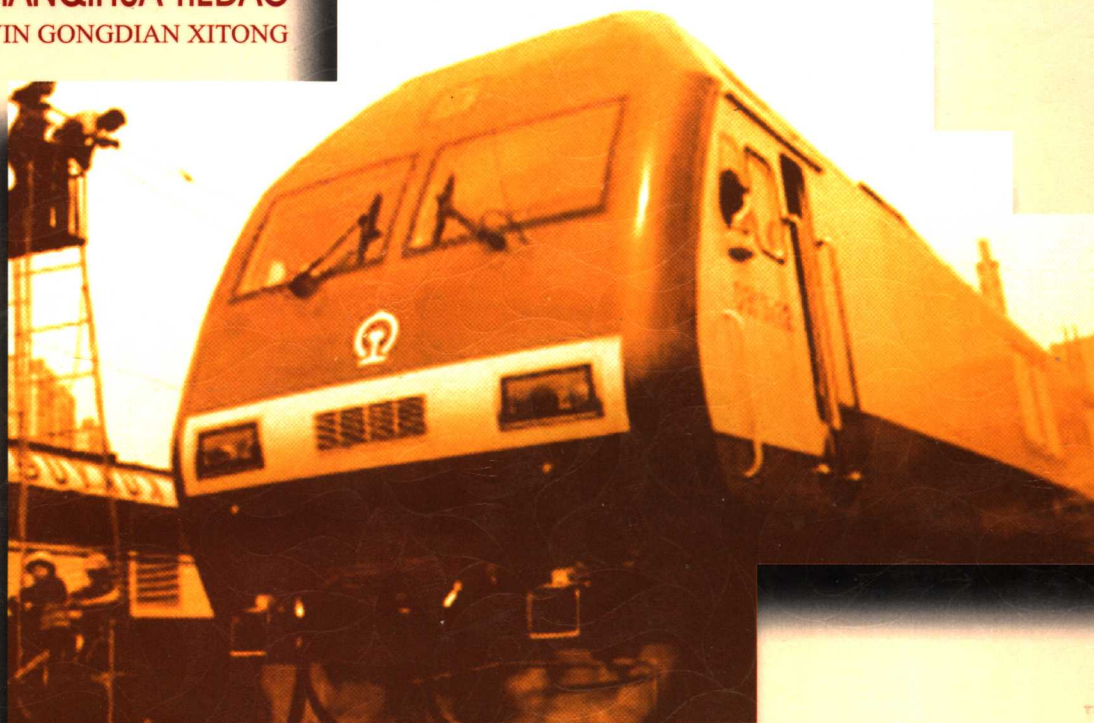


交流电气化铁道 牵引供电系统

(第二版)

谭秀炳 编

JIAOLIU DIANQIHUA TIEDAO
QIANYIN GONGDIAN XITONG



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

内 容 简 介

本书结合我国的具体情况和实践经验,全面、系统地介绍了工频单相交流电气化铁道牵引供电系统的结构、基本原理、分析方法和供电计算全过程,以及在输送电能过程中所产生的影响与相应的对策,并给出决定最重要的电气与经济参数的方法。全书共分十章以及绪论和五个附录。

本书内容丰富、翔实,取材新颖,重点突出,系统性强,理论联系实际,语言流畅,可作为高等学校铁道电气化专业(或相近专业)牵引供电系统课程(或相近课程)的教材或教学参考书。也可供同专业和相关专业的运行管理、施工、设计与科研等有关科学技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

交流电气化铁道牵引供电系统 / 谭秀炳编. —成都:
西南交通大学出版社, 2007.3
ISBN 978-7-81104-397-6

I. 交… II. 谭… III. 电气化铁道—牵引装置—供电—电力系统 IV. U224

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第023160号

交流电气化铁道牵引供电系统 (第二版)

谭秀炳 编

*

责任编辑 万 方

特邀编辑 胡芬蓉

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都市二环路北一段111号 邮政编码:610031 发行部电话:028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸:185 mm×260 mm 印张:19.875

字数:495千字 印数:3 001—6 000册

2007年3月第2版 2007年3月第2次印刷

ISBN 978-7-81104-397-6

定价:30.00元

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

第二版前言

本教材第二版与第一版相比较,除保留了第一版的全部优点和订正了第一版在排版时由于机器出现故障而导致部分外文符号存在的谬误以及其他错误之外,还具有以下特点和提高:

