

基于PDCA循环的空间天气业务质量监督检查实践

■ 朱琳玲 郭建广 张建磊 李颖冲 敦金平 吕景天 于超 赵明现 叶茜

空间天气内部质检以质量管理体系为抓手,促进观测业务由结果管理向过程管理转变,研究并实施体系与业务的深度融合,以PDCA的闭环管理思维强化业务检查工作的全面性、业务问题整改的彻底性,构建了不断完善空间天气业务的新模式。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2022.05.017

按照美国“国家空间天气战略计划”的定义,空间天气是指“太阳上和太阳风、磁层、电离层和热层中可影响天基和地基技术系统的正常运行和可靠性,危及人类健康和生命的条件或状态”,而空间天气业务是指涉及空间天气有关的业务技术活动,包括空间天气监测、预警预报、应用服务、研发以及相关的基础设施建设等,是气象事业的重要组成部分,是国家基础设施现代化的重要标志之一。空间天气业务是传统气象领域的拓展,是随着人类活动领域拓展到外层空间以及人类对高技术的依赖性日益增强而必然产生的业务。空间天气和其他气象业务的配合可以实现从太阳到地球表面气象环境的无缝隙监测和预报,并成为相关气象综合服务的基础。经过近二十年的建设与发展,空间天气业务已经成为中国气象局现代气象业务体系的重要组成部分,对提高保障空间活动和空间技术的能力,减轻或避免空间灾害造成的损失与危害具有重要意义。

持续提高空间天气业务的质量,是促进空间天气业务发展的目标。中国气象局自2002年成立国家空间天气监测预警中心以来,已初步建成集监测、预警预报与服务为一体的空间天气业务体系。空间天气业务已经具备从以科学研究和项目工程为主导的发展模式,转向以提供定常的高质量空间天气预报服务信息为主的业务运行模式的条件。目前,中国气象局空间天气业务包括监测、预报以及服务三大部分。

空间天气监测是空间天气业务的基础,天基监测、地基监测相互配合可实现对空间天气事件的全链路追踪,获取的数据经过预处理加工后,可为空间天气预报提供输入。空间天气扰动的源头是太阳,空间天气预报流程中通过跟踪分析太阳表面黑子活动区的

结构、辐射特征、磁场构型等,能够预测其未来爆发耀斑、喷出物质的可能性;通过分析太阳表面的冕洞的发展,可以预测未来若干天地球附近太阳风的状况,然后通过模型计算各种来自太阳的扰动传播到地球以及地球附近空间环境的变化,包括高能粒子环境、地磁场、电离层、高层大气等。对空间天气事件所产生的影响进行准确、客观的评估对空间天气意义重大,空间天气服务通过及时评估事件影响,对接专业用户,建立空间天气产品传播纽带。以上业务特点可以看出,从监测到服务的每一个过程都存在着诸多影响空间天气业务质量的因素,任何一个节点出现问题都将对空间天气整体的业务流程产生负面作用。推进质量管理体系在空间天气业务中的建设,对于规范化空间天气业务流程、优化空间天气业务产品、提高空间天气服务质量具有关键作用,而通过内部质量监督检查工作可以有效控制和解决质量体系在推进过程中出现的问题。

将PDCA(计划—执行—检查—处理)循环工作原理贯穿于空间天气室内部质检工作,可以有计划、按目标、分步骤地调动空间天气室内部质检团队,统筹安排资源并循序渐进地开展各项工作,不断提高工作效率,加强空间天气室内部业务融合,持续推动空间天气业务的高质量发展。

1 空间天气业务质量管理体系与PDCA循环

质量管理体系(Quality Management System, QMS)是指在质量方面指挥和控制组织的管理体系。质量管理体系是组织内部建立的、为实现质量目标所必需的、系统的质量管理模式,是组织的一项战略决策^{①②}。世界气象组织(WMO)早在2013年制定发布了《国家气象和水文部门实施质量管理体系指南》和

收稿日期: 2022年1月13日; 修回日期: 2022年2月28日

第一作者: 朱琳玲(1988—), Email: zhulinling@cma.cn

① GB/T 19001-2016/ISO 9001: 2015, 质量管理体系要求。

② Office of the Federal Coordinator for Meteorological Service and Supporting Research, 2010. National Space Weather Program.

