

某航天产品装配单元参数化设计及评估

Parametric Design and Evaluation of Aerospace Product Assembly Unit

合肥工业大学交通运输工程学院 姜康 王婷 贾坤
上海航天精密机械研究所 王磊

[摘要] 针对目前某航天产品装配车间存在的串行周期长、人员分配不合理、难以满足批量生产任务等问题,提出了参数化的装配单元划分以及数据驱动下的三维仿真模型生成方法。基于三维仿真软件平台 QUEST,借助 XML 跨平台数据交换技术,建立了物流模型参数化配置系统,实现装配单元快速划分下的仿真模型自动生成。通过对某航天产品实施单元化装配前后的生产能力、人员利用率对比,表明参数化的装配单元设计方法能够为企业装配工艺规划的快速调整与评估提供有力的数据支持。

关键词: 装配单元 QUEST 三维仿真 参数化

[ABSTRACT] For the issues that exist in the current aerospace product assembly plant, for example, the serial cycle is long, the staff assignments are unreasonable and the assemble mode is difficult to meet the production tasks, the method of parametric assembly cell division and three-dimensional model generation based on data-driven is put forward in this paper. With the three-dimensional simulation platform QUEST and XML cross-platform data exchange technology, a configuration system of logistics parameters model is established to achieve rapid division of assembly cell and automatic generation of simulation model. By comparisons between the production capability and personnel utilization of a particular model that unitizes assembly process, the result indicates that the parametric assembly cell design method of building models can provide enterprises with strong data support, which helps the enterprises adjust and optimize the layout of the assembly process quickly.

Keywords: Assembly unit QUEST Three dimensional simulation Parameterization

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.15.022

传统的某型号航天产品装配模式,存在着串行周期长、反复检查耗时多、人员分配不合理等问题。且当前的装配流程作业方式,适合于型号产品样机试制阶段,

此阶段交付任务相对较少,能够满足任务要求。但是,在定型批量生产任务的情形下,与生产节拍严重不协调的问题突显,难以实现既定生产目标。

同时,传统的此类航天产品装配工艺流程设计,大部分采用二维方式下的手工设计方法。此方法耗费大量的人力、物力,规划周期长,直观性差。尤其当工艺数据改变时,更改工作量大。

王志东等^[1]通过单元建设手段,从工艺合理性和并行作业等方面对发动机装配流程进行优化,提高了发动机批产交付的能力。乔桂秀等^[2]致力于研究基于 XML 的数据标准来促进信息的整合与交换,实现数据驱动下的模型自动生成以支持供应链的最优化。Roberto F·Lu 等^[3]将美国国家标准技术研究所制定的基于 XML 的通用原型仿真数据规范,运用到波音公司的机翼生产线模拟过程中,填补了交换可重复使用仿真数据的空白。本文借鉴单元制造模式思路,研究基于三维仿真的某航天产品装配单元参数化设计问题;同时为了更好地提高仿真模型中数据的可重复利用性^[4],采用 XML 跨平台数据交换技术,实现在 QUEST 环境下仿真模型的快速自动生成。

1 装配流程分析

1.1 典型装配工艺及单元划分

某航天产品总装是指在配套完成后,由工人围绕固定工位(装配工装)进行各个舱段对接装配,并进行性能测试的整个过程。典型的工艺流程及工时分配如图 1 所示。

目前的装配工艺采用了典型的串行工作方式,其装配流程较长,导致整个生产周期长。通过对装配工艺的分析发现,主要有以下 3 个方面制约装配产能的因素:

