

改革开放40年中国公路交通行业技术变迁及启示

马建¹,冯镇¹,邱军领²,陈一馨³,李东武⁴,
丛卓红³,丁龙亭²,王刚强²,陈刚¹

(1. 长安大学 汽车学院,陕西 西安 710064;2. 长安大学 公路学院,陕西 西安 710064;
3. 长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室,陕西 西安 710064;
4. 长安大学 信息工程学院,陕西 西安 710064)

摘要:2018年是中国改革开放40周年,在改革开放政策的引领和推动下,中国道路、公路隧道、桥梁、工程机械、汽车等公路交通行业迅速发展壮大,突破了诸多技术研发与施工建设难题,取得了举世瞩目的成绩。对改革开放40年来中国道路、公路隧道、桥梁、工程机械、汽车等公路交通行业技术发展变迁与取得的成就进行系统梳理与总结,并对其未来发展趋势进行分析,凝练40年来公路交通行业发展所带给我们的宝贵经验及启示。研究发现,40年来,中国公路交通行业的多个技术领域取得了先进适用的技术进步与实践应用,推动了智能交通、绿色交通与交通信息等技术的融合发展;但存在着科技创新不足、智能化和信息化缺乏、生态与安全保障欠缺等问题。研究认为,中国公路交通行业的发展,应坚持创新科技成果与交通技术的深度融合,坚持推动交通运输管理体系不断协调和完善;坚持绿色交通发展,在新能源领域寻求突破;坚持改革开放,在交通技术与管理方面构建更加活跃的发展市场;坚持运用共享思维,吸引民间资本参与交通基础设施建设和管理;以《中国制造2025》为行动纲领,进一步发挥公路交通的行业引领作用,增强公路交通核心竞争力,是建设交通强国的重要保障,也将推动中国公路交通行业发展更上新台阶。

关键词:改革开放40年;公路交通行业;中国道路;公路隧道;桥梁;工程机械;汽车;动力源;新能源;智能化;《中国制造2025》;交通强国

中图分类号:F503,F542

文献标志码:A

文章编号:1671-6248(2018)06-0038-30

Transformations and inspirations of technology in Chinese road transportation industry over the past 40

收稿日期:2018-10-12

作者简介:马建(1957-),男,陕西西安人,教授,博士研究生导师,工学博士。

years of Reform and Opening up

MA Jian¹, FENG Zhen¹, QIU Junling², CHEN Yixin³, LI Dongwu⁴, CONG Zhuohong³,
DING Longting², WANG Gangqiang², CHEN Gang¹

(1. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 3. Key Laboratory of Road Construction Technology & Equipment, Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 4. School of Information and Technology, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: 2018 witnessed the 40 years anniversary of China's Reform and Opening up. Under the guidance and impetus of the Reform and Opening up policies, Chinese road transportation industry including streets, highways and tunnels, bridges, construction machinery and automobile sector is developing fast, having solved many technological research and construction problems and made significant achievements. This article gives a systematic summary of the technological transformations and achievements made in Chinese road transportation industry including streets, highways and tunnels, bridges, construction machinery and automobile sector and analyzes future developing trend referring to 40 years of valuable experience and inspirations. Research finds that during these 40 years, many fields in the Chinese road transportation industry have acquired many advanced technologies and feasible applications through pushing forward integration of technologies in smart traffic, green traffic and traffic information. However, there are still problems such as lack of technological innovation, intelligence, information, ecological security and safety. Research also shows that the development of Chinese road traffic industry should stick to deeper integration of scientific innovations with current transportation technologies, promoting the coordination within the transportation management system to perfect it, developing green transportation by seeking break throughs in new energy, standing by Reform and Opening up to establish vigorous markets in transportation technology and management, and continue to have sharing thinking patterns to more attract private capital into construction and management of traffic infrastructure. Meanwhile, the *Made in China 2025* should also be taken as a guideline to further make various sectors of road transportation industry a leading role in enhancing the industry's core competitiveness. This is a critical guarantee to establish China as a nation with strong transportation and will further develop Chinese road transportation industry to a higher level.

Key words: over the past 40 years of Reform and Opening up; highway traffic; Chinese road; road and tunnel; bridge; construction machinery; automobile; power source; new energy; intelligence; *Made in China 2025*; nation with strong transportation

交通运输行业既是国民经济发展的基础,也是重要的社会服务性行业之一。其中公路交通凭借其灵活性强与通达性高等特点在综合交通领域中

占有重要的地位。40年前,党的十一届三中全会拉开了改革开放的序幕,从此中国迈入了现代化的新征程,由此也开启了中国交通行业发展的黄金岁

月。改革开放 40 年来,中国公路交通行业多个技术领域都进行了翻天覆地的革新,中国道路、公路隧道、桥梁、工程机械、汽车等公路交通行业也迅速发展壮大,取得了令人瞩目的成绩。40 年来,全国公路通车总里程达到 477.35 万 km,路网密度达到 49.72km/100km²,是 40 年前的 5.36 倍;全国共建新桥 513 702 座(总长 48 392km),相当于现有公路桥梁总量的 80%(总长的 93.6%),建桥相当于改革开放 40 年来建桥总量的 82.1%;中国工程机械行业通过以市场换技术,引进技术并消化吸收,经历了技术提升期,行业快速发展壮大,已形成工程机械 20 大类、109 组、450 种基型、1 090 个系列、上万个型号的产品设备;中国汽车保有量高位增加,从改革开放初期的“摸着石头过河”“技术引进”“与外国合资经营”到目前国内自主品牌的大力建设和发展、积极探索、自主研发的过程中,中国自主品牌汽车在技术和品质上发生质的提升,取得了令人瞩目的成绩,逐渐成为汽车制造强国;随着公路里程的增加,公路交通的地位也在中国庞大的交通体系中逐渐显现,智能交通技术、绿色交通技术、交通信息技术等多种技术手段融合发展促进中国公路交通的稳步发展。在改革开放 40 年里,在数代交通人摸爬滚打的热血浇灌下,中国公路交通行业一定会越走越远,中国公路交通行业也一定会成为托起中国梦的重要支撑,中国公路交通行业也将继续用科技和创新连接中国与世界。

一、发展成就

(一) 中国道路行业建设发展成就

自 20 世纪 80 年代至今,中国进行基础设施建设的步伐不断向前迈进,其中公路基础设施建设力度非常之大。改革开放初期,中国已建公路全长仅 89 万 km,截至 2017 年底,总长已达 477.35 万 km。路网密度也由 20 世纪 80 年代的 9.27km/100km² 增

至 49.72/100km²,是 1978 年的 5.36 倍^[1]。这些年来,中国的路网建设规划合理、分布辽阔:1989 年中国首次提出“五纵七横”的路网建设体系,截至 2003 年“两纵两横”基本实现通车,2007 年“五纵七横”主体工程也已经竣工通车^[2]。

2013 年,交通部规划文件提出一般公路、干线公路和高速公路要整体安排建设,逐渐实现“首都辐射省会、省级多路联通、地市高速通达、县县国道覆盖”的路网体系。截至 2017 年底,中国省道总长为 69.22 万 km,乡村道路总长为 400.93 万 km,基本实现县与县互通,县道总里程达到 69.22 万 km,乡道总里程达到 115.77 万 km,村道总里程也显著提升 to 230.08 万 km,99.99% 的乡镇和 99.97% 的建制村通了农村公路^[3]。高速公路发展仅用十多年便走过了发达国家半个世纪的历程,2004 年编制的《国家高速公路网建设规划》于 2017 年底基本完成,形成了较为完善的高速公路网体系^[4-6]。截至 2017 年底,高速公路里程 13.65 万 km,公路桥梁数量达到 83.25 万座,高居全球首位,公路隧道的数量也属于世界第一梯队。全国道路网络基本实现规划合理、功能齐全、分布辽阔、安全可靠的公路网体系,展现出一张纵横交错、脉络清晰的公路布局图^[7-8]。

1978 年至今,中国公路建设的宗旨是用科学技术推动交通事业的发展,向世界一流水平进军,走过了 20 世纪七八十年代的学习借鉴、90 年代的跟踪发展、21 世纪以来不断创新 3 个阶段。公路交通科技取得巨大进步,一大批公路技术先进人才和科研人才的诞生极大地推进了中国交通行业的发展和建设,更充分印证了“科技是第一生产力”的论断。

祖国的繁荣昌盛,为道路科研人才的发展提供了广阔的舞台,千千万万踏实肯干、任劳任怨、兢兢业业的科研人才不断在技术上探索创新,在盐渍土、冻土、沙漠土路基及光伏转换路面等技术领域

取得了一项又一项傲人成绩^[9-14]。2009年,中国盐渍土科研团队在重盐渍土地地区建成了全长约60km的格尔木至察尔汗高速公路,并建成了全国唯一的盐渍土地地区公路研究实验基地。2017年7月15日,中国沙漠土科研团队建成了世界上沙漠高速公路线路最长的高速公路——京新高速公路临河至白疙瘩段。2017年8月,中国在青藏高原多年冻土区建成了首条高速公路——共和至玉树(共玉)高速公路^[15]。2017年12月28日,中国正式通车世界首条高速公路光伏路面试验段^[16]。此光伏路面试验段具有完全自主知识产权,是世界首次将承载式光伏路面技术应用到高速公路上。这段1000多米的新型高速可以将太阳光的能量转化为电能,在冬季不仅可以迅速融化道路积雪,而且多余的电能可以随时传输到沿线电力系统,路面下预留了电磁感应线圈,未来可实现电动汽车边跑边充电。

2013年10月,为促进与亚欧非各国互联互通,推动与各国的政治、经济、文化共同进步,中国首次提出“一带一路”建设合作倡议。“道路通,百业兴”,公路建设、公路互通是各国合作的前提。近几年,在各国的交通基础建设中都能看到中国建设队伍的身影,他们在“一带一路”建设中首当其冲,在推进“一带一路”建设方面承担了重要任务。亚吉铁路是国外第一条完全采用中国技术标准、施工规范和机械设备建设而成的电气化铁路。亚吉铁路的正式投入使用及中国与俄罗斯跨国黑河大桥、中巴喀喇昆仑公路升级改造二期接连开始建设,代表着中国交通建设的力量在“一带一路”倡议中发挥着巨大的作用。一批批境内外铁路、公路等基础设施项目的开工建设,彰显了交通行业在推动“一带一路”全面建设中发挥的先行和基础作用。

(二)中国公路隧道工程领域发展成就

纵观世界公路隧道修建史,中国古人早在汉朝

就开凿了世界上第一条人工隧道——石门隧道,之后历代陆续有用于交通、灌溉和军事用途的小规模土洞和岩洞出现,相续衍生于秦驰道、汉丝绸之路、唐宋御道以及明清官道的华夏交通网络中,整体来看,清末和北洋政府时期是中国公路的萌芽阶段^[17-19]。

新中国成立后,公路开始在中华大地迅速延伸,1950~1952年国民经济恢复时期新建公路3846km,中国境内通车里程更是高达130000km。1953年,中国制定第一个五年计划,也标志着中国公路进入稳步发展阶段,通车里程增长了1倍,举世闻名的川藏、青藏公路于1954年通车。但在20世纪50年代中国仅有公路隧道30多座,总长约2500m,且单洞长度均较短,六七十年代干线公路上修建了一些超过百米的隧道,主要用于低等级公路穿山越岭。

改革开放以来,为追求工程品质和工程创新,隧道科研、设计、施工、监理和管理工作者不断进取,在地质勘察、支护结构、围岩稳定、防水排水、通风照明、防火减灾、交通监控等7个方面发展迅速,获得了大量创新成果。

随着中国高速公路的不断延伸,公路隧道也因此蓬勃发展。截至2017年底,中国已有公路隧道16229座,总长15285km,同比净增1048座、1245.4km,增长率分别为6.5%、8.1%。其中,在2016年底就已建成长度大于3km的隧道815座,累计长度为3622.7km;长度为1~3km的隧道3520座,累计长度为6045.5km。中国公路隧道以每年1000km以上的建设速度增长,建设速度世界第一;世界已建成的10座长度10km以上的高速公路隧道中,有9座在中国,在建和拟建的高速公路隧道尚有18座,建设规模稳居世界第一。2007年建成通车的秦岭终南山隧道是目前世界已建成的最长双洞高速公路隧道,除此之外,上海崇明通道水下隧道,南京、武汉越江通道水下隧道等大直

径盾构隧道,以及上海、南昌等地江底隧道和 2017 年建成的港珠澳通道海底隧道等宽体沉管隧道无一不是世界典型工程,中国已成为世界公路隧道大国^[20-22]。

(1)特殊地理条件下公路隧道修建技术。在中国广大地区的公路隧道建设过程中,会面临复杂恶劣的自然地理条件,如多断层、富水岩溶地区、黄土地区、高寒高海拔地区、软岩大变形、高地应力、高地震烈度和活动断层带地区等^[23-34]。改革开放以来,中国已成功攻克一批极端环境下公路隧道修建技术难题,引领中国高速公路向环境恶劣的西部地区以及崇山峻岭延伸,极大提升了中国交通的快捷性和通达性。如青海哈拉山隧道是世界上已通车海拔最高的公路隧道,出口海拔达 4 493m^[35-36]。青海鄂拉山隧道实现了国内高原冻土公路隧道施工的技术创新突破,创下了世界高原冻土隧道月单口独头全断面掘进 113m 的纪录,知亥代隧道进口海拔高达 4 462m,是目前世界海拔最高的高速公路隧道。此外,陕西的羊泉隧道和唐家塬隧道作为中国黄土地区的代表性工程,分别是中国最长和断面最大的黄土隧道,前者长 6 146m,后者最大断面达 172.4m^[37-38]。新二郎山隧道全长 13 459m,是全国在建及通车第四长公路隧道,也是中国高海拔地区最长的高速公路隧道,同时穿越多条区域性断裂带,克服了断层破碎带、岩爆、瓦斯、大变形、高压突泥突水等不良地质灾害。上述工程的出现极大程度上刺激了中国在特殊自然条件下隧道建设水平的飞速提高,在项目规划、勘测设计、施工建造以及运营管理等多个方面都取得了傲人的成绩,中国公路隧道建设技术水平发展势头迅猛,在原有技术基础上达到了一个全新的高度^[39]。

(2)大跨、小净距、连拱、分岔、立交、螺旋、大断面等非常规隧道施工技术。中国幅员辽阔,地质情况复杂多变,随着中国交通基础设施建设规模的不断

扩大,传统的隧道施工技术已经逐渐不适应工程发展的需要,为满足中国公路建设发展需求以及不断增大的交通运输量,新设计的隧道结构形式层出不穷,相应的施工建设技术也取得了大量创新成果,如分岔隧道、螺旋型隧道、棚洞等。与传统的分幅修建隧道相比,特殊结构形式隧道具有跨度大、结构复杂等不利因素,推动了与之相适应的相关设计与施工理论发展迅速,涌现出一大批具有开创性和示范功能的隧道工程^[40-45]。

