



武汉大学

全天时高精度输电塔晃动智能监测开拓者

护筑红眸

「商业计划书」

项目负责人：龚正旸

组别：本科生创意组

项目指导老师：张涛 孙开敏

姬东鸿 李文卓

「 目 录 」

1 执行概要 5

1.1 项目背景与意义 6

1.2 “互筑红眸”产品概述 7

1.3 产品核心技术和优势 9

1.4 市场分析和商业模式 10

1.5 公司运营 12

1.6 财务分析与风险分析 13

1.7 社会价值与教育维度 15

2 项目背景 16

2.1 社会背景 17

2.2 市场背景 21

2.3 技术背景 23

3 产品与技术 29

3.1 产品总体架构 30

3.2 核心技术 31

3.3 产品优势 73

4 市场分析 76

4.1 宏观环境分析 77

4.2 微观环境分析 83

4.3 目标市场分析 90

4.4 竞品分析 92

4.5 核心竞争力分析 93

5 商业模式 96

5.1 盈利模式 97

5.2 营销策略 99

5.3 创新战略 106

5.4 典型应用案例 107

6 公司运营 110

6.1 公司组织架构 111

6.2 核心团队成员 112

6.3 顾问团队成员 116

6.4 企业文化建设 117

6.5 公司发展历程 118

6.6 公司发展战略 119

7 财务分析 121

7.1 股本结构与规模 122

7.2 投资预算及融资方案 ... 123

「 目 录 」

附件 11: 一种万有引力定位及系统.....	160
附件 12: 一种 UWB 单向定位系统中时间同步的方法	161
附件 13: 一种用于测绘的智能光学反射棱镜装置.....	162
附件 14: 一种垂直对准系统	163
学术论文.....	164
附件 15: 热成像技术在输电塔全天时晃动监测中的应用	164
应用证明.....	165
附件 16: 广东农乐汇生态农业发展有限公司采购订单合同.	165
附件 17: 武汉伊莱维特电力科技有限公司技术委托开发合同	167
合作意向.....	169
附件 18: 广东农乐汇生态农业发展有限公司合作意向书	169
附件 19: 天津三元聚能金属制品有限公司的合作意向书	170

获奖证明.....	171
附件 20: 测绘学科创新创业智能大赛——开发设计大赛全国特等奖获奖证书.....	171
附件 21: 测绘学科创新创业智能大赛——科技论文竞赛全国二等奖获奖证书.....	171
附件 22: 第十五届“自强杯”大学生课外学术科技作品竞赛校级一等奖获奖证书.....	172
附件 23: 第十五届“挑战杯”大学生课外学术科技作品竞赛——黑科技赛道卫星级作品（全国三等奖）获奖证明.....	172



武汉大学

全天时高精度输电塔晃动智能监测开拓者

01

执行概要

1.1 项目背景与意义

建筑物作为城市基础设施的重要组成部分，是一种应用广泛的生命线工程。近年来，尽管加强了建筑安全建设，但由于我国建筑物数量众多、分布广泛、技术规格各异以及天气等主客观因素的影响，建筑事故仍频频发生，不仅影响居民日常生活，还为城市发展带来了严重的不稳定性，严重时甚至威胁人民生命和财产安全。据统计，近五年来发生建筑物事故超过 50 起，例如 2018 年 5 月湖南岳阳因大风导致的建筑物倒塌事故，影响超过 6000 户家庭；2019 年吕梁某建筑物坍塌事故，导致近百名电力人员连夜抢修。其中，特高压建筑物所造成的影响更大更广，这使得它们成为能源传输领域的关键环节。如 2023 年 12 月 13 日，通往山西垣曲县的四条高压电线铁塔倒塌，造成全县停电长达 50 个小时。因此，对高层建筑和特高压建筑物的安全管控显得尤为重要。传统的建筑物监测维护工作，不仅带来巨大的人力、物力、财力损耗，更对检测人员的能力和精力带来了巨大挑战。因此，利用目前测绘学科、计算机学科的前沿知识对传统建筑物监测技术进行优化的需求应运而生，不仅具备重要的经济和社会意义，更是积极响应国家二十大对于能源保护重视号召的使命担当。

目前，国内大型高耸建筑物的晃动位移测量方法总体可归纳为：GNSS 测量法、激光测量法、倾角测量法、视频技术测量法、低频振动位移传感器测量法等方式。然而，这些测量方法都存在较明显缺陷。具体而言，其一：GNSS 测量法的测量精度通常只有厘米级，不仅需要几公里范围内有静态的基准参考点，而且适用范围较窄；其二：虽然激光测量法精度大于 GNSS 测量法可达毫米级，但是该技术受天气干扰强，且每个仪器只能监测一个目标点；其三，倾

角测量法通过在高耸建筑物的多个高程布置监测点，利用数字积分模型得到位移曲线。虽然该技术安装方便、不需要静态参考点，但由于倾角仪能感应到结构的水平向振动加速度信号，需要对其输出信号进行低通滤波后方可使用，进而导致其无法测量结构的较高频率水平向振动位移。因此，倾角测量法得到的位移往往为高耸建筑物的 1 阶固有频率以下的超低频率位移；其四，视频技术测量法通过高性能的摄像头快速抓拍建筑物，经过图像处理得到建筑物的晃动位移。一般此方法较适合实验室的建筑物模型实验，或附近有静态参考点的场景，但容易受天气干扰，夜间、恶劣天气均无法进行监测；其五，低频振动位移传感器虽不需要静态参考点，但由于其下限频率无法达到 0，只能感应到其有效频带范围内的各种周期性振动位移信号，不能得到大型高耸建筑物的非周期信振动位移信号和传感器有效频带范围外的周期性振动位移信号。

基于上述分析，当前迫切需要一种建筑物晃动监测设备，既能满足全天候长期观测要求，又能具备足够的精度。为此，本团队所研发的“护筑红眸”建筑物监测设备以多模态复杂多源数据为抓手，**紧扣“全天候实时监测”和“监测精度标准化”两大业务点**，形成了一个关注建筑物晃动的无人化智能监测设备，有效解决了传统建筑物人力检测作业中存在的高危、高难、高成本三大痛点。同时，本团队进一步开拓智能预测领域，**搭建起“多硬件协同成像+跨模态数据融合+兴趣点时序匹配+内-外多源数据仿真智能预测”四大技术路线**，开发出一套可视化客户端软件，不仅有效降低客户使用门槛，并具备与硬件协同监测的强大功能。**本团队产品为软硬件协同一体化设备，以硬件为主和软件为辅的循环反馈体系全面赋能于“电力输送检测及防护漫漫长征路”。**

1.2 “护筑红眸”产品概述

本团队所研发的产品为“护筑红眸”建筑物监测智能化预警系统，本产品由“可见光-红外双相机集成硬件装置”一套和配套“客户端监测软件+浏览器端数据管理平台”软件系统组成。**聚焦于“晃动监测”“数据处理”和“实时预**

“护筑红眸”的全生命周期，实现全天时建筑物晃动的实时监测和预警，旨在打造**“全球建筑物实时监测预警网”**。

“护筑红眸”集成化硬件装置由以可见光相机、红外相机为主，激光雷达为辅的协同硬件设备组成，共同构建**“护筑红眸”晃动监测一体机**。考虑到红外图像能够捕捉建筑物热信息，而可见光图像则可提供建筑物细节信息，本产品采用红外、可见光传感器协同监测技术，以提高后续时序匹配及晃动预测的精度。其中红外传感器采用 640X512 分辨率的传感器，搭配 25 毫米镜头时，对于 20 米处的目标，精度为**1 毫米**，**实际精度已经超过了目前监测方案的各种技术**，能够满足超高压、重高压建筑物精度需求，为保障建筑物结构稳定和电力输送安全提供第一手准确数据。

“护筑红眸”可视化软件系统由客户端监测软件和浏览器端数据管理平台组成。考虑到为了综合提取红外、可见光图像的特征；科学地选取建筑物融合图像兴趣点，降低连续拍摄提取兴趣点时引起地误差；综合考虑内、外因多源铁塔信息进行晃动监测。该系统内含**“多硬件跨模态协同监测子模块”**、**“兴趣点时序匹配子模块”**和**“内-外多源数据仿真智能预测子模块”**三大模块，嵌有**“跨模态图像融合”**、**“兴趣点时序匹配”**和**“内-外多源数据融合仿真智能预测”**三大算法，利用**自研 ST-DcGAN 模型、Harris 角点检测、自研 IFM 模型、GBDT-LSTM 模型等先进技术**，实现建筑物塔顶晃动位移的**实时监测和可靠预警**，有效将建筑物晃动**检测精度从厘米级提升至毫米级**。同时具备与多硬件协同数据交互的能力，为合作用户的便捷使用提供了低门槛和高灵活的使用渠道。

综上，本产品实现了全天时建筑物晃动的实时监测及预警，利用可见光-红外相机为核心介质，实现了**建筑物监测中“多源数据采集-数据处理-未来晃动预测-实时预警”生命周期的全覆盖**。本产品集成于一个**精确度高、实时性强的“护筑红眸”软硬件平台**，助力电力保护指挥及调度工作。

1.3 产品核心技术和优势

本产品由“可见光-红外双相机集成硬件装置”一套和配套“客户端监测软件+浏览器端数据管理平台”软件系统组成，内含“多硬件跨模态协同监测子模块”、“兴趣点时序匹配子模块”和“内-外多源数据仿真智能预测子模块”三大模块，分别完成“晃动监测”、“数据处理”和“智能预测”三大核心功能，使得本产品具备“抗干扰强”、“监测精度高”和“决策成本低”三大优势。

“多硬件跨模态协同监测子模块”：采用可见光相机和红外相机两种相机对建筑物晃动进行协同监测，首次在建筑物监测领域引入红外成像技术，克服多气候、昼夜干扰问题，比雷达和激光探测安全且保密性强。本产品使用640X512分辨率的传感器，搭配25毫米镜头时，对于20米处的目标，精度为1毫米。经电力部门证实，这个精度可满足超高压建筑物绝大多数情况下要求。如果有更高的精度需求，本产品可灵活换成更高性能的传感器和镜头，其实际精度已经超过了目前监测方案的各种技术。为了避免相机镜头对图像产生畸变，本团队自主研发了一种相机镜头标定纠正技术对相机镜头进行纠正，并通过创新纠正技术构建起多模态的数据获取通道，为后续数据计算和分析奠定坚实基础，为精度提高提前做好准备。此外，本团队自研ST-DcGAN模型，对可见光和红外双相机协同拍摄的图像进行图像融合处理，同时能够更好通过其自注意力机制有效地捕捉全局的特征关系，从而可以同时利用局部信息和全局信息，大大提高后续特征匹配和时序晃动监测的精确度。

“兴趣点时序匹配子模块”：相较于传统的手动选取兴趣点的方法，本团队使用Harris角点检测技术，对初始拍摄照片科学选取晃动兴趣点。同时考虑到后续在计算建筑物晃动位移的过程中，需要实现对其连续拍摄，但是在连续拍摄的过程中，不同位置图片中的兴趣点位置识别会出现一定的误差。基于此，我们在对跨模态融合后的图像进行去噪、增强处理后，自研IFM深度学习模型，实现兴趣点时序匹配，有效提高了兴趣点坐标与相对初始照片中兴趣点的位移计算准确率，为提高晃动位移计算精度做出了突出贡献。本模块的引入将建筑

物晃动检测精度从厘米级有效提升至毫米级，远超电力检测要求。

“内-外多源数据仿真智能预测子模块”：由于此前对建筑物晃动倒塌预测技术通常只关注建筑物的晃动位移，没有考虑到其他的必要因素，同时在硬件与网络断连时，成像数据无法传输至软件端。因此，本团队建立**内-外因多源铁塔数据库**，综合考虑建筑物自身损耗情况、自身材质等内部因素，以及不同地区、不同气候下建筑物事故的外部因素，结合“兴趣点时序匹配子模块”处理后得到的铁塔自身晃动位移数据进行内-外多源数据晃动智能预测，并且在硬件网络断连时，仍能通过构建的仿真建筑物模型，结合此前提取的多源信息进行晃动预测。通过**GBDT-LSTM 融合模型**对建筑物晃动进行协同监测，本模块**能够根据建筑物实时监测数据对其倒塌进行提前预测，做到真正预警作用，有效降低了电力检测人员的决策成本**。经过实验，本模块可同时对三座铁塔进行预测计算，时延低于**6s**，并具备高达**92.7%**的预测精度，**大大提高了建筑物未来多个小时晃动的预警精度**，为维修决策提供了有力支撑。

基于此，本产品还配套有一套**客户端监测软件**和一套**浏览器端数据管理平台**，内嵌有上述“跨模态图像融合”、“兴趣点时序匹配”和“内-外多源数据仿真智能预测”三大算法，**作为功能组件内嵌于软件内部**。同时，**具备与多硬件协同数据交互的能力，具有可操作的友好型图形界面，助力用户快速上手，降低设备熟悉的时间和精力成本，为合作用户的便捷使用提供了低门槛和高灵活的使用渠道**。

1.4 市场分析和商业模式

“护筑红眸”团队从**宏观环境、微观环境、目标市场、同类竞品与核心竞争力五个角度**进行分析，并结合市场条件建立了**“盈利模式-营销策略-创新战略”三位一体商业模式**，并且该模式已在典型应用案例中**被成功的实践证明具有进一步推广价值**。

宏观环境方面，团队采用 PEST 分析法，从政治、经济、社会、技术四个

角度分析项目的“护筑红眸”项目的背景条件。政治层面，政策支持力度大，补贴优惠多，为建筑物特别是超高压建筑物安全监测技术创新提供良好的政策环境；经济层面，中高速经济发展、基础设施建设为建筑物安全监测技术应用提供广阔市场空间；社会层面，社会对建筑物安全监测的关注度提高，需求迫在眉睫；技术层面，材料、硬件和算法方面的技术进步为建筑物安全监测技术创新提供了坚实基础。

微观环境方面，团队使用 SWOT 分析法，全方位、多层次、立体化地剖析“护筑红眸”内部和外部的各方面优势、劣势、机会与威胁。优势角度，“护筑红眸”系统技术先进、成本低廉、用户体验良好、服务优势显著；劣势角度，当前品牌认知度低、管理水平待提高、市场接受不确定；机会角度，可以考虑从同类产品综合效益差、市场竞争格局尚未形成、需求不断扩大、适用范围拓展潜力较大是三个占领市场制高点的可行机会；威胁角度，必须高度重视行业竞争激烈、产品存在安全隐患、经济环境波动、法律法规变动、意外自然灾害等可能存在的威胁。

针对建筑物晃动监测设备这一目标市场，我们发现其市场规模庞大、增长潜力巨大、竞争激烈、技术壁垒高，客户群体主要是电力公司、政府部门、企事业单位和其他行业的相关企业。**针对产业链、供应链的不同环节，我们制定了不同的改善策略**，上游侧重于提升基础供应环节的质量和效率，中游侧重于提升核心技术的研发和创新，打造优质品牌和企业文化，下游侧重于完善售后服务体系，提高客户满意度。

与同类竞品相比，“护筑红眸”功能范围更全、占用场地更小、安装难度更低、后端软件更成熟、前期成本和运维成本更经济、安全程度更有保障、续航能力更强、在恶劣环境下的稳定度更高。“护筑红眸”的核心竞争力在于三个方面：其一，**红外-可见光集成化硬件装置**提供了高精度、多模态的硬件感知系统；其二，**AI 模型全流程辅助监测预警**综合考虑内外部因素，进行协同监测；其三，**可视化仿真智能预警软件系统**采用“基于策略模式的三层 C-S 软件架构”，稳定高效，提供友好型图形界面，降低使用成本。

