

文章编号：2095—0411（2012）01—0037—05

苏丹 6 区原油外输管道地质灾害类型分析及防护对策^{*}

赵志勇¹，张来斌¹，田雅欣²，王树立³

（1. 中国石油大学（北京）石油工程学院，北京 102249；2. 中国石油抚顺石化公司，辽宁抚顺 113008；3. 常州大学 石油工程学院，江苏常州 213016）

摘要：基于原油外输管道沿线所处地质环境特征，对苏丹 6 区管道地质灾害类型进行了归纳分析，总结了苏丹 6 区为防治管道地质灾害而采取的对策措施。借鉴了管道地质灾害的治理应贯彻“预防为主”的方针，并应在充分的地质条件分析基础上，因地制宜地对水力侵蚀、土壤重力侵蚀、季节河洪水冲蚀、河流横向摆动侵蚀等地质灾害展开科学的治理。阐述了加强水文观测以掌握游荡性季节河河床演变的基本规律以及关注尼罗河穿越段管道冲刷趋势的重要性和具体对策。

关键词：苏丹 6 区；原油管道；地质灾害；类型；防护对策

中图分类号：TE 88 **文献标识码：**A

Geotechnical Hazards Type Analysis and Protective Countermeasures for Sudan Block Six Crude Oil Export Pipeline

ZHAO Zhi—yong¹，ZHANG Lai—bin¹，TIAN Ya—xin²，WANG Shu—li³

（1. College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. PetroChina Fushun Petrochemical Company, Fushun 113008, China ; 3. School of Petroleum Engineering, Changzhou University, Changzhou 213016, China）

Abstract: Based on an investigation into the geotechnical situation, the geotechnical hazards types of Sudan Block Six crude oil export pipeline were analysed and the countermeasures of Sudan six districts for Controlling pipe geological disasters were summarized. The “prevention first” policy for the pipeline of geological disaster management was carried out. And based on analyzing the geological conditions sufficiently, Scientific managements were put into effect for administering Hydraulic erosion, soil erosion of gravity, seasonal river flood erosion, rivers lateral wobble erosion, etc. Basic laws of strengthening hydrology to master seasonal stream channel evolution were illustrated. And the importance of flushing trend of piping through Nile and concrete countermeasures were elaborated.

Key words: Sudan block six; crude oil pipeline; geotechnical hazards; types; protective countermeasures

1 苏丹 6 区原油管道沿线地质概况

中国石油苏丹 6 区原油外输管道于 2004 年建成投产，管道起自富拉首站，止于喀土穆炼厂附近

的末站，全长 715km，管径 609.6mm。管道走向由西向东，穿过热带雨林边缘、热带草原，入热带沙漠，跨戈壁丘陵等自然地貌区。管道沿线地形大部分起伏和缓，但有些地段则存在特殊地貌，如潮

^{*} 收稿日期：2012—01—06

作者简介：赵志勇（1971—），男，辽宁兴城人，博士，高级工程师，石油大学（北京）石油工程博士后流动站。

盆滩地、大型季节河冲沟、冲刷洼地、尼罗河穿越等。具体而言,从首站(KP00)至KP120(注:KP为管道里程桩英文缩写),为典型的热带雨林边缘地带,植被茂密,土壤类型为黑棉土、砂黄土,每逢雨季洪水肆漫,沼泽广布。水工保护工程及管道伴行路在雨季经常遭到水毁。从KP120至3号站(KP280)这一段为热带草原,地势平缓,土壤类型为砂黄土。但部分区域有大型季节湖和季节河数条,因此冲沟发育,沟道侵蚀、河床下切、沟坡扩展现象较为严重。在KP280至末站(KP715)这一段为热带沙漠、戈壁,土壤类型为沙土和砂岩。除在KP450附近有湖盆滩地及在KP702处的尼罗河管道穿越处存在地质灾害风险外,此段区域潜在地质灾害较少。

2 地质灾害类型

地质灾害一般是指由地球内力作用引起的地壳变形、位移及地表物质运动所产生的有害过程和现象^[1]。影响苏丹六区原油外输管道安全运行的地质灾害可归纳为:水力侵蚀、土壤重力侵蚀、季节河洪水冲蚀、河流横向摆动侵蚀、特殊土体侵蚀等5类。

