

高酸性气田内部集输工程水套加热炉设计技术研究

杨 泉, 李仁义, 宋昭明, 周 立

(中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017)

摘 要: 为确保国内首次大产量气田、高酸性、高压天然气介质、超大热负荷水套加热炉的成功设计、制造和安装, 通过借鉴多年设计经验和采用国内外技术成果, 对川东北某气田地面内部集输工程 10 套水套加热炉的设计技术进行了优化, 强化了技术监督。使水套加热炉在实现气田内部集输工程环保、安全长周期运行的目标中起到了积极作用。

关键词: 高酸性气田; 水套加热炉; 设计技术研究

文章编号: 1006-5539(2007)03-0039-03

文献标识码: B

0 概述

川东北某气田地面内部集输工程是国内尚无经验可借鉴的高酸性、大产量气田地面集输工程, 是中国石油天然气股份公司确定的全国高含硫气田示范

工程, 气田的成功开发对滚子坪、渡口河和铁山坡气田开发将有重要指导作用。对天然气加热以防止节流过程中水合物的形成, 根据川东北某气田各气井不同的压力等级和热负荷设计水套加热炉, 成为工程建设的关键。2005 年 12 月已完成 10 套水套加热炉施工图的主要特性如表 1。

表 1 10 套水套加热炉主要特性表

水套加热炉设计名称	设计压力 /MPa	盘管设计温度 /℃	压力管道 类别别
川东北某 1 井单井站川东北某 1 井 SSL34/680(370+310)水套加热炉	34	100	GC1
川东北某 2 井集气站川东北某 2 井 SSL34/760(280+480)水套加热炉	34	100	GC1
川东北某 6 井单井站川东北某 6 井 SSL34/430(130+300)水套加热炉	34	100	GC1
川东北某 7 井集气站川东北某 7 井 SSL34/125(75+50)水套加热炉	34	100	GC1
川东北某 11 井集气站川东北某 11 井 SL34/840 水套加热炉	34	100	GC1
川东北某 11 井集气站川东北某 12 井 SSL34/870(400+470)水套加热炉	34	100	GC1
川东北某 11 井集气站川东北某 13 井 SSL34/870(400+470)水套加热炉	34	100	GC1
川东北某 14 井单井站川东北某 14 井 SSL34/1 030(380+650)水套加热炉	34	100	GC1
川东北某 2 井集气站川东北某 16 井 SL34/780 水套加热炉	34	100	GC1
川东北某 2 井集气站川东北某 17 井 SSL34/760(310+450)水套加热炉	34	100	GC1

1 设计特点及关键技术问题

1.1 介质属于高酸性范围

根据工艺提供的介质情况判断, 川东北某气田

各气井介质属于《高酸性气田地面集输系统设计规范》Q/SYXN2004—2005 规定的高酸性气田介质范围, 详细参数见表 2。这就将水套加热炉设计引进了高酸性范围新领域, 提出选材、试验、制造、安装、检验和验收等新技术问题。

收稿日期: 2006-08-02

作者简介: 杨 泉 (1963-) 男, 四川成都人, 高级工程师, 1984 年毕业于华东石油学院机械系石油化工机械专业, 获工学学士学位; 2003 年获西华大学工程硕士学位; 从事石油化工机械、热能工程设计。电话: (028) 86014694

表 2 川东北某气田气藏天然气分析汇总表

井 号	天然气组分含量 / (%)								单位体积质量 / g · m ⁻³		物理性质		
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	N ₂	H ₂	He	H ₂ S	CO ₂	H ₂ S	CO ₂	相对 密度	临温 /K	临压 /MPa
川东北某 1	75.29	0.11	0.06	0.18	3.447	0.013	10.49	10.41	150.01	204.53	0.706	216.4	5.267
川东北某 2	84.68	0.08	0.03	0.71	0.274	0.017	8.77	5.44	125.53	106.88	0.664	212.1	5.154
川东北某 4	84.5	0.08	0	0.56	0.018	2.578	7.13	5.13	102.07	100.79	0.639	205.2	4.999
川东北某 6	84.95	0.09	0	0.45	0.002	0.018	8.28	6.21	118.52	120.01	0.669	212.7	5.165
川东北某 7	81.37	0.07	0	1.34	0.058	0.016	10.41	6.74	148.97	132.42	0.69	216.5	5.26

注: 川东北某 11、川东北某 12 川东北某 13、川东北某 14 川东北某 16 和川东北某 17 井按川东北某 1 井介质进行设计。

1.2 水套加热炉天然气压力高、流量大、进出口温差大

根据工艺提供的设计参数, 川东北某气田各气井天然气压力高、流量大、进出口温差大, 详细参数见表 3。由于在气井天然气工艺管道并联配置方面

的技术限制, 不宜在同一气井并联配置两台或多台水套加热炉, 便引出单台水套加热炉热负荷偏大、单台水套加热炉体积偏大和质量偏大、加热盘管直径偏大和壁厚偏厚等技术难题以及吊装运输问题。

