

基于模型系统工程中国应用调查

鲁金直¹, 王国新², 郑新华³, 黄百乔⁴

1. 瑞典皇家理工学院, 斯德哥尔摩 10044 SE
2. 北京理工大学, 北京 100081
3. 网神信息技术(北京)股份有限公司, 北京 100015
4. 中国船舶工业系统工程研究院, 北京 100094

摘要 基于模型系统工程(MBSE)是当前工业界比较关注的热点技术,被认为是新一代的系统工程实施方法。它采用基于模型的方法支持系统工程规范,实现设计风险的最小化及由于产品研发后期的设计变更所带来的设计风险。其中,模型可以被应用于形式化的方法,用于实现目标产品分析、设计、优化、验证及确认等研发活动进而实现跨领域、组织、产品的整合。尽管基于模型的设计和开发已经在个别领域被广泛应用,例如软件、机械、电子系统等,其在系统层的实现整合开发的目标目前还无法实现。本文通过针对MBSE的利益相关人的调查问卷分析当前中国工业界相关技术的应用状态。通过问卷,初步了解当下国内系统开发工程师对于MBSE的使用、优势、障碍、关注点及趋势的定位和判断。

关键词 系统工程;基于模型系统工程;问卷调查

本调查的目的是系统了解当前国内工业界模型系统工程(MBSE)的使用情况、关注点、障碍及未来发展趋势,特别是相关MBSE工具链的开发情况。调研结果用于对还不了解MBSE相关概念的系统开发工程师介绍相关内容,并为相关人员对未来的MBSE工具链开发提出依据。

Bitá^[1]、Mary^[2]、Schulze^[3]、Hutchinson^[4]和Joseph^[5]等分别对国外MBSE应用、系统工程应用、模型驱动工程及系统工程业务能力进行调研。尽管这些研究人员对于世界范围内的调研对MBSE的发展有重大意义,但是目前关于中国工业界的相关调研,尤其是关于MBSE工具链的调研仍是空白。本研究组曾提出了对MBSE工具

链的初步的定义^[6]。为了调研相关MBSE工具链的性能特征和功能属性,在这个报告中,笔者除了对MBSE的相关内容进行调查外,还对MBSE工具链的相关技术及使用进行调研。同时,这个问卷提出了一些与MBSE转化有关的问题,为设计MBSE转化策略提供线索。

1 研究方法

本研究组在相关社交平台上对不同的工程领域研发人员发布调查问卷,每个问卷中包含50道与MBSE相关的问题。

问卷基于调查问卷网站问卷星(<https://www.wjx>。

收稿日期:2018-03-23;修回日期:2018-04-14

作者简介:鲁金直,博士研究生,研究方向为基于模型的系统工程,电子信箱:jinzhl@kth.se;王国新(通信作者),副教授,研究方向为数字化设计,电子信箱:wanguoxin@bit.edu.cn

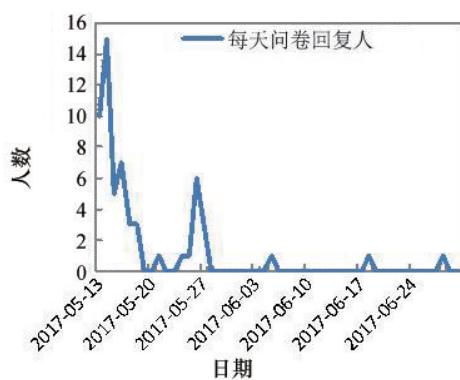
引用格式:鲁金直,王国新,郑新华,等. 基于模型系统工程中国应用调查[J]. 科技导报, 2018, 36(20): 57-66. doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.20.009

cn/)进行设计,其中包括多选、单选、矩阵单选等。表1总结了被访者的兴趣组、领域、潜在回答人数及相关社交网络。本问卷的发布期为2017年5月13日至2017年6月30日。在此期间,收到58份反馈,其中大部分是

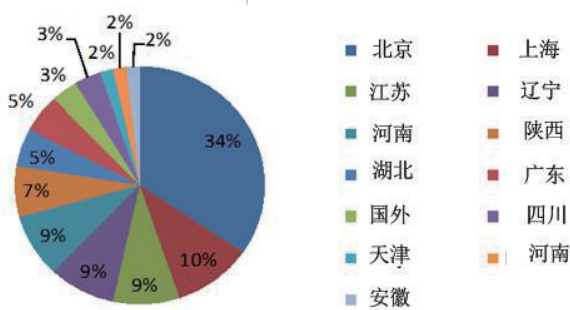
在前两周完成,如图1(a)所示。如图1(b)所示,大多回访者来自北京,可能是因为大多企业的研发部门坐落在北京。

表1 调查范围

兴趣组	领域	潜在被访人员	社交平台
CCOSE(http://www.ccose.org/), 系统工程兴趣组	系统工程	422	微信
基于模型设计的4个论坛	CAD, CAE及机械工程	开放	互联网
Modelica兴趣组	Multi-domain modeling	116	微信
PDM/PLM 兴趣组	PLM/PDM	558	QQ
领域建模及联合仿真兴趣组	CAE, Modelica 和联合仿真	998	QQ
AMESim, Matlab/Simulink 及Flowmaster兴趣组	CAE 及建模	330	QQ
系统工程, 系统工程方法公众号	系统工程	1060	微信
正向设计研发港公众号	设计方法	86	微信
苏州同元软控公众号	Modelica	109	微信



