

基于铁路局层面的 高速铁路联调联试集成管理和关键技术

王 峰

(上海铁路局, 上海 200071)

摘要: 联调联试是我国高速铁路工程建设中一个全新课题, 结合上海铁路局高速铁路联调联试的创新实践, 对于我国高速铁路基于路局层面联调联试的组织机构、工作方法、工作制度、安全保障、存在的问题以及关键技术进行了探讨, 具有一定的理论价值和实践意义。

关键词: 高速铁路; 联调联试; 创新实践

中图分类号: U292.7 + 2; U298.1 + 2 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2012)01-0001-07

高速铁路建设工程是一项复杂的系统工程, 由工务工程、牵引供电、通信信号、动车组、运营调度、客运服务等子系统构成, 各子系统既自成体系又相互关联, 系统的整体性和协调性有着非常高的要求。联调联试是高速铁路系统工程中连接建设和运营阶段的重要环节, 通过系统功能的各种测试、验证、调试和优化, 来验证高速铁路是否达到设计标准, 是否满足开通运营条件。总结了联调联试在国内外理论研究和实践现状, 结合上海铁路局的工作实践, 分析了我国高速铁路联调联试存在问题 and 研究方向。

1 高速铁路联调联试的特点

按照结构化生命周期法, 高速铁路的结构化生命周期由系统规划、系统分析、系统设计、系统实施、系统联调联试、系统运行试验、系统运行与维护等阶段组成, 如图1所示。其中, 联调联试作为高速铁路建设的重要部分, 目前各国的研究方法并不统一, 且没有完整的系统管理标准可遵循。

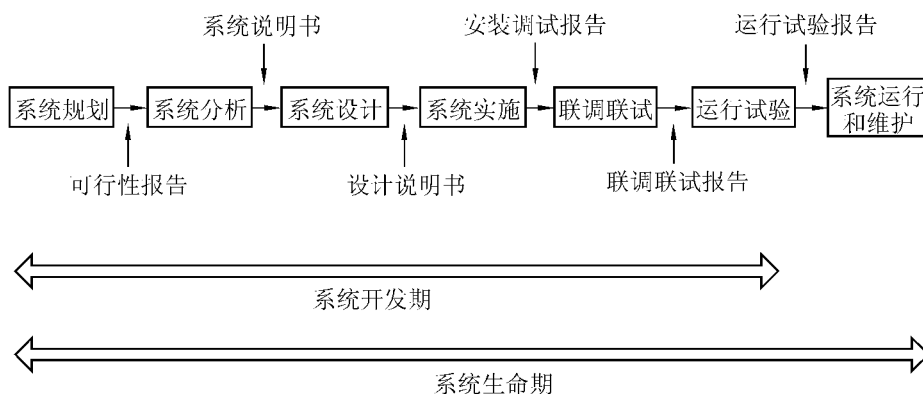


图1 高速铁路结构化生命周期

高速铁路联调联试(testing and commissioning)是指采用检测列车、试验列车和相关检测设备, 对高速铁路各个系统的状态、性能、功能和系统间匹配进行综合测试、调整、优化和验证, 使各系统和整体系统性

收稿日期: 2012-02-29

作者简介: 王峰 男 1963 年出生 高级工程师

基金项目: 铁道部科研开发计划项目重点课题(2011T002)

能、功能均达到设计要求,满足以设计速度开通运营的要求。高速铁路联调联试内容包括供变电系统、接触网系统、通信系统、信号系统、客运服务系统、综合接地系统、电磁兼容性、振动噪声及声屏障、路基及过渡段、轨道结构、道岔、桥梁、隧道内列车空气动力学、隧道内气动效应、防灾安全监控系统、动车组动力学性能和轨道几何状态等大项^[1]。由于高速铁路建设是一项庞大的系统工程,标准高、综合性强、技术复杂,各子系统间接口复杂且又各具相对的独立性,同时,由于高速铁路建设涉及的设备品种繁多,彼此间衔接均有特定要求,需要通过联调联试,在系统总体目标的协调下使整体系统的功能达到最优,实现移动设备与固定设备间的最佳整体匹配。这些决定了联调联试工作有如下特点和难点:

(1) 涉及单位广。包括了设计、建设、运营、施工、科研、高校、咨询、系统集成、设备厂商等众多单位,例如武广高速铁路共有 50 余家单位参与联调联试工作。

(2) 持续时间长。从联调联试准备阶段到实施完成,一般要经过数月时间,例如京沪高速铁路自 2010 年 11 月 15 日正式启动联调联试工作以来,历时 6 个月,至 2011 年 5 月 11 日结束。

(3) 工作交叉多。要进行轨道、接触网、供变电等多项设置,同时会搭载一定的科学实验,验证并优化固定设备和移动设备的安全可靠性、质量稳定性和系统匹配性。

(4) 安全风险高。试验测试与设备精调、工程施工、设备纠缺、型式试验等项目交叉进行,试验期间设备并未完全达到运营状态,行车、施工组织需统一调度指挥,参试单位多、交叉作业多、现场突发事件多。

(5) 质量责任大。联调联试期间各项设备均处于建成验收初期,设备遗留问题多,期间进行高强度、高密度的动态检测工作,随着速度级的不断提升,对各项设备质量的要求会不断提高。

2 研究和实践现状

日本新干线工程完成后,建设方进行竣工检查,铁路管理者进行竣工验收,竣工验收与竣工检查同时进行,同时国土交通省实施检查,检查合格后实施综合试验,综合试验期间建设方进行线路各系统的改进;试验完成后,线路的管理权从建设方转交给运营商,运营商继而展开将近两个月的运行试验,最后国土交通省检查合格后方可运营。德国趋向将几个系统的装备同时承包给某个集团完成,包括集成调试,但在验收过程仍要进行检测运行、各子系统的鉴定试验、提速运行试验、制动试验等实车试验,系统试验结束后将进行 2 个月的运行试验。法国在线路施工完成之后,要组织实车运行试验,即动态试验,并委托专业的试验团队测试系统性能,正式交付运营之前,要组织运行试验,检查该线路整个铁路系统是否处于正常工作状态,验证最新技术的可靠性。我国在第六次大提速以来,通过既有线 200 ~ 250 km/h 的综合试验,对系统功能进行检测、调整,对测试手段、分析方法、调试技术进行探索,初步形成了中国铁路系统联调联试技术的雏形。合宁铁路是中国首次开展系统调试和动态检测的 250 km/h 高速铁路,初步形成了中国高速铁路联调联试工作的组织模式,对高速铁路联调联试的内容、方法及程序进行了探索;京津城际作为中国首条 350 km/h 高速铁路,首次建立了高速铁路联调联试及运行试验模式、成套测试技术和评价体系。武广、郑西、沪宁、沪杭等一批高速铁路联调联试成功实践,构建并逐步完善了满足高速铁路联调联试的综合分析方法和评价体系。铁道部 2010 年 9 月颁布的《高速铁路联调联试及运行试验指导意见》(铁集成[2010]166 号)对高速铁路联调联试做了具体要求和原则性规定。

在理论研究方面,禹志阳^[2]依据日本、德国等高速铁路发展实践,列出了高速铁路联调联试关键技术研究。Hanson^[3]提出,随着高铁的不断应用,对于材料要求的提高和一些事故的不断发生,导致检测间隔时间缩短,检测范围扩大,检测要求更为严格;对于日常凭经验的一些测试方法有许多缺点,只能通过自动化和定向排列探索来克服。Berendsen^[4]介绍了德国杜塞尔多夫测试中心可以对各种交通工具和运输系统进行测试。Lombardi^[5]介绍了美国高速小火车项目的一些特点。从国内的实践来看,陈璞等^[6]阐述了联调联试及运行试验内容,介绍中国高速铁路联调联试及运行试验的特点、组织形式、实施流程和关键控制。汤奇志^[7]结合京津城际、武广、郑西等 17 条高速铁路联调联试特点,对高速铁路联调联试大纲编制、前提条件、实施过程、报告总结等关键环节进行了分析。白鑫^[8]结合沪宁城际高铁,对联调联试和运行试验目的、内容、方法手段、技术组织及实施等进行介绍。程先东^[9]介绍武广高速铁路开通前进行的系

