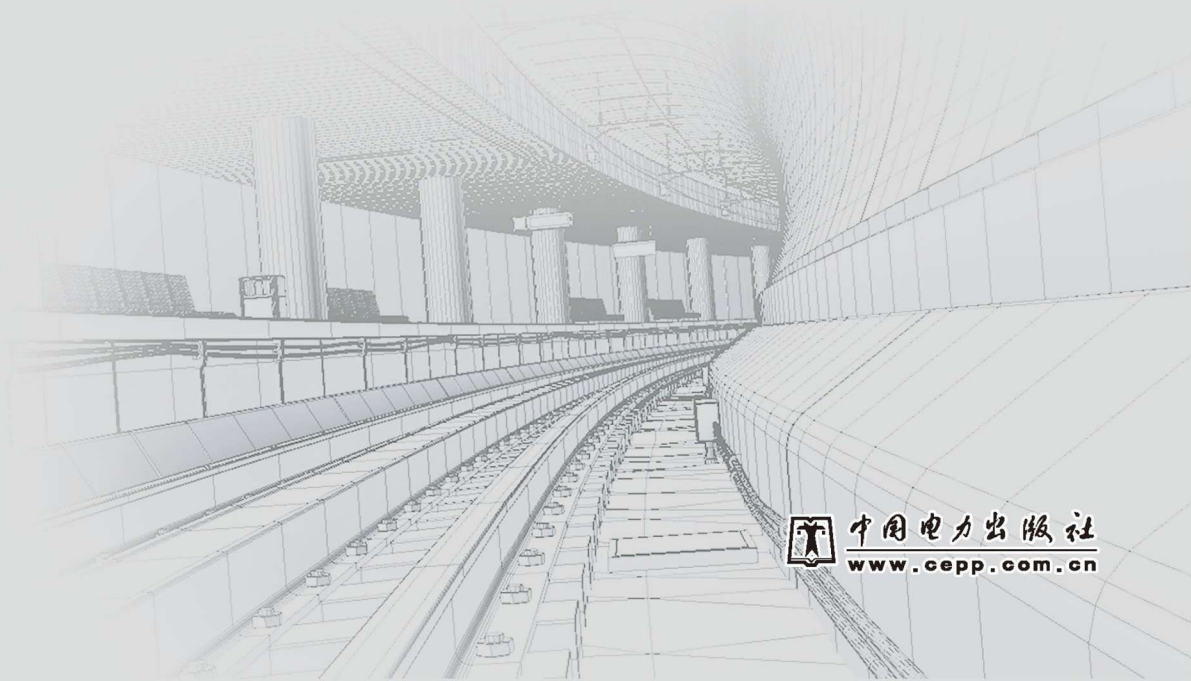




地下铁道供电

黄德胜 张 巍 著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

地下铁道供电

黄德胜 张 巍 著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是作者从事 45 年地铁供电设计与研究的总结,从实践中来到实践中去,是本书的写作特点。

书中共分 12 章,其中第 1 章~第 8 章,主要是论述地铁供电系统的构成与功能,从系统上划分,地铁供电主要由两大系统构成——牵引供电系统和供配电系统;第 9 章就目前地铁供电系统的几个热点问题,作者根据自己多年的工程实践进行了论述,并得出相应的结论;第 10 章为探索未知,在北京地铁建设初期所做的现场实验,体现了第一代地铁人求真务实的精神;第 11 章牵引供电计算和第 12 章直流短路计算,是作者在工程实践中总结出来的。本书可供地铁设计、施工、运营及科研人员使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

地下铁道供电 / 黄德胜, 张巍著. —北京: 中国电力出版社, 2009

ISBN 978-7-5083-9178-6

I. 地… II. ①黄…②张… III. 地下铁道—电力牵引—供电 IV. U231

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 124759 号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路 6 号 100044 [http: //www. cepp. com. cn](http://www.cepp.com.cn)

策划: 周 娟 责任印制: 陈焊彬 责任校对: 闫秀英

北京同江印刷厂印刷·各地新华书店经售

2010 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

700mm×1000mm 1/16·15.75 印张·304 千字

定价: 39.80 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话 (010—88386685)

前 言

我国第一条地下铁道——北京地铁通车已经 40 年了，从设计、施工、设备制造到正式通车，完全依靠我国自己的技术力量完成。它体现了全国一盘棋和第一代地铁人求真务实的精神。作者正是经历了修建北京地铁的一个全过程及国内多个城市的地铁建设，经历了我国 40 余年地铁建设的风风雨雨，在实践的基础上，对地铁供电问题进行了归纳和整理，本书主要源自作者在工程实践中所写的《地铁供电与随笔》一书。

