

系统工程手册

系统生命周期流程和活动指南

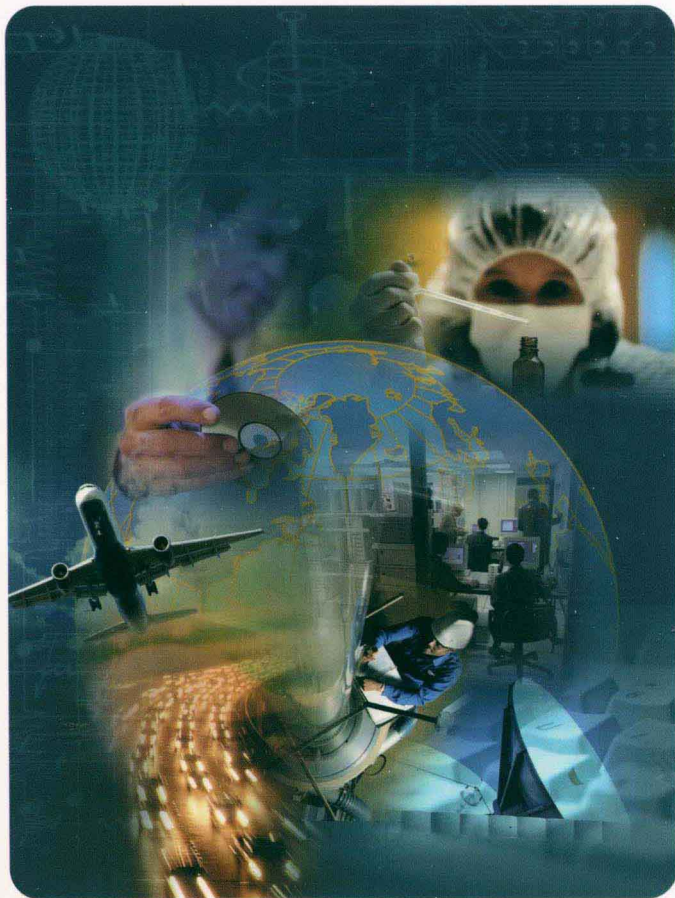
(中英对照版)

国际系统工程协会 (INCOSE) 编著

张新国 译

SYSTEMS ENGINEERING HANDBOOK

A GUIDE FOR SYSTEM LIFE CYCLE PROCESSES AND ACTIVITIES



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际系统工程协会

系统工程手册

系统生命周期流程和活动指南

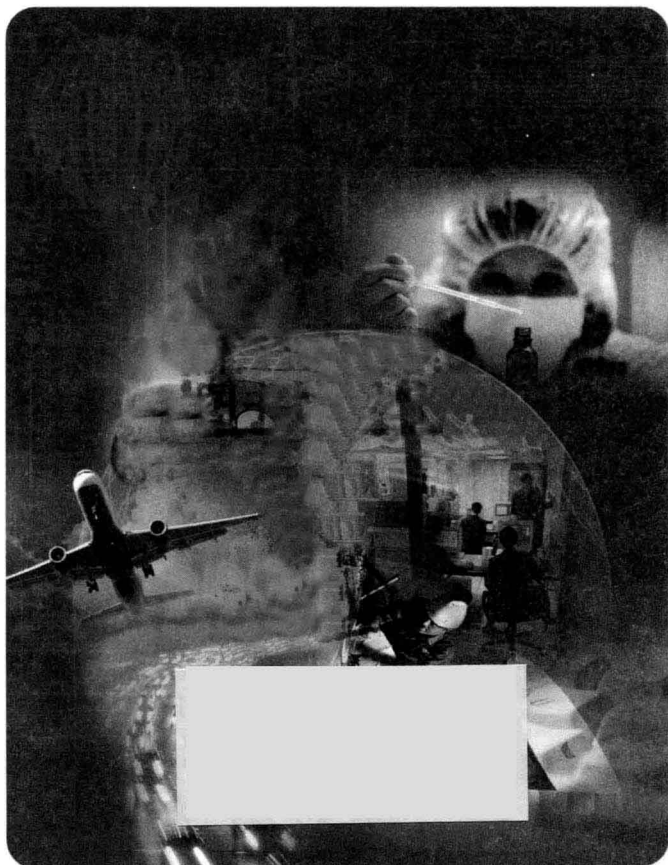
(中英对照版)

