

廣東交通規劃設計

GUANGDONG COMMUNICATIONS PLANNING AND DESIGN

2
总第178期

2020



技术交流 信息共享

广东省交通规划设计研究院股份有限公司

地址：广州市沙河兴华路22号
邮政编码：510507
电话：020-3739 3172
传真：020-3739 3172
E-mail：841622401@qq.com
网址：www.ghdi.com.cn

准印证号：(粤O)L0150076号

内部资料 免费交流

获奖喜报

根据粤府〔2020〕16号“广东省人民政府关于颁发2019年度广东省科学技术奖的通报”，公司在“2019年度广东省科学技术奖”评选中喜创佳绩，公司作为第一牵头单位获得了2项奖励。



近期，公司喜获多项协（学）会科学技术奖，其中：中国公路建设行业协会科学技术奖3项，中国交通运输协会科学技术奖1项，广东省地质学会科学技术奖2项。



技术质量部于2020年3月31日、5月12日组织召开“广西高速公路规划项目前期工作7标初步设计及C段：梧州（粤桂界）至乐业（黔桂界）公路（鱼峰至宜州段）”初步设计公司级评审会议。



会议由彭向荣首席副总工程师主持



项目负责人向专家介绍设计情况



与会专家探讨优化项目设计方案

技术质量部于2020年5月8日组织召开“三乐路东延线复合通道工程”初步设计公司级评审会议。



会议由梁立农总工程师主持



项目负责人向专家介绍设计情况



与会专家听取项目组设计情况汇报

技术质量部于2020年4月20日、5月29日分别组织召开“潮汕环线高速公路潮汕联络线延长线（京灶大桥）工程”、“汕头市牛田洋片区海滨长廊及停车场新建工程项目”初步设计公司级评审会议。



会议由孙向东副总工程师主持



项目负责人向专家介绍设计情况



与会专家探讨优化项目设计方案

技术质量部于2020年4月29日组织召开“广深高速公路改扩建工程”可行性研究公司级评审会议。



会议由梁志勇副总工程师主持



项目负责人向专家介绍设计情况



与会专家探讨优化项目工可方案

广东交通规划设计

(每季出版)

2020年6月30日印刷

2020年第2期

(总第178期)

内部资料 免费交流

准印证号: (粤O) L0150076号

编辑委员会

主任: 黄湛军

副主任: 梁立农 王强

委员: 彭向荣 陈潮锐 孙向东

王景奇 陈新富 梁志勇

刘吉福 万志勇

主编: 梁立农

副主编: 王强

责任编辑: 刘祥兴

编辑: 《广东交通规划设计》编辑部

编印单位: 广东省交通规划设计研究院
股份有限公司

地址: 广州市沙河兴华路22号

邮政编码: 510507

电话: 020-37393079

传真: 020-37393172

E-mail: 841622401@qq.com

发送对象: 公司及行业内部

本期印刷数量: 600本

印刷单位: 广州市艺彩印务有限公司

封面封底: 广东省三堡至水口公路改扩建工程

目次

前沿研究

关于中国桥梁技术发展的思考—摘自中国工程院院刊
《Engineering》2019年第6期,作者周绪红、张喜刚院士
..... (1)

公司动态

公司被人力资源和社会保障部、交通运输部联合授予“全国
交通运输系统先进集体”荣誉称号 (12)

热烈庆祝我公司重庆分院揭牌仪式圆满完成 (15)

公司李江山董事长一行赴重庆看望慰问重庆分院全体员工
..... (17)

公司承担的广东省重点项目—中山东部外环高速公路一期
工程初步设计顺利通过“云评审” (19)

公司中标江门市银洲湖高速公路及江鹤扩建高速公路项目,
并签署勘察设计合同 (22)

公司承担的潮州市重点项目—S504线江东至东风迂回线
新改建工程方案论证顺利通过“云评审” (23)

公司承担的广州增城至佛山高速公路(增城至天河段)项目
初测初勘外业验收顺利通过评审 (25)

公司负责勘察设计的广东省重大项目—黄茅海跨海通道
工程定测详勘外业顺利通过验收 (27)

技术论文

广州南沙凤凰二桥葵花拱桥设计
..... 梁立农,陈万里,王璇,龚雪芬 (30)

某大跨度下承式钢箱提篮拱桥力学性能分析 刘安兴 (37)

悬索桥成桥线形求解方法比较 官快 (43)

运行速度路线设计方法在工程实践中的应用及探讨
..... 印冰 (47)

信息专栏

湖南益阳青龙洲大桥参观考察报道 (52)

公司《大跨度新型中承式提篮系杆拱桥的关键技术研究》
成果评价报道 (53)

公司《8m组合式盖板涵设计施工关键技术研究》成果评价
报道 53)

公司《广东省公路路基工程地质勘察新技术及其应用研究》
成果评价报道 (54)

关于中国桥梁技术发展的思考

—摘自中国工程院院刊《Engineering》2019 年第 6 期

作者:周绪红,张喜刚

一、引言

桥梁为扩大人类活动范围提供媒介,克服了地缘政治障碍。桥梁已成为人类扩大生存空间的重要渠道,极大地促进了社会发展。桥梁工程的功能价值、社会价值和文化价值与人类社会的政治、经济和文化活动密切相关。这些价值超越桥梁本身,将桥梁转变成拥有社会属性和文化属性的基础设施。现代桥梁是重要的社会资产,它已成为社会发展的缩影。

改革开放以来的 40 年是中国桥梁建设发展的黄金时期。在遵循技术发展的一般规律以及走“集成—发展—创新”之路的基础上,中国桥梁工程经历了三个阶段—20 世纪 80 年代的学习与追赶、90 年代的跟踪与提高以及 21 世纪以来的创新与超越发展阶段。中国桥梁工程的发展已取得了实质性的飞跃,建成了以苏通长江公路大桥、天兴洲长江大桥、卢浦大桥等为代表的许多结构新颖、设计施工难度大并采用复杂高科技材料和工艺的特大型桥梁。而且,中国积极参与国际竞争,参建了马来西亚槟城二桥、巴拿马运河三桥和乌克兰新海湾大桥等许多国际知名桥梁工程。这些工程荣获了国际咨询工程师联合会(FIDIC)“百年重大土木工程项目杰出奖”、美国土木工程师学会(ASCE)“杰出土木工程成就奖”和国际桥梁与结构工程协会(IABSE)“杰出结构工程奖”等 34 项著名国际大奖。这些奖项标志着中国桥梁产业的快速发展,同时中国桥梁产业也赢得了国际桥梁界的尊重和认可。中国桥梁工程已逐渐走向世界舞台中心。

然而,近年来国内外环境的不断发展与变化,使中国桥梁产业又站在了一个新的起点上,这给桥

梁工程的发展提出了新的要求。中国桥梁工程产业在新时代面临的主要问题都与如何支撑“交通强国”的建设相关。这些问题包括桥梁工程如何才能支撑中国的重大国家战略?如何才能确保桥梁安全?如何才能实现桥梁强国梦?面临这些新的历史任务,我们必须立足中国桥梁工程技术的现状,以更开阔的视野审视中国桥梁技术前进的方向,抓住当前进一步发展的机遇,并以合理、科学的方法推动中国桥梁工程的发展。

二、中国桥梁技术的现状

伴随着经济发展,中国的改革开放为中国桥梁工程的发展带来了前所未有的机遇,桥梁建设规模不断扩大。截至 2017 年年底,中国已建成的桥梁数量超过 83 万座。中国建成了许多有重大国际影响的世界著名桥梁工程,已获得了全世界对中国桥梁工程的认可。在世界排名前十的各类桥梁中,中国桥梁占据了一大半(表 1)。中国桥梁产业取得的辉煌成就已获得社会的广泛认可。桥梁已成为中国基础设施建设中最重要的品牌之一,中国桥梁的国际认可度正在不断提升。

中国桥梁工程产业取得的这些成就就要归功于其根据自身需求所做的大量技术研究。中国桥梁工程产业在以下四个方面取得了长足的进步—材料技术、勘察设计技术、施工技术和管养技术。

(一)关键技术成就

1. 材料技术

材料是桥梁工程的基础,因此,特大桥梁的发展是以材料技术的发展为基础的。到目前为止,中国已经实现能在国内生产混凝土、钢材、电缆、复合材料和智能材料。其中某些材料的生产技术也处于世界领先水平。

表 1 排名前十的各类桥梁

Bridge name	Main span (m)	Country	Date of construction
Cable-stayed bridge			
Russky Island Bridge	1104	Russia	2012
Shanghai-Nantong Yangtze River Bridge	1092	China	Under construction
Su Tong Yangtze River Highway Bridge	1088	China	2008
Stonecutters Bridge	1018	China	2009
Wuhan Qingshan Yangtze River Bridge	938	China	2019
Edong Yangtze River Bridge	926	China	2010
Jiayu Yangtze River Highway Bridge	920	China	Under construction
Tatara Bridge	890	Japan	1999
Normandy Bridge	856	France	1995
Chizhou Yangtze River Bridge	828	China	Under construction
Suspension bridge			
Akashi Kaikyo Bridge	1991	Japan	1998
Liuheng Link Shuangyumen Bridge	1756	China	Under construction
Yangsigang Yangtze River Bridge	1700	China	Under construction
Humen Second Bridge Nizhou Waterway Bridge	1688	China	2019
Shenzhong Link Linding Sea Bridge	1666	China	Under construction
Xihoumen Bridge	1650	China	2009
Great Belt Bridge	1624	Denmark	1998
Izmit Bridge	1550	Turkey	2016
Gwangyang Bridge	1545	Korea	2012
Runyang Bridge	1490	China	2005
Arch bridge			
Chaotianmen Yangtze River Bridge	552	China	2009
Lupu Bridge	550	China	2003
Hejiang Yangtze River Bridge	530	China	2013
Zigui Yangtze River Bridge	519	China	Under construction
New River Gorge Bridge	518	America	1977
Bayonne Bridge	504	America	1931
Sydney Harbour Bridge	503	Australia	1932
Wushan Yangtze River Bridge	492	China	2004
Chenab Bridge	480	India	2010
Mingzhou Bridge	450	China	2011
Girder bridge			
Shibanpo Yangtze River Bridge	330	China	2006
Stolmasundet Bridge	301	Norway	1998
Raftsundet Bridge	298	Norway	1998
The first Beijpan River Bridge	290	China	2013
Sandsfjord Bridge	290	Norway	2015
Paraguay River Bridge	270	Paraguay	1979
Humen Bridge Auxiliary Channel Bridge	270	China	1997
Su Tong Bridge Auxiliary Channel Bridge	268	China	2008
Red River Bridge	265	China	2002
Ningde Xiabaishi Bridge	260	China	2003
Sea-crossing long bridge			
Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge	50	China	2018
Hangzhou Bay Bridge	36	China	2008
Jiaozhou Bay Bridge	35.4	China	2011
East Sea Bridge	32.5	China	2005
King Fahd Causeway	25	Bahrain	1986
Zhoushan Continental Island Project	25	China	2009
Shenzhen-Zhongshan Bridge	24	China	Under construction
Chesapeake Bay Bridge	19.7	America	1964
Great Belt Bridge	17.5	Denmark	1997
Oresund Bridge	16	Denmark	2000

在混凝土方面,C50和C60在中国应用广泛。研究人员对纤维混凝土、轻质混凝土和超高性能混凝土进行了研究,这些材料在实践中也逐渐得到应用。同时研究人员也越来越重视通过提高混凝土材料性能来改善其结构性能。

在钢材方面,中国钢材的发展经历了低碳、低合金、高强度和高性能阶段。目前,Q345和Q370钢材得到广泛应用,Q420钢材的应用正逐步展开。Q500钢材已研发成功,并被应用于沪通长江大桥和其他工程。700 MPa级钢材目前正处于研发阶段,环氧树脂涂层钢筋和不锈钢钢筋正逐步得到应用。

在缆索材料方面,1 770 MPa钢丝和1 860 MPa钢绞线已实现国产化并在工程中 得到应用。2 000 MPa 钢丝(锌铝合金)也被研发成功并得到应用。

玻璃钢(FRP)等复合材料在桥梁修复、加固方面得到了应用,在缆索材料中的应用研究也已逐步展开。记忆合金、压电材料、光导纤维、自修复智能混凝土等新型智能材料在桥梁监测和加固工程中的研究和应用也已逐步开展。

2. 勘察设计技术

勘察设计技术是桥梁工程发展的先决条件。中国幅员辽阔,地质和地形条件多种多样。这促进了桥梁类型的多样化发展,并带动了勘察设计技术的发展。因此,中国桥梁工程已在勘察技术、设计理论与方法、桥型与结构体系、关键结构、防灾减灾技术和桥梁信息技术方面取得了很大进步。

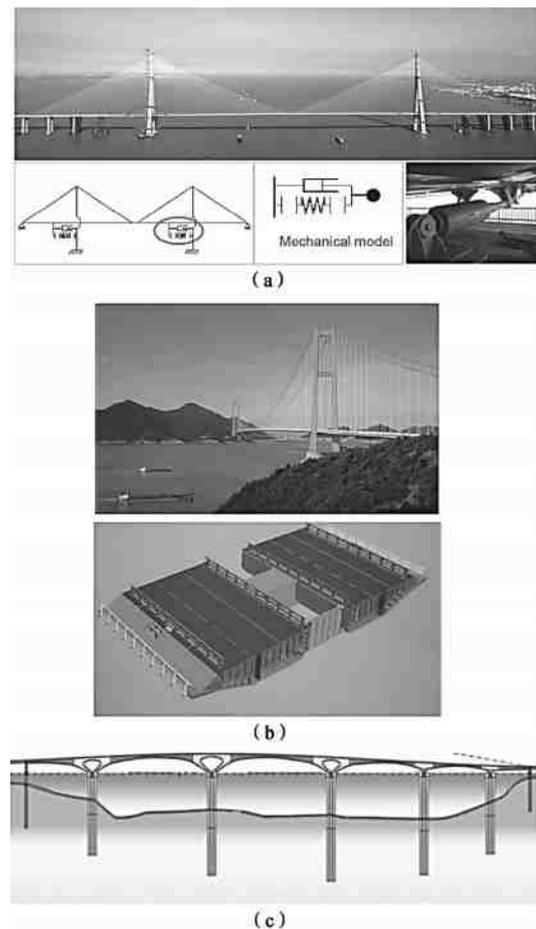
在勘察技术领域,遥感、全球定位系统、地理信息系统等现代空间信息技术可被用来获取地质解释地图、正射影像地图、数字高程模型(DEM)、点云数据等。

无人机摄影技术的使用在勘察领域取得很大进展。无人机摄影技术为设计提供了准确的地质判读数据,为土方量和工程量的准确计算提供支持,并为智能选线和三维(3D)设计提供基础数据平台。

同样,桥梁的设计理论也在逐步完善,正在从容许应力设计法向基于性能的设计方法发展。决策方法也变得更加可靠,因为它从基于经验的判断方式转变为基于概率和经验相结合的判断方式。目前中国桥梁工程产业已建立集经验、概率和风险评估为

一体的决策方法。设计概念已逐渐完善,已从可靠性设计向寿命周期设计转变。而且,以可持续发展理论为基础的可持续设计目前正处于发展初期。设计理论与方法的进步极大地促进了中国桥梁技术的国际认可度。

在桥型和结构体系方面,中国工程师已掌握各类桥梁设计方法,并不断创新和发展结构体系与关键结构。同时,在四大桥梁类型(梁桥、拱桥、斜拉桥和悬索桥)的基础上,研发了适用于当地条件的技术。其中包括各种创新桥型,比如具有静力限位和动力阻尼的斜拉桥结构体系、分体式钢箱梁悬索桥、空心连续钢桥和钢管混凝土拱桥(图1)。基于这些成就,中国工程师研发了矮塔斜拉桥、斜拉拱桥和斜拉悬索组合桥等新桥型。这些成就一起构成了以梁桥、拱桥、斜拉桥和悬索桥为主体的现代桥型和结构体系。



(a) 静力限位与动力阻尼组合结构体系(苏通长江大桥);
(b) 分体式钢箱梁悬索桥(西堠门大桥);
(c) 刚构桥(中国—马尔代夫友谊桥)

图1 创新桥型

桥塔、主梁、缆索、拱肋和基础等桥梁关键结构构件正在被不断地研发和创新。研究人员掌握了高度在 300 m 以上的混凝土桥塔、钢塔和钢—混凝土组合桥塔等结构的设计技术,并提出了内置式钢锚箱和同向回转拉索等新型锚固结构。主梁的结构形式已实现创新与突破:分体式钢箱梁首次被成功应用于悬索桥,同时,研究人员正在研发三主桁钢桁梁。此外,钢—混凝土组合梁和混合梁的设计技术也越来越成熟。缆索和锚固系统的强度、寿命和智能化水平已稳步提高,研究人员已研发出设计寿命为 50 年的高强度耐久型的平行钢丝拉索体系、分布传力锚固系统和悬索桥主缆“即时监测无黏结可更换式”预应力锚固系统。混凝土拱肋、钢箱拱肋、钢桁拱肋和劲性骨架钢管拱肋均得到广泛应用,使得各类型拱桥跨度突破了世界纪录。在基础结构方面,研究人员已研发出了异形变截面超大型哑铃型承台群桩基础、超大直径钻孔灌注桩基础、大型钢—混凝土组合沉井基础、大型圆形地下连续墙围护结构锚碇基础、沉井加管柱的复合基础以及“∞”字形地下连续墙基础等新型基础形式的关键设计技术。

防灾减灾的理论方法、实验和控制技术均已得到发展。研究人员所提出的方法包括桥梁 3D 颤

振分析的状态空间法和全模态分析法、斜风作用下抖振分析法、风振概率性评价方法、基于桥梁寿命周期和性能的抗震设计理论、多点平稳/非平稳随机地震响应分析的虚拟激励法以及基于性能的船撞桥设计方法。研究人员还研发了波流数值水池模拟技术和具有自主知识产权的桥梁分析软件。利用这些方法,研究人员初步制定了涵盖风、地震、船舶碰撞、波浪流、车辆等作用的桥梁防灾减灾技术体系,保障了桥梁的功能实现和安全。目前,中国桥梁防灾减灾技术研究正在从单因素灾变向多灾害耦合灾变方向发展。

在桥梁信息技术领域,与桥梁分析软件相关的研发和应用取得了重大进展,在主要功能、计算精度、计算与分析效率等方面已接近国外软件水平(表 2)。建筑信息模型(BIM)技术作为提高桥梁信息化水平的有效手段,已得到国家各个层面的高度重视,并且在试点工程中已被应用于桥梁的正向设计、碰撞检查、施工过程模拟和施工进度管理。同时,研究人员通过将 BIM 技术与虚拟现实/增强现实(VR/AR)技术相结合,将其用于方案优化和选择。另外,集成建模与分析技术、基于 BIM 的管理平台的建设也已取得突破。

表 2 中国自主研发的计算机辅助设计(CAD)和桥梁分析软件

Type	Typical software	Features
Design analysis and construction control	QJX, GQJS, PRBP, BINAS, Dr. Bridge	Functions: mainly for tie bar elements; structures' overall calculation, analysis, checking calculation, and construction control, etc. Accuracy and efficiency: compared with foreign software, the error is within 2%, and the efficiency of calculation and analysis is similar. Application: widely used in China.
Analysis of bridge spatial effects	There is no market-recognized special software.	Function: spatial stress analysis, crack analysis, fatigue analysis, etc. of key components. Application: other general finite-element software used in foreign countries, such as Ansys, Abaqus.
CAD-aided design	Bridge Designer BridgeMaster	Function: rapid drawing of two-dimensional (2D) design drawings of skew curve bridges, interchanges, conventional medium and small bridges, etc. Application: good compatibility with domestic norms and a high degree integration with actual projects; substantial market share in China.
Professional disaster prevention and reduction	Numerical Wind Tunnel	Function: reference including research achievement, advanced in terms of theory. Application: wind resistance, earthquake resistance, ship collision prevention, etc. for bridges.

