

过热注汽管线优化方式探讨

孙运生¹ 胡筱波¹ 侯文刚¹ 王文² 潘海燕¹

摘要: 注蒸汽热采是稠油开发的主要技术手段,将注汽锅炉产生的高压蒸汽通过注汽管线注入到地下油层,以降低稠油黏度,便于开采。吞吐和汽驱要求井底蒸汽干度 $\geq 50\%$,SAGD要求井底蒸汽干度 $\geq 90\%$,随着采油新技术的应用,对注汽品质也提出了更高的要求,如何减少热量散失和压力损失、确保蒸汽高效注入地层,对超稠油开发尤为重要。在理论计算的基础上,通过多方案对比的方法,对过热注汽管线优化设计进行了系统的研究和分析,结合目前过热注汽管网现状,阐述了过热注汽管线的管材、保温和热补偿等方面的优化方式,大口径注汽管线材质选用Q345E,热补偿采用旋转补偿器更为合理,保温采用气凝胶隔热毡作为主体具有较好的节能效果。

关键词: 稠油热采;过热注汽管线;管材;保温;热补偿

Doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2016.6.010

Optimization Methods of Superheated Steam Injection Pipelines

Sun Yunsheng, Hu Xiaobo, Hou Wengang, Wang Wen, Pan Haiyan

Abstract: Thermal steam injection recovery is the main technical means of heavy oil development. The high pressure steam produced by steam injection boiler can be injected into the underground oil layer through the steam injection pipeline to reduce the viscosity of the heavy oil, which is convenient for mining. Huff and puff and steam drive requires steam quality is not less than 50%, SAGD requires steam quality is not less than 90%. As long as the application of new production technologies, the higher requirement for the quality of injection steam is put forward. It's important to ensure the injection efficiency and reduce the heat loss and pressure loss for super heavy oil development. Based on the theoretical calculation, through the method of multi-scheme comparison, overheat steam injection pipeline optimization design were systematic research and analysis in this paper. Combining the current situation of overheat steam injection pipe network, optimization methods of the overheat steam injection pipeline material, insulation, thermal compensation were put forward. Q345E is the applicable material of large diameter steam injection pipeline, rotary compensator is more suitable for the thermal compensation, and the aerogel insulation felt as the main body has a good energy-saving effect.

Key words: thermal recovery of heavy oil; superheated steam injection pipeline; pipeline material; heat preservation; thermal compensation

1 现状及存在的不足

新疆油田是中国石油主要的稠油产区,稠油热采注汽锅炉以天然气为主要燃料,一般分散布置在油区中^[1]。稠油注汽管线多采用DN100或DN125无缝钢管,管材为20 G,注汽半径控制在750 m以内,根据SAGD和常规吞吐开发稠油热采工艺对井

口注汽压力需求的不同,单根管线输送蒸汽能力均为22.5 t/h。注汽管线采用双层硅酸盐硬质复合保温瓦保温,总保温厚度为160 mm,热补偿为Π形补偿器,制造、安装较为方便。

注汽管线热补偿为Π形补偿器,存在两方面缺点:①增大了阻力:采用Π形补偿器使注汽管线的实际长度增大了20%,同时由于弯头数量多,增大

¹新疆油田公司开发公司 ²大庆油田有限责任公司第二采油厂

了局部阻力，采用Ⅱ形补偿器的注汽管线压降约为1.5~2.0 MPa/km；②增大了热损失：采用Ⅱ形补偿器使注汽管线的实际长度增大了20%，热损失相应增大，另外管线工作状态弯头处变形较大，无法利用硅酸盐硬质复合保温瓦进行施工，只能利用复合硅酸盐毡现场缠绕处理，很难保证良好的保温效果。

大管径注汽线在油田注汽管网中应用，将造成三方面问题：①受管材许用应力的限制，管线壁厚很大，焊接及施工难度增大；②管线外表面积大幅增加，散热损失增大，蒸汽品质降低；③随着注汽管线管径的增大，Ⅱ形补偿器自身的尺寸、应力水平及对固定支墩的推力都增加迅速，使得Ⅱ形补偿器不适宜在大管径注汽管线上应用。