WMO质量管理框架(QMF),指导各成员国开展质量管理体系建设工作。截至2015年,WMO的192个成员国有117个国家实施了质量管理体系建设工作,实施比例为61%,其中欧洲成员国实施率最高,为94%。2019年2月中国气象局印发的《气象观测质量管理体系建设总体方案》中指出,质量管理体系具有广泛的通用性和指导性,建设质量管理体系,加强国际间的数据和产品交换与共享,是促进气象服务“一带一路”、增强国际话语权的有效支撑手段。2020年4月,国际民航组织(ICAO)正式批准,由中国气象局、中国民用航空局和俄罗斯联邦水文气象和环境监测局联合筹建的中俄联合体全球空间天气中心成立,并于2021年11月6日投入运行。中俄联合体全球空间天气中心是ICAO批准的第4家全球空间天气中心,是我国民航气象领域第一个被ICAO批准的全球中心,其运行将成为发展我国空间天气业务的重要推动力,而通过ISO9001国际质量管理体系认证是建设和运行全球空间天气中心的必要条件。

PDCA为质量管理体系基本的质量控制方法,最早由美国质量管理专家沃特·阿曼德·休哈特(Walter A. Shewhart)于1939年提出,之后被戴明(Deming)采用、推广而普及,因此,PDCA循环又常被称为戴明环,其含义是将质量管理分为四个阶段,即Plan(计划)、Do(执行)、Check(检查)和Act(处理),要求把各项工作按照做出计划、计划实施、检查实施效果,然后将成功的纳入标准,不成功的留待下一循环去解决。具体到空间天气业务,PDCA循环的科学程序可以概括如下:

1) P(计划):拟订空间天气发展规划、布局设计,研究提出空间天气业务技术要求,完成空间天气业务的顶层设计;

2) D(执行):包括全国空间天气观测运行监控,空间天气监测数据收集和交换,提供面向国家需求和全球用户的定制化空间天气服务,指导地方开展区域性空间天气保障服务;

3) C(检查):通过国家卫星气象中心内审、第三方外审、全国抽审等方式总结空间天气业务运行情况,对结果进行评估,明确效果,找出问题;

4) A(处理):对总结检查的结果进行处理,对于成功的经验予以标准化,对于失败的教训要引起重视,对于没有解决的问题,应提交给下一个PDCA循环中去解决。

以上四个过程不是运行一次就结束,而是周而复始的进行,一个循环结束后,解决一些问题,未解决的问题进入下一个循环,这样阶梯式上升,达到持续提升业务质量的目的(图1)。

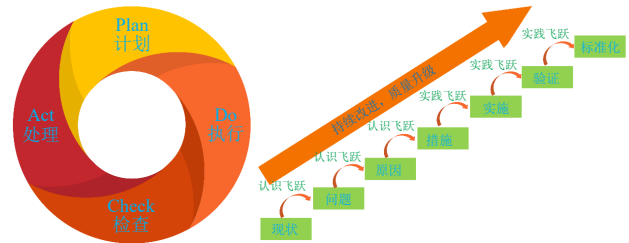


图1 空间天气业务PDCA循环及基本原理

2 PDCA在空间天气室内部质检中的实践

2.1 背景

国家卫星气象中心于2018年9月21日通过ISO9001:2015标准质量管理体系认证,为确保中心业务的全面性和有效性,落实中心的质量方针^①,国家空间天气预报台(以下简称“空间天气室”)依据《国家空间天气预报台质量管理体系运行方案》自2019年9月起开展例行的空间天气室内部质量监督检查工作^②,通过引入PDCA循环的内部监督检查识别存在的问题,并不断改进,进一步提升空间天气监测、预报、服务水平,促进空间天气业务的融合发展。

2.2 持续改进的PDCA循环质量控制

2.2.1 空间天气体系文件框架

空间天气质量管理体系文件是建立并保持空间天气业务质量管理和质量保证的重要基础,是质量体系审核和质量体系认证的主要依据。建立并完善质量体系文件是为了进一步明确职责与权限,协调各部门之间的关系,使质量体系能够经济、高效地运行,以满足空间天气业务需要。空间天气室由10余名业务骨干组成体系文件编写小组,文件经过多次审核修改,于2021年8月21日由国家卫星气象中心发布实施,编制的体系文件包括1份程序文件、11份工作指导书,以及若干篇工作记录^③(图2)。为确保空间天气业务符合质量管理体系运行要求,空间天气体系文件的编写以空间天气监测数据为基础,并充分考虑了空间天气预报预警以及空间天气决策等程序,进而对空间天气业务全流程进行监督、检查,根据服务效果对文件进行评估,以便实施改进。

① 李云, 牡丹, 陈秀娟, 等. 国家卫星气象中心观测业务质量管理体系质量手册. 2021-8-25.

