

金属磁记忆检测技术 及东黄输油管线腐蚀检测中的成功应用

林守江

天津市嘉信技术工程公司

摘要：全新的金属磁记忆检测技术（MTM）在埋地钢质管道非开挖条件下实现管体腐蚀定量检测方面具有不可替代的优势。高灵敏传感器阵列的检测仪和应力诊断软件，通过对铁磁性材料的磁记忆效应来检测评判管体上缺陷的应力级别，提供了在不接触管道的条件下，检测和诊断钢制管道安全性的技术手段。MTM 技术的优越性在于对那些不可内检测的管道进行管体缺陷检测，以及对可内检的管道进行验证性的补充检测。通过该技术在 $\Phi 529\text{mm} \times 8$ 中石化东黄线上的成功应用，检测出多处管体内外腐蚀点，已被证明比绝大多数传统的腐蚀检测技术具有更强的适用性和检测能力。

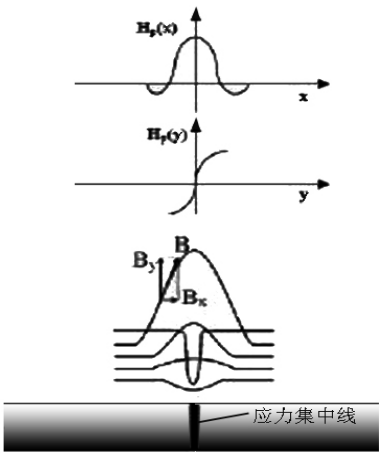
关键词：应力集中、金属磁记忆、MTM、管体检测

一、MTM 的技术原理

MTM（Magnetic Tomography Method）金属磁记忆检测技术是一种无需与被检测的管道进行直接接触，无需对管道施加任何激励信号，便能够在管道上方地面检测出管体腐蚀损伤，评估管道安全级别的创新检测方法。检测人员手持便携式检测仪沿管道路由行走，对管道因制造、建设、运营过程中形成的缺陷、腐蚀损伤而导致的应力集中进行磁扫描，采集铁磁性材料上磁场变化的数据曲线，经腐蚀应力诊断软件的数据处理系统确定出管体上各种类型的缺陷。因非接触管道或侵入管道内部，在整个检测的实施过程中无需中断管道的正常运行。

MTM技术的检测原理是：地球是一个巨大的磁体，地表上到处都分布着可以探测和计量的磁场。由于铁磁性材料的磁弹性作用，使得处在地磁场中的铁磁性材料制成的管道周围同时存在着与管体的应力分布相关联的磁场分布。由物理学的维拉里（Villari effect）效应可知，管体上存在的冶金、机械或介质腐蚀导致的缺陷，都会引起该区域内管体应力的变化，进而导致管道附近和周边区域内磁场发生变化，从而引起管线上方的磁力剖面发生可以探测和测量的变化。这种现象被称之为磁力异常，它是通过高灵敏的磁力仪检测阵列在地面上方进行探测和记录。

此外，管道在运行压力负荷的作用下，铁磁性的工作板材无论何时发生应力集中还是塑性变形，都会导致相应区域内管材发生不可逆转的磁性变化。这些区域内的磁场都会被重新排列，其方向也被相应地改变了。管道上方的磁场不会因为管道负荷的消减而消失（称之为“磁记忆”效应），而该磁场的强度取决于管道内的最大工作负荷^[1]。更详尽的阐述是：由于应力的作用改变磁力线方向180度，在应力峰值点的上方，磁力场的切线（与管道轴向垂直）方向的磁力线为最大，则在与管道径向方向上磁力线强度会变为零。当由



MTM 检测原理图

于腐蚀开裂、金属疲劳损伤以及高温塑性变形损伤等原因导致的应力，都能够由此追溯到这样的磁力改变区域。应用MTM检测系统，将检测数据上传到计算机，使用应力诊断数据处理软件进行分析。专用的应力诊断软件是由复杂的运算程序组成，通过对缺陷周边区域上的应力值的相应改变进行分析和计算，能够检测并定量地评估出所有冶金缺陷、腐蚀或各种形式的地壳运动引起的扭曲、下陷和应力变化造成的危害，评价出每个缺陷的危险等级，计算出管道管体所能承受的运行压力和管道的安全运行寿命。



