

WANJIAZHAI YINHUANGRUJIN GONGCHENG DIZHI KANCHA YU YANJIU

万家寨引黄入晋工程 地质勘察与研究

宋 嶽 张怀军 李彦坡 徐建闽 著



黄河水利出版社

万家寨引黄入晋工程 地质勘察与研究

宋 嶽 张怀军 李彦坡 徐建闽 著



黄河水利出版社

内 容 提 要

万家寨引黄入晋工程是以地下工程为主的长距离跨流域的调水工程。本书主要介绍:各勘测设计阶段主要工作内容和勘察方法,隧洞经过的主要地层的工程性质和工程地质问题,TBM 隧洞工程地质,地下泵站工程地质,地下工程动态变化,以及大梁水库工程地质等。对 Q_3 、 Q_2 黄土和 N_2 红土工程性质、隧洞外水压力折减系数、TBM 隧洞围岩分类、高内水压力隧洞勘察及隧洞涌水动态变化等提出一些新的认识和观点。

本书可供从事长距离调水工程、地下工程、TBM 隧洞工程的地质、设计、科学试验及工程建设人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

万家寨引黄入晋工程地质勘察与研究/宋嶽等著. —郑州:黄河水利出版社,2007. 12

ISBN 978 - 7 - 80734 - 326 - 4

I. 万… II. 宋… III. 黄河—引水—水利工程—地质勘探—山西省 IV. P641. 622

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 205887 号

组稿编辑:王路平 电话:0371 - 66022212 E-mail:wlp@yrcp.com

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:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:10.75

