

南京报恩寺遗址模拟地宫开挖中 及成型后的井体特征

张景科^{1,2} 谌文武^{1,2} 和法国^{1,2} 李鹏飞^{1,2} 郭青林³

(1. 兰州大学 西部灾害与环境力学教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2. 兰州大学 土木工程与力学学院, 甘肃 兰州 730000;

3. 敦煌研究院保护研究所, 甘肃 敦煌 736200)

内容摘要:南京报恩寺地宫考古发掘完成后,地宫出现了众多病害,直接危及到遗址保存。国内外还无针对地宫类遗址保护的成熟经验,而地宫遗址的加固迫在眉睫。在研究对象附近开挖了一个相同岩土条件、等尺寸的模拟地宫,通过对模拟地宫开挖中和成型后井体变形、含水量、井内水位的监测,查明了模拟地宫井体的变化特征。研究成果有效地揭示了地宫遗址发掘过程中及发掘后井体的动态响应过程,再现了地宫遗址破坏过程,为保护加固地宫的方案设计奠定了科学的地质基础。

关键词:报恩寺遗址;模拟地宫;监测;井体特征

中图分类号: K234.2;K877.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4106(2010)06-0041-05

Characteristic of well body during and after excavation of simulating underground palace in the site of Baoensi Monastery Nanjing

ZHANG Jingke^{1,2} CHEN Wenwu^{1,2} HE Faguo^{1,2} LI Pengfei^{1,2} GUO Qinglin³

(1. Key Laboratory of the Western Disaster and Environmental Mechanics of the Educational Ministry, Lanzhou Gansu 730000;

2. College of Civil Engineering and Mechanics, Lanzhou university, Lanzhou Gansu 730000;

3. Conservation Research Institute of Dunhuang Academy, Dunhuang Gansu 736200)

Abstract: After excavation of the underground palace in the site of Baoensi Monastery Nanjing, numerous appearing diseases directly endanger the preserved ruins. There are no mature experiences on the protection of underground palaces. however, the research object needs urgently being conserved. Near the research object, a similar simulating underground palace as the same size and geotechnical conditions to the research object was excavated. By use of monitoring well deformation, moisture, and water level during and after excavation of simulating underground palace, changing characteristics of simulating underground palace is obtained. Research result efficiently reveals the dynamic response characteristics of the same process in research

收稿日期:2010-06-20

基金项目:国家科技支撑计划项目“南京报恩寺遗址地宫及出土文物保护技术研究”(2009BAK53B07)

作者简介:张景科(1980—)男,山东省济宁市人,讲师,博士研究生,主要研究方向为古遗址保护。

object, and reproduces the damage process during archaeological excavation. Geological basis is established scientifically for the conservation scheme design of underground palace.

Keywords: The site of Baoensi Monastery Nanjing; Simulating underground palace; Monitoring; Characteristics

引言

被誉为“中世纪世界七大奇迹之一”的南京明代大报恩寺遗址,发现了建于北宋时期的地宫,出土了七宝阿育王塔、金棺银槨、佛骨舍利,以及丝绸制品、玻璃、香料等 170 余件珍贵文物。这是继陕西法门寺、杭州雷峰塔地宫后的又一次重要考古发现,引起社会广泛关注,也引起中央领导的高度重视^[1]。大报恩寺遗址地宫、阿育王塔及其他出土文物保护的科技问题十分突出,为保护这批珍贵文物,国家文物局专门设立国家科技支撑计划项目“南京报恩寺遗址地宫及出土文物保护技术研究”(编号 2009BAK53B07),以期集中国内文物保护优势力量,借鉴国外同类文物保护成果,开展保护技术与科技示范,使其长久保存。佛塔地宫在我国分布较多,如定州静志寺塔地宫、陕西法门寺地宫、杭州雷峰塔地宫、南京牛首山弘觉寺塔地宫、定陵地宫、陕西平定县北宋佛塔地宫等^[2-3]。长期以来,对于地宫出土的文物关注较多,而对于地宫遗址保护较少。地宫就结构形式等同于地下工程中的竖井或地基基础工程中的圆形基坑^[4-6]。因地宫遗址属于文物的范畴,相应的保护理念与其他同结构工程差异巨大。地宫遗址的保护加固没有成熟的经验可以借鉴,为此,在地宫遗址附近开挖了与其结构形式、工程地质条件一致的模拟地宫,模拟地宫的研究的成果可直接指导地宫遗址的保护加固设计。

