

# 天然气长输管道智能工地管理体系建设与应用

薛纪新 柳志伟 张 晨 邵 岩

(中国石化皖能天然气有限公司)

**摘 要** 在数智能化大发展背景下,为有效提升工程建设管理力度,降低人员投入及管控风险,将互联网、大数据、人工智能等与天然气管道工程建设的有机融合,依托X天然气长输管道项目,从基础网络建设、焊接工况管理、视频监控、AI行为识别、人车管理5个方面出发,逐步探索、搭建普适于长输管道施工现场的智能工地管理体系并成功应用,实现对施工现场的数字化、智能化、远程化、统一化的有效监管,线路焊接质量得到了有效提升,及时发现安全隐患,降低事故发生概率,应用效果良好。驱动长输管道工程建设管理从传统管理模式向现代化、数字化、智能化跨越,对类似管道项目建设具有一定借鉴意义。

**关键词** 天然气长输管道;智能工地;人工智能;智能化;数字化;大数据

为全面贯彻落实党的二十大精神和中央经济工作会议精神,加快科技创新、数字化转型、智能化发展,是石油石化能源行业加快形成新质生产力,增强发展新功能、实现绿色低碳发展的重要举措。智能工地作为新一代信息技术和传统能源行业结合的“衍生品”,具有传统管理方式无法实现的优势功能,通过数字孪生体构建技术、泛在感知技术、人工智能技术及行业相关先进技术汇集而成的针对油气管道应用的智能集成,可实现远程可视化控制,现场信息收集和数据回流,并且在某些关键部位能进行智能预判和决策辅助,可以提供更加安全可靠、优化高效、环境友好的油气资源长距离输送服务。

本文结合天然气长输管道工程施工现场实际情况,从焊接工况管理、视频监控、AI行为识别和人车管理5个方面出发,对智能工地管理体系进行了多次探索与创新,研发多项适用于长输管道智能工地应用的技术和系统,成功应用于现场,实现了规范焊接作业行为提高焊接质量、人员车辆高效管理、违规行为智能识别的目的,达到提升现场管理力度,减少管理人员投入的目的,满足行业发展要求,对保障生命安全、财产安全有重要意义。

## 1 项目概况

Y天然气长输管道工程地处安徽滁州,是安徽省重点工程和中石化集团公司重点项目,线路全长185.3km,建设站场4座、RUT阀室7座,途径多个市县区。长输管道“点多、线长、面

广”的特点,施工跨度大,施工点分散,建设规模和数量增长迅速,现场安全生行为监管亟待加强;工地施工人员组成复杂,流动频繁,安全意识有待提升,违章行为有禁不止;施工机具、机械、设备作业占比较高,管理难度较大等。

近几年数字化、智能化、人工智能等相关技术在国内呈现井喷式爆发,大量的项目开始应用数字化和智能化的信息平台及相关产品,技术已经趋于稳定,诸如APP的人脸识别,城市道路超速识别等。为了实现长输管道智能工地体系建设的完备性,具备能够采集记录分析焊接数据、监控人员车辆进出场和识别施工现场违规行为的成熟体系,严格监管施工行为规范。此次研制从基础网络建设、焊接工况管理、视频监控、AI行为识别、人车管理5个方面出发,实现对施工现场的数字化、智能化、远程化、统一化的安全监控,并支持信号上传调控中心、移动终端实施监控等功能(图1)。

## 2 智能工地系统

### 2.1 基础网络建设

#### 2.1.1 机房部署

机房部署专属机柜,内置路由器、交换机、视频服务器、存储服务器等相关设备。智能工地机房搭建宜采用双电源线路部署,机房原有电源线路保持机房内部照明等常规设备使用,对服务器等相关电源线路进行重新部署,电线规格使用10m<sup>2</sup>,保证服务器等大功率设备的用电安全。GPU服务器备用电源支持待机时间≥15min。机

