

钢管冲洗设备悬臂的设计及反变形制作工艺

杨光彩

(攀钢集团成都钢铁有限责任公司, 四川 成都 610066)

摘要: 钢管冲洗设备是西气东输工程焊管生产线的配套设备, 用于清洗焊接钢管扩径后残留在钢管内外表面上的润滑油脂。介绍了冲洗设备的内冲洗部分的关键构件——悬臂的设计及用减小悬臂挠曲变形的反变形制作工艺。

关键词: 焊接钢管; 冲洗设备; 悬臂; 设计; 反变形制作工艺

中图分类号: TG431 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2311(2005)03-0028-04

Design and Anti-deformation Manufacturing Process of Cantilever of Steel Tube-flushing System

Yang Guangcai

(Pangang Group Chengdu I & S Co., Ltd., Chengdu 610066, China)

Abstract: To clear off the residual lubricant grease inside the welded steel tube left by the expanding process, the steel tube flushing system is used as a necessary equipment for the production line of welded pipes as used for the West-to-East Gas Transmission Pipe Line Project. Described in the paper are the design of the cantilever, a key component of the internal flushing unit of the said flushing system, and the anti-deformation manufacturing process of the cantilever which ensures the bending deformation of the cantilever to be minimized.

Key words: Welded steel tube; Flushing system; Cantilever; Design; Anti-deformation manufacturing process

0 前言

为实施西气东输工程, 我国引进了两条大口径直缝焊管生产线, 该生产线可生产外径406.4~1 422.4 mm、壁厚6.4~38.1 mm、长度8.00~12.02 m的直缝焊接钢管。由于焊接后应力的原因, 钢管会发生变形, 所以必须用扩径处理来矫正。但扩径使用的润滑油脂会对钢管内外表面产生污染, 因此在管道焊接施工和做表面防腐前, 必须对其内外表面进行清洗处理。

为了给上述焊管生产线配套, 攀钢集团成都钢铁有限责任公司承接了设计、制作冲洗设备的任务。该冲洗设备的组成为: 内冲洗装置、外冲洗装

置、平衡提升机构、气缸悬臂支撑、外部防水装置等。冲洗设备采用钢管移动, 冲洗喷头固定的形式。本文将对内冲洗装置的悬臂设计及制作工艺进行介绍。

1 悬臂的结构设计

在内冲洗装置中, 最关键的构件是悬臂。悬臂由外管、输送乳化液和清洁水的内管、装有两圈环形喷嘴的内喷头组成。在进行内冲洗时, 钢管通过辊道前进, 在前进的过程中, 悬臂逐渐伸进钢管内, 此时悬臂末端的内冲洗喷头分别喷出高压乳化液和低压清洁水, 进行两次管内清洗。

为了满足外径406.4~1 422.4 mm、壁厚6.4~38.1 mm、长度8.0~12.02 m钢管的冲洗要求, 悬臂的长度必须大于12 m, 最大外径必须小于最小冲

杨光彩(1966-), 女, 工程师, 主要从事机械设计和机械制造工艺编制工作。

洗钢管的内径 ($\approx 330\text{ mm}$), 在正常工作时的挠度不超过 5 mm ; 而当冲洗最大外径的钢管时, 喷头与内壁环面的距离应相等, 以达到均匀冲洗的效果。经对悬臂的工作状况、抗弯截面模量、加工工艺、材料采购等多方面分析, 确定选用 $\Phi 325\text{ mm} \times 13\text{ mm}$ 的钢管作为悬臂的外管。

如果整个悬臂外管都采用 $\Phi 325\text{ mm} \times 13\text{ mm}$ 的钢管制作, 则悬臂外管自由端因自重而产生的挠度^[1]为 $y = -ql^4/8EI = 230(\text{mm})$ 。若加上内管、管内液体及自由端的内喷头的质量, 悬臂的挠度还会更大。显然, 这样大的挠度是无法冲洗较小规格 (内径 $< 529\text{ mm}$) 的焊接钢管。

为此, 将悬臂外管按阶梯状的变截面梁进行设计, 由 $\Phi 325\text{ mm} \times 13\text{ mm} \times 4200\text{ mm}$ 、 $\Phi 299\text{ mm} \times 13\text{ mm} \times 4200\text{ mm}$ 、 $\Phi 273\text{ mm} \times 13\text{ mm} \times 4200\text{ mm}$ 3种规格的钢管组焊而成, 其结构如图1所示。

