



利比亚西部管道阴极保护技术

胡士信* 窦宏强 刘桂志

(中国石油天然气管道工程有限公司)

张万军 荀津辉

(中国石油天然气管道通信电力工程总公司)

胡士信 窦宏强等:利比亚西部管道阴极保护技术,油气储运,2005,24(11) 28~32。

摘 要 利比亚西部管道平行敷设两条不同管径的原油管道和天然气管道,通过对其阴极保护系统的预试运,发现管道的电位出现异常的波动,且波动幅度超过了允许范围,管道可能存在杂散电流的干扰。通过对管道正常运行下的 IR 降、全线保护电位以及同步电位和交流干扰进行测试分析,成功地解决了管道阳极接地电阻问题、无电地区的电源问题以及杂散电流干扰问题、使该管道阴极保护参数处于理想状态。

主题词 输油管道 阴极保护 阳极接地电阻 技术

一、概 述

利比亚西部输油管道南自 Wafa,北止 MELLITAH,全长 525 km,平行敷设两条管径为 DN400 的原油管道和管径为 DN800 的天然气管道,全线共设有两座清管站、16 座阀室和 10 座阴极保护站。该输油管道采用 3 PE 防腐层,并施加强制电流阴极保护系统对两条管道进行腐蚀控制,阴极保护系统于 2004 年 5 月完成施工,同时开始预试运工作。在管道自然电位测试期间发现管道的电位出现了异常的波动,且波动幅度超过了允许范围,管道可能存在杂散电流的干扰问题。

2004 年 9 月,由施工单位、业主、SSS 公司和设计方对设备进行了两次联合调试,完成了所有阴极保护站设备的预试运工作,并对杂散电流干扰严重的末段(LVS15—MELLITAH 段)进行了管道杂散电流干扰问题的现场检测和测试,内容包括寻找干扰源、干扰电位的分布规律等现场测试,基本上对管道的 DC 杂散电流干扰问题有了认识。

二、管道阴极保护系统

1、管道设计参数的选择

由于利比亚西部管道的设计单位有变动,因此在管道设计参数方面差异很大。例如,电流密度按土壤电阻率分段取,不高于 $20 \Omega \cdot m$ 为 $100 \mu A/m^2$; $20 \sim 100 \Omega \cdot m$ 为 $50 \mu A/m^2$; 不低于 $100 \Omega \cdot m$ 为 $20 \mu A/m^2$ 。管道保护电位(V_{off})为 $-0.95 \sim -1.50 V(CSE)$ 。

2、阴极保护系统的组成

两条平行管道采用联合保护,在测试桩内跨接,全线共设 10 座阴极保护站(CP),分别设在首站(CP-1)及 2 号阀室(CP-2),3 号阀室(CP-3),4 号阀室(CP-4),1 号清管站(CP-5),8 号阀室(CP-6),10 号阀室(CP-7),11 号阀室(CP-8),13 号阀室(CP-9),15 号阀室(CP-10)。

阴极保护由电源和辅助阳极组成。除首站采用站内交流电源外,其它 9 座均采用太阳能电池供电。另外,在阀室内共用太阳能电池系统的还有通讯、自

* 065000,河北省廊坊市金光道 22 号;电话:(0316)2073520。

动化及站内电动阀。为了平衡两条管道上的电流,在汇流点均采用了串联电阻调节。

该管道经过地区几乎全是沙漠,土壤电阻率非常高,给阴极保护系统所用辅助阳极地床的设计和施工带来很大难度。采用盐处理、换土和浇水等措施,成功地解决了阳极接地电阻不大于 6 Ω 的要求。阳极采用预包装的 SiFe 阳极,10 座阴极保护站的阳极接地电阻测量数据见表 1。

表 1 阳极接地电阻测量参数

位置	阳极支数 (个)	电阻 (Ω)	位置	阳极支数 (个)	电阻 (Ω)
CP-1	80	1.790	CP-6	10	4.330
CP-2	42	3.070	CP-7	30	1.830
CP-3	10	2.360	CP-8	55	3.460
CP-4	35	0.803	CP-9	10	1.137
CP-5	100	4.24/5.68	CP-10	15	3.380

注 CP-5 因电阻率太高而建有两组阳极。

3、各站电源工作参数

阴极保护站建成后开始投产前的初步调试,10 座 CP 站的工作参数见表 2。根据表 2 中的实际电流输出量,计算出管道的保护电流密度为 2.08 μA/m²。在测试中发现,CP-3 和 CP-4 两座站内管网和站内接地排短路,造成了大量的电流流失。

