

城市透水面集水效益评价研究 ——以大连市为例

张洪涛^{1, 2}, 徐向舟¹, 曹健³, 许金辉¹, 李美娟¹

(1. 大连理工大学 水利工程学院, 辽宁 大连, 116024; 2. 中交广州航道局有限公司, 广东 广州, 510221; 3. 大连勘察测绘研究院有限公司, 辽宁 大连, 116021)

摘 要: 透水面是城市雨水利用的重要手段。以大连典型市区——西岗区和中山区为研究区域, 根据2005年航摄采集的基础数据统计了当年各类透水面的面积, 进而根据当年的降雨量、地表径流的截留系数和地下水的下渗补给系数计算得出研究区域透水面的集雨量, 然后根据相应的经济、生态效益指标计算了透水面的集水效益。研究表明: (1) 透水面的总面积为3 663.30 hm², 占研究区域总面积的51.5%; 林地、草地和透水路面的面积比为6.5 : 1.3 : 1.0。(2) 研究区域林地、草地、透水路面对降雨径流的截流量为 1.69×10^7 m³, 其中补充到地下水层的雨水量为 5.0×10^6 m³; 合计产生经济效益 1.4×10^6 元, 生态效益 5.52×10^7 元。同时, 由于大连市透水面的发展控制了城市水土流失, 营造了良好的人居环境, 促进了该市的和谐发展, 因而产生了显著的社会效益。

关键词: 城市透水面; 面积分布; 集雨量; 效益评价

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)04-0163-04

中图分类号: TV1

Benefits of Rainwater Retained by Urban Permeable Surfaces

—A Case Study of Dalian City

ZHANG Hong-tao^{1, 2}, XU Xiang-zhou¹, CAO Jian³, XU Jin-hui¹, LI Mei-juan¹

(1. School of Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116024, China;

2. CCCC Guangzhou Dredging Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510221, China;

3. Dalian Academy of Reconnaissance and Mapping Co. Ltd., Dalian, Liaoning 116021, China)

Abstract: The urban permeable surface is an effective practice to conserve rainwater. This study presents a method to calculate the areas of the urban permeable surfaces and assess the benefits of the rainwater retained by them. As a case study in the Xigang District and the Zhongshan District of Dalian City, the areas of the urban permeable surfaces in 2005 were calculated based on the data from aerial photographic survey. Then the volume of the collected water in the year was obtained according to the annual rainfall amount, retaining ratio of the runoff, and infiltrating ratio of ground water. At last, the benefits of the rainwater retained by urban permeable surfaces were estimated using the economic and ecological benefit indexes. The main results from the study can be summarized as follows: (1) The total area of the permeable surfaces was 3 663.30 hm², which was 51.5% of the total area of the study region. The area ratio of forestry land, grassland, and porous pavement was 6.5 : 1.3 : 1.0. (2) In virtue of the urban permeable surfaces, runoff was reduced by 1.69×10^7 m³, of which 5.0×10^6 m³ rainwater infiltrated into groundwater layer. Consequently, the total economic benefit of the retained rainwater was 1.4×10^6 RMB and the ecological benefit was 5.52×10^7 RMB. Moreover, great social benefit was generated due to controlled soil erosion and improved urban residential environment.

Keywords: urban permeable surface; area; retained rainfall; benefit evaluation

根据下垫面的透水性, 可以将城市地表分为两类: 透水面和不透水面。不透水面主要指能够阻止雨水渗透到地下的地表, 如屋顶和水泥路面等。透水面指相对前者而言透水性较大的地表, 主要包括林地、

收稿日期: 2009-09-21

修回日期: 2010-03-14

资助项目: 教育部科学技术研究重点项目“城市透水面集水效应试验研究”(108035); 水利部黄河泥沙重点实验室开放课题基金(2009002); “十一五”国家科技支撑计划重点项目课题(2006BAB14B05)

作者简介: 张洪涛(1986—), 男(汉族), 湖北省黄冈县人, 学士, 助理工程师, 主要研究方向为水利工程。E-mail: hmzht1986@163.com。