(a) 反馈人数



(b) 反馈人地理位置

图1 反馈人反馈时间及地理位置

2 调查结果

2.1 反馈人调查

为了更好了解反馈人的工作单位及情况,使用5个问题对反馈人进行调查,即应用领域(图2(a)),团队中的角色(图2(b)),领域(图2(c)),对于MBSE的熟知度(图3(a)),以及他们在当前工作中采用MBSE的情况(图3(b))。

本研究使用多项选择题分析反馈人的所属领域。目前,中国对于领域也存在这种分类:1) 性能分析;2) 结构分析。因此,添加这2个条目以了解结构和性能的相关人员对MBSE的关注程度,具体结果如图2(c)所

示。从调查结果中发现,大多反馈人员的主要领域是系统设计。

目前,工程师在设计过程中承担多个角色也是有可能的。因此,采用多选题了解反馈人的角色。结果显示,大多反馈人是系统工程师,其中将近半数和管理岗位。

图3中,与Bita的调研结果进行比较^[1],中国反馈人对于MBSE的了解程度明显落后于世界范围内的调研结果。首先,专家和高级的反馈人数目远远少于Bita的调研结果(从Bita调研结果来看,其反馈人目前已经达到60%的专家等级和14.3%高级等级)。

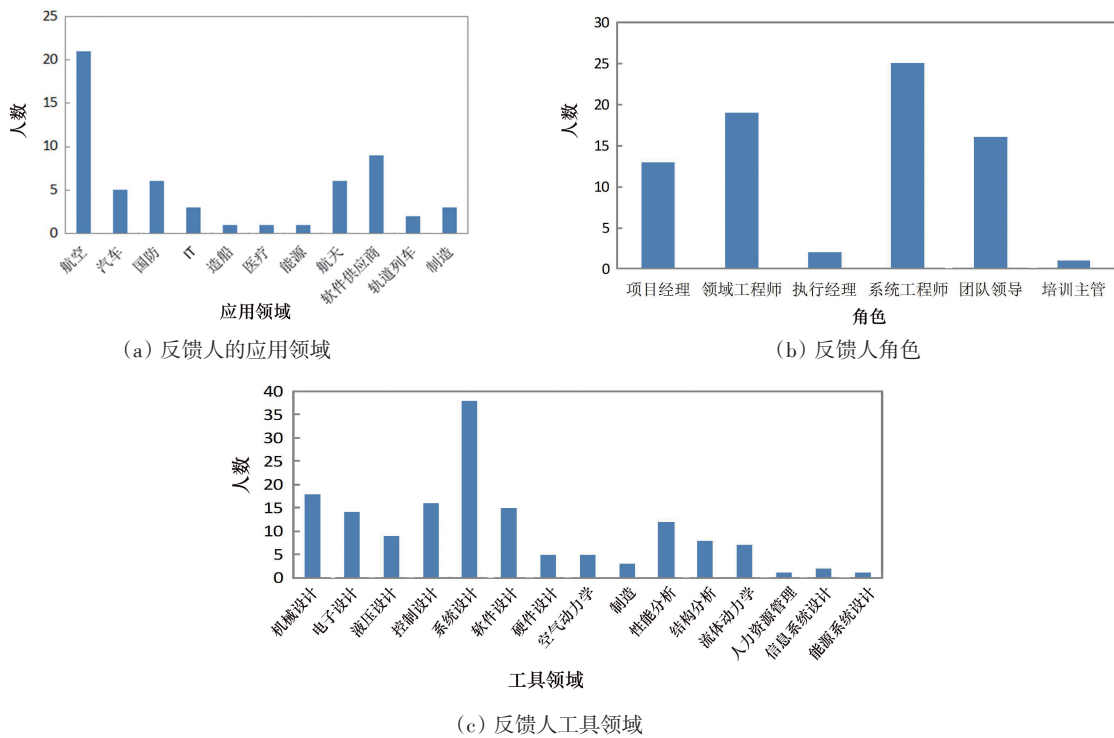


图2 反馈人调查结果

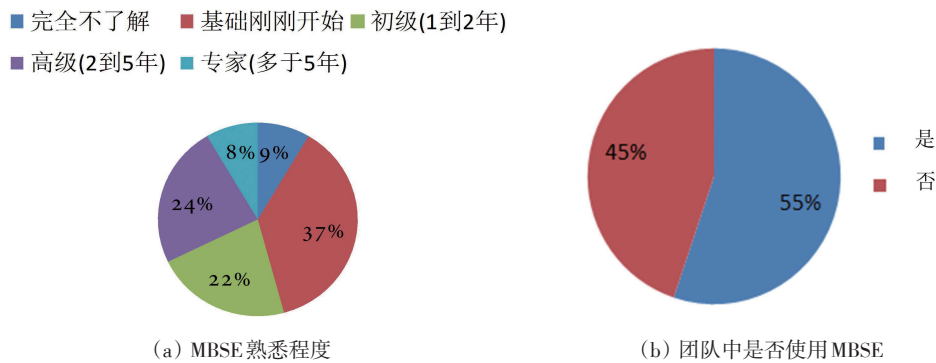


图3 反馈人对MBSE的熟知程度及是否将MBSE应用于当前工作调查结果

2.2 MBSE使用的范围

本文是MBSE的使用范围、使用频率、使用阶段和其关注点的调研结果。为了调研MBSE的使用频率,首先把项目划分为3种:

- 1) 预先研究项目。
- 2) 研发项目 project。
- 3) 真实产品开发的全生命周期。

调研反馈者在这3类项目使用MBSE的情况。如图4(a)所示,可以观察到MBSE在预研和研发项目中的应用较多。其中,41%的反馈人没有在真实产品的全生命周期过程中采用MBSE。航空工业似乎比其他工业应用MBSE的情况要好。

