

“十一五”国家重点图书

客运专线牵引供电系统关键技术丛书

客运专线 牵引供电自动化

高仕斌 陈维荣 陈小川 著

KEYUN ZHUANXIAN
QIANYIN GONGDIAN ZIDONGHUA



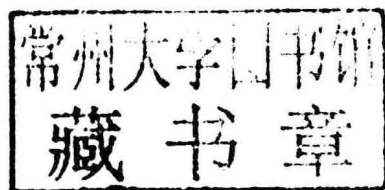
西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

“十一五”国家重点图书

客运专线牵引供电系统关键技术丛书

客运专线牵引供电自动化

高仕斌 陈维荣 陈小川 著



西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

本专著为“十一五”国家重点图书出版规划图书——《客运专线牵引供电系统关键技术丛书》之一。

本专著系统地介绍了高速客运专线牵引供电系统的馈线保护、变压器保护和备用电源自动投入原理；重点讨论了 AT 牵引供电系统，尤其是全并联 AT 牵引供电系统的故障测距原理；系统介绍了牵引变电所自动化系统、综合调度自动化系统和管理信息系统的相关内容。

本专著可作为高等学校电力系统及其自动化学科研究生教材，同时也可供相关专业本科生、从事轨道交通电气化与自动化方面的工程技术人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

客运专线牵引供电自动化 / 高仕斌, 陈维荣, 陈小川著. —成都: 西南交通大学出版社, 2010.12 (2012.4 重印)

(客运专线牵引供电系统关键技术丛书)

ISBN 978-7-5643-1012-7

I. ①客… II. ①高… ②陈… ③陈… III. ①电气化铁道—电力牵引—供电 IV. ①U223

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 258866 号

“十一五”国家重点图书

客运专线牵引供电系统关键技术丛书

客运专线牵引供电自动化

高仕斌 陈维荣 陈小川 著

*

责任编辑 黄淑文

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

成都二环路北一段 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: 170 mm×230 mm 印张: 14.5

字数: 230 千字

2010 年 12 月第 1 版 2012 年 4 月第 2 次印刷

ISBN 978-7-5643-1012-7

定价: 38.00 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

序

《客运专线牵引供电系统关键技术丛书》是我国运用大系统观点研究高速铁路牵引供电系统的第一套著作，标志着我国牵引供电系统研究已经从独立子系统简化研究的初级层次跨入了完整大系统综合研究的高层次。毫无疑问，这套丛书的面世，对于特殊时期的我国高速铁路牵引供电系统发展，不啻为一场及时雨。

1958年，我国电气化铁路从零起步，经过50余年的不懈努力，走过了世界电气化铁路发达国度百余年的历程，完成了从无到有、从常速到高速、从低吨位到重载的逾越。“十一五”更是我国铁路技术创新实现重大跨越、大步迈入高铁时代的5年。坚持原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新相结合，走出了一条高速铁路自主创新的成功之路。正是在这种形势下，《客运专线牵引供电系统关键技术丛书》被列入了“十一五”国家重点图书出版规划。

牵引供电系统是电力牵引车辆获取动力的源泉，既包含类似电源的固定设备（牵引变电所），又包含固定设备和移动能量消耗设备（车辆）之间联系组带的受电弓与接触网系统。牵引供电系统不仅要有极高的可靠性，所提供电能的品质也至关重要。

鉴于高速铁路牵引供电系统采用AT供电方式，动车组采用交-直传动技术，供电线路需要调度的对象众多而分散，这就要求新型牵引供电系统的继电保护原理与故障测距原理不断更新，牵引变电所自动化系统、综合调度系统与管理信息系统的功能需要不断优化。

作为牵引变电所与电力牵引单元电能传输媒介的受电弓与接触网系统，对于车辆辅助设施、生活设施的固定用电与牵引车辆移动用电两方面来说，电力传输都应安全可靠；另外，车辆再生制动时，受电弓与接触网系统还肩负着反向馈送电能的任务。受电弓与接触网的相互作用与众多因素相关，将受电弓与接触网分离成两个相对独立子系统分别加以研究的方法已经无法适应高速铁路的运行要求。受电弓与接触网系统设计、施工与运营维护的关系同样无法割裂。

电气化铁路电能质量的问题由来已久。在交-直电力机车运行的线路上，依次表现为负序、无功和谐波。在交-直-交电力机车/动车组运行的线路上，技术的进步使无功和谐波得到了根本改善，负序问题却因单台电力机车/动车组功率的增大而更加突出。可以预料负序将成为影响电气化铁路电能质量的主要因素，治理难度和容量投入也相应变大，一些新型技术方案的应用迫在眉睫。

