

复合材料船艇 技术进展

2012-11-22.上海

陈博 E-mail : cb1940@163.com

本报告主要参考资料

- 笔者赴台考察报告
- ASM Handbook 21 Volume 《Composites》
- 航天703所资料
- 致谢：
- 台湾(省)强化塑胶协进会、
- 深圳海斯比船艇科技发展有限公司、
- 北京玻璃钢研究设计院、
- 哈尔滨工业大学复合材料与结构研究所、
- 威海中复西港船艇有限公司、
- 湖南太阳鸟游艇制造公司



海道
HAI DAO

游艇产业在我国正处于高层次发展期

- 我国现有复合材料游艇生产企业 370家
- 主要分布于 深圳、珠海、厦门、上海、青岛、天津、宁波
- 我游艇年销售额 70亿元
- 已出口到 70多个国家和地区
- 游艇生产企业上市 1家
- 美国游艇保有量1750多万条，平均 16人1艘
- 挪威、新西兰 平均 8人1艘
- 一般发达国家 平均 171人1艘
- 中国大陆 平均 360万人1艘

发达国家经验，人均GDP达3000美元时 “游艇经济”起步

- 我国已有20多个城市人均GDP达8000美元以上，已超过5000~6000美元的游艇快速增长的临界点
- 今后5 - 10年，将有10万艘游艇采购量，将有500~1000亿元的市场，并带动上下相关产业大幅增长

全球游艇年市场额500亿美元，欧洲北美占90%。美国年游艇市场达200多亿美元，约占全球的50%

- 我国GDP已为美国的1/2
- 我游艇年销售额现为70亿元,仅为美国1/30
- 在技术进步与经济发展的背景下，国家出台有关政策与举措,我游艇产业将高层次发展
- 游艇俱乐部已达百家,一些地方泊位已告紧

近年国内外复合材料船艇 技术颇多提升

- * 真空导流、Light RTM
- * 半模成型
- * 无模成型
- * 大斜升角、双断级深V高速船型
- * 高抗砰击船艇结构
- * 全船一体成型
- * 海洋工况测试技术
- * 混杂复合

