编者按 直流 1500V牵引网供电采用架空接触网(刚性、柔性)和接触轨(三轨)两种方式在技术上都是成熟可靠的,但架空接触网在高架桥上使用对景观的影响和三轨在地面布设对安全的影响等问题一直是争议的热点。2009年 12月 2—3日,来自 11个城市的地铁供电专家和有关领导 40人,在广州对牵引网供电制式进行了专题研讨,从两种供电方式的适用性、安全性、经济性和可维护性方面发表了意见和建议,特别是就接触轨的运营维护管理机制和制度对人员安全保障的重要性进行了深入交流。本期"热点研讨"栏目对会议和专家论述进行报道,希望能对今后牵引网供电制式(接触网或接触轨)的决策有参考价值。

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2010.01.001

城市轨道交通直流牵引网供电制式技术研讨会纪实

贾颖绚
(《都市快轨交通》杂志社 北京 100044)

摘 要 对"城市轨道交通直流牵引网供电制式技术研讨会"进行特别报道。研讨会达成的主要共识有:各种牵引网供电制式在技术上都是成熟的,不同城市及线路应根据自身特点选用相应的供电制式;直流 1500V与 750V接触轨的电气安全防护要求相同;直流 1500V的接触轨系统在完善管理措施后,其安全运营是有保障的。

关键词 城市轨道交通 直流牵引网 供电制式 直流 1500V 接触轨 接触网

中图分类号 U223;U231+.8 **文献标志码** A

文章编号 1672-6073(2010)01-0001-04

1 会议过程

"城市轨道交通直流牵引网供电制式技术研讨会"于 2009年 12月 2—3日在广州白云机场伯尔曼大酒店召开。本次会议由施仲衡院士提议,北京城建设计研究总院和广州地铁设计研究院共同倡议召开。与会代表来自北京、上海、广州、天津、深圳、重庆、成都、武汉、南京、青岛、无锡 11个城市,涵盖了城市轨道交通的建设、运营、设计、科研院校等近 20家单位。共 40余名相关的领导和专家出席了此次研讨会,《都市快轨交通》杂志社也派专人参加了会议。参会的各方代表参观了广州地铁 4号线,并在研讨会上积极地发表意见,会议取得了良好效果。

中国工程院施仲衡院士发表了题为"依靠科技引领我国城市轨道交通可持续发展"的重要讲话,广东省机场管理局卢光霖党委书记(原广州市地下铁道总公司总经理)、广州市地下铁道总公司陈韶章副总经理、广州地铁设计研究院徐明杰院长、北京城建设计研究总院廖国才副院长先后致辞。在研讨会上发表演讲的主题报告有:北京城建设计研究总院副总工程师于松伟的"直流 1500V牵引网技术综述"、广州地铁设计研究院副院长靳守杰的"广州轨道交通线网供电接触网选型介绍"、广州地铁运营事业总部副总工程师马金芳

收稿日期: 2010-01-04

作者简介: 贾颖绚,女,博士,yxjia@126.com

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的“广州地铁直流1500V牵引网运营经验”、深圳地铁3号线投资有限公司总工程师刘卡丁的“深圳地铁3号线直流1500V接触轨设计与施工”。此次会议由北京城建设计研究总院杨秀仁总工程师和广州地铁设计研究院靳守杰副院长先后主持。

2 专家观点

杨秀仁总工程师作为此次会议的主持人，逐一介绍了与会代表。他认为，在轨道交通迅猛发展的今天，环保景观及线路铺设方式等相关问题逐渐突出，对供电制式选择的思考和争论也越来越多。他指出，此次研讨会召开的主要目的是通过参会代表的讨论，对直流牵引网供电制式的选择达成共识，对城市轨道交通的发展起到促进和指导作用。

徐明杰院长对各位领导、专家莅临广州参加1500V三轨受流技术总结和研讨会表示热烈欢迎。他首先介绍了广州地铁4号线1500V三轨受流技术的应用情况，并指出慎重科学地决策使用该项技术，有效地解决了高架敷设带来的环境景观及节能问题。为了开发应用这项技术，广州地铁做了4个方面的工作：一是为降低工程造价，组织实现了钢铝复合轨的国产化工作；二是解决了绝缘支架高分子材料各向异性，抗紫外线老化，控制高分子材料的颗粒度，提高表面光洁度的问题；三是为解决安全问题，提出了合理防护罩的结构形式；四是优化绝缘支架结构设计，使受力更加合理。4号线的建设和4年的安全运营，证明了1500V三轨技术的可靠性和可维护性，其采取的安全措施是行之有效的，并在一定意义上改变了高架的形象，为全国轨道交通高架结构的推广起到示范作用。

