

电机工程手册

第 二 版

自动化与通信卷

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会

1-62
5-11/8

机械工业出版社

电机工程手册(第二版)共有8卷58篇,分为基础、设备、电力系统、应用、自动化与通信等5大部分。本卷为自动化与通信卷,内容包括:电气传动控制系统、数控技术与加工自动化、计算机集成制造系统、工业自动化仪表和装置、连续性生产过程控制系统、计算机应用和电气通信等7篇。由于电子技术、计算机技术、自动控制及通信技术的迅速发展,改变着工业自动化的面貌。在电气传动控制系统篇中,反映了由于电力电子技术、计算机技术的发展而引起的直流调速、交流调速及数字化控制的发展内容。在生产过程自动化方面,介绍了两类系统,即以数控技术、机械加工自动化直至计算机集成制造为代表的离散型控制系统和以工业自动化仪表和装置及其对象组成的连续生产过程自动控制系统,以及与这些现代化自动控制系统紧密相关的计算机技术及通信技术。

本手册主要供具有中等技术水平以上的广大电机工程技术人员在综合研究和处理本专业及相关专业的各种技术问题时,起备查、提示、启发的作用,也可供高等学校师生及其他有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机工程手册:自动化与通信卷/机械工程手册电机工程手册编委会编.
—2版.—北京:机械工业出版社,1997
ISBN 7-111-04526-2

I. 电… II. 机… III. ①电机工业-技术手册②电机-自动化技术-技术手册③电气化-通信技术-技术手册 IV. TM3-62

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第19630号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)

责任编辑:周娟 版式设计:徐珏蓉 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

机械工业出版社印刷厂印刷·新华书店总店北京发行所总代理发行

1997年6月第2版第3次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·66.5印张·4插页·1974千字

60 001—66 000册

定价:143.00元

薈萃机电专业精華
為社会主义現代化
建設服務

江澤民
一九九四年十月十六日

1993年12月，江泽民同志看了《机械工程手册》、《电机工程手册》第二版工作汇报后，回信说：“世界科学技术日新月异，我国改革开放以来亦取得很大成绩，改版机械、电机工程两手册必有大益。”并于1993年12月16日欣然为两大手册题词：“荟萃机电专业精华，为社会主义现代化建设服务。”

第二版编辑委员会

名誉主任委员 沈 鸿 周子健 周建南 汪道涵 主

主任委员 何光远 副主任委员 (按姓氏笔划为序)

千志坚 包叙定 孙昌基 李守仁 吕福源 邵奇惠

沈烈初 张学东 张 维 张德邻 陆延昌 陆燕荪

胡启立 赵明生 曾培炎 路甬祥

委 员 (按姓氏笔划为序)

丁舜年 千志坚 于成廷 马九荣 王守道 王 都

王希贤 王冀生 石定寰 史洪志 包叙定 冯子珮

冯文英 邢玉久 朱森第 江旅安 许连义 孙大涌

孙昌基 李守仁 李英林 李宣春 吕福源 邵奇惠

孟祥恩 汪建业 肖洪芳 吴关昌 吴曾评 何光远

沈烈初 沈重远 宋矩之 张小虞 张仁裕 张志英

张学东 张 维 张锡山 张德邻 陆延昌 陆燕荪

陈元直 陈文全 陈永革 陈瑞藻 练元坚 柳丕彬

范宏才 罗命钧 周鹤良 庞志明 宗福珍 胡 亮

胡 楠 胡启立 酆大升 赵明生 姚洪朴 姚福生

贾成炳 徐秉金 奚家成 翁史烈 高景德 郭志坚

涂仲华 黄 浙 曹仿颐 鹿中民 隋永滨 蒋德明

曾培炎 雷天觉 路甬祥 路继广 魏立藩

总 编 辑 赵明生

第一副总编辑 朱森第

副 总 编 辑 练元坚 吴关昌 罗命钧

顾 问 冯子珮 高庆荣 鲁学平

编辑委员会编辑部

主任 吴曾评
副主任 姚洪朴 刘思源 张斌如 康振章 王世刚
成员 (按姓氏笔划为序)
王霄飞 牛新国 朱亚冠 刘文伯 齐福江 许仲枚 (特约)
李书全 李正民 李振标 何祚芝 张玉凤 张志红 (特约)
张树济 张端 (特约) 陈国威 周娟 秦起佑
贾欣 徐家宗

