

电子元器件可靠性增长方法和技术

孙晓君

(北京航空航天大学 可靠性工程研究所,北京 100191)

摘要:从电子元器件的可靠性存在的问题出发,与可靠性增长相联系,简述了可靠性增长曲线和电子元器件的可靠性分析基本思路方法。从元器件可靠性物理分析技术角度,系统地阐述了失效信息的收集与分析、失效分析、破坏性物理分析、失效模式及机理与工艺的相关性分析、失效模式与影响分析等元器件的质量与可靠性分析技术,得出分析失效机理和失效原因才可以有效实现可靠性增长的相关结论。

关键词:元器件;可靠性增长;失效物理;分析技术

中图分类号:TB341 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-447X(2009)03-0051-05

1 引言

随着电子技术的发展,对电子设备产品也提出了更高的要求。由于设备技术性能和结构要求等方面的提高,可靠性问题愈显突出。如果没有可靠性保证,高性能指标是没有任何意义的,现代用户买产品就是买可靠性,对生产厂家来说,可靠性就是信誉,就是市场,就是经济效益。从整机来讲,可靠性贯穿于设计、生产、管理中。^[1]

电子元器件作为电子设备和电子系统的基本组成单元,其可靠性得到了高度重视,从部件、元器件的角度来讲,电子元器件的可靠性水平决定了整机的可靠性程度,^[2]因此电子元器件的可靠性技术也显得越来越重要。目前,国防对武器装备性能和可靠性的要求提高到一个前所未有的高度,星、箭都在进行可靠性增长工程,如果元器件的可靠性没有相应地跟着增长,星、箭的可靠性增长必将受到极大的影响。^[3]

本文从元器件可靠性物理分析技术角度出发,首先总结了电子产品可靠性增长相关的实施步骤

与过程,然后系统地阐述了失效信息的收集与分析、失效分析、破坏性物理分析(DPA)、失效模式及机理与工艺的相关性分析、失效模式与影响分析(FMEA)等元器件的质量与可靠性分析技术,说明了只有准确分析失效机理和失效根本原因,才能有效控制或消除失效模式,实现电子元器件的可靠性增长。

2 电子产品的可靠性增长基本过程与方法

2.1 可靠性增长曲线

产品的固有可靠性是由设计确定并通过制造实现的。由于产品复杂性的不断增加和新材料、新工艺、新技术的广泛应用,产品设计需要有一个不断认识、改进、完善的过程。针对样机在试验或运行当中不断暴露出的薄弱环节,加以纠正、改进,从而提高产品的可靠性水平,逐步达到可靠性目标值。^[4]

通过不断消除产品在设计或制造过程中的薄弱环节,使产品可靠性随时间而提高的过程,称为可靠性增长。有计划地激发失效,分析失效原因和改进设计,并证明改进措施的有效性而进行的试

收稿日期:2008-12-01

作者简介:孙晓君(1986-),北京航空航天大学可靠性工程研究所硕士研究生,研究方向为电子产品可靠性、失效分析与可靠性物理等。

验,称为可靠性增长试验。^[2-6]大量工程实践证明,可靠性增长是保证现代复杂系统投入使用后具有所要求的可靠性的一种有效途径,贯穿于产品寿命周期的各个阶段。在不同的寿命周期阶段,可采用不同的方法及技术实现可靠性增长。图 1 直观地表示一个理想的可靠性增长过程。^[3-5]

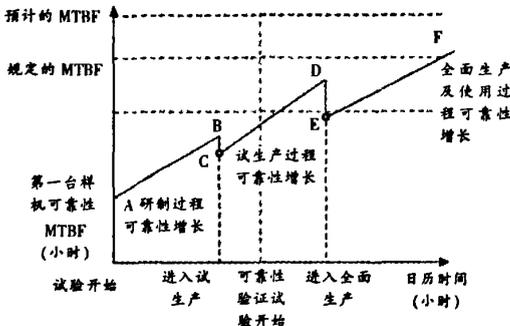


图 1 理想的可靠性增长过程

第一阶段:研制阶段。样机刚研制出来时,由于存在设计缺陷等系统性的薄弱环节,初始的平均故障间隔时间(MTBF)较低(A 点)。在可靠性增长试验及其他试验过程中,不断地暴露系统性失效,通过分析,有针对性地采取改正措施,改进设计,直到研制阶段结束,在此过程中可靠性不断增长,达到 B 点。

