

毕业设计指导

(电气类专业适用)

刘祖润 胡俊达 主编



机械工业出版社

前 言

本书是根据高等工科院校电气类专业的培养目标和教学大纲的要求编写,由全国高等工程专科学校电气类专业教材编审委员会组织审定并推荐的教学用书。

高等工程教育的培养目标是,培养德智体诸方面全面发展,获得工程师基本训练的高等工程技术应用性人才。毕业设计是实现工科学生培养目标的重要的实践性、综合性教学环节,它是对学生所学知识的综合训练,也是对知识转化为能力的实际测试。对进一步培养学生综合运用所学知识和技能去分析和解决本专业范围内的一般工程技术问题的能力,全面提高毕业生的素质,使之能较快地适应工程实践的需要具有十分重要的作用。为适应电气类专业教学的需要,切实保证毕业设计的教学质量,特组织编写了此书。本书内容包括电力电子、微机控制、电气传动、工厂变配电、电机、电器和变压器等方面的设计,重点讨论了毕业设计实施的一般过程和基本内容、直流拖动控制系统设计与调试、微机温度控制系统设计、交流串级调速系统设计、微机控制 PWM 交流变频调速系统设计、可编程控制器(PC)的应用设计、工厂变电所电气技术设计、SN10-10 I 少油断路器设计计算、三相感应电动机计算机辅助设计、节能变压器设计等,并选编了部分电动机的主要技术数据,供设计时查阅。

本书从高等工程教育对人才的培养目标出发,总结了多年来电气类专业毕业设计教学的经验,提出了毕业设计的规范和要求。该书坚持以技术应用能力的培养为主线组织教学内容,从工厂现场正在使用和推广使用的技术中采集和筛选了多种课题,力求课题具有跟踪工程技术进步、技术密集型的特点,较好地满足教学基本要求;强调实践性和工程应用,又不失系统性,注重学生能力培养和基本功训练;充分考虑了我国电气控制技术和电气类专业教学的现状,又注重了内容的实用、新颖性,力求反映近年来国内外在电气控制诸方面的最新发展。本书是教学实验、科研成果和工程实践的总结。书中适当地选编了设计中所必需的资料,也可供学生毕业后从事技术工作时查阅。全书电气图形、文字符号均采用国家最新标准。本书对毕业设计的选题与实施,使毕业设计规范化,具有重要的指导作用。

本书适用于高等工科院校电气类专业,特别是工业电气自动化、电气技术、计算机应用、电机、电器、电力系统及自动化等专业,也适用于职工大学、业余大学和函授大学的相近专业,并可供有关专业师生和工程技术人员参考。

本书由刘祖润主编,胡俊达为副主编。其中,刘祖润编写第一、二、四章和附录,刘国繁编写第三章,刘国荣编写第五章,胡俊达编写第一、六、十章,赖指南编写第七章第一、二节,秦祖泽编写第七章第三节,黄家麟和秦祖泽编写第八章,杨向宇编写第九章。

全书由张永丰教授主审。在本书编写过程中,得到了树模教授、罗新潮高工、湛新年副教授以及有关大专院校、研究所和工厂的大力支持和热情帮助,在此一并谨致诚挚的感谢。

限于作者水平,书中疏漏及错误之处在所难免,敬希读者批评指正。

编 者

1995年8月

目 录

第一章 毕业设计概述	1
第一节 毕业设计的目的与要求	1
第二节 毕业设计的选题	1
第三节 毕业设计的基本内容与一般实施过程	3
第四节 毕业设计说明书的撰写	4
第五节 毕业设计答辩	5
第六节 毕业设计成绩评定	6
第二章 直流拖动控制系统设计与调试	8
第一节 直流调速系统拖动方案的确定	8
第二节 直流调速系统控制方案的确定	16
第三节 变流器主电路参数计算和保护环节	20
第四节 调速系统控制单元的确定和调整	31
第五节 调速系统动态参数的工程设计	44
第六节 设计实例——某钢厂可逆冷轧机主传动直流调速系统	57
第三章 微机温度控制系统设计	78
第一节 概述	78
第二节 电阻炉温度数字控制器	79
第三节 温度的检测	85
第四节 电热炉的主回路与电功率控制	93
第五节 设计实例——电阻炉温度的微机自动控制系统	95
第四章 交流串级调速系统设计与调试	106
第一节 串级调速的基本原理和机械特性	106
第二节 系统控制方案的确定	112
第三节 串级调速系统主回路设计	115
第四节 串级调速系统控制单元的设计	118
第五节 串级调速系统控制回路与调节器的设计	118
第六节 设计实例——某造纸机交流串级调速系统	123
第五章 微机控制 PWM 交流变频调速系统设计	140
第一节 PWM 变频调速系统方案的确定	141
第二节 微机控制 PWM 变频调速系统各功能单元的设计	146
第三节 设计实例——微机控制 PWM 变频调速系统	157
第六章 可编程序控制器(PC)的应用设计	172
第一节 可编程序控制器(PC)的基本工作原理及指令系统	172
第二节 PC 控制系统的应用设计方法	183
第三节 设计实例——交流双速电梯 PC 控制系统	198
第四节 PC 控制系统的安装与调试	210
第七章 工厂变电所电气技术设计	215

