

西气东输管道工程相关的黄土滑坡

王毓民

(中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017)

摘要: 论述了西气东输管道工程通过吕梁山区发现的七大黄土滑坡的位置、性质、基本特性及相关参数, 总结了黄土滑坡的基本特征, 如何识别和发现, 采取的工程技术措施, 处理好滑坡与管道工程的关系, 从而确保长输干线运行的永久安全。

关键词: 管道工程; 黄土滑坡; 技术措施; 管道安全

文章编号: 1006-5539(2005)04-0008-04

文献标识码: A

0 前言

西气东输管道工程是横贯我国东西输送天然气的主干线, 堪称当今世界级管道工程。该管道工程通过沙漠、戈壁、高原、山地、丘陵、平原及水网各种地貌, 其中三山一原(吕梁山、太岳山、太行山、黄土高原)、五越一网(中卫黄河跨越、延水关黄河基岸隧道穿越、郑州黄河顶管及定向钻组合穿越、淮河定向钻穿越、南京长江盾构隧道穿越、苏南地区水网)是本工程的困难段、困难控制点。沿线发生的主要地质灾害有: 滑坡、崩塌、洪水冲刷、泥石流或泥流、黄土湿陷及潜蚀、采空塌陷、地裂缝、地面沉降、瓦斯爆炸和煤层自燃、盐渍土和盐胀、沙埋风蚀、地震危害(地震活动断裂带、高地震裂度区、地震沙土液化)等十多种类型。在管道勘察、设计、施工及长期运行中, 如何防止各类灾害地质对管道的危害, 其中滑坡对管道安全威胁更大, 处理好管道与滑坡的关系, 采取必要防范措施, 确保管道安全, 显得十分重要。

本文就西气东输管道工程经过黄土高原的吕梁山区相关的黄土滑坡, 进行专题讨论。

1 相关黄土滑坡描述

西气东输管道工程在勘测、设计、施工及运行过程中, 先后发现了七大滑坡。位于子长县秀延河上

游河谷地带有: 黄草湾滑坡、阳道峁(5号隧道出口)滑坡、枣树坪滑坡; 位于子长县、延川县、永平川河谷地带有王鬃滑坡群、梁家渠滑坡、寒砂石水库滑坡、董家寺源流湾滑坡。

1.1 阳道峁滑坡(5号隧道出口 DD082)

该滑坡位于子长县李家岔乡阳道峁村东南拟建的5号隧道出口处的秀延河北侧公路边坎斜坡上。距隧道洞口西北侧有一个较稳定的老滑坡体长33.6 m, 宽42.2 m, 前后缘高差27.2 m, 滑坡土体厚度3~5 m, 主滑方向 $S4^{\circ}E$, 5号隧道出口段进行仰面开挖、喷锚、修筑天沟、隧道洞口开挖等施工作业后, 切削山体坡脚, 斜坡山体出现较大的临空面, 在强降雨水沿发育的陷穴、落水洞下渗后, 诱发老滑坡体复活。滑坡体范围纵长70 m, 横宽60 m, 前后缘高差65 m, 滑坡体面积 $4\ 000\ m^2$, 初步推断滑坡体厚度大于5 m, 滑坡体积大于 $2 \times 10^4\ m^3$ 。滑坡后壁坡度 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$, 下沉量60~80 cm, 水平位移30~50 cm, 滑坡面倾角 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$, 滑坡体上出现了许多裂缝宽约1~15 cm, 处于不稳定状态的新滑坡对5号隧道施工安全带来了极大危害。

1.2 黄草湾滑坡(DD095)

该滑坡位于子长县李家岔镇黄草湾村秀延河左岸, 滑坡体横宽120 m, 纵长约100 m, 体积约 $12 \times 10^4\ m^3$ 为大型黄土滑坡。滑坡体有三次比较明显的

收稿日期: 2004-12-28; 修回日期: 2005-03-26

作者简介: 王毓民(1940-), 男, 山东人, 高级工程师, 大学, 从事油气储运工程设计与管理40年, 现为中国石油工程设计有限公司西南分公司专家组成员。电话: (028)86014525。

滑动:第一次最老的滑动面深度为 16.1 m,第二次滑动面深度为 5 m,第三次滑动面为公路内缘——滑体前缘(靠近秀延河)间的土层滑动、滑床基底为页岩、油页岩和泥灰岩、滑坡处于不稳定状态,滑坡稳定系数为 0.96,滑坡前缘公路路面出现拉裂缝和沉陷,变形带长度约 50 m,宽度约 17 m,裂缝宽度 10~50 cm,路面下沉量为 50~90 cm。滑坡体中部出现 3~10 cm 的拉裂缝,在暴雨雨水渗透作用下处于滑动状态,管道从滑坡体前中部通过。