在沈大高速公路扩建期间,2004 年建成的金州隧道成为中国第一座单洞四车道公路隧道,最大开挖宽度达 22.482m。深圳雅宝隧道和广州龙头山隧道分别是中国第一条双洞八车道公路隧道和最长大跨度高速公路隧道,后者的最大开挖面积达 229.4m²,于 2008 年建成通车。福建万石山-钟鼓山隧道被业内人士称为中国目前“最完整的地下立交”,在交通工程中具有开创性,也更有借鉴和推广意义,于 2008 年全部建成通车。2010 年建成通车的金鸡山隧道是当时同类型隧道中跨径最大的城市道路连拱隧道,总跨度达 41.498m,并于 2013 年将原有单洞两车道拓宽成单洞四车道。福建泉州弄尾隧道为单侧分离路段左幅的新建单洞四车道超大断面公路隧道,开挖断面全国最大,于 2011 年建成通车。广东牛头山隧道横截面积可达 243.5m²,是中国横截面积最大的单向四车道公路隧道,于 2013 年建成通车^[46]。上述典型工程的建设证明了中国隧道建设事业的蓬勃发展,公路隧道建设技术水平得到进一步提高。

(3)特长隧道(群)通风、防灾及监控技术。20 世纪 60 年代以前,中国隧道施工建设技术落后,尽可能地采用短小隧道群的展线方式,可有效避免长大隧道建设技术上的欠缺和困难。改革开放以来,中国综合国力与经济水平不断提高,为满足不断增长的交通运输量需求,长隧道、特长隧道作为优势明显的道路通行方式,成为中国公路建设的

主流^[47-52]。

1995年通车的中梁山隧道、缙云山隧道是成渝高速公路上的长大隧道,两隧道均为双洞双车道,总延长为11 276m,其中中梁山隧道长3 167m,是当时中国已通车高速公路隧道中最长的。该隧道的顺利通车是中国公路隧道发展史上的里程碑,并在隧道通风、照明及运营管理技术等方面取得了突破性进展,为中国修建长大公路隧道奠定了技术基础;华蓥山隧道位于四川华蓥山脉中段,隧道全长9 411.9m,其中左、右线等线为4 705.95m,线间距40m,成功超越上述中梁山隧道成为当时最长公路隧道,于1999年建成通车;2007年通车的秦岭终南山公路隧道单洞长18.02km,双洞共长36.04km,建设规模世界第一,是中国首座采用三竖井送排式通风的公路隧道。隧道建设过程中,克服了断层、涌水、岩爆等各项施工难题,“中国第一隧道”的建成标志着中国公路隧道建设技术已上升到一个新的水平^[53]。

(4)水下公路隧道修建技术。中国水域面积辽阔,不少河流,湖泊已延伸到人口密集的城市内部,陆上交通蓬勃发展的同时,水下隧道建设也取得了长足进步,经过中国隧道建设技术人员的不断努力,中国水下隧道已经走到世界前列^[54-59]。上海打浦路隧道的顺利通车打破了市民过江只能通过轮渡的格局,是中国的第一条越江隧道^[60-61],于1971年建成通车;1994年建成通车的穿越广州珠江沙面水下公路隧道是中国第一条沉管隧道,是中国采用沉管法修建水下隧道的一次大胆尝试,为类似工程积累了大量经验;2009年建成的浏阳河隧道是当时世界埋深最浅的河底隧道。而厦门东通道翔安隧道的建设标志着中国穿越湖海的隧道技术臻于成熟,达到了世界先进水平^[62]。此外,安徽的方兴湖隧道是中国最宽的湖底隧道,左右跨度净跨16.45m^[63]。江苏瘦西湖隧道主体盾构段长1 275m、直径14.5m,下穿瘦西湖,是当时世界上直径最大的单

洞双层公路隧道,于2014年9月建成通车^[64]。随着TBM、盾构等施工新技术在武汉、南京等地区的不断应用,江底隧道的建设和运营管理技术被提高到一个新的水平^[65]。港珠澳大桥沉管隧道作为全球最长的公路沉管隧道和全球唯一的深埋沉管隧道,修建过程中对管节的生产、安装及防水技术有革命性创新,不仅为中国,更为世界海底隧道工程技术提供了丰富又宝贵的经验。另外,中国正在规划未来30年内建设包括穿越渤海湾、琼州海峡、台湾海峡等在内的5条世界级海底隧道工程,近百座跨越江河湖泊的水下隧道即将投入建设。因此,中国水下隧道建设方兴未艾,任重而道远。

(5)隧道动态设计及信息化施工体系。隧道是在地下、水下或者山体中,铺设铁路或修筑公路供机动车辆通行的建筑物,修建过程中的高风险主要是由于地质条件的不可预见。虽然各类隧道设计规范层出不穷,但有关隧道动态设计理论体系尚不成熟,目前广泛使用的仍是老旧的工程类比法,为满足复杂地质条件下修建隧道的高要求,动态设计和信息化施工体系应运而生^[66-70]。20世纪70年代,中国开始在隧道施工过程中引入动态设计及信息化施工的概念,即通过对围岩稳定性和支护受力状况的实时量测来调整后续施工方法及支护方式。2004年建成的渝怀线圆梁山隧道作为铁道部重点科技攻关项目,修建过程中研究了超前钻探、TSP202、红外线探水、地质雷达等综合地质预测、预报技术,证实了动态设计及施工的可靠性,为相关研究积累了丰富经验^[71]。青云山隧道地处赣闽隆起区和粤桂湘赣褶皱带的接界处,地质构造复杂,涌水现象严重,通过动态的施工管理以及信息化施工方法,该隧道已于2009年正式通车;大西山湿陷性黄土隧道的顺利通车表明中国已具备特殊地质条件下隧道的动态设计及施工技术。已建成以及在建的大部分隧道无一不将动态设计与隧道施工紧密结合起来,动态设计成功地将经验与理论结合

起来,让工程施工更符合实际,是目前隧道工程设计理论发展的主要方向。

信息化施工体系现阶段主要应用有:

(1)公路隧道地下空间三维数字化可视技术。基于高精度测绘地理信息等多源数据融合,将隧道地下空间及相关交通工程设施的全要素信息,以多视角、多时态的三维实景可视化形式进行综合展现。

(2)公路隧道病害在线检测与专家诊断技术。通过视频监控、智能传感等技术实现对公路隧道的实时检测,智能分析公路隧道病害类型及其成因,对公路隧道结构健康状态进行评估并提出相应的维护措施。

(3)公路隧道地下空间大数据分析 with 挖掘技术。隧道工程大数据库是将国内外已建成隧道的各项信息及数据参数归纳集中,供各方在类似工程建设过程中随时取用,不仅包含结构化数据,还包括半结构化数据和非结构化数据。如何从海量隧道工程数据中挖掘有价值的信息还需要进一步研究。

(4)公路隧道工程火灾在线数值模拟与自动灭火技术。目前隧道工程的消防设施主要是消火栓和灭火器,仅有少数城市越江隧道和水下公路隧道配备了自动泡沫喷雾灭火设施,因此还需要开发低成本、高效率的专用灭火设施及先进的自动灭火技术。

(5)公路隧道工程主动交通安全管控技术。基于车辆-隧道协同安全控制技术,实现平台与车辆的实时信息交互,从而指导交通安全管理工作,保证人员安全及良好的隧道营运环境。

(三)中国桥梁建设发展成就

世界桥梁领域流传着这样一个通识,即世界桥梁建设在 20 世纪 70 年代以前主要看欧美,90 年代看日本,21 世纪必须要看中国。桥梁已经成为中国的又一张靓丽名片和彰显中国基础设施建设实力的重要标志。纵观中国桥梁建设,尤其是改革开放

以来的 40 年,无论是数量规模还是科技含量,无论国内施工还是海外建设,都正以其磅礴的气势和无限的活力展现在世人面前,跨越四海,通向未来。

改革开放 40 年来,中国共建新桥 513 702 座(总长 48 392km),这一数量占在役公路桥梁总量的 80%(总长的 93.6%)。其中前 20 年(1979 ~ 1998 年)建桥数量相当于改革开放 40 年来建桥总量的 17.9%(总长占 8.6%),近 20 年(1999 ~ 2018 年)建桥相当于改革开放 40 年来建桥总量的 82.1%(总长占 91.4%)。在这其中不乏有世界经典工程,乃至世界上最大跨径梁桥、拱桥、悬索桥、斜拉桥前十中有半数以上由中国建造。目前,世界在役桥梁中跨径在 400m 以上的斜拉桥共有 114 座,其中中国就占 59 座,世界上斜拉桥主跨排名前十中中国更是占 7 座。世界在役桥梁中跨径在 400m 以上的悬索桥共有 110 座,其中中国占 34 座,世界上悬索桥主跨排名前十中中国更是占 6 座。世界在役桥梁主跨跨径大于 200m 的预应力混凝土梁桥共有 64 座,其中中国占 38 座,在这之中,世界主跨排名前十的梁桥中中国占 6 座。世界主跨排名前十的拱桥中国占 6 座^[72]。

西堠门大桥(主跨 1 650m),舟山连岛工程中 5 座跨海大桥中技术要求最高的特大型跨海桥梁^[73],世界上首座分体式钢箱梁悬索桥,也是目前世界上跨度最长的分离式钢箱梁悬索桥^[74],它的建设无疑是“风口浪尖”上的艺术。于 2009 年 12 月 25 日建成通车。西堠门大桥的建成也使舟山交通纳入长江三角洲的高速公路网络,有利于舟山港口资源的开发,有力推动了宁波-舟山港口一体化进程,在环杭州湾地区、长江三角洲地区经济发展中发挥着重要作用。第 27 届美国国际桥梁大会上,西堠门大桥以其在工程结构、美学价值、环境和谐等方面的杰出成绩而获得古斯塔夫·林德撒尔奖。2015 年菲迪克(FIDIC,也称国际咨询工程师联合会)工程项目评奖结果揭晓,中国的舟山大陆连岛工程西堠

门大桥获得杰出项目奖,该奖也被称为建筑业的“诺贝尔奖”^[75]。

青岛海湾大桥,又称胶州湾跨海大桥,于 2011 年 6 月 30 日建成通车,这是一座中国自主设计、施工、建造的特大跨海大桥。大桥全长 36.48km,东起青岛主城区黑龙江路杨家群入口处,跨越胶州湾海域,西至黄岛红石崖^[76],是已建成通车的世界第二长跨海大桥。2013 年 6 月 4 日,在美国“桥城”匹斯堡第 30 届国际桥梁大会(IBC)上青岛海湾大桥荣获乔治·理查德森奖,这也是迄今为止中国桥梁工程在国际上获得的最高奖项^[77]。

港珠澳大桥更是被誉为“世纪工程”,这座世界上最长的跨海大桥全长 55km,集桥、岛、隧于一体,跨越伶仃洋,东接香港特别行政区,西接珠海市和澳门特别行政区^[78]。用中国交通建设股份有限公司总工程师、港珠澳大桥岛隧工程师林鸣的话说,拿下港珠澳大桥,世界上再也没有中国人不能建造的桥。早在 1983 年,香港企业家胡应湘就率先提出兴建连接香港与珠海跨境跨海大桥的大胆设想。但时值中英双方主要精力正集中于香港回归祖国的艰苦谈判,该方案的政治大环境尚不成熟,但这一提议对处于改革开放前沿的珠海产生了极大的启发。1989 年,珠海正式向外公布了拟建后来为人所熟知的伶仃洋大桥计划。港珠澳大桥于 2018 年 10 月 24 号正式开通,开通后极大地缩短港珠澳三地间的距离,香港到珠海的交通时间也将会由现有的水路约 1h,陆路 3h,大幅缩短至 30min 左右。对于中国这个东方大国来说,港珠澳大桥连接的不仅仅是粤港澳三地,未来因它而形成的 5.6 万 km² 的区域将是继纽约湾区、旧金山湾区、东京湾区之后的世界经济版图上又一个闪耀的经济增长极^[79]。

一跨一步,一步一跨,经济在增长,国力在增加,桥梁跨径同样在谱写新中国快速发展的激扬旋律。跨海大桥之外,同样在见证中国桥梁发展的还有中国的跨江大桥。20 世纪 90 年代,公路桥梁跨

江战役正式拉开帷幕,九江长江大桥(公铁两用桥梁,1993 年通车)、黄石长江大桥(混凝土连续刚构桥,1995 年通车)、西陵长江大桥(钢箱梁悬索桥,1996 年通车)、万州长江大桥(单孔跨江钢管混凝土拱桥,1997 年通车)、虎门大桥(钢箱梁悬索桥,1999 年通车)、芜湖长江大桥(公铁两用钢桁梁斜拉桥,2000 年通车)等相继取得开门红。“曾经沧海千层浪,敢架江河万里桥”。进入 21 世纪,跨江之战的节奏持续高昂,今天仅在长江上已建成和在建的桥梁就突破 100 座^[80]。

武汉天兴洲长江大桥是世界上已建成的最大跨径公铁两用斜拉桥,也是继武汉长江大桥之后的武汉第二座公铁两用桥。大桥主跨 504m,比世界第二的丹麦厄勒海峡大桥长 14m;可同时承载 2 万 t 的荷载,每天从这里通过的高铁就超过 260 多趟。2014 年,武汉天兴洲长江大桥“三索面三主桁公铁两用斜拉桥建造技术”荣获国家科技进步一等奖^[81]。

杨泗港长江大桥采取一跨跨越长江的方案,跨度长达 1 700m,是世界上工程规模最大的双层悬索桥,其悬索桥跨度在国内排名第一、世界排名第二^[82]。2017 年 9 月 24 日,杨泗港长江大桥南岸锚碇完工,尺寸刷新世界记录。这座大桥作为长江主轴上的超级工程,也将是世界上功能最全的大桥,包括了机动车道、非机动车道、人行道及人行观光休息区等多功能设置。

沪通长江大桥位于长江江苏南通和张家港段,连接南通市和张家港市,是沪通铁路全线的控制性工程^[83]。这座大桥进一步刷新了世界公铁两用斜拉桥记录,作为世界上首座跨度超千米的公铁两用斜拉桥,主跨 1 092m,全长 11 072m,大桥主塔高 325m,约相当于 100 层楼高,为世界最高、跨度最大的公铁两用斜拉桥主塔^[84],计划在 2019 年建成通车。沪通长江大桥的建成通车,必会进一步促进沿海铁路的全线贯通,以及提高过江通道的运输能