通信作者: 徐向舟(1969—), 男(汉族), 浙江省龙游县人, 博士, 副教授, 主要研究方向为水土保持和水环境治理。E-mail: xzxu@dlut.edu.cn。

草地、透水性材料铺设的路面、裸地等。透水面是城市雨水利用的重要手段,城市透水面在改善城市生态环境、增强城市防洪能力等方面起着不可替代的作用。大连市属于资源性严重缺水城市,人均水资源占有量仅为全国人均占有量的 1/4。扩大城市地表透水面积,深化雨水利用,增加可使用的淡水量,对于大连市有特别重要的意义。

本研究在已有城市小区雨水利用效益评价研究成果的基础上^[12],以城市行政区的尺度,探索城市透水面集水效益的评价方法。城市雨水利用是最近 20 a 来新兴的产业,目前对这一产业效益评价的研究成果很少,而且现有成果都是以城市小区尺度进行评价的。透水面雨水下渗是城市雨水利用的重要形式,以行政区的尺度评价,可以更宏观地反映雨水利用的效益,为政府决策提供依据。

1 典型市区透水面的调查统计

大连市地处黄海与渤海之间,地势丘陵起伏,在季节性暴雨条件下,易发生水土流失。20 世纪 80 年代是大连市城市飞速发展的时候,当时大连市的水土流失情况相当严重。据遥感普查结果^[3],1985 年大连市水土流失面积为 8 306.7 km²,占全市总面积的 66%。大连市从 20 世纪 80 年代末开始重视水土保持建设,20 世纪 90 年代中期开始快速发展^[4]。采取的水土保持措施主要有:加强城市绿化和加大路面的透水性。彩色步行砖的渗透系数较大,且铺装后块体之间存在一定的缝隙,有利于雨水的集蓄和下渗,目前大连市内人行步道均已改为彩色步行砖铺路面。另一方面,大连市的林草地面积一直在持续稳步增长,绿化覆盖率已由 1995 年的 37% 上升到 2004 年的 42%^[5]。本研究以大连典型市区——西岗区和中山区为背景,采用由航摄影像生成的大比例尺地形图,定量统计和分析大连市区透水面的分布。

西岗区和中山区位于大连市中心,面积合计为 71 km²,是城市经济最繁荣、人口最密集的区域。该地区透水面分布的特点是:裸地面积很小,明水面较少,透水面主要由林草地和透水路面组成。区域内仅有一处面积较大的湖泊——明泽湖(儿童公园内,面积约 3 hm²),贯穿中山区的城中河——马栏河河道为人工修筑混凝土不透水地面。区域内公园、广场、山林分布密集,如森林动物园、滨海路景区(部分)、劳动公园、星海广场、人民广场等都分布在该区域,林、草覆盖率相当高。机动车道两侧均为透水性良好的彩色步行砖路面。公园和城市广场中,除了绿化率很高以外,绿地和彩色步行砖路面的面积所占比例较

多,不透水的屋顶和机动车道面积所占比例很小。

根据有关航摄参数,获取大连市西岗区和中山区的航摄影像。然后,根据 2005 年 1 月航摄采集的基础数据统计当年的透水路面、林地、草地的面积。将航摄影像经过内业采集、外业现场调绘、内业编图 processes 形成 AutoCAD 格式的大比例尺分层编码基础数据。在此基础上,利用 ArcGIS Engine 开发平台将基础数据转化为 ArcGIS Personal Geodatabase 格式的数据,并对林地、草地等要素进行构面处理。然后,利用 ArcGIS 的统计功能直接提取基础数据中的林地和绿地要素的面积字段 Shape_Area,进行面积统计;而对于透水路面的面积,则通过统计区域内道路的长度以及透水路面的平均宽度来获取。

各类透水面面积统计的结果如表 1 所示。由表中可以看出,研究区域林地、草地、透水路面的总面积为 3 663.30 hm²,占研究区域总面积的 51.5%。林地、草地、透水路面的面积之比为 6.5 : 1.3 : 1.0,其中林地面积较大,约为草地或透水路面面积的 6 倍。

