基于侵蚀因子显性变化的区域水蚀动态监管方法研究

李智广[1]，任志勇[2]，李子轩[3]

（1. 水利部 水土保持监测中心，北京 100055；2. 山西省水土保持监测中心，
山西 太原 030002；3. 海河流域水土保持监测中心站，天津 300170）

摘　要：[目的] 本着综合监管要完善机制、强化手段、严格追责的基本目标，提出一套基于侵蚀因子显性变化的区域水蚀动态监管方法，为制定精准的监督执法、检查、督导和违法违规查处的政策提供有效的方法支撑和精细的数据支持。[方法] 在全面分析当前水土流失监管主要工作进展与存在问题的基础上，基于高分遥感影像、水土保持治理工程和生产建设项目前期设计资料等高空间精度、高现势性的数据，以土壤侵蚀地块为单元，精细识别侵蚀因子发生显性变化的对象，科学计算水土流失强度和面积的变化，查清引起变化的原因。[结果] 侵蚀因子显性变化是指区域内某种或几种土壤侵蚀因子在局部发生变化，并呈现出显著的可被识别、可被监视的明确特征；显性变化集中体现在地块的地表坡度、土地利用类型、水土保持措施、植被覆盖度等变化。[结论] 基于侵蚀因子显性变化的水土流失动态监管的技术和方法，尤其适用于年际间水土流失动态监测及其后续的监督管理。

关键词：侵蚀因子；显性变化；水蚀；监管

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2019)05-0329-08　　**中图分类号**：S157

文献参数：李智广，任志勇，李子轩. 基于侵蚀因子显性变化的区域水蚀动态监管方法研究[J]. 水土保持通报，2019，39(5)：329-336. DOI：10. 13961/j. cnki. stbctb. 2019. 05. 046；Li Zhiguang，Ren Zhiyong，Li Zixuan. A study on methods for dynamic monitoring and supervision of regional water erosion based on marked changes in soil erosion factors[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2019，39(5)：329-336.

A Study on Methods for Dynamic Monitoring and Supervision of Regional Water Erosion Based on Marked Changes in Soil Erosion Factors

Li Zhiguang[1]，Ren Zhiyong[2]，Li Zixuan[3]

（1. *Center of Soil and Water Conservation Monitoring，Ministry of Water Resources，Beijing* 100055，*China*；2. *Shanxi Provincial Center of Soil and Water Conservation Monitoring，Taiyuan，Shanxi* 030002，*China*；3. *The Center Station of Soil and Water Conservation Monitoring in Haihe River Basin，Haihe Basin，Tianjin* 300170，*China*）

Abstract：[Objective] We aimed to study and put forward methods for the dynamic monitoring and supervision of regional water erosion based on marked changes in soil erosion factors，this is for improving the mechanism and strengthen the means and strict accountability of their comprehensive supervision，in order to provide effective methods and fine data for formulating precise policies regarding supervision，law enforcement，inspection，supervision，and illegal investigation. [Methods] Based on a comprehensive analysis of the main work progress and existing problems in current soil erosion supervision，using high spatial accuracy and high-potential data，such as high-score remote sensing images，pre-design data of soil and water conservation control projects，and production and construction projects，we took soil erosion plots as units to accurately identify the marked changes in soil erosion factors，interpreted and recognized the marked changes in erosion factors，scientifically calculated the changes in soil erosion intensity and area，and determined the causes of the changes. [Results] The marked changes in erosion factors refer to the local change to a number of soil

收稿日期：2019-09-19　　**修回日期**：2019-09-28

资助项目：全国水土流失动态监测和国家水土保持监测点优化布局(126216229000180001)；国家重点研发计划课题“生态治理与生态文明建设生态技术筛选配置与试验示范”(2016YFC0503705)

第一作者：李智广(1966—)，男(汉族)，陕西省岐山县人，博士，教授级高级工程师，主要从事水土保持监测管理与技术研究，区域水土保持环境效应研究。E-mail：lizhiguang@mwr. gov. cn。

erosion factors in the region, which presents obvious identifiable and monitorable characteristics. The marked changes are mainly reflected in the changes in land surface gradient, land use type, soil and water conservation measures, vegetation coverage, and so on. [Conclusion] The present technology and methods for the dynamic monitoring of soil erosion based on marked changes in erosion factors are especially suitable for the interannual monitoring of soil erosion and its follow-up supervision and management.

Keywords: soil erosion factors; marked changes; water erosion; monitoring and supervision