“护筑红眸”的盈利模式是多元化的，总体上由产品盈利和服务盈利两个方面构成。产品盈利方面：其一是硬件售卖，核心产品为高集成盒子及其部件；其二是软件售卖，包括客户端软件和可视化数据管理平台，以及后续更新服务，数据可视化、管理平台、数据对接等增值服务；其三是定制化产品，满足特定客户需求，提供定制化软件、硬件配置与数据分析服务。服务盈利方面，专利许可业务（包括排他许可和非独占许可）、技术服务和数据服务、全方位定制化解决方案是主要的盈利点。

在营销策略方面，“护筑红眸”综合考虑产品策略、定价策略、渠道策略和促销策略。首先是产品策略，公司将持续扩大产品组合，加强品牌合作，分阶段实现市场提升；其次是定价策略，随着市场占有率的提高依次采用渗透定价、满意价格和多元化定价等多种定价手段；再次是渠道策略，在产品导入期以直接营销为主，步入产品成熟期后转型为多渠道营销策略，建立全国和国际分销网络；最后是促销策略，通过免费试用、行业展销会等形式快速提升产品知名度，并持续塑造专业、可靠、创新、负责的企业品牌形象。

“护筑红眸”始终将创新作为商业模式的中流砥柱，在发展中求创新，在创新中求发展。具体而言，**在横向创新角度**，公司将提升产品附加值，推动产品小型化、美观化、普惠化；**在纵向创新角度**，公司将进一步延伸项目产业链，将产品的应用场景推广至绿色金融、农业生产等领域。

现阶段，“护筑红眸”团队已经**与广东省高州市电网部门、广东省农乐汇生态农业有限公司、武汉伊莱维特电力科技有限公司和天津三元聚能金属制品有限公司建立起全天候战略性深度合作伙伴关系**，将第一批产品成功应用于建筑物监测工作环境，有效提升电力保障工作效率，降低电力系统不可控风险，**得到了部门领导、知名企业家和社会各界的高度评价。**

1.5 公司运营

护筑红眸公司**采用矩阵式组织架构**，设有总经理办公室、人力资源部、财

务部，其智能部门包括研发部门、市场部门和工程部门，各部门均下辖若干子部门，可以充分利用公司人才资源，提高公司的竞争力。各个职能部门相互联动、相互配合，在总经理办公室的统一领导下实现通力合作，共同推动公司高效运转。**公司核心团队成员阵容体现出多元互补的显著优势**，由 10 名武汉大学优秀本科生组成，来自测绘、计算机、金融、管理、新闻、网络安全等多个不同专业，拥有丰富的专业知识和实践经验，曾在国内外重要学术期刊发表论文，曾获得多项国内国际奖项。**公司的顾问团队包含 3 名来自武汉大学的在职教授，拥有丰富的科研经验和行业资源**，在测绘、遥感、信息安全等领域具有较高的学术造诣，能够为核心团队持续提供优质的技术指导和支持。

本公司的核心价值观是“创新 责任 协作 诚信”。企业愿景是以技术支持和方案提供为定位，将“监测-预警”两个过程融合为“护筑红眸”智能监测设备，致力于为建筑物晃动监测提供一体化的优质解决方案，全面赋能于电力能源安全防治的“漫漫长征路”，**将公司打造为成为电力治理的领航者，中国智慧方案的书写者。**

在描绘公司未来的壮丽蓝图时，核心团队**既有高瞻远瞩的战略眼光，又有求真务实的创新精神**，结合各方面条件考量制定了一套言之有物、行之有效的长期发展战略。**在市场渗透期，坚持厚积薄发，合作推广**，依靠武汉大学创新创业平台体系，与地方政府、社会企业建立合作关系；**在市场发展期，力求乘风破浪，做大做强**，成立公司，筹集融资，构建公司品牌形象，参加国内外大型产品展销会，拓展销售渠道；**在市场成熟期，保证精耕细作，领先卓越**，参与政府竞标项目，进行技术入股，与大公司、大企业建立合作关系，进行品牌宣传，同时开展海外市场调研，拓展海外市场；**在市场稳定期，保持居安思危，基业长青**，加大科研投入，保持技术领先优势，利用品牌优势，扩展产品线，实现多元化发展。

1.6 财务分析与风险分析

公司注册资本为 500 万元，初始股本结构为团队核心成员占 90%，合作

伙伴占 10%。计划在 2025 年进行融资 1000 万。在第一轮融资中，公司积极争国家政策支持 and 武汉某高校相关资源支持，创始人、联合创始人及武汉某高校相关资源共计 500 万元来满足公司短期运营需求。在后续融资中，公司将进一步争取风险投资，着力向风投公司绍本企业的发展前景，吸引风投公司进一步注资，计划融资 1000 万元。在公司取得一定经业绩时，通过银行款、企业信贷等措施进行定量的债务融资，满足公司生产经营的需要，且不会稀释股权。

根据核算，“护筑红眸”项目预计将在**2026 年首次扭亏为盈**，并在后续几年中持续扩大收益，2027 年实现净利润 590.41 万元，年复合增长率超过 50%。目前公司股份净现值（NPV）为 61.84 万元，内含报酬率（IRR）为 16.49%，表明公司能给投资者带来较高的收益。公司拟**采取管理层收购 (MBO) 或创业板上市 (IPO) 等方式进行风险资本退出**，以实现投资者的利益最大化。

公司运营面临的**诸多风险主要可以分为内部风险和外部风险**。外部风险又可分为两个方面：一方面是市场风险，现阶段“护筑红眸”与中海达、众芯汉创等大公司竞争处于劣势，产品生产链不完善，生产成本依然有降低的空间；另一方面是技术风险，技术创新失败、技术创新成果不配套不成熟、技术创新所需要的设施设备不够完善都有可能导致公司的核心技术带来的经济效能大打折扣。内部风险也可以分为两个方面：一方面是运营管理风险，团队经验不足，无法成熟地管理企业，不一定能完成预计的运营活动目标；另一方面是财务风险，负债经营可能导致资金周转困难，且“护筑红眸”目前处于亏损状态，尚未实现盈利，若盲目扩大企业规模可能导致风险因素恶化。

针对这些风险因素，公司制定了全方位的应对措施。**针对市场风险**，采取差异化竞争策略，避开与大公司的正面竞争，建立完善的市场营销体系，提升品牌知名度；**针对技术风险**，加强与高校、科研院所的合作，提升技术创新能力，完善技术成果转化应用机制，加强市场调研，提高市场预测的准确性；**针对运营管理风险**，引进高素质的管理人才，建立完善的管理制度和流程，加强团队建设，提升团队凝聚力，定期进行培训，提高员工素质；**针对财务风险**，

优化资本结构，降低债务负担，加强现金流管理，提高资金使用效率，提高投资决策的科学性，加强成本控制，提高盈利能力，审慎进行战略扩张，确保资源匹配。

1.7 社会价值与教育维度

作为武汉大学学生主导、经国家立项审批的大学生创业项目，“护筑红眸”能提供的远不止优质的服务和股东的投资回报。团队坚持履行社会责任，创造社会价值，推动社会发展，并在创业中实践所学知识，提高行业认知，实现全面发展。

“护筑红眸”能带来的社会价值是多方面的。首先是**经济效益**，“护筑红眸”的使用能够减少电力设备维护工作的人力成本，每 1000 平方米的建筑物路**每年可减少人力成本 100 万元**；提高安全监测工作效率，将**巡检时间缩短 50% 以上**；同时减少了设备更换和维修的频率和成本，**延长建筑物设备寿命高达 10%**。其次是**社会效益**，“护筑红眸”将在未来 3 年内为社会直接提供超过**250 个就业岗位**，间接提供数万个额外就业岗位，并且促进安全生产、保障人民群众生命健康，通过科技创新助力行业实现“跨越式”发展。最后是**环境效益**，“护筑红眸”的使用可以**降低 50% 的火灾发生率，降低 1% 的建筑损耗**，提高建筑物运营效率，其本身采用太阳能发电等新能源发电，真正做到了**零碳排放运营，推动国家“碳达峰”“碳中和”目标实现**。

“护筑红眸”项目以**“寓专于创，以赛促学”和“学校孵化，以学促赛”为教育理念**，通过跨学科融合、创新能力培养、科研思维训练、实践能力提升、学校支持、平台助力、赛学结合、国际视野等方面，为学生提供了全方位的教育和支持，帮助学生全面发展，实现个人成长和社会贡献。



武汉大学

全天时高精度输电塔晃动智能监测开拓者

02

项目背景

第二章

项目背景

Project Background

2.1 社会背景

3.1.1 社会痛点分析

近年来，全国各地的建筑物安全事故频发，引起了社会各界的广泛关注。例如，在 2021 年 4 月，合肥发生了一起建筑物倾斜事故，由于建筑物结构问题和地基不稳，导致建筑物发生严重倾斜，造成了数名人员受伤甚至死亡。这起事故不仅对受害者及其家庭造成了不可挽回的损失，也暴露了在建筑物安全管理方面存在的问题。进一步地，在 2023 年 10 月，甘肃天水的一起建筑物倒塌事故震惊了全国。一座正在施工的建筑物因为施工质量问题突然倒塌，导致多人被埋，造成了重大的人员伤亡。这起事故不仅给受害者家庭带来了巨大的悲痛，也对社会稳定和经济发展造成了冲击。同年 12 月，山西运城的一起建筑物事故再次敲响了警钟。一栋老旧的居民楼因为年久失修和结构老化，发生了局部坍塌，不仅对居民的生活造成了严重影响，还迫使相关部门紧急出动救援力量进行救援。这一系列事故凸显了建筑物安全监测和管理的紧迫性。特别是在商业和公共设施领域，2023 年 12 月 13 日，山西垣曲县的一起商业大楼倒塌事故，由于设计缺陷和施工问题，造成了大楼的突然倒塌，导致了全县范围内商业活动的中断，严重影响了当地经济和社会的正常运行，造成了长达 50 个小时的停电，给人民生活带来了极大的不便。这些事故的发生，不仅

给受害者家庭带来了巨大的悲痛，也给社会敲响了警钟，提醒我们必须加强对建筑物安全的监测和管理，采取有效措施预防类似事故的发生，确保人民的生命财产安全。通过建立全面的建筑物安全监测体系，我们可以及时发现并处理潜在的安全隐患，减少事故发生的风险，为社会的稳定和人民的安居乐业提供坚实的保障。



图 2.1.1-1

对建筑物，特别是超高压特高压建筑物的维护，每年需要耗费巨大的人力、物力、财力资源。种种突发状况，逐渐引起社会的广泛关注。就目前的案例来看输电线路发生倒塌事故的原因是多方面的，因此在应用中需要采取有效的措施进行优化，从而确保安全。维护输电线路、建筑物安全，及时规避风险，具有重要的社会意义。

对于我国数量众多的建筑物，尤其是那些高压建筑物，现有的人工巡检仍

然是主要的检查方式。这种方法依赖于原始的测量和记录手段，对每一栋建筑物进行逐一的排查。这样的工作不仅耗费大量的人力和物力，还存在着诸多问题，如容易遗漏、检查错误、检查周期长，以及在偏远地区进行巡检的困难等。特别是在地形复杂的地区，如四川的盆地，许多建筑物建立在无人区的陡壁之上，维修工作需要高山峡谷间穿梭，从一个建筑物到另一个建筑物，对周边的植被、地质隐患、空中飘浮物等进行周期性的巡查，以及时发现并消除可能影响建筑物安全的隐患。



图 2.1.1-2

由于高压建筑物重心高、基础面积较小,因此比较容易发生倾斜。其主要破坏特征表现为建筑物歪斜、位移及由此引起的导线距地表安全距离变化和建筑物表面张力变化等等。例如在恶劣的天气影像下,如大风、大雪天气下,建筑物容易受力不均发生一定程度的倾斜,如果没能及时注意到这样的倾斜并加以纠正,那么铁塔不久之后就会倒塌,造成巨大的损失。

近年来,国家对于建筑物的投资逐渐升高,但同时,我国国土面积较大,地区发展不平衡,人口分布不均衡,不同地区建筑物安全监管力度不一,如何保障山区建筑物安全愈发显现为社会难题。

3.1.2 政策法规

目前,中国建筑物已有 16 亿座,2022 年政府工作报告中提出“建设数字

信息基础设施，推进 5G 规模化应用，促进产业数字化转型，发展智慧城市、数字乡村”，从国家层面决定了长远战略。北京邮电大学曾剑秋教授建议，要强化数字基础设施建设。通过对传统基础设施的升级改造，构建安全、泛在的数字基础设施，为发展数字经济奠定坚实基础。

2.2 市场背景

随着国民经济的快速增长，建筑行业蓬勃发展，对建筑物的安全检测需求越来越大。根据《2022-2026 年建筑业市场调查研究报告》，我国建筑行业处于迅猛发展时期，建筑行业的发展前景一片大好。国家对于建筑物的投资逐渐升高，对建筑的需求也将不断增多，行业内企业对成本费用的管理控制能力较高，盈利能力较强，建筑行业的发展前景广阔。

近年来，国家对于建筑物的投资逐渐升高，随着电网投资的不断加大，对建筑的需求也将不断增多，输电线路铁塔行业的发展前景广阔。



图 2.2-1 2017-2022 年中国建筑业市场规模及增速对比



图 2.2-2 2017-2022 年中国建筑产量及增速对比

基于对社会的需求分析和对国家的政策分析，可知国家对建筑物智能监测系统的需要十分迫切，若兼具高精度、全天时、可预测、智能化的建筑物智能监测系统出现且被检验可行，其应用市场将会十分广泛。

预计在未来几年内，建筑物智能监测系统的市场规模将保持较高的增长率。

市场增长的主要驱动因素包括建筑系统的规模扩大、对基础设施安全的日益关注以及对智能化监测技术的需求增加等。目前市场主要集中在经济发达地区，这些地区在能源系统建设和基础设施安全监管方面投入较大，并对智能监测技术有较高的需求。目前建筑物监测市场上存在着一些有产品基础的供应商和厂商，它们提供了多种类型的监测系统和解决方案，但总体来说，建筑物智能监测系统尚未完全起步，若能打造好技术支撑壁垒、制造出智能实用、成本适宜的产品，则有望占领市场，或开拓隐藏市场。

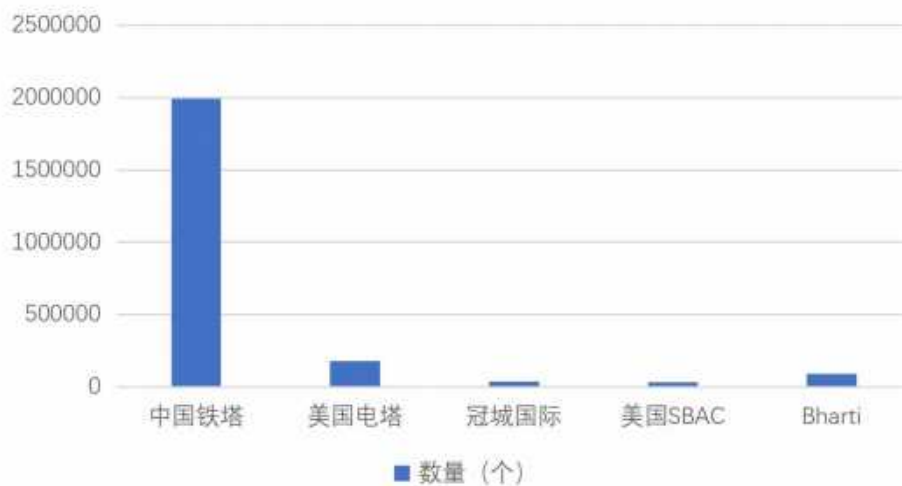


图 2.2-3 2022 年主要建筑数量

2.3 技术背景

3.3.1 高耸建筑物的晃动位移测量技术应用现状

大型高耸建筑物的晃动位移测量方法总体可归纳为以下几种方法：GNSS 测量法、激光测量法、倾角测量法、视频技术测量法、低频振动位移传感器测量法、倾斜仪测量方式。这些测量方法都存在较明显的缺陷：

