

铁路职业教育教材

# 电气化铁道 供电系统

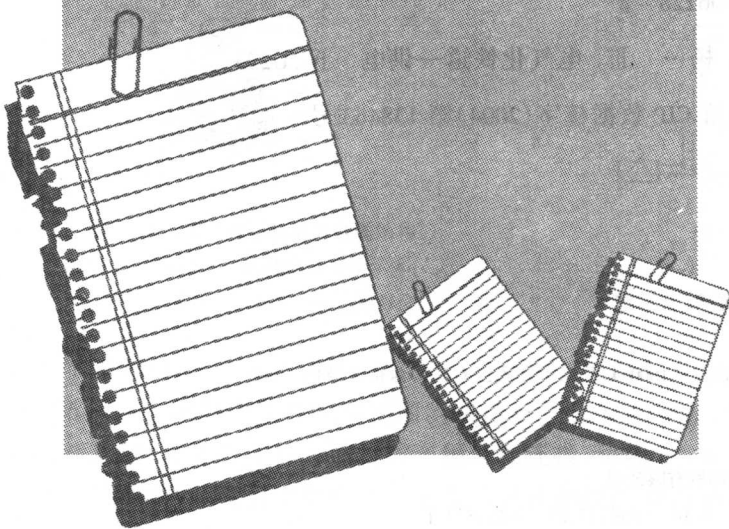
杨玉菲 主编

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路职业教育教材

# 电气化铁道 供电系统

杨玉菲 主编  
李鲁华 主审



中国铁道出版社

2006年·北京

## 内 容 简 介

本书主要介绍电气化铁道交流牵引供电系统的结构和工作原理,电力机车的工作原理和对牵引供电系统的影响,不同类型的牵引变压器的接线方式,牵引变电所的容量确定条件及计算方法,牵引网阻抗的计算方法,短路计算,牵引变电所和牵引网的电压损失及电能损失的计算方法以及减少损失的措施等。

本书为铁路职业学校铁道供电专业的教材,也可供现场有关工程技术人员学习、参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电气化铁道供电系统/杨玉菲主编. —北京:中国铁道出版社,2004.12(2006.7重印)

ISBN 7-113-06228-8

I. 电… II. 杨… III. 电气化铁道—供电 IV. U223

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 138463 号

书 名:电气化铁道供电系统

作 者:杨玉菲

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑:方 军

封面设计:冯龙彬

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16 印张:13.25 字数:322千

版 本:2005年5月第1版 2006年7月第2次印刷

印 数:3001~6000册

书 号:ISBN 7-113-06228-8/U·1724

定 价:19.00元

### 版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

编辑部电话 (010)51873134

发行部电话 (010)51873124



## 前 言

本教材是根据铁道部制定的铁路职业学校铁道供电专业教学计划及该专业教学指导委员会教材编写计划进行编写的。

为了适应职业学校铁道供电专业“电气化铁道供电系统”课程的教学和现场有关工程技术人员的需要,本次教材的编写立足于围绕培养应用型人才的需求,体现职业教学的特点。在内容上,加强了基本理论和实践知识的叙述;在文字叙述上也力求适应职业学校学生的基础理论水平,浅显易懂,便于自学。在教材的组织上调整了某些章节顺序,使其更加紧凑和更富有条理性,便于组织教学。

为了适应我国电气化铁道发展的需要,本教材补充了一些新的内容,例如:三相 V, V 接线变压器、三相不等容量变压器、非阻抗匹配平衡变压器、接触网阻抗测试、单相自耦增压变压器、交流电压自动补偿装置等内容。

本教材的另一特点是尽量贯彻了我国最新的一系列国家标准。不只是电气图形符号、文字符号、和计量单位全部采用了新国标,而且在学科内容和技术方针等方面也尽量遵循了新国标。

本教材共分九章。第一章主要介绍了电气化铁道电流制的种类和工频单相交流制牵引供电系统的结构和工作原理,并简述了电力机车的工作原理以及对牵引供电系统的影响;第二章介绍了不同类型的牵引变压器的接线方式;第三章主要分析牵引变电所的容量确定条件及计算内容;第四章介绍牵引网阻抗的传统计算方法;第五章的重点内容是短路计算,采用常用的标么制计算方法,简略分析了在不同的短路状态下的短路电流特征;第六章、第七章讲解牵引变电所和牵引网的电压损失及电能损失的计算方法以及减少损失的措施;第八章主要分析交流电气化铁道牵引负荷所产生的负序电流对电力系统的影响和采取的相应措施;最后一章从原理上分析了交流电气化铁道在通信线上产生静电感应影响和电磁感应影响的原因和改善措施,介绍了我国已采用的 BT、AT 供电方式以及采用 AT 供电方式时牵引变电所采用的变压器的接线方式。

