

文章编号: 1000-8241 (2011) 06-0449-04

抬管技术在通过采空区管道的应用

么惠全 冯伟

(中国石油西气东输管道分公司, 上海 200122)

么惠全等. 抬管技术在通过采空区管道的应用. 油气储运, 2011, 30(6): 449 - 452.

摘要:为提高管道的运行安全性, 将弯管视为一个整体, 应用 CAESAR II 软件对西气东输管道山西段管道途经阳城蒿裕村采空区的地表变化情况和管道在采空区沉陷过程中的应力情况进行分析, 提出了国内首个大管径高强钢管道的带压抬升实施方案。根据位移监测数据和管道应力应变监测数据, 系统介绍了管道不停输抬管技术在采空区的应用, 包括抬管方案设计和抬管作业过程的操作步骤, 建立了管道应对采空区塌陷的新模式。在管道本体布设应变片测量管道本体的应力应变, 可以及时掌控采空区的风险变化, 为抬管过程的安全判断提供技术支持, 使采空区管道的不停输抬管作业可以顺利实施。

关键词:采空区; 西气东输; 油气管道; 不停输; 抬管; 应变片

中图分类号: TE89

文献标识码: A

采空区是指地下固体矿床开采后的空间及其围岩失稳产生位移、开裂、破碎垮落, 上覆岩层整体下沉、弯曲引起地表变形和破坏的地区或范围。西气东输管道工程通过地区分布大量煤炭资源, 特别是山西境内, 煤田分布广、煤层多且厚, 管道下方存在大量各种类型的采空区, 其地表变形已经对管道安全构成严重威胁。

1 采空区概况

1.1 地表变化

2007年初, 西气东输主干线山西阳城蒿裕村段管道周边区域出现多处裂缝, 地面沉陷严重, 在采取开挖管沟、释放管道应力、细沙回填管沟等措施的基础上, 对地表位移和管道本体应力应变实施定期监测, 根据监测数据, 掌握采空地地表沉降和管道本体的状态。2009年6月初, 管道周边区域突然新增数道裂缝, 且原有裂缝宽度增加。同时, 管道应力应变监测数据发生突变, 部分位置已接近或超出允许应力值。2009年7月, 再次开挖管沟进行应力释放, 发现多处管道防腐补口带和补伤片卷边、折皱。原因是管道下方煤矿复采, 引起采空区上方地表发生沉陷变形, 采空区地表总体呈现出向西南移动的趋势, 导致管体产生较大程度的应变。

1.2 监测数据

与2007年5月位移监测数据相比, 2009年8月管道最大沉降量为1.885 m, 最小沉降量为0.406 m, 最大水平位移为0.19 m。其中2009年6月28日至8月6日的的数据变化较为明显, 外荷载在截面上产生的最大拉应力为467.2 MPa, 已超出ASME B31.8-2007规定的允许值, 最大压应力为-282 MPa。裂缝附近的管道截面监测数据显示, 该位置管道的轴向拉应力超过设计允许值, 并且变形区域超出原监测范围, 不排除其他管段的最大拉应力和最大压应力超过目前监测值的可能性。

1.3 临时应急处理措施

由于沉降变形范围超出原监控点布置范围, 沉降边界难以准确判定, 根据地表监测数据推断, 管道逆气流方向的沉降边界在RRB桩附近, 但实际顺气流方向的沉降边界已超过RRB+1桩, 为此, 需对RRB+1桩以上管段、弯管RRB-1桩部位和RRB-1桩以下的坡体管段每隔50 m开挖一个探坑, 检查防腐层情况, 查找裂隙, 以便准确掌握沉降边缘。因RRB-1桩至RRB+1桩段管道沉降幅度和应力较大, 结合采空沉陷学规律, 初步判断现地表移动与变形处于活跃阶段, 管道安全受到威胁, 因此采取以下防治措施: ①增加测线、地形观测点、管道顶部(管道表面)观测点, 建立管

道现有状况纵断面线,同时对弯管部位采取分段逐步开挖的方式进行全采空影响段的应力释放;②在应力释放开挖过程中,为防止管道快速反弹和弯管开挖后凌空而造成管道受力急剧增大,需用装土(沙)编织袋进行稳管,以防止应力过快释放,并在钢管表面布设应变片进行管道本体应变监测,随时掌握管道应力的释放状况和弯管的安全状态。