房内部部署立式空调进行 24h 降温，配置温度、湿度、烟雾等相关监控装置和七氟丙烷灭火器等

机房专用消防应急装置。机房应配置专业人员每天定时巡检，记录参数数据。

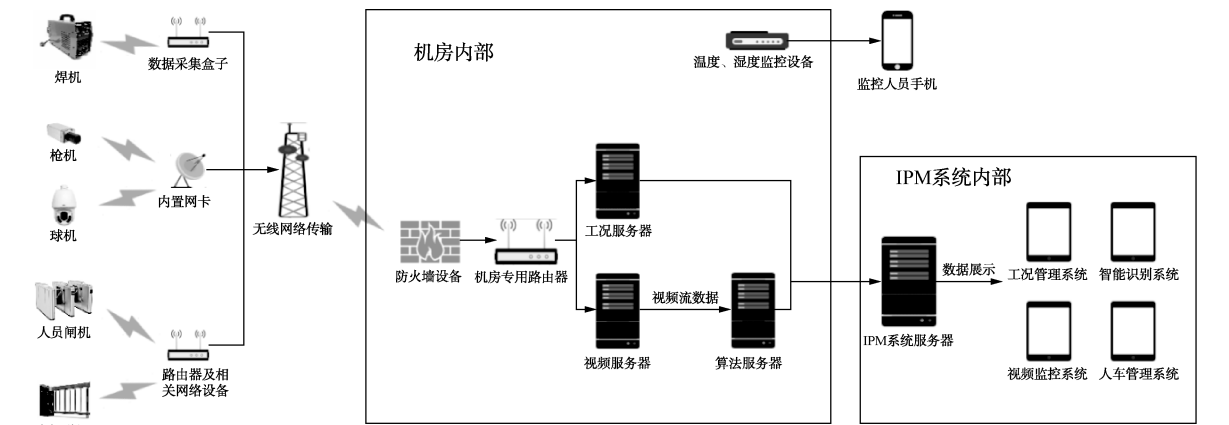


图 1 智能工地规划图

2.1.2 网络传输

施工现场相关设备宜采用无线传输模式，内置网络运营商定制流量池策略的无线网卡，搭建专属网络通道定向传输数据至机房网络。定向网络通道能够有效保证网络安全防止他人对相关数据进行窃取。长输管道施工点经常变换，施工现场焊机、摄像头设备非长期稳定开机，而站场、阀室和穿跨越等相关施工场景虽施工点稳定但电

线和网线架设困难，前期开工时无法保障电力和网络的稳定提供，相关的摄像头、焊机、闸机道闸等无法保证正常传输数据。因此采取流量池策略，所有无线网卡同属一个卡组，共用一个流量池中的流量。焊机改造数据采集盒子应内置 4G/5G 通信模块，采用边缘计算，再向外传输数据。闸机道闸部署专用无线路由器，使用隧道通信技术向机房传输数据(图 2)。

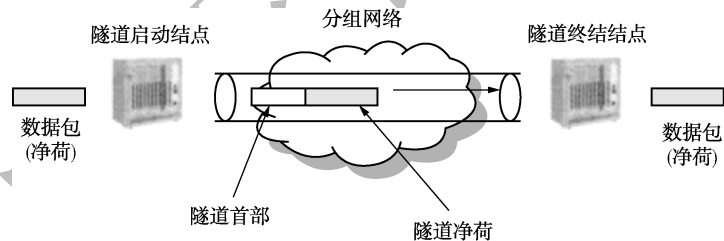


图 2 隧道通信

2.2 焊接工况管理

规范半自动焊改造工况数据自动采集现场作业流程，确保半自动焊工况数据采集的及时性、数据完整性及准确性，规范现场实施流程，对焊机进行智能化改造。针对不同焊接工艺规程设置焊接温度、送丝速度、电流等不同的阈值，改造完成的焊机配置专属数据盒子，使用边缘计算收集并分析焊接数据，并通过现场声光报警提醒作业人员焊接规范。不同报警类型应通过不同种类的可见光和长短波区分。