3. 施工技术

中国拥有不同施工条件下各类型桥梁的施工控制技术,随着自动化水平、生产效率和稳定性不断提升,行业施工技术正发展迅速。桥梁建设中使用的主要施工装备大多数由中国制造。自动化水平和装备生产能力也有显著提高。

在超高桥塔施工技术及装备方面,研究人员研发了混凝土桥塔液压爬模技术、混凝土超高泵送技术、预制构件吊装施工技术与钢桥塔高精度拼装施工技术。混凝土桥塔浇筑最大节段长度(每节长 6 m、高 6 m)、爬模施工效率(每节 12 d)、塔顶倾斜度误差($\leq 1/42\ 000$)、钢桥塔最大吊重提升速度(7.5

$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)已达到了国际领先水平。中国自主研发的5 200 t塔式起重机已在实际工程中得到应用。

在主梁施工技术及装备方面,研究人员研发了钢箱梁数字化制造生产线、混凝土箱梁整孔预制与架设技术、梁上运梁与架设技术、短线匹配法预制拼装施工技术、钢箱梁整体吊装施工技术以及与缆载吊机、桥面吊机、顶推法和滑模法相结合的主梁架设与施工技术。研究人员还自主研发了浮式起重机、架桥机、桥面吊机、缆载吊机、大型龙门式起重机、滑模设备等关键装备。其中缆载吊机的吊装能力(900 t)和其转体施工技术(转体长度为198 m,转体重量为22 400 t)均达到了国际领先水平。

在缆索制造与架设技术及装备方面,研究人员研发了斜拉桥热挤聚乙烯防护拉索技术和热挤缆索护套成型技术;研发了软—硬组合与三级牵引的超长斜拉索架设技术,并将其广泛应用于斜拉桥和拱桥;掌握了使用预制平行钢丝索股(PPWS)法的主缆架设技术。

在拱肋施工技术及装备方面,研究人员研发了斜拉扣挂悬拼悬浇、劲性骨架、钢筋混凝土拱桥转体及钢拱桥大节段提升等施工技术。其中采用劲性骨架施工法建设的沪昆铁路北盘江特大桥主跨跨径达到了445 m,桥梁跨度远超国外水平(210 m)。劲性骨架拱肋外包混凝土浇筑技术采用了真空辅助三级连续泵送工艺,使输送效率提升到 $30.8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 。采用斜拉扣挂悬拼架设法建设的朝天门大桥主跨跨径达到了552 m。在拱肋转体施工法方面,平转法的最大吨位被提升至17 300 t,研究人员还提出了上提式竖转法。大节段吊装法的最大吊重达到了2 800 t。同时研究人员研发了大吨位缆索起重机(最大吊重为420 t,最大高度为202 m)等施工装备。此外,拱肋施工技术在行业中的应用也越来越普遍。

在桥梁基础施工技术与装备方面,研发成功的技术包括大直径钻孔桩、大直径钢管桩、预应力高强混凝土(PHC)管桩、钢管复合桩、大型群桩基础、大型沉井基础、超深地下连续墙基础等施工技术。自主研发的装备包括打桩船、液压打桩锤、钻机、混凝土搅拌船、双轮铣槽机等在内的桥梁施工装备。其

中打桩船能力(为7 m,桩长100 m以上、重600 t)已经超过了国外水平(为2.5 m,桩长80 m、重100 t)。

在桥梁架设技术方面,工业化施工技术在快速发展,自动化水平也在不断提高。

在结构构件安装方面,预制桩基整体打桩、承台和墩体预拼装、预制钢桥塔整体吊装已实现。对于主梁,所有作业均采用了大规模预制和安装技术,包括混凝土箱梁小节段预制和拼装、桁架梁大节段预制和吊装、水道上钢箱梁超大节段整体架设以及采用架桥机进行预制混凝土主梁架设。从上部结构到下部结构都采用了自动化安装。此外,为了改造和升级老桥梁,研究人员研发了促进大型桥梁节段快速修理和更换的技术,从而尽量减少施工对繁忙交通的干扰。

在施工控制技术方面,在传统的“变形—内力”双控基础上,研究人员结合无应力状态控制理念提出了几何控制法,同时研发了一种用于解决桥梁分段施工的理论控制方法—分阶段成形无应力状态法。此外,研究人员还提出了一种设计、制造和无应力构件安装全过程的几何控制方法。这大大提高了大跨径斜拉桥施工控制精度。目前研究人员正在研发一种集计算、分析、数据收集、指令发出、误差判断等功能为一体的施工控制系统。基于网络的桥梁智能化信息化施工控制技术正成为研究热点。

4. 管养技术

伴随着桥梁建设的迅猛发展,中国在桥梁管养、监测、检测和评估技术方面取得了很大进步。在管养方面,建立了以预防性养护为主、以纠正性养护为辅的两级方法。

在监测技术领域,厘米级实时动态差分式全球定位系统、全系列光纤光栅测量仪等一系列传感器和监测产品得到广泛应用。研究人员还研发了微秒级时钟同步振动信号调理器、百赫兹级高速扫描光纤解调仪等一系列信号采集设备,制定了基于双环冗余光纤环网和工业以太网的监测技术。数百座桥梁已安装了结构安全监测系统。系统集成技术日臻成熟。

在检测技术方面,研究人员研发了桥梁混凝土无损检测、钢结构桥梁疲劳裂纹探测、水下桩基础检测、高清摄像损伤识别、桥梁静载试验等检测技

术以及缆索检测机器人、桥梁检测车等一系列检测装备。检测装备越来越专业化和智能化,检测技术的重心已从破坏性检测向无损检测方向转移。

在评估技术方面,研究人员提出了采用分层综合评定与五类单项控制指标相结合的桥梁技术状况评定方法,评定指标得到进一步细化;提出了以桥梁试验结果和结构验算得出的承载力结果为基础的评定方法;提出了基于桥梁承载力评估、耐久性评估及适用性评估的综合评估方法。评估结果的可靠性和全面性进一步提高。

在加固技术方面,碳纤维复合材料和体外预应力加固等新方法和新工艺已被应用于桥梁维修加固工作中。缆(吊)索更换技术、主梁更换和加固技术均得到快速发展。同时,研究人员还自主研发了新型涂层和阴极保护联合防护技术。较为完善的桥梁养护、维修与加固技术体系被建立,使得对桥梁的保护由被动保护转变为主动保护。

在信息管养方面,信息化决策支持系统被建立,以便于桥梁资产的养护和管理。目前,桥梁施工人员仅使用一个识别码,便可对各种施工文件、监测设备、监测数据、养护数据和桥梁施工与管理过程中的其他信息进行管理,同时可以将其用于协助决策,从而确保信息管理的独特性、可视化、自动化和可控性。

(二) 存在的问题

自改革开放40年来,中国在桥梁工程方面取得了辉煌成就。然而,与发达国家相比,中国桥梁工程在四个关键领域还存在一些问题和不足。一些基础理论研究和共性关键技术尚需突破。而且,施工精细化程度不高,工业化、信息化和智能化水平有待进一步提高,科技创新与成果转化能力不足,产业化程度较低。这些问题进一步影响了中国桥梁产业的长期发展,具体情况如下:

(1) 材料技术

在先进材料的研发和应用方面,中国仍然在追赶西方国家。高性能混凝土材料的研究仍处于初级阶段(即模仿国外的产品),且高性能钢材的力学性能指标也低于国外水平。与西方国家相比,在钢材的焊接性、强度、板材厚度和耐候性方面都存

在较大差距。而且,基于高性能、大型FRP和形状记忆合金(SMA)的产品仍需要进口。

(2) 勘察设计

中国在基础理论、前瞻性研究、智能化技术以及具有自主知识产权的软件等方面的研究和应用落后于西方国家。

(3) 施工

中国的施工技术产业化程度不高且施工设备的性能和可靠性亟待提高。智能化施工技术和设备也有待开发。施工质量的稳定性也亟待提高。

(4) 养护与管理

从养护与管理的角度看,监测和检测技术与装备、结构状态评估理论与方法、养护与维修加固技术、智能化技术发展等方面仍然相对不发达。首先,桥梁工程师在设计、制造、施工、管理和养护方面仍面临缺乏核心技术与装备的现实。缺乏核心技术与装备就限制了中国桥梁工程的进一步发展,对中国桥梁工程产业的竞争力构成风险。

目前,我们除了承认当前在关键技术上的差距,还应该认识到中国在创新体系建设、观念引领、机制建设和技术应用方面存在的一系列根深蒂固的问题,具体如下:

(1) 创新体系。创新体系建设存在两个薄弱环节—能力建设不足和战略领导能力不足。现有桥梁的建设和养护技术优势不足以支撑中国向世界领先的桥梁制造行列迈进。

(2) 观念引领。中国既缺乏坚定的科研意志,又缺乏脚踏实地的态度。目前的观念存在两个极端—要么为了避免风险而完全不去创新,要么纯粹为了创新而创新。

(3) 机制建设。阻碍中国建设创新机制的两个问题是创新平台的同质化和研究的重复性。同时,科研成果共享机制的建设比较缺乏且科研资源浪费严重。

(4) 技术应用。精细化程度不高和规模化水平不足是影响创新技术应用的两个问题。新技术的产业转化水平较低,使得开发者难以盈利并限制了产业的持续发展。

上述问题限制了中国桥梁工程产业核心技术

的发展,同时也进一步加重了目前中国桥梁工程产业缺乏核心技术这一现状。为此,我们必须继续研究桥梁建设特点,抓住新一轮产业革命和发展的机遇,实施科技攻关的长远战略规划,创新体制机制,从根本上提高桥梁建设的创新发展能力。

三、桥梁工程发展的机遇与挑战

历史表明,需求是桥梁工程发展的第一动力。近年来,国内外需求的变化(其中包括新需求的提出)让中国桥梁工程的发展站在了新的起点上。

第一个变化是增量需求变化。随着“一带一路”、长江经济带和京津冀协同发展等一系列国家发展战略的提出,桥梁建设需求依然旺盛。然而,未来桥梁建设将逐渐向中国及欧亚大陆的重要跨海通道、深山峡谷拓展。这一转变将使得施工条件变得更加复杂,桥梁跨度和结构规模也变得更大。而且,我们必须转变之前只考虑单一灾害的观点,要同时考虑多种灾害。在确保桥梁使用寿命和性能的基础上,未来桥梁工程将更加注重质量安全、经济耐用、环保和节能。许多新问题和新技术都亟待解决。

第二个变化是存量需求变化。截至2017年年底,中国公路桥梁总数达83.25万座,居世界第一。以目前中国桥梁3%的年增加率计算,预计到2025年中国公路桥梁总数将超过100万座。同时,由于桥梁“老龄化”和服役条件恶化,大量桥梁病害问题将会越来越突出,安全事故也会日益增多。目前,中国危桥总数约为7万座(图2),占中国现有桥梁总数的1/12,且今后这一比例仍会维持在较高水平。我国老旧桥梁的修复工作对桥梁养护技术提出了新的要求。

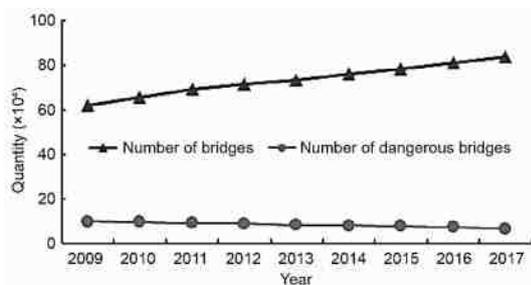


图2 近年来中国桥梁总数(蓝色)及危桥总数(红色)发展现状

第三个变化是管理需求变化。中国社会发展正从高速发展向高质量发展转变。因此,桥梁工程发展的主要理念已从“能建”(can be built)向“能建并能管理好”(can be built and managed well)转变,这对施工质量和质量提出了更高要求。此时,桥梁工程的发展必须以质量改革、效率改革、动力改革为指导,中国桥梁的建设效率和工程质量必须通过技术创新来提高。

总之,未来中国桥梁工程产业必须要解决如何满足国内对施工技术、养护技术、科学决策的需求,还要解决如何满足质量改进、快速建立和创新的管理需求。如何高效建造、有效管养、长效服役的问题就概括了当今中国桥梁发展面临的三大挑战。中国桥梁产业的长期生存和健康发展需要对整个产业链进行改革。

目前,新一轮科技革命和产业转型正在兴起,全球科技创新呈现出智能化、信息化的新发展趋势。新一代信息技术正在改变人类的生活方式,并给传统产业带来了革命性的变化。桥梁建设和养护技术是材料、设备制造、信息、节能和环保等产业发展的重要载体。因此,在新科技革命和产业转型的浪潮中,我们应抓住时代的机遇,实现桥梁建设和养护技术与新一代信息技术的全面融合,促进桥梁产业的全面转型升级,从而促进“第三代桥梁工程”的发展。

“第三代桥梁工程”的主要发展方向为“智能桥梁”(intelligent bridge)。“智能桥梁”的发展战略与国家战略定位和产业痛点高度契合,代表了桥梁工程的发展方向。向社会展示解决现实问题的能力将有力地支撑中国实现“桥梁强国”的目标。

四、桥梁工程的发展战略

(一)“智能桥梁”的定义

目前,“智能桥梁”无确切的定义。顾名思义,“智能桥梁”的核心是桥梁建设和养护技术的智能化。因此,“智能桥梁”宜包含三个基本要素:

(1)桥梁建设和养护技术。这是“智能桥梁”的前提,因为智能化技术必须坚持先进的桥梁技术,才能满足桥梁工程的实际需求。若建设和养护技术不

发达,则桥梁工程中的智能化技术就会像无本之木。

(2)信息技术。信息化是智能化的基础,建立具有规模庞大、自上而下、有组织的信息网络体系需要智能化。因此,桥梁的智能化离不开信息通道的支持。

科学统一的信息体系可以为“智能桥梁”提供可靠的数据支持,为桥梁的智能化奠定基础。

(3)智能化技术。这是解决桥梁建设和养护问题的现代人工智能化技术。智能化技术将促进桥梁智能化的实现并促进桥梁技术范围的进一步扩大。

因此,与传统桥梁相比,“智能桥梁”具有三个基本特征—产业化、信息化和智能化。其中,产业化为桥梁建设和养护提供了完整的产业体系,实现了桥梁设计、建造和管养全过程的管理标准化;信息化为桥梁建设和养护全过程构建信息通道,实现了桥梁全寿命期的信息标准化和数字化;智能化为桥梁建设和养护全过程建立智能决策系统,从而减少对人力的依赖并实现无人值守的桥梁建设和养护模式。

显然,“智能桥梁”的发展需要以两个主要方面的发展做指导。

第一个方面是技术链,即信息智能化技术与桥梁理论、材料、装备和软件等基本技术的融合。通过在各种技术环节与现代智能信息技术建立接口,可以为智能化技术和桥梁技术创造深度融合的条件。

第二个方面是产业链,在产业链的组织管理和协调发展范围内,有必要建立面向“智能桥梁”的制度机制,从而营造良好的发展环境,使智能化技术能够贯穿于桥梁产业并进一步推动技术链的智能化发展。

总之,“智能桥梁”是在桥梁产业链充分发展的基础上,利用现代信息技术构建建设和养护全过程信息通道,进一步融合人工智能等智能化技术所形成的新一代桥梁技术。通过智能设计、智能建造、智能管养,实现桥梁工程的安全、高效、长寿、环保目标。

(二)“智能桥梁”的发展重心

“智能桥梁”技术是在桥梁建设和养护技术充分发展的基础上,融合大数据、云计算、物联网、虚

拟现实和人工智能等先进技术所形成的新一代桥梁建设和养护技术。“智能桥梁”技术能够实现桥梁工程全寿命周期的风险感知、快速响应和智能管理。而且,在包括勘察、设计、制造、施工、运营和养护在内的整个桥梁工程寿命周期内,“智能桥梁”技术能够从根本上促进科技创新、管理模式创新和企业间协同管理创新。“智能桥梁”以智能化技术为起点,因此,“智能桥梁”的建造将促进基础桥梁研究、信息监管、智能决策和寿命期信息共享技术的发展,以及促进人员培训、技术交流和产业化示范。

“智能桥梁”的发展涉及各种维度。“智能桥梁”不是简单的“智能化技术+传统桥梁建设和养护技术”,而是涉及在智能化技术指导下重组产业结构。需要桥梁、材料、设备和信息等领域多个产业群协同发展,推动合作领域、合作模式和合作机制的变革。

目前,共享和协同已成为一种发展趋势,这一趋势已逐渐形成一种社会共识,并成为解决以往问题和新需求的一种方式。“共享”概念可作为“智能桥梁”发展中多产业创新资源整合的共同价值基础。因此,共享有助于解决现有科技体系中的低水平重复、资源分散、产业链未完全成形、成果转化不足和多产业合作困难等产业痛点。

为促进“智能桥梁”和桥梁产业的可持续发展,我们必须构建以协同和共享为基础的一种新型的“桥梁生态”(bridge ecology)模式。这需要从技术、平台、机制三个方面入手:

(1)从产业化、信息化、智能化等方面来发展桥梁建设和养护技术;

(2)建立国家级全产业链科技发展和产业化平台;

(3)探索“智能桥梁”多产业协同的创新模式。

按照上述方式,我们就可以实现需求共享、资源共享和成果共享,可以实现产业协同创新,并可以构建起一种以产业链创新、平台创新、生态创新为特征的桥梁创新体系。

(三)“智能桥梁”的发展建议

为实现桥梁智能化,我们可以在培育阶段、实

施阶段和产业化阶段采用三步战略。此战略将有助于“智能桥梁”科技计划的实施,可显著提高桥梁的产业化、信息化和智能化水平。正如下面三个小节所述,在桥梁建设和养护技术发展、平台构建、创新机制建设中,我们需要开展如下工作。

1. 运用“智能桥梁”重点研发计划

鉴于中国桥梁产业在设计、制造、建造、管养等关键技术和设备方面缺乏核心技术,所以我们亟需科学的解决方案。通过系统的顶层设计,我们可以突破目前影响桥梁建设和养护技术装备的关键共性和产业化问题。以“智能桥梁”为主题的“中国桥梁 2025”科技计划是中国桥梁工程未来 10 ~ 20 年的顶层科技发展规划。按照加强顶层设计、注重全产业链一体化实施的原则,该科技计划以需求为

出发点,涵盖桥梁设计、施工、管养、材料、装备和软件等全产业链。该科技计划包括“桥梁智能化设计建造技术及装备”“桥梁智能化管养技术及装备”和“桥梁智能化建设和养护一体化技术及平台”三个项目。而且,按照基础前沿、共性关键技术、系统集成及产业化示范布局 29 个项目(图 3)。通过桥梁建设和养护技术与互联网、物联网、大数据和云计算等新一代信息技术的深度融合,研究将侧重于桥梁智能化设计建造技术及装备、智能化管养技术及装备、智能化建设和养护一体化技术及平台。此外,我们应加强建设相应的研究基地和团队,打造以产业化、信息化、智能化和绿色建造为特征的桥梁全产业链创新体系,提升桥梁建设和养护技术水平 and 产业化能力。

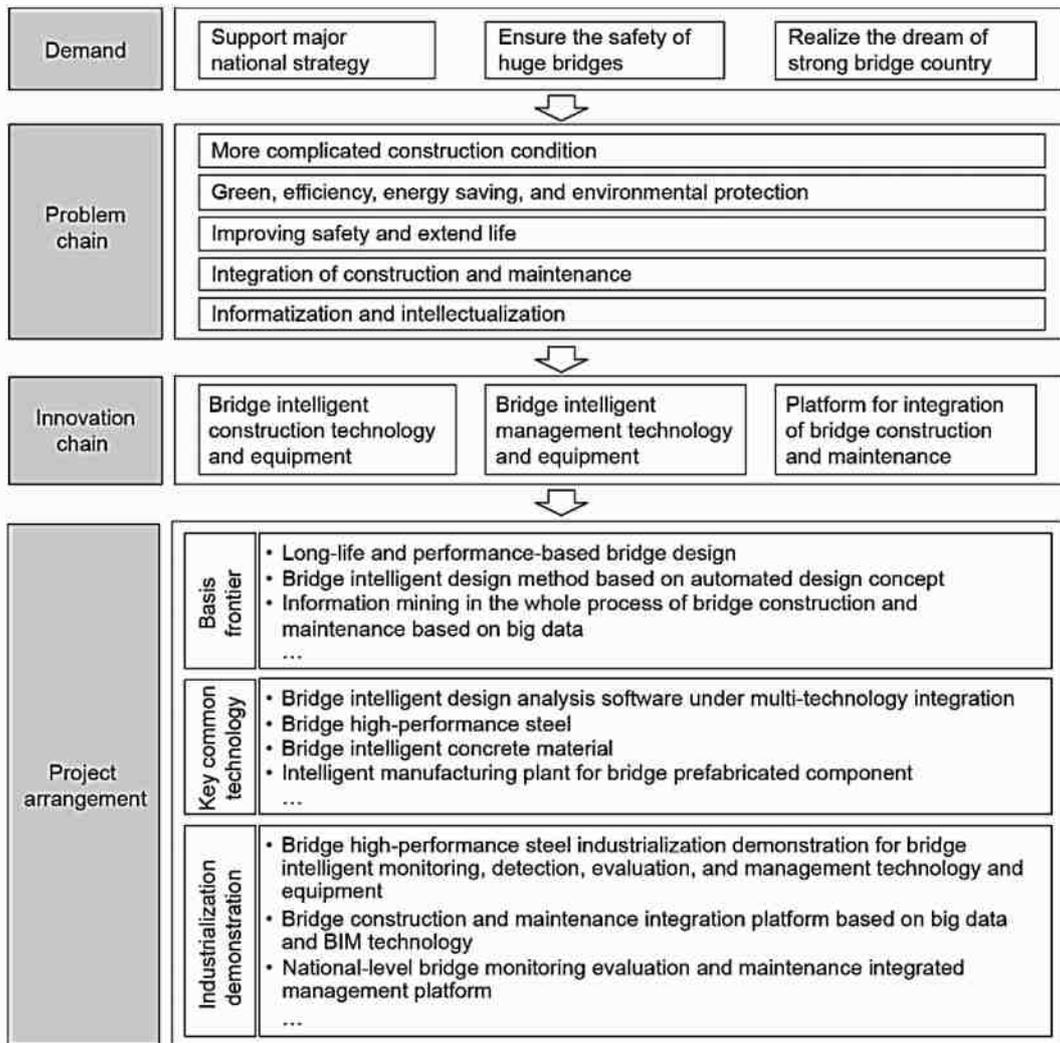


图 3 “智能桥梁”重点专项方案

目前,“智能桥梁”已被列为中国交通建设集团的专项技术项目,是中国交通建设集团首先开展的研究项目,这决定了中国未来“智能桥梁”重点项目研究工作的技术路线,夯实了研究基础。同时,按照国家科技研究新政策,中国交通建设集团正在积极发展一种以企业自主投资为主、政府支持为辅的新项目模式。

2. 搭建“智能桥梁”研究与实现平台

以往突出的问题包括科技创新要素相对孤立、创新平台水平相对较低、创新体系不完善、创新成果转化渠道不畅。因此,中国亟需有效整合资源,搭建国家级科技创新平台,并解决当前的产业发展难题。