国内外各种用途的FRP船艇向高层次发展



英国XSR型高速拦截艇

最高航速：65~85节
航程：1000海里
续航时间：48小时



中国“海龙1388”高速艇

大量采用Kevlar纤维、Carbon纤维复合材料，减轻结构自重，提高船体刚度。该艇最高时速达70节，刷新中国高速船艇纪录，被业界称为“海上奔驰”。

国内外现状

挪威“盾牌星座”导弹巡逻艇



瑞典“维斯比”级隐形轻型护卫舰

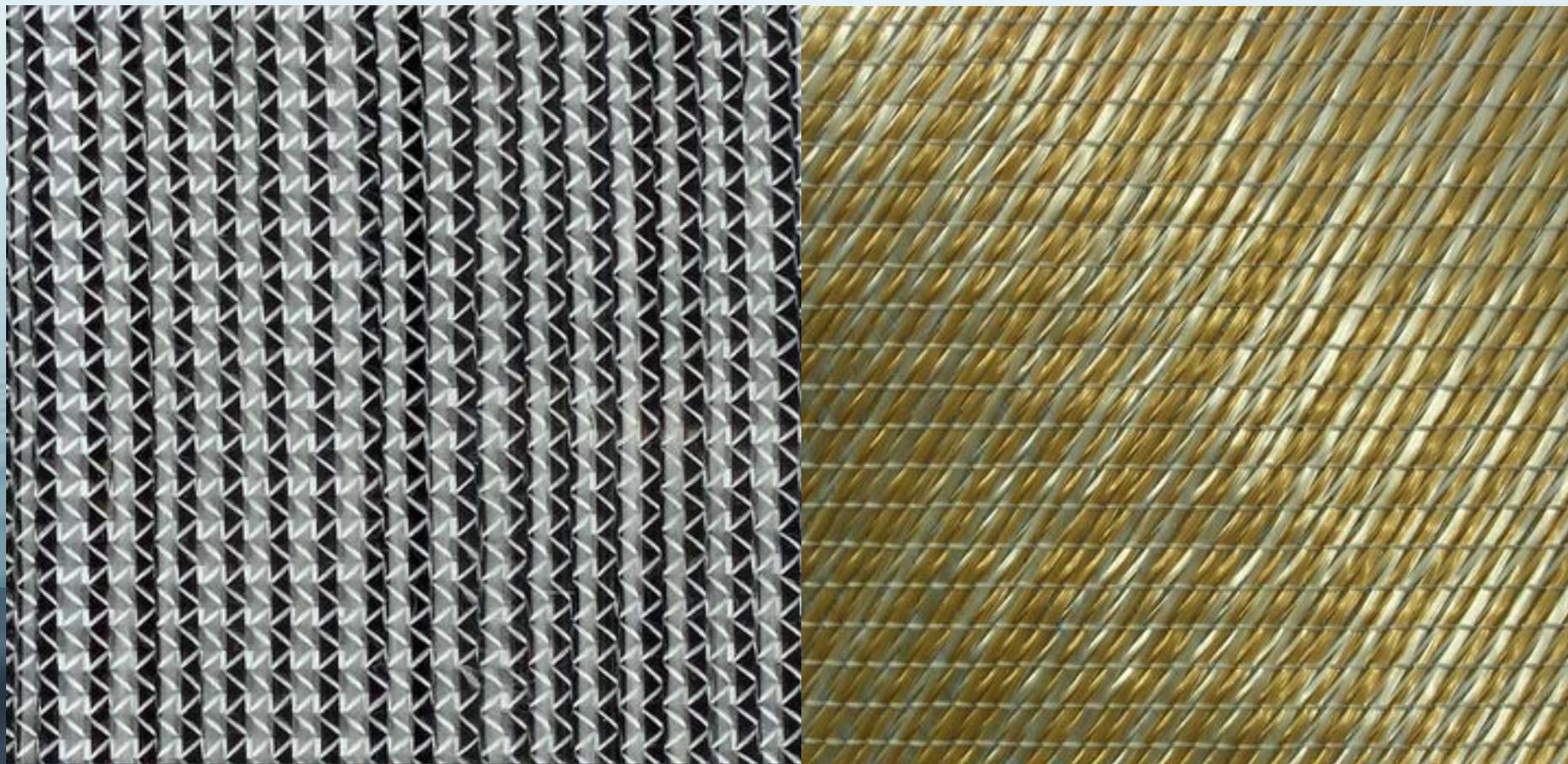


美国“短剑”高速隐形试验快艇：

双“M”船体设计，碳纤维复合材料一次成型，不用焊接，更无需铆接



为提高刚度、强度，并考虑降低成本，
选用碳纤 + 玻纤及芳纶 + 玻纤的混杂缝编织物

