

快速城市化地区水系结构变化特征 ——以深圳市为例

黄奕龙¹, 王仰麟¹, 刘珍环¹, 曾祥坤¹, 陈 朗²

(1 北京大学 深圳研究生院, 深圳 518055; 2 深圳市水利规划设计院, 深圳 518036)

摘要: 为了探讨城市化对水系结构的影响, 应用深圳市 1982、2002 年的二期水系详查图, 定量分析了水系长度、密度、分枝比、分枝能力和分维数等参数的变化特征。结果表明: 快速城市化过程中, 深圳市的河道总长度减少、密度减小, 河道数目减少, 特别是低级别的支流减少较多; 河道的分枝比和分枝能力都有不同程度的弱化, 单个水系片区和全市的河流分维数都下降, 河流具有简单化的趋势, 河流的多元化特征削弱; 对于不同水系片区来说, 其变化速度不同, 表明城市化过程对水系结构的干扰存在空间差异性。建议强力推进河流的蓝线规划和滨水区的开发管理, 将水网的保护和规划纳入到城市规划的管理范围; 注重在开发利用中的保护, 减少各类新建城市用地、农用地整理过程中对水系的破坏; 加大水土保持力度, 减少因水土流失导致河流淤塞; 加强管理, 严禁向河道中倾倒垃圾。

关 键 词: 快速城市化; 水系结构; 自相似性; 深圳市

文章编号: 1000-0585(2008)05-1212-09

1 前言

水系是流域坡地系统到河道系统以及三角洲的连接系统, 坡面和沟谷组成流域的坡地系统^[1]。流域水文系统是一个开放的系统, 流域的水系结构与河流形态、生态功能密切相关, 且其形成和发展是地质、地形、土壤、气候、植被和人类活动综合作用的结果, 但在短时间内主要受到人类活动, 特别是城市化的深刻影响^[1~5]。

水系结构一般采用与河流地貌学相关的指标, 如流域内不同等级河流之间的长度比、分枝比、面积比, 以及河流分维数、河道长度、密度、数目等指标进行描述。Horton (1945) 和 Strahler (1952) 证明了自然河流在结构组成上具有自相似性, 提出了著名的 Horton 定律和 Strahler 河流分级方法^[6,7], 极大地促进了水系结构研究。Tarboton (1988) 验证了自然河流具有分形特征^[8]。周家维等 (1994) 应用 Strahler 分级方法, 研究了北盘江流域水系结构特征^[1]。杨立波 (1996) 探讨了河北省河流水系的分级, 并将其应用到河道治理中^[9]。Tarboton (1996) 发现仅在大尺度上的平均分枝比等水系结构参数满足 Horton 定律^[10]。韩昌来等 (1997) 分析了太湖水系结构与其功能的相互作用关系^[11]。冯险峰 (1999) 探讨了水系结构对自然灾害的指示意义^[12]。朱俊江等 (2002) 对水系的分形特征与断裂带活动性关系进行了研究^[13]。陈彦光等 (2003) 分析了吉林省水系分形构成特点^[14]。Nicola 等 (2003)、Aear & Mewson (2003) 发现城市化强烈地影响

收稿日期: 2007-09-04; 修订日期: 2008-05-29

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (40635028); 中国博士后科学基金资助项目 (2005037282)

