

海军新军事变革丛书



WILEY

总策划：魏 刚 主 编：马伟明

软件演化与维护

实践者的研究方法

[美] Priyadarshi Tripathy 著
[加] Kshirasagar Naik

张志祥 毛晓光 谢 茜 译
贾可荣 主审

SOFTWARE EVOLUTION AND MAINTENANCE:
A PRACTITIONER'S APPROACH



中国工信出版集团



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

海军新军事变革丛书

总策划：魏 刚 主 编：马伟明



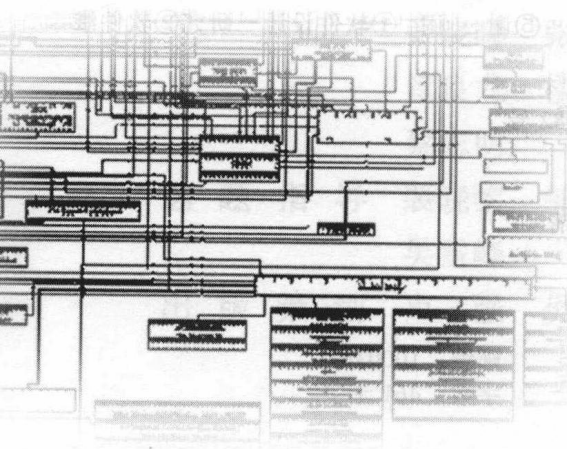
软件演化与维护

实践者的研究方法

SOFTWARE EVOLUTION AND MAINTENANCE:
A PRACTITIONER'S APPROACH

[美] Priyadarshi Tripathy 著
[加] Kshirasagar Naik

张志祥 毛晓光 谢 茜 译
贾可荣 主审



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

Software Evolution and Maintenance: A Practitioner's Approach by Priyadarshi Tripathy, Kshirasagar Naik, ISBN: 9780470603413

Copyright©2015 by John Wiley & Sons, Inc.

All rights reserved. This translation published under license. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of John Wiley & Sons, Inc. Copies of this book sold without a Wiley sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书简体中文版专有翻译出版权由美国 John Wiley & Sons, Inc. 授予电子工业出版社。未经许可，不得以任何手段和形式复制或抄袭本书内容。本书未贴 Wiley 提供的防伪标贴者，禁止销售，否则视为盗版。

版权贸易合同登记号 图字：01-2016-2623

图书在版编目（CIP）数据

软件演化与维护：实践者的研究方法 /（美）普里亚达尔希·特里帕蒂（Priyadarshi Tripathy），（加）卡什拉萨吉亚·奈克（Kshirasagar Naik）著；张志祥，毛晓光，谢茜译. —北京：电子工业出版社，2019.8

（海军新军事变革丛书）

书名原文：Software Evolution and Maintenance: A Practitioner's Approach

ISBN 978-7-121-36401-3

I. ①软… II. ①普… ②卡… ③张… ④毛… ⑤谢… III. ①软件设计—研究②软件维护—研究 IV. ①TP311.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2019）第 080082 号

责任编辑：王小聪 特约编辑：田学清

印刷：三河市鑫金马印装有限公司

装订：三河市鑫金马印装有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱

邮编：100036

开本：720×1000 1/16 印张：24

字数：461 千字

版次：2019 年 8 月第 1 版

印次：2019 年 8 月第 1 次印刷

定价：105.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系。联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：（010）57565890，meidipub@phei.com.cn。

海军新军事变革丛书

丛书总策划 魏 刚

编委会主任 马伟明

编委会副主任 赵晓哲 李 安 王传臣 邱志明

何 友 何 琳 鲁 明 杨 波

王航宇 李敬辉

常务副主任 贲可荣

编委会委员 (以姓氏笔画为序)

于 雷 王 东 王公宝 王永斌

王德石 史红权 邢焕革 杜 奎

吴旭升 陆铭华 张永祥 张立民

张晓晖 张晓锋 杨露菁 侯向阳

笪良龙 楼京俊 察 豪 蔡 琦

蔡志明

选题指导 裴晓黎 邹时禧 徐 勇 许 斌

吴雪峰

出版策划 卢 强 吴 源 张 毅

Software Evolution and Maintenance, A Practitioner's Approach by Prayadurshi Tripathy, Ksh. Jagann. Naik, ISBN: 978-7-121-34113-7
Copyright©2015 by John Wiley & Sons, Inc.
All rights reserved. This translation published in the People's Republic of China is the first produced in the English language. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without permission in writing from John Wiley & Sons, Inc.

