

文章编号:1001-4179(2012)11-0040-03

锦屏电站引水隧洞半断面盾构掘进试验研究

来记桃¹, 魏治文², 周济芳³

(1. 二滩水电开发有限责任公司 锦屏建设管理局, 四川 凉山 615000; 2. 湖北水利水运规划勘测设计院, 湖北 武汉 430064; 3. 二滩水电开发有限责任公司, 四川 成都 610051)

摘要:在锦屏二级水电站引水隧洞工程施工中, 迫于高地应力区潜在强岩爆威胁及工期压力, 进行了半断面掘进试验探索。采用振动、应变及其他复合诊断技术, 在全断面与半断面开挖的不同工况组合下, 严密监测掘进机重要部件的响应, 并进行对比分析, 寻求使设备在半断面掘进中安全运行的合理参数。结果表明: 半断面掘进的偏载问题不会影响设备主要结构的强度和安全性, 经比选最终选取推力和转速等参数, 能够保证 TBM 设备的安全、有效运行。详细介绍了试验过程和施工控制要素, 可供同类工程施工参考。

关键词:高地应力; 岩爆; TBM; 半断面掘进; 锦屏电站

中图分类号: TV672 **文献标志码:** A

全断面硬岩掘进机(TBM)以其“快速、高效、安全、健康”的特点和优势, 已越来越多地应用于我国长隧道施工中, 并几乎均为全断面整体掘进。然而, 在锦屏二级水电站引水隧洞工程施工中, 迫于高地应力区潜在强岩爆的威胁及工程工期压力, 进行了半断面掘进试验探索, 努力寻求解决 TBM 通过潜在强岩爆区的方法。但是, TBM 半断面开挖使得刀盘出现部分临空, 一般认为掌子面忽软忽硬, 刀盘及主轴受力不均, 直接造成掘进机的刀盘、刀具损伤, 冲击主轴承, 甚至会引起主梁偏载, 最终导致主轴承驱动系统及其他部件因冲击造成损伤。为评估掘进机在半断面掘进的动态响应, 通过实施半断面试验段 TBM 掘进, 采用振动、应变及其他复合诊断技术, 在全断面与半断面开挖的不同工况组合下, 严密监测掘进机重要部件的响应, 将半断面掘进监测记录与全断面掘进进行对比分析, 并进行适当修正与验证, 寻求使设备半断面掘进中安全运行的合理参数。

1 工程及地质概况

锦屏二级水电站装机容量 4 800 MW, 单机容量 600 MW, 利用雅砻江下游河段 150 km 长大河弯的天

然落差, 通过长约 16.67 km 的引水隧洞, 截弯取直, 获得水头约 310 m。引水系统采用 4 洞 8 机布置形式, 洞群沿线上覆岩体一般埋深 1 500~2 000 m, 最大埋深约为 2 525 m, 全洞平均埋深约 1 610 m, 其中埋深大于 1 500 m 的洞段长度约为 12 540 m, 具有埋深大、洞线长、洞径大的特点。引水隧洞采用钻爆法和 TBM 法相结合的施工方案, 采用钻爆法施工的引水隧洞段为马蹄形断面, 开挖直径 13.4 m, 采用 TBM 施工的引水隧洞段, 开挖直径为 12.4 m。锦屏一号隧洞采用 TBM 开挖, 设备为美国 robbins 公司生产, 刀盘安装新刀时直径为 12 430 mm, TBM 从结构上可分为主机、皮带连接桥和后配套 3 个部分, 整机长约 230 m, 总重量约 2 600 t。

引水隧洞穿越岩性不同地层和较为发育的断裂构造带, 岩体完整性不一。三迭系地层分布广泛, 构成了引水隧洞的主要围岩, 主要为锦屏山西侧(T_1)、盐塘组(T_2)、杂谷脑组(T_3)、白山组(T_{3b})、三迭系上统(T_3)。地质勘探资料表明, 引水隧洞处于我国西南高地应力区, 据地应力测试成果进行的三维初始应力场反演回归分析, 在隧洞轴线高程 1 600 m 处最大主应力值为 70.1 MPa, 最小主应力值为 30.1 MPa, 属高地

收稿日期: 2012-02-24

作者简介: 来记桃, 男, 工程师, 主要从事水利水电工程建设管理工作。E-mail: laijitao@ehdc.com.cn

应力区。施工开挖过程中岩爆频发,以弱~中等岩爆为主,尤其是隧洞中部 8~11 km 洞段为潜在强岩爆集中区,局部已发生极强岩爆。中部白山组由灰~灰白色致密厚层块状臭大理岩等组成,TBM 掘进此段岩爆风险较高,在高地应力作用下,围岩的强烈破坏极易对在此施工的人员和设备安全构成严重威胁,经各方论证,可采取钻爆开挖导洞的方式,提前释放高地应力,保证 TBM 安全通过。本文以期通过半断面掘进实验予以验证,并获取最佳的掘进参数。