统联调联试及运行试验,武广铁路的成功实践丰富了我国高速铁路联调联试及运行试验理论和技术体系。杜力等^[10]介绍了武广高速铁路在轨道精调工作不断提高、附属工程不断完善下的联调联试工作情况。王澜^[11]针对开放的复杂巨系统,将结构化生命周期法、整体论与还原论的辩证统一方法、从定性到定量的综合集成法、基于 WSR 方法论的系统综合评价等方法论应用到高速铁路联调联试工程实践之中。康熊^[12]以轨道和接触网调整为例,重点总结联调联试及运行试验评价标准体系,介绍部分评价指标的选取和标准值的确定。李琴^[13]根据高速铁路系统组成,将高速铁路联调联试系统划分为6个子系统,建立用多变量动态方程组描述的数学模型。

3 高速铁路联调联试管理研究方向

随着国内京津、武广、沪宁、沪杭等高速铁路相继开通,在系统的综合测试试验方面积累了一定的经验,但是,对于这项工作的主要承担单位之一的铁路局来说,还缺乏系统的专业总结和理论提升。联调联试的组织模式、运作制度、工作流程、进度控制、协调机制、质量管理、安全保障以及关键技术创新与管理研究是我国高速铁路建设中一个全新的课题,有必要借鉴、梳理国内外高速铁路管理部门对联调联试的规定和管理规范,吸收和借鉴国内外高铁联调联试的成熟理论和方法,总结我国高铁联调联试中的成功经验和实践案例,探索铁路局层面高铁联调联试的工作机理和运作规律,形成一套比较完善的体制和机制,用以指导铁路局层面高铁联调联试的管理工作。

3.1 组织架构

联调联试组织机构如图2所示。为保证联调联试及运行试验工作科学有序、安全、高效地推进,基于铁路局层面联调联试工作宜成立联调联试现场指挥部,一般由铁路局分管领导、建设项目管理机构负责人组织,铁路局运输、总师、安监、工务、电务、供电、机务、客运、车辆等部门参加,全面负责联调联试期间的组织协调、试验计划的组织实施、试验列车的统一指挥、施工计划安排、试验列车放行条件的确认等工作。联调联试现场涉及到综合试验、运输组织、工务、电务、电力电气化、安全保障、综合保卫、工程推进、后勤保障等九个方面的工作,如何按照专业分工全面落实联调联试指挥部下达的各项指令,确保更好的完成试验列车编组、运行组织、列检,工务设备精调,电务设备调试及故障处理,供电弓网设备精调,安全综合保卫、试验安全检查监控以及工程协调等工作是需要进一步深入研究的问题。同时针对联调联试现场站区安全责任包保,铁路局设备管理单位和铁路公安部门以何种形式来有效运转,确保联调联试总体计划,确保设备状态良好和运行安全,项目管理机构联调联试期间的现场配合中,如何负责督促施工单位、集成商全面落实联调联试的各项配合工作,做好各项保障性工作,确保设备质量和施工安全,这些都需要在铁路局这一管理层面上细化相应的制度。

3.2 关键技术

结合沪宁城际、沪杭客专及京沪高铁联调联试工作来看,有必要在以下几个方面细化联调联试期间的相关技术工作,明确相关的制度和标准,同时也为相关的设备管理单位积累一定的实践经验。

(1) 工务设备养护维修技术研究。应重点研究设备精调标准对轨道几何状态的局部幅值、区、车辆动力学响应、轨道结构动力性能、道岔动力性能等动态检测指标的影响,研究设备检修周期与相关作业标准、车辆动力学响应与轨道整修的量化关系等。

(2) 通信信号设备养护维修技术研究。应重点研究 GSM-R 电磁环境、场强覆盖、网络服务质量,调度通信、调度命令、列车无线车次号、数据网、通信系统可靠性等功能和性能,通信系统中话音通信、分组数据传输的需求。同时,应针对共用 GSM-R 基站区段联调联试关键技术研究以及联调联试期间高速道岔工作性能及整治措施研究和联调联试期间轨道电路状态变化规律进行研究。

(3) 牵引供电设备养护维修技术研究。应重点研究 220 kV 电源性能及 2×27.5 kV 供电性能调整标准及牵引供电设施满足高速动车组运行的要求,研究接触网无拉出值超限、接触线高度超出施工允许误差、定位点处接触线高度超限等的整治措施,研究接触网紧固件扭力衰变规律、上网隔离开关温度变化情况 and 不同环境下接触网构建安全距离。

