

目 录

第一章	概述	1
§1-1	船台无余量装配工艺的发展概况.....	1
§1-2	船台无余量装配的意义.....	8
第二章	船台无余量装配工艺对分段划分的特殊要求 和分段余量布置的原则	6
§2-1	分段划分的一般原则.....	6
§2-2	“一刀齐”工艺.....	7
§2-3	“水平企口”工艺.....	9
§2-4	分段余量布置的原则.....	10
第三章	分段无余量划线及船台无余量装配的检测 工具简介	14
§3-1	激光经纬仪.....	14
§3-2	激光准直仪及五棱镜装置.....	17
§3-3	YJS3 型激光水准仪.....	19
第四章	激光经纬仪在倾斜船台上的直接应用—— 辅助标杆法	22
§4-1	引言.....	22
§4-2	辅助标杆法的原理.....	23
§4-3	辅助标杆法的应用.....	25
第五章	船台无余量装配与分段预修整	30
§5-1	船台及船台装配方式.....	30
§5-2	船台无余量装配的准备工作.....	32

§5-3	船台大合拢后的船体变形及船长缩短.....	37
§5-4	船台无余量装配的顺序.....	40
§5-5	船底分段的预修整及船台一次定位.....	41
§5-6	双层底“水平企口”线的划制.....	52
§5-7	横隔舱壁的预修整及船台激光定位.....	56
§5-8	甲板分段的预修整及船台激光定位.....	60
§5-9	傍板分段的预修整及船台激光定位.....	62
§5-10	船台上首、尾部无余量环缝的划制.....	66
§5-11	首、尾立体分段的预修整及船台激光定位.....	69
§5-12	船台上应用激光测量船长、型宽、绘制水 线及水尺	70
第六章	船台无余量装配对船舶设计的要求	76
第七章	浅谈公差造船	83
§7-1	公差造船的概念.....	83
§7-2	公差造船的内容.....	89
§7-3	公差造船与全面质量管理的关系.....	97
§7-4	怎样实施公差造船	100
附录 I	船体建造公差标准(上海船厂).....	103
附录 II	微角度——对边换算表.....	120

第一章 概 述

§1-1 船台无余量装配工艺的发展概况

船台装配俗称“大合拢”，是船体结构整体装配的工艺阶段。在船体建造中，船台装配是一道技术性强、质量要求高的关键工序。长期以来，世界各国的一些船厂一直采用在分段一端放20~50毫米的余量，吊上船台两次定位、划线、切割、合拢的工艺。这是一道被广大造船工人视为费时最多、劳动强度最大、工作环境最差、严重影响船台周期和船体质量的“老大难”工序。

对于船台装配这道“老大难”工序，世界各船厂都提出了各自解决的办法。于是船台无余量装配（即分段无余量上船台合拢）工艺在世界各国造船业中发展起来。

在当代造船比较发达的日本，在控制分段的施工误差和施工变形方面取得了较好的进展，因而日本的一些船厂在建造大、中型船舶时，控制造船各道工序的施工误差，施放适量的工艺余量，实现了平行中体部位的分段的无余量制造和船台无余量装配（即分段无余量上船台合拢），而在型线复杂的首、尾部的分段仍采用在一端放20~30毫米余量两次定位的工艺。例如日本向岛船厂为我国建造的“大城号”、“大田号”（万吨级货轮），其主体结构（上甲板以下）共分154个分段，其中有97个分段通过分段无余量制造达到船台无余量装配，船台分段无余量合拢占主体结构分段的64%。

在西欧及苏联的一些船厂则是通过分段预修整（即分段制造完毕后，进行余量划线、切除其余量）的方法来达到船台无余量装配。西欧及苏联的一些船厂早在四十年代就开始搞分段预修整试验，在两段法造船中成功地应用了分段预修整的工艺。根据文献介绍，意大利阿普安尼亚船厂于1959年，在纵向倾斜船台上分别建造“维什瓦·乌莎”轮的两段船体时，曾首先采用了对两段船体进行预修整的工艺，并在坞内完成了大合拢作业。此后，这种预修整工艺，在苏联、日本、波兰及其他国家采用两段法造船时，也得到了广泛的应用。其中，苏联在建造“凯尔契”油轮，以及随后在对此种油轮进行批量生产时，都曾应用这一预修整工艺来合拢两段船体。

我国一些船厂，七十年代开始应用经纬仪或激光经纬仪这种比较精密的检测工具对分段实行预修整（即采用经纬仪或激光经纬仪在分段制造完工后划出分段余量线，并采用半自动割刀把余量割除），达到船台无余量装配，收到了较好的效果：大连造船厂在24,000吨级油轮建造中，平行中体部位的分段全部实现船台无余量装配；沪东船厂在25,000吨级货轮建造中，底部分段及舷侧分段实现了船台无余量装配；上海船厂在制造13,000吨级货轮“丹阳”和“绍兴”号中，广泛应用激光经纬仪划线进行分段预修整，并在倾斜船台上应用激光经纬仪使用辅助标杆法进行分段定位，因而使该两轮的主体结构分段的90%大接头实现分段无余量合拢（“丹阳”“绍兴”轮主体结构各分为72个分段，100个大接头，除9个大接头的一面留有余量外，其余91个大接头是无余量合拢。参见图1-1：“丹阳”轮的分段划分和无余量大合拢示意图）。其合拢速度之快、质量之高使得在该厂监造的外国代表也承认是达到了世界先进水平。这个船厂还在批量制造的900马力港作拖轮、三千吨级长江客货轮的建造中，主体结构分

段也都基本上实现船台无余量装配，还在 8 条五千吨级矿砂驳的建造中，所有的分段都实行了船台无余量装配，质量良好，表 1-1 是该船厂统计的四条矿砂驳船台无余量装配的修整情况。

矿砂驳船台无余量装配修整情况记录

表 1-1

修整情况 船舶代号	大接头总 长度(米)	修整长度 (米)	垫板长 度①(米)	修整率 (%)	垫板率 (%)
501	639.3	3.0	8.2	0.47	1.285
502	639.3	1.5	3.8	0.235	0.595
504	639.3	0.0	0.0	0	0
506	639.3	28.0	0.0	4.4	0

① 间隙大于 4 毫米者，采用垫板电焊工艺。

表 1-2 是该厂统计的“丹阳”、“绍兴”、“高阳”轮船台无余量合拢的修整情况记录。

§1-2 船台无余量装配的意义

分段的预修整工艺对于两段法造船（无论在坞内合拢还是水上合拢）具有极大的意义，这是很明显的，这里不加详述。而船台无余量装配工艺比之于原来带余量合拢两次定位的工艺的优点也是很明显的。以沪东造船厂制造的二万吨级货轮的两个双层底分段上船台合拢为例，按带余量两次定位的工艺，16 位工人师傅，要有两台 100 吨吊车配合，8 个多小时，反复运用大型松紧螺旋扣和油泵，在狭小低矮的双层底里仰面朝天，在焊花飞溅的条件下工作，这样四天左右才能完成。而采用激光经纬仪在胎架上划出分段余量线，并用自动割刀切割掉余量，并开出坡口，然后吊上船台合拢时，

“丹阳”、“绍兴”、“高阳”轮船台无余量合拢修整情况记录

表1-2

修整情况	大接头长度(米)		修整长度(米)		修整率(%)		垫板长度(米)		垫板率(%)	
	“丹阳”	“绍兴”	“丹阳”	“绍兴”	“丹阳”	“绍兴”	“丹阳”	“绍兴”	“丹阳”	“绍兴”
分段名称	“丹阳”	“绍兴”	“丹阳”	“绍兴”	“丹阳”	“绍兴”	“丹阳”	“绍兴”	“丹阳”	“绍兴”
双层底	780	780	57.6	10.5	27.0	7.4	2.1	3.5	9.6	0
横舱壁	118	118	8.0	5.0	0	0.8	4.2	0	0	0
下甲板	236	236	8.0	0	4.0	3.4	0	1.7	0	0
舷侧	865	865	36.0	20.0	50.0	4.2	2.3	5.8	9	0
上甲板	286	286	①	8.0	—	4.2	2.8	—	0	—
首、尾立体	160	160	4.0	0	0	2.6	0	0	0	0
总计	2445	2445	126.6	49.5	81.0	5.2	2.0	3.7	18.6	0

① “高阳”轮的上甲板是带余量合拢的，故不统计入内。

这两个长16米、宽32米、高5米、重270吨带有层底的底部分段，14个工人师傅只用一天半的时间就完成了合拢任务。

上海船厂在采用船台无余量装配工艺前，船台合拢一条万吨轮，需要两个装配工段担任，在高峰期间还需要外单位来支援，而采用船台无余量装配工艺后，船台合拢在同等劳动力的情况下可同时担负一条万吨轮和一条大型班客轮的合拢任务，而且也不需外援，船台周期也不需延长。

从以上两个简单的例子，就充分说明船台无余量装配的意义，现将船台无余量装配的优点简要归纳如下：

- 1.使原来两次定位改为一次定位，减少吊装时间50%以上，减少船台装配工作量30%以上，这样就降低了船台装配的劳动强度，提高了生产效率和船台大吊车的利用率，并缩短了船台周期。

- 2.分段大接头处的余量由于是在胎架上(或平台上)用半自动割刀切割，并一次开出焊接坡口，劳动条件好，劳动强度低、质量好，有利于电焊质量的提高、有利于安全生产和文明生产。

如上所述，要达到船台无余量装配有两条途径：一是分段通过预修整达到船台无余量装配；二是通过分段无余量制造来达到船台无余量装配。通过分段无余量制造来达到船台无余量装配，对船体建造中的放样加工、装配等各道工序的精度都很严格，造船发达的日本目前也只能在平行中体部位实现，而且在船台装配时也存在一定的修正工作量，而在首、尾部位仍得采用带有余量的两次定位工艺。我国目前绝大多数船厂加工设备陈旧，数学放样尚未普遍推广使用，船舶建造公差贯彻尚不力，因此当前采用通过分段预修整的方法来达到船台无余量装配是因地制宜的。与此同时也应探索通过分段无余量制造达到船台无余量装配的经验，以便尽快地实

现公差造船。

通过预修整达到船台无余量装配的造船工艺在我国造船工业中采用的时间虽然不长，但发展非常迅速，为了推动这项工艺的进一步发展，多造船、造好船适应四个现代化的需要，特将这项工艺总结成文，以供各造船厂和船舶设计单位参考。

第二章 船台无余量装配工艺对分段划分的特殊要求和分段余量布置的原则

§2-1 分段划分的一般原则

在采用船台无余量装配工艺时，分段划分的原则基本上同于采用传统的工艺时的一般原则，其需要考虑的主要问题如下：

1. 船体结构的特点及其工艺性；
2. 分段应具有足够的刚性，以防分段在制造和吊运过程中产生较大变形；
3. 船厂的起重运输能力（主要是船台吊车及分段搬运车辆的能力）；
4. 分段应具有良好的施工条件，有利于单元舢装和分段舢装的最大限度的开展；
5. 分段应能最大限度减少和简化工艺装备。

在采用船台无余量装配工艺时，分段划分除了考虑以上一般原则外，还有两点需要特别引起注意：一是采用“一刀齐”工艺；二是采用“水平企口”。该两点分别于§2-2和§2-3详述。

§2-2 “一刀齐”工艺

所谓“一刀齐”工艺，即是在分段划分时，把分段大接头处的板和骨架的接缝安排在同一横剖面内，而不是象过去那样交错开的。这样安排的优点是：

1. 使分段在进行预修整望光、划线时变得非常简便，同时又防止或减少划线差错，容易保证划线质量；

2. 使船台分段吊装方便、迅速、容易到位，大幅度减少船台吊车使用时间，减少船台装配工的拉拢工作量，并有利于管理部门生产计划的灵活安排。

分段划分采用“一刀齐”工艺的理论根据是：

在采用分段建造时，每个分段的大接头虽然“一刀齐”但仍可使底部、舷侧、甲板分段的大接头相互交叉（即各分段的大接头不在同一横剖面内），与传统的分段划分原则大同小异，对总纵强度没有什么影响。

在采用总段建造法时，由于采用新型的优质结构钢、良好的焊接材料和先进的焊接方法，可使两段船体的底部、舷侧和甲板部分的大接头在同一横剖面上合拢成一个环形接缝。此种结构形式为分段无余量合拢提供了有利条件，可减轻两段船体在船台上合拢的工作量，至于船舶的总纵强度实践证明是能保证的。例如日本及西欧许多船厂在采用两段法造船时，其大接头就是采用“一刀齐”的形式。图 2-1 为“尼基福尔·罗果夫”油轮的船体接头剖面。

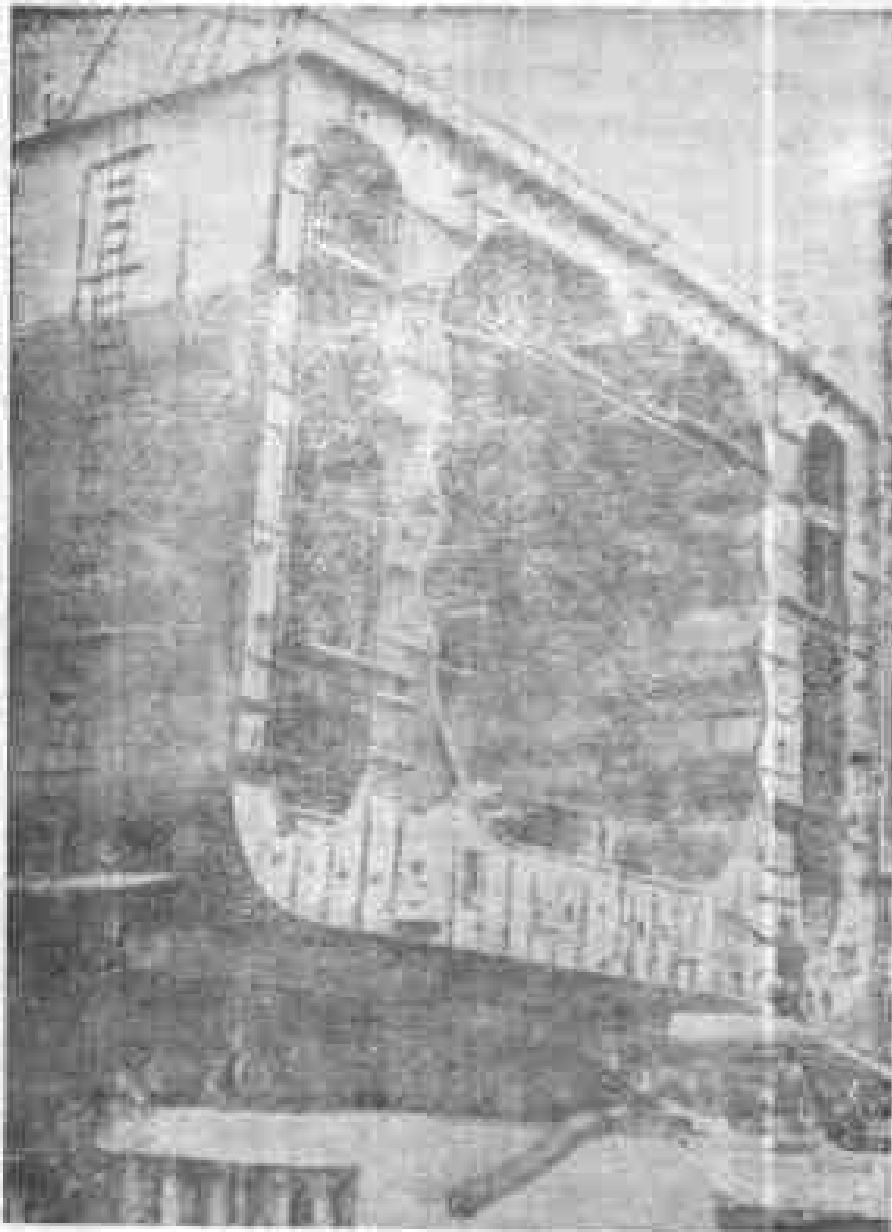


图2-1 “世基船厂”船厂的船体结构图

根据以上简要的分析可以得出以下结论。

1. 采用分段建造法的船厂，在分段划分时，采用“一刀

• 11 •

“一刀齐”工艺是适宜的，但注意在船中部位的大接头有意识地使船底、舷侧、甲板分段相互交叉（即各分段的大接头不在同一横剖面内），有利于保证船体总纵强度。

2. 采用总段建造法的船厂，在分段划分时采用“一刀齐”工艺的条件是：船体材料、焊接材料优良，焊接方法先进可靠。若船体材料、焊接材料不是优良的或船厂的焊接方法不十分可靠时，建议在船中部位的大接头尽量避免采用“一刀齐”工艺。

§2-3 “水平企口”工艺

昔日，按照传统的放样工艺，底部分段“企口”线（即底部分段与舷侧分段的接缝线）的形状一般是不规则的，这样在进行舷侧分段无余量划线时，很不方便，因为在舷侧分段划线时，舷侧分段（傍板）的每一肋位的实际高度必须到现场（船台上已合拢好的底部分段）进行实测，然后再把实测所得的数据划到已制造好的舷侧分段上去并用样条把若干点连接成光滑的曲线来，其手续相当繁复、极容易出差错。为简化操作起见，可把底部分段“企口”线安排成具有一定高度且与船底基线平行的“水平企口”。也可根据船舶首、尾高水舱、机舱、低水舱的不同高度把“水平企口”分为首、尾高水舱、机舱、低水舱等区域。这样在底部分段合拢后，只须根据图纸划出各区域的“水平企口”线，而不必再到现场测量“企口”的实际高度了，操作手续较为简单，更重要的是在划制“水平企口”线后可把底部分段合拢后的变形消除，而使舷侧分段合拢时不会因船底的施工变形而受到影响，从而使船台合拢的各道工序的施工误差不积累，这对保证船体船台装配质量具有重要意义。

一般说来,将底部分段“企口”排成“水平企口”会给排旁路增加一个约束条件(即该旁路要与基线平行),从而也会给排板带来一定的困难,但只要改变一些习惯作法,采用一些合理措施,就既可克服排板的困难,又不致浪费板材。例如:尽量用足板材的宽度,对旁路不放或少放余量,以增大板材的利用率;改造旁板旁路使其展开后成一根直线,以尽量用足板材。13,000吨级的远洋货轮(方形系数 $\delta=0.66$)“丹阳”号双层底“企口”安排成“水平企口”证实是可行的。

对于方形系数较大的船舶(例如万吨轮)底部分段的“企口”安排成“水平企口”是有条件的,方形系数较小的船舶(例如长江客货轮方形系数 $\delta=0.595$)底部分段的“企口”全部安排成“水平企口”是有困难的,但在船中区域安排成“水平企口”还是可能的,而首、尾型线比较复杂的区域可把底部分段“企口”安排成斜直线(即与基线面成一定的角度),这样在舷侧分段进行无余量划线时也可简便不少。

§2-4 分段余量布置的原则

自从1889年发明焊接技术后,船舶制造的工艺发生了根本的变革,由铆接演变为焊接,装配工艺由所谓“板板”装配发展到“块块”装配(即分段装配的建造方式),在分段装配的船舶建造方式中,由于焊接技术及水火弯板工艺的采用,带来了大量热量引起严重的船体变形和收缩;又由于造船生产中,每道工序(不管是手工操作还是机械自动作业)总是难免存在施工误差。因而施工变形和施工误差就成了造船生产中迫切要解决的问题,于是世界各国的造船业就在船舶生产中对零件、分段加放工艺余量和控制公差来对付船体的施

工变形和施工误差。

在造船中，工艺余量分为补偿余量和切割余量两种。大于造船尺寸基础数值所规定的余量并供随后生产工序加以补偿(包括累积偏差的补偿)而不切除的，称为补偿余量。例如许多船厂为了保证船舶长度，在放样时将每一肋距加放0.5~1毫米的余量，这种余量就是补偿余量。大于造船尺寸基础数值所规定的余量并在随后的生产工序中进行切除的，称为切割余量。例如分段为了进行预修整而在大接头处所放的余量就是切割余量。

为了进行分段预修整，实现船台无余量装配，必须对分段施放适当的工艺余量，其余量布置的原则如下：

1. 舷侧分段

分段外板的四周(即大接头处)放切割余量30~50毫米；分段外板的纵缝和横缝均不放余量(也可放1~2毫米的补偿余量)；分段的内结构(包括肋骨、旁龙骨、甲板边板等)在大接头处加放30~50毫米的切割余量。

2. 双层底分段(也包括单底分段)

(1) 平直区域的双层底分段

分段外壳板大接头处(包括横向接头和转圆板上口)放有30~50毫米的切割余量；外板内部的纵缝和横缝均不放余量(也可考虑放1~2毫米的补偿余量)，平直区域的外板还可采用拼板的方法；分段内结构(包括内底板、龙骨、付龙骨、内、外底纵骨)在大接头处均放30~50毫米的切割余量。

(2) 接近首、尾的双层底分段

分段外板除大接头处放30~50毫米切割余量外，还在满档板的一端边放20~50毫米。外板内部横缝的一面放10~30毫米的切割余量；外板内部的纵缝可不放余量(也可考虑放1~2毫米的补偿余量)。分段内结构在大接头处均放30~50

毫米的切割余量。

3. 首、尾立体分段

外板在大接头处，与首、尾柱相接之处、满档板及外板横缝的一面均放30~50毫米的切割余量；外板纵缝可不放余量（也可考虑放1~2毫米的补偿余量）；分段内结构（包括甲板、平台、龙骨、付龙骨、甲板纵骨、旁龙骨、内底板等）均在大接头处放30~50毫米的切割余量。

4. 舱壁分段

在直接与外板装焊处不放余量；在直接与双层底、甲板和平台装焊处放有30~50毫米的切割余量。

5. 甲板分段：

甲板板及倒挂龙骨、付龙骨、纵骨均在大接头处放30~50毫米的切割余量。

6. 上层建筑分段

分段的板及骨架在大接头处均放30~50毫米的切割余量；板及骨架的内部均不放余量。

从上述余量布置原则可以看出：各种分段的内结构均只在大接头处放30~50毫米的切割余量；而外板（包括舷侧分段、底部分段，首、尾立体分段）施放的切割余量布置颇为复杂，因此某些船厂为了避免生产中出差错，就编制了外板余量布置图。图2-2为上海船厂在制造万吨轮“丹阳”号时编制的外板余量布置图。它是利用外板展开图的二底图，并在其上进行分段划分和添划各种余量符号而成。分段划分是根据板材规格和厂内起重设备的起吊能力而定；余量符号则是采用船厂内工人熟悉的符号。外板的余量布置，是根据放样、切割、加工所能达到的精度和分段的制造工艺而定的，因此外板无余量的范围将会随着外板加工各工序精度的提高，分段制造工艺的改进而不断扩大。

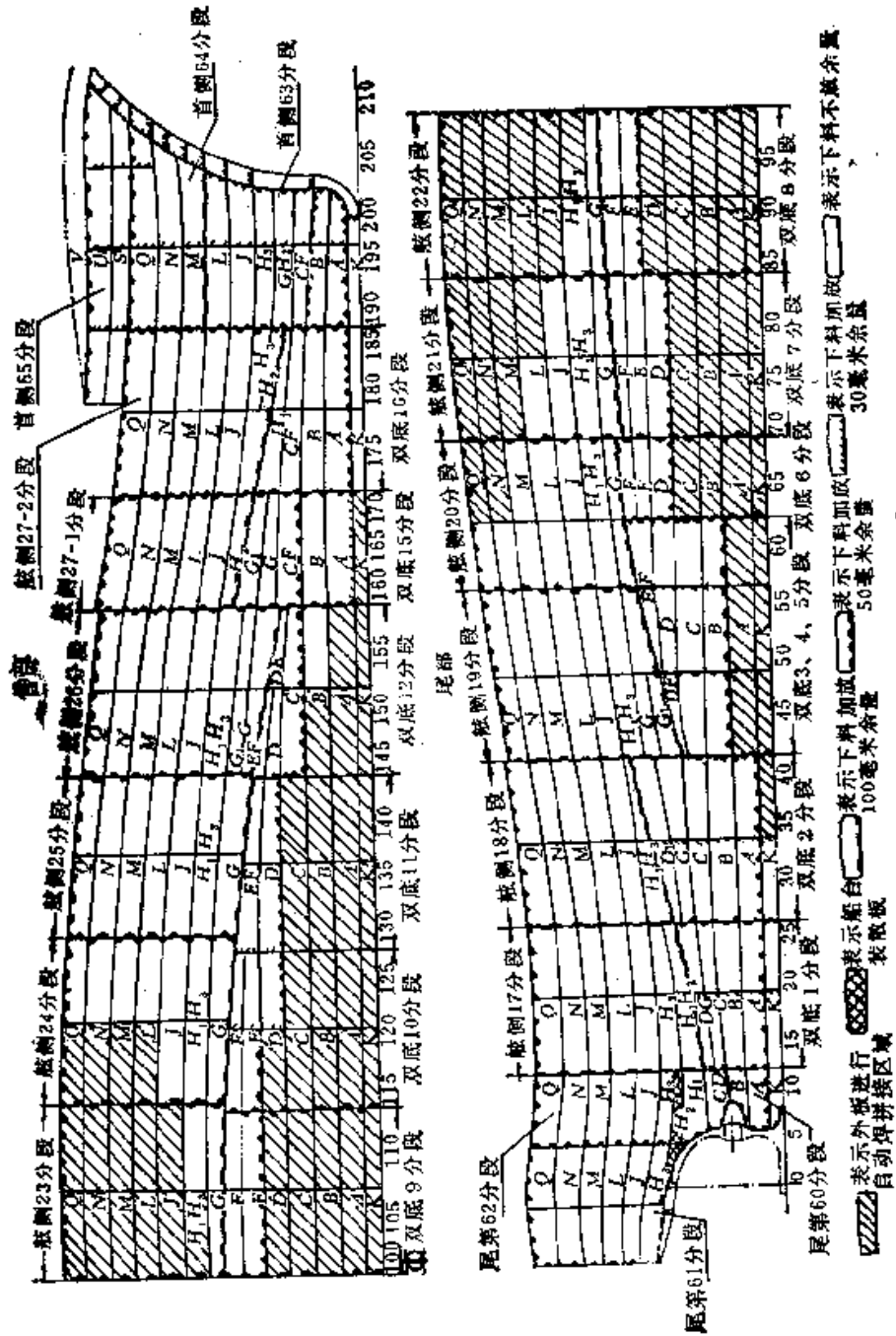


图2-2 外板余量布置图

第三章 分段无余量划线及船台 无余量装配的检测工具简介

§3-1 激光经纬仪

目前,我国各船厂分段预修整和船台无余量装配所采用的主要检测工具一般都用激光经纬仪,个别船厂也有使用经纬仪的。激光经纬仪与光学经纬仪相比,具有如下优点:

