

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2016.04.013

株洲雨水资源化利用可行性及策略研究

——以云龙示范区为例

张海燕, 许竞舟

(湖南工业大学 建筑与城乡规划学院, 湖南 株洲 412007)

摘要:通过分析湖南省株洲市云龙示范区的雨水资源化潜力, 得出云龙示范区雨水可利用总量可满足生活用水回用量、绿化用水量 and 道路洒水量等用水需求, 并计算得出, 与传统水源利用相比, 在云龙示范区使用雨水资源作为水源可创造 699 万元的效益。提出建设雨水资源综合利用系统的技术建议和具体措施, 以期在云龙示范区的建设中, 充分利用雨水资源化集蓄、渗透技术, 提高雨水资源化的生态效益、经济效益, 为建设生态节约型、环境友好型农村社区提供理论参考。

关键词: 雨水资源化; 云龙示范区; 利用策略; 利用效益

中图分类号: TV213.9

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2016)04-0067-07

On the Strategy and Feasibility of Rainwater Resources Utilization in Zhuzhou: A Case Study of Yunlong Demonstration Zone

ZHANG Haiyan, XU Jingzhou

(School of Architecture and Urban Planning, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract : A detailed analysis of the rainwater utilization potential in Yunlong demonstration zone shows that the total quantity of its rainwater resources is capable of meeting the demand of domestic use, landscaping use, and road sprinkling use. The calculation result shows that, compared with traditional water sources, the usage of the rainwater resources in this area as a new water source generates a substantial economic benefits of 6.99 million yuan. Thus specific measures have been put forward concerning the construction of rainwater resources utilization system so as to make full use of the rainwater resource storage in Zhuzhou Yunlong demonstration zone with the aid of infiltration technology, improve its ecological benefits and economic benefits of rainwater resources, and provide a scientific basis for the construction of a resource-saving, environmentally-friendly rural community.

Keywords : rainwater resources ; Yunlong demonstration zone ; utilization strategy ; utilization efficiency

随着城市经济的快速发展, 柏油水泥路面和建筑铺装等城市硬质地面面积急剧增加, 这使得降水、地表水、地下水得不到有效调节, 从而造成“热岛效应”“城市看海”等现象。国家发展和改革委员会等部门联合发布的《节水型社会建设“十一五”规划》

中提到, 收集、利用雨水是发展循环经济、建设节约型社会的重要举措。雨水是不可忽视的淡水资源, 若将其收集利用, 将对城市供水起到极大的补充作用。国外雨水资源利用已有 2 000 多年的历史, 国外雨水资源利用理论成果较多, 其中美国的《雨

收稿日期: 2016-06-13

基金项目: 长株潭两型社会农村社区建设技术集成与示范基金资助项目(2013BAJ10B14)

作者简介: 张海燕(1992-), 女, 安徽安庆人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为两型农村社区及人居环境,

E-mail: 1145185052@qq.com

洪管理条例》规定新开发区的暴雨洪峰流量不能超过开发前的水平,所有新开发区必须强制实行“就地”滞洪蓄水,滞洪设施的最低容量按照控制5 a一遇的暴雨径流设计。德国政府关于雨水利用的规定有:做排水规划时均要设计雨水利用设施,若无雨水利用设施,政府将征收雨水排放设施费和雨水排放费等。国外雨水利用技术有屋面雨水集蓄系统、雨水截污与渗透系统、生态小区雨水利用系统等^[1]。中国早在秦汉时期就有修建涝池、塘坝拦蓄雨水等雨水利用先例,近现代西北地区的水窖及民居中的雨水天井、渗池就是雨水利用的实例。但是中国雨水利用理论研究和实践应用还处于初步发展阶段,与国外相比,技术还比较落后,相关法律法规也不健全。目前国内雨水利用的成果主要有北京的雨水资源利用理论研究、山东省长岛县雨水集流工程。近年来,北京、上海、大连、哈尔滨、西安等城市都相继开展了雨水收集利用研究^[2]。湖南省株洲市云龙示范区的开发建设将按照“两型社会”模式进行,而节约水资源、减少自来水的生产量、对雨水资源化利用,符合两型社会的建设理念,因此,对其雨水资源利用进行了研究具有重要意义。