世界上第一条地铁——伦敦地铁与电并无关系，随着科学技术的不断进步与发展，电已经成为地铁能够快速、安全运行的大动脉。地铁供电与城市电网紧密相连，但又有差异。地铁供电系统的特点是一条线、电源多、回路多、参数多、负荷随时变化和移动。根据这些特点，本书对其供电系统的构成、功能等分别进行了论述，侧重点在于直流牵引供电系统，因为交流供电系统已深入到社会生活的各个领域，为大家所熟知，并有一系列完备而成熟的规程、规定和计算方法，本书不再赘述。

20 世纪 60 年代修建北京地铁时，供电可参考的资料有限，对直流牵引供电系统更是如此。因此需要在实践中进行必要的现场实验，这些实验均属于大实验，并非一个人、一个单位所能完成，而是大兵团作战的结果。书中一些计算公式，就是在这些现场实验的基础上产生和总结的，并在实践中得到了验证。书中对牵引供电的一些计算方法和计算公式进行了必要的推导和论证，着眼点不只是从理论上，而是在实际工程中便于应用，从实践中来到实践中去，是本书写作的特点。

书中共分 12 章，其中第 1 章～第 8 章，主要论述地铁供电系统的构成和功能。从系统上划分，地铁供电主要由两大系统构成——牵引供电系统和供配电系统，前者为电动列车快速、安全运行服务；后者为保证旅客有良好旅行环境服务，两者相辅相成、缺一不可。

第 9 章就目前地铁供电的几个热点问题，作者根据自己的工程实践进行了论述，并得出相应的结论。对地铁牵引供电系统保护的特点、走行轨电位、钢轨电位限制器、框架保护、地铁接地等问题进行论述。明确提出由于多电源，直流馈线开关失灵拒动是牵引供电系统保护的软肋；走行轨电压降不等于对地电位；钢轨电位限制器经常误动作是因为电压监测回路缺少列车停靠车站的信号接点，它的经常性误动作如同北京地铁在十几年前已解除的直流接地电压继

电器一样；直流框架保护适用于地面牵引变电所；地下车站结构钢筋是一个等电位法拉第笼，是地铁内一切电气设备的地等。所有这些，并非是理论推导，而是工程实践的总结。

第 10 章为探索未知，在北京地铁建设初期，能够参考的资料很少，只能靠现场实验得出相应的结论。这些大型现场实验，表现了第一代地铁人的勇气和决心。因为这些实验，做起来风险比较大，只有可靠的人力资源保障和技术支撑才能顺利完成。

第 11 章牵引供电计算和第 12 章直流短路计算，不包括中压交流部分，因为关于交流侧的计算，已有各种设计规程和手册，并有一套完整的计算方法和计算公式，读者有据可查。本章主要是地铁牵引供电系统的有关计算，这些计算主要是作者在工程实践中总结出来的，写出来供读者参考。其中平均运量法计算公式主要来源于唐山铁道学院曹建猷教授和邵能仁博士的讲义，作者加以归纳整理而来。书中介绍的用单位能耗求列车平均电流的方法，是作者在工程实践中推导并实际应用的。用平均运量法进行计算，其精度完全可以满足工程需要。计算精确度取决于列车的单位能耗。列车单位能耗 ΔA ($\text{kW} \cdot \text{h}/\text{t} \cdot \text{km}$) 建议采用实测值或统计值，计算会更加准确和接近真实。

直流短路计算的两种计算方法——电路图法和示波图法，两者均是在现场短路实验中产生并得到验证的。电路图法是建立在电路基本理论基础上的；示波图法则是建立在实践基础上的。后者能计算出电路的 3 个参数——稳态短路电流、时间常数和短路电流上升率，这是电路图法无法比拟的。

直流短路参数，是一个专业性很强的问题，对地铁而言，是 1969 年地铁车辆着火以后提出的，经过 12 年后，于 1981 年才彻底解决。

由于作者水平有限，不当之处在所难免，希望读者加以指正。

谨以本书献给所有参加北京地铁现场实验的第一代地铁人。

本书计算公式的推导，由李华同志进行了验证，在此表示感谢！

作 者

目 录

前言

第 1 章 概论	1
1.1 供电系统的功能	6
1.2 供电系统的构成	8
1.3 供电系统电磁兼容	13
第 2 章 电源与主变电所	18
2.1 电源	18
2.2 主变电所	20
2.3 电源等级	21
2.4 中压供电网络	22
第 3 章 牵引供电系统	24
3.1 牵引供电系统运行方式	24
3.2 牵引供电系统保护	30
3.3 牵引变电所	44
3.4 牵引网	54
第 4 章 供配电系统	66
4.1 概述	66
4.2 降压变电所	67
4.3 动力照明	72
第 5 章 电缆敷设与接地	75
5.1 电缆敷设	75
5.2 接地	76
5.3 直流 825V 接地试验	80
5.4 北京地铁接地电阻值的测试	89
5.5 结论	91