国际系统工程协会 (INCOSE) 编著

张新国 译

SYSTEMS ENGINEERING HANDBOOK

A GUIDE FOR SYSTEM LIFE CYCLE PROCESSES AND ACTIVITIES



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国际系统工程协会（INCOSE）编著的《系统工程手册》为系统工程师所从事的关键活动提供说明。本手册的目标读者是新的系统工程师、需要从事系统工程的另外专业的工程师或需要进行参考的有经验的系统工程师。本手册包括描述每个系统工程流程活动在可承受性和性能设计背景中的必需性方面的内容。

本书为中英文对照版。

Systems Engineering Handbook by International Council on Systems Engineering(INCOSE).

Copyright: © 2011 by INCOSE.

Originally published by INCOSE. Copyright licensed by INCOSE.

English-simplified Chinese bilingual edition copyright: © 2013 China Machine Press.

All rights reserved.

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2013-6891

图书在版编目（CIP）数据

系统工程手册：系统生命周期流程和活动指南（中英对照版）/国际系统工程协会（INCOSE）编著；张新国译．—北京：机械工业出版社，2013.10 （2014.1 重印）

书名原文：Systems engineering handbook

ISBN 978-7-111-44502-9

I. ①系… II. ①国… ②张… III. ①系统工程—手册—汉、英 IV. ① N945-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 251044 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：廖岩 责任编辑：廖岩 丁思檬

责任校对：舒莹 责任印制：李 洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2014 年 1 月第 1 版第 2 次印刷

170mm×242mm 49 印张 3 插页 720 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-44502-9

定价：360.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

教材网：<http://www.cmpedu.co>

销售一部：(010) 68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

审稿委员会主席：

王飞跃、Terry Bahill

INCOSE 北京分会：

名誉理事长

戴汝为、张育林、郑南宁、郭重庆

理事长

王飞跃

副理事长

李乐飞

理事（按姓氏笔画排序）

王飞跃、王兆魁、王峰、宁滨、张新国、李乐飞、范丽、查亚兵、曾大军

会长 (President)

查亚兵

副会长 (Vice President)

张新国、曾大军

前会长 (Past President)

李乐飞



推荐序一

“Gut Ding will Weile haben!”这句古老的德国谚语,可以意译为“瓜熟蒂自落”,恰好适用于 INCOSE《系统工程手册》中英对照版翻译的完成。手册为实践中的系统工程师所作,也是 INCOSE 对全球系统工程领域的最有价值的贡献之一。

手册中包含的关键信息随处可见。例如:

- 系统工程讨论架构、设计、确认和相关的流程。
- 对系统工程的考虑必须贯穿项目生命周期的始终。
- 系统工程是整体性的,且将所有利益攸关者的需要考虑在内。
- 系统工程是团队功能,解决系统问题涉及许多专业。
- 系统工程权衡“硬的”工程领域及某些“软的”经济或社会学科以

获得健全而可持续的解决方案。

- 系统工程与项目管理学科密切交互。

手册并不苛求成为解决所有系统问题的完美指南。然而,通过鼓励剪裁并针对应用场景进行调整,它为将系统工程方法成功应用于绝大多数系统问题提供了实用的参考,不论问题牵涉到工业、学术还是政府环境。