1. 仪器本身能单独地投影实际存在的标准线,故定位时不需要看望远镜的人;
2. 因目标上有投射的激光点,故第三者也能确定位置;
3. 一边根据点跟踪方式定位,一边能进行连续操作;
4. 配合激光划线装置,附加圆柱透镜等附件装置,可相对于标准线作直角方向的投射,制定正变面,形成沿着标准线方向的平面等。

因此,有条件的船厂最好是选用激光经纬仪。目前,上海地区及其他地区的船厂大多数是采用J2-J型2秒级激光经纬仪和J2-JD型激光经纬仪,现简介如下:

1. J2-J型2秒级激光经纬仪,见图3-1

据苏州第一光学仪器厂资料介绍:J2-J型2秒级激光经纬仪系由苏州第一光学仪器厂制造。它基本上保持了2秒级经纬仪的测角精度,同时又兼具激光,可形成一条可见瞄准线等优点。还可采用在目标处放置四象限光电靶,以进行高敏度、高精度探测及实现测量、控制过程自动化。它可用于

水平角和高低角的坐标指示及坐标测量，亦可用以完成一般导向、定位及准直的任务，在造船上具有较为广泛的应用范围。J2-J型激光经纬仪具有下列性能和特点：

③(1)激光束肉眼可见的最大射程：白天(上午十时)为620米；夜间(有接近满月之月光)为2.6公里。

(2)激光器功率要求较低，约2毫瓦；

(3)瞄准望远镜视场为 $1^{\circ}30'$ ；

(4)用瞄准望远镜观测时，视场为黄绿色，对人眼较为适宜；

(5)100米处光斑直径小于6毫米；

(6)定位的均方误差小于2秒；

(7)激光电源可交、直流两用，交流电源为220伏、50赫、50伏安；直流电源为15伏、3安培；电源箱尺寸为 $290 \times 200 \times 120$ 毫米，重6.8公斤；

(8)经纬仪物镜焦距为266.45米，望远镜放大倍率为30

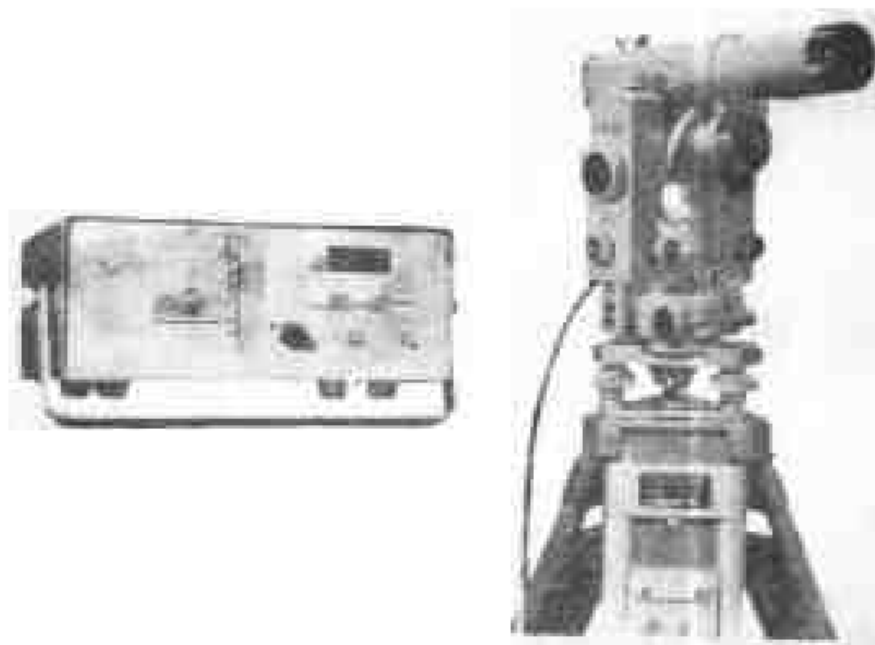


图3-1 J2-J型2秒级激光经纬仪(整机)

倍，视场角为 $1^{\circ}30'$ ，最短视距 2 米，视距法测距时乘常数 100、加常数 0，一测回方向中误差为 ± 2 秒。J2-J 型激光经纬仪因不能倒镜，整机的方向中误差略有变化，故当希望保持中误差不大于 2 秒时，则应注意核对望远镜照准轴对经纬仪横轴的垂直性，以及横轴对竖轴的垂直性。

2. J2-JD 型激光经纬仪

J2-JD 型正倒镜 2 秒级激光经纬仪是在 J2-J 型不可倒镜激光经纬仪基础上吸取用户意见加以改进的新产品。它的特点是能倒镜，因 J2-JD 型激光经纬仪能从望远镜目镜端倒镜，进行盘左（正镜）和盘右（倒镜）两个位置的测量，所以确保了仪器的测量精度，并扩大了仪器的使用范围（例如可铅垂地向上发射激光束）。图 3-2a)、b) 分别为 J2-JD 激光经纬仪正、倒镜时的外型。

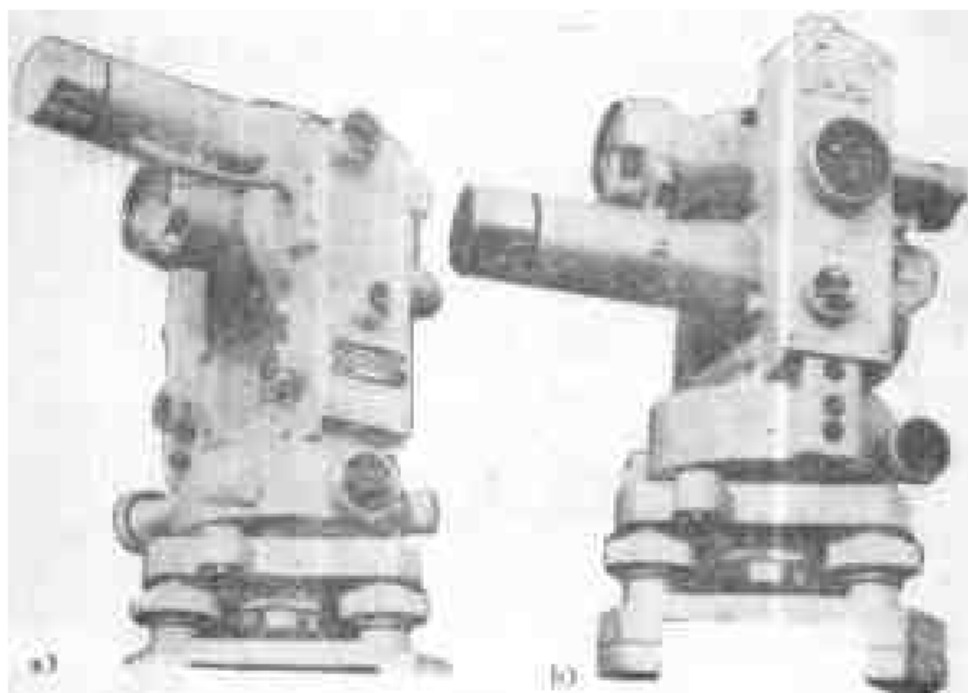


图3-2 J2-JD 激光经纬仪正、倒镜时的外型

图3-3为仪器厂配制的仪器支架外形。图3-4为船厂自制的激光经纬仪底座架外形。该底座架较原来的三角架的优点是，能直接固定于船体分段上，利于直接在需要划线的分段上找基准线，使用轻巧方便。

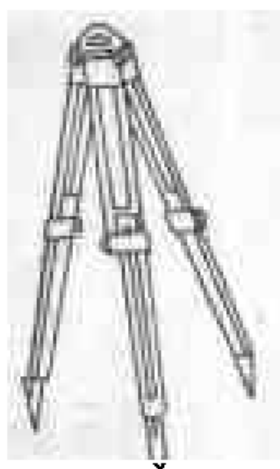


图3-3 仪器厂配制的仪器支架外形



图3-4 船厂自制的激光经纬仪底座架外形

§3-2 激光准直仪及五棱镜装置

激光准直仪是利用激光光束方向性好，能量集中、单色性好的特性。使其通过光学系统给出一条基准直线。光学系统见图3-5。从激光管射出的激光束通过反光镜射进激光小目镜，经激光小目镜会聚的光束再由立方棱镜折转入调焦镜、物镜，这样激光光束的发散角更小了。只要改变调焦镜的位置，就可以在不同距离获得最佳激光光斑，当调焦在无穷远

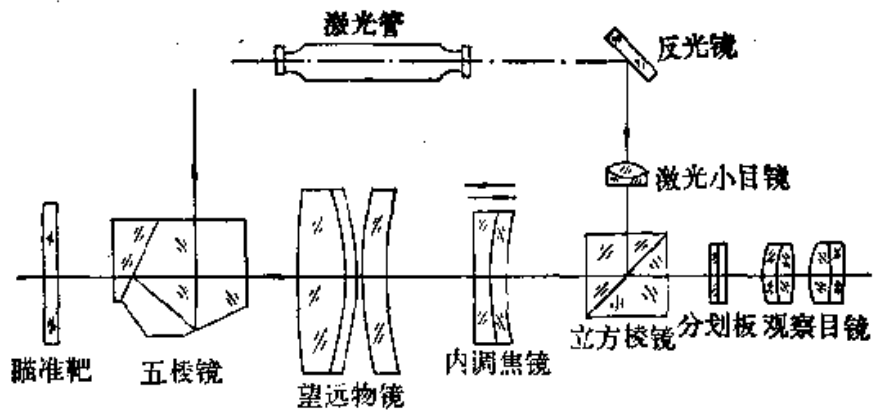


图3-5 激光准直仪的光学系统

时，出来的是束平行光。

众所周知，五棱镜有一个特性是能以极高的精度将入射的光束成 90° 角向外反射，当五棱镜相对于光轴旋转时，即可使投射出的光束形成一个平面，该平面则与光轴成垂直位置。图3-6为上海地区船厂使用的五棱镜装置。其不足之处是太笨重，上船操作使用不方便，有待于进一步改进。

当激光准直仪（或激光经纬仪）加上附件五棱镜参见图

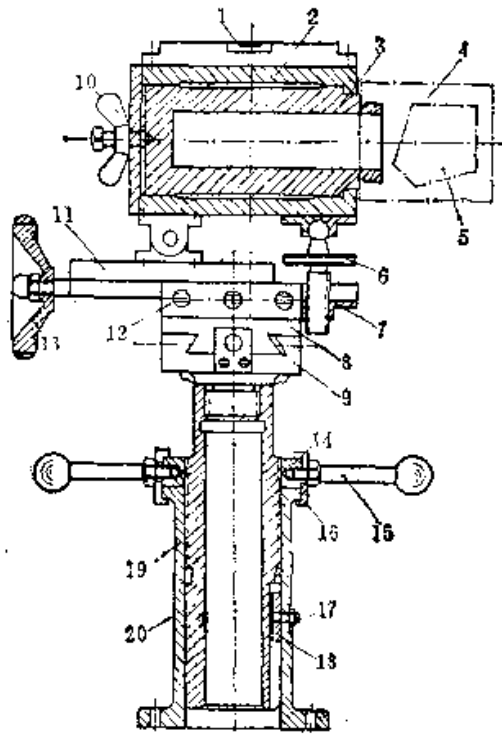


图3-6 五棱镜装置

1-水准器；2-轴套；3-转轴；4-五棱镜箱；5-五棱镜；6-球头螺栓；7-螺母；8-上导板；9-下导板；10-楔形螺母；11-上导板；12-下导板；13-手轮；14-调节螺母；15-手柄；16-压板；17-紧定螺钉；18-导向键；19-套筒；20-螺杆

3-5,可使光线折转 90° ,这个功能对造船工业是非常有用的。在某些特定条件下,它可弥补激光经纬仪的三个不足之处:

1.因激光经纬仪轴线之间是呈水平和铅垂的关系,所以仅能作出水平和铅垂两个方向的平面线(这里不包括激光经纬仪的特殊检测法——辅助标杆法);

2.由于激光经纬仪存在2米最短视距,因此只能对2米以上的目标进行测量和划线;

3.当激光经纬仪正、倒镜时,因望远镜受仪器轴座的遮蔽,而分别存在一死角 α_1 、 α_2

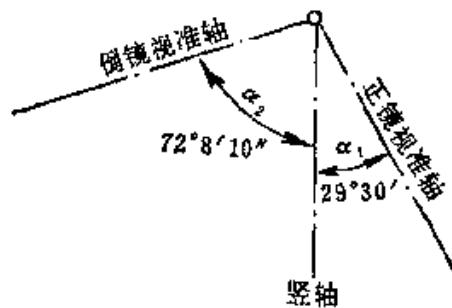


图3-7 激光经纬仪正、倒镜时存在死角示意图

(参见图3-7),因而不能完整地作出一个与水平面相垂直的平面。

激光器(包括激光准直仪、激光经纬仪等)和五棱镜装置联合使用进行划线,这在国外两段法造船分段预修整中应用比较广泛,而在我国造船业中应用较少,其原因是激光器与五棱镜装置联合使用,操作技术要求较高,而我国目前所用的五棱镜装置太笨重,操作不方便。因此有待于改进五棱镜装置,使其变得轻巧灵活、而扩大其使用范围。

§3-3 YJS3型激光水准仪

据烟台市光学仪器厂资料介绍,YJS3型激光水准仪的光路原理如图3-8。1为He-Ne气体激光器,发射波长为 6328 \AA 的红色光束,经过2、3、4、5四只反射棱镜折向目镜,然后经共用的目镜组6、分划板7、调焦镜组8及物镜组9射出,

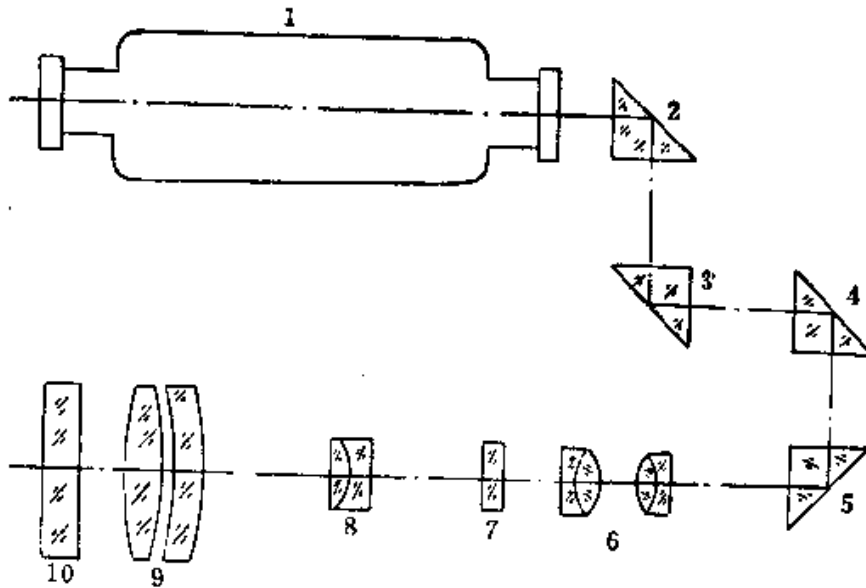


图3-8 YJS3型激光水准仪的光路原理

1-He-Ne 气体激光器；2、3、4、5-反射棱镜；6-目镜组；7-分划板；
8-调焦镜组；9-物镜组；10-衍射波带片

射出的激光可聚焦成一很小很亮的光点。物镜前还可安装衍射波带片10，由发射系统射出的激光经波带片衍射后在目标处形成便于对中的十字线象。

YJS3 型激光水准仪的主要技术指标如下：

- 1.距望远镜100~150米处，置一标尺分划线，望远镜呈象清晰；
- 2.望远镜的放大倍率不少于27倍；
- 3.视准轴与长水准轴的夹角不大于 $12''$ ；
- 4.仪器整平后，转至任何一方，圆气泡不超出圆刻线；
- 5.激光束轴心与视准轴心的水平夹角小于 $6''$ ；竖直夹角小于 $10''$ ；
- 6.激光光斑直径在 100 米处不超过 6 毫米；
- 7.激光束射程白天能达到 100 米。

YJS3 型激光水准仪发射出激光束可用来完成一般的导

向、定位、准直及水平测绘等任务，因此，可用于船舶制造中的船架划线、平线绘制、尾轴校准，舱内管路直线定位，船体变形测量及船体大合拢无余量装配一次定位等项工作。

图3-9为YJ53型激光水准仪的外形。



图3-9 YJ53型激光水准仪

第四章 激光经纬仪

在倾斜船台上的直接应用

——辅助标杆法

§4-1 引言

如前所述,船台无余量装配的工艺,具有很大的优越性,但在倾斜船台上实施这一工艺时,如果还是沿用挂铅锤、换算冲势等陈旧的检测工具和方法,就会大大影响它的提高和推广,因而把激光经纬仪扩大到倾斜船台上直接使用就显得特别迫切。

目前,国外的许多船厂在倾斜船台上利用激光经纬仪(或光学经纬仪)划线、定位。一般采用船台专用激光经纬仪(或光学经纬仪),即在经纬仪底盘上增设“正弦尺”(即倾斜的底盘)或在经纬仪的底盘上装有专用小型计算器(计算船台冲势

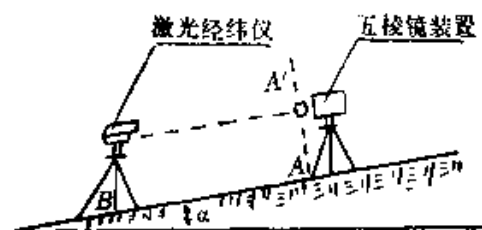


图 4-1

用);也有采用激光经纬仪(或其它激光器)与辅助仪器(例如五棱镜装置等)配合使用。图 4-1 为激光经纬仪与五棱镜装置配合使用的示意图。上海船厂根据现有条件,只须调节激光经纬仪的安平螺旋,引用辅助标杆,便可直接在倾斜船台

上完成划线、定位、测量等工作，既保证有足够的精度、又大大简化了操作，为普遍推广采用激光经纬仪划线、定位、测量创造了有利条件。船厂人员把激光经纬仪这种只调节仪器的安平螺旋和引用辅助标杆的使用方法称为“辅助标杆法”。下面两节就介绍辅助标杆法的原理和使用方法。

§4-2 辅助标杆法的原理

我国各船厂目前使用的纵向下水船台的坡度有 1/19、1/20、1/22 等几种。现以坡度为 1/20 的纵向船台为例来说明辅助标杆法的原理。这样，船体的水平、垂直构件如双层底分段的内底板，横隔舱壁、下甲板等在坡度为 1/20 的船台上均与水平面和铅垂面成 $2^{\circ}51'45''$ 的倾角。

如 §3-2 所述，激光经纬仪轴线之间是呈水平和铅垂的关系。在倾斜船台上，如果采取仅将仪器的视准轴调到与船台坡度相平行的位置上，那么，由于视准轴与竖轴不再保持垂直，因而，当转动仪器照准部时，则激光束的运动轨迹就是一个以竖轴为中心线的圆锥面。显然，这是不能用来解决船台上所需要解决的问题的。如果能把激光经纬仪的轴座基面（即上基面）调整到与船台基面相平行，则激光经纬仪的特性（除个别特性外）就能完全应用于船台，借以取代线垂等工具进行分段定位和检测划线工作。

根据仪器的结构和性能，只要调节仪器的三角基座底板（即下基面）上的安平螺旋，就完全可以调成与水平面成 $2^{\circ}50'45''$ 的倾斜面，见图 4-2。仪器安平螺旋的调节范围为 60 毫米，能满足调小角度（ 8° 以内）倾斜面的要求。

为简化操作，如果把仪器的轴座基面（即上基面）调平，并使下基面上的两只安平螺旋的轴心连线 AB 与船体肋位线

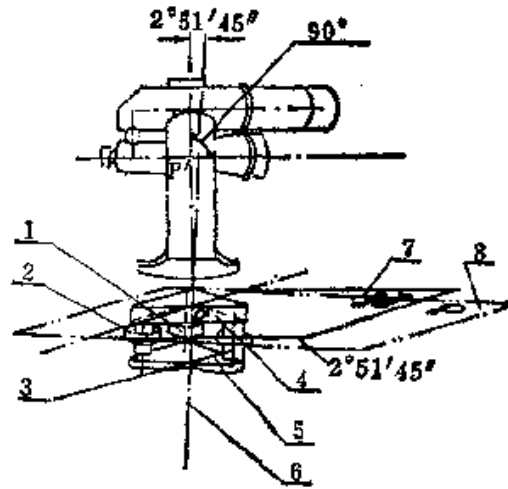


图4-2 激光经纬仪基面调斜示意图

1-安平螺旋 B ；2-安平螺旋 A ；3-安平螺旋 C ；4-上基座面；5-下基座面；6-铅垂线；7-终止位置（船台平行面）；8-初始位置（水平面）

平行，这样只须调节第三只安平螺旋 C ，使上基面以 AB 为旋转轴而转动，就能获得上仰或下倾的与水平面成 $2^{\circ}51'45''$ 的倾角。我们将这种调节方法称为第一调节法，见图4-3a)。同理，亦可使 AB 平行于船体肋位线，并固定 C 点，而同向调节安平螺旋 A 、 B ，也可获得上仰或下倾的与水平面成 $2^{\circ}51'45''$ 的倾角。此一调节方法称为第二调节法，见图4-3b)。同样，还可使 AB 平行于船台中心线，并固定 C 点，而反向调节两安平螺旋 A 、 B ，也可获得上仰或下倾的与水平面成 $2^{\circ}51'45''$

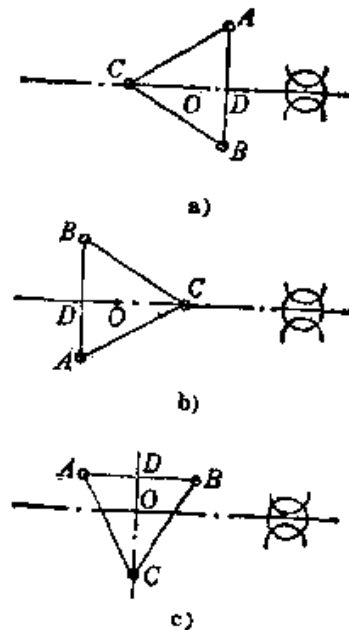


图4-3 激光经纬仪上基面调斜的三种特殊位置
a)第一调节法；b)第二调节法；c)第三调节法

的倾角，我们称这一调节方法为第三调节法，见图 4-3c)。

利用以上三种调节方法，使上基面 ABC 转动 $2^{\circ}51'45''$ 倾角后的重心 O 、横轴与竖轴交点 P (假想点 P 为激光发射点)的位置同在水平状态下有所不同，而在空间产生了位移。根据仪器的几何尺寸，可以算出位移的数值。三种不同的调节方法，其位移的数值也各不相同(其计算方法于§4-3介绍)。同时还要注意，由于仪器上基面已经倾斜，因而其竖盘读数不能再反映实际数值，从而不能使用。于是，轴座基面的转动角度须靠树立辅助标杆来显示，故称激光经纬仪的这种应用方法为“辅助标杆法”。当把激光经纬仪的上基面调成与水平面成 $2^{\circ}51'45''$ 的角度后，若将激光束置于 90° 角位置，而仪器的照准部作 360° 旋转，则激光束扫出的平面便成为与船台上表面平行的等高面 N 。若将仪器照准的纬向回转部分固定于某一位置，然后转动激光器，则激光束扫出的平面将成为在该位置上与船台上表面垂直的径向平面。实践证明，在倾斜船台上利用激光经纬仪引用辅助标杆法划船台中心线的垂直线(角尺线)，其精度可达 $10''$ ，即在 20 米范围内的偏差为 1 毫米。这完全能够满足造船的精度要求。

