

船体建造工艺培训

一. 目的

进行材料选用与采购的相关培训,是为了正确选用、采购与使用船用材料,并进行合理的材料代用(这是船舶建造过程中无法回避的问题)。

二. 船体结构的组成

通俗的讲,现在船舶的船体结构是由钢板、型材与焊缝组成。

船体结构的板材和骨架所使用的钢板和型材的规格与等级由退审图纸决定。

船体结构板材与骨架之间的填角焊焊缝尺寸由退审的焊接规格表决定。

船体结构对接焊和填角焊所使用的焊接材料和焊接工艺由认可的焊接工艺规程决定。

三. 符合 CCS 规范要求的新建船舶定义:

依据 CCS 退审图纸,所采购钢板、型材与焊接材料持 CCS 证,采用 CCS 认可的焊接工艺与焊工,按照 CCS 要求与管理程序,在 CCS 验船师监控下建造的船舶,就被认为是符合 CCS 规范要求的新船。

四. 钢材的基本知识:

1. 钢是铁-碳合金的总称,又叫碳钢。

2. 钢材的分类

钢材根据冶炼和轧制的不同分为:铸钢,锻钢,热轧、冷轧和各种交货状态的板材和型材,还有含碳量很高的生铁(各种铸铁)。

CCS 材料规范根据钢材用途分为:船用钢材和其它机械用钢材。

常见的机械类用钢 Q235,其强度等级与一般强度船用钢相当,因其硫、磷等杂质含量大大超过船用碳素钢,其冷和热加工性能、可焊接性和低温冲击韧性远不如船用碳素钢,且不耐海水腐蚀,未经相关规范要求的理化试验,不能替代船用碳素钢作船体结构钢用。

CCS 材料规范将船用钢材分为两大类:船体结构用钢和非船体结构用钢。

船体结构钢,一般指在常温下有较好的可焊性,无须焊前预热(100~120℃)和焊后保温(250~300℃)的一般强度船用优质碳素钢和船用低合金高强度钢。

非船体结构用钢,一般指轴、销等没有焊接要求的其他用钢,非船体结构用钢如须进行焊接,一般必须进行焊前预热(100~120℃)、层间温度控制和焊后保温(250~300℃),否则可能产生冷裂纹,使工件报废。

采购人员在购买钢材时,其钢材种类必须遵照定货明细表,材料代用必须得到技术主管认可,技术主管须填写相关记录,并报验船师备查。

3. 一般强度船体结构钢及其等级

一般强度船体结构钢就是船厂常用的船用优质碳素钢（ $6s = 24\text{kg/cm}^2$ 或 $6s = 235\text{N/mm}^2$ ），俗称软钢，CCS 材料规范根据钢材的低温冲击韧性温度分为 A 级钢、B 级钢、D 级钢和 E 级钢，其分别对应的冲击韧性温度为 20°C 、 0°C 、 -20°C 、 -40°C 。钢材的以上低温冲击韧性等级是由退审图纸确定，是根据船舶的种类和大小、所处船体结构受力位置、所选用的船体结构板厚，依据规范条款而定，施工图纸必须依据退审图纸和退审意见，注明钢材等级。

4. 船用低合金高强度钢及其等级

常用的船用低合金高强度钢，有两种强度等级：较高强度和高强度船体结构用钢。

较高强度船用钢（ $6s = 32\text{kg/cm}^2$ 或 $6s = 315\text{N/mm}^2$ ），CCS 材料规范根据钢材的低温冲击韧性温度分为 AH32 级钢、DH32 级钢和 EH32 级钢，其分别对应的冲击韧性温度为 0°C 、 -20°C 、 -40°C 。

高强度船用钢（ $6s = 36\text{kg/cm}^2$ 或 $6s = 355\text{N/mm}^2$ ），CCS 材料规范根据钢材的低温冲击韧性温度分为 AH36 级钢、DH36 级钢和 EH36 级钢，其分别对应的冲击韧性温度为 0°C 、 -20°C 、 -40°C 。

5. 钢材按轧制的形状分类：板材、型材、管材

船体结构用板材的选用和采购：上述各种强度、低温冲击韧性等级的船体结构用板材，国内各主要炼钢厂均可以轧制船板，市场采购时常见厚度 8mm 以上的偶数船板和厚度 8mm 以下的各种厚度船板，定货或采购比较方便。

船体结构用型材的选用和采购：船用球扁钢的选用，国内只有较大的炼钢厂可以轧制，一般只生产“一般强度”船用球扁钢，由于扁钢部分厚度不是很厚，规范没有要求采用 A 级钢以上的船用球扁钢，通过定货或市场采购可以获得各种型号的“CCS-A 级”船用球扁钢，但 AH32 或 AH36 及其以上级别的船用球扁钢基本不生产，无法获得，在设计时一般采用与相连板材相同厚度与材料作骨材，船厂的技术主管在进行船厂审图时要注意。船用不等边角钢的选用，国内炼钢厂均有能力生产船用不等边角钢，但轧制规格有限，市场很难购齐，在设计时规格不要超过 3 种，主船体建议选用船用球扁钢，规范对上层建筑扶强材规格的要求偏小，设计选用时应适当放大，有利于上层建筑的刚度和水火矫正工作，建议最小的规格采用 L100X63X6。

管材的选用，在国内的市场上很难买到“CCS-A 级”钢管，一般采用 #20 钢替代，送审设计时就应在管子材料标题栏上标注为 #20 钢，请审图中心认可，减少以后采购和替代的麻烦。

五. 钢材的选用和替代用原则：设计、采购、生产计划、施工及检验等人员必须明白。

1. 钢材等级：

钢材的强度等级原则：所选用的钢材强度等级必须满足规范和审批图纸的要求，如高强度钢可以替代一般强度钢，相反则不允许。

钢材的低温冲击韧性原则：所选用钢材的低温冲击韧性必须满足规范和审批图纸的要求，低温冲击韧性温度较低的钢材可以替代冲击韧性温度较高的钢材，如 **B** 级钢可以替代 **A** 级，相反则不允许。

2. 钢材外形尺寸：

板材的厚度原则：所选用板材的厚度必须满足规范和审批图纸的要求，在强度、冲击韧性相同的条件时，厚板可以替代薄板，相反则不允许。

型材的剖面模数与惯性距原则：所选用型材的剖面模数与惯性距必须满足规范和审批图纸的要求，剖面模数与惯性距大的型材可以替代小的，相反则不允许。

3. 材料的其它替代习惯：

原则上造船必须选用船用钢材，**Q235** 钢是不允许替代船体结构用钢材，由于轧钢厂没有使用船用钢材生产一些型钢的品种，定货及市场无法获得，可以选用 **#20** 钢替代，如工字钢、槽钢、元钢及钢管等，凡选用 **#20** 钢替代一般强度船体结构用钢时，因为机械用钢的低温冲击韧性温度低于船体结构用钢，必须（至少）进行低温冲击韧性试验，以证实该批 **#20** 钢的低温冲击韧性满足规范和审批图纸的要求。

六. 焊接方法及其焊接材料的基本知识：

1. 常用焊接方法的分类：手工电弧焊、埋弧（自动）焊、熔化极气体保护焊（**CO₂** 气体保护焊属于此类）、钨极气体保护焊（钨极电弧氩气保护焊属于此类）。

2. 焊接材料的级别：焊接材料按焊缝金属的强度等级和低温冲击韧性级别分为：**1** 级、**2** 级、**3** 级、**4** 级、**2Y** 级、**3Y** 级、**4Y** 级等级别。

焊缝金属的强度等级为一般强度时，其抗拉强度为 $6b = 425\text{N/mm}^2$ ($6s = 235\text{N/mm}^2$)，焊条等级分为 **1** 级、**2** 级、**3** 级、**4** 级，其分别对应的焊缝金属冲击韧性温度为 **20℃**、**0℃**、**-20℃**、**-40℃**；

焊缝金属的强度等级为高强度时，其抗拉强度为 $6b = 495\text{N/mm}^2$ ($6s = 355\text{N/mm}^2$)，焊条等级分为 **2Y** 级、**3Y** 级、**4Y** 级，其分别对应的焊缝金属冲击韧性温度为 **0℃**、**-20℃**、**-40℃**；

3. 手工电弧焊的焊条：常见的牌号（型号）有 **J422 (E4303)**、**J427 (E4315)**、**J507 (E5015)** **J422 (E4303)** 其药皮为钛钙型，俗称酸性焊条：其工艺性能好，对水、锈、油敏感性小，不易出气孔，对焊接环境的要求最小。

J427 (E4315) 和 **J507 (E5015)** 它们的区别是强度等级不同，其药皮均为低氢钠型，俗称碱性焊条：焊缝的淬硬组织少，其延展性和韧性高，扩散氢含量低，抗裂性能强，对水、锈、油敏感性大，对焊接环境的要求很高，焊前坡口的打磨、清洁、烘干必不可少。

4. 埋弧自动焊的焊丝和焊剂：常见的焊丝 **H08A** 和 **H10Mn2**；焊剂有 **HJ431** 和 **SJ101**。

常见的埋弧自动焊“焊丝、焊剂与钢材”等强度匹配如下：

一般强度钢配 **H08A** 焊丝加焊剂 **HJ431**;

高强度钢配 **H10Mn2** 焊丝加焊剂 **SJ101**;

5. CO₂ 气体保护焊的焊丝、**CO₂** 气体及其陶瓷衬垫:

七. 车间底漆的基本知识:

八. 铸锻件的基本知识

九. 材料的定货原则

十.

十一. 材料的代用原则

十二. 材料的保存与管理

十三. 材料的领取与使用

十四.

十五. 材料的采购

证明船舶制造和检验工作合格的依据:

批准的图纸、使用认可的材料(钢材、焊接材料、焊接辅助材料及其它船用产品)、认可的焊接工艺、认可的焊工操作。

检验工作的程序: 施工人员自检、车间或外包队再检、工厂检验科三检、船东和船检验收(检验证明文件、检验试验报表、材料和设备的进货验证)

检验证明文件: 检验项目表、报检单; 试验项目表、报检单; 船用产品证书和设备进厂验证; 安装报检; 强度试验; 效用试验。

施工依据的图纸: 审图中心批准退审的“审批图纸”; 适合船厂的“施工图纸”; 船舶建造的“完工图纸”。

分段与片段设置的目的:

利用船厂的起重设备为船体结构的制造设计分段/片段的目的是尽量减少仰焊等对焊工操作要求较高、操作时间长的焊接位置, 使其变为操作容易、工效较高的平焊, 尽量减少工效较低的手工焊, 使其变为埋弧自动焊、**CO₂** 气体保护焊等工效较高、操作方便的自动焊或半自动焊, 尽量减少船台上的焊接工作量, 使其变为平台或车间内的焊接工作, 以减少船台周期并提高焊接工效。

船体排板的原则:

将板材的轧制方向沿船体结构主要的受力方向排列。及常说的板长沿船长方向排列

焊缝坡口设计的原则:

在充分考虑焊接变形的控制条件下, 尽量在平焊等操作方便的位置上将坡口开大, 尽量减少仰焊等操作不方便位置上的坡口深度, 但坡口的设计要尽量减少焊接熔量, 最终使得焊接工作总量驱于最小。

船体板材/骨材的使用原则:

所有板材/骨材的轧制边缘均不得直接用于对接焊缝接头，其对接焊缝接头的轧制边缘均必须被割除或刨除，气割边缘的最少量是边缘割除 **10 mm**；刨边机刨除边缘的最少量是边缘刨除 **5 mm**。如气割下料排板的最大尺寸为 **7980 X 1780**。

如埋弧自动焊刨边机刨除边缘的排板最大尺寸可为 **7990 X 1780**。

船体放样：数控放样、肋骨型线实尺放样。（请工厂给出放样工艺）

施工图：审图，是否符合规范、退审图纸和意见、通用标准；加理论线图、主要节点图（纵剖与横剖）。

拉划线：符合分段施工图、理论线图、检验线。（请工厂给出拉划线工艺）

号料：数控切割号料、手工切割号料。（请工厂给出号料工艺）

装配：在拉划线的基础上，依据施工图纸、零部件表、装配公差标准。。（请工厂给出装配工艺）

材料、放样、拉划线、号料、装配的培训：？

1. 施工人员的控制：

全员挂牌：要求参加 **CCS** 船舶施工的所有人员照像、编号、造册登记，以便核对检查，强制要求施工人员挂牌上岗、上船，焊工：“**I** 类焊工挂绿色工卡、**II** 类焊工挂蓝色工卡、**III** 类焊工挂红色工卡”，埋弧自动焊操作人员必须持有手工焊 **I** 类焊工证书，装配、气割、拉划线、碳弧气刨等工种挂白色工卡，管理人员挂黄色工卡。

2. 船体焊接控制的重点措施：

角焊缝及其包角焊的控制：所有焊工全部进行“角焊缝及其包角焊”的全位置（平、立、横）角接焊培训和考试（此做法为专项措施），保证船体制造过程中的大量角焊缝及其包角焊的焊接质量。

全体焊工的培训、考试及发证：在“角焊缝及其包角焊”通过的基础上，进行“对接焊”的各焊接位置培训和考试（发证），通过两级考试淘汰不合格焊工，保证船舶的整体焊接质量。

拼板自动焊的控制：根据船厂没有配备刨边机和洗边机的具体情况，制定埋弧自动焊工艺时，要求反面施焊前必须碳弧气刨清根出白（此做法为专项措施），全面打磨后进行反面埋弧自动焊，保证船体制造过程中的大量纵向对接焊缝质量。

？大接头焊缝的控制：通过加长试板的全位置考试，选择、指定 **4-6** 位焊接技术全面的焊工，专项负责大接头的施焊工作，并进行施焊人员与施焊区域对应登记，结合无损检测实施船舶大接头焊接工作的追溯性，保证所有大接头的焊接质量。

3. 船体焊接变形的控制：

制定合理的角焊缝“焊接顺序”，重点控制货舱区双层底和货舱盖的焊接变形，保证船？焊工培训的要求：

钢材、型材与焊接材料。

钢材、焊接材料与焊接工艺及其认可试验的关系。

建造原则工艺与焊接工艺计划表的关系。

填角焊包角焊的要求。

填角焊的要求。

对接焊的要求。

焊接通用工艺的内容。（引弧、包角等方法的）

装配与焊接的关系。

密性与焊接的关系

角焊缝与焊接规格表的关系

焊工施焊前必要知道什么。

焊工施焊前要准备什么。

正造船体分段的原则工艺要求：

由于小型船厂没有分段制造能力，或制造能力不足，双层底分段要在船台上正造，没有分段翻身的过

程,当然船台对分段的支撑能力没有问题,但船厂没有制作船底正造胎架,只有一般性平台支撑和固定,在平直部分外板铺垫后,就进行拉划线工作,如中心线、肋位线、旁纵桁位置线及检验线的勘划工作(要求:拉划线工艺)。同时进行中纵桁、水密肋板、实肋板、旁纵桁的片段装配和焊接,这种制作方法对平直度要求较高,工厂对小合拢应按(98CSQS)公差标准进行检验,工厂或分包方对上述片段的机械、水火矫正和打磨工作应及时进行(要求:小合拢装配与焊接工艺)。再进行中纵桁、水密肋板、实肋板、旁纵桁及外底纵骨的定位安装(内底纵骨是否安装由工厂向验船师专项说明,如内底纵骨与内底板预先焊接时,工厂应对实肋板等作适当固定)(要求:装配工艺),此时外板与上述构架之间只进行一般性点焊,工厂对双层底结构应按(98CSQS)公差标准进行检验,此时分段内地板位置的水平度检验是重点,旁纵桁位置的平面度要注意,合格后先进行分段结构与结构之间的焊接(焊接顺序:先中间再两舷,先中间再两端),每道焊缝必须按对称及退步焊顺序进行,焊接后进行(98CSQS)公差标准的测量和必要的矫正,工厂检验合格后进行外板的装配,工厂检验合格后再进行外板与结构之间的焊接(焊接顺序:先中间再两舷,先中间再两端,每道焊缝必须按对称及退步焊顺序进行,请工厂绘制内底结构与外板角焊缝的焊接顺序图),工厂检验合格后进行上述焊缝的焊后打磨,此时验船师进行双层底分段的外板和结构报检,同时验船师对内底板和内底纵骨的装配和焊接亦进行内底板封盖前的装配焊接报检,两项都合格后进行内底板(和内底纵骨)的封盖装配和焊接(焊接顺序:先中间再两舷,先中间再两端,每道焊缝必须按对称及退步焊顺序进行,请工厂绘制内底结构与内底板角焊缝的焊接顺序图),工厂检验合格后进行验船师的分段报检验收。

分段之间的大接头合拢缝可以预先定位,但不能焊接,在分段验收后进行大合拢装配报检,合格后再进行大合拢焊接“焊接顺序先外板、内底板环缝(并按对称进行),再结构对接焊缝,最后进行大合拢位置的纵向结构与外板和内底板的角接缝焊接”,最后验船师进行大接头合拢缝的焊接报检验收。

双层底分段

4. 焊接工艺认可试验的控制:

手工电弧焊作为焊接工作的基础,将贯穿船舶建造的全过程,涵盖船、机、电各工种,至少应具有J422、J427“全位置对接焊”(多道)和“全位置填角焊”(包含单道和多道)的认可工艺,一般可适用于CCS“2级”焊缝。

E501T-1药芯焊丝的CO₂气体保护焊,已全面应用与船体建造,特别是其背面衬垫焊双面成型的特点,已在中小船厂的大合拢焊缝上大量使用,其主要特点是焊接工艺性好,焊接工效高(为手工电弧焊的3倍),至少应具有E501T-1/CO₂气体保护焊的“全位置对接焊”(多道)和“全位置填角焊”(包含单道和多道)的认可工艺;E501T-1/CO₂气体保护焊/加背面衬垫的“平焊、立焊、横焊位置对接焊”(多道)的认可工艺,一般可适用于CCS“2Y级”焊缝

造船焊接工艺的评定与实施

在验船过程中,船级验船师常发现某些船厂,特别是一些中小型船厂,由于缺乏焊接工程技术人员,或对修造船过程中焊接工艺的要求不太明确,影响到船舶的建造或修理质量。本文根据作者多年的实践经验,概述对修造船过程中焊接工艺评定的要求、及在实际焊接施工中应注意的一些问题,供修造船参考。[]

关键词 造船 焊接工艺 评定 船级实施过程以

一 造船中焊接工艺认可规定造船过程中,进行焊接工艺评定试验,通常为对确定的母材及焊接材料,在采用一定工艺焊接后,通过检验焊缝及热影响区的性能,来评定该工艺的适用性。由于焊接工艺评定对保证后续焊接生产质量有着重要意义,各船级均要求对拟将新采用的焊接工艺进行评定或认可,如中国船级《材料与焊接规范》(1998)中规定,船舶、海上设施和船用产品的制造厂焊接生产前,应对采用的新材料、新工艺进行焊接工艺评定试验,以证实该焊接工艺的适用性。

通常在一条船舶开工建造前,工厂应结合身的技术条件和生产经验,制定出船舶建造焊接工艺计

划表交验船师认可。计划表中应针对建造中焊缝出现于重要结构与结点的不同位置、形式和尺寸,列出拟使用的焊接工艺名称和编号。对照本工厂以前进行焊接工艺评定的情况,对于未曾批准的工艺或超出评定焊接工艺适用范围的工艺,组织进行焊接工艺评定试验。

二 焊接工艺评定的实施

1 提交焊接工艺评定试验方案

工厂在进行焊接工艺评定前,首先要向船级提交一份拟认可的焊接工艺评定试验方案,试验方案中通常包括以下内容

- (1)母材的牌号、级别、厚度和交货状态;
- (2)焊接材料(焊条、焊丝、焊剂和保护气体)的型号、等级和规格;
- (3)焊接设备的型号和主要性能参数;
- (4)坡口设计和加工要求;
- (5)焊道布置和焊接顺序;
- (6)焊接位置(平、立、横、仰焊等)。
- (7)焊接规范参数(电源极性、焊接电流、电弧电压、焊接速度和保护气体流量等);
- (8)焊前预热和道间温度控制、焊后热处理及焊后消除应力的措施等(如需要时);
- (9)施焊环境(如在现场施焊、车间施焊或试验室施焊);
- (10)焊接后进行的检验试验项目及其要求;
- (11)焊接后进行的检验试验项目中各试样的截取位置图及各试样加工尺寸图;
- (12)其他有关的特殊要求。

