

电力系统理论精析

周荣光 著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

电力系统理论精析

周荣光 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是清华大学电机工程及应用电子技术系已故周荣光教授晚年总结他多年教学与科研经验的成果,对相关电力系统理论广泛存在的一些物理概念上的谬误及错解进行了分析、论证与澄清,以期纠正在从事科研工作中只重视掌握计算方法和工具,而不求对基本概念甚解的弊病。

本书论述精辟,内容涉及电机理论、电力系统稳态分析、电力系统故障分析,以及电力系统暂态分析等多个领域相关的重要基础理论问题,重点专注于物理概念,以正视听。通过对数学公式所表达的物理概念的准确定义、描述与解释,纠正广泛存在的误解;通过严谨的论证,结合实例分析,举一反三,使得复杂的理论问题得以由浅入深地获得理解。本书的写作形式新颖,以读书札记的方式,分12个专题进行分析论述,每个专题独立成章,读者可根据所关注的问题有针对性地阅读。

本书的主要读者为高等学校电气工程学院系的教师、研究生、本科生,以及电力行业的工程技术人员及技术管理人员。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统理论精析/周荣光著. —北京:电子工业出版社,2014.10
ISBN 978-7-121-24426-1

I. ①电… II. ①周… III. ①电力系统—基础理论 IV. ①TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第224523号

策划编辑:徐 静

责任编辑:徐 静

印 刷:北京天来印务有限公司

装 订:北京天来印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:720×1 000 1/16 印张:8.25 字数:126千字 彩插:8

版 次:2014年10月第1版

印 次:2014年10月第1次印刷

定 价:88.00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。

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

服务热线:(010) 88258888。

序

本书作者是清华大学电机工程及应用电子技术系的前辈学者，已故周荣光教授。周先生多年从事电力系统本科生与研究生的教学工作和电力系统及其自动化方面的科研工作，有着非常丰富的教学经验和深厚的学术造诣。周先生曾先后出版过《电力系统故障分析》、《电力系统稳态分析》和《直流输电》等教科书，在国内电力科技界得到很好的评价。特别是他主笔，集周先生自己及电机系王宗淦先生，张宝霖先生等多位著名的前辈学者多年教学心得积淀而成的《电力系统故障分析》，在国内高校评价很高。该书物理概念清晰，内容精炼，对有关知识和教学内容做出了独特和深入浅出的阐述，行文字斟句酌，十分精彩，深受广大教师和学生欢迎。

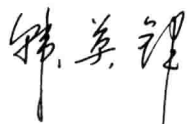
周先生是我的老师。先生 1950 年于清华大学电机系毕业并留校，直到 2011 年去世，一直未离开过清华，未离开过电机系。我在清华大学电机系“发电厂电力网与电力系统专业”读书时，周先生曾给我们讲授《动力经济》课，是国内较早的关于电力系统经济运行的课，后来又指导我们班的课程设计和毕业设计。我毕业后留在电力系统及其自动化教研室工作，经常得到周先生的指点与帮助。对先生的勤勉做事、认真负责、忠诚教育、一丝不苟的精神非常敬重。周先生一生为人正直、严以律己、诚以待人。在电机系大家公认周先生工作勤勤恳恳，数十年如一日，尤其是他的课讲得好，学生很爱听。周先生教书育人，曾多次被评为清华大学优秀工作者。

本书是周先生晚年潜心总结他多年教学与科研经验的结晶。在书中，周先生对业内对电力系统相关理论在十几个关键问题上广泛存在的谬误及错解进行了精辟的分析和澄清。鉴于目前学生和年轻教师们常常对数学和计算机工具比较熟悉

和擅长，但对公式和现象背后更加重要、更加需要掌握的物理概念和物理本质的了解却不够深透，相信这样一本书的出版对于高等学校电气工程学院系的学生、研究生打下更加扎实的专业基础、对相关专业教师更准确无误地理解和教授电力系统的基本理论，以及对在电力行业从事技术工作的广大工程技术人员进一步提高理论知识水平，都会大有裨益。

本书在写作上形式新颖，以读书札记的方式，分 12 个专题分析讨论，每个专题独立成章，读者可根据所关注的问题有针对性地阅读，不必从头至尾通读。书中针对相关物理概念的解释多从简单例子入手，避免大篇幅的公式推导，令读者感觉读来生动、亲切、有兴趣。

