

# 基于 GIS 的黄土高原水土流失监测站点布设方法研究

高振记<sup>1,2</sup>, 邬伦<sup>1</sup>, 马修军<sup>3</sup>

(1. 北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871;

2. 北京大学 深圳研究生院, 广东 深圳 518055; 3. 北京大学 信息中心, 北京 100871)

**摘要:** 在 GIS 空间分析的基础上, 借助领域专家知识归一化各侵蚀因子, 对归一化的各侵蚀因子团进行叠加再分类和定量分析计算, 为黄土高原地区水土流失监测网络布设的复杂空间决策过程提供辅助决策信息。在充分考虑黄土高原地区已有水土流失监测站、点的基础上, 遵循国家有关水土流失监测站、点布设的相关规程规则, 采用一级控制性监测点与二级局部监测点相结合的办法共布设监测站点 138 个。

**关键词:** 黄土高原; 水土流失; 监测网络; GIS 空间分析

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2007)02-0099-05

中图分类号: S157, P237

## Designing Method of Soil and Water Conservation Monitoring Stations on the Loess Plateau Based on GIS Spatial Analysis

GAO Zhen-ji<sup>1,2</sup>, WU Lun<sup>1</sup>, MA Xiu-jun<sup>3</sup>

(1. School of Earth and Space Sciences Beijing 100871, China; 2. Shenzhen Graduate School,

Peking University, Shenzhen, Guangdong 518055; 3. Information Center, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** Based on the spatial analyses of GIS, the normalized factors are overlapped and reclassified using expert knowledge. Accordingly, quantitative computation is performed and the aided information is provided for the decision of the monitoring network layout of soil and water loss on the Loess Plateau in China. After the existed monitoring stations are fully considered, 138 new stations are laid by combining the first level control stations with second level local control stations under national regulations and specifications on the arrangement of monitoring stations of soil and water loss.

**Keywords:** Loess Plateau; soil and water loss; monitoring network; spatial analysis of GIS

水土流失是世界性的环境问题。我国是水土流失最为严重的国家, 特别是黄土高原地区, 侵蚀十分严重, 多年平均输沙量达  $1.60 \times 10^9 \text{ t}^{[1]}$ 。为了控制日益严重的水土流失, 必须掌握黄土高原的水土流失规律, 这就需要对水土流失进行长期系统的监测。水土流失监测是水保工作的基础, 是水土保持管理和科学研究最重要的基础资料来源, 是预防、治理、监督执法和生态环境建设规划的基础。

黄土高原现有监测站、点共计 32 个, 分布在黄土高原的不同区域, 对于整个黄土高原区的水土流失状况监测发挥了重要作用。但总体看来, 已有站、点一般都布设在水体流失比较严重或是属于国家重点防护治理区, 监测数据在监测量与监测密度上仍不能满足黄土高原地区水土流失详细、定量、动态监控的需要。为了获取黄土高原地区水土流失的详细数据, 需要在整个黄土高原地区增设监测站、点, 同时需要对监测站、点的布设方法进行相应研究。

许多学者对其它领域的监测网络进行了研究, 如马向东等人提出通过建立监测网络对三江平原湿地可持续发展对策提供支持<sup>[2]</sup>; 史玉虎等人则建立了湖北省长防林体系综合效益监测网络<sup>[3]</sup>。关于水土流失监测网络的研究, 武小捷等探讨了太原市城市水土流失监测网络的布设<sup>[4]</sup>, 提出了网络布设原则以及网络站、点的监测内容和任务。汪水前则对福建省水土保持监测网络进行了研究<sup>[5]</sup>, 对监测网络规划与实施进行了探讨。上述有关水土流失监测网络研究都是在某个行政区域内进行的, 而且只是理论意义上的探讨, 没有大区域具体的监测网络设计研究。

地理信息系统(GIS)在水土保持评价中已经有了较广泛的应用<sup>[6-10]</sup>, 但在水土保持管理和水土保持监测网络设计上的应用和研究却相对滞后<sup>[11-12]</sup>。本文根据黄土高原的特点, 把 GIS 技术应用于黄土高原水土流失监测站、点网络的布设, 并给出了初步的监测网络设计解决方案。

