

深大基坑全自动化监测与快速施工技术研究

屈圆奇

中交一公局厦门工程有限公司，福建厦门，361021；

摘要：随着城市化进程的推进，地下空间开发日益频繁，深大基坑工程数量不断增加。基坑施工易受外界荷载和变形影响，破坏后果严重。鉴于此，本文以晋江市东部快速通道一期工程第 2 标段为依托，开展全自动化基坑监测协同快速施工关键技术研究。先对国内外基坑监测与施工技术进行综述，再重点阐述晋江市东部快速通道工程基坑特点及换撑施工计算内容与规范，最后详细分析 K8 + 380 基坑验算过程，为类似工程提供技术参考。

关键词：深大基坑；全自动化监测；快速施工；换撑施工；基坑验算

DOI：10.69979/3029-2727.25.08.010

引言

随着我国城市化的不断推进，地下交通地铁、隧道飞速发展，深大基坑日益增多。基坑对外界荷载和变形敏感，破坏机制复杂，后果严重，易造成周边建筑、管线变形或损坏。掌握基坑围护结构、周边环境及建筑物风险状态，确保施工控制指标在可控范围，对保证基坑施工安全至关重要。

目前国内基坑多存在施工工期短、进度要求高的现状。如晋江市东部快速通道一期工程第 2 标段项目，通道工程被高速公路连续梁桥跨越，有城市干道相交，施工组织复杂，进度受关键工况影响。基坑开挖深，最深处超 20m，地下结构深度和层数增加，安全风险高。而传统设计常忽视施工因素，导致施工工序复杂，优化换撑施工工序后基坑安全性变化难测。现有计算理论无法全面准确反映工程各种变化，需综合系统性自动化感知监测，及时反馈支护结构和土体信息，以保障基坑施工安全。

福建省内尚未有全自动化监测系统在深大基坑安全控制中的应用先例，本项目率先开展此项研究，利用其优点，对监测大数据进行多源数据融合、表征和处理，构建基于空间和时间特征的处理方法，确保基坑和支护体系安全。同时，建立快速诊断机制和预警体系，提高监测数据对施工风险的预测能力，减少监测风险，提升监测精度，保障基坑安全，降低工程造价，缩短工期。

本文以晋江市东部快速通道一期工程第 2 标段的 K8 + 380 基坑为研究对象，通过详细的计算和分析，探讨全自动化基坑监测协同快速施工技术在实际工程中的应用效果。

1 国内外基坑监测与施工技术综述

目前基坑工程监测主要分为人工监测和有线自动监测。人工监测耗费大、精度低、数据不连续，对突发情况反应、处理及预警能力差。有线网络监测系统虽改进了数据采集方式，降低人工成本，但因需铺设大量长距离线路保障电源与信号传递，基坑周边施工环境复杂，导线易被破坏；且有线传感装置无法大面积、大密度安装，漏报、误报现象严重。

自动化监测系统结合互联网技术，可实现基坑实时、准确、全面、智能检测及分析判断，工作人员能便捷直观查看相关信息并及时反应。该系统通过多种方式实现 24h 监测，如水平位移监测、静力水准自动检测技术等。电子信息技术使自动检测更智能、人性化，配备手机 APP 便于工作人员实时查看检测情况，及时反馈问题。自动检测系统还能对基坑安全情况预警，基于 SOA 架构设计的基坑在线监测系统，具备在线数据查询、分析及报警设置功能，点击观测点可获取相关数据，工作人员可根据工程情况设置阈值，系统达值自动报警，保障工程顺利安全进行。

基坑作为建筑、公路地下基础构成部分，施工首要环节，受地质条件影响大，易出现稳定性不足问题。基坑施工需实时做好变形监测，有效防止严重破坏。变形监测包含桩顶水平位移、竖向位移、地下水位、道路与坑边地面沉降、建（构）筑物沉降、支撑轴力、深层水平位移、立柱桩沉降、钢筋应力、裂缝监测等，其中水平位移和竖向位移监测是重点。变形监测周期内，要充分考虑单位时间变形量、观测精度、变形特点等因素。首次观测需连续两次以上重复观测，取平均值作初始数