本教材的第五章由西安铁路运输学校张刚毅编写,其余章节由西安铁路运输学校杨玉菲编写,并由杨玉菲主编,张刚毅副主编,内江铁路机械学校李鲁华主审。

本书在编写的过程中,得到了西安铁路运输学校高级讲师王永康、郑州铁路局西安职工大学的高级工程师谭秀炳、郑州铁路局西安勘探设计院高级工程师符德川的大力帮助和支持,在此,作者表示衷心的感谢。因编者的水平有限,书中的遗漏和错误在所难免,希望读者给予指正。

**编 者**

**2005年1月**

# 本书应用字符表

## 一、电气设备的文字符号

文字符号	中文含义	英文含义	旧符号
A	放电器	arreter	FD, SD
C	电容、电容器	electric capacity; capacitor	C
C	接触线	contact wire	j
Cb	电缆	Cable	
CC	电缆芯	Cable core	o
CW	通信线	correspondence wire	t
F	正馈线、馈线	feeder	
FU	熔断器	fuse	RD
G	间隙	gap	f
G	发电机、电源	generator; source	JX
KA	电流继电器	Currant relay	IJ
L	电感、电感线圈	Inductance; inductivecoil	L
L	电抗器	reactor	DK
M	电动机	motor	D
M	承力索	messenger	C
N	中性线	neutral wier	N
OC	接触网	Overhead contact system	J, w
PE	保护线	protective wier	—
PJ	电度表	Watt hour meter	wh
QF	断路器	circuit - breaker	DL
QS	隔离开关	switch - disconnecter	GK
R	电阻、电阻器	resistance; resistor	R
R	铁路、钢轨	reail	G
RF	加强线	reinforcing	Q
RT	回流线	return current line	H
S	电力系统	electric power system	XT
T	变压器	transformer	B
T	牵引网	tarctive network	Q
TA	电流互感器	current transformer	LH
TV	电压互感器	voltager transformer	YH
V	二极管	diode	D
VSO	晶闸管	thyrister	
W	母线、导线	Busbar wire	M, L, XL
WL	线路	line	L, XL
WS	屏蔽线	Shielded wire	p
Z	阻抗	impedance	z

## 二、下角标的文字符号

文字符号	中文含义	英文含义	旧符号
a	年	annual, year	n
al	允许	allowable	yx
av	平均	average	p, pj
c	计算	calculata	js
d	基准	datum	J
E	低;接地	earth; earthing	d; jd
e	有效的	efficient	yx
g	给电、带电	Give electricity	g
i	任一数目	arbitrary number	i
i	电流	current	i
k	短路	Short - circuit	d
L	负荷、负载	load	H, fz
max	最大	maximum	max
min	最小	minimum	min
N	额定,标称	nominal, rated	e
n	数目	number	n
np	非周期性的	non - periodis, aperiodic	f - zq
oc	断路	Open circuit	dl
out	输出	out	sc
p	有功功率	active power	P, yg
p	周期性的	periodic	zq
p	保护	protect	J, b
pk	尖峰	peak	jf
q	无功功率	reactive power	q, wg
r	无功	reactive	r, wg
s	系统	system	XT
st	起动	start	q, qd
t	时间	time	t
t	试验	test	s
u	电压	Voltage	u
w	结线,接线,母线	wiring	jx
$\theta$	温度	temperature	$\theta$
$\Sigma$	总和	total, sum	$\Sigma$
$\Gamma$	年运量	Annual transport tonnage	
$\varphi$	相	phase	$\varphi, p$

### 三、电气化常用英文缩写

符 号	中 文 含 义	英 文 缩 写
AT	自耦变压器(供电方式)	Auto transformer
BT	吸流变压器(供电方式)	Booster transformer
BW	吸上线	Boosting wire
CT	电流互感器	Current transformer
N	中性线	Neutral wier
NF	回流线	Negative feeder
OCS	接触网	Overhead contact system
PE	保护线	Protective wire
PF	正馈线	Positive feeder
PT	电压互感器	Potion transformer
R	钢轨	Reail
SP	分区亭	Section
SP	开闭所	Swith post
SS	变电所	substation
T	接触线、牵引供电线路	Traction power supply line
WS	屏蔽线	Shvelded wire