1 云龙示范区雨水资源利用分析

1.1 云龙示范区水生态系统现状

云龙示范区位于株洲市白石港流域上游属亚热带季风气候,四季分明,雨量充沛、光热充足,年平均总降水量为1 476 mm,单日最大降水量为192.5 mm。周边生态环境优良,依山傍水,场地现状为山地和农田。示范区所在地高差较大,原始场地最高点为81 m,最低点为56 m。示范区内云峰湖总面积为61 hm²,占示范区总面积7%;其他水域面积为23 hm²,占总面积3%。示范区内土壤肥沃、松软,蓄水能力强。现有场地有较多雨水滞留区域,如农田、云峰湖、砂石水库、水塘等。

1.2 云龙示范区水资源可利用总量计算

相关资料表明,一般而言年平均降水量大于200 mm的地区都可以建设集雨工程,年降水量在300 mm以上地区的集雨工程经济效益更好。株洲市常年平均降雨量为1 470 mm,属于集雨高效区,因此对株洲市的雨水进行利用是可行的。本文采用文献[3]中的计算公式(见式(1)),对云龙示范区雨水利用的可行性进行分析^[3]。

$$Q = \alpha \times \beta \times A \times P. \quad (1)$$

式中: Q 为雨水资源可实现潜力, m²;

α 为径流系数,各种屋面、混凝土和沥青路面一

般取0.90,绿地取0.15;

β 为初期弃流系数,根据相关研究,屋面为0.8,路面、绿地为1.0^[4]。

A 为汇水面积, m²;

P 为降雨量, mm;

表1为云龙示范区各类用地面积及其相关系数。

表1 云龙示范区用地性质和相关系数

Table 1 Land use function with its correlation coefficients in Yunlong demonstration zone

地面性质	汇水面积 A/m^2	径流系数 α	初期弃雨系数 β
道路	10×10^4	0.90	1.0
绿地	260×10^4	0.15	1.0
建筑	115×10^4	0.90	0.8
总计	385×10^4		

图1为2014年株洲市降水量数据。

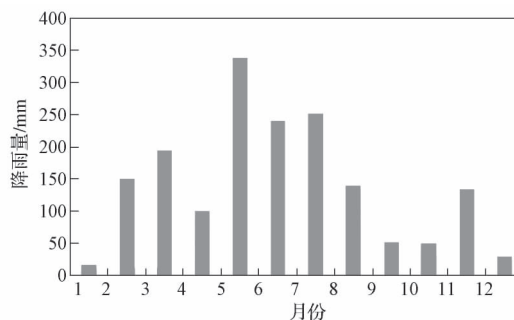


图1 2014年株洲市降水量

Fig. 1 Amount of precipitation in Zhuzhou in 2014

从图1可以看出2014年2—8月株洲市降雨量较集中,按照株洲市气候情况,选取2—8月进行雨水利用情况计算。

表2是根据式(1)和表1计算求得的2014年2—8月云龙示范区道路、建筑、绿地雨水径流量。

表2 云龙示范区各类用地雨水径流量

Table 2 Total runoff of various types of land in Yunlong Demonstration zone m³

月份	道路	绿地	建筑	合计
2	13 482	58 422	124 034	195 938
3	17 442	75 582	160 466	253 418
4	9 018	39 078	82 965	131 061
5	30 402	131 742	279 698	441 842
6	21 681	93 951	199 465	315 097
7	22 680	98 280	208 656	329 616
8	12 645	54 795	116 334	183 774
合计	127 350	551 850	1 171 618	1 850 818

从表2可以看出,云龙示范区在2014年2—8月建筑雨水径流量为82 965~279 698 m³,绿地径流量为39 078~131 742 m³,道路径流量为9 018~30 402 m³。其中,建筑径流量占总径流量的63.4%,绿地径流量占总径流量的29.8%,道路径流量占总径流量的6.8%。

建筑和绿化径流量占总径流量的 93.2%，可利用建筑、绿化用地集蓄雨水并补给地下水。

1.3 云龙示范区水量消耗估算

表 3 为根据云龙示范区 2014 年 2—8 月各用地面积和 DB43/T388—2008《湖南省地方标准：用水定额》中的用水标准，估算得到的云龙示范区雨水资源可利用量与供水需求量。

