

12-17

②

外板精确展开方法的探讨

主题词 船舶 计算机应用 钢板精度展开

大连造船新厂 于文喜 金世良 姜春满

u671

前言

船体外板的展开和加工是船体建造过程中的重要组成部分。近年来,由于计算机在造船工业中的广泛应用,一些各具特色的外板展开应用程序被陆续开发出来,在船舶生产中发挥着重要作用。随着船体建造技术的发展,在精度、时间、材料消耗等方面不断向包括外板处理程序在内的应用软件提出了更高要求。为适应这些要求,以前开发的程序需要进行补充、完善,有些内容则有必要从思考方法和数学模型上进行研究,提出新的处理方法。本文提出在水火弯板加工过程中考虑产生塑性变形的板展新方法,它是在对各种主要外板展开方法和加工方法进行分析和大量现场实测基础上开发的,在提高精度、缩短建造时间、降低材料消耗等方面可以发挥很大作用。

一、船体外板的分类和主要加工方法

船的外板分为平板和曲板两大类。在进行外板展开和加工时考虑的主要是曲板。根据微分几何学,曲面按照曲率为零、为正、为负的不同情况(这里不详细讨论曲面的曲率问题,有关内容请参阅微分几何学方面的书籍,此处所说的曲率基本上是一些微分几何学论述中总曲率的概念。),又可以分为可展曲面和不可展曲面两种。当曲率为零时,曲面是可展曲面,如船平行体舳部的外板,甲板中心线为直线时圆弧梁拱形状的甲板,上层建筑的一些圆弧转角处的板等都属于这一类板。它们的展开比较简单,加工时只需滚压即可,这里不做讨论。曲率不为零的曲面是几何不可展曲面。当曲率为正时是凸曲面,为负时是马鞍面或扭曲面。船体外板除平行体外部的区域基本上都属于这两种不可展曲面,其形状复杂,展开、加工困难,是我们研究的主要对象。

如果从板的弯曲加工来考虑,这些不可展曲面通常采用两类方法可以使它们成型。一是压延锤打(常温条件下或高温条件下),另一是高温收缩。前者是使板的某些局部被延展,这些区域板厚相应变薄,面积增大,达到成型目的。后者是使板的某些局部收缩,这些区域板厚相应加厚,面积变小,也同样达到成型的目的。目前,船体外板加工大量使用的水火弯板方法就是利用钢板可以在局部高温条件下发生永久塑性变形、加工位置产生收缩这一特性,使钢板加工成需要的曲面形状。

二、传统展板方法的分析和新展板方法的基本思想

目前国内开发的外板展开计算程序大部分仍然基于传统的外板展开方法。由于几何不可展曲面,无论采用测地线法、短程线法还是其它方法,事实上都不可能各处相连地展放到一个平面上,正如桔子皮不可能无破坏地拍平为一个平面图形一样。而以往的展开方法总是力求采用某种手法将外板展开成一个封闭的平面图形,这都没有很好考虑或因为展开手段所限

1

不得不回避考虑外板在弯曲加工时要产生收缩或延伸这一实际情况。对船体外板加工的实测分析表明,钢板的塑性变形从本质上看是外板成型的根据,就变形量而言也是不可忽视的。我们曾在—艘千吨级驳船的防撞材的水火弯加工过程中做过实测,长3522mm、宽640mm的板在弯曲成半径为4740mm圆弧形防撞材(小圆弧半径为125mm)后,板的上下两边分别收缩了214mm和207mm(见图1)。因此,传统的展开方法,没有定量地把塑性变形这个重要因素考虑进去,其误差不可避免是比较大的。为弥补这个缺点,通常要根据经验和估计给出余量,在板的两条边或更多的边上“出荒”。这些荒料对板的加工成型是不利的,除了浪费钢材、浪费1/3甚至1倍的时间和能源外,工件精度也比较低,给装配带来很多问题。这一方面是增加了外板研合时间,影响全船建造周期,二是影响装配精度,除工件本身的精度影响以外,余量越多,装配时切割长度越大,切割荒料时的高温对钢板特别是曲率较大的厚板会造成很严重的变形,从而使加工好的形状受到破坏,现场修正十分困难,时间方面要花费船体建造工时的20%左右。