# 目 录



绪 论 .....	1
<b>第一章 电力系统与牵引供电系统 .....</b>	<b>4</b>
第一节 电力系统概述 .....	4
第二节 牵引供电系统 .....	5
第三节 电力机车简介 .....	11
习 题 .....	14
<b>第二章 牵引变压器及其结线 .....</b>	<b>15</b>
第一节 单相牵引变压器结线 .....	16
第二节 三相牵引变压器及其结线 .....	18
第三节 斯科特结线变压器 .....	22
第四节 阻抗匹配与非阻抗匹配平衡变压器 .....	25
习 题 .....	28
<b>第三章 牵引变电所容量计算与确定 .....</b>	<b>29</b>
第一节 计算条件 .....	29
第二节 馈线电流 .....	31
第三节 牵引变压器的计算容量 .....	36
第四节 牵引变压器的校核容量 .....	39
第五节 牵引变压器的安装容量 .....	44
习 题 .....	47
<b>第四章 牵引网阻抗 .....</b>	<b>48</b>
第一节 牵引网电阻与阻抗 .....	48
第二节 单线牵引网阻抗 .....	53
第三节 复线牵引网阻抗 .....	60
习 题 .....	67
<b>第五章 短路计算 .....</b>	<b>69</b>
第一节 三相对称短路的分析计算 .....	69



第二节	三相不对称短路的分析计算	89
第三节	牵引供电系统短路的分析计算	107
	习 题	119
<b>第六章</b>	<b>牵引供电系统的电压损失</b>	<b>121</b>
第一节	牵引网的电压损失	121
第二节	牵引变压器的电压损失	126
第三节	电力系统的电压损失和牵引供电系统的电压水平	130
第四节	改善供电臂电压水平的方法	131
	习 题	137
<b>第七章</b>	<b>牵引供电系统的电能损失</b>	<b>138</b>
第一节	牵引网的电能损失	138
第二节	牵引变压器的电能损失	141
第三节	减少牵引供电系统电能损失的措施	144
第四节	接触导线截面的选择	146
	习 题	147
<b>第八章</b>	<b>交流电气化铁道对电力系统的影响和改善措施</b>	<b>148</b>
第一节	负序电流及其影响和改善措施	148
第二节	并联电容无功功率补偿	161
第三节	谐波电流及其影响和改善措施	167
	习 题	171
<b>第九章</b>	<b>交流电气化铁道对通信线路的影响及防护措施</b>	<b>172</b>
第一节	交流电气化铁道对通信线的干扰概述	172
第二节	危险电压影响	172
第三节	杂音干扰影响	177
第四节	防护交流牵引网对通信线路干扰的措施	181
	习 题	200
	参考文献	201



## 绪 论

### 一、电力牵引的优越性

早期的铁路均采用蒸汽机车牵引,以煤为燃料。在蒸汽机车上除了有庞大的蒸汽锅炉外,还有专用煤水车箱等。因为受设备和能源的限制,蒸汽机车的牵引动力小,效率低。特别是长大坡道线路,列车的牵引定数和速度受到很大限制。

内燃机车是以柴油为燃料,利用柴油发电机—电动机组牵引列车,牵引力较大,效率比蒸汽机车高,且比电力牵引的一次投资小,故世界上很多国家目前仍以内燃机车牵引为主。

电力机车是以电能为动力牵引列车,故称之为电力牵引。实践证明,电力牵引比蒸汽机车牵引、内燃机车牵引具有更大的优越性,主要表现在以下几方面。

#### 1. 电力牵引的动力大,生产效率高

电力牵引的能量取于强大的电力系统,牵引动力大,能最大限度适应铁路运输多拉快跑的需要。据有关资料统计,电力牵引的生产效率比内燃机车的生产效率高 50% 以上,对于客货运输繁忙的铁路干线,电力牵引的这种优越性尤为显著。

#### 2. 电力牵引节省能源,经济效益好

一方面电力机车本身的电能转换效率高;另一方面,电力的生产能够高效率地综合利用各种廉价的自然能源,这对于节约国家有限的煤炭、石油资源,提高铁路运输的经济效益十分有利。

