

开封玉皇阁整体顶升保护技术

陈 平¹, 吴 清², 张卫喜¹

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 兰州军区临潼疗养院第二疗养区, 陕西 西安 710600)

摘 要:开封延庆观玉皇阁屡遭黄河水患, 泥沙淤埋近 3 m, 玉皇阁整体顶升保护工程综合运用了止水、降水、本体预加固、矩形顶管、坑式静压桩预压托换、整体顶升、应力监控等多项疑难土木工程技术, 彻底解决了因高水位、局部不良地质、地基支持不对称等引起的文物建筑结构病害。类似的文物保护工程实践在国内属第二例, 而其难度及成功运用坑式静压桩托换顶升技术则属首例。

关键词:玉皇阁; 整体顶升; 坑式静压桩

中图分类号: TU366. 2

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2011)04-0470-04

玉皇阁延庆观位于开封市西南隅延庆观, 元代建筑, 1988 年国务院颁布为全国重点文物保护单位。延庆观为纪念道教全真教派创始人王喆(字知明, 号重阳子)而建, 在中国道教史上占有特殊地位, 被誉为中原第一道观。始建于金代。现观内其它建筑不存, 独玉皇阁保存完好。

玉皇阁采用砖墙穹顶结构, 高 18.17 m, 二层, 外观三层。第一层平面方形, 依靠底层四隅的三角形穹隅, 第二、三层由方变为八角形。穹顶下缘用一圈斗拱作为装饰。阁的外观全部木构化, 第二层外墙用八个琉璃瓦悬山顶环绕, 形成造型丰富而有新意的装饰屋顶, 平座及二、三层墙面的柱子、阑额、斗拱等构件都用砖雕镶贴, 屋顶用琉璃瓦铺盖。

元代穹顶在伊斯兰教建筑中使用较为普遍, 但在道教建筑中极为罕见。在使用了外来的穹顶技术后, 又加以彻底木构化, 使之具有浓厚的中国传统木构建筑的风貌, 这是玉皇阁最有意义的一种探索。玉皇阁是研究西域伊斯兰教建筑形制与风格对中土建筑影响及元明中国砖石拱顶建筑嬗变的重要实物, 具有极高的文物价值和科学、艺术价值^[1-2]。

开封市北临黄河约 10 km, 地处黄河冲积扇。玉皇阁在长久的过程中, 屡遭黄河泛滥之灾, 随着黄河泥沙淤积, 其原地面已低于现地表近 3 m。1984 年, 文管部门沿阁体周围下挖长宽约 13.5 m, 深约 3 m 的基坑, 将玉皇阁整体暴露(图 1)。

玉皇阁主要病害: ① 地下水位较高, 长期大量排水引起阁体地基砂土结构产生明显变化, 致使阁体基础不均匀变形, 加剧了阁体的倾斜、开裂, 其中部分裂缝从墙基延伸至穹隆约 1 000 mm 处, 裂缝尚在发展, 存在安全隐患; ② 地下水携带有害盐类上升并侵蚀阁体及砖雕构件, 加之冻融作用影响, 阁体酥碱现象日甚; ③ 西南角穹窿承重横梁断裂, 部分石质构件开裂, 部分非结构构件(装饰、雕刻等)受损严重。

2004 年有关部门通过反复论证, 决定将玉皇阁整体抬升, 以彻底治理病害。



图 1 玉皇阁

Fig. 1 Yuhang Ge

收稿日期: 2010-06-12 修改稿日期: 2011-06-28

基金项目: 陕西省教育厅专项科研计划资助项目(03JK195)

作者简介: 陈 平(1956-), 男, 甘肃庄浪人, 教授, 硕士, 从事工程结构抗震与古建筑保护工作。

2 结构特点

地质与水文资料:场地 30 m 勘探深度内所揭示的土层均由第四系堆积物组成. 在垂直方向 30 m 范围内分布 3 个土层,地表 0~2.2 m 左右为第四系全新统冲人工堆积物地层(Q4ml),2.2~8.5 m 左右为第四系全新统冲积物地层(Q4al),8.5~30.0 m 左右为第四纪全新统冲积物地层(Q4al).

