

多类算法融合的基坑沉降组合预测分析

Ensemble Prediction Analysis of Excavation Settlement Using Integrated Multi-algorithm Approach

李正印¹, 何巧灵², 魏汝明², 刘振东³

(1. 山东省建筑设计研究院有限公司, 济南 250000; 2. 济南市勘察测绘研究院, 济南 250000;
3. 济南市市政工程设计研究院(集团)有限责任公司, 济南 250000)

摘要: 为实现基坑沉降的高精度预测, 基于基坑现场沉降监测成果, 先通过极点对称模态分解算法开展沉降数据的分解处理, 得到若干模态分量和趋势分量, 再利用灰狼算法、门控循环单元神经网络构建组合预测模型, 并利用此模型开展各模态分量、趋势分量的变形预测, 以得到基坑沉降的组合预测值。结果表明: 在基坑施工过程中, 常见沉降监测项目包括地表沉降、坑顶沉降和建筑物沉降; 经监测数据分析, 坑顶沉降的剩余变形空间相对最大, 其次是建筑物沉降和地表沉降; 总体来说, 3 类沉降变形项目的剩余变形空间还是较为乐观, 只是局部少量监测点的剩余变形空间较少; 在数据处理过程中, 极点对称模态分解算法具有较强的数据处理能力, 且其能力明显优于小波去噪和模态分解法的数据处理效果, 且经 GWO-GRU 预测, 得到此模型在 3 类沉降项目中, 预测结果的相对误差均值是在 2% 左右, 具有较高的预测精度, 且其预测结果得出 3 类沉降变形在后续的发展趋势较为一致, 均呈小速率增加趋势, 收敛特征均较为明显, 侧面验证了基坑支护措施的运营效果良好。通过研究, 可为类似工程提供技术参考, 具有一定的现实意义。

关键词: 基坑; 沉降变形; 数据分解; 灰狼算法; 组合预测

中图分类号: U459 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8249 (2025) 03-0128-06

DOI: 10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2025.03.023

LI Zhengyin¹, HE Qiaoling², WEI Ruming², LIU Zhendong³

(1. Shandong Provincial Architectural Design Institute Co., Ltd., Ji'nan 250000, China;

2. Ji'nan Survey and Mapping Research Institute, Ji'nan 250000, China;

3. Ji'nan Municipal Engineering Design and Research Institute (Group) Co., Ltd, Ji'nan 250000, China)

Abstract: To achieve high-precision prediction of foundation pit settlement, based on the on-site settlement monitoring results of the foundation pit, the polar symmetric mode decomposition algorithm is first used to decompose the settlement data, obtaining several modal components and trend components. Then, the grey wolf algorithm and gated recurrent unit neural network are used to construct a combined prediction model, and this model is used to predict the deformation of each modal component and trend component, in order to obtain the combined prediction value of foundation pit settlement. The analysis results indicate that common settlement monitoring items during foundation pit construction include surface settlement, pit top

作者简介: 李正印 (1989—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 岩土工程勘察、基坑边坡设计等相关技术服务。

通信作者: 何巧灵 (1987—), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 岩土工程相关生产及科研工作。

收稿日期: 2024-12-19

settlement, and building settlement; According to monitoring data analysis, the remaining deformation space of the pit top settlement is relatively the largest, followed by building settlement and surface settlement; Overall, the remaining deformation space for the three types of settlement and deformation projects is still relatively optimistic, with only a small number of monitoring points having limited remaining deformation space in certain areas; In the process of data processing, the pole symmetric mode decomposition algorithm has strong data processing ability, and its ability is significantly better than the data processing effect of wavelet denoising and mode decomposition methods. According to GWO-GRU prediction, the relative error mean of the prediction results of this model in three types of settlement projects is around 2%, which has high prediction accuracy. The prediction results show that the development trend of the three types of settlement deformation is relatively consistent in the future, showing a small rate increase trend and obvious convergence characteristics. This indirectly verifies the good operational effect of foundation pit support measures. Through research, it can provide technical references for similar projects and has certain practical significance.