对于焊接温度采集，当前主要使用磁吸式温度传感器进行采集，该温度采集方式存在较大误差。为实现温度精确测量，可使用非制冷红外温

度采集技术代替目前的磁吸式方案，安装便携式工作导轨，采用 4 点测温法，对管道相互成 90° 的 4 个点进行测温，用以提高温度采集的准确性。测温设备主要用于半自动手工焊。焊接前安装导轨，导轨设计有快速拆装机构，操作简单快捷。工作台有阻尼装置，既可以轻松移动，也可以在任意位置停止。可通过在焊枪和工作台之间安装牵引索，实现测温仪与焊枪同步移动，每台测温仪自带显示屏和声光报警器，可以实时检测和显示温度，并对不达标的温度值进行报警，并将检测到的温度数据同步通过通讯模块以 4G 方式无线传输至数据后台(图 3)。

表 1 巡检模板表格

机房巡查记录表

| 日期, 2023 年 10 月、11 月、12 月 |                                                                                         |                |          |            |        |              |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------|------------|--------|--------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| 序号                        | 条目                                                                                      | 内容             | 单位<br>状态 | 周一( )月( )日 |        | 周二( )月( )日   |        | 周三( )月( )日 |        | 周四( )月( )日 |        | 周五( )月( )日 |        | 周六( )月( )日 |        | 周日( )月( )日 |        |
|                           |                                                                                         |                |          | 上午[ ]点     | 上午[ ]点 | 上午[ ]点       | 上午[ ]点 | 上午[ ]点     | 上午[ ]点 | 上午[ ]点     | 上午[ ]点 | 上午[ ]点     | 上午[ ]点 | 上午[ ]点     | 上午[ ]点 | 上午[ ]点     | 上午[ ]点 |
| 1                         | 机房及相关设施                                                                                 | 机房视频监控         | 在线状态     |            |        | 在线           |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 2                         |                                                                                         | 空调限定设定温度       | 18°-20°  |            |        | 今日 23 度      |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 3                         |                                                                                         | 照明             | 正常       |            |        | 正常           |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 4                         |                                                                                         | 灭火器(机房专用气体)    | 1.2MPa   |            |        | 1.2MPa 绿     |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 5                         |                                                                                         | 室内 WIFI(1 个)   | 正常       |            |        | 正常           |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 6                         |                                                                                         | 两个报警器          | 功能正常     |            |        | 正常           |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 7                         |                                                                                         | 机房环境布局及卫生      | 整洁       |            |        | 正常           |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
|                           | 算法服务器机群(含 UPS 控制服务器和电池组各一台、含算法服务器 1 台、PDU 两个及 WIFI 专线路由器 1 台)                           | 机房专线供电<br>空气开关 | 正常       |            |        | 无发热电<br>流无异响 |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 8                         |                                                                                         | 温度(18-21)      | ℃        |            |        | 实时 24 度      |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 9                         |                                                                                         | 湿度(30-70)      | %        |            |        | 实时 39.3      |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 10                        |                                                                                         | 机柜供电线路感知       | 正常       |            |        | 无发热电<br>流无异响 |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 11                        |                                                                                         | 电源出风口异味        | 无异常      |            |        | 无            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 12                        |                                                                                         | 异响(风扇或报警)      | 无异常      |            |        | 无            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 13                        |                                                                                         | 网络指示灯          | 正常       |            |        | 正常           |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 14                        | 海康视频监控服务器机群(含交换机一台、防火墙 1 台、海康应用服务器 1 台、海康日志服务器 1 台、海康存储服务器 1 台、PDU 两个及站场道闸远端联网专线路由 1 台) | 指示灯(电源及运行)     | 正常       |            |        | 正常           |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 15                        |                                                                                         | 温度(18-21)      | ℃        |            |        |              |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 16                        |                                                                                         | 湿度(30-70)      | %        |            |        |              |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 17                        |                                                                                         | 机柜供电线路感知       | 正常       |            |        | 无发热电<br>流无异响 |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 18                        |                                                                                         | 电源出风口异味        | 无异常      |            |        | 无            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 19                        |                                                                                         | 异响(风扇或报警)      | 无异常      |            |        | 无            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 20                        |                                                                                         | 网络指示灯          | 正常       |            |        | 正常           |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
| 21                        |                                                                                         | 指示灯(电源及运行)     | 正常       |            |        | 正常           |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |
|                           |                                                                                         |                | 检查人      |            |        |              |        |            |        |            |        |            |        |            |        |            |        |

备注:

