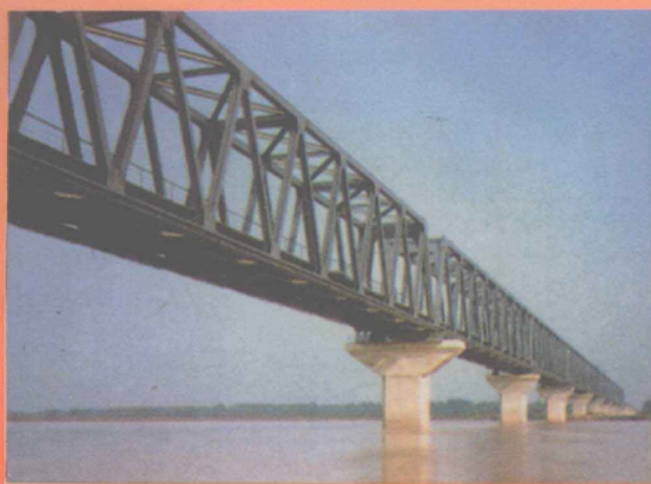


铁道部大桥工程局

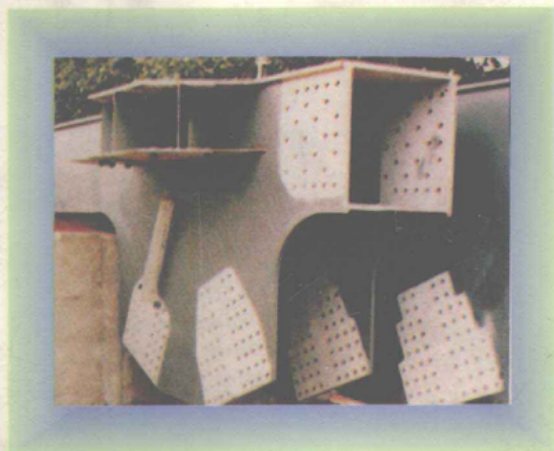
孙口黄河大桥

技术总结



科学出版社

责任编辑：张建荣 赵卫江
贺锡敬 邓燕清
封面设计：槐寿明



ISBN 7-03-006121-7



9 787030 061218 >

ISBN 7-03-006121-7

TU · 59

定 价：45.00 元

孙口黄河大桥技术总结

铁道部大桥工程局

科学出版社

1997

内 容 简 介

京九铁路孙口黄河大桥是目前黄河上最长的双线铁路桥,也是我国首次采用整体节点钢桁梁新技术的铁路特大桥。本书对该桥的设计、科研、施工进行了全面介绍,重点突出了整体节点这一新技术,系统阐述了整体节点钢桁梁的科研、设计、制造和安装等工作。本书可为我国桥梁工程,特别是整体节点钢桁梁的设计、施工提供有益的借鉴。

本书可作为桥梁工程以及建筑等相关专业的工程技术人员、科研工作者、施工管理人员及大专院校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

孙口黄河大桥技术总结/铁道部大桥工程局. —北京:科学出版社,1997

ISBN 7-03-006121-7

I. 孙… II. 铁… III. 铁路桥-工程施工-技术报告-中国-山东 IV. U448.135

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 12417 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

北京双青印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1997 年 12 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1997 年 12 月第一次印刷 印张:18 插页:10

印数:1—2 100 字数:411 000

定价:45.00 元

《孙口黄河大桥技术总结》

编委会

主任:沈成章

副主任:王燮培 林国雄 邵克华

委员 (以下按姓氏笔画为序):

王邦楣	邓燕清	叶启洪	朱庚田	李洪洲
林荫岳	费连宝	贺锡敬	黄铁生	栗杰
潘耀				

编辑组

组长:林国雄

副组长:邵克华 朱庚田 叶启洪

组员 (以下按姓氏笔画为序):

王靖国	邓燕清	朱旭初	林荫岳	周尚华
赵廷衡	贺锡敬	徐庆全	栗杰	潘耀

主要撰编审稿人员(以下按姓氏笔画为序):

王士祥	王世杰	王邦楣	王光明	王海渡	王靖国	王燮培	方太云
邓士明	邓加华	邓燕清	卢武	申天成	申福兴	叶启洪	朱旭初
朱庚田	刘杰文	刘承虞	孙昌茂	孙继曾	李兴华	李军堂	李仲襄
杨元旭	杨柳青	吴义龙	余时民	邹焕祖	沈幼智	宋国胜	张本基
陈想清	邵克华	林鹏	林国雄	林荫岳	罗兴声	罗瑞华	周文荣
周尚华	周胜明	赵廷衡	胡金玉	胡海滨	贺锡敬	栗杰	夏咏明
党志杰	钱开璧	徐进	徐华鑫	徐庆全	陶祖纪	黄龙华	曹元芳
曹红霞	龚复兴	隋宝善	彭月燊	葛兰生	葛金江	韩英华	管光华
潘耀	潘先煌	潘复山					