近年来,水利部不断强化水土保持监管工作。在国务院批复的《全国水土保持规划(2015—2030 年)》中,设专章"综合监管"对水土保持监督管理、动态监测和信息化建设进行全面规划,确保实现动态实时监控,有效控制人为水土流失,不断提高水土流失防治水平和效益。2018 年,水利部先后印发了《全国水土流失动态监测规划(2018—2022 年)》《国家水土保持监管规划(2018—2020 年)》,全面推进实施生产建设项目水土保持监管、国家水土保持重点工程监管、全国水土流失动态监测及信息化监管能力建设;印发了《生产建设项目水土保持信息化监管技术规定(试行)》[1]《国家水土保持重点工程信息化监管技术规定(试行)》[2]《区域水土流失动态监测技术规定(试行)》[3],指导和规范相关监管工作。2018 年,水利部提出"把水土保持工作重心切实转变到监管上来,在监管上强手段,在治理上补短板"的水土保持工作总思路。目前,水土流失动态监测、生产建设项目"天地一体化"监管、重点工程"图斑精细化"管理等 3 项工作正在推进实施。但工作中仍存在一些不足、面临一些挑战,需要从技术上、组织上统筹协调、研究解决,如:3 项工作的"三体合一"尚需在组织与安排上研究落实,基于高分遥感影像的水土流失动态监测结果、重点工程精细化管理成果、生产建设活动监管信息三者之间的对应性和匹配度不直接;动态监测、生产建设项目和重点工程信息化监管的最直接结果——图斑(地块)难以直接应用于设计预防和治理措施、指示监督检查对象、落实监管对策;难以精准地说清楚水土流失动态变化的数量、分布,高度关联地说明引起变化的原因和存在问题,针对性地制定精准的防治策略。本文初步探索基于高分遥感影像等高精度数据的区域水蚀动态监管方法,包括监管基本对象确定、显性变化因素识别、侵蚀动态分析评价等,以期为形成科学、有效的水土流失动态监管技术和方法提供参考。

1 研究区概况

原平市位于东经 112°17′—113°35′,北纬38°35′—39°09′之间,地处山西省北中部。辖区东西相距 62 km,南北长约 58 km,东西绵亘群山为天然界域,阳武河、滹沱河畔是全市的开阔地带。全市地貌特征是山地型高原,东西两面高,中间低,"两山夹一盆"为显著特点,地面高程一般在 800 m 以上,最高山峰双顶山海拔为 2 393 m,中间嵌着滹沱河地堑谷地地形,相对高差 1 500 m,山地约 1 410 km^2,丘陵约 570 km^2,平川约 580 km^2。该市属北温带季风型半干燥大陆气候,四季分明,降雨少而集中,多年平均降雨量 450～500 mm,年平均径流深 60 mm,年际及年内各月分配不均。近 30 a 气象资料表明,年最大降雨为 760.6 mm,年最少仅为 162.4 mm。年平均气温 8～9 ℃,全年日照 2 800 h,大于等于 10 ℃积温为 3 246 ℃,无霜期 120～190 d。全市土壤和植被多样,在山区,分布有针叶阔叶混交林,土壤以棕壤、淋溶褐土为主;在丘陵区,植被稀疏,零星分布着杨、柳、榆树、刺槐、臭椿等,土壤属黄土状物质;在平川地区,以耕地为主,没有大面积的林草,土壤以草甸土和盐土为主。

本着改善生态环境,增加收入、发展经济的目标,该市科学规划、合理配置各项防治措施,实行山水林田路综合治理。截至 2017 年,累计建设基本农田 20 529 hm^2(包括梯田 9 638.1 hm^2,坝滩地 8 130.8 hm^2,旱坪地 2 760.1 hm^2),造林 47 265.97 hm^2(包括乔木林 20 005.77 hm^2,灌木林 15 607.73 hm^2,经济林 11 652.47 hm^2),种草 698 hm^2,封禁治理 6 797.8 hm^2,其他 1 578.7 hm^2,充分发挥了蓄水保土,改善农业生产条件和生态环境的作用。

2 研究方法

2.1 区域水蚀监管的基本单元:土壤侵蚀地块

影响水蚀的因素包括自然因素和人为活动 2 方面,其中自然因素主要为降水及其径流、地形、土壤、植被等,人为活动主要为各种经营管理和生产建设活动等。为保证水蚀动态变化评价对象与其影响因素对应,尤其是自然因素叠加人为活动进而交织耦合对水蚀的影响,基于近年来高分遥感影像及 GIS 技术在水土保持监管中普遍应用的现实[1-5],经反复调研,

本文将“土壤侵蚀地块”作为水蚀动态监管的基本单元[3-8]。

土壤侵蚀地块是指影响水土流失的自然因素和人为活动等因素相对一致、空间上连续的范围,是水土流失发生和演变的基本空间单元。其中,自然因素主要指地表坡度、地表覆被,人为活动主要指土地利用类型、水土保持措施、经营管理方式。

2.2　区域水蚀监管对象的基本特征:侵蚀因子显性变化

水土保持监管的基本要求是监管的对象及其状态务必明确、精准,能够得到监管方、被监管方和第三方机构等共同认可和接受,而不存在一方是是非非、另一方非是是非、第三方似是而非。为发挥监管方监视、监督、调控被监管方行为的作用,达到防止水土流失及其危害发生的目的,水蚀动态监管的对象及其变化应是显著的、达到可被识别、可被监视的程度。这就要求区域水蚀动态监管应是基于侵蚀因子显性变化的监管。

侵蚀因子显性变化是指区域内某种或几种土壤侵蚀因子在局部发生变化,并呈现出显著的可被识别、可被监视的明确特征。这种可被识别、可被监视的特征体现在两个方面:①侵蚀因子的变化显著到既可以被监管方测量、应用于监视水土流失及其调控,又能够使得被监管方和第三方机构认可和接受;②侵蚀因子的变化可以为监视水土流失及其危害提供空间位置精准的、可以被相关方验算的水土流失动态变化信息。当这种显性变化发生时,必然意味着区域内某个或某些土壤侵蚀地块的侵蚀因子发生了变化,如:坡耕地变成梯田,荒地丰育成林,耕地林地草地被生产建设活动扰动;或者造成原来土壤侵蚀地块发生了变化,如不同的地块变成同一性质的地块,某个地块被分解成性质不同的 2 个或 2 个以上地块。