5.6	地铁接地方案的确定	92
5.7	地铁综合接地系统的构成	95
第 6 章	电力监控与数字采集 (SCADA) 系统	97
6.1	SCADA 系统的作用	97
6.2	SCADA 系统的构成	97
6.3	SCADA 系统功能	102
6.4	自动化系统集成	103
第 7 章	杂散电流	105
7.1	概述	105
7.2	杂散电流的产生	105
7.3	杂散电流的防护	107
第 8 章	设备国产化与选型	110
8.1	设备国产化	110
8.2	设备选型	111
第 9 章	地铁供电的几个问题	114
9.1	牵引供电系统的运行方式	114
9.2	牵引供电系统的软肋	115
9.3	单、双边供电问题	117
9.4	单、双边供电比较	119
9.5	北京地铁 1 号线单边供电的由来	124
9.6	走行轨电压降不等于对地电位	127
9.7	走行轨电压降等于对地电位的条件	128
9.8	关于钢轨电位限制器	129
9.9	北京地铁为何解除接地电压继电器	135
9.10	屏蔽门、安全门的安装	137
9.11	关于直流框架保护	138
9.12	走行轨上任意一点对地电位存疑	140
9.13	地铁接地问题	142
9.14	电磁兼容概论	144
9.15	地铁供电系统电磁兼容	147

第 10章 北京地铁现场实验	153
10.1 概述	153
10.2 牵引变压器、硅整流器现场负荷实验	154
10.3 35kV电缆电磁兼容实验	156
10.4 地铁电动车辆主保护实验	157
10.5 牵引供电系统时间常数模拟实验	158
10.6 地铁车辆主保护现场实验	159
10.7 水冷牵引变压器实验	161
10.8 DS9直流快速断路器现场短路实验	162
10.9 825V直流通地现场实验	163
10.10 地铁接地电阻测试	164
10.11 牵引供电系统短路参数现场实验	164
10.12 列车单位能耗实验	166
10.13 强电与弱电设备的电磁兼容实验	166
第 11章 牵引供电计算	168
11.1 概述	168
11.2 平均运量法	169
11.3 谐波计算	176
11.4 单位指标法	178
11.5 地铁供电估算	184
11.6 列车单位能耗	193
11.7 直线电机牵引	198
第 12章 直流短路计算	201
12.1 概述	201
12.2 电路图法	203
12.3 示波图法	215
12.4 牵引变电所内阻	223
12.5 直流开关分断能力计算	225
12.6 地铁短路参数计算	231
参考文献	241

第 1 章

概 论

地下铁道通称地铁。世界上对于地铁并没有一个统一的定义，通常把用于运送旅客的高速轨道电车都统称之为地铁。这与最早的地铁均建于地下有关。正如马路，虽然现在并无马车行驶但仍叫马路，纸币虽然不含金属仍然叫金钱一样。

与其他公共交通工具相比，地铁有以下几个特点：运输能力强、速度快捷、安全可靠、准时方便、无污染，是居民出行时首选的交通工具。如莫斯科地铁每小时可行驶 48 对列车，即每隔 75s 就可上下行对开一列车，这是世界上最繁忙的地铁，它的年客运量占全市总客运量的 45%。而世界上最快的地铁要属旧金山地铁，其最高运行速度达到 128km/h。地铁车站建筑装修，世界各地也有较大差异，建筑装修最讲究的要数莫斯科地铁和斯德歌尔摩地铁，有“地下宫殿”和“地下艺术长廊”之称。单条线路长度也相差甚远，从几千米到几十千米不等，最长的要数伦敦的从东到西穿过市中心的中央线，全长 74km。

在地下运行并不是地铁的主要特征，因为最初修建的地铁多在人口稠密的城区，随着线路向郊区发展，地铁已由地下转入地面或者高架桥上运行。

世界上最早的地铁是英国伦敦于 1863 年建成通车的，当时的地铁与电毫无关系，因为地铁通车时既无电灯，也无电车。爱迪生发明电灯比伦敦地铁还要晚 7 年（1870 年），世界上最早的有轨电车是 1881 年西门子公司在柏林近郊建立的，比伦敦地铁还要晚 18 年。随着科学技术的发展，电才成为地铁不可或缺的能源和动力。根据实际需要，电能传输已逐渐成为一个独立而完备的系统。

