

# 电力机车控制线路的 调试与维护

主 编 陈 林 汪 科 李 燕  
副主编 彭 涛 邵 瑞 陈 念 郭小蕊

西南交通大学出版社  
· 成 都 ·

## 内容简介

本书介绍了电力机车电气线路，对电力机车的主电路、辅助电路、控制电路、高低压试验进行详细分析，选取 SS4G 直流电力机车和 HXD1C 交流电力机车两个车型，分别对其主电路、辅助电路、控制电路进行了分析和试验。

---

图书在版编目 (C I P) 数据

电力机车控制线路的调试与维护 / 陈林, 汪科, 李燕主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2021.1  
ISBN 978-7-5643-7855-4

电... . 陈... 汪... 李... . 电力机  
车 - 自动控制系统 - 调试方法 电力机车 - 自动控制系统  
- 维修 . U264

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 244781 号

---

Dianli Jiche Kongzhi Xianlu de Tiaoshi yu Wei hu

电力机车控制线路的调试与维护

主 编 / 陈 林 汪 科 李 燕      责任编辑 / 刘 昕  
封面设计 / 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行  
(四川省成都市二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼 610031)  
发行部电话: 028-87600564  
网址: <http://www.xnjdcbs.com>  
印刷: 成都蜀通印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm  
印张 11.75 插页 1 字数 248 千  
版次 2021 年 1 月第 1 版  
印次 2021 年 1 月第 1 次

书号 ISBN 978-7-5643-7855-4  
定价 45.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换  
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

为促进职业教育院校和用人单位之间的伙伴关系，共同发展工作所需技能，通过领先领域发展能力本位课程来实现课程的现代化，在上级领导的关怀下，我们承接了亚行贷款湖南省职业教育示范项目职业能力本位课程开发项目 HN-S01（2017—2019）。该项目旨在通过确认目标岗位，拟定职业能力草案，然后再对职业能力进行重组，并进一步估算职业能力的职场需求指标，从而确认课程内涵，完成课程体系的构建。本书是基于该项目的输出成果之一。

本书以任务为导向，分任务围绕一个主题进行分析和学习。在内容组织上，重点介绍了电力机车的控制基础，以及 SS4G 型、HXD1C 型两种主流的电力机车的电气线路和控制电路，最后一个单元结合机车乘务员实际操作要求，简单介绍了乘务员一次出乘标准化作业和高低压试验。在顺序上按先直流车后交流车、先逻辑后试验、先弱电后强电进行编写。在电路分析上先主电路，再辅助电路，最后才是控制电路。

本书汇编的电力机车知识与技能，用于培养下列 7 项铁道机车专业必备的职业能力：  
能理解电力机车电传动的控制原理；  
能理解电力机车网络控制原理；  
能说明 SS4G 电力机车主要开关位置、功能及作用位置；  
能分析 SS4G 电力机车主电路、辅助电路、控制电路；  
能说明 HXD1C 型电力机车主要开关位置、功能及作用位置；  
能分析 HXD1C 型电力机车主电路、辅助电路、微机网络控制电路；  
能从事电力机车高低压试验。

学习者必须认识到，电力机车在高速行进中，工作环境复杂，任何瑕疵都可能造成严重的事故。因此，在学习过程中应该培养



本书编写过程中，得到了湖南铁道职业技术学院张莹教授的悉心指导和审定，黄剑锋老师为本书的编写提供了许多宝贵资料，在此向他们表示由衷的感谢。另外，在本书编写过程中，我们还参考了许多专家的研究成果和有关文献资料，有些资料未能一一标明出处，在此向原作者表示深深的歉意。

由于时间仓促，编者水平和经验有限，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2020年9月

## 单元 1

电力机车控制基础 .....	001
1-1 电力牵引传动系统 .....	001
1-2 直流型电力机车控制基础 .....	004
1-3 交流型电力机车控制基础 .....	00错误!未定义书签。

## 单元 2

SS4G型电力机车主电路 .....	00错误!未定义书签。
2-1 主电路概述 .....	00错误!未定义书签。
2-2 网侧电路 .....	0错误!未定义书签。
2-3 整流调压电路 .....	0错误!未定义书签。
2-4 牵引电路 .....	0错误!未定义书签。
2-5 加馈电阻制动电路 .....	0错误!未定义书签。
2-6 功率因数补偿装置 ( PFC ) 电路 .....	0错误!未定义书签。
2-7 主电路保护电路 .....	0错误!未定义书签。

## 单元 3

SS4G型电力机车辅助电路系统 .....	0错误!未定义书签。
3-1 辅助电路系统概述 .....	0错误!未定义书签。
3-2 辅助供电电路 .....	0错误!未定义书签。
3-3 辅助负载电路 .....	0错误!未定义书签。
3-4 辅助保护电路 .....	0错误!未定义书签。

