

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2018.01.004

城镇燃气厂站区域阴极保护方案研究及应用

□ 北京市燃气集团有限责任公司 (100011) 刘瑶 尹志彪 邢琳琳 陈涛涛 张辉 褚大军
□ 北京科技大学 (100083) 鲁丹平

摘 要: 区域阴极保护技术作为有效的防腐措施已经在国内长输油气管道站场得到了普遍应用,但在城镇燃气厂站应用较少。本文探索了区域阴极保护技术在城镇燃气厂站的应用,通过资料调研、现场试验和基于数值模拟计算技术的阳极地床方案优化等手段确定了厂站区域阴极保护方案,并在实际厂站进行了实施,实施后的阴极保护效果测试表明达到了理想的保护效果。该工作可为区域阴极保护在城镇燃气厂站的应用和推广提供参考。

关 键 词: 区域阴极保护 城镇燃气厂站 现场试验 数值模拟技术 方案优化

Research and Application of Regional Cathodic Protection for City Gas Stations

Liu Yao, Lu Danping, Yin Zhibiao, Xing Linlin, Chen Taotao, Zhang Hui, Chu Dajun

Abstract: As an effective anticorrosion measure, regional cathodic protection has been widely used in oil and gas transmission stations, but it has less application in city gas stations. This paper explore the application of cathodic protection technology in the area of city gas stations. By means of data investigation, field test, and scheme optimization of anode ground bed based on numerical simulation technique, the program of regional cathodic protection for the city gas stations is determined, and applied in the stations. The test after application proves that it has achieved the desired effect. The work can provides reference for application and popularization of regional cathodic protection in city gas stations.

Keywords: regional cathodic protection city gas Stations field test numerical simulation technology scheme optimization

1 前言

近年来,区域阴极保护技术作为一种有效减缓埋地管道腐蚀的措施已经在输油气站场、压气站等长输管道站场得到广泛应用^[1-3]。然而,到目前为止,大多数城镇燃气厂站仍没有实施区域阴极保护,随着

厂站运行时间增长,埋地管道涂层破损逐渐严重,腐蚀风险不断增高。2015年9月,某燃气厂站埋地管道发生外腐蚀穿孔,导致燃气泄漏,现场测试发现,穿孔部位管地电位仅为 -0.53V (CSE),由于所处位置地势低洼,土壤腐蚀性强,管线防腐层已经破损,再加上没有施加阴极保护,造成了较高的腐蚀风险。因

此，为了保证城镇燃气厂站埋地管道的安全运行，区域阴极保护的施加迫在眉睫。

城镇燃气厂站具有站内空间狭小、接地众多、被保护埋地管道与接地连接点较多、电流需求量大等问题，因此，针对燃气厂站的有效区域阴极保护设计具有一定难度。数值模拟计算技术为燃气厂站区域阴极保护方案的有效设计提供了有效解决途径，其能够有效预测阴极保护系统的电位分布，在设计阶段及时调整阳极地床形式和分布位置，避免屏蔽和干扰现象的发生，最大程度上减少后期人力物力的浪费。

本文探索了区域阴极保护技术在城镇燃气厂站的应用，通过资料调研、现场测试及基于数值模拟计算技术的阳极地床优化设计等手段确定了待研究厂站的区域阴极保护方案，并进行了实施，实施后的阴极保护效果测试表明达到了理想的保护效果。该工作可为区域阴极保护在燃气厂站的应用和推广提供参考。

2 燃气厂站区域阴极保护方案设计

2.1 厂站概况调研

待研究厂站建于2002年，占地面积751.2m²，站

内设有室外过滤器组、调压间、放散管和排污井等工艺流程。该站的主要保护对象为厂站内所有埋地管道，同时，鉴于站内接地数量多，且难以一一断开，因此站内的防雷接地（埋地部分）也列入被保护对象中。

