

## 重大工程科技进步

# 依靠科技进步 建成世界一流 水平的黄石长江公路大桥

王 荣

(中国公路桥梁建设总公司黄石长江公路大桥

施工指挥部总工程师 邮码:100011)

黄石长江公路大桥(以下简称“黄石大桥”)是国家、交通部、湖北省“八五”期间的重点工程,是交通部在长江中下游兴建的第一座特大型桥梁。承担黄石大桥建设任务的交通部各单位,在交通部、湖北省、黄石市等有关部门的领导和组织下,以建设具有世界一流水平的大桥为目标,依靠科技进步攻克了大桥设计和施工中的许多难关,终于建成了体现当代世界建桥新水平的特大型预应力混凝土大跨径连续刚构桥梁。

## 1 设计一座技术先进和经济实用的大桥

黄石大桥的设计单位为交通部公路规划设计院,设计部门本着实用、经济、美观、先进的宗旨,以“主桥先进,引桥节省”为设计指导思想,依据黄石河段的地质、水文、地形等基础技术资料,把黄石大桥建设视为一项多元的系统工程,运用现代科学手段,努力寻求一个适合国情、技术先进、投资经济的最优方案。

### 1.1 桥址的选择

关于黄石大桥桥址的问题,曾在自回风矶至西塞山长约14公里的河段选择了4个桥位进行比较。上游桥位距回风矶不足3公里,虽然河床稳定、河道比较顺直对称,但通航视距不足,且在鄂州境内,故不宜采用;最下游桥位在西塞山山咀,河道最窄,水深流急,宜建悬索桥一跨过江,桥长约700米,造价高,两岸与国道连接困难,且通过黄石市区,综合比较不可取;沈家营桥位两岸地势平坦,江面宽阔,河水较浅,水流平缓,河势相对稳定,是一个适宜在江中布设桥墩的较好桥位。但南岸位于市区,既有南岸引道长度不足,纵坡处理困难等难题,又有通过市区干扰市内交通的弊端,且拆迁工作量大,故废之。最后将桥位定在黄石市区西北的黄石砖瓦厂河段,该河段自然条件与沈家营相仿,桥位地质构造稳定,主桥基础可直接支于基岩上。地理位置较为优越,南与武黄一级公路相连,北接106和318国道,而且拆迁工作量不大。因此,黄石砖瓦厂河段桥位是4个桥位中最理想的建桥地址。

### 1.2 桥型的确定

关于黄石大桥的桥型,设计部门提出过斜拉桥和连续

刚构桥两种桥型的6个初步设计方案。曾拟建一座460米斜拉桥,以解决江中布墩与通航的矛盾,并可减少江中深水墩基础和边跨施工的困难。但斜拉桥至少每隔30年必须换一次钢索,其费用相当于大桥造价的30%左右。同时,国产钢索很难达到设计标准,加上环境的影响和安装技术等因素,使斜拉桥钢索实际使用寿命远低于实验室的寿命。基于经济上的和技术上的原因考虑,慎重地选择了预应力混凝土连续刚构桥型,它具有正弯矩小、桥面接缝少、行车舒适、刚度大、整体性强、耐久耐震、外型美观、维修费用低等诸多优点。

### 1.3 建桥与通航关系的处理

在处理建桥与通航之间的关系时,充分考虑了长江航运事业未来发展的需要,同时,参照黄石上游和下游已有的几座桥梁桥下的净空和交通部的有关标准,按一级航道的规范取值。主桥设三个跨度为245米的通航孔,桥下净宽220米,净高24米,可满足载重5000吨单体轮船和32000吨大型船队上下行的通航要求。

### 1.4 大桥结构的设计与计算

在对涉及黄石大桥建设的技术、材料、资金、地质、水文等诸多因素进行系统分析的基础上,采用先进的QGS软件(APOLLO版)设计计算,确定了大桥结构的优化方案。全桥总长2580.08米,其中主桥长1060米,为(162.5+3×245+162.5)米五跨预应力混凝土连续刚构桥。

