

# 黄土丘陵沟壑区管道建设工程 土壤侵蚀预测及防治措施

程金香, 马俊杰, 王伯铎

(西北大学 环境科学系, 陕西 西安 710069)

**摘要:** 管道建设过程中植被剔除、地表开挖、土壤堆积松散, 加重了当地的土壤侵蚀。结合管道建设特点和陕北黄土丘陵沟壑区环境特征, 以刘坪—姚店输油管道建设为例, 对黄土丘陵沟壑区管道建设工程的土壤侵蚀量进行了预测, 包括弃土(渣)及扰动原生地貌可能产生的土壤侵蚀量。为减少和防止土壤侵蚀, 根据管道建设的特征和当地情况提出了相应的工程、植物等综合治理措施。

**关键词:** 管道建设; 建设期; 土壤侵蚀; 预测; 防治

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2003)04-0005-04

中图分类号: S157.1, FE8

## Forecast and Control of Soil Erosion in Pipeline Engineering Construction and Laying in Hilly and Gully Area of Loess Plateau

CHENG Jin-xiang, MA Jun-jie, WANG Bo-duo

(Department of Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi Province, China)

**Abstract:** In the all processing of pipe constructing and laying, vegetation-eliminated and earth surface avulsed and soil piled incompact resulted in soil erosion more seriously. According to the character of pipeline constructing and laying and the local environment of the loess hilly and gully area in Shaanxi Province, the Liuping to Yaodian oil transportation pipe is taken as an example to forecast the amount of soil loss which includes discarding soil and dregs, destroying original landforms. To induce and avoid the loss, some integreted measures, such as ecological engineering and other kinds of measures, are put forward accordingly.

**Keywords:** pipeline engineering constructing and laying; building period; soil erosion; forecast; control measure

## 1 前言

经济高速发展对石油、天然气等资源的需求日益强烈,石油、天然气的开发强度越来越大,而目前所采用的公路运输方式存在输送量小,交通压力大,原油易泄漏、掺假、造成污染较大等问题。与公路运输相比,管道输送具有输送量大、保证程度高、减缓交通压力等优点,因此被逐渐应用,并有逐渐加大的趋势。但管道及其配套工程建设将对地表产生明显的生态破坏,尤其在黄土高原这一水土流失强烈、生态环境脆弱的地区,其土壤侵蚀影响尤为明显。因此,如何估计管道建设对土壤侵蚀的影响以及水土保持问题就成为本文所关注的焦点问题。本文以刘坪—姚店输油管道为例,讨论黄土丘陵沟壑区管道建设的土壤流失量及水土保持措施。

## 2 管道工程建设特点与区域环境特征

### 2.1 管道工程建设特点

管道工程建设一般分为 2 个阶段:勘察设计和建设期。在勘察设计期,主要进行土地调查、测量及文物勘探等活动,从整体上对原有地表及周围环境影响极小。建设期主要进行植被剔除、地表开挖、管道填埋和弃土回填等活动,此过程还要进行施工便道的挖高垫低、跨越河道和隧道的挖掘、大量弃渣弃土的堆放、管道和设备及辅助材料的运输和临时堆放。管道采用埋地弹性敷设。管道穿越中小型河流采用河床穿越,局部高差较大的冲沟、渠等采用斜拉钢索跨越或梁式直跨。

### 2.2 区域环境特征

黄土高原丘陵沟壑区是世界上黄土分布最典型

收稿日期:2003-04-20 修回日期:2003-06-25

资助项目:陕西省教育厅专项科学基金(01JK109)

作者简介:程金香(1978—),女(汉族),山东济宁人,硕士,从事环境评价方面的研究。电话(029)8302095, E-mail: c970112@163.net。

