

Research and Exploration of Sponge City Construction in Binhai New Area

Xuejing Yan, Xiaoshen Zheng*, Jiayin Liu, Chen Wang, Yupeng Zhao, Siyuan Hou, Yagang Jin

College of Marine and Environmental Sciences, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin
Email: 13502076576@163.com, *zhengxiaoshen@163.com

Received: Feb. 27th, 2019; accepted: Mar. 13th, 2019; published: Mar. 20th, 2019

Abstract

Aiming at the problem of urban internal waterlogging, the Tianjin Binhai New Area is taken as an example to introduce the low-impact development model (LID model) in the SWMM model. Using the SWMM model system, a rain-flood model in the Binhai New Area is established. Three common low-impact development measures, such as biological retention areas, seepage channels and permeable paving, are used to evaluate LIDs' effect of rain flood control at different return periods by simulating hydrological processes such as retention, evaporation, and infiltration. The results show that LID measures have a significant effect on the reduction of surface runoff in the 2-year, 5-year, and 10-year precipitation cases, greatly improving the capacity of rainwater exclusion in the Binhai New Area, and effectively relieving urban waterlogging.

Keywords

Binhai New Area, Sponge City, SWMM Model

滨海新区海绵城市建设的研究与探索

闫雪静, 郑小慎*, 刘佳音, 王晨, 赵玉鹏, 侯思远, 靳亚刚

天津科技大学海洋与环境学院, 天津
Email: 13502076576@163.com, *zhengxiaoshen@163.com

收稿日期: 2019年2月27日; 录用日期: 2019年3月13日; 发布日期: 2019年3月20日

摘要

针对城市内涝问题, 以天津市滨海新区为例, 介绍了SWMM模型中的低影响开发模块(LID模块), 并运

*通讯作者。

文章引用: 闫雪静, 郑小慎, 刘佳音, 王晨, 赵玉鹏, 侯思远, 靳亚刚. 滨海新区海绵城市建设的研究与探索[J]. 自然科学, 2019, 7(2): 52-59. DOI: 10.12677/ojns.2019.72009

用SWMM模型系统,建立了滨海新区的雨洪模型,利用生物滞留区、渗渠、透水铺装3种常见的低影响开发措施,通过对滞留、蒸发、下渗等水文过程和不同重现期雨洪过程的模拟,评估不同重现期下LID措施的雨洪控制效果。结果表明,在2年一遇、5年一遇、10年一遇的降水时,LID措施对地表径流量的削减作用都有显著效果,可大大提高滨海新区的雨水排除能力,能有效缓解城市内涝。

关键词

滨海新区, 海绵城市, SWMM模型

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

海绵城市是指城市能够像海绵一样,在适应环境变化和应对自然灾害等方面具有良好的“弹性”,下雨时吸水、蓄水、渗水、净水,需要时将蓄存的水释放并加以利用。近年来随着我国城市化进程的加快,城市的不透水面积不断增加[1],城市雨水控制系统与城市发展不协调。每逢雨季,遇到强度较大的暴雨时,城市排水管网难以承受,降水不能及时下渗排出,容易在城市低洼地区形成积水,造成市民出行交通困难,甚至导致城市内涝频发,对人民群众的生命财产安全造成重大威胁。因此,利用数值模拟手段,重视城市绿色基础设施对雨水资源化利用和水质净化作用,使低影响开发(LID, Low Impact Development)设施对雨水资源化利用,对排水管网进行合理的改造和优化对海绵城市建设是十分必要的[1][2][3]。

暴雨管理模型(Storm Water Management Model, SWMM)作为一个分布式模型,主要用于地表径流量和管道径流量的计算。利用该模型中的低影响开发(LID)模块,如生物滞留区、渗渠、透水铺装等,建立雨洪模型,不仅可以连续而完整地模拟降雨径流产生和输移的过程,而且可以计算分流制和合流制排水管网以及自然排放系统的水量[4]。就目前的研究情况来看,SWMM是模拟城市降水、地表径流、管道径流情况的最佳模型之一。