为了理解反馈人在项目中使用MBSE的情况,我们

定义了4个阶段:

- 1) 调研阶段。
- 2) 项目开始。
- 3) 项目执行。
- 4) 完全使用MBSE。

仅有47%的反馈人在这4个阶段完全使用MBSE(图4(b))。这与MBSE所期待的能够包含产品的全生命周期的能力相违背。这可能说明当前国内对MBSE的理解并不完善。

此外,用问题“你们团队关注于MBSE的哪方面?”来调研MBSE的关注点(图4(c))。根据反馈人情况,前三的主要关注点是系统架构及系统设计、需求管理、验证和确认。

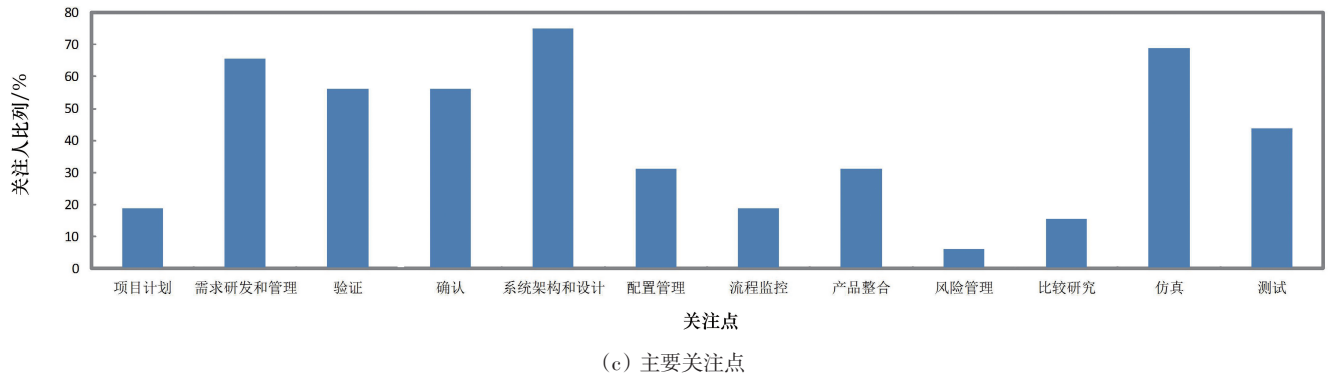
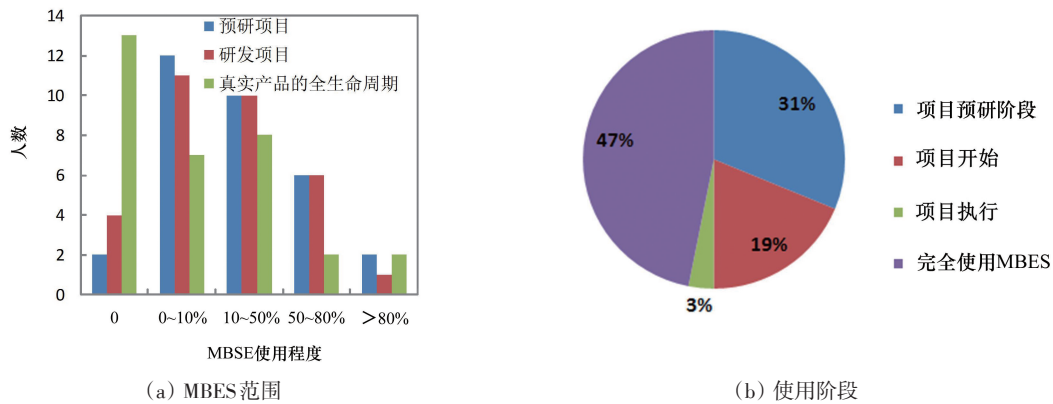


图4 MBSE关注点调研结果

2.3 MBSE 工具链相关技术

为了了解反馈人的研发团队对于MBSE工具链相关技术的定义,提出以下三方面问题:系统工程、建模技术和整合技术。

2.3.1 系统工程

与基于文档的系统工程研发方法不同的是,MBSE采用的是基于模型的方法形式化生命周期中的各项设计活动。因而,MBSE的基础是系统工程实践。在调研中,从两方面调研反馈人对于系统工程的使用情况:系统工程标准的使用频率及系统工程所使用的视点^[7]。

