

· 孙玉院士技术全集 ·  
中国工程院院士文集



# 电信网络技术中的 数学方法

◎ 孙 玉 编著



中国工信出版集团



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

· 孙玉院士技术全集 ·

中國工程院 院士文集



# 电信网络技术中的 数学方法

◎ 孙 玉 编著

人民邮电出版社  
北 京

## 图书在版编目 (C I P) 数据

电信网络技术中的数学方法 / 孙玉编著. — 北京 :  
人民邮电出版社, 2017.9 (2018.1 重印)  
(孙玉院士技术全集)  
ISBN 978-7-115-44678-7

I. ①电… II. ①孙… III. ①数学方法—应用—通信  
网 IV. ①TN915

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第232005号

## 内 容 提 要

本书的主体包括 4 个案例, 分别为: 帧同步技术的潜在性能, 通用准同步数字复接工程设计, 统计复用技术的网络资源利用效率, 电信网络的网络资源利用效率。

本书适合电信工程师, 以及工科大学从事基础数学教学的老师们阅读参考。

- 
- ◆ 编 著 孙 玉  
    责任编辑 杨 凌  
    责任印制 彭志环
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号  
    邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
    网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
    北京圣夫亚美印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本: 700×1000 1/16 彩插: 1  
    印张: 13.5 2017 年 9 月第 1 版  
    字数: 181 千字 2018 年 1 月北京第 2 次印刷
- 

定价: 98.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315



---

孙玉

1962年毕业于清华大学，后被分配到中国电子科技集团第54研究所工作至今。其间，从事军事通信设备研制和通信系统总体工程设计；领导创建了电信网络专业和数字家庭专业；出版电信科技著作13部。1995年当选中国工程院院士。现任，国防电信网络重点实验室科技委主任；兼任，中央军委科技委顾问。

## 《中国工程院院士文集》总序

二〇一二年暮秋，中国工程院开始组织并陆续出版《中国工程院院士文集》系列丛书。《中国工程院院士文集》收录了院士的传略、学术论文、中外论文及其目录、讲话文稿与科普作品等。其中，既有早年初涉工程科技领域的学术论文，亦有成为学科领军人物后，学术观点日趋成熟的思想硕果。卷卷《文集》在手，众多院士数十载辛勤耕耘的学术人生跃然纸上，透过严谨的工程科技论文，院士笑谈宏论的生动形象历历在目。

中国工程院是中国工程科学技术界的最高荣誉性、咨询性学术机构，由院士组成，致力于促进工程科学技术事业的发展。作为工程科学技术方面的领军人物，院士们在各自的研究领域具有极高的学术造诣，为我国工程科技事业发展做出了重大的、创造性的成就和贡献。《中国工程院院士文集》既是院士们一生事业成果的凝练，也是他们高尚人格情操的写照。工程院出版史上能够留下这样丰富深刻的一笔，余有荣焉。

我向来以为，为中国工程院院士们组织出版《院士文集》之意义，贵在“真善美”三字。他们脚踏实地，放眼未来，自朴实的工程技术升华至引领学术前沿的至高境界，此谓其“真”；他们热爱祖国，提携后进，具有坚定的理想信念和高尚的人格魅力，此谓其“善”；他们治学严谨，著作等身，求真务实，科学创新，此谓其“美”。《院士文集》集真善美于一体，辩而不华，质而不俚，既有“居高声自远”之澹泊意蕴，又有“大济于苍生”之战略胸怀，斯人斯事，斯情斯志，令人阅后难忘。

读一本文集，犹如阅读一段院士的“攀登”高峰的人生。让我们翻

开《中国工程院院士文集》，进入院士们的学术世界。愿后之览者，亦有感于斯文，体味院士们的学术历程。

徐医迪

二〇一二年


## 全集序言

20 世纪 70 年代后期，我国的通信网开始模/数转换，当时国内自行研制的 PCM 基群设备和二次群数字复接设备先于国外引进的产品在国内试验并应用，打破了国外的技术封锁。我与孙院士相识也是从那时开始，孙院士在这之前就成功主持了我国第一代散射数字传输系统和第一套 PDH 数字复接设备的研制，我当时负责 PCM 基群复用设备的研制和试验。PCM 基群与 PDH 数字复接设备分属一次群与二次群，在网络上是上下游的关系，我们连续几年一起参加国际电信联盟（ITU）数字网研究组的标准化会议，后来在各自的工作中又有不少的联系，从中了解了他的学识，也学习了他的做人准则。他在通信工程方面有非常丰富的经验，他对通信网的理解、对通信标准的掌握和治学精神的严谨一直为 我所敬佩，他勤于思考和积极探索，善于总结和举一反三，乐于海人和提携后进，与他共事受益不浅。在这之后他又相继研制成功数字用户程控交换机、ISDN 交换机、B-ISDN 交换机及相应的试验网，还主持研制成功接入网和用户驻地网网络平台，并将上述成果应用到专用通信网和民用通信工程中，很多研发工作都是国内首次完成。