本文主要研究思路为:利用SWMM对研究区域的排水管网现状进行模拟分析;综合LID的技术体系和城市规划,提出适用于研究区域的雨水控制措施;将LID模块加入SWMM模型,再次进行模拟评估,通过前后对比,评估雨水控制效果。通过“模拟-优化-再模拟”的方法,对天津市滨海新区进行雨水控制模拟研究,为该区域的海绵城市建设的规划提供参考依据。

2. 研究区域概况

滨海新区位于海河流域下游,天津市中心区的东面,渤海湾顶端,地理纬度在东经117.20°至118.00°、北纬38.40°至39.00°。由于特殊的地理位置,该区域属暖温带半湿润大陆性季风气候,降水主要集中在7~9月,降水量占年总降水量的76%以上,年降水量在566mm以上,是华北地区多雨地带之一。其次,滨海新区是环渤海经济圈的中心地带,总面积约2270km²,是中国北方对外开放的门户,被誉为“中国经济的第三增长极”。因此,滨海新区的海绵城市建设不仅在生活方面对当地居民有着重要影响而且在国家经济方面也发挥着巨大的作用。

3. SWMM 模型的原理

SWMM 模型包括水文、水力、水质模块,可以进行地表径流和管道径流量的计算,也可模拟城市地表径流污染的产生过程以及排水管网和自然排放系统的水质。SWMM 的通用性较好,对市区和非市区均可做较为准确的模拟[5];在掌握地表信息和排水管网资料的前提下,既可对小流域模拟,也可对大流域进行模拟[6];SWMM 具有较好的灵活性,降雨的各种指标可以任意设置。与其他模型相比,SWMM 模拟的结果与真实情况最为接近,且模拟的径流量达到峰值所需时间最短[6]。因此,SWMM 模型是现阶段城市地表径流研究的最佳模型。

SWMM 的水文模块主要模拟地表径流的产流和汇流过程。其中,产流过程包括时变降雨、地表水蒸发、积雪及其融化、洼地存储等;汇流过程包括降雨入渗到非饱和土层、径流水渗透到地下水层、地下水与排水管道的水流交换以及使降水和径流量减少或延缓的各种微影响过程。

4. 研究区域模型的建立

模型的构建是将复杂且具体的实际问题抽象简化的过程。模型构建主要包括两部分内容,一是将研究区域概化为子汇水区 and 排水系统,二是设置水文参数。

4.1. 研究区域概化

根据汇水区的用地类型、汇水走向及雨水管网的布设情况,确定子汇水区的边界,每个子汇水区被赋予不同的透水性能(分为透水/不透水区域),各子汇水区径流按照就近原则排入雨水管网的节点。

4.1.1. 数据准备

通过地理空间数据云网站下载清晰的 Landsat8 卫星上的天津区域的 TM 影像,将遥感卫星图像与带地理位置坐标的滨海新区地图配准,并截取卫星图像中滨海新区的区域。运用 ArcGIS 软件,通过目视解译的方法对滨海新区的地物类型进行分类,本文分为绿地、水体、建筑物和道路 4 大类(如图 1),以便于区域的渗透率的计算。



Figure 1. Classification of features in Binhai New Area

图 1. 滨海新区地物分类

4.1.2. 区域概化

研究区域总面积 5068.55 km²，根据天津市排水管网资料，结合对当地地形、土地利用类型和排水管道走向等实地调研情况，对研究区域排水管网概化情况如下：将整个研究区域划分为 8 个子汇水区，通过分别统计每个子汇水区的每种用地类型的面积来估算每个小的子汇水区的渗透率；子汇水区面积分别为 180.27 km²，149.55 km²，275.012 km²，341.69 km²，391.00 km²，355.88 km²，576.63 km²，368.51 km²，管段 31 条，管长 256~1100 m，管径 100 mm，排水管网节点 31 个，向海出水口 7 个；在以上基础上生成 SWMM 总概化平面，如图 2 所示。

