

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2015.S0.008

北方高校教师公寓小区雨水综合利用

周新华, 范明, 李婷, 李远, 董欢, 阮仪清

(辽宁工程技术大学建筑工程学院, 辽宁阜新 123000)

摘要:以辽宁工程技术大学玉龙校区教师公寓小区雨水回用为研究对象,通过对小区内屋面、道路及绿地的可集流雨水量进行计算,并对不同区域的雨水水质进行取样监测,得到了整个教师公寓小区雨水的径流特征和水质特性;结合小区内雨水综合利用途径,通过水量平衡计算,确定了雨水的集流范围和集流方式;在此基础上,进行实验室混凝试验,结果表明:采用PAC作为混凝剂,投加量为40 mg/L,实验参数为中速150 r/min搅拌3 min、慢速50 r/min搅拌10 min,然后静置沉淀15 min的条件下,雨水浊度去除率为91.3%、COD去除率为61.2%、NH₃-N去除率为29.3%,依据上述实验结果给出了参考处理工艺,出水水质满足城市杂用水水质标准。研究结果可为北方缺水型城市小区雨水综合利用提供有益的参考价值。

关键词:高校园区;雨水综合利用;水量平衡计算;水质分析;处理工艺

中图分类号:X703 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2015)S0-0036-05

Rainwater complex utilization study of teachers' apartment in north colleges

Zhou Xinhua, Fan Ming, Li Ting, Li Yuan, Dong Huan, Ruan Yiqing

(College of Architecture and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000)

Abstract: The rainwater in Liaoning Technical University Yulong school teachers' apartment was selected as the research object. By calculating the rainwater volume in the position of the roofing, the road and the grassland and the monitoring result of water quality in different area, we get the water runoff characteristics and water quality characteristics in the whole teachers' apartment. Associated the comprehensive utilization way of rainwater in this apartment, we work out the rainwater harvesting scope and method and conduct a coagulation test based on the above. Select PAC as coagulant and the dosage is 40mg/L. Stir with medium speed 150r/min and last 3min or low speed 50r/min 15min, then let stand for 15min. The result show that under above condition the removal rate of rainwater turbidity is 91.3%, the removal rate of COD is 61.2% and the removal rate of NH₃-N is 29.3%. The reference treatment process is given according to the above result and the water quality meets the water quality standard of the city. The results could provide valuable reference for comprehensive utilization of rainwater in the north water shortage city.

Key words: university apartment; comprehensive utilization of rainwater; water balance calculation; water quality analysis; processing technology

随着社会经济的高速发展和人们生活水平的提高,水资源短缺已成为制约经济健康、持续发展的瓶

收稿日期:2015-03-15

基金项目:辽宁省大学生创新创业训练计划项目(201310147002)

作者简介:周新华(1975-),男,,博士生,副教授,主要从事水处理与废水资源化理论及技术研究,(E-mail)gpszxh@163.com。

颈。另一方面,随着城市化进程的快速发展,城市不透水地面日益增多,大量的雨水径流未加以利用就直接排放,不仅造成了水资源的巨大浪费,同时也很容易引发地下水位下降和城市内涝问题。因此,开展城市雨水收集与回用研究,对节约水资源、缓减城市排水设施的负担进而解决城市内涝,具有极为重要的理论和实践意义^[1-5]。世界范围内,德国、美国、日本等国家是较早开展雨水利用研究与工程应用的国家,形成了相对完善的雨水综合利用理念和技术;我国城市雨水利用起步较晚,自 20 世纪 80 年代末,在甘肃、内蒙古、宁夏、陕西等地实施雨水集蓄利用工程产生了较明显的经济效益和社会效益后,北京、上海、大连、哈尔滨、西安等许多城市相继开展研究,并取得了一定的研究成果^[6-8]。辽宁省阜新市,是中国北方严重缺水城市之一,其水资源人均占有量仅为 507 m³,不足全国人均水资源占有量的 1/4,缺水已成为制约阜新发展的重要问题;阜新市雨水资源相对丰富,平均降雨量为 506.6 mm^[9]。基于此,以辽宁工程技术大学玉龙校区教师公寓园区为研究对象,在对整个园区内雨水可收集流量与水质分析的基础上,通过实验确定其处理方法和处理工艺,为北方缺水型城市小区雨水利用提供有益的参考。

