

山西省万家寨引黄工程

勘测设计论文集

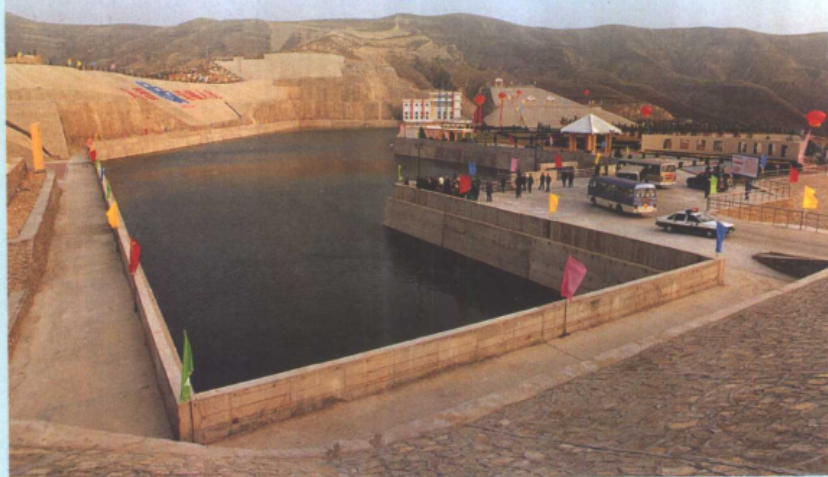
主编 仇德彪 刘冰营 张士杰 章跃林



黄河水利出版社

SHANXISHENG WANJIAZHAI YINHUANG GONGCHENG

KANCE SHEJI LUNWENJI



责任编辑：王晓红 于荣海
责任校对：裴 惠

封面设计：谢 萍
责任监制：温红建

ISBN 7-80621-697-9



9 787806 216972 >

ISBN 7-80621-697-9/TV · 317

定 价：55.00 元

山西省万家寨引黄工程勘测设计 论文集

主 编 仇德彪 刘冰营 张士杰 章跃林

黄河水利出版社

内 容 提 要

本文集介绍了山西省万家寨引黄工程地质条件、工程规划、总体布置、水工建筑物设计、机电设计、金属结构设计和工程施工,总结了大型泵站和长隧洞 TBM 设计施工中的经验。本书专业性强、内容翔实,可供水利、电力、建筑等部门的工程技术人员、管理人员及大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

山西省万家寨引黄工程勘测设计论文集/仇德彪等主编.
—郑州:黄河水利出版社,2003.8
ISBN 7-80621-697-9

I. 山… II. 仇… III. ①黄河-引水-水利工程测量-
山西省-文集②黄河-引水-水利工程-设计-山西省-文
集 IV. TV67-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 052071 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail:yrp@public.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:25.25

字数:583 千字

印数:1—1 500

版次:2003 年 8 月 第 1 版

印次:2003 年 8 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-697-9/TV·317

定 价:55.00 元

《山西省万家寨引黄工程勘测设计论文集》

编辑委员会

名誉主任：王新义 王必胜

主任：何志华 王宏斌

副主任：赵廷式 谢熙曦 闵家驹

委员：贾伟智 苏 枢 李文芳 宋长申

龚长年 贾克强 常继成 李卫平

孙富行 武永新 杨天生 李彦波

仇德彪 刘冰营 张士杰 章跃林

序

水是人类生存、经济发展和社会进步的生命线，是实现可持续发展的重要物质基础。

万家寨引黄工程是解决山西省水资源紧缺，促进山西经济、社会可持续发展和人民生活水平不断提高的重大战略性工程。引黄工程是一项世界级的挑战性工程，其特点是跨流域、高扬程、大流量、长隧洞和复杂地质条件，并利用世界银行贷款。引黄一期工程规模宏伟，用 6 台 TBM 掘进机开挖 125km 的隧洞，在连接段铺设 43km 的 PCCP 管，还有大跨度地下厂房的开挖、支护和机电设备安装等。经过两代人的不懈努力和全体建设者的艰苦奋斗，终于将滔滔黄河水穿越 160km 长的隧洞，接上总扬程为 636m 的 5 座泵站，汇入汾河，流向太原。“黄河润三晋，清泉惠人民”，几代人梦寐以求的愿望终于变成现实。

引黄工程由山西省万家寨引黄总公司建设，一期工程总投资 103 亿元，其中引进外资 3.25 亿美元。在工程建设中，引黄工程全面实行项目法人制、招标投标制、建设监理制，在山西率先与国际惯例实现全方位接轨，按照世界银行的工期、质量、投资三控制的要求进行建设。经过项目业主、施工单位、设计及监理单位等中外建设者共同努力，战胜恶劣的自然条件，广大建设者远离故乡、告别亲人，长年奋战在偏远荒凉的晋西北，他们用智慧、心血和汗水实现了 2002 年一次试通水的成功，同时也取得了优质工程质量，并节约了投资。