1. 第一章第二节中,单相 V, v 结线、三相 Y_N , d11 结线和斯科特结线牵引变电所部分改写,采用 Y_N , ∇ 结线阻抗匹配平衡变压器的牵引变电所、 Y_N , ∇ 结线平衡变压器和非阻抗匹配 Y_N , ∇ 结线平衡变压器全部重新编写。

2. 第二章第三、第四节中,平衡变压器绕组有效电流、斯科特结线变压器和平衡变压器的计算容量和最大容量全部重新编写。

3. 第四章第一节中,双线牵引网的电压损失和对应的计算举例全部改写;第二节中,开头语、三相 Y_N , d11 结线变压器和斯科特结线变压器的电压损失部分改写,平衡变压器电压损失全部重新编写。

4. 第五章第二节中,平衡变压器的电能损失全部重新编写。

5. 第六章第一节中, V, v 结线、三相 Y_N , d11 结线、斯科特结线和平衡结线变压器牵引负荷引起的负序电流全部改写。

6. 第七章第一节部分改写,第二节全部重新编写。

7. 第八章第二节中,自耦变压器容量计算大部分改写。

8. 采用新的电气设备文字符号、右下角标,以及其他修订、补充、删节和调整顺序。

以上各项是作者根据学科最新研究成果而完成的。在此过程中,得到了西安中铁勘察设计院符德川(教授级)高级工程师的帮助,编者表示衷心的感谢。现在,本教材(第二版)论述更加缜密,概念更加清晰,公式更加准确,结论更加可信,体例更加规范。尽管如此,书中遗漏和错误之处仍在所难免,诚请专家、同仁和读者给予指正。

编者

2006年12月

第一版前言

自 20 世纪 80 年代以来,我国的电气化铁道有了很大的发展。为了适应电气化铁道发展的新形势及高等学校教学、铁路技术培训和提高业务水平的需要,特编写了本教材。

本教材与原来的《电气化铁道供电系统》(文献[6])教材相比较,不仅继承了其中经典实用的内容,而且还具有以下特点:

1. 增加了许多新内容(标有*号的为新技术)。主要有三相 V, v 结线牵引变压器(*)、三相不等容量 Y_N , d11 结线牵引变压器(*)和三相 Y_N , d11, d1 十字交叉结线牵引变压器(*)简介,斯科特结线牵引变压器容量分析、电压损失、电能损失和负序电流计算,平衡变压器(涵盖 Y_N , ∇ 结线阻抗匹配平衡变压器(*), Y_N , ∇ 结线平衡变压器(*))和非阻抗匹配 Y_N , ∇ 结线平衡变压器(*))的结线特点、工作原理、容量分析、电压损失、电能损失和负序电流计算;馈线瞬时最大工作电流、最大有效电流与短时最大工作电流以及牵引母线平均电流与有效电流计算;带直接测温装置的牵引变压器(*)的过负荷;串联电容补偿主接线,单相自耦增压变压器自动调压装置(*),交流电压自动补偿装置(*);牵引供电系统电能损失的计算及减少电能损失的措施;对称分量法,不同结线形式牵引变压器负荷引起的负序电流综合分析比较,三相 V, v 结线牵引变电所换接相序;谐波电流的产生、不良影响、允许值及减少谐波影响的措施,功率因数及其标准,功率因数低的不良影响与提高牵引负荷功率因数的措施,并联电容补偿(*)的作用、原理、补偿方案、主接线和容量计算,以及可调并联电容补偿装置(*);光缆通信线路(*)简介;带回流线的直接供电方式(*),AT 供电方式(*)的牵引变电所接线方式的特点和牵引网的特点,AT 网络的电流分布、最大电压降和电能损失的计算;供电系统的应急运行。扩充了导线与接触悬挂允许载流量的确定及截面的选择,负序电流的不良影响及减少负序影响的措施,AT 和 BT 供电方式牵引网阻抗计算等。在附录中增加了牵引变压器过负荷能力的确定方法(*)和高过载能力、低阻抗电压牵引变压器的应用(*)。

