

## 线路工程

# 黄土地区长输管道地质灾害分析及治理

王卫民 · 张文伟

(中国石油天然气管道工程有限公司)

王卫民 程仲元:黄土地区长输管道地质灾害分析及治理,油气储运,2001,20(4) 28~31。

**摘 要** 西气东输管道沿途经陕北的黄土高原和吕梁山地,是典型的黄土分布地区。在借鉴陕京线黄土灾害治理经验的基础上,对该管道与陕京输气管道所经地区的地质、地貌特征以及灾害类型进行了对比分析,提出了西气东输管道通过黄土地区时的地质灾害治理总体设计方案和建议,指出在恢复地貌和稳固新建黄土坡体方面,应优先选择压柳条坝护坡的方案。

**主题词** 长输管道 黄土地区 地质灾害 分析 治理

## 一、陕京管道地貌特征及灾害治理

### 1、陕京线黄土地貌特征

陕京线黄土地貌以神池、神木为界,划分为三段。浑源—神池位于山西北部,由一系列宽缓的盆地、谷地组成,盆地之间是巍峨的山脉或地貌差异的坡地。这一带黄土覆盖层较薄,反映不出典型的黄土地貌,有一部分地段黄土呈洪积扇分布,还有一部分山地高大,基岩裸露,没有黄土分布。该段涉及的黄土地貌地质灾害不明显。

神池—神木之间为鄂尔多斯高原边界黄土高原一侧地貌,是陕京线黄土地貌条件下灾害最发育的地段。水平层理的砂岩、泥岩受不同程度的切割,表面覆盖厚度不均的黄土受到冲刷,形成高差为 50~100 m 的梁峁。

神木—靖边段为沙漠边缘的、黄土高原—鄂尔多斯高原过度地带毛乌素沙漠一侧地貌。黄土露出于河谷阶地上,灾害不明显发育。

### 2、陕京线黄土地区灾害分析及治理措施

陕京线黄土灾害主要集中于神池—神木段,灾害类型分为边坡失稳和河流冲刷两种。谷坡的特点

是黄土坡面、细沟、切沟、冲沟的发育进程很快,一场暴雨就可能形成一个切沟。阴面和阳面的谷坡形态、土体组成不同,阴面一般为基岩谷坡,陡峭、浑圆,有较多的杨柳等乔木分布;阳面为平缓但切割破碎的黄土坡面,植被稀少,是典型的粗颗粒黄土的侵蚀地貌,裸露后极易砂化和荒漠化(见图 1)。大小切沟均为“V”字型,切沟间联系紧密,部分地段形成一系列的刃脊地貌(见图 2)。随着切沟深度的增加,并切穿黄土,在基岩中切出深槽,转化为“U”谷。

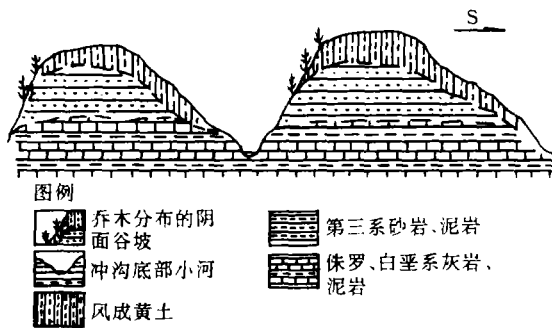


图 1 陕北黄土地质、地貌的模式示意图

在山梁顶部,特别是鞍部、坡肩等脆弱地段,雨水对黄土的冲刷造成的溯源侵蚀,破坏了原有地貌,再加上该段黄土的直立性差,极易造成管道侧向出露,危及管道安全。例如天王居 Z2 0150 段,暴雨

\* 065900, 河北省廊坊市金光道 22 号, 电话: (0316) 2174452。

中溯源侵蚀黄土切沟,顺坡肩埋置的管道受到威胁,草袋装灰土堆砌护坡,阻止了切沟发育。Z1 0953—Z1 0954情形与前段相同,均采用了临近山包取土回填冲沟的方法,保证了管道安全。但是由于黄土含砂量大,没有植被保护的暴露黄土沙漠化趋势严重,必须予以重视。这两个例子均是黄土坡肩部位的切沟顶部滑塌危及管道安全的典型事例。