力,进一步完善沿海区域交通运输结构,继而促进长江三角洲社会经济一体化。

桥是空中的路,这条路不仅仅需要跨越大江大海,也需要能够镶嵌在悬崖峭壁之上。正所谓“一桥架南北,天堑变通途”,这些大山里的桥同样在蓄势待发,跨越沟壑峡谷。

北盘江大桥,跨越云贵两省交界的北盘江大峡谷,由于处于喀斯特地貌区^[85],沿江 10km 的山体地貌石灰岩密布,山体硬度极差,由于遍布山体的溶洞和裂隙,桥梁设计人员只能不断地将桥位上移,最终将桥面标高定在距离谷底垂直高度 565m,这一高度相当于 200 层楼高——这也是世界最高的跨江大桥,比国外最高桥梁巴布亚新几内亚海吉焦峡谷大桥(管道桥)高出近 100m^[86]。2018 年 5 月,北盘江大桥荣获第 35 届国际桥梁大会古斯塔夫斯金奖。2018 年 9 月,北盘江大桥获吉尼斯世界纪录认证。大桥建成后,连接起黔川滇三省交界高速公路最后一个断点,贵州六盘水至云南宣威市区的车程也将从之前的 5 个小时左右,缩短到 1 个多小时,真正实现了化远亲为近邻。

矮寨大峡谷是吉茶高速公路的必经之地,然而地形险要、地质复杂、气象多变、吊装难、运输难五大世界级难题实实在在地横在桥梁建造者的面前;最终矮寨特大桥桥型方案确定为钢桁加劲梁单跨悬索桥,桥梁全长 1 073.65m,主跨桥型为悬索桥,跨径长 1 176m,创造了四项世界第一,从根本上改善了湘渝两省市的交通现状,对两省市乃至整个中西部的交通贯通都具有重要的意义^[87]。

(四) 中国工程机械行业发展成就

改革开放 40 年来,中国工程机械行业通过以市场换技术,引进技术消化吸收,经历了技术提升期,行业快速发展壮大。中国工程机械企业已成功地从传统同质化竞争状态,过渡到拥有相关核心技术、新产品不断涌现时期,工程机械的服务领域得到进一步拓展,在国民经济建设中的作用愈加重

要,现已形成挖掘机械、铲土运输机械、起重机械、工业车辆、压实机械、混凝土机械、掘进机械、路面机械与养护机械、桩工机械、市政与环卫机械、混凝土制品机械、高空作业机械、装修机械、钢筋与预应力机械、凿岩机械、气动工具、军用工程机械、电梯与扶梯、工程机械配套件、其他专用工程机械 20 大类,109 组,450 种基型,1 090 个系列,上万个型号的产品设备,中国已成为工程机械产品类别、产品品种最齐全的国家之一,基本满足国内市场需求、具有相当规模和蓬勃发展活力的重要行业^[88]。

中国工程机械设备备受国际市场看重,出口额持续增长。2001 至 2017 年,该数值由 15.6 亿美元增长至 201.05 亿美元^[89]。国内工程项目的大规模建设,也为工程机械提供了巨大的市场需求,促进了国内工程机械制造业的发展,中国已发展成为世界最大的工程机械市场。近日发布的全球工程机械制造商 50 强排行榜中,有 9 家国内企业强势登榜:徐州工程机械集团有限公司(第 6 名)、三一重工股份有限公司(第 8 名)、中联重科股份有限公司(第 13 位)、广西柳工集团有限公司(第 25 位)、中国龙工控股有限公司(第 30 位)、山推工程机械股份有限公司(第 33 位)、厦门厦工机械股份有限公司(第 39 位)、山河智能装备股份有限公司(第 40 位)、雷沃重工股份有限公司(第 45 位)^[90]。特别是近五年来,中国工程机械企业在改革开放政策的引领和推动下,经受住市场的严峻考验,不畏艰辛、迎难而上,不断自主创新、变革突破,取得了傲人的成果,多项技术成果在工程机械领域“独占鳌头”,如世界最高的水泥泵车、最大的履带式起重机等,混凝土机械、起重机、挖掘机、装载机、压路机、沥青拌和设备等产品产量均列世界第一位。除 2m 及以上铣刨机产品外,几乎所有的筑路机械均已摆脱依赖进口的局面,部分关键技术与基础研究更是获得了重大突破^[89,91]。

在 1992 年之前,中国混凝土输送泵市场几乎被

国际品牌垄断;到2004年,国产品牌已占95%。中联重科首次将碳纤维技术应用在工程机械设备,制造生产的泵车臂架101.18m,是目前全球最长臂架混凝土泵车,创下吉尼斯世界纪录。7节臂采用碳纤维臂架结构,结构强度高、疲劳性能好,有效减轻了结构自重,也提高了使用寿命和可靠性;臂架减振及运动协调控制技术、多级伸缩支腿摆腿驱动专利技术、全工况载荷模拟设计分析技术、多关节、长臂架复合运动控制专利技术,此外,101m泵车创新性地采用高强铝合金陶瓷砼管,并凭借配置的高效大排量技术和发动机变扭矩控制专利技术相结合,摘得世界泵送能力最强泵车的桂冠^[92]。

D5200-240塔式起重机是全球最大的水平臂上回转自升塔式起重机。最大起重能力240t,起升高度210m,标定力矩为5200t·m,诞生了多项技术创新。其采用的国际领先的综合智能安全控制技术,实现了产品在各种危险工况下的及时预警,确保了产品的安全可靠,扭转了中国大型桥梁建设所需的超大型塔机被国外品牌垄断局面^[93]。

徐州工程机械集团有限公司(以下简称徐工)研发的全球起重能力最大的4000t级大型履带式起重机XGC88000,其主臂长达102m、专用副臂长达33m、自重达6000t。为实现超大起重量和超大起重力矩,4000t履带吊突破传统设计理念,采用大跨距前后履带式/复合式双臂架,还可变型为一台传统的2000t履带式起重机。XCA220型全地面起重机是全球起重性能最高的5轴全地面起重机,完全由徐工自主研发,拥有30多项专利;高科技的单发动系统也出现在这台XCA220上,行驶转场作业时油耗更低。国际领先的起重机行驶智能控制系统,优化辅助制动综合控制策略,降低长下坡行驶时制动系统磨损,提高制动系统使用寿命。同时在自主研发超大吨位挖掘机油缸产品方面,徐工的核心技术持续突破并提升,目前已经实现了400t级到700t级的产品型号全覆盖,并不断地向前迈进^[94]。

SHG190是三一重工的190马力全液压平地机,它采用世界首创的全液压传动,实现了无级变速、操作方便;独创的SYMC电控系统,智能化程度高,拥有定位、远程控制等先进功能^[91]。

安徽合力研发生产的46t重装叉车、空箱集装箱堆高机、45t满箱集装箱正面吊等三大品种六大系列八十余个机型,打破了国际垄断,建设完成了高端搬运装备产业链。

陕西中大机械集团(简称中大机械)Power-DT2000抗离析超大型多用途“变形金刚”结构摊铺机,大大提高了铺装效率和路面均匀度。中大机械作为世界上唯一一家从事“抗离析、大宽度、大厚度摊铺与压实整体成型新工艺及特种高端成套设备”的高新技术企业,代表民族品牌出现在港珠澳大桥施工现场,向世界展示了中国制造的创新和实力。

移动模架造桥机也在诸多方面进行了技术创新,推动了中国在该领域的技术进步,有许多技术已处于国际领先或国际先进水平^[95-97]。例如山东恒望自主研发的双幅移动模架采用了双幅移动模架外模板折叠装置和模板液压同步控制技术,实现了两幅箱梁之间没有间隙或间隙较小时仍可保证外模板折叠实现过孔,开发了双幅整体浇筑式移动模架,拓宽了移动模架的功能,使两幅桥梁之间距离很小或没有间隙情况下可用模架施工。

2010年中国用于地下掘进的装备——盾构机保有量仅为300台,其中近80%的设备是德国和日本的产品。2011年后,在中国轨道交通建设巨大市场需求的推动下,中国盾构机行业得以快速发展。经过连续6年每年20%左右的增长,中国一跃成为全球最大的全断面隧道掘进机生产国和最大的市场。至2017年,中国盾构机保有量已接近2000台,其中约80%为国产设备,涌现出中铁装备、铁建重工、中交天和、上海隧道、北方重工、中船重装等一批中国自主盾构机品牌^[98]。

《大国重器》(第二季)第三集“通达天下”中由

中国铁建重工自主研发的一台 4 层楼高、230m 长的大直径全断面岩石隧道掘进机惊艳亮相,该设备被誉为地下“航空母舰”。机身上有 5 万多个零件,面临极其复杂的地质地貌,大断层、膨胀性泥岩、高石英硬岩以及地质复杂多变、极易塌方的“蚀变破碎带”,它都能够从容应对。它甚至突破技术的桎梏,通过液压马达和电机双驱动两套完全不同的驱动系统,彻底解决“卡机”问题,成就了震惊世界的“国之重器”。铁建重工在盾构机及掘进机领域,通过不断创新、攻关,终于掌握了制造科技,彻底打破了国外垄断,完成中国从技术到市场全面主导的转变,该市场被国外企业垄断的局面被彻底打破^[99]。

《大国重器》“智慧转型”之“智”造转型势在必行。在智能制造引领全球制造业转型升级的背景下,向“智造”转型,向“高端”升级,中国企业深谙顺其“自然”。山推工程机械股份有限公司将自己生产的各类工程机械关键零部件,输入了美国、日本等发达国家。山推借助研制成功 900 t 的巨无霸大马力推土机,正在向产品的全产业链进军。山推工程机械股份有限公司也十分重视信息化、智能化的发展,公司推出了 SD32-8 模块化智能推土机;厦门厦工机械有限公司 XG958H 轮式装载机;中大机械集团有限责任公司无人滚筒机;三一重工股份有限公司远程救援挖掘机;三一重工超大型船用智能挖掘机具有多个创新点,如首创水下自动整平、无人驾驶、RTK 技术应用、厘米级定位精度、齿尖位置的精准计算、25m 加长臂以及专用刮斗;厦门厦工机械有限公司智能挖掘机等^[100];山河智能引以为自豪的是 2015 年成功下线的节能挖掘机 SWE385ES,是全球最省油的挖掘机。山河智能全球首台 SWRC170 自行式全回转全套管钻机开创了国内自行式全回转全套管施工的先河。山河智能董事长何清华说“工程机械行业历经深度调整,如今朝着更智能、更节能高效的方向再出发”^[91]。同时,三一集团围绕“互联网+”深度思考,在物联网领域全面

发力,推出了“根云”工业互联网平台;徐工集团联合国家工信部电子科学技术情报研究所在行业内首次推出智能供应链项目,该项目在全球范围内首次将 Handle system 技术应用于机械制造业领域。以“模块化平台+智能化产品”为核心,中联重科打造出了多款 4.0 精品^[101]。

(五) 中国汽车行业发展成就

截至 2017 年底,中国汽车保有量已达 2.17 亿辆,在这个数字的背后,是改革开放 40 年来汽车工业腾飞的缩影。回顾 20 世纪 80 年代,自行车对很多老百姓尚数奢侈品,到如今汽车走入千家万户,改革开放成就惠及千家万户,也极大地带动了汽车产业的发展。经过 40 年的发展,中国汽车工业取得了举世瞩目的辉煌成就,从最初摸着石头过河到如今逐渐成为汽车制造强国,中国汽车工业为中华民族的伟大复兴做出了不可磨灭的贡献^[102]。

(1) 轿车。改革开放 40 年来,轿车的发展大致经历了 3 个发展阶段。改革开放之初,中国轿车工业就迎来了新的发展契机,“摸着石头过河”“技术引进”“与外国合资经营”等有关轿车发展的新名词也开始见诸于报端,中国的轿车工业从此迸发出新的热量。考虑到当时民族轿车工业的技术落后,中央政府开始鼓励民族轿车厂商和国外轿车巨头接触。1978 年,美国通用汽车董事长墨菲先生来华考察中国的轿车工业。随后,国家开始组团赴德、美、日等轿车工业发达国家考察,并开始商谈合资事宜,中国轿车由此向世界轿车工业敞开了大门。

1980 年代初期,中国汽车的技术、资金及人才等多方面的匮乏使得轿车工业发展缓慢,引进外资成为中国轿车工业发展的重要途径。1984 年 1 月,中国轿车的第一个中外合资企业——北京吉普诞生。1985 年 3 月,中德合资轿车生产企业——上海大众汽车有限公司成立,意味着中国现代轿车工业正式拉开帷幕。同年,南京轿车引入意大利菲亚特的依维柯汽车,广州和法国标志

合资项目也成立,轿车工业发展桎梏被突破^[103]。到1994年,轿车产量已经超过25万辆。

随着中国自主知识产权意识的觉醒,掌握核心科技呼声越来越高。中国自主轿车品牌企业正是在这样的暗流中涌动,如奇瑞、吉利、长城和比亚迪等民营轿车企业以及一汽、长安、华晨等国有企业,加强了自主品牌建设和发展,在技术和品质上越来越得到中国消费者认可,并与外资品牌在中低端车型市场竞争激烈。许多大型汽车企业均相继制订了自主品牌的发展规划,一汽的“新红旗”“奔腾”、上汽“荣威”等纷纷上市^[104],且市场认可度较高,中国汽车产业由吸引投资向自主创新研发方向转变,成为企业增强国际竞争力的核心和关键。2017年中国自主品牌乘用车销量达到1 084.67万辆,2018年上半年中国品牌乘用车共销售510.91万辆。

(2)客车。改革开放初期,中国客车发展脚步比较迟缓,但也具有自身鲜明特色。1979年,北京客装公司以解放CA10型载货汽车底盘为基础,开发生产出中国第一辆空调旅游客车;北京市长途汽车公司在1981年试制成非常适合山区行驶的BCK653型长途客车^[105-106]。1980年代中后期,中国客车行业打破专用底盘必须进口的桎梏,进行客车自制底盘规模化生产,为中国客车行业发展翻开了新的历史篇章。1990年代中期,通过技术引进、合资及合作生产等方式,中国客车行业发展突飞猛进。当时商用车市场被欧美、日韩等国家先进的技术所引领,中国客车行业通过与欧美、日韩等商用车厂进行技术引进与合资建厂,在这个时期拥有大量先进技术的、符合时代潮流的多种类客车制造出来,如低地板城市客车、高级公路客车等。到了1990年代后期,自主品牌的客车企业如雨后春笋般兴起,发展之势迅猛,据统计,1998年中国生产中大型客车约2万余辆。经过前期阶段的技术沉淀与经验积累,中国客车行业已具备自主研发创新能力,

进入自主创新发展阶段,到21世纪,中国已成为世界客车制造大国,并且客车制造强国的实力也已具备^[106]。一批掌握核心知识产权的自主品牌,如宇通、金龙、中通、比亚迪等,不仅占据国内市场,更是远销海外。据统计,仅2018年5月,全国中型客车产量达8 574辆,同比增长122.53%;1~5月累计产量为24 552辆,同比增长64.39%。