摄影:杨石修 张卫东

序言 I

被江泽民总书记誉为“20世纪90年代中国的一个伟大工程”的京九铁路已于1996年9月1日开通运营。它的建成给沿线经济注入了新的活力,促成了新的经济增长带的形成,实现了中国几代人的愿望,大长了中华民族的志气。铁道部大桥工程局的广大职工为能参加这一伟大工程的建设感到无上的荣光。

我局承担了京九线上跨越黄河、淮河、长江三大江河的特大型桥梁的设计、施工任务。这三座大桥皆为京九线上的控制性工程,特别是孙口黄河特大桥,可谓京九铁路的咽喉,是全线第一位的控制性工程。

党和国家领导人十分关心该桥的建设。1991年9月5日,国务院副总理邹家华亲临工地为大桥开工剪彩,揭开了京九铁路建设的序幕;1995年5月20日,国务院副总理吴邦国为大桥的建成和京九线北段铺通剪彩。铁道部领导更是关注着该桥建设的每一个进程。韩杼滨部长和孙永福副部长多次到工地指导工作。韩部长说:“现在是八省市看黄河,看大桥,大桥提前一天建成也是好的!”他们的关怀和鼓励促使我局建设者奋战四载,优质快速地建成了这座特大桥。

孙口黄河大桥全长6829.6m,是目前黄河上最长的双线铁路桥;桥址处属黄河下游,河床冲淤变化大,主河槽摆动不定,每年内,凌汛、洪水、风沙、严寒接踵而至;该桥计划工期四年半,实际施工期不到三年。其工程量之大、施工之艰巨、环境之艰苦、工期之紧迫都是空前的。而且,我们本着“每修一座桥都要推进我国桥梁技术向前发展一步”的原则,在该桥建设中应用了三角形无竖杆节点外拼装桁式连续梁新技术,并采用了低高度部分预应力混凝土梁。参加该桥建设的我局干部、技术人员、工人以“决不让黄河挡道”的气概,精心组织,顽强拼搏,刻苦攻关,终于圆满完成了党和人民交给我们的任务,并创造出了一流的速度、一流的质量,取得了两个文明建设的丰硕成果。我们要认真总结孙口黄河大桥建设中好的作法和经验。这是一笔宝贵的精神财富,推广开来又将产生巨大的物质力量。

翻阅《孙口黄河大桥技术总结》一书的手稿,眼前又闪现出该桥建设时那艰苦奋战的场景。我愿借此机会再次表达我对该桥建设者和总结撰写者的崇高敬意。

新世纪的曙光就要露出地平线,未来的世纪是新科技革命蓬勃兴起的时期,也是中华民族振兴的关键时期,我们要不断地总结已取得的经验,广泛吸收和采用先进的科学技术,紧紧追踪世界桥梁科技的发展,为我国的现代化建设作出更大的贡献。

铁道部大桥工程局局长

沈成康

1997年3月

序言 II

京九铁路孙口黄河大桥是京九铁路北段重中之重的咽喉工程。铁道部考虑到此桥是控制全线总工期的关键,因此决定提前动工。1991年9月5日邹家华副总理亲临工地为大桥开工按动了电钮,为京九铁路大会战拉开了帷幕。经过8个月的“四通一平”和施工准备工作,孙口黄河大桥在1992年5月24日开钻第一根钻孔桩。3000余名职工民工战洪水、斗冰凌、冒风沙、抗严寒,日夜奋战,顽强拼搏,于1995年4月5日铺通双线铁路,实际施工时间不足三年,工期比合同要求提前117天。1995年5月20日国务院副总理吴邦国在孙口黄河大桥桥头为京九铁路北京至阜阳段胜利铺通剪彩。孙口黄河大桥的提前铺通为京九铁路北段提前分流运营作出了贡献。1996年8月孙口黄河大桥通过铁道部初验,后被评为部优工程。

孙口黄河大桥地处黄河下游俗称豆腐腰的地段,这里水文地质复杂,河床冲淤变化大,主槽摆动不定,早春冰凌灾害,夏秋洪水泛滥,给水中墩的施工带来了很大困难。9号墩沉井施工时还遇到沉船,经潜水工在水下奋战半个多月才顺利通过。

