



HG70D低合金高强钢焊接工艺 试验研究

李林 杨永强

【摘要】 本文介绍了HG70D低合金高强度调质钢的焊接工艺试验，包括预热温的确定、焊接方法、焊接材料、接头类型、焊接参数及力学性能试验，结果表明试验所用的焊接工艺是合理可行的。

关键词： HG70D，调质钢，焊接性，焊接工艺试验

1. HG70钢的特点与用途

HG70钢是武汉钢铁公司为满足国内市场需求研制生产的工程结构用钢，主要特点是含碳量低，合金元素含量低，经调质处理后（淬火+回火），屈服强度达700MPa。由于该钢种具有

良好的冷弯性能、优良的焊接性和低温冲击韧性，所以广泛应用于舰船、工程机械、石油管线、锅炉及压力容器、桥梁、汽车、火车及发电设备等领域。但是由于HG70低合金高强钢的强度和硬度较高，在生产中发现焊接热

影响区有一定的淬硬倾向，冷裂倾向增大阻碍了HG70钢的应用和推广。本文从研究HG70D钢的焊接性出发，确定了HG70D钢的最低预热温度，匹配的焊接材料及适合的焊接参数，对HG70钢的应用具有重要的实用意义。

(续)

测量部件	测点编号	测量值HBW			平均值HBW	备注
P91母材	①	235	223	227	228	修复前测量硬度值 210~240HBW
	②	240	243	247	243	
	③	239	241	244	241	
	④	246	247	251	248	
	⑤	228	229	233	230	
	⑥	232	227	223	227	
	⑦	213	225	229	222	
	⑧	216	231	235	227	
P22母材	①	130	133	132	132	修复前测量，硬度值 140~155HBW
	②	156	147	135	146	
	③	146	159	144	150	
	④	155	154	155	155	
	⑤	142	143	146	144	
	⑥	147	154	157	153	
	⑦	149	148	149	149	
	⑧	139	147	144	143	

起机并网发电。对于涉及到锅筒本体缺陷修复必须做好修复工艺规划与构件强度校核工作，并不断进行性能跟踪与工艺实时调节

才能最终成功修复缺陷。

参考文献：

[1] 沈季雄，吕一仕，郑黎峰. 燃

气-蒸汽联合循环机组汽水管
道部件失效分析[J]. 热力发
电，2013，8：112-115.
[2] 吕一仕，等. 某电厂SS304型
奥氏体不锈钢管裂纹性质及
原因分析[J]. 金属热处理，
2015，10：150-153.
[3] 陈忠兵，等. 低碳钢在LNG
电站烟气介质下的应力腐
蚀原因分析[J]. 热力发电，
2014，5：108-112.

作者简介：曾小云，刘正
宇，深圳能源集团股份有限公司
东部电厂；吕一仕，孙斌，苏州
热工研究院有限公司。

MW 20170504

2. 焊接材料

(1) 母材 焊接试验用钢板材质为HG70D钢，板厚分别为14mm、20mm、35mm、40mm、50mm，钢板的性能符合该钢相关“技术条件”的要求。化学成分及力学性能如表1、表2所示。

(2) 焊材 根据钢板的强度、化学成分、组织及力学性能选择与母材相匹配的焊接材料。最终拟定采用CO₂气体保护焊实芯焊丝CHW—70C（ ϕ 1.2mm）。焊丝化学成分及力学性能如表3所示。

3. 焊接性分析

根据HG70D钢的化学成分，按照日本工业标准（JIS）推荐的碳当量计算公式，计算出其碳当量最大值为Ceq=0.662%。从碳当量数值可以看出，钢材淬硬，属较难焊接的材料，必须采取预热，控制热输入等措施。

根据《美国钢结构焊接规范》（AWS D1.1：2010），结合HG70D钢的碳当量、冷裂纹敏感指数 P_{cm} 、板厚状况、拘束程度和含氢量（实芯焊丝气体保护焊为超低氢焊接，扩散氢含量<5mL/100g），确定焊前预热温度。

4. 焊接性试验

按照《斜Y坡口焊接裂纹试验方法》（GB4675.1—1984），对板厚20mm、35mm、50mm的HG70D钢板进行CO₂气体保护焊斜Y坡口焊接裂纹试验。采用CHW—70C（ ϕ 1.2mm）实芯焊丝焊接，焊前预热温度分别为20mm厚钢板80℃，35mm厚钢板

110℃，50mm厚钢板130℃。焊接参数和试验结果如表4所示。

斜Y坡口焊接裂纹试验适用于碳钢和低合金高强钢焊接热影响区冷裂纹的试验方法，通称“小铁研式”抗裂试验。在斜Y坡口焊接裂纹试验中，一条很窄的试验焊道熔敷在2mm宽的缺口上，由于焊缝根部有真实缺口和很高的拉伸残余应力，所以认为这种试验是非常严格的，与通常

