

在役长输管道长度复测问题研究

孙建国 常兴 丁乙

(中国石化天然气分公司)

孙建国等.在役长输管道长度复测问题研究.天然气工业,2006,26(9):134-136.

摘要 长输管道在建成运行后,建设单位、生产管理单位往往会通过各种方法对在役管线的长度进行复测,并把该长度数据作为竣工结算、生产管理中的重要对比技术参数和指标。然而管线投产运营后,在现实条件下,无论通过何种测量方式,数据总是与竣工资料中记录的数据有一定偏差。文章以中原—青岛天然气长输管道为例,对测量手段、偏差进行了分析,提出了较合理的数据调整方法,并对管线长度测量新方法进行探讨,旨在提出更加合理、可信的长度复测数据。

关键词 长输管道 管道长度 测量 偏差

济南—青岛天然气管道已于2002年底竣工投产,2004年管理单位对其中的潍坊—青岛段进行了水平长度复测,并把该数据作为了生产运营管理中

的重要技术参数和竣工结算中的参考依据。然而,测量数据与施工单位所作的竣工资料数据、设计存档数据均有所偏差,偏差如表1。

表1 数据统计表

数据来源	设计图纸数据(设计院提供)	竣工资料数据(施工单位报)	投运后测量数据(管理单位)
∅508 mm 干线长度数据	130 km	136.2 km	127.5 km
数据取得方法	设计院测量大队用GPS定位仪对所选桩位定点测量	根据所用管材进行的统计,将管材用料(12 m/根×根数)累加后所得或从施工图局部变更后调整所得	根据三桩,配合管道金属探测仪,用百米尺进行水平测量

从表1可以看出,100多千米管线在数据上最大的竟相差约10千米,而∅508 mm 管线造价以150万元/千米计,偏差量非常大。因此,对上述数据进行分析有极其重要的技术价值和经济价值。

一、术语定义

1. 测量导线图形化函数

为便于研究,把长度测量施测时的路线用图形标出,假想一坐标系(三维),该图形在此坐标系中的数学表达式即为其图形化函数。用 l 表示导线长度。

2. 管线实际走向图形化函数

把管道实际走向轨迹用图形标出,该图形在三维坐标系中的数学表达式即为其图形化函数。用 s

表示管线长度。

3. 真值吻合度

测量导线图形化函数与管线实际走向图形化函数之间的吻合程度称作真值吻合度,该值反映了测量偏差的程度。

二、在役管线长度测量方法

目前,对在役管线的长度测量,主要是根据三桩,在地面上用直尺、光电测距仪或全站仪实施水平距离测量,将水平距离近似地等同于管线实长。该方法因测站位置偏差、测量工具本身的误差及真值吻合度等因素导致偏差较大,但在国内现有的条件下却较为常用。

作者简介 孙建国,1960年生;1983年毕业于原西南石油学院油气储运专业,2005年取得中国石油大学(华东)油气储运专业硕士学位;现任中国石化天然气分公司工程技术部主任,长期从事石油天然气储运工程建设与管理工作。地址:(100011)北京市西城区安德路甲67号607工程技术部。电话:(010)51586673。E-mail:fangdan0265@sina.com

另外,随着科学技术的进步,已出现不同精度的GPS定位仪器,可对线路桩位或弯头的二维或三维坐标进行测定,如西气东输冀宁联络线工程已开始尝试使用三维坐标测定方法。此测量成果较可信,但设计难度增大,此方法尚不常用。

三、测量结果与真值间的偏差分析

以 $\varnothing 508$ mm 钢制长输管道为例,针对水平测距替代管线实长的主要测量方法,对其偏差进行分析,并得出调整方案。

1. 大地水准面的曲率对水平距离的影响^[1]

因地球为一椭圆体,用水平面代替大地水准面将产生误差,该误差可以通过调整进行缩小。按测量学模型可知,该误差 $\Delta S \approx s^3 / (3R^2)$, 其中 s 为管线实长, $R_{\text{地球}}$ 为地球半径(取 6371 km)。经计算,当 $s = 150$ km, $\Delta S \approx 27.71$ m; 当 $s = 500$ km, $\Delta S \approx 1027$ m。

从计算结果可知,仅考虑水平面代替大地水准面一项,可使管线长度测量结果造成一定的误差。为使测量成果更加准确,可以按 50 km 一档,取与管线实长较接近的一档,用上述误差公式进行成果调整。

2. 管线弹性敷设段水平距离测量值与管线实长偏差调整

按长输管道设计规范^[2], 管线弹性敷设段曲率半径(R)宜大于或等于 $1000 D$ (D 为钢管外径,此处取 $D = 508$ mm)。这里先研究水平向的弹性敷设对水平距离测量偏差的影响。建立如图 1 所示模型,其中 AB 间距为 t , ACB 弧间距为 s , OB 为曲率半径(R)。