2.1 水力侵蚀

水力侵蚀是土壤侵蚀的一种形式。水力侵蚀主要表现为沟蚀,沟蚀又称为线状侵蚀,其形态包括浅沟、切沟和冲沟等^[2]。沟蚀是对油气管道工程危害最为严重的侵蚀方式之一,其方式为冲沟下切、沟岸扩展和溯源侵蚀。6区管道从首站至3号站(KP280)这1段区域地处热带雨林边缘、热带草原,土壤大部分为黑棉土和砂黄土。在雨水的冲刷下极易形成冲沟并在冲沟内形成汇水。冲沟可以造成管道裸露悬空,可以冲毁管道伴行路。6区管道经常在雨季遭受严重的水力侵蚀。2006年,在距首站58km处,仅一次强降雨就将大部分管道伴行路冲毁,并形成多处冲沟以及管道的裸露。

2.2 土壤重力侵蚀

传统的工程地质和岩土工程边坡地质灾害研究通常将重力侵蚀划分为滑坡和滑塌2类。6区管道在KP165、KP253季节河两岸的土体为深厚的砂黄土,砂黄土垂直节理发育。雨季时,雨水顺砂黄土节理下渗而形成接触面径流带,在土体重力的作用下进而触发滑塌。这种侵蚀可造成河岸护坡毁

损,是穿跨越管道的危险所在。

2.3 季节河洪水冲蚀

季节河洪水对管道的冲蚀表现为3方面:①由于洪水强烈的冲刷淘蚀作用使河流穿越段管道的覆土减薄,埋深达不到要求,加之没有水工保护措施或措施不当,造成穿越段管道裸露悬空;②穿越段下游河道在湍急水流的冲蚀下(洪水中携带大量的沙石)快速下切,并向上游推进,形成典型的“溯源侵蚀”,使管道敷设基础面临被淘空的危险;③由于季节河两岸土体属砂黄土,在水流侧蚀的强烈作用下,极易发生坍塌,进而使河道拓宽,危及护坡。

6区原油外输管道在KP253季节河区域同时存在上述3种形式的洪水冲蚀。该处管道设计埋深约为1.2—1.5m,竣工投产两年后(2006年)该区域季节河洪水泛滥,水位暴涨,强烈冲刷管顶覆土,致使管道裸露长达120m并产生部分悬空(如图1所示)。对该段进行回填夯实之后仅1a(2007年6月),大致在同一区域,管道又被季节河强烈冲刷而再次裸露。同时,在距管道约40—50m的河道下游,坚硬的砂黄土河床在剧烈的涡旋作用下形成无数规则的但内径及深浅不一的“窝形坑蚀”。“窝形坑蚀”连片后,面积逐渐扩大为更大的坑蚀,并在“坑头”处形成很深的“V”形下切。最大下切深约10m,宽约6m,长35m。从2006年开始,通过连续3年的监测,下切形成典型的“溯源侵蚀”,“坑头”有明显上移趋势。另一方面,季节河两岸的护坡也因侧蚀而出现大面积坍塌,致使河槽逐年加宽。

2.4 河流横向摆动侵蚀

苏丹6区管道遭受的河流横向摆动侵蚀主要是由于旧河床堆积抬高到一定程度后主流位移造成的。这种侵蚀对管道的安全威胁主要反映在两方面,即:河床的位移使原管道弹性敷设爬升段暴露于新的河槽内,从而导致管道外露;另一情况,这种摆动所形成的新河槽远离爬升段,但由于新河床下的管道未经深埋处理,在河流的冲刷下覆土减薄,同样也会造成管道裸露。6区管道在KP58、KP165及KP253处均有大型季节河穿越。因河流主流横向位移而造成管道裸露时有发生。仍以KP253处的季节河为例(如图2所示),2005年以前的旧河道由于泥沙淤积而使河床抬高。2006年