表 3 为根据云龙示范区 2014 年 2—8 月各用地面积

表 3 云龙示范区 2014 年 2—8 月雨水资源可利用量与供水需求量

Table 3 Analysis of available rainwater resources and demand of water supply in Yunlong Demonstration zone from February to August in 2014

月 份	降雨量 /mm	可收集雨水量 /m ³	可利用雨水量 /m ³	绿化用水量 /m ³	道路洒水量 /m ³	总用水量 /m ³	盈亏 /m ³
2	149.8	195 938	176 344	156 000	3 600	193 266	-16 922
3	193.8	253 418	228 076	156 000	3 600	193 266	34 810
4	100.2	131 061	117 955	156 000	3 600	193 266	-75 311
5	337.8	441 842	397 658	156 000	3 600	193 266	204 392
6	240.9	315 097	283 587	156 000	3 600	193 266	90 321
7	252.0	329 616	296 654	156 000	3 600	193 266	103 388
8	140.5	183 774	165 396	156 000	3 600	193 266	-27 870
总 计	1 415.0	1 850 746	1 665 670	1 092 000	25 200	1 352 862	312 808

注：供水需求量按照 DB43/T388—2008《湖南省地方标准—用水定额》估算求得。

表 3 中，根据绿化用水定额为 60 L/(m²·月)、道路洒水定额 36 L/(m²·月)，可求得每月绿化用水量为 60×260×10⁴×10⁻³=156 000 m³和道路洒水量为 3 600 m³。生活用水回用主要指用水量大、水质要求低的冲厕用水。根据 GB50336—2002《建筑中水设计规范》中建筑给水标准，取每日 40 L/人，云龙示范区 2014 年使用水资源人口为 28 022 人，则每月生活用水量约为 33 626 m³。继而可求得总用水量，即生活用水回用量+绿化用水量+道路洒水量。可利用雨水量按照可收集雨水量的 90% 计算。从表 3 可知，3、5、6、7 月的雨水量可完全保证绿化用水、道路洒水用水、居民生活用水回用需求，而节余的雨水资源可以补给 2、4、8 月雨水资源不够的用水。

2 云龙示范区雨水资源利用策略

2.1 云龙示范区开发可能产生的资源问题

在云龙示范区开发过程中，可能产生的问题有：由于生产和生活的需要，不透水地面增加，雨水滞留区域减少，雨水下渗量减少，地下水得不到补偿，严重的地下水位下降会引起地面下沉；在大暴雨时，不透水地面导致汇流时间缩短和峰流量加大，可能引起洪涝灾害；人类活动和工业发展，导致水质污染，使可利用水量减少；在开发过程会破坏原有水生态循环系统，水体自净能力衰退。基于以上问题，开发过程中需要合理地配置雨水资源。

2.2 云龙示范区建设中雨水资源化利用

由于株洲市降雨量分布不均，雨水主要集中在 2—8 月，9 月雨水开始骤降，为了合理分配水资

源，要充分地储存雨水资源。雨水利用技术主要有雨水集蓄技术和雨水渗透技术。

2.2.1 雨水集蓄技术

雨水集蓄技术包括现有滞留区域保留作为天然集蓄池、屋顶集蓄技术和地面储水技术。

1) 将现有滞留区域保留作为天然集蓄池

云龙示范区现有的滞留区域（如图 2），如现有农田（如图 3）、云峰湖、砂石水库、水塘都是很好的集蓄雨水区域。



图 2 云龙示范区天然的雨水滞留区域

Fig. 2 Retention area in Yunlong demonstration zone

这些滞留区域是天然的集蓄池，规划设计雨水集蓄利用系统时应在尽量保留天然滞留区域的基础上实行低强度开发。雨水的收集处理过程与污水处理类似，而且雨水水质比污水好，雨水中带有的地面污染物和泥沙可以经过筛网等设施进行处理^[5-6]，雨水收集后可通过雨水窖、集水池等设施储存，用

