水保监测与应用技术

西气东输二线西段水土流失动态监测与分析

李斌斌[1,2]，李占斌[1]，李智广[2]，秦百顺[2]，周玉喜[2]，陈 康[2]

（1. 西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室，
陕西 西安 710048；2. 水利部 水土保持监测中心，北京 100055）

摘 要：[目的] 动态监测西气东输二线工程中重点地段、重点对象的水土流失状况，为后续长输管线水土保持动态监测提供一定的理论支撑和实践指导。[方法] 定位观测与遥感监测方法相结合，在天山山地区，吐哈盆地及河西走廊戈壁沙漠区这 3 处重点地段进行监测。[结果] 工程建设造成了大量新增水土流失，建设过程中新增加的水土流失量为 1.61×10^6 t；在新增加的土壤流失量中，管道作业带流失量占总流失量的 93.68%，是施工过程中重点防治区域。[结论] 工程建设加剧了项目区水土流失。

关键词：西气东输；二线西段；水土流失；动态监测

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2015)05-0123-04 **中图分类号**：S157.1

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.05.088

Monitoring and Analysis on Soil and Water Loss in West Section of Second Line of West-to-East Natural Gas Transmission Pipeline Project

LI Binbin[1,2], LI Zhanbin[1], LI Zhiguang[2], QIN Baishun[2], ZHOU Yuxi[2], CHEN Kang[2]

(1. *Key Lab of Northwest Water Resources and Environment Ecology of MOE at XAUT, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi* 710048, *China*;
2. *Water and Soil Conservation Monitoring Center of Ministry of Water Resources, Beijing* 100055, *China*)

Abstract: [Objective] The objective of this study is to monitor the dynamic change of soil and water loss in the key construction sections in the west section of the second line of west-east natural gas transmission pipeline project in order to provide support for the subsequent long-distance transmission pipeline projects. [Methods] Three key sites, which located in Tianshan mountain area, Tulufan-Hamei basin area and Leoss Plateau area in Xinjiang Uygur Autonomous Region, were monitored. Traditional located monitoring, remote sensing and theoretical analysis was adopted. [Results] The large amount(1.61 million tons) of new-increased soil erosion was caused by the construction of the west section of the second west-east natural gas transmission pipeline project. In particular, around 93.68% of soil erosion occurred at the pipeline working zone. [Conclusion] The construction of the west section of the second west-east natural gas transmission pipeline project has intensified soil erosion in the project areas.

Keywords: west-to-east natural gas transmission pipeline project; west section of the send line; soil and water loss; dynamic monitor

西气东输二线工程是国家“十一五”重点建设项目，西气东输二线西段工程，包括霍尔果斯—中卫段干线和中卫—靖边联络线，是西气东输二线工程全线的龙头。工程的建设，对于优化中国能源结构、维护国家能源安全，促进经济社会发展、造福广大人民群众，具有重大意义。沿线地形地貌复杂，干旱少雨，植被稀疏，风蚀严重，生态环境极为脆弱，原地貌及植被一旦遭到破坏，很难恢复，不但会产生严重的水土流失，威胁管道安全，甚至引发大范围的生态问题。因此，在工程建设和运行期间必须高度重视水土流失监

收稿日期：2014-06-10 修回日期：2014-08-02
资助项目：国家自然科学基金项目“植被格局对坡沟水蚀过程调控机理研究”(41071182)；中国科学院知识创新工程重大资助项目(KZZD-EW-04-03)；水利部公益性行业科研专项经费项目(201201084)
第一作者：李斌斌(1981—)，男(汉族)，河南省焦作市人，博士，主要从事水文水资源、土壤侵蚀与水土保持等方面的研究。E-mail:154223338@qq.com。
通信作者：李占斌(1962—)，男(汉族)，河南省南阳市人，博士，研究员，主要从事水文水资源、土壤侵蚀与水土保持等方面的研究工作。E-mail:zbli@xaut.edu.cn。