本研究组比较了系统工程标准的使用频率,如图5

所示,使用MBSE的反馈人对MBSE的使用频率远高于不使用MBSE的反馈人。其中,架构设计、功能分析、需求分析视点为MBSE的3个主要应用。

2.3.2 建模技术

以下从7个方面调研建模技术的使用情况:建模频率、建模目的、建模语言、语言图、建模方法、建模理论及仿真方法。

本研究组基于Saikou Diallo的建模术语定义建模方法、理论和仿真方法^[8]。

1) 建模理论。

“什么是模型?”例如,有限元分析。

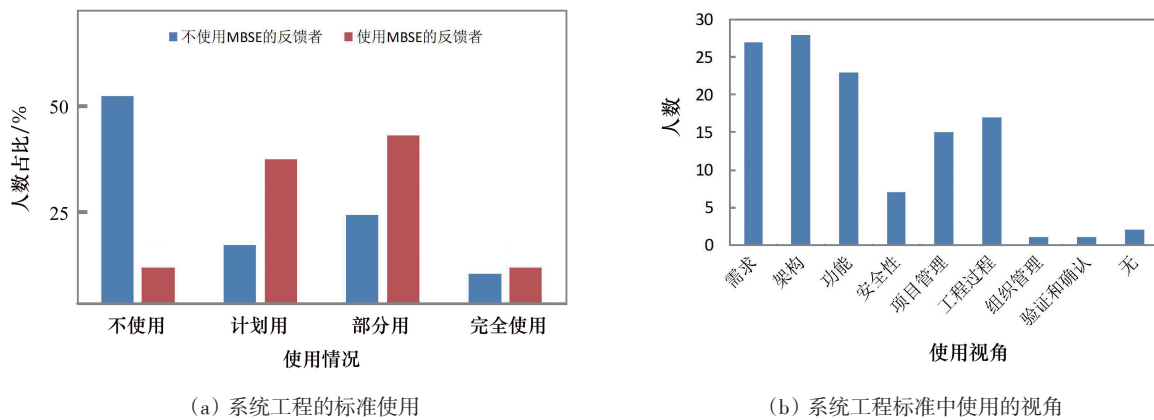


图5 系统工程的使用频率与系统工程的使用视点

2) 建模方法。

“如何建模?”例如,形式化分析。

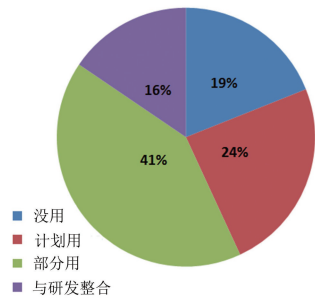
3) 仿真方法。

“如何仿真?”例如,离散系统仿真。

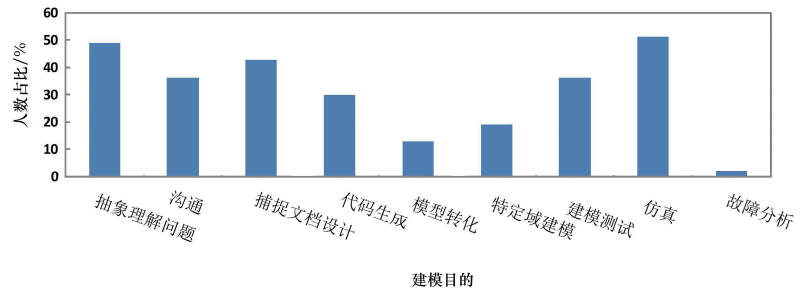
如图6(a)结果所示,43%的反馈人不使用或者准备

使用建模技术。仅16%的反馈人能够把建模和真实产品研发结合。从建模目的来看(图6(b)),我们发现仿真和抽象描述问题是2个主要的建模目的。从结果分析看,航空工业和软件供应商目前使用建模技术最多。