伦敦地铁最初是用蒸汽机车牵引木制敞篷车厢的，当时乘车的英国绅士和女士们，肩膀以上均露在车外。为避免烟熏，在地铁的上部开有通风孔。在 19 世纪建成地铁的还有两个城市，匈牙利的布达佩斯（1896 年）和美国的波士顿（1897 年）。其他城市地铁均是在进入 20 世纪后建成的，如法国的巴黎（1900 年）、美国的纽约（1904 年）。在中国周边国家有地铁比较早的城市有东京（1927 年）、莫斯科（1935 年）、平壤（1973 年）、首尔（1974 年）。其他城市的地铁都是在 20 世纪 80 年代以后修建的。目前世界上有 50 多个国家、170 多座城市、开通了约 500 条线路，总计里程约 10 000km。世界上地铁线路最长的

10个城市见表 1—1。

表 1—1 世界上地铁线路最长的 10个城市

序号	城市	通车时间	线路总长 /km	线路 数 条	车站 数 座	平均站间距 /km	备 注
1	伦敦	1863年 1月 10日	408	11	268	1.52	1890年开始用电车
2	纽约	1904年 10月 27日	370	26	468	0.79	55%线路在地下昼夜运行
3	东京	1927年 12月 30日	304	13	285	1.07	
4	莫斯科	1935年 5月 15日	292	12	176	1.66	只有 15个车站在地上
5	首尔	1974年 8月 15日	287	10	266	1.08	70%线路在地下
6	马德里	1919年 10月 17日	284	13	280	1.01	90%线路在地下
7	上海	1995年 4月 10日	234	8	161	1.45	
8	北京	1969年 10月 1日	230.4	9	145	1.59	2008年北京奥运会 会前有 3条线路通车
9	巴黎	1900年 7月 19日	221.6	16	384	0.56	平均站间距最短
10	墨西哥城	1969年 9月 4日	201	11	175	1.15	1985年 9月 19日的强烈 地震（8.1级）中完好无损

由表 1—1可以看出，为居民的出行方便，地铁车站的平均站间距在 1km 左右，各城市根据自己城市的需要，车站的设置有较大差异。如巴黎地铁平均站间距为 0.56km、纽约地铁平均站间距为 0.79km，而莫斯科地铁平均站间距为 1.66km、北京地铁平均站间距为 1.59km。

北京地铁一期工程自 1965年 7月 1日开工，1969年 10月 1日通车，全长 22.9km，仅用 4年 3个月的时间，圆了中国人民的地铁梦，虽然比伦敦地铁晚了 106年，但这是我国自己设计、自己施工、完全用国产机电设备建成通车的，包括牵引供电系统的 DSI 型直流快速断路器和地铁车辆，全部是国产的。从 1953年 9月北京市在《改建和扩建北京市规划草案》中提出“必须及早筹建地下铁道”算起，从筹建、线路调整、深埋浅埋论证，到 1965年 1月国务院正式批准《北京地下铁道修建方案》、同年 2月 4日毛主席批示“精心设计，精心施工”开始，经过第一代地铁人不懈追求和努力，历尽风雨，整整经历了 16年时间，毛主席为修建北京地铁批示如图 1—1所示。

鉴于在第二次世界大战中，为躲避德国法西斯的空袭，伦敦地铁和莫斯科地铁都曾经成为良好的防空工事，而地铁车站则成为丘吉尔和斯大林的战时指挥部，因此，20世纪 50年代在筹建北京地铁时，很自然地把建设方针确定为“战备为主，兼顾交通”。北京地铁建成通车后，自 20世纪 70年代起，国内其他城市如天津、上海、广州、南京和深圳等城市的地铁也相继建成通车，不过