通过对模拟地宫开挖中及成型后地下水位、井径变形、井壁含水量的监测,查明了模拟地宫岩土体性状的动态响应特征,可为地宫的保护加固研究奠定基础。

1 南京报恩寺地宫概况

报恩寺位于江苏省南京市中华门外雨花路东侧秦淮河畔长干里,北距秦淮河 150m。明代的报恩寺,与灵谷寺、天界寺合称为金陵三大佛寺。在报恩寺内发现塔基的基础上继续进行考古挖掘,成功地

发掘了北宋圣感塔地宫。这是目前国内发现的最深的竖井式地宫。地宫内部以一层土、一层石的方式逐层夯筑,共计 40 层(如图 1、2)。发掘证实,该地宫未经后期扰动。报恩寺遗址地宫及其出土文物是中国佛教考古的重大发现。地宫形制为南方佛塔地宫典型样式。根据地宫出土石函、丝绸发愿文的明确记载,以及铜钱、各种器物的时代特征,该地宫的建造年代为北宋大中祥符四年,即公元 1011 年。通过考古发掘,证明了它与明代报恩寺琉璃塔的关系。地宫集中出土了以阿育王塔为代表的一批珍贵文物,种类多,质量好,级别高,是近年来宋代佛教文物出土最为集中的一次。

考古发掘完成后,地宫遗址发生了不同程度的坍塌、井壁表层土体粉化剥落、顶部土体开裂等,直接威胁到地宫遗址的保存。为防止地宫大规模坍塌,现在采取了在井内设置钢圈网结构围护与整体脚手架支顶的临时支护措施。

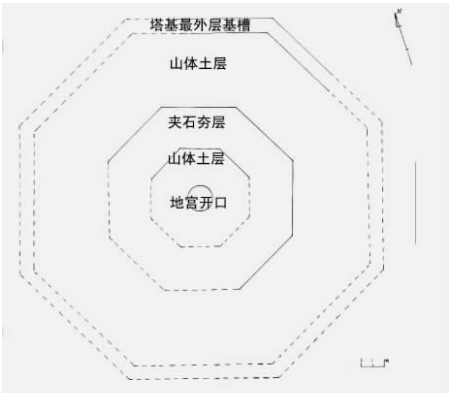


图 1 地宫遗址平面图(据祁海宁)

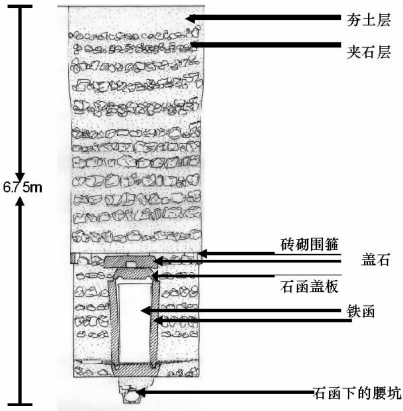


图 2 地宫结构图(据祁海宁)

