



普通高等教育“十三五”规划教材

铁道交通类

铁道供电技术专业精品规划教材

全国行业紧缺人才、关键岗位从业人员培训推荐教材

高速铁路供变电技术

主编 胡彦奎 王云松 王 果



北京交通大学出版社

<http://www.bjtu.com.cn>

普通高等教育“十三五”规划教材·铁道交通类
铁道供电技术专业精品规划教材
全国行业紧缺人才、关键岗位从业人员培训推荐教材

高速铁路供变电技术

主编 胡彦奎 王云松 王 果

常州大学图书馆
藏书章

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书全面系统介绍了电气化铁道供电系统的构成、供电方式、运行分析、二次系统构成及变电所设计计算方法。全书共分 11 章,具体包括绪论、牵引变电所类型、电力牵引供电系统供电方式、电气化铁路电气主接线、牵引变电所容量计算和选择、牵引网阻抗、牵引供电系统电压损失、牵引供电系统电能损失、高速铁路供电系统对电力系统的影响及补偿措施、变电所综合自动化简介、交直流牵引变电所设计。

本书系统性强,内容丰富,重点突出,理论与实际并重,可作为高等学校铁道电气化专业的教材,也可作为铁路企业的培训教材,也可供铁道电气化方面的科研设计人员参考。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路供变电技术 / 胡彦奎,王云松,王果主编. —北京:北京交通大学出版社, 2018.1

ISBN 978-7-5121-3175-0

I. ①高… II. ①胡… ②王… ③王… III. ①高速铁路—电气化铁道—供电系统
IV. ①U238

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 039674 号

高速铁路供变电技术

GAOSU TIELU GONGBIANDIAN JISHU

策划编辑:刘 辉 责任编辑:刘 辉

出版发行:北京交通大学出版社 电话:010-51686414 <http://www.bjtup.com.cn>

地 址:北京市海淀区高粱桥斜街 44 号 邮编:100044

印 刷 者:艺堂印刷(天津)有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185 mm×260 mm 印张:23 字数:569 千字

版 次:2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-3175-0/U·295

印 数:1~2000 册 定价:58.00 元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前言

我国将在“十三五”期间规划和建设哈尔滨至北京至香港（澳门）、连云港至乌鲁木齐、北京至台北、呼和浩特至南宁、兰州至广州、北京至兰州等高速铁路通道，拓展区域连接线，高速铁路营业里程将达到3万公里。本书结合我国高铁的具体情况和现场的实践经验，汲取多年教学实践经验编写而成。

为适应当前铁路跨越式发展的需要，本书内容以高速电气化铁路供变电技术的基本原理和牵引供电系统设计为主，兼顾电气化铁路供电岗位需求。本书主要介绍了高速电气化铁路电力系统的基本知识和基本原理，介绍了电力系统设计的基本方法、设备选型的基本计算和交直流牵引变电所设计方法等。书中主要侧重于牵引变电所的相关内容，且各部分内容与相关国家标准和规程紧密结合，注重基本技能方面的内容，以便学生更好地掌握牵引供电系统设计、运行、检修等工作所必备的高铁供电技术知识。

全书共分为11章：绪论、牵引变电所类型、电力牵引供电系统供电方式、电气化铁路电气主接线、牵引变电所容量计算和选择、牵引网阻抗、牵引供电系统电压损失、牵引供电系统电能损失、高速铁路供电系统对电力系统的影响及补偿措施、变电所综合自动化简介、交直流牵引变电所设计。每章附有习题，供读者学习时参考。

本书是在兰州交通大学自动化与电气工程学院胡彦奎教授的主持下编写的。本书由胡彦奎、兰州交通大学铁道技术学院王云松、兰州交通大学自动化与电气工程学院王果担任主编，具体分工如下：第一章、第二章由胡彦奎编写，第四章、第五章、第九章、第十章由王云松编写，第三章、第六章、第七章、第八章、第十一章由王果编写。

本书在编写过程中得到铁路供电部门技术人员和兰州交通大学自动化与电气工程学院诸多老师的支持和帮助，并提出了许多中肯建议，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。索取本书相关教学资源可登录出版社网站（<http://www.bjtup.com.cn>）下载，或与编辑刘辉联系（QQ39116920，cbslh@jg.bjtu.edu.cn）。