GNSS 测量法的测量精度通常只有厘米级别、需要几公里范围内有静态的基准参考站，适用范围比较窄。在过去 20 年里，虽然 GNSS 测量法被广泛使用，但仍拥有许多缺点：基准站需要部署在一个稳定的地方。操作过程复杂，需要专业测绘人员操作。参考站和移动站需要同时观测，否则将无法获得任何结果。基站观测的质量不能完全保证，这将影响移动站的定位精度。参考站接收器将增加监测成本。



图 2.3.1-1 GNSS 测量应用

激光测量法的精度大于 GNSS 测量法，可以达到毫米级别，但是受气的影响比较大，而且需要在被测对象附近找到静态的设备安装点，且每个仪器只能监测一个目标点。



图 2.3.1-2 徕卡 P40 激光扫描仪

倾角测量法是一种间接测量方法，在高耸建筑物的多个高程布置一定数量的监测点，然后通过数字积分模型得到位移曲线。倾角测量法安装方便、不需要静态参考点，但是由于倾角仪同时能感应到结构的水平向振动加速度信号，需要对其输出信号进行低通滤波（通常滤波截止频率要低于结构的 1 阶固有频率值）后，方可使用，进而导致其无法测量结构的较高频率水平向振动位移。因此，倾角测量法得到的位移为高耸建筑物的 1 阶固有频率以下的超低频率位移。

视频技术测量法主要是通过高性能的摄像头快速抓拍建筑物，然后通过图像处理得到建筑物的晃动位移。此方法适合用于实验室的建筑物模型实验，或者大型建筑物顶部附近有静态参考点的场景，容易受天气变化的影响，夜间、恶劣天气均无法进行监测。

低频振动位移传感器（见图 2.3.1-3）不需要静态参考点，使用非常方便，但是由于其下限频率无法达到 0，只能感应到其有效频带范围内的各种周期性振动位移信号，不能得到大型高耸建筑物的非周期信振动位移信号和传感器有效频带范围外的周期性振动位移信号。



图 2.3.1-3 低频振动位移传感器

GNSS 倾斜仪测量方式中，均需要将仪器安装在目标上，实施杂很高，操作比较复杂，维护成本也高。

基于现有大型高耸建筑物的晃动位移测量方法都存在明显的缺陷，晃动位移特性对于此类结构物动力响应的研究又极其重要。当前迫切需要一种建筑物晃动监测设备，这种设备既能长期观测，又具备足够的精度，经过我们的实践发现采用可见光相机和红外相机两种相机对建筑物晃动进行协同监测的适应性好，精度高，满足行业要求。

3.3.2 基于深度学习的图像融合技术应用现状

图像融合技术是指从不同的源图像中提取并融合互补的信息，生成一幅信

息量更丰富、对后续高级视觉任务提供足够支持的图像。红外与可见光图像融合是图像融合领域的一个重要分支。近年来，深度学习技术在视觉计算领域表现出了良好的性能，基于深度学习的图像融合技术得到了蓬勃发展。

综合现有的基于深度学习的图像融合方法，融合工作主要解决图像融合中的特征提取、特征融合和融合结果重建等 3 个关键问题。根据采用的体系结构差异，大致可将这些基于深度学习的方法总结为基于自编码器（Auto-Encoder, AE）、卷积神经网络（Convolutional Neural Network, CNN）和生成对抗网络（Generative Adversarial Network, GAN）的融合方法。

自编码器一般包含编码器和解码器。编码器部分主要由普通卷积层和下采样将特征图像尺寸缩小，使其成为更低维度的表征，目的是尽可能多地提取低级特征和高级特征。解码器部分主要由普通卷积和融合层组成，利用上采样操作逐步恢复空间维度，融合编码过程中提取到的特征，在尽可能减少信息损失的前提下完成同尺寸输入输出。基于 AE 的融合方法通常在大型的数据集上对自编码器进行预训练，然后设计一个融合网络，采用预训练的编码器对源图像进行特征提取，并设计手工的融合策略或网络自动拼接对源图像间的特征进行融合，然而这些手工设计的融合策略并不一定适用于深度特征，从而限制了基于 AE 的融合框架的性能。DenseFuse 是基于 AE 融合策略的方法之一，该方法通过使用密集连接的结构和编码-解码网络，DenseFuse 的主要优点在于利用自动编码器的强大特征提取和学习能力来实现图像融合。其密集特征传递技术可以在多个层次上提取特征并保留细节信息，使得融合图像更加真实、清晰。此外，DenseFuse 对于不同类型的图像融合任务具有很好的适应性和灵活性。

然而，DenseFuse 方法也存在一些局限性。由于使用了编码-解码结构，其计算复杂度较高，需要较长的训练时间和大量的训练数据。

基于 CNN 的融合方法将卷积神经网络引入图像融合任务中，利用卷积神经网络端到端的特征提取、融合和图像重建，从而避免手动设计融合规则的烦琐。PMGI^[3]是基于 CNN 的端到端方式的经典方法之一，该方法设计了一个

新颖的网络结构并提出了梯度和强度损失函数，引导网络直接生成融合图像。也有方法利用先验知识设计一个伪标签图像与融合图像构造损失函数。此外，有部分基于 CNN 的方法将卷积神经网络作为整体方法的一部分用于特征提取或活动水平测量。

基于生成对抗网络(GAN)的图像融合框架将图像融合问题建模为生成器与鉴别器之间的对抗博弈问题。采用生成器得到融合结果，并利用鉴别器识别融合图像与源图像的真伪。这种图像融合框架通过判别器来迫使生成器生成的融合结果在概率分布上与目标分布趋于一致。 FusionGAN 是最先使用基于 GAN 的图像的方法，它在融合图像与可见光图像之间建立对抗博弈，进一步丰富了融合图像的纹理细节。

做横向对比，基于自编码器（AE）的图像融合方法优点是能够高效地提取特征和重建图像，但训练和设计复杂，可能存在信息丢失或模糊的问题。卷积神经网络（CNN）的图像融合方法在处理大规模数据和复杂模式时表现出色，能够多尺度提取特征，但参数数量较多。生成对抗网络（GAN）的图像融合方法能够生成逼真的融合图像，但训练稳定性和模式失衡问题仍需解决。

针对建筑物的可见光和红外图像融合，基于自编码器（Auto-Encoder, AE）的方法会更适合，因为建筑物在可见光图像和红外图像中具有明显的几何结构和特征，例如塔身、导线等。自编码器能够通过编码器和解码器学习并重建这些结构和特征，以实现图像融合。

本章内容参考文献

- [1]Shen, N.; Chen, L.; Liu, J.; Wang, L.; Tao, T.; Wu, D.; Chen, R. A Review of Global Navigation Satellite System (GNSS)-Based Dynamic Monitoring Technologies for Structural Health Monitoring. Remote Sens. 2019, 11, 1001. <https://doi.org/10.3390/rs11091001>
- [2]Li H, Wu X J, Durrani T. NestFuse: An infrared and visible image fusion architecture based on nest connection and spatial/channel

attention models[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2020, 69(12): 9 645-9 656. DOI: 10.1109/TIM.2020.3005230.

[3]Li H, Wu X J. DenseFuse: A fusion approach to in frared and visible images[J]. IEEE Trans Image Pro cess, 2018, 28(5): 2 614-2 623.

[4]Zhang H, Xu H, Xiao Y, et al. Rethinking the image fusion: A fast unified image fusion network based on proportional maintenance of gradient and intensity[J]. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial In telligence, 2020, 34(7): 12 797-12 804. DOI: 10.1609/aaai.v34i07.6



武汉大学

全天时高精度输电塔晃动智能监测开拓者

03

产品与技术

3.1 产品总体架构

本产品最终目标为建筑物塔顶晃动位移的实时监测和可靠预警，为保障建筑物结构稳定和电力输送安全提供第一手准确数据。基于该产品，本团队旨在搭建一张“全球建筑物实时预警监测网”，实现全天时建筑物晃动的实时监测和预警，助力电力部门及相关企业相关工作。

产品总体由一套“集成化硬件装置”和配套“可视化软件”组成，共同构建“护筑红眸”一体机，内嵌有“多硬件跨模态协同监测子模块”、“兴趣点时序匹配子模块”和“内-外多源数据仿真智能预测子模块”三大核心模块，分别完成建筑物晃动实时监测、晃动位移的高精度计算和智能决策三大业务点。具体设计思路为：在需要进行晃动监测的超高压、重高压中央建筑物安装好本“护筑红眸”一体机，利用卫星信息定位各个通过本产品实现监测的建筑物位置。接着用子模块一中的激光雷达采集建筑物三维点云数据并构建三维模型，利用红外相机和可见光相机进行协同拍摄，以采集实时数据信息，并利用自研 ST-DcGAN 模型，实现红外-可见光跨模态图像融合技术，完成图像融合任务；再利用子模块二中 Harris 角点检测技术对拍摄的初始照片进行兴趣点提取，通过自研 IFM 深度学习技术对后续连续拍摄照片实现兴趣点时序匹配，并借助摄影测量技术获取建筑物的晃动位移；最后采用子模块三中的预处理方法对晃动数据进行处理，自建内-外因多源铁塔数据库，通过 GBDT-LSTM 内-外多源数据协同晃动预警神经网络模型自主决策建筑物晃动程度，同时在成像设备网络断连，无法将图像数据传回软件端时，本模块能够依据建立的建筑物仿真模型结合内、外因多源因素，对建筑物晃动进行预测，并生成未来多小时甚至多天的晃动预测报告，最终实现预警。此外，本产品配套的可视化智能软件系统，

内嵌有上述的“跨模态图像融合”、“兴趣点时序匹配”和“内-外多源数据仿真智能预测”三大算法，能够接收位移数据，并应用分析模型进行分析预测。系统由一份客户端软件和一个浏览器端可视化数据管理平台组成，具备与多硬件协同数据交互的能力，能够根据监测与预测结果及时发送预警信息，为合作用户的便捷使用提供了低门槛和高灵活的使用渠道。项目设计流程图如图 3.1-1 所示。



图 3.1-1 项目设计流程图

3.2 核心技术

3.2.1 红外-可见光双相机全天时协同监测

本项目采用可见光相机和红外相机两种相机对建筑物晃动进行协同监测，并且为了避免相机镜头对图像产生畸变，本团队自主研发了一种相机镜头标定纠正技术对相机镜头进行纠正。可见光相机拍摄的图像可以后续与红外图像进行图像融合，提高建筑物晃动的监测精度。

3.2.1.1 红外相机型号及优势

项目的重点不在于红外设备的研究，同时国内外红外热成像仪相关技术比

较成熟，所以我们选择购置一款红外热成像仪进行研究。红外相机选择参数包括分辨率、范围、视场角、调焦、热灵敏度和波长范围，综合考虑成本后，我们选择了国内红外热成像仪研发的龙头公司高德红外的 GUIDE 640 红外成像仪（如图 3.2.1-1）。



图 3.2.1-1 GUIDE 640 红外成像仪

GUIDE 640 红外热成像仪使用非制冷式氧化钒传感器，焦距 25mm，分辨率 640*512，像素大小 17 μ m，整体可分辨 0.05 度的温差，即使针对平常温度变化幅度较小的高压建筑物来说，它的温度分辨率也足以满足我们的测量与晃动监测要求。

根据背景调研我们了解到，建筑物在天气恶劣的情况下易发生故障，而普通相机受天气等条件的影响非常大，在天气条件较差的条件下拍摄的相片模糊，无法准确辨别目标，不能实现对建筑物的全天时拍摄。根据研究资料，自然界所有温度在绝对零度(-273℃)以上的物体都会发出红外线，可以利用探测器测定目标本身和背景之间的温度差，实现在完全无光的夜晚，或是在烟云密布的恶劣环境，清晰地观测目标的情况。且电力系统的各类电力设备和线路,在正常运行时,都会产生一定的热量，使得建筑物与周围环境的热辐射有较大差异，这一特点正好用于夜间的建筑物观测。红外相片如图 3.2.1-2 所示。

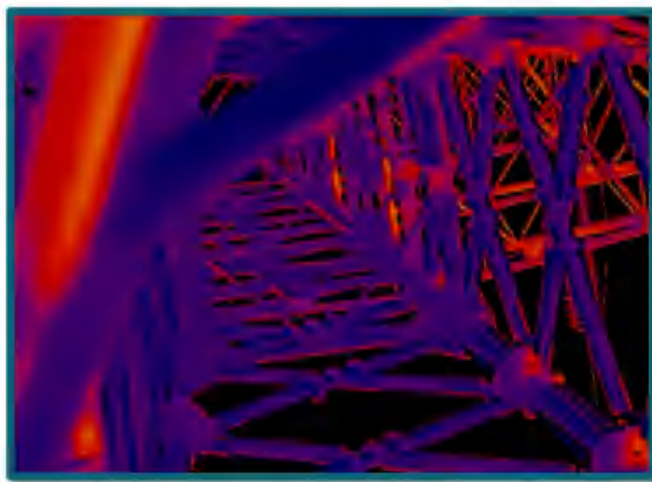


图 3.2.1-2 红外相片

本团队设计使用红外热成像仪对建筑物进行观测，可清晰查看建筑物的形状、结构等，有效解决普通相机在夜间不能清晰成像的缺陷，实现全天时观测建筑物。红外热成像仪的测温原理是：红外热像仪的物镜接收电力设备表面所辐射的红外线，经光学系统会聚，把接收的红外能正好落在系统的焦点上，即红外探测器焦平面上；经探测器的光电转换，将电力设备的红外能转变成电能，再经一系列的电信号处理，在热像仪的取景器上得到一幅所测电力设备的热图像。

红外热成像仪的灵敏度很高，它可以分辨出设备表面的零点零五度的温差，从而可以诊断出设备热状态微小变化。因此，可以探测设备的细节部位，并可实行远距离的检测，在恶劣环境下得到更为清晰的图像。项目设计将红外相机安装于距建筑物几十米处的空旷位置，全天时工作，并连续对建筑物及周围环境进行观测，每张红外相片的时间间隔一定，将相片存贮下来，对建筑物实现准实时晃动监测。

由于红外相机能穿透云雾，在黑暗等不良条件下均能对物体进行探测的特性，它在各行各业都受到了广泛的应用，下面对红外相机，又称为红外热像仪，进行更详细的原理介绍。现代红外热像仪的工作原理是使用光电设备来检测和测量辐射，并在辐射与表面温度之间建立相互联系。所有高于绝对零度（ -273°C ）的物体都会发出红外辐射。红外热像仪利用红外探测器和光学成像物