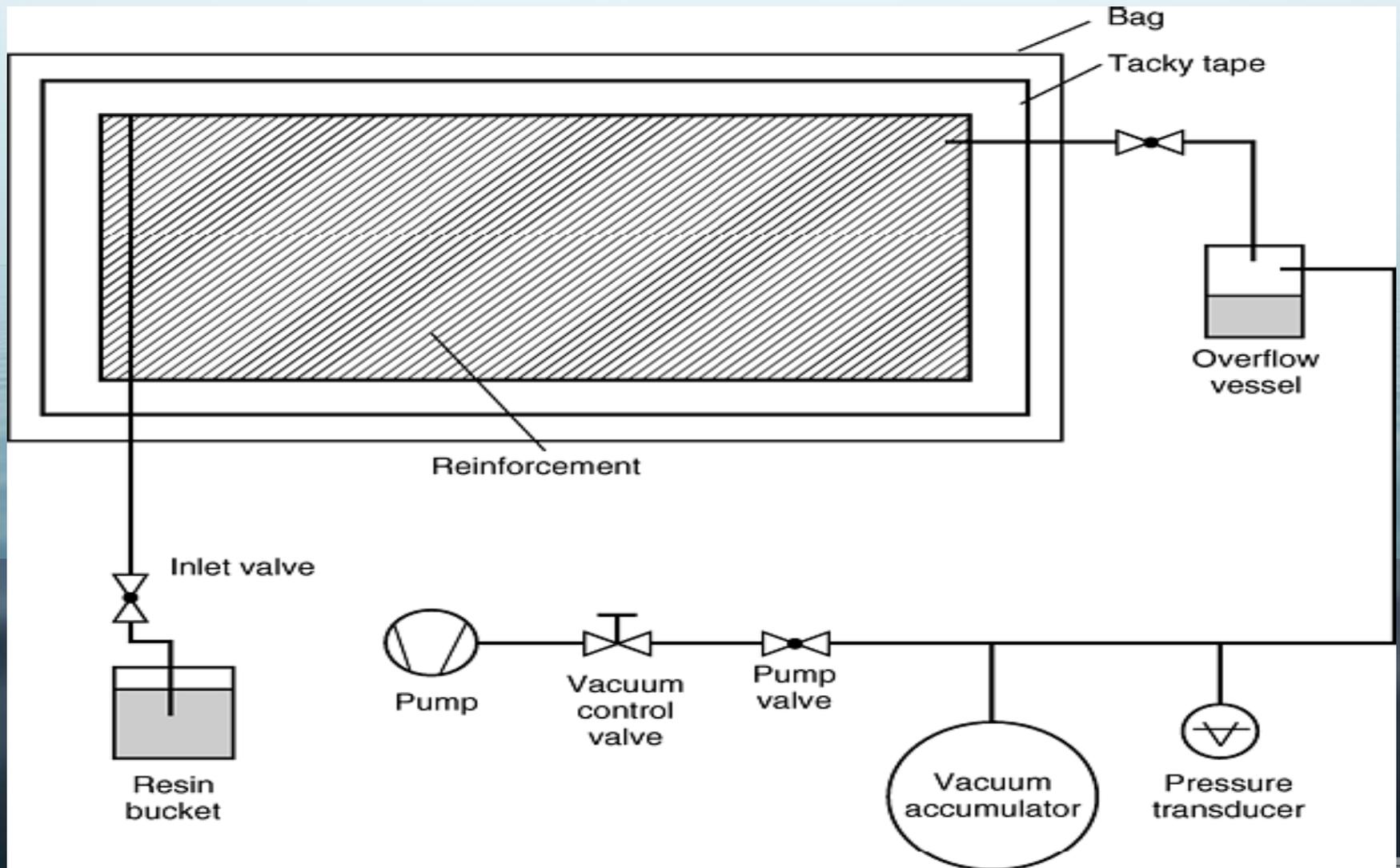


为提高刚度、提升FRP抗撞击能力，采用PVC泡沫或BALSA轻木为芯材。BALSA强度较塑料泡沫高，多用之。

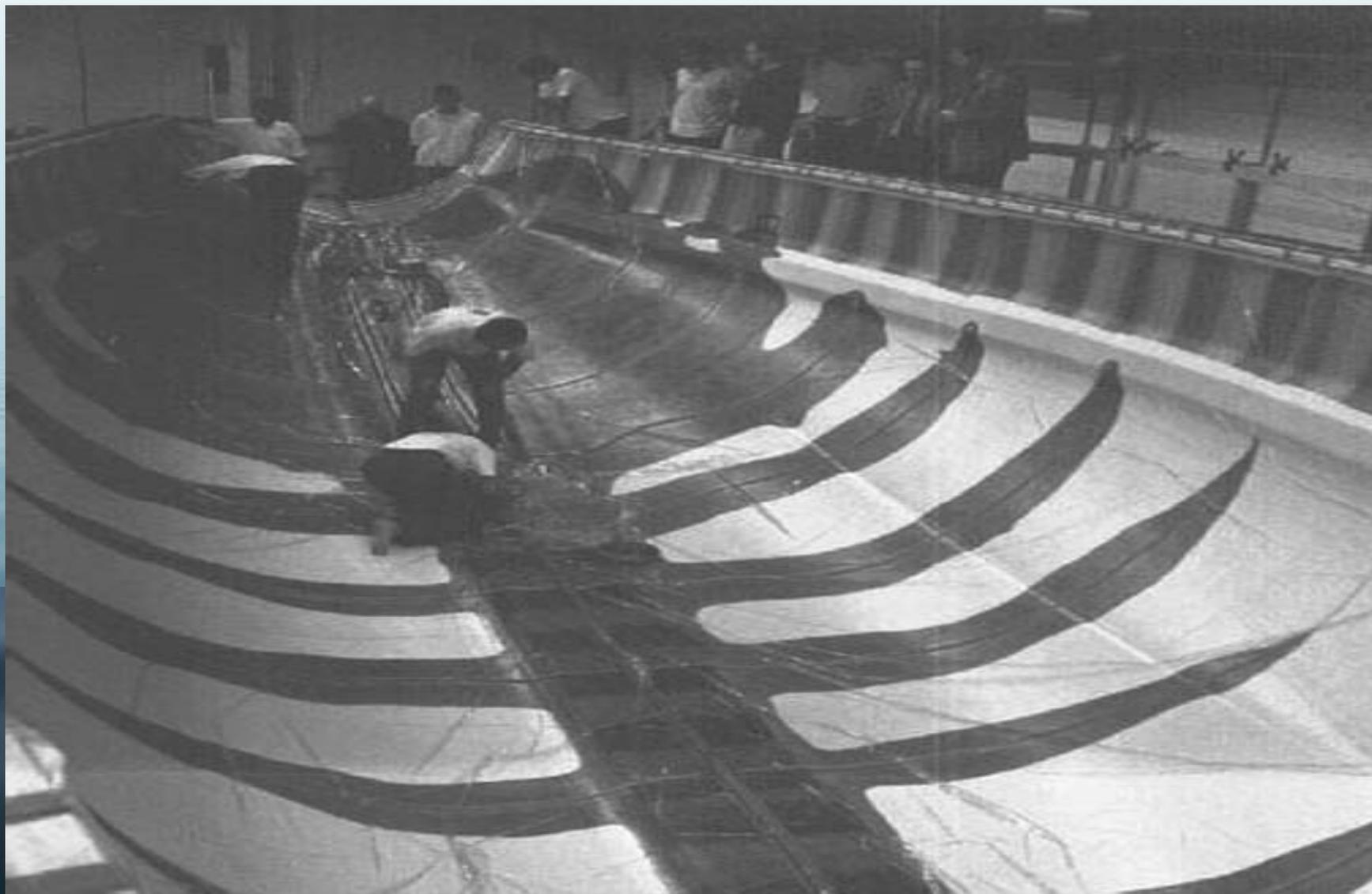
4年生BALSA木容重 128kg/m^3 ，压碎强度 14MPa



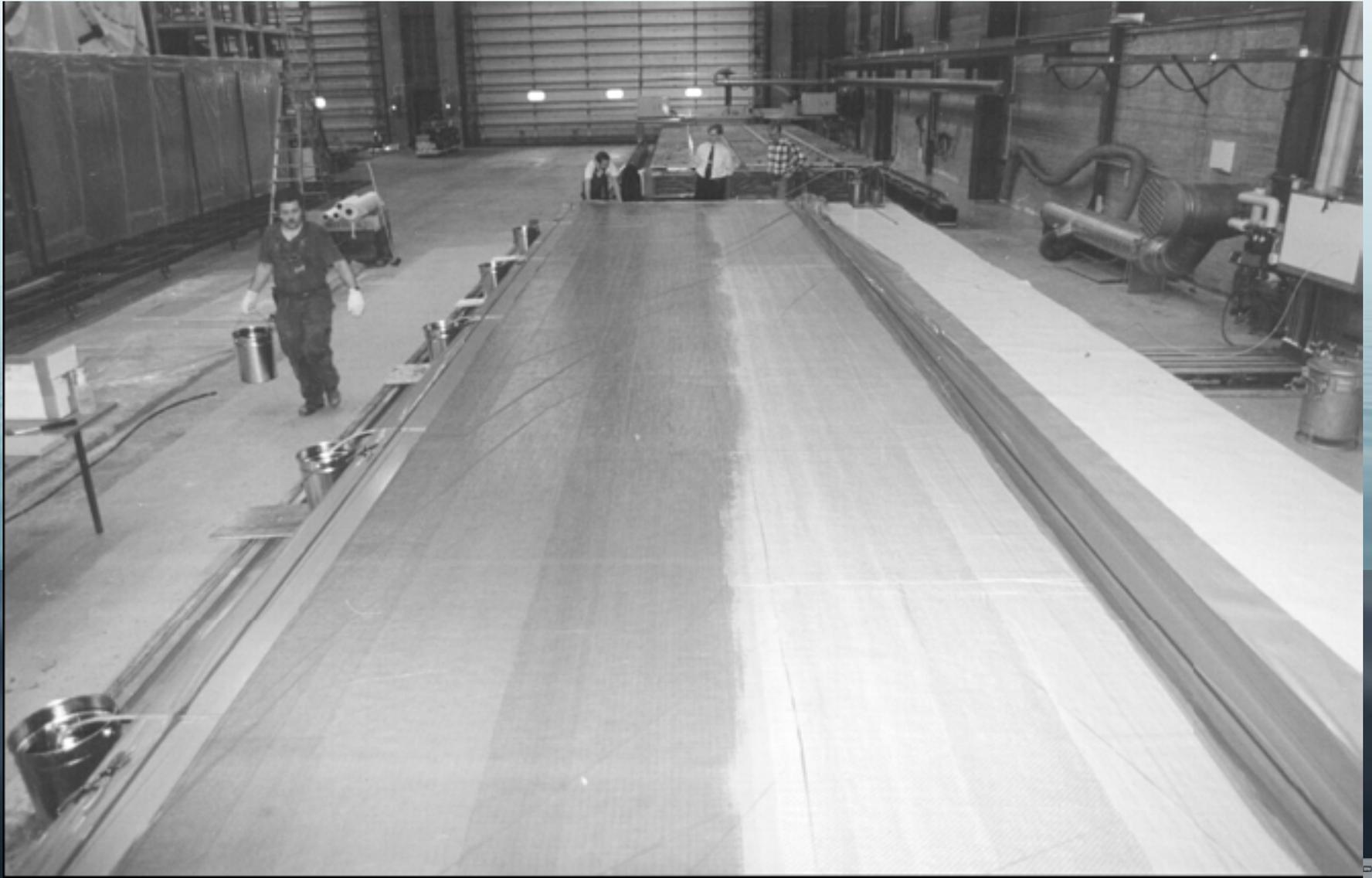
真空导流(Vacuum Infusion)是制造FRP船艇的好方法，
上世纪欧美即已采用，我国用之造复合材料船艇
早于制造风电叶片。其原理如图示



真空导流过程中树脂流动浸渍增强材料(荷兰)



真空浸渍制造GF/VER夹芯复合材料船面板



真空导流成型长34.46m.型宽5.84m.型深3.016m的FRP艇



长34.46MFRP工作艇



以真空导流法制造的武装快艇尾部(瑞典)



无模具成型制造FRP船艇技术



传统用模具成型的缺点

- 一艘船有一套模具,存放占据空间大
- 制作模具增加不少成本,单套模具平均成本30万元
- 模具制造周期长,一般都在三个月以上
- 室内施工,空气流通差,作业环境恶劣

无模成型的优越性

(与以模具成型制作同一船艇比较)

- 无需模具贮存空间
- 节省成本 (平均一般为30万元),特别是对建选单艘船艇更为明显
- 生产周期短,一般可缩短三个月。
 - * 一方面节省了模具准备时间 ;
 - * 一方面在船(艇)体固化以后 ,可同时在内外两面施工 ,相当于增加了一倍的工作面 ,生产进度大为加快

