

基于大数据分析的非入侵式电网负荷特性分析

赵晋宇¹, 付永军¹, 范红刚¹, 葛亮¹, 胡长松¹, 赵鸿飞²

(1. 内蒙古霍煤鸿骏铝电有限责任公司, 内蒙古 通辽 029200;

2. 国家电投集团科学技术研究院有限公司, 北京 102209)

摘要:为了解决现有负荷特性分析方法存在的负荷值预测误差较大的问题, 提出基于大数据分析的非入侵式电网负荷特性分析方法。通过选取代表负荷特性的指标, 分析负荷增长模型, 明确负荷增长规律, 对负荷特性指标数据进行残差修正并对电网的典型负荷特性利用大数据分析方法进行分析, 得到负荷特性曲线, 完成对负荷特性的分析。实验结果表明, 利用所提方法得到的负荷特性分析结果对未来负荷进行预测, 预测准确率较高。因此, 说明证明设计的分析方法具有可行性, 能够对电网负荷特性进行精准的分析。

关键词:大数据分析; 非侵入式; 电网负荷; 特性分析

中图分类号: TP18; TM74 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2025)05-0038-05

Analysis of Non-invasive Power Grid Load Characteristics Based on Big Data Analysis

ZHAO Jin-yu¹, FU Yong-jun¹, FAN Hong-gang¹, GE Liang¹, HU Chang-song¹, ZHAO Hong-fei²

(1. Inner Mongolia Huomeihongjun Aluminium & Electricity Co., Ltd., Tongliao 029200 China;

2. State Power Investment Corporation Research Institute, Beijing 102209 China)

Abstract: In order to solve the problem of large load forecasting error in existing load characteristic analysis methods, a non intrusive load characteristic analysis method based on big data analysis is proposed. By selecting the indicators representing the load characteristics, analyzing the load growth model, clarifying the load growth law, correcting the residual error of the load characteristics index data, and analyzing the typical load characteristics of the power grid using big data analysis methods, the load characteristic curve is obtained, and the analysis of the load characteristics is completed. The experimental results show that the load characteristic analysis results obtained by the proposed method can predict the future load with high accuracy. Therefore, it is proved that the design analysis method is feasible and can accurately analyze the load characteristics of the power grid.

Keywords: big data analysis; non intrusive; grid load; characteristic analysis

0 引言

负荷特性分析对于维护电力系统稳定运行至关重要。实时掌握电网负荷特性变化规律以及发展趋势, 是规划电力相关工作和设计负荷调度方案的基本条件, 也可对相关决策的提出提供参考。对于非侵入式电网, 其负荷变化特性具有暂态性, 且不同类型的负荷增长规律与特点也不相同^[1]。

当前已存在各种研究方法可实现对负荷特性的分析。如利用聚类算法剔除负荷离散点, 再利用极大似然方法估计最符合计算需求的聚类数目, 从而完成对电网负荷特性的分析^[2]; 利用挖掘负荷特性指标设置最小支持

度和置信度, 进而实现负荷特性分析。但以上两种方法不适用于负荷特性较为复杂的分析工作中^[3]。为此, 提出利用大数据分析技术设计负荷特性分析方法, 有效弥补了当前方法存在的不足, 提高负荷特性分析与预测的准确度。

1 非入侵式电网负荷特性分析方法设计

1.1 选取负荷特性指标

负荷特性指标是电力系统负荷特性研究的核心参数, 用于描述电力负荷的变化特征。基于日、月、年等不同时间尺度的负荷表现, 负荷特性指标可被细分为描述性和比较性两大类。

描述类指标是反映某一现象总体规模与水平的统计度量, 专业上也称作总量统计指标。在电力负荷中主要描述负荷水平的情况^[4]且拥有各自的计量单位。主要包

*基金项目: 国家电投集团局域电网大数据信息管理平台建设项目 (360 022JX0220210007)