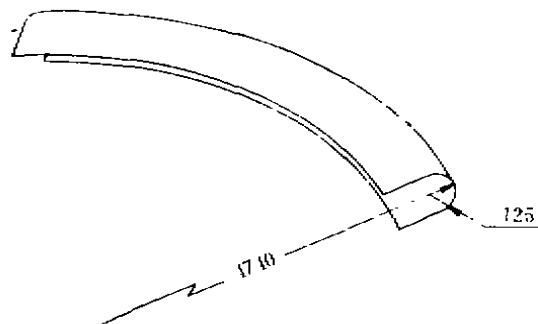


图 1

新展开方法不回避不可展曲面事实上无法展开在平面上,如要展开,必将如桔子皮拍平时一样,将出现开裂破坏的问题。因此,不追求展开过程中展开图形表面上的完整,而把加工后的外板与原曲面高度吻合作为程序实现的目标。把钢板加工成形时的塑性变形充分考虑进去,承认开裂(或重叠)的合理性,并将其作为一项基本因素来思考新的展板方法。以此为出发点,通过一定的数学处理和展开手段,使不可展曲面在展开时既顺乎自然又施以必要的人为控制地任其开裂(或重叠),然后经过一系列程序处理展开成包括了塑性变形因素在内的平面展开图形。这种展开方法其精度可以根据需要控制到极高的程度,而且可以预先对水火弯过程中所出现的塑性变形在位置和量上有准确的把握,对外板的加工成型提供具体可靠的指导。

三、基本原理和坐标选取

在考虑船体外板这类有界曲面时,按照微分学的观点,可以对其进行有限的网格划分,将曲面划分成若干小曲面,当网格密到一定程度时(由所需要的精度要求而定),各个小曲面便可视为小平面,此时原来的曲面就可以认为是由有限个空间小平面对组成。如果将这些小平面对按一定规律组合并在某一平面上铺展开来,该曲面便实现了展开。这就是本展开方法的基本原理。可以注意到:①,相互对应的小曲面与小平面的近似性是极高的,因此曲面整体的展开精度比以往的展开方法大大提高。②,铺平过程中将会在一些位置出现开裂(或重叠),这对以往的展开曾是一种困扰,但本展开方法正是利用这些开裂(或重叠)将准确的展开和加工的塑性变形联系在一起,使加工后的外板与船体曲面形状相吻合,而不必为回避这种困扰付出损失精度的代价。为实施具体展开需要选取合适的坐标系。本方法做如下转换处理。

对于一块船体外板(先考虑四边形外板的情况),首先在两条对角线上分别以适当方向选

定两个向量,再选取一个适当的原点把基平面确定下来,并由两向量的向量积确定 W 轴及其方向,将外板两个短边中点分别向基平面投影,两个投影点的连线便确定为 U 轴(方向亦做适当选择),由 W 、 U 轴确定 V 轴,为展开计算及以后计算加工用样板、样箱方便起见,还必做适当平移,于是该板的 UVW 坐标系就建立起来了(见图2)。

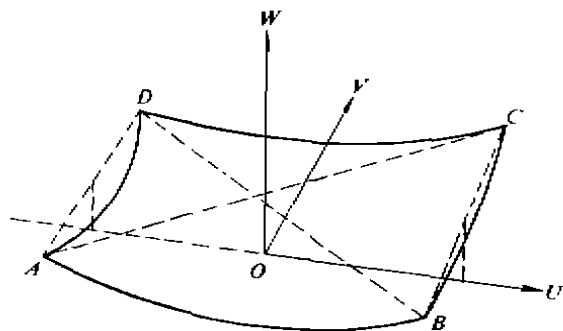


图 2

对于三角形或五边形的外板,其坐标系的选取可用下述方法与四边形建立联系,从而采用同样处理方法。三角形外板将两长边交点视为两个点。五边形外板将最长边相对的两个边视为一个边。这样在建立坐标系时,三角形与五边形都可以与四边形外板进行同样的处理(见图3)。