为保证设计的准确性，在对该厂站进行阴极保护设计前，先通过查阅厂站设计资料和施工资料，熟悉站内工艺流程，并获得了站内埋地管道数量、分布位置、尺寸、埋深和防腐涂层以及防雷接地分布和接地材料尺寸等基础信息，对于位置不明的埋地金属结构物进行现场核实和测量，结合以上信息绘制了现场埋地管道和接地分布图，如图1所示，为现场测试临时阳极地床位置的选取和几何模型的准确建立提供参考。

2.2 厂站现场测试

现场测试主要内容包括埋地结构物位置核实、土壤电阻率测试和馈电试验3部分。

2.2.1 埋地结构物位置核实

通过对比设计图纸和厂站现场实际情况，对厂站工艺流程和管道走向等信息进行核实、测量和确认。

2.2.2 土壤电阻率测试

土壤电阻率测试目的是为判断该站的土壤腐蚀特性，并为后面建模中土壤参数设置提供信息。由

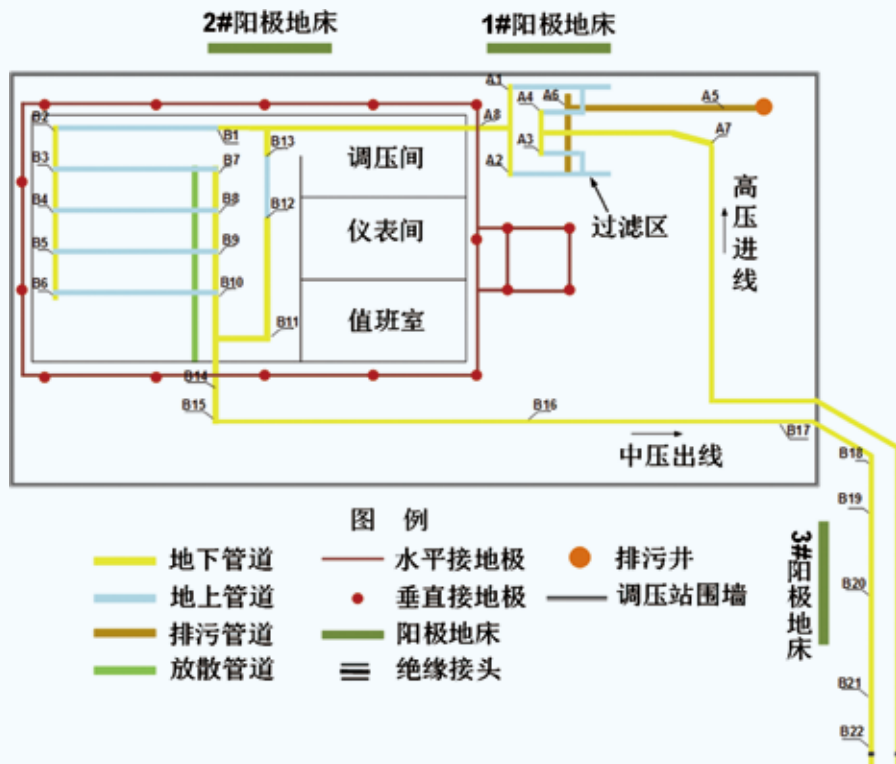


图1 厂站埋地结构物分布图

于该厂站面积较小,在厂站周围只选择了两处露土点,利用ZC-8接地电阻测量仪对站内土壤电阻率进行了测试。测试结果如表1所示,平均土壤电阻率为 $21.98\Omega\cdot\text{m}$,属于强腐蚀性土壤。

表1 厂站土壤电阻率测试结果

测试点	1#	2#	平均值
土壤电阻率/ $\Omega\cdot\text{m}$	18.84	25.12	21.98

2.2.3 馈电试验

馈电试验即在站场建立临时阴保系统,分区对站内埋地设施进行临时保护,检测埋地设施的电位分布和相应的电流需求量,分析确定站内的电流流失点、屏蔽区域和干扰等严重影响阴极保护效果的情况^[4]。

