

大容量单段式橡胶膜密封型煤气柜安装技术分析

李焱熠 贾志强 易大帆
(中冶建工集团有限公司 重庆 400084)

摘要: 本文通过对大容量单段式橡胶膜密封型煤气柜的结构特点分析,结合气柜的安装技术要求,以问题为导向,制定和开发了科学有效的安装技术,提升了大容量单段式橡胶膜密封型煤气柜的安装质量和施工效率,取得了较好的经济效益和社会效益,对类似工程的实施有积极的借鉴意义。

关键词: 单段式;橡胶膜密封;煤气柜;安装技术

0 引言

近年来,我国钢铁工业迅猛发展,钢铁冶金技术不断进步,使得钢铁企业副产煤气资源量越来越多。实现煤气的充分回收、合理利用,对于钢铁厂降低成本、发挥其能源转换作用具有重要的意义,不仅有利于降低钢铁厂单位产品的能源消耗,还能够减少污染物的排放。

在钢铁企业中煤气的回收利用需要配置相应的煤气储存和输配系统,煤气柜是其中重要的组成部分。煤气柜的作用是稳定煤气管网压力,缓冲煤气生产与使用之间的不平衡和减少煤气放散。

煤气柜诞生于欧洲,20世纪30年代中国开始建造煤气柜。目前市场运行的主流煤气柜为干式煤气柜,常见的干式煤气柜有多边形稀油密封型煤气柜、圆筒形稀油密封型煤气柜、橡胶膜煤气柜等。其中橡胶膜煤气柜具有适用范围广、运行压力稳定、活塞运行速度快、日常零维护、投资省、操作简单等优点,在国内及世界范围应用越来越广泛,橡胶膜煤气柜分为单段式和两段式。

目前国内普遍使用的大容量橡胶膜密封型煤气柜是两段式,但是随着技术的进步,大容量单段式橡胶膜密封型煤气柜使用的越来越多。单段式橡胶膜密封型煤气柜与两段式橡胶膜密封型煤气柜相比,具有储气压力稳定、操作简单、维护量更少、更加安全可靠等优点,钢铁企业也越来越青睐大容量单段式橡胶膜密封型煤气柜。本文以80000m³单段式橡胶膜密封型煤气柜为例,对其安装技术要点进行论述,对类似工程有一定的参考价值。

1 大容量单段式橡胶膜煤气柜概况

80000m³单段式橡胶膜密封型煤气柜外形为圆柱形,工程容积为80000m³,存储介质为高炉煤气,储气压力为(11.5±0.2)kPa,储气温度为-30~70℃,气柜直径为58m,气柜截面积为2642m²,侧板高度

45.9m,柜体总高54.2m,立柱30根,调平装置8组,橡胶膜面积2727m²,活塞行程30.5m,设计活塞最大升降速度4m/min,最大吞吐量(工况)358200m³/h,煤气柜设计寿命30年,橡胶膜寿命8年,煤气柜结构及外形尺寸如图所示。

煤气柜柜体主要由立柱、侧板、底板、活塞、柜顶板、密封橡胶膜、活塞调平装置、环形走道(环形抗风)及爬梯平台等部件组成。煤气柜外壳是由侧板、立柱、柜顶及底板构成的一个固定圆形几何体,其内部有一个可上下降落的活塞,侧板与活塞之间的密封方式采用橡胶制的薄膜密封,整个煤气柜钢结构工程量约为1600t。另外气柜外部还有调平装置、煤气进出口管、自动放散管、柜容指示器等辅助的工艺设施。

煤气柜底板主要由5mm及6mm钢板搭接焊制而成,气柜底板中央部分要做成圆拱形,紧贴基础面(基础面的该部分也是同样的圆拱形,球面半径96.789m)。

煤气柜立柱共30根,主要由HM294×200×8×12热轧H型钢组成,立柱最大高度为45.9m(未包含施工时的延长部分),每根立柱分为4段现场拼接而成。

气柜侧板为圆弧形,主要由5mm或6mm钢板与L110×70×7的角钢组合而成,各段侧板均使用加强角钢加固并与立柱连接固定。侧板从其功能上看可分为上部呼吸系统和下部煤气储存部分,两部分的分界线为焊于侧板中下部内侧的密封角钢环的下表面处。上部呼吸系统的侧板上设有大量的通风孔,与屋顶周边的通风孔和中央通风孔一起承担着柜内活塞上部空间的呼吸换气功能。在上部呼吸系统处于楼梯间的每段侧板上均设有进入柜内的门,该门日常处于关闭状态,以免影响橡胶膜的运行。下部煤气储藏部分的每条焊缝都要进行气密性检查。气柜顶采用型钢组成的骨架,满铺由5mm钢板搭接焊制的盖板组合而成,在中央部位设有换气用的通风帽。