孙玉院士将研发体会写成著作交由人民邮电出版社出版，他的著作如同他的科技成果一样丰硕，从 20 世纪 80 年代初的《数字复接技术》一书开始，陆续出版了《数字网传输损伤》、*PDH for Telecommunications Network*、《数字网专用技术》《电信网络总体概念讨论》《电信网络安全总体防卫讨论》《应急通信技术总体框架讨论》《数字家庭网络总体技术》《电信网络中的数字方法》和《孙玉院士技术报告文集》，其中《数字复接技术》与《数字网传输损伤》两本书还都出了修订本。这些论著所涉及的领域或视角在当时为国内首次出版。他鼓励我将科研成果也写成书

出版，既可将宝贵的经验与同行共享，也是自身对专业认识的深化过程。我写过一本书，深感要写出自己满意且读者认可的书非要下苦功不可。孙玉院士难能可贵的是笔耕三十年，著作十余本，网聚新技术，敢为世人先。这一系列专著覆盖了电信网的诸多方面，每一本既独立成书但又彼此关联，虽然时间跨度几十年，但就像一气呵成那样连贯，这些著作体现了他的一贯风格，概念清晰准确，思路层次分明，理论与实践结合，解读深入浅出。这些论著在写作上以电信网系统工程为主线，突出了总体设计思想和方法，既有严格的电信标准规范，又有创新性的解决方案，学术思想寓于工程应用中，兼具知识性与实用性，不论是对电信工程师还是相关专业的高校师生都不无裨益，在我国电信网的建设中发挥了重要作用。电信网技术演进很快，但这一系列著作所论述的设计思想及方法论对今后网络发展的认识仍有很好的指导意义，人民邮电出版社提议出版孙玉院士著作全集，更便于广大读者对电信网全局和系统性的了解，这是电信界的一件好事，并得到了中国工程院院士文集出版工作的大力支持，我期待这一全集的隆重问世。

中国工程院院士



2017年6月于北京

## 全集出版前言

1962—1995年期间，我在科研生产第一线，有幸参加了我国电信技术数字化的全过程。其间根据科研工作进程的需要，也是创建电信网络专业的需要，我逐年编写并出版了一些著作。

1. 专著《数字复接技术》，人民邮电出版社出版，1983年第一版；1991年修订版；1994年翻译版 *PDH for Telecommunication Network*, IPC.Graphics.U.S.A。这是我1970—1980年期间，从事复接技术研究的工作总结。其中提出了准同步数字体系（PDH）数字复用设备的国际通用工程设计方法。令我欣慰的是，这本书居然存活了十余年，创造并保持着人民邮电出版社科技专著销量纪录，让我在我国电信技术界建立了广泛的友谊。

2. 编著《数字网传输损伤》，人民邮电出版社出版，1985年第一版；1991年修订版。这是我1970—1980年期间，出于电信网络总体工程设计需要，参考国际电信联盟（ITU）文献，编写的工具书。为了便于应用，其中澄清了一些有关传输损伤的基本概念。

3. 编著《数字网专用技术》，人民邮电出版社1988年出版。这是为我的硕士研究生们编写的专业科普图书，介绍了一些当时出现不久的技术概念和原理。显然，无技术水平可言。

1995年之后，我退居科研生产第二线，转入技术支持工作。其间，根据当时的技术问题，以及培育学生和理论研究的需要，我逐年编写并出版了一些著作。

4. 编著《数字家庭网络总体技术》，电子工业出版社2007年出版。这是我2006—2009年期间，受聘国家数字家庭应用示范产业基地（广州）技术顾问，为广州基地编写的培训教材。其中提出了数字家庭第二代产

业目标——家庭网络平台和多业务系统，被基地和工信部接受。

5. 专著《电信网络总体概念讨论》，人民邮电出版社 2008 年出版。这是我 2005—2008 年期间，从事电信网络机理研究的总结。在我从事电信科研 30 多年之后发现，电信网络技术作为已经存在 160 多年、支撑着遍布全球电信网络的基础技术，居然尚未澄清电信网络机理分类，而且充满了概念混淆。我试图讨论这些问题。其中，澄清了电信网络的形成背景；电信网络技术分类；电信网络机理分类及其属性分析。但是，当我得出电信网络资源利用效率的数学结论时，竟然与我的物理常识大相径庭。为此，我在全国知名电信学府和研究院所做了 50 多场讲座，主要目的是请同行指点我的理论是否有误。这是我的代表著作，令我遗憾的是，这是一本未竟之作。书名称为“讨论”，是期盼后生能够接着讨论这个问题。