谨此向读者推荐周荣光先生所著的这本很有特色的好书。



中国工程院院士

前言

电力系统是非常复杂的系统。电力系统分析要应用许多基本的概念，有的基本概念经过了严格的论证，但还有一些基本概念，虽然为一般学者所接受，却并未经过严格的推导与证明。对于后者，往往是仁者见仁，智者见智，甚至还可能存在误解。

人们说，现在是一个浮躁的时代。一方面，技术日新月异，新的方法层出不穷；另一方面，人们往往急功好利，追求一举成名的捷径。于是就出现了这样的现象：对于一些热点问题，在一些基本概念还未搞清楚的前提下，却出现了大量的有关计算分析方法的文章，而对这些基本概念本身的探讨，却少有人问津。这就令人有沙上建楼阁之感。

笔者退休后，闲来无事，结合多年来感受颇深的一些问题，用挑毛病的眼光重新翻阅国内外有关电力系统分析的文献，似有所悟，遂将之整理出来。主要是自我消遣，并不抱其他企图。或者有同好的后来者，能从中汲取参考或启发，未可知也。

周荣光

■ 回忆父亲

父亲的书即将出版。电子工业出版社工业技术分社徐静社长建议我写篇短文，回忆父亲，原因很简单，除了作者是我的父亲，还因为父亲也是我的老师。我1978年考入清华大学电机系，攻读电力系统及其自动化专业，大学5年，硕士3年，又留校任教3年，至1989年去美。在清华大学学习和工作的前后11年中，我先是父亲的学生，后来又是父亲的同事。

对徐社长的建议我虽有心应稿，但文笔见拙，百思不能成篇。仅将所能记得的点滴印象深刻之事收集如下，算是我对父亲的一点追忆。

父亲于1945年考入西南联大，1950年清华大学电机系毕业并留校，直到2011年去世，在这60多年里，一直未离开过清华，未离开过电机系。父亲去世后，电机系在他的生平介绍中写道“周荣光教授为人正直谦和，严以律己，真诚待人，热爱生活，淡泊名利。”

在系里，大家公认父亲工作勤恳、教学有方、课讲得好。他先后讲授过“动力经济”、“电机学”、“电力系统故障分析”、“直流输电”等课程。特别是由他主笔、集教研室多位前辈老师多年教学心血而写成的《电力系统故障分析》一书，在国内高校评价很高。该书物理概念清晰，内容少而精，对相关知识和教学内容做了独特和深入浅出的阐述，深受学生欢迎。

父亲是我的良师益友，对我做人、做学问的理念有极大的影响。他酷爱中国古典文学，经常会引用一些诗词来教诲我或表达他的心情。我1978年通过高考被清华录取，父亲先期从学校招办得知消息，当时我仍在建筑工地工作，收到父亲的信，信不长，仅摘录了杜甫的一首诗：

剑外忽传收蓟北，初闻涕泪满衣裳。

却看妻子愁何在，漫卷诗书喜欲狂。

白日放歌须纵酒，青春作伴好还乡。

即从巴峡穿巫峡，便下襄阳向洛阳。

父亲当时的喜悦之情跃然纸上。

考上清华后，有一次，父亲谈及读书人要立大志，能吃苦，并给我讲了一个故事，讲的是谭延闿在湖南第一师范学校（注：另一说是蔡元培在北大），学生因伙食问题闹事，谭到教室后，在黑板上写下长联：

