

文章编号:1001-4179(2010)21-0059-03

邛山高边坡对穿黄竖井变形影响三维数值分析

马永锋,倪锦初,李 蓓,万启宣

(长江勘测规划设计研究院 施工设计处,湖北 武汉 430010)

摘要:南水北调中线一期穿黄盾构隧洞南岸工作竖井紧邻黄河右岸邛山边坡坡脚。邛山边坡高约80m,边坡陡峻,山体及竖井所处地层均为黄土类粉质壤土。南岸竖井开挖将对邛山高边坡造成扰动,邛山高边坡对南岸竖井具有明显的偏压作用,也会影响南岸竖井结构变形和受力。通过建立三维数值模型,分析了邛山高边坡影响下竖井在开挖及充水各个工况下的结构变形和应力,并对竖井结构设计提出相应的建议。

关键词:工作竖井;高边坡;数值分析;变形;穿黄隧洞;邛山

中图分类号:TV67 文献标志码:A

1 工程简介

穿黄工程是南水北调中线总干渠穿越黄河的关键性控制工程,全长19.3 km。其中,穿黄隧洞为特大型倒虹吸输水建筑物,隧洞全长4 250 m,呈双线单洞平行布置,单洞内径7.0 m,外径8.7 m,隧洞中心线间距为28.0 m,采用盾构法自北向南掘进,南、北岸分别设北岸始发工作竖井和南岸临时工作竖井(以下称“南岸工作竖井”)。

南岸工作竖井靠邛山高边坡布置,邛山坡脚下即为黄河南岸主槽变动区,槽底地面高程约为99 m,常年受河水冲刷。邛山高边坡整体自然稳定临界坡角为 $40^{\circ} \sim 45^{\circ}$,局部达 50° 。坡顶面高程137~181 m,南岸工作竖井侧邛山高边坡高约80 m,山体及竖井所处地层均为黄土类粉质壤土。由于竖井离邛山高边坡水平最小距离约29.76 m,邛山高边坡的偏压作用将影响竖井支护结构的内力及侧向位移分布规律。本文采用三维线弹性模型,考虑邛山边坡偏压作用,研究南岸工作竖井在开挖及充水过程中基坑支护结构的变形规律,为竖井的设计、施工提供依据。

2 地质条件

根据工程地质勘察报告,竖井开挖深度及以下深度范围内的土层基本分为3个地质单元^[1]:①第四系全新统上部冲积层 alQ_2^2 (99.0~94.0 m),土质为粉砂

和细砂,土层分布广泛,层位连续;②第四系中更新统冲、洪积层 $al+plQ_2$ (94.0~41.0 m),主要为粉质壤土和古壤土互层,层位连续;③砂岩及粘土岩N,粘土岩层厚约4.0 m,顶板标高41.0 m,层位分布连续。砂岩顶板标高37.0 m,层位分布连续。

3 工作竖井支护结构方案

南岸工作竖井采用圆形地下连续墙内加满堂钢筋混凝土内衬作为围护结构^[1]。地下连续墙厚度1.2 m,满膛钢筋混凝土内衬厚0.8 m,在洞门口上、下部位内衬局部加厚至1.5 m。竖井顶部设冠梁。南岸工作竖井地下连续墙内径为15.0 m,外径为17.4 m,墙顶高程103.0 m,墙底高程45.15 m,地连墙深度为57.85 m。工作竖井钢筋混凝土内衬内径为13.4 m,外径为15.0 m,基坑开挖底高程为64.05 m,最大开挖深度41.55 m。钢筋混凝土封底厚2.0 m,底高程为64.05 m,顶高程66.05 m,底板下设6.0 m厚高压旋喷封底。

为保证竖井干地施工,减小邛山高边坡及水流冲刷影响,在黄河右岸紧临邛山边坡填筑顶高程105.6 m、顶部尺寸为58.5 m×88 m的竖井施工平台。

4 三维有限元数值模型

4.1 本构模型及计算参数

采用大型国际通用非线性商业软件MARC进行

收稿日期:2010-10-12

作者简介:马永锋,男,高级工程师,主要从事岩土工程及施工导截流方面的设计和研究。E-mail:878251184@qq.com

三维有限元数值分析^[2]。土体采用8节点六面体实体等参单元模拟,地下连续墙、内衬及底板采用各向同性4节点薄板单元模拟,冠梁采用三维梁单元模拟。在土体实体元与地下连续墙壳元之间,设置弹塑性实体单元作为接触元,以模拟地下连续墙与周围土体之间切向变形不协调现象。取Mohr-Coulomb准则判断各材料是否进入屈服^[3-4]。

