

九江长江大桥建设中的收获

中国铁路工程总公司 张阳生

1. 九江长江大桥概貌

九江长江大桥穿过长江,为江西省北部对国家开放的重镇,历代王朝,这里都是长江的开放口岸。芦山峙立南岸,铁路大桥通过波涛汹涌的长江,穿锁江楼、白水湖,气势磅礴。炎黄子孙,久欲在此建桥,以贯通南北阻我交通的天险——长江。往日名将史可法曾说“投鞭足可断流”就是指的这里。1997年,我国国策决定收回我国主权所属的香港以来,建设有中国特色的社会主义更为人心所向。早年规划修建的京九铁路,经铁道部决定由北京直下九龙,为配合及时收回香港主权的需要,为发展社会主义市场经济所必须,铁路南北主动脉沿线重点工程正在施工,此一宏伟工程的实现,指日可待。

1969年正当南京长江大桥通车之际,铁道部即根据大桥工程局的迫切申请,向国务院提请继续修建九江长江大桥,这是深有远见的建议。这一举措,甚为国家所重视,设计任务书批准合九线与九江长江大桥同时上,工期暂定1979年完工。由于某些原因,这项工程工期延缓了近10年。但现在回顾来看,此一工程的计划,实有深远的历史意义:一、可以使国家这支庞大的建桥力量,得以壮大和发展,今天全国有几十座大桥正在兴建,当我们参观正在施工的武汉第二公路桥时,原施工处长说:当年要象今天这样许多墩、台全部开工,人力、设备上都是困难的,现在新成立的指挥部,只少数一些人,说干就一样干起来了,也不知道是怎么回事。实际上这就是自己的力量壮大起来了。二、桥梁的新技术开始,又可上个新台阶。我们在国内建国后新建了许多大桥,几乎全是根据苏联专家(现在的独联体)建议,未摆脱棱形桁架的模式,这对我国自己是有某种抑制的。象钢梁工艺,一直以铆接为主,全面焊接未能起步;钢筋混凝土预应力梁发展缓慢,无形上技术开拓受了某种限制。在建设有中国特色的社会主义的九江长江大桥时,技术上有所突破,主体结构改为带竖杆的三角形桁架,桁高16m,节间长9m。向焊接前进,既可节省用钢量,又可在制梁及施工技术上上一个新台阶。

九江长江大桥是目前钢梁在修建的规模最大的铁路公路两用桥梁,引桥除外,正桥钢梁共四联十一孔。主孔为三跨一联180m+216m+180m的连续刚性桁梁柔性拱结构,左侧边孔为两联三等跨162m连续钢桁梁,右侧边孔为一联二等跨126m连续钢桁梁。正桥全长1806.6m,钢梁重量约33000吨,均为栓焊结构。引桥铁路南岸35孔,北岸109孔,合计144孔,均为跨度40m的无碴无枕预应力混凝土简支箱梁,每孔两个单箱;公路引桥,南岸33孔,北岸32孔,合计65孔,均为跨度40m的预应力混凝土T梁,每孔8片。路面宽14m,两

侧各设 2m 宽的人行道。主体结构为带竖杆的三角形桁架,桁高 16m,节间长 9m,在支点处(桥台处支点除外)设有下加劲桁,边跨 162m 及 126m 桥跨的加劲桁的起点设在距支点 36m 处,高 14m(支点处桁的总高 30m)。180m+216m+180m 梁,除设有下加劲桁外,还设有加劲柔拱,成为刚性梁柔性拱体系,上桁杆中心线至拱顶中心,在 180m 跨为 24m,在 216m 跨为 32m。两主桁中心距为 12.5m,铁路公路上下分层布置。