测和防治问题[1-4]。然而，该工程管道长、区域跨度大，沿线涉及地貌类型复杂多样，水土流失原因各不相同，采取全线普查法获取水土流失数据的难度大、投入多、时间长[5-7]。大量研究表明，在工程重点部位设置水土流失监测点，开展定位水土流失观测既保证监测信息的全面性和科学性，又可提高水土流失监测成果的准确性[8-10]。本文结合项目区的地形地貌特点，采用简易径流小区法、坡面细沟水土流失监测法和堆积体积法等定位观测方法与遥感调查相结合的方法对工程重点地段、重点对象水土流失进行动态监测，根据监测要求，依照土壤侵蚀分布特点及野外考察认识，选择有代表性的地貌类型区、侵蚀变化程度较大、施工类型分布与水土保持措施相对集中、与人类活动密切的地段，进行遥感监测。经综合比较与分析，分别在天山山地区，吐哈盆地及河西走廊戈壁沙漠区这3处重点监测地段，各选择一处作为遥感监测重点地段，重点监测土地利用、土壤侵蚀等指标。

通过对西气东输二线工程动态监测手段和方法的总结，以期为后续长输管线水土保持动态监测提供一定的理论支撑和实践指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

西气东输二线西段工程属新建特大型Ⅰ级工程，干线始于新疆维吾尔自治区霍尔果斯口岸，总体走向为由西向东、由北向南，途经新疆、甘肃、宁夏、陕西4省(自治区)的34个县(市、区)，全长2 745 km，管道设计输气能力3.00×10^{10} m^3/a。

项目区横穿天山和祁连褶皱系，依次穿越天山山脉、吐鲁番—哈密盆地、河西走廊、黄土高原等大的地貌单元，涉及高原、山地、丘陵、平原和盆地等地貌类型。项目区属于大陆性季风气候。项目区土壤侵蚀类型主要有风力侵蚀、水力侵蚀2种类型，局部有重力侵蚀、冻融侵蚀。容许土壤流失量为1 000 $t/(km^2\cdot a)$。

1.2 研究方法

本文除采用传统的简易径流小区法、坡面细沟水土流失监测法和堆积体积法等定位观测方法以外，为了能更全面的分析和动态掌握施工前后各种土地利用类型、土壤侵蚀类型和侵蚀强度的分布、面积和空间特征数据。项目组分别购置重点地段区域施工前(2008年6—8月)和建设期(2009年6—8月)两个时段的遥感影像各1期，进行背景值和实际扰动值的监测和对比分析。其中2008年遥感影像为Quickbird存档数据，0.6 m全色与2.44 m多光谱融合；2009年遥感影像为Quickbird编程数据，0.6 m全色与2.44 m多光谱融合。通过采用遥感调查与定位监测相结合的方法获取监测区域的土壤侵蚀背景数据及施工前后扰动、治理效果。

采用人机交互式解译法进行遥感影像的解译与判读，同时，对比分析工程区域和扰动带等重点监测地段的土地利用和土壤侵蚀状况，其中工程区域以管线中心线左右各500 m为监测区域，管线作业带则以管线中心线左右各20 m为监测区域。以遥感影像为数据源，建立遥感解译标志，通过解译获得监测区域在施工前后各种土地利用类型、土壤侵蚀类型和侵蚀强度的分布、面积和空间特征数据。

根据监测要求和该项目水土流失防治特点，依照土壤侵蚀分布特点及野外考察认识，对侵蚀地貌类型变化程度较大、与人类活动密切的地段设置监测点实行重点监测，通过对管线长度、地貌、气候、土地类型、土壤植被、水土流失等对比分析，确定天山山地区、吐哈盆地及宁夏中卫市干旱草原区等为本工程的重点地段监测区域，对重点地段、对象采用定位观测和遥感调查的方法进行动态监测。

2 结果与分析

2.1 各重点施工段土地利用类型变化分析

2.1.1 新疆霍城果子沟段——天山山地区 据遥感监测成果分析可知，该霍城果子沟段施工前土地利用类型以林地、草地为主，其中林地占47.51%，草地占45.26%；在建设期，林地占37.75%，草地占51.56%，与背景值相比，区域交通、居民点、独立工矿及特殊用地变化较大，林地和草地所占比例有所变化(详见表1)。