第二阶段:试生产阶段。由于设计阶段样机数量较少,设计缺陷很难充分暴露出来,特别是批次性的元器件缺陷不能充分暴露出来。设计阶段元器件由设计人员掌握,设计更改、元器件更换随意性较大,往往会掩盖设计方面的不足和元器件方面的缺陷。虽然样机的应力筛选试验很充分,但在生产阶段,产品不可能有如此长的环境应力筛选周期。所以,在试生产开始的时候,产品的可靠性低于研制结束时的设定可靠性,故途中从 B 点下降到 C 点。在试生产过程中,通过继续采用纠正、改进措施,可靠性仍会不断增长,达到 D 点。

第三阶段:批生产和使用阶段。在批生产开始的时候,由于工艺缺陷、装配缺陷以及质量控制问题,会使批生产产品的可靠性水平下降,图 1 中从 D 点到 E 点。随着关键问题的不断解决,各种工艺缺陷、装配缺陷得到纠正,可靠性将继续增长,达到规定的 MTBF。

由以上可知,实现可靠性增长是反复设计、反复纠正的结果。随着设计的逐步成熟,通过试验、分析等手段,研究确定实际存在的或潜在的故障源,

从而确定进一步的设计修正工作。

2.2 电子元器件可靠性增长的基本方法

电子元器件可靠性增长的主要目的是消除或控制元器件的主要失效模式和失效机理。主要手段是失效分析→控制失效模式→提高产品的可靠性的方法。基本方法是通过试验诱发产品失效,对失效样品进行失效分析,明确失效机理,找出失效原因,并进行改进,以消除薄弱环节,然后再试验,一方面验证改进的有效性,另一方面诱发新的失效。但由于失效分析是事后分析,实现可靠性增长的周期较长、费用很高,所以在可靠性增长中非常必要引入预防措施,以现代可靠性物理、分析技术为基础,将可靠性增长的工程技术方法融入元器件的产品设计、制造过程,并在产品设计、研制阶段综合考虑可能出现的失效模式、失效机理及可能影响,针对分析得到的失效根本原因有目的地提出改进措施,控制和消除可靠性隐患,实现元器件的可靠性增长。^[6-10]在具体分析中需要考虑如下内容:^[3,16,17,18]

1. 器件发生失效的各种条件,包括时间、空间、应力、外观变化及各种参数变化等。

2. 如何通过正确的分析程序和采用的有效检测方法和手段,包括各种先进的理化分析仪器设备,找出失效的原因。

3. 如何通过电子元器件的工作原理、材料特性、工艺技术等与环境应力的复杂关联性的效应,确定失效机理。

4. 根据物理、化学等分析和统计,确定失效模型,或对新的失效机理作进一步的实验研究。

5. 失效分析的结果对电子元器件的设计、研制、生产、检验及应用起到一定的指导作用,以最终提高电子元器件的可靠性。

在元器件可靠性增长的实施过程中。两次试验比较增长法和逐步消除失效模式法最为常用。为了分析元器件可靠性的增长效果,通常采用两次试验的方式。第一次试验是掌握产品可靠性现状和摸清产品的存在问题,然后根据增长目标,通过分析产品的失效模式及影响可靠性增长的因素,进行设计或制造工艺改进和工艺控制,有针对性地消除或控制产品的失效问题。第二次试验是验证纠正措施的有效性并检验其增长效果,逐步消除失效模式法主要针对有多种失效模式并存的产品,需要针对主要失效模式采取“逐个击破”的方式逐步消除失效模式,实现产品的可靠性增长。在这个循环过程中,常

采用有针对性的高应力试验,有意识地激发产品使其暴露薄弱环节,再采取有效的纠正措施,经过多个循环后,可使产品的失效模式都得到控制或消失。^[5,6,8,14]

