办公楼及实验楼的楼层清洁。

4 结果与讨论

4.1 经济效益

厦门大学嘉庚学院校区的年可收集雨水能够满足校区的道路喷洒、冲厕、绿地浇灌的用水需求。考虑到所收集的雨水无法做到全部加以利用,将使用在校区中的雨水量设定为 $739\,000\text{ m}^3$,即每年可节约 $739\,000\text{ m}^3$ 的自来水水量。假定厦门市自来水水价不变(2013年自来水的价格为 3.0 元/m^3),可知该校区一年内可节约自来水水费的金额约为222万元。

嘉庚学院每年可利用的雨水总量较大,需将雨水进行统一收集而最终经过雨水管渠进入兼起雨水调节和储蓄作用的雨水储水池。结合国内外雨水利用实例,储水池容积大小与集水面面积之比为0.04为宜^[7],嘉庚学院的屋面集水面积为 $103\,549\text{ m}^2$,路面集水面积为 $269\,803\text{ m}^2$,绿地集水面积为 $1\,255\,635\text{ m}^2$ 。其中,绿地径流系数较小,则主要考虑屋面和路面集

水面积,共 $373\,352\text{ m}^2$,由此可知储水池总容积应为 $14\,934\text{ m}^3$ 。考虑到校区内的两大人工湖面积较大,能涵养很大一部分雨水资源,则在各个影响因素的权衡下,宜设计建造3个容积为 $3\,000\text{ m}^3$ 的储水池,且各位于南、中、北3区。依照胡亚萍等^[7]的研究, $3\,000\text{ m}^3$ 的储水池造价为894 492元/个,不考虑地区差异,则3个蓄水池共花费2 683 476元,再加上一些管网费和集水系统等费用,预计前期固定资产费用约为290万元。储水池的使用年限一般为20 a,则平均每年的投资费用为145 000元。此外,根据北京市水利局中德合作雨洪利用项目办公室的研究,雨水的年运行费用约为 0.1 元/m^3 ^[8],结合嘉庚学院可收集的雨水总量可计算得到该校雨水资源化利用每年的运行费用大约为73 900元。所需的总费用为基建投资和运行费用之和,可得该校每年的雨水利用总费用约为22万元,约为节约自来水水费金额的10%,经济效益显著。

通过以上分析可以得出:若嘉庚学院内开展雨水资源化利用的工作,平均节约的自来水资金金额高达 $3\,403\,142\text{ 元/a}$,雨水回用将产生相当可观的经济收益。

4.2 生态效益

除了可观的经济效益外,还可以取得可观的生态效益。目前国内各大院校普遍存在着地面“硬化”的问题,嘉庚学院也不例外。校区中的硬质路面较多且人行道上铺设的是不透水的光滑方砖,在降雨时很容易出现积水,在暴雨的情况下则尤为严重,透水路面的推广就显得颇为重要。透水路面是指以透水混凝土、透水沥青、透水砖、草皮砖等透水性建材替代普通混凝土、沥青、釉面砖等传统建材铺装硬化的路面,利用该建材可达到路面不发生积水且可提高雨水下渗率。嘉庚学院月降雨量分布极为不均,有的月份滴水不下,而有的月份降雨量却可达700 mm,造成水资源匮乏或泛滥的问题,这充分反映出雨水资源的收集和利用将具有极大的必要性。透水路面的推广不仅可以解决暴雨时校区内积水的问题,减少地面径流,降低排水系统的压力,还能够利用预先储存的雨水资源满足降雨量较少甚至无降雨月份的用水需求,这样就可以避免校区雨水资源供给中断的现象,真正做到实时实地有水可用。并可加强校区绿化,增加土壤水分的相对含量,对校区中门的景观用水(喷泉)提供补给,美化校园环境,提高生态效益。此外,在雨水的收集利用过程中,可将部分雨水通过绿地等补充地下水,防止地下水位的沉降,同时可利用天然和人工的条件净化雨水中的污染物,减少进入水体中的面源污染,节省污

水处理的部分费用^[9]。

4.3 社会效益及政策导向

目前,国内各大高校几乎没有开展雨水回收利用的相关活动,若能在厦门大学嘉庚学院进行雨水的资源化利用的工作,则既能节约大量水资源,还能为此后有意开展相关工作的院校提供参考,从而起到较好的示范作用,带动各大高校开展雨水回收利用工作。校园雨水的利用还有望形成校园产业,减少校园的财政支出,同时吸纳一部分贫困学生勤工助学^[9]。因此,在校区内进行雨水资源化利用具有较高的社会效益,符合可持续用水的规范和生态校园的准则。