这样，可以利用辅助标杆法解决倾斜船台上一系列问题，例如划制船台上已合拢好的双层底分段的“水平企口”线、进行底部分段、横隔舱壁、甲板分段、大桅、将军桅等的船台定位、船长的测量、水线、水尺的划制、船台上划制分段的环形断面线等等。以上列举的工作内容如何进行于第五章的各节中叙述。

§4-3 辅助标杆法的应用

1. 激光经纬仪基面调斜步骤

根据上述调斜原理可归纳其调斜步骤如下（以第一调节法为例）。

（1）对中医平

将激光经纬仪对准船台中心线，使三只安平螺旋中的 A 、 B 两只之间的连线垂直于船台中心线，并调节至水平，然后在仪器前方（若干距离）船台中心线上所设的标杆（中心标杆）上打出水平点 P' ，并在船台中心线两侧所设的标杆

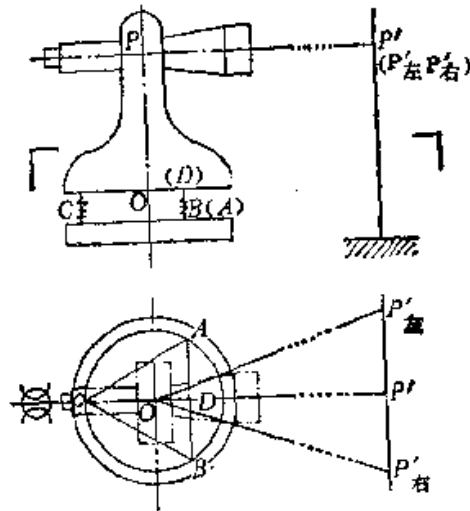


图4-4 调斜步骤（1）-对中医平设立辅助标杆

杆上也分别打出水平点 $P'_{右}$ 和 $P'_{左}$ 。此两标杆距中心标杆的距离一般为水舱面的半宽，且与中心标杆位于同一中心线的垂直面内，见图4-4。

（2）旋转激光管

根据经纬仪竖直盘读数，将激光管旋转一个相应于船台坡度的角度 α ，并在中心标杆上打出角度点 Q ，见图4-5，并

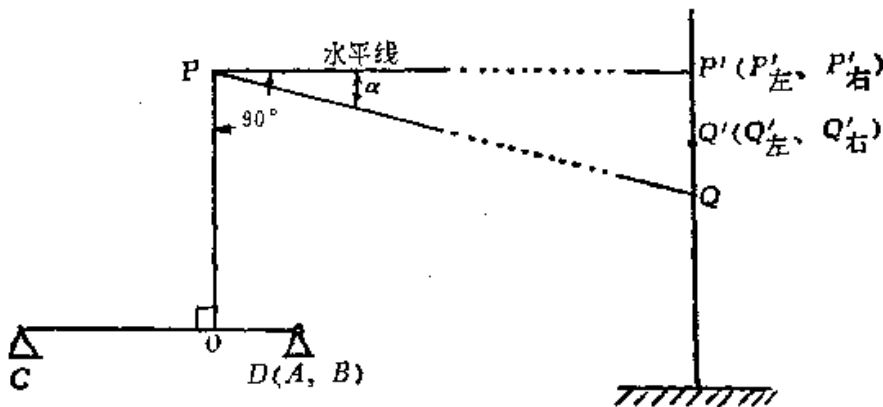


图4-5 调斜步骤（2）-找出倾斜激光平面与标杆的交点

将 Q 修正到 Q' (QQ' 为调斜修正值, 计算方法见后), 然后把 $P'Q'$ 值量到两侧标杆上, 也得到 $Q'_{右}$ 、 $Q'_{左}$ 。

(3) 调斜

将望远镜仍转回到与竖轴相垂直的位置, 并加以固定, 然后调节安平螺旋 C , 使上基面倾斜; 激光光斑则沿中心线上的 P' 移动到修正点 Q' , 见图

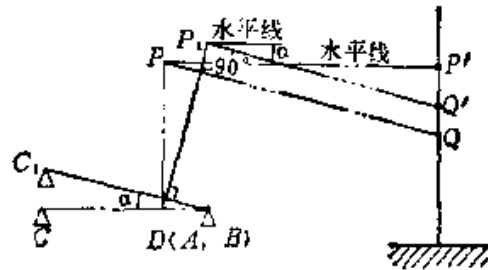


图4-6 调斜步骤(3)-调斜

4-6。然后旋转仪器, 检验是否和中心线两侧标杆上的修正点 Q' 重合。若不重合, 则微量调节另外两个尚未转动过的安平螺旋

A 、 B 中的任意一只, 直至光斑和三根标杆上的修正点都能重合为止。这时上基面即达到与船台平面平行的状态, 于是, 仪器调斜工作完成。

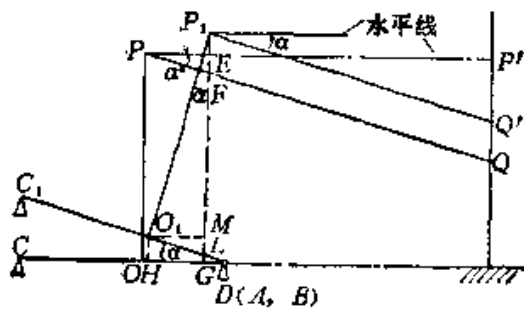


图4-7 调斜修正值的计算(几何法)

2. 调斜修正值 Δ 的计算

参阅图4-7。上基面 $\triangle ABC$ 倾斜后, 横轴与竖轴的交点——相当于激光束的发射点, 便从点 P 移动到点 P_1 。上基面 $\triangle ABC$ 和竖轴的交点, 即 $\triangle ABC$ 的重心也绕转动轴从点 O 移动到点 O_1 。

设上基面到横轴的高度 OP 为 h , 三只安平螺旋轴心的外接圆半径为 r , 上基面重心 O 到上基面转动轴的旋转半径为 R 。

对于第一种调节方法, AB 垂直于船台中心线, CD 和船

台中心线在同一铅垂面上。上基面 $\triangle ABC$ 绕轴 AB 旋转一个角度 α 后, 将和船台基面平行, 即 $\angle O_1 DO = \alpha$ 。过 P 和 P_1 两点作与水平面成 α 角的斜线并和中心标杆相交得 Q 与 Q' 两点, QQ' 即为修正值 Δ 。第一种调节法的 $R = OD = O_1 D$ 。

过 P_1 作水平面的垂线, 交上基面于 G ; 过 Q_1 作水平线, 交 $P_1 G$ 于 M ; 过 O_1 作水平面的垂直线, 交上基面于 H 。

$$\begin{aligned} \because & P_1 G // QQ' \text{ 和 } P_1 Q' // PQ, \\ \therefore & \text{修正值 } \Delta = QQ' = P_1 F = P_1 E + EF \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{又} \because & P_1 G \perp CD \text{ 和 } P_1 O_1 \perp C_1 D, \\ \therefore & \angle O_1 P_1 G = \angle O_1 D O = \alpha。 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{而 } P_1 E &= P_1 G - P O \\ &= P_1 M + M G - P O \\ &= O_1 P_1 \cos \alpha + O_1 D \sin \alpha - P O \\ &= h \cos \alpha + R \sin \alpha - h; \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{以及 } EF &= P E \tan \alpha \\ &= (O D - G D) \tan \alpha \\ &= (O D - L D \cos \alpha) \tan \alpha \\ &= [O D - (O_1 D - O_1 L) \cos \alpha] \tan \alpha \\ &= [O D - (O_1 D - O_1 P_1 \tan \alpha) \cos \alpha] \tan \alpha \\ &= [R - (R - h \tan \alpha) \cos \alpha] \tan \alpha \quad (3) \end{aligned}$$

将式(2)、(3)代入式(1), 整理后可得:

$$\Delta = h \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right) + R \tan \alpha。$$

这就是调斜修正值的计算公式。不同的调节方法, 其 R 值也不一样,

第一种调节方法, 点 O 绕轴 AB 转动, $R = OD = \frac{r}{2}$;

第二种调节方法, 点 O 绕过点 C 并垂直于中心线的轴转

动, $R = OC = r$,

第三种调节方法, 点 O 绕轴 CD 转动, $R = 0$ 。

α 为船台基面的倾角, 规定上基面转动 α 后, 点 O 升高,
 α 为正; 反之, α 为负。

Δ 为点 Q 的修正值, 规定 $\Delta > 0$ 时, 点 Q 向上修正; 反之,
点 Q 向下修正。

修正值的这种计算方法, 称之为几何法, 也可采用其他
方法, 如建立坐标的计算法来求得修正值。

3. J2-JD 激光经纬仪在坡度不同的船台上的修正值

J2-JD上基面到横轴距离 $h = 162$ 毫米, 三只安平螺旋中
心外接圆半径 $r = 55$ 毫米, 根据上述调斜修正值 Δ 的计算公式
进行计算, 计算结果见表4-1。

J2-JD激光经纬仪调斜修正值表

单位: 毫米

表4-1

调 节 方 法	旋 转 半 径 R	船 台 坡 度 α					
		1/19		1/20		1/22	
		$+3^{\circ}0'46''$	$-3^{\circ}0'46''$	$+2^{\circ}51'45''$	$-2^{\circ}51'45''$	$+2^{\circ}36'9''$	$-2^{\circ}36'9''$
第一种 调节法	27.5	+1.67	-1.22	+1.58	-1.17	+1.42	-1.08
第二种 调节法	55	+3.12	-2.67	+2.95	-2.55	+2.67	-2.33
第三种 调节法	0	+0.22	+0.22	+0.20	+0.20	+0.17	+0.17

表4-1列出了J2-JD激光经纬仪在坡度为1/19、1/20、1/22
的船台上三种调节方法的调斜修正值。各船厂可根据各自的
船台坡度和选定的调节方法, 分别选用表4-1所列修正值,
即可取得较精确的坡度基面。为了提高精度, 应将标杆设置
在距仪器较远的位置上进行调试。

第五章 船台无余量装配 与分段预修整

§5-1 船台及船台装配方式

船台无余量装配俗称“分段无余量大合拢”，是船体结构整体装配的工艺阶段。船台的类型基本上可以分倾斜船台和水平船台两类。纵向倾斜船台是我国目前船体建造和下水最普遍采用的一种型式。水平船台也有采用，因其合拢中的划线、测量、安装等工作都较倾斜船台方便，其操作技术要求较低。本书各章以纵向倾斜船台为主要介绍对象，水平船台不作专门介绍。

船台装配方式按分段在船台上合拢过程可分为四种主要方式：塔式装配法、总段装配法、岛式装配法及混合装配法。

1. 塔式装配法（图5-1）

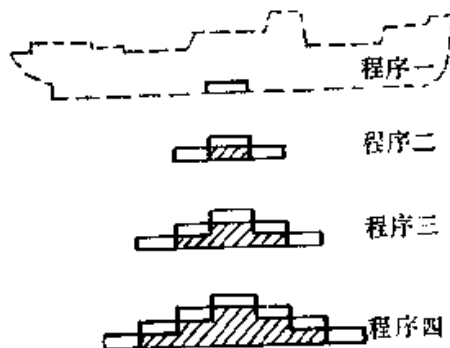


图5-1 塔式装配法

其形成船体的过程是从船中底部开始在船台上定位，并向前、后、左、右与向上发展的。由底部、舷侧、隔舱壁及甲板等分段所组成的船体部分形状如同一个有阶梯的塔一样，故名塔式装配法。

塔式装配法的优点在于，中心塔的长度不大，而截面刚

性较大,有利于减少和控制船体的焊接变形;同时,也有利于扩大施工面。因此,在建造中型船舶中得到了广泛的应用。

2. 岛式装配法 (图

5-2)

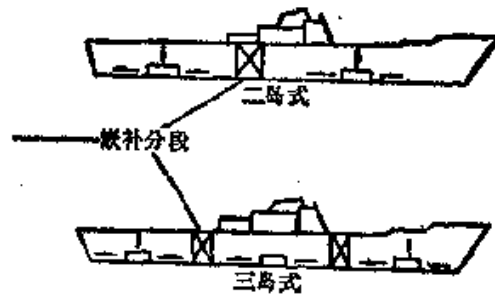


图5-2 岛式装配法

随着船舶主尺度的增大,若仍采用塔式装配法就显得船台周期长,且在船体建造初期,大片船台面积未能得到充分利用。采用岛式装配法便能弥补这一缺点。岛式装配法的实质与塔式装配法相同,只不过它沿着船长方向同时形成的中

心塔有二个或三个,分别称为二岛或三岛。岛与岛之间用嵌补分段连接之。岛式装配法适用于大型船舶的建造。

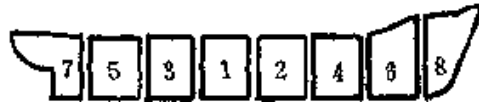


图5-3 总段装配法

3. 总段装配法 (图5-3)

总段装配法是船体以总段形式在船台上合拢的方法。它适用于小型船舶的建造。总段装配法中,由于船台合拢的结构是刚性甚大的环形立体分段,对减少焊接变形较为有利;装配和焊接作业仅是为数不多的环形对接缝,故有利于缩短船台建造周期;在总段制造的同时,还可平行地开展总段内的舾装作业,从而使下水后的舾装工作量大为减少。

4. 混合装配法 (图5-4)

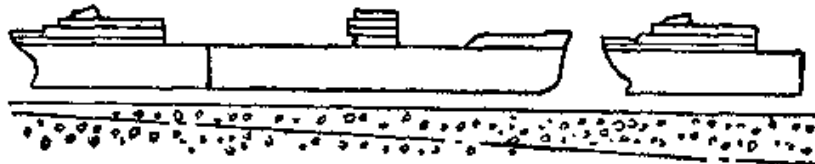


图5-4 混合建造法

混合装配法是一种充分利用船台面积的方法。当第一艘船舶在船台末端建造时，第二艘船舶的尾部在船台前端同时施工，待第一艘船舶下水后，便将第二艘船舶的尾部移至船台末端继续完成整个船体，且在船台前端又开始第三艘船舶的施工。此种方法能大大提高船台利用率，对于尾机型船舶尤为适宜。

选择何种船台装配方式，需视船舶类型、主尺度、船体结构的特点，船厂生产条件（包括船台上的工艺设备、装配焊接车间的面积及其设备能力等）及船舶生产计划而定。在一般情况下，选择船台装配方式应能保证缩短船台周期，且能达到优质、低消耗。本章在叙述船台无余量装配工艺时以塔式装配法为例，其理由有二：

1. 目前，我国各船厂均以建造中、小型船舶为主，故适于中型船舶建造的塔式装配法应用较多，而适于小型船舶建造的总段装配法，其装配工艺相似于塔式装配法中的底部、首、尾立体分段合拢的工艺。

2. 适于大型船舶建造的岛式装配法和适于批量生产的混合装配法其实质均与塔式装配法相同。故塔式装配法是具有代表性的。

§5-2 船台无余量装配的准备工作

为了使船台上的船体安装工作保质保量地完成，必须切实做好船台无余量装配前的准备工作，船台无余量装配的准备工作分为船台和船体两个方面。本节主要叙述船台准备工作，船体方面的准备工作分别于以下各节叙述。

1. 船台中心线

过去，船台中心线通常采用拉钢丝吊线锤方法划制，即

在船台中心线槽钢的两端分别焊上拉线角铁架(或槽钢架)拉一根钢丝,在钢丝两端处悬吊线锤,并调整钢丝使线锤位于槽钢中心位置,见图5-5。然后每隔若干距离悬吊线锤,便

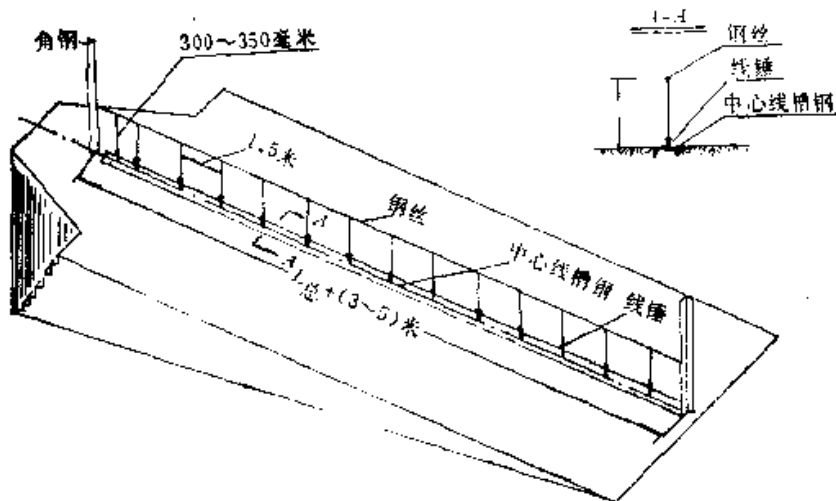


图5-5 拉钢丝吊线锤作船台中心线

可在中心线槽钢上得出若干点,将这些点子连成一条直线,并打上铽凿记号,即得船台中心线。从以上介绍可知这种拉钢丝吊线锤方法的操作手续是相当繁琐的,而且在风力较大的气候里进行操作时,其精度也很难保证,因此这种方法必然为新的先进的测绘方法所代替。

近年来,我国许多船厂均采用了激光经纬仪(或光学经纬仪)作船台中心线的方法。利用激光经纬仪作船台中心线时,将激光经纬仪安置在船台中心线的一端,使仪器的垂直轴对准槽钢的中心点 B ,见图5-6,并将仪器调平,使其发射的激光点对准中心槽钢的另一轴 A ,然后再使仪器发射出的若干激光点都落在直线 AB 上,将这些点连成一条直线(用化学白漆或鲜艳的油漆划直线并适当打上一些铽凿记号以防时间长了油漆脱掉),即得船台中心线。船台中心线划出后需经

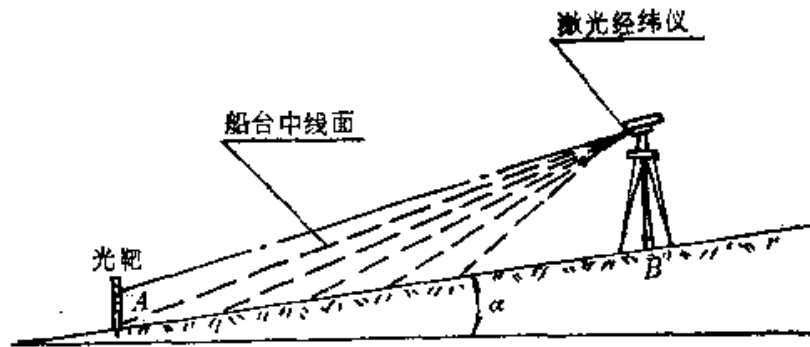


图5-6 利用激光经纬仪测划船台中心线示意图

复查并应保证误差不超过0.5毫米。

用激光经纬仪作船台中心线比拉钢丝吊线锤的方法操作大为简单，且能保证足够的精度，故凡具有激光经纬仪的船厂应采用激光经纬仪(或光学经纬仪)来作船台中心线。

2. 肋骨线

在倾斜船台上一般不设肋骨检验线，只在中线槽钢上划出各分段前后肋骨位置线，并用色漆注上肋骨号码，作为分段对准位置用。当船体基线坡度与船台坡度不等，则划肋骨位置线时应考虑船体基线在船台上的坡度。

为了在船台无余量装配过程中使用激光经纬仪的方便，可在船台的中部和首、尾部划若干船台中心线的垂直线(即肋骨线)，并打上铰苗作为记号，见图5-7。

3. 船台中心线两侧的平行线

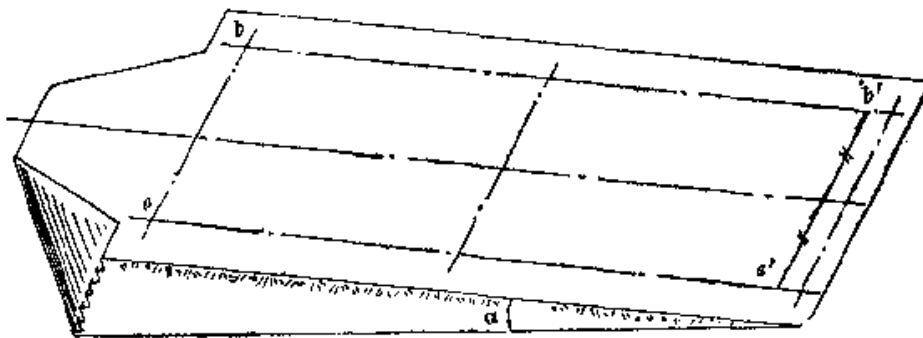


图5-7 船台中心线的平行线示意图

当船台中心线和首、尾的肋位线划好后，在船台中心线的两侧，且距船台中心线 $-\frac{1}{2}B+0.5$ 米~1米处(B 为船宽)各划船台中心线的平行线一根，见图5-7。预先划制平行线的目的也是为船台无余量装配过程中架设仪器方便。其划法是在船台中心线首、尾端处的垂直线上分别量取 $\frac{1}{2}B+1$ 米得 a 、 b 、 a' 、 b' 四点，然后应用激光经纬仪用划制船台中心线的方法分别划出直线 ab 和 $a'b'$ ，并打上铰凿作好记号。

4. 铺放墩木

在船台上需按墩木布置图铺放墩木，用以搁置分段。为了便于在船底进行工作，因此要求墩木有一定高度，通常为1.0~1.5米。布置在船体纵中剖面下的墩木称为龙骨墩，而位于两侧者称为边墩，见图5-8。

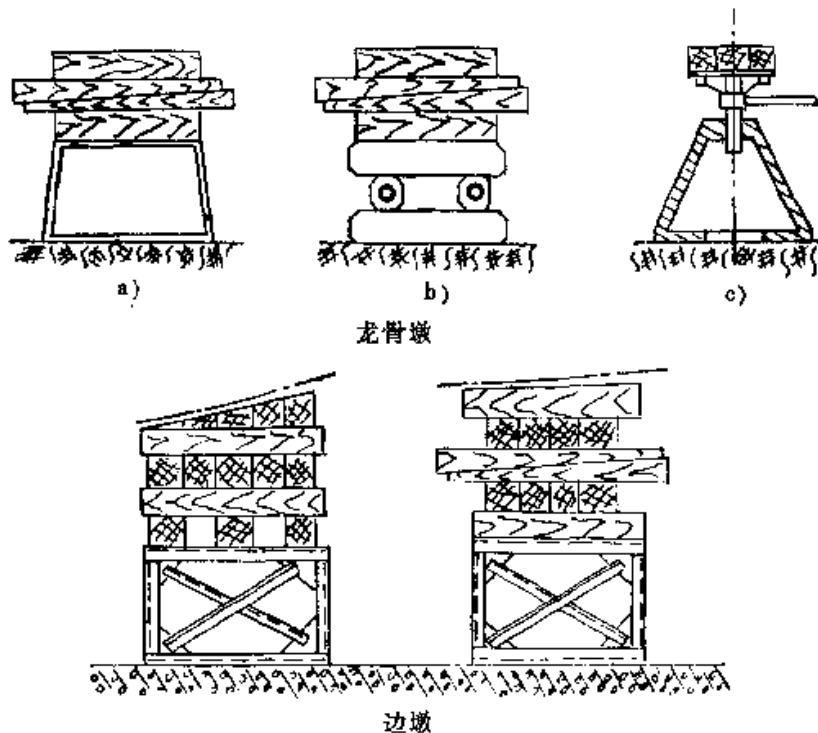


图5-8 龙骨墩与边墩

墩木有金属墩、水泥墩和木墩三种类型。其中金属墩、水泥墩一般用于墩的下部，木墩用于墩的上部。

为了测量船底挠度的方便，注意将龙骨墩的横向断面安排成“口”字形，如图5-9所示，以便能让激光束在船长范围内能穿过，这给船体挠度测量带来很大方便，且利于保证测量精度。