孙口黄河大桥全长6829.6m,共173孔,178个墩台,是目前黄河上最长的双线铁路桥。连两岸路基、涵洞及金堤河、梁庙沟两座大桥,混凝土总量近19万立方米,施工范围9.3km。主河槽16孔四联 $4\times 108\text{m}$ 无竖杆连续钢桁梁,主桁全部采用整体节点新技术,对钢梁的制造和安装技术要求更高,这在国内尚属首次。17个主桥墩为新型薄壁轻型沉井基础,采用空气幕辅助下沉新工艺。为了攻克整体节点的这一新技术难关,在铁道部工程总公司的统一领导下,大桥局、大桥局设计院、宝鸡桥梁厂以及科研机构、大专院校等有关单位组织了专题攻关组,经过科研、试验,终于在国内首次实现了在工厂制造整体节点、在工地节点外拼装主桁杆件,使我国桥梁事业实现一个新的飞跃。孙口黄河大桥钢梁在国内有四个第一:第一次采用整体节点;第一次在主桁弦杆上采用等厚或不等厚板的对接焊;第一次在钢梁制造中采用精密切割工艺;第一次在钢梁上采用板式桥门与横联。

优质、高速地建成孙口黄河大桥,是大桥局干部、技术人员和工人发扬“拼搏奉献、创优争先”——京九精神的成果,亦是我局坚持科技兴国战略,不断推进科技进步结出的硕果。

本书是参加孙口黄河大桥建设的设计、施工和科研技术人员劳动成果的总结,期望对今后的桥梁建设有所借鉴。

本书采用了铁道部宝鸡桥梁厂、哈尔滨焊接研究所、铁道科学研究院、西南交通大学等单位研究的主要成果,顺致感谢!

铁道部大桥工程局副局长

孙口黄河大桥工程指挥部指挥长

王爱培

1997年3月18日

目 录

序言 I	(iii)
序言 II	(iv)
第一篇 全桥概述及勘测设计	(1)
第一章 概述	(1)
第二章 勘测设计经过及桥址选择	(2)
第三章 桥渡区域的自然条件	(5)
第四章 主要技术标准及建设规模	(9)
第五章 勘测与设计	(10)
第二篇 施工组织设计	(39)
第一章 组织机构、主体工程数量及工程进度	(39)
第二章 施工场地布置	(41)
第三章 工程造价	(42)
第三篇 基础、墩台及预应力混凝土梁	(43)
第一章 钻孔桩基础施工及钻孔桩试验	(43)
第二章 沉井基础	(51)
第三章 墩台建造	(61)
第四章 预应力混凝土梁	(66)
第五章 关于高填土桥台的几个问题	(75)
第四篇 整体节点钢桁梁设计	(77)
第一章 前言	(77)
第二章 设计依据和主结构钢材	(78)
第三章 结构设计	(82)
第四章 钢材用量和结构系数	(104)
附件一	(105)
附件二	(108)
第五篇 整体节点钢桁梁试验研究	(109)
第一章 试验工作概述	(109)
第二章 钢梁基材研究	(112)
第三章 焊接试验	(122)
第四章 对接焊缝机械性能	(153)
第五章 有板厚公差的拼接接头性能	(163)
第六章 交叉焊缝疲劳试验	(175)
第七章 焊接接头韧性与强度匹配	(181)
第八章 精密焰切对疲劳强度的影响	(183)

第九章	节点模型试验研究	(187)
第十章	整体节点焊接残余应力测试	(192)
第六篇	钢梁制造	(199)
第一章	焊接试验	(199)
第二章	氧-乙炔火焰精密切割的实施	(204)
第三章	材料	(206)
第四章	技术准备工作	(214)
第五章	制造工艺	(219)
第六章	钢梁制造质量控制及评述	(226)
第七篇	钢梁架设	(232)
第一章	钢梁安装方案	(232)
第二章	钢梁安装施工组织及设备	(236)
第三章	钢梁架设	(244)
第四章	高强度螺栓施拧	(253)
第五章	钢梁油漆	(257)
第八篇	工程质量及通车检定试验	(260)
第一章	工程质量	(260)
第二章	通车检定试验	(264)
第九篇	对整体节点钢桁梁新技术成果的评述	(274)