于家庭、公共和工业等方面的非饮用水,如浇灌、冲刷、冷却循环等。



图3 云龙示范区现有农田

Fig. 3 Current farmland in Yunlong demonstration zone

2) 屋顶雨水集蓄技术

图4为屋顶雨水收集系统。

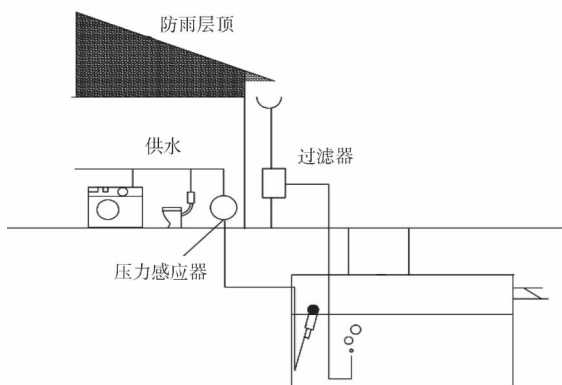


图4 屋面雨水集蓄利用系统

Fig. 4 Recycling system of roof rainwater reservation and utilization

由图4可以看出,屋顶集蓄系统主要结构包括集水区、输水系统(沟槽、落水管、管道)、过滤系统、储存系统(水箱、水池)以及配水系统,部分配有渗透设施,并与储水池溢流管相连^[7]。

在云龙示范区建设过程中,可以在屋顶设置集蓄雨水设施,由于屋顶雨水水质较好,可收集作为浇灌草木、洗车洗衣、工业用水、景观用水等非饮用水。

3) 地面储水技术

地面储水技术(mulden-rigolen-system)称为MR系统,又称“水洼渗透渠组合系统”,是德国近10 a发展起来的雨水处理技术^[8],其在公园绿地中有相关的应用。图5为水洼渗透组合系统示意图。

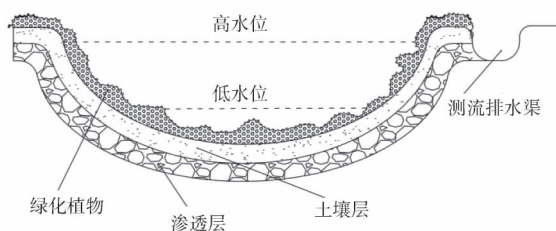


图5 水洼渗透组合系统

Fig. 5 Mulden-Rigolen-System

图5中,水洼渗透组合分为上下两层:上层为绿色植物如草皮、芦苇等两生植物与土壤,厚度约为0.3 m,用来净化雨水;下层为渗透渠,一般填充高渗透能力的砾石和岩石,用以储存雨水。雨水通过砾石颗粒渗透到地下,可补充地下水。高于高水位的雨水通过测流排水渠排走。

在云龙示范区建设中,可将绿地分为几个汇水区域,在汇水区域地势低的地方建设蓄水池,在地势高的地方设置排水渠,将雨水排往云龙湖、砂石水库,或用于高尔夫球场的灌溉。水洼渗透渠组合系统既有利于雨水的资源化利用,又能与环境景观相融合,还能补给地下水,有较好的环境生态效益。

2.2.2 雨水渗透技术

雨水渗透技术是通过雨水渗透设施的过滤和渗透,将雨水渗透至地下并储存于地下的一种技术。雨水渗透设施包括渗透雨水口、渗透雨水井、渗透雨水沟、渗透雨水洼池等。

1) 渗透雨水口。渗透雨水口设置在公园绿地或地面低洼处,有集水、渗透、去污功能。渗透雨水口侧壁和底部打孔,渗水孔呈梅花形布置,以防止渗水口四周的压力损坏渗水口。在不同位置设置的渗水口结构形式不同,这要考虑不同位置的土壤条件和压力强度。在绿地中的渗透雨水口为普通渗透雨水口,壁厚为1.5 cm;设置在道路边的雨水口为重型雨水口,雨水口中设置型钢,壁厚2.0 cm。在雨水口内设置过滤框,框内设置过滤碎石和吸附性材料,框内覆土工布,可过滤雨水中的大部分颗粒物,保证渗透雨水口的渗透能力不受雨水中的杂物影响。

2) 渗透雨水井。渗水浅井类似于普通的检查井,但井壁做成透水的,不仅有检查功能,还能渗透、集蓄更多的雨水。在井底和四周铺设10~30 mm的碎石,雨水通过井壁、井底向四周渗透。当渗水量超过渗水能力时,雨水通过渗透雨水井的深管道排到地下土壤中,渗水管道用透水有孔材料制作,管道周围以砂石、防护材料作为渗透层。渗透雨水井设于道路边要设置型钢,防止周围土壤对其挤压而导致其变形。

