

# 隧洞掘进机在引大入秦工程中的应用

薛继洪

(中国水利水电第十工程局, 四川都江堰, 611830)

**摘要** 作者介绍了引大入秦工程中隧洞掘进机的主要组成部份, 后配套设施, 辅助设施以及施工组织情况, 并对该掘进机在施工过程中的问题及施工措施的改进作了小结。对在水电站长隧洞施工中引进隧洞掘进机进行快速施工有参考价值。

**关键词** 双护盾 TBM 后配套 施工工艺 施工组织 施工措施

## 1 引大入秦工程概况

引大入秦工程是将大通河水引入秦王川的一项大型跨流域调水工程。总干渠全长 86.9 km, 其中隧洞 33 座, 共长 75.11 km。其它建筑物有倒虹吸 2 座, 渡槽 9 座以及渠系建筑物和明渠等工程。设计引水流量  $32 \text{ m}^3/\text{s}$ , 加大流量  $36 \text{ m}^3/\text{s}$ , 总灌溉面积  $5.73 \text{ 万 hm}^2$ 。

1987 年甘肃省利用世界银行贷款对引大入秦总干渠的 30A 隧洞、39 号隧洞、38 号隧洞、小磨沟倒虹吸、毛家沙沟倒虹吸实行竞争性国际招标, 其中尤以 30A 隧洞为最长。该隧洞位于甘肃省永登县水磨沟至大沙沟之间, 洞线长 11.649 km, 由于地形复杂、地面沟谷交错, 单洞长达 10 km 以上, 给施工带来了一定的难度。

## 2 30A 隧洞的工程特点及地质条件

30A 隧洞是一条软、硬岩性不均的长隧洞。其特点之一: 地形复杂, 地层自进口至出口依次为: 前震旦系结晶灰岩、板岩夹千枚岩, 该段长 1.680 m, 岩石抗压强度  $26 \sim 133.7 \text{ MPa}$ , 软化系数  $0.77 \sim 0.9$ 。第三系含漂石砾岩、砂砾岩、泥质粉砂岩及砂岩, 长 9.790 m, 岩石单轴抗压强度(天然状态)为  $2.79 \sim 15.29 \text{ MPa}$ , 软化系数小于 0.35, 是 30A 隧洞穿过的主要地层。出口段约 150 m, 属第三系黄土。前震旦系地层受构造影响较多, 岩石较破碎, 分布的断层破碎带较多, 约 23 条。沿该地层有地下水出露, 其中以接合带的断层破碎带涌水量较大, 其余均为基岩裂隙水渗出。第三系地层断裂构造不发育, 但岩质软弱, 遇水软化、崩解。工程特点之二: 30A 隧洞长达 11.649 m, 施工时洞内通风、运输均较困

难。特点之三: 沿洞轴线的地表是高山沟谷, 没有开挖斜井或竖井实现分段施工的地形条件。特点之四: 隧洞进口位置处在陡峭的半山坡上, 难以布置洞口平台及施工场地设施。因此, 只能独头掘进, 别无选择。

## 3 施工方法的选择

1988 年 9 月, CMC-华水公司以双护盾 TBM 开挖 30A 隧洞, 38 号隧洞方案一举中标。该联合体的外方为意大利 CMC 公司、SELI 公司和 TREVI 公司; 中方为水电十局。

该工程中最具挑战性的项目是 30A 隧洞, 困难之一: 洞长超过 10 km; 之二: 地质条件复杂, 软、硬岩性不均; 之三: 沿洞线的地表是高山沟谷。这条隧洞的开挖唯有掘进机独头掘进可行, 但选择何种 TBM、何种衬砌形式是工程实施成功的关键。

联合体在确定方案时, 作了以下考虑:

(1) 隧洞长度超过 10 km, 采用 TBM 施工是合适的。

(2) 该引水洞为无压自流隧洞, 隧洞衬砌可采用预制管片结合豆砾石回填灌浆。

(3) 隧洞地质条件复杂, 软、硬不均, 有较多、较大的断层破碎带, 为保证隧洞开挖及时支护, 宜选择双护盾 TBM。这种机型较开敞式 TBM 有较多的灵活性, 不仅能开挖坚硬岩石, 而且能顺利安全地通过不良地段, 如: 断层、破碎带、溶洞等。非常适用于软、硬交错的地质条件。