的区域,黄土覆盖层厚度达 50~150 m,该区地表物质绝大部分为马兰黄土,沟坡有少量离石、午城黄土及第三纪红土出露,河谷及沟谷为黄土冲积及洪积物,少数深切河谷有基岩出露。黄土具有疏松多孔、垂直节理发育、水稳性差、遇水容易分散等特性,加上黄土丘陵沟壑区沟壑纵横,地形支离破碎,植被较为稀疏,降水集中,多大雨、暴雨等的特点<sup>[1]</sup>,使水土流失成为该地区最为突出的生态环境问题,也使黄土高原成为世界上土壤侵蚀最强烈、侵蚀危害最严重的地区之一<sup>[2]</sup>。刘坪—姚店输油管道西起志丹县的刘坪,东至延安市宝塔区的姚店,共跨越宝塔、安塞、志丹 3

个区县,全长 114 km,途径延河和洛河 2 大流域,跨越 2 个大的分水岭,沿途经过河谷、峡谷、沟谷和梁峁等不同的地形、地貌部位。河谷两岸一般为农业区,地面植被主要为农作物;塬坡、梁峁丘陵地带多为草地,地面植被以灌木、杂草为主。管道所经区域属于陕北黄土丘陵沟壑强度流失区,土壤侵蚀模数大多在 9 000~13 000 t/(km<sup>2</sup>·a)之间。

按照地貌类型的差异,将管道沿线划为 6 段,其管道区段划分、环境背景及土地利用类型见表 1,从表 1 可以看出管线经过较多的地貌类型为河谷,土地利用类型为耕地。

表 1 输油管道沿线环境背景及占用土地情况

序号	区 段	长度/ km	地貌类型	侵蚀强度/ (t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	耕地/ hm <sup>2</sup>	果园/ hm <sup>2</sup>	灌草地/ hm <sup>2</sup>	总计/ hm <sup>2</sup>
1	刘坪—东武沟	5.0	河谷	2 963	1.8	0.0	3.6	5.4
2	东武沟—井沟岔	15.0	梁峁、沟谷	9 830	0.0	0.0	16.2	16.2
3	井沟岔—高沟口	27.5	峡谷	6 143	12.8	4.2	12.8	29.8
4	高沟口—白家沟	32.5	河谷	2 963	28.2	7.0	0.0	35.2
5	白家沟—首头庄	12.5	梁峁、沟谷	10 754	5.4	2.7	5.4	13.5
6	首头庄—姚店	22.5	河谷	2 963	10.2	3.6	10.1	23.9
7	总 计	114.0	—	—	58.4	17.5	48.1	124.0

### 3 管道工程建设的土壤侵蚀预测

勘探设计期活动包括土地测量及少量探孔等活动,从整体上对土壤侵蚀影响较小,管道建设对土壤侵蚀的影响主要体现在建设期。建设期弃土、弃渣的堆放及地表扰动都会引起土壤侵蚀量增大。

#### 3.1 弃土弃渣流失预测

3.1.1 弃渣量估算 管道建设期,弃土(渣)主要来自管道开挖、隧道开挖、施工便道平整及河道穿越等。根据类比调查和经验预测,得到弃土弃渣量。

(1) 管道弃渣量。管道的 2 号和 5 号区段为黄土丘陵沟壑区,长为 27.5 km,按管径  $\varphi 219$  mm,外护垫 40 mm 来估算,此段产生弃渣约 2 000 m<sup>3</sup>,弃渣比重按 2.60 t/m<sup>3</sup> 计算,总重约为 5 200 t;管道的 1,3,4,6 号区段为河谷阶地区,长为 86.5 km,按上述方法估算,此段产生弃渣约 6 200 m<sup>3</sup>,内含有部分弃石,其比重按 2.80 t/m<sup>3</sup> 计算,总重约为 17 360 t。以上 2 项合计,共产生弃渣 22 560 t。

(2) 施工便道弃渣量。施工便道长约 10 km,宽约 5 m,根据有关研究和实地调查,施工便道的平整产生弃渣为 2 500 m<sup>3</sup>,弃渣比重按 2.60 t/m<sup>3</sup> 计算约为 6 500 t。