为此,国家发展和改革委员会、交通运输部和交通建设集团共同搭建了“公路长大桥建设国家工程研究中心”(以下简称“中心”)这一高端平台。这是国内公路桥梁产业唯一的国家级桥梁技术与产业化平台。该中心的主要任务是围绕国家重点工程和行业需求,推动符合桥梁深水基础、长大桥梁结构体系与关键结构、桥梁高效装配、长大桥结构安全监测与检测和风险评估这四大发展方向的业务发展,参与技术标准制定,促进国际合作与交流,向相关企业提供技术咨询服务,以及提升我国桥梁建造产业的核心竞争力和创新能力。

目前,该中心已开始运营。根据国家和技术创新平台的相关要求,中心将被定位为技术创新和成果转化平台,专注于共性产业关键技术开发和成果转化应用,充分发挥科技进步在产业中的带动作用,并成为“智能桥梁”重点研发计划的实施平台、产业化转型平台和人才培养平台。

3. 建立新型桥梁产业协同创新机制

鉴于中国桥梁建设和养护领域存在的科技成果转化渠道不畅、“产学研用”市场化机制与合作机制不完善、成果转化二次投资不足、“智能桥梁”科技创新的外部创新资源需整合等问题,我们有必要建立桥梁产业协同创新机制。

如上所述,按照共享与协同发展理念、“产学研用”相结合以及“资源共享、优势互补、联合开发、协同共赢”的原则,我们有必要对重点企业、知名高

校、科研院所以及桥梁和相关领域的国家和行业重点实验室与技术中心等优势资源进行整合。此外,我们有必要建立“长大桥梁建设和养护一体化协同创新平台”,并组建“桥梁产业技术创新战略联盟”(图4)以获取更高层次的产业内外创新资源。协同创新机制以创新发展的内在需求和相关方的共同利益为基础,遵循市场经济规律,通过具有法律约束力的合同对各成员形成有效的行为约束和利益保护。同时,协同创新机制在产学研之间建立起一种持续和稳定的合作关系。这样,协同创新机制将重塑桥梁产业的创新生态。

在未来一段时间,桥梁协同创新机制将主要由两个主体构成一面向产业内部资源创新的“长大桥梁建设和养护一体化协同创新平台”和以面向产业内外资源创新的“智能桥梁”为指导的“桥梁产业技术创新战略联盟”。为组织和实现未来“智能桥梁”的发展,中国已围绕桥梁智能化发展开展了多项重大科研和工程项目研究。

五、总结

改革开放40多年来,中国桥梁工程已走出了一条自主建设和创新发展的成功道路,取得了一批自主创新成果,建成了一大批具有国际影响力的桥梁。而且,中国培养了一批桥梁工程领军人物和技术专家,在世界上荣获了许多大奖,赢得了国际桥梁界的尊重和认可。这些成就为中国未来发展成为世界桥梁强国奠定了坚实的基础。然而,与发达国家相比,中国桥梁产业仍有一些问题要克服。中国桥梁产业在设计、制造、施工和养护等关键技术及装备相关领域缺乏核心技术,面临一系列深层次的制度机制问题。

中国桥梁工程目前面临巨大的战略机遇、政策相关机遇和技术机遇,在未来10-20年,中国桥梁工程产业将步入创新、转型和升级的重要战略机遇期。为完成支撑国家重大发展战略、确保大型桥梁的安全和使用寿命以及实现桥梁强国梦的三大历史任务,中国桥梁工程产业必须抓住这些机遇,并进行科学规划,以实施“智能桥梁”科技计划并组建“桥梁产业技术创新战略联盟”。这样,中国将引领智能化

技术、产业化体系 and 专业化桥梁工程平台的一体化发展,将中国桥梁工程升级为以“智能桥梁”为特征

的“第三代桥梁工程”。这一转变标志着桥梁产业发展的一次飞跃。

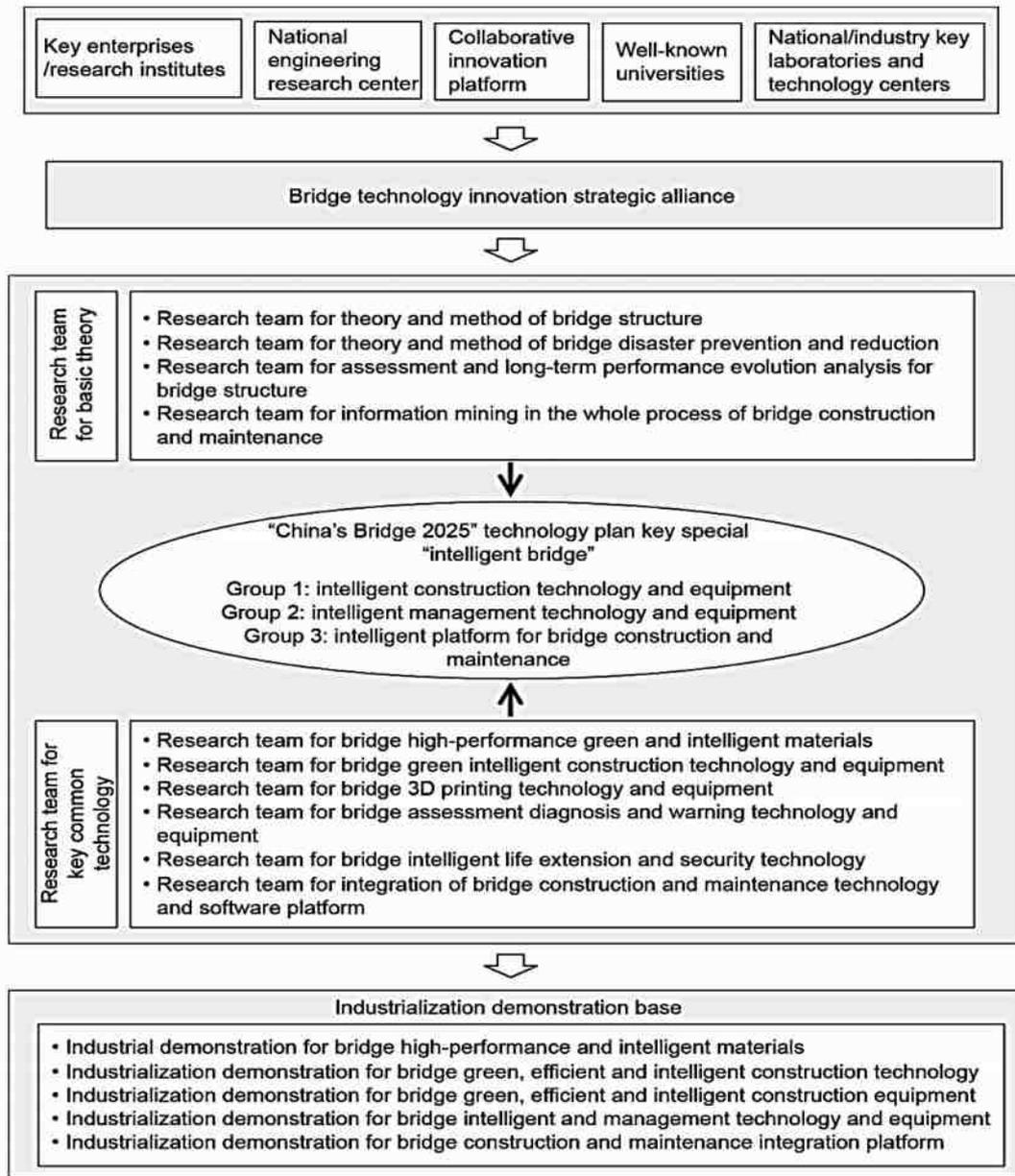


图 4 中国桥梁产业技术创新战略联盟组建方案

作者介绍：

周绪红,结构工程专家,中国工程院院士。长期从事结构工程学科钢结构、钢-混凝土组合结构等方向的科研与教学工作,在钢结构、组合结构及新型结构体系的理论研究、工程应用与产业化发展方面取得了创新成果。采用半能量法求解薄板及板组的屈曲与屈曲后承载力问题,提出了考虑板组效应影响的卷边板件有效宽度设计方法,完善了冷弯型钢构件、板件、墙体与楼盖的设计理论与设计方法。研发了横孔连锁空心砌块墙体与新型叠合楼板,并提出了相应的设计理论与设计方法。研发了在钢管约束型钢

混凝土结构,提出了钢管约束混凝土柱的设计理论与设计方法。

张喜刚,桥梁工程专家,中国工程院院士。长期从事桥梁工程技术研究和应用,攻克了多项重大工程关键技术难题。其中,首创了千米级斜拉桥结构体系、设计与施工控制关键技术;提出了大跨预应力混凝土梁桥主梁开裂和跨中下挠控制关键技术;研发了短线匹配法节段预制拼装体外预应力桥梁关键技术;并在多塔斜拉桥关键技术、大跨径变截面连续钢箱梁桥关键技术、特大型桥梁防灾减灾与安全控制技术等方面取得重要成果。

公司被人力资源和社会保障部、交通运输部联合授予 “全国交通运输系统先进集体”荣誉称号

为表彰先进、树立典型,进一步增强全国交通运输系统广大干部职工的荣誉感和干事创业的工作热情,加快建设交通强国,人力资源和社会保障部、交通运输部组织开展了全国交通运输系统先进集体评选表彰活动。

公司经过层层遴选,凭借在思想政治建设、精神文明建设、企业改革创新、业务开拓进取、市场诚信建设等方面的突出表现,被人力资源和社会保障部、交通运输部授予“全国交通运输系统先进集体”荣誉称号。此次全国共有 198 家单位获此殊荣,其中广东仅有 6 家单位获得该项荣誉。

这是公司发展史上的里程碑事件,对进一步激励公司全体员工团结一致、励精图治,必将发挥更加突出的催化作用。我公司将倍加珍视荣誉,再接再厉,继续坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,努力践行“至诚至善,求实创新”的企业核心价值观,围绕“成为中国领先的工程咨询企业集团”的愿景,坚定做走在时代前列的奋斗者、开拓者、奉献者,为国家交通基础设施建设事业发展再立新功、再创辉煌。

(详见下页)



中华人民共和国交通运输部
Ministry of Transport of the People's Republic of China

政府信息公开专栏

搜索

高级搜索

当前位置: 首页 > 政策研究室

名称:	人力资源社会保障部 交通运输部关于表彰全国...	机构分类:	政策研究室
索引号:	2020-03512	主题分类:	精神文明
文号:	人社部发〔2020〕37号	行业分类:	
公开日期:	2020年06月17日	主题词:	全国交通运输系统先进集体劳动模范,先进...

人力资源社会保障部 交通运输部关于表彰全国交通运输系统先进集体劳动模范和先进工作者的决定

【字号: 大 中 小】 打印本页

各省、自治区、直辖市及新疆生产建设兵团人力资源社会保障厅(局)、交通运输厅(局、委),交通运输部部管各社团、部属各单位、部内各司局:

近年来,全国交通运输系统广大干部职工坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,增强“四个意识”、坚定“四个自信”、做到“两个维护”,不忘初心、牢记使命,积极投身交通运输事业,深入践行社会主义核心价值观,大力弘扬“两路”精神和新时代交通精神,在贯彻新发展理念、推动高质量发展、深化交通运输供给侧结构性改革、服务国家重大战略任务中,立足岗位、开拓创新、拼搏奉献、担当作为,为经济社会发展作出了积极贡献,涌现出了一大批先进典型。

为表彰先进,弘扬正气,进一步增强全国交通运输系统广大干部职工的荣誉感和干事创业的工作热情,加快建设交通强国,人力资源社会保障部、交通运输部决定,授予北京市交通委员会通州公路分局等198个单位“全国交通运输系统先进集体”称号;授予刘宝中等290名同志“全国交通运输系统劳动模范”称号;授予刘建军等191名同志“全国交通运输系统先进工作者”称号。受到表彰的个人享受省部级表彰奖励获得者待遇。希望受到表彰的集体和个人珍惜荣誉,再接再厉,继续发挥模范表率作用,为交通运输事业发展再立新功。

全国交通运输系统广大干部职工要以受表彰的先进集体和先进个人为榜样,坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,自觉践行社会主义核心价值观,勇做走在时代前列的奋斗者、开拓者、奉献者,加快建设交通强国,为实现“两个一百年”奋斗目标和中华民族伟大复兴的中国梦作出新的更大贡献!

附件: 1.全国交通运输系统先进集体名单

2.全国交通运输系统劳动模范名单

3.全国交通运输系统先进工作者名单

人力资源社会保障部 交通运输部

2020年5月19日

(此件公开发布)

全国交通运输系统先进集体名单

(198个)

北京市

北京市交通委员会通州公路分局
北京市交通委员会丰台运输管理分局客运场站管理科
北京市交通执法总队轨道交通执法大队
北京市道路建设项目管理中心综合工程科
北京市海淀区城市管理委员会（交通委）
北京市延庆区交通局
北京市首都公路发展集团有限公司京开高速公路管理分公司

天津市

天津轨道交通运营集团有限公司
天津市市政工程设计研究院第二设计研究院
天津市西青区公路建设养护中心公路养护管理所

广东省

中共广东省交通运输厅直属机关委员会办公室
港珠澳大桥管理局
广东省交通规划设计研究院股份有限公司
广州快速公交运营管理有限公司
深圳市地铁集团有限公司运营总部客运一分公司竹子林客车二队
岐关车路有限公司旅游客运经营部

广西壮族自治区

广西交通投资集团百色高速公路运营有限公司“壮乡红”工匠班组
广西北部湾投资集团有限公司恒信资产公司钦州西服务区
广西北部湾投资集团有限公司沿海高速公路分公司
北部湾港股份有限公司
广西汽车工业交通材料有限公司成品油部

热烈庆祝我公司重庆分院揭牌仪式圆满完成

2020年3月25日上午,我公司重庆分院举行了隆重的揭牌仪式暨员工见面会。公司领导班子成员、相关分院领导、总院职能管理部门负责人与重庆分院全体员工共同参加了揭牌仪式。



揭牌仪式由陈贤文副总经理主持。揭牌仪式上,重庆分院院长陆冠钊简要介绍了重庆分院的筹建过程并致欢迎词。

随后,公司总经理黄湛军先生作了总结讲话。他表示,成立重庆分院是公司完善全国化布局,开拓中西部区域市场的重要战略举措,希望重庆分院全体员工以此次成立揭牌为契机,坚守公司“至诚至善,求实创新”的核心价值观,团结一致、励精图治,通过不断加强技术创新和提升技术服务水平,在西南市场站稳脚跟,创造佳绩。





(报道者:曹菁菁)

公司李江山董事长一行赴重庆看望慰问 重庆分院全体员工

2020 年 5 月 19 日,公司李江山董事长一行前往重庆分院,看望慰问分院全体员工,并与全体员工进行了亲切的座谈交流。



座谈会上,李江山董事长具体介绍了公司重点工作情况,并对重庆分院成立以来所作出的工作成绩给予了充分肯定,对分院当前工作中存在的困难提出了改进措施;同时,要求全体员工在总院的统一领导下,不断加强技术创新、提升服务水平,尽早在中西部市场创造佳绩、提升品牌。



(报道者:曹菁菁)

公司承担的广东省重点项目—中山东部外环高速公路 一期工程初步设计顺利通过“云评审”

3月20日,我公司承担的广东省重点项目—中山东部外环高速公路一期工程初步设计顺利通过了省交通运输厅组织的专家评审。

中山东部外环高速公路纵贯中山市东部,呈南北走向,是珠三角“A”字型交通骨架中的重要节点以及深中通道往南、往北的集散通道和珠江口西岸沿江通道的重要组成部分,其工程建设对于完善粤港澳大湾区交通基础设施的互联互通具有重要意义。



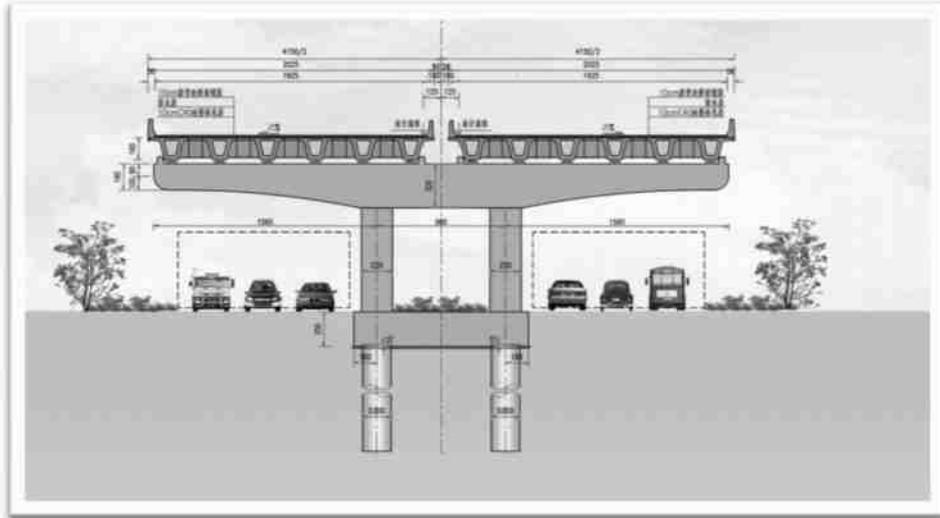
本项目全长 35.343 km,双向八车道,设计速度为 120 km/h;全线设置桥梁 33 924.91 m/23 座(含互通立交主线桥),桥梁占比达到 96%;设有大雁、高平、保家、横门西 4 处枢纽互通,以及黄圃港、三角北、民众、民众东 4 处服务型互通,总投资为 229.3 亿元。

该项目历时近三年,期间设计方案结合政策性调整进行了多次变更:

- ◆ 永久农田政策限制反复论证路线方案和立交布设;
- ◆ 粤港澳大湾区国家战略调整建设规模(六车道改八车道);
- ◆ 中山市重大规划出台调整路线线位(避让翠亨岛);
- ◆ 永久农田政策放宽重新论证线位及立交方案;
- ◆ 水利政策变化调整横门特大桥梁跨径;
- ◆ 增加地方道路共线横门特大桥单层桥改双层……

面对困难,项目组始终坚持“质量第一、精益求精”的设计理念,通过不断优化设计,创造性采用高速公路与民古路合建等方式,最终交出了令人满意的作品。

本项目中,桥梁与民古路共线长度达 27.25 km。民古路利用高速公路桥下空间布置,因而在设计时注重对桥梁的上、下部结构的选用以及桥梁景观等内容的比选。推荐方案桥梁墩柱利用桥下道路中央分隔带集中落墩,采用了整幅大悬臂双柱墩,并以倒“T”截面降低盖梁视觉高度,减少占用桥下空间。



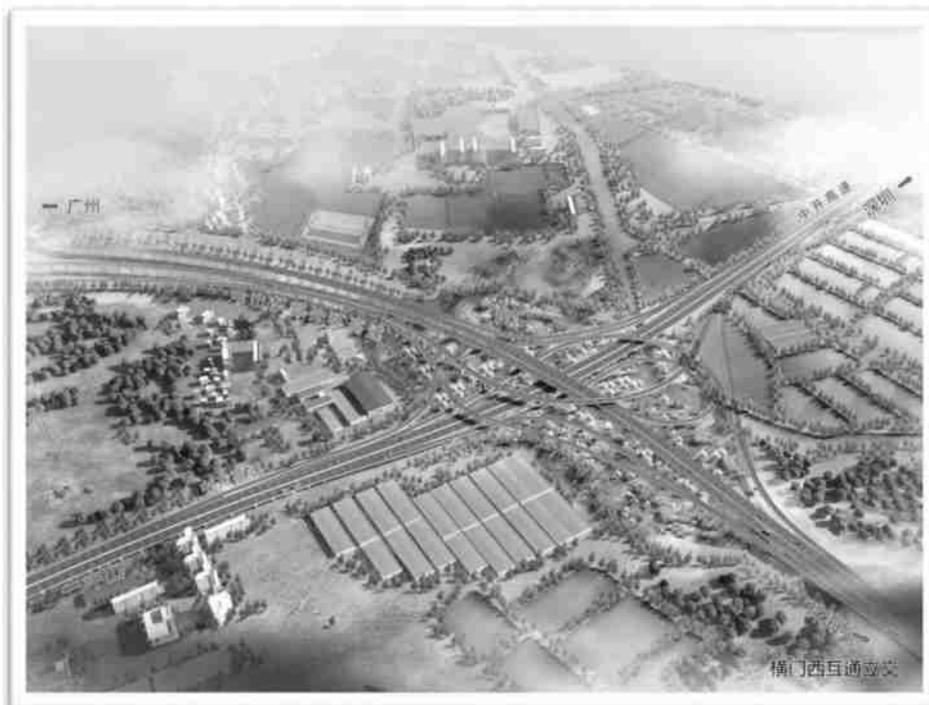
黄沙沥大桥采用了高速公路与民古路合建的双层桥梁,上下层均为双向八车道标准。主桥为 192m 简支下承式钢桁梁—柔性拱,采用三主拱、三主桁方案,矢跨比为 1/5.25;拱轴线采用悬链线,拱轴系数 1.5。主桁横向中心间距为 2×22.25 m,桥梁全宽 46 m。主桥主桁立面采用带有竖杆的华伦式桁架,桁架节间距 12 m,桁高 10 m,高跨比 1/19.2。



横门特大桥采用了高速公路与民古路合建的双层桥梁,上下层均为双向八车道标准。主桥初步推荐采用主跨 880 m 的单跨悬吊钢桁梁悬索桥;主桁为华伦式桁架。全缆跨度布置为 $290 + 880 + 290 = 1460$ m,边主跨比 0.33,矢跨比 1/10。