廖国才副院长在致辞中说，中国地铁已经通车840 km，共计33条线。作为设计单位，为提高设计水平，应该倾听来自政府、建设、运营、管理等方面的宝贵意见。在网络化时代，各城市地铁的线网有不同的层次和需求，敷设方式也各有特点，因此，需要不同的牵引供电制式以适应网络化发展的要求。目前正在修建或筹划第1条线的18个城市，供电制式在首条线的选择，将对经济建设和网络规划具有引领和决定性的作用，可通过此次研讨会的交流获得经验总结与合理建议。要从可靠性、节能环保、公共维修等方面考虑，从规划建设、运营管理、政府科研等角度出发，选择适应轨道交通不同层次需要的牵引网制式。他恳请大家在这次具有历史性的会议上传经送宝，使这次会议真正起到行业内交流经验、研讨技术的作用。

施仲衡院士站在国家轨道交通发展战略的高度，提出了很多极有价值的建议及值得思考的问题。首先，他从上世纪60年代第1次来广州参加周恩来总理主持召开的军委扩大会，研讨地铁的埋深问题讲起，引出让科技引领轨道交通可持续发展的重要观点，他着重强调：要以科技创新为动力，实施“少投入多产出”的生产方式，合理降低工程造价，缩短行车间隔，加大行车密度，提高运营效率；确保城市轨道交通建设和运营安全问题的关键，在于科学合理和严格有序的管理制度；继续推进国产化，研发具有自主知识产权的创新技术，推动实现CBTC信号系统、中低速磁悬浮等技术的发展；继续补充制定和修编完善相关的规范标准；提高能源利用率，切实做好城市绿色交通；培养创新科技人才，加强行业技术交流。最后，他针对本次研讨会的主题提出，DC 1500V接触轨作为直流牵引网供电制式的创新，其技术可行性、安全可靠性、经济效益性需要进一步论证。希望通过这次研讨会，切实有效地处理好供电制式选择的问题，并为以后该类问题的解决提供技术依据。

卢光霖书记发表了热情洋溢的讲话，他引用广州地铁建设运营中的生动实例，着重指出用创新理念和思维模式指导城市轨道交通建设的同时，要永远立足于可持续发展，不为追求创新而刻意创新，应该从经济性、可靠性、安全性上论证其可行性。从刚性悬挂到第三轨供电综合自动化系统，再到低压配电柜的智能化终端检测以及直线电机技术，这些技术的发展和推广都着眼于可持续发展的战略。城市轨道交通作为造福于人民的宏伟事业，需要几代人前仆后继、传承历史的辉煌，需要建设者、运营者、管理者具有强烈的社会责任感。广州地铁采用技术创新，不断地提高地铁安全运营水平；同时，通过技术进步，逐步降低了地铁造价。其中，1号线造价为6.6亿元/km，2号线4.8亿元/km，3号线3.2亿元/km，4号线2.8亿元/km。DC 1500V供电制式作为创新技术，按照国际电工标准IEC 62128中1500V、750V对人来说耐受时间均为毫秒级，差距很小，其安全的关键在于加强管理。最后，他提出要站在服务整个社会的角度，从全寿命周期成本来考量，研究推广创新技术，各单位需取长弃短，集思广益，以广阔的胸怀，以对国家、对人民负责的态度，把聪明才智贡献给社会。

陈韶章副总经理在讲话中提出，要多系统、多模式地发展国家轨道交通。他结合广州地铁的发展历史，从3个观点评价了DC 1500V三轨体系，即该体系的应用为轨道交通后继发展提供了良好的技术储备、该项

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

技术水平达到了国际先进水平、其安全运营的关键在于严格有序的管理制度。

在精彩的领导致辞后，主要针对城市轨道交通直流牵引网供电制式的技术问题，代表们作了 4个主题报告，并进行了详细论证和深入探讨。

于松伟副总工程师在主题报告中，总结了国内牵引供电几十年来的设计经验，详细介绍了牵引网制式总体情况，以及牵引网工程的应用和安全防护问题，并对环境景观的良好效果加以说明，最后给出了下一步改进的相关建议。