第一节	工厂变电所电气一次部分	215
第二节	工厂变电所电气二次部分	232
第三节	设计实例——某机修厂车间变电所及机械加工一车间低压配电系统设计	251
第八章	SN10-10 I 少油断路器设计计算	267
第一节	绝缘计算	268
第二节	发热计算	273
第三节	电动力计算	277
第四节	电接触计算	278
第五节	少油断路器分闸速度特性计算	282
第六节	灭弧室压力计算	293
第九章	三相感应电动机计算机辅助设计	302
第一节	概述	302
第二节	电动机计算机辅助设计中常用的计算方法	304
第三节	三相感应电动机的校核设计	311
第四节	三相感应电动机的综合设计	318
第十章	节能变压器设计	338
第一节	概述	338
第二节	变压器电压和电流计算	339
第三节	铁心直径估算及线圈匝数计算	341
第四节	线圈计算与设计	343
第五节	绝缘半径及筒高计算	346
第六节	主、纵绝缘结构的确定	346
第七节	阻抗电压的计算	352
第八节	损耗的计算	356
第九节	油箱尺寸的计算	360
第十节	温升的计算	362
第十一节	线圈机械力的计算	367
第十二节	重量的计算	370
第十三节	工艺规程卡及编写方法	373
第十四节	10000kV · A、35kV 级变压器计算实例	375
第十五节	变压器的微机辅助设计简述	383
附录		389
附录 A	部分电动机的主要技术数据	389
附录 B	新旧图形符号和文字代号对照表	392
参考文献		396

第一章 毕业设计概述

毕业设计是实现工科学生培养目标的实践性、综合性教学环节。它对进一步培养学生分析问题、创造性地解决实际问题的能力,全面提高毕业生的素质,使之能较快地适应工程实践的需要起着极其重要的作用。为切实保证毕业设计的教学质量,有条不紊地完成这一教学过程,本章对工科毕业设计的基本内容和实施过程作简要的叙述。

第一节 毕业设计的目的与要求

高等工程专科教育的培养目标是,培养德智体诸方面全面发展的,获得工程师初步训练、长于实践的高等工程技术应用性人才。学生应具有必需的理论基础、扎实的专业知识和较强的工程实践能力。毕业设计是教学计划中学生必修的最后一个教学环节,是实现教学、科研、工程实践结合的重要结合点。它的主要目的是培养学生综合运用所学知识和技能去分析和解决本专业范围内的一般工程技术问题,建立正确的设计思想,掌握工程设计的一般程序和方法。通过毕业设计,进行工程知识和工程技能的综合训练,使学生一走上工作岗位,就具有较强的应用生产现场正在使用和近期可能推广使用的技术去解决工程实际问题的能力。

毕业设计的基本要求是:

- 1) 既要完成课题任务,又要培养学生,应把对学生的培养放在第一位。学生在教师的指导下,根据所选定的设计课题,通过在实习基地顶岗实习、专业综合实习,结合工程实际独立地完成一项电气控制设计工作,受到一次电气工程师如何解决工程实际问题的能力的初步训练,能较快地适应生产第一线的工艺、技术和管理工作。
- 2) 通过毕业设计,使学生受到综合运用所学知识解决实际问题的训练,提高他们科研和工程实践技能水平。也提高学生的运算能力,识图与制图能力,实验与调试能力,查阅手册、使用国家技术标准和信息资料检索能力,文字表达能力和一般组织管理能力。
- 3) 培养学生的独立工作能力,进一步巩固和扩展专业知识面,使学生具有较强的自学能力和工作适应能力,提高学生运用科研成果和新技术的能力,对引进设备的消化、吸收能力以及对现有电气设备和生产过程进行技术改造的能力。
- 4) 培养学生严谨求实、理论联系实际的工作作风和严肃认真、一丝不苟的科学态度,使学生树立正确的生产观点和技术经济观点。

第二节 毕业设计的选题

一、选题原则

正确、合理地选题是做好毕业设计的首要环节。选题的情况直接影响着毕业设计的教学质量和学生的业务素质。毕业设计的选题应紧紧围绕实现高等工程教育的培养目标进行,一

般应遵循下列原则：

1) 选题应符合专业培养目标和业务范围，具有综合性，有利于培养学生运用所学知识获得较为系统的基本技能训练和专业技术训练，避免知识面过偏过窄，提高学生综合解决工程技术实际问题的能力。

2) 选题应注重应用性、工艺性，有利于提高学生的工程技术应用能力和实践动手能力，注意经济性的倾向。

3) 选题应在理论和实践方面具有一定水平，既注意课题内容的先进性和经济上的可行性，又要符合学生实际能力；既有一定的理论分析、设计计算，又有一定的实验、上机、调试内容。选用技术手段时，鼓励学生尽量选用新技术、新工艺、新器件。

4) 选题须体现毕业设计实施的可行性，课题内容应难度适中，工作适量，保证中等水平学生在规定时间内经过努力能按时完成任务，并取得成果。

5) 在满足人才培养目标的前提下，尽量结合生产现场、科研、实验室建设的实际需要选择课题，力争为学生所在单位（或新的工作岗位）、实验室建设做出一份贡献。这样既有利于学生工程、科研意识的培养，又密切厂校关系。