1.3 枣树坪滑坡(DD143~DD144)

该滑坡发育在黄土峁梁沟壑区秀延河右岸,系黄土沿下伏侏罗系直罗组风化泥岩面滑动的老滑坡。滑体长 450 m,宽约 1 000 m,厚约 50 m,体积 $2\,250 \times 10^4 \text{ m}^3$,为巨型黄土滑坡。管道从滑体中部通过。滑体中前部明显隆起为鼓丘,滑体前缘直抵秀延河床,将河流推至左岸,造成左岸公路路基被河水侧蚀而发生坍岸。目前,滑坡后壁和滑体发育较多冲沟,冲沟底部为湿地,滑体中、后部有较大的潜蚀落水洞,大者个体直径约 5 m 左右,小者约 1 m,可见深度 0.5~0.6 m。滑坡前缘受河水冲刷,局部有小的坍滑。经采用剩余推力法对该滑坡的稳定性进行验算,其稳定系数 $K=1.26$,目前整体处于基本稳定状态。

1.4 王家湾滑坡群(DD279~DD281)

该滑坡群处于黄土峁梁沟壑区永坪川上游右岸斜坡上,系黄土沿下伏第三系粘土岩接触面滑动,形成时代较新。由四个中、小型滑坡组成,管道从滑坡体前缘通过。目前,滑坡体前缘受梯田建设时开挖影响,在滑体中部梯田平台后缘陡坎处失稳,致村级输电水泥杆倾倒。雨季时,沿黄土与下伏第三系粘土岩接触面常有地下水溢出,造成多处局部不稳定状态。

1.5 梁家渠滑坡(DD288~DD289)

该滑坡处于黄土峁梁沟壑区永坪川右岸斜坡,滑体长 240 m,宽 500 m,厚约 40 m,体积 $480 \times 10^4 \text{ m}^3$,为大型黄土滑坡。滑坡体目前已被垦为梯田、果园,滑坡体前缘雨季有泉水露出,雨季河水上涨,受其冲刷侧蚀,滑坡前缘常发生失稳滑动,可见梯田陡坎明显错位前倾现象。据调查访问,每年雨季时该滑坡因前缘局部失稳,产生牵引致滑体前部发生

蠕滑,而管道恰好从滑坡体的中前部通过,将影响到管道安全。

1.6 寒砂石水库滑坡(DE004~DE005)

该滑坡位于永坪川右岸,滑动方向 27° ,滑体长 146 m,宽 111 m,厚约 30 m,体积约 $49 \times 10^4 \text{ m}^3$,为大型黄土滑坡,系黄土沿下伏三叠系瓦窑堡组风化泥岩面滑动的老滑坡。管线从该滑坡体前部通过。滑坡体前缘有下降泉溢出,流量较大,据访问,该泉在寒砂石水库蓄水前,流量较小,在水库正常蓄水后,流量增大。滑坡体后缘右侧存在一条纵向冲沟,冲沟宽 1.0~1.5 m,深 2.0~3.6 m,上段走向 20° ,延伸长度 35 m,冲沟下段折向 75° ,延伸长度 15 m。滑坡体中部由于寒砂石水库引水灌渠的修筑,人为削坡呈高 11 m 的陡坎,引水灌渠宽 2.0 m,深 0.7 m,未作防渗衬砌,可见由于渠水溢出后,在滑体中部形成的直径 30~40 cm 的潜蚀洞穴。另外寒砂石水库—永坪(1996 年建成)及中山川水库—永坪(2000 年建成)的两条供水管道从水渠附近通过,均与管道平行且基本处于同一位置。在 2000 年供水管道建成通水后,滑坡前部明显发生滑动变形,前缘发生三个宽约 50 cm 的小型滑坡,滑坡后缘张裂缝宽 5~10 cm,其变形已扩展至水渠边。加之,雨季河水上涨,对滑坡体前缘存在冲刷侧蚀,影响滑坡稳定。经采用剩余推力法对该滑坡进行验算,稳定系数 $K=1.04$,目前为临界状态,而管道恰从该滑坡体前部通过,对管道安全将造成严重危害。

1.7 董家寺滑坡(DE020~DE021)

该滑坡位于延川县永坪镇董家寺源流湾东永坪川河右岸(南侧)黄土斜坡山体上。西气东输管道 DE021-60 m~DE021+100 m,长约 400 m 从滑坡体中通过,在管道建设前董家寺滑坡是一个相对较稳定的老滑坡,1996 年及 2000 年先后竣工投入运行的永坪炼厂供水两条管道均在该滑坡体前缘通过,未发现异常。西气东输管道于 2002 年春着手施工建设,投入运行后于 2004 年春季,发现老滑坡前缘失稳复活,水管线搬家移至永坪川河左岸,已严重威胁西气东输管道的安全运行。