我祝愿这本特别的中英对照版手册,能启发并引导许多中国同行进一步提高他们创造创新产品和服务的技巧,以造福他们的国家及世界。

特别感谢王飞跃教授;特别感谢勇于接受挑战、创造出这份中文译本的张新国博士。

海因茨·斯托维尔教授,硕士

国际系统工程协会前主席

2013 年 10 月

推荐序二

国际系统工程协会 (INCOSE) 的《系统工程手册》和相应的“认证系统工程师” (CSEP) 是 INCOSE 在全球系统工程领域最主要、最成功的产品之一, 在教育界、产业界都具有广泛的国际影响力, 也是自 INCOSE 创立以来整个协会和历届领导人极力推广维护的主要项目之一。2004 年, INCOSE 首位美国以外的会长, 德国空间署 (German Space Agency, DARA GmbH) 前负责人海因茨·斯托维尔 (Heinz Stoewer) 博士来北京与我商谈在中国推广 INCOSE 的工作, 其中主要内容之一就是希望由我推动《系统工程手册》简体中文版本的翻译。为此, 我也曾召集中国科学院自动化研究所复杂系统与智能科学重点实验室的数位研究人员开会讨论相关事宜, 但因各种原因, 手册的翻译工作最终没有启动。不过, 此次见面的结果是我答应了海因茨组织建立 INCOSE 北京分会, 并担任 INCOSE 亚太地区的“国际大使” (International Ambassador) 一职。

大约三年多之前, 时任国际系统工程协会 (INCOSE) 北京分会主席的清华大学工业工程系李乐飞博士告诉我, 希望能在其任期内看到《系统工程手册》的中文翻译工作的完成。我曾表示怀疑: 一是因为工作量大, 二是因为只有真正需求和丰富系统工程实践的人士才会对此感兴趣, 并有能力完成这项工作。当时我基于个人的有限经验认为, 在中国, 这部分人士的数目相对较少。现在, 在乐飞任期的最后一年, 我却有幸看到了《系统工程手册》的中文译稿。特别令人高兴的是, 翻译此手册的中航工业张新国博士, 正是对系统工程有真正的需求、并且具有丰富的系统工程实践经验的专业人士。而且, 他所从事的工作、所担负的职能、所在企业的性质, 恰好就是 INCOSE 最初编著《系统工程手册》的匹配对象。

INCOSE 为何如此重视其系统工程手册的工作? 这还要从创立 INCOSE 的时代背景说起。20 世纪 80 年代, 因时任美国总统里根的“星球大战计划”, 美苏两大阵营之间的冷战在结束之前达到了新的高潮, 也使当时美国的许多国防军工

企业空前繁荣,急需大批具有系统工程思维、技能和经验的工程与管理人员。然而,这些企业认为传统专业培养出的大学生(学士学位)无法满足它们工作的要求,就是传统专业的硕士毕业生也须再培训才能胜任相关的工作。时任美国主要的国防军工公司马丁·玛丽埃塔(Martin Maritta, 现在的洛克希德·马丁的前身之一)首席执行官诺姆·奥古斯丁(Norm Augustine, 此君曾任美国陆军代理总长、后任洛克希德·马丁总裁、美国工程院院长、美国未来空间计划顾问委员会也称奥古斯丁委员会的主席)甚至主张将硕士而不是学士作为就业的第一学位要求,而学士只能是一个过渡性的准备学位。奥古斯丁的观点得到了当时美国大学为数不多的系统工程专业教授的共鸣与支持,因为这些专业往往大学生人数较少,而研究生人数相对较多。一段时期内,许多国防军工企业纷纷与设有系统工程或相关专业的大学合作,将其新招的大学生送回学校,以半工半读或者全脱产的形式再读一个硕士学位。当时,我在美工作时所在的亚利桑那大学系统工业工程系也为休斯航空(即后来的雷神公司)专设了硕士班,我自己还带了五名硕士生,这是美国大学里系统工程专业短暂的一段“黄金时期”。为此,该专业的许多教授对奥古斯丁的引导和影响十分认可,曾鼓动作为世界上第一个正式的大学系统工程专业的我们系牵头,推荐奥古斯丁为亚利桑那大学名誉博士。

