

我国现代铁路建桥技术的进步与发展

王荣春*

(中国铁道建筑总公司)

提 要 本文结合宝中、京九、南昆铁路建设,介绍 PC箱梁施工架设技术的进步与发展。

主题词 铁路桥梁 架梁技术 应用

1 前言

我国“八五”铁路建设高潮时期,铁道建筑总公司组织所属施工单位,在圆满完成宝中铁路、京九铁路、南昆铁路等三条长大铁路干线施工中,充分发挥总公司机关龙头作用,铁道研究设计院的骨干作用和施工单位的主力作用,充分发挥企业集体优势和科技进步在施工生产中的作用,运用新施工技术和方法,相继建成了宝中铁路中卫黄河特大桥、京九铁路卫运河特大桥和南昆铁路清水河大桥、打埂大桥、白水河大桥,在我国铁路建桥技术进步和发展中,做出了突出贡献。本文结合在三条长大铁路干线建设中,采用新技术、新方法完成中卫黄河特大桥等五座新型结构 PC箱型梁架设施工的实践和做法,谈谈我国现代铁路建桥技术的进步与发展。

2 新型结构 PC箱型梁架设施工的实践和做法

2.1 宝中铁路建设中,采用多点顶推法完成中卫黄河特大桥 $2 \times (7 \times 48 \text{ m})$ 连续箱梁架设施工

2.1.1 工程概况

宝中铁路中卫黄河特大桥桥式结构为 $1 \times 32 \text{ m} + 2 \times (7 \times 48 \text{ m}) + 6 \times 32 \text{ m}$,全长 1 315.14 m,其中主跨为二联 $7 \times 48 \text{ m}$ 预应力连续箱梁,单联连续梁长为 337.4 m,重 4 100 t。在采用多点顶推架设施工中,采用分段灌注、逐段顶推的办法,即每联分为 22 个节段,除首尾两段长 8.55 m 以外,其余 20 个节段长度均为 16 m。为加快速度,在黄河两岸均设置预制箱梁节段作业场,两岸同时预制,相向顶推,于河心岛 20# 墩合拢。

2.1.2 采用多点顶推技术完成 $2 \times (7 \times 48 \text{ m})$ 连续箱梁架设施工

* 本文收稿日期:1997-09-20 王荣春 工程师 中国铁路建筑总公司工程部部长 北京 邮编:100855

我国铁路 PC箱型梁采用顶推方法架设施工,从 1978年就在陕西狄家河大桥上应用了,后来又又在钱塘江二桥引桥上应用,但中卫黄河特大桥主跨连续箱梁从单跨长度、梁高度、单联长度、单联重量等主要技术参数上看,国内都没有实践过。经反复与设计、科研、施工技术人员研讨攻关、试验,采用了以下方法和技术措施。

(1)设立临时支墩。为防止顶推过程中梁体混凝土开裂,在顶推施工中设了六个临时支墩。其中设在两岸桥头作业场平衡段内的临地支墩是为了减少短期混凝土梁段内力和抵抗顶推初期的倾覆力矩而设的,设在河中两联共用的临时支墩是为了减少悬臂内力和负弯矩。

(2)设置长导梁。采和工字钢变截面 16MnG 钢板梁制成 32 m 长导梁,每套重 42 t,从而使顶推过程中减少了梁体的内应力。并在导梁前端加设了上墩牛腿,有效地解决了导梁上墩难的问题。

(3)设置体外明筋。在箱型顶板上布置 12- \varnothing 5 mm 预应力临时体外钢筋 30 束,并将其中的 2 束通过 18 个 XL 型连接器串联成 6 道长束。不仅减少了体内临时束数量,还改善了梁体在顶推过程中的受力状态。

(4)采用多点顶推技术。由于梁重 4 100 t,故经计算,在采用聚四氟乙烯连续滑道情况下,要用 8 只 60 t 水平千斤顶,连续布置在四个桥墩顶上,每墩顶 2 只,8 只千斤顶均通过油管和分流阀及电路与控制台连接。从而形成集中控制,分级调压,同步运行,多点顶推的施工工艺。

表 1 梁段施工循环周期表

工作项目	日 期	1	2	3	4	5	6	7
拆 模	(12)							
穿束张拉	(24)							
顶推箱梁	(8)							
底模就位	(6)							
吊装底腹板钢筋	(8)							
安装内模	(2)							
吊装顶板钢筋	(2)							
装端模、合拢外模	(18)							
装明筋座、加固模板	(6)							
灌注梁段混凝土	(10)							
养护梁段混凝土	(72)							

