

民机维修 BOM 的独立构建方法*

Research on Independent Construction Methods of Maintenance BOM of Civil Aircraft

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 田刚 莫蓉
中国人民解放军 91395 部队 马献伟

[摘要] 针对我国民用航空业维修中 BOM 数据来源困难的现状,提出了一种独立构建维修 BOM 的方法,通过建立维修 BOM 的架构组织,定义和添加了维修过程中必要的属性,并使用静态 BOM 实例化方法进行版本发布,进行了物料的差异化管理,实现了维修 BOM 的构建与应用,最后通过应用案例证明了该方法的有效性,并已应用于工程实践。

关键词: 民机维修 物料清单 数字化维修

[ABSTRACT] By analyzing the status of BOM data source deficiency in China's civil aviation industry maintenance, a method of independently constructing maintenance BOM has suggested. This method has established maintenance BOM organization, defined and added necessary attributes in maintenance process, used static BOM instantiating in material differentiated management of edition release. Finally, though the maintenance BOM construction and application in an engineering practice sample case, it demonstrates that this method is quite effective.

Keywords: Civil aircraft maintenance Bill of material Digitalized maintenance

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.19.110

数字化技术在航空工业领域具有广泛的应用,特别是物料清单(Bill of Material, BOM)的管理贯穿于设计、制造等环节。但是,在航空运营与维修行业, BOM 仍然缺乏有效的数字化管理手段和方法。这是由于运营部门的维修对于 BOM 的需求与设计制造不同所致。目前,我国各大航空公司在飞机数字化维修过程中很少采用 BOM 将维修的部件/附件管理起来,基本上都是采用纸质的维修手册蕴含的内容进行管理。而随着航空产业数字化程度的加深以及向维修维护服务的业务拓展,在飞机设计和制造都采用数字化的 BOM 进行物料管理的环境下,需要提出一种民机维修 BOM 的构建方法来提

高维修信息管理效率。近几年,对与维修相关的 BOM 研究主要包括:文献[1]中提到了中性 BOM 和实例 BOM 方法的构建来解决 BOM 的版本问题,以中性 BOM 为核心的维修知识管理和物料结构追踪技术来综合运用全生命周期知识;采用基于规则的维修策略表示和判定技术为精益维修的实施提供支持。文献[2]中构建了一种 BOM 单一数据源模型,设计了基于主/子模型集成的集成方法,并根据集合论关系原理,分析了单一产品数据源数据组织的约束关系。文献[3][4]则提出了不同类型 BOM 之间转换的方法,运用了遗传算法和在数据库层面上层次码与指针码转化算法。这些文献中,对 BOM 本身整体性的研究都比较深入,提出了一些概念性的方案,但没有专门针对 MRO (Maintenance, Repair & Overhaul) 过程中维修 BOM 的设计和生成进行着重分析和研究。本文通过对航空维修领域进行深入调研和分析,提出了一个符合我国航空维修现状特点的维修 BOM 独立构建方法,并已实际应用于维修生产中。

1 民机维修 BOM 的作用和特点

民机维修 BOM 指的是在民用飞机数字化维修过程中所需要的 BOM 信息,维修 BOM 包含了民用飞机各部件、组件和零件之间的关系。一般地,维修 BOM 是按照一定的编码规则、名称、使用数量、价格、维修工具和供应商等海量数据组织在一起的。在航空维修领域,维修 BOM 还必须包括零部件的可维修性、时寿、检查周期和工作类型等与航空维修密切相关的信息,有时候还必须与维修部件的三维模型库、IETM (电子式交互手册) 等信息进行集成。

维修 BOM 架构上和设计 BOM、制造 BOM 等 BOM 的表达形式类似,宜采用树状结构进行组织。除根节点外,所有的子节点都必须包含上述民机维修 BOM 中所提及的信息,而且具有以下特征:

(1) 内容可扩展性:维修 BOM 中零部件的信息,在某新机型初始的维修过程中是确定的;但随着该型号飞机在实际维修过程中维修经验的不断积累,需要对初始的维修大纲和手册进行修订。相应地,维修 BOM 也可以相应随之增删改,即维修 BOM 应该具有可扩展性。