级将主要依据 CCS 检查的主要内容为焊接工艺是否基本正确项目截取的试样位置是否与规范要求一致《材料与焊接规范》(1998)及其 200120032004 修改通报来审查,在填写焊接规范参数前,可参考相关的资料。此外,各工厂在申请焊接工艺评定前,通常会行对拟申请的项目进行预试验船级在收到焊接工艺试验方案后,将会依据船级的规范对方案进行审核,如中国船级社,故焊接工艺评定方案中内容的填写,也可参照预试验的数据。焊接工艺方案填写完毕后,提交船级审查。

2 船级对焊接工艺评定试验方案的审查[]检测试验的项目能否满足规范要求、检测试验试样试样的加工能否满足规范要求、每一项试验结果的限定值是否符合规范要求等。

此外,在审查焊接工艺试验方案时,通常还要求母材与焊接材料尽量选取经船级评或和检验合格的材料。由于在船板与焊接材料制造厂的工厂评定中,船级已对这些材料的焊接性能进行了考察,如高强度船体结构用钢板工厂评定时的冲击试验,通常会考察熔合线、熔合线+1mm、熔合线+3mm、熔合线+5mm、熔合线+7mm、熔合线+20mm 处的冲击值,冲击试验温度也比焊接工艺评定时要求严格,故选择这些经评定检验的材料,可减少焊接工艺评定过程中不确定因素的影响,从而增加一次合格的可能性。

焊接工艺评定方案审核完后,船级会将审核意见提交工厂,工厂按照审核意见对焊接工艺试验方案进行修改、完善,并已准备现场试验。

3 焊接工艺评定现场试验的进行焊接工艺评定现场试验按照审查后的焊接工艺评定试验方案进行,通常验船师须见证试验过程。在试验开始前,验船师要核对待焊母材与焊接材料,是否与方案中材料的等级、规格一致;检查待焊试件的装配情况,是否符合方案要求;直流电源焊接时,还要检查电源极性是否正确。在试验过程中,要记录每一焊道的布置、焊接参数以及是否预热、层间温度控制情况、焊道打底及清根情况等,并对焊缝外观质量进行评定。如焊接试板焊缝外观检查合格,则对焊缝进行无损探伤,以及按照规范要求,在焊接试板上确定拉伸、弯曲、冲击、金相等试验试样的位置。最后一道工序为检查试样加工情况,进行理化性能试验。如上述每一道工序试验检测发现不合格,除力学性能试验可能涉及在原试件上复取样试验外,其他情况均须重新进行工艺评定试验。

4 焊接工艺评定证书的签发

现场试验结束后,由工厂整理试验结果,编制工艺试验报告,提交船级审核。经确认合格后,船级将在焊接工艺评定试验报告上签署,如中国船级社还签发“焊接工艺认可证书”。表 1 为某工厂 CO₂ 半动平对接焊的“焊接工艺认可证书”中部分内容。

从表 1 中,我们可以得到下列信息

- (1)焊接工艺采用的母材为船用 **D36** 级板,焊接材料为焊丝 **712C**;
 - (2)焊接工艺适用的工件厚度范围为 **8mm-30mm**;
 - (3)焊接方法限定为 **CO₂** 气体保护半动焊;
 - (4)焊接位置限定在水平;
 - (5)接头型式为对接焊。
 - (6)同时也注明了坡口装配形式及试验时的焊道布置、清根方法、层间温度控制、焊接工艺参数等。
- 上述内容基本反映了焊接工艺的主要要求,同时也可看出焊接方法、焊道布置、焊接位置、焊接参数等并不是孤立的,而是相互关联的,如改变焊接方法、焊接位置等,焊接参数也将相应的发生变化。当然,上述工艺只能说明在此条件下,试验结果满足船级规范要求焊接位置可在修造船中采用,但随着技术的发展,并不否认在相同的条件下

三 焊接工艺评定的采用

(如母材等级及厚度、焊接方法、焊接接头型式等)会有其他适合的焊接规范参数,其结果也能满足船级规范的要求,只要经验证合格即可同意在修造船中使用。在船体建造过程中,工厂应严格按照评定的工艺要求进行操作,验船师可随时进行抽查,以保证船舶的焊接质量。经船级评定的焊接工艺,一般长期有效,但工厂对已批准的焊接工艺进行改动时,应将所有改动的细节向船级报告,船级根据改动的具体内容,决定是否重新进行焊接工艺评定试验。例如,进行立焊位置(立向上施焊)焊接工艺评定并获得通过,若工厂在实际生产中其余条件都不改变,只是将焊接方向改变为立向下施焊,认为原焊接工艺是适用的而不需重新进行工艺评定,这种观点是不能被船级接受的,因为在焊接中,立向上施焊与立向下施焊是有很大的区别的,必须重新进行焊接工艺评定试验。评定的焊接工艺,通常都有一定的适用范围,超出此范围就应对拟采用的工艺进行焊接工艺评定试验,船舶建造中此范围为

- (1)当采用多道焊工艺时,钢板及铝合金材料厚度的适用范围为试验所用材料厚度的 **50%-200%**;采用单道焊工艺时,其适用范围为试验所用材料的 **80%—110%**。如表 1 为多道焊,工艺评定的母材厚度为 **15mm**,按照规范其适用的厚度即为 **8~30mm**;
- (2)钢管直径的适用范围为试验所用钢管直径的 **50%~200%**,管壁厚度适用范围同板材料一样,多道焊时为试验所用材料壁厚的 **50%-200%**,单道焊时,为试验所用材料壁厚 **的 80%~110%**;
- (3)钢材和焊接材料的适用范围一般为评定试验时所采用的相同等级钢材和焊接材料,但韧性级别高的材料工艺试验通过后,若能说明焊接工艺参数对焊缝性能无明显影响,经船级同意可将此工艺用于韧性级别较低的材料,如表 1 中 **D36** 级板通过了工艺评定,一般可认为也适用于 **A36** 级板;
- (4)焊接规范参数中的焊接电流或电弧电压的任一个值的波动范围一般不能超过 **±5%**,焊接速度的波动范围一般不超过 **±10%**;
- (5)预热温度、层间温度的波动范围应不超过规定最高或最低预热温度;
- (6)焊缝坡口形式不应作任意变更。

四 工厂在执行焊接工艺时常出现的问题

工厂在执行焊接工艺时常出现的下列问题,需引起注意

- (1)为了加快生产进度,在操作中不按照评定的工艺要求而增大焊接电流;
- (2)在焊接前,待焊工件需预热而实际没有进行;
- (3)在焊接过程中,不按照评定的工艺要求清理干净每一道焊缝;
- (4)在焊接过程中,不按照评定的工艺控制层间温度;
- (5)在操作过程中,坡口装配达不到工艺要求;以上问题,都可能在焊缝中形成焊接缺陷或引起焊缝机械性能变差,从而影响船舶建造质量,这些问题的解决,最主要依赖于造船厂的质量保证体系。
- (6)没有按工艺文件规定选择适当的焊接材料种类、规格;
- (7)焊接材料没有按规定烘干、保温使用;
- (8)保护气体流量没有按照评定的工艺选择或气体纯度达不到要求(包括在新开启一瓶保护气体及一瓶保护气体将耗尽时处理不当)。

为保证造船厂良好的焊接质量,工厂与船级可在以下几方面做好具体工作

- (1)工厂技术人员根据生产需要,开展焊接工艺评定试验,条件成熟时申请船级对焊接工艺进行评定,如试验合格,根据船级颁发的焊接工艺评定证书及签发的焊接工艺评定试验报告,编制相应的岗位焊接作业指导书或操作规程;
- (2)工厂管理人员对技术人员编制的岗位焊接作业指导书或操作规程,按照质量体系规定进行相应的审批,使之成为工厂生产的受控文件;
- (3)工厂的装配工、焊工应严格执行岗位焊接作业指导书或操作规程,技术人员同时进行相应的指导;
- (4)工厂组织工艺执行情况的检查,通过定期不定期的检查,了解岗位焊接作业指导书或操作规程的执行情况,同时针对出现的问题作出相应的整改措施;
- (5)船级验船师在船舶建造过程中,应检查焊接人员的工作情况,确认是否按照船级签发的焊接工艺评定证书执行;
- (6)在船舶一些重要构件的建造过程中,还须进行焊缝的产品性能试验,以验证焊接工艺的执行情况。

CO₂ 气体保护焊焊接工艺

CO₂ 气体保护焊焊接工艺钢结构二氧化碳气体保护焊工艺规程

1 适用范围

本标准适用于本公司生产的各种钢结构,标准规定了碳素结构钢的二氧化碳气体保护焊的基本要求。

注:产品有工艺标准按工艺标准执行。

1.1 编制参考标准《气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本形成与尺寸》GB.985-8

8

1.2 术语

2.1 母材:被焊的材料

2.2 焊缝金属:熔化的填充金属和母材凝固后形成的部分金属。

2.3 层间温度:多层焊时,停后续焊接之前,相邻焊道应保持的最低温度。

2.4 船形焊:T形、十字形和角接接头处于水平位置进行的焊接。

3 焊接准备

3.1 按图纸要求进行工艺评定。

3.2 材料准备

3.2.1 产品钢材和焊接材料应符合设计图样的要求。

3.2.2 焊丝应储存在干燥、通风良好的地方,专人保管。

3.2.3 焊丝使用前应无油锈。

3.3 坡口选择原则 焊接过程中尽量减小变形,节省焊材,提高劳动生产率,降低成本。

3.4 作业条件

3.4.1 当风速超过 2m/s 时,应停止焊接,或采取防风措施。

3.4.2 作业区的相对湿度应小于 **90%**，雨雪天气禁止露天焊接。

4 施工工艺

4.1 工艺流程

清理焊接部位---检查构件--组装--加工及定位--按工艺文件要求调整焊接工艺参数--按合理的焊接顺序进行焊接---自检、交检--焊缝返修--焊缝修磨---合格（交检查员检查）--关电源---现场清理

4 操作工艺

4.1 焊接电流和焊接电压的选择

不同直径的焊丝,焊接电流和电弧电压的选择见下表:

焊丝直径 短路过渡 细颗粒过渡 电流 (A) 电压 (V) 电流 (A) 电压 (V)

0.8 50--100 18--21

1.0 70--120 18--22

1.2 90—150 19--23 160--400 25--38

1.6 140—200 20--24 200--500 26--40

4.2 焊速: 半自动焊不超过 **0.5m/min**.

4.3 打底焊层高度不超过 **4 mm**, 填充焊时, 焊枪横向摆动, 使焊道表面下凹, 且高度低于母材表面 **1.5 mm—2 mm**; 盖面焊时, 焊接熔池边缘应超过坡口棱边 **0.5—1.5 mm**防止咬边。

4.4 不应在焊缝以外的母材上打火、引弧。

4.5 定位焊所用焊接材料应与正式施焊相当, 定位焊焊缝应与最终焊缝有相同的质量要求。钢衬垫的定位焊宜在接头坡口内焊接, 定位焊厚度不宜超过设计焊缝厚度的 **2/3**, 定位焊长度不宜大于 **40 mm**, 填满弧坑, 且预热高于正式施焊预热温度。定位焊焊缝上有气孔和裂纹时, 必须清除重焊。

4.9 焊接工艺参数见表一和表二

表一: **Φ1.2 焊丝 CO2 焊对接工艺参数**

接头形式\板厚\层数\焊接电流 (A) 电弧电压 (V)\焊丝外伸 (mm) \焊机速度 m/min

\气体流量 L/min\装配间隙 (mm)

6	1	270			27	12-14	0.55	10-15	1.0-1.5
6	2	190 210			19 30	15	0.25	15	0-1
8	2	120-130	130-140	26-27	28-30	15	0.55	20	1-1.5
10	2	130-140	280-300	20-30	30-33	15	0.55	20	1-1.5
10	2	300-320	300-320	37-39	37-39	15	0.55	20	1-1.5
12		310-330			32-33	15	0.5	20	1-1.5

16	3	120-140/300-340/300-340	25-27/33-35/35-37	15	0.4-0.5/0.3-0.4/0.2-0.3	20	1-1.5
16	4	140-160/260-280/270-290	24-26/31-33/34-36/34-36	15	0.2-0.3/0.33-0.4/0.5-0.6/0.4-0.5	20	1-1.5
20	4	120-140/300-340/300-340/300-340	25-27/-35/33-35/33-37	15	0.4-0.5/0.3-0.4/0.3-0.4/0.12-0.15	25	1-1.5
20	4	140-160/260-280/300-320/300-320	24-26/31-33/35-37/35-37	15	0.25-0.3/0.45-0.5/0.4-0.5/0.4-0.45	20	1-1.5

表二: $\Phi 1.2$ 焊丝 CO₂ 气体保护焊 T 形接头工艺参数

接头形式\板厚(mm)\焊丝直径(mm)\焊接电流(A)\电弧电压(v)\焊接速度(m/min)\气体流量(L/min)
 \焊角尺寸(mm)

2.3	$\Phi 1.2$	120	20	0.5	10-15	3.0
3.2	$\Phi 1.2$	140	20.5	0.5	10-15	3.0
4.5	$\Phi 1.2$	160	21	0.45	10-15	4.0
6	$\Phi 1.2$	230	23	0.55	10-15	6.0
12	$\Phi 1.2$	290	28	0.5	10-15	7.0

4.9.1 控制焊接变形,可采取反变形措施.

4.9.2 在约束焊道上施焊,应连续进行,因故中断,再施焊时,应对已焊的焊缝局部做预热处理.

4.9.3 采用多层焊时,应将前一道焊缝表面清理干净后,再继续施焊.

4.9.4 变形的焊接件,可用机械(冷矫)或在严格控制温度下加热(热矫)的方法,进行矫正.

5 交检

6 焊接缺陷与防止方法

缺陷形成原因 / 防止措施

焊缝金属裂纹:

1.焊缝深宽比太大 2.焊道太窄 3.焊缝末端冷却快 / 1.增大焊接电弧电压,减小焊接电流 2.减慢焊接速度 3.适当填充弧坑

夹杂:

1.采用多道焊短路电弧 2.高的行走速度 / 1.仔细清理渣壳 2.减小行走速度,提高电弧电压

气孔:

1.保护气体覆盖不足 2.焊丝污染 3.工件污染 4.电弧电压太高 5.喷嘴与工件距离太远 / 1.增加气体流量,清除喷嘴内的飞溅,减小工件到喷嘴的距离 2.清除焊丝上的润滑剂 3.清除工件上的油锈等杂质

物.4.减小电压 5.减小焊丝的伸出长度

咬边:

1.焊接速度太高 2.电弧电压太高 3.电流过大 4.停留时间不足 5.焊枪角度不正确 / 1.减慢焊速 2.降低电压 3.降低焊速 4.增加在熔池边缘停留时间 5.改变焊枪角度,使电弧力推动金属流动

未融合:

1.焊缝区有氧化皮和锈 2.热输入不足 3.焊接熔池太大 4.焊接技术不高 5.接头设计不合理 /1.仔细清理氧化皮和锈 2.提高送丝速度和电弧电压,减慢焊接速度 3.采用摆动技术时应在靠近坡口面的边缘停留,焊丝应指向熔池的前沿 4.坡口角度应足够大,以便减小焊丝伸出长度,使电弧直接加热熔池底部

未焊透:

1.坡口加工不合适 2.焊接技术不高 3.热输入不合适 / 1.加大坡口角度,减小钝边尺寸,增大间隙 2.调整行走角度 3.提高送丝的速度以获得较大的焊接电流,保持喷嘴与工件的距离合适

飞溅:

1.电压过低或过高 2.焊丝与工件清理不良 3.焊丝不均匀 4.导电嘴磨损 5.焊机动特性不合适 /1.根据电流调电压 2.清理焊丝和坡口 3.检查送丝轮和送丝软管 4.更新导电嘴 5.调节直流电感

蛇行焊道:

1.焊丝伸出过长 2.焊丝的矫正机构调整不良 3.导电嘴磨损 /1.调焊丝伸出长度 2.调整矫正机构 3.更新导电嘴

型号	E5024/E7024	焊芯直径	3.2, 4.0, 5.0, 5.8 (mm)
长度	400, 450, 700 (mm)	电流幅度	100-320 (A)

碳钢焊条 ZGH • E5024 (J501Fe18) 相当 :AWS E7024 符合 :GB/T5117-1995 E5024 认可级别: ABS 3YH15 BV 3YH CCS 3YH15 DNV 3YH15 GL 3YH10 LR 3YH15 KR RMW53H 说明: ZGHE5024 是铁粉钛型高效碳钢焊条, 熔敷效率为 160-180%。交直流两用, 电弧稳定、飞溅小、脱渣容易、焊缝成型美观, 适用于平焊及平角焊。用途: 船舶修造、桥梁工程、机械制造等大型结构件的焊接。熔敷金属化学成分(%):

CMnSi SP≤0.12≤1.25≤0.60≤0.035≤0.040 熔敷金属机械性能: 试验项目 σ_b (MPa) σ_s (MPa) δ_5 (%) AKV (J) (-20℃) 保证值≥490≥400≥22≥47 电流: (交流 / 直流) X 射线探伤要求: II 焊条直径(mm)

3.24.05.05.8 焊接电流(A)100-130140-210220-300260-320 注: 1、若焊条存放时间过长或保管不善受潮, 焊前须经 180℃烘焙 1 小时。 2、焊前焊件应清除水、锈、油污等杂质。

CMnSi SP≤0.12≤1.25≤0.60≤0.035≤0.040 熔敷金属机械性能: 试验项目 σ_b (MPa) σ_s (MPa) δ_5 (%) AKV

(J)(-20℃)保证值 $\geq 490 \geq 400 \geq 22 \geq 47$ 电流: (交流 / 直流) X 射线探伤要求: II 焊条直径(mm)

3. 24. 05. 05. 8 焊接电流(A) 100-130 140-210 220-300 260-320 注: 1、若焊条存放时间过长或保管不善受潮, 焊前须经 180℃ 烘焙 1 小时。 2、焊前焊件应清除水、锈、油污等杂质。

药皮涂层连续电焊条最适宜制造成纤维素型,制成低氢型立向下焊条方面具有优势。再如 AWS E7018、E7024、E7028 等铁粉高效焊条和重力焊条、躺焊焊条及钛钙型铁粉焊条等特种焊条,我国这方面的市场容量也很大。由于药皮涂层连续电焊条可以从钢芯...

www.zmcce.cn/scfx.htm 15K 2005-12-7 - 百度快照

供应] 产品名称: 船用高效铁粉焊条 E5024

发布日期: [05-09-14]

型号:

厂商: 徐州市正光焊接材料厂

品牌:

产品介绍:

碳钢焊条 ZGH • E5024 (J501Fe18) 相当 : AWS E7024 符

合 : GB/T5117-1995 E5024 认可级别: ABS 3YH15 BV 3YH

CCS 3YH15 DNV 3YH15 GL 3YH10 LR 3YH15 KR RMW53H 说明: ZGHE5024 是铁粉钛型高效碳钢焊条, 熔敷效率为 160-180%。交直流两用, 电弧稳定、飞溅小、脱渣容易、焊缝成型美观, 适用于平焊及平角焊。 用途: 船舶修造、桥梁工程、机械制造等大型结构件的焊接。 熔敷金属化学成分(%): C ≤ 0.12 Mn ≤ 1.25 Si ≤ 0.60 S ≤ 0.035 P ≤ 0.040 熔敷金属机械性能: 试验项目 保证值 σ_b (MPa) ≥ 490 σ_s (MPa) ≥ 400 δ_5 (%) ≥ 22 AKV (J) (-20℃) ≥ 47 电流: (交流 / 直流) X 射线探伤要求: II 焊条直径(mm) 3.2 4.0 5.0 5.8 焊接电流(A) 100-130 140-210 220-300 260-320 注: 1、若焊条存放时间过长或保管不善受潮, 焊前须经 180℃ 烘焙 1 小时。 2、焊前焊件应清除水、锈、油污等杂质。 价格说明 电议 产品数量 按需方要求 包装说明 常规内销或按客户要求 型号 E5024 材质碳钢电焊条 焊芯直径 3.2-5.8 (mm) 长度 400-700 (mm) 电流幅度 100-320 (A)

常用金属材料的焊接(碳钢、合金钢) (1)

1 什么是焊接性? 试述碳钢的焊接性。

焊接性是指材料在限定的施工条件下焊接成按规定设计要求的构件, 并满足预定服役要求的能力。焊接性受材料、焊接方法、构件类型及使用要求四个因素的影响。

碳钢是以铁元素为基础的, 铁碳合金, 碳为合金元素, 其碳的质量分数不超过 1%, 此外, 锰的质量分数不超过 1.2%, 硅的质量分数不超过 0.5%, 后两者皆不作为合金元素。其它元素如 Ni、Cr、Cu 等均控制在残余量的限度以内, 更不作为合金元素。杂质元素如 S、P、O、N 等, 根据钢材品种和等级的不同, 均有严格限制。因此, 碳钢的焊接性主要取决于含碳量, 随着含碳量的增加, 焊接性逐渐变差, 其中以低碳钢的焊接性最好, 见表 1。