中卫黄河特大桥在顶推施工架设过程中,严格执行技术操作工艺,并优化施工组织方案,梁段

顶推施工周期从第一段的 15 天,缩短到第八段的 7 天。顶推过程中,经检测,梁体中未产生拉应力,并未出现梁体开裂或其他不正常现象。南北两联箱梁顶推的中线误差均在 2 mm 范围内。

2.2 京九铁路建设中,完成卫运河特大桥斜拉式预应力混凝土连续桁架梁架设施工

2.2.1 工程概况

卫运河特大桥位于华北大平原上,全长 655.11 m,主跨为 (32.5 m+ 65 m+ 32.5 m)斜拉式预应力混凝土连续桁架梁。桁架为三角形结构,下弦杆节间长 6.5 m,跨中和下弦杆节点块为实体矩形截面外,其余杆件都是箱型截面,下弦杆与节点块为整体预制,而下弦杆之间及下弦杆与腹杆之间则用湿接头方法在拼装后相连。上弦杆分为两种,压腹杆与上弦节点为整体预制,而与上弦杆用环氧树脂在拼装后相连。拉腹杆为实体矩形截面,用环氧树脂与其他杆件节点拼装相连,立柱与下弦节点整体现浇,用湿接头与上弦节点相连。钢绞线预应力钢束在各弦杆中分为通长束和分段束两种。通长束是在合拢后张拉,分段束则在施工过程中拉。另外拉腹杆也分布有 6 束预应力钢束。

2.2.2 斜拉式预应力混凝土连续桁架梁杆件现场预制与拼装架设施工

斜拉式预应力混凝土连续桁架梁结构铁路桥梁在我国是首次采用,而且是在著名的京九铁路正线上。这种桥式结构杆件断面小,布设钢筋密集,预留管道多,预制、拼装、张拉等工艺要求十分高。因此,能否顺利成功地建成这座桥对建筑总公司和施工单位都是至关重要的。经反复研讨、试验、论证,采取了以下措施。

(1)预制杆件严格按工艺流程进行,确保杆件各部尺寸和预留管道位置高度精确。

(2)杆件拼装以栈桥为基础,采用对称悬拼方法进行。由于工期紧,在冬季施工中,对干、湿接头处理施工时,经试验确定配方比例和工艺要求。

(3)拼装合拢是关键工序,严格掌握合拢段锁定技术,并控制在低温 10~ 15 摄氏度气温下锁定合拢。

(4)严格控制张拉顺序和张拉应力,保证上、下弦杆不出现拉应力,跨中截面应力分布合理。

(5)由于该桥预留管道多,相互交叉,有的长达 130 m,且为曲线,因此要采用二次压浆工艺,并不得中途停滞,防止堵塞和质量事故。

卫运河特大桥斜拉式预应力混凝土连续桁架梁施工,经过技术攻关,取得圆满成功,经检测主要参数符合设计要求,不仅保证了京九铁路按期开通,而且在新的建桥领域中取得了宝贵的经验。