(3)货车。从1978年的14万辆到2017年的1 400多万辆,改革开放40年来,中国公路营运载货汽车保有量翻了百倍之多。从计划经济到市场经济,从基础薄弱到满足内需,甚至走出国门,短短40年间,国内的公路载货汽车行业发生了天翻地覆的变化。40年的载货汽车发展,主要经历了3个阶段。第一,振兴阶段(1978~1998)。改革开放之前,全国经济都处于计划经济时代,货车由国家统一调度,20世纪80年代中国全面引进了奥地利斯太尔91系列整套重型汽车技术^[107-108]。1992年邓小平南巡讲话后,改革开放进入纵深发展期,市场经济全面开放,民间货运力量开始成长。第二,壮大阶段(1999~2009)。国内的公路运输力量开始真正壮大起来,第三方物流在中国普遍发展。2003年中国重汽集团与世界卡车巨头瑞典沃尔沃卡车公司组建国内首家重卡合资企业济南华沃卡车有限公司;2005年中国重汽集团自主开发、拥有自主知识产权的HOWO重卡,投放市场当年产销突破万辆;2009年中国重汽同步引进德国曼公司的全套先进技术,经过5年的发展,2014年曼平台产品销量达到1万辆^[109]。随着汽车金融服务的落地,购车门槛大幅降低,也在很大程度上刺激了货车销量走高。国内公路营运载货汽车保有量1999年只有409万辆,2009年已达906万辆,翻了一番。第三,成熟阶段(2010~2018)。2010年,对于国内重卡市场来说是一个里程碑式的年份。就在这一年,国内重卡销量首次突破100万辆,达到101.7万辆。同样在这一年,中卡年销量27.18万辆,轻卡年销量

196 万辆,微卡年销量 61.21 万辆,同样都创造了历史最高销量,当年重、中、轻、微货车四大细分市场总销量达 386.11 万辆,标志着中国货车市场进入成熟期。2017 年,国内重卡在 GB1589 和 921 治超新政、国五切换等政策和市场等多方面因素刺激下,销量再次创造新的历史记录,达到约 112 万辆。

(4) 新能源汽车。21 世纪伊始,中国新能源汽车提上议程,一系列新能源汽车产业政策相继出台。2001 年,新能源汽车研究项目被列入国家“十五”期间的“863”重大科技课题,并规划了以汽油车为起点,向氢动力车目标挺进的战略^[110-111]。“十一五”以来,“节能和新能源汽车”战略目标被提出,政府高度重视新能源汽车的自主研发与产业化;“十二五”期间,中国新能源汽车正式迈入产业化发展阶段,在 2011~2015 年期间,新能源城市客车、混合动力轿车、小型电动车等新能源汽车在全社会进行广泛推广;“十三五”期间即 2016~2020 年,新能源汽车、多能源混合动力车,插电式电动轿车得到更进一步的普及,氢燃料电池轿车将逐步进入普通家庭^[112]。截至 2018 年上半年,新能源汽车销量累计达 41.2 万辆,预测 2018 年底,新能源汽车销量将突破百万辆^[113]。2017 年国内进入企业排名前 20 的车企共有 10 家。比亚迪新能源汽车以销量 10.9 万辆卫冕冠军;北汽新能源犹如一股新生力量崛起,销量从 2015 年的第 12 位跳升到 2016 年的第 5 位,2017 年又跃居至第 2 位;上汽荣威也到达了有史以来最好水平,以 4.5 万辆的销量稳居第 8 位。

(六) 中国智能交通发展成就

中国的智能交通系统于 20 世纪 70 年代开始发展^[114],最早研究的是城市交通信号控制。1995 年,交通部 ITS 工程研究中心进行了“全球卫星定位系统与导驾系统”和“基于 GPS 的路政车辆管理系统”等项目的研究。2001 年,在“十一五”期间,依托重大国家科技计划,智能交通系统取得了极大的进步,如交通管理与规划、无人驾驶、车路协同、运

营管理、高速公路三大系统等领域。

交通管理与规划,提供交通管理和控制、紧急事件调度指挥、基础设施维护管理等服务。2015 年山东省建立高速公路智能交通安全管控平台,2015 年浙江省建设高速 G20 峰会卡口拦截系统,2016 年浙江省公安厅建设了机场公安局 G20 安保-指挥中心,2017 年建设了浙江省道路监控一体化实战平台暨世博安保系统,2017 年 10 月温州市建成交警城市智能交通指挥中心。

中国最早的交通信号灯是 1928 年在上海的英租界开始实施的。到 1980 年前,交通信号灯都是手动控制的,结构非常简单:一个控制盒,中间设置一个开关。控制盒与灯之间用一根电线连接,交警时刻关注路口的车流量变化,来来回回拨动开关,控制东西或南北方向的车流。到 1985 年以后,信号灯的控制器变得成半自动了。交警只需要用控制器设置好每个方向的信号灯配时,哪个方向车流量多,开关就拨到哪个方向上,时间一到,开关自动弹回。直到 20 世纪 80 年代,微软公司的迅速崛起,信号灯才有了统一的处理系统,在此之后,人们大都使用微软公司的操作系统对信号灯进行逻辑切换控制,信号灯告别了人工切换的时代。1985 年后,多相位红绿灯诞生,此后中国实行了直行和左转分车道的行驶方法,大大提高了道路的通行能力,降低事故发生概率^[115]。2013 年后,烽火推出了 Easy Go(易智行)产品和相关解决方案^[116]。通过外场视频图像数据采集,利用自主知识产权的大数据产品 FitData 的数据处理能力,结合仿真预测功能分析,自适应选择最优预案,全自动控制交通信号设备。将主要路口延误减少了 12%,交通通行效率提高了 16% 以上,从而提升了道路的利用率,减轻了城市交通拥堵的压力。交通状况的改善也减少了汽车尾气的排放,降低了大气污染。建成的适合中国国情的混合交通城市控制系统,取得了初步的效果。图 1 是当前比较成熟的智能交通信号灯管理系统示

国内无人驾驶汽车是从 20 世纪 80 年代开始,以国防科技大学为主开始进行无人车研究。2001 年,在贺汉根的帶領下,成功研制了时速达到 76 km 的无人车^[118]。2005 年,国防科技大学完成的一个重大项目实现了 2 000km 的无人驾驶^[119]。2006 年,在东北亚的贸易博览会上,中国研发的无人驾驶汽车在不封路的情况下,以 80km 每小时的速度自主行驶。2011 年,国防科技大学研制的无人车创造了在复杂交通环境下无人驾驶的新纪录。2012 年,军事交通学院研制的无人驾驶智能汽车可以感知周围环境,自动规划行车路线^[120]。2015 年,长安汽车研发出首辆无人且具备全速自适应巡航、紧急刹车、车道保持功能的汽车等^[121]。但是中国无人驾驶汽车面临的困难还有很多,技术水平不足、关键零部件依赖进口、政策法规不完善等问题较为突出,无人车的发展还需要坚持不懈的努力。

城市顺畅交通协同创新中心;2017 年,由中国移动牵头联合清华大学、长安大学成立了“车联网 - 教育部中国移动联合实验室”,该实验室是中国政府层面批准建设的首个车联网领域联合实验室。2017 年底,华为公布了 LTE-V2X 的测试结果^[122],LTE-V2X 直连通信覆盖达到 1km 以上,能有效提供两车面对面对时 500km/h 的卓越性能;高密度拥堵的交通场景下通信时延小于 20 毫秒,消息发送成功率超过 90%。2018 年 9 月 14 日,全球第一个城市级车路协同平台 5 条高架和 10 万辆车组成的智慧车联网在无锡建成^[123],这标志着中国车联网发展取得重大突破。

51

息化建设,以达到降低运营成本、提高服务水平、提高企业收益的目的。该系统具备超大系统容量、强大兼容性和高度伸缩性,可以实现对出租车辆的调度和管理,可以对车辆进行准确有效的定位、监控、营运调度,并提供各种信息服务^[126-127];可以对车辆动态营运状态和相关技术数据进行实时监控、收集,通过与企业其他信息管理系统的无缝连接,提高企业的现代化管理水平,降低企业运行成本,使企业为自身和社会创造更大的效益。

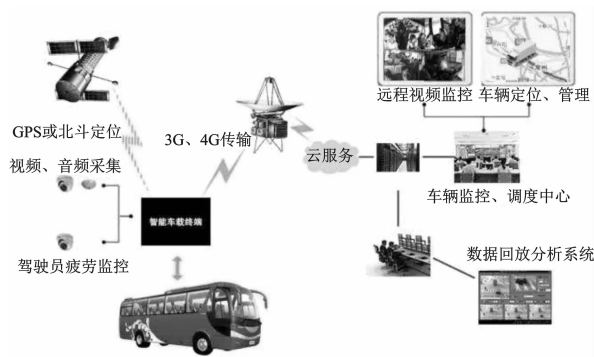


图2 “两客一危”车辆安全在途监控系统示意图

高速公路三大系统为收费系统、监控系统和通信系统。中国最早的电子不停车(Electronic toll collection, ETC)系统应用开始于1996年10月,广东省路路通有限公司引进美国TI公司的ETC收费设备,开发了ETC收费系统软件,在佛山、南海、顺德等地方的收费公路上建立了ETC车道并投入运营;1998年,北京首都机场高速公路引入美国MTECH公司的ETC产品;2001年,广东省使组合式ETC技术进入了真正的可操作阶段;2000年,交通部公路科学研究所研究并提出了适应高速公路联网收费新形式的组合式ETC联网收费技术,提出了ETC技术和IC卡收费技术紧密结合发展的新思路。到2003年中国ETC等收费技术应用初具规模的有山东、江苏、浙江、四川、重庆、湖南等省市。之后,长沙机场高速、成都机场高速等陆续开通了当时最先进的不停车收费系统;2005年,北京机场高速公路收费站“升级版”的不停车收费系统投入运行,新系

统增加了抓拍取证、违章稽查等功能。经过不断发展,截至2015年9月,全国实现高速公路ETC联网收费的省及直辖市增加到29个,基本实现全国联网。ETC发展成为当前高速公路收费的主流模式。近年来,随着“互联网+”技术发展,未来高速公路收费方式必然会采用车牌识别自动支付。

监控技术的发展经历了3个阶段:20世纪90年代前期的模拟视频监控技术^[128],20世纪90年代中期发展的数字视频监控技术,在20世纪90年代后期至今兴起的多媒体网络视频监控阶段^[129]。高速公路监控系统存在的问题有:监控外场设备布设的规模和位置设计考虑不够全面,严重影响了预警的时效性;“一路一监控”的现状影响了路网整体效率的发挥;监控系统普遍存在“重监轻控”的问题。针对这些问题职能部门应相互配合,实现数据资源共享,发挥监控系统对交通信息的收集分析功能,升级设备解决各系统之间的兼容问题。

20世纪90年代,国内通信设备厂家还比较弱小,在建设高速公路通信系统时,大多选用国外厂家的通信设备。经过十多年的建设和发展,华为和中兴为代表的通信设备制造商快速崛起,中国高速公路通信系统设备进入到以中兴和华为这两家设备厂家为主的格局^[130]。不过,仍然有很多问题没有及时地解决:第一,很多系统配置和设计无法结合;第二,地方性管理造成路段管理不统一的现象;第三,各地通信系统存在差异,设备不能及时有效地沟通和连接;第四,受网络稳定性的影响常常出现断网现象。解决问题的方法^[131],一是加强网络技术的建设,二是要经常对通信系统进行保养、维修和检查。

(七)中国公路交通运输发展成就

改革开放40年来,中国公路交通行业的多个技术领域都进行了翻天覆地的革新,随着《公路水路交通中长期科技发展规划纲要(2006~2020年)》《国务院关于优先发展公共交通的指导意见》与《关于科技创新推动交通运输转型升级的指导意见》等

多个政策文件的出台,推动公路交通技术领域取得了一系列先进适用的技术进步与实践应用。

改革开放初期,中国公路修建曾存在短暂滞后的问题。但从 1980 年起,公路里程开始不断增长,从 1980 年的 88.83 万 km 到 2017 年初的 469.63 万 km,年均增长率超过 10%。随着公路里程的增加,公路交通的地位也在中国庞大的交通运输体系中逐渐显现,多种技术手段的融合发展也促进中国公路交通运输稳步前行。

(1)智能交通技术发展。智能交通技术就是通过应用智能交通系统来充分利用交通基础设施,大幅度提高交通安全水平。从 20 世纪 90 年代开始,石家庄、太原等城市已经开始逐步应用智能公交系统,并进一步完善办公电动化系统的建设。图 3 是北京市城市道路交通流预测系统物理结构示意图。进入 21 世纪,北京与南京等城市分别建立了道路交通流预测预报系统和交通信息服务系统,为进一步疏导交通提供了硬件基础^[132]。

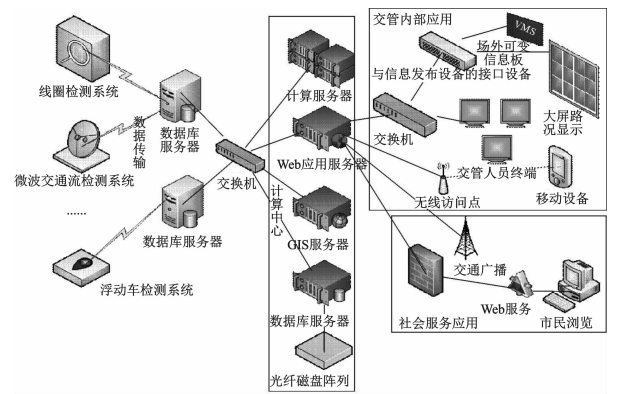


图 3 北京市城市道路交通流预测系统物理结构示意图

城市“互联网+”技术的兴起和完善加速解决了包含车辆协同在内的载运工具移动数据交互问题,并进一步推进了智能化公交系统在中国的广泛应用。2010 年起,包含北京在内的 36 个城市公共交通智能化应用系统建设逐步推进,以宁波为代表的 30 个城市开展了出租汽车服务管理信息系统试点建设^[133]。2012 年上海、宁波、绍兴、湖州、台州、

常熟、兰州、白银等 8 个城市已实现公交“一卡通”的互联互通。

地理信息系统(GIS)与电子数据交换(EDI)等技术^[134]逐步融入城市物联网系统中,实现了智能交通与高速公路管理,基础设施与交通状态感知以及交通运输实时监控等技术进一步突破。截至 2017 年,京津冀等 32 个省(区、市)开展了省域道路客联网售票系统建设,进一步提升了交通智能化水平^[135]。