在馈电试验开始前,先对站内埋地管道自腐蚀电位进行测试,然后综合前期获得的站内埋地管道数量、分布位置及可开挖空间等信息,在该站开挖3处临时阳极地床。临时阳极采用规格为 $1\ 500\text{mm}\times 50\text{mm}\times 4\text{mm}$ 的镀锌扁铁,每处阳极地床布置3支扁铁。采用直流电源提供阴保电流,从电源正极引出一根电缆连接临时阳极地床,再从电源负极引出一根电缆先连接断路器,再连接管道,馈电前先关闭断路器通断状态,打开电源调试完电流输出大小后,开始进行极化,各阳极地床输出和极化时间如表2所示。待极化完成后,打开断路器通断状态,记录3处临时阳极地床保护下的各测试点管道通断电位,统计结果如表3所示($V_{\text{自}}$:自腐蚀电位, V_{on} :通电电位, V_{off} :断电电

位, ΔV :断电电位相对于自然电位的偏移值)。

表2 各阳极地床保护下的电源输出参数

地床编号	1#阳极地床	2#阳极地床	3#阳极地床
极化时间/h	2	1	1
输出电压/V	40	32.2	24.2
输出电流/A	0.6	2	2

从馈电试验结果可以看到,在1#阳极地床保护下,管道通电电位分布范围为 $-0.64\text{V}\sim -1.46\text{V}$ (CSE),断电电位分布范围为 $-0.52\text{V}\sim -0.66\text{V}$ (CSE),以 100mV 极化电位偏移准则作为判断管道是否得到有效保护的标准,可以看到位于调压间内的B1、B10、B12、B19测试点没有得到有效保护($\Delta V < 100\text{mV}$),存在轻微屏蔽现象;在2#阳极地床保护下,通电电位分布范围为 $-1.11\text{V}\sim -1.74\text{V}$ (CSE),断电电位分布范围为 $-0.66\text{V}\sim -0.8\text{V}$ (CSE),极化电位偏移均满足 100mV 准则;在3#阳极地床保护下,埋地管道通电电位分布范围为 $-0.78\text{V}\sim -3.96\text{V}$ (CSE),断电电位分布范围为 $-0.63\text{V}\sim -0.87\text{V}$ (CSE),同样也满足 100mV 准则,但围墙外管道电位衰减很快,由此判断该段管道涂层质量较差,极化较为困难。

2.3 基于数值模拟技术的阳极地床优化设计

阳极地床的形式和分布位置是区域阴极保护设计关注的重点之一。数值模拟技术的出现为阳极地床的有效设计提供了准确的参考依据。为了获得该厂站的阳极地床分布方案,本文采用数值模拟计算技术进

表3 各阳极地床保护下管道极化前后电位

位置	编号	$V_{\text{自}}/\text{V}$, vs.CSE	1#阳极地床			2#阳极地床			3#阳极地床		
			V_{on}/V , vs.CSE	V_{off}/V , vs.CSE	ΔV , mV	V_{on}/V , vs.CSE	V_{off}/V , vs.CSE	ΔV , mV	V_{on}/V , vs.CSE	V_{off}/V , vs.CSE	ΔV , mV
过 滤 间	A1	-0.5	-1.46	-0.62	-120	-1.74	-0.74	-240	-1.14	-0.68	-180
	A2	-0.49	-0.86	-0.63	-140	-1.25	-0.75	-260	-1.03	-0.7	-210
	A3	-0.47	-0.97	-0.62	-150	-1.37	-0.74	-270			
	A4	-0.47	-1.07	-0.63	-160	-1.47	-0.75	-280			
	A5	-0.47	-1.05	-0.61	-140	-1.44	-0.73	-260			
	A6	-0.5	-1.1	-0.63	-130	-1.45	-0.74	-240			
	A7	-0.48	-0.96	-0.6	-120	-1.36	-0.7	-220			
	A8	-0.5	-1.01	-0.65	-150	-1.47	-0.75	-250	-1.04	-0.7	-200