镜接受目标的红外辐射能量分布图形反映到红外探测器的光敏元件上，从而获得红外热像图，这种热像图与物体表面的热分布场相对应。通俗地讲红外热像仪就是将物体发出的不可见红外能量转变为可见的热图像。热图像的上面的不同颜色代表被测物体的不同温度。通过查看图像，既可以观察到被测目标的整体温度分布状况，研究目标的发热情况，也可以观察物体的几何形状，从而进行下一步工作的判断。红外热成像原理图如图 3.2.1-3 所示。

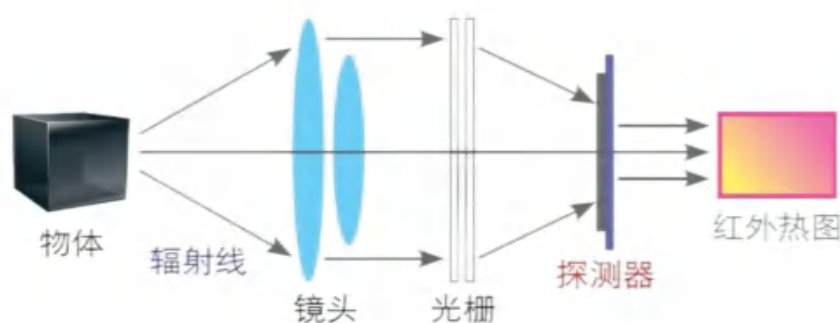


图 3.2.1-3 热成像图原理

热像仪由一片镜头、一个热传感器、处理电子器件和一个机械外壳组成。镜头将红外能量聚集到传感器上。传感器有各种像素配置，从 80x60 到 1280x1024 像素等等。与可见光摄像机相比，热像仪的分辨率较低，因为热探测器需要感应波长比可见光大得多的能量，这要求每个传感元件明显更大。因此，与同样机械尺寸的可见光传感器相比，热像仪的分辨率要低得多（像素更少）。

由于生活中一切事物都存在热辐射，而且物体越热，其红外辐射就越多。这种辐射的热能称之为“热信号”。如果两个紧挨着的物体拥有细微的热信号差异，它们在热传感器下也会十分清晰地显示出来，无论照明条件如何。此外由于红外线的波长较长，远大于大气中的一般微粒，所以收到大气的散射影响较小，这使得热像仪能够在完全黑暗或烟雾弥漫的环境中进行检测，从而在恶劣环境监测下具有极大的优势，见图 3.2.1-4。

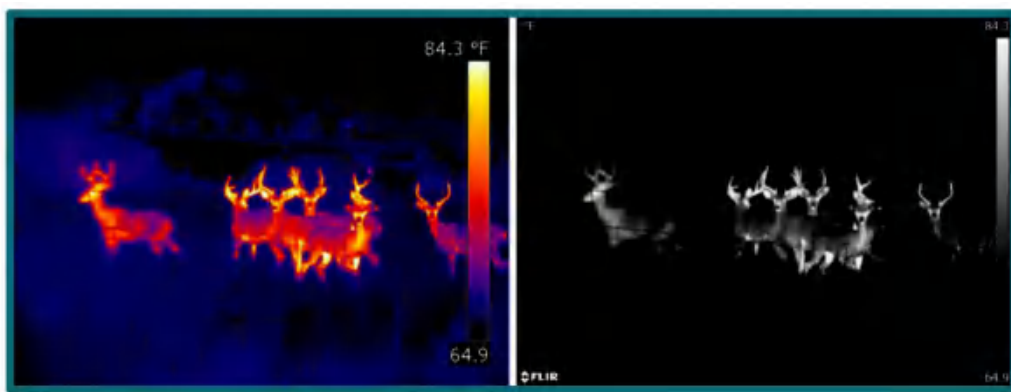


图 3.2.1-4 热成像图

红外相机对于天气的适应性很强，能够全天时的对建筑物进行有效观测，一下是我们在江夏 220KV 高压建筑物的下方进行了实地的安装拍摄测试，分别在天气晴朗和阴天的时候对高压建筑物进行拍摄。

第一次在晴天时对相机进行了测试，结果如图 3.2.1-5



图 3.2.1-5 从左到右依次为：伪彩色模式、黑热模式、白热模式

第二次在阴天时对相机进行了测试，结果如图 3.2.1-6 所示。



图 3.2.1-6 从左到右依次为：伪彩色模式、黑热模式、白热模式

第三次测试时，考虑到实际观察中还有雨雪天气以及 24 小时连续观测，因此后来又选择了一个小雨天气的晚上对一个测量标志铁塔进行了数据采集（如图 3.2.1-7）。



图 3.2.1-7 雨天成像图

由上面的原始数据可以看到，晴天、阴天对于成像质量几乎没有影响，均可以得到清晰的热像图，这也说明了红外相机的不受光照、天气变化影响的优秀特点。但是雨天、夜晚的成像质量明显下降，不过结构依然清晰可辨。这样较高精度的成像结果，为我们后续的位移测量提供了有利的现实基础，具体的计算与分析将在后面的内容介绍。

3.2.1.2 可见光相机

可见光相机传感器是一种成像器，它收集可见光（400-700nm）并将其转换为电信号，然后组织该信息以渲染图像和视频流。可见光相机利用 400-700nm 波长的光，这与人眼感知的光谱相同。

本项目中嵌有的可见光相机主要作用在于获取可见光影像用于与红外影像的图像融合，弥补红外影像的不足，进一步提高建筑物晃动检测的精度。本项目基于成本和性能选择的可见光相机是索尼的 SONY Alpha 6000 可见光相机，如图 3.2.1-8。



图 3.2.1-8 SONY Alpha 6000 可见光相机

SONY Alpha 6000 宽度约 120 毫米，高度约 66.9 毫米，厚度约 45.1 毫米；重量约 285 克（仅照相机主机）它拥有 179 点相位检测自动对焦系统与 25 个对比检测对焦点，搭载了约 2430 万像素的 Exmor APS CMOS 影像传感器和 BIONZ X 影像处理器。

3.2.1.3 相机镜头标定纠正技术

为了对建筑物的结构晃动进行监测，红外相机需要安装在建筑物底部，由于红外热成像的镜头会对图像产生畸变，对还原目标的坐标产生影响，因此，对其进行校正是必须的步骤。由于现阶段红外热成像的纠正还没有标准的方法，为了对红外热成像镜头进行纠正，我们组装并调试了红外热像仪标定板，下面对纠正的原理进行简单介绍。

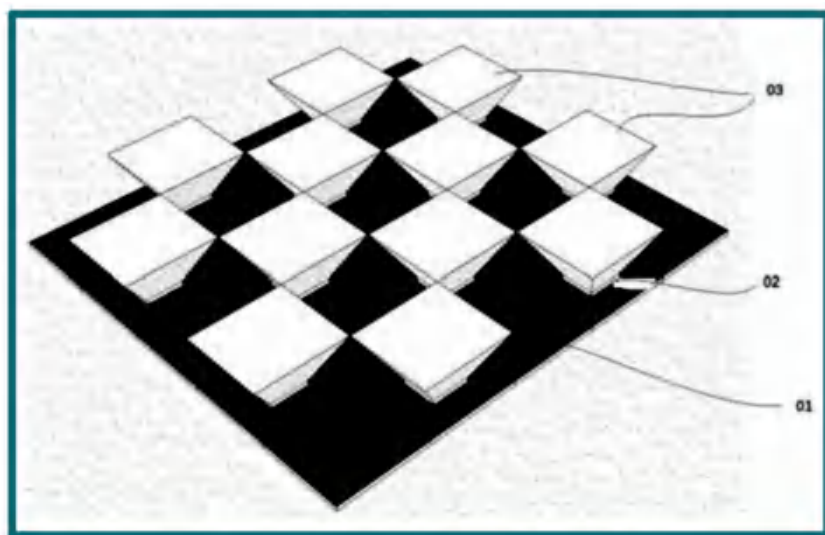


图 3.2.1-9 定标示意图

首先给热像仪成像参数标定板装置通电，将待标定的红外热成像仪对准标定板，调节标定板的角度和距离，使得标定板的图像清晰并且至少占据整个图像的 $1/2$ ，且图像中仅见铝块和铝板的上表面，对标定板拍照，然后将图像二值化，得到黑白格的图案（如图 3.2.1-9）；根据红外相机拍摄出的棋盘方格晃动，按照摄影测量中相机标定方法对热像仪的相机参数进行计算，求出相机的畸变，从而进行相机标定。

3.2.1.4 具体技术流程

我们采用的热像仪成像参数标定板装置，包括上、下面均为正方形的铝板，铝板上表面通过导热胶固定有若干正方形半导体制冷片，半导体制冷片的另一面通过导热胶固有上、下表面均为正方形的梯形铝块，其上表面大于下表面，且梯形铝块下表面与半导体制冷片的尺寸相同；半导体制冷片的制热面贴铝板，制冷面贴铝块；若干半导体制冷片和与之贴合的铝块分布均匀、间距相同形成棋盘状分布；铝板下方打孔引出半导体制冷片的电源线，打孔位置靠近半导体制冷片，电源线串联后接入电源。

其中铝板尺寸为 $500*500*5\text{mm}$ ，且上表面经过氧化处理；若干正方形半导体制冷片为 12 块 $40\text{mm}*40\text{mm}$ 的半导体制冷片，其中心间距为 100mm ；

梯形铝块上表面尺寸为 100*100mm，下表面尺寸为 40*40mm，高度为 20mm，其上、下表面均经过氧化处理。电源提供 24V 电压给串联后的半导体制冷片，每片半导体制冷片的电压为 2V，功率约 5W，总功率约 60W，半导体制冷片工作在远小于额定功率的状态。

首先，对红外热成像仪进行标定：给热像仪成像参数标定板装置通电后，正面的 12 块小铝块上表面和背面的大铝板的温差就被拉开，一般情况下，温差可以达到 10 摄氏度以上，完全可以被红外热成像仪清晰区分。且由于铝板 01 与铝板 03 之间没有直接接触，因此其温度严格分界，保证了成像质量。将待标定的红外热成像仪对准标定板，调节标定板的角度和距离，使得标定板的图像清晰并且至少占整个图像的 1/2 左右，图像中仅可看到铝板 01 与铝块 03 的上表面，看不到电源线等其他部位，对标定板拍照，然后将图像二值化，就可以得到类似图 10 的图案。该图案中的黑白格的坐标是确定的，这样就可以按照常规的摄影测量中相机标定方法对热像仪的相机参数进行计算。具体步骤如下：首先按照上述方法，对标定板多次拍照，一般需要 20 次以上，然后将得到的相片导入 matlab 的 Camera Calibrator 模块，设定标定板的尺寸为 100mm，对热成像仪进行标定，以得到热成像仪的内参数矩阵。相机内参数矩阵在后续步骤中生成目标的点云精度有重要作用。

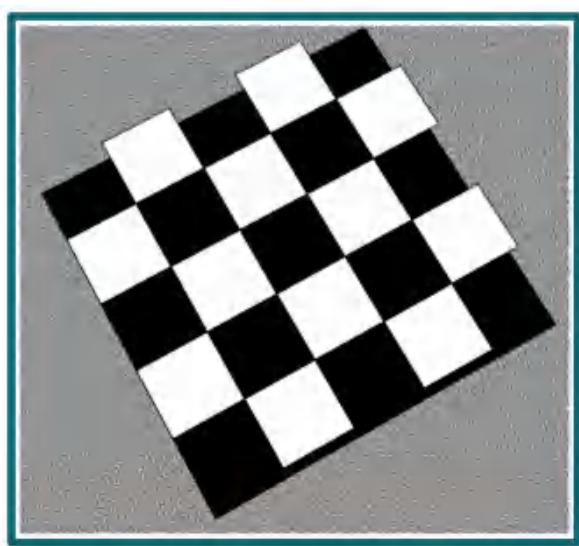


图 3.2.1-10 红外热像仪拍得的标定板的图像二值化后的黑白格图案

为了建立立体像对，采取如下两种不同的方式。

双热成像相机法：将两台红外热成像仪，中间间隔一定的距离(一般称为基线距离，通常来说，基线距离大，则测距精度高)，朝向相同，并且使两个相机的视野有一定的重叠度，例如 80%。可靠地固定在基座上，形成一整套采集器，然后使用上一步中的标定设备进行标定，确定相机的关系参数。具体操作：使用固定好的两台热成像仪，对标定板进行多次拍照，一般至少需要 20 组照片，即 40 张以上，然后将照片导入 matlab 的 Camera Calibrator 模块，进行双目相机内外参数标定，得到的相机参数矩阵。然后将采集器搭载在无人机上进行作业，或者手持作业。其优势是，两台红外热像仪的位置关系非常稳定，这更有利于计算目标的坐标，其计算结果更为精确。缺点是成本略高，而且功耗和重量会缩短无人机的飞行时间。

单热成像相机移动法：只使用一台通过上一步标定好的热成像相机，搭载在无人机上，使用 GNSS 定位设备和惯性导航设备，通过飞行中记录的飞机位置与姿态，计算多张相片之间的关系，从而得到红外立体像对，并进一步计算目标的坐标。这相当于使用 GNSS 和惯性导航设备获取两次拍摄的时候，相机之间的位置和姿态关系，得到相机的外参数矩阵。飞行拍摄过程中应保证相邻的相片有足够的重叠度，例如 80%。其优势是成本略低，重量和功耗低，飞行时间长。但是由于飞机的姿态以及位置误差，立体像对的质量受到影响，测量结果精度降低。

无论使用 a、b 哪种方式，在得到立体像对后，即可进行目标坐标的计算，从而得到目标的三维点云。其基本原理为：对于理想的相机，目标的物方坐标与像方坐标以及相机焦距之间存在一定关系，但由于物方坐标是三维坐标，而像方坐标是二维坐标，信息量丢失，相当于只有两个方程，却要求三个未知数，因此使用单个相片无法还原目标三维坐标。但是如果一个目标同时存在在两个位置不同的相机中，而这两个相机的位置关系已知(外参数矩阵所包涵的信息)，那么每个相机可以得到两个方程，由两个相机得到 4 个方程，有足够的条件可以得到目标的三维坐标。具体实现方法有多种，首选为 PatchMatchStereo 算

法。

由于实际使用的相机并非理想相机，因此需要由内参数矩阵进行校正。

在得到目标的三维坐标后，可进一步计算电力线与下方目标的距离，判断是否存在危险。同时，由于得到的是带有温度信息的热图像，因此附带可以检测传输设施是否有温度异常，及时进行处理。

3.2.1.5 ST-DcGAN 跨模态图像融合算法

在应用红外-可见光双相机对建筑物进行协同监测后，我们分别得到红外和可见光的一系列时序图像。为了便利后续进行时序晃动监测，以及综合红外和可见光图像的优良特征，我们需要实现红外-可见光图像的多模态图像融合。

传统的多模态图像融合算法为基于像素级的图像融合，其通过直接对图像的像素点进行融合信息综合，但是其图像原始数据规模容易导致算法实现费时；数据未经处理，传感器原始信息的优缺点会叠加，影响融合效果；此外基于像素计算，像素信息易受污染、噪声等干扰，效果不稳定。而对于基于决策级的图像融合算法，其可能会丢失图像中丰富的特征信息，因为它们直接对决策结果进行操作，而不考虑特征之间的复杂关系，基于决策级的算法也可能无法处理特征之间的非线性关系和复杂的数据结构，导致性能受限。此外，基于决策级的算法对模型的质量要求较高，因为它们直接依赖于模型输出进行决策，模型的不准确性会直接影响融合结果的准确性，因此，我们决定采用基于特征级的图像融合算法来实现红外-可见光的跨模态图像融合操作。

