

毕业设计

摘要

高速列车与牵引供电系统直接相关,是进行牵引供电系统研究的最重要的基础。为此,文首先对牵引供电系统组成进行了详细介绍,然后结合牵引供电系统供电方式及牵引供电回路的特点,对牵引供电系统供电分析论证,针对无功功率、谐波电流、负序电流,分析了牵引供电系统存在问题 提出了解决办法。然后提出了理想牵引供电系统,根据运行方式与同相供电系统,研究并分析牵引变电所的(最小)补偿容量,并提出研究后的自耦变压器(AT)供电模式,从而进行新型 AT供电模式的研究。

关键词：牵引供电系统、牵引变电所、供电系统、供电回路

目 录

第 1 章 绪论 1

1.1 本文研究的目的和意义 1

1.2 国内外研究现状 1

1.2.1 概况 1

1.2.2 日本 2

1.2.3 法国 4

1.2.4 德国 5

1.3 本文主要工作 6

第 2 章 高速铁路牵引供电系统系统介绍 7

2.1 牵引供电部分 7

2.2 牵引网供电方式 9

2.2.1 直接供电方式 9

2.2.2 吸流变压器—回流线装置 BT 9

2.2.3 自耦变压器供电方式(AT) 10

2.2.4 带回流线的直接供电方式(DN) 11

2.3 牵引供电回路 12

第 3 章 高速铁路牵引供电系统相关问题 14

3.1 铁道牵引供电系统的组成 14

3.2 铁道牵引供电系统存在的问题 14

3.2.1 无功功率 14

3.2.2 谐波电流 15

3.2.3 负序电流 15

3.2.4 解决方法 15

第 4 章 高速铁路牵引供电发展的若干关键技术问题 17

4.1 理想牵引供电系统 17

4.1.1 系统构成 17

4.1.2 运行过程 18

4.2 现行方式与同相供电系统 19

4.2.1 同相供电系统 19

4.2.2 牵引变电所的(最小)补偿容量 20

致谢 21

参考文献 22

第 1 章 绪论

1.1 本文研究的目的和意义

随着我国国民经济持续稳定发展，人口城镇化进程加速，国际交往急剧增加，旅游事业日益兴旺，诱发了大量的客运需求。人民生活水平的提高，时间价值观念的增强，客观上提出了发展高速铁路客运系统的社会需求。之前国家批准铁道部报送的《中国铁路中长期规划》，规划中，明确了将建设四纵，四横快速客运通道，升级速度等级 350km/h 的武汉客运专线就是四纵中京广客运通道的重要组成部分。

高速客运专线的设计在我国相对完善，单设计中还存在很多没有解决的课题，就牵引供电系统设计而言，也同样存在很多目前国内还未掌握和解决的难题。告诉客运专线速度高，运量大，行车密度，供电系统出送的功率势必很大。

如今高速铁路飞速发展，在高铁动车组列车大幅投入运营的同时，对高铁安全可靠也提出了更高要求。在高铁运行各技术系统中，牵引供电系统尤其重要，因牵引供电系统直接关系高铁的可靠运行。

高速铁路之所以受到广泛青睐，在于其本身具有显著优点：缩短了旅客旅行时间，产生了巨大的社会效益；对沿线地区经济发展起到了推进和均衡作用；促进了沿线城市经济发展和国土开发；沿线企业数量增加使国税和地税相应增加；节约能源和减少环境污染。随着京津城际铁路、武广高速铁路、郑西高速铁路、沪宁城际高速铁路等相继开通运营，中国高铁正在引领世界高铁发展。

进入本世纪，随着环境问题的日益严峻，专家们认为，交通运输各行业中，从单位运量的能源消耗、对环境资源的占用、对环境质量的保护、对自然环境的适应以及运营安全等方面来综合分析，铁路的优势最为明显。因此欧洲各发达国家在经历了一段曲折的道路之后，重新审视和调整其运输政策，把重点逐步移回铁路，其策略中重要的一环是规划和发展高速铁路。专家们纷纷指出，发展中国高速铁路势在必行。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 概况

