

综 述

普及和发展我国管道内检测技术

潘家华*

(中国石油天然气总公司咨询中心)

潘家华:普及和发展我国管道内检测技术,油气储运,1996(3)15,1~4。

摘 要 长输管道多为埋地敷设,了解管道的情况只能依靠管道内检测技术,因此,进行管道内检测十分必要。国外用 Pig(所有依靠管道内流体驱动而在管道内运行的器件)进行管道内检测。Pig 可分为在施工阶段和运行阶段使用的两大类。介绍了各种不同用途的 Pig,并着重介绍了国外管道几何尺寸测定器的研制和使用情况,对比分析了用于测量管道壁厚的漏磁法 Pig 与超声波法 Pig 的功能、特点和适用性。根据我国管道的具体情况,指出了发展管道内检测技术的必要性和紧迫性,并提出了几点建议。

主题词 长输管道 检测 技术 检测器 普及 发展

各类长输管道除极个别的管段(如跨越段)外,均为埋地敷设。这些管道看不见、摸不到,只有靠管道内检测技术才能掌握管道的情况。在没有采用管道内检测器进行管道检测的情况下,可能出现两种后果。

(1)管道不断发生泄漏、爆破而被迫进行抢修。管道由于电化学腐蚀(一般为外腐蚀)或因 H_2S 等导致的应力腐蚀(一般为内腐蚀)使局部金属产生点蚀、片状腐蚀以及裂纹等,造成介质泄漏,从而引起环境污染,严重者会引起火灾、爆破,造成生命财产损失。若掌握管道内检测技术,变抢修为计划检修,有计划地更换个别管段,可避免上述灾害,大大地减少管道维修费用,保证油气供应,使用户放心。

(2)由于管道不断发生事故,而情况不明,往往使领导做出错误决策,盲目地报废某些管道,再建新管道,造成浪费。例如,我国有一条管道,曾多次发生泄漏,最后决定将其全线报废,另建新管道。在旧管道拆除时,笔者发现,大部分钢管没有腐蚀或只有轻微腐蚀,估计有必要更换的管子不足十分之一。

中国石油天然气管道局由国外引进超声波法及漏磁法管道内检测器数套,但全国普及率甚低。

四川省是我国输气管道集中的地区,其中南干线已投运近 30 a,但所有管道均未进行过内检测。由

大庆向南的两条输油干线已投入使用 20 a 以上,至今也未进行过管道内检测。我国有些早期修建的管道,其弯头、弯管不够规范,为了适合我国国情,还需自行研制一些管道内检测器。

综上所述,普及和发展我国管道内检测技术是非常必要的。

一、Pig 及其种类

早在本世纪 40 年代初期,美国开始对原油管道进行清管,由于清管器临近收球筒时发出似猪叫的声音,从收球筒取出时,其外形肥胖而肮脏,颇似猪,管道工作者称之为 Pig(原意为猪)。

随着管道工业的发展,Pig 的用途大为拓宽,不只限于清管用,Pig 的定义也随之改变。“任何依靠管道内部流体的驱动在管道内运行的器件均称之为 Pig”,这是国际上通用的对 Pig 的定义。

Pig 在我国的专业术语词典中译为“清管器”,这显然不妥,因为清管器只是 Pig 当中的一种。按定义,Pig 可勉强译为“管内行走器”,或者音译为“皮克”,本文暂用原文“Pig”。

Pig 的种类繁多,但大致可分为两大类,一类在施工阶段应用,另一类在运行阶段应用。

* 102849,河北省廊坊市金光道 44 号;电话:(0316)2075311。

1、 在施工阶段应用的 Pig

施工阶段应用的 Pig 主要有三种,即清洗用 Pig,充水用 Pig 及排水用 Pig。

(1)清洗用 Pig 在施工时,通常先把钢管连接成若干段,每段若干公里,此时用空气推动清管器将污物清除。待管道全部焊接完成后,再以水为动力,推动清管器,把管道彻底清洗干净。

我国早期所建的管道均未进行管道清洗,在使用时,曾发现有安全帽、撬棍、扁担及焊条头、泥沙、焊皮留在管中,给管道的运行带来许多麻烦。

通常,对原油管道清洗要求较低,有时只进行用空气推动清管器的清扫,但对成品油管道必须进行两遍清扫,尤其在输送航空煤油、航空汽油时,若清扫不净,则会将污物带入发动机内,造成大事故。