2 优化方式

2.1 管材

注汽管材执行行业标准《稠油注汽系统设计规范（SY/T 0027—2007）》和《工业金属管道设计规范（2008年版）（GB 50316—2000）》的要求^[2]，根据注汽参数，以钢管外径D114和D325、工作压力14 MPa、温度360℃为例，对20G和Q345E两种注汽管线材质进行对比分析。两种材料的经济性对比见表1。

两种材料中，20G属于优质碳素钢，Q345E材料是在碳素钢的基础上添加Mn元素，以提高钢材的强度，因此两种材料的耐蚀性能基本相当。

两种材料都是国内常用材料，焊接工艺都非常成熟。在相同注汽参数下，Q345E壁更薄，不容易出现未焊透缺陷，可保证焊接质量。

表1 材料的经济性对比

参数	20 G		Q345E	
	D114	D325	D114	D325
设计温度下许用应力/MPa	90.8	84.6	124.6	118.4
计算理论厚度/mm	9.4	28.7	7	21
腐蚀裕量/mm	2	2	2	2
负偏差附加/mm	1.6	4.8	1.2	3.5
设计厚度/mm	13	35.5	10.2	26.5
取用壁厚/mm	13	36	11	27
材料单价/(元·t ⁻¹)	7 700	7 700	7 800	7 800
千米总重/t	32.4	256.5	27.9	198.3
千米总价/万元	24.95	197.51	21.76	154.67

两种钢材的推荐使用（承压状态）温度上限（20G：-20~425℃；Q345E：-40~475℃）均高于注汽管线的工作温度，都是安全的。

根据过热锅炉注汽参数，以上两种管材均能够满足要求。Q345E材料是国内各行业常用材料，价格相对便宜，经济性较好，有较好的高温区机械性能。Q345E管材冷态刚度较大，用直管冷弯制作方形补偿器较为困难。因此在使用方形补偿器的注汽管道中推荐采用优质碳素钢，而在采用旋转补偿器的大口径注汽管道中使用Q345E管材较为合适，转弯处采用成品弯头或弯管。

2.2 保温

新型气凝胶隔热毡是以二氧化硅气凝胶为主体原料^[3]，通过高科技工艺复合而成，导热系数为0.013 W/(m·℃)以下，是工业管道、设备等领域最为理想的保温隔热材料，在国防、建筑、石油化工等领域得到越来越多的应用。

以1 km外径D114、D325管线为例，优化方案对比见表2、表3。

表2 1 km管道散热损失及节能率对比

型号	参数	方案一	方案二	传统方案
D114	保温材料厚度/mm	气凝胶：6×4	气凝胶：6×2 复合硅酸盐毡：50	复合硅酸盐瓦160
	保温层总厚度/mm	24	62	160
	表面温度/℃	49	48	50
	管道热流密度/(W·m ⁻²)	185	181	188
	管道线热流密度/(W·m ⁻¹)	80	100	256
	节能率	69%	61%	
	D325	保温材料厚度/mm	气凝胶：10×3	气凝胶：6×1+10×1 复合硅酸盐：50
保温层总厚度/mm		30	66	200
表面温度/℃		46.5	47	50
管道热流密度/(W·m ⁻²)		183	177	188
管道线热流密度/(W·m ⁻¹)		204	217	428
节能率		52%	49%	

表3 1 km管道保温工程节能效益对比

型号	参数	方案一	方案二	传统方案
D114	管道线热流密度/(W·m ⁻¹)	80	100	256
	每年节约成本/10 ⁹ J	4 435	3 931	0
	每年节约成本/万元	16	14	0
	总投资/万元	76.33	51.58	36.55
	成本回收期/a	2.5	1.1	0
D325	管道线热流密度/(W·m ⁻¹)	204	217	428
	每年节约能源/10 ⁹ J	5 645	5 317	0
	每年节约成本/万元	20.3	19.1	0
	总投资/万元	258.73	165.06	79.96
	成本回收期/a	8.3	3.9	0

方案一采用气凝胶隔热毡作为保温材料,内层用铝箔降低热辐射,外保温层用镀锌钢板防护。方案二采用气凝胶隔热毡作为主体保温材料,结合复合硅酸盐毡辅助保温的方式,内层用铝箔降低热辐射,保温层外用镀锌钢板进行防护。