2.5 工况信息

不同工况反映了基坑开挖过程中各个阶段的施工情况。从初始开挖到逐步加设支撑，再到最终成形，每个工况都需要进行详细的稳定性分析和验算，以确保施工过程的安全和稳定。工况的划分有助于施工人员更好地掌握施工进度和要求，同时也为监测和调整施工方案提供了依据。

表 2 工况信息

工况号	工况类型	深度(m)	支锚道号
1	开挖	2.400	---
2	加撑	---	1.内撑
3	开挖	7.900	---
4	加撑	---	2.内撑
5	开挖	12.400	---

3 稳定性验算

3.1 整体稳定验算

本次整体稳定验算采用瑞典条分法，该方法的核心思想是将支护结构及其周围的土体视为一个整体，通过分析其在各种荷载作用下的稳定性，来确定基坑的整体稳定性。

具体计算时，将支护结构和土体划分为若干个垂直条块，每个条块视为刚体。通过计算各条块的力矩平衡，求出支护结构的整体稳定安全系数。安全系数定义为抵抗破坏的力矩与引起破坏的力矩的比值，用以衡量支护结构的整体稳定性。

在 K8 + 380 基坑的验算中，如图 2 所示，采用瑞典条分法得到的滑裂面数据如下：圆弧半径 $R = 19.618\text{m}$ ，圆心坐标 $X = -3.432\text{m}$ ， $Y = 8.523\text{m}$ 。经过详细计算，得出整体稳定安全系数 $K_s = 2.157$ ，大于规范要求的 1.35，表明该基坑支护结构在整体稳定性方面具有足够的安全储备，能够有效抵抗可能的滑动破坏，满足工程安全要求。

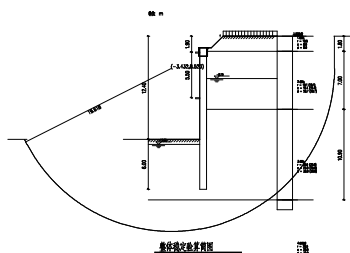


图 2 瑞典条分法计算整体稳定

整体稳定验算旨在评估基坑支护结构在各种荷载作用下的整体稳定性。通过瑞典条分法，将支护结构和土体划分为若干条块，计算各条块之间的力矩平衡，从而得到安全系数。较高的安全系数表明支护结构具有足够的稳定储备，能够有效抵抗可能的滑动和倾覆破坏。

3.2 抗倾覆稳定验算

抗倾覆稳定性验算旨在评估基坑支护结构在侧向土压力作用下绕支点的倾覆稳定性。本次验算包括对支护底取矩和抗倾覆踢脚破坏稳定性验算两部分。

通过计算支护结构底部的抗倾覆力矩与倾覆力矩的比值来确定安全系数。抗倾覆力矩由支护结构的自重、被动土压力等抗倾覆力产生，而倾覆力矩则主要由主动土压力引起。在 K8 + 380 基坑的验算中，对不同工况下的抗倾覆稳定性进行了详细计算。通过分析各工况下的受力情况，得出以下结果：

表 4 抗倾覆稳定验算结果

工况	Kov	是否满足规范要求
1	8.898	是 ($8.898 \geq 1.250$)
2	10.192	是 ($10.192 \geq 1.250$)
3	4.587	是 ($4.587 \geq 1.250$)
4	5.277	是 ($5.277 \geq 1.250$)
5	2.762	是 ($2.762 \geq 1.250$)

安全系数最小的工况号为工况 5，最小安全 $Kov = 2.762$ ，大于规范要求的 1.250，这表明在所有工况下，基坑支护结构具有足够的抗倾覆能力，能够有效抵抗侧向土压力引起的倾覆破坏，满足工程安全要求。