图中 ZMJ 代表子汇水区，YLJ 是雨量计，GQ 是雨水管渠，J 表示管渠铰点(连接节点)，PFK 代表排水口。

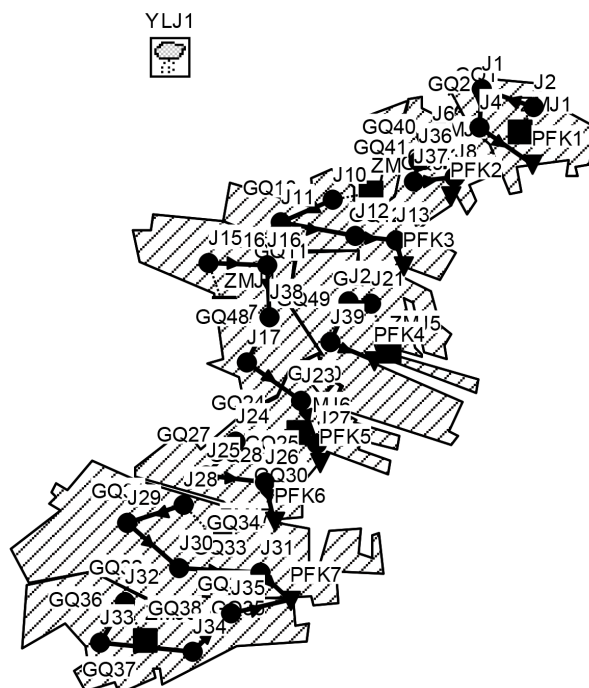


Figure 2. General plane
图 2. 概化平面

4.2. SWMM 模型参数的确定

模型中的参数，一部分可参考 SWMM 模型用户手册中的推荐值，其他的取值结合当地情况和相关文献。降雨入渗过程采用 Horton 入渗模型进行模拟，模型需要输入的最大入渗率 f_{∞} 、最小入渗率 f_0 、衰减系数 α 分别取 76.2 mm/h、10 mm/h、3 h⁻¹ [7]。模型中所需要的管道长度、管径大小、区域不透水面积、子汇水区面积大小等数据主要通过管网资料和 GIS 统计功能获取。

4.3. 模拟情景设定

根据该研究区域夏季暴雨期间降雨量较大、降雨持续时间较长的特点，降雨强度设定 2 年一遇、5 年一遇、10 年一遇 3 种；降雨历时设定为 2 h；降雨量根据天津市暴雨强度公式(式(1))计算获得；设计雨型采用芝加哥雨型，雨峰系数取 $r = 0.5$ ，参数率定后，在相同建模区，根据不同情景输入降雨参数，以获得对应的模拟结果。

$$q = \frac{3833.34(1 + 0.85 \lg p)}{(t + 17)^{0.85}} \quad (1)$$

式中：p 为设计重现期，a；t 为降雨历时，min；q 为暴雨强度，L/(s·hm²)。

4.4. 不同降雨情境下的模拟结果

以子汇水区 ZMJ1 为例，不同降雨情境下 SWMM 模拟的地表径流情况，如图 3 所示。

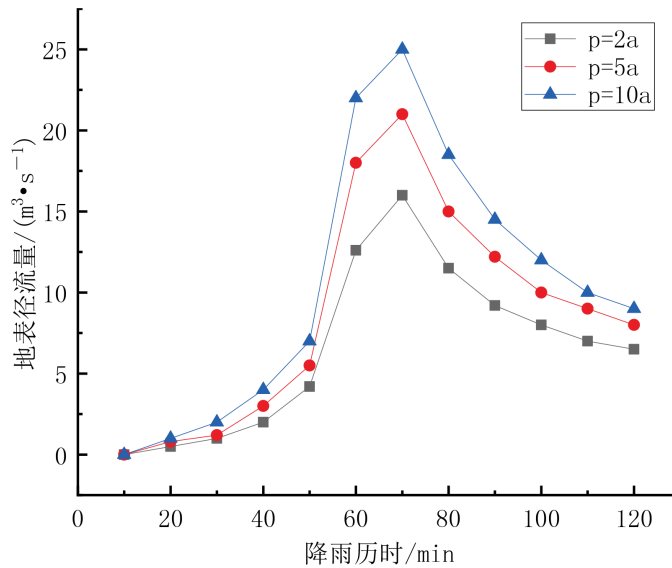


Figure 3. Surface runoff under different rainfall durations
图 3. 不同降雨历时条件下地表径流量

2 h 的持续降水会导致以下情况的地表径流量：随着降水历时的增加，地表径流量不断增长；当降水达到最大值时，地表径流骤增，径流强度最大，在降水 70 min 左右，地表径流量最大，且 10 年一遇的暴雨中，径流强度达到 25 m³/s；随着时间推移，径流量缓慢下降，但在降水结束时，地表径流仍有 5~10 m³/s。