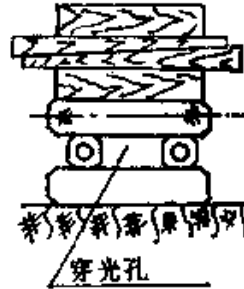


图5-9 龙骨墩横向断面示意图

5. 在龙骨墩上划制船底基准线

采用船台无余量装配工艺，船台上不需要单独树立高度标杆，而只需在龙骨墩下部（因为龙骨墩下部一般为铁质或水泥墩木，刚性好，不易变形）划上船底基准线即可。划的方法如图5-10所示，在船台顶端中心线处架设激光经纬仪

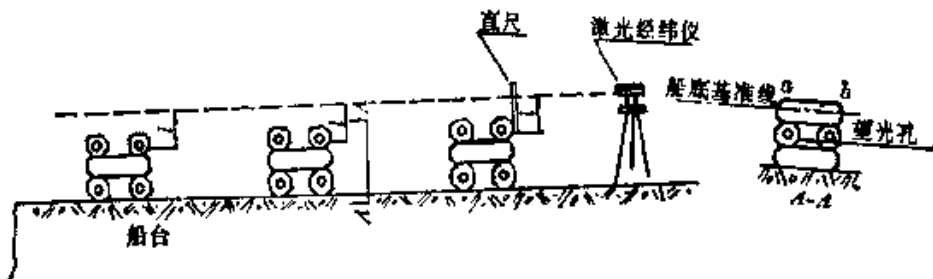


图5-10 船底基准线划制示意图

（注意激光经纬仪的高度要高于墩木的高度，否则激光束被墩木挡住而无法进行划线。）应用辅助标杆法把仪器调平置中后再调成船台坡度（引用辅助标杆），射出激光束并左右转动。在每个龙骨墩上划出 a 、 b 两点，连 ab 即为龙骨墩上的船底基准线，见图5-10。图中 l 为船底距激光束的距离，量

取时注意用冲势样板和水平尺配合，否则会出现误差而影响基准线的精度。

§5-3 船台大合拢后的船体 变形及船长缩短

众所周知，船台大合拢时，船体经装焊并矫正后，会引起收缩变形而产生总长缩短和首、尾两端上翘的现象。究其原因，大致有下列几点：

1. 因船底结构较强，船体结构的中和轴偏于船底，而大部分船台大合拢焊缝（包括上层建筑及舢装件）分布在中和轴的上侧，且距中和轴较远，故焊接后船体将显著上翘；

2. 位于中和轴上侧的上层建筑板较薄，焊后变形甚大，所以常出现波浪形，故相应地增加了水火校正工作量，造成首、尾上翘；

3. 一般来讲，中机型船的中体重量大于两端的重量，容易造成首尾上翘。

为了控制焊接变形，保证船体正确的主尺度与型线，在船台大合拢中除对小船采用两端加压法外，一般采取加放反变形的措施，以消除上翘。反变形是以底部奠基段为准，向首、尾逐段放低。图5-11为川江轮船台大合拢反变形的示意图。反

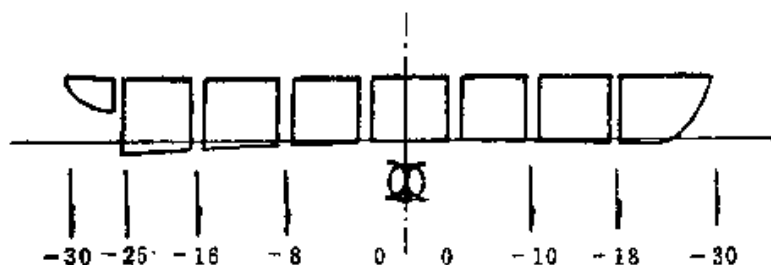


图5-11 川江轮船台大合拢反变形示意图

变形的具体数值应根据同类船舶建造经验取定，如“风雷”号建造时以底部奠基段为准，首、尾两端各放低50毫米，江南船厂“阳字”号万吨轮的反变形数值取作 $l/2000$ 比值，其中中体处的底部分段反变形值为零， l 为分段至船中的距离。

为了保证船体总长，消除因焊接收缩的缩短，分段大接缝间要加放收缩余量。

实行船台无余量装配工艺时，防止船体首、尾两端上翘的办法，不是在分段进行余量划线时采取施放反变形的措施（因为这样做会给划线工作带来很繁复的操作，而且不容易划正确）。而是采取其他种种措施来控制船体变形和船体总长的缩短。例如：

1.在底部分段定位时，在不影响合拢质量的前提下，尽量使分段靠近首或尾的一端的高度低于理论高度3~5毫米，即在分段合拢时施放微量的反变形；

2.与首、尾立体分段毗邻的船底、舷侧、甲板分段，在其与首、尾立体分段毗邻的那一端上留有余量，等船台上分段合拢并焊接后，再在船台上用激光经纬仪应用辅助标杆法来进行横断面划线（具体划法见§5-10），这样可以防止首、尾立体分段进一步上翘。

3.上层建筑分段尽量在分段装焊完毕后即进行火工校正，以减少上船台合拢后的校正工作，尽量减少对船体首、尾两端上翘的影响；

4.为了保证船体的总长，在放样时船体结构与肋距放长0.5毫米或1毫米；在分段进行预修整划线时，除了保证分段的理论长度外，还加放大接缝处的焊接收缩补偿余量2毫米左右。

上海船厂在建造13,000吨级的远洋货轮“丹阳”“绍兴”和“高阳”轮中，实行船台无余量装配时采用了上述四

“丹阳”、“绍兴”、“高阳”轮船底挠度测量记录 单位：毫米 表5-1

肋位号	F_0	F_{12}	F_{15}	F_{19}	F_{22}	F_{29}	F_{34}	F_{39}	F_{44}	F_{47}	F_{50}	F_{53}	F_{56}	F_{59}	F_{62}	F_{65}	F_{68}
数 值	“丹阳”轮	-20	-15	16	14	13	5	2	3	2	6	13	-10	-13			
	“绍兴”轮	-11	-15	2	17	8	-4	-1	8	-3	4	4	-8	4			
	“高阳”轮	9	-5	1	11	9	11	5	7	15	8	15	4	-17			

注：船底龙骨挠度数值，以相对于船底基线以上为(-)，相对于船底基线以下为(+)

“丹阳”、“绍兴”、“高阳”轮主要尺度（设计及建造尺度） 表5-2

名 称	设计尺度 (米)	建 造 尺 度 (米)			误 差 (毫米)		
		“丹阳”轮	“绍兴”轮	“高阳”轮	“丹阳”轮	“绍兴”轮	“高阳”轮
两柱间长	148.000	—	148.055	—	—	+55	—
总 长	161.900	161.817	161.989	162.013	-83	+89	+113
船中宽	21.200	21.190	21.188	21.201	-10	-12	+1
船中计算型深	12.500	12.510	12.510	12.515	+10	+10	+15

种措施，这三条船的船底变形以及首、尾上翘都比以往建造的同类型船舶小，船体主尺度也在我国标准公差范围内，见表5-1和表5-2。

从表5-2可以看出，“丹阳”轮的船长误差为负公差，而“绍兴”、“高阳”轮的船长误差为正公差。这是在“丹阳”轮的建造中，分段划线中没有加放大接头焊接收缩补偿余量，而在“绍兴”、“高阳”轮的建造中，分段无余量划线时每个大接头加放了4毫米的补偿余量的缘故。

§5-4 船台无余量装配的顺序

船台无余量装配的顺序总的来说是与传统的船台装配顺序相同的，只是在其中增加了底部分段企口线的划制与余量切割和首、尾部环形断面的划制与余量切割等工序。例如船台无余量装配采用塔式装配法时的装配顺序大致如下：

1. 吊装底部分段的奠基段（即中心塔）；
2. 吊装毗邻的底部分段；
3. 对底部分段企口线的划制与余量切割；
4. 吊装舱壁分段（下甲板以下）；
5. 吊装下甲板分段；
6. 吊装舷部分段；
7. 吊装舱壁分段（下甲板以上）；
8. 吊装上甲板分段；
9. 在船台上按上述顺序完成所有底部分段、舱壁分段、舷部分段及甲板分段合拢之后，对与首、尾立体分段相邻的环形断面进行划制与余量切割；
10. 吊装首、尾立体分段。

以上所述装配顺序不是绝对的，各个船厂各有所不同，

这是根据各船厂的工艺习惯而定的。

§5-5 船底分段的预修整及 船台一次定位

如前所述，为了望光、划线和船台吊装的方便，船底分段（以双层底分段为例）最好采用“一刀齐”工艺，即分段的内底板、外底板、内底纵骨、外底纵骨、龙骨、付龙骨都断于同一横剖面内。双层底分段制造可采用正造或反造两种方法，对于建造民用船舶来说，一般采用反造法较多，所以我们以反造法为例来介绍双层底分段的预修整工作。

1. 预修整前的准备工作

（1）分段制造中的准备工作

双层底分段开始分段制造时，即内底板（水舱面）在胎架上或平台上展开后，最好用激光经纬仪测划分段水舱面上的中心线和两端的断头线，并打上铰凿作为记号，这样做的好处是：有利于今后分段无余量划线时能找到准确的中心线作为望光划线的基准线；有利于检测和计算分段制造后的变形量和收缩量；有利于在分段制造中保证结构线与水舱面中心线的相对位置的准确性。

（2）划出船底中心线

当分段正面施工完毕尚未处于自由状态时，根据分段水舱面上的中心线，用线锤坠至船底K行板（即船底中心处的那行板）上划出船底中心线。若分段高度大于2.5米，则应用激光经纬仪来完成以上划中心线的工作，以确保船底中心线的准确度。

（3）预修整时分段固定状态的选择

当分段正面的装焊工作完成（分段的反面焊缝可待划线后并分段翻身后再行施焊，因为在划线后进行的焊接所引起的外底的微量收缩有利于分段上船台定位时施放反变形），并火工校正后，分段划线的固定状态可考虑以下三种形式：

- ①在胎架上呈自由状态；
- ②在胎架上呈紧固状态；
- ③吊离胎架正放在供划线专用的托架上。

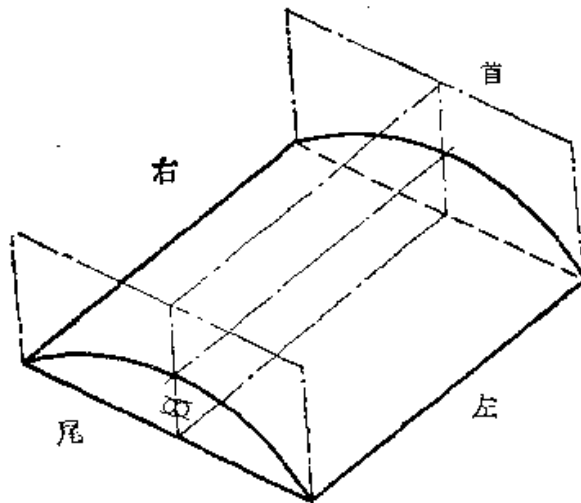
目前，在我国各船厂中采用第一种固定状态（即在胎架上呈自由状态）较多，其原因有二，一是操作简单，二是当分段处于自由状态时，消除了因外力而产生的变形，这对保证分段断头面划线的准确性来说是有利的。但应注意，当分段呈自由状态时，可能会产生微量的横倾和纵倾。分段横倾对分段断头面划线影响一般不大，不必调整；而分段纵倾则会造成分段断头面与船体横剖面（基准面）产生一个角位移。因此，当分段在采用此种固定状态时，必须在划线前先测量其变形情况并记录之，记录表格形式如表5-3。若分段底部首、尾处的高度差大于5毫米，则需要用油泵调整其水平度，因为分段底部平面是分段断头面划线和船台定位的基准面，它不平，会直接影响分段断头面划线和船台定位的精度，故切不可忽视。

目前，在我国某些船厂里也有采用第二种固定状态（即在胎架上呈紧固状态）的。它的优点是在划线工作前无须做准备工作，其缺点是采用这种固定状态，因底部分段断头面是在其与胎架呈紧固状态下进行的，当其呈自由状态时，就会出现纵倾变形，使分段断头面不垂直船体纵中剖面，为了弥补这一不足，只得在划线时采用加放一定数值的反变形。反变形值的加放方法，对于反造的底部分段，以内底板为0向龙骨底板方向加放；对于正造的底部分段，则以龙骨底板为0

双层底分段变形测量记录

表5 3

船名 _____



分段号..... _____

分段总长(理论)..... _____ (毫米)

分段实长..... _____ (毫米)

分段部位	肋位	船底挠度(毫米)		水舱面变形值(毫米)			
				左 舷		右 舷	
		标杆高	绝对值	标杆高	绝对值	标杆高	绝对值
首			○				
中					○		○
尾			○				

向内底板方向加放。其加放数值的大小根据经验确定。例如沪东造船厂在胎架上正造的25,000吨级货轮双层底分段(纵结构式)是按0.5/1000加放; 7,500吨级客货轮双层底分段(横结构式)是按2/1000加放。

加放反变形给分段断头面划线带来很大麻烦, 使划线操

作极其繁琐，而且也很不容易划正确，因而在分段定位时常出现接缝不吻合的现象，合拢质量不易保证。因此，这种固定状态只适用刚性特别好的底部分段和平面分段（例如甲板分段和傍板分段）。

第三种固定状态（即吊离胎架正放在供划线专用的托架上）是最理想的固定状态，因为它是在包括分段翻身后的反面焊缝全部焊完及火工矫正工作全部结束之后，将分段正放在供划线专用的托架上，这对保证划线质量提供了有利条件。

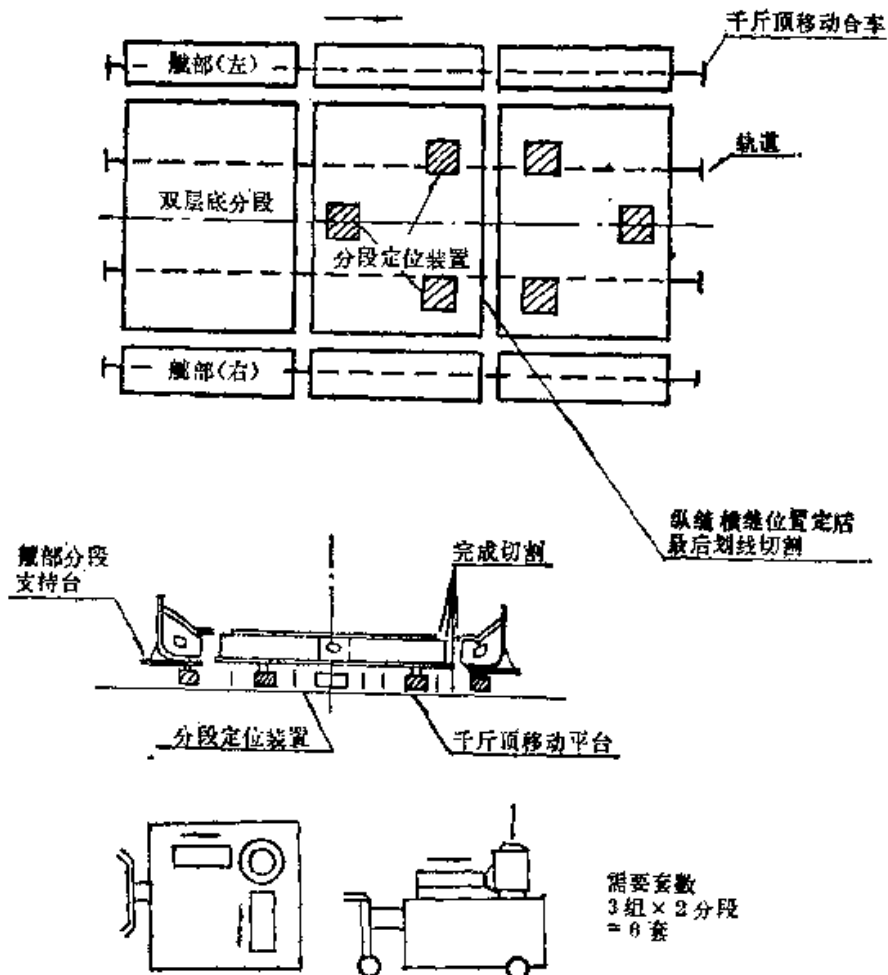


图5-12 用分段定位装置的预修整工场

件。但由于这样做，需要增加吊运、场地、定位等辅助工作量，因而目前我国尚还没有一家船厂采用此种固定状态，但随着船台无余量装配工艺的发展，各船厂会创造条件采用此种固定状态，以保证分段的无余量划线质量。例如某船厂在进行船厂技术改造时就设想了如图5-12所示的预修整工场。

(4) 分段预修整划线时间的选择

分段无余量划线时间的选择与划线地点有关，如果划线地点是在车间内场进行，划线时间可不受限制，随时均可进行；如果划线地点是露天外场，特别是在炎热的季节里，由于太阳的直接照射将会使分段（特别是薄板分段）因受热不均而产生较大的变形。为了消除温度不均匀而产生的变形，在炎热的季节里最好选择在早晨对分段进行划线，因为早晨分段的温度较为均匀，温差变形较小，即使划好的分段在炎热的中午上船台合拢也没有什么大关系，分段上部受热膨胀，而分段下部仍保持原尺寸，这样分段变形有利于在合拢时放点反变形，这对合拢没有什么坏处，而对防止船台大合拢的变形反而有好处。实践证明，在温差变化不大的季节，划线时间对划线的精度影响不大，只有在炎热的季节里，在露天场里进行划线时应注意选择适当的划线时间。

(5) 确定分段实长

在进行分段无余量划线前还必须确定分段的实长，分段的实长是根据双层底分段的理论长度 $l_{理}$ ，再加上分段两端大接头的收缩补偿量（每端为2毫米，此数值是根据实测整理而得。），即为分段实长 $l_{实}$ 。

即： $l_{实} = l_{理} + 2 \times 2 \text{ 毫米}$

2. 预修整步骤

(1) 架设仪器

对于底部分段进行无余量划线，仪器安放位置有如下三种：

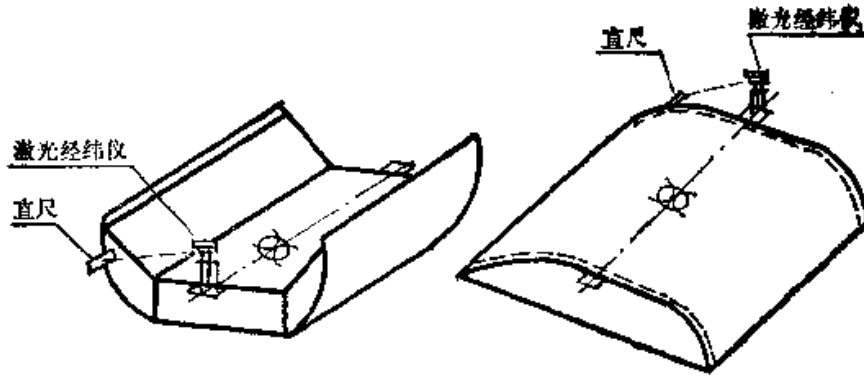


图5-13 仪器安置在分段上

①仪器的第一种安放位置(见图5-13)是安放在分段龙骨底板(反造时)或内底板(正造时)两端的中心线上。采用这种安放位置时，因为仪器定位瞄准线就是分段的中心线，这不仅操作方便(不须延伸中心线且在划线时可左、右舷对称操作。)，而且在划分段断头线时可减少累积误差，从而相对地容易保证望光划线质量。另外，对胎架周围的场地也没有什么要求。但是，在采用此种安放位置时应注意在望光划线时，其他工种不得同时在分段上进行操作，否则会引起分段振动而使仪器走动产生划线误差。这种仪器安放位置适于3,000吨以上的客货轮的底部分段预修整划线时采用，目前我国许多船厂得到广泛采用。

②仪器的第二种安放位置(见图5-14)是安放在延伸在胎架基础平台上的胎架中心线上(分段的首、尾处)。其优点是仪器不直接与分段接触，在操作过程中不会因分段振动而使仪器走动；其缺点是仪器定位瞄准线是胎架中心线，胎架中心线与分段中心线的不平行度会使望光、划线造成偏差。另外，在胎架的两头需要有适当的架设仪器的场地。

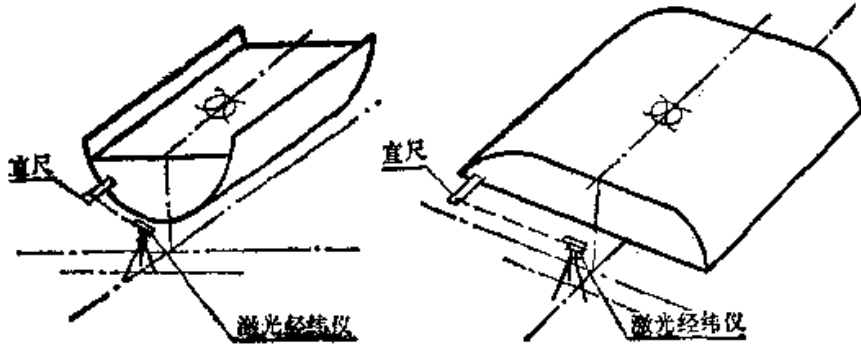


图5-14 仪器安置在胎架中心线上

实践证明，只要注意（精心操作）仪器定位瞄准线的准确性，望光、划线的精度是能够保证的，同时在安排胎架位置时注意在其两端处留有适当的场地安放仪器。这种仪器安放位置除了适于大、中型底部分段外，还特别适于首、尾立体分段的预修整划线。

③仪器的第三种安放位置(见图5-15)是安放在分段一侧

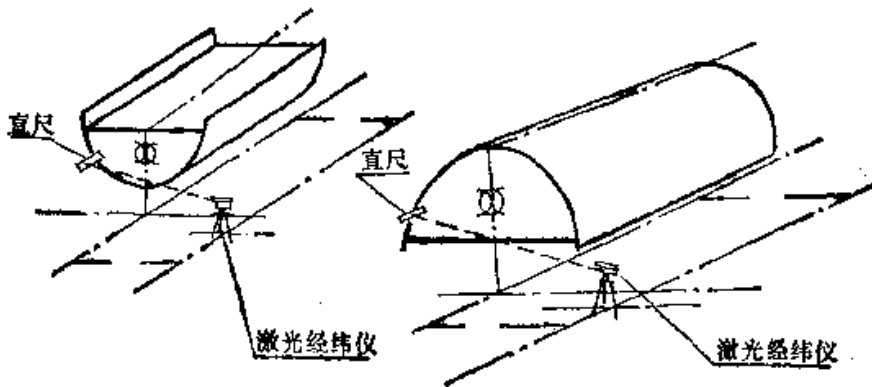


图5-15 仪器安置在胎架的一侧

的胎架基础平台上。仪器的定位瞄准线是距胎架中心线的距离为分段半宽 + 2.5米，是与胎架中心线平行的直线。此种安放位置最大优点是能弥补激光经纬仪存在2米最短视距及

工作死角的不足之处。而适于线型瘦、半宽不到2米的分段，同时还具有操作安全方便，不受分段振动的影响；其缺点是仪器定位瞄准线是胎架中心线的平行线，积累误差较大，因此在采用此种仪器安放位置时，对胎架的中心线的延伸和平行线的划制必须精心操作是保证望光、划线质量的关键所在。实践证明，对于小型分段预修整划线，仪器采用这种安放位置是比较适宜的，精度一般也能保证。另外，采用激光经纬仪（或激光准直仪）和五棱镜装置同时安置在胎架基础平台上的胎架中心线上，对小型分段进行划线也是可行的。

从上面叙述可知，仪器这三种安放位置各有其优缺点，应根据各船厂的具体情况（例如分段制造工艺情况、场地条件等）来决定。仪器安放位置确定后，将仪器架设在选定的定位瞄准线上，便可对分段进行划线工作。

（2）分段划线

在分段船底中心线处架设好激光经纬仪，进行分段断头面的划线，其方法是利用激光望出的点子，在有曲率的部分用样条把若干点连接成光顺的曲线，平直部分用直尺划出或用粉线弹出直线，同时划出与切割线平行且距离等于100毫米的轨道线。内底板（水舱面）上望出的点子，先打上铰凿并做好色漆记号，待分段翻身后再行弹直线（或用直尺划直线）。

（3）切割余量

分段余量是采用半自动气割机切割，并一次开好焊接坡口（焊接坡口大小视各厂焊接工艺而定）。切割时要求切割线上的铰子印留下一半，以便检验员检查切割质量；如果分段上船台合拢时出现质量问题，便可分清是划线者还是切割者的责任。分段内底板上的余量待分段翻身后再行切割。

分段的余量切割后，即为无余量分段。此时，分段的预修整工作即告结束。但应注意，这里所指的双层底预修整只是在分段两端的横向大接头处进行的。而双层底分段与傍板分段相接的“水平企口线”留待船台双层底分段接拢后再行划制，这样做的好处是消除双层底分段大合拢中电焊变形对下道大合拢工序的影响。

3. 船台一次定位

(1) 奠基段的选定和定位

众所周知，一般是选择分段重量大而位置适中的分段为奠基段（也叫基准段）。例如万吨轮一般是选机舱段为奠基段。因为机舱段重量大且机舱内工作量较大，这对船台分段定位有利，对今后船台生产展开有利。