编者

2017年11月



目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 高速铁路系统构成	1
1.2 高速铁路牵引供电系统的特点和要求	2
1.3 高速铁路牵引供电系统构成	3
1.3.1 牵引供电部分	3
1.3.2 高速铁路接触网部分	5
1.4 牵引供电系统功能	7
1.5 牵引供电设施功能	7
思考题	9
第 2 章 牵引变电所类型	10
2.1 牵引变电所按牵引网电流性质(电流制)的分类	10
2.2 牵引变电所按频率和牵引网相数的分类	11
2.3 牵引变电所按牵引变压器接线方式的分类	12
2.3.1 单相接线牵引变电所	12
2.3.2 单相 V,v 接线牵引变电所	13
2.3.3 三相 V,v 接线牵引变电所	13
2.3.4 三相 YN,d11 接线牵引变电所	14
2.3.5 斯柯特接线牵引变电所	20
2.3.6 采用 YN,∇ 接线阻抗匹配平衡变压器的牵引变电所	22
2.3.7 采用 YN,∇ 接线平衡变压器的牵引变电所	26
2.3.8 采用非阻抗匹配 YN,∇ 接线平衡变压器的牵引变电所	30
思考题	32
第 3 章 电力牵引供电系统供电方式	34
3.1 电力系统向牵引变电所的供电方式	34
3.1.1 集中供电方式的牵引变电所	34
3.1.2 分散供电方式的牵引变电所	35
3.2 牵引变电所向接触网的供电方式	35
3.2.1 单线区段单边供电	35



3.2.2 单线区段双边供电	36
3.2.3 复线区段单边分开供电	36
3.2.4 复线区段单边并联供电	36
3.2.5 复线区段双边纽结供电	37
3.3 牵引网向电力机车的供电方式	38
3.3.1 直接供电方式	38
3.3.2 带回流线的直接供电方式	38
3.3.3 吸流变压器供电方式	41
3.3.4 自耦变压器供电方式	51
3.3.5 同轴电力电缆供电方式	63
3.3.6 同相供电方式	66
3.3.7 独立供电方式	76
思考题	77
第4章 电气化铁路电气主接线	78
4.1 电气主接线的功能、基本要求与设计原则	78
4.1.1 电气主接线的功能	78
4.1.2 电气主接线应满足的基本要求	78
4.1.3 电气主接线设计应遵循的主要原则与步骤	79
4.2 电气主接线中的主要电器	80
4.3 电气主接线的基本接线方式	84
4.3.1 单母线接线	84
4.3.2 单母线分段接线	85
4.3.3 单母线带旁路母线接线	85
4.3.4 单母线分段带旁路母线接线	86
4.3.5 双母线接线	88
4.3.6 桥形接线	89
4.3.7 简单分支配线(双T接线)	90
4.4 开闭所主接线及其功用	91
4.5 分区所主接线及其功用	95
4.6 牵引变电所电气主接线	97
4.6.1 电源侧主接线	97
4.6.2 主变压器主接线	97
4.6.3 牵引侧电气主接线	101
4.6.4 动力变压器及自用电变压器接线	103
4.6.5 电容补偿装置主接线	104
4.7 电气化铁路牵引变电所电气主接线举例	105
4.7.1 单相V, v接线普通牵引变电所主接线	105



4.7.2	三相 YN,d11 接线普通牵引变电所主接线	106
4.7.3	三相 YN,d11,d1 十字交叉接线 AT 牵引变电所主接线	107
4.7.4	三相—两相斯柯特接线 AT 牵引变电所主接线	109
4.7.5	三相—两相斯柯特接线普通牵引变电所主接线	110
4.7.6	中心牵引变电所电气主接线	111
4.7.7	中间及终端式牵引变电所主接线	113
4.7.8	AT 供电系统牵引变电所主接线	115
4.7.9	国内外典型牵引变电所主接线	116
4.8	配电装置类型及基本要求	121
4.8.1	牵引变电所配电装置类型及基本要求	121
4.8.2	屋内配电装置	122
4.8.3	屋外配电装置	127
	思考题	133
第 5 章	牵引变电所容量计算和选择	134
5.1	计算条件	134
5.2	列车电流	135
5.3	馈线电流	137
5.3.1	馈线平均电流和有效电流	138
5.3.2	馈线的最大电流	143
5.3.3	母线电流	143
5.4	牵引变压器计算容量	148
5.4.1	不同接线方式的牵引变压器绕组有效电流	148
5.4.2	牵引变压器计算容量的确定	150
5.5	牵引变压器校核容量	152
5.5.1	牵引变压器的过负荷能力	152
5.5.2	牵引变压器校核容量的确定	156
5.6	牵引变压器安装容量	157
5.6.1	备用方式	157
5.6.2	牵引变压器安装容量的确定	158
5.6.3	牵引变压器安装容量计算举例	158
	思考题	163
第 6 章	牵引网阻抗	165
6.1	牵引网导线的参数	166
6.2	牵引网的等效电路及阻抗	169
6.3	单线牵引网阻抗	170
6.3.1	单线牵引网等值单位阻抗	170