#### 3. 有利于优化生态环境,改善劳动条件

电力机车运行时不会产生有害气体,对铁路沿线的居民和列车乘客不会造成危害,特别是在多隧道的山区线路,这种无有害气体产生的优点更为可贵。电力机车的司乘人员工作条件好,维护检修工作量小,大大降低了工人的劳动强度。

电力牵引的主要缺点是:

(1) 基本建设投资较大。

(2) 对电力系统存在某些不利因素。因为铁路牵引用电是单相重负荷,将会在电力系统产生较大的负序电流和负序电压,而且电力机车的功率因数较低,高次谐波含量较大等,都会给电力系统造成不良影响。

(3) 单相电力牵引负荷会对铁路沿线附近的通信线路造成一定的电磁干扰。

(4) 接触网需要停电检修,要求在列车运行图中留有一定的所谓“天窗”时间,在此时间内列车要停止运行。

## 二、世界电气化铁道建设概况

19世纪80年代,由于发电机和直流电动机相继制造成功,世界上的许多国家就开始将电力牵引用于城市内的交通运输,且多为电压较低的直流电气化铁道。

20世纪以后,一些工业发达国家陆续开始在城市之间和运输繁忙的铁路干线上建设电气化铁道。特别是20世纪50年代以后,这些国家为了完成日益增长的运输任务,在大规模进行铁路建设的同时,大力修建电气化铁道。仅在20世纪60~70年代,前苏联就修建了2 000 km的电气化铁道,德国,法国,意大利等也都修建了数百公里的电气化铁道。

20世纪80年代以后,一些发展中国家,如印度,南非等的电气化铁道也发展很快,例如南非,1997年至1998年两年期间,就修建了7 898 km的电气化铁路。创造了世界之最。

到2000年底,世界电气化铁道总里程已达262.179 km,占世界铁路总运营里程的21.7%,其中有68个国家和地区修建了电气化铁道。现将世界上电气化铁路里程较多的几个国家列表如下:

世界上若干国家电气化铁道里程统计表

序号	国家	全国铁路运营里程(km)	电气化铁路里程(km)	电气化铁路占全国铁路运营里程的百分比(%)	电气化铁路承担铁路运量的百分比(%)
1	俄罗斯	87 560	40 978	46.8	77.7
2	德国	46 205	20 327	44.0	89.6
3	南非	23 611	19 601	83.0	92.0
4	日本	27 113	16 881	62.5	86.0
5	中国	68 649	14 770	21.5	35.5
6	印度	63 768	13 962	21.8	48.5
7	法国	33 492	14 472	43.2	86.5
8	波兰	25 184	11 655	46.3	86.4
9	意大利	19 378	11 322	58.4	92.8
10	乌克兰	23 366	8 548	36.6	64.0

可以预见,随着世界石油资源的短缺和对生态环境保护的呼声日益强烈,电气化铁道还会有更大的发展。

## 三、我国电气化铁道发展简述

建国不久,我国在大力发展铁路运输的过程中,决定在宝成铁路的咽喉宝鸡至凤州段建设电气化铁道,并根据国外的经验,采用先进的单相工频交流供电制。1960年,这条以30‰的长大坡道翻越秦岭的电气化铁道建成通车。宝—凤段电气化铁道虽然全长只有93 km,但对我国后来的电气化铁道建设却具有十分深远的意义。

然而在以后的数年内,由于我国国民经济遇到暂时困难,以及人们对电气化铁道认识的局限性,电气化铁道发展进入了所谓“十年徘徊”。而在此时,国外的电气化铁道正以每年平均修建1 000 km的速度迅速发展。

直到1968年,宝成铁路的广元至马角坝段电气化铁道重新开始修建,到1975年宝成线电气化铁道建成,电气化里程总计1 000多千米。1978年石太线的石家庄至阳泉段,1979年宝兰



线的宝鸡至天水段相继开工,此时,我国的电气化铁道发展开始走出了低谷。

1980年以后,我国进入了以经济建设为中心的发展时期,电气化铁道建设也开始了迅速发展,仅“六五”计划期间就修建了电气化铁道2 507 km,超过了过去20年电气化铁道建设的总和。“七五”期间又修建了2 787 km。电气化铁道建设的重要线路中包括陇海线、京广线、京秦线以及通往福建沿海经济特区的鹰厦线等。

