

## 卓开阔：研发云巴，助力破解城市交通难题

○付艳杰

当核反应堆的“本质安全”思维遇见城市轨道交通的难题，会碰撞出怎样的火花？

清华2001级工物系校友、比亚迪集团第二十一事业部副总经理卓开阔，带领一支从零起步的团队从学习标准开始，一步步构建出完整的CBTC信号系统，为破解城市“最后一公里”交通难题提供了新答案。

### 工物烙印：理工底色与思维跃迁

2001年，卓开阔踏入清华园，在工程物理系先后完成本科与硕士学业。“工物系最珍贵的馈赠，是结构化的思维方式和超强的实践能力。”卓开阔说，系里“厚数理基础、宽学科平台”的培养模式，不仅让他系统掌握了仿真、试验、RAMS分析等专业知识，更通过大量真实项目锤炼了解决复杂问题的能力。

本科阶段，卓开阔师从邵贝贝教授，学习核电子学、嵌入式系统、实时操作系统（RTOS）。除了参与核电子学相关科研项目，他还投身多个横向课题——从电容加速度鼠标的研发，到中海油钻井平台的技术攻关，再到LHCb的电子学前端数据采集系统的落地，这些跨领域实践让他早早见识到技术的多元应用场景。

2007年，从欧洲核子研究中心实习归来后，卓开阔经邵教授引荐，参与中国通号首个列车自动驾驶系统项目。“当时觉得列车自动驾驶很有意思，就选了这个方向作为硕士课题。”

他未曾想到，这一选择竟开启了他

与轨道交通信号系统的不解之缘。多年后回望，他发现轨道交通信号领域的“功能安全”与核系统的“本质安全”一脉相承——均源自IEC61508标准，强调在极端条件下的系统可靠性和SIL4级的安全完整性。这种思维的迁移，成为他后来攻克技术难关的关键。

邵教授的教导成为他职业生涯的“思想罗盘”。“Simple is the best”的理念，让他养成了从第一性原理审视问题、摒弃复杂冗余方案的工程逻辑；“先行动再完善”的实践准则，让他明白复杂工程问题无需等待完美方案，在实践中迭代优化才是高效路径。

回首工物系岁月，卓开阔最怀念与师兄弟们并肩奋斗的时光：“大家泡在实验室熬夜攻关，深夜骑车去西门外吃烤串、喝啤酒，聊项目，也谈理想。”这段经历不仅沉淀了友谊，也培养了他协作攻坚的团队精神，成为日后带领团队突破技术瓶颈的精神养分。



邵贝贝教授（右）到访比亚迪，与卓开阔合影

## 跨界融合：带领团队“从零开始”

2016年，卓开阔加入比亚迪。当时公司正计划将大巴车技术与轨道交通融合，在城市“主动脉”地铁网络之外增加“毛细血管”，打造全产业链的“云巴”系统，解决“最后一公里”的交通拥堵问题。

“云巴”是一种全新的“导轨式胶轮系统”。它并非传统的钢轮钢轨列车，而是巧妙地将新能源汽车的核心技术跨界应用于轨道领域。这套系统采用电池驱动、胶轮走行、全自动运行，无需铺设接触网，具有建设灵活、造价低、噪音小、智能化程度高的特点，是填补社区、园区等“最后一公里”微循环空白的理想选择。

几个月后，园区里的试验线建成了。然而，挑战接踵而至。信号系统团队几乎是“从零开始”，核心成员多来自手机开发部门，对轨道安全标准并不熟悉。卓开阔团队要攻克的是涵盖安全计算机平台、车载系统、联锁系统、区域控制器等全链条的研发任务，这类项目通常需要百余人的专业团队。关键时刻，清华工物系的培养功底与核领域的技术理念发挥了作用。

卓开阔带领团队从学习行业标准入手，夯实业务基础；同时灌输“安全第一”理念，构建严谨的开发、验证、确认体系。他们一边开发硬件样机，一边筹建仿真实验室，创新性地设计了操作系统层的PC仿真库验证软件功能，在硬件尚未就绪时就同步开展开发和功能验证，并在半实物仿真平台上进行虚实互换仿真测试，先做应用层仿真，后续开展目标机调试，提高了调试速度，大幅缩短了开发周期。“我们花了不到两年就做出了CBTC信号系统，又用一年升级到全自动运行FAO功能。”