6) 选题时应提倡不同专业或不同学科相结合，课题应有利于加强或弥补其它教学环节中的薄弱环节。

7) 选题应在教师的指导下进行充分论证，集思广益，完善选题方案，优化设计课题，确保正确、合理地选题。

二、选题类型

根据毕业设计的教学目的和选题原则，选题可分为三大类。

(1) 完成教学训练的基本课题 这类课题依据专业的培养目标，从生产现场正在使用和推广使用的技术中进行采集和筛选，具有跟踪工程技术进步、技术密集型的特点，利于对学生进行全面、系统、综合的训练。指导教师应熟悉课题的每个环节，便于掌握毕业设计实施的全过程。这类课题是“假题真做”，为防止学生在设计过程中的抄袭现象，不宜将方案抛出，只能启发引导。这类课题宜多一些，但参与每个课题的学生应少一些，按人明确具体任务。

(2) 结合生产实际的课题 这类课题主要是来源于工厂或学生今后工作岗位的具体课题，或专业实验室建设项目。因为是“真题真做”，故有利于培养学生的工程实践技能，满足教学基本要求。若条件允许，最好待学生毕业后，继续参加该设计的制造、安装、调试的全过程。一般这类课题不太好选，且对教师的要求也高，故这类课题不宜过多。

(3) 结合科研任务的课题 此类课题应选择那些能较好地满足教学要求，训练内容较宽并有一定实际意义的课题。学生在教师指导下，通过直接参加科研工作，广泛查阅科技资料，使之毕业后就能较快地直接投入到相应的技术开发工作中去。

三、选题应注意的几个问题

(1) 课题不要过于简单 若课题难度不够，内容偏小，以至设计任务不饱满，会造成时间过于充裕，学生无事可做，不能收到毕业设计预期的效果。

(2) 课题不要过难 课题过难，以至脱离学生的实际能力，致使学生无从下手，老师走一步，学生跟一步，学生不能充分发挥其主观能动性，达不到全面训练的目的。

(3) 课题不要过大，内容不能过多 课题过大，时间上得不到应有的保证，学生在规定的时间内完不成设计任务。对于较大型课题，可安排几个学生共同完成，但必须明确每人的具

体任务,鼓励独立思考,要善于选择不同方案,使每个学生的能力都得到提高。

(4)课题尽量结合工程实际 工科学生的毕业设计应侧重于实验、测试技能、制图能力和文字表达能力的培养。

第三节 毕业设计的基本内容与一般实施过程

一、毕业设计的基本内容

为使学生受到综合运用所学知识解决实际问题的全面、系统的训练,毕业设计一般应包含以下环节的训练:①工作计划和组织;②选题论证;③深入实际调研和收集资料、文献查阅;④方案比较与选择;⑤理论分析;⑥工程、工艺设计;⑦测试、实验研究;⑧技术经济分析;⑨总结提高,撰写报告;⑩答辩。

二、毕业设计任务书

为使学生在毕业设计时做到目标明确,任务落实,指导教师应根据实际情况编写毕业设计任务书,规定每个学生设计的具体任务。毕业设计任务书一般包括如下内容:

- 1) 毕业设计的教学目的与要求。
- 2) 课题名称及课题来源。
- 3) 设计的主要项目、内容及技术经济指标。
- 4) 电气、电子装置的具体工艺要求。
- 5) 对毕业实习、资料收集、课题进行方式和实验研究等方面的具体要求。
- 6) 实习、设计进程安排。
- 7) 主要参考文献及仪器设备。

毕业设计任务书封面上应标明学校名称、课题名称、学生姓名、指导教师姓名、教研室主任签字、任务书发放日期、设计完成日期等项目。

三、毕业设计的一般实施过程

(一) 下达毕业设计任务

指导教师应根据专业教学计划的安排,及时下达毕业设计任务书。学生课题的选择应根据国家对人才的需求量、个人兴趣与毕业设计领导小组(专业教研室)统筹安排相结合的原则,尽量使每个课题的学生人数、水平分布比较合理,以利于毕业设计工作的顺利进行。

指导教师要全面介绍课题内容、实施的方法与步骤、应完成的工作量、学生应阅读的主要技术资料 and 必需的仪器设备。有些资料和仪器设备指导教师须事先准备。

(二) 毕业实习及调研

为强化学生的工程技能综合训练,学生在接到任务书后,首先应熟悉自己的设计课题和任务,在教师指导下,进行实习及调研。

毕业实习(顶岗实习、专业综合实习)是毕业设计工作的一个重要环节。为使学生在实习调研中有的放矢,须制定毕业实习大纲,具体内容如下:

- 1) 调研有关主要设备的生产、装配和调试的全部过程。
- 2) 调查了解有关环节中存在的技术、工艺问题和解决这些问题的初步设想。
- 3) 收集与毕业设计有关的技术数据、图纸资料。
- 4) 了解国内外有关的先进技术和发展趋势。

- 5) 学习企业管理、技术管理的基本知识和方法。
- 6) 结合设计、实习内容撰写实习报告的具体要求。

(三) 毕业设计进程

依据教学计划安排,毕业设计时间一般为10周。具体进程大致如下(供参考):

- 1) 下达设计任务书,制定课题进程计划。学生收集资料,熟悉设计课题(1周)。
- 2) 实习及调研(1周)。
- 3) 进行设计(5周)。
- 4) 绘制图纸(1周)。
- 5) 整理、撰写毕业设计说明书(1周)。
- 6) 教师评阅设计,学生进行总结、准备答辩(0.5周)。
- 7) 毕业答辩(0.5周)。