作者简介: 黄奕龙 (1975-), 男, 广东翁源人, 博士, 副研究员。研究领域: 景观生态、城市地理。

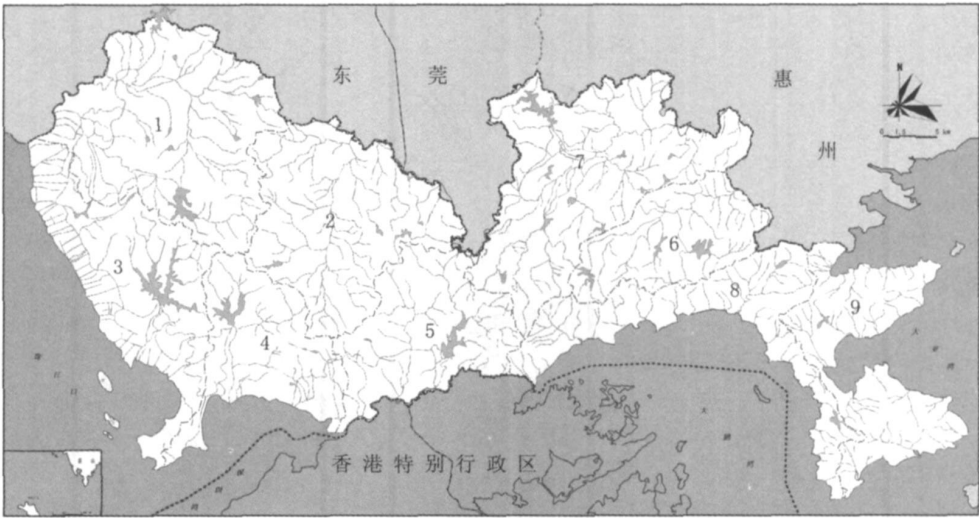
河流结构的发育过程和状态，全球 60% 的河道因城市化发生了深刻的改变^[4,5]。杨凯等 (2004) 在上海市的研究表明城市化影响水系结构，导致河流自相似性的削弱和结构趋向简单化^[2]。袁雯等 (2005) 在上海市的研究表明城市化通过干扰河流结构自身发育规律，从而严重地影响河网调蓄能力^[3]。从以上研究可以看出，以往的研究主要集中在自然河流水系结构特征及其应用研究，对城市化地区水系结构变化的研究相对较少。

本研究以快速城市化的典型区域——深圳市为例，探讨城市化前后水系结构的变化特征，其研究成果不仅可以为深圳市正在开展的河流整治、水系规划和保护提供科学指导，也可以为其他地区的水系保护提供帮助。

2 资料与方法

2.1 研究对象

以深圳市的所有水系与河流，包括内陆河流和入海河流为研究对象 (图 1)。为了研究的需要，按照水系片划分方法，结合深圳市的自然地理特征，将深圳市地域划分为茅洲河、观澜河、珠江口、深圳湾、深圳河、坪山河、龙岗河、大鹏湾、大亚湾等 9 大水系片区，分别如图 1 中的 1~9 所示的 9 个区。其中茅洲河、观澜河、大沙河、深圳河、坪山河、龙岗河分别为茅洲河片区、观澜河片区、深圳湾片区、深圳河片区、坪山河片区和龙岗河片区的主要河流，而珠江口、大鹏湾和大亚湾内水系众多，由许多直接入海小河流组成。



图例 —— 市域边界 - - - 流域分界线 —— 海岸线 - - - 河道 ■ 水库水面

图 1 1982 年深圳市水系图及其水系片区划分

Fig. 1 Stream construction and its district characteristics in Shenzhen city (1982)

2.2 数据来源

研究采用了 1982 年、2002 年的水系图，其中 1982 年水系图为深圳市国土资源调查与评价项目 (广州地理研究所承担) 的成果，2002 年水系图来源于深圳市河道普查项目 (深圳市水利规划设计院承担) 成果 (水系图在 1:1 万地形图基础上，配合野外调研绘制)。需要说明的是：由于数据原因，对于跨市河流只统计深圳界内的部分；1982 年大亚

湾片区的一部分数据缺失, 因此不计入本文的研究区域。

2.3 研究方法

水系分级: 采用斯特拉勒 (Strahler) 法对河流进行分级。

Strahler 分级规则: 直接发源于河源的小河为一级河流; 两条同级别的河流汇合而成的河流级别比原来高一级; 两条不同级别的河流汇合而成的河流的级别为两河流中的较高者; 经此类推至干流, 干流是水系最高级别的河流。

水道密度: 也叫河网密度, 是指单位面积内水道总长度, 水道密度越大表明区域河道越多。计算公式如下:

$$D_d = \frac{\sum L}{A} \quad (1)$$

式中: D_d 为水道密度 (单位为 km/km^2); L 为水道总长度 (单位为 km); A 为流域面积 (单位为 km^2)。

水道分枝比: 指某一级水道的数目与其高一级水道的数目之比, 它反映了各级水道对其低一级水道的分枝能力, 计算公式如下:

$$R_b = \frac{N_x}{N_{x+1} + 1} \quad (2)$$

式中: R_b 为水道分枝比 (无量纲); N_x 为第 x 级水道数目 (单位为条); N_{x+1} 为第 $x+1$ 级水道数目 (单位为条)。

水道分枝能力: 表示某一水道的分枝情况, 数值越大表明水道的分枝能力越强, 计算公式如下:

$$R_{ax} = \frac{N_1 + N_2 + \dots + N_{x-1}}{N_x} \quad (3)$$

式中: R_{ax} 为水道分枝能力 (无量纲), 其他同上。

水系分维数 (D): 主要用来衡量河流的复杂程度, 分维数越大表明河流越复杂, 其值一般介于 1.5 到 2.0 之间。根据 La Barbera 和 Rosso (1987) 提出的方法, 水系分维数 D 采用如下公式计算^[15]:

$$D = \lg R_b / \lg R_l \quad (4)$$

式中: R_b 为水道分枝比 (无量纲); R_l 为河道长度比 (无量纲)。

城市化水平 (城市化率): 衡量城市化水平的方法有多种, 如非农业人口与总人口比值、综合城市化水平等方法。但为了衡量城市化水平与水系结构变化的关系, 采用城市用地占国土面积的比例来衡量城市化水平比较恰当, 单位为百分比。

3 研究结果

3.1 河道长度

河道长度变化: 深圳市 1982~2002 年不同水系片的河道长度和密度变化如表 1 所示。1982 年为研究区的城市化起步阶段, 2002 年为城市化基本成熟阶段。表 1 表明: (1) 在时间尺度上, 同一河流的长度随着城市化率的提高而减少。20 年来, 深圳市 8 个水系片的河道长度都有不同程度的减少, 河流长度减少范围为 14.85~64.92km 之间。河道总长度也随着城市化程度而减少, 1982 年研究区的 8 个水系片区的河道长度为 1523.28km, 2002 年则减少至 1242.43km, 减少了 280.85km。(2) 相关分析发现, 特区外的几个水系

片区城市化率与河流减少率有显著的正相关关系 ($R^2 = 0.57$)，但特区内河道没有这种明显的响应关系。在这 8 个水系片中，特区外的河道长度减少量受城市化影响明显，如龙岗河片区和茅洲河片区的河道长度减少量分别达到 64.92km 和 48.01km；位于水源保护区内的观澜河片区，其河道长度减少量稍小，为 22.72km。以特区内河流为主的一些水系片区，如深圳湾片区和深圳河片区的减少量分别为 14.85km 和 22.91km，其减少量要小于特区外的水系片区。

河道长度变化率：随着城市化的推进，河道长度减少率增加，但并不一定有显著的相关关系。在这 20 年间，8 个水系片区的河道长度减少率达到 10.88%~36.25%，并不一定是流域内城市化水平越高，河道长度减少率也越高。变化率最小的是城市化水平并不低的观澜河、深圳湾和深圳河等 3 个水系片区，其减少率分别为 10.88%、2.91% 和 14.25%；研究发现变化率最大的是坪山河流域，减小了 36.25%。在这 20 年间，全市河道的平均减少率也达到了 18.91%。

3.2 河道密度变化

城市化通过影响河道的长度而影响河道的密度，相关分析表明，空间尺度上河道密度变化与城市化率之间相关水平不显著。但在时间尺度上，河流密度随着城市化率的提高而明显减少。从 1982~2002 年，坪山河河道密度减少最大，达到 0.330km/km²；观澜河片区减少量为 0.094km/km²，深圳河片区为 0.061km/km²，龙岗河片区为 0.246km/km² (表 1)。1982 年，研究区 8 个水系片区的平均河道密度为 0.855km/km²，而 2002 年减少到 0.690km/km²，减少量达 0.165km/km²。

表 1 深圳市 1982~2002 年河长和河道密度变化

Tab 1 Length and density of rivers at Shenzhen city during 1982~2002

流域	1982 年河长 (km)	2002 年河长 (km)	1982~2002 年 变化量(km)	1982~2002 年 变化率(%)	1982 年河道 密度(km/km ²)	2002 年河道 密度(km/km ²)
茅洲河	283.65	235.64	-48.01	-16.93	0.912	0.758
观澜河	208.88	186.16	-22.72	-10.88	0.847	0.755
珠江口	208.11	175.8	-32.31	-15.53	0.799	0.675
深圳湾	115.01	100.16	-14.85	-12.91	0.659	0.574
深圳河	157.73	134.83	-22.91	-14.52	0.917	0.784
坪山河	121.77	77.62	-44.14	-36.25	0.941	0.600
龙岗河	283.08	218.16	-64.92	-22.93	0.952	0.734
大鹏湾	145.05	114.06	-30.99	-21.36	0.809	0.636
合计/平均	1523.28	1242.43	-280.85	-18.91	0.855	0.690