由表3可以看出,方案二D114管线成本回收期为1.1 a, D325管线成本回收期为3.9 a,在小管径注汽管线上使用,其节能优势将更加明显,建议注汽管线保温采用方案二。

按照方案二对D114管线采用气凝胶隔热毡作为主体保温材料,结合复合硅酸盐毡辅助保温的方式进行现场应用,并对现场运行情况节能监测,结果显示管道热流密度在80~110 W/m²之间,达到预期效果。

2.3 热补偿

旋转式补偿器是一种新型的热力管道补偿器^[4]。最高耐温可达600℃,常温耐压达到40 MPa,密封性能优越,长期运行免维护。此类补偿器的布置和球形补偿器类似,在热力管道上需两个以上组对安装,形成相对旋转吸收管道热伸长量,从而减少管道应力。旋转式补偿器补偿量大,可达Π型补偿器的10倍。该补偿器不产生由输送介质内压造成的

盲板力,也不存在Π型补偿器产生的弹性力,所以固定支架可做得比较小。旋转补偿器布置形式多样化,可根据自然地形及管道强度确定敷设方式^[5]。

旋转式补偿器的补偿原理是通过成双旋转筒和L力臂形成力偶,使大小相等、方向相反的一对力由力臂回绕着z轴中心旋转,以实现热管上产生的热胀量的吸收。

旋转式补偿器可布置于两固定支架中心,也可偏向注汽管线一端。当补偿器布置于两固定支架中心时,注汽管线运行时补偿器的两端有相同的膨胀量和相同的膨胀推力,力偶绕着中心O旋转了θ角,以吸收两端方向相对、大小相等的膨胀量Δ。如图1所示。

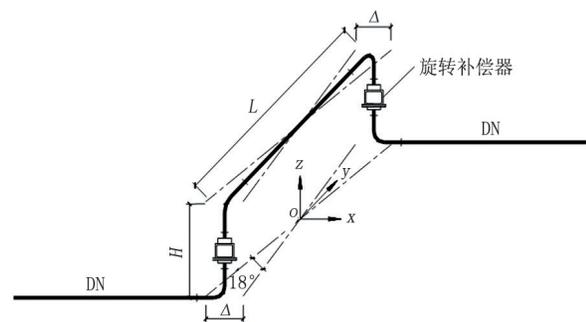


图1 补偿器布置于两固定支架中心的工作原理示意图

此类补偿器的布置和球形补偿器类似,当吸收热膨胀量时,在力偶臂旋转到θ/2时出现管线发生最大的摆动值。一般情况是根据自然地形、补偿量的大小和安装条件许可的情况下L尽量选择大一点。虽然吸收热胀随着转角θ或力偶臂L的加大而增加,但为了限止摆动值过大,对θ值取18°为宜,L选在2~6 m范围内为宜。

新型的旋转式补偿器补偿距离长,可有效减少注汽管道压力损失及热损失。旋转式补偿器已应用在风城稠油开发燃煤注汽锅炉试验工程中。旋转式补偿器与Π形补偿器的综合对比如表4所示。

表4 旋转式补偿器与Π形补偿器综合对比

管径	输送蒸汽量/(t·h ⁻¹)	补偿器类型	主材/(m·km ⁻¹)	投资/(万元·km ⁻¹)	压力损失/(MPa·km ⁻¹)	年平均热损失/(kW·km ⁻¹)
DN100	22.5	Π形补偿器	1 187	122.77	2.79	128.20
		旋转式补偿器	1 030	124.66	2.29	111.24
DN150	45	Π形补偿器	1 207	189.20	2.85	178.81
		旋转式补偿器	1 030	191.84	2.32	155.15
DN300	130	Π形补偿器	1 307	553.83	1.98	365.48
		旋转式补偿器	1 030	527.40	1.23	317.13

3 结论

Q345E与20G管材相比经济型略好,由于冷态刚度较大,用直管冷弯制作方形补偿器较为困难,

因此在使用方形补偿器的注汽管道中推荐采用优质碳素钢,而在采用旋转式补偿器的大口径注汽管道中使用Q345E管材较为合适。(下转第37页)