(2)绿色交通技术。绿色交通的理念是 1994 年 Chris Bradshaw 提出,指以低公害、高效率与保护环境为目标,建立更合适人类居住与环境发展的城市交通系统^[136]。改革开放初期,中国的交通技术发展在一定程度上是以牺牲环境为代价的。从 20 世纪 90 年代开始,中国政府开始通过相关政策引导绿色交通技术的发展,同一时间新能源技术的出现开始影响城市交通尤其是公路交通的发展^[137-138]。21 世纪初,包含压缩天然气(LNG 或 CNG)公交车、出租车燃油混合动力和纯电动车辆在内的清洁能源与可再生能源车辆在中国逐步推广。其中电动车凭借其运营期间零排放、低噪音的特点获得学者和政府的关注^[139]。2008 年北京奥运会期间,北京市开始普及电动公交车,并在部分公交站点实现电动公交车的无线充电^[140-141]。截至 2017 年,中国的电动车销售与使用量已接近世界电动车市场总量的三分之一^[142]。

在电动车推广取得突破性进展的同时,中国同样注重新能源的自主研发。国家于 2012 年出台了《国家能源科技重大示范工程管理办法》,进一步推广、应用重大示范工程,加速了新能源技术、公路交通运输基础设施与物流工艺装备革新,有效地提升了节能减排、技术绿色革新与资源利用效能^[143-144]。

(3)交通信息技术。交通信息交互一直是交通技术研发的重要领域之一,改革开放初期受制于技术与基础设施建设的落后,交通信息化水平一直较低。从 2000 年起,中国交通信息化发展逐渐起步,交通基

基础设施、营运车辆、经营业户、从业人员等行业基础数据库逐渐完善^[145];2008 年起,包含北京、广州在内的部分地市的城市公交、出租车、轨道交通、客运枢纽、农村客运等基础数据库开始建设,并于 2015 年初步建成;2011 年交通运输部开始建设并完善包含重点营运车辆动态信息公共交换平台、重点营运车辆动态信息应用系统与运行监控系统三部分在内的全国重点营运车辆联网联控系统并推动了全国道路货运车辆公共监管与服务平台建设^[146];2015 年,贵州、湖南等 23 个省(区、市)进行了公路水路安全畅通与应急处置系统建设;2016 年北京、天津等 28 个省(区、市)开始积极推进交通运输统计分析监测和投资计划管理信息系统建设^[147]。

2013 年习近平总书记提出了“一带一路”建设的倡议,为了与“一带一路”建设相呼应,中国政府开始尝试对接多国物流信息资源以及物流信息标准化。2014 年中国开始建设并完善交通运输物流公共信息平台(LOGINK),普及货运“电子运单”,推动“一单制”多式联运试点示范^[148-149];2015 年,交通运输物流公共信息平台标准工作组正式向社会发布了“交通运输物流信息互联共享标准 2015”,进一步促进物流信息标准化^[150];逐步推进物流信息服务平台商业化合作,推进物流商业平等化,引导农村物流信息平台建设^[151],逐步实现多种运输方式之间信息互联互通,对接公路与水路、铁路、民航、邮政、海关、贸易、检验检疫等部门物流相关信息系统^[152];并将相关公共信息逐步向物流市场开放,实现国家交通运输物流公共信息平台 and 区域物流公共信息平台与包含美国、俄罗斯在内的多国交通枢纽实现信息资源共享^[153]。

二、发展趋势

(一)中国道路建设领域发展趋势

中国公路交通发展虽然取得了巨大成就,但同

时也存在一些突出问题和薄弱环节。

(1)道路运输效率不高。一是运输发展政策还不配套,落后于发挥道路运输独特优势的要求,城乡交通一体化进程比较缓慢。二是运输能源消耗还不理想,落后于建设资源节约型、环境友好型社会的要求。三是运输市场秩序还不规范,落后于社会主义市场经济体制的要求,道路运输与现代物流的融合度较低。四是运输管理机构还不健全,落后于建立公共服务型政府的要求^[154-155]。

(2)道路交通事故率高。中国是世界上交通事故最严重的国家之一,事故发生量一直在高位徘徊。近年来,虽然每年交通事故数量及死亡人数保持下降趋势,但道路交通事故死亡人数仍占全社会各类事故死亡人数的 80% 以上^[156]。

(3)科技创新支撑力不强。一是科技创新与生产结合不紧,二是对发展的牵动作用不强,三是自主创新能力不够,四是应用高新技术改造传统产业力度不大^[157]。

为更好地实现交通运输的科学发展,服务好“两个一百年”目标,交通运输行业要全面深化改革,集中力量加快推进综合交通、智慧交通、绿色交通、平安交通的发展^[158]。

(1)综合交通,继续完善基础设施网络化布局。完善高速公路网络,推进普通国道提质改造,合理引导普通省道发展,全面加快农村公路建设。打造“一带一路”互联互通开放通道,着力打造丝绸之路经济带国际运输走廊,加快推进 21 世纪海上丝绸之路国际通道建设,加强“一带一路”通道与港澳台地区的交通衔接。构建区域协调发展交通新格局,强化区域发展总体战略交通支撑,构建京津冀协同发展的一体化网络,建设长江经济带高质量综合立体交通走廊。发挥交通扶贫脱贫攻坚基础支撑作用,强化贫困地区骨干通道建设,夯实贫困地区交通基础。

(2)智慧交通,打造泛在的交通运输物联网,构

建新一代交通信息基础网络。推动运行监测设备与交通基础设施同步建设,实施“互联网+”便捷交通、高效物流行动计划,将信息化及智能化发展贯穿于交通建设、运行、服务、监管等全链条各环节,推动云计算、大数据、物联网、移动互联网、智能控制等技术与交通运输深度融合,实现基础设施和载运工具数字化、网络化,运营运行智能化。

(3)绿色交通,将生态环保理念贯穿交通基础设施规划、建设、运营和养护全过程。倡导生态选线、环保设计,利用生态工程技术减少交通对自然保护区、风景名胜、珍稀濒危野生动植物天然集中分布区等生态敏感区域的影响。集约利用土地、线位、桥位、岸线等资源,采取有效措施减少耕地和基本农田占用,提高资源利用效率。在工程建设中,鼓励标准化设计及工厂预制,综合利用废旧路面、疏浚土、钢轨、轮胎和沥青等材料以及无害化处理后的工业废料、建筑垃圾,循环利用交通产生生活污水,鼓励企业加入区域资源再生综合交易系统。

(4)平安交通,实施公路安全生命防护工程。开展农村公路隐患治理,加强农村公路隧道隐患整治,继续开展农村公路危桥改造。不断完善道路交通应急体系,提高应急保障能力。

(二)中国公路隧道工程领域发展趋势

在中国许多已经建成的公路隧道中,由于工期、资金、技术,甚至于人为干涉等原因,这样的隧道在建成后存在着先天的不足,严重加大了隧道后期运营管理的难度,而且也对隧道的运营安全留下了隐患。目前公路隧道施工大多数采用新奥法,但是新奥法的施工必须有准确的围岩勘察数据和观测数据,并对已有的数据资料进行分析,然后才能得出设计方案,然而依靠地质勘察,有时候无法得到十分准确的数据信息,在勘察过程中,受到时间以及自然环境的影响,测量会产生一定的误差。因此,必须结合实际情况进行设计。但目前公路隧道工程的设计人员并没有实地考察,大部分是在勘察

资料的基础上进行设计,所以难免在设计的时候出现一些偏差,从而影响到工程设计水平;另外,由于公路隧道施工人员流动性很大,施工人员文化水平有限,所以对技术的掌握并不是很熟练^[159]。动态设计和信息化施工是有机整体,由于目前设计和施工分离,动态设计和信息化施工的体系没有有效形成^[160]。

在“安全、环保和节约”的新理念指导下,紧密结合当前中国交通基础设施建设和运营的现状与发展趋势,在已有技术和装备的基础上,在智慧公路、无人驾驶、地下道路网、绿色公路、极端条件和复杂环境公路建养、战备公路等6个领域解决一批关键技术难题,保障交通基础设施建设顺利实施;交通基础设施建设、管理和养护技术水平全面提高。当前,交通装备设计制造的轻量化、数字化和一体化,交通运输系统集成的智能化、网联化和协同化,整体已达到国际先进水平。

(1)隧道地下工程交通能源动力系统的电动化、高效化和清洁化。交通能源消耗是造成局部环境污染和全球温室气体排放的主要来源之一。加速调整能源结构、转变能源开发利用模式,加快将绿色、多元、高效、低碳的可持续能源应用是其必然要求,交通能源动力系统呈现出电动化、高效化、清洁化趋势。轨道交通发展低寿命周期成本(LLCC)、环境友好设计等可持续发展技术,促进了节能环保指标的逐步提高。

(2)隧道地下工程交通重点集成“四新”技术的战略性发展、突破与应用。近年来涌现出诸多先进技术,如适用于复杂地质条件下公路隧道施工的先进行分段前进式高压注浆技术与工艺;隧道全方位高压喷射注浆拱棚超前支护新技术;防水板超声波焊接及微波磁焊技术;DCP/YE新型隧道锚杆施工工艺;隧道内掺增粘剂的半湿法喷射混凝土工艺;车载式湿喷机械手快速喷锚施工;针对大断面黄土公路隧道上台阶临时侧壁分部开挖施工工法;以及

采用中国自主研发的钢壳混凝土港珠澳大桥海底沉管隧道“整体预制安装式”的施工工艺。就长远隧道地下交通规划来看,需要更多的“四新”技术来实现战略性突破。

(3) 隧道地下工程交通装备设计制造的轻量化、数字化和一体化。隧道地下工程装备制造行业历来是具有集大成者特征的行业,其对信息产业、电子工业、材料工业等相关产业具有很强的带动效应,其发展呈现出轻量化、自动化、集成化、模块化和信息化特征。在信息化和工业化深度融合的过程中,交通装备及其制造过程的数字化、智能化技术日新月异;借助大数据系统和云服务技术,隧道地下工程装备设计、制造、检测、检验、运营、维护等各个环节不断向数字化、智能化、一体化发展。

(4) 隧道地下工程交通运输系统集成的智能化、网联化和协同化。当今科技在多个领域都取得了重要进展,并呈现交叉融合的态势,在交通系统的集成上,借助互联网的发展,以云计算、物联网技术、智能传感/大数据挖掘技术为代表的新一代信息技术有效地集成应用于隧道地下工程交通,使交通系统集成呈现智能化、网联化、协同化趋势。

(5) 用户消费需求的体验化、共享化和综合化。随着互联网对消费导向作用的逐渐增强和消费模式的重大变革,交通用户需求呈现出体验化、共享化、多元化等特征。基于多模式交通服务协同化的消费需求综合化特征日益明显。

(三) 中国桥梁建设发展趋势

尽管中国在桥梁工程领域取得了长足的发展,但桥梁发展过程中依然存在不足和软肋。主要集中在以下几方面:

(1) 桥梁的工程质量和创新问题。改革开放 40 年来,中国桥梁的发展令世界瞩目,毫无疑问在桥梁设计、施工技术、材料技术、勘察设计技术、管养技术等方面都取得长足的发展、进步。但是在工程质量和创新方面尚未达到世界顶尖水平,与西方发

达国家相比依然存在一定的差距。

(2) 桥梁的耐久性问题。近几十年来,中国修建的许多体现现代科技技术的大跨度悬索桥、斜拉桥、预应力混凝土连续梁桥、钢构桥等相继出现了混凝土老化、钢筋锈蚀、或者断索等病害。这些病害主要是由于材料、设计以及施工等方面的不足导致桥梁耐久性的缺陷。

(3) 桥梁的管理养护问题。中国在役桥梁总数已超过 100 万座,大跨径桥梁、复杂体系桥梁以及特殊功能桥梁日益增多,随着时间的推移,对管理养护重要性的认识和技术要求都急需突破。

根据中国交通规划,桥梁建设的需求仍将持续旺盛,无论是沿海互通、还是向内陆延伸、不管是走进山区、或者走向外海,建设条件都将更加复杂,功能要求更加多样,建设难度也会越来越大,这都迫使科研工作者要突破建设技术,迎合社会需求,中国桥梁工程领域发展趋势如下:

(1) 促进传统桥梁技术、现代信息技术和智能技术的融合。推动传统桥梁技术、现代信息技术以及智能技术融合也是推动“第三代桥梁工程”发展的中心任务^[161]。为此,中国已经提出了以智能桥梁为主旨的“中国桥 2025”科技计划,该计划覆盖桥梁建设和养护全产业链。同时,还考虑了基于共享理念,通过整合创新资源,成立中国桥梁产业技术创新战略联盟,以支持智能桥梁科技计划的顺利实施。

(2) 加强可持续发展设计。当今世界,可持续发展已经深入人心,唯有符合这种发展趋势,桥梁的发展才是真正的进步。桥梁的可持续发展主要表现为在不影响桥梁质量的前提下,应大幅增加其使用年限。将绿色设计的理念和使用寿命设计引入进桥梁建设中,在保证其交通运输畅通的条件下,更加注重桥梁的可持续发展设计。

(3) 丰富桥梁美学设计

桥梁作为社会大型公共基础设施,在承担国家

交通正常运营职责的同时,还是一个国家综合国力的体现,也成为一座城市的地标建筑,因此桥梁的美学设计尤为重要。未来的桥梁设计在遵循安全性、适用性、耐久性的原则下,还需要加入更多的桥梁美学,达到人文景观和自然景观的完美结合。

(四)中国工程机械行业发展趋势

工程机械行业的发展是维系国家经济水平的重要方式。虽然中国工程机械的产销量已跨入世界大国之列,但如何从工程机械大国成为工程机械强国仍面临着艰巨的任务和巨大的挑战,同中兴“芯”之殇一样,工程机械的发动机、液压泵、马达等关键零部件仍处于依赖进口的窘境^[88]。中国工程机械高端核心零部件的发展之路任重而道远。中共中央、国务院发布的《国家创新驱动发展战略纲要》,要求发展智能绿色制造技术,推动制造业向价值链高端攀升。重塑制造业的技术体系、生产模式、产业形态和价值链,推动制造业由大到强转变;未来工程机械行业将坚持“创新驱动、绿色发展、节能减排、质量效益”的发展模式,全面推进工程机械绿色制造,加强节能环保型产品的研发;同时,提升传统产业、发展智能制造。

(1)节能环保发展新趋势。针对工程机械能耗高、排放差的问题,传统的工程机械节能研究,多数集中在提高相关元件的性能,改进液压系统和提高动力系统与液压系统的功率匹配等方面,技术已相当成熟,却难以有明显的节能改善效果。因此,工程机械企业应将节能减排的探索放在其他新技术的研发上,其中包括元件级技术、系统级技术、新能源技术以及混合动力技术,发展适用于工程机械的新能源动力系统,来达到良好的节能效果,实现环保目标^[162]。

(2)再制造将是工程机械行业的重要方向。工程机械再制造不仅要求改造升级的产品相比新机性能和质量更加优越,而且价格更低,能耗更小,从而最大程度减少资源消耗实现节能减排的目的,形