钢结构焊接显著不同。所以，可采用此临界预热温度作为实际生产中的预热温度。

5. 焊接工艺试验

(1) 接头力学性能评定标准 焊接试板在进行力学性能试验之前应做外观检查及超声波探伤检测。试板焊接后，对焊缝进行外观检查，不得有未熔合、夹渣和焊瘤等缺陷；试板焊接48h后进行超声波探伤，焊缝质量符

表1 HG70D钢板化学成分（质量分数） (%)

C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr	Nb	B
0.12	0.15~0.40	1.80	0.030	0.015	0.50	0.50	0.08	0.005

注：表中单值为最大值。

表2 HG70D钢板的力学性能

板厚 /mm	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	伸长率 (%)	弯曲试验 (180°)	-20℃纵向冲击 吸收能量/J
10~50	≥ 590	685~830	≥ 17	d=3a	47

表3 CHW—70C焊丝化学成分及力学性能

化学成分（质量分数，%）								力学性能				数据来源
C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni	Cu	R_{el} /MPa	R_m /MPa	A (%)	KV (-20℃) /J	
≤ 0.12	0.45 ~ 0.95	1.25 ~ 1.80	≤ 0.020	≤ 0.015	≤ 0.60	1.00 ~ 1.80	≤ 0.50	≥ 610	≥ 690	≥ 17	≥ 47	技术条件
0.103	0.557	1.68	0.009	0.006	0.456	1.383	0.286	635	790	19	132,132,134	质保书

表4 斜Y坡口焊接裂纹试验结果

焊接方法	板厚 /mm	试件 编号	环境 温度 /℃	环境 湿度 (%)	预热 温度 /℃	焊接 电流 /A	电弧 电压 /V	焊接速度 /mm·min ⁻¹	表面 裂纹率 (%)	断面裂纹		
										试样 片数	开裂 片数	裂纹率 (%)
CO ₂ 气体 保护焊	20	20-1	16	55	80	250	30	290	0	5	0	0
		20-2	16	55	80	250	30	300	0	5	0	0
	35	35-1	16	55	110	250	30	280	0	5	0	0
		35-2	16	55	110	250	30	280	0	5	0	0
		35-3	16	55	110	250	30	290	0	5	0	0
	50	50-1	18	58	130	250	30	290	0	5	0	0
		50-2	18	58	130	250	30	280	0	5	0	0
		50-3	18	58	130	250	30	290	0	5	0	0
		50-4	18	58	130	250	30	280	0	5	0	0

注：预热方法为火焰加热。

合GB11345—1989 I 级要求。

按照相关要求，接头力学性能应满足以下条件：①焊缝强度：焊缝屈服强度及抗拉强度不低于母材标准值。②焊缝金属伸长率：不低于母材标准值。③接头韧性：焊缝金属及热影响区（线外1mm）-20℃V型缺口冲击吸收能量≥47J。④弯曲试验：试样受拉面上的裂纹总长度不大于试样宽度的15%，且单个裂纹长度≤3mm。⑤接头硬度：母材、焊缝金属、熔合线及热影响区的硬度≤350HV₁₀。

（2）焊接工艺试验项目 对14mm、20mm、35mm、40mm、50mm厚HG70D钢板进行了6组工艺试验，分别为对接焊缝及熔透角焊缝。焊接方法为CO₂气体保护焊，采用CHW—70C（φ1.2mm）实芯焊丝；焊接设备为KR500型电源，直流反接。各种接头的施焊参数如表5所示。

（3）焊接工艺试验结果 接头力学性能试验结果：典型接头力学性能试验结果如表6所示，各项数据均符合要求。

接头宏观断面结果：附图为部分接头的宏观断面，由图可见焊缝与母材熔合良好，焊缝内部无缺陷，焊缝外观及尺寸均符合要求。

6. 结语

（1）HG70D低合金高强钢具有一定的淬硬倾向，焊前应予以低温预热。斜Y坡口焊接裂纹试验表明，根据不同的板厚（10~50mm），HG70D钢防止CO₂气体保护焊冷裂纹产生的预热温度可控制在80~130℃之间。