在显性变化发生时,只要分析评价发生显性变化的所有土壤侵蚀地块的水土流失动态变化,就可以全面掌握区域水土流失动态变化,进而按照地块精准实施水土流失监管,指导和监督被监管方及时停止扰动水土资源的行为、针对性地采取预防和治理措施,防止水土流失及其危害的发生。

2.3　区域水蚀动态的监管方法:因子显性变化识别与侵蚀强度分析评价

既然区域是土壤侵蚀地块的总和,那么区域水蚀动态就是区域内土壤侵蚀地块水蚀动态的总和,即:基于土壤侵蚀地块本身的变化及其影响因素的变化,分析评价地块的面积及其侵蚀强度,进而统计分析区域水蚀的强度、面积和分布的动态变化。

2.3.1　因子显性变化地块侵蚀强度动态变化分析

显性变化地块侵蚀强度变化,是指因侵蚀因子发生显性变化引起地块侵蚀强度由某个等级变化为另一个等级。分析和计算过程为:首先,调查确定侵蚀因子发生显性变化的地块,根据侵蚀因子现状分析和计算地块的侵蚀强度现状,记为 $SEI_{i,t}$(i 表示第 i 个侵蚀地块,t 表示动态监管的现状时期);然后,基于以往的土壤侵蚀图(图斑图),获取该地块以往的侵蚀强度,记为 SEI_{i,t_0}(t_0 表示动态监管的对比本底时期)。当 $SEI_{i,t}$ 与 SEI_{i,t_0} 不同时,地块的侵蚀强度就发生了变化;否则,表示侵蚀因子的显性变化还未引起侵蚀强度的变化。

如果原来的 1 个土壤侵蚀地块被分为 2 个或 2 个以上地块,应先分别分析这些被分成地块的现状侵蚀强度;反过来,如果原来的 2 个或 2 个以上地块土壤侵蚀地块被合并为 1 个地块,应按 1 个地块分析现状侵蚀强度。

2.3.2　区域水蚀动态变化分析

(1) 水蚀强度动态变化　区域水蚀强度动态变化主要通过各级侵蚀强度面积的变化量反映。在“因子显性变化地块侵蚀强度动态变化分析”的基础上,通过计算 t,t_0 两个时间节点之间该侵蚀强度面积的差值得到动态变化。具体的计算式如下:

$$\Delta S_{\text{seig}} = \sum_{i=1}^{m} S_{\text{sei}_t} - \sum_{j=1}^{n} S_{\text{sei}_{t_0}} \tag{1}$$

式中:ΔS_{seig}——区域内某侵蚀强度等级总面积的变化量;S_{sei_t}——发生显性变化后,即在 t 时期,区域内侵蚀强度为某等级的地块的总面积,这类地块的总数为 m;$S_{\text{sei}_{t_0}}$——对应于发生显性变化的地块,在 t_0 时期,区域内侵蚀强度等级为某等级的总面积,这类地块的总数为 n。

(2) 水土流失面积动态变化　区域水土流失面积的动态变化主要通过微度侵蚀面积的变化量表达,即:在两个时间节点之间,区域内所有侵蚀强度由轻度及其以上的降低为微度的土壤侵蚀地块面积之和减去所有侵蚀强度由微度升高为轻度及其以上的土壤侵蚀地块面积之和的差[9]。具体的计算式如下:

$$\Delta S = \sum_{k=1}^{p} S_k^{g\to 0} - \sum_{l=1}^{q} S_l^{0\to g} \tag{2}$$

式中:ΔS——区域水土流失面积的变化量;$S_k^{g\to 0}$——第 k 个侵蚀强度由轻度及其以上的降低为微度的地块的面积,这类地块的总数为 p;$S_l^{0\to g}$——第 l 个侵蚀强度由微度升高为轻度及其以上的地块的面积,这类地块的总数为 q。

(3) 水蚀分布动态变化　基于“因子显性变化地块侵蚀强度动态变化分析”结果,更新侵蚀强度等级

发生变化的地块，就得到水土流失动态变化的分布。在以往土壤侵蚀图(图斑图)上，将侵蚀强度等级发生变化的地块更新为现状侵蚀强度，就得到土壤侵蚀现状图。

2.4 地块因子显性变化及其侵蚀动态评价

既然土壤侵蚀地块的水蚀动态集中变化体现在显性变化的侵蚀因子上，那么水蚀动态的分析评价就可以集中在对侵蚀因子显性变化的分析及其对侵蚀强度、面积的影响上。如可通过模型中发生显性变化因子的数值变化计算土壤流失模数，可通过因子变更判别侵蚀强度，可通过建设活动扰动及其对周边的影响、水土保持措施等推断是否发生水土流失及其强度。

