

文章编号: 1674—8247(2024)01—0098—05

DOI: 10.12098/j.issn.1674-8247.2024.01.019

贵广铁路提速至 300 km/h 基础设施适应性分析

李霞明¹ 刘博诗¹ 郭晓毅²

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 630031; 2. 国家铁路局安全技术中心, 北京 100106)

摘要: 贵广铁路提质改造工程是我国首次对运营高速铁路实施的全面提质改造项目, 是国内首次对运营速度 250 km/h 及以上高速铁路在维持既有主要基础设施条件不变情况下进行的提速提质改造项目, 也是国内首个列控系统由 CTCS-2 升级改造为 CTCS-3 级的高速铁路项目。本文从提速适应性分析入手, 系统性提出了既有高速铁路提质改造研究思路。结合贵广铁路原设计情况及既有运营现状, 科学论证在现状设施条件下提速提质改造的可行性, 并针对既有设备参数、指标不满足现行规范要求的情况提出解决方案。研究成果可为类似高速铁路改造项目提供借鉴和参考。

关键词: 贵广铁路; 提速; 基础设施; 适应性分析

中图分类号: U238; U211 **文献标志码:** A

Analysis of Infrastructure Adaptability for Speeding Guiyang-Guangzhou High-speed Railway up to 300 km/h

LI Xiaming¹ LIU Boshi¹ GUO Xiaoyi²

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;

2. Safety Technology Center, National Railway Administration of the People's Republic of China, Beijing 100160, China)

Abstract: The Upgrading Project of Guiyang-Guangzhou High-Speed Railway marks China's first comprehensive upgrading of an operating high-speed railway. It is the first domestic project to implement speed raising and upgrading on a high-speed railway operating at speeds of 250 km/h or above without changing the major existing infrastructure. It is also the first high-speed railway project in China to upgrade its train control system from CTCS-2 to CTCS-3. Through the adaptability analysis of speed raising, this paper systematically proposes research ideas for upgrading the existing high-speed railway. Combined with the original design and existing operation status of Guiyang-Guangzhou High-speed Railway, it scientifically demonstrates the feasibility of speed raising and upgrading within the context of the existing infrastructure, and proposes solutions to the situation that the parameters and indicators of existing equipment fall short of current specifications. The findings can provide reference for similar high-speed railway reconstruction projects.

Key words: Guiyang-Guangzhou High-speed Railway; speed raising; infrastructure; adaptability analysis

随着客货运量的不断增大, 既有线运输能力不能满足实际运输需求, 对既有线进行提质改造逐渐成为

铁路提升运能的重要手段。

国内外相关学者针对既有线提质改造的研究积

收稿日期: 2023-12-22

作者简介: 李霞明(1972-), 男, 高级工程师。

引文格式: 李霞明, 刘博诗, 郭晓毅. 贵广铁路提速至 300 km/h 基础设施适应性分析[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(1): 98-102.

LI Xiaming, LIU Boshi, GUO Xiaoyi. Analysis of Infrastructure Adaptability for Speeding Guiyang-Guangzhou High-speed Railway up to 300 km/h [J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(1): 98-102.

累了较为丰富的经验。德国铁路公司于 2004 年在柏林至汉堡的线路上采用设备、设施改造实现了将运营速度从 200 km/h 提升至 230 km/h;日本东海道新干线自 1964 年建成以来经历过数次升级改造,2015 年通过更换轨道、更新信号系统、改造既有车站等措施实现了将运营速度从 210 km/h 提升至 270 km/h^[1]。我国铁路经过 6 次既有线提速改造,从 1997 年将运营速度提升至 140 km/h,至 2007 年逐步提升至 200 km/h,部分区段已至 250 km/h^[2]。胡叙洪^[3]以胶济铁路提速改造为例,提出以工程投资与节时比来综合评判提速后经济效益及社会效益,确定全线提速 140~160 km/h 方案。周士林^[4]研究得出既有线改造中分批次建设线路复线可做到初期少投资,但比一次性建设投资高、周期长,对既有线运营干扰大。林海波^[5]对太锡铁路从既有 120 km/h 全线提速至 160 km/h、分段提速 160 km/h 等方案进行比选,分别从既有线能力适应性、主要工程投资等方面进行综合分析,确定分段提速 160 km/h 方案为推荐方案。杨佳^[6]以将既有 300 km/h 高速铁路升级改造为 350 km/h 的成渝客运专线为案例,提出提速改造全过程中接触网提升需求及应对策略,形成高速铁路接触网提质改造技术路线。

