

摘要 以广州地铁柔性、刚性接触网和接触轨牵引网的实际运营为例,对其安全性、经济性、景观等进行综合分析。认为轨道交通的牵引网的形式不能够只从技术的角度来进行选择,要以社会责任(包括适用性、安全性、经济性等)来判断决策;管理者可以选择适应安全性、经济性的三轨(即接触轨)作为牵引供电方式,否则可以选择洞内刚性接触网和地面(含车辆段)柔性接触网的牵引供电方式。

关键词 广州地铁 直流 1500V 牵引供电 刚性接触网 柔性接触网 接触轨

广州市轨道交通自 1997 年 1 号线运营开通至今,已建成开通了 4 条线路,总里程 116 km,分别是 1 号线(西朗—广州东站)、2 号线(三元里—万胜围)、3 号线(广州东站—番禺广场)及 4 号线(万胜围—金洲)。这些线路的牵引供电制式均采用 DC 1500V,接触网采用柔性架空接触网、刚性架空接触网和接触轨 3 种形式,分别在 1~4 号线中应用;1 号线现阶段是刚性(1.6 km)、柔性接触网混合运行,2~4 号线的车辆段是柔性接触网运行。在实践中,究竟哪一种接触网最能满足运行需要呢?下面从安全性、经济性、景观等方面对接触网进行综合分析。

1 安全性分析

1.1 柔性接触网

1.1.1 运行状况

广州地铁柔性接触网应用在 1 号线全线、2~4 号线的车辆段范围内,正线约 20 km,合计约 200 条公里;正线及试车线采用链型悬挂,停车库线采用简单悬挂,最早的 1 号线从 1997 年 6 月 28 日试运行,至今已有 12 年。据不完全统计,1 号线因接触网发生的故障(请点处理)和事故(抢修)有 5 件,其中 4 件在正线、1 件在车辆段(见表 1)。

表 1 广州地铁 1 号线柔性接触网的故障和事故统计

发生地点	发生时间	影响时间 / min	性质	原因
长寿路下行	2004-07-21	75	一般性事故	设备事故
烈士陵园下行	2007-08-07	80	一般性事故	设备事故
公园前上行	2008-05-23	80	一般性事故	设备事故
西朗站	2004-09	15	故障	承力索与软横跨下部固定绳接地放电
车辆段	1999-08	20	故障	自然灾害造成

从表 1 可以看出,这 5 件影响运行的故障或事故都集中在 1 号线,而且 3 次落线事故都发生在绝缘锚段关节处,是由绝缘棒与下锚导线连接部位的绝缘棒爆裂造成的。在 2~4 号线的车辆段范围内,柔性接触网没有发生影响行车的故障。

1.1.2 特点分析

柔性接触网的优点是具有弹性、适用于高速、弓网特性好、技术成熟等,缺点是结构复杂、发生张力故障或事故的破坏范围大等。从广州地铁运营 12 年的实际状况来看,由于柔性接触网的弹性,使得接触网区段的弓网关系良好,受电弓磨损均匀,得到了车辆专业的肯定。柔性接触网的技术成熟不可否认,以上发生的故障和事故没有一件是技术问题造成的。但从柔性接触网的结构来看,存在大量隐性不安全因素,特别是张力的破坏范围无法准确判断。这种问题如果在管理和维修中能及时发现,就可以避免事故或者故障发生。例如,在 1 号线车辆段的一次检修中,检查出一个分段绝缘器的本体绝缘断裂(出现明显裂纹),由于及时更换,所以避免了一起落线事故。隐性不安全因素是指主要受力元件,如绝缘锚段关节、分段绝缘器的连接线夹,都是使用额定力矩紧固螺栓,在检修时既不能用扭矩扳手校核又不能放松螺栓重新紧固,只限于表面用目测检查,其安全性得不到确认,给安全运营带来极大危害。



总之,在运营 12 年的过程中,对柔性接触网的优点和缺点有了更加深刻的认识,对其检修和维护也有了丰富的经验。在技术成熟和检修规程完善的前提下,关键还要有体制上的保证,在对重大问题及时决策处理的前提下,才能够确保其安全运行。

1.2 刚性接触网

架空刚性接触网有很多特点:整体结构简洁,锚段关节和线岔安装调试方便,网两端无需设置下锚张力补偿装置,没有张力断线之忧,施工安装和维护检修的精度要求高,等等。另外,架空刚性接触网能很好地满足低净空隧道的要求,适用于地下轨道交通。刚性悬挂汇流排的形状有 T 和 Π 型两种(见图 1),广州地铁采用 Π 型。

