

TBM 组装洞室锚杆长度优化研究

祁海燕

(辽宁西北供水有限责任公司, 辽宁 沈阳 110003)

【摘要】 本文以大伙房输水工程 TBM 组装洞室为工程背景,利用有限元分析法对开挖支护中锚杆长度对围岩稳定性的影响展开研究。研究中主要选取围岩的位移、应力、塑性区和能量释放总量作为锚杆长度优化的指标,通过多指标综合评价,最终确定了该洞室锚杆的合理长度。

【关键词】 TBM; 组装洞室; 锚杆; 长度

中图分类号: TV672

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2017)01-0036-04

Research on TBM assembly cavern anchor length optimization

QI Haiyan

(Liaoning Northwest Water Supply Co., Ltd., Shenyang 110003, China)

Abstract: In the paper, Dahuofang Water Conveyance Project TBM assembly cavern is adopted as the engineering background. Finite element analysis method is utilized for studying the influence of anchor length in excavation support on the stability of surrounding rock. In the study, surrounding rock displacement, stress, plastic zone and total energy release are mainly selected as anchor length optimization indexes. Rational length of the anchor bolt of the cavern is determined finally through the comprehensive evaluation of many indexes.

Key words: TBM; assembly cavern; anchor; length

1 工程概况

1.1 项目简介

大伙房水库输水工程是中国南水北调项目的支持工程,同时也是辽宁省“十五”和“十一五”规划的重点供水工程^[1]。这一超大型跨流域调水工程的起点为辽宁省凤鸣水库,终点为大伙房水库。其中输水隧洞全长 85.3km,项目设计输水流量 $70\text{m}^3/\text{s}$,年平均输水量约 17 亿 m^3 ,工程预算总投资 52.2 亿元。大伙房输水隧洞具有洞线长、洞径大、埋深大的特征,属于深埋长隧洞特大型地下水工程^[2]。该工程六河段 TBM 主机组装洞和后配套安装间为超大断面地下洞室,桩号

为 15 + 952 ~ 16 + 200,全长 248m,其中组装洞室长 82m,高 27m,宽 21m,断面为城门洞型。

1.2 工程地质

TBM 组装洞室所在地层的岩层十分古老,同时又在各个地质时期受到多次构造运动的不同作用,扭曲和褶皱现象比较明显。按照相关的工程技术标准,洞室的围岩属于 III 类的占 16%、属于 IV 类的占 71%、属于 V 类的占 16%。该标段的岩层中泥质板岩和砂质板岩等属于变质岩,但是存在变质不彻底和变质较轻的情况。地层中的石英岩由于岩性较脆,在长期构造作用下,产生了十分密集的裂隙。由于洞室的埋深较

大,围岩稳定性并不理想,因此地应力值较大,给施工带来了一定困难。

2 计算模型的建立

2.1 计算模型

计算坐标: x 轴平行于组装洞水平轴,以组装洞的纵轴线为 z 轴, y 轴与大地坐标重合。在TBM组装洞开挖过程中,洞室各工作面的开挖往往存在一定程度交叉,并非一个严格的分期、分序的连续过程。本文根据现场的实际施工组织过程,确定各工作面每步开挖进尺为3m,延迟一开挖步安装锚杆,进行断面初期支护,上下两台阶距离为15m。

2.2 计算范围

根据相关经验确定该次计算的计算范围,其中左右边界为距组装洞中心80m,底部边界距离洞室底板60m,顶部边界为洞室底板以上100m,计算长度为洞室轴线走向45m。计算简图如图1所示。数值计算采用FLAC3D计算软件进行网格剖分^[3],整个模型划分为87970个单元,92321个节点。

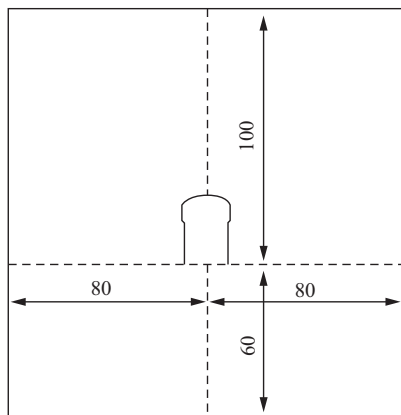


图1 组装洞室计算简图

2.3 初始应力和边界条件

考虑到TBM组装洞与主应力平面的方位与倾角关系,采用三维初始应力场反演回归分析^[4],并进行插值计算获得如表1所示的初始应力值^[5]。考虑边界效应对计算结果的影响,计算中采用位移边界条件,四周固定位移约束。