3.3 河道数目变化

表 2 为深圳市 1982~2002 年不同水系片区水系组成特征。由表 2 可知，茅洲河、观澜河、深圳湾、坪山河和龙岗河等片区都有较为完整的河流结构体系，也即都是由 1~4 级河流组成的河流系统，有相同的最高级别河道；但珠江口和大鹏湾水系片区由众多直接入海的小河流组成，和其他水系相比没有较为完整的等级体系。相关分析表明，假如不考虑观澜河和坪山河，在空间尺度上，深圳市其他 6 个水系片区城市化率与河流数目的减少量之间有明显的正相关关系($R^2 = 0.65$)。在时间尺度上，河道数目也对城市化率响应明显。

表 2 深圳市 1982~ 2002 年水系组成特征

Tab 2 Change of stream construction of rivers at Shenzhen city during 1982-2002

河流级别	茅洲河	观澜河	珠江口	深圳湾	深圳河	坪山河	龙岗河	大鹏湾
1982 年								
1	1	1	0	1	1	1	1	0
2	4	3	0	2	3	2	4	2
3	18	15	10	8	10	9	18	14
4	61	60	64	32	47	39	73	59
2002 年								
1	1	1	0	1	1	1	1	0
2	4	3	0	2	3	2	4	2
3	17	14	7	7	9	7	16	10
4	56	56	56	26	40	28	66	56

和 1982 年相比，8 个水系片区 1、2 级河道都有一定程度的减少，但高级别的河道（如 3、4 级河道）数目没有减少。其中坪山河片区 1 级河道减少最多，达到了 11 个；珠江口、深圳河、龙岗河和深圳湾等片区居中，减少 6~ 8 个；而茅洲河、观澜河和大鹏湾水系片区减少 3~ 5 个。而对于 2 级河道来说，大鹏湾和珠江口水系片区减少了 3~ 4 个河道，其他河流减少 1~ 2 个。

Horton 提出流域不同等级河道之间普遍存在经验型的数量关系，即河流的等级级序与河道数量呈对数负相关关系^[3, 16]。1982 年，深圳市的 8 个水系片区也满足以上关系，其相关系数范围为- 0.98~ - 0.99。城市化之后，河流等级级序与河道数量仍然呈对数负相关关系，其相关系数变化较小，只是在河流等级级序轴上的截距明显减小，表明河流有简单化的趋势。

3.4 河道分枝比

表 3 为 1982~ 2002 年深圳市河流的分枝比（珠江口、大鹏湾由众多低级别小河组成的水系片区，此处不对其进行分析）。

表 3 深圳市 1982~ 2002 年不同水系片区水系分枝比

Tab 3 Bifurcation ratio of rivers at Shenzhen city during 1982-2002

河流级别	茅洲河	观澜河	深圳湾	深圳河	坪山河	龙岗河
1982 年						
2	3.39	4.00	4.00	4.70	4.33	4.06
3	4.50	5.00	4.00	3.33	4.50	4.50
4	4.00	3.00	2.00	3.00	2.00	4.00
2002 年						
2	3.29	4.00	3.71	4.44	4.00	4.13
3	4.25	4.67	3.50	3.00	3.50	4.00
4	4.00	3.00	2.00	3.00	2.00	4.00

由表 3 可知：城市化减少了河道的分枝比，在城市化前，除深圳湾、坪山河外，其他几个水系片区的河流的分枝比均在 3~ 5 之间，基本满足 Horton 定律。而在城市化之后，

6 个水系片区 2 和 3 级河道的分枝比均有不同程度的减小，虽然大多数的河道分枝比仍在 3~ 5 之间，但不同河道的分枝比差距在减小，河流在空间上的多元化趋势明显下降。相关分析表明，在时间尺度上，河流水系分枝比对城市化率响应明显。在空间尺度上城市化率与河流水系分枝比的减少量呈现正相关关系，但没有达到显著相关程度。