表 1 碳钢焊接性与含碳量的关系

名 称	碳的质量分数 (%)	典型硬度	典型用途	焊接性
低碳钢	≤ 0.15	60HRB	特殊板材和型材薄板、带材、焊丝	优
	$0.15 \sim 0.25$	90HRB	结构用型材、板材、棒材	良
中碳钢	$0.25 \sim 0.60$	25HRC	机器部件和工具	中（需预热、后热，推荐使用低氢焊接方法）
高碳钢	≥ 0.60	40HRC	弹簧，模具，钢轨	劣（需预热、后热，必需使用低氢焊接方法）

2 什么是碳当量？碳钢的碳当量如何计算？

把钢中合金元素（包括碳）的含量按其作用换算成碳的相当含量，称为该种钢材的碳当量，可作为评定钢材焊接性的一种参考指标。

碳钢中的元素除 C 外，主要是 Mn 和 Si，它们的含量增加，焊接性变差，但其作用不及碳强烈。国际焊接学会推荐的碳当量公式为

$$CE (IIW) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu+Ni}{15} + \frac{Cr+Mo+V}{5} \quad (\text{质量分数}) (\%)$$

随着碳当量值的增加，钢材的焊接性会变差。当 CE 值大于 0.4%~0.6% 时，冷裂纹的敏感性将增大，焊接时需要采取预热、后热及用低氢型焊接材料施焊等一系列工艺措施。

3 利用碳当量值评价钢材焊接性有何局限性？

碳当量值只能在一定范围内，对钢材概括地、相对地评价其焊接性，这是因为：

- 1) 如果两种钢材的碳当量值相等，但是含碳量不等，含碳量较高的钢材在施焊过程中容易产生淬硬组织，其裂纹倾向显然比含碳量较低的钢材来得大，焊接性较差。因此，当钢材的碳当量值相等时，不能看成焊接性就完全相同。
- 2) 碳当量计算值只表达了化学成分对焊接性的影响，没有考虑到冷却速度不同，可以得到不同的组织，冷却速度快时，容易产生淬硬组织，焊接性就会变差。
- 3) 影响焊缝金属组织从而影响焊接性的因素，除了化学成分和冷却速度外，还有焊接循环中的最高加热温度和在高温停留时间等参数，在碳当量值计算公式中均没有表示出来。

因此，碳当量值的计算公式只能在一定的钢种范围内，概括地、相对地评价钢材的焊接性，不能作为准确的评定指标。

4 试述低碳钢的焊接性。

由于低碳钢含碳量低，锰、硅含量也少，所以，通常情况下不会因焊接而产生严重硬化组织或淬火组织。低碳钢焊后的接头塑性和冲击韧度良好，焊接时，一般不需预热、控制层间温度和后热，焊后也不必采用热处理改善组织，整个焊接过程不必采取特殊的工艺措施，焊接性优良。

但在少数情况下，焊接时也会出现困难：

- 1) 采用旧冶炼方法生产的转炉钢含氮量高，杂质含量多，从而冷脆性大，时效敏感性增加，焊接接头质量降低，焊接性变差。
- 2) 沸腾钢脱氧不完全，含氧量较高，P等杂质分布不均，局部地区含量会超标，时效敏感性及冷脆敏感性大，热裂纹倾向也增大。
- 3) 采用质量不符合要求的焊条，使焊缝金属中的碳、硫含量过高，会导致产生裂纹。如某厂采用酸性焊条焊接 Q235—A 钢时，因焊条药皮中锰铁的含碳量过高，会引起焊缝产生热裂纹。
- 4) 某些焊接方法会降低低碳钢焊接接头的质量。如电渣焊，由于线能量大，会使焊接热影响区的粗晶区晶粒长得十分粗大，引起冲击韧度的严重下降，焊后必需进行细化晶粒的正火处理，以提高冲击韧度。

总之，低碳钢是属于焊接性最好、最容易焊接的钢种，所有焊接方法都能适用于低碳钢的焊接。

5 低碳钢焊接时，如何正确地选用焊接材料？

(1)手弧焊焊条的选用 常用低碳钢 **Q235** 的抗拉强度平均值为 **417.5MPa**，根据等强度原则，与之匹配的焊条应为 **E43** 系列。几种不同钢号的低碳钢手弧焊时焊条的选用，见表 2。

表 2 低碳钢手弧焊时焊条的选用

钢 号	一般结构选用的 焊条型号	动载荷、复杂、厚板结构，锅 炉受压容器，低温焊接 选用的焊条型号	施 焊 条 件
Q235	E4313, E4303, E4301, E4320, E4311	E4316, E4315 (E5016, E5015)	一般不预热
Q255			一般不预热
Q275	E4316, E4315	E5016, E5015	厚板结构预热 150℃ 以 上
08、10、15、20	E4303, E4301, E4320, E4311	E4316, E4315 (E5016, E5015)	一般不预热
25	E4316, E4315	E5016, E5015	厚板结构预热 150℃ 以 上
20g, 22g	E4303, E4301	E4316, E4315 (E5016, E5015)	厚板结构预热 100~150 ℃
20R	E4303, E4301	E4316, E4315 (E5016, E5015)	一般不预热

注：表中括弧内的焊条型号表示可以代用。

(2)埋弧焊焊丝和焊剂的匹配选用 低碳钢埋弧焊时焊丝和焊剂的匹配选用，见表 3。

表 3 低碳钢埋弧焊焊丝与焊剂的匹配选用

钢 号	焊 丝	焊 剂
Q234	H08A	HJ430
Q255	H08A	
Q275	H08MnA	HJ431
15、20	H08A, H08MnA	HJ430
25	H08MnA, H10Mn2	
20g, 22g	H08MnA, H08MnSi, h10Mn2	HJ431
20R	H08MnA	HJ330

(3)CO₂焊丝的选用 实芯焊丝选用牌号为 H08Mn2Si 和 H08Mn2SiA 两种,焊后熔敷金属强度偏高。药芯焊丝选用牌号为 YJ502-1、YJ506-2、YJ506-3、YJ506-4。

(4)电渣焊焊丝和焊剂的匹配选用 电渣焊熔池温度比埋弧焊低,所以焊剂中的硅、锰还原作用弱,应选用含锰、含硅量较高的焊丝。常选用 H10Mn2、H10MnSi 焊丝配合焊剂 HJ360 或 H10MnSi 焊丝配合焊剂 HJ431。

6 低碳钢在低温下如何施焊?

严冬条件下焊接低碳钢结构时,由于焊接接头的冷却速度快,使裂纹倾向增大,特别是厚大结构的第一道焊缝容易开裂,为此必需采取如下工艺措施:

1) 焊前预热,焊接过程中严格保持层间温度不应低于预热温度。

2) 采用低氢或超低氢焊接材料。

- 3) 定位焊时加大焊接电流, 减慢焊接速度, 适当增加定位焊缝的截面积和长度, 必要时进行预热。
- 4) 整条焊缝应尽量连续焊完, 避免中断。
- 5) 不应坡口面以外的母材上进行引弧, 熄弧时需填满弧坑。
- 6) 尽可能不在低温条件下进行弯板、矫正和装配焊件。

各种金属结构低温焊接时的预热温度见表 4。管道、压力容器低温焊接时的预热温度见表 5。

表 4 低碳钢金属结构低温焊接的预热温度

焊件厚度 (mm)	在各种气温下的预热温度
<30	不低于-30℃时不预热; 低于-30℃时预热 100~150℃
31~50	不低于-10℃时不预热; 低于-10℃时预热 100~150℃
51~70	不低于 0℃时不预热; 低于 0℃时预热 100~150℃

表 5 低碳钢管道、压力容器低温焊接的预热温度

焊件厚度 (mm)	在各种气温下的预热温度
<16	不低于-30℃时不预热; 低于-30℃时预热 100~150℃
17~30	不低于-20℃时不预热; 低于-20℃时预热 100~150℃
31~40	不低于-10℃时不预热; 低于-10℃时预热 100~150℃
41~50	不低于 0℃时不预热; 低于 0℃时预热 100~150℃

7 试述中碳钢的焊接性。

中碳钢的碳的质量分数为 **0.25%~0.60%**。当碳的质量分数接近 **0.25%** 而含锰量不高时，焊接性良好。随着含碳量的增加，焊接性逐渐变差。如果碳的质量分数为 **0.45%** 左右而仍按焊接低碳钢常用的工艺施焊时，在热影响区可能会产生硬脆的马氏体组织，易于开裂，即形成冷裂纹。

焊接时，相当数量的母材被熔化进入焊缝，使焊缝的含碳量增高，促使在焊缝中产生热裂纹，特别是当硫的杂质控制不严时，更易出现。这种裂纹在弧坑处更为敏感，分布在焊缝中的热裂纹于是与焊缝的鱼鳞状波纹线相垂直，见图 1。

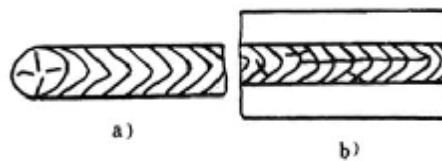


图 1 a) 弧坑裂纹 b) 焊缝热裂纹

8 中碳钢焊接时，如何正确地选用焊条？

中碳钢的焊接目前大都采用手弧焊。为提高焊接接头的抗裂性，应选用低氢型焊条。个别情况下，也可采用钛钙型和钛铁矿型酸性焊条，但此时应采取严格的工艺措施，如焊前预热、减少熔合比（降低焊缝含碳量）等。

中碳钢手弧焊时焊条的选用，见表 6。

表 6 中碳钢手弧焊时焊条的选用

钢 号	焊件含碳量 (%)	焊接 件	焊件力学性能 (≥)	选用焊条					
			σ_s (MPa)	σ_b (MPa)	δ (%)	ϕ (%)	α_K (J)	不要求等强 度	要求等强 度
35	0.32~	一般	315	530	20	45	55	E4303, E4301	E5016, E5015
ZG270~	0.40								

500	0.31~ 0.40	一般	270	500	18	25	22	E4316, E4315	
45	0.42~ 0.50	较差	355	600					
ZG310~ 570	0.41~ 0.50	较差	310	570					

">16

E4303,

E4301

40 39

15

E4316, E5016,

E4315 E5015

21 15

E5016,

E5015

E4303,

E4301

55

0.52~ 很差 380 645 1335—

0.60

E4316, E5016,

ZG340~

0.51~

E4315 E5015

340

0.60 很差 340 640 101810

E5016,

E5015

特殊情况下，中碳钢焊接时可采用铬镍不锈钢焊条，如 E0-19-10-16 (A102)、E0-19-10-5 (A107)、E1-23-13-16 (A302)、E1-23-13-15 (A307)、E2-26-21-16 (A402)、E2-26-21-15 (A407) 等，因奥氏体焊缝金属的塑性良好，可以减小焊接接头应力，即使焊件焊前不预热，也可避免热影响区产生冷裂纹。

9 试述中碳钢的焊接工艺要点。

(1) 预热 预热有利于减低中碳钢热影响区的最高硬度，防止产生冷裂纹，这是焊接中碳钢的主要工艺措施，预热还能改善接头塑性，减小焊后残余应力。通常，35 和 45 钢的预热温度为 150~250℃ 含碳量再高或者因厚度和刚度很大，裂纹倾向大时，可将预热温度提高至 250~400℃。

若焊件太大，整体预热有困难时，可进行局部预热，局部预热的加热范围为焊口两侧各 150~200mm。

(2) 焊条 条件许可时优先选用碱性焊条。

(3) 坡口形式 将焊件尽量开成 U 形坡口式进行焊接。如果是铸件缺陷，铲挖出的坡口外形应圆滑，其目的是减少母材熔入焊缝金属中的比例，以降低焊缝中的含碳量，防止裂纹产生。

(4) 焊接工艺参数 由于母材熔化到第一层焊缝金属中的比例最高达 30% 左右，所以第一层焊缝焊接时，应尽量采用小电流、慢焊接速度，以减小母材的熔深。

(5) 焊后热处理 焊后最好对焊件立即进行消除应力热处理，特别是对于大厚度焊件、高刚性结构件以及严厉条件下（动载荷或冲击载荷）工作的焊件更应如此。消除应力的回火温度为 600~650℃。

若焊后不能进行消除应力热处理，应立即进行后热处理。

10 试述高碳钢的焊接工艺要点。

(1) 焊接性 当高碳钢的碳的质量分数大于 0.60% 时，焊后的硬化、裂纹敏感倾向更大，因此焊接性极差，不能用于制造焊接结构。常用于制造需要更硬度或耐磨的部件和零件，其焊接工作主要是焊补修复。

(2) 焊条选用 由于高碳钢的抗拉强度大都在 675MPa 以上，所以常用的焊条型号为 E7015、E6015，对构件结构要求不高时可选用 E5016、E5015 焊条。此外，亦可采用铬镍奥氏体钢焊条进行焊接。

(3) 焊接工艺

1) 由于高碳钢零件为了获得高硬度和耐磨性，材料本身都需经过热处理，所以焊前应先进行退火，才能进行焊接。

2) 焊件焊前应进行预热，预热温度一般为 250~350℃ 以上，焊接过程中必需保持层间温度不低于预热温度。

3) 焊后焊件必需保温缓冷，并立即送入炉中在 650℃ 进行消除应力热处理。

11 低合金高强钢的碳当量如何计算？

低合金高强钢碳当量的计算公式目前以国际焊接学会（IIW）所推荐的 CE 和日本 JIS 标准所规定的 C_{eq} 应用最为广泛，其计算公式为

$$CE (IIW) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Cu+Ni}{15} \quad (\text{质量分数}) (\%)$$

$$C_{eq} (JIS) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \quad (\text{质量分数}) (\%)$$

式中，化学元素都表示该元素在钢中的质量分数，计算时，元素含量均取其成分范围的上限。CE 主要适用于文艺报非调质量低合金高强钢（ $\sigma_b=500\sim900\text{MPa}$ ）焊接性的估算； C_{eq} 主要适用于低碳钢调质钢和低合金高强钢（ $\sigma_b=500\sim1000\text{MPa}$ ），但均适用于含碳量偏高的钢种（C 的质量分数 $\geq 0.18\%$ ），这类钢化学成分的范围如下

C 的质量分数为 $\leq 0.2\%$ 、Si $\leq 0.55\%$ 、Mn $\leq 1.5\%$ 、Cu $\leq 0.5\%$ 、Ni $\leq 2.5\%$ 、Cr $\leq 1.25\%$ 、Mo $\leq 0.7\%$ 、V $\leq 0.1\%$ 和 B $\leq 0.006\%$ 。

12 试述低合金高强钢的焊接性。

强度级别较低的低合金高强钢，如 300~400MPa 级，由于钢中合金元素含量较少，其焊接性良好，接近于低碳钢。随着钢中合金元素的增加，强度级别提高，钢的焊接性也逐渐变差，出现的主要问题是：

(1)热影响区的淬硬倾向 含碳时较少、强度级别较低的钢种，如 09Mn2、09Mn2Si、09MnV 钢等，淬硬倾向很小。随着强度级别的提高，淬硬倾向也开始加大，如 16Mn、15MnV 钢焊接时，快速冷却会导致在热影响区出现马氏体组织。

(2)冷裂纹 低合金高强钢焊接时，热影响区的冷裂纹倾向加大，并且这种冷裂纹往往具有延迟的性质，危害性很大。例如，材料为 18MnMoNb 钢壁厚 115mm 的一大型容器，由于预热温度不够，焊后在热影响区形成大量冷裂纹。

低合金高强钢的定位焊缝很容易开裂，其原因是由于焊缝尺寸小、长度短、冷却速度快，这种开裂属于冷裂纹性质。

(3)热裂纹 一般情况下，强度等级为 294~392MPa 的热轧、正火钢，热裂倾向较小，但在厚壁压力容器的高稀释率焊道（如根部焊道或靠近坡口边缘的多层埋弧焊焊道）中也会出现热裂纹。电渣焊时，若母材的含碳量偏高并含镍时，电渣焊缝中可能会出现呈八字形分布的热裂纹。

强度等级为 800~1176MPa 的中碳调质钢（如 30CrMnSi A 钢），焊接时热裂的敏感性较大。

(4)粗晶区脆化 热影响区中被加热至 1100℃以上的粗晶区，当焊接线能量过大时，粗晶区的晶粒将迅速长大或出现魏氏组织而使韧性下降，出现脆化段。

13 试述低合金高强钢焊接时的主要工艺措施。

(1)预热 预热是防止裂纹的有效措施，并且还有助于改善接头性能。但预热会恶化劳动条件，使生产工艺复杂化，过高的预热温度还会降低接头韧性。因此，焊前是否需要预热以及预热温度的确定应根据钢材的成分（碳当量）、板厚、结构形状、刚度大小以及环境温度等决定。

(2)焊接线能量的选择 含碳低的热轧钢（09Mn2、09MnNb 钢等）以及含碳量偏下限的 16Mn 钢焊接时，因为这些钢的冷裂淬硬、脆化等倾向小，所以对焊接线能量没有严格的限制。焊接含碳量偏高的 16Mn 钢时，为降低淬硬倾向，焊接线能量应偏大一点。对于含 V、Nb、Ti 的钢种，为降低热影响区粗晶脆化所造成的不利影响，应选择较小的焊接线能量。如 15MnVN 钢的焊接线能量应控制在 40~45kJ/cm 以下。

对于碳及合金元素含量较高而屈服点为 490MPa 的正火钢（如 18MnMoNb 钢等），因淬硬倾向大，应选择较大的焊接线能量，但当采用焊前预热时，为了避免过热倾向，可以适当地减少线能量。

(3)后热及焊后热处理 后热是指焊接结束或焊完一条焊缝后，将焊件立即加热至 150~250℃范围内，并保温一段时间，使接头中的氢扩散逸出，防止延迟裂纹产生。

对于厚壁容器、高刚性的焊接结构以及一些在低温、耐蚀条件下工作的构件，焊后应及时进行消除应力的高温回火，其目的是消除焊接残余应力，改善组织。

焊后立即进行高温回火的焊件，无需再进行后热处理。

14 低合金高强钢焊接时，如何正确地选用焊接材料？

总的原则是根据等强度的要求，即熔敷金属的强度等级应与母材在同一档次来选用焊接材料，具体选用，见表 7。

表 7 低合金高强钢焊接材料的选用

	焊剂	焊丝	焊剂	焊丝	
09Mn2			HJ430		H10MnSi
				H08A	
09Mn2Si	294	E43	HJ431		H08Mn2Si
				H08MnA	
09MnV			SJ301		H08Mn2SiA
				薄板：H08A	
16Mn	343	E50	SJ501	HJ431	H08MnMoA
				H08MnA	H08Mn2Si
				HJ360	

16MnCu			中板开坡口对接		H08Mn2SiA
			HJ431		
14MnNb			开 I 形坡口对接		YJ502-1
			HJ430		
			H08MnA		YJ502-3
			SJ301		
			H10Mn2		YJ506-4
			厚板深坡口		
			HJ350 H10Mn2		
			H08MnMoA		
			开 I 形坡口对接		
			H08MnA		
			HJ430		
15MnV			中板开坡口对接	HJ431	
			HJ431		H10MnMo
15MnVCu	E50		H10Mn2	HJ360	H08Mn2Si
	392				H08Mn2MoVA
	E55		H10MnSi		H08Mn2SiA
16MnNb			HJ250 厚板深坡口		
			HJ350 H08MnMoA		
			SJ101		
15MnVN	441	E55	SJ431 H10Mn2	HJ431 H10MnMo	H08Mn2Si

HJ350 H08MnMoA

HJ250 H08Mn2MoA

SJ101

18MnMoNb

HJ250 H08Mn2MoA

HJ431 H10Mn2MoA

E60

14MnMoV 490

HJ350 H08Mn2MoVA

HJ360 H10Mn2MoVA

H08Mn2SiMoA

E70

14MnMoVCu

SJ101 H08Mn2NiMo

H10Mn2NiMoA

15 试述 16Mn 钢的焊接工艺。

16Mn 钢属于碳锰钢，碳当量为 0.345%~0.491%，屈服点等于 343MPa（强度级别属于 343MPa 级）。16Mn 钢的合金含量较少，焊接性良好，焊前一般不必预热。但由于 16Mn 钢的淬硬倾向比低碳钢稍大，所以在低温下（如冬季露天作业）或在大刚性、大厚度结构上焊接时，为防止出现冷裂纹，需采取预热措施。不同板厚及不同环境温度下 16Mn 钢的预热温度，见表 8。