相关学者对既有线提速改造的研究大多集中在普速铁路提速改造方面,系统性阐述高速铁路提质改造的相对甚少。目前运营高速铁路提速改造的规范、标准尚不完善,若完全按照现行规范要求提速必然引起线下基础设施、部分站后设备的大拆大改,造成工程投资浪费,严重干扰既有线运营。本文以国内首次对运营高速铁路实施全面提质改造的贵广铁路提质改造工程为背景,从宏观到微观分专业对提速适应性进行系统研究,科学论证在现状设施条件下提速提质改造的可行性。多项研究工作和创新成果在国内均为首次,形成了可推广、可复制的成熟经验,对后续高速铁路提速提质改造项目具有较好的指导和借鉴意义。

1 既有线概况

贵广铁路横跨贵州、广西、广东 3 省,线路起于贵阳北站,经都匀、桂林、贺州、肇庆等市县后引入广州南站,是西南、华南地区间联系最顺直、最便捷、最重要的铁路通道,国家综合立体交通网规划 6 条主轴通道和高速铁路“八纵八横”兰(西)广通道的重要组成部分。

贵广铁路线路全长 857 km,设车站 21 座,桥隧比

80.8%,按照 250 km/h 速度设计、基础设施预留进一步提速条件,最小曲线半径 4 500 m,正线线间距 4.8 m,隧道净空面积 92 m²,采用 CTCS-2 级列控系统。

2 提速改造适应性分析

考虑到龙里北(K 48+630)以西为贵阳枢纽范围,列控系统统一采用 CTCS-2 级,三水南(K 806+000)往东为原批复的 200 km/h 运营速度段落,对贵广铁路龙里北至三水南段(K 48+630~K 806+000)进行提速改造。其中,龙里北至肇庆东段线路长 733.949 km 提速至 300 km/h,肇庆东至三水南段线路长 23.421 km 提速至 250 km/h。

既有贵广铁路按照《新建时速 300~350 km 客运专线铁路设计暂行规定》等规范完成设计工作。2014 年开通以来, TB 10621-2014《高速铁路设计规范》等新规范相继发布。因规范变化且已运营多年,贵广铁路实施提速改造存在既有基础设施适应性方面的问题,为充分利用既有条件以较小代价提升线路技术标准及运营品质,需对既有基础设施适应性开展系统研究分析,以确保提速目标的实现。

本文重点对龙里北至肇庆东段既有线路、轨道、路基、桥梁、隧道、信号、通信、牵引供电、电力、环保等主要基础设施在提速至 300 km/h 的适应性方面进行研究分析。

2.1 线路

对照既有现状及现行 TB 10621-2014《高速铁路设计规范》,龙里北至肇庆东段既有线路平、纵断面设计参数适应性分析情况如表 1 所示。

由表 1 可知,线路平、纵断面设计参数中区间正线线间距、最小平面曲线半径、最小夹直线、最大坡度、最小坡段长度、最小竖曲线半径均满足提速要求。

经梳理,缓和曲线有 11 处、圆曲线长度有 1 处、缓和曲线与道岔间最小直线长度有 1 处不满足现行规范要求。提速改造设计中,对 11 处缓和曲线长度不满足现行规范要求的,根据规范采用的缓和曲线长度计算方法,结合轨道欠超高和过超高允许值、超高时变率和欠超高时变率等检算成果,统筹考虑限速。对 1 处圆曲线长度不满足现行规范要求的,根据规范制定的理论基础,采用 0.6 v 进行反算,确定运营顶棚速度 295 km/h。对 2 处道岔前夹直线长度不满足规范要求 0.5 v 的地段,参照规范采用的理论依据,反算最高速度限速运行。

