

# 电气化铁路技术

[日]電気学会 編  
電気鉄道における教育調査専門委員会  
杨中平 译

DIANQIHUA

JISHU

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

# 最新 電氣鐵道工学 (改訂版)

## 电气化铁路技术

[日] 電氣学会 電氣鐵道に對する教育調査専門委員會 編  
常州大学图书馆 藏书章  
杨中平 译

中国铁道出版社

2015年·北京

# 北京市版权局著作权合同登记 图字 01-2013-6686

電気学会 電気鉄道における教育調査専門委員会

最新 電気鉄道工学(改訂版)

コロナ社

Latest Technologies of Electric Railway(Revised Edition)

Copyright © 2000 by The Institute of Electrical Engineers of Japan & Corona Publishing Co., Ltd. All rights reserved.

Chinese translation rights arranged with Corona Publishing Co., Ltd. Tokyo, Japan through Tuttle-Mori Agency, Inc. Tokyo, Japan.

## 图书在版编目(CIP)数据

电气化铁路技术 / 日本电气化铁道科研委员会编;  
杨中平译. —北京:中国铁道出版社, 2015. 1

ISBN 978-7-113-19884-8

I. ①电… II. ①日… ②杨… III. ①电气化铁道  
IV. ①U22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 010585 号

书 名: 电气化铁路技术  
作 者: [日] 電気学会 電気鉄道における教育調査専門委員会 编  
译 者: 杨中平 译

责任编辑: 黄璐 孙楠 编辑部电话: 010-51873138 电子信箱: tdpres@126.com

封面设计: 崔丽芳

责任校对: 胡明锋

责任印制: 陆宁 高春晓

出版发行: 中国铁道出版社(100054, 北京市西城区右安门西街 8 号)

网 址: <http://www.tdpres.com>

刷: 北京大兴县新魏印刷厂

次: 2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

本: 880 mm×1 230 mm 1/32 印张: 10.25 字数: 292 千

号: ISBN 978-7-113-19884-8

定 价: 42.00 元

## 版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书, 如有印制质量问题, 请与本社读者服务部联系调换。

电话: (010) 51873174(发行部)

打击盗版举报电话: 市电(010) 51873659, 路电(021) 73659, 传真(010) 63549480

网址: <http://www.tdpres.com>

# 日本电气化铁路教育调查专门委员会构成

## (按日语五十音图顺序)

|      |       |                     |
|------|-------|---------------------|
| 委员长  | 持永芳文  | ((财)铁道综合技术研究所) 工学博士 |
| 委员   | 油谷浩助  | (富士电机(株))           |
|      | 新井浩一  | ((株)东芝)             |
|      | 石津一正  | (东海旅客铁道(株))         |
|      | 伊藤兴一郎 | (日本铁道建设公团)          |
|      | 伊藤二郎  | (电气技术开发(株))         |
|      | 海老塚龙次 | (东洋电机制造(株))         |
|      | 江间敏   | (沼津工业高等专门学校)        |
|      | 小谷哲夫  | (西日本旅客铁道(株))        |
|      | 西條隆繁  | (芝浦工业大学) 工学博士       |
|      | 齐藤八郎  | (东铁工业(株))           |
|      | 坂口勉   | ((社)日本铁道电气技术协会)     |
|      | 佐藤正夫  | (铁道情报系统(株))         |
|      | 白土义男  | ((株)京三制作所)          |
|      | 曾根悟   | (东京大学) 工学博士         |
|      | 中村英夫  | (日本大学) 工学博士         |
|      | 服部辉夫  | ((社)民营铁道协会)         |
|      | 藤江恂治  | ((株)高岳制作所)          |
|      | 水间毅   | (运输省交通安全公害研究所) 工学博士 |
|      | 宫地正和  | (东日本旅客铁道(株):途中退任)   |
|      | 高田忍   | (东日本旅客铁道(株):途中就任)   |
|      | 柳泽和俊  | (日本 TELECOM(株))     |
|      | 米泽朗   | (运输省铁道局)            |
| 干事   | 丰田瑛一  | ((株)日立制作所)          |
|      | 藤井保和  | ((财)铁道综合技术研究所)      |
| 干事助理 | 兔束哲夫  | ((财)铁道综合技术研究所)      |

(1998 年 3 月)