16Mn 钢手弧焊时应选用 E50 型焊条，如碱性焊条 E5015、E5016，对于不重要的结构，也可选用酸性焊条 E5003、E5001。对厚度小、坡口窄的焊件，可选用 E4315、E4316 焊条。

表 8 焊接 16Mn 钢的预热温度

焊 件 厚 度 (mm)	不同气温下的预热温度 (°C)
16 以上	不低于 -10°C 不预热，-10°C 以下预热 100~150°C
16~24	
25~40	不低于 -5°C 不预热，-5°C 以下预热 100~150°C
40 以上	

	不低于 0℃不预热, 0℃以下预热 100~150℃
	均预热 100~150℃

16Mn 钢埋弧焊时 H08MnA 焊丝配合焊剂 HJ431 (开 I 形坡口对接) 或 H10Mn2 焊丝配合焊剂 HJ431 (中板开坡口对接), 当需焊接厚板深坡口焊缝时, 应选用 H08MnMoA 焊丝配合焊剂 HJ431。

16Mn 钢是目前我国应用最广的低合金钢, 用于制造焊接结构的 16Mn 钢均为 16MnR 和 16Mng 钢。

16 试述 18MnMoNb 钢的焊接工艺。

18MnMoNb 钢的屈服点等于 490MPa (属于 490MPa 级钢), 由于碳及合金钢元素的含量都较高, 所以淬火硬倾向及冷裂倾向均比 16Mn 钢大。焊接工艺要点:

- 1) 除电渣焊外, 焊前对焊件应采取预热措施, 预热温度控制在 150~180℃。对于刚度较大的接头, 预热温度应提高至 180~230℃。焊后或中断焊接时, 应立即进行 250~350℃的后热处理。
- 2) 焊接材料的选用, 见表 7。
- 3) 为保证接头性能和质量, 应适当控制焊接线能量, 如手弧焊时, 焊接线能量应控制在 24kJ/cm 以下; 埋弧焊时, 焊接线能量应控制在 35kJ/cm 以下。但焊接线能量不能过小, 否则焊接接头易出现淬硬组织和降低韧性。同时, 层间温度应控制在预热温度和 300℃之间。
- 4) 焊后应进行热处理。电渣焊接头热处理的方式是 900~980℃正火加 630~670℃回火。手弧焊及埋弧焊接头进行消除焊接残余应力的高温回火处理, 回火温度比一般钢材回火温度低 30℃左右。

17 试述低温用钢的焊接工艺。

工作温度等于或低于 -20℃的低碳素结构钢和低合金钢称为低温用钢, 其牌号及成分, 见表 9。对低温用钢的主要要求是应保证在使用温度下具有足够的塑性及抵抗脆性破坏的能力。

表 9 低温容器用钢的牌号及成分

钢 号	化学成分 (质量分数) (%)				
	C	Mn	Si	V	Ti
16MnDR	≤0.20	1.20~1.60	0.20~0.60		
				0.04~0.10	0.03~0.08
09MnTiCuREDR	≤0.12	1.40~1.70	≤0.40		

09Mn2VDR ≤0.12 1.40~1.70 0.20~0.05

06MnNbDR ≤0.07 1.20~1.60 0.17~0.37

钢 号 化学成分（质量分数）（%）

	Cu	Nb	RE	S	P
				≤	
16MnDR				0.035	0.035
09MnTiCuREDR				0.035	0.035
	0.20~0.40	0.02~0.05	0.15(加入量)		
09Mn2VDR				0.035	0.035
06MnNbDR				0.030	0.030

低温用钢由于含碳量低, 淬硬倾向和冷裂倾向小, 所以焊接性良好。焊接时, 为避免焊缝金属及热影响区形成粗晶组织而降低低温韧性, 要求采用小的焊接线能量, 焊接电流不宜过大, 宜用快速多道焊以减轻焊道过热, 并通过多层焊的重热作用细化晶粒, 多道焊时要控制层间温度不得过高, 如焊接 06MnNbDR 低温用钢时, 层间温度不得大于 300℃。

焊接低温用钢的焊条, 见表 10。

表 10 焊接低温用钢焊条

焊 条 牌 号	焊条型号	主 要 用 途
J506G	E5016G	焊接—40℃工作的 16MnDR 钢
J507GR	E5015G	
W707	TW70-7Cu	焊接—70℃工作的 09Mn2V 及 09MnTiCuRe 钢
W707Ni	E5515C1	焊接—70℃工作的低温钢及 2.5%Ni 钢
W907Ni	E5515C2	焊接—90℃工作的 3.5%Ni 钢

W107Ni	TW10-7Cu	焊接—100℃工作的 06MnNb、06AlNbCuN 及 3.5%Ni 钢
--------	----------	--

低温用钢焊后可进行消除应力热处理，以降低焊接结构的脆断倾向。

18 试述珠光体耐热钢的焊接工艺。

高温下具有足够的强度和抗氧化性的钢称为耐热钢，以 Cr、Mo 为主要合金元素的低合金耐热钢，基体组织是珠光体(或珠光体+铁素体)称为珠光体耐热钢，常用钢号有 15CrMo、12CrMoV、12Cr2MoWTiB、14MnMov、18MnMoNb、13MnNi MoNb。

由于珠光体耐热钢中含有一定量的 Cr、Mo 和其它一些合金元素，所以热影响区会产生硬脆的马氏体组织，低温焊接或焊接刚性较大的结构时，易形成冷裂纹。因此在焊接时应采取以下几项工艺措施：

(1)预热 预热是焊接珠光体耐热钢的重要工艺措施。为了确保焊接质量，不论在定位焊或正式施焊过程中，焊件都应预热并保持为 80~150℃用氩弧焊打底和 CO₂ 气体保护焊时，可以降低预热温度或不预热。

(2)焊后缓冷 焊后应立即用石棉布覆盖焊缝及热影响区，使其缓慢冷却。

(3)焊后热处理 焊后应立即进行高温回火，防止产生延迟裂纹、消除应力和改善组织。焊后热处理温度应避免在 350~500℃温度区间内进行，因珠光体耐热钢在该温度区间内有强烈的加火脆性现象。几种常用珠光体耐热钢的焊后热处理温度见表 11。

表 11 珠光体耐热钢焊后热处理温度

钢 号	需热处理厚度 (mm)	焊后高温回火温度 (℃)
15CrMo	>10	680~700
12Cr1MoV	>6	720~760
20CrMo	任何厚度	720~760
12Cr2MoWVB	任何厚度	760~780
12Cr3MoVSiTiB	任何厚度	740~780

19 珠光体耐热钢焊接时，如何正确地选用焊接材料？

总的原则是根据化学成分的要求，即熔敷金属的化学成分应与母材相当来选用焊接材料。具体选用，见表 12。

表 12 珠光体耐热钢焊接材料的选用

钢 号	手 弧 焊		埋 弧 焊	气体保护焊
	焊条牌 号	焊条型号	焊丝与焊剂匹配	焊丝牌号
15CrMo	R307	E5515-B2	H08CrMoA+IJ350	H08CrMnSiMo
12CrMoV	R317	E5515-B2-V	H08CrMoV+HJ350	H08CrMnSiMoV
Cr2Mo	R407	E6015-B3	H08Cr3MoMnA+hJ350	H08Cr
12CrMoWV-TiB	R347	E5515-B3-VWB	H08Cr2MoWVNbB+HJ 250	H08Cr2MnWVNbB
14MnMoV	J606	E6016-D1	H08Mn2MoA+HJ350	H08Mn2SiMo
18MnMoNb	J607	E6015-D1		
13MnNiMoNb	J607Ni	E6015G	H08Mn2NiMo+HJ350	H08Mn2NiMoSi

焊接工艺问答（焊接变形）（1）

1 试述焊接残余变形的种类。

焊接过程中焊件产生的变形称为焊接变形。焊后，焊件残留的变形称为焊接残余变形。焊接残余变形有纵向收缩变形、横向收缩变形、角变形、弯曲变形、扭曲变形和波浪变形等共六种，见图 1，其中焊缝的纵向收缩变形和横向收缩变形是基本的变形形式，在不同的焊件上，由于焊缝的数量和位置分布不同，这两种变形又可表现为其它几种不同形式的变形。

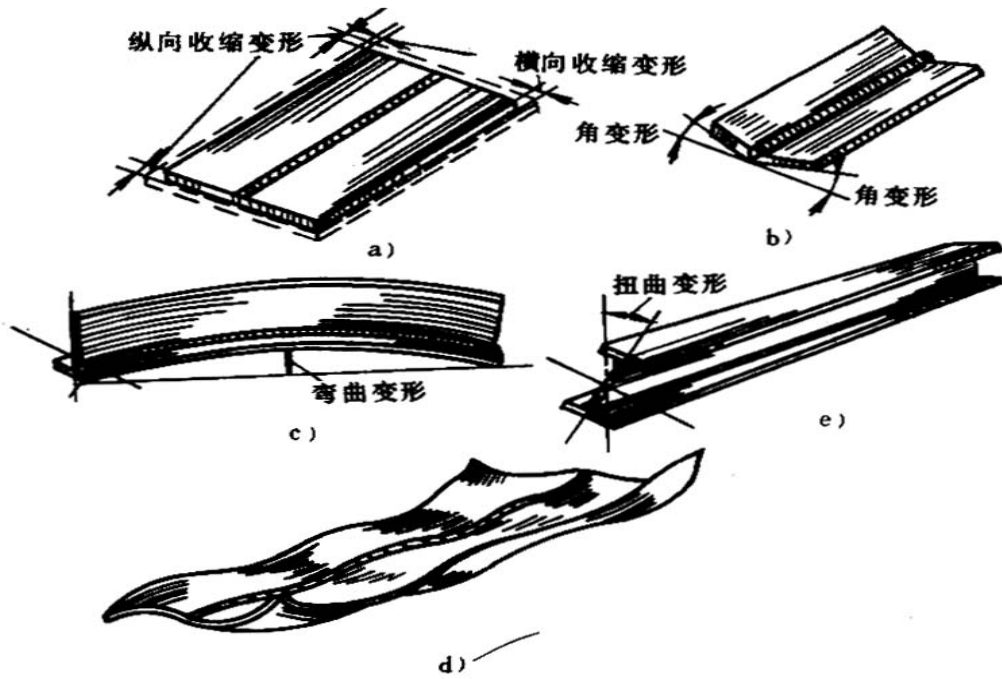

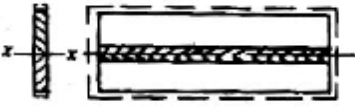


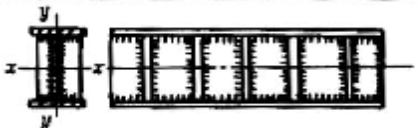


图 1 a) 纵向收缩变形和横向收缩变形 b) 角变形
c) 弯曲变形 d) 波浪变形 e) 扭曲变形

2 焊件在什么情况下会产生纵向收缩变形?

焊件焊后沿平行于焊缝长度方向上产生的收缩变形称为纵向收缩变形。当焊缝位于焊件的中性轴上或数条焊缝分布在相对中性轴的对称位置上，焊后焊件将产生纵向收缩变形，其焊缝位置见表 1。

表 1 焊件产生纵向收缩变形的焊缝位置

图	例	说 明
		双 Y 形坡口, 焊缝对焊件截面对称布置
		焊缝位于焊件截面中心线上
		两片半圆瓦对接成圆筒, 焊缝对称布置
		工字梁焊缝对 x-x 轴和 y-y 轴均对称布置
		4 条纵焊缝和所有肋板焊缝对 x-x 轴、y-y 轴均对称

焊缝的纵向收缩变形量随焊缝的长度、焊缝熔敷金属截面积的增加而增加, 随焊件截面积的增加而减少, 其近似值见表 2。

表 2 焊缝纵向收缩变形量的近似值 (mm/m)

对接焊缝	连续角焊缝	间断角焊缝
0.15~0.3	0.2~0.4	0~0.1

注: 表中所表示的数据是在宽度大约为 15 倍板厚的焊缝区域中的纵向收缩变形量, 适用于中等厚度的低碳钢板。

3 试述焊缝的横向收缩变形量及其计算。

焊件焊后在垂直于焊缝方向上发生的收缩变形称为横向收缩变形, 横向收缩变形量随板厚的增加而增加。低碳钢对接接头、T 形接头和搭接接头的横向收缩变形量, 见表 3、表 4。

表 3 低碳钢对接接头横向收缩变形量 (实验值)

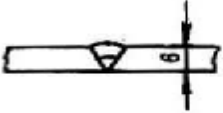
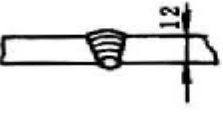
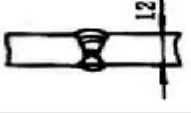
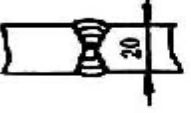
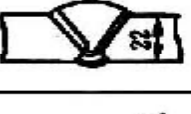

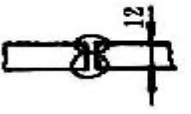
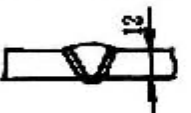

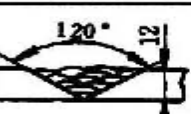

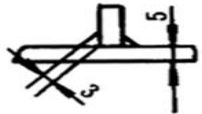
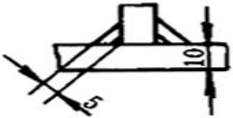
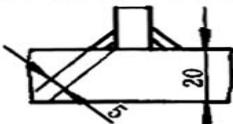


接头横截面	焊 接 方 法	横向缩短 (mm)
	手弧焊 2 层	1.0
	手弧焊 5 层	1.6
	手弧焊正面 5 层, 反面清根后焊 2 层	1.8
	手弧焊正、反各焊 4 层	1.8
	1/3 反面手弧焊, 正面埋弧焊 1 层	2.4
	铜垫板上埋弧焊 1 层	0.6
	手弧焊 (深熔焊条)	1.6
	右向气焊	2.3
	手弧焊 20 道、反面未焊	3.2
	手弧焊	3.3
	手弧焊 (加垫板单面焊)	1.5

表 4 低碳钢 T 形接头、搭接接头横向收缩变形量 (实验值)

接头横截面	焊 接 方 法	横向收缩变形 (mm)
	手弧焊	0.5
	水平位置手弧焊 2 层	0.3
	水平位置手弧焊 2 层	0
	水平位置手弧焊 2 层	0.5
	水平位置手弧焊 2 层	0.8

对接接头横向收缩变形量的近似计算公式，见表 5。

表 5 对接接头横向收缩变形量的近似计算公式

坡口形式	横向缩短量计算公式
Y 形	$\Delta L_{\text{横}} = 0.1\delta^{\text{①}} + 0.6$
双 Y 形	$\Delta L_{\text{横}} = 0.1\delta + 0.4$

① δ ——板厚 (mm)。

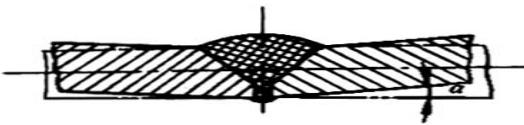




当两板自由对接、焊缝不长、横向没有约束时，横向收缩变形量要比纵向的大得多。

4 焊件在什么情况下会产生弯曲变形？

如果焊件上的焊缝不位于焊件的中性轴上，并且相对于中性轴不对称（上下、左右），则焊后焊件将产生弯曲变形。如果焊缝集中在中性轴下方（或下方焊缝较多）则焊件焊后将产生上拱弯曲变形；

相反如果焊缝集中在中性轴上方（或上方焊缝较多），则焊件焊后将产生下凹弯曲变形。又如果焊件相对焊件中性轴左、右不对称，则焊后将产生旁弯，焊件产生弯曲变形的焊缝位置，见表 6。

表 6 焊件产生弯曲变形的焊缝位置

图 例	说 明
	Y形坡口，焊缝重心在焊件中性轴上侧，焊后产生角变形
	焊缝位于焊件中性轴上侧，焊后产生下凹弯曲变形
	钢板卷圆后对接，焊缝位于焊件中性轴上侧，焊后产生下凹弯曲变形
	T形梁，焊缝位于焊件中性轴下侧，焊后产生上拱弯曲变形
	焊件中性轴上侧焊缝多于下侧，焊后产生下凹弯曲变形

注：表图中的 f 称为挠度，用以表示弯曲变形量的大小。

5 试述焊件产生角变形的原因及其数值。






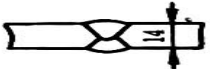





焊接时，由于焊接区沿板材厚度方向不均匀的横向收缩而引起的回转变形称为角变形见图 1b。

产生角变形的原因是，焊缝的截面总是上宽下窄，因而横向收缩量在焊缝的厚度方向上分布不均匀，上面大、下面小，结果就形成了焊件的平面偏转，两侧向上翘起一个角度。电渣焊缝由于焊缝厚度均匀，所以焊后焊件基本上不产生角变形。

有色金属和薄板，由于焊接过程中熔池承托不住焊件的重量，使两侧板下垂，结果会引起相反方向的角变形。

低碳钢对接接头在自由状态下，焊后角变形的实验值，见表 7。

表 7 低碳钢对接接头角变形量 (实验值)

接头横截面	焊 接 方 式	角变形 (°)
	手弧焊 2 层	1°
	光焊条手弧焊	1.4°
	单面手弧焊 5 层	3.5°
	正面手弧焊五层, 反面清根焊 3 层	0°
	右向气焊	1°
	两面同时垂直气焊	0°
	手弧焊 8 层	7°
	手弧焊 22 道	13°
	铜垫板上埋弧焊 1 层	0°
	1/3 手弧焊 2/3 埋弧焊	3°
	铜垫板上埋弧焊 2 层	5°

6 试述波浪变形和扭曲变形产生的原因。

(1)波浪变形 焊后构件产生形似波浪的变形称为波浪变形。薄板对接焊后, 存在于板中的内应力, 在焊缝附近是拉应力, 离开焊缝较远的两侧区域为压应力, 如压应力较大, 平板失去稳定就产生波浪变形, 见图 1d。

此外, 当焊件上的几条角焊缝靠得很近时, 由每角焊缝所引起的角变形连贯在一起也会形成波浪变形, 见图 2。波浪变形通常产生在薄板结构中。



图 2

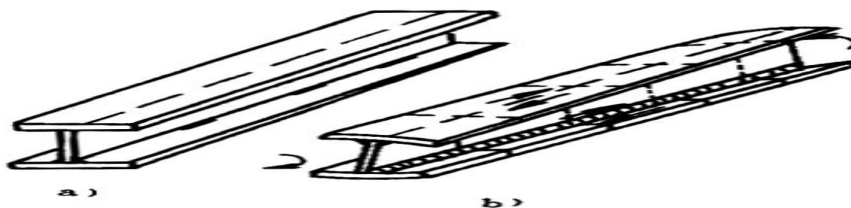


图 3 a) 焊前 b) 焊后

(2)扭曲变形 构件焊后两端绕中性轴相反方向扭转一角度称为扭曲变形，见图 1e。

如果构件的角变形沿长度上分布不均匀和纵向有错边，则往往会产生扭曲变形。如图 3a 所示工字梁的四条角焊缝在定位焊后不采用适当夹具，按图 3b 所示的焊接方向（相邻焊缝反向）进行焊接，这时角变形沿着焊缝长度逐渐增大，使构件扭转，即构件扭转，即产生扭曲变形。