(1) 供电制式

电气化铁道最早采用直流和低频交流（以 15kV、16 2/3Hz 为主），有的也曾采用单

项交流供电, 后来居上的是单相工频交流供电。低频交流和直流供电电压都较低, 变电所间距较短, 有多一套变频和整流设备, 因而供电设备的投资比单相工频供电要大。单相工频交流供电可以利用公共电力系统, 经降压后直接使用, 并且由于采用比较高的 25kV 或 $2 \times 25\text{kV}$ 电压, 在输送相同功率时, 接触网的电流减少, 接触网上的压损和电能损失也减少, 延长了牵引变电所的间距, 接触悬挂也可选用轻型结构, 支柱容量也可降低, 从而大大节省牵引网的投资。目前高速电气化铁路也是以单相工频供电为主。法国、日本、西班牙高速铁路采用了单相工频交流供电方式; 德国沿用了 15kV, 16 2/3Hz 低频交流供电; 意大利沿用了直流供电方式。

(2) 减少负序和通信干扰的主要措施

高速电气化铁路牵引负荷为大容量单相负荷, 其产生的不平衡电压和电流对公共电力系统构成危害, 供电臂上不稳定的负荷, 更加重了不平衡度; 以钢轨为回流通路的地中电流对沿线通信和信号设备产生电磁干扰, 危及设备和人身安全, 影响通信质量; 电力机车整流产生的高次谐波对电力系统和通信线路也产生严重的影响。

减少单相交流供电的不平衡电压和电流, 有以下方法:

① 改变主变压器接线

采用 Scott 和变形伍德桥接线, 实现三相-两相平衡交换。当两供电臂负荷电流和功率因数相同时, 电力系统中三相电流平衡。即使在两供电臂电流不同的情况下, 不平衡度也大大降低。

② 无功补偿实现三相-单相平衡

在列车高速运行情况下, 为克服不平衡电压和电流的影响, 应增大电力系统的短路容量, 但这往往需要加长输电线的距离, 增加建设费用。而高速电动车组的再生制动的采用, 使原理降低不平衡电压和电流的方法变得更加困难。采用任何接线变压器都做不到三相-单相的平衡对称变换, 必须辅以适当的并联无功补偿设备。日本研究开发了一种静态不平衡馈线补偿装置。该装置是在 Scott 接线变压器的 M 座和 T 座接上电容器和电抗器组成的平衡补偿装置, 借助并联无功补偿方法, 实现三相-单相对称变换, 从而降低牵引供电系统对电力系统锻炼容量的要求, 以利用附近较弱的电源, 并且不必考虑馈线负荷的不平衡问题。

1.2.2 日本

(1) 牵引供电系统概况

日本 1964 年东海道新干线开通时，采用 BT 供电方式，变电所间隔 20km 左右，最大供电电流 1000A。但 BT 供电方式存在很多问题，如在通过接触网电分段时产生很大的电弧，极易烧坏滑板及解除导线，加之牵引网单位阻抗很大，在大负荷情况下磨损很大，牵引网电能损失很大。1972 年山阳新干线正式采用日本铁道研究所开发的 AT 供电方式，在这之后的其他新干线均采用 AT 供电方式，变电所间距约 60km 左右，最大供电电流约 2000~3000A。

日本东海道新干线供电电压为 25kV、60Hz，山阳新干线供电电压 25kV、60Hz，东北，上越新干线供电电压 25kV、50Hz，山形新干线供电电压 20kV、50Hz，北陆新干线供电电压 25kV、60Hz。

新干线 AT 供电方式的变电所容量在 100~150MVA，供电电压的允许波动范围为：19~27.5kV，额定电压为 25kV，瞬时最低 17.5kV，在 22.5~27.5kV 列车可满功率运行。

为了提高功率因数，变电所端设置了并联电容，容量约为 6000kVar/单位电臂，为了增强供电能力，变电所还设置了静止无功功率补偿装置 SVC，进行综合补偿。

(2) 高次谐波、功率因数、再生制动对牵引供电设备的影响

300 系、700 系、500 系、E1 系、E2 系、E3 系、E4 系及 300X STAR2 型试验车等均采用 PWM 变流器和 VVVF 逆变器。该变流回流的特点是：采用再生制动、次数较高的谐波含量高、功率因数高。