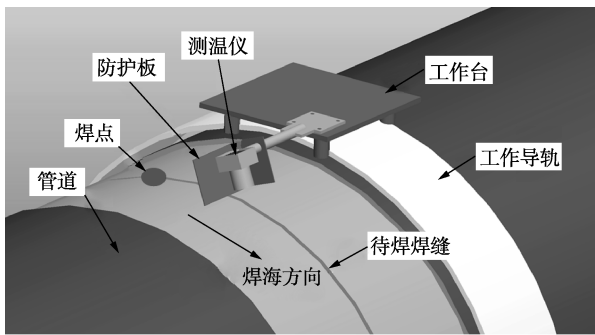


图3 便携式非制冷红外温度采集器导轨测温

通过对施工地区极端环境考察，最高温度为40.4℃，最低温度为-19.6℃下，满足该设备进行温度采集的正常运行条件(表2)。

表2 便携式非制冷红外温度采集器环境参数

|       |                                       |
|-------|---------------------------------------|
| 工作温度  | -40~+65℃                              |
| 存储温度  | -40~+70℃                              |
| 抗温度冲击 | 5℃/min(-40~+60℃)                      |
| 抗振性   | 4.3g, x、y、z 轴每轴 2h                    |
| 抗冲击   | 加速度 30g, 半正弦波, 脉冲宽度 6ms, 安装使用方向冲击 3 次 |
| 湿度    | ≤95%(非冷凝)                             |

异常工况报警系统硬件部分主要完成现场的显示界面提示，声音报警提示，灯光报警提示，三项主要功能。其中声音报警模块完成现场的声

音报警功能，显示模块完成作业规范指导，违规详细信息，人员信息等具体细节的交互展示功能，提示灯模块完成现场的灯光辅助提醒功能，核心处理器完成整个模块的控制和逻辑处理功能，4G 路由模块完成对外的数据交互功能，电源控制模块完成对焊机电源的供/断电功能。控制器应有自身的电源，具备外接供电和电池独立供电能力。针对视觉、听觉设备在现场应用过程中的复杂环境，充分考虑现场使用及时性、长久性、稳定性、安全性，选用满足工业使用要求的设备，同时保证异常工况数据到反馈设备的实时通信(图4)。

2.3 视频监控

建设期施工现场安装的摄像头主要分为两类：一类为能够 360° 旋转且能够上下调整角度的球机；另一类为固定拍摄偏转角度有限能够兼顾长时间恶劣环境工作的枪机。球机一般自带支架可携带电池进行灵活移动部署工作，枪机固定机位安装需要通过电源线连接电源，一般用于长时间监控。除站场阀室和穿跨越外，线路上的摄像头一般均需要频繁移动。每个线路施工机组配置少量球机，每个焊棚内均配置一个枪机在棚顶。站场则在出入口、预制区、作业处、高危区等配置摄像头(图5)。



图4 异常工况报警系统图和焊接工况管理系统整体呈现效果图



图5 摄像头部署方案及视频监控系统示例图



2.4 AI 行为识别

管道施工具有流动作业特点，管道沿线施工环境复杂多变，在选定安全隐患行为素材收集时要考虑周围施工环境变化因素。施工现场安全隐患行为的发生存在很大的不确定性，发生地点与现场摄像头之间距离位置不确定、角度不确定且之间还可能存在部分遮挡。对比 TensorFlow、PaddlePaddle、PyTorch 等市面主流人工智能深度学习框架的优点，结合业务识别需求，最终选定适合油气储运建设行业安全监管业务智能识别需求的框架。最终选定了 pytorch 深度学习框架，其主要有三大特点：简洁、速度和易用。在收集样本素材时要采集到从不同角度、不同方向拍摄的不安全隐患行为，训练出来的算

法才能应对复杂多变的施工现场。同时还要考虑时间、光线对样本素材的影响，尽可能收集不同时间段的样本素材。

综合上述影响因素，每种安全隐患场景的素材背景要并不低于 40 个背景场地、不少于 30 个时间段、素材拍摄角度 720 全景采集，初步预估每种场景所需素材量在 8000-10000 张，素材正负样本比例保持在 1：1 左右，并需要根据现场实际测试情况不断添加素材量，以优化算法识别的准确度。对现场实时视频流进行截图，每周持续利用图片自动抓取软件，从实时/历史视频中定时抓取样本素材，总计获取素材图片 12 万余张，进行筛选分类后作为优化算法的素材支撑（图 6）。



