

铁路继续教育系列教材

自学指导书

(铁路机务)

铁道部人才服务中心 组织编写

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

前 言

本自学指导书根据铁路继续教育系列教材《铁路机务》编写。指导书内容按照教材的章节编写，包括每章的学习目的与要求、内容提要、重点与难点、自学学时数、思考题、参考书目及考试参考样卷等，力求对从事铁路机务工作的广大专业技术人员在自学过程中有所帮助。本自学指导书中带有 号的内容系对高级技术人员的要求，对中级和初级专业技术人员不要求掌握。

本自学指导书尽可能组织了原教材各章的编写人员编写，这样能更好地把握每章的学习目的与要求、重点与难点。编写分工如下：第一章由沈本荫编写；第二章由魏道远编写；第三~八章、第十章由鲍维千编写；第九章由张开文编写；第十一、十二章由龙献忠编写；第十三、十四章由吴庄胜编写。本书由鲍维千任主编。

由于编写人员水平所限，经验不足，自学指导书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者
2000 年 12 月

目 录

第一章	机车交流传动技术	1
第二章	柴油机节能与强化技术	9
第三章	机车走行技术的发展	18
第四章	牵引电动机悬挂及驱动装置	26
第五章	轮轨关系及蠕滑理论简介	30
第六章	我国新型机车介绍	34
第七章	高速行车及重载运输概论	40
第八章	高速/快速列车及重载列车牵引计算	44
第九章	高速/快速列车及重载列车制动	53
第十章	重载列车纵向动力学及操纵技术	59
第十一章	机务管理信息系统	66
第十二章	列车运行安全理论及设备	70
第十三章	检测	76
第十四章	维修	83

第一章 机车交流传动技术

一、学习目的与要求

依据系列教材《铁路机务》要反映我国铁路机务的当前水平和发展方向的编写要求，本章主要介绍交流传动机车的基础理论及其发展技术。20 世纪 80 年代以来，随着电力电子学的发展，交流电机传动调速已成为现代电气传动的主要发展方向，交流传动机车也在铁路牵引领域中取得了突破性的进展。通过本章学习，目的是使学员对交流传动技术有比较深入的了解。了解交流传动与直流通动相比在技术性能和经济指标方面的优越性，了解国内外交流传动技术的最新发展。在学习交流传动基本理论的基础上，掌握变频电路的理论知识及应用技术，掌握交流传动控制方式、控制理论和控制技术，并深入了解交流传动机车运行的基本特性，对于从事铁路机务工作的技术人员来说，能获得本领域新的学科知识和较高的业务起点。

二、内容提要

本章共分五节。在第一节概述中，综述了现代交流传动（机车）的基本特点、主要性能及其发展方向。第二节论述

了电力电子器件的发展及晶闸管变频电路的换流理论，并介绍了交流传动机车发展中采用的两项新技术——四象限脉冲整流器及三点式逆变器。这些技术都是交流传动发展的重要支柱。第三节分析了异步电动机变频调速的各种控制方式，并介绍了机车牵引特性及运行方式，它们是交流传动机车运行的控制基础。第四节介绍了交流传动常用的控制系统，并重点介绍了国外机车最新采用的矢量控制系统和直接力矩控制系统以及国产 AC400 型交流机车的电子控制系统。最后一节介绍了交流异步牵引电动机的结构特点、设计要求以及和逆变器性能匹配等方面的内容。

本章内容主要勾勒出交流传动技术的基本概貌，并给出该领域一个较为完整的论述。

三、重点内容与难点

(一) 重点内容

1. 调速传动的目的和意义。
2. 交—直流电机调速传动的基本概念及性能特点。
3. 交、直机车传动的优点及存在的问题。
4. 异步电动机调速传动用的基本类型及其优缺点。
5. 异步电动机变频调速的含义及其技术要求。
6. 三相异步电动机传动用于机车牵引的技术优越性。
7. 我国 AC—4000 交流机车的主要技术性能。
8. 交流机车的发展方向。