2 模拟地宫概况

地宫的北部 18m 处，开挖现场模拟地宫（图 3），深 6.75m，直径 2.20m。



图 3 开挖的模拟地宫

从地表往下，第一层土为粉质粘土，第二层土为杂填土，第三层土为粉质粘土。土层性质如下：

- (1)粉质粘土:土体呈土黄色,处于硬塑状态,颗粒分布较为均匀,级配不良。该土层包含部分砾石,砾石直径小于 4.5cm,强度较高。靠近地面处土体风化较为严重,表明龟裂严重。土层厚约 45cm。
- (2)杂填土,土体呈黑色,可塑性高,强度较差。该层土内含有破碎的瓦片等建筑垃圾,并夹杂着些许生活垃圾,含水量较高。土层厚约 30cm。
- (3)粉质粘土,土体呈黄色,可塑,颗粒较细,级配不良,强度较高,含水量较大。

3 模拟地宫开挖中及成型后的特征

开挖过程中设置销钉,对钉间距离观测,实时研究模拟井开挖的变形及其稳定状态,并且在不同深度处取原土样进行含水量测试。限于测量精度,开挖中钉间距离并未发生明显的改变。井内有渗水现象,直接影响了井的稳定性。内水深观测数据见表 1 所示。

由表 1 可见在开挖过程中,土体卸荷使得应力场发生改变;地下水渗流明显,井内积水;不断开挖,深度逐渐接近地下水位,地下水渗流愈强,井内积水增多。

从图 4 可以看出,地表水和大气降水入渗使

表 1 开挖过程中井内水深监测

监测日期	监测时间	水深 (cm)
2009.11.27	9:00	10
2009.11.28	9:00	13
2009.11.28	16:00	15
2009.11.30	10:00	25
2009.11.30	14:00	27
2009.12.01	10:00	30
2009.12.01	17:00	31
2009.12.02	10:00	32

土体表层含水量较大,2m 深度处土层含水量最小,随着深度的增大,距离地下水位的距离越小,地下水位的活动影响附近土层到影响,渗流明显,土层含水量越大,6m 深度处,土层含水量最大为 28%左右。

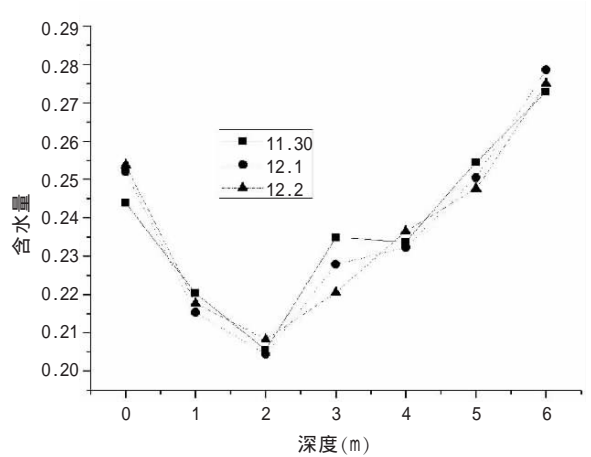


图 4 开挖中土体含水量监测(0 为地表)

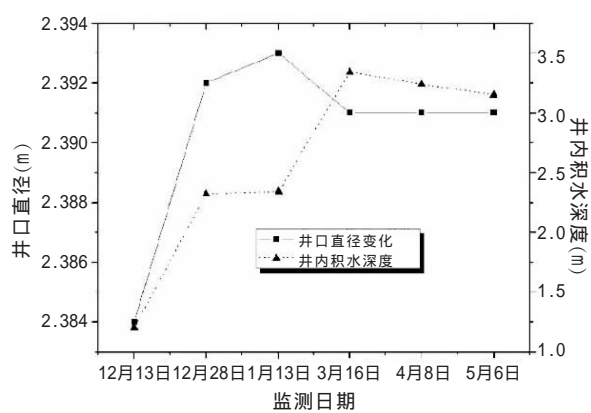


图 5 井口直径与井内积水深度变化曲线

3.1 成型后的长期监测

模拟井开挖毕,就对井内土体含水量、井壁位移和裂隙发展进行监测。

1)井内水位与井口直径监测

从不同时间井内积水以及井口直径随时间变化的曲线(图 5)可以看出,井口直径(初始值为 2.380m)与井内积水深度走势基本一致,随着井内积水深度的增加,井内土体含水量增大,从而降低了周围土体的稳定性,导致了局部土体坍塌,使井直径扩大。土体易受含水量影响。井内积水造成积水上部土体含水量增大、改变土体应力分布需要一定的时间,井口位移相对井内积水变化滞后。井内积水深度在 2010 年 3 月 16 日基本达到稳定水位,井直径在此以后也较为稳定,井内积水的渗流引起的井口变形相应地逐渐稳定下来。