金属磁记忆检测技术随着开发和设备的逐步完善，已经彻底地改变了对那些无法内检的管道也不能在地面上进行全方位管体腐蚀损伤检测的现状。MTM技术可检测的管线包括：复杂网路结构的燃气配送管网系统、机场航站区域内的航油管线，以及如炼油厂内无法进行内检的储罐间复杂连接管网。对检测出的全部缺陷可以用亚米级GPS坐标以及在管道周向上12点钟的位置标定出来。对于因管道内壁、外壁上的金属蚀失都能够进行检测。而所有这些探测工作均可以在不中断管道的运行条件下进行。检测过程中，无最大、最小介质压力的要求，也不需要特别的设施或管道准备。比起传统的检测方法，这项技术具有更高的检测精度、更低的检测费用，还可以在管线上任意管段内进行检测。

二、MTM 检测的评价结果

MTM 技术是基于缺陷区域内局部应力的相应变化，根据磁-机械效应的机理来评价管道的危险等级的，而不是仅仅针对管体上缺陷的几何尺寸进行评估。也就是，对管道的失效危险等级的评估既要基于管道的几何参数，又要取决于管道缺陷区域上局部机械应力的水平。

在不出现失效事故前提下确定管道的运行参数，是在考虑了管道运行期间的条件以及金属结构的变化模式等因素下进行的。这些相关计算是在缺陷危险等级（F）的整体指数的基础上进行的。而等级指数 F 将管道上方地面的磁场异常的持续长度，磁场强度的分布形状和向量、大小等因素都考虑在内。以管道上金属管体缺陷的危险等级指数（F）为基础，应用下列公式计算获得管道的安全运行压力数值^[4]：

对于第一类危险的管段：

$$P_{\text{safe}} = 0.9P_{\text{operating}} + 0.1P_{\text{operating}} * F$$

对于第二类危险的管段：

$$P_{\text{safe}} = 1.01P_{\text{operating}} + 0.05P_{\text{operating}} * F$$

对于第三类危险的管段：

$$P_{\text{safe}} = 1.06P_{\text{operating}} + (0.95P_{\text{design}} - 1.06P_{\text{operating}}) * F$$

基于这些数据利用下面的公式，可以计算出管道不发生失效事故的运行期限。

$$T_{\text{safe}} = K_p * K_F * K_t$$

其中： $K_p = e^{1-P_{design}/P_{operating}}$

这里：

K_p - 考虑了管道压力的系数；当管道以设计压力运行时， $K_p=1$

$P_{operating}$ - 检测期间的运行压力，MPa

P_{design} - 设计压力，MPa.

K_f - 考虑了缺陷危险等级的系数：

$K_f = -2 \lg \sqrt{1-F}$

K_t - 考虑了管道运行的系数

$K_t = 10T/\Delta T$ (标准的运行年限/已经运行年限)