9. 电力电子器件对发展交流传动的重要影响。
10. 晶闸管（SCR）的基本特性及应用技术。
11. 自关断晶闸管（GTO）的基本特性及应用技术。
12. 绝缘栅极晶体管（IGBT）的基本特性及应用技术。
13. 电力半导体器件的发展趋势。
14. 晶闸管电压型逆变电路（麦氏电路）的基本结构。
15. 麦氏逆变电路的换流原理及换流过程。
16. 麦氏逆变电路的优缺点及应用领域。
17. 改进型麦氏逆变电路的基本结构。
18. 串联二极管式逆变电路的基本结构。
19. 串联二极管式逆变电路的特性及换流过程。
20. 串联二极管式逆变电路的输出电压、电流波形。
21. 由 GTO 元件构成的逆变电路及其性能特点。
22. GTO 门极控制电路的技术特点及性能要求。
23. GTO 电力电子器件在国外交流机车上的应用情况。
24. 四象限脉冲整流器的基本原理及电路结构。
25. 三点式逆变器的电路结构及技术特点。
26. 三点式逆变器的主要优点。
27. v_1/f_1 二常数控制方式的基本原理、转矩特性及应用场合。
28. 恒磁通控制方式的基本原理及转矩特性。
29. 两种恒功率控制方式的基本原理及力矩特性的比较。
30. 交流机车牵引的控制方式及运行特性。
31. 交流传动机车的控制系统。
32. 转差频率控制系统的基本原理及系统结构。
33. 矢量控制系统的基本概念、基本方程及控制系统结构

构框图。

34. 直接力矩控制的基本原理、转矩控制模型及系统结构框图。

35. 我国 AC 4000 型交流电力机车控制系统的特点。

36. 交流牵引电动机的技术优越性。

37. 交流异步牵引电动机的基本结构及主要性能参数。

38. 交流异步牵引电动机的设计特点及其和系统配合要求。

39. 变频调速异步电动机的技术发展。

(二) 难点内容

1. 晶闸管电压型逆变电路的换流过程。

2. 改进型麦氏逆变电路换流特点及各元件的作用。

3. 串联二极管电流型逆变电路的换流特点及输出电压、电流波形。

4. GTO 器件的开通关断机理,对开关电路性能的要求。

5. GTO 吸收电路的构成及作用原理。

6. 四象限脉冲整流器的电路结构及调制原理。

7. 三点式逆变器的电路结构。

8. 三点式逆变器的开关模式及导通过程。

9. 恒磁通控制方式中电压和频率的调节特性。

10. 两种恒功率控制方式的转矩表达式。

11. 恒功率控制方式中的逆变器和电动机之间的容量匹配关系。

12. 交流机车牵引的运行方式。

13. 转差频率控制系统中电流和转差频率的函数关系。
14. 矢量控制系统中的数学模型及转子磁通的测量。
15. 直接力矩控制的开关状态及空间电压矢量。
16. 直接力矩控制系统的构成。
17. AC 4000 型交流机车的系统构成及控制功能。
18. 异步牵引电动机电磁设计特点及性能分析。

四、自学学时数

自学学时数为：30 学时。

五、思考题

1. 简述交流传动机车的技术优点。
2. 交流变频传动为何开辟了电气传动的广泛领域。
3. 试比较变频异步电机调速系统和自调频同步电机调速系统的特点。
4. 我国 AC 4000 型交流机车采用什么型式逆变电路，并采用何种控制系统。
5. 论述现代电力电子器件的技术水平及其发展方向。
6. 电压型和电流型交—直—交变频器主要性能比较。
7. 交—直—交变频器中间直流环节的作用、电压型和电流型储能元件有什么不同？
8. 说明麦氏逆变电路中辅助晶闸管及换流电感电容的