然而,小规模的培养并不能满足国防军工企业的实际需要。有鉴于此,1989年,著名的军火公司通用动力(General Dynamics)在加州圣地亚哥负责召集了一个会议,专门讨论缺少具有整个系统而不是单个学科的思维与技能、并且能够实施系统工程的工程师问题。与会人士一致认为,合格系统工程师的短缺已经是一个全国性的问题,需要政府、企业和学校通力合作才能解决。第二年夏天,波音公司在西雅图召集了第二次会议,这次会议进一步明确了系统工程流程中的核心活动和相关培养问题,并决定成立全国系统工程协会(NCOSE)。次年一月,美国航空公司(The Aerospace Corporation, 由美国国会于1960年专为洲际导弹和军事空间计划而设,专注相关的系统工程和系统集成工作,与另一重要的军工企业TRW同根同源)在洛杉矶召集了第三次会议,有60余人参加了此次会议,决定启动成立NCOSE注册的法律工作。在此次会议中,大家针对美国国防部系统

工程管理军事标准 MIL-STD-499 的修订正式申明立场,事实上开启了今天的《系统工程手册》之组织与编制工作,这也是为什么最初该手册具有强烈的美国国防部色彩的历史原因。同年 6 月,在 IBM 牵头召开了一次研讨会之后,TRW 又召集了一次会议筹划第一届 NCOSE 会议,并讨论了 MIL-STD-499 的修订事宜。最后,第一届 NCOSE 会议是与美国工程管理学会 (ASEM) 的年会整合在一起举行的。1995 年, NCOSE 其他几个国家的系统工程专业组织商讨,改名 INCOSE,成为国际系统工程协会。

可见,INCOSE 成立的最大动力就是美国国防军工企业的实际需求,而编制《系统工程手册》并在此基础上建立“认证系统工程师”是 INCOSE 满足国防军工企业需求的重要手段。手册的最初的目的是确保美国军标 MIL-STD-499 修正版的落实,后来成为西方军工企业培训非系统工程专业学生、有时甚至是系统工程专业学生从事系统工程实践活动的基础要求。目前,《系统工程手册》已被主要国家广泛采用,在确保工程质量和成本方面发挥了有效的作用,并正从国防军工行业走向一般民用企业的工程管理活动。

中航工业作为我国航空工业发展的主力军,是我国工业领域的旗舰企业之一,也是中国科技发展的领军者之一。由上所述 INCOSE 的历史和《系统工程手册》的目的,由中航工业深谙系统工程体系精髓的张新国博士翻译《系统工程手册》再合适不过了。今年夏天,在清华大学举办的 INCOSE 北京分会 2013 年会上,我有幸听到新国博士关于中航工业系统工程理论与实践的报告,接着又由《管理学家》杂志组织与他围绕着企业管理与系统工程专题进行了深入的座谈,后来还拜读了他的专著《新科学管理:面向复杂性的现代管理理论与方法》第 2 版。这些接触,使我深为新国博士长期、扎实地研究并实践工程管理和系统工程理论及方法的精神与执著所折服,也为他所在的中航工业在系统工程方法和新科学管理理论的实践中所取得的成就而感到由衷的高兴。新国博士能在百忙中抽时间翻译《系统工程手册》,加快我们与国际水平同步的进程,这是我国系统工程学科培养与工程实践之幸事,相信此举必定能够深入而有效地推动系统工程在我国航空航天和防务以及其他行业中的普及与实施。

本人有幸在 INCOSE 创立之初就成为其会员，并参与早期手册的一些组织活动。我工作了二十余年的亚利桑那大学系统与工业工程系的一些同事也参与了本手册的规划、评论、审阅和修订工作。手册里的卡通就是我们周五“幸福时光(Happy Hours)”在酒吧聚会喝酒谈天时，从手头上的报纸里选出来的；我的同事与好友特里 A. 巴希尔 (Terry A. Bahill) 教授还在手册讨论的基础上提炼出来著名的系统工程 SIMILAR 流程理论，并率先开设了基于模型的系统工程流程研究生课程，为美国、加拿大、英国、新西兰、澳大利亚等国的军事部门、国防军工企业和院校培养了一批系统工程高级人才。今天，我能看到此手册的中文版，更有一种特别亲切的感觉。同时，在美的经历使我切身感受了发达国家对系统工程工作的重视程度和实施力度，我也衷心希望本手册的思想与方法能在我国工业界发挥实际效用。

