

基于“BIM + GIS + IoT”信息管理平台的钢支撑轴力伺服系统在地铁基坑变形控制中的应用^{*}

盛灿军

(中铁二十四局集团有限公司, 200433, 上海//高级工程师)

摘要 钢支撑轴力伺服系统是控制软土地区深基坑围护结构变形的高效手段,其实施效果关键取决于对轴力的实时按需调整。分析了传统的钢支撑轴力伺服系统管控模式存在的缺点,提出了基于“BIM(建筑信息模型)+GIS(地理信息系统)+IoT(物联网)”信息管理平台的协同管理新模式。以上海市域铁路机场联络线1[#]风井基坑为工程背景,阐述了该系统的操作流程及应用效果,证明了其具有信息传递及时有效、调整措施针对性强、统筹管理方便快捷的优势。

关键词 地铁;基坑变形控制;钢支撑轴力伺服系统;信息管理平台;建筑信息模型;地理信息系统;物联网

中图分类号 U231.3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.06.044

Application of Steel Support Axial Force Servo System Based on 'BIM + GIS + IOT' Information Management Platform in Metro Foundation Pit Deformation Control

SHENG Canjun

Abstract Steel support axial force servo system is an efficient means to control the deformation of deep foundation pit enclosure structure in soft soil area. The implementation effect depends on whether the support axial force is timely adjusted on demand. The shortcomings of the conventional control mode of steel support axial force servo system, and a new synergistic management mode based on 'BIM + GIS + IoT' are analyzed. Taking the No. 1 airshaft foundation pit of Shanghai Suburban Railway Airport Linkage Line as engineering background, the operation process and application effect of the system are expounded. It is proved that the new management mode has the advantages of timely and effective information transmission, targeted adjustment measures and convenient overall management.

Key words metro; foundation pit deformation control; steel

support axial force servo system; information management platform; BIM (building information model); GIS (geographic information system); IoT (Internet of Things)

Author's address China Railway 24th Bureau Group Co., Ltd., 200433, Shanghai, China

城市软土地区深基坑工程施工中周边环境的保护及围护结构的变形控制一直是每个项目的关注重点^[1]。2009年“上海会德丰国际广场”深基坑工程首次应用钢支撑轴力伺服系统,通过对钢支撑轴力的自动化监测、预警及调控,有效控制了紧邻地铁隧道的变形^[2]。自此针对有特定环境保护对象的深基坑工程,在其支护结构设计中往往在保护区段增设钢支撑轴力伺服系统,以达到控制围护结构变形、保护基坑周边环境的效果^[3]。

然而一般的钢支撑轴力伺服系统都只对其轴力及千斤顶行程进行监测管理,围护结构及周边建(构)筑物位移则依靠其他监测系统进行数据采集,通过跨平台的数据传递、汇总和分析,采用人工方式上报日报表来完成。该模式费时费力,且对钢支撑轴力调控的及时性和针对性还不强,致使部分项目基坑变形控制未达到预期效果。本文提出了一种基于“BIM(建筑信息模型)+GIS(地理信息系统)+IoT(物联网)”信息管理平台的协同管理模式,并对其工程应用进行了介绍,以期类似工程提供参考。

1 钢支撑轴力伺服系统管控模式分析

伺服钢支撑轴力施加可分为初始预加载及加载过程轴力调控两个阶段。钢支撑轴力伺服系统的管控主要指在轴力调控阶段依据各监测点的数据变化调整支撑轴力的过程。

^{*} 上海市科学技术委员会科研项目(19DZ1201005)

1.1 传统钢支撑轴力伺服系统的管控模式

传统的钢支撑轴力伺服系统主要以日报表为手段进行数据分析。其管理流程如图 1 所示。

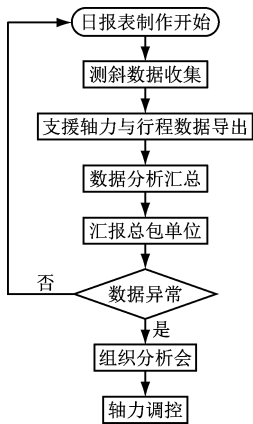


图 1 传统的钢支撑轴力伺服系统管控流程
Fig. 1 Conventional control process of steel support axial force servo system