作用。

*9. 试画出麦氏电路换流过程的主要波形。

10. 电流型逆变器为什么能够再生运行，试分析再生运行时的能量传递关系。

*11. 试分析串联二极管电流型逆变电路输出电流波形。为什么会产生尖峰电压，和哪些参数有关？

12. 简述改进型麦氏电路的特点及其优点。

13. GTO 逆变器应用中的关键技术有哪些？

*14. 为可靠的开通和关断 GTO 器件，对其门极信号波形有哪些特殊要求？

15. 简述四象限脉冲整流器的工作原理。

16. 采用四象限脉冲整流器对改善交流电网的性能有哪些好处？试画出再生运行时其电压电流向量图。

*17. 试分析三点式逆变器有多少种开关状态，有多少个空间电压矢量？

18. 论述采用三点式逆变器的好处，说明其应用前景。

19. 恒伏赫比控制系统是否需要转速闭环控制，为什么？试画出其电压频率调节特性。

20. 恒磁通控制系统是否需要转速闭环控制，为什么？试分析其电压频率调节特性。

*21. 恒功率控制系统是否需要转速闭环控制？分析两种恒功方式下的电压、电流、转差频率和速度的关系。

*22. 如果传动系统要求较宽的恒功范围，它对逆变器和电动机的配套设计，会带来哪些影响？

23. 试述交流机车运行三个区段的意义。

*24. 综述电压型和电流型转差频率控制系统有哪些主要

环节，两者控制信号的差别是什么？

25. 构成矢量控制系统的基本思路是什么？控制系统中进行了哪些坐标变换？

26. 矢量控制在控制原理上和直流电机控制有哪些类似？试简要说明。

*27. 矢量控制系统中需要检测转子磁通，试说明可采用何种方法。

28. 构成直接力矩控制系统的基本思路是什么？写出磁链矢量和力矩的数学模型。

*29. 简述直接力矩控制系统的设计要点。

30. 直接力矩控制系统需要采集哪些电量？

*31. 简述矢量控制和直接力矩控制在国外交流机车上的应用情况。

32. 综述 AC 4000 交流机车控制系统中主要单元的功能。

33. 说明交流牵引电动机和直流牵引电动机相比在性能和经济指标方面的优越性。

34. 变频调速异步牵引电动机在结构上有哪些主要特点？

*35. 异步牵引电动机的转矩特性应满足哪些条件？

六、考试参考样卷

1. 试述现代电力电子器件的技术水平及其发展方向。

2. 简述交—直—交变频器中间直流环节的作用，电压型

和电流型电路其储能元件有什么不同。试画出两频逆变器输出电压和电流的波形。

3. 采用恒磁通控制方式和恒功率控制方式的系统是否需要转速闭环，为什么？试画出其电压、电流、转差频率和转速的特性关系。

4. 矢量控制的基本思路是什么？系统中需进行哪些坐标变换？并简述其在国外交流机车中的应用情况。

5. 综述我国 AC—4000 交流机车的主要技术性能和控制系统的特点。

参 考 书 目

- [1] 沈本荫主编. 现代交流传动及其控制系统. 北京:中国铁道出版社, 1997
- [2] 连级三主编. 电力牵引控制系统. 北京:中国铁道出版社, 1994
- [3] 吴式贤主编. 国外牵引电气设备基本情况和发展动向. 北京:机械工业出版社, 1994
- [4] 刘友梅, 黄中荣. AC 4000 交流传动电力机车的研制. 机车电传动, 1997 (1)
- [5] 刘连根. AC 4000 交流电力机车电子控制系统. 机车电传动, 1997 (1)

第二章 柴油机节能与强化技术

一、学习目的与要求

柴油机是一种热动力机械，由于它热效率高，功率范围宽广，机动性好等一系列特点，因而在工业、农业、交通运输、国防建设诸多领域得到了广泛应用。仅就铁路牵引动力而言，当前全路机车保有量在 1.5 万台左右，其中内燃机车约占 2/3。怎样用好这些内燃动力装备，充分发挥其有效的运用性能，是关系到提高社会经济运行效益的一个重要问题。再则，伴随着社会的发展，人们对社会可持续发展问题的关注日益密切，对动力机械在动力性能、经济性能、排放性能与可靠性能等方面的要求也进一步提高，为此，柴油机在其发展进程中面临着众多问题的挑战，本章就此有关问题作了扼要论述。为了适应社会发展的需要，必须追踪科技发展动态，采取相应技术对策，进一步提高、完善柴油机的工作性能，这是学习本章的目的。