2 抬管应力分析与设计

在对管道受力进行安全分析,实施管沟开挖、应力释放及弯管特殊处理措施后,为防止更大沉陷危害管道,需要采取人为反向干预管道标高(即局部管段实施抬管作业)的方式确保管道处于受控状态。对于采空区沉陷管道的抬管作业,目前国内外尚无适用的规范标准可依,需要根据采空区沉降管段的具体情况,结合管道受力现状,采用适当的计算方法进行管道受力分析。按照弯管整体提升的思路,结合采空区继续沉降值的预测,需要对管道进行垂直提升和水平移动的模拟曲线计算。

2.1 CAESAR II 软件分析原理

美国 COADE 公司研发的压力管道应力分析专业软件 CAESAR II 是以结构力学理论为基础,根据 ASME B 31.8 进行管道受力分析而编制的。该软件的主要思路是:除首个固定端外,假想将其他所有约束点都释放,使管系变成一个自由的静定系统,由此根据结构力学理论计算出所有载荷引起的管系中个点的位移,然后进行柔度矩阵计算,求出管系中各约束点恢复到原始位置或某指定位移量对应位置所需施加的载荷,根据载荷计算出管系中各单元的力、应力、应变和位移。ASME B 31.8 管道标准要求工程师计算和检查持续工况、膨胀工况和操作工况。

2.2 管道应力分析思路

2007 年 5 月对管沟回填土进行了换填处理,管道在挑沟后进行了应力释放,管道仍处于弹性范围内,故预设其不存在残余应力,并以此作为本次应力分析的前提。在校核 2007 年 5 月应力释放后的管道受力工况后,根据 2009 年 8 月观测的变形数据,计算管道的受力数据,考虑到部分管段受力已超出许用应力,在实

施本次(2009 年 7 月)应力释放后,应采取抬管措施。对于抬管方案,首先需测量抬管范围内的管顶数据,通过与 2007 年首次管顶测量数据进行比较,初步确定抬管高度,同时保证抬管后管道的线形圆滑过渡,避免出现局部折点。通过应力校核,如果节点应力超过许用应力,则调整各节点的抬管高度,直至满足规范要求。

2.3 抬管设计

建立抬管模型后,基于充分削减采空区沉降和地表变形危害管道安全的原则,确保抬升过程中管道各点段应力满足规范要求,将每一种抬管工况的位移等相关数据输入 CAESAR II 软件,进行管道各单元应力应变的计算。此段采空区管道的管径为 1 016 mm、壁厚为 21 mm,设计压力为 10 MPa,开挖长度为 651 m,抬管总长度为 480 m,共设置 47 个吊点,抬升段有 8 个弯管,包括水平弯、上下弯和组合弯管,其中还有三个连续迭加弯管(水平+纵向),水平转角为 $27^{\circ} 25''$,管材为 API-5L X70,弹性模量为 2×10^5 MPa,最深处理地管道管顶标高为 1.0 m,管道安装与抬管时温差为 30°C ,回填土壤为砂性土,摩擦因子取 0.3,抬管时管道输送压力为 5.5 MPa。

3 抬管作业步骤

抬管作业采用大开挖结合导链的抬升工艺,具体施工程序是:管沟开挖(剩余覆土清除)—管道复测—无损探伤检测—吊点设置与起吊装置安装—支墩设置—抬管操作—稳管处理与防腐补口、补伤—管沟回填—地貌恢复。

3.1 管沟开挖

对应力释放开挖时管道上方保留的压袋,从最大沉降点开始向两侧逐步清除,并将管道周围的土体完全开挖至沟底。在清除剩余压袋及土体的过程中,若管道继续出现回弹上抬,则将编织袋垫在管道下方(间距宜为 10 m),防止管道承受附加应力。

3.2 管道复测

用全站仪对暴露段管道进行复测,将管顶坐标和高程的实际测量值同原设计值进行比对,并根据对比结果进行重新设计计算。

为掌握和调整管道抬升时的应力分布,在已设应

变片的基础上,对计算管道应力高峰点和弯管附近的管道本体增设应变片。在抬管前对各测点进行应力测量,利用 CAEARII 计算管道各节点的应力结果,设定各监测控制应力,并据此给出抬管过程的预警、报警和极限值,以控制抬管过程的应力。在抬管过程中,每完成一次抬升,立即逐段测点读取数据,分析汇总后,将数据结果向现场抬管总指挥报告,以便全面分析管道各点段的受力状态,指导下次抬管。