王飞跃

国际系统工程协会 Fellow

2013 年秋于北京复杂系统管理与控制国家重点实验室

译者序

系统普遍地存在于生态环境、社会结构以及人造的产品和服务之中。无论是自然系统、人工系统抑或复合系统，首先其整体性因人类认知能力的连续开发和控制预期的持续增强而随之不断地外展，其次系统中所包含元素的多样性和差异性急剧增长，最终都将使系统的任务目标、运行方案和应用场景呈现出多元化的特征，由此造成系统构成的相关性以及与外部环境的依存性的复杂度跃升。

系统的复杂性反映着其中相互作用、相互依赖的元素与整体的特定目标之间的非线性关系，系统的失效模式则是元素固有特性及系统模型中内在联系的随机性所带来的无周期、非规律的行为能力，亦即系统的混沌性。因此，既不能由分析局部的特性来认识整体，也无法由环境变化来预判系统行为模式转换能力的动态表现。认知模式决定行为模式，正是关于未来系统中复杂与混沌两类属性结合方式和演进趋势的重新认识需要基于系统思考创建实用和有效的方法论框架体系，以严谨的结构化的范式理解系统带给我们的问题域，并以科律化的流程在方案域中进行迭代寻优的决策。

系统工程方法论正是基于在系统早期就应率先决定系统的整体逻辑框架，随之再构建结构化的系统工程流程以及层次化的文件、规范和模型的传递链路，用以指引和控制各个工程技术、专业工程领域的设计、综合和验证的过程，力图将构成系统的元素加以合理的定义和配置来提供系统的整体功能和提高系统的性能指标。系统工程的核心思想是“综合即创造”。

国际系统工程协会 (INCOSE) 是一个致力于开发系统工程学科和流程集并提高系统工程师专业技能和使命的全球性非营利会员组织。其宗旨在于推进系统工程在学术界、工业界的技术水平和实践能力，通过促进跨学科、可扩展的方法不断为工程领域提供恰当的系统解决方案，以满足产业和产品向更具复杂度发展的需求，并且积极推动和协调全球范围内应用的系统工程的标准。从 1990 年成立

之初, 洛克希德·马丁、波音、诺斯洛普·格鲁门等航空航天 / 防务 (A&D) 巨头公司始终是国际系统工程协会的学术、技术和业务发展的强力推手。时至今日, 国际系统工程协会已吸纳众多包括国际知名的航空航天和防务领域的公司咨询委员会 (CAB) 会员以及来自于科学研究、工程技术、企业管理等方面的数千名的个人会员, 共同致力于为人类及其生存的星球谋求福祉的跨越全球的系统工程最佳实践的共享、促进和发展 (国际系统工程协会: Our mission is to share, promote and advance the best of systems engineering from across the globe for the benefit of humanity and the planet)。

《系统工程手册》(Systems Engineering Handbook) 是国际系统工程协会在系统工程领域发布的知识体系中的核心, 最初由来自美国的几家航空航天 / 防务领域的会员所大力倡导并创建, 到目前的最新版本经历了十多次的版本修订, 期间广泛地采纳国际系统工程协会会员们的建议并扩大作者群体, 不断地结合工程应用的发展扩充系统工程流程域的方法。直至 2006 年 3 月发布的 V3.0, 成为基于国际通行的系统工程标准——ISO/IEC 15288 的首个版本, 有意地脱离美国 DoD 关于系统工程应用的倾向, 更加关注系统工程方法和流程在产品和服务中实践的普适性。在此之后的数个版本, 作为 ISO/IEC 的技术报告 (TR) 提交, 其目的是为广泛的工业界遵循国际标准提供丰富的流程和方法的指南。

