



京杭运河穿黄工程探析

闵朝斌

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 介绍京杭大运河历史、现状和发展成就。在南水北调东线第一期长江水已过黄河的基础上, 参照国际上河流穿越工程的先进经验, 结合黄河的水文、地形、地质条件, 提出几种可能的运河与黄河平交和隧洞、渡槽、宽轨+船箱等立交航运方案, 并给出分析意见。京杭运河穿黄航运工程方案的提出与实施, 不仅在技术上向世界昭示我国内河水运工程的建设水平, 而且在创造条件实现京杭大运河全线通航的同时, 为京津冀地区一体化发展做出应有的贡献。

关键词: 船闸; 南水北调; 航运; 穿黄方案

中图分类号: U 641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)04-0139-06

Beijing-Hangzhou Canal crossing Yellow River

MIN Chao-bin

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: Based on the past, current situation and development achievements of the Beijing-Hangzhou Canal, considering that water in the Yangtze River has crossed the Yellow River after implementation of the south-to-north water diversion project east line phase I project, referring to the advanced experience on the river-crossing engineering over the world, and according to the hydrological, topographical and geologic conditions of the Yellow River, the author puts forward several proposals on the interchanging schemes including level crossing and overhead crossing as using tunnel, canal bridge, wide track plus ship chamber and corresponding analyzing comments. The presentation and implementation of the Yellow River-crossing engineering scheme for Beijing-Hangzhou Canal not only declares the construction level of water transport engineering in China to the world, but also makes contribution to the integrative development of Beijing, Tianjin and Hebei province in the process of realizing the whole-line opening to navigation in Beijing-Hangzhou Canal.

Keywords: ship lock; south-to-north water diversion; navigation; Yellow River-crossing scheme

京杭运河, 是一条连通海河、黄河、淮河、长江、钱塘江五大流域, 流经北京、天津、河北、山东、江苏、浙江六省市, 长达1 754 km的内陆运河。

京杭运河河道地形、水文与所经区域和所交河流有关。按运河低水期情况估计, 北京至天津段: 北京通县高、天津低, 高差约30 m; 天津至

扬州段: 黄河高, 天津、扬州低, 高差约40 m; 諫壁船闸至杭州段: 諫壁略高, 但比杭州只有几十厘米的差别。由于华北地区缺水和其它主客观原因, 大运河黄河以北的运河已断航半个世纪。现南水北调东线第一期工程即将完成, 并试通长江水过黄河(图1)。

收稿日期: 2014-06-06

作者简介: 闵朝斌(1926—), 男, 教授级高工, 从事港口航道工程设计工作。

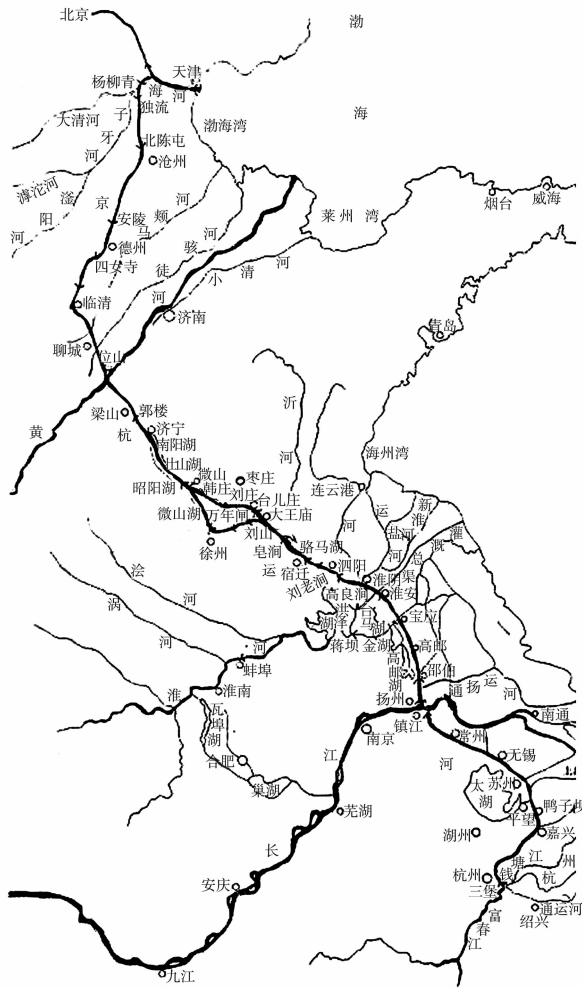


图 1 京杭大运河示意

1 大运河历史沿革^[1-6]