(4) 与双护盾 TBM 配套的衬砌系统是预制管片衬砌, 能实现安全、高速掘进。

因此, 最终确定的施工方案是双护盾 TBM 开挖、预制管片衬砌、砾石回填灌浆, 显然, 这是最佳选择。

## 4 30A、38号隧洞开挖、衬砌设计

### 4.1 开挖与衬砌

根据选择的施工方案,隧洞断面为圆形,开挖直径5.54m,衬砌内径4.8m,纵坡1/1350。管片衬砌承包商委托瑞士龙巴底工程公司设计,管片厚30cm,宽1.6m,刚好为TBM两个开挖行程,管片形状为六边形,4片组成一环,马塞克镶嵌结构,无需任何螺栓连接。纵向结合缝在短边,球面结合;横向结合缝在长边,平面结合。结合面靠内一侧设有止水槽,嵌入沥青聚胺酯止水带压密止水,同时起到注浆时防止浆液漏出的作用。这种结构形式较螺栓在连接四边形管片结构,有良好的力学特性。每一管片设有直径为100mm的2个圆孔,供搬运、安装、充填豆砾石和灌浆之用。管片分为“重型”和“轻型”两种,分别用于一般地质条件和较好地质条件的洞段。两种管片外形规格一样,但其钢筋用量不同,分别为 $57\text{ kg/m}^3$ 及 $43\text{ kg/m}^3$ ,实际施工中多采用“重型”。管片混凝土设计标号250号,钢筋为Q25Mn螺纹钢。开挖面与管片衬砌外侧之间的间隙采用5~10mm豆砾石回填,再进行水灰比为1:1的水泥灌浆。

### 4.2 管片混凝土配合比及强度设计

混凝土配合比:

设计标号: $R_{28}=25\text{ MPa}$ ;  $w/c=0.5$ , 配合比:水泥:砂:石=1:2.25:4.28; 水泥:永登普硅525号; 单位水泥用量: $300\text{ kg/m}^3$ ; 砂 $F.M=2.8\sim 3.0$ ; 砂率:34.5%; 粗骨料最大粒径40mm。

### 4.3 豆砾石回填与水泥灌浆

豆砾石:庄浪河5~10mm粗骨料; 水泥浆: $w/c=1:1$ ; 水泥系永登普硅525号新鲜水泥。

### 4.4 管片接缝

管片结合面内侧设有止水槽,安装时,槽内嵌入沥青聚胺酯止水带压密止水,防止浆液漏出。管片结合缝迎水面采用掺入2%~3%四川省自贡市大安建材厂速凝剂的水泥砂浆勾缝。

## 5 1811-256型双护盾TBM的主要技术参数及主要组成部分

### 5.1 主要技术参数

#### (1) 刀头部分

a 开挖直径 5.54m; b 主轴承 双滚轴承; c 滚刀直径 432mm 内装式; d 每盘刀具数量 37

把; 单刀平均最大荷载 20.4t; e 刀头最大推进力 755.1t; f 刀头功率  $160\text{ kW} \times 6\text{ 台}=960\text{ kW}$ ; g 刀头转速 (双速电机)  $6/3\text{ r/min}$ ; h 刀头驱动方式 交流电机/变速箱带液压离合器。

#### (2) 掘进系统

a 主推进缸 910mm; b 辅助推进缸 2590mm。

#### (3) 液压系统

a 系统最大压力 276Pa; b 液压系统功率 186kW。

#### (4) 出碴系统 槽式皮带出碴。

#### (5) 电力系统

a 输入电压 3相50Hz 10kV; b 主驱动马达电压 3相50Hz 660V; c 泵驱动马达 3相50Hz 380V; d 控制系统电压 3相50Hz 220V。

#### (6) 机身重 约375t。

### 5.2 主要组成部分

TBM本机机身长12.7m。可分为三段,第一段为刀头部分,也叫前护盾部分;第二段为伸缩部分,也叫伸缩护盾部分;第三段为后护盾部分。

## 6 施工工艺

除TBM及其后配套外,为保持高效掘进,提供必要的施工和运输条件等,沿洞线还需设有如下设施:10kV电缆、风筒、102mm水管、照明电线、轨道。下面就对这些系统作简单介绍。

