

文章编号: 1674—8247(2022)04—0001—07
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.04.001

我国铁路桥梁建造技术的成就与展望

陈良江^{1,2} 阎武通²

(1. 中国国家铁路集团工程设计鉴定中心, 北京 100844; 2. 中国铁路经济规划研究院有限公司, 北京 100038)

摘 要:文章从工程规模、建造数量及技术水平等方面系统总结了当前我国铁路桥梁建造技术发展现状;回顾了“十三五”期间我国在重大铁路桥梁工程建设、铁路桥梁创新技术成果及铁路桥梁标准等方面的技术成就;总结了当前大跨度铁路桥梁在轨道长波不平顺及梁端伸缩变形方面存在的技术问题及对策;展望了“十四五”时期在深水大跨桥梁及艰险山区桥梁方面的重点建设任务以及面临的技术创新需求;探讨了铁路桥梁建造技术的进一步发展方向。

关键词:铁路桥梁;大跨度;轨道不平顺;梁端伸缩变形;深水大跨桥梁;艰险山区桥梁

中图分类号:U44 文献标志码:A

Achievements and Prospects of Railway Bridge Construction Technology in China

CHEN Liangjiang^{1,2} YAN Wutong²

(1. China Railway, Beijing 100844, China;

2. China Railway Economic and Planning Research Institute, Beijing 100038, China)

Abstract: This paper systematically summarizes the current development status of railway bridge construction technology in China from the aspects of project scale, construction quantity and technical level, and the current technical problems and countermeasures of long-span railway bridges in long-wave track irregularity and expansion deformation at girder ends, reviews the technical achievements in China in major railway bridge construction, railway bridge innovation and railway bridge standards during the 13th Five-Year Plan period, presents the key construction tasks and technological innovation needs of deep-water long-span bridges and bridges in dangerous mountainous areas during the 14th Five-Year Plan period, and discusses the further development direction of railway bridge construction technology.

Key words: railway bridge; long span; track irregularity; expansion deformation at girder ends; deep-water long-span bridge; bridge in dangerous mountainous area

1 高速铁路桥梁建造技术现状

自 2003 年建成秦沈客运专线至今,我国高速铁路经过近 20 年的快速发展,已成为高速铁路桥梁运营里

程最长,在建规模最大的国家^[1-2]。截止 2021 年底,我国铁路运营里程已达 15 万 km,铁路桥梁总数约 9.2 万座,累积长度约 3.13 万 km;高速铁路运营里程约 4.1 万 km,其中高速铁路桥梁共计约 1.15 万座,累

收稿日期:2022-06-14

作者简介:陈良江(1966—),男,教授级高级工程师。

基金项目:中国国家铁路集团有限公司重大课题(K2020G030);中国国家铁路集团有限公司重点课题(N2021G034)

引文格式:陈良江,阎武通.我国铁路桥梁建造技术的成就与展望[J].高速铁路技术,2022,13(4):1-7.

CHEN Liangjiang, YAN Wutong. Achievements and Prospects of Railway Bridge Construction Technology in China[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(4): 1-7.