为有利于研究，下面主要按北京建都的大运河，且黄河干线自 1947 年花园口堵口后从南边徐州、淮河出海回到北边从垦利县出海的稳定现状谈历史背景（表 1），并探讨穿黄工程问题。

至此，从公元前 486 年至公元 1688 年，前后持续约 2 174 a。北京至杭州运河全线贯通，迄今已有 2 500 a 历史。

2 发展简况

建国初期京杭运河的情况：北京—天津段的北运河通小船；天津—临清的南运河段，得益于引黄济卫 30 个流量从卫运河新乡流入临清，通 100 吨级船舶，1957 年运输量达 150 余万 t。漳河岳城水库蓄水用于灌溉后，至今，南运河缺水断航。

临清—章秋闸，区间偶通小船。

黄河北岸章秋闸—黄河南岸东平湖国那里闸，由于穿黄河段河底高程高于两岸地面 8~10 m（属地上河），且黄河堤宽河宽、水流分散、沙质滩多、水浅，主流左右摇摆，船舶航行困难，偶通小船。济宁—扬州和江南运河段，20 世纪 50 年代初可通航 100 t 以下小船组成的一列式船队。

表 1 北京运河史

河段	年代	路线	河名	说明
北京段	元世祖 29 年 1292AD	昌平—昆明湖—积水潭	通惠河	现京密引水渠
北京段	1293 AD	积水潭—通州	通惠河	
北京—天津段	隋炀帝大业四年 608 AD	通州—天津	永济渠	现称北运河
天津—临清段	隋炀帝大业四年 608 AD	天津—临清	永济渠	现称南运河
临清—黄河位山段	元 26 年 1289 AD	临清—黄河位山	会通河	位山—安山当今穿黄河段
黄河安山—南阳段	元 13—20 年 1276—1283 AD	黄河安山—济宁,经鲁桥至南阳	济州河	会通河,济州河合称会通河。
南阳—留城	明嘉靖 44 年 1565 AD	南阳—留城	南阳新河	现运河湖东线绕道至湖西留城
留城—宿迁	明万历 32 年 1604 AD	微山—宿迁	泇河	
宿迁—淮安	清康熙年 1688 AD	宿迁—清口—淮安	中运河	当时位于黄河左岸
淮安—扬州	吴王夫差 10 年 486 BC	淮安—扬州(施桥)—六圩	邗沟	隋炀帝大业 4 年 608 AD 重修此段
谏壁—杭州	隋炀帝大业 6 年 610 AD	镇江谏壁—常州—无锡—苏州—嘉兴—杭州	江南运河 京口—余杭	

但自 1958 年，改革开放和市场经济代替计划经济各个时期的特点：1958—1961 年集中以里

运河河段的船闸、航道及堤防为重点进行大规模建设。当时按 II 级航道标准建设了解台、刘山、

宿迁、泗阳、淮阴、淮安、邵伯、施桥 8 座船闸 (230 m × 20 m × 5.0 m)，航道尺度 (宽 × 深 × 弯曲半径) (30 ~ 45) m × (2.5 ~ 3.0) m × (600 ~ 800) m。2 000 吨级船舶、港口设施不配套，航行的还是一列式拖带的 60 ~ 100 t 木船队，未形成实际的运输能力。但结合防洪的运河西堤的建设，保护了里下河地区 100 万 hm^2 农田和 800 万人民生命财产的安全。扩大灌溉面积 56.2 万 hm^2 ，排涝面积 41.6 万 hm^2 ，还扩大了排洪能力，综合利用效果显著。20 世纪 60—70 年代，适应国民经济的调整方针，运河进行了分散、小规模建设。如 1958—1962 和 1972—1978 年分别建设了解台、刘山及皂河、刘老涧二级船闸 (230 m × 20 m × 5.0 m)，按 VI 级标准建设了梁济运河和郭楼船闸，1961 年建了 II 级标准的微山船闸，1968—1972 年建了伊家河韩庄、刘庄、台儿庄 3 座 VI 级船闸。直到 1983 和 1992 开挖成 VI 级航道。其特点主要为山东省地方运输服务。