* 基金项目:工信部“民用飞机维修数字化辅助工具及其应用技术研究”。

(2) 编码唯一性: 在飞机的全寿命周期内, 维修 BOM 中各部件的编码一旦给定将不可改变, 各部件的编码是唯一的, 不允许重叠。

(3) 时间序列性: 民机维修 BOM 由于涉及的维修部门(航线、工程、航材)、维修方式(外场、内场、返厂)各不相同, 而飞机同一型号的改型又有众多。这就要求维修 BOM 应该具有好的时间序列性, 即版本易于控制。

2 维修 BOM 的独立构建

一般情况下, 飞机由制造厂交付运营商后只是附带了维修手册和维修大纲等纸质材料, 并没有为维修部门直接提供维修 BOM, 而且飞机制造业与运营维修业的侧重点不同和信息不对等, 因此独立建立维修 BOM 以利于维修过程的开展是非常必要的。

根据上节对维修 BOM 的分析, 本文将维修 BOM 主要归纳为:

$$WBOM = \{STR, Attr, Mdl, \dots\},$$

其中, WBOM 表示维修 BOM, 由架构、属性、几何模型等要素组成——架构(Str)即为该维修 BOM 中维修对象的结构组成, 通常在应用时使用编码进行组织; 属性(Attr)即表示各物料在维修过程中相关的维修属性; 模型(Mdl)为物料相关的三维或者二维几何模型。若要独立生成维修 BOM, 首先需要建立维修 BOM 的架构, 然后添加相关的属性和模型信息。

2.1 维修 BOM 架构及编码

维修 BOM 架构与设计 BOM 结构相似, 采用树结构表达飞机的结构和系统。但是编码形式和内容与设计 BOM 完全不同。维修 BOM 的架构需要体现以下方面的内容:

(1) 维修 BOM 的粒度: 维修 BOM 作为维修活动的数字化支持部分, 其整体的粒度层次需要与维修活动一致。维修活动所涉及到的主要是飞机的结构、系统和区域, 维修的对象只是针对相应的部件和附件。所以, 维修 BOM 不需要像飞机的制造 BOM, 除须涉及部/附件的层次, 不须进一步的设计加工环节的具体零件层级。

(2) 维修 BOM 的范围: 维修 BOM 除了需要包含相应的维修部件、附件的信息, 同时还需要包括飞机维修相关的工具、夹具、车辆等外围物料的信息。这样才能在具体应用维修 BOM 时可以对维修活动实施所涉及到的各物料进行统一的无差别调配, 在真正意义上实现维修 BOM 的效能。

(3) 维修 BOM 的文档: 航空维修活动是在维修手册的指导下进行的, 维修 BOM 在编纂的时候需要充分考虑到维修互动中需要查询的手册和文档, 需要将其门类别的挂载到相应的维修部附件之下。

(4) 维修 BOM 的编码: 编码是 BOM 的重要组成部分, 一个优秀的维修 BOM 其编码自身就能够体现维修 BOM 在本文第一部分所阐述的维修特征。

这里需要着重指出, 航空维修都是在一定的维修标准下实施的。由于我国民用飞机的机型大部分都是国外的型号, 维修标准也是采用的国际通行的标准。纵观国内外的维修标准, 无论是美制还是欧制的标准都是在同一个维修标准即 ATA100 上通过组合优化建立起来的。ATA (美国航空运输协会) 在 2001 年将 ATA 2100 规范“飞机支援数字化资料标准”和 ATA 100 规范“航空产品技术资料编写规范”的最新版本组合形成 ATA 2200 规范“航空维修资料标准”^[5], 该标准通过多年的实施已经在全球各大航空公司得到了广泛的应用, 本文采用该标准对航空维修 BOM 进行组织。

目前, ATA2200 标准中主要有三种编码的方式得到了广泛的应用, 即“三要素”编码、区域编码和页码组编码。其中页码组编码主要应用于文档的编制, “三要素”编码和区域编码则可应用于维修 BOM 的编码。