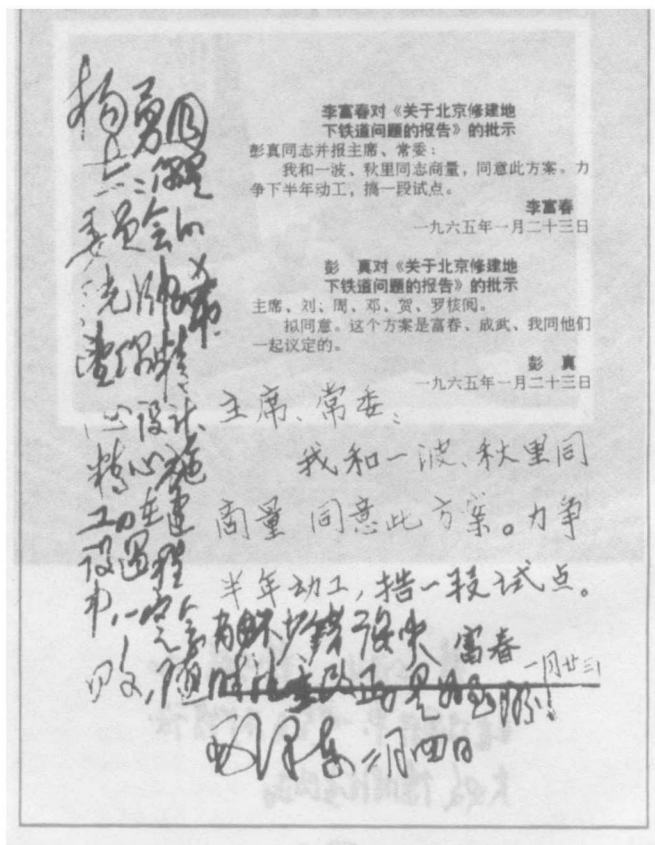


图 1-1 毛主席为修建北京地铁批示

杨勇同志：你是委员会的统帅，希望你精心设计，精心施工。在建设过程中，一定会有不少错误、失败，随时注意改正。是为至盼！

毛泽东 二月四日

这时的建设方针变为“交通为主，兼顾战备”了。地铁线路根据需要在市中心人口稠密地区建于地下，在郊区建于地面或高架桥上。按照原建设部城市轨道交通工程建设标准划分，线路单向运送旅客的能力在 3 万人以上称为地铁、3 万人以下称为轻轨。以国内 B 型车为例，每节车定员为 247 人，用 6 节车厢编组，一列车的运送能力为 1482 人，车流密度为 21 对 /h，则单向运送旅客的能力为 31 122 人 /h，属地铁范畴；若车流密度为 20 对 /h，则单向运送旅客的能力为 29 640 人 /h，属轻轨范畴。可见地铁和轻轨从运送旅客的能力划分在临界点并无大的差别。地铁车辆在地面运行经过居民区时要求有防止噪声的声屏障，以减轻噪声污染；而轻轨车辆底盘低、车门低，旅客上下车无需 1m 高的车站站台。至 2009 年，北京地铁已通车线路见表 1-2。至 2015 年，北京还将建设 12

条地铁线路，市区线路建在地下，郊区线路建在地上，使郊区和市区用地铁网路联系在一起，总里程将达到 561km，使北京地铁成为三环、四横、五纵、七放射的网络体系，真正成为居民出行的首选、安全、快捷、环保的交通形式。

表 1-2 北京地铁至 2009 年已通车线路

序号	名称	长度/km	车站数/座	线路形式	通车时间	备注
1	1号线	33.4	22	地下	1969年 10月 1日	地面车站 2座
2	2号线	23.6	18	地下	1984年 9月	全为地下线路
3	13号线	40.7	16	高架	2002年 10月 28日	地下车站 1座
4	八通线	19	13	地面	2003年 12月 27日	9座高架车站
5	5号线	27.8	22	地下	2007年 10月 7日	地面及高架车站 7座
6	10号线	24.7	22	地下	2008年 7月 19日	7座换乘车站
7	奥运支线	4.5	4	地下	2008年 7月 19日	地铁 8号线的一部分
8	机场线	28.1	4	地下	2008年 7月 19日	直线电机地面车站 1座
9	4号线	28.6	24	地下	2009年 9月 28日	地面车站 1座
10	总计	230.4	145			