2.2 轨道

(1) 超高

表 1 线路设计参数提速至 300 km/h 适应性分析表

设计参数	规范要求值	现状值	现状是否满足提速要求
区间正线线间距/m	4.8	4.8	满足
最小平面曲线半径/m	一般值 5 000 困难值 4 000	4 500	满足
缓和曲线超高时变率 f/(mm/s)	优秀值 25 良好值 28 一般值 31	共 195 个曲线, 69 个满足优秀值, 115 个满足良好值, 11 个不满足一般值。	11 个曲线不满足, 其余均满足
最小夹直线/m	一般值 240 困难值 180	10 段夹直线不满足一般值; 均满足困难值	均满足
圆曲线长度/m	一般值 240 困难值 180	10 个不满足一般值, 其中 1 个不满足困难值, 其余均满足困难值	1 个曲线不满足困难值, 其余均满足
缓和曲线与道岔间最小直线长度/m	一般值 180 困难值 150	一般值 180 困难值 120	都匀东、阳朔站贵阳端不满足, 其余均满足
最大坡度/‰	一般值 20 困难值 30	20	满足
最小坡段长度/m	一般值 900 困难值 600	900	满足
最小竖曲线半径/m	25 000	25 000	满足

采用牵引曲线数据图中曲线地段最大、最小运行速度,对所有正线超高进行提速检算。龙里北至肇庆东段检算结果为上行 35 处、下行 31 处曲线轨道超高不满足提速至 300 km/h 条件,其余曲线均满足。

由于无砟轨道超高调整仅能通过调整扣件来实现,而既有贵广铁路采用的 WJ-8 扣件最大调高量 + 26 mm,且由于施工精度、线下基础变形等因素,部分扣件调高量已接近或超过扣件实际可调整量,即使未超过扣件调高量,留给工务维修的调整余量亦非常少。结合工务部门意见以及规范计算方法,对于部分不满足现行规范 300 km/h 运营速度要求的轨道超高,采用不调整轨道超高,根据现状超高反算其最高运营速度的方法予以解决^[7]。

(2) 设计规范对比

原设计采用的主要规范与目前最新规范的对照情况如表 2 所示。

在上述规范更新中,轨道具体设计内容的对比情况如表 3 所示。

由表 3 可知,新旧规范内容基本一致,原规范对有砟轨距要求更为严格;新规范增加了钢轨廓形要求,既有线钢轨和道岔可通过打磨满足提速至 300 km/h 的相关要求。

(3) 维修规则要求

表 2 轨道新旧规范对照表

旧规范	新规范	变化情况
《高速铁路设计规范(试行)》(TB 10621 - 2009)	《高速铁路设计规范》(TB 10621 - 2014)	更新
《铁路轨道设计规范》(TB 10082 - 2005)	《铁路轨道设计规范》(TB 10082 - 2017)	更新
《铁路无缝线路设计规范》(TB/T 10015 - 2012)	《铁路无缝线路设计规范》(TB/T 10015 - 2012)	无变化
《混凝土结构设计规范》(GB 50010 - 2010)	《混凝土结构设计规范(2015 年版)》(GB 50010 - 2010)	更新
《铁路混凝土结构耐久性设计规范》(TB 10005 - 2010)	《铁路混凝土结构耐久性设计规范》(TB 10005 - 2010)	无变化
《高速铁路工程测量规范》(TB 10601 - 2009)	《高速铁路工程测量规范》(TB 10601 - 2009)	无变化

表 3 新旧规范轨道主要内容对照表

规范名称	旧规范内容	新规范内容	主要结论
高速铁路设计规范	无砟轨道主体结构的设计使用年限应不小于 60 年	无砟轨道主体结构的设计使用年限应为 60 年	一致
	轨距 ± 1 mm	有砟轨距 ± 2 mm 无砟轨距 ± 1 mm	标准降低
	竖向设计荷载 3.0 Pj	竖向设计荷载 3.0 Pj	一致
	横向设计荷载 0.8 Pj	横向设计荷载 0.8 Pj	一致
	竖向疲劳检算荷载 1.5 Pj	竖向疲劳检算荷载 1.5 Pj	一致
	横向疲劳检算荷载 0.4 Pj	横向疲劳检算荷载 0.4 Pj	一致
铁路轨道设计规范	采用 60 kg/m 钢轨	采用 60 kg/m 钢轨,断面型式 60 N	可通过打磨钢轨和道岔实现 60 N 断面