在万家寨引黄工程即将竣工验收前夕，《山西省万家寨引黄工程勘测设计论文集》付梓出版，令人欣喜，这部文集介绍了引黄工程的地质条件、工程规划、总体布置，水工建筑物设计、机电和金属结构设计以及工程施工等；还总结了大型高扬程水泵抗磨技术、机组启动和变速运行技术。长隧洞 TBM 掘进中的经验、

自动化控制和监测系统等先进技术的应用。这是一部集勘测、规划、设计、施工于一体的综合性技术文集。她的问世，必将给我
国大型调水工程建设的设计、施工、管理人员，以及大专院校师生提供有益的借鉴和启示。

本书总结了万家寨引黄工程建设的宝贵经验，有助于进一步提高我国水利水电建设的技术水平，故乐于为序。

中国工程设计大师

林 昭

2003年7月7日

目 录

序	林 昭
万家寨引黄工程规划	王宏斌(1)
万家寨引黄工程总体布置	谢熙曦(4)
万家寨引黄工程勘测设计过程	闵家驹 仇德彪(7)
万家寨引黄工程线路比选优化地质勘察	宋 岳 李彦波(11)
万家寨引黄工程地下泵站高压输水隧洞固结灌浆对围岩加固作用初探	张怀军(17)
万家寨引黄工程掘进机隧洞工程地质研究	宋 岳(21)
万家寨引黄工程泥质膨胀岩工程地质研究	宋 岳 李彦波 徐建闽(28)
万家寨引黄工程南干线 6 [#] 隧洞岩溶发育规律与工程处理	徐建闽 李彦波 张怀军等(35)
钻孔高水头压水试验及其应用	徐建闽 黄翠稳 屈志勇(39)
引黄入晋工程南干线围岩应力分析	王建国 赵有鑫 余伦创等(44)
万家寨引黄工程首部输水系统和总干线一、二级串联泵站的布置	仇德彪 白正裕(49)
万家寨引黄工程总干线、南干线输水系统稳定流态水力计算	孙庆国 马延臣 张立民(52)
万家寨引黄工程提水泵站明蜗壳水泵支撑结构及受力计算	仇德彪(57)
万家寨引黄工程地下泵站水锤防护设计	陈洪莲 杨海燕(61)
万家寨引黄工程地下厂房柔性支护设计	刘春冬 刘冰营 常玉龙(65)
万家寨引黄工程地下泵站电缆井设计	陈洪莲 刘正军 常玉龙(69)
万家寨引黄工程总干线 1 [#] 、2 [#] 泵房岩壁吊车梁锚固设计	程晓鸣 刘正军(73)
万家寨引黄工程泵站厂房三维整体有限元动力计算分析	洪慧俊(77)
万家寨引黄工程总干线一级泵站变电站和控制楼小区的总体布置及环境设计	刘依群 陶 洁(83)
万家寨引黄工程总干线一级泵站钢筋混凝土岔管结构设计	刘冰营(86)
万家寨引黄工程总干线一、二级泵站高压出水岔管区域水力劈裂试验	杨海燕(90)
万家寨引黄工程地面泵站钢衬钢筋混凝土岔管设计	刘 群(96)
万家寨引黄工程总干线三级泵站出水平洞交叉段混凝土衬砌设计	门乃姣 吴正桥 杨宗敏(101)
万家寨引黄工程总干线三级泵站厂区防渗排水优化设计	裴彦青 程 静 朱伟军(105)