1 小区雨水利用水量平衡计算及水质分析

1.1 水量平衡计算

辽宁工程技术大学教师公寓园区总占地面积 278 238.8 m²,其中:屋面面积 70 370.28 m²,道路面积 139 012.49 m²,绿化面积 68 856.03 m²;小区内车库车位 1 092 个。

1) 可收集雨水量

小区雨水可集流量按(1)式计算:

$$Q = \psi\alpha\beta A(H \times 10^{-3}), \quad (1)$$

式中: Q 为年平均可利用雨量; ψ 为径流系数,屋面、地面取 0.9,绿地取 0.15; α 为季节折减系数,一般取 0.78; β 为初期弃流系数,取 0.86; A 为集雨面积; H 为年平均降雨量,阜新地区取 506 mm。

根据式(1)对整个小区雨水的可集流量进行计算,结果如下:

$$\begin{aligned} Q_{\text{屋面}} &= 0.9 \times 0.78 \times 0.86 \times 70\,370.28 \times 506 \times 10^{-3} \\ &= 21\,496.87 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{道路}} &= 0.9 \times 0.78 \times 0.86 \times 139\,012.49 \times 506 \times 10^{-3} \\ &= 42\,465.86 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{绿地}} &= 0.15 \times 0.78 \times 0.86 \times 68\,856.3 \times 506 \times 10^{-3} \\ &= 3\,505.72 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$Q_{\text{总}} = Q_{\text{屋面}} + Q_{\text{道路}} + Q_{\text{绿地}} = 21\,496.87 + 42\,465.86 + 3\,505.72 = 67\,468.45 \text{ m}^3$$

2) 小区杂用水需水量

小区杂用水主要用于绿地、道路浇撒和小区内洗车用水,绿化浇撒用水定额取 1.0 L/(m²·次)、道路浇撒用水定额取 2.0 L/(m²·次)、洗车用水定额 250L/(辆·d)。整个教师公寓园区内共有车库 1 092 座,假定每天洗车数量为 350 辆。每天道路喷洒和绿化浇水一次。由于阜新属亚寒带气候,降雨多集中在 5~10 月,因此按 180 d/a 计算整个园区的杂用水量。具体结果见表 1。

表 1 小区杂用水量计算表

杂用水用途	用水量指标	每日杂用水需求量/m ³	年平均需水量/m ³
浇撒道路(6个月,1天1次)	1.0L/(m ² ·次)	139.012	25 022.16
绿化用水(6个月,1天1次)	2.0 L/(m ² ·次)	137.712	24 788.16
洗车用水(1 092 辆)	250L/(辆·d)	87.5	15 750
总计		364.224	65 560.32

3) 水量供需平衡分析

根据上述计算结果,整个教师公寓园区可收集雨水量和小区杂用水量见表 2。

表 2 小区可收集雨水量与小区杂用水量对比 m³

可收集雨量	小区杂用水量
67 468.45	65 560.32

由上表可以看出:小区总需水量小于雨水可收集量,因此,对该小区的雨水进行综合回收利用是可行的。

1.2 小区雨水水质分析

根据整个小区的实际情况,分别在小区主干道雨水口处、住宅雨水立管下端和草坪低洼处设 3 个雨水采样点,在降雨过程中期待水质稳定(30 min)后分别进行雨水样品采集,对所采集的水样按相关标准在实验室进行雨水水质测试;然后按各区域雨水可集流量比例配制混合水样,用于后期水处理实验研究,具体水质指标见表 3。

表 3 雨水水质测试结果

雨水种类	PH	浊度 (NTU)	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{NH}_3\text{-N}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
道路	6.76	40.2	144	5.99
屋面	7.55	20.93	22	3.62
绿地	7.80	80.1	40	3.14
混合水样	7.3	30.1	61.8	4.35