2. 第一章第二节(牵引变电所)不仅增加了不少新内容和新技术,而且叙述更加充实、新颖。

3. 第二章第四节中对变压器的过负荷能力的阐述,参考和使用了新资料,即现行的《电力变压器负载导则》和《电力变压器运行规程》。

4. 第六章第一节中,不同结线形式的牵引变压器负荷引起的负序电流,都是在两供电臂负荷不相等的条件下进行分析而得出结果,至于两供电臂负荷相等的情况则是其中的特例。

5. 在介绍了牵引网对通信线路的影响与对策(第七章)以后,单列一章(第八章)来叙述可以减轻对通信线路影响的供电方式,包括带回流线的直接供电方式、自耦变压器供电方式、吸流变压器供电方式和同轴电力电缆供电方式。这样,可容纳更加丰富、创新的内容,

所占的地位也更加突出。而在第八章以前所涉及的牵引网内容,只针对直接供电方式的牵引网进行了叙述。这样更加符合辩证唯物论的认识过程,便于初学者接受。

6. 内容与新发布的《铁路电力牵引供电设计规范》等标准相吻合。

本教材可作为高等学校铁道电气化专业(或相近专业)牵引供电系统课(或相近课)教科书或教学参考书。也可供同专业和相关专业的运行管理、施工、设计与科研等有关科学技术人员参考。

本教材的绪论、第一、第二、第三、第五、第六、第八、第九、第十章和附录 A, B, C, D, E 由西安铁路运输职工大学谭秀炳编写,第四、第七章由该校刘向阳编写初稿。全书稿由谭秀炳修订和统编(主编)。编者对内容力求理论联系实际,文字叙述亦求简明扼要、深入浅出,以达到实用、方便。但因编者的水平和所掌握的资料等条件所限,书中出现遗漏和错误在所难免,恳请专家、同行和读者给予指正。

本教材在编写过程中,查阅和使用了大量参考文献与技术资料,从中获得了许多帮助和启迪;西南交通大学图书馆提供了宝贵的参考资料;郑州铁路局西安设计院,特别是符德川(教授级)高级工程师,提供了参考资料和直接帮助;西安铁路分局机务分处提供了宝贵的意见和建议;西安铁路运输职工大学领导、教务科、教委、理研室、电气化教研室等给予了无微不至的关怀和大力支持。在此,编者对所有提供了参考资料及帮助的单位 and 人员(包括参考文献与技术资料的作者)一并表示衷心的感谢。

本教材书稿送到西南交通大学出版社以后,西南交通大学简克良教授、张淑琴教授和成都铁路局袁则富(教授级)高级工程师等,对书稿进行了认真的审阅,都从整体上加以肯定,并提出了宝贵的意见和建议。据此,编者又进行了认真的修改和补充,对进一步提高本书的质量起到了加工润色的作用。西南交通大学出版社领导及有关人员对本书的出版,给予了多方面帮助和支持;尤其是责任编辑张华敏同志在本书编辑过程中,认真负责和精益求精的工作作风,令人十分钦佩。在此,编者一并表示深切的敬意和诚挚的感谢。

编 者

2001年12月

本书使用的主要符号说明

一、电气设备文字符号

新符号	中文名称	英文名称	旧符号
AT	自耦变压器	auto transformer	
BT	吸流变压器	booster transformer	
CC	同轴电力电缆	coaxial cable	
F	馈电线, 正馈线	feeder	
F	避雷器, 放电间隙, 放电器	arrester, discharger	BL, Jx, SD
FU	熔断器	fuse	RD
G	发电机	generator	F
H	集电弓, 受电弓	hoop pantograph	G
L	电抗器	reactor	X
M	电动机	motor	D
n, N	回流线, 负馈(电)线	negative feeder	h, H
QF	断路器	circuit breaker	DL
QS	隔离开关	disconnecter	GK
R	钢轨, 轨道	rail	G, g
SS	变电所	substation	
T	变压器	transformer	B
T	接触网	trolley line	J, j
TA	电流互感器	current transformer	LH
TE	电力机车变压器	engine transformer	B
TV	电压互感器	potential transformer	YH
U	整流器	rectifier	Z, BZ