大桥主墩采用双壁钢围堰内加大直径钻孔灌注桩基础。桩径为3米,按嵌岩桩设计入岩深度不小于桩径的两倍,实际入岩均穿透风化层而大于10米。每根基础16根桩,根据设计桩数定围堰内径25米,外径28米。

双壁钢围堰按不嵌岩设计,但刃脚支垫必须稳固,与岩石的缝隙需封堵。针对5号墩岩面高差达4.8米的情况,改平底刃角围堰为异型刃角围堰,刃角与岩面基本吻合。围堰底部浇筑水下砼封底,封底厚度按7米设计。

承台厚度6米,按普通钢筋混凝土配筋。

墩身为双肢矩形薄壁钢筋混凝土实体墩,壁厚3米,壁厚10米,肢中心距10.5米(肢内距7.5米,外距13.5米),

平均肢高 44.17(2、5 号墩)~48.39 米(3、4 号墩),肢底标高分别为 -1(2、5 号)和 0(3、4 号),保证枯水期不碍航,同时使墩身带有极大的柔性。

墩身防撞设计。对“主桥墩碰撞力计算”开展了专项科研,设计船撞力横桥向 27000 千牛,顺桥向 9000 千牛(边墩减半),这一船撞标准在国内是最高的。这项成果的实际应用不但可以确保黄石大桥的安全,而且有助于推动我国桥梁防撞体系的标准化、系列化。

主桥上部结构设计关系到大跨径的成败,为此,将主梁三维空间分析列为专项开展科研攻关。设计箱梁为单箱单室断面,三向预应力混凝土结构,箱梁顶宽 19.6 米,箱梁底宽 10 米,根部梁高 13 米,跨中梁高 4.1 米,箱梁底缘按二次抛物线变化。桥墩与箱梁相接处采用固接,桥墩的刚度可满足箱梁的伸缩变化,主桥仅在 1060 米长的主梁两端设置大型伸缩缝和滑动支座。桥面总宽 20 米,其中分向行驶的四条机动车道宽 15 米,两侧各设 2.5 米宽的非机动车道。桥面机动车辆通行能力 25000 辆/日,设计车速 100 公里/小时。

总之,由于黄石大桥的大跨度和多跨连续,导致结构受力复杂,大桥设计中,运用常规计算和空间分析解决了大量的难题,理论计算和图纸绘制全部在计算机上进行,集中反映了我国桥梁设计的新水平。

## 2 黄石大桥施工中的科技进步

黄石大桥建设单位为湖北省交通厅和黄石市,上级主管单位为交通部。施工总承包单位为中国公路桥梁建设总公司,参加单位为中国港湾建设总公司,施工单位为部属第一公路工程局、第二公路工程局、第二航务工程局,监理单位为部属第二公路勘察设计院。1991 年 2 月,黄石市政府与中国公路桥梁建设总公司签订施工承包合同,合同开工日期为 1992 年 7 月 12 日,合同竣工日期为 1996 年 7 月 12 日。大桥施工过程中,各参建单位密切配合,针对施工中遇到的一系列难题开展科研攻关,依靠科技进步提前 7 个月圆满完成了黄石大桥建设工程,于 1995 年 12 月 16 日正式竣工通车。

### 2.1 主桥基础和下部构造施工

主桥基础和下部构造施工包括钢围堰、钻孔灌注桩、承台和墩身等项目,施工中这些项目的进行都离不开科技进步。

钢围堰在二航局分片制作,浮运到工地浮式平台进行分节组装,用 250 吨浮吊整节起吊,逐节接高下沉,第一节用刃尖砗调整下沉系数和平衡配重,第二节以后采取注水配重和浇筑水下夹壁砗配重,进入覆盖层后采取吸泥下沉,为了使钢围堰顺利下水落位,进行了钢围堰下沉模拟试验,针对钢围堰在厚砂层中难以下沉的情况,发明了水下不崩析触变液浆助沉法,5 号围堰下沉过程中失衡,发明混凝土挂块和采用拉绳扭扭,使直径达 28 米、高 31 米、重 900 吨的钢体围堰的异型刃脚与岩面吻合,其轴心偏差仅为 31.4 厘米,远低于工程允许的 1.3 米偏差,其最大倾斜仅为 1/400,远低于规范要求的 1/50;为了防止围堰落位后因流水冲击而自行移动,采取了在围堰上安装扭扭装置、制作液