气柜活塞采用型钢组成的骨架,由满铺5mm钢板

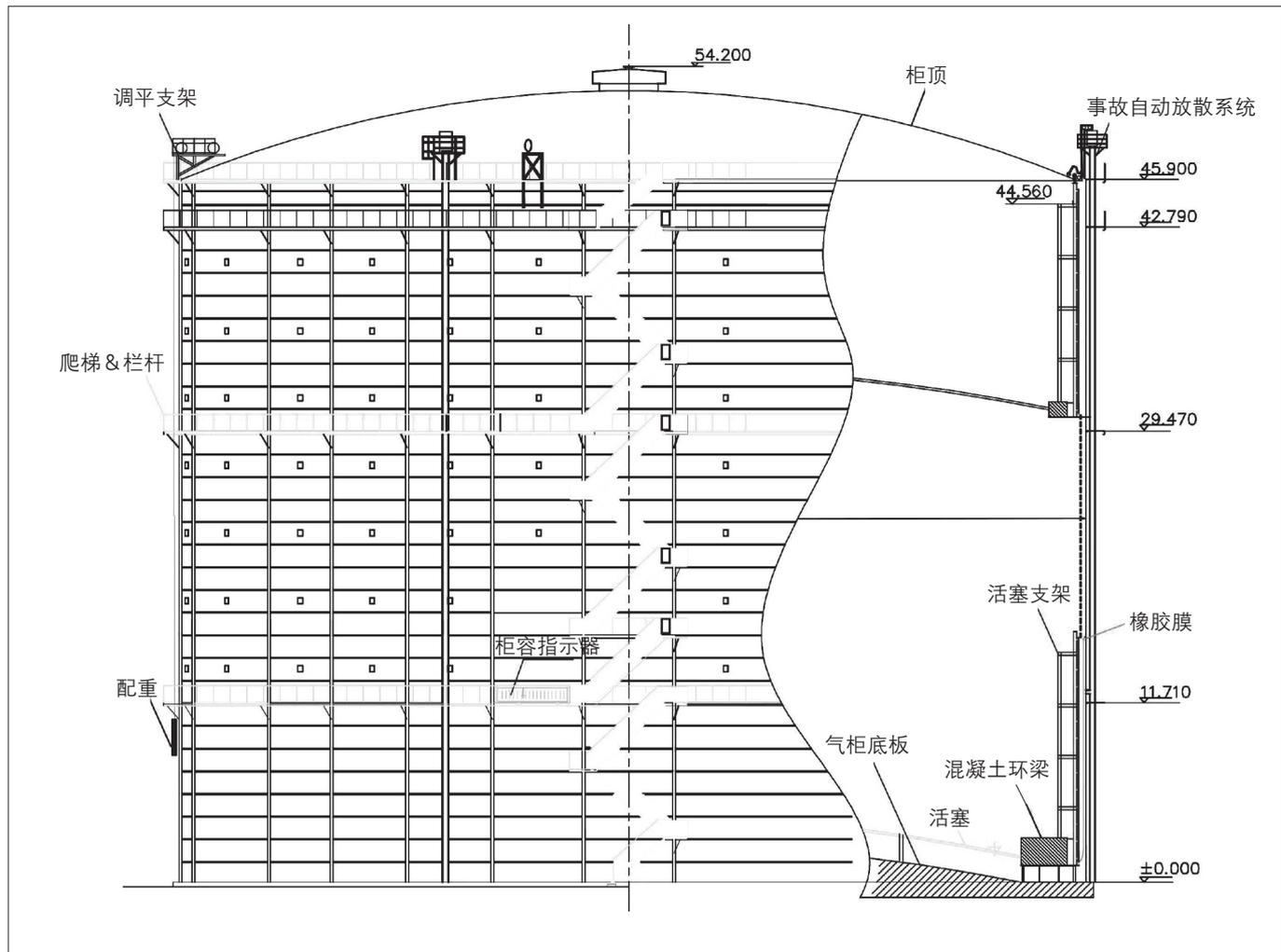


图 80000m³ 单段式橡胶膜密封型煤气柜结构及外形尺寸

搭接焊制的盖板组合而成，在其周围设有一道环形钢箱梁，箱梁中浇筑混凝土。整个活塞钢结构工程量约为335t，在环形箱梁浇筑混凝土（约1000m³混凝土）后，整个活塞重量约为2750t。环形梁上方设置一圈活塞挡架，配备波纹板，活塞底部与气柜侧板间采用橡胶膜作为连接材料，活塞、底板、下部侧板及橡胶膜形成一个容积可变的密闭空间以存储煤气，另外为了对活塞重量进行精准调节还备用了若干混凝土块作为调节配重。