提速改造除满足设计规范要求外,还需要符合《高速铁路无砟轨道线路维修规则(试行)》《高速铁路有砟轨道线路维修规则(试行)》等维修规则的要求。经过对照分析,提速改造考查范围如表 4 所示。

表 4 维修规则要求汇总表

规定名称	新规范	变化情况
《高速铁路无砟轨道线路维修规则(试行)》	欠超高一般不应大于 40 mm, 困难条件下不大于 60 mm	曲线限速
《高速铁路有砟轨道线路维修规则(试行)》	轨距 ± 1 mm, 水平 2 mm, 高低 2 mm, 轨向 2 mm, 扭曲 2 mm/3 m, 轨距变化率 1/1 500	不满足标准宜进行精调作业

(4) 既有设备安全质量要求

贵广铁路运营多年,线下基础存在工后变形(沉降、上拱及平面偏差),轨道线形、钢轨轮廓及道床结构等均有不同程度劣化,考虑进行无砟轨道精调、钢轨和道岔打磨等轨道工程整治,以满足动车组以

300 km/h 目标速度运行的安全性、平稳性相关要求。

2.3 路基

路基面形状及宽度设计参数、无砟轨道区间路基工后沉降控制标准适应性分析如表 5、表 6 所示。

表 5 无砟轨道区间路基面形状及宽度适应性分析表

设计参数	新规范要求值	现状值	主要结论
路基面形状	无砟轨道支承层(或底座)底部范围内路基面可水平设置,支承层(或底座)外侧路基面两侧应设置不小于4%的横向排水坡	无砟轨道混凝土支承层基础下为水平面,混凝土支承层基础边缘向外两侧电缆槽靠线路中心侧设4%的横向排水坡	一致
路基面宽度	双线 13.4 m, 线间距 4.8 m	路堤/路堑 13.4 m, 线间距 4.8 m	一致
路基基床	基床表层厚度无砟轨道为 0.4 m, 基床底层厚度为 2.3 m	无砟轨道地段基床表层厚度为 0.4 m, 底层厚度为 2.3 m	一致

表 6 无砟轨道区间路基工后沉降适应性分析表

设计参数	新规范要求值	现状值	主要结论
一般地段工后沉降/mm	≤ 15	≤ 15	一致
路基面宽度路桥、路涵、路隧交界处的差异沉降/mm	≤ 5	≤ 5	一致
过渡段工后沉降造成的路基与桥或隧的折角	≤ 1/1 000	≤ 1/1 000	一致

综上所述,路基工程路基面形状及宽度设计参数、无砟轨道区间路基工后沉降控制标准适应性等均满足提速至 300 km/h 现行高速铁路设计规范要求。

2.4 桥梁

既有桥梁按 300 km/h 设计,桥梁轨道按一次铺设跨区间无缝线路、双块式无砟轨道。经检算,桥梁工程静、动性能满足 300 km/h 现行高速铁路设计规范要求。

2.5 隧道

(1)隧道净空断面

既有隧道净空面积为 92 m² 增设钢筋混凝土套衬整治后,局部段落存在 87.5 m²、86.8 m² 和 85.2 m² 三种隧道净空断面。按照现行 TB 10621 – 2014《高速铁路设计规范》规定,设计速度为 300 km/h 时,双线隧道净空有效面积不宜小于 100 m²。既有隧道净空断面小于现行规范 300 km/h 的要求。

结合国内外隧道净空断面相关科研成果,以及气动效应的影响和列车动态密封指数分析,理论上贵广铁路提速后隧道净空断面可维持现状。通过在本项目提质改造工程实施过程中开展现场实车试验,进一步验证了既有隧道净空断面运行 300 km/h 列车的可行性。因此,贵广铁路提速至 300 km/h 考虑维持既有隧道净空断面。