第一篇 全桥概述及勘测设计

第一章 概 述

京九铁路孙口黄河大桥工程位于河南省台前县与山东省梁山县交界处的黄河下游河道上,孙口渡口是刘邓大军渡过黄河向中原挺进时的渡口,该桥的命名即为纪念这一伟大的历史事件。孙口黄河大桥位于京九铁路北段,是京九铁路线上的重点工程之一,是一项一次建成的复线铁路工程。整个工程由金堤河大桥、梁庙沟大桥、黄河大桥北引桥、主河道正桥、黄河大桥南引桥五段桥梁和各段间填土路基组成,桥梁全长 6829.6m。其中金堤河大桥为 13 孔 24m 部分预应力混凝土超低高度简支梁桥,长 321.2m;梁庙沟大桥为 12 孔 24m 部分预应力混凝土超低高度简支梁桥,长 296.5m;北引桥为 48 孔 32m 预应力混凝土简支梁桥,长 1569.7m;正桥由 20 孔 40m 预应力混凝土简支梁加四联 $4\times 108\text{m}$ 连续钢桁梁加 31 孔 32m 预应力混凝土简支梁组成,长 3563m;南引桥为 33 孔 32m 预应力混凝土简支梁桥,长 1079.2m,黄河大桥北引桥、主河道正桥和南引桥全长 6211.9m。整个工程混凝土量 181598m^3 ,其中下部结构 154702m^3 ;钢材 28101t(包括钢梁 14093t),高强度钢绞线 354t,高强度钢丝 1222t。

第二章 勘测设计经过及桥址选择

第一节 勘测设计经过

孙口黄河大桥桥梁工程设计工作周期较长,1974年12月上旬,根据原交通部的安排,大桥局设计院会同铁道部第三勘测设计院对京九线黄河大桥的桥址进行了踏勘,并征求了地方有关单位的意见,于1975年初以桥革设(75)字第028号函,向第三勘测设计院送交了《京九线黄河大桥桥位方案选择报告》,作为京九线北京至商丘段方案研究报告的一部分,此文件铁道部未予审定。

1978年铁道部在上报国家计委的(78)铁计字830号文《关于北京九江铁路设计任务书的报告》中,指定黄河大桥在寿张孙口过黄河,并指定大桥局负责黄河大桥的设计和施工。据此,大桥局设计院对孙口黄河大桥进行了勘测和方案研究工作,并于1978年底完成了方案研究报告并报部审查。由于在(78)铁计字830号文中指定在寿张孙口过黄河,因此在方案研究报告中仅对孙口桥渡范围内适宜于建桥的桥位进行了勘测、研究和比选,对涉及路网布局的线路走向比较桥位未予进行比较。1985年7月,国家计委在批复衡水至阜阳线设计任务书时,要求铁道部对黄河大桥的桥址“再搜集一些综合资料,然后论证定案”。为此,1983年下半年大桥局设计院与第三勘测设计院联合进行了孙口、鱼山、艾山诸桥位线路走向的补充研究工作并报部审查。1984年铁道部主持了论证会,但意见未能统一。1986年9月底,铁道部基建总局在天津召开了有关单位参加的衡(水)商(丘)段方案会,并于10月初下达了《关于开展京九线衡水—商丘段补充设计方案竞赛的通知》,特邀第三勘测设计院和专业设计院对衡水至商丘段进行设计方案竞赛,大桥局设计院配合两单位进行有关黄河大桥部分的设计工作。两参赛单位于同年底完成了方案竞赛文件。1987年3月,铁道部委托规划院主持了方案竞赛评审会,但会上对孙口、鱼山两桥址方案的比选意见仍未统一。1987年9月,铁道部总工程师屠由瑞带领有关部门的领导和专家,并邀请山东省以及黄委会的领导和专家们对衡商段黄河大桥桥址及两端线路进行了实地勘察,广泛听取了各方面的意见,暂定按孙口桥址的王黑和赵庄两桥位进行线路及黄河大桥的初步设计,并落实技术、经济和地方支持铁路建设的优惠条件,同时还决定对有关水文工作存在的疑点做水工模型试验,并以铁计[1987]974号文下达了勘测设计任务。据此大桥局设计院安排了孙口黄河大桥的初步设计的勘测和设计工作,同时分别委托铁科院和黄委会进行水工试验工作,1988年11月完成了初步设计并上报铁道部,初步设计按铁计[1987]974号文要求设计预留复线。1989年11月15日铁道部计划司电报通知,要求按一次建成复线初期单线铺轨修改初步设计。大桥局设计院于1990年2月完成初步设计修改并上报铁道部。1990年5月中旬由铁道部主持召开了经修改后的初步设计文件审查会。根据这次会议审查的意见,大桥局于1990年10月以桥设[1990]429号文报送了补充初步设计,主要是解决黄河干流小浪底水库动工兴建后滞洪区条件改变引起设计标准变化和有条件将山东省阳谷县境内的四棚车站移到河南省台前县境内的滞洪区中部的问题。同年10月底,铁道