### 6.1 通风

采用常规方法(钻爆法)开挖隧洞,施工通风需满足下列要求:

- (1) 给隧洞掌子面工作人员提供新鲜空气;
- (2) 迅速排放掌子面的爆破烟尘;
- (3) 提供内燃机所需氧气及废气的稀释与排放;
- (4) 掌子面适当降温;
- (5) 若遇地下毒气,进行稀释、排放。

对于TBM施工隧洞工艺,洞内通风仍需考虑上述第(1)(3)(4)和第(5)点的要求。在该工程上,当开挖超过10km时,洞内一般有3~4列火车,每列火车的牵引机重25t,功率147kW。整个隧洞独头掘进,无任何通风支洞或斜井。洞内每个作业班最多45位员工。TBM功率为960kW。洞内所有施工人员都集中在TBM及其后配套上(距掌子面约200m以内),其它洞段仅有极少部分工作人员,如机关车驾驶员、搬道工6~8人。

(1)新鲜空气需求量为:

a 施工人员:  $30 \text{ m}^3/\text{min} \cdot \text{人} \times 45 \text{ 人} = 135 \text{ m}^3/\text{min}$ ;

b 机车车:  $30 \text{ m}^3/\text{min} \cdot \text{kW} \times 148.8 \text{ kW} \times 3 \text{ 台} = 1339.2 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

因此,总的新鲜空气需求量为  $24 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

(2)通风设计。通风形式,鼓入式通风+传风钻;风筒,1400 mm PVC 风筒,抗静电。

(3)通风系统布置。洞口外约25 m处,安装有4台串联的轴流式鼓风机,每台功率35 kW,直径1.22 m,风量  $24 \text{ m}^3/\text{s}$ 。当隧洞深度超过6 km时,在离洞口约4 km处,安装4台25 kW串联轴流式风机,风量  $18 \text{ m}^3/\text{s}$ 。在TBM后配套上,为保证TBM机上的最低风速和新鲜空气需求量,在后配套尾部安装有2台22 kW风机,串联,风量  $8 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

(4)风筒延伸。风筒每节100 m长,节间为钢圈节口,风管悬挂于拱顶。掘进机尾部有两个门形支架,上有4个手拉葫芦吊挂着一个风筒卡具(称“KORFMAN”卡具),分双层钢筒长2.5 m。共有两套风筒卡具,每个卡具装一节风筒,当在用卡具上仅剩几米风筒时,需更换。由机车将装有风筒的卡具运至洞内更换,每次更换需15~20 min。

(5)工作面除尘。TBM机可看作是一台高效碎石机,将围岩磨成小块,粒径在0~25 cm之间。在石灰岩层中,小于0.02 mm粒径的部分仅占3%~4%,因此,TBM每天可生产约60 t灰尘,当然,并非所有灰尘都悬浮在空气中。因此,工作面除尘是关键,措施如下:

a 喷水。在刀盘正面有5个喷水嘴,在刀头上的集碴斗处还有两个喷水嘴,直接向磨碎的岩石喷水。喷水量可由TBM操作人员根据所遇的围岩情况进行调节,调节范围0~91 L/min。

b 吸尘系统。为大幅度减少灰尘量,在TBM刀头内侧吸收灰尘,并通过一根负压管道将灰尘送到TBM后部平台经空气滤清器过滤后再排放到空气中。

## 6.2 施工供电

10 kV电压进洞,通过TBM机上的变压器(容量为  $2 \times 900 \text{ kVA}$ , 50 Hz)分别变为660 V供TBM机6台160 kW的主驱动马达使用,和380 V供TBM机上的3台37 kW液压马达使用。TBM机上的控制系统用电为220 V,通过50 kVA变压器将380 V电压变为220 V。

高压电缆从国外进口,每盘长250 m,进洞电缆悬挂在左侧洞壁上,由电缆接头箱连接。

根据掘进速度,一般每周需延长电缆一次。在掘进机尾部装有一个电缆盘,延长电缆前,柴油机车挂一节装有柴油发电机的平车,一节空斗车和一节电缆车进洞。电缆车上装一盘电缆。机车先将柴油发电机送到掘进机上,启动后仅作照明用电,然后切断高压电源,更换电缆盘,延伸电缆。每延长一次电缆需2 h左右。