6.3.2 简单悬挂方式单线牵引网等值单位阻抗	170
6.3.3 单链形悬挂方式单线牵引网等值单位阻抗	172
6.3.4 有加强导线的单链形悬挂方式单线牵引网等值单位阻抗	173
6.4 复线牵引网阻抗	176
6.4.1 电压平衡方程式和等效网络	176
6.4.2 等效网络阻抗计算	177
6.4.3 不同接触网供电方式的双线牵引网阻抗	178
思考题	180
第7章 牵引供电系统电压损失	182
7.1 电压损失概念	182
7.2 牵引网的电压损失	183
7.2.1 单线牵引网等值单位阻抗	183
7.2.2 复线牵引网等值单位阻抗	185
7.3 牵引变电所的电压损失	188
7.3.1 三相 YN,d11 接线牵引变压器电压损失	188
7.3.2 单相及 V,v 接线牵引变压器电压损失	190
7.3.3 斯柯特接线牵引变压器电压损失	191
7.3.4 YN, ∇ 接线阻抗匹配平衡变压器电压损失	191
7.3.5 非阻抗匹配 YN, ∇ 接线平衡变压器电压损失	195
7.4 电力系统的电压损失和供电臂电压水平	196
7.5 改善供电臂电压水平措施	196
7.5.1 提高牵引变电所牵引侧母线电压	197
7.5.2 采用合理的牵引网供电方式	197
7.5.3 降低牵引网阻抗	197
7.5.4 设置串联电容补偿装置	198
思考题	202
第8章 牵引供电系统电能损失	203
8.1 牵引网的电能损失	203
8.1.1 单线区段	203
8.1.2 复线区段	204
8.2 牵引变压器的电能损失	206
8.2.1 三相 YN,d11 接线牵引变压器	207
8.2.2 单相 V,v 接线变压器	207
8.2.3 单相接线变压器	208
8.2.4 斯柯特接线牵引变压器	208
8.2.5 YN, ∇ 阻抗匹配平衡变压器	208



8.3 减少牵引供电系统电能损失的措施	209
思考题	210
第9章 高速铁路供电系统对电力系统的影响及补偿措施	211
9.1 负序电流	211
9.1.1 负序电流对电力系统的影响	211
9.1.2 负序影响计算——分配系数算法	213
9.1.3 负序影响计算——短路容量估算法	222
9.1.4 负序抑制措施	222
9.1.5 牵引变电所换接相序的接线设计步骤和方法	231
9.2 谐波	234
9.2.1 电力机车谐波	234
9.2.2 谐波对电力系统的影响	236
9.2.3 谐波抑制措施	239
9.3 无功功率	242
9.3.1 功率因数	242
9.3.2 无功功率对电力系统的影响	242
9.3.3 无功功率补偿方法	243
9.3.4 并联电容补偿	243
思考题	248
第10章 变电所综合自动化简介	250
10.1 牵引变电所综合自动化的基本概念及特点	250
10.2 牵引变电所综合自动化的主要功能	252
10.3 综合自动化系统的构成	256
思考题	263
第11章 交直流牵引变电所设计	264
11.1 电器与载流导体的发热和负载能力	264
11.1.1 电器与载流导体正常工作下的发热容许温度	264
11.1.2 电器与载流导体在正常工作容许发热下的过载能力	265
11.2 短路电流通过导体时的发热和电动力计算	269
11.3 选择电气设备时短路计算点的确定	270
11.4 电气设备的选择	272
11.4.1 高压电气设备选择的一般原则	272
11.4.2 开关设备的选择	273
11.4.3 母线的选择	279
11.4.4 互感器的选择	282