鉴于中国目前的土地利用分类既反映了土地的利用方式、经营管理等人类活动特点，又反映土地的资源环境、地表覆被等自然属性特征，为尽可能精确地计算水蚀量和判别侵蚀强度，尽可能针对性地支撑监视、监督、调控等水土保持监管活动，本研究以土壤侵蚀地块为基本评价单元，将地块的土地利用及其水土保持措施作为背景，采用对应的方法评价各种侵蚀因子发生显性变化时的水蚀现状及其动态变化。

参考 GB/T 21010-2017《土地利用现状分类》和《区域水土流失动态监测技术规定(试行)》[1]，依据地表覆被与地表组成物质特征，将土壤侵蚀地块分为耕地园地林地草地、项目建成建设用地、生产建设活动用地、农村道路、水域及水利设施用地、其他土地等 6 类对象，根据侵蚀因子显性变化状况，提出对应的方法，分析评价地块的水土流失状况。

2.4.1 *耕地园地林地草地* 这 4 种土壤侵蚀地块，地表覆被分别为耕地、园地、林地、草地对应的覆被状况，地表组成物质为正常耕作或经营状态下的土壤。对这 4 种土地利用，可采用中国土壤流失方程(Chinese Soil Loss Equation，CSLE)$M=R\cdot K\cdot L\cdot S\cdot B\cdot E\cdot T$[3,5]计算每个地块的水蚀模数，进而依据 SL 190-2007《土壤侵蚀分类分级标准》判别侵蚀强度。在熟悉区域水土流失情况，建立了土壤流失模数与侵蚀强度、侵蚀因子之间的对应关系之后，也可基于遥感影像、DEM 等资料采集侵蚀因子，判别侵蚀强度[10-11]。

当耕地、园地、林地、草地中某些地块的用途及属性发生变更时，CSLE 中的相关因子将发生显著变化，水蚀模数与强度也将发生变化。如：坡耕地修建梯田时，CSLE 中的 E 因子值明显降低(如土坎梯田为 0.084，石坎水平梯田为 0.121[3])；退耕还林还草和荒地封禁治理育林育草植被恢复达到标准(如郁闭度达 0.7 以上，林间有 70%以上的地被物[12])时，B 因子值明显降低；林草地植被覆盖度明显好转时，B 因子值明显降低。一旦开办生产建设项目时，通常就不宜采用 CSLE 计算地块的水蚀模数，而应基于是否及时实施水土保持方案设计的防治措施来判别侵蚀强度。

2.4.2 *项目建成建设用地* 这类用地主要指已经建成的城镇建设用地、农村建设用地、其他建设用地等建设用地和其他交通用地，主要特征是相关的建设活动已全部完成即项目建成，而不是建设活动正在实施当中。基于这些类型用地的地表覆被为项目建成的相关设施，地表组成物质为固体形态、几乎不能被日常人为活动扰动等特征，可直接判定其侵蚀强度为微度；对于较大城镇、大型其他交通用地，亦可不进行水蚀状况评价，而直接采用用地类型名称，不再计入水蚀面积[13]。

鉴于这些类型地块的用途及属性一般地不会发生改变，尤其是不会在年际间频繁地改变，通常可认为水蚀强度基本不发生变化。如若发生改变，那将是长期性甚至永久性的变更，其水蚀动态可根据演变方向和程度采用对应对象的方法进行评价。

2.4.3 *生产建设活动用地* 这类用地主要包括采矿用地和其他生产建设活动用地，突出特征是地表正在被采矿和其他生产建设活动扰动着。采矿用地的主要特征是：开采面裸露，矿石矿料裸露堆积，矿渣裸露堆积、或有稀疏植被生长，矿石和弃渣之间的运输路面常被车辆压扎而裸露。其他生产建设活动用地的主要特征是：绝大部分地表正在被生产建设活动扰动，大多数取土取料场、弃土弃渣场裸露或者被苫盖，施工营地或正在建设的区域被材料和建筑物等覆盖。

如果这 2 类的生产活动在水土保持方案确定的防治责任范围内，相关对象均被及时实施了防治措施，且对周边没有造成水土流失危害，就可以将整个防治责任范围的侵蚀强度判定为微度。如果生产活动属于未批先建，或者生产活动超出了防治责任范围，或者局部区域、某些对象没有按照设计及时采取防治措施，或者造成了水土流失危害，就可以直接判定相关区域(如前述的未批先建的整个范围、生产活动超出部分、局部区域)的水蚀强度，其等级应高于扰动前的强度，强度判定应根据项目所处区域的地貌类型、地块下垫面扰动情况、水土保持设施实施情况等综合判定，判别指标见表 1。

表 1　生产建设活动扰动地块侵蚀强度判定指标

地貌类型区	所在区域	地块对应的项目部位	地块水土保持措施状态/%				
			<30%	30～50	50～70	70～90	≥90
平原区			SEI+1	SEI	微度	微度	微度
山丘区	城镇区域	非采矿类项目取土(石、砂)场、弃土(石、渣)场以外的地块	SEI+1	SEI	微度	微度	微度
		采矿类项目的所有地块,非采矿类项目的取土(石、砂)场、弃土(石、渣)场	SEI+2	SEI+1	SEI	微度	微度
	城镇以外区域	非采矿类项目取土(石、砂)场、弃土(石、渣)场以外的地块	SEI+2	SEI+1	SEI	SEI−1	微度
		采矿类项目的所有地块,非采矿类项目的取土(石、料)场、弃土(石、渣)场	SEI+3	SEI+2	SEI+1	SEI	微度

