

引黄工程北干线 #1 隧洞施工方案探讨

王 宦¹, 雷吕丽¹, 梁怀文²

(1. 山西省万家寨引黄工程管理局, 山西 太原 030012; 2. 山西省水利科学研究所, 山西 太原 030012)

【摘 要】 山西省万家寨引黄一期工程北干线 #1 隧洞洞长 44.9 km, 最大埋深 430 m, 全线 70% 的洞段处于地下水位以下, 其施工方案直接影响着工程工期、投资及建成后的经济状况。通过对两台 TBM、一台 TBM 施工方案及其施工工期、工程投资的比较, 可以看出: 一台 TBM 施工方案不仅工期短, 如果严格执行招投标制度, 工程投资可较两台 TBM 施工方案节省 1.4 亿元, 同时部分使用钻爆法还可以对国内其他施工企业扩大再生产、提高竞争力有所帮助。该方案可降低造价, 对将来的运营管理大有益处。

【关键词】 TBM; 隧洞施工; 万家寨引黄工程

中图分类号: TV455 Q25)

文献标识码: B

文章编号: 1000-0860 (2002) 08-0058-03

1 概 况

万家寨引黄工程北干线西起山西省偏关县下土寨村南、北干分水闸, 经偏关、平鲁、朔城区、山阴、怀仁, 到大同市赵家小村水库。隧洞全长 166.88 km, 其中囊括了隧洞、埋涵、倒虹吸、渡槽、水库、电站等各种类型的水工建筑物。设计最终规模为年引水 5.6 亿 m^3 , 设计流量: #1 隧洞以上为 $22.2 \text{ m}^3/\text{s}$, #1 隧洞以下至朔州分水口为 $20 \text{ m}^3/\text{s}$; 朔州分水口至大同赵家小村水库为 $11 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

1.1 工程布置

万家寨引黄工程北干线 #1 隧洞工程等级为 II 等, 主要建筑物按 2 级建筑物设计, 工程区内地震基本烈度为 7 度。工程自下土寨分水闸起至朔城区马鞍山村附近出口, 全长 44.9 km。以大梁水库为界分别设计。大梁水库以上段全长 30.6 km, 设计纵坡 1/1 500, 断面为门洞型, 明流输水, 流量 $22.2 \text{ m}^3/\text{s}$; 大梁水库以下段长 14.335 km, 设计纵坡 1/1 500, 圆形断面, 分有压和无压两段。

1.2 地形地貌及物理地质现象

大梁水库以上段分为三个地貌单元: 偏关侵蚀黄土丘陵区、吕梁山侵蚀低中山区及平鲁剥蚀黄土丘陵区。大梁水库以下段属构造剥蚀中低山区, 地势西北高、东南低, 貌似台阶, 相对高差一般小于 100 m, 在山谷河沟中覆盖有第四系冲洪积物。该区主要物理地质现象有滑坡坍塌、煤矿采空区、河流下切现象及喀斯特

和风化四种类型。

1.3 工程地质

本区围岩大部分为灰岩, 局部地段有砂岩、页岩、片麻岩、闪长玢岩、煤层、 N_2 粘土、 Q_2 黄土等。围岩种类从 II 类~V₂ 类均有。区内断裂构造较发育, 多为正断层, 大梁水库以上洞段地质条件复杂, 有多条断层与洞线相交, 其中规模较大的有 F_{23} 、 F_{44} 、 F_{92-3} 、 F_{61} 等; 大梁水库以下洞段与洞线相交的断层有 F_{33} 、 F_6 断层, 其中 F_6 断层与洞轴线成小角度相交, 隧洞长距离处于断层或断层影响带, 对隧洞稳定不利。

工程区跨黄河和海河两大水系。西部吕梁山脉的虎头山为分水岭。虎头山以西为黄河水系, 以东为海河水系。地下水位多高于洞线, 距洞顶 44~74 m, 对施工影响较大。