场地内地下含水层主要为粉土层,属弱透水层,地下水类型为孔隙潜水,其补给来源主要为大气降水及地下水径补给. 补给方向大致为西南向东北方向,勘察期间地下水位埋深为 2.4~2.6 m. 历史资料表明,历史最高水位,地下水深埋约 2.0 m. 场地内潜水主要受季节和人为活动影响,年变化幅度 0.5 m 左右.

结构特点:① 中国古建一般不设整体性较好基础^[3-5],以后的施工过程也揭露,玉皇阁墙体直接坐于深约 1.5 m,宽略大于墙体的碎砖三合土基础上;② 方底穹顶,传力复杂,在穹拱底部会产生较大水平推力;③ 结构强度低,玉皇阁砌体以黄泥为粘接材料,块材经历了八百余年的风雨剥蚀,受地下水和不均匀沉降的影响墙身已出现较严重酥碱、开裂,穹底部分承重石梁已断裂. 结构整体性差、强度低是制约整体顶升方案成功实施的主要因素.

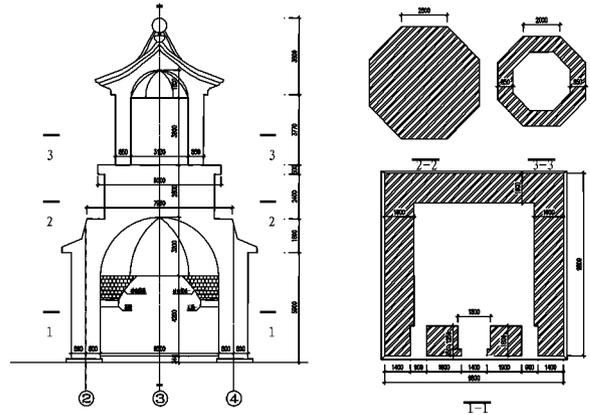


图 2 玉皇阁构造

Fig. 2 Construction of Yuhuang Ge

3 整体顶升基本思路

2004 年国家文物局批准了有关方面组织完成的开封延庆观玉皇阁现状勘察暨整体顶升保护方案. 该方案基本特征:在阁下做预应力托盘,以托盘周边机械静压桩(400 mm×400 mm)为支点,以抬轿子原理整体抬升玉皇阁. 由于种种原因,原方案未予实施. 以现有认识水平及技术条件看,该方案有几点不足:

① 原方案阁内外以钢筋混凝土框架配合穹顶喷射混凝土进行预加固,干扰大,难以做到可逆;② 以托盘抬升玉皇阁,构造复杂,传力不直接,降低结构安全性与耐久性;③ 机械静压桩所需重型设备受场地限制,不便实施;④ 为展示开封地理环境的历史变迁,有关方面拟于阁下建地下室展厅,原方案桩位布置,难以满足平面布置要求.

2009 年实施顶升前,结合现场施工环境、地质条件、水文资料及近年同类工程施工经验、新的计算手段与施工技术等条件,对原方案进行了实质性优化调整,主要体现在:

① 上部结构预加固采用钢型材、螺杆与木板,做到可逆,不对玉皇阁墙体造成施工损坏;② 预制箱梁放弃原方案沿阁墙底部横向顶进方法,改用沿阁墙底部纵向顶进方案,便于控制差异沉降,也利于穿钢筋制作阁体刚性基础;③ 顶升点直接布置于阁体墙下,采用坑式钢管静压桩,既做到传力直接,又免于使用重型压桩设备,也便于地下室布置,钢桩接桩程序也大大简化(图 3);④ 对阁体施工过程进行应力与变形全程监测,提出多种预案,随时根据现场情况进行调整,保证施工过程精确到位.

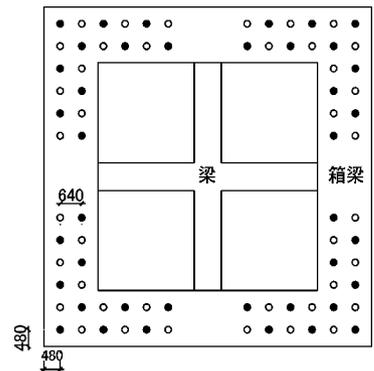


图 3 桩位布置图

Fig. 3 Pile layout

4 施工关键环节

4.1 箱梁顶进

实施结构整体顶升的关键环节是基础托换,即在原有结构下形成一整体性较好的刚性基础,其实现

的前提则是管道无损铺设—箱梁顶进(图 4).

