

# 静力水准仪在海上平台沉降监测中的应用

文世鹏 丛 军 张锡斌

(中石化胜利油田分公司海洋采油厂 山东 东营 257237)

**摘 要:** 埕岛油田中心一号平台是中石化胜利油田埕岛油田南部油区的集中处理平台, 具有脱水、污水处理、注水、发电功能。于1995年投产, 在2013年, 对中心一号生产平台进行二次延寿评估时发现生产平台2#、3#钢桩承载力不能满足规范要求, 存在桩基承载力不足的安全隐患。同时, 对比2016年与2013年平台标高测量数据, 发现该平台排除误差后3年内至少存在2.9~5.7cm的沉降量。为了有效监测平台沉降, 并对短时间内发生快速沉降做出有效预警, 平台业主在中心一生产平台四个固桩室桩腿上安装高精度静力水准仪(仪器标称精度0.1mm), 实时监测平台桩腿沉降情况。

**关键词:** 沉降监测; 静力水准仪; 中心一号平台

**中图分类号:** P642.26 **文献标识码:** C **文章编号:** 2096-1995(2016)35-0012-02

埕岛油田中心一号平台是中石化胜利油田埕岛油田南部油区的集中处理平台, 具有脱水、污水处理、注水功能。目前处理液量8755方/天, 油量1128方/天。其生产平台为四腿式自升平台(原设计为移动平台现改为固定式), 平台长50m、平台宽20m、型深4m。中心一号平台1995年投产, 2009年进行了延寿改造, 延寿期5年, 2014年10月到期。

在2013年, 对中心一号生产平台进行二次延寿评估时发现生产平台2#、3#钢桩承载力不能满足规范要求, 存在桩基承载力不足的安全隐患。主要原因为:

(1) 平台就位设计水深8m, 受海底冲刷的影响, 目前实测11.5m, 海底涂层被冲刷3.5m, 导致四根桩腿侧摩阻力降低。

(2) 四根桩腿入泥深度较浅(当前11.4~13.1m), 无法达到最佳持力层桩端持力层。

对比2016年与2013年测量数据, 排除误差后该平台3年内至少存在2.9~5.7cm的沉降量。平台无有效手段监控桩腿的实际沉降, 无法对平台短时间内发生快速沉降做出报警, 恶劣海况过后只能采用人工搭设脚手架测量平台标高, 存在测量精度低、时效性差的问题, 严重影响平台安全生产及应急决策。

为了有效监测平台沉降, 并对短时间内发生快速沉降做出有效预警, 平台业主单位通过现场调研、并综合设计、科研单位建议, 提出以CB11C平台为基准点, 在11C平台、中心一生产平台四个固桩室桩腿上安装高精度静力水准仪(仪器标称精度0.1mm), 实时监测平台桩腿沉降情况。

## 1 静力水准测量原理

如图1所示为静力水准测量原理及系统的概念图, 该系统主要由静力水准器、连通管、磁位移传感器、数据采集仪(包含GPRS模块)、web显示屏和远程数据终端等部分组成。

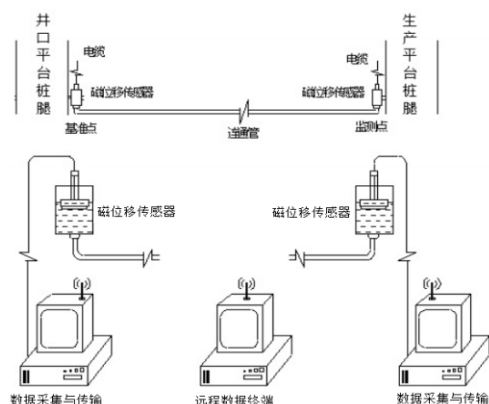


图1 静力水准测量原理及系统的概念图

系统的工作原理为: 在拟监测标高的生产平台的4个桩腿上安置静力水准器, 在井口平台的桩腿上设置基

准点, 在基准点上也安置另一个静力水准器, 各水准器之间采用连通管相连, 这样, 因地球重力作用使得水准器的液面高度永远保持相同, 当监测点的标高变化时, 监测点处的水准器的液面高度会产生变化(液面上升或下降), 同时基准点处的水准器的液面也会随之变化(液面下降或上升), 在水准器的上部各安装一个磁位移传感器, 从而液面高度的变化值可由磁位移传感器精确地探测到, 然后由与磁位移传感器相连的数据采集仪采集, 由采集仪自带的软件根据两液面高度变化值自动推算出监测点处的标高变化量。