靳守杰副院长对广州市轨道交通接触网系统的应用情况、设计原则、技术参数等进行了介绍，通过对柔性架空接触网、刚性架空接触网、接触轨 3种形式在广州市轨道交通的应用情况，指出这 3种形式技术成熟可靠、安全适用。应结合城市规划、景观要求、安全防护、经济投资、运营方式、线路特征等进行合理选择。

马金芳副总工程师通过广州地铁柔性、刚性接触网和接触轨牵引网的实际运营经验，对其安全性、经济性、景观等进行了综合分析，同时也介绍了广州地铁 4号线的接触轨运行情况。2005年开通至今，4号线从未出现接触轨故障影响行车或人身伤亡的事件。他提出，轨道交通的牵引网形式不能仅从技术的角度来选择，还要以社会责任 (适用性、安全性、经济性等)来判断决策；建议管理者从上述“三性”出发，选择接触轨牵引供电方式，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。

刘卡丁总工程师对深圳地铁 3号线采用 DC 1500V接触轨系统的技术性能、工程投资和运营维护费用等方面进行了详细的技术经济分析，阐述了包括车辆段在内全线采用DC 1500V接触轨系统，在设计、建设、运营和社会等方面的特点和优越性，对城市轨道交通牵引供电制式选择提出了建议。

参会代表就轨道交通直流牵引网供电制式的技术问题各抒己见。

重庆市轨道交通 (集团)有限公司的仲建华总经理，总结了重庆跨座式轨道交通单轨系统 1500V接触轨的安全运营经验，强调采取有效措施加强管理对保证安全是至关重要的。采取的主要措施有：在高架区间增设智能周界系统，防止无关人员进入轨行区；加强车辆段的管理，即在硬件上增加隔离措施，软件上实行严密的停送电管理办法，从而可以同时保证非员工和巡检维修人员的安全。该线从 2004年至今已安全运营 5年，做到了管理到位、安全可控的目标，有效地解决了环境景观和安全管理的问题。

深圳市地铁集团有限公司的简炼副总经理认为 1500V接触轨的应用取得了安全可靠、经济美观的效果，并建议将各供电制式从科学数据上进行全面系统性的对比。以事业发展的高度制定统一的规范标准，实行网络资源共享，提高运营效率。

北京地铁运营有限公司供电公司顾群益副经理、北京轨道交通建设管理公司设备中心王颖部长，结合北京地铁 DC 750V接触轨 40多年的运营经验，认为接触轨是安全可靠的，针对以后的发展趋势和各种供电制式选择，应进一步论证 DC 1500V接触轨具体实施条件的限制问题，并提出相关建议。

广州市地铁有限公司的高级顾问金锋在研讨中强调，首先应该克服对采用新技术的心理忧虑，才能推动技术进步。接着他提出 DC 1500V接触轨存在的问题，主要包括过流截面的大小、防护罩的形式、钢铝复合轨的工艺等，并给出了相关改进措施的建议。他认为各城市应根据自身特点慎重选择供电制式，可借鉴其他城市的经验，进一步优化完善 DC 1500V接触轨技术。

广州市地铁建设事业总部黄德亮副总工程师建议综合考虑受流和电压制式选择，并从以下 7个角度来分析：即速度和高运量、安全和可靠性、城市规划的景观要求、线网规划的兼容性、车辆的综合利用、投资的比较、寿命以及维修的工作量等。

武汉地铁建设事业总部供电部的张刚，结合钢铝复合接触轨技术应用的首条线路，即 2004年 7月已通车的武汉轨道交通 1号线的实际情况，总结了具体的运营经验，强调要以规范章程为原则，加强安全隔离防护和严格操作规程。同时，提到接触轨在运行中出现的具体问题，包括断电区的设置、膨胀接头的设计和安装、防护罩的设计等，并建议考虑接触轨与车辆接口的问题。

江苏省发改委的周韦处长、无锡轨道交通有限公司刘书斌总工程师，在介绍无锡轨道交通基本情况时谈到，无锡作为宜居旅游城市，其景观要求严格，在建线路为 1号线，规划有 5条线路，急需各位专家的技术建议，他们表示在此次研讨会上受益匪浅，对规划建设中的无锡地铁供电制式的选择起到了积极的指导作用，为今后该技术的选择和安全防护提供了决策参考，同时要进一步探索，把系统建设得更好。