区域编码和“三要素”编码是相对独立的两套系统, 具有低耦合、高内聚的特性。确定设备的“三要素”编码主要是为了完成系统/结构类型的 MRO, 而确定设备的区域编码主要是为了完成区域类型的 MRO; 由于系统/机构类型和区域类型的 MRO 具有一定的空间相关性, 所以确定“三要素”和区域编码中的一种, 另外一种编码将会更易于确定。维修 BOM 的架构组织可以表示为

$$Str = \{Tr, Zn\},$$

即维修 BOM 的编码架构可以表示为“三要素”编码(Tr)和区域编码(Zn)的组合, 如图 1、2 所示^[5]。

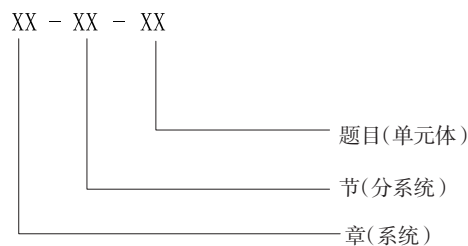


图1 “三要素编码”(Tr)

Fig.1 Encoding by three factors

对维修 BOM 进行“三要素”编码和区域编码后, 就将维修 BOM 的整体架构搭建了起来, 并且满足对维修 BOM 编码唯一性和内容可扩展性的要求。

2.2 维修 BOM 的维修属性

由于民机在具体的维修阶段, 主要关注的是飞机的系统、分系统、部件和区域的维修, 而零件的工程属性部

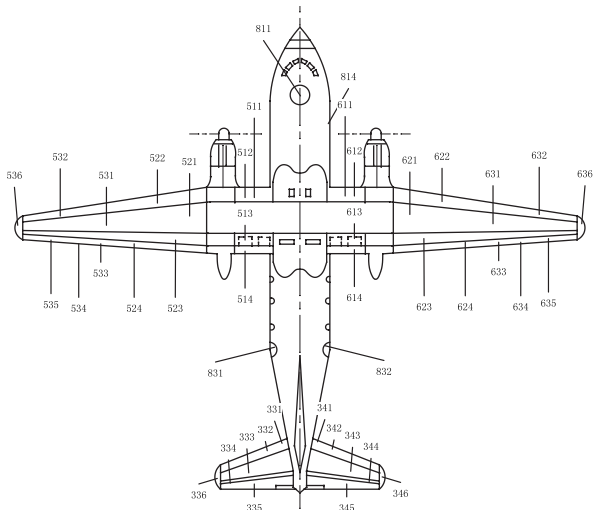


图2 ATA区域编码(Zn)构图
Fig.2 ATA zone encoding

分不再是关注的重点。同时,因为生成的是维修 BOM,所以相应的维修类的描述信息应该添加进去。

(1)可维修性(MA):该属性用来描述飞机某部件适合维修的类型,分为4种类型——M表示一般性

日常维护(Maintenance),R表示运营商级别的维修(Repair),O表示制造商级别的飞机大修(Overhaul),N表示无法进行维修、只能进行更换的一些部件。

(2)时寿(SL):即该部件能够使用的时间,飞机使用到该时间后必须进行更换维护。

(3)检查周期(EP):即需要对该部件进行相应检查的时期。

(4)工作类型(JT):即该部件需要进行哪一类的维护检查——LU/SV表示润滑/保养,OP/VC表示使用/目视检查,IN/FC表示检查/功能检查,RS表示回复,DS表示报废。

(5)故障后果(FC):表示该部件发生失效后将会产生的哪一类故障后果,使用数字进行表示——5表示明显的安全性影响,6表示明显的使用性影响,7表示明显的经济性影响,8表示隐蔽的安全性影响,9表示隐蔽的非安全性影响。图3表示的是明显故障的判断方法,其他类型的故障后果的判断方法类似。