君试观世界何如乎，横流沧海，突起大风波，河山带砺属谁家，愿诸生尝胆卧薪，每饭不忘天下事；

士多为境遇所累耳，咬得菜根，方是奇男子，王侯将相原无种，思古人断齑划粥，立身端在秀才时。

对联中所论之道理及对青年人的告诫让我铭记。我1989年赴美求学时，特请父亲书写了此副长联，20多年来一直将此联挂在我的书房里，勉励自己。

又一次，父亲和我讲起清华国学大师王国维所言做学问的三种境界：

“昨夜西风凋碧树。独上高楼，望尽天涯路。”此第一境。劝我瞰察路径，明确目标和方向。

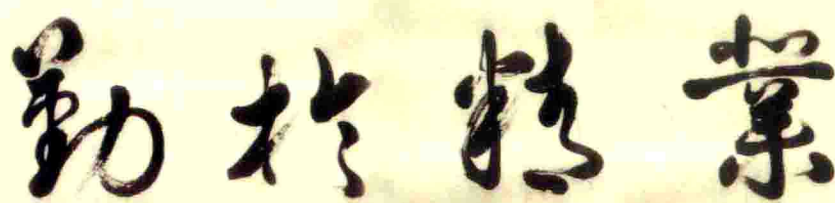
“衣带渐宽终不悔，为伊消得人憔悴。”此第二境。要我长于分析、思考，孜孜以求。

“众里寻她千百度，蓦然回首，那人却在灯火阑珊处。”此第三境。告我若功夫到家，自然会豁然贯通，悟到真谛。

父亲还是书法爱好者，退休之后，更是潜心钻研，颇有他自己的心得体会。我曾多次建议他去参加学校及校外的书法展，但他总是谦虚地认为天外有天，他的功力不够。现谨在此附上父亲所书的几幅他自己的诗作和书法作品，与读者共赏。

周 勤

2014 年春节于北京

A horizontal calligraphy piece on a yellow background. The text '業精於勤' is written in a bold, cursive style. The characters are black ink on a yellow background. There is a small red seal on the left side of the calligraphy.

