

南宁市城市发展与水资源环境耦合关系研究

□ 刘 昭 麻春晓 宁晓飞

[摘要] 水资源环境的变化会推动或限制城市的发展，应促进城市发展与城市水资源开发保护利用同步协调进行。本文分析南宁市近15年的城市发展与水资源环境在时间序列上的演变过程和相互影响，通过构建评价指标体系、耦合度模型及协调度模型，计算其耦合协调关系。结果显示：南宁市近15年内城市发展与水资源环境的耦合协调关系大体分为3个阶段：2005年为拮据阶段，2005—2011年为中级协调、磨合阶段，2012—2019年为良好协调阶段；总体趋势为在小幅波动中逐年增大，向着更高水平、更有序的方向发展。

[关键词] 城水关系；耦合关系；耦合协调度模型；南宁市

水资源对于一个城市的建设与发展至关重要，如何加强城市水资源的合理利用已成为一个亟待解决的重要问题，其中探究城市发展与水资源环境之间的耦合协调关系已成为国内外研究的热点^[1]。

南宁古称“邕城”——四面环水的城池，由此可见南宁水资源充沛，城区与水环境联系紧密。南宁自古以来城市选址一直紧靠邕江，历代多次扩建。城区从民国时期拆除城墙并填埋壕塘，开始不断快速扩张城市建设用地规模，在“城进水退”的发展模式之下，城市防洪和防内涝压力逐年增加。1962年邕江大桥通车之后，方便了两岸的交通，形成了江南区以邕江大桥为圆点的扇形展开。现代南宁市的发展长期持续单中心空间结构，主城区一极独大，人地矛盾突出。从《南宁市城市总体规划（2011—2020年）》开始，城市建设突出“一轴两带多中心”的发展模式，由单核集中向带型拓展转变，逐步形成沿邕江两岸串珠式展开、沿其支流纵深发展的城市布局形态，当现状前五象新区和外围城镇组团尚处于培育阶段；而水系变化较大，水体面积缩减，河流长度变短，部分河流断流甚至消失^[2]。

目前，市区范围内共有18条支流从南、北两侧汇入邕江。快速城市化进程下的南宁处于经济飞速发展阶段，其城市形态亦处于巨变时期，水资源环境压力逐渐增大，水资源与社会经济发展的关系以及对人居环境建设水平提高的影响，强烈需要相关理论研究与实践探

索。南宁市作为西部后发展地区，应积极探索生态文明建设与经济社会发展同频共振的方式。随着南宁市绿色发展理念的深入贯彻，明确“治水、建城、为民”的城市工作主线，治水工作的重要性不断提升，治水专项行动及规划不断展开，如开展邕江综合治理和“百里秀美邕江”景观带打造，深入实施黑臭水体治理和海绵城市建设攻坚战等。其中2009年开展的“中国水城”规划建设提出要使城市发展布局、功能定位、发展规模与防洪保安、水资源、水环境承载能力相适应^[3]。

南宁市长期的治水建设成效如何？城水关系耦合程度如何？未来水资源利用的瓶颈和前景如何？本次研究通过构建南宁城市发展与水资源环境的耦合协调模型，通过计算并分析南宁市城市发展与水资源环境的相关内在联系，划分南宁市城水关系历史阶段并进行特点分析，尝试回答以上3个问题。

1 城水关系耦合度评价指标体系与耦合协调度模型构建

1.1 评价指标体系与指标权重确定

1.1.1 指标体系

考虑指标体系结果的科学性、整体性及层次性原则，参考已有研究^[2]，将指标划分为4个层级，分别为目标层、系统层、评价层、指标层：一级指标分为水资源环境系统及城市发展系统，其对应的评价层与指标层分别为水资源、水环境压力、水资源保护、经济条件、人