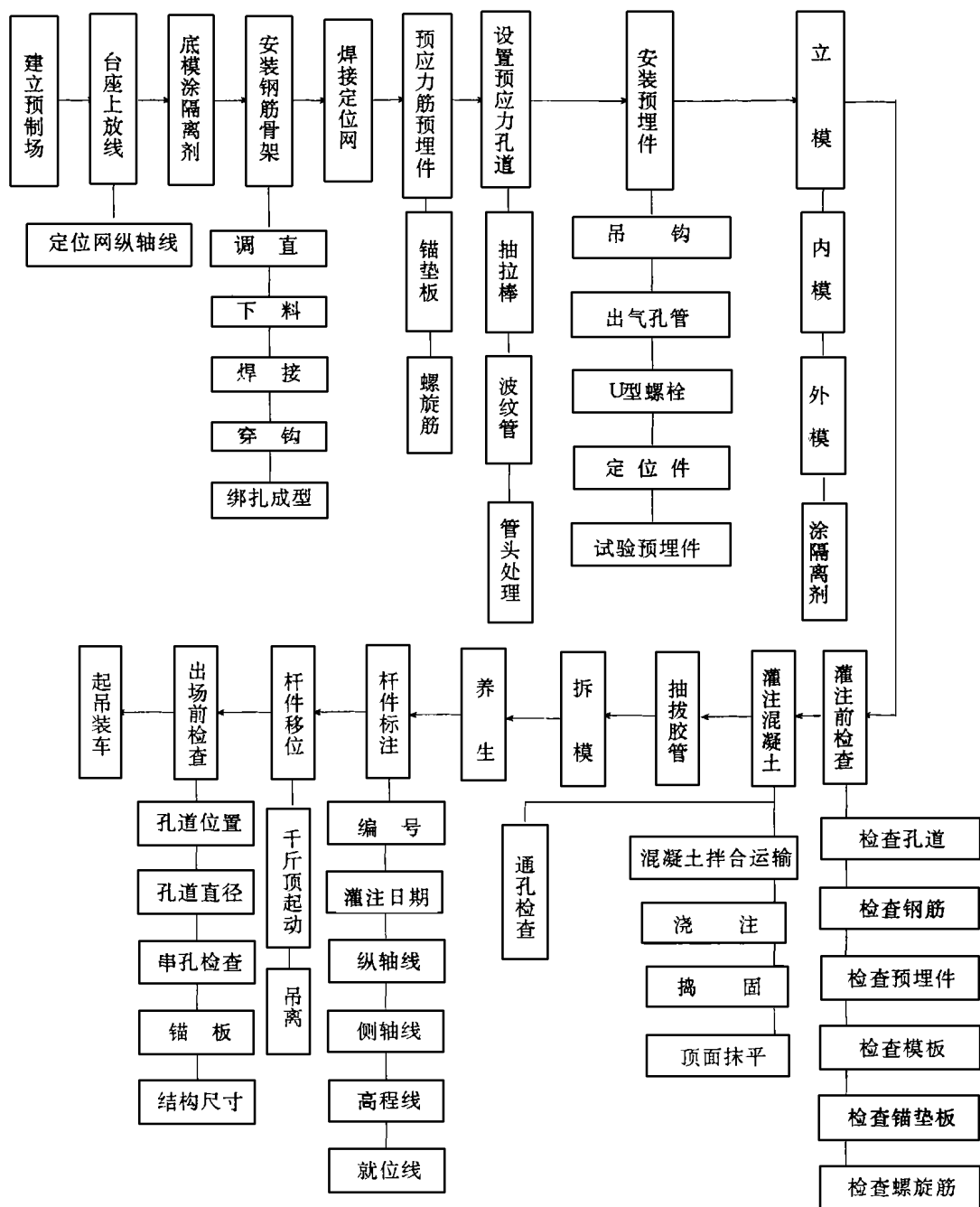


图 1 杆件预制工艺流程图

2.3 在南昆铁路建设中,完成清水河大桥 100 m 高墩灌注和 (72 m+ 128 m+ 72 m)连续刚构高空悬灌施工

2.3.1 工程概况

南昆铁路清水河大桥,位于南盘江支流清水河峡谷之中,全桥长 360.5 m,桥式结构为 2×32 m+ (72 m+ 128 m+ 72 m)预应力混凝土连续刚构,墩高 100 m,基础深 54 m,箱梁最大主跨 128 m,谷底至梁顶面高差 183 m,该桥在桥高、墩高、基深三方面均属世界同类型铁路桥梁的首位,主跨 128 m 在国内铁路同类型桥梁中最大,施工技术难度非常大

2.3.2 清水河大桥 100 m 高墩施工和连续刚构 PC 箱型梁高空悬灌施工

2.3.2.1 100 m 高墩施工技术措施

54 m 深基坑开挖采用风枪打眼,光面爆破,分层分台阶开挖,同时对坑壁采取挂网锚喷护壁。在墩身灌注中,采用 3 m 大模板翻模施工,采用机制砂拌制 C28 混凝土和高墩泵送混凝土技术,在控制测量方面,采用 ZB 型日本索佳全站仪,并对立模定位、模板检测、灌注混凝土后变形等进行跟踪复查。百米高墩完成后,墩顶允许误差为 20 mm,实际只有 5 mm

2.3.2.2 连续刚构施工技术措施

(1) 0 段施工技术措施

清水河大桥连续刚构 PC 箱型梁悬灌施工中 0 段是施工技术突破的关键和难点,0 段全长 12 m,高 9.6 m,底宽 7.62 m,顶宽 8.1 m,混凝土圬工量为 398 m³,内设三向预应力钢筋,其中竖向筋长 12.07 m,纵向预应力束管道 8 根,横向预应力扁形波纹管 24 根,底板设横向预应力粗筋 7 根,钢筋密布,管道纵横,十分复杂。而且腹板冷拉预应力粗钢筋和腹板、横隔板非预应力钢筋均要在墩身施工中预埋,埋入深度 2.15 m,同时,还有大量预埋件。对此,通过充分论证和试验,对 0 段施工采取下列技术措施:先在地面框架组装固定,整体吊装竖向 12.07 m 长无焊接接头预应力钢筋框架;尔后整体安装横隔板钢筋;第三步采用分片安装与散绑相结合的方法施工腹板钢筋;待墩身 2 m 预埋段混凝土灌注完成后安装 0 段底模,绑扎 0 段底板钢筋,绑扎腹板和顶板钢筋,各种预埋件、波纹管根据所处的位置依次穿插固定布置。混凝土灌注采取泵送,一次灌注,按每层 30~40 cm 厚,先横隔板,后腹板,再底板顺序进行,顶板按先两端后中间顺序进行。