成经济发展与环境保护共存的局面^[163-164]。

(3)提升传统产业、继续发展智能制造。发展高端智能化装备是中国提升先进制造能力、推动产业结构迈向中高端的迫切需求。李克强总理在2017年政府工作报告中指出,“大力改造提升传统产业。深入实施《中国制造2025》,加快大数据、云计算、物联网应用,以新技术新业态新模式,推动传统产业生产、管理和营销模式变革。将发展智能制造作为主攻方向,推进国家智能制造示范区、制造业创新中心建设,深入实施工业强基、重大装备专项工程,大力发展先进制造业,推动中国制造向中高端迈进。完善制造强国建设政策体系,以多种方式支持技术改造,促进传统产业焕发新的蓬勃生机。”《中国制造2025》旨在推动支持工业和科技领域创新发展,改造提升传统产业,是中国未来经济发展的“路线图”^[101]。

(4)工程机械行业产品信息化的创新应用。物联网技术与工程机械行业的深度融合,使得工程机械产品正逐步从单机智能化、信息化,向机群智能化、信息化的方向发展。加大在工程机械行业产品信息化的创新应用力度,逐步实现工程机械性能监测、健康评估、故障诊断、智能维护,向产品物流、使用培训、再制造、二手交易等方面的全生命周期管理以及机群优化调度等智能云服务的延伸应用,推动中国工程机械行业从“生产型制造”向“服务型制造”的转型升级^[100,165-167]。

创新驱动是关键,在创新驱动的战略下,以《中国制造2025》为行动纲领,创新驱动,强化基础,大力发展智能制造、绿色制造、高端制造,持续推进产业升级,提升以工业化和信息化深度融合为核心自主创新能力,只有如此才能彻底实现由中国制造向中国创造的转变,向装备强国的阵营进发。

(五)中国汽车行业发展趋势

改革开放40年来,汽车产业的发展离不开难得的发展机遇期,更离不开国家产业政策的大力扶

持。围绕实现制造强国的战略目标,践行《中国制造 2025》,目前微型客车、轿车、大型客车发展速度较快,前景广阔;载货汽车伴随网购物流业异军突起,载货汽车企业对这个领域的研发前景一片大好;轿车尤其是新能源轿车市场资源丰富,产业规模与经济效益较为突出,产量与产值相对较高;而中、轻型客货车市场过度竞争问题依然存在,前景不容乐观^[168]。因此总结来看,未来中国汽车行业发展主要有 5 个方面趋势:

一是政策先导,唯有服务国家大政方针,才能保持行业健康发展。纵观改革开放 40 年,汽车行业的每一步发展都与政策密不可分。供给侧结构改革持续深入,“三去一降一补”落地生根,汽车制造业需要准确把握总体产能规模,坚持提质增效,逐步推进汽车产业健康发展。

二是竞争加剧,唯有掌握更多核心技术,才能永远立于不败之地。在城市交通日益拥挤的今天,汽车行业竞争也日趋白热化,要立于不败之地,必然只能走创新这一条路。唯有集中力量自主创新,才能促进企业长效发展。

三是利润降低,唯有不断控制制造成本,才能推进企业稳步前进。未来中国汽车要出名牌,企业不仅需要紧盯技术,也要积极构建更大的供应销售网络,提高自身的营销能力、注重提升管理水平以及丰富融资手段等,奋起直追开创高品质的自主品牌^[169]。

四是需求多元,唯有注重用户个性感受,才能占据更多市场份额。当今汽车不仅仅是一件交通工具,对很多人而言,更是提升生活品质的必需品。因此未来汽车产业的发展,在专注提升汽车本身的情况下,也需要在附属功能上持续用力。

五是勇于创新,唯有敢于积极研发尝试,才能赶超对手走向世界。提到中国汽车发展不得不提到电动汽车的发展,中国电动汽车的研发起始于 21 世纪初期,并不算太迟,且在国家相继出台的各类

政策支持下发展迅速,但由于技术基础不够稳固,资金、人才等投入缺乏,与发达国家电动汽车的发展相比存在一定差距,愈发加剧中高端技术的竞争压力。面临如此窘境,亟需攻坚克难,大力推进中国汽车工业从投资驱动向创新驱动加速变革,抢占产业制高点,取得技术领域的突破性进展,培育电动汽车为代表的新能源汽车战略性新兴产业,确保中国汽车工业可持续发展^[170-172]。

(六)中国智能交通发展趋势

智能交通系统作为交通现代化建设的重要内容,“十三五”期间仍将是中国交通科技领域重点支持和发展的战略方向。针对“一带一路”“京津冀协同发展”“长江经济带”等国家战略对交通运输提出的重大需求,以解决中国综合运输效能低下、公众出行不便、交通安全态势严峻、交通能耗高、交通服务水平落后等迫切问题为导向,面向应用需求,继往开来,创新引领和推动智能交通的持续发展,是中国智能交通行业未来发展的主要思路。

根据国家科技体制改革的总体部署,科技部对“十三五”重点科技专项进行了规划布局,“综合运输与智能交通”是交通科技领域“十三五”规划布局的重点专项之一。未来智能交通行业发展趋势主要有以下几个方面:

(1)综合交通智能化协同与服务。国外发达国家从基础设施与装备一体化、多种运输装备集成设计、运营调度与服务一体化等多个方面,充分实现综合货物运输方式间的信息共享,不断提高智能化信息服务水平。近年来中国各种运输方式都得到了快速发展,但多种运输方式间的信息交互服务滞后,制约了综合交通协同与高效服务的进展。未来随着综合交通的发展和便捷出行的要求,信息共享和智能化服务技术将得到充分发展和应用。

(2)交通运输系统安全运行智能化保障。交通安全是中国交通领域长期面临的严峻问题,交通运输系统安全运行的智能化保障将是未来智能交通

发展的重要方向。交通安全涉及交通系统的多个要素,仅仅从单一因素不能根本改善交通安全水平,未来交通运输系统安全运行的智能化保障将重点集中于运用现代信息技术来分析事故成因、演化规律、管控策略以及设计主动安全技术和管理方法,从“人-车-路”协调的角度实现交通安全运行防控一体化。

(3)合作式智能交通和自动驾驶将成为智能交通的重点。合作式智能交通(在美国称为互联车辆)是近年来国际智能交通界关注的重要方向,它将无线通信、传感器和智能计算等前沿技术综合应用于车辆和道路基础设施,通过车-车、车-路信息交互和共享,首先实现车辆运行的安全保障,其次实现绿色驾驶和交通信息服务,它是安全辅助驾驶、路径优化、低碳高效等多目标统一的新服务。发达国家在这个领域已经做了大量的实际道路测试,基本实现了产业化。值得一提的是日本已经在全部高速公路上实现了高速无线数据通信的全覆盖。

(4)智能交通的特殊要求推动信息技术发展。智能交通最大的特点,是基于高速移动的交通工具间、交通工具与基础设施间的可靠数据交互和对流数据的计算,而这些特殊的要求对宽带移动通信技术和计算技术的进步起到了强大的推动作用。例如超高速无线局域网和5G移动通信都把低延时作为一个重要指标,5G甚至提出延时不超过1毫秒,这个指标是直接对应于交通安全应用要求的。再如,快速移动车辆在通信网络内要求不中断的数据连接,以保证流数据的计算,这就对通信的传输控制协议和流计算技术提出了新要求,这在一般公用通信系统中是没有的。这些技术近年来取得了不少突破,给实现智能驾驶和自动驾驶提供了支撑。

(5)智能交通产业生态圈的跨界融合。新技术的发展和应用,为出行者提供了更加精细、准确、完善和智能的服务,是智能交通系统面向公众服务的

重要方向。这些服务的提供将加速交通产业生态圈的跨界融合,汽车制造业、汽车服务业、交通运营服务、互联网、信息服务、智能交通等行业的融合发展将是趋势。

(七)中国公路交通发展趋势

改革开放以来,中国交通运输技术一直践行立足本国国情同时结合国外先进经验的道路。随着中国技术经济实力的发展,在公路交通装备与技术等部分领域已经实现国际领先,但从总体看与国外先进国家仍有部分差距,还有较大的发展空间。过去的40年里,中国公路交通的高速增长一定程度上是以牺牲资源与环境为代价换来的,近年来中国交通运输行业从技术领域逐渐转向绿色化发展,但是当前的技术和发展对交通绿色化来说还远远不够,还需要科研团队与政府的共同努力。因此,公路交通技术发展方向如下:

(1)交通运输智能信息化。随着交通技术的发展,新一代信息技术已经可以通过基于高分辨率对地观测数据的交通基础设施监测和交通一卡通、移动支付等技术实现交通数据的实时采集,将数据接入互联网平台实现云共享,结合大数据处理平台与高精度三维交通GIS构建,这些都为进一步实现交通行业网络与信息安全和交通动态监测预警提供了技术基础,也是未来的技术发展方向之一^[173]。

(2)“互联网+”高效交通运输。大数据的处理与融合离不开“互联网+”平台,当前在移动互联网互联互通的背景下,综合交通出行信息服务,货运物流综合管理服务和物流大数据处理、预测分析与市场监管,包含运输电子口岸与高速公路联网收费等都在逐步推进中,也必将成为未来的研究热点^[174-175]。

(3)交通节能减排关键技术突破。CNG、LNG、电能、太阳能等可再生能源在交通装备中的逐步运用加速了交通运输的绿色化发展。载运工具能耗和排放的智能动态控制监测与交通基础设施的绿

色化(低 PM2.5)改造都会进一步推进中国交通节能减排技术的突破与发展^[173]。

三、发展启示

改革开放 40 年,是中国共产党带领中华民族艰辛探索、走向共同富裕的 40 年,是全社会各领域高速发展的 40 年,也是交通运输行业由弱到强的 40 年。中国之所以能够取得今天的成就,源自于社会主义制度,集中力量办大事;源自于人民,人民对美好生活的向往和骨子里不服输的韧劲;源自于经济的高速发展,引进来的同时我们也在走出去,通过基础交通通道建设,极大提升了物流运输速度。实践证明,唯有勤于学习的民族才有发展的不竭动力,唯有坚持对外开放才能构建更加活跃的市场,唯有奋发进取的中华民族才能实现如此辉煌的成就。实践证明,交通运输行业技术的发展、成就的取得不仅来自无数交通人的艰苦奋斗,更是依靠国家政策的扶持。如今,交通运输行业正以自身的高速发展,成为国家经济腾飞当之无愧的“加速器”。深刻领悟 40 年来交通行业发展的启示,必须以“五大发展理念”为统领,持续推进行业向更高层次迈进。

(1)坚持创新,唯有创新驱动方能长久。纵观 40 年来取得的成就,每一次道路、隧道、桥梁、汽车等产业建造出现发展跃进,必然以技术革新发展为支撑。40 年来,公路总里程增长 5 倍多,靠的不仅仅是人民群众的吃苦耐劳,还有先进设备的投入、管理理念的普及,在别人不敢修的特殊路基上留下中国印记,唯有中国人能够做得到;40 年来,中国建设了世界 10km 以上长度隧道的半数,依靠的也不仅仅是肩挑手推,还有大型盾构机投入使用,卫星遥感、测绘技术的融合运用,向世界展示了什么是“中国速度”;40 年来,曾经中国汽车人多么渴望拥有一台真正意义的自主品牌汽车,面对繁复的设计

制造技术,无数科研人员辛劳付出,如今依靠产学研相结合,不仅造出了自主品牌汽车,新能源汽车在国际舞台也占据一席之地;40 年来,中国人曾经因为南京长江大桥而引以为豪,因为达到了那个时代桥梁建造的国际标准,现如今伴随港珠澳大桥的顺利通车,中国人以实际行动向世界证明自己是这个行业的领军者。要大力实施科技创新引领战略,加强应用基础研究和科技成果转化,推动互联网、大数据、人工智能等新技术与交通的深度融合,加快中国智能交通发展。实践证明,机遇永远是留给敢于尝试、勇于创新的集体,未来交通运输行业也要继续将新技术、新理念融合,创造出更加符合市场的产品。

(2)坚持协调,行业发展必须兼顾整体。道路、隧道、桥梁、汽车等的发展成就,得益于自主创新,但如果没有其他行业的支撑,也将成为无源之水、无本之木。大国发展离不开大国重器,行业发展越是进入高水准,越需要基础理论的支撑和设备制造的发展。改革开放之初,交通运输业通过购买装备,学习国外现成经验,进入了一个快速发展期,但正因为如此,滋生了自身制造业重视不够的问题。然而随着市场的拓展,更高水平的发展和更加现实的要求摆在从业者面前,面对国外同行的技术封锁,交通人真正领悟到核心技术,买不来,就只能靠自己。随后,通过国家政策的扶持,科研人员待遇的不断提高,自主科学技术发展,越来越受到尊重的中国科技工作者在工程机械领域攻克了一个又一个难关,取得了多项世界第一;国家在引入先进管理理念的同时,也结合中国人口分布不均的实际,有计划分批次加强公路里程建设,运用“互联网+”思维,更加高效地使交通运输管理体系不断完善。一枝独秀不成林,百花齐放才是春。只有国家宏观调控的保证,全行业才能齐头并进,实现健康良性发展。

(3)坚持绿色,设计制造关注能耗排放。新世

纪新阶段,特别是解决了“吃饭”问题之后,生活的舒适性更加受到关注,“美丽中国”建设被提上日程,逐渐成为全社会共识。彼时,随着改革开放40年发展,中国汽车保有量已经达到了较高水平,尾气排放逐渐成为城市毒瘤。从短期看,通过限号方式,能够缓解城市交通压力;从长期看,城镇化建设尚未止步,城市规模仍在不断扩大,人民生活水平不断提升,“有车一族”越来越多,交通压力仍在不断增大,绿色出行成为新时尚。地下铁路、城市轻轨等在一定程度上解决了交通拥堵问题,但作为最具灵活自由出行方式的汽车,在崇尚绿色出行同时,更迫切的需要的新能源领域寻求突破。最近几年,随着纯电动车的制造普及,加之政策扶持、资金补贴,以比亚迪为代表的厂商正在以新的姿态回归大众,新能源汽车俨然成为了城市的亮色。展望未来,新能源汽车与传统能源汽车相比,实用性上仍有所不及,特别是在续航能力、方便性、维护成本上,仍有很长一段路要走。但只要我们交通人具备“敢为天下先”的开拓精神,有全社会的需求牵引,未来行业发展必定大有可为。

(4)坚持开放,吸引外资技术搞好融合。闭门造车造不出好车,“惟改革者进,惟创新者强,惟改革创新者胜。”在40年改革开放实践基础上,坚定不移地把改革推向纵深,着力推动交通发展质量变革、效率变革、动力变革,才能走上高质量发展的道路。国外汽车发展至今已经经历了一百余年,工业基础、配套产业均已比较完善。要想赶上世界汽车行业发展步伐,必须甘当小学生,虚心学习别人的技术。40年来,中国走出了一条引进来—学习融合—自主创新—走出去的路子,实践证明,通过引进外资技术,汽车行业发展速度实现了迅猛增长。有好车,没有好路也不行。40年来,中国的道路、桥梁、隧道建设依托从业者不懈努力奋斗,在茫茫戈壁、河面、海底都留下了他们的身影。从技术层面讲,如果没有最初的引进吸收,单凭自己摸索实践