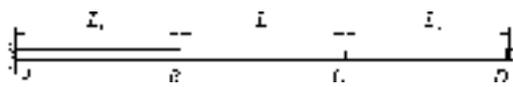


图1 悬臂结构示意图

悬臂在自由状态下, 固定端处的弯矩最大, 可采用较大直径的管材; 越靠近自由端, 弯矩越小, 可采用较小直径的管材。这样的结构相对于全部采用 $\Phi 325\text{ mm} \times 13\text{ mm}$ 的等截面结构可节约管材 20% 。

2 悬臂的挠曲变形

2.1 理论计算

根据材料力学理论, 计算悬臂自由状态下的挠曲变形量。悬臂成阶梯状的外管加上内管及管内液体的重量, 其受力形式可以分解为3个大小不同的均布载荷, 管端的内喷头为一个集中载荷, 现分段

讨论悬臂的挠度和挠角(图2)。

如图2所示, AB段受均布载荷 q_1 、集中载荷 $P_2 + P_3 + P_4 = q_2 L_2 + q_3 L_3 + P_4$ 和弯矩 $M_1 = q_2 L_2^2/2 + q_3 L_3(L_2 + L_3/2) + P_4(L_2 + L_3)$ 的作用; BC段受均布载荷 q_2 、集中载荷 $P_3 + P_4 = q_3 L_3 + P_4$ 和弯矩 $M_2 = q_3 L_3^2/2 + P_4 L_3$ 的作用; CD段受均布载荷 q_3 和集中载荷 P_4 的作用。

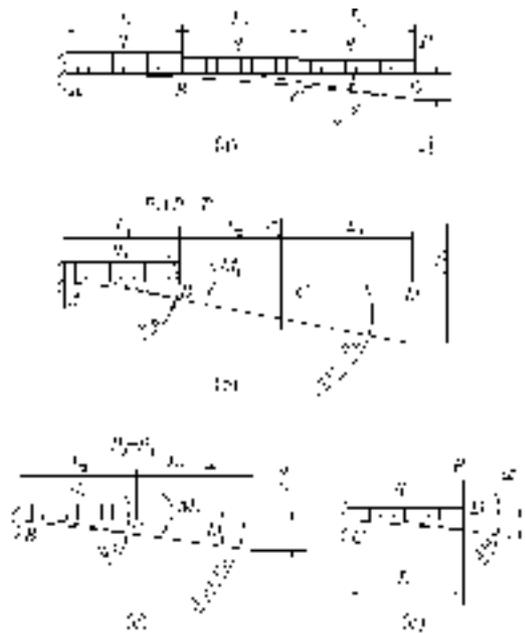


图2 悬臂载荷及各段的变形示意

根据材料力学^[1]的挠曲线和挠角方程式, 代入各已知条件, 求得各段的挠度和挠角, 见表1(表中负号表示挠度向下, 挠角为顺时针方向)。

自由端的挠度

$$\begin{aligned} \sum y_D &= y_{D1} + y_{D2} + y_{D3} \\ &= y_B + \theta_B(L_2 + L_3) + y_C + \theta_C L_3 + y_{D3} \\ &= -137.15(\text{mm}) \end{aligned}$$

表1 悬臂各段端截面的挠度和挠角计算结果

位置	AB段B端		BC段C端		CD段D端	
	挠度 y_B/mm	挠角 θ_B/rad	挠度 y_C/mm	挠角 θ_C/rad	挠度 y_D/mm	挠角 θ_D/rad
计算值	-20.15	-0.008 82	-12.53	-0.005 07	-4.92	-0.001 55

2.2 有限元分析

使用Unigraphics NX2 的有限元分析模块^[2]进行应力、变形分析, 悬臂采用20钢管焊接而成, 弹性模量 $E = 200\text{ GPa}$, 泊松比 $\mu = 0.26$ ^[3], 密度 $\rho = 7850$

kg/m^3 , 重力加速度为 9.8 m/s^2 。以图1所示的悬臂结构为基础, 建立计算模型。设定每段钢管连接处套入长度均为 150 mm , 负荷为重力负荷, 用计算机计算重量; 喷头端简化为集中重力载荷 $1\ 500\text{ N}$, 另一

