

湿热条件下飞机聚合物基复合材料界面问题研究进展

赵晨, 陈跃良, 刘旭

(海军航空工程学院 青岛校区, 山东 青岛 266041)

摘要: 综述了湿热环境下飞机聚合物基复合材料界面问题近年来的研究成果。分析并总结了湿热环境对复合材料界面的作用机理及对复合材料界面力学性能的影响;详细阐述了一些涉及环境作用的聚合物基复合材料界面理论与试验手段问题;最后提出了存在的主要问题及今后的发展趋势。

关键词: 聚合物基复合材料; 湿热环境; 界面性能

中图分类号: V19; V216.5 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2012)05-0062-05

Research Progress of Interface of Polymer Matrix Composites for Aircraft in Hot and Humid Environment

ZHAO Chen, CHEN Yue-liang, LIU Xu

(Qingdao Branch of Naval Aeronautical Engineering Institute, Qingdao 266041, China)

Abstract: Results in interface research of polymer matrix composites for aircraft under hot and humid environment in recent years were summarized. The action mechanism and the influence of hot and humid environment on mechanical property of interface of polymer matrix composites were analyzed. Several theories and test methods of experimental action on interface of polymer matrix composites were introduced. The main existing problems and development tendency were put forward.

Key words: polymer matrix composites; hot and humid environment; interface performance

1 飞机复合材料界面破坏研究现状

界面是指相与相之间的交界面,即两相间的接触表面。物理上并不指一个分界面,而是一个薄层,这种分界的表面具有与其两边的相所不同的特殊性质。复合材料的界面是指基体与增强物之间化学成分有显著变化、构成彼此结合、能起传递作用的微小

区域^[1]。界面层的结构由两相的表面层及由于两相间的相互作用,深入到两相内部一定厚度的区域组成^[2]。飞机复合材料的界面是复合材料主要传递载荷的部分,对复合材料性能特别是力学性能起着极为重要的作用。

飞机上应用潜力最大的复合材料当属碳纤维增强复合材料。其界面层两侧的相分别为碳纤维与树脂基体,界面相的连接使得两种材料结合在一起。

收稿日期: 2012-06-15

作者简介: 赵晨(1988—),男,河南民权人,硕士研究生,主要从事复合材料环境损伤效应研究。

然而两相物质性能迥异,在遇到相同环境、载荷条件时表现出的物理化学性质均有所不同,对界面连接的牢固程度产生比较大的影响。飞机复合材料界面的破坏主要由于载荷因素、环境因素以及两种因素综合作用。

1.1 载荷作用下的界面问题

复合材料破坏常由于初始缺陷引发,不同纤维分布对缺陷的敏感性不同。纤维纵向分布时,在纤维方向载荷作用下,裂纹缺陷附近应力集中引起纤维与基体界面沿纤维方向脱粘,加上纤维桥联增韧作用,使缺陷张开钝化,减轻应力集中,对缺陷不太敏感。纤维横向分布时,应力作用下不存在缺口钝化,裂纹容易沿原方向扩展,即对缺陷比较敏感。

康永等对树脂基复合材料中的结晶型热塑树脂复合材料界面和非结晶型热塑树脂复合材料界面问题进行了讨论和总结。研究结果表明,复合材料的残余应力同时存在于基体、纤维和界面中,基体中的应力会使基体的性质发生变化,使基体的抗疲劳强度、耐冲击性、抗压缩强度等下降,甚至会引起基体的破坏。所以通过控制界面层结构可以调整界面性能以适应不同环境的需要^[1]。北京航空航天大学肇研修正了剩余强度公式,采用百分回归分析的方法,对复合材料老化性能进行整体推断,得到了高可靠度及高置信度的老化性能曲线。

1.2 湿热条件下的界面问题

复合材料的界面是复合材料主要传递载荷部分,对复合材料性能特别是力学性能起着极为重要的作用。在潮湿环境下,树脂基体和纤维因吸水导致体积膨胀不匹配,界面产生剪应力,且渗入的水与基体及纤维水解、解交联反应,进而产生裂纹;同时,由于吸附作用,水分将吸附并渗透到纤维缺陷中,沿着纤维裂纹迅速扩散,从而助长界面上裂纹的扩展,破坏界面结构,最终导致界面结合力下降。在高温环境下,由于纤维与树脂基体热膨胀系数的差异,致使界面产生内应力,也会间接影响界面力学性能。湿热环境下,由于吸附作用,水分将吸附并渗透到纤维缺陷中并沿着纤维裂纹迅速扩散,促使裂纹的生长,破坏纤维的表面结构。目前,国内外针对湿热环境下复合材料力学、物理性能研究较多,并将复