2.1.2 新疆托克逊白杨河穿越段——吐哈盆地区 新疆托克逊白杨河穿越段施工前土地利用类型以裸岩石砾地、滩地等未利用地为主，占92.26%；建设期，以裸岩石砾地、滩地等未利用地占88.39%，与背景值相比，裸岩石砾地、滩地等未利用地较施工前有所下降。施工前后及建设期土地利用变化详见表1。

2.1.3 宁夏中卫市一碗泉段——黄土高原区 宁夏中卫市一碗泉段施工前土地利用类型以草地为主，占91.35%，其次是裸土地，占6.65%；建设期，草地和未利用地分别占66.2%和30.4%，与背景值相比，未利用地增加，而草地面积所占比例减少较多。施工前后及建设期土地利用变化详见表1。

表 1　施工前及建设期各重点地段土地利用类型

土地利用分类	霍城果子沟段				托克逊白杨河穿越段				中卫市一碗泉段			
	面积/hm²		比例/%		面积/hm²		比例/%		面积/hm²		比例/%	
	施工前	建设期	施工前	建设期	施工前	建设期	施工前	建设期	施工前	建设期	施工前	建设期
调查面积	733.39	733.39	100.00	100.00	531.64	531.54	100.00	100.00	523.30	523.30	100.00	100.00
林 地	348.40	276.85	47.51	37.75	0.26	0.64	0.05	0.12	—	—	—	—
草 地	331.94	378.14	45.26	51.56	17.70	51.04	3.33	9.60	478.06	346.42	91.35	66.20
居民点、独立工矿及特殊用地	0.20	1.61	0.03	0.22	12.24	4.09	2.30	0.77	1.85	1.57	0.35	0.30
交通用地	2.65	4.99	0.36	0.68	5.55	5.26	1.05	0.99	8.61	16.01	1.65	3.06
水域及水利设施	9.97	11.15	1.36	1.52	5.59	0.74	1.05	0.14	—	0.20	—	0.04
未利用土地	40.23	60.65	5.48	8.27	490.30	469.92	92.26	88.39	34.79	159.08	6.65	30.4

2.2　土壤侵蚀特征分析

2.2.1　重点地段土壤侵蚀强度变化特征分析

(1) 新疆霍城果子沟段——天山山地区。据遥感监测成果分析,施工前工程该区域以水蚀为主,流失面积占 81.98%,以中度为主;建设期工程区域以水蚀为主,水土流失面积占 93.00%,比施工前增加了 11.02%,侵蚀强度仍以轻度、中度为主。

(2) 新疆托克逊白杨河穿越段——吐哈盆地区。施工前该区域以风蚀为主,流失面积占 100%,以强度、极强度为主,分别占 62.1%和 34.1%。建设期,侵蚀强度以强度、极强度为主,分别占 44.43%和 45.85%。

(3) 宁夏中卫市一碗泉段——黄土高原区。施工前该区土壤侵蚀以风蚀为主,流失面积占 100%,以轻度、中度为主,分别占 69.44%和 25.34%。建设期土壤侵蚀强度发生了变化,轻度、中度、强度极强度分别占 48.41%,21.19%,23.43%,与施工前比,轻度、中度侵蚀面积减少,强度与极强度面积增加较多。说明工程建设加剧了水土流失。

2.2.2　项目区施工前后土壤侵蚀特征分析

(1) 施工前土壤侵蚀特征分析。新疆段扰动地带施工前水土流失以水蚀为主,流失面积 81.98%,以中度侵蚀为主;甘肃段扰动地带施工前水土流失以风蚀为主,流失面积占 100%,以强度、极强度侵蚀为主,分别占 62.1%和 34.1%;宁夏段扰动地带施工前水土流失以风蚀为主,流失面积占 100%,以轻度、中度侵蚀为主,分别占 69.44%和 25.34%。

(2) 建设期扰动地带水土流失特征分析。新疆段建设期扰动地带水土流失以水蚀为主,水土流失面积占 93.55%,以中度为主;甘肃段建设期扰动地带水土流失以风蚀为主,水土流失面积占 100%,以强度、极强度为主,分别占 21.11%和 76.17%,极强度以上比施工前增加 42.07%,说明施工扰动加剧了侵蚀;宁夏段建设期扰动地带水土流失以风蚀为主,水土流失面积 100%,以轻度、中度、强度为主,分别占 16.8%,12.63%和 63.39%,强度与极强度以上所占比例增加了 65.33%,说明施工扰动加剧了侵蚀。