同时,本项目周边建筑物复杂,横门西枢纽区域内有着密集的工厂和民居房屋,并受到主线大尖峰隧道的净距以及中开高速火炬东互通的净距等各种复杂因素限制。本设计方案因地制宜,灵活运用各项技术指标,采用了混合式枢纽互通:主线上跨中开高速,将广州往深圳方案最大交通流方向的转向匝道在隧道前分离,设置三车道主线隧道和两车道匝道隧道穿越大尖峰,以保证转换交通的高效和安全;中山往广州较小交通流方向则采用环形匝道,减少立交层次布设,节约工程造价,取得了良好的效果。



(报道者:林敏)

公司中标江门市银洲湖高速公路及江鹤扩建高速公路项目,并签署勘察设计合同

2020 年 4 月 9 日,公司在“江门市银洲湖高速公路项目施工图设计(SGTSJ1 标段)”以及“深圳至岑溪高速公路江门龙湾至共和段改扩建工程勘察设计”项目中被确定为中标人。

根据江门市交建集团有限公司的统一安排,4 月 15 日在银洲湖高速公路公司举行了上述两个项目的合同签约仪式。公司董事长李江山、副总经理蔡小杨、第一设计分院院长林延鹏赴江门市参加了本次签约仪式。

江门市银洲湖高速公路项目路线起于蓬江区棠下镇,接珠三角环线高速公路,终点位于新会区崖门镇(接西部沿海高速公路),长约 53.8 km,采用双向六车道高速公路标准,设计速度 120 km/h,路基宽度 34.5 m。我司承担的是银洲湖高速 SGTSJ1 标段(总体标)的土建勘察设计和总体协调任务。该标段全长约 31.3 km,总投资约 82 亿元。



银洲湖高速公路 项目地理位置图

深圳至岑溪高速公路江门龙湾至共和段项目西起于鹤山共和镇,与佛开高速公路连接,东至江门市龙湾,与中江高速公路相连,全长 19 km。江鹤高速公路目前采用的是双向四车道高速公路标准,设计速度 120 km/h,路基宽度 26 m。拟原位扩建为双向八车道高速公路,设计速度 120 km/h,路基宽度 41.5 m,总投资约 39 亿元。我司承担该项目全部勘察设计公司。

(报道者:林炳洲)

公司承担的潮州市重点项目—S504 线江东至东风迂回线 新改建工程方案论证顺利通过“云评审”

4 月 2 日,我司负责勘察设计的潮州市重点项目—S504 线江东至东风迂回线新改建工程方案论证顺利通过了潮州市交通运输局组织的专家评审。

该项目预计于今年 7 月份开工建设。项目的建设进一步完善了潮州市公路网布局,加强了潮汕环线与潮安区地方路网之间的衔接,是江东岛连接韩江两岸的交通要道,对于解决江东岛群众出行需求、增强当地高速公路网的辐射力度、加快区域城市化进程具有重要意义。

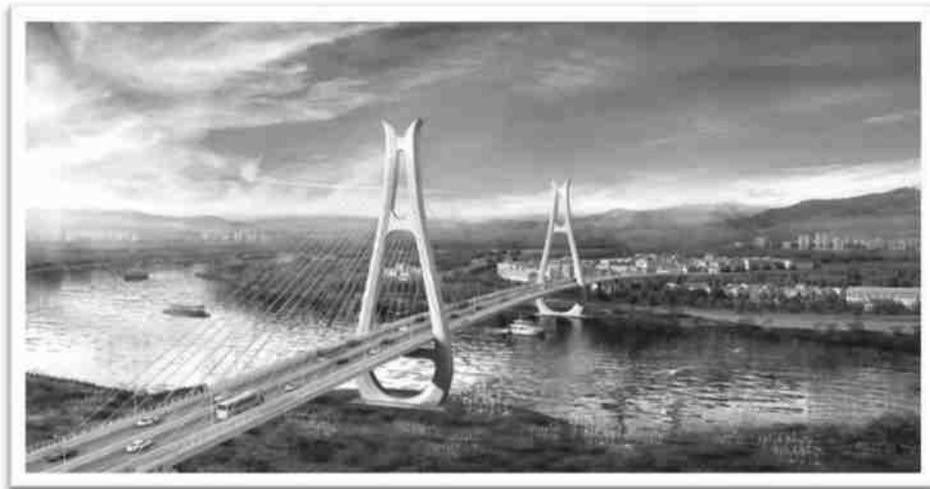
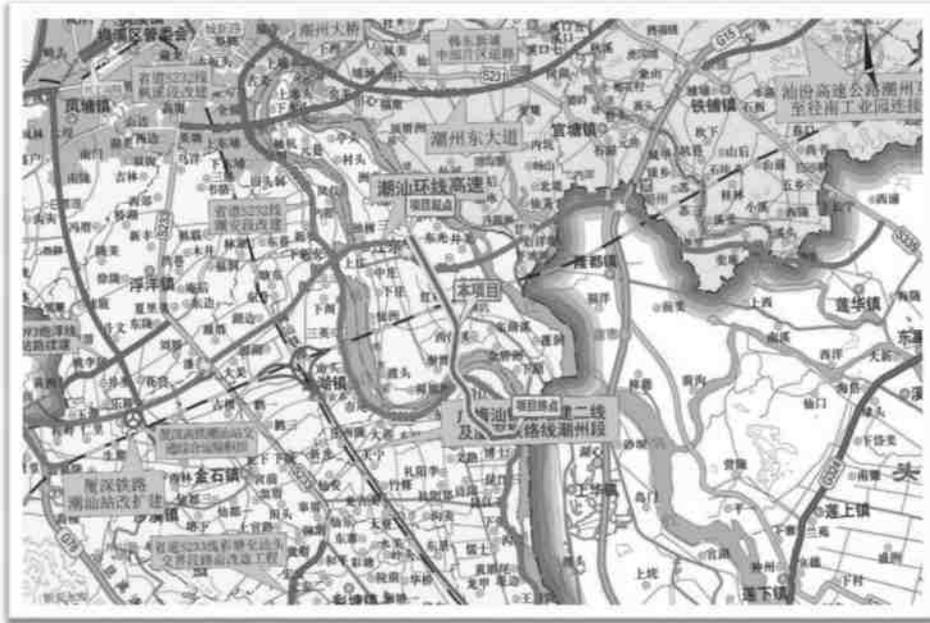
为确保疫情防控及项目推进两不误,本项目采用了视频会议在线评审的方式,分别设置线下主会场和网上分会场。



本项目位于潮州潮安区江东镇和东风镇,起点连接潮汕环线江东互通出入口,终点止于省道 S232。本项目路线全长 8.302 km,采用一级公路标准,兼具城市主干路功能,设计速度为 60 km/h,路基宽度为 22.5 m,其中东风大桥跨江段宽度为 27 m,双向四车道。

在项目设计过程中,我司秉持着“打造百年平安、绿色、品质工程”的目标,针对项目建设条件复杂、景观定位高的特点,在景观创意、抗震等方面进行了深入的研究。

针对本项目的控制性工程—跨越韩江的“东风大桥”,我司结合本项目景观要求高、抗震烈度高、通航要求高、软基深厚、被交道路多等特点,提出了“主跨 260 m 预应力砼斜拉桥”和“主跨 160 m 预应力砼连续梁桥”两个桥型方案,并进行了同深度对比。斜拉桥方案结合潮州的本土文化,提出了“花瓶型曲线塔”和“直线型 A 塔”两个桥塔方案,获得了与会领导和专家的好评。



(报道者:徐东进)

公司承担的广州增城至佛山高速公路(增城至天河段)项目 初测初勘外业验收顺利通过评审

5月29日,公司承担的广州增城至佛山高速公路(增城至天河段)项目初测初勘外业验收顺利通过了省交通运输厅组织的专家评审。

本项目是广州北部连接佛山、河源等地的重要加密通道,是广州市落实《粤港澳大湾区发展规划纲要》、打造综合交通运输体系、加强广州内部以及与大湾区其他城市交通基础设施互通互联、实现广州市“南拓北优,东进西连”空间发展战略的重要举措。

本项目采用了“函审+视频会议”的方式。在项目评审会上,来自全国各地的10位特邀专家以及省交通运输厅、市交通运输局、市发改委、增城区政府等相关单位参会领导、代表听取了我司关于项目初测初勘情况的汇报,审阅了初测初勘文件及相关资料。方案获得了专家组的高度评价。专家组一致同意通过评审。



本项目总体为东西走向,路线起点位于增城区朱村街道,接北三环高速,终点接知识城快线(规划),并与增佛高速公路天河至佛山段顺接,全长约38 km,沿线设互通立交11座(含规划预留),服务区1座,养护工区、管理中心和集中住宿区各1处。项目沿线联系增城主城区、增城国家级开发区、黄

埔区、天河区以及白云区,辐射广州东部山水新城、教育城、知识城、长岭居、智慧城和机场商务区,对于广州市战略性发展平台有着至关重要的促进作用。本项目建成后,增城将纳入广州半小时经济圈,将进一步加强与广州中心城区的联系。



(报道者:吴国强)

公司负责勘察设计的广东省重大项目— 黄茅海跨海通道工程定测详勘外业顺利通过验收

6月3日,我公司负责勘察设计的广东省重大项目—黄茅海跨海通道工程(A1标段)定测详勘外业顺利通过了省交通集团组织的专家验收。黄茅海跨海通道项目先行标从6月6日起正式开始施工。



黄茅海跨海通道是《粤港澳大湾区发展规划纲要》发布后实施的首个跨海工程。项目起于珠海市高栏港区,东连港珠澳大桥,西连新台高速并与西部沿海高速相交,止于台山市斗山镇。路线全长约31 km,采用双向6车道高速公路标准建设,设计时速100 km/h,设计使用寿命100年。

作为广东省重大基础设施建设项目,黄茅海跨海通道建成后将完善广东省高速公路网规划,改变粤西沿海地区与湾区核心区域通道单一的现状,推进粤港澳大湾区基础设施互联互通,实现大湾区经济发展向粤西和沿海地区辐射;进一步强化珠海横琴自贸区、高栏港和江门大广海湾经济区的联动发展,与港珠澳大桥、深中通道、南沙大桥、虎门大桥等共同组成大湾区跨海跨江通道群,加快形成世界级交通枢纽,构建“一核一带一区”区域发展新格局。

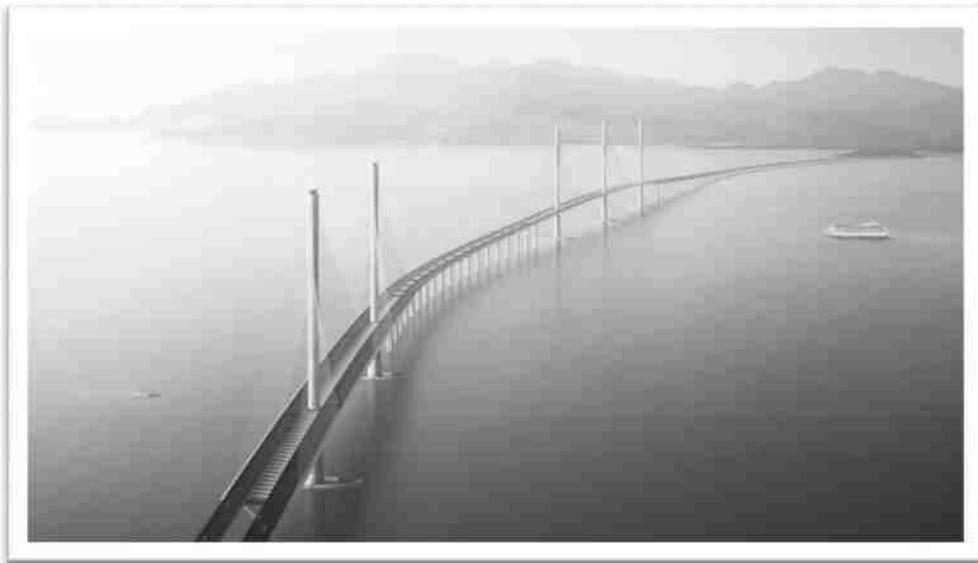
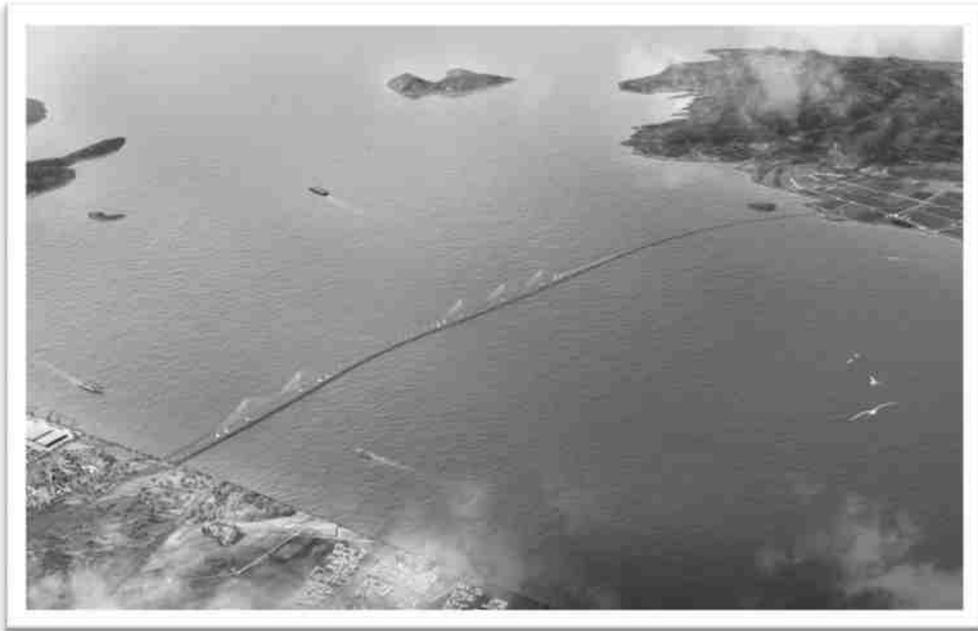


我公司负责的是本项目 A1 标段的勘察设计工作,设计内容主要包括一座 700 m 跨径的钢箱梁斜拉桥、海中 16×100 m 的连续钢箱梁桥、跨径 60 m 的预制节段拼装连续刚构桥以及一座枢纽互通立交等。我公司秉持着“打造百年平安、绿色、品质工程,服务粤港澳大湾区建设”的目标,根据工程项目建设条件复杂、景观定位高等特点,在抗风、抗震、防船撞、防腐蚀和景观创意等方面做了深入的研究,并就预制节段拼装箱梁和大跨钢箱梁设计及施工方面进行了创新性设计。



公司副总经理刘桂红、公司总经理助理兼第四设计分院院长罗旭东以及项目组主要负责人孙向东副总工程师、万志勇副总工程师、第四设计分院徐德志总工程师、岩土勘察分院林少忠副院长、工程

测量部刘定等参加了现场会议并对项目工作进行了汇报和答疑。专家组及参会领导、代表听取了我公司关于定测详勘工作情况的汇报,审阅了相关文件及资料,并一致同意通过验收。



(报道者:徐德志)

广州南沙凤凰二桥葵花拱桥设计

梁立农,陈万里,王璇,龚雪芬

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司,广州 510507)

摘要:凤凰二桥位于广州南沙新区珠江口水域,跨越上横沥水道,主桥布置为 $40\text{ m} + 4 \times 58\text{ m} + 40\text{ m}$,六跨连续上承式混凝土葵花系杆拱桥。双向八车道加人行道,左右分幅布置,每幅桥宽 19.85 m ,总宽 40.9 m 。主拱除岸跨采用PC箱型拱梁组合外,其余四跨采用变截面钢筋混凝土箱型拱。主梁为支承在箱型拱上的多跨PC连续箱梁。现介绍葵花拱桥总体设计、主腹拱和主梁设计、系杆设计、基础设计、施工方法、结构分析和模型试验研究等。

关键词:上承式拱桥;葵花拱桥;系杆拱桥;箱型拱;钢筋混凝土拱

1 桥址概况

广州南沙凤凰二桥工程位于国家级南沙新区,跨越上横沥水道,连接灵山半岛与横沥半岛。

凤凰二桥两岸规划建设有河畔公园、学校、购物中心、高档酒店、医院、办公园区等重要城市建筑,是南沙国家新区城市建设的重点,桥梁景观要求很高,项目平面布置见图1。



图1 项目平面布置

桥址地处珠江三角洲冲积平原,出海口前缘河口地带,河水潮汐明显,具半日潮、潮时潮差不等的特点。桥位处两岸地势平坦、开阔,河道顺直,与桥轴线基本正交。桥位处水面宽 260 m ,主河槽最高通航水位处水深 $5 \sim 13.8\text{ m}$,水流平缓,最大涨落潮流速 1 m/s 左右,多年平均潮差 1.41 m ,最大潮差 2.53 m ,最高潮位: 2.24 m (珠基),最低潮位: -0.64 m ,平均潮位: 0.82 m 。旱

季咸潮侵入时河水对混凝土有腐蚀性。

桥址地处南亚热带海洋性季风气候区,温暖潮湿,雨量充沛,多年平均相对湿度 78% 。年平均气温 $21.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,1月份平均温度 $13.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,7月份平均温度 $28.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。年平均降水量 $1\ 625\text{ mm}$,主要集中在 $4 \sim 9$ 月,约占全年降水量 $80 \sim 83\%$ 。每年 $5 \sim 11$ 月为台风季,平均每年受 $1 \sim 4$ 次台风影响。台风来袭时风力一般 $7 \sim 9$ 级,最大达 12 级以上。

桥位处覆盖层主要为淤泥、淤泥质亚粘土、粉砂、全风化和强风化花岗岩;基底为花岗岩,微风化岩面起伏较大,埋深约 $14.0 \sim 33.5\text{ m}$ 。

2 主要技术标准

- (1)道路等级:城市主干道,道路标准宽度 80 m ;
- (2)设计速度: 60 km/h ;
- (3)设计荷载:城市A级;
- (4)设计车道数:跨河双向八车道;
岸上高架双向六车道+双向4车道辅道;
- (5)人行道净宽: $2 \times 2.5\text{ m}$;
- (6)水管设施宽: $2 \times 1.05\text{ m}$;
- (7)通航净空:内河VI(3)级航道净宽 $2 \times 38\text{ m}$,净高 6 m ;
- (8)通航船舶等级: 100 t 散货轮;
- (9)设计基本风速: 38.4 m/s ;

(10)设计基本地震动峰值加速度值:0.1 g。

3 方案设计及比选

为获得优秀方案,建设方主办了设计招标和国内方案竞赛及国际方案竞赛。第一、二、三轮分别吸引了6、7、9家著名设计单位,其中第三轮有国外5家设计单位参赛。共提出了22个推荐方案和22个比较方案。有等截面连续梁桥、变截面连续梁桥、变截面拱形梁桥、桁架拱桥、下承式钢管混凝土系杆拱桥、异形中承式拱桥、上承式葵花系杆拱桥,三塔单索面部分斜拉桥、M形拱桥(麦当劳拱)、斜跨拱桥、独斜塔单索面斜拉桥、独塔双索面斜拉桥等12类方案,有整幅式和分幅式两种横断面布置形式,国际方案竞赛评审专家由院士和设计大师等著名专家组成,采用逐轮投票末位淘汰法,我院与华南理工大学建筑设计研究院联合体的上承式葵花系杆拱桥方案^[1]有幸获得优胜。

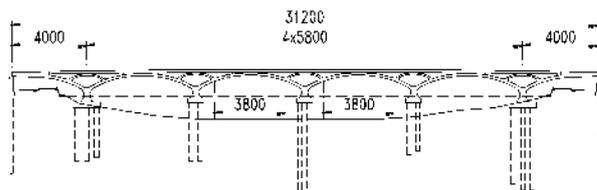
4 主桥设计^[2]

4.1 总体设计

根据通航要求和桥位河势,主桥跨径布置为40 m + 4 × 58 m + 40 m,全长312 m。采用六跨上承式混凝土葵花系杆拱桥,主桥由两侧的岸跨拱及中间的四跨葵花连拱桥组成,见图2。左右分幅布置,每幅桥宽19.85 m,两幅桥中间留净宽1.2 m,总宽40.9 m。单幅桥面横向布置为:1.05 m 管线区(水管) + 2.9 m 人行道 + 15.5 m 行车道 + 2 m/2 中央分隔带。两侧岸跨主拱与岸跨主梁融为一体而形成曲梁,为岸侧简支、河侧墩拱固结的PC曲线箱梁。中间的四跨主拱为空腹式箱形拱,墩顶两侧主拱之间设腹拱,主腹拱外形酷似葵花。拱上建筑为PC连续箱梁(简称主梁),为平衡主拱的水平推力,采用“高强预应力钢绞线成品束系杆+群桩基础”相结合来抵抗水平推力。预应力系杆设置于上部主梁连续箱梁内,两端锚固在岸跨拱梁的锚固横梁上。



(a) 实景



(b) 桥型布置(单位:cm)

图2 广州南沙凤凰二桥

桥型布置中的上承式葵花拱桥,多跨连拱,小拱叠大拱,轻盈通透,富有韵律。主拱与腹拱按黄金分割比例衔接,桥型简洁优美。

4.2 结构设计

4.2.1 主拱设计

单幅主拱为单箱双室变截面混凝土箱型拱,拱脚处截面高1.6 m,拱顶处截面高1.2 m,矢跨比1/7。拱轴线采用四次抛物线,拱轴线方程为: $y = -2.308934718E^{-6}x^4 - 7.910742382E^{-3}x^2 + 8.286$ 。