(2) 连续刚构悬灌施工与合拢段灌注

连续刚构共分 73 个梁段,其中直线段 23 个,曲线段 50 个,有 2 个 0 段,3 个合拢段,其悬灌顺序为:两个 T 构各自对称悬臂灌注,使用菱形挂篮,泵送 C48 混凝土,配合比经优化设计,保证缓凝、早强、大塌落度、可泵性等要求。合拢段混凝土灌注采用微膨胀混凝土,在夜间温度最低时进行。按先进行中跨合拢段施工,然后灌注两边跨 17 梁段,最后进行边跨合拢段 (18) 混凝土灌注施工。

(3) 连续刚构悬灌线性控制

全桥共布设 93 个测点,进行施工阶段七项测量,配备 B20 精密水准仪和高精度水准尺,并使用微机 PCSAP 软件程序进行分析。线性控制结果,中跨合拢中线误差为 4 mm,高程误差为 3 mm,边跨合拢中线误差为 3 mm,高程误差为 5 mm,实测线性与理论线性相吻合。

表2 悬灌梁段施工周期表

工作项目 \ 时期(天)	1	2	3	4	5	6
移动挂篮、底模、外模调整就位	■					
绑扎底板、吊装腹板钢筋、安装波纹管	■	■				
内模就位		■				
绑扎顶板钢筋,安装波纹管		■	■			
灌注混凝土			■	■		
养生及端头凿毛			■	■	■	■
张拉压浆						■

2.4 南昆铁路建设中,采用支架造桥机架设 56 m PC箱型简支梁

2.4.1 工程概况

南昆铁路打埂大桥设计有 4 孔 56 m PC 箱型简支梁,白水河 1 号大桥设计有 8 孔 56 m PC 箱型简支梁,全部采用铁道建筑研究设计院研制的拼装移动式加强型造桥机(简称支架式造桥机)进行拼装架设施工的。

2.4.2 支架造桥机架设 56 m PC 箱型简支梁施工实践与做法

为解决 40 m 以上跨度 PC 箱梁架设施工问题,1993~1994 年,铁道建筑总公司曾组织研究设计院及铁十三局在宁夏灵武黄河特大桥上,采用 8 型铁路应急抢修钢梁组拼了 48 m 跨度简易造桥机,成功地架设了 10 孔 48 m PC 箱型简支梁。采用铁道建筑研究设计院研制的专用拼装式支架造桥机,是在原“87”式应急抢修钢梁组拼的简易型造桥机基础上的发展和完善。它适用范围更大,设计更完善,便于操作。

(1) 梁段预制与运输

56 m 梁按 1 段预制,预制场地设在桥头,设置了五个台座,除 1 号梁段为专用台座外,其他可互换使用。预制好的梁段待混凝土强度达到设计值 70% 后,横移到存梁线上,梁段拼接时,再移到运梁小车上,沿轨道运到造桥机尾部的桁吊下。

(2) 支架造桥机拼组与箱梁拼接

由于桥头均为路堑,因此,先将桥台与相临桥墩之间用临时支墩与路肩齐平,然后在台后路基上拼组造桥机,并边拼边拖至完成。梁段拼接时,先将梁段按顺序运到造桥机上,然后按设计要求设置预挠度,56 m 梁按跨中 30 mm 以抛物线型设置。经精确调正后,按顺序穿入钢绞线束,并在两预制段相接处立模灌注湿接头。湿接头灌注顺序是从梁两端向中间对称进行,并尽量缩短灌注时间。混凝土灌注完后,强度达到 80%,进行张拉,并适当调整梁段支撑高度。张拉结束后,梁体脱离造桥机。

(3) 支架造桥机前移

采用卷扬机拖拉前移,并不断用楔铁纠偏,当前移悬臂最大时,将滚轮箱安装到前方墩顶上,继续前进,直至第二孔全部就位

3 现代铁路建桥技术进步与发展述评

3.1 解决了 PC 连续箱梁“十顶九裂”技术难题

连续箱梁在顶推施工过程中,由于梁体受力状态不断变化,每个截面都要承受施工荷载最大正弯矩和最大负弯矩考验,虽然设计时也考虑了这一点,但由于拉、压应力变化,致使顶推施工架梁一直处于“十顶九裂”局面,中卫黄河特大桥采取的体外明筋多点顶推新技术,成功地解决了这个难题,从而使我国铁路 PC 箱型梁顶推技术又向前进了一步。