## 1 监测点布设原则

监测网络的布置参照国家水土保持的相关政策、法规及标准,根据总体发展需要,按照“突出重点、示范先行、逐步发展、不断完善”的原则进行建设。根据黄土高原水土流失特点,可以采用点面结合的方法布设监测点。面上,需要考虑黄土高原地区水土流失控制性监测点的布设,从而获得黄土高原地区水土流失的基本资料;点上,根据黄土高原地区水土流失的影响因子有侧重地布设相应的局部监测站、点。布置水土保持监测点前,应调查收集相关基础资料,如地质、地貌、土壤、植被、降水等自然条件和人口、土地利用、生产结构、社会经济等状况;水土流失类型、强度、危害及其分布;水土保持措施数量、分布和效果等,为监测站、点的布设提供依据。

本文是在已有黄土高原地貌类型图、黄土高原地区水系图、黄土高原行政区划图、黄土高原土壤类型图资料上进行的初步设计。

## 2 监测站、点布设

黄土高原水土流失监测站、点的布设首先要在宏观上能够控制整个区域的水土流失监测基本资料,获取黄土高原区的水土流失基本信息,为黄土高原水土流失监测和水土保持的分析、决策提供最基本的区域信息。因此需要合理布设一定数量的控制性监测点(一级监测点)以获取整个黄土高原区的水土流失监测基本资料。同时由于黄土高原水土流失本身的复杂性、区域差异性,使得黄土高原区的侵蚀类型和侵蚀强度复杂多变,在充分考虑侵蚀类型及各种侵蚀因子的影响后,在水土流失防治的重点区域应充分加密布设监测站、点(二级监测点)。

具体布设策略上,控制性监测点的布设要充分考虑利用已有监测站、点,二级局部监测站、点的布设要充分考虑利用已有的和已经布设的一级监测站、点。

### 2.1 控制性监测站、点布设

宏观水土保持监测的理论问题可以分为理论研究和区域水土保持动态及其环境影响研究,而且都体现出其研究尺度的明显影响。目前在我国此类研究和实践发展很快,多数研究都应用了遥感和 GIS 方法,但基本理论研究还很缺乏<sup>[31]</sup>。

宏观监测点的布设采用均匀布设法,即把黄土高原地区在平面上形象地划分为等距离的方形网格,在每个网格的顶点布设一个监测点,网格的大小要能够控制整个网格区域或小流域的水土流失监测指标集。布点时要充分利用已有的水土保持监测站、点,当已

有的水土保持监测站、点位于或接近网格顶点时,则利用已有的站、点。

黄土高原地区采用均匀法布设站、点主要考虑 2 个因素,第一是尽量使用已有的监测站、点,第二是选择合适的步长,即合理考虑每个站、点的控制监测范围。参照对比国外研究程度高,监测有效的国家(主要是美国),综合分析我们掌握的黄土高原地区的各种资料,考虑以西安为中心,以步长 100 km 进行均匀站、点的布设,其中在网格格点附近有已知监测点的网格采用已有监测站、点,这样共布设 35 个监测站、点(见图 1)。

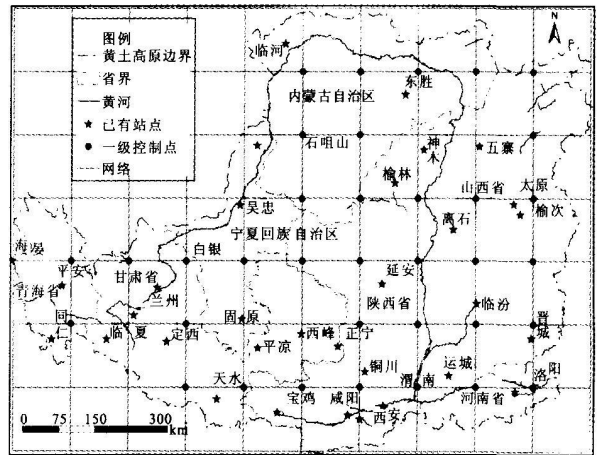


图 1 黄土高原水土保持监测站控制性监测点布设图

### 2.2 局部监测点布设

局部监测点的布设方法是本文研究的重点,首先把各种复杂侵蚀因子归一化,统一到可以计算的无量纲因子团,然后利用 GIS 的空间分析功能进行空间分析和计算,最后对结果多边形的因子团进行分类,根据侵蚀因子团的分级有侧重地布设监测站、点,具体布设流程见图 2。