每幅主拱宽11.35 m,采用单箱双室断面。中腹板厚45~75 cm,边腹板厚50~80 cm,顶底板厚均为22 cm。在主腹拱交叉及给主梁提供支承处设置横梁,共五处,与腹拱交接处横梁厚度1.2 m,沿主拱拱轴线径向设置,其余横梁作竖向布置,厚度均为0.4 m。主桥横断面布置见图3。

4.2.2 岸跨拱梁设计

岸跨拱梁位于两岸过渡墩与边墩之间,为两侧岸跨主拱与岸跨主梁融为一体而形成的PC曲梁,一端简支于过渡墩上,另一端与边墩(拱脚)固结。由主要承担桥面功能的岸跨主梁(长19.96 m)和主要承担拱功能的岸跨主拱(平面投影长20 m)组合而成。

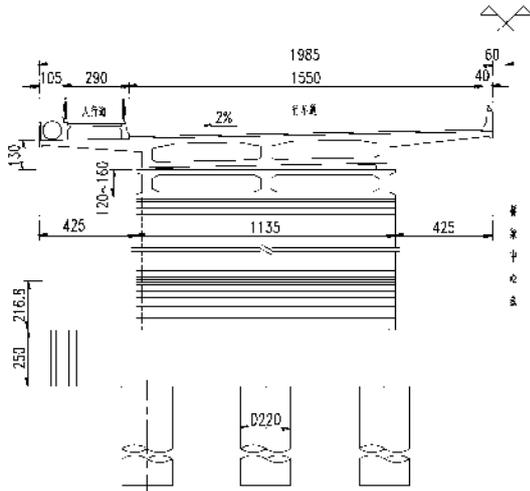


图3 主桥横断面布置(单位:cm)

每幅岸跨主梁为单箱双室变截面PC结构,桥面设2%横坡,箱梁底板保持水平,横坡通过调整腹板高度来实现。箱中心高由简支侧2.2 m变化至与主梁接缝处的3.4 m,箱顶缘按路线纵断面曲线变化,底缘按圆曲线变化,曲线半径242.7 m。箱底宽10.85 m,两侧悬臂翼缘板宽4.5 m,悬臂根部高0.6 m,箱顶宽19.85 m。箱梁中腹板和边腹板厚均采用50~60 cm,箱梁顶板厚26 cm,底板厚25 cm。简支侧支点横梁厚0.96 m,系杆锚固横梁厚2.0 m,岸跨主梁与岸跨主拱结合处横梁厚2.2 m,岸跨主拱与腹拱结合处横梁厚1.2 m。

每幅岸跨主拱为单箱双室等截面PC箱型拱,截面高1.6 m,矢跨比1/6,拱轴线方程与中跨主拱一致。箱宽10.85 m,中腹板厚55~75 cm,边腹板厚60~80 cm。

岸跨拱梁纵向预应力顶板束采用 $5\Phi^{15.2}$ 钢绞线,底板束采用 $9\Phi^{15.2}$ 钢绞线,腹板束采用 $19\Phi^{15.2}$ 钢绞线。岸跨主梁顶板横向预应力采用 $5\Phi^{15.2}$ 钢绞线,按1 m间距布置,交错单端张拉。系杆锚固横梁布置横向预应力 $7\Phi^{15.2}$ 钢绞线和二次张拉低回缩竖向预应力 $3\Phi^{15.2}$ 钢绞线,二次张拉低回缩技术可以减少短束的预应力损失。

4.2.3 腹拱设计

腹拱为单箱双室变截面混凝土箱型拱,拱脚处截面高1.1 m,拱顶处截面高0.8 m,矢跨比1/

5。腹拱采用椭圆拱轴线,拱轴线方程为: $y = 3.7561\text{SQRT}(1 - x^2/84.64)$ 。腹拱全宽11.35 m,采用单箱双室断面。中腹板厚70~105 cm,边腹板厚75~110 cm;顶、底板厚均为22 cm。腹拱给主梁提供两个支承处设置横梁,作竖向布置。主腹拱节点做刚节点处理。

4.2.4 主梁设计

主梁全长272 m,为23跨PC连续箱梁,跨径组合为:(16.5+7+17+2×8.5+17+7+17+2×8.5+17+7+17+2×8.5+17+7+17+2×8.5+17+7+16.5)m。连续主梁与岸跨拱梁之间设置伸缩缝,连续主梁通过球型支座或板式橡胶支座支承在主拱和腹拱上。

每幅主梁全宽19.85 m,为单箱双室等截面PC箱梁。桥面设置2%横坡。主梁高1.3 m,箱底宽10.85 m,两侧悬臂宽4.5 m;箱梁中腹板厚40~55 cm,边腹板厚45~60 cm;箱梁顶板厚26 cm,底板厚25 cm。

主梁采用纵横向预应力体系,腹板束采用 $17\Phi^{15.2}$ 钢绞线,顶底板纵向束均采用 $5\Phi^{15.2}$ 钢绞线,顶板横向束采用 $5\Phi^{15.2}$ 钢绞线并沿桥轴线1 m间距布置,交错单端张拉。

4.2.5 体外预应力系杆设计

平衡拱脚恒载和部分荷载水平推力的体外预应力系杆位于连续主梁及岸跨主梁箱内,锚固于桥梁两端岸跨主梁锚固横梁处,每幅桥设置8束,全桥共设置16束。系杆在通长范围内均平行于主梁(岸跨主梁)顶板。

系杆采用XGK15-37B可换索式钢绞线成品索体,标准强度1860 MPa,单根系杆破断索力9635 kN。持久状况系杆设计安全系数不小于2。

4.2.6 下部及基础设计

为了突出“葵花”造型,提升桥梁景观,将常规粗大的梯形拱座改为流畅的花瓶形拱墩,并与主拱以圆弧交汇,使主拱和拱座融为一体,就像主腹拱叠置而成的葵花插在花瓶形拱墩中。这样的处理突出了主拱和主墩的流畅力线并大大减小了交汇处体量,突显出拱脚结构美。

5.1.2 体外预应力临时系杆

为平衡施工阶段的水平推力,控制结构水平变位,采用体外预应力临时系杆来平衡水平推力。

在岸跨拱梁端外置钢箱梁作为反力架。临时系杆设置在岸跨拱梁的悬臂翼缘下,临时锚固在岸跨拱梁梁端反力架上,在张拉主梁内永久体外预应力系杆后放张拆除。

每幅设置一对 $37\phi 15.2$ mm 体外预应力临时系杆,施工时控制承台顶水平位移不得超过 ± 5 mm。为消除临时系杆自重垂度的影响,在主墩处对临时系杆设置竖向支承和转向装置,临时支承为型钢拼接格构柱与梁构件组合体系。

5.1.3 主拱劲性骨架施工工程程序

主拱劲性骨架施工见图7。

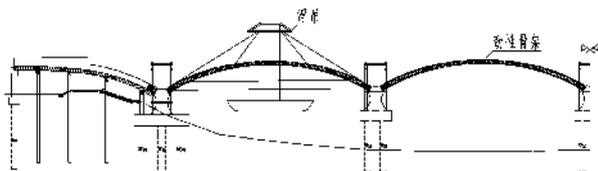


图7 劲性骨架施工示意

主桥施工程序为:

- (1) 施工主墩桩基及承台;
- (2) 预埋劲性骨架拱座构件,施工主墩;
- (3) 桁拱劲性骨架构件放样、加工,工厂整体拼装焊接桁拱劲性骨架;
- (4) 驳船运输桁拱劲性骨架,航道临时封航,浮吊桁拱劲性骨架就位;
- (5) 先下后上,先中后边泵送弦杆钢管混凝土;
- (6) 焊接拱脚上下弦管合拢段;
- (7) 体外预应力临时系杆施工;
- (8) 从拱脚至拱顶分段浇筑主拱混凝土,拱脚预留后浇带,并实时通过体外预应力临时系杆张拉调整主墩水平变位及推力;
- (9) 主拱合拢,先合拢主拱中间段,再合拢主拱拱脚段;
- (10) 在主拱上搭设支架施工腹拱、主梁,同时通过体外预应力临时系杆张拉调整主墩水平变位及推力;
- (11) 通过逐级张拉体外预应力永久系杆并同

步放张体外预应力临时系杆进行系杆替换;

- (12) 施工桥面系并调整系杆内力。

5.2 主拱支架现浇法

主拱支架现浇法采用钢管桩与贝雷梁等搭设支架平台施工主拱,主桥具体施工程序为:

- (1) 施工主墩桩基和承台及拱座;
- (2) 少支架法现浇施工主拱;
- (3) 在主拱上搭设支架施工腹拱、主梁;
- (4) 安装并初步张拉系杆内力;
- (5) 采用各孔同步循环落架法,经过支架多次循环卸载和系杆的同步逐级张拉,将支架上的力缓慢、对称、均匀的转移到结构自身上完成体系转换;
- (6) 施工桥面系并调整系杆内力。

由于工期比较紧张,最终采用了主拱支架现浇法。

6 全桥仿真分析及模型试验

由于葵花拱桥体系转换及结构受力复杂,节点又较多,常用的杆系计算模型不能获得结构的局部应力,局部三维模型仿真分析也难以获得准确的边界约束条件和截面加载应力,为此建设方委托广州大学对该桥进行了全桥仿真分析和1:5节段模型试验。

采用有限元分析软件 ANSYS 建立空间实体有限元计算模型,获得了各节点位移和各截面应力分布情况。全桥有限元计算模型见图8。

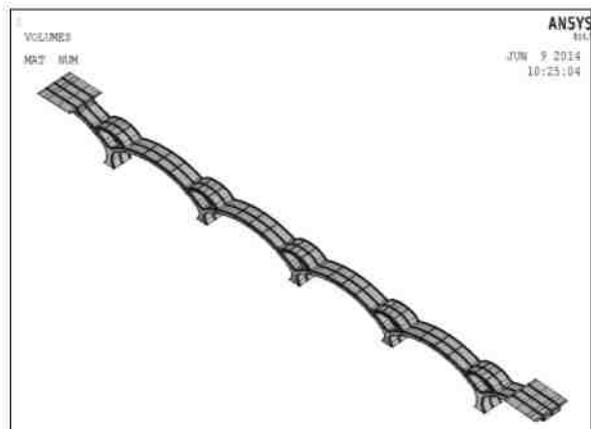


图8 全桥仿真分析模型

以半个葵花拱的1:5缩尺模型进行试验研究,见图9。对起控制作用的拱脚刚节点和主腹拱连接刚节点的应力应变和承载能力进行了加载试验测试,以了解其更真实的应力情况和承载能力。



图9 节段试验模型

通过仿真分析及局部缩尺模型试验得知,在恒载、最不利活载组合作用下,主拱、腹拱受力比较均匀,正常使用状态和承载能力极限状态均满足规范要求。

中交二航局南方分公司进行了主腹拱连接刚节点的工艺试验,以验证该节点的施工工艺可行性,同时还开展了无封底混凝土预制底板钢吊箱施工研究并取得成功应用,免去了传统钢吊箱结构需要施工水下封底混凝土的工序,大大缩短了施工周期并节约了成本。

7 设计特点

(1)为适应南沙国家新区中央商务区滨海新城的景观需求,采用独特造型的六跨连续上承式葵花系杆拱桥,将常规粗大的梯形拱座改为流畅的花瓶形拱墩,并与主拱以圆弧交汇,使主腹拱和拱座融为一体。主腹拱就像叠置而成的葵花插在花瓶形拱墩中。这样的处理突出了主拱和主墩的流畅力线并大大减小了交汇处体量,突出拱脚结构美。

从桥梁建筑艺术上看,六孔葵花拱桥,多跨连拱,小拱叠大拱,轻盈通透,富有韵律。主拱与腹拱按黄金分割比例衔接,桥型简洁优美,宁静稳定。独特的主腹拱与流畅的花瓶形拱墩构成的造型,时而像一朵朵盛开的葵花,给人一种优

美舒展、蓬勃向上的印象;时而像一只只展翅飞翔的海鸥,在海面上自由欢快的遨游,充满了生机与活力,展现出和谐、生动、灵动而富有韵律的古典美感,完全融入了南沙水乡文化的地域风情,并获方案国际竞赛第一名。

(2)推力拱桥最适合山区的岩石地基建设。而要在平原深厚软基地区建造上承式推力连拱桥,一般要在两个边墩设置抗推能力很强的基础,如沉井等,或者是系杆加沉井基础等来抗推。本桥采用了系杆平衡全部恒载和大部分活载及其它作用,采用低桩承台基础平衡小部分活载及其它作用,实现了平原软基地区建造上承式推力连拱桥的经济建造。

(3)上承式混凝土葵花系杆拱桥为多次超静定结构,内力复杂,特别是岸跨拱脚和主腹拱连接处的两个节点,是整个结构的受力关键点。因担心岸跨拱脚与边墩固结处及主腹拱固结处的开裂耐久性问题,常常将这两个刚节点先铰接再刚接,以便释放和转移一部分内力。但实际上由于先铰接部位的内部损伤引起了铰接部刚度和强度降低,再加上混凝土施工缝两侧连接强度的降低和先铰接再刚接的构造复杂,以及后浇混凝土的收缩难以控制等原因,使得实际中的这两个节点开裂宽度仍难以控制。这两个节点能否直接刚接呢?岸跨拱脚与边墩固结处通过采用合理的预应力设计可以避免开裂,主腹拱固结处通过采用型钢骨架和适度的高配筋,通过详细的弹塑性分析和1:5的缩尺模型实验及局部足尺工艺试验也证实可控制裂缝的宽度,运营一年以来未发现裂缝,说明岸跨拱脚和主腹拱连接处采用直接刚接的构造是可行的,可以大大简化施工并有利于耐久性。

(4)本桥为VI级航道,为防船舶撞击桥墩和拱圈并减轻船舶损伤,采用花瓶形拱墩以提高拱脚净空,并将拱墩和一部分拱脚做成实心结构,将上下游两幅桥承台设计成整体,以提高抗船撞能力。同时对位于两个通航孔的桥墩,首次在桥墩前端设置了由四根直径1m的钢管组成的格

构式独立防撞墩,且独立防撞墩又通过水平格构式撑杆附着于承台以显著提高其水平抗推刚度,同时在独立防撞墩上部套上可转动的圆圈式钢质-PPZC复合材料浮式防撞装置,可转动的防撞圈将有利于撞桥船舶转向并保留动能,保护桥梁并减轻船舶损伤。

(5)深入研究了上承式多跨连拱的主拱劲性骨架工法和少支架工法,都是可行的工法,可根据具体情况选用。少支架工法比劲性骨架工法工期短,工序较少,施工管理要求稍低,但经济性比劲性骨架工法稍低。

(6)上承式混凝土葵花系杆拱桥采用少支架施工,其脱架与系杆张拉方案关系到结构的安全与耐久性,需要制定非常细致的操作规程,如有疏忽则可能会引起结构开裂甚至塌桥。根据结构及支架的受力特点,对多个落架和系杆张拉方案进行了详细研究和计算分析比选,按照既能保证卸架过程中支架及结构的安全与稳定又能兼顾转换效率的原则,最终确定采用多孔同步、多次微循环落架并配合系杆跟随张拉,将支架上的力对称、均匀、缓慢地转移到结构上,实现了支架荷载的平稳转移,保障了整个落架过程中结构和支架的安全性,顺利完成了体系转换。

8 结语

(1)将传统的上承式葵花拱桥梯形拱座优化为流畅的花瓶形拱墩,使主腹拱和拱座融为一体,这种优化的多跨葵花拱桥,轻盈通透,简洁优美,富有韵律,充满生机,是一种优美的城市景观

桥梁。

(2)对上承式推力连拱桥,采用系杆平衡全部恒载和大部分活载,采用低桩承台平衡小部分活载,可取消软基地区上承式推力连拱桥的强大制动边墩,从而实现其经济建造。

(3)对上承式葵花拱桥的岸跨拱脚与边墩固结以及主腹拱固结的两个节点,根据弹塑性分析和缩尺及局部足尺试验,采用合理预应力设计和适度的高配筋,实现一次浇筑从而简化施工并提高这两个关键节点的耐久性。

(4)首次在桥墩前端设置了由钢管组成的格构式独立防撞墩,它通过水平撑杆附着于承台以显著提高其水平抗推刚度,同时在其上部套上可转动的圆圈式钢质复合材料浮式防撞装置,将有利于撞桥船舶转向并保留动能,保护桥梁并减轻船舶损伤。

(5)按照既能保证卸架安全又能兼顾体系转换效率,采用多孔同步、多次微循环卸架并配合系杆跟随张拉,可将支架上的力对称、均匀、缓慢地转移到结构上,实现支架荷载的平稳转移,保障卸架过程中结构和支架的安全。

参考文献:

- [1] 广州南沙开发区凤凰一、二、三桥桥梁工程方案设计,国际邀请竞赛技术文件,广东省交通规划设计研究院股份有限公司,华南理工大学建筑设计院,2004.
- [2] 广州南沙开发区凤凰二桥施工图设计,广东省交通规划设计研究院股份有限公司,2007.
- [3] 王新敏 ANSYS 工程结构数值分析[M].北京:人民交通出版社,2007.

某大跨度下承式钢箱提篮拱桥力学性能分析

刘安兴

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司,广州 510507)

摘要: 本文以某大跨度下承式钢箱提篮拱桥为研究对象,利用有限元软件 Midas/Civil 建立空间有限元模型,对其进行静力分析、动力特性分析、稳定性分析和总体布置参数分析,同时采用 ANSYS 软件建立实体单位模型对拱脚进行局部分析,其研究结果可为同类型桥梁的设计提供参考。

关键词: 下承式;钢箱;系杆;提篮拱桥;大跨度;力学性能

1 概述

拱桥犹如天空中的彩虹,具有独特魅力和美感,是基本桥型之一。作为一种有推力的结构,拱桥受竖向荷载作用时,拱脚除产生竖向反力外,还产生水平推力,一般而言,拱桥需要有良好的地基条件,以承受拱脚的水平力,在软土地基上建造拱桥,采用系杆拱桥等梁拱组合外部静定结构的无推力体系,能较好的解决推力问题。因此,在一段时间里,无论是在地质条件较好的山区,还是在地质条件较差的软土地区,拱桥得到了广泛的推广和应用,随着技术的发展,大跨度拱桥也逐渐用于跨海大桥。

本文以某大跨度下承式钢箱提篮拱桥为研究对象,对其受力性能进行分析研究,其研究结果可为同类型桥梁的设计提供参考。

2 工程概要及有限元分析

2.1 本桥工程介绍

某跨海桥主桥跨径为 291 m,拱轴中心线计算跨径为 286 m,桥面全宽为 36.715 m,为下承式钢箱提篮桥。

本桥主拱结构为提篮式钢箱拱,跨度 286 m,矢高约 57.195 m,主拱矢跨比为 1/5,拱轴线采用 $m = 1.5$ 的悬链线,主拱肋按 78 度角内倾,拱顶处拱肋间距为 4.96 m。每个拱肋采用矩形截面钢箱,拱肋箱型截面尺寸由钢箱拱假想起点(主拱与主梁相交处截面)3.04 m × 6.5 m 均匀渐变至拱顶

点的 3.04 m × 3.824 m,顶底板厚在 40 ~ 32 mm 之间变化,腹板厚在 36 ~ 28 mm 之间变化。两片拱肋通过 11 道钢箱横撑连为一体。

主梁采用分离式双边箱断面,中心梁高 3.584 m,标准梁段长度为 9 m,桥面系为正交异性钢桥面板。标准段主梁顶宽 36.714 m,底宽 38.060 m,边箱中心距 34.236 m。边箱截面顶板厚 24 mm,底板厚 24 mm,腹板厚 16 mm。

拱脚节段顺桥向长 19.16m,其中 5m 系杆箱梁高主梁长 10.16m,系杆箱梁变高段(由 5 m 变至 3.2 m)长 9 m,系杆箱梁吊杆布置在距 3.2 m 梁高端部 2.59 m。拱脚节段还包括顺桥向 8.1 m 长,横桥向 15.241 m 宽的端横梁及与系杆箱梁变高段相连的两片小横梁。拱肋腹板与系杆箱梁腹板采用整片钢板加工而成,在拱梁相接处采用圆角过渡。

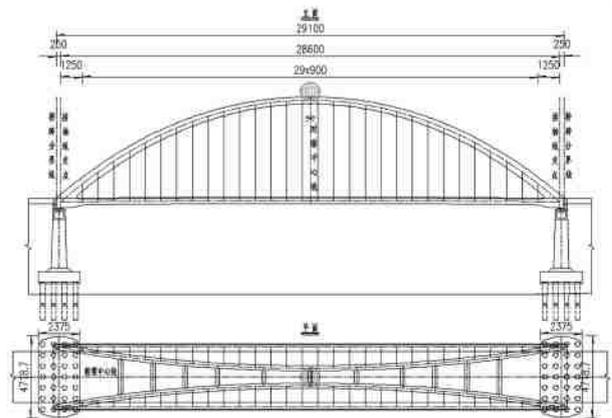


图1 桥型布置图(单位:cm)

吊杆采用标准强度为 1 860 MPa 钢绞线整束挤压拉索,纵向间距为 9 m,每断面共 4 根拉索,左

右两侧各两根,全桥共120根。根据受力需要,共设置GJ15ZCD-15/19两种规格吊杆,吊杆最长约55.3m。考虑其可更换性,更换时同一断面上的两根吊索应逐根更换。吊杆在拱上采用锚管式的锚固方式,在梁上采用耳板式锚固方式。