部以铁建函[1990]401号文对本桥的初步设计正式批复。1990年11月,大桥局设计院与中国铁路工程发包公司签订了孙口黄河大桥勘测设计合同(合同号设经[90]-31号),承担孙口黄河大桥的后期勘测设计工作。1991年2月20日铁道部建设司以建鉴[1991]22号文批复了孙口黄河大桥的补充初步设计文件。至此,大桥局设计院完成了初步设计工作。后大桥局又按照铁道部对孙口黄河大桥修改初步设计和补充初步设计文件的批复意见编制了技术设计文件,于1991年4月22日以桥设[1991]150号文上报铁道部。铁道部于1991年8月中旬对技术设计文件进行了审查,于1991年10月10日以铁建鉴[1991]453号文批复了技术设计文件。根据铁道部对技术设计文件的批复意见和黄委会1992年5月20日黄河务[1992]36号文的要求大桥局设计院进行了施工图的设计。

第二节 桥址选择及其评价

工程前期工作从1974年底至1987年9月长达13年,周期较长。曾按北京至九江(小京九)或北京至向塘高速铁路和以后又按Ⅰ级干线北京至九江后又改至九龙(大京九)进行路网中线路走向比较的桥位比选。比选范围上起山东省鄄城县旧城集,下至山东省平阴县艾山,在长近100km的黄河下游河道上选择跨越黄河的桥位。前后选用过旧城集桥位、孙口桥址的王黑桥位和赵庄桥位、石洼桥位、位山桥位、鱼山桥位、艾山桥位,并均进行了现场踏勘、调查、听取地方各有关单位及黄委会的意见。其中旧城集、孙口桥址的王黑和赵庄、鱼山、艾山桥位均进行了前期的勘测工作;位山和石洼两桥位因黄委会已有水工工程安排,未再进行勘测工作。

1. 旧城集桥位

在1978年的踏勘过程中曾对该桥位详细进行了调查,但由于当时指定在孙口过黄河,因此未予深入研究。1986年9月天津会议后,大桥局设计院在配合第三勘测设计院和专业设计院进行路网布局选线方案竞赛中,才重新进行了深入研究,并做了前期的勘测工作。旧城集桥位有线路顺直、线路短、工程量省的优点,但由于在路网中偏靠京广铁路,从桥梁本身来看,北穿北金堤滞洪区的上段,桥位处滞洪区宽约13.5km,桥长约20km,需要在滞洪区内设站,高填土的站场不仅土石方工程量大,占耕地多,还将影响滞洪时过洪速度,浸水路堤的防护及维修工作量也很大,桥位还位于8度地震区,因此从整体上看不尽合理而予以放弃。

2. 孙口桥址处的两个桥位

孙口桥址的王黑和赵庄两个桥位分别在孙口渡口的上游2km和下游6km处,在线路走向、河道条件上区别不大。因此,在大的线路走向上进行比较时是以孙口桥址作为一个方案进行比较的。桥址在路网中正好适中,线路所经地区及县级城镇较多,地方积极性高,黄委会也表示赞同,是桥位比选中的重点桥址。桥址位于黄河下游从游荡性河段过渡到弯曲性河段的过渡河段的下段,两堤间距离3.7km至4.3km,主槽摆动幅度较大,大桥北穿北金堤滞洪区的尾部,宽约10.5~5.5km,与鱼山桥位比较,衡水至商丘段线路总长短了27.97km,总造价节省1亿多元,每年节省运营费400多万元,且可经菏泽利用已预

留的刘庙区段站。但桥梁本身桥长、工程量大、造价高。经反复比较、论证而最终予以采用。至于孙口桥址中是采用王黑桥位还是采用赵庄桥位的问题,经过 1988 年初步设计中同精度比较和水工试验的验证,赵庄桥位虽有河道较为顺直,主槽摆动幅度相对较小的优点,但与王黑桥位比较,两大堤间距离宽了 500m,蔡楼工程漫水和破坏后,南滩过水较多,流速较大,同时主槽受石洼闸分洪时的朔源冲刷影响比较明显,南岸引桥段地势低,排水不易,引桥较长,除离阳谷县和台前县城关镇较远之外,在滞洪区的桥梁还处在曲线上,整个工程造价也略高于王黑桥位。因此最终采用了王黑桥位,仍称孙口桥位,并经铁道部审查批准。在后期设计工作中,抓住了黄河干流小浪底水库动工兴建而改变了北金堤滞洪区运用条件的有利契机,经与黄委会多次协商,恰当地确定了滞洪区内洪水设计标准,减短了桥长,创造了将桥头从位于山东省阳谷县境内的四棚车站移到河南省台前县境内滞洪区中部的条件,提高了该线初期单线的通过能力,设计范围内总桥长也由原初步设计的 12294m 减少到 6829.6m,减少了桥长 5464.4m,节省投资近 1.3 亿元。总的来看,调整总体设计后的孙口桥位是一个在路网中适中、所经地区和县级城镇多、地方积极性高、工程量省、经济效益高、能源消耗少的好桥位。