积约1.88万km,占高速铁路线路总长的45.9%。我

国高速铁路桥梁近年来的建设发展历程如图1所示。

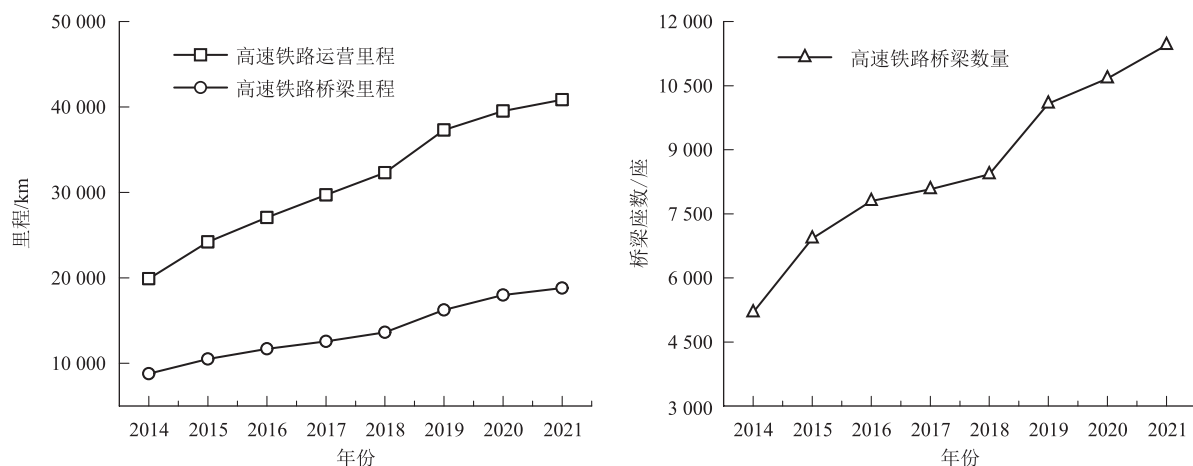


图1 我国高速铁路桥梁发展历程图

我国在高速铁路桥梁技术标准、设计及施工关键技术等方面积累了丰富成果,形成了自主创新的技术体系。在常用跨度标准梁建造技术方面,在32 m跨度简支箱梁技术体系的基础上,发展了40 m跨简支箱梁设计、制造、运输、架设的成套技术^[3-4],丰富了现有标准梁跨度序列,提升了高铁桥梁的技术经济性,形成了我国特有的高速铁路常用跨度桥梁体系。在大跨度混凝土桥建造技术方面,创新发展了采用桁架、拱及拉索等加劲梁式桥的组合结构体系,形成了控制梁体变位和徐变变形的关键技术,拓展了混凝土桥在高速铁路桥梁中的适用跨度范围^[5];采用拱加劲体系的汉十铁路崔家营特大桥主跨达到300 m^[6],采用拉索加劲体系的珠肇高铁荷麻溪特大桥主跨将达290 m。在大跨度拱桥建造技术方面,研发了钢管劲性骨架分段分层成技术,建成了最大跨度客货共线铁路混凝土拱桥(云桂铁路南盘江特大桥主跨416 m)和最大跨度高速铁路拱桥(沪昆高速铁路北盘江特大桥主跨445 m)^[7-8],在关键设计参数、施工技术和线形控制等方面积累了丰富成果。在大跨度无砟轨道桥梁建造技术方面,解决了桥梁横竖向刚度、长期徐变变形、轨道与桥梁之间的协调性、轨道长波不平顺验收容许偏差等多个技术难题^[9],建成200 m以上跨度无砟轨道桥梁14座,最大跨度达到340 m(郑万铁路梅溪河特大桥)。在缆索承重体系桥梁设计建造技术方面,建成了主跨1 092 m的五峰山大桥^[10]和沪苏通大桥^[11],开启了我国千米级铁路桥梁建设先河,在建的常泰长江大桥主跨为1 176 m^[12],拟建西堠门公铁长江大桥采用斜拉悬索协作体系方案,主跨为1 488 m^[13]。目前,我国200 m以上跨度已建及在建桥梁已有130余

座,另有拟建桥梁62座。500 m以上跨度桥梁24座,千米级桥梁有近10座^[14],工程规模、建造数量和技术标准均处于国际领先水平^[15]。

2 “十三五”期间铁路桥梁建设成就

“十三五”期间,全国铁路营业里程由“十二五”末的12.1万km增加到14.63万km,高速铁路由1.98万km增加到3.79万km。新建铁路桥梁14 039座,达8 864.1 km,其中高速铁路桥梁6 392座,达6 343.7 km。在重大桥梁工程、技术创新和铁路桥梁建设标准方面取得显著成就。

2.1 重大铁路桥梁工程建设成就

“十三五”期间铁路桥梁建造数量、规模和技术领先世界,创造多项世界第一,如表1所示。

2.2 铁路桥梁重大科技创新成果

(1)超千米公铁长江大桥关键技术方面,系统掌握了适应铁路荷载特点的千米级公铁大桥设计关键技术、抗风性能及风环境下行车安全性控制技术、轨道几何状态控制技术,研制了大位移伸缩装置及轨道调节器、Q500级高强度桥梁钢、2 300 MPa级高强度拉索体系、深水基础和超高塔施工技术装备。