图 6 视频流截取程序和关键点 AI 训练示意图

经过对长输管道施工工程业务安全隐患场景进行梳理，根据现场摄像头内可监控识别到、现场此类事件高频发生、事件涉及高风险行为安全隐患、业务判断逻辑复杂程度、正负样本素材收集难易程度等，经过工程实际多方面研究与实际验证，研究场景的更替，最终确定了 3 大类 14 种业务场景：

(1) 安全着装识别：未按规定正确佩戴安全帽、未按规定正确穿戴反光衣、未按规定正确穿戴工服、未按规定正确佩戴安全带。

(2) 人员行为识别：吊物下或机械周边停留、铲斗载人、现场吸烟、施工现场摔倒、施工现场人员聚集、施工时打电话、警戒区域闯入、离岗识别。

(3) 环境风险识别：烟雾识别、明火识别（图 7）。

AI 识别、焊接工况数据采集、视频监控等各个子系统应进行体系化建设，所建成的各个子系统均统一部署于统一平台中，数据互通并集中展示。同时部署手机端 APP 功能，实时调取平台数据，随时随地掌握工程施工现场情况（图 8）。



图 7 AI 识别

2.5 人车管理

站场阀室等施工出入口安装人员闸机和车辆道闸对人员和车辆进行进出限制，经过对站场施工现场实地检查，结合施工现场进出口宽度限制、电力及网络搭建不便等因素，采用人员闸机双通道一进一出、车辆道闸单通道进出共用的方案，搭配现场临电及 4G 无线网络传输机制搭建人员车辆进出场管理硬件设备。现场安装两个人员闸机，一个车辆道闸及传输数据的 4G 无线传输设备组群，使用隧道通信技术定向传输数据，保证数据安全。人员和车辆在系统中报验完成

后，报验数据同步至闸机道闸系统，相关人员车辆方可进入站场内。此举有效限制未报验人员车辆自由进出施工现场的事情发生，保证施工现场

的安全，减少了风险因素和降低了发生意外情况的概率(图9)。

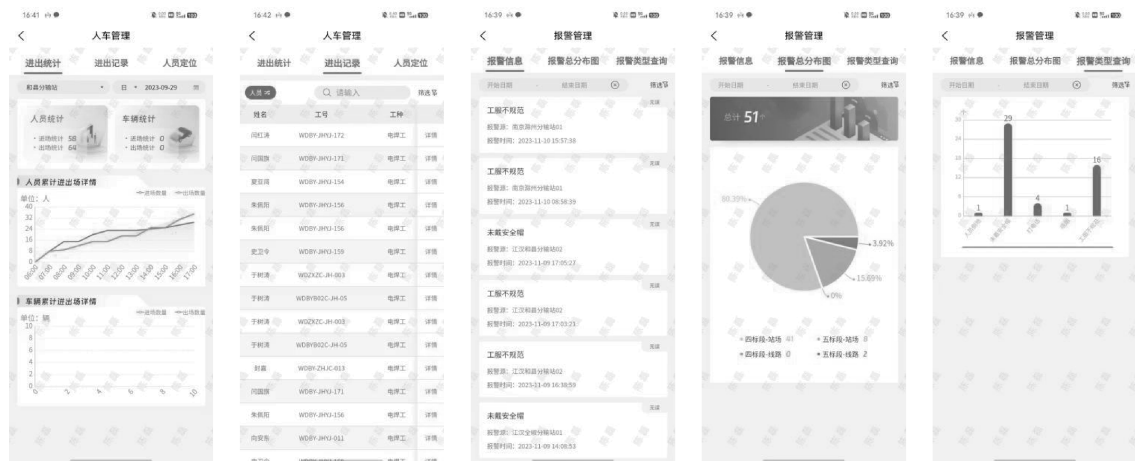


图8 移动端



图9 闸机道闸系统及人员车辆进出场管理功能效果图

3 应用效果分析

Y 项目建设完整的智能工地体系，秉承“看得见现场、管得住过程、查得到源头”的原则，分别采用了中国石化系统内供货服务商和系统外集成服务商产品，克服项目工程施工难点，在施工施工过程中逐步探索完善，先后完成工况管理、视频监控、人车管理、智能识别等四个大类的部署应用，在完善的过程中进行了焊接温度采集和异常工况报警系统等产品的研制。各个功能模块已经统一整合进去 IPM 系统，形成统一整体，对现场焊接及施工规范起到了有效的监督，提高了施工质量，保证了施工安全。