万家寨引黄工程总干线三级泵站出水压力隧洞设计·····	门乃姣	武永新(108)
万家寨引黄工程总干线三级泵站主厂房电动机层及电缆层结构静力计算 ·····	陈能玉 苗青	王晓辉(113)
万家寨引黄工程总干线三级泵站弃水系统优化设计及工程缺陷处理 ·····	王浩 鲁永华	张忠辉(117)
万家寨引黄工程总干线三级泵站全侧向进水池设计·····	谢坤 韩强	林元旦(121)
万家寨引黄工程总干线三级泵站厂房机墩柱整体动力计算 ·····	苏广新 高晓梅	王志国(125)
“代替框架”法在南干线一、二级泵站机墩结构计算中的应用 ·····	隋世军 陈艳会	田迎春(129)
万家寨引黄工程南干线一级泵站进水系统设计·····	刘群 林德金	程建华(134)
无压引水隧洞经济纵坡的计算和选择·····		全壮信(139)
万家寨引黄工程长隧洞的 TBM 施工·····	王晓全	张珏(143)
压力注浆锚杆在引黄工程土洞段管片衬砌中的应用·····	王贤忠	李庆铁(147)
万家寨引黄工程国际Ⅱ、Ⅲ标南干线 6 [#] 隧洞溶洞处理·····	宋长申	常奇(152)
TBM 快速掘进隧洞设计和豆砾石回填灌浆新方法的应用·····	李文芳	章跃林(155)
万家寨引黄工程南干线管片衬砌洞段防渗设计·····	马延臣	池建军(159)
万家寨引黄工程总干线 6 [#] ~8 [#] 隧洞不良地质洞段缺陷处理·····	曹中良	孙士英(165)
万家寨引黄工程水泉河渡槽设计·····	孟繁杰 倪燕	于晖(168)
万家寨引黄工程南干线大型埋涵设计与施工·····	于晖 倪燕	孟繁杰(171)
万家寨引黄工程主机设备型式参数选择与国际招标·····	张士杰 张泽太	刘培锋(174)
大容量高转速立式水泵电动机组结构设计研究·····	张士杰	张泽太(182)
万家寨引黄工程电动机参数及结构简介·····	王超羽	张士杰(193)
万家寨引黄工程大型同步电动机的设计与试验·····		贾克强(198)
万家寨引黄工程大型多级泵站串联运行稳定性研究·····		李学勤(202)
万家寨引黄工程机电设备在日本的监造·····		李建国(207)
万家寨引黄工程大型高扬程离心泵过流部件抗泥沙磨蚀保护措施 ·····	张泽太 张士杰	崔颖玉(213)
万家寨引黄工程高扬程大容量水泵电动机组的安全启动及水锤防护措施 ·····	张泽太 张士杰	高普新(220)
万家寨引黄工程泵站辅助设备系统设计·····	王怡	马韧韬(226)
万家寨引黄工程总干线三座泵站机组冷却技术供水系统设计·····	徐宝兰	李冰(230)
万家寨引黄工程水泵主轴密封供水水源方案论证·····	徐宝兰 张士杰	高普新(233)
万家寨引黄工程主轴密封清水系统设计·····	朱文松	徐宝兰(238)
万家寨引黄工程总干线二级泵站检修排水系统设计·····	王怡	王超羽(243)
万家寨引黄工程初扬水充水系统分析与探讨·····		李冰(247)
万家寨引黄工程空气系统设计特点·····	高普新	郑淑华(250)
万家寨引黄工程各级泵站主变压器消防设计·····	王树民	张维聚(253)

万家寨引黄一期工程电气一次设计·····	贾克强	刘澜文(256)
万家寨引黄工程总干线三级泵站电气主接线选择·····	刘澜文	贾克强(261)
万家寨引黄工程大型同步电动机启动方式分析与选择·····	刘澜文	李力伟(268)
万家寨引黄工程电气二次设计·····	张左强	李秀丽 辛 红(273)
万家寨引黄工程泵站计算机监控系统·····		林 宁(283)
万家寨引黄工程技术供水控制系统设计·····		于淑焕(289)
万家寨引黄工程通风控制系统设计·····	胡 楠	张 顺(294)
万家寨引黄工程火灾自动报警及消防联动系统设计·····	胡 楠	贺 涌(297)
万家寨引黄工程工业电视系统·····	张功权	林 宁 刘东风(301)
万家寨引黄工程通信系统设计·····		辛贵升(305)
万家寨引黄工程总干线、南干线水力量测系统设计 ·····	张功权	姚建中(310)
万家寨引黄工程长隧洞检修期通风设计·····	李卫平	吕晓腾 潘金漾(314)
万家寨引黄工程地下泵站消防设计·····	王宏伟	王艳娥(317)
万家寨引黄工程取水口金属结构设计及运用·····	王顺义	刘树生 王防修(320)
万家寨引黄工程申同嘴水库金属结构布置和运用·····	王顺义	刘树生 王防修(323)
特长输水隧洞洞内基本导线布设网形的选择·····	丁浩清	魏培志(327)
特长输水隧洞横向贯通误差的研究·····	伍志刚	王卫国(330)
不同高程面的坐标变换·····	伍志刚	周 通(333)
特长输水隧洞洞内基本导线测角和测距的精度要求·····	曹家印	蔡一廷(337)
万家寨引黄一期工程输水建筑物永久检修、补气、放空口的设计 ·····	毕守森	洪 松(340)
全断面掘进机法施工组织设计与费用分析·····	宋海钟	王铁英(344)
万家寨引黄一期工程内外资概算的编制·····	王秀香	罗彩云 张 珏(348)
合理安排世界银行贷款项目的采购·····		王克怡(351)
万家寨引黄工程掘进机施工的经济比较·····	王秀香	朱秀敏(354)
万家寨引黄工程北干线 1 [#] 隧洞 TBM 施工方案 ·····	李文芳	毕守森 张 珏等(359)
数值模拟技术在引黄工程设计中的应用·····	王英伟	潘德嘉 梁永立等(362)
山西省万家寨引黄入晋工程安全监测设计·····	朱化广	何利华 郭跃华等(367)
TK 聚合物砂浆在引黄入晋工程中的应用 ·····	杨天生	贾文利 金 琼等(372)
KJ4 柔性防水材料在引黄工程高压出水洞中的应用 ····· ·····	张力忠	王大实 狄旭光等(375)
万家寨引黄工程水泵磨蚀的防护探讨·····	闵京声	李文芳 王先锋等(378)
TK 堵漏粉在引黄入晋工程中的应用 ·····	金 琼	杨天生 王 瑛(381)
山西省万家寨引黄工程水泵模型验收试验·····	何成连	白正裕 郭跃华等(385)
附录 1 山西省万家寨引黄工程技术特性表 ·····		(391)
附录 2 山西省万家寨引黄工程示意图 ·····		(393)