传统的卷积神经网络在捕捉长距离依赖关系方面存在局限性，同时参数量也相对较多。因此，我们自研 ST-DcGAN 深度学习模型，实现红外-可见光图像融合任务。我们采用在 DDcGAN 模型的生成器中，加入 Spatio-Transformer 融合模块，通过其自注意力机制有效地捕捉全局的特征关系，从而可以同时利用局部信息和全局信息，在多个尺度上学习局部信息和长距离信息，融合不同模态的互补信息会更有效，这在图像融合任务中尤为重要，同时，

Transformer 的自注意力机制使得模型能够关注输入序列中不同位置的特征，因此可以提供更好的可解释性。在图像融合任务中，了解模型关注的重要区域和特征可以帮助我们理解模型的决策过程。同时，Transformer 的参数数量相对较少，这使得它在一定程度上更加轻量化，并且能够更好地处理大规模的图像融合任务，这很适用于大量铁塔数据的图像融合。此外，DDcGAN 模型拥有两个判别器，一个用来衡量融合图像中保留的可见光图像的特征数量，另一个用来衡量融合图像中保留的红外图像的特征。将上述二者进行结合，能够成功融合提取红外和可见光图像中的特征，大大提高了后续特征匹配和时兴晃动监测的精确度。

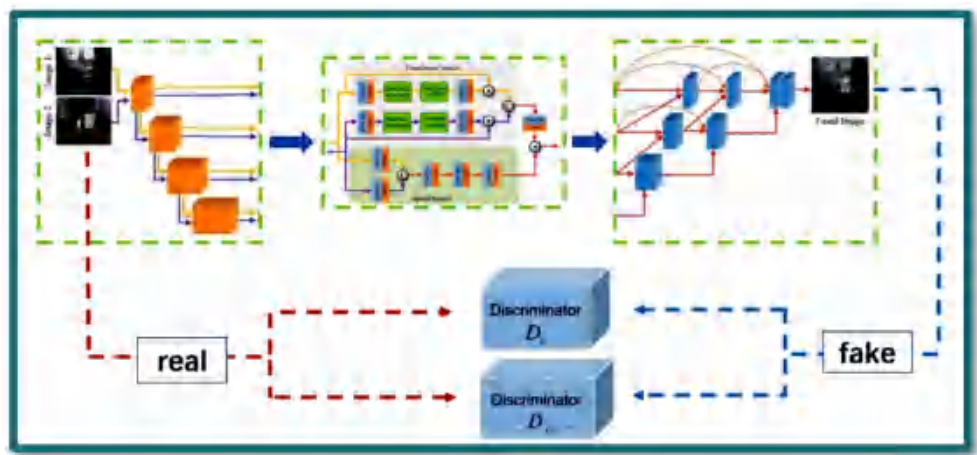


图 3.2.1-11 ST-DcGAN 模型示意图

1) 数据预处理

在进行图像融合任务之前，我们通常需要对红外-可见光图像进行预处理。

首先进行图像对齐处理，由于红外图像和可见光图像通常来自不同的传感器或设备，即使我们保证了可见光和红外相机的同时拍摄，但是它们仍然可能存在微小的平移、旋转或缩放。因此，我们采用 Harris 角点检测法，为每个角点赋一个描述符，将两幅图片检测出的角点按照描述符进行配对，实现匹配。

同时，我们需要对红外图像和可见光图像进行增强处理，以增加图像的对比度、清晰度和亮度。我们采用直方图均衡化的图像增强技术，首先，计算原始图像的直方图，得到每个灰度级别的像素数量；然后计算原始图像的灰度概

率密度函数；紧接着计算原始图像的累积分布函数，最终对每个像素值进行映射：

$$S_k = \text{round}((L - 1) \times \text{CDF}(r_k))$$

从而得到均衡化后的图像。

此外，由于可见光相机容易受到噪声的影响，因此我们需要对可见光图像进行去噪操作，从而更好更精确地实现红外-可见光图像融合。我们采用均值滤波器的方法对可见光图像进行去噪处理。其采用像素周围领域的像素值的平均值来替代中心像素的值，降低图像中的噪声和细节。

$$\text{Output}(x, y) = \frac{1}{(2n + 1)^2} \sum_{i=-n}^n \sum_{j=-n}^n \text{Input}(x + i, y + j)$$

2) ST-DcGAN 模型构建

我们通过在 DDcGAN 生成对抗网络模型的生成器中，加入 Spatio-Transformer 融合模块，实现图像融合。

• DDcGAN

一种端到端的双鉴别器条件生成对抗网络，生成器基于内容损失生成融合图像，欺骗鉴别器；两个鉴别器区分 fuse 图像和两个源图像之间的结构差异。DDcGAN 约束了降采样的融合图像，使其与红外图像具有相似的特性。这可以避免造成热辐射信息模糊或可见的纹理细节损失。

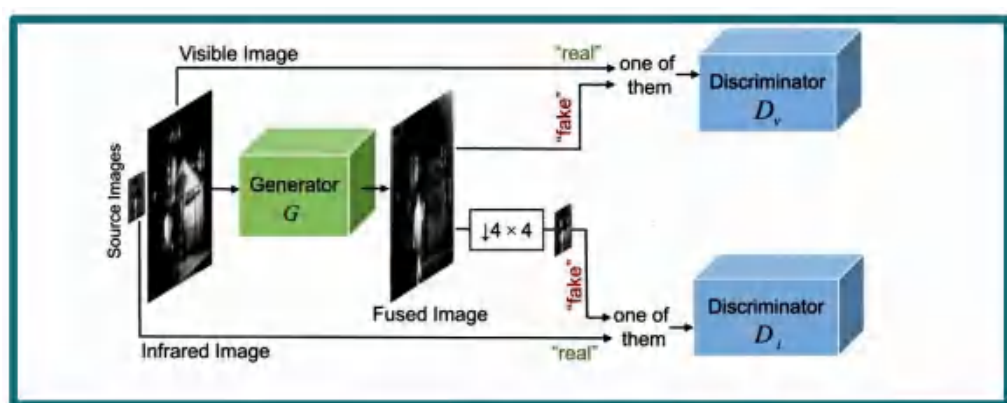


图 3.2.1-12 DDcGAN 模型示意图

生成器 G 鼓励生成图像 $G(v, i)$ ；同时利用两个对抗性鉴别器 D_v 和 D_i ，

分别生成一个标量，估计从真实数据而不是 G 输入的概率。与最大池相比，平均池保留了低频信息，因此采用了降采样，热辐射信息主要以这种形式表示。

为了生成器和鉴别器之间的平衡，除了鉴别器的输入外，我们不将源图像 v 和 i 作为额外的/条件信息提供给 D_v 和 D_i 。

• Spatio-Transformer

Spatio-Transformer 总体结构包含两部分：空间分支和 transformer 分支。空间分支包含多个卷积层，用于获取局部信息。transformer 分支则包含一个基于 axial attention 的模块，用来获取全局信息，从而实现同时利用局部信息和全局信息。

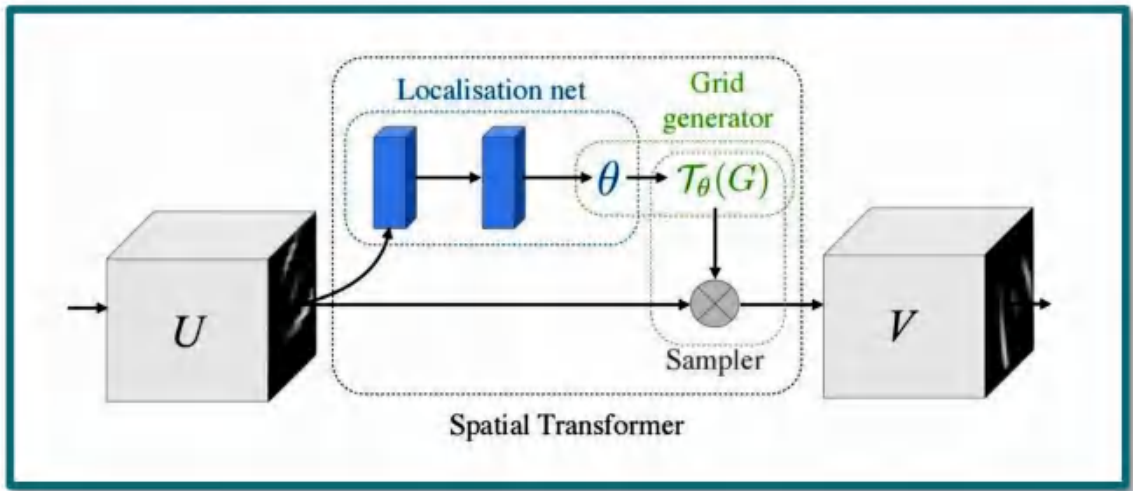


图 3.2.1-13 Spatial Transformer 模块示意图

其首先为了将空间信息引入到 Transformer 模型中，通常会采用位置编码的方式来将位置信息嵌入到输入序列中，接着输入图像的每个区域经过嵌入层转换成向量表示后，被输入到编码器中进行处理，编码器由多个 Transformer 层组成，每个层包括多头自注意力机制和前馈神经网络两个子层。编码器的作用是将图像中的空间信息进行编码，并产生一个上下文相关的表示。然后，编码器的输出通常会经过一些全连接层或其他类型的神经网络层进行进一步处理，

以生成最终的特征表示。

• ST-DcGAN 模型

ST-DcGAN 模型由生成器和双判别器构成。生成器以铁塔红外和可见光图像作为输入，以融合后的图像作为输出。整体由编码器、ST 融合网络、nest 解码器组成。编码器包含四个编码块 每个编码块都有一个卷积层，使用 3×3 的卷积核、ReLU 损失函数、最大池化，在得到输入后每个编码块分别针对红外与可见光图像提取一个尺度的深度特征，这样就会得到四个尺度的深度特征，然后四个尺度的深度特征分别再通过一个 ST 融合网络将红外与可见光的深度特征进行融合。融合后的特征图再训练一个 nest 解码器来得到输出的融合图像，解码器结构以 RFN-Nest 解码器为基础。

其中，transformer 分支包含一个基于 axial attention 的模块，用来获取全局信息。我们采用先在竖直方向进行 self-attention，然后再在水平方向进行 self-attention，以这种形式降低计算复杂度。沿着竖直方向的 self-attention 可以用下式计算。

$$y_{ij} = \sum_{h=1}^H \text{softmax}(q_{ij}^T k_{ih} + q_{ij}^T r_{ih}^q + k_{ij}^T r_{ih}^k)(v_{ih} + v_{ih})$$

其中 r 就是可学习的位置编码，在训练过程中一起更新参数。在 axial-attention 中，上式分别在竖直和水平方向上计算，提供一种高效的 attention 计算方法。

在编码器编码后，输入 Spatial-transformer 融合网络，两个分支得到的特征图进行相加，即最终的融合特征图，送入 nest 解码器得到融合结果。

我们的方法在保留结构细节信息的同时还要保留显著的前景与背景信息，因此训练时的损失函数用下式表示：

$$L_{fuse} = L_{feat} + \alpha L_{det}$$

右边第二项是结构相似性损失，通过下式计算得到：

$$L_{det} = 1 - SSIM(O, I)$$

O 和 I 分别是融合图像与输入图像，SSIM 函数衡量它们之间的结构相似性，这个值越接近 1 说明融合图像对源图像保留的细节信息更多。右边第一项是特征相似性损失，通过下式计算得到：

$$L_{feat} = \sum_{m=1}^M w_1 \|\phi_f^m - (w_{I1}\phi_{I1}^m + w_{I2}\phi_{I2}^m)\|_F^2$$

其中 M 是特征尺度的数量，例如本文模型就是 4 个尺度，M=4。f、I₁、I₂ 分别是融合图像、输入图像 1、输入图像 2。w 是平衡各分量的超参数。Φ 表示了各输入图像对应的特征图。F 为 Frobenius norm。

在得到融合图像后，我们将其输入双判别器 D_v 和 D_i，D_v 将生成的图像与可见图像区分开，D_i 经过训练以区分原始的低分辨率红外图像和下采样的生成/融合图像。

为了在生成器和判别器之间保持平衡，除了输入鉴别器外，我们不将源图像 v 和 i 作为附加/条件信息提供给 D_v 和 D_i，即每个判别器的输入层是包含样本数据的单通道，而不是同时包含样本数据和对应的源图像作为条件信息的两通道。当条件和待判别的样本相同时，判别任务被简化以判断输入图像是否相同，这对于神经网络来说太简单了。当生成器无法欺骗鉴别器时，对抗关系将无法建立，并且生成器将倾向于随机生成。因此，该模型将失去其原始含义。

将下采样算符表示为 ψ，由两个平均池化层实现。这两层的 kernal_size 为 3×3，stride 为 2。因此，G 的训练目标可以表述为最小化以下对抗目标：

$$\min_G \max_{D_v, D_i} \{ \mathbb{E}[\log D_v(v)] + \mathbb{E}[\log(1 - D_v(G(v, i)))] + \mathbb{E}[\log D_i(i)] + \mathbb{E}[\log(1 - D_i(\psi G(v, i)))] \}$$

相反，判别器的目的是使上式最大化。通过生成器和双判别器的对抗过程，P_G 和两个实际分布（P_V 和 P_I）之间的差异将同时变小，其中 P_G 是生成样本的概率分布，P_V 是可见图像的真实分布，P_I 是红外图像的分布。

生成器不仅被训练来欺骗判别器，而且还被要求约束内容中生成的图像和源图像之间的相似性。因此，生成器的损失函数由对抗损失 $\mathcal{L}_G^{adv}$ 和内容损失 $\mathcal{L}_{con}$ 组成，权重 λ 控制权衡：

$$\mathcal{L}_G = \mathcal{L}_G^{adv} + \lambda \mathcal{L}_{con}$$

$$\mathcal{L}_G^{adv} = \mathbb{E} \left[\log \left(1 - D_v(G(v, i)) \right) \right] + \mathbb{E} \left[\log \left(1 - D_i(\psi G(v, i)) \right) \right]$$

下面是双判别器的损失：

$$\mathcal{L}_{D_v} = \mathbb{E} [-\log D_v(v)] + \mathbb{E} \left[-\log \left(1 - D_v(G(v, i)) \right) \right]$$

$$\mathcal{L}_{D_i} = \mathbb{E} [-\log D_i(i)] + \mathbb{E} \left[-\log \left(1 - D_i(\psi G(v, i)) \right) \right]$$

最终实现学习以它们为条件的生成器 G ，并鼓励生成的图像 $G(v, i)$ 足够实际和有用，以欺骗判别器。

通过 ST-DcGAN 模型，我们可以在红外-可见光融合任务中获取更多特征，同时利用局部信息和全局信息，在多个尺度上学习局部信息和长距离信息，更有效地融合红外图像和可见光图像的互补信息。同时采用轻量化的 transformer 结构，能够更好地处理大规模的图像融合任务，这很适用于大量铁塔数据的图像融合。最终我们能够成功融合提取红外和可见光图像中的特征，大大提高了后续特征匹配和时序晃动监测的精确度。

3.2.2 兴趣点时序匹配技术

在多硬件跨模态协同监测后，我们得到了红外-可见光的融合图像，在进行晃动预测前，需要选取图像中的兴趣点进行匹配，从而对其晃动监测，计算晃动位移。针对传统的手动选取兴趣点的方法，以及考虑到在计算建筑物晃动位移的过程中，需要实现对其连续拍摄，但是在连续拍摄的过程中，不同位置图片中的兴趣点位置识别会出现一定的误差。基于此，本团队研发了一种兴趣点时序匹配技术，以下是该技术具体实施方案。