3) 渗透雨水沟。渗透雨水沟适用于道路和广场等不透水地面周边, 将雨水集中排放于渗透雨水沟中, 雨水通过渗透雨水沟渗透到地下或者汇流到江河湖塘等区域。渗透雨水沟沟面设置孔状材料, 底部铺置碎石和其他吸附性材料, 并铺裹土工布。具体做法与渗透雨水口类似。渗透雨水沟设于地面, 易于清扫, 减少了挖深和土方量^[9]。

4) 渗透雨水地面。渗透雨水地面一般分为两种: 一种为天然透水地面, 一般将绿地设计成具有高差的下凹式地面 (见图6), 既有观赏性, 又有渗透雨水、集蓄雨水的作用, 天然透水地面分为两层, 上层为绿植, 下层为碎石等材料铺设的透水层, 可用于道路周边的排水, 也可作为景观造水池塘; 而另一种是人工透水地面, 指用透水材料铺设的硬质地面, 如多空沥青地面、碎石地面、草坪砖地面等 (见图7), 草坪砖一般用陶瓷型透水砖、非陶瓷型透水砖铺设, 可用于绿化池、停车场、广场、步行道等地面, 在草坪砖中可种草皮, 不仅能渗透雨水, 还能吸收雨水中的有害物质, 具有极好的生态效应。

5) 不透水地面。在该地面上, 适合于把雨水收集起来, 并结合实际设置相应容积的地下储水池以及相应的初期雨水弃流、过滤、沉淀池等装置; 或者无须设置处理装置, 直接用于喷洒路面、浇灌绿地、喷泉、洗车、消防等。



图6 下凹式渗水地面

Fig. 6 Sunken seepage ground



图7 草坪砖铺设的停车场

Fig. 7 Lawn-brick-paved parking lot

2.2.3 雨水综合利用系统

云龙示范区有着良好的地理条件、自然条件与水文条件。开发过程中宜在维护现有水系统的基础上, 保证洪涝安全和水质质量, 并将雨水资源利用渗透到整个云龙示范区水系统规划设计中。图8为雨水资源综合利用系统。

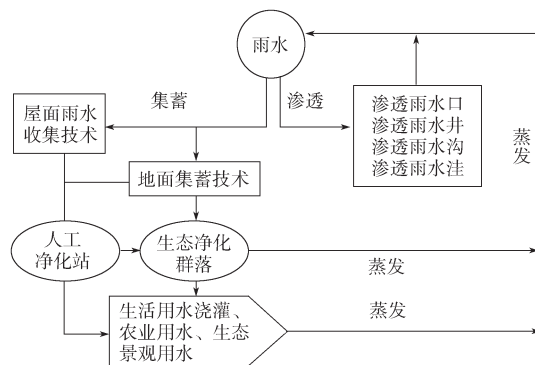


图8 云龙示范区雨水资源综合利用系统

Fig. 8 Comprehensive rainwater utilization system in Yunlong demonstration zone

图8中, 雨水综合利用系统包括雨水资源的收集、雨水资源的净化、雨水资源的利用、雨水资源的管理4部分。雨水资源的收集系统有渗透雨水口、渗透雨水井、渗透雨水沟、渗透雨水洼池、屋顶集蓄系统。这些雨水收集技术的应用一方面可以将雨水渗透到地下, 另一方面可以让雨水通过渗透雨水口、渗透雨水沟流入雨水集蓄池。雨水的净化系统包括生态净化群落、人工污水净化站, 生态净化群落主要是起地面生态草坪的过滤和吸附功能, 人工污水净化站是指通过生物化学技术将初步净化的雨水进行进一步优化处理, 使水质达到可利用标准。用于浇灌的雨水、生态景观用水的水质应达到地表水III水质标准 (参考GB 3838—2002《地表水环境质量标准》)。景观水域的总磷单项指标应达到0.02 mg/L, 即总磷量不超过0.02 mg/L, 防止藻类滋生。按照GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》, 设定雨水净化标准为地表III类水质, 单项指标总磷达到0.02 mg/L。净化后的雨水可供给水景观、工业、日常生活回用。