3. 鱼山桥位

鱼山桥位在山东省东阿县和东平县交界处的河道上,离黄河下游弯曲性河道的起点陶城埠不远,河道仅宽 1km 左右,北有鱼山,南有阳谷山控制河道稳定,基岩埋置浅,地质条件好,又无滞洪区的影响,桥长仅 3.14km,是一个理想的桥位。但是,从整体比较,除在路网中偏靠京沪铁路外,线路总长较孙口桥位长,南岸山区曲线多、隧道多、土石方工程量大,且不经菏泽而不能利用预留的刘庙区段站,总投资多,运营成本高,能源消耗大。另外,晋东南的煤炭经新荷铁路转京九铁路往华东地区需多绕行 87km。因此,从路网布局和长远观点看,鱼山桥位虽然有优越的建桥条件,但对运营条件、能源消耗和长期运营成本不利,并且黄委会认为该桥位紧靠黄河冰害地段而担心凌汛灾害,最终予以放弃。

4. 石洼桥位和位山桥位

石洼桥位除黄河河道较孙口桥位窄、主槽摆动幅度小的优点之外,从路网布局、线路长度等方面看优点不多,且对东平湖滞洪区分洪进口闸石洼闸有干扰,虽然避开了北滞洪区,但南岸在东平湖滞洪区内。经踏勘调查后即予以放弃。

位山桥位有河道窄,主槽稳定,地质条件好等优点,但与南水北调东线方案过黄河的位置重合,现场踏勘调查后亦予以放弃。

5. 艾山桥位

艾山桥位是路网中最偏东的一个桥位。该桥位位于黄河下游最窄之处,河宽仅 300 余米,是黄河下游行洪量的控制点。地质条件好,除黄委会要求跨度大于 300m 之外,是一个建桥的理想桥位。此桥位是为泰邯铁路与京九铁路共用一座桥梁而选取的,两条铁路共用可充分利用桁宽条件修建成一座三线铁路桥。由于河道窄,水文条件好,南岸地势高,因此桥长短,造价也省。但由于泰邯铁路与京九铁路建设不能同步,在路网中又过于偏靠京沪铁路,因此将此桥址仍留给泰邯铁路比选用。

第三章 桥渡区域的自然条件

第一节 河道概况

黄河是中国第二大河,位于我国北部,西起青藏高原,流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东九省(区),在山东省垦利县入渤海。干流全长 5464km,流域面积 75.24 万平方公里。

黄河下游西起河南省孟津县铁谢,东至渤海海口,长为 800 余公里。黄河下游现河道是在不同历史时期形成的,孟津至郑州黄河大桥上游的沁河口是禹河故道,沁河口到兰考东坝头已有 500 多年历史,东坝头至陶城埠是 1855 年铜瓦厢决口后在泛区内形成的河道,陶城埠以下鱼山至入海口,原系大清河故道,铜瓦厢决口后为黄河所夺。北岸自孟县以下,南岸自郑州铁路桥以下,除东平湖到济南田庄为山岭外,两岸均建有大堤,是一条堤防河流。由于黄河中下游下泄大量泥沙,泥沙的落淤范围被局限在两岸大堤之间,造成河床逐年抬高,经过 130 余年的逐渐落淤,河道的滩面一般高出堤背地面 3~5m,部分河段达 10m,是世界著名的地上“悬河”。

按照河床演变的特点,黄河下游的河道可分成 4 段,高村以上是游荡性河段,高村至陶城埠是自游荡性向弯曲性过渡的过渡性河段,陶城埠至前左是弯曲性河段,前左以下属河口段。

京九铁路孙口黄河大桥工程位于黄河下游高村至陶城埠的过渡性河段内,高村至陶城埠河段全长 165km,堤距较宽,一般在 5km 以上。该河段主槽摆动幅度虽较游荡性河段为小,但一般摆动幅度亦达 3~4km。孙口桥位处于过渡性河段苏泗庄以下,该段河道迂回较甚,河道弯曲的外形很不规则,河湾发展速度比较大,凹岸的淘刷及滩岸的坍塌都很严重。