参加规划和审查的学会

中国机械工程学会
中国电机工程学会
中国汽车工程学会
中国动力工程学会
中国电子学会

中国电工技术学会
中国仪器仪表学会
中国农业机械学会
中国内燃机学会

主任 吴曾评
副主任 姚洪朴 刘思源 张斌如 康振章 王世刚
成员 (按姓氏笔划为序)
王霄飞 牛新国 朱亚冠 刘文伯 齐福江 许仲枚 (特约)
李书全 李正民 李振标 何祚芝 张玉凤 张志红 (特约)
张树济 张端 (特约) 陈国威 周娟 秦起佑
贾欣 徐家宗

自动化与通信卷分编辑委员会

负 责 单 位 机械工业部北京机械工业自动化研究所

主任委员 张长生

副主任委员 周远清 胡健栋

委 员 (按姓氏笔划为序)

王家桢 王璐璐 归绍升 卢楚奎(兼秘书) 吕文林

(兼秘书)吕 林 刘铁椎 张长生 沈成林 宋兆莘

李文孝 李师廉 陈振宇 周远清 周 娟 胡健栋

徐用樊 秦起佑 高通文 黄一夫 曾庆宏 韩至骏

韩声栋 戴一奇

主任编辑 秦起佑

责任编辑 周娟

第二版序

《机械工程手册》和《电机工程手册》第二版正式和广大读者见面了。这两部大型综合性技术工具书是我国机电工业的一项重大基础性建设。

手册的第一版编写于70年代，得到了老一辈革命家的亲切关怀，周恩来总理生前曾指示要抓好这件事。在著名机械工程专家、中国科学院院士沈鸿等同志的领导下，组织了全国各有关方面的2300多位专家和学者，用了近10年的时间，编辑出版了这两部机电工程领域前所未有的巨著。出版以后，受到了社会各方面的重视和好评，曾荣获全国科学大会奖、全国优秀科技图书一等奖、国家图书奖等，是全国十大科技出版工程之一。先后发行10多万套，对机电工业的发展发挥了重要作用。

机电工业是国民经济的装备产业和先导产业。机电工业的发展水平，在很大程度上决定着一个国家的工业水平和科技水平。近十几年来，我国机电工业坚持改革开放，大力推进技术进步，整体素质和实力有所增强，产品的质量和水平有较大提高，产品门类和品种有较快发展，为我国社会主义现代化建设做出了应有的贡献。但是也应当看到，与国民经济蓬勃发展的需要和国际先进水平相比，我国机电工业还存在着一定差距。在我国社会主义市场经济体制逐步建立和完善的进程中，在世界范围新技术革命步伐加快的过程中，我国机电工业既有机遇，又有挑战。为此，机电工业必须真正转到依靠科技进步和提高劳动者素质的轨道上来，下大力气掌握和追踪新技术，开发和应用新技术，改造传统工艺，发展新兴产业，不断增强机电工业在国内外两个市场的竞争能力。只有这样，我们才能更好地完成党和人民赋予我们的振兴机电工业的历史重任。正是为了适应这一新的形势，有必要对两部手册重新编写第二版。

这次第二版的编写工作，再次得到了党和国家领导的关心和重视。江泽民总书记亲笔题词，强调要“荟萃机电专业精华，为社会主义现代化建设服务”。这就为二版工作明确了指导方针和努力方向，有力地推动了二版工作的顺利进行。

“大道行于百年，权宜利于一时”。这两部手册是积累、扩充和传播知识的工具，是机电科技领域的一项宏远工程。这次重新编写后的第二

版，在第一版的基础上认真总结了十多年来的成就和经验，积极吸取了国外的先进科学技术，对一些内容作了修改或更新，增补了许多高新技术篇章，努力使机、电、仪有机结合，以更好地适应当前和今后发展的需要。第二版编写以“全、精、新、准”为特点，在整体上，强调“立足全局，勾划概貌，反映共性，突出重点”；在取材上，突出“基本、常用、关键、发展”；在内容上，具有“科学性、先进性和实用性”；在表达上，力求“简明扼要，深入浅出，直观易懂，归类便查”。总之，经过这次修订，使这两部手册内容更加丰富，结构更加合理，使用更加方便，综合水平、技术水平和编写水平都上了一个新台阶。