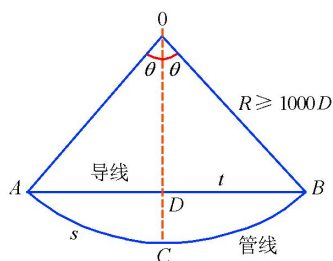


图1 弹性敷设段测量偏差分析模型图

$\Delta S = s - t = R \cdot 2\arcsin(t/2R) - t$, 以 $R_{\min} = 1000 D = 508$ m 计,两根钢管组焊时才可能有偏转角度进行弹性敷设,故 t 下限应取 24 m, $t < R, t \in (24 \text{ m}, 508 \text{ m})$ 。当 $t = 50$ m 时,经计算, $\Delta S_{\max} \approx 0.020$ m; 当 $t = 250$ m 时, $\Delta S_{\max} \approx 2.594$ m; 当 $t = 500$ m 时, $\Delta S_{\max} \approx 22.763$ m; 当 $t = 1000$ m 时, $\Delta S_{\max} \approx 415.381$ m。

上述计算说明偏差值相当大。事实上,上述计算中我们取 $R = R_{\min}$, 而实际管线弹性敷设时, R 是变量,故 ΔS_{\max} 实际上只是一个理论上限,并不一定会达到如此大的偏差。上述计算只是说明弹性敷设段水平距离测量值与管线实长偏差的最大可能性。实际上结合竣工资料,取一组弹性敷设时的 R 值计算可知,此时的 ΔS 是一组随机变量。将该组 ΔS 作为随机变量,设其概率密度函数为 $y = f(\Delta S)$, 经实际情况统计可作出其分布图。其中 $(\Delta S)_{\min}$ 和 $(\Delta S)_{\max}$ 出现的概率十分小,但居于中间值附近的数据出现的概率却较大,特别是中值数据,且出现接近 $(\Delta S)_{\min}$ 的可能性要大一些,此结果也符合实际情况。为简化计算,可以认为 ΔS 出现的概率密度函数较符合正态分布,可将其近似地看作正态分布来研究。同时,要想得到比较有代表性的长度测量数据调整方案,必须取一个代表值。首先可把里程桩(测站)看作一个调整单位,即以 1 km 范围内的弹性敷设段为基础单位进行调整,取中值时 ΔS 出现的频率最高,故把 $\Delta S_{\max} |_{t=500 \text{ m}}$ 作为代表,即以 $(\Delta S)_{1 \text{ km}} = \Delta S_{\max} |_{t=500 \text{ m}} \times 1 \approx 22.763$ m 为调整基数。在具体调整方案中,可在有弹性敷设处,按 1 km 为基本单位统计处数后,全线统一按“ $22.763 \text{ m} \times \text{处数}$ ”进行数值调整。

3. 弯头弯管(拐角桩)处水平距离测量成果的偏差调整

使用弯头、弯管处多集中在“公路、铁路、河流穿越”(即“三穿”)或特殊部位转角较大位置上,此处先研究水平面上的弯头弯管使用处水平距离测量的偏差。建立如图 2 所示模型, CAB 为 90° 弯头,曲率半径为 R , A 点为弯头正中点, O 点为坐标系原点, L 为 OB 段间距,以一个测站 1 km 计取, s 为 OBA 段长度, t_1 为 OA 段长度。

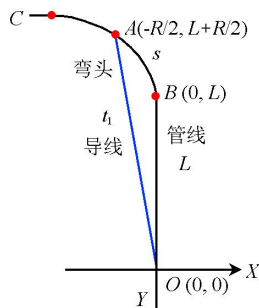


图2 弯头弯管处测量偏差影响模型图

弯头弯管取有代表性参数($\angle R t_1, R$), 经计算知 $\Delta S = s - t_1 = L + (R^2/2)^{1/2} - (R^2/2 + R L + L^2)^{1/2}$ 。

按《油气输送用钢制弯管》(SY/T5254—2004)规范要求,一般弯头、弯管 $R \in (5D, 50D)$, 以 $L=1 \text{ km}$ 计, 代入上述算式计算知: 当 $R=5D$ 时, $\Delta S \approx 1.54 \text{ m}$; 当 $R=50D$ 时, $\Delta S \approx 5.18 \text{ m}$ 。统计历史材料表, 冷弯管一般取 $R=50D$, 热煨弯头一般取 $R=5D$ 。实际上, 使用冷弯和热煨弯头处概率示地形情况而定, 但从全线而言, 可近似地将其使用概率都看作 0.5, 故综合全线资料认为: $(\Delta S)_{\text{平均值}} \approx 0.5 \times 1.54 \text{ m} + 0.5 \times 5.18 \text{ m} = 3.36 \text{ m}$ 。在具体的调整方案中, 可先统计出全线弯头弯管(拐角桩)个数, 每个按 3.36 m 进行长度测量数据调整。