滑坡体长 300 m,宽约 400 m,初步推测滑坡体厚度不小于 10 m,滑坡体总体积约 $60 \times 10^4 \text{ m}^3$,属于一个大型黄土滑坡。从现场实地踏勘看,滑坡前缘失稳,宽约 100~120 m,长约 50~60 m 的范围内

垮塌严重, 裂隙发育, 最后滑距达 1 m 左右, 靠近永坪川右岸浆砌石挡土墙下游段出现位移变形和开裂, 裂缝约 8~10 cm, 前缘滑坡体长约 50~60 m, 侵入永坪川河床达 5 m 左右, 滑坡体中、后缘发现裂隙, 后缘裂缝宽约 5~8 cm, 中部裂缝 3~5 cm。

2 黄土滑坡的基本特征

对相关的七处黄土滑坡初步剖析, 具有以下基本特征:

- 滑坡体后缘(部)有较明显黄土滑落高差痕迹;
- 滑坡体两侧一般均有切割较深的黄土冲沟, 构成清晰的滑坡体边界;
- 滑坡均分布于河谷地带阶地或边坡上, 滑坡体前缘临河、具有河水冲蚀或淘蚀的临空面;
- 滑坡体上分布有黄土冲沟、陷穴等, 而且比较发育, 植被稀少, 生态环境脆弱;
- 滑坡体多为马兰黄土构成, 具有自重湿陷性大孔隙结构, 抗水冲蚀能力差;
- 滑坡体的滑动面一般多为黄土覆盖的基岩面。

3 对黄土滑坡的识别与发现

根据黄土滑坡的基本特征, 中小滑坡体在勘测中一般较容易识别。对大型巨型黄土滑坡, 滑坡体

分布范围较大往往超出人们的视野, 难以观察到滑坡体的全貌, 因此, 识别有一定的困难。

上述七大黄土滑坡的发现叙述如下:

黄草湾滑坡是由中国石油工程设计有限公司西南分公司在勘察设计中发现的。并对该滑坡进行了初步勘察, 形成工程地质勘察报告(地-431)。

枣树坪滑坡、王家湾滑坡群、梁家渠滑坡、寒砂石水库滑坡是中国环境监测院在进行西气东输管道工程建设用地灾害地质评价中发现的, 详见有关报告。

阳道峁(5号隧道出口)滑坡是在隧道施工过程中, 5号隧道出口土方开挖, 及洞口仰面水工保护工程的施工, 促使老滑坡复活, 发生了局部垮塌被发现。

董家寺源流湾滑坡是西气东输管道靖边—上海段投入运行后, 老滑坡前缘垮塌, 中、后部出现裂缝局部失去稳定性而复活, 促使滑坡前缘阶地上的输水管道搬家迁移后被发现的。

4 对七大黄土滑坡采取的工程措施

不稳定的滑坡和稳定的滑坡复活后, 对管道工程安全威胁极大, 在我国管道史上发生了许多惨痛教训。在管道路由选择过程中, 要查明滑坡的具体位置、分布范围、规模、性质、判定其稳定程度, 管道能否通过还是绕避, 如果通过滑坡体应采取那些可靠预防和治理滑坡技术措施。

表1 五处滑坡绕避改线说明表

滑坡名称	改线说明	改线水平长度/m	较原线增加长度/m	其它工程量增加说明
阳道峁滑坡(5号隧道出口 DD082)	从 DD082 起顺冲沟绕过滑坡山体穿越秀延河后至 DD084 与原线闭合	480	50	傍冲沟、伴线公路敷设较长, 弯头弯管增加较多, 斜穿透延河工程量增加
黄草湾滑坡(DD095)	从 DD090 起顺秀延河床敷设 610 m 避开滑坡体至 DD096 与原线闭合	900	20	顺河床敷设达 610 m, 基岩开挖工程量和稳管工程大
王家湾滑坡群(DD279~DD281)	控制 DD280 号桩向右侧山坡平移 50 m 与前、后两桩 DD279、DD281 相接	650	20	右侧山体海拔高程相对较高多梁、沟和陡坡、施工难度增大, 水工保护工程量增加
寒砂石水库滑坡(DE004~DE005)	从 DE003 起顺永坪川敷设一段距离后斜穿永坪川河至 DE006 与原线闭合	770	30	增加了顺永坪川河床敷设段且与永坪炼厂供水管线交叉, 施工难度增大, 水下开挖及稳管工程量增加
董家寺滑坡	从 DE019+50 m 起斜穿永坪川河, 沿左侧台地敷设一段距离后, 再斜穿永坪川河至 DE021+20 m 处与原线闭合	700	40	增加 2 次斜穿永坪川河管沟开挖、稳管、回填及护岸工程量增加较多, 由于管道已投入运行, 不停气换管碰头工作难度大, 风险多、应采取必要的安全措施

