

西气东输管道沿线滑坡特征及防治对策

苏培东^{1,2} 姚安林¹ 蒋宏业¹

(1 西南石油大学, 四川新都 610500; 2 中机工程勘察设计研究院, 四川成都 610066)

【摘要】 西气东输管道工程全长 4000 余公里, 沿线共发育 155 处滑坡, 其中有 17 处滑坡不稳定。这些不稳定滑坡主要分布在宁陕段和山西段, 以小型浅层黄土滑坡和堆积土滑坡为主。它们的形成主要与所处地段的地形地貌、岩土性质有关, 同时还受河流冲刷、人为因素的影响。它们对管道自身安全产生威胁, 同时也会破坏管道附属设施。这些不稳定滑坡的防治措施主要有抗滑挡墙、修整坡面和防水。

【关键词】 滑坡特征; 西气东输; 地质灾害; 防治对策; 管道工程

【中图分类号】 P 642.22; TE 832

Landslide Characteristics and Countermeasure of West-East Gas Transportation Pipeline Project

Su Peidong^{1,2} Yao Anling¹ Jiang Hongye¹

(1 Southwest Petroleum University, Xindu Sichuan 610500;

2 Zhongji Geotechnical Engineering Investigation Design Institute, Chengdu Sichuan 610066 China)

【Abstract】 The gas pipeline from west to east in China exceeds 4000 km. There are 155 landslides along the pipeline. But only 17 landslides are unstable. Most of the unstable landslides are located in Ningxia, Shaanxi and Shanxi which are shallow loess landslide and deposit landslide. The formation mechanism of the unstable landslides include the landform and physiognomy, stratum lithology, river erosion and man-made factors. The danger to the pipeline and its attached facilities are researched. The countermeasures of prevention and treatment are proposed, such as anti-slide retaining wall, slope leveling and waterproofing.

【Key Words】 landslide characteristics; West-East gas transportation; geological hazard; countermeasure of prevention and treatment; pipeline project

0 引言

西气东输工程主要任务是将新疆塔里木盆地的天然气送往豫皖江浙沪地区, 工程主干管道全长 4000 余公里, 沿线经过新疆、甘肃、宁夏、陕西、山西、河南、安徽、江苏、上海、浙江十个省市区。从地貌单元看, 西气东输管道从西部的青藏高原始, 沿线跨越了黄土高原、山西山地、皖苏丘陵平原, 至长江三角洲止^[1-3]。途中各类地质灾害发育, 其中滑坡对管道的威胁最大, 也是灾点最多的灾种。所以研究滑坡的主要特征、分布范围和防治措施, 对于西气东输管道工程的安全有着重要意义。

1 滑坡特征研究

1.1 滑坡空间分布

西气东输管道沿线滑坡地质灾害发育, 共发育滑坡 155 处(见表 1)。沿线滑坡主要分布在山西、陕西、宁夏三省区, 其中山西段发育 34 处, 陕西段最为发育, 共 84 处, 宁夏段共发育 34 处, 三省区滑坡约占总滑坡数的 98%。另外, 在河南、安徽及苏浙沪段也有少量滑坡发育。从空间分布来看, 滑坡主要发育在西气东输管道的中部地区, 即西气东输的宁陕段和山西段, 滑坡地质灾害发育具有很强的地域性特点。

表1 西气东输管道沿线滑坡分布

省名	数量	规 模			2006年4月调查不稳定滑坡			
		小型	中型	大型	数量	规模	滑体物质	滑面埋深
山西	34	13	18	3	7	小型	黄土	浅层
陕西	84	16	44	24	7	小型	黄土(5处)	浅层
宁夏	34	21	11	2			堆积土(2处)	浅层
河南	1	1						
安徽	1	1			1	小型	基岩	浅层
苏浙沪	2	2			2	小型	堆积土	浅层
累计	155	54	73	29	17			

从表1还可以看出,管道沿线共有17处不稳定滑坡,其中有14处位于宁陕段和山西段,约占82.4%,可见多山或地形起伏较大的黄土高原和山西山地是不稳定滑坡发育的主要场所。

1.2 滑坡规模与类型

分析表1可知,西气东输管道沿线滑坡从规模来看,滑坡主要以中小型滑坡为主,占了总滑坡的81.9%。其中小型滑坡54处,约占34.8%,中型滑坡73处,约占47.1%,大型滑坡共29处,约占18.1%。