(1) 串行工作方式,效率较低。目前的装配流程采用串行方式,部分零件在装配结束后需冷却 1~2 天才能进入下道工序,装配周期长、效率低。

(2) 反复检查次数多,测试时间长。产品装配在准备阶段,需要对装配件的外观、多余物等进行反复的检查、核对,开工等待时间较长。

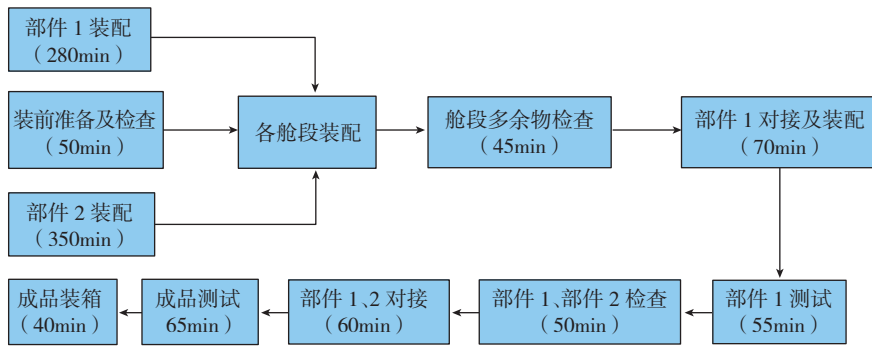


图1 装配工艺流程及工时分配

Fig.1 Assembly general process and working hours distribution

(3) 人员调配不合理,劳动生产率低。现有生产模式采用“双岗责任制”,且串行的生产模式,容易造成“人等工作”的资源浪费现象。

1.2 物流配送特点

结合某航天产品整个装配流程分析发现,目前的物流配送方式以人工搬运为主。

(1) 体积小、重量轻的装配件,通常采用人工搬运至下道工序。

(2) 体积较大、重量较重的装配件,采用人工搬运至指定机械转运设备,再由人工拖运转运设备至下道工序。

对于产品装配过程中的零部件,精密性要求极高,人工搬运风险大,且容易因工人误操作或意外情况损坏装配件;搬运部分较重零件时,工人劳动强度大,不符合人机工程学中关于人的疲劳程度、劳动效率的要求。

目前的某型号航天产品装配模式,在单件研制生产时能够满足交付需求。但在交付任务较多的批产模式下,因物流转运过程耗时长,导致物流配送与生产节拍严重不协调,很难满足批生产的需求^[1]。

2 装配单元参数化模型的构建

2.1 数据模型的建立及描述

为实现与产品设计并行的工艺设计、三维装配仿真一体化,构建了装配单元的参数化数据模型,其包含生产计划、资源模型、工艺参数、工艺逻辑、物流参数、仿真结果等内容,其逻辑关系如图2所示。

(1) 生产计划: 拟定目标产能,确定整个装配车间的生产节拍。

(2) 工艺逻辑: 主要实现不同工序间的串、并行作业方式调整。

(3) 资源模型: 管理制造资源信息,并可进行位姿参数化调整。

(4) 物流参数: 调整物流辅助设备运行速度等,使物流配送与生产运作趋于统一。

(5) 工艺参数: 进行加工时间、人员数量等调整,实现动态布局下的方案优化。

(6) 仿真结果: 直观显示仿真结果,为下一步布局调整提供数据支持。

同时,采用XML规范建立模型数据接口。XML能够以人和机器可识别的方式记录文件信息,具有良好的跨平台数据交换能力。存在几种不同机制实现XML文件内容定义,反之,也使自动检查XML文件内容

成为可能^[5]。本文用XML描述变量,部分数据形式如下:

```
<Start1 Process_Number="" Precedence_Process=""
Process_ChineseName="" Process_Time="" Equipment_
Name="" Worker_Amount="">
```

```
<Input >
```

```
<Part1 Part_Amount="1"/>
```

```
<Part2 Part_Amount="1"/>
```

```
</Input>
```

```
<Output>
```

```
< Part1/>
```

```
< Part2/>
```

```
</Output>
```

```
</ Start1>
```