3.2.2.1 融合图像预处理

红外相机在拍摄过程中，周围环境条件等会影响图像的清晰程度，如云、树木等，会形成背景噪声，因此在晃动监测前还需要对图像进行降噪和增强处理。图像去噪和增强是图像处理中的重要研究领域，图像去噪的主要目的是从噪声图像中恢复图像的原始信息，便于图像处理和分析等后续工作；图像增强则根据实际需求有选择地强调或抑制图像中某些信息，改善图像的模糊状况，突出图像的局部细节特征，进一步改善图像的质量。

为了提高监测精确度，本团队所设计的预处理工作流程如图 3.2.2-1 所示：



图 3.2.2-1 ST-DcGAN 模型流程图

· 噪声处理技术

在噪声处理部分，团队使用“均值平滑滤波+频率增强”的混合去噪方式，同时利用空间域和频率域两部分信息：

(1) 均值平滑滤波

均值平滑滤波的核心是对需要处理的像素给予模板，它涉及到附近的其他像素，通过模板中所有像素值的平均值替代之前的像素值。

假定输入图像 $f(x, y)$ 为 $M \times N$ 矩阵，低通滤波器冲击相应 $h(x, y)$ 为 $L \times L$ 的二维矩阵，进行卷积后，低通滤波器对外提供 $M \times N$ 矩阵：

$$g(x, y) = \sum_{m=0}^L \sum_{n=0}^L f\left(x + m - \frac{L}{2}, y + n - \frac{L}{2}\right) * h(m, n)$$

线性低通滤波器是最普及的线性平滑滤波器。它的主要特点是全部系数均为正值，拿 3×3 的模板来说，最基础的状况是所有系数均为 1，为使输出图像不超过之前的灰度范围，求出 R 后，用它除以 9，重新赋值，此即为邻域平均法的核心之所在。

(2) 频率增强

频率域技术是以卷积理论为依据的。假定函数 $f(x, y)$ 和线性位不变算子 $h(x, y)$ 的卷积结果为 $g(x, y)$ ，也就是：

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y)$$

那么，根据卷积定理在频率有：

$$G(u, v) = H(u, v)F(u, v)$$

其中 $G(u, v)$ 、 $H(u, v)$ 、 $F(u, v)$ 分别是 $g(x, y)$ 、 $h(x, y)$ 、 $f(x, y)$ 的傅里叶变换。

频域增强的流程为：

- 计算需要增强的傅里叶变换；
- 与转换函数相乘；
- 对乘积予以傅里叶反变换。

上述流程的关键点在于：将高塔红外图像从空间域转换到频率域中，及其逆向变换，并在频率域中，进行有效的增强加工。增强通过数学方式可以描述为：

$$g(x, y) = T^{-1}\{EH[T(f(x, y))]\}$$

具体的，低通滤波和高通滤波都能够实现增强的效果。我们对

Butterworth 低通滤波器进行代码实现，其转移函数如下：

$$H(u,v) = \frac{1}{1+[d(u,v)/d_0]^{2n}}$$

而在解决具体问题时，针对图像中面积大，变换不明显的成分，要缩小其对比度，一般要令 0 频率的增益达不到单位 1，若传递函数经过原点，即为 laplacian 滤波器。我们使用 n 阶截断频率为 d0 的 Butterworth 高通滤波，其转换函数为：

$$H(u,v) = \frac{1}{1+[d_0/d(u,v)]^{2n}}$$

· 图像增强技术

图像增强技术能突出图像中的关键信息部分，减小非关键信息部分的干扰，一般对红外图像进行噪声处理后还要对其进行图像的增强处理。我们对去噪后的影像图片采用线性灰度变换和直方图均衡化。



图 3.2.2-2 图像预处理

(1) 线性灰度变换

线性灰度变换是将原图像的灰度动态范围按线性关系扩展到指定范围或整个动态范围。a、b 为原图像所占用灰度级别的最小值和最大值，c、d 为增强后的图像所占用灰度级别的最小值和最大值。

$$s = T(r) = \begin{cases} c & r \in [0, a) \\ \frac{d-c}{b-a} * [r-a] + c & r \in [a, b] \\ d & r \in (b, 255] \end{cases}$$

该方法实现简单，算法复杂度低，对于曝光不足或过度、成像设备的非线性、记录设备的动态范围太窄等原因引起的图像对比度过低的情况，线性灰度增强将取得较好的灰度增强效果。

(2) 直方图均衡化

直方图增强技术是一种通过改变图像的全部或局部对比度进行图像增强的技术，其典型处理方法之一就是直方图均衡化。直方图均衡化的思想是把原始图像中的像素灰度做某种映射变换，使变换后图像灰度的概率密度为均匀分布，即变换后的图像灰度级均匀，这意味着图像灰度的动态范围的增加，提高图像的对比度。

运用上述的降噪处理技术和图像增强技术后，我们成功改善了夜间阴雨天气拍摄到的高压铁塔照片。图 3.2.2-3 左侧是我们拍摄到的夜间阴雨天气下的高压铁塔，右侧是经过我们噪声消除和图像增强后的高压铁塔。我们不难发现，经过处理后，图像的对比度更加明显了，而且背景中存在的云朵、塔下杂物等噪声也很好的消除了，这样也更好的突出了作为关键信息的高压建筑物。



图 3.2.2-3 夜间阴雨天气下高压铁塔照片与处理过后的照片

3.2.2.2 Harris 角点检测技术

基于此前传统的兴趣点选取办法通常是手动选取，无法实现科学性、精确性，常常会造成较大误差。因此，本团队应用 Harris 角点检测技术，科学提取晃动兴趣点。

本技术通过 Harris 角点检测技术检测红外图像角点，并对每个角点计算一个响应值，表示这个点的强度，并设置阈值过滤强度较低的角点；Harris 角点检测技术是一种常用的计算机视觉算法，用于检测图像中的角点，Harris 角点检测技术基于图像的局部灰度变化，在不同方向上进行局部的灰度差分，通过计算一个称为 Harris 矩阵的特征值来判断每个像素点是否是角点。

使用 Harris 角点检测技术检测红外图像中的角点，并计算每个角点的响应值。通过设置阈值来过滤强度较低的角点，可以筛选出具有较高强度的角点，从而提高了特征点的精确性和准确性。

3.2.2.3 聚焦于特征匹配的 IFM 深度学习模型

高塔晃动监测的设计思路为利用激光雷达获取建筑物三维点云，其中包含兴趣点的距离信息；接着拍摄红外相片，选择兴趣点，并连续拍摄；对相片做预处理后，计算兴趣点坐标与相对初始照片中兴趣点的位移差，由此实现建筑物晃动监测。由于连续拍摄过程中，对兴趣点位置识别会出现一定误差。因此，如何保证兴趣点坐标与相对初始照片中兴趣点的位移计算准确率为该技术核心点。

受益于 Transformer 的全局感受野和远程依赖性，LoFTR 及其变体将邻域共识扩展到整个图像，为密集特征匹配方法设置了 SOTA 性能。但目前特征匹配方法大都基于最近邻搜索算法找到点与点的对应关系，而我们发现这种一对一的点对应方式并不利于特征匹配的训练，对于通过一对一分配获得的标签，只有满足相互最近邻约束的对应关系才被视为正样本，而其他的则被视为负样本。这样会将好的对应关系变成负样本，这与多视图几何理论不一致。因此我

们创新性地使用自适应的分配模块实现点与点多对一的分配，并于Transformer 网络结合，提出我们的 IFM 特征匹配深度学习模型。如图 3.2.2-4。

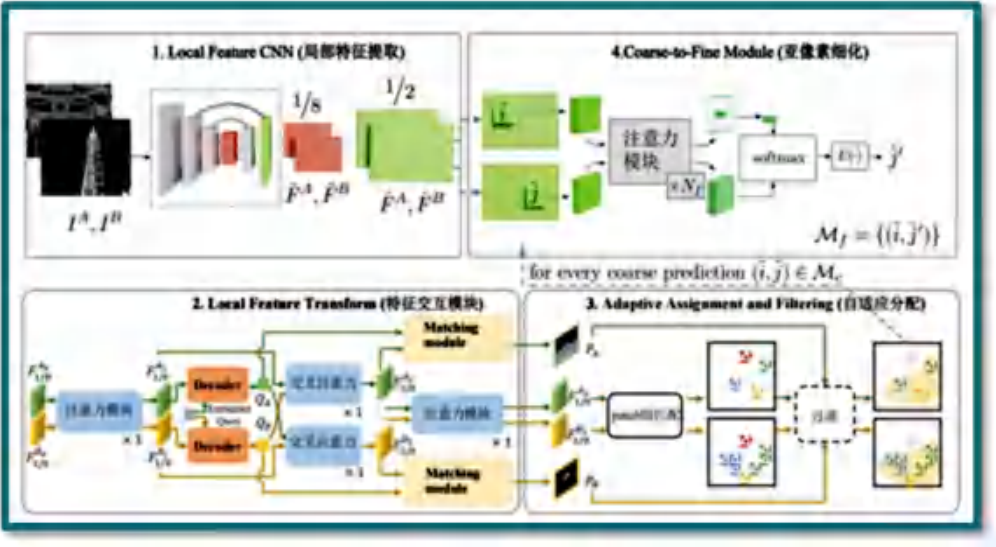


图 3.2.2-4 特征匹配网络 IFM

· 模型搭建

基于上述模块，我们的模型 *IFM* 能够减轻建筑物图像对之间潜在的几何不匹配，而无需进行尺度对齐预处理或视点扭曲。同时该模型允许在训练和推理过程中在补丁级匹配上进行自适应分配（包括多对一和一对一），当尺度或视点发生显着变化时，自适应分配可以保证匹配精度。此外，我们引入的特征交互模块的结构将共同可见特征解码与交叉特征交互结合起来，允许通过简单的模块获得共同可见区域的概率图，以过滤掉共同可见区域之外的匹配。**IFM 主要分为以下四个部分：基于CNN的局部特征提取、基于transformer的特征交互模块、自适应分配和过滤模块、亚像素细化模块。**

● 基于CNN的局部特征提取

使用局部特征 CNN 的标准卷积架构从两个图像中提取多级特征，同时 CNN 引入的下采样还减少了模型的输入长度，能够有效节约计算成本。我们将使用 $\hat{F}_B$ 表示原始图像维度 $\frac{1}{8}$ 处的粗级特征，并且 $\hat{F}_A$ 和 $\hat{F}_B$ 表示原始图像维度 $\frac{1}{2}$ 处的精

细级特征。

- 基于transformer的特征交互模块

Transformer 编码器由顺序连接的编码器层组成。编码器层的关键元素是注意力层。注意力层的输入向量通常称为查询、键和值。与信息检索类似，查询向量 Q 根据 Q 和每个值 V 对应的关键向量 K 的点积计算出的注意力权重，从值向量 V 中检索信息。形式上，注意力层表示为：

$$\text{Attention}(Q, K, V) = \text{softmax}(QK^T)V$$

此处我们使用的*transformer*结构为：首先使用一组自注意力层和交叉注意力层作为特征编码器来获取图像内和图像间的信息，输出特性分别表示为 $F_{\frac{1}{8}}^{A1}$ 和 $F_{\frac{1}{8}}^{B1}$ 。我们采用一个查询 $Q \in R^{1 \times d}$ 来嵌入共同可见上下文，其中 d 是通道维度， Q_A 和 Q_B 分别表示从 $F_{\frac{1}{8}}^{A1}$ 和 $F_{\frac{1}{8}}^{B1}$ 解码的特征。同时执行一个交叉注意层来解码共同可见区域的位置编码。

对于位置编码，我们按照 *DETR* 在 *Transformers* 中使用标准位置编码的 $2D$ 扩展。与 *DETR* 不同，我们只将它们添加到骨干输出一次。我们将位置编码的正式定义留在补充材料中。直观上，位置编码以正弦格式为每个元素提供唯一的位置信息。通过将位置编码添加到 $\widetilde{F}_A$ 和 $\widetilde{F}_B$ ，变换后的特征将变得位置相关，这对于在不明显的区域中产生匹配的能力至关重要。通过特征交互模块的处理就可以使我们的无检测器匹配方法在尺度或视点变化时更加鲁棒。

- 自适应分配和过滤模块

这部分实现了跨图像特征匹配时的自适应分配。当比例变化或视点变化时，一幅图像中的多个块的中心将仅投影到另一幅图像的一个块中，称为多对一对应。如下图所示，当比例变化或视点变化时，一幅图像中的多个块的中心将仅投影到另一幅图像的一个块中，称为多对一对应。对于通过一对一分配获得的标签，只有满足相互最近邻约束的对应关系才被视为正样本，而其他的则被视为负样本。这样的分类并不利于训练。这种一对一的分配标准会将好的对应关系变成负样本，这与多视图几何理论不一致。相反，自适应分配将使对应项都

分类为正样本，因为它们的外观相似并且也符合几何约束。当应用于多视图任务时，一对一分配不能保证多视图几何一致性。相反，当在像素级匹配中允许自适应多对一/一对多/一对一分配时，将减轻大规模或视点变化下的特征不一致。

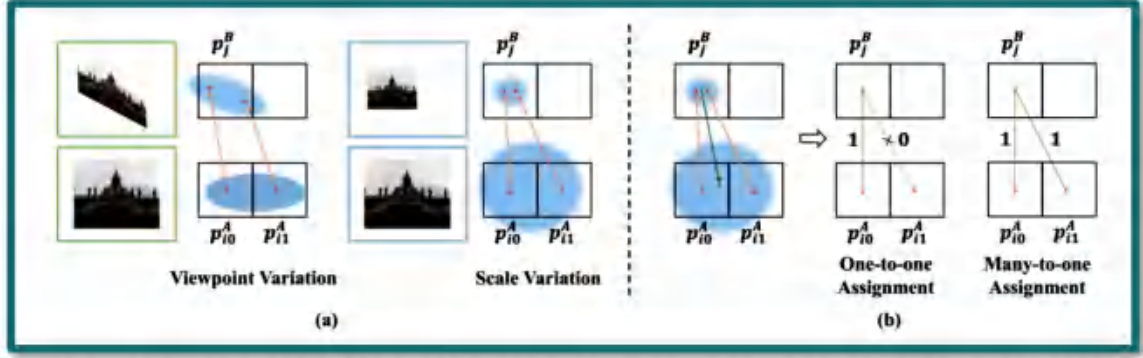


图 3.2.2-5 一对一和多对一分配的比较

自适应分配是一种单向操作，由多对一和一对一分配组成，即，我们将具有较大共同可见区域的图像上的很多像素分配给具有较小共同可见区域的图像上的一个补丁。当存在很小的尺度或视点变化时，多对一分配会自适应地变为一对一。因此，我们分别对二维上的相似度矩阵 $S(i, j)$ 应用 $softmax$ 运算，然后用阈值 θ_m 选择相似的匹配。其中相似度矩阵在给定 LFT (Local Feature Transform) 模块的输出后的计算为：

$$S(i, j) = \frac{1}{r} \cdot \langle F_{\frac{1}{8}}^{A_3}(i), F_{\frac{1}{8}}^{B_3}(j) \rangle$$