万家寨引黄工程规划

王 宏 斌

山西省是我国煤炭的主要产地,是能源、重化工基地主要组成部分,是“十年九旱”和水土流失严重的地区,是我国严重的缺水地区之一,而大同、平朔、太原又是山西省水资源紧缺的主要地区。水资源紧缺是山西能源基地建设和社会发展的制约因素。

山西省水资源主要补给来源是降水,全省多年平均降水量(1956~1984年)524mm,折合水体819亿 m^3 ,降水量的分布由东南向西北递减,东南部600~800mm,西北部不足400mm,降水年内分配不均,主要集中在7、8、9三个月。山西省多年平均径流量108.6亿 m^3 ,分区的径流也呈现由东南向西北递减的趋势,各分区丰枯比分别在2.9~10.3之间,年际差异很大。全省地下水资源量为93.1亿 m^3 。全省多年平均水资源总量为142亿 m^3 ,居全国倒数第二。山西省水资源贫乏,人均水资源量仅为全国人均水资源量的1/5,耕地平均水量仅为3780 m^3/hm^2 。大同、平朔、太原均为缺水地区,为发展工业,不得不挤占农业和环境用水。

为缓解山西省水资源紧缺而严重制约经济发展的局面,经多年研究,于1982年7月在《山西省水资源评价会议》上肯定了黄河水作为山西能源基地的供水方案。

万家寨引黄供水区是太原、大同和平朔地区。太原市供水区包括太原市城区,南、北郊区和古交市,位于山西省中部,面积2923 km^2 ;大同供水区面积2080 km^2 ,位于山西省北部;平朔供水区跨朔州市、平鲁区等5个区、县,面积3082 km^2 。供水区总面积8085 km^2 。

一、当地水资源量

太原供水区的河川径流量由本区径流和汾河上游的过境水量两部分组成,多年平均径流量5.82亿 m^3 ,其中本区径流量1.27亿 m^3 ,过境水量4.55亿 m^3 ;地下水资源量3.96亿 m^3 ;扣除重复计算部分,总资源量7.96亿 m^3 。大同供水区多年平均河川径流量1.48亿 m^3 ,其中本区0.4亿 m^3 ,过境水量1.08亿 m^3 ;地下水资源量1.31亿 m^3 ;扣除重复计算部分,总资源量为2.38亿 m^3 。平朔供水区多年平均径流量2.99亿 m^3 ,其中泉水2.38亿 m^3 ,地下水资源2.78亿 m^3 ;扣除重复计算部分,资源总量3.27亿 m^3 。

二、当地水资源开发利用现状

据统计资料,1993年太原供水区取河川径流量0.85亿 m^3 ,地下水3.5亿 m^3 ,合计用水量4.37亿 m^3 ,所取用的水量主要是依靠开采地下水。本区地下水可开采量为3.07

亿 m^3 , 1993 年超采 0.45 亿 m^3 。连年超采造成地下水位进一步下降, 漏斗面积逐年扩大, 引起地面沉降, 仍不能满足用水要求, 工业用水处于紧张状态, 城市用水人均不到 150 L/(人·d), 农业灌溉用水不足所需的 50%, 供需矛盾日趋紧张。大同供水区, 1993 年共取水 1.87 亿 m^3 , 其中河川径流 0.25 亿 m^3 , 地下水 1.63 亿 m^3 , 地下水可供开采量 1.16 亿 m^3 , 当年超采 0.46 亿 m^3 。工业处于饥饿供水状态, 城市生活用水也只有 146 L/(人·d), 农业灌溉用水只有需水量的 40%~50%。平朔供水区 1993 年共取用水 2.14 亿 m^3 , 其中河川径流 1.67 亿 m^3 , 地下水 0.47 亿 m^3 。本区内有神头泉, 水资源比较丰富, 灌溉桑干河灌区 4.8 万 hm^2 (72 万余亩) 农田, 同时向下游供水, 但近年来, 区内煤炭、电力等工业发展较快, 挤占农业和生态环境用水较多, 如 1993 年实灌面积只有 2.89 万 hm^2 (43.3 万亩)。