大梁水库至刘家口段穿越平朔煤田, 该煤田煤层从上至下依次为 #4~#11 煤层。经初步调查和部分井下实地测量, 这些煤矿不同程度地存在着采空区, 影响隧洞安全的煤矿有 12 座, 其中影响较大的煤矿有 6 座, 最为严重的是崔家岭煤矿, 其采空区在洞线以下, 洞线穿越采空区 180 m。

2 施工方案比较

北干线 #1 隧洞在 1993 年初步设计时施工方法是

收稿日期: 2002-06-17

作者简介: 王 宦, 男, 工程师。

传统的钻爆法施工,采取长洞短打的方式,共布置 13 条支洞,主体工程工期长达 5 年(现已完成上游 4 条支洞和 5.471 km 的主洞开挖)。

由于 TBM 具有作业人员少、掘进速度快、成洞质量好、施工安全等许多优点,因而使其在长隧洞施工中得到了广泛的应用。对于北干线#1隧洞,由于埋深大、洞线长,更适合于 TBM 施工。TBM 在引黄南干线#7 洞的实践更证明了这一点。

随着 TBM 技术的发展,对于#1隧洞这样的长隧洞来讲,全洞段采用钻爆法显然已不具优势,而同时利用三台掘进机施工又很不经济,因此,应考虑两台或一台 TBM 和钻爆法相结合的施工方案。

除上游 K5+471~K10+385 段因有 1 420 m 土洞段 TBM 较难适应,且已经开挖完成 3 条支洞,具备钻爆法施工条件,需要并利用已有支洞采用常规法施工外,其余皆可考虑 TBM 施工为主。故本文仅对适用于 TBM 施工的洞段进行施工方法的分析,即桩号 K10+385 到#1隧洞出口段,全长 34 km。

2.1 两台 TBM 方案

即上、下游各设一台 TBM 相向或同向施工方案。根据地形条件,TBM1 一种方案是从上游已开挖的支(北)D3 斜井开始顺坡掘进,逆坡排水;另一种方案是从拟建设的大梁通风竖井开始,逆坡掘进、顺坡排水。两个方案都需要扩挖 TBM 进洞及安装现场,洞径 8 m。TBM2 从#1洞出口自下而上逆坡掘进、顺坡排水。

不论 TBM1 以哪个支洞作为进口,其施工里程均为 20 km,即桩号 K10+385~K30+618。中间需要穿越埋深很大的黄河、海河分水岭——虎头山,最大埋深 430 m;Ⅱ类围岩 11.4 km,Ⅲ类围岩 6.3 km,其余为Ⅳ~Ⅴ₂类围岩,同时要经过 F₂₅、F₄₄、F₉₂₋₃、F₆₁等 4 条规模较大的断层。从 TBM 的施工特性来看,该段围岩分布适宜于 TBM 施工掘进。只要处理好由于埋深大可能出现的岩爆和高外水的堵漏排水问题,利用南干线 TBM 穿越断层的经验可顺利通过断层,该段使用 TBM 较为理想。至于从哪个支洞开始掘进,则要通过分析其排水的方式及费用来确定,因为逆坡排水需增加中间集水井和中间水泵,且不利于施工掘进及安装管片,而顺坡排水则不需要中间集水井和中间加装水泵,只需在大梁竖井加装水泵即可,同时有利于施工掘进和管片安装。

TBM2 施工里程约 14 km。该 TBM 施工的最大优点是逆坡掘进,顺坡排水,不会淹没 TBM 机头,且排水可自流进入河谷,减少费用,有利于掘进和管片安装。但该段存在的问题较多。大的问题有三个:一是围岩