5. 低影响开发下的模拟分析

5.1. 低影响开发介绍

SWMM 5.0 中的 LID 模块，可模拟生物滞留、渗渠、渗透铺装、雨桶、植被浅沟 5 种常见的低影响开发设施，通过对滞留、蒸发、下渗等水文过程的模拟，结合 SWMM 模型的水力模块，实现对 LID 措施的峰值量等的模拟。

1) 生物滞留区[8]，生物滞留区下部铺有砂砾层进行渗透排水，上部为生长有植被的洼地，对直接降雨和来自周围区域的径流进行蓄水、入渗、蒸发。

2) 透水砖铺装[8]，透水砖铺装为开挖的区域，下部填充有砂砾，通常所有降雨将立即通过路面进入下部的砂砾蓄水层，然后按照自然速率下渗至土壤深层。

3) 渗渠，渗管渗渠用于当雨水系统无法有效排除超标雨水时辅助排除地面积水，一般用于促进透水路面和绿地内部渗透雨水的传输和排放，应就近接入市政雨水管网，临近河道的渗渠宜预留河道排放口，当雨水管网排水不畅时，渗渠内雨水可分流排入河道。

5.2. SWMM 中 LID 模块数据设置

低影响开发作为海绵城市建设途径之一，与城市原有的传统排水系统共同应对超负荷降雨所带来的地表径流，对于 SWMM 模型来讲，其 LID 控制采用了两种处理方式，如图 4：一是在该子区域内设置一种或几种控制，取代等量的子区域内的非 LID 面积，二是创建新的子区域，采用单一的 LID 控制[9]，本研究设计采用第一种方式，结合天津市 LID 建设发展规划，在原有的各子区域面积内进行改造。

LID 模块有生物滞留、渗渠、渗透铺装、雨桶、植被浅沟 5 种雨水处理方法，结合当地实际情况，将生物滞留网格、渗渠和透水砖 3 种 LID 措施和传统排水管网结合起来，共同承担雨水排放工作，能够有效减少雨水径流总量和峰值流量，减少发生洪涝的风险。根据因地制宜原则，将子汇水区 ZMJ1 中 5% 的面积改造为透水砖，生物滞留网格占汇水区面积的 20%，渗渠铺设在路边或者公园，占比 10%。

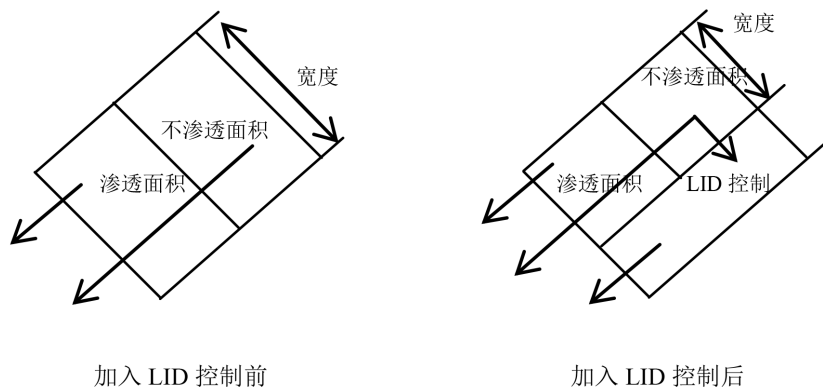
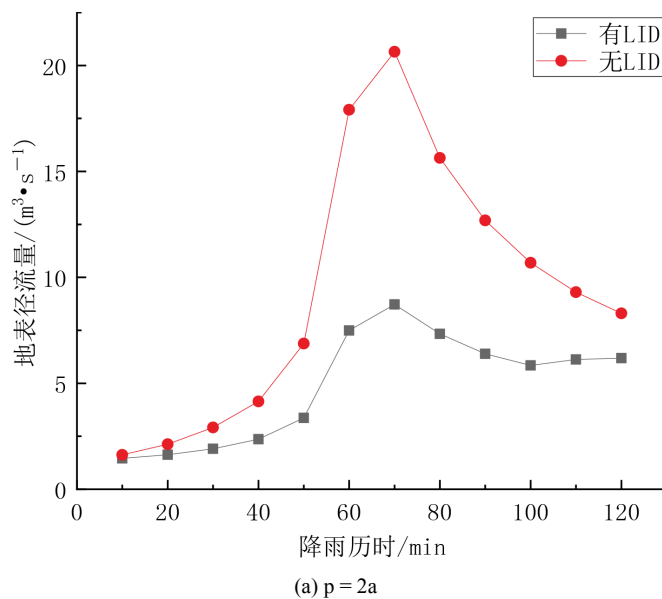