注:SEI 为“生产建设活动扰动地块”周边地块侵蚀强度的最大值;“措施已实施(%)”的取值为下含上不含,如“30—50”表示含 30%、不含 50%。;“±n”表示对应状态下“生产建设活动扰动地块”侵蚀强度应比 SEI 高或低 n 级,最高至剧烈,最低至微度;若水土保持措施毁坏或不符合设计要求,按“地块水土保持措施状态<30%”处理。

2.4.4　农村道路　鉴于农村道路主要用于村间、田间交通运输,建设时间一般都较短,或者就是“走的人多了也就成了路”,建设期间一般不会造成水土流失;成路之后,尽管缺少植被覆盖,但由于路面低于两旁的土地、路面坡度与两旁的土地一致,道路的水土流失强度基本与两旁的土地一致,其土壤流失模数计算与强度判别可纳入两旁的用地一并进行。

当农村道路的用途及属性发生变化时,可根据变化状况分别对待。变化状况主要包括 2 种情形:一是由于地块变化引起改道,改道后的道路变成了农田;二是道路加宽硬化,变成了类似其他交通用地的道路。对于改道的,可按照道路两旁的土地利用类型进行水蚀状况评价。对于硬化的,可直接判定其侵蚀强度为微度。

2.4.5　水域及水利设施用地　这类用地主要包括河湖库塘、沼泽地,是上游径流携带泥沙运移和淤积的部位。基于这些类型用地的地形比周边低洼,或者有稳固的大型工程,水体下面的土壤很少被扰动,一般不产生土壤流失。即使是河道,主要也是泥沙运移的通道,或者还有少量沉积。因此,可直接将其侵蚀强度判定为微度;对于较大的河湖库,可不进行水蚀状况评价,而直接采用用地类型的名称“水体”,不再计入水蚀面积[12]。

水利设施一般地不会被改变成其他的类型,通常可认为水蚀强度基本不发生变化。与项目建成建设用地一样,如若发生改变,那将是长期性甚至永久性的变更,其水蚀动态可根据演变方向和程度采用对应对象的方法进行评价。

河湖塘、沼泽地等水域一般地也不会被改变成其他的类型,通常可认为水蚀强度基本不发生变化。如若发生改变,水蚀动态可根据演变方向和程度采用对应对象的方法进行评价。

2.4.6　其他土地　这类用地主要包括盐碱地、裸岩石砾地。盐碱地是表层盐碱聚集、生长天然耐盐植物的土地,其水蚀状况可根据天然生长的耐盐植物的类型,参照“耕地园地林地草地”的方法评价。当这类土地被改变、作为其他用途时,可根据变化后的利用类型,采用对应对象的方法进行评价。

裸岩石砾地是地表砾石覆盖大于 70%或裸岩覆盖率大于 70%的土地。鉴于表层土壤很少甚至无土可流,可直接判定其侵蚀强度为微度。基于这类土地难以被利用或被改变用途,通常可认为水蚀强度基本不发生变化。如若发生改变,水蚀动态可以根据演变方向和程度采用对应对象的方法进行评价。

