

doi:10.3969/j.issn.1001-358X.2016.01.014

矿井立井井筒变形检测方法探究

王正洋^{1,2}, 陈 涛^{1,2}, 郑文华^{1,2}

(1. 山东科技大学 山东省基础地理信息与数字化技术重点实验室, 山东 青岛 266590;
2. 海岛(礁)测绘技术国家测绘地理信息局重点实验室, 山东 青岛 266590)

摘要:文中研制了用于矿井立井井筒变形检测的组合式测距装置,确立了通过井筒断面测量及罐道变形检测来检测井筒变形的办法。通过实际工程验证了该方法使用方便,可以获取较精确的井筒及罐道变形值,且测量精度较高。

关键词:组合式测距装置; 断面测量; 变形检测; 精度

中图分类号: TB22 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-358X(2016)01-0046-04

由于受矿井开采造成的疏排水影响,引起深部和浅部含水层失水,含水层产生压缩下沉,进而引起地层沉降,沉降土体对井壁产生向下的摩擦力^[1]。在竖向摩擦力和水平荷载综合作用下,井壁发生纵向变形、环向变形及径向变形,变形到一定程度,井壁就会产生裂缝、剪切甚至位移。而井壁各处位移不同时将会造成井筒变形。由于矿井的排水管路、风压管路、注浆管路以及提升运输罐道等均固定在井壁上,井壁的破坏会引起这些设施发生弯曲、扭曲、断裂等破坏,带来严重后果。因此,在生产运营期间必须进行井筒变形检测和井筒维护。

目前采用的立井井筒变形检测方法大致分两种:一种是传感器法,它是基于岩石力学的参数检测方法。另一种是基于变形检测理论的几何测量法。相比而言国外矿山井筒检测技术比较先进,例如德国 DMT 公司采用的矿山井筒惯性测量系统,简称 ISSM。该测量系统安置在罐笼中,随着罐笼的运动可以较精确地自动测定出罐笼任意时刻的三维坐标,通过测量罐笼坐标的变化计算出罐道偏移,进而推求出井筒移动与变形^[2]。目前国内对该技术研究稍有欠缺,尚未见成品投入使用。

本文基于某矿矿井井深超过 800 m 且罐道变形严重等实际情况提出了一种实用、便捷的井筒检测方法,可供生产单位参考使用。

1 检测方案的提出

在常用的井筒测量方法中:

(1)使用激光投点时,激光垂准仪向上、向下的射程只有 200 m 左右,^[3]由于井筒深度超过 800 m,

需要分段投点以保证测量精度,但要在 800 多米的深井中建立稳定的分段测量平台是难以实现的;

(2)运用倒垂垂线法时,由于井筒较深,倒垂线较长,要求钢丝半径较大,且受风及气流的影响难以保证测量基线稳定,^[4]而且难以量取基线至井壁的距离;

(3)运用井中挂单钢丝的方法时,不但难以保证单钢丝的稳定性,而且很难在直径超过 6 m 的双罐笼井筒中用钢尺测量井中钢丝到井壁的距离与量距方位。^[5]

根据本次检测内容的需要,确定采用钢丝双垂线测量基准,即:从井口封口盘的两端分别下放一根钢丝直至马头门处,在钢丝底部挂上一定重量的重锤,并分别在井筒中部和底部作摆动观测精确测定钢丝的稳定位置,用固定在马头门处井壁上的可调节装置将钢丝固定,形成钢丝双垂线基准。但由于井筒断面较大,难以通过钢尺测量钢丝到井壁测量点的距离及量距的方位。

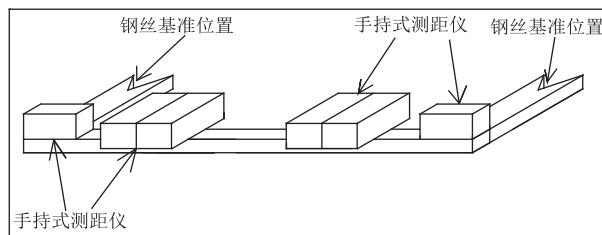


图 1 组合式测距装置

鉴于上述测量难点设计了组合式测距系统:如图 1 所示,该装置由六个手持式激光测距仪和铝合金框架组合而成,装置可以拆卸。六个手持式激光测距仪与框架的几何位置可以调节,使用前用 Leica