2 小区雨水混凝处理实验研究

2.1 实验仪器及实验水样

1) 实验仪器

pH 计 (PHS-3C)、智能型混凝试验搅拌机 (MY2500-6)、721 分光光度计 (16C14NOA.507072)、电热鼓风干燥箱 (HG101-2A)、电子天平 (TG-328A)、浊度仪 (WZG-20)、COD 快速测定仪 (QCOD-2M)。

2) 实验水样

实验水样采用上述 3 个区域的混合水样。

2.2 混凝实验研究

目前雨水回收利用的处理方法主要有物化法和生态处理方法,但由于生态处理法通常需要与整个小区规划进行一体化设计、施工,施工周期长且工程量相对较大,一般常用于较大范围的雨水利用工程或新建的小区;对于后期改建雨水利用工程一般采用物化法进行处理,常采用混凝—沉淀—过滤的常规处理工艺。常被用作雨水混凝处理的混凝剂主要有: FeSO_4 、 FeCl_2 、 FeCl_3 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 AlCl_3 、PAC 和 PAM 等,采用 Fe^{2+} (Fe^{3+}) 容易对处理构筑物 and 雨水利用管道产生腐蚀作用,目前实际工程应用较少,参考相关文献资料并结合工程实际,本文采用 PAC 作为混凝剂对雨水进行处理,并通过实验确定其最佳工艺参数^[10-13]。

1) PAC 投加量对 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和浊度去除率的影响

在 6 个各盛有 1 L 混合雨水水样试验杯中,按 10、20、40、55、80、100 mg/L 的投加量分别加入 PAC 混凝剂,然后将其置于六联搅拌机上,以中速 150 r/min 搅拌 3 min、慢速 50 r/min 搅拌 10 min 程序进行搅拌,搅拌停止后静置沉淀 15 min,用注射器抽取上清液,然后分别测试其浊度、氨氮和 COD 的去除率,结果见图 1。

由图可知:随混凝剂 PAC 投加量的增加,雨水样中 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和浊度的去除率都在不断增加。

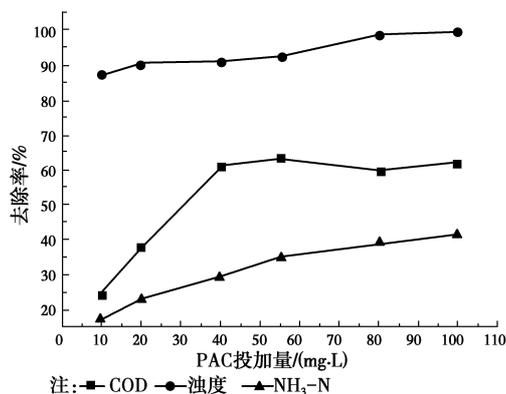


图 1 PAC 投加量对各污染物去除率的影响

PAC 对雨水水样中浊度的去除效果显著,当投加量为 10 mg/L 时,浊度的去除率就达到 87.2%,随投加量增加,浊度去除率不断增加,但其增加速度较小,当投加量为 100 mg/L 时,其投加量为 99.4%; PAC 投加量对 COD 去除率的影响具有明显的阶段性,初始阶段,随 PAC 投加量的增加 COD 去除率增加显著,当 PAC 投加量大于 40 mg/L 时,COD 去除率随 PAC 投加量的增加其增加趋势变缓,当 PAC 投加量由 10 mg/L 增加到 40 mg/L 时,COD 去除率由 24.3% 增加到 61.2%,继续增加投加量,COD 去除率的增长趋势变缓;随 PAC 投加量的增加,雨水水样中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率在不断增加,但与 COD 和浊度的去除率相比,混凝对其去除效果较差,PAC 投加量由 10 mg/L 增加到 100 mg/L 时, $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率由 17.2% 增加到 41.4%。

