

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2020.06.012

傍山浅埋长距离引水隧道成洞条件分析

焦振华

(陕西省水利电力勘测设计研究院, 陕西 西安 710001)

摘要:“引汉济渭”二期工程承担着渭河两岸 21 个县市的输配水任务,对于实现引汉济渭工程总体效益至关重要。“引汉济渭”二期南干线引水骨干线路工程黄池沟至西安子午水厂段,引水隧洞长 68.93 km,主要穿越秦岭北麓中低山。通过勘查发现影响引水隧道成洞的主要工程地质条件为秦岭北缘断裂带发育,隧洞分布较多的 V 类及 IV 类洞室围岩。并且引水隧洞与断裂相遇地段易发生集中突水问题,预测涌水量达 $1\ 260.6\ \text{m}^3/\text{d} \sim 18\ 166.5\ \text{m}^3/\text{d}$ 。为确保“引汉济渭”二期工程引水隧洞工程的质量,需采取必要措施,使引水隧洞傍山浅埋地质条件基本实现隧洞成洞要求。

关键词: 引水隧洞; 断裂带; 围岩; 工程地质问题

中图分类号: TV67

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2020)06—0069—04

Shallowly Buried Tunnel Conditions In Long Distance Water Diversion Project

JIAO Zhenhua

(Shannxi Province Institute of Water Resources and Electric Power Investigation and Design, Xi'an, Shaanxi 710001, China)

Abstract: The second phase of the Hanjiang - to - Weihe River diversion project will provide water supply for 21 important counties and cities on both sides of the Weihe River. It is very important to realize the overall benefit of the project. Huangchigou to Xi'an Ziwu Waterworks section is the diversion backbone of the south line. The length of the diversion tunnel is 68.93 km, which mainly passes through the middle and low mountains in the northern foot of Qinling Mountains. By means of exploration and test, it is found that the main engineering geological problem affecting the tunnel formation is the development of the northern edge fault zone of Qinling Mountains. And the tunnel surrounding rock of full-length distribution of the tunnel is class V and class IV which is broken and with poor self-stability. The concentrated water inrush can happen easily in the section where the diversion tunnel meets the fault and the predicted water inflow is $1\ 260.6\ \text{m}^3/\text{d} \sim 18\ 166.5\ \text{m}^3/\text{d}$. In order to ensure the quality of the diversion tunnel project and achieve the expected benefit, it is necessary to take measures to make the geological conditions basically realize the requirement of the diversion tunnel construction.

Keywords: water tunnel; fault zone; surrounding rock; engineering geological problem

1 工程概况

“引汉济渭”二期输配水工程是引汉济渭工程的重要组成部分,承担着将调入关中地区的优质汉江水输送至渭河两岸西安、咸阳、渭南、杨凌 4 个重点城市、沔西、沔东、空港、秦汉和泾河西咸新区 5 个新城,周至、鄠邑、长安、临潼、华县、泾阳、三原、高

陵、阎良、兴平、武功 11 个县级城市,以及泾渭工业园区、西安渭北工业园区共 21 个受水区的关键任务,对于发挥引汉济渭工程总体效益至关重要^[1-3]。

“引汉济渭”二期南干线引水工程黄池沟至西安子午水厂段(见图 1),全长 69.53 km,主线由引水隧洞、箱涵组成,共布设箱涵 2 处,长 0.6 km;隧洞 1 座,引水隧洞长 68.93 km,且引水隧洞拟采用

收稿日期:2020-08-25

修稿日期:2020-09-19

基金项目:陕西省水利科技项目“陕西省水利工程地质灾害研究”(slkj-2018014)