## 6.3 施工供水

洞内施工用水主要有:TBM开挖时喷水,设备冷却用水,清洁用水,回填灌浆用水,总需求量约  $200 \text{ m}^3/\text{d}$ 。在洞口一侧设有蓄水池和供水室,室内装有两台高压水泵和一台高压储水罐,供水管路与灌相连,高压泵向罐内压水达到一定压力时,水泵自动停机。向掘进机供水时当罐内压力降到一定数值时,水泵又自动开机,洞口蓄水池是由供水泵站供水。

输水管道是102 mm钢管,法兰连接,悬挂在左侧洞壁上。在掘进机尾部装有一个可转动的圆盘,上面绕着长约60 m、直径76 mm输水胶管,胶管一头接在掘进机输水管路上,当掘进机前进时胶管放开,掘进机当天停止工作后,将与输入管路相连的一头松开,转动圆盘,收回胶管,同时延伸左侧洞壁上的102 mm供水钢管。

## 6.4 轨道运输与出碴系统

30A和38号隧洞的纵坡为1/1350,上行掘进,采用轨道出碴。长隧洞单向掘进,必须不间断地供给装碴车、预制管片、豆粒石、水泥等,才能满足快速、高效施工。隧洞内为单轨,采用43 kg/m旧轨,轨距1000 mm,固定在底拱上。洞内每隔3 km布置一个错车平台。采用加利福利尼亚式道岔,错车线约60 m长。距TBM后配套约100 m处,有一移动错车平台,始终停放一列准备进入掌子面装碴的列车。每列车有7节为  $10 \text{ m}^3$ 的装碴斗,可装碴  $70 \text{ m}^3$ ,正好是TBM两个行程(即一个掘进循环)  $2 \times 0.8 \text{ m}$ 的碴量,两节装运管片的弓形车,每节装两块管片,正好是一个循环进尺的衬砌量,一节豆砾石罐车,一节水泥车,一节载人车(需要才挂)。

洞外轨道系统是机车周转、出碴、检修、资源调配的枢纽。轻车进洞,重车出洞直接到翻碴机处卸碴。机车直接开到车间内维修,管片装车,水泥和豆砾石装车等都在这里进行。

出碴车出洞后,直接开到翻碴机处卸碴,碴场上有  $2.8 \text{ m}^3$ 装载机 and 8 t翻斗车再将石碴倒运到弃碴场。

## 6.5 隧洞施工导向

长系统隧洞施工,测量也是关键。TBM掘进采

用英国 ZED 公司生产的激光导向系统, 它包括一台激光发射器、一台激光靶子和一台计算机。施工测量人员采用高精度测量仪器进行放线, 计算出 TBM 的当前位置和下一步位置, 再将激光发射器固定到左侧洞壁上, 使激光打在激光靶子上。根据激光束的方向和 TBM 的当前位置, 则可计算出修正参数。TBM 操作人员根据测量工程师提供的修正值边掘进边修正。

## 7 预制厂

管片在洞外的预制厂生产。采用蒸汽养护、转盘式生产系统, 盘上共有 20 套钢模。整个生产流程如下:

水泥	称量	拌和	皮带输送	1 钢模清理, 涂脱模剂
水	——	——	——	2 双层钢网绑扎安装
外加剂	——	——	——	3 预留孔、止水槽安装
骨料	——	——	——	4 浇筑混凝土高频率震捣
预温	蒸汽养护	出窑	自然降温	
编号	吊	运	车间内停放	叉车运出
露天存放	运至洞口	装车进洞		
夏季洒水养护		一次进洞 4 块		
冬季无保温措施				

## 8 施工组织

掘进机施工是流水线作业。合理的施工组织是保证机器寿命和隧洞高速掘进的关键。

### 8.1 掘进与出碴

TBM 开机前应检查必须的准备工作, 例如机头的液压油、润滑油情况; 电气柜上工作是否正常; 供风、供水系统是否正常; 故障部件, 排除故障后是否工作正常; 轨道、水管、止水带等是否准备好; 水、电、照明是否已延伸; 磨损刀具是否已更换等。当所有准备工作完成后, 方可将钥匙插入电启动孔, 压下警报开关通知所有人员, TBM 即将启动。