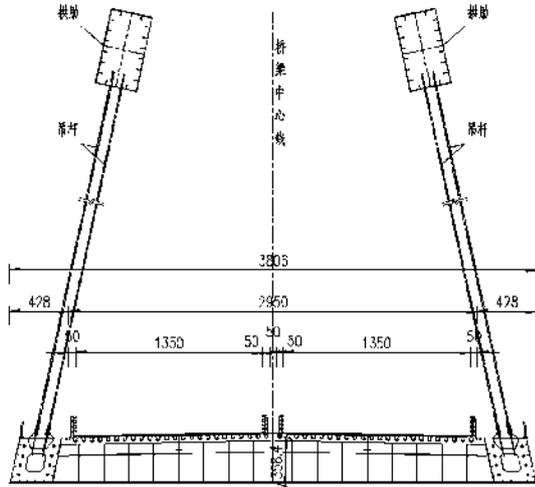


图2 主梁标准横断面(单位:cm)

2.2 整体有限元模型

该实例整体结构分析利用MIDAS CIVIL建立空间三维有限元模型进行计算,吊杆、水平系杆以只能承受轴向力的桁架单元模拟;拱肋、主梁、横梁、风撑等以梁单元模拟。

模型为空间网格模型,恒载按照实际分布进行加载,活载分别按照横向影响线及纵向影响线

进行空间加载,按实际位置和约束情况模拟支座。几何模型如图3所示,结构离散为空间杆系模型,全桥共分为1153个节点、1121个单元。



图3 全桥模型

结构分析主要考虑以下3种荷载组合:

组合1:成桥恒载+汽车+不均匀沉降;

组合2:成桥恒载+汽车+不均匀沉降+风力25(指主梁设计风速为25m/s时的风荷载)+温度+制动力;

组合3:成桥恒载+不均匀沉降+极限风+温度。

3 总体布置参数研究

大跨度拱桥常用的拱轴线形有多段折线、抛物线(或高次抛物线)、悬链线以及悬索线。

二次抛物线、悬链线或悬索线,其本质区别在于对应的恒载分布形式的不同,导致拱轴系数 m 的取值不同^[1],如表1。

表1 大跨度拱桥常用拱轴线对应的恒载分布形式

拱轴线形	二次抛物线	悬链线	悬索线
对应荷载形式	恒载集度沿拱跨均匀分布	恒载集度沿拱跨连续分布且与拱轴坐标呈线性关系	恒载集度沿拱轴均匀分布
拱轴系数取值	$m = 1$	$1.167 < m < 5.321$	$m = 1/\cos^2\phi_k$

理想的拱轴线应与拱所受荷载的压力线相吻合,主拱只承受轴向压力,无剪力和弯矩,如此最能充分利用材料强度,因此选择拱轴线的原则是尽量向压力线靠拢,尽量减少主拱截面的弯矩,同时还应结合结构体系、施工方法、外形景观等因素综合确定。

3.1 拱轴系数参数研究

本文通过对11种不同拱轴系数下结构响应的变化进行分析对比,来探讨合理拱轴系数。

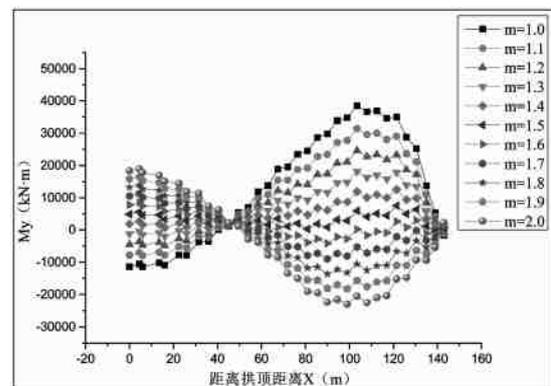


图4 不同拱轴系数的半跨主拱弯矩My对比图(拱顶-拱脚)

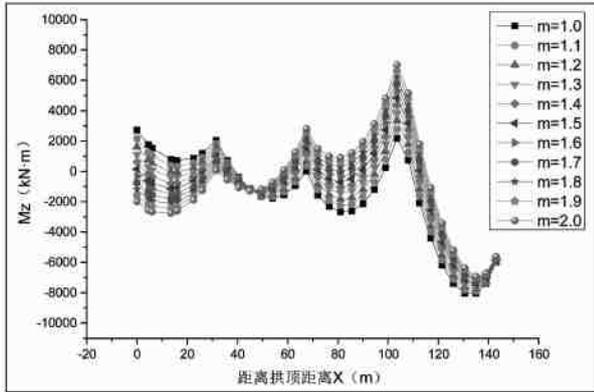


图5 不同拱轴系数的半跨主拱弯矩 M_z 对比图(拱顶-拱脚)

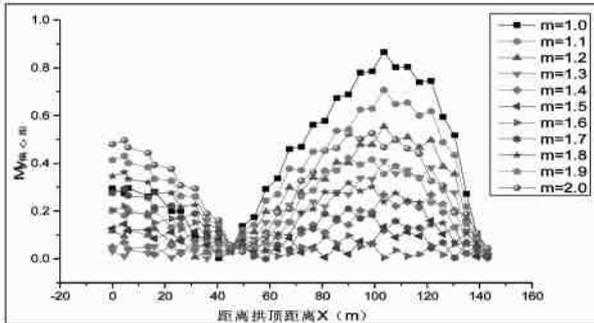


图6 不同拱轴系数的半跨主拱 $|M_z/N|$ 对比图(拱顶-拱脚)

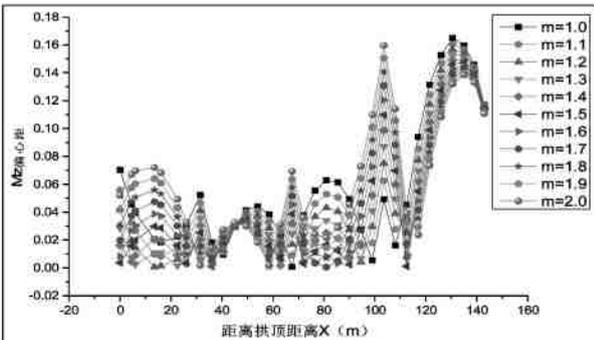


图7 不同拱轴系数的半跨主拱 $|M_z/N|$ 对比图(拱顶-拱脚)

拱轴线是否“合理”,关键看拱轴线是不是最逼近压力线,即拱肋上的弯矩与轴力之比的绝对值(即偏心距)是不是尽可能小。图4~图5可以明显得到 $m = 1.5$ 时的弯矩较为均匀,且数值很低。图6~图7描绘了不同拱轴系数下拱轴线的弯矩与轴力之比的绝对值。显然,拱轴系数 $m = 1.5$ 的拱轴线与压力线是最接近的。因此,对于本结构取拱轴系数 $m = 1.5$ 是合理的。

3.2 矢跨比参数研究

本文通过对11种不同矢跨比下结构响应的变化进行分析对比,来探讨合理的矢跨比。

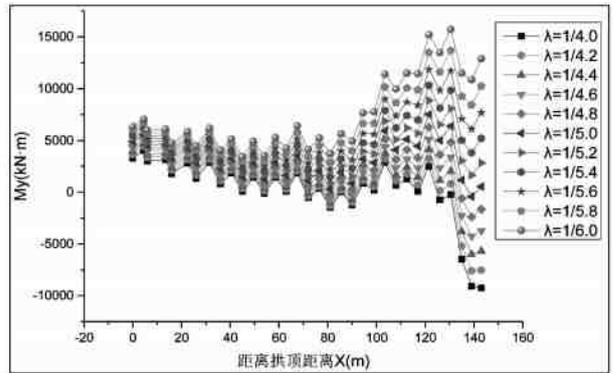


图8 不同矢跨比的半跨主拱弯矩 M_y 对比图(拱顶-拱脚)

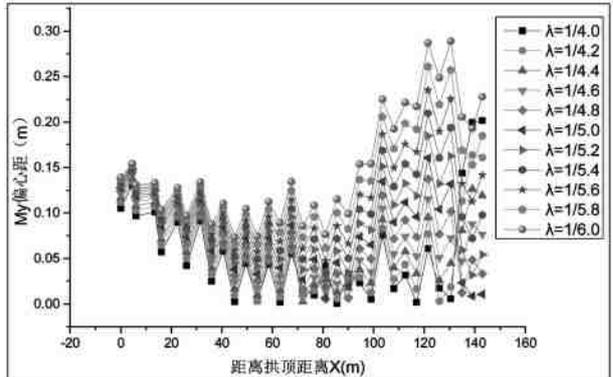


图9 不同矢跨比的半跨主拱 $|M_y/N|$ 对比图(拱顶-拱脚)

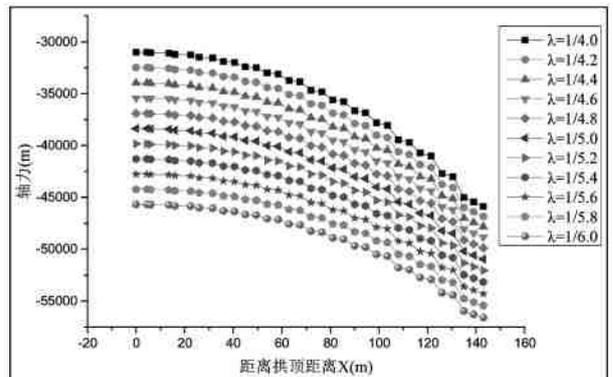


图10 不同矢跨比的半跨主拱轴力 N 对比图(拱顶-拱脚)

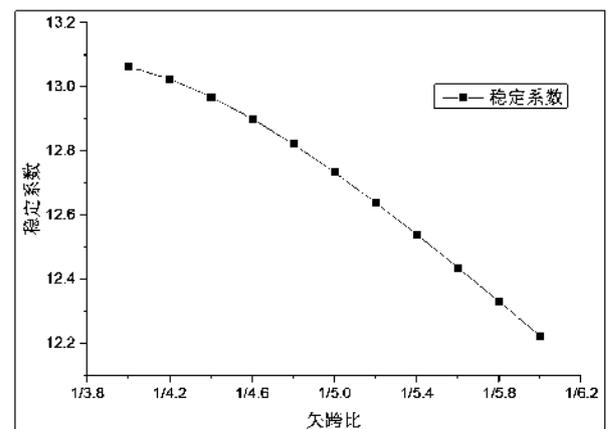


图11 不同矢跨比的恒载结构稳定系数对比图

由图 8 ~ 图 11 可知,矢跨比越小,拱肋轴力越大,弯矩与轴力之比的绝对值越大,稳定系数越高。矢跨比较大时,拱肋长度增加,拱肋长度和高度也加大,若考虑整体浮运施工的话,拱肋越高,重心越高,对船运的稳定性要求越严,因此,综合体系受力、体系稳定性、施工等方面因素,确定矢跨比 $\lambda = 1/5.0$,是较为合理的。

3.3 横撑数量研究

对拱肋不同的横撑数量进行比选,拱肋不同横撑数量的线性稳定性能如图 12 所示。

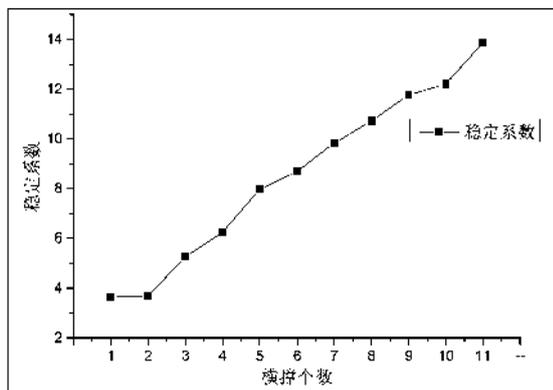


图 12 不同横撑数量下恒载结构稳定系数对比图

通过以上对比,并考虑全桥的整体受力和美观性,拱肋最终采用 11 道横撑。

4 整体静力分析

4.1 拱肋截面受力情况

在承载能力极限状态基本组合作用下,拱肋典型截面应力如表 2 所示。

表 2 组合钢拱肋计算结果对比表 (单位:MPa)

工况	拱顶		1/4 拱肋		拱脚		
	上缘	下缘	上缘	下缘	上缘	下缘	
组合 1	最大	-86.6	-60.7	-31.1	-12.7	-95.5	-37.5
	最小	-185.0	-143.0	-183.0	-173.0	-151.0	-64.4
组合 2	最大	-62.0	-24.8	9.3	29.9	-50.5	10.2
	最小	-217.0	-169.0	-205.0	-198.0	-189.0	-104.0
组合 3	最大	-37.4	-44.0	8.9	20.3	79.9	129.0
	最小	-197.0	-206.0	-178.0	-174.0	-277.0	-232.0

由表 2 可知,基本组合作用下,钢拱肋最不利状况是组合 3 极限风作用下,其中钢拱肋上缘最大压应力为 -277 MPa,位于拱脚;钢拱肋下缘最大压

应力为 -232 MPa,位于拱脚;拱脚实际应力还应根据拱脚局部分析结果来确定。

4.2 主梁截面受力情况

在承载能力极限状态基本组合作用下,主梁典型截面应力如表 3 所示。

表 3 各组合钢主梁计算结果对比表 (单位:MPa)

组合		跨中		1/4 主梁		支座处	
		上缘	下缘	上缘	下缘	上缘	下缘
组合 1	最大	44.1	106.0	51.0	141.0	125.0	-43.7
	最小	-39.9	-3.8	-57.4	-33.4	53.0	-99.6
组合 2	最大	82.3	160.0	90.9	186.0	167.0	-19.8
	最小	-69.9	-32.8	-82.4	-60.6	17.5	-113.0
组合 3	最大	85.4	144.0	84.9	134.0	153.0	-21.3
	最小	-71.1	-76.3	-78.1	-62.8	-57.3	-98.7

由表 3 可知,基本组合作用下,钢主梁最不利状况是组合 2 汽车活载作用下,其中钢主梁上缘最大拉应力为 167 MPa,位于支座附近;钢主梁下缘最大拉应力为 186 MPa,位于 1/4 中跨梁段附近。

4.3 吊杆受力情况

最不利基本组合下最大、最小索力如图 13 所示,最不利组合下吊杆最大索力为 1196.9 kN。

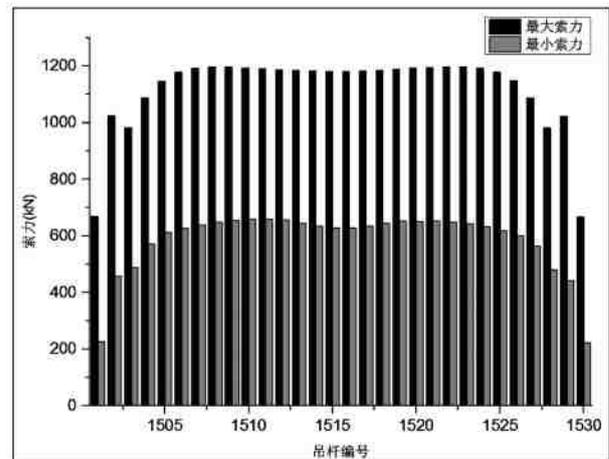


图 13 最不利组合下最大、最小索力图

计算结果表明,最不利组合下吊杆的承载能力极限状态均满足规范^[2]要求。

5 拱脚局部分析

5.1 计算模型

拱脚局部分析采用大型通用有限元软件 AN-

SYS 建立拱脚实体模型进行分析,采用 SHELL63 板单元模拟拱脚钢板的受力情况。根据圣维南原理,拱脚的局部受力特性只与邻近区域的受力状态有关,而远离拱脚区域的受力状态对拱脚处的应力分布影响很小,为了减少边界约束对拱脚处应力计算结果的影响,该模型主梁纵向考虑了第一根短吊杆的梁段,主梁纵向长度取 19.57 m,与系杆箱梁相接的拱肋长度为 11.257 m,拱脚局部模型共包括 147 207 个节点,308 755 个单元,有限元模型如图 14 所示。

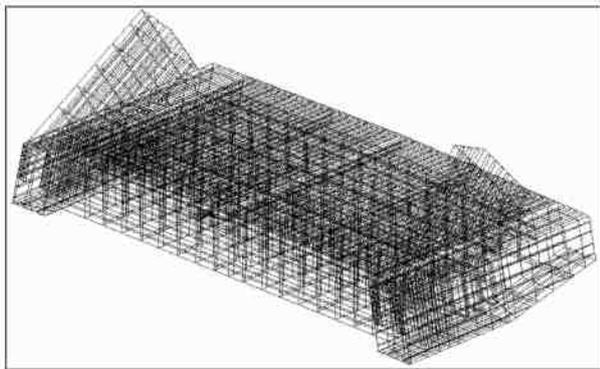


图 14 拱脚有限元模型

模型的边界约束:在主梁支座位置约束竖向和横向自由度,顺桥向靠近中跨的梁端面约束顺桥向平动自由度、绕横轴和竖轴的转动自由度。

根据杆系单元计算得出拱肋在拱脚处最大应力对应的最不利工况,将最不利工况下拱脚位置的拱肋、系杆箱梁、吊杆、正交异性板桥面、系梁等部件的内力提取出来,施加到实体模型相应的位置。

5.2 荷载工况

拱脚局部分析主要分析以下 2 种荷载工况:

(1) 工况一:非极限风的活载作用下最不利工况;

(2) 工况二:极限风荷载作用下最不利工况。

系梁、拱肋及桥面板端部和吊杆在整体模型中最不利荷载工况作用下的内力如表 4 所示,旋转拱脚实体模型各构件加载节点的局部坐标轴与整体模型杆系单元局部坐标一致,将表 4 中内力分别按静力等效原则施加于各构件上。

表 5 整体模型提取的各构件内力 (单位:kN,kNm)

荷载工况	构件	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z	
工况一	拱肋	左幅	-66 522	-814	-201	-10 317	-32 055	-19 454
		右幅	-72 447	-734	123	-6 729	-3 7545	-25 730
	系梁	左幅	-1 555	-1 140	-3 272	-1 704	-7 261	-2 686
		右幅	1057	-2 071	-3 573	-6 317	-8 916	330
	行车道板		-7 602	-803	-1 591	-5	-3 316	1 846
	吊杆							
工况二	拱肋	左幅	-32 094	-4 313	-226	-29 389	351	-56 019
		右幅	-83 391	-4 136	2 574	-27 054	-47 244	-61 074
	系梁	左幅	-10 094	-370	-163	-2 126	6 253	1 529
		右幅	10 337	-1 433	-2 635	-5 170	-7 992	3 286
	行车道板		-4 914	-5 982	15	-43	-1 673	42 364
	吊杆							
	左幅	426						
	右幅	511						

5.3 计算结果

在两种荷载工况下,拱脚局部分析结果对比见表5。

表5 工况一与工况二拱脚计算结果对比表(单位:MPa)

项目	工况一		工况二	
	最大	最小	最大	最小
拱梁结合段应力	150.0	-220.3	171.5	-256.3
支承隔板和加劲肋应力	-31.4	-144.9	-25.8	-202.0
端横梁应力	91.1	-36.5	127.9	-65.3

由以上结果可以得知拱脚局部受力特点如下:

(1)在拱肋与主梁腹板倒角处有应力集中现象,最大压应力约256.3 MPa,是因实体模型采用三角形过渡引起截面突变导致的,该倒角过渡形式较为重要。

(2)支座位置的隔板与支座上钢板边缘相交位置,因上钢板厚度大在此位置形成刚度突变,该位置有应力集中现象,最大压应力202 MPa左右。

(3)端横梁应力水平较小,横梁板厚等尺寸还有优化空间。

6 结构动力特性分析

采用Midas Civil有限元软件进行模态分析,全桥结构前4阶振型的周期及模态描述见表6。

表6 前4阶自振频率计振型分析结果

振型阶数	固有频率/Hz	周期/s	振型
1	0.319	3.139	主梁反对称竖弯
2	0.518	1.932	主拱对称横弯
3	0.652	1.534	主梁主拱对称竖弯
4	0.766	1.305	主梁主拱对称扭转

由表6可知:该桥一阶振型为主梁反对称竖弯,拱肋设置11道横撑,大大提高了拱肋刚度,第4阶振型才是扭转振型,说明该拱桥抗扭刚度相对较大。

7 稳定性分析

拱肋是压弯为主的受力构件,有必要对结构稳定性进行分析,本文稳定性按弹性屈曲进行分析,即第一类稳定,利用结构在弹性稳定阶段,结构的几何刚度矩阵与荷载矩阵成线性关系这一原理,将结构自重、极限风作为可变荷载对其进行屈曲分析,得到该结构的弹性稳定系数最小为9.561。同

时,将结构自重、汽车荷载及风力25(指主梁设计风速为25 m/s时的风荷载)作为可变荷载对其进行屈曲分析,得到该结构的弹性稳定系数最小为18.992。计算结果表明,该桥在极限风作用下最为不利,考虑各种作用组合下的稳定系数均满足规范^[4]要求。

8 结论

本文以某大跨度下承式钢箱提篮拱桥为工程背景,建立有限元模型,对其受力性能进行分析,得到以下结论:

(1)该桥采取拱轴系数 $m=1.5$ 的拱轴线与压力线是最接近的;矢跨比 $\lambda=1/5.0$ 也是合理的;从拱肋稳定性、全桥整体受力及美观性考虑,拱肋采用11道横撑。

(2)整体计算结果表明,在承载能力极限状态组合下,各构件受力均满足规范要求。

(3)拱脚局部分析表明,拱脚应力满足规范要求,并且端横梁应力水平较小,但在拱肋与主梁腹板倒角处有应力集中现象,设计时应注意倒角的过渡形式。

(4)模态分析结果表明,该桥一阶振型为主梁反对称竖弯,拱肋刚度较大,第4阶振型才是扭转振型,说明该拱桥抗扭刚度相对较大。

(5)该桥在极限风作用下最为不利,其稳定系数大于4.0,满足规范要求。

参考文献:

- [1] 肖汝诚. 桥梁结构体系[M]. 北京:人民交通出版社,2013.
- [2] 公路钢结构桥梁设计规范. JTG D64-2015(S). 北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [3] 徐春丽. 新型索-拱结构的平面内弹性稳定性研究[J]. 结构工程师,2016,32(2):53-59.
- [4] 公路钢管混凝土拱桥设计规范. JTG/T D65-06-2015(S). 北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [5] 孙九春,曹虹. 斜拉扣挂缆索吊装系统全过程仿真分析研究[J]. 结构工程师,2019,35(3):127-134.
- [6] 户东阳,何旭辉,秦红禧. 大跨度钢箱提篮拱桥拱脚过渡段局部应力分析[J]. 公路交通技术,2011,(1):127-134.
- [7] 陈辉. 大跨钢系杆拱桥拱脚节点受力分析及优化设计[J]. 城市道桥与防洪,2019,(6):104-107.
- [8] 叶梅新,李一可. 下承式钢箱系杆拱桥拱脚局部受力分析[J]. 西部探矿工程,2007,(7):165-169.