奠基段定位时，应注意分段中心线与船台中心线吻合（用激光经纬仪测定，偏差不得大于2毫米）；分段左、右应水平（用激光经纬仪或水平仪测定，偏差不得大于5毫米）；分段前、后接头处的楞木墩高度须准确（根据龙骨墩上的基准线用样棒测量，偏差不得大于2毫米）。奠基段的定位质量的好坏，将直接影响以后毗邻分段合拢的质量，故应特别注意奠基段的定位质量。

(2) 毗邻分段的定位合拢

毗邻分段吊上船台合拢位置后，下面垫有支承弹子盘，见图5-16，所以该分段可以被轻便地拉动。毗邻段应注意使其一端接对已装好的分段，另一端必须使其中心线对准船台中心线，并使分段左、右水平、楞墩高度

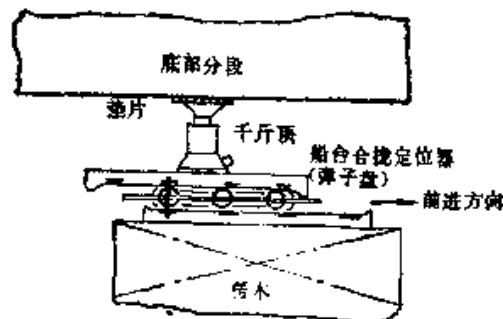


图5-16 移动分段合拢装置

准确（分段的一端与已定位的分段一样高，另一端的高度在条件许可的情况下可比理论高度低 3~5 毫米，即施放微量反变形。）其合拢公差标为：双层底中心线与船台中心线偏差 $\nabla 2$ 毫米；

左、右水平偏差 $\nabla 5$ 毫米；

楞墩高度误差 $\nabla 5$ 毫米。

（3）双层底水舱面中心线的划制

当双层底分段接拢并焊妥后，为了下一步安装横隔壁、甲板分段的需要，必须在水舱面上重新根据船台中心线划修正中心线，其划制方法是：利用激光经纬仪定位瞄准船台中心线，在已合拢的双层底分段的首、尾部处分别望出 A、B 两点，然后通过 A、B 两点做出双层底水舱面的中心线，见图 5-17 所示。

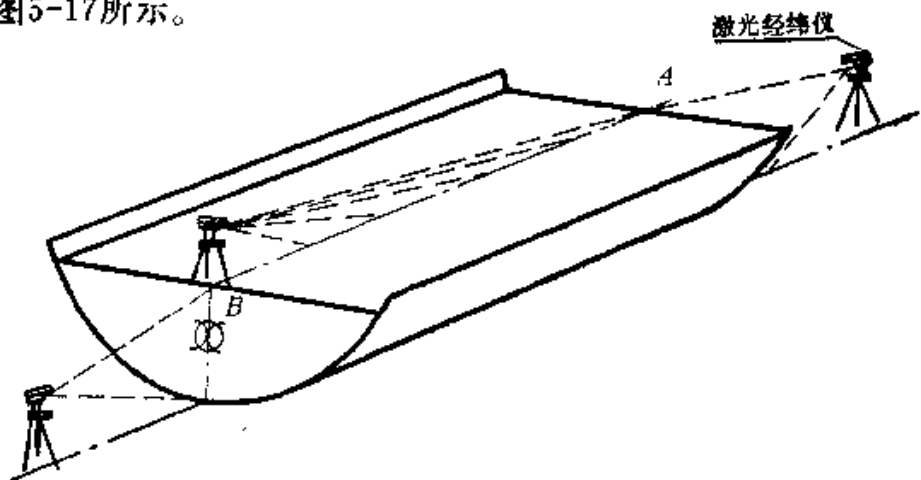


图 5-17 船台上双层底水舱面中心线的划制

4. 双层底分段一次定位中可能出现的不正常现象

在双层底分段一次定位合拢中可能出现以下不正常现象：

（1）在分段合拢中，两毗邻分段的中心线、左、右水平度、高度都满足了公差要求但大接缝却出现横向八字形，见图 5-18a）所示。大接缝横向八字形的出现主要是由于划线

时仪器定位瞄准线（基准线）不准确而引起的毛病，如果把仪器安放在分段中心线上进行测划，这种毛病就很少出现。大接缝上、下方向八字形的出现主要由于划线时分段前后端不水平而引起的毛病（如图5-18b所示）。如果在分段划线前检测分段前后端的水平度，并用油泵调整至水平后再行划线，这种毛病很少会出现。

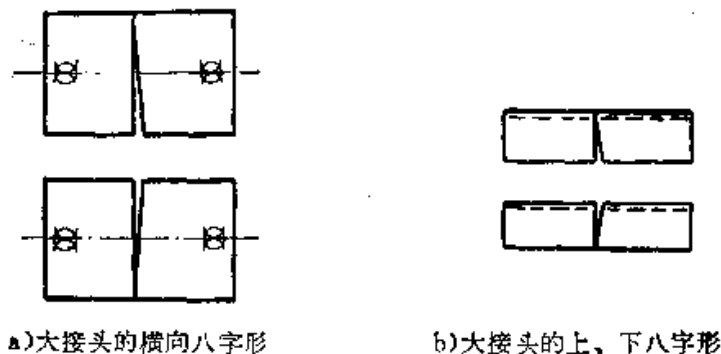


图 5-18

以上两种八字形的出现有时也可能是在划线过程中仪器走动了的缘故而引起。所以在望光结束时，应将仪器再回到仪器定位瞄准线（即基准线），检验望光过程的正确性。正确时，再行划线。

(2) 在分段合拢中还有一种情况是分段平直区的大接缝吻合良好，而转圆处不是“空”，就是“碰”。这是由于转圆处有圆势和劣势，望光的点子又太稀，划线时就容易造成误差，这样，造成了合拢时不是“空”，就是“碰”。防止的办法是在转圆处加密望光的点子，划线时注意样条光顺，切割时轨道排正确。

实践证明，只要在分段划线前做好充分的准备，划线时严格按操作程序操作，以上不正常现象是完全可以避免的。双层底分段船台无余量装配的优点是：吊装到位，接缝方便，大接头装配质量好，电焊质量容易保证，劳动强度大大

减轻，劳动生产率可提高一倍以上。

众所周知，双层底分段合拢焊接后，其水舱面必然会产生纵向挠度和横向变形，这对于横隔壁和傍板分段的无余量安装会带来很大的影响，因此必须详细地掌握双层底水舱面的变形情况，其具体的检测方法分别于§5-7和§5-9中详述。

§5-6 双层底“水平企口”线的划制

如前所述，为了给安装傍板分段创造有利条件，在双层底接成一条龙并划好水舱面修正中心线后，便可分区域进行双层底的“水平企口”线的划线工作（也可在一部分分段接拢焊接后就分区间进行“水平企口”线的划线）。现以“丹阳”轮为例来介绍双层底“水平企口”线的划法。“丹阳”轮双层底“水平企口”线按不同高度分为四个区域：尾高水舱区域 $F_{12} \sim F_{41}$ ；机舱区域 $F_{41} \sim F_{69}$ ；低水舱区域 $F_{69} \sim F_{159}^{+00}$ ；首高水舱区域 $F_{159}^{+600} \sim F_{138}$ ；（见图1-1“丹阳”轮分段划分示意图）。

现叙述低水舱区域“水平企口”线的划制，该区域从 $F_{69} \sim F_{159}^{+00}$ ，水舱面长68.10米，最大宽度为20.68米，其具体操作步骤如下（见图5-19）。

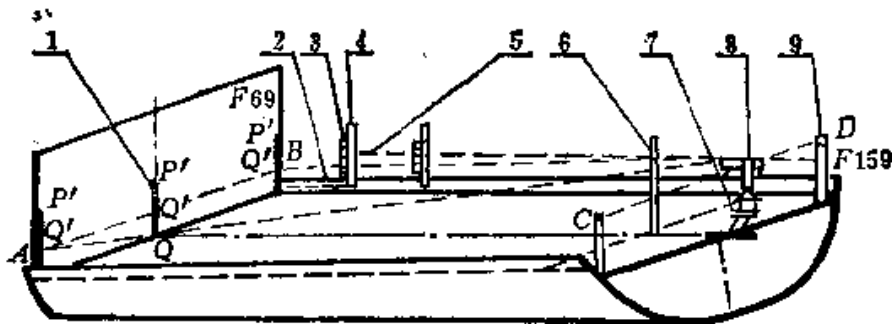


图5-19 双层底“水平企口”线的激光划制示意图

- 1-标尺，2-“水平企口”线，3-水平尺，4-划线样板，5-照准线，
6-标尺，7-支架，8-激光仪，9-标杆

1. 将仪器支架（自制）夹持于 F_{150}^{+600} 断面的内底板中部。

2. 将激光经纬仪安装于仪器支架上，使其对准内底板中心线（即水舱面的修正中心线），而使两只安平螺旋 A 、 B 轴的连线平行于肋位线（即与内底板中心线垂直），随之将其固定。为提高仪器的定位精度起见，用一块长1500毫米左右的直样板贴紧安平螺旋 A 、 B 的下基面的边，以模拟 A 、 B 连线的平行线，然后用目测法（也可在木样板两端挂两个小铅锤测定）调整仪器的位置，直到该直样板与肋位线平行为止，即行固定仪器。

3. 在 F_{00} 处设标杆三根——水舱面中心线处一根，水舱面左右舷各一根。

4. 将激光经纬仪对中调平，激光斑在 F_{00} 处的三根标杆上得投影点 P' ，然后将激光束调成与水平线成 $2^{\circ}51'45''$ 夹角。于是，激光斑又在中心线处的标杆上得投影点 Q ，再把 Q 修正到 Q' ，使 $QQ' = 1.58$ 毫米。这时，再将激光经纬仪调平，激光斑又回到 P' ，接着再调节螺旋 C ，使激光斑从点 P' 移到 Q' 。然后左右旋转激光管，在左右舷标杆上也得 Q' ，如果左右舷标杆上的 $P'Q'$ 也相等，则激光经纬仪的上基面已经调成船台坡度（ $2^{\circ}51'45''$ ）。此调节法即为“辅助标杆法”。

5. 取定“水平企口”线比内底板理论线（中龙骨处）高出的距离为200毫米，在划线样板上划定激光照准线。为减少由于样板倾斜所造成的误差，而在样板上缚一水平尺，使划线样板保持垂直位置，以保证所划出的每一点都在同一个平面内。这样每当激光斑照射到样板的照准线上时，便可划定一点，然后连成一线。

6. 划好左舷“企口”线后，让激光斑再回到中部，若仍

与初始点重合，就说明仪器未曾走动。

7.继续划制右舷“企口”线。划完后，亦让激光斑回到中部进行检验，若仪器没有走动，则整个划线过程是可靠的。

8.再用光学水平仪来检验所划的“水平企口”线。“丹阳”轮检验结果是：左、右舷同位置处误差1毫米，前后方向（即船长方向） F_{00} 处“企口”线标高为3401毫米， F_{150}^{+800} 处“企口”线标高为0，两者之间距离 $L=68.145$ 米，其理论冲势 $Y=L \cdot \sin 2^{\circ} 51' 45'' = 68145 \times 0.04994 = 3400.5$ 毫米，所以前后“水平企口”线高度差 $\Delta = 3401 - 3400.5 = 0.5$ 毫米这说明应用此法划线，精度完全适于造船。用同样的方法可划制首、尾高水舱区域、机舱区域的“企口”线。

这里所述的检验工作只是在试验中才做，在实践生产中不必做，特此说明。

9.用样条将望光所得的点连接成光顺的线，并打上铰凿记号，同时还划出与切割线平行且距离等于100毫米的轨道线。用半自动切割机（俗称“爬行割刀”）切割余量，“水平企口”线处的接缝边不开焊接坡口，因为傍板分段重达几十吨，如果“企口”线处开了焊接坡口，在吊装时，由于分段重力焊接坡口也容易被损坏，而且此处开了焊接坡口，船装配工作也带来不方便，故此处不开焊接坡口为好，而采用碳刨工艺为宜。

另外，在建造大型船舶时，在平行中体区进行“水平企口”线划制时，可采用一种操作简单的方法，即将仪器用自制专用支架安放在

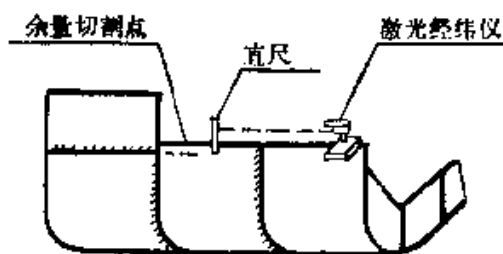


图5-20 平行中体水行企口的划制

“企口”板上缘，见图 5-20，将仪器对中(“企口”线)，调平，然后在竖盘指标水准器水泡影象吻合的情况下转动望远镜，将竖盘数置于 $87^{\circ}8'15''$ 的位置上(指在坡度为 $2^{\circ}51'45''$ 的船台上)，发射激光束；并根据“企口”理论高度在划线样板上划定激光照准线，便可进行划线。

这种方法虽有操作简便的优点，但只能单舷操作，操作稍有不当，左、右舷的划线可能会出现不同程度的不对称现象。而且还应注意此法只适于平行中体区域而不能用于具有曲度的区域，这是因为这种操作方法只简单地将仪器的视准轴调到与船台坡度相平行的位置上，此时由于视准轴与竖轴不再保持垂直，因而当转动仪器照准部时，激光束的运动轨迹是一个以竖轴为中心线的圆锥面，而不是与船台坡面平行的等高面，故不能用于具有曲度区域的企口划线。

此外，在建造具有边水舱的大型船舶时，在具有曲度区域的底部分段上划制“水平企口”线时，还可以采用激光经纬仪与五棱镜装置配合使用进行划线(如图5-21所示)。此种方法从理论上说是完全成立的，但目前五棱镜装置的安放尚未很好解决，故船厂中还没有具体使用的例子。

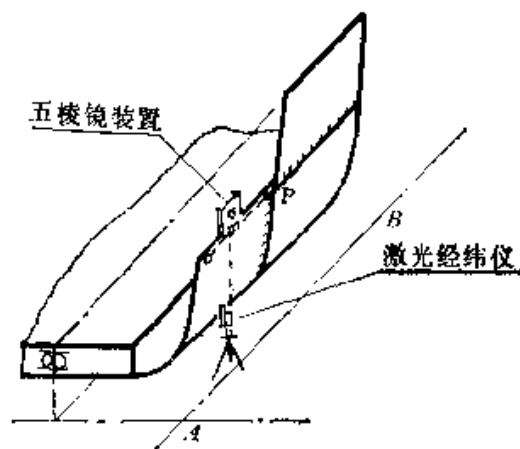


图 5-21

§5-7 横隔舱壁的预修整及 船台激光定位

对于一条万吨级的船舶来说,一般总有好几道横隔舱壁,例13000吨远洋货轮“丹阳”号第二甲板下便有6道波形横隔舱壁。当双层底分段合拢焊接后,必须先测量双层底水舱面的变形并记录之,掌握双层底水舱面的变形情况后才可以进行横隔舱壁的预修整工作和船台定位。

横隔舱壁的预修整及船台激光定位步骤如下:

1.测量全船横隔舱壁处双层底水舱面中心线处的挠度,并记录之,记录表格形式如表5-4。其测量仪器为激光经纬仪或激光准直仪。

双层底水舱面中线处挠度记录表

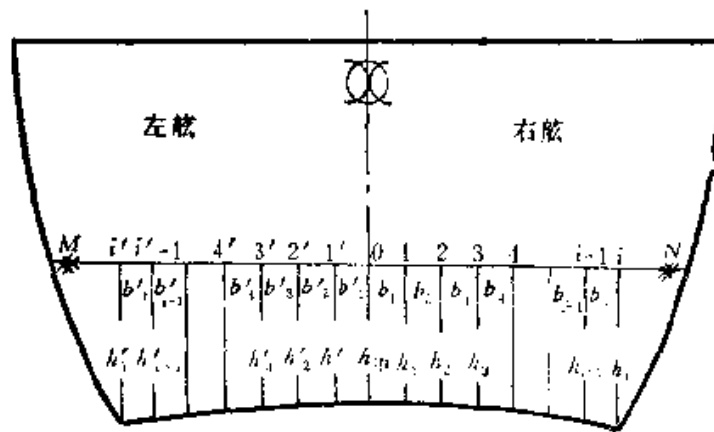
表5-4

横隔舱壁位置 (肋位号)	F_x (已知)	F_y (已知)	F_z (已知)	F (已知)	F (已知)	F_k (已知)
挠度测量值 (毫米)						
挠度修正值 Δ (毫米)						

2.测量双层底水舱面横舱壁位置处的变形并记录 h 值(见图5-22)。测量仪器使用一般的水平仪即可。图5-22中 h 为望光平线距水舱面中心线处的高度(一般取为1米左右,以便于操作), h_1, \dots, h_n 为右舷处的高度, h'_1, \dots, h'_n 为左舷处的高度, b 为测量点间的距离,其值一般取为内底纵骨间的间距,即750毫米左右, b 值取得越小,测量结果越接近实际情况,测量的记录形式可按表5-5。

橫隔艙壁預修整划線數據

表5-5



船名 _____ 肋位 _____ $h_{中} =$ _____ 毫米

左 舷			右 舷		
序 号	b' (毫米)	h' (毫米)	序 号	b (毫米)	h (毫米)
1'	(定值)		1	(定值)	
2'	(定值)		2	(定值)	
3'	(定值)		3	(定值)	
4'	(定值)		4	(定值)	
5'	(定值)		5	(定值)	
6'	(定值)		6	(定值)	
⋮	(定值)		⋮	(定值)	
$i' - 1$	(定值)		$i - 1$	(定值)	
i'	(定值)		i	(定值)	

3. 根据双层底水舱面中心线处的纵向挠度情况对横隔舱壁中心线的理论高度 H 进行修正, 修正值 Δ 可为正数、零、负数, 参见表5-4。

为什么要测量全船所有横隔舱处的双层底中心线处水舱面的纵向挠度、每道横隔舱的理论高度 H 进行修正呢？这是因为双层底分段在合拢定位、焊接后，不可避免地要产生变形挠度，各道横隔舱处水舱面的实际高度已和理论高度有一误差（ Δ 值），且各道横隔舱处的误差 Δ 值的数值是不一样的，为了使各道横隔舱壁的上端能在理论高度上（即使前道工序产生的误差不影响后道工序的正确），为甲板分段定位安装创造有利条件，故需根据双层底水舱面纵向挠度情况对每道横隔舱壁的高度进行修正。这种使前道工序产生的误差，不影响后道工序的施工方法（即施工误差不累积的施工方法），对于保证船体建造质量是非常重要的。船台上“水平企口”线的现场划制也是应用了这一原理。

4. 对横隔舱壁高度修正后，再根据横隔舱壁处双层底水舱面横向变形情况，见图5-22。进行横隔舱壁下口的余量划线和余量切割。

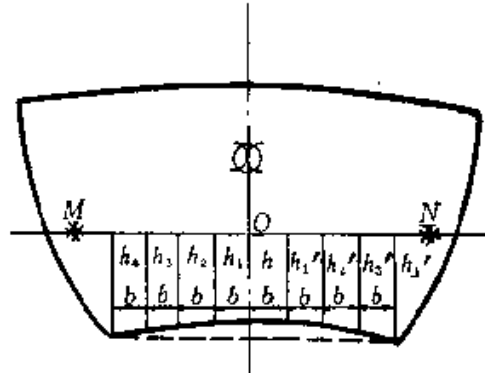


图5-22 横隔舱无余量划线示意图

(1) 先从横隔舱壁中心线处的上口量取 $(H + \Delta) - h_{中}$ 得 O ，过 O 作横隔舱壁中心线的垂直线 MN 。

(参见图5-22) 作垂直线时最好是采用激光经纬仪来划角尺线，精度较高。

(2) 以横隔舱壁中心线为准分别向左、右舷量取 b 并做中心线的平行线，从水平线 MN 起在舱壁中心线及其各平行线上向下量取 $h_1, h_2, \dots, h_n, h'_1, \dots, h'_n$ ，并用样条把若干点连接成光滑的横隔舱壁的下口线，见图5-22。

(3) 切除舱壁下口的余量。

5. 船台激光定位

将不带余量的横隔舱壁吊上船台安装定

中心线对准双层底水舱面中心线，其上端中心线用激光经纬仪复验，与双层底水舱面中心线的偏差不得大于3毫米。其冲势用激光经纬仪调成船台坡度后（即用辅助标杆法调整仪器）测量调整。如图5-23所示。此时所得舱壁冲势偏差不得大于8毫米，这比用挂铅锤测量精确得多。

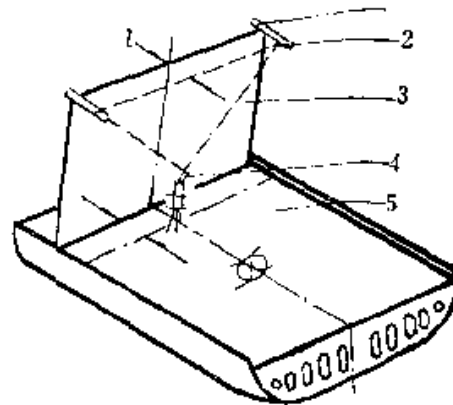


图5-23 横隔舱壁激光定位示意图
1-划线样板；2-照准线；3-横隔舱壁；
4-激光经纬仪；5-内底板

纵向隔舱壁预修整的基本原理和操作方法同横隔舱壁，只要注意按双层底的纵向变形情况划线即可。这里不一一陈述。

由于舱壁（包括横向和纵向的）采用无余量合拢，因而吊装方便，大大有利于安全生产，而且由于采用激光经纬仪进行船台定位，装配精度得到显著提高。

注：当双层底分段采用反造法工艺时，横向隔舱壁在船

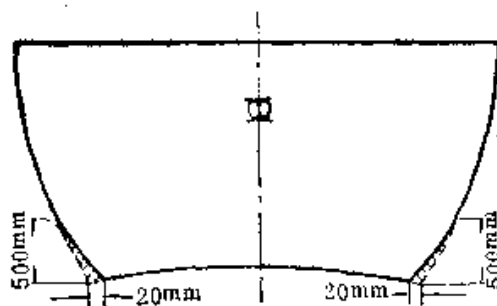


图5-24 横隔舱壁补偿余量施放示意图

台吊装合拢时在其左、右舷部会出现空缺现象（一般为20毫米左右，见图5-24），这是由于双层底分段反造时的变形所致，故横隔舱壁下料时宜在其左、右舷

舳部 500 毫米高度内（从下口往上量）各放出 20 毫米余量，以克服上述缺陷。

§5-8 甲板分段的预修整及 船台激光定位

1. 甲板分段的预修整

在采用船台无余量装配工艺时，甲板分段一般是采用“一刀齐”工艺的。而甲板分段的制造一般均采用反造法，其胎架一般是水平的或是具有抛、昂势的。当甲板板在胎架上拼拢并焊妥后（指完成正面焊），一般是用激光经纬仪划制甲板中心线与肋位线（即横梁线）和检验甲板中心线与肋位线的垂直度，以保证分段预修整时划线的正确。当分段制造完工并经火工矫正后（此时甲板板反面的焊缝尚未焊，但对划线影响不大），即可开始进行预修整工作，其步骤如下：

（1）确定分段实长

甲板分段的实长是根据双层底相应肋位的实长而确定的，例如某甲板分段（ $F_{70}^{+150} \sim F_{90}^{+150}$ ），肋距是 750 毫米，其理论长度是 15 米，但该船双层底 $F_{70}^{+150} \sim F_{90}^{+150}$ 的实长为 15.05 米，故该甲板分段的实长取为 15.05 米，这样做的目的是保证甲板肋位与双层底肋位的一致性，而有利于傍板分段的安装。

（2）架设仪器

仪器架设的位置类似于双层底分段划线时的位置，即有三种安放位置：①利用自制的仪器架固定于分段前、后端的倒挂龙骨上；②利用三角架架设在分段前、后端胎架的中心线

上；③利用三角架架设在分段一侧的胎架中心线的平行线上。根据各船厂的具体条件可选择其中一种。

(3) 划制分段断头线

仪器安放位置选定后，即根据基准线（即甲板中心线或胎架中心线、胎架中心线的平行线。）定位瞄准，并根据分段实长确定断头位置，然后划定分段两端的断头线并打上铊凿、做好记号。

(4) 切割余量

首先根据断头线切除分段两端内构架（即中龙骨、付龙骨、纵骨等）的余量。甲板板的余量的切除分两种情况处理：①甲板基准段：在分段翻身后将甲板板的余量切除，并按焊接工艺要求开好焊接坡口，然后吊上船台安装定位；②甲板毗邻段：在分段翻身并吊上船台定位后，再切割其两端的余量，使用半自动切割机切割、并按焊接工艺要求开好焊接坡口。这样处理的好处是减少甲板分段翻身停放的时间，有利于分段翻身场地的周转，同时甲板板的余量还可以起临时“靠山”（定位）的作用。否则在分段定位时还得装焊临时的“靠山”。