## 单元 4

SS4G型电力机车控制电路系统 .....	0错误!未定义书签。
4-1 控制电源 .....	0错误!未定义书签。
4-2 整备之一：受电弓控制 .....	0错误!未定义书签。
4-3 整备之二：主断路器控制 .....	0错误!未定义书签。
4-4 整备之三：劈相机控制 .....	0错误!未定义书签。
4-5 整备之四：压缩机控制 .....	0错误!未定义书签。
4-6 整备之五：通风机控制 .....	0错误!未定义书签。

- 4-7 整备之六：制动风机控制 ……0错误!未定义书签。
- 4-8 整备之七：牵引制动转换控制 0错误!未定义书签。
- 4-9 整备之八：风速延时控制 ……0错误!未定义书签。
- 4-10 整备之九：预备控制 ……0错误!未定义书签。
- 4-11 调速之一：零位控制 ……0错误!未定义书签。
- 4-12 调速之二：低级位延时控制…0错误!未定义书签。
- 4-13 调速之三：线路接触器控制…0错误!未定义书签。
- 4-14 调速之四：调速控制 ……0错误!未定义书签。
- 4-15 调速之五：励磁接触器控制…0错误!未定义书签。
- 4-16 功补接触器控制 ……0错误!未定义书签。
- 4-17 重联中间继电器的控制 ……0错误!未定义书签。
- 4-18 钥匙互锁控制 ……0错误!未定义书签。
- 4-19 保护控制 ……0错误!未定义书签。
- 4-20 控制显示电路 ……0错误!未定义书签。
- 4-21 照明控制电路 ……0错误!未定义书签。

单元  
5

- SS4G型电力机车实践环节 ……0错误!未定义书签。
- 5-1 低压试验 ……0错误!未定义书签。
- 5-2 高压试验 …… 错误!未定义书签。

单元  
6

- HXD1C型电力机车主电路系统 … 错误!未定义书签。
- 6-1 HXD1C型电力机车主电路概述 错误!未定义书签。
- 6-2 HXD1C型电力机车网侧电路 … 错误!未定义书签。
- 6-3 HXD1C型电力机车主变压器电路 错误!未定义书签。
- 6-4 HXD1C型电力机车主变流器电路 错误!未定义书签。
- 6-5 HXD1C型电力机车牵引电机电路 错误!未定义书签。
- 6-6 HXD1C型电力机车主电路保护 错误!未定义书签。

书签。

单元  
7

- HXD1C型电力机车辅助电路系统 错误!未定义书签。  
7-1 HXD1C型电力机车辅助电路 … 错误!未定义书签。  
7-2 HXD1C型电力机车辅助变流器 错误!未定义书签。  
7-3 HXD1C型电力机车辅助负载电路 错误!未定义书签。  
7-4 HXD1C型电力机车辅助保护电路 错误!未定义书签。

单元  
8

- HXD1C型电力机车微机网络控制系统 错误!未定义书签。  
8-1 网络控制系统…………… 错误!未定义书签。  
8-2 控制电源电路…………… 错误!未定义书签。  
8-3 司机常用指令控制电路 …… 错误!未定义书签。  
8-4 司机其他指令控制 …… 错误!未定义书签。  
8-5 主变流器控制电路…………… 错误!未定义书签。  
8-6 辅助变流器控制电路 …… 错误!未定义书签。

单元  
9

- HXD1C型电力机车实践环节 …… 错误!未定义书签。  
9-1 机车乘务员一次乘务作业标准 · 错误!未定义书签。  
9-2 HXD1C型电力机车出厂低压试验 错误!未定义书签。  
9-3 HXD1C型电力机车出厂高压试验 错误!未定义书签。

参考文献…………… 错误!未定义书签。

附 图…………… 172



## 电力机车控制基础

本单元介绍电力牵引传动系统的组成及电力机车的类型；交流、直流型电力机车的基本概念、组成及控制原理；交直流电力机车变压变频及脉宽调制的相关知识。具体内容包含电力牵引传动系统、直流型电力机车控制基础、交流型电力机车控制基础。