(2)跨海大桥关键技术方面,创立了海洋环境条件下公铁两用大桥设计体系,研发了海上架梁新技术和环境综合监测系统,建成了世界上最长的平潭海峡公铁跨海大桥^[16]。

(3)形成了短边跨铁路混合梁斜拉桥建造关键技术,创新了多种箱形主梁、钢混结合段关键构造技术,开发了配套施工工艺及装备,完善了铁路混合梁斜拉桥综合维保体系。

表 1 “十三五”期间建成的代表性重大桥梁工程表

序号	类别	桥名	跨度 /m	结构型式	设计速度 /(km/h)	备注
1	千米级 公铁桥梁	五峰山长江大桥	1 092	钢桁梁悬索桥	R;250 H;100	最大跨度高速铁路悬索桥
2		沪苏通公铁长江大桥	1 092	钢桁梁斜拉桥	R;250 H;100	首座超千米跨公铁斜拉桥
3	大跨度拱桥	沪昆高铁北盘江特大桥	445	上承式劲性骨架混凝土拱桥	350	最大跨度铁路混凝土拱桥
4		大瑞铁路怒江特大桥	490	上承式钢桁拱桥	140	最大跨度铁路钢桁拱桥
5		拉林铁路藏木特大桥	430	钢管混凝土拱桥	160	最大跨度铁路钢管砼拱桥
6	大跨度组合 结构桥	汉十铁路崔家营汉江特大桥	300	梁－拱组合结构桥	350	最大跨度铁路梁－拱组合结构桥
7		福平铁路乌龙江特大桥	288	连续刚构－斜拉组合结构体系	200	最大跨度铁路连续刚构－斜拉组合桥
8	铁路斜拉桥	南沙港铁路西江特大桥	600	铁路混合梁斜拉桥	120	最大跨度铁路混合梁斜拉桥
9		新建安九铁路鳊鱼洲长江大桥	672	交叉索钢箱混合梁斜拉桥	350	最大跨度四线铁路箱梁斜拉桥
10	铁路悬索桥	丽香铁路虎跳峡金沙江大桥	660	上承式钢桁梁悬索桥	120	世界首座现代铁路专用悬索桥
11	大跨度无砟 轨道桥	赣江特大桥	300	组合梁斜拉桥	350	首座无砟轨道高速铁路斜拉桥
12		裕溪河特大桥	324	钢桁－箱组合斜拉桥	350	最大跨度无砟轨道桥梁
13	跨海大桥	平潭海峡公铁大桥	532	钢桁混合梁斜拉桥	R;200 H;100	最长公铁跨海大桥

(4)形成了大跨度无砟轨道桥梁关键技术,首创桥梁结构刚度高精度测定技术,实现了大跨桥上无砟轨道毫米级铺设精度,建立了适应复杂环境的 CPⅢ控制网实时修正模型,解决了大跨度柔性结构桥面线形精密测量难题,提出了高速铁路无砟轨道大跨度桥梁变形控制及验收标准^[17]。

(5)在大跨度混凝土桥设计关键技术方面,提出了基于弦矢度值的桥梁竖向刚度控制指标;提出了基于曲线半径和转角限值的横向刚度确定方法,构建了桥梁刚度分级控制标准,填补了规范空白,提出了适用于 200~450 m 混凝土桥的徐变变形控制指标并研发了增设加劲结构、支座智能调高等徐变控制成套技术和装置^[18]。

2.3 铁路桥梁标准

“十三五”期间,铁路桥梁专业在建设标准、产品标准、标准设计和国际桥梁标准制定方面取得显著成就。

(1)发布建设标准 19 项,其中国家铁路局行业标准 9 项、国铁集团标准 10 项,进一步完善了铁路桥梁标准体系,提高了标准的科学合理性和技术经济性。

(2)发布产品标准 40 项,其中国家铁路局行业标准 18 项、国铁集团标准 22 项。内容涵盖荷载、梁部、支座、梁端防水、材料、预应力、保护涂装、监测、防撞、试验方法、劣化评定等内容,统一产品技术要求,强化了质量控制,有力保障铁路工程质量。

(3)发布标准设计 35 项 126 册,内容涵盖高速铁路简支梁、连续梁、刚构、桥墩、桥台、桥面附属设施,客货共线铁路简支箱梁、桥墩、桥台,城际铁路简支箱梁、

桥面附属设施等,持续提升铁路桥梁标准化水平,为我国大规模铁路建设提供技术支撑。

(4)承担了 UIC 组织 8 项国际标准制定,纳入了中国高速铁路核心关键技术,实现铁路标准国际化工作的重大突破,丰富完善了高速铁路技术体系和国际标准,显著提升中国铁路标准国际影响力。

3 高速铁路桥梁发展中的问题及对策

3.1 大跨度铁路桥梁轨道静态长波不平顺限值

桥梁作为铁路基础设施的一部分,在跨越障碍时为轨道结构提供平顺稳定的支承以保障行车安全和乘坐舒适性。TB 10621-2014《高速铁路设计规范》^[19]中规定轨道静态不平顺指标作为轨道铺设精度验收标准,其中高低方向不平顺,在 480 a 基线长 300 m 范围内,任意 240 a 或 150 m 弦长的矢高差的容许偏差为 10 mm。

大跨度铁路桥梁受合龙温度和设计恒载偏差影响,成桥线形与设计线形之间存在差异,形成初始轨道不平顺;且受温度、沉降、收缩和徐变变形的影响,轨道不平顺随温度和时间不断变化,较难满足现行规范中的轨道不平顺限值要求。以五峰山长江大桥为例,以 29℃ 实测成桥线形拟合的线路纵断面为基准,对主缆温度在 -5℃~45℃ 工况下的纵断面进行轨道静态高低不平顺检算,300 m(150 m)基线长最大高低不平顺不满足现行规范中 10 mm 的要求;但综合检测车检测的动态轨道长波不平顺和车辆振动加速度均无明显响应,运营状态良好。运营实践表明,现行规范中的轨道不平顺限值指标不能反应大跨度铁路桥梁实际行车