合材料湿热环境下的力学性能作为衡量其耐久性和损伤容限的参量予以考虑和研究,而对湿热环境下复合材料界面损伤机理的研究并不多见。

1942年,为了改进玻璃纤维复合材料的力学性能和电性能,国外学者开展了对复合材料界面的研究,提出了几种理论去解释和评价结果。20世纪50年代Cox和Hooper提出了界面应力模型;60年代Zisman提出了对粘结表面及表面张力的看法,Plueddeman, Erickson, Kumins等人发表了有关界面理论的著作;1974年以后, Dow, Rosen和Broutman发展了Cox的模型和剪滞分析方法,得到了有关界面应力传递更接近实际的结果;90年代, Chamis, Adams等研究了界面性质对复合材料宏观力学性能的影响,提出了一些微观理论模型,使界面问题的研究从化学物理方面深入到力学行为的研究^[2]。美国学者Pavankiran, Vaddadi等在2003年采用反转分析技术为基础的新方法,确定纤维增强复合材料的临界吸湿参数。Mezier等在研究复合材料老化问题时,也发现吸湿会使基体的性能降低,从而导致复合材料的性能降低。

在国内,中科院力学研究所展开了对碳/环氧复合材料界面对力学性能的研究,北京航空航天大学、航天材料及工艺研究所等著名高校和机构曾对基于Fick定律的复合材料吸湿行为进行研究。北京航空航天大学李向阳等人于2000年利用Rayleigh-Ritz法研究了湿热环境对分层复合材料夹层板屈曲性能的影响。中国飞机强度研究所和成都飞机设计研究所根据我国气候环境,共同编制了适用于军用飞机复合材料结构的标准加速湿热老化谱。采用自然老化和实验室加速模拟的方法,舍弃压力的变化,对地面停留环境进行加速,对飞行中的湿热变化进行实时模拟并建议进行老化后使用温度下的剩余强度试验。封彤波等研究表明:处于饱和吸湿状态下的复合材料其界面损伤最大,复合材料再次吸湿过程,水分的扩散系数和饱和吸湿量略微增大^[4]。高温和高湿度对复合材料的力学性能有着重要影响,这两种因素的共同作用对体系性能造成的影响将会更加严重。张晖等对纯树脂研究表明环氧树脂在 $t=80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $RH=90\%$ 的湿热条件下的吸湿符合Fick第二定律,在湿热老化条件下抗拉强度基本呈线性下降,表明单一的树脂材料抗湿热老化差。从断面形貌观察可

知,材料在老化过程中呈脆性断裂,有局部增韧作用。随着老化时间的延长,材料的室温储能模量与高温模量下降,表明湿热老化主要体现为对材料的塑化作用,没有明显的后固化和物理老化作用^[5]。张静等研究表明,浸泡吸湿使材料的层间剪切强度、弯曲强度显著降低,随着时间的延长,下降的速率越来越慢。浸泡使中常温下的储能模量显著下降,尤其是单排纤维增强复合材料^[6]。DMTA测试中发现浸泡后的材料有2个玻璃化转变温度 t_g :较低的前一个 t_{g1} 随浸泡时间的延长而显著下降;较高的后一个 t_{g2} (高于干燥试样的 t_g)随着浸泡时间而升高,说明材料本身在DMTA测试温度扫描过程中发生了后固化反应。

1.3 湿热与载荷联合作用下的界面问题

法国学者Z.Youssef等人在2008年研究了湿热环境下复合材料的力学行为,对Kroner和Eshelby以力学为基础的自适应模型进行了改进,计算了纤维增强复合材料在湿热加速循环状态下的局部应力值,并利用连续力学理论计算了宏观应力。