20世纪90年代,我国的电气化铁道建设速度又有了新的飞跃,10年内,完成了约7 600 km电气化铁道建设,包括成昆线、包兰线、京广线的北段、京广线的南段、哈尔滨至大连等重要客货运线路,而且还修建了我国第一条时速为200 km的准高速铁路——广深电气化铁道。

在电气化铁道里程高速增长的同时,我国还大力引进和采用新技术,例如无维修或少维修接触网技术设备的采用,变电所综合自动化调度监控的无人值班变电所的建设等,使我国的电气化铁道技术逐步接近世界先进水平。

进入21世纪,我国将进一步加快铁路电气化建设工程。预计到2010年,我国的电气化铁道建设里程将达到26 000 km,电气化铁道的各项经济、技术指标将接近和赶上世界先进水平,我国也将成为世界电气化铁道的强国。



## 第一章

## 电力系统与牵引供电系统

## 第一节 电力系统概述

电力系统是指发电、送电、变电和用电组成的整体。电力系统的规模大小、结构合理与否直接关系到国家工农业生产和交通运输的发展。我国电气化铁道的建设更与电力能源的发展和建设紧密相关。

电力系统的组成可用图 1-1 的示意图说明。图中的电力系统如果把发电厂的汽轮机、锅炉、水电厂的水轮机、水库等动力部分包括进来,统称为动力系统。

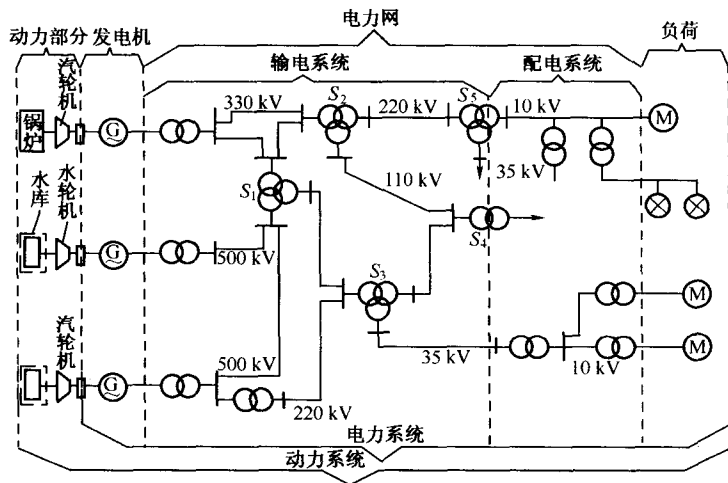


图 1-1 电力系统示意图

电力系统主要包括以下几部分:

## 一、发电厂

发电厂将其他形式的能源转换为电能。根据能源的不同,发电厂分为火电厂,水电厂,核电厂等。此外还有地热电厂,风力电厂,潮汐海洋电厂。

(一)火电厂:目前我国仍以燃煤为主的火电厂居多数。这些电厂多建在煤炭基地附近,故称为“坑口”电厂,其单机容量可达600 MW(兆瓦)。如果把已作过功的乏气再供给用户作为热能,这种电厂又称为热电厂。

(二)水电厂:水电厂是建于江河之上并把河流的落差能量变成电能的发电厂。水能发电不仅效率高,而且水能是在自然界不断循环的再生资源,具有用之不竭的特点。我国水能资源丰富,水能发电的潜力很大,目前世界最大发电机的容量为750 MW。我国水轮发电机的单机容量为700 MW,例如长江三峡装设了数台700 MW的水轮发电机。



(三)核电厂:核电厂是将原子核裂变时所产生的核能转变为电能。核电厂的重要部分是核子反应堆和蒸汽发生器,相当于发电厂的蒸汽锅炉。其发电设备仍为一般汽轮机和发电机。核电厂建设需要大量公用辅助和防护设施,故为了提高效益,核电厂的单机容量较大,近年来多在900 MW以上。

发电机一般采用三相同步发电机,电压多为10.5 kV。每台发电机都有相应的升压变压器,组成发电机—变压器组。

## 二、电力网及电网电压

电力网简称电网,由输电线路,配电线路和变电所组成。输电线路的作用是输送电能,其特点是电压较高,线路较长;配电线路的作用是分配电能,电压较低,线路较短。

电网按其规模主要分为地区电网和区域电网,前者多限于一个地区或一个省,电压等级为110~220 kV。区域电网是几个地区或几个省联合而成,电压等级为330~500 kV。

