

# 河西走廊管线工程与洪积扇径流间互馈效应

张满银 孙志忠

甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所

DOI: 10.12238/ems.v6i5.7689

**[摘要]** 近20多年来,在国家和地方产业政策的不断推动下,河西走廊快速增长的工商业用地不断向南北两侧山麓带扩张,从而也导致了山区下泄径流对工程设施安全造成一定威胁,使得洪积扇工程防洪与水土流失等问题日益加剧,尤其是以长距离横向穿越扇面的浅埋油气管道水毁灾害最为突出。本文在简述河西走廊自然环境和现有工程的基础上,以洪积扇长输管道为对象,分析扇面径流与管道工程间的互馈影响效应,得出长输管道对洪积扇水土流失的负面影响较小,而扇面径流冲刷对管道造成水毁破坏的影响较为严重;管道水毁灾害主要受自然和人为的双重因素控制,且活动性强、空间分布差异性大,应加强管道水毁灾害防护相关工作。

**[关键词]** 洪积扇平原;径流活动;水毁灾害;水土流失;互馈作用

## The mutual feedback effect between the Hexi Corridor pipeline project and the alluvial fan runoff

Zhang Manyin Sun Zhizhong

Institute of Geological and Natural Disaster Prevention and Control, Gansu Academy of Sciences

**[Abstract]** In the past 20 years, under the continuous promotion of national and local industrial policies, the rapidly growing industrial and commercial land in the Hexi Corridor has been expanding towards the foothills of the north and south sides, which has also led to a certain threat to the safety of engineering facilities caused by the discharge of runoff from mountainous areas. This has exacerbated the problems of flood control and soil erosion in alluvial fan engineering, especially the water damage disaster of shallow buried oil and gas pipelines that cross the fan surface for long distances is the most prominent. On the basis of briefly describing the natural environment and existing engineering in the Hexi Corridor, this article takes the alluvial fan long-distance pipeline as the object, analyzes the mutual feedback effect between fan runoff and pipeline engineering, and concludes that the negative impact of long-distance pipelines on soil erosion in the alluvial fan is relatively small, while the impact of fan runoff erosion on pipeline water damage is more severe; Pipeline water damage disasters are mainly controlled by both natural and human factors, with strong activity and significant spatial distribution differences. Therefore, efforts should be made to strengthen the protection of pipeline water damage disasters.

**[Key words]** alluvial fan plain; Runoff activities; Water damage disasters; Soil erosion; Mutual feedback effect

### 1 河西走廊自然环境与工程概况

#### 1.1 自然环境条件

河西走廊又称“甘肃走廊”,东起祁连山乌鞘岭,西止甘肃敦煌以西、疏勒河下游哈拉诺尔湖沼地带,东西长逾1100km,南北宽数公里至百公里不等,呈北西-东南走向的狭长地带、形如走廊,并位于黄河以西而得名,史称“河西走廊”。

河西走廊位于黄土高原、内蒙古高原和青藏高原交汇区,属典型干旱大陆性气候区,总体上具有冬冷夏炎、昼夜温差大、干旱少雨、蒸散发强烈、风大多沙等特点。走廊自西向东依次发育有疏勒河、黑河和石羊河三大内陆河水系,其源

头均为祁连山系高海拔区冰川(雪)融水,出山径流量约为每年数十亿方。走廊地势南北高、中间低,南北向地形坡度一般10~150‰间,冲沟发育,沟宽10m~300m、深1~10多m,区内主要以第四系松散地层为主,近山前(后部)大厚度砂砾卵石层、中部砂砾石、前缘带以粉土为主,扇前缘区地下水位一般较浅,盐渍化作用明显。

#### 1.2 既有工程情况

河西走廊现有工程主要包括人工绿洲(城镇乡村+农田+园林)、交通线路(铁路+公路)、能(资)源工程(长输油气管道+超、特、高压输电+风电+光伏电)、干旱戈壁特色生态农业园区等。

(1) 走廊绿洲

三大内陆河水系在走廊平原区孕育了 16 个县(市、区)的农林地及城镇,是甘肃西部最为重要的传统型人类生活、生产区,其中主要包括玉(门)-瓜(州)-敦(煌)盆地绿洲、嘉(峪关)-肃(州)-金(塔)绿洲、高(台)-临(泽)-甘(州)-民(乐)-山(丹)绿洲和永(昌)-金(昌)-凉(州)-民(勤)绿洲。