(四) 毕业设计的指导工作

指导教师一般由具有讲师职务以上,有较高业务水平的教师和有实践经验的工程技术人员承担,具体指导工作,主要有以下几个方面:

- 1) 依据选题的应用性、工艺性、综合性、先进性和经济可行性等立题原则,帮助学生选定课题;拟定毕业设计任务书,使学生明确课题的目的、性质、内容、难点、重点和要求。
- 2) 指导学生制定毕业设计的具体进度计划。
- 3) 指导学生调研,收集必要的参考资料,督促检查学生查阅文献资料的情况。
- 4) 在设计过程中,分阶段启发学生的设计思路,引导学生进行方案论证比较。注意发挥学生的主动性、创造性,既不包办代替,也不放任自流。
- 5) 定期辅导答疑,检查设计进度和质量,力求按工程实际对学生进行规范化训练,发现问题及时纠正,确保课题按时完成。
- 6) 结合业务指导,加强学生的思想政治工作,严格管理,严肃纪律。
- 7) 审阅毕业设计,写出评语,向答辩小组提出是否准许学生答辩的意见。
- 8) 参加毕业设计答辩,参与成绩评定。

同时,在毕业设计中,还须明确要求学生树立严谨、勤奋、求实、创新的良好学风;严以律己,团结协作;尊重教师的指导,定期向指导教师汇报设计进度,听取教师对下一步设计的安排;爱护公共财物;独立完成设计任务,严谨抄袭或请人代作;按时完成设计任务,准时参加答辩;对于进行同一课题的学生应组成课题小组,小组长在教师指导下做好组内协调工作,确保毕业设计过程的良好秩序;对于毕业设计不认真、违反纪律的学生,应给予“警告”。

第四节 毕业设计说明书的撰写

一、毕业设计说明书的写作要求

撰写毕业设计说明书(设计报告)是搞好毕业设计的一个重要方面。说明书是对所进行的设计进行解释与说明的书面材料,是反映学生毕业设计质量的一个主要内容,要求学生必须认真独立完成。说明书的具体写作要求是:

- 1) 文字简练、通畅,说理清楚、逻辑性强。

2) 论据充分;计算准确,使用公式正确并有据可查。

3) 详略关系处理得当。设计所依据的原理可以略写,理论方面不作进一步发挥,但涉及到具体工艺、技术方面的问题须详细叙述清楚。

4) 说明书撰写的页数一般要求不少于40~50页(16开),并应有一定数量的图纸绘制工作。

5) 书写工整,层次清楚;图样规范化、标准化,图面要清晰;统一格式、统一封面,用钢笔书写,装订成册。

二、毕业设计说明书的结构形式

一份完整的说明书一般由以下几部分组成:

(1) 目录 目录的列写,应根据说明书的内容决定,一般采用2~3级。

(2) 标题 包括课题名称、目的、用途、主要技术性能指标。

(3) 概述 主要简述本课题的国内外现状、发展趋势及存在问题,本设计的指导思想、主要内容、基本原理和规模情况。还要求写出200~300字的摘要(含中、外文对照)。

(4) 方案总体设计 包括课题分析、多种方案论证比较,选定最佳方案的依据及实施的可行性分析。

(5) 方案实体设计 包括系统方框图、电气原理总图、各单元电路的设计,简述主要部件的工作原理、工作条件、给定参数、理论公式及详细的计算步骤、计算结果。这是说明书的主要部分。

(6) 方案试验 有的课题需进行调试和实验,应叙述试验条件、方法、使用仪器设备的型号,并对测试结果进行数据分析或理论论证。

(7) 结论 包括对本设计的客观评价、设计特点、存在问题的改进意见等。最后,对指导教师与协助完成设计的有关人员表示谢意。

(8) 参考文献 含作者、书名(期刊名)、出版地、出版者、出版年等,具体写法参见GB7714—87《文后参考文献著录规则》。

第五节 毕业设计答辩

毕业设计答辩是毕业设计工作的最后一个环节,每个学生必须进行答辩。为了搞好答辩,须按一定程序进行。

一、答辩前的准备工作

(1) 成立毕业设计答辩小组 答辩小组由组长一人,副组长1~2人,总共7~9人组成。答辩小组成员应包括部分教师(含指导教师)和工厂、科研单位的工程技术人员,必须有2/3以上的成员具有中级以上职称。

(2) 向答辩小组报告工作 答辩前,主管毕业设计工作的领导须向答辩小组报告工作。主要内容包括:①学生的自然情况,学习情况;②课程设置及实践性教学环节的安排;③学生的设计题目、课题安排及工作完成情况;④评分标准及要求。

二、答辩程序和时间要求

(1) 学生自述 首先由答辩主持人宣布学生答辩顺序和课题名称,然后学生按照自己所设计的图样,自述设计课题的目的、要求、设计的主要特点,分析和计算的主要依据与结论,

设计工作中的体会及改进意见等。有的课题还须对照实物样机,进行现场操作表演。自述时间一般不超过 20min,主要是考核学生的组织能力、表达能力、独立见解和工艺设计能力。

(2) 答辩提问 答辩提问时间约 30min。提问主要内容为:①系统及单元电路的工作原理;②系统方案设计与比较;③与课题有关的基本理论知识;④实验和调试中的现象;⑤课题的目前应用情况与发展前景。