压支腿、钢筋石笼护脚、浇注夹壁混凝土等一系列有效措施;通过主墩钢围堰大体积水下封底混凝土配合比的试验与研究,解决了水下大体积混凝土封底的难题;通过主墩钢围堰水下堵漏不离析混凝土配合比的试验研究,解决了钢围堰堵漏问题。

主墩基础共有 76 根灌注桩,其中,2~5 号各 16 根,1、6 号各 6 根,桩径均为 3 米,桩长 20~32 米。灌注桩的施工离不开钻机。在国内的桥梁深水墩建设中,要成就 3 米直径孔,一般使用冲击钻,先用 1.5 米钻,后 2 米,再 3 米,一次一次的扩大,但黄石大桥灌注桩的基础要求一次钻进成孔。施工中没被动地等待从德国引进钻机,二航局科研所与洛阳矿山机械厂联合研制成功 3 米钻机,这是国产第一台大直径钻机,与从德国进口的大型钻机相比,它具有结构简单,使用方便,价格低廉等优点。灌注桩施工靠国产钻机成孔 73 个,德国进口钻机仅成孔 3 个。

在承台和墩身的施工中,进行了主墩承台大体积混凝土配合比和墩身大体积高强粉煤灰混凝土配合比的试验研究,解决了承台和墩身的防裂难题。

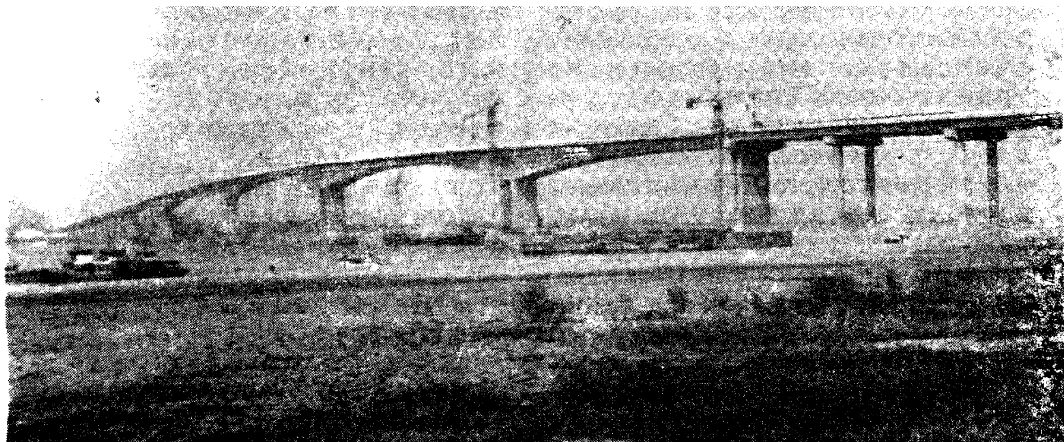
### 2.2 主桥上部构造施工

主桥上部构造施工包括单 T、合拢段和边跨现浇段等项目,同样处处离不开科技进步。

主桥共 4 个单 T,每 T 分 0 号块和 32 对悬浇块。悬臂施工要靠施工挂篮托住模板,大跨径决定了悬臂的块件不可能分得过小,悬浇块分段长度为 2.5、3.5、4.5 米三种,最大块重 265 吨,属于国内桥梁悬臂浇筑的最大块件。由于悬臂块件又大又重,如果施工挂篮也重,势必影响悬臂安全,这就要求设计轻型挂篮。二公局在反复摸索的基础上研制出了自重与自负之比为 0.393 的超水平轻型挂篮,挂篮构造分主桁承重系统、底篮和模板、液压传动和电器控制系统三大部分,结构紧凑、安全可靠,行走灵活、使用简便,利用竖向预应力筋做后锚而省去平衡重,利用液压顶升装置调整底模标高,全部挂篮构件顶推一次整体到位,内外模设滑梁安装就位方便。不分梁高和块长采用全断面一次浇筑。挂篮就位→钢筋管道→浇筑砗→养生→预应力→拆模为一个循环周期,平均 7~8 天,超过了美国的悬浇速度,比建设方对施工周期的要求缩短了 2~1 天。