(2) 走廊交通

河西走廊现已形成以兰新铁路、兰新高铁、嘉黎铁路、嘉镜铁路、清绿铁路等为主的区域铁路网布局。同时,沪霍线(G312)、张孟线(G227)、策磨线(G213)、连霍高速(G30)、

酒航高速、武金高速、金永高速、北仙高速、柳格高速等国家级公路和一系列省级、市级、县级公路也已不断建设运营,于走廊内形成了纵横交错、相互贯通的多类多层次交通 roadway 与路网,堪称中国西部最重要、最具规模的“交通走廊”,也对我国中西部地区间互通互联,以及“亚欧大陆桥”的形成具有重要意义。

(3) 走廊新兴产业

走廊中除了传统的绿洲、交通业外,近 20 年来陆续形成了以长距离输油输气管道工程,跨区域的超高、特高及高压输电线路,以及风电基地、光伏电基地和特色戈壁生态农业园区为代表的现代新型产业带(图 1)。

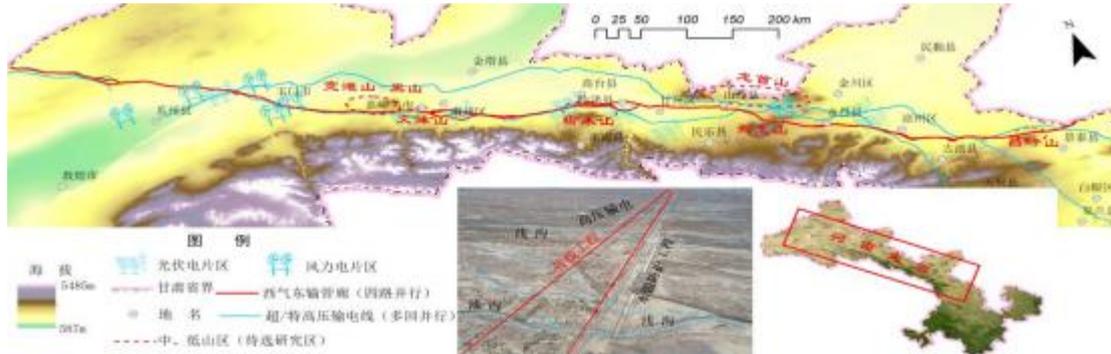


图 1 河西走廊主要新兴产业工程分布示意图

由上可知,在河西走廊山前洪积扇倾斜平原区,农业、城镇、交通、绿洲灌溉水利、输电、输油气、新能源基地等交错分布,现已不同程度出现了用地瓶颈问题;也因人类工程活动区的不断向南、北山麓顶部扩张,新的一类工程地质问题—洪积扇径流所致的工程防洪、水毁灾害及工程扰动水土流失等影响和危害不断加剧,应引起相关部门重视。

2 长输管道与洪积扇径流间的互馈作用

2.1 走廊油气长输管道工程

河西走廊是我国西部最重要、最密集的油气管道带,现有 6 条油气干线管道、近 20 条支线和数座大型油库分布于廊带。其中,天然气管道干线 4 条、支线 10 余条;输油管道干线 2 条、支线 8 条。

2.2 管道工程扰动区的水土流失问题

依据《开发建设项目水土保持技术规范》(GB50434—2018)、《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190-2007)等技术文件,确定河西走廊平原带水土流失背景值为:戈壁沙漠区平均土壤侵蚀模数 5000t/(km<sup>2</sup>·a),低山丘陵区平均土壤侵蚀模数 2800t/(km<sup>2</sup>·a),平原绿洲区平均土壤侵蚀模数 1300t/(km<sup>2</sup>·a)。长输管道工程建设扰动后的土壤侵蚀模数根据

《生产建设项目土壤流失量测算导则》(SL773-2018)的计算方法进行测算。其中,水力侵蚀扰动类型分为植被破坏型一般扰动地表、地表翻扰型一般扰动地表、上方无来水工程开挖面、上方无来水工程堆积体四种;风力侵蚀类型分为一般扰动地表、工程堆积体两种。

