

干旱、半干旱地区水系空间分布的分形特征及其流域环境的初步探讨

——以吐鲁番市和鄯善县为例

菊春燕, 刘志辉, 周 绪

(新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046)

摘 要:应用分形理论, 对干旱、半干旱地区的吐鲁番市和鄯善县水系的空间分布进行了分析, 从分维数上揭示了这两个研究区内水系空间分布的特点, 同时也指出了该地区水系网络结构简单的原因, 及其流域环境存在的一些问题, 对干旱、半干旱地区的水系现状进行了探讨, 为分形理论在干旱、半干旱地区的应用进行了初步探讨。

关键词:分形; 水系空间分布; 环境问题

中图分类号: P331; X 171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)03-0174-03

Elementary Discussion of Spatial Structure of Water System and Its Ecological Environment in Arid and Semiarid Area

——Take Turpan and Shanshan for Example

JU Chun-yan, LIU Zhi-hui, ZHOU Xu

(College of Resource and Environment, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: The fractal theory is applied to spatial structure of the water system in Turpan and Shanshan in arid and semiarid area, it reveals the characteristics of the spatial structure of the water system and points out the reason how to form this simple network structure, some problems of ecological environment in this area as well. As a whole, the actuality of the water system is discussed, which offers the gist for the usage of fractal theory in arid and semiarid area.

Key words: fractal; spatial structure of the water system; the problem of environment

所谓分形(fractal)^[1], 本义为破碎和不规则, 用以指代那些由与整体以某种方式相似的部分组成的一类形体。分形理论(fractal theory) 是由美国科学家曼德尔布罗特于 20 世纪 70 年代中期创立的, 用以解决非线性环境中一些随机分布的现象和问题。分形的基本特征是分形体具有自相似性, 这种自相似性是统计意义上的自相似性, 而不是数学上的自相似性。由于分形体不具备特征尺度, 因而它难以用通常的数学尺度(例如长宽高、面积、体积等)来进行度量。描述分形的数量特征的主要特征参数是分维(fractal dimension), 又可称为分维数。分维反映了局部对整体的填充能力, 通过对分维的分析, 可揭示整个系统的演化机理。

自然界的许多系统、现象和过程都具有分形特征, 尤其是水系的分支图形, 干流上有支流, 支流上又存在支流, 这是一种典型的分形的结构, 用分形来进行描述非常适合。本文运用分形的方法, 对干旱、半干旱地区水系空间分布进行分析, 探讨了在干旱、半干旱地区水系空间分布所具有的特征, 以及形成的因素, 分析了研究区流域的生态环境特点。

1 水系分布的原理和计算方法

1977 年分形创始人 Mandelbrot 首先把分形研究引入水文学^[2]。分形研究在我国也有一定的进展, 1997 年赵锐指出流域水系分维数能充分揭示我国水系生成、发育和形状

大地形和自然地带的特征^[3,4]; 1996 年何隆华等根据对全国水系分维计算提出流域地貌发育阶段的临界值 $D = 1.6^{[5]}$ 。把河流、水系作为研究对象时, 可以看出, 在一定尺度范围内, 它们具有如下特征: 具有精细结构, 即在所有比例尺度内包含整体; 无论是从局部还是从整体上看, 它们是不规则的, 很难用传统的几何语言来表述; 具有统计自相似性。因而, 河流、水系可看成一个自然分形体, 可运用分形理论对它们加以研究, 进而用分形维数的概念把其各个特征定量地统一起来, 从而使分形维数包含它们的整体信息^[6]。

1.1 传统的水系分维数的计算方法

人们从各自的研究领域出发, 提出了许多种维数定义, 如 Hausdorff 维数、Minkowski Boulig(M-B) 维数、相似维数、填充维数等等。其中用得最多的就是盒维数的方法, 即数盒子法。数盒子法是一种常用的计算分形图形分维的实用方法。取边长为 r 的小盒子(可以理解为拓扑维为 d 的小盒子), 用这样的小盒子把分形图形覆盖起来。由于分形内部有各种层次的空洞和缝隙, 所以有些小盒子是空的, 有些小盒子覆盖了分形的一部分。数非空的小盒子的数目并记为 $N(r)$ 。然后缩小盒子的尺寸 r , 所得 $N(r)$ 自然就会增大。当 $r \rightarrow 0$ 时, 得到了数盒子法定义的分维:

$$D_0 = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\lg N(r)}{\lg r} \quad (1)$$