端为固定端。忽略焊缝、坡口对计算的影响。单元划分采用三维四节点四面体单元,设置单元格尺寸为76.2 mm,通过软件进行局部自动细分,共计划分118 026个单元,226 592个节点,计算结果如图3、图4所示。



图3 悬臂挠曲变形示意

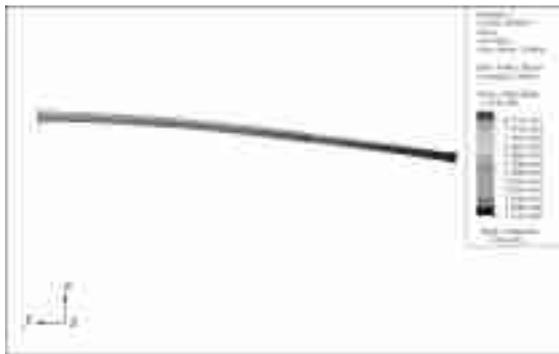


图4 悬臂应力示意

由图3、图4可知,最大位移发生在喷头部,为136.4 mm;最大应力发生在固定端根部,为97.52 MPa,软件分析所得准确率为96.67%,与上述理论计算值相符。

2.3 实际测量值

焊接完成后悬臂水平悬空,实测自由端的下挠量为130 mm。

从上述分析计算得知,冲洗较小直径的钢管,悬臂根本无法伸入;而冲洗大直径的钢管,悬臂末端的内喷头到钢管内壁的距离在各个方向不相同,无法满足均匀冲洗的要求。因此,必须对悬臂采取反变形的措施。

从图4可以看出,悬臂固定端的横截面上顶点有最大拉应力,下顶点有最大压应力,均为97.52

MPa,而材料的屈服极限 $\sigma_s=245$ MPa^[9],取安全系数 $n=1.4$,许用应力 $[\sigma]=180$ MPa。按照第四强度理论来校核: $\sigma_{\max}<[\sigma]$,故悬臂满足强度条件;悬臂材质为低碳钢,具备进行反变形处理的条件。

3 反变形施加位置和反变形量

3.1 确定位置

设在 q_1 、 q_2 、 q_3 、 P_4 综合作用下,悬臂各段的挠度曲线方程可表示为 y_{ix} ,曲率 K 为

$$K = |y_{ix}''| / (1 + y_{ix}'^2)^{3/2}$$

当 $y_{ix}'=0$ 时, $K_{\max}=|y_{ix}''|$,悬臂曲率最大(即曲率半径最小)^[4]。由此可找出弯曲变形最严重处,它们分别为A、B、C截面,这几处即为反变形实施位置。

3.2 反变形量

根据B、C、D点相对于A、B、C截面的挠度值,反变形量应与上述挠度值大小相等,方向相反。

4 反变形工艺方法、原理及操作要点

4.1 方法

分别在A、B、C截面附近确定出反变形加热区位置;在自由端施加向上的力,使悬臂末端上翘;从A截面附近第1点开始,以氧-乙炔火焰在划出的加热区域内将钢管加热到700~800℃;待加热区冷却后,撤除向上的外力,测量B点的挠度。重复上述操作,对A截面附近第2点、第3点进行加热,直到B点相对A点的挠度接近0为止。

同样对BC段、CD段实施上述工艺,直到悬臂在自由状态下全长趋于直线。反变形工艺实施过程中的有关实测数据见表2。

4.2 反变形工艺原理

加热时,由于加热区金属的塑性变形受到施加的外力和周围金属的约束,伸长受限;冷却过程中随着温度的降低,金属收缩,产生新的变形,使悬臂向上弯曲,抵消由自重引起的向下弯曲变形。

