

文章编号：1006-6616 (2004) 03-0253-07

# 西气东输工程建设用地区的地质灾害

李智毅<sup>1</sup>, 颜宇森<sup>2</sup>, 雷海英<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国地质环境监测院, 北京 100081)

**摘要：**西气东输管道工程沿线建设用地区自然地理和地质环境条件复杂多样，地质灾害有明显的区域性分布规律，可以毛乌素沙漠和太行山东麓为界，分西、中、东 3 个区段。西区段主要的地质灾害是风蚀沙埋、盐渍土的腐蚀和盐胀以及泥石流和洪水冲蚀。中区段主要的地质灾害是滑坡、崩塌、泥石流、采空塌陷以及黄土的湿陷和潜蚀。东区段主要的地质灾害是地面沉降、地裂缝和膨胀土的胀缩灾害。中区段是本管道工程地质灾害类型最多、灾情最重、危险性最大的地段，对该区段应重点布设地质灾害的监测和预警工程。

**关键词：**西气东输工程；建设用地区；地质灾害；区域性分布；危险性

中图分类号：P694

文献标识码：A

## 1 西气东输工程概况

西气东输工程是 21 世纪初国家级重要建设项目，也是西部大开发的标志性工程之一。工程的实施，将有力地加快新疆地区以及中西部沿线地区的经济发展；促进东部地区能源结构调整，带动相关行业发展，改善大气环境和提高人民生活质量。很显然，其经济效益、社会效益和环境效益是巨大的。

西气东输工程是一项巨型的线型工程，干线西起新疆塔里木的轮南，东迄于上海西郊的白鹤镇，途经 9 个省、市、自治区，全长逾 3800km。工程主要形式是浅埋的输气管道，沿线地面上还布设有升压站、清管站和分输站。输气管道内径 1016mm，埋置深度 2m 左右。工程穿越黄河、淮河、长江等大江大河和铁路、公路干线时，还要采用盾构、桥渡、顶管、定向钻等专门的工程设施。根据国土资源部国土资发 [1999] 392 号《关于实行建设用地地质灾害危险性评估的通知》及其附件《建设用地地质灾害危险性评估技术要求》（试行）的规定，该工程全线建设用地地质灾害危险性评估等级皆为一级。评估工作由中国地质环境监测院承担，并组织了沿线 8 个省、区具有地质灾害勘查甲级资质资格的单位参加。为了做好此项跨省、区、市的超长线型工程建设用地地质灾害危险性评估工作，针对工程施工和运营的特点和要求，制定了专门的技术要求。评估工作于 2001 年 8 月完成。

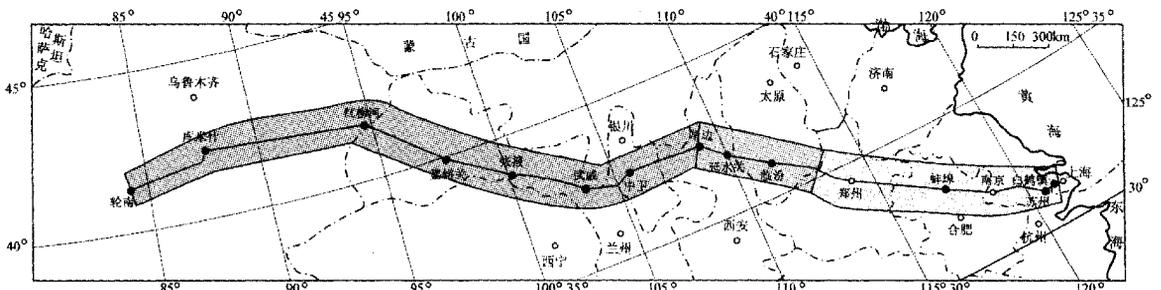
收稿日期：2003-10-09

作者简介：李智毅 (1936-)，男，教授，博士生导师，1957 年毕业于北京地质学院。长期从事工程地质、环境地质教学和研究工作，现进行地质灾害研究工作。

工程沿线自然地理和地质环境复杂多样，人口分布和人类活动也差异极大。在自然和人为因素诸多因素制约和影响下，地质灾害类型有明显的地域性分布规律，较多地段属地质灾害易发区和危险区。下面将根据建设用地区地质灾害危险性评估的资料，以毛乌素沙漠和太行山东麓为界，分西、中、东3个区段分别论述地质灾害的类型、分布、形成条件及其危险性(图1)。