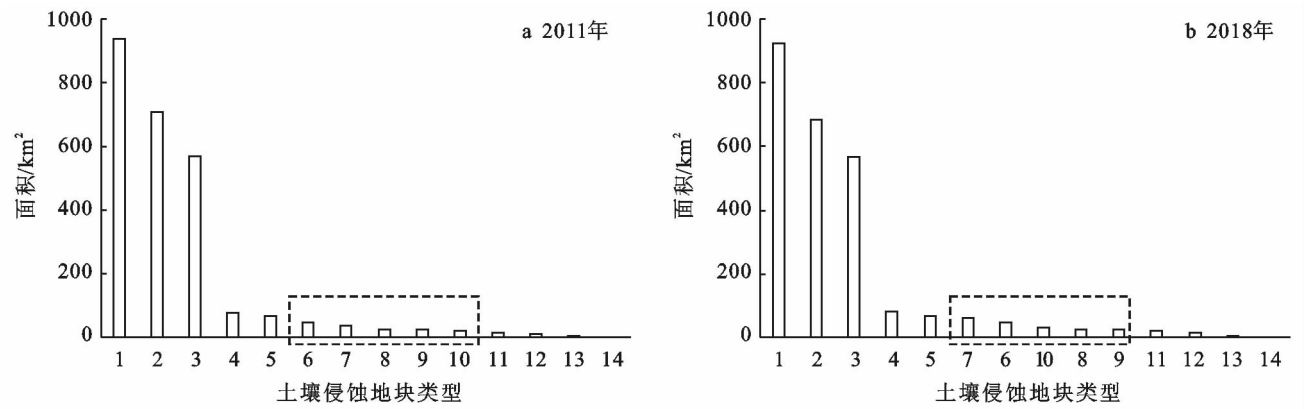
3　研究区地块与水蚀动态变化情况

为全面提取研究区 2 个时段侵蚀地块的显性变化,分别选择 2011 年和 2018 年的遥感影像,提取土地利用、水土保持措施和植被覆盖度。其中,2011 年影像为 CIRS-P5(10 景)和 RapidEye(3 景),空间分辨率分别为 2.5 m 和 5 m,采用 Pansharp 方法对配准后的 P5 与 RapidEye 影像融合、生成 2.5 m 分辨率的真彩色影像;2018 年影像以现势性强的、中国研发的 GF2 为主(11 景),GF1 为辅(6 景),空间分辨率分别为 0.8 m 和 2 m。利用 CIRS-P5 和资源三号卫星影像立体像对提取制作数字高程模型(DEM,格网间距 12.5 m,比例尺相当于 1∶25 000),提取地表坡度。所有影像和地形数据均采用 CGCS2000 国家大地坐标系,高程基准为国家 1985 高程基准。收集水土保持重点工程的设计、实施、竣工验收等资料,分析治理措施的类型、分布、数量(如面积);收集生产建设活动扰动土地情况资料,主要包括项目类型、防治责任范围、扰动土地范围与面积等。

3.1　土壤侵蚀地块的显性变化

研究区 2011—2018 年间各类土壤侵蚀地块显性变化的面积变化矩阵见表 2。2011 和 2018 年各类地块面积降序排列分别见图 1。2011—2018 年各类土壤侵蚀地块动态变化降序排列见图 2。由表 2 和图 1

可知，2011—2018 年间，各类土壤侵蚀地块的总体结构相对稳定，即：旱地、灌木林地、有林地等地类的面积最大，城镇建设用地、其他林地及裸岩石砾地的面积最小，其他类型的面积仍然处于中间；只有果园、采矿用地、水浇地、河湖库塘及其他建设用地的排序发生轻微变化，这主要是受期间研究区的生产建设活动及年度降雨变化等因素影响；除了裸岩石砾地外，其他各类土壤侵蚀地块的面积均发生了变化。



注：1 旱地；2 灌木林地；3 有林地；4 农村建设用地；5 其他草地；6 果园；7 采矿用地；8 水浇地；9 河湖库塘；10 其他建设用地；11 其他交通用地；12 城镇建设用地；13 其他林地；14 裸岩石砾地。

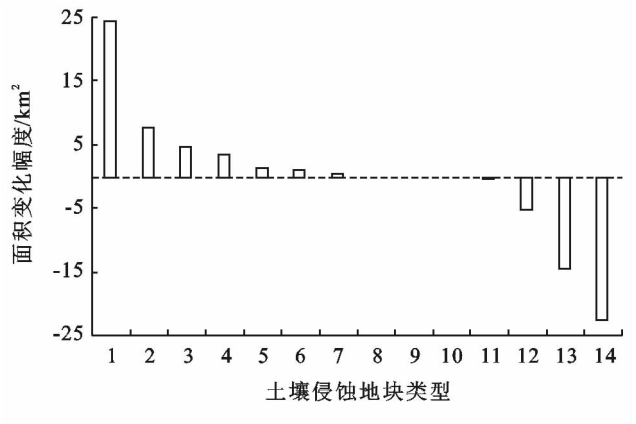
图 1 各类土壤侵蚀地块面积统计

表 2 土壤侵蚀地块显性变化统计结果 km²

2011 年			2018 年														
			耕地园地林地草地							项目建成建设用地				生产建设活动用地	水域及水利设施用地	其他土地	合计
			耕地		园地	林地			草地								
			水浇地	旱地	果园	有林地	灌木林地	其他林地	其他草地	城镇建设用地	农村建设用地	其他建设用地	其他交通用地	采矿用地	河湖库塘	裸岩石砾地	
耕地园地林地草地	耕地	水浇地	26.62	—	—	—	—	—	—	—	0.06	0.04	—	—	—	—	26.72
		旱地	—	924.56	—	0.02	—	—	1.29	0.69	3.13	5.43	3.35	0.85	1.17	—	940.49
	园地	果园	—	—	45.23	0.02	—	—	—	—	0.01	0.01	0.01	—	—	—	45.28
	林地	有林地	—	0.01	—	563.84	—	—	—	0.24	0.50	0.51	0.60	3.64	0.14	—	569.48
		灌木林地	—	0.55	—	—	684.22	—	—	—	0.30	1.45	0.53	19.87	0.04	—	706.96
		其他林地	—	—	—	—	—	5.18	—	—	—	0.01	—	0.01	0.01	—	5.21
	草地	其他草地	—	0.11	0.42	—	—	—	63.46	—	0.03	0.40	0.19	0.32	0.38	—	65.31
项目建成建设用地		城镇建设用地	—	—	—	—	—	—	—	12.54	—	—	—	—	—	—	12.54
		农村建设用地	—	0.31	—	0.11	—	—	0.01	—	78.61	—	0.03	—	0.01	—	79.08
		其他建设用地	—	0.06	—	0.01	—	—	0.02	—	—	22.03	0.07	0.08	0.03	—	22.30
		其他交通用地	—	0.02	—	0.10	—	—	0.01	—	—	—	17.19	—	—	—	17.32
生产建设活动用地	采矿用地		—	0.05	—	0.23	0.13	—	—	—	—	—	—	36.18	0.02	—	36.61
水域及水利设施用地	河湖库塘		—	0.30	—	0.02	—	—	—	—	—	0.05	—	—	24.33	—	24.70
其他土地	裸岩石砾地		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05	0.05
合计			26.62	925.97	45.65	564.35	684.35	5.18	64.79	13.47	82.64	29.93	21.97	60.95	26.13	0.05	2552.05