表 3 水套加热炉天然气压力、流量、进出口温差分析汇总表

井站名称	单井流量 / 10 ⁴ m ³ · d ⁻¹	一级工作压力 /MPa	二级工作压力 /MPa	一级进口温度 / 一级出口温度 /℃	二级进口温度 / 二级出口温度 /℃
川东北某 1 井	50	29.0	14.0	29.0/52.3	27.1/48.4
川东北某 2 井	80	29.28	16.0	37.53/48.6	29.2/49.3
川东北某 6 井	40	26.0	14.0	37.0/47.6	26.12/51.68
川东北某 7 井	10	26.0	16.0	23.65/48.3	26.6/44.3
川东北某 11 井	120	30.36	16.0	27.3/50.65	
川东北某 12 井	70	32.0	16.0	30.0/50.2	28.0/50.4
川东北某 13 井	70	32.0	16.0	30.0/50.2	28.0/50.4
川东北某 14 井	70	29.5	16.0	35.0/48.2	28.0/52.0
川东北某 16 井	100	28.0	18.0	28.3/53.7	
川东北某 17 井	70	29.5	16.0	35.0/48.2	28.0/49.5

1.3 水套加热炉的划归属类别级别的再认识

从 20 世纪 70 年代末起, 水套加热炉的技术监督问题一直引起着各级技术监督主管部门的高度重视。遵照有关法规和二十多年的实践和探索, 我们对本工程水套加热炉的类别、级别划分问题, 有了进一步的认识。

2 设计思路和技术措施

2.1 材料和主要制造技术要求

主要受压元件选材、制造、检验和验收应符合相关标准、规范规定和已编制的补充要求, 以提高盘管、180°弯头、螺纹法兰及其对接焊接接头抗硫化物应力开裂 (SSC) 和抗氢致开裂 (HIC) 能力。其重点

是水套加热炉的加热盘管采用 ISO 3183—3 :1999 标准中 I245NCS 无缝钢管, 并满足技术规格书等要求。

a GB/T 226—1999《钢的低倍组织缺陷及酸蚀试验法》进行低倍组织检查, 不允许内部存在白点、裂纹、气孔、夹渣等缺陷, 按 GB/T 1979—2001《结构钢低倍组织缺陷评级图》评级, 要求一般疏松不超过 2 级。

b 钢管母材平均晶粒度按 GB/T 6394—2002《金属平均晶粒度测定方法》应优于 7 级。报告熔炼分析的五害元素 (Pb、Sn、As、Bi、Sb)。所用钢管按照 GB/T 10561—2005《钢中非金属夹杂物含量的测定—标准评级图显微检验法》规定评定, 其 A、B、C、D 类非金属夹杂物分别不大于 2 级, 且总和不大

于 4.0 级。

c 钢的化学成分(熔炼分析)应符合 ISO 3183—3 标准中表 4 的规定,其中: $P \leq 0.020\%$, $S \leq 0.008\%$, 碳当量 $CEV \leq 0.36\%$, 冷裂纹系数 $P_{cm} \leq 0.22\%$ ^[11]。

d I245NCS 的屈服强度 $R_{t0.5}$ 应为不高于 355 MPa³。I245NCS 在 100℃ 的屈服强度应为不低于 210 MPa; I245NCS 的曲强比 $R_{t0.5}/R_m$ 最大值为 0.85。

e 应按要求进行管材的 SSC、HIC 试验。母材和对接焊接接头热处理后硬度 $H_{V10} \leq 248$ ($HB \leq 235$), 20 锻钢件宜控制在 $HB \leq 200$ 。

f 20 锻钢件碳含量 $C \leq 0.23\%$, 碳当量 $CEV \leq 0.43\%$, 镍含量 $Ni \leq 1.0\%$ 。

从上海宝钢研究院(技术中心)2006060801 检验报告产品分析结果表明,国内产 I245NCS 无缝钢管化学成分和主要机械性能满足设计技术要求,其参数是: $C = 0.014\%$, $Si = 0.024\%$, $Mn = 1.11\%$, $P = 0.008\%$, $S = 0.001\%$, 碳当量 $CEV \leq 0.34$, 冷裂纹系数 $P_{cm} \leq 0.21\%$, 屈服强度 $R_{t0.5}$ 应为 301 MPa $\leq$ 355 MPa。在 100℃ 的屈服强度应为不低于 210 MPa; 曲强比 $R_{t0.5}/R_m$ 为 301/464 值为 $0.75 < 0.85$ 。从 20 锻钢件生产经验看,其性能满足设计技术要求。大规模的非标设备焊接接头的工艺评定和母材、焊接接头 SSC 及 HIC 试验在国内尚数首次。