北京地铁线路图如图 1-2 所示，莫斯科地铁线路图如图 1-3 所示。从图中

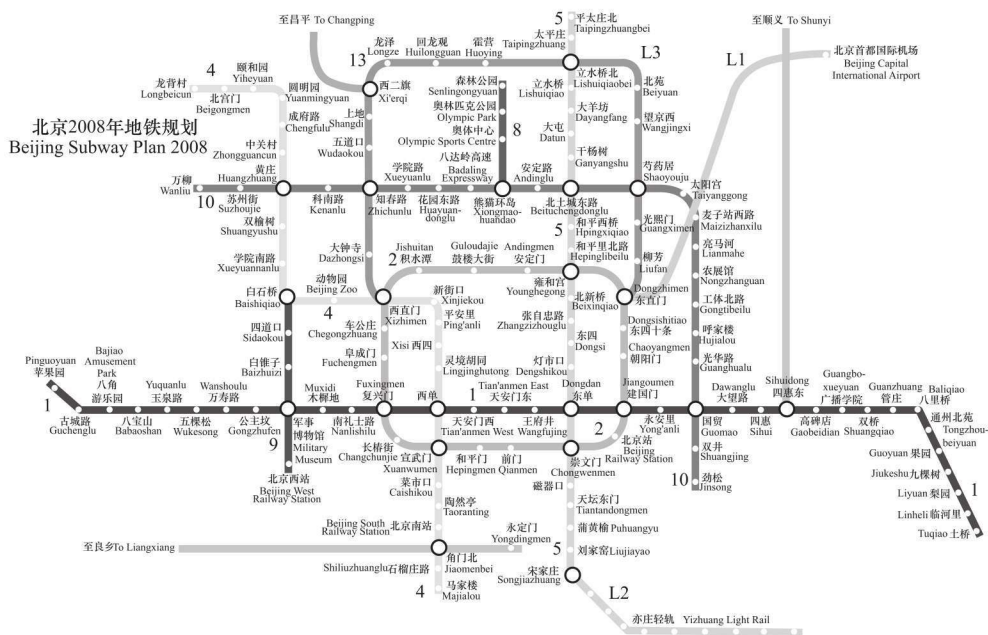


图 1-2 北京地铁线路

可以看出,北京地铁为 2 个环——2 号线、10 号线,目前通车的是 10 号线的北环和东环,为一期工程,西环和南环为二期工程,正在施工,由两条环线向四面延伸。莫斯科地铁由一个环线向四面延伸。

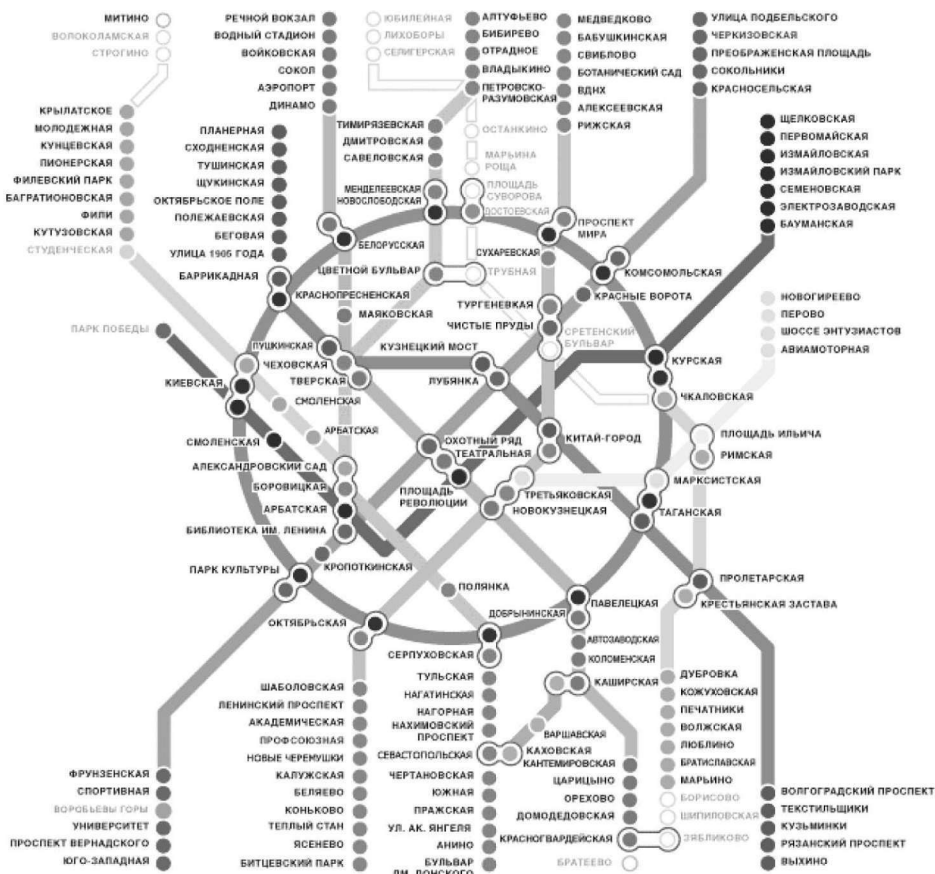


图 1-3 莫斯科地铁线路

无论是地铁还是轻轨,或是其他城市轨道交通形式,从供电的角度看,并无大的差异,其供电系统的构成、功能都是一样的,只是输送电能的多少不同而已。

地铁主要是为解决大城市交通问题,为居民出行方便,其车站的平均站间距一般为 1km 左右。世界上地铁车站最密的地铁是巴黎地铁,平均站间距在 500m 左右。因为站间距短,列车需频繁起动,所以车速一般在 80~100km/h。随着技术的不断发展和进步,地铁电动车辆先后有 4 种型式:最早出现的是凸轮变阻车,以后斩波调压车、交流变频 (3VF) 调压车、直线电机车相继问世,前 3 种车依靠轮轨间的黏着力驱动前进,只要电压制相同,可以适用相同的地

铁线路。而直线电机车则靠交流旋转磁场驱动前进，车轮只起导向和支撑作用，只能适用于专用线路。北京地铁就是这 4 种车辆在不同的线路上安全、正点地为广大旅客服务，尤其是在奥运会期间，地铁充分显示出了其运量大、安全快捷的特点，为及时疏散旅客起了重要作用。