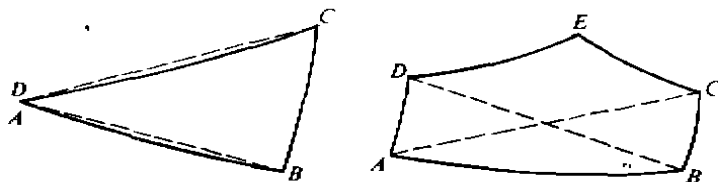


图 3

四、凸曲面外板(曲率为正)的展开

下面将具体的展开方法作简单的叙述。

1. 展开基准线的确定

与其它展开方法一样,本方法对凸曲面的展开也要先确定基准线,但由于本方法是以网格划分方法进行展开的,对基准线的依赖性较小,可以选取方便、简单的基准线。这里是以短程线法确定基准线。仍以四边形板为例,由板两条短边的中点求出一条短程线,以此短程线作为展开的基准线。

2. 板的展开

(1) 将曲面划分成曲面条

在基准线的两边,平行或近似平行于 U 轴作若干平面与 UV 平面垂直,求出这些平面与曲面的交线,计算这些交线的曲率分布情况。从而确定曲面条的宽度,并使每个曲面条宽度方向上的弧长在满足所需精度的前提下用弦长来代替。于是这张板便被分成 n 个小曲面条(如图4所示)。这些曲面条可以是等分的,也可根据曲率分布的情况作不等分划分。

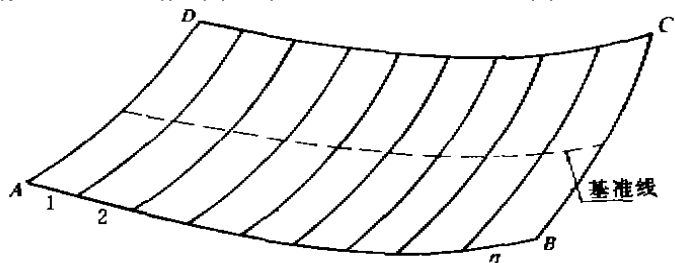


图 4

(2) 将各曲面条细分为小曲面片,并分别用小平面片来近似

将每个小曲面继续分割, 以第 i 条曲面为例, 先计算该曲面两个边界线 i_1 和 i_2 (见图 5) 的曲率分布情况, 同样把每条边划成若干段 (为简单起见, 不妨将两边分为相同数量的段), 并使每段都可以在满足精度要求的前提下用弦长来代替弧长。于是每个曲面在基准线的两边便被分成若干空间小平面, 为处理方便, 再进一步把每个四边形小平面分成两个三角形 (见图 6)。

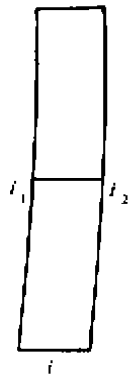


图 5

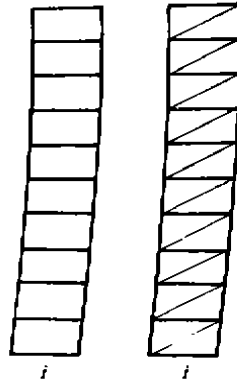


图 6

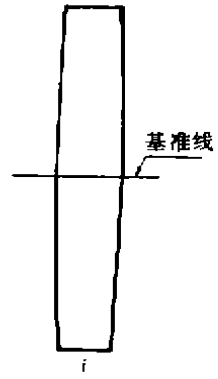


图 7

(3) 将曲面展开

用撑线法把每个曲面以基准线为准向两边展开, 于是该曲面的 n 个小曲面就被展成为 n 个条状的平面图形。对于凸曲面来讲, 它们通常是鼓形的 (见图 7)。

(4) 拼接成形

基准线展开后必定是一条直线, 这样我们可以把 n 个条状平面图形以基准线为准按顺序互相靠拢, 直到相邻的两个条状平面图形有了接触点为止, 这样, 一个带有若干缺口的外板展开图便形成了 (见图 8)。这些缺口实际上便是水火弯加工过程中需要收缩的区域。它可以用来指导弯板加工, 是很有意义的信息。