## 2 西区段的地质灾害

西区段行政区划归新疆、甘肃、宁夏和陕西4省区管辖，管线长约2370km。该区段大部分处于青藏高原北侧我国大地形地貌单元第二阶梯的西段，包括塔里木盆地、天山和北山山地、河西走廊、银川平原和鄂尔多斯高原。海拔标高900~2590m，线路地形高差对比不大。地处内陆腹地，属典型的温带大陆性干旱气候，年均降水量大多小于200mm，在新疆区段更不足60mm，蒸发强烈。水系不发育，绝大部分为内陆河系，河流短促，年径流量小，生态环境脆弱甚至恶劣。区域大地构造主要位于天山地槽系和祁连地槽系两大一级构造单元上，东、西两侧为塔里木地台和华北准地台。由于晚近地质时期以来受青藏地块的强烈挤压影响，大部地段区域地壳稳定性较差，多强震。人类活动对地质环境的干扰破坏主要是放牧、垦荒和不适当的水利活动。受上述自然和人文环境因素的制约和影响，本区段主要的地质灾害类型是风蚀沙埋、盐渍土腐蚀和盐胀、泥石流和洪水冲蚀。



区段名	西区段	中区段	东区段
大地形地貌单元	塔里木盆地、天山、北山、河西走廊、鄂尔多斯高原	黄土高原、山西山地	黄淮平原、皖苏丘陵、长江三角洲
主要地质灾害类型	风蚀沙埋、盐渍土腐蚀与盐胀、泥石流和洪水冲蚀	滑坡、崩塌、泥石流、采空塌陷、黄土湿陷和潜蚀	地面沉降、地裂缝、膨胀土胀缩

图1 西气东输管道工程建设用地区地质灾害类型分区图

Fig.1 Regionalization of geological hazard types in the area for the construction of pipelines in the project of diversion of natural gas from the western to the eastern region

### 2.1 风蚀沙埋

风蚀沙埋是本区段最为突出的一类地质灾害。由于气候干旱、风力强劲、土地沙化和荒漠化严重。管线途经或临近塔克拉玛干、库姆塔格、巴丹吉林、腾格里和毛乌素等沙漠(垄)。移动沙丘高3~15m不等，移动速率4~6m/a；有的风蚀洼地最大风蚀深度可达30m。它们被管线穿越或临近，对管线埋置和站场危害较大。

### 2.2 盐渍土腐蚀和盐胀

盐渍土是干旱气候环境中由于地下水埋深浅、运移滞缓、强烈蒸发而造成土壤中盐分聚

集地表所致。高矿化盐水对金属管材具腐蚀性，可溶盐结晶时产生体胀又会对管材和站场地基产生附加压力，显然对管线工程系统有一定危害性。

本区段盐渍土主要分布于丘间洼地、湖盆边缘、盐碱滩和河漫滩、低阶地处，多属硫酸型和氯化物型盐渍土，大多在新疆段和河西走廊段，有的为无人区。盐渍土在垂向分布上具表聚性和结壳性特点，盐分大量集中在细粒土表层 2m 范围内，往深处含盐量明显减小。据实测资料其含盐量：在新疆段 2m 以内为 1.38% ~ 85%，2 ~ 3m 为 0.33% ~ 5.74%<sup>①</sup>；在河西走廊白墩子段 1 ~ 2m 为 0.94% ~ 1.72%，3 ~ 4m 为 0.49% ~ 1.98%<sup>②</sup>。由于输气管道埋置深度 2m 左右，所以盐渍土的危害性相对较小。