作者简介:焦振华(1965—),男,陕西彬州人,高级工程师,主要从事水利水电工程地质、水文地质勘察及技术管理工作。

E-mail:jiaozhenhua008@163.com

钻爆法施工^[4]。

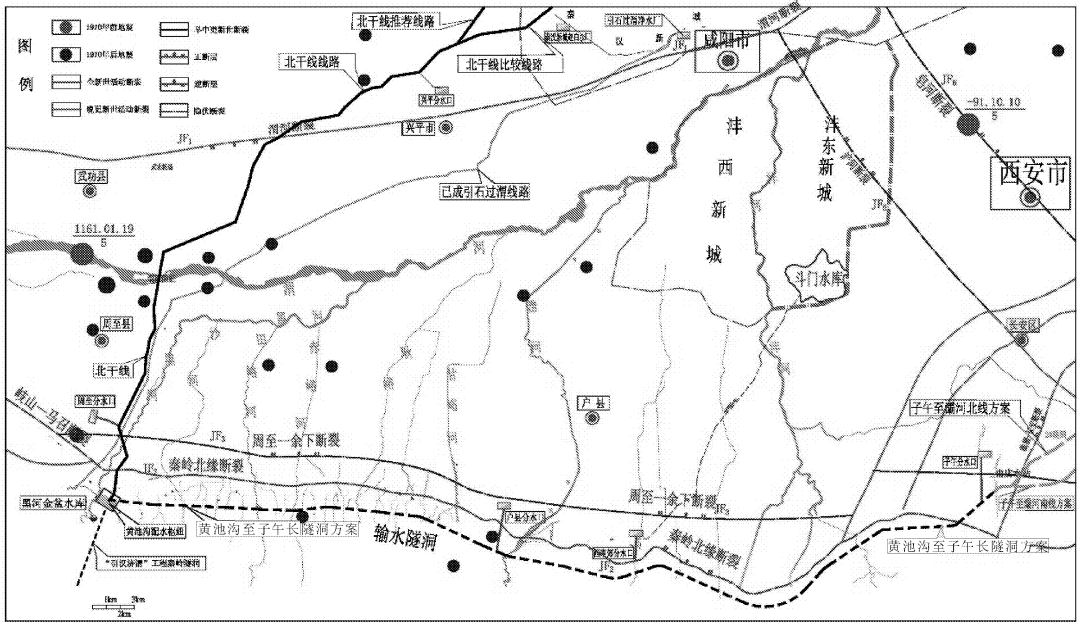


图 1 “引汉济渭”二期引水骨干线黄池沟至西安子午水厂段线路示意图

2 地质环境条件

2.1 地形地貌及地层岩性

“引汉济渭”二期南干线黄池沟至西安子午水厂段所在地形在整体上呈西高东低,南高北低的特征,南干线主要经过秦岭中低山、山前洪积(扇)平原、河谷阶地、黄土台塬(残源)四个地貌类型。引水隧洞大部分洞段位于秦岭北麓中低山中,长隧洞末端及支洞起点段穿越黄土残源及山前洪积扇,箱涵、倒虹工程位于山前洪积平原及河谷阶地上^[5-6],工程线路方案地貌单元分布详见表 1。沿线地层主要由前震旦系宽坪群变质岩、泥盆系上泥盆统变质岩、印支—燕山期花岗岩及第四系松散堆积层组成。

2.2 地质构造

引水隧洞沿线地质构造主要发育于秦岭中低山中,主要构造形迹有断层和裂隙两类。断层可分为秦岭北缘区域断裂及一般性断裂,秦岭北缘区域断裂位于设计主线路以北,线路走向与断裂走向大致平行(见图 1),距断层破碎带南边界约 0.5 km ~ 1.0 km,末端在台沟村附近以 60°的角度斜穿断裂;大部分施工支洞均大角度穿越该断裂带;另有 20 条一般性断层与设计线路相交,主要分布于秦岭中低山内,多以大倾角为主,工程区内呈东西走向的断层较为发育,与秦岭北缘区域断裂走向基本一致,显示断层主要受区域构造控制。一般性断层及局部裂隙