国家规定的电网额定电压分别为(kV):750、500、330、220、110、60、35、10、6等9个电压等级。

电网的电压等级不同,输送电能的容量和距离不同,如表1—1所示。

表 1—1 各级电压的输送容量与距离

线路电压(kV)	输送容量(MW)	输送距离(km)	线路电压(kV)	输送容量(MW)	输送距离(km)
0.38	0.1	0.6以下	110	10~50	50~150
6	0.1~0.2	0.6~15	220	100~500	100~300
10	0.2~2.0	6~20	330	200~800	200~600
35	2.0~1.0	20~50	500	1 000~1 500	200~850

为了提高电网的输送容量和输送距离,世界各国都在探索电压等级更高的输电线路。同时由于直流电压输电无电抗存在,稳定性好,故受到世界各国的普遍重视。我国也已建成了多条 $\pm 500$  kV的直流高压输电线路。

## 三、变电所

变电所除具有变换电压的作用外,还具有集中电能、分配电能和控制电能以及调整电压的作用。一般把变电所分为以下3种:

(一)枢纽变电所。它通常都有两个及其以上电源汇集,进行电能的分配和交换,从而形成电能的枢纽,如图1-1所示的 $S_1, S_2$ 变电所。此类变电所规模大,并采用三绕组变压器获得不同级别的电压,送到不同距离的地区。

(二)地区变电所。其作用是供给一个地区用电,如图中的 $S_3$ 等。通常也采用三绕组变压器,高压受电,中压转供,低压直配。

(三)用户变电所。此类变电所属于电力系统的终端变电所,直接供给用户电能。通常采用双绕组变压器,如图中的 $S_4, S_5$ 等。铁路牵引变电所就属于此类变电所。

## 第二节 牵引供电系统

牵引供电是指拖动车辆运输所需电能的供电形式。例如城市电车、城市地下铁道、工厂矿



山的电力交通运输供电等,都可称为牵引供电。电气化铁道供电,因其用电量大、分布广,因而形成相对独立于电力系统的电气化铁道牵引供电系统。

### 一、牵引供电系统的电流制

电气化铁道供电采用何种电流制,关系到许多重大技术问题和铁路运输的经济效益,故成为每个建造电气化铁道的国家首先要考虑的问题。目前主要有以下4种电流制。

#### (一)直流制

直流制是世界上早期电气化铁道普遍采用的方式,到目前为止,直流制在电气化铁道中所占的比例仍占43%左右。其原因是电力机车多采用机械性能好,调速方便的直流串励电动机牵引,显然,利用直流电向直流电机供电可以极大地简化机车设备。

但是受直流牵引电动机额定电压的限制,直流制供电电压较低,通常只有1500V。由于供电电压较低,要保证电力机车足够的功率,供电电流就比较大,线路损耗也大,所以,送电距离较短,一般不超过20~30km,变电所的数目相对增加。又由于电流较大,需要导线的截面大,金属消耗增加。另外,牵引变电所必须有整流设备。

在工矿企业,城市地上交通和地铁供电,由于相对距离较近,对供电的安全性却要求较高,所以采用电压较低的直流制供电更具有优越性。矿山运输的直流电压为1500V,城市电车为650~800V,地铁为720~820V。

#### (二)低频单相交流制

为了克服直流制的缺点,在20世纪初,西欧一些国家采用了低频单相交流制,并得到了较大发展。低频单相交流制的频率为 $16\frac{2}{3}$ Hz,电压也提高到11~15kV。

这些国家之所以采用低频,是因为当时这些国家有低频的工业电力,且低频的整流相对容易,低频交流的电抗也较工频小。

和直流制比较,低频单相交流制的导线截面减小,送电距离也可相应提高到50~70km。

低频单相交流制的主要缺点是供电频率与工业供电频率不同,故变电所必须有相应的变频装置,或由铁路专用的低频发电厂供电。

#### (三)三相交流制

在牵引电流制的发展过程中,个别国家,如瑞士、法国等,还采用了3.6kV的三相交流制,电力机车牵引电动机采用三相交流异步电动机。

三相交流制是三相对称负荷,不会影响电力系统的三相对称性,牵引变电所和电力机车的结构也都相对简化。而且三相异步电动机运行可靠、维护方便。主要缺点是机车供电线路复杂,特别是三相异步电动机调速比较困难。