3 现有的电子元件可靠性增长分析技术

针对以上所述的可靠性增长、可靠性物理的方法过程,以下简要介绍常用的分析技术。

3.1 失效信息的收集与分析

可靠性增长的第一个环节是收集产品全寿命周期中各个阶段的失效信息,从信息源的数据中获取元器件可能出现的失效模式。信息源可分为间接经验、可靠性分析、试验、生产经验和现场使用等。电子元器件全寿命期内不同阶段的信息源对可靠性增长效费比的影响是不同的。同一个失效模式信息,若是从产品寿命的初期信息源提出,可经济地实现设计更改和可靠性增长,若是在产品寿命的后期,则可靠性增长的效费比要低得多。所以在可靠性增长的过程中应重视各种信息源的组合,以经济地实现可靠性增长。

相关的可靠性数据分析方法主要有直方图法、主次图法和因果图法。其中直方图法主要用于整理失效数据,可根据其图形形状确定其分布规律,并计算产品寿命的平均值和方差。主次图法是分析、查找主要因素的直观图表,可以用于故障频数分析、主次要原因分析和主次要失效模式分析。因果图法是以产品的失效模式为结果,以导致产品发生失效的诸因素为原因,绘出图形,从各种错综复杂的失效原因中找出主要原因,从而采取有针对性的纠正措施消除或控制失效模式及机理。^[2,3,19]

3.2 元器件的失效分析技术

失效分析是指在了解元器件的主要失效模式后,对失效样品进行电测量并采用先进的物理、冶金及化学的分析手段,明确失效模式和失效机理,确定失效的根本原因,针对故障根源提出改正措施,以防止这种失效模式和失效机理重复出现的方法。这种方法是电子元器件质量和可靠性保证体系的重要组成部分,是电子元器件可靠性增长中最主要、最基本的方法。

进行失效分析必须根据失效样品的种类和失效分析的需求,选用适当的测试与分析设备和技术。随着现代加工技术的飞速发展和武器系统的需

求,电子元器件不断引入新材料、新技术、新工艺和新结构,使其尺寸微型化,结构复杂化,其可靠性研究及分析不断面临新的问题,促进了失效分析技术和分析设备的快速发展。在失效分析中比较成熟和常用的失效分析技术和设备有:^[9,11]

1. 光学显微镜和电子扫描显微镜的显微分析技术,以形貌异常点作为分析对象,其形貌放大能力可从几倍到数十万倍。

2. 红外显微镜分析技术利用锗、硅等半导体材料及薄金属层对近红外光透明的特性,不用剖切器件就能观察芯片内部的缺陷和芯片的焊接情况。

3. 红外热像分析技术是对失效样品的表面各点的热辐射(远红外区)进行非接触测温的技术,通过检测器件表面的热分布,暴露由于不合理设计或工艺缺陷而导致的异常热区。

4. 扫描声学显微镜分析技术利用不同材料对超声波衰减或反射不同的性质检测分析空洞、裂缝、不良粘接、分层剥离等缺陷。

5. x 光检查分析技术检查封装内部的缺陷,如芯片的粘接空洞、内部多余物、其它结构上的缺陷等。

同时,在失效分析中还常常用到电性能测试分析和元器件解剖技术。

1. 电性能测试分析:是证实失效模式和失效现象,包括元器件的功能、参数、引线间特性和结构特性的测试,将测试结果与良好器件的有关特性进行比较,通过失效样品与良品的参数差异确定元器件失效与自身物理性能的关系和失效的可能范围,并用来确定后续的分析方法。

2. 元器件解剖技术:是对器件进行微观的内部检查和必要的内部测试,其基本方法有机械和化学方法两种。常用的解剖技术有封装(外壳)开封、表层剥离和剖面制取技术。

3.3 破坏性物理分析

破坏性物理分析(DPA)是指通过抽样方式对元器件进行常规的分析,以验证元器件批次是否符合相关标准和技术规范的要求。通过DPA可以发现常规筛选检验中不一定能暴露的与产品设计、结构、材料和工艺相关的缺陷,获得元器件工艺过程或设计中存在的偏差和缺陷。作为元器件生产过程的质量监测,通过DPA可以在分析过程中查找在产品的设计、制造工艺、结构和材料方面存在的质量问题,用于元器件批次质量的评价,把问题暴露于事前,积极采取纠正措施,有效地防止元器件潜在的

质量问题在使用中导致失效的发生。从面提高元器件的可靠性,实现可靠性增长。^[3,15]