在沟谷底部,管道敷设在河床碎石或基岩中,携带砂性黄土的洪水对侧壁剥蚀和对河床碎石的搬运能力很强,容易形成沟谷型泥石流。河床的侧蚀、底蚀和搬运加速了河床的变迁,将埋置深度不够的管道冲露。B2H042处朱家川突发性洪水侧蚀危及管道安全,采用顺岸护坡可阻止危害再次发生。Z1 0909~Z1 0910之间“V”型冲沟的底部为基岩组成,管道在冲沟穿越部位受泥石流底蚀的威胁,在下游采用堆砌混凝土淤水堤的方式,减缓底蚀进程。Z1 1103地界川穿越处,携带砂性黄土的洪水搬运河床碎石,将埋置深度不够的管道(掀动)冲露,导致管道裂缝泄气。最终在下游重新开挖管沟,将管道埋到基岩下,保证了管道安全。

## 二、西气东输管道沿线 黄土地貌分析

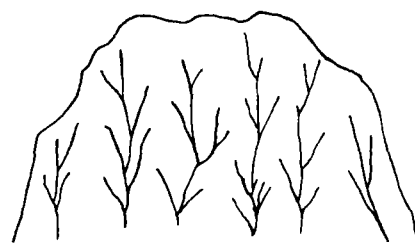
对靖边南—子长—延川—永和关之间的黄土地貌进行了考察。黄土沟壑由一系列东南向水系切割黄土高原而成,黄土底为第三系砂岩,砂岩底部为水平层理的灰岩、泥岩和砂岩。黄土砂性减弱,粘性增强(见表1)。

表1 陕北中部、北部黄土颗粒组分对比

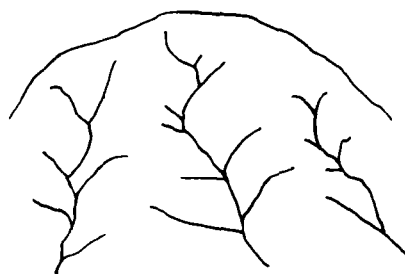
采样点	液限	塑限	塑性指数	粉沙含量 %	粘粒含量 %
神木县东	24.8	19.4	5.4	2.6	4.2
沿川县 马家河	25.1	18.8	6.3	0.8	6.6

随着黄土的粘性增强,凝聚力增强,其直立性也增强。基岩分布特征与陕京线中段相同,但是黄土梁峁形状发生了细微变化。阴坡与阳坡的对比与陕京线相似,但是阳坡面切沟之间的距离逐渐变宽(即主梁旁边的侧梁逐渐变宽),切沟之间的分水岭浑圆(见图2)。黄土谷坡的草本植物逐渐增多,分布连片

的苹果园。这里黄土坡地被切割的破碎程度有所减缓,但是管涌发育导致黄土陷穴增多,形成黄土陡坎和悬崖。黄土的湿陷性在西气东输通过地区引发的将是崩塌、滑坡和陷穴。这里谷地基岩河道两边的草皮较为完整,河漫滩为泥质河漫滩。可见河流萎缩明显。常年水流会呈胶体状浑浊。泥石流的发育类型为稀性泥石流。对比陕京线的碎屑滑坡和粘性泥石流,有着不同特征。



(a)神木附近黄土阳面  
谷坡形态模式



(b)延川附近黄土阳面  
坡状态模式

图2 陕北北部、中部黄土阳面谷坡形态对比

## 三、黄土地区灾害类型 及治理方案分析

### 1、灾害类型分析

黄土地貌段主要分为:黄土梁(塬)、黄土冲沟和管道在上下黄土梁(塬)段三种地貌类型。在上下黄土梁(塬)段,一般挑选比较稳定的边坡体,在这一地貌单元中应注意地貌的复原,同时坡地上有必要设置水平沟植树。坡肩将会遇到与陕京线同样的工程问题,如何植树种草,减缓边坡冲沟的溯源侵蚀速度,是目前亟待解决的问题。另外,在顺冲沟坡脚敷设的管道施工中,开挖管沟会造成新的临空面,引起原有坡体的失稳而人为诱发滑坡、崩塌。遇到这样的情况,应开挖管沟后先设挡墙支护坡体稳定,再放管回填。

## 2、治理方案

陕京线对宽阔谷地(U型谷)河流穿越的治理较成功,但管道埋深不够。如果开挖管沟有困难,应在管沟下游设不高于河床表面 30 cm(参考陕京线的设计高度)的淤水坝,降低河流在穿越段的搬运能力和底蚀速度,可有效防止灾害的发生。