② 牡丹, 郭建广, 张效信. 国家空间天气预报台质量管理体系运行方案. 2019-9-2.

③ 唐云秋, 杨光林, 赵海娟, 等. 空间天气业务管理控制程序. 2021-8-25.

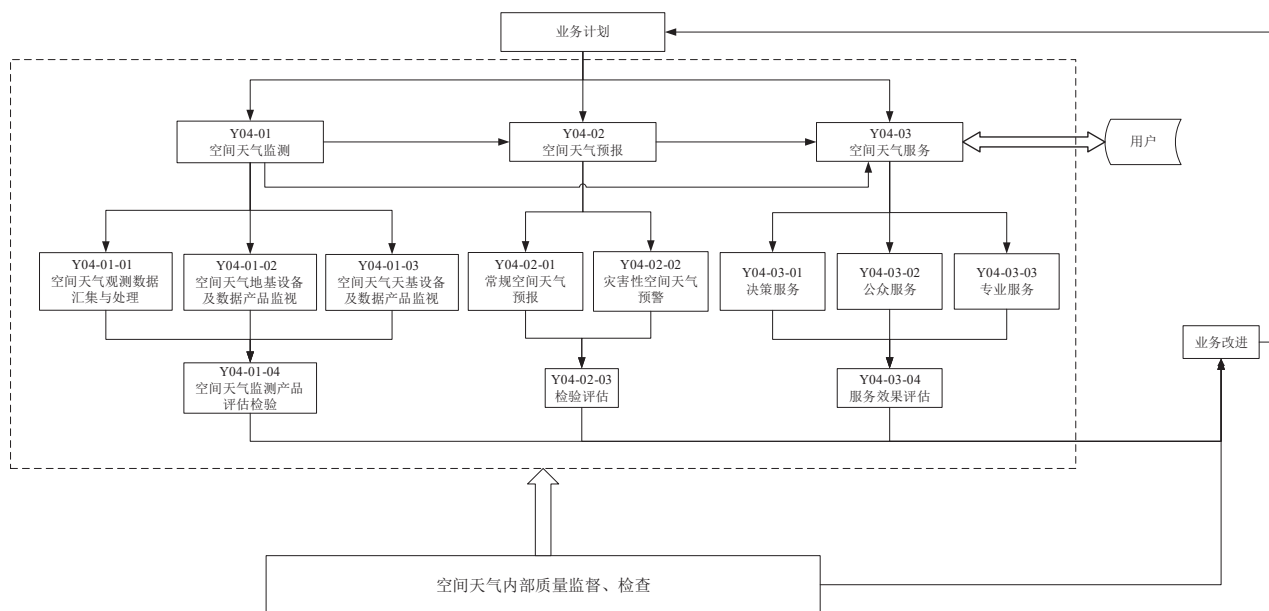


图2 空间天气体系文件总体框架

2.2.2 工作方式

空间天气内部质检小组由分管领导和各科内审员组成，在全面贯彻国家卫星气象中心质量方针的指引下，负责领导和协调全处室的内部质检工作，每年定期检查空间天气业务的运行情况，明确相关人员的工作职责，做到分工明确、各司其职。

总体而言，空间天气内部质检以质量管理体系为抓手，促进观测业务由结果管理向过程管理转变，研究并实施体系与业务的深度融合，以PDCA的闭环管理思维强化业务检查工作的全面性、业务问题整改的彻底性，构建了不断完善空间天气业务的新模式。持续改进的PDCA循环以每年每次为单位，包括：制定内部监督检查计划（P）—按照内部监督检查计划执行本次的工作（D）—检查本次计划完成的情况（C）—本次工作完成情况的处置（A）。

下面以两个PDCA循环为例，具体介绍空间天气业务是如何通过内部质量监督检查不断完善的。

（1）首次循环计划阶段（P）

1) 计划是一切活动开展的基础，是全面质量管理的起点和依据。在首次开展空间天气室内部质量监督检查的P阶段，要根据质量管理体系运行的实际情况，制定内部监督检查计划，包括监督检查的目的、范围、准则、内审员交叉检查的体系文件等。