* 工作环境改善,由于在船体外部糊制,苯乙烯气体易发散,工作环境显著改善

- 提高了船体强度;因为水密舱壁、肋骨、纵桁与船体有效连接成一整体,形成了一个整体的主受力框架,船受力更为合理;相比传统技术在船体成型后,再糊制构件、再连接主舱壁的做法,船体结构强度有了提高
- 主尺寸误差小,因不存在模具变形因素。只需保存好样板,即可保证产品的一致性

无模制造FRP船艇总体思路

采用木质阳模制作原理，结合木质船的内部框架结构制作，外板及构件一次性成型

无模成型造FRP船艇的步骤

(1) 船艇肋骨放样：将要成型的FRP船艇肋骨线型按1:1 的比例放样

(2) 制作龙骨，作好后按设计置于支座上



(3) 制作肋骨骨架和舱壁, 安装



图②

舱壁采用夹层结构



图③

吊装肋骨骨架、舱壁，修顺线型





(4) 安装船体纵骨，嵌入肋骨与舱壁内



(5)预制复合材料板；(6)船体表面铺覆复合材料板



图⑦

- (7)接缝线找平后,表面糊制复合材料 ;
(8)外表面打魔、修平



图⑧

(9) 内部整体糊制



(10) 外表面打磨，平整度达到技术要求后，
喷涂胶衣,船体成型完成



船(艇)船一体成型技术

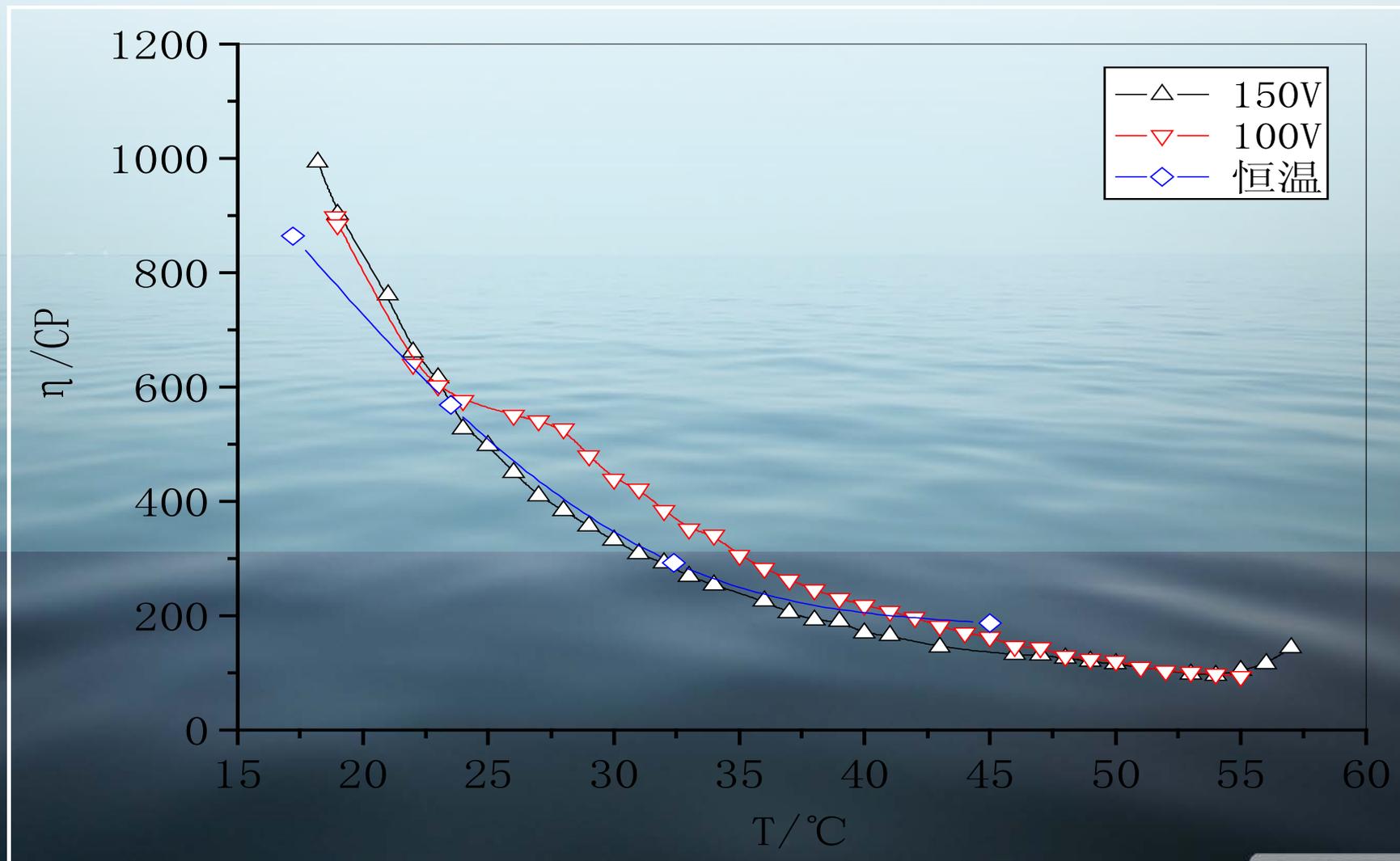
- 船体结构大多采用二次成型，结合界面处于富胶区，性能较差，并导致加工、装配、粘接成本增加。