智能工地管理体系的搭建投入使用至今稳定运行，累计当前已对 40 台焊机进行改造，系统已记录 20480 条焊接数据。已部署 51 个摄像头于施工现场进行监督作业。人员车辆管理累计记录 5779 次人员和车辆进出情况，相关报警 56 次，其中接近 93%为“未佩戴安全帽”和“未穿工

服”。当前累计配置 212 路算法，将视频流接入算法服务器进行分析处理，根据站场、阀室、线路等不同场景配置合适算法，如线路焊接焊棚内不添加“未佩戴安全帽”算法识别、非高空作业不添加“未佩戴安全带”等。

通过智能工地管理体系的搭建，将所有硬件设备和软件平台最终汇聚成为一个整体，达到一加一大于二的效果，监督工程质量、线上保存数据、监管施工安全、统一平台指挥、高效智能化建设。一方面焊接质量得到了有效提升，有效指导现场作业，规范焊接人员操作，提升焊接质量，同时结合数据分析，对工况数据不符合工艺规程较多的焊口，提醒焊口质量检测人员进行重点检测，能够有效发现焊口缺陷，提升检测质量，减少了后期管道运维的风险及返工情况。焊接质量提升 10%，返修、割口等成本下降 10%。另一方面，通过视频监控、AI 识别和人车管理功能，提升现场安全管理力度，实现对施工现场的有效约束，降低事故发生的概率，同时减少对

人的依托,对保障生命安全、财产安全有重要意义。

#### 4 结语

本文依托 Y 天然气长输管道项目建设,通过对天然气长输管道项目智能工地建设需求论证、硬件评估、功能研发和测试部署,探索搭建天然气长输管道智能工地管理体系,并成功应用,取得预期目标。

一方面,通过计算机精密计算替代人工,提升现场管理力度。实现焊接质量的有效提升和事故发生概率的有效降低。将原依托人脑进行的识别与判定优化为科学与工程计算,同时减少人为因素影响,提升现场管理的客观性和管理力度,是时代发展的必然选项。另一方面实现了互联网、大数据、人工智能等与天然气管道工程建设的有机融合,形成纵向管控和横向协同融合的矩阵模式,实现了信息化从分散向集中、从集中向集成的两次阶段性跨越,推动流程升级、技术升级、管理升级,提升智能化水平,驱动长输管道工程建设管理从传统管理模式向现代化、数字化、智能化跨越,具有一定借鉴意义。

#### 参 考 文 献

- [1] 罗志刚,钱同惠,王嘉前,等.人工智能在智慧城市建设中的应用浅谈——以武汉市为例[J].智能建筑与智慧城市,2021,(01):50-52.
- [2] 丁伟伟.人工智能技术在智慧城市中的应用[J].信息记录材料,2020,21(04):230-231.
- [3] 姚琦.基于场景理解田间导航技术的研究[D].安徽农业大学,2020.
- [4] 杨连平,孙玉波,张红良,等.基于编解码残差的人体关键点匹配网络[J].计算机科学,2020,47(06):114-120.
- [5] 王晓娟,王永生.人工智能:赋能千行百业驱动未来[J].中关村,2022,(08):43-45.
- [6] 陈志远,黄少滨,韩丽丽.现代模态逻辑在计算机科学中的应用研究[J].计算机科学,2013,40(S1):70-76.
- [7] 王忠军.浅谈人工智能在智慧城市建设中的应用和意义[J].城市建设理论研究(电子版),2019,(18):191.
- [8] 周国琼,吴丹琴.人工智能在智慧城市建设中的应用研究与展望[J].广西城镇建设,2023,(02):61-65.