2. 甲板分段船台激光定位

(1) 基准分段定位

其两端均无余量，定位时要注意其中心线及前后位置与相应的双层底一致。

①定中心线：将激光经纬仪架于双层底内

底板中心线处，调整仪器使激光束处于纵中剖面内，移动甲板，使甲板中心线与激光重合即可。前后两端中心线的定位

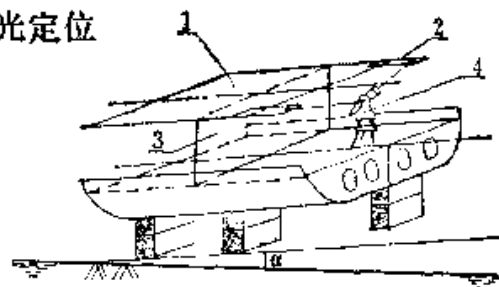


图5-25 甲板的激光经纬仪定位
1-甲板；2-划线样板；3-横隔板壁；4-激光经纬仪

方法均一样。

②定冲势（即前后位置）：如图5-25所示。

第一步，将仪器架于双层底内底板中心线处（与甲板分段端部相应肋位处），并将激光经纬仪用辅助标杆法调成船台坡度。

第二步，量取仪器中点到选定肋位的距离，并根据这一距离在划线样板上划出激光照准线。

最后一步，调整仪器使激光束处于横剖面内，并使激光束分别打到甲板左右处的划线样板上，移动甲板分段使样板上的激光照准线与激光斑重合，这样，甲板前后位置就能达到正确地定下来。

（2）毗邻甲板分段定位

①定中心线：分段一端的中心线与已装好的基准段中心线重合，分段另一端的中心线的定位法与基准段相同。

②定冲势：其方法与基准段相同，主要是检验甲板分段与双层底相应肋位的一致性，为傍板分段船台一次定位提供第一性资料和创造良好条件。

甲板分段应用激光经纬仪定位，质量良好，甲板中心线与双层底水舱面中心线的偏差可控制到不大于3毫米，甲板肋位与双层底水舱面的偏差可控制到不大于10毫米，为傍板分段船台一次定位提供了良好的条件。

§5-9 傍板分段的预修整及 船台激光定位

我国各船厂过去对傍板分段船台装配均采用有余量合拢工艺（即二次定位），劳动强度大，吊装速度慢、准确性

差。近年来随着测试技术的发展,不少船厂开始采用傍板分段船台无余量装配新工艺,取得了良好的效果。例如上海船厂在“丹阳”、“绍兴”轮的建造中,傍板分段采用了船台无余量装配工艺、船台大合拢基本上实现了无余量合拢(一次定位)。全船共17对傍板分段中除 $F_{12} + 200$ 、 $F_{180} + 300$ 两个接头的一面留有余量外,其余接头均无余量,见图1-1“丹阳”轮分段划分图。这里就以比例来介绍傍板分段的预修整及船台激光定位。

制造“丹阳”、“绍兴”轮傍板分段的胎架,除了平行中体部分的平直傍板外,其他部位凡具有曲度的傍板分段均采用单斜切胎架(主要是考虑划线方便)。

傍板分段预修整的实施步骤如下,见图5-26。

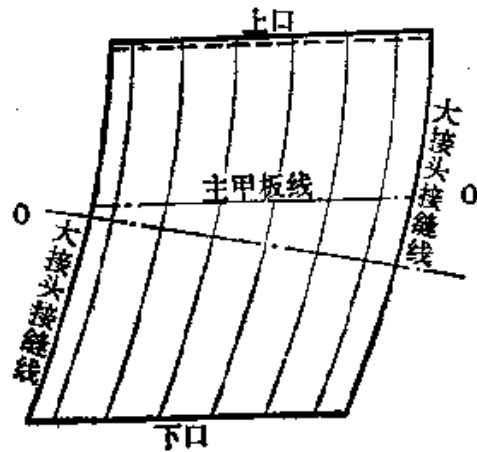


图5-26 舷侧分段余量划示意图

1. 首先制造好胎架,然后傍板上胎架拼拢并焊接(反面的焊缝尚未施焊,其后焊缝的收缩甚微),再应用激光经纬仪开始划线工作,首先划出分段的基准线及前后理论断头线和肋位线,再根据基准线分别到主甲板线和分段下口线(即“水平企口”线)的实长(事先在放样台上量好并做好样棒),每隔两档肋位量一点,并用样条把若干点连接成光滑的主甲板和傍板下口线。实践证明:傍板分段的内结构装焊后,分段的断头线处收缩甚微,按预先划好的断头线切割余量是可行的。

2. 在船台已合拢好的双层底上,测量双层底每一肋位处“水平企口”线到水舱面的实长以及傍板肋骨与双层底水舱

面接合处的水舱面的水平差值 Δ (此差值为制造双层底分段时焊接变形所致)。测量数据按表5-6形式记录。

单位: 毫米 表5-6

肋位	右 舷			左 舷		
	水舱面至企口线实长 l	梁脚宽 b	b 内水舱面水平差值 Δ	l	b	Δ
		(已知)				

3. 定位段的预修整

所谓定位段即是第一对上船台安装的傍板分段, 当其内构架 (包括肋骨、旁龙骨、甲板边板等) 装焊完毕并经过火工矫正后, 根据表5-6所记录的数值 (l 、 b 、 Δ), 以傍板下口线为基准划出肋骨断头线, 并切割其余量; 分段外板的前后断头线及下口线均按步骤1. 中划定的线进行切割余量, 其前、后断头线处按焊接工艺要求开好焊接坡口, 而下口线处不开焊接坡口。

4. 毗邻段的预修整

当毗邻段的内构架装焊完毕并经火工矫正后, 即可按照步骤2. 所述的办法划出肋骨断头线。再根据已装好的毗邻傍板分段与双层底相应肋位差值及冲势差值 (冲势差值是用激光经纬仪使用辅助标杆法进行测量的。如图5-28所示。), 对待装的傍板分段毗邻的断头线进行修正 (这样逐段地消除傍板大合拢时产生的误差, 能防止定位误差累积而确保傍板合拢的质量); 外板的另一端及下口线则按步骤1. 划定的线切割余量。下口线处不开焊接坡口; 前后断头线处按焊接工艺要求开好焊接坡口。

从步骤3.和4.的介绍可知：在傍板分段预修整中，分段肋骨断头线的划制是极其繁琐的。如果船舶设计部门把傍板分段与双层底分段接合处的节点改为图5-27所示的形式（这种形式已在国外设计船舶时采用，例如丹麦为我国建造的多用途船“嫩江”轮就采用了这种节点形式），则会给傍板分段预修整工艺带来很大的方便，肋骨不再需划断头线了，散装的三角板为塔接形式也不存在修整工作了。

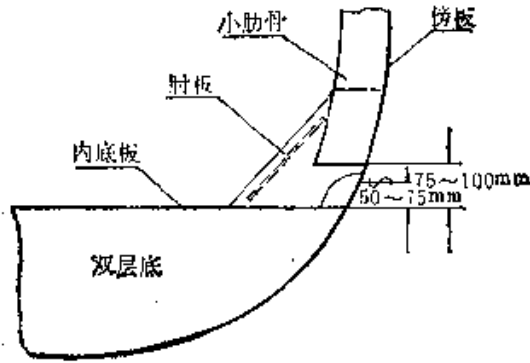


图5-27 双层底与傍板连接的节点示意图

5. 船台激光定位

船台上安装每一傍板分段时都必须有校正线，即预先选定分段内的某一肋位及某一水线，以利检验该分段甲板肋位与双层底肋位的一致性（即傍板冲势）以及分段的高度正确与否。傍板冲势应用激光经纬仪采用辅助标杆法来进行检测（如图5-28）。傍板分段船台无余量装配对于定位段的定位

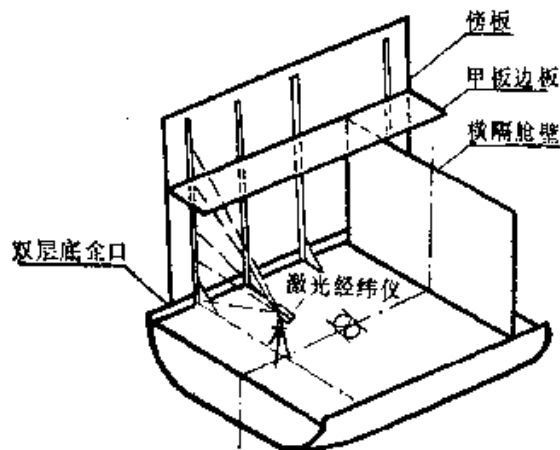


图5-28 傍板分段激光定位示意图

精度要求较准确，否则会影响毗邻分段的安装精度。

傍板分段船台无余量装配的优点除了能减轻装配工种的劳动强度、保证产品质量，有利安全、文明生产外，最突出的优点是吊装方便、大幅度减少船台吊车配合时间。吊装一个傍板分段由原来的二小时减少为30分钟左右。

6. 几点附注：

(1) 傍板分段的无余量合拢工艺，最好是配合垂直自动焊工艺一起采用，这样对船台装配要求就可相对放低，可谓“锦上添花”。故有条件的船厂应同时推广这两项工艺。

(2) 傍板分段的上口线（即傍板企口线），在分段预修整划线时也应画出，但不切除其余量，待傍板分段都在船台上合拢好后，再进行适当修正，画出光顺的傍板企口线，然后再用“爬行割刀”切除余量。

§5-10 船台上首、尾部无余量环缝的划制

如前所述，为了防止首、尾立体分段上翘，将与首、尾立体分段毗邻的底部分段、舷侧分段、甲板分段分别留有一定数量的余量（一般为30~50毫米）。同时还为了实现首、尾立体分段在船台上的无余量装配（首、尾立体分段已在胎架上进行了预修整），就必须将这个大接头处的余量在大合拢之前切除。要保证船台上这个大接头环形断面的划线质量，即既要使两段合拢接缝平面一致，又要与船体纵中剖面严格垂直，就需要采用精确度较高的测量技术。目前采用如下两种划制方法，现介绍如下：

1. 直接利用激光经纬仪划制（见图5-29）

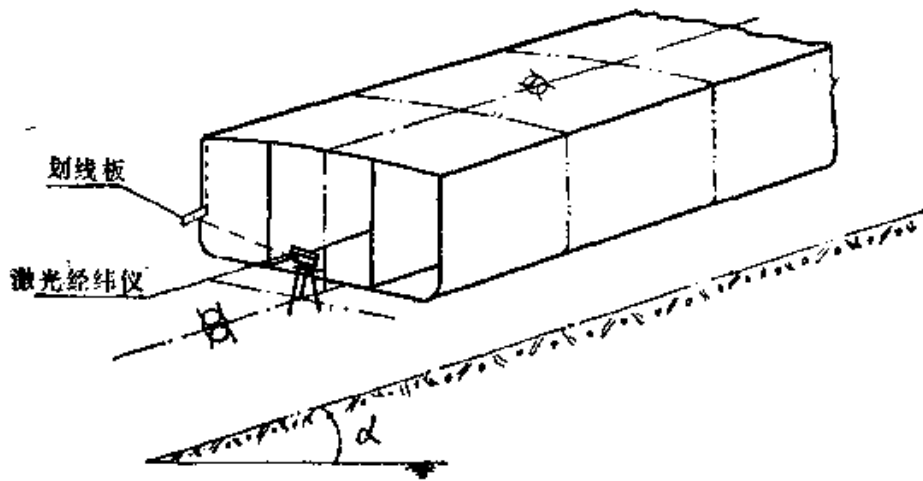


图5-29 直接利用激光经纬仪划制首、尾部断面示意图

将激光经纬仪架设于离接缝线300~500毫米的船台中心线上，应用辅助标杆法将仪器调成船台坡度，仪器发射的激光线面便是一个垂直于船体纵中剖面的平面，该平面即为划线时的参考平面，划线时便可以该参考平面为基准，量出接缝线位置。划线时注意在曲度大的部位点于多望一些（一般200~300毫米望一点），然后用样条把若干点连成光滑曲线，并画出切割规道线（距切割线100毫米），用半自动切割机切割余量（并按焊接工艺要求一次开好焊接坡口）。划线前的准备工作是在大接头区域搭好脚手架。

运用此法在船台中心线上架设激光经纬仪对正船台中心线有困难时（因有龙骨墩阻碍视线），可将激光经纬仪架设于与船台中心线距离为500~700毫米的平行线上。

用此种测量方法划线，能使整个横剖面的精度达 ± 1 毫米，此精度完全满足船台无余量装配的要求。例如上海船厂在制造5,000吨级矿砂驳时，在倾斜船台上应用此法划制首、尾环形断面，在20米 \times 5米的横剖面内精度达到 ± 1 毫米，在八条矿砂驳十六个环形大接头合拢中做到了不垫板、不修

整，在“高阳”轮建造中采用此法划制尾部断面，在21.2米×12.5米的横剖面内也做到不修整，不垫板，说明了此法在生产实践中是可行的。

2. 采用激光器与五棱镜配合划制

采用激光仪（激光经纬仪或激光准直仪均可）和一个能将光线精确地折射成90°角的五棱镜来进行大接头的划线，见图5-30。射入棱镜的光线应与船体基线平行，以射线的中

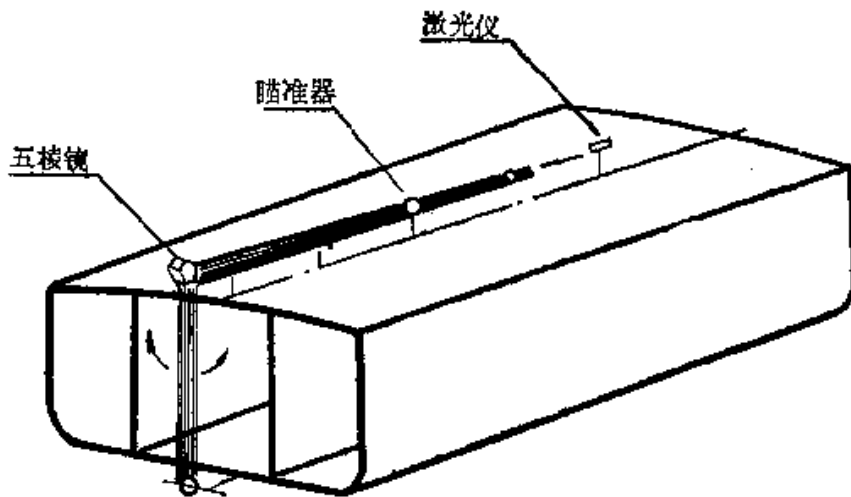


图 5-30

心线为轴转动棱镜，棱镜旋转所形成的折线面便是一个垂直于船体纵中剖面的平面，该平面即为划线时的参考平面。

棱镜折射所构成的参考平面应离接缝线有一定距离，以便扫描光线不致碰到结构及脚手架上。划线时便可以该参考平面为基准，量出接缝线的位置，并将其余量割除，然后按焊接工艺要求开好焊接坡口。

激光仪与棱镜之间最好装有瞄准器，以利于检查光线的对中情况。由于激光仪发出的光束很细，且为清晰的单色光，加之光束通过瞄准小孔后，可得到一个同心圆的干涉图

象，从而可精确地分辨出光轴的中心线，更有利于提高测量的精度。采用此种测量方法，也能使整个横剖面的精度达到 ± 1 毫米。国外在两段法造船中应用此法较多，它能满足船坞或水上大合拢的要求。

以上两种测量划线方法所能达到的精度是相同的，都能满足船台无余量装配的要求，但第一种方法操作比较方便，操作要领容易掌握；第二种方法除需要激光仪外，还需要一些辅助划线装置（例五棱镜装置、瞄准器等），而且调整也比较繁复，相互配合要求较高，目前我国各船厂尚未正式采用。

§5-11 首、尾立体分段的预修整及

船台激光定位

1. 首、尾立体分段的预修整

首、尾立体分段的预修整基本上同双层底分段，但首、尾立体分段的高度比一般双层底分段高得多，因而分段在胎架上的水平度（特别是前后的水平度）对于预修整划线时的质量有较大的影响，故在划线前必须仔细测量分段在胎架上的水平度，在测量中若发现不平，则应用油泵调整其至水平。在首、尾立体分段进行预修整划线时，仪器一般安放在分段一端胎架中心线上或分段一侧胎架中心线的平行线上，见§5-5。因此，分段中心线延伸到基础平台上的准确度也是影响分段预修整划线质量的重要因素之一，切不可粗心大意。此外，望光时应注意在曲度大的部位，多望一些点子（一般距200~300毫米望一点），以便能精确地连接成光顺的曲线来，然后打上铰凿并划出鲜明的记号，用半自动切割机切割余量，并按焊接工艺要求开好焊接坡口。

2. 首、尾立体分段船台激光定位

首、尾立体分段的船台定位是在分段本身进行了预修整，与首、尾立体分段相毗邻的双层底分段、舷侧分段、甲板分段在船台进行了无余量环缝划制与余量切割之后进行的。

首、尾立体分段的激光定位方法如图5-31所示。将激光经纬仪架设于船台中心线上，使激光束处于纵中剖面内，然

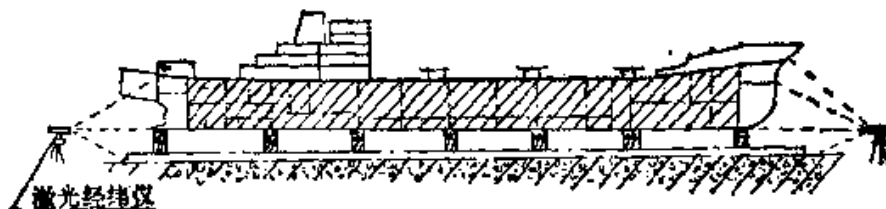


图5-31 首尾立体分段的激光定位

后移动立体分段，使分段中心线与激光斑重合，另一端则与已装好的毗邻分段重合。至于立体分段的高度和左右的水平度是预修整划线时考虑保证的，合拢定位时只须对准中心线即可。

利用激光经纬仪进行首、尾立体分段定位，其精度可大大提高，首、尾立体分段的中心线与船台中心线的偏差可控制在3~8毫米内，而采用线锤定位时其偏差大致在20~30毫米或更大一些（指万吨轮而言）。

§5-12 船台上应用激光测量

船长、型宽、绘制水线及水尺

1. 测量船长

船舶长度，一般测量船舶总长，也有测量两柱间长的，

见图5-32。测量时须以船体型线作为测量依据，可自首尾甲板处作垂线至船台上再量出之，对于倾斜船台还须计算首、尾端高度差与倾斜之关系。

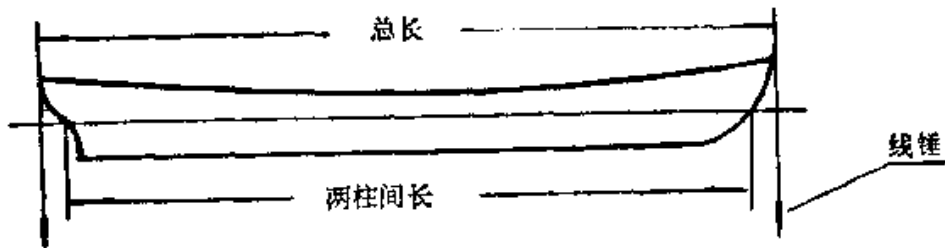


图5-32 船体长度测量

在倾斜船台上利用激光经纬仪来测量船长比起上述方法既方便（不须计算冲势）、又精确。其测量方法如图5-33所

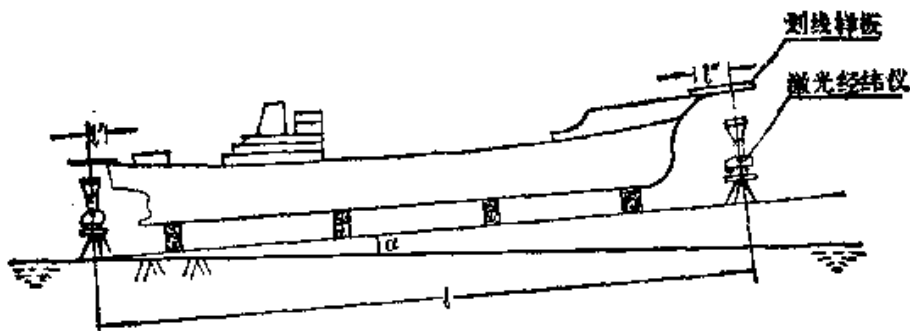


图5-33 激光经纬仪测量船体总长

示。将仪器分别架设于船台中心线首、尾端处，并将激光经纬仪应用辅助标杆法调成船台坡度，激光向上投射，分别在样板上量取激光点至首、尾（外板型线处）的距离 l'' 和 l' ，将首、尾架设仪器的两个置中点的距离的总长 l 减去 l'' 和 l' ，即为船舶的总长。 $L = l - (l'' + l')$ 。同理可测船舶两柱间长。

2. 测量型宽

船舶型宽的测量不受船台倾斜度的影响，一般测量方法

置线处设一直尺(见图5-34), 发射出激光束至直尺上, 量得距离 b , 用钢卷尺测量平行线至船台中心线的距离 AO 的数值, 则

$$\text{船体半宽} = AO - b - \delta \quad (\text{其中} \delta \text{为外板厚度})$$

利用同样方法可测得另一舷的半宽, 两者相加即为船舶型宽。

3. 测量船底纵向挠度

船底纵向挠度, 过去都是根据标杆上的基线, 用水平软管依次测量船底各相应肋位处距理论基线的差数, 见图5-35a)。在倾斜船台上测量, 应计及累计倾斜值, 因此此法比较麻烦, 且精确度也不高, 故目前各船厂已不采用了。

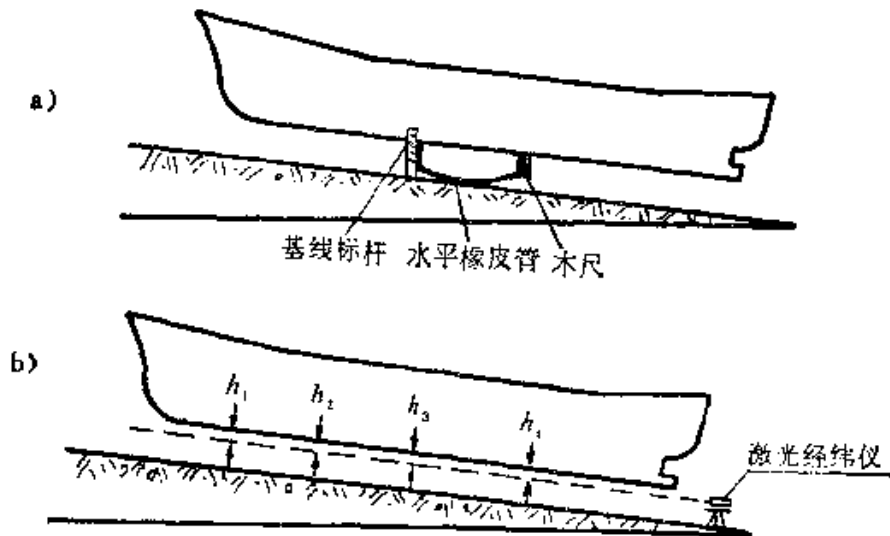


图5-35 船底纵向挠度的测量

在倾斜船台上用激光经纬仪测量船体纵向挠度显得非常方便准确。它是将激光经纬仪安放在尾端(或首端)的船台中心线上, 调整经纬仪视准轴的倾角, 使其激光束与船底基线平行, 然后用直尺直接测量船底与激光束之间的距离 h_1 、 h_2 、 h_3 、 h_4 等(见图5-35b), 所测各点的数值为船底各点距测

量基准线的距离，经整理即可得船底各点至船底理论基线的偏差数，即为船底变形值。变形值在船底基线以上者为 $(-)$ 值；在船底基线以下者为 $(+)$ 值。表5-7为船底纵向挠度测量记录的形式。

船底纵向挠度测量

表5-7

肋位号码								
测量值(毫米)								
偏差数(毫米)								

4. 绘制水线、水尺

新船的水线、水尺的绘制，都应在船体装焊、校正工程接近结束时进行。在倾斜船台上绘制水线、水尺，以前沿用下来的方法有两种：一是根据船体构件的位置绘出水线或水尺标志；二是用水管测出所绘水线、水尺的标志。由于装配工作存在较大的误差（有时往往大于50毫米），水管本身精度低，所以水线绘制的精度很低，而且耗费大量工时，在寒冷的冬季更增加了工人操作的困难，相比之下，充分显示了光学仪器（特别是激光经纬仪）的优越性。