收稿日期: 2024-01-13

括最大负荷、最小负荷、平均负荷、峰谷差负荷以及年最大负荷利用小时数等统计量。

(1) 最大(小)负荷:在某一统计周期内,电力负荷会呈现出最大值与最小值,这些极值根据统计时间的长短可进一步细分为日、月、年的最大(小)负荷。

(2) 平均负荷:全年负荷的平均消耗值。能够描述全年用电的整体水平。其中包括日平均负荷 P_{dav} 、月平均负荷 P_{mav} 、年平均负荷 P_{yav} 。各指标表达式如下:

$$\begin{cases} P_{dav} = \frac{Q_d}{24} \\ P_{mav} = \frac{\sum P_{dav}}{N_d} \\ P_{yav} = \frac{\sum P_{mav}}{N_m} \end{cases} \quad (1)$$

式中, Q_d 表示日总电量,单位 kWh; N_d 表示统计天数,单位 d; N_m 表示统计月份数,单位 m。

(3) 峰谷差:峰谷差是指尖峰负荷与低谷负荷之间的差额,它反映了区域电网在调节供需平衡方面的需求程度,是制定削峰填谷策略和进行负荷管理的重要依据^[5]。峰谷差可根据时间跨度分为日峰谷差、月峰谷差和年峰谷差,具体计算方法分别如下:

$$\begin{cases} P_{dd} = P_{dmax} - P_{dmin} \\ P_{md} = P_{mmax} - P_{mmin} \\ P_{yd} = \max \{ P_{dd} \} \end{cases} \quad (2)$$

式中, P_{dd} 表示日峰谷差,单位 kW; P_{md} 表示月峰谷差,单位 kW; P_{yd} 表示年峰谷差,单位 kW。

(4) 年最大负荷利用小时数定义为全年总发电量与该年最大负荷值的比值,其数学表达式为:

$$T_{max} = \frac{Q_y}{P_{ymax}} = 8760\delta_y \quad (3)$$

式中, T_{max} 表示年最大负荷利用的小时数,单位 h; Q_y 表示全年的总用电量,单位 kWh; P_{ymax} 表示年实际最大负荷,单位 kW; δ_y 表示年负荷率。

由指标定义可知,若以最大负荷持续运行年最大利用小时数所对应的时间段,其耗电量即等同于全年总耗电量。该指标深刻揭示了电力系统中各用电设备耗电时间的均衡性,且在电力负荷预测中扮演着至关重要的角色^[6]。

比较类指标是反映两种负荷特性之间比例关系的统计量,即相对指标,均为相对物理量,主要用以衡量电力负荷的变化程度。

(5) 日负荷率:衡量一天内各用电时段负荷分布均衡性的指标。负荷波动的均衡性越高,越有利于提升负荷率及维持区域用电平衡,这对电网的稳定运行极为有利。日负荷率的具体计算公式为:

$$\gamma_d = \frac{\overline{P_d}}{P_{dmax}} \quad (4)$$

式中, γ_d 表示日负荷率; $\overline{P_d}$ 表示日负荷平均值,单位 kW; P_{dmax} 表示日负荷最大值,单位 kW。

(6) 日最低负荷比率:反映日负荷波动特性的参数,它受到电网内用电设备构成的影响^[7]。在工业用电占比较大的地区,日最低负荷比率通常较高;而在居民和商业用户占比较高的电网中,日最低负荷比率则相对较低。通过实施人工的削峰填谷策略,可以有效地提升日最低负荷比率。日最低负荷比率的具体计算公式为:

$$\beta_d = \frac{\overline{P_d}}{P_{dmin}} \quad (5)$$

式中, β_d 表示日最低负荷比率; P_{dmin} 表示日最小负荷,单位 kW。

(7) 日峰谷差率:是日峰谷差与日最大负荷之间的比值,其产生背景在于不同用电系统间的日峰谷差直接比较缺乏实际意义^[8]。日峰谷差率会受到环境和人为因素的影响,为了给电力系统调整负荷和提供参考。日峰谷差率表达式为:

$$\lambda_d = \frac{P_{dif}}{P_{dmax}} \quad (6)$$

式中, λ_d 表示日峰谷差率; P_{dif} 表示日负荷峰谷差值,单位 kW。

(8) 月负荷率:月内日均用电量与该月最大负荷日电量的比值,它主要用于表征月度内日电量分布的均衡程度。较高的月负荷率有利于电网的稳定运行。月负荷率受人为活动影响显著,例如工厂停工检修、生产计划调整等因素均可能导致其波动^[9]。月负荷率表达式为:

$$\delta_m = \frac{\overline{Q_m}}{Q_{mmax}} \quad (7)$$

式中, δ_m 表示月负荷率; $\overline{Q_m}$ 表示月平均日电量,单位 kWh; Q_{mmax} 表示月最大负荷日电量,单位 kWh。

(9) 年负荷率:指的是全年平均负荷占全年最大负荷的比例,其数学表达式为:

$$\delta_y = \frac{\overline{P_y}}{P_{ymax}} = \frac{Q_y}{8760 \times P_{ymax}} \quad (8)$$

式中, $\overline{P_y}$ 表示年平均负荷,单位 kW。

对非侵入式电网负荷特性进行分析时,合理选取能够描述电网特性的指标是其关键的一步,同时根据指标分析电网运行数据,制定负荷特性曲线。

1.2 负荷特性指标残差修正

制定负荷特性曲线的核心是明确负荷增长规律和确定负荷特性指标数据。对于非侵入式电网来说,其具有自身的发展规律与内在特点,其增长趋势如图 1 所示。

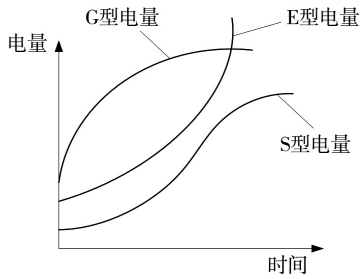


图1 电网负荷增长规律

如图1所示,电网在运行初期,电量不断增长,可达到最大年增长率,称为E型电量;由于发展不断成熟,电量逐渐进入饱和和增长状态,称为G型电量;最终电网处于初始用电量较低,之后逐渐上升阶段,称为S型电量。

观察上述三种不同的增长模型可知,在进行电网负荷特性分析时,在不同增长模型的情况下,其预测结果也是不一样的,因此需要结合电网负荷特性指标数据,得到较为准确的预测结果。

假设 $A = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 表示负荷特性指标集合,其中 X_n 为每个指标的多年值,即:

$$X_n = [x_n(1), x_n(2), \dots, x_n(t)]$$

$$= \begin{bmatrix} x_1(1) & x_2(1) & \dots & x_n(1) \\ x_1(2) & x_2(2) & \dots & x_n(2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1(t) & x_2(t) & \dots & x_n(t) \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中, $x_n(t)$ 表示在第 t 年第 n 个月份的最大负荷, n 的取值根据实际情况而定,在日负荷特征中,取24,在年负荷特性中,取24。

由于在分析负荷特性时,多采用多年的历史数据,而多年数据的可比较性较差,因此,需要对负荷特性指标数据进行归一化处理,以提高负荷特性分析结果的准确性^[10]。

年度数据的最大值 $X_{\max}(t)$:

$$X_{\max}(t) = \max x_n(t) \quad (10)$$

年度数据的标准化处理:

$$B_n(t) = \frac{x_n(t)}{X_{\max}(t)} \quad (11)$$

式中, $B_n(t)$ 表示标准化处理后的指标数据。综合多年数据,对每年的特性指标求平均值:

$$C_n = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t B_n(t)$$

$$= \left[\frac{1}{t} \sum_{i=1}^t B_1(t), \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t B_2(t), \dots, \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t B_n(t) \right] \quad (12)$$

对数据进行修正,确保基础数据中包含标么值为1的时刻点。

$$C_k = \max C_n (k = 1, 2, \dots, n) \quad (13)$$

令 $C_k=1$ 并代入公式(12)中,得:

$$C = (C_1, C_2, \dots, C_k, \dots, C_n) = (C_1, C_2, \dots, 1, \dots, C_n) \quad (14)$$

综上所述,数列 C 是以指标数据为基础的修正数据。以此来分析电网负荷特性。

1.3 基于大数据分析分析方法分析电网负荷特性

对电网的那个负荷的特性分析主要包含三个方面,年负荷特性、月负荷特性以及日负荷特性^[11-13]。通过选取负荷特性指标和指标数据修正,故利用大数据分析法对电网的负荷特性进行分析。流程如图2所示。