4. 实际地形下真值吻合度对水平测距偏差的影响情况分析

地表是起伏不一的, 但管线埋深按规范却为一相对较固定的值, 一般土方段管顶埋深为 1.2 m, 管线随地势起伏而敷设。将管线敷设情况与地形作一代表性比较, 可看出真值吻合度对偏差影响很大, 可以有针对性地进行分析, 得出如下具体的测量调整方案。平原和丘陵地区, 在地表上测水平距离与管线实长比较接近, 真值吻合度较高, 水平距离测量成果较接近管线实长; 在弹性敷设段和弯头弯管拐点段, 可按上述 2、3 方法进行调整; 在“三穿”段, 特别是大型三穿段, 则应根据实际情况进行调整, 调整方法应建立在竣工资料基础上, 这些地段无法得出较有代表性的调整方案, 但大型三穿点却是比较直观的, 易于得出相关资料, 也易于根据实际情况进行具体调整分析。对于地球曲率的影响则可以通过上述 1 方法进行调整。

四、对实践数据的调整分析验证

按上述方法对表 1 中建设单位水平距离测量值进行具体调整。首先, 查看竣工资料, 可知该段管线内超过 1 km 范围的弹性敷设有 17 处, 弯头弯管有 107 个, 大型三穿包括桃源河、济青高速公路、胶济铁路、丹山水库等 7 处, 查明此 7 处穿越段长度比水平直线测量长约 1.5 km, 计算结果如下:

$$L_{\text{实长}} = L_{\text{测量值}} + \Delta S_{(\text{曲率影响})} + \Delta S_{(\text{弹性敷设影响})} + \Delta S_{(\text{弯头弯管拐点影响})} + \Delta S_{(\text{三穿、特殊段影响})} \approx 127500 + 27.7 + 22.763 \times 17 + 3.36 \times 107 + 1500 \approx 129.77 \text{ (km)}$$

可以看出, 调整后值比较接近于设计值, 调整成果有一定参考价值。该实例的吻合度较好, 根据经验可作如下定义: 一般来讲, 设计数据、施工单位所

报数据、建设单位长度测量调整后数据, 三者之间相差不应大于设计数据的 3%; 若超过这一限度, 则应提出质疑, 并对这一数据来源进行分析, 必要时对差别极大的数据进行剔除。

五、结束语

文中主要是用水平距离测量法, 在地表上对管线进行水平距离测量, 然后进行优化调整, 从而得出管线长度。此方法在国内用得较多, 但因影响真值吻合度的因素过于复杂, 施测时亦有测量误差, 调整中也有不全面的地方, 得出的数据也不一定合理, 但可作为数据调整方法的参考。

国外计算机信息化管理程度高, 在施工过程中, 对每一根所使用的管材都有具体准确的长度数据统计, 施工过程亦进行了动态管理, 其数据准确可信。但国内尚未达到这种管理水平。

另外, 从地面进行测量, 真值吻合度不可能达到很好的程度, 可以换种思路, 从管道内部对在役管线进行长度测量。国外已出现管道机器人和智能通球技术, 采集管道内各项参数数据。我国清管器制造技术已很成熟, 可考虑在清管器上加附加装置在清管时对管线进行长度测量。

西气东输冀宁联络线工程则在设计时就采用了弯头三维坐标定位测距的方法, 很具有代表性, 该方法也很有实践价值。

总之, 在现有技术条件下, 应尽可能采用较先进的测量仪器、较可行的测量方法对管线进行长度测量, 并科学调整最终数据。要不断提高施工过程中的自动化信息管理水平, 使施工单位的竣工资料数据更加准确、科学、可信, 还须不断探索管道内测距方法, 开发出具有自主知识产权、价格低廉、测距方便、准确的智能清管设施或管道机器人, 为在役管线的科学管理提供更加准确的参数。

参 考 文 献

- [1] 陆国胜, 等. 测量学[M]. 3版. 北京: 测绘出版社, 1991.
- [2] 中国石油天然气集团公司. GB 50251-2003 输气管道工程设计规范[S]// 中华人民共和国建设部. 北京: 中国计划出版社, 2003.

(修改回稿日期 2006-07-28 编辑 赵 勤)