Key words: excavation pit; settlement deformation; data decomposition; grey wolf algorithm; combination prediction

0 引言

近年,随着城市化进程的加快,基坑工程数量越来越多,基坑开挖会引发基坑周边土体变形,基坑沉降变形属基坑施工过程中的必测项目,姜伟玲等^[1]、仇安兵^[2]认为开展基坑沉降变形的相关研究具有较强的现实意义。

何小辉等^[3]开展了基坑降水引发既有隧道的变形特征分析,掌握了相应的沉降变形规律,明确了基坑沉降量是其安全施工的重要参考指标;王忠凯等^[4]探究了基坑降水引发地面沉降的变形特征,并论证了基坑施工过程中的沉降管控是十分必要的;贾磊等^[5-6]利用优化支持向量机实现了基坑沉降预测,取得了良好的预测效果,并同步引入其他模型进行预测效果对比,验证了优化支持向量机在基坑变形预测中具有相对更好的优越性、适用性;马琳^[7]在基坑数据分解处理基础上构建了变形组合预测模型;秦世伟等^[8]通过门控循环单元神经网络(Gate Recurrent Unit, GRU)实现了基坑非线性变形预测,所得预测值与期望值较为接近,预测结果的相对误差值也较小,具良好的预测效果;李书剑等^[9]、李其峰等^[10]利用改进麻雀搜索算法和贝叶斯优化算法分别开展了 GRU 的参数优化处理,构成出的预测模型也具较优的非线性预测效果;孙铁军等^[11]分析了灰狼算法(Grey Wolf Optimizer, GWO)对基坑变形预测模型参数的寻优效果,得出其寻优能力较强;龙江等^[12]利用 GWO 对核极限学习机的正则化系数和核参数进行寻优,有效提升了预测精

度;郭亚鹏等^[13]通过 GWO 优化了极限学习机的输入权重参数和隐层阈值参数,并通过训练验证了此优化处理能有效保障权重参数、隐层阈值参数的最优性和客观性,对确保高精度变形预测是有效的;袁羽等^[14]将 GWO 应用于支持向量回归模型的收敛因子、迭代权重等参数的寻优过程中,并将寻优处理后的预测模型进行消融试验验证,得出 GWO 对支持向量机的参数寻优处理确实能有效提高预测精度。

上述研究充分说明开展基坑沉降预测的重要性,也说明 GRU 在基坑变形预测中的适用性及 GWO 对变形预测模型的参数寻优能力,但上述研究的预测方法相对较为单一或优化组合流程相对较为简单,缺少对多类算法融合的联合研究,因此,提出将多类算法融合来构建基坑沉降预测模型。旨在通过变形预测掌握基坑沉降的发展规律,以期为基坑安全施工提供一定的理论支持。

1 工程概况

基坑平面形态近似呈矩形(如图 1 所示),近似沿东西展布,长度 185.6 m,宽度 22.4 m,最大开挖深度 12.5 m。

根据勘察成果,基坑区具冲积平面地貌,高程范围 453.1~460.8 m,高差约 7.7 m,呈开阔平缓地形。

在地层岩性方面,基坑区地层主要为填土层、卵石层和泥岩层,两者特征如下:①填土层:杂色,岩性主要为素填土,以黏土、碎石为主,稍湿,结构松散,回填时间 2~3 年,未完成固结,分布厚度