Figure 4. Before and after adding LID control
图 4. 加入 LID 控制前后对比

5.3. 增设生物滞留网格和透水路面等 LID 措施后的模拟效果

改善下垫面情况，增加生物滞留网格、透水路面以及渗渠 LID 控制后，通过导出的数据合成了子汇水区 ZMJ1 在不同重现期下 LID 径流控制效果图。



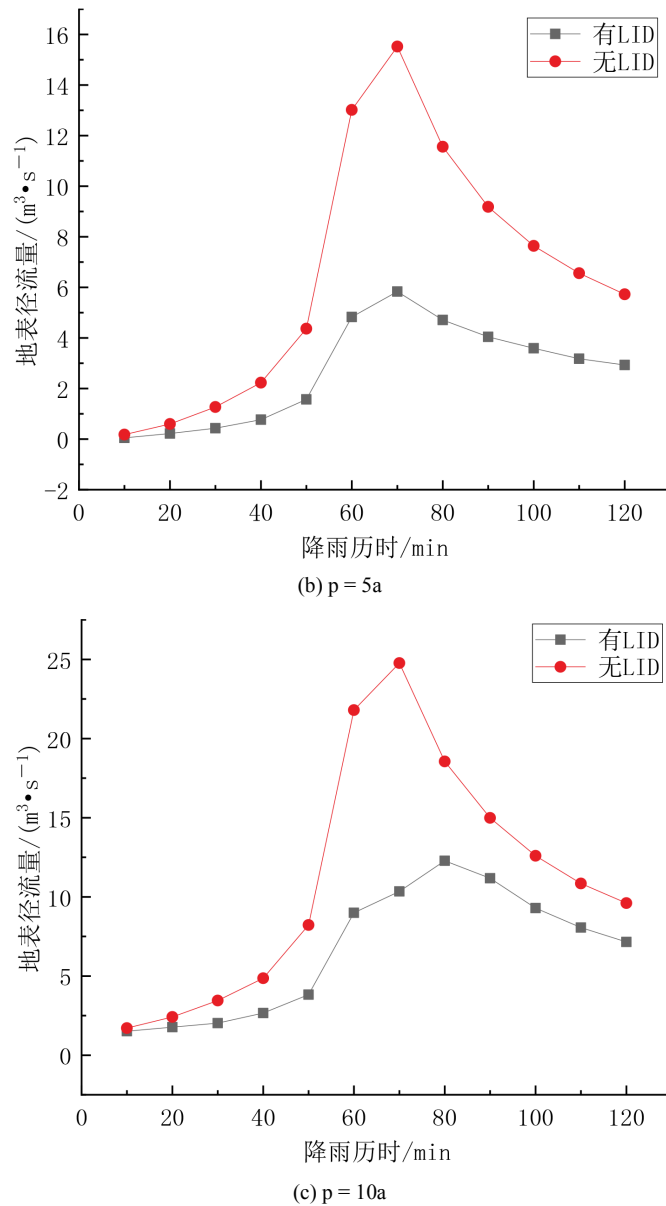


Figure 5. LID runoff effect diagram of different return periods
图 5. 不同重现期 LID 径流效果图

