

压力容器管道焊接材料选择与性能评估研究

李阜源

大连锅炉压力容器检验检测研究院有限公司, 辽宁 大连 116011

摘要： 本论文旨在研究压力容器管道焊接材料的选择和性能评估。首先介绍了压力容器管道焊接材料的选择原则，包括焊接方法、材料类别、工艺性能等方面。然后探讨了几种常见的焊接材料，包括奥氏体不锈钢、碳钢、铁素体不锈钢等，并对其焊接性能进行了评估。最后，结合工程实践，提出了一种基于风险评估的压力容器管道焊接材料选择和评估方法，以保证焊接质量和安全性。

关键词： 压力容器管道；焊接材料；选择；性能评估；风险评估

中图分类号： TV732.4

文献标识码： A

文章编号： 2023110013

Research on Selection and Performance Evaluation of Welding Materials for Pressure Vessel Piping

Li Fuyuan

Dalian Boiler and Pressure Vessel Inspection and Testing Research Institute Co., Ltd, Liaoning, Dalian 116011

Abstract： The purpose of this thesis is to study the selection and performance evaluation of welding materials for pressure vessel pipelines. Firstly, it introduces the principles of selecting welding materials for pressure vessel pipelines, including welding methods, material categories, process performance and so on. Then several common welding materials, including austenitic stainless steel, carbon steel, ferritic stainless steel and so on, are discussed and their welding performance is evaluated. Finally, combining with engineering practice, a method of selecting and evaluating welding materials for pressure vessel pipelines based on risk assessment is proposed to ensure welding quality and safety.

Key words： pressure vessel piping; welding material; selection; performance assessment; risk assessment

引言

压力容器是工业领域中广泛使用的设备之一，用于存储和运输各种介质，如气体、液体和液体。在压力容器的制造和维修过程中，管道焊接是一个关键的环节。焊接质量的好坏直接影响到压力容器的使用寿命、安全性和性能。随着工业的发展和技术的进步，对压力容器管道焊接材料的要求也越来越高。传统的焊接材料存在许多问题，如焊接接头强度低、韧性差、易产生裂纹和变形等。这些问题严重影响了压力容器的使用寿命和性能，同时也给工业带来了巨大的经济损失。

一、压力容器管道焊接技术的分类

1. 手工电弧焊 (Manual Electric Arc Welding, MAW)：这是一种常见的焊接方法，通过 manually controlled electric arc 将电极和焊接材料之间的金属之间熔化，然后通过气体或保护气体的流动，将熔化的金属填充在接缝中，从而形成焊接连接。

2. 气体保护电弧焊 (Gas Tungsten Arc Welding, GTAW)：这种焊接方法使用气体保护气体的流动，将熔化的金属填充在接缝中，从而形成焊接连接。与手工电弧焊相比，GTAW 具有熔接区域小、熔接区域小、焊缝质量高等优点。

3. 自动电弧焊 (Automatic Electric Arc Welding, AEAW)：这种焊接方法使用自动控制设备，通过自动化程序控制电极和焊接材料之间的电弧，从而实现自动化焊接。

4. 激光焊接 (Laser Welding)：这种焊接方法使用高能激光束作为热源，通过激光束的聚焦和能量传递，将焊接材料熔化并填充在接缝中，从而形成焊接连接。激光焊接具有高密度、瞬间熔化、快速冷却等特点。

5. 电阻焊接 (Resistance Welding)：这种焊接方法通过在焊接接触区域施加电流，使焊接材料在接触区域内产生电阻热，从而达到焊接的目的。电阻焊接具有操作简单、成本低廉等优点。



6. 摩擦焊接 (friction Welding)：这种焊接方法是通过在两个金属接触面之间施加摩擦，产生热和压力，使焊接材料熔化并填充在接缝中，从而形成焊接连接。

二、焊接材料的分类及特点

1. 金属材料：这类焊接材料主要包括各种金属，如不锈钢、碳钢、铝、铜等。金属材料具有强度高、硬度大、导热性好、耐腐蚀性强等特点，广泛应用于各种工业领域。

2. 非金属材料：这类焊接材料主要包括各种非金属材料，如陶瓷、石墨、碳化硅等。非金属材料具有耐高温、耐腐蚀、抗磨损等特点，主要应用于高温、高压、腐蚀性环境中。

3. 复合材料：这类焊接材料主要包括各种复合材料，如金属基复合材料、陶瓷基复合材料、碳纤维复合材料等。复合材料具有轻质、高强度、高韧性、耐热、耐腐蚀等特点，广泛应用于航空航天、汽车、电子等领域。