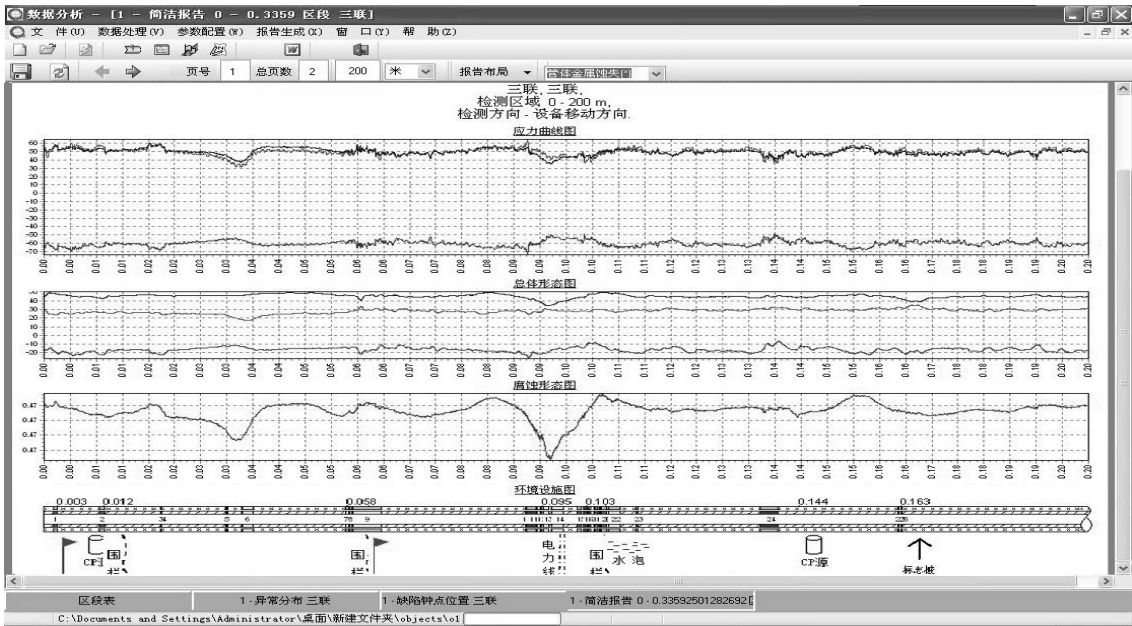
三、检测设备和管道的基本情况

中国石化股份公司管道储运分公司营运的东营至黄岛的原油管线，1974年建成投产，目前承担着由黄岛油库向东营输油站输送进口原油的任务。该管线起自山东省东营市，途经广饶县、寿光市、潍坊市、昌邑市、高密市、胶州市，终到青岛市黄岛区黄岛油库，全线共设置7座输油站，其中东营首站1座，广饶、寿光、潍坊、昌邑、胶州中间站5座，黄岛末站1座(在黄岛油库内)，管线全长251公里。设计最大输油量为650×10⁴ 吨/年，目前实际输油量600×10⁴吨/年。管道的具体参数是：

管道名称	东黄原油管道
管体材质	16Mn
管径和壁厚（mm）	529×8.0
外防腐层类型	沥青玻璃纤维
设计/运行压力（MPa）	3.9/3.2
检测段长度（m）	1 000

对位于山东省潍坊市以东农田丘陵地段的黄线实施检测，应用的设备是：

英国雷迪公司RD8000PDL管线仪（管道的路由探测）；管道金属磁记忆检测G-MTM检测仪（不开挖检测）。接触式TSC-3M-12应力集中磁检测仪、漏磁裂纹检测仪、超声波测厚仪等（进行管道缺陷的开挖验证）。数据分析的软件界面为：



四、 检测的实施过程

2011年9月使用MTM非接触式磁力扫描仪，对潍坊市东侧位于农田丘陵地区的总长度为1Km的中石化东黄线原油管道成功地实施了管体腐蚀损伤的检测^[3]。

根据委托方提供的管道基本信息，在确定检测的时间后，实施了 MTM 的检测过程。检测过程分为四个阶段^[3]：

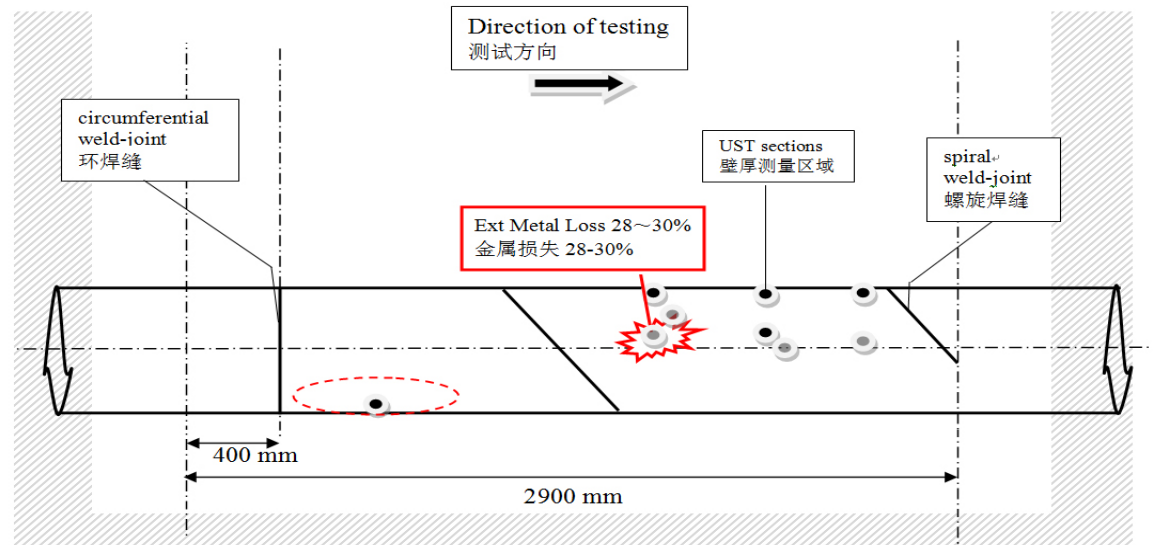
- 1) 管道路由定位及地面非接触式扫描仪进行的地面磁信号收集。
- 2) 在完成对收集的数据进行初步分析之后，出具初步检测报告；
确定开挖校正的数量及开挖的校验点的位置。
- 3) 开挖后，对该段的管道检测结果进行校验。依据校验结果对检测数据进行最终定量分析。
- 4) 出具最终检测报告