表 1 2005 年研究区域透水面面积统计

类 别	林 地	草 地	透水路面	总面积
面积/hm ²	2 885.55	445.96	331.78	3 663.30

注:2005 年草地包括:天然草地 191.58 hm²,花圃 254.38 hm²。

2 效益识别

2.1 经济效益

城市透水面集水的经济效益为:节省城市排水设施的运行费用 C_1 。由于雨水渗入地下,可以等量减少向市政管网排放雨水。每 1 m³ 水管网运行费用为 0.08 元^[1]。

2.2 生态效益

(1) 消除污染而减少的社会损失 C_3 。雨水的生态化利用传输通道及储存介质,如明沟、人工湿地、集水塘等,对雨水中污染物具有一定的自然净化能力。在雨水的下落、汇流过程中,由于空气、地面存在污染介质而被一定程度污染。城市透水面收集、净化、利用了这部分水体,相当于消除污染。据分析,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^[6]。以目前大连市污水排污费为 0.6 元/m³ 作为消除污染投入的费用,可计算出消除污染减少的社会损失为 1.8 元/m³。

(2) 渗透雨水置换自来水的效益 C_2 。当雨水入渗地下时,会有大量雨水入渗回补地下水。其收益可根据以自来水实际价格减去以地下水为水源的自来水成本来计算^[1]。目前大连市民用自来水价格 2.3 元/m³,渗透水转化为自来水的成本可参照北京市的

情况(1.35 元/m³), 于是渗透补充地下水的效益约为 2.3—1.35=0.95(元/m³)。

(3) 林草地的吸碳制氧效益 C₄。林草地对改善城市生态环境有着重要的作用。绿色植物可以在多个方面发挥功效, 如降低噪音、水土保持、调节气候等。绿色植物每年吸收大量的二氧化碳, 并释放大量的氧气, 使空气得到净化。据研究^[7], 1 hm² 绿地每年吸收二氧化碳 2.9~4.1 t, 释放氧气 2.2~3.2 t。植物吸收 CO₂ 释放 O₂, 可以提高空气质量、减轻温室效应。对于农用地, 其吸碳价格可用绿地成本法或碳税法, 其制氧价格可用绿地成本法或工业制氧法^[8], 上述方法也可用于林草地的吸碳制氧效益评价中。

城市透水面雨水利用还可以削减洪峰, 提高城市防洪能力等, 这部分效益难以量化, 一般采用定性描述的方法来解决。

2.3 社会效益

通过城市透水面雨水利用, 可以改善城市的整体环境, 促进城市的和谐发展和社会安定; 可以增强人们的惜水、节水和利用雨水的意识, 有利于可持续发展战略的深入落实; 城市雨水利用工程的实施, 可带来直接和间接就业效果。对于这部分效益, 很难量化得到一个精确的数据, 一般通过定性描述的方法来解决。

3 效益评价

3.1 集水量计算

对于节省城市排水设施的运行费用 C₁, 其大小为透水面的截流下渗的水量 B₁ 与单位体积集水量效益 c 的乘积, 其中

$$B_1 = \alpha_1 \times P \times A \times 10^{-3} = (1-r) \times P \times A \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中: B₁——下渗水量(m³); α₁——降雨过程中透水面相对地表径流的截留系数; r——径流系数; P——降雨量(mm); A——透水面承雨投影面积(m²)。影响的因素主要有: 降雨的强度和持续时间、土壤的性质和结构、透水面的种类等。一般情况下, 林地的渗透量占总降雨量的 40%~80%^[9], 目前大连市森林覆盖率已达到 42%, 是我国生态建设最好的城市之一, 本研究进行林地渗透集水量计算时, 雨水截流系数可取为 0.7。根据武晟等^[10] 的降雨模拟模型试验成果, 在雨强约为 1.3 mm/min、降雨历时在 30~90 min 之间时, 城市草地的径流率平均值为 0.375。目前大连人行步道采用的是彩色荷兰砖路面, 根据本研究降雨模拟现场试验结果, 在雨强为 1.2~2.0 mm/min、降雨时间为 30 min 时, 大连市荷兰砖路面截留