青岛市地下铁道公司迟建平副总经理和黄舰副总工程师结合正在建设的青岛地铁实际情况，提出从节

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

约能源和资金效益,优化城市公共资源出发,选择最佳城市轨道交通网。建议各城市应进行充分交流,吸收优秀经验,进行方案比选,最终统一标准,从而促进各项技术更好地发展。

西南交通大学的吴积钦副教授谈到,供电制式选择多样性的基础在于行车速度和车辆技术,并结合自己的亲身经历,说明安全问题的关键在于有效管理,建议尽快制定供电制式各项技术的相关规范。

中铁电化院、广州地铁 4号线项目组牵引网主设计赵海军认为,各供电制式 (架空柔性悬挂、刚性悬挂和三轨)在技术上都已成熟,对于其选择,需根据各城市和工程具体情况而定,建议对于涉及景观问题的高架区段采用 1500V接触轨,隧道内用刚性接触网较合理,在车辆段内需使用接触网。

中铁四院电化处戚广枫处长,针对电压制式,轨网关系、环境景观,成本造价、未来需求等多个问题谈了相关看法,并特别建议要重视事故情况下疏散救援的安全管理和章程规范,提出要以谦虚严谨的态度加强与国内外同行的交流,共同促进轨道交通的发展。

上海隧道工程轨道交通设计研究院的傅铭副总工程师,在谈到上海轨道交通的接触网供电制式时认为,各供电制式的技术已逐渐成熟,选择时应由单一化扩展为多样化,各城市应根据线路特点、环境条件、景观要求,对各种方案进行研究比较,提出合理建议,为领导决策提供技术支持。

中铁二院电化院副总工程师林宗良、牵引网主设计徐光强认为,各项供电制式并非十全十美,各有优势,其在技术上已基本成熟。建议突破即有的标准体系,为设计和运营在安全方面寻找更广阔的出路。他们提出,作为深圳地铁 3号线直流 1500V接触轨的设计单位,优化开发了滑触线系统和带电显示装置,应以系统工程的观念为指导,不固守已有方案,不断优化提升设计水平。

3 基本共识

经过各领导和专家认真研讨和严谨审核,会议就直流 1500V牵引网供电制式的技术问题,形成了会议纪要,达成基本共识:

1) 目前地铁车辆 (80～100 km/h)采用直流 1500V刚性架空接触网或直流 1500V接触轨在技术上都是成熟的,从项目全生命周期考虑,两种供电制式的经济性能基本相当。不同城市及其线路可根据自身特点,选用不同的牵引网供电制式。

2) 直流 1500V接触轨与直流 750V接触轨的电气安全防护要求相同,“允许接触时间”均为毫秒级 (不大于 50 ms),人身意外触电的后果相同。

3) 我国直流 750V接触轨系统的运营管理及维修维护经验丰富。广州地铁 4号线总结了国内外接触轨技术,创立了国内 DC 1500V接触轨系统,已安全运营 4年 (无人身触电事故、无故障影响正常运营); 1500V接触轨系统已成功应用在深圳地铁 3号线工程;另外,重庆轨道交通较新线的 1500V接触轨系统也已安全可靠地运营了 5年。上述线路的建设运营经验表明,解决人身安全防护问题在于重视安全管理,直流 1500V接触轨系统在可靠性、经济性、适用性方面具有相对优势。目前,我国已就直流 1500V接触轨系统总结了一整套的建设管理经验与运营维护措施。

4) 直流 1500V接触轨系统的维修量小,运营费用低,不影响高架线路景观,不受台风等恶劣气候影响,更适用于城轨线网中高架线路比例较高的大中城市及特大城市中高架比例较高的线路。

5) 直流 1500V刚性架空接触网比 1500V柔性架空接触网更加适用于地下线路,直流 1500V柔性架空接触网适用于列车运行速度较高的线路。

6) 对于新建线路,车辆段中的牵引网悬挂方式宜与地上正线的牵引网悬挂方式相同。

(编辑:郝京红)

On-the-spot Report of the Symposium on DC Traction Power Supply Feeding Mode for URT

Jia Yingxuan

(Urban Rapid Rail Transit Press Beijing 100044)

Abstract: The paper is the special report of the Symposium on DC Traction Power Supply Feeding Mode for Urban Rail Transit. The main common views reached in the symposium include the following: current traction power supply feeding modes are mature in technology; different cites and lines can adopt corresponding feeding mode according to their specific features; DC 1500V conduct rail system demands the same electrical protection as DC 750V ones; under good management, the safe operation of DC 1500V conductor rail system is guaranteed.

Key words: urban rail transit; DC traction power supply system; feeding mode; DC 1500V; conduct rail; overhead catenary system

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net