笔者有幸参加并经历了国内架空刚性接触网的研究开发的全过程:从 1999 年 4 月在广州地铁 1 号线坑口—花地湾下行架设的 80 m 刚性接触网示范段和 120m 试验段开始,到国内首条采用刚性接触网的广州地铁 2 号线和速度 120 km/h 的地铁 3 号线建成运行;从 1 号线“柔”改“刚”1.6 km 的混合运行,到目前广州地铁已经投入正线运行的约 62 km 的刚性接触网。1999 年 4 月开始运行的示范段到现在已经 10 年,示范段、试验段运行良好,弓网关系、刚柔过渡、导线磨损以及结构件使用正常。广州地铁 2 号线采用的是我国正式投入运行的第一条刚性接触网(见图 2),采用了架空式 Π 型结构。

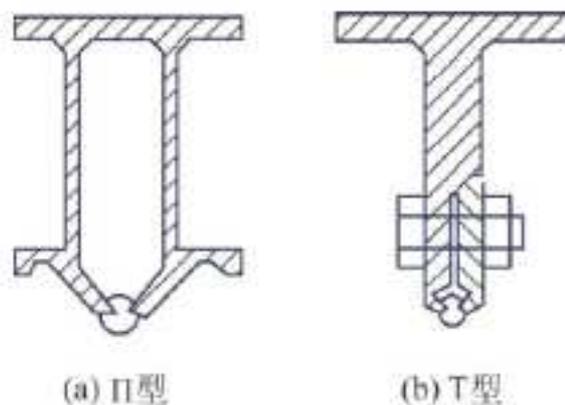


图 1 刚性悬挂汇流排的形状

2 号线的设计最高行车速度为 80 km/h,2002 年 12 月 28 日首段开通至今已有 7 年。由于是第一次投入运行,在设计拉出值等方面存在问题,但从来没有发生过停车抢修的故障,只发生了一次由于正线的一个悬挂点(绝缘子问题)悬空而采取行车减速 30/km 的运行故障,从安全性分析来看还是可靠的。3 号线的设计行车速度最高为 120 km/h,也是国内在这一行车速度下第一条采用刚性接触网的线路,它的银铜导线采用 CTAH150,比 2 号线 CTAH120 的截面积大 30mm²,2005 年 12 月 26 日开通至今,只发生了一次请点 15min 处理汇流排塌腰的故障,其他时间运行正常。

可见,刚性接触网消除了柔性接触网的张力,也消除了柔性接触网隐性不安全因素的影响,其简单的结构形式无疑增加了自身的安全性,实际运行 10 年证明,其安全性是可靠的。

1.3 接触轨

钢铝复合轨系统具有其他的接触悬挂所无法比拟的优势:安装简便,维护少,使用寿命长,对城市景观影响小。广州地铁采用了 DC 1500V 接触轨的牵引供电制式(见图 3),具有供电距离长、安全性强等优势。广州地铁 4 号线使用钢铝复合轨作为供电接触轨,2005 年 12 月 26 日首通段(即大学城专线)31 条公里开通,之后陆续开通新造—黄阁、黄洲—黄阁合计 88 条公里,运行至今没有发生影响行车的任何故障和事故,接触轨运行一切正常。





图 2 广州地铁 2 号线采用刚性接触网

接触轨上安装了保护罩,至今未发生人员触电事故。从牵引供电系统分析,接触轨的安全性是有保障的,虽然初期出现过道岔区客车瞬间失电及避雷器设备质量等问题,但整改后保证了正常运行。



图 3 广州地铁 4 号线采用接触轨

2 经济性分析

广州地铁目前采用了柔性接触网、刚性接触网和接触轨 3 种形式,下面就其建设、运营维修费用(含维修、维护等)进行分析。

2.1 建设费用

1) 1 号线柔性接触网是引进英国 ABB 公司的设备和零件,因此无法与国内同类接触网对比,该接触网竣工后的造价大约每条公里为 145 万元;

2) 2 号线刚性接触网竣工后的造价大约每条公里为 95 万元;

3) 3 号线刚性接触网竣工后的造价大约每条公里为 118 万元;

4) 4 号线接触轨竣工后的造价大约每条公里为 156 万元。



以上只是各条线粗略的建造价。由于每条线的建造时间不同,有色金属以及零配件、设备的价格不同,且技术条件、采用设备、材料不同,也会引起价格的变化,这里的数据只能供分析参考。