雨季,该季节河水量猛增,发生主流位移,生成新河道。而新河道下管道未经深埋,因此,发生前述洪水冲蚀过大而造成管线裸露 120m 的事故。

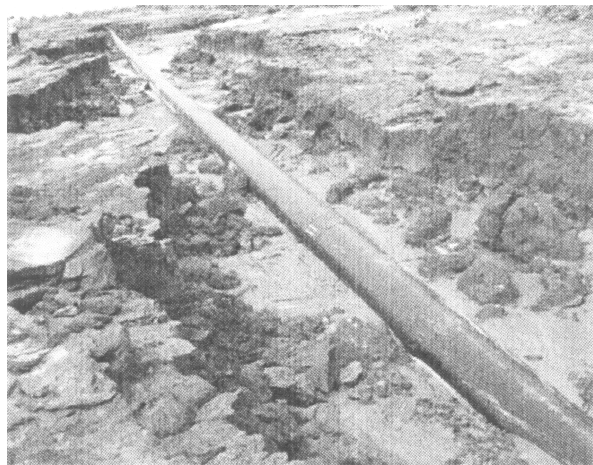


图 1 2006 年 KP253 季节河冲蚀致管道裸露并淘蚀成悬跨

Fig. 1 The bareness and erosion of pipeline in KP253 season in 2006

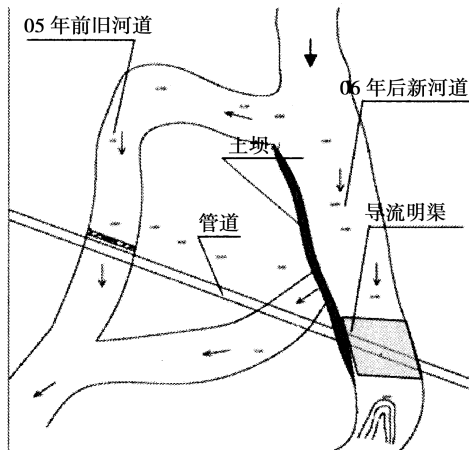


图 2 KP253 季节河 2006 年后改道

Fig. 2 River diversion in the KP253 season after 2006

2.5 特殊土体侵蚀

埋地管道会不可避免地遭遇特殊土体侵蚀问题。苏丹六区原油外输管道涉及到如膨胀土、湿陷性砂黄土、盐渍土等土体造成的地质灾害问题。

2.5.1 黑棉土

黑棉土是一种胀缩性极强的灰黑色粘性土,具有浸水承载力衰减等特性^[3],加之渗透系数小($< 7.5 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$),因此,容易产生地基变形,造成管道建筑物变形开裂和边坡失稳。六区原油管道前 90km 沿线土壤大部分为黑棉土。在 2006 年的管道巡线中就发现若干阀室及阴保站的地坪和基础发生不同程度的开裂破坏。

2.5.2 湿陷性砂黄土

湿陷性砂黄土结构上具有垂直节理,遇水浸泡

即失去强度^[4],在雨季易产生塌方、空洞,进而形成陡峭的冲沟,同时,过大的湿陷变形所产生的负摩阻力可能导致管道弯曲变形、裸露、悬空,甚至折断。此外,还有可能导致地层不均匀沉降、裂缝等,或者诱发崩塌和滑坡,对管道的安全运行构成严重的威胁。

2.5.3 盐渍土

盐渍土是在干旱气候环境中,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。高矿化度的盐渍土对混凝土和钢管具有强腐蚀性,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,于是由于盐渍土的溶陷性和盐胀性,对管道地基的土体破坏很大,容易造成管道的“暗悬空”,因此,盐渍土对管道工程有一定的危害性。在 2 号站、4 号站附近存在两处季节湖,该地区是典型的湖盆滩地,为中性程度硫酸盐渍土。

3 6 区外输管道地质灾害防治对策

地质灾害对管道的破坏往往是灾难性的,为了避免或减少管道地质灾害事故,贯彻“预防为主”的方针。同时,管道地质灾害防治措施的制定应当建立在充分的地质条件分析的基础上,并坚持因地制宜的原则。修建水工保护工程结构时,注意适应土壤特性,因势利导,尽量考虑疏通,防止地表水沿管道方向汇集,绝不能把水工保护工程修成挡水工程^[5]。苏丹 6 区项目自管道投产之初,先后投入大量人力和资金开展区域治理及水工保护工作。

3.1 防治对策制定的基本条件

6 区管道穿越 3 条大型季节河、尼罗河以及数不清的大小冲沟,其中,尤以季节河产生的危害最大。对于处于热带草原上的季节河,每至雨季则泛滥成灾,其河床具有一定的游荡性,属于平面上非稳定性河道。反映在穿越管道的安全上则由于河道深泓线摆动发生主槽移位,导致管道外露,从而影响管道的安全。对于这种游荡性河流的管道水工保护问题,设计中不仅要详细调查管道穿越段的长期演变趋势,而且还必须考虑管道埋设河段上下游的河床演变规律。以前述 KP253 处季节河的导流明渠为例。该项工程竣工后对于保护管道发挥了重要的作用。然而,由于缺少对该地区水文特征长期的观测积累,以至于洪水过后,发现导流明渠的过流面仍不能满足最大流量的要求,从而造成严重的侧