在实际应用中只能取有限的 r 。通常做法是求一系列的 r 和 $N(r)$, 然后由双对数坐标中的 $\lg N \sim \lg r$ 的直线的斜率求 D_0 , 且必须要求存在有标度关系。

$$N(r) \propto r^{-D_0} \quad (2)$$

数盒子法概念清楚, 但是实用的实际的运用中有限。尤其是在大量的计算盒子数目的时候很容易出错, 费时费力。随着现代计算机技术的发展, 运用计算机来完成这种大量的计算工作是一种很好的选择。

1.2 运用 GIS 软件计算水系分维

1.2.1 地理信息系统(GIS)软件

GIS 是英文 Geographic Information System 或 Geo-Information System 的缩写。一般通称地理信息系统。GIS 软件在线体网格分形分析中的具体应用, 其优点在于简单易操作、计算精度高^[4], 同时节省了盒子记数中所需的时间和人力。GIS 软件的品种繁多, Mapinfo: 是世界领先的桌面地图软件及 GIS 分析系统, 在本研究中主要是在地图的矢量化中运用。MapGIS: 是中国地质大学信息工程学院开发的工具型地理信息系统软件, 在国内的运用较广泛, 所以对 MapGIS 熟悉的人也可以使用该软件对地图进行矢量化, 而且该软件的绘图功能很好, 易上手, 所以在下文中会具体介绍它的操作过程。ArcView GIS: 是美国 ESRI 公司的桌面地理信息系统产品。它包含了地理信息系统的一些重要的功能, 如空间信息与属性信息的有机结合; 地图与各种专题图的显示; 空间查询等。本文中主要是使用空间分析的功能对矢量图进行分析。

1.2.2 具体方法

研究用图为人民解放军总参谋部测绘局于 1986~1990 年编绘的 36 张 1: 5 万地形图, 研究区大致范围: 北纬 43°00′~42°20′, 东经 88°30′~91°00′。将所需的图纸扫描输入计算机, 在 GIS 系统环境下数字化, Mapinfo 中的操作可参照文献[4], 具体的技术路线如图 2 所示, 现主要介绍在 MapGIS 中的具体操作:

第一步, 准备: 在投影变换系统中先制作 1: 5 万的图框, 图框模式中分别选择高斯坐标和输出控制点, 输入 DMS 的度数, 设置椭球参数, 该信息在地图图纸上有标注。保存该图框和控制点文件。

第二步, 配准: 进入图象处理中镶嵌配准, 先进行数据转换, 将扫描的 tif、bmp 等图像文件转换成 msi 文件形式。再打开转换后的文件, 在镶嵌融合中参照文件选项打开在步骤 1 中保存的图框, 进行配准, 然后保存配准好的文件。

第三步, 矢量化: 在图形处理的输入编辑中建立图层, 对地图的水系进行矢量化。

第四步, 误差校正: 在使用服务中的误差校正对完成的矢量图进行校正, 打开文件和步骤 1 中保存的控制点文件。然后执行数据校正中的线文件校正转换, 将矢量图的坐标校正到实际坐标中。

第五步, 拼图: 在图形处理的输入编辑中将校正好的矢量图拼接在一起, 对图形进行拓扑错误检查, 修改矢量图的错误。成图如图 1 所示的吐鲁番市和鄯善县水系分布图。

第六步, 输出: 在图形处理的文件转换中转换文件类型。首先对打开的文件重设缺省 ID, 500 点自动打断。输出 MAPINFO 格式或者 EOO 的格式, 前者要用 Mapinfo 软件的通用转换器将文件的 mif 格式转换成 shp 格式, 后者用 Arcview GIS 软件的 import71 将 EOO 格式转换成 shp 格式。下一步是进入 Arcview GIS 中计算图形的维数。