三、需水预测

分别按 2000 年、2010 年、2020 年 3 个设计水平年进行各供水区的需水量预测。国民经济发展主要指标以 1993 年为基础, 预测 2020 年水平年, 3 个供水区工农业总产值将达到 1 187.5 亿元, 其中工业产值 1 156.9 亿元, 能源工业占较大比重, 原煤产量将达到 1.97 亿元, 火电装机容量 1 203.2 万 kW, 年发电量 728.1 亿 kW·h。3 个供水区总人口将达到 516 万人, 其中城市人口 361.3 万人, 占 70%。农业灌溉恢复原有灌溉面积, 到 2002 年恢复到 9.59 万 hm^2 (143.8 万亩)。

(一) 需水量预测

按 2020 年设计水平年, 保证率 95% 情况, 太原市需水量 11.85 亿 m^3 , 大同供水区需水量 4.97 亿 m^3 , 平朔供水区需水量 5.19 亿 m^3 , 总计需水量 22.01 亿 m^3 。

(二) 当地可供水量预测

预测到 2020 年太原市可供水量, 包括河川径流和地下水为 4.21 亿 m^3 , 大同供水区可供水量为 1.72 亿 m^3 , 平朔地区可供水量为 2.21 亿 m^3 , 总计 8.14 亿 m^3 。

四、当地水资源供需平衡分析

根据以上对需水量和可供水量预测, 各供水区的需水量都超过了可供水量, 保证率 95% 时, 太原、大同、平朔供水区 2020 年水平, 缺水量分别为 7.64 亿 m^3 、3.25 亿 m^3 、2.98 亿 m^3 , 合计缺水量 13.87 亿 m^3 。国务院 1993 年 2 月批准的万家寨水利枢纽的供水任务是: 年向内蒙古和山西能源基地供水 14 亿 m^3 , 其中向山西省太原、大同、平朔供水区供水 12 亿 m^3 。

经过对①托克托经贷海引水线; ②万家寨引水线; ③天桥引水线; ④军渡引水线; ⑤黑峪口引水线等多方案比较, 选定由黄河干流万家寨水库取水, 扬水至偏关县下土寨, 再分南、北干线分别向太原、大同和平朔输水的工程方案。

根据需水预测, 确定万家寨引黄工程每年引水量 12 亿 m^3 , 引水流量 48 m^3/s 。其中南干线年引水量 6.4 亿 m^3 , 年引水流量 25.8 m^3/s ; 北干线年引水量 5.6 亿 m^3 , 年引水流

量 $22.2\text{m}^3/\text{s}$ 。工程设计除 8、9 月份黄河处于主汛期,水流含沙量高,不引水外,其他月份全部引水。

引黄入晋工程从万家寨水利枢纽引水,分别向太原、大同、平朔 3 个能源基地供水。工程由总干线、南干线和北干线三部分组成。3 条干线总长 310.4km。

总干线自万家寨水利枢纽至偏关县下土寨村南、北分水闸,长 44.35km;南干线自分水闸至宁武县的头马营入汾河,长 102km;北干线自分水闸至大同市西南的赵家小村水库,长约 164km。另外从南干线出口头马营至太原市呼延水厂,84.2km 天然河道和 57.4km 输水管线,是向太原供水线路的一部分,称为连接段。

总干线、南干线设计扬程 636.0m,装机容量 44.9 万 kW。总干线布置三级泵站、南干线布置二级泵站。

工程分期建设,第一期工程为建设总干线和南干线,第二期建设北干线。根据需水预测,第一期工程先行建设第一步,引水流量 $12.9\text{m}^3/\text{s}$,引水量 3.2 亿 m^3 ,工程于 1995 年开工,2003 年基本建成一期第一步工程。

引黄入晋引水工程为国内大型跨流域调水工程之一,具有以下特点:

(1)引水保证率变为 97%,引水时间长,全年引水 300d,虽然有万家寨水库调节,但引水仍有一定数量的沙量。

(2)采用的是高扬程大流量的水泵,泵站之间属串联运行,引水主要是供给工业和城市用水,供水保证率高,站间控制要求高。

(3)引黄入晋工程主要建筑物为隧洞和交叉建筑物,最长一条隧洞长 42.69km。全线共采用 6 台双护盾联合掘进机施工,开挖直径为 4.82~6.12m。其中总干线采用 1 台,南干线利用 4 台,连接段利用 1 台。掘进机施工具有掘进速度快,月平均进尺可达 600~800m。具有工作效率高、作业安全、施工环境好、成洞条件好等优点。

(4)为便于水泵的启动和调节流量,采用部分变速机组。

(5)总干线一、二级泵站和南干线一、二级泵站电机单机容量为 12MW,采用变频启动方式;总干线三级泵站电机单机容量 6.5MW,采用全压异步启动。由于输水线路大部分为隧洞输水损失小,输水全线按等流量方式运行,要求自动化水平高,按计算机监控系统设计。