是远远不够的。

(5)坚持共享,运用共享思维缓解压力。40年后的今天,伴随人口增长、城镇化快速发展,一些矛盾问题也逐渐暴露出来,以“三去一降一补”为主的供给侧结构性改革成为必然。城市空间有限,公共交通工具的发展可以解决一部分交通拥堵问题,如果可以运用好共享思维,必然可以极大缓解交通运输压力。近两年共享单车、网约车飞速发展,更加高效地利用了有限资源,中国人大胆探索,走出了新步伐。共享单车一度被网民评为中国“新四大发明”之一,广受好评。但从长远看,网约车存在监管问题,共享单车管理问题中也暴露出诸多不足,挤占公共资源、审核把关不严的问题一定程度存在。放眼未来,共享经济仍大有可为,特别是交通运输行业,随着物流行业的高速发展,资源的整合已成为一个新的课题。应鼓励民间资本参与基础设施建设管理,充分发挥人民群众聪明才智,加强社会主义精神文明建设,提高全民道德水准,实现全民共享发展成果。

对改革开放40年最好的纪念,就是要坚持改革开放不停顿,坚持解放思想,紧贴实际促改革,进一步推进公路交通转型发展;坚持政策导向,与时俱进抓重点,进一步发挥公路交通引领作用;坚持制度优势,集中力量办大事,进一步提升公路交通发展质量和水平;坚持科技创新,引进吸收促追赶,进一步增强公路交通核心竞争力;坚持不忘初心,提炼文化凝共识,进一步凝聚公路交通发展合力,在建设交通强国的进程中奋发有为,为决胜全面建成小康社会,夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利而奋斗。

四、结语

回顾改革开放40年,中国公路交通行业发展几经曲折。现如今,在中国共产党的领导下,在国家

政策大力支持下,在改革开放的 40 年里,在数代人摸爬滚打的热血浇灌下,中国公路交通行业发展取得了举世瞩目的成就,同时中国公路交通行业在发展中也有着许多瓶颈,面临着巨大挑战。通过对改革开放 40 年来,中国公路交通行业发展变迁、成就及趋势进行分析,领悟 40 年来中国公路交通行业发展所带给我们的宝贵经验及启示,对今后中国公路交通行业发展质量和水平的提升具有重要的指导意义,对进一步发挥公路交通引领作用,增强公路交通核心竞争力,实现党的十九大提出的各项发展目标有着重要的启迪意义。改革开放是公路交通行业技术发展、成就取得的动力源、活力源,随着改革开放的不断深入和发展,中国公路交通行业发展一定会越走越远,中国公路交通行业也一定会成为托起中国梦的重要支撑,中国公路交通行业以《中国制造 2025》为行动纲领,创新驱动、强化基础,继续用科技和创新连接中国与世界,历经 40 年风雨的中国公路交通行业即将掀开新的历史篇章。

参考文献:

- [1] 胡希捷,赵旭峰. 中国交通 40 年[J]. 中国公路,2018(15):52-61.
- [2] 尹超,梁晓飞. 陕西省干线公路雪灾风险评价[J]. 公路交通科技,2018(9):27-33.
- [3] 杨静蕾,吴晓璠,罗梅丰. 地区经济、交通基础设施与集装箱港口体系集中度变迁——基于 1979-2010 年中美集装箱港口体系的对比研究[J]. 经济地理,2014,34(2):80-85.
- [4] 张汉舟. 甘肃省高速公路网规划研究简述[J]. 公路交通科技,2006(11):153-156.
- [5] 关昌余,裴玉龙. 基于 GM-GRNN 国家高速公路网规模预测研究[J]. 公路交通科技,2008(4):141-146.
- [6] 王海霞,陆伟,刘洋,等. 高速公路网规划中期评价理论方法[J]. 公路交通科技,2012,29(8):112-117,148.
- [7] 《中国公路学报》编辑部. 中国桥梁工程学术研究综述·2014[J]. 中国公路学报,2014,27(5):1-96.
- [8] 李关寿,孙家驷. 论重庆桥梁在国内外的地位和作用

- [J]. 公路交通技术,2011(2):104-107.
- [9] 李建国,濮励杰,朱明,等. 土壤盐渍化研究现状及未来研究热点[J]. 地理学报,2012,67(9):1233-1245.
- [10] 牛玺荣,李志农,高江平. 盐渍土盐胀特性与机理研究进展[J]. 土壤通报,2008(1):163-168.
- [11] 张英,郗慧. 含盐冻土物理力学性质研究现状与进展[J]. 冰川冻土,2013,35(6):1527-1535.
- [12] 马巍,王大雁. 中国冻土力学研究 50a 回顾与展望[J]. 岩土工程学报,2012,34(4):625-640.
- [13] 李驰,高瑜. 沙漠公路风沙土路基风蚀破坏试验研究[J]. 岩土力学,2011,32(1):33-38.
- [14] 胡建荣,张宏,张海龙,等. 沙漠区风积沙路基水盐迁移规律[J]. 交通运输工程学报,2017,17(3):36-45.
- [15] 冯子亮,盛煜,陈继,等. 青海省共和—玉树高速公路新建块石路基下的温度状况分析[J]. 冰川冻土,2014,36(4):969-975.
- [16] 《中国公路学报》编辑部. 中国交通工程学术研究综述·2016[J]. 中国公路学报,2016,29(6):1-161.
- [17] 何德. 中国公路发展历程[J]. 中国公路,1999(7):19.
- [18] 蒋树屏. 我国公路隧道建设技术的现状及展望[J]. 交通世界,2003(S1):22-27.
- [19] 洪开荣. 我国隧道及地下工程发展现状与展望[J]. 隧道建设,2015,35(2):95-107.
- [20] 王梦恕. 中国隧道及地下工程修建技术[M]. 北京:人民交通出版社,2010.
- [21] 李术才,薛翊国,张庆松,等. 高风险岩溶地区隧道施工地质灾害综合预报预警关键技术研究[J]. 岩石力学与工程学报,2008(7):1297-1307.
- [22] 李利平,李术才,张庆松. 岩溶地区隧道裂隙水突出力学机制研究[J]. 岩土力学,2010,31(2):523-528.
- [23] 刘鹏飞,梁树文,郑亮亮. 帷幕注浆加固法在高含水率黄土隧道中的应用[J]. 地下空间与工程学报,2018,14(4):1137-1144.
- [24] 程喜贵. 湿陷性黄土隧道工程的特点与基底处理技术分析[J]. 中国公路,2018(15):112-113.
- [25] 梁庆国,边磊,张钦鹏,等. 大断面黄土隧道洞口段地震动力特性研究[J]. 公路交通科技,2018,35(7):65-76.
- [26] Funehag J, Gustafson G. Design of grouting with silica sol in hard rock-new methods for calculation of penetration length, Part I[J]. Tunnelling & Underground Space

- Technology Incorporating Trenchless Technology Research, 2008, 23(1):1-8.
- [27] 李晓刚,支华龙,彭帆,等.岩溶区运营公路隧道衬砌受力特性模型试验分析[J].公路,2018,63(5):296-302.
- [28] 李雄周,王星星,秦之富.云南省某高速公路隧道岩溶段处治技术研究[J].地下空间与工程学报,2017,13(S1):433-441.
- [29] 周小飞,武科,马明月.浅谈公路岩溶隧道施工技术管理[J].地下空间与工程学报,2010,6(3):559-563,570.
- [30] Colella F, Rein G, Borchellini R, et al. Calculation and design of tunnel ventilation systems using a two-scale modelling approach [J]. Building & Environment, 2009, 44(12):2357-2367.
- [31] Wu Y, Bakar M Z A. Control of smoke flow in tunnel fires using longitudinal ventilation systems-a study of the critical velocity[J]. Fire Safety Journal, 2000, 35(4):363-390.
- [32] 周琳雄,王道永,吴德超,等.雅康高速公路二郎山隧道隧址区主要断裂活动性及其对工程的影响[J].华北地震科学,2013,31(1):8-15.
- [33] 彭超.公路隧道穿越浅埋断层破碎带工程处理技术[J].现代隧道技术,2013,50(1):134-138,160.
- [34] 炊鹏飞.高海拔区公路隧道穿越大断层施工和监测技术研究[D].西安:西安建筑科技大学,2011.
- [35] 王洋,刘贵有,琚远航,等.雅克夏雪山隧道涌水涌渣防治研究[J].西南公路,2013(2):268-273.
- [36] 霍玲.高寒高海拔隧道施工机械配套技术[J].山西建筑,2013,39(5):222-223.
- [37] 王晓振,吴顺川.地质雷达在东山隧道二衬检测中的应用[J].路基工程,2010(5):167-169.
- [38] 吴晓琪.唐家塬隧道进口施工及安全保护技术[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2014,27(S1):41-45.
- [39] 蒋树屏,赵阳.复杂地质条件下公路隧道围岩监控量测与非确定性反分析研究[J].岩石力学与工程学报,2004(20):3460-3464.
- [40] 陈蒙.偏压双连拱隧道合理开挖与支护方式研究[D].烟台:烟台大学,2016.
- [41] 樊宇,叶春琳.软弱围岩小净距公路隧道贯通段施工技术研究[J].公路,2013(7):277-282.
- [42] 陈卫忠,郭小红,曹传林,等.公路分岔隧道循环风相互影响及其对策研究[J].岩石力学与工程学报,2008(6):1137-1147.
- [43] 汤劲松,刘松玉,童立元,等.破碎岩体浅埋大跨公路隧道开挖方案对比研究[J].岩土力学,2007,28(S1):469-473.
- [44] Sharma S, Judd W R. Underground opening damage from earthquakes [J]. Engineering Geology, 1991, 30(3-4):263-276.
- [45] Okamoto S, Tamura C. Behaviour of subaqueous tunnels during earthquakes [J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2010, 1(3):253-266.
- [46] 《中国公路学报》编辑部.中国隧道工程学术研究综述·2015[J].中国公路学报,2015,28(5):1-65.
- [47] 代聪,何川,陈子全,等.超大埋深特长公路隧道初始地应力场反演分析[J].中国公路学报,2017,30(10):100-108.
- [48] 刘永胜,洪开荣,卓越,等.特长深埋高速公路隧道平导通风技术研究[J].现代隧道技术,2017,54(4):173-179.
- [49] 汤召志,杨秀军,颜静仪,等.特长公路隧道运营环境调查及原因分析[J].地下空间与工程学报,2017,13(S1):360-364.
- [50] 夏丰勇,谢永利,王亚琼,等.特长公路隧道互补式通风模式[J].交通运输工程学报,2014,14(6):27-34.
- [51] He C, Koizumi A. Study on seismic behavior and seismic design methods in transverse direction of shield tunnels[J]. Structural Engineering & Mechanics, 2001, 11(6):651-662.
- [52] Liao Z P, Wong H L. A transmitting boundary for the numerical simulation of elastic wave propagation[J]. International Journal of Soil Dynamics & Earthquake Engineering, 1984, 3(4):174-183.
- [53] 樊毅,赵春燕,郝哲.我国长、大公路隧道发展综述[J].辽宁建材,2009(6):61-62.
- [54] 王梦恕.蓬勃发展的中国水下隧道[R].北京:北京交通大学,2005.
- [55] 张顶立.海底隧道不良地质体及结构界面的变形控制技术[J].岩石力学与工程学报,2007,26(11):2161-2169.
- [56] 张新,徐志胜,姜学鹏,等.水下公路隧道纵向疏散通

- 道加压送风系统研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2012, 32(6): 665-671.
- [57] 杜朝伟. 海底隧道衬砌水压力及结构受力特征研究[D]. 北京:北京交通大学, 2011.
- [58] 李洪煊,蔡新,武颖利,等. 水下公路隧道结构地震响应分析[J]. 地下空间与工程学报, 2010, 6(5): 952-957.
- [59] Glerum A. Developments in immersed tunnelling in Holland[J]. Tunnelling & Underground Space Technology, 1995, 10(4):455-462.
- [60] 袁勇,刘涛,柳献. 运营越江隧道服役现状调查与检测评估[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2006(S2): 83-89.
- [61] 安永林,彭立敏,吴波,等. 隧道坍方突发性事件风险可拓法综合评估[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2011, 42(2): 514-520.
- [62] 张建斌. 厦门翔安海底隧道陆域段 CRD 法位移监测分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2007(S2): 3653-3658.
- [63] 王树英,阳军生,唐鹏,等. 八车道明挖湖底隧道结构受力现场测试与安全性评价[J]. 土木工程学报, 2014, 47(11): 120-127.
- [64] 陈健. 扬州瘦西湖隧道湖东段基坑工程设计与实测分析[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(S1): 590-594.
- [65] 谢红强,何川,李围. 江底盾构隧道施工期外水压分布规律的现场试验研究[J]. 岩土力学, 2006(10): 1851-1855.
- [66] 徐加民. 浅谈隧道工程的动态设计与信息化施工[J]. 现代隧道技术, 2013, 50(5):1-5.
- [67] 白国权. 大尖坡隧道信息化施工实践与分析[J]. 公路, 2016, 61(3): 226-232.
- [68] 闫毅志,刘新荣,钟祖良. 黄土地区高速公路隧道施工信息化管理研究[J]. 地下空间与工程学报, 2011, 7(S2): 1798-1800.
- [69] 肖林萍,赵玉光,李永树. 单拱大跨隧道信息化施工监控量测技术研究[J]. 中国公路学报, 2005(4): 62-66.
- [70] 王祥秋,杨林德,高文华. 高速公路隧道施工安全信息化监控技术[J]. 中国安全科学学报, 2004(8): 112-115.
- [71] 吴江敏,王建宇. 关于新建隧道动态设计方法的探讨[J]. 现代隧道技术, 2003, 40(4):35-37.
- [72] 李文杰,赵君黎. 发展中的中国桥梁——张喜刚谈中国桥梁的现状与展望[J]. 中国公路, 2018(13): 64-68.
- [73] 佚名. 浙江之路:舟山大陆连岛工程[J]. 工会博览, 2018(24):36-38.
- [74] 任旭初,王刚. 舟山大陆连岛工程金塘大桥、西堠门大桥科技创新撑起舟山建设与管养[J]. 交通建设与管理, 2016(7):45-63,44.
- [75] 佚名. 西堠门大桥等多项交通工程获菲迪克奖[J]. 现代交通技术, 2015, 12(6):20.
- [76] 大慧小惠. 青岛海湾大桥:世界上最长的跨海大桥[J]. 海洋世界, 2012(4):40-41.
- [77] 陈远鹏. 中国桥梁:让世界惊叹的“名片”[J]. 小康, 2017(23):30-33.
- [78] 粤港澳大湾区“通脉”[J]. 中国经济周刊, 2018(33): 42-45.
- [79] 刘权,刘俊志,梁杰. 加快横琴自贸区嵌入粤港澳大湾区推进横琴湾一体化建设研究[J]. 中共珠海市委党校珠海市行政学院学报, 2018(4):59-66.
- [80] 佚名. 中国桥梁:跨海飞江铸辉煌[J]. 中华建设, 2007(4):20-21.
- [81] 李军堂. 中国桥梁成为“一带一路”沿线新名片[N]. 中国交通报, 2016-03-25(7).
- [82] 中国超级工程——武汉杨泗港长江大桥[J]. 武汉勘察计, 2017(4):54.
- [83] 高宗余,梅新咏,徐伟,等. 沪通长江大桥总体设计[J]. 桥梁建设, 2015, 45(6):1-6.
- [84] 刘晓光,郭辉,赵欣欣. 沪通长江大桥主航道桥总体设计参数分析[J]. 桥梁建设, 2015, 45(6):63-68.
- [85] 王初生,晏鄂川,刘佑荣. 北盘江大桥岩体工程地质评价[J]. 地质科技情报, 2002(3):97-100.
- [86] 覃淋. “世界第一高桥”背后的科技力量[J]. 当代贵州, 2018(23):30-31.
- [87] 陈明宪. 矮寨特大悬索桥建设新技术研究[J]. 中外公路, 2011, 31(6):1-5.
- [88] 《中国公路学报》编辑部. 中国筑路机械学术研究综述·2018[J]. 中国公路学报, 2018, 31(6): 1-164.
- [89] 李志勇. 中国工程机械设备受到全球市场青睐[N]. 经济参考报, 2018-05-04(4).
- [90] 佚名. 2018 全球工程机械 50 强出炉,9 家中国企业全线飙升[EB/OL]. (2018-04-09) [2018-08-16]. <http://info.cm.hc360.com/2018/04/090957695840.shtm>

