

智能型钢管整体退火炉的设计与应用

田文恒

(中国水利水电第十工程局有限公司 机电安装分局,四川 都江堰 611830)

摘要:接合云南清水河电站压力钢管整体去应力退火过程,介绍了钢管整体退火炉的设计及应用。该退火炉结构紧凑,科技含量高,属节能环保型,经济实用,适用性强,可推广到不同管径及岔管的整体退火,从而解决现场制造中整体退火难以实现的现状。

关键词:钢管;退火炉;设计;程序控制;应用;清水河电站

中图分类号:TV52;TV547;TV547.2;TV547.6

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2015)05-0044-03

1 概述

随着水电建设的不断发展,高水头压力钢管的使用越来越多,对于钢管壁厚较厚,特别是管径小的压力钢管,钢管壁厚与钢管直径的比值已超出规范冷卷制的要求。根据《水电水利工程压力钢管制造安装及验收规范》(DL/T5015-2007)的规定,当钢管内径和壁厚关系符合表1规定时,瓦片允许冷卷,否则应热卷或冷卷后进行热处理。

表1 瓦片允许冷卷的最小径厚比表

序号	屈服强度 /N·mm ⁻²	钢管内径D与 壁厚δ的关系
1	$R_{eL}(R_{p0.2}) \leq 350$	$D \geq 33\delta$
2	$350 < R_{eL}(R_{p0.2}) \leq 450$	$D \geq 40\delta$
3	$450 < R_{eL}(R_{p0.2}) \leq 540$	$D \geq 48\delta$
4	$540 < R_{eL}(R_{p0.2}) \leq 800$	$D \geq 57\delta$
5	$R_{eL}(R_{p0.2}) > 800$	由试验确定

注: $R_{eL}(R_{p0.2})$ 为所卷钢板实际的屈服强度。

在云南清水河电站压力钢管制造安装工程中,压力钢管的水头为880m,岔管要求按1500m水头做水压试验,钢管内径为800mm,钢板材料为Q345C及Q370R两种,板厚从10mm开始以2mm递增至36mm。而按规范要求计算后允许冷卷的钢管的最大壁厚为24.24mm。业主明确要求对于板厚 ≥ 26 mm的钢管进行整体去应力退火。因此,为满足规范及业主要求,对于采用热卷工艺实现不了的钢板,只能采用冷卷后退火。根据其产品特点,通过技术及经济分析得知可以采用常规的履带式加热器覆盖加热的方式进行退火或采用大型退火炉进行退火。前者操作繁琐

且不易控制;后者经济投入大且能耗损失大,退火炉再利用率低。为此,项目部通过技术优化,设计并自制了一台智能型钢管整体退火炉,操作人员根据退火工艺要求,在完成了升温速度、保温时间、降温速度等参数设定后,对升温、保温、降温全过程实施自动控制并自动完成退火全过程记录及曲线打印。

2 设计方案

2.1 总体结构(图1)

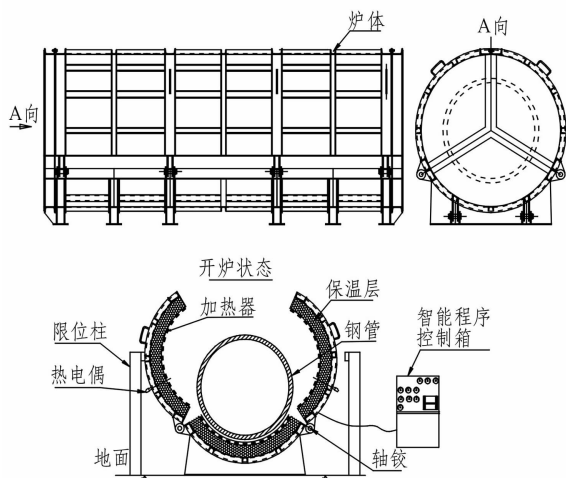


图1 总体结构图

主要包括:炉体结构、保温层、加热器、智能程序控制系统。

2.2 炉体结构

炉体结构为圆柱状桁架结构,由型钢组焊而成。为便于产品入炉、出炉吊装及就位,将炉体设计为平卧。炉体结构沿纵向按圆周角120°分为左、下、右三等分弧形结构,弧形结构两端均有扇