① 高次谐波的特点和减少影响的措施

交直交传动与交直传动相比，由于采用的主元件性能有很大的改善，以及动力分散型列车各单元之间采用不同相位、保持一定的相角差来补偿一部分谐波，总体上谐波是比较低的。但由于采用 PWM 技术，1500~1800Hz 的高次谐波含量明显增加。采用 AT 供电方式，供电臂增长，电源阻抗增加，电源电感 L 和馈线回路电容 C 在较低频率时会产生共振，当与机车输出频率接近时，产生高次谐波放大。新干线供电回路的共振频率约为 1000~2000Hz。高次谐波共振的危害有：a、恶化系统电气设备的绝缘能力；b、车辆主回路和辅助回路误动作；c、通信杂音干扰；d、设备烧损。通过模拟分析和现场测试，认为共振主要是高次谐波在供电臂末端反射形成的，为了抑制高次谐波共振，在供电臂末端安装 HMC 装置；在供电臂 21.5km 的复线区间实验结果为：共振频率为 1550Hz，放大倍数为 14.66 倍，在分区亭设置 HMC 装置后，共振频率移至 500Hz。为了防止高次谐波放大，协调并减少车辆、供电设备和环境设备的干扰，日本制定了高次谐波含有率标准，具体如表 1.1 所示。

表 1.1 日本新干线高次谐波含有率标准

级数	3	5	7	11	13	17	19	23	25~29	综合
供电系统	3	4	3	2	2	1.5	1.5	1	1	5
220kV 侧	2	2.5	2	1.5	1.5	1	1	0.5	0.5	3

② 功率因数特点与减少影响的措施

交直交传动机车功率因数牵引时接近 1，再生制动时接近-1，STAR21型实验车实际测量的结果为：牵引时 0.95~1，再生制动时 0.9. 符合的阻抗特性也发生变化，不再分布于第 I 象限 40 左右，而是在第 I、II 象限内随机出现，这样容易引起保护误动作。推出的交流电气化贴到用保护范围转换继电器，该继电器仍为四边形特性，但 R、X 可以进行分别整定，在任意 R、X 整定值下，保护都有两个动作范围，小范围对应于正常运行状态，大范围对应于馈线故障状态，保护灵敏度高，高阻保护性能好。这两种方式成功的解决了新干线供电保护设备与车辆的协调。

③ 再生制动对牵引供电设备的影响

a、自动过分相的切换开关故障

当牵引工况的车辆位于中性区时，供电臂恰有一列车处于再生工况，而此时，自动过分相切换开关正处于向备用开关切换的状态，如果开断与切换真空断路器串联的隔离开关，就有可能产生大的电弧。

b、变电所供电臂停电，再生产不能及时撤除再生制动

供电臂中只有一列车时，如果供电臂停电，通过检测竭诚为电压和换流装置的电压，可立即中断再生。但如果同一供电臂中，再生车与牵引车的功率发生平衡时，供电臂停电，再生车不能马上检测出，此时对停电的反应时间是 0-100ms。

c、再生工况电路系统故障战场牵引变压器已座过电压

再生工况，电力系统故障，以此侧断路器跳开后而馈线断路器未跳开，再生车尚未停止再生前，经由主变的一次线圈，对另一座产生过电压。SCOTT 变压器如 T 座车辆再生时发生以此相间短路，M 座将产生 $\sqrt{3}$ 倍的过电压。

1.2.3 法国

(1) 牵引供电系统概况

法国 TGV 东南线的运行速度为 270km/h，追踪间隔时分为 5min，大西洋的运行数

的为 300km/h，追踪间隔时分为 3min，英吉利还写谁的客货混运，追踪间隔时分为 2.5min。法国 TGV 告诉铁路在东南线第一次采用 AT 供电方式，而后大西洋高速线、北方高速线等高速铁路均采用 AT 供电方式。

(2) 东南线供电系统

东南线的牵引变电所是法国电力公司通过双回 225kV 供电，主要供电设备均采用 100%备用。主变压器全部为单相牵引变压器，低压次侧设有电压自动调整装置，该装置具有一定的延时性，当母线电压持续 60s 低于 26kV 时，可自动调整电压并班车电压在 26kV 以上，因此，仅一列动车组通过时不动作，当动车组交会时才动作。电压调节共分 20 级，每级 350V，具有补偿高压变化的作用。牵引变压器容量均为 60MVA 东南线共设有 8 个牵引变电所，其中 2/3/4 变电所为 AT 变电所，其余变电所均为直供变电所。AT 变电所间平均距离为 90km 左右，直供变电所为 40km 左右。AT 主变压器二次侧绕组中点引出并接地，这样可不必在变电所馈线上安装自耦变压器，简化了变电所的接线。全线总安装容量为 800MVA 检修在夜间，为了检查和简易维护，白天也有 80min 天窗。