### 1-1 电力牵引传动系统

#### 1. 电力牵引传动系统的组成

电力牵引传动系统由牵引供电和牵引动力装置两大部分组成。习惯上以车载受电弓为分界点，受电弓以上为牵引供电部分，受电弓及以下为牵引动力装置部分。

图 1-1-1 所示为电力牵引传动系统的组成示意图。

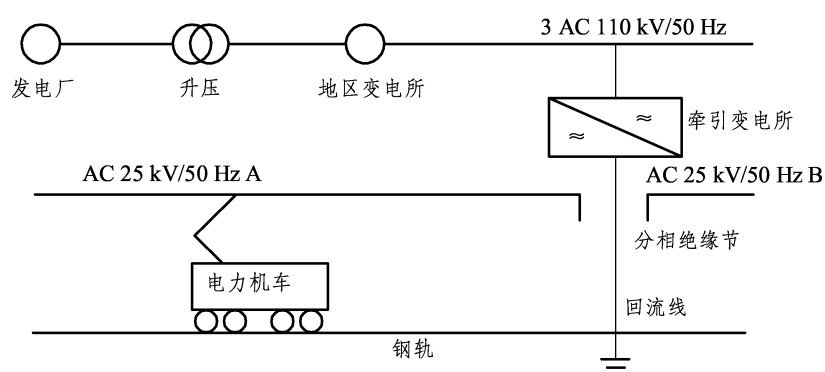


图 1-1-1 电力牵引传动系统的组成示意图

#### 2. 牵引传动系统的组成

牵引传动一般由高压电气设备、牵引变压器、牵引变流器和牵引电机等组成。

(1) 高压电气设备：完成从接触网到牵引变压器的接通与断开，主要电器有受电弓、主断路器、避雷器、高压电压互感器、高压电流互感器等。

(2) 牵引变压器：将 25 kV 高压电转换成机车电器合适的各种电压，次边包含有多个绕组。

(3) 牵引变流器：直流型机车的牵引变流器由相控整流器组成，其作用是将交流电转换成直流电，供直流牵引电机使用。交流型机车的牵引变流器由四象限整流器、中间直流环节和逆变器组成，其作用是将单相交流电转换成可变压、变频的三相交流电，供三相交流牵引电机使用。

(4) 牵引电机：实现电能与机械能的转换，分直流牵引电机和交流牵引电机两大类。

### 3. 电力机车的组成

电力机车是一种通过外部接触网或轨道供电，由牵引电动机驱动的现代牵引动力装置。电力机车由机械部分、电气部分和空气管路系统 3 部分组成。

(1) 机械部分。

机械部分包括走行部和车体。走行部是承受车辆自重和载重、在钢轨上走行的部件。车体用来安放各种设备，同时也是乘务人员的工作场所。

(2) 电气部分。

电气部分包括主电路、辅助电路、控制电路，以及它们的保护系统。

(3) 空气管路系统。

空气管路系统包括供给机车和车辆制动所需压缩空气的空气制动气路系统，供给机车电气设备所需压缩空气的控制气路系统，以及供给机车撒砂装置、风喇叭和刮雨器等辅助装置所需压缩空气的辅助气路系统。

### 4. 电力机车的类型

电力机车按用途可分为客运机车、货运机车、客货两用机车和调车机车。按供电电流及使用电机的不同，电力机车又可以分为以下几种。

(1) 直-直型：接触网电压为直流 1 500 V 或 3 000 V，如早期地铁、城轨用机车。

(2) 交-直型：又称交直型整流器电力机车，如韶山系列电力机车。

(3) 交-直-交型：简称交流机车，如 HXD 系列电力机车、CRH 系列动车组。

(4) 直-交型：主要包括城轨交流电动车组。

其中，直-直型和交-直型电力机车因使用直流牵引电机，习惯称为直流型机车；交-直-交型和直-交型电力机车使用交流牵引电机，故又可称为交流型机车。

## 5. 直流型机车和交流型机车的优缺点

直流型机车在 20 世纪 50 年代就已经出现，具有优异的调速性能，但也具有以下缺点：

- (1) 单机设计制造能力很难到达 1 000 kW。
- (2) 最高运行速度均在 3 000 r/min 以下。
- (3) 有复杂的换向装置，制造成本高。
- (4) 无法满足高速及重载铁路的要求。

使用交流电机牵引的交流型机车，目前已经成为运输设备的主要机种，其发展得益于以下 3 个领域：

- (1) 电力电子技术的发展，如 GTO（可关断晶闸管）或 IGBT（绝缘栅双极型晶体管）等电力半导体器件；
- (2) 控制理论的完善，经历模拟控制、数字控制和微机网络控制 3 个阶段；
- (3) 变频调速电源技术的突破。