2) 编制监督检查表。监督检查表是审核员的作业指导书，审核员可参考历年国家卫星气象中心内审、外审以及全国质量管理体系抽审中出现的空间天气问题清单和不符合项，编制空间天气相关业务检查内

容，随机抽查空间天气业务环节中出现的问

3) 审核告知。发布《空间天气内部监督检查计划》，提前通知空间天气各受审部门待审核的内容、日程安排等。

（2）首次循环实施阶段（D）

1) D阶段就是审核小组对上述计划的具体实施，即通过各种可以有效利用的资源进行合理的配置和综合运用，保障上述计划中所列任务的顺利完成。

2) 审核实施以首次会议为开端，根据计划，审核组进入现场实施审核，在现场检查中，来自不同科室的内审员进行交叉审核，主要运用问、听、查、看、追、验等方法，把收集到的客观证据全面及时录入“监督检查表”，通过与审核准则对照评价得出审核结果，并经整理分析和判断，提交问题清单，最后以末次会结束此次现场检查。

3) 内审员在审核现场依靠监督检查表进行抽样，抽样时注意要随机抽取样本，确保样本的代表性和有效性。

（3）首次循环检查阶段（C）

1) C阶段的检查工作主要是对照第一阶段（P阶段）所定出的各种目标、指标，检查第二阶段（D阶段）的具体落实效果，并将检查出的质量体系在组织实施或运行体系中存在的问题进行及时汇总和确认。

2) 具体而言，首次内部质检中发现在空间天气业务中存在以下几个典型问题：①质量体系意识薄弱；②部分业务流程不规范，导致监测数据获取率不够高（平均80%左右）、数据统计结果延时并存在较大误差

(5%左右)；③对于用户需求的关注程度有待加强(总体问题情况如图3所示)。

3) 将上述检查出的问题, 提交至下一个工作阶段进行处置完善。

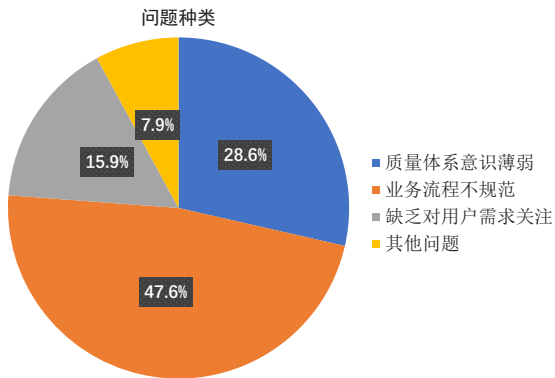


图3 空间天气业务首次内部质检发现的典型问题

(4) 首次循环处置阶段(A)

处置阶段主要是对上一阶段(C阶段)的结果进行处理, 其总体工作流程为: 首先需要内部质检小组在第一时间将检查阶段发现的问题公示, 让空间天气室人员及时了解各自存在的问题, 并为下一轮循环明确审查方向; 其次, 内审人员要及时与各部门沟通, 敦促各科室在规定时间内组织整改; 另外, 在整改结束后制定《空间天气内部质检报告》报送分管领导, 根据审核状况和客观证据与管理层进行沟通。具体到首次内部质检发现的问题, 处置措施如下:

1) 加强全员质量管理体系的宣贯, 提高全员的质量管理体系意识。

2) 制定或完善相应制度, 规范业务流程。

3) 采取多种手段, 重点关注用户需求。

为了明确首次内部质检之后问题是否得到妥善处理, 空间天气业务是否持续改进, 需要再次通过一个完整的PDCA循环进行验证。

(5) 第二次循环计划阶段(P)

1) 根据上一个循环检查出的问题以及相应的处置措施, 制定此次内部监督检查计划。

2) 根据上一个循环提出的问题清单和不符合项, 编制监督检查表。

3) 审核告知。发布《空间天气内部监督检查计划》, 提前通知空间天气各受审部门待审核的内容、日程安排等。

(6) 第二次循环实施阶段(D)

实施本次循环同样以首次会议为开端, 审核组进入现场实施审核时要重点关注上一个循环中出现的问题, 并要根据质量体系运行的新情况开展调查, 避免

疏漏可能出现的新问题, 经整理分析和判断之后提交问题清单, 以末次会结束此次现场检查。

(7) 第二次循环检查阶段(C)