系统工程学科 (专业) 是一种确保系统成功实现的跨学科的方法和手段。系统工程的主线涉及技术流程和管理流程的高度交叉, 注重在系统早期就依赖于两种流程开展良好的权衡, 并具有在生命周期方向的水平横跨趋向, 全面考量进度、成本、性能、制造、保障和退出等因素中进行设计综合和系统确认。系统工程师的关键任务之一正是探索上述议题, 并适时地协调各方利益攸关者共同推导出关键性的决策。同时, 在纵向结构层级方向系统工程又是一种自上而下的综合、开发和运行的迭代过程, 兼顾所有业务和技术需求, 以追求接近于最优的方式来提供满足需求的高质量产品和服务。系统工程师的目标之一就是协调和融合多个相关学科专家的贡献, 保证系统非预期的后果最小化。

《系统工程手册》一书描述方法和流程的独到之处在于彻底超脱具有环境

背景特质的技术和工程，却依然能够提供广泛的产品和服务中关键系统工程流程活动的翔实阐述，呈现全局审视问题的广域视角、解决问题的生命周期流程以及推崇整体之上、流程主导的专业素养。本书面向的读者群涵盖了不同级别的系统工程师和各种工程领域的技术人员，既是刚刚接触系统工程并期望成为系统工程师而开展系统化学习的教科书，也是具备丰富工程实践经验的系统工程师从事技术和管理活动的参考书，同样也是需要掌握系统工程方法或从事系统工程某些专业工程的其他学科和领域的工程技术人士的指导书。同时，本书以系统生命周期模型贯穿于理论和实践论述的主脉络，依次引出技术、项目、协议、组织项目使能、剪裁和专业工程等流程活动域，统一地运用背景环境图的方式掀开上述各流程活动域的“黑箱”，并以活动的输入、输出、控制项和使能项四个维度使整体联络成为具有因果循环关系的架构，可视化地展现出生命周期的关注焦点并揭示需求开发和验证的必要性、与各方利益攸关者不断确认以及适配特定运营环境而不断进行风险和机遇评估的重要性。因此，本书将引导工程计划的决策者和组织的高层管理者有层次地强化透视整体、洞悉全局和执简驭繁的思维能力。另外，随着相关国际标准和规范的引入和广泛应用，系统工程学科也将成为在两个或多个组织之间创建产品和服务协作的契约基线及剪裁依据，本书同样也是工程计划和系统的采办和供应管理者履行业务活动的实施指南。

众所周知，系统工程学科和方法仍在探索和发展之中，系统工程理论体系和流程集合在动态演进之中，一定会不断地与我们已经熟知或将要学到的技术方法和管理手段相互融合并形成更大的体系。译者在阅读和翻译《系统工程手册》最新版本过程中，也多次被书中所提及的方法框架的包容性所折服，进而也深切体会到系统工程的理论学习和工程实践感悟之间的交互促进。为了使广大的学习者和实践者能够准确地掌握《系统工程手册》中所包罗的学科理论精髓以及提供的工程案例本质，本书将以中、英文逐页对照的方式出版发行。

本书翻译过程历时近一载，译者的初衷是希望达到中文翻译稿与英文原书逐词逐句的精准映射，力求准确达意、通顺流畅和功能对等，并做到中文和英文能够双向互译而不会出现语义上的歧义。为此，我们在此书的翻译中采用项目管理、

流程管理、统一基线等一系列基于信息和知识工程的方法和技术。翻译组织过程中建立以译者本人为核心的工作团队,采用“协同翻译平台”进行文件结构的细粒度分解,通过源语分析模块对录入的初次翻译稿中的语句结构深度剖析,实现中、英双语的透明化展示,进而激发译者主观自发地调用已有的专业知识和工程经验,深入到语义逻辑之中开展分析和斟酌。而且,其中的机器学习模块更能实时积累译者的专家翻译经验和规则。翻译稿首轮迭代以本书的前两章以及附录 C: 缩写词、附录 D: 术语为样本,用以保证全书术语的统一定制、自动抽取和一致性;第二轮迭代推进到第三章译稿中,确定通用概念描述词组的义项选择和具有本书特定句式风格的逻辑表述形式;之后的迭代就进入到本书主体部分的第四章,更大范围吸收具有不同专业背景的工程技术人员进行初次审校,重点关注译稿的易读性,根据读者的阅读体验调整之前章节的翻译内容。经上述多轮迭代后,其他各章的翻译质量和效率得以充分保障,再利用翻译平台使每个翻译版本的控制和更改追溯到位。本书整个翻译过程也成了应用系统工程方法的一次探索性的实践,并产生了一套行之有效的跨文化的语言转换的模式,基于协同翻译平台所形成的多学科团队工作模式、标准的工作流程和方法也为今后翻译出版后续的专业英文科技类图书建立了前所未有的坚实基础。这得益于采用格微协同翻译平台进行过程管理,并在翻译和校对环节得到其技术团队的支持。在此,对格微团队的大力协助表示衷心感谢。另外,对中航工业金航数码公司总工程师高星海在翻译和校对中所付出的大量时间、精力以及丰富的贡献表示衷心感谢。