为对其进行分形研究, 须知道它的分形维数, 所以在 Arcview GIS 中用变换粗视化程度求出水系的维数。选择一个合适的正方形覆盖研究区内的水系, 将正方形的各边分为 k 等份, 则其化为 k^2 个正方形子区, 每个子区的边长可以表作 $r = 1/k$, 统计出水系所覆盖的网格数。按二倍数改变 k 值, 即取等比数列 $k = 2^n$, 这里 $n = 0, 1, 2, \dots$, 可得到不同的 $N(k)$ 。将点列 $[k, N(k)]$ 标绘于 $\ln - \ln$ 的坐标图中, 发现点列分布具有局部对数线性性质, 即有无标度区。利用对无标度区内的点列进行回归运算:

$$D_0 \propto \frac{\log N(r)}{\log(1/r)} = \frac{\log N(k)}{\log k} \quad (3)$$

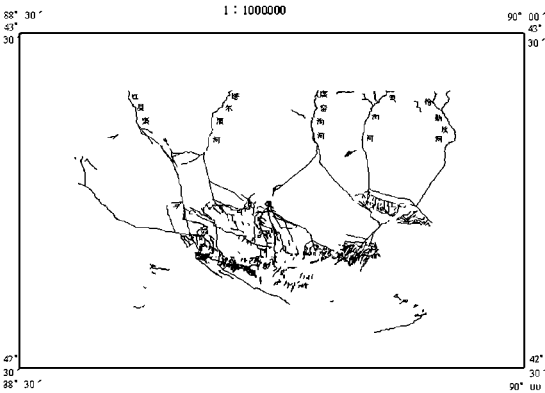


图 1 吐鲁番市的水系分布图

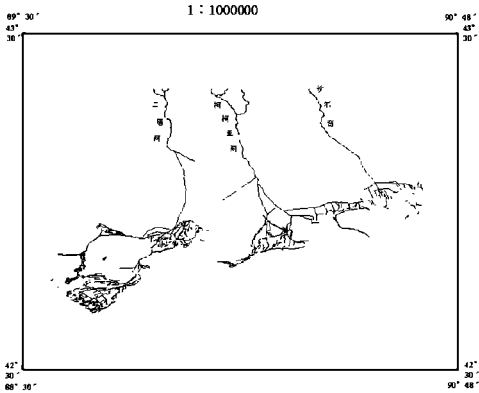


图 2 鄯善县水系分布图

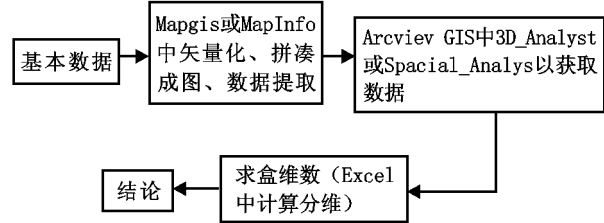


图 3 GIS 中水系分维计算流程图

2 计算结论及分析

依据上述方法, 计算出了吐鲁番市和鄯善县的水系分维数, 见图 4。从图中可得出吐鲁番市水系分维数为 1.334 6, 测定系数为 $R^2 = 0.999 7$, 鄯善县水系分维数为 1.297 2, 测定系数为 $R^2 = 0.999 9$, 均能通过 F 显著性检验, 所以, 吐鲁番市和鄯善县水系的统计分形结构特征是客观存在的。盒维数是表征吐鲁番市和鄯善县水系自相似特征的良好参数。

理论上线状对象的分维值为 1, 面状对象的分维值为 2, 故可推得水系的分维值在 1~2 之间, 本文经计算得到研究区的分维值在 1.3 左右, 可知该研究区域水系呈弯曲状, 水系结构简单。从图 1, 2 中也可以看出来, 吐鲁番市的五河和鄯善县的三河的干流和支流的结构都比较简单。

形成这样的水系网络特点有很多的因素: 首先, 地形和岩性的影响。山区河流的河道比降大, 岩性抗侵蚀能力较强, 在干旱、半干旱地带, 河床地质疏松水系易于老化, 在吐鲁番市和鄯善县的各河流具有集水面积小, 流程短、坡度大的特点, 加之降水量小而蒸发量大, 水系网络不发育。其次,

气候因素的影响。研究区属独特的暖温带干旱荒漠气候, 主要特点是: 干燥、高温、多风。由于吐鲁番市位于极低的盆地中心, 而鄯善县也位于库木塔格沙漠的北部, 西部、北部山地的相对高差都在 4 000 m 以上, 高空的湿流又难入侵。因此形成了研究区日照长、气温高、降水稀少、无霜期长、日照充足、昼夜温差大, 多大风、干热风。积温由北向南递增, 降水量递减, 气温日较差、蒸发量和大风次数由北向南呈加大趋势。由于这种特点造成了河流的网络结构简单, 其分维数较低。除了以上原因, 还有演化历史、构造活动等因素, 而且人为的因素也是不可忽视的一个问题。