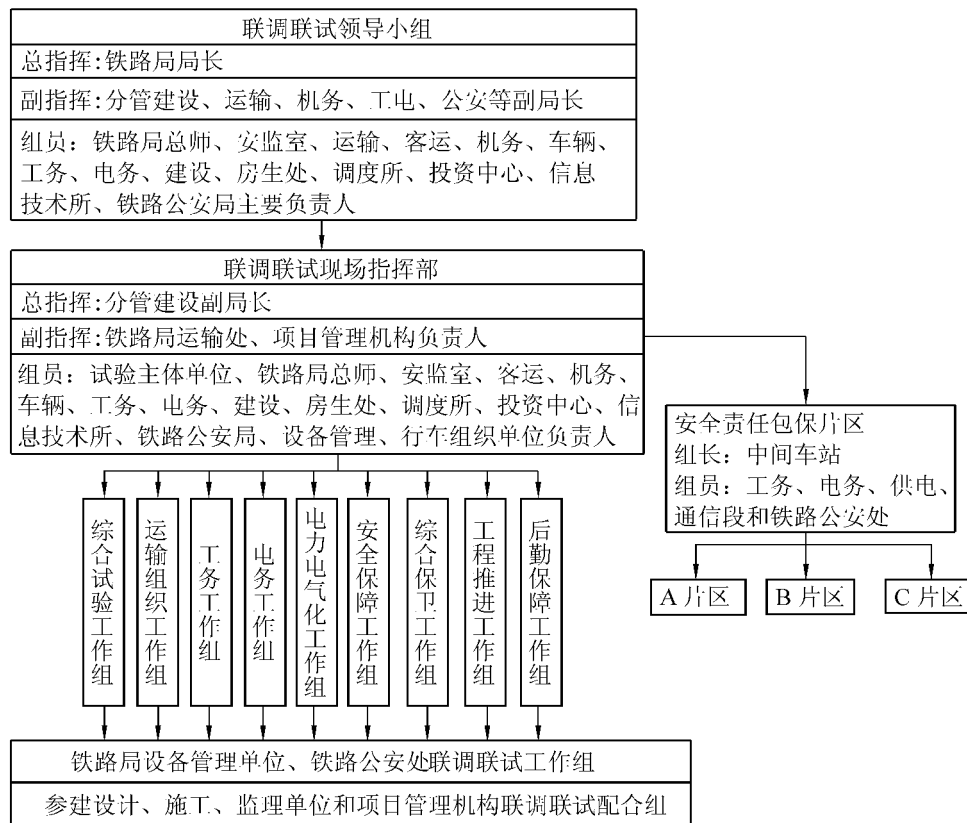


图2 联调联试组织机构简图

(4) 车辆设备养护维修技术研究。应重点研究车辆动力学响应与轮对修形的量化关系,新一代动车组检修技术标准体系,对联调联试期间的车辆检修和保障体系进行优化。

(5) 机车模块化操作研究。应重点研究不同车型、不同线路、不同速度区段和不同运行时分条件下的动车操作规程,研究机车运行过程中的易发问题,规范交接班制度等操作程序和流程。

3.3 实施流程

按照目前铁道部相关文件的规定,在联调联试大纲经铁道部批准,实施方案编制完成,联调联试组织机构成立,相关规章制度发布,静态验收完成后,由铁路局牵头向铁道部提出动车上线申请。联调联试实施流程包括项目委托,大纲编制、审查和批复,编制实施方案、制定规章制度、现场实施、报告编写、报告审查等工作阶段。

3.4 关键环节

静态验收工作是高速铁路联调联试前的一个重要阶段,快速、有效的完成高速铁路的静态验收工作是确保联调联试按期顺利开展的先提条件。各专业验收范围、责任、内容的界定,验收工作的开展安排,设备纠缺及复验以及各单位间建立有效的沟通机制是静态验收工作中需进一步探讨的问题。在沪宁、沪杭、京沪高铁静态验收工作中成立了由铁路局、高速铁路公司为组长,设计、施工、监理和咨询单位为成员的工作组和6个专业验收小组,为联调联试提供了有力保障。