(6)引黄工程存在的不良工程地质和水文地质问题有:岩溶、高外水压力、膨胀岩、断层及破碎带、湿陷性黄土地层、黄土段高边坡等不良地层。上述不良工程地质问题,都采取了不同的工程措施,均已较好地解决。

(7)万家寨水利枢纽引黄取水口,自闸门顶部取水,通过闸门的下落自表层取水,以减少引黄的含沙量。

引黄入晋工程建设对缓解太原市地区水资源危机是十分必要的,可以促进工农业生产,安定人民生活,改善生态环境。国民经济评价说明经济上是可行的,必将对缓解山西省的水资源供需矛盾,保证社会经济可持续发展,发挥巨大作用。

(作者单位:水利部天津水利水电勘测设计研究院)

万家寨引黄工程总体布置

谢 熙 曦

一、工程概况

山西省是我国煤炭、能源、重化工建设基地,煤炭资源十分丰富,其储量占全国总储量的 $1/3$ 。太原、大同、平朔三地区煤炭储量尤丰,开采条件优越。山西地处我国内陆,紧邻西北黄土高原,人均水资源占有量不到全国人均占有量的 $1/5$ 。水资源短缺严重制约着山西省经济可持续发展,制约着人民生活水平的提高。万家寨引黄工程是从根本上解决山西水资源紧缺的生命工程。

万家寨引黄工程位于山西省西北部,西起晋蒙交界的万家寨水库,南至太原,东至大同,是一项大型跨流域引水工程。其任务是向太原、大同、朔州 3 个能源基地供水。

该工程引水线路总长 449km,由总干线、北干线、南干线和连接段组成。总干线从万家寨水库取水,经 3 座泵站提水,通过隧洞、渡槽输水至下土寨分水闸,全长 44.4km,引水流量 $48\text{m}^3/\text{s}$,年引水量 12 亿 m^3 ;北干线由下土寨分水闸向东至大同长 164km,引水流量 $22.2\text{m}^3/\text{s}$,年引水量 5.6 亿 m^3 ;由下土寨分水闸向南至太原为南干线和连接段,长度分别是 102km 和 139km。南干线包括 2 座泵站,输水建筑物以隧洞为主,设计流量 $25.8\text{m}^3/\text{s}$,连接段由长 81km 的自流段(汾河段)和长 58km 的管洞段组成,引水流量 $20.5\text{m}^3/\text{s}$ 。每年向太原市供水 6.4 亿 m^3 。

万家寨水库 8、9 两月排沙,引黄工程停止运行,因此每年引水时间为 10 个月。

工程分两期建设,一期工程经总干线、南干线及连接段向太原市年供水 3.2 亿 m^3 ;二期工程经总干线、北干线实现向大同、朔州年供水 5.6 亿 m^3 和最终向太原年供水 6.4 亿 m^3 。第一期工程还包括计算机监控系统、水力量测系统和工业电视监视系统,用于全线供水的运行、调度、监控和泵站内主要设备运行的监视。

二、总体布置

(一)总干线

总干线引水工程的主要建筑物有渡槽 4 座、有压隧洞 4 段、明流隧洞 7 段、泵站 3 座,以及申同嘴日调节水库 1 座。设计总扬程 364m。总干线起点为万家寨水库坝内有压管出口,经 1[#]、2[#]、3[#] 有压隧洞向东南约 1.0km 引至设在清沟南岸山体内部的总干一级泵站。

一级泵站为地下厂房,第一期工程安装 3 台定速机组,其中 2 台运行,1 台备用。到第二期工程,定速机组将从 3 台增至 10 台,其中 8 台运行,2 台备用。1 台变频器用于 10

台机组的启动,在设计扬程 140m 时,单机流量约 $6.45\text{m}^3/\text{s}$ 。

经一级泵站出水调压井进入 4[#] 有压隧洞,东行约 1.7km 至申同嘴以东的总干线二级泵站。二级泵站也是地下厂房,其装机台数、机型和设计扬程同一级泵站。二级泵站出水调压井直接入申同嘴调节水库。水库运行水位 1 240.5~1 248.0m,水库调蓄库容 15 万 m^3 。申同嘴水库中的放水闸为 3 个弧形闸门和 2 个流量调节阀。线路继续向东经 5[#]~10[#] 明流隧洞和 1[#]~4[#] 渡槽到总干线三级泵站。三级泵站位于岩头寺,设在偏关河右岸滩地上。

三级泵站为地面厂房,带有一个无压前池。第一期工程安装 3 台机组,其中 2 台运行,1 台备用。为了与来自申同嘴水库的自流线路协调,机组具备变速功能。到第二期工程,三级泵站将装机 10 台,其中 4 台变速机组,6 台定速机组,8 台运行,2 台备用。4 台变频器用于变速机组的调节。设计扬程 76m 时,单机流量 $6.45\text{m}^3/\text{s}$ 。三级泵站出水线路折向东北,经 11[#] 隧洞至下土寨分水点,由分水闸向南干线、北干线分水(见图 1)。

