

特长深埋 TBM 施工隧洞反坡排水 施工技术

蒋于波¹ 阳前坤²

- (1. 四川二滩国际工程咨询有限责任公司, 四川 成都 610072;
2. 达华工程管理(集团)有限公司, 四川 成都 610017)

【摘要】 陕西省引汉济渭工程是陕西省省内跨流域调水工程,是针对关中地区缺水问题提出的陕西省内南水北调工程的骨干线路。工程秦岭隧洞 TBM 施工段岭南工程存在地下突涌水多、独头排水距离长、反坡排水等问题。本文着重介绍了陕西省引汉济渭工程秦岭隧洞 TBM 施工段岭南工程反坡排水分级水仓、逐级抽排的施工方法,为类似 TBM 施工工程提供参考。

【关键词】 TBM 施工;隧洞;反坡排水;技术

中图分类号: TV554

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2017)01-0022-05

Counter-slope drainage construction technology of super long deep buried TBM construction tunnel

JIANG Yubo¹, YANG Qiankun²

- (1. Sichuan Ertan International Engineering Consulting Co., Ltd., Chengdu 610072, China;
2. Dahua Engineering Management (Group) Co., Ltd., Chengdu 610017, China)

Abstract: Shaanxi Hanjiang-to-Weihe River Water Diversian Project is an inter-basin water transfer project in Shaanxi Province. It is a backbone line of South-to-North Water Diversian Project in Shaanxi Province, which is proposed aiming at water deficiency problem in the Guanzhong area of Shaanxi Province. Lingnan Project in Qinling tunnel TBM construction section has the problems of excessive underground sudden floods, long single-head drainage distance and counter-slope drainage, etc. In the paper, the counter-slope drainage classified water warehouse and stage-by-stage drainage construction methods of Qinling tunnel TBM construction section Lingnan Project in Shaanxi Hanjiang-to-Weihe River Diversion Project are introduced emphatically, thereby providing reference for similar TBM construction projects.

Key words: TBM construction; tunnel; counter-slope drainage; technology

1 概述

陕西省引汉济渭工程秦岭隧洞, TBM 施工段岭南工程的施工方向属于反坡施工, 因其特长、深埋、大断面, 且隧洞突涌水量较大, 使得施工期排水系统布置尤为重要, 加之该工程采用 TBM 施工, 较传统钻爆施工,

设备价值较高、不能快速转移, 所以隧洞允许水位高度有限, 要求排水及时, 加大了排水系统布置的难度。

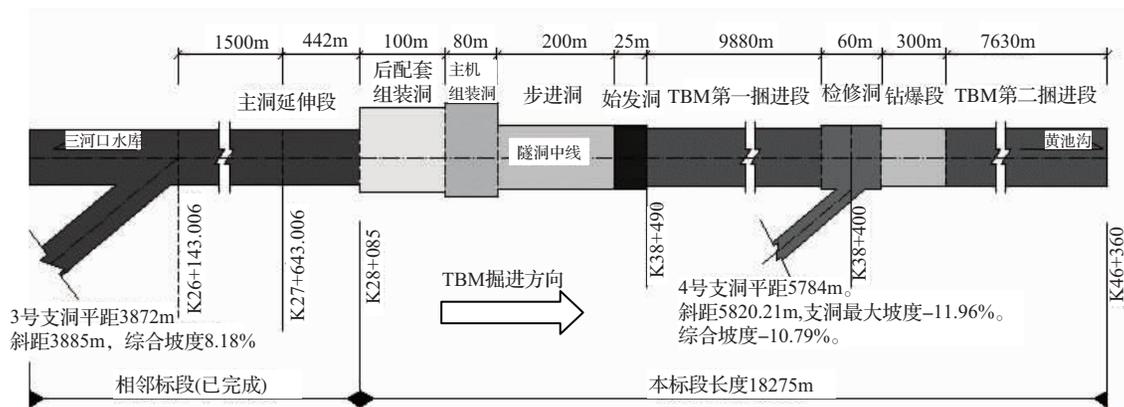
根据引汉济渭前期工程已通过钻爆法完成了部分主洞开挖的施工特点, 提出了在主洞与支洞交叉口上游设置大水仓、TBM 掘进段设置分级水仓并配备相应流量水泵的方法。达到对隧洞突涌水及时抽排, 保证

TBM 设备和人员安全,顺利开展掘进施工的目的。

2 工程概况

陕西省引汉济渭工程秦岭隧洞,是将汉江流域调出水量自流送入渭河流域关中地区,隧洞为无压洞,全长 81.58km,设计流量 $70\text{m}^3/\text{s}$,隧洞平均坡降 $1/2500$,采用“钻爆法+2台 TBM”法施工,TBM 设备施工断面为圆形,断面直径 8.02m。