### 2.3 泥石流和洪水冲蚀

主要分布于河西走廊一些地段内，它们都位于祁连山北麓，又是区域暴雨中心，是泥石流易发区。即使不爆发泥石流，河沟挟带泥沙的洪水对岸边冲刷破坏也不容忽视。

祁连山北麓和河西走廊地处构造活动区，山体岩石较破碎，加之物理风化强烈，河沟纵坡大，为泥石流提供了必要的固体物质来源和搬运条件。由于细粒成分较少，一般形成稀性泥石流。区内虽年降水量不足 200mm，但降水季节分配不均，降雨多集中于每年的 6 ~ 8 月，而且泥石流沟上游祁连山区的降水量较走廊区要大得多，更进一步强化了泥石流爆发的水源条件。例如古浪县大景，1977 年 8 月 1 日 2.5 小时内降水量达 154.5mm，雨强 61.8mm/h，爆发的稀性泥石流造成严重灾害。武威南部山前地带是泥石流高发区，现有洪积裙和大型洪积扇展布。据研究，泥石流爆发周期 11 年左右<sup>③</sup>。走廊区西部的黑河和疏勒河各河沟，虽无大的泥石流事件，但雨汛期洪水冲蚀对道路、桥涵的破坏时有报道。

## 3 中区段的地质灾害

中区段行政上归陕西、山西和河南三省管辖，管线长约 550km。跨越我国大地形地貌单元第二阶梯东段的黄土高原和山西山地，海拔标高 430 ~ 1700m。地形起伏大，沟壑纵横，地面多由黄土覆盖。属温带半干旱和半干旱—半湿润大陆性气候，年均降水量 300 ~ 600mm，降水年内分配不均，雨汛期往往降大雨—暴雨，水土流失严重。全地域属黄河水系，支流较多，年径流量相对较大。生态环境较脆弱。人类活动主要是大量开采固体矿产（以煤为主）。本区段地质灾害类型最多，主要有滑坡、崩塌、泥石流、采空塌陷以及黄土湿陷和潜蚀。

### 3.1 滑坡和崩塌

本区段滑坡和崩塌是最主要的地质灾害，在评估区内共发现滑坡 118 处、崩塌 50 余处<sup>④</sup>。

滑坡绝大多数为黄土滑坡。黄土深厚，垂直节理发育，其下伏中生界砂泥岩或新近系红土。在雨汛期时顺黄土节理下渗雨水至下伏隔水岩层受阻而形成接触面径流带，触发滑坡发生。这种滑坡一般规模较大。对管线有较大影响的滑坡，在陕西境内就有枣树坪滑坡等 4 处。此外，在黄土残塬和梁峁边缘，黄土顺坡向的垂直节理雨水下渗时潜蚀作用而触发的浅

① 新疆地质工程勘察院. 西气东输工程新疆段建设用地区地质灾害危险性评估报告, 2001. 6.

② 甘肃地质工程勘察院. 西气东输工程甘肃段建设用地区地质灾害危险性评估报告, 2001. 6.

③ 陕西省地质矿产局第二水文地质工程地质队. 西气东输工程陕西段建设用地区地质灾害危险性评估报告, 2001. 6.

④ 山西小第三地质工程勘察院. 西气东输工程山西段建设用地区地质灾害危险性评估报告, 2001. 6.