7 如何利用合理的装配焊接顺序来控制焊接残余变形？

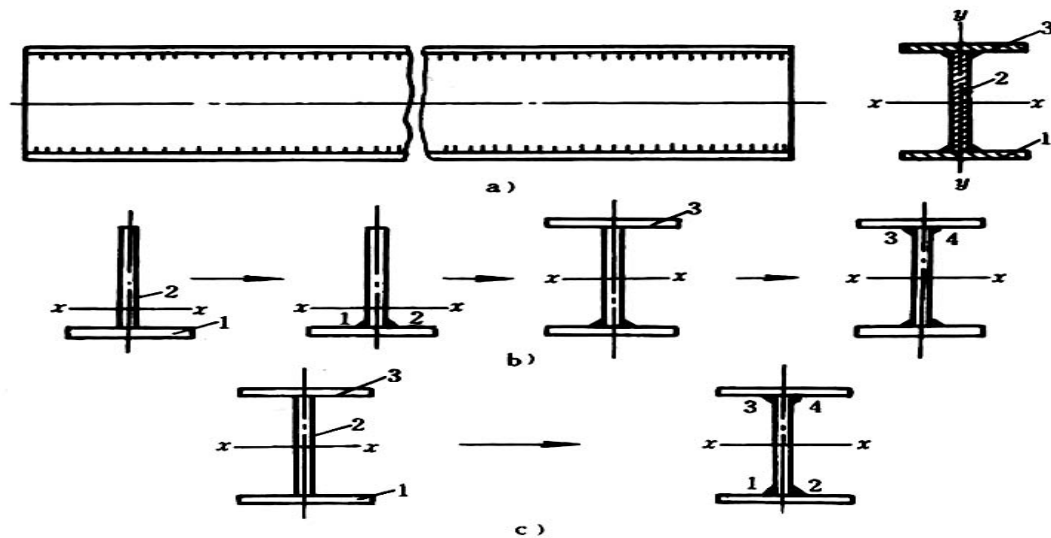


图 4
a) 工字梁的结构形式 b) 边装边焊顺序 c) 整装后焊顺序
1—下盖板 2—腹板 3—上盖板

不同的构件形式应采用不同的装配焊接方法。

1) 结构截面对称、焊缝布置对称的焊接结构，采用先装配成整体，然后再按一定的焊接顺序进行生产，使结构在整体刚性较大的情况下焊接，能有效地减少弯曲变形。

例如，工字梁的装配焊接过程，可以有两种不同方案，见图 4。若采用图 4b 所示的边装边焊顺序进行生产，焊后要产生较大的上拱弯曲变形；若采用图 4c 所示的整装后焊顺序，就可有效地减少弯曲变形的产生。

2) 结构截面形状和焊缝不对称的焊接结构，可以分别装焊成部件，最后再组焊在一起见图 5。图 5b 所示的方案由于焊缝 1 离中性轴距离较大，所以弯曲变形较大，而图 5a 所示的焊缝 1 的位置几乎与上盖板截面中性轴重合，所以对整个结构的弯曲变形没有影响。

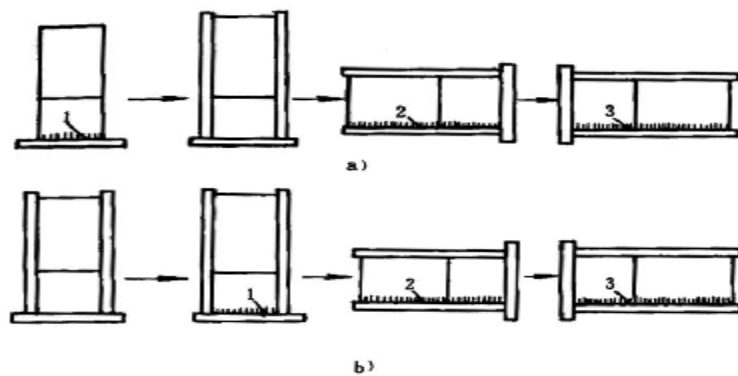


图 5 a) 边装边焊顺序 b) 整装后焊顺序

8 如何利用合理的焊接顺序来控制焊接残余变形?

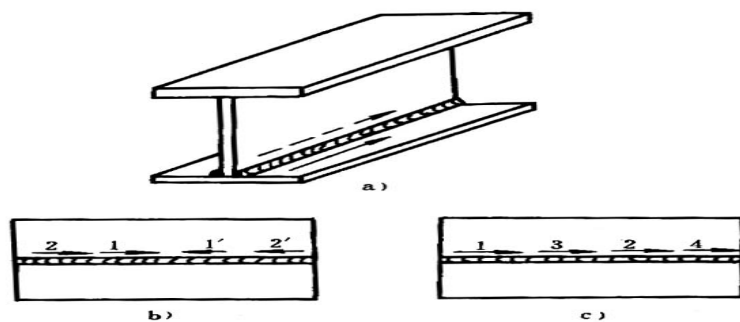
(1) 对称焊缝采用对称焊接 当构件具有对称布置的焊缝时,可采用对称焊接减少变形。如图 4 所示工字梁,当总体装配好后先焊焊缝 1、2,然后焊接 3、4,焊后就产生上拱的弯曲变形。如果按 1、4、2、3 的顺序进行焊接,焊后弯曲变形就会减小。但对称焊接不能完全消除变形,因为焊缝的增加,结构刚度逐渐增大,后焊的焊缝引起的变形比先焊的焊缝小,虽然两者方向相反,但并不能完全抵消,最后仍将保留先焊焊缝的变形方向。

(2) 不对称焊缝先焊焊缝少的一侧 因为先焊焊缝的变形大,故焊缝少的一侧先焊时,使它产生较大的变形,然后再用另一侧多的焊缝引起的变形来加以抵消,就可以减少整个结构的变形。

9 如何利用合理的焊接方向来控制焊接残余变形?

为控制焊接残余变形而采用的焊接方向,有以下几种:

(1) 长焊缝同方向焊接 如 T 形梁、工字梁等焊接结构,具有互相平行的长焊缝,施焊时,应采用同方向焊接,可以有效地控制扭曲变形,见图 6a。

图 6
a) 长焊缝同方向焊接 b) 逆向分段退焊法 c) 跳焊法

(2)逆向分段退焊法 同一条或同一直线的若干条焊缝,采用自中间向两侧分段退焊的方法,可以有效地控制残余变形,见图 6b。

(3)跳焊法 如构件上有数量较多又互相隔开的焊缝时,可采用适当的跳焊,使构件上的热量分布趋于均匀,能减少焊接残余变形,见图 6c。

10 如何利用反变形法来控制焊接残余变形?

为了抵消焊接残余变形,焊前先将焊件向与焊接残余变形相反的方向进行人为的变形,这种方法称为反变形法。例如,为了防止对接接头产生的角变形,可以预先将对接处垫高,形成反向角变形见图 7a。为了防止工字梁翼板焊后产生角变形,可以将翼板预先反向压弯见图 7b。在薄壳结构上,有时需在壳体上焊接支承座之类的零件,焊后壳体往往发生塌陷,为此,可以在焊前将支承座周围的壳壁向外顶出,然后再进行焊接见图 7c。

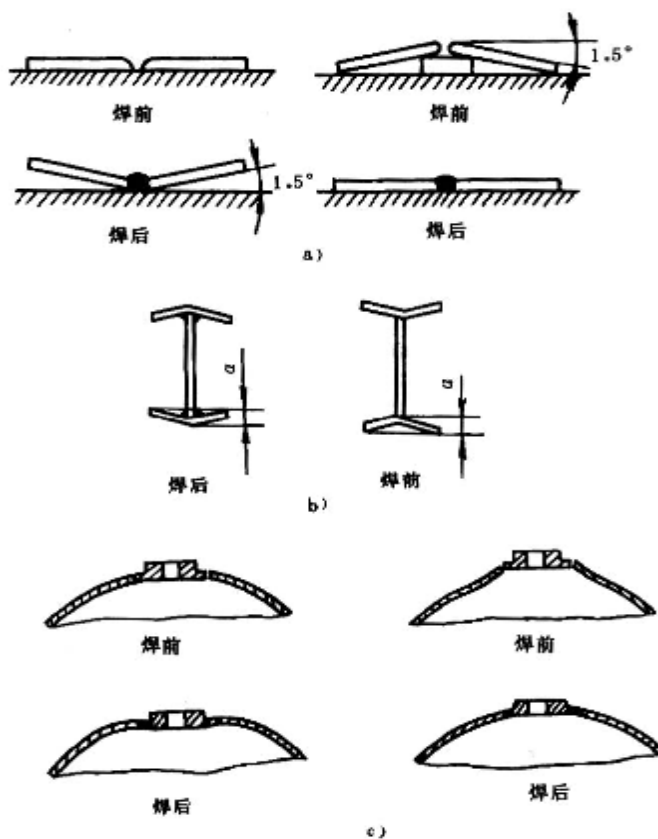


图 7

a) 平板对接焊反变形 b) 焊接工字梁反变形
c) 薄壳结构支承座焊接反变形

采用反变形法控制焊接残余变形,焊前必需较精确地掌握焊接残余变形量,通常用来控制构件焊后产生的弯曲变形和角变形,如反变形量留得适当,可以基本抵消这两种变形。

11 如何利用刚性固定法来控制焊接残余变形？

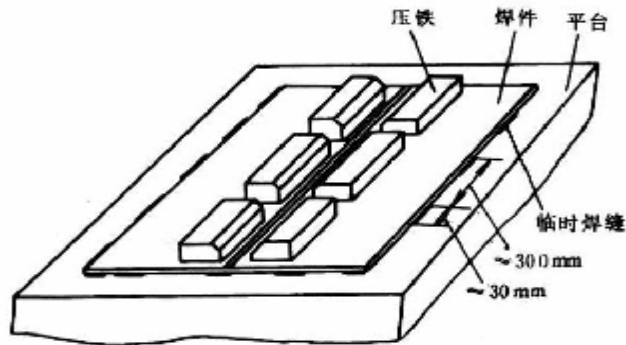


图 8

焊前对焊件采用外加刚性拘束，强制焊件在焊接时不能自由变形，这种防止焊接残余变形的方法称为刚性固定法。采用压铁防止薄板焊后的波浪变形见图 8。

刚性固定法简单易行，适用面广，不足之处是焊后当外加刚性拘束卸掉后，焊件上仍会残留一些变形，不能完全消除，不过要比没有拘束时小得多。另外，刚性固定法将使焊接接头中产生较大的焊接应力，所以对于一些抗裂性较差的材料应该慎用。

12 如何利用散热法和自重法来控制焊接残余变形？

(1) 散热法 焊接时用强迫冷却的方法将焊接区的热量散走，减少受热面积从而达到减少变形的目的，这种方法称为散热法，利用散热法减少薄板的焊接变形见图 9。图 9b 是将焊件浸入水中进行焊接（常用于小容器焊接）。图 9c 是用水冷铜块进行冷却。

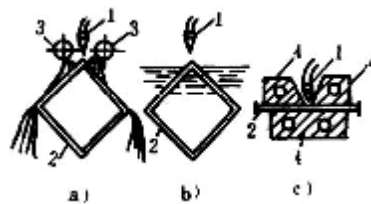


图 9

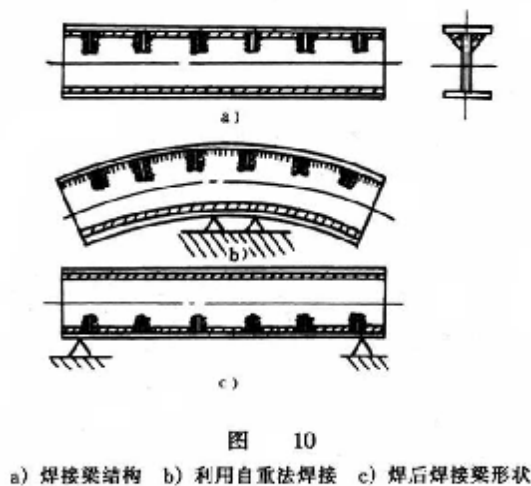
- a) 喷水冷却 b) 浸入水中冷却
c) 用水冷铜块冷却
1—焊炬 2—焊件 3—喷水管
4—水冷铜块

散热法不适用于焊接淬硬性较高的材料。

(2)自重法 利用焊件本身的质量在焊接过程中产生的变形来抵消焊接残余变形的

法称为自重法。如一焊接梁上部的焊缝明显多于下部，见图 10a，焊后整根梁产生下凹弯曲变形。

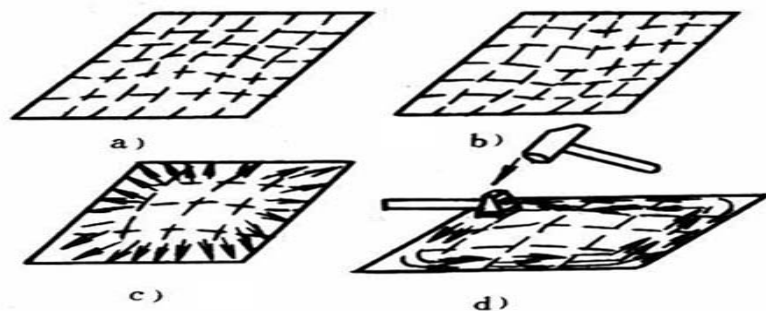
为此焊前将梁放在两个相距很近的支墩上，见图 10b，首先焊接梁的下部两条直焊缝，由于梁的自重和焊缝的收缩，将使梁产生弯曲变形，焊毕，将支墩置于两头，并使梁反身搁置，随后焊接梁的上部，由于支墩是置于梁的两头，梁的自重弯曲变形与第一次相反，不仅如此，上部焊缝的收缩变形方向也与下部焊缝收缩变形的方向相反，因此焊后梁的弯曲变形得以控制，见图 10c。



13 如何利用机械矫正法矫正焊接残余变形？

利用手工锤击或机械压力矫正焊接残余变形的的方法叫机械矫正法。

手工锤击矫正薄板波浪变形的方法，见图 11。图 11a 表示薄板原始的变形情况，锤击时锤击部位不能是突起的地方，这样结果只能朝反方向突出，见图 11b，接着又要锤击反面，结果不仅不能矫平，反而要增加变形。正确的方法是锤击突起部分四周的金属，使之产生塑性伸长，并沿半径方向由里向外锤击，见图 11c，或者沿着突起部分四周逐渐向里锤击，见图 11d。



利用机械力矫正焊接残余变形的办法，见图 12。图 12a 是利用加压机矫正工字梁焊后的弯曲变形。图 12b 是利用圆盘形辗轮辗压薄板焊缝及其两侧，使之伸长来消除薄板焊后的残余变形。

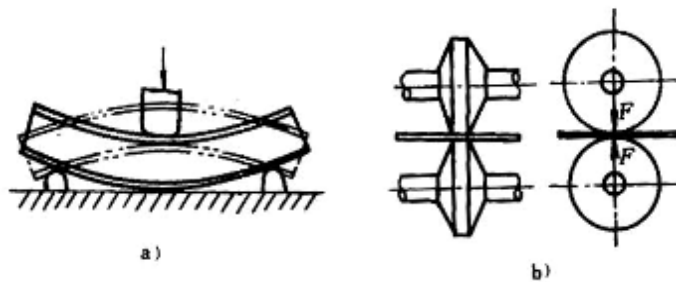


图 12 a) 工字梁机械矫形 b) 薄板辗压矫形

手工锤击矫形劳动强度大，技术难度高，但无须设备，适用于薄板的焊后矫形。机械矫正效率高、速度快、效果好，但须要加压机等设备，适用于中、大型焊件焊后的矫形。

14 如何正确进行火焰矫正焊接残余变形？

利用火焰对焊件进行局部加热时产生的塑性变形，使较长的金属在冷却后收缩，以达到矫正变形的目的称火焰加热矫正法。火焰加热矫正法矫正焊件残余变形时要注意以下事项：

- 1) 加热用火焰通常采用氧乙炔焰，火焰性质为中性焰，如果要求加热深度小时，可采用氧化焰。
- 2) 对于低碳钢和低合金结构钢，加热温度为 $600\sim 800^{\circ}\text{C}$ ，此时焊件呈樱红色。
- 3) 火焰加热的方式有点状、线状和三角形三种，其中三角形加热适用于厚度大、刚性强的焊件。
- 4) 加热部位应该是焊件变形的突出处，不能是凹处，否则变形将越矫越严重。
- 5) 矫正薄板结构的变形时，为了提高矫正效果，可以在火焰加热的同时用水急冷，这种方法称为水火矫正法。对于厚度较大而又比较重要的构件或者淬硬倾向较大的钢材，不可采用水火矫正法。
- 6) 夏天室外矫正，应考虑到日照的影响。因为中午和清晨原加热效果往往不一样。
- 7) 薄板变形的火焰矫正过程中，可同时使用木锤进行锤击，以加速矫正效果。

15 试述用电磁锤法矫正焊接残余变形的工作原理。

电磁锤法又称强电磁脉冲矫正法，其矫正焊件变形的过程如下：把一个由绝缘的圆盘形线圈组成的电磁锤放置于焊件待矫正处，从已充电的高压电容向其放电，于是在线圈与焊件的间隙中出现一个很强的脉冲电磁场，见图 13。由此产生一个比较均匀（与机械锤相比）的压力脉冲，使该处产生与焊件变形反向的变形，用以矫正焊件的变形。

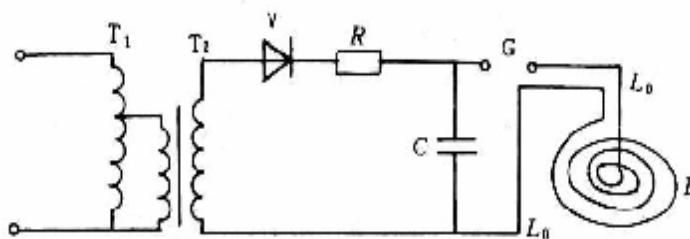


图 13
T₁—调压器 T₂—高压变压器 V—整流元件 R—限流元件
C—储能电容器 G—隔离间隙 L—矫形线圈 L₀—传输电缆

电磁锤法适用于电导率大的材料如铝、铜等板壳结构的矫形。对电导率小的材料则需在焊件与电磁锤之间放置铝或铜质薄板。

电磁锤法矫正变形的优点在于：

- 1) 焊件表面没有撞击的锤痕。
- 2) 矫形能量可精确地控制。
- 3) 无需挥动锤头，可在比较窄小的空间内进行工作。

什么是无损探伤？

为了保证产品质量和设备安全运行，必须对产品和设备进行检验。一般把检验分为破坏性检验和无损检验两大类。

损伤或破坏被检验对象来检测材料或产品性能质量的方法，称为破坏性检验。如机械性能试验、化学成分分析、金相分析、爆破试验等。

在不损伤或不破坏被检对象的前提下，利用声、光、电、磁等方法，来检测材料、工件的内部或表面缺陷，检测材料的物理性质、机械性能及材料厚度的检验方法，叫做无损检测。凡以检测材料、工件和焊缝的内部或表面缺陷为主要目的无损检测，叫做无损探伤。常用的无损探伤方法有：

- (1) 射线探伤, 英文缩写符号 **RT**;
- (2) 超声波探伤, 英文缩写符号 **UT**;
- (3) 磁粉探伤, 英文缩写符号 **MT**;
- (4) 渗透探伤, 英文缩写符号 **PT**;
- (5) 涡流探伤, 英文缩写符号 **ET**。

值得注意的是, 每一种无损探伤方法都有其独立性, 并按其特殊的工作方法进行。都有其最适宜的探伤对象、适宜的范围和场合, 也均有各自的特点和不足之处。只有充分发挥各种方法的特长, 根据被探伤对象的特性、检验目的及要求, 合理地选择一种或多种探伤方法, 配合使用, 取长补短, 才能获得最佳的探伤效果。

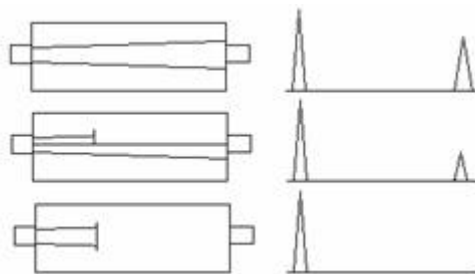
超声检测

1. 什么是超声检测?

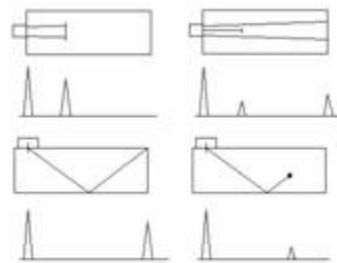
超声波在被检测材料中传播时, 材料的声学特性和内部组织的变化对超声波的传播产生一定的影响, 通过对超声波受影响程度和状况的探测了解材料性能和结构变化的技术称为超声检测。

2. 超声检测方法有哪些?