11.4.5 支持绝缘子及穿墙套管的选择	294
11.5 直流牵引变电所设计若干问题	294
11.5.1 直流牵引变电所整流机组容量和数量的确定	295
11.5.2 直流供电系统短路电流计算	295
11.5.3 直流快速开关的选择	300
11.5.4 高次谐波电流、电压的校验	301
11.6 交流牵引变电所主接线设计示例	302
11.6.1 分析负荷及原始资料	302
11.6.2 主变压器台数和容量的选择	302
11.6.3 各种方案主接线的拟订	302
11.6.4 技术经济比较	303
11.7 接地装置设计	308
11.7.1 接地分类与安全接触电压	308
11.7.2 接地装置散流效应和两种接触电压	309
11.7.3 接地装置的设计	311
思考题	314
附录 A 概率	316
附录 B 列车运行图和铁路区间通过能力	321
附录 C 常用牵引供电计算方法	324
附录 D 牵引变压器过负荷能力的确定方法	330
附录 E 安培公里和牵引网干扰电流阶梯曲线	335
附录 F 常用导体与电气设备数据	338
附录 G 电气常用图形符号新旧对照表	351
参考文献	356

第 1 章 绪 论

高速铁路牵引供电系统是保证铁路安全、稳定、高效运营的基础设施之一，是列车运营的动力保障。牵引供电系统主要包括牵引变电所和接触网两个部分。牵引变电所是电气化铁路供电系统的核心，无论普通铁路还是高速铁路都要求它具有高度的可靠性。高速铁路牵引变电所除了在变压器容量的选择上要考虑高速运行的因素外，其与普通铁路牵引变电所在其他方面区别不大。高速铁路具有机车牵引电流大、持续时间长、冲击性强等特点，为保证供电臂末端网压满足机车的供电要求，减小对环境的不利影响，多采用直接供电方式、带回流线的直接供电方式和自耦变压器供电方式。

高速铁路由于列车牵引电流大、牵引网短路电流大和钢轨对地泄漏电阻高等特点，导致牵引供电系统与电力配电系统、信号系统、通信系统之间的电磁环境恶化，钢轨电位升高。牵引供电系统的综合接地技术就是解决上述各子系统间的电磁兼容、降低钢轨电位的一项关键技术，它是高速铁路区别于普通铁路的又一重要特点。

高速列车的基本要求是启动快、速度高、牵引功率大，为满足高速列车的动力要求，世界各国的高速铁路几乎都采用电能为牵引动力。以电能为主要牵引动力的铁路称为电气化铁路，将牵引用电从电力系统传送给列车的电力装置称为电气化铁路的牵引供电系统。

高速铁路牵引供电系统主要由牵引变电所和接触网组成。牵引变电所将电力系统通过输电线路送来的三相高压电变换为单相 27.5 kV 的交流电，经馈电线送至接触网；接触网沿铁轨上空架设，动车组升弓后便可从接触网取得电能，列车进而能够不间断地、高速地、可靠地和安全地运行。

1.1 高速铁路系统构成

高速铁路的核心系统是高速铁路信息技术、自动控制技术，以及新材料、新工艺等多技术、多专业高新技术的综合集成，代表了当今世界铁路技术的最高成就。高速铁路系统主要由六大核心系统构成，分别是基础设施、动车组、牵引供电系统、通信信号系统、运营调度系统及客运服务系统。这六大核心系统在高速铁路的运营中发挥着各自的重要作用，六大核心系统具有很强的系统性，各系统之间既自成体系，又相互关联、相互影响，高速铁路六大核心系统关系图如图 1-1 所示。