其中 i 和 j 分别是两个图像中特征块的索引， $\langle \cdot, \cdot \rangle$ 表示内积。之后计算匹配概率矩阵：

$$P_k = softmax(S(I, \cdot))_j$$

$$M_k = \{(\tilde{i}, \tilde{j}) | P_k(\tilde{i}, \tilde{j}) > \theta_m\}$$

其中 P_0 和 P_1 是沿第零维和第一维进行 $softmax$ 运算得到的匹配概率矩阵。然后我们选择匹配概率矩阵和最终的匹配：

$$M: P = P_{index}, M = Filtering(M_{index}, P_A, P_B, \theta_{co-visible})$$

其中 $Filtering$ 是过滤掉预测共同可见区域之外的匹配， $\theta_{co-visible}$ 是用于选

择共同可见概率图中属于共同可见区域的像素。

● 亚像素细化模块

通过自适应分配，我们通过尺度和视点获得像素级匹配方案。然后，我们通过比例对齐和期望回归模块将这些匹配建议细化为更准确的子像素级匹配。精细化模块的组成主要有两个部分：比例尺对齐和像素回归。

对于每个粗匹配 $(\tilde{i}, \tilde{j})$ ，首先在精细级特征图上定位其位置 $(\hat{i}, \hat{j})$ ，然后裁剪两组大小为 $w \times w$ 的局部窗口。然后使用自/交叉注意力模块将每个窗口内的裁剪特征变换 N_f 次，产生分别以 $\hat{i}$ 和 $\hat{j}$ 为中心的两个变换后的局部特征图 $F_{tr}^A(i)$ 、 $F_{tr}^B(j)$ 。然后，我们将 $F_{tr}^A(i)$ 的中心向量与 $F_{tr}^B(j)$ 中的所有向量相关联，从而生成一个热图，该热图表示 $\hat{i}$ 和 $\hat{j}$ 邻域中每个像素的匹配概率。通过计算概率分布的期望，我们得到亚像素精度的最终位置。

● 损失函数设计

搭建完模型结构后需制定相应的训练策略，我们设置的最终损失由三个 *loss* 函数组成，分别为共同可见区域分割损失、匹配损失、细化损失。

对于共同可见区域分割，我们将其视为每像素二元分类任务。损失 $L_{co-visible}$ 可以通过 *Focal Loss* 计算：

$$L_{co-visible} = FL(P_A, \widehat{P}_A) + FL(P_B, \widehat{P}_B)$$

其中， $\widehat{P}_A$ 和 $\widehat{P}_B$ 分别表示图像A和图像B的真实共可见区域，根据深度和摄像机姿态计算。

对于自适应匹配概率矩阵 P 的损失函数，我们使用与 *LoFTR* 中相同的 *Focal Loss*：

$$L_M = FL(P, \tilde{P})$$

其中 P 是根据相机位姿和深度图计算的自适应匹配概率矩阵的真实标签， $\tilde{P}$ 是预测的匹配概率矩阵。对于 *Focal Loss* 中的 α 和 γ 参数，我们使用默认值，分别设置为 0.25 和 2。

对于细化的损失，我们使用 LoFTR 中的损失计算方式：

$$L_{refine} = \frac{1}{|M_{gt}^k|} \sum_{i,j'} \frac{1}{\sigma(i)^2} ||j' - j_{gt}'||$$

其中 k 是上面的 index， M_{gt}^k 是真实匹配， $\sigma(i)^2$ 为对应热图的方差。

我们根据对训练结果进行评估和多次调参实验，得到我们最终的 loss 函数：

$$L = 0.3 \cdot L_{co-visible} + 0.7 \cdot L_M + L_{refine}$$

我们针对该模型进行了对比实验，结果反映了我们的模型在姿态误差、单应性和定位误差的情况，说明**我们的模型能够在单应性上超越现有的前沿模型，在定位精度上与现有前沿模型基本持平，在姿态误差上略逊于现有前沿模型。**在后续的研究中，我们将优化模型内部结构，不断实验，争取提高模型在姿态误差上的精度。

针对铁塔监测领域，我们用我们的模型对精度标定实验和野外实测实验中获取到的实地铁塔数据源进行了特征匹配并对效果进行评估，匹配结果图如下：

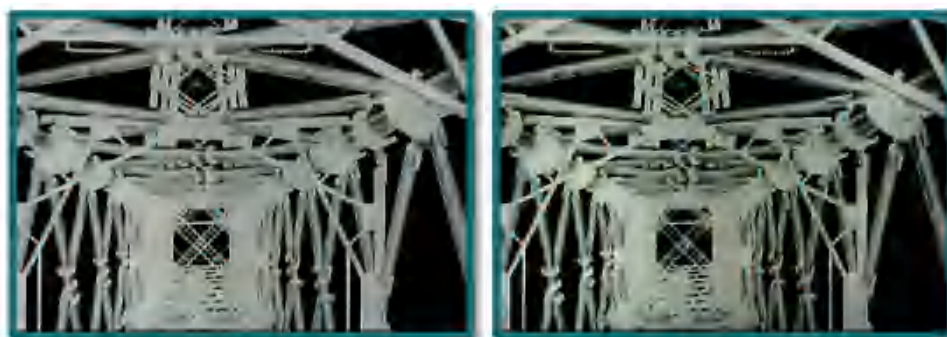


图 3.2.2-6 铁塔红外照片（底部拍摄）

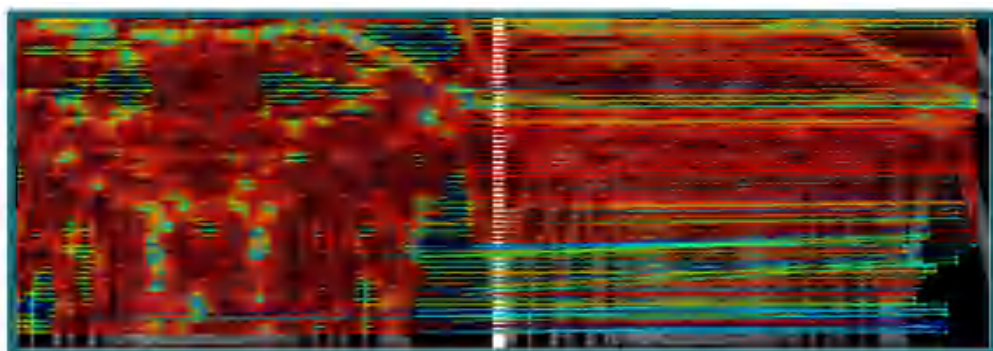


图 3.2.2-7 特征匹配结果

结果显示即使是非边缘点，模型也可以提取特征点进行匹配，且匹配位置基本无误，主要问题在于会将铁塔背后无关的云雾进行匹配，导致一些不必要的匹配，但由于在实际铁塔应用中只需要匹配准确率最高的几个点即可算出铁塔的变化位移，因此对最终结果并无影响。**本时序匹配技术将建筑物晃动位移检测精度从厘米级有效提升至毫米级！**

3.2.3 内-外多源数据仿真晃动预测技术

由于此前对建筑物晃动倒塌预测技术通常只关注建筑物的晃动位移，没有考虑到其他的必要因素。因此，本团队建立内-外因多源铁塔数据库，综合考虑建筑物自身损耗情况、自身材质等内部因素，以及不同地区、不同气候下建筑物事故的外部因素，结合铁塔自身晃动位移数据进行内-外多源数据晃动智能预测。以下是具体实施方案。

3.2.3.1 晃动位移数据分析

通过特征点计算位移流程，我们可获得特征点的时序位移数据。为了达到预测性目的，本团队使用了时序分析、频谱分析和回归分析三种模型对数据进行拟合分析。具体如下：

· 时序分析

时序分析是一种用于研究时间序列数据的统计方法。时间序列数据是按照时间顺序排列的一系列观测值，时序分析旨在揭示时间序列中的趋势、季节性、周期性和随机性等特征，以及预测未来的值。时序分析在晃动监测中具有广泛的应用。建筑物晃动监测是为了评估建筑物的稳定性和安全性，以及预测可能的结构破坏和风险。通过时序分析，我们可以从红外相机收集的时间序列数据中提取出塔架晃动的趋势、周期性和随机性特征，进而进行结构状态评估和预测。

在本项目中，我们使用 Python 中的 `auto_arima` 函数进行时序分析。`auto_arima` 是一个用于自动拟合 ARIMA 模型的函数，它是 `statsmodels` 库的一部分。`auto_arima` 函数通过网格搜索的方式自动确定 ARIMA 模型的参数，以找到最优的模型配置，从而对数据进行时序分析。

ARIMA 模型[16]的构成，即自回归差分滑动平均模型 (Autoregressive Integrated Moving Average Model)。ARIMA 模型是时序分析中用于预测未来点数列的常用方法，其数学表示可以概括为以下三个组成部分：

自回归(AR)项：表达当前值与其之前的值之间的关系。如果模型有 p 阶自回归项，其表达式为：

$$AR(p): Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \epsilon_t \# (2.8)$$

其中， Y_t 是当前值， $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ 是模型参数， ϵ_t 是白噪声。

差分(I)项：用于使非平稳时间序列变为平稳序列。如果模型有 d 阶差分，则表示为：

$$I(d): \Delta^d Y_t = Y_t - Y_{t-d} \# (2.9)$$

差分的目的是消除数据的季节性和趋势性，使序列平稳。

移动平均(MA)项：表达当前误差项与之前误差项之间的关系。如果模型有 q 阶移动平均项，其表达式为：

$$MA(q): Y_t = \epsilon_t + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q} \# (2.10)$$

其中， ϵ_t 是当前的误差项， $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ 是模型参数。

综合起来，ARIMA 模型的数学表达式为：

$$ARIMA(p, d, q): \left(1 - \sum_{i=1}^p \phi_i L^i\right) (1 - L)^d Y_t = \left(1 + \sum_{i=1}^q \theta_i L^i\right) \epsilon_t \# (2.11)$$

这里， L 代表滞后算子 (Lag operator)， p 是自回归项的阶数， d 是差分的阶数， q 是移动平均项的阶数。`Auto_arima` 函数通过网格搜索策略在给定的参

数范围内（如 $start_p, start_q, max_p, max_q, m$ 等）自动寻找最佳的 p 、 d 、 q 值以及确定是否需要季节性差分和季节性组件的配置，以实现时序数据的最佳拟合。

· 频谱分析

频谱分析在晃动监测中也是一种常用的分析方法，可以帮助我们了解塔架晃动的频率特征和振动模式。通过频谱分析，我们可以将红外相机监测到的位移数据转换为频域表示，从而更全面地研究建筑物的振动频率成分。通过分析频谱分析中的频谱图，我们可以观察到主要的频率成分和谐波，并获得建筑物振动的频率特征。频谱图通常以频率为横轴，振动能量或幅度为纵轴。在频谱图中，可以识别出塔架晃动的主要频率峰值，这些峰值对应于建筑物的主要振动频率。

频谱分析还可以帮助我们检测异常频率成分或不寻常的振动模式。当建筑物发生异常或结构受损时，频谱图可能会显示出非正常的频率峰值或分布模式，这些信息可以作为结构状态评估和预警的依据。在本项目中，我们使用Python中的scipy库中的`np.fft.fftfreq`进行傅里叶变换。

首先，我们对信号进行快速傅里叶变换（FFT）以获取频域表示：

$$FFT(x[n]) = X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot e^{-\frac{2\pi i}{N}kn} \quad (2.12)$$

其次，计算频率分量：

$$freq = \frac{k}{N \cdot T} \quad (2.13)$$

其中， k 是频率分量的索引， N 是信号长度， T 是采样间隔。

最后，计算功率谱密度（PSD）：

$$PSD(k) = |X[k]|^2 / N \quad (2.14)$$

这里， $X[k]$ 是FFT的结果， N 是信号长度。

· 回归分析

回归分析在晃动监测中扮演着重要的角色，可以帮助我们理解和预测建筑物晃动的行为，即通过建立回归模型，我们可以探索建筑物晃动与各种影响因素之间的关系，从而提供定量的分析和预测结果。

首先，我们收集了与建筑物晃动相关的数据，这些数据包括建筑物上观测点的位移量。我们将它作为因变量，并将时间作为自变量。接下来，我们利用收集到的数据构建了一个回归模型，其中建筑物的晃动幅度被视为因变量，而影响因素被视为自变量。我们可以选择适当的回归模型，如线性回归、多项式回归或岭回归，来描述建筑物晃动与各种影响因素之间的关系。在建立回归模型之后，我们对模型进行了训练和拟合。通过拟合过程，模型可以确定自变量对于建筑物晃动的影响程度和方向。

此外，我们对回归模型进行了评估，以确定模型的拟合程度和预测准确度。常见的评估指标包括均方误差（ MSE ）、均方根误差（ $RMSE$ ）和确定系数（ $R-squared$ ）。这些指标提供了关于模型预测能力和拟合优度的信息。在本项目中，我们使用Python中的`LinearRegression`类和`fit`方法实现。具体公式如下：

线性回归模型的表达式：

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \epsilon \quad (2.15)$$

其中， y 是因变量（目标变量）， $X_1, X_2, \dots, X_n$ 是自变量（特征）， β_0 是截距项， $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ 是模型参数（系数）， ϵ 是误差项。

均方误差（ MSE ）的计算公式：

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2.16)$$

其中， N 是样本数量， y_i 是观测值， $\hat{y}_i$ 是预测值。

均方根误差（ $RMSE$ ）的计算公式：

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2} \#(2.17)$$

确定系数 (R-squared)，也称为拟合优度的表达式：

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \#(2.18)$$

其中， $\bar{y}$ 是 y 的平均值。

最后，将计算出的位移数据存入数据库，将该数据及铁塔拍摄到的特征点实时照片传输到后方客户端软件上的位移显示系统进行显示。该界面也可进行位移数据处理结果的可视化，如图组 3-4-26。

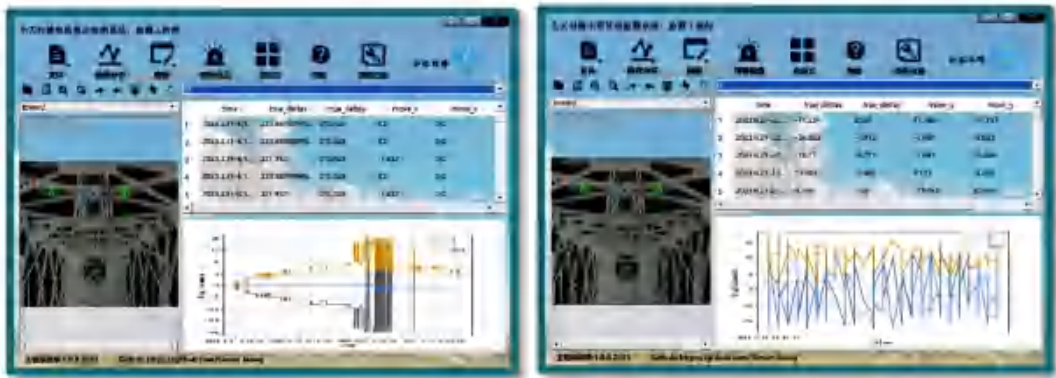


图 3.2.3-1 位移数据分析结果显示

3.2.3.2 GBDT-LSTM 内-外因协同仿真晃动预警模型

在当前建筑物晃动预测的研究领域中，尽管已有一些基于物理模型和简单机器学习方法的研究，但这些方法往往难以准确捕捉到建筑物在复杂环境条件下晃动的动态特性。特别是在极端天气条件下，如大风、雷暴等，现有技术如无人机监测和红外线摄像头监测往往因视线受阻或设备故障而无法有效工作。这导致在关键时刻无法获得准确的建筑物状态信息，从而增加了安全风险。