发育带特征各不相同。

表 1 南干线各线路方案地貌单元分布表

线路	方案名称	地貌类型				
		秦岭中低山	洪积(扇)平原	河谷阶地	黄土残源	黄土台塬
黄池沟至子午水厂段	长隧洞方案		主洞桩号 66+000—68+524;部分支洞起点段;鄂邑支线、西南郊支线前端,涝河退水渠、曲峪退水、子午支线、见子河支线全线	主洞跨见子河、小见子河段	部分支洞起点段	—
	无压箱涵+隧洞方案	1#隧洞大部、4#隧洞中部、7#隧洞大部、8#隧洞大部	箱涵段,部分隧洞进出口段	各倒虹渡槽段	1#隧洞出口段、2#、3#、5#、6#隧洞、4#隧洞进出口段	—

2.3 水文地质条件

引水隧洞沿线地下水类型可分为裂隙潜水、基岩裂隙承压水和第四系孔隙潜水三种,地下水位大部分高于设计洞顶。根据线路沿线水文地质条件,对线路进行富水性分区,秦岭中低山地貌区,断层带属强富水区,受断裂影响的区段及强风化岩体为中等富水区(泉流量 > 1 L/s)、弱风化岩体属弱富水区(泉流量 0.1 L/s ~ 1.0 L/s)、微风化岩体属极弱富水区(泉流量 < 0.1 L/s)。沿线环境水水化学类型有多种类型,根据室内水质分析成果,环境水对混凝

土除泮河、高河水样具重碳酸型弱腐蚀性,其余水样均无腐蚀性,环境水对钢筋混凝土中的钢筋均具微腐蚀性,对钢结构均具弱腐蚀性。

2.4 地质灾害

引水隧洞沿线地质灾害主要有崩塌、滑坡、泥石流。崩塌主要发育于秦岭中低山中较陡斜坡坡脚一带,共发现崩塌11处。滑坡主要分布于秦岭中低山及黄土塬边缘,根据现场地质调查,工程区沿线主要发育27个滑坡。泥石流沟主要位于秦岭中低山中,共发育有4条,分别为马峪沟、栗峪沟、皂峪沟、黄柏峪。由于大部分线路以隧洞形式通过秦岭山区,因此这些不良地质作用对引水隧洞线路无影响或影响小。

3 主要工程地质问题

3.1 秦岭北缘断裂对线路影响

引水隧洞绝大部分(93.2%)线路距断裂距离大于500m,绝大部分支洞及支线起始端穿越断裂。根据已成工程隧洞围岩分布情况,秦岭北缘断裂对200m~300m范围内的岩体存在影响,表现为在该范围内隧洞以V类围岩为主。引水隧洞绝大部分线路距断裂距离大于500m,引水隧洞洞室围岩受断裂影响不大;且根据地质勘探成果引水隧洞绝大部分位于弱—微风化岩体中,洞室围岩纵波波速大于3000m/s,洞室围岩较为完整。引水隧洞轴线虽然避开了秦岭北缘断裂带,但小构造极为发育,洞室岩体完整性较差;对洞室围岩稳定性有一定的影响。

秦岭北缘断裂对隧洞的影响具体表现为:(1)受区域断裂影响,洞室附近可能发育较多的东西向平行洞室走向的小型断层,对洞室围岩稳定不利;(2)受构造影响,部分无断裂发育的洞段围岩级别较低;(3)穿越区域断裂带的洞段可能存在局部洞室坍塌、涌水、突泥等围岩稳定问题,需要采取相应的支护手段来解决。

3.2 洞室围岩稳定问题

引水隧洞总体围岩类别统计如表2所示。隧洞出口段洞室围岩为壤土、砂卵石等,岩性复杂,结构不均,且又位于地下水位以下,洞体易坍塌、成洞条件极差。开挖前应采取降水措施,同时开挖时应采取合理的施工方法,加强跟进支护措施,严防洞体坍塌。

根据表2,隧洞围岩类别有如下特点:(1)V类围岩约占全洞总长的12.8%,IV类围岩占全洞总长的32.0%,且主要分布于隧洞进、出口段;(2)II类、III类围岩占洞室总长的55.2%,主要分布在花岗岩洞段;(3)IV类、V类围岩与II类、III类围岩呈