AT 供电区段 AT 变间距约为 15km 主变压器采用油浸自冷变压器，变压器电抗较高，可使短路电流限制在 12000A 以下。每个变电所通过 4 个断路器向架空接触网供电。变电所 25kV 侧采用六氟化硫断路器，断路器的额定电流为 1250A，断流能力 15000A。

为了限制电梯对电流系统的负序影响，法国采取了如下措施：

- ① 牵引变电所由 225kV 供电，以确保变电所与系统联结点有足够的短路容量；
- ② 所有牵引变电所通过相序轮换接入电力系统；
- ③ 在电力系统薄弱、大密度行车时，单相负荷对系统影响可能超标的牵引变电所，变电所按可以单相与“V”接相互转换设计；
- ④ 电网短路容量不足的地区，牵引变电所设置补偿装置。

1.2.4 德国

德国高速铁路采用 15kV、16 2/3Hz 供电，铁路有自营的专用单相 16 2/3Hz 的发电厂，给牵引变电所供电，也有部分采用公共电力系统，静电气化铁路的变频站供给牵引网。

汉诺威-维尔茨堡 ICE 高速线有 4 个既有线和 7 个新建的牵引变电所供电；曼海姆-斯图加特 ICE 高速线由 2 个既有和 3 个新建牵引变电所供电。在新建和既有线的联接处，设有分区亭。为高速线供电的既有线牵引供电设备都根据符合的增加和短路功率的提高

进行了加强和现代化的改造。高速线上的新建牵引变电所和配电室都是统一规格的。每个牵引变电所都装有 2 台 15MVA 的变压器，实行双边供电，变电所间距约为 30km。

为了将新建的或经过现代化改造的高速线牵引供电设施接通到原来的供电系统上，对电力调度、美茵河畔的法兰克福中心调度所以及有关的遥控装置的日常控制设备进行了适当的改造。

本文针对高速铁路牵引供电系统，对牵引供电系统做了详细的介绍。从各供电制式，供电方式入手，发现并研究了供电系统中存在的诸多问题，做出了解决办法。结合我国多年来的经验，详细分析了牵引供电发展的问题，并做出了理想牵引供电系统

章 高速铁路牵引供电系统系统介绍

由于电力机车功率大，拉的多，跑的快，世界各国的高速铁路几乎都采用电力机车牵引。电力机车与蒸汽机车和内燃机车不同，它本身不带能源，必须由外部供应电能。为了给电力机车供应电能，需要在铁路沿线架设一套牵引供电系统。高速铁路的牵引供电系统，与常速铁路的牵引供电系统不同，它的供电能力和供电可靠性必须满足高速列车运行的要求。

自 1964 年 10 月 1 日，日本建成世界上第一条高速铁路以来，经过几十年的实践和发展，各国高速铁路的牵引供电系统都有了很大的改进，达到了很高的水平，而且都各具特色。最具有代表性的是日本、法国和德国高速铁路的牵引供电系统。高速铁路的牵引供电系统主要包括牵引供电和接触网两大部分。下面就其采用的主要技术标准做一简单的介绍。

2.1 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过高，分段和分相点数量少。目前各国大多采用自耦变压器（AT）供电方式和带回线的直接（RT）供电方式。自耦变压器（AT）供电方式是每隔 10km 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。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 25kV，如图所示。带回线的直接（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，如图所示，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。

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。我国京沪高速铁路牵引供电优先采用 $2 \times 25\text{kV}$ （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 154kV、220kV 和 275kV 三种电压等级，

法国采用 225kV 电压等级，德国采用 110kV 电压等级，意大利采用 130kV 电压等级，西班牙采用 132kV 和 220kV 两种电压等级。

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 25kV，最高电压为 30kV，最低电压为 22.5kV。法国分别为 25kV、27.5kV 和 18kV。德国分别为 15kV、17kV 和 12kV。西班牙分别为 25kV、27.5kV 和 19kV。意大利采用直流供电，分别为 3kV、3.6kV 和 2kV。我国京沪高速铁路接触网的标称电压为 25kV，长期最高电压拟定为 27.5kV，短时（5min）最高电压为 29kV，设计最低工作电压为 20kV。