口规模、城市建设及公共事业，最终细分为指标层的15个指标（见表1）。

表1 南宁市城市发展与水资源环境耦合协调度评价指标体系及权重

目标层	系统层	评价层	权重	指标层	属性	权重
南宁市城市发展与水资源环境协调评价指标体系	水环境系统R	水资源R1	0.3333	人均水资源拥有量R11	+	0.4210
				人均年降雨量R12	+	0.5790
		水环境压力R2	0.3333	城市年人均用水量R21	-	0.3587
				城市年人均污水排放量R22	-	0.6413
		水资源保护R3	0.3333	城市污水处理率R31	+	0.5185
				城市污水排放达标率R32	+	0.4815
	城市发展E	经济条件E1	0.2500	人均GDP E11	+	0.1995
				第三产业产值占比E12	+	0.3799
				城镇居民可支配收入E13	+	0.2041
				人均社会消费品零售总额E14	+	0.2164
		人口规模E2	0.2500	年末常住人口E21	+	0.3367
				城镇人口占比E22	+	0.2711
				第三产业从业人口占比E23	+	0.3922
		城市建设E3	0.2500	人均建成区面积E31	+	0.2764
				人均城市道路面积E32	+	0.1349
公共事业E4	0.2500	人均城市公园绿地面积E33	+	0.1196		
		建成区绿化覆盖率E34	+	0.1382		
		万人拥有卫生技术人员E41	+	0.3573		
		万人拥有高等教育教师人数E42	+	0.1897		
				万人拥有公共运营车辆E43	+	0.1276
				环卫清扫面积E44	+	0.3254

注：“+”代表正向指标，“-”代表负向指标

1.1.2 数据来源

2005—2019年的《南宁统计年鉴》《南宁市国民经济和社会发展统计公报》《南宁市水资源公报》《南宁市环境公报》。

1.1.3 数据标准化处理

通过对指标数据进行无量纲化处理，采用极差标准化法消除量纲，从而使单位不一致的数据能进行对比分析。鉴于指标存在正负属性，采取如下计算公式：

$$X_{ij} = \frac{S_{ij} - \text{Min}(S_j)}{\text{Max}(S_j) - \text{Min}(S_j)} \quad (\text{正向指标}) \quad (1)$$

$$X_{ij} = \frac{\text{Max}(S_j) - S_{ij}}{\text{Max}(S_j) - \text{Min}(S_j)} \quad (\text{负向指标}) \quad (2)$$

1.1.4 主观赋值法与客观赋值法结合确定指标权重

一是对南宁城市发展与水资源环境的协调性指标评价体系中的评价层采取主观赋值法进行赋值，通过整理文献及参考相关学者研究^[4]，判断评价层内共7项指标的相互重要程度。结果显示水资源环境系统中均取权重值1/3；城市发展系统中均取权重值1/4。

二是保证权重结果的客观性，采用客观赋值法中的变异系数法计算各指标层内共15项指标权重。计算公式如下：

$$V_i = \frac{D_i}{\bar{S}_i} \quad (3)$$

$$W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (4)$$

其中 V_i 是第 i 项指标的变异系数， D_i 为标准化后第 i 项指标的标准差， \bar{S}_i 为标准化后第 i 项指标的平均值。

W_i 是各项指标权重，计算结果见表1。

1.2 耦合协调度模型建立

首先构建耦合模型，然后进一步构建耦合协调度模型。其表达式如下^[5]：

$$C = \left\{ E \times R / \left(\frac{E+R}{2} \right)^2 \right\}^k \quad (5)$$

$$T = a \times E + b \times R \quad (6)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (7)$$

式中， C 代表系统耦合度， E 代表城市发展系统综合指数， R 代表水资源环境环境系统综合指数， k 为调节系数，参考相关研究成果，本文取值 $k=2$ ；

T 为两系统综合协调指数，指数越大说明南宁市城市发展与水资源环境的整体发展水平越高，对耦合协调度的贡献程度越大；

D 为耦合协调度，根据专家学者研究，耦合协调度可划分为（ $0 < D \leq 0.3$ ）的耦合失调、（ $0.3 < D \leq 1$ ）的耦合协调（见表2）。

耦合度 C 取值在0到1之间，数值靠近1表明两系统耦合程度越好，数值靠近0则耦合度越低，整体发展偏向无序。

2 南宁市城市发展与水资源环境耦合协调分析

2.1 水资源概况综合指数变化趋势

南宁市2005年至2019年水资源的综合指数波动情况比较剧烈（见图1），总体的变化趋势呈现出略微下降的状态。由于水资源总量包含地表水资源量以及地下水资源量，而这两个因素受到年气候与年降水量的影响比较

