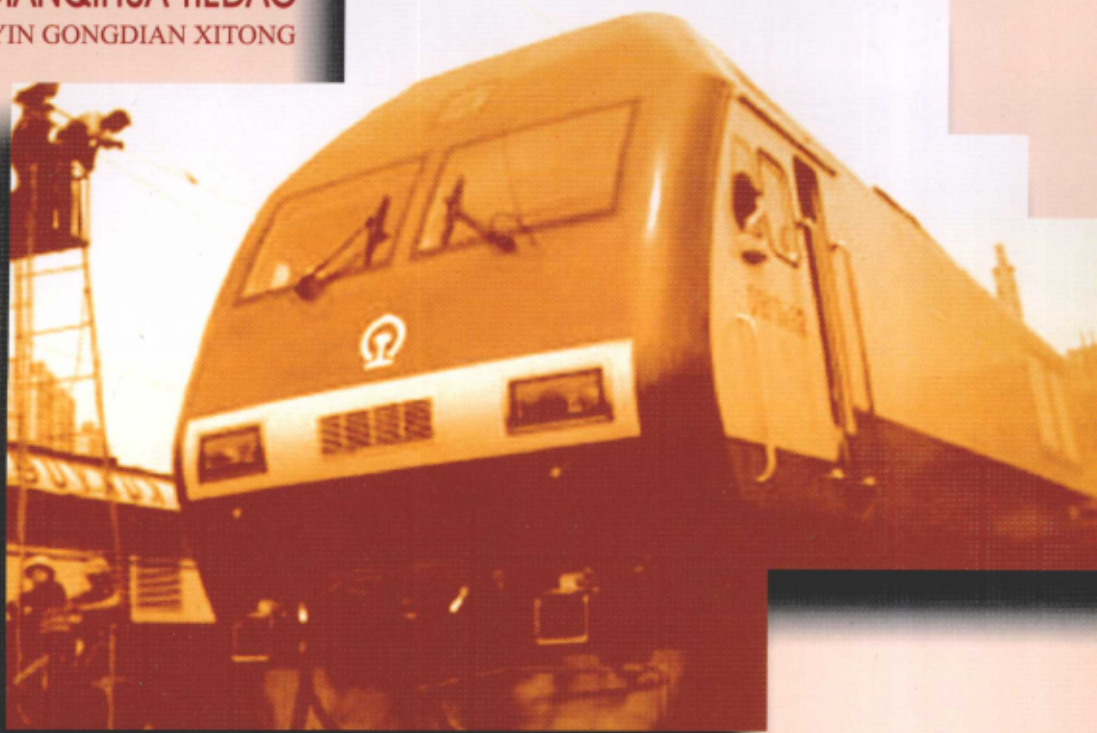


交流电气化铁道 牵引供电系统

(第三版)

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)

责任编辑 / 万 方

特邀编辑 / 胡芬蓉

封面设计 / Design  本格设计

交流电气化铁道 牵引供电系统

JIAOLIU DIANQIHUA TIEDAO
QIANYIN GONGDIAN XITONG

ISBN 978-7-5643-0243-6



9 787564 302436 >

定价:30.00 元

交流电气化铁道牵引供电系统

(第三版)

谭秀炳 编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

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. —3版. —成都:西南交通大学出版社, 2009.6
ISBN 978-7-5643-0243-6

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 (2009) 第 097188 号

交流电气化铁道牵引供电系统 (第三版)

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: 20.125

字数: 503 千字 印数: 6 001—9 000 册

2002 年 3 月第一版

2007 年 3 月第二版

2009 年 6 月第三版 2009 年 6 月第 3 次印刷

ISBN 978-7-5643-0243-6

定价: 30.00 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

第三版前言

本教材第三版与第二版相比较,除保留了第二版的全部优点之外,主要有以下修改和提高:

1. 为了适应高速电气化铁路发展的新形势,第十章增补了一节“高速电气化铁路供电系统设计的主要原则”。

2. 根据国家标准《电能质量 公用电网谐波》(GB/T14549)的规定,第六章第四节第三部分第7项,以“公用电网谐波电压限值和谐波电流允许值”取代了原来的“电气化铁道的谐波允许值”。