管道通过的“V”型黄土冲沟和黄土断梁(残源)地貌很多。对于这两个难点的治理,应放弃过去采用混凝土、片石护坡的治理方案,参照老乡修路的先例。

例如通过切断黄土梁的顶部冲沟时,应从冲沟两边的断梁顶部向沟底推土回填,修筑黄土路基。在路基碾压过程中,每回填 2~3 m 黄土,斜坡边缘就埋置一层柳条,以锚固新建坡体。密集的树根向下延伸,吸收路基水分,等于加设了排水孔,减轻土中的水压力。同时树根像锚钉一样向下延伸,可以从土体内部阻止路基边坡的滑塌。在地表发芽长起的柳树,既绿化了荒山,恢复了植被,又起到了水土保持的作用。对“V”型冲沟上游地段,先采用淤土坝方式加宽沟底,然后通过边缘埋置管道的方式,沟底淤平,保证了管道安全。淤土坝的构筑方式与上述相似,不过在夯实过程中,柳条只压在上坝的下游边坡(见图 3 和图 4)。

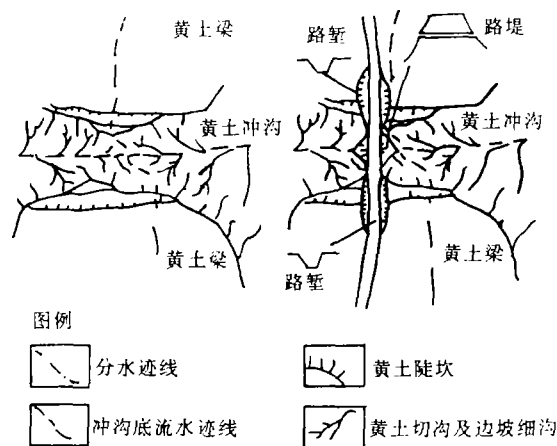


图3 黄土断梁的通过方案示意图

与其他方法相比,采用压柳条保护黄土路基、黄土人工坡体的方法具有以下优点。

(1)柳条护坡的材料需就地取材,对沟边推来的黄土进行碾压,收集柳条埋设即可。而混凝土护坡、片石护坡以及灰土夯实护坡均要从材料厂运来,成

本高,效率低。

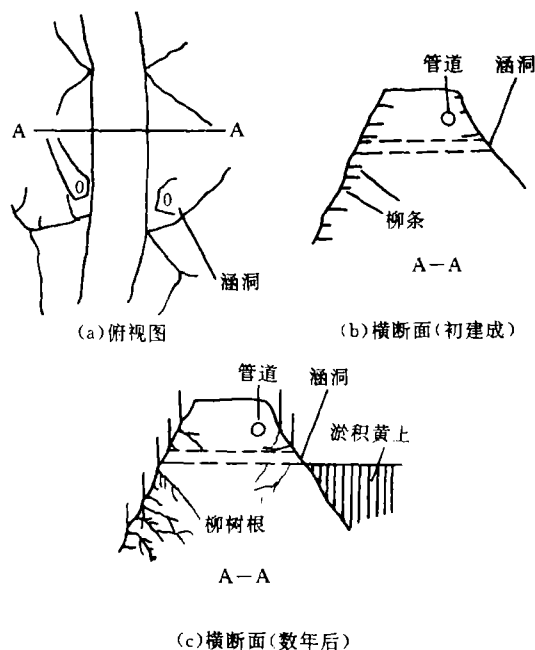


图4 柳条路堤结构示意图

(2)柳条护坡的工作量小,施工简单。例如对逾越黄土断梁,只需从冲沟两边向中间推土,即可形成施工便道,黄土梁与人工推土形成的沟、堤过渡自然,敷设管道顺直流畅。

(3)柳条护坡能尽快恢复施工现场的植被,避免了对生态的破坏,这一点更是混凝土、片石护坡以及灰土夯实护坡无法比拟的。而混凝土护坡、片石护坡以及灰土夯实护坡均需准备一个料场,料场取材的过程就是破坏环境的过程,而且混凝土护坡、片石护坡与坡体之间为硬接触,雨水很容易从接触界面渗入,剥离护坡与坡体,使护坡作用失效,这类护坡没法恢复植被。而灰土夯实护坡则改变了坡体的酸碱平衡,植被恢复的难度很大,当灰土中的碳酸钙流失后,护坡作用同样减弱,恢复料场的植被还得花费另外的资金和精力。