六种不同类型下的土壤侵蚀模数按照 SL773-2018 中的相关推荐公式及其参数条件进行。根据长输管道工程建设中的地形、地面组成物质等情况,结合上述分析计算结果,确定出管廊带扰动后土壤侵蚀模数,并采用公式(1)进行水土流失量预测。河西走廊已建长输管道工程扰动所致的水土流失量化情况见表 1。

$$W = \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^n F_{ji} M_{ji} T_{ji} \quad (1)$$

式中: w — 扰动地表土壤流失量, t;

J — 预测时段, 1, 2, 指施工期(含施工准备期)和自然恢复期两个时段; I — 预测单元, 1, 2, 3, ..., n-1, n;

F<sub>ji</sub> — 第 j 预测时段、第 i 预测单元的面积 (km<sup>2</sup>);

M<sub>ji</sub> — 第 j 预测时段、第 i 预测单元的土壤侵蚀模数 t/(km<sup>2</sup>·a); T<sub>ji</sub> — 第 j 预测时段、第 i 预测单元的预测时段长, a。

表 1 河西走廊主要长输管道干线工程建设扰动水土流失分析统计表

管道	水土流失面积 (hm <sup>2</sup> )		弃土弃渣 (×10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )		水土流失量 (×10 <sup>4</sup> t)	
	管道作业带	站场阀室	管线	伴行路	总量	新增量
输气管线 I	2130.03	21.56	106.31	55.80	29.39	8.83
输气管线 II	2980.30	60.82	186.03	95.83	45.99	18.83
输气管线 III	2066.13	20.91	103.12	—	28.50	8.57
输油管线 I+II	2371.87	459.25	809.65	158.94	43.06	17.45
输气管线 IV	3048.42	55.49	198.75	—	49.74	21.32

由表 1 可知,河西走廊主要油气长输管道干线工程建设扰动对区域水土流失的影响较小,核算 6 条主干管线所造成

的水土总流失量约近 200 万 t、新增 75 万 t, 按线路长度的平均流失量不足 400m<sup>3</sup>/km、新增量仅为 130 m<sup>3</sup>/km。因此, 长输管道的建设运营对洪积扇水土流失的负面影响较小。如能在管线工程的建设期进一步减少扰动范围并对开挖方采用临时苫盖、集中堆放、临时排水, 缩短施工周期、及时回填、压实等措施; 运营期结合区域气候、水文、

土壤等条件, 因地制宜地采取砾石压护、草方格固沙、尼龙网固沙、芦苇固坡和芦苇+浆砌石固沟等的一系列综合措施, 便可有效地减轻或防止管线工程对区域水土流失的不利影响。

### 2.3 洪积扇径流对管道安全的影响

#### (1) 走廊洪积扇径流类型

干旱内陆区山前倾斜平原带主要以季节性径流为主, 按照径流发生路径的固定与否, 结合土壤侵蚀学和油气管道水工保护相关技术理论, 初步划分为河沟流和坡面流两大类。

1) 河沟径流主要以固定型沟谷为主, 可分为季节性和常年性河流。河西走廊以疏勒河及其一级支流的七道沟河、三道沟河、石油河等, 黑河及其一级支流的讨赖河、文殊河、洪水河、丰乐河、马营河、梨园河、山丹河等, 石羊河及其一级支流的西营河、东大河、五坝河、杂木河、古浪河、大靖河等共 27 条较大河流和其它 30 多条次级支流为主。

2) 坡面径流主要以次级构造隆升控制下的山前小流域洪水所产生, 其最大特点是在扇面上以细沟、浅沟和小切沟的形式发育, 具有活动随机性强, 常在坡面形成游荡型的辫状流, 是管线工程遭受最为普遍的一类水毁灾害。