相间交互分布。隧洞围岩类别分布如图2所示。

表2 引水隧洞围岩类别统计表

线路段及方案	围岩类别	岩性	长度/m	总长百分比/%
黄池沟至西安子午水厂段(钻爆法方案)	V	第四系壤土夹碎石、断层带的块石土、碎石土	2900	4.21
	V	片岩、片麻岩、花岗岩及断层破碎带	6800	9.86
	IV	片岩、片麻岩及花岗岩	23650	34.31
	III	片岩、片麻岩及花岗岩	28280	41.03
	II	片麻岩及花岗岩	7300	10.59

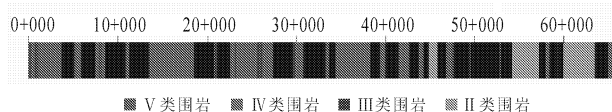


图2 基岩洞段围岩类别分布示意图

V类围岩,岩体破碎,围岩开挖后不能自稳,初步衬砌后洞段变形破坏严重,导致初期支护破坏,对该类围岩洞段应采取“超前锚杆+刚性支护”措施;IV类围岩自稳性差,应对潜在的不稳定地质体采取“系统锚杆+钢筋网+喷混凝土及局部钢拱架”综合支护措施;III类围岩自稳性较好,局部可能产生掉块现象或小规模坍塌问题,开挖时应采取“局部锚杆+钢筋网+喷混凝土”综合支护措施;II类围岩整体稳定,但局部在几个节理面组合条件下,有少量岩块失稳,应及时进行“喷混凝土+局部锚杆”的支护措施。由松散层、强风化岩体及断层破碎带组成的洞室围岩稳定性差,成洞难度大;由弱风化岩体组成的洞室围岩稳定性较差,成洞难度较大。

3.3 隧洞涌水、突泥问题

根据区域水文地质条件,采用大气降水入渗法、裘布依公式法、水文地质比拟法对引水隧洞及施工支洞正常涌水量进行了计算^[7-8],计算结果见表3。

相对一般情况下的正常涌水量,集中涌水量难以预测,II类、III类围岩的洞段,岩体较完整,地下水以渗水和滴水为主,一般不会产生较大涌水。IV类围岩可能在高水头作用下,影响围岩稳定,V类围岩中断层破碎带极易产生涌水、突泥,对隧洞安全施工影响较大,应加强超前排水和支护工作。可能出现集中突水的洞段主要为引水隧洞与断裂相遇地段,各洞段分布及涌水量计算结果见表4,由表4可知集中涌水点单点可能最大涌水量1260.6m³/d~18166.5m³/d。对上述洞段应加强地质编录和超前地质预报工作,同时应注意谨慎施工,加强支护及排水措施^[9]。

表 3 引水隧洞及施工支洞正常涌水量预测表

隧洞编号	预测涌水量/(m ³ ·d ⁻¹)						平均涌水量/(m ³ ·d ⁻¹)	
	大气降水法		裘布依公式法		水文地质比拟法		正常	最大
	正常	最大	正常	最大	正常	最大		
引水隧洞	18085.69	36171.45	22750.87	45501.71	7073.94	14147.88	15970.17	31940.33
12#施工支洞	383.73	767.46	393.88	787.76	482.12	964.25	419.91	839.82
13#施工支洞	202.22	404.44	166.13	332.26	310.65	621.31	226.33	452.67
14#施工支洞	379.78	759.56	374.76	749.52	468.56	937.12	407.70	815.40
15#施工支洞	274.52	549.04	217.18	434.36	352.11	704.21	281.27	562.54
16#施工支洞	354.15	708.29	271.45	542.90	409.52	819.06	345.04	690.08