研究与应用

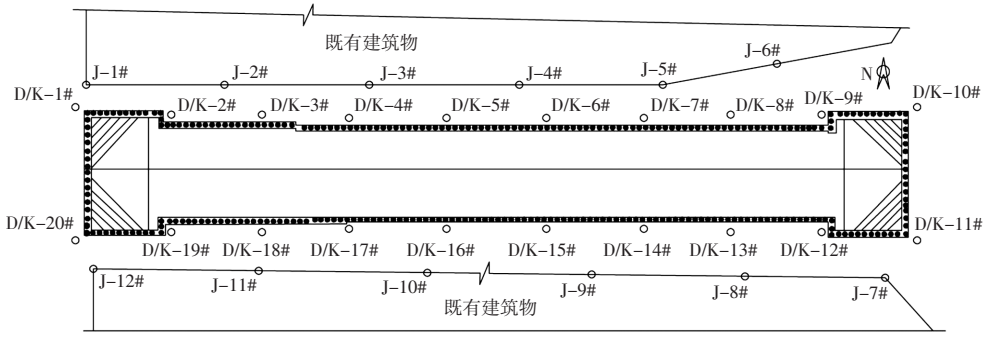


图 1 基坑平面形态示意图
Fig. 1 Schematic diagram of the plane shape of the foundation pit

1. 1~2.6 m, 平均厚度 2.2 m。②卵石层: 杂色, 湿~饱和, 松散~密实, 卵石含量 55%~85%, 磨圆度较好, 孔隙由砂粒、黏粒充填, 且卵石层局部夹有中、细砂层, 厚度 15~40 cm, 无明显分布规律, 分布厚度 22.8~26.4 m, 平均厚度 24.3 m。③泥岩层: 紫红色, 强~中风化, 中厚层状构造, 泥质结构, 岩芯多呈柱状, 完整性较好, 敲击声沉闷, 最大揭露厚度 11.2 m, 产状为 105°∠24°。

在水文地质条件方面, 基坑区及其附近未见明显地表水, 仅在降雨时以地表洼地形式积水。地下水主要为上层滞水和孔隙水, 其中, 上层滞水主要以透镜体形式存在于填土层中, 水量、规模均不稳定; 孔隙水主要分布于卵石层中, 水位埋深 3.8~4.3 m。

由于基坑开挖深度较深、开挖面积也较大, 为确保施工稳定, 也进行了支护设计, 其中, 围护结构采用灌注桩, 直径 1.2 m, 间距 1.8 m, 桩长 21 m, 且于桩顶设置冠梁; 内支撑采用 3 道, 均是钢筋混凝土, 尺寸为 800 mm×1000 mm。

基坑支护结构示意图如图 2 所示。

2 基坑沉降组合预测结果

2.1 基坑沉降变形特征

根据 GB 50497—2019《建筑基坑工程监测技术标准》规定, 基坑施工过程中的沉降监测项目主要包括地表沉降(变形控制值 40 mm)、坑顶沉降(变形控制值 40 mm)和建筑物沉降(变形控制值 30 mm), 3 类沉降监测点布置如图 1 所示。按照一次一天的监测频率, 统计 49 期变形数据, 即 3 类沉降监测项目的累计变形值见表 1。 D_t 值范围为

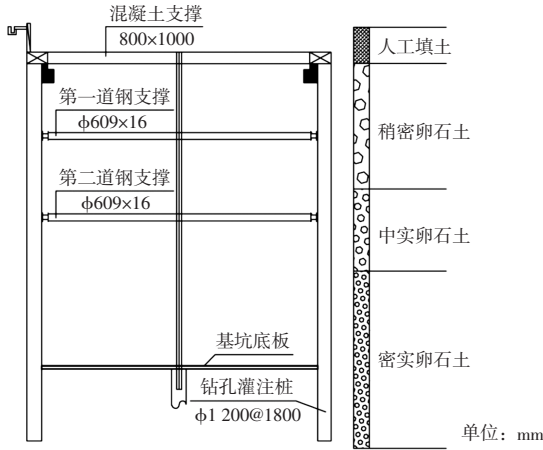


图 2 基坑支护结构示意图
Fig. 2 Schematic diagram of foundation pit support structure

16.85~30.70 mm, 均值为 24.41 mm; K_t 值范围为 9.93~17.86 mm, 均值为 15.05 mm; J_t 值范围为 11.17~20.32 mm, 均值为 16.43 mm。通过对比, 3 类沉降项目的沉降值具有波动性差异和变形量差异, 其中, 地表沉降的沉降值最大, 明显大于其余两类项目的沉降量。