层滑坡也为数较多。基岩滑坡一般发生在石炭系、二叠系砂、泥(页)岩中。

本区段崩塌一般规模较小,在黄土高原区以黄土崩塌为主,而山西山地区则以基岩崩塌为主。黄土崩塌一般分布于各河流分水岭线路的越梁地带,由于冲沟溯源侵蚀和底蚀强烈,高陡沟坡坡缘在垂直节理切割下似悬臂梁板,突然断裂而发生崩塌。基岩崩塌一般分布于深切狭窄的河谷地段,“上砂下泥”组合的陡坡在河流侧蚀和风化剥蚀作用下,下部泥岩形成凹龛,上部较硬的砂岩悬空而产生拉裂缝,危岩体最终崩落下来。崩塌虽规模较小,但突发性强,对公路、管线工程危害较大。

### 3.2 泥石流

本区段泥石流灾害多发生于每年7~9月份,由暴雨激发,突发性强,来势迅猛,致灾力强。在黄土高原区土体结构疏松,崩滑体发育,冲沟发育,为泥石流提供了丰富的固体物质来源和动能优势。在暴雨激发下形成含沙量极大的洪流,由密布的毛沟、支沟流向干沟和河流,汇集而形成强大的泥流,溃堤毁坝,淤塞水库,分割坝地,造成严重危害。在山西山地区则以稀性的水石流和泥石渣居多,后者集中分布于沁水、阳城二县的采矿区,固体物质系堆积于沟谷上游的煤矸石或铁矿弃渣。

### 3.3 采空塌陷

本区段固体矿产资源丰富,主要是煤矿,还有铁矿、铝土矿和粘土矿等。现正大量开采,均为地下采掘方式。据调查,在评估区内,山西省境内发现大小煤矿159座,其中输气管线直接在采空区上部通过或临近的矿山有25座,总长度37km。在陕西境内,管线经过的子长和永坪一带就有小煤矿50座。铁矿主要分布在山西境内,有53座小铁矿<sup>①</sup>。河南省境内的太行山区还有开采铝土矿和粘土矿的60多个矿洞<sup>②</sup>。这些小矿山系乡镇和私人经营,开采方式落后,采深较浅,地下采空区分布大多无档案记载,地面塌陷变形又无监测。采空区地面塌陷已造成当地民房、农田及一些工程设施的破坏,经济损失严重。

采空塌陷对输气管道工程将导致严重后果,甚至是致命的危害,应引起高度关注。尤其是煤矿密集分布的陕西子长煤矿焦家沟—王家湾段,山西蒲县—临汾煤矿、浮山后交煤矿和泽州煤矿密集分布区,应进一步勘查和重点监测。

本区段还有煤矿瓦斯爆炸和煤层自燃灾害。

### 3.4 黄土湿陷和潜蚀

本区段地面黄土分布较普遍,以晚更新世风成黄土为主,最具湿陷性,且多属自重湿陷类型。自陕西靖边马路壕至山西临汾盆地以西黄土连续堆积,分布厚度大,湿陷性最为强烈。临汾盆地以东湿陷性相对较弱。黄土湿陷导致的灾害是多方面的,有地表不均匀沉降、地裂缝等,还可诱发崩塌和滑坡,对输气管线可构成危害。

黄土潜蚀分布与湿陷性黄土基本一致,多见于上更新统和全新统黄土中,在地下水作用下形成陷穴、落水洞、天生桥等“黄土喀斯特”现象。由于其作用过程较为隐蔽,常有暗沟分布,一旦突陷,将给输气管线安全带来严重后果。

① 山西小第三地质工程勘察院. 西气东输工程山西段建设用地地质灾害危险性评估报告, 2001. 6.

② 河南省郑州地质工程勘察院. 西气东输工程河南段建设用地地质灾害危险性评估报告, 2001. 6.

## 4 东区段的地质灾害

东区段行政上归河南、安徽、江苏和上海 4 省、市管辖，管线长约 930km。跨越了我国大地形地貌单元第三阶梯的黄淮海平原、皖苏丘陵平原和长江三角洲。海拔标高 2~120m。地势平坦开阔，起伏小。属暖温带半湿润和亚热带湿润季风气候，降水充沛，年均降水量 700~1200mm。水系发育，管线跨越黄河、淮河和长江三大江河，在苏沪地段更是河网和湖泊密布，雨汛期洪涝灾害时有发生。生态环境较好。区域大地构造位置为华北准地台东南部和扬子准地台东部，由于晚近地质时期以来洋壳和陆壳板块相互作用导致地壳不断引张下降，地面广布土体。人类活动对地质环境的干扰破坏强烈，主要是抽汲地下水和采矿。本区段地质灾害往往与人类活动关系密切，主要有地面沉降、地裂缝和膨胀土胀缩灾害。

