

# 浅析高压蒸汽管道补偿方案成本

丁 峰

阳煤平原化工有限公司 山东德州 253100

**摘 要:** 本文描述了管道补偿背景, 概述了自然补偿和蒸汽补偿两种补偿方式, 重点介绍了管道投资情况及成本对比。

**关键词:** 高压蒸汽管道; 自然补偿; 旋转补偿器; 成本

## Analysis of the compensation scheme cost of high pressure steam pipeline

Feng Ding

Yangmei Plain Chemical Industry Co., LTD., Dezhou Shandong 253100

**Abstract:** This paper describes the background of pipeline compensation, summarizes the two compensation methods of natural compensation and steam compensation, and mainly introduces the pipeline investment situation and cost comparison.

**Keywords:** High pressure steam pipe; Natural compensation; Rotary compensator; Cost

### 前言

公司计划建设 60 万吨合成氨装置、80 万吨/年尿素装置, 项目建成后老厂现有固定床间歇式气化炉全部淘汰, 新厂区不新建锅炉, 大型动设备全部采用透平驱动, 因该项目属于搬迁改造项目, 在配套空分装置改用电驱之前, 空分装置及工艺装置消耗蒸汽计划依托老厂热电厂 2 台 220t/h 循环流化床锅炉, 将老厂热电厂高压蒸汽通过新建蒸汽管道, 设置管廊经老厂锅炉界区引至化工产业园区新厂区, 原热电厂至新厂区直线距离约 4km, 穿越老厂区、园区至新厂界区处, 针对高压蒸汽管道铺设, 就其管道补偿方式及经济性展开了分析。

### 一、项目基本情况

根据项目配置, 高压蒸汽来自老厂 220t/h 锅炉, 蒸汽设计压力 9.81Mpa, 设计温度 545℃, 蒸汽正常用量约在 187t/h, 管径  $\phi 480 \times 40$ , 管道材质 12Cr1MoV, 管线为总长度 4000m 管线, 本设计全线采用架空敷设方式, 送往化工园区新项目界区, 主要用于驱动 68000Nm<sup>3</sup>/h 空分制氧装置, 少量用于驱动大型动设备透平装置。

因该管线属于长输蒸汽管线, 且蒸汽管道的温度和压力较高, 为保证管道在热状态下运行的稳定和安全减少管道热胀冷缩时所产生的应力, 必须充分考虑管道的热补偿问题。

### 二、热补偿方式优缺点分析

蒸汽管道的热补偿方式有两种, 利用管道自身弯曲的自然补偿和设置补偿器。

#### 1. 关于自然补偿方式:

自然补偿属于常规设计, 优缺点都比较明显。

自然补偿方式优点: ①耐温耐压性能好, 不受补偿器材

质或填料的限制; ②不存在泄漏隐患, 运行安全稳定, 事故率低; ③结构简单, 易于施工

自然补偿方式缺点: ①补偿距离短, 尤其对于蒸汽管道, 一般 30-40m 就需设置一组  $\pi$  型空间立体补偿弯管; ②占地面积大, 如管道走向不能有效满足自身补偿需求, 即需要额外设置  $\pi$  型补偿, 不但增加了占地面积, 土建投资液相应提高; ③运行成本高, 由于弯头较多, 造成局部阻力损失增大, 管道内介质的温降和压降均较为明显, 为满足热用户需求, 就要提高汽源的温度和压力, 从而增加投资和运行成本。

因此, 长距离输送高温高压蒸汽管道, 是否采用自然补偿方式, 应进行经济评价和方案比选。

#### 2. 关于补偿器方式:

补偿器通常采用的有旋转补偿器、波纹补偿器、套筒补偿器和球型补偿器等方式, 结合本项目蒸汽特性, 因旋转补偿器具有结构紧凑, 补偿大, 流阻低的特点, 且旋转补偿方式可根据管网结构改变管道的走向, 本项目初步选用旋转补偿方式。

#### 旋转补偿器的优点:

相比自然补偿方式, 就是将轴向补偿变为旋转补偿。它的最大优势就在于补偿量大, 一组 DN450 以上的旋转补偿器, 其补偿量可达 2000mm, 一组旋转补偿器的补偿距离可超 200m (本项目保守按 100m 计算), 是自然补偿距离的 3-6 倍, 如此可大大弥补自然补偿方式, 阻力损失大、运行成本高的缺点。

#### 旋转补偿器缺点:

因其结构特点, 泄漏频率较高。因旋转补偿器的填料密封非常关键, 部分旋转补偿器发生泄漏的原因主要有以下原因:

1) 填料磨损, 造成填料腔内松动, 发生泄漏;

2) 填料因蒸汽水质原因发生氧化, 造成填料腔内松动, 发生泄漏。

旋转补偿器改进情况:

根据以上问题, 除了使用方严格加强锅炉水质控制外, 通过外出考察与交流, 主流厂家江苏贝特旋转补偿器也针对核心填料出具了相应技术措施:

1) 密封材料的主材采用高纯度的柔性石墨材料, 可承受更高温;

2) 密封填料添加抗氧化剂, 减少延缓密封填料的氧化进程, 提高补偿器的使用寿命, 以 5 年为周期定期维护;

3) 密封腔设有特质密封件, 减少或隔绝氧气与密封填料的接触, 减少密封填料的氧化, 同时可以减少密封填料的磨损, 提高旋转补偿器的使用寿命。

4) 密封填料内添加抗压垫片等提高密封填料的抗压性能;

5) 旋转补偿器设计带有带压堵漏装置, 当产品因任何出现问题出现泄漏时, 可以通过带压堵漏装置向密封腔内添加填料, 迅速解决泄漏问题。

6) 旋转补偿器的外套管和变径管采用一体化专利结构, 旋转补偿器本体没有承压焊缝, 全部为锻件, 更加安全可靠;

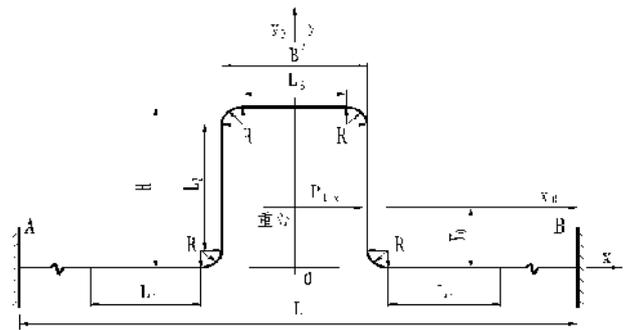
基于上, 从优化管道投资角度考虑, 通过多方考察长输高压蒸汽管道补偿器应用情况, 初步锁定自然补偿和旋转补偿器两种技术方案, 现就旋转补偿器与自然补偿方式对比如下。

### 三、II型自然补偿和旋转补偿技术方案耗材情况

#### 1. II型自然补偿耗材

按照管道直线距离 4000m 核算, 单根钢管长度为 12m

序号	方案项目	II型补偿设计	旋转补偿器设计	比较
1	直线补偿距离	32m 左右	100 左右	旋转补偿器补偿的距离是II型补偿的 3 倍多
2	补偿段数量	125	40	
3	耗用管材	$42.6 \times 125 = 5325\text{m}$	$105 \times 40 = 4200\text{m}$	采用旋转补偿器少用管道 1125m
4	90 度弯头	$4 \times 125 = 500$ 只	$4 \times 40 = 160$ 只	弯头省 340 只
5	45 度弯头	0	$2 \times 40 = 80$ 只	每组补偿器多用两只 45° 弯头, 一共 80 只



每组补偿距离 L 值为 32m, H 值为 8m, B 值为 5m  
所需材料:

1.5D 的 90° 弯头 4 只,  $\phi 480 \times 40$  管道: 42.6m, 焊口 11 道, 固定支架 2 台, 滑动(导向)支架 5 台, 弹簧支架 1 台。

#### 2. 旋转补偿器耗材



按每组可补偿距离: 100m

旋转补偿器力臂长度 3m

材料为: 1.5D 的 90° 弯头 4 只, 1.5D 的 45° 弯头 2 台, 旋转补偿器 2 台,  $\phi 480 \times 40$  管道 105m, 焊口 19 道, 固定支架 2 台, 滑动(导向)支架 10 台。

#### 3. 技术方案对比

6	固定支架数量	126 个 (对主固定的推力较大)	41 个 (对固定的推力较小)	旋转补偿器对固定点的推力仅为自然补偿的一半, 且可以少 85 个固定点。
7	滑动 (导向) 支架	625 台	400 台	用旋转补偿器可以少支墩 225 根, 少管托 225 台
8	弹簧支架	每个补偿段至少一个弹簧支架即 125 个	0	旋转补偿器少用 125 个弹簧支架
9	高支架柱	125 个	0	旋转补偿器少用 125 个高支墩
10	如自然补偿侧向占空间	每处占用 60m <sup>2</sup> 60×125=7500 m <sup>2</sup>		总共侧向占用空间 7500m <sup>2</sup>
11	旋转补偿器	0	2×40=80 只	
12	对接焊口数	11×125=1375 道	19×40=760 道	采用旋转补偿器, 管道数量减少, 弯头减少, 自然焊缝少了 615 道焊口。
13	安装难度	预拉比较麻烦	容易	采用旋转补偿器不需要预拉, 安装方便。
14	安装费用	因管材、弯头、焊缝的数量均比较多, 故安装费用较高	相对较低	采用旋转补偿器的安装费用比较低
15	保温材料	需要保温 5325 长的管道, 500 个 90° 弯头	需要保温 4200 长的管道, 160 个 90° 弯头, 80 个 45° 弯头	采用旋转补偿器使用管道数量少了、弯头少了, 自然保温材料就减少。
16	保温施工难度	比较麻烦, 高低差比较大	容易	采用旋转补偿器高低差很小, 保温难度就比较容易。
17	压降 (实际运行)	0.06~0.1Mpa	0.015~0.025 Mpa	采用旋转补偿器弯头数量少, 管道减少, 压降自然低了。
18	温降 (实际运行)	10~20℃/Km	2~6℃/Km	采用隔热管托等保温材料温降可以得到有效控制。
19	投运及维修保养	不需维护	不需维护	均不需维护
20	运行热损失	相对较大	相对较小	采用旋转补偿器管道长度相对较短, 热损失相对较小
21	安全使用寿命	与管道的寿命相同	与管道的寿命相同	与管道的寿命相同
22	环境影响	占地面积较大, 不美观	占地面积小, 对环境美观无影响	采用旋转补偿器相对占用的空间较小
23	输送距离	Π型补偿设计, 压降较大, 热损失比较大, 故输送的距离相对较短。	旋转补偿器设计, 压降小, 热损失少, 故相对输送的距离就比较远。	采用旋转补偿器管道的输送距离可以走的更远。