彩插:4

字数:260 千字

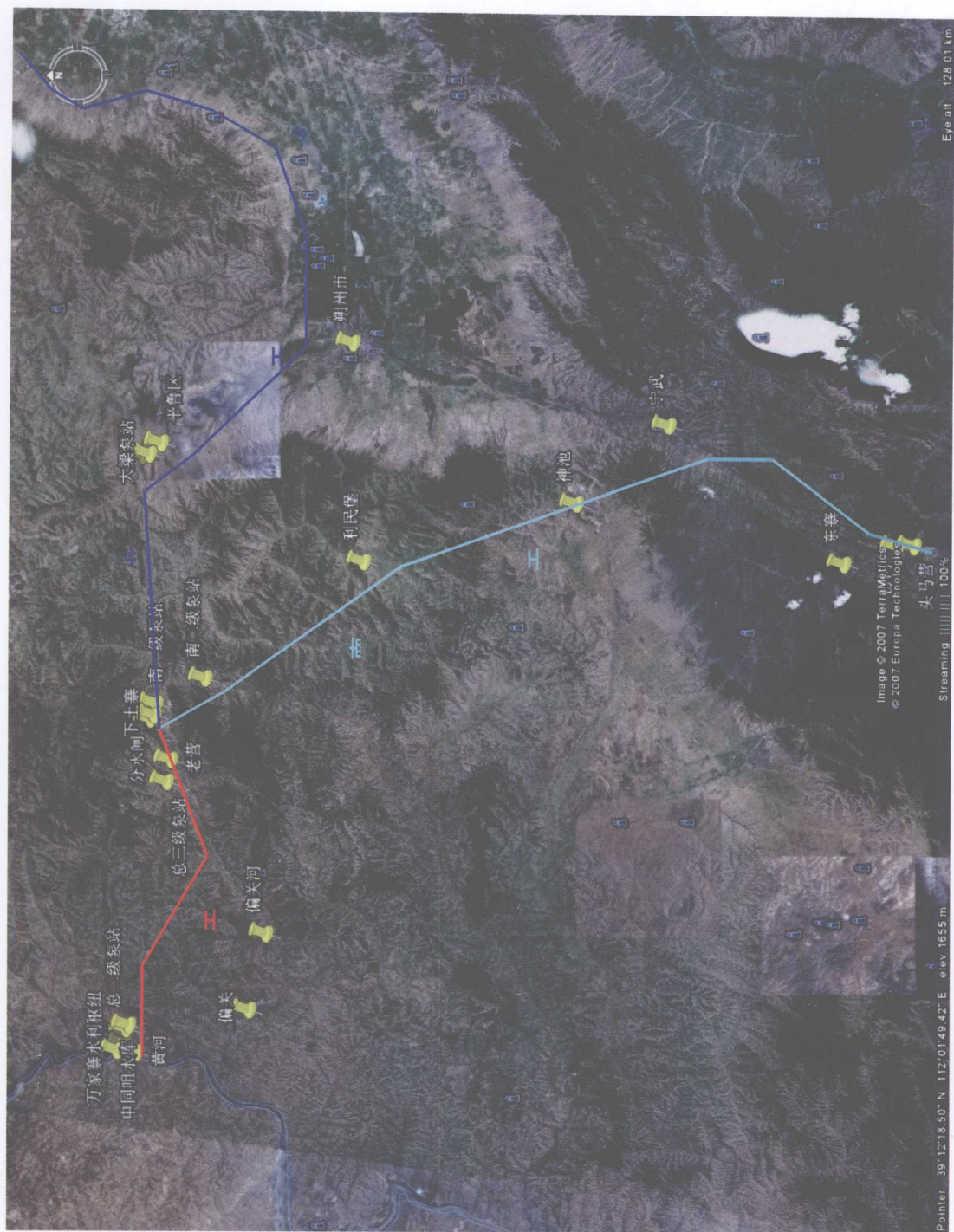
印数:1—1 000

版次:2007 年 12 月第 1 版

印次:2007 年 12 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978 - 7 - 80734 - 326 - 4/TV · 537