同时, 为进一步掌握 3 类沉降监测项目的变形规律, 结合其变形控制值开展剩余变形参数 S_y 计算, 计算公式为:

$$S_y = \left| S_x - S_t \right| / S_x \quad (1)$$

式中: S_x 为对应监测项目的变形控制值; S_t 为对应监测项目的累计变形值。

S_y 参数可用于评价沉降变形的剩余变形空间, 其值越大, 说明剩余变形空间越大, 对应的安全性也应越高。

经计算, 地表沉降的 S_y 变化范围为 23.25%~57.88%, 均值为 38.98%; 坑顶沉降的 S_y 变化范围

为 55.35%~75.18%，均值为 62.37%；建筑物沉降的 S_y 变化范围为 32.26%~62.78%，均值为 45.23%。通过对比，坑顶沉降的剩余变形空间相对

最大，其次是建筑物沉降和地表沉降，且总体来说，3 类沉降变形项目的剩余变形空间还是较为乐观，只是局部少量监测点的剩余变形空间较少。

表 1 3 类沉降监测项目的累计变形值
Table 1 Accumulated deformation values of three types of settlement monitoring projects

测点序号	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#	11#	12#	13#	14#	15#	16#	17#	18#	19#	20#
地表沉降 D_i /mm	16.85	18.76	26.84	22.78	30.70	23.17	27.84	20.20	28.96	26.41	24.95	22.04	29.51	27.83	20.31	22.66	25.80	26.04	22.95	23.51
坑顶沉降 K_i /mm	15.62	14.20	17.16	15.60	10.98	16.22	17.86	14.77	15.23	13.74	14.89	15.88	14.81	9.93	15.50	16.49	13.68	16.94	16.56	14.99
建筑物沉降 J_i /mm	16.67	15.97	20.32	15.45	19.31	17.58	11.17	16.62	17.86	12.35	16.75	17.13								

3 类沉降项目有少量沉降值较大的监测点具有较少的剩余变形量，安全性相对较为欠缺。因此，提出在每类监测项目中选取变形最大的 4 个监测点进行后续预测分析，即地表沉降选取 D-5#、D-7#、D-9#和 D-13#，坑顶沉降选取 K-3#、K-7#、K-18#和 K-19#，建筑物沉降选取 J-3#、J-5#、J-6#和 J-9#。

2.2 沉降数据处理结果分析

在沉降数据处理过程中，为佐证 ESMD 的数据处理能力，进一步引入小波去噪和模态分解法进行同步数据处理，并结合其处理结果得到 ESMD、小波去噪和模态分解法的 r 值依次为 1.069、1.587 和 1.699， R_R 值依次为 0.728、0.681 和 0.603，对比得出 ESMD 的数据处理效果相对最好，即通过开展基坑沉降的数据处理是合理、有效的。

2.3 沉降组合预测结果分析

在预测过程中，按照 44 期数据训练、5 期数据验证和 3 期数据预测的比例关系进行统计，以 D-5# 为例详述对比不同处理阶段的预测效果，结果见表 2。GRU、ESMD-GRU、ESMD-GWO-GRU 的 R_{et} 均值依次为 2.72%、2.27% 和 2.08%，具逐步减小趋势，且以 GRU 的 R_{et} 均值为基础，其后两类模型相较 R_{et} 均值降低幅度分别为 16.54% 和 23.53%，初步说明预测模型的构建过程是合理的。

为进一步验证预测思路的合理性，对地表沉降 D-5#、D-7#、D-9#和 D-13#在模型 1~3 的 R_{et} 均值分别进行统计，其结果如图 3 所示。 R_{et} 均值均呈不同程度的减小趋势，尤其是模型 1 至模型 2 阶段的减小幅度最为明显，说明沉降数据处理对预测精度的提升幅度一定程度上优于预测模型参数优化的提升幅度。充分验证了第 1 节组合预测思路是合理的，能有效实现基坑沉降预测，因此，再进一步利用其