2.2.3　项目区土壤流失量监测结果与分析

(1) 新疆段项目扰动区土壤流失量监测结果与分析。工程建设期间,新疆段共造成土壤流失量 8.90×10^5 t,与未扰动相比新增 4.76×10^5 t。根据监测成果,新疆段土壤流失具有如下特点:① 除天山果子沟以水蚀和冻融侵蚀为主外,其他均以风蚀为主。② 在工程建设期,月侵蚀量相对较大,说明工程施工初期土壤侵蚀量较大,随着工程施工的结束,地表逐步得到治理和恢复,土壤侵蚀量逐渐降低。③ 在工程建设期,从侵蚀总量分析,各监测点实测侵蚀量差别较大,与管线走向、地形地貌、地表组成物质等因素有关。红层火车站、花园乡等监测点的土壤侵蚀量都较其他监测点明显偏大,因为红层火车站监测点处于新疆有名的"百里风区"范围内,风蚀严重,而花园乡监测点位于沙丘区,表层沙粒受风力影响变化非常明显,风蚀严重。这 2 处典型扰动前后侵蚀模数对比详见图 1。

(2) 甘肃段扰动区土壤流失量监测结果与分析。工程建设期间,甘肃段共造成土壤流失量 4.65×10^5 t,与未扰动相比新增 2.28×10^5 t。甘肃段扰动区土壤流失具有如下特点:① 各监测点以风蚀为主。② 在工程建设期,尤其是 2009 年 7—11 月,月侵蚀量相对较大,其他月份相对较少。③ 在工程建设期,从侵蚀总量分析,各监测点背景侵蚀量差别不大,但与管线走向、地形地貌、地表组成物质等因素有关,实测侵蚀模数在 3 579～5 709 t/(km² · a⁻¹)之间,分别为对照区背景观测值的 150%～250%。

(3) 宁陕段扰动区土壤流失量监测结果与分析。工程建设期间,宁陕段共造成土壤流失量 2.43×10^5 t,与未扰动相比新增 1.42×10^5 t。

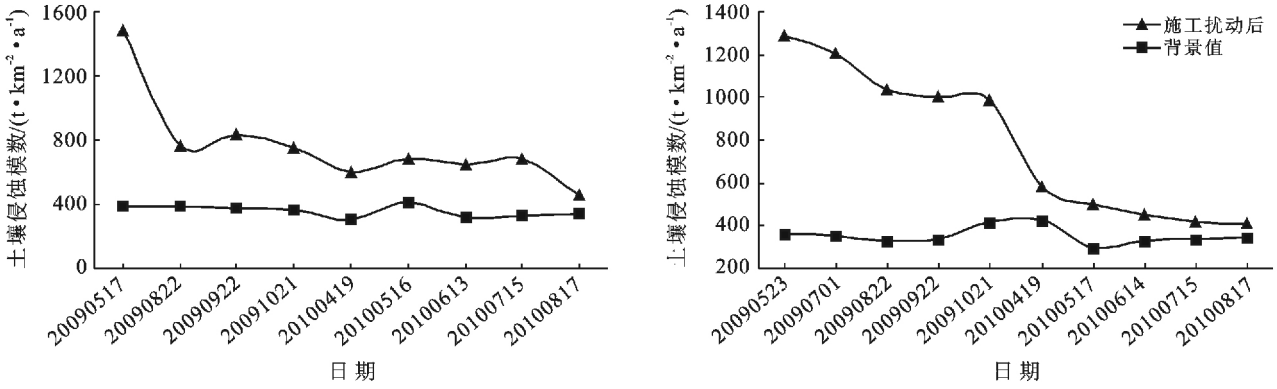


图 1 西气东输二线西段扰动前后侵蚀模数对比

对比分析扰动区与对照未扰动区的土壤流失监测结果可知，在工程建设期间，施工扰动造成区域地表及其覆被变化，其实测侵蚀模数与未扰动对照相比增加较多，即工程建设造成了大量新增水土流失，各监测点背景实测土壤侵蚀模数 6 136～15 420 t/(km² · a)之间，分别为对照区背景观测值的 1.5～3 倍。