相对于原始状态,箱梁顶进时,每一步开挖会引起建筑地基应力场的释放与扰动.问题的核心在于:如何控制扰动,控制到什么程度?出现异常情况如何处理?图 5 为东侧箱梁自南向北顶进(始顶进)完成后及南侧箱梁自西向东顶进(终顶进)完成后上部结构沉降空间曲线.从玉皇阁箱梁顶进的过程看,施工过程中沉降约占总沉降量的 80%~90%,施工结束 30 min,沉降基本终止.

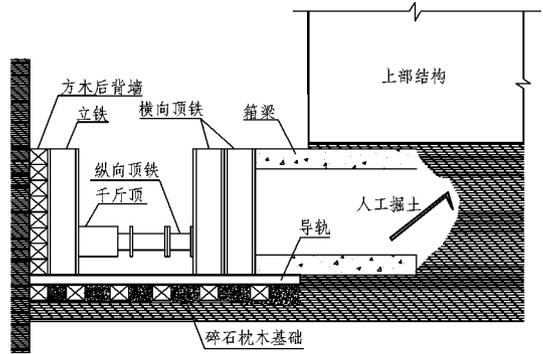


图 4 箱梁顶进

Fig. 4 Box girder jacking method

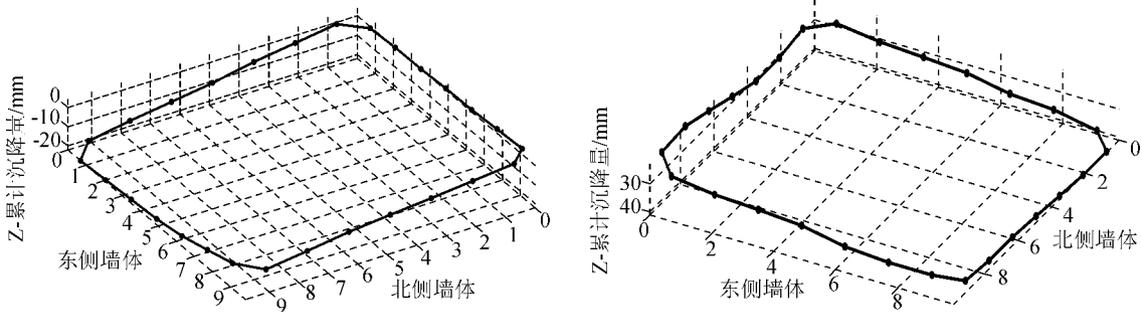


图 5 沉降曲线

Fig. 5 Settlement curve

4.2 坑式静压钢管桩托换与顶升

芯梁混凝土达到设计强度后,组合箱梁作为玉皇阁的刚性基础,可有效地抵抗不均匀变形.此时在箱梁下部布置 80 根 194×6 静压桩,以上部结构作为反力装置,逐桩进行托换.坑式静压桩是将千斤顶的顶升原理和静力压桩技术融合为一体的一种新型桩基技术,具有针对性强,效果明显,反弹少的优点.钢管桩则具备优势:可靠性高,总体强度大;长短随意,施工方便;挤土有限,对周边影响少.这些均有利于文物本体的安全.



图 6 坑式静压桩

Fig. 6 Pit-jacked pile

托换顶升过程,桩体下部深入细砂层,上部通过千斤顶顶于箱梁底部,该环节的关键是保证建筑物的稳定性(图 6).稳定问题包括整体稳定(群桩稳定)与局部稳定.整体稳定通过限制阁体上升过程中侧移(或侧摆)的办法解决,局部稳定则通过限制自由桩长及限制活动垫块数量的办法解决.顶升施工中桩间及时以角钢焊接拉结并以混凝土浇筑保护.

5 结 语

(1)玉皇阁整体顶升保护工程综合运用了止水、降水、本体预加固、矩形顶管、坑式静压桩预压托换、整体顶升、应力监控等多项疑难土木工程技术,彻底解决了因高水位、局部不良地质、地基支持不对称等引起的文物建筑结构病害.类似的文物保护工程实践在国内属第二例,而其难度及成功地运用坑式静压桩托换顶升技术则属首例.2010 年 6 月 3 日 CCTV-10“走进科学”栏目已介绍项目内容.