软件演化与维护：实践者的研究方法

本书简体中文版专有翻译版权由美国 John Wiley & Sons, Inc. 授予电子工业出版社。未经许可，不得以任何手段和形式复制或抄袭本书内容。本书中所有权利均保留。如有侵权，请向译者或出版社联系。

版权贸易合同登记号：图字01-2015-00113号
主审 张志祥 毛晓光 谢 茜
主审 贾可荣

图书在版编目 (CIP) 数据
软件演化与维护：实践者的研究方法 / 贾可荣, 毛晓光, 谢茜, 张志祥主审. — 北京：电子工业出版社, 2019.8
(军队图书馆) 员委会委编

书名原文: Software Evolution and Maintenance, A Practitioner's Approach
ISBN 978-7-121-34113-7

1. ①软... ②软... ③软... ④软... ⑤软... ⑥软... ⑦软... ⑧软... ⑨软... ⑩软...
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 050062 号

责任编辑：王小娟
印 刷：天津市金鑫马印务有限公司
装 订：天津市金鑫马印务有限公司
出版发行：电子工业出版社
北京市海淀区万寿路 17 号 3 层
开 本：720×1000 1/16
版 次：2019 年 8 月第 1 版
印 次：2019 年 8 月第 1 次印刷
定 价：105.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店调换，请与本社发行部联系。联系及邮购电话：(010) 52254888, 88155585。
质量投诉请发邮件至 zhiliang@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 daobao@phei.com.cn。
本书咨询联系方式：(010) 57561270，mcidipub@phei.com.cn。

《海军新军事变革丛书》第三批总序

当今世界，新一轮科技革命和产业变革正在加速推进，以信息技术为引领，人工智能、生物科学、大数据、新材料、新能源等技术的发展运用、交叉融合和相互渗透，正逐步改变着人类的社会形态和生产生活方式。高新技术的发展和世界安全态势的演变，同样催生了当今世界军事领域的深刻变革，在广度、深度上已超越以往历史上任何一次军事变革。这次变革以安全态势演变为动因、以高新技术特别是信息技术发展为动力、以军事观念转变为牵引、以军事体系调整为中心，覆盖军事领域各个方位和全部系统，涉及军事理论、军事战略、战争形态、作战思想、指挥体制、部队结构、国防工业等方方面面，形成信息主导、体系支撑、精兵作战、联合制胜的新态势，数字化、网络化、智能化和系统化将贯穿决策指挥、组织形态和战场战法全过程，渗透到各个方面，作战域将加速向网络、电磁、深海、太空、极地等战略新疆域拓展，其所产生的影响，必将影响未来世界格局，决定各国军事力量对比。

习主席曾深刻指出：“每一次科技和产业革命都深刻改变了世界发展面貌和格局。一些国家抓住了机遇，经济社会发展驶入快车道，经济实力、科技实力、军事实力迅速增强，甚至一跃成为世界强国。”党的十八大以来，党中央、中央军委着眼于实现中国梦、强军梦，制定新形势下军事战略方针，全力推进国防和军队现代化，军队改革取得历史性突破，练兵备战有效遂行使命任务，现代化武器装备加快列装形成战斗力，军事斗争准备稳步推进，强军兴军不断开创新局面。党的十九大，吹响了“到 21 世纪中叶把人民军队全面建设成世界一流军队”的时代号角，郑重宣告国防和军队建设全面迈进新时代。经略海洋、维护海权、建设海军始终是强国强军的战略重点，履行新时代军队历史使命，海军处在最前沿、考验最直接，职能最多样、任务最多元，需求最强劲、发展最迫切。瞄准世界一流、建设强大的现代化海军，我们更须顺应新形势，把准新趋势，进一步更新观念、开阔视野，全面深入实施科技兴军战略，瞄准世界军事科技前沿，坚持自主创新的战略基点，加强前瞻性谋划、体系化设计，加快全域全时全维的信息化、智能化建设，抢占军事科技战略性、前沿性、颠覆性发展制高点，努力实现从跟