(3) 隧道开挖弃渣量。所研究管道在丘陵沟壑区共有 4 处穿越山体,需要开挖隧道,按其长度为 2 500

m 计算,共产生弃渣 4 500 m<sup>3</sup>,按弃土石比重 2.80 t/m<sup>3</sup> 计算约为 12 600 t。

3.1.2 弃渣流失量估算 参照地方调查资料,结合管道沿线的地形地貌特点,确定黄土丘陵沟壑区的流失系数为 20%,河谷阶地区的流失系数为 15%,由此计算,弃土(渣)的总流失量为 7 464 t。

#### 3.2 地表扰动土壤侵蚀预测

地表扰动造成土壤裸露、植被剔除,从而改变了地表径流条件等造成的土壤侵蚀,其流失量采用公式(1)——美国的通用土壤流失方程(USLE)<sup>[3]</sup>计算,因项目区内有多个土壤性质和状态不同的地块,通过公式(2)计算总侵蚀量<sup>[4]</sup>。

$$A_i = 0.247R_i K_i L_i S_i C_i P \quad (1)$$

$$W_i = \sum_{i=1}^n A_i \times f_i = A_{i_1} \times f_{i_1} + A_{i_2} \times f_{i_2} + \dots + A_{i_n} \times f_{i_n} \quad (2)$$

式中:  $A_i$  ——两条等值线间的平均土壤侵蚀模数(t/km<sup>2</sup>·a<sup>1</sup>);  $R_i$  ——年平均降雨量的侵蚀潜力系数(t·km<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>);  $K_i$  ——土壤可蚀性系数;  $L_i S_i$  ——地形因子;  $C_i$  ——作物和植物覆盖系数;  $P$  ——实际侵蚀控制系数;  $i, n$  ——第  $i$  地块和总地块数;  $W_i$  ——管道施工区施工便道土壤流失量(t);  $f_i$  ——第  $i$  地块的面积(km<sup>2</sup>)。

输油管道采用直埋式铺设,距地表 1.0~1.5 m,就同一地区给定的土壤而言,建设前及建设期上述方程的  $K, R, LS$  一般不变或变化极小,可以忽略不计,仅作物和植物覆盖系数  $t$  和实际侵蚀控制系数  $P$  随管道的施工、营运期长短和恢复程度的不同而有所变化。建设前后土壤侵蚀模数的变化可用下式表示:

$$A_1 = A_0 \frac{C_1 P_1}{C_0 P_0} \quad (3)$$

式中:  $A_0, A_1$ ——建设前、建设期的土壤侵蚀模数;  $C_0, C_1$ ——建设前、建设期的作物和植被覆盖系数;  $P_0, P_1$ ——建设前、建设期的实际侵蚀控制系数,其中原有土壤侵蚀模数( $A_0$ )由地方试验资料确定。 $C_0$ 的取值采用以下公式:

$$C_0 = W_1 C_{10} + W_2 C_{20} + \dots + W_n C_{n0} \quad (4)$$

式中:  $W_i$ ——第  $i$  种地类的面积占影响区总面积的比例;  $C_{i0}$ ——第  $i$  种地类的  $C_0$  值。

管道所经地区的农田由于下种期田地裸露,苗期

单一农作物植被覆盖率很低等因素的综合影响,其全年相对应的平均  $C_0$  值取 0.40;果园相应的年平均  $C_0$  值为 0.25,草地年平均  $C_0$  值取 0.30。

通过公式(4),分别计算区段的  $C_0$ ,其结果详见表 2。施工期,植被剔除,土壤堆积疏松, $C_1$  取 1.00,管道沿线不破坏水土保持措施,因此  $P_0 = P_1 = 1.00$ ,土壤侵蚀量预测结果详见表 2。

### 3.3 施工便道土壤侵蚀预测

施工便道土壤侵蚀量预测按式(5)和(2)<sup>[5]</sup>计算:

$$A_i = 0.9683(P_i^{0.97} L_i^{0.5} S_i^{0.8}) - 18.4 \quad (5)$$

式中:  $A_i$ ——两条等值线间的平均土壤侵蚀模数( $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ );  $P_i$ ——两条等值线间的降雨量(mm);  $L_i$ ——坡长(m);  $S_i$ ——坡度( $^\circ$ )。研究区域年降雨量为 541.1 mm,由于该区施工便道所经地貌类型不一,因此整个施工便道按地形划分后计算每段的土壤侵蚀模数,然后通过公式(2)计算土壤流失量为 1 076 t/a。