这两部手册，主要供从事技术工作的各类人员查阅使用，同时，也可供企业和机关从事管理工作的人员参考使用，从中了解有关专业的国内领先水平和国际先进水平，了解和把握新技术动向，以便能准确、科学地做出决策和规划长远，使我们的工作更具系统性、预见性和创造性，更好地为机电工业的持续、快速、健康的发展服务。

这一版的编委会由机械工业部会同 17 个有关部委和总公司等共同组成，来自全国 500 多个单位从事科研、生产、设计、教学等工作的有专长、有经验和有成就的 3000 多位专家和学者参与了编审工作。各单位十分重视和支持这两部手册的编写工作，做了很大贡献，编审人员付出了艰辛的劳动，保证了这项庞大工程高质量的顺利完成。在此，我谨代表编委会和机械工业部向以沈鸿同志为代表的~~第一版全体编审人员致以崇高的敬意~~，同时向支持本版工作的各部委及参加编审工作的全体工作人员表示衷心的感谢！

现在第二版虽已出版，但仍有一些不尽人意之处，殷切希望广大读者批评指正，以便在今后的工作中改进。

。张二登军徽能重册书海内知要义，莫涉时滞何光远 武墨
五。野重咏分关内与殿家国防了怪异尤再，非工器能由1995年北京

第一版序

期望已久的《机械工程手册》和《电机工程手册》终于分卷合订成册，正式出版了。这是对我国机电工程科学技术领域的一个贡献。两部手册的编写队伍，由国内有专长、有经验的学者、专家所组成。这两部手册扼要地总结了我国机电工程各主要方面的科学技术成就，同时也吸收了一些国外的成熟经验。聚沙成塔，集腋成裘。名为手册，实则巨著。

读书不易，写书颇难，写工具书更难，写综合性工具书可谓难中之难。为了编好两部“立足全局，勾划概貌，反映共性，突出重点”，而又全面的、完整的、彼此协调的手册，同志们做了很大努力，从无到有，诸事草创，困难重重，艰辛备尝。恰似唐朝韩愈所说的：“贪多务得，细大不捐。焚膏油以继晷，恒兀兀以穷年。”值此合订本出版之际，我谨向各主编单位、各编写单位和印刷出版单位，向数以千计的全体编审同志，向遍及全国的为两部手册提供资料和其他方便条件的单位和同志们，表示衷心的感谢。

两部手册的第一版，现在完成了。对编写者来说，已经有了成果。而对阅读手册的工厂、学校、院所、机关同志们来说，还只是两朵鲜花。在成千上万人的应用中使鲜花结成果实——发展机电工程科学技术事业，为现代化建设服务——才是更丰硕的成果。这才是我们的目的。

一般说来，工具书分两种类型：一种是综合性的，一种是专业性的。综合性的工具书从广度来说是较为全面的，从深度来说是不足的；而专业性的工具书则反之。二者各有所长，相辅相成。我们这两部手册是综合性的工具书，主要供从事技术工作的各类人员查阅使用。对于搞专业性技术工作的人员来说，还可从中猎取相邻专业和其他有关专业的知识，帮助他们从专业分工的局限性中开拓思路，从科学技术各个环节的相互联系上，综合地、全面地研究和解决技术问题。也唯有以渊博的科学技术知识作为基础，才能不断创新。在编写这两部手册时，考虑到专业手册还比较少，而且一时又出不了那么多，因此在内容的深度上也予以顾及，以适当满足专业工作的需要。所以，它的篇幅已经超过一般常见的综合性手册了。实践是检验真理的唯一标准。我们将严肃认真地听取广

大读者的反映和意见，作为评价和改进两部手册的主要依据。国外这类工具书已经有了几十年、甚至百余年的历史，而我们则刚刚开始。现在是从无到有，将来是精益求精。让我们在新的长征途中，戮力同心，再接再厉，去完成时代赋予我们的光荣使命。