由图 1 可见,各方监测数据收集汇总工作量大、耗时长,且数据分析只包含围护结构深层水平位移、支撑轴力及千斤顶行程 3 个方面,而忽略了环境

保护对象、地下水位等重要监测部分。这样,势必会在数据分析的及时性、原因研判的准确性、措施采取的时效性和针对性方面存在缺陷。

以某地铁车站出入口基坑为例,其开挖深度为 16.75 ~ 18.85 m,基坑北侧为饭店及锅炉房。基坑第 2 ~ 4 层钢支撑采用轴力伺服系统,运用传统管理模式。在基坑底板开挖期间锅炉房发生局部沉降且产生大量斜裂缝,主要原因是各方监测数据未能有效整合并反映基坑变形,导致加撑不及时。

该项目典型钢支撑轴力变化曲线如图 2 所示。有图 2 可见,2021 年 11 月 28 日前,钢支撑轴力随温度成周期性规律变化,11 月 28 日下午钢支撑轴力出现异常变化并逐渐上升,12 月 2 日该支撑轴力超过上限预警值(4 600 kN),且 11 月 30 日开始千斤顶行程被明显压缩且压缩量持续增加。尽管 11 月 30 日报表数据已显示钢支撑轴力变化异常,并提出加撑建议,但在此期间基坑测斜数据仍显示为负位移增长,加之缺乏周边环境监测数据对比分析,导致该项目 12 月 4 日才采取加撑措施,但此时距离基坑变形异常已超过 6 d,周围环境已产生沉降。

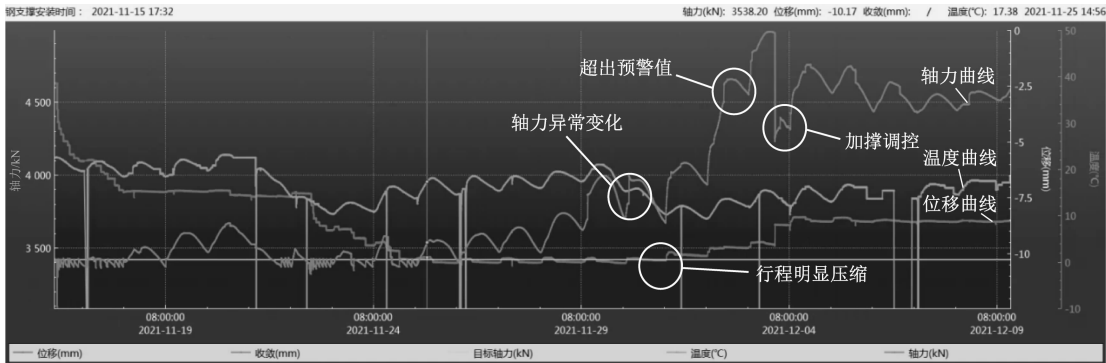


图 2 典型伺服钢支撑轴力随时间变化曲线截图
Fig. 2 Curve of typical servo steel support axial force changing over time curve

1.2 信息管理平台协同管理模式

信息管理平台是基于智能化建造理念,结合 BIM、GIS 及 IoT 所搭设的施工信息可视化显示管理平台^[4]。其作用主要是解决数据孤岛效应,通过“无人机 + GIS”技术采集施工区及周边地理空间数据而形成三维地理模型^[5],并与 BIM 相结合形成实时场景平台,再利用物联网将各方监测数据汇总标记于平台之上,以达到现场可视化监控、数据信息化传递及部门协同化管理的效果。

钢支撑轴力伺服系统搭配信息平台的协同管理模式以监测信息共享分析与智能预警为核心,并

引领多方协同管理。具体管控流程如图 3 所示。此种包含钢支撑轴力伺服系统的协同管理模式具有以下优点:

- 1) 大部分监测数据由采集设备自动上传至信息管理平台,人工监测数据在指定时间通过云端手动上传,并由信息管理平台统一分享管理,确保数据传递的及时性和有效性。
- 2) 所有数据由信息管理平台依据设定的预警阈值进行初步分析及预警,并实时推送至各单位进行协同校核。通过可视化界面可甄别现场非施工干扰因素,提升了调控效率及针对性,亦能通过各