虽然西气东输沿线大型、中型和小型三种滑坡都有发育,但从2006年4月的现场调查中不难发现,真正对管道形成威胁的还是小型浅层滑坡。这是因为对于大型和中型滑坡,它们更容易引起人们的重视,在管道建设初期过程中要么被彻底治理与加固,要么管道采取了其它方式通过滑坡,所以这些滑坡对于管道的威胁反而小了。而对于小型滑坡,由于管道全长有4000 km多,在管道勘察、设计与施工过程中不可能对这些滑坡都能一一查明与治理,所以在后期的管道运营中,小型滑坡的产生与危害才是最多的。

例如陕西境内桩号DD258滑坡,其方量为 $1.3 \times 10^4 \text{ m}^3$,滑坡体平面呈圈椅状,边坡坡度在 $45^\circ \sim 50^\circ$,为黄土滑坡,其失稳原因主要为管道施工弃土堆置于坡体造成(见图1)。此外,其它不稳定滑坡,如DB017—DB018段滑坡、DC199处滑坡、DD080处滑坡、EB011处滑坡、EB056处滑坡、ED043处滑坡、ED072+300处滑坡、EF02541+1处滑坡、HE022处滑坡和HF006E处滑坡都具有上述特征,均为小型浅层滑坡。

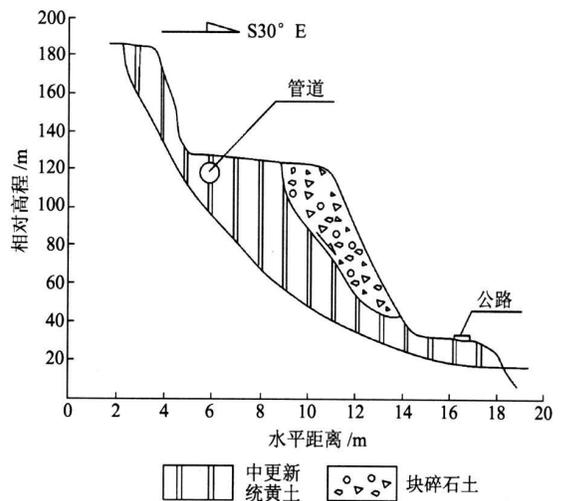


图1 DD258滑坡剖面示意图

1.3 滑坡主要影响因素分析

1.3.1 地形地貌

从分布来看,滑坡主要分布在管道的中部地区,即山西、陕西和宁夏三省区,地貌上属于黄土高原和山西山地。这些地段,地形起伏较大,河谷切割严重,沟壑纵横,谷深坡陡,为滑坡的形成提供了条件。这些地段滑坡占西气东输沿线滑坡总数的98%。可见,地形地貌对管道沿线滑坡的发育起着控制作用。

例如,宁陕段管道,在2006年4月现场调查中发现了DB017—DB018红柳河右岸滑坡、DC167大理河右岸滑坡、DC199大理河左岸滑坡(见图2)、DC271北侧排水沟沟口局部坍塌,DD080处2号隧道出口右侧滑坡,DD258伴行路外侧滑坡,DE280滑坡共七处现状不稳定滑坡,它们都分布于河流岸坡或黄土斜坡等地形起伏较大地段。

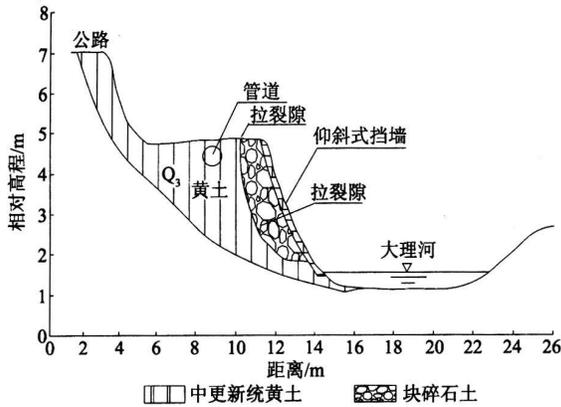


图2 DC199大理河左岸岸坡局部坍塌剖面图

1.3.2 岩性

分析管道沿线滑坡物质组成可以看出, 滑坡几乎都是土质滑坡, 其现状不稳定的滑坡中, 土质滑坡占94%(见表1), 其中以黄土滑坡和堆积土滑坡为主。这些土岩性软弱, 抗剪强度低, 遇水易崩解和软化, 容易形成滑坡。所以, 土层工程性质差是滑坡失稳的内因, 对管道沿线滑坡失稳起着控制作用。