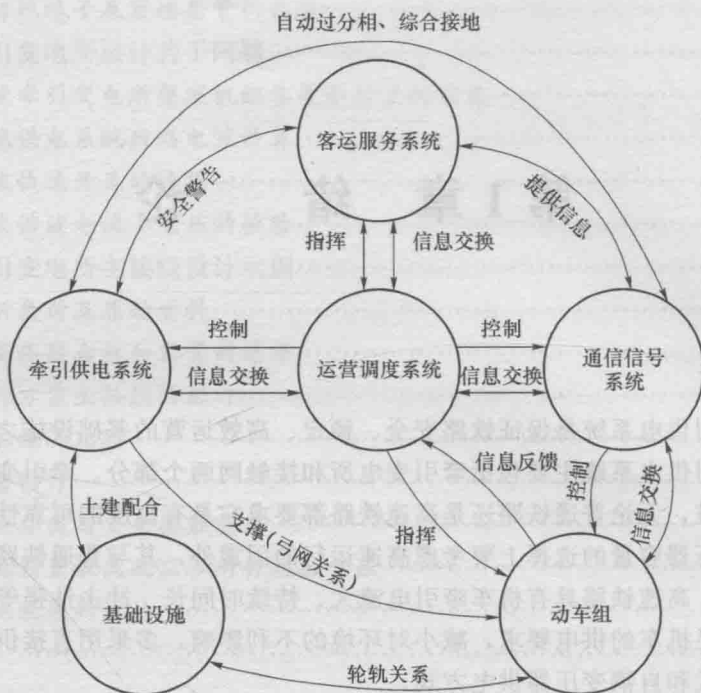


图 1-1 高速铁路六大核心系统关系图

牵引供电系统由牵引供变电系统、接触网系统、SCADA（数据采集与监视控制）系统、检测系统等构成。

牵引供电系统的主要功能是为高速铁路列车运行提供稳定、高质量的电流。与常速列车的电力牵引相比较，高速列车电力牵引具有牵引功率更大、所受阻力更大、受电弓移动速度快、电流易发生波动等特点。

1.2 高速铁路牵引供电系统的特点和要求

我国高速铁路牵引供电系统要满足动车组“高速度、高密度、高可靠性”的运行要求，它与普速铁路在设计理念、技术方案及设备选型等方面有许多不同之处，主要体现在以下几个方面。

(1) 我国高速铁路牵引供电系统是通过原始创新、集成创新和消化吸收再创新，实现的拥有自主知识产权、先进的牵引供电系统技术，具有“先进、成熟、经济、适用、可靠”的技术特点，满足高速度、高密度、大功率的要求，并尽可能与国际接轨。

(2) 高速铁路牵引供电系统的设计还应满足初、近、远期的最高运营速度要求，试验速度为最高设计速度的 1.1 倍。

(3) 供电能力应能满足动车组在规定运行速度下，按最小追踪运行间隔 3 min，8 辆或 16 辆编组运行的需要。

(4) 牵引供电系统应满足 RAMS [RAMS 是系统可靠性 (reliability)、可用性



(availability)、维修性 (maintenance) 及安全性 (security) 的简称] 要求。可靠性是可用性的基础, 系统设计应尽量采用较高的技术标准并具有冗余措施, 保证外界故障或内部疏忽引起的故障不至于导致整个系统瘫痪, 如外部电源的选择、供电系统的越区供电、牵引变电所的主接线、供变电设备的可靠备用与故障诊断、接触网系统的合理分段设计、牵引供电系统的安全防护及防灾设计均要保障不间断供电。牵引变电设备宜选择免维护、免维修、抵御自然灾害能力强的产品; 接触网设备宜选择免维护、少维修的产品。

(5) 牵引供电系统设计应满足国家对节能环保的要求。在供电系统方案设计、变压器容量确定及接线方式、牵引变电设备选用、接触网线材配置等方面积极推广节电技术; 在设备选用方面还应选用少油或无油设备, 选用在生产制造或运营使用中不产生或少产生污染环境、影响人体健康的设备、器材; 牵引变电设计应合理确定一次设备主接线、合理选用二次设备, 达到不占或少占农田、耕地的目标, 实现节约用地。

高速铁路对牵引供电的要求如下。

(1) 牵引负荷大, 可靠性要求高。高速铁路列车速度高, 高峰时段密度大。空气阻力随行驶速度呈几何级数增长, 列车牵引力主要克服空气阻力运行, 牵引负荷很大。当列车速度为 350 km/h 时, 列车运行所需的功率最高超过 24 000 kW, 列车需要持续从接触网取得电能, 所以高速列车负载率高, 受电时间长。

(2) 列车要求牵引网供电电压高。为保证充分发挥列车的功率和加速能力, 牵引网的供电电压不宜低于 20 kV。

(3) 短时集中负荷特征明显。高速铁路具有显著的时段特征, 在早、晚时段和节假日等高峰客流期间, 根据客流量的需要, 可能要组织大编组、高密度运输, 甚至在短时间内形成紧密追踪, 牵引负荷集中特征明显。