较差,Ⅳ~Ⅴ类围岩有 10 km,Ⅲ类围岩仅 3.85 km,围岩破碎;二是有 F₃、F₆两个断层,且 F₆断层与洞线小角度相交,这两个均有可能造成围岩坍塌卡机,影响 TBM 的掘进;三是沿途经过较多的煤矿采空区,其中影响较大的有 6 个煤矿,最严重的采空区已经深入洞线之下,且巷道顶部与洞底最小间距仅 140 m,本身就有塌陷可能,加上重达 200 余 t 的 TBM 机头及巨大的掘进振动推力,给掘进机施工带来安全隐患。该段只要解决好穿越煤矿采空区的安全问题和及时采取措施预防卡机问题,TBM 施工还是可行的。

2.2 一台 TBM 方案

根据两台 TBM 方案分析,TBM1 施工洞段埋深大,不利于开设支洞,且只要处理好岩爆和排水问题,不会影响 TBM 施工安全,因此,大梁水库以上段采用 TBM 施工较为理想,切实可行。而大梁水库以下段却存在着影响 TBM 施工安全的重大隐患,即煤矿采空区塌陷(且采空区难以确定范围),巷道内水回灌隧洞以及破碎带太长造成卡机等,故该段可考虑使用传统的钻爆法施工。这样,就产生了一台 TBM 施工方案。

3 施工工期比较

3.1 两台 TBM 方案

由于钻爆法施工的洞段仅 5 km,且作业面多,处在非关键线路上,因此,仅对 TBM 施工的洞段进行工期比较。

引黄工程管理局现有在联接段已掘进 13.5 km 的罗宾斯 TBM 一台,其开挖断面与北干线相同,可直接利用或根据岩石情况对掘进机刀具进行改造后使用。另一台则需新购。

3.1.1 TBM 购置安装工期

显然,重新购置刀具比重新订做一台 TBM 时间要短,因此,该工期以重新购置为准。

根据引黄工程的经验,重新购置一台 TBM 需要 10 个月,安装调试需 5~6 个月,共 16 个月。其他工作如支洞扩挖 5 个月、竖井开挖 7 个月和管片厂建设 8 个月,以及提前 2 个月生产管片等,均可与 TBM 购置安装同步进行。因此,TBM 安装购置工期为 16 个月。

3.1.2 主洞施工

包括成洞、更换 TBM 关键部件和解体洞施工。

对于 TBM1 施工段,根据国际Ⅱ/Ⅲ标施工经验及 TBM 基本工效等,考虑虎头山以西洞段需通过数条较大断层,且有高外水,施工条件复杂,需采取预注浆等措施,同时又是逆坡排水、斜井或竖井出渣等情况,TBM1 按月成洞 500 m 计算工期,则需 26 个月工期,

加上解体洞施工、更换部件等 2 个月 ,主洞施工工期为 28 个月.

对于 TBM2 施工段 ,因里程短 ,地质条件较 TBM1 洞段好 ,又是顺坡排水 ,除煤矿采空区因素外 ,该段不是控制工期的洞段.

3.1.3 扫尾工程

包括 TBM 拆卸和缺陷处理 ,预计工期为 3 个月.

根据上述分析 ,两台 TBM 施工总工期为 47 个月.

3.2 一台 TBM 方案

前已述及上游段采用 TBM 施工较为理想 ,而且控制工期的仍是上游段 TBM 施工 ,因此下游段只能采用钻爆法施工 ,其工期分析如下.

3.2.1 上游段 TBM 施工工期

一台 TBM 方案 ,显然新购工期长 ,对现有 TBM 更换刀具时间短. 购置、更换刀具时间最多 3 个月 ,运输安装现有 TBM 时间为 6 个月 ,在运到现场的同时 ,可节省购置时间 2 个月 ,则购置及安装时间为 7 个月. 主洞施工工期仍为 28 个月. 扫尾及拆卸、缺陷处理时间为 3 个月. 则 TBM 总工期为 38 个月.