二、量和单位的符号

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号
电 流	I	安[培]	A
电 压	$U, (V)$	伏[特], 千伏	V, kV
电 阻	R	欧[姆]	Ω
电 抗	X	欧[姆]	Ω

续 表

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号
阻 抗	Z	欧 [姆]	Ω
电 导	G	西 [门子]	S
电 容	C	法 [拉]	F
自感系数	L	亨 [利]	H
互感系数	M	亨 [利]	H
单位 [长度] 电阻	r	欧 [姆] 每千米	Ω/km
单位 [长度] 电抗	x	欧 [姆] 每千米	Ω/km
单位 [长度] 阻抗	z	欧 [姆] 每千米	Ω/km
单位 [长度] 自感系数	l	亨 [利] 每千米	H/km
单位 [长度] 互感系数	m	亨 [利] 每千米	H/km
视在功率	S	千伏安, 兆伏安	kVA, MVA
有功功率	P	千瓦, 兆瓦	kW, MW
无功功率	Q	千乏	kvar
电 能	A	千伏安小时, 千瓦小时, 千乏小时	kVA · h, kW · h, kvar · h
磁通 [量] 密度, 磁感应强度	B	特 [斯拉]	T
磁通 [量]	Φ	韦 [伯]	Wb
磁 阻	R_m	每亨 [利]	H^{-1}
磁导率	μ	亨 [利] 每米	H/m
频 率	f	赫 [兹]	Hz
角频率	ω	弧度每秒	rad/s
转速 (旋转频率)	n	转每分	r/min
长度, 距离	l, L	米, 千米	m, km
距 离	d, r	米	m
半 径	r, R	毫米, 厘米, 米	mm, cm, m
直 径	d, D	毫米, 厘米, 米	mm, cm, m
时 间	t	分, 小时, 日, 年	min, h, d, a
速 度	v	千米每小时	km/h
货物年运量, 运输能力	Γ	万吨每年	10^4 t/a
角	φ	度, [角] 分, [角] 秒	(°), (′), (″)
热力学温度	T	开 [尔文]	K
摄氏温度	t, θ	摄氏度	°C
系 数	K, γ, β		

续 表

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号
变压比	K, K_U, K_T		
变流比	K_I		
容量利用率, 线材利用率	η		
阻抗匹配系数	λ		
差, 损失, 损耗	Δ		

三、右下角标

新符号	中文含义	英文含义	旧符号
a	附加的	additional	
a	安 装	assembly	
A	加强线	auxiliary feeder	q
av	平均的, 平均值	average	p
b	以外	beyond	W
b	增(加电)压	boost	Z
b	短时的	brief	
br	制 动	brake	Z
C	承力索	carrier	C
C	通信线	communication line	t
c	综合的	composite	
C	对 流	convection	
c	计 算	count	j
d	基 准	datum	j
D, d	三角形, Δ 联结	delta	D, d
d	需要, 要求	demand	x
d	直流的	direct	Z
d	双线铁路	double line rail	S
E	大 地	earth	d
e	有效的	effective	x
e	励磁的	exciting	L
eq	等效的, 当量的	equivalent	ϵ
et	(列车)有效的	(train) effective	ϵ
ex	输 出	export	C

续 表

新符号	中文含义	英文含义	旧符号
ext	外边, 外部	exterior	W
f	结 构	fabric	j, J
f, F	馈电线	feeder	j, k
g	地	ground	
h, H	高 压	high voltage	
i	瞬时的	instantaneous	S
int	内 部	internal	N
k	短 路	Short-circuit	d
l	漏泄, 漏磁	leakage	g
l	线路, 电线, 线	line	x
l, L	负荷, 负载	load	f
L	回路, 环路	loop	
m	磁性的	magnetic	
m	电动机	motor	d
max	最大值	maximum	
min	最小值	minimum	
n, N	回流线, 负馈(电)线	negative feeder	h, H
N	中性点(线)	neutral	
n, N	额定的	nominal	e, E
n	非	not	f
n	次数, 次序	number	
p	平行的, 并联的	parallel	
p	允许, 容许	permit	y
p	相	phase	x
R	辐 射	radiation	
R	钢轨, 轨道	rail	g, G
r	实际的	real	S
r	回收	reclamation	H
S	屏蔽	shield	P
S	分路, 分流	shunt	F
S	静电的	static	
S	日 照	sunshine	