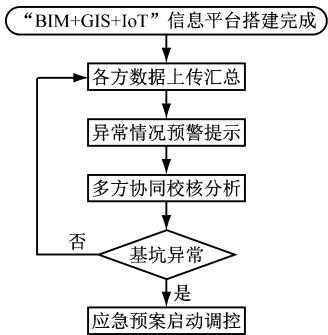


图3 信息管理平台协同管理流程图

Fig. 3 Flowchart of synergistic management of information management platform

类数据的对比分析检查数据的真实性和准确度。

3) 各方人员可在信息管理平台协同办公、召开远程会议,提高了信息化管理效能,解决了组织协调难的问题。

2 信息管理平台协同管理模式的应用

2.1 工程概况

上海市域铁路机场联络线(以下简为“机场联络线”)1[#]风井(兼盾构始发井)与沪昆高铁并行,1[#]风井基坑总长度为156.4 m。为减少基坑变形,整个基坑分5小段分坑跳挖,最深的5[#]基坑开挖深度为25.5 m,且距离高铁路基仅10.6 m,为国内邻近高铁路基最深基坑。为确保列车运行安全,要求高铁轨道结构变形不能超过2 mm,同时要求基坑围护结构的深层水平位移不超过1‰H(H为基坑开挖深度),比DG/TJ 08-109—2017《城市轨道交通设计规范》中规定的围护结构变形控制要求提高了30%,因此,1[#]风井5段基坑的钢支撑全部采用轴力伺服系统。为提高监测精准度和应急响应速度,应用了信息管理平台协同管理模式。地铁基坑周边环境如图4所示。

2.2 信息管理平台协同管理实施流程

信息管理平台协同管理实施流程主要分为场景可视化平台搭建、数据信息上传共享,预警分析调控管理3个步骤。其实施流程如图5所示。

2.2.1 场景可视化平台搭建

采用无人机扫描作业区及其周边环境,合成GIS三维地形图,并导入基坑BIM模型形成可视化电子沙盘,真实展现建设场景和工程建成后样貌。利用“物联网”监测技术在需重点保护的沪昆高铁,以及地铁基坑内、外布置监测点,将所有监测点在



图4 机场联络线1[#]风井基坑与周边环境平面图

Fig. 4 Location plan of 1[#] air shaft foundation pit and surrounding environment of Airport Linkage Line

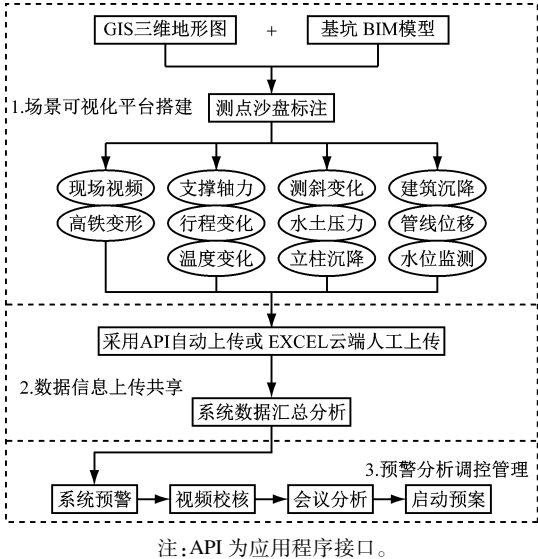


图5 信息管理平台协同管理实施流程图

Fig. 5 Implementation flowchart of synergistic management of information management platform

可视化沙盘中进行标注,并设置相应报警阈值。

2.2.2 信息数据上传共享

信息管理平台信息数据传输根据采集形式的不同(自动化采集、人工采集)分为API和EXCEL云端上传两类。钢支撑轴力伺服系统等自动监测设备通过API自动传输至信息管理平台,人工测量的基坑测斜数据则采用手机或电脑通过网络定时上传。数据上传后各单位可直接登录信息管理平台在可视化沙盘中进行查看。

2.2.3 预警分析调控管理

预警调控管理流程可分为系统预警、视频校核、会议分析及启动预案4步,如图6所示。

第1步:当监测数据达到报警值时,该系统通过微信、APP、短信等自动发送消息提醒相关人员;同时可视化沙盘中的标注会自动变色或由“笑脸”变

成“哭脸”,并提示相关人员各监测项目的风险等级(黄色表示中风险,红色表示高风险)。其中,钢支撑伺服位移报警阈值包括日变化量异常、累计值异常两类。若同一个数据连续 2 d 发出预警,该系统将自动提高预警级别及监测频率。

第 2~3 步:各方人员收到预警信息后,点击电子沙盘中的异常图标,查看报警地点对应的监控视频及监测数据,并远程排除明显非施工原因引起的误报干扰。若为施工导致的数据异常,各参建单位可召开视频会议,实时分析数据、诊断原因及商讨对策。