其中,Start1标识某一工序名称,Process_Time定义工序时间,Input、Output分别定义零件的输入和输出内容。

2.2 仿真模型的动态生成

DELMIA/QUEST是一款较成熟的三维数字化物流

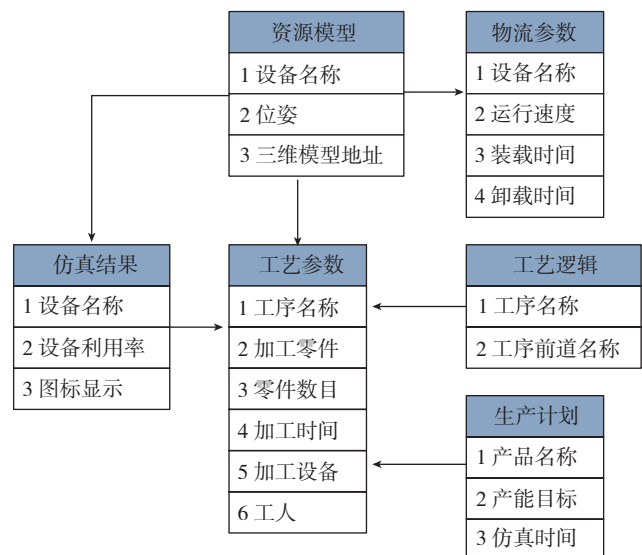


图2 装配单元参数化数据模型

Fig.2 Parametric data model of assembly unit

系统仿真环境,它是柔性的、面向对象的离散事件仿真工具^[6],能够对生产工艺流程的准确性与生产效率进行仿真和分析。为实现产品装配过程从设计到方案确定的可视化仿真分析,本文利用 XML 转换成不同格式目标文件的能力,实现数据驱动下三维仿真模型的自动生成。具体流程如图 3 所示。

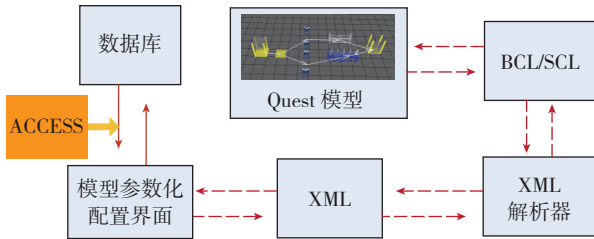


图3 物流参数化实施过程

Fig.3 Implementation process of logistics parameterization

其中,双向箭头方向表示数据的存储与索引,虚线箭头表示从模型参数化配置界面到 QUEST 环境下自动生成模型的流程。可以通过 Excel 或 Access 方式,将相关数据自动录入到参数化配置界面中;通过可扩展的标记语言 XML 实现数据的自动读取,借助 XML 解析器生成 BCL (Batch control language) 和 SCL (Simulation control language) 文件, DELMIA/QUEST 可以执行上述文件,从而快速自动生成三维仿真模型。

在模型参数化配置界面中,可以修改工艺时间,改变工序的串、并行工作方式,增减装配设备的数量,调整设备位置等。通过 XML 重新读取修改后的数据内容,生成 QUEST 可以执行的 BCL/SCL 文件格式,实现数据驱动下的模型快速自动生成。

3 装配单元的划分与评估

3.1 装配单元划分流程

整个航天产品装配单元的划分,是一个不断迭代、进行优化选择的过程。具体过程如图 4 所示。

实施产品装配单元划分需在保证质量的前提下进行,初始划分阶段主要内容如下:

(1) 独立子单元划分: 独立子单元是能够并行工作的流程。为最大限度地减少装配等待时间,将可以并行的工作划分为独立子单元,实行并行作业方式。

(2) 人员动态分配: 划分子单元后,由“双岗制”原则结合人员最小需求方法,确定人员数量,有效减少人员闲置和资源浪费。

(3) 工艺组件分配: 独立子单元中,将几个内容相近、位置靠近的工序组合成一个新的“工艺组件”。

(4) 物流辅助设备: 工艺组件分配完成后,根据实

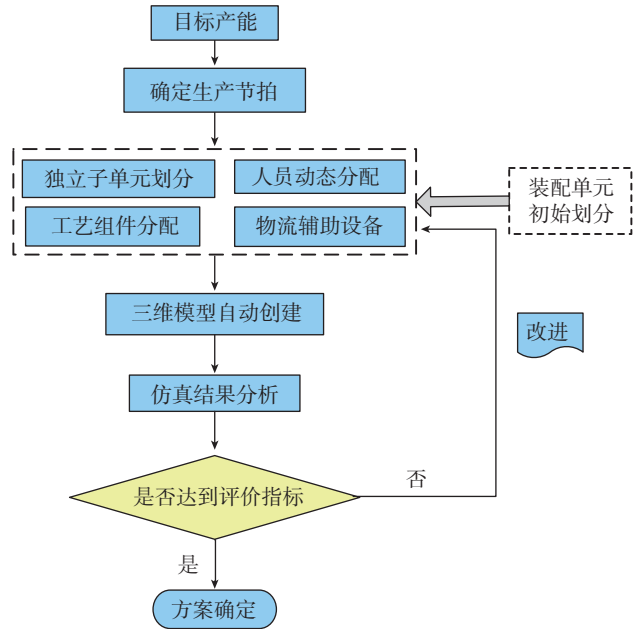


图4 装配单元划分流程图

Fig.4 Flowchart of assembly unit division

际生产状况合理安排物流辅助设施,提高物流配送和人员操作效率。

(5) 评价指标: 通过目标产能、生产节拍、阻塞情况,以及装配协调性、并行度、稳定性、准确度、装配工作量等方面^[7],对初始装配单元划分结果进行评估。

对于需按顺序进行的串行装配流程,定义为连续子单元,并按一定原则划分为几个相对独立的单元。若企业改进工艺流程,改变串、并行作业模式,进行人员动态调整,可借助 QUEST 仿真软件中的 BCL 语言实现。

3.2 确定生产节拍

生产线上生产 2 件产品之间的间隔时间或产品在各工作站间每移动 1 次所需的间隔时间称为生产线的节拍时间^[8],生产节拍是精益生产的关键理念。当生产线的工位数目未确定的情况下,可通过年产量或月产量,以及工作制度按下式计算生产节拍 τ ^[9]。

$$\tau = \frac{s \cdot \gamma \cdot g \cdot \alpha \cdot d \cdot 12}{V \cdot \beta} \quad (1)$$

式中, s 为 1 个工作班的理论工作时间; γ 为时间利用率; g 为每日工作班数; α 为工人劳动出勤率; d 为每月计划工作日(天); V 为企业年度计划生产产量(发); β 为生产线生产能力储备系数。

4 基于三维仿真的单元化装配能力分析

4.1 参数化配置界面

本文以某型号航天产品装配工位设计为对象,通过在 QUEST 三维仿真环境下交互式的实现每一步操作,验证装配单元划分效果。图 5 为该系统的人机界面。

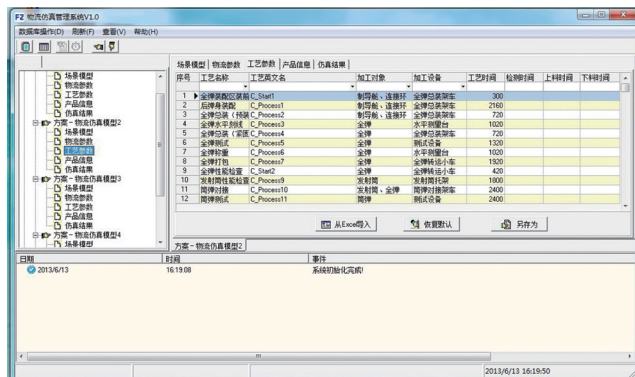


图5 物流模型参数化配置界面

Fig.5 Parameterization configuration interface of logistics model

现将整个装配流程的工艺参数、物流参数、场景模型等信息,输入到参数化配置界面中,自动生成三维环境下物流仿真装配单元设计方案1(见图6)。从图7对应的工人利用率图表中发现,部件1工人(预紧)和部件1、部件2检查工人的利用率均较低,需进一步调整。