首先利用已有的黄土高原地区的各种侵蚀因子的已有资料,依据该因子对土壤侵蚀强度的贡献做出因子侵蚀贡献分级图。根据专家打分赋相应的权重,把各种类型的因子的分类分级图归一化为可计算的无量纲因子团,并做出黄土高原地区的各种归一化的侵蚀因子团无量纲图,如植被因子权重图、地形因子权重图、地貌因子权重图、降雨因子权重图、土壤因子权重图、流域(水系)因子权重图等。

然后利用 GIS 的空间叠加功能对这些无量纲因子图进行叠加分析,剥离、划分出叠加后权值由大到小的一系列多边形,对权重大的区域应加密监测站、点的布设,而对于权重较小的区域则可以相对减少监测站、点的布设。

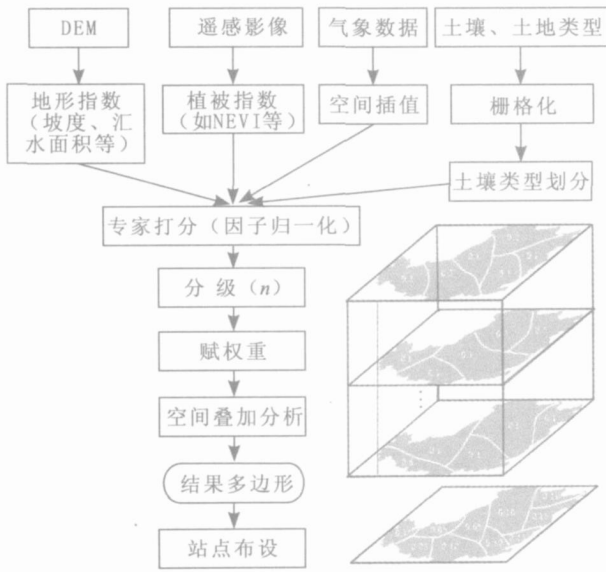
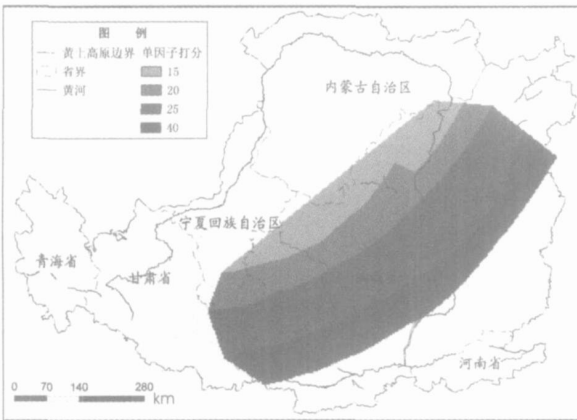


图 2 黄土高原水土保持监测站局部监测点布设流程图

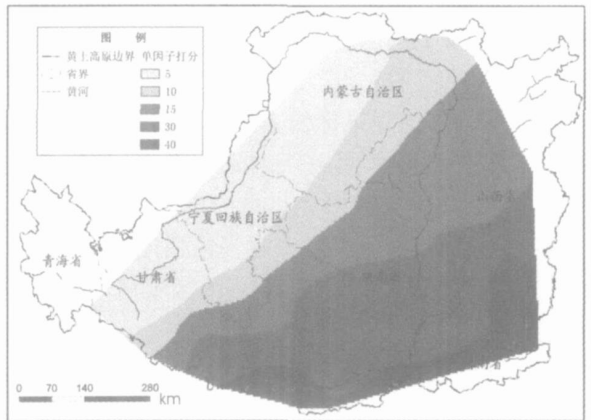
根据我们掌握的资料本次例证计算中采用 3 个因子, 即土壤粒径因子、降雨因子和侵蚀分区因子, 根据这 3 个因子叠加后的结果多边形对叠加后的因子团分级, 并综合考虑水系、行政因素等参数进行站、点布设。