2.3 各防治分区土壤流失量分析

根据水土流失监测结果(表 2)可知，按施工类型区划分，对水土流失面积统计分析。统计结果表明，管道作业带为7 577.43 hm²，占总流失面积的97.15%；山体隧道穿越区为 0.5 hm²，占总流失面积的 0.01%；据监测与统计分析结果，对建设过程产生的新增土壤流失量，按施工类型区划分，管道作业带土壤流失呈最大为 7.92×10⁵ t，占总流失量的 93.68%；山体隧道穿越区最小，为 40 t，占总流失量的 0.005%(表 2)。

表 2 各防治区新增土壤流失量统计结果

施工类型区	实际扰动面积/hm²	水土流失情况		新增土壤流失量	
		面积/hm²	所占比例/%	新增流失量/10⁴ t	所占比例/%
管道作业带区	7 579.03	7 577.43	97.15	79.154	93.68
山体隧道穿越区	12.00	0.50	0.01	0.004	0.005
河流穿越区	160.07	17.27	0.22	0.163	0.19
公路及铁路穿越区	42.84	8.17	0.11	0.077	0.09
站场阀室区	157.20	50.00	0.64	0.474	0.56
施工道路	131.00	131.00	1.68	1.291	1.53
伴行道路	16.15	3.15	0.04	0.026	0.03
弃渣场区	12.57	12.57	0.16	1.670	1.98
合 计	8 110.86	7 800.09	100.00	84.495	100.00

因此，通过对各防治分区水土流失面积及流失量进行分析，管道作业带、弃渣场和施工道路区是工程主要的新增流失区，是需防治的重点区域。在施工过程中，应加强对该区域的重点监测并采取合理有效地措施，预防和减少新增水土流失量。

3 结 论

(1) 对比分析施工扰动区与对照未扰动区水土流失监测结果表明，工程建设期间，施工扰动造成区域地表及其覆被、土壤结构变化，其侵蚀模数与未扰动对照相比增加较多，即工程建设造成了大量新增水土流失。建设过程共造成水土流失 1.61×10⁶ t，其中新疆段 8.99×10⁵ t，甘肃段 4.65×10⁵ t，宁陕段 2.43×10⁵ t；与未扰动相比，工程建设共新增水流失量 8.45×10⁵ t，其中新疆段新增 4.76×10⁵ t，甘肃段新增 2.28×10⁵ t，宁陕段新增 1.42×10⁵ t。

(2) 工程建设期间，通过采取合理的水土保持综合防治措施，使因施工扰动造成的新增水土流失得到有效控制；随着工程措施、植物措施的建设与完善，实测土壤侵蚀模数均呈下降趋势，试运行期水土保持效果更加明显。

(3) 在新增土壤流失量中，管道作业带流失量占总流失量的 93.68%，弃渣场区占 1.98%，施工道路区占 1.53%，说明管道作业带、弃渣场和施工道路区是工程主要的新增流失区，是需防治的重点区域。

(下转第 132 页)