表1 组装洞地应力计算结果

应力方向	SXX	SY Y	SZZ	SXY	SXZ	SYZ
应力值/MPa	-21.03	-21.96	-42.30	-3.07	-6.68	-1.92

2.4 围岩力学参数

根据施工现场调查以及对岩石采样力学测试,得到如表2所示的围岩力学参数。

表2 隧洞围岩与初期支护力学参数

项目	重度/ (kg/m^3)	弹性模量/ GPa	泊松比 μ	黏聚力/ MPa	内摩擦 角/ $(^\circ)$
围岩	2200	14	0.24	2.10	38
初期支护	2400	22	0.20	—	—
锚杆	—	20	0.14	—	—

3 TBM 组装洞室锚杆长度研究

研究中对锚杆的长度分别取4m、6m、8m、10m 4种不同的长度值进行模拟计算^[6],将洞室开挖后围岩的位移值、应力值、塑性区体积以及锚杆轴力作为锚杆参数优化指标,通过对上述指标的综合评价,最终确定该洞室锚杆的合理长度。

3.1 位移变化规律

为了分析洞室开挖过程中锚杆的长度与洞周位移之间的变化规律,在数值分析过程中选取 $z = -24$ 作为分析断面,在典型断面周边布置6个位移监测点。其中监测点D1位于拱底中部;监测点D2、D3分别位于左右边墙中部;监测点D4、D5分别位于左右拱肩;监测点D6位于拱顶中央。各监测点最终位移量模拟结果如表3所示。

表3 各监测点最终位移量

监测点	位移方向	位移量绝对值/mm			
		4m	6m	8m	10m
D1	x	4.45	4.45	4.45	4.45
	y	26.46	26.45	26.44	26.44
	z	3.87	3.86	3.86	3.86

续表

监测点	位移方向	位移量绝对值/mm			
		4m	6m	8m	10m
D2	x	30.13	30.05	30.03	30.03
	y	8.43	8.44	8.46	8.47
	z	16.85	16.84	16.82	16.82
D3	x	33.06	32.97	32.91	32.91
	y	2.43	2.41	2.49	2.52
	z	4.13	4.16	4.18	4.16
D4	x	12.43	12.27	12.21	12.20
	y	5.43	5.21	4.84	4.61
	z	5.22	5.09	5.14	5.23
D5	x	17.44	17.28	17.20	17.19
	y	12.45	12.23	11.89	11.63
	z	9.11	9.14	9.12	9.09
D6	x	3.81	3.83	3.82	3.84
	y	21.43	20.95	20.53	19.94
	z	0.23	0.21	0.23	0.22

对表中的数据分析可得:

a. 拱底位移量基本保持不变,可见锚杆的长度变化对洞室拱底位移影响较小。

b. 拱顶的竖向位移随锚杆长度的增加而减小,但是减小幅度不断收窄,整体减幅在2%左右。

c. 两侧边墙的水平位移随锚杆长度的增加而减小,但是减小幅度不断收窄,特别是锚杆长度从8m增加到10m时,左右边墙的水平位移保持不变。

d. 拱肩处的水平位移变化趋势与两侧边墙基本一致,水平位移随锚杆长度的增加而减小,锚杆长度从8m增加到10m时,水平位移基本保持不变。

3.2 压力变化规律

为分析地下洞室开挖过程中,锚杆长度对地下洞室围岩应力的影响规律,在 $z = -24$ 分析断面周边布置11个应力监测点,监测点的位置及编号如图2所示。

经过数值模拟计算获得如表4所示的最终应力值。对表中数据分析可得:

a. 锚杆长度对拱顶处的围岩应力影响不大,应力

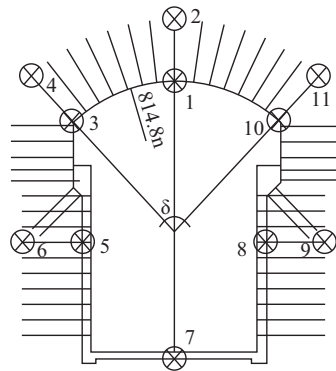


图2 应力监测点示意图

值变化并不明显。锚杆的长度主要表现在对拱顶深处的应力影响,监测点2的第一主应力和第三主应力均随着锚杆长度的增加而增大,因此增加锚杆长度能有效改善围岩内部的应力状况,但是增加至8m后,围岩应力基本保持不变。

b. 锚杆长度对两侧边墙表层围岩应力影响极其有限;当锚杆长度增至6m时,两侧边墙深处围岩应力得到提高,但是再增加锚杆长度,围岩应力不再发生明显变化。总体来说,锚杆越长对提高围堰内部应力的作用越小。