清洗用 Pig 通常为两个皮碗,中间带一些钢丝刷,结构比较简单,在早期也有用橡皮球进行清扫的,但效果不如前者。

(2)充水用 Pig 在管道施工完成后,要进行水压试验。在充水时应当用试压水推动隔离器或隔离球前进,防止高点存气。高点有存气,不仅给试压带来麻烦,还会发生危险。我国铁秦管道进行水压试验时,由于未采用这种办法,在管道高点(巨流河跨越段)全部形成气袋。在加压过程中,高点爆破,跨越管段严重破坏,并有部分坠入河中。事故发生后,笔者曾参与事故技术处理并写了事故调查报告。按有关规范规定,管道不允许用空气进行强度试压。

(3)排水用 Pig 在管道试压完成后,要用空气推动隔离球将水排出,防止低点存水。

近年来,对管道施工质量要求越来越严格,通常管道业主要求施工方在施工完成后,在竣工资料中应包括管道的内径检测及管壁厚度测试的报告,业主将以这两份资料做为基准线(Baseline)。

2、 在运行阶段应用的 Pig

(1)在成品油顺序输送时做为界面隔离用的 Pig 这种 Pig 一般为球状,也可制成由多个皮碗组成的隔离器。隔离球可以放置 1~4 个,但很少超过 4 个。一般认为隔离球的密封作用遵守“60 %规律”。若全部隔离时为 100 %,则加入第一个球后密封作用为 60 %,加入第二个球后为隔离余下的 40 %的 60 %,以此类推,现举例如下:

加入第一个球后:60 %;

加入第二个球后:60 % + 40 % × 60 % = 84 %;

加入第三个球后:84 % + 16 % × 60 %
= 93.6 %;

加入第四个球后:93.6 % + 6.4 % × 60 %
= 97.4 %。

由计算看出,若再增加球数,则效果不明显。

(2)清蜡用 Pig 及清除输气管道内液体的 Pig 原油管道清蜡通常用皮碗带动有刮板的清管器(也有用清管球的)。清除气管道内的积水时,大多用清管球。

(3)测定管道内部几何形状用 Pig 如前所述,管道施工完毕后,许多管道业主要求施工方交付有关管内几何尺寸的检测资料。许多老管道,在第一次测壁厚时,需先通此种 Pig,以免发生测厚用 Pig 卡在管内。在发生地震、滑坡等灾害以后,通常需通测几何尺寸的 Pig,以便确定地震后管道是否出现压凹或折皱。

(4)测量管道壁厚用 Pig 这种 Pig 有两大类,一类为漏磁法(简称 MFL),一类为超声波法(简称 V/S)。早期采用漏磁法。近年来海底管道发展迅速,并有向深海发展的趋势。为克服外压,通常海底管道采用低材质屈服强度和大壁厚的管子。漏磁法检测精度与壁厚有关,通常只允许检测壁厚 12 mm 以下的管道,为此发展了超声波法。

(5)管道直度检测用 Pig 这种检测仪内部设有回转仪(陀仪)、加速度仪及里程仪,若将三者的数据同时传入计算机内,则可知沿程各点管道位置。当管道所经之处发生地震、滑坡以及其它原因造成土壤移动时,需进行此种测定,以了解管道位移情况。

国外有些管道在投入使用之初,对有可能产生土壤位移的地段,先进行直度测定;取得基准线,在地震滑坡后,再次测定,以便进行对比。

(6)对管道局部表面进行观测用 Pig 有时管道虽经过测径、测厚,但对于某些局部,管理者尚感到迷惑,希望实际看到管壁的情况。近年来,日本 NKK 发展了这项技术,在检测器内带有照相机或录像机以及光源,拍摄管道局部表面的状况。

二、管道几何尺寸测定器

这种 Pig 又称测径器或通径检测器,最早的这类 Pig 为一个铝盘,其直径均为管内径的 95 %至 97.5 %,铝盘放在两个皮碗中间。若 Pig 取出后,铝

盘有缺口或压凹,则可大致知道管道变形最严重的程度。这种 Pig 最大的缺点是不知压凹位于何处,且误差较大。我国曾用铝筒代替铝盘做过试验,原理都是一样的。

由于上述 Pig 有严重缺点,目前已不再使用。T. D. Williamson 公司于 60 年代开发了测径器(kaliper pig)。测径器由两个半球形皮碗带动,两皮碗中间有伞状测径杆及里程轮。伞状杆沿圆周分布,各杆均贴靠在管内壁上。若管壁有几何变形,变形处的各杆产生转动,转动幅度大变形就大,里程轮可记下变形位置。早期产品的伞状杆通过机电传动,数据记录在纸上;第二代产品通过电子仪器记录下杆的转动并存储于计算机内。T. D. Williamson 开发的测径器的第二代产品至今仍在应用。