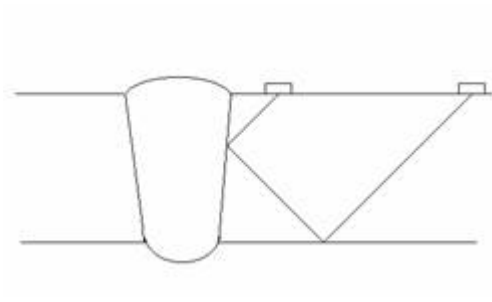
通常有穿透法、脉冲反射法、串列法等。



穿透法



反射法



串列法

超声检测仪

3. 超声检测有哪些应用？

水浸（喷水）法检测钢管、锻件（图 1）；单（双）探头检测焊缝（图 2）；多探头检测大型管道（图 3）

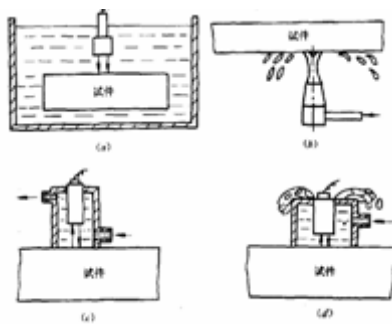


图 1

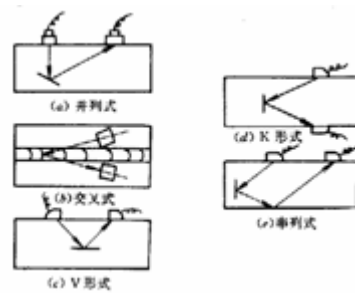


图 2

射线检测

1. 什么是射线检测？

利用射线（X射线、γ射线、中子射线等）穿过材料或工件时的强度衰减，检测其内部结构不连续性的技术称为射线检测。

穿过材料或工件的射线由于强度不同在 X 射线胶片上的感光程度也不同，由此生成 内部不连续的图象。

图 1 是射线穿过工件时的强度衰减；图 2 是 X 射线机和 γ 射线仪；图 3、图 4 是射线底片。

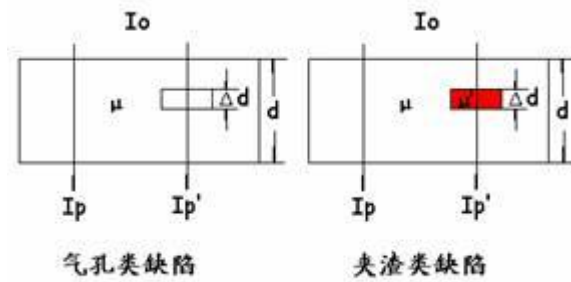


图 1 射线检测示意图



图 2 X 射线机和 γ 射线仪



图 3 焊缝的 X 射线底片（有气孔、夹渣等缺陷）



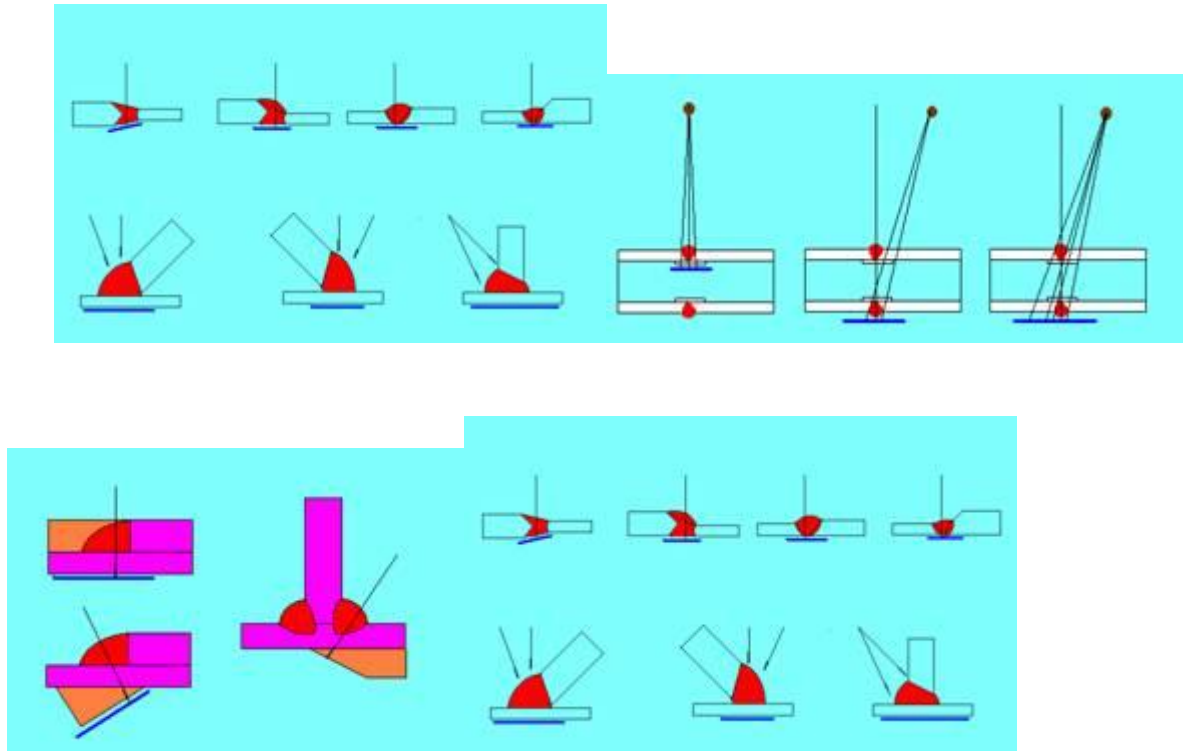
图 4 铸件底片

2. 射线检测方法有哪些？

射线检测通常根据内部结构显示方法不同可分为：射线照相法、荧光屏法（发展为工业电视）、干板照相法、层析摄影（工业CT）技术、数字显示技术等。

3. 射线检测有哪些透照方法？

射线检测对不同的结构（如焊缝）有以下几种透照位置



磁粉检测

1. 什么是磁粉检测？

利用漏磁和合适的检验介质发现试件表面和近表面的不连续性的无损检测方法。

2. 磁粉检测方法有哪些？

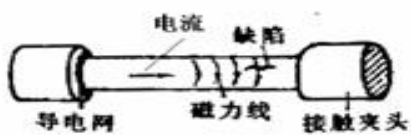


图4.6 轴向通电法

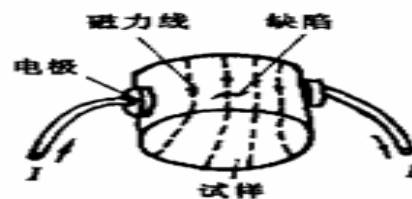


图4.9 横向通电法

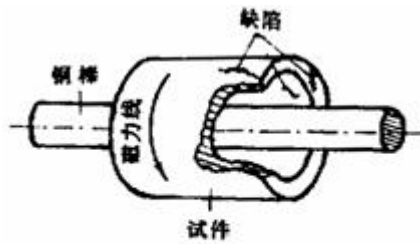


图4.10 穿棒法



图4.11 支杆法

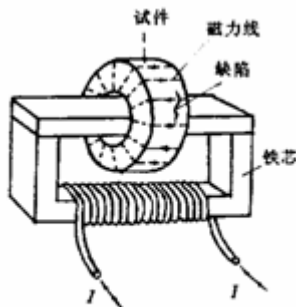


图4.12 感应电流法

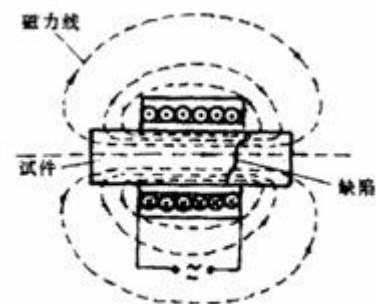


图4.13 线圈法

什么是超声波探伤?有什么优缺点?

机械振动在介质中的传播过程叫做波。通常，人耳能够感受到频率高于 **16** 次/秒（赫兹），低于 **20000** 赫兹的弹性波，所以在这个频率范围内的弹性波又称为声波。频率小于 **10** 赫兹的弹性波叫做次声波，频率高于 **20000** 赫兹的弹性波叫做超声波。次声波和超声波人耳都不能感受，即人耳听不到。

超声波与声波具有下列不同的特点：

- （1）超声波的声束能集中在特定的方向上，在介质中沿直线传播，具有良好的指向性；
- （2）超声波在介质中的传播过程中，会发生衰减和散射；
- （3）超声波在异种介质的界面上将产生反射、折射和波型转换。利用这些特性，可以获得从缺陷界面反射回来的反射波，从而达到探测缺陷的目的；
- （4）超声波的能量比声波大得多；

(5) 超声波在固体中的传输损失小, 探测深度大。由于超声波在异质界面上会发生反射、折射等现象, 尤其不能通过气体与固体的界面。如果金属中有气孔、裂纹、分层之类的缺陷(缺陷中有气体)或夹渣之类的缺陷(缺陷中有异种介质), 超声波传播到金属与缺陷的界面处, 就会全部或部分被反射。反射回来的超声波被探头接收, 通过仪器内部的电路处理, 在仪器的荧光屏上就显示出不同高度和有一定间距的波形。探伤人员则根据波形的变化特征, 判断缺陷在工件中的深度、大小和类型。

超声波探伤的优点是检测厚度大、灵敏度高、速度快、成本低、对人体无害, 能对缺陷进行定位和定量。然而, 超声波探伤对缺陷的显示不直观, 探伤技术难度大, 容易受到主、客观因素的影响, 以及探伤结果不便保存等, 使超声波探伤也有其局限性。

什么是射线探伤?

射线探伤是利用放射线(**X**射线、**γ**射线或其他高能射线)能够穿透金属材料, 并由于材料对射线的吸收和散射作用的不同, 从而使胶片感光不一样, 于是在底片上形成黑度不同的影像, 据此来判断材料内部缺陷情况的一种检验方法, 简称**RT**。**X**射线、**γ**射线均为不可见光, 是一种具有较短波长的电磁波。其主要特性有:

- (1) 人眼不可见, 射线直线传播;
- (2) 不受电场和磁场的影响, 其本质是不带电的;
- (3) 能透过可见光所不能透过的物质, 包括金属材料;
- (4) 能使某些物质起光化学作用, 使胶片感光, 使某些物质发生荧光作用;
- (5) 能被物质的原子吸收和散射, 从而在穿透物质的过程时发生衰减现象;
- (6) 对有机体产生生理作用, 伤害及杀死有生命的细胞。

当射线穿透被检验的金属时, 由于原子对射线的吸收与散射作用, 射线的强度受到削弱, 材料厚度愈大, 强度减弱愈多。如果在**X**射线、**γ**射线穿透途中, 遇到材料内部的各种缺陷, 如气孔、夹渣、裂缝等, 由于这些缺陷对射线的衰减作用, 比毗邻的致密金属要小得多, 从而使照相底片或荧光屏上呈现不同黑度的影像, 由此即可判别缺陷的性质和大小。

射线探伤适用于各类钢材、有色金属材料等，特别适用于检查焊缝的质量。它具有发现缺陷直观、检查结果准确可靠、可将底片保留备查等优点。但是，射线对人体有害，消耗胶片使探伤成本提高、对垂直于射线方向的裂纹发现较为困难等缺点。

什么是磁粉探伤?有什么优缺点?

磁粉探伤的原理，是对导磁金属材料制成的工件，进行磁化至饱和程度，若材料内部非常均匀，没有缺陷，则在其内部将产生均匀分布的磁力线。如果工件表面或近表面区域存在裂纹、夹渣或气孔等缺陷时，这些缺陷会阻碍磁力线的通过，产生漏磁现象，使缺陷两侧的表面上产生一对 **N、S** 极的局部磁场。这时，若在被检工件的表面上撒放磁铁粉或磁铁粉悬液，磁粉就会被漏磁场所吸附，产生磁粉集聚，因而把缺陷的形象清楚地显示出来。

磁粉探伤适宜于用来检查碳钢、合金钢等铁磁性材料，能够发现工件的表面与近表面缺陷。不能检查非磁性材料，如奥氏体不锈钢、铜、铝等。

磁粉探伤因缺陷显示比较直观、成本低、检验速度快、检验准确度高等，广泛应用于金属材料及成品的检验。

什么是渗透探伤?有什么优缺点?

液体渗透探伤是利用物理学中毛细管渗透吸附现象的原理，将黄绿色荧光渗透液或有色非荧光渗透液，渗入工件开口缺陷的缝隙，经清洗、显像，从而检测工件表面开口缺陷的一种探伤方法，简称 **PT**。

对试件进行液体渗透探伤时，首先，将被检试件擦洗干净，浸于渗透剂中，或将渗透剂喷涂在试件表面，使具有良好流动性和渗透能力的渗透液，渗入到试件表面有开口的缺陷缝隙内。然后，将试件表面擦拭干净，喷以显像剂，由于毛细管渗透吸附作用，渗入缺陷缝隙的渗透剂，又重新渗到显像剂上，呈现出缺陷的形象。

渗透探伤的优点是：设备简单、操作较为容易、缺陷显现直观、容易判断、不受材料种类的限制，可检查各类钢材，包括奥氏不锈钢、铜、铝等非铁磁性材料。但渗透探伤不能用于检验多孔性材料，也只能检查工件表面的开口性缺陷，所用试剂有一定的毒性，并对被检工件的表面光洁度有一定要求，使它的应用范围受到一定的限制。

焊接质量检验

在焊接之前和焊接过程中，应对影响焊接质量的因素进行认真检查，以防止和减少焊接缺陷的产生；焊后应根据产品的技术要求，对焊接接头的缺陷情况和性能进行成品检验，以确保使用安全。

焊后成品检验可以分为破坏性检验和非破坏性检验两类。破坏性检验主要包括焊缝的化学成分分析、金相组织分析和力学性能试验，主要用于科研和新产品试生产；非破坏性检验的方法很多，由于不对产品产生损害，因而在焊接质量检验中占有很重要的地位。

常用的非破坏性检验方法：

1.外观检验 用肉眼或借助样板、低倍放大镜（5～20 倍）检查焊缝成形、焊缝外形尺寸是否符合要求，焊缝表面是否存在缺陷，所有焊缝在焊后都要经过外观检验。

2. 致密性检验 对于贮存气体、液体、液化气体的各种容器、反应器和管路系统，都需要对焊缝和密封面进行致密性试验，常用方法如下：（1）**水压试验** 检查承受较高压力的容器和管道。这种试验不仅用于检查有无穿透性缺陷，同时也检验焊缝强度。试验时，先将容器中灌满水，然后将水压提高至工作压力的 1.2～1.5 倍，并保持 5min 以上，再降压至工作压力，并用圆头小锤沿焊缝轻轻敲击，检查焊缝的渗漏情况。（2）**气压试验** 检查低压容器、管道和船舶舱室等的密封性。试验时将压缩空气注入容器或管道，在焊缝表面涂抹肥皂水，以检查渗漏位置。也可将容器或管道放入水槽，然后向焊件中通入压缩空气，观察是否有气泡冒出。（3）**煤油试验** 用于不受压的焊缝及容器的检漏。方法是在焊缝一侧涂上白垩粉水溶液，待干燥后，在另一侧涂刷煤油。若焊缝有穿透性缺陷，则会在涂有白垩粉的一侧出现明显的油斑，由此可确定缺陷的位置。如在 15～30min 内未出现油斑，即可认为合格。

3.磁粉检验 用于检验铁磁性材料的焊件表面或近表面处缺陷（裂纹、气孔、夹渣等）。将焊件放置在磁场中磁化，使其内部通过分布均匀的磁力线，并在焊缝表面撒上细磁铁粉，若焊缝表面无缺陷，则磁铁粉均匀分布，若表面有缺陷，则一部分磁力线会绕过缺陷，暴露在空气中，形成漏磁场，则该处出现磁粉集聚现象。根据磁粉集聚的位置、形状、大小可相应判断出缺陷的情况。

4.渗透探伤 该法只适用于检查工件表面难以用肉眼发现的缺陷，对于表层以下的缺陷无法检出。常用荧光检验和着色检验两种方法。**荧光检验** 是把荧光液（含 MgO 的矿物油）涂在焊缝表面，荧光液具有很强的渗透能力，能够渗入表面缺陷中，然后将焊缝表面擦净，在紫外线的照射下，残留在

缺陷中的荧光液会显出黄绿色反光。根据反光情况，可以判断焊缝表面的缺陷状况。荧光检验一般用于非铁合金工件表面探伤。着色检验是将着色剂（含有苏丹红染料、煤油、松节油等）涂在焊缝表面，遇有表面裂纹，着色剂会渗透进去。经一定时间后，将焊缝表面擦净，喷上一层白色显像剂，保持 **15~30min** 后，若白色底层上显现红色条纹，即表示该处有缺陷存在。

5. 超声波探伤 该法用于探测材料内部缺陷。当超声波通过探头从焊件表面进入内部遇到缺陷和焊件底面时，分别发生反射。反射波信号被接收后在荧光屏上出现脉冲波形，根据脉冲波形的高低、间隔、位置，可以判断出缺陷的有无、位置和大小，但不能确定缺陷的性质和形状。超声波探伤主要用于检查表面光滑、形状简单的厚大焊件，且常与射线探伤配合使用，用超声波探伤确定有无缺陷，发现缺陷后用射线探伤确定其性质、形状和大小。

6. 射线探伤 利用 X 射线或 γ 射线照射焊缝，根据底片感光程度检查焊接缺陷。由于焊接缺陷的密度比金属小，故在有缺陷处底片感光度大，显影后底片上会出现黑色条纹或斑点，根据底片上黑斑的位置、形状、大小即可判断缺陷的位置、大小和种类。X 射线探伤宜用于厚度 50mm 以下的焊件， γ 射线探伤宜用于厚度 50~150mm 的焊件。

关于焊接缺陷等级评定几个问题的讨论

众所周知，在锅炉、压力容器、压力管道制造和安装过程中，焊接质量非常重要。焊接部位最容易产生焊裂、未熔合、未焊透、咬边、夹杂物和晶界开裂等缺陷，这些缺陷又可能是裂纹源。因此，正确地做好焊接缺陷等级评定工作不仅能保证产品质量，而且能保证产品的安全经济运行。但目前焊接缺陷等级评定情况却不尽人意，存在着这样那样的问题。观念的陈旧，规范的严格，安全与经济的矛盾，不利于无损检测工作的进一步开展。下面就焊接缺陷等级评定的几个问题进行讨论：

一、缺陷等级评定中存在的问题

1、规范标准不统一

焊接检测标准尚未国际化，都是由国家、地区或部门制定，不同的标准在缺陷定量及评定方法上都有差别，如焊缝超声波探伤，有的标准采用长横孔进行灵敏度调节，有的标准则采用短横孔或柱孔进行灵敏度调节，不同的反射体反射当量均各有差异。在定量上，不同标准对同一级别规定的允许缺陷数量亦不相同。造成这种现象，一方面是因为标准的制定没有建立在一个统一的试验和理论分析基础上，

另一方面则是因为检测技术上认识不统一造成的检测方法不统一。焊接检测标准的不统一，不便于国际间的交流及产品质量的相互认可。

2、标准的人为因素

焊接中产生的缺陷对材料的性能会发生很大影响，其影响程度随着缺陷的性质、大小、位置、厚度的不同而不同。有人作了研究，用相同材料制成大小不同的具有相似外形轮廓的一对焊缝试样，每一试样含有成比例尺寸的裂纹，进行断裂韧性计算，结果大尺寸试样产生破坏的应力低于小尺寸试样产生破坏所需要的应力。但现行标准对缺陷等级评定并不能实际地反映这些特点，却带着明显的人为因素。如射线探伤对点状缺陷等级评定，规定不同级别允许缺陷点数随工件壁厚成几何级数变化，显然这不是缺陷大小对产品危害程度的体现，而是工作中记忆方便的数学规律，是人为加上去的。

3、缺陷等级评定只注重大小、长度，不注重自身高度和深度

现行缺陷评定标准只记录缺陷平面大小、长度，不注重自身高度和深度，缺陷的返修也只依据大小和长度。常规射线探伤要记录缺陷的三维空间尺寸困难，有的超声波探伤对深度也不作要求。实际上缺陷自身高度和深度是影响工件性能的两个重要指标，这两个尺寸是缺陷安全评定的关键尺寸。根据断裂力学理论，埋藏裂纹的等效缺陷尺寸计算公式为

$$\bar{a} = a \left(\frac{\Omega}{\Psi} \right)^2$$

公式表明评价裂纹危害程度的等效缺陷尺寸 \bar{a} ，主要取决于埋藏裂纹的半高 a 和裂纹形貌系数 Ω 、 Ψ 。缺陷深度不同对材料性能的影响也不同。研究表明，当两种裂纹尺寸相同时，表面裂纹试样的断裂强度约为埋藏裂纹的 60%。因此，忽视缺陷的高度和深度，不便于对产品的全面评价。另外，也容易放过自身高度尺寸大于规定长度尺寸的缺陷，这实在是极不合理的现象。