蚀。以此观之，加强对当地水文地质资料的收集分析和对于开展有针对性地水工保护具有十分重要的意义。

3.2 防治对策制定的分类

3.2.1 冲沟防治

针对水力侵蚀所造成的冲沟，采取导流排水、工程加固和水工保护等措施相结合的方法。对冲沟的不同部位采取不同的治理措施。在沟头上游汇水区修截水沟，防止地表水流排入沟内；冲沟中部则存在沟壁不稳和沟床不稳的问题。采取了削坡减重、挖出不稳定沟壁；沿冲沟两岸侧壁顶部修截水沟引走地表水。

3.2.2 滑坡防治

在治理滑坡、滑塌一类的土壤重力侵蚀时，将其与防治季节河洪水冲蚀及河流横向摆动相结合。这样做是由 6 区管道沿线的地貌特征所决定的。如前所述，6 区管道在 KP165、KP253 处两条季节河的大型冲沟两岸，砂黄土层深厚，且垂直节理发育。在雨季时易发生滑坡、滑塌。与此同时，季节河对管道覆土冲蚀也最严重。2006 年、2007 年连续两次大洪水使河道横向移位、管道裸露淘空、河床滑坡滑塌、冲沟下切等等，使得这两个区域成为

灾害治理的重中之重。

3.2.3 其他防治

除了对河岸土坝进行夯实，采取导流排水措施外^[6,7]，还采用土工布大面积覆盖土坝，并利用编织袋装土顺坡堆砌，有效地防止了土体的滑塌；新旧河道交汇处是洪峰的顶冲点（如图 2 所示）。为防止此处溃坝生成新的河道，除筑坝夯实外，在迎水坡面也堆砌了沙袋，形成柔性防护墙。

2006 年的洪水造成 KP253 处发生 120m 长的管道裸露后，在悬空管道采用管墩支撑再进行回填夯实，并在回填土上抛石。然而，2007 年大致在同一位置又发生大面积管道裸露和大跨度悬空。为了进行彻底整治，在考虑洪水冲击力和河床下切速度等因素前提下，首先对该段管道进行深埋并对管道进行打桩支撑。为防止河道的进一步冲蚀，在埋管上方用混凝土浇筑导流明渠，导流明渠沿河流长约 80m，横向宽 20m。为防止河水泄落后对明渠基础的淘蚀，在泄流端下筑高 1.8m 的砌石灌浆防蚀墙。同时，在其结构表面按照水流流动特性进行形状设计以减小阻力。防蚀墙建好后用沙土回填夯实，又在混凝土明渠的上下游抛石笼作为下泄洪水的消能机构，防止墙基础被淘蚀（如图 3 所示）。

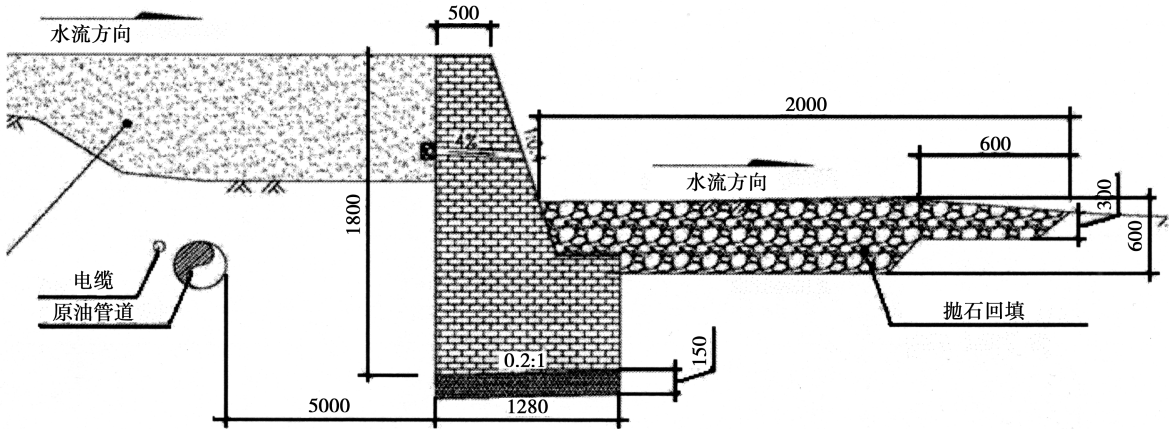


图 3 KP253 季节河导流明渠、消能及防冲淘机构

Fig. 3 The institutions of diversion channel, dissipation energy and rush prevention in the KP253 season

