焊接

长输管线全焊接球阀焊接工艺概述

文章从全焊接球阀阀体及焊接材料、焊接方法、焊接结构、焊接工艺及相关试验等方面进行总结，为全焊接球阀生产厂商的生产指导和用户使用提供参考。

文 | 陕西航天泵阀科技集团有限公司 靳卓 荣浩 李召 王海波

更多精彩请扫描二维码

长输管线阀门是油气管道为实现集输、分输和调节输量，以及站内循环、设备连通、倒罐、越站及清管器收发等作业所使用的控制部件。长输管线阀门既是保证管道运行安全的设备，又是进行管道输送自动控制和运行调度的主要工艺设备。

在长输管线阀门中，尤以管线球阀使用居多。在国家重点管道工程中，主干线截断阀全部采用进口大口径全焊接球阀，要求使用寿命必须达到 30 年及以上。支线及站场 26″ 以下规格截断阀采用分体式球阀。纵观重点管道工程所采用的全焊接球阀，其主要特性有可靠性高，阀体具有足够强度，外泄漏部位少，活动部件耐磨，在频繁操作下能长期正常运行；密封性好，在高压工况和在油、气长期浸泡下能达到零泄漏；开关灵敏性高；油气通过时阻力小；重量轻，安装简便；能在全天候条件下工作；具有防火、防静电功能等。管道工程的发展与建设，极大地促进了管线球阀的设计、制造、工艺的进步，同时对管线球阀提出了更高的要求。

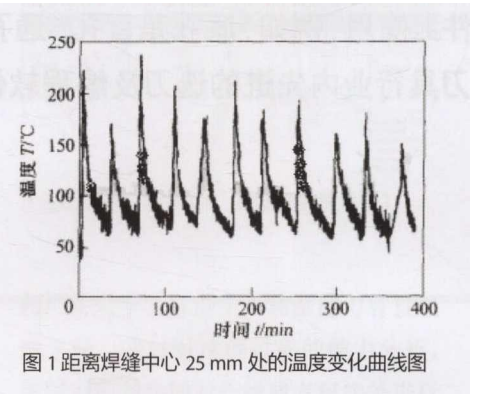

图 1 距离焊缝中心 25 mm 处的温度变化曲线图

阀体与焊接材料分析

全焊接球阀阀体材料通常采用碳素钢或低合金钢，如 ASTM A105、A694、A350 和 A516 等，其化学成分对焊接时结晶裂纹的形成有着重要影响。焊接时，焊缝中的 S、P 等杂质在结晶过程中形成低熔点共晶。其中硫对形成结晶裂纹影响最大，但其影响又与钢中其他元素含量有关，如 Mn 与 S 结合成 MnS 而除硫，从而对 S 的有害作用起到抑制作用。Mn 还能改善硫化物的性能、形态及其分布等。因此，为了防止产生结晶裂纹，对焊缝金属中的 Mn/S 值有一定要求。Mn/S 值多大才有利于防止结晶裂纹，还与含 C 量有关。含 C 量愈高，要求 Mn/S 值也越高。Si、Ni 及杂质的过多存在也会增加 S 的有害作用。严格控制阀体材料采购时的化学成分，制定相关的材料采购标准，是有效避免阀门焊接时产生结晶裂纹的有效途径之一。

焊丝主要作为填充金属，向焊缝添加合金元素，直接参与焊接过程中的冶金反应，其化学成分和物理性能不仅影响焊接过程中的稳定性、焊接接头性能和质量，同时还影响着焊接生产率。

焊丝材料的选择主要根据阀体材料来进行。对常用阀体材料，通常所选用的焊丝材料有碳素钢焊丝如 H08MnA、低合金钢焊丝如 H10Mn2。同时，焊丝直径的选择对焊缝形状也有着较大的影响，在焊接电流、电弧电压及焊接速度一定时，焊缝熔深与焊丝直径成反比，熔宽与焊丝直径成正比。对于全焊接球阀常采用的埋弧自动焊，其焊丝直径一般为 ϕ2.5~6 mm。

焊剂在焊接过程中起隔离空气、保护焊缝金属不受空气浸害和参与熔池金属冶金反应的作用。当焊丝确定后，配套用的焊剂则成为关键材料，它直接影响焊缝金属的力学性能（特别是塑性及低温韧性）、抗裂性能、焊接缺陷发生率及焊接生产率等。这就要求焊剂必须具有良好的冶金性能和工艺性能，颗粒度符合要求。

普通焊剂颗粒度为0.45~2.50 mm；0.45 mm以下的细粒不得大于5%，2.50 mm以上的粗粒不得大于2%；细颗粒度焊剂粒度为0.28~1.425 mm，0.28 mm以下的细粒不得大于5%，1.425 mm以上的粗粒不得大于2%；含水量w（H2O）≤0.10%；机械夹杂物的含量不得大于0.30%（质量分数）；含硫磷量w（S）≤0.060%，w（P）≤0.080%。全焊接球阀采用埋弧自动焊，配合以空冷或风冷方式进行焊接。长输管线球阀锻钢阀体壁厚通常在40 ~ 50 mm以上，宜采用窄间隙坡口埋弧焊，坡口底层间隙为8 ~ 35 mm，坡口角度为1° ~ 7°，每层焊缝道数为1 ~ 3，常采用工艺垫板打底焊。为使焊丝送达窄坡底层，需设计能插入坡口内的专用窄焊嘴，焊丝向下伸长度常取45 ~ 75 mm，以获得较高熔敷速率。焊接时采用专用焊剂，其颗粒度一般较细，脱渣性应特好，并满足高强韧性焊缝金属性能。为保证焊丝和电弧在深而窄坡口内的正确位置，必要时须采用自动跟踪控制。