近三四十年黄河下游受三门峡水库、河道整治和尾闾河段延伸摆动的直接影响,河道平面形态的变化频繁而又复杂,各个河段不同时期的演变也不相同。但经过 30 多年的整治和兴修了大量控导护滩工程,起到了控导主流、稳定河势、护滩保堤的作用。由于河道整治工程改变了河岸的可动性,促使一些河道发生转化,高村至陶城埠河道整治前后河床演变也有很大不同,特别是 1965~1970 年期间兴修了大量控导工程,河道平面变形受到一定程度控制,除局部河段外,主流摆幅显著减小,河床弯道也基本稳定。桥位附近两个弯道上就有梁路口和蔡楼两个护滩工程,对控制主流摆幅有明显作用。1982 年花园口流量达 $15300\text{m}^3/\text{s}$,孙口流量达 $10100\text{m}^3/\text{s}$ 时,蔡楼工程虽局部坍塌,但主流仍在原处,说明桥位处的河道相当稳定。

桥址区域两岸大堤相距宽约 3.7~4.3km,枯水时水面宽约 400m,汛期水面虽有所展宽,但水深不大,有利施工。根据黄河下游现代河床演变及下游主流线变迁图分析孙口附近主槽摆动范围可达 2.5km,而桥位处主槽摆动范围约 1.8km。因此,河道主管单位在该桥可行性研究和初步设计阶段曾提出按 2.0~2.5km 河宽内布设河槽主孔的要求。

北金堤滞洪区位于孙口黄河大桥桥位中线的北段,在黄河遭遇大洪水时,高村以下河道无法容纳大洪水通过,经国务院批准后用于滞洪。桥位处滞洪区的宽度(含台前圈堤内宽度)达 10.5km,内有位于其北侧的金堤河,金堤河以北建有北金堤。

第二节 桥渡水文及其特点

桥渡水文及其特点是由桥渡所在河段的河道平面及纵向形态和上游来水来沙条件决定的。

京九铁路孙口黄河大桥地处黄河下游游荡性向弯曲性河道过渡的过渡性河段,两岸受大堤控制,由于大量泥沙在大堤之间落淤使其成为一条堆积性河流。黄河的洪水是由暴雨形成,较大洪水多在每年 7~9 月间发生,洪水来势猛,历时短,峰高量大,特别是三门峡至花园口区间,暴雨时空分布集中,有时伊、洛、沁河与干流三花间会同同时遭遇洪水,使黄河下游控制站花园口发生较大洪水流量。花园口到孙口桥位之间河道宽阔,比降平缓,有较大的滞洪削峰作用,但其削减情况,视洪峰峰型胖瘦和河道淤积情况的不同而有所变化。

黄河下游河道是一条淤积性河道,其淤积问题相当复杂。由于其上游水土保持不好,河道大量细颗粒泥沙随着流速增大向下游移动,其总的趋势是逐年淤高,但并非单向淤积,在不同的年份和不同来水来沙条件下河道有淤有冲,冲淤交替发生。因此桥渡的净空设计就需要考虑在桥梁使用期内河道的淤积,而建桥时预留的淤积高度又必须与治黄规划中的既有堤防加高的可能、现有河道的寿命、河口治理安排及上中游水利、水保工程等相协调。

由于三门峡水库早已建成,三门峡水库控制其上游来水,因此除极个别情况由三门峡以上来水决定下游洪水外,绝大部分则由三门峡至花园口区间的洪水决定黄河下游洪水流量。但因三门峡以下的小浪底大型水利枢纽已经开工建设,并拟于 1997 年截流,而小浪底水库截流后将黄河下游的来水来沙条件起着极重要的作用。因此考虑和利用小浪底水库的条件是设计孙口黄河大桥的一个重要因素。

孙口黄河大桥桥位横跨北金堤滞洪区,桥位上游 122.4km 处为渠村分洪闸。根据黄委会提供的北金堤滞洪区运用方案,当花园口站发生流量为 $22000\text{m}^3/\text{s}$ 以上洪水时,考虑花园口至孙口河段的槽蓄作用和东平湖湖底水位的条件并计入汶河来水,山东河段的河道水位若仍超过河道设防流量,且难以解决下游河段防洪安全时,报请中央批准运用北金堤滞洪区。在黄河发生特大洪水时,渠村闸最大分洪流量为 $10000\text{m}^3/\text{s}$,遭遇三百年一遇洪水时,渠村闸分洪流量为 $7000\text{m}^3/\text{s}$ 。