2.2.4 污水、雨水资源化利用管理的相关法规条例

雨水资源化利用系统的维护和可持续发展不仅靠技术支撑, 还要制定相关法规条例管理维护。制定相关条例制约开发区污染和开采地下水行为, 可对生态破坏进行补偿收费, 对保护水资源的行为实施相关奖励制度, 对开发区的开发建设者进行雨水资源利用技术培训, 对云龙示范区居民宣传雨水资源化知识等, 以加强雨水利用管理。

3 云龙示范区雨水利用效益分析

3.1 经济效益分析

云龙示范区占地 $884 \times 10^4 \text{ m}^2$, 其中建筑面积为 $115 \times 10^4 \text{ m}^2$, 绿地面积 $260 \times 10^4 \text{ m}^2$, 道路面积 $10 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。2014年年降雨量为 $1\,696 \text{ mm}$, 1 a 内可收集的雨水量可按式(1)计算。 $Q_0=260 \times 10^4 \times 0.15 \times 1 \times 1.696+115 \times 10^4 \times 0.9 \times 0.8 \times 1.696+10 \times 10^4 \times 0.9 \times 1 \times 1.696=2\,218\,368$, 得到云龙示范区区域 1 a 可收集的雨水量 Q 为 $2\,218\,368 \text{ m}^3$ 。根据株洲自来水价格 2.2 元/m^3 , 可算出每年可节省近 $488 \text{ 万元人民币}^{[10]}$ 。将雨水利用分为3类: 生活用水 Q_1 , 绿化景观用水 Q_2 , 道路洒水 Q_3 。根据株洲用水市价, 生活用水均价为 2.2 元/m^3 , 市政用水(包括绿化景观用水和道路洒水)用水均价为 2.7 元/m^3 , 雨水利用费用为 0.3 元/m^3 , 可得出雨水利用与其他水源利用可节约费用为: 生活用水 1.9 元/m^3 , 绿化景观用水 2.4 元/m^3 , 道路洒水 2.4 元/m^3 。

雨水利用效益模型为

$$\text{Max}=1.9Q_1+2.4Q_2+2.4Q_3。 \quad (2)$$

约束条件为

$$Q_1+Q_2+Q_3 \leq Q_0。 \quad (3)$$

由于绿化景观用水在降雨量大的月份无需求, 所以设每年60%的时间用绿化用水, 道路洒水同理。

$$Q_1=40 \times 30 \times 10^{-3} \times 28\,022 \times 12=403\,516, \quad (4)$$

$$Q_2=60 \times 260 \times 10^{-3} \times 10^4 \times 12 \times 60\%=1\,123\,200, \quad (5)$$

$$Q_3=36 \times 10 \times 10^{-3} \times 10^4 \times 12 \times 60\%=25\,920, \quad (6)$$

$$Q_1+Q_2+Q_3=1\,552\,636 \leq Q_0=2\,218\,368, \quad (7)$$

$$\text{Max}=1.9Q_1+2.4Q_2+2.4Q_3=6\,986\,928。 \quad (8)$$

从式(8)可以看出, 云龙示范区雨水资源量完全能满足云龙示范区生活用水回用、绿化景观用水、道路洒水的需求, 与现有水源相比, 雨水资源作为水源可创造约 699 万元人民币 的效益, 节省财政支出。雨水资源化创造的经济效益也可以带动云龙示范区的经济发展。雨水作为生活用水回用、景观用水等水质要求低、用水需求量大的水源, 可减少污水处理费用。在株洲市推广使用雨水资源, 将有利于推动株洲市经济发展。

3.2 生态效益分析

雨水资源化利用符合云龙示范区两型社会发展目标, 将雨水从弃水变为可利用资源, 节约了水资源, 补给地下水, 保护自然水循环, 有利于水资源的可持续利用。市民使用雨水资源的同时也提高了水资源保护意识, 有助于全民环保意识的提升^[11]。

4 结语

雨水资源化利用将雨水变为可利用资源, 在两型社会建设背景下, 具有很好的发展前景。从云龙示范区雨水资源可利用量及需求量分析结果中得出, 雨水资源可补充传统水源, 成为经济、节约、生态的新资源。将当前雨水利用技术应用于云龙示范区水系统规划, 有利于推进雨水资源可持续利用。

参考文献:

- [1] 黄文凯, 王小凡. 高层建筑节能设计探讨[J]. 湖南工业大学学报, 2009, 23(3): 15-17.
HUANG Wenkai, WANG Xiaofan. Discussion on the Design of Energy-Saving High-Rise Building[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2009, 23(3): 15-17.
- [2] 武 廉. 基于低碳绿色理念的城市建筑设计研究[J]. 湖南工业大学学报(社会科学版), 2012, 17(3): 6-10
WU Lian. City Architectural Design Based on Low Carbon Green Design Conception[J]. Journal of Hunan University of Technology(Social Science Edition), 2012, 17(3): 6-10
- [3] 伊元荣, 海米提·依米提, 赵丽丽. 乌鲁木齐市城市雨水资源化利用探讨[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(12): 128-132.
YI Yuanrong, HAIMITI Yimiti, ZHAO Lili. Study on Rainwater Resources Utilization in Urumqi Urban[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(12): 128-132.
- [4] 赵丹丹, 冯利华, 王亚丽. 金华市雨水资源化潜力及效益评价[J]. 水资源与水工程学报, 2011, 22(1): 36-39.
ZHAO Dandan, FENG Lihua, WANG Yali. Potential and Benefit Evaluation of Rainwater Resource in Jinhua City[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2011, 22(1): 36-39.
- [5] 聂发辉. 城市雨水生态化综合利用技术探讨[J]. 华东交通大学学报, 2007, 24(1): 27-31.
NIE Fahui. Study on the Comprehensive Utilization Technology of Urban Rainwater[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2007, 24(1): 27-31.
- [6] 甘宗胜, 刘玉玲, 曹立坤, 等. 西安市雨水利用可行性分析及对策研究[J]. 中国资源综合利用, 2007, 25(7): 18-19.
GAN Zongsheng, LIU Yuling, CAO Likun, et al. Feasibility Analysis and Countermeasure Research of Rainwater Utilization in Xi'an City[J]. Chinese Resources Comprehensive Utilization, 2007, 25(7): 18-19.
- [7] 张文慧. 雨水和再生水资源化在绿色基础设施中的应用研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2013.

- ZHANG Wenhui. Rainwater and Reclaimed Water Resources in the Application of Green Infrastructure[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2013.
- [8] 王艳锦, 岳建芝, 张全国, 等. 城市雨水资源化利用技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(28): 12358-12359.
- WANG Yanjin, YUE Jianzhi, ZHANG Quanguo, et al. Research Progress of Urban Rainwater Resource Utilization Technology[J]. Anhui Agricultural Science, 2008, 36(28): 12358-12359.
- [9] 李寿海. 雨水渗透管道施工技术[J]. 管线工程, 2011, 29(1): 77-79.
- LI Shouhai. Construction Technology of Rainwater Seepage Pipeline[J]. Pipeline Engineering, 2011, 29(1): 77-79.
- [10] 宋令勇. 西安市雨水收集潜力及利用模式研究[D]. 西安: 西北大学, 2010.
- SONG Lingyong. Study on the Potential and Utilization of Rainwater in Xi'an City[D]. Xi'an: Northwestern University, 2010.
- [11] 吴筱荣. 以人为本的绿色设计[J]. 包装学报, 2010, 2(3): 93-96.
- WU Xiaorong. People-Oriented Green Design[J]. Packaging Journal, 2010, 2(3): 93-96.
- (责任编辑: 申 剑)

.....

(上接第31页)

- [13] MAK K L, WONG Y S, WANG X X. An Adaptive Genetic Algorithm for Manufacturing Cell Formation[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2000, 16(7): 491-497.
- [14] DORIGO M, MANIEZZO V, COLORNI A. Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics : Part B(Cybernetics), 1996, 26(1): 29-41.
- [15] DORIGO M, GAMBARDELLA L M. Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1997, 1(1): 53-66.
- [16] DORIGO M, GAMBARDELLA L M. Ant Colonies for the Travelling Salesman Problem[J]. Bio Systems, 1997, 43(2): 73-81.
- [17] 王 鑫. 基于加工特征的机床关键零件高效数控加工切削参数优化技术研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2014.
- WANG Xin. Machining Features Based on Cutting Conditions Optimization for High Performance CNC Machining of Key Machine Parts[D]. Zhuzhou: Journal of Hunan University of Technology, 2014.
- (责任编辑: 邓 彬)