以上维修类的描述大体上可以表示该部件的维修属性,都是在外场和内场维修以及航材备件资源管理中应用到的维修知识的描述,具体的操作参照MSG-3标

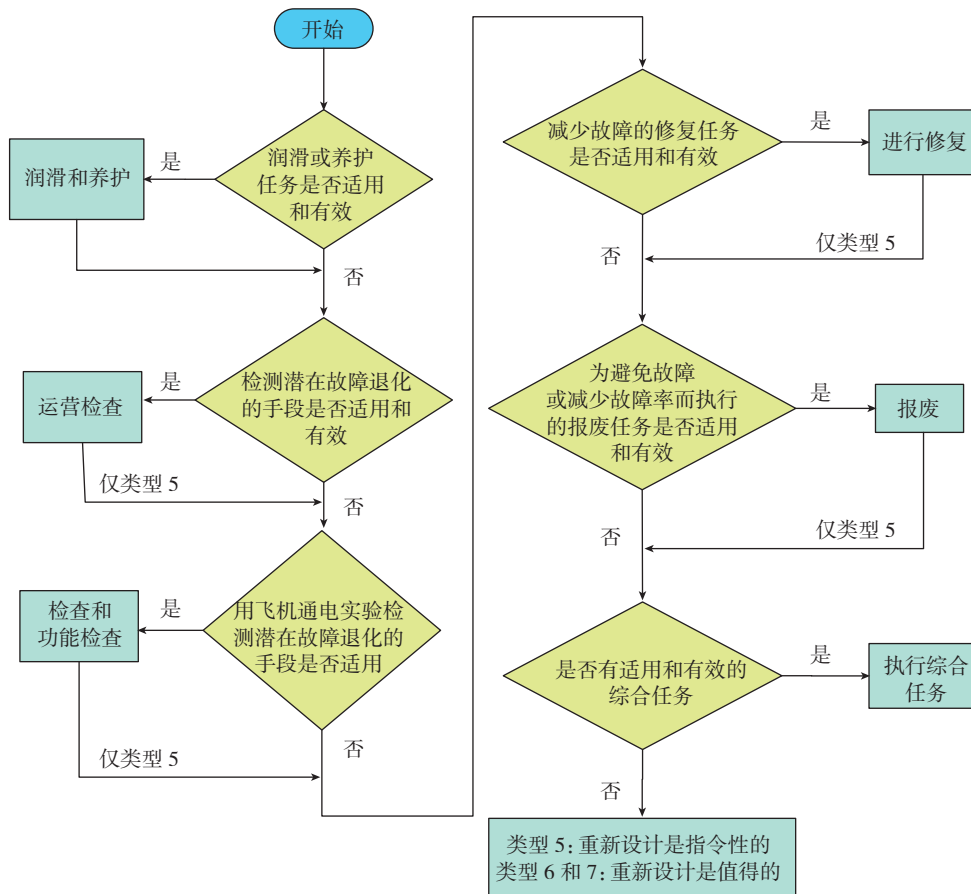


图3 明显故障的判定
Fig.3 Determination of the apparent failure

准^[6]。可以表示为式:

$$\text{Attr}=\{\text{MA}, \text{SL}, \text{EP}, \text{JT}, \text{FC}, \dots\},$$

2.3 维修 BOM 的发布

在完成了维修 BOM 架构的建立和维修属性的添加,并与各物料对应的模型信息进行关联,基本上维修 BOM 已经构建了出来,这时需要对维修 BOM 进行相应的发布。

单一的一套维修 BOM 在实际应用中既要能够对维修进行指导,同时还需要不断的完善本身的信息,既有信息的流入也有信息的流出,而且很多情况下同一个大型号飞机下的小型号都是按照客户需求定制的,单一的维修 BOM 显然无法满足这样的需求。此时,应对维修 BOM 进行版本管理,以实现维修 BOM 的时间序列性,将会收到比较好的成效。基本步骤如下:

(1) 首先建立静态 BOM (stBOM) 和实例 BOM (inBOM)。

静态的 BOM 指得是具有静态数据的维修 BOM,如图 5 左侧的结构树便是静态 BOM 的重要组成部分,基本上所有的飞机型号都是包括机体系统、结构、动力装置等基本的组成部分,这些信息都是必须的,而且可以作为维修 BOM 进一步实例化的母版。

实例化的维修 BOM 则是依据飞机不同的类型、型号和子类型,参照记录各部件运行和维修期间的具体信息按照静态 BOM 为蓝本,而进行特定实例化的维修 BOM。

这里需要指出静态 BOM 和实例化 BOM 是一个相对的概念,将适用于所有飞机的静态维修 BOM ($stBOM_{origin}$) 实例化为适用于螺旋桨飞机的维修 BOM ($inBOM_{1st}$), 可以作为其某型国产民用飞机的静态 BOM ($stBOM_{1st}$); 而实例化后的某型国产飞机的维修 BOM ($inBOM_{2st}$) 又可以作为其各个子型号的静态 BOM ($stBOM_{2nd}$), 如下式所示。

$$\begin{aligned} \{stBOM_{origin} \xrightarrow{\text{instantiating}} inBOM_{1st}\} &\Rightarrow stBOM_{1st} \\ \{stBOM_{1st} \xrightarrow{\text{instantiating}} inBOM_{2nd}\} &\Rightarrow stBOM_{2nd} \\ \{stBOM_{2nd} \xrightarrow{\text{instantiating}} inBOM_{\dots}\} &\Rightarrow stBOM_{\dots} \end{aligned}$$