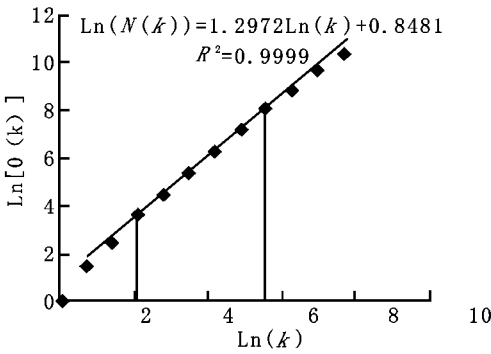
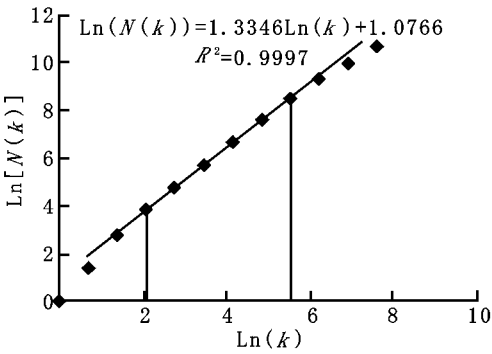


图 4 吐鲁番市和鄯善县水系网络计算

3 流域水资源环境的探讨

3.1 流域水资源环境中存在的问题

由于吐鲁番市和鄯善县地处极端干旱地区, 农业生产完全依赖于灌溉, 没有灌溉就没有农业, 水资源的开发利用对当地经济的发展和生态环境都有较大影响。(1) 降水稀少, 主要分布在山地区, 降水量在空间的分布很不均匀。(2) 河流、沟渠水资源利用不合理。发源于山区的河流主要依靠冰川融雪补给, 较小河流流程短小, 出山口不远就殁于戈壁沙漠; 流量较大的河流下游多是沟渠分布。在研究区内, 由于上游及各支流新开绿洲的引灌, 水量逐渐减少, 流入沙漠水量减少, 使得下游胡杨林地和草场大面积衰败, 土地退化, 造成沙漠侵蚀。再加上人为因素使河流改道或在下游修建水库等, 使水资源量减少, 在几年里有很多坎儿井干枯。河流来水量的减少, 上中游段用水量的增加造成河流下游段沙漠化的加剧。(3) 野生植被的破坏。多数的野生植被由于缺水枯死、衰败, 造成土地沙化严重, 植被的破坏和人为的开垦后又弃耕的行为, 扩大了土地沙化面积。(4) 灌区土壤盐碱化。在农业生产方面, 农业技术落后, 灌溉方式多采用引水灌溉, 浪费水量。而传统的利用坎儿井集水灌溉的方法沿用至今, 使得水量大部分消耗于蒸发和渗漏, 造成灌排不平衡带来水盐不平衡, 因而造成土壤次生盐渍化和灌区水文地质条件恶性循环的后果。另一方面, 由于受火焰山泥岩阻挡作用, 地下水抬升, 排水不畅, 泉水出露可溶性盐随水蒸发而上升地表。大量珍贵的水由于无效蒸发而白白浪费, 同时也造成该地区土壤盐碱化现象严重。(5) 由于水资源的短缺, 而研究区大部分为荒原戈壁, 生物活动贫乏, 植被稀疏, 干热而多风的气候特点使得绿洲地区受风沙侵蚀危害, 对当地的生产、生活造成了很大影响。除此还有水资源的利用方式问题、灌溉农业中的春旱问题、经济用水挤占生态用水^[7]等。

3.2 流域水资源利用及环境保护

在干旱、半干旱地区, 水资源开发和利用存在很大问题, 导致水资源不断恶化, 引起生态环境的恶性循环。在沙漠边缘发展工农业生产关键在于水源, 边缘要保护生态环境也需