我十分欣喜地看到，西南交通大学电气工程学院的教师们将呕心沥血的研究与实践成果进行了系统总结，形成了覆盖高速铁路牵引供电系统关键技术领域的《客运专线牵引供电自动化》、《受电弓与接触网系统》和《电气化铁路电能质量分析与控制》系列丛书。这套丛书的贡献在于不失时机地迎接了牵引供电系统发展趋势的挑战、卓有成效地形成了符合我国高速铁路牵引供电系统发展要求的理念与成果。这套丛书不仅能够为我国高速铁路的建设与运营提供技术支撑，也能为我国高速铁路建设与管理人才的培养提供理论支持。

我坚信，无论是在学科发展方面，还是在工程应用方面，该套“客运专线牵引供电系统关键技术丛书”都具有广阔的应用价值和发展潜力。

中国工程院院士 钱:香泉

2010年11月

前 言

2010 年底,中国时速 200 km 以上的高速铁路已超过 8 000 km。高速铁路必将采用电力牵引,因此,牵引供电系统是高速铁路的重要组成部分。

本专著作为“十一五”国家重点图书出版规划图书——《客运专线牵引供电系统关键技术丛书》之一,重点总结了高速铁路牵引供电自动化的相关基础研究和工程技术实践。

本专著分为六章。第 1 章扼要介绍了高速客运专线电力供电系统、牵引供电系统、牵引供电自动化系统的结构,并给出了智能牵引供电系统的概念。针对高速客运专线的牵引变电所主接线、供电方式,第 2 章重点介绍了馈线保护、变压器保护及其配置与整定计算方法,同时,讨论了牵引变电所备用电源、AT 所自耦变压器和开闭所进线的自动投入原理。第 3 章重点介绍高速客运专线接触网故障点测距原理,包括直接供电方式、BT 供电方式和 AT 供电方式的故障测距原理,尤其是国内高速客运专线广泛采用的全并联 AT 供电方式的故障测距原理。第 4 章对目前已在高速客运专线普遍应用的变电所自动化系统,从系统结构、功能设置,到间隔单元、通信网络、后台监控都作了全面介绍。第 5 章介绍了客运专线供电综合调度系统的结构与功能。第 6 章从高速客运专线供电管理业务分析出发,介绍了高速铁路客运专线供电管理信息系统的结构与功能。

本专著由西南交通大学电气工程学院的高仕斌教授、陈维荣教授和

陈小川教授合著。第 1 章由陈小川、王勃教授撰写，第 2 章由熊列彬、韩正庆副教授撰写，第 3 章由高仕斌教授、林国松副教授撰写，第 4 章由陈德明副教授编写，第 5 章由陈维荣教授、陈奇志副教授撰写，第 6 章由李岗讲师撰写。其中，第 1、2、4、6 章由陈小川教授统稿，第 5 章由陈维荣教授统稿，全书由高仕斌教授统稿。

本专著在编撰过程中得到了西南交通大学电气工程学院的大力支持，中国工程院钱清泉院士拨冗为本丛书作序，西南交通大学出版社的张雪总编、黄淑文编辑为本书的出版付出了大量心血，在此，一并表示感谢。

限于作者水平，书中谬误之处在所难免，恳请读者指正为盼！

作 者

2010 年 12 月

目 录

1 绪 论	1
1.1 客运专线供电系统	1
1.1.1 电力供电系统	1
1.1.2 牵引供电系统	2
1.1.3 牵引负荷的特点	7
1.2 客运专线牵引供电自动化	8
1.2.1 部调度中心系统	10
1.2.2 调度管理层	10
1.2.3 被控站系统	12
1.3 智能化牵引供电系统	15
1.3.1 智能化牵引供电系统结构	15
1.3.2 智能化牵引供电系统功能	16
2 客运专线牵引供电系统继电保护原理	18
2.1 客运专线牵引供电系统馈线保护	18
2.1.1 几个特殊问题	18
2.1.2 对距离保护特性的要求	19
2.1.3 自适应距离保护	20
2.1.4 电流速断保护	25
2.1.5 电流增量保护	26
2.1.6 反时限过负荷保护	29
2.1.7 接触网发热保护	31
2.1.8 一次自动重合闸	32
2.1.9 全并联 AT 供电牵引网保护配置与整定	33
2.2 牵引变压器保护	38
2.2.1 差动速断与比率差动保护	39
2.2.2 瓦斯保护	47