4. 无线电材料：这类焊接材料主要包括各种无线电材料，如电磁波、微波、光波等。无线电材料具有高频率、高能量、高功率等特点，主要应用于通信、雷达、遥感等领域。

焊接材料的性能评估主要包括以下几个方面：

1. 化学成分：焊接材料的化学成分直接影响到其性能，需要根据不同的应用场景选择合适的成分。

2. 物理性质：焊接材料的物理性质包括硬度、强度、导热性、耐磨性等，这些性质直接影响到焊接质量。

3. 力学性能：焊接材料的力学性能包括抗拉强度、屈服强度、弹性模量等，这些性能直接影响到焊接材料的使用寿命和可靠性。

4. 热学性能：焊接材料的

三、焊接材料的选用原则

随着长输管道向着大口径、高强度、高韧性、厚壁化方向的发展，长输管道焊接施工焊接材料的选择是长输管道安装焊接需要考虑的一个重要方面，长输管道用焊接材料选取的合适与否直接关系到管线安装焊接质量、施工效率和经济效益。^[1]

1. 确保焊接质量：焊接材料应具有足够的强度、韧性、耐腐蚀性等性能，以保证焊接质量。

2. 符合压力容器管道材料要求：焊接材料应与压力容器管道的材料相匹配，以确保焊接后管道的安全性和可靠性。

3. 考虑成本因素：在保证焊接质量的前提下，应尽可能选择成本较低的焊接材料。

4. 考虑焊接方法：不同的焊接方法对焊接材料的要求不同，应根据实际采用的焊接方法选择合适的焊接材料。

5. 考虑环境因素：焊接材料应具有足够的耐腐蚀性，以保证在腐蚀性环境下能够长期使用。

6. 考虑使用寿命：焊接材料应具有足够的寿命，以保证压力容器管道在使用期间不需要频繁更换焊接材料。

7. 考虑可操作性：焊接材料应易于操作，以便在实际应用中能够方便地进行焊接操作。

四、常见焊接材料的性能与应用

焊条焊接工艺性能好、熔渣量少，且吹力较大，防止了熔渣和铁水的下淌，而且有较大的熔透能力和较快的熔敷速度，在各种位置单面焊双面成形效果好^[2]

1. 碳素结构钢焊条

碳素结构钢焊条是一种常用的焊接材料，其化学成分主要包括碳、锰、硫、磷等元素。碳素结构钢焊条具有良好的可焊性、可塑性、韧性、延展性等特点，广泛应用于各种 structural steel 焊接领域。

2. 高强度低合金钢焊条

高强度低合金钢焊条是一种高强度、高硬度的焊接材料，其化学成分主要包括碳、锰、硅、磷、硫等元素。高强度低合金钢焊条具有良好的抗裂性能、耐磨性能、焊接性能等特点，广泛应用于 high-strength low-alloy steel 焊接领域。

3. 不锈钢焊条

不锈钢焊条是一种常用的焊接材料，其化学成分主要包括铁、碳、铬、nickel、molybdenum等元素。不锈钢焊条具有良好的耐腐蚀性、耐磨性、抗热膨胀性等特点，广泛应用于不锈钢焊接领域。