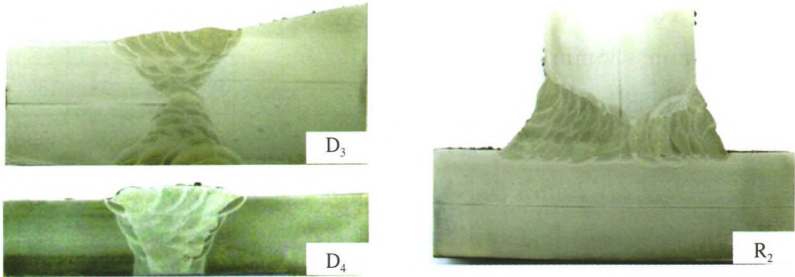
表5 焊接工艺试验项目

编号	接头类型	坡口形式	焊接位置	预热温度 /℃	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /cm·min ⁻¹
D1	14mm+20mm 对接焊缝		平位	80	230~250	29~31	25~36
D2	20mm+40mm 对接焊缝		平位	130	220~230	29~30	23~38
D3	35mm+50mm 对接焊缝		平位	130	220~230	29~30	24~38
D4	20mm+20mm 对接焊缝 背面钢衬垫		平位	80	230~250	29~31	25~39
R1	35mm+35mm 熔透角焊缝		平位	110	230~250	29~31	25~38
R2	50mm+35mm 熔透角焊缝		平位	130	220~230	29~31	26~39

注：①CO₂气体流量15~20L/min。②预热温度以板厚组合中厚板为准，采用火焰预热；道间温度控制在最小预热温度与200℃之间。

表6 接头拉伸及弯曲试验结果

编号	焊缝金属拉伸试验			接头拉板	侧弯	-20℃冲击试验 /J		硬度HV10 (最大值)
	R _{el} /MPa	R _m /MPa	A (%)	R _m /MPa	180° , d=3a	焊缝金属	热影响区	
D ₁	595	685	22	710	完好	75,62,53	82,74,50	261
D ₂	625	705	20	685	完好	72,47,47	78,158,116	301
D ₃	620	700	20	735	完好	62,49,57	96,57,99	325
D ₄	700	765	22	720	完好	56,50,48	99,88,87	263
R ₁	750	825	18	—	—	90,80,85	178,194,215	301
R ₂	725	805	17	—	—	60,59,69	118,112,115	325



典型焊接接头宏观断面

MW 20170504



大型全焊钢桁梁桥焊接顺序及变形控制

吴玉柱 刘壮

【摘要】 本文介绍了孟加拉国PADMA大桥由二拼到桁拼再到整体拼装的组焊过程中，通过对中厚板的全断面焊接制定合理的焊接顺序和控制变形的工艺方法，解决了箱型环口焊缝焊接时产生扭曲变形及收缩量过大等问题，在获得优质稳定焊缝质量的同时，保证了整桥的制造精度。

关键词： 大型；钢桁梁；全断面焊接；变形控制；焊接顺序

近年随着钢板材质及设计制造水平的提高，以及后期维护成本的考虑，全焊结构的钢桁梁桥更广泛地应用于国内外的铁路以及公铁两用桥梁建设中。由于全断面焊接过程中易产生残余应力，从而造成焊后扭曲变形及收缩，将会严重影响钢桁梁的拼装线形和整体几何尺寸。因此依靠科学合理的焊接顺序来控制焊接变形，使桥梁在架设后的实际线形极度接近理论线形，进而减小因制造和拼装偏差而产生的安装应力，提高桥梁的安全系数，成

为大型全焊接钢桁梁制造技术的关键。

1. 概述

孟加拉国帕德玛大桥主桥（以下简称帕德玛大桥）由41孔跨度为150m的板桁组合梁组成，其桥式布置为如图1所示。本桥主梁为整体节点全焊钢桁梁

结构，主桁采用无竖杆的三角桁式，横向两片桁布置。上层公路桥面采用混凝土板结构，通过剪力钉与上弦杆相连接，其宽度为20.65m，且每孔两端上弦节点处设连接横梁。下层铁路桥面采用纵、横梁结构，横梁在节点处与下弦杆连接，横梁之间横向设置

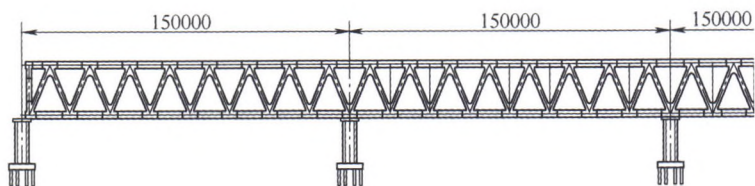


图1 钢桁梁立面

（2）试验选用的CHW—70C实芯焊丝化学成分和力学性能与母材HG70D钢相匹配，且CO₂气体保护焊焊接接头结合性能良好，表明CHW—70C焊丝与母材HG70D匹配性良好，试验所用的焊接工艺是合理可行的。

参考文献：

- [1] 李亚军. 高强度结构钢的焊接性与液压支架结构强度的研究[J]. 煤炭科学技术, 2001, 29 (3) : 12-14.
- [2] 周振丰. 焊接冶金学[M]. 北京：机械工业出版社，1996：15-16.

- [3] 任芝兰，邓彬. HG70低合金高强钢的焊接冷裂纹敏感性及其焊接预热温度的拟定[J]. 热加工工艺, 2009, 38 (23) : 152-154.

作者简介：李林、杨永强，
中铁山桥集团有限公司。

MW 20170504