收稿日期:2015-09-28

形封板,退火炉关闭时形成全封闭腔。在下弧形结构外弧上组焊有底座,以便于炉体平稳放置,内弧上布置有弧形支撑隔板,用于摆放钢管;左、右两弧形结构与下弧形结构通过铰链连接,左、右两弧形结构可沿铰链旋转完成退火炉的打开或关闭。为便于保温层、加热器的固定,在炉体结构内弧上组焊了2~3 mm厚的钢板。

2.3 保温层的布置

保温层的保温效果十分重要,保温层的厚度、保温材料的耐火温度、保温材料的致密度是影响保温效果的关键因素。保温层保温效果的好坏直接影响到退火过程中的升温速度及热量损失。该退火炉的保温材料为硅酸铝针刺纤维毯,其耐火温度 $\geq 850\text{ }^{\circ}\text{C}$,保温层厚度为150 mm。保温层布置在炉体结构内弧及两端封板内侧,在内弧上的保温层安装加热器时一并压紧后紧固在内弧钢板上,端部保温层采用压条紧固在封板上。保温层应固定可靠,避免开炉、关炉时掉落。

2.4 加热器的设计

(1)退火工艺曲线及参数见图2。

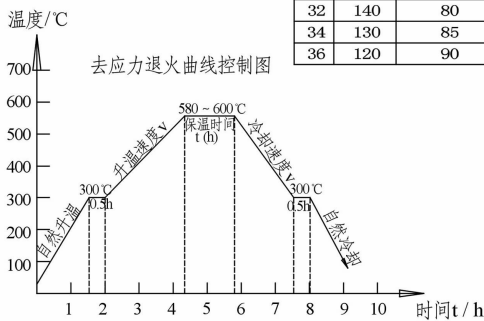


图2 退火工艺曲线及参数图

(2)加热器功率的计算。

采用电加热器,加热器的功率与退火工件的重量及退火工艺参数有关,因此,要根据工件的重量及加热速度、温度进行计算,根据计算结果适当增加富裕功率以补偿未被工件吸收而损失的能量。该退火炉加热器功率估算如下:

$$P = C \times G \times V / 360 / 1\ 000$$

式中 P 为加热器功率(kW); C 为退火工件材料比热容($\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$); V 为升温速度($^{\circ}\text{C}/\text{h}$); G 为工

件质量(kg)。

以最大工件质量4 451 kg,Q345材料比热容 $427\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$,取最大升温速度(自然升温阶段) $200\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$,带入上式计算得出退火炉功率 $P = 106\text{ kW}$ 。考虑到热量转化效率有一定损失,实际取 120 kW 。

(3)加热器结构及布置。

为了使工件均匀加热,减少炉内温差,加热器分21套均匀布置在炉体内。每套加热器由13根耐高温陶瓷加热管组成,固定在加热器支架上以便于弧度的调整及安装。加热器结构见图3。

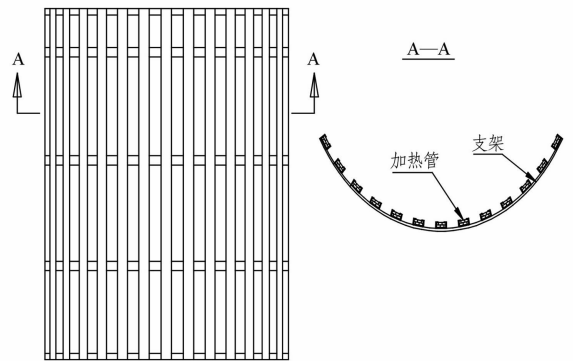


图3 加热器结构图

加热器安装时,采用螺杆与炉体连接固定,其安装简捷、方便且利于维修及加热管的更换,退火炉开炉、关炉时加热器应稳定可靠,不宜损坏。

加热器按圆周上3套为一组,共分7组,由智能程序控制系统完成对各组加热器的控制。退火过程中,各组加热器的工作状态不完全相同,从而减小炉内各部位的温差。

2.5 智能程序电炉的控制系统

智能程序电炉的控制系统是退火炉的核心,智能程序电炉的控制系统是通过智能型FUSI-PXR系列温度控制仪表对被加热的物体所需要的温度进行设定,以达到温度控制的目的。输出电压可通过面板上的调压旋钮调节,调压元件为模块设计,稳定性高。