掘进机每个行程为 0.8 m, 两个行程为一个工作循环, 包括开挖、管片衬砌、豆砾石回填、勾缝等。

每个循环结束后, 装满石碴的列车将离开 TBM 驶向洞外。同时 TBM 后配套的一辆空车立即进洞到后配套上, 开始第二个循环的作业。洞内各错车平台上的火车也随着每个工作循环的完成逐步移向掌子

面。洞外的所有资源调配也随每个工作循环的完成开始准备下一个循环的资源。

### 8.2 工作时间安排

从工作时间安排来看, 掘进施工从早 8 时至次日早 8 时的 24 h 为一个工作循环。每一个工作循环中包含的工作内容有: 掘进机保养与维护、掘进机运行; 混凝土管片吊运与安装; 豆砾石回填; 挂风筒、电缆、水管, 水泥灌浆、出碴、混凝土管片装运、翻碴机倒碴、自卸车倒运石碴等。

### 8.3 劳动组合

根据上述工作内容, 劳动组合实际分为三班制作业:

(1) 白班: 刀盘清理; 保养维修; 卸轨道及轨道附件, 清理洞内积土, 安装供水管路。

(2) 中班及夜班: TBM 操作; 安装管片, 清理积土; 管片吊运; 骨料回填; 维修; 碴斗车装料; 铁道铺设; 延长铁路; 挂风筒, 延伸水管及电缆, 拌制砂浆, 堵塞管片预留孔、勾缝。

## 9 隧洞生产统计与分析

30A 隧洞长 11 649 m, TBM 于 1990 年开始试运行, 1991 年 1 月正式开工, 1992 年 1 月完工。逐月的生产统计如下表:

30A 隧洞 TBM 运行逐月生产统计表

月份	实际工作天数/d	进尺/m	累计进尺/m	平均日进尺/m·d <sup>-1</sup>
1	26	780.7	780.7	30.03
2	11	371.6	1 152.3	33.78
3	26	1 007.6	2 159.9	38.75
4	26	1 004.8	3 164.7	38.65
5	26	1 134.4	4 299.1	43.63
6	25	1 048.0	5 347.1	41.92
7	27	1 300.8	6 647.9	48.18
8	26	1 126.4	7 774.3	43.32
9	25	900.8	8 675.1	36.03
10	27	552	9 227.1	20.44
11	26	808	10 035.1	31.08

TBM 于 1992 年 1 月贯通 30A 隧洞, 紧接着拆卸并运到龙家湾 38 号隧洞出口 (TBM 施工洞长 4 947.6 m), 安装好后, 于 1992 年 4 月启动掘进, 8 月中旬贯通, 仅用了 4.5 个月。在这条隧洞中, TBM 平均月成洞 1 100 m, 最高月进尺为 1 408 m, 最高日进尺 75.2 m。TBM 的平均进尺率是 5.55 m/h。

## 10 TBM 在引大入秦工程中遇到的问题及施工措施的改进

### 10.1 地质事故

TBM 在 30A、38 号隧洞施工中,未遇到大的地质事故,这应归功于正确的机型选择。下面对 TBM 遇到的小的地质事故及处理办法简单叙述如下:

#### 10.1.1 30A 隧洞中的地下水

在 30A 隧洞进口段遇到了较大的地下涌水,达 150 L/s。之前,未曾估计到如此大的地下水,因此未备有充分的排水设施。TBM 进入此段后,洞室中的水深齐腰,使许多工作难以进行,如:管片安装、铺铁轨、测量等。为了克服地下水的影响,采用水泵抽水。掘进速度仅为正常条件下的一半,每天进尺约 20 m。用了 20 多天才通过此段,且这段施工质量较差,出现了倒坡、管片安装错台较大。

根据承包商与工程师的讨论,为了防止地下水进入相邻软弱地层,同时考虑到涌水量较大,因此,处理办法是:(a)对涌水段两端进行帷幕灌浆,阻止地下水渗透到相邻软弱地段;(b)对涌水处设排水管排水,以防止外水压力过大影响管片结构安全。