结合表 2 与图 2 可知，2011—2018 年间，面积变化最大的土壤侵蚀地块类型为采矿用地、其次为其他建设用地，转化面积分别为 24.34 km²，7.63 km²。其中，采矿用地由灌木林地、有林地、旱地、其他草地、其他建设用地和其他林地等 6 种类型的地块转化而来，其他建设用地由旱地、灌木林地、有林地、其他草地、河湖库塘、水浇地、果园和其他林地等 8 种类型的地块转化而来；以上变化过程也导致了灌木林地及旱地面积的大幅减少。

2011—2018 年，研究区的生产建设活动比较活跃，主要集中于西北部与中南部；水域及水利设施用地、耕地园地林地草地的动态变化比较零散。整体上来看，2018 年，项目建成建设用地、生产建设活动用地的增加大多数由耕地、林地及草地转化而来。由此可见，与 2011 年相比，2018 年度生产建设活动规模有所增加，原有耕地、林地及园地被侵占较多。



注:1 采矿用地; 2 其他建设用地; 3 其他交通用地; 4 农村建设用地; 5 河湖库塘; 6 城镇建设用地; 7 果园; 8 裸岩石砾地; 9 其他林地; 10 水浇地; 11 其他草地; 12 有林地; 13 旱地; 14 灌木林地。

图 2　2011—2018 年各类土壤侵蚀地块面积动态变化

3.2　水蚀面积与分布的动态变化

2011—2018 年间,研究区显性变化地块的水蚀面积变化如表 3 所示。由表 3 可知,在耕地、园地、林地及草地中,各二级类地块的各级侵蚀强度的水土流失面积几乎都在减小(除水浇地水土流失面积无变化、果园的微度及轻度侵蚀略有增加)。其中,灌木林的流失面积减少最多、旱地次之;项目建成建设用地、生活建设活动用地、水域及水利设施用地的各级侵蚀强度面积均出现不同程度的增加,尤以采矿用地流失面积的增加最为明显。

从各级强度侵蚀面积的变化来看,极强烈侵蚀增加最大,中度次之,强烈最小;轻度侵蚀面积大幅下降,剧烈侵蚀面积略有减少。虽然生产建设活动用地的扰动影响范围较大,且各级强度侵蚀的变化面积较大,但总的水土流失面积增加量小于耕地、园地、林地及草地的减小量,研究区水土流失面积整体上呈减小趋势。

2011—2018 年间,研究区土壤侵蚀强度变化空间分布与土地利用变化空间分布具有一定的相关性,侵蚀强度变化集中分布于有林地、灌木林地及其他土地利用类型发生变化的区域,而水浇地、旱地、果园、农村建设用地及城镇居民用地等比较集中的区域侵蚀强度变化不显著。研究区内侵蚀强度变化集中表现在轻度侵蚀,这与表 3 中的统计结果一致,侵蚀强度变化区域呈现明显的条带状:西部最为密集、东部相对稀疏、中部几乎无变化。

表 3　显性变化地块水蚀面积变化统计　　km²

土壤侵蚀地块			侵蚀强度变化面积	微度侵蚀	水土流失面积动态变化					
					小计	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈
合计			0.00	11.23	−11.23	−21.15	3.71	2.74	4.15	−0.68
耕地 园地 林地 草地	耕地	水浇地	−0.06	−0.06	—	—	—	—	—	—
		旱地	−12.17	−2.15	−10.02	−7.09	−1.50	−0.40	−0.45	−0.58
	园地	果园	0.36	0.06	0.30	0.30	—	—	—	—
	林地	有林地	−5.15	−2.73	−2.42	−2.38	—	−0.01	−0.01	−0.02
		灌木林地	−21.63	−5.97	−15.66	−15.46	−0.07	−0.03	−0.02	−0.08
		其他林地	−0.03	−0.02	−0.01	−0.01	—	—	—	—
	草地	其他草地	−1.21	−0.96	−0.25	−0.26	0.01	—	—	—
项目建成建设用地		城镇建设用地	0.91	0.91	—	—	—	—	—	—
		农村建设用地	2.67	2.67	—	—	—	—	—	—
		其他建设用地	7.71	7.71	—	—	—	—	—	—
		其他交通用地	3.66	3.66	—	—	—	—	—	—
生产建设活动用地		采矿用地	23.95	7.12	16.83	3.75	5.27	3.18	4.63	—
水域及水利设施用地		河湖库塘	0.99	0.99	—	—	—	—	—	—
其他土地		裸岩石砾地	—	—	—	—	—	—	—	—