Axyz/MTM 工业测量系统(包括两台 TM5100A 电子经纬仪(测角精度 0.5 s),一根标准尺(900.045 mm \pm 0.003 mm))^[6],精确测量各测距仪中心与钢丝基准位置的相对位置关系,并保证各测距仪的测量方向相互垂直。测量时用两端的钢丝基准位置卡槽对准钢丝,六个测距仪分别以不同的方向精确测量到井壁的距离。每次每个测距仪读数三次。

采用上述测量装置测量的六个距离,依据各测距仪中心与钢丝基准位置的相对位置关系以及钢丝的平面坐标,通过几何解算获得井壁各测量点的坐标。并采用 MATLAB 编程对每一盘所测六个点的坐标拟合出一个圆,并求得拟合圆圆心坐标,进而分析井筒变形。

2 井筒变形检测方法 & 数据处理

2.1 断面测量方法

依据不影响提升且便于保护的原则,在井筒合适位置下放两根钢丝(见图 2)。在马头门处对钢丝进行摆动观测,确定其稳定位置后,将钢丝固定作为垂线基准(形成双垂线基准)。在井口位置设立近井控制点,用徕卡 TM30 全站仪精确测量近井控制点的坐标以及钢丝的平面坐标。分别在井口、井筒中部以及井底多次精确测量两钢丝间距,依此确定组合式测量装置框架尺的尺寸。并依据实地观察的井筒中管道、电缆及梯子间的分布位置,确定测距仪在组合式测量装置上的位置(避开井筒中各种构筑物阻挡且使测量点分布均匀),然后采用工业测量系统精确测定组合式测量装置的相互位置关系。

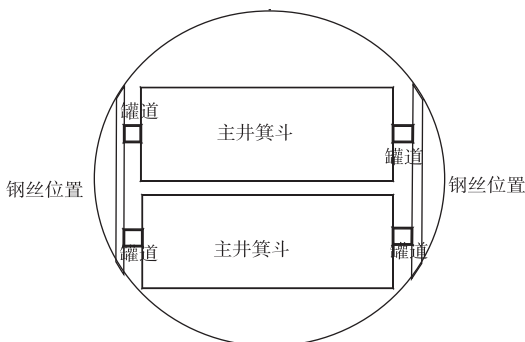


图 2 钢丝位置选择示意图

测量时,测量人员在罐笼顶部采用特制的组合式测量装置,首先将钢丝卡入测量装置的钢丝基准位置并固定,然后采用装置上安装的六个手持式测距仪测量到井壁的距离。断面测量由井下马头门上部现有的罐梁上边沿为基础,沿井筒向上每隔 5 m

(即在每层罐梁处)依次测量六个手持式测距仪至井壁之间的水平距离。

断面测量数据处理:测量结束后,对同一高度处的测距数据分别求出其平均值,依据实测的水平距离及两钢丝的平面坐标,计算出在每个高度位置所测的六个井壁点的平面坐标。采用 MATLAB 软件利用六个井壁点的平面坐标进行圆的拟合,求出井筒每个横断面的圆心的平面坐标及圆半径。在圆的拟合过程中,对于极个别由于注浆等原因造成的井壁某处凸起或脱落而使井壁测量点点位坐标产生的粗差应进行剔除,保证拟合圆圆心坐标的精度。最后,依据圆心的平面坐标及圆半径绘制出井筒在 X 方向及 Y 方向的纵剖面图。

2.2 罐道变形检测

罐道变形检测原理:如图 3 所示,每次在测量井壁的同时,据井筒中悬挂的钢丝(在井口测出钢丝相对十字中线的位置),乘罐笼在每层罐梁处丈量图 3 中 a、b、c、d、e、f、g、h 各长度数值,以及两罐道的水平间距,使每个测点与双基准垂线皆构成三角形。测量结束后,采用“科傻”平差软件,解算每个三角形,得到各测量点的坐标值,从而确定出罐道的垂直度和挠度变形,以及罐道间距的变化。依据解算的各罐道点的平面坐标,绘制出每根罐道竖直程度的纵剖面图,从而对罐道变形进行分析。