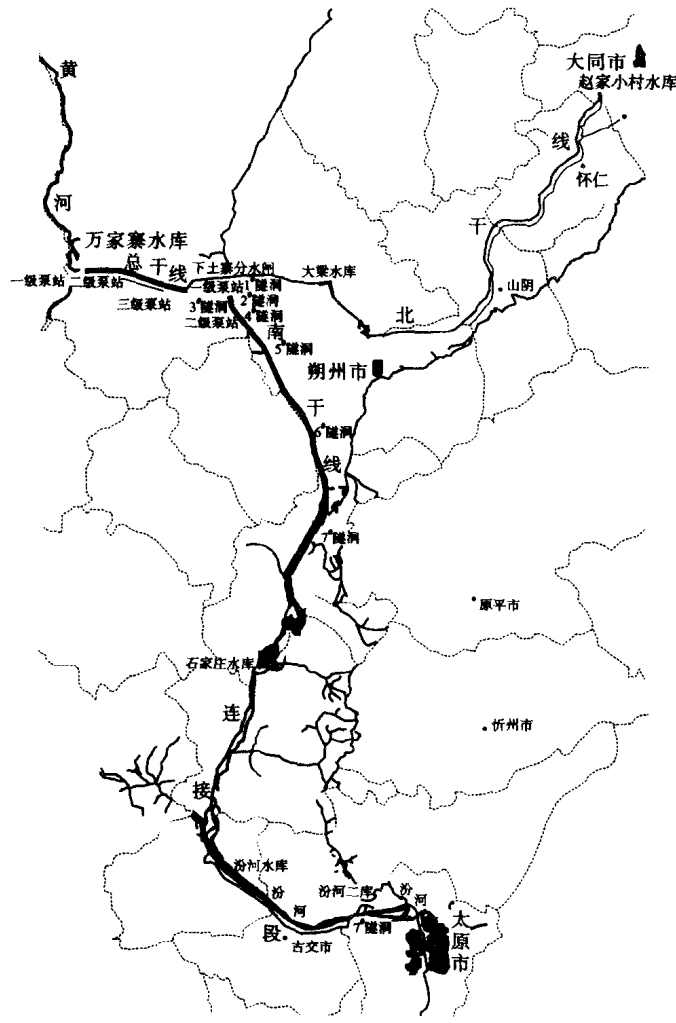


图 1 万家寨引黄工程布置

(二)南干线

南干线引水工程主要建筑物有:首部分水闸、渡槽 3 座、埋涵 3 段、明渠 1 段、隧洞 7 段、泵站 2 座,设计总扬程 280m,2 座泵站均为地面厂房。

南干线起始于下土寨分水闸,向东南方经南干线 1[#] 渡槽穿过偏关河至南干线一级泵站。南干线一级泵站设在偏关河左侧河道上,第一期工程泵站安装 1 台定速机组,2 台变速机组,其中 1 台备用。到第二期工程,水泵将增至 6 台,其中 4 台定速机组,允许 2 台机组备用。2 台变频器用于机组启动和变速机组的调节,扬程 140m 时,单机流量 $6.45\text{m}^3/\text{s}$ 。

一级泵站出水经过 2[#] 隧洞、2[#] 渡槽及 3[#] 隧洞至信虎辛窑村东,再经 1[#] 压力埋管穿南沟至南干线二级泵站。二级泵站装机台数、机型、扬程同一级泵站。

二级泵站出水经 4[#] 隧洞、3[#] 渡槽及 5[#] 隧洞至木瓜沟埋涵,再经 6[#] 隧洞至温岭埋涵出口后,进入 7[#] 隧洞。7[#] 洞全长约 42km,穿越宁岢铁路和神朔铁路至头马营入汾河。

(三)连接段

连接段的主要输水建筑物包括:35.1km 明挖沟槽安装 PCCP 管,1 个进水塔、3 个流量调节阀室、9 个检修阀室、67 个排气阀井、36 个检查井、40 个排水井、6 段有压隧洞内安装 PCCP 管和 1 段无压隧洞、1 段明渠、1 个消力池、1 个贮水池和 1 座专用变电站。