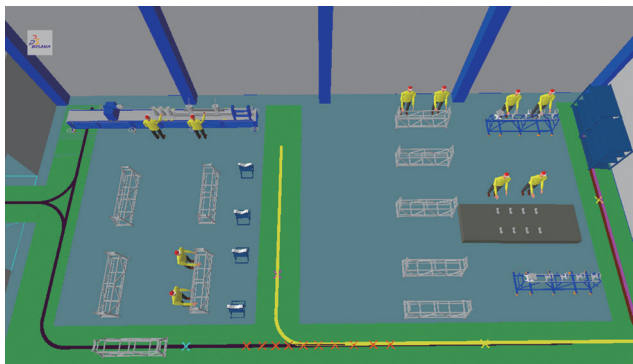


图6 QUEST环境中方案1三维布局

Fig.6 3D layout of scenario 1 in QUEST

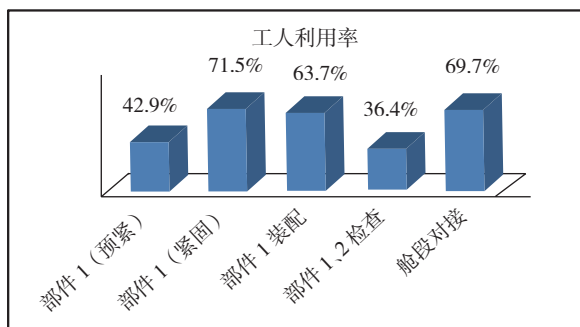


图7 方案1工人利用率

Fig.7 Worker utilization of scenario 1

4.2 方案改进与分析

改变传统手动式的直接在物流仿真模型中更改相关参数,本文借助参数化配置界面实现串、并行工艺逻辑、设备数量、布局位置等内容的调整。针对方案1中部件1(预紧)和部件1、部件2检查工人利用率不高,

进行调整。

(1) 部件1、部件2的成品装配区域:减少工人数量,更改并行作业为串行方式,BCL实现过程如下:

```
SET 'Machine1' PROCESS LOGIC TO 'Precedence Process'
```

.....

```
SET PROCESS 'Process_1' AS PRECEDENCE FOR 'Process_2'
```

(2) 部件1装配区域:增加一套预紧设备,实现部件1(预紧)工人与部件1(紧固)工人的并行操作。

基于上述调整结果,利用参数配置界面,自动生成装配单元设计方案N,如图8所示。仿真结果如图9所示,工人利用率整体较高且均衡,QUEST仿真结果表明产品数量达到了拟定要求。动态布局下模型的快速调整、生成,实现了装配设计向装配工艺的有效传递,促进人员有效配置,提高了目标产能。

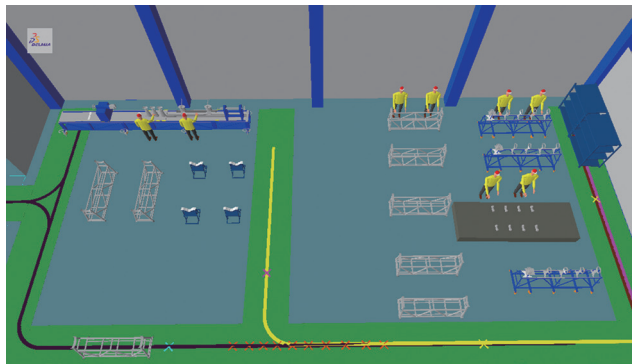


图8 QUEST环境中方案N三维布局

Fig.8 3D layout of scenario N in QUEST

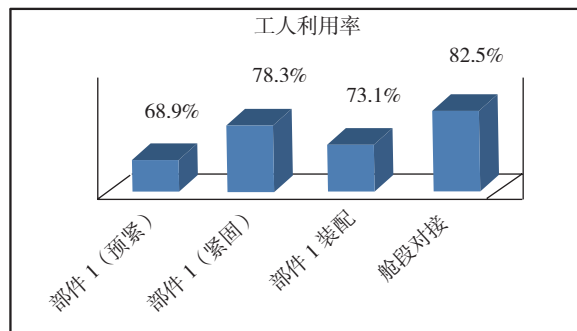


图9 方案N工人利用率

Fig.9 Worker utilization of scenario N

5 结论

为了解决目前某航天产品装配过程中存在的串行周期长、人员调配不合理等问题,本文提出了参数化的装配单元划分方式,实现了数据驱动下的三维仿真模型快速生成,从而使工艺内容提前介入设计,提高了产品

(下转第28页)

```

SetAccessCommand(pCalAng,"CalAngHdr");
SetAccessNext(pPickMsg, pCalAng);
.....
// 创建新菜单
NewAccess(CATCmdContainer,pMenu,CATUserMainb
ar);
NewAccess(CATCmdContainer,pCATUserMainMenu,
自动标注角度);
SetAccessChild(pCurveM,pCATUserMainMenu);
.....
SetAddinMenu(pAutoDrwAng, pMenu);// 添加系统菜单
AddToolbarView(pAutoDrwAng,1,Right);// 添加系统
工具条
    
```