气柜外部在11.7m、29.47m、42.79m及45.9m标高（相对标高）处分别设置有4层环形走道，作为煤气柜日常检查通行之用，也可以起到抗风作用，另在气柜外部设置一部同气柜高度一致的爬梯，作为应急之用。

2 大容量单段式橡胶膜煤气柜安装重点难点分析

大容量单段式橡胶膜煤气柜具有制作安装钢构件多、施工作业面集中、安装精度高、焊接工作量大、焊接变形控制难度大等特点。

80000m³单段式橡胶膜密封型煤气柜本体呈矮胖型，其高径比（侧板的高度和直径的比值）为0.79，单位容

积的耗钢量为19.4kg/m³，每一座煤气柜需要制作并安装的钢构件约1600t，零星小型构件居多，类型复杂，数量庞大（近20000件）。

80000m³单段式橡胶膜密封型煤气柜为直径 ϕ 58m的圆柱体，作业面积为2642.1m²的圆形面，需要安装的设备及构件近17000t，侧板安装层数32层，还有柜底、活塞、柜顶三大薄板焊接作业层，在高度集中的作业面内提高效率的难度非常大，主要工序难以穿插进行。

橡胶膜密封型煤气柜安装精度要求高，一般钢结构安装要求柱子标高偏差-5~3mm、立柱中心线基准偏差为5mm，柱子垂直度偏差为H/1000，多节柱全高偏差35mm；而煤气柜基柱标高允许偏差 \pm 3mm且相邻基柱标高差不能超过2mm，基柱中心线对定位轴线允许偏差轴向 \pm 3mm、切向2mm，基柱径向、切向垂直度为h/1250（h为单节立柱高度），30根45.9m长立柱，每根立柱分四段现场焊接而成，最终保证柱顶标高偏差 \pm 15mm，总体而言橡胶膜密封型煤气柜安装精度高于普通钢结构。

煤气柜现场需要焊接的钢构件为1600t，除部分骨

架、立柱外，多为5mm或6mm厚的钢板，焊接量巨大，且由于板材薄且成型面较大，容易产生较大的焊接变形，施工进度和施工质量控制是橡胶膜煤气柜施工的重点。

3 大容量单段式橡胶膜煤气柜安装工艺及关键技术

3.1 安装工艺流程

单段式橡胶膜煤气柜安装的主要工作流程：基础复测→底板安装→底板真空试验→活塞垫梁安装→活塞环梁安装→活塞骨架安装及壳板敷设→活塞环梁混凝土浇筑→柜顶骨架安装→柜顶壳板安装→柜顶提升工装安装→柜顶提升→柜顶提升工装拆除→活塞挡架安装→波纹板安装→橡胶膜安装→调试→气密性试验→投产运行。

其中立柱基座安装、活塞骨架组装、活塞挡架下段安装可以在活塞环梁混凝土浇筑前同时进行；柜顶提升工装安装前需要完成立柱第1段（基柱）的安装及1~3段侧板安装；随着柜顶的提升，同步完成第2~4段立柱安装、第4~32段侧板的安装、第1~4层平台及气柜楼梯的安装；柜顶提升到位后，可以在气柜内外同步开展工作，在柜内安装活塞挡架、波纹板的同时，柜外可以进行调平装置安装、配重安装、鼓风机安装、柜顶附件安装、侧板附件安装、气柜放散管安装、排水装置安装、电仪安装等。

3.2 关键技术运用

3.2.1 采用先进技术，提高施工效率

充分运用工厂化制作、模块化施工、同步施工工艺等科学先进的施工组织方式，解决制作安装钢构件多、施工作业面集中的问题，提高施工效率。

橡胶膜密封煤气柜需要制作的钢结构件具有数量大、非标弧形件多，构件类型多、安装孔定位要求高等特点，煤气柜的钢结构件制作优选工厂化制作，这不但能够极大提高构件的制作质量，还能提高现场的施工效率，避免造成工人在施工现场窝工待料的情况发生，便于形成短平快的施工组织模式。