(四)北干线

北干线引水工程主要建筑物有:隧洞 1 座、倒虹 2 座、埋涵 1 座、调节水库 2 座、泵站 1 座,设计总扬程 140m、动能回收电站 1 座。

北干线起始于下土寨分水闸,北行穿过吕梁山,经大梁水库到中沟湾,全长 43.96km,设计流量 $22.2\text{m}^3/\text{s}$,全线均为无压输水洞。从 1[#] 隧洞出口至魏家窑电站压力前池为 1[#] 倒虹,全长 6.42km,设计流量 $20\text{m}^3/\text{s}$,采用内径 3.0m 的 PCCP 管输水。2[#] 倒虹线路从魏家窑电站尾水池起至朔州分水口,线路全长 63.27km,分水口前设计流量 $20\text{m}^3/\text{s}$,采用内径 3.0m 的 PCCP 管;分水口后设计流量为 $10\text{m}^3/\text{s}$ 和 $9.5\text{m}^3/\text{s}$,分别采用内径 2.5m 和 2.4m 的 PCCP 管输水。两座倒虹均为有压输水,其后为埋涵段,埋涵从 2[#] 倒虹末端向东北至赵家小村水库,全长 49.96km,设计流量 $9.5\text{m}^3/\text{s}$ 。

大梁水库库容 1.029 9 亿 m^3 ,为黄土心墙砂壳坝。大梁地下泵站位于大梁水库主坝右坝肩上游,正常运行期间,地下泵站将隧洞内的水引入大梁水库存蓄,当 8、9 两月工程停引期间,可由大梁水库向下游供水至平朔和大同。大梁地下泵站装机 3 台,运行 2 台,备用 1 台,单机设计流量 $2.15\text{m}^3/\text{s}$,单机容量 4 000kW。

引黄一期工程于 2002 年 10 月全线 1 台机组试通水成功。

(作者单位:水利部天津水利水电勘测设计研究院)

万家寨引黄工程勘测设计过程

闵家驹 仇德彪

山西省万家寨引黄工程经历了半个世纪的努力,终于在 2002 年 10 月通水到了太原,实现了山西人民多年以来的宿愿。

山西地处黄土高原,干旱缺水,从 20 世纪 50 年代起山西人民就开始了引黄河水的工作,省政府成立了引黄领导小组,下设引黄办公室,专门从事引黄工程的前期工作。由于地形地质条件复杂,工程十分艰巨,且投资浩大,虽经多方努力,但成效不大。

1982 年 7 月,水电部和山西省政府联合召开了《山西水资源评价会议》,确认山西是一个水资源十分贫乏的省份。山西煤炭资源丰富,支援了全国 20 多个省、市的建设,随着我国国民经济的蓬勃发展,山西缺水的矛盾变得更加突出,不仅严重制约了山西国民经济的发展,也影响到对各省的煤炭支援。

1983 年水电部在京召开了“引黄入晋济京座谈会”,为解决山西能源基地的用水问题,明确提出建设引黄工程的任务主要是为山西雁北、晋中和北京地区提供工业和城市供水以及部分农业补水。同年 6 月,经现场查勘,水电部与山西省政府在太原市召开了“引水线路的选线会议”,会议确定由黄河万家寨水库提水和隧洞为主的引水线路方案。往东和往东北引水到平朔和大同,往南分水到太原市。

1984 年 1 月,山西省引黄办公室提出了《万家寨引黄入晋济京工程预可行性研究报告》。该报告提出应急向平朔引水 6 亿 m^3 ,近期引水 10 亿 m^3 补充雁同、太原和北京地区的用水,远期引水 20 亿 m^3 或 30 亿 m^3 。4 月水电部对报告组织了审查,认为“成果比较粗浅,线路不尽落实,需要进一步补充工作”。后来水电部转来国家计委的通知,引黄的勘测设计工作便停了下来。

1985 年 6 月和 9 月,水电部领导在听取山西省关于万家寨引黄工程两次汇报时提出:“万家寨引黄的前期工作不能停”,“考虑到国家财政困难,引水规模不妨比 10 亿 m^3 小一些”,引黄是必要的,但规模要小一些,引 5~6 m^3/s ,花钱不超过 10 亿元,是有可能的。由此,按照水电部领导的指示精神,山西省便部署了万家寨引黄工程应急方案可行性研究。同时,根据部领导的指示,为解决投资困难,对大同、平朔和太原应采取分期实施的办法,第一步工程先解决大同、平朔的用水问题,第二步工程再解决太原的用水问题。因此,应急方案可行性研究按照山西省国民经济发展规划和需水预测,1990 年大同、平朔两地缺水分别为 0.9 亿 m^3 和 1.1 亿 m^3 ,1995 年分别为 1.82 亿 m^3 和 1.39 亿 m^3 ,2000 年分别为 2.79 亿 m^3 和 2.65 亿 m^3 ,加上输水损失,确定北干线应急引水为 2.2 亿 m^3 。在万家寨水库建设未确定的情况下,由黄河直接取水,考虑避开汛期含沙量大、冬季结冰影响,年引水时间为 7 个月,引水流量 12 m^3/s ;最终规模按 2000 年水平,引水 5.6 亿 m^3 ,考虑万家寨水库建成,由水库引水,年引水时间为 10 个月,引水流量为 22 m^3/s 。在工程上