要水源保证, 以防御沙漠的侵蚀、防止土壤沙化。所以在合理开发工、农业和城市生活用水的前提下, 要十分重视生态用水的安排^[8-10]。(1) 平原绿洲水资源的合理利用。首先要注重地下水的合理利用, 提高水资源利用率, 改善地区的水资源供求矛盾。在地表水和地下水的利用中达到一种合理的利用。(2) 在该研究区, 积雪冰川融水是河流水资源的主要来源, 保护冰川面积是有效的方法, 采取有效的方法, 增加冰川积累, 是涵养水资源的举措^[11]。(3) 在西北干旱、半干旱的地区, 特别是研究区内, 降水稀少、降水量时空分配不均, 造成干旱区植被贫乏, 分布稀疏, 种群结构稀疏, 稳定性差, 极易遭受破坏。山区的林带是由乔、灌、草及苔藓组成的生物群体。它与环境、气候相互影响和制约, 不但对山地区水源的涵养、形成, 控制水土流失, 增加枯水期地表径流量具有重要作用, 而且具有遮阳防风, 积存冬雪, 推迟和延缓积雪融化的功能。此外, 林地内土壤疏松, 吸水和渗水性强, 利于拦截暴雨, 增加河流和地下水的补给^[12]。因此, 保护山地区的林木, 提高植被的覆盖率, 也是保护水资源, 保护环境的重要措施。

4 讨论

(1) 本文通过上述分析, 可知利用地理信息系统软件来计算分维数可以简化运算步骤, 使得整体运算过程省时省力, 提高计算精度, 而且有利于进一步的分析。

(2) 实际地表上的流域系统是十分复杂的, 而且也存在着坡度的差异, 高程和流域水系分维数是否有密切的关系还有待进一步探讨研究。

(3) 在干旱、半干旱地区, 流域的分维值不仅与流域地形、地貌、地质条件等自然因素有密切关系, 还和绿洲中各种人文因素有着密切的联系。

(4) 在分形的研究工作中, 往往涉及到多分形这样一个概念, 所以该流域水系分布是否具有多分形的特征还有进一步分析的意义。

致谢: 本文选材来自于中日合作项目《新疆吐鲁番地区地下水可持续发展与利用研究》, 由日本 JICA 株式会社和中

- [4] Marco Ferretti. Forest Health Assessment and Monitoring——Issues for Consideration[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1997, 48: 45– 72pp.
- [5] Innes, J L, Whittaker. Relationships Between the Crown Condition of Sitka and Norway spruce and the Environment in Great Britain: An Exploratory Analysis[J]. Journal of Applied Ecology, 1993, 30: 341– 360pp.
- [6] Schmid– Haas. Monitoring the State of Health as a Tool for Causal Research in Forest Decline[A]. In: IUFRO Workshop on Monitoring Air Pollution Impact on Permanent Sample Plots, Data Processing and Results Interpretation[M]. Praha: Praetice, 1991. 94– 101.
- [7] Strand, G H. Estimation of the Difference in Crown Vigour for 2280 Coniferous Trees in Norway from 1989 to 1994, Adjusted for the Effects of Ageing[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1995a, 36: 61– 74.
- [8] Strand, G H. The Geography of Changing Crown Vigor in Norwegian Conifer Forests[J]. Ambio, 1995b, 24: 280 – 285.
- [9] Thomsen, M G, Nellemann. Isolation of Natural Factors Affecting Crown Density and Crown Color in Coniferous Forest: Implication for Monitoring of Forest Decline[J]. Ambio, 1994, 23: 251– 254.
- [10] Pylväinen, M. Manual for Integrated Monitoring[R]. UN/ECE LRTAP, ICP– IM, Environmental Data Centre, Helsinki: National Board of Waters and the Environment, 1993. 114.
- [11] Hope, B K. A Review of Models for Estimating Terrestrial Ecological Receptor Exposure to Chemical Contaminants[J]. Chemosphere, 1995, 30: 2267– 2287.
- [12] Innes, J L. Design of an Intensive Monitoring System for Swiss Forests[A]. In Beniston, M. (ed.). Mountain Environments in Changing Climates[M]. London: Routledge, 1994. 281– 300.
- [13] 赵良平, 叶建仁, 曹国江, 等. 森林健康理论与病虫害可持续控制——对美国林业考察的思考[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2002, 26(1): 5– 9.
- [14] 蔡元才, 陈阿丽, 毕克德. 树立森林健康理念实现病虫害可持续控制[J]. 中国森林病虫, 2004, 23(4): 42– 44.
- [15] 马连祥, 周定国, 徐魁梧. 酸雨对树木生长和林木材性的影响[J]. 世界林业研究, 2000, 13(1): 27– 31.
- [16] 李洪珍. 我国酸雨的现状[J]. 科技通报, 1987, 3(2): 29– 31.
- [17] 王文兴. 中国酸雨成因研究[J]. 中国环境科学, 1994, 14(5): 323– 329.
- [18] 杨昂, 孙波, 赵其国. 中国酸雨的分布、成因及其对土壤环境的影响[J]. 土壤, 1999, 31(1): 13– 18.
- [19] 樊后保, 詹夷生. 模拟酸雨对闽粤栲种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 福建林学院学报, 1999, 19(2): 97– 100.
- [20] 孔繁翔, 沈萍萍, 周崇莲. 酸沉降对马尾松菌根共生蛋白及营养关系影响[J]. 环境科学, 1999, 20(6): 1– 5.
- [21] 刘菊秀, 温达志, 周国逸. 广东鹤山酸雨地区针叶林与阔叶林降水化学特征[J]. 中国环境科学, 2000, 20(3): 198– 202.
- [22] 马连祥, 周定国, 徐魁梧. 酸雨对杨树生长和木材化学性质的影响[J]. 林业科学, 2000, 36(6): 95– 99.
- [23] 马连祥, 周定国, 徐魁梧. 酸雨对木材性质的影响[J]. 木材工业, 14(2): 18– 20.
- [24] 王彦辉. 森林受害及林冠状态监测[A]. 酸化森林生态系统对环境变化的影响[M]. 北京: 华文出版社, 2001. 321.
- [25] 陆元昌. 森林健康状态监测技术体系综述[J]. 世界林业研究, 2003, 16(1): 20– 25.
- [26] 肖文发, 韩景军, 马娟. 美国国家森林健康监测与评价计划及对我国的启示[J]. 世界林业研究, 2001, 14(3): 67– 74.
- [27] DeVries W. Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe. Evaluation of the programme in view of its objectives, studies to reach the objectives and priorities for the scientific evaluation of the data[M]. Heerenveen the Netherlands, Forest Intensive Monitoring Coordinating Institute, 1999. 40.