续 表

新符号	中文含义	英文含义	旧符号
S	同时(发生, 出现)的	synchronous	
S	电力系统	power system	x
st	起 动	start	qd
t	温 度	temperature	
t, T	三 个	three	
t	牵 引	traction	q
t, T	变 压 器	transformer	b, B
t, T	接 触 网, 接 触 线	trolley line	j, J
u	用, 使用	use	g
v	电 压	voltage	y
w	监 视	watch	
w	波	wave	B
w	(电 缆) 芯 线	component wire	C
Σ	相 加, 总 和, 合 计	summation	Ad

目 录

绪 论	1
第一章 供电系统的结构、原理与电力机车的相关知识	6
第一节 电力系统与电气化铁道供电系统	6
第二节 牵引变电所	15
第三节 牵引网	42
第四节 电力机车的相关知识	46
第二章 牵引变电所容量计算和选择	55
第一节 计算条件	55
第二节 馈线电流	57
第三节 牵引变压器的计算容量	65
第四节 牵引变压器的校核容量	69
第五节 牵引变压器的安装容量	75
第三章 牵引网阻抗	82
第一节 牵引网导线的参数	82
第二节 牵引网的等效电路及其阻抗	86
第三节 单线牵引网阻抗	89
第四节 双线牵引网阻抗	96
第四章 牵引供电系统的电压损失	103
第一节 牵引网的电压损失	103
第二节 牵引变电所的电压损失	109
第三节 电力系统的电压损失和供电臂的电压水平	115
第四节 改善供电臂电压水平的措施	116
第五章 牵引供电系统的电能损失	126
第一节 牵引网的电能损失	126
第二节 牵引变电所的电能损失	133
第三节 减少牵引供电系统电能损失的措施	138
第四节 导线与接触悬挂允许载流量的确定及截面的选择	139
第六章 牵引负荷对电力系统的影响与对策	147
第一节 负序电流	147

第二节	负序电流对电力系统的影响	160
第三节	牵引变电所换接相序	167
第四节	谐波电流	173
第五节	功率因数	184
第六节	并联电容补偿	186
第七章	牵引网对通信线路的影响与对策	194
第一节	概 述	194
第二节	危险影响	195
第三节	杂音干扰影响	209
第四节	防护措施	213
第八章	可以减轻对通信线路影响的供电方式	218
第一节	带回流线的直接供电方式	218
第二节	自耦变压器供电方式	221
第三节	吸流变压器供电方式	239
第九章	地中电流	256
第一节	牵引供电回路的地中电流	256
第二节	地中电流的近似计算	257
第三节	地中电流对地下金属管道和电缆等的影响及对策	259
第十章	供电系统设计和运行的若干问题	261
第一节	供电系统设计的程序与内容	261
第二节	供电系统的应急运行	265
第三节	牵引变电所牵引侧负序电压与 10 kV 配电装置中的三次谐波电压	270
附录 A	矩阵、概率与双曲函数	275
附录 B	列车运行图和铁路区间通过能力	289
附录 C	常用牵引供电计算方法	292
附录 D	牵引变压器过负荷能力的确定方法	298
附录 E	高过载能力低阻抗电压牵引变压器的应用	303
	参考文献	304

绪 论

一、电气化铁路的组成

铁路的牵引动力设备是机车。目前，我国铁路实际使用的机车有蒸汽机车、内燃机车和电力机车三种。与此对应的铁路牵引方式也有蒸汽牵引、内燃牵引和电力牵引三种。所谓电力牵引，就是由外电源供给动力车电能的牵引方式。采用电力牵引的铁路称为电气化铁路。

作为电气化铁路牵引动力的电力机车，本身不带能源。它必须从外部电源和牵引供电系统获得电能，电能经过变换后，输送到牵引电动机，使牵引电动机旋转来驱动车轮转动进而牵引列车运行。因此，电气化铁路除了一般的铁路线路、车站、通讯、信号等设施外，还包括特殊的牵引供电系统、电力机车以及相应的运行、维修和管理单位供电段、电力机务段、电力调度及其主管部门等。