#### 10.1.2 溶洞处理

在 30A 隧洞中也遇到了较大的溶洞,但未对施工产生不利影响。处理办法是:采用意大利进口的膨胀泡沫+豆砾石回填。

#### 10.1.3 挤压围岩卡机

在 38 号隧洞中遇到了挤压围岩,TBM 护盾被卡,无法往前推进。处理办法是:由专业爆破手对护盾外侧的围岩进行微量爆破,在护盾与围岩之间形成间隙。处理用了一个多星期的时间。

### 10.2 施工设施

影响隧洞正常施工的还有施工设施的缺陷,有待改进。

#### 10.2.1 跳轨

在两条隧洞施工中,经常发生火车跳轨,影响生产,每次跳轨要花 1~2 h 才能恢复通车。主要原因是错车平台太短,仅 60 m(在山西引黄工程中,错车平台加长到了 100 m,基本上解决了跳轨问题)。

#### 10.2.2 预制厂生产能力满足不了隧洞掘进

预制厂设计生产能力为每天 80 块,相当于 32 m 的进尺。实际隧洞平均进尺超过 32 m/d。尽管预制厂增加了三套模子,加长了蒸汽养护窑,也加长了生产时间(如星期天、节假日),但仍不能满足 TBM 的掘进要求,导致个别管片尚未达到设计强度就运进洞内安装。

#### 10.3 衬砌接缝

管片接缝表面处理采用水泥砂浆勾缝。经过几年使用证明,砂浆勾缝脱落较为严重(在山西引黄工程总干 6 号、7 号、8 号隧洞施工中,采用从意大利进

口的 SIKARED 勾缝,效果较好)。

#### 10.4 豆砾石回填灌浆

从豆砾石回填灌浆实施效果来看,仍有许多不足之处,如洞顶不满,回填不均匀。由于开挖与衬砌不同心,底部回填间隙仅 2~3 cm,回填难以满足要求。改进的办法是:(a)从 TBM 设计上尽可能做到开挖与衬砌同心,形成均匀间隙。(b)采用泵送混凝土回填(山西引黄工程总干 6 号、7 号、8 号已采用了此方法,效果较好)。

## 11 结论及发展趋势

掘进机技术 50 年代发展于美国。我国 60 年代中期在周总理的关怀下,成立了攻关小组,开始研究、发展掘进机技术,但终因种种原因,一直未能实现掘进机国产化,掘进机的应用也未能在国内得到推广。从 1991 年 TBM 在引大入秦工程中的应用成功,国内隧洞工作者又一次掀起了 TBM 热。铁道部购买了德国 WIRTH 生产的开敞式硬岩 TBM,掘进两条单洞长 9.2 km 的秦岭铁路隧道;山西省万家寨引黄工程一台直径 6.125 m 的双护盾 TBM 已完成 21 km 隧洞掘进,又订购 4 台双护盾 TBM 用于南干 4 条隧洞(总长约 90 km)掘进。然而,目前水电系统尚未决定应用 TBM。应该说,我国首次引进国外 TBM 是在水电系统的广西天生桥水电站。早在 1984 年,原能源部购进两台罗宾斯分别于 1978 年和 1979 年生产的、直径为 10.8 m 的 353-196 型和 353-197 型开敞式硬岩 TBM,用于天生桥水电站 9.58 km 引水隧洞掘进(地质条件:石灰岩和砂岩)。这两台掘进机曾在美国芝加哥 TARP 工程中开挖了 13.6 km 隧洞,最高月进尺 502 m,平均月进尺 307 m;而在天生桥引水隧洞中,最高月进尺仅 240 m。造成掘进缓慢的主要原因是地质复杂,如洞、岩爆、破碎带等,不良地质段占整个施工隧洞的 40%。还有,由于地质原因,机器损坏严重,配件供应不及时,机器的电源频率与我国电网频率不匹配等。由于以上原因,TBM 还未在我国水电系统内应用和推广。我国水力资源十分丰富,河流落差大,梯级开发项目多,在这些工程中,都免不了有较长的引水隧洞。传统的钻爆法很难实现高效、快速掘进,隧洞成为工程中的拦路虎:工期长、费用大,影响了整个工程的效益发挥。