2.2.3	低电压启动的过电流保护	48
2.2.4	低压侧过电压保护	50
2.2.5	高压侧低电压保护	51
2.2.6	过负荷保护	51
2.2.7	其他非电量保护	52
2.3	备用电源自动投入	52
2.3.1	牵引变电所备用电源自动投入	53
2.3.2	AT 所自耦变压器自动投入	58
2.3.3	开闭所进线自动投入	60
3	客运专线牵引供电系统故障测距原理	62
3.1	电抗法故障测距原理	62
3.1	基本原理	62
3.1.2	单线直供和 BT 牵引网故障测距原理	63
3.1.3	复线直供和 BT 牵引网故障测距原理	64
3.2	AT 牵引供电系统故障测距原理	66
3.2.1	AT 中性点吸上电流比测距原理	66
3.2.2	上下行电流比和吸馈电流比测距原理	68
3.3	全并联 AT 供电方式故障测距原理	71
3.3.1	AT 中性点吸上电流比故障测距原理	72
3.3.2	区段上下行电流比原理	74
3.3.3	横联线电流比故障测距原理	75
3.3.4	故障测距启动元件	77
3.3.5	各种测距原理应用分析	79
4	客运专线牵引变电所自动化系统	80
4.1	变电所自动化系统的构成及功能	80
4.1.1	变电所自动化系统的功能	80
4.1.2	变电所自动化系统的结构形式	82
4.2	通信网络及通信协议	87
4.2.1	通信概述	87

4.2.2	数据通信的基本概念	90
4.2.3	常用的通信技术	96
4.2.4	网络结构	103
4.2.5	通信规约	112
4.3	间隔层	122
4.3.1	变压器间隔单元功能及设备	122
4.3.2	馈线间隔单元功能及设备	126
4.3.3	并补间隔单元功能及设备	128
4.3.4	其他间隔单元功能及设备	128
4.4	站控层	129
4.4.1	监控子系统的功能	129
4.4.2	监控子系统的结构	133
4.4.3	监控系统举例	135
4.5	自动化新技术	143
4.5.1	变电所自动化系统的发展	143
4.5.2	IEC61850 通信体系标准	146
5	客运专线供电综合调度自动化系统	155
5.1	客运专线综合调度系统概述	156
5.2	客运专线供电综合调度系统	161
5.2.1	客运专线供电综合调度系统结构及功能	161
5.2.2	客运专线综合供电调度系统运营维护模式	166
5.2.3	供电综合调度系统与外部系统的接口	168
5.3	客运专线牵引供电综合调度系统	171
5.3.1	牵引供电 SCADA 系统基本功能	172
5.3.2	牵引供电 SCADA 系统的软件结构	179
6	铁路供电信息化	185
6.1	管理信息系统概述	185
6.1.1	信息化概念	185
6.1.2	管理信息系统	186



6.2 铁路供电维修管理业务分析	190
6.2.1 组织结构	190
6.2.2 管理对象	192
6.2.3 业务分析	193
6.3 客运专线综合维修管理信息系统	200
6.3.1 系统结构	201
6.3.2 核心业务分析	205
6.3.3 系统功能	209
参考文献	220

1 绪 论

1.1 客运专线供电系统

如图 1.1 所示, 电力系统是从发电、输电、变电、配电到用电的一个有机整体, 其动力源可以是水能、热能等传统能源, 也可以是太阳能、风能、核能等新能源, 而铁路供电系统是电力系统中具有特殊负荷特性的一个子系统。



图 1.1 电力系统简单示意图

铁路供电系统划分为电力供电系统和牵引供电系统两个部分。电力供电系统为调度指挥、通信信号、旅客服务等业务提供可靠的电力保障, 牵引供电系统为电气化铁路的电力机车（动车组）提供电能。

1.1.1 电力供电系统

铁路电力供电线路一般由沿铁路全线设置的一条一级负荷电力贯通线和一条综合电力贯通线构成。电力贯通线电压等级通常为 10 kV、供电距离为 30~50 km, 特殊情况下（如青藏铁路）采用 35 kV 电压等级、供电距离超过 100 km。沿线与行车有关的通信、信号、综合调度系

统等一级负荷由电力贯通线提供主电源,综合电力贯通线提供备用电源。其他用电负荷及各牵引变电所所用电源由综合电力贯通线提供电源,在区间各用电点设置 10 kV 箱式变电站。