(2)隧道洞口微气压波

贵广铁路现状运营速度最高为 250 km/h,动车通过隧道洞口时,乘坐舒适度良好,通过隧道气动效应数值仿真分析,隧道洞口 20 m 处微气压波峰值最大为 36.4 Pa,未超过标准允许值 50 Pa。通过隧道气动效应数值仿真分析,贵广铁路提速后,双线隧道长度未超过 4 000 m 时,洞口 20 m 处微气压波峰值未超过控制标准 50 Pa;长度超过 4 000 m 时,洞口 20 m 处微气压波峰值将超过控制标准 50 Pa。由于贵广铁路提速段隧道洞口 50 m 范围内无建(构)筑物,洞口微气压波峰值无控制要求,故洞口微气压波峰值加大对列车提速至 300 km/h 无影响。

(3)隧道防护门隔墙

既有隧道防护门隔墙不满足 Q/CR 700 – 2019《隧道防护门》的要求。考虑对既有防护门隔墙为钢筋混凝土结构的进行补强处理,既有防护门隔墙为复合防爆板结构的进行拆除改为钢筋混凝土隔墙。

2.6 信号

既有列车控制系统采用 CTCS-2,不满足 TB 10007 – 2017《铁路信号设计规范》“250 km/h 以上的线路,地面应采用 CTCS-3 级列控系统”的规定;既有区间应答器组间隔 1 个闭塞分区设置,车站正线股道出站信号机未布置出站应答器组,股道中间未设定位应答器,不满足科技运〔2010〕21 号《CTCS-3 级列控系统应答器应用原则(V2.0)》的要求;部分车站轨道电路长度不满足提速后的要求。

针对上述信号设备适应性分析情况,通过将列车控制系统由 CTCS-2 升级改造为 CTCS-3 级,并相应改造信号各系统以满足提速至 300 km/h 的要求。

2.7 通信

无线通信系统在 CTCS-3 级列控区段需采取冗余无线覆盖设计,既有设备采用单层网覆盖,不满足要求;既有综合视频系统仅在沿线车站两端咽喉区、隧道口、公跨铁立交、通信机械室、信息机房、信号机房、综合值班室、牵引变电所、分区所、电力配电所等处设置标清摄像机,不满足“中国铁路总公司关于发布设计时速 200 km 及以上铁路区间线路视频监控设置有关补充标准的通知”的要求;此外,未设置视频网络安全设备,不满足 Q/CR 575 – 2017《铁路综合视频监控技术规范》的要求;部分车站接入路由由器仅设置 1 台,未构建数据网接入层双平面组网,不满足接入节点配置 2 套接入路由器的要求;传输系统车站接入层为 622 M 设备,带宽资源紧张,不满足提速后的需求;既有 2 条 32 芯干线光缆用于承载传输系统、数据网、信号安全数据网、OTN 系统等业务,剩余纤芯不满足

新增传输、数据网、综合视频等相关业务升级改造后的需求。

针对上述通信设备适应性分析情况,采取如下改造措施以满足提速至300 km/h的要求:GSM-R系统改为冗余覆盖,并更换既有模拟光纤直放站为与新建数字直放站或分布式基站;对传输、数据网系统进行扩容改造;增设区间线路、长大桥、接触网设施视频监控采集点,并对后台进行扩容;新敷设干线、区间通信线路用于扩容、改造后的传输、数据网、GSM-R、视频系统;配套对通信电源进行改造。

2.8 牵引供电

牵引供电系统能力受牵引设施分布、牵引变压器容量、牵引网载流能力等影响。本线牵引供电设施布点能满足按300 km/h追踪运行需要。结合现场运行情况、行车组织要求,各牵引变电所需对牵引变压器容量增容改造,并对所亭内相关设备,如电流互感器等进行改造后能够满足300 km/h列车运行的需要。

2.9 电力

提速至300 km/h新增负荷主要涉及区间无线通信直放站、基站新增冗余设备及视频监控设备、车站新增信号RBC设备、车辆TADS、TEDS探测机房设备。以上设施负荷容量小且较为分散,可利用既有箱变、变电站设施供电,部分电力设施需进行增容改造。