## 译者序

日本是一个铁路技术先进、轨道交通发达的国家,倘要分析其中的缘由,我以为日本的相关技术书籍发挥了独特而重要的作用。种类全、新书多、涉及面广、信息准确是日本铁道技术书籍的显著特点。通过这些书籍,铁路行业的人们或铁路爱好者很容易获得自己需要的专业知识。日本没有一所专门从事铁道技术教育和研究的大学,只是在少数几所大学里有为数不多的教授在从事铁道技术研究,师从这些教授的研究生,倘若只是通过有限的几十个学时的课堂教学,是不可能掌握专业知识的,自己购买专业书籍来自学是最有效的途径。

从1997年至2002年,我在日本留学,在学生时代阅读过的专业书籍中,2000年由日本电气学会所属的“电气化铁路教育调查专门委员会”编写的《电气化铁路技术》(日文书名为《最新 電気鉄道工学》)是使我获益良多的一本书。该书出版后在日本广获好评,截至2012年共再版了4次。该书之所以受到日本铁道界的欢迎,我认为主要有以下三个方面的原因:

第一,介绍的专业知识系统、全面。读者通过该书不但可以学习到电气化铁路的线路、车辆、牵引供电、通信信号、客运服务等各子系统的专业知识,还可以了解到城市公共交通系统、磁悬浮铁路、世界高速铁路等方面的知识。

第二,反映了日本最新的铁路技术。该书的作者由26位一线的知名学者和专家构成,他们在书中及时反映了2000年第一版问世时的日本的最新铁路技术,如超导磁悬浮技术、低地板现代有轨电车技术、新交通系统技术等。在第4次再版时,为了反映最新的技术发展状况,作者们对相关统计数据、涉及的技术标准和新技术等内容又进行了重新修订。

第三,反映了日本与其他国家、特别是欧洲国家在铁路设计理念上的差异。该书阐述了日、欧在铁路系统安全、装置冗余、牵引供电系统接地等方面的设计理念上的差异,这无疑极大地拓宽了读者的视野。

2004年,我回到北京交通大学工作。从那时起,便希望把自己曾经阅读过的自认为优秀的日本专业书籍在国内翻译出版,那样对我国铁路行业的技术人员和在校学生或许有一定的帮助,也算自己为社会做一点儿切实的事情。但这个看似简单的希望,竟因为这样那样的原因一直没能实现。岁月匆匆,一转眼到了2012年,我再次想起这件事情来,决定首先翻译出版这本《电气化铁路技术》,并得到我留学时的导师、原东京大学曾根悟教授(现东京大学名誉教授)的支持。通过曾根悟教授的介绍,我很快与电气化铁路教育调查专门委员会的委员长持永芳文博士取得了联系,在他的热心帮助下,该书所有作者和Corona出版社都同意该书在中国翻译出版。在此,谨向他们表示最衷心的感谢!

好的文学作品的翻译是要讲究“信、达、雅”的,也许,技术书籍的翻译对“雅”没有特别的要求,但在“信”和“达”这两点上的要求与文学作品的翻译是一样的。其中,我认为“信”是对技术书籍翻译的起码要求,但一旦动手翻译,才发现要做到“信”这一点也委实不易,除了自己的中、日文水平有限,该书涉及的知识面广而自己的专业知识不足之外,还有一个原因是中日之间的铁路技术背景差异较大,有些日文术语的内涵与我国有所不同,甚至很难找到对应的中文。例如,日文中的“電車”通常是指动力分散的电动车组,而在我国“电车”通常是指有轨电车或无轨电车;日文中的“電気車”包含了电力机车、电传动内燃机车、电动车组、电传动内燃动车组等,与“電気車”意思相近的中文有“电传动车辆”或“电气列车”,但终究不能完全反映其内涵,不得已,本书只好直译为“电气车”。至于“达”,尽管我在保证“信”的前提下尽了自己的努力,但相信读者仍能看出不少“硬译”的地方,希望读者谅解,也希望能得到读者的批评和指正。

本书的第5、6章由北京交通大学的刘文正教授与本人共译,第7、8章由西安理工大学的黑新宏教授与本人共译,文责在本人。在翻译过程中,持永芳文博士、曾根悟教授解答了很多翻译中的技术问题,在此谨向他们表示诚挚的谢意。北京交通大学的吴命利教授、曾国宏副教授、林飞副教授、肖宏副教授、张琪副教授,西南交通大学的池茂儒教授,西安理工大学谢国副教授,青岛四方车辆股份有限公司的梁建英总工程师、杨基宏