(续表)

位置	编号	$V_{自}/V,$ vs.CSE	1#阳极地床			2#阳极地床			3#阳极地床		
			$V_{on}/V,$ vs.CSE	$V_{off}/V,$ vs.CSE	$\Delta V,$ mV	$V_{on}/V,$ vs.CSE	$V_{off}/V,$ vs.CSE	$\Delta V,$ mV	$V_{on}/V,$ vs.CSE	$V_{off}/V,$ vs.CSE	$\Delta V,$ mV
调压间及围墙外	B1	-0.54	-0.74	-0.59	-50	-1.57	-0.72	-180	-0.82	-0.65	-110
	B2	-0.44	-0.64	-0.56	-120	-1.11	-0.69	-250	-0.78	-0.63	-190
	B3	-0.47									
	B4	-0.55				-1.11	-0.75	-200	-0.8	-0.66	-110
	B5	-0.47									
	B6	-0.55	-0.75	-0.66	-110	-1.19	-0.8	-250	-0.88	-0.71	-160
	B7	-0.49									
	B8	-0.47				-1.3	-0.79	-320	-0.82	-0.63	-160
	B9	-0.54									
	B10	-0.44	-0.65	-0.52	-80	-1.17	-0.67	-230	-0.88	-0.64	-200
	B11	-0.52									
	B12	-0.52	-0.7	-0.57	-50	-1.24	-0.68	-160	-0.88	-0.64	-120
	B13	-0.46									
	B14	-0.46	-0.75	-0.59	-130	-1.14	-0.68	-220	-1.11	-0.69	-230
	B15	-0.48									
	B16	-0.47	-0.8	-0.59	-120	-1.2	-0.7	-230	-1.25	-0.71	-240
	B17	-0.47	-0.84	-0.59	-120	-1.23	-0.66	-190	-1.57	-0.7	-230
	B18	-0.49							-1.64	-0.72	-230
	B19	-0.48	-0.75	-0.57	-90				-3.32	-0.84	-360
	C1								-3.96	-0.87	
	B20	-0.42	-0.69	-0.54	-120				-1.39	-0.65	-230
B21	-0.48							-1.29	-0.63		

行优化设计。基于数值模拟计算技术的阳极地床优化设计步骤一般包括：建立埋地管道和接地网的几何模型，划分网格，为管道和接地网添加边界条件，计算求解，根据管道保护效果调整阳极地床形式、分布位置和输出。其中，边界条件是影响计算结果准确性的主要因素。在本文中，采用实测极化曲线作为边界条件，并根据馈电实验结果对管道涂层进行反演计算的技术准确获得了管道涂层极化特性，并以此作为管道边界条件，在以上基础上进行了阳极地床优化设计。主要通过调整阳极地床形式、分布位置及输出，对比了牺牲阳极地床形式和浅埋阳极地床形式两种方案下

的阴极保护效果。

2.3.1 牺牲阳极地床形式

采用牺牲阳极地床形式，阳极边界采用恒电位边界，以土壤中常用的镁阳极作为阳极材料，设置恒电位为-1.55V，在厂站室外可埋设阳极的所有埋地管道沿线均敷设了牺牲阳极，阳极分布位置如图2所示。经过计算求解，得到电位云图如图3，可以看到，管道极化电位分布在-677.75mV~-787.68mV (CSE) 之间，虽然电位分布均匀，但所有埋地管道均没有满足-850mV (CSE) 保护电位准则，因此牺牲阳极形式不适用于该燃气厂站阴保设计。