系数约 0.52~0.65。于是, 在进行草地和透水路面渗透集水量计算时, 两者的雨水截流系数均可近似取为 0.6。

对于渗透雨水置换自来水的效益 C₃, 其大小为由于降雨而补充到地下水的雨水量 B₂ 与单位体积集水量效益 c 的乘积。降雨对地下水的补给主要受地下水埋深、降雨量和含水层岩性等因素的影响。为了简化起见, 采用当地降雨对地下水的补给系数来计算:

$$B_2 = \alpha \times P \times A \times 10^3 = (1-r-z) \times P \times A \times 10^3 \quad (2)$$

式中: B₂——地下水补给雨水量(m³); α——降雨对地下水的入渗补给系数; z——地表含水土层的蒸发系数。郭洪起^[11] 曾以河北沧州市区域 1975—1982 年的地下水动态资料求得该区多年平均年降雨入渗补给系数为 0.15, 以 1987, 1988, 1989 典型年的分析结果分别是 0.27, 0.26 和 0.26; 庞莹等^[12] 测得辽宁省鞍山市新台站 1980—2000 年的降水入渗补给系数为 0.14~0.26; 付晓忠等^[13] 根据(吉林省)大安市历年地下水动态观测资料, 测得该地区的下渗补给系数为 0.12~0.21 之间。本研究中, 各种透水面的降雨入渗补给系数均可近似取为 0.2。

按照大连市水务公报公布的数据, 大连市 2005 年降雨量为 681 mm; 再根据西岗区和中山区的各类透水面的统计面积和渗流系数, 可计算得知: 2005 年中山区和西岗区两行政区的由于林地、草地、透水路面的截流下渗作用, 使降雨过程中径流的减少量合计为 1.69×10⁷ m³; 当年雨水通过林地、草地、透水路面下渗, 补充到地下水层的雨水量合计为 5.00×10⁶ m³。

3.2 效益评价

根据上述 2005 年中山区和西岗区透水面的集雨量以及单位体积雨水效益, 可计算出研究区域透水面集蓄雨水的经济效益, 如表 2 所示。2005 年, 研究区域林地、草地和透水路面的集雨经济效益合计为 1.40×10⁶ 元; 消除污染而减少的社会损失为 3.05×10⁷ 元; 产生渗透雨水置换自来水的效益合计为 4.70×10⁶ 元。

根据 2005 年大连市西岗区和中山区的林草地面积, 可估算出 2005 年该市区林地吸收 CO₂ 为 9 666.6 t, 释放 O₂ 为 7 791.0 t; 草地吸收 CO₂ 为 1 494.0 t, 释放 O₂ 为 1 204.2 t。参照文献[8] 中碳税法, 可得大连市 2 区林草地的年吸碳的生态效益 C_{4a}(元)为:

$$C_{4a} = Q_a \times T_c \quad (3)$$

式中: Q_a——林、草地年吸碳量(t); T_c——碳税率, 可以国际较为公认的瑞典碳税 0.15 美元/kg 为标

准。根据 2005 年的吸碳制氧量,以及当年人民币相对美元的汇率等资料,可计算出大连市 2 区林草地的吸碳效益为 1.37×10^7 元。林草地释放氧气的生态效益 C_{4b} (元)可用工业制氧法^[8] 计算:

$$C_{4b} = Q_b \times I_o \tag{4}$$

式中: Q_b ——林、草地年释放氧气量(t); I_o ——工业氧批发价(700 元/t)。根据 2005 年的制氧量,可计算出大连市 2 区林草地的制氧效益为 6.30×10^6 元。

综上所述,2005 年大连市典型市区(中山区和西

岗区)的林、草地、透水路面可以定量计算的经济效益为 1.40×10^6 元,生态效益为 5.52×10^7 元,如表 2 所示。城市透水路面还能有效减小地表径流,增强城市的防洪能力;同时降低地表径流的侵蚀力,减轻水土流失。目前透水面的增加已有效地解决了大连市的水土流失问题,基本控制了城市开发建设中新造成的水土流失。大连市已连续 6 a 在全国城市环境考评中名列前茅,被评为全国 6 个模范城市之一。目前大连市已经被水利部命名为全国水土保持示范城市。