(1) 根据已有的土壤粒径因子、降雨因子等值线图作各因子的栅格图, 根据因子对侵蚀强度的贡献大小对等值线分级并进行重分类, 重分类时进行专家打分并赋权值(见表 1)。附图 9 是土壤粒径因子、降雨因子等值线图及侵蚀分区图, 图 3 是栅格化后并重分类打分赋值后的归一化因子分布图。

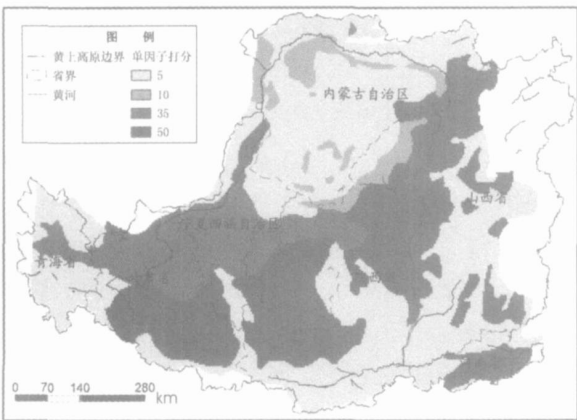
由于水土流失问题本身的复杂性, 不同区域, 不同侵蚀类型的水土流失, 其各侵蚀因子对侵蚀强度的贡献也不尽相同, 具体权重也并非为简单的线性关系。因此, 不同侵蚀区域的独立侵蚀因子本身在侵蚀强度中所占的权重是个十分复杂、值得研究的问题, 需要进行进一步的详细研究。



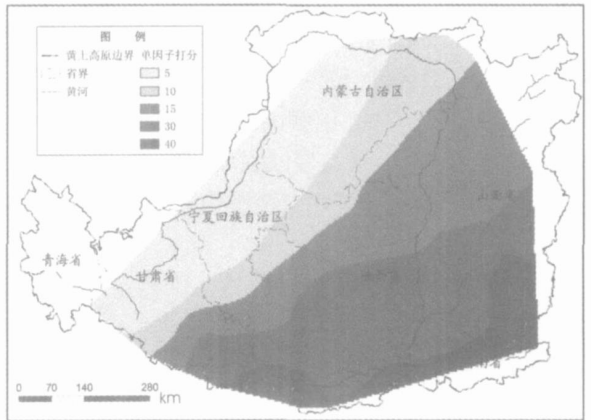
a 归一化的土壤粒径因子分布图



b 归一化降雨因子等值线分布图



c 归一化的侵蚀分区分布图



d 归一化因子叠加后结果多边形

图 3 归一化各种因子分布图

表 1 黄土高原土壤粒径因子、降雨因子侵蚀分区因子归一化表

土壤粒径		降雨		侵蚀分区	
粒径/mm	打分	年均降雨量/mm	打分	侵蚀分区	打分
0.015~0.025	40	> 700	40	冲积平原、石质山岭、石质山岭林区、干燥草原	5
0.025~0.035	25	500~700	30	风沙区	10
0.034~0.045	20	500~300	20	黄土丘陵第四、五副区	35
0.045~0.055	15	< 300	10	黄土丘陵第一、二副区, 黄土高原	50

本文为简化计算, 统一假设各侵蚀因子在侵蚀强度中所占权重相同, 即各因子对侵蚀强度的贡献都按 100 计, 各因子按其本身对侵蚀强度的贡献划分等级并打分。表 1 是根据各因子对侵蚀强度的贡献而进行的打分, 该打分是在我们的领域知识范围能进行的, 由于领域所限可能不尽合理, 在进行详细研究时, 必须咨询该领域有关专家, 掌握相关专业知识, 进行系统严格的分析和打分。

(2) 对各归一化后的因子分布图进行叠加运算, 得到综合归一化因子团结果多边形如图 3。

(3) 对归一化因子团结果多边形进行分类、分析, 对于权重大的区域考虑加密监测站、点, 权重较少的区域相对减少站、点。

水土保持监测指标的主要监测内容就是那些与水土流失密切相关的因子, 因此对于对土壤侵蚀强度贡献较大的因子团聚集的区域应该进行重点监测, 相应地加密监测点, 而在对土壤侵蚀强度贡献较小, 或各侵蚀因子较为均一, 变幅较小的区域相对减少监测站、点的布设。