二、我国电气化铁路发展概况

1. 确定电流制与额定电压

我国电气化铁路是从 20 世纪 50 年代初开始筹划的。当时，主要是讨论采用什么样的电流制与多高的额定电压。经过反复研究论证，结合国内外情况，确定我国电气化铁路采用工频单相 25 kV 交流制。这种电流制与额定电压在技术上、经济上都有很大的优越性，在世界各国电气化铁路建设中，已得到了广泛的应用。本教材的内容就是针对工频单相 25 kV 交流制电气化铁路而言的。

2. 电气化铁路线路和里程

我国第一条电气化铁路宝成线的宝鸡—凤州段，93 km，1958 年开工，1960 年建成，1961 年 8 月 15 日正式投入运行。从此，揭开了我国电气化铁路的序幕。

1969—1977 年，宝成线的凤州—成都段、阳安线（阳平关—安康）两条电气化铁路建成投入运行，共计约 940 km。

1980—1990 年，有石太线（石家庄—太原）、襄渝线的襄樊—达县段、京包线的丰台—大同段、成渝线（成都东—重庆西）、京秦线（丰台西—山海关）、太焦线的长治北—月山段、陇海线的郑州—兰州西段、京广线的郴州—韶关段、大秦线的韩家岭—大石庄段、湘黔线的贵阳南—大龙段、鹰厦线的来舟—漳平段、北同蒲线（太原北—平旺）、贵昆线（贵阳南—昆明）等十几条（段）电气化铁路建成投入运行，共计约 5 940 km，是 1958—1961 年的 63 倍多，是 1969—1977 年的 6 倍多。

1991—2000年,有川黔线(珞璜—贵阳南)、大秦线的大石庄—秦皇岛段、鹰厦线的鹰潭—来舟段与漳平—厦门段、京广线的北京西—武昌南段与孟庙—平顶山段、湘黔线的大龙—株洲段、兰新线的兰州西—武威南段、宝中线(虢镇—迎水桥)、包兰线的石嘴山—兰州东段、干塘—武威南段、侯月线(侯马—月山)、焦枝线的济源—关林段、襄渝线的达县—重庆西段、南昆线(南宁—昆明南)、广深线(广州东—深圳)、成昆线(成都东—昆明东)、西康线(窑村—安康东)、外福线(外洋—福州)、大准线的大同东—薛家湾段、神朔线(神池南—朔州)等二十几条(段)电气化铁路建成投入运行,共计约7800 km。其中,“八五”末(约9980 km)比“七五”末(约6970 km)增加约43%，“九五”末又比“八五”末增加约48%。

2001—2005年,即“十五”期间,有武广线(武昌—广州)的武昌—郴州段和韶关—广州段、哈大线(哈尔滨—大连)、朔黄线(朔州—黄骅)的神池南—黄骅段、娄六双线(娄底—六盘水)、宝兰双线(宝鸡—兰州东)、西安南京铁路的西安—信阳段、秦沈客运专线(秦皇岛—沈阳)、内昆线(内江—昆明)的内江—宜宾段和安边—梅花山段、水柏线(六盘水—柏果)、沟海线(沟帮子—海城)等十几条(段)电气化铁路建成投入运行,共计约5280 km,比“九五”末增加约35.7%。

截至2005年底,我国国家电气化铁路总计约20050 km,约占全国国家铁路营业里程(约75000 km)的26.7%。

2004年1月,中国政府发布的《中长期铁路网规划》指出,到2010年,全国铁路营业里程达到85000 km左右,其中客运专线约5000 km,电气化35000 km;到2020年,全国铁路营业里程达到100000 km,电气化率达到50%,建设客运专线12000 km以上。国发[2005]21号《国务院关于做好节约型社会近期重点工作的通知》要求加快发展电气化铁路,实现以电代油。可见,铁路电气化将要大力发展。

3. 牵引供电系统设施的发展

牵引供电系统向电力机车供电的方式,除了直接供电方式外,相继采用了BT供电方式、AT供电方式和带架空回流线的直接供电方式。

牵引变电所主变压器的结线形式,除了YN,d11三相结线外,相继采用了单相V,v、斯科特、 $Y_N,d11,d1$ 三相结线、 Y_N,∇ 结线阻抗匹配平衡变压器、非阻抗匹配 Y_N,∇ 结线平衡变压器、 Y_N,∇ 结线平衡变压器、三相不等容量 $Y_N,d11$ 结线牵引变压器和三相V,v结线牵引变压器等。