4.3 操作要点

(1) 对称加热。如图5(b)中左右两侧的加热角度、温度、加热带宽度尽量相等,两侧同时加热,以保证悬臂的反弯曲变形在垂直平面内发生,避免侧弯和扭曲变形。

(2) 加热温度合理。温度过低,金属的变形抗力大,消耗的外力大,反变形效果不明显;温度过高,会使金属的晶粒粗化,力学性能降低。

表2 实测数据

次数	加热位置 (距A端) /m	加热带宽度 /mm	加热圆周角 θ ($^{\circ}$)	加热温度 /°C	反变形段末首 相对下挠度/mm	自由端相对 固定端下挠度/mm
第1次	0.4	50	90	~750	-8.8	-82.3
第2次	0.8	35	90	~750	-2.9	-52.6
第3次	1.2	25	85	~700	+1.0	-35.2
第4次	4.6	40	90	~750	-3.0	-13.7
第5次	5.1	30	85	~700	+0.1	-2.1
第6次	8.8	40	90	~750	-1.2	+1.6
第7次	9.3	30	85	~700	-0.1	+3.1
第8次	0.6 (下侧)	25	85	~700	+0.2	+0.5

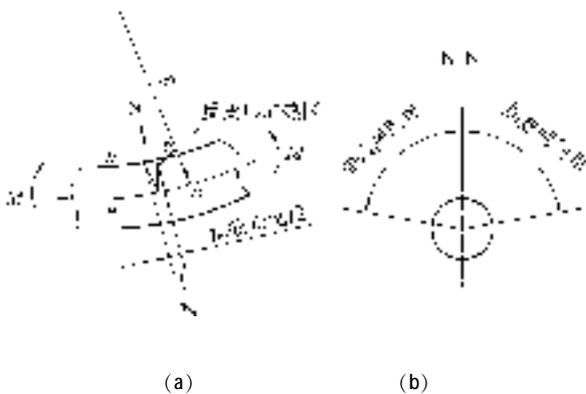


图5 实施反变形工艺原理示意

程规定的动作,经用户验收,满足使用要求。其中经反变形处理的悬臂,自由端的垂直下挠度仅2 mm,小于用户要求的5 mm,整个悬臂直线度在3 mm以内,基本无侧弯和扭曲现象。

6 参考文献

- 1 刘鸿文. 材料力学(上册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1979. 170-264.
- 2 曾 攀. 有限元分析及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004. 90-143, 361-393.
- 3 机械设计手册联合编写组. 机械设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1988.
- 4 同济大学数学教研室主编. 高等数学[M]. 重庆: 高等教育出版社, 1984. 211-215.

(收稿日期: 2004-09-10)

5 结 语

由攀钢集团成都钢铁有限责任公司设计、制造的两套冲洗设备已经交付使用,均达到冲洗工艺流

● 信 息

衡阳华菱连轧管公司 $\Phi 273$ mm连轧管机组建成投产

衡阳华菱连轧管公司 $\Phi 273$ mm连轧管机组是2003年国家发展和改革委员会批准建设的第3批国家重点技术改造“双高一优”项目,是湖南省“十五”期间十大标志性工程。2003年4月动工兴建,2004年5月环形炉第1根底圈梁吊装成功,2004年12月26日成功穿出第1根毛管,2005年2月24日机组全线热负荷试车成功,至2005年5月已生产热轧无缝钢管12万余t。

该机组设计规模为年产热轧无缝钢管50万t,年需管坯55.5万t。生产的钢管直径为133~340 mm,壁厚5~40 mm,长度3.0~12.5 m。产品主要品种是管线管、输送流体用无缝钢管、结构用无缝钢管、石油套管管体、油井管接箍料、高压锅炉用无缝钢管、低中压锅炉用无缝钢管、液压支柱管、化肥设备用高压无缝钢管等。

该机组采用带导盘的锥形辊穿孔+5机架限动芯棒连轧+12机架定径的生产工艺。主要设备从德国SMS Meer公司引进,电机及电控由ABB公司提供。配备了先进的CARTA-CPM(穿孔机工艺辅助设计)、PSS(连轧工艺监控系统)、HCCS(连轧自动辊缝控制系统)、CARTA-SM(定径机工艺辅助设计)、MTS(物料跟踪系统)和QAS(质量保证系统)等工艺控制和质量保证技术。

该机组预计2005年生产无缝钢管20万t,2005年12月之前达到月生产能力(4.2万t),2006年达到设计能力。该机组的建成投产将对我国大直径无缝钢管生产技术的开发,加快国内钢管产品结构和工艺技术结构调整作出贡献。

(衡阳钢管(集团)有限公司 肖松良)