1993 年小浪底水库工程动工兴建,这一大型水库兴建后,黄河下游洪水条件将发生大的变化。在黄河下游花园口站发生千年一遇洪水时,将不动用北金堤滞洪区。1991 年 2 月国家计委重点建设协调监督司召开铁道、水利两部协调会,会上决定孙口黄河大桥按小浪底水库建成后条件设计。

孙口黄河大桥处于凌汛区域之内。黄河下游河道从兰考东坝头转向东北至山东垦利河口,其纬度相差 3 度。气温上暖下寒,河道上宽下窄,排洪能力上大下小,每年冬季封河先下后上,冰层下厚上薄,解冻开河上早下晚,上游解冻的冰水齐下,沿途汇集,越集越大,

形成凌汛。遇到恶劣气候,冰层较厚,反复封、开河或武开河,当遭遇冰期凌峰流量较大时,在弯曲狭窄河段流势不顺之处,冰凌容易卡塞形成冰桥或冰坝,抬高水位,严重时造成灾害。

据不完全统计,自 1883 年至 1936 年的 54 年中,黄河有 21 年在凌汛期决口共 40 处,其中利津河段有 17 处,但在本桥渡区域内未发生过。解放后自 1951 年以来发生较严重的冰坝有 8 年 9 处之多,其中 1957 年在本桥渡区域内的南党形成冰坝,水位高达 45.45m,比流冰期正常水位高出约 1.5m,但未形成凌汛灾害。

由于桥渡区位于黄河下游的中段,靠近封河末端,封河机遇和时间均较下段为少。桥渡区只有一半年份封河,封河时间大多为半个月左右,冰厚以 10cm 以下为多,最大冰厚可达 30cm。流冰面积大体在 1000m^2 以下,最大曾达 20000m^2 ($200\text{m} \times 100\text{m}$,发生在 1965 年)。开河时间与下游艾山相比,除个别年份稍早几天外,大都在同一天开河,流势通顺。加上凌期流量有三门峡水库控制,故从影响凌汛的热力因素、水力因素等方面看,桥渡区域似不会形成凌害。但有一半年份可能封河,流凌情况势难避免,因此在桥渡设计中要考虑排凌条件,在施工中也需准备必要的防凌措施。

第三节 工程地质

孙口桥址区域地质属新华夏系第二沉降带,是长期凹陷下沉地带,早在中生代曾经强烈下沉,到第四系仍继续沉降,基岩埋置较深,据台前县深水井资料揭示,基岩埋置大于 100~200m,上部覆盖层全部为第四系全新统沉积地层,在 80m 深度范围内经钻探均未见基岩,桥梁基础全部在第四系沉积地层之中。地质土以砂性土为主,夹有砂粘土和粘土互层,土性疏松,粒径较小,层次变化大,层位也不稳定,反映出河道冲淤变化大。土层以粉砂和粘砂土为主,较好的持力层都在 45m 以下,因而基础埋置深度较深,与黄河冲刷较深的情况是相适应的。

在地表以下 70m 深度范围内,地质土层大致分为四大层次,其特性如下:

I 层以黄色至黄褐色粘砂土、粉砂为主夹有砂粘土、粘土互层,表层为耕植土,是近代黄河泛滥冲积物,结构松散,粘性弱,底层高程在 +29m 左右;

II 层以砂粘土和粉细砂为主,局部夹粘砂土、中砂互层,含腐殖质,厚度不一,历经黄河河道变化,下层呈波状起伏,层底高程变化较大,北侧一般层底高程为 +27~+24m,最高处为 +32m 左右,最低处为 +16m,南岸变化较小,层底高程在 +26~+34m 之间,以湖沼交变沉积物为主,间断掺入河流相沉积物;

III 层主要由砂粘土、粉细砂组成,夹粘土、粘砂土、中砂等互层,横向变化大,粘性土与砂粘土交错存在,呈透镜体状或树叉状,层底面成波状起伏,高程在 +2~+3m 之间,反映黄河河道变化频繁,沉积物受河道摆动影响显著。砂粘土中含不等量礞石,为近代河湖相交变沉积物。

IV 层以砂粘土为主,硬塑状,夹粉细砂,局部见中砂、粘土和粘砂土,呈透镜体状分布,层底高程变化较大,成波状起伏,层面附近再生结构的礞石较为集中,局部成砾状结构,是水流冲蚀、搬运沉积的产物,属河湖相交变沉积层。该层是较好的持力层,桥梁基础底均设置在该层之中。