(2) 然后对维修 BOM 进行差异性分布并进行版本管理。

针对 BOM 版本管理的差异性,各个不同的型号和不同的维修部门建立与其相关的维修 BOM,进行差异性分布式管理,使各个维修部门高速访问和写入相关的 BOM 信息,将可以有效地压缩 BOM 占用系统空间,同时不会丢失任何记录的数据。总体的版本控制流图如图 4 所示。

本文以某型国产民用飞机维修为例,说明维修 BOM

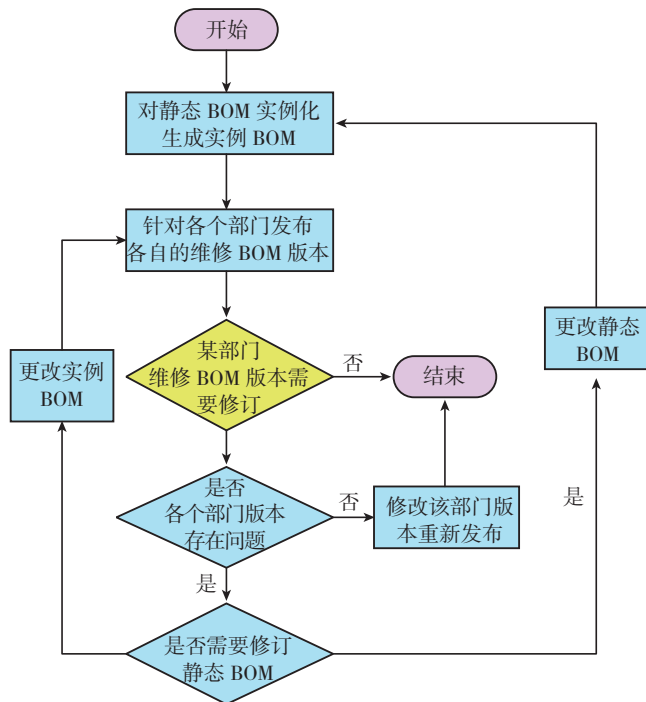


图4 维修BOM版本管理

Fig.4 Edition management of maintenance BOM

的构建方法。独立构建维修 BOM 的原型系统如图 5 所示,页面左端显示飞机的结构树:顶层分支表示为飞机总体的分化,与原始的静态 BOM 一致;次级分支表示螺旋桨飞机的分化,与螺旋桨飞机的静态 BOM 一致;在次级分支表示其结构的分化,并具体实例化到某部门。从图 5 中可以看到,飞机部件级别的 BOM 包含编码、区域编号、三维模型、版本号、手册、检验报告和往期版本等。主起落架减震支柱表示的版本号为 1.A.2.1,从左至右第一位数字表示静态 BOM 为原版,没有进行更动;第二位字母表示,该物料为实例化到 A 部门的维修 BOM;第三位数字表示该物料的实例化 BOM 进行过两次更动;第四位数字表示该物料自身进行过一次更改。同时,该物料在下挂的往期版本中存储更改之前的编码、区域编号、三维模型、版本号等信息。页面的右侧部分则表示选中物料(图 5 中选中为起落架)的构成部件的维修信息,包括编码、区域、名称,以及可维修性、时寿、检查周期、工作类型和故障后果等维修属性。

3 结束语

建立维修 BOM 是实现航空数字化维修不可或缺的部分。本文所提出的方法,兼顾了我国航空应用的实际,对提高航空装备的可靠性和降低维修费用发挥了一定的作用。随着我国航空产业数字化程度的不断加深,如

(下转第 117 页)

焊缝横截面如图 10 所示。

测量图 10 中各焊缝熔深,并计算对应焊接过程稳定焊接阶段的近红外光信号相对强度,熔深与近红外光信号之间的变化规律如图 11 所示。近红外光信号强度随着熔深的增大而增加,二者之间呈现较为明显的二次曲线关系。因此,在一定工艺范围内,利用近红外光信号对焊接熔深进行实时监测或控制是可行的。