## 3、柳条护坡使用条件的分析

柳条护坡在黄土地区使用广泛,在管道工程建设中应予推广。由于柳条护坡受到密实黄土本身的承载力限制,只能起护坡作用和有限的支撑功能,柳条护坡的荷载不能明显大于自重荷载,象公路路堤、管道等轻型荷载是安全的。对于施工开挖坡体造成的高临空面,支护体抗拒的土压力明显大于自重土

## 实验研究

水平管内油气两相流型转变  
的实验研究\*\*胡志华<sup>\*</sup> 钱焕群 鹿院卫 周芳德

(西安交通大学多相流国家重点实验室)

胡志华 钱焕群等:水平管内油气两相流型转变的实验研究,油气储运,2001,20(4) 31~35。

**摘 要** 通过进行水平管内油气两相流型实验,对影响管内油气两相流型转换的各种因素进行了综合的分析,并根据所作的油气两相流型试验结果,用量纲分析的方法得出了各流型间转换的准则关系式,以期达到准确定量地预报水平及倾斜管中油气两相流型的目的。

**主题词** 水平管 油气两相 流型 量纲分析 实验研究

## 一、前 言

流型及其转变的判别可根据按已有的试验结果绘制的流型图来确定,但影响流型转换的因素多种多样,并且不同流型转换中起决定性的因素也不同,而流型图只是一张二维平面图形,其坐标选取为各相的折算速度或包含折算速度的一些参数,只能适用于某个特定的情况,表示某个特定的转变,不可能将各种流型的转变条件都充分地表示出来,因而,运用流型图来判别流型及其转变存在一定的局限性。

解决这一问题的途径,一是采用数学物理方法建立流动的通用数学物理模型,通过对模型求解得出流型转换的条件;二是对试验数据进行整理,针对特定流型发生转变时自身的特点,通过量纲分析的方法得出每一种特定流型转换的经验准则式。

## 二、实验装置和系统

实验是在西安交通大学多相流国家重点实验室的油气水三相流实验台上进行的。实验段如图1所示,实验管段由5 m的有机玻璃管固定在架子上,

压力时,应考虑其他承载力更好的护坡方式。另外柳条护坡不具备抗冲蚀能力,所以不能在河岸等常年有地表水流通过的岸坡设立。

管道通过脆弱地段时,必须先治理,再通过。如果预先通过管道,遇到灾害再去治理,成本会比预先治理大得多。

西气东输管道工程通过黄土地区的地貌与陕京线既相似又有细微的不同。在黄土地区的管道建设中,对地质环境脆弱地段,首先要坚持以绕避为主的原则。不得已通过时,应先预防治理,再敷设通过。在

预防治理中,应在参照陕京线灾害治理措施方案的基础上有所提高。对于河流冲刷的治理,陕京线设立雨水坝治理的经验是成功的。对于坡体支护方案的选择,如果以护为主,在坡体不高,或坡角接近天然坡角的情况下,就应该尽量考虑柳条护坡方案;如果以支撑为主,坡角很陡,或明显受到常年流水冲蚀,或临空面很高的坡体,就应该考虑混凝土挡墙等其它承载力较高的支护体系。

(收稿日期:2000-11-23)