焊接过程及分析

焊接电流：当其他条件不变时，熔深与焊接电流变化成正比、电流小、熔深浅，余高和宽度不足；电流过大，熔深大，余高过大，易产生高温裂纹。

电弧电压：电弧电压与电弧长度成正比，在相同的电弧电压和焊接电流时，如果选用的焊剂不同，电弧空间电场强度不同，则电弧长度不同。当其他条件不变时，电弧电压低，熔深大，焊缝宽度窄，易产生热裂纹；电弧电压高时，焊缝宽度增加，余高不够。埋弧焊的电弧电压是依据焊接电流调整的，即一定焊接电流要保持一定的弧长才可能保证焊接电弧的稳定燃烧，所以电弧电压的变化范围是有限的。

焊接速度：焊接速度对熔深和熔宽都有影响，通常情况下熔深和熔宽与焊接速度成反比。焊接速度对焊缝断面形状也有影响，一般焊接速度过小，熔化金属量多，焊缝成形差；焊接速度较大时，熔化金属量不足，容易产生咬边。实际焊接时，为了提高生产率，在提高焊接速度的同时必须加大电弧功率，才能保证焊缝质量。

焊丝直径：焊接电流、电弧电压和焊接速度一定时，熔深与焊丝直径成反比关系，但这种反比关系随电流密度的增加而减弱。

焊缝坡口形状、间隙的影响：在其他条件相同时，增加坡口深度和宽度，焊缝熔深增加，熔宽略有减小，余高显著减小。

焊剂堆高的影响：焊剂堆高应保证在丝极周围埋住电弧，一般在25 ~ 40 mm。当使用黏结焊剂或烧结焊剂时，由于密度小，焊剂堆高比熔炼焊剂高出20% ~ 50%。焊剂堆高越大，焊缝余高越大，熔深越浅。焊丝、焊嘴与工件倾角对焊缝成形也有较大的影响，在全焊接球阀焊接过程中，应尽量保证焊嘴、焊丝垂直于工件表面。

焊接试验采用圆筒进行，材料A105。其主要目的是试验验证和确定阀体原材料、焊丝直径、焊剂牌号，优化焊接坡口结构及焊接参数，预测和控制焊接时温度变化、变形量和焊接残留应力，为全焊接球阀的生产设计提供参考依据。焊接试验系统由电流电压测量系统、位移变形测量系统、温度测量系统三部分组成。焊接时温度的侧定，根据温度测定的结果（如图），在球阀焊接时，控制层间温度不超过阀座密封圈的安全使用温度150 ℃，不会对阀门密封性能造成影响。

焊接变形的测定：圆筒焊接采用内径为φ600 mm，厚度约50 mm的圆筒进行。焊接时圆筒两端无束缚，焊接完成后，测得的圆筒变形轴向方向约为2.5mm，径向方向约为1.5 mm。在全焊接球阀设计过程中，需考虑此焊接变形对球阀密封性能的影响，适当调整阀座与阀体之间的配合间隙。焊接时可采用不同的辅助方式如风冷、振动，改善焊接时工件的变形。通常情况下，振动焊接时变形较小，风冷其次。

焊接残留应力的测定：焊后通过不通孔法测量焊接残留应力。

测定结果表明，距离焊缝中心位置越远，残留应力越小。对球阀阀体焊缝结构进行合理的设计，可有效降低阀体焊接后因变形而产生的残留应力。同时，焊接时采用不同的辅助方式如振动、风冷，可不同程度地降低焊接后残余应力。通常情况下，振动焊接可有效释放焊接后的残留应力。

焊接完成后，X射线探伤和超声波探伤完全合格；力学性能评定，拉伸试验、冲击试验和侧弯试验合格；焊缝热影响区按NB/T47014测定合格。

全焊接球阀是一种典型的窄间隙埋弧焊焊接产品，涉及材料科学、焊接工艺学、焊接装备自动化研制，3D热弹塑性有限元计算以及管线球阀的设计等多方面的知识。随着西气东输、西部原油成品油及川气东送等大批国家重点管道工程的施工建设，极大地促进了全焊接球阀国产化技术、装备、制造及工艺的进步，并逐步趋向成熟和完善，开始向大口径、高压力方向发展。

通过对焊缝成形和焊缝金属力学性能的影响因素，以及对焊接试验结果的分析，合理地设计阀门阀体结构、焊缝坡口形式及阀座结构，严格控制阀体原材料的化学成分，选用合理的焊丝焊剂及工艺参数，采用窄间隙坡口多道、多层焊接，适时控制焊接过程中的层间温度，完全可满足全焊接球阀的焊接生产要求。MM