地铁供电系统的电压等级一般为交流中压 10~35kV 之间，通过牵引变电所变压整流，经牵引网供给电动车辆的电压为直流 750V 或 1500V，通过降压变电所将交流中压变为低压 380V/220V 供给地铁车站、区间的动力照明和其他需要低压电源的通信、信号及各种自动化设备。所有这些，都需要地铁有一个结构完善、功能齐全、安全可靠、调度方便的供电系统供电，使地铁的所有电气设备各自发挥自己的功能，同时又与其他系统相互电磁兼容，使每个系统都能正常发挥自己的作用，保证地铁安全、快捷地运送旅客。

1.1 供电系统的功能

目前世界各国的地铁无一例外地皆采用电力牵引，电能的供应和传输是地铁安全、可靠运行的重要保证。供电系统的服务对象除运送旅客的电动车辆外，还有保证旅客在旅行中有良好卫生环境和秩序的通风换气、空调设施、自动扶梯、自动售检票、屏蔽门、排水泵、排污泵、通信信号、消防设施和各种照明，这些构成了地铁这个用户的庞大用电群体。供电系统就是保证地铁的各种用电设施发挥各自的功能和作用，给不同电压等级、不同电压制式的用电设备供电，保证地铁的电动车辆畅行无阻、安全而迅速地运送旅客。可以说，供电系统是地铁的大动脉，是基础能源设施。

地铁供电系统应具备安全可靠、调度方便、技术先进、功能齐全、经济合理的特点，并应具备以下所述一些功能：

1.1.1 全方位的服务功能

地铁供电系统是为地铁安全运营服务的，保证地铁的所有电气用户安全、可靠地用电是它的职责。在地铁这个庞大的用电群体中，用电设备有不同的电压等级、不同的电压制式，既有固定的，也有时刻在变化着的，供电系统就是要满足这些不同用途的用电设备对电源的不同需求，使地铁的每种用电设备都能发挥各自的功能和作用，保证地铁安全可靠地运营。

1.1.2 故障自救功能

系统的安全性、可靠性是供电系统首先要考虑的重要因素，无论供电系统如何构成，采用什么样的设备，安全、可靠地供电总是第一位的。在系统中，

发生任何一种故障，系统本身都应有备用措施，以保证地铁的正常运行不受影响。双电源是构成地铁供电系统的主要原则，当一路电源故障时，另一路电源应能保证系统的正常供电。主变电所、牵引变电所和降压变电所为双电源、双机组，对动力照明的一、二级负荷采用双电源、双回路供电，牵引网同一馈电区采用双边供电（双电源供电）方式，当一座牵引变电所故障解列时，靠两相邻变电所的过负荷能力对牵引网进行大双边供电，保证列车可以照常运行不受影响，这些都是系统故障自救功能的体现。

1.1.3 系统的自我保护功能

系统应有完善、协调的保护措施，供电系统的各级继电保护应相互配合和协调，当系统发生故障时，应当只切除故障部分的设备，从而使故障范围缩小。系统的各级保护应当满足可靠性、灵敏性、速动性、选择性的要求。对牵引供电系统而言，为保证旅客的安全，保护的速动性是第一位的，其保护的 principle 是“宁可误动作，不可不动作”，误动作可以用自动重合闸校正，而保护不动作则很危险，因为直流电弧在不切断电源时可以长时间维持，从而威胁旅客安全。直流系统的短路电流不像交流短路电流过零点时电弧可以自动熄灭，而直流电弧则可以长时间维持燃烧而不熄灭。地铁供电系统中压交流侧保护，应和城市电网的保护相配合和协调，因此其保护的选择性也受到制约。

1.1.4 防止误操作的功能

系统中任何一个环节的操作都应有相应的联锁条件，不允许因误操作而导致发生故障。尤其是各种隔离开关（无论是电动还是手动）或手车式开关的隔离触头，都不允许带负荷操作。防止误操作的联锁条件可以是机械的，也可以是电气的，还可以是电气设备本身所具备的或是在操作规程和程序上严格规定的。防止误操作，是使系统安全、可靠地运行所不可缺少的环节。

1.1.5 方便灵活的调度功能

系统应能在控制中心进行集中控制、监视和测量，并应能根据运行需要，方便灵活地进行调度，变更运行方式，分配负荷潮流，使系统的运行更加经济合理。当系统发生故障而使一路或两路电源退出运行时，为保证地铁列车的正常运行，电力调度可以对供电分区进行调度和调整，以达到安全可靠、经济运行的目的。

1.1.6 完善的控制、显示和计量功能

系统应能进行就地和远动控制，并可以方便地进行操作转换，系统各环节

的运行状态应有明确的显示,使运行人员一目了然。各种信号显示应明确,事故信号、预告信号分别显示。各种电量的测量和电能的计量应准确,并便于运行人员查证和分析,牵引用电和动力照明用电应分别计量,以利于对用电指标进行考核与经济分析。在控制中心应能对整个供电系统进行控制、信号显示、各种量值的计量统计。