表 2 输油管道沿线分段分地类土壤侵蚀汇总

区 段	建设阶段	作物和植被系数 $C$	实际侵蚀控制系数 $P$	侵蚀模数/ ( $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ )	侵蚀总量/ ( $t \cdot a^{-1}$ )	侵蚀级别
刘坪—东武沟	建设前	0.32	1.00	2 963	160	中度侵蚀
	建设期	1.00	1.00	9 259	500	极强度侵蚀
东武沟—井沟岔	建设前	0.30	1.00	9 830	1 592	极强度侵蚀
	建设期	1.00	1.00	32 766	5 308	剧烈侵蚀
井沟岔—高沟口	建设前	0.32	1.00	6 143	1 831	强度侵蚀
	建设期	1.00	1.00	19 197	5 721	剧烈侵蚀
高沟口—白家沟	建设前	0.33	1.00	2 963	1 043	中度侵蚀
	建设期	1.00	1.00	8 979	3 161	极强度侵蚀
白家沟—首头庄	建设前	0.31	1.00	10 754	1 452	极强度侵蚀
	建设期	1.00	1.00	34 690	4 683	剧烈侵蚀
首头庄—姚店	建设前	0.32	1.00	2 963	708	中度侵蚀
	建设期	1.00	1.00	9 259	2 213	极强度侵蚀
合 计	建设前				6 786	
	建设期				21 586	

### 3.4 土壤侵蚀结果分析

由上述预测结果可以看出,刘坪—姚店输油管道工程征占地范围内原地貌年均土壤侵蚀量为 7 296 t,因管道施工建设造成的年新增土壤侵蚀量为 21 940 t,施工期按 1 a 计算,管道建设施工期的土壤侵蚀总量为 29 236 t,年新增土壤侵蚀量为 21 940 t。管道建设工程新增土壤侵蚀量如表 3 所示。

由表 3 看出:(1)在管道建设期间,土壤侵蚀加剧,新增土壤侵蚀量是原始状态下土壤侵蚀量的 3.00 倍,因此管道的修建大大增强了当地的土壤侵蚀。(2)管道建设弃渣流失量的增加倍数最大,但流失量

较地表扰动流失量小,这主要因为管道建设中的开挖出土要回填,且需要夯实,这就减少了弃土弃渣的产生量,因此流失量相应减少。

表 3 管道建设工程新增土壤侵蚀量

项 目	建设前土壤侵蚀量/t	建设期土壤侵蚀量/t	占流失总量比例/%	新增土壤侵蚀量/t	增加倍数
弃渣流失量	0	6 574	22.5	6 574	$\infty$
地表扰动流失量	6 786	21 586	73.8	14 800	2.18
施工便道流失量	510	1 076	3.7	566	1.10
合 计	7 296	29 236	100	21 940	3.00

## 4 防治措施

按照管道施工特点与所经区域的环境特征,选定治理范围及土壤侵蚀防治对策。其治理范围包括管道沿线施工区、施工便道、临时施工场地及周围环境影响区,以施工区和两侧直接影响区为重点,按地表扰动、弃土弃渣、施工便道和河道影响区分类治理<sup>[6]</sup>。治理措施包括工程措施、植物措施和其它措施。

### 4.1 工程措施

工程措施包括拦渣、排水、护坡(岸)工程等,其中拦渣工程用于防止弃渣堆放场的弃渣流失,排水工程主要用于拦截、疏导坡面和地表径流,护岸工程主要用于防止管道跨越河流、沟谷时对河岸和沟道的侵蚀。

(1) 拦渣工程。在管道沿线弃土弃渣量大的地方设立弃渣场,专门用来堆放弃渣、弃土,并在堆放场四周砌拦渣坝、拦渣墙及拦渣堤,防止弃渣流失<sup>[6]</sup>。