柴油机是通过燃烧过程实现能量转换的。一方面柴油机工作循环依赖于石油这一社会有限资源的利用；另一方面，由于实际燃烧过程的不完善性，柴油机的有害排放又在一定程度上危害了生态环境。因此，通过本章学习，要求能用大系统的观点去认识改善柴油机工作性能与适应社会发展需要的关系，并掌握提高柴油机工作性能，减少有害排放，在降

低燃油消耗率的同时，开发石油制品的代用能源的有关基本技术措施。

二、内容提要

为了更好地适应社会发展要求，柴油机必须在发展进程中采取相应的技术对策。围绕有关基本要求，本章重点讨论了以下五个问题：

1. 改善换气过程，提高燃料喷射雾化质量，促进可燃混合气的形成；在尽可能小的空燃比下^[注1]，完善地组织燃烧，与此同时，合理地控制燃烧规律，在平稳燃烧的前提下提高燃烧的等容度^[注2]，增大工质膨胀比，减少散热损失，这样可以更好地提高燃烧的有效性，降低燃油消耗率。为实现上述要求，应注意开发机电一体化的柴油机产品，广泛应用电子技术参与柴油机工作过程的控制。

2. 据有关资料介绍，在 20 世纪末期世界各国所利用的一次能源中，45% 以上依赖于石油能源。石油资源储量有限，石油供给紧缺是我们面临的一个必然趋势。为了保障社会的可持续发展，作为热能动力机械的柴油机，在提高现有石油燃料利用率的同时，必须结合运用条件，积极开发利用非石油制品的新能源。

注 1：空燃比——每循环充入气缸的实际空气量与喷油量的质量比，它和过量空气系数一样，标志着每一工作循环气缸内部空气有效利用的程度。

注 2：燃烧的等容度——工质达到最高燃烧压力时刻，活塞至下止点的膨胀容积与气缸工作容积的比值。在理想的等容加热循环中，燃烧的等容度为 1。

3. 开发高性能的超高增压技术，在保障工作可靠性的前提下，进一步提高柴油机强化系数，增大柴油机容积功率，以满足国民经济及国防建设不断增长的需求。其中关键问题是：开发高效率的高增压比增压器；降低超高增压条件下柴油机组的机械负荷与热负荷；改善柴油机的起动性能和低负荷运行性能。

4. 柴油机是一种往复式热力发动机，在其工作过程中不仅伴随有较强烈的振动与噪声，而且在燃烧产物中还含有部分有害物质，这对周边环境都会构成污染。因此，采用综合治理措施，控制柴油机的有害排放，减少振动和噪声，提高运转平稳性，开发有利于环保的低公害动力是柴油机发展的一个方向。

5. 动力设备的高效、安全运行，是人们普遍关注的一个基本问题。为了保障柴油机可靠运行，应改革单纯依靠统计经验的定期检修的维修模式，要了解柴油机故障机理，确立表征运行状态的特征参数，利用现代检测手段及人工智能技术，开发柴油机运转状态的监测、诊断系统，合理地确定维修时机，及时调整设备技术状态，消除故障隐患。

三、重点内容与难点

1. 降低燃油消耗率是关系到节约能源及提高柴油机运用经济性的一个重要问题，其中要求掌握的重点内容是：改善燃油与空气的混合质量、促进可燃混合气的完全燃烧、提高燃烧有效性的基本措施。[※]本节的难点是要深入地理解：

为什么说改善换气过程，提高充量系数，可以提高气缸工作容积的有效利用程度？为什么说希望在尽可能小的空燃比下完善地组织燃烧过程？为什么说应在保证柴油机平稳运转的前提下，最大限度地提高燃烧的等容度？