对于普速铁路,电力贯通线通常为架空线,中性点不接地。发生单相接地故障的概率大,但多数故障为瞬时性故障,能够自行恢复。发生单相接地故障时允许继续运行两小时,运行维护人员应尽快查找到故障点,进行维修作业。但这种单相接地故障短路电流仅有几安培,要快速确定故障点并不容易。

对于客运专线,为提高供电可靠性,电力贯通线多采用电缆线路并埋入专门的电缆沟,中性点可通过消弧线圈接地,但直接接地可以更有效地抑制过电压水平。同时单相接地故障电流大,利于准确判定故障点位置。图 1.2 为京津城际客运专线电力供电系统示意图。

变/配电所两路相互独立的进线电源由公共电网提供,进线电压等级有 10 kV, 35 kV, 110 kV, 220 kV 等。

电力负荷分为车站负荷和区间负荷两大类。车站负荷主要有通信、信号、防灾报警、自动检/售票、客服、电力监控、消防系统、各类水泵、各类通风机、空调、自动扶梯、电梯、电热设备和各类生产生活照明及站区照明负荷。区间负荷主要有通信、信号中继站、光纤直放站、牵引变电所操作电源、隧道照明及监控设备等。电力负荷按重要程度分为三个等级,最重要的一级负荷包括通信、信号、防灾报警、自动检/售票、客服、电力监控、消防系统、应急照明、站台照明、地下出站厅照明、主控制室照明等。

1.1.2 牵引供电系统

随着我国客运专线的快速发展,AT(自耦变压器)供电方式与其他供电方式相比越发突显其优点,为进一步提高牵引网电压,减小牵引网电能损失,采用了牵引网在 AT 所和分区所处的上、下行接触网(T)、正馈线(F)和钢轨(R)并联连接的接线方式,称为全并联 AT 供电方式,如图 1.3 所示。我国客运专线主要采用全并联 AT 供电方式。

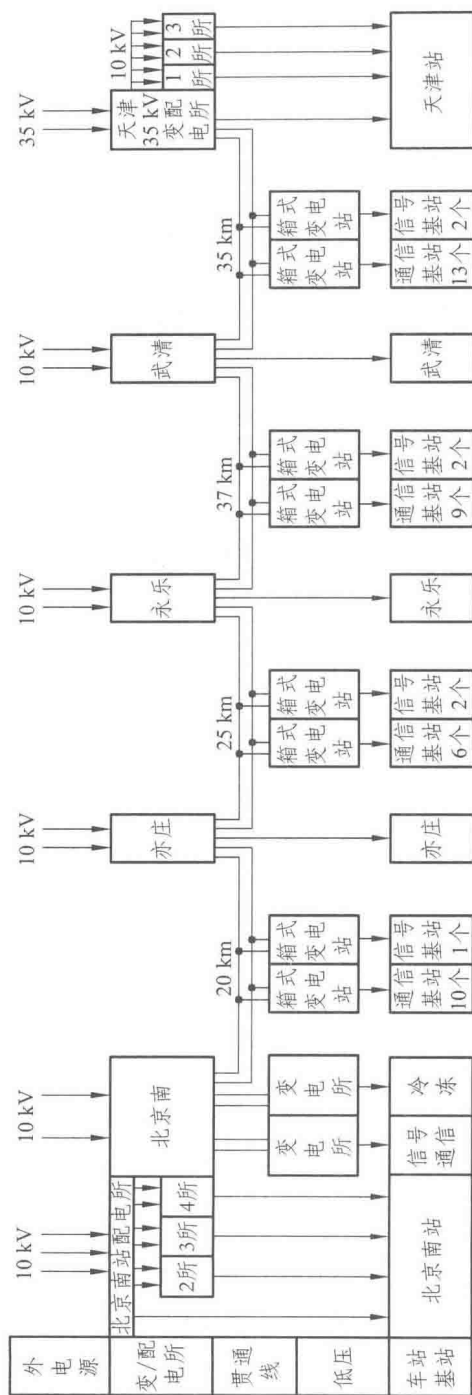


图 1.2 京津城际客运专线电力供电系统示意图

图 1.3 中 E_q 为系统电源, Z_s 为系统阻抗, T 为带中心抽头的单相变压器, QF_1 、 QF_2 分别为上、下行双极断路器, AT_1 、 AT_2 分别为 AT 所和分区所的自耦变压器, T_1 、 F_1 、 R_1 为上行线路的接触网、正馈线、钢轨, T_2 、 F_2 、 R_2 为下行线路的接触网、正馈线、钢轨。