3. 以《电气工程师手册》第3版(文献[17])为依据,对表1.1“发电机电抗”和表6.3“电力系统各元件负序电抗”中原来的同步电机电抗数值进行了修改,用现在的同步电机电抗典型值取代了沿用20世纪50年代及以前苏联制造的同步电机电抗平均值;对第六章第二节第二部分负序电流允许值标准的内容进行了充实。

4. 在第一章第二节第五部分中,删除了原来的“供电臂长期允许电流 I ”,以便重点突出。

5. 订正了原来存在的个别错误、不规范和不严密的词语或表述,个别地方进行了少许增删。

在上述修改过程中,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。由于编者的水平和所掌握的资料等条件有限,书中遗漏、不妥和错误之处仍可能存在,诚请专家、同仁和读者给予指正,编者十分感谢。

编者

2009年5月

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 联结、三相 Y_N , d11 联结和斯科特联结牵引变电所部分改写，采用 Y_N , ∇ 联结阻抗匹配平衡变压器的牵引变电所、 Y_N , ∇ 联结平衡变压器和非阻抗匹配 Y_N , ∇ 联结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、斯科特联结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 联结变压器和斯科特联结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 联结、三相 Y_N , d11 联结、斯科特联结和平衡联结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. 删除了第八章第四节同轴电力电缆供电方式，第十章原第二节供电系统的经济运行和第十章第三节原第一部分两台并联运行的牵引变压器一台解列。

9. 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本学科最新研究成果和新发布的《铁路电力牵引供电设计规范》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，但因编者的水平和所掌握的资料等条件所限，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 联结牵引变压器(*)、三相不等容量 Y_N , d11 联结牵引变压器(*)和三相 Y_N , d11, d1 交叉联结牵引变压器(*)简介,斯科特联结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 , ∇ 联结阻抗匹配平衡变压器(*), Y_N , ∇ 联结平衡变压器(*))和非阻抗匹配 Y_N , ∇ 联结平衡变压器(*))的联结特点、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,不同联结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 联结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,同轴电力电缆供电方式(*);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《油浸式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,不同联结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）牵引供电系统课程（或相近课程）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
L	电抗器	motor	X
M	电动机	negative feeder	D
n, N	回流线, 负馈(电)线	pantograph	h, H
P	集电弓, 受电弓	reactor	G
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	($^\circ$), ($'$), ($''$)
热力学温度	T	开 [尔文]	K
摄氏温度	t, θ	摄氏度	$^\circ\text{C}$
系 数	K, α, 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		
交流比	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, 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
ext	外边, 外部	exterior	W

续 表

新符号	中文含义	英文含义	旧符号
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, 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	次数, 次序	number	
out	输出	output	c
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, 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	
S	同时(发生, 出现)的	synchronous	
S	电力系统	power system	x

续 表

新符号	中文含义	英文含义	旧符号
st	启动	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	41
第四节 电力机车的相关知识	45
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	高速电气化铁路供电系统设计的主要原则	265
第三节	供电系统的应急运行	268
第四节	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	273
附录 A	矩阵、概率与双曲函数	278
附录 B	列车运行图和铁路区间通过能力	292
附录 C	常用牵引供电计算方法	295
附录 D	牵引变压器过负荷能力的确定方法	301
附录 E	高过载能力低阻抗电压牵引变压器的应用	306
	参考文献	307

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(魏镇—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7 800 km。其中,“八五”末(约9 980 km)比“七五”末(约6 970 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5 280 km,比“九五”末增加约35.7%。

进入“十一五”以来,又有京津城际客运专线等电气化铁路建成投入运行。截止到2008年10月我国电气化铁路兴建五十周年,电气化铁路总里程达26 000 km,电气化率达32.7%。

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85 000 km左右,其中客运专线约5 000 km,电气化铁路35 000 km;2008年11月,调整后的该规划指出,到2020年,全国铁路营业里程达到120 000 km,电气化率达到50%,建设客运专线16 000 km。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联结形式,除了YN,d11三相联结外,相继采用了单相V,v、斯科特、 $Y_N, d11, d1$ 三相联结、 Y_N, ∇ 联结阻抗匹配平衡变压器、非阻抗匹配 Y_N, ∇ 联结平衡变压器、 Y_N, ∇ 联结平衡变压器、三相不等容量 $Y_N, d11$ 联结牵引变压器和三相V,v联结牵引变压器等。

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和综合自动化系统。

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。