目区植被覆盖度监测[J]. 宁夏农林科技,2000(S):6-14.
[5] 马娜,胡云锋,庄大方,等. 基于遥感和像元二分模型的内蒙古正蓝旗植被覆盖度格局和动态变化[J]. 地理科学,2012,32(2):251-256.
[6] 李晓松,李增元,高志海,等. 基于 NDVI 与偏最小二乘回归的荒漠化地区植被覆盖度高光谱遥感估测[J]. 中国沙漠,2011,31(1):162-167.
[7] 方红亮,田庆久. 高光谱遥感在植被监测中的研究综述[J]. 遥感技术与应用,1998,13(1):62-69.
[8] 李苗苗. 植被覆盖度的遥感估算方法研究[D]. 北京:中国科学院,2003.
[9] Qi J, Marsett R C, Moran M S, et al. Spatial and temporal dynamics of vegetation in the San Pedro River basin area[J]. Agricultural and forest Meteorology, 2000, 105(1):55-68.
[10] 张克斌,王锦林,侯瑞萍,等. 我国农牧交错区土地退化研究[J]. 中国水土保持科学,2003,1(1):85-90.
[11] 张学俭,冯锐. 近 10 a 宁夏盐池县生态景观格局动态变化研究[J]. 宁夏大学学报:自然科学版,2007,27(4):369-372.
[12] 杜灵通,田庆久. 宁夏植被覆盖动态变化及与气候因子的关系[J]. 中国沙漠,2012,32(5):1479-1485.
[13] 陈晓光,李剑萍,韩颖娟,等. 宁夏近 20 a 来植被覆盖度及其与气温降水的关系[J]. 生态学杂志,2007,26(9):1375-1383.
[14] 范锦龙,张晓煜. 宁夏近 18 a 植被动态变化遥感时序分析[J]. 干旱区研究,2009,1(1):53-58.
[15] 杜灵通,李国旗. 基于 SPOT-VGT 的宁夏盐池县近 8 a 生态环境动态监测[J]. 北京林业大学学报,2008,30(5):46-51.
[16] 杜灵通,田庆久. 宁夏回族自治区 NDVI 的时空变化特征研究[J]. 水土保持通报,2011,31(5):208-214.
[17] Chander G, Markham B L, Helder D L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1ALI sensors[J]. Remote sensing of Environment, 2009,113(5):893-903.
[18] Liu Jiyuan, Liu Mingliang, Zhuang Dafang, et al. Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995—2000 [J]. Science in China (Series D: Earth Sciences),2003,46(4):373-384.
[19] Rundquist B C. The influence of canopy green vegetation fraction on spectral measurements over native tall grass prairie [J]. Remote Sensing of Environment, 2002,81(1):129-135.
[20] Carlson T N, Ripley D A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index [J]. Remote Sensing of Environment, 1997,62(3):241-252.

(上接第 126 页)

通过对项目区施工前后进行水土保持动态监测对比分析,很直观的得出,工程建设加剧了项目区水土流失,施工扰动加剧了土壤侵蚀,项目区侵蚀强度较扰动前有较大变化。为了预防和治理水土流失,保护和合理利用水土资源,减轻水、旱、风沙灾害,改善生态环境,就需要结合项目特点采取合理有效的治理措施。本文全面分析了长输管线施工前后侵蚀类型、土壤侵蚀量和侵蚀强度等前后变化特征,为开发建设项目长输管线水土保持动态监测提供了技术支撑,对生态环境恢复与重建具有一定的理论和实践指导意义。

[参 考 文 献]

[1] 付良勇,寇权,张鉴,等. 西气东输管道工程陕西段新增土壤流失预测[J]. 水土保持通报,2005,25(4):45-47.
[2] 冯伟,张兴昌,高照良. 风力侵蚀对西气东输(甘肃段)工程影响分析[J]. 水土保持研究,2008,15(2):244-251.
[3] 付良勇,许小梅. 西气东输管道陕西段工程建设中的土壤流失及防治[J]. 水土保持研究,2005,12(6):153-155.
[4] 游爱章,韩凤翔,高照良,等. 管道工程水土保持准入条件[J]. 中国水土保持科学,2010,8(3):108-111.
[5] 赵永军,姜德文,袁普金. 线状工程建设项目的水土保持监测:以西气东输项目为例[J]. 水土保持研究,2005,12(6):71-75.
[6] 李永红,高照良,周茂玲. 西气东输工程建设(宁陕段)水土流失现状及其防治[J]. 安徽农业科学,2012,40(11):6778-6783.
[7] 詹小国,王平. 基于 RS 和 GIS 的三峡库区水土流失动态监测研究[J]. 长江科学院院报,2001,18(2):41-44.
[8] 于辉,孟繁斌,杨庆国. 开发建设项目新增水土流失量的预测方法研究[J]. 水电站设计,2001,17(4):48-50.
[9] 喻权刚. 新技术在开发建设项目水土保持监测中的应用[J]. 水土保持通报. 2007,27(4):5-9.
[10] 黄高花,沈冰,张翼等. 西气东输管线(陕西西段)工程对风蚀影响的监测评价[J]. 水土保持通报,2005,25(4):34-37.