4、缺陷等级评定与材料的关系

大家知道，在进行焊缝检测前我们需要掌握材质、坡口形式、壁厚等原始数据，但目前掌握这些数据的主要目的是帮助我们制定正确的检测工艺，协助我们对缺陷进行分析（特别是定性），我们在了解材质的同时，并没有考虑缺陷对不同材质的不同影响，其实，各种材质抵抗破坏的能力是不同的，在同样应力状态下，相同尺寸的裂纹在有些材质中会开裂、扩展、造成危害；而在另一些材质中则不会

开裂，不会扩展，不会造成危害。但是，在焊接检测标准中，对同一类材料不同材质的产品，对缺陷的定级我们采用的是同一种标准。

5、缺陷返修的严格性和焊接检测的局部性

目前，不论是国内还是国外，几乎所有的规范、标准都允许采用局部检测的方式对产品进行质量把关。日本对管线的探伤有 **100%**和 **10%**两种。我国 **GB150-1998**《钢制压力容器》规定容器探伤分为全部和局部，局部探伤按单条焊缝抽查，其长度应大于该焊缝长度的 **20%**。**SH33501-1997**《石油化工剧毒、可燃介质管道工程施工及验收规范》规定焊缝按管线等级分为 **100%**探伤和 **5~40%**的抽查探伤。在 **GB150** 和容规中还明确规定制造部门对未检测部分的质量仍需负责。尽管这些规范、标准都有相应探伤的规定，事实上，要保证未探伤部位无超标缺陷是很难办到的。焊接缺陷产生的原因是多方面的，有工艺的，有现场条件的，也有人为了。某个部位无缺陷，并不能保证其他部位也无缺陷，特别是管线焊缝，按单个焊口进行抽查，如果现场检测人员抽查时机不对，抽查范围不够，抽查部位不当或其他一些原因，可能造成被探伤部位是质量好的部位，甚至出现未检测部位存在的缺陷比已返修的缺陷更为严重的现象。即使是全部探伤，由于探伤方法本身的局限，也可能漏检某些缺陷。也就是说，“超标”缺陷的存在是不可避免的。但制造质量控制标准对已检出的缺陷处理就不一样，只要超过规定，就必须返修以至割除整道焊缝。这种返修的严格与缺陷漏检可能同时存在于标准的规定中，形成明显反差。

二、原因分析

1、受传统思想的影响

以前的缺陷等级评定，由于科学发展的局限，都采用置信度和安全裕度较大的评定规范。不论缺陷的位置和被检产品的材质，一律按最严格的要求处理，以确保安全。近年来，尽管人们对缺陷在不同情况下的危害程度有了比较全面的认识，但由于构件本身要求提高了，制造难度加大，使用条件苛刻，人们出于保险起见就难于越过“越严越好”的传统观念。

2、焊接检测标准存在着重工艺、轻评定的倾向

近年来，无损检测学术研究十分活跃，但人们热衷于提高检测水平、更新设备、完善手段、提高检测灵敏度。对缺陷等级评定的研究却十分冷淡。统计一下近几年来无损检测刊物及各种研讨会的研究论文可以发现，研究缺陷评定的文章还不到 **1%**。焊接检测标准的更新主要是工艺要求的变动，缺陷等级评定却始终如一或变动不大，缺陷等级评定发展的进程落后于工艺发展的进程。

3、在焊接检测标准执行中忽视经济效益

焊接检测是一种质量控制手段，所以人们更多地注重它的监督职能，考虑安全因素，而忽视经济效益。通过前面的分析可知，焊接缺陷等级评定标准有待进一步修改。

三、用断裂力学理论，提高缺陷等级评定的科学化程度

缺陷等级评定要科学化，就得有科学的理论作先导，断裂力学肩负了这一重任。断裂力学是将缺陷尺寸、应力水平以及材料抵抗破坏的能力三者联系起来，进行综合研究材料和构件被破坏的一门新学科。近年来，国外把断裂力学的研究成果应用于工程实际，取得了可喜的应用成果。我国也以断裂力学为基础，以“合于使用”为原则，制定了《压力容器缺陷评定》规范，对含“超标”缺陷的在役压力容器进行了综合性评定，在保证安全的前提下，保留含有“超标”缺陷的压力容器的使用，取得了显著的经济效益。

〔注：作者对超标缺陷处理撰写论文《关于容器未焊透缺陷及其安全等级评定》在《中国锅炉压力容器安全》杂志 1995 年第二期上发表〕

断裂力学的应用也是基础理论在实际工作中的应用，断裂力学理论为焊接缺陷等级评定指明了光辉的前景。在实际应用中，我们可根据工件的材质、厚度、使用条件、探伤目的以及缺陷状况分门别类，对典型缺陷进行断裂评定计算，积累数据，进行科学分析，总结一般规律，制定接近实际的科学的缺陷等级评定标准。〔注：作者运用断裂力学理论撰写论文《在用压力容器焊接缺陷的检修与评定》在 1993 年第七届亚太地区无损检测会议上进行了学术交流〕

结束语

焊接缺陷等级评定标准是质量控制的关键，评定标准不科学就谈不上质量控制的科学。

焊接检测应根据其检验职能既考虑检验的有效性又考虑检验的经济性来确定缺陷等级评定标准。

断裂力学理论为焊接缺陷评定注入了新的生机，应加快断裂力学应用的研究，尽快将断裂力学理论应用于规范和标准的制定中，改变焊接缺陷等级评定中的不适当的部分内容。

压力容器的对接焊缝在哪些情况下必须进行全部射线或超声波探伤

符合下列情况之一的压力容器对接接头的对接焊缝，必须进行全部射线或超声波探伤：

- (1) **GB150** 《钢制压力容器》中规定进行全部射线或超声波探伤的；

- (2) 第三类压力容器;
- (3) 设计压力大于等于 5MPa 的;
- (4) 第二类压力容器中易燃介质的反应压力容器和储存压力容器;
- (5) 设计压力大于等于 0.6MPa 的管壳式余热锅炉;
- (6) 钛制压力容器;
- (7) 设计选用焊缝系数为 1.0 的;
- (8) 不开设检查孔的;
- (9) 公称直径大于等于 250mm 接管的对接焊接接头;
- (10) 选用电渣焊的;
- (11) 用户要求全部探伤的;
- (12) 介质为易燃或毒性程度为极度、高度、中度危害的、或采用气压试验的、或设计压力大于等于 1.6MPa 的铝、铜制压力容器。

除以上规定以外的其他压力容器, 其对接接头的对接焊缝应做局部探伤检查。探伤方法按图样规定, 探伤检查部位由制造单位检验部门根据实际情况选定。检查长度不得少于各条焊缝长度的 20%, 且不小于 250mm。对所有的 T 型连接部位, 以及拼接封头(管板)的对接接头, 必须进行射线探伤。经过局部射线探伤或超声波探伤的焊接接头, 若在探伤部位发现超标缺陷时, 则应进行不少于该条焊缝长度 10% 的补充探伤, 如仍不合格, 则应对该条焊缝全部探伤。

压力容器的对接接头进行全部或局部探伤, 采用射线和超声波两种探伤方法进行时, 其质量要求, 按各自标准均合格的, 方可认为探伤合格。

(1) 对接焊缝的射线探伤, 应按 GB3323《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》的规定执行。全部射线探伤的压力容器对接焊缝 II 级合格; 局部射线探伤的压力容器对接焊缝 III 级合格, 但不得有未焊透缺陷。

(2) 对接接头的超声波探伤, 应按 JB4730《压力容器无损检测》的规定执行。全部超声波探伤的压力容器对接焊缝 I 级合格, 局部超声波探伤的压力容器对接焊缝 II 级合格。

船体检验的监控要点

船体是船舶的基础, 直接关系到船舶的水密性、强度和稳性。船体建造中应满足有关造船规范和检验规程的要求。本文就船体检验过程中应引起重视的监控点及其常见缺陷和危害性作一分析, 并提出纠正措施, 以期共同提高船舶建造质量。

焊缝形状和尺寸不符合要求

在钢质船舶建造过程中, 焊接是重要工序之一。焊缝金属重量占船体重量的 1%~1.5%, 焊接工时占船舶建造总工时的 30%~40%。船舶航行中的安全性, 取决于船体强度和水密性, 而强度和水密性在极大程度上决定于焊接质量的优劣。焊缝形状和尺寸不符合要求, 即焊缝沿长度方向宽窄不齐,

焊缝截面不丰满或增强高高低低不均等。均由多种原因造成，如焊工施焊时焊条不正确的摇动和移动不均匀，焊缝坡口边缘不齐等。在焊接过程中，当电流过小或焊接速度太慢时，会使焊缝的增强高过高。有人误认为焊缝的增强高愈高，焊缝强度也愈大，殊不知这会引入应力集中，且易产生裂纹。

纠正措施：选择合理的坡口角度和均匀的装配间隙；保持正确的运条角度匀速运条；根据装配间隙变化，随时调整焊速及焊条角度。视不同的钢板厚度，正确选择焊接工艺参数，一般 6mm 左右厚板对接焊，焊接坡口各搭接 2~3mm，焊缝宽度以 12mm 左右为宜，焊缝增强高 1~2mm 为宜，不应超过 3mm。

角焊缝高度不够

钢质船体在装配焊接过程中，存在大量的角焊缝，如旁内龙骨与实肋板间角焊缝；中、旁内龙骨与底板或面板间的角焊缝；横舱壁与底板、甲板、舷侧板间的角焊缝等。有的船舶角焊缝高度不够，有效工作截面减少，焊接接头强度降低，在受载或外力作用下，易造成船舶局部变形损坏。曾有一艘载重一千多吨的运砂船从中断裂，原因之一就是旁内龙骨与实肋板间角焊缝高度不够。因在船体装配工艺中旁内龙骨被实肋板间断，完全靠角焊缝连接，在同一横剖面上存在角焊缝高度不够的缺陷，极易酿成船舶断裂事故。几艘长大开口运砂船断裂均发生在此部位。

纠正措施：现场检验人员要逐条焊缝检查测量，确保焊缝有效工作截面满足强度要求。尤其对长大开口船舶船艏 0.4L 船长范围内的焊缝及全船 1 级焊缝，要重点监督把关。

重点部位施焊未用低氢型焊材

在船体大合拢时的环形焊缝和纵桁材对接缝、起重桅杆、吊货杆、吊艇架、系缆桩等承受强大载荷的舾装件的焊缝，主机基座及其相连接的构件等处焊缝，未用低氢型焊材焊接。氢元素属有害杂质，焊接时，含氢较多的焊材，易产生气孔、裂纹等焊接缺陷，使焊接接头有效工作截面减少，强度降低。

纠正措施：在上述重点部位严格使用低氢型焊材（如 E5015、E4315 和符合 3YH 的焊丝等）施焊，规范焊缝坡口形式、装配、焊接及热处理工艺等，对重点部位的焊缝还应进行无损检测。

焊缝形式不规范

如双面连续角焊缝、单面连续角焊缝未能保持连续；交错断续角焊缝的焊缝长度不足或间距过长，减少了焊缝有效工作截面；焊接坡口加工不准确或装配间隙过大，易造成未焊透或烧穿。这些缺陷均削弱了接头强度。

纠正措施：严格按照经过船检认可的焊接工艺规程施焊，各项参数力求准确，焊件接缝处的表面应保持清洁、干燥，无氧化物和杂物。

焊接材料不符合要求

使用的电焊条、焊丝和焊剂等焊接材料未经船检认可，其材质、规格等不满足使用要求，使焊接接头质量降低。焊条等大都未经烘干及保温处理，施焊时，在高温电弧作用下，分解后放出气体，溶池中的气泡未能及时逸出而形成气孔，使焊缝有效工作截面减少，焊接接头的强度和塑性降低，破坏了焊缝的致密性。

纠正措施：使用的焊接材料均应为经过船检认可的船用产品，施焊前，按照焊接工艺规程的要求对焊接材料进行烘干处理，在焊接过程中对已烘干的焊接材料要进行保温，防止受潮而影响焊接质量。

隔离舱未装空气管

干舷甲板以下各封闭舱未设或漏装空气管，舱内潮湿气体不能有效逸出，易造成舱内钢质构件锈蚀腐烂。

纠正措施：干舷甲板以下各舱均应设延伸至干舷甲板以上的空气管，制成鹅颈式，其可能进水的最低点至该甲板的高度，河船一般不应小于 300mm，且距满载水线的高度，在任何情况下均不得低于 500mm。海船为自甲板至水可能进入的那一点的高度，在干舷甲板上应不小于 760mm，在上层建筑甲板上应不小于 450mm。若经船检批准，且空气管装有有效的自动关闭装置，上述高度可以降低。空气管露

出部分结构应坚固。油舱柜空气管的管口处尚应装设铜质防火网。

强力甲板上货舱等大开口角隅处未补强

大开口角隅处属应力集中区，船舶在受载和风浪等外力作用下，该区域易产生变形开裂，影响船舶强度。

纠正措施：若强力甲板上货舱口和机舱口的角隅为抛物线或椭圆形时，角隅处甲板不需补强，但有相应的尺寸上的要求。河船圆角半径小于 610mm 的舱口角隅，应采用 1.5 倍甲板厚度的加厚板或复板补强，复板边缘与甲板间应施满焊，且应用塞焊焊妥。海船角隅处采用加厚板补强，且角隅处端接缝应与舱口围板的端接缝以及甲板骨架的角焊缝错开，加厚板的厚度应较强力甲板增加 4mm。

水密舱壁不能保持水密

在船舶水密舱壁上开人孔，破坏了水密舱壁的水密性，对船舶抗沉性影响极大。若船底漏水，将不能把水有效地封堵在一舱内，造成船舶沉没。

纠正措施：船舶首尾尖舱防撞舱壁上禁止开人孔，其余水密舱壁上一般也不应开人孔。如必须开时，应经船检同意，并应保持水密状态。

板材负公差及擅自降低材料规格

船体主要由板材和型材焊接而成，在日常检验中发现，有的船舶所用板材负公差现象较严重，虽然船舶设计时对船体各部留有一定的裕度，但这种负公差现象累积起来就会影响船舶结构强度；甚至有的船舶在建造过程中，擅自使用代用材料或人为降低材料规格或降低构件尺寸，这些将直接影响到船舶建造质量。

纠正措施：船舶建造材料应在规范允许的公差范围之内，且应尽量避免所用材料负公差的堆积。在检验工作中，要多看多测量，对擅自使用代用材料或人为降低材料规格或减少构件尺寸的现象，应予以坚决纠正。

在船舶建造中未按图施工

船舶在建造过程中，现场施工人员按照自己的想法或经验制作，未体现出船舶设计意图，对船舶建造质量和性能造成一定的影响。船舶图纸是按照造船规范的规定设计出来，且经船检部门审查批准加盖审图章后，船舶才能开工建造。若未按图施工，则造出的船舶质量没有保障。

纠正措施：在船舶建造过程中，检验人员应仔细地对照图纸逐项核对，发现与图纸不符的地方，且未经船检同意的必须按图返工。

节点制作不规范

船体构件在**艏部、舷边及舱壁**等处一般要间断过渡，从而出现为数众多的节点。在节点处构件彼此之间多采用肘板连接。有的船舶节点制作不规范，肘板厚度及与构件搭接长度均不能满足造船规范的要求，肘板未施双面连续焊和包角焊，产生应力集中，使节点处强度大打折扣，受力后易开裂。

纠正措施: 在节点的设计和制作过程中,按照造船规范的规定,选择各部位节点的肘板形式及尺寸,肘板连接一定要施双面连续焊和包角焊,以满足强度和刚性的要求。

船舶焊缝常见缺陷与对策

在钢质船舶建造过程中,焊接是重要工序之一,焊接工时占船体建造总工时的30%左右,焊缝金属占船体金属重量的1.5%左右。在船舶建造过程中,尤其是客渡船、交通艇之类的小型船舶,船体线型变化较大,且相对尺度小,在焊接时多为手工施焊,就是大型船舶建造中手弧焊亦占有很大比重。手弧焊缝质量与焊工的技术、设备、工作环境有关。本文仅就钢质船体手弧焊焊接质量检查中的常见缺陷,对其产生原因、危害程度作一分析,并提出预防措施。

所谓焊缝和焊接接头的缺陷通常分为两类:即外部缺陷和内部缺陷。常见的焊缝外部缺陷有:焊缝形状和尺寸不符合要求、焊瘤、咬边、烧穿、未焊透、夹渣、气孔、焊接裂纹等。常见的焊缝内部缺陷有:未焊透、夹渣、气孔、焊接裂纹等。

1. 焊缝形状和尺寸不符合要求。即焊缝宽度沿长度方向宽窄不齐、焊缝截面不丰满或增强高过高。

(1) 产生原因及危害: 焊缝宽度不一致是由各种因素造成的,如焊条不正确的摇动和移动不均匀,焊件边缘切割不齐等。在焊接过程中当电流过小或焊接速度太慢时,会使焊缝的增强高过高。有人误认为焊缝的增强高愈高,焊缝强度也愈大,殊不知增强高过高会引起应力集中,易产生裂纹。尺寸过小的焊缝,有效工作截面减少,焊接接头强度降低;尺寸过大的焊缝将引起应力集中。

(2) 防止措施: 选择合理的坡口角度(45°为宜)和均匀的装配间隙(2mm为宜);保持正确的运条角度匀速运条;根据装配间隙变化,随时调整焊速及焊条角度;视钢板厚度正确选择焊接工艺参数。

2. 焊瘤。焊接过程中溶化金属流淌到焊缝之外未溶化的母材上所形成的金属瘤。

(1) 产生原因及危害: 产生焊瘤的主要原因,一是操作不熟练和运条方法不当;二是电弧拉得过长、焊速太慢、溶池温度过高等。焊瘤在横、立、仰焊中最为常见,在平焊的焊缝背面有时也可产生。焊瘤使焊缝的实际尺寸发生偏差,尺寸变化较大处易引起应力集中,且焊瘤下面往往存在夹渣。

(2) 防止措施: 尽量采用短弧焊接(弧长≤焊条直径),适当加快焊速使溶池温度不致过高,选择合适的焊接电流,保持正确的运条角度(与焊件夹角45°为宜)。

3. 咬边。沿焊趾的母材部位产生的沟槽和凹陷。

(1) 产生原因及危害: 焊接电流过大,电弧过长且偏吹,运条角度不当及焊速不合适,均可引起咬边。咬边缺陷多见于横、立、仰焊。咬边不仅减少了焊接接头的有效工作截面,而且在咬边处造成严重的应力集中。在承受动载荷或交变载荷的部位,如船舫0.4L(船长)范围内,尾机型船舶的机舱附近,对焊缝咬边有严格限制。

(2) 防止措施: 选择合适的焊接电流和焊接速度,电弧不应过长,选用正确的焊条角度和运条方法。

4. 烧穿。常见于薄板焊接时,在焊缝上形成穿孔。

(1) 产生原因及危害: 电流过大而焊速太慢,焊件装配间隙太大等,都有可能引起烧穿,使焊缝的强度和水密性荡然无存。

(2) 防止措施: 正确选择焊接电流和焊接速度,严格控制焊件的装配间隙并保持均匀一致,电弧在焊缝接头处不能长时间停留,要匀速运条。

5. 未焊透。焊接时接头根部未完全熔透的现象。

(1) 产生原因及危害: 焊件坡口角度和装配间隙过小,钝边太大和坡口边缘不齐,电流小而运

条速度过快，焊条倾斜角度不正确等，此外，焊件坡口表面清理不净、背面清根不彻底也容易产生未焊透。未焊透减少了焊缝的有效工作截面，造成严重的应力集中，大大降低了焊接强度，因此，船体重要结构均不允许存在未焊透。

(2) 防止措施：正确选定坡口形式和装配间隙，认真清除坡口边缘两侧污物。选择合适的焊接电流，运条时随时注意调整焊条角度，使熔敷金属和母材之间充分均匀地加热和熔化，合为一体。

6. 夹渣。焊后残留在金属中的熔渣，是焊缝中常见缺陷。

(1) 产生原因及危害：由于焊件边缘清理不净，有残留氧化物铁皮和碳化物等，在熔敷金属冷凝时，熔渣不能及时浮出熔池表面，一部分留在焊缝中即形成夹渣。当坡口角度或焊接电流过小，也容易产生夹渣。