2. 能源问题关系到社会可持续发展问题。在能源问题一节中，重点是正确理解节约石油资源，积极开发新能源的重大意义，了解柴油机中可用的代用燃料的开发利用问题。

*难点是在柴油机中推广应用重油、天然气及醇类燃料等问题与技术对策。

3. 提高作功能力是对柴油机的一个基本要求。这一节的重点是要求掌握：柴油机容积功率与强化系数的概念；提高强化系数对柴油机容积功率与工作可靠性的影响；提高柴油机平均有效压力的有效措施；超高增压比柴油机的特点。*

本节的难点是：为什么说提高废气涡轮增压器的效率，降低柴油机的机械负荷与热负荷，改善柴油机起动性能与低负荷运行性能，是采用超高增压技术实现柴油机进一步强化的重要前提？

4. 控制柴油机有害排放，减少噪声及振动，是从协调机器与人们生存环境这一基本观点提出的问题。这一节要求掌握的重点是：柴油机排气有害成分的组成及其生成机理；柴油机产生噪声与振动的基本原因。*本节的难点是控制柴油机有害排放、减少噪声与振动的基本技术措施。

5. 在开发状态监测技术，提高柴油机运行效率及工作可靠性一节，应掌握的重点是：柴油机故障的基本成因；故障诊断的目的与内容；实施适时维修的意义及其必要的技术准备。*本节的难点是：柴油机功能诊断、摩擦副状态诊断

的机理及其相关检测技术的工作原理；柴油机技术状态模式识别的基本概念。

四、自学学习数

自学学时数为：18 学时。

五、思考题

1. 根据对热动力机械的基本要求，为进一步提高性能，柴油机今后应着重解决哪些技术课题？

2. 提高柴油机燃烧过程的有效性，降低燃油消耗率的基本途径有哪些？

3. 怎样改善换气过程？提高充量系数对柴油机工作循环有什么影响？

4. 为什么说希望在尽可能小的空燃比下完善地组织燃烧过程？为实现这一目的，应采取哪些基本措施？

5. 提高燃烧的等容度对柴油机性能有什么影响？为什么说影响燃烧等容度的主要因素是可燃混合气的形成速度、燃烧速率及喷油提前角与喷油规律？

6. 影响燃油雾化质量的因素有哪些？提高喷射压力与增大喷油速率对柴油机燃烧性能有什么影响？

7. 影响柴油机可燃混合气形成速度与燃烧速率的主要因素有哪些？

8. 柴油机燃烧室的结构型式对改善可燃混合气的质量有何影响？

9. 传统的机械式燃料喷射装置在工作性能上有哪些缺点？为什么说采用电子喷射系统可以进一步改善柴油机的性能？

10. 减少柴油机散热损失的主要措施有哪些？陶瓷隔热发动机有什么特点？

11. 目前柴油机的代用燃料有哪些？在柴油机中怎样使用重油、天然气及醇类燃料？

12. 影响柴油机有效功率的因素有哪些？结合柴油机的具体用途，分析提高其功率的有效措施。

13. 什么参数称为柴油机的强化系数？它对柴油机的容积功率及工作可靠性有何影响？

14. 柴油机平均有效压力与哪些因素有关？提高平均有效压力的基本措施是什么？

15. 在废气涡轮增压柴油机中，柴油机废气能量的利用形式有几种？它们各有什么特点？

16. 什么是超高增压？超高增压比柴油机有何特点？开发超高增压比柴油机需要解决哪些基本技术问题？

17. 柴油机废气涡轮二级增压系统有何特点？

18. 在超高增压比柴油机中，采用低压缩比补燃系统的优点有哪些？

19. 分析柴油机有害排放物质的基本组成及其生成机理。怎样减少这些有害排放物质的浓度？

20. 分析柴油机产生噪声与振动的基本原因。怎样控制柴油机噪声与振动的强度？