提问主要是考核学生分析和解决工程实际问题的能力。提问不要过深过偏,使学生过分紧张,影响正常发挥。提问后可以给学生一定的准备时间,亦允许对基础较差的学生进行必要的启发、诱导。答辩时需安排专人记录,以便成绩评定。

第六节 毕业设计成绩评定

学生的毕业设计成绩,应严格按照下述三个方面情况进行评定:①学生在整个设计过程中的工作表现,设计、动手能力,承担工作量的大小,设计与制作的质量;②说明书和图样的质量,方案设计的正确性,论证的广度与深度,说明书的文字表达水平;③毕业设计答辩水平。评定成绩时,还应考虑进行不同课题的横向平衡。毕业设计成绩一般按优秀、良好、中等、及格、不及格五级评分。评分标准如下。

一、优秀

- 1) 在设计工作中刻苦钻研,勤于思考;勇于承担任务,完成工作量大。
- 2) 全面完成毕业设计任务,能正确、灵活、综合运用本专业的基础理论和知识,分析和解决实际问题能力强。
- 3) 设计方案合理,分析问题正确,在方案设计或数据处理、计算方面有独特见解。
- 4) 图样、说明书质量高。图纸图面整洁,符合国家标准;说明书考虑问题全面,结论正确,论据充分,文理通顺,书写工整。
- 5) 实验方案正确,测量数据可靠,实验技能和实践动手能力强。
- 6) 答辩中自述清楚正确,回答问题准确全面。
- 7) 设计中有个别缺点,但不影响设计质量。

二、良好

- 1) 在设计工作中,态度端正,工作努力,能独立思考。
- 2) 能较好地地完成全部设计任务,综合运用所学知识分析和解决问题能力较强。
- 3) 设计方案合理,分析问题正确,有一定独到见解。
- 4) 图样正确,图面质量较好;说明书结论正确,论据较充分,数据计算准确,书写整洁。
- 5) 实验方案正确,实验、调试技能较好,数据比较可靠。
- 6) 答辩中自述清楚,回答问题较为正确。
- 7) 设计中有非原则性小错误,但不影响主要问题的正确性。

三、中等

- 1) 在设计工作中,态度较认真,工作较努力,基本能独立思考。
- 2) 能完成设计任务,尚能综合运用所学知识,具有一定分析和解决问题的能力。
- 3) 设计方案基本合理,分析问题基本正确。
- 4) 图样、说明书质量尚好,结论尚正确,论据较充分,文理尚通顺。

- 5) 有一定的实验技能, 数据基本可靠。
- 6) 答辩中自述较清楚, 对主要问题回答正确。
- 7) 设计中有个别小的原则性错误, 但容易改正。

四、及格

- 1) 在设计工作中, 态度较端正, 工作尚努力。
- 2) 能基本完成设计任务, 所学理论知识能基本掌握, 具有基本分析和解决问题的能力。
- 3) 设计方案基本合理, 分析问题基本正确, 无原则性错误。
- 4) 图样图面质量尚好, 基本符合国家标准; 说明书结论基本正确, 计算基本准确。
- 5) 基本能进行实验, 测试数据基本接近正确。
- 6) 答辩中自述尚清楚, 在启发下能回答主要问题。
- 7) 有个别的小原则性错误。

五、不及格

凡有下列情形之一者, 应记为不及格:

- 1) 对设计工作态度不认真, 没有完成规定的设计任务。
- 2) 对本专业的基本理论和专业知识、技能掌握很差, 基本概念模糊, 答辩中主要问题回答错误, 经启发也不能正确回答, 达不到最低要求。
- 3) 设计方案不合理, 图样、说明书有重大原则性错误, 或实验技能很差。
- 4) 设计时不加消化地照抄, 冒名顶替, 弄虚作假。
- 5) 设计工作中严重违反纪律的不予答辩。

第二章 直流拖动控制系统设计与调试

在现代工业生产中,随着电力电子器件的发展,大功率变流技术进到了一个以弱电为控制,强电为输出的新时代。直流拖动控制系统由于它在技术性能与经济指标上具有优越性,实施技术上也比较成熟,因此在冶金、机械、矿山、铁道、纺织、化工、造纸及发电设备等行业都得到了广泛的应用,已成为工业自动化控制领域一个及其重要的组成部分。

本章主要以晶闸管直流调速系统为典型,概括地介绍毕业设计的原则、内容、要求和办法。最后附以一个实例,以供参考。

第一节 直流调速系统拖动方案的确定

对某一个生产机械的电力拖动控制系统进行设计,首先要了解生产机械的设备结构和工作环境、生产工艺对控制系统提出的要求。因为控制系统的结构和技术性能指标完全取决于生产机械及其具体生产工艺要求,不弄清楚这些要求就迷失了设计方向。其次,在满足生产工艺提出的技术性能指标的前提下,还要考虑经济指标(包括初投资的大小、效率、电耗、维护费用、系统施工所投的时间等经济效益问题)。一个先进的、合理的、便于实现的设计方案,对指导工程实践具有十分重要的意义。为使一个控制系统设计确保技术性能指标先进、合理、经济指标良好,工作可靠、安全,操作、维护方便,又为今后的发展和进一步进行技术改造留有余地,就必须对系统的总体方案进行比较和论证,使其成为一个具体的可以付诸实施的技术方案。