2) 不同反应条件对 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和浊度去除率的影响

采用上述同样的实验方法,取 PAC 的投加量为 40 mg/L,通过改变不同的搅拌条件来研究不同反应条件对各污染物去除率的影响,具体实验结果见表 4。

表 4 不同反应条件对 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和浊度去除率的影响

搅拌条件	静沉时间/min	去除率/%		
		COD	$\text{NH}_3\text{-N}$	浊度
300 r/min, 0.5 min + 50 r/min, 5 min	15	64.4	25.3	92.0
300 r/min, 0.5 min + 50 r/min, 10 min	15	69.1	27.4	92.4
150 r/min, 3 min + 50 r/min, 10 min	15	61.2	23.9	91.3
150 r/min, 3 min + 50 r/min, 20 min	15	67.4	24.3	93.2
150 r/min, 6 min + 50 r/min, 10 min	15	65.6	25.1	93.6
50 r/min, 20 min	15	58.9	21.3	92.0

实验结果表明:不同的反应条件对各污染物的去除有一定的影响,反应越充分,各污染物的去除率越高,但不同的反应条件对各污染物去除率的影响不大。在各反应条件下,快速搅拌 300 r/min, 0.5 min与慢速搅拌 50 r/min,10 min 组合条件下,COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率最高,分别为 69.1% 和 27.4%,而在中速搅拌 150 r/min,6 min 与慢速搅拌 50 r/min,10 min 组合条件下,浊度的去除率最高为 93.6%。

3)不同静沉时间对 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和浊度去除率的影响

取 PAC 的投加量为 40 mg/L,采用中速 150 r/min,3 min 与慢速 50 r/min,10 min 组合条件进行搅拌,分别设定静沉时间为 10 min、15 min、20 min、25 min 和 30 min,以此来研究静沉时间对各污染物去除率的影响,实验结果见表 5。

表 5 不同静沉时间对 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和浊度去除率的影响

搅拌条件	静沉时间/min	去除率/%		
		COD	$\text{NH}_3\text{-N}$	浊度
150 r/min, 3 min + 50 r/min, 10 min	10	60.4	22.4	90.7
150 r/min, 3 min + 50 r/min, 10 min	15	61.2	23.9	91.3
150 r/min, 3 min + 50 r/min, 10 min	20	63.6	24.1	92.6
150 r/min, 3 min + 50 r/min, 10 min	25	65.8	26.5	94.8
150 r/min, 3 min + 50 r/min, 10 min	30	67.6	29.2	95.6

在相同的搅拌条件下,延长静沉时间可增加各污染物的去除率。当静沉时间由 10 min 增加到 30 min 时,COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和浊度去除率分别增加 7.2%、6.8%和 4.9%,通过延长静沉时间来提高各污染物的去除率其效果不明显。综合考虑实际工程运行的经济成本,确定 PAC 的投加量为 40 mg/L,并在中速 150 r/min 搅拌 3 min、慢速 50 r/min 搅拌 10 min,然后静置沉淀 15 min 的条件下,出水的 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和浊度分别为 23.98 mg/L、3.08 mg/L 和 2.61NTU。

3 雨水处理方案确定

雨水处理工艺流程应根据所收集雨水的水量、水质,以及雨水回用的水质要求等因素综合确定,文中所研究的雨水来自辽工大玉龙校区教师公寓整个园区的道路、屋面及绿地集流的混合水样。由于初

期雨水径流冲刷屋面、路面、以及其他裸露的地面等,初期雨水携带的污染负荷较高且难于控制,已经严重超出可直接回用的标准,需在雨水管线末端设置弃流井;对于较粗的漂浮物与悬浮物,如树叶、果皮、纤维等,需在雨水口和雨水井设置截污筛网和格栅,或设计专门的浮渣隔离、沉淀截污井;经过弃流和格栅之后,雨水水质比较稳定,污染物质量浓度会有明显降低。根据前期雨水水质测试结果及混凝实验,最后确定采用如下处理工艺^[14-15],具体工艺流程见图 2。