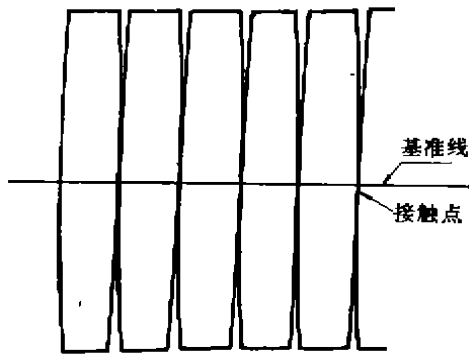


图 8

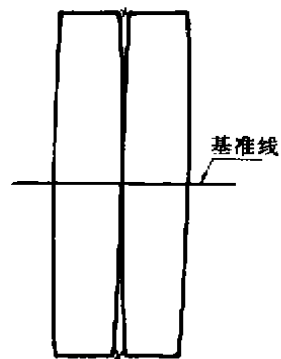


图 9

(5) 长边边界线的确定

缺口的封合可以采用求相邻两条状平面图形相邻端点算术平均值 (即两点连线中点) 的办法求得 (见图 9), 这样便得到了板的展开图形和有关数据。

需要注意的是展开之后两边的开口可能不均匀,因此需要对短程线的选取进行位置优化。必要时应做数次短程线位置的移动,使两边的开口面积互相接近,使开口均匀程度达到最佳状态。

五、马鞍面、扭曲面板(曲率为负)的展开

与凸曲面相似,马鞍面、扭曲面板的展开同样由考虑加工时的塑性变形入手,所不同的是这类曲面在水火弯加工时,烤火线主要分布在板的中间部位,板的两个长边不加火,因此,板的两个长边边缘不产生塑性尺寸变形。本方法对这种板进行如下展开处理。

1. 将曲面进行网格划分,并展成若干平面条

与凸曲面板展开方法相似,根据板的长度方向与宽度方向的曲率分布情况进行网格划分(见图10),并将各个小曲面片由小平面片代替,得到 n 个曲面条,用撑线法将各曲面条展开得到 n 个条状的平面图形,与凸曲面板相反,马鞍面、扭曲面板的各个小板条是中部较窄的蜂腰状图形。