性能;桥上轨道静态长波不平顺控制标准及合理限制取值是当前大跨度铁路桥梁建设面临的突出问题。

经过多年研究和相关试验验证,全面总结沪苏通、五峰山、裕溪河、赣江等大跨度铁路桥梁和轨道工程建设运营经验,针对200 m以上大跨度铁路桥梁轨道长波静态高低不平顺容许偏差改用60 m弦中点弦测法。以车体垂向加速度不超过0.1 g为基准,推导提出了60 m弦测不平顺限值指标:250 km/h、300 km/h及350 km/h条件下相应的60 m弦测不平顺限值分别为10 mm、8 mm和7 mm。我国250 km/h以上已建及在建大跨度桥梁60 m弦高低不平顺的统计情况如图2所示,均满足该限值指标要求。

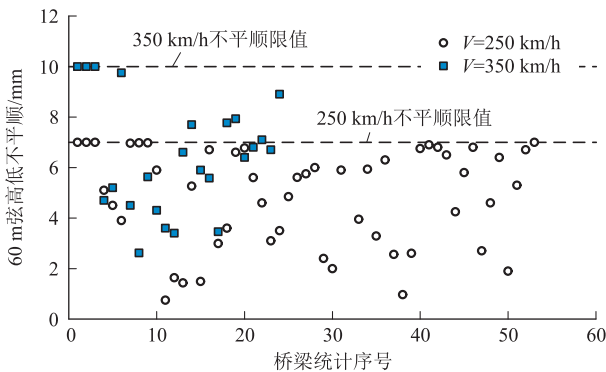


图2 我国250 km/h以上大跨度桥梁60 m弦测高低不平顺统计图

3.2 大跨度铁路钢桥梁端伸缩变形问题

受温度及运营列车荷载等作用,大跨度桥梁梁端将出现较大的伸缩变形且变位复杂,需在大跨度桥梁梁端设置伸缩装置及钢轨伸缩调节器以保障运营列车安全平稳通过梁端^[20]。沪苏通、五峰山长江大桥主桥梁端分别铺设了4组SA60-1800型钢轨伸缩调节器,设计伸缩量±900 mm,含26根混凝土轨枕、梁缝内4根可动钢枕及梁缝两侧的2根固定钢枕。在运营过程中,出现混凝土轨枕开裂、轨排异常窜动及偏斜引起卡阻、悬枕塑性扭曲变形且间隙不均以及纵梁安全冗余不足等问题。

我国自主研发的上承式梁端伸缩装置采用低摩阻摩擦副和全幅剪刀叉结构的解决方案,解决了既有梁端伸缩装置伸缩阻力大、安全隐患高、工作稳定性差等缺陷。自主产品已在商合杭高速铁路、连徐高速铁路、福平铁路平潭桥等应用,已在合安九高速铁路鳊鱼洲桥铺设±800 mm钢轨伸缩调节器,有望将伸缩位移量实现至±900 mm,以期替换既有设备。

另外,对后续桥梁设计也可通过结构体系优化

减小梁端伸缩量。计算分析表明,斜拉-悬索协作结构体系相较斜拉桥、悬索桥方案可有效降低梁端伸缩变形;主跨1 120 m的荆州李埠长江公铁桥采用斜拉悬索结构体系方案,计算所得梁端最大伸缩位移量为±556 mm,小于五峰山长江大桥计算值。

4 “十四五”时期铁路桥梁发展任务

4.1 “十四五”时期铁路桥梁发展展望

截至2020年底,全国在建新线规模2.36万 km,其中高速铁路1.54万 km,普速铁路0.82万 km。在加快在建项目建设的同时,根据《国家综合立体交通网规划纲要》和《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》对交通强国建设工程中铁路发展的布局规划,预计“十四五”时期将新开工新建铁路规模1.8万 km左右,其中高速铁路1.3万 km左右。“十四五”时期我国铁路建设规模及区域分布情况预计如表2所示。

表2 “十四五”时期铁路建设区域分布表(km)

建设规模	在建			新开工		
	铁路	高速铁路	普速铁路	铁路	高速铁路	普速铁路
东部	6 677	5 336	1 341	7 009	5 577	1 432
中部	4 230	3 087	1 143	4 241	3 609	632
西部	11 282	5 856	5 426	5 729	3 475	2 254
东北(不含蒙东)	1 415	1 122	293	771	677	94
合计	23 604	15 401	8 203	17 750	13 338	4 412