虽然煤气柜构件数量多，但是因为其特定的结构形式，也存在大量的相同规格的构件，安装位置类似、安装方法类似、单件重量不大等特点，积极运用模块化施工，便于实现多项工作同步进行安装，减少了高空作业，降低了安全风险，提高了施工效率。活塞及柜顶骨架在地面组装平台组装成“A字梯形”骨架模块、通风帽在地面组织成整体后一次性安装就位、柜顶模块在低处组装完成后整体提升等。

为了提高效率，煤气柜施工过程中充分利用同步施工工艺，采用双塔吊对称高低布置，均能全覆盖气柜作业面，确保气柜同步作业点不少于两处；活塞环梁需要浇筑近1000m³混凝土，在浇筑时采用双泵车同时浇筑，提高浇筑效率和质量；波形板采用双卷扬机安装，从同

一点开始同步相向而行，施工效率至少提高一倍；煤气柜封顶后，在气柜侧开设施工门，柜内柜外同步施工，互不干扰。

3.2.2 优化测控方案，确保安装精度

80000m³单段式橡胶膜密封型煤气柜以30根立柱为骨架形成了圆柱形结构，保证了煤气柜的“圆柱度”，才能保证其运行的稳定可靠，因此优化测控方案，确保安装质量是大容量单段式橡胶膜煤气柜安装的重点内容。

确定好煤气柜的中心原点和各立柱的中心副标记点是最基础的工作。通过与基础施工专业人员的工作交接，确定煤气柜的中心原点，在煤气柜的中心原点设置经纬仪，按照设计给定的纵横中心线划定经纬线。通过各立柱中心线与经纬线的夹角值，确定各立柱的中心线，结合各立柱中心到煤气柜中心原点的距离确定各立柱的中心位置。利用各立柱中心点之间的理论弦长关系，校核各立柱中心位置是否正确。由于各立柱的中心位于底座下方，施工时不能直接使用，需要沿立柱中心线向外延伸一段距离L（建议超出底座外边缘100mm）作为立柱的中心副标记点，在立柱安装过程中直接使用。基柱的安装精度是保证气柜安装质量的基础，安装过程中不但要保证其垂直度，还要认真核实其位置、标高，应做好复测核实。在基柱安装好以后，各段立柱安装过程中要严格控制各立柱的顶面标高和垂直度。立柱的定位控制使用光电测距仪进行调整，其垂直度用经纬仪进行调整。

3.2.3 科学施焊，提高焊接质量和效率

煤气柜体积大、钢板薄，焊接工作量大，焊接质量要求高。因此需要采取科学的焊接方法，实现优质高效完成焊接任务。

3.2.3.1 焊接原则

(1) 根据柜体构造形式，确定焊接程序和分区划分，对称布置焊工。

(2) 根据各分项工艺需要采用分段、对称、跳焊（或反向退焊）法施焊。

(3) 尽量采用窄焊道、短弧操作，定位焊时应预先检查好焊缝尺寸，按间隔150~200mm点焊固定。

(4) 一般焊接应严格遵守先焊短缝后焊长缝，先焊里面后焊外面，先焊成局部后再焊成整体的程序。

(5) 每段侧板焊缝均要从中心向左右两侧施焊。

(6) 多层焊缝层间温度应有所控制，一般在75~150℃或按实际需要确定。

3.2.3.2 橡胶膜煤气柜底板焊接有较强的代表性和示范性

(1) 在煤气柜基础检查验收完毕后，进行测量放线、确定气柜中心、做好标记，然后进行底板铺设。

(2) 基础中心确定后，依据气柜基础基准线进行底板铺设并在关键板中心焊接中心销，铺设4芯基准板。

(3) 底板铺设的轴心为纵向，沿着基准板成90°交替，

从中心向外周顺序铺设,过程中临时点焊固定。

(4) 底板边环板铺设以键板中心销为基准,确定球板铺设标记。先决定最外周环板的外径并进行定位焊接,然后每完成一圈由外向内、由低向高依次敷设环状板,注意保证不同层板之间的重叠尺寸要满足设计要求。