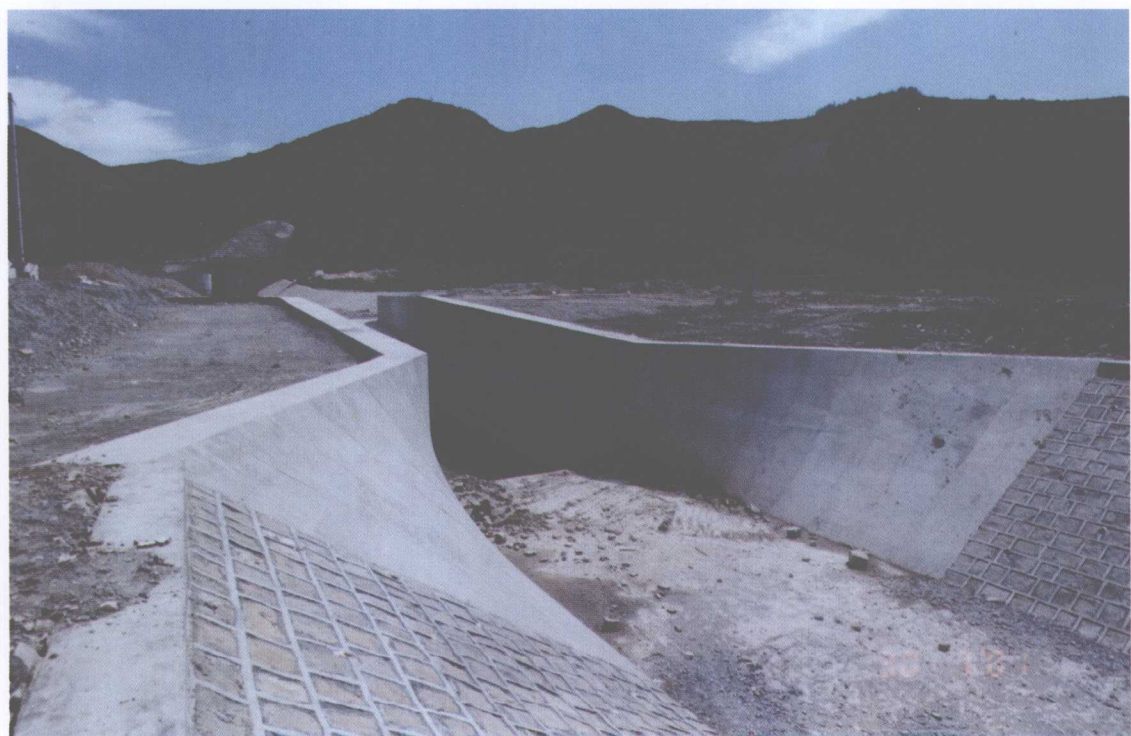
定价:30.00 元



卫星图



建成后的申同咀水库



头马营明渠消力池部分



南干线一级泵站



木瓜沟埋涵全景



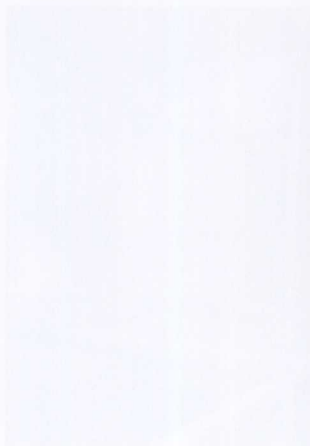
总干线一级泵站主厂房
第三层开挖后的景象



总干线三级泵站施工
场区



水泉河渡槽工程



洞内场景



TBM掘进出洞瞬间



TBM成洞

泵站高压钢衬管道浇筑混凝土



总干线8号洞口内混凝土预制管片施工后状况



TBM1在西坪沟渡槽进行检修

序

万家寨引黄入晋工程位于山西省西北部,从黄河万家寨水利枢纽引水,分别向太原、大同、平朔三个能源基地供水。工程由总干线、南干线、北干线和联接段组成,全线工程段总长 371.45 km,其中总干线长 44.4 km、南干线长 102 km、北干线长 166.9 km。南干线出口头马营至太原市呼延水厂有 81.2 km 天然河道和 58.15 km 输水管线。设计引水流量 $48 \text{ m}^3/\text{s}$,年引水量 12 亿 m^3 。

引黄工程输水线路长,建筑物众多,沿线地形、地质条件复杂,线路所经地带有高山峻岭、深切河谷和断陷盆地,大部地区为黄土所覆盖。引水工程需提水,总扬程达 600 多 m。在规划阶段对清水河线(岱海线)、万家寨线、龙口线、天桥线、军渡线、磴口线(黑峪口线)等调水方案及线路进行比选论证。水利部天津勘测设计研究院自 1983 年承担了工程勘测设计工作,工程总干线、南干线 2002 年建成通水。

《万家寨引黄入晋工程地质勘察与研究》是对 20 余年来工作和经验的总结。在引水线路方案比选的工程地质勘察工作中,在查明各线路基本地质条件的基础上,特别注意对工程线路有重大影响的地质问题的勘察,例如煤矿采空区和压煤问题、岩溶问题、区域性断裂问题、区域地下水及特殊岩土问题等。对工程所遇到的湿陷性黄土、上第三系红土(N_2)、膨胀岩(土)等的工程特性进行了详细的科学试验研究。对湿陷性黄土隧洞、 N_2 红土隧洞、灰岩地层中隧洞的岩溶问题、隧洞的突水涌水问题、高地下水位外水压力及折减问题、TBM 隧洞工程地质、地下泵站工程地质及高边坡的稳定与支护等问题都进行了专题性研究;对地下工程出现的塌方、变形、涌水及动态变化等进行了分析研究。同时还对长引水工程的勘察方法和新技术(如高压压水试验等)进行了论述。对 TBM 法施工的隧洞工程地质勘察、围岩的分类、工作方法等开拓了一些新思路和研究领域。有部分勘察成果如外水压力折减系数、TBM 隧洞工程地质等已编入《水利水电工程地质勘察规范》(报批稿)中。