### 4.1 地面沉降

地面沉降是本区段最主要的地质灾害，它是由过量开采地下水诱发的。本区段地势低平，由河流冲积、河湖相或河湖与海积相交互相组成的第四系松散堆积物厚度大，贮藏有丰富的多层孔隙承压水。由于地区经济发达，需水量大而超采承压水，引起承压水头区域性下降，诱发了地面沉降现象。

地面沉降在长江三角洲的苏州—无锡—常州地区最为突出和严重。自 20 世纪 70 年代至 80 年代中期地下水开采主要集中在上述 3 个城市的中心城区，地面沉降范围较小。后随着乡镇企业迅速崛起，地下水超采日益严重。至 90 年代中期以后，地面沉降范围逐渐扩展，沉降区连成一片，3 个中心城市累积最大地面沉降量分别达 1200mm、1100mm 和 940mm<sup>①</sup>。至 2000 年末，累积地面沉降量超过 200mm 的面积达 5000km<sup>2</sup> 以上，超过 600mm 的面积达 1200km<sup>2</sup> 以上，并形成了几个地面沉降洼地。地面沉降与地下水开采量或承压水头下降呈正相关关系。至今承压水头埋深超过 40m 的面积达 6500km<sup>2</sup> 以上，最大埋深将近 90m。承压水头埋深等值线形状与累积地面沉降等值线基本一致。地面沉降造成的危害是多方面的，主要有：洪涝灾害加剧，港口码头效用降低甚至失效，房屋、道路、桥梁开裂，地下管线弯曲甚至断裂等。

安徽阜阳地区的地面沉降是从 20 世纪 80 年代开始的。随着京九铁路通车，当地经济发展迅速，需水量大增，中深层承压水层为主要开采目的层，承压水头随着超采量逐年增大而持续下降。至 20 世纪末阜阳城区降落漏斗中心水头埋深已达 80m，导致不断发展的地面沉降，1999 年初最大累计地面沉降量为 1347mm<sup>②</sup>。该地区几个县城地面沉降量虽小，但发展较快。地面沉降已导致多种危害：水利设施防洪标准降低、破坏市政和供水设施、城市测量控制网失效等。

西气东输管道在阜阳市地面沉降区以北约 30km 处通过，目前对管线危险性不大，但在长江三角洲的苏锡常地区输气管道正好在地面沉降最严重的地段内通过，无疑有较大的危险性。

### 4.2 地裂缝

地裂缝分布于江苏、河南二省境内，它的成因复杂。江苏境内苏锡常地区的地裂缝，是

① 江苏省地质调查研究院. 西气东输工程江苏段建设用地区地质灾害危险性评估报告, 2001. 6.

② 安徽省地矿局第二水文地质工程地质队. 西气东输工程安徽段建设用地区地质灾害危险性评估报告, 2001. 6.

地面沉降不均匀的一种表现形式。采用浅层地震法探测和研究结果表明,地裂缝形成的主要原因是第四系松散堆积物下伏的基岩隆起或陡崖,造成土体结构或承压含水砂层厚度突变,抽水诱发的地面沉降不均匀,就导致地表产生地裂缝。已造成房屋和道路开裂破坏。预测管线经过的武进市横山桥等3段易产生地裂缝。河南境内地裂缝分布于荥阳北部和太康、淮阳一带,前者方向性强,而后者不强。其成因解释不一。有的地裂缝可能横穿管线。