基坑支护结构采用C30钢筋混凝土,容重取25 kN/m³,弹性模量30 GPa,泊松比0.167。接触单元法向厚度取0.1 m,切向尺寸与相连壳元相同,法向弹性模量30 GPa,切向刚度取极小值。根据工程勘探报告结合相关工程经验取土层计算参数,见表1。

表1 竖井地层力学计算参数

土层	天然重度 $\rho /$ $(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	粘聚力 c / kPa	内摩擦角 $\varphi / (^{\circ})$	弹性模量 E / MPa	泊松比 μ
粉砂	18.56	0	25.0	29.01	0.4
细砂	18.79	0	28.0	34.65	0.4
粉质壤土	20.22	36.7	18.5	25.92	0.4
古土壤	20.97	57.5	20.3	31.53	0.4
粘土岩	18.20	50.0	23.0	39.00	0.4
砂岩	20.97	0	30.0	36.00	0.4

4.2 网格划分及边界条件

有限元网格侧边界与坑中心距离等于2倍坑深,取84 m;底边界自坑底向下取2倍坑深,取84 m;上表面在护脚区域以及邛山区域内取工作平台面(106.00),邛山区域内山体自重以面荷载方式模拟施加;余者取为天然地面(99.00)。除邛山超载区边界条件为应力边界条件考虑高边坡对竖井变形的影响外,其余边界条件均为位移边界条件。

据此,模型划分共得到20 956个单元,20 300个节点,计算模型网格划分详见图1。

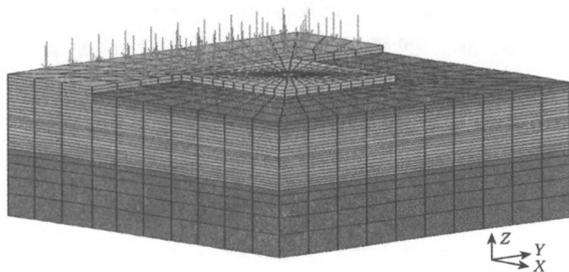


图1 三维有限元网格模型

4.3 计算工况及实现方法

根据竖井开挖、支护结构施工顺序及运行要求,结合三维分析的需要,经简化可综合为17种工况。

Lcase0为初始工况,计算土体及地下连续墙以及邛山山体超载和自重情况下的应力与变形,确定初始

地应力及位移场。

Lcase1~Lcase14模拟竖井开挖及内衬施工,前一工况开挖,后一工况支撑,直至开挖到基坑底面止;Lcase15完成最后一圈内衬。

Lcase16实现坑底高喷加固,浇筑底板,并充水预压,封水性检查,竖井充水水位为105.0 m,水压按静水压力施加于内衬内表面。

竖井内各层土体的逐层开挖、内衬的逆作法分层浇筑以及地下连续墙的施工,在不同的工况下可由单元“生死”功能实现,即开挖后的单元蜕变成了“虚单元”。坑底土层的高喷加固以及地连墙与内衬间接接触面单元的转变采用了设置状态变量,使计算单元的材料特性在不同的工况步中得以实现转换。

5 三维数值模拟结果及分析

为便于理解,根据竖井变形在空间上的分布特性,以图2所示A-A、B-B、C-C、D-D四条线研究竖井支护结构变形规律,其中A-C、B-D分别与总体坐标系X、Y轴相平行,由于B-B和D-D线的对称性变形及内力分布规律一样,位移方向与整体坐标系正方向一致时为正。

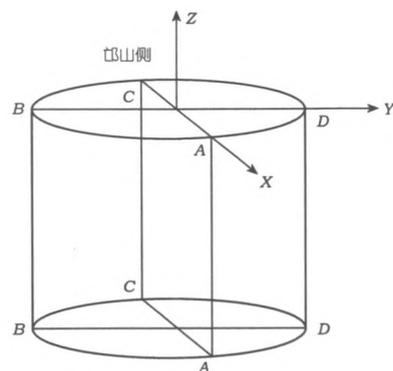


图2 A-A、B-B、C-C、D-D线示意

5.1 地表沉降变形

竖井开挖及充水预压各工况下,地下连续墙后背地表沉降随工况变化如图3~4所示。从图示可见,竖井开挖过程中地表将逐步隆起,由于邛山超载的影响,A、B点的隆沉情况均不相同,最大隆起量A点约8 cm,B点约6.5 cm。充水后,由于水荷载的反向作用,A、B点地表隆起量分别减小至3.8 cm和2.3 cm。