万家寨引黄入晋工程地质勘察及 TBM 长隧洞工程地质研究等的宝贵经验和一些新的思路,将给我国大型调水工程建设的地质勘察及设计提供有益的借鉴和启示,也有助于提高我国的水利水电工程建设水平。

中国工程设计大师

王宏斌

2007 年 8 月 7 日

前 言

万家寨引黄入晋工程位于山西省西北部。从黄河调水滋润三晋大地、改善城市供水状况和满足工农业发展的需要,是山西人民长期的期盼与奋斗目标。

该工程的主要特点是:输水线路长、需修建多级大泵量的扬水工程和深长隧洞,线路地区工程地质条件复杂,且工程地质问题甚多,工程投资巨大。由于工程各方面条件的制约,使工程经历了长期而复杂的前期策划与勘察设计阶段,并经历了多种工程线路方案的反复比选与优化过程。在20世纪80年代,工程地质勘察在湿陷性黄土隧洞、 N_2 红土隧洞、高扬程大跨度地下洞室工程、岩溶、膨胀性岩土、蚀变砂岩、地应力、高外水压力、TBM隧洞工程地质和湿陷性黄土地区兴建大型调蓄水库等方面,还存在理论认识、勘察方法与评价等方面的不足。通过长期工程勘察实践,逐步掌握了解决这些问题的方法,取得了许多认识上的改进与突破。

万家寨引黄入晋工程的胜利竣工,标志着我国在长距离调水工程、TBM深长隧洞工程和具有复杂工程地质条件下地下工程的勘察、设计、施工及管理已进入一个新的发展阶段。因此,进行万家寨引黄入晋工程勘察的技术总结是十分必要的,也是参加本工程地质勘察工作者的愿望与要求。

在本书完成之际,首先感谢山西省万家寨引黄工程管理局长期对工程勘察的关心与支持;感谢中水北方勘测设计研究有限责任公司勘察院在本书编写过程中的大力支持。我们缅怀原天津院李通文总工程师,在他的有生之年对引黄工程做过巨大贡献;对长期关心、支持地质勘察工作的闵家驹总工、仇德彪总表示感谢;对在本工程中付出艰辛劳动的主要地质负责人秦增荣、刘冀山等表示敬意;对中国科学院地质研究所曲永新研究员在湿陷性黄土、膨胀岩、蚀变砂岩的研究给与的帮助与指导表示感谢;对中国地震局地壳应力研究所李方全研究员在地应力方面的研究给与的帮助和指导表示感谢。在本书编制过程中,中水北方勘测设计研究有限责任公司勘察院黄翠稳高级工程师绘制了插图,程莉助理工程师完成了大部文字的打印工作,黄全京高级工程师在稿件的整理、核对方面做了很多的工作,在此一并表示感谢!

中国工程设计大师王宏斌在百忙之中为本书作序,闵家驹总工程师对本书进行了认真的审阅,提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢!

由于本工程勘察时间长,各种资料文献繁杂和涉及的方方面面较多,编写内容不可避免地存在许多遗漏和错误,尤其是提出的一些新观点、新方法,还有待工程实践的检验与改进。作者诚恳地希望读者与专家们不吝赐教、批评指正。