一、调速系统的技术指标要求

各类不同的生产机械,由于其具体生产工艺过程不同,因而对控制系统设计提出的技术指标要求也就不会完全相同,而对调速系统来说,所提出的技术要求仍有一定的共同性,一般可概括为稳态和动态调速指标,并以此作为设计系统的根据。

(一) 调速系统的稳态指标

衡量调速系统稳态品质好坏的两个重要稳态指标是调速范围 D 和静差率 s ,它是调速系统设计的重要依据之一,设计时必须予以满足。

1. 调速范围 D

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}$$

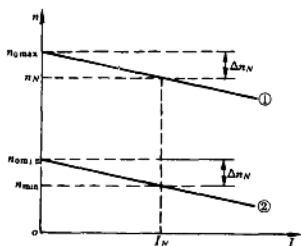


图 2-1 不同理想空载转速下的机械特性

式中, $n_{\max}$ 和 $n_{\min}$ 指电机在额定负载时的最高转速和最低转速。对于不弱磁的调速系统,最高

转速 $n_{\max}$ 就是额定转速 n_N 。

2. 静差率 s

$$s = \frac{\Delta n_N}{n_{\min}}$$

式中, Δn_N 、 $n_{\min}$ 分别是负载由理想空载增至额定负载时的转速降落和最低理想空载转速。

调速系统不同理想空载转速下的机械特性曲线见图 2-1 中特性①和②。

调速系统的调速范围和静差率以及转速降落是相互联系的, 它们之间满足下列关系式

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{n_N}{n_{\min} - \Delta n_N} = \frac{n_N}{\frac{\Delta n_N}{s} - \Delta n_N} = \frac{s n_N}{\Delta n_N (1 - s)}$$

一般常见的几种典型生产机械的稳态调速指标见表 2-1。

表 2-1 常见典型生产机械要求的 D 和 s 值

生产机械类型	调速范围 D	静差率 s
热轧轧机	3~10	$0.002 \leq s < 0.005$
冷连轧机	> 15	< 0.02
机床主传动	2~4	$0.05 \sim 0.1$
机床进给系统	5~200	
造纸机	3~20	$0.001 \sim 0.01$
龙门刨床	20~40	< 0.05
卧式车床	20~120	$0.1 \sim 0.2$
铣床	20~30	

(二) 调速系统的动态指标

调速系统的动态技术指标是指系统在阶跃给定信号和扰动信号作用下的动态过程品质, 可分为跟随性能指标和抗扰性能指标。

1. 跟随性能指标

将系统在给定信号阶跃变化下的过渡过程作为典型的跟随过程, 具体的跟随性能指标见图 2-2a。其中调节时间 t_s 用以表示系统动态过程的快速性, t_s 越小, 系统的快速性越好; 超调量 σ 用来说明系统的相对稳定性, 超调量越小, 系统的相对稳定性越好。

2. 抗扰性能指标

系统稳定运行中突加阶跃负载扰动的动态过程, 表明了系统对扰动输入的抑制能力, 其抗扰性能指标见图 2-2b。图中 $\Delta C_{\max}$ 为输出量最大动态降落 (调速系统称为动态速降, $\Delta n_{\max}$), t_f 为动态恢复时间。 $\Delta n_{\max}$ 越小, t_f 越短, 说明系统的抗扰性能越好。

系统设计时, 除经常用到上述比较直观的时域指标外, 还要用到频域指标, 如系统开环特性截止频率 ω_c (见图 2-3)、相角稳定裕度 $\gamma = 180^\circ + \varphi(\omega_c)$ 、增益稳定裕度 $GM(\text{dB}) = -20 \lg W(\omega_g)$ 以及闭环幅频特性峰值 M_ω 。其中 ω_c 表明了系统的快速性, γ 和 GM 表明了系统的稳定程度, M_ω 用来说明系统的稳定性。

必须注意, 实际控制系统对于各种动态指标的要求是不同的。在某些场合下, 不允许系统有振荡性的阶跃响应, 须明确规定无超调量, 而有调节时间 t_s 的要求; 在另一些场合下, 则

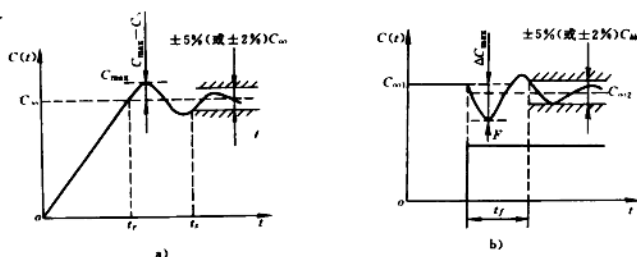


图 2-2 系统的动态过程与动态性能指标

a) 阶跃响应与跟随性能指标 b) 扰动响应与抗扰性能指标

要求超调量 σ 和调节时间 t_s 的大小均在一定的限度内。某些生产机械，如可逆轧钢机，对动态跟随性能和抗扰性能要求均较高；而有些机械，如多机架连轧机和造纸机，则要求在负载扰动下具有高的抗扰性能，因为如果 Δn_{max} 和 t_f 较大，会严重影响产品质量，甚至造成事故，至于跟随性能，只希望无超调，而对调节时间却没有什么要求。这是我们必须给予注意的。