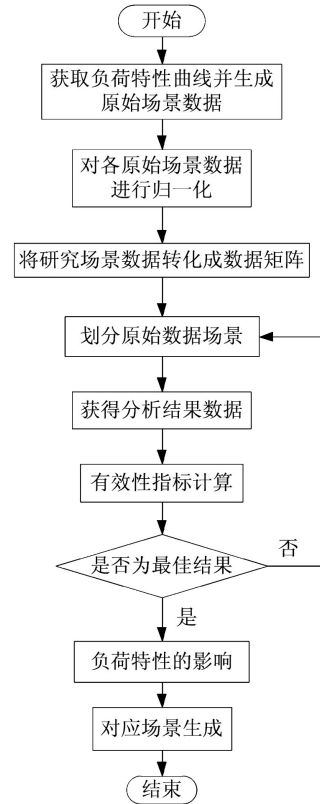


图2 利用大数据分析分析方法分析负荷特性流程图

根据图2所示,可得到利用大数据分析分析方法分析电网负荷特性的具体步骤为:

以日为基本单元,对得到的负荷特性曲线进行缩减和重构。将日负荷特性曲线 C 看作一个负荷场景,即 $C = (1, 2, \dots, m)$ 。在每个负荷场景中均包含 t^1 个时刻的负荷特性指标数据,因此,整个周期中的负荷场景为一个高阶矩阵,阵列为 $C \times t^1$ 。

对比各个场景中的负荷数据,利用大数据分析技术对所有场景进行层次分析^[14-15],公式为:

$$k = \max \{C \times t^1\} \quad (15)$$

式中, k 表示场景被缩减个数。

此时的高阶矩阵数据可表示为 $k \times t^1$,其中 k 个场景中包含原始典型场景数据。

对历史周期内的历史负荷数据利用上述方法进行合

并与缩减,获得($k < C$)类综合典型负荷场景。

对最终生成的负荷场景进行检验,结合影响负荷特性的外在因素,获取负荷特性时序场景缩减,得到电网负荷图像曲线,即负荷不同特性参数的分析结果。

2 实验论证

由于电网负荷特性分析主要应用于电网负荷预测,因此,在实验中,利用本文所提方法分析实验对象的负荷特性,求得负荷特性曲线,并且根据分析结果进行预测,最后通过预测结果验证分析方法的可行性。

2.1 实验数据

本实验将霍林河地区非侵入式局域电网作为研究案例。选取该电网五年内共2 500条历史负荷数据,该数据集的采样终端为用电用户,每10 min采样一次,每天共采样35次,通过最大值归一化等对采样数据预处理,得到最终实验所用数据。数据中包含的负荷类型有大工业用电、商业用电和农业用电。

2.2 负荷特性分析结果

实验中利用本文设计的分析方法对该侵入式电网按照季节分析研究典型日负荷曲线变化的特点,得到如图3所示的日负荷特性曲线图。

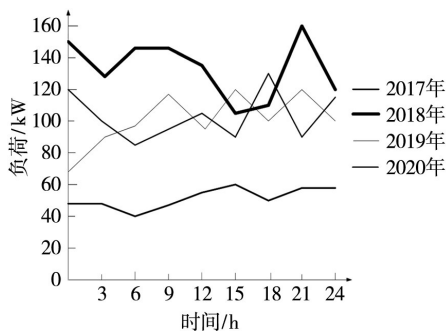


图3 2017年-2020年典型日负荷特性曲线图

根据图3所示分析,年最大负荷从2017年的58.56万千瓦时增长至2018年的157.3万千瓦时,但此后呈现负增长趋势;年负荷水平逐年下降,其中2018年至2019年间下降速度有所减缓。总体而言,年用电量及电网负荷性质保持稳定。特别地,2018年最大负荷显著下降,而自2019年至2020年,下降速率逐渐放缓,主要是由于2020年该地区增加了大量的煤矿和铝产业基地,因此,售电量增加,总用电量增加。

2.3 基于负荷特性分析的负荷预测实验

基于以上负荷特性分析曲线,基于2017年至2020年的历史负荷数据,进行了负荷分析运算,并依据这些历史数据的特性变化趋势,对2021年的负荷数值进行了预测。根据负荷预测流程对负荷进行预测,利用仿真软件对负荷结果曲线进行绘制,实测值与预测值的对比结果