作 者

2007年9月于天津

目 录

序	王宏斌
前 言	
绪 论	(1)
第一章 工程地质勘察	(6)
第一节 勘察简史	(6)
第二节 勘察阶段的划分及主要工作内容	(9)
第三节 输水线路选线原则与经验	(19)
第四节 工程地质勘察手段的运用	(20)
第五节 工程地质勘察的体会	(23)
第二章 工程地质环境研究	(25)
第一节 地形地貌	(25)
第二节 地层岩性	(25)
第三节 地质构造	(28)
第四节 煤矿及煤矿采空区	(31)
第五节 岩溶发育规律	(33)
第六节 工程区地应力场	(35)
第三章 隧洞工程主要地质问题研究	(39)
第一节 第四系上更新统(Q_3)黄土隧洞	(39)
第二节 第四系中更新统(Q_2)黄土隧洞	(45)
第三节 第三系上新统(N_2)隧洞	(47)
第四节 南干线6号隧洞岩溶	(57)
第五节 南干线7号隧洞泥质膨胀岩	(64)
第六节 隧洞开挖涌水量与外水压力	(69)
第七节 南干线7号隧洞外水压力及外水压力折减系数	(74)
第八节 断 层	(79)
第九节 隧洞进出口边坡稳定问题	(81)
第四章 掘进机(TBM)隧洞工程地质	(85)
第一节 掘进机(TBM)在引黄入晋工程中的运用	(85)
第二节 掘进机(TBM)隧洞工程地质概况	(87)
第三节 掘进机(TBM)隧洞主要工程地质问题	(88)
第四节 TBM 隧洞围岩分类与衬砌管片类型	(92)
第五节 护盾式 TBM 隧洞围岩分类初探	(93)
第六节 护盾式 TBM 隧洞施工地质	(95)

第七节	TBM 隧洞工程地质勘察的主要特点	(96)
第五章	地下泵站工程地质研究	(99)
第一节	工程简介	(99)
第二节	工程地质条件	(99)
第三节	地质勘察的主要任务与方法	(106)
第四节	地下厂房长轴方向的选择	(107)
第五节	初步设计阶段泵站压力洞勘察与评价	(108)
第六节	技施阶段出水压力隧洞工程地质研究	(113)
第七节	主要经验	(131)
第六章	地下洞室围岩动态变化问题	(132)
第一节	较高地应力层状完整围岩的动态变化	(132)
第二节	低地应力隧洞围岩的动态变化	(133)
第三节	土洞围岩的动态变化	(133)
第四节	地下洞室地下水动态变化	(134)
第五节	围岩类别变化与调整问题	(136)
第六节	地下工程排水与水文地质环境问题	(136)
第七章	大梁水库工程地质勘察与研究	(138)
第一节	工程概况	(138)
第二节	库坝区工程地质条件	(139)
第三节	库坝区主要工程地质问题	(142)
第四节	筑坝材料	(154)
第五节	勘察工作的几点体会	(160)
后 记		(162)
参考文献		(164)

绪 论

山西省地处黄土高原,是我国水资源最紧缺的省份之一。全省多年平均水资源总量为 123.8 亿 m^3 ,居全国倒数第 2 位。人均占有水资源量 381 m^3 ,相当于全国人均水平的 1/6,世界人均水平的 1/20。

山西省以其丰富的煤炭和矿藏资源,成为国家重要的能源重化工基地。但由于水资源的极度紧缺,限制了山西将资源优势转化为经济优势。根据中国科学院《2002 年中国可持续发展战略报告》,山西省在全国区域水资源指数排序中居倒数第 3 名,受此影响山西省在区域可持续发展总体能力排序中居第 28 位,仅排在青海、贵州和西藏之前。

太原、大同、朔州三个城市是山西省经济发展较快、大型能源重化工企业集中的城市,水资源短缺矛盾也特别突出。三个城市现状人均水资源占有量分别只有 168 m^3 、283 m^3 和 491 m^3 ,均属于资源型缺水城市,目前三个城市的水资源开发利用率均超过 70%,特别是太原市的水资源开发利用率高达 81.6%,大大超过了合理的开发利用限度。为了满足国家对本地区能源工业发展的需要,三个城市多年来除大量挤占农业用水外,都采取了大量超采地下水的应急措施,但仍有企业因供水不足不得不采取限产措施,而且造成大面积的地面沉降、水地变旱地、城市居民间断供水、火电厂新装机组不能正常运行等严重局面。

因此,万家寨引黄入晋工程是山西省的“生命工程”,是山西省经济社会可持续发展的必然选择。这项工程建成后,将为缓解山西省水资源危机、促进国家能源工业基地建设、振兴山西经济发挥巨大作用。