2.2 腐蚀控制措施

用控制年腐蚀率的办法提高耐失重腐蚀的能力。高酸性气环境中设备腐蚀裕量最大 $C_2 = 4 \sim 4.5$ mm³, 为了在气井高产稳产期内,保持水套加热炉安全运行 10~20 a 依靠注入与湿高酸性天然气相配套的特别缓蚀剂使用,将高压管道受压元件年腐蚀率控制在 $0.15 \sim 0.20$ mm/a 范围内。为此,规定定期检测高压管道受压元件的实际壁厚,建立更换高压管道受压元件和关闭进气阀门的抢险预案。

2.3 强度安全要求

用一定安全系数和工程实际相符合的第四强度理论(最大变形能强度理论)来保证水套加热炉受压元件安全。按照 Q/SYXN 2004—2005《高酸性气田地面集输系统设计规范》规定,取屈服限安全系数 $n_s = 1.8$ ^[3]。水套加热炉盘管、180°弯头、螺纹法兰的工作压力已属高压,第四强度理论比第三强度

理论(最大剪应力理论)更与许多塑性材料的实验结果相符合^[4]。因此第四强度理论多年在水套加热炉盘管、180°弯头、螺纹法兰等高压管道受压元件中得到广泛应用,实践证明第四强度理论是安全可靠的,它比第三强度理论更经济合理,节省投资约 15%。

2.4 其它技术处理办法

单台水套加热炉热负荷偏大引出的结果是,单台水套加热炉直径达 $\Phi 2400$ mm 长度 15 000 mm 总质量达到 40 000 kg 加热盘管外径达 $\Phi 114.3$ mm 和火管外径达 $\Phi 630$ mm, 烟、火管加后烟箱外部体积 4.2 m³, 其浮力 $F = 42\,000$ N 超出了烟、火管自身重量 39 000 N 三个燃烧器“品”字形立体布置。给制造、安装和吊装运输增大了难度,为此,采用了控制燃烧器外径和优化布置、使用异型前烟箱半圆大法兰、局部增加刚度和强度、增加盘管内支座数量和烟、火管固定点等办法解决了刚度、稳定性、机械震动、大法兰密封、吊装运输等难题。

2.5 质量技术监督的新要求

水套加热炉的盘管、180°弯头、螺纹法兰组成的受压系统,与压力容器有千丝万缕的关系,其划属问题争论了二十多年,按照目前国家法令和《压力容器压力管道设计单位资格许可与管理规则》我们认为其设计类别、级别应为 GC1 级压力管道,不再与压力容器相提并论,这已在施工图中明确。该系统工作温度较水套加热炉外的井场集输用 GC1 级压力管道稍高,仍然将其与井场集输管道同样对待是合理的。故水套加热炉和井场集输用 GC1 级压力管道一样,接受国家有关特种设备安全监督部门的检查。按照《压力管道安全管理与监察规定》要求,制造商应有 GC1 级压力管道安装资质;制造商应有不低于 D2 级压力容器制造或不低于 C 级锅炉制造资质^[5];按照《压力管道元件制造单位安全注册与管理办法》要求,压力管道元件制造商应有压力管道元件 A 级资质。设备出厂时应有安全技术规范要求的设计文件、产品质量合格证明、安装及使用维修说明、监督检验证明等文件。安装前书面告知当地(直辖市或者设区的市)特种设备安全监督部门,告知后方可施工^[6]。

(下转第 44 页)

(上接第 41 页)

3 结束语

高酸性含硫气田示范工程超大热负荷水套加热炉的设计、选材、试验、制造、安装、检验和验收等新技术问题的圆满解决,将进一步保证川东北某气田地面建设工程、当地人民生命财产安全。经过国内外安全评估,技术含量高的实用设计措施及国外先进技术的进一步采用的结果,将在今后开发滚子坪、渡口河和铁山坡气田中显现出来,更具优化设计和更经济安全合理的水套加热炉是业主和我们不断追求的目标。

参考文献:

- [1] ISO 3183—3:1999 Petroleum and Natural Gas Industries. Steel Pipe for Pipelines. Technical Delivery Conditions. Part 3 Pipes of Requirement Class C1 S.
- [2] 国家质量技术监督局. 压力容器安全技术监察规程 [M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 1999. 127-128.
- [3] Q/SYXN 2004—2005 高酸性气田地面集输系统设计规范 [S].
- [4] 丁伯民, 黄正林. 高压容器 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003. 54-55.
- [5] SY 0031—2004 石油工业加热炉安全规程 [S].
- [6] 国家质量监督检验检疫总局. 特种设备安全监察条例 [M]. 北京: 中国法制出版社, 2004. 5-6.