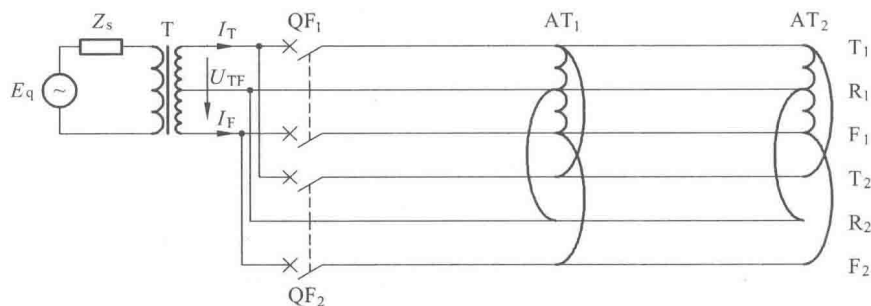


图 1.3 全并联 AT 供电牵引网

1. 牵引变电所

客运专线牵引变电所一般采用两路 220 kV 进线, 一路运行、一路备用。设置 4 台牵引主变压器, 牵引主变压器一般采用单相变压器, 其中 2 台运行 2 台备用, 每 2 台变压器接成 V/X 方式。与常规 AT 供电方式的最大区别在于将单相牵引变压器的二次绕组中间抽头引出接钢轨, 在牵引变电所不设置自耦变压器。客运专线牵引变电所主接线如图 1.4 所示。