智能程序电炉的控制系统由主回路和控制回路组成。主回路包含熔断器、空气开关及可控硅。控制回路主要由温度控制仪表、可控硅调压模块等组成。

热电偶安装在炉体上并伸入炉内,炉内温度信号经热电偶信号线反馈回智能程序电炉的控制

系统,智能程序电炉控制系统根据已设定的参数分别进行各组加热器的工作控制。为了准确控制炉内各部位的温度,降低炉内各部位温差,共均匀布置了7个热电偶,即7个温控点。

智能程序电炉控制系统控制箱结构紧凑、直观。面板上安装有电流表、电压表、PXR温控表、电压输出调节旋钮并配置有自动记录仪。PXR温控表为便于操作,根据实际使用情况,其内部参数已调试好并加以屏蔽。退火时操作人员只需掌握几个简单的操作要领即可按退火要求完成程序设定。

智能程序电炉控制系统的主要技术参数:输入电压380(V),50 Hz;输出电压380(V);温度控制范围0~1 000℃;7个温控点;12个记录点;输出总额定功率120 kW。

3 退火炉的应用

该退火炉经安装、调试后,已成功应用于清水河电站压力钢管退火,其操作简单,取得的效果良好。退火过程如下:

(1) 炉膛清理。

工件入炉前,关闭退火炉所有电源,将炉体左、右两半沿铰链旋转打开,检查、清理炉内加热器上的氧化杂质等物体。清除所有氧化物和其它杂物,同时检查加热器是否有凸起、保温层是否有脱落等。

(2) 钢管入炉。

退火炉打开后,将钢管水平吊入炉内,平稳放置在炉内支撑架上。由于炉内空间有限,吊装时应小心作业,避免碰到加热器而造成损坏,放置时应将钢管对称放置,以免影响退火炉的关闭。

(3) 关闭退火炉。

钢管吊入炉内放置平稳后,关闭退火炉。为了提高退火炉的密封效果,减少热量损失,关闭退火炉时应注意合缝处的保温层不被挂落,同时要压紧合缝位置,减少热量从合缝处溢出。

(4) 退火启动。

退火炉关闭后,接通退火炉电源,根据退火工艺要求,按智能程序电炉控制系统的操作说明书完成温度、升温(或降温)速度、保温时间等参数设定后启动退火炉后进入退火状态。退火结束后,自动完成曲线打印。

(5) 过程监控。

退火过程虽然是由程序控制自动完成,但必须有专人进行监控,监控加热器、仪器仪表等各部位工作是否正常,如有异常,应及时通知相关专业人员进行故障排除并做好记录及打印纸标识,以便过程控制及可追溯。

(6) 退火成果的收集。

退火成果是重要的见证资料,能清晰反映出退火的全过程变化,也是竣工资料的重要组成部分。因此,要及时做好每次退火记录及打印曲线的整理及收集工作,并对应工件做好标识及归档保存。

退火结束后,打开退火炉,吊出钢管。进入下一炉退火时,按上述过程进行,依次逐节完成钢管整体退火作业。

4 退火炉具有的特点及优势

该退火炉已成功应用于清水河电站压力钢管整体退火,效果良好,具有操作简单、能耗低、环保、经济实用、科技含量高等特点:

(1)该退火炉采用智能温控仪表、调压模块元件、可控硅及自动记录仪等新技术,组成了智能程序控制系统,通过调节电压实现所需功率的变化,替代了过去采用的全开、全关控制模式。因此,其科技含量高,性能稳定可靠,能耗低。

(2)该退火炉结构紧凑,加热器、保温层均匀布置,工件受热均匀,保温效果好,热量损失小,炉内最大温差小于15℃,满足《水电水利工程压力钢管制造安装及验收规范》(DL/T5015-2007)规定的炉内温差不大于50℃的要求。

(3)控制系统操作简单,操作人员只需掌握几个简单的操作要领即可按退火工艺要求完成工艺参数设定,退火过程由程序自动完成,不受人为因素影响,控制精确度高并能自动完成曲线打印,具有较好的可追溯性。

(4)工件入炉、出炉吊装方便,效率高,节约了大量的辅助时间。

(5)该退火炉实用性强,可完成其它工件的热处理,对大型钢管的整体热处理只需对炉体弧度作相应调整即可满足要求,且炉体结构制造简单,便于施工现场制造,从而解决了施工现场不同规格的钢管及其它产品的整体热处理。