H. Rosen 公司近几年开发的产品,质量有了明显的提高。其早期产品在两个皮碗中间的金属盘上贴有一系列的电阻应变片,应变片沿圆周均匀分布,当管径变形大时,在变形的位置上产生的应变大,从而测出在不同里程处,在不同圆周方向上变形的大小。这一产品出现后不久,Rosen 公司又推出电子测径仪,简称 EGP(Electronic ganging Pig),其尾部装有电磁场的产生及发射器,通过电磁波测出发射器与管内壁之间的距离,并转变成电信号存储于 Pig 装有的电子计算机内。这种 Pig 的一个优点是 Pig 的测量元件不与管壁直接接触,这样就能够减少许多机械故障。这种 Pig 上装有一组探头,每个探头有自己的接收通道,每秒钟可接收 50 个数据,并存储于计算机内。这种 Pig 另一个优点是对管内壁的清洁要求不高,Pig 的运行范围宽,这是一个新的发展方向。

各类几何尺寸测定器,都有需要特别关注的共同之处,即要尽可能保持 Pig 的中心线与管道的中心线吻合,二者的误差将会计入测量的误差中。

三、漏磁法 Pig 与超声波法 Pig 测量管道壁厚的比较

漏磁法 Pig,简称 MFL,是 Magnetic Flux Leakage 的缩写,70 年代末问世。其第一代产品无法分清内、外壁腐蚀,第二代产品得到改善,目前市场上销售的都是第二代产品,我们所说的 MFL 也

是指其第二代产品。

MFL 的检测精度与其壁厚有关,厚度越大,精度越低。根据精度的要求,MFL 规定其适用范围在 12 mm(壁厚)以下(包括 12 mm)。一般地,陆上管道的壁厚绝大多数在 12 mm 以下,故 MFL 均能适用。近十余年海底管道发展十分迅速,海底管道的壁厚不仅决定于强度还决定于稳定性,而稳定性决定于 t/D 比,与屈服极限无关;故海底管道多用低钢号、高厚度的管子。其壁厚多数大于 12 mm,故 MFL 检测不适用。

为了满足海底管道的要求,近若干年开发了超声波法 Pig,简称 V/S,为 Ultrasonic 的缩写。

目前 MFL 及 V/S 均在市场上销售,何者为优?这是管道工作者所关切的,下面笔者仅就对国外应用状况的调查,做如下简要的比较。

1、检测精度

根据大量资料的统计及与实物的参照,国外公认 MFL 的精度为 $\pm 0.2 t$ 左右, t 为管壁厚度;而 V/S 的精度为 ± 1 mm,由此看出只有 $t \leq 5$ mm 时,MFL 的精度才能与 V/S 相当,而 t 在 6~12 mm 范围内时,MFL 精度略低于 V/S。此外,从原理上讲,V/S 可以测出纵向裂纹及夹层、夹渣、气孔等缺陷,而 MFL 难以完成此任务。

2、适应性

MFL 可在油、气管道上应用,而 V/S 要求有耦合剂,故难以在气管道上应用。近年,国外已研制出带有橡皮滚轮的超声波探头,可以不用耦合剂,但目前尚未推广应用。也就是说,目前 V/S 只占领油管道市场,而且 V/S 对厚度的适应性好,这一点更使 V/S 占上风。

3、能量消耗及尺寸

MFL 能量消耗小,而 V/S 能量消耗远比 MFL 大,若要求一次行走同样的路程,则 V/S 体积要比 MFL 体积大。

由于体积的限制,一般 V/S 可运行 10 h,若按每小时行走 10 km 计,则一次可检测 100 km,即收、发筒站的间距要小于 100 km。一般 MFL 可运行 20 h,如与 V/S 同样的行走速度,一次可检测 200 km,这样,给操作带来许多方便。