2 钻爆导洞预处理及掘进测试方案

2.1 钻爆导洞预处理方案

在 TBM 掘进的 1 号引水隧洞选取长约 50 m 的不良地质洞段,进行 TBM 半断面掘进试验,为后期处理潜在强岩爆区的开挖方式提供决策依据。从相邻的 2 号引水隧洞开挖长约 45 m 的横向通道至 1 号引水隧洞,再进行导洞钻爆开挖,导洞尺寸 9.19 m × 5.3 m,顶部超出 TBM 掘进的圆形断面 30 cm,直墙布置 $\varnothing 28$, $L=600$ cm 的玻璃纤维锚杆,间排距 120 cm,顶拱部分按设计要求的永久系统支护施工。导洞开挖断面尺寸见图 1。

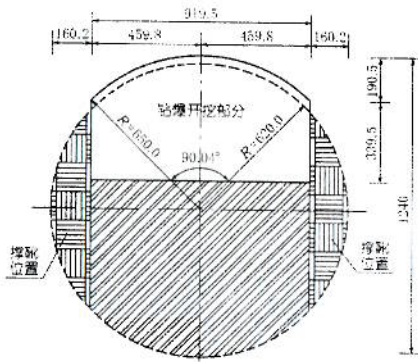


图 1 导洞断面(单位:cm)

2.2 掘进测试方案

2.2.1 掘进工况的设置

为保证 TBM 顺利通过试验段,减小刀具、刀牙的损坏,确保主轴承及主机结构完好,根据此前 TBM 全断面掘进参数,并结合空载试验,通过理论分析和计算拟定半断面掘进参数,设定不同的工况组合共 17 种,见表 1。

2.2.2 测点布置

经分析并综合考虑多方面的因素,选取 TBM 设备主要部件主电机、主轴承、主梁作为主要监测对象,进

表 1 全断面测试工况

断面型式	工况	推力/kN	转速/(r·min ⁻¹)	断面型式	工况	推力/kN	转速/(r·min ⁻¹)
全断面	1	空载	2.7	半断面	10	12000	4.0
	2	空载	3.3		11	14000	4.0
	3	空载	4.0		12	16000	4.0
	4	12000	2.7		13	9800	1.96
	5	14000	2.7		14	9970	1.96
	6	16000	2.7		15	9830	2.00
	7	12000	3.3		16	9860	2.49
	8	14000	3.3		17	1100	2.49
	9	16000	3.3				

行速度、振动加速和应变测点传感器的布置,测点布置如下:

- (1) 主轴承上端处设置竖向、轴向振动速度测点各 1 个,竖向、轴向加速度测点各 1 个。
- (2) 主驱动 6.9 号电机径向布置竖向、水平加速度测点各 2 个。
- (3) 主梁截面上端部与下端部沿轴向布置动应变测点各 1 个,相应部位竖向、水平横向和水平轴向布置速度测点各 1 个,测试主梁推进时的最大应力及振动速度。

TBM 掘进过程中,测点经传感器采集到的振动、应变等数据通过信号调理模块和采集卡传送到笔记本电脑,再进行整理分析。

3 试验数据对比分析

3.1 试验数据汇总

在各项测试准备工作就绪后,首先对不同工况下空载、全断面监测数据进行了记录,继而进行试验段前半段半断面掘进监测。经过多次空载、动载测试(全断面和半断面掘进),采集大量振动、应变数据。为使表达更加形象,便于对比分析,将同部位、同类监测数据进行了汇总,如图 2~5。其中竖线左侧为 TBM 全断面掘进监测数据,竖线右侧为 TBM 半断面掘进监测数据。