TBM 施工段岭南工程为引汉济渭工程秦岭隧洞两个 TBM 施工标段中的反坡施工标段,由 3 号支洞进入主洞下游 1942m 开始,标段全长 18275m,由 TBM 辅助洞室(765m)和 TBM 掘进施工段(17510m)组成。其中 TBM 掘进段分为第一掘进段 9880m 和第二掘进段 7630m,两掘进段中设置 TBM 检修洞进行中间检修,由 4 号支洞进入主洞开挖形成(段落划分详见下图)。



标段主洞及支洞布置图

工程位于秦岭岭脊高中山区及岭南中低山区,地形起伏。高程范围 1050.00 ~ 2420.00m,洞室最大埋深约 2000m。主洞施工段地下水为基岩裂隙水,水量较丰富,受大气降水补给。

TBM 掘进段设计正常涌水量为 $6113\text{m}^3/\text{d}$,最大涌水量 $12226\text{m}^3/\text{d}$ 。实际施工过程中,隧洞涌水频繁且量大。2016 年 2 月 28 日,掌子面出现的单点涌水量超 $800\text{m}^3/\text{h}$,在 TBM 仅完成 1890m 掘进长度的情况下,全隧洞涌水量已达 $45000\text{m}^3/\text{d}$,严重威胁 TBM 设备和人员安全。

3 反坡排水总体考虑

TBM 第一掘进段段落长,施工难度高。TBM 第一掘进段施工期间,在 3 号支洞与主洞交叉口上游约 50m,采用钻爆法在已完成开挖的洞段设置容量为 12 万 m^3 的大水仓,主洞设置分级泵站,逐级抽排至大水仓,1 号泵站设在步进洞位置,后续施工每级泵站间距原则按照 2000 ~ 2500m 设置,后期根据实际涌水情况调整。3 号

支洞上游水仓水由 2 号支洞和 3 号支洞抽排至洞外。

4 TBM 掘进段(主洞)反坡排水设计

4.1 涌水量确定

根据设计资料和已掘进段的涌水情况,经设计人重新估算预测,在对已掘进段进行注浆堵水后,主洞最大涌水量约 $41212\text{m}^3/\text{d}$ 。设计时,设备最大排水能力应大于 $41212\text{m}^3/\text{d}$,并适当考虑一定余量。

4.2 TBM 第一掘进段排水方案

TBM 第一掘进段,主洞排水设置五级永久泵站+TBM 随机泵站,每级永久泵站的间距约 2000m,掌子面涌水由各级泵站逐级抽排至大水仓,再由 2 号、3 号支洞抽排至洞外。

4.3 各级泵站水管及水泵配置

4.3.1 水管配置原则

排水管路按照大管配小管及永、临结合的原则进行设置,抽排水经济流速按照 $1.70 \sim 2.50\text{m}/\text{s}$ 考虑,各种材质、管径水管在经济流速范围内的流量见表 1。

表1 各种材质、管径水管在经济流速范围内的流量

序号	管材	管径/mm	经济流速/(m/s)	经济流量/(m ³ /h)
1	钢管	200	1.7~2.5	192~282
2	钢管	300		432~636
3	PE管	250		300~441
4	PE管	400		622~962

4.3.2 水泵扬程计算

水泵扬程依据表2中各项参数进行计算。

表2 水泵扬程计算参数

序号	参数名	参数代号	单位	备注
1	排水流量	$Q_{Z\max}$	m ³ /h	根据管径不同选择经济流量
2	单条管路长度	L	m	取2500
3	排水净高度	H	m	取1
4	管路沿程阻力损失	h_1	m	
5	局部阻力损失	h_2	m	
6	水泵扬程	H	m	
7	流速	V	m/s	
8	管径	D	m	200mm、300mm 钢管, 250mm、400mm PE管
9	常数	λ		0.03
10	常数	G	m/s ²	9.80
11	局部管件个数	Z	个	
12	阻力系数	ξ		按90°弯头 $\xi=0.25$, 底阀 $\xi=6$, 闸阀 $\xi=0.10$, 止回阀 $\xi=2$

水泵所需扬程主要由以下三部分组成:

a. 排水净高度 $h; h=1\text{m}$ 。

b. 管路沿程阻力损失:

$$\text{流速 } v = 4q_{Z\max} / (3600\pi D^2)$$

$$h_1 = \lambda(L/D)(v^2/2g)$$

c. 局部阻力损失:

$$h_2 = Z\xi(v^2/2g)$$

所选水泵的扬程 $\geq h + h_1 + h_2$ 。

经计算,不同管径的水管在经济流速内对应的水泵扬程见表3。

表3 水泵扬程计算

序号	管材	管径/mm	经济流量/m ³ /h	对应的水泵扬程/m
1	钢管	200	192~282	56~123
2	钢管	300	432~636	40~84
3	PE管	250	300~441	87~187
4	PE管	400	622~916	29~62