“十四五”时期高速铁路桥梁建设以沿江、沿海、京港(台)、京昆、包海、呼南通道为重点,基本贯通“八纵八横”高速铁路主通道;规划新增必要的区域性高速铁路;推进京津冀、长三角、粤港澳大湾区、成渝双城经济圈等重点城市群城际铁路成网建设。“十四五”时期普速铁路建设重点推进进出藏、进出疆战略骨干通道建设;持续完善中西部地区干线通道,加强西部陆海新通道、沿江等重点区域货运能力建设,强化“一带一路”互联互通及沿边铁路建设。“十四五”时间我国铁路网仍将保持较快的发展态势,铁路桥梁建设仍将保持较大的发展空间,桥梁建设规模约1.8万 km。同时,面向国家战略发展需求,“十四五”时期铁路桥梁建设也将面临更大跨度需求、更复杂建设条件的技术挑战,需在桥梁建造技术方面取得更大创新突破。

4.2 重大桥梁工程建设

“十四五”期间,计划建设西堠门公铁两用大桥等7座跨江越海、深水大跨桥梁,以及大渡河特大桥等6座艰险山区铁路桥梁,如表3所示,桥梁建设跨度和技术难度都将取得新的突破。

表3 “十四五”期间我国拟建重大桥梁工程表

序号	类型	桥名	主跨/m	设计速度/(km/h)	结构型式
1	深水大跨桥梁	常泰公铁长江大桥	1 176	H:100,80; R:250	斜拉桥
2		马鞍山公铁长江大桥	1 120	H:80; R:250, 200	斜拉桥
3		池州公铁长江大桥	812	H:100; R:250	斜拉桥
4		甬舟铁路西堠门公铁两用大桥	1 488	H:100; R:250	斜拉悬索协作体系桥
5		铜陵 G3 长江公铁两用大桥	988	H:100; R:120, 250	斜拉悬索协作体系桥
6		李埠长江公铁两用大桥	1 120	H:100, 60; R:250	斜拉悬索协作体系桥
7		通苏嘉甬杭州湾特大桥	450	350	跨海斜拉桥
8	艰险山区桥梁	大渡河特大桥	1 060	200	钢桁梁悬索桥
9		色曲特大桥	880	200	钢桁梁悬索桥
10		怒江特大桥	1 000	200	钢桁梁悬索桥
11		金沙江特大桥	500	200	钢管混凝土拱桥
12		宜宾临港长江大桥	522	300	钢箱斜拉桥
13		石沱长江大桥	608	250	混合梁斜拉桥

(1)深水大跨桥梁建设

常泰公铁长江大桥主航道桥采用(142+490+1 176+490+142) m 双塔公铁两用斜拉桥方案,搭载6车道高速公路、2线城际铁路、4车道一级公路三类交通方式过江,综合运输功能强,集约化程度高,建成后将为世界最大跨度公铁斜拉桥。铁路公路分别位于上下游,恒载与活载均非对称布置,工程设计与施工控制难度大,采用了多项技术创新。全桥共设312根平行钢丝斜拉索,上游侧拉索强度2 100 MPa,下游侧拉索强度2 000 MPa;采用台阶型桥塔沉井基础,以降低沉井重量并减小冲刷;采用不受温度影响的CFRP拉杆,将主梁跨中与主塔下横梁连接形成温度自适应塔梁纵向约束体系。

马鞍山公铁两用长江大桥主汊桥采用(112+392+2×1 120+392+112) m 三塔斜拉桥钢桁梁方案,将为我国最大跨度多塔公铁斜拉桥。全桥共设660根钢绞线斜拉索,强度等级达2 100 MPa,主梁采用三主桁“N”型桁架钢桁梁,桥塔采用钢-混组合塔,桥塔基础采用桩基础。

甬舟铁路西堠门公铁两用大桥、铜陵 G3 长江公铁两用大桥及李埠长江公铁两用大桥均采用斜拉悬索协作体系桥梁方案。该桥式是将悬索桥和斜拉桥有机组合而成的一种新的缆索承重体系桥梁,综合了悬索桥的跨越能力和斜拉桥刚度两方面的优点。甬舟铁路西堠门公铁大桥搭载双线高速铁路和6车道公路跨越西堠门水道,建造环境具有“风大、浪高、水深、流急、基岩裸露”等特点,设计方案采用主跨1 488 m 斜拉悬索协作体系桥,主梁采用三箱分离式钢箱梁,主缆中跨矢跨比为1/6.5,悬吊段长686.2 m,每个桥塔塔柱布置36对斜拉索,建成后将为我国高速铁路桥梁跨度新纪录。