(上接第176页)

国新疆维吾尔自治区水文局共同主持。中国新疆大学资源与环境科学学院负责参与了其中的《生态环境调查》以及《基础信息数据库建设》两个子项目的研究工作, 本文的成果主

参考文献:

- [1] 刘继生, 陈涛. 东北地区城市体系空间结构的分形研究[J]. 地理科学, 1995, 15(2): 23– 24.
- [2] 王倩, 邹欣庆, 朱大奎. 基于 GIS 技术的秦淮河流域水系分维研究[J]. 水科学进展, 2002, 13(6): 751– 756.
- [3] 何隆华, 赵宏. 水系的分形维数及其含义[J]. 地理科学, 1996, 16(2): 124– 128.
- [4] 朱晓华, 查勇. MapInfo 与 ArcView GIS 软件在线体分形分析中的应用[J]. 测绘信息与工程, 2002, 27(5): 4– 5.
- [5] 何隆华, 赵宏. 水系的分形维数及其意义[J]. 地理科学, 1996, 16(2): 124– 128.
- [6] 李华晔, 黄志全, 姜彤. 河流水系分形的初步研究[J]. 华北水利水电学院学报, 1998, 19(4): 36– 37.
- [7] 曲玮, 梅肖冰. 西北水资源研究综述[J]. 西部开发·旅游, 2002, (6): 131– 134.
- [8] 李庶. 塔里木盆地水资源利用与生态环境问题[J]. 干旱区研究, 1992, 9(1): 28– 30.
- [9] 毛德华, 韩德麟, 张发旺, 等. 塔里木河流域水资源、环境与管理[M]. 北京: 中国科学出版社, 1998. 21– 269.
- [10] 宋郁东, 樊自立, 雷志栋, 等. 中国塔里木河水资源与生态问题研究[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2000. 37– 291.
- [11] 谢长青, 等. 中国西部地区资源与经济发展战略[J]. 国土开发与整治, 1993, (3): 30– 38.
- [12] 刘俊民, 马耀光. 中国西北干旱区水资源特征及保护利用[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(3): 103– 107.

要来自于其中。在此向提供相关资料中国新疆维吾尔自治区水文局等单位表示衷心感谢!