2.2 运营维修费用

接触网(轨)的运营成本包括人工费、材料费、机械使用费、管理费以及设备折旧费等,由于广州地铁目前尚没有维修、维护的标准定额,这里只能粗略估算进行分析(见表 2)。

表 2 广州地铁接触网运营维修费估算

地铁线路	运行年限	每年估算费用 /万元			
		人工费	材料费	机械使用费及管理费	合计
1号线	12	270	80	20	370
2号线	6	180	42	18	240
3号线	4	240	10	20	270
4号线	4	240	2	13	255

1) 1 号线运营 12 年。平均每年约发生人工费 270 万元,有 60%~70%用于各种施工配合,约有 30%用于本专业的维护和维修;材料费、机械使用费、管理费每年约有 100 万元,每年的维修费用约为 370 万元。

2) 2 号线运营 6 年。平均每年约发生人工费 180 万元,有 50%~60%用于各种施工配合,约有 40%用于本专业的维护和维修;材料费、机械使用费、管理费每年约有 60 万元,每年的维修费用大约为 240 万元。

3) 3 号线运营 4 年。平均每年约发生人工费 240 万元,有 50%~60%用于各种施工配合,约有 40%用于本专业的维护和维修;材料费、机械使用费、管理费每年约有 30 万元,每年的维修费用大约为 270 万元。

4) 4 号线运营 4 年。平均每年约发生人工费 240 万元,有 60%~70%用于各种施工配合,约有 30%用于本专业的维护和维修;材料费、机械使用费、管理费每年约有 15 万元,每年的维修费用大约为 255 万元。

虽然表 2 中的费用组合不能够完全真实地反映维修的成本,但是也能够粗略地看出:4 号线采用接触轨,维修费用最低,每年 2.55 万元/条公里;2 号线运行 80 km/h,采用刚性接触网,维修费用为每年 3.43 万元/条公里;3 号线 120 km/h,采用刚性接触网,维修费用为每年 2.70 万元/条公里;1 号线采用柔性接触网,维修费用为每年 4.11 万元/条公里。如果结合使用年限分析,接触轨的设计使用寿命在 80~100 年,刚性接触网的设计使用寿命一般在 30~40 年,柔性接触网的设计使用寿命一般在 15~20 年。从运营成本看,明显是接触轨最低,刚性接触网次之,柔性接触网最高。

3 景观分析

对广州地铁运行的 4 条线分析发现:4 个车辆段对景观的期望不是十分强烈,全部采用柔性接触网;而 4 号线地面段或者高架段因同时考虑景观,所以采用了三轨(即接触轨)牵引供电方式,这种务实的决策是值得提倡的。

景观的选择是个认识问题,不能够以景观为由,影响对接触网(轨)方式的选择。

4 结语

结合广州地铁柔性、刚性接触网和接触轨牵引网实际运营,对其安全性、经济性、景观等进行了综合分析,得出以下结论:

1) 轨道交通的牵引网的形式不能只从技术角度来选择,还要以社会责任(包括适用性、安全性、经济性等)来判断决策。

2) 从柔性接触网到刚性接触网,再到接触轨(即三轨),其关键点是:“柔性”到“刚性”的改变就是消除柔性张力和关键紧固件的隐性因素所带来的安全隐患,“刚性”变为“三轨”就是将接触网专业的“三高”(即高空、高压和高技能)作业“落地”,将安全风险降到了最低,一些不安全因素转移到其他专业或部门,变为长期的管理问题。

3) 管理者从能够适应安全性、经济性的方面考虑,选择接触轨(即三轨)牵引供电方式,否则可以选择洞内刚性接触网、地面(含车辆段)柔性接触网的牵引供电方式。



参考文献

- [1]梁广深,丘庆珠.城市轨道交通供电制式分析探讨[J].城市轨道交通研究,2004(6):10-13.
- [2]马沂文,白秀梅.城市轨道交通供电接触网类型的比较[J].城市轨道交通研究,2003(1):20-24.
- [3]李金华.DC 1500V 三轨工程应用关键技术探讨[J].电气化铁道,2006(3):34-39.
- [4]龚文涛.钢铝复合接触轨在广州地铁 4 号线的应用[J].都市轨道交通,2007,20(3):82-85.
- [5]毛建华,李金华.架空接触网与三轨不停车切换过渡的技术探讨[J].电气化铁道,2004(6):44-46.