跑、并跑到领跑的历史性跨越。

根据海军现代化建设的实际需求，2004年9月，海军装备部与海军工程大学联合组织了一批学术造诣深、研究水平高的专家学者，启动了《海军新军事变革丛书》的编撰工作。2004年至2009年，第一批丛书陆续出版，集中介绍了信息技术及其应用成果。2009年至2017年，第二批丛书付梓出版，主要关注作战综合运用和新一代武器装备情况。该丛书具有鲜明的时代特征和海军特色，对推进中国特色军事变革要求，谋划海军现代化建设具有很高的参考价值，在部队、军队院校、科研院所、工业部门均被广泛使用，深受读者好评。丛书前两批以翻译出版外文图书和资料为主，自编海军军内教材与专著为辅，旨在借鉴外国海军先进技术和理念，反映世界海军新军事变革中的新观念、新技术、新理论，着重介绍和阐释世界新军事变革的“新”和“变”。为全面贯彻落实习主席科技兴军的战略思想，结合当前世界海军发展趋势和人民海军建设需要，丛书编委会紧跟科技发展步伐，拟规划出版第三批丛书。在前期成果的基础上，第三批丛书计划从编译转向编著，将邀请各领域专家学者集中撰写与海军人才培养需求密切相关的军事理论和装备技术著作，这是对前期跟踪研究世界海军新军事变革成果的消化、深化和转化。

丛书的编撰出版凝结了编委会和编写人员的大量心血和精力，借此机会，谨向付出辛勤劳动的全体人员致以诚挚的敬意。相信第三批丛书定会继续深入贯彻习主席强军思想，紧盯科技前沿，积极适应战争模式质变飞跃，研判战争之变、探寻制胜之法，为建设强大的现代化海军带来新的启迪、新的观念、新的思路，不断增强我们打赢信息化战争、应对智能化挑战的作战能力。

海军司令员

沈金龙

2018年6月2日

软件维护是软件生命周期的最后一个阶段，处于系统投入生产运行时期。软件维护是软件生命周期中耗费最多、延续时间最长的活动。通常大型软件的维护成本是开发成本的 4 倍，软件开发组织中 60% 以上的人力用于软件维护。要想延长软件的生命，充分发挥软件的作用，必须做好软件维护。例如，在沙漠风暴作战行动中，E-3 空中预警机作为战场保障的中坚，起着跟踪所有战场空中目标并指挥拦截的作用，被誉为神眼。由于战场上电磁信号太多造成拥塞，E-3 的能力大打折扣，不得不对 E-3 雷达中的许多软件进行修改。为此，专门派出软件保障小组直接进行软件维修，使 E-3 的雷达软件在 96 小时内得到改进升级、完成飞行检测并投入使用。

软件维护要面临的挑战在软件交付最终用户后就已经开始。软件工程组织面临着不断增长的代码错误修改任务、适应性修改请求及增强软件性能的需求,这些都必须进行策划、安排进度并最终完成。随着时间的推移,软件工程组织会发现花在维护现有程序上的资金和时间远比研发新的软件要多得多。事实上,软件组织将全部资源的 60%~70%花费在软件维护上是很常见的。

产生软件维护问题的另一个原因是软件人员变动。最初从事开发工作的软件团队（或个人）可能已经离职。更糟糕的是，后来的软件人员已经修改了软件系统，最后也离开了。现在，已经没有人直接了解这个软件系统了。

软件工作是在变更之中进行的。开发计算机软件时，变更是不可避免的。因此，软件组织一定要建立评估、控制及修改的机制。

可维护的软件表现为有效的模块性，它通常采用易于理解的设计模式，开发人员在研发时采用了明确定义的编码标准及约定，编写的源代码易于理解。可维护的软件应用了大量技术以保证质量，在软件交付之前就已经找出了潜在的技术问题。软件工程师们已经意识到：实施变更时他们可能已经离开了，因此，软件的设计与实现必须对实施变更的人员“有帮助”。