开展 3 类沉降项目的预测结果详述。

表 2 不同处理阶段的 D-5#预测结果
Table 2 D-5# prediction results at different processing stages

监测周 期/d	D_i 值 /mm	模型 1: GRU		模型 2: ESMD-GRU		模型 3: ESMD-GWO-GRU	
		Y_t 值	R_{et} 值	Y_t 值	R_{et} 值	Y_t 值	R_{et} 值
		/mm	/%	/mm	/%	/mm	/%
45	29.57	28.77	2.72	28.90	2.28	28.97	2.06
46	29.83	29.01	2.76	29.17	2.22	29.21	2.07
47	30.05	29.20	2.83	29.34	2.35	29.42	2.10
48	30.30	29.51	2.62	29.60	2.32	29.66	2.12
49	30.70	29.88	2.67	30.03	2.19	30.07	2.04

注：表中 Y_t 为预测值， R_{et} 为相对误差值，下同。

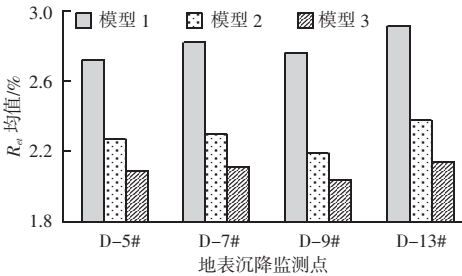


图 3 地表沉降的预测结果对比
Fig. 3 Comparison of ground surface settlement forecast results

统计得到地表沉降 D-5#、D-7#、D-9# 和 D-13#的预测结果见表 3。D-5#预测结果的 R_{et} 间于 2.04%~2.12%，均值为 2.08%；D-7#预测结果的 R_{et} 间于 2.00%~2.23%，均值为 2.11%；D-9#预测结果的 R_{et} 间于 1.90%~2.13%，均值为 2.03% 和 D-13#预测结果的 R_{et} 间于 1.98%~2.31%，均值为 2.13%。

据上，得出 4 个地表沉降监测点的预测效果相当，均具有较高的预测精度，且 D-5#、D-7#、D-9#和 D-13#在 50~51 期的增加速率均值依次为 0.26、0.22、0.27 和 0.24 mm/d，4 个监测点的地表沉降仍会进一步增加，但增加速率偏小，其累计变形值趋于收敛。

表3 D-5#、D-7#、D-9#和D-13#的预测结果
Table 3 Prediction results of D-5#、D-7#、D-9#和D-13#

监测周 期/d	D-5#			D-7#			D-9#			D-13#		
	D_t 值/mm	Y_t 值/mm	R_{et} 值/%	D_t 值/mm	Y_t 值/mm	R_{et} 值/%	D_t 值/mm	Y_t 值/mm	R_{et} 值/%	D_t 值/mm	Y_t 值/mm	R_{et} 值/%
45	29.57	28.97	2.06	26.78	26.19	2.20	27.33	26.75	2.10	27.94	27.37	2.04
46	29.83	29.21	2.07	27.06	26.49	2.08	27.62	27.07	1.97	28.42	27.80	2.18
47	30.05	29.42	2.10	27.37	26.82	2.00	28.08	27.50	2.05	28.73	28.13	2.11
48	30.30	29.66	2.12	27.57	26.95	2.23	28.63	28.02	2.13	29.11	28.54	1.98
49	30.70	30.07	2.04	27.84	27.27	2.04	28.96	28.41	1.90	29.51	28.83	2.31
50		30.40			27.56			28.72			29.11	
51		30.65			27.80			29.02			29.34	
52		30.85			27.93			29.23			29.56	

类比地表沉降的分析过程，再开展K-3#、K-7#、K-18#和K-19#的预测结果见表4。K-3#预测结果的 R_{et} 间于1.80%~2.33%，均值为2.00%；K-7#预测结果的 R_{et} 间于1.91%~2.16%，均值为2.05%；K-18#预测结果的 R_{et} 间于1.94%~2.24%，均值为2.09%；K-19#预测结果的 R_{et} 间于2.01%~2.16%，均值为2.10%。对比来说，4个坑顶沉降监测点的预测精度与地表沉降的预测精度相当，进一步验证ESMD-GWO-GRU具有较强的预测能力，且根据其50~52期的预测结果，4个坑顶沉降监测点的后续变形仍具小速率增加特征，也具较为明显收敛趋势。