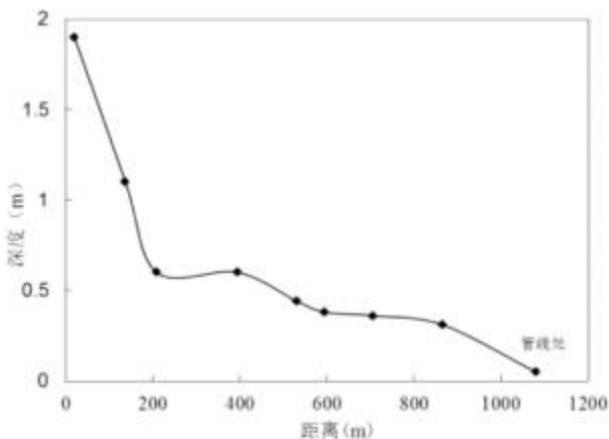


图2 径流冲沟深度与上游侧桥涵口距离关系统计图

#### (2) 走廊洪积扇径流受控因素

走廊平原洪积扇面径流除受控于山区汇流量、坡面雨强、纵向坡降、局地微地貌形态、土壤颗粒组成等外, 其流向及流量(造成的水力侵蚀)也与人类工程构筑物, 尤其是铁路、公路等线型工程路基的截排水效应密不可分。经高清遥感解译和实地调查统计, 河西走廊长输管道近距离(<1km)并行于铁(公)路下侧的区段共有 4 段, 总计影响管道里程约 142km, 上游侧公(铁)路大小桥涵泄口水口共计约 121 处, 平均分布密度为 0.86 个/公里。上游侧线型工程截排水下

泄形成的坡面径流冲深演化关系如图 2 所示。

由图 2 可知, 受上游侧公(铁)路的影响, 洪积扇径流冲沟水文边界和路径发生改变。工程截汇流产生的典型冲沟深度沿程变化可分为 2 个阶段: 急剧侵蚀加深段(200m 以内)和侵蚀衰减段(200m 以外); 侵蚀程度受距干扰工程的距离、位置和约束的水流量等有关: 距离越近, 侵蚀程度越大; 截获上游水流越大, 侵蚀程度亦越大。

### 3 结论

(1) 西北干旱区河西走廊属山前洪积扇倾斜平原地貌, 展布走向总体呈北西-东南向, 地势南北高、中间低。走廊内农业、城镇、交通、水利、输电、输油气、新能源基地等人类工程(活动)交错分布, 一些新兴工程活动现已向南北山麓带的顶部扩张, 使得洪积扇径流影响下的工程防洪、水毁灾害及水土流失等问题不断凸显。

(2) 以洪积扇长输管道工程为对象, 通过对扇面径流与管道工程间的互馈作用分析, 认为管线工程对洪积扇水土流失的负面影响较小, 而扇面径流冲刷对管道造成水毁破坏的影响较为严重, 且主要受控于自然和人为双重因素, 具有强活动性和空间分布差异性, 今后应加强对管道等新兴工程水毁灾害的防护工作。

#### [参考文献]

[1] J. Poesen, J. Nachtergaele, G. Verstraeten, et al. Gully erosion and environmental change: importance and research needs[J]. Catena, 2003, 50: 91-133.

[2] 李新城. 中国北方地区冲积扇地貌发育特征与影响因素分析[D]. 北京大学博士学位论文, 2007.

[3] 钟大康. 山地蚀源区的沉积类型及其相关概念的系统梳理与厘定[J]. 古地学报, 2016, 18(3): 335-348.

[4] Zeinab Mollaei, Kamran Davary, Seyed Majid Gasheminia, et al. Enhancing flood hazard estimation methods on alluvial fans using an integrated hydraulic, geological and geomorphological approach[J]. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2018, 18: 1159-1171.

[5] 高崇龙, 王剑, 靳军, 等. 冲积扇沉积机制研究进展及其成因分类方案探讨[J]. 地质评论, 2020, 66(6): 1650-1657.

#### 作者简介:

1. 张满银(1980.10-), 副研究员, 研究生, 主要从事线路工程廊带地质灾害防治及生态修复研究, 甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所, 甘肃 兰州, 730000

2. 孙志忠(1983.09-), 副研究员, 研究生, 主要从事地质灾害防治相关研究, 甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所, 甘肃 兰州, 730000

基金项目: 本研究受甘肃省自然科学基金“河西走廊洪积扇浅沟侵蚀下管线工程水毁机制及风险动态评价(21JR7RA736)”、甘肃省科学院重点研发“长输管道台田地水毁灾害生态型防治技术研究(2024ZDYF-08)”项目资助。