随着时间的推移，一个已交付运行的软件系统（遗留系统）的结构会因为历年的修复维护而变得复杂，越来越难以扩展和继续维护，也会不适应新的软件技术和硬件平台。这就需要我们用再工程的方法对遗留系统进行改造。这种软件改造活动就是演化。软件系统的维护主要是指在保留其功能的情况下进行修复。软件系统的演化主要是指从现有的软件系统中创建新的相关设计。

根据 NEN ISO/IEC 14764—2006《软件工程—软件生命周期过程—维护》，将维护活动分为 4 类：改正性维护、适应性维护、完善性维护和预防性维护。中国国家标准 GB/T 20157—2006《信息技术——软件维护》也采用了标准 NEN ISO/IEC 14764—2006。中国国家军用标准 GJB1267—1991《军用软件维护》包括 7 项条款，规定了软件维护的内容与类型、软件维护组织、软件维护过程和维护管理，并提供了两个报告范本，为军用软件的维护规定了统一的基本要求。

根据维护活动的性质可以将维护分为改正性维护与增强性维护两类。根据维护活动针对的被维护系统的不同实体（整个软件、外部文档、程序代码、系统功能性），可以将维护分为培训型、咨询型、评价型、改良型、更新型、梳理型、预防型、性能型、适应型、减少型、改正型和增强型共 12 种类型。影响软件维护过程的主要因素包括：待维护产品、待执行维护的类型、需遵循的维护组织过程、涉及的组织和人员（维护组织和客户组织中的人员）。为了满足一组固定要求而开发的软件与为了解决随时间变化的现实世界问题而开发的软件之间是有差别的。因此，可以将软件分为 S（指定）型、P（问题）型和 E（演化）型程序，其演化方式各有不同。曼尼·雷曼（Manny Lehman）提出了 E 型软件的 8 条演化

定律。根据 8 条演化定律，雷曼为软件演化的规划管理、控制提出了 50 多条规则建议。同样，基于免费开源软件的软件与基于闭源软件的软件的演化也存在差异。基于组件的开发是一种重要的开发方法。基于 COTS（商用现货）的软件系统的维护成本在软件产品开发总成本中占相当大的比重。但 CBS（基于组件的软件）难以维护，通常有组件重新配置、测试与调试、系统监控、为用户进行的功能增强和配置管理等 5 种主要的 CBS 维护活动。组件选择、体系结构和设计对 CBS 的可维护性影响较大。

和传统的软件开发生命周期一样，软件维护也有其生命周期模型。演化模型有面向复用的模型、封闭源代码软件开发的分阶段模型和变更微周期的演化模型，其中面向复用的模型包括快速修复模型、迭代增强模型和完全复用模型等 3 种。每种模型都有不同的阶段和活动。IEEE/EIA 1219 和 ISO/IEC 14764 两个标准描述了管理和执行软件维护活动的过程。大型、复杂的系统比相对较小的系统变化更多，大型系统变更的管理十分重要。因此，人们提出配置管理的概念来管理大型系统的变更。配置管理的目标是控制和管理系统生命周期中的修正、扩展和适应，它控制产品元素的修改。软件配置管理可用于软件演化的管理，变更请求记录系统缺陷、增强请求或质量改进等情况。变更管理系统通过自动化系统以工作流的形式控制变更。变更管理的基本目标是唯一地识别、描述和跟踪每个变更请求的状态。它是一种控制变更的系统演化方法。

二、再工程技术和迁移技术

再工程要花费时间、消耗大量的资金并占用资源。而这些消耗本可用于当前关注的事情上。因此，再工程不是在几个月甚至几年内可以完成的。信息系统的再工程将是消耗信息技术资源长达数年的活动，每个组织都需要注重有实效的软件再工程策略。

再工程是一项重构活动。为了更好地理解再工程，我们来设想与再工程相似的“重建一所房子”的活动。考虑如下情况：假定你在另一个城市购买了一套房子。你还没有看到房子，就以较低的价格买下了。在可能需要彻底重建的情况下，你将如何重建？