水线、水尺的绘制工作应在“船底变形测量”之后进行，以便将船底变形情况综合到水线、水尺绘制中去。以下介绍在倾斜船台上应用激光经纬仪绘制水线的具体步骤见图5-36a)、b)。

(1) 查阅“船底变形测量记录”，确定可以作为船底最理想的肋位，取该肋位船底中心点 A 为基准点。

(2) 根据船底基准点 A 的标高，确定所绘水线在首部的标高点 M 和在尾部的标高点 N 。

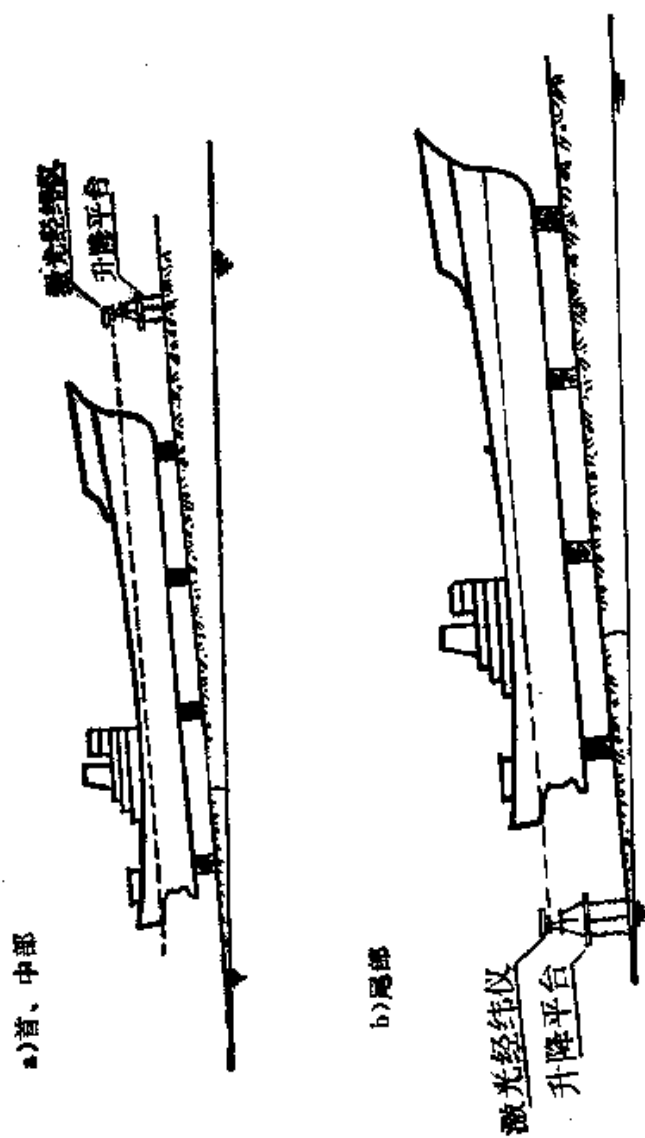


图5-36 水线绘制示意图

(3) 在船首船台中心线的平行线(见图5-7)上架设支承仪器的升降平台, 根据所绘水线的标高将升降平台调整到适当高度, 然后将激光经纬仪架设于升降平台上, 用辅助标杆法把激光经纬仪调成船台坡度 α , 然后调节升降平台高度使经纬仪发出的激光束通过船上的 M 点(M 点为船舶某水线的高度点)。

(4) 在纬向转动激光经纬仪的照准部, 绘制若干水线标记点(曲率部位标记点应画得密些、平直部位可适当稀一些), 然后, 用样条把各标记点连接成光顺的曲线, 即得首、中部水线。见图5-36a)。

(5) 由于由首向尾望光, 尾部曲率区不能通视, 故还须把激光经纬仪安装于尾部船台中心线的平行线上, 按(3)与(4)步骤转测尾部水线标记点并绘出尾部水线。见图5-36b)。

此时船舶一侧的水线 MN 即绘制完工, 利用同样方法可绘制船舶另一侧面的水线。水尺的绘制原理基本同水线, 这里不一一叙述。

第六章 船台无余量装配对 船舶设计的要求

如第一章所述, 要达到船台无余量装配, 目前有两条途径: 一是通过分段无余量制造(目前是指平直区)。二是通过分段预修整。随着船台无余量装配工艺的迅速发展, 船台无余量装配工艺对船舶设计提出了适应其特点的特殊要求。

1. 目前, 我国许多船厂都在进行技术改造, 纷纷建立平面分段流水线。为了采用机械化流水生产列板, 实现分段无余量制造, 在船型设计时应考虑尽量简单化、标准化, 力求得到最大数量的船体平面分段。例如采取如下一些办法:

(1) 尽量扩大平行中体区, 使每个货舱都一样大, 以便得到最大数量的标准平面分段;

(2) 甲板舷弧 (吊势) 和梁拱 (抛昂) 在需要时可制成折线型式, 见图6-1。

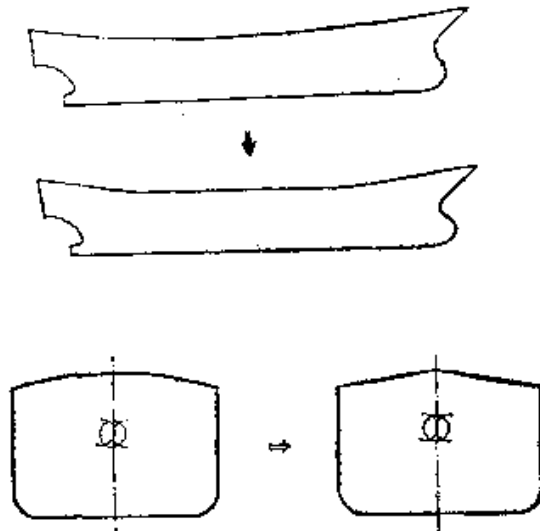


图 6-1

(3) 把上层建筑的围壁与甲板设计成平直的, 同时使其腹板与其垂直, 见图6-2。

(4) 使舭部曲线不大于双层底高度, 尽量得到平直的舷侧分段, 见图6-3。

(5) 为获取平直的底部平面分段, 底部应尽可能不要升高, 见图6-4。

(6) 尾部设计时, 尽量采用方尾形, 见图6-5。

2. 采用机械化流水线生产的平面分段, 其结构工艺要求如下:

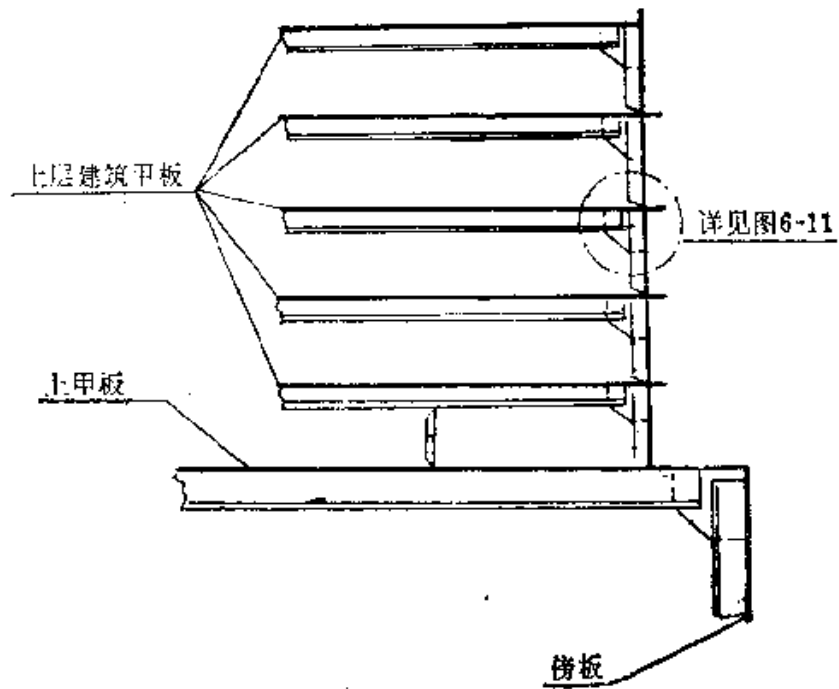


图 6-2

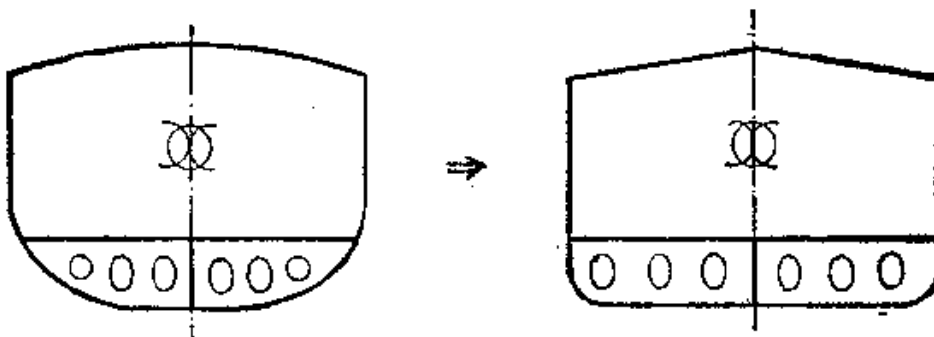


图 6-3

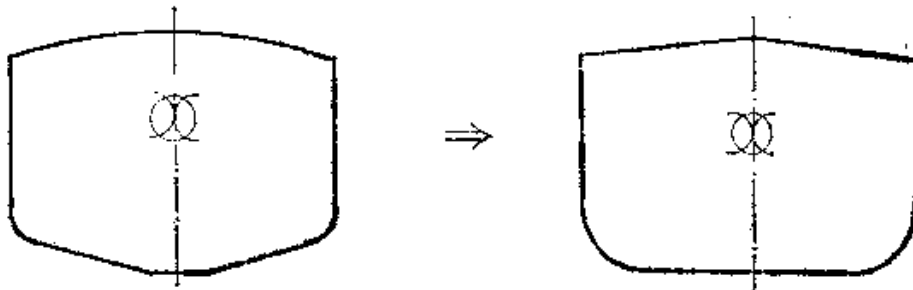


图 6-4

(1) 主向构架应为直线型，且彼此互相平行，通常是不切断的。构架与列板接缝平行或垂直。为保证构架和板列间焊接的连续性，桁材上的流水孔应采用封闭型。



图 6-5

(2) 主向构架间的距离对一种类型的分段应是一个定值，以避免重新调整构架从而增加分段的生产周期。基于同一原因，在一种类型的分段中，用非对称球扁钢时，其球头应在同一侧。

(3) 主向构架的腹板应正直地安置在板列上，因为用装配机压紧构架时应使其绝对成垂直面，焊接设备要在一定角度上进行焊接；

(4) 若平面分段流水线的工艺方案是采用构架装焊分开法（即首先生产带有主向构架的列板，随后再安装框式构架）时，则在主向构架通过横向构架之处应考虑扩大切口，以保证安装横构架于制成的板件上时，无需进行修正工作，这是机械化条件之一，结构装配后，切口处必要时安装补板。

(5) 平面分段的构架应设计在列板的一面安装，否则就得把分段再次翻身，这样会增加制造时间，并恶化了分段运输和贮存的条件。

3. 为了分段预修整和船台无余量装配的方便，要求船舶设计时尽量采用以下一些形式：

(1) 在船体分段划分时尽量采用“一刀齐”形式（即分段大接头处所有对接缝均在相同的横截面上）。如图6-6b）中，所有分段长度都相同，所有对接缝都在相同的横截面

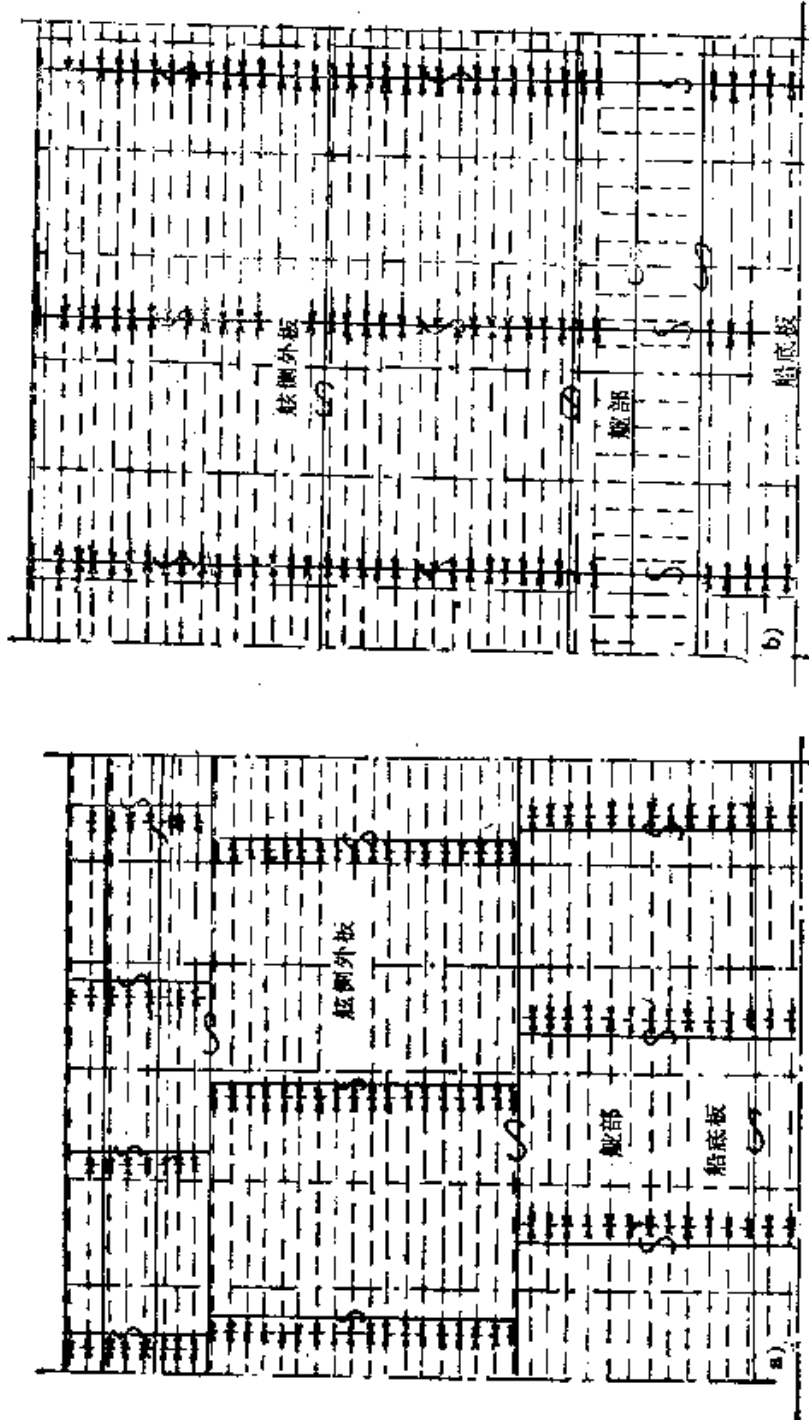


图6-6 225,000/260,000吨级矿油两用船的外板分段划分

上，这就不存在错位情况。

图6-6a)中，分段的长度不相同，并且纵材的接缝和外板的横接缝不在同一条线上。侧横材的对接缝和外板纵接缝也不在同一条线上，类似的错位情况还可在其它部分找到。

采用“一刀齐”形式有如下优点：钢材规格可以简化，贮存的钢材种类也相应减少。在车间可以造出许多相同的分段，公差也容易控制和遵守，分段容易实现无余量制造或可简化分段的预修整工作，船台装配也可得到简化，在船台上的装配顺序也更灵活些。

(2)底部分段与舷侧分段的接缝线（即底部分段企口线）尽量采用在中纵剖面的投影为与船底基线平行的水平直线的单向曲线，见图6-7a)。若线型较复杂，安排成水平企口有困难时也可采用在中纵剖面的投影为与船底基线不平行的斜直线的单向曲线，见图6-7b)。



图 6-7

(3)底部与舷侧分段连接的接点形式尽量采用图6-8或图6-9所示形式，一般拖轮采用图6-8所示形式；万吨轮（干货船）采用图6-9所示形式。

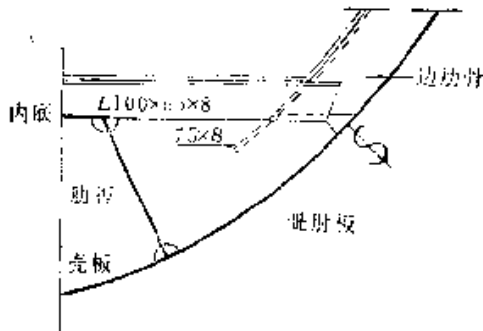


图6-8 拖网渔船的边肋骨
与舷部肘板的连接

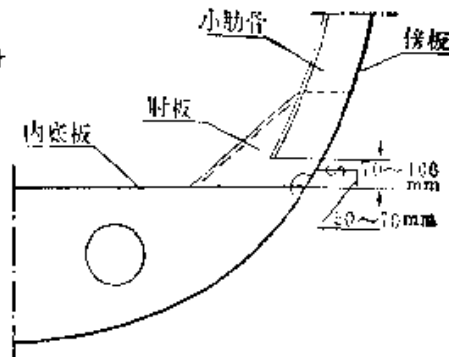


图 6-9

(4) 第二甲板与舷侧分段连接的节点形式尽量采用图6-10所示形式。

(5) 上层建筑围壁与甲板连接的形式尽量采用图6-11所示形式。

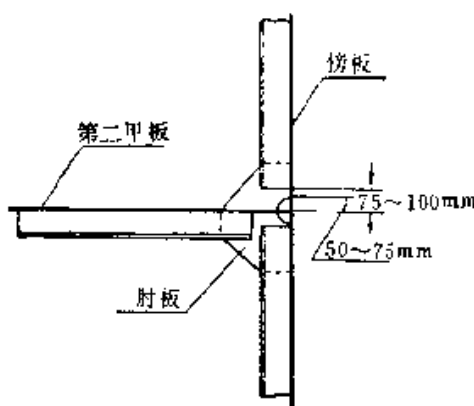


图 6-10

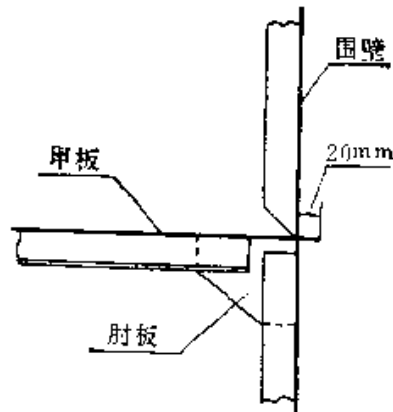


图 6-11

(6) 肋板上人孔位置尽量选择图6-12b)所示形式。图6-12a)中肋板上的人孔是开在舱顶至底壳板的中间位置，而图6-12b)中的人孔则交替开在分别离舱顶和底板各600毫米的地方。采用图6-12b)所示形式时，无论用反造法作分段装配，还是船台装配都易钻过肋板，不需要梯子这一类东西。此外，象纵桁材上的人孔也可按同样的办法处理。

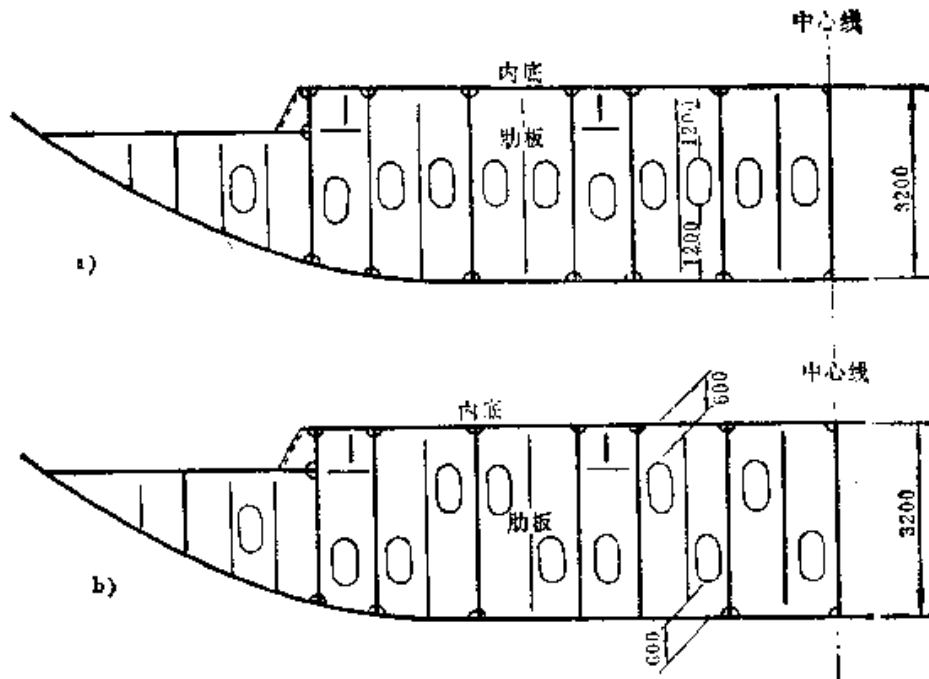


图6-12 260,000吨级矿油船机舱的双层底

以上仅略举几个简单的例子，说明船舶结构工艺设计时，有考虑船台无余量装配的特殊要求的必要，诚恳地希望广大船舶结构工艺设计工作者打破传统的设计方法，勇于创新，以促进船台无余量装配新工艺的进一步发展。

第七章 浅谈公差造船

§7-1 公差造船的概念

1. 《公差造船》的简况：

《公差造船》是我国船舶制造业中的一个特有术语，其

含义是先进的造船技术、造船工艺方法与全面质量管理相结合。

国外类似于公差造船的名称有“尺寸链”(Размерная цепь)管理(苏联及东欧);“尺寸管理”(Maßkontrolle, Dimension control),“真尺寸造船”(Shipbuilding per net-dimension)(欧美);“精度管理”、“品质管理”(せいどかんり、ひんしつかんり)(日本),这许多名称的含义与《公差造船》有相似之处,但并不完全相同。

《公差造船》在我国造船业中出现的时间虽然不长,但它已经历了以分段(通过预修整)无余量上船台合拢为标志的启蒙探索阶段,现在又进入了分段无余量制造为标志的新阶段。其发展是非常迅速的。全国性的《公差造船》交流会在我国已召开过二次。

2. 公差造船的由来

“公差”与“配合”原是机械制造中的一个术语,“公差”与“配合”是紧密地联系在一起。国外把这一术语用于造船可追溯于本世纪四十年代初期。开始,人们按工序建立“公差”作为造船生产中质量管理的一种手段,到了五十年代又进一步尝试按加工零件建立“公差标准”,特别是日本造船界在此期间还引进了美国质量管理办法。十分注意造船公差对船厂质量管理中所起的作用,1964年日本造船学会又组织其国内24家大型船厂编制了日本造船《精度标准》到了六十年代我国的一些造船专家赴国外考察造船情况,看到了国外(特别是日本)造船业十分注意造船公差对质量管理所起的重要作用。回国后,于是就提出了公差造船这一新名词。这一新名词一经传到全国各个船厂,就引起了我国造船界的重视。目前,日本和西欧的一些船厂在研究工艺余量和控制建造公差方面取得了较好的进展,使工艺余量和公差

两者相辅相成地保障了船舶建造的质量；与此同时，我国造船业中的工程技术人员也亲眼看到了机械制造业中采用公差配合的优越性，了解到了日本和西欧各国船厂合理使用工艺余量和公差所取得的成果，从自己的造船实践中也体会到：

“在造船中如果实行过高的公差和过少的工艺余量带来的结果是：（1）要求技术熟练程度较高人员和精密度高的生产设备；（2）零件精度高、生产周期长、产品报废率高、生产成本低。在造船中如果实行过多的工艺余量和过低的公差带来的结果是：（1）一般人员和设备皆可胜任、生产上容易达到要求。零件生产周期短，但精度差；（2）除加工工序外的各工序因零件精度差要产生大量返工修整作业（占整个工时消耗的30%~40%）（3）过多的余量浪费大量钢材（例上海船厂造的风字型万吨轮，其余量重量为该船载重量的0.3%至0.5%）。（4）由于加工精度差致使装配的焊缝精度差造成焊接的材料和工时增加到2倍至3倍。（5）由于装配焊接精度差致使船体变形严重和精度难以控制在一定范围内，对船台大合拢及扩大预装的新工艺都造成困难。”因而也就很自然地向往着我国造船行业也能引用最佳公差和合理布置工艺余量来迅速发展我国的造船工艺技术，多快好省地造船。引用最佳公差和合理布置工艺余量的先进的造船工艺方法就称为公差造船。于是公差造船这一新名词很快地就在我国造船业中广泛地运用开来，成为我国造船业中的一个特有的术语，推动着我国造船工艺的不断向前发展。