第 4 步:根据基坑变形原因,该系统迅速启动应急预案,保护基坑与周边环境。例如,可远程控制钢支撑伺服系统提高或降低基坑变形处的支撑轴力,或采取启动地下水回灌等措施;亦可根据基坑变形趋势,研判是否需要增设临时钢支撑。

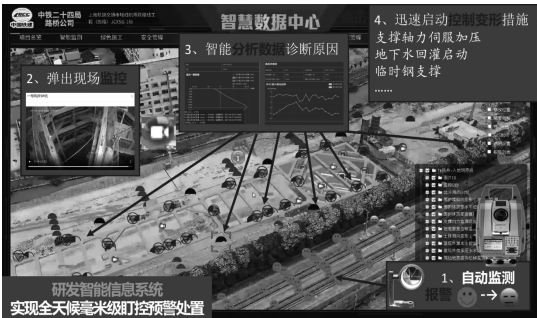


图 6 信息管理平台预警分析调控管理流程图
Fig. 6 Flowchart of early warning analysis and regulation management process

以 2021 年 5 月 28 日围护结构变形为例,该系统于当日 10:00 发出预警,显示 5[#] 基坑测斜点 P_{112} 为高风险预警,以及该点对应的伺服钢支撑与左、右两侧测斜点 P_{111} 与 P_{113} 为中风险预警。项目管理人员立即查看系统,发现 P_{112} 测斜点深层水平位移变化速率超过 1 mm/d(向基坑内收敛),其对应钢支撑 ZL42-2 轴力上升 429 kN; P_{111} 与 P_{113} 同样向基坑内的收敛位移达 0.5 mm 左右,基坑外土体位移及对铁路的监测数据均正常。从现场监控视频发现:位移变化侧基坑边堆有大量临时物料,监控人员立即通知现场工人转移物料,并将钢支撑 ZL42-2 及其周边伺服钢支撑轴力上调 200 kN 以平衡土压力。此次基坑变形调控从钢支撑轴力伺服系统预警至轴力上调共耗时 5 min,临时物料转移耗时 30 min,及时有效地控制了围护结构变形。

2.3 基坑变形控制效果

经信息管理平台统计,该系统 1 年内处理施工现场 14 类监测点的数据达 4 300 多万条。最深的 4[#]、5[#] 基坑从开挖至结构回筑完成,靠近高铁侧的基坑测斜结果为:4[#] 基坑围护结构累计最大水平位移为 21.59 mm,与基坑深度的比值为 0.94‰;5[#] 基坑围护结构累计最大水平位移为 22.05 mm,与基坑深度的比值为 0.86‰,均满足 1‰ H 的基坑变形设计控制值要求。同时,监测到沪昆高铁轨枕板累计位移均未超过 2 mm,且施工期间列车运行正常,达到了预期效果。4[#]、5[#] 基坑测斜数据如表 1 所示。

表 1 1[#] 风井 4[#]、5[#] 基坑测斜数据统计
Tab. 1 Statistics of inclinometer data for 4[#] and 5[#] foundation pit in 1[#] air shaft

基坑编号	测斜孔编号	基坑深度/m	累计水平位移最大值/mm	累计水平位移最大值与 H 的比值/‰
4 [#]	P_{105}	23.0	19.58	0.85
4 [#]	P_{106}	23.0	21.59	0.94
4 [#]	P_{107}	23.0	16.87	0.73
5 [#]	P_{111}	25.5	18.31	0.72
5 [#]	P_{112}	25.5	22.05	0.86
5 [#]	P_{113}	25.5	17.13	0.67

3 结论

- 1) 信息管理平台可实现对现场钢支撑轴力伺服系统的实时数字化管控。
- 2) 信息管理平台协同管理模式具有数据传递及时有效、分析研判全面准确、统筹管理方便快捷、调控措施针对性强的优点。
- 3) 采用钢轴力伺服系统搭配信息管理平台协同管控复杂条件深基坑工程,围护结构水平位移满足了极其严格的基坑变形和环境保护要求,效果明显。

参考文献

[1] 娄寅,薛双. 基坑施工过程中的钢支撑轴力伺服系统的应用与管理[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2020(10): 322.
LOU Yin, XUE Shuang. Application and management of steel support axial force servo system in foundation pit construction[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development (Application Technology Edition), 2020(10): 322.
[2] 贾坚,谢小林,罗发扬,等. 控制深基坑变形的支撑轴力伺服系统[J]. 上海交通大学学报, 2009(10): 1589.

(下转第 229 页)