如图4所示。

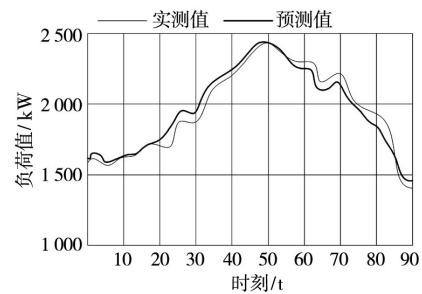


图4 实测值与预测值的对比曲线

如图4可知,根据本文设计的方法对负荷特性的分析结果预测出的负荷值与实测统计值基本一致,存在误差极小。根据该地区实际发展情况可知,该地区在2020年引进了大量的工业性项目,改善了电网用电结构。由此可以说明,本文所提的电网负荷特性分析方法具有可行性。

2.4 负荷预测误差实验分析

为验证设计方法的优越性,分别采用基于改进型k-means算法的负荷特性分析^[2](方法1)和基于空间自回归模型的负荷分析方法^[3](方法2)与本文方法进行统计和对比分析,如表1所示。

表1 对比结果

行业	相对误差%		
	方法1	方法2	本文方法
大工业	3.2	3.6	1.6
商业	2.9	3.5	1.3
农业	4.3	2.8	1.4

由表1可知,利用本文设计的分析方法分析负荷特性,根据分析结果对不同行业的负荷进行预测,得到的预测值与实际值的相对误差均在2%以下,远低于其他两种方法。由此可以证明,本文设计的负荷特性分析方法更加有效可靠,可作为负荷预测的有力支撑。

3 结束语

在非侵入式电网中,电力负荷的特性分析起着极其重要的作用。本文通过理论分析以及实验论证,针对非侵入式电网的负荷特性进行了研究与分析。但在影响负荷特性分析的电力消费结构、气温等因素方面的研究还存在很多不足,因此在以后工作中将会进一步探讨,为制定发电计划以及负荷调度工作提供依据。

参考文献:

- [1] 张建国,常倩.基于数据分析技术的高精度负荷预测与电网智能断面调控[J].黑龙江电力,2022,44(2):155-159,166.
- [2] 王超,杨洁.基于改进型k-means算法的变电站电力负荷特性分析[J].计算机与数字工程,2022,50(1):7-12.
- [3] 王秋惠.基于空间自回归模型的电力系统中长期负荷特性

分析与预测[J]. 东北电力大学学报, 2021, 41(3): 118-123.

[4] 史芸桐, 李慧, 吕欢, 等. 寒区近零能耗住宅和办公建筑热负荷特性分析[J]. 建筑科学, 2022, 38(4): 169-174, 182.

[5] 郝朝, 张浩然, 张晓崎, 等. 北京郊区电网冬季典型日“煤改电”负荷特性分析[J]. 电气技术, 2021, 22(10): 17-21, 33.

[6] 陈德高, 李冰, 陈刚. 电力大客户敏感性负荷需求特性分析[J]. 信息技术, 2021(7): 165-170.

[7] 尹璐, 杨卫红, 刘艳茹, 等. 考虑储能系统不同运营方式对区域负荷特性影响的分析方法[J]. 供用电, 2021, 38(7): 79-86.

[8] 迟作为, 辛鹏, 李振新. 基于数据挖掘技术的地区电网负荷特性分析与预测[J]. 吉林电力, 2021, 49(3): 25-28.

[9] 韩明冲, 钟建伟, 陈静, 等. 面向电力大数据的用电负荷分类及用户用电行为分析[J]. 物联网技术, 2022, 12(3): 113-115, 119.

[10] 陆煜铎, 赵云, 周密, 钱斌. 基于聚类融合的数字电网用电负荷智能量测系统设计[J]. 电子设计工程, 2022, 30(16): 130-133, 138.

[11] 胡学强. 基于大数据挖掘的电力客服中台数据智能整合方法[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(3): 117-121.