(4) 越区供电能力要求高。由于旅客运输能力和准点的需要, 牵引供电系统应具有应对各种条件下的供电能力。在出现某一牵引变电所解列退出供电的情况下, 往往采用由两相邻牵引变电所越区进行供电。为了尽量减少越区供电对运输能力和准点的影响, 应避免过多地限制列车数量或降低列车速度, 这样会相应增加两相邻牵引变电所的供电负荷。

1.3 高速铁路牵引供电系统构成

1.3.1 牵引供电部分

1. 牵引供电方式

高速铁路要求接触网受流质量高, 分段和分相点数量少。目前各国大多采用自耦变压器 (AT) 供电方式和带回流线的直接 (RT) 供电方式。自耦变压器 (AT) 供电方式是每隔 10 km 左右在接触网与正馈线之间并联接入一台自耦变压器, 其中性点与钢轨相连。如图 1-2 所示, 自耦变压器将牵引网的供电电压提高一倍, 而供给电力机车的电压仍为 25 kV。如图 1-3 所示, 带回流线的直接 (RT) 供电方式是在接触网支柱上架设一条与钢轨并联的回流线, 利用接触网与回流线之间的互感作用, 使钢轨中的电流尽可能地由回流线流回牵引变电所, 因而能部分抵消接触网对邻近通信线路的干扰。

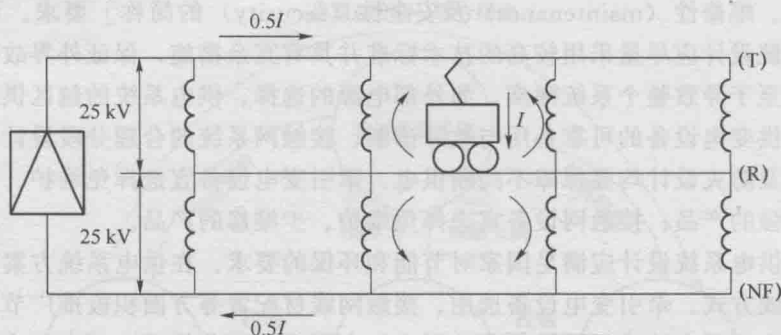


图 1-2 自耦变压器 (AT) 供电方式

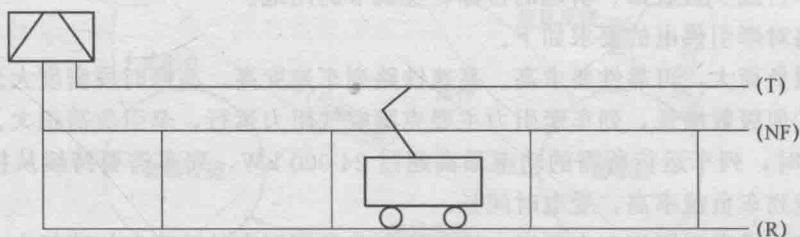


图 1-3 带回流线的直接 (RT) 供电方式

日本、法国采用 AT 供电方式；德国、意大利和西班牙采用 RT 供电方式。AT 供电方式的优点是：供电质量高，变电所数量少，便于牵引变电所选址和电力部门的配合，牵引变电所间距大、分相点少，因此，便于高速列车运行，防干扰效果也好。我国高速铁路牵引供电系统优先采用 $2 \times 25 \text{ kV}$ AT 供电方式。

2. 电源电压等级

高速铁路负荷电流大，对电力系统的不平衡影响也大。为了减少对电力系统的影响，高速铁路一般都采用较高的电源电压。日本采用 154 kV、220 kV 和 275 kV 三种电压等级，法国采用 225 kV 电压等级，德国采用 110 kV 电压等级，意大利采用 130 kV 电压等级，西班牙采用 132 kV 和 220 kV 两种电压等级。我国高速铁路牵引变电所采用两回独立进线，并互为热备用，供电电压为 220 kV 或 330 kV。

3. 接触网电压

接触网的电压对电力机车功率发挥及机车运行速度有很大影响，而且直接关系到牵引供电设备技术参数的选定和供电系统的工程投资，各国都非常重视这一技术标准。日本接触网的标准电压为 25 kV，最高电压为 30 kV，最低电压为 22.5 kV。法国分别为 25 kV、27.5 kV 和 18 kV。德国分别为 15 kV、17 kV 和 12 kV。西班牙分别为 25 kV、27.5 kV 和 19 kV。意大利采用直流供电，分别为 3 kV、3.6 kV 和 2 kV。我国高速铁路接触网的标称电压为 25 kV，长期最高电压拟定为 27.5 kV，短时 (5 min) 最高电压为 29 kV，设计最低工作电压为 20 kV。