[基金项目] 2020年度广西高等教学本科教学改革工程项目“一流专业建设目标下人文地理与城乡规划专业‘3+n’教学模块建设与实践”（编号：2020JGB257）研究成果；南宁师范大学2020年校级创新创业研究项目“面向社会服务的地理科学类专业教师科研与学生创新创业活动实践相融合的研究”研究成果。

[作者简介] 刘 昭，中国城市规划设计研究院深圳分院，高级规划师，硕士。
麻春晓，南宁师范大学地理科学与规划学院，高级城市规划师，硕士。
宁晓飞，广西地信科技有限公司。

表2 耦合协调度D阶段划分

耦合协调度D	数值区间	耦合协调阶段	耦合协调程度
0~0.3	0~0.1	低水平耦合阶段	极度失调
	0.1~0.2		严重失调
	0.2~0.3		轻度失调
0.3~0.5	0.3~0.4	拮抗阶段	濒临失调
	0.4~0.5		勉强协调
	0.5~0.6		初级协调
0.5~0.8	0.5~0.6	磨合适应阶段	初级协调
	0.6~0.7		中级协调
	0.7~0.8		良好协调
0.8~1	0.8~0.9	高水平耦合阶段	高度协调
	0.9~1		优质协调



图1 南宁市水资源系统、水资源压力和水资源保护综合指数变化（2005—2019年）

严重，在2005年至2019年这15年中，人均年降水量的极差计算结果数值比较大，故而波动比较强烈。

表3 城市发展E与水资源环境R综合指数计算结果

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
R	0.4394	0.5331	0.6146	0.6877	0.5563	0.6618	0.6770	0.7038	0.5982	0.5949	0.4667	0.4534	0.5656	0.5306	0.5208
E	0.1174	0.2229	0.2528	0.3516	0.3860	0.3788	0.3974	0.4408	0.5069	0.5482	0.5951	0.7106	0.7558	0.8470	0.9330

2.2 水资源压力耦合度分析

由于指标水环境压力属于负向指标，数值越小则证明该层指标压力越大。在统计数据中城市年人均生活污水排放量从2005年至2019年总体逐步增长，表明了城市发展会使城市生活用水、生活污水处理系统压力逐渐上升（见图1）。

2.3 水资源保护耦合度分析

根据综合指数计算显示，南宁市水资源保护综合指数呈现出总体上升的态势（见图1）。城市污水处理率从数据年2005年的56.92%提高至2019年的98.40%，工业污水达标排放率由开始数据采集年的93.9%提升至2019年的97.8%。结合生态建设、“中国水城”等项目，南宁市开展黑臭水体环境治理，对主要水系污水管网建设、雨污管网错混接点改造、防江水倒灌口整改等工作，表明南宁市在水资源保护方面投入力度大且效益回馈良好。

2.4 城市发展系统计算结果分析

根据城市发展相关指标显示，南宁城市人均GDP整体翻了6倍、城镇化水平增长了1倍，城市建设、公共事业综合指数指标呈逐年上升的趋势。对城市发展系统指数E计算结果表明，南宁市城市发展各项指标稳中有升，持续健康发展；而水资源系统综合指数R则一直有波动，总体偏下行（见表3、图2）。

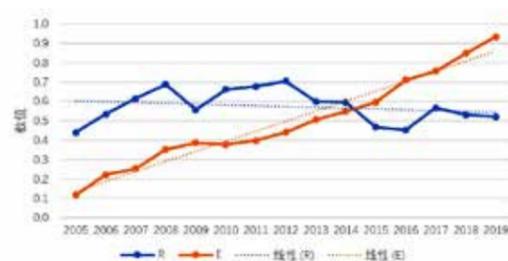


图2 水环境系统R与城市发展E变化趋势

2.5 城市发展与水资源环境耦合分析

根据图表计算结果显示（见表4、图3），南宁市城市耦合关系总结以下3个阶段：

(1) 2005年为拮抗阶段。城市水资源保护压力大，城市的污水处理能力相对较低，城市人均社会消费品零售总额低，城镇化水平进展缓慢。

(2) 2005—2011年为中级协调、磨合阶段。城市发展与水资源环境缓慢呈现出相互胁迫、相互促进的状态。城市经济、空间发展逐年上升，但在2011年，城市污水处理率降至64.6%，水资源保护压力明显上升，城水之间的耦合协调度还处在低等级发展水平。