[12] 范江涛. 大数据技术在电力系统中的应用现状及发展前景

[J]. 现代工业经济和信息化, 2021, 11(7): 107-108.

[13] 奚增辉, 王卫斌, 屈志坚, 等. 基于电力大数据的行业发展监测方法研究[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(1): 170-173.

[14] 孙毅, 毛烨华, 李泽坤, 张旭东, 李飞. 面向电力大数据的用户负荷特性和可调节潜力综合聚类方法[J]. 中国电机工程学报, 2021, 41(18): 6259-6271.

[15] 张文冰, 刘灵蛟, 刘雪敏. 基于大数据分析的电力营销稽查全过程监测技术研究[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(12): 204-206, 215.

作者简介: 赵晋宇 (1979-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 电网调度和电气工程。

通信作者: 赵鸿飞 (1995-), 男, 科研员, 研究方向: 综合智慧能源。

(上接第23页)

3.2 避障能力测试

由图6可知, 采用文献[2]方法和文献[3]方法规划智能机器人的运行路径, 二者不管是在简单抑或是复杂的环境中, 都使得机器人的避障能力较差, 且制定的任务执行路线碰撞率较高, 路线距离较长。而采用文中方法规划的智能机器人运行路径, 在简单和复杂环境中均表现出了良好的避障能力, 且制定的任务执行路线清晰, 路线距离较短。经上述对比可知, 文中系统使机器人在其避障能力上明显较强。

4 结束语

近年来, 智能机器人已全面投入多个领域的生产开发中, 成为自动化、智能化协调统一的创新型科技。为了避免由于定位故障或路径规划不明确导致机器人碰撞, 进而影响智能机器人工作效率, 本文设计了基于机器视觉的智能机器人路径规划系统。经过实验验证, 在文中系统的应用下, 智能机器人具备较高的运行效率和较好的避障能力。如何在保证智能机器人优越的避障能力的同时, 加强对于智能机器人在行进过程中的路径自动修正问题, 方便机器人在遇到突发状况时能够自动改变规划运行路径的相关参数, 进行合理避障, 是下一步研究工作的重点内容。

参考文献:

[1] 韩菊, 曹峰. 融合尺度空间的智能机器人自适应跟随仿真[J]. 计算机仿真, 2021, 38(12): 324-327, 439.

[2] 芦姝冰, 于宝成, 王春梅, 等. 基于双摄像头扫码的AGV运

动轨迹修正方法[J]. 计算机工程与设计, 2020, 41(12): 3544-3549.

[3] 王琛, 茅健. 基于时间窗模型的双向机器人路径规划方法[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(23): 287-294.

[4] 尤婷, 张合生. 关于智能机器人局部混沌评价全覆盖路径规划[J]. 计算机仿真, 2021, 38(4): 306-309, 375.

[5] 袁志良, 古越. 武术飞脚启发作用在采摘机器人智能化设计中的应用[J]. 农机化研究, 2022, 44(2): 249-252.

[6] 尹顺禹, 许艺, 岑诺, 等. 软体智能机器人的系统设计与力学建模[J]. 力学进展, 2020, 50(00): 195-220.

[7] 逢菲. 基于软件开发技术的智能机器人系统应用研究[J]. 机械设计, 2021, 38(12): 163.

[8] 臧发业. 机器人移动平台二次调节电液驱动及智能控制系统的设计[J]. 机床与液压, 2021, 49(10): 81-84.

[9] 万刚, 朱思思, 何凯, 等. 液压闭环机活塞杆检测机器人结构设计与动力学分析[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(5): 12-15.

[10] 钟琳, 蒋旭东. 地震救援机器人的地理环境动态觉察功能优化设计[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(8): 10-13, 57.

[11] 张晶, 黄浩森, 王健敏, 等. 融合CN跟踪算法改进的TLD实时目标跟踪算法[J]. 计算机工程与科学, 2020, 42(7): 1215-1225.

[12] 刘玉鑫, 程明, 李泽华, 等. 高压柜操作机器人协调操作感知控制方法[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(11): 49-52.

[13] 畅雅雯, 赵冬青, 单彦虎. 多特征融合和自适应聚合的立体匹配算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(23): 219-225.

作者简介: 王舒平 (1973-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 智能机器人。