田莉莉等进行了有外载时和无外载时的对比吸湿试验。试验结果表明,复合材料所承载荷对其吸湿行为有一定影响。增大载荷提高了水分子初始阶段的扩散速率和达到平衡时的饱和吸湿率。与无外载状态下的吸湿行为比较,有外加载荷作用下复合材料在初始阶段的吸湿率和达到平衡时的饱和吸湿率都比较大。同时,复合材料吸湿对其承载能力有明显降低作用。这是由于界面是外载荷从基体传递到纤维的途径,在吸湿过程中外载荷加速界面脱粘,使界面吸湿量增大。同时,由于界面脱粘加快,界面的承载能力也随之下降^[7]。

张玲玲等研究发现,盐渍老化对CFRP片材抗拉强度的影响最大,对延伸率和弹性模量的影响较小。冻融循环和干湿循环对CFRP片材抗拉强度的影响最大,对延伸率的影响次之,对弹性模量的影响最小。对CFRP片材抗拉强度影响最大的是冻融循环和干湿循环,对延伸率影响最大的是冻融循环,而弹性模量受3种因素影响的差别不大,多因素耦合作用对CFRP片材抗拉强度和延伸率的影响很大,降低幅度远高于几种因素单独作用的情况,但并不是这几种因素单独作用结果的简单叠加^[8]。

2 复合材料界面研究存在的若干问题

2.1 界面研究的理论问题

在复合材料界面研究过程中,许多学者都提出了不同的理论用以解释复合材料界面损伤的不同状况,也提出了多种宏观以及微观力学模型。

2.1.1 弹簧模型

J.D.Achenbach用弹簧模型探讨了层间相材料参数对应力分布的影响以及对整个复合材料应力-应变曲线的影响。以线性或非线性的弹簧来表征双材料结合部的相互约束,通过引入切向与法向的弹簧,必要时引入相应的阻尼,从而在理论上描述界面层材料对界面两侧材料的约束。在实际计算模型中,假定通过界面相时径向和横向力是连续的,假定位移是不连续的,但是弹簧模型的弹性系数不直接与第三相材料的参数联系起来^[9]。此模型最初被较多应用于界面动力学特性的研究,近年来也出现于一些结合材料破坏分析方面的应用。对于实际材料,弹簧模型有其局限性。实际情况下径向力和横向力通过界面相时并不连续,位移也不连续,此理论基于的两个假设并不能全面地反映材料的实际情况。

2.1.2 界面单元模型

J.M.Hohberg等将界面用于模拟岩石与混凝土的中间介质层,使用了界面单元的思想,设置实体单元进行建模。叶碧泉等考虑到界面两侧的不连续性,在结合部引入特殊的有限元单元体,对具有物性或位移不连续面问题进行了简便数值分析。界面单元可以是实体或非实体单元,需要在分析前预设单元的特性。这种建模方法用界面单元来代替界面,比较适合于数值计算,但不适宜理论分析。

2.1.3 层间粘聚区模型

陈普会等总结了复合材料层间粘聚区模型的研究现状及其在整体复合材料结构元件连接界面失效分析中的应用情况。现有的研究工作更侧重于粘聚区模型在复合材料分层扩展分析中的应用,而对复合材料层间粘聚区模型本身存在的一些基本问题以及基于粘聚区模型的元件连接界面复杂失效机理的模拟问题缺乏研究,为今后着力于建立基于粘聚区模型的整体复合材料结构元件连接界面的损伤模拟

与失效评估方法奠定了理论基础。

2.1.4 弹塑性界面力学理论

在界面裂纹尖端存在较大塑性区且材料具有硬化特性的情况下,可使用弹塑性界面力学理论进行分析评价。在裂纹尖端会出现弹塑性奇异应力场(HRR场),此时进行界面断裂的分析,必须基于HRR场。

贾普荣等对复合材料弹塑性界面进行了弹性和应变硬化状态下的变形规律及其应力分析,以纤维拔出试验为研究模型,将界面分成弹性区和塑性区。利用界面应力剪滞理论,分别建立弹性区和塑性区的界面力学基本方程。选择适当的位移函数满足基本方程及埋入纤维的边界条件,再按位移函数求出弹性区和塑性区的界面剪应力。推导出平均界面剪应力与纤维埋入长度之间的关系式并讨论了弹塑性状态下的界面失效问题^[10]。肖万伸等研究了张开型粘弹塑性界面断裂问题。用傅立叶正、余弦变换及逐段定积分变换方法将边值问题的控制方程化为奇异积分方程组。解方程后计算了裂纹尖端塑性区尺寸及裂纹尖端张开位移,并给出了能量释放率算式。结果表明,裂纹尖端塑性区尺寸和COD均随两种材料的最小屈服极限的增加而减小;随着时间增大,COD先增长后衰减,最后逐渐逼近于定值^[11]。