三方面用于调研反馈人对于建模的喜好,如图7~



(a) 建模频率



(b) 建模目的

图6 反馈者建模频率及建模目的

图9所示。结果显示形式化建模和能量流理论为2个最主要的应用理论;数学建模是最广泛的建模方法;而数值仿真和实时仿真为当前国内应用最广的2种仿真方法。

为了进一步分析模型的使用情况,通过2个问题对

建模语言和语言图的应用情况进行调研。调查结果如图10所示,M语言和SysML为应用最广的2种语言。在SysML中,block定义图应用的最广泛。

2.3.3 整合技术

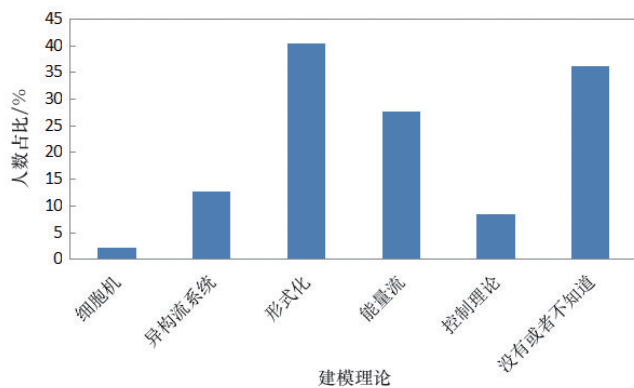


图7 建模理论的应用

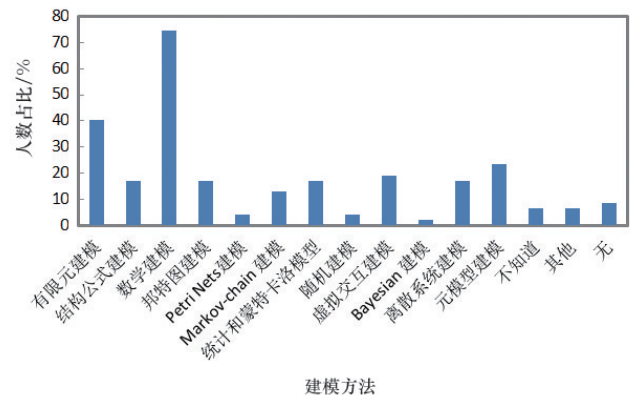


图8 建模方法的应用

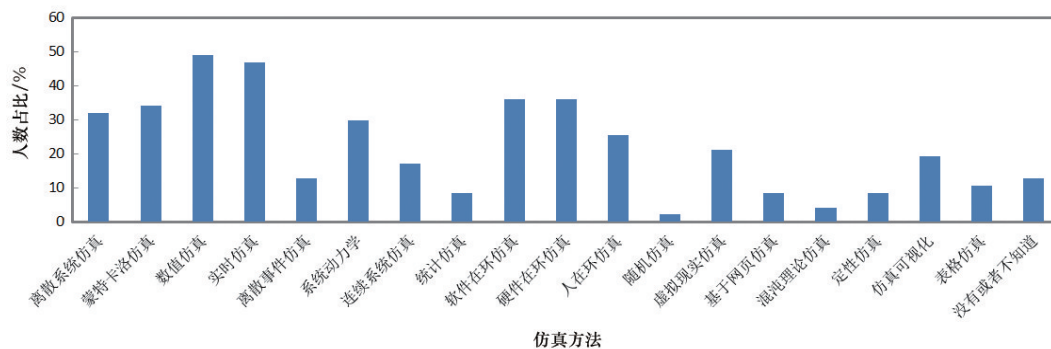
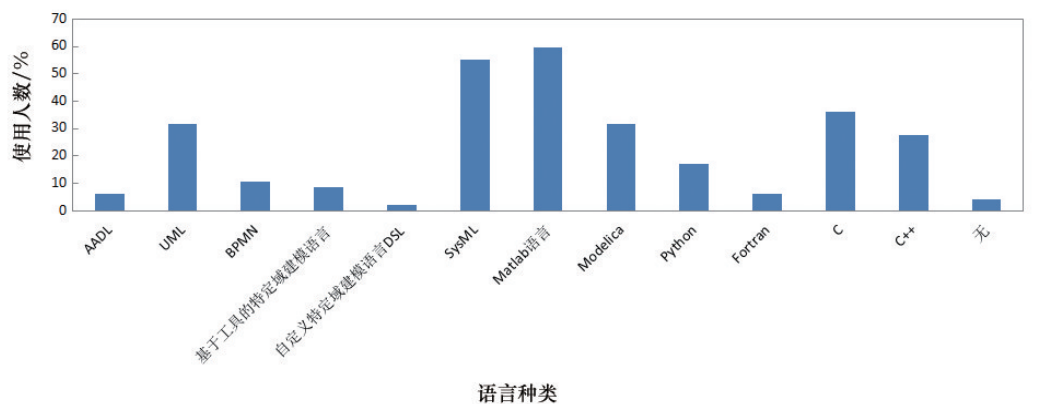
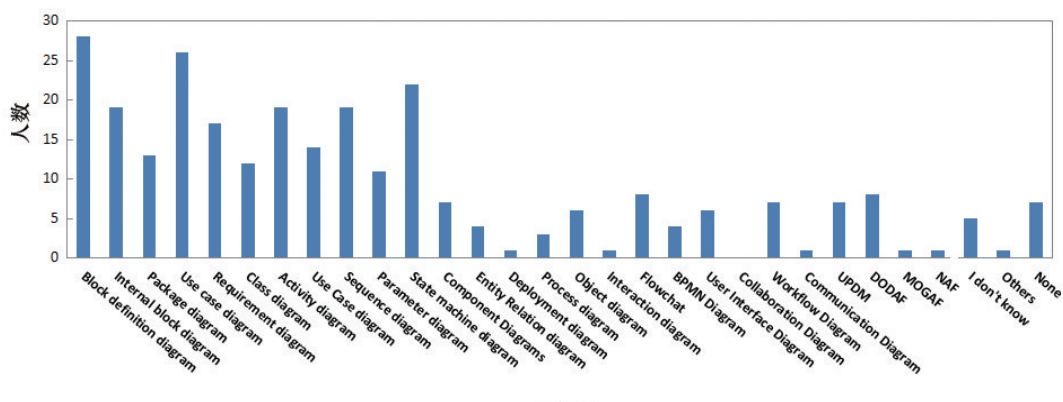


图9 仿真方法的使用



语言种类

(a) 语言



语言图

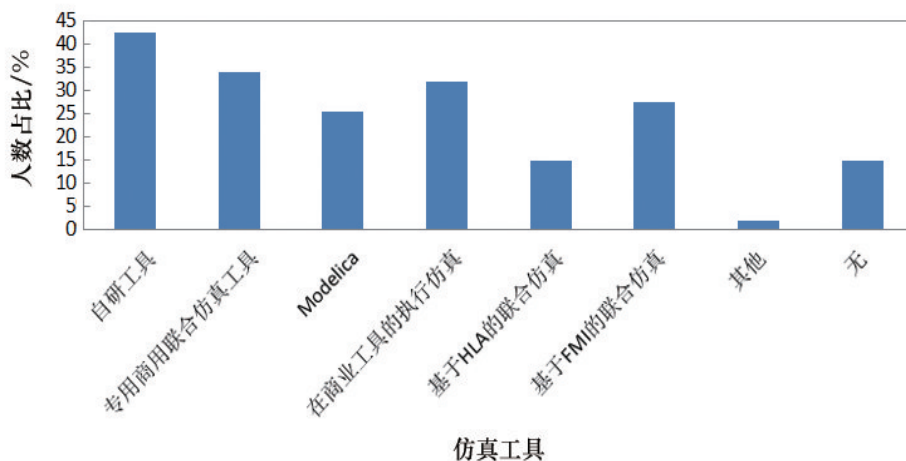
(b) 语言图

图10 建模语言的使用

以下介绍反馈人执行集成仿真和工具整合的相关内容的调查。

首先调研仿真集成平台相关信息。High-level architecture (HLA) [9], Functional Mock-up Interface

(FMI)[10]和 Modelica[11]是目前最主要的几种集成仿真手段。如图11所示,近41%的反馈人自行开发整合仿真平台。很多反馈人同时使用了不同的仿真技术。约26%的反馈人使用FMI支持其联合仿真。