- ml.
- [91] 黄利飞. 超强装备通达天下——工程机械湘军的光荣与梦想(现实篇①)[N]. 湖南日报,2018-03-29(4).
- [92] 佚名. 中联 ZLJ5960THBB 101-7RZ 泵车 30 米层内一泵到底[EB/OL]. (2013-07-30)[2018-08-16]. <http://info.cm.hc360.com/2013/07/301139502178.shtml>.
- [93] 佚名. 中联重科 D5200-240 回转塔机荣获十大起重机械产品[EB/OL]. (2013-10-14)[2018-09-16]. <http://info.cm.hc360.com/2013/10/141612515212.shtml>.
- [94] 佚名. 徐工集团:创新与坚守看徐工制造如何迭代[EB/OL]. (2018-09-19)[2018-09-23]. <http://info.cncma.org/2018/09/19144054126.shtml>.
- [95] 史妍妮,吕彭民,梁佳. MSS50 双幅整体浇筑式移动模架力学性能仿真分析[J]. 筑路机械与施工机械化,2016,33(11):98-102.
- [96] 吕彭民,杨龙飞,王斌华. 变幅宽移动模架结构的有限元分析与试验研究[J]. 郑州大学学报(工学版),2015,36(2):43-46.
- [97] 王龙奉,吕彭民,徐田. 剪力作用下大型钢箱梁极限承载力研究[J]. 湘潭大学自然科学学报,2015,37(4):29-36.
- [98] 佚名. 新征程,向着伟大梦想前进——改革开放 40 周年行业发展成就与展望[EB/OL]. (2018-09-18)[2018-09-23]. <http://info.cncma.org/2018/09/18145554022.shtml>.
- [99] 佚名.《大国重器 II》重磅来袭中国铁建独占盾构机领域[EB/OL]. (2018-03-05)[2018-08-20]. <http://news.dlcm.com/2018030595754.shtml>.
- [100] 杨华勇. 工程机械智能化进展与发展趋势[J]. 建设机械技术与管理,2018(1):19-37.
- [101] 建筑机械编辑部. 2017 年中国工程机械行业关键词[J]. 建筑机械,2018,503(1):06-11.
- [102] 王玲. 黄海客车不忘初心,筑梦前行[J]. 人民公交,2018(8):99.
- [103] 佚名. 中国汽车发展史[J]. 驾驶园,2016(9):80-83.
- [104] 郭文强. 我国轿车工业跨越式发展模式研究[D]. 长春:吉林大学,2008.
- [105] 佚名. 满满都是回忆:中国大客车的百年发展史[EB/OL]. (2017-01-24)[2018-08-08]. http://www.sohu.com/a/125071732_115722.
- [106] 王培祥. 中国客车产业发展历程——我国商用车发展史回顾之二[J]. 商用汽车,2009(9):35-38.
- [107] 郑郎. 中国载货汽车发展现状与预测[J]. 汽车研究与开发,1999(6):33-35.
- [108] 柳献初. 中国载货汽车工业发展历程——我国商用车发展史回顾之一[J]. 商用汽车,2009(9):30-34.
- [109] 鲁强,余伟萍. 中国载货汽车发展战略研究与问题探析[J]. 改革与战略.2008,24(10):172-174.
- [110] 周怀恩. 新能源汽车在我国的发展[J]. 汽车与安全,2014(7):64-67.
- [111] 马建,刘晓东,陈轶嵩,等. 中国新能源汽车产业与技术发展现状及对策[J]. 中国公路学报,2018,31(8):1-19.
- [112] 佚名. 述说·新能源汽车 185 载的起起伏伏——中国汽车工业信息网 20 周年特别报道[EB/OL]. (2016-07-01)[2018-08-02]. <http://www.yidianzixun.com/home?page=article&id=0Dk1neXx>.
- [113] 佚名. 2018 上半年新能源汽车产销超 41 万辆[EB/OL]. (2018-07-11)[2018-08-02]. http://www.sohu.com/a/240544544_114771.
- [114] 金茂菁. 中国智能交通发展历程浅谈[J]. 交通科技,2013(2):140-142.
- [115] 陈雷. 交通信号灯发展历程回顾[EB/OL]. (2013-01-09)[2018-08-26] http://www.360doc.com/content/13/0126/18/1547893_262538468.shtml.
- [116] 佚名. 大数据智能交通信号灯城市道路[EB/OL]. (2017-10-31)[2018-08-26]. https://www.sohu.com/a/201663662_465914.
- [117] 周煜申. 交通信号灯智能控制系统综述[J]. 科技创新,2017(8):2797-2798.
- [118] 郭尧. 中国首辆无人驾驶汽车通过高速公路测试[EB/OL]. (2012-12-05)[2018-08-26]. <http://news.163.com/12/1205/19/8I02KRD700014AED.html>.
- [119] 张贤启,余有晟,刘俊才. 无人驾驶汽车的发展及可行性[J]. 山东工业技术,2015,04:50.
- [120] 冯学强,张良旭,刘志宗. 无人驾驶汽车的发展综述[J]. 山东工业技术,2015,05:51.
- [121] 赵阳. 无人驾驶汽车关键技术[J]. 中国科技博览,2011(26):272.
- [122] 佚名. 华为展示最新 LTE-V2X 性能测试方案和结果[EB/OL]. (2017-11-28)[2018-10-26]. https://www.sohu.com/a/207339432_649849.

- [123] 马薇. 全球首个城市级车路协同平台在无锡亮相 [EB/OL]. (2018-09-15) [2018-09-26]. <http://xhhrb.jschina.com.cn/mp3/pc/c/201809/15/c532979.html>.
- [124] 深圳前海米乐视科技有限公司. 油罐车车载监控系统 [EB/OL]. (2018-01-01) [2018-09-26]. <http://www.mileview.cn/zhinengshuili.html>.
- [125] 深圳前海米乐视科技有限公司. 客运车车载监控系统 [EB/OL]. (2018-01-01) [2018-09-26]. http://www.mileview.cn/nengyuan.html?k=%C1%BD%BF%CD%D2%BB%CE%A3%BC%E0%BF%D8%C6%BD%CC%A8&e_keywordid=93407064111&e_keywordid2=91118738784.
- [126] 段平平. 我国出租车经营管理问题研究[J]. 科技创业月刊, 2015, 28(4):22-23.
- [127] 乔拉·乔小燕,李多. 我国城市出租车行业管理的现状、问题及对策[J]. 山西青年,2013(10):181-181.
- [128] 刘伟清,李文贵,钟楚宏. 高速公路营运管理专业知识与实务[M]. 北京:人民交通出版社,2011.
- [129] 董轩. 高速公路监控系统原理及功能优化措施分析[J]. 科技创新导报, 2015(15):50.
- [130] 王珣. 高速公路通信系统现状与应用分析[J]. 中国交通信息化, 2013(6):112-113.
- [131] 王小军. 高速公路机电工程通信系统技术探讨[J]. 建筑工程技术与设计, 2017(5):52-54.
- [132] 金茂菁. 我国智能交通系统技术发展现状及展望[J]. 交通信息与安全, 2012(30):1-5.
- [133] 中华人民共和国交通运输部. 城市公共交通“十三五”发展纲要[R]. 2016.
- [134] 张煊,刘勇,侯全华,等. 基于 GIS 热点技术的低碳出行街区建成环境特征探析[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2018,38(1):89-97.
- [135] 陆化普,李瑞敏. 城市智能交通系统的发展现状与趋势[J]. 工程研究 - 跨学科视野中的工程, 2014, 6(1):6-19.
- [136] 白雁,魏庆朝,邱青云. 基于绿色交通的城市交通发展探讨[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2006(2):10-14.
- [137] 李迅,张国华,黄坤鹏. 中国城市交通发展的绿色之路[J]. 城市规划学刊, 2008(6):51-56.
- [138] 胡信国,童一波. 国外电动车电池的发展近况[J]. 电池, 2001, 31(3):138-141.
- [139] 丁金学,梁月林. 城市绿色交通发展的回顾与展望[J]. 综合运输, 2013(9):17-21.
- [140] Li J Q. Transit bus scheduling with limited energy[J]. Transportation Science, 2014, 48(4):521-539.
- [141] Bi Z, Keoleian G A, Ersal T. Wireless charger deployment for an electric bus network: a multi-objective life cycle optimization[J]. Applied Energy, 2018, 225:1090-1101.
- [142] Mahmoud M, Garnett R, Ferguson M, et al. Electric buses: a review of alternative powertrains[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 62:673-684.
- [143] 张凡,王秋平. 基于绿色交通背景下的“公交都市”研究——以西安市为例[J]. 环境保护, 2015, 43(2):62-64.
- [144] 赵鸿滨. 纯电动车电池的发展现状和前景[J]. 电源技术, 2015, 39(3):631-632.
- [145] 陶经辉,李旭宏. 公路运输企业发展现代物流的分析及对策[J]. 东南大学学报(哲学社会科学版), 2006, 8(1):58-62,124.
- [146] 陆化普,孙智源,屈闻聪. 大数据及其在城市智能交通系统中的应用综述[J]. 交通运输系统工程与信息, 2015, 15(5):45-52.
- [147] 中华人民共和国交通运输部. 交通运输信息化“十三五”发展规划[R]. 2016.
- [148] 王明文. 我国多式联运标准化现状及发展对策研究[J]. 综合运输, 2017,39(6):19-23.
- [149] 石欣. 现代综合交通运输标准化发展策略[J]. 中国标准化, 2017(21):134-137.
- [150] 李天月. 国家交通运输物流公共信息平台发展指数模型与应用[D]. 北京:北京交通大学, 2017.
- [151] 包厚华. 基于云计算和物联网的供应链库存协同管理和信息共享机制[D]. 广州:华南理工大学, 2012.
- [152] 孙迪存. 浅论我国公路运输发展对物流的影响[J]. 中国国际财经:中英文,2017(8):132-133.
- [153] 中华人民共和国交通运输部. “十三五”现代综合交通运输体系发展规划[R]. 2017.
- [154] 范振宇. 新型城镇化建设中公路交通发展问题研究[J]. 公路,2013(9):184-186.
- [155] 陈毕伍. 中国公路交通可持续发展研究[D]. 西安:长安大学,2010.
- [156] 吴伟峰,赵煜. 新农村公路交通建设中存在的问题以及对策[J]. 黑龙江交通科技,2009,32(7):94.

- [157] 史玲娜,涂耘,王小军. 太阳光光纤照明在短隧道中的应用方案研究[J]. 公路交通技术,2015(6):109-112.
- [158] 胡希捷. 浅谈改革开放 40 年中国交通发展[N]. 现代物流报,2018-07-09(A05).
- [159] 李伟平. 公路隧道设计与施工的现状和问题探讨[J]. 公路,2011(8):293-298.
- [160] 李会武. 动态设计在盘道岭旧隧道维修工程中的应用[J]. 公路,2008(1):213-217.
- [161] 张喜刚,刘高,马军海,等. 中国桥梁技术的现状与展望[J]. 中国公路,2017(5):40-45.
- [162] 张大庆. 工程机械节能环保研发趋势[J]. 建筑机械化,2015,36(6):27-30.
- [163] 廉政,陈燕飞,魏国庆. 国内工程机械再制造核心问题及发展趋势[J]. 科技创新与应用,2017(15):139.
- [164] 钟文韬. 工程机械再制造及其关键技术[J]. 数码世界,2018(1):54-54.
- [165] 李欣. 工程机械智能化与信息化发展概况[J]. 电子技术与软件工程,2017(20):261.
- [166] 吴国祥,李玉河. 工程机械智能化与信息化发展概况[J]. 工程机械,2013,44(1):2-7.
- [167] 佚名. 中国路面机械网工程机械智能化拼核心竞争力[EB/OL]. (2018-01-01)[2018-09-29]. <http://weekly.lmjx.net/2014/0820.html>.
- [168] 佚名. 中国汽车业发展前景[EB/OL] (2016-02-25)[2018-09-02]. <http://www.vccoo.com/v/1cb6aa>.
- [169] 冯波. 影响我国汽车品牌发展的关键因素分析[J]. 天津汽车,2004(4):6-9.
- [170] 崔灵蕊. 工业 4.0 背景下长春市汽车产业转型升级路径研究[D]. 长春:吉林大学,2017.
- [171] 董志学. 中国汽车产业与信息技术产业耦合发展研究[D]. 北京:首都经济贸易大学,2016.
- [172] 江玉婷. 我国新能源汽车产业的发展路径及对策分析[J]. 产业创新研究,2018(8):56-58.
- [173] 中华人民共和国交通运输部. 交通运输科技“十三五”发展规划[R]. 2016.
- [174] 中华人民共和国交通运输部. 邮政业发展“十三五”规划[R]. 2016.
- [175] 石修路. 基于微信平台的寄递信息安全管理研究[J]. 综合运输,2017,39(9):30-35.