6. 编著《电信网络安全总体防卫讨论》，人民邮电出版社 2008 年出版。这是 2004—2005 年期间，我在国务院信息办参加解决“非法插播和电话骚扰问题”时编写的总结报告，经批准出版。其中提出了网络安全概念；建议主管部门不要再利用通信卫星广播电视信号；建议国家发射广播卫星；建议国家建设信源定位系统。这本书曾经令同行误认为我懂得网络安全。其实，我仅仅经历了半年时间，参与解决上述特定问题。

7. 编著《应急通信技术总体框架讨论》，人民邮电出版社 2009 年出版。这是 2008—2009 年期间，在汶川地震前后，我参加国家应急通信技术研究时编写的技术报告。希望澄清应急通信总体概念，然后开展科研工作。可惜，我未能参与后续的工作。

8. 编著《电信网络技术中的数学方法》，人民邮电出版社 2017 年出版。我国电信界普遍认为，在电信技术中应用数学方法非常困难，同时，也看到一旦利用数学方法解决了问题，就会取得明显的工程效果。2009 年我曾建议人民邮电出版社出版《电信技术中的数学方法丛书》。所幸，一经提出就得到了人民邮电出版社和电信同仁的广泛支持。本书作为这套丛书的“靶书”，仅供同行讨论，以寻求编写这套丛书的规范。我认为数学方法对于电信技术的发展和人才的培养具有特殊的意义，我期待着这套丛书出版。

9. 编著《孙玉院士技术报告文集》，人民邮电出版社 2017 年出版。这是我历年技术报告的代表性文本，其中，主要是近年来关于研制和推广应用物联网的相关报告。这些报告多数属于科普报告，主要反映了我国国民经济信息化的期望。

上述著作，出版时间跨越整整 34 年，电信科技内容覆盖了我 50 多年的科研历程。可见，这几本书基本上是一叠陈年旧账。然而，人民邮电出版社决定出版这套全集，也许，他们认为，这套全集大体上能够从电信技术出版业角度，反映出我国电信技术的发展历程；反映出我们这一代电信工程师的工作经历；同时，也反映了与我们同代的电信科技书刊编辑们的奉献。也许，他们认为，作为高技术中的基础学科，电信技术的某些理论和技术成就仍然起着支撑和指导作用。如实而言，不难发现，在我国现实、大量信息系统工程设计中，涉及信息基础设施（电信网络）设计，普遍存在概念性、技术性、机理性甚至常识性错误。我们国家已经走过生存、发展历程，正在走向强大。在我国电信领域，不仅需要加强技术研究（如“863”计划），而且需要加强理论研究（如“973”计划）。期待我国年轻的电信科技精英们，特别是年轻有为的院士们，能够编撰出更好、更多的电信科技著作。



2017 年 6 月于中国电子科技集团公司第 54 研究所

# 编写《电信技术中的数学方法》丛书的建议

就目前我国的电信科技发展现状而言，特别是国家提出强化基础研究以来，从事电信科技高等教育、技术研究和工程设计的技术人员，究竟应当具有什么样的数学水平呢？通常不难回答：其一，严谨的合乎逻辑的思维能力；其二，利用现成的数学方法进行计算的能力；其三，利用数学方法解决理论和工程问题的能力。特别值得关注的是第三种能力。

众所周知，利用数学方法能够定量澄清事物的内在规律，因而能够从机理上解决问题，实现理论和技术创新。那么，试问：在我国电信科技同仁之中，其中包括教授、研究员和研究员级高级工程师，究竟有多少位曾经利用数学方法解决过电信理论或电信工程问题？据我所知，确实有一批名家曾经做出这类贡献，但是不能不说比例太低。出于支持国家基础研究、造就高层次人才和解决机理问题考虑，有必要出版一套《电信技术中的数学方法》丛书。这就是本人提出这一建议的动机。

令人深感意外的是，这个偶然随想的建议立即得到了人民邮电出版社的支持，同时也得到了电信界不少同仁的支持。人民邮电出版社希望本人能够提出一个“编写案例”，然后邀请电信界的同仁一起讨论、批评和修改，归纳整理出一个切实可行的《电信技术中的数学方法》丛书编写要求。

初步考虑，建议本丛书可以按技术分类多集出版。例如：信源编码、传输、复用、寻址、网络安全、天线系统、电波传播、业务系统等技术分类；各集统一以“案例”方式编写。案例编写内容包括：理论或技术问题提出、利用数学方法解决问题、利用数学方法表达的简明结论、原始或间接的内容来源和数学方法辅导。

希望这套丛书能够概括自 1852 年电报发明以来,得到理论或工程应用的、主要的电信技术中的数学方法。如果编写得好,这套丛书可能有助于电信专业本科生、研究生和工程师们的基础理论学习;也可能有助于教授、研究员和研究员级高级工程师们的教学和研究工作。

