

碳素结构钢及低合金高强钢焊接方法（一）注册建筑师考试  
PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

[https://www.100test.com/kao\\_ti2020/550/2021\\_2022\\_\\_E7\\_A2\\_B3\\_E7\\_B4\\_A0\\_E7\\_BB\\_93\\_E6\\_c57\\_550051.htm](https://www.100test.com/kao_ti2020/550/2021_2022__E7_A2_B3_E7_B4_A0_E7_BB_93_E6_c57_550051.htm) 编者按：本文原为高力生教授、潘际銮院士和闫炳义高级技师(焊接)参加三峡总公司召开的“三峡工程金属结构焊接专家咨询会”后的一个书面意见。编者将其节录整编成文予以发表，以期对三峡工程金属结构焊接技术的提高有所裨益。本文已经原作者审阅。

**摘要：**三峡工程压力钢管选用16MnR和160Q2可焊性好的钢种，其焊接方法首选气保焊。设为首页 在预制厂应推广实心焊丝气保焊，在实验基础上推广药芯焊丝气保焊，推广气电立焊；在工地安装立足于手工焊的基础上推广气保护焊。这些方法必将带来巨大的效益。

**关键词：**焊接设计；焊接方法；气保焊；实心焊丝；药芯焊丝

三峡工程目前正在施工的重要结构主要有电站压力钢管、水轮机座和船闸门，其中水轮机座的施工工艺质量由国外公司负责，其余两项由国内制造商和施工单位承包，闸门制造多由国内知名船厂承担，具焊接工艺比较成熟，相对船体制造的设备 and 工艺已不是什么难事；由于材料为强度级别较低(Q345)的低合金钢，所以今后的主要问题是工地安装时，如何提高效率，降低成本。压力钢管的制作和安装将成为主要矛盾，工程前期共有压力钢管14条，约22500t，由于材料复杂(上段为16MnR，下段为610U2低合金高强钢)，板厚度大(最厚达58mm)，特别是管道直径大( 12499mm)，安装位置复杂，因此不同于常规管道的制作和安装。此次有幸参加了三峡开发总公司工程建设部组织的“三峡工程金属结构焊接技术专家咨询会”，受益匪

浅，但由于时间太短，会前对几个承包单位的工作和试验资料未及仔细学习，所以有些意见未能充分表达，现对有些观点加以说明。1. 三峡工程压力钢管的选材思想和实践是成功的。上段选用16MnR、下段选日本NKK的60kg级的610U2都是可焊性好的钢种，特别是日本的610U2，属于低碳调质钢中的焊接无裂纹钢(CF钢)，其特点是含碳量低( $C=0.09$ )、总碳当量低( $CEQ=0.39\%$ )、裂纹敏感系数低( $PCM=0.19$ )。由于在钢材生产过程中采用新技术，如在线余热淬火等，在碳当量不大情况下，增加其淬透性，并加入多种微量元素，所以能在保证高强度的同时提高其塑性和韧性( $-40^{\circ}\text{C}$ 时其 $AKV > 50\%$ )。

60 ~ 140g/min 96 ~ 99% 4 ~ 6mm 焊芯焊丝 > 50% 140  
~ 200g/min 83 ~ 87% 4 ~ 6mm

---

----- 从表中熔敷速度和熔敷效率看，气保焊单位时间熔敷到焊缝上的金属量应该比手工焊多两倍以上。在推广气保焊时，实际效率的提高往往达不到理论数据，很重要的原因是焊件坡口型式没有做相应的改变；另外就是由于气保焊设备材料不配套或使用不当，大大增加了辅助时间，从我国船厂统计看，气保焊每日消耗焊材10 ~ 15kg(日本可到50kg)，手工焊6 ~ 7kg。

#### 4.2 气保焊的质量

气保焊不但可用于低合金高强钢的焊接，而且可以说是焊接的首选方法。这不仅因为它比手工焊的效率最少高一倍以上，而且它最易保证高强钢的焊接质量。如在1中所述，选材很好，碳当量和裂纹敏感系数都很小，可焊性良好，这就不需要很多复杂工艺而能保证质量。当然对这样一项跨世纪工程来说，仍需作到万无一失。