在开始重建前，首先检查一下房子。为了确定它是否需要重建，你（或职业检查员）需要列出一组标准，使得检查工作能系统地进行。

在拆掉并重建整个房子前，确认其结构是否牢固。如果该房子结构良好，则可能是“改造”，而不是重建。

在开始重建前，你需要确保已经了解房子最初是如何建造的。看一看墙体内部结构，弄清楚布线与管道的结构。详细了解原房屋对重建或改造房屋是有一定的帮助的。

如果决定重建，一定要采用严格的建造方式，使用现在及将来都将获得高质量的建造方式进行重建。

如果开始重建，应该使用最现代的、耐久的材料。现在看来可能会贵一些，但是，这样做会使你避免将来昂贵而耗时的维护。

虽然上面的原则针对的是房子的重建，但它们也同样适用于计算机系统和计算机软件的再工程。

为了贯彻这些原则，可使用软件再工程过程模型，它定义了6类活动：库存目录分析、文档重构、逆向工程、代码重构、数据重构、正向工程。

第一类，库存目录分析。各软件组织都应该保存所有应用系统的库存目录。该目录可能仅仅是一个电子表格模型，其中为每个常用的应用提供了详细的描述（如规模、年限、业务重要程度）。按照业务的重要程度、寿命、当前可维护性和可支持性及其他本地重要性准则对这些信息进行排序，可以选出再工程的应用，然后为这些应用的再工程工作分配资源。

第二类，文档重构。如果系统正常运作，可以选择保持现状，在系统发生变更时，则必须进行文档化。如果系统是业务的关键，而且必须完全重构文档，最好的办法是将文档精简到最少。软件组织必须针对不同情形选择最适合的方法。

第三类，逆向工程。软件的逆向工程是分析程序，在高于源代码的抽象层次上表示程序的过程。逆向工程是一个设计恢复过程。逆向工程从现有的程序中抽取数据、体系结构和过程的设计信息。

第四类，代码重构。最常见的再工程类型是代码重构。要实现代码重构，可以使用重构工具分析源代码，将与结构化程序设计概念有异同的部分标注出来，然后对代码进行重构或者用程序设计语言重新编写。对生成的重构代码进行评审和测试，确保没有引入不规则的代码，并更新内部的代码文档。

第五类，数据重构。数据体系结构差的程序将难以进行适应性修改和增强。数据重构是一种全范围的再工程活动。在大多数情况下，数据重构开始于逆向工

程活动。对当前的数据体系结构进行分解，定义必要的数据库模型，标识数据对象和属性，并对现有的数据库结构进行质量评审。

第六类，正向工程。在理想的情况下，可以使用自动的“再工程引擎”来重建应用。将旧程序输入引擎，经过分析、重构，然后重新生成能够表现出最好的软件质量的程序。正向工程不仅能够根据现有软件恢复设计信息，还能够使用这些信息去改变或重构现有系统，以改善其整体质量。在大多数情况下，实施了再工程的软件可以重新实现现有系统的功能，并且能够加入新功能和（或）改善整体性能。

在某些情况下，上述这些活动以线性顺序出现，但并不总是这样。例如，有可能在文档重构开始前，必须进行逆向工程（弄清楚程序的工作原理）。

常用的再工程方法有“大爆炸”法、增量方法、局部方法、迭代方法和演化方法等 5 种，每种方法的目标相同，但实现路径不同。人们可以根据项目目标、项目资源可用性、再工程系统的现状和项目再工程的风险等因素选用不同的再工程方法。

软件逆向工程是为一个确定业务软件的组件、确定各组件之间的关系，以抽象的形式表示系统的过程。通过逆向工程，可从现有软件构件中获取信息，将其转变成易于维护人员理解的抽象模型。逆向工程的过程和用于实现该过程的工具的抽象层次是指可从源代码中抽取出来的设计信息的精密程度。在理想情况下，抽象层次的级别应该尽可能高，逆向工程的过程应该能够导出：过程的设计表示（一级层次抽象）；程序和数据结构信息（二级层次抽象）；对象模型、数据和控制流模型（三级层次抽象）；实体关系模型（四级层次抽象）。随着抽象层次的提高，软件工程师能够获得更有助于理解程序的信息。