仿真工具

图11 整合平台的解决方案

在工具研发阶段,工具整合被认为是另一个非常重要的工作。如图 12(a)所示,仅 5%的反馈人没有执行工具整合。下面从三方面来分析工作整合的相关内容:整合种类、整合技术和整合的量度。

在调研中定义 5 种整合方式:1) 数据整合;2)控制整合;3) 平台整合;4) 流程整合;5) 展示整合^[12]。如图 12(d)所示,最常见的 3 种整合方式是数据、流程和控制整合。

同样调研了反馈人在工具整合过程中采用的相关技术。如图 12(c)所示,发现基于商业工具的集成是中国目前采用最常见的方法。

定义其中非功能的属性用于描述工具整合能力^[13]如下。

1) 互用性(interoperability)。

2 个或者 2 个以上工具链中的元素可以相互置换或者在异构系统中交互信息的能力。

2) 追溯性(traceability)。

工具可以处理技术资源、系统信息、研发流程、社交网络之间的追溯关系的能力。

3) 依赖性(dependency)。

工具可以处理技术资源、系统信息、研发流程、社交网络之间的逻辑关系的能力。

4) 整合能力(integrated capability)。

工具链整合已经存在的模型、数据、工具的能力。

5) 重用性(reusability)。

重用相关技术资源(模型、数据、工具)的能力。

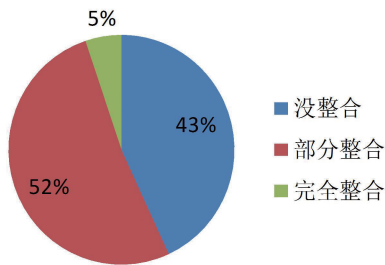
6) 设计效率(design efficiency)。

系统使用工具链来执行他们设计任务的效率。

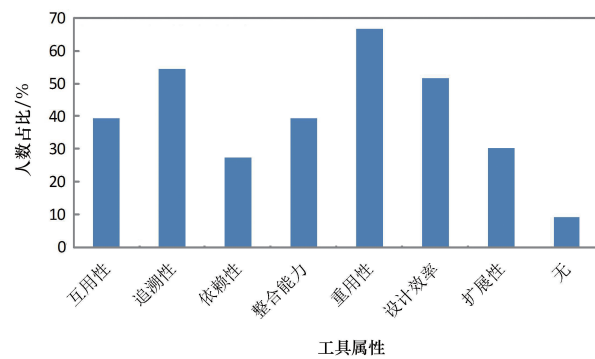
7) 可扩展性(scalability)。

工具链可以适应工程任务及对其本身需求增长的能力。

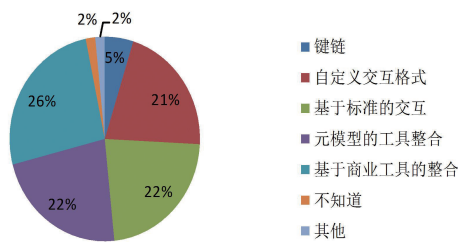
如图 12(b)所示,重用性、追溯能力和设计效率是工具链研发过程中需要考虑的最重要的 3 个因素。



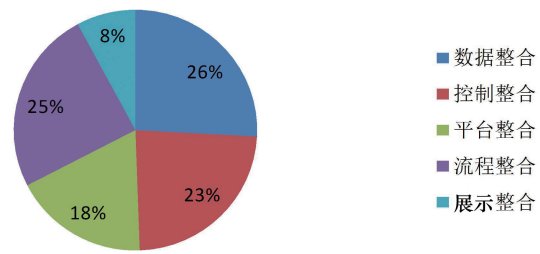
(a) 是否整合



(b) 工具整合量度



(c) 整合方法



(d) 整合类型

图 12 工具整合调研结果

2.4 MBSE 转化

以下通过调研问卷的结果分析影响 MBSE 工业转化的相关因素,这里 MBSE 工业转化指从当前的基于文档的系统产品设计方法向 MBSE 方法过渡的过程。笔者提出的问题涉及文化、经济、组织架构、个人学习及

相关阻碍几方面。

系统思维被认为是实施系统工程的核心能力^[14]。为了获得反馈人在工作使用系统思维的频率,提出的问题为:“你在工作中使用系统思维的频率是什么?”如图 13 所示,调研结果显示只有 9%(6/58)的反馈人完全

使用系统思维。和其他工业相比,航空工业应用系统思维的频率较高。在不同角色的反馈人中,系统工程师和团队负责人采用系统思维较多。

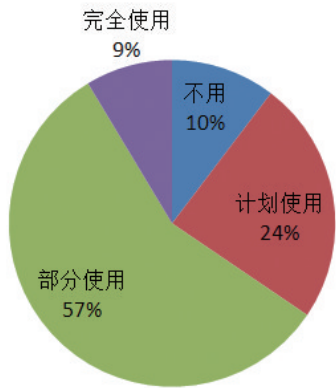
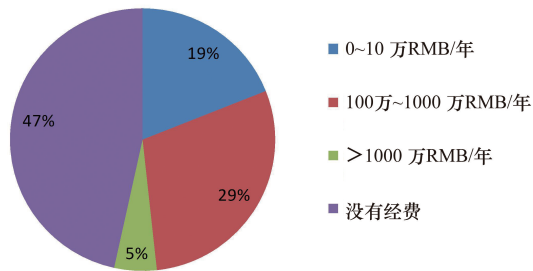