主桁为栓焊结构,厂制构件为焊接,材质为屈服强度 420MPa 的 15 锰钒氮低合金钢,H 形或箱形截面,最大板厚用到 56mm。工地连接采用高强度螺栓,全桥约 140 万套,其中在桥梁主桁上首次使用的 M27 大直径高强度螺栓 80 万套。M27 高强度螺栓材质为 35VB,其余为 90MnTiB。构件的栓接接头结合面,抛丸除锈后经热喷铝处理,铝层厚度 100~150 μm ,设计抗滑系数 $\mu=0.45$ 。

九江长江大桥合拢选择半伸臂中间合拢,合拢选在跨中对称线处,在合拢点的上下弦节点中心均设有安装铰,铰孔为 $\varnothing 130\text{mm}$,铰轴有二种, $\varnothing 129$ 及 $\varnothing 128\text{mm}$ 希望达到 $\varnothing 129$ 铰轴合拢,铰合拢就位后,更换正式接点板和拼接板,这些节点板和拼接板,在工厂一次钻足栓孔直径,在工地不得扩孔。

九江长江大桥采用新材料、新结构、新工艺,是目前我国最有新意的特大桥,它修建工期达十年,最显著的科研项目达 30 余项,就施工管理和科技成就论,两方面都达到国内外先进水平,兹就其所取得的成就,阐述于后:

2. 科学管理成就

就工程而言,主要是要求质量第一,它不但关系到人身安全,也关系到运营安全与维修的成本支出。铁道部基建部门对此很注意,为保证质量,采取了承发包制,对每个环节都进行质量监理办法,基建总局是对工厂生产负有直接责任,曾经实行了由总局派出人员进行驻厂验收制度,虽然收到了一定的效果,但都没有彻底解决问题。基建总局负责修建九江长江大桥后,对质量的提高曾作出了反复研究,首先从机构体制上下了很大力气和决心,为解决发包大桥工程局和制造厂方的矛盾,从体制方面着手,把科研、物资、制造、施工、设计的各方专家集中起来,由基建总局成立九江长江大桥质量监理委员会,由负责工厂生产的局长担任组长,各方面的负责领导及专家任委员,对工厂及现场施工单位组成了质量监理小组,分别派驻现场,执行具体工作,并制订了监理规则,主要的制约手段是质量验收,经监理人员签字后建设单位才能付款,科研、设计、施工及工艺方面经常派员深入现场,进行了解,这些工程的进行,事先都就九江长江大桥的实际需要,开会确定了制梁规则、设计规程、架梁规则等一系列办法,对原部颁规章制度,不切合实际的进行了修改,每一个单位都有规章制度可循,未经驻现场验收人员签认者,不得付款,使双方都受到了一定的约束,我们派驻山海关小组的组长起了很关键的作用,为厂方制梁投料 15MnVNg 与 16Mng 混杂时,经提出得到更正,这些同志做到了从政清廉,认真负责的程度,小组长从不在山桥厂吃一顿包伙以外和历次开会的工作餐,山桥厂进行奖励时,对小组长(大桥局派驻的人员)奖了 200 元。桥梁架设能否顺利地合拢,是考核制造工厂和施工人员的试金石,九江长江大桥的合拢,希望达到 $\varnothing 129$ 铰轴合拢,实际在九江工地达到了这个水平,实现了无强迫合拢的愿望,这在工厂和工地千千万

万的工序能达到如此水平,是国内外所罕见的。

3. 科学技术成就

九江长江大桥所取得的科学技术成就有 30 几项,就其荦荦者简述如下:

(1)15MnVNg 新钢种。建设西南三线时,即在枝江长江大桥建议新钢种,其目的是采用新钢种,减少钢梁本身用料,九江长江大桥首先选用 H 形杆件最大板厚为 56mm,枝江桥应用时,领导提出,如此设计,谁敢负责,当时没有科研的总负责人,而这项工程,都是科研、设计、制造、施工的总成果,故只好接着搞科研,从九江长江大桥起,又花了 10 多年时间,自 1960 年以来,铁路钢桥一直采用 16Mng 钢板,最大厚度为 40mm,九江长江大桥的 15MnVNg 钢料的科研试验工作,由大桥工程局,铁道科学研究院、山海桥梁厂为组成单位,按设计、科研、制造分工负责大桥工程局负总责进行,还有哈尔滨焊接研究所等许多单位参加,九江大桥未正式修建,研究工作也停,到 1968 年,各单位对钢材性能及焊接各项技术性能,写出了 100 多篇论文,铁道部于 1968 年 7 月底在山海关桥梁厂召开了九江大桥 15MnVNg 焊接试验阶段总结会,经讨论后一致认为该材料制桥可行,但炭当量包括冲击韧性和焊接性能尚宜进一步优化,为了作科研试验,由鞍钢先后生产了 500t 及 107t 进行了二次优化试验,试验科研在工厂作工艺试验,大桥工程局的老工程师丁煜亲到车间参加操作,其艰辛程度可见一斑。

九江长江大桥采用新钢种 15MnVNg 是成功了,但它是经过千千万万次的试验,工人和技术人员洒下了难以数计的汗水的结晶,这是此桥的首要成就。

(2)新钢种的全部探伤。实行预热工艺,解决制梁难关。钢材是否能保证质量,只有通过探伤,我们制梁一直在料进厂后未经过探伤,为确保九江桥的质量,只有通过全面探伤检查。鞍钢在出厂进行探伤,需增加成本费 30%,我们由铁科院金化所与山海桥梁厂合作,对进厂钢材全部探伤,共只增加成本费 40 万元,这一成功,对九江桥的质量取得了科学的保证。制梁中,经过预热工艺,是使硬度降低有保证点固焊不开裂,从而改进了钢的焊接性能,这点也通过监理委员会得到保证。钢材的探伤标准,由铁科院限期交出,这对保证九江长江大桥的质量作出了很大贡献。

(3)铁路桥首次采用 40m 无碴无枕简支预应力钢筋混凝土梁。预应力混凝土梁,也和钢梁一样,铁道部大桥工程局是一个科研、设计、施工、制造为一体的大型企业单位,许多制梁、架梁的工具及设施,可以自己制造以补其不足,预应力混凝土梁在制梁的前景中,是个发展的重要部门。1975 年修建了当时最大跨度的洛阳黄河大桥。1983 年设计编制了 32m 及 31.7m 道碴桥面后强法预应力简支梁设计,每片梁重减至 100t 以下,新菏线长东黄河大桥引桥在外全长 10.3km 就是使用这种梁建造的。1979 年在九江长江大桥中,大桥局设计、制造了 40m 无碴无枕整孔分段串联预制的单室箱形梁,整孔梁重 260 吨,自制了 300 吨的架桥机架设的。这座引桥双线 144 孔的 40m 无碴无枕预应力(每孔两个单室)简支箱梁,从外观言,平整美观。客运少颠簸,维修简便,是我国建桥史上的一大创举,为发展生产力,建设有中国特色的社会主义踏上了一个新台阶。

(4)钢梁架设的创新:自武汉长江大桥架设起,基建部门的大桥工程局习惯采用悬臂安

装(或半悬臂安装方法),后从枝城桥起改用单层吊索架,九江桥采用双层吊索架的办法,克服了 216m 刚性梁柔性拱的架设困难,由此可以设想,今后碰到更大跨度的梁时,尚可进一步采用多层吊索架的办法,以解决大跨度的架设,可以说,九江桥的架设,在科学技术上又走上了一个新台阶。