表4 K-3#、K-7#、K-18#和K-19#的预测结果
Table 4 Prediction results of K-3#、K-7#、K-18#和K-19#

监测周 期/d	K-3#			K-7#			K-18#			K-19#		
	K_t 值/mm	Y_t 值/mm	R_{et} 值/%	K_t 值/mm	Y_t 值/mm	R_{et} 值/%	K_t 值/mm	Y_t 值/mm	R_{et} 值/%	K_t 值/mm	Y_t 值/mm	R_{et} 值/%
45	16.44	16.12	1.96	17.15	16.79	2.11	16.03	15.69	2.12	15.32	15.00	2.09
46	16.64	16.33	1.86	17.23	16.86	2.16	16.43	16.11	1.97	15.69	15.36	2.10
47	16.77	16.42	2.08	17.56	17.22	1.95	16.62	16.25	2.24	15.94	15.60	2.13
48	16.96	16.56	2.33	17.76	17.38	2.13	16.78	16.41	2.20	16.20	15.85	2.16
49	17.16	16.85	1.80	17.86	17.52	1.91	16.94	16.61	1.94	16.56	16.23	2.01
50		17.06			17.76			16.79			16.52	
51		17.19			17.98			16.95			16.74	
52		17.27			18.11			17.09			16.85	

最后，同理得到J-3#、J-5#、J-6#和J-9#的预测结果见表5。J-3#预测结果的 R_{et} 间于1.97%~2.17%，均值为2.08%；J-5#预测结果的 R_{et} 间于1.94~2.21%，均值为2.07%；J-6#预测结果的 R_{et} 间于2.00%~2.22%，均值为2.10%和J-9#预测结果的 R_{et} 间于1.97%~2.11%，均值为2.04%。因此，4个建筑物沉降监测点的预测精度相当，与前述两类沉降项目的预测效果相近，充分验证了第1节预测思路在基坑沉降类变形预测中具有良好的适用性。同时，J-3#、J-5#、J-6#和J-9#在50~51期的增加速率均值范围为0.14~0.21 mm/d，也是小速率增加，收敛趋势也较为明显。

表5 J-3#、J-5#、J-6#和J-9#的预测结果
Table 5 Prediction results of J-3 #, J-5 #, J-6 #, and J-9 #

监测周 期/d	J-3#			J-5#			J-6#			J-9#		
	J_t 值/mm	Y_t 值/mm	R_{et} 值/%	J_t 值/mm	Y_t 值/mm	R_{et} 值/%	J_t 值/mm	Y_t 值/mm	R_{et} 值/%	J_t 值/mm	Y_t 值/mm	R_{et} 值/%
45	19.50	19.11	2.01	18.59	18.18	2.21	16.73	16.39	2.02	17.68	16.32	2.03
46	19.72	19.30	2.17	18.75	18.35	2.14	16.92	16.57	2.09	17.97	16.59	2.11
47	19.93	19.50	2.16	18.97	18.58	2.02	17.31	16.92	2.22	17.20	16.85	2.02
48	20.10	19.68	2.09	19.11	18.72	2.03	17.40	17.03	2.15	17.59	17.23	2.07
49	20.32	19.92	1.97	19.31	18.93	1.94	17.58	17.23	2.00	17.86	17.51	1.97
50		20.08			19.04			17.46			17.70	
51		20.31			19.26			17.56			17.84	
52		20.46			19.40			17.65			18.13	

综合上述 3 类沉降项目的预测结果,充分说明 ESMD-GWO-GRU 在基坑沉降预测中具有良好的适用性,且 3 类沉降变形在后续的发展趋势较为一致,均呈小速率增加趋势,收敛特征均较为明显,充分说明基坑支护结构发挥了变形控制作用,基坑施工较为安全。