针对上述问题，本技术提出了一种基于梯度提升树 GBDT 和长短期记忆网络 (LSTM) 的建筑物晃动预测模型。GBDT 的优点在于处理非线性问题和特征选择上的高效性，能弥补 LSTM 在小数据集上的不足；LSTM 擅长捕捉时间序列的长期依赖。二者结合，既利用了 GBDT 的高效性和 LSTM 的深度时间序列分析能力，提高了整体预测模型的性能和准确度。

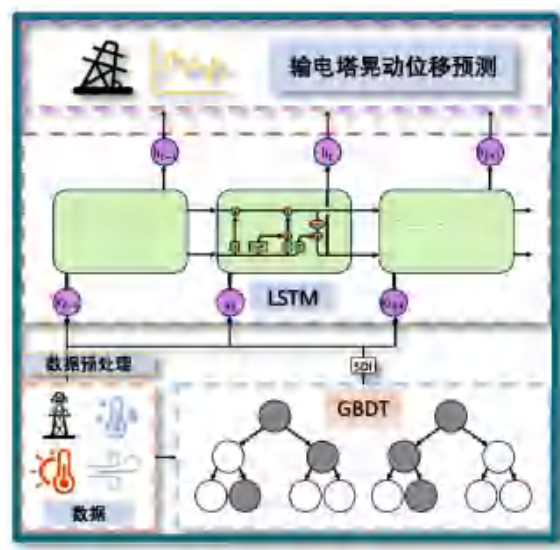


图 3.2.3-2 GBDT-LSTM 模型结构

· 建筑物数据库预处理

在使用建筑物晃动位移、温度、湿度和风速数据构建 GBDT-LSTM 模型之前，数据预处理是至关重要的步骤。首先，使用四分位数范围法（IQR）等识别并处理数据中的异常值。

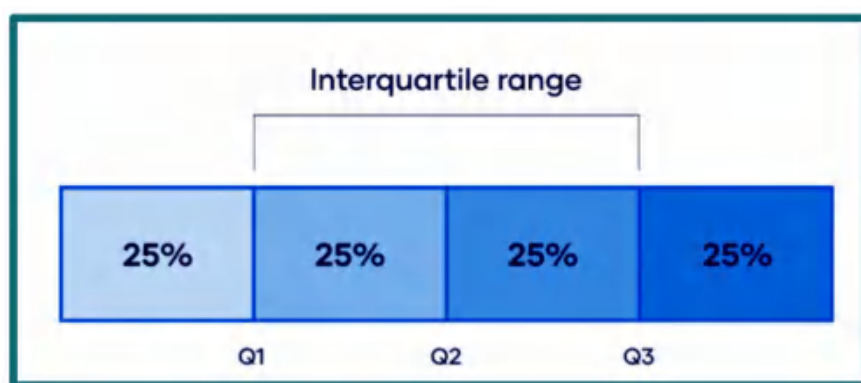


图 3.2.3-3 四分位数范围法（IQR）

四分位数范围法（IQR 方法）是一种用于检测和处理数据中异常值的统计学方法。它基于数据的四分位数（quartiles），主要使用了第一四分位数（Q1）和第三四分位数（Q3）。IQR 方法的公式如下：

$$IQR = Q3 - Q1$$

$$\text{上限: } \text{UpperLimit} = Q3 + k \cdot IQR$$

下限: $\text{LowerLimit} = Q1 - k \cdot IQR$

其中, $Q1$ 是数据集的 25% 的位置处的值。 $Q3$ 是数据集的前 75% 的位置处的值。其中, k 是用户定义的常数倍数, 这个倍数用于确定数据中的异常值的阈值。最后将超出上下限范围的数据视为异常值。

接着, 采用 Z-score 标准化数据进行标准化或归一化处理, 确保不同特征间的量纲一致性和比较公平性。Z-score (Z 值、标准分数) 是一种用于测量数据点在数据集中位置的标准化分数。它表示一个数据点与数据集均值的偏离程度, 以标准差为单位度量。Z-score 可以帮助我们理解数据点相对于整个数据集的位置, 并用于检测数据中的异常值。Z-score 的计算公式如下:

$$Z = \frac{(X - \mu)}{\sigma}$$

其中: Z 是 Z-score。 X 是数据点的原始值。 μ 是数据集的均值。 σ 是数据集的标准差。通过这样的预处理步骤, 可以确保数据在输入模型之前是干净、标准化和适当格式化的, 从而提高模型的准确性和效率。

· GBDT-LSTM 模型构建

通过专家咨询, 文献调查, 建筑物晃动主要原因是建筑物日积月累的损耗的内因和环境因素包括湿度, 温度, 风速的外因。为了衡量建筑物内部损耗, 我们定义了建筑物损耗指数(SDI)。SDI 难以直接被测量, 因此本技术采用 GBDT 模型通过数据的学习得到 SDI. 梯度提升决策树 (GradientBoostingDecisionTrees, 简称 GBDT) 是一种集成学习算法, 它通过串行训练决策树, 每一棵树都校正前一棵树的残差 (实际值与预测值之差), 从而逐步提升模型的性能。GBDT 是一种非常强大且在实践中广泛应用的监督学习算法。GBDT 的训练过程可以通过以下的数学公式表示:

对于第 t 轮迭代, 目标是最小化损失函数为:

$$L(y, F_{t-1}(x))$$

其中 $F_{t-1}(x)$ 是前 $t-1$ 棵树的累积预测, y 是实际标签。

计算残差：

$$r_{it} = -\frac{\partial L(y_i, F_{t-1}(x_i))}{\partial F_{t-1}(x_i)}$$

拟合基础模型：

$$\hat{h}_t(x) = \arg \min_{\hat{h}} \sum_{i=1}^n L(y_i, F_{t-1}(x_i) + \hat{h}(x_i))$$

更新模型：

$$F_t(x) = F_{t-1}(x) + v \cdot \hat{h}_t(x)$$

其中v是学习率。

首先对 GBDT 模型进行初始化，包括树的数量（n_estimators），学习率（learning_rate），每棵树的最大深度（max_depth）等。接着对 LSTM 模型初始化，包括 LSTM 层中的单元数（units），优化器（optimizer），训练迭代次数（epochs）。本技术例采用动态学习率，能够加速模型收敛，提高泛化能力，应对局部最小值，提高模型的性能和稳定性。其中整个模型的损失函数为：

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2$$

其中， $\hat{y}_i$ 是建筑物晃动位移的预测值， y_i 是建筑物晃动位移实际值，n 为样本数量。MSE 越低，即 GBDT-LSTM 模型预测效果越好。

本技术采用的优化器为 AdamW。AdamW（AdamWeightDecay）是 Adam 优化算法的一个变体，主要是为了解决 Adam 算法在权重衰减（weightdecay）上的一些问题。AdamW 在 Adam 的基础上修改了权重衰减的计算方式，以更准确地实现权重衰减，防止权重的过度更新。AdamW 的主要修改是将权重衰减项直接添加到损失函数中，而不是像原始的 Adam 算法那样在更新步骤中处理权重衰减。这样可以更准确地控制权重衰减的影响，并提高优化算法的稳定性。AdamW 的公式如下：

$$\begin{aligned} m_t &= \beta_1 \cdot m_{t-1} + (1 - \beta_1) \cdot \nabla L(\theta_t) \\ v_t &= \beta_2 \cdot v_{t-1} + (1 - \beta_2) \cdot \left(\nabla L(\theta_t) \right)^2 \\ \hat{m}_t &= \frac{m_t}{1 - \beta_1^t} \end{aligned}$$

$$\hat{v}_t = \frac{v_t}{1 - \beta_2^t}$$

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \frac{\eta}{\sqrt{\hat{v}_t} + \epsilon} \cdot (\hat{m}_t + \lambda \cdot \theta_t)$$

其中， θ_t 是参数向量， $\nabla L(\theta_t)$ 是损失函数对参数的梯度， β_1 和 β_2 是指数衰减的移动平均的衰减系数， η 是学习率， ϵ 是为了数值稳定性而添加的小常数， λ 是权重衰减系数，控制权重衰减的强度。通过将权重衰减项 $\lambda \cdot \theta_t$ 直接添加到损失函数中，AdamW 能够更精确地处理权重衰减，避免了在原始 Adam 算法中可能导致权重更新过大的问题。这使得 AdamW 在训练神经网络时更稳定，特别是在处理大规模的深度学习模型时。

接着将 GBDT 模型的得到 SDI 和温度，湿度，风速环境因素输入 LSTM 中。长短时记忆网络（LongShort-TermMemory，LSTM）是一种循环神经网络（RecurrentNeuralNetwork，RNN）的变体，设计用来更好地捕捉和记忆时间序列数据中的长期依赖关系。LSTM 通过引入特殊的内部记忆单元和门控机制，有效地解决了传统 RNN 在处理长序列时的梯度消失和梯度爆炸等问题。LSTM 模型结构如下：

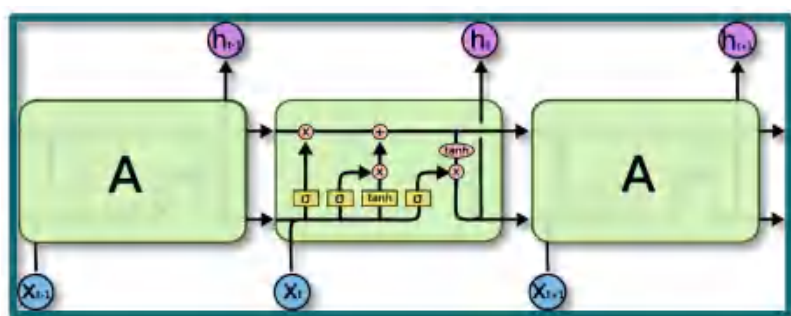


图 3.2.3-4 LSTM 模型架构

LSTM 预测过程如下：LSTM 引入了三个门输入门、遗忘门、输出门。

输入门决定哪些信息将被更新到记忆单元中。它包括一个 sigmoid 激活函数，用于产生一个在 0 到 1 之间的输出，表示每个输入的重要性。输入门的公式为：

$$i_t = \sigma(W_{ii}x_t + b_{ii} + W_{hi}h_{t-1} + b_{hi})$$

其中， i_t 是输入门的输出， σ 是 sigmoid 激活函数， x_t 是当前时刻的输入， h_{t-1} 是上一时刻的隐藏状态 W_{ii} 、 b_{ii} 、 W_{hi} 、 b_{hi} 是可学习的参数。

遗忘门决定前一时刻的记忆是否要被遗忘。类似于输入门，遗忘门也包括一个 sigmoid 激活函数。遗忘门的公式为：

$$f_t = \sigma(W_{if}x_t + b_{if} + W_{hf}h_{t-1} + b_{hf})$$

其中， f_t 是遗忘门的输出， σ 是 sigmoid 激活函数 h_{t-1} 是上一时刻的隐藏状态 W_{if} 、 b_{if} 、 W_{hf} 、 b_{hf} 是可学习参数。

输出门决定当前时刻的隐藏状态 h_t 中哪些信息将被输出到下一时刻的隐藏状态。输出门的公式为：

$$o_t = \sigma(W_{io}x_t + b_{io} + W_{ho}h_{t-1} + b_{ho})$$

其中， o_t 是输出门的输出， σ 是 sigmoid 激活函数， x_t 是当前时刻的输入， h_{t-1} 是上一时刻的隐藏状态， W_{io} 、 b_{io} 、 W_{ho} 、 b_{ho} 是可学习的参数。

为了防止模型过拟合，LSTM 中采用 Dropout。在训练过程中，Dropout 会随机地将神经网络中的一些神经元的输出置零（即舍弃），这样可以阻断神经元之间的依赖关系，使得模型更加健壮。在测试过程中，所有神经元的输出都会被保留。Dropout 的主要思想是通过在每次训练迭代中随机关闭一些神经元，强制模型学习到更加鲁棒和泛化性能更好的特征。这样，网络在每个训练步骤中都不依赖于特定的神经元，减少了过拟合的风险。

Dropout 的公式如下，假设 x 是某一层的输入，mask 是由 0 和 1 组成的二进制向量，表示哪些神经元被保留，哪些被关闭：

$$\text{Dropout}(x) = \frac{x \cdot \text{mask}}{1 - p}$$

其中， p 是关闭的概率，通常取值在 0 到 1 之间。mask 是由 0 和 1 组成的二进制向量，其中 1 的概率为 $1-p$ ，0 的概率为 p 。

GBDT 与 LSTM 模型是协同优化的，其旨在结合两者的优势，提升建筑物晃动位移预测的准确性。首先，GBDT 模型负责处理输入特征，输出建筑物损耗指数（SDI），作为 LSTM 模型的一个输入特征。然后，LSTM 模型综合考

考虑 GBDT 的输出 SDI 和其他原始时间序列数据（建筑物晃动位移、环境温度、湿度、风速）来预测建筑物的晃动位移。通过迭代过程，利用 LSTM 模型的预测结果来不断调整和优化 GBDT 和 LSTM 模型的参数，实现两个模型的性能提升。这种策略通过多轮迭代优化，确保了模型在预测建筑物晃动位移时的高准确性和鲁棒性。

3.2.3.3 GBDT-LSTM 模型部署与预警

在本技术中，每个建筑物上部署的 GBDT-LSTM 模型具备实时监测和预测建筑物晃动位移的能力。随着时间的推移，自然因素如雨水侵蚀会导致建筑物结构损耗逐渐增大，相应地，建筑物损耗指数（SDI）也会随之提高。为了应对这种变化，每个建筑物都配备了相应的传感装置，能够精确收集建筑物的晃动位移数据，同时，本产品实施例通过接入天气预报 API 获取建筑物附近的环境温度、湿度、风速等关键信息。为了维持模型预测准确性，本产品实施例采取了定期模型更新的策略。通过分析收集到的最新数据，模型定期自我调整和优化，以适应环境和结构变化，确保建筑物晃动位移预测的准确度和时效性。这种动态更新机制增强了模型的适应性和鲁棒性，为建筑物的安全运营提供了强有力的技术支持。本产品实施例中的 GBDT-LSTM 模型接入天气预报 API 不断收集未来的温度，湿度，风速。根据已知的 SDI 和收集来的环境因素来预测未来时间点的建筑物晃动，如果建筑物晃动超过一定阈值，发出预警给使用者，从而采取相应措施预防建筑物晃动带来的危害。

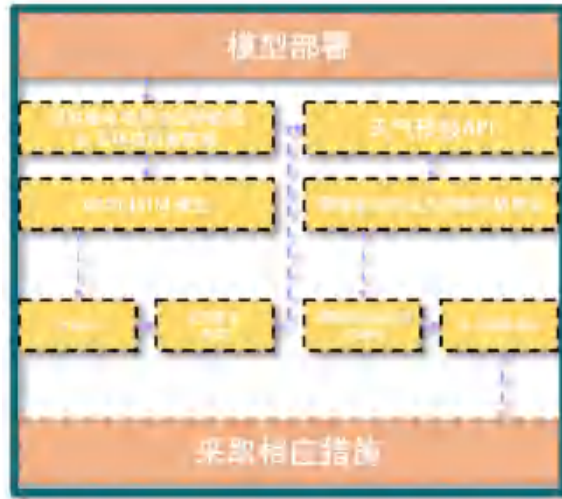


图 3