检查上一循环A阶段所采取措施的具体落实效果:

1) 加强全员质量管理体系的宣贯方面, 已组织业务骨干对更新后的体系文件进行宣贯并在中心网站发布了多篇与质量管理体系相关的宣传稿, 此外在全室开展了ISO9001空间天气问卷答题, 在职人员参与度达到了100%;

2) 规范业务流程方面, 加强了交接班管理, 精简了业务记录表格, 提升了工作效率, 并在各项记录表格中增加编制人和审批人, 明确各方责任; 加强与地方台站沟通, 明确了数据到达率出现缺失的几项重要原因(云平台故障、服务器故障、硬盘损坏等), 加大了对自主数据的监视和管理力度, 目前自主数据平均到达率已达到90%以上; 根据实际业务变动情况, 及时更新体系文件, 确保业务规范开展; 根据质量体系文件中的相关需求, 升级了日报、周报、月报、季报、年报等报表的自动化制作功能, 消除了以往数据人工统计存在的时间延迟(全部数据到达之后即可生成数据报表), 数据统计误差为0%(目前尚未发现自动生成报表存在数据统计误差)。

3) 关注用户需求方面, 利用空间天气微博、微信公众号、中国天气网空间天气频道、空间天气App等空间天气公众服务平台, 收集用户对于空间天气业务服务质量的反馈意见; 启动空间天气专业服务(信鸽)效果评估工作, 以空间天气专业产品“信鸽飞行指数预报”的用户为调研对象, 围绕年龄、受教育程度等用户属性, 对信鸽产品的熟悉程度以及使用频率、体验感受等方面设计调查问卷; 通过微信“问卷星”平台向用户发放电子问卷, 收集用户对于空间天气观测数据和产品的意见反馈, 并开展用户满意度调查, 用户满意度达到85%。

本次循环检查发现, 针对上一次循环中出现的几个典型问题得到了比较显著的改善, 不过检查又发现一些新的问题, 例如数据质控自动化程度不足, 部分预警产品未经有效评估等, 需要提交至处置阶段进行改进。

(8) 第二次循环处置阶段(A)

本次循环的A阶段同样需要内部质检小组在第一时间将检查阶段发现的问题公示, 为下一轮循环明确审查方向; 此次循环发现的暂不能解决的长期问题已收集在《未来系统功能需求建设清单》中, 拟通过后期间空间天气专项工程逐步解决, 然后纳入下一个循环

检查效果。

从上述案例可以发现, 经过不断开展基于PDCA循环的内部质检工作, 能够使业务工作持续改进, 进而实现空间天气业务的流程化、规范化。

3 总结

在国家卫星气象中心大力推进质量管理体系建设的背景下, 为落实中心的质量方针, 保障中心各项业务全面、有效运行, 空间天气室自2019年9月起定时开展空间天气室内部质量监督检查工作。通过这项工作的不断推进和完善, 空间天气室全体人员质量管理意识普遍增强, 体系与实际业务融合度不断提高; 业务人员基于风险思维对业务过程进行管理, 加强与地方台站沟通, 及时处理数据故障, 数据到达率大幅提高; 以用户需求为导向, 提升了用户对于数据产品质量和空间天气服务的满意度。在接下来的工作中, 将继续通过PDCA循环的内部监督检查来识别并改进业务中存在的问题, 不断提升空间天气监测、预报、服务水平。

深入阅读

- 郭建广, 张效信, 2011. 国际上的空间天气计划与活动. 气象科技进展, 1(4): 18-25.
- 陆梅, 2017. ISO9001:2015质量管理体系审核员培训教程. 北京: 中国标准出版社: 17-29.
- 王洁, 2018. ISO9001质量管理体系在质检工作中的应用. 中国标准化, (4): 167-169.
- 王亮, 姬翔. 2020. 拓路开局, 做观测质量守护者. 中国气象报, 2020-6-15(3).
- 王劲松, 吕建永, 2010. 空间天气. 北京: 气象出版社.
- 王劲松, 2011. 中国气象局的空間天气业务. 气象科技进展, 1(4): 6-12.
- 王延东, 2019. ISO9001标准在气象观测领域的探索与实践. 质量与认证, (9): 67-68
- Milgram L, Spector A, Treger M, 1999. Managing Smart. Boston: Gulf Professional Publishing.
- WMO, 2013. Guide to the Implementation of a Quality Management System for National Meteorological and Hydrological Services. Geneva: WMO.