(4) 牵引变压器接线形式

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。日本采用斯科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位器。单相变压器的优点是变压器容量大、利用率高、经济效果好，最适合在高速铁路上应用。我国京沪高速铁路应优先采用单相变压器。

(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。电力调度及运动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在行车调度室内。

2.2.1 直接供电方式

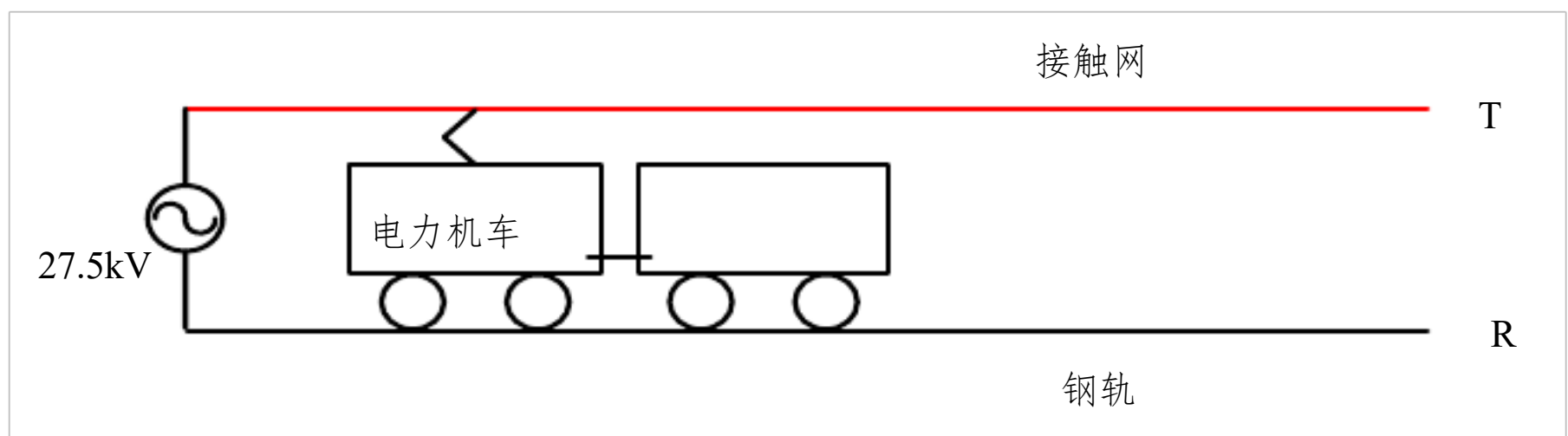


图 2.1 直接供电方式

牵引供电系统，两个牵引变电所之间将接触网分成两个供电分区（又称供电臂），正常情况两相邻供电臂之间在接触网上是绝缘的，每个供电臂只从一端牵引变电所获得电能的供电方式称为单边供电。若两个供电臂通过开关设备，在电路上连通，两个供电臂可同时从两个牵引变电所获得电能，这种供电方式称为双边供电。双边供电可提高接触网电压水平，减少电能损耗。但馈线及分区亭的保护及开关设备都较复杂，因此，目前采用较少。

单边和双边供电为正常的供电方式，还有一种非正常供电方式（也称事故供电方式）叫越区供电。

越区供电是当某一牵引变电所因故障不能正常供电时，故障变电所担负的供电臂，经开关设备与相邻供电臂接通，由相邻牵引变电所进行临时供电。这种供电方式称越区供电。因越区供电增大了该变电所主变压器的负荷，对电器设备安全和供电质量影响较大，因此，只能在较短时间内实行越区供电，是避免中断运输的临时性措施。

复线区段供电方式与上述基本相同，但每一供电臂分别向上、下行接触网供电，因此牵引变电所馈出线有四条。同一侧供电臂上、下行线实行并联供电，可提高供电臂末端电压。越区供电时，通过分区亭开关设备来实现。

2.2.2 吸流变压器—回流线装置 BT

在牵引网中，每相距 1.5km—4km 间隔，设置一台变比为 1:1 的吸流变压器。吸流变

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/068143123127006034>