1.1.7 电磁兼容功能

按照国际电工委员会(IEC)对电磁兼容(EMC)的定义“设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力”,其中“任何事物”可以是设备、装置、系统,也可以是有生命或无生命的物体。地铁是强电、弱电多个系统共存的电磁环境,为了使各种设备或系统在这个环境中能正常工作,且不对该环境中其他设备、装置或系统构成不能承受的电磁骚扰,各种电气和电子设备的系统内部以及和其他系统之间的电磁兼容显得尤为重要。供电系统及其设备在地铁这个电磁环境中,首先是作为电磁骚扰源存在的,同时也是敏感设备。在地铁的电磁环境中,供电系统与其他设备、装置或系统应是电磁兼容的。在技术上应采取措施,抑制骚扰源、消除或减弱电磁耦合、提高敏感设备的抗干扰能力,以达到各系统的电磁兼容,使地铁安全可靠地运行。

1.2 供电系统的构成

地铁供电系统由两大部分组成:一部分为由城市电网引入的电源;另一部分为地铁内部供电系统,即通常所说的供电系统,包括主变电所、牵引供电系统、供配电系统。地铁供电系统对城市电网是用户,对地铁内部的用电设备是电源,作为城市电网的一个重要用户,一般都直接从城市电网取得电能,无需单独建设电厂。城市电网对地铁供电的电压等级目前国内有110kV、63kV、35kV和10kV,20kV电压等级也已作为方案被提出,究竟采用哪一种电压等级,由不同城市电网构成的特点和地铁的实际需要而定。

1.2.1 城市电网对地铁的供电方式

城市电网对地铁的供电方式有3种:集中式供电、分散式供电和混合式供电。

(1) 集中式供电 地铁在其线路附近建设自己专用的主变电所,电压等级根据地区不同,一般为110kV,东北地区为63kV。根据地铁线路的长短,可以建设一座或几座主变电所。采用集中式供电方式,除考虑主变电所的负荷平衡,

还应考虑与其他地铁线路的资源共享,可为几条线路同时供电。根据城市路网规划,并结合城市电网规划,规划好轨道交通所需建设的主变电所,其站位应尽量在几条线路的交汇点。我国南方城市如上海、广州、深圳和南京地铁等,多采用 110/35kV 集中式供电方式。

(2) 分散式供电 沿地铁线路从城市电网直接引入地铁所需要的电源,国内一般为 10kV,因 35kV 电压等级在城市电网中将逐步消失,而 20kV 电压等级城市电网还没有确立,分散式供电多为 10kV 电压等级,如北京地铁和大连轻轨等。

(3) 混合式供电 以集中式供电为主,分散式供电作为补充的一种供电方式。这种供电方式也只能是 10kV 电压等级。

1.2.2 供电系统的构成

对于集中式供电方式,由以下几部分构成:

(1) 主变电所 为地铁建设的专用变电所,只有采用集中式供电方式时才设置,专为地铁牵引供电系统和供配电系统供电。主变电所一般沿地铁线路靠近车站的位置建设,以便于电缆线路的引入。

(2) 中压网络 联系主变电所、牵引变电所、降压变电所的供电网络,一般采用电缆线路、环网供电方式。

(3) 牵引供电系统 专为电动车辆服务,包括牵引变电所、沿线敷设的牵引网。

(4) 供配电系统 专为地铁除电动车辆以外的所有动力照明负荷供电,如车站和区间的动力、照明及其他为地铁服务的自动化用电设施,供配电系统包括降压变电所、低压配电系统。

牵引供电系统和供配电系统的电源电压一般是一致的,如北京地铁、平壤地铁为 10kV,广州地铁、南京地铁为 35kV,巴黎地铁为 15kV,莫斯科地铁为 10kV,纽约地铁为 34.5kV,德黑兰地铁为 20kV,之所以各城市地铁供电系统电源电压等级不同,主要是因为不同城市的电网结构不同。目前国内一般将牵引变电所和降压变电所合建在一起。也有牵引供电系统和供配电系统电源电压不相同的,如上海地铁和香港地铁,牵引供电系统电源电压为 33kV,33kV 这一电压等级是按国际标准设备成套引进而形成的,并非我国标准。供配电系统电源电压为 10kV,它们的电源均来自 110kV 主变电所。因此,牵引供电系统和供配电系统是地铁供电系统不可分割又相互联系的两个组成部分。地铁供电系统构成框图集中式供电如图 1-4 所示,分散式供电的如图 1-5 所示。

分散式供电只比集中式供电少建主变电所,电源直接从城市电网引入。