(作者单位: 朱琳玲, 中国气象局空间天气重点开放实验室/国家卫星气象中心(国家空间天气监测预警中心)/许建民气象卫星创新中心/中国气象局综合观测司; 郭建广、敦金平、吕景天、于超、赵明现、叶茜, 中国气象局空间天气重点开放实验室/国家卫星气象中心(国家空间天气监测预警中心)/许建民气象卫星创新中心; 张建磊、李颖冲, 中国气象局综合观测司)

(上接94页)

- Applications, 2002 311(3): 590-614.
- [25] Onel S, Zeid A, Kamarthi S. The structure and analysis of nanotechnology co-author and citation networks. *Scientometrics*, 2011, 89(1): 119-138.
- [26] NF Naranjo-Estupiñán, Mora Q J, D Jaimés-Vega, et al. Co-authorship research networks in public health in Santander. *Biomédica Revista Del Instituto Nacional De Salud*, 2014, 34(2): 300-307.
- [27] Uddin S, Hossain L, Abbasi L, et al. Trend and efficiency analysis of co-authorship network. *Scientometrics*, 2012, 90(2): 687-699.
- [28] Goldstein M L, Morris S A, Yen G G. A Group-based Yule model for bipartite author-paper networks. *Physical Review E*, 2005, 71: 026108.
- [29] Ramasco J J, Dorogovtsev S N, R Pastorsatorras. Self-organization of collaboration networks. *Physical Review E*, 2004, 70: 036106.
- [30] 方锦清, 汪小帆, 郑志刚, 等. 一门崭新的交叉科学: 网络科学(上). *物理学进展*, 2007, 27(3): 239-343.
- [31] Holme P, Park S M, Kim B J, et al. Korean university life in a network perspective: Dynamics of a large affiliation network. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2007, 373(36): 821-830.
- [32] Girvan M, Newman M E J. Community structure in social and biological networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2002, 99(12): 7821-7826.
- [33] Freeman L C. A set of measuring centrality based on betweenness. *Sociometry*, 1977, 40(1): 35-41.
- [34] Barthélemy M. *The European Physical Journal B*, 2004, 38: 163-168.
- [35] 刘杰, 陆君安. 一个小型科研合作复杂网络及其分析. *复杂系统与复杂性科学*, 2004, 1(3): 56-61.
- [36] 顾东蕾. 药物基因组学科研合作网络的统计学性质. *中华医学图书情报杂志*, 2008, 17(6): 7-10.
- [37] 张大伟, 薛惠锋, 寇晓东. 复杂网络领域科学合作状况的网络分析研究. *情报杂志*, 2008, 27(8): 143-145.
- [38] 盛骤, 谢式千, 潘承毅. *概率论与数理统计(第4版)*. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [39] Liu Z H, Lai Y C, Ye N, et al. Connectivity distribution and attack tolerance of general networks with both preferential and random attachments. *Physics Letters A*, 2002, 303: 337-344.
- [40] Li X, Chen G R. A local world evolving network model. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2003, 328(1-2): 274-286.
- [41] Zhang P P, Chen K, He Y, et al. Model and empirical study on some collaboration networks. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2006, 360: 599-616.
- [42] Chang H, Su B B, Zhou Y P, et al. Assortativity and act degree distribution of some collaboration networks. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2007, 383: 687-702.
- [43] Zhou T, Wang B H, Jin Y D, et al. Modelling collaboration networks based on nonlinear preferential attachment. *International Journal of Modern Physics C*, 2007, 18(2): 279-314.
- [44] 刘水晶, 钱霞, 冯雅超, 等. 4个合作-竞争系统的特殊合作性质. *科技导报*, 2008, 26(21): 79-84.
- [45] 张培培, 何阅, 周涛, 等. 一个描述合作网络顶点度分布的模型. *物理学报*, 2006, 55(1): 60-67.
- [46] Mitchell R L. Permanence of the log-normal distribution. *Journal of the Optical Society of America (1917-1983)*, 1968, 58(9): 1267-1272.
- [47] Reed W J, Jorgensen M. The double pareto-lognormal distribution—a new parametric model for size distributions. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 2004, 33(8): 1733-1753.
- [48] Albert R, Barabási A L. Statistical mechanics of complex networks. *Review of Modern Physics*, 2002, 74: 47-97.