5.2 地下连续墙水平位移

地下连续墙水平位移分布规律见图5~7。

对比A-A线及C-C线地下连续墙墙体水平位移计算结果,可以看出,受邛山超载和偏压的影响,墙

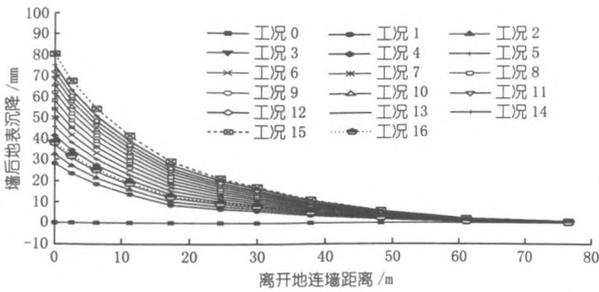


图 3 地下连续墙 A 点墙后地表沉降

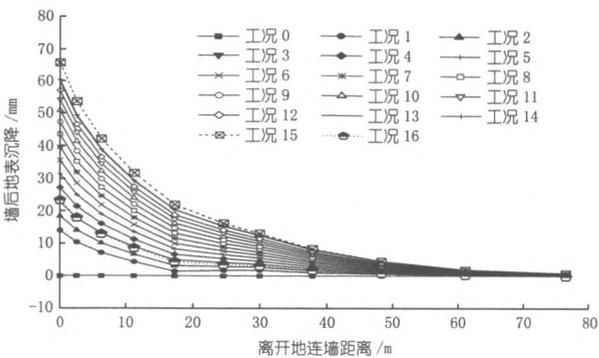


图 4 地下连续墙 B 点墙后地表沉降

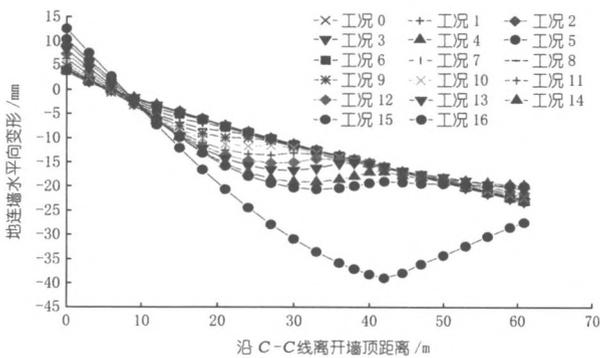


图 5 地下连续墙 C - C 线水平位移

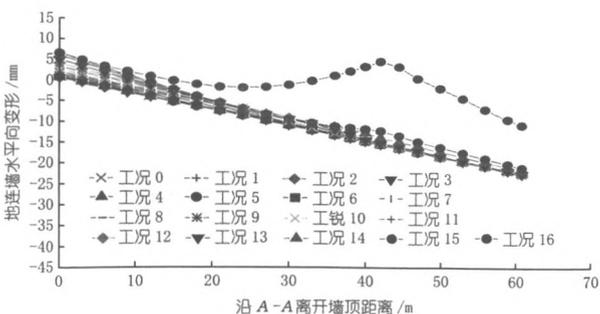


图 6 地下连续墙 A - A 线水平位移

体顶部水平位移远离邛山,下部水平位移指向邛山,井筒整体产生倾斜,且倾斜量随基坑开挖深度的加大而加大,以基坑开挖完成前的最后两步(Lcase12、Lcase14)为例,C - C 线墙顶以下 30 m 处指向邛山的