在断路器方面,除了多油、少油断路器外,相继采用了六氟化硫断路器和真空断路器。在断路器操动机构方面,除了电磁操动机构外,相继采用了液压机构和弹簧机构等。

在继电保护方面,除了机电型(电磁型、感应型)外,还采用了晶体管型和集成电路型继电保护,近来已广泛采用微型计算机继电保护。

在接触网悬挂方式方面,有半补偿链形悬挂、全补偿链形悬挂和补偿弹性简单悬挂等。接触线方面,除了采用较多的铜接触线、钢铝接触线外,还有钢芯铝合金复合接触线、热处理铝镁硅稀土合金接触线和内包式钢铝接触线等新型接触线。

在调度方式方面,除了电话调度外,还采用了微型计算机远动调度。

在检测技术方面,已有了接触网自动检测车、牵引网短路参数微机测试仪、牵引变压器直接测温装置和牵引变电所电气设备程控试验装置等。

另外，还有其他许多新技术在不断发展。

4. 电力机车的发展

目前，我国铁路电力机车除了少量是进口的以外，大部分是使用国产韶山 SS 型机车。SS 型机车已发展了 1~9 型（连续）等。其中，SS₄ 型货运机车应用了晶闸管电子技术，实现了无级调速，并将 6 轴改为 8 轴，机车功率达到 6 400 kW；SS₅ 和 SS₈ 型客运机车最高速度分别提高到 140 km/h 和 160 km/h；SS₉ 型客运机车最高速度又提高到 170 km/h，已初步满足牵引重载货运、大编组客运列车，进行快速或准高速运输。而且，从“八五”开始，已进行新型“交—直—交”电力机车的研制开发，它具有机车功率因数高，谐波电流干扰小，牵引性能好，牵引电动机重量轻、体积小、功率大等许多优点。

综上所述，我国的电气化铁路发展方兴未艾，前景美好。

三、电气化铁路的优越性与存在的问题

1. 电气化铁路的优越性

(1) 拉得多，跑得快，运输能力大

可满足重载、高速、大运量的铁路干线和大陡坡、长隧道的山区铁路运输的需要。

首先，就蒸汽、内燃、电力三种牵引方式的运输能力进行比较，如表 0.1 所示。

表 0.1 蒸汽、内燃、电力三种牵引方式的比较

限制 坡度	牵引 方式	运输能力 (10 ⁴ t/a)	单 线 半自动闭塞	双 线 自动闭塞
		线路		
6 ‰	电 力 牵 引		2 700	6 200
	内 燃 牵 引		2 000	5 600
	蒸 汽 牵 引		1 400	3 600
12 ‰	电 力 牵 引		1 400	3 400
	内 燃 牵 引		900	3 200
	蒸 汽 牵 引		700	1 970

再以我国第一条电气化铁路——宝凤段为例，以其电气化开通前后的运输能力进行比较，如表 0.2 所示（该区段限制坡度为 30 ‰）。

表 0.2 宝凤段电气化开通前后比较

项 目	电 气 化 前	电 气 化 后
牵引定数 (吨/列)	960	2 400
行车速度 (km/h)	20	50
年 运 量 (10 ⁴ t/a)	250	1 300

(2) 节约能源消耗, 综合利用能源

蒸汽牵引要燃烧优质煤, 其总功效(做功效率)一般约为 6%。内燃牵引要以价格较高的柴油为燃料, 其总功效约为 25%。电力牵引从现代化的电力系统取得电能, 如果是火力发电, 电力牵引的总功效也可达到 25%; 如果是水力发电, 电力牵引的总功效高达 60%; 如果按火力、水力发电综合考虑, 电力牵引的总功效约为 30%。水力发电占的比例越大, 电力牵引的总功效越高。

由于电力牵引是从电力系统取得电能, 而电力系统可综合利用水力、风力、煤炭(包括劣质煤)、重油、天然气、原子能(也叫核能)等各种能源发电, 所以电力牵引可以综合利用各种能源, 达到经济合理地使用国家能源的目的。