3.4 失效模式与设计 and 工艺的相关性分析

在进行元器件故障纠正,实现可靠性增长之前,首先应研究元器件失效模式与设计 and 工艺的相互关系。若失效模式来自设计,则采取设计方面的纠正措施,若失效模式与工艺制造的关系更为密切,则必须进行工艺方面改进,以实现故障纠正。

电子元器件的生产工艺十分复杂,往往存在许多影响器件性能和参数的相互影响的工艺生产参数因素。随着相关因素的增多,要透过表面现象抓住本质就更加困难,这里存在两方面的问题:第一,如何设计试验,使得用较少的试验次数获取较多的信息。第二,如何分析试验数据。分析故障与工艺的相关性,可以通过工艺流程分析、正交试验、工艺拉偏试验、正交分析等方法确定对失效模式及参数产生直接影响的关键工序,同时确定出关键工艺参数。在确定工艺条件拉偏的范围和水平时,既不能使生产目标发生物理性质的改变,也要符合设备的能力范围。^[3,13,14]

3.5 失效模式与影响分析

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) 是一种元器件可靠性增长的重要方法,是在产品设计、生产过程中,通过对产品各组成单元潜在的各种故障模式及其对产品功能的影响进行分析,提出可能采取的预防改进措施,以提高产品可靠性的一种分析方法。其核心是确定失效模式及影响,分析失效原因,提出改进措施,它是一个“事前行为”,采用 *FMEA* 在产品设计或制造过程之前,评价潜在失效模式及影响。实施改进措施,降低产品设计、制造过程中潜在的失效风险。^[3,14]

FMEA 是“由下而上”的原因和结果分析方法,即从元器件基本失效的原因及影响逐级向上分析,直至对整个元器件或组件进行分析,评价影响后果,用分析的方法对元器件的结构、材料、工序、工艺等的失效模式、影响、严重程度与发生的概率进行评估。由于元器件失效原因主要与设计、制造过程、使用、供应商以及服务有关,因此 *FMEA* 又细分为设计 *FMEA*、过程 *FMEA*、使用 *FMEA* 和服务 *FMEA* 四类。其中设计 *FMEA* 和过程 *FMEA* 最为常用。^[3,6,13]

1. 设计 *FMEA (DFMEA)* 是在设计概念形成之时或之前开始,评价与分析的对象是最终的产品以及

每个与之相关的结构、材料、工序、工艺等。

2. 过程 *FMEA (PFMEA)* 是在生产准备之前、在过程可行性分析阶段或之前开始,要考虑每步工艺或工序可能导致的潜在失效模式。其评价与分析的对象是工艺环境、工艺参数、设备状况、工序等。

4 结 论

电子元器件可靠性增长过程中的核心在于分析,要有效地控制或消除失效模式,实现元器件可靠性增长,前提是对导致元器件失效的因素分析准确到位,才能采取相应的有效的纠正措施。

针对电子元器件在从计划、研制、设计、生产到使用的产品全寿命周期,在考虑原材料、元器件、设备以及系统工程等各个方面进行产品可靠性研制和生产时,需要将可靠性增长工程技术方法融入到元器件产品设计、制造过程中,在产品设计、研制阶段就要综合考虑其可能出现的失效模式、失效机理及影响程度。这样才可能在设计、研制阶段就能针对性地提出改进措施,控制和消除可靠性隐患,实现元器件的可靠性增长。

参考文献:

- [1] 丁小东. 电子设备产品的可靠性试验[J]. 电子质量, 2005, (2): 32-34.
- [2] 黄云. 电子元器件可靠性增长的分析技术[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2004, (3): 13-17.
- [3] 姚立真. 可靠性物理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [4] 彭苏娥, 王蕴辉, 王群勇. 质量与可靠性管理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [5] 阳红成, 苏小光. 电子产品研制阶段可靠性增长试验研究[J]. 现代电子技术, 2007, 30(3): 140-142.
- [6] 田开让. 有效的可靠性增长管理技术[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2001, (1): 20-24.
- [7] 郭志刚. 试论元器件失效与可靠性改进[J]. 当代经理人, 2006, (8): 252.
- [8] 陈昭亮. 电子元器件的可靠性增长方式[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 1996, (3): 58-59.
- [9] 孔学东. 电子元器件可靠性物理及其应用技术的发展趋势与对策[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 1996, (1): 11-14.
- [10] 曾天翔. 可靠性增长试验[J]. 航空标准化与质量, 1995, (6): 36-40.
- [11] 刘大福. 半导体器件的可靠性[J]. 红外, 2003, (5): 11-20.
- [12] 王志斌. 对电子产品可靠性增长试验的思考[J]. 国防技术基础, 1999, (5): 29-30.