20 世纪 80 年代前后，向北延伸、填平补齐和配套进行了大规模建设。扩建了宿迁、泗阳、淮阴、淮安、邵伯、施桥和皂河、刘老涧及蔺家坝 9 座船闸 (230 m × 23 m × 5.0 m)，加大了航道尺度 (50 ~ 70) m × (3.2 ~ 4.0) m × 800 m。重要的是配套建设了现代化港口、通信设施、修船厂等，使实际运输量达到近 1 000 万 t。

20 世纪 90 年代至 21 世纪初，续建济宁一大王庙河段，向长江以南延伸，大规模进行南运河建设。除韩庄、万年闸、台儿庄按 II 级船闸 230 m × 23 m × 5.0 m 建设外，航道暂按 III 级建设。以三堡船闸 192 m × 12 m × 2.5 m (1989 年)；192 m × 12 m × 2.5 m (1998 年) 沟通了钱塘江，以谏壁船闸 230 m × 20 m × 4.0 m 沟通长江。而 1997 年完成的 312 km 江南运河，结合市河改道按 IV 级航道建设，先按 III 级航道改造。常州、无锡已完成市河改造，2014 年计划完成苏州市河改建，航道尺度 45 m × 3.2 m × 480 m。

苏南运河，连接苏申内外港线、长湖申线等省

际内河航道，常年有 13 省市的船舶航行，2010 年货运量超过 2.5 亿 t。而苏北运河 2013 年完成货运量 2.72 亿 t，货物周转量 487 亿 t/km。山东鲁运河 2009 年完成货运量 35 亿 t、周转量 122 亿 t·km。以上数据表明：仅黄河以南京杭运河全线完成的货运量居于世界所有内陆运河之首位，且在国内仅次于长江。如南北全线沟通，除具有重大的政治意义外，还由于为津浦、沪杭铁路分流，将减轻铁路运输压力；改善工业布局，正能量影响沿线和腹地内城市 GDP 的增长；综合利用河道，共用河道通航、输水等。

3 南水北调东线与大运河关系

南水北调东线开发的目的是引长江水北上灌溉农田和城市供水。其线路从长江六圩上游的江都抽长江水后，利用大运河和沿线河流输水以及沿线湖泊蓄水，逐级扬水北上。这对京杭大运河北段（特别是黄河以北）补水大有好处。穿黄工程位于山东省东平和东阿两县境内黄河解山和位山间。工程由东平湖湖内疏浚、出湖闸、南干渠、埋管进口检修闸、滩地埋管、穿越黄河距河底约 70 m 的直径 7.5 m，长约 585 m 的隧洞以及直径 9.3 m 的倒虹隧洞、出口闸、穿引黄渠埋涵及连接明渠等建筑物组成。全长约 8 km，总投资约 6 亿元，工期 3 年。2013 年底基本可以按第一期工程要求输水 200 m^3/s 过黄河。穿黄方案采用河底隧洞是避开黄河泥沙的最佳选择。长江清水可以通过黄河底压力隧洞和北岸倒虹吸顺利输水北上，但大运河船舶无法通过黄河。临清以北的南运河河段，南水北调可借道输水天津，航运可以借水行舟，使断航半世纪的南运河、北运河航运得以复苏。解决运河穿黄问题，是恢复具有 2 500 a 历史遗产的京杭运河的关键之一。

4 穿黄工程方案研究

当运河需要穿越另一条河流时，穿越的方式

一般有平面相交和立体相交两种情况。

平交又有是否在河流穿越点下游建坝壅水两类方案；立交也有从河流上面穿越或从河底下面穿越的方案。

4.1 平交方案

通常运河与有水头差的天然河流相交，多采用在运河连接处建通航建筑物沟通。最恰当的例子是京杭运河穿越黄河、长江的模式。当时，京杭运河通小船，故在黄河的章秋（北岸）、国那里（南岸）设闸穿越；长江河宽、水深，运河在长江北岸施桥、南岸谏壁设闸穿越。

黄河水位高于两岸运河水位，所以两岸运河在穿黄处必须建过船建筑物及引航道与黄河沟通。但黄河河宽达 10 km，高水时水沫线接岸，枯水时两岸有几公里宽的台地，且黄河含沙量高达 37 kg/m^3 ，远大于淮河（ 0.91 kg/m^3 ）、长江（ 1.21 kg/m^3 ）和珠江（ 0.285 kg/m^3 ），经过一个洪水期引航道就会淤平。黄河水流由西向东，河宽、滩多、天然水深只有 1.0 m，对于南北向航行吃水 2.0 m 多的 1 000 吨级以上的运河船舶，根本无法航行过去。