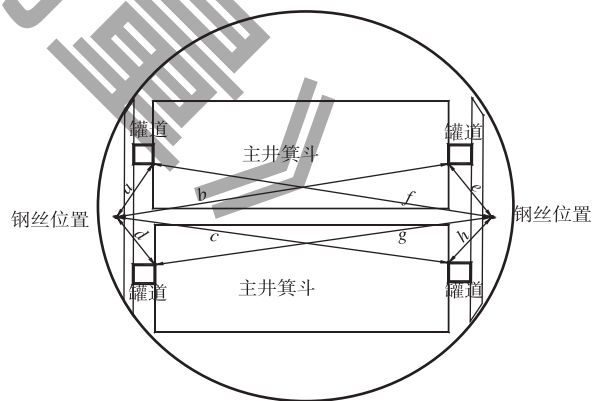


图 3 在每层罐梁处丈量的各长度值示意图

2.3 井筒变形周期性检测。

为了定期对井筒变形情况进行检测,需要建立统一的基准,在本文的井筒检测方法中,以钢丝双垂线为基准,因此每次测量完成后需要保护好钢丝。在实际应用中,为了防止钢丝损坏后对定期检测工作造成影响,还需要保护好近井控制点。而且每次监测都应从地面十字中线点精确测量固定后的钢丝

平面坐标^[5],在测量过程中每次罐笼应停在与每盘罐梁顶部位置,这样使每期测量的井壁点及罐道位置大致相同,便于比较各期井筒变形情况。

3 精度和可行性评价

为了确保实际工程精度,对各种测量装置及设备进行了精度评定实验,过程如下:

3.1 组合式测距系统测距精度评定实验

在平台中央安置组合式测距仪,在测距仪指向的四个方向上安置经检定过的钢尺,施加标准的拉力,将测距仪基准面与标准钢卷尺的零刻度对齐,并将反射板安置在距离测距仪基准面3 m处,安置

误差不大于0.1 mm,如图4所示。使激光光轴正对反射板。以单次测量方式进行测距,四个方向各取3次读数,以平均值作为测量结果 D_i 。各测量点测量值 D_i 与经过温度改正的相应标准钢尺刻度实际值 D_f 之差为 e_i 。

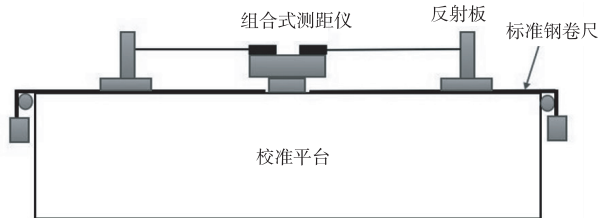


图4 检测台装置

表1 实验结果数据对照表

测段	测距仪示数值/m			测距仪示数均值	改正后钢尺读数	示值误差
	1	2	3	D_i/m	D_f/m	e_i/mm
东	3.026	3.026	3.026	3.026	3.026	0mm
西	3.232	3.232	3.232	3.232	3.231	+1mm
南	3.663	3.663	3.663	3.663	3.663	0mm
北	3.031	3.033	3.031	3.032	3.031	+1mm

如表2所示仪器在3 m左右处测距误差绝对值在0~1 mm之间,测距误差平均值为+0.5 mm符合实际测量要求。

调整反光板位置,将反光板放置在5 m左右,重复上述实验,得到差值 $e_i \leq 1$ mm,测距误差平均值为+0.7 mm,综上所述,系统测距误差符合测量标准,可以进行工程检测。

3.2 激光测距仪投射点偏移误差测定

继续利用图4检测台装置,分别将反光板安置在1 m,3 m,5 m处,利用工业测量系统分别测定激光测距仪轴线延长线与反光板交点位置和投射点的实际位置,求出二者偏差,如下表2所示。

表2 投射点偏移数据表

测段	轴线交点与投射点位置偏差/mm		
	距离1 m	距离3 m	距离5 m
东	0.00 mm	0.01 mm	0.03 mm
西	0.03 mm	0.09 mm	0.12 mm
南	0.02 mm	0.08 mm	0.11 mm
北	0.00 mm	0.02 mm	0.05 mm

根据表2数据得出实际偏移量,可知激光测距仪轴线偏移量在短距离测量(10 m以内)中对测量结果影响微小,每米偏移量平均值为0.014 mm,可对测距误差进行改正。

3.3 在对钢丝进行平面坐标测量时采用徕卡TM30

高精度全站仪按极坐标法测量,仪器标称精度为0.5"、1 mm+0.5 ppm,满足工程测量要求。

3.4 罐道测量需考虑钢尺量距误差,可分为:系统误差包括钢尺尺长比误差及钢丝松垂距的误差;偶然误差包括钢尺温度误差、钢尺拉力误差、钢尺倾斜误差及钢尺读数误差等;第三类非奇非偶误差如风流的影响等^[7]。经某矿井筒实验,由于量距最长不超过6 m,钢尺量距能够满足测量精度要求。