抬管作业完成后,对抬管段进行一次整体测量,以确认管道抬升施工是否达到设计要求。全部施工完毕后,详实分析、汇总上述阶段的测量记录,为总结抬管治理经验提供完整的测量数据。

3.3 无损探伤检测

对承受较大应力的管段和弯管附近的焊口进行检查。首先抽查建设时期的射线检验底片,发现该段焊口所有焊缝原评定级别为 I 级,再对关键焊口进行超声波复检。在完成预计抬升高度的 50% 后,对上述关键焊口进行超声波检测。如无异常,继续下一步抬管作业。完成全部抬管后,对所有焊口进行超声波检测,以掌握焊道焊口质量的变化情况,并出具完整的检测报告。

3.4 吊点设置与起吊装置安装

全段共设有 47 个吊点,分别设置在管道的计算控制节点处,间距控制在 8~10 m,距焊口不小于 2 m。15 t 手拉葫芦设置在管道需要抬升力、抬升量较大的地方,与 10 t 手拉葫芦错开布置。管沟开挖时,考虑到管道可能产生水平位移,根据设计计算的位移量,将吊点位置的管底和两侧沟壁适当加宽,以满足抬管作业的需要。抬管工具采用支架手拉葫芦,横梁采用 $\phi 273$ 钢管,钢管底部垫放枕木,枕木底部平铺钢板,将横梁承受力有效分散于沙袋支墩内部,防止下沉,支墩采用编织袋装沙垒砌。管道底部的沟槽必须清理平整,以免编织袋侧滑。两侧与管沟壁填塞严实,确保支墩牢固稳定,避免塌方。

3.5 支墩设置

在设置吊点管段的底部设置支墩。按照弯管及两侧各 50 m 一个过渡段,每 6 m 设置一个支墩;平直管段,每 9 m 设置一个支墩,支墩位置避开焊道 2 m。支墩采用编织袋装沙垒砌(0.5 m \times 0.3 m \times 0.2 m),装沙

后重约 20~30 kg。为防止抬管作业过程中造成应力集中,根据管沟开挖后的管位情况,在弯管两侧和中间部位需增设支墩。

3.6 抬管操作

在抬管作业前,进行详细演练和技术摸底,每个岗位设置专人操作,明确职责,统一指挥信号,防止误操作。在抬管作业时,逐墩填塞沙袋,最大限度地减少管沟内的操作人员数量,严禁所有人员同时进入现场操作,无关人员禁止进入现场。将 47 个吊点分成 4 组,根据管道最大垂直抬升 1 m 的要求,管道抬升初步按 6 次计划实施,计算出每个起吊点每次起吊的高度,在起吊点旁树立标杆,以便准确测量各吊点每次抬升的高度。所有抬升设备就位后,经检查后方可实施抬管操作。起吊前详细查看每一个起吊高度,待全部符合该次起吊高度后,在统一指挥下,缓慢拉动导链,达到预定起吊高度后,逐个吊点确认。每次管道抬升高度均按事先列出的《起吊点抬升位移详细列表》执行,每次抬升结束后均间隔 10~20 min,在间隔期间对控制点高程进行复核、记录,并对抬升段焊口进行目测检查,现场实时检测已设置应变片的应变应力,根据应变片显示的应变数据变化情况推算管道应力的变化值,并实时与设定的临界值进行对比,调整各节点的抬升速度和位移量。每抬升两次,及时在吊点下方预先开挖的沟槽内砌放编织袋以支撑管道。每一处编织袋支撑墩沿管道轴向宽 2 m,垂直管道轴向在沟槽内全部砌满编织袋,编织袋码放时交错分布,避免形成通缝。在抬管过程中,避免损伤管道外防腐层,若有损伤需做好防腐层补伤工作。