沈 鸿
1982年 北京

第二版编辑说明

《电机工程手册》是一部系统概括电机工程各专业主要技术内容的大型综合性工具书，初版于70年代。二版修订是在一版的基础上，更新内容，完善不足，进一步突出综合手册“全、精、新、准”的特色，使之更好地适应科学技术发展的需要，为我国的社会主义现代化建设服务。

一、修订的重点

1. 在新技术方面 认真吸取了国内外主要的新技术成就，增设了与现代电工科学技术息息相关的如涉及微电子、电力电子、自动化、新能源、新材料、光纤通信、激光等新兴技术篇章。对传统专业中某些新的分支，如直流输电、交流调速技术、传感技术、伺服技术和电磁兼容技术等都加重了份量或新辟了章节。

2. 在基础方面 为了适应改革开放的需要，更好地为读者提高综合分析、应变与开拓能力服务，对电工科学技术有关的基础理论、基础技术、基础元器件和材料以及现代企业管理的基础，有的作了较大扩展，有的则增添了新篇章。

3. 在应用方面 将电能应用领域进行了拓宽，进一步扩大到铁道、公路、水运、民航、家用、医疗和科研等领域，并对具有广泛适用性的激光、电子束、离子束装置和加速器以及计算机的应用设置了专篇。

4. 在综合方面 为了适应现代科学日益向综合化发展的需要，从篇目框架设计到各篇内容安排和编写，力求更好地体现各专业之间的相互交融、相互渗透的关系，揭示有关的内在联系，更好地贯彻“立足全局，勾画概貌，反映共性，突出重点”的编辑方针。例如，为提炼共性技术，增设了电机通论篇和电工产品通用制造工艺篇等，同时还充实了环境保护、可靠性、节能、安全等综合技术的内容。

二、内容和结构

二版主要包括基础、电工设备、电力系统、电能应用和自动化与通信5部分，共58篇，分为8卷。

1. 基础部分 由通用电工理论基础、技术基础、基础元器件和材料以及现代企业管理基础等组成，共18篇，分为2卷。其中新增的篇有电子电路、电子计算机、可靠性技术、电工通用制造工艺、现代企业管理基础与电工标准和技术法规等。

2. 电工设备部分 含常规的与专用、特殊的各类电机和输变电、配电设备，共13篇，分为2卷。

3. 电力系统部分 由电能的发、送、变、配、供等分支构成，共9篇，合成1卷。其中新增的篇有其他能源发电和工业与民用建筑供电。

4. 应用部分 由工业、交通、科研、医疗以及人民生活等领域中常用的和某些新兴的用电设备组成，共11篇，分为2卷，其中新增的篇有激光、电子束、离子束装置与加速器，电力牵引，电在水运、公路及民航中的应用与静电技术和电的其他应用等。

5. 自动化与通信部分 由多种自动控制系统和计算机应用及通信组成，共7篇，合成1卷。其中新增的篇有数控技术与加工自动化、计算机集成制造系统、计算机应用和电气通信等。

三、编排与查阅

手册内容涉及众多专业,卷帙浩繁,彼此之间又相互渗透,纵横交错。为了便于读者查阅,本手册按专业分篇,并归类合订成卷。各篇内分有章、节、条、款诸层次。在编排上各卷设有由目录和索引组成的检索系统与由书内参见和参考文献组成的参见系统。

1. 在检索系统方面,各卷印有全书的卷目和篇目以及各自的篇、章、节(两级)四个层次目录,可鸟瞰全书和卷、篇的层次结构与内容间的内在联系。目录还附有英文对照。各卷末列有主题词索引,按汉语拼音顺序排列,它可将分布在不同篇章的相关内容联系起来,便于读者检索相关内容。

2. 在参见系统方面,书内参见是针对不同篇、章所写相同内容经协调后确定的,其作用是使不同篇、章所写的内容能保持相互衔接、呼应或相互补充,减少重复。参考文献分推荐性和来源性两类。前者是向读者推荐有参考价值的文献资料,为读者的深入研究提供线索,它是综合性手册内容的延伸。后者又称引文注,注于相应页的页末或相应图表的下方。它的作用是向读者交待资料来源,便于读者对照参考。

3. 本手册中多数篇、章设有概论(或概述)以勾划内容的概貌。一般能较好地反映该专业的内涵、规律、共性与内外联系,有助于全面了解各专业的概况。读者可以把概论作为涉足较生疏的知识领域的向导。