监测数据通过现场安装的web显示屏实时显示, 并用GPRS模块将监测数据通过GSM无线通信网传输到远程数据终端, 用户登录远程数据终端可以查看和下载数据。

## 2 静力水准沉降量计算方法

如图2所示, 共布设有5个测点, 1号点为相对基准点, 初始状态时各测量安装高程相对与(基准)参考高程面 $H_0$ 间的距离则为:  $Y_{01}$ 、 $Y_{02}$ ... $Y_{0i}$ ... $Y_{05}$ ( $i$ 为测点代号 $i=0, 1, \dots, 5$ ); 各测点安装高程与液面间的距离则为 $h_{01}$ 、 $h_{02}$ 、 $h_{0i}$ ... $h_{05}$ 则有:  $Y_{01} + h_{01} = Y_{02} + h_{02} = \dots = Y_{0i} + h_{0i} = \dots = Y_{0n} + h_{0n}$

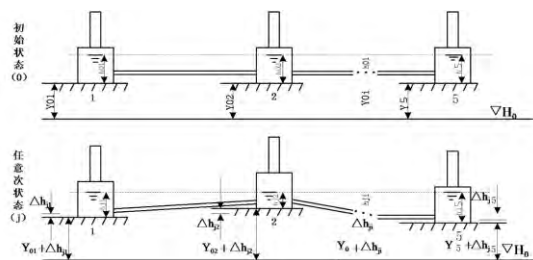


图2 静力水准沉降量计算方法

1) 当发生不均匀沉降后, 设各测点安装高程相对与基准参考高程面 $H_0$ 的变化量为:  $\Delta h_{j1}$ 、 $\Delta h_{j2}$ ... $\Delta h_{ji}$ ... $\Delta h_{j5}$  ( $j$ 为测次代号,  $j=1, 2, 3, \dots$ ); 各测点容器内液面相对于安装高程的距离为 $h_{j1}$ 、 $h_{j2}$ 、...、 $h_{ji}$ 、...、 $h_{j5}$ 。由图可得:

$$(Y_{01} + \Delta h_{j1}) + h_{j1} = (Y_{02} + \Delta h_{j2}) + h_{j2} \\ = (Y_{0i} + \Delta h_{ji}) + h_{ji} \\ = (Y_{0n} + \Delta h_{jn}) + h_{jn}$$

2) 则 $j$ 次测量 $i$ 点相对于基准点1的相对沉降量 $H_{i1}$   $H_{i1} = \Delta h_{ji} - \Delta h_{j1}$

3) 由(2)式可得:  $\Delta h_{j1} - \Delta h_{ji} = (Y_{0i} + h_{ji}) - (Y_{01} + h_{j1})$   $= (Y_{0i} - Y_{01}) + (h_{ji} - h_{j1})$

4) 由(1)式可得:  $(Y_{0i} - Y_{01}) = - (h_{0i} + h_{01})$

5) 将(5)式代入(4)得:  $H_{i1} = (h_{ji} - h_{j1}) - (h_{0i} - h_{01})$

6) 即只要用静力水准仪传感器测得任意时刻各测点容器内液面相对于该点安装高程的距离 $h_{ji}$ (含 $h_{j1}$ 及首次的 $h_{0i}$ ), 则可求得该时刻各点相对于基准点1的相

对高程差。

### 3 静力水准的安装

如图 3 所示:



图 3 静力水准现场安装照片

提前加工静力水准仪安装支架, 将安装支架固定在桩腿或与桩腿焊接在一起的三脚架上, 再将仪器固定在支架上, 连管串连, 安装时每个储液罐要置于标高大致相同的位置, 最大高差不超过 3 厘米。

静力水准连管和数据线走向示意图如下:

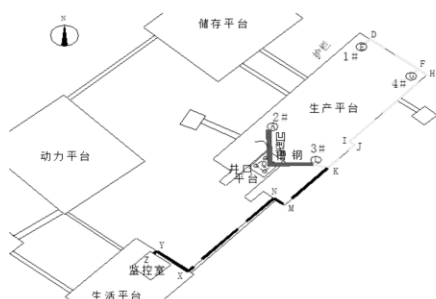


图 4 静力水准连管和数据线走向示意图

走向说明:

① A-Q-L 点连线为凹型槽钢的走向 (比甲板面高 2.7m)。

② E-D-F.....J-K-L 点连线为其它连管和数据线的走向 (沿着护栏的走向)。

③ 所有传感器的数据线汇集到 3# 固桩室附近的护栏 K 点后, 沿着护栏 (即 K-M-N-X-Y-Z 点连线) 汇总到生活平台的监控室。

在 CB11C 井口平台甲板上焊接一个 8 米的三脚架 (焊接在工字钢和井口上), 三脚架露出生产平台甲板面约 3.2m, 在焊接好的三脚架的顶端往下返 0.5 米, 以这个高度为基准, 用凹型的槽钢把三脚架和 2#、3# 固桩室连起来, 如图 5 所示, 用于液位连管 and 传感器数据线的放置。



图 5 井口平台三脚架及与固桩室连接的槽钢现场安装照片

静力水准的连管和数据线, 采用  $\Phi 5\text{cm}$  的塑钢管保护。保护连管和传感器数据线的塑钢管与护栏的固定方式采用 U 型卡或钢丝绑带固定, 以减少生产平台的动火点。