接触网冷、热滑是联调联试的重要准备工作,是检查接触网性能及状态的重要手段。冷、热滑试验开始前应组织专业会议进行布置安排,应对各项时间节点、冷、热滑试验期间的组织领导和各方责任、试验方案、行车组织、安全工作以及接触网进度等进行研究。接触网送电是动车上线检测的重要条件,也是接触网满足试验检测的重要标志。接触网送电后直接影响线上及周边的作业安全,对于接触网送电范围和时间节点、送电前的设备检查、安全确认、开通后的安全和技术措施、送电的组织管理和各方责任,应召开专门会议进行研究部署。

动检车、轨检车上线是联调联试正式开始和线路设备满足初步试验状态的标志,有必要对轨检车、动

检车上线的标准管理流程进行规范。短路测试是检验牵引供电系统保护装置功能及保护动作顺序,验证接触网故障点标定装置的正确程度,同时进行综合接地和电磁兼容测试的关键工作。联调联试过程中应研究短路试验地点、时间,试验分工、方法、步骤,试验准备,应急抢修等内容。

综合评定是利用集中停轮期间,进一步对设备精调细整,对系统进行完善,实现设备质量稳定可靠、整体达优。在铁路局层面上,有必要对评定工作的组织机构、工作制度、内容和相关标准进一步完善,研究评定单元的划分和评定及整治措施。在京沪高铁联调联试过程中,参试单位利用试验停轮期间,积极开展设备的综合检查、集中整治、系统评定工作,重点开展了道岔车、工、电系统的联合检查、联合整治、系统优化、综合评定,有效地提升了设备质量和性能,确保设备长期处于优良状态。

动态验收需采用检测车和试验列车,根据设计和相关技术标准规定的速度范围内对系统功能、动态性能和系统安全状态进行全面检测;按照试验或实际运行图组织列车运行,对整体系统在正常和非正常运行条件下的行车组织、客运服务以及应急救援进行演练,验证是否具备开通条件,对各系统和整体系统工程进行全面动态验收。如何更好地评价系统的功能、性能、工作状态、系统匹配关系及对运营安全的影响是动态验收过程中铁路局需要研究的关键。

3.5 工作机制

在联调联试过程中应力求标准化、制度化的管理机制,在沪宁、沪杭高铁联调联试期间,采取了工作例会、专题会议、考核评比、安全保障等工作机制,突出了工作重点,较好地实现了各项目标,但还需要进一步明确和固化相关的工作机制。

首先,围绕联调联试总体目标,应考虑如何细化阶段性重点目标、每日工作,明确参试单位的职责,统筹、协调各阶段的问题,建立行之有效的工作制度。其次,对影响试验安全及进度的重点工作项目,应组织专题研究,建立专门管理、专人负责的制度。第三,在联调联试工作中应考虑采取何种有效的考核制度。一是建立针对施工、监理、设计单位、铁路局相关业务部门、项目管理机构以及设备管理单位的考核制度,确保质量安全问题得到严格处理,二是采取何种形式每日对各参试单位和相关业务部门进行综合考评,考评结果如何与相关的施工单位、集成商、相关业务部门、项目管理机构等评价挂钩,对先进个人如何表彰,以达到示范和带头作用。第四,每日应分析总结当日试验和工作情况,对危机行车安全的典型问题落实责任单位限期整改,凡发生影响安全突出问题的单位,一律严肃处理,确保设备和人身安全,但以何种方式、制度来有效地落实也是需要细化的工作。在沪宁、沪杭、京沪高铁联调联试工作中实行了每日例会、专题会议、考核评比等制度,每日例会总结当日试验情况,协调现场存在的问题,对次日计划和工作进行布置,确保了试验有序进行;对动车上线、停送电、标准化评定等重点工作,组织召开专题会议,进行专项布置、专项安排、落实专人负责,有效推进了重点工作的顺利开展;联调联试期间每日进行对参试单位和部门进行工作点评、排名打分,定期进行汇总,进行考核奖励,有效地提高了各参试单位的工作效率。