图 4 中根据叠加后的结果多边形把归一化后的侵蚀因子团分为 4 级, 其中 80~130 为一级区域, 侵蚀强度和潜在侵蚀强度最高, 应优先考虑加密监测站、点布设; 50~80 为二级区域, 侵蚀强度和潜在侵蚀强度次强, 同样应该考虑布设相对较多的监测点; 20~50 为三级区域, 侵蚀强度、潜在侵蚀强度相对较弱, 可以考虑适当减少监测站、点的布设; 0~20 为四级区域, 侵蚀强度、潜在侵蚀强度最弱, 一般可以考虑在已有监测站、点和控制点范围内适当增加少数监测点即可。

参照水土流失监测发达国家(主要是欧洲、美国等)的现有监测状况<sup>[14-15]</sup>, 并综合考虑已有站、点, 一级布设的控制监测点以及水系、行政区划等因素, 二级局部监测点共布设 103 个点, 详见图 4。

### 2.3 水土流失监测网络布设的泰森多边形验证

为了验证布设方法的合理性, 可以根据已有监测站、点及布设站、点生成泰森多边形并与分级后的结果多边形进行对比分析, 检验监测站、点的控制范围

及合理性。根据黄土高原水土流失监测站、点生成的泰森多边形见图 5。

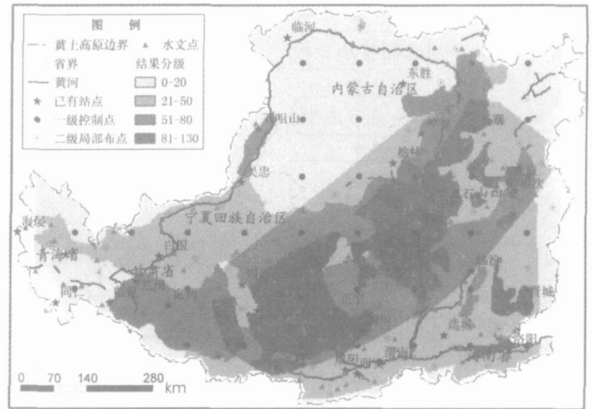


图 4 黄土高原水土流失监测站、点综合布设图

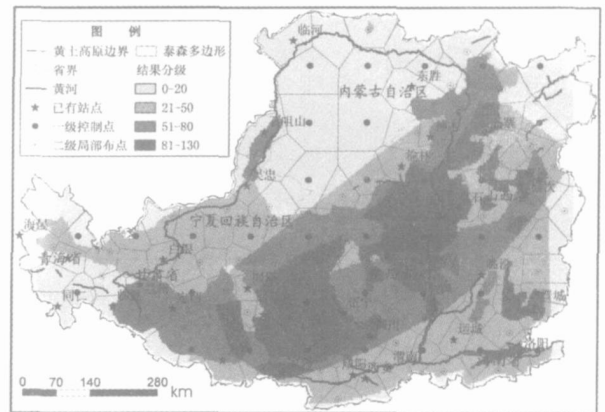


图 5 黄土高原水土流失监测站、点的泰森多边形验证

由图 5 可以看出, 侵蚀分级最高的一级分区泰森多边形面积较小, 单个多边形控制范围较小, 对于侵蚀强度高、侵蚀因子及侵蚀类型复杂的地区有利于获得更详细、可靠的指标。侵蚀强度相对较弱的二级、三级别分区泰森多边形控制范围相对较大, 可以基本控制该区域内的指标参数情况, 如有特殊区域需要加强观测, 可以根据多边形的大小调整增加新的观测站、点。侵蚀强度最弱的 4 级分区泰森多面形的控制范围最大, 基本可以为该区域内的水土流失监测提供水土流失背景数据。总体上看, 站、点的布设比较合理, 控制突出, 层次分明, 特殊区域增补站、点方便、便