3.2.2 下游段钻爆法施工工期

下游段共 14 km ,按原初步设计设 4 条支洞 ,加上出口和大梁水库竖井 ,共可形成 10 个工作面. 根据现有地质资料和已有经验分析 ,每个工作面平均按月成洞 60 m 计算 ,则主洞贯通需要 24 个月 ,支洞 (最长 380 m)开挖需要 7 个月 ,衬砌 10 个月 ,则下游段钻爆法需要 41 个月.

一台 TBM 方案总工期为 41 个月.

4 工程投资比较

按照 2001 年第四季度价格水平和水利部 [1998] 15 号文规定 ,经初步估算 ,两台 TBM 方案 ,主体工程投资约需 7.9 亿元 ;一台 TBM 方案约需 7.8 亿元 ,相差无几.

按照引黄一期工程已完工程和招投标的实践经验分析 ,TBM 施工洞段 ,一般情况是每延米 2 万元左右 ,钻爆法施工洞段是每延米 1 万元左右 ,考虑 #1 隧洞埋深大、外水多等地质情况 ,TBM 施工按每延米 2.2 万元计算 ,钻爆法施工按 1.2 万元计算 ,则一台 TBM 方案总投资需要 6.68 亿元 ,两台 TBM 方案需投资 8.08 亿元 ,一台 TBM 方案较两台 TBM 方案节省投资 1.4 亿元.

5 结 语

将上述分析列表对比如下 (见附表)

附表 北干线 #1 隧洞施工方案技术经济比较

项 目	两台 TBM 方案	一台 TBM 方案	钻爆法	说 明
主体工程 工期/月	47	41	>48	按概算指 标测算 按经验指 标测算
主体工程 投资 1/亿元	7.9	7.8	7.2	
主体工程 投资 2/亿元	8.08	6.68	5.3	
投 资	最大	介于两者之间	最少	
工 期	有保障	最短	无保障	
施工技术	较复杂	较复杂	复杂	
TBM	需新购或新 租一台 TBM	有效利用 现有 TBM	现有 TBM 闲置	
建设管理	方便	较为方便	难度大	

根据附表可以看出 ,一台 TBM 施工方案不仅施工工期短 ,如果严格执行招投标制度 ,工程投资较两台 TBM 方案节省 1.4 亿元 ,同时部分使用钻爆法还可以对国内其他施工企业扩大再生产、提高竞争力有所帮助. 该方案可降低造价 ,对将来的运营管理大有益处. 全部采用钻爆法施工虽从目前看投资省 ,但施工技术要求复杂 ,工期保障率低 ,且建设管理难度大 ,现有 TBM 闲置. 因此 ,建议采用一台 TBM 方案.

(责任编辑 尹美娥)

· 简 讯 ·

长江 1 800 多条小流域生态环境明显改善

记者从水利部获悉 ,“长治 ”工程实施 13 年来 ,长江流域生态环境得到明显改善 ,目前已有 1 800 多条小流域从中受益.

自长江上游水土保持重点工程启动以来 ,通过 13 年综合治理 ,整个 “长治 ”工程治理区的生态环境已明显改善 ,长江流域已有 1 800 多条小流域从水土流失的重灾区变为生态环境明显改善、花果飘香、群众安居乐业的好地方.

实施 “长治 ”工程至今 ,已累计治理水土流失面积 7.3 万 km² ,使治理区水土流失得到初步控制 ,治理区荒山荒坡面积减少了 84% ,林草植被覆盖率从 26% 提高到了 46% ,土壤侵蚀量

减少了 74% ,年均土壤侵蚀量减少 1.8 亿 t. 目前已有 113 万 hm² 坡耕地得到治理 ,退耕还林 60 万 hm².

水利部副部长陈雷指出 :“长治 ”工程以大流域为依托 ,小流域为单元 ,实施山、水、林、田、路综合治理 ,工程、植物、农耕措施有机结合 ,生态、经济和社会效益相得益彰 ,走出了一条贫困山区改造山河、发展经济的成功之路 ,为全国水土保持生态建设提供了宝贵经验.

(摘自 “中国水利科技网 ”2002 年 7 月 17 日)