3.6 计划协调

为合理安排检测计划,联调联试应掌握检测时间总体安排,及时制定概要计划、总体计划和日计划。目前,国内联调联试的总时间各不相同,如京沪高铁上海段 77 d、沪杭客专 23 d、沪宁城际 50 d,需要结合现场,根据大纲和检测试验,合理安排好各检测项目的时间。

运输组织部门应对试验的总体安排情况掌握,根据检测任务的阶段性编制联调联试计划。计划应包括:概要计划、总体计划、阶段计划和日计划。阶段计划是对总体计划分阶段的细化安排,需要重点考虑每日测试内容、区段、用车、试验速度、往返次数,测试地点、负责单位、配合单位及其它配合要求等;日计划包括测试日计划和施工日计划,测试日计划包括测试区段、内容、时间、用车、限速表、注意事项及配合要求,施工日计划包括作业区段、内容、起始和结束时间、施工设备及用车、注意事项及配合要求。目前日计划基本沿用了铁路局既有线计划管理方法,如何针对联调联试的特点,统一指挥全线各路用列车运行,及时收集、掌握阶段计划和进度,协调解决交叉和平行作业,提高联调联试作业效率,强化工程线路列车运营安全控制也是需要进一步细化的方面。在沪宁、沪杭、京沪高铁联调联试中,按照确保联调联试试验列车运行安全、试验工作按期完成、作业人身安全的工作要求,有效地开展运输组织工作。同时,在联调

联试指挥部设立了临时调度所,对临时调度所的人员岗位配置、职责时间、管辖范围、指挥权限等内容进行系统研究和划分界定,制定联调联试期间临时行车管理办法及施工组织、计划管理等规定,这些都对联调联试工作有序推进发挥了积极作用。

3.7 安全保障

联调联试期间如何在保证高速铁路联调联试工作有序推进的同时,确保联调联试期间行车、设备和人身的绝对安全是核心,应按照强化“统一组织、集中指挥、分工负责、协作配合、快速反应、紧急处置”的总体要求,重点突出几个方面的工作:

(1) 安全责任。高速铁路联调联试期间,如何明确参试各方明确职责,落实分级管理,健全片区包保等专业职责分工,真正做到各单位和部门履责、各级干部到岗到位和安全责任具体落实。

(2) 安全关键。应重点分析影响试验、行车的安全关键,紧盯材料、机具、施工小车、梯车等挡道,上跨线路施工中异物坠落,站台侵限,列车溜逸,列车径路错判,列车超速,轨检车、动检车车体部件脱落,轨道几何状态控制,信号联锁确保正确和假表式,弓网松脱掉,人为破坏等安全关键点,铁路局各职能部门、高铁公司研究制定相应的管理措施。

(3) 保障措施。应坚持执行“集中施工、集中试验”的做法,严格执行“施工不行车、行车不施工”规定。如何及时发现现场问题并解决,杜绝无把关人员的作业是安全工作的重点,可以考虑在防侵限、防挡道、防坠落、防溜逸、防错办、防超速、防破坏等 7 个方面,加强日计划管理、包保片区安全管理、沿线防护看守和保卫、设备精调细整、试验列车检修等方面的细化措施。

(4) 通道管理。通道是影响联调联试安全的关键因素,通过沪宁、沪杭、京沪高铁联调联试工作实践,加强各类通道管理,是确保联调联试期间的行车、设备、人身安全的有效手段,应研究制定通道钥匙、作业人员上下道确认、机具上下道等管理制度和信息传递方式。

(5) 停送电管理。接触网调整、设备故障维修和施工需进行停送电作业,如何加强停送电作业管理,避免人身触电伤害和设备损坏,如何建立登销记、驻站防护联络、停送电范围、停送电申请和停送电确认等管理制度是安全管理工作的重点。

(6) 上道确认。联调联试期间检测确认列车的开行是确保试验列车顺利、安全试验的重要手段,必须建立试验列车开行前的确认制度,对线路设备的状态、线上安全情况、人员机具下道情况、材料物品摆放等的安全性进行全面检查确认,及时消除安全隐患,传递沟通安全信息。

(7) 安全保卫。联调联试期间的车辆、人身、试验等的安全是完成联调联试的基础,应对试验列车的保卫,试验期间安全包保的范围、职责,警力配备的标准,警务区的设置需求,安全防卫的重点等工作开展研究,制定有针对性的安全保卫措施。