例如, 在2006年4月的现场调查中, 沿线不稳定滑坡共发现17处, 其中黄土滑坡共12处, 约占70.6%, 主要分布在宁陕段(7处)和山西段(5处)。堆积土滑坡共4处, 约占23.5%, 其中山西段2处, 分别位于ED043和ED072+300, 滑体物质为第四系坡残土和人工堆填土; 另2处位于苏浙沪段, 即无锡HE022处和东桥HF006E处, 为第四系冲积粘性土滑坡。基岩滑坡仅1处, 位于豫皖段FA008处, 为采矿洞口边坡失稳。

1.3.3 河水冲刷

西气东输管道不仅穿越了多条河流, 而且由于河流阶地等地势相对平坦, 所以很多地段管道沿河流走向布设, 所以这些地段河流岸坡稳定性状况将决定管道安全与否。从现场调查资料来看, 在17处不稳定滑坡中, 共有4处是由于河水冲刷造成岸坡失稳带来的, 所以河水冲刷与掏蚀也是滑坡形成的主要因素之一。这4处滑坡它们分别是DB017—DB018红柳河右岸滑坡、DC167大理河右岸滑坡、DC199大理河左岸滑坡和ED043岔口河滑坡。其中最为典型的是DC199大理河左岸滑坡, 由于左岸原水工护坡长度不够, 同时因河水水流变向, 受河水冲刷使管道护坡上游侧挡土墙墙体被掏空, 护坡下沉, 坡体出现拉裂缝, 并在未进行护坡部位形成坍塌, 威胁管道安全(见图2)。

1.3.4 人为因素

滑坡的形成除了与地形地貌、岩性等因素有关

外, 人为因素的影响也是不可忽略的一个主要因素。在2006年4月的现场调查中, 17处不稳定滑坡中有6处直接与人为因素有关, 约占35.3%。例如苏浙沪段的2处滑坡的产生均与高速公路取土有关, 而豫皖段的1处滑坡也与采矿开挖有关, 而宁陕段和山西段, 也有3处滑坡与临近公路施工、人工弃土有关。

在人为因素影响中, 以管道施工留下的隐患和后来沿管道工程再建设影响最为严重与普遍。例如, 山西段内EF02541+1滑坡, 管道穿越岷岷部位, 呈单薄山梁, 两侧山坡陡峻, 地层岩性为黄土(Q₂)。由于在管道施工中大量弃土堆置于坡体, 最后在雨水作用下形成浅层滑坡, 弃土失稳带动下伏黄土一起下滑。

2 滑坡对管道危害

滑坡对管道危害的大小取决于管道与滑坡的相对位置, 而滑坡对管道的危害可分为两种型式, 一是直接威胁管道安全, 二是威胁管道附属设施。

2.1 直接威胁管道安全

当管道位于滑坡体内, 或者位于滑坡前缘推覆与掩埋地段, 以及滑坡后缘拉裂区时, 一旦滑坡失稳都会对管道本身产生直接威胁, 一方面可以直接剪断与拉裂管道, 另一方面还可以造成管道悬空暴露或掩埋。

2.2 威胁管道附属设施

滑坡失稳在直接对管道自身产生威胁的同时, 还会对其附属设施产生破坏, 如对管道边坡护坡、挡土墙、伴行路、砼盖板、岸坡护堤等。滑坡失稳变形一方面可以使上述附属设施产生相应的变形与破坏; 另一方面, 这些附属设施的破坏, 特别是护坡、挡土墙、岸坡护堤的变形破坏又会加剧滑坡的产生, 进而威胁到管道安全。例如山西段EB056滑坡(见图3), 由于附属设施浆砌块石护坡后填土夯实强度不够, 在雨水等影响下产生变形, 使岷岷部位护坡出现垮塌, 进而使整个边坡稳定性受到威胁, 产生失稳下滑, 影响了管道安全。

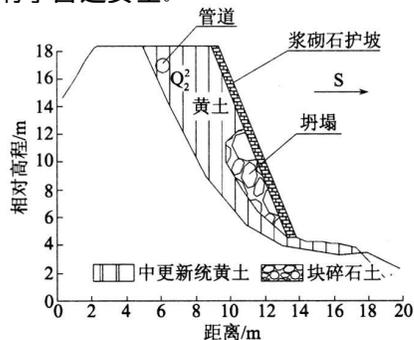


图3 EB056浆砌石护坡表面垮塌剖面图

3 滑坡治理措施

3.1 治理原则

由于管道沿线不稳定滑坡主要以小型浅层滑坡为主,同时由于管道属于线型工程,本身荷载并不大,但其危险性与重要性却相对较高。所以在治理滑坡时一方面必须要考虑滑坡本身的特点,包括其所在的位置、地形地貌、诱发的主导因素、地层岩性、规模大小等;另一方面还必须结合工程特点,做到因地制宜、就地取材、一次根治、不留后患^[4-5]。