4. 本手册各篇之间以及篇内各章、节之间存在着一定的联系,起着相辅相成的作用。譬如,电工设备卷各篇分别以概括各自的基本原理、结构、性能、设计制造和应用及其关键问题等方面的基本知识为主,一般不再作过细、过深的延伸。如需纵向更深层次的或横向面上更广的知识,则须查阅有关卷的相应篇。如涉及工程计算引用的数学、材料和元器件的性能、测试方法等,则可查阅基础卷的相应篇;涉及到自动控制方面的内容,可查阅自动化与通信卷的相应篇;涉及到电工设备与电力网的关系方面,可查阅电力系统卷的相应篇;涉及到各种应用方面的内容,可查阅应用卷的相关篇。读者把从不同篇章所查获的知识加以综合分析,则可能获得比较全面而且深入的认识。

四、其他

1. 全书所用名词术语以全国自然科学名词审定委员会公布的自然科学名词和有关国家标准或行业标准规定的专业技术术语为准。尚无标准规定的,采用各学科和专业习惯使用的名词术语,并力求全书及各卷统一。

2. 全书有关量、单位和符号以 GB 3100~3102—93《量和单位》和《中华人民共和国法定计量单位》为准,个别领域同时列出了法定和非法定计量单位,或给出了两者的换算关系,以方便对照和使用。

3. 全书中涉及的标准均为国家或行业的现行标准,其中,电气图用图形符号、电工技术中项目代号和方字符号以及电气制图分别以国家标准 GB 4728—84、85《电气图用图形符号》、GB5094—85《电气技术中的项目代号》、GB7159—87《电气技术中文字符号制订通则》和 GB6988—86《电气制图》为准。对于个别有必要的标准还给出其与旧标准的对照。

4. 编者的署名采用单位和个人相结合的方式。各篇的主编单位、编写单位和主编、编写人、主审均按篇置于相应篇的前面。编写单位和编写人均按其编写内容的先后排序。

本手册已和广大读者见面了。但从总体编排和一些具体问题的处理上仍有许多不尽人意之处,欢迎广大读者批评指正。

目 录

第二版序	1-1
第一版序	1-2
第二版编辑说明	1-3

第 1 篇 电气传动控制系统

常用符号表	1-4
-------	-----

第 1 章 概 论

1 电气传动的组成	1-7
2 电气传动的分类与比较	1-7
3 电气传动的发展方向	1-8

第 2 章 传动电动机的选择

1 电动机的类型选择	1-8
1.1 选择电动机的步骤和原则	1-8
1.2 根据环境条件选择电动机的类型	1-9
1.3 根据负载性质选择电动机的类型	1-10
1.4 电动机转速的选择	1-10
2 电气传动的计算公式和机械参数	1-11
2.1 电气传动的基本计算公式	1-11
2.2 电动机的机械特性和参数	1-12
2.3 飞轮力矩的计算	1-13
2.4 机械参数	1-14
2.5 一般工业机械的功率计算	1-15
2.6 根据打滑条件允许的最大加速度	1-16
3 电动机的容量校验	1-16
3.1 恒定负载连续工作制下电动机的容量校验	1-16
3.2 短时工作制下电动机的容量校验	1-17
3.3 变动负载连续周期工作制下电动机的容量校验	1-17
3.4 断续周期工作制下电动机的容量校验	1-17

第 3 章 电器控制线路

1 基本要求	1-18
--------	------

2 线路设计要点	1-19
2.1 控制线路电源电压	1-19
2.2 控制线路的联锁	1-19
2.3 线路设计与电器的配合	1-20
2.4 直流电动机励磁回路	1-21
3 主要电器的选择原则	1-21
3.1 隔离器的选择	1-21
3.2 断路器的选择	1-22
3.3 熔断器的选择	1-23
3.4 接触器的选择	1-24
3.5 保护继电器的选择	1-25
4 各种控制方式电路的构成特点和功能	1-26
4.1 电动机的起动	1-26
4.2 电动机的制动	1-29
4.3 典型的控制线路及功能	1-33
4.4 通用的电器控制设备	1-36
5 可编程控制器在电器控制中的应用	1-40
5.1 采用可编程控制器控制的特点	1-40
5.2 PLC 的组成和工作原理	1-40
5.3 编程语言	1-42
5.4 PLC 在工业过程控制中的应用	1-45