5 结 语

(下转第58页)

$$= 13.5^\circ$$

$$\begin{aligned}\sum N_{\max} &= \sum G / \cos\theta \\ &= 90\,450 / \cos 13.5^\circ \\ &= 93\,018.4 \text{ (kg)}\end{aligned}$$

(3)数量计算。

$$n \geq \sum N_{\max} / (\mu \times Ge)$$

式中 μ 为电动葫芦的安全系数,取 $\mu = 0.75$; Ge 为电动葫芦额定载荷, $Ge = 10\,000 \text{ kg}$ 。

$$\text{则: } n \geq \sum N_{\max} / (\mu \times Ge) = 93\,018.4 / (0.75 \times 10\,000) = 12.4$$

即 n 取大于等于 13 的整数。该储罐顶盖瓜皮板数量为 30 块。经综合考虑, n 取 15 有利于顶板开天窗。综上所述,取 $n = 15$ 。

6.2 立柱的选用及稳定性校核

立柱受到的外力为轴向压力,立柱的稳定性是关系到施工安全的重要因素。由于径向及横向拉杆的牵引平衡了电动葫芦边角的水平分力 N_1

表 2 计算结果表

项 目	钢管尺寸 /mm					
	$\phi 133 \times 5$	$\phi 133 \times 6$	$\phi 168 \times 6$	$\phi 168 \times 7$	$\phi 219 \times 8$	$\phi 219 \times 12$
最小惯性矩 / cm^4	412.4	483.72	1\,003.12	1\,149.36	2\,955.43	4\,193.83
临界应力 /MPa	51.48	50.72	82.46	81.48	139.89	134.89

$$F \geq \mu w \times F_{cr}$$

式中 μw 为安全系数,取 3 ~ 5; F 为立柱受力垂直分力, $F = N_1 \times \cos\theta = [\sum G / (n \times \cos\theta)] \times \cos\theta = \sum G / n = 3\,100 \text{ (kg)}$ 。

综上所述:本次施工选用 15 根 $\phi 219 \times 8$ 钢管做立柱可满足提升要求。结合以往的工作经验,立柱间距小于 4 m 时更利于安装。最终决定每台 $6\,000 \text{ m}^3$ 的储罐采用 20 根钢管立柱作为提升工装。

7 结 语

(1)该项目通过内立柱电动葫芦倒装法施工,使大型油罐的安装过程变得简单,简化了油罐

(上接第 46 页)

该退火炉充分利用了可控硅技术及程序模块元件,实现了智能程序控制,科技含量高。在节能降耗、环保及经济适用性方面优势突出,并很好地解决了现场施工中新建常规整体退火设备经济投入高、技术实现难度大的现状,同时,在其它热处理

$\times \sin\theta$,故将立柱近似考虑为仅受竖直压力,因此,将立柱的受力计算简化为材料力学中的一端固定、一端自由的压杆稳定性计算。

压杆稳定取决于压杆的细长比 λ 和临界应力 F_{cr} 。当细长比非常大时,临界应力是压杆失效的主要形式。

临界应力计算:

$$F_{cr} = \pi^2 EI / (\mu L)^2$$

式中 μ 为长度系数,与压杆的约束条件有关,一端固定、一端自由的压杆 μ 取 2; L 为压杆长度,与电动葫芦提升高度和各圈壁板的高度有关。这里取 4.5 m; E 为弹性模量,碳钢弹性模量为 $210 \times 10^9 \text{ N/m}^2$; I 为压杆截面的最小惯性矩,管的最小惯性矩计算为 $I = \pi(D^4 - d^4)/64$ 。

几种常用的钢管临界应力计算结果见表 2。

若要保证立柱稳定,则需满足

的施工过程,减少了高空作业,使油罐安装起升平稳、安全可靠、操作简单。

(2)4 个 $6\,000 \text{ m}^3$ 油罐的焊缝对口、焊接全部在地面施工,通过热处理及水压试验后对焊缝进行复查,未发现任何质量缺陷,保证了质量,达到了美标规范和设计要求。

作者简介:

张平堂(1970-),男,甘肃兰州人,工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作;

谢小波(1987-),男,四川宜宾人,助理工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

技术提升方面也具有较好的参考价值。

作者简介:

田文恒(1971-),男,云南昭通人,结构厂总工程师,工程师,从事金属结构制作安装技术及管理工作。

(责任编辑:李燕辉)