卓开阔（中）在重庆璧山示范线车辆段现场

在研发中，核领域的“本质安全”理念被卓开阔直接应用于轨道系统。例如，借鉴反应堆“重力式停堆”的设计思路，他们在安全计算机中设置了多层安全防护机制，确保雷击、停电、器件单点失效等故障下不输出危险动作。“这些突破本质是思维方式的胜利。”卓开阔说。核领域的安全理念、工物系培养的实践能力，让他们在跨界挑战中站稳了脚跟。

## 硬核创新：新质生产力赋能城市交通

作为城市“毛细血管”，云巴系统通过动力电池驱动胶轮车辆在专用高架线路上低噪音运行。要解决“最后一公里”的交通顽疾，必须通过“少人化运营”降低成本，系统的自动化运行等级需要由GoA2级提升到GoA4级，实现主要场景的无人化运营和全场景的少人化运营。卓开阔主持的“深度集成的全自动运行系统”示范工程，不仅是技术突破，更是运营模式的革新。

“得益于比亚迪垂直整合的技术体系，我们迈出了深度集成的关键一步。通过整合系统场景和功能，优化内部接口，减少对外接口，用技术改进来替代人工作业，从而大幅减少了运维人员规模。传统

地铁每公里需要40~70人运维，而云巴仅需5人。”他解释道。

“云巴在技术成熟度和成本上有显著优势，综合造价远低于国内外同类产品。”卓开阔自豪地说，“我们希望让更多城市‘修得起、用得起’准时、便捷、智能的轨道交通。”目前，云巴系统已在5个城市建成市政示范线，在5个比亚迪园区内部运营，累计运营里程超1600万公里，运载乘客超6800万人次，西安云巴线最高日客流达4.5万人次，跻身国内同制式线路前列。

比亚迪正在实施的巴西圣保罗地铁17号线项目，成为我国高端轨交装备和技术标准成功出海的代表案例。凭借国内高水平的运营表现和智能化服务，云巴正在受到越来越多海外业主的青睐，目前正在参与多个项目投标，有望在更多的海外城市落地开花。

## 初心不改：面向未来的坚守与传承

回顾二十余年职业生涯，卓开阔用“功能安全、深度集成、少人化运营、产业化”四个词浓缩核心历程。从核科学到轨道交通，变的是技术场景，不变的是“用技术创新满足人们美好生活需求”的初心。

对于面临“深耕专业”与“跨界应用”选择的后辈，卓开阔真诚建议：“兴趣是最好的指引，无论赛道如何变化，‘动手解决问题、在实践中成长’的能力必须夯实。”

“学以致用，用以证途，每一次被需要和使用，都是对初心最好的回应。”从清华实验室的电路板到城市穿梭的云巴列车，从核领域的安全理念到轨道交通的“中枢神经”，卓开阔用二十余年坚守证明：以扎实功底为基，以创新思维为翼，技术的价值终将在服务时代、惠及民生中绽放。

## 杨军朝：风沙铸脊梁，西部石油情

○宗禾

清晨六点，天山脚下的戈壁还沉浸在墨色中，中石油吐哈油田的生产基地里，总会有个身影准时开始五公里的晨跑。他是杨军朝，清华大学2002级自动化系校友。从太行山上的庄稼娃到油田开发的行家里手，他的人生轨迹恰似一条跨越山海的能源纽带，一头连着故土的谆谆教诲，一头系着祖国的殷切召唤。

### 太行晨曲：播下坚持的种子

90年代的太行深山，蜿蜒的泥土路是杨军朝童年最熟悉的“跑道”。村里的学校没有规整的操场，每天天未亮，班主任



杨军朝在电气化低碳示范区建设投运现场

张老师就会提上铁皮手电筒，带领准备晨读的孩子们，以跑步开启一天的学习生活。