图 13 系统思维的使用调研结果

本调查通过问题“反馈人每年的 MBSE 经费有多少”调查当前 MBSE 的经费支持情况。如图 14(a)所示,结果显示近 50%的反馈人没有经费支持。相关工业中,飞机工业的反馈人比其他工业的经费要多。目前已经使用 MBSE 的反馈人一般比没有使用 MBSE 的反馈人的经费充足。



(a) MBSE 经费

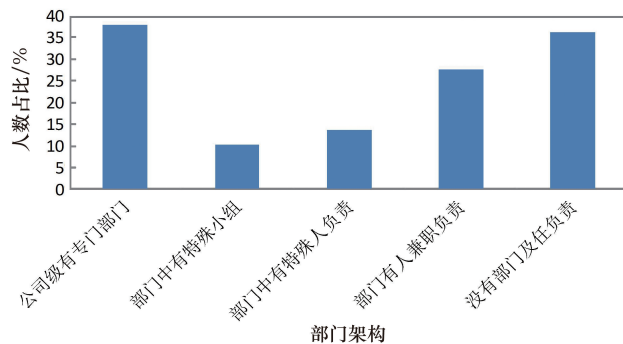
馈人的经费充足。

了解一个顶层的组织团队是否如系统工程转化一样,有助于帮助 MBSE 转化^[5]。我们定义 5 个组织架构并提出问题,调查反馈人的部门是否有如下组织:

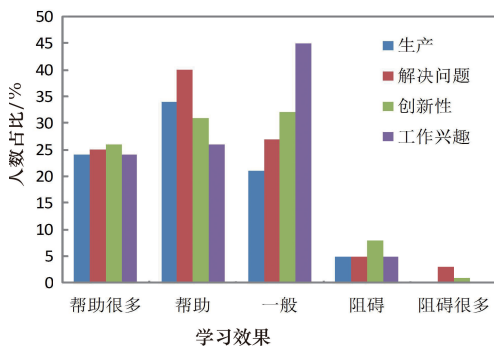
- 1) 公司层面有专门负责 MBSE 的团队。
- 2) 在部门中有专门负责 MBSE 的团队。
- 3) 有专门负责 MBSE 的业务人员。
- 4) 有兼职负责 MBSE 的业务人员。
- 5) 没有特殊业务人员和部门负责 MBSE。

如图 14(b)所示,在公司层面有顶层部门负责 MBSE 的反馈人使用 MBSE 的频率远远大于其他几种组织结构。从行业来看,航空工业提供了更多的部门和业务人员来支持 MBSE。

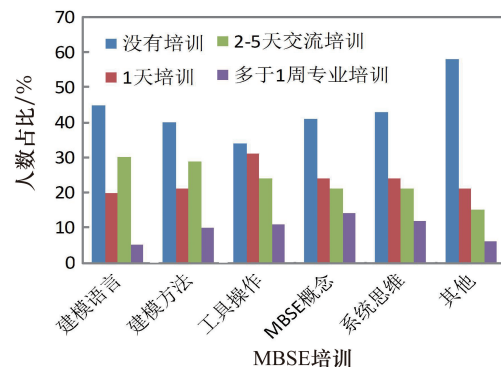
采用 2 个问题用于调查反馈者对 MBSE 的个人学习及训练情况。结果显示,大多反馈者认为 MBSE 可以帮助他们提高生产力、创造力、解决问题的能力及工作兴趣,如图 14(c)所示。如图 14(d)所示,结果表明缺乏 MBSE 相关培训(建模语言、建模方法、工具操作、MBSE 理解及系统思维):大多反馈者仅有 1 天或者 2~5 天的短期培训;仅有 5%(58 中 5 人)有多于一周的培训。



(b) MBSE 部门的构架



(c) 个人学习



(d) 培训

图 14 MBSE 经费调查结果

本研究组采用多选分析 MBSE 转化过程中的障碍。如图 15 所示,3 个最大障碍为:1)缺乏对 MBSE 的

价值认知;2)缺乏使用对应工具的技能;3)对于文化改变

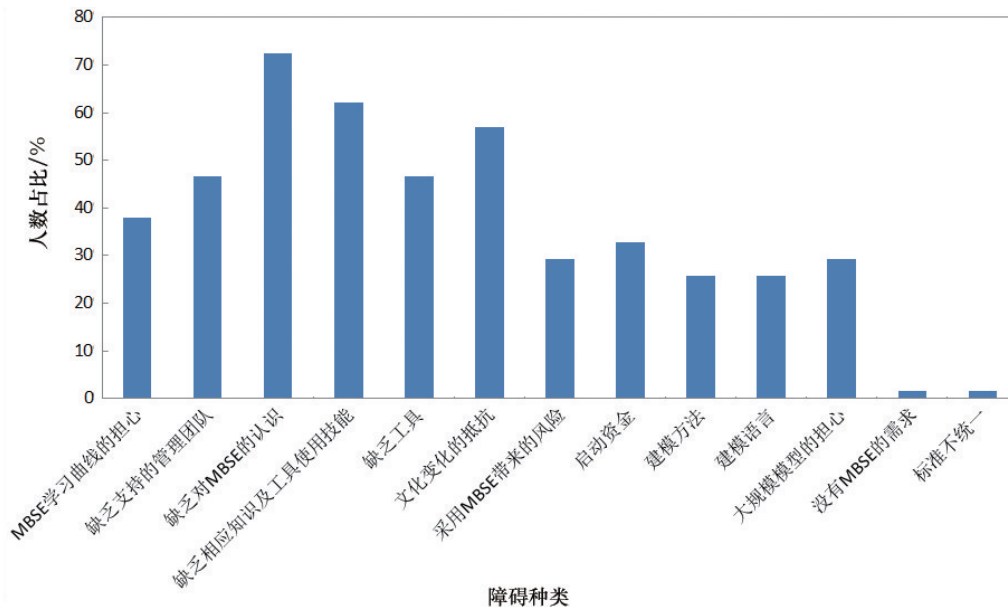


图 15 MBSE 转化障碍

3 结论

基于模型的系统工程是目前比较新颖的技术,旨在代替传统的基于文档的系统工程方法。大多数反馈人十分关注其相关技术。然而和世界范围内的应用者进行比较,中国工业界对其理解和应用相对落后。结果总结如下。