就 TBM 在水电领域中应用的可行性(技术上和经济上)及应注意的问题,笔者有以下体会:

(1)50 年代开始研制 TBM 到今天,这项技术已完全成熟。从单一、良好地质条件到复杂,乃至软土

地层;从单一的圆形断面到复杂的不规则断面;从十几米的大洞径隧洞到30 cm的微型隧洞,TBM都展示了它的威力。

(2)我们知道,TBM施工一次性前期投入较传统的施工方法大,然而,采用TBM技术可以省掉许多传统施工方法中不可避免的项目,如:独头掘进,省掉了支洞及其有关的附属设施(风、水、电、路);又,TBM适合于长隧洞,往往可将洞线拉直或减少不必要的弯道,从而缩短了主洞的长度。

另外,TBM技术一般能保证施工进度和按时竣工的要求。而传统的施工方法在施工过程中常常会遇到未曾预想到的问题和麻烦,使预计施工的进度难以得到保证。由于工期能得到保证,且衬砌单一、系统化,因此,施工中的不可预见费用很少,工程的投资从一开始就能得到很好的控制。

(3)近年来,由于中国实行的开放政策,中国经济的腾飞,国外TBM厂商都看准了中国这个大市场,我国的交通、铁路、水利、水电、煤矿和城市地铁建设中有大量的隧洞工程。为了占领中国这个庞大的市场,国外厂商都纷纷施展各自的商业策略,如:在中国境内生产、组装TBM,利用中国低廉的资源,如人力、物力,从而降低了设备成本,大幅度减少了进口关税(仅个别关键部件从国外进口,如:主轴泵、主驱动马达、大密封等)。根据目前了解的情况,现在TBM的价格比过去已降低20%~40%。因此,从经济角度讲,目前国内使用TBM已无问题。

(4)笔者参与了甘肃引大入秦30A和38号隧洞的全部施工过程,而后又参加了山西省引黄工程总干6号、7号、8号隧洞施工,现又参与了山西省引黄工程南干4号、5号、6号、7号隧洞的前期准备工作,并一直从事技术与合同管理。10多年来的工作经验使笔者认识到,TBM技术并非是一项复杂、难以掌握的技术,反而越是先进的东西,越易被人们所掌握,重要的是敢于去接触它,去运用并研究它。

目前世界上的TBM多种多样,各有各的用武

之地,因此,选择什么样的TBM就成为关键之关键。TBM并非万能的,只有在它适合的环境中才能显示出它的威力。

(5)由于这种设备的制造周期,拆卸与安装周期都较长,一次投入较大,因此,与传统的钻爆法相比,缺乏灵活性。对于一项独立的工程,若隧洞长度太短(小于3 km)且不连续的情况下,钻爆法仍是较为合适的选择。这也许将是TBM与钻爆法的应用领域的划分标准。

(6)根据有关资料显示,未来的TBM可能走向两极化,一是造价低廉,适用于单一地质条件、功能单一化的TBM;二是造价昂贵,适用于复杂条件的多功能TBM。从衬砌技术看,目前在无压自流隧洞中,以管片衬砌较为普遍;在有压隧洞或密封要求较高的隧洞中,多用管片衬砌加二次浇筑混凝土衬砌,或喷锚支护,或不衬砌(视围岩条件而定)。另外,由于钢纤维技术的发展,目前也出现了与TBM配套的挤压混凝土技术,从而实现了TBM技术与传统的现浇钢筋混凝土技术相结合,解决了管片衬砌中的接缝多、错台大、难以承受较大内水压力的问题,这也是未来TBM的发展方向之一。

(7)在梯级水电站中,隧洞一般都较长,且各级隧洞的断面几何参数、地质条件都较为相似,且各级相邻。因此,选择一台或多台TBM用于各级电站开发,可实现资源共享,减少投入,降低一次性投入的目的。这是其它隧洞领域中所不具备的,因此,TBM在梯级电站中有广泛的应用前景。

在我国这个人口密集、生存空间不断缩小的幅员上,TBM的快速成洞将不仅加速我们的公路、铁路、水利、水电、煤矿、城市地铁建设,还将实现部分地面设施转入地下,扩大人类的生存空间。