16MnR属于C-Mn系列的热轧正火钢，610U2属于超低碳多

元素调质钢，一般均在焊态下使用。这两类钢焊接接头质量的主要问题是保证焊缝的高综合性能，防止影响区的脆化和软化，保证熔合区和热影响区不发生裂纹并有一定韧性。由于610U2属于热处理强化钢在焊态下使用，如何同时保证焊缝的综合性能及热影响区的韧性，实践证明虽不是非常困难，但在选择焊接材料及工艺时应保证焊缝金属一定的化学成分，选择合适的线能量与适当的预热和层间温度相配合，从而得到合适的 $t_8/5$ ，以保证热影响在AC1-AC3之间的部分得到合适的组织(最多的针状铁素体，最少的M-A组元)和晶粒度。另外还应控制含H量，进一步防止冷裂的发生。低C调质钢特别是CP钢，含C量极低，热影响区只能形成低C马氏体、已由于 $M_s$ 点较高，能产生自回火，所以冷裂倾向不大，又由于含C，S量都低，Mn/S大，所以热裂倾向很小，只要注意工艺的选用，不管是手工焊、埋弧焊，实心或药芯气保焊均可保证焊接质量。可以看出，选择焊材可以保证焊缝成分，但更重要的是选择合适的工艺。选用气保焊焊接上述两种钢，应该说是最合适的方法，因为它热量集中，容易控制热输入，又是一种低H焊接法；在允许的同样线能量下，其焊接效率又大大高于手工焊，焊接变形小，不易引起应力集中和矫正工时，但是为什么至今在部分单位得不到认同呢？其原因首先是方法本身的局限性：气保焊有惰性气体非熔化极(TIG)、CO<sub>2</sub>气体实心焊丝和药芯焊丝、氧化性混合气体实心和药芯焊丝几种。除TIG外均可用于此二种钢，与手工焊和埋弧焊相比，实心焊丝保护焊不是气渣联合保护，在调整成分方面主要通过焊丝。在冶金反应方面单，所以为保证质量，冶炼专用配套焊丝很重要；另外，由于气体起保护作用并参与

热反应，有许多优点(如能形成带电离子和压缩电弧，电弧能量密度加大，低H)也有其缺点(如增C，形成气孔)，所以，在焊接碳素结构钢和热轧正火低合金钢常用的焊丝中，降低含C量，加大Mn、Si含量以保证焊缝的金属成分和性能，特别是韧性。除气保焊本身局限性外，我国配套焊丝极不完善(H08Mn2Si和H08Ma2SiA)，这就是许多部门采用气保焊后不能达到希望的焊缝性能的原因。特别是在焊接低C调质钢时，需要针对钢种选用合适的焊丝。加之选择工艺程序不合理，设备使用不当，气体选用处理不当，工人又都是手工焊转行，自然推广气保焊就有一定阻力。

5. 关于韧性对韧性的担心源于焊接接头的低应力破坏，而低应力破坏的原因，是材料在一定温度下的塑脆转变和接头存在的缺陷扩张造成的，因此从质量保证体系上分别用冲击韧性和断裂韧性指标来控制以上两种原因所引起的脆性破坏。虽然过去发生的脆断实例均是在有缺陷的情况下产生的，但是接头中微小缺陷难于检测，而且断裂韧性的实验过于复杂，所以一般结构均以控制冲击韧性指标为主，但冲击韧性指标是材料塑性和强度的综合指标，塑脆转变温度又是一个范例，所以它不能单一成比例的反映其塑性。材料冲击韧性指标的确定过程(例如碳素钢的常温为27J，低合金钢-20 及-30 为47J)，是以分析过去脆断实例和有关实验为基础且有一定裕量，所以在满足指标要求又不存在可检缺陷时，一般不会发生脆断事件，对重要结构还应做断裂韧性实验。焊接接头的韧性包括焊缝及近缝区韧性，近缝区的韧性主要与近缝区的脆化有关，近缝区脆化原因与晶粒数、析出相、灰杂物偏析、组织及其变化有关。所以提高接头韧性，对应控制焊缝合金化和热循环；

而对近缝区只能合理选择母材、控制线能量和热循环。关于三峡工程所用两种钢的韧性控制问题，16MR焊接在我国已很有经验；对于610U2钢，制造厂成分匹配合理和炼钢技术高超，CEQ和PCM很低，综合性能很好，其冲击韧性在-20℃时均达200J以上；在选择焊材和焊接方法上，三峡的实践证明手工焊冲击韧性最高；但不能因此则认为只能用手工焊。根据以上分析，提高焊缝韧性决定于合金化和冷却速度(线能量和子热等)。而合金化靠选择焊材和保证过渡，因此，手工焊和气保焊药芯丝较有利，因为在国内手工焊条配套最全，两者均是气渣联合保护，但其它方法也都可以保证控制焊缝成分；对近缝区，由于母材已定，应从焊接工艺上控制线能量及预热手段。所以不管上述的那种焊接方法，只要能选择合适的焊材和焊接工艺，均可保证韧性要求，但对韧性指标的要求应科学而适当。从青云和葛洲坝集团提供的材料看，实验虽还不完善，但数据也完全说明此结论(见6.1，6.2内容)。无限制提高冲击韧度裕量不但在经济上不可取，在保证质量方面也无大好处，因为冲击韧度是代表塑性和强度的综合指标，冲击韧度很高时， $\sigma_s$ 会相应提高，断裂韧性的指标-裂纹容限尺寸就会减小，所以接头冲击韧度数值应保证其最低平均值达到母材的设计保证值且有一定裕量即可，不应以母材实测值为标准。百考试题注册建筑师站点 100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。详细请访问 [www.100test.com](http://www.100test.com)