2.1.5 界面理论现有问题及发展趋势

尽管目前人们已经对复合材料界面理论有了诸多认识,但对于其微观损伤机理与宏观力学性能演变之间的关系建立还不够直接与量化。此外,现有研究成果对界面腐蚀的微观机理了解尚不透彻,许多现象用现有理论难以解释完满。复合材料在使用过程中受到诸多复杂因素的共同影响,也应当建立综合考虑多因素共同作用的理论模型,从而准确、合理地分析试验数据。

目前,对于复合材料宏观力学强度理论的研究已经相对成熟,进一步发展空间有限。但是细观力学强度理论与之相比具有一定的优势,主要体现在仅仅根据纤维和基体的基本参数就可以确定材料的极限承载能力。而目前对于细观力学强度理论的研究还远远不够,在精度上还达不到现有宏观力学强度理论的水平。因此,对于如何进一步发展细观力学理论,使其精度继续提高,是复合材料力学需要解决的一个问题。此外,可将宏观理论与细观

理论结合起来研究,各采所长,在复合材料结构设计阶段采用细观力学理论,在后期校核阶段使用宏观力学理论。

2.2 界面研究的试验手段问题

2.2.1 人工加速老化试验

杨亚文使用由两种环氧树脂基体、两种固化条件制作的碳纤维复合材料,在两种不同条件下进行湿热老化试验,取得了沸腾蒸馏水浸泡120 h、湿热老化10 000 h的老化试验数据。揭示了复合材料力学性能和吸湿量之间以及老化时间和吸湿量之间的关系,评定了材料的耐湿热性能。

邹国发等通过对NY9200树脂基复合材料层压板的加速老化试验研究,用力学性能下降速率的当量关系,对NY9200树脂基复合材料进行日历寿命的预测。研究结果显示,高温高湿条件下的老化过程中,各项力学性能并非一直下降,而是有个起伏的过程。这表明温度和湿度对材料性能的影响有相互矛盾的两个方面。一方面高温下,湿气的渗透,削弱了界面的性能,导致力学性能下降;另一方面,高温使材料中的树脂固化程度增加,导致性能提高。两种作用的强弱不同和相互消涨使材料力学性能出现起伏^[12]。

王琦等采用中性盐雾条件模拟海洋大气环境进行了加速老化试验,研究了碳纤维环氧复合材料在海洋气候中的耐久性。分析了该复合材料经盐雾老化试验后的质量、层间剪切强度和弯曲强度的变化,结合湿热老化机理,研究了其老化规律。结果表明,随着试验时间的增加,复合材料的吸湿量增加,力学强度下降,表现出塑性特征。在盐雾环境中,碳纤维环氧复合材料的碳纤维与环氧树脂基体的粘结情况随着盐雾老化试验时间的增加而逐渐变差^[13]。

2.2.2 自然老化试验

罗漪等在华东地区自然暴露环境条件下考察了碳纤维增强复合材料(CFRP)片材及树脂的外观、抗拉强度、弹性模量、伸长率等主要物理力学性能指标随老化时间的变化。结果表明,浸渍树脂抗拉强度与碳纤维片材抗拉强度有一定关系,而伸长率和弹性模量的变化受树脂耐久性能的影响不明显。随着老化时间的延长,两种浸润树脂质量损失严重,不同的CFRP片材和对应树脂的力学性能均有下降趋

势,浸润树脂的力学性能耐久性会影响CFRP片材的力学性能,但主要由碳纤维材料的性能决定^[14]。

张颖军等通过在湖北武汉和海南三亚进行自然环境挂片试验,模拟海洋环境中潮汐涨落或者船体结构吃水变化等引起的复合材料结构周期性浸泡—暴晒的工作环境。结果表明,对于真空成型的老化试件,老化作用比后固化作用的影响更强,树脂老化变脆,纤维/树脂界面强度和树脂强度均降低,同时试件的强度在厚度方向分布不均匀,离暴晒面近的表面层强度降低较多,在面内剪切过程中,纤维和树脂更容易发生剥离,出现局部的失稳破坏^[15]。