3.2 治理措施

3.2.1 抗滑挡墙

这是小型滑坡治理最为主要的支挡措施^[4]。在设计与施工抗滑挡墙时应注意其墙基必须放在滑动带以下一定深度,防治“挡墙坐船”的可能;墙的走向与滑坡主滑方向尽量垂直;墙后必须设置纵向盲沟和其它排水设施;当用于河流岸坡支挡时,墙基还必须埋入最低冲刷线以下一定位置;施工时必须分段开挖,跳槽施工,防止全面开挖引发滑坡失稳。

抗滑挡墙的材料在石材丰富地区可就地取材,采用浆砌片石砌筑;而在石材缺乏地区则可选用混凝土或片石混凝土砌筑。

3.2.2 防水措施

防水是滑坡治理中必不可少的辅助方法,同时水也是引起滑坡失稳的主要因素之一。由于沿线滑坡主要为小型滑坡,其排水措施相对简单,可以通过截水沟、排水沟来截、排地表水,防止雨水渗入软化边坡。在设计与施工时,必须考虑与支挡措施联合使用。

3.2.3 修整坡面

现场调查可知,沿线滑坡失稳大都与坡面陡峻有关;同时,管道经过地段,特别是中西部,管道一般远离人口集中地。所以可采用坡面修整方法,使边坡坡角小于或等于其边坡岩土体综合内摩擦角,以使边坡达到自稳。而边坡修整产生的弃土可置于坡脚平缓地段以“补足”,或妥善解决。在采用此方法时一定要防止弃土失稳带来其它次生地质灾害。

4 结论

1) 西气东输管道沿线滑坡发育,以中、小型滑坡为主。目前不稳定滑坡共 17 处,均为小型浅层滑坡。

2) 管道沿线滑坡空间分布具有明显的地域性,主要分布在宁陕段和山西段,主要为黄土滑坡和堆积土滑坡。

3) 管道沿线滑坡的发育主要受控于地形地貌、地层岩性、河水冲刷和人为因素影响。

4) 滑坡治理宜结合滑坡特征和工程特点,选用挡滑挡墙、坡面修整,并结合防水措施来综合治理。

参 考 文 献

- [1] 李智毅,颜宇森,雷海英. 西气东输工程建设用地区的地质灾害[J]. 地质力学学报,2004(3):253-259.
- [2] 赵应奎. 西气东输工程管道线路地质灾害及其防治对策[J]. 天然气与石油,2003(3):44-47.
- [3] 张咸恭,王思敬,张倬元,等. 中国工程地质学[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [4] 常士骠,张苏民,项勃,等. 工程地质手册(第四版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007:536-552.
- [5] 郑颖人,陈祖煜,王恭先,等. 边坡与滑坡工程治理[M]. 北京:人民交通出版社,2007:1-59.

收稿日期:2008-08-19

(上接第307页)

参 考 文 献

- [1] Ketker D J, Telang R L. Comparative performance of petroleum tanks on ground treated by sandwicks, stone piles and stone columns[J]. New Delhi, India, X III ICSMFE, 1994: 1207-1210.
- [2] 叶书麟. 地基处理工程实例应用手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1998:113-137.
- [3] 陈风忠. 大功率振冲碎石桩在高层建筑中的应用[J]. 山西建筑,2006(4):124-125.
- [4] 范燕红,袁贵兴,蒋志军. 振冲碎石桩在成都某高层建筑中的应用[J]. 四川建筑科学研究,2001(3):49-50.
- [5] JGJ 79-2002 建筑地基处理技术规范[S].
- [6] 龚晓南. 广义复合地基理论及工程应用[J]. 岩土工程学报,2007(1):1-13.
- [7] GB50007-2002 建筑地基基础设计规范[S].
- [8] 高大钊. 土力学与基础工程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1998:66-101.
- [9] GB50021-2001 岩土工程勘察规范[S].
- [10] 陈明. 应用静载荷试验成果反演地基土压缩模量指标[J]. 建筑施工,2005,8:14-15.
- [11] 常士骠,张苏民. 工程地质手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007:179-182.
- [12] Poorooshasb H B, Meyerhof G G. Analysis of Behavior of Stone Columns and Lime Columns. Computers and Geotechnics[J]. Computer and Geotechnics, 1997, 20(4):47-70.

收稿日期:2008-08-19