将船壳与骨材一次成型是一大改进

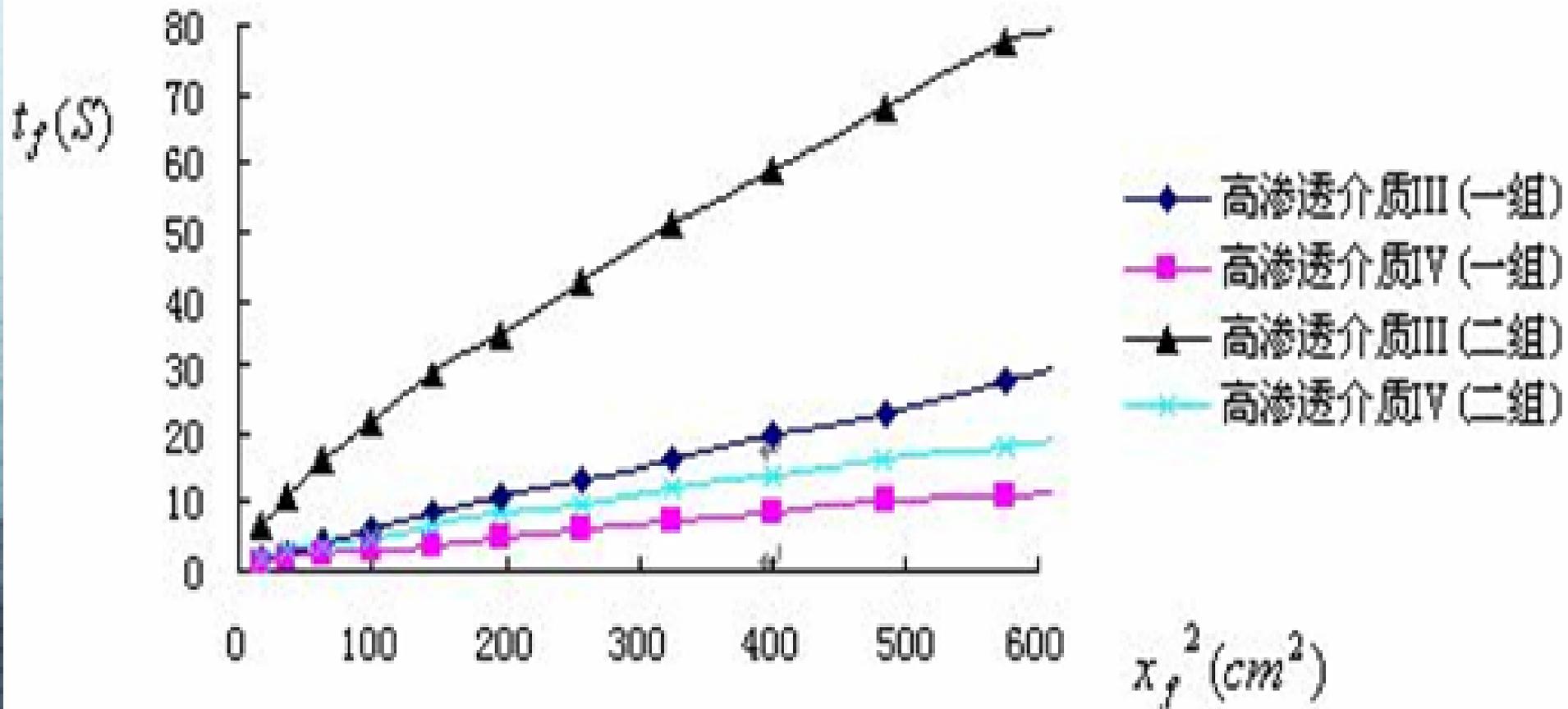
一体成型的技术关键

- 所用树脂工艺参数
- 真空导流工艺树脂流动及其流道布局
- 树脂进/出口数量及位置
- 多注胶口及多次注入时机
- 船体固化

三种不同条件下的树脂温度 - 粘度曲线



真空导流工艺树脂渗透率测试曲线



甲板流道排在方式

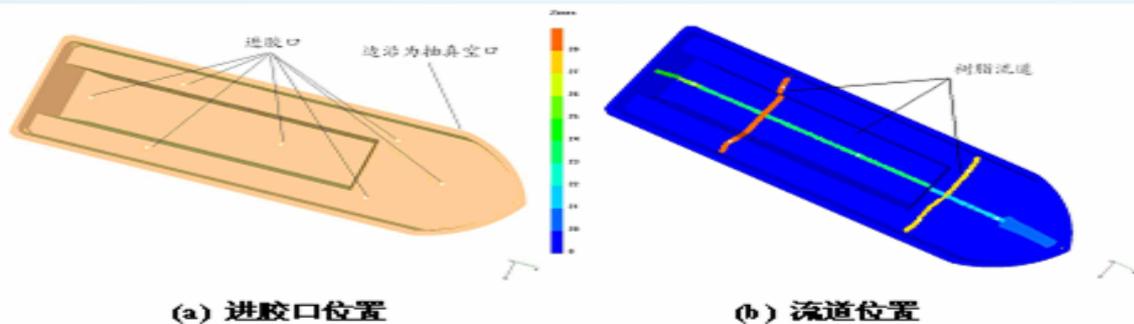


图 33 一纵两横、7个进胶口的流道排布方式

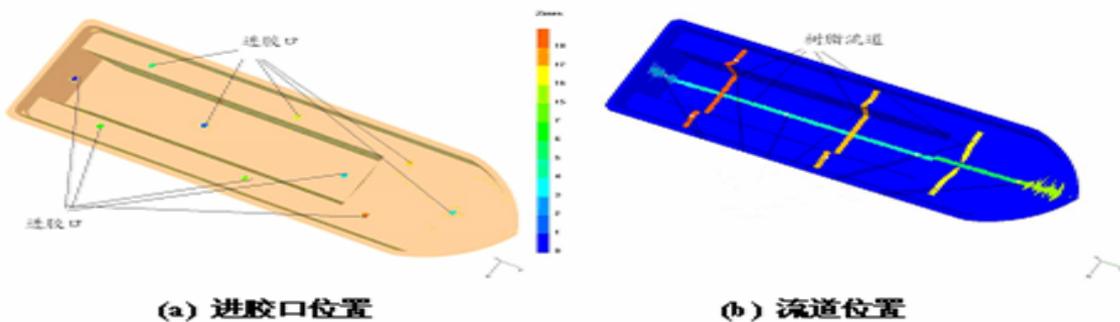


图 34 一纵三横、10个进胶口的流道排布方式

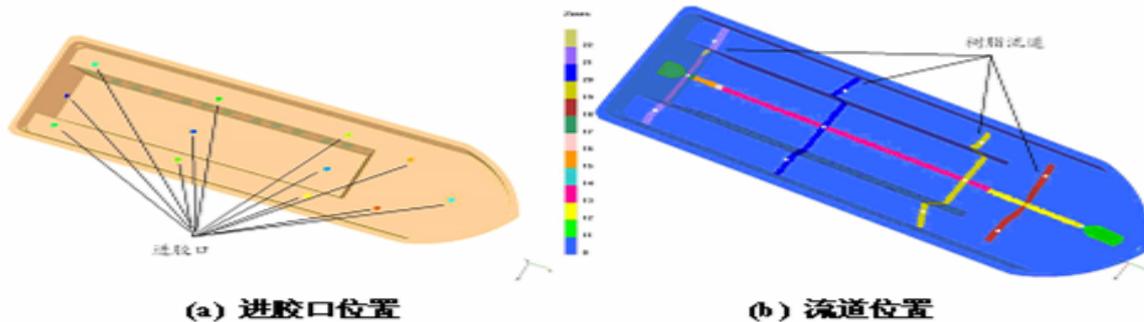
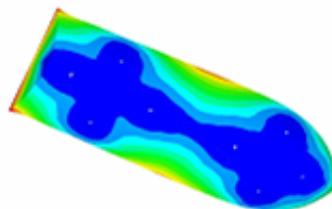