c. 在两拱肩处,随着锚杆长度的增加,表层围岩应力减小而深层围岩应力增大,但是增加幅度逐步变小,当锚杆长度增至8m时,围岩应力基本保持不变。

表4 各监测点最终应力值

监测点	第一主应力/MPa				第三主应力/MPa			
	4m	6m	8m	10m	4m	6m	8m	10m
1	20.19	20.08	20.01	19.92	1.94	1.91	1.91	1.90
2	44.21	45.34	45.58	45.58	8.94	11.21	13.23	13.24
3	46.74	46.58	46.29	46.12	6.95	6.92	6.88	6.84
4	44.39	44.62	44.85	44.88	11.87	12.89	14.21	14.35
5	8.07	8.07	8.06	8.04	0.01	0.01	0.01	0.01
6	22.21	22.32	22.28	22.26	2.16	2.18	2.17	2.17
8	8.23	8.20	8.19	8.17	0.02	0.02	0.02	0.02
9	21.83	22.12	22.04	22.98	2.11	2.17	2.16	2.14
10	37.02	36.97	36.78	36.69	5.27	5.25	5.23	5.19
11	40.54	40.96	41.44	41.49	10.87	11.56	12.94	13.21

3.3 塑性区变化规律

塑性区体积变化是反映支护效果的重要指标。在洞室开挖后,洞室周边围岩的塑性区体积以及破坏总体积计算结果如表 5 所示。从表中的数据可以看出,随着锚杆长度的变化,围岩塑性区体积以及破坏总体积呈现出先减少后基本不变的趋势。当锚杆长度由 4m 增加到 6m 时,无论是塑性区体积还是破坏总体积都有显著减少,说明锚杆长度增加可以显著改善围岩力学性能。但是锚杆长度再进一步增加时,塑性区体积和破坏区总体积不再发生明显变化,因此继续增加锚杆长度对进一步减小塑性区体积、改善围岩力学性能并无明显作用。

表 5 不同锚杆长度下塑性区体积 单位:km³

项 目	4m	6m	8m	10m
塑性区体积	22.83	21.75	21.73	21.74
破坏区总体积	42.08	41.43	41.42	41.42

3.4 能量释放总量

在洞室开挖全过程中,洞室周边围岩释放的总能量计算结果如表 6 所示。从表中的数据可以看出,随着锚杆长度的变化,洞室周边围岩释放的总能量呈现出先减少后基本不变的趋势。当锚杆长度由 4m 增加到 6m 时,洞室周边围岩释放的总能量显著减少,说明锚杆长度增加可以有效控制围岩能量释放。但是锚杆长度再进一步增加时,洞室周边围岩释放的总能量不再发生明显变化,因此继续增加锚杆长度对洞室周边围岩释放的总能量的控制并无明显作用。

表 6 不同锚杆长度下围岩释放总能量

单位:10⁶KJ

锚 杆 长 度	4m	6m	8m	10m
围岩释放总能量	7.43	6.87	6.91	6.86

4 结论与评价

a. 随着锚杆长度的增加,拱顶竖向位移逐渐减小,边墙的水平位移由 4m 增加到 6m 时,位移量减小明显,但是长度继续增加时,位移变化不大。

b. 锚杆长度对拱顶处的围岩和两侧边墙表层围岩应力影响不大,应力值变化并不明显。当锚杆长度增至 6m 时,两侧边墙深处和两拱肩处围岩应力得到提高,但是再增加锚杆长度,围岩应力不再发生明显变化。

c. 当锚杆长度由 4m 增加到 6m 时,洞室周边围岩的塑性区和能量释放总量呈减小趋势,锚杆长度再进一步增加时,两者的变化并不明显。

d. 综合以上因素,将锚杆长度设定为 6m,既有利于提高围岩的稳定性,又具有较高的经济性。◆

参考文献

- [1] 李瑞,姜政同,丁子栋. 大伙房水库输水应急入连工程建设综述[J]. 水利建设与管理,2012(S1):1-2.
- [2] 毛文莉. TBM 在大伙房水库输水工程隧洞施工中的应用[J]. 水利建设与管理,2010(9):4-5,12.
- [3] 祝江鸿,杨建辉,施高萍,等. 单位圆外域到任意开挖断面隧洞外域共形映射的计算方法[J]. 岩土力学,2014(1):175-183.
- [4] 薛雷,李维朝,孙强,等. 基于数字图像像素单元建立准三维 FLAC~(3D)模型[J]. 岩土力学,2010(6):2001-2005.
- [5] 王金安,李飞. 复杂地应力场反演优化算法及研究新进展[J]. 中国矿业大学学报,2015(2):189-205.
- [6] 徐景茂,顾金才,陈安敏,等. 锚杆长度和间距对洞室抗爆性能影响研究[J]. 岩土力学,2012(11):3489-3496.