最后,也要对国际系统工程协会及北京(中国)分会所给予的信任和支持表示感谢。

SYSTEMS ENGINEERING HANDBOOK

A GUIDE FOR SYSTEM LIFE CYCLE PROCESSES AND ACTIVITIES

INCOSE-TP-2003-002-03.2.2
October 2011

Prepared by:
SE Handbook Working Group
International Council on Systems Engineering (INCOSE)
7670 Opportunity Rd, Suite 220
San Diego, CA 92111-2222

Edited by:
Cecilia Haskins, CSEP

Revisions and Appendices D to N of v3.1 edited by:
Kevin Forsberg, CSEP Michael Krueger, CSEP

Revisions and Updates to v3.2, 3.2.1, and 3.2.2 edited by:
Michael Krueger, CSEP David Walden, ESEP
R. Douglas Hamelin

系统工程手册

系统生命周期流程和活动指南

INCOSE-TP-2003-002-03.2.2
2011 年 10 月

筹备:

SE 手册工作组
国际系统工程协会 (INCOSE)
7670 Opportunity Rd, Suite 220
San Diego, CA 92111-2222

编辑:

Cecilia Haskins, 注册系统工程专业 (CSEP)

v3.1 版本修订和附录 D 至 N 的编辑:

Kevin Forsberg, CSEP Michael Krueger, CSEP

v3.2, v3.2.1 和 v3.2.2 版本修订和更新的编辑:

Michael Krueger, CSEP

David Walden, ESEP

R. Douglas Hamelin

INCOSE Notices

This INCOSE Technical Product was prepared by the SE Handbook Working Group of the International Council on Systems Engineering (INCOSE). It is approved by INCOSE Technical Operations Leadership for release as an INCOSE Technical Product.

Copyright © 2011 by INCOSE, subject to the following restrictions:

Author use: Authors have full rights to use their contributions unfettered, with credit to the INCOSE Technical source, except as noted in the following. Abstraction is permitted with credit to the source.

INCOSE use: Permission to reproduce and use this document or parts thereof by members of INCOSE and to prepare derivative works from this document for INCOSE use is granted, with attribution to INCOSE and the original author(s) where practical, provided this copyright notice is included with all reproductions and derivative works. Content from ISO/IEC 15288:2002 and

15288:2008 is used by permission, and is not to be reproduced other than as part of this total document.

External use: This document may not be shared or distributed to any non-INCOSE third party. Requests for permission to reproduce this document in whole or in part, or to prepare derivative works of this document for external and/or commercial use, will be denied unless covered by other formal agreements with INCOSE. Copying, scanning, retyping, or any other form of reproduction or use of the content of whole pages or source documents is prohibited except as approved by the INCOSE Central Office, 7670 Opportunity Road, Suite 220, San Diego, CA 92111-2222, USA.

Electronic version use: Any electronic version of this document is to be used for personal professional use only and is not to be placed on a non-INCOSE sponsored server for general use. Any additional use of these materials must have written approval from INCOSE Central.

Permissions: INCOSE has granted permission to member companies of the INCOSE Corporate Advisory Board to post and use this document internally, subject to the external use restriction.

Notice: A hardcopy of this document may not be the most current version. The current approved version is always the version on the INCOSE Product Area.

ISBN 978-1-937076-02-3