(8) 应急预案。增强应对和防范高铁联调联试期间交通事故风险和事故灾难能力,规范试验列车发生事故时的应急处置和应急救援,是及时处理列车发生的事故,最大限度减少人员伤亡、国家和人民财产损失及社会影响,最快速度恢复联调联试秩序的基本工作要求。如何落实及时通报、统一领导、集中指挥、快速反应、紧急处置、归口负责、分级管理、分工协作、各负其责的基本制度也是需要深入研究的方面。

4 结语

国内高速铁路联调联试管理已经积累了大量的经验,但还没有形成一套系统的高速铁路联调联试技术管理系统准则,同时联调联试期间持续时间长,尚缺乏一套联调联试组织管理基本规章制度、联调联试的基本流程、安全保障的基本措施、联调联试的工作重点等管理标准。按照专业管理、专业督导、专业负责、专业包保的工作要求,有必要重点研究联调联试期间众多专业的技术管理,掌握设备变化的基本规律,进一步明确相关专业介入的时间节点和各项程序,细化工作职责,强化工作流程,形成基于路局层面的高速铁路联调联试集成管理和关键技术实施细则,以有效指导联调联试工作的顺利开展。

(下转第 33 页)

Abstract: There are shear lag effects in the transverse direction when the box girder bends. To apply elementary materials mechanics methods in the calculation, the effective width method is used. Continuous single-box three-cell broad box girder is analyzed by finite element analysis and effective width is obtained by analyzing longitudinal stress on roof and floor of box girder. The results can be used as references for the design of similar works.

Key words: effective width; continuous girder; single-box three-cell box girder; broad box girder; finite element analysis

(责任编辑 车轩玉)

(上接第 6 页)

参 考 文 献

- [1] 王峰. 高速铁路联调联试探索与实践 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2011.
- [2] 禹志阳. 高速铁路信号系统联调联试技术的研究与实践 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2011, 8(3): 19-24.
- [3] Hansen W, Hintze H. Ultrasonic testing of railway axles with the phased array technique experience during operation [J]. In-sight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring, 2005, 6(47): 358-360.
- [4] Berendsen, Carsten-Sunnke, Grootings, et al. Testing centre for railway systems has existed for ten years [J]. Elektrische Bahnen, 2006, 104(12): 590-597.
- [5] Lombardi E J. Amtrak's high-speed trainset program [C] // Proceedings of the 1995 IEEE/ASME Joint Railroad Conference. New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1995: 1-7.
- [6] 陈璞, 汤奇志. 中国高速铁路联调联试 [J]. 中国铁路, 2010(12): 70-73.
- [7] 汤奇志. 高速铁路联调联试关键环节控制 [J]. 高速铁路, 2011(1): 45-48.
- [8] 白鑫. 沪宁城际高速铁路联调联试及运行试验的组织与实践 [J]. 中国铁路, 2011(5): 9-13.
- [9] 程先东. 武广高速铁路联调联试及运行试验的创新与实践 [J]. 中国铁路, 2010(6): 1-7.
- [10] 杜力, 高军. 武广铁路客运专线联调联试安全存在问题及对策研究 [J]. 铁道标准设计, 2010(1): 13-15.
- [11] 王澜. 高速铁路联调联试方法论 [J]. 中国铁道科学, 2011, 32(2): 104-109.
- [12] 康熊. 高速铁路联调联试技术 [J]. 中国铁道科学, 2010(12): 53-56.
- [13] 李琴. 高速铁路联调联试系统可靠性分析方法的研究 [J]. 中国铁道科学, 2011, 32(2): 110-115.

Integrated Management and Key Technology in Testing and Commissioning of High-speed Railway at Railway Bureau Level

Wang Feng

(Shanghai Railway Administration, Shanghai 200071, China)

Abstract: Testing and commissioning of the high-speed railway construction is a brand new issue in China. Combining the innovative practice of testing and commissioning in the Shanghai railway administration, this paper discusses the organization, operating methods, operating system, security assurance, problems and key technology of China high-speed railway, which is meaningful to theory research and practice.

Key words: high-speed railway; testing and commissioning; innovative and practice

(责任编辑 刘宪福)