4 实际工程案例

本次工程为山东省某煤矿进行井筒变形检测,按照以上方法进行实地测量,获取数据后绘制井筒断面图。经数据处理,某矿主井断面测量得到的剖面图参见图5、图6。

由以图5、图6可以看出,相对于井口第1盘罐梁处的拟合圆圆心而言,主井分别沿X、Y方向的偏移趋势,结合实测数据,可得沿X方向井筒的最大偏斜量为30 mm(方向向南),沿Y方向井筒的最大偏斜量为348 mm(方向向东)。并通过数据和资料分析可得到该井筒的偏斜主要出现在表土段,另外在靠近井底部位井筒也出现较大偏斜。

罐道测量得到的剖面图如下图7、图8。

由图7、图8可知,相对于井口的第一盘罐梁处

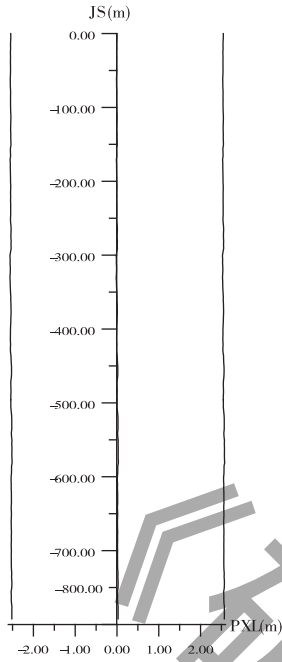


图 5 主井沿 X 方向的纵剖面图

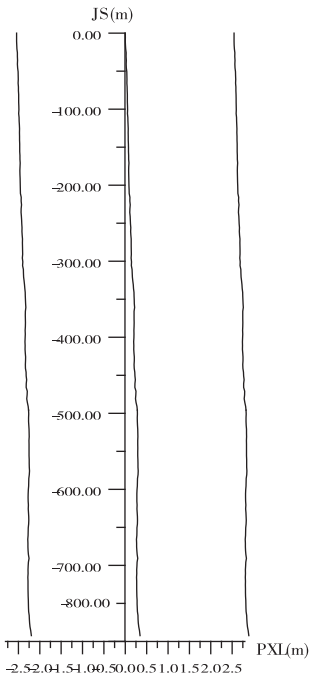


图 6 主井沿 Y 方向的纵剖面图

的罐道而言,主井北罐分别沿 X、Y 方向的罐道变化趋势,结合实测数据,可知北罐笼的东罐道沿 X 方向的最大偏斜量为 55 mm(方向向北),沿 Y 方向的最大偏斜量为 271 mm(方向向东)。北罐笼的西罐道沿 X 方向的最大偏斜量为 34 mm(方向向南),沿 Y 方向的最大偏斜量为 293 mm(方向向东)。同时,可测得南罐笼分别沿 X、Y 方向的罐道变化趋势及偏移量。最终可得罐道的变形情况。