(2)类似于玉皇阁之类的砖石古建整体顶升保护工程,良好的结构预加固与箱梁顶进方案是项目成功的关键环节.本工程放弃原方案阁内外以钢筋混凝土框架配合穹顶喷射混凝土加固方法,改用型钢、

钢索配以木板的结构预加固方案,施工方便、传力可靠、可逆性好,达到了有效的目的。

(3)本工程放弃原方案箱梁横向顶进方法,改用预制箱梁沿阁墙底部纵向顶进的方案,对阁体扰动小,便于控制差异沉降,也利于穿钢筋制作阁体刚性基础。

(4)本工程放弃原方案在阁下做预应力托盘,在阁外以机械静压桩做支承的阁体顶升方法,改用在阁下直接布置托换静压桩的顶升方案,传力直接、操作简便、可靠性好,取得了较好效果。

(5)本工程采用手动液压千斤顶作为顶升设备,运行平稳、可控性好、成本相对较低,也是同类工程可以借鉴的。

(6)本工程布桩方式、桩径、桩距、接桩长度等参数对类似工程均有参考价值。

参考文献 References

- [1] 潘谷西. 中国古代建筑史(第四卷)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2001.
PAN Gu-xi, History of the ancient Chinese architecture (the fourth) [M]. Beijing, China architecture & building press, 2001.
- [2] 常青. 元明中国砖石拱顶建筑的嬗变[J]. 自然科学史研究, 1993(2): 192-200.
CHANG Qing, On the evolution of ancient Chinese brick and stone vaulted buildings in the YUAN and MING dynasties [J]. Studies in the History of Natural Sciences, 1993(2): 192-200.
- [3] 陈平. 眉县净光寺塔纠偏工程[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版, 2003, 35(1): 44-47.
CHEN Ping. A study on the rectification of Jingguang Temple Pagoda in Meixian County[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. : Natural Science Edition, 2003, 35(1): 44-47.
- [4] 陈平, 赵冬, 沈治国. 古塔纠偏的有限元应力分析[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版, 2006, 38(2): 241-244.
CHEN Ping, ZHAO Dong, SHEN Zhi-guo. Finite element stress analysis on the correction of the ancient pagoda [J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. : Natural Science Edition, 2006, 38(2): 241-244.
- [5] 陈平, 姚谦峰, 赵冬. 西安大雁塔抗震能力研究[J]. 建筑结构学报, 1999(1): 46-49.
CHEN Ping, YAO Qian-feng, ZHAO Dong. An exploration of the aseismic behavior of Xi'an Dayan Pagoda[J]. Journal of Building Structures, 1999(1): 46-49.

Lifting Yuhuang Pavilion integrally

CHEN Ping¹, WU Qing², ZHANG Wei-xi¹

- (1. School of Civil Eng., Xi'an Univ. of Arch & Tech., Xi'an 710055, China;
2. Lanzhou Military area Lintong Sanatorium Lintong 710600, China)

Abstract: Yuhuang Pavilion at Yanqing Taoist Temple in Kaifeng was covered in Yellow River floods time and again in history, now the silt layer above the inhere ground is nearly 3 meters. Through comprehensively utilizing cutting off water, dewatering, pre-reinforcing the superstructure, rectangular pipe-jacking, preloading and underpinning of pit-jacked pile, integrated lifting, stress monitoring, etc. which are difficult to solve in civil engineering, the project which protects Yuhuang Pavilion by integrally lifting it absolutely solve the architectural structural diseases of the historical relic which are caused by high water level, local harmful geological condition, asymmetrical foundations, etc. The protection project of this historical relic is the second case in China, however, the successful application of underpinning and integrated lifting technique by pit-jacked pile is the first case and the difficulty of this project is the highest in China.

Key words: Yuhuang Pavilion; integrated lifting; pit-jacked pile

*Biography: CHEN Ping, Professor, Mastor, Xi'an 710055, P. R. China, Tel: 0086-29-82202360, E-mail: cping86@163. com