3 标注实例

图3为飞机弯边零件的三维数模,包括4个弯边,分别为直弯边和曲弯边,使用本软件处理后得到的二维标注视图如图4所示。

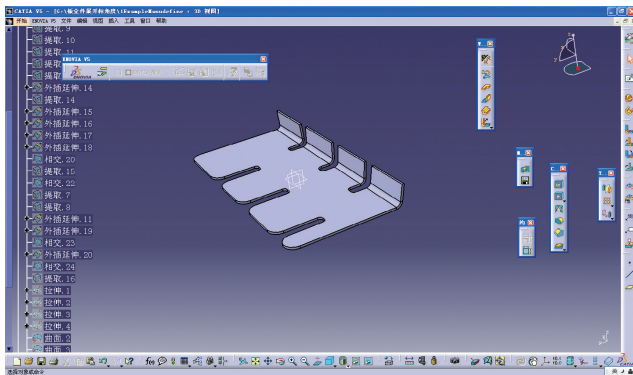


图3 零件三维数模
Fig.3 Parts 3D digital model

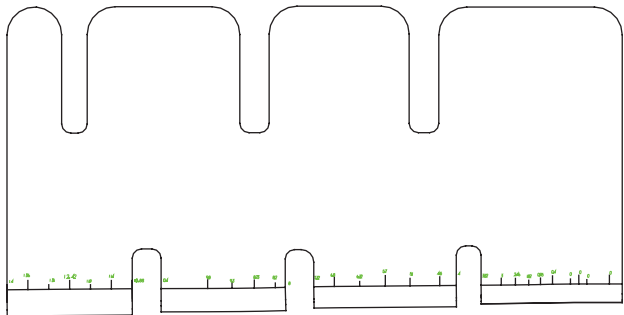


图4 展开后的标注视图
Fig.4 Flat pattern dimensional view

4 结论

本文提供了一个飞机钣金件二维展开视图自动标注弯边角度系统,能够对机身、机尾翼等各种复杂零件的弯边二维展开图自动生成角度线位置,并按预定

规则进行角度值的标注。处理结果满足企业要求,实现了零件处理的自动化,从而缩短了飞机生产准备周期。

参考文献

[1] 张敏,苏兰海,王君英.基于CAA的CATIA用户自定义特征创建.机械设计与制造,2008(9):87-89.
 [2] 龙峰,樊留群.CATIA V5二次开发技术探讨.淮阴工学院学报,2005,14(5):21-27.

(责编 亿霖)

(上接第25页)

的设计工艺性,降低制造风险。

通过在构建的参数化配置界面中调整串、并行逻辑,修改工序时间,改变设备布局位置等内容,借助XML技术,可以实现仿真模型在QUEST环境下的快速自动生成。对多个装配布局方案的快速调整,增强了仿真模型的可更改性,提高了设计人员的效率。而如何构建装配单元评估体系,实现对仿真方案的智能化自动迭代、优化,是将来研究的重点。

参考文献

[1] 王志东,敖洪峰,沙建军,等.氢氧发动机装配单元制造模式研究.航天制造技术,2012(6):10-18.
 [2] Qiao G, Riddick F. Modeling information for manufacturing-oriented supply-chain simulations//Ricki G I, Manuel D R, Jeffrey S S, etc. Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference. New York:IEEE Press, 2004:1184-1188.
 [3] Lu R F, Qiao G, McLean C. NIST XML simulation interface specification at Boeing: a case study//Chick S, Sánchez P J, Ferrin D, etc. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference. New York:IEEE Press, 2003:1230-1237.
 [4] Nicholson S. The XML assembly line: Better living through reuse// W3C World Wide Web Consortium.XML Europe '99 Conference Proceedings.Graphic Commun. Assoc, Alexandria,USA, 1999: 397-403.
 [5] Qiao G, Riddick F, McLean C. Data driven design and simulation system based on XML //Chick S, Sánchez P J, Ferrin D, etc. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference. New York:IEEE Press, 2003: 1143-1148.
 [6] 樊树海,肖田元,乔桂秀,等.基于DENEb-QUEST质量仿真系统设计与实现.系统仿真学报,2002,14(5): 607-608.
 [7] 景武,赵所,刘春晓.基于DELMIA的飞机三维装配工艺设计与仿真.航空制造技术,2012(12):80-86.
 [8] 杨召凯,刘德忠,李志强.发动机生产线装配问题研究.机械设计与制造,2008(1):215-217.
 [9] 郭佳,吴永林,张勤满,等.某轻型飞机总装生产线规划与仿真.航空制造技术,2012(1):139-143.

(责编 叶枫)