通苏嘉甬铁路跨杭州湾特大桥跨海段共3座航道桥,分别为主跨450 m、2×448 m、364 m 的斜拉桥。大桥所在的海域自然环境恶劣,风速达39 m/s,浪高达6.87 m,最大潮差近9 m,最大流速4.72 m/s,海床上部海相淤泥层厚度20~40 m,还存在浅层气影响,建桥难度较大。大桥建成后将为世界最长、建设标准最高的跨海高速铁路桥。

(2)艰险山区铁路桥梁建设

新建大渡河特大桥、色曲特大桥、怒江特大桥为艰险山区千米级悬索桥,首次在大跨度地锚式悬索桥上采用空间主缆结构,钢丝强度等级达到2 100 MPa;桥址区地形高差悬殊、坡陡谷深、地震烈度高、昼夜温差大、峡谷风影响显著;给桥梁设计建造带来巨大挑战。金沙江特大桥采用主跨500 m 钢管混凝土拱桥方案,首次采用Q500级耐候钢,首次在高原高寒地区铁路拱桥采用C70高性能混凝土,建成后将成为世界同类桥型的最大跨度。

宜宾临港长江大桥主桥为(72.5+203+522+203+72.5) m 公铁平层钢箱斜拉桥,桥宽63.9 m,4线高速铁路+6车道城市快速路,将为世界跨度最大的公铁两用钢箱斜拉桥、世界最宽公铁两用大桥。石沱长江大桥为主跨608 m 混合梁斜拉桥,主塔采用钻石型双联塔,双线高速铁路+6线高速公路,将成为国内首座高速公路与高速铁路同层、分幅布置公铁合建桥。

4.3 桥梁技术创新需求

面向国家重大桥梁工程建设,“十四五”时期桥梁建造技术面临新的创新需求:

(1)深化设计理论与规范标准研究。深化基于可靠度理论的铁路桥梁设计方法研究,实现真正意义上的极限状态法设计规范^[21];加强桥梁结构精细化设计

研究,优化桥梁工程用量,提高桥梁设计经济性。

(2)山区大跨桥梁建设的新突破。以大渡河、怒江悬索桥为代表的山区悬索桥建设,需研究深切峡谷复杂风场环境下铁路桥梁抗风性能与风致灾害防控技术、破碎岩层内修建长大铁路隧道锚成套技术、基于抗震和改善活动结构耐久性的铁路悬索桥纵向支承体系设计技术、提高恶劣环境下桥塔抗裂性能技术以及千米级跨度850 t 缆索吊两节段钢梁整体提升技术等关键技术问题^[22-23]。

(3)深切峡谷大跨拱桥设计建造技术。以金沙江特大桥为代表的山区拱桥建设,需研究高烈度长周期地区新型抗震结构体系、大跨度重载缆索吊带载横移新技术以及拱上箱梁无支架辅助组焊新构造技术等难题^[24]。

(4)跨长江桥梁的技术攻关与创新。以常泰、马鞍山特大桥为代表的长江大桥,创新性地采用了温度自适应塔梁纵向约束体系、“钢箱-核芯混凝土”组合锚固结构、减自重减冲刷台阶型沉井基础等关键技术,采用了世界上强度最高、长度最长、疲劳应力幅最大的平行钢丝斜拉索,研究了重载作用下复杂地层深嵌岩桩传力机理和承载力,对关键技术问题开展了攻关。

(5)跨海桥梁建造技术。甬舟铁路西堠门特大桥为我国首座斜拉悬索协作体系铁路桥梁,需对结构刚度、梁端伸缩量等问题开展研究;主梁采用流线型三箱分离结构以提高结构的抗风性能;采用了空间缆索体系以提高结构的抗扭刚度。

(6)大跨度桥梁抗震技术。开展大跨度桥梁车辆、海水和地震共同作用下桥梁建造技术研究、大跨度桥梁抗震性能及设计策略研究、面向可恢复性的大跨度桥梁减震技术对策研究。

(7)大跨度桥梁抗风技术。尚需开展工程场地风特性及参数研究、风对桥梁及车辆的作用及其危害分析评估研究、面向结构安全及通行能力的桥梁抗风性能-桥型、气动外形、附加阻尼措施研究。

(8)深水基础建造技术及设备研发。针对跨越海湾等大型复杂桥梁基础的水位深、地质条件复杂、水下洋流涌动、施工条件恶劣等问题,对基础的设计建造技术提出挑战,需深入研究新型沉井基础、设置复合基础、大直径及变直径桩基础、负压基础等,以及水下爆破、整平技术和水下作业机械设备。