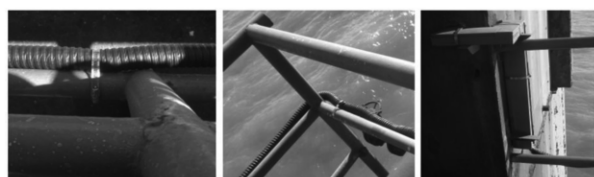


图 6 连管和数据线现场保护照片

### 4 静力水准运行状态

中心一号平台监控室 Web 显示屏实时显示静力水准的监测数据:

测线	ID	即时形变 (mm)	累积形变 (mm)	报警值 (mm)	告警状态	采集时间
CJ-01	5		60.747			
CJ-01	1	0.041	2.537	53.229		2016-08-19 06:27:55
CJ-01	2	0.026	1.933	43.670		2016-08-19 06:27:51
CJ-01	3	0.037	2.792	47.600		2016-08-19 06:27:51
CJ-01	4	-0.055	2.017	48.173		2016-08-19 06:27:51

图 7 web 显示屏上显示的实时测量数据

web 显示屏各数值代表的含义:

① 测线: 表示测线号, 可以根据每个项目的实际情况自行设置。

② ID: 表示传感器的编号, 对应每个测点号, 可以根据每个项目的实际情况自行设置。

③ 即时形变: 从上个采集时间至本次采集时间, 这段时间内的沉降量。

④ 累积形变: 整个采集时间内的累计沉降量。

⑤ 测量值: 每个液罐的液位高度。

⑥ 告警状态: 如果数据超过设计的预警值, 告警状态会显示报警。

⑦ 采集时间: 当前数据采集的时间。

自动化变形监测系统(CRM)						
测线名称	测线ID	即时形变 (mm)	累积形变 (mm)	报警值 (mm)	告警状态	采集时间
电测力水准仪	CJ-01-1	2016-08-09 23:05:08	12.807	5.000	5.000	正常
电测力水准仪	CJ-01-2	2016-08-09 23:05:11	45.811	5.000	47.500	正常
电测力水准仪	CJ-01-3	2016-08-09 23:05:14	46.508	5.000	50.504	正常
电测力水准仪	CJ-01-4	2016-08-09 23:05:17	45.811	5.000	5.256	正常
电测力水准仪	CJ-01-5	2016-08-09 23:05:25	19.719	5.000	5.000	正常

图 8 远程终端显示的实时测量数据

通过远程终端, 在家里或办公室用电脑登陆相关网页可以随时查看和下载实时监测数据。

### 5 静力水准测量成果

(1) 静力水准显示的各桩腿沉降变化曲线

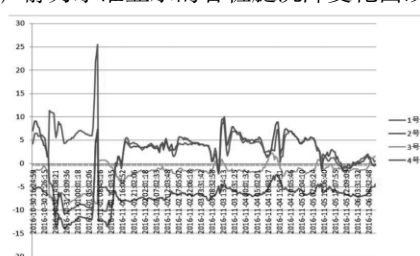


图 9 10 月 30 日 -11 月 6 日数据综合对比

注: 正值表示上升, 负值表示下沉。

(2) 静力水准沉降量分析

如果仅从静力水准显示的累积形变 (mm) 看, 各桩腿均存在某一时段发生“下沉”然后又“上升”的趋势 (上下“振幅”)。

原因分析: 静力水准仪液灌的液位发生变化, 才会导致桩腿发生“下沉”或“上升”的现象, 通过人工多次量取的液位高度跟静力水准仪测出的液位高度进行核实比较, 静力水准仪显示的液位变化是正确的。海上平台的受力很复杂, 比如涨落潮引起的海流等, 可能导致桩腿发生可逆的倾斜 (或轻微的弯曲)。通过人工常规水准测量, 在静力水准运行的这段期间内, 4 个桩腿均未出现明显的沉降, 静力水准仪的液位发生变化, 并不是桩腿真实沉降的反应, 而是受到其它尚不确定的外力作用的影响。

系统自 2016 年 8 月 18 日运行至今, 共采集数据 4320 组, 由于平台受海浪、潮汐、风、平台设备震动等外力影响, 数据围绕基准线上下波动。

设备运行期间经历 3 米以上恶劣海况 5 次, 2 米以上恶劣海况 21 次, 在节省测量费用方面取得较高经济效益。同时, 该系统每半小时提供实时监控数据, 可作为判断平台结构安全的重要支持数据, 为决策提供依据; 在恶劣海况等特殊时期, 取代人工测量标高, 避免人员发生危险; 取得大量高精度的测量数据, 为平台在各种海况下的结构状态研究提供宝贵的现场数据。在平台结构安全预警, 平台结构状态监测等方面发挥了不可替代的作用。