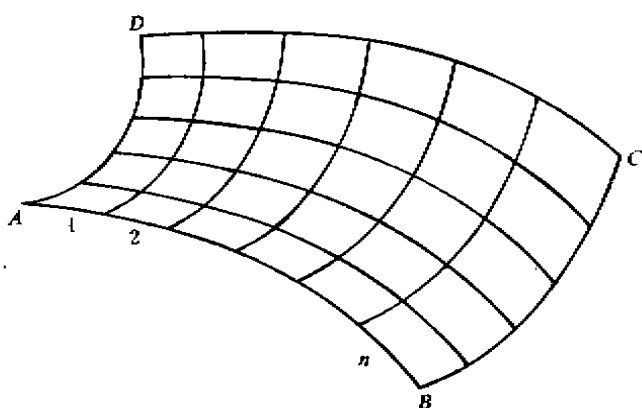


图 10

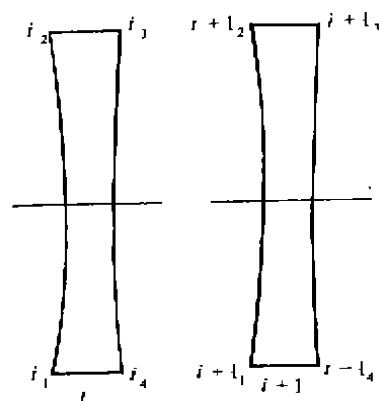


图 11

2. 拼接成形

拼接可以采用几种不同的方法,根据此类板两个长边不产生塑性尺寸改变的特点,可以不依靠基准线,将 n 个平板条按顺序首尾衔接,即使相邻的两个蜂腰状平面图形的相邻边上下端点重合,如对 i 片与 $i+1$ 片来讲,如图11所示是使 i_4 与 $i+1_1$ 重合, i_3 与 $i+1_2$ 重合。便得到了一个中间有若干裂口的展开图形(见图12)。当然由于各片是分别展开的,往往两片的相邻边的弦长有微小差别,不能很好重合,此时要用程序处理方法将其相邻边的端点做适当修正,使其重合。同样,这些裂口处是水火弯加工过程中需要加火收缩的区域。

需要注意的是,外板加工时的塑性变形是个十分复杂的物理过程。比如某一位置加火时该处所产生的收缩会使周围没有直接加火的区域也连带出现变形。因此,实际的加火收缩区域与计算的裂口是有区别的,通常前者较小,其间的数量关系对于本

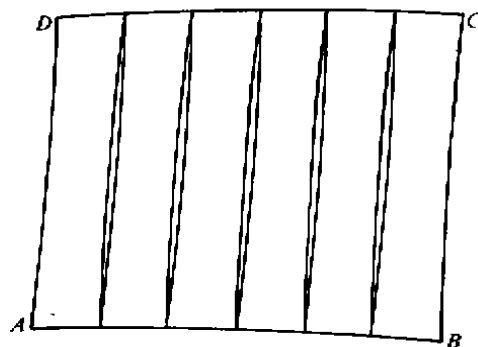


图 12

方法的应用是很重要的。我们已通过大量实测，对这种关系进行了定量分析，以求得可靠的数学模拟方式，使提供的加工用火区域能够保证该板达到正确的弯曲变形效果。

六、其它板的展开

船体外板的形状比较复杂，对某一张板来讲，除了上述的单纯情况之外，还有复杂的情况。比如一张板上既有可展曲面部分又有不可展曲面部分，也可能既有凸曲面部分又有马鞍面部分，处理起来比较麻烦。但实际上，这样的板是型线曲率过渡板，因此尽管从理论上看板曲面类型有突变，但曲率数值都很小，变化也很小，板身反而比较平坦，板展开后的开口或重叠的部分极小，往往不需要进行水火弯加工，通常可作为可展板处理，甚至直接在分段组装时适当施加外力即可成型。对曲率较大、必须处理的板，可根据板的情况，接近于凸曲面的按凸曲面板展开方法处理，否则按马鞍面展开方法处理即可。

此外，本文是以水火弯为加工方法进行叙述的，因此展开的板都处理成开口拼接，对于其它加工方法，如压延、锤打等加工时，则应该在拼接时处理为重叠形式，同样可以得到精度很高的展开结果，并给加工成型提供有用的指导数据信息。

结 束 语

我们已将上述外板新展开方法编成计算程序，选取大连造船新厂正在建造的15万吨散货船上的数十枚有代表性的外板进行了试算，经与船型曲面对照并对实板加工情况进行实测检查，其吻合情况理想，超过以往各种展开方法，为今后逐步减少或取消曲面外板的加工余量开辟了一条有效的途径。

目前的程序主要是完成外板展开，而提供具体的水火弯加工信息是下一步开发的内容。这项工作比较复杂，需要给出烤火线位置、长度、宽度、速度、温度等信息，其影响因素也很多，要考虑板厚、材质、加热设备等十余种因素。目前我们与大连理工大学合作已经做了大量实测工作，对其规律进行深入研究，这方面的情况将在另外的文章中叙述。