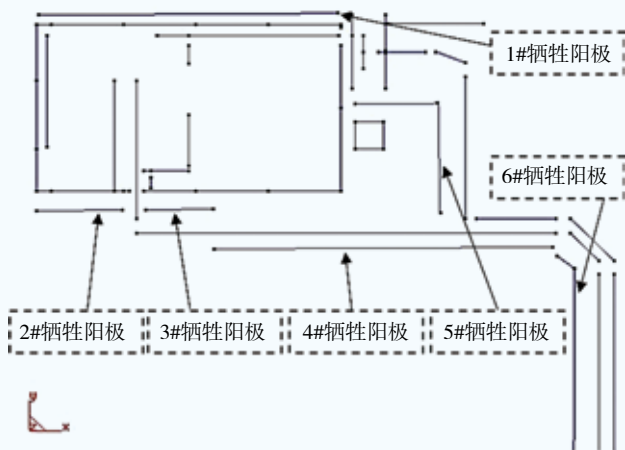


图2 牺牲阳极地床敷设位置

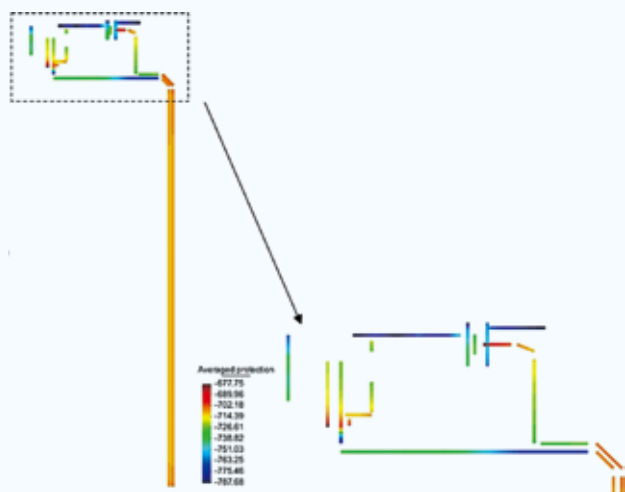


图3 管道极化电位分布云图

2.3.2 浅埋阳极地床形式

采用浅埋阳极地床形式，在可埋设地床空间范围内，不断调整阳极分布位置、数量和电流输出，最终确定4处浅埋阳极地床，位置如图4所示，1#~4#阳极地床输出电流分别为 -4A ， -4A ， -1.8A ， -0.8A ，共 -10.6A 。经过计算求解，管道极化电位分布云图如图5，电位分布范围为 -875.17 mV ~ -1198.3 mV （CSE），满足 -850 mV （CSE）电位保护准则，所有埋地管道均得到有效保护。

综合以上2种阳极地床方案研究结果，由于燃气厂站内管道涂层较差且接地吸收电流量大，牺牲阳极地床形式很难使站内埋地管道得到有效保护，而在浅埋阳极地床形式保护下，站内所有管道电位满足 -850 mV （CSE）保护电位准则，因此最终选择了基于浅埋阳极地床形式的外加电流保护方式。