3.2 开辟了大跨度 PC 箱型简支梁架设新途径

长期以来,我国主要靠架桥机架设 PC 简支梁,最大跨度 32 m、40 m PC 简支梁架设只在衡广复线江村南桥实施一次,耗资巨大,程序十分复杂,而使用建筑总公司研制的“87”型铁路应急抢修梁拼组的简易移动支架和专用支架造桥机,自 1993 年以来已经成功地完成了 10 孔 48 m PC 箱梁和 1 孔 56 m PC 箱梁的架设施工,不但造价低,而且速度快,质量好,从而在我国现代铁路建桥史上,开辟了架设 40 m 以上 PC 箱梁新途径,为我国建桥技术进步与发展做出了卓越贡献

3.3 建成世界第一高桥,高空建桥技术达到国际水平

清水河大桥墩高 100 m,基础 54 m,桥高 183 m,其桥高、墩高、基深在世界同类铁路桥梁中均属第一位,主跨 128 m 连续刚构在国内铁路干线上也是最大的。清水河大桥优质顺利建成,标志着我国高空建桥技术达到了国际水平,在设备、工艺、攻关能力和施工管理方面都有长足进步,同时也说明依靠技术进步,团结协作,是促进建桥技术进步与发展的有效途径

3.4 建成我国第一座斜拉式铁路 PC 连续桁架梁桥,为扩展建桥技术领域积累了宝贵经验

京九铁路卫运河特大桥斜拉式 PC 连续桁架梁现场预制拼装架设成功,在我国建桥史上具有重要意义。一方面由于在平原地区采用这种桥式结构可以大大降低路基标高,从而为国家铁路建设节约大量投资,加快铁路建设速度,另一方面由于这种类型桥梁杆件断面小,预留管道多,从杆件制造、拼装、张拉预应力筋、压浆等几道主要工序工艺上,都要求十分严格和高超的施工技术。该桥的建成,表明我国有能力建设斜拉式 PC 连续桁架梁桥。

4 结束语

近年来,在修建宝中、京九、南昆三条铁路干线中,我国铁路建桥技术虽然有较大进步,但与国外比,仍有一定差距,还须不断向变高度梁及弯梁顶推技术、PC 梁转体施工技术、采用短线或长线法分段预制及体外束应用等技术上,继续进行深入探索和实践。

参考文献

- 1 郭忠.中卫黄河铁路桥顶推技术.铁道建筑技术.1993.3
- 2 宋抗常.三座黄河桥的建成对推动我国铁路桥梁技术发展的作用.铁道建筑技术.1995.3
- 3 张光林.斜拉式预应力混凝土连续桁架梁施工技术.铁道建筑技术.1997.2
- 4 李书正.打坝、白水河大桥的梁部施工.铁道建筑技术.1996.5
- 5 铁十六局等.清水河大桥128 m大跨度三向预应力混凝土连续刚构悬灌施工技术.1996.6
- 6 卢树圣.现代预应力混凝土桥梁结构的新发展.桥梁建设.1996.1

ADVANCE AND DEVELOPMENT OF MODERN TECHNOLOGY FOR CONSTRUCTING RAILWAY BRIDGES IN CHINA

Wang Rongchun

China Railroad Construction General Corporation

Abstract Combined with the construction of Bao-Zhong, Jing-Jiu and Nan-Kun railways, the paper introduces the advance and the development of the technology for constructing and erecting the PC box beams of railway bridges.

Keywords railway bridge; technology for erecting bridge beams; application

韩杼滨部长对铁路建设作出指示

1997年6月16日,铁道部部长韩杼滨到铁道部第二勘测设计院视察工作,在听取汇报后指出:“八五”大西南铁路掀起了第三次建设高潮,“九五”铁路建设高潮仍要保持大西南的东、西、南、北各个通路全面开花,南昆、成昆、宝成、内昆、达成、株六、襄渝、达万等铁路的新建和技改工程要在地方的支持和配合下,集中力量全面完成,真正解决制约西南经济发展的“瓶颈”。三峡地区经济要发展,交通能源是基础,勘测设计是铁路建设先行,达万铁路要在今年完成技术设计,争取及早开工,渝怀铁路“九五”要完成前期工作,争取2000年开工,铁二院的勘测设计要为三峡地区以至大西南的经济发展作出新贡献。

(根据铁二院简报整理)