但是,人们对雨水资源化利用的意识还比较淡薄,故应加强人们对雨水进行收集利用的意识,将开发利用校园雨水资源纳入学校的规划之中,加强项目规划者和施工者对雨水利用的认识和技能,以便于工程措施的实施。同时借助校园的公益团体将该思想传播到师生群体中,真正做到项目规划者和公众的共同参与。该工程的经济价值见效较慢,很难做到经济效益与生态、社会效益的同步实现,因此需要培养人们纵观社会形势的能力和追求长远利益的眼界。

从全国层面上来看,我国目前尚没有全面颁布实施关于雨水资源化利用的强制性规定,也没有明确出台相应的辅助性的法律法规^[10]。这就意味着,当前开展校园雨水资源化利用的工作暂无法得到有效的政策的支撑与扶持,这无疑会成为该项目发展进程中的一大障碍。政府应发挥宏观调控的作用,依据我国国情及借鉴国外较为成熟的政策体系,合理制定全国性的雨水资源综合利用的相关法律法规,并加大扶持力度,以保障雨水资源化利用的有效开展。

5 结 语

通过对嘉庚学院的雨水资源化利用的可行性进行分析、评估,结论如下:①收集的雨水可用于该校区的道路喷洒、冲刷、绿地用水和楼层清洁,年雨水收集量达到 739 000 m³,平均每年的投入约为 22 万元,但可节约自来水水费 222 万元,投入只占收益的 10% 左右,经济效益显著;②雨水资源化利用对校区的生态环境做出了贡献,美化校区环境,创造了一定的生态效益;③雨水资源化利用项目还会带来更具价值的校园产业,创造了一定的社会效益。总而言之,在嘉庚学院内对雨水进行收集和利用是可行的,并且是生态校园建设的重要内容之一,具有十分积极的意义。

致谢:本论文受厦门大学嘉庚学院校级科研孵化基金(2014L09)资助,李丽娇在数据获取方面提

供帮助,特此一并致谢。

参考文献:

- [1] 韩冬生,刘永强,赵长健. 校园雨水利用的应用分析[J]. 唐山学院学报, 2009, 22(3): 56-57. (HAN Dongsheng, LIU Yongqiang, ZHAO Changjian. Practical analysis of university campus rainwater utilization[J]. Journal of Tangshan College, 2009, 22(3): 56-57. (in Chinese))
- [2] 林卫红. 厦门雨水利用设计[J]. 福建建设科技, 2009(1): 66-82. (LIN Weihong. Rainwater utilization design in Xiamen[J]. Journal of Fujian Construction Science & Technology, 2009(1): 66-82. (in Chinese))
- [3] 郭仲朴,王金枝,韩丽丽. Google Earth 和 GPS 在林业调查中的应用[J]. 天津农林科技, 2010(2): 34-35. (GUO Zhongpu, WANG Jinzhi, HAN Lili. Utilization of Google Earth and GPS in forestry investigation[J]. Journal of Tianjin Agriculture and Forestry Technology, 2010(2): 34-35. (in Chinese))
- [4] 车伍,唐宁远,张炜,等. 我国城市降雨特点与雨水利用[J]. 给水排水, 2007, 33(6): 45-48. (CHE Wu, TANG Ningyuan, ZHANG Wei, et al. Rainfall characteristic and rainwater utilization in China city [J]. Water & Wastewater Engineering, 2007, 33(6): 45-48. (in Chinese))
- [5] 梁忠民,钟平安,华家鹏. 水文水利计算[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2008.
- [6] 陈秀生. 给水排水设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2001.
- [7] 胡亚萍,姜宏立,吴世平. 郑州大学新校区雨水收集与利用探究[J]. 能源与环境, 2012(6): 77-79. (HU Yaping, JIANG Hongli, WU Shiping. Rainfall collection and utilization in the new campus of Zhengzhou University [J]. Energy and Environment, 2012(6): 77-79. (in Chinese))
- [8] 左建兵,刘昌明,郑红星. 北京市城市雨水利用的成本效益分析[J]. 资源科学, 2009, 31(8): 1295-1302. (ZUO Jianbing, LIU Changming, ZHENG Hongxing. On the cost and benefit analysis of rainwater utilization in Beijing [J]. Resource Science, 2009, 31(8): 1295-1302. (in Chinese))
- [9] 宋令勇,宋进喜,袁传芳. 校园雨水资源化利用的效益分析及利用措施[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(1): 113-115. (SONG Linyong, SONG Jinxi, YUAN Chuangfang. Benefit analysis and measurement of campus rainfall utilization [J]. Environmental Science and Management, 2009, 34(1): 113-115. (in Chinese))
- [10] 王国田. 雨水难以规模化实施的原因分析及对策研究[J]. 给水排水, 2012, 38(增刊1): 218-220. (WANG Guotian. Reason analysis and policy study on the large-scale utilization of rainwater [J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(S1): 218-220. (in Chinese))

(收稿日期:2014-06-01 编辑:徐 娟)