(2) 防止措施：清除焊道上的杂质、污物，尤其是焊接坡口要保持清洁干燥。正确选用电焊条，根据钢板厚度、环境温度，选用适宜的焊接电流和坡口形式。

7. 气孔。焊接时，熔池中的气体在金属凝固时未能逸出而形成的空穴。气孔是常见的一种焊接缺陷，露在焊缝表面的称表面气孔，位于焊缝内部的叫做内部气孔。

(1) 产生原因及危害：施焊前未将焊道上的铁锈、油污去净，在高温电弧作用下分解后放出气体；电焊条受潮或焊条烘干的温度或时间不够；焊接电弧过长使电弧区进入较多空气，焊接电流过小而焊速过快，气体来不及从熔化金属中逸出；母材或焊芯金属含碳量过高，以及焊接极性不正确等，均能造成气孔。气孔也使焊缝的有效工作截面减少，接头强度降低，水密性能变坏。

(2) 防止措施：施焊前将坡口表面两侧清理干净，铁锈是使焊缝金属产生气孔的原因之一，特别是当铁锈隐藏在焊件装配间隙内部时，所受影响更大。已装配好的焊件不易将内部铁锈除净，因此除锈洁净工作应在装配前进行。焊前应将电焊条按说明书中规定的温度和时间烘培，并应保温防潮。焊接电流要适中，碱性焊条应采用短弧焊接。

8. 裂纹。最危险的焊接缺陷，通常发生在焊缝金属及热影响区（焊缝两侧 20mm 范围）内。

(1) 产生原因及危害：焊接裂纹通常分为热裂纹和冷裂纹两种。热裂纹产生的原因：在焊缝金属的晶界上存在低熔点共晶体，它削弱了晶粒间的联系，在高温和受到极大应力作用时，就容易在晶粒之间引起开裂。焊缝金属中含硫、铜等杂质较多时，容易产生热裂纹。冷裂纹产生的原因：碳和合金元素的含量过高，使母材金属可焊性变坏，焊缝及热影响区存在淬硬组织，焊缝金属中氢含量较高且集中。上述焊缝金属中的各种缺陷以及金属的显著过热，会形成较大的焊接拉伸应力导致冷裂纹。冷裂纹具有延迟性质，有的在焊后立即出现，也有的在焊后几小时，或数天后至个把月才发生裂纹，因此它具有更大的危险性，须引起高度重视。焊接裂纹将引起严重的应力集中，减少有效工作截面，破坏焊接接头的渗透性，使船艇抗沉性能变坏，并随时间的增长裂纹不断扩展，从而导致焊接构件断裂。所以船体结构均不允许存在焊接裂纹，一旦发现应立即铲除重焊。

(2) 防止措施：防止产生热裂纹应选用适宜的焊接材料，严格控制有害杂质碳、硫、磷的含量。严格控制焊缝截面形状，避免突高，扁平圆弧过渡，适当提高焊缝形状系数。确定合理的焊接工艺参数，一般 6mm 左右厚的板对接焊，焊接坡口各搭接 2~3mm，焊缝宽度以 12mm 左右为宜，焊缝增强高 1~2mm 为宜，不应超过 3mm。施焊后暂缓清除焊渣，减缓焊缝的冷却速度，以减小焊接应力。

防止产生冷裂纹，重要结构应选用碱性焊条，焊条在施焊前一定要进行烘干处理，因为未经烘干的焊条内含水分较多，在高温电弧作用下会分解出大量的氢，从而增加焊缝中的氢含量；仔细清理焊道表面的油污锈迹，避免氢的侵入，使焊接金属中的气体能够充分逸出；选用合理的焊接工艺参数和施焊程序，以减小焊接应力。对淬火倾向大的钢材，应采取预热、缓冷或焊后热处理等措施。来源：中国焊接资讯网

船舶自动识别系统 (AIS)

船舶自动识别系统(Automatic Identification System, 简称 AIS) 是一种新型的助航系统及设备。目前 AIS 已发展成通用自动识别系统 (U AIS)。

一、AIS 的宗旨

AIS 的正确使用有助于加强海上生命安全、提高航行的安全性和效率, 以及对海洋环境的保护。AIS 的功能有: 1、识别船只; 2、协助追踪目标; 3、简化信息交流; 4、提供其它辅助信息以避免碰撞发生。

AIS 能加强了船舶间避免碰撞的措施, 增强了 ARPA 雷达、船舶交通管理系统、船舶报告的功能, 在电子海图上显示所有船舶可视化的航向、航线、船名等信息, 改进了海事通信的功能, 提供了一种与通过 AIS 识别的船舶进行语音和文本通信的方法, 增强了船舶的全局意识, 使航海界进入了数字时代。

二、研制 AIS 的起因和背景

通过岸基雷达搜集目标信号的船舶港口交通管理系统被称为 VTS, 通过船基雷达搜集目标信号并显示目标的航向、航速以及能模拟避碰的雷达被称为 ARPA 避碰雷达。二十世纪七、八十年代, 是 VTS、ARPA 雷达长足发展的黄金时期, 几乎全球的所有的港口都安装了 VTS, 全部的远航船舶都安装了 ARPA 雷达。从 1978 年到 1999 年的 21 年间, 我国就建造了 20 个不同规模、不同类型的 VTS 站 (不包括台湾)。VTS、ARPA 雷达比以前的同类产品的性能的确提高了一大步, 一时被人们用“完美无缺”来形容。

VTS 中心的显示屏上可以看到通过岸基雷达接受到船舶的回波 (目标), 工作人员需要通过 VHF 直接询问、VHF 通话加 VHF 测向、VHF 短消息等手段来获得该船的船名并对该目标进行标识。经标识过目标其标识会始终跟随船舶 (目标) 航行, 直到船舶 (目标) 驶离 VTS 区域。为获得船名并在显示屏上确认其位置,

VHF 与船舶通话是相当平凡的。进入 VTS 中心机房, “正横某某灯浮的船舶船名是什么?” “请报船名。” “请行驶到报告线后再报船名。” 等 VHF 通信叫喊声叫个不停, 叫喊声已经成了 VTS 中心的一大特色, 通过 VHF 确认船名和位置的工作花费了 VTS 中心中心人员的相当大的精力, 对 VTS 的功能是一个削弱。

随着航海事业的发展 and 人们航海通信导航仪器的要求提高, VTS 和 ARPA 雷达无法直接标识目标的问题就突出了。

三、AIS 需要解决的问题

在 VTS 和 ARPA 雷达上直接标识目标 (AIS) 需要解决的问题有: 高精度的定位手段、船舶全球唯一的编码 MMSI 码、自控时分多址联接 (SOTDMA) 的技术、电子海图等。这些技术难题已全部解决。

高精度的定位手段及全球卫星定位系统 (民用 GPS) 的定位已经可以保证优于 10m 的精度 (实测可达 3m 精度)。符合了 AIS 的定位要求。

船舶全球的唯一编码 MMSI 码又叫船舶识别号。每一艘船舶从开始建造到船舶使用结束解体, 给予一个全球唯一的 MMSI 码。IMO 于 1987 年通过推广应用 MMSI 码的决议。

SOTDMA (自控时分多址联接) 技术是通过数据打包链接的技术。AIS 技术标准规定: 每分钟划分为 4500 个时间段。每个时间段可发布一条不长于 256 比特的讯息, 长于 256 比特的讯息需增加时间段。每条船舶会通过询问 (自动) 选择一个与他船不发生冲突的时间段和对应的时间段来发布本船的讯息。在统一的 VHF 的频道上, AIS 范围内任何船舶都能自行互不干扰地发送报告和接受全部船舶 (岸站) 的报告, 这就是 SOTDMA 的技术核心。AIS 系统 (在同一区域) 能同时容纳 200—300 艘船舶, 当系统超载的情况下, 只有距离很远的目标才会被放弃, 以保证作为 AIS 船对船运行主要对象的近距离目标的优先权。在实际操作中, 系统的容量是不受限制的, 可同时为很多船只提供服务。在实施 SOTDMA

中，需要 2 个 AIS 专用的 VHF 频道，已有有关组织向国际电联申请并获得批准。

电子海图显示与信息系统（ECDIS）是现代航海的一项新技术，它在保障航行安全和提高航行工作效率方面发挥着显著的作用。ECDIS 不仅只是在计算机上显示电子海图，而是为驾驶员集成了各种相关航行信息的实时航行监控与显示系统。ECDIS 能自动地实时计算本船与陆地、海图上的物标、目的地或潜在的危险物的相对位置，可以说将航海安全技术提升到了一个全新的高度。

四、AIS 船舶报告的种类

报告种类很多，主要有：船位报告、基地台报告、信道管理等十三种，报告的长度比特数（两进制的数字）从 168 比特到 1192 比特不等。

船位报告中包含：信息识别码（6 比特）；用户识别码（30 比特，MMSI 码）；航行状态（2 比特，0=在航行中；1=锚泊；2=未受指令；3=灵活性受限制）；经度（28 比特，1 / 10000 度，±180 度，东为+，西为-，最小单位≈0.1852 米）；纬度（27 比特，1 / 10000 度，±90，北为+，南为-）等字段。总共用 168 比特表示。

.....

我国“船舶激光焊接技术”课题进展顺利

由中、德两国政府支持，以上海交通大学为主要负责单位，启动实施的技术合作项目——“船舶大功率激光焊接技术研究”课题进展顺利，日前第二批人员已启程赴德国接受培训。这是我国船舶行业首次开展的焊接最新技术研究应用项目。

从 2004 年到 2007 年，该课题主要针对大功率激光焊接最新组合技术在船舶建造上的应用展开研究，课题得到了德国政府和德国 6 家科研院所、企业的大力支持。根据计划，德国将向我国提供先进设备和人员培训，并与我国开展技术合作和交流等项目。同时我国的科研和工程技术人员将充分发挥焊接技术开发研究能力，通过该项目的实施，达到“培养一批人，培育一批新技术，出一批成果”的目的，把我国船舶大功率焊接技术应用，推进到与世界先进技术同步发展的水平。

据了解，激光焊接具有焊接能量密度高，可精确控制，穿透能力强，焊缝的深宽比大，热输入量低，焊接变形小，可利用不同焊接保护气进行焊接等优点，被认为是 21 世纪的焊接新热点。然而，由于激光聚焦后的光斑直径小，对被焊接工件的装配间隙要求很高，因此，在造船上应用激光焊接难度很大。据悉，目前，世界上仅有德国、美国等欧美国家应用激光焊接技术建造船舶，其中德国尤为领先。

船用 AIS 导航系统的研究

船舶自动识别系统(Automatic Identification System, 简称 AIS)是一种新型的辅助导航设备，IMO MSC73 会议已通过 AIS 强制性安装议案。本文将介绍国际组织在 AIS 发展过程中的所做的努力，以及我国航运业对此所采取的措施。

1、关于 AIS 的国际动态

关于 AIS 的国际组织会议及其审议立法情况如下：

1997： 在 IMO NAV43 会议上通过了船载 AIS 性能标准建议草案。

1997.6: IMO MSC68 会议制定了通报容量 AIS 性能标准。

1998.5: IMO MSC69 会议采纳了 AIS 性能标准草案。

1998.7: IMO NAV44 会议建议 2002 年起 300 总吨及以上新船和客轮必须安装 AIS。

1998: ITU-R 通过了 AIS 的两个专用 VHF 频道: CH 87B $f = 161.975\text{MHz}$; CH 88B $f = 162.025\text{MHz}$ 。

1998.11: ITU-R 通过了"在 VHF 海上移动频段上使用时分多址的船用自动识别系统 (AIS) 的技术特性"建议书 ITU-R M.1371。

1999: IMO NAV45 次会议通过了 AIS 强制性安装决定: 要求在 2002 年 7 月 1 日后建造的新船和 2008 年 7 月 1 日起在航的营运船上必须装备 AIS。

2000.5: IMO MSC 会议未通过上述强制性安装 AIS 的议案。

2000.12: IMO MSC73 会议通过 AIS 强制性安装议案。按照 SOLAS 公约第五章新规则要求, 所有在 2002.7.1 或以后建造的大于等于 300 总吨从事国际航运的船舶, 大于等于 500 总吨不从事国际航运的货船和所有客船均须装配 AIS 设备。要求所有于 2002.7.1 前建造的从事国际航运的各类船舶必须在 2003.7.1 到 2008.7.1 前装配 AIS 设备。但在此期限后 2 年内将永久退役的船舶可免装 AIS 设备。

2 AIS 的技术性能要求 (简介)

2.1 AIS 的操作性能及要求

- a) 主动、连续向他船或岸台自动发送本船的静态和动态信息。
- b) 能接收特定的轮询呼叫, 传输附加的安全信息, 并进行处理。
- c) 能在航行中或锚定状态下连续运行。
- d) 船舶识别: 应采用适当的海上移动服务实体号码 (MMSI)。
- e) 静态信息: IMO 号码、呼号和船名、船长与型宽、船舶类型、船上定位天线位置。
- f) 动态信息: 通用协调时、对地航向 (COG)、对地航速 (SOC)、航首向、转向率、航行状态。
- g) 与航程相关的信息: 船舶吃水、危险物品。由船长自主决定的: 目的地、估计到达时间、航行计划、人员数量 (这些信息对船队管理有用)。

2.2 AIS 的接口技术要求

- a) 通讯接口采用 RS232、RS485/422 标准。
- b) 信息处理器与显示器采用 IEC61162 标准。
- c) 电罗经接口采用 NEMA - 0183 格式。
- d) GPS 接口采用 NEMA - 0813 格式。
- e) 计程仪设脉冲量/海里格式。
- f) 重要设备信息的输入/输出, 采用模/数转换方式, 经 RS232 或 RS485/422 传输。

2.3 AIS 的无线 (VHF) 通讯要求

- a) 通用工作频率: VHF87/88 频道。AIS1: 161.975MHz, AIS2: 162.025MHz。
- b) 工作频段: 156.025 ~ 162.025MHz。
- c) 频带宽度: 25KHz 或 12.5KHz。
- d) 发射功率: 5W/25W (20 海里有效)。

- e) 工作模式: OSI (Open System Interconnection)。
- f) 调制方式: GMSK/FM。
- g) 数据编码方式: NRZI。
- h) 传输速率: 9.6Kbps。
- i) 访问协议: TDMA。
- j) 通讯规则: HDLC。

2.4 AIS 初始化时间

上电开机后 2 分钟内正常工作。

2.5 信息通讯标准

AIS 有 22 种基本信息, 本文仅介绍几种最基本的信息标准。

3、AIS 系统在中国

中国航运科技界一直十分关注 AIS 的发展, 中国海事局和上海海事局在推进 AIS 在中国航运界的应用中作了大量的工作, 在 2000 年专门组织了一批专家、学者研讨 AIS 相关事宜, 组织编写出版了"国际航标信息"杂志 AIS 专刊。2000 年 8 月组织瑞典厂商在上海海事局演示 AIS 功能。2000 年 11 月美国洛克希德马丁公司来上海介绍该公司在美国和土耳其承担的 AIS 网络工程。2001 年 4 月在大连召开了"中国沿海船舶自动识别系统 (AIS) 应用技术研讨会"。

为促进国际海事组织 (IMO) 关于船载航行系统增加船舶自动识别系统 AIS 的规定在中国的实施, 大连海大航运科技有限公司以自行研制的电子海图导航平台为核心, 以 C-map 电子海图为基础 (支持符合 S-57 国际标准电子海图显示), 配备瑞典 Saab 公司生产的 AIS 设备, 集成开发出新一代具有自主知识产权的《船用 AIS 导航系统》。并在"海洋岛"和"棒槌岛"轮上进行了一周的实船测试, 获得了预期效果。该系统完全满足 IMO 制定的标准要求, 已于 2001 年 6 月通过中国船级社 (CCS) 检验, 并获得 CCS 的船用产品证书。

4、《船用 AIS 导航系统》系统构成

《船用 AIS 导航系统》由以下四部分组成:

4.1 硬件: 惠普 (HP) 微机、专用操作键盘、专用轨迹球、瑞典 Saab 公司生产的 AIS 设备及符合中国船检 IP20 要求的机箱。

4.2 数据: 符合 S-57 国际标准的电子海图数据库, 包括 C-map 全球电子海图数据、中国海军航海部出版的中国海域电子海图数据。全球 3000 个港口的入港指南数据库。全球 3000 个港口之间的航线数据库。全球主要航标信息数据库。

4.3 软件: 符合 S-52 国际标准的电子海图显示、操作模块。基于电子海图的 AIS 导航避碰、报警、显示模块。基于电子海图的航线计划、修改模块。全球 3000 个港口的进出港信息查询模块。全球 3000 个港口之间的航线里程查询模块。全球主要航标信息查询模块。船舶动、静态报文通讯模块等。

4.4 接口设备: VHF 发射/接收天线, GPS 接收天线 (高精度可增加信标天线)。如果条件许可, 系统还可输入船舶主要动力设备、主要导航、助航设备的运行状态和相关监测数据等。系统还可向 VDR (黑匣子) 输出规范要求的必要数据。

5、《船用 AIS 导航系统》系统功能

船用 AIS 导航系统的基本功能是: 将本船和他船的精确船位、航向、航速 (矢量线)、转向速度和最近船舶会遇距离等动态信息和船籍、船名、呼号、船型、船长与船宽等静态信息在电子海图上显示。并通过 VHF 自动、定时播发, 在 VHF 覆盖范围内 (20 海里) 装备 AIS 设备的船舶, 可自动接收

到这些信息。本系统还具有计划航线设定、航迹自动记录、偏航报警等显示功能。

5.1 电子海图显示

海图显示（符合 S-52 国际标准）是将本船和目标船（20 海里内）的静态、动态信息，同时显示在当前电子海图上。目标船和本船均采用矢量方式动态显示。显示的图幅可任意放大、缩小和滚动。本系统依据国际标准，设有四种背景显示方式：晴朗白昼、白昼、黄昏、夜晚。

5.2 电子海图导入

符合 S-57 国际标准的各国出版的电子海图，可以即插即用。可随时添加 CM-93/3（C-MAP）格式的全球海图和中国海军航保部出版的中国海域海图。

5.3 电子海图改正

可随时根据航海通告，人工修改相关的海图数据。也可从“船舶报告系统”下载已改正的数据文件，更新本地数据。

5.4 信息查询

a) 在海图上实时查询各种信息，包括各种物标（灯塔、航标、敏感区域、海上设施、沉船等）属性、海图参数（实时显示海图的范围、比例尺、地理坐标等）、海图任意点的水深等。

b) 可查询全球 3000 个港口的入港指南，包括港口的自然情况、港口的设施情况、入港所需的各种手续、使费和具体规定等。

c) 可查询全球 3000 个港口之间的所有航线，同时给出每条航线的计算里程。

d) 可查询全球各港口所辖水域内的主要航标信息，包括航标名称、经纬度、灯质、灯高、射程、构造等。

5.5 船舶动态监控

a) 动态跟踪显示：实时显示本船的位置、航向、航速等。实时显示周围（20 海里内所有）他船的位置、距离及运动方向。

b) 相对运动计算：根据本船及他船的动态信息，计算并显示他船与本船的相对运动方向、速度、最近会遇距离/时间等。

5.6 信息自动发送/接收

本系统设有本船信息初始化输入界面，依据该界面可输入本船静态信息，包括船名、呼号、船级、船长、船宽、船舶类型、前往目的港等。本系统将自动实时向周围他船发送。同时本船也实时接收周围他船的同类信息。本船和他船定时自动发送船位、船速、船向等动态信息。

5.7 计划航线管理

a) 计划航线输入：系统设有计划航线输入界面，一旦本航次计划航线确定，系统将自动记录并保存。

b) 计划航线管理：系统允许在电子海图上显示或修改计划航线。

c) 显示到转向点的航向：系统随时可在电子海图上标绘指向最近转向点和下一转向点的航向线，并标注航向和距离。

d) 偏航报警：当本船偏离其计划航线一定距离（用户设置偏航距离）时，系统自动声、光报警。

6、 提高系统可靠性

船用 AIS 导航系统比较容易出故障的部位有：高精度显示和外部数据存储两部分。为提高系统的整体可靠性，系统采取以下两项措施：

a) 双显示器

其中 21 吋显示器为主显示屏，而 4 吋显示器为简易显示屏。两个显示器同时工作（热备份）。当系统中一台显示器发生故障时，另一台显示器完全可实现 AIS 的基本显示功能。

b) 硬盘热备份

在系统中有两套完全相同的软件平台、数据库、实时参数录入表。当系统一个硬盘发生故障时，另一个硬盘可使系统继续正常运行。

7、 结束语

AIS 已经在发达国家得到广泛应用。欧洲沿海已经建立了 AIS 岸台网。香港目前正在岸台建设中，预计今年的 8 月可正式投入使用。而 IMO 对安装 AIS 的强制规定又不允许我们观望和等候。希望中国的 AIS 岸台、船台的应用与发展能够跟上世界航运科技潮流。