3 5 河道分枝能力

表 4 为 1982~ 2002 年深圳市河流的分枝比（由于珠江口、大鹏湾由众多小河组成的水系片，此处不对其进行分析）。由表 4 可知，城市化减小了河流的分枝能力。在城市化之初的 1982 年，河流的分枝能力满足自然水系的分形特征，但城市化后这种特征削弱。相关分析还发现，空间尺度上城市化率与河流水系分枝能力相关，没有达到显著相关程度。在时间尺度上，城市化明显减小水系的分枝能力，如对于相同的水系片区，2002 年各级别的河流其分枝能力都小于 1982 年相应河流的分枝能力（1 级河道和个别高级别河道除外），表明城市化的影响比较显著。

表 4 深圳市 1982~ 2002 年不同水系片区水系分枝能力

Tab 4 Ability of bifurcation of rivers at Shenzhen city during 1982-2002

河流级别	茅洲河	观澜河	深圳湾	深圳河	坪山河	龙岗河
1982 年						
4	2 ^{6.38}	2 ^{6.29}	2 ^{5.39}	2 ^{5.91}	2 ^{5.64}	2 ^{6.57}
3	2 ^{4.31}	2 ^{4.64}	2 ^{4.32}	2 ^{4.25}	2 ^{4.58}	2 ^{4.51}
2	2 ^{1.77}	2 ²	2 ²	2 ^{2.23}	2 ^{2.1}	2 ^{2.04}
1	2 ⁰	2 ⁰	2 ⁰	2 ⁰	2 ⁰	2 ⁰
2002 年						
4	2 ^{6.27}	2 ^{6.19}	2 ^{5.13}	2 ^{5.70}	2 ^{5.21}	2 ^{6.43}
3	2 ^{4.19}	2 ^{4.54}	2 ^{4.04}	2 ^{4.03}	2 ^{4.3}	2 ^{4.36}
2	2 ^{1.72}	2 ²	2 ^{1.89}	2 ^{2.14}	2 ²	2 ^{2.04}
1	2 ⁰	2 ⁰	2 ⁰	2 ⁰	2 ⁰	2 ⁰

3 6 河流的分维

表 5 为 1982~ 2002 年深圳市不同水系片区的分维。

表 5 深圳市 1982~ 2002 年不同水系片区水系分维

Tab 5 Fractal dimensions of rivers at Shenzhen city during 1982-2002

年份	茅洲河	观澜河	珠江口	深圳湾	深圳河	坪山河	龙岗河	大鹏湾	全市平均
1982	1.576	1.565	1.551	1.516	1.543	1.553	1.579	1.482	1.546
2002	1.567	1.525	1.483	1.498	1.515	1.488	1.578	1.454	1.522

由表 5 可知，1982 年除大鹏湾外，其他 7 个水系片区的分维数都在 1.5~ 2.0 之间，满足 La Barbera 和 Rosso (1987)^[15] 所证明的范围。在 2002 年，8 个水系片区的分维数都有不同程度的减小，其中坪山河和珠江口减大幅度较大，在这个年度，珠江口、深圳湾、坪山河和大鹏湾的分维数已经小于 1.5，表明水系的结构简单化趋势非常明显。以上研究结果表明深圳市的 8 个水系片区的河流比较简单、发育不成熟，而城市化又强烈地干扰了

河流的自然发育过程。与其他国家或地区的河流相比,深圳市河流的分维数要小于意大利(1.73)^[17],我国北方平原的永定河(1.66)^[18]、西南高原地区的乌江(1.74)^[19]、西北黄土高原的纸纺沟(1.9)^[20],与平原河网地区的上海市接近(1.59)^[21]。

4 讨论与结论

为了定量研究深圳市水系结构在城市化前后的变化情况,以1982的2002年二期水系详细调查图为基础,采用了河道密度、长度、分枝比、分枝能力和分维数等水系结构指标进行了分析。研究结果表明:(1)深圳市河流在自然状态下基本满足河流水系结构的一般规律。1982年,深圳市尚处于城市化的起步阶段,其城市化水平尚较低,水系受到城市化的影响还较小,基本可以认为是自然状态下的河流,在这一年度深圳市河流的数目、河道密度、分枝比、分枝能力和分维数等参数均与其他地区的研究结论有相似性,其水系结构参数满足河流的一般特征,基本满足Horton定律。(2)城市化强烈地影响河流水系结构,城市化后河流结构趋向简单化,河流多元化特征削弱。在快速城市化过程的影响下,深圳市从20世纪80年代中期至90年代中期,基本完成城市化过程,从典型的农业景观变成典型的城市景观。快速城市化过程对水系的结构造成极大的破坏,与1982年相比,深圳市2002年的河道长度减少、密度减小,河道数目减少,特别是低级别的支流减少较多;河道的分枝比和分枝能力都有不同程度的弱化,分维数减小,河流结构具有简单化的趋势,河流的多元化特征削弱。当然,对于不同片区来说,其变化速度不同,表明城市化过程对水系结构的干扰存在空间上的差异性。