注：“业精于勤”是我上大学时喜欢的座右铭，20 世纪 90 年代回国看望父亲时请他写了这幅字。

重返昆明

一九八三年

一去昆明廿七秋，同学少年今
白头。圆通山上寻故迹，大观楼
前忆旧游。曾经沧海水难
忘，历尽劫波情未留。明朝
又别五华路，劝天莫使人
长久。



注：父亲 1945 年从昆明五华中学考入西南联大，1946 年离开昆明随清华回京。1983 年首次重返昆明，旧地重游，感慨而作此诗。

桂林酒友

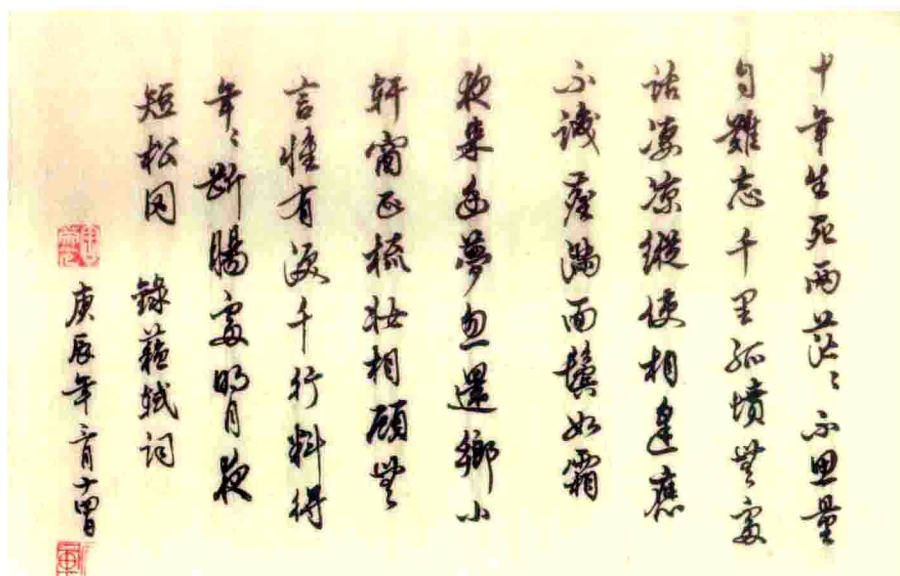
一九八八年

榕城杯酒憶當年，深情如故
笑地新。伏波山頭話形勝，七
星碑林論古今。人子後來
見高德，古風日愛存赤心。
漓江道畔頻回首，市井輝
煌都識人。

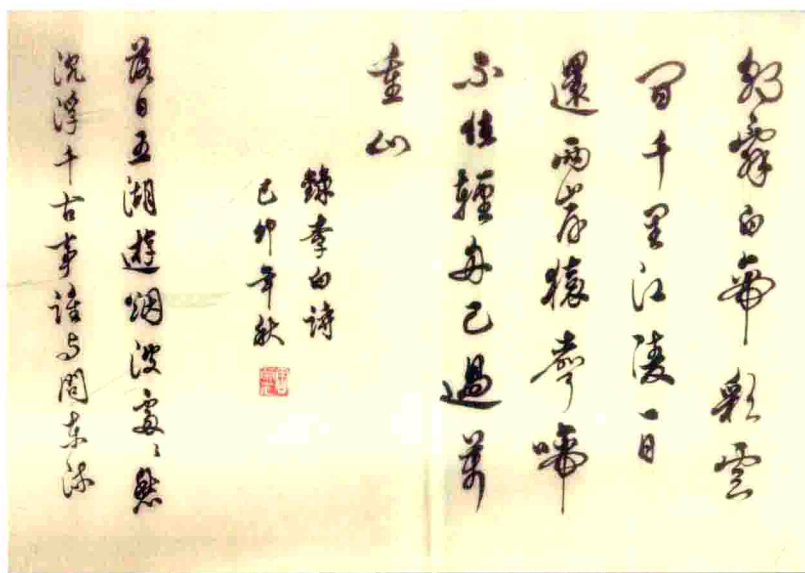
一九九〇年五月



注：此诗为1988年父亲与清华校友江尔宏先生在桂林重逢时作。江尔宏先生是父亲中学同窗，1945年一同考入清华，就读清华文学院。1950年随军南下，后定居桂林。



注：母亲 1990 年因病去世。父亲与母亲感情至深，每年母亲忌日，父亲都要录古诗词一首，表达对母亲的深切思念。这首为母亲逝世 10 周年所录苏轼词。



注：父亲酷爱书法及古典文学，特别是古诗词。上为录唐朝李白诗《早发白帝城》与薛莹诗《秋日湖上》。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任 and 行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

双反应法有效性的证明 / 1

- 一、由定子绕组自感证明双反应法的有效性 / 1
- 二、由定子绕组互感证明双反应法的有效性 / 3
- 三、由总磁场证明双反应法的有效性 / 5
- 四、结论 / 7

潮流计算中平衡节点的作用 / 8

- 一、简单例子的说明 / 8
- 二、交流系统分析 / 9
- 三、结论 / 10

磁链守恒定则的应用 / 11

- 一、概念上的混淆 / 11
- 二、基于磁链方程求解短路电流 / 11
- 三、结论 / 16

忽略 $P\psi$ 项的意义 / 17

- 一、二念之差 / 17
- 二、忽略 $P\psi_d$ 、 $P\psi_q$ 项的意义 / 18

电压稳定问题 / 20

- 一、一种误导 / 20
- 二、电压稳定问题的实质 / 22
- 三、流行的未必是合理的 / 25

有关能量函数法 / 27

- 一、如何逾越鸿沟 / 27
- 二、多机系统中的不稳定平衡点 / 29

低频振荡问题 / 31

- 一、低频振荡的起因 / 31
- 二、阻尼转矩系数和整步转矩系数 / 32
- 三、基本假定 / 33

次同步振荡问题 / 36

- 一、关键所在 / 36
- 二、如何相互影响 / 37

电磁转矩问题 / 39

- 一、转矩公式的推导 / 39
- 二、电磁转矩公式的物理解释 / 41
- 三、补充 / 42

关于派克 (Park) 变换 / 43

- 一、派克变换的物理意义 / 43
- 二、变压器电势与速度电势 / 46
- 三、派克方程的实际应用 / 47

有关瞬时无功功率问题 / 50

- 一、问题的核心 / 50
- 二、物理意义 / 50
- 三、日本学者 Akagi 的无功功率定义 / 51
- 四、结论 / 53

无功功率平衡与电压质量 / 54

- 一、问题所在 / 54
- 二、简单举例 / 54
- 三、变压器分接头的选择 / 56
- 四、小插曲 / 57

参考文献 / 58

电力系统理论精析 (手写稿) / 59

■ 双反应法有效性的证明

双反应法是分析凸极同步机的基本方法，但一般书中都未证明其有效性。现试证明如下。

一、由定子绕组自感证明双反应法的有效性

设 a 相绕组轴线在 d 、 q 轴之间且与 d 轴成 θ 角，在 a 相通有电流时将产生磁动势 $\dot{F}_a$ （设为正弦分布），将 $\dot{F}_a$ 分解为 d 轴的 $\dot{F}_d$ 和 q 轴的 $\dot{F}_q$ ，则（见图 1-1）：

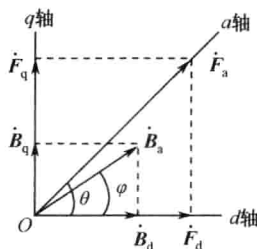


图 1-1

$$F_d = F_a \cos \theta, \quad F_q = F_a \sin \theta \quad (1-1)$$

$\dot{F}_d$ 在 d 轴产生的基波磁场为 $\dot{B}_d$ ，与 $\dot{F}_d$ 同相位； $\dot{F}_q$ 在 q 轴产生的基波磁场为