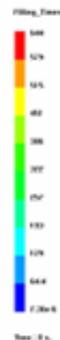
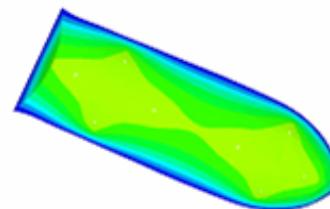
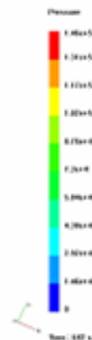


图 35 一纵四横、12个进胶口的流道排布方式

底部树脂流动模拟

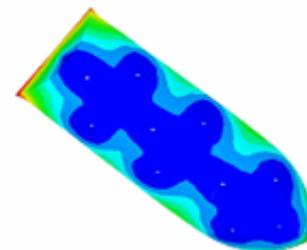


(a) 模拟树脂流动前锋图

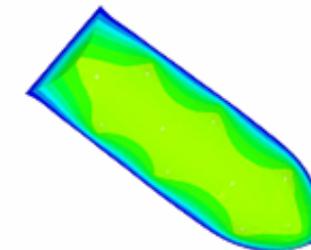
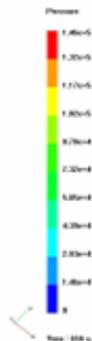


(b) 模拟树脂压力分布图

图 42 一纵两横、8 个进胶口流道排布方式的模拟结果

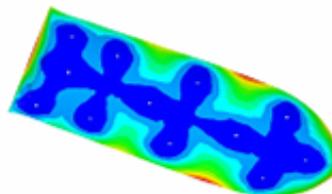
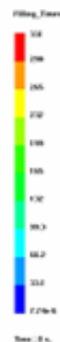