3.7 稳管处理与防腐补口、补伤

管底支墩在承受管道重力后,易造成抬升后的管道下沉,稳管处理是确保抬管成功的关键环节。

先从管道两侧再向中间填充挤压支墩处的沙袋,中间密实后再填充管道两侧,在支墩的空隙处可采用木楔填充。从抬管段两端向中间间隔撤离手拉葫芦支架,同时,把手拉葫芦的支墩沙袋填充到各个管底支墩间。为提高填充密实度,码放一层沙袋后铺一层细沙,交替进行,码放按先中间后两侧的顺序进行。对于支墩间的管沟,将开挖出的细颗粒沙土分层夯填至管底。

所有支墩全部填实后,对焊缝进行补口,补口执行

“无溶剂环氧防腐层+窄条热收缩材料过渡封边”的技术方案。大输量输气管道加热时因管体温降过快,无法实现热收缩带整体补口修复,可实行窄条封边加热修复方式。补口后,用电火花检漏仪对支墩之外露空段管体进行全面检漏,对破损点和漏点进行补伤,补伤按SY/T 0413-2002《埋地钢质管道聚乙烯防腐层技术标准》执行。

3.8 管沟回填

对于管道已建立的监控点做永久标识,以便后期管道开挖监测。管沟内按20 m间距设置截水墙,截水墙采用柔性结构的草袋素土,结合吊点处的支墩位置进行地点设置,但不应压盖管顶监测点。管底至地面以下50 cm范围内应采用泡沫碎屑回填,以减轻管道上方的覆盖重量,增加管道在管沟内的自由度。在泡沫碎屑顶部采用压实的粘性土作为隔水层,隔水层中间宜高于自然地表20~30 cm,防止地表汇水进入管沟,两边与地表圆滑衔接(图1)。

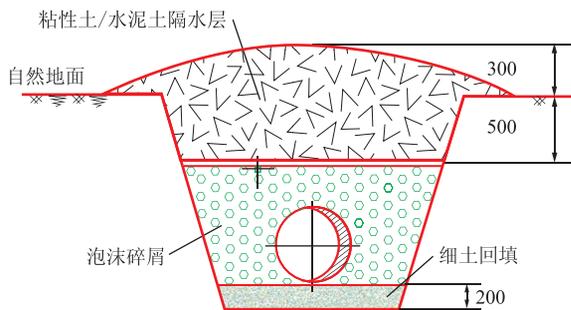


图1 管沟回填示意图(单位:mm)

3.9 地貌恢复

管沟回填后及时恢复原地貌,把管沟内置换出的回填土拉运至山下集中堆放,并在相关位置设置截水沟,将水引至两侧沟底,防止坡顶汇水流入管沟。

4 结论

(1)利用CAESAR II软件对采空区沉降引起的天然气管道进行受力分析,提出了国内首个大管径高强度钢管道的带压抬升实施方案,开创了国内管道行业采空区抬管作业的先河,建立了应对管道采空区塌陷的新模式。

(2)在管道本体表面布设应变片测量管道本体应

力应变技术的应用,不仅为及时掌控采空区风险变化情况发挥了积极有效的作用,也为抬管作业提供了实时、定量的数据判别基础。抬管过程的应力应变监测为抬管过程的安全判断提供了良好的技术支持。

(3)管道抬升过程尽量平缓,统一指挥、抬升步调一致,特别是弯管应整体抬升,当某个吊点抬升力度较周边吊点大很多时,应通过提升两侧吊点来确保此吊点提升的安全性,不能硬性抬升,避免应力集中。

(收稿日期:2009-11-30)

作者简介:么惠全,高级工程师,1960年生,1990年硕士毕业于哈尔滨工业大学自动化专业,现主要从事长距离输油气管道的安全保护与管理工作。

电话:021-58849955; Email: yaohuiquan@petrochina.com.cn

下期要目

地下储气库天然气泄漏损耗与动态监测判定	陈晓源,等
基于故障树与模糊理论的埋地管道风险评价	陈杨,等
海底管道腐蚀与剩余寿命的灰色预测	党学博
基于D-S证据理论的天然气管道可靠性评价	胡镁林,等
天然气涡轮流量计的应用与故障分析	肖伟生,等
甲烷吸附储存条件下状态方程的选用	贾铮,等
管道外腐蚀直接评价技术	陈敬和
天然气管道作业风险管理与预控措施	傅文奎,等
用滞回曲线法表征含蜡原油的触变过程	李其抚,等
管道地质灾害风险半定量评价方法与应用	荆宏远,等