万家寨引黄入晋工程,是山西省有史以来最大的水利建设项目,被世界银行专家誉为“具有挑战性的世界级跨流域引水工程”。该工程位于山西省西北部,在万家寨水利枢纽取水,由总干线、南干线、联接段和北干线等部分组成,输水线路全长 452.65 km。

万家寨水利枢纽位于黄河北干流托克托至龙口河段峡谷内,是黄河中游规划开发的八个梯级电站之一,左岸隶属山西省偏关县,右岸隶属内蒙古自治区准格尔旗。枢纽坝型为混凝土重力坝,坝高 90 m,坝长 438 m,总库容 8.96 亿 m^3 ,坝后建有调峰电站,总装机容量 108 万 kW,年发电量 27.5 亿 kWh。枢纽的主要任务是向山西省和内蒙古自治区供水,发电调峰,同时兼有防洪、防凌作用。

引黄入晋工程从万家寨水利枢纽大坝左岸 2 号、3 号坝段上两个取水口取水,枢纽至偏关县的下土寨分水闸为总干线,长 44.4 km,引水流量 48 m^3/s ,年引水总量 12 亿 m^3 ,主要建筑物有 3 座扬水泵站、11 条隧洞、4 座渡槽及 1 座调节水库等。经下土寨分水闸分水后,向太原输水的工程为南干线,长 102 km,引水流量 25.8 m^3/s ,年引水总量 6.4 亿 m^3 ,主要建筑物有 2 座扬水泵站、7 条隧洞、3 座渡槽、2 条埋涵及 1 段明渠等。向大同、朔州输水的工程为北干线,长 166.9 km,引水流量 22.2 m^3/s ,年引水总量 5.6 亿 m^3 ,主要建筑物有北干线 1 号隧洞、大梁水库、大梁地下泵站、明渠、埋管及赵家小村水库等。南干线 7 号隧洞出口至太原市呼延水厂为联接段,长 139.35 km,引黄水从位于山西省宁武县境内

头马营的南干线 7 号隧洞出口进入汾河,至汾河水库的 81.2 km 利用汾河天然河道输水,引黄水经汾河水库调节后,采用隧洞及埋管输水至太原市呼延水厂,线路长 58.15 km,设计引水流量 $20.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

本工程分两期建设,一期工程经总干线、南干线及联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 。

一期工程于 1993 年开工,历经 10 年建设,2002 年 10 月 18 日实现全线试通水,2003 年 11 月起正式向太原市供水。

万家寨引黄入晋工程技术特性见表 0-1 ~ 表 0-4,输水线路布置见图 0-1。

表 0-1 引黄入晋工程总干线泵站技术特性

项目	设计扬程 (m)	厂房型式及尺寸 长×宽×高(m)	装机 台数	单机流量 (m^3/s)	单机容量 (MW)	备注
一级泵站	140	地下泵站 $148.8 \times 17.6 \times 33.2$	10	6.45	12	其中一期装机 台数均为 3 台
二级泵站	140	地下泵站 $148.8 \times 17.6 \times 33.2$	10	6.45	12	
三级泵站	76	地面泵站 $124.3 \times 19.6 \times 36.7$	10	6.45	6.5	