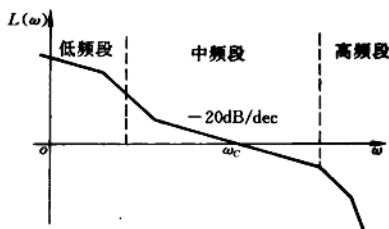


图 2-3 系统的频率特性

此外，还须考虑一般控制系统共同

的技术要求，如系统的可靠性、故障率和使用寿命等。有时还需对系统所能适应的环境条件，如环境温度变化范围、环境最大温度、防水、防爆、防化、防尘、防辐射、防腐蚀、防振、抗冲击及电磁干扰等给予注意。

设计一个实际的系统时，还需考虑系统的体积、重量、占地、外形结构、安装特点等要求和系统的能源条件（如电源种类、规格和容量）、元件的通用性、维护使用条件等等。

二、电力拖动方案及供电方案的确定和电动机的选择

方案选择的原则是在满足生产机械工艺要求并确保产品质量的前提下，力求投资少、效益高和操作方便。拖动方案则主要根据生产机械对调速的要求来确定，它直接关系到系统的技术经济性能的优劣，是系统设计中至关重要的一环。由于本章主要讨论晶闸管直流调速系统的设计，所以方案的确定实质上就是晶闸管（或功率晶体管）变流装置主电路的接线方式和直流电动机的选择两个问题。

（一）晶闸管变流装置主电路接线方式的选择

晶闸管变流装置在技术经济性能方面具有很大的优越性，在世界各主要工业国家得到广泛应用。可控整流装置可以是单相、三相或更多相数，有半波、全波、半控、全控等类型。我国中小功率晶闸管整流装置的统一设计规格如表 2-2 所示。这些晶闸管整流装置的基本性能

如下:

表 2-2 我国中小功率晶闸管整流装置系列设计规格

功率范围 (kW)	线路型号	输出电流 (A)	输出电压 (V)	进线电源 (V)	冷却方式
0.4~4	单相全控桥 (不可逆)	5	110、160	单相 220	自 冷
0.4~4	单相全控桥 (有环流可逆)	10 25	160	单相 220	自 冷
5.5~200	三相全控桥 (不可逆)	50、80 100、125	220、440	3 相 380	输出电流 为 50、80 100 A 时 为自冷， 其余风冷
5.5~200	三相全控桥 (有环流可逆)	160、200 300、400	220、440		
5.5~200	三相可控桥 (有环流可逆)	500	220、440		

1) 装置适用于连续工作制的负载。

2) 在长时间额定负载下, 允许最大过载为 150% 额定负载, 持续时间 2min, 重复周期不小于 1h。

3) 当交流进线电压为 380V (+5%, -10%) 时, 可保证输出为额定电压、额定电流。电网电压下降超过交流进线电压 380V 的 10% 时其装置输出电压与电源电压成正比例下降。

4) 采用转速闭环调速系统, 可使系统调速范围 D 扩大为 20, 负载从 10%~100% I_N 变化时, 系统静差率 s 在高速时为 0.5% (包括电机弱磁后的最高转速)。

5) 装置要求的直流稳压电源精度, 在电源电压波动 10%, 温度变化 $\pm 10^\circ\text{C}$ 时, 其精度为 1%。

上述设计仅适于一般要求的拖动系统, 工作环境恶劣, 过载倍数大于 2.5 的轧机拖动系统所需晶闸管整流装置则需按特殊要求条件另行设计。

设计晶闸管直流调速系统时, 晶闸管整流器主电路接线方式的选择对系统的技术经济指标来说也是非常重要的。确定主电路的接线方式必须考虑以下各种因素:

1) 电动机的容量, 即整流装置的容量要保证电动机容量的充分利用。

2) 可控整流装置所提供的整流电源的质量。可控整流装置的滞后时间 T , 过大, 会影响系统的快速性, 即影响系统的跟随性能和抗扰性能指标。可控整流装置输出电压波形脉动程度大小, 直接影响系统的调速性能和平波电抗器的投资。

3) 主电路的接线方式的选择, 也会影响整流变压器绕组的利用率和变压器铁心是否直流磁化以及是否需要敷设零线等。

4) 拖动电动机是否可逆运行。

5) 对可逆调速系统还必须和环流控制方案综合予以考虑。

表 2-3 示出了调压调速用的可控直流电源的各种接线方式及其指标, 可供整流装置设计时选用参考。

表 2-3 调压调速的各种接线方式及其指标

接线方式 指标	单相半控桥	单相全控桥	三相半波	三相半控桥	三相全控桥
适用调速范围	10:1 以下	10:1 以下	10:1 以下	10:1 以上	50:1
最大调节滞后时间(ms)	10	10	6.6	6.6	3.3
可逆或不可逆	不可逆, 不能逆变	可组成逆变线路	可组成逆变线路	不可逆, 不能逆变	可组成逆变线路
输出波形	差	差	比单相好	较好	好
适用功率范围(kW)	1 以下	4 以下	20~30 以下	100 以下	100~1000

(二) 晶体管 PWM 变换器主电路接线方式的选择

由功率晶体管 (GTR) 等全控型电力电子器件构成的 PWM 变换器是一种相当理想的直流功率变换装置, 它从根本上取消了对晶闸管变流器来说不可缺少的换流电路, 因而具有比晶闸管变流器更为优越的性能。晶体管直流 PWM 调速系统近年来在中小容量的高精度控制系统中获得了广泛应用。