如在穿黄处下游（位山）筑坝壅水，其优点是：在枯水时保证引航道有高于台地的最低水位，且坝前水流平静，淹没坝前浅滩，有利于航行。但黄河泥沙太大，年输沙量达 16 亿 t，如黄河三门峡水库 1950—1985 年淤积 70 亿 t 泥沙，其中 70% 淤在河滩上。位山坝无库容，必定坝前河槽淤积，航道尺度难以确保。此外运河船闸充水时，黄河大量含沙水将输入船闸，亦将导致闸室和下游引航道淤积，增加维护工作量。因此，平交方案不可取。

4.2 立交方案

4.2.1 隧洞方案

通航隧洞一般用于地形高峻、为开挖渠道需要减少土石方工程量的地方，或与其它河流交会、为避免干扰需要在其下方穿越的地方。我国基本没有正规的通航隧洞，只是汉江某枢纽施工导流

隧洞曾作施工通航隧洞过船。最近在乌江构皮滩枢纽的具有中间渠道的高水头升船机设计中，除布置渡槽、明渠外，还布置长达 371 m 的通航隧洞以减少土石方工程量。

国际上法国、英国通航隧洞最多，乌克兰、日本也有。最早的通航隧洞是法国的奥克晓斯通航隧洞（Pouilly-en-Auxois）：它建于 1775—1832 年，拱型，钢筋混凝土结构，底倒拱厚 0.3 m，侧墙宽从上至下 0.8 ~ 1.25 m，高约 7.0 m，水深 3.0 m，底宽 6.2 m。另外，英国桥水（Bridge water）河下的特龙特（Trent）通航隧洞，所有隧洞为单向航行，原因是双行的洞需要尺度大，工程量大，造价高；而且航行阻力大，错船危险。

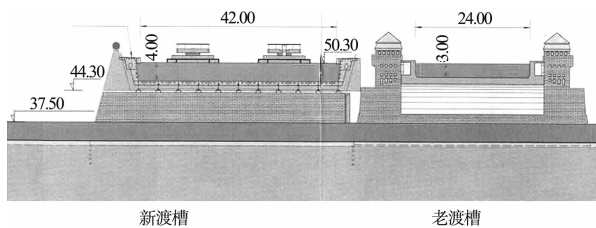
法国建有 2 座可双向通航的隧洞，其中 1927 年建的长达 7.119 km 的马赛至罗讷河的罗福（Rove）隧洞，洞宽 22 m，水深 4.0 m，可通航 1 200 t 机动驳。

通航隧洞的工程条件比公路隧洞、铁路隧洞要求高——不仅需要采光、通风，而且工程地质、水文地质要求高。由于基础处理困难，一般不能建在含水层和易产生不均匀沉降的软基上，确保不渗水。同时进出口应具有良好的地形条件，既要与原运河平顺连接，保证隧洞直线布置，又要有足够开阔的场地布置引航道和锚泊地等。显然，京杭运河穿黄工程不宜采用通航隧洞方案。

4.2.2 渡槽方案

从国际上看，采用渡槽方案立交穿越河流是通用且行之有效的方法。德国是世界上使用渡槽最多，且技术上成熟、先进的国家。

2001 年笔者在德国考察了威悉河上世界上最大的明登钢结构 U 型渡槽（图 2）：长约 398 m，宽 42 m，高 4.0 m，控制水深 3.5 m，钢渡槽水重 6 万 t。通航千吨级驳船组成的船队。渡槽自控管理室设有总提水能力 16 个流量的 4 台水泵。



新渡槽 老渡槽

a) 结构



b) 外观



c) 鸟瞰

图 2 明登钢结构 U 型渡槽 (单位: m)