悬索桥成桥线形求解方法比较

官 快

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广州 510507)

摘 要: 本文采用 Excel 内置计算公式, 根据确定的设计参数, 采用分段悬链线解析方法快速计算出悬索桥成桥线形; 并结合有限元软件 midas 以及大型通用有限元软件 ANSYS, 根据悬索桥受力特点计算出相应成桥线形, 并将这三种(两类)方法计算结果进行相互校核。结果表明, 分段悬链线结合 Excel 计算能够快速计算出成桥线形; 有限元方法具有对整体结构分析结果直观和全面的优点。这两类分析方法可为同类工程的设计提供参考。

关键词: 悬索桥; 成桥线形; 分段悬链线; Midas; ANSYS

随着国民经济的发展, 基础设施的建设需求越来越大, 大跨度桥梁对于跨越大江大河以及高山峡谷有自身独特的优势。大型悬索桥近年来在我国建设数量越来越多, 桥梁跨径也越来越大。悬索桥的受力特点不同于其他结构形式的桥梁^[1], 悬索桥在结构基本参数确定的情况下成桥状态是确定的, 难以在施工过程中调整结构的最终形态, 因此设计时通过计算得出相应的成桥状态显得尤为重要。

对于悬索桥成桥的线形的计算, 现大多采用有限变形理论有限元法^{[2][3]}, 此类方法在工程设计中有固定的计算流程, 但是其计算过程比较繁琐, 而且随着桥梁跨度的不断加大, 结构计算的工作量也将急剧增加, 此类方法计算工作量会随着计算精度的提高而成倍增加。因此如何快速获得悬索桥的成桥线形是设计中需要着重思考的一个问题。

本文采用分段悬链线理论^[1]结合 Excel 软件二次开发^[5]编制计算小程序, 采用 Excel 内置计算公式快速计算出悬索桥成桥线形, 同时对比采用有限元方法计算悬索桥成桥线形。分析结果证明了本文方法的可靠性和高效性, 本计算方法对悬索桥成桥线形的计算以及悬索桥的设计具有一定的参考和借鉴价值。

1 悬链线线形理论分析

1.1 悬索桥主缆悬链线受力分析

从受力的单索结构中取出一段微元进行受力分析^[7], 通过静力平衡条件推导可得:

$$z = \frac{H}{q} \left[\cosh k_1 - \cosh \left(\frac{q}{H} x - k_1 \right) \right] \quad (1)$$

$$k_1 = \sinh^{-1} \left[\frac{cq/2H}{\sinh(ql/2H)} \right] + \frac{ql}{2H} \quad (2)$$

式中:

x —主缆节点到索起始端的水平距离;

z —主缆节点到索端连线的竖向距离;

H —主缆拉力的水平分力;

q —沿索长均布的主缆自重荷载;

c —主缆两索端点高差;

l —主缆两索端点水平距离。

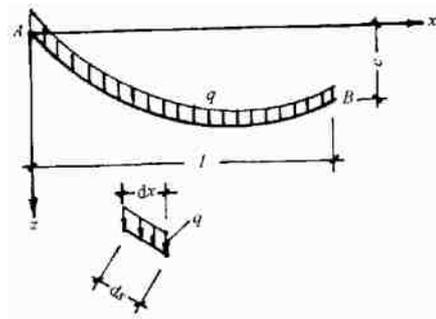


图1 悬链线受力图

1.2 悬索桥分段悬链线理论

假设吊索产生的集中力将主缆分为 n 段, 则悬索桥主缆线形的 n 段满足如下的平衡及变形相容条件^[4]:

$$a. \sum_{i=1}^n c_i = c; \quad (3)$$

b. 跨中节点通过指定点;

c. 各局部坐标原点处满足力平衡条件, 即:

$$H_0 y' |_{x_i=l_i} - H_0 y' |_{x_{i+1}=0} = P_i \quad (4)$$

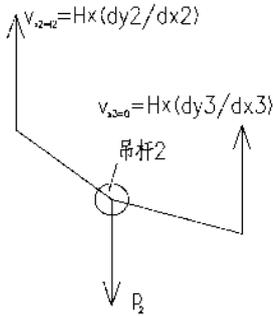


图 2 吊点 2 局部受力平衡图

根据以上条件即可建立迭代计算过程:

1) 根据给定的设计条件(矢跨比及跨度),按照假定抛物线线形计算得主缆索力水平分力初始值,见式(8)。

2) 根据加劲梁材料、断面以及桥面铺装等设计信息计算加劲梁上均布荷载值,将吊索模拟为竖向支座支撑,主梁模拟为多跨连续梁,将计算出的每处支座竖向反力作为吊杆初始索力,由加劲梁重量及主缆重量初步计算左支座处竖向力 P_0 ,由此可得:

$$k_1 = \sinh^{-1} \left(\frac{P_0}{H_0} \right) \quad (5)$$

$$k_{i+1} = \sinh^{-1} \left(-\frac{P_i}{H_0} - \sinh \left(\frac{q_1 l_i}{H_0} - k_i \right) \right) \quad (6)$$

3) 根据各段悬链线的初始 k 值及悬链线公式可求出各段悬链线两端点位置高差:

$$c_i = \frac{H}{q} \left[\cosh k_1 - \cosh \left(\frac{q}{H} l_i - k_1 \right) \right] \quad (7)$$

将各段悬链线两点高差进行求和,其值应该为设计值 c ,由于初始索力和竖向力为初步拟定值,计算出的 $\sum_{i=1}^1 c_i$ 与 c 值有偏差。对于塔顶高程相同的悬索桥而言 $c=0$,借助 Excel 的规划求解功能,为保证计算结果的精度,设定两个数值作为约束条件:①跨度一半的悬链线的累加竖向位移值 c_b (成桥线形时应为悬索桥主缆矢高 f);②整跨悬索桥累加竖向位移值 c_q (对于塔顶高程相同的悬索桥,成桥线形时其数值应为 0)。根据上述约束条件可设置半跨及整跨竖向位移累加值平方和做为目标函数,将可变单元设置为水平力 H_0 以及左端支座竖向力 P_0 ,并进行规划求解,由此求出的结果即为悬索桥的最终成桥时结构特征值。

4) 以上所求结果为分段悬链线主缆节点坐标的解析解^[6],坐标原点为每段悬链线的左端点位置,还应在此结果上进行坐标转化,方法如下:

(1) 每段悬链线都有相应的 k 值,根据每段悬链线相对于左侧端点的距离可求出悬链线局部坐标系下的竖向位移 y_i (相对于左端点的相对高差);

(2) 求解相对第一段悬链线左端点的竖向位移。这个步骤包含两种节点:一种为吊杆位置处的节点,即为每段悬链线的终点(同时也是下一段悬链线的起点,下一段悬链线的竖向位置都是在这个竖向位移的基础上累加局部坐标系下的竖向位移 y_i);另一种为非吊索节点竖向位移。

①将需要求解的 x 向坐标转化为局部坐标系下的坐标,如图 3。第一步确定悬链线非吊点节点 m 局部坐标系横坐标 x_m 。使用 vb 进行 Excel 二次开发,采用 `do while` 语句寻找所有的吊点坐标。当发现吊点节点 n 的横坐标比非吊点节点 m 横坐标大,则节点 m 的局部坐标系下横坐标就为节点 m 的整体坐标系下的横坐标减去吊点节点 n 的前一个吊点节点 $n-1$ 的横坐标(即吊点 $n-1$ 即为节点 m 的局部坐标系原点)。第二步确定悬链线吊点节点 n 局部坐标系横坐标,当采用非吊点节点公式得出的竖向位移为零时(因为吊点节点均为悬链线起点,其竖向位移按自己坐标系竖向位移均为 0,为了计算下一坐标的起点竖向位置,此处应该按照上一段悬链线的终点来计算竖向位移),则相应的节点的局部坐标系横坐标就为节点的整体坐标系下的横坐标减去对应吊点前两个吊点 x_{i-2} 的横坐标(例如吊点节点 $i-1$,不小于其横坐标值的节点为 x_i ,因而其原点坐标为 x_{i-2})。

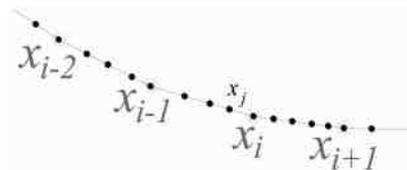


图 3 节点坐标查找图示

②根据局部坐标系横坐标值及相应 k ,可以求出相应局部坐标系下的竖向位移值,同时使用 Excel 求出此局部坐标系原点位于整体坐标系中的位

置。每个 i 段悬链线上节点竖向整体坐标就等于前面 $i-1$ 段悬链线竖向位移的总和加相应局部坐标。

1.3 有限元模型求解

1.3.1 有限元软件求解悬索桥成桥线形步骤

本文主要采用迈达斯以及大型通用有限元软件 ANSYS 进行分析,建立模型的步骤和方法基本一致,主要步骤如下:

1) 建立有限元几何模型。根据初步拟定的结构尺寸以及确定的矢跨比以及跨度信息,主缆节点先根据结构信息按照抛物线拟定一个初步线形。

2) 按照抛物线线形及初始设计参数计算一个初始主缆水平力^[7]:

$$H_0 = \frac{gl^2}{8f} \quad (8)$$

3) 根据初始的主缆水平力和节点坐标反算每个主缆单元初始轴力。

4) 将整体模型的吊索位置换成弹性支承,采用多点弹性支承连续梁模型计算出每个主梁吊点位置的竖向支反力作为吊杆的初始内力。

5) 试算调整 H_0 数值的大小,随后更新主缆节点坐标、主缆单元内力以及吊杆内力,使得所有主缆节点竖向位移计算完成后的竖向变形趋于零。

6) 此时得出的主缆节点坐标即为成桥主缆线形节点坐标,试算得到的 H_0 为成桥主缆水平力。

1.3.2 主缆调索直观表述

悬索桥成桥线形的有限元模型调索过程可结合图4形象地描述如下:

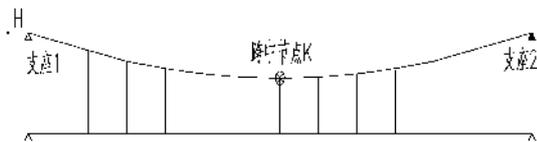


图4 索力调整示意图

悬索桥主缆右端 IP 点固定于支座2,左端 IP 点位置施加大小为 H 的水平作用力,通过不断调整左端的水平力 H 的大小(相当于试算过程中不断调整 1.3.1 中第5)步中的 H_0 数值大小)以及吊杆的初始力(更新吊杆初始内力实际上是改变吊杆无应力长度)使得主缆所有节点竖向位移接近为零,主缆在整个调索过程中节点位移不断变化则

可看做不断更新主缆节点初始坐标。当所有节点在成桥荷载作用下的竖向位移趋于零时,初始输入的主缆节点形成的主缆线形即为主缆成桥线形^[8]。

2 算例分析

2.1 算例模型介绍

算例桥梁采用双塔中间悬挂曲线悬索桥体系如图5所示,主缆两 IP 点跨径为 75 m,矢跨比 1/16。主梁采用扁平钢箱梁,桥面总宽为 4.6 m,主梁梁高为 0.8 m,吊索按 5.7 m 等间距布置,如图6所示。主缆在塔顶上采用耳叉式锁扣与主塔连接,主塔背部通过分散的两根背索把索力传递到主塔及背索锚碇上,桥梁纵断面按最小净空 5.0 m 要求进行控制。

桥梁主要构件使用的材料类型及尺寸如下,主缆:6 × 19W + IWR - 40 钢丝绳 22 根;吊杆:6 × 19W + IWR - 40 钢丝绳 1 根;主梁:Q345 钢箱梁。

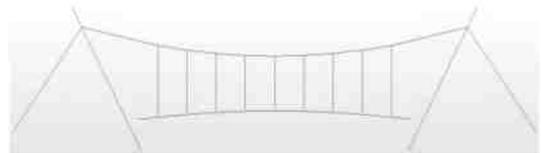


图5 全桥 Midas 有限元模型

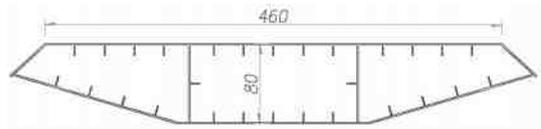


图6 桥梁主梁断面(单位:cm)

2.2 结果比较

通过前文所述三种(两类)计算方法,按照相应计算步骤,可分别求出算例桥梁对应的计算结果,现将主要计算结果列表,如表1~表3。主要包括主缆水平力,主缆节点坐标以及吊杆内力(分段悬链线吊杆内力分别由两种有限元模型计算出后代入相应总体计算模型),结果如下:

表1 主缆水平力(单位:kN)

ANSYS	Midas	分段悬链线	差值
—	3446.13	3435.05	0.32%
3427.47	—	3436.83	-0.27%

注:分段悬链线的吊杆力分别由相应对比的有限元软件计算得出。

表2 主缆节点坐标

x 坐标(m)	y 坐标(m)		
	分段悬链线	Midas	ANSYS
-37.50	19.988	19.988	19.987
-34.20	19.318	19.318	19.319
-31.35	18.742	18.743	18.745
-28.50	18.169	18.171	18.172
-25.65	17.599	17.601	17.602
-22.80	17.031	17.034	17.034
-19.95	16.656	16.654	16.654
-17.10	16.281	16.277	16.276
-14.25	16.005	16.005	16.004
-11.40	15.735	15.735	15.734
-8.55	15.570	15.570	15.570
-5.70	15.408	15.409	15.409
-2.85	15.353	15.353	15.353
0.00	15.300	15.300	15.300
2.85	15.353	15.353	15.353
5.70	15.408	15.409	15.409
8.55	15.571	15.570	15.570
11.40	15.735	15.735	15.734
14.25	16.005	16.005	16.004
17.10	16.277	16.277	16.276
19.95	16.652	16.654	16.654
22.80	17.030	17.034	17.034
25.65	17.602	17.601	17.602
28.50	18.172	18.171	18.172
31.35	18.745	18.743	18.745
34.20	19.321	19.318	19.319
37.50	19.991	19.988	19.987

表3 吊索内力

单元	吊杆力/kN		差值
	ANSYS	Midas	
1	223.875	223.260	0.27%
2	124.026	122.652	1.11%
3	123.333	124.240	-0.74%
4	124.757	124.900	-0.11%
5	124.858	124.876	-0.01%
6	124.757	124.900	-0.11%
7	123.333	124.240	-0.74%
8	124.026	122.653	1.11%
9	223.880	223.261	0.28%

通过对比计算结果可以看出:

(1)三种计算方法得出的主缆水平分力基本一致,差值在0.35%以内;

(2)主缆节点坐标计算值吻合度高,竖向坐标差值都不大于5 mm;

(3)吊杆内力值差值除2号及8号吊杆相差1.11%以外,其余均在0.75%以内。

从各项主要计算结果可以看出,三种计算方法均能得到较好的结果。在计算过程中分段悬链线结合 Excel 的方法速度更快;其他两种方法步骤较为繁琐,容易出错,求解时间更长。但分段悬链线方法需要借助有限元提供的吊索内力,不能够单独的计算。因此结合两者进行求解能够高效精准的求出悬索桥的成桥线形。此外主缆的空缆线形同样可采用段悬链线结合 Excel 的方法求解,由于空缆线形求解过程无吊杆内力的影响,分段悬链线方法可直接根据参数利用单悬链线线型公式求解,求解更加快捷和方便。

3 结论

本文通过悬索桥分段悬链线理论公式,结合相应文献资料以及 Excel 软件,编制相应程序求解悬索桥主缆成桥线型节点坐标;并同步采用通用有限元软件 Midas 以及 ANSYS 分析得到模型结果,通过对比结果证明两种方法计算的正确性,并证明了计算方法的高效性,所采用的分析方法可为同类工程的设计提供参考和借鉴。

参考文献:

- [1] Yoshida O, Okuda M, Moriya T. Structural Characteristics and Applicability of Four - Span Suspension Bridge[J]. Journal of Bridge Engineering, 2004, 9(5):453 - 463.
- [2] 段银龙. 基于 Midas/Civil 的管道悬索桥建模分析[J]. 广东交通规划设计, 2017:10.
- [3] 沈锐利, 廖海黎. 悬索桥静动力空间非线性计算有限元模型及其应用[C]// 全国桥梁结构学术大会. 1992.
- [4] 沈锐利. 悬索桥主缆系统设计及架设计算方法研究[J]. 土木工程学报, 1996(2):3 - 9.
- [5] Albright S C. VBA for Modelers: Developing Decision Support Systems with Microsoft Excel[M]. 2001.
- [6] 唐茂林, 强士中, 沈锐利. 悬索桥成桥主缆线形计算的分段悬链线法[J]. 铁道学报, 2003(1).
- [7] 周孟波. 悬索桥手册[M]. 人民交通出版社, 2003.
- [8] 严琨, 沈锐利. 基于细梁单元的悬索桥主缆线形分析[J]. 计算力学学报, 2016, 33(3):381 - 387.

运行速度路线设计方法在工程实践中的应用及探讨

印冰

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司,广州 510507)

摘要: 依托阳江山外东至海陵大堤段公路工程,采用运行速度法对道路线形进行优化设计。传统设计速度法未考虑车速不断变化的实际情况,导致线元指标与实际速度不匹配,运行速度法充分顾及驾驶者的心理预期,具有人性化优势及科学性。介绍了协调性评价指标及运行速度法的应用流程,实践表明运行速度法能有效克服传统设计速度法的固有缺陷,对提高道路线形设计质量,提升交通安全具有重要意义。

关键词: 公路;交通安全;运行速度;线形设计;速度累计分布曲线;协调性评价

0 引言

《交通强国建设纲要》(2019年9月)的颁发标志着我国迈入基础设施迅猛发展的新时代,如何更科学的设计出快速、便捷、安全、经济的公路是每一个公路设计工程师所必须要解决的重要问题。当今,各项指标满足设计规范要求,而依旧容易产生交通事故的“事故多发路段”时常可见,促使广大公路设计工作者对传统设计速度法进行公路线形设计的不足进行了反思。为克服传统设计速度法的固有缺陷,提高公路几何设计的科学性 & 人性化程度,美国等发达国家早已开展了基于运行速度的路线设计方法的研究及实际应用。实践表明,该方法提高了线形设计的质量,产生了明显的社会效益。

1 设计速度法及其缺陷分析

1.1 设计速度的基本概念

设计速度是指确定公路设计指标并使其相互协调的设计基准速度^[1]。由此概念可知,设计速度一旦确定,公路线形设计中的其余各项指标如圆曲线半径、竖曲线半径、超高等均以此为基石,构建起线形设计的基本框架。

1.2 设计速度法

设计速度法在配置各项线元时,通常规定最小指标,即以最不利条件来考虑线元指标的限值。传统公路线形设计的常规做法为:按照确定的设

计时速进行各项设计指标的配臵,若地形为平原区域,为减少工程规模,常常采用较高指标的平曲线或者不设超高的圆曲线,若能采取直线快捷通过,则通常更倾向于直线布臵,即一般言之,在地形等条件允许的情况下,设计人员从提高冗余安全度的角度大多采用较高线元指标进行公路几何线形的设计。相反,若受到地形、地物、河流及基本农田等控制性因素等的影响,则常用做法为降低线元指标,只要满足规范要求的限值即可,即一切以规范为纲,在此模式下,公路线形的设计成为了简单的指标配臵问题,虽然规范中对于平纵组合等也有相应的规定,但由于广大设计人员水平参差不齐,对规范的理解及运用差异性很大,导致平面线形成为了机械的生产流程。目前而言,我国公路设计行业仍旧是以设计速度为核心指标进行路线设计,具体设计流程参见图1。

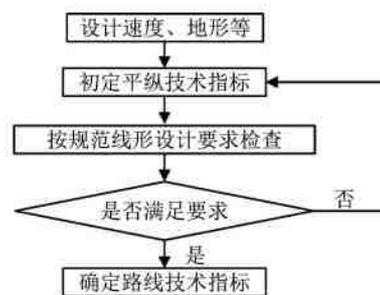


图1 设计速度法流程图

1.3 运行速度概念的引入

设计速度法均是以固定的设计速度为前提并以此来进行后续工程设计。然而,无可争辩的事

实是:驾乘人员在实际出行过程之中,受多方面因素影响,导致车辆的行驶速度处于不断的变化之中。为与设计速度有效区别,有必要引入运行速度的概念。

运行速度是指路面平整、潮湿,自由流状态下,行驶速度累计分布曲线上对应85%分位值的速度^[1]。国外等发达国家针对实况速度等进行了大量的调查研究,通过大数据的处理及分析表明,驾驶人员在公路上的行驶速度并非一成不变,而是一个随机变量。有关研究结果揭示出:汽车的行驶速度一般呈正态分布^[2]。故而可以采用统计学的办法,将测定的汽车行驶速度按照由高到低的顺序进行排列,第85个百分点的车辆行驶速度即就是运行速度^[3]。