2)含水量与位移监测

含水量观测,每隔 1m 深度取样,由图 6 可以看出含水量曲线与开挖中井体的含水量深度曲线的走势基本一致,但地表至地表下 2m 内土层整体含水量相对于开挖时减小,这与大气降水以及地表水的活动有关,而在深度 2m 以下,开挖导致的地下水渗流作用增强,因此深度越大则受地下水作用越强,土体的含水量越大。此外,随着时间的推移,同一点含水量逐渐减小,趋于稳定值。

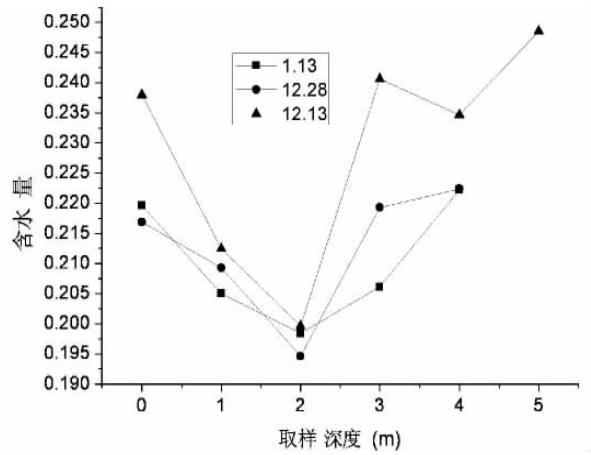


图 6 不同日期土体含水量监测曲线

注:12月13日距井口6m处最后一个点被水淹没,没有取到。12月28日和1月13日5m处点被水淹没。

位移监测采用点之间相对位移,监测布置如图7。

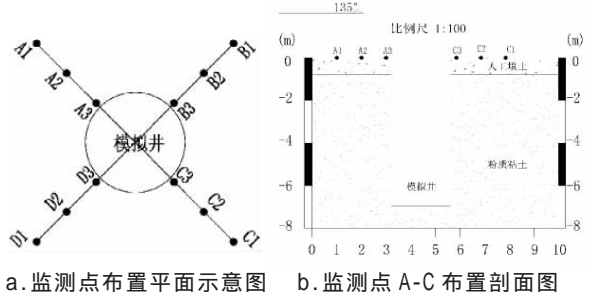


图 7 监测点布置图

根据各个监测断面监测点的位移与时间绘制位移监测曲线,如图 8。

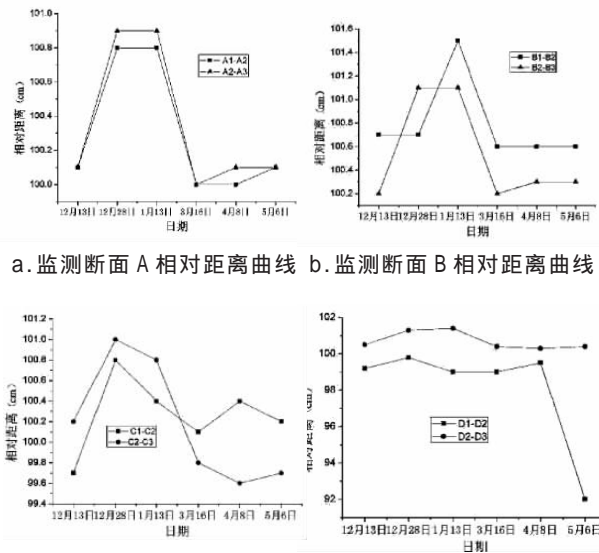


图 8 监测断面相对距离与时间曲线

根据监测断面位移曲线可以看出,在模拟井开挖完毕后,井口岩土体变形量不大,各点之间相对距离变化趋势基本相同,相对距离的差值不大,基本在 0.1cm 左右。在 5 月 6 日,断面 D 的相对距离变化较大,D1-D2 间距离由 99cm 降至 92cm,这与 D1-D2 之间产生卸荷裂隙有关。