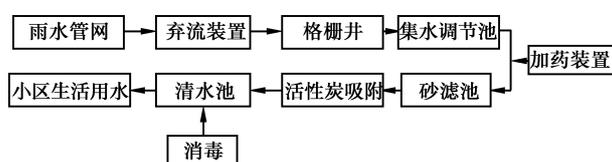


图 2 小区雨水处理工艺流程图

根据静态混凝实验所确定最佳实验条件,按图 2 工艺流程设计一套小型中试装置,待运行稳定后测试其出水水质,监测结果表明其水质完全达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》标准(GB/T 18920—2002)。

4 结 论

1)结合小区的实际情况,在多年平均降雨量为 506.6 mm 的情况下,整个小区雨水的可集水量为 67 468.45 m^3/a ;经水量平衡分析,其水量可满足整个小区的杂用水。

2)通过静态混凝实验,确定采用 PAC 作为混凝剂,当投加量为 40 mg/L,且在中速 150 r/min 搅拌 3 min、慢速 50 r/min 搅拌 10 min,静置沉淀 15 min 的条件下,出水的 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和浊度分别为 23.98、3.08 mg/L 和 2.61NTU。

3)在静态实验的基础上,确定采用“雨水管网→弃流装置→筛网→调节池(加 PAC 混凝剂)→砂滤池→活性炭吸附→清水池(液氯消毒)→小区生活杂用水”雨水处理工艺,经实验室小型中试装置测试,其出水水质可达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》标准(GB/T18920—2002)。

参考文献:

- [1] Zaizen M, Urakawa T, Matsumoto Y, et al. The ecoheifon of rainwater from dome stadiums in Japna [J]. Urbna Water, 1999, 26(1): 355-359.
- [2] Smith A, Khow J, Hills S, et al. Water reuse at the

- UK's millennium dome [J]. Membrane Technology, 2000,118(4):5-8.
- [3] 陈炬锋,刘磊磊. 雨水水质研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007,35(7):2045-2046.
- [4] 何东. 城市雨水综合利用系统研究[J]. 重庆建筑,2006(1):74-76.
- [5] 王俊华. 城市雨水处理利用研究[J]. 市政工程,2013,33(5):225-226.
- [6] 钟素娟,刘德明,许静菊,等. 国外雨水综合利用先进理念和技术[J]. 福建建设科技,2013(2):77-79
- [7] 李梅,李佩成,于晓晶. 城市雨水收集模式和处理技术[J]. 山东建筑大学学报,2007,22(6):517-520.
- [8] 李喜林,刘玲,李强,等. 北方建筑小区雨水资源化利用分析与实验[J]. 辽宁工程技术大学学报:自然科学版, 2013,32(9):1242-1245.
- [9] 张旭,蒋娇娇. 阜新地区 1951-2010 年降水变化特征[J]. 气象与环境科学,2012,35(3):66-70.
- [10] 李甲亮,肖新峰,程建光,等. 城市雨水处理与资源化利用研究[J]. 山东科技大学学报自然科学版,2009,28(2):51-54.
- [11] 邓风,陈卫,孙文全,等. 城市雨水的物化处理技术[J]. 中国给水排水,2003,19(10):25-27.
- [12] 谭良良,陈功宁,林华. 城市的雨水收集与利用及 LID 低影响开发[J]. 建设科技,2003(22):76-79.
- [13] 李喜林,刘玲,江富,等. 高锰酸钾和混凝剂联用处理微污染水源水试验研究[J]. 辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2013,32(3):349-352.
- [14] Sun J, Shi K. Rain water utilization in urban design: A case study of the street natural drainage program in Seattle America[C]//2nd International Conference on Civil Engineering and Building Materials, CEBM 2012, November 17, 2012 -November 18, 2012, Hong Kong, Hong kong, 2012, CRC Press / Balkema.
- [15] Mentens J, Raes D, Hermy M. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century [J]. Land-scape and Urban Planning, 2006,77(3):217-226.

(编辑 陈移峰)