城市化过程中河流水系减少的方式主要有二种:一种为直接影响方式,即在城市的开发过程中将河流填埋,从而减少水系的长度和河流宽度;第二种方式为间接方式,即在城市河流的改造过程中,对河流进行了大规模的防洪整治,许多河流进行了截弯取直改造,因此影响了河流的长度和水生态空间。这二种方式在深圳都较为普遍,目前全市流域面积10km²以上的河流中,80%左右已经进行防洪整治,护岸已经被硬化,河流蜿蜒特征被改造,较多的弯曲被取直,河流线性化明显。再加上直接填埋等,全市河流长度近20年来已经减少了280km。假若平均河宽为5m,减少的水域面积达到1.4km²。

河流水系的结构与生态功能密切相关,水系密度的减小、分枝能力下降和分维数减小反映出河流结构的简单化、自相似性的削弱,导致了河流蓄水空间的减小和河道廊道生态空间的丧失,从而导致丰水期径流量的增大,洪峰期提前,增加了洪灾的可能性;而在平水期或枯水期径流减小,减小了河流的基流^[21]。据分析,深圳市大多数河流的基流只有城市化前的20%,河流调蓄洪水的能力却下降了8%左右。水系结构的退化还会对地下水的补给和排泄造成影响,如河道数目的减少,减小了地下水与地表水交换界面,特别是山区交换区界面的减小。河流水系结构的退化还减小河流的水面率,而一定面积的水面率不仅对市政管网排水除涝非常重要,更重要它还在改善城市水环境、调节小气候、减缓城市热岛效应、改善人居环境、增加生物多样性以及城市景观建设中具有不可替代的生态环境功能^[2]。目前,由河流所贡献的水面率呈现下降的趋势,其水面率在2002年仅占全市总水面率的18%,且绝对数量也呈现下降的趋势,这在一定程度影响了深圳市的生态环境质量。

近年来,深圳市大力推进特区外的开发,特区外的龙岗和宝安二区水系退化也较为严重,有些河道已经在土地开发过程中消失,还有些已经被用作天然的垃圾场,这严重地影

响到河流生态系统的服务功能和城市生态建设。随着深圳市城市化进程的进一步推进, 特别是城市化质量的提高, 人们逐步重视水网的生态服务功能。国家和地方政府已经意识到了城市化对水系结构的破坏, 国家建设部近年已经颁布了旨在保护河流及其生态廊道的“蓝线规划大纲”, 即将河流两岸水域及用于廊道建设的范围定义为蓝线, 禁止开发。对于深圳市的水网保护来说, 可以采取的主要措施有: (1) 推进蓝线规划的实施。深圳市从 2006 年开始着手河道蓝线规划, 规划将流域面积达到 5km^2 的河道均纳入保护范围, 并于 2008 年完成规划并向市民公示, 规划已经批复进入实施阶段。为了保证规划的实施效果, 有必要从组织、资金和技术等各个环节加强保障, 强力推进规划的实施。(2) 加大城市规划在水系保护中的作用。目前, 城市规划控制的主要是一些骨干河道, 而作为构成河网地区毛细管的低级别河流难于得到有效的保护, 因而, 即使在蓝线规划实施之后, 仍有必要充分应用城市规划在水系保护中的作用, 严格把好整体控制作用。(3) 注重在开发中的保护。严禁各类城市建设用地、农业土地整理对水系的破坏; 加大水土保持的力度, 从而减少因水土流失而导致河流的淤塞; 加强城市管理, 严禁向河道中倾倒垃圾。

参考文献:

- [1] 周家维, 胡萆. 北盘江流域水系结构特征及分析. 贵州林业科技, 1997, 25(1): 42~ 49
- [2] 杨凯, 袁雯, 赵军, 许世远. 感潮河网地区水系结构特征及城市化响应. 地理学报, 2004, 59(4): 577~ 564
- [3] 袁雯, 杨凯, 唐敏, 徐启新. 平原河网地区河流结构特征及其对调蓄能力的影响. 地理研究, 2005, 24(5): 717 ~ 724
- [4] Nicola S, Massino R. Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy. Geomorphology, 2003, 50(4): 307~ 326
- [5] Aear D A, Mewson M D. Environmental change in river channel: A neglected element. Towards geomorphological typologies, standards and monitoring. The Sciences of Total Environment, 2003, 310: 17~ 23
- [6] Horton R E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. Amer., 1945, 56: 275~ 370
- [7] Strahler A N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology. Bull. Geol. Soc. of America, 1957, 63: 1117~ 1142
- [8] Tarboton D G. The fractal nature of river network. Water Resources Research, 1988, 24: 1317~ 1322
- [9] 杨立波. 河北河流水系分级标准及河道治理对策研究. 河北水利水电技术, 1996, 4: 45~ 47
- [10] Tarboton D G. Fractal river networks, Horton's laws and Tokunaga cyclicity. Journal of Hydrology, 1996, 187: 105~ 117
- [11] 韩昌来, 毛锐. 太湖水系结构特点及其功能的变化. 湖泊科学, 1997, 9(4): 300~ 306
- [12] 冯险峰. 水系结构遥感影响特征对自然灾害的指标意义研究——以陕西省为例. 云南地理环境研究, 1999, 11(1): 69~ 74
- [13] 朱俊江, 詹文欢, 唐诚, 等. 水系的分形特征与红河断裂带活动性关系初探. 华南地震, 2002, 22(1): 1~ 7
- [14] 陈彦光, 李宝林. 吉林省水系构成的分形研究. 地球科学进展, 2003, 18(2): 178~ 184
- [15] La Barbera P, Rosso R. Fractal geometry of river networks. Ecos. Trans., AGU, 1987, 68(44): 1276
- [16] Allan J D. Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. Published by Chapman & Hall, printed in Great Britain by Alden Press, Oxford, 1995
- [17] 姜永清, 邵明安, 李占斌, 王万中. 黄土高原流域水系的 Horton 级比数和分形特性. 山地学报, 2002, 20(2): 206 ~ 211
- [18] 冯平, 冯焱. 河流形态特征的分维计算方法. 地理学报, 1997, 52(4): 324~ 330
- [19] 高华端, 杨世逸. 乌江流域水系结构分析. 贵州农学院丛刊, 1994, (1): 104~ 114
- [20] 雷会珠, 武春龙. 黄土高原分形沟网研究. 山地学报, 2001, 19(5): 474~ 477
- [21] 黄奕龙. 深圳市水文系统退化与水资源安全保障体系研究. 北京大学, 博士后出站报告, 2006 120

Stream construction characteristics in rapid urbanization area: Shenzhen city as a case

HUANG Yi-long¹, WANG Yang-lin¹, LIU Zhen-huan¹, ZENG Xiang-kun¹, CHEN Lang²

(1 Shenzhen Graduated School, Peking University, Shenzhen 518055, China;

2 Shenzhen Institute for Water Resource Planning and Design, Shenzhen 518036, China)

Abstract: Urban River is an important part of urban ecosystem. There are close relationship between stream construction and its ecological function. The form and evolution of stream construction is controlled by geology, topography, soil, climate, vegetation and human activity at local area. At present, human activity, especially urbanization has become the major factor influencing the stream structure. In order to study the effect of urbanization on stream construction, taking Shenzhen city, a rapid urbanization area as a case, which is one of the most rapid urbanization areas in China, by using Strahler classification and Horton laws, this paper analyzed the effect of urbanization on stream length, stream density, bifurcation ratio of rivers, ability of bifurcation of rivers and fractal dimension etc. The result exhibited that: (1) The stream length, stream density and stream number all decreased, especially for the lower order stream from 1982 to 2002 and (2) the ratio and ability of bifurcation decreased of all the watersheds. The stream construction was simplified with time. The fractal dimension of stream construction also decreased with time. (3) The stream construction changing characteristic was different for different watersheds due to the effect of urbanization level. This paper suggested: (1) to improve planning and implement blue-line, strengthen the management of river net and add it to the content of urban planning and managing; (2) to protect the stream in the process of land use change; and (3) to strengthen the control of soil and water erosion, thus decrease the yield of river sediments.

Key words: rapid urbanization; stream construction; fractal dimension; Shenzhen city