有些专家估计,今后航天工业应用的小型高能量的电池将会应用在 V/S 上,这样 V/S 将会小型化,并成为 V/S 的第二代产品。

4、清管要求

对管壁清洁的要求 MFL 低于 V/S。

5、数据处理及解释

MFL 数据处理比较复杂,通常不能在现场处理,而 V/S 数据处理较简单,一般可在现场进行。

综上所述,MFL 及 V/S 各有优缺点,要根据具体情况来选用。以四川气管道为例,选用 MFL 较好,MFL 体积可做得比较小,对非规范的弯头适应能力较强,且易于自行研制。从发展看,V/S 必定会向小型化发展,而且不用耦合剂的带滚轮式的 V/S 也必定会日趋成熟。但就目前自己研制来看,还是选择 MFL 为佳。

四、建 议

1、将管道内检测规范化和法制化

建议在大力研究、发展管内检测技术的同时,逐步把对新老管道的内检测要求编入有关规章、规范中,加以“法制”化,并把成熟的技术以及管内检测对管道的要求制定于有关规范及设计技术要求中。

美国 PPSA,是 Pigging Products & Service Association 的简称,专门研究、交流与 Pig 有关的技术,并负责草拟有关 Pig 的各种标准。

美国 OPS (Office of Pipeline Safety) 成立于 1968 年,成立后做过很多对管道安全有益的工作,包括制定了大量的关于管道安全方面的规范,其中 49 CFR 192,49 CFR 195 两个规范都是关于管道内检测器的,于 1990 年 10 月 29 日通过。

美国联邦政府及各州均对新、老管道提出了明确的智能管道内检测的要求,对于人口稠密地区及环境敏感区(环境污染会造成严重损失的地区)更有明确而严格的规定,这些做法是值得我们学习的。

2、逐步对所有管道进行内检测

建议对所有尚未进行管道内检测的重要油、气管道,分轻重缓急,逐步进行检测。

我国早期修建的管道以下部位可能是 Pig 通过的障碍:

(1)弯头部位:按国际惯例,弯头的曲率半径 R 必须满足以下要求:

直径 D 为 102 mm, $R=20 D$;

直径 D 为 152~203 mm, $R=10 D$;

直径 $D \geq 254$ mm, $R=5 D$ 。

我国早期修建的管道大多达不到这一要求。对于热输管道,由于 R 太小,又无固定墩保护,弯头变形,其断面成为椭圆形。四川省的南干线和东北地区的庆铁线(两条)和铁秦线等,弯头都未必满足以上要求。美国早期修建的一些管道,弯头 $R=3 D$,这需要专门研制尺寸小的 Pig。但研制前,必须要摸清情况,以便以后“有的放矢”。

(2)阀门:阀门必须全通,即阀门直径不小于管内径。

(3)三通:三通必须有档条,以防止 Pig 卡在三通处。

(4)管内径公差:根据美国经验,早期修建的管道,个别地段公差过大,有时 Pig 会卡在大小内径交界处,此时 Pig 尾部压力升高,前部压力下降,当压差大到一定程度,足以克服阻力时,Pig 会以高加速度前进,造成 Pig 受损,甚至损坏管道。对于通过 Pig 的要求,不同管径的最大允许偏差 δ 如下:

直径 D 为 102 mm, $\delta=4$ mm;

直径 D 为 152 mm, $\delta=6$ mm;

直径 D 为 203~305 mm, $\delta=10$ mm;

直径 D 为 356~508 mm, $\delta=14$ mm;

直径 D 为 508~914 mm, $\delta=16$ mm;

直径 $D \geq 914$ mm, $\delta=20$ mm。

(5)建议组织全国力量,包括使用部门和研究部门,分工负责,联合攻关,避免低水平重复,力争在 2000 年以前,对所有长输管道进行内检测,建立档案。对新建管道,从开始投运之日起,就建立档案,在竣工资料中要包括内径检测及壁厚检测资料,以此做为基准线。建议由主管部门编制有关规定、法规、条例甚至法律条款,这些不仅是出于保护管道本身,而是对环境以及人民生命财产的保护。

据笔者了解,前苏联从未掌握管道内检测技术,当前事故率居世界之冠。

管道内检测技术,不仅国内急需,而且包括我国台湾省在内的东南亚广大地区均未掌握管道内检测技术,我们要逐步占领这一市场。

(收稿日期:1996-02-28)

编辑:艾德谔