3.公差造船中的几个名词

（1）公差和误差

误差是在一个具体的特殊条件下，存在的客观上的生产偏差；而公差则是为了满足和保证设计与工艺提出的要求，必须限制产品的偏差最大变动范围或精度要求，所以公差不

同于误差，公差是主观的，人为的规定，误差是客观的具体存在。因此，在制订公差时，必须使生产中的误差能满足于制定的公差，或者说使制订的公差适合于生产中的误差，这是研究和实现公差造船的一个基本内容。

(2) 生产误差

按照造船业的特点，造船的生产误差有草率性，规律性与随机性三类误差。

① 草率性误差

人的粗心大意、思想上不重视、不认识、如看错尺寸、符号、不按施工要求操作。使用失修的设备（或工具）加工所产生的生产误差，叫做草率性误差。这种误差，在贯彻实行公差造船中必须剔除和消灭。

② 规律性误差

在一定的生产工艺条件下，存在着有一定的规律性的、并被人们所掌握的一种确定性关系的生产误差。例如用一定粗细的石笔进行样板号料，其误差是比样板尺寸大的正误差、其数值的大小与石笔的粗度有关。这种有确定性关系的生产误差，叫做规律性误差，又称条件误差或系统误差。对于规律性误差通过总结提高，逐步完善，是不难解决的。

③ 随机性误差

在造船的生产过程中，由于受到很多不可控制因素偶然性的影响，即使在同一生产的工艺条件下，每道工序，每台设备，总是要产生大小不定，正负不定的误差，这是一种有一定范围限制的偶然性的生产误差，这种有偶然性的随机变化的误差，叫做相关关系的随机性误差或称偶然性误差。掌握和控制造船生产中的相关关系的随机误差，这就是贯彻公差造船实行精度管理的主要内容。

(8) 最佳公差

差造船”。从目前大连船厂、上海船厂等单位所取得的成果证明了“分段无余量上船台大合拢”这项新工艺是收到了改善劳动强度、提高了生产效率和产品质量的效果，特别是在我国大多数船厂加工设备较差，焊接、火工、吊运变形和收缩规律尚未掌握的情况下，“预修整”是解决船台大合拢的一种行之有效的多快好省的工艺方法，值得进一步大力推广使用。

(6) 补偿余量和切割余量

大于造船尺寸基础数值所规定的余量并供随后生产工序加工以补偿（包括累积偏差的补偿）而不切除的，称为补偿余量。

大于造船尺寸基础数值所规定的余量并在随后生产工序中进行切除的，称为切割余量。

4. 公差造船的概念

公差造船是船舶建造中的一项综合性工艺，它不单指船体的制造，而涉及到造船的全过程（从设计到制造）、各系统（船体、舾装、管系、轴系、电缆、机械的安装、预制预装等）。它是将机械制造业中的公差配合概念应用到造船业中来，强调按“公差”来进行造船。也就是说根据船厂现有的设备和工艺、技术条件、通过丰富的统计资料，并应用概率论和数理统计学知识制订出科学、合理、经济的最佳公差（并随着设备的更新，工艺技术的发展不断修正它），并在生产实践中严格地贯彻，使船舶制造的各工序都能在规定的公差之内进行施工（即在生产过程中控制产品的质量）与此同时还要研究焊接、火工、吊运等变形规律，合理地布置构件的余量和研究余量处理的最佳阶段（即确定最佳工艺流程），最大限度地减少船舶制造中的“就地”修整工作，逐步地达到“少余量”和“无余量”（指切割余量而言）装

差造船”。从目前大连船厂、上海船厂等单位所取得的成果证明了“分段无余量上船台合拢”这项新工艺是收到了改善劳动强度、提高了生产效率和产品质量的效果，特别是在我国大多数船厂加工设备较差，焊接、火工、吊运变形和收缩规律尚未掌握的情况下，“预修整”是解决船台大合拢的一种行之有效的多快好省的工艺方法，值得进一步大力推广使用。

(6) 补偿余量和切割余量

大于造船尺寸基础数值所规定的余量并供随后生产工序加工以补偿（包括累积偏差的补偿）而不切除的，称为补偿余量。

大于造船尺寸基础数值所规定的余量并在随后生产工序中进行切除的，称为切割余量。

4. 公差造船的概念

公差造船是船舶建造中的一项综合性工艺，它不单指船体的制造，而涉及到造船的全过程（从设计到制造）、各系统（船体、舢装、管系、轴系、电缆、机械的安装、预制预装等）。它是将机械制造业中的公差配合概念应用到造船业中来，强调按“公差”来进行造船。也就是说根据船厂现有的设备和工艺、技术条件、通过丰富的统计资料，并应用概率论和数理统计学知识制订出科学、合理、经济的最佳公差（并随着设备的更新，工艺技术的发展不断修正它），并在生产实践中严格地贯彻，使船舶制造的各工序都能在规定公差之内进行施工（即在生产过程中控制产品的质量）与此同时还要研究焊接、火工、吊运等变形规律，合理地布置构件的余量和研究余量处理的最佳阶段（即确定最佳工艺流程），最大限度地减少船舶制造中的“就地”修整工作，逐步地达到“少余量”和“无余量”（指切割余量而言）装

配，实行最大限度的预制预装，做到各部件有效地配合，达到多快好省地造船的目的。

总而言之，利用合理的工艺余量和造船公差来保证船舶建造的质量和速度是公差造船的核心内容。也就是说，公差造船这种新工艺的精髓不是不带余量，不是没有公差，而是带上必须的最小的余量和最合理的最大公差。

§7-2 公差造船的内容

1. 研究、制订（或修订）船舶建造公差标准（可分为船体、舾装等两部分），并在船舶建造过程中严格执行它，即实行所谓精度管理，也就是确定和分配船舶建造工序中的公差，力求用最经济的方法来确保船舶建造的最终质量。

船体建造公差标准是指导船体建造的一个技术文件，也是船体建造质量检查的一把尺子，是实施公差造船的一个必不可少的一个组成部分。公差标准制订的原则是：（1）能保证强度；（2）不降低商品价值；（3）达到上述两项要求的过程中，成本要控制得最低。这三项原则不能单独地执行，它们是互相关联着的。例如提高构件尺寸的精度应从强度和生产成本的两个观点来决定，即从“质量最小限、工艺最大限”原则来制订公差。

公差标准制订（或修订）的具体方法是最大限度的收集船厂原来生产的船舶的一些原始数据，应用概率统计的原理，画出正态曲线，计算出公差算术平均值 \bar{x} 和标准离差 σ 。并结合船厂的现有设备及工艺情况来制订（或修订）本厂的船体建造公差标准。公差标准作为工厂的质量管理量标准的值数，规定标准范围，加之能允许的余量叫允许极限，规定需要修整的极限。另外，对船体长度或宽度、型深的尺寸，以及船

台无余量合拢等不可修整项目，只规定标准范围。

公差标准制订后并不是一劳永逸的，而是要根据在执行公差标准的过程中积累大量第一性资料（原始数据）以及船厂工艺方法、造船设备的改进而不断修订的。因此，公差标准制订后，在执行的过程中要花大力气把原始数据积累起来，以利不断修订公差标准，使其逐步完善，水平不断地提高。在进行精度管理，实行精度计划中，要牢固地树立全面质量管理的基本观点，即为用户服务的观点，下道工序就是用户，上道工序必须为下道工序创造良好条件，把不良品消灭在生产过程中。因此，要在船舶建造的各道工序中，例如放样、号料、加工、部件装配、分配装配、船台合拢等建立管理点，见表7-1；采用管理图，例如 \bar{x} -R控制图等，见图7-1。

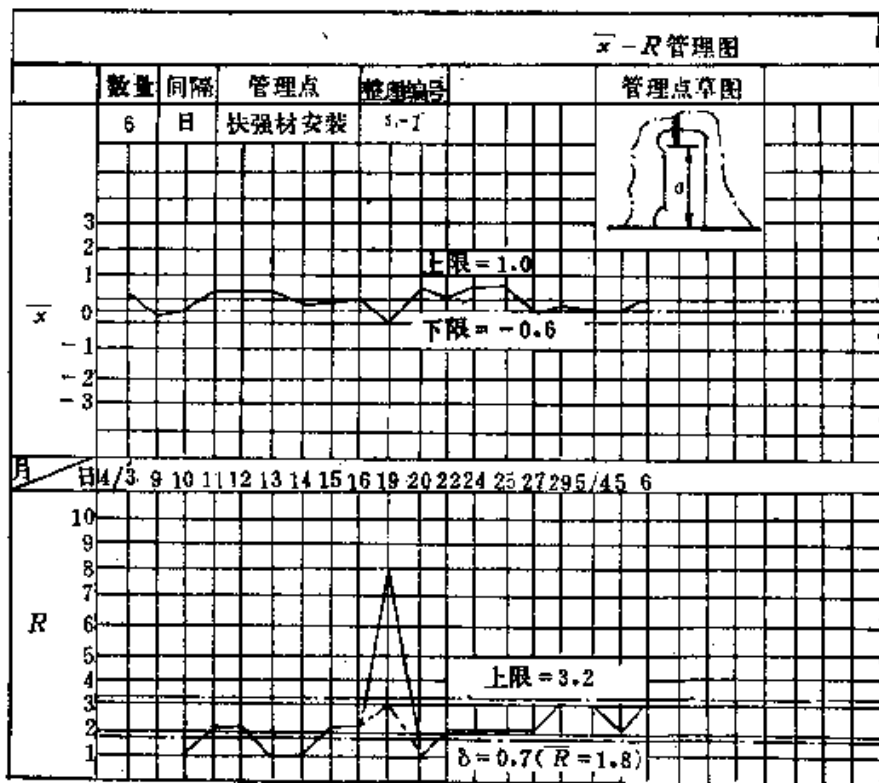
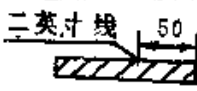
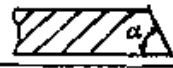

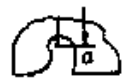


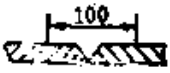
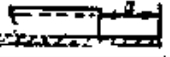
图7-1 舱壁扶强材安装精度管理图

船体建造中可建立管理点的各种工序

表7-1

阶段	经常管理点	管理点范围	说明	草图
放样	卷尺直尺及其它量具 样棒 样板	全车间 放样台 放样台	按标准量具检查 与样台尺寸的差值 与样台尺寸的差值	
号料	号料长度及宽度 号料时垂直度 号料线的直线性 按样板号料的精度 型钢号料精度	号料组 号料组 号料组 号料组 号料组	从样棒、图面尺寸为0, 大为(+), 小为(-) 每米的倾斜尺寸 以准直仪、钢丝绳为准 与样板相差的最大尺寸 以草图或样棒尺寸为0	
加工	门式气割板切割宽度 门式气割板切割长度 门式气割板切割直线性 曲线边缘板切割精度 型钢切割精度 剪板机剪切精度 半自动气割机切割宽度 型钢冷热弯加工精度 卷板机加工精度 坡口角度加工精度	每 台 每 台 每 台 每 台 每 台 台、组 台、组 台、组 台、组 台、组	以草图或样杆尺寸为0 或距二英寸线50为0 以草图或样杆尺寸为0 或距二英寸线50为0 与准直仪或钢丝绳的差值 与样板曲线的差值 以样杆或草图或号料线为0 距二英寸线50为0 与样条或型值尺寸的差值 与样板的最大差值 以图示角度为0	 
部件装配	T型钢面板装配位置 T型钢火工校正精度 舱壁扶强材安装精度	工 组 工 组 工 段	以图示尺寸 a 为0 或面板端对准复板上号料线的差值 与样板的差值 以图示 a 的尺寸为0	 

续上表

阶段	经常管理点	管理点范围	说明	草图
分段装配	分段长度	工段	与放样尺寸的差值	 
	分段宽度	工段	与放样尺寸的差值	
	分段垂直度	工段	对角线的长度差值	
	边缝或端缝对接精度	工段	以二英寸线间距100为0	
	纵骨位置精度	工段	以图示尺寸 a 为0	
	宽肋板位置精度	工段	以图示尺寸 a 为0	
船台合拢	分段中心线偏差	船台	以船台中心线为准	
	分段左右水平度	船台	以分段中部高度为标准	
	分段高度	船台	以船台标高为准	
	分段肋位对正	船台	以毗邻分段为准	
	舱壁垂直度	船台	以舱壁的支承面为准	
	船台		

遇到问题,采用图表,例如特性要素图、巴氏图、分层图等,见图7-2,找出主要原因,提出改进措施。在生产过程中还要采用各种图表记录原始数据例如调查表、记录表、精度图等,实行一切用数字说话例如电焊拍片合格率、装配的垫板率、修整率等。与此同时还要加强职工技术培训,不断提高职工的技术素质水平,在实行精度计划中要注意充分发挥群众性的QC(quality control)小组的作用。同时也要加强专职检验的职责。

2.根据公差造船的要求,建议船舶设计部门进行船体、舾装设计革命。改进型线和结构舾装设计,实行标准化、简单化、最大限度地减少船舶构件,减少构件的加工工序、有利于实现机械化、自动化,有利于预制预装,有利于单元组装最大限度地进行。设计改进的具体例子如下:

(1)船舶线型设计时,尽量扩大平行中体区,使每个货

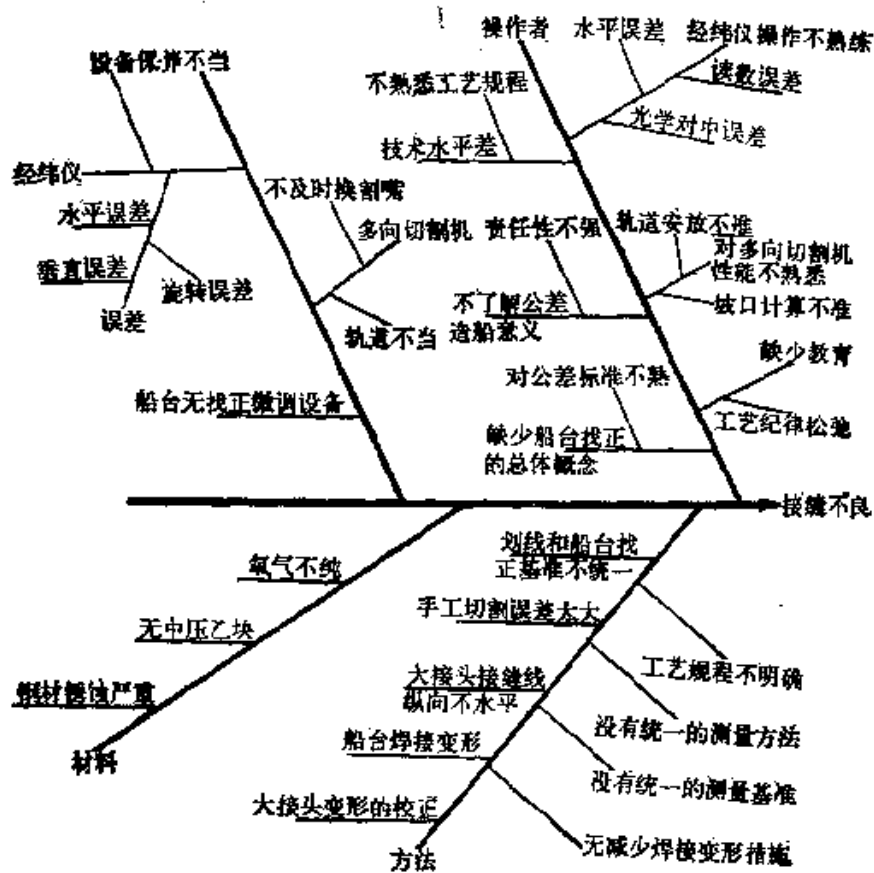


图7-2 分段无余量上船台特性要素图

舱一样大，以便得到最大数量的标准平面分段；例如16,000吨级多用途船的型线是采用驳子船体套上球鼻首和球尾。

(2) 甲板舷弧（昂势）和梁拱（抛势）在需要时可设计成折线型式或平线型式；例16,000吨和19,000吨级多用途船都设计成平线型式，英国的SD14标准船采用折线抛势。

(3) 为获取平直的底部平面分段，底部应尽可能不要升高；例如16,000吨级、19,000吨级多用途船均采用平底。

(4) 使舳部曲线不大于双层底高度、尽量得到平直的舷侧分段。

(5) 巡洋舰艉（鸭尾）改成方尾。

(6)上层建筑的围壁由曲线圆角改为直线方角，上层建筑分段的大接头由对接改为角接，上层建筑的内结构连接型式简化。

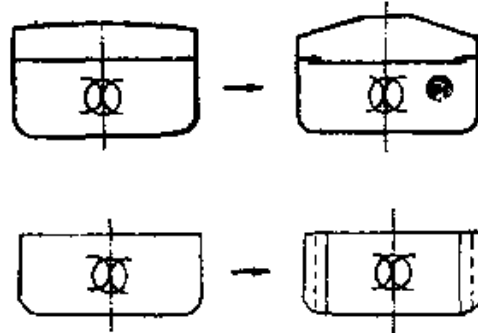


图7-3 二层甲板与横舱壁采用搭接形式

(7)二层甲板与横隔舱采用搭接形式，见图7-3。英国SD14型标准船就是采用这种连接型式。

(8)舷顶列板上歪大扁铁由铆接改为焊接，进而改为圆角和自动焊接，见图7-4。(例如风字型、阳字型万吨轮)。

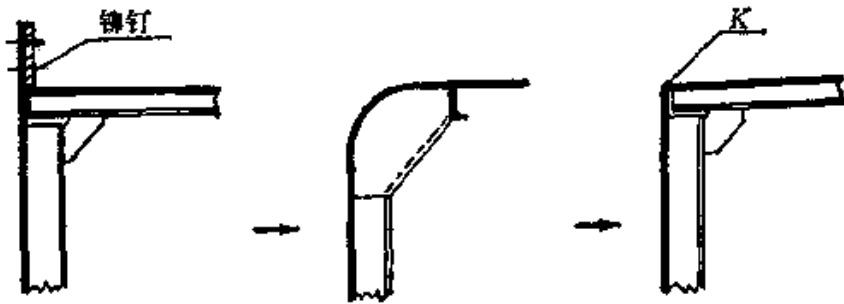


图7-4 舷顶列板上歪大扁铁由铆接改为焊接示意图

(9)分段划分时，板与构架相互交叉改为“一刀齐”(即板与构架断于同一横剖面)，例如阳字型万吨轮分段的划分采用了“一刀齐”型式。

(10)双层底企口线由任意曲线安排成“水平企口线”或“斜直线”(指船体纵剖面的投影线)，例如“丹阳”、“绍兴”、“高阳”采用了“水平企口线”。

(11)甲板横梁的连接采用特殊形式(见图7-5)例英国SD14型标准船采用了此连接形式。

(12)减轻孔、人孔(刀门孔)的加强面板装成单侧，见

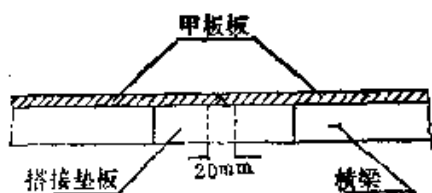


图7-5 甲板横梁采用搭接形式

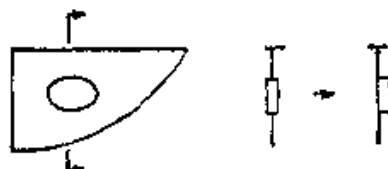
图7-6 减轻孔、人孔的加强
面板装成单侧示意图

图7-6，电焊时可不必翻身，例如16,000吨级多用途船。

(13) 肋板上的防挠材与纵骨错过，使装配工作简化，例如16,000吨级多用途船。

(14) 肋骨复板内口拉成直线便于加工，例如16,000吨级多用途船。

(15) 设计时注意标准化，例如把舱口设计成一样大，有利于舱口盖的互换，把门窗、扶梯等部件标准化有利于预制预装。

在船舶设计工作中应很好地做好二个反馈的工作。注意厂内的反馈，不断地完善图纸，提高图纸的质量；注意厂外的反馈，充分满足用户的要求。

3. 根据现有设备条件和现行的工艺技术方法，研究各道工序误差积累的诸因素（即误差累积方程式的研究），探讨和确定船舶建造的最佳工艺流程。例如研究船舶建造各工序中焊接、火工（包括加工和校正）收缩，变形规律，为构件施放补偿余量提供定量数据，研究构件余量的合理布置（包括补偿余量和切割余量）及余量处理的最佳方法，力求最大限度地减少构件的切割余量，减少修整工作（特别是“就地”修整工作），以达到分段少余量或无余量（指切割余量而言）装配。同时创造条件采用先进的造船技术，例如上层建筑总体吊装，机舱采用模型综合放样。

4. 根据公差造船的要求, 建议生产管理部门按工艺流程来组织生产。使船舶建造管理工作科学化合理化。有了相对稳定的工艺流程, 就为应用统筹学的原理, 采用网络图管理生产创造了有利条件, 使船舶生产能均衡地、稳定地进行, 才有可能实行文明生产。

5. “工欲善其事, 必先利其器”。因此, 实行公差造船必须有计划地改进船舶建造设备, 使船厂设备现代化 (例如广泛地采用电子计算机数控技术、流水作业), 促进加工精度的不断提高, 从而有效地保证产品质量和生产效率的提高。同时对原有设备必须注意维护保养, 定期进行精度鉴定。

6. 有计划地改进检测工具 (例如采用激光经纬仪等先进仪器代替铅锤、橡皮管等落后检测工具, 采用摄影测量法测量船体变形……), 采用先进的检测手段和检测方法, 使装配精度不断地提高。例如应用激光经纬仪;

- (1) 绘制样台格子线;
- (2) 绘制胎架格子线及胎架平线;
- (3) 分段制造划线;
- (4) 分段预修整划线;
- (5) 船台中心线及肋位线的绘制;
- (6) 分段船台定位 (中心找正、定冲势、左右水平等);
- (7) 船台双层底“企口线”及舷侧“企口线”的划制;
- (8) 船台上船长、船宽、船底挠度的测量;
- (9) 船台上船舶水线水尺的划制。

公差造船所包括的内容是广泛的, 不仅仅是以上几个方面, 在这里不能一一陈述, 但它们是互相关联, 相辅相成的是一个有机的总体, 在研究公差造船时, 既要有侧重面, 但

⑤提高X光探伤的合格率。

§7-4 怎样实施公差造船

1. 实施公差造船的途径

目前,我国各船厂实施公差造船的途径大致有如下几种:

(1)从放样、下料开始控制造船的每道工序的精度,通过分段无余量制造达到船台无余量合拢。

采用这条途径的特点是,要求船舶生产的各过程均为最佳过程,因而要求船厂具备良好的加工设备,坚实的造船技术基础工作。严密的生产管理等条件。

(2)先通过分段预修整达到船台无余量大合拢,与此同时加强技术基础工作,然后推进到分段无余量制造,全面实现公差造船。

采用这条途径的特点是不强调要求船舶生产的各过程均为最佳过程,而是强调由一些本身并不完全是最好的过程与设备组合起来,使整个船厂有效地工作。因为船舶生产是一个复杂的过程,各最佳过程的总和并不是各过程总和的最佳方案,主要问题是各过程的有效结合。

(3)在实施公差造船的过程中,建议各船厂,根据本厂的具体情况,大胆尝试,大胆实践,创出自己的路来。

2. 实施公差造船的阶段(步骤)

公差造船是先进的造船技术(包括工艺)、先进的生产管理技术与全面质量管理相结合,它是一门比较复杂的边缘科学。它使船厂的设备、工艺、管理等一体化。实施公差造船最好有计划地按下列三阶段来进行。

(1)学习准备阶段

学习公差造船的原理和方法的同时，须制订通用工艺规程和操作守则，完成作业的标准化，整顿工厂的质量与工艺管理工作，进行全面质量管理的宣传教育，成立 T、Q、C (total quality control) 小组的群管网组织。在全厂进行 TQC 工作的活动。制订工厂的初步（精度）公差标准和全面质量管理条例。在此阶段，可根据船厂的具体情况推行分段预修整，实现船台无余量大合拢。

(2) 试行实施阶段

首先对图纸进行改进、深化工作，按照生产设计的方式，在图纸上逐步实现精度设计的要求。在整个建造生产中实行超差处理，并进行不良原因的调查和统计工作，在关键工序和质量薄弱的环节，实行 $\bar{x}-R$ 管理图（或其它形式的管理图，例如精度图），并应不断地测量、记录、分析施工中的数据。实行船厂的公差标准，采用大量的统计实测数据，用概率和数理统计的方法，建立一系列的所需的误差累积方程式，试行分段无余量制造，进而达到船台无余量合拢。

(3) 稳定阶段

实行精度计划的生产管理方式，实行电算化、数控化的船体内场加工新技术，实行尽量多的机械化的装配、电焊、实现分段无余量制造，船台无余量合拢。上述工作做好了，就意味着公差造船的实施进入了稳定的阶段。