自然补偿与补偿器在 187t/h 工况下工艺运行参数模拟

旋转补偿器计算结果:

如下:

自然补偿计算结果

Jct	Name	Mass Flow Rate Thru Jct (m-ton/hr)	dP Stag Total (MPa)	P Stag In (MPa)	P Stag Out (MPa)	P Static In (MPa)	P Static Out (MPa)	dT Stag (deg C)	T Stag Inlet (deg C)	T Stag Outlet (deg C)	T Static In (deg C)	T Static Out (deg C)	dH Stag (kJ/kg)	H Stag In (kJ/kg)	H Stag Out (kJ/kg)	H Static In (kJ/kg)	H Static Out (kJ/kg)	Sonic Area (meters2)
1	起始点	187.0	0	9.601	9.601	9.601	9.601	0	535.0	535.0	535.0	535.0	0	3.444	3.444	3.444	3.444	4.939E-03
5	终点	187.0	0	8.691	8.691	8.687	8.687	0	516.6	516.6	516.5	516.5	0	3.409	3.409	3.409	3.409	5.388E-03

Jct	Name	Mass Flow Rate Thru Jct (m-ton/hr)	dP Stag Total (MPa)	P Stag In (MPa)	P Stag Out (MPa)	P Static In (MPa)	P Static Out (MPa)	dT Stag (deg C)	T Stag Inlet (deg C)	T Stag Outlet (deg C)	T Static In (deg C)	T Static Out (deg C)	dH Stag (kJ/kg)	H Stag In (kJ/kg)	H Stag Out (kJ/kg)	H Static In (kJ/kg)	H Static Out (kJ/kg)	Sonic Area (meters2)
1	起始点	187.0	0	9.601	9.601	9.601	9.601	0	535.0	535.0	535.0	535.0	0	3.444	3.444	3.444	3.444	4.939E-03
5	终点	187.0	0	8.979	8.979	8.975	8.975	0	522.2	522.2	522.2	522.2	0	3.419	3.419	3.419	3.419	5.234E-03

从上表来看, 自然补偿的压降比旋转补偿方式大

0.2-0.3Mpa, 温降比旋转补偿方式大 5-6 度, 焓值多下降 10kJ/kg。旋转补偿方式在长输蒸汽管道节能方面具有明显优势。

#### 四、结语

根据上表, DN480 管径的管道, 4000m 的长度, 采用旋转补偿器可以节约 1125m 长的管道, 340 个 90° 弯头, 省去 615 道焊口的焊接、热处理以及探伤。

φ 480×40 每米重量 434kg, 1125m 的管道重 488.25 吨, 按每吨 12Cr1MoV 钢管的价格为 14000 元计, 节约钢管金额为 684 万元。

旋转补偿器的预算单价为 14 万元每台, 总共需要 14×40=560 万元, 所节约的钢管费用已足以购买旋转补偿器。

此外还可节约 340 个 90° 弯头, 85 个固定点, 125 个

弹簧支架, 125 个高支墩, 615 道焊口的焊接、热处理以及探伤, 相应 1125m 管道和 340 个 90° 弯头的保温; 同时采用旋转补偿器管道的压降减小, 温降减少, 管道的稳定性也可满足生产需求。

从长远来看, 随着技术的不断改进, 旋转补偿方式在解决了密封泄漏问题后, 在长输高压蒸汽管道相比自然补偿方式无论在投资上还是节能上优势会更愈加明显。

#### 参考文献:

[1]朱小波 旋转补偿器在高压蒸汽管道中的应用及节能效果[期刊论文]-石油化工技术与经济 2013,29(1).

[2]林斌 蒸汽系统设计的探讨【J】. 煤气与热力, 2004, 24 (5) .