4.4 各级泵站水管及水泵配置

根据泵站水管及水泵型号,TBM第一掘进段主洞各级泵站的抽排水能力见表4。

表4 TBM第一掘进段主洞各级泵站抽排水能力

项目名称 泵站名称	水管配置	水泵配置	每条管路 排水能力	各级泵站 排水能力	备注
1号泵站	1条200mm钢管 2条250mmPE管 1条300mm钢管 1条400mmPE管	1台KQSN150—N7/305 2台KQSN250—M6/410 1台KQSN300—N6/445 1台KQSN400—N9/446	1×250 m ³ /h 2×330m ³ /h 1×550m ³ /h 1×1000m ³ /h	2460m ³ /h 即49200m ³ /d	
2号泵站	4条200mm钢管 1条250mmPE管 1条400mmPE管	4台KQSN150—N7/305 1台KQSN250—M6/410 1台KQSN400—N9/446	4×275m ³ /h 1×360m ³ /h 1×1100m ³ /h	2285m ³ /h 即45700m ³ /d	
3号泵站	2条200mm钢管 1条250mmPE管 1条400mmPE管	2台KQSN150—N7/305 1台KQSN250—M6/410 1台KQSN400—N9/446	2×275m ³ /h 1×360m ³ /h 1×1100m ³ /h	2010m ³ /h 即40200m ³ /d	
4号泵站	2条200mm钢管 1条400mmPE管	2台KQSN150—N7/305 1台KQSN400—N9/446	2×275m ³ /h 1×1100m ³ /h	1650m ³ /h 即33000m ³ /d	
5号泵站	2条200mm钢管 1条400mmPE管	2台KQSN150—N7/305 1台KQSN400—N9/446	2×275m ³ /h 1×1100m ³ /h	1650m ³ /h 即33000m ³ /d	

续表

项目名称 泵站名称	水管配置	水泵配置	每条管路 排水能力	各级泵站 排水能力	备注
TBM 泵站	2 条 200mm 钢管	2 台 KQSN150—N7/305	2 × 275m ³ /h	1720m ³ /h 即 34400m ³ /d	为同一条 排水管路
	1 条 400mmPE 管	1 台 55—30—1170	1 × 1170m ³ /h		
掌子面	1 条 300mm 钢管	1 台 55—30—1170	1 × 1170m ³ /h	1770m ³ /h 即 35400m ³ /d	
	1 条 150mm 橡胶管 1 条 200mm 钢管	1 台 WQ200—16—18.5 1 台 WQ400—30—55	1 × 200m ³ /h 1 × 400m ³ /h		

注 总排水能力按照每台水泵每天工作 20h 计算

综上, TBM 第一掘进段按照以上管路及水泵配置的抽排水能力可以满足隧洞最大涌水量要求。

4.5 各级泵站水仓设置

1 号泵站水仓由步进纵断面 V 形底板形成, 容量约 400m³, 2 号~5 号泵站水仓采用 TBM 设备通过后抬高轨道并设置小型拦水坝形成, 水仓依次确定为 400m³、350m³、300m³、300m³。TBM 随机泵站在 TBM 拖车上部安装一容量 80m³ 的水箱。

4.6 各级泵站间抽排水

各级泵站间在较大出水点位置仰拱块跳段形成集水坑, 配置 63kW-60m-200m³/h 或者 100kW-80m-250m³/h 水泵抽排至泵站间 400mmPE 管路内。

5 支洞排水方案

5.1 2 号支洞排水方案

鉴于 2 号支洞在开挖过程中已布置了两条 300mm 排水管路(1 号、2 号管路), 在此基础上再增加两条 300mm 排水管路(3 号、4 号管路), 1 号、2 号管路均为两级排水抽至洞外, 3 号、4 号管路均由洞底直接抽排至洞外。水泵布置如下:

1 号管路: 2 号支洞洞底 1 台 MD280—215 → 支洞水仓 1 台 MD280—172 → 洞外。

2 号管路: 2 号支洞洞底 1 台 MD250—151 → 支洞水仓 1 台 MD280—172 → 洞外。

3 号管路: 2 号支洞洞底 1 台 MD360—60 × 7 → 洞外。

4 号管路: 2 号支洞洞底 1 台 QW725—397 → 洞外。

2 号支洞水泵参数见表 5。

表 5 2 号支洞水泵参数

序号	水泵型号	水泵参数		
		功率/kW	扬程/m	流量/(m ³ /h)
1	MD280—215	280	215	280
2	MD280—172	200	280	280
3	MD250—151	160	151	250
4	MD360—60 × 7	630	420	360
5	QW725—397	1120	370	725