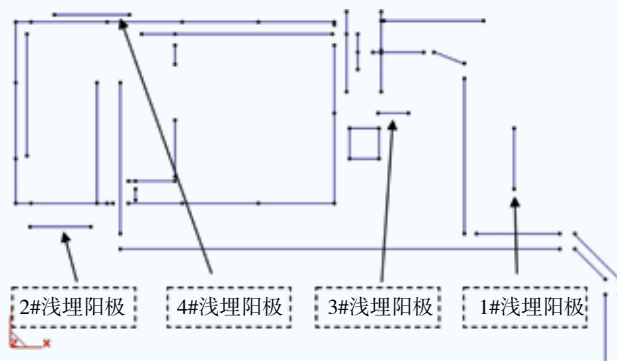


图4 浅埋阳极地床敷设位置

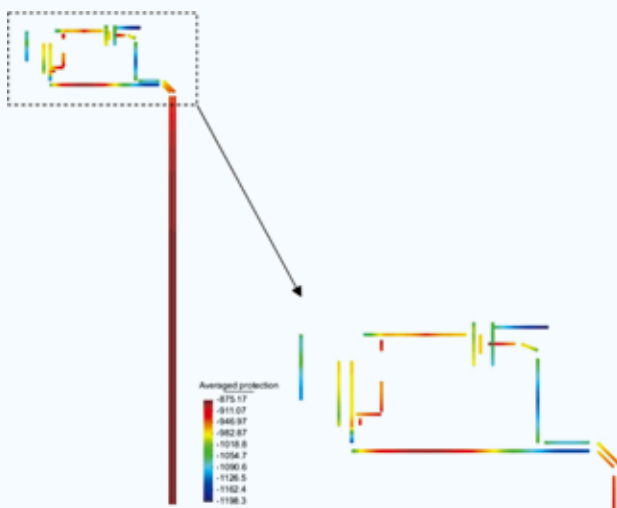


图5 管道极化电位分布云图

2.4 区域阴极保护方案

根据资料调研、现场测试和基于数值模拟计算技术的阳极地床优化设计确定了该厂站最终的区域阴极保护方案。该城镇燃气厂站区域阴极保护采用基于浅埋阳极地床形式的外加电流保护方式，对站内埋地天然气管道、放散管道、排污管道和接地网进行整体区域阴极保护。供电设备采用1台 $60\text{V}/30\text{A}$ 的恒电位仪，放置于仪表间。设置4处浅埋阳极，每处地床安装3支高硅铸铁阳极，采用并联方式连接，阳极埋深为 -1.5 m ~ -2 m 。采用阴极保护极化探头为恒电位仪提供控制信号，并进行通、断电阴极保护电位测量。在站内设置2处测试桩，围墙外管道设置1处测试桩。

3 阴极保护效果评价

根据前期研究形成的区域阴保方案，进行了现场实施，在施工完成后于对该阴保系统进行了输出调

试，并对站内埋地管道保护效果进行了测试和评价。

在极化初始阶段，为保证足够大的电流输出，选择较难保护上的通电点作为电位控制点。初步调试后的恒电位仪初始输出参数如表4所示。待极化2h后，打开恒电位仪通断功能，测试了具有代表性的管道测试点通断电电位，如表5所示，管道断电电位分布范围为-0.88V~-1.15V (CSE)，断电电位满足-850mV (CSE) 电位保护准则，因此此时埋地管道得到有效保护。

表4 恒电位仪初始输出参数

参比电位/V (CSE)	输出电流/A	输出电压/V
-2.471	7.5	8.2

表5 管道通断电电位测试结果

测试点编号	通电电位/V (CSE)	断电电位/V (CSE)
1#	-2.63	-1.01
2#	-2.5	-1
3#	-4.03	-1.04
4#	-5.33	-1.15
5#	-3.65	-1.08
6#	-2.4	-0.94
7#	-2.92	-0.98
8#	-1.64	-0.95
9#	-1.77	-0.96
10#	-1.54	-0.88
11#	-1.71	-0.93
12#	-1.95	-0.97
13#	-1.72	-0.97
14#	-2.08	-0.94
15#	-1.44	-0.88
16#	-1.54	-0.89
17#	-1.78	-0.9
18#	-1.85	-0.96
19#	-1.87	-0.92

由于随着极化时间增长，管道极化电位逐渐负向移动直至极化完全。因此为防止过保护现象发生，在极化24h后，根据管道保护效果，调整了恒电位仪输出，调整后恒电位仪输出参数如表6所示，调整后管道断电电位分布范围为-0.89V~-1.08V (CSE)，如

表7所示，可以看到，所有测试点的管道断电电位均满足-850mV (CSE) 电位保护准则，因此可以判断站内埋地管道均得到了有效保护。

表6 调整后恒电位仪输出参数

参比电位/V (CSE)	输出电流/A	输出电压/V
-2.091	5.1	5.9

表7 调整后管道电位测试结果

测试点编号	通电电位/V (CSE)	断电电位/V (CSE)
1#	-2.01	-1.02
2#	-2.77	-1.08
3#	-2.64	-1.08
4#	-1.96	-0.99
5#	-1.88	-0.95
6#	-1.55	-0.93
7#	-1.33	-0.89
8#	-1.64	-1.04
9#	-1.7	-1.01
10#	1.08	-0.89