表 2 预试运结束后设备的工作参数

阴极保护站	阀室/站场	电压 (V)	电流 (A)	电位(CSE) (V)	运行方式
CP-1	Wafa 站	1.80	0.60	-1.80	恒电位
CP-2	LVS-2	1.17	0.13	-1.48	恒电位
CP-3	LVS-3	1.67	0.02		恒电流
CP-4	LVS-4	1.98	0.22	-1.49	恒电流
CP-5	PTS-1	1.56	0.28	-1.62	恒电流
CP-6	LVS-8	5.60	0.13	-1.52	恒电流
CP-7	LVS-10	1.60	0.10	-1.72	恒电流
CP-8	LVS-11	1.91	0.60	-1.46	恒电位
CP-9	LVS-13	1.20	0.07	-1.49	恒电位
CP-10	LVS-15	1.30	0.13	-1.45	恒电位

注 数据仅为设备初步调试后的设置值,CP-3 和 CP-4 两站漏电严重需重新设置。

4、正常运行下的 IR 测试

2004 年 9 月 10 日,采用 NACE TM 0497 -

2002 标准中附录 C 的方法,使用测试探头在管道上进行测试,以了解正常运行下的管道阴极保护电位中的 IR 降,测试数据见表 3 和表 4。

表 3 管道电位测量中 IR 降成分

序号	地表参比 V _{on} (CSE) (-V)	探头电位(CSE)(-V)		IR 降 (mV)
		V _{on}	V _{off}	
1	1.615	1.157	1.085	530
2	1.620	1.163	1.086	534
3	1.636	1.168	1.093	540
4	1.631	1.167	1.101	530
5	1.633	1.168	1.094	539

注 测试地点为 2 号清管站。

表 4 管道电位测量中 IR 降成分

序号	地表参比 V _{on} (CSE) (-V)	探头电位(CSE)(-V)		IR 降 (mV)
		V _{on}	V _{off}	
1	1.354	0.909	0.876	478
2	1.380	0.900	0.868	512
3	1.750	0.966	0.916	834
4	1.570	0.968	0.929	641
5	1.479	0.975	0.931	548

注 测试位置为 490 KP(公里桩)处。

5、全线保护电位

对全线保护电位采用先进的通/断电测试方法分段进行,设置在清管站 PTS-1 和 PTS-2 的主干线上的绝缘接头将管道分为三段,每段管道长度分别为 207 km、150 km 和 168.3 km,分段进行测试,测得的电位见表 5。2004 年 9 月 27 日 PTS-1 和 PTS-2 之间电位测量结束。对末段管道测量时发现,安装通断器后,在 11 号(CP-8)阀室两侧很长一段距离的通电电位在 -1.4 V 左右,但断电电位仅为 -0.6 V,重新对 11 号阀室的保护参数进行调试,当日 12:30 将电流从 0.56 A 调至 1.20 A,14:30 返回测量发现,电位全线飚升,278 km 处通电电位(V_{on})达 -3.3 V,断电电位(V_{off})为 -1.45 V,当 11 号阀室把电流从 1.2 A 调回到 0.8 A 时,断电电位(V_{off})可达 -1.5 V。从首站到 1 号清管站的测量是在排除 CP-3 和 CP-4 两站接地故障后进行的。全线电位测试的数据列于表 5。

表 5 全线通断电电位测量数据

序号	桩号 (km)	通电电位 V_{on} (mV)		断电电位 V_{off} (mV)		备 注
		输油管道	输气管道	输油管道	输气管道	
1	0.5	-2.06	-2.12	-1.07	-1.080	2004 年 10 月 22 日排除 3 号、4 号两座阀 室的接地后 测量
2	5.0	-2.16	-2.15	-1.16	-1.190	
3	10.0	-2.25	-2.14	-1.29	-1.220	
4	20.0	-2.05	-2.16	-1.14	-1.200	
5	30.0	-2.14	-1.96	-1.23	-1.060	
6	40.0	-2.22	-2.16	-1.30	-1.280	
7	50.0	-2.12	-2.05	-1.24	-1.160	
8	60.0	-2.12	-2.07	-1.26	-1.220	
9	70.0	-2.08	-2.09	-1.25	-1.260	
10	80.0	-2.05	-2.06	-1.22	-1.260	
11	100.0	-1.99	-2.05	-1.22	-1.260	
12	120.0	-1.98	-2.00	-1.27	-1.270	
13	140.0	-1.90	-2.08	-1.22	-1.320	
14	160.0	-1.90	-1.95	-1.20	-1.290	
15	180.0	-1.98	-1.93	-1.28	-1.240	
16	190.0	-1.98	-2.00	-1.27	-1.280	
17	200.0	-1.96	-1.97	-1.26	-1.270	
18	206.0	-1.98	-1.95	-1.28	-1.240	
1	208.0	1.65	1.63	1.18	1.160	2004 年 9 月 27 日 CP-6 和 CP-7 工作并 通断测量
2	218.0	1.58	1.56	1.09	1.080	
3	228.0	1.58	1.59	1.08	1.090	
4	238.0	1.60	1.62	1.09	1.090	
5	248.0	1.73	1.68	1.18	1.130	
6	258.0	1.77	1.74	1.21	1.190	
7	268.0	1.76	1.72	1.33	1.330	
8	278.0	1.69	1.67	1.29	1.280	
9	288.0	1.71	1.69	1.21	1.130	
10	298.0	1.62	1.63	1.11	1.120	
11	308.0	1.58	1.60	1.14	1.060	
12	318.0	1.62	1.62	1.09	1.240	
13	328.0	1.58	1.59	1.06	1.060	
14	338.0	1.56	1.54	1.05	1.290	
15	348.0	1.54	1.54	1.08	1.240	
16	356.0	1.58	1.59	1.13	1.240	
1	366.0	2.36	2.40	1.23	1.270	2004 年 10 月 1 日, CP-8、 CP-9 和 CP-10 工作并通断 测量
2	376.0	2.30	2.27	1.15	1.150	
3	386.0	2.20	2.20	1.10	1.090	
4	396.0	2.30	2.26	1.18	1.180	
5	406.0	2.15	2.14	1.09	1.080	
6	416.0	2.02	2.02	1.27	1.290	
7	426.0	2.00	1.99	1.01	0.998	
8	436.0	2.04	2.00	1.03	1.030	
9	446.0	2.11	2.08	1.14	1.120	
10	456.0	2.07	2.07	1.15	1.140	
11	466.0	2.20	2.19	1.28	1.240	
12	476.0	2.23	2.23	1.34	1.330	
13	486.0	2.32	2.27	1.41	1.410	
14	496.0	2.22	2.23	1.35	1.360	
15	506.0	2.18	2.17	1.28	1.290	
16	516.0	2.04	2.06	1.21	1.210	
17	525.0	1.99	1.98	1.12	1.210	

三、杂散电流干扰与调试

杂散电流是由电力设备产生的经由金属导体在电解质(土壤、水)里流动的一种电流,它可能是由直流电或交流电产生的。杂散电流既能在土壤中流动,又能在金属导体(如管道和电缆套管)里流动。在直流电流离开这些导体进入周围电解质的部位,会引起阳极性腐蚀。

1、同步电位测试

在自然电位测试中发现,管道存在严重的杂散电流干扰,其主要干扰段发生在 15 号阀室以后的管段,为了比较 15 号阀室两侧的杂散电流干扰影响程度,于 2004 年 9 月 22 日对 15 号阀室两侧的杂散电流干扰进行测量,选取 500 km 为一固定测试点,并在阀室的阴极保护设备上安装了自动记录仪,15 号阀室(CP-10)24 h 杂散电流干扰测量结果见图 1、表 6 和表 7。

表 6 15 号阀室 Mellitch 方向同步干扰测试数据

序号	时间	同步电位 (mV)					
		500 km	505 km	510 km	515 km	524 km	525 km
1	9:39	-1.231	-1.210	-1.108	-1.105 7	-0.932	-0.95
2	10:04	-1.501	-1.527	-1.471	-1.501 3	-1.429	-1.45
3	10:55	-1.631	-1.692	-1.703	-1.752 3	-1.711	-1.75
4	11:23	-1.685	-1.739	-1.760	-1.806 7	-2.008	-1.81
5	11:44			-1.943	-2.015 8	-2.118	-2.09

表 7 15 号阀室 Wafa 方向同步干扰测试数据

序号	测试时间	同步电位 (mV)					
		475 km	480 km	485 km	490 km	495 km	500 km
1	15:53			-1.185	-1.166	-0.99	-0.893
2	16:31	-1.375	-1.305	-1.253	-1.508	-1.20	-0.989
3	17:06	-1.382	-1.370	-1.426	-1.484	-1.36	-1.333
4	17:25	-1.520	-1.540	-1.573	-1.389	-1.62	-1.626
5	17:40	-1.475	-1.496	-1.510	-1.281	-1.53	-1.528

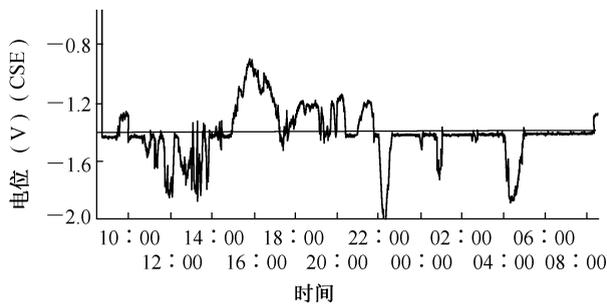


图 1 15 号阀室(CP-10)24 h 干扰测试曲线

2、交流干扰的测试

在清管 1 和清管 2 一段,长距离管道与高输电线路平行(超过 100 km),有可能对管道造成交流感应影响,通过实测证明了这种预测。2004 年 9 月 10 日上午测得的交流电位见表 8。

表 8 交流感应电位

桩号	AC(V)	DC(V)	桩号	AC(V)	DC(V)
335	5.12	-1.73	290	10.80	-1.62
330	3.44	-1.66	285	10.60	-1.70
325	1.75	-1.67	280	10.50	-1.67
320	1.99	-1.66	275	9.90	-1.69
315	3.60	-1.63	270	9.10	-1.77
310	5.70	-1.60	265	8.30	-1.75
305	7.47	-1.61	260	7.20	-1.76
300	8.80	-1.61	255	6.05	-1.59
295	9.90	-1.66	250	4.23	-1.63
294	10.00	-1.70	245	3.17	-1.63

四、数据分析

1、 保护参数

管道保护电位可以执行最小值 -0.95 V ，但应尽量避免最大值 -1.50 V ，在沙漠地带有时电位波动很大，不易控制。通过投产实践，初步调试后电流密度为 $2.08\ \mu\text{A}/\text{m}^2$ 。这是在 CP-3 和 CP-4 两座站漏电未处理前的数据，按照其它段的数据计算，若无漏电问题，电流密度应为 $1.0\ \mu\text{A}/\text{m}^2$ 。

2、 全线保护电位

从表 5 中可以看出，通电电位 V_{on} 应在 -2 V 范围，最大值为 -2.40 V 。断电电位 V_{off} 应在 -1.10 V 范围，最小值为 -0.998 V ，最大值为 -1.36 V 。由于沙漠的电阻率高且防腐层的电阻较大，因此，管道的 IR 降一般在 600 mV 左右，有时可达 $1\ 000\text{ mV}$ 。在这种情况下，管道管理应以断电电位测量值为准。

3、 干扰影响下的保护效果

施加阴极保护是排除杂散电流干扰影响的行之有效的有效的手段，针对阴极保护后干扰造成的保护电位的波动，将自动记录的数据进行分析和处理，可得到 CP-9 和 CP-10 所占的比例分别为，小于 1.2 V 的为 5.764% 和 0.417% ；大于 2.0 V 的为 0.347% 和 7.708% ；低于 0.85 V 的为 1.11% 和 0 。测试中的极端数据见表 9。

表 9 干扰条件下 CP-9 和 CP-10 两站极端值

站场	管道电位(V)	
	最大值	最小值
CP-9	-2.18	-0.65
CP-10	-2.40	-1.00

从表 9 可以看出，所测管道电位均为负值，按 NACE RP 0169-2002^[1] 标准中准则判断均在保护范围内，其最小值出现时间可以忽略不计。按杂散电流排除标准应属理想状态。

4、 CP-10(15 号阀室)两侧干扰电位分析

从表 6 和表 7 可以看出，表 6 中的各点电位波动幅度远大于表 7 中各点的电位波动幅度，可见干

扰影响 15 号阀室 Mellitch 方向比 Wafa 方向严重。对应的 15 号阀室阴极保护仪器中的干扰曲线(见图 1)可直接看出各次峰值的顶点。

调查和测试表明，可能的干扰源是位于管道东部的大型发射电台，而本次测得的自动记录的曲线上，夜间都会出现干扰峰值。从表 6 中可以看出，在 515 km 和 524 km 处干扰较严重，可能是距干扰源最近的位置，对于其它干扰源还不能完全排除。

五、结 论

通过对利比亚管道工程阴极保护系统的调试和分析，可以得出以下结论。

(1)由管道电位测试表明，即使存在杂散电流干扰，管道的保护电位仍符合国际通用的保护准则的要求，属理想范围内。

(2)管道上存在着严重的杂散电流干扰，可能的干扰源是位于管道东部的大型发射台。若要进一步证实，需要进行干扰源侧和被干扰侧的同步测量。

(3)管道上的交流干扰尚未超出 NACE RP 0177-2002^[2] 和 Afk3^[3] 标准中的规定，可以不予考虑，但应在管理中长期监测其交流电位的变化，若超出标准范围应做出安全防护。

(4)该管道的防腐层质量良好，电流密度估计为 $1\ \mu\text{A}/\text{m}^2$ ，在保护状态下，通电电位中的 IR 降应为 $500\sim 600\text{ mV}$ ，在正常运行时可适当减少阴极保护站的工作数量。

(5)为了减轻杂散电流干扰影响，建议将清管 1 和清管 2 两处的绝缘跨接线断开。

参 考 文 献

1. NACE RP 0169-2002 Control of External corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.
2. NACE RP 0177-2000 Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems.
3. Afk - Empfehlung Nr. 3, ZfGW - Verlag, Frankfurt 1982; Techn. Empflg. Nr. 7, VWEW - Verlag, Frankfurt 19.

(修改稿收到日期:2005-02-22)

编辑:吕 彦