---

作者简介

薛继洪 男 中国水利水电第十工程局总工办 工程师

(收稿日期:1998-05-11)

---

(上接第3页)

我局设备上一个新台阶,达到一个新水平。

第二,要继续贯彻“科学管理,精心施工,从严求实,质量第一,向用户提供满意的产品”的质量方针,ISO—9002质量体系认证获得通过后,要继续按照质量管理体系的程序运转,使质量管理更加规范化、程序化,以利于我局质量水平的提高。

第三,要继续培养和建立一支技术水平高、层次结构合理的专业队伍。各管理专业不仅要有一批带

头人,技术工人中也要培养一批一流的操作手和一流的修理工,三年内,培养百名工长,千名高级技工。同时,随着工程技术和管理水平的不断提高,所需人才也趋于多样化,因此,更要注意培养复合型人才,以迎接21世纪的到来。

---

作者简介

马世绵 男 中国水利水电第十工程局前任局长 教授级高工 高级经济师

(收稿日期:1998-06-24)

## ABSTRACT

### System Science and Technology

#### —Reviews on History and Tentative Plan for Future Reform in Our Bureau

Ma Shimian

(Chinese 10<sup>th</sup> Construction Bureau of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Dujiangyan, Sichuan, 611830)

**Abstract** The paper describes great changes occurred with system reform and development of science and technology in the 10<sup>th</sup> Bureau. The views and suggestions are presented in relation to property right, improvement of internal structure, reform of three systems and prosperity of the Bureau by means of science and education.

**Key words** the 10<sup>th</sup> construction bureau, history, reform, tentative plan

#### Application of Tunneling Machine in Irrigation Project for Water Diversion from Datonghe to Qinwangchuan

Xue Jihong

(Chinese 10<sup>th</sup> construction Bureau of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Dujiangyan, Sichuan, 611830)

**Abstract** Main parts, backup, auxiliary facilities and construction organizations for tunneling machine used in irrigation project for water diversion from Datonghe to Qinwangchuan are introduced. The problems of the tunneling machine in construction and improvement in construction method are summarized. Rapid construction rates will be achieved by using tunneling machine in long tunnel at hydropower project.

**Key words** double shield, tunnel boring machine, backup, construction technique, construction organizations, construction method

#### Application of RCC for Dam Construction at Huatan Hydropower Station

Liu Qiang

(Chinese 10<sup>th</sup> construction Bureau of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Dujiangyan, Sichuan, 611830)

**Abstract** RCC technique for dam construction is playing an important role with its unique advantages. The paper gives a description in detail on RCC raw material test, mix design, intermediate test and selection of various construction methods and parameters in construction of the Huatan RCC dam.

**Key words** RCC, mix design, Vc value, compactness, quality

#### Damage Analysis on Material for Hydraulic Metal Structures

Nai Deyuan

(Chinese 10<sup>th</sup> construction Bureau of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Dujiangyan, Sichuan, 611830)

**Abstract** Damage ratio of material for hydraulic metal structures during manufacture is analyzed according to practical experience. The proposed damage ratio is provided for the reference to manufactory.

**Key words** penstock, gate, damage ratio of steel

#### Rapid Construction for Underground Powerhouse at Taipingyi Hydropower Station

Du Yaling

(Chinese 10<sup>th</sup> construction Bureau of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Dujiangyan, Sichuan, 611830)

**Abstract** The underground powerhouse at the Taipingyi hydropower station is consisted of 28 caverns with large size, many cavern intersections, large amount of rock bolts and shotcrete and crane beams on rock wall. The actual construction period for underground project (22.5 months) meets that specified in the Contract two months ahead of time, in which tunnel excavation, open cut, rock bolts, shotcrete were completed and 2 x 125t overhead cranes were installed. 816t penstock installation was completed in 59 days. Construction period for tailrace tunnel meets that specified in the Contract one year ahead of time. The project is excellent. No serious accident happened during construction. For the 10<sup>th</sup> Bureau, the internal mechanism reform is deepened, technology and management is improved by construction of such large and complex underground powerhouse.

**Key words** Taipingyi hydropower station, underground powerhouse, rapid construction