3 结论

通过基坑沉降组合预测分析,得到的主要结论如下:

(1) 当基坑开挖范围内地层属透水层,且地下水位较高时,基坑施工过程中的降水会一定程度上引发沉降问题,因此,通过沉降变形预测能有效掌握其发展规律,可为现场安全施工提供理论支撑,具有较强的现实意义。

(2) 结合工程经验,基坑施工过程中的沉降监测项目主要包括地表沉降、坑顶沉降和建筑物沉降;根据现场监测成果,坑顶沉降的剩余变形空间相对最大,其次是建筑物沉降和地表沉降,且总体来说,3 类沉降变形项目的剩余变形空间还是较为乐观,只是局部少量监测点的剩余变形空间较少。

(3) ESMD 的数据处理能力较强,明显优于小波去噪和模态分解法的数据处理效果,适用于基坑沉降数据的分解处理。

(4) GWO-GRU 的预测能力较优,且其预测结果显示,3 类沉降变形在后续的发展趋势较为一致,均呈小速率增加趋势,收敛特征均较为明显,为基坑安全施工评价提供了理论支持。

(5) 经变形预测有效掌握了基坑沉降的发展规律,建议后续可在此基础上,进一步结合沉降变形控制值开展基坑沉降预警分级研究,以便更好的量化指导基坑施工。

参 考 文 献

- [1] 姜伟玲,李博,徐浩,等.考虑空间效应的大型异形基坑开挖变形分析[J].测绘通报,2024,(4):107-111,118.
- [2] 仇安兵.有限空间新建设施基坑开挖沉降特征及小变形控制[J].工程科学学报,2024,46(4):735-743.
- [3] 何小辉,夏雪勤,罗程,等.降水条件下基坑宽长比对邻近既有隧道变形的影响[J].公路交通科技,2024,41(4):157-166.
- [4] 王忠凯,徐光黎.基于有效控制抽水量和地面沉降的长江 I 级阶地深基坑深井降水参数取值优化[J].安全与环境工程,2024,31(2):100-109.
- [5] 贾磊,贾世济,高帅.基于 IAO-LSSVM 模型的基坑周围建筑物沉降预测:以深圳华强南站地铁基坑为例[J].科学技术与工程,2024,24(7):2885-2892.
- [6] 刘清龙,吕颖慧,秦磊,等.基于改进最小二乘支持向量机组合模型的深基坑沉降变形预测[J].济南大学学报(自然科学版),2024,38(1):8-14.
- [7] 马琳.基于 ICEEMD-ICA 准则进行数据处理的基坑变形组合预测研究[J].地质与勘探,2023,59(5):1074-1082.
- [8] 秦世伟,陆俊宇.基于 GCN-GRU 组合模型的基坑周边管线沉降预测[J].扬州大学学报(自然科学版),2023,26(4):73-78.
- [9] 李书剑,刘小生.基于 ISSA-GRU 的大坝变形预测研究[J].水电能源科学,2023,41(11):82-85.
- [10] 李其峰,杨杰,程琳,等.基于 BO-GRU 的混凝土坝变形预测模型[J].水资源与水工程学报,2021,32(4):180-184,193.
- [11] 孙铁军,李杰,张豹,等.基于 GWO-SVR 模型的基坑边坡变形预测及敏感性分析[J].公路,2022,67(4):390-395.
- [12] 龙江,左生龙,徐朗,等.基于影响因子筛选和 GWO-KELM 的大坝变形预测模型[J].中国农村水利水电,2024(8):194-199,207.
- [13] 郭亚鹏,于磊,田海川,等.基于 GWO-ELM 模型的深基坑开挖变形预测研究[J].山西建筑,2024,50(3):114-118.
- [14] 袁羽,丁勇,李登华.基于改进 GWO-SVR 算法的大坝变形预测模型研究[J].河南科学,2023,41(2):232-238.