2.2.3 界面试验现有问题及发展趋势

近年来,人们对飞机复合材料湿热性能的研究有如下特点。

1) 研究者侧重定性研究湿热条件下,飞机复合材料的静态力学性能、玻璃化转变温度。试验中高温选定范围为60~150℃,相对湿度50%~95%,水煮时间48~4000h。国内外对碳纤维复合材料的湿热性能研究,环境均采用水煮方法,远比军用飞机服役环境恶劣得多,对材料的性能演化不能提供确切的数据基础。

2) 采用的理论方法与计算模型假设条件较多,过度简化了复合材料作用机制。对复合材料的损伤机理研究尚不清晰,缺乏对材料性能退化、损伤演化和疲劳等内在物理机制的理解;缺乏从微观机理到宏观性能之间关系的研究,不能有效预测真实服役环境下结构的可靠性,导致复合材料结构设计依赖经验,且会造成安全系数过大的问题。

3) 研究者选用的环境为单纯湿、热或湿热共同作用下材料的性能变化,没有考虑到材料在服役期间受到的载荷影响,不能正确模拟飞机真实的服役环境和飞行周期。

在进行飞机复合材料湿热性能研究的过程中,人们更多依靠人工加速老化试验的方法,对自然老化试验所做的工作还显不足。没有一个完全有效的人工加速老化试验方法来真实、准确模拟自然环境各因素的作用,因此也难以根据人工加速老化与短期自然老化试验的结果来推导一个较准确合理的半经验公式。值得关注的是,由于试验周期、经费等条件限制,国内外学者对于长期自然老化试验所做的研究还远远不足。利用自然老化试验的结果检验和

修正根据人工加速老化和短期自然老化试验所推导出来的复合材料湿热性能半经验曲线,这也是未来有待于研究的方向。此外,应在自然老化试验的基础上开展复合材料性能表征的标准化工作,寻找合适的表征来确切描述复合材料自然老化进程。在试验手段上,应在传统的力学性能、结构组分等方面之外,寻找能够进一步清晰描述复合材料老化后状态和性能的新微观观测手段,以便建立微观结构与宏观性能的直接关系。

3 结语

综上所述,湿热环境下聚合物基复合材料界面力学性能研究虽然取得了一定成果,但由于影响复合材料腐蚀环境因素的复杂性以及老化机理随高分子结构的不同存在显著差异,使得许多问题还有待于更深入研究。比较突出的一个问题是材料微观结构演变与宏观力学性能之间的定量关系。此外,对复合材料界面湿热老化机理缺乏综合的细节研究,许多老化现象并不能用现有理论很好地解释。而且,复杂环境因素对材料的叠加作用并不简单等于各单一环境对材料作用的总和,各因素的综合交互作用还需要进一步考虑。针对碳纤维复合材料在飞机特别是军用飞机结构上的迫切需求,下一步应开展的工作为对碳纤维复合材料湿热环境的模拟,湿热老化试验的设计。从而深入分析复合材料界面损伤的机理,建立起微观界面损伤组织表征参量与宏观力学性能之间的定量关系模型,掌握碳纤维复合材料界面损伤的演化规律。

参考文献:

- [1] 王荣国,武卫莉,谷万里. 复合材料概论[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1999.
- [2] 洗杏娟. 纤维增强复合材料界面的力学行为[J]. 力学进展,1992,22(4):464—478.
- [3] 康永,柴秀娟,艾罡. 纤维增强热塑树脂基复合材料界面问题[J]. 炭素,2011(2):43—45.
- [4] 封彤波,肇研,罗云烽,等. 循环湿热环境下碳纤维复合材料的界面性能[J]. 北京航空航天大学学报,2010,36(12):1428—1431.
- [5] 张晖,阳建红,李海斌,等. 湿热老化环境对环氧树脂性

(下转第117页)

方面仍需进一步开展更深入的研究工作。

参考文献:

- [1] 原艳斌,李晓钢.高加速应力筛选试验技术研究[J].装备环境工程,2005,2(2):22—27.
- [2] 李根成.环境应力筛选与应力激发试验[J].装备环境工程,2005,2(4):23—27.
- [3] 苏恺伦,郑建明.电路板环境应力筛选方法效能分析[J].装备环境工程,2010,7(6):157—159.
- [4] 王国忠.电子封装SnPb钎料焊点可靠性研究[D].上海:中国科学院上海冶金研究所,1999.
- [5] BARKER Donald B, DASGUPTA Abhijit, PECHT Michael G. PWB Solder Joint Life Calculations Under Thermal and Vibrational Loading[J]. Journal of the IES, 1992, 35 (1) :

17—25.