编辑:吕 彦

\* 710049,陕西省西安市咸宁西路28号;电话:(029)2669108。

\*\* 国家自然科学基金重点资助项目59993460。

## 作 者 介 绍

**潘家华** 见本刊2001年第2期。

**何 宏** 助教,1973年生,2000年毕业于西安石油学院自动化专业,获硕士学位,现在上海师范大学机械电子信息工程学院任教。

**陈李斌** 助理工程师,1968年生,1992年毕业于河南石油职工大学采油工程专业,现在河南石油勘察设计研究院从事技术工作。

**唐江华** 副教授,1963年生,1990年毕业于石油大学(北京),获硕士学位,现在中国石油管道职教中心担任科研及教学工作。

**胡文江** 工程师,1965年生,1989年毕业于抚顺石油学院石油及天然气储运专业,现在抚顺石化分公司乙烯化工有限公司储运车间工作。

**黄善波** 讲师,1970年生,1996年毕业于石油大学(山东)储运工程专业,获硕士学位,现任石油大学(山东)储运工程系热工教研室副主任,从事油田节能、计算传热学和热力系统优化的教学和科研工作。

**秦 毅** 副教授,1959年生,1986年毕业于爱尔兰共和国国立大学高尔威工学院工程水文学专业,获工学硕士学位,现在西安理工大学水利水电学院任教。

**王卫民** 工程师,1969年生,1994年毕业于桂林工学院建工系水文工程地质专业,现在中国石油天然气管道工程有限公司勘测队从事长输油气管道岩土工程勘察及管道遥感应用研究工作。

**胡志华** 见本刊2001年第1期。

**陈 飞** 工程师,1971年生,1994年毕业于西南石油学院油藏专业,现在中原油田从事人力资源开发管理工作。

**尹国耀** 教授级高级工程师,1941年生,1965年毕业于西安石油学院,国家有突出贡献的工程技术专家,享受政府津贴,现任西北石油管道建设指挥部副总工程师。

**李 军** 工程师,1957年生,1986年毕业于原中国石油天然气管道局职工学院线路工程专业,现任中国石油天然气管道第二工程公司副总工程师。

**李传宪** 副教授,1963年生,1984年毕业于原华东石油学院储运专业,现在石油大学(山东)油气储运教研室从事教学与科研工作。

**孙永喜** 高级工程师,1951年生,1980年毕业于上海冶金专科学校电气自动化专业,现在上海埃力生钢管有限公司主管经营销售工作。

**何悟忠** 高级工程师,1956年生,1980年毕业于浙江化工学院腐蚀与防护专业,现在中国石油管道公司沈阳调度中心从事管道管理工作。

**曾祥炜** 教授级高级工程师,1944年生,1965年毕业于四川建材学院机电专业,现任中国创造学会副会长,四川省科协副主席,现在四川嘉炜流体工程有限公司从事管道输送、流体工程的研究工作。

quality.

**Subject Headings:** pipeline design, double insulating, optimal design, energy saving

Qin Yi, Qian Shanqi *et al.*: **Approach to Design Scouring Depth for Pipeline Works through Full-loaded River**, *OGST*, 2001, 20(4) 23~27.

A full-loaded river frequently produces in wet season high peak discharge flow that carries a quite large amount of sediments. Such flow often causes very strong erosion on the river bottom during flood rising, since its behavior is different from ordinary silt carrying flow. Great probability of the erosion arising leads design buried depth to become one of important design parameters for long distance pipeline works to cut through the river in safety. However, the calculation about the scouring has still followed the design standard—"64-1" formula which was established in 1960's for the common circumstance of erosion. This paper, taking the distinguishing feature of hyperconcentration flood into account, deduced approach to computing probable maximum eroded depth and studied the existing common calculations (including "64-1" formula) both in theoretical and practical cases as well. The conclusions drawn from the study are that "64-1" formula does not apply to the case of hyperconcentration flood and the Zhang Ruijing's initial velocity based approach which was proposed in this paper can fit the practical case well.

**Subject Headings:** full-loaded river, hyperconcentration flood, probable maximum scouring depth, pipeline crossing engineering

## • PIPELINE ROUTE ENGINEERING •

Wang Weimin and Zhang Wenwei: **Analysis on Hazardous Geology of Loess Area where Pipeline Passes through and Hazard Rectification**, *OGST*, 2001, 20(4) 28~31.

Pipelines of West-east pipeline project will spread along the loess plateau in Northern Shannxi Province and Luliang hilly area in Shanxi Province, which are typical loess areas. On the basis of using the experience of Shannxi—Beijing gas transmission pipeline project in tackling the loess problem, a comparison in geology, geomorphic feature and hazard category between Shannxi—Beijing gas transmission pipeline project and West-east pipeline project that will pass through the loess area has been conducted. The overall design program and suggestion on tackling the loess problem for West-east pipeline project have been worked out. It is pointed out that the hillside protection program that osiers are first planted and then is rolled down should be given priority to the selection in ground restoration and firming newbuilt loess hillside.

**Subject Headings:** long distance pipeline, loess area, geological hazard, analysis, rectification

## • EXPERIMENT & RESEARCH •

Hu Zhihua, Qian Huanqun *et al.*: **An Experimental Study of Two-phase Flow Pattern Transitions of Oil and Gas in Horizontal Pipe**, *OGST*, 2001, 20(4) 31~35.