(a) 模拟树脂流动前锋图

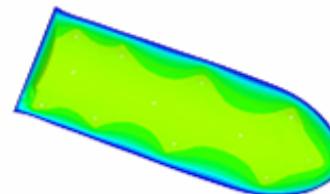
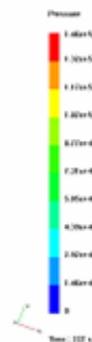


(b) 模拟树脂压力分布图

图 43 一纵三横、10 个进胶口流道排布方式的模拟结果



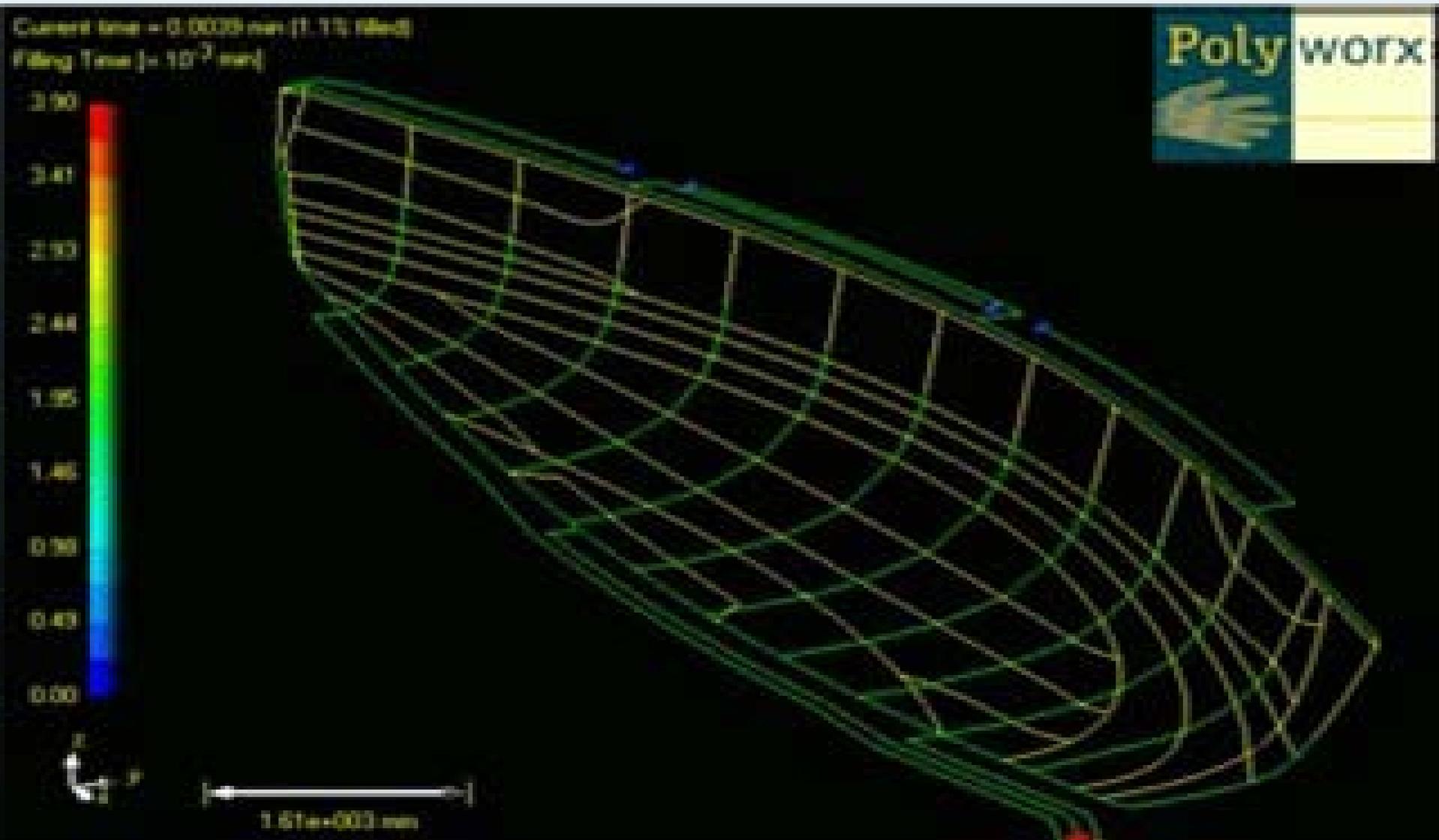
(a) 模拟树脂流动前锋图



(b) 模拟树脂压力分布图

图 44 一纵四横、13 个进胶口流道排布方式的模拟结果

船体成型仿真



引进下蛋、融汇贯通、自主创新， 技术进步促进我游艇业高层次发展

产业化推广应用



国内首艘自主研发、设计和制造的HSB7000大型豪华游艇



自主研发、设计和制造的PB433型远洋豪华帆船



70节SD1388艇



滑行效率国内第一的HP1600艇

谢谢！ Thanks！

2012-11-22 上海