2.10 环保

提速改造后噪声、振动预测参数变化主要表现为列车对数、行车速度以及列流比的变化。全线共244处敏感点因新增或因提速后噪声源强增加导致预测噪声超标,考虑对新增噪声敏感点增设声屏障和隔声窗,以满足提速后的降噪要求。

3 结论

本文以贵广铁路提质改造为例,从宏观到微观分专业对提速适应性进行系统研究,科学论证在现状设施条件下提速提质改造的可行性,在最优发挥既有基础设施效能的同时有效控制投资。多项研究工作和创新成果在国内均为首次,形成了可推广、可复制的成熟经验,为后续高速铁路既有线提质达标工作提供经验参考和技术支撑。

(1)既有高速铁路提速改造应按照基于原设计情况及既有运营现状,通过新旧规范对照、科研专题研究、实车试验验证等手段对既有现状设施提速改造可行性论证的思路开展研究,并针对既有设备参数、指标不满足现行规范要求的情况提出解决方案。

(2)贵广铁路利用原预留条件,维持既有线路平纵面、路基、桥涵、隧道等基础设施,通过采取钢轨廓

形打磨、四电系统相应升级改造及补强、增设声屏障和隔声窗降噪等措施后,能够满足提速至300 km/h的要求。贵广铁路提速至300 km/h是合理可行的。

(3)结合贵广铁路提速改造工程实践,一方面建议完善运营高速铁路提速改造的设计规范,另一方面需要灵活运用现行设计规范,如针对部分圆曲线、缓和曲线、轨道超高、隧道净空断面等既有设备参数不满足现行规范要求的情况,通过分析规范参数选取的计算方法,采用合理的设计参数以满足提速改造的要求。通过充分利用既有条件,以较小代价提升线路技术标准及运营品质,同时可保障运营线路施工期运营安全及施工安全。

参考文献:

- [1] 王春旭. 胶济客运专线扩能改造研究[D]. 成都:西南交通大学, 2015.
WANG Chunxu. Qingdao-Jinan Passenger Line Capacity Expansion Analysis [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2015.
- [2] 田长海. 发展中的我国铁路列车速度、密度、重量[J]. 中国铁道科学, 2020, 41(4): 127-135.
TIAN Changhai. China's Railway Train Speed, Density and Weight in Developing [J]. China Railway Science, 2020, 41(4): 127-135.
- [3] 胡叙洪. 既有铁路提速改造线路方案研究[J]. 中国铁道科学, 2003, 24(1): 54-58.
HU Xuhong. Study of Speed-increase Solution for Railway Section of Existing Line [J]. China Railway Science, 2003, 24(1): 54-58.
- [4] 周世林. 浅谈既有线扩能提速改造建设方案[J]. 铁道工程学报, 2010, 27(10): 41-44.
ZHOU Shilin. Discussion on Upgrading Scheme of Existing Railway Line [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2010, 27(10): 41-44.
- [5] 林海波. 太锡铁路蓝锡段提速改造方案研究[J]. 铁道勘察, 2018, 44(5): 75-79.
LIN Hai-bo. Study on Speed Raising Scheme of TaiziCheng to Xilinhaote Railway from Zheng Lanqi to Xilinhaote Section [J]. Railway Investigation and Surveying, 2018, 44(5): 75-79.
- [6] 杨佳,鲁小兵,关金发. 高速铁路接触网提速改造策略探讨[J]. 铁道工程学报, 2022, 39(2): 85-89.
YANG Jia, LU Xiaobing, GUAN Jinfa. Exploration on the Speed-upgrade Improvement Strategy of High-speed Railway Catenary [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2022, 39(2): 85-89.
- [7] 寇峻瑜,余浩伟,谢毅,等. 400 km/h高速铁路车站两端最小曲线半径与超高匹配关系研究[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(4): 74-78, 99.
KOU Junyu, YU Haowei, XIE Yi, et al. A Study on Matching Relation between the Minimum Radius of Curve and Superelevation at both Ends of a 400 km/h High-speed Railway Station [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(4): 74-78, 99.