第 4 章 直流调速系统

1 调速系统的静态特性	1-47
1.1 调速的分类	1-47
1.2 调速系统的静态指标	1-47
2 直流电动机的调速方案	1-48
2.1 直流电动机的调速原理	1-48
2.2 电动机-发电机组调速系统	1-52

2.3 斩波器调速系统	1-53	3.1 数字化系统的硬件组成	1-136
2.4 晶闸管变流器调压调速系统	1-54	3.2 数字化系统的软件组成	1-137
2.5 调压调磁控制系统	1-55	3.3 自调试功能	1-138
2.6 晶闸管供电可逆调速系统	1-57	3.4 故障自诊断	1-139
3 直流晶闸管调速装置参数计算	1-68	3.5 异步电动机的数字化模型	1-139
3.1 主回路选择和变流器的基本参数	1-68	4 脉冲调制式变频调速	1-139
3.2 变流变压器的计算	1-74	4.1 逆变器的谐波分析	1-140
3.3 交流进线电抗器的选择	1-76	4.2 PWM 逆变器工作原理	1-141
3.4 晶闸管的选择方法	1-77	4.3 PWM 逆变器输出电压的幅频 控制	1-142
3.5 直流回路电抗器的选择和计算	1-80	4.4 功率器件的选择	1-143
3.6 晶闸管变流装置的保护	1-86	4.5 PWM 波形的生成	1-143
4 直流传动系统的动态校正与特性	1-92	5 异步电动机交-直-交变频调速 系统	1-145
4.1 动态特性与指标	1-92	5.1 交-直-交电压型变频器	1-145
4.2 系统各主要环节的特性和传递函数	1-93	5.2 交-直-交电压型变频调速系统	1-147
4.3 系统简化	1-106	5.3 交-直-交电流型变频器	1-148
4.4 工程实际校正方法	1-109	5.4 交-直-交电流型变频调速系统	1-153
5 直流调速系统的数字化	1-115	6 无换向器电动机变频调速系统	1-154
5.1 数字调速系统概述	1-115	6.1 无换向器电动机的基本构成	1-154
5.2 紧凑式数字调速系统	1-115	6.2 无换向器电动机的换相	1-156
5.3 模块式数字调速系统	1-118	6.3 不同 γ 角时的运行状况	1-157
6 直流调速系统设计举例	1-120	6.4 增加换相极限,提高过载能力的基本 方法	1-158
6.1 变流变压器选择计算	1-120	6.5 无换向器电动机的机械特性	1-158
6.2 晶闸管选择计算	1-120	6.6 无换向器电动机调速系统	1-158
6.3 交流侧过电压抑制回路计算	1-121	6.7 无换向器电动机的适用范围	1-161
6.4 调节系统校正装置参数计算	1-121	7 交-交变频调速系统	1-161
第5章 交流调速系统			
1 交流调速系统方案	1-124	7.1 交-交变频器	1-161
1.1 变极调速	1-124	7.2 交-交变频传动系统	1-166
1.2 转子串电阻调速	1-124	8 晶闸管串级调速系统	1-167
1.3 串级调速	1-125	8.1 串级调速的主回路方案	1-167
1.4 调压调速	1-126	8.2 低同步串级调速系统	1-170
1.5 电磁调速异步电动机	1-127	8.3 串级调速系统设计中的几个 问题	1-172
1.6 变频调速	1-128	9 交流调速系统设计举例	1-173
1.7 无换向器电动机调速	1-130	9.1 风机的基本参数	1-173
2 变频调速的控制方式	1-130	9.2 风机的变频调速	1-174
2.1 基本控制方式	1-130	9.3 风机交流变频调速系统设计	1-174
2.2 异步电动机在电压、频率协调控制 下的机械特性	1-131	9.4 风机变频调速运行	1-177
2.3 转差频率控制	1-132	第6章 各类机械的电气传动与控制	
2.4 矢量控制原则与坐标变换	1-133	1 风机与泵	1-178
3 交流调速系统的数字化	1-135		