5 结论与建议

(1)伴随着我国铁路大规模建设,特别是近20年

高速铁路的跨越式发展,铁路桥梁建设取得了举世瞩目的成就;已形成了常用跨度标准梁成套技术,积累了丰富的大跨度混凝土桥、拱桥、无砟轨道桥、斜拉桥、悬索桥和跨海大桥建造技术成果,工程规模、建造数量和技术标准均处于国际领先水平。

(2)大跨度铁路桥梁设计需特别关注轨道长波不平顺及梁端伸缩变形问题。受温度、沉降、收缩及徐变变形等因素的影响,大跨度铁路桥梁纵断面表现出随温度及时间变化的特点,较难满足现行规范中轨道静态长波不平顺的要求;对大跨度铁路桥梁,建议采用60 m 弦中点弦测法检测轨道长波不平顺,对于250 km/h、300 km/h 及 350 km/h 等级线路建议分别采用10 mm、8 mm 和 7 mm 作为不平顺限值指标。

(3)“十四五”时期,铁路建设仍处于重要机遇期,我国铁路桥梁将向更大跨度发展也将面向更复杂建设环境,在西南山区、跨江通道以及跨海通道桥梁建设上仍面临着巨大挑战。面向国家战略发展需求,尚需在桥梁设计理论及规范标准、山区大跨度拱桥及悬索桥设计建造技术、跨江跨海桥梁建造技术、大跨度桥梁抗风抗震性能、深水基础建造技术及装备及新结构设计建造技术研究。

参考文献:

- [1] 陈良江,文望青. 中国铁路桥梁:1980-2020[M]. 北京:中国铁道出版社,2020.
CHEN Liangjiang, WEN Wangqing. China Railway Bridge (1980-2020) [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2020.
- [2] 陈良江,周勇政. 我国高速铁路桥梁技术的发展与实践[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(2): 27-32.
CHEN Liangjiang, ZHOU Yongzheng. Development and Practice of High-speed Railway Bridge Technology in China [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(2): 27-32.
- [3] 叶阳升,魏峰,胡所亭,等. 高速铁路跨度40 m 预制简支箱梁建造技术研究[J]. 中国铁路, 2016(10): 5-10.
YE Yangsheng, WEI Feng, HU Suoting, et al. Study on Construction Technology of 40 m Span Precast Simply Supported Box Girder for High-speed Railway [J]. China Railway, 2016(10): 5-10.
- [4] 胡所亭,苏永华,班新林,等. 高速铁路标准梁式桥技术创新与发展[J]. 铁道建筑, 2020, 60(4): 23-27.
HU Suoting, SU Yonghua, BAN Xinlin, et al. Technological Innovation and Development of High Speed Railway Standard Girder Bridge [J]. Railway Engineering, 2020, 60(4): 23-27.
- [5] QIN Shunquan, GAO Zongyu. Developments and Prospects of Long-Span High-speed Railway Bridge Technologies in China [J]. Engineering, 2017, 3(6): 787-794.
- [6] 李喜平. 汉十铁路崔家营汉江特大桥设计研究[J]. 铁道建筑, 2019, 59(5): 27-30.