(3) 2012—2019年为良好协调阶段。城水之间的耦合协调度处在良好协调水平，并呈现出一个缓慢平稳增长的趋势。城市发展的速度平稳上升，城市空间不断拓展、城市人口增加、城镇化水平也达到63.7%。城市的快速扩张使得用水压力、水环境与水资源保护压力增大；另一方面是对城市污水处理系统造成压力，即城市污水处理系统在保证污水处理率（2005年污水处理率56.9%，2019年污水处理率98.4%）处于较高水平下，每日需要处理更多的污水量。二者处在一个相对促进的状态，城市发展带来水资源保护的促进，城市发展效益又反馈水资源保护，两者耦合协调度逐渐上升。

表4 南宁市城市发展与水资源环境系统耦合度与耦合协调度计算结果

年份	耦合度C	耦合协调度D	协调类型	协调阶段
2005	0.4431	0.3512	濒临失调	拮抗阶段
2006	0.6917	0.5114	初级协调	
2007	0.6824	0.5440	初级协调	
2008	0.8018	0.6455	中级协调	
2009	0.9357	0.6640	中级协调	
2010	0.8576	0.6680	中级协调	
2011	0.8692	0.6833	中级协调	磨合阶段
2012	0.8972	0.7165	良好协调	
2013	0.9864	0.7383	良好协调	
2014	0.9967	0.7547	良好协调	
2015	0.9709	0.7180	良好协调	
2016	0.9047	0.7256	良好协调	
2017	0.9590	0.7960	良好协调	
2018	0.8973	0.7862	良好协调	
2019	0.8457	0.7841	良好协调	



图3 南宁市耦合度与耦合协调度变化趋势线

3 结论与探讨

研究整理概括了南宁自晋代以来各时期的城市演变与城市周围水系内在关系，并结合耦合模型分析当代南宁市城市发展与城市水资源二者间耦合协调度。

3.1 晋代至清代南宁市的城水关系

晋代南宁古城坐落邕江江畔，水量充足，满足人类生存的基本需求，在这一时期水系水量、位置等因素成为影响城市选址的重要因素。从唐宋开始，南宁集市贸易就已形成，水运贸易的生产活动使得城市形态呈现“沿江而走”的趋势。城市受到周边良好的水资源环境支持而得以发展，同时也在影响着城市形态布局。清朝时期，南宁开通商埠，商贸来往日渐繁荣。城市的扩张也导致城市内部及周围的水系被填埋消失，急剧抬升了城市内涝风险。

3.2 当代南宁的城水关系

通过对南宁市近15年的城市发展与水资源保护耦合模型结果整理分析，城市发展与水资源环境关系从初始的低水平耦合状态以及互相遏制逐渐转变为相互促进，这离不开城市建设发展观念的转变和持续项目的投入建设带来的极大促进。

3.3 未来城水关系瓶颈与发展前景

南宁市城市发展还在持续加速，城市规模扩张的同时必然给城市水环境带来更大的压力，城市用水需求、污水排放等矛盾将更为突出。因此必须保证城市发展与城市水资源开发保护利用同步协调进行，城市发展中水资源环境已经造成损害的要即刻采取措施，未来城市发展过程中严格落实保护城市水资源环境的相关举措，使两者之间的关系向着协调共生的高级阶段演进。

参考文献

- [1]王建春,王琳,徐祥功,等.济南市城市化与水环境安全耦合协调分析[J].城市环境与城市生态,2015,28(4):1-6.
- [2]罗金明,谌宏伟,邹胜章,等.南宁市水资源时空演化的遥感解译[J].交通科学与工程,2013,29(1):47-50+70.
- [3]苏晨明,苏华清.综合整治城市水环境建设现代生态文明城市——以广西南宁建设“中国水城”实践为例[J].学术论坛,2013,36(4):191-196.
- [4]李晨昱.西安城市水系演变与城市发展的关系研究[D].西安:西安理工大学,2017.
- [5]廖重斌.环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系——以珠江三角洲城市群为例[J].热带地理,1999(2):76-82.