2. AT 所

客运专线 AT 所主接线如图 1.5 所示, 设置 2 台自耦变压器, 同时设置 2 台断路器实现上、下行供电臂在 AT 所的横向连接。

3. 分区所

客运专线分区所的结构与 AT 所类似, 如图 1.6 所示。

根据图 1.4~图 1.6 可以得到全并联 AT 供电方式下供电臂的简化示意图, 如图 1.7 所示。

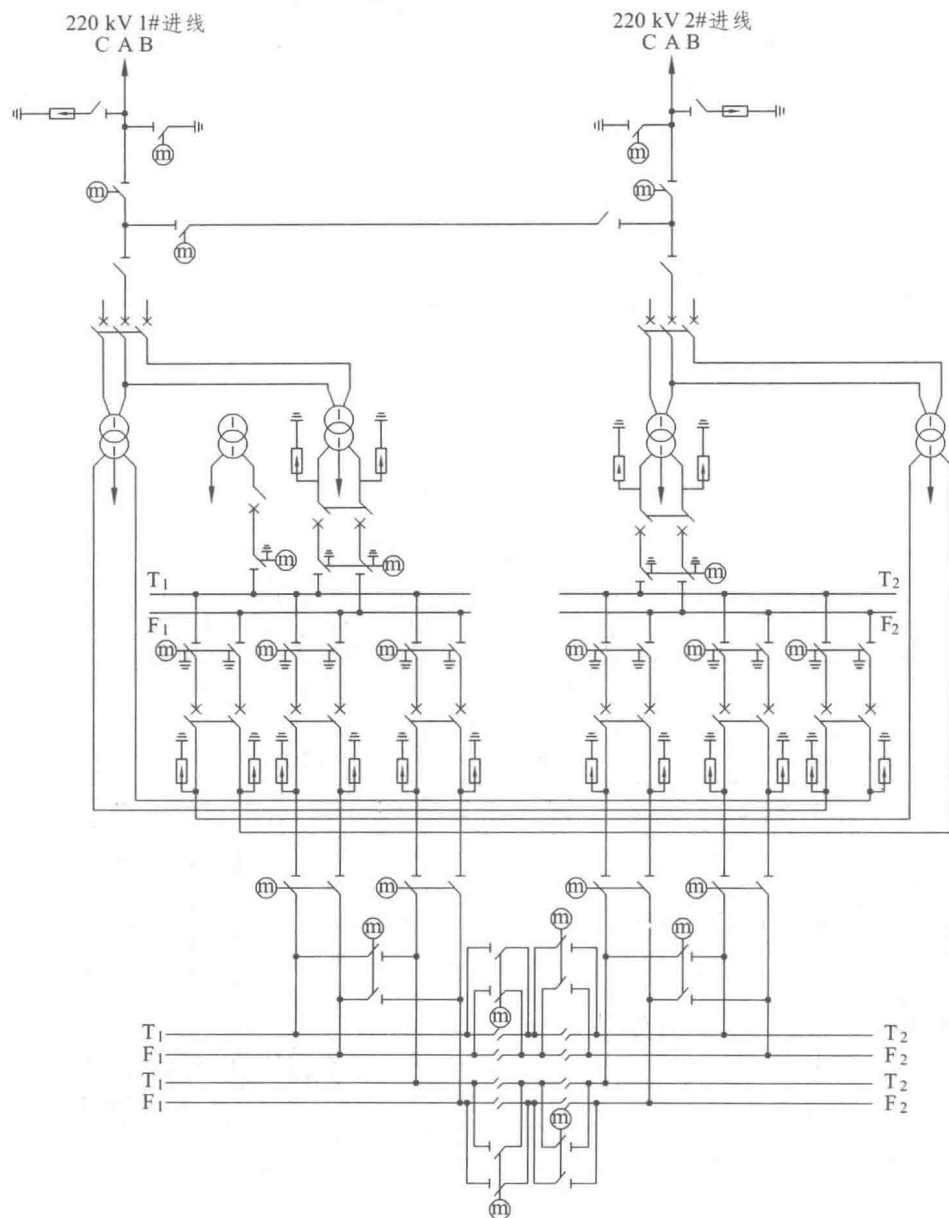


图 1.4 客运专线牵引变电所主接线示意图

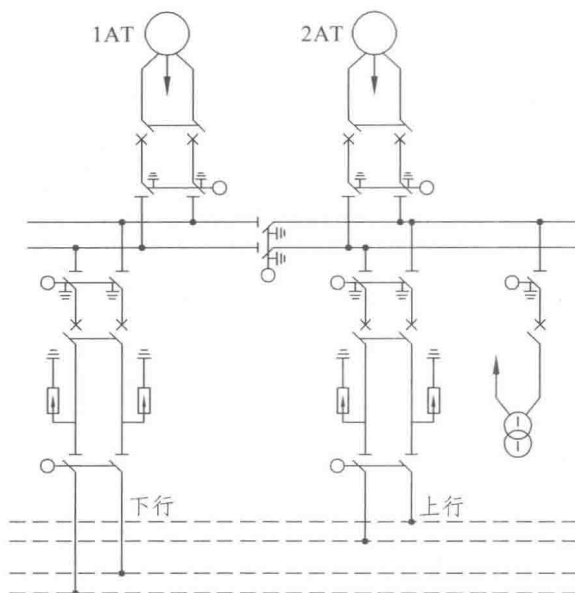


图 1.5 客运专线 AT 所主接线示意图

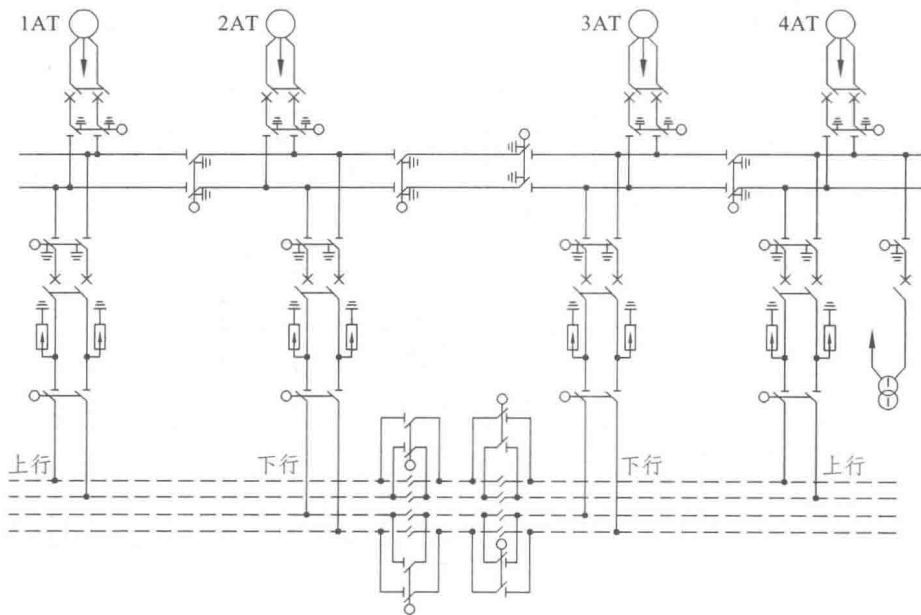


图 1.6 客运专线分区所主接线示意图