PWM 变换器有不可逆和可逆两类。简单的不可逆变换器电路中电动机的电枢电流 i_a 不能反向, 系统没有制动作用, 只能作单象限运行; 具有制动作用的不可逆变换器, 设置了两只晶体管形成两者交替开关的电路, 具有反向电流 $-i_a$ 的通路, 电动机可在 I、II 两个象限中运行, 系统的动态性能较好。可逆变换器按主电路结构可分为 T 形、H 形。T 形电路需要正负对称的双极性直流电源, 且功率晶体管承受两倍的电源电压, 但所用开关元件少, 线路简单, 便于引出反馈, 一般适用于作为电压低于 50V 的电动机的可控电压源; 常用的 H 形变换器, 由 4 个功率晶体管和 4 个二极管组成桥式电路, 这种电路只需要单极性电源, 晶体管耐压相对较低, 缺点是电枢两端浮地。H 形变换器在控制方式上分双极性、单极性、受限单极性 3 种。

设计 PWM 直流调速系统时, 应根据系统的技术、经济指标和各种变换器电路的特点, 确定 PWM 变换器主电路的接线方式和不同控制方式, 满足电路简单、控制方便、工作安全可靠的要求。

(三) 直流电动机的选择

设计一个电力拖动调速系统时, 合理选择电动机对于整个系统的性能指标有着直接的关系。本章讨论的是直流调速系统, 以直流电动机作为执行机构。电动机的种类确定之后, 进一步就是选择电动机的型式、额定电压及额定转速。同样是直流他励电动机, 其中有的只适于短时运行, 有的能长期运行; 有的是开启式便于散热, 且价格便宜, 有的是密闭防护式可以防尘、防潮、防腐蚀。电动机的绝缘材料分 Y、A、E、B、F、H、C 七级; 允许的最高温度分别为 90℃、105℃、120℃、130℃、155℃、180℃、180℃以上; 由于绝缘等级的不同, 因而电动机容许的过载能力也各不相同。结构安装有立式安装和卧式安装、单端出轴和双端出

轴,还有调压和弱磁的差别。此外直流电动机额定电压等级也有差别(如110V、220V、440V、...)

对于额定功率相同的电动机,额定转速愈高,则电动机尺寸、重量、成本愈小,故一般选用较高转速电动机,电动机与生产机械通过减速机构来传动,因此选择电动机时必须同时选择减速传动装置。要确定减速机的速比、传动级数、传动效率及传动装置本身的转动惯量等。

综上所述,要求设计者必须根据对象的具体技术要求、不同的环境条件、供电电网容量,并考虑经济核算等实际情况,合理地选择电动机的型式、额定电压及额定转速。

电动机容量选择问题,已经在电机与拖动课程中详细讨论,设计时直接查阅有关资料即可。直流电动机技术参数在设计时亦可直接给出。

三、直流电动机的调速方式

直流电动机有两种实用的调速方式,即调节电枢供电电压和减弱励磁磁通。

(一) 调节电枢供电电压 U

保持电动机磁场为额定,改变电枢供电电压,实现电动机基速以下的转速无级调节,属恒转矩调速。对于要求有一定范围的无级平滑调速系统来说,此种方式最为常见。

(二) 减弱励磁磁通 Φ

保持电动机端电压为额定,改变电动机励磁磁通 Φ ,实现电动机基速以上的转速无级调节,即恒功率调速。此种方式虽能够平滑调速,但调速范围不大,往往与调压方式配合使用,在基速以上作小范围的升速。

有些晶闸管直流调速系统,为了扩大系统的转速调节范围,又能充分利用电动机的容量,就需要采用调压和弱磁配合调速的方案,得到电动机在基速上下两个区域的转速调节,如冷轧机主传动、连轧机以及龙门刨床主拖动系统,均可采用这种带有弱磁控制的直流调速系统。

四、电动机可逆运行的供电方式

实现直流电动机的可逆运行有两种供电方式可供选择,即电枢可逆系统和磁场可逆系统。

(一) 电枢可逆系统

保持磁场方向不变,用两套晶闸管变流装置(或T形、H形可逆PWM变换器)向电枢回路供电,改变电枢电流方向,实现可逆运行。

(二) 磁场可逆系统

电枢电压极性不变,用两套晶闸管变流装置改变励磁电流方向,同样可以实现可逆运行。

以上两种可逆系统中,由于电枢可逆系统时间常数小,从考虑系统快速性和控制回路简单的角度出发,工程上大量采用此种控制方式。系统中两套晶闸管变流装置容量可以相等、也可以不相等。当生产工艺要求电动机正、反两个方向的负载电流对称或相近时,通常把两组容量选得相同。如果电动机正、反两个方向的负载电流相差十分悬殊,如连轧机,反组变流装置实质上仅提供制动电流,此时就应根据正、反两个方向实际负载电流的大小来选择两套整流装置的容量,以节省设备投资。在系统设计时,应根据工程实际需要,来确定是采用电枢对称可逆系统,还是采用电枢不对称可逆系统。

对于磁场可逆系统,由于励磁功率只有电动机额定功率的1%~5%,对于大容量系统,采用此种方案可达到大幅度节约投资的目的,这是它的优点。这种系统的缺点是:由于励磁回路时间常数大,因而系统的快速性和动态过渡的平滑性变差;正反向切换控制过程具有死区,整