- LI Xiping. Design and Research of Cuijiaying Hanjiang Large Span Bridge on Wuhan-Shiyan Railway[J]. Railway Engineering, 2019, 59(5): 27-30.
- [7] 陈克坚, 谢海清, 许志艳, 等. 复杂艰险山区高速铁路桥梁设计创新[J]. 高速铁路技术, 2018, 9(S2): 51-57.
- CHEN Kejian, XIE Haiqing, XU Zhiyan, et al. Design Innovations of High-speed Railway Bridge in Complex and Dangerous Mountain Area[J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(S2): 51-57.
- [8] 赵会东. 铁路上承式混凝土拱桥极限跨径的分析[J]. 高速铁路技术, 2017, 8(6): 29-32.
- ZHAO Huidong. Analysis on the Ultimate Span of Railway Concrete Deck Type Arch Bridges[J]. High Speed Railway Technology, 2017, 8(6): 29-32.
- [9] 刘晓光, 郭辉, 高芒芒, 等. 千米级铁路桥梁线-桥一体化设计研究及探讨[J]. 中国铁路, 2021(9): 32-39.
- LIU Xiaoguang, GUO Hui, GAO Mangmang, et al. Research and Discussion on Track-Bridge Integrated Design of Kilometer-Span Railway Bridge[J]. China Railway, 2021(9): 32-39.
- [10] 唐贺强, 徐恭义, 刘汉顺. 五峰山长江大桥主桥总体设计[J]. 桥梁建设, 2020, 50(6): 1-7.
- TANG Heqiang, XU Gongyi, LIU Hanshun. Overall Design of Main Bridge of Wufengshan Changjiang River Bridge [J]. Bridge Construction, 2020, 50(6): 1-7.
- [11] 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.
- GAO Zongyu, MEI Xinyong, XU Wei, et al. Overall Design of Hutong Changjiang River Bridge [J]. Bridge Construction, 2015, 45(6): 1-6.
- [12] 秦顺全, 张金涛, 陆勤丰, 等. 常泰长江大桥主航道桥桥塔方案研究[J]. 桥梁建设, 2021, 51(4): 1-9.
- QIN Shunquan, ZHANG Jintao, LU Qinfeng, et al. Research on Pylon Types for Main Navigational Channel Bridge of Changtai Changjiang River Bridge[J]. Bridge Construction, 2021, 51(4): 1-9.
- [13] 肖海珠, 高宗余, 刘俊锋. 西堠门公铁两用大桥主桥结构设计[J]. 桥梁建设, 2020, 50(S2): 1-8.
- XIAO Haizhu, GAO Zongyu, LIU Junfeng. Design of Main Bridge of Xihoumen Rail-Cum-Road Bridge [J]. Bridge Construction, 2020, 50(S2): 1-8.
- [14] 陈良江, 阎武通. 我国铁路超千米跨度桥梁的实践与发展[J]. 中国铁路, 2021(9): 26-31.
- CHEN Liangjiang, YAN Wutong. Practice and Development of over 1 000 m Span Railway Bridges in China [J]. China Railway, 2021(9): 26-31.
- [15] 周勇政, 陈良江, 高策. 我国高速铁路桥梁设计技术及探索[J]. 桥梁建设, 2018, 48(5): 11-15.
- ZHOU Yongzheng, CHEN Liangjiang, GAO Ce. Design Techniques and Exploration of High-speed Railway Bridges in China[J]. Bridge Construction, 2018, 48(5): 11-15.
- [16] 王东辉, 何华武. 我国铁路跨海大桥建造技术及发展[J]. 中国铁路, 2021(9): 18-25.
- WANG Donghui, HE Huawu. Construction Technology and Development of Railway Cross-Sea Bridges in China [J]. China Railway, 2021(9): 18-25.
- [17] 杨飞, 赵文博, 高芒芒, 等. 运营期高速铁路轨道长波不平顺静态测量方法及控制标准[J]. 中国铁道科学, 2020, 41(3): 41-49.
- YANG Fei, ZHAO Wenbo, GAO Mangmang, et al. Static Measurement Method and Control Standard for Long-Wave Irregularity of High-speed Railway Track during Operation Period [J]. China Railway Science, 2020, 41(3): 41-49.
- [18] 曾永平, 杨国静, 刘海亮. 铁路球型调高支座的设计与试验研究[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(1): 64-67.
- ZENG Yongping, YANG Guojing, LIU Hailiang. Design and Experimental Study of Railway Spherical Height-Adjusting Bearing [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(1): 64-67.
- [19] TB 10621-2014 高速铁路设计规范 [S].
- TB 10621-2014 Design Code for Design of High-speed Railway [S].
- [20] 杨静静, 高芒芒, 蒙蛟, 等. 大跨度铁路桥梁梁端伸缩装置性能研究[J]. 铁道建筑, 2021, 61(8): 6-10.
- YANG Jingjing, GAO Mangmang, MENG Jiao, et al. Performance Research on Beam End Expansion Device of Large-Span Railway Bridge[J]. Railway Engineering, 2021, 61(8): 6-10.
- [21] 张上. 基于可靠度理论的铁路钢桁梁桥设计应用研究[J]. 高速铁路技术, 2016, 7(2): 20-23.
- ZHANG Shang. Design and Application Research of Railway Steel Truss Bridge Based on Theory of Reliability[J]. High Speed Railway Technology, 2016, 7(2): 20-23.
- [22] 陈克坚, 谢海清, 何庭国, 等. 复杂艰险山区高速铁路桥梁设计技术[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(2): 112-117.
- CHEN Kejian, XIE Haiqing, HE Tingguo, et al. Design Technology for High-speed Railway Bridge in Complex and Dangerous Mountainous Area [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(2): 112-117.
- [23] 胡文军, 万田保. 山区大跨度铁路悬索桥设计关键技术[J]. 铁道建筑, 2022, 62(5): 13-17.
- HU Wenjun, WAN Tianbao. Key Design Techniques for Long Span Railway Suspension Bridge in Mountainous Area [J]. Railway Engineering, 2022, 62(5): 13-17.
- [24] 游励晖, 陈思孝. 西南山区铁路桥梁设计的几点思考[J]. 高速铁路技术, 2015, 6(5): 78-82.
- YOU Lihui, CHEN Sixiao. Thoughts on Design of Railway Bridge in Southwest Mountain Area [J]. High Speed Railway Technology, 2015, 6(5): 78-82.