悬臂施工的箱梁浇筑要求使用 55 号高强早凝混凝土,由于混凝土配制着较高的水泥渗和量和较小的水灰比,与管道输送要求较大塌落量形成了难解的矛盾。为了使由下而上的高强早凝混凝土顺利通过管道,进行了主梁高强泵送砗配合比的试验研究和参数测定,成功地解决了上部梁浇筑的难题。

悬浇阶段的施工控制十分重要,它是成桥曲线与设计理论曲线能否吻合的基础。通常应用的是卡尔曼滤波理论,但黄石大桥主梁悬浇的施工控制用的是我国邓聚龙教授的灰色理论,将箱梁恒载、施工荷载、温度、预应力度、砗收缩徐变以及体系转换和二部恒载等因素输入控制软件,计算本阶段的各块段的预留拱度和标高,并随施工条件的变化而进行调整。控制结果比较理想,观察箱梁底缘曲线比较圆顺平滑。在合拢段施工中,应用基于灰色理论建立的施工控



黄石长江公路大桥雄姿

程文摄

制方法,3个主跨跨中合拢段和两个边跨合拢段两端误差0.6~1.3厘米,远小于30毫米的允许误差数。

总之,黄石大桥施工中适应大跨度和多跨连续的需要,针对施工技术难题安排的科研项目达10余项,其研究成果直接用于大桥施工,保证了大桥的顺利建成。同时,大直径钢围堰、大直径钻孔灌注桩、大体积砼、大吨位悬浇块件、大吨位预应力,大跨度现浇段等带来的技术难题,导致了一批大型专业设备的研制和先进施工技术的创造以及传统工艺的发展。这些成果比较集中的反映了我国深水大跨连续刚构桥梁施工新水平。

### 3 高科技含量的黄石大桥之最

黄石大桥工程规模宏大,水文地质条件复杂,科技含量高,施工难度大。在大桥建设过程中,从设计、勘探到施工、检测,始终依靠科技进步解决各种技术难题,创造了多项全国乃至世界第一。

3.1 在世界上已经建成的T型刚构桥型中,黄石大桥主桥连续刚构总长度1060米,居世界首位;主跨跨度245米,仅次于澳大利亚布里斯班港的门道桥,居世界第二。

3.2 桩径为3米的大直径钻孔灌注桩首次在长江大桥建设中得到应用,全断面一次成孔,专门为黄石大桥主墩基础灌注桩成孔而研制的直径3米钻机取得成功,可钻岩强度达140兆帕,这是我国自行设计制造的第一台大型钻机,保

证了3米直径桩一次全断面钻孔成功。

3.3 自重104吨,承载能力265吨、工作系数0.393的轻型挂篮属国内首创,主要技术指标达到国际先进水平。

3.4 钢围堰施工中,外径28米的钢围堰分节整体吊装浮运就位属国内首创,速度快、精度高,加工与安装质量可靠;钢围堰采用不离析泥浆助沉在国内首次成功;0.5米落差水下不离析砼用于围堰堵漏属国内第一次。

3.5 主墩防撞标准属国内之最,接近世界最高水平,防撞设施属国内首次采用。

3.6 将灰色理论用于主梁悬浇和合拢段的施工控制,开创了工程控制中应用灰色理论的先例。

此外,主墩55兆帕高强泵送粉煤灰砼,主梁55兆帕高强、早凝、泵送砼,大吨位预应力张拉锚固系统,现浇段的长度和支架高度等,均居国内首次或首位。

如此众多的“第一”表明,没有科技进步的支撑,黄石大桥是建不起来的。黄石大桥正因为拥有这么多的第一,而具有时代特色,成为一座达到世界一流水平的特大型预应力混凝土大跨径连续刚构桥,它将代表我国90年代中期桥梁建设的新水平而载入中国和世界桥梁建筑史册!

(责任编辑 岑公)

收稿日期:1996-02-06