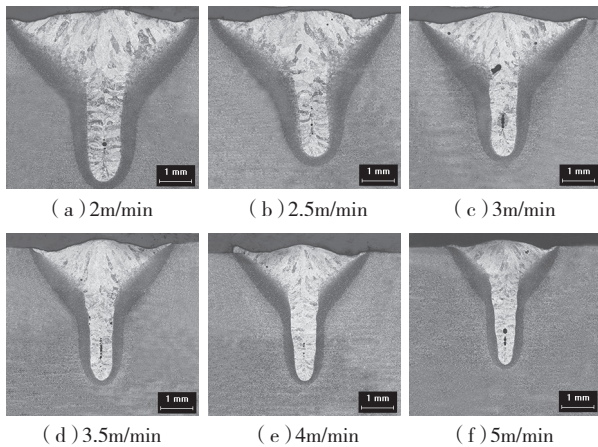


图10 焊缝横截面

Fig.10 Weld cross section

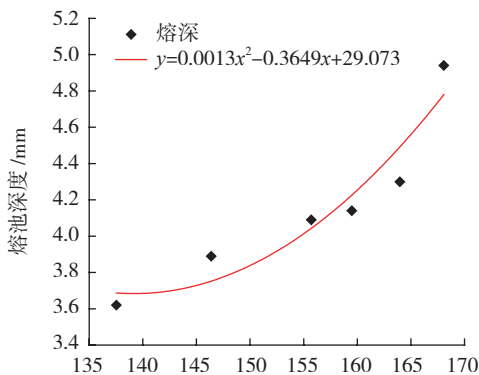


图11 近红外光信号相对强度与熔深的关系

Fig.11 Relation between near-infrared light signal relative intensities and penetration

3 结论

(1) 本试验条件下,近红外光信号强度与熔池表面尺寸之间存在线性关系,在穿透型与非穿透型小孔条件下,二者之间的线性关系式不同。

(2) 本试验条件下,近红外光信号强度与熔深之间存在较为明显的二次曲线关系。

参考文献

[1] 赵永庆,奚正平,曲恒磊.我国航空用钛合金材料研究现状.航空材料学报,2003(23):215-219.

[2] 宋志强.大功率光纤激光器技术及其应用.山东科学,2008,21(6):72-77.

[3] 段爱琴,陈俐,丁立民.YAG激光焊接钛合金TA15熔池特征.航空制造技术,2009(10):73-76.

[4] GAO X D, YOU D Y, Katayama S. Infrared image recognition for seam tracking monitoring during fiber laser welding. Mechatronics, 2012,22(4): 370-380.

[5] Sanders P G, Leong K H, Keske J S, et al. Real-time monitoring of laser beam welding using infrared weld emissions. J Laser Appl, 1998, 10:205-211.

[6] Yousuke K, Terumasa O, Seiji K. In-process monitoring and feedback control for stable production of full-penetration weld in continuous wave fibre laser welding. J.Phys.D:Appl.Phys, 2009, 42:1-8.

(责编 叶枫)

(上接第 113 页)



图5 维修BOM构建系统原型界面

Fig.5 Maintenance BOM construction system prototype interface

何将在设计和制造过程中已经生成的各类 BOM (工程 BOM、制造 BOM 等) 向维修 BOM 进行映射,将是本文下一步所需要探讨的问题。

参考文献

[1] 程耀安,张力,刘英博,等.大型复杂装备 MRO 系统解决方案.计算机集成制造系统.2010,16(10):2026-2037.

[2] 卢鹤,于勇,杨五兵,等.飞机单一产品数据源集成模型研究,航空学报,2010,31(4):836-841.

[3] 熊君星,赵金萍,涂海宁,等.基于遗传算法的设备维修 BOM 配置研究.制造业自动化,2012,34(12):28-41.

[4] 石双元,张金隆,蔡淑琴.层次码 BOM 与指针码 BOM 转换模型及算法.华中理工大学学报,2000,28(11):67-68.

[5] ATA2200 iSpec 2200. Copyright2001, Air Transport Association, USA.

[6] Maintenance Steering Group (MSG) Handbook MSG-3. Air Transport Association of America, 2007.

(责编 叶枫)