踢脚破坏是指基坑底部土体在支护结构踢脚处因抗剪强度不足而发生的破坏。验算时，通过计算踢脚处的抗剪强度与实际剪应力的比值来确定安全系数。对于 K8 + 380 基坑，抗倾覆（踢脚破坏）稳定性验算结果如下：

表 3 整体稳定验算结果

工况	Kt	是否满足规范要求
1	-	不进行验算
2	10.637	是 ($10.637 \geq 1.250$)
3	6.156	是 ($6.156 \geq 1.250$)

工况	Kt	是否满足规范要求
4	6.900	是 ($6.900 \geq 1.250$)
5	3.225	是 ($3.225 \geq 1.250$)

安全系数最小的工况号为工况 5, 最小安全 $K_t = 3.225 \geq 1.250$, 满足规范抗倾覆要求。

3.3 抗隆起验算

抗隆起验算旨在评估基坑底部土体在支护结构作用下的隆起情况, 确保土体不会因支护结构的变形而发生隆起破坏, 从而保障基坑底部的稳定性和安全性。隆起现象通常发生在基坑底部土体受到向上压力时, 若土体抗隆起能力不足, 可能导致基坑底部土体隆起, 影响支护结构的稳定性和周边环境的安全。

本次抗隆起验算采用两种方法进行评估, 具体计算如下:

(1) 逐层验算抗隆起稳定性:

从支护底部开始, 逐层计算土体的抗隆起安全系数。抗隆起安全系数定义为土体的抗隆起能力与实际隆起力的比值。计算时, 综合考虑了土体的自重、支护结构的反力以及土体的抗剪强度等因素。计算结果表明, 支护底部抗隆起安全系数 $K_s=8.008 \geq 1.800$, 满足规范要求。

(2) 圆弧条分法计算坑底抗隆起稳定性:

采用圆弧条分法, 如图 3 所示, 将坑底土体划分为多个条块, 计算各条块的力矩平衡, 从而得到坑底抗隆起安全系数。计算结果表明, 深度 19.700 处抗隆起安全系数 $K_s=11.059 \geq 1.800$, 满足规范要求。

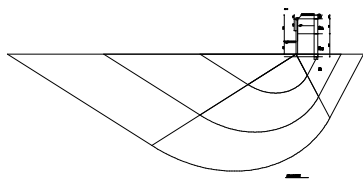


图 3 圆弧条分法计算坑底抗隆起稳定性

4 结论

本文通过对国内外基坑监测与施工技术以及晋江市东部快速通道一期工程第 2 标段的全自动化基坑监测协同快速施工关键技术研究, 重点对 K8 + 380 基坑进行了详细验算。结果表明, 该基坑在不同工况下的整体稳定性、抗倾覆稳定性、抗隆起稳定性等方面均满足规范要求, 安全系数较高, 支护结构设计合理可靠, 可为类似深大基坑工程的快速施工提供技术借鉴。同时, 本工程所应用的全自动化监测系统, 能够有效提升监测效率和精度, 及时反馈基坑状态, 保障施工安全与质量, 具有显著的工程应用价值。

参考文献

- [1] 龙林, 李之达. 长沙市某深基坑工程的监测及变形规律研究[J]. 建筑结构, 2020, 50(02): 133-137.
- [2] Lin J I, Zhao-Xiang F. Safety assessment of suspension bridge foundation based on monitoring information[J]. Journal of PLA University of Science & Technology, 2007.
- [3] 龙照, 张恩祥, 张森安, 何腊平. 某深基坑支护结构加固设计监测实例分析[J]. 工程勘察, 2019, 47(05): 33-37.
- [4] 李芒原, 张传浩, 杨二东, 曹明明. 基于 BIM+3D 激光扫描技术的复杂深基坑监测技术研究及应用[J]. 建筑结构, 2019, 49(S1): 751-755.
- [5] 韩达光, 秦国成, 周银, 王东方, 杨宇鹏. 基于 BIM 和三维激光扫描在基坑监测中的应用[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2019, 38(06): 72-76+102.