*注: 董家寺滑坡改线尚未实施, 表中数据为设计应急预案。

4.1 对不稳定滑坡采取的工程措施

对于不稳定大型滑坡黄草湾、阳道茆滑坡、王家寨滑坡群、寒砂石水库滑坡、董家寺源流湾滑坡, 西气东输管道工程采取改线绕行避开滑坡体的工程措施。彻底解决黄土滑坡对管道安全的威胁。各处改线绕行滑坡方案详见绕避滑坡改线表 1。

4.2 管道通过稳定和比较稳定滑坡采取的工程措施

稳定的滑坡指枣树坪滑坡, 较稳定的滑坡指梁家渠滑坡。

4.2.1 管道通过枣树坪滑坡采取的工程措施

灾害地质评价报告认为, 枣树坪滑坡是一个大型黄土滑坡, 其稳定系数为 1.26 是一个基本稳定的滑坡体。为确保管道安全通过中国石油工程设计有限公司西南分公司又组织专家组深入现场调研核实, 同意西气东输管道从滑坡体中、上部通过控制桩 DD142 ~ DD143 之间, 长约 1 000 m, 但必须采取以下工程措施:

- 在滑坡体前缘邻秀延河一岸应修筑护坡或挡土墙、防止秀延河水继续淘蚀根部;
- 滑坡体顶部应布设截水沟, 并引至沟底防止地表水渗入;
- 用灰土填实滑坡体的落水洞;
- 与管道紧邻的冲沟和冲沟头, 均应设置淤土坝或截水墙, 严格限制冲沟的继续发育;
- 应选择及早季施工, 分段开挖、速挖速填, 做好管沟底灰土垫层及相应排水措施。

4.2.2 管道通过梁家渠滑坡采取的工程措施

梁家渠滑坡灾害地质评价报告中认为是一个雨季前缘局部失稳发生蠕滑的滑坡, 中国石油工程设计有限公司西南分公司专家到现场技术会谈后认为, 该滑坡地貌相对高差较小, 开垦梯田后显得地形较平缓, 该处临永坪川河阶地敷设的永坪炼厂供水

管道工作未发现异常, 说明本滑坡体具有相对的稳定性。西气东输管道在 DD288 ~ DD289 之间长约 500 m 在该滑坡体中部通过(位于供水管道右侧第二级台地梯田中通过, 比较合适)。为防止滑坡体前缘局部蠕滑而失稳, 应采取临永坪川河岸一侧砌筑护岸挡墙、避免永坪川洪水淘蚀, 其它工程措施可参照枣树坪滑坡采取的工程措施实施, 是能够保护管道通过梁家渠滑坡安全的。

5 处理好滑坡与管道关系的基本认识

a) 西气东输管道工程经吕梁山区湿陷性黄土地段达 300 km, 各种地质灾害类型有十余种, 其中滑坡是对管道安全威胁较大的类型之一。黄土滑坡多分布于河谷、冲沟两侧的临河、临沟的山体边坡和台地上, 在选定线时, 应将滑坡作为重点进行勘察。

b) 大型、巨型黄土滑坡涉及范围较大, 发现识别比较困难, 管道建设必须安排有资质的勘设科研单位专门进行灾害地质评价, 在此基础上应加大勘察力度, 运用各种方法和手段查明滑坡, 不允许出现疏漏。

c) 在选择管道路由时, 对于不稳定的大型黄土滑坡, 应采用绕避方式通过; 对于稳定的大型巨型黄土滑坡, 一般可以通过, 但必须采取相应的治理措施, 防止稳定滑坡的复活。西气东输管道工程阳道茆滑坡、董家寺滑坡分别为施工过程和管道投入运行后, 死滑坡复活而不得不改线和着手改线的。因此, 黄土滑坡的稳定性判定固然重要, 而管道通过稳定性滑坡能否复活的判定更不容忽视。

d) 管道通过稳定性滑坡和相对比较稳定的黄土滑坡, 重点在于治水。防止地表水渗入滑坡体, 设置必要的截排水工程措施; 临河、临沟段应设置挡土墙和完善护岸护坡防止洪水或泥流淘蚀。对地下水丰富的滑坡体除设置截水盲沟外, 重点在于排水。