3.3　地块显性变化与水蚀动态变化关联性分析

结合土壤侵蚀地块显性变化结果与地块水蚀面积动态变化特征可知,与 2011 年相比,研究区 2018 年项目建成建设用地、生活建设活动用地的面积增加较明显,而耕地、园地、林地及草地的面积减小较明显。耕地、园地、林地及草地的微度侵蚀及水土流失面积均出现了减小的现象,并不代表侵蚀状况的好转,而是由土壤侵蚀地块被侵占导致的。由此可知,水蚀的变化主要受控于土壤侵蚀地块类型的变化,发生改变的驱动力因素主要为生产建设活动对于其他地类的侵占。

4　结 论

基于对区域水蚀监管基本单元——土壤侵蚀地

块的定义，以原平市为例，分析研究了基于侵蚀因子显性变化的水蚀动态监管方法，认为：为全面查清水蚀动态变化、掌握引起变化的原因并一一对应地确定监管手段、提出区域水土流失监管政策与方法，区域水土流失动态监管应采用这样的技术路线和方法：在掌握区域水土流失基本情况的基础上，基于高分遥感影像、水土保持工程施工与生产建设活动资料以及相关专题的调查数据，精细识别和分析显性变化的侵蚀因子，计算显性变化引起水蚀强度和面积的变化，综合统计得到水土流失的动态变化与现状。这种方法尤其适用于年际间水蚀动态监测及其后续的管理，如生产建设活动监督执法、水土保持方案落实监督检查、重点治理工程进度督导、违法违规查处。

关于这种技术路线和方法的应用，讨论如下：

（1）本研究提出侵蚀因子显性变化、并将显性变化的对象作为动态监管的主体。对监管而言，这种方法具有可被识别、可被监视的特征与方便性，可将变化及其程度、原因以及合规性、处理方法等对应地关联起来。这有利于水土流失动态监测、生产建设活动监管与综合治理工程督查在方法上、在实施上有机结合，将极大地促进综合监管工作在量上快速做大、在质上全面做好，充分发挥“找着问题、认定问题、严格追责”的作用。

（2）尽管本研究进一步阐述了土壤侵蚀地块及其划分与确定的影响因素，但限于基础资料精细程度和工作范围的广大，在实际中常常存在 2 种困惑：一是划分地块的工作量大，二是地块的边界不易确定。对于前者，可通过 2 个途径解决：①基于水土流失动态监测的背景数据（图斑图），通过修正得到地块。②根据监管工作需求，该精细的区域，划分精准地块；无需精细的区域及侵蚀因子无显性变化的区域，粗略划分地块。随着工作范围的扩展，逐步细化地块。对于后者，除可采用前述的 2 个途径外，还可结合土地经营、综合治理、项目建设及相关工作实际确定。

（3）水蚀动态变化，既突出地体现在本研究强调的侵蚀因子显性变化的地块，也存在与相反的对象上（称为“隐性变化”）。如何反映这种“隐性变化”引起的水蚀动态变化呢？初步的想法是：在年际间的动态监测中，不过多地考虑“隐性变化”，而是给这种变化更长的时间，让它不断发展，或积累下来、或自行消失。等到定期普查的时候，再全面反映这种变化的积累情况。

[参 考 文 献]

[1] 水利部办公厅. 关于印发《生产建设项目水土保持信息化监管技术规定（试行）》的通知：办水保〔2018〕17 号[R]. 2018 年 1 月 25 日.

[2] 水利部办公厅. 关于印发《国家水土保持重点工程信息化监管技术规定（试行）》的通知：办水保〔2018〕107 号[R]. 2018 年 6 月 29 日.

[3] 水利部办公厅. 关于印发区域水土流失动态监测技术规定（试行）的通知：办水保〔2018〕189 号[R]. 2018 年 8 月 13 日.

[4] 国务院第一次全国水利普查领导小组办公室. 第一次全国水利普查培训教材之六 水土保持情况普查[M]. 北京：中国水利水电出版社，2010：65-73.

[5] 郭索彦，刘宝元，李智广，等. 土壤侵蚀调查与评价[M]. 北京：中国水利水电出版社，2014：33-48.

[6] 符素华，刘宝元，周贵云，等. 坡长坡度因子计算工具[J]. 中国水土保持科学，2015，13(5)：106-110.

[7] 罗志东. 我国水土保持基础管理单元“水保斑”的认识与探索[J]. 中国水土保持科学，2015，13(4)：127-131.

[8] Zhang Hongming, Wei Jicheng, Yang Qinke, et al. An improved method for calculating slope length (λ) and the LS parameters of the Revised Universal Soil Loss Equation for large watersheds[J]. Geoderma, 2017 (308): 35-45.

[9] 中华人民共和国水利部. SL 190-2007 土壤侵蚀分类分级标准[S]. 北京：中国水利水电出版社，2008 年

[10] 武春龙，江忠善，郑世清. 安塞县纸坊沟流域土壤侵蚀类型遥感制图[J]. 水土保持通报，1990，10(4)：6-12，19.

[11] 姜永清，武春龙，雷会珠. 晋陕蒙黄河峡谷区土壤侵蚀遥感制图方法研究[J]. 水土保持学报，1994，8(3)：8-16.

[12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. GB/T1635. 2-2008 水土保持综合治理 技术规范 荒地治理技术[S]. 北京：中国标准出版社，2009.

[13] 李智广，张春燕. 基于矢量数据结构的土壤侵蚀强度判别方法研究[J]. 水土保持学报，2001，15(4)：37-40.