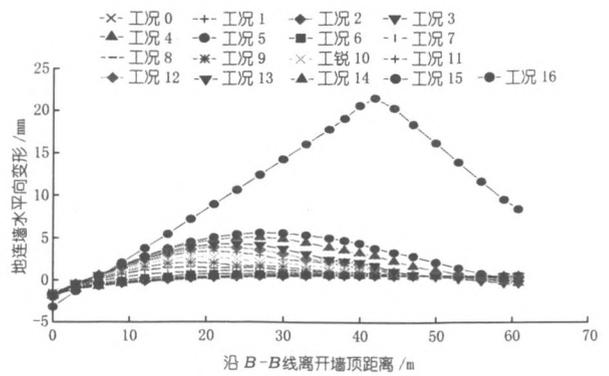


图 7 地下连续墙 B - B 线水平位移

水平位移分别为 -15 mm 和 -18.8 mm; A - A 线水平位移随基坑开挖深度增加而减小,墙顶以下 30 m 处水平位移分别为 -12.5 mm 和 -11.2 mm,此高程沿穿黄隧洞轴线方向的收敛变形分别为 2.5 mm 和 7.6 mm,整体变形较收敛变形为大。另外,随着开挖深度的加大,C、A 线井口收敛位移分别逐渐增大至 10.33 mm 和 6 mm,地连墙中部位移则指向邛山方向。地下连续墙在开挖完成后承受充水内压,使 C - C 线和 A - A 线指向邛山的位移分别增大和减小,从而进一步加大原有变形状态,井口收敛位移增大至 12.54 mm 和 6.55 mm。

B - B 线垂直于邛山方向,该方向井筒未发生整体倾斜,随着开挖深度的加大,收敛位移向下逐渐增大,到开挖完成时达到 5.6 mm。

6 结语

本文利用三维线性有限元模型,分析了穿黄盾构隧洞南岸工作竖井在邛山高边坡影响下的变形规律。从中可以看出,在邛山高边坡偏压引起的整体侧移、整体弯曲效应和周边水土压力引起的局部弯曲效应双重作用下,支护结构的变形及受力性状更加复杂。在竖井结构设计中需关注和研究结构整体性侧向变位、结构整体弯曲变位及充水预压工况对井筒受力带来的不利影响,根据不同部位的应力分布采取相应的构造对策与措施,确保南岸竖井工程的安全施工。

参考文献:

- [1] 长江水利委员会长江勘测规划设计研究院.南水北调中线一期穿黄工程初步设计报告[R].武汉:长江水利委员会长江勘测规划设计研究院,2004.
- [2] 梁清香.有限元与 MARC 实现[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [3] 李广信.高等土力学[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [4] 殷宗泽,朱泓,许国华.土与结构材料的接触面的变形及数学模型[J].岩土工程学报,1994,16(3):14-22.

(编辑:徐诗银)

(下转第 95 页)

Design and realization of resettlement information management system for Xiajiang reservoir

ZHANG Lisun, XU Jun

(*Jiangxi Provincial Water Conservancy Planning and Designing Institute, Nanchang 330029, China*)

Abstract: In order to effectively process, analyze and use resettlement data of Xiajiang Reservoir, reservoir resettlement information management system was developed based on GIS and WEB technology. The system can process and use various data and information on population, house area, forest trees, land type and area, road length, power line length etc., to make reservoir resettlement planning, management and decision – making more scientific and improve the accuracy and reliability of resettlement work.

Key words: GIS; WEBGIS; reservoir resettlement information system; Xiajiang Reservoir

(上接第 50 页)

Research and application of 3D visualization of resistivity imaging method in hydroelectric exploration

MA Shenmin¹, LI Hengkai², REN Liping¹

(1. *Changjiang Engineering Geophysical Exploration Wuhan Ltd, Wuhan 430010, China*; 2. *Faculty of Architectural and Surveying Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China*)

Abstract: In order to solve the problems that 2D contour map of resistivity imaging method can not reflect the orientation, location and morphology of exploration objects, and realize the 3D visualization of resistivity imaging method, we study and develop the 3D visualization contour map model of resistivity imaging method by the use of 3D fence diagram, therefore, we can observe and track the orientation, location and morphology of exploration objects from different angles and directions. The model has been successfully applied in the stripping layer exploration work of quarry for Baima hydraulic complex.

Key words: resistivity imaging method; 3D visualization; fence diagram; stripping layer exploration

(上接第 61 页)

3D numerical analysis on influence of Mangshan high slope on deformation of shaft well passing through the Yellow River

MA Yongfeng, NI Jingchu, LI Heng, WAN Qixuan

(*Construction and Design Department of Changjiang Institute of Survey, Planning, Designing and Research, Wuhan 430010, China*)

Abstract: The south shaft well of the Yellow River passing tunnel of Middle Route Project of South to North Water Diversion is close to the foot of steep Mangshan slope of 80 m. The slope body and shaft well are composed of loess silt loam. The shaft well excavation will influence Mangshan slope, resulting obvious slant – pressing of the slope on the shaft well and influencing stress state and deformation of the shaft well. By 3 D numerical model, the influences of Mangshan slope on the structure deformation and stress of the shaft well under excavation and water – filling state are analyzed and some suggestions for structure design are put forward.

Key words: shaft well; slope; numerical analysis; deformation; tunnel passing through the Yellow River; Mangshan