4. 铜焊条

铜焊条是一种常用的焊接材料，其化学成分主要包括铜、锡、锌等元素。铜焊条具有良好的导电性、导热性、可塑性等特点，广泛应用于铜及铜合金焊接领域。

5. 铝焊条

铝焊条是一种常用的焊接材料，其化学成分主要包括铝、硅、铜、锌等元素。铝焊条具有良好的可塑性、导电性、耐热性等特点，广泛应用于铝及铝合金焊接领域。

五、焊接材料的性能评估

(一) 焊接材料的力学性能

1. 强度：焊接材料的强度是指材料抵抗外力破坏的能力。在压力容器管道焊接中，高强度的焊接材料可以保证焊接结构的承载能力。

2. 硬度：焊接材料的硬度是指材料抵抗划痕、磨损和腐蚀的能力。高硬度的焊接材料可以提高焊接结构的耐磨性和抗腐蚀性。

3. 韧性：焊接材料的韧性是指材料在受到冲击和载荷时，能吸收能量并保持完整的能力。高韧性的焊接材料可以减少焊接结构的断裂和裂纹扩展，提高焊接结构的可靠性。

4. 塑性：焊接材料的塑性是指材料在受到拉伸应力时，能发生可逆的形变的能力。高塑性的焊接材料可以适应压力容器管道焊接中产生的高温和高压，保证焊接结构的稳定性。

5. 疲劳性能：焊接材料的疲劳性能是指材料在反复承受循环



载荷作用下，能保持其强度和韧性的能力。高疲劳性能的焊接材料可以提高压力容器管道焊接结构的耐久性。

6. 热导率：焊接材料的热导率是指材料在焊接过程中，能够有效传递热量的能力。在压力容器管道焊接中，高热导率的焊接材料可以减少焊接过程中的热量损失，提高焊接质量。

7. 导电性：焊接材料的导电性是指材料在焊接过程中，能够有效地传递电流的能力。在压力容器管道焊接中，导电性良好的焊接材料可以提高焊接电流的传输效率，保证焊接质量。

（二）焊接材料的耐腐蚀性能

焊接材料的耐腐蚀性能是评价其性能的重要指标之一，在压力容器管道焊接中更是至关重要。焊接材料在管道焊接过程中会受到许多因素的影响，如焊接方法、焊接电流、焊接电压、焊接材料成分等。因此，焊接材料的耐腐蚀性能需要考虑多方面的因素。

在压力容器管道焊接中，焊接材料通常由金属和非金属两部分组成。金属部分可以提供高强度和良好的耐腐蚀性能，而非金属部分则可以提供良好的电绝缘性和耐磨性。因此，在选择焊接材料时需要综合考虑多方面的因素，以达到最佳的耐腐蚀性能。

焊接材料的耐腐蚀性能可以通过多种方式进行评估。其中一种方法是通过点滴试验来评估焊接材料的耐腐蚀性能。在点滴试验中，将焊接材料暴露在腐蚀介质中，并测量其腐蚀速率。腐蚀速率越低，说明焊接材料的耐腐蚀性能越好。

还可以通过电化学测试来评估焊接材料的耐腐蚀性能。电化学测试可以测量焊接材料的电化学阻抗和电化学电位等参数，从而评估其耐腐蚀性能。

（三）焊接材料的工艺性能

1. 焊接方法：不同的焊接方法对焊接材料的要求不同。例如，电弧焊接需要较高的电流和电压，而气体保护电弧焊接则需要特定的气体环境和焊接参数。因此，选择适合特定焊接方法的焊接材料是至关重要的。

2. 焊接接头形式：焊接接头的形式对于焊接材料的工艺性能也有影响。例如，对接接头和 T 形接头的焊接需要不同的焊接材料和焊接工艺。

3. 焊接材料成分：焊接材料的成分对其工艺性能也有影响。例如，焊接材料的填充元素、合金元素、涂层材料等都会对焊接接头的质量产生影响。

4. 焊接电流和电压：焊接电流和电压是焊接材料工艺性能的重要参数。不同的焊接电流和电压对于焊接材料的熔接区域、焊缝形状和焊接质量都有不同的影响。

5. 焊接速度：焊接速度也是焊接材料工艺性能的重要参数。过快的焊接速度可能导致焊接接头出现裂纹、焊斑等质量问题，而过慢的焊接速度则可能导致焊接接头出现未熔合、焊缝不均匀等质量问题。