砂黄土台面落差是造成“窝形坑蚀”的前提条件。一般情况下，台面的下侧面是绕流分离后流体涡漩形成的开始。因此，在现场观察发现，绝大部分台面的下侧面都留有深浅不一的圆型小蚀坑。圆型小蚀坑逐渐变大发展成“窝形蚀坑”，连片后形成下切。因此，为阻止下游河床的继续下切和溯源侵蚀，在下切坑内抛置大量的石笼并覆土夯实以消除落差。

4 结论与建议

苏丹六区原油外输管道途经地区地形地貌复杂，不同区块各具特点，因此，地质灾害防治难度大。前几年开展的水工保护工作成效显著。然而，通过对上述地质灾害类型的分析，发现尚有一些重要工作等待进一步开展。

4.1 关注尼罗河穿越段管道的冲刷趋势

6 区原油管道采用定向钻技术自西而东穿越尼罗河。管道穿越段水面宽 594m, 平均水深 4.5m。东岸受河水冲刷, 地势陡峭; 河西岸地势平缓。平均穿越深度 14.9m。根据钻探取样, 穿越处地质特性由上至下依次为: 中沙层、碎石层及强风化砂岩层^[8]。考虑到尼罗河汛期水势凶猛, 对河床及东岸冲刷厉害, 应对该处管道埋深、冲刷破坏状态进行定期检查。利用水声学原理测量穿越带水底地形、及时掌握河床状况等^[9]。而对于河水冲刷厉害的河东岸, 也应采用如沙袋等一定的柔性防冲设施进行防护。

4.2 充分重视特殊土体造成的侵蚀

特殊土体如膨胀土、湿陷性砂黄土、盐渍土对管道的侵蚀也不能忽视。这种侵蚀所造成的灾害已经逐渐显现。比如胀缩性极强的膨胀土已经造成某些阴保室和阀室的地坪出现下沉和开裂破坏。若建筑物的基础沉降至管道本体则必定对管道施加额外载荷, 存在断裂破坏的风险。因此, 应尽早对已经出现沉降的管段的土壤采取相应处置措施, 如: 在条件允许下可以进行土壤置换; 否则, 在完成基础沉降恢复性抬升之后可采取快速开挖、快速回填的分段施工方法。建议在管沟回填距地表 0.3m 时, 应快速碾压夯实, 加高管堤, 以保持土层中的水分

稳定^[10]。

对盐渍土的防控可以在管定铺设夯实的灰土层, 以隔断地表水下渗; 以非盐渍土类的粗粒土回填管沟, 各段有害毛细水的上升。

参考文献:

- [1] 赵忠刚, 姚安林, 赵学芬, 等. 长输管道地质灾害的类型、防控措施和预测方法 [J]. 石油工程建设, 2006, 32 (1): 7—12.
- [2] 中华人民共和国水利部. 水保 44 号 土壤侵蚀分类分级标准 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [3] 蒋长春, 林荣飞. 苏丹上阿特巴拉工程黑棉土防渗料的开采及碾压 [J]. 商品与质量: 学术观察, 2011, 9: 165.
- [4] 苏建德. 沙漠区沙土类土湿陷性研究 [J]. 岩土工程界, 2001, 8: 28—30.
- [5] 梅云新. 马惠宁管道地质灾害类型及水工保护问题 [J]. 油气储运, 2003, 22 (11): 35—38.
- [6] 陈情来. 西气东输管道工程沿线黄土滑塌对策 [J]. 石油规划设计, 2001, 12 (2): 17—18.
- [7] 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, 2002, 20 (1): 44—47.
- [8] 高红, 时崇林, 石忠. 苏丹 6 区原油管道尼罗河定向钻穿越技术 [J]. 油气储运, 2005, 24 (10): 40—43.
- [9] 帅健, 王晓霖, 左尚志. 地质灾害作用下管道的破坏行为与防护对策 [J]. 焊管, 2008, 31 (5): 9—15.
- [10] 梁伟, 高德彬, 周义. 某输油管道线路工程地质问题及其防治 [J]. 山西建筑, 2005, 31 (4): 59—60.