表 2 2005 年研究区透水面效益定量计算

项 目		林地	草地	透水路面	单项效益合计	效益总计
经济效益/(10 ⁶ 元)	节省排水设施的运行费用 C_1	1.1	0.1	0.1	1.4	1.4
	消除污染而减少的社会损失 C_2	24.8	3.3	2.4	30.5	55.2
生态效益/(10 ⁶ 元)	渗透雨水置换自来水的效益 C_3	3.7	0.6	0.4	4.7	
	吸碳效益 C_{4a}	11.9	1.8	0.0	13.7	
	制氧效益 C_{4b}	5.5	0.8	0.0	6.3	

3.3 社会效益

大连市区透水面的增加对大连市的发展起着深远的推动作用,促进了城市的和谐发展和社会安定。2001 年大连市率先被联合国环境规划署评为环境“全球 500 佳”城市。随着城市环境的改善,大连市旅游吸引力不断增强,如 2005 年大连市实现旅游总收入 210.9 亿元,增长 24%,旅游总收入占当年全市国内生产总值的 9.8%^[14]。花园式的城市环境和良好的城市形象已成为大连最大、最有效的“名片”和“招商广告”。如今大连市成为我国外资最集中的城市之一,产业结构和布局得到合理调整和优化升级,城市经济得到很大发展。

4 结 论

(1) 大连市透水面分布较广,其主要形式是林地、草地、透水路面。大连市典型市区(西岗区和中山区)林地、草地、透水路面的总面积为 36.6 km^2 ,占研究区域总面积的 51.5%;林地、草地、透水路面的面积之比为 6.5 : 1.3 : 1.0,其中林地面积较大,约为草地或透水路面面积的 6 倍。

(2) 大连市透水面产生了显著的生态、社会和经济效益。2005 年大连市典型市区(中山区和西岗区)的林地、草地、透水路面可以定量计算的经济效益为 1.40×10^6 元,生态效益为 5.52×10^7 元。大连市透水面的增加还营造了良好的人居环境,保障了丰富的旅游资源,促进了该市经济发展,产生了显著的社会效益。

[参 考 文 献]

[1] 李俊奇,车武,孟光辉,等. 城市雨水利用方案设计与技术经济分析[J]. 给水排水, 2001, 27(12): 25-28.

[2] 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, 10(S): 399-403.

[3] 段巧甫,鲁胜力. 大连市城市水土保持工作起步早、成效好:关于大连市城市水土保持工作的调查报告[J]. 中国水土保持, 1997(1): 8-9.

[4] 刘兆坤. 大连市城市水土保持的成功之路[J]. 中国水土保持, 2001(6): 35-36.

[5] 封海宁. 大连市生态城市建设中的城市绿地系统研究[D]. 乌鲁木齐:新疆师范大学, 2007.

[6] 邬扬善. 北京市中水设施的成本效益分析[J]. 给水排水, 1996, 22(4): 31-33.

[7] 徐凌. 城市绿地生态系统综合效益研究:以大连市为例[D]. 沈阳:辽宁师范大学, 2003.

[8] 郭霞. 农用地生态价值估价方法研究[J]. 国土资源情报, 2006(3): 19-23.

[9] 李显全. 绿化防护效应及山区公路水毁防治[J]. 公路绿化, 1988(4): 39-43.

[10] 武晟,汪志荣,张建丰,等. 不同下垫面径流系数与雨强及历时关系的实验研究[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(5): 55-59.

[11] 郭洪起. 沧州市区域现状条件下年降雨入渗补给系数分析[J]. 地下水, 2009, 31(1): 42-43.

[12] 庞莹,张晓红. 地下水资源评价中降水入渗系数的分析确定[J]. 吉林水利, 2006(S1): 8-9.

[13] 付晓忠,董小辉. 松嫩低平原(大安)“三水”转换量的计算[J]. 地下水, 2009, 31(1): 91-92.

[14] 肖瑜. 大连市旅游资源深度开发利用研究[O]. [2007-02-21]. Available online at http://www.lrn.cn/economic/environmenteco/200702/t20070221_34243.htm.