软件逆向工程包括：数据的逆向工程、处理的逆向工程 and 用户界面的逆向工程。

第一，数据的逆向工程。数据的逆向工程可以发生在不同的抽象层次上，并且通常是第一项逆向工程任务。在程序层，作为整体再工程工作的一部分，必须对内部的数据结构进行逆向工程。在系统层，全局数据结构（文件、数据库）实施再工程以符合新的数据库管理范型（从平面文件转移到关系型数据库系统或面向对象数据库系统）。现有全局数据库结构的逆向工程为引入新的系统范围的数据库奠定了基础。

第二，处理的逆向工程。处理的逆向工程开始于试图弄清楚并抽取出源代码所表示的过程抽象。为了理解过程抽象，需要在不同的抽象级别（系统级、程序级、构件级、模式级和语句级）分析代码。人们在更详细地分析逆向工程前，必须理解整个应用系统的整体功能。这项工作确定了进一步分析的范围，有利于对更大系统中应用间产生的相互操作问题进行深入的理解。构成应用系统的每一个程序代表了在更高层次上的功能抽象，可以用结构图表示这些功能抽象间的交互作用。每个构件实现某种子功能，同时也表示某个定义的过程抽象，所以要对每个构件的处理进行描述。在某些情况下，系统、程序和构件的规约已经存在，要对这些规约进行评审，确认是否与现有代码相符。

第三，用户界面的逆向工程。在重建用户界面之前，应该先进行逆向工程。为了能够完全理解现有的用户界面，必须详细说明界面的结构和行为。在用户界面的逆向工程开始前必须弄清楚 3 个基本问题：界面必须处理的基本动作是什么？系统对这些动作的行为反应的简要描述是什么？“替代者”意味着什么？

逆向工程中常用的分析技术包括：词法分析、句法分析、控制流分析、数据流分析、程序切片、可视化和程序度量等。反编译、反汇编是低层次的逆向工程。面向数据应用的核心是一组文件或一个数据库。由于数据结构是面向数据应用的中心部分，面向数据应用的再工程方法都聚集在数据库模式分析和模式转换（再设计）中。另外，为了完成再工程任务，面向数据应用的流程部分必须与重新设计的新模式相适应。

任何遗留信息系统都难以修改和演变以适应不断变化的业务需求。对遗留信息系统，有 6 种解决方案：冻结、外包、维护、丢弃并重建、包装和迁移。其中，包装是一种修改和完善遗留信息系统的简单方式，根据包装的内容不同，包装器分为 4 类：数据库包装器、系统服务包装器、应用包装器和功能包装器。从另外一个维度看，包装器有 5 种不同的包装级别：例程级、模块级、程序级、事务级和进程级。包装器的构造过程分为 3 个步骤：第一，构造包装器；第二，调整目标系统与测试目标程序；第三，包装器之间的交互情况。迁移是修改和完善遗留组件的高级方式。迁移主要分为 3 个步骤：模式转换、数据转换和程序转换。大型项目的成功很大程度取决于良好的规划，迁移项目也不例外。规划迁移项目可分为十几个步骤进行：进行组合分析、确定项目相关人员、理解需求、设计一个商业案例、做出是否进行的决定、理解遗留信息系统、了解目标技术、评估现有

技术、定义目标体系结构、定义策略、与项目相关人员的需求协调策略、确定所需资源及评估策略的可行性。常用的迁移方法有 7 种：冷火鸡法、数据库优先法、数据库置后法、数据库组合法、小鸡法、蝴蝶法和迭代法。因为遗留系统有不同的规模、复杂度和迁移失败的风险，所以没有一种方法能适用于所有类型的遗留系统。