建议人: 

中国电子科技集团第 54 研究所

2008 年 3 月

# 前 言

本书内容主要取自本人的两本专著《数字复接技术》（人民邮电出版社 1993 年修订版）和《电信网络总体概念讨论》（人民邮电出版社 2007 年原版）。如果说，当初是利用数学方法解决当时遇到的技术问题，讨论的主体是技术问题，那么，现在讨论的主体是数学方法，目的是看看这种数学方法是否能够给人以联想启发，其他同仁也可以利用其他数学方法去解决其他技术或理论问题。诚然，本人也有意借此机会请教数学家，本书中数学方法的粗略和简化程度是否超出了他们的容忍范围？同时，也期望数学家们，特别是在工科大学从事基础数学教学的老师们，适度放宽高等数学的严密程度，一起参与讨论和解决当代电信技术中的现实问题。

本书中一共编辑了四个案例。案例一，帧同步技术的潜在性能，技术内容取自本人专著《数字复接技术》（人民邮电出版社 1993 年修订版）；案例二，通用准同步数字复接工程设计，技术内容取自本人专著《数字复接技术》（人民邮电出版社 1993 年修订版）；案例三，统计复用技术的网络资源利用效率，技术内容取自本人专著《电信网络总体概念讨论》（人民邮电出版社 2007 年原版）；案例四，电信网络的网络资源利用效率，技术内容取自本人专著《电信网络总体概念讨论》（人民邮电出版社 2007 年原版）。

编写本书的目的主要有二：其一，为编写《电信技术中的数学方法》丛书提出一个供编委会讨论的“靶子”，目的是形成丛书编写提纲

和原则；其二，在电信网络技术领域中，选择几个实用的数学方法案例，目的是抛砖引玉。本书能否达到上述目标就难说了。看来，提出异想天开的建议容易，具体实现建议中设想的目标那就难了。



2017年6月于石家庄

# 目 录

[案例一] 帧同步技术的潜在性能	1
一、数字复用技术中的帧同步问题	2
二、ITU 帧同步系统方案性能计算	2
(一) ITU 帧同步系统的物理模型	2
(二) ITU 帧同步系统的数学模型	5
(三) ITU 帧同步系统的帧同步保持时间计算	7
(四) ITU 帧同步系统的真帧失步持续时间计算	9
(五) ITU 帧同步系统的伪帧失步持续时间计算	15
(六) 帧同步基本参数设计	16
三、基本抗衰落帧同步系统方案性能计算	18
(一) 基本抗衰落帧同步的问题提出	18
(二) 基本抗衰落帧同步的基本思路	19
(三) 基本抗衰落帧同步系统的物理模型	20
(四) 基本抗衰落帧同步系统的数学模型	21
(五) 基本抗衰落帧同步系统的帧同步保持时间计算	22
(六) 基本抗衰落帧同步系统的真帧失步持续时间计算	25
(七) 基本抗衰落帧同步系统的伪帧失步持续时间计算	27
四、综合抗衰落帧同步系统方案性能计算	29
(一) 综合抗衰落帧同步的基本思路	29
(二) 综合抗衰落帧同步系统的物理模型	30

(三) 综合抗衰落帧同步系统的数学模型 .....	31
(四) 综合抗衰落帧同步方案 4 的数学模型 .....	33
(五) 综合抗衰落帧同步方案 4 的帧同步保持时间计算 .....	34
(六) 综合抗衰落帧同步方案 4 的同步搜索时间 .....	39
(七) 综合抗衰落帧同步方案 4 的帧同步确认时间 .....	40
(八) 综合抗衰落帧同步方案 4 的帧失步持续时间计算 .....	41
五、数字复用技术中的帧同步技术讨论 .....	42
(一) 帧同步方案分类 .....	42
(二) 帧同步保持时间的数学模型比较 .....	43
(三) 帧失步持续时间的数学模型比较 .....	44
(四) 帧同步平均保持时间计算公式比较 .....	46
(五) 帧失步平均持续时间计算公式比较 .....	47
(六) 最佳综合抗衰落帧同步方案 (ZH4) 讨论 .....	49
(七) 帧同步技术综合评价 .....	51
六、案例一的数学方法讨论 .....	52
(一) 本案例的数学基础 .....	52
(二) 期望补充的数学方法 .....	53
[案例二] 通用准同步数字复接工程设计 .....	54
一、通用准同步数字复接问题 .....	55
(一) 帧结构 .....	55
(二) 帧同步 .....	55
(三) 码速调整 .....	55
二、正码速调整基本公式导出 .....	56
(一) 通用准同步数字复接的物理模型 .....	56
(二) 正码速调整技术实现 .....	57
(三) 调整帧结构设计 .....	58
(四) 正码速调整基本公式推导 .....	59