由于三相交流制和三相异步电动机有上述优点,目前许多国家都在研究和生产变频电力机车,变频机车是一种交—直—交系统的机车。它是将接触网上的工频单相交流高压电,经机车上的变压器降压,整流滤波成直流,再经逆变器将直流变换成三相交流,并利用三相异步电动机牵引。控制逆变器能够调节三相电压的频率和幅值,实现调速和调转矩的目的。这种机车具有功率大、速度高,功率因数接近于1,并能将无功电流、通讯干扰减小到最小值的优点。

#### (四)工频单相交流制

工频单相交流制是电气化铁道发展中的一项先进供电制,最早出现在匈牙利,电压为16kV。1950年法国试建了一条25kV的单相工频交流电气化铁道。随后日本,前苏联等相继



都采用了工频交流制,电压为20 kV。由于此种电流制的优越性比较明显,很快在各国被采用,目前已占到电气化铁道的40%以上。我国电气化铁道建设一开始就采用了此种电流制,从而为后来的电气化铁道的发展打下了良好的基础。

工频单相交流制的主要优点如下:

(1)牵引供电系统结构简单。牵引变电所从电力系统获得电能并经过电压变换后,直接供给牵引网,不需要在变电所设置整流和变频设备,变电所结构大为简化。

(2)牵引供电电压增高,既可保证大功率机车的供电,提高机车的牵引定数和运行速度,又可使变电所之间的距离延长,导线截面减少,建设投资和运营费用显著降低。

(3)交流电力机车的粘着性能和牵引性能良好。通过机车上变压器的调压,牵引电动机可以在全并联状态下工作,牵引电动机并联运转可以防止轮对空转的恶性发展,从而提高了运用粘着系数。

(4)和直流制比较交流制的地中电流对地下金属的腐蚀作用小,一般可不设专门防护装置。

工频单相交流制存在的主要问题如下:

(1)单相牵引负荷将会在电力系统中形成负序电流,当电力系统容量较小时,负序电流的影响尤为突出。

(2)电力牵引负荷是感性负荷,功率因数低,特别是采用相控整流后,牵引电流变为非正弦波,出现较大的谐波电流,将使功率因数更低。

(3)牵引网中的单相工频电流将对沿线通讯线路造成较大的电磁干扰。

为了克服上述缺点,使电气化铁道的投资也相应增加。

## 二、工频单相交流牵引供电系统

工频单相交流牵引供电系统主要由牵引变电所和牵引网两部分组成。其主要作用是从电力系统取得电能,并送给沿铁路线运行的电力机车。牵引供电系统的构成可用图1-2所示的示意图说明。

### (一)一次供电网络

一次供电网络是指直接向牵引变电所供电的地区变电所(或发电厂)及高压输电线路。输电线路一般分为两路,电压为110 kV。近年来,也有采用220 kV的(哈大线),相比之下,后者电源的可靠性和稳定性等技术指标相对较高。

上述高压输电线路虽然专门用于牵引供电,但由国家电力部门修建并管理,并以牵引变电所的110 kV进线门形架为分界点。

### (二)牵引变电所

牵引变电所的作用是降压,并将三相电源转换成两个单相电源,然后通过馈电线分别供电给牵引变电所两侧的接触网。

### (三)牵引网

牵引网是由馈电线、接触网、钢轨、回流线组成的双导线供电系统。

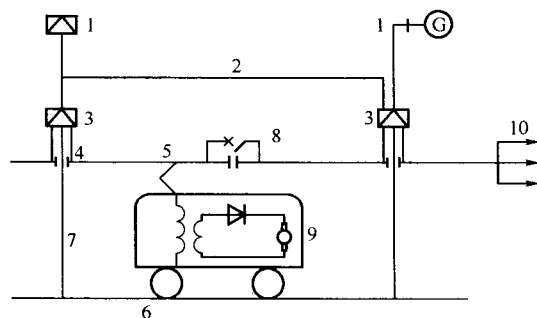


图 1-2 工频单相交流牵引供电系统示意图

- 1—区域变电所或发电厂;2—高压输电线路;3—变电所;  
4—馈电线;5—接触网;6—钢轨;7—回流线;  
8—分区间;9—电力机车;10—开闭所。