#### 4.3 膨胀土胀缩灾害

在淮北平原和皖苏丘陵平原区地面普遍分布的上更新统粘性土,具有胀缩性,往往造成地面低层建筑物变形开裂和边坡失稳。经取样测定,自由膨胀率40%~63.5%,属弱膨胀土,对管线工程安全的危险性小<sup>①②</sup>。

除上述地质灾害外,本区段尚有地震液化灾害。主要分布地段是:河南境内的黄河左岸滩地;安徽境内的四庙一孙集段(西淝河两侧)。该二段地震烈度皆为Ⅶ度,地表分布的全新统冲积物经现场标贯测试属液化土,应予以关注。

## 5 结语

(1) 受自然地理和地质环境条件的制约以及人类工程-经济活动的影响,西气东输工程沿线地质灾害具地域性分布的特点。西区段以干旱气候地质灾害为主,中区段以山地斜坡和采矿引起的灾害为主,东区段以人类活动引起的地面变形灾害为主。其中中区段地质灾害类型最多,是对输气管线工程危险性相对最大的区段。

(2) 3个区段皆有特殊土引起的地质灾害,其中中区段的黄土湿陷和潜蚀灾害对输气管线最具危险性,应引起工程施工和运营部门高度关注。

(3) 经各省区段建设用地地质灾害危险性综合评估,危险大的地段占输气管线总长度的12.7%;危险性中等地段占20.1%;危险性小的地段占67.2%<sup>③</sup>。应该说,该工程沿线的大多数土地适宜性是好和较好的。危险性大的地段主要分布于陕西、山西二省的黄土高原和山西山地区以及江苏省的长江三角洲地段。

(4) 西气东输工程建设用地地质灾害危险性评估成果报告已直接为该管道工程可行性研究和初步设计两工程设计阶段所采用,为工程选线、设计、施工中避让预防、治理地质灾害提供了全面系统的基础资料,为西气东输工程建设做出了重要贡献。

(5) 为防患于未然,建议对重点地段的主要地质灾害布设监测和预警工程,它们是:黄土高原区的4处滑坡(陕西段)、山西山地区的3处采空塌陷(山西段)、长江三角洲区的地面沉降(江苏段)。

① 江苏省地质调查研究院. 西气东输工程江苏段建设用地地质灾害危险性评估报告, 2001. 6.

② 安徽省地矿局第二水文地质工程地质队. 西气东输工程安徽段建设用地地质灾害危险性评估报告, 2001. 6.

③ 中国地质环境监测院. 西气东输工程建设用地地质灾害危险性评估报告, 2001. 8.

## GEOLOGICAL HAZARDS IN THE AREA FOR THE CONSTRUCTION OF PIPELINES IN THE PROJECT OF DIVERSION OF NATURAL GAS FROM THE WESTERN TO THE EASTERN REGION

LI Zhi-yi<sup>1</sup>, YAN Yu-sen<sup>2</sup>, LEI Hai-ying<sup>2</sup>

(1. *China University of Geosciences, Beijing 100081;*

2. *Monitoring Institute for Geological Environment of China, Beijing 100036, China*)

**Abstract:** The physical geographical and geological environmental conditions in the area for the construction of pipelines in the project of diversion of natural gas from the western to the eastern region are complex and variable. The geological hazards in the area show the regional distribution pattern. With the Mu Us desert and the eastern foothills of the Taihang Mountains as the boundaries, the whole area may be divided into the west section, central section and east section. In the west section, the main hazards are eolian erosion and sand-burying, corrosion by saline soils and expansion of salt, as well as mud flows and flood erosion. Landslides, collapses, mudflows, caving-in in mined-up areas and water creep and collapsing of loess when wetted are the main hazards in the central section. In the east section, the hazards are mainly ground subsidence, ground cracks and expansion and shrinkage of expanded soils. The central section is the most dangerous part of the pipeline project area where there are the most types of geological hazards and the most serious hazards; so the monitoring and early-warning system should be set up in this section.

**Key words:** project of diversion of natural gas from the western to the eastern region; area for the construction; geological hazard; regional distribution; danger