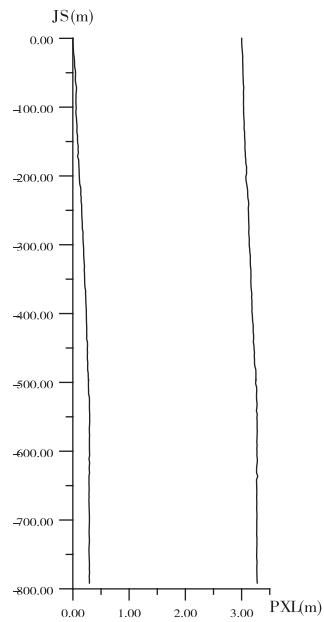


图 7 主井北罐沿 Y 方向的罐道纵剖面图

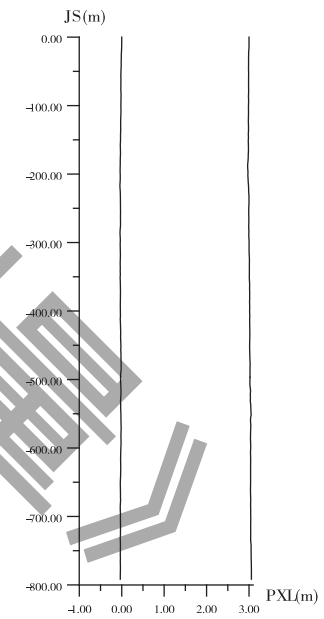


图 8 主井北罐沿 X 方向的罐道纵剖面图

由以上数据可以根据井筒及罐道变形情况对井筒及罐道进行维护,以保证安全生产。

5 结语

本文通过设计一种组合式测量装置,提出了一种针对矿井较深,罐道变形大等复杂情况下的井筒变形检测方法。并通过精度及可靠性评价说明了测量方法的可行性。最终,通过该测量方法得到了可靠的数据,处理数据得到了良好的检测结果。由此,该方法能为实际生产提供依据。(下转第 76 页)

2.3 其他关键技术

2.3.1 虚拟场景中的碰撞检测

在三维虚拟仿真系统的过程中,参与者可以进入场景中并有身临其境的沉浸感。此项目采用了空间分解法与包围盒法相结合的模式,从而提高了项目景区的复杂性和实时性的要求^[8],达到真实的动态效果。

2.3.2 建立虚拟环境中的光照模型

虚拟仿真建模要达到逼真、身临其境的效果,虚拟环境中需要添加模拟真实的光照效果,本项目利用3DSMAX提供的各种环境灯光效果,如探照灯模型、太阳光模型、平行光等,通过光线跟踪、漫反射、阴影等参数设置,可以模拟现实环境中的光照效果^[8]。

3 结 语

本文提出了一套旅游景区三维建模的解决方案,并以1:500的景区地形图和遥感影像为数据源,利用Skyline和3DSMAX为平台软件,完成了旅游景区的三维虚拟建模,最后利用Skyline Pro6.5三维地理信息平台实现了项目区的三维展示系统。事实证明,该三维建模方式具有一定的可行性,能够快速高效的建立大场景旅游景区三维景观模型,能够快速直观地显示、浏览和查询三维信息,满足景区三维建

模的需求。

参考文献:

- [1] 曾敏. 大规模定制关键问题建模与应用研究[D]. 华中科技大学, 2010.
- [2] 阎微. 试论虚拟旅游及其在晋祠的应用[D]. 太原: 山西大学, 2010.
- [3] 韩长红. 虚拟旅游景区漫游系统的研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2011.
- [4] 王克峰. 基于Skyline与3DS Max的3维数字社区综合建模技术探讨[J]. 测绘与空间地理信息, 2012(8).
- [5] 高晋宁. 基于Skyline的城市三维景观模型构建研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2012.
- [6] 刘德利, 张亚双. 数字校园三维景观建模方法的分析与应用[J]. 科技创新导报, 2011(5).
- [7] 王永国. 都市森林景观三维表达技术研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [8] 傅乐. 三维虚拟仿真旅游场景漫游若干关键技术研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2011.

作者简介: 司大刚(1983-), 男, 兰州资源环境职业技术学院, 讲师、本科, 研究方向为3S技术在国土资源领域的应用。

(收稿日期: 2015-11-04)

(上接第49页)

但是怎样提高测量效率及测量精度仍然是该方法改进的方向。

参考文献:

- [1] 胡巍, 隋旺华. 地层失水沉降诱发井筒破裂治理效果的三维数值分析[J]. 岩土力学, 2011, 32: 743-748.
- [2] 房华光, 姜岩, 崔广刚, 等. 井筒变形监测方法与数据处理[J]. 矿山测量, 2010, (10): 48-50.
- [3] 于志龙, 独知行, 狄桂栓, 等. 双激光基准在井筒变形监测中应用的研究[J]. 工程勘察, 2014, 12: 56-60.
- [4] 李青岳, 陈永奇. 工程测量学[M]. 北京: 测绘出版社, 2008.

2008.

- [5] 丁运华, 王和平. 钢丝基准线法井筒变形监测误差分析[J]. 矿山测量, 2001, (4): 8-9.
- [6] 李广云, 倪涵, 徐忠阳. 工业测量系统[M]. 北京: 解放军出版社, 1994.
- [7] 郑文华, 等. 地下工程测量[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007.

作者简介: 王正洋(1989-), 男, 汉族, 河南省桐柏县人, 在读大地测量学与测量工程硕士研究生。

(收稿日期: 2015-11-12)