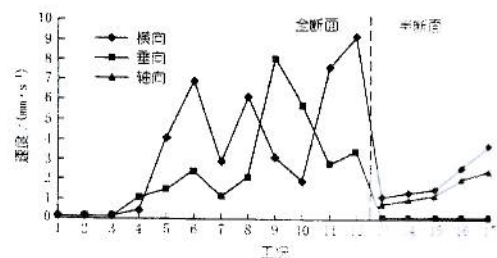


图 2 主梁振动监测

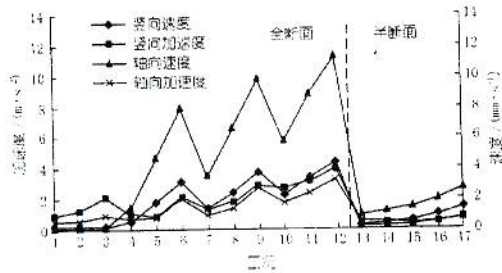


图3 主轴承振动监测

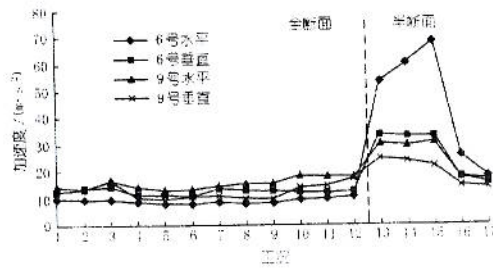


图4 主电机振动监测

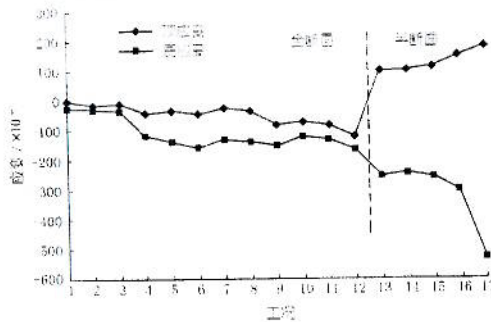


图5 应变监测

结合全断面与半断面对比测试数据,对半断面掘进工况进行了系统分析和研究判断,得出了半断面掘进较适宜的推力和转速,即推力 9 860 kN、转速 2.49 r/min。同时对 TBM 电机、主轴承、主梁的振动和应变的测试数据进行了整合和优化,得出相对合理的响应参数(见表 2),以指导后半段试验段的掘进和测试。

表 2 工况 16 半断面掘进响应参数

6号电机 ($m \cdot s^{-2}$)		9号电机 ($m \cdot s^{-2}$)		主轴承/ ($m \cdot s^{-2}$)		主梁/ ($mm \cdot s^{-1}$)		应变/ $\times 10^{-6}$		
水平	垂直	水平	垂直	径向	轴向	径向	轴向	顶面	底面	
65.50	62.44	65.01	52.10	4.74	4.85	7.95	0.39	6.40	150	-390

TBM 在剩余试验段的掘进过程中,进行了多组后期跟踪测试,与先前测试数据相比,测试结果趋势和先前测试数据基本一致。

3.2 有关分析说明

(1) TBM 振动测试尚无现成标准可依,本次试验主要依照不同断面、工况条件对测试数据进行纵向对比。

(2) 从全断面的测试数据来看,推力从 12 000 kN、转速 2.7 r/min 到推力 12 000 kN、转速 3.3 r/min,主梁发生明显受力不均,下部应力明显大于上部应力且差值较大;推力从 14 000 kN、转速 3.3 r/min 到推力 16 000 kN、转速 4.0 r/min,主梁受力不均情况显著缓解。

(3) 根据第(2)点,结合掘进渣料、应变和机器运转等因素综合考虑,发现当采用推力 16 000 kN、转速 3.3 r/min 时,TBM 掘进效率高,较适合掘进。

(4) 与全断面掘进测试结果相比,半断面掘进时,主梁振动速度有所减小,主梁三向速度中,轴向速度最大;主轴承振动速度和加速度有效值都有所减小,分析系推力减小所导致。

(5) 与全断面掘进的测试数据相比,半断面掘进时,主电机的振动加速度相差不大。

(6) 半断面掘进时,主梁上部主要承受拉应力,下部主要承受压应力,主梁的偏载稍大,但与全断面掘进相比未超过一个数量级。

(7) 半断面掘进时刀具未发生损坏,刀牙平均损坏值为 0.32 个/m,相比前期全断面掘进刀牙平均损坏值 1.95 个/m 要低得多,说明贯入度及转速控制合理。

4 结论

(1) TBM 半断面掘进时,偏载数值略超全断面掘进工况。因此,半断面掘进的偏载问题是存在的但不会影响设备主要结构的强度和安全。

(2) 测点的振动值在水平方向稍小,垂直方向较大,且与掘进断面相关。振动值对于主电机而言,没有影响且与掘进断面基本无关。

(3) 半断面掘进对刀具基本不产生影响,刀牙的平均损耗较全断面掘进低。

(4) 就本试验边界条件而言,半断面掘进是可行的,最终选取推力 9 860 kN、转速 2.49 r/min 能够保证 TBM 设备安全、有效运行,但尚需密切跟踪、定期检查。

(编辑:徐诗银)

(下转第 81 页)