4 讨论

从开挖过程中及成型后的监测数据可以看出:

1)地宫内地下水位的变化是渐进的,而且非常缓慢,这是由报恩寺所在地区的水文地质条件所决定的。报恩寺附近有秦淮河,区域的地下水补给主要为大气降水,地形和地势导致,地下水均排泄至秦淮河。区域的岩土特性为典型的粘土,粘土渗透系数很小,相应的地下水渗流速度也非常缓慢。因此,开挖过程中,井内的积水量不大,而随着时间的推移,地宫内水位逐渐上升,直至稳定的下水位。

2)地宫内壁岩土体含水量监测结果表明,据地表 2m 附近是土体含水量的转折点。地表至 2m 深的范围内,大气降水入渗,造成随着深度增加而含水量减小;2m 以下的深度内,出现了毛细水上

升现象、地下水向地宫内渗流等,诱发岩土体含水量随着深度的增加而增加。

3)从位移监测结果看,模拟地宫成型后,井口直径出现了先增大后稳定的趋势,监测断面的相对位移呈现出先增大后减小的趋势。这与地宫的结构形式、岩土体特性密切相关。竖井式地宫在井径不大的情况下,自稳性较强,加之粘土在含水率较低的情况下强度相对较高,地宫初始稳定性较好。监测位置处于地宫的顶部,上部岩土体所处环境较为复杂,一方面受到大气降水、温差等的影响,另一方面地宫的开挖,使临空面增加,应力状态发生改变,众多因素造成前期井径发生了扩张的现象。然而起决定性因素的变化趋势是稳定的,如地下水的径流、大气降水的入渗、地表岩土体的干缩变形等,地表附近的变形总体是向地宫中心发展而趋于稳定。

5 结 论

1)南京报恩寺地宫遗址加固研究对于类似地宫遗址的加固具有重要意义。

2)模拟地宫开挖及成型后的岩土体性状特征为地宫遗址保护奠定地质基础。

3)模拟地宫开挖后出现了井内水位不断上升、井口附近岩土体变形、干缩开裂等现象。

4)地宫内壁岩土体随着深度的增加含水量先

减后增,出现一个拐点。

5)变形监测结果表明,地宫顶部井径出现先增后减而稳定。

致谢:在课题执行过程中得到了南京博物馆白宁馆长与王军助理馆员的大力支持。

参考文献

- [1]郑宽涛. 南京大报恩寺地宫发掘情况综述[J]. 郑和研究,2008(4).
- [2]孙彦平,郝进庄. 定州静志寺塔基地宫出土的阿育王铁塔[J]. 文物春秋,2006(1).
- [3]河南省文物考古研究所. 河南登封市法王寺二号塔地宫发掘简报[J]. 华夏考古,2003(2).
- [3]姜晨光,贺勇,朱烨昕. 基坑形状与基坑稳定性关系的实测与分析[J]. 岩土工程技术,2007,21(5).
- [4]李文俊. 夹活岩特长公路隧道竖井设计及施工方法探讨[J]. 铁道标准设计,2006(6).
- [5]马石城,邹银生,王贻荪. 圆形基坑无支护直立开挖的临界高度计算[J]. 湘潭大学自然科学学报,2002,24(2).
- [6]叶林标,曹征富. 云居寺地宫渗漏治理技术[J]. 中国建筑防水,2009(2).