相比直流型机车，交流型机车具有维护简单、可靠性高、单位重量功率密度等优点。



### 习题与作业 1-1

---

电力牵引传动系统主要由哪几部分组成？

## 1-2 直流型电力机车控制基础

### 1. 直流型电力机车

所谓直流型电力机车是指采用直流牵引电机驱动的电力机车，简称直流机车。根据供电不同，有直-直型和交-直型两种，目前以交-直型电力机车为主。

#### (1) 直-直型电力机车。

接触网使用电压为 1 500 V 或 3 000 V 直流电。采用直流串励牵引电机的电力机车，其核心是控制直流牵引电机。该类型机车的启动和速度调节是借助于调节启动电阻和牵引电机的串联并联转换来完成的。直-直型电力机车由直流电源供电、直流串励电动机驱动，通过晶闸管斩波器调阻（或调压）的方式进行调速和控制。

直-直型电力机车主要用于工矿类电力机车、城市无轨电动车组、早期有轨轨道交通车组等。

#### (2) 交-直型电力机车。

接触网采用工频（50 Hz）交流电，或 25 Hz 低频交流电。在这种供电制式下，使用直流牵引电机牵引。直流串励电动机驱动的最大优点是调速简单，只要改变电动机的端电压，就能很方便地在较大范围内实现对机车的调速。

交-直型电力机车的能量传递是将接触网供给的单相工频交流电，经自身的牵引变压器降压，再经整流装置将交流转为直流，然后向直流（脉流）牵引电机供电，从而产生牵引力，牵引列车运行。交直型电力机车在我国主要有国产韶山（SS1 ~ SS9）系列电力机车、部分进口电力机车，如 8G、8K、6G、6K 等。

交-直型电力机车的基本调速方式为晶闸管相控调压，采用闭环控制系统，如 SS4G 型、SS9 型电力机车均采用这种方式调压。

### 2. 直传动系统的组成及调速原理

#### (1) 直传动系统的组成。

直流型电力机车采用直传动系统，直传动系统主要由牵引变压器、整流调压器、平波电抗器及牵引电机等组成。

#### (2) 直传动系统的调速原理。

直流电机转速公式为

$$n = \frac{U_a - I_a \sum R}{C_e \phi} \quad (1-2-1)$$

式中  $U_a$ ——牵引电机的端电压，V；  
 $I_a$ ——牵引电机电枢电流，A；  
 $\sum R$ ——牵引电机回路总电阻， $\Omega$ ；  
 $\varphi$ ——牵引电机每级磁通，Wb；  
 $C_e$ ——电机的电动势常数。

从式(1-2-1)可知，调速有3种方法：一是调节电机的端电压 $U_a$ ；二是在电机电路中接入调速电阻，改变 $\sum R$ ；三是磁场控制，即调节励磁电流的大小。

直流型电力机车通过控制晶闸管的相位和牵引绕组的投入数量（通常为2~4段），来改变输出电压 $U_a$ 的大小。

### 3. 闭环控制系统

#### (1) 基本闭环控制系统。

其原理基于“检测偏差，纠正偏差”模式。直流型电力机车采用的闭环控制系统主要由给定单元、检测单元、比较环节、调节控制器、可控变流器和被控对象组成。

该控制系统的给定单元由司机控制器给定信号，检测单元将被控对象（牵引电机）的被调节量送入比较环节，得到一个偏差信号，作为调节控制器的输出信号，由调节控制器产生对可控变流器的控制信号，控制晶闸管的导通角，进而控制可控变流器的输出电压，即被控对象（牵引电机）的输入电压，实现对被调量的控制。

#### (2) 双闭环控制系统。

在直流型电力机车控制系统中，牵引电机的控制一般采用转速和电流的双闭环控制系统，该系统可以实现牵引电机的恒电流和恒转速运行，有利于提高机车的牵引性能。

#### (3) 恒流控制和速度控制。

恒流控制和速度控制是在整流调压电路的基础上，从电机电枢获取电流和从电机转轴上获取速度作为反馈信号。

### 4. 磁场削弱控制

磁场削弱是一种通过减少流过牵引电机的励磁电流来减小牵引电机主极磁通量进行调速的方法，分有级磁场削弱和无级磁场削弱两种，在同一牵引电机电枢电流下磁场削弱后主极磁势与磁场削弱前（满磁场）主极磁势之比称为磁场削弱系数，其表达式为

$$\beta = \frac{(IW)_{\beta}}{(IW)_{\text{m}}} \quad (1-2-2)$$

式中  $(IW)_{\beta}$  —— 磁场削弱后主极磁势；

$(IW)_{\text{m}}$  —— 磁场削弱前（满磁场）主极磁势。

$\beta$  越小，表示磁场削弱越深。当电机磁路不饱和时，可以用磁通代替磁势，但当磁路饱和后，不能用磁通代替磁势，两者的差别很大。



## 习题与作业 1-2

---

- (1) 什么是直流型电力机车？直传动系统主要由哪些部分组成？
- (2) 直流电机有哪三种调速方式？直流型电力机车主要采用什么调速方式？