教授级高级工程师、金泰木高级工程师,同济大学的吴萌岭教授,北车青岛四方车辆研究所的陈凯副所长,中国铁道科学研究院的周忠良博士,北京城建设计发展股份有限公司的李猛先生等都对翻译稿件提出了宝贵意见,在此向他们表示衷心的感谢。北京交通大学电气工程学院硕士研究生耿宇宇同学协助整理了本书的中文版图片,Corona 出版社编辑部的中原铁弥先生、中国铁道出版社的黄璐编辑和孙楠编辑为本书的出版付出了大量的心血,在此向他们一并致谢。

2015 年 1 月 25 日

杨中平记于北京

## 《电气化铁路技术》中文版出版序言

近年来,中国高速铁路取得了令人瞩目的发展。中国高速铁路采用的是从日本和欧洲引进后进行了改良、发展的技术,正如 CRH380A 和 CRH380B 型动车组所体现的那样,有着很大差异的两种方式并存着。下一步,该是中国自主开发设计出最适合中国的方式的阶段,而要实现这一点,将面临前所未有的困难。这是因为,日本和欧洲都根据自身所处的条件而形成了不同的发展形式,而中国所处的条件与日本、欧洲都不尽相同。就日本铁路的特殊性而言,既有像接地方式等其他国家不太常见的地方,也有为了稳定地进行高频率、大运量运输所要求的高可靠性等在东亚具有共性的地方。

在高速铁路之前,从 1980 年起中日间就在货运机车(K6)以及修建煤炭运输的电气化铁路(大秦线)等方面有着很长的技术交流历史。

仅次于高速铁路,在中国将得到大发展的是广义上的城市轨道交通。地面上的干线铁路与城市中的地铁井水不犯河水的发展现状绝不可能是理想的。日本从 1930 年起市郊电动车组就得到发展,至 1960 年,出现了市郊电动车组与城市中心地段的地铁实现相互直通运行这一新的世界模式。在欧洲,也有在瑞士和德国被广泛采用的类似的 S-Bahn 模式。各国根据各自的需要实现了发展。从 CRH6 型动车组上可以看出中国也欲在此领域有所发展的迹象。在这一点上,日本的想法及有关事例将是中国很好的参考。

当然,本书原本是面向日本读者,解说的重点在于为什么会这样,而至于前提条件,认为那是不言自明的,所以没有特别做说明。如若以本书作教材,教师需要留意此处,就前提条件做补充说明。

一个本书翻译出版的介绍人 曾根恒

2014 年 11 月

## 前 言

日本最早的铁路建于 1872 年,铺设于新桥—横滨之间,运行管理采用莫尔斯通信。之后,通信分为用于信息交换的通信技术和保障运行安全的信号技术并分别发展。1895 年,日本最早的直流 500 V 方式电气化铁路在京都市投入运营,紧接着陆续开通了近郊铁路。1906 年,日本国铁收购甲武铁道,同年国铁在中央线“御茶水—中野”区间开始了电气化运行。其后,随着运量的增加,直流 1 500 V 供电方式以及工频单相交流供电技术开始实际应用,这成为了高速铁路新干线诞生的原动力。

从那以后,电气化铁路一直在电气技术重要的实际应用领域中扮演着先驱者角色。近年来,电子技术发展显著,电传动车辆、牵引供电设备、信号安全装置以及信息系统等都积极吸收新技术,为列车的高速化和增加运输能力做出了贡献。此外,以速度 300 km/h 高速运行的新干线、使用直线电机的铁路以及各种城市交通系统陆续出现,不断地给社会生活带来巨大的影响。这些铁路大多基于全新的技术,因此支撑这些铁路的技术人员如何得到学习这些新技术的机会,并获得适当的资料,便成为一个必须解决的课题。

在此背景下,探讨适应新时代的电气化铁路技术的教育方式,编写作为教育基础的教材便成为一件迫在眉睫的事情。为此,电气学会设置了“电气化铁路教育调查专门委员会”,从 1996 年 4 月到 1998 年 3 月,委员会对大学和铁路企业的教育现状、业界对教育的期待、应引入教育的铁路新技术等方面进行了调查。

调查结果显示,从事铁路工作的技术人员对于教育的期待尤其强烈。为了更好地培养从事铁路工作的年轻技术人员,以及帮助第一线的技术人员学习周边知识,我们整理出版了这本单行本,以此代替此次的铁路技术调查报告。

最后,向参与写作和编辑本书的诸位致以诚挚的谢意。

电气化铁路教育调查专门委员会

委员长 持永芳文

2000年7月

## 写于第一版第五次印刷(改订版)之际

自本书第一版第一次印刷以来已经过去了十一年。为了能让本书长时间发挥作用,书中主要讲述了相关基本原理,但在过去的十一年里,技术进步很快,当初的统计数据已经显得陈旧,而且很多技术标准都已经改定,而且还出现了很多新技术。