4. 牵引变压器接线方式

牵引变压器是牵引供电系统中最重要的设备，它对牵引供电系统和工程投资起决定性的



影响,不同类型的牵引变压器对电力系统产生不同的不平衡影响。日本采用斯柯特接线和变形伍德桥接线三相变压器。法国、德国、意大利和西班牙采用单相变压器。单相变压器的优点是变压器容量大,利用率高,经济效益好,最适合在高速铁路上应用。我国高速铁路牵引变压器接线方式优先采用单相接线。

5. 牵引变电所继电保护和自动控制装置

日本、法国、德国及西班牙高速铁路的牵引变电所均按无人值班设计,采用运动装置在电力调度中心监控。牵引变电所的继电保护和自动控制系统仍采用传统的控制保护盘方式,微机控制保护和全部自动化等技术都还没有采用,但在保护系统的配置、继电器的特性、控制回路的联动等方面比较先进,系统的安全性和可靠性也比较高。

6. 电力调度和运动系统

日本列车运行指挥中心集列车、车辆、信号、牵引供电、防灾报警、旅客服务等多种业务调度为一体,构成一个综合调度处理系统。电力调度和运动系统是其中的一个子系统。法国高速铁路的综合调度系统由行车调度和电力调度组成。德国和西班牙高速铁路的牵引供电调度及运动系统则是一个设在调度中心的独立系统,由调度所对高速线上所有开关设备和接触网柱上开关进行遥控。为了便于列车调度指挥,电力调度和运动系统集中设在行车调度室内。

1.3.2 高速铁路接触网部分

1. 接触网悬挂方式

接触网直接架设在线路的正上方,工作环境恶劣,而且没有备用。接触网悬挂性能的优劣直接关系到高速运行状态下的电力机车受电弓能否良好取流和列车能否安全运行。因此,接触网一直被各国专家视为高速技术的难点,弓网的最佳匹配也一直是各国专家追寻的目标和研究的课题。表 1-1 列出了接触网悬挂方式。日本在 20 世纪 90 年代以前,一直是采用复链形悬挂,在新建的北陆新干线高崎至长野段开始采用简单链形悬挂,行车速度可达 270~300 km/h。法国最初在东南高速线上采用弹性链形悬挂,后来都采用简单链形悬挂。德国一直是采用弹性链形悬挂,而且按不同的速度段形成了 Re200、Re250、Re330 不同的标准系列。西班牙引用德国的 Re250 标准系列,其结构、材质和主要参数与德国完全一样。意大利是唯一采用 3 kV 直流供电的国家,接触网采用双式简单链形悬挂,其接触网采用 2 根 150 mm^2 的铜导线,承力索为 2 根 155 mm^2 的钢绞线。国外高速铁路的运营经验表明,复链形悬挂、弹性链形悬挂、简单链形悬挂均能满足高速运行要求,我国高速铁路可采用全补偿简单链形悬挂或全补偿链形悬挂,并经综合比较后确定。

2. 接触网支柱和基础

日本高速铁路接触网支柱一般采用圆形混凝土支柱,镀锌钢支柱主要使用在桥梁上和用于支持较大的硬横梁,支柱基础采用杯形基础。德国采用横腹杆式钢支柱和圆形混凝土支柱,站场硬横跨或软横跨采用斜腹杆式钢支柱,基础采用机械钻孔,现场灌注混凝土基础。德国采用镀锌工字钢或槽钢支柱,基础也采用机械钻孔,现场灌注混凝土基础。



表 1-1 接触网悬挂方式

悬挂方式	结构示意图	主要采用国家
简单链形悬挂		法国、日本
双式简单链形悬挂		意大利
弹性链形悬挂		德国、法国、西班牙
复链形悬挂		日本
弹性复链形悬挂		日本

3. 接触网支持装置

高速铁路的接触网支持装置必须牢固稳定，才能保证导线高度受外界环境影响最小。为此，高速铁路站场接触网一般采用硬横跨。日本、法国采用硬横跨，德国采用硬横跨和软横跨。关于区间腕臂形式，日本采用钢管腕臂，法国和德国采用铝合金管腕臂。关于定位器形式，日本和德国采用带限位的定位器，法国采用不带限位的定位器。