1) 当前 MBSE 的工业实践目前在一些特殊领域比较突出,例如航空。

2) 基于调研结果,我们推断 MBSE 需要涵盖整个项目的生命周期。

3) 大多中国工业界采用整合仿真和工具整合来构建他们的 MBSE 工具链。

4) MBSE 相关技术并非仅为“SysML”及“UML”。

5) 大多数反馈人认为,缺乏对 MBSE 价值的理解及缺乏相关 MBSE 技能和能力阻碍了 MBSE 当下的转化。

本文只是初步对中国 MBSE 应用现状进行调研,其结果还需要更加详细的调研和更多数据的分析以总结未来的适合中国工业界的 MBSE 转化策略。

致谢 系统工程爱好者沙龙(CCOSE)各位专家为本报告提出了宝贵意见。感谢系统工程、苏州同元软控、正向设计研发港、系统工程方法公众号。SysGraph Lab、安怀信、苏州同元软控等企业为本次调研提供了软件支持工作。

参考文献(References)

- [1] Motamedian B. MBSE applicability analysis[J]. International Journal of Scientific & Engineering Research, 2013, 4(2): 1-7.
- [2] Bone M, Cloutier R. The current state of model based system-engineering: Results from the OMG TM SysML request for information 2009[C]. 8th Conference on Systems Engineering Research, 2010: 225-232.
- [3] Schulze S O. Systems engineering in industrial practice[M]. Paderborn: Fraunhofer, 2015: 1-67.
- [4] Hutchinson J, Whittle J, Rouncefield M. Model-driven engineering practices in industry: Social, organizational and managerial factors that lead to success or failure[J]. Science of Computer Programming, 2014, 89: 144-161.
- [5] Elm J P, Goldenson D R. The business case for systems engineering study: Results of the systems engineering effectiveness-survey[J]. Shock, 2012, 23(4): 319-323.
- [6] Lu J, Chen D J, Gürdür D, et al. An investigation of functional-

- ities of future tool-chain for aerospace industry[J]. INCOSE International Symposium, 2017, 27(1): 1408-1422.
- [7] ISO/IEC standard for systems and software engineering—Recommended practice for architectural description of software-intensive systems[S]. Piscataway, NJ: IEEE, 2007.
- [8] Diallo S, Mustafee N, Zacharewicz G, et al. Towards an encyclopedia of modeling and simulation methodology[C]//Intergovernmental Panel on Climate Change, ed. 2015 Winter Simulation Conference (WSC). Piscataway, NJ: IEEE, 2015: 2692-2703.
- [9] Symington S, Morse K L, Petty K. IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA)—federate interface specification (IEEE Std 1516-2000)[S]. Piscataway, NJ: IEEE, 2001.
- [10] FMI Modelica Association Project. Functional mock-up interface for model exchange and co-simulation[EB/OL]. [2018-04-01]. <http://www.lccc.lth.se/media/LCCC2012/WorkshopSeptember/slides/Blochwitz.pdf>.
- [11] Fritzson P, Engelson V. Modelica—A unified object-oriented language for system modeling and simulation[C]//Proceedings of the 12th European Conference on Object-Oriented Programming (ECOOP'98), Berlin Heidelberg: Springer, 1998: 67-90.
- [12] Wasserman A I. Tool integration in software engineering environments[J]. Software Engineering Environments, 1990, 467: 137-149.
- [13] Geraci A F, Mcmonegal L, Meyer B, et al. IEEE standard computer dictionary—A compilation of IEEE standard computer glossaries[M]. Piscataway, NJ: IEEE, 2002.
- [14] Cloutier R, Sauser B, Bone M, et al. Transitioning systems-thinking to model-based systems engineering: Systemigrams to SysML models[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2015, 45(4): 662-674.

Model-based systems engineering application investigation in China

LU Jinzhi¹, WANG Guoxin², ZHENG Xinhua³, HUANG Baiqiao⁴

1. KTH Royal Institute of Technology, Stockholm 10044 SE, Sweden
2. Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China
3. Beijing Sysware Technology Co., Ltd., Beijing 100015, China
4. Systems Engineering Research Institute of China State Shipbuilding Corporation Limited, Beijing 100094, China

Abstract Model-based Systems Engineering is a new trend in the current Chinese industry. It adopts model-based approaches to formalize the system development and minimize the risk brought by design changes of the later development phase. The model-based approaches can be used for across domain integrations of the whole life cycle of products. Though MBSE has been widely used in specific domains, such as software, mechanical systems and electric systems, the system-level integration has not been realized. This paper introduces the results of questionnaires about MBSE application in China. The results can be used for current system developers to understand MBSE and its trends.

Keywords systems engineering; model-based systems engineering; questionnaire ●



(责任编辑 王志敏)