因此在第五次印刷(改订版)之际,我们在不改变本书基本结构的基础上,对一部分内容进行了修订。希望这些修订能对广大读者理解最新的电气化铁路技术有所帮助。

持永芳文  
2012年3月

# 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 1 导 论 .....                | 1  |
| 1.1 信息化社会与交通系统 .....       | 1  |
| 1.2 电气化铁路的历史和发挥作用的领域 ..... | 2  |
| 1.3 电气化铁路与环境和谐 .....       | 7  |
| 1.4 铁道行业制度和相关法规体系 .....    | 11 |
| 2 线 路 .....                | 15 |
| 2.1 线路概述 .....             | 15 |
| 2.2 轨道结构 .....             | 16 |
| 2.3 曲 线 .....              | 21 |
| 2.4 道 岔 .....              | 23 |
| 2.5 建筑限界和车辆限界 .....        | 23 |
| 2.6 列车的运行安全性 .....         | 24 |
| 2.7 列车防护 .....             | 26 |
| 3 电气车的性能与控制 .....          | 29 |
| 3.1 电气车的种类 .....           | 29 |
| 3.2 性能和额定值 .....           | 30 |
| 3.3 直流电气车的速度控制 .....       | 38 |
| 3.4 交流电气车的速度控制 .....       | 51 |
| 3.5 制动控制 .....             | 64 |
| 3.6 运行理论 .....             | 73 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>4 电气车的装置与构成</b> .....  | 88  |
| 4.1 电气车的主电路装置 .....       | 88  |
| 4.2 主电路以外的装置和辅助供电系统 ..... | 95  |
| 4.3 车辆信息与控制 .....         | 96  |
| 4.4 车体与转向架 .....          | 101 |
| 4.5 车辆维修 .....            | 109 |
| <b>5 受流系统</b> .....       | 112 |
| 5.1 受流系统概述 .....          | 112 |
| 5.2 链型悬挂接触网 .....         | 118 |
| 5.3 受电弓的性能 .....          | 130 |
| 5.4 高速化 .....             | 131 |
| 5.5 受流系统的噪声 .....         | 133 |
| 5.6 接触网的维修 .....          | 134 |
| <b>6 牵引供电系统</b> .....     | 137 |
| 6.1 牵引供电制式 .....          | 137 |
| 6.2 直流供电电路 .....          | 139 |
| 6.3 直流供电用变电所 .....        | 144 |
| 6.4 交流供电电路 .....          | 155 |
| 6.5 交流供电用变电所 .....        | 166 |
| 6.6 回流电路和电磁干扰 .....       | 175 |
| 6.7 绝缘配合 .....            | 182 |
| 6.8 与电源的配合 .....          | 187 |
| 6.9 电力控制系统 .....          | 195 |
| <b>7 信号设备</b> .....       | 199 |
| 7.1 信号设备概述 .....          | 199 |

|      |                       |     |
|------|-----------------------|-----|
| 7.2  | 自动信号设备 .....          | 204 |
| 7.3  | 列车自动防护系统 .....        | 221 |
| 7.4  | 运行管理系统 .....          | 231 |
| 7.5  | 列车运输计划 .....          | 234 |
| 7.6  | 道口防护装置 .....          | 239 |
| 7.7  | 信号用电源 .....           | 243 |
| 8    | 通信与营运服务 .....         | 245 |
| 8.1  | 铁路的通信网络 .....         | 245 |
| 8.2  | 铁路中的无线移动通信 .....      | 247 |
| 8.3  | 乘客导向设备 .....          | 251 |
| 8.4  | 客运营销系统 .....          | 254 |
| 8.5  | 货运信息系统 .....          | 261 |
| 9    | 城市交通系统 .....          | 264 |
| 9.1  | 城市交通系统的体系 .....       | 264 |
| 9.2  | 有轨电车和 LRT 系统 .....    | 266 |
| 9.3  | 导向轨式新交通系统 .....       | 268 |
| 9.4  | 车轮支撑直线电机车辆 .....      | 270 |
| 9.5  | 独轨交通 (Monorail) ..... | 272 |
| 9.6  | 登山铁路 .....            | 274 |
| 9.7  | 磁石输送带驱动系统 .....       | 275 |
| 9.8  | 无轨电车 .....            | 275 |
| 9.9  | 电动汽车 .....            | 276 |
| 9.10 | 电梯和自动扶梯 .....         | 278 |
| 10   | 磁悬浮铁路 .....           | 281 |
| 10.1 | 超导磁悬浮铁路 .....         | 281 |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 10.2 常导磁铁电磁吸引悬浮 .....     | 290        |
| <b>11 各国高速电气化铁路 .....</b> | <b>293</b> |
| 11.1 供电制式 .....           | 293        |
| 11.2 电 气 车 .....          | 294        |
| 11.3 牵引供电系统 .....         | 297        |
| 11.4 信号系统 .....           | 299        |
| <b>附 录 .....</b>          | <b>303</b> |
| <b>引用、参考文献 .....</b>      | <b>307</b> |