(5) 端部板的铺设。考虑与起弧底板的重叠尺寸,做上形状标记并气割后铺在既定位置上。

(6) 底板全部铺设完毕后进行定位焊接,先进行圆顶部焊接,从中心板的纵向接缝开始,先进行定位焊接,间距 75mm,3 块板的重叠部分 300mm 范围先不焊接,纵向焊缝焊完后,进行横接缝焊接,焊接前同样进行 75mm 间距定位焊,焊接顺序从中央向周边进行,但周边的端部必须为 700mm 不焊,在定位焊接中,三块板重叠处最上面板进行切角,在平面加工后,应确定无裂缝再进行下一道工序。

(7) 正式焊接时,将底板等分为 4 部分,分界线为底板拼接垂直结合线,分界线作为最后的焊接线。底板焊接由中心起向周边进行,焊接方法应采用后退法。焊接时应根据需要使用夹具以防止偏歪,在焊接过程中将定位焊缝切断时,立即进行修补。

(8) 环板焊接。首先进行平面环状板的圆周接缝焊,先将环板定位焊接,然后由 6 名焊工均匀分布在环板上向同一方向同时开始正式焊接,圆周接缝焊接结束后,由内向外依次焊接底板与环板、环板与环板之间的重叠焊缝,最后焊接底板等分的分界线。

(9) 底板焊缝全部结束后,对焊缝 100% 进行真空试验,无渗漏为合格。

(10) 底板工作完成后用经纬仪等在底板上进行中心确定,并确定活塞支柱基板的位置,侧板组装位置,柜顶外围板位置,并分别做上标记。

3.2.3.3 提高焊接功效的方法

(1) 一座 80000m³ 单段式橡胶膜密封型煤气柜配备 15 ~ 20 名焊工是较为经济合理的人员配置,不但能够保证施工效率,也能够充分发挥人员的作用,不会窝工。

(2) 在立柱和侧板上设置定位销孔,不但有利于提

高侧板安装定位的质量,也有利于快速对侧板定位,为提高侧板焊接速度打下了基础。

(3) 在活塞板的四板结合处增加圆形补强板,沿圆形补强板圆周满焊,避免了四板结合处漏焊、焊接薄弱的可能,减低气柜使用过程中活塞漏气风险。

(4) 结合煤气柜大直径、多层侧板、各层侧板连接全部满焊的特征,现场制作焊接辅助小车,小车挂在侧板上端,通过小车上安装的带槽滚轮与侧板之间轻松实现相对运动,焊工在小车内可以独立拉动小车沿气柜圆周方向移动,避免了反复拆装焊接吊笼的工程,提高了施工效率。

(5) 底板焊接时,要随焊随敲打焊缝以消除应力,在其上部压放活塞垫梁或增加防变形夹具,对限制其起拱变形有一定的作用。

4 结语

大容量单段式橡胶膜煤气柜的安装,首先要对其特殊的结构形式进行分析,然后结合图纸、规范及合同要求,以保证安全和质量为前提,制定科学的施工流程和方法。在人员组织、工序设计、方案选择上进行优化,最终实现优质高效地完成大容量单段式橡胶膜煤气柜的安装,在类似工程组织中有着积极的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 张琦,王建军.冶金工业节能减排技术[M].北京:冶金工业出版社,2013.
- [2] 杨若仪,等.冶金燃气与钢铁新流程[M].上海:上海科学技术文献出版社,2013.
- [3] 谷中秀,胡思远.橡胶膜型干式煤气柜[M].北京:冶金工业出版社,2010.
- [4] YB 4410-2014,煤气柜工程施工及验收规范[S].
- [5] GB 50205-2001,钢结构工程施工质量验收规范[S].

作者简介: 李焱熠(1981.02-),男,汉族,河北衡水人,本科,高级工程师,研究方向:建筑安装。

(上接第 43 页)

的变化和故障分析等来确定隐患位置并进行异常报警处理;同时利用传感器技术实现在线监测功能的模块化设计,该装置可实时采集监控信息与人工神经网络连接后自动识别故障模式,及时发出控制命令,有效降低了人力物力的投入成本。

参考文献:

- [1] 安天柱.X 光在线监测系统在钢丝绳芯带式输送机中的应用[C].(第二届)全国煤矿机械与救援装备高层论

坛暨新产品技术交流会论文集,2011.

- [2] 邹晓华,朱加双,徐国春.钢丝绳在线自动检测系统在岸桥上的应用[J].港口科技,2018(12):5-8+12.
- [3] 奂光润,谢良魁,张豪,等.基于弱磁无损检测技术的钢丝绳在线监测系统的应用与实践[J].能源与环保,2019,41(6):101-106.

作者简介: 符必明(1980.08-),男,汉族,海南东方人,本科,工程师,研究方向:设备管理。