三、影响分析和变更传播技术

影响分析的目的是发现要实施的变更对软件系统所造成的影响，尽量减少预期的系统变更所产生的副作用。波及效应分析旨在变更代码时对源代码的变化追踪。波及效应度量有助于对系统演化过程的深入认识。影响分析包括分析变更请求并文档化、跟踪潜在影响和实现所请求的变更 3 个步骤。分析过程中使用 5 个软件对象（或组件）集：初始影响集、候选影响集、被发现的影响集、实际影响集和误报性影响集。可以用查全率和查准率两个常用的信息检索指标来评估影响分析过程。可追踪性图技术是一种常用的影响分析技术。用可追踪性链接关系理解软件人工制品之间的依赖和关联，定位需要更新的部分软件设计、源代码和测试。可追踪性分为横向（外部）和纵向（内部）两类。人工制品的不同模型之间的可追踪性称为横向可追踪性，而同一模型内的相关人工制品之间的可追踪性称为纵向可追踪性。在一般情况下，纵向的可追踪性主要关注源代码，使用基于依赖关系的分析技术来确定源代码对象之间的依赖关系。确定可能意味着语义依赖关系的句法依赖关系后，使用基于依赖关系的分析技术可以评估变更的效果，人们研究了分别处理调用图和依赖图的两种技术。波及效应意味着对一个变量的修改可能需要修改软件系统的多个地方。波及效应分析揭示了正在发生哪些变更，以及这些变更的发生位置。对一个正在演化的软件系统进行波及效应测量可以提供如下信息：在同一系统的连续版本之间，软件复杂性是如何变化的；增加一个新的系统模块后，软件复杂性是如何因添加新模块而变化的。如果改变一个组件，该组件可能再也无法与其他组件进行正确的交互。因此，需要对邻近的组件进行进一步修改，而这可能会引发整个软件系统的进一步变化。这个过程被称为变更传播活动。变更传播活动确保一个组件的变更能够在整个系统中正确传播。

四、软件重构

软件重构工作是要修改源代码和数据，使软件适应工作环境的变化。通常，重构并不修改整体的程序结构，它倾向关注个别模块的设计细节及模块中所定义的局部数据结构。如果重构扩展到模块边界之外，并涉及软件体系结构，重构就变成了正向工程。

当某应用系统的基本体系结构比较好，但技术的内部细节需要修改时，则需要进行软件重构。软件重构一般分为代码重构与数据重构两大类。

第一类，代码重构。进行代码重构是为了生成与源程序既具有相同功能又具有较高质量的设计。通常代码重构技术都是利用布尔代数对程序逻辑进行建模，然后应用一系列变换规则来重构逻辑的。其目标是采用“面条碗”式的代码，并推导出遵从结构化程序设计原理的过程设计。

可以将其他重构技术与再工程工具一同使用，资源交换图能够映射每个程序模块与其他模块间交换的资源（数据类型、过程和变量），通过创建资源流，可以对程序体系结构进行重构，以达到模块之间的最小耦合。

第二类，数据重构。在数据重构开始前，必须进行源代码分析的逆向工程。评估所有包含数据定义、文件描述、I/O 接口描述的程序设计语言语句，目的是抽取数据项与对象，获取关于数据流的信息，理解已实现的数据结构。有时称该项活动为数据分析。

一旦完成了数据分析，就可以开展数据重设计。最简单的形式为：通过数据记录标准化步骤明确数据定义，从而使现有数据结构或文件格式中的数据项名或物理记录格式取得一致。另一种重设计形式称为数据名合理化，这种重设计形式能够保证所有数据命名符合本地标准，并且当数据在系统中流动时可以忽略别名。

当重构超出标准化与合理化的范畴时，要对现有数据结构进行物理修改以使数据设计更为有效。这可能意味着从一种文件格式到另一种文件格式的转换，在某些情况下，也意味着从一种数据库类型到另一种数据库类型的转换。

在长期的演化过程中，软件很有可能偏离最初的设计，从而导致可理解性降低、可靠性下降和维护成本增加。因此，需要对软件进行重组和重构。软件重组是指对软件进行再组织，使之具有不同的接口或结构；软件重构则是指面向对象软件的重组。重组一个软件系统，开发人员需要遵循相应的过程和活动。这些活动包括：确定重构对象、确定重构方法、确保重构保持软件的行为、重构所选实

体、评估重构的影响和一致性维护。常用的重构技术有断言、图变换和软件度量等。内聚和耦合是两种重要的软件度量指标。在开展软件重组之前,需要了解软件结构,根据软件的不同特点,选择不同的重组方法和重组技术。影响软件结构的因素有代码、文档、工具、开发人员、管理者、政策及环境。软件重构的方法大致分为两大类:不涉及代码变更的方法和涉及代码变更的方法。重构技术包括消除 GOTO 语句方法、系统三明治法、局部化与信息隐藏法及聚类方法等。