# 1 导 论

## 1.1 信息化社会与交通系统

### 1.1.1 交通系统和信息化——社会·基础设施的信息化

随着电脑技术的不断进步,多媒体也随之导入,人们对信息通信的需求越来越高端化、多样化。尤其是利用电波的无线通信在高端化和普及方面取得了惊人的进步,作为移动通信系统的手机迅速得到普及,成为人们社会生活中的必需品。此外,由于数字化技术的发展,在模拟信号时代无法想象的多频道、高质量、高速度的信息传输也成为了可能。

至今仍可听到这样的说法,即随着信息化的发展,人们不用特地外出也可以办理好很多事情,所以在信息化社会,交通的需求就会减少。的确,如果在家工作、电视会议等普及了的话,这样的想法没有错。然而,交通与通信之间除了存在这种替代性的关系外,也存在着伴随着一方的发展另一方也随之发展的相互依存性,而在过去的事例中常常也是相互依存的居多。在电话转接不再依靠人工,实现了全国实时通话的时候,日本电信电话公司的标语中有一条是“走得再快不如喂喂一声”,但正是因电话变得方便了,交通的需求也快速增加起来。

在思考信息化社会的交通时,重要的一点是“用通信无法取代的交通类型将成为主体”。这句话的意思是:只是为了传达事情的移动减少了,但其他各种各样目的的移动却增加了,即移动目的的多样化。即使当下的商务活动仅通过通信就能解决,但在为了融洽关系而见面等情况下,交通需求的弹性就会增加,以更高质量的服务作为吸引客流的要素也将不断增加。

### 1.1.2 交通系统应该导入的信息化

另外,为了交通系统本身的运营和经营,应该积极地导入信息化的地

方也很多。

在信息化尚未成熟的时代,为了实现运营,通过精心筹划,将组织机构和功能分解,使其各自能够自律运行。列车以事先规定好的编组,完全按照既定的时刻表运行,如发生了晚点,就要在可能的范围内加速运行以挽回晚点的时间。在那时,只要列车能够按时刻表运行,就可以评为满分了。

而在信息化时代,上述的未必就是正确的做法。客流拥挤时就改用长编组的列车;压降大时就减小加速电流运行;晚点时,如果列车即使加速运行也无法正点到达的话,列车就无需加速等,像这样随机应变的应对,若非信息化时代是无法实现的。交通运输的最终目的不是让列车运行,而是运送旅客和货物,所以完全按照时刻表运行未必就是最好的。

考虑到这些情况,包括对现有组织结构和功能等重新评估,到目前为止,由于部门或系统相互之间没有信息交换而未能实现的事情还有很多可改善的地方。也就是说,目的明确的综合智能化是信息化时代交通运营的关键。

## 1.2 电气化铁路的历史和发挥作用的领域

### 1.2.1 电气化铁路的历史

铁路起源于18世纪末铺设在英国煤矿上的木轨道,由此渐渐地进化到今天的铁路。

电气化铁路始于1835年美国的达文波(T. Davenport)利用伏打电池制作的电车模型,当时该模型只供一般的观览。电气化铁路投入实际运用始于1879年的柏林工业博览会。在这次博览会上,一辆由直流 $150\text{ V} \cdot 2.2\text{ kW} \cdot 2$ 极直流电动机驱动的机车,牵引着6人乘坐的3辆客车,以时速 $12\text{ km}$ 的速度投入运行。其后,1881年西门子·哈尔斯克(Siemens Halske)公司在利希特费尔德(Lichterfelde)铺设了电气化铁路,开始了一般旅客的运输,这是电气化铁路最早的商业运营。

在日本,1890年在上野公园举办第3次国内劝业博览会之际,在会场里铺设了轨道,电动车组在轨道上运行,这便是日本最早的电气化铁