(5)基础结构形式的创新:①双壁钢围堰钻孔沉井。建设深水大桥中,影响工期最长的是基础工程,其中最控制工期的是钻岩。武汉长江大桥首先采用了管柱基础,最初直径为 1.55m,南昌赣江铁路大桥采用了直径 5.8m 的管柱,入土深 16m。南京大桥发展到直径 3.6m 的预应力混凝土管柱,使穿过覆盖层厚度达 45m。后南京长江大桥采用了钻头直径 3.2m 的冲击式钻机钻岩。1987 年设计制造了 DQ-2454 型反循环旋转钻机、选用牙型钻头,钻孔直径 2.5m,钻进速度比冲击式钻机平均提高约 5 至 7 倍。沉井基础,九江长江大桥进行了突破性的革新,采用自浮的双壁钢沉井,钢沉井以上的井壁及隔墙均以钢筋混凝土接高,清基后填充水下混凝土封底,施工时水深达 30m。这种沉井初期可以自浮,后期因强度较大可以全年候抽水施工。平面为圆形双壁,中间没有隔墙,吸泥下沉及清基均十分方便,可使一般深水基础在一年内完成(取决于钻岩时间)大大加快了施工进度,现已普遍推广应用。另一种特殊基础,九江大桥引桥 18 号墩位于很厚的淤泥层上,底部陡峻的深沟岩壁难以采用管柱基础,经过长期研究后决定采用薄壁钢筋混凝土“浮”式沉井基础。其设计原理是使地基中被基础取代的土重等于包括上部结构在内的全部恒载,而且使基底的重底心也与恒载合力作用合力点相重合,使地基避免不均匀沉降。九江长江大桥 1 号墩采用泥浆套法下沉沉井基础,是此法最深的沉井基础。铁路引桥北岸采用空气幕法下沉沉井,其中 059 号墩薄壁沉井入土最深 50m,是桥梁中最深的空气幕沉井基础。

4. 桥梁厂的设备和工艺的革新

五十年代我们的制梁设备只能将进厂板厚 40mm 进行滚压加工,九江长江大桥最厚板用到 56mm,因此改进大型滚板机能调直整平至相应的厚板 56mm。以往采用机器样板作为最可靠的放样手段,从九江桥起改用数控原材放样;桥梁厂以往一贯采用的酸洗工艺改为抛丸除锈,为要求联接板面的摩擦系数 $f=0.55$ 创造了条件,九江桥设计 $f=0.45$,这次出厂和高强度螺栓施工时一律以 $f=0.55$ 为标准,实际试验有的已超过 $f=0.55$,这一长期争议的问题,得到了解决。厚板预热,为焊接开裂打下了坚实的基础。自制矫型机,为依赖热加工矫型开辟了一条途径。程序数控钻孔和精密切割加工是我们制梁工厂的长远目标,宝鸡桥梁工厂一直在这方面进行了科研试验;山海关桥梁厂引进了日本的设备,对两项工艺进行改革,但都未达到普遍推广的水平,需进一步提高其质量,以期达到节省设备和提高效益的目的。

5. 小结:

九江长江大桥的修建,在应用科学中,许多方面都达到了科技领域的高深水平,京九(九龙)铁路通车后,铁道部是会提出各方面的总结,作为宝贵的成果留给后人的。作者知识浅漏,井蛙所见,只是提供学者、专家作为参考而已。

(1)15MnVNg 新钢种,现在我们使用在九江桥的 15MVNg 相当日本的 SM50C 和西德

的 st52—3, 是桥梁钢的一个优秀品种, 钢结构和冶金部尚可在当量及某些低合金原素进行科研方面的优化与改革, 以提高其性能。但目前的建设钢桥中, 应该尽量采用, 在战争中学习战争, 也许进展会更快一些。

(2) 40m 无碴无枕预应力梁是一项新技术, 它的成长是有蓬勃的生命力的。建设在高速铁路桥梁中或短跨长桥中预先推广, 对节省耕地具有深刻的意义。

(3) 新的规范, 各制梁钢板的探伤, 基础钻孔桩的无损探伤, 都应继续进行科研, 大加推广。

参考资料

- (1) 邹克华: 发展桥梁技术增强竞争优势
- (2) 张文栋: 修建中的九江长江大桥
- (3) 方秦汉: 九江长江大桥正桥钢梁的安装
- (4) 方万、沈龙庆: 新材料大直径高强度螺栓在九江长江大桥的应用