表 4 引水隧洞单点最大集中涌水量预测表

可能集中涌水段/m	断裂编号	涌水量/(m ³ ·d ⁻¹)	可能集中涌水段/m	断裂编号	涌水量/(m ³ ·d ⁻¹)
0+700—1+100	f4、f9 断裂	10442.16	33+630—33+830	f47 断裂	6020.96
3+650—3+800	f17 断裂	3058.05	36+930—37+030	f52 断裂	1293.20
7+900—8+200	f20 断裂	4252.45	37+530—37+630	f56 断裂	1293.20
10+900—11+300	f23 断裂	1588.61	46+830—47+030	f61 断裂	2930.02
13+300—13+400	f25 断裂	1260.60	47+430—47+630	f60、f63 断裂	2567.57
20+230—21+230	f29、f30 断裂	12421.78	49+530—49+730	f64 断裂	1631.37
23+030—23+330	f32+3、f32+3 断裂	2453.78	52+730—52+930	f66 断裂	2851.39
26+130—26+330	f38 断裂	3994.59	59+230—59+380	f71 断裂	2678.24
27+130—27+230	f39 断裂	1279.42	65+730—65+930	F2 秦岭山前断裂	2509.10

3.4 隧洞岩爆、大变形问题评价

根据工程经验,埋深较大或地应力等级较高的硬质岩洞段容易产生岩爆^[10-11],应特别注意。引水隧洞围岩主要由花岗岩、黑云母斜长片麻岩及云母斜长片麻岩组成。根据《水利水电工程地质勘察规范》^[12](GB 50487—2008)附录 Q 中岩爆的分级及判别,强度应力比 >7 为不岩爆,4~7 为轻微岩爆,根据地应力回归分析成果及岩体饱和抗压强度,隧洞岩爆预测成果如表 5 所示,试验结果表明岩石强度应力比均高于 7,因此隧洞不存在岩爆问题。

对引水隧洞进行试验,试验隧洞围岩为云母石英片岩,微风化洞段主地应力 12.2 MPa,相应强度应力比 2.86。监测成果显示:强风化洞段最大变形量 21.3 mm,最小为 3.2 mm,平均值为 12.3 mm;断层破碎带最大变形量为 190 mm,最小为 130 mm,平

均值为 167 mm,变形量大;弱风化洞段最大变形量 7.8 mm,最小为 1.6 mm,平均值为 4 mm,变形量较小;微风化洞段最大变形量 1.6 mm,最小为 0.8 mm,平均值为 1.1 mm。根据试验成果,引水隧洞的云母石英片岩、绿泥石钠长石阳起片岩的Ⅳ类围岩基本不会发生大变形,若受构造影响,断层发育,剪切裂隙发育,地下水的影响,很有可能发生大变形;Ⅴ类围岩都有可能发生轻微的大变形;断层破碎影响带存在大变形问题。

表 5 长隧洞方案岩爆预测表

桩号	最大主应力/MPa	岩性及风化	饱和抗压强度/MPa	岩石强度应力比	岩爆等级
11+300—14+300	10.11~10.31	微风化黑云母斜长片麻岩	85	8.24~8.41	
44+300—47+900	12.70~13.23	微风化花岗岩	108	8.16~8.50	
48+500—51+500	12.21~13.36	微风化云母斜长片麻岩	95	7.11~7.78	不岩爆
52+100—65+000	5.10~11.48	微风化花岗岩	108	9.31~21.18	

4 结 论

“引汉济渭”二期南干线引水骨干线路工程黄池沟至西安子午水厂段,由引水隧洞、箱涵组成。引水隧洞长 68.93 km,大部分隧洞段位于秦岭北麓中低山;秦岭北缘断裂带对洞室围岩有一定的影响,断层破碎影响带存在大变形问题,但不制约线路方案的成立。引水隧洞Ⅴ类围岩,长度 9.7 km,岩体破碎,围岩开挖后不能自稳,可能发生轻微的大变形;Ⅳ类围岩,长度 23.65 km,围岩自稳性差;Ⅲ类围岩,长度 28.28 km,自稳性较好,局部可能产生掉块现象或小规模坍塌问题。

(下转第 114 页)