由以上概念可知,运行速度考虑了大多数驾驶人员的心理诉求,剩余15%的车辆车速很高,为控制工程规模及造价,故运行速度定义为85%分位值是具有代表意义的^[4]。

1.4 设计速度法的缺陷分析

由图2可知,车辆的运行速度受到诸如驾驶人年龄、技术、气候条件、交通情况、车辆性能、公路线形情况等诸多因素的影响,故运行速度与设计速度的主要差别在于,设计速度是假定的情况,是一成不变的固定数值,运行速度是预测的实际速度,更贴近于实际情况。

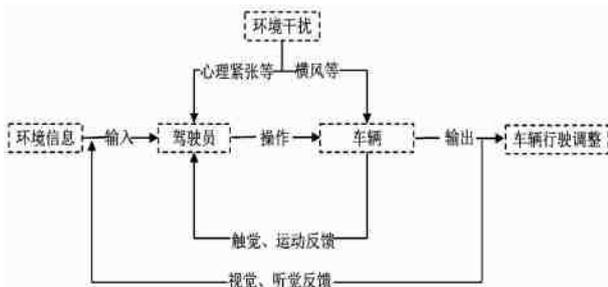


图2 驾驶过程示意图

同时,就一般情况而言,在遇到有利条件时,驾乘人员总是倾向于采用较高车速行驶^[5],以此节约宝贵的时间。这就产生了路段设计指标即使满足传统设计法所规定的线元指标,然而由于设计速度法存在制约驾驶员心理需求的固有缺

陷^[6],导致设计指标远远小于实际运行速度所需要的指标配置,如此一来,交通事故似乎变得不可避免。

另一方面,设计速度法虽然也强调了公路线形设计中的组合设计,但是由于设计速度与运行速度存在差异,导致以设计速度为基石而拟定的平纵组合设计往往不能适用于现实需要,但是这种缺陷在道路未通车之前是无法判断出来的。然而,几何线形是道路建设的基石,道路建成后,想要再对路线线形进行改造,其困难是很大的^[7]。

为使得这一缺陷能够在设计阶段得到根本解决,必须使得道路设计线形与实际运行速度联系起来,以此确保在设计过程中所做的一切指标选取及其相互组合能够适用于道路建成通车后的实际情况。运行速度法由此应运而生。

2 运行速度法

2.1 运行速度法的设计流程

有别于传统的基于设计速度的几何设计方法,运行速度法的基本流程概述如下:

- ① 运用设计速度法初拟线形;
- ② 根据几何要素进行运行速度预测单元划分;
- ③ 建立模型并预测各单元运行速度 V_{85} ;
- ④ 评价几何线形设计的一致性;
- ⑤ 调整、完善平纵等几何设计,如有必要根据调整后的运行速度核验有关技术指标等。

2.2 运行速度法的优势

运行速度法跳出了设计速度法的框架,并不关注局部指标的高低,其核心关注点在于路线相邻单元之间运行速度的协调性,为控制相邻路段运行车速级差在合理范围之内,因而有必要在传统的设计速度法中增加线型检验及调整阶段。基于运行速度的预测结果,对初拟的公路几何线形进行检验和调整,在不断的调整、预测、检验、调整的循环中,促使公路线形的连续性和速度的一致性能够达到理想状态,从而满足安全行车的要求^[8]。以上我们可以看出,运行速度法将传统设

计工作从理论和设想中拉到了实际生活中,故而具有线形与实际行驶速度紧密协调的科学性以及明显的人性化优势。

2.3 线形设计一致性的评价方法

随着我国公路建设经验的积累以及理论课题的深入研究,交通部推行了新版《公路项目安全性评价规范》(JTG B05-2015),该规范对于运行速度预测模型的建立以及相应的评价指标等做了十分明确的规定。规范规定采用运行速度协调性对几何线形设计的一致性进行评价,运行速度协调性评价主要包含以下两方面的含义^[9]:

2.3.1 相邻路段运行速度协调性评价

根据新版安全性评价规范的规定,相邻路段运行速度协调性采用相邻路段运行速度差值的绝对值 $|\Delta V_{85}|$ 以及运行速度梯度的绝对值 $|\Delta I_v|$ 进行评价。相邻路段运行速度协调性评价标准见表1^[9]。

表1 相邻路段运行速度协调性评价标准

相邻路段运行速度协调性	评价标准
高速公路、一级公路	
好	$ \Delta V_{85} < 10 \text{ km/h}$ 且 $ \Delta I_v \leq 10 \text{ km}/(\text{h} \cdot \text{m})$
较好	$10 \text{ km/h} \leq \Delta V_{85} < 20 \text{ km/h}$ 且 $ \Delta I_v \leq 10 \text{ km}/(\text{h} \cdot \text{m})$
不良	$ \Delta V_{85} \geq 20 \text{ km/h}$ 或 $ \Delta I_v > 10 \text{ km}/(\text{h} \cdot \text{m})$
二级公路、三级公路	
好	$ \Delta V_{85} < 20 \text{ km/h}$ 且 $ \Delta I_v \leq 15 \text{ km}/(\text{h} \cdot \text{m})$
不良	$ \Delta V_{85} \geq 20 \text{ km/h}$ 或 $ \Delta I_v > 15 \text{ km}/(\text{h} \cdot \text{m})$

运行速度梯度绝对值 $|\Delta I_v|$ 采用下式进行计算^[9]:

$$|\Delta I_v| = \frac{|\Delta V_{85}|}{L} \times 100 \quad (1)$$

式中: $|\Delta I_v|$ —运行速度梯度绝对值($\text{km}/\text{h} \cdot \text{m}$);

$|\Delta V_{85}|$ —分析单元起点、终点运行速度差值的绝对值(km/h);

L —分析单元路段长度(m)。

2.3.2 同一路段运行速度与设计速度协调性评价

运行速度与设计速度协调性采用同一路段运行速度与设计速度的差值进行评价。当差值大于

20 km/h 时,应根据运行速度对该路段的相关技术指标进行评价。

3 运行速度法在实际项目中的应用

3.1 工程概况

阳江山外东至海陵大堤段公路工程路线起点位于江城区埠场镇与金平路一期工程相接,终点与省道S277衔接,路线全长约12.3 km 。按照工可批复要求,本项目采用一级公路技术标准,设计速度为80 km/h ,路基宽度为33 m ,车道数为双向六车道,根据表2^[1],限制相关圆曲线半径最小取值。

表2 圆曲线最小半径

设计速度/ (km/h)	圆曲线半径/ m
120	1 000
100	700
80	400
60	200
40	100
30	65
20	30

本项目属于滨海旅游公路,考虑到景观性及减少道路与海堤之间的夹心地,本项目线位需要尽量贴近海堤。然而,原有海堤大部分路段线形较为顺直,但新涌水道路段海堤线形扭曲,导致本项目部分路段线形不得不采取较低指标。另外项目沿线分布有大量基本农田,新涌水道段落村庄密集,由于造价及政策原因,布线时必须绕避这些控制性因素,重要控制因素可参见图3。



图3 控制因素布置图

针对以上控制因素,最终本项目线位拟定如图4所示。



图4 路线平面图

受现状海堤、村落、基本农田的影响,本项目在新涌水道处采用了S形曲线,大圆半径 $R_1 = 465$,小圆半径 $R_2 = 450$,满足S形曲线半径之比小于2的基本要求^[1],且采用的最小半径满足表2的相关要求,同时根据相关规范要求,本路段设置了6%的超高。其余各项平纵面指标经核查均满足规范要求。

从线形角度来看,本项目路线除新涌水道段外其余路段线形均较为顺直,采用的指标均为较高指标,到新涌水道路段,线形指标较高。本项目起、终点桩号为K9+800、K22+100,新涌水道S形曲线起终点桩号为K16+519.664、K18+168.643。

3.2 运行速度协调性分析

为检验本项目几何线形设计的协调性,采用运行速度法,对本项目线形进行检查。由于小客车与大货车动力特性差异较大,两种车型对纵坡的敏感性差异显著^[10],故需将车型分为两类:小客车、大货车。针对不同车型应分别采用正向运行和反向运行两种不同流向来检验线形,为便于描述,本次仅对正向节点运行速度预测数值等进行处理,经数据处理得到小客车及大货车正向节点运行速度差值分布图及速度梯度分布图,详见图5及图6。

由图5及图6明显可以看出:本项目 $|\Delta V_{85}| < 10 \text{ km/h}$ 且 $|\Delta I_v| \leq 10 \text{ km}/(\text{h} \cdot \text{m})$ 。故单就相邻路段运行速度协调性评价而言,本项目几何线型设计良好。



图5 运行速度差值分布图

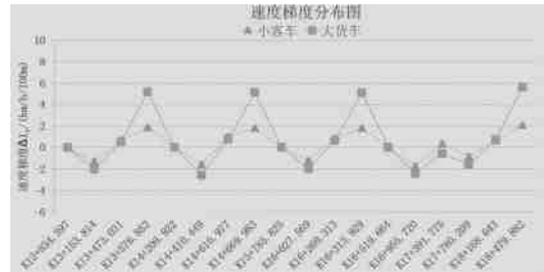


图6 速度梯度分布图

3.3 设计速度协调性分析

然而,根据同一路段运行速度与设计速度协调性评价而言,设计速度与路段运行速度的差值必须在 $\pm 20 \text{ km/h}$ 之内才能将道路几何线型评价为达到较为理想。小客车及大货车运行速度分布图如下:

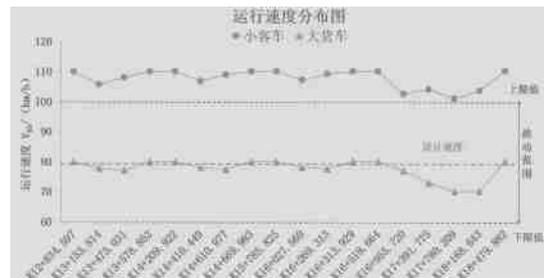


图7 运行速度分布图

根据图7明显可以看出:本路段小客车运行速度基本在 100 km/h 以上;大货车运行速度范围在 $70 \sim 80 \text{ km/h}$ 之间。本项目设计速度为 80 km/h ,据前所述,若预测运行速度范围在 $60 \sim 100 \text{ km/h}$ 之间是可以被接受的。然而,数据显示小客车在各单元的运行速度均已经超出可以接受的取值范围上限,故本项目的运行速度与设计速度是不协调的。从侧面来看,小客车运行速度较高,说明本项目平纵线型指标较高,为行车提供了良好对外部运行环境,故而容易小客车驾驶人不自觉超速行驶。

由于运行速度较高,对于曲线路段可能存在运行速度与线形指标不协调的情况,从而导致高速行驶车辆冲出路面产生安全事故。为确保路段线形设计指标能够满足运行速度的实际需要,保证车辆行驶安全,故而有必要在离心力最大的小半径曲线路段进行安全性评价。实践证明,横向力系数能够较为准确的反映汽车在曲线上行驶的横向稳定性,从而判断路段的安全性能,故有必要针对曲线指标较低路段进行横向力系数检验,具体计算可按以下公式进行^[11]:

$$m = \frac{V_{85}^2}{127R} - i_h \quad (2)$$

式中: V_{85} —平曲线路段运行速度;

i_h —设计超高值;

R —平曲线半径;

μ —横向力系数。

有关试验研究表明,当横向力系数小于0.15时,汽车仍然能够安全的在潮湿道路以较高车速行驶。故而,速度协调性检验时横向力系数的最大值不宜超过0.15,当横向力系数计算值大于0.15时,应调整其线形指标^[12]。根据图7,在半径 $R=450\text{ m}$ 时,小客车运行速度基本在 105 km/h 以下,为安全计, V_{85} 取 105 km/h ,设计超高值为6%,经计算 $\mu=0.13 < 0.15$,故可判断该小半径曲线路段线形指标能够满足安全要求。

针对设计速度不协调的问题,目前常用处理办法有:①调整道路平纵指标,如将直线段设置为适当半径的曲线,原大半径曲线改为更小半径的曲线等;②采用限速措施,如设置限速标牌、减速振荡线,迫使驾驶人员被动减速等^[13]。由于具体线形在实际设计过程中受地形、地物影响较大,除非涉及到安全问题,不得不对平纵进行大范围调整外,其余情况目前主流做法为第二种。

4 结语

目前,我国公路设计仍是以设计速度作为主要设计指标,但是随着几何设计理论的完善以及

大量实践经验的积累,设计速度法所存在的固有缺陷已逐渐被广大设计从业人员所认识,运行速度法的先进理念及我国有关的最新科研成果也逐渐纳入现行公路设计规范。随着时代的发展,公路设计从安全设计逐步演变为绿色设计、以人为本设计,新理念、新思想对公路几何线形的设计提出更高的要求,充分考虑道路使用者的心理预期及实际运行状态成为未来道路路线设计的主流趋势。从这一点上来看,研究更加人性化的运行速度设计法对提高我国道路设计质量、保证交通安全、提升道路使用者的满意度而言具有重要意义。

参考文献:

- [1] 公路路线设计规范:JTG D20-2017[S].北京:人民交通出版社,2017.
- [2] 温学钧,杨屹东,方靖.高速公路运行速度研究[J].公路交通科技,2002(01):80-82.
- [3] 交通部公路司.新理念公路设计指南[M].北京:人民交通出版社,2005.
- [4] 李昆冈.基于运行速度的双车道公路线形和安全性评价方法研究[D].长安大学,2017.
- [5] 吴丽丽.运行速度在公路路线优化设计中的应用[J].交通标准化,2013(03):105-107.
- [6] 王路.道路线形设计指标选用及安全评价研究[D].东南大学,2017.
- [7] 尤晓暉,沈小辉.现代道路勘测设计[M].北京:清华大学出版社,2009.
- [8] 符铎.理论运行速度与公路线形设计及评价方法研究[D].长安大学,2008.
- [9] 公路项目安全性评价规范:JTG B05-2015[S].北京:人民交通出版社,2015.
- [10] 杨磊.基于运行速度的山区高速公路路线设计研究[J].交通企业管理,2018,33(02):88-90.
- [11] 孙家驹.道路勘测设计[M].北京:人民交通出版社,2005.
- [12] 张泽良.基于运行速度的双车道公路线形设计方法研究[D].重庆交通大学,2010.
- [13] 张春笋,吴进良.基于运行速度的路线设计方法[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2008(04):552-554.

湖南益阳青龙洲大桥参观考察报道

2020 年 05 月 25 日,公司梁立农总工参加了由广东省公路学会组织、陈冠雄理事长带队的考察团,到湖南省益阳市青龙洲大桥施工现场考察并进行了技术交流。上午,考察团抵达了青龙洲大

桥现场,中交二航局湖南分公司的项目负责人对青龙洲大桥的施工进行了简要介绍。专家上桥参观了已经安装完成的预制 UHPC 桥面板以及正在浇筑中的 UHPC 接缝,进行了广泛的交流。



考察完现场后,考察团一行到达中交二航青龙洲大桥项目部会议室进行深入技术交流,湖南省交通勘察规划设计有限公司和中交二航局湖南分公司分别介绍了该桥的设计和施工技术,特别是对大家关注的重点—UHPC 桥面板的相关技术作了详细的介绍。

青龙洲大桥简介

湖南省益阳市青龙洲大桥为国内首座钢—UHPC 组合梁双塔自锚式悬索桥,主桥桥跨布置为 $(60 + 110 + 260 + 110 + 60)$ m,主缆矢跨比 $1/5$,主缆边中跨之比为 0.423 ,加劲梁沿主桥均采用钢—

UHPC 组合梁,采用了均厚 13.3 cm 的 UHPC 矮肋桥面板,其中 UHPC 桥面板工厂预制,现场接缝零焊接。该桥由湖南省交通勘察规划设计有限公司设计,中交二航局湖南分公司施工,UHPC 桥面板由湖南中路华程桥梁科技股份有限公司施工。

UHPC 矮肋桥面板具有自重轻、刚度大、抗疲劳性能优异、造价较低等优势。湖南省科技重大专项、国家重点研发计划、国家自然科学基金等项目的支持下,湖南大学 UHPC 桥梁研发团队对 UHPC 矮肋桥面板及接缝的构造、抗弯、抗剪性能进行了系统深入的研究,为该项目顺利实施保驾护航。

公司《大跨度新型中承式提篮系杆拱桥的关键技术研究》 成果评价报道

2020 年 4 月 14 日,公司为第一完成单位承担的广东省交通运输厅科技项目《大跨度新型中承式提篮系杆拱桥的关键技术研究》(科技-2012-02-026),在广东省公路学会组织召开了科技成果评价会议。



会议成立了以鲁昌河、吴明远、代希华、钟建锋、刘爱荣为委员的评价委员会;评价委员会听取了项目组的汇报,认真审阅了相关技术资料,经质询讨论,形成如下评价意见:

一、项目组提供的资料齐全、内容完整、数据翔实,符合科技成果评价要求。

二、项目组以广州凤凰三桥中承式系杆拱桥为依托工程,针对软基深厚、台风频发的建设条件和城市桥梁景观要求高的建设要求,结合沿海水网发达,为解决中承式拱桥建设中所遇到的工期长,体

系转换多,抗台风及抗船撞风险高,施工措施费用高的难题开展设计创新结构、施工创新技术、监控创新方法等方面研究,取得如下创新性成果:

(1)首次提出了三角刚架中承式提篮钢混组合系杆拱桥结构体系,及基于三角刚架整孔拱肋提升的结构,引领了中承式系杆拱桥设计的新理念。

(2)首次研发了基于三角刚架中承式提篮钢混组合系杆拱桥的智能整体快速提升等成套技术装备和工艺,实现了软基台风地区安全快速施工的技术突破。

(3)首次提出了基于三角刚架中承式提篮钢混组合系杆拱桥整体提升的拱肋内力优化和合拢精度控制的创新方法,破解了大跨度提篮钢混组合系杆拱桥线形和内力精确控制的难题。

该桥创造性地采用三角刚架带背拉索体系,无拱上立柱,无拱座,力学性能好,施工便捷,新颖优美,景观效果突出,经济效益和社会效益显著。

课题取得了 4 项发明专利、6 项实用新型专利,发表了 17 篇期刊论文,取得了 5 项省级、国家级工法。研究成果可为同类型桥梁的设计与施工提供借鉴。

综上所述,评价委员会一致认为,本项目的研究成果,总体上达到“国际先进水平,部分国际领先水平”。

(报道者:张梦婷)

公司《8 m 组合式盖板涵设计施工关键技术研究》 成果评价报道

2020 年 4 月 17 日,公司为第一完成单位承担的广东省交通运输厅科技项目《8 m 组合式盖板涵设计施工关键技术研究》(科技 2016-02-022),在广东省土木建筑学会组织召开了科技成果评价会议。

会议成立了以蔡健、李新伟、叶雯、李建新、吴全科为委员的评价委员会;评价委员会听取了项目组的汇报,认真审阅了相关技术资料,经质询讨论,形成如下评价意见:

一、提供的评价资料齐全,符合科技成果评价要求。

二、该项目针对8 m盖板涵设计施工关键技术进行研究,提出了一种新型UHPC-NSC组合式盖板涵结构,有效提高结构抗裂性能,适应大跨径和更高荷载;给出了新型UHPC-NSC组合式盖板涵结构的计算与设计方法,形成了UHPC-NSC组合式盖板涵预制、安装的施工技术。

三、该成果已在“广东省高恩高速公路”工程项目中得到成功应用,取得了显著的社会效益和经济效益。

评价委员会认为该成果达到了国际先进水平,一致同意通过科技成果评价。



(报道者:张梦婷)

公司《广东省公路路基工程地质勘察新技术及其应用研究》 成果评价报道

2020年5月15日,公司为第一完成单位承担的广东省交通运输厅科技项目《广东省公路路基工程地质勘察新技术及其应用研究》(科技2015-02-002),在广东省土木建筑学会组织召开了科技成果评价会议。



会议成立了以易顺民、刘锋、梁池生、张建国、邹和平为委员的评价委员会;评价委员会听取了项目组的汇报,认真审阅了相关技术资料,经质询讨论,形成如下评价意见:

一、提供的评价资料齐全,符合科技成果评

价要求。

二、项目成果主要包括基于互联网+手持终端工程地质调绘及钻探编录系统研究、轻便数字动力触探研究、钻孔孔内数字静力触探研究、土石分级新方法研究和孔内摄像技术在挖方路基勘察中的应用研究等方面。

三、项目成果具有如下创新性:

(1)开发了线路工程地质调绘及钻探编录信息实时采集、处理、储存及输出系统,极大地提高了勘察工作效率,节约了工作成本。

(2)开发了动力触探实时采集土层物理力学参数反算的监控系统及设备,该系统能快速获取土层的物理力学信息,能精准监控单次锤击的贯入深度,可以保证土力学试验结果的客观性和真实性。

(3)提出了基于横向和纵向双剖面换算的边坡土石比定量化判别新方法,为精确地划分边坡的土石比和边坡路基的开挖方量提供了有效依据。

综上所述,鉴定委员会一致认为该项目成果总体上达到国际先进水平。

(报道者:张梦婷)