- [13]刘尧臣.分析方法在可靠性增长中的应用[J].电子产品可靠性与环境试验,1999,(2):P42-45.
- [14]杨家铨.元器件可靠性增长评估[J].电子产品可靠性与环境试验,2006,(6):7-9.
- [15]徐爱斌,刘发.破坏性物理分析技术(DPA)促进国产电子元器件质量提高[J].电子产品可靠性与环境试验,2002,(5):58-60.
- [16]Crow,L.H. An extended reliability growth model for managing and assessing corrective actions [C]. Reliability and Maintainability,2004 Annual Symposium -RAMS2004:73 - 80.
- [17]Krasich,M.Quigley, J.Walls, L.,Modeling reliability growth in the product design process[C].Reliability and Maintainability, 2004 Annual Symposium-RAMS2004. 424-430.
- [18]Donovan,J.Murphy.E; Improvements in reliability-growth modeling [C].Reliability and Maintainability Symposium, 2001,Proceedings Annual. 296-301.

责任编辑:胡德明

The Reliability Growth Methods and Techniques of Electronic Components

Sun Xiaojun

(Institute of Reliability Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: The reliability level of electronic components decides the performance of the whole machine. This paper starts with the existing problems in electronic component's reliability, relates with the reliability growth method, and introduces the curve of reliability growth and the reliability analysis method of electronic components. Then, the paper systemically discusses the quality and reliability analytic techniques of the components such as the collection of failure information, failure analysis, destructive physical analysis, the relationship between failure modes and failure mechanisms and processing, and failure mode and effects analysis from the perspective of physics analytic techniques of component reliability. Finally, the paper arrives at a conclusion that one of the important ways to realize the reliability growth is the analysis of failure mechanisms and root cause of failure.

Key words: component; reliability growth; failure physics; analytic technique

电子元器件可靠性增长方法和技术

作者: [孙晓君, Sun Xiaojun](#)
作者单位: [北京航空航天大学可靠性工程研究所, 北京, 100191](#)
刊名: [黄山学院学报](#)
英文刊名: [JOURNAL OF HUANGSHAN UNIVERSITY](#)
年, 卷(期): 2009, 11(3)
引用次数: 0次

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [黄云 加强工艺保障实现元器件质量与可靠性增长 -电子质量2003\(10\)](#)

本文从元器件制造工艺可靠性保障角度分析了元器件的质量与可靠性增长方法和技术. 元器件的可靠性是设计进去制造出来的, 在设计定型的情况下, 工艺制造过程对其质量和可靠性的影响很大, 最终产品的可靠性水平取决于工艺制造. 应用REM、PCM和SPC等可靠性保障技术实现产品的高质量、高可靠性和可重复性, 是今后元器件研制和生产的必然趋势.

2. 期刊论文 [黄云 电子元器件可靠性增长的分析技术 -电子产品可靠性与环境试验2004\(3\)](#)

从元器件可靠性物理分析技术角度, 系统地阐述了失效信息的收集与分析、失效分析、破坏性物理分析、密封器件内部气氛分析、失效模式及机理与工艺的相关性分析、失效模式与影响分析等元器件的质量与可靠性分析技术. 将元器件质量与可靠性分析技术融入元器件产品设计、制造过程是实现元器件可靠性增长的必然趋势.

3. 会议论文 [郑廷圭, 徐爱斌 机载电子设备可靠性增长与鉴定试验中元器件失效分析](#) 1997

4. 期刊论文 [杨家铨, YANG Jia-keng 元器件可靠性增长评估 -电子产品可靠性与环境试验2006, 24\(2\)](#)

在总结元器件可靠性增长工作经验的基础上, 通过比较、分析可靠性增长寿命试验的前后结果和现场可靠性数据, 提供了评估元器件可靠性增长效果的实用方法. 应用GJB/Z 299 B《电子设备可靠性预计手册》中各类元器件基本失效率随工作应力变化的关系, 评估增长后在使用状态下的可靠性水平, 为评估可靠性增长开拓了便捷的途径. 文中以实例说明评估方法, 以具体数据体现增长效果.