捷、有据可依,从宏观上和微观上已经基本能够控制、反映黄土高原水土流失的状况。

### 3 结论

由于黄土高原区的地形、地貌、植被、气候、水土保持措施、行政管辖,甚至人们对水土保持重要性的认识程度等的差异使得黄土高原区的水土流失监测侧重点不同,水土流失问题本身的复杂性使得其研究需要耦合众多领域的专家知识。本文试图利用计算机对专家知识归一化并进行分析,综合考虑各种侵蚀因子划定黄土高原区的侵蚀强度和潜在侵蚀强度分级图,并进行相应站、点布设。

基于此本文提出了宏观(面)和局部(点)结合布设站、点的方案,布设一级控制性监测站、点 35 个,二级局部监测站、点 103 个,加上已有的 32 个监测点,共 170 个点,基本能够为黄土高原区的详细监测和宏观、定量分析、计算提供监测指标和参数。

实际应用中宏观监测站、点步长的确定需要进一步深入研究,需要充分考虑黄土高原区已有资料并参照国外研究程度高的国家的站、点布设确定步长。局部监测站、点布设中因子团的归一化与计算需要大量详细的资料才能较可靠地模拟黄土高原区的水土流失现状,因此需要收集大量的已有资料和研究成果,充分咨询各领域专家的意见,统一进行各种因子的归一化分析。

文中提出的基于归一化因子团空间叠加的方法是一种简化了各种侵蚀因子间相互作用的简单模型,通过地图代数的加和进行运算和分析。但现实世界中的水土流失各种因子之间的影响十分复杂,呈非线性关系,如何找出各种因子之间相互耦合对水土流失的影响是十分重要的问题,还需要进一步的研究。

#### [ 参 考 文 献 ]

[ 1 ] 陈永宗,景可,蔡强国. 黄土高原现代侵蚀与治理[M]. 北京: 科学出版社, 1988.

- [ 2 ] 马向东,边延辉,张光辉. 三江平原湿地可持续发展对策[J]. 中国水土保持, 2003(4): 15—16.
- [ 3 ] 史玉虎,袁克侃,李惠宝,等. 湖北长防林体系综合效益监测分区及监测网络[J]. 湖北林业科技, 1999, 108(2): 1—4.
- [ 4 ] 武小捷,王东晖,王爱仙. 太原市城市水土流失监测网络的布设[J]. 山西水土保持科技, 1999, 4(12): 16—18.
- [ 5 ] 汪水前. 福建省水土保持监测网络规划与实施设想[J]. 福建水土保持, 2003, 14(1): 48—52.
- [ 6 ] 马晓微,杨勤科,刘宝元. 基于 GIS 的中国潜在水土流失评价研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 19—53.
- [ 7 ] Godert W J van Lynden, Stephan Mantel. The role of GIS and remote sensing in land degradation assessment and conservation mapping: some user experiences and expectation [J]. JAG, 2001, 3(1): 61—68.
- [ 8 ] 胡良军,李锐,杨勤科. 基于 RS 和 GIS 的区域水土流失快速定量评价方法[J]. 水土保持学报, 2000, 20(6): 42—44.
- [ 9 ] Lenzi M A, Di Luzio M. Surface runoff, soil erosion and water quality modeling in the Alpone watershed using AG-NPS integrated with a Geographic Information System[J]. European Journal of Agronomy, 1997, 6: 1—11.
- [ 10 ] Desmet P J J, Govers G. A GIS procedure for automatically calculating the USLELS factor on topographically complex landscape units[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1996, 51(5): 427—433.
- [ 11 ] 郭索彦,李智广. 新技术在我国水土保持监测工作中的应用[J]. 中国水利, 2006(12): 24—27.
- [ 12 ] 李智广,曾大林,巫明强. 从水土保持监测的多尺度特性探讨监测网络的建设[J]. 中国水土保持, 1999(7): 7—8.
- [ 13 ] 许峰. 宏观水土保持监测研究及其进展[J]. 水土保持通报, 2002, 12(4): 72—76.
- [ 14 ] 李锐,徐传早. 美国水土流失预测预报与动态监测[J]. 水土保持研究, 1998, 5(2): 119—123.
- [ 15 ] Michael A. Fullen. Soil erosion and conservation in northern Europe [J]. Progress in Physical Geography, 2003, 27(3): 331—358.