(3) 经济效益好

首先, 电力牵引的上述两个优点, 必然能产生好的经济效益, 大大降低运输成本。而且电力机车不需添加燃料, 速度快, 宜跑长交路, 从而减少了检修基地、机器设备和人员; 电力机车功率大, 拉得多, 跑得快, 周转时间短, 减少了机车运用台数; 电力机车可实现电气制动, 在长而大的下坡道上, 可减少机车和车辆的闸瓦磨耗, 节省大量金属; 电力机车的电机和电器等运行可靠, 检修周期长、次数少等, 这些都能促使运输成本大大降低。不仅如此, 电力牵引基建投资回收期也短, 运量越大的线路越显著。例如, 单线区段, 如果年运量为 1 000 万吨, 基建投资回收期约 10 年; 如果年运量达 1 500 万吨, 回收期约 8 年; 双线区段, 如果年运量为 4 000 万吨, 则回收期约 4 年。

(4) 对环境无污染, 劳动条件好, 有利于实现净化运输

蒸汽机车在运行中会排出大量煤烟, 其中的一氧化碳、二氧化碳和散发的高温空气对人体危害很大。内燃机车运行时, 排出的油烟中含有丙烯醛、甲醛氮氧化物、一氧化碳等有害物质, 对人体也有危害。这些危害, 在山区、多隧道的铁路上更加明显。

电力机车运行时, 不会产生上述有害气体。对环境无污染, 铁路乘务人员劳动条件好, 旅客比较舒服, 铁路沿线居民不受煤烟、油烟之害, 有利于实现净化运输。不仅如此, 而且电力机车启动稳、加速快, 既使旅客舒服, 又缩短旅行时间。特别是采用先进的无级调速装置, 使调速更平稳。电力机车运行在长而大的下坡道上实行电气制动时, 既可提高列车下坡速度, 又使制动平稳, 改善运行状态。电力机车的采用不仅减少乘务员人数, 而且使他们的工作条件大为改善。

(5) 有利于铁路沿线实现电气化, 促进工农业发展

因为牵引供电系统除了主要向电力机车供电以外, 还可以解决无地方电源地区的铁路其他用电, 以及铁路沿线的城镇、乡村小量用电。

2. 电气化铁路存在的问题

在介绍电气化铁路的优越性的同时, 也要指出它存在的下列问题:

- ① 对给电气化铁路牵引负荷供电的电力系统造成负序电流和高次谐波含量增大、功率因数降低等不良影响;
- ② 对沿电气化铁路架设的通信线路有干扰;
- ③ 基建投资比蒸汽牵引和内燃牵引大;
- ④ 接触网检修需要“天窗”时间。

显然，第③、④个问题可利用其基建投资回收期短及运输能力大的优点得到弥补。对于第①、②方面的问题，也已研究出行之有效的对策。

四、本书的研究对象

《交流电气化铁道牵引供电系统》是铁道电气化专业的必修专业课程之一。它是学习电气化铁道总体供电方案设计知识和技能的课程。它主要研究解决电气化铁道设计和运营中的重大技术和经济问题，即研究交流电气化铁道牵引供电系统的结构、基本原理、分析方法和供电计算全过程，以及在输送电能过程中所产生的影响与相应的对策，并给出决定最重要的电气与经济参数的方法。内容包括电力系统、牵引变电所和牵引网的结构原理，电力机车的相关知识，牵引变电所容量计算和选择，牵引网阻抗、牵引供电系统的电压损失与电能损失计算，改善供电臂电压水平与减少牵引供电系统电能损失的措施，导线与接触悬挂允许载流量的确定及截面的选择，牵引负荷对电力系统的影响（负序电流、高次谐波、功率因数）与对策，牵引网对通信线路的影响（危险电压、杂音干扰）与对策，可减轻对通信线路干扰影响的供电方式（带回流线的直接供电方式、自耦变压器供电方式、吸流变压器供电方式、同轴电力电缆供电方式），地中电流及其对地中金属管道、电缆等的影响与对策，供电系统的设计与运行的若干问题等。本课程的专业性和总体性比较突出，涉及的理论性问题较多。在学完了高等数学、物理学等基础课与电路、电机学等专业基础课之后，才学习本课程。