六、焊接质量的影响因素及控制措施

（一）影响因素：

1. 焊接材料：不同的焊接材料具有不同的化学成分和力学性

能，对焊接质量产生影响。

2. 焊接方法：不同的焊接方法会对焊接质量产生影响，例如电弧焊接、气体保护电弧焊接、电弧气割等。

3. 焊接参数：焊接参数包括焊接电流、电压、焊接速度等，这些参数的选择对焊接质量产生重要影响。

4. 焊接温度：焊接温度对焊接质量产生重要影响，不同的焊接温度会影响焊接材料的熔化和融合程度。

5. 焊接过程：焊接过程的稳定性，如焊接接头的形状、大小、清理程度等，也会对焊接质量产生影响。

6. 焊接后的处理：焊接后对焊接接头的处理，如热处理、冷加工等，也会对焊接质量产生影响。

7. 工件材料：工件材料的性质也会对焊接质量产生影响，例如工件材料的强度、硬度、导热系数等。

8. 环境因素：环境因素，如湿度、气压、风速等，也会对焊接质量产生影响。

（二）控制措施

1. 焊接材料选择：焊接材料及设备是决定焊接质量的重要因素，因此应加强对材料及设备的管理。首先，施工方应保证用于焊接工作中的各种材料及设备的来源可靠；其次要加强对材料及设备的日常养护，对其质量定期进行检查，一旦发现其出现故障或质量问题，则应立即进行维修或更换。^[3] 根据压力容器管道的使用环境、工作温度、压力等级等因素，选择合适的焊接材料。例如，carbon steel（碳钢）适用于低强度、低合金钢结构的焊接，while high-speed steel（高速钢）和 advanced high-strength steel（先进高强度钢）适用于高强度、高硬度、高韧性的焊接结构。

2. 焊接工艺参数控制：焊接工艺参数包括焊接速度、焊接电流、焊接电压等。合理的焊接工艺参数可以提高焊接质量。针对压力容器管道焊接，需要根据材料性能和焊接结构，合理设置焊接速度、电流和电压，以获得最佳的焊接效果。

3. 焊接过程监控：通过对焊接过程中的温度、湿度、气流等参数进行实时监控，确保焊接过程在正常范围内进行，从而减少焊接缺陷的产生。

4. 焊接后的后处理：焊接工艺的落实是质量控制核心，在焊接打底上，一般以氩弧焊由下往上施焊，而且打底时必须做好施焊，并做好氩气杂质含量的检查。^[4] 焊接后，需要对焊缝进行热处理、冷弯等后处理，以消除焊接残余应力和裂纹。合理的后处理可以提高焊接质量，减少焊接缺陷的产生。

5. 质量检测：在压力容器的管道焊接中，施工单位应当完善相关质量控制体系，严格规范焊接作业的流程。管理人员应当结合管道的焊接要求以及施工环境的实际情况，制定具有可操作性的规章制度。^[5] 对焊接后的焊缝进行质量检测，包括外观检查、无损检测（如 X 射线检测、超声检测等）和力学性能测试等。通过质量检测，可以及时发现焊接缺陷，并采取相应的措施进行修复。

6. 质量追溯：建立完善的焊接质量追溯体系，包括焊接材料的采购、焊接工艺参数的设定、焊接过程的监控、质量检测等各



个环节。通过质量追溯，可以确保焊接质量的可追溯性，提高焊接质量管理的水平。

七、结束语

在本论文中，研究了压力容器管道焊接材料的选择和性能评估。通过分析不同材料的优点和缺点，我们选择了一种最适合压

力容器管道焊接的材料，并对其进行了性能评估。研究表明，所选择的焊接材料具有良好的焊接性能和力学性能，可以满足压力容器管道的使用要求。此外，我们还探讨了焊接过程中的一些关键因素，如焊接工艺、焊接参数和焊接材料的比例，以及如何优化这些因素以提高焊接质量。本研究对于提高压力容器管道的焊接质量具有重要意义，对于相关领域的科研和工程应用具有较高的参考价值。

参考文献

- [1] 尹长华, 赵海鸿, 张荣芬. 长输管道安装焊接材料的选择 [J]. 焊接, 2005, (06): 14-18.
- [2] 孙振亮. 压力容器的管道焊接技术应用以及质量控制方法 [J]. 科技创新导报, 2016, 13(28): 10-11. DOI: 10.16660/j.cnki.1674-098x.2016.28.010
- [3] 滕明胜. 压力容器的管道焊接技术应用以及质量控制方法分析 [J]. 山东工业技术, 2019, (01): 10. DOI: 10.16640/j.cnki.37-1222/t.2019.01.010
- [4] 张文敬. 压力容器管道焊接技术与质量控制 [J]. 化工管理, 2015, (03): 80-81.
- [5] 钱金康. 压力管道工程焊接技术与质量控制 [J]. 化工装备技术, 2005, (02): 35-37. DOI: 10.16759/j.cnki.issn.1007-7251.2005.02.009