(2) 排水工程。排水工程主用于截排坡面和地表径流,用于拦渣工程和施工便道中。拦渣工程中的排水工程如前面所述,施工便道一般在路旁开边沟,坡顶和挖方边坡平台开挖截水沟,截排坡面径流。

(3) 护坡(岸)工程。管道穿越大的河流如延河、周河时,采用毛石砌筑管沟,管顶采用水泥盖板密封,河两岸管中心两侧各 5 m 做毛石护坡;穿越人工水渠时要用砌石护岸,以防治重力侵蚀,确保灌溉与岸坡安全;管道穿越其它河流及冲沟时,沟底管道穿越处采用砼砌片石结构的导流堤,冲沟两岸管中心两侧做毛石护坡,以防止土壤侵蚀。

### 4.2 植物措施

(1) 植树种草工程。对管道两侧不需上工程措施处,采取播撒草籽、种植乔(灌)木、栽植花草等措施。对不能复垦为耕地和作为其它利用的弃土场、隧道弃渣场以及不能继续利用及退耕的施工便道,根据气候条件采取种草绿化措施。这样既可以保护生态环境、防止土壤侵蚀,又可达到美化环境的目的。

(2) 耕地恢复。耕地开挖时土层要分层堆放,施工完成后按原土层顺序回填,保持表土肥力,并及时回种农作物,恢复农业生产。

(3) 在没有地下水露头的滑坡上,修天沟切断来路水,再营造紫穗槐;陡坡处宜全部造林,缓坡农地可带状造林。

### 4.3 其它措施

(1) 仔细勘察,并且设计合理的管道布设方案。由于管道所经过的地区自然条件差异较大,黄土多为湿陷性黄土,且滑坡、崩塌等潜在地质灾害区数量较多,因此,应在详细设计前进行仔细勘察,尽量避免管道穿越潜在的滑坡、崩塌及泥石流影响区,防止潜在地质灾害对管道的影响及由此引发的原有泄露所产生的污染事件。

(2) 选择合适的施工季节<sup>[7]</sup>和管道走向。黄土高原区虽然降雨较少,但多大雨、暴雨是其显著的降水特点,因此,为了防止雨水所引起的土壤侵蚀,施工时应避开 6—10 月的多雨季节。另外,冬、春季又是多大风的季节,开挖后应采用适当措施,防止临时和长期堆放土石流的流失。管道走向尽可能避开土层较厚地区,如塬坡、梁峁丘陵地;尽可能不改变原来的天然地形,避开挖填方区。

(3) 尽量减少弃土石方量,并对其进行有效处理。土壤侵蚀一部分来自工程建设中的弃土石方,因此,在管道选线及施工时,尽可能减少弃土弃渣的排放量。弃土是生产砖瓦的上好原料,因此可以考虑与地方砖瓦厂建立良好的供需关系,这样不仅可以减少弃渣的排放量,且可以实现资源的合理利用,符合清洁生产的原则。

### [参 考 文 献]

- [1] 孙逊主编. 黄土高原志[M]. 西安:陕西人民出版社, 1995. 9.
- [2] 张翼. 黄土高原丘陵沟壑区土壤侵蚀研究[J]. 水土保持研究, 2000, 7(2): 39-47.
- [3] 丁桑岚. 环境评价概论[M]. 北京:化学工业出版社, 2001. 140-143.
- [4] 穆如从, 杨林生. 石油长输管道工程对生态环境的影响[J]. 环境科学, 1995, 16(2): 83-87.
- [5] 王美芝, 杨成永, 许兆永, 等. 道路建设工程中形成的硬地面水土流失预测[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 77-79.
- [6] 黄广宇, 卓慕宁, 王继增, 等. 珠江三角洲地区城市水土流失治理措施及其效益[J]. 水土保持通报, 2001, 21(6): 77-79.
- [7] 郑书彦, 李占斌, 刘普灵, 等. 西线东输第五标段水土流失特点及防治对策[J]. 水土保持研究, 2002, 9(3): 231-233.