5.2 3 号支洞排水方案

3 号支洞布置 3 条 300mm 排水管, 分别与 3 台 MD580—60 × 7 水泵连接, 3 号支洞排水由洞底直接抽排至洞外。3 号支洞水泵参数见表 6。

表 6 3 号支洞水泵参数

序号	水泵型号	水泵参数		
		功率/kW	扬程/m	流量/(m ³ /h)
1	MD580—60 × 7	900	420	580

5.3 2 号、3 号支洞抽排水能力

根据上述“2 号支洞排水方案”“3 号支洞排水方案”, 2 号、3 号支洞抽排水能力见表 7。

由表 7 可知, 按照以上抽排水配置, 2 号支洞抽排水能力为 32300m³/d, 3 号支洞抽排水能力 34800m³/d, 2 号、3 号支洞抽排水能力达 67100m³/d, 考虑将 QW725—397 水泵作为应急排水, 2 号、3 号支洞合计日常排水能力 52600m³/d, 满足主洞最大涌水量情况下抽排水要求。

表7 2号、3号支洞泵站水泵配置及抽水能力参数

项目名称 泵站名称		水管配置	水泵配置	排水能力	总排水能力		备注
2号支洞	1号管路	300mm 钢管	MD280—215→MD280—172	280m ³ /h	1615m ³ /h 即 32300m ³ /d	2号、3号支洞 合计排水能力 为67100m ³ /d	二级排水至洞外
	2号管路	300mm 钢管	MD250—151→MD280—172	250m ³ /h			
	3号管路	300mm 钢管	MD360—60×7	360m ³ /h			
	4号管路	300mm 钢管	QW725—397	725m ³ /h			
3号支洞		3条 300mm 钢管	3台 MD580—60×7	580m ³ /h	1740m ³ /h 即 34800m ³ /d		一级排水至洞外

注 总排水能力按照每台水泵每天工作20h计算

6 施工体会

根据陕西省引汉济渭工程秦岭隧洞TBM掘进段的反坡排水设计和实际使用效果分析,有四点施工体会供参考:一是TBM反坡排水设计,采用分级抽排的方案可行,较为稳妥,但需大致了解隧洞突涌水特性、掌握水泵性能和相邻建筑(或标段)关系,这些需要提前研究;二是在进行反坡排水设计时,需对配电等配套设施等一并考虑,并充分考虑应急电源设置,做到快速切换;三是应及时进行注浆堵水,减小抽排压力;四是特长、深埋、大断面的反坡施工隧洞,尤其是采用TBM设备施工时,选择排水方案设计一定要慎重,否则将对TBM设备及人员安全带来极大危害。

(上接第31页)顶部两端变形较大,计算结果与闸门实际变形相吻合,这也是闸门本身无法克服的变形。

b. 引起气动盾形闸闸门变形的原因很多,主要有闸门的结构设计、气袋制造误差及充气量不一致、倾斜仪安装不合理、闸门安装误差。

c. 针对闸门的变形情况,提出三种解决方案,三种方案能不同程度地减小闸门的整体变形量,影响最大的方案是在面板顶部增设横向方形空心型钢和在单节门叶两端增设肋板,虽然该方案能较好地减小门叶整体位移,但鉴于闸门已安装完毕且已蓄水运行,无法对闸门结构进行较大改动,因此,采用增设横向方形空心型钢较为合理。

7 小结

根据引汉济渭工程岭南TBM掘进段反坡排水的现场实际情况,结合该套系统在实际使用过程中的适应性,采用分级抽排方式能够应对特长深埋隧洞反坡排水情况。根据实际涌水量大小、位置,设备配置随时调整,可得到最佳抽排效果。◆

参考文献

- [1] 高文涛,吴志刚.反坡排水技术在隧道涌水处理中的应用[J].土工基础,2012,26(2):16-18.
- [2] 王岩.杨家杖子供水工程中途加压泵站水泵选型设计[J].水利建设与管理,2015(12).
- [3] 杨宇.长距离有压输水系统防水锤设计探析[J].水利建设与管理,2015(9).

d. 三种方案对闸门整体折算应力影响较小,且均在允许应力范围内。

e. 从有限元计算结果和气动闸整体美观效果来看,在今后的气动闸闸门设计时采用在单节门叶两端增设肋板方案较为合理、美观。◆

参考文献

- [1] 王惠萍,周志华,李玉臣.清河气动盾形闸门顶溢流不均问题的分析处理[J].水利规划与设计,2013(3):48-50.
- [2] 张鹏.橡胶坝静动力特性有限元分析[D].泰安:山东农业大学,2010.
- [3] 胡俊锋.基于有限元分析的大跨度平面闸门设计研究[J].中国农村水利水电,2012(8):110-111.