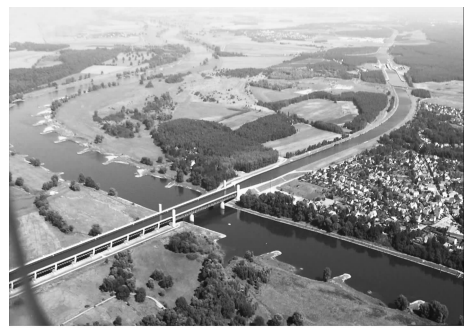
渡槽 1993 年开工, 工期 5 a, 1998 年 8 月 25 日运行, 投资 8 500 万马克。用钢材 7 800 t, 混凝土 22 000 m³。多年来运转正常, 关键技术是钢结构阴极防腐问题。这表明建设长渡槽在技术上是完全可行的。

最近, 从德国文献^[7-8]上看到中德运河穿越易北河连接易北—哈佛耳运河的马格德堡钢渡槽 (图 3)。渡槽的建设使德国首都柏林与莱茵河和中部各城市从水上连接起来。这座渡槽长 1 km。其特点是 25% 在易北河上, 75% 在陆地上连接中德运河 (图 3 a), 还可见到易北河右岸的丁坝群整治工程 (图 3b), 和陆上 750 m 长渡槽的群支座。在陆地上的 U 型钢槽分别座落在基座上 (图 3c)。图中船舶通过渡槽和人群参观的情景。其下有船

从易北河上行 (图 3d)。笔者倾向于建造技术成熟、操作工艺简单、维修管理方便的渡槽方案。



a)



b)



c)



d)

图 3 马格德堡钢渡槽

4.2.3 宽轨+活动承船箱方案

鉴于黄河下游河堤堤距宽(超10 km),渡槽过长,可考虑在此固定渡槽方案的基础上采取宽轨距轨道+活动船箱方案(简称宽活方案),用轨道+活动船箱代替长渡槽。图4为俄罗斯西伯利亚叶尼塞河克拉斯洛雅尔斯克斜面升船机的2 000 t船舶的船箱车。船箱宽12 m,长108 m,高9 m,水深2.2 m,船箱带水重8 100 t。其两端设向内卧倒门,箱下设78对行走轮。轮轴两侧端的支架上,每行走轮各配有一马达和左右两齿轮,分别咬合安装在轨距9 m的每条轨道工字梁两侧的腹板上的齿板,推动船箱在铁轨上运行,连接两端的双线升船机或船闸。此方案因轨道取平坡,船箱动力需要量不大,该工程运营效果不佳。



图4 西伯利亚叶尼塞河克拉斯洛雅尔斯克船箱车

渡槽方案和轨箱方案的主要差别是:过黄河的船舶在渡槽方案中可自由航行在渡槽中,如需双向航行,只需加宽渡槽;而过黄河的船舶在宽活方案中,只能呆在船箱车内随其通过。如需双向航行,则需加建双轨铁路。两个方案的优劣应在投资、能力等多方面进行比较。

5 结语

京杭运河是交通运输部的一纵两横两网全国

内河干线之一。交通运输部历届领导与沿河省市一道在大运河黄河至长江和长江至杭州共1 038 km河段分别已建成Ⅱ级、Ⅲ级和Ⅳ级航道标准,通航2 000 t和500~1 000 t船舶,取得了巨大的成绩。特别是黄河以北运河位于京津冀(简称三J)协作区地理中心部位,自然形成T字型水运干线网络格局,与三J地区铁路、公路、港站物流的集疏运形成互补。

沉睡了半个多世纪的南运河、北运河在已过黄河的长江水滋润下复苏了,但仍有许多问题有待解决。诸如:大运河航运穿黄工程何时建?建设规模和方式用哪种?南运河按哪种航道规模建?北京能否建成港口城市?天津、塘沽港3 000 t海船能到北京吗?南运河形成骨干后是否向东辐射出津唐运河、黄骅港支运河,向西连接子牙、大清、卫河形成网络?

参考文献:

- [1] 郑连第. 中国水利百科全书第二卷[M]. 2版. 北京: 中国水利水电出版社, 1991.
- [2] 张沛文. 中国东部运河建设[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011.
- [3] 林雄威. 中国水运工程建设技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [4] 林雄威. 内河航道整治工程技术交流大会文集[C]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [5] 戴定中. 中国水利[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1991.
- [6] 闵朝斌. 水资源综合利用与航运现代化[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [7] 闵朝斌. 西德的内河航道(上)[J]. 水运工程, 1986(3): 53-58.
- [8] 闵朝斌. 西德的内河航道(下)[J]. 水运工程, 1986(4): 50-58.

(本文编辑 郭雪珍)