五、程序理解与复用

深入理解复杂人工制品是对程序进行维护演化的基础和前提。每种维护任务(适应性维护、完善性维护、改正性维护、复用及代码利用)都有系统理解活动。在程序理解领域,心智模型描述开发人员对需要理解的程序建立心智表示。开发人员可以通过识别软件系统的静态和动态元素来产生软件的心智模型。心智模型的静态元素包括:文本结构、代码块、模式、计划和假设。心智模型的动态元素包括:组块、交叉引用和策略。软件工程领域有很多认知模型(心智模型),如 Letovsky 模型、Shneiderman-Mayer 模型、Brooks 模型、Soloway-Adelson-Ehrlich 模型、Pennington 模型及集成元模型。在程序理解过程中对开发人员的行为和动作进行研究是理解他们思维的关键。协议分析是一种心理学方法,用于从开发人员的口头报告中提取他们的思想序列。软件可视化是逆向工程中应用的技术之一,也可以用于程序理解。

软件复用是指在一个新系统的开发中利用现有资产。软件复用具有增加可靠性、降低过程风险、提高生产率、符合标准、缩短开发周期、提高可维护性、减少维护工作和时间等优点。复用模型可分为主动型、反应型和提取型 3 种。影响软件复用的 4 个主要因素是管理因素、法律因素、经济因素和技术因素。领域工程与应用程序工程是应用软件复用的两个重要领域。领域工程也称为产品线开发,是指生产用于多个软件项目的可复用软件资产(RSA)的一系列活动的集合,包括分析、设计和实现等活动。应用程序工程是指以创建特定系统的“基于复用开发”过程。领域工程方法有 Darco、DARE、FAST、FORM、KobrA、PLUS、PuLSE、Koala 和 RSEB 等。可以用 R_A (实际被利用的复用机会的数量)、 R_p (潜在复用机会的数量)和 R_T (预期复用机会的数量)定量地描述一个组织的复用能力。复用成熟度模型(RMM)有助于进行规划和自我评估,提高组织复用现有软件人工制

品的能力。RMM 模型有助于组织了解其目标复用活动。在规划软件复用的投资时，投资者可以使用软件复用经济模型估计成本和潜在的收益，以证明系统性复用的有效性。生产率的提高就是一种复用收益。软件复用经济模型有 Gaffney 和 Durek 的成本模型、Gaffney 和 Cruickshank 的应用系统成本模型及 Poulin 和 Caruso 的商业模型。

六、军用软件维护

鉴于软件的自身特点，任何软件都难以做得尽善尽美。据统计：软件在装备研制过程中经过了严格的工程化及测试后，仍会有多达 15% 的缺陷遗留在软件之中。

随着软件密集型装备的增多，软件的质量问题已成为影响装备质量的重要因素，软件维护与保障方案的顺利实施离不开负责人的重视，离不开各部门、各行业的合作，离不开承制软件单位内部的管理。只有我们充分认识其独特之处，尽早重视和规划，才能不断提高军队装备整体的保障水平和战斗力。

当接到军用软件维护任务时，第一步需要做的准备工作是熟悉所维护的软件的功能与架构体系。熟悉所维护软件功能的主要方法有阅读该软件的设计文档与软件使用维护说明书。

在熟悉软件功能的同时，我们还需要熟悉软件的架构体系。面向对象分析与设计技术是当下的流行趋势，在没有理解软件的架构体系的情况下，要去维护软件是很困难的。

装备定型后，软件的技术状态也同时固化。当出现软件质量问题时，大部分承制单位都以“能不改就不改、必须改再说”的思想去解决软件质量问题，原因是一旦软件出现问题，大都需要修改源代码，而哪怕几个字符的修改都需要重新编译并生成新的版本，使软件技术状态发生变更。

基于这种情况，如何既保证技术状态的高效管理又有效解决军用软件的问题是值得人们深思的。译者建议从以下几方面进行思考：

第一，承制单位应建立软件维护部门。软件维护部门隶属于售后部门，可与军队建立一种简单而有效的机制，对军队反映的软件问题予以登记。“软件维护登记表”的内容应包括：编号、日期、反映单位、反映人、联系电话、问题描述、记录员、软件维护人员、单位领导、软件更改单号等。