- [6] 元鑫.多芯片组件焊点可靠性的有限元模拟与寿命的预测[D].天津:天津大学,2006.
- [7] WONG T E, PALMIERI F W, REED B A, et al. Durability/Reliability of BGA Solder Joints under Vibration Environment[C]// Electronic Components and Technology Conference, 2000:1083—1088.
- [8] 陈颖,康锐. PBGA封装焊点寿命影响因素的有限元分析[J].半导体技术,2008,33(7):563—566.
- [9] 许杨剑.球栅阵列尺寸封装的有限元模拟及焊点的寿命预测分析[D].杭州:浙江工业大学,2001.
- [10] 褚卫华.模块级电子产品可靠性强化试验方法研究[D].长沙:国防科技大学,2003.

(上接第66页)

- 能影响研究[J].兵器材料科学与工程,2010,33(3):41—43.
- [6] 张静,张琦,马会平,等. G827 /5224 和 G803 /5224 碳纤维增强环氧树脂湿热老化的研究[J]. 装备环境工程, 2008, 5(3):16—20.
- [7] 田莉莉,刘道新,张广来,等.温度和应力对碳纤维环氧复合材料吸湿行为的影响[J].玻璃钢/复合材料,2006(3):14—17.
- [8] 张玲玲,张陵,马建勋.海洋环境下碳纤维增强复合材料片材的耐久性[J].建筑材料学报,2008,11(6):732—735.
- [9] ACHEABACH J D, ZHU H. Effect of Interfacial Zone on Mechanical Behavior and Failure of Fiber-reinforced Composites[J]. Mech Phys Solid, 1989, 37(3):381—393.

- [10] 贾普荣,矫桂琼.模型复合材料弹塑性界面应力分析[J].应用力学学报,1999,16(4):40—45.
- [11] 肖万伸,周建平,刘又文.粘弹塑性界面的断裂特性[J].固体火箭技术,2004,27(2):133—135.
- [12] 邹国发,龙国荣,万建平,等. NY9200树脂基复合材料老化性能研究[J].洪都科技,2005(1):24—28.
- [13] 王琦,檀琳琳,王洁.碳纤维环氧复合材料盐雾老化试验研究[J].装备环境工程,2011,8(5):39—42.
- [14] 罗漪,王全凤,杨勇新,等.华东自然环境浸润树脂耐久性对CFRP片材耐久性的影响[J].华侨大学学报,2009,30(6):691—693.
- [15] 张颖军,朱锡,梅志远,等.海洋环境玻璃纤维增强复合材料自然老化试验[J].华中科技大学学报(自然科学版),2011,39(3):14—17.

(上接第101页)

理的方法获得退化图像的模糊长度和模糊角度,从而能够很好很方便地对图像进行恢复。

参考文献:

- [1] 贺卫国,黎绍发.匀速直线运动模糊长度的精确估计[J].计算机应用,2005,25(6):1316—1320.
- [2] TANAKA Masayuki, YONEJI Kenichi, OKUTOMI Masatoshi. Motion Blur Parameter Identification from a Linearly Blurred Image[C]// International Conference on Consumer

Electronics Digest of Technical Papers, 2007:1—2.

- [3] 周玉,彭召意.运动模糊图像的维纳滤波复原研究[J].计算机与工程应用,2009,45(19):181—183.
- [4] 李宇成,贾宝华,杨光明.运动模糊图像的参数估计与恢复[J].计算机工程与设计,2010,31(19):4247—4249.
- [5] 王晓红,赵荣椿.任意方向运动模糊的消除[J].中国图象图形学报,2000,5(6):525—529.
- [6] 王明军,李应乐.基于形态滤波遗传算法对目标红外图像特征检测[J].装备环境工程,2009,6(1):5—9.