5. 会议论文 [杨家铨 元器件可靠性增长评估](#)

本文在总结元器件可靠性增长工作经验的基础上, 通过比较、分析可靠性增长前后的寿命试验结果和现场可靠性数据, 提供了评估元器件可靠性增长效果的实用方法. 其中, 应用GJB/Z299C《电子设备可靠性预计手册》中各类元器件基本失效率随工作应力变化的关系, 可方便地评估增长后在使用状态下的可靠性水平, 为评估可靠性增长的实际效果开拓了便捷途径. 文中以实例说明评估方法, 以具体数据体现增长效果.

6. 会议论文 [黄云 电子元器件可靠性增长方法](#) 2004

对于失效率低或批量小的电子元器件, 已很难应用传统的可靠性试验进行可靠性评估, 本文探讨了将成品率、标准偏差(σ)、工序能力指数 C_k 、 PK 等工艺制造参数作为可靠性增长的指标, 从FMEA分析、可靠性设计和工艺保障角度实现元器件可靠性增长的方法. 为元器件可靠性增长的指标选择和制定, 以及可靠性增长技术提出了更灵活和实用的选择.

7. 期刊论文 [贾鲲鹏, 戚伟, 阙劲松, 林德健 应用6 \$\sigma\$ 管理技术推动军用电子元器件的可靠性增长 -电子产品可靠性与环境试验2003\(1\)](#)

6 σ 风靡全球, 它在很多企业的成功实施为企业带来了巨大的效益. 认为在军用电子元器件领域应用6 σ 的理念和技术, 将使得质量与成本、管理与技术、军品与民品协调一致, 有助于推进军用电子元器件的可靠性增长, 实现跨越式发展, 保障军事装备的元器件需求, 并给元器件生产厂、所带来成本降低、服务改善、增强竞争能力等多种收益.

8. 会议论文 [吴先献, 陈昭亮, 罗雯, 袁学成, 黄国平, 夏群光 军用电子元器件可靠性增长方法研究](#) 1998

该文在总结中国电子元器件可靠性增长攻关经验的基础上, 比较系统地提出对电子元器件进行增长管理的有关参数和基础方法, 并举例说明了对军用电子元器件进行增长管理的基本途径. 该文提出的电子元器件增长管理方法具有创新性和可操作性, 对进一步推动中国军用电子元器件的可靠性增长管理工作, 具有重要的指导意义和很好的使用价值.

9. 学位论文 [刘治旺 某引信的可靠性设计与研究](#) 2006

本文在应用可靠性理论基础上, 通过对某引信所有可能失效的分析, 建立可靠性模型及数学模型, 采用故障模式影响及危害度分析(FMECA)和故障树分析(FTA)等分析方法, 从理论上分析了引信所有器件可能失效的模式及失效概率, 得到了可能引起引信失效的概率. 并从中得到哪些元器件在引信中起到关键作用, 在研制及生产的过程中应该严格控制. 本文的目的为引信的可靠性增长, 特别是在设计定型后及转入生产以及生产定型, 为完成引信的可靠性增长, 实现军方规定的可靠性指标做贡献, 也为以后引信的研制的可靠性设计奠定技术基础.

10. 会议论文 [卓礼章, 谢立宪, 邓先妍 电视机高温老炼可靠性增长分析](#)

老炼可以剔除早期失效和暴露工艺或元器件的潜在缺陷, 使产品批的可靠性得到提高, 老炼可以看作是可靠性增长过程, 可采用可靠性增长的数学模型, 动态地分析其可靠性情况. 文中以该厂某型号黑白电视机的老炼数据为例, 应用Duane增长模型和Compertz增长模型进行了分析. 指出产品在出厂前进行适当时间的老炼是十分必要的, 还给出了MTBF试验情况估计, 月返修率估计、生产熟练期估计. (李大光摘)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hsxxyb200903013.aspx

下载时间: 2009年10月23日