表 0-2 引黄入晋工程总干线输水建筑物技术特性

序号	项目	长度(m)	断面形式及尺寸 (m)	设计流量 (m^3/s)	运行 条件	备注
1	1 号隧洞	139.0	圆形 $D=4.0$	24	有压	钻爆法施工
2	2 号隧洞	126.3	圆形 $D=4.0$	24	有压	钻爆法施工
3	3 号隧洞	812.2	圆形 $D=5.6$	48	有压	钻爆法施工
4	一级泵站					地下泵站
5	4 号隧洞	1 698.9	圆形 $D=5.6$	48	有压	钻爆法施工
6	二级泵站					地下泵站
7	申同咀水库					日调节水库
8	5 号隧洞	177.8	圆形 $D=5.6$	48	无压	钻爆法施工
9	6 号隧洞	6 525.1	圆形 $D=5.46$	48	无压	TBM 施工
10	1 号渡槽	74.0	矩形 $B \times H=5 \times 4.95$	48	无压	沙岭西沟
11	7 号隧洞	2 685.0	圆形 $D=5.46$	48	无压	TBM 施工
12	2 号渡槽	90.0	矩形 $B \times H=5 \times 4.95$	48	无压	沙岭东沟
13	8 号隧洞	12 176.6	圆形 $D=5.46$	48	无压	TBM 施工

续表 0-2

序号	项目	长度(m)	断面形式及尺寸 (m)	设计流量 (m^3/s)	运行 条件	备注
14	3号渡槽	330.4	矩形 $B \times H = 5 \times 4.95$	48	无压	水泉河
15	9号隧洞	217.0	马蹄形 $R = 5.36$	48	无压	钻爆法施工
16	4号渡槽	57.0	矩形 $B \times H = 5 \times 4.95$	48	无压	东小沟
17	10号隧洞	7 380.0	城门洞形 5×5.36	48	无压	钻爆法施工
18	三级泵站					地面泵站
19	11号隧洞	10 032.4	城门洞形 5×5.36	48	无压	钻爆法施工
20	下土寨分水闸					竖井式

表 0-3 引黄入晋工程南干线泵站技术特性

项目	设计扬程 (m)	厂房型式及尺寸 长 $\times$ 宽 $\times$ 高(m)	装机 台数	单机流量 (m^3/s)	单机容量 (MW)	备注
一级泵站	140	地面泵站 $84.9 \times 20.0 \times 37.9$	6	6.45	12	其中一期装机 台数均为 3 台
二级泵站	140	地面泵站 $84.9 \times 20.0 \times 37.9$	6	6.45	12	

表 0-4 引黄入晋工程南干线输水建筑物技术特性

序号	项目	长度(m)	断面形式及尺寸 (m)	设计流量 (m^3/s)	运行 条件	备注
1	1号隧洞	876.4	马蹄形 $R = 4.24$	25.8	无压	钻爆法施工
2	1号渡槽	700.5	矩形 $B \times H = 4 \times 4$	25.8	无压	偏关河
3	一级泵站					地面泵站
4	2号隧洞	1 902.5	马蹄形 $R = 4.24$	25.8	无压	钻爆法施工
5	2号渡槽	97.4	矩形 $B \times H = 4 \times 4$	25.8	无压	龙须沟
6	3号隧洞	4 184.7	马蹄形 $R = 4.24$	25.8	无压	钻爆法施工
7	压力埋涵	46.4	圆形 $D = 4.0$	25.8	有压	信虎辛窑
8	二级泵站					地面泵站
9	4号隧洞	6 882.0	圆形 $D = 4.3$	25.8	无压	TBM 施工
10	3号渡槽	370.0	矩形 $B \times H = 4 \times 4$	25.8	无压	西坪沟
11	5号隧洞	26 449.4	圆形 $D = 4.2 \sim 4.3$	25.8	无压	TBM 施工
12	1号埋涵	622.5	圆形 $D = 4.2$	25.8	无压	木瓜沟
13	6号隧洞	14 545.1	圆形 $D = 4.2$	25.8	无压	TBM 施工
14	2号埋涵	720.0	圆形 $D = 4.2$	25.8	无压	温岭
15	7号隧洞	42 565.0	圆形 $D = 4.2$	25.8	无压	TBM 施工
16	明渠	472.0	梯形 $B = 6 \text{ m}, M = 1:1.5$	25.5	明渠	头马营

本工程全线的工程地质勘察工作由中水北方勘测设计研究有限责任公司(原水利部天津水利水电勘测设计研究院,以下简称天津院)和山西省水利水电勘测设计研究院(以