通过图 5 中有无 LID 的对比，可以分析得到以下结论：① 在 2 年一遇的降水中，无 LID 设施的径流量在 50~70 min 急剧增加，和有 LID 设施的径流量相比，有该设施的显然降低很多，约降有 $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ，且增幅缓慢，对 2 年一遇的暴雨径流量有很好的削减作用。② 在 5 年一遇的降水中，两种曲线的走势和 2 年一遇的径流相差不大，但是无 LID 设施的径流流量在 50~70 min 骤增的更快，比 2 年一遇的强度更大，而有 LID 设施的径流比无该设施的降低 $13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 左右，可见 LID 设施在 5 年一遇的大暴雨中对地表径流的削减作用也相当的明显。③ 在 10 年一遇的降水中，曲线的走向与前两个相似，无 LID 设施的径流在 50~70 min 骤增的最快，而且有 LID 设施的径流量降低为之前的一半左右，LID 对地表径流的削减作用仍然明显。

由此可得，对于 2 年一遇、5 年一遇、10 年一遇的降水，LID 对地表径流量的削减作用都有显著的

效果。因此，在海绵城市的建设中，LID 设施的布设非常重要。

6. 结语

海绵城市建设应遵循生态优先等原则，将自然途径与人工措施相结合，在确保城市排水防涝安全的前提下，最大限度地实现雨水在城市区域的积存、渗透和净化，促进雨水资源的利用和生态环境保护。本文针对滨海新区的气候和地形特点，利用 SWMM 模型对 3 种 LID 布设场景下的出口断面径流过程进行模拟，发现不同 LID 措施在不同设计降雨重现期下的洪峰流量、峰值时刻不同。因此，在滨海新区海绵城市建设中，可进行各 LID 措施的组合运用，综合考虑造价、空间分布、市政排水管网的运行能力等，选择最优的布设方案。

LID 雨水管理模式在经济、环境和社会效益上都有显著的优势。相比于传统雨水管理技术，LID 技术节约了造价成本，所用的绿色屋顶，下凹式绿地等技术可融入景观设计，节约了绿化成本；在环境效益上，增加了城市绿化面积，改善大气环境，缓解城市热岛效应，为城市居民营造更美丽舒适的生活和工作环境；在社会效益上，可以将雨水储存再利用，节约水资源，缓解城市水资源供需矛盾，丰富城市景观。在城市新区建设和旧城区改造时应积极采用 LID 措施。

海绵城市的探索也许会受到一定的阻碍，科学技术的提升将决定着中国海绵城市的发展进程。相信在政府政策的支持和社会全民的努力下，全国各地都能因地制宜，走出一条创新、具有自身特色的发展之路，把我国海绵城市的建设发展的更好、更快、更稳。

基金项目

天津市大学生创新创业竞赛(201710057049)；“海环杯”大学生学术科技竞赛。

参考文献

- [1] 张忠广, 黄津辉, 林超, 等. 基于 LID 理念的城市水资源综合管理规划研究[J]. 水电能源科学, 2013, 31(7): 29-32 + 88.
- [2] 黄国如, 吴思远. 基于 Infoworks CS 的雨水利用措施对城市雨洪影响的模拟研究[J]. 水电能源科学, 2013, 31(5): 1-4 + 17.
- [3] 晋存田, 赵树旗, 闫肖丽, 等. 透水砖和下凹式绿地对城市雨洪的影响[J]. 中国给水排水, 2010, 26(1): 40-42 + 46.
- [4] 陈晓燕, 张娜, 等. 雨洪管理模型 SWMM 的原理、参数和应用[J]. 中国给水排水, 2013, 29(4): 4-7.
- [5] Jang, S., Cho, M. and Yoon, J. (2007) Using SWMM as a Tool for Hydrologic Impact Assessment. *Desalination*, **212**, 344-356. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.05.005>
- [6] Lee, S.B., Yoon, C.G., Kwang, W.J., et al. (2010) Comparative Evaluation of Runoff and Water Quality Using HSPF and SWMM. *Water Science and Technology*, **62**, 1401-1409. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.302>
- [7] Rossman, L.A. (2009) Storm Water Management Model User's Manual (Version 5.0). USEPA, Washington DC.
- [8] Rossman, L.A. (2010) Water Management Model User's Manual Version 5.0. Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati.
- [9] 何爽, 刘俊, 等. 基于 SWMM 模型的低影响开发模式雨洪控制利用效果模拟与评估[J]. 水电能源科学, 2013, 31(12): 42-45.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2330-1724，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojs@hanspub.org