4. 接触网线岔

高速铁路接触网线岔是弓网事故多发地点。为保证高速行车安全，接触网正线线岔最好采用无交叉式的。日本原来采用交叉式线岔，后来改为无交叉式线岔。德国采用交叉大线岔，法国是在道岔处采用一组“辅助悬挂”设备，无论机车从正线到渡线，还是从渡线到正线，“辅助悬挂”设备都能起过渡作用，但这种“辅助悬挂”设备，结构复杂，施工调整困难。

5. 接触网电分相装置

日本采用地面开关站自动切换过分相方式。法国、德国、西班牙都采用车上自动切换过分相方式。这两种过分相方式各有优缺点。地面开关站自动切换过分相方式的优点是机车可不做任何操作，满负荷通过，停电时间短，冲击和失速也小；其缺点是地面开关站设备复杂，切换过程中容易引起真空开关过压重燃，导致切换失败，发生异相短路。车上自动切换



过分相方式的优点是对接触网无特殊要求,可充分利用列车自动控制系统的轨道电路和机车断路器,不需额外增加设备;其缺点是机车停在无电区时,需要短时间给无电区供电,机车才能驶出。

6. 接触网零部件

关于高速铁路接触网零件,日本一般采用铜和钢系列,德国采用铝系列,法国采用铜和铜合金系列。关于接触网补偿装置,日本采用变比鼓轮式,德国采用棘轮式,法国采用滑轮组式。变比鼓轮式补偿装置加工复杂,而且由于并联下锚,使得接触线和承力索在机械上不独立,不能随温度变化而自由伸缩。棘轮式补偿装置只有一个传动轮,由于其传动比固定,因而适用范围较小,而且其制造精度要求也高。滑轮组式补偿装置的补偿滑轮由高强度耐腐蚀的铝合金制成,制造相对简单,适用范围也较大,该补偿装置的补偿绳一般采用不锈钢丝绳,防腐性能好,基本达到了无维修或少维修,是高速铁路接触网首选的补偿装置。

1.4 牵引供电系统功能

牵引供电系统的主要功能是:将地方电力系统的电源(交流 220 kV 或 330 kV)引入牵引供电系统的牵引变电所,通过牵引变压器变压为适合电力机车运行的电压制式(交流 25 kV 或交流 2×25 kV),向电力机车提供连续电能。

电力牵引负荷为一级负荷,引入牵引变电所的外部电源应为两回独立可靠的电源,并互为热备用,能够实现自动切换。

交流电气化铁路牵引供电系统简图如图 1-4 所示。

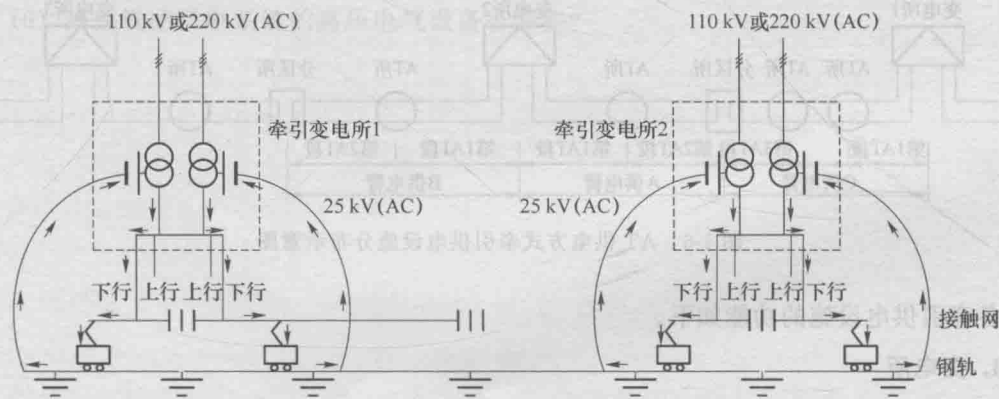


图 1-4 交流电气化铁路牵引供电系统简图

1.5 牵引供电设施功能

交流电气化铁路牵引供电设施一般由以下几部分组成。

1. RT 供电方式

如图 1-5 所示,牵引供电设施由变电所、分区所、开闭所(分区所兼开闭所)构成。变