五、 检测结果和验证

对东黄线原油管道1km的管段进行的检测，定位出了3个有缺陷的管段，8个异常点。异常点的检测结果信息见下表。

Information about anomalies 异常信息						缺陷类型预测 Predicted Defect Group	最大允许运行压力 MAOP, MPa	计算安全运行年限 Calculated Safe Operation Term, years	安全运行系数 Coefficient of safe operation
异常编号 № anomaly	外腐蚀预测 External corrosion prediction	金属状况 Condition of metal	异常因子等级 Integral index F (danger degree)	时钟位置 Clock position, hhmm	异常长度 Length of anomaly, m				
1	3	3	0,915	6 h 55 m	1,5	Metal loss (**)	3,68	14,8	1,149501
2	3	2	0,503	5 h 28 m	3,5	Metal loss (*)	3,31	4,5	1,035140
3	3	2	0,429	6 h 30 m	3,4	Stress-deformed condition	3,30	3,6	1,031464
4	3	3	0,810	6 h 13 m	1,0	Metal loss (*)	3,65	10,7	1,139267
5	3	3	0,764	8 h 4 m	4,6	Stress-deformed condition	3,63	9,3	1,134746
6	3	2	0,323	6 h 47 m	2,6	Stress-deformed condition	3,28	2,5	1,026131
7	3	3	0,696	6 h 37 m	1,6	Metal loss (*)	3,61	7,6	1,128032
8	3	2	0,399	6 h 33 m	2,4	Metal loss (**)	3,30	3,3	1,029956

其中，在距离检测起始点的 503.8 米处检测出的异常段，开挖了 2.9 米。6 号异常点经超声探伤仪及壁厚测量仪检测，探测出管体的剩余壁厚仅为 4.53mm。计算出的安全系数 1.026，最大安全运行压力为 3.28Mpa，安全运行年限为 2.6 年。运行单位立即对缺陷点进行了抢修（见下图）。





6号异常点的检测和抢修图

维修建议

在MTM的最终检测评价报告中，检测报告对该管段给出的维修建议^[3]是：

中石化东黄原油管线上本次检查管段的总体状况较好，管道以当前压力情况下可以安全运行2年。最晚在2014年2月前，对6号、8号异常点管段，实施修复并且监视管道运行状况。建议每隔两年对管道实施一次检测，这将有助于管理方监视管道上已经存在的异常点，并对新的异常点做出及时的鉴别。

六、结论

通过在 $\Phi 529\text{mm} \times 8$ 中石化东黄线上的成功应用，检测出多处内外腐蚀点，证明了金属磁记忆检测技术（MTM）的优越性，其在于：不但能够对那些不可内检测的管道进行管体缺陷检测，也可以对可内检的管道进行验证性的补充检测。MTM方法具有实施便利、更高的检测精度、更低的检测费用等优点。非接触式的MTM检测技术不但可以检测出管体的腐蚀缺陷、管体的焊接缺陷，还可以计算出管道的安全运行压力，以及管道的剩余寿命，在埋地钢质管道非开挖条件下实现管体腐蚀定量检测方面具有不可替代的优势。东黄线的成功案例已证明了MTM金属磁记忆检测技术比绝大多数传统的腐蚀检测技术具有更强的适用性和检测能力。

参考文献

1. Dubov, A. A study of metal properties using the method of magnetic memory. Metal, science and heat treatment, 1997. Vol. 39, 9-10.
2. NACE SP-0502-2010. Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology. 2010. 外腐蚀直接评价方法
3. 林守江: 东黄 $\Phi 529$ 原油管道检测最终检测评价报告 2011.9
4. ISO 24497. Non-destructive testing – metal magnetic memory- Part 1-3: Vocabulary. 2007.