4 结论与建议

本文主要通过资料调研、现场测试和基于数值模拟计算技术的阳极地床优化设计研究确定了该燃气厂站的区域阴极保护设计方案，实施后站内埋地管道得到了有效保护，说明该区域阴极保护设计方法能够有效用于城镇燃气厂站区域阴极保护方案设计中，为国内城镇燃气区域阴极保护方案设计提供了有效的方法。根据该城镇燃气厂站的区域阴极保护设计过程，得到以下建议：

(1) 针对多个城镇燃气厂站的调研结果发现，已建燃气厂站具有接地较多，埋地管道与接地系统连接点众多难以一一断开的点，在施加阴保系统时接地会吸收大部分阴保电流，造成阴保电流需求量大。因此在选择区域阴极保护方式时，应选择浅埋阳极、深井阳极等形式下的外加电流保护方式，尽量避免使用电流输出量较小的牺牲阳极保护方式。

(2) 数值模拟计算技术打破了传统的经验设计模式，通过科学建模和添加准确的边界条件，其能够

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2018.01.005

天然气管网冬季运行防冻措施与应用

□ 克拉玛依市燃气有限责任公司(834000) 赵岩 许虎

摘 要: 本文主要以克拉玛依市高新区管线进水后的冬季运行为例,从预防、保温、消除3个方面分析计算了各项保障措施的可行性和有效性,从而进一步应用推广至整个克拉玛依城区的天然气管网冬季防冻运行工作中。

关键词: 注醇 电伴热 排水 推广应用

1 前言

门站、高一中压调压站、管道、调压箱都是天然气管输系统中的重要节点,起到承上启下的作用,其安全稳定运行对城市天然气供应尤为重要。受环境温度、绝热节流效应的影响,当气体或管线中有水时,在冬天就非常容易形成水合物,从而导致冰堵现象的发生,影响正常输气生产和在运管线安全,严重的可导致停输事件发生。克拉玛依市天然气管网工程于

2014年全面完成集中入户工作,在随后的天然气输配过程中,冬季调压箱不同程度的出现冰堵,解冻工作造成大量的资源浪费和环境污染。而在2015年7月白碱滩区天然气管线被消防水击穿,充满大量水后,冬季整个管网的系统运行经受着严峻的考验,而解决整个系统问题迫在眉睫,4个月的时间如何做到?

本论文主要针对此问题发生后,通过防冻剂注入、电伴热保温恢复、排水措施3个方面的防范工作,消除了管网运行的安全隐患,保障整个冬季白碱

有效预测保护电位和电流密度的分布,预测管道保护效果,并且可以及时调整阳极地床形式和位置,避免屏蔽和干扰现象的发生,节省设计和施工时间,最大程度上减少人力物力的浪费。随着数值模拟技术的发展,利用数值计算进行区域阴极保护优化设计逐渐成为阴极保护技术发展的趋势。

参考文献

1 张俊义, 刘志刚, 张永盛. 区域性阴极保护实施过程

中的几个问题[J]. 油气储运, 2000; 19(2): 51-52

2 郑安升, 丁睿明, 廖煜熠等. 西气东输古浪压气站区域性阴极保护方案设计与实施[J]. 腐蚀与防护, 2010; 10: 794-796

3 程明, 屠海波, 张平. 线性阳极在阳曲压气站区域性阴极保护中的应用[J]. 腐蚀与防护, 2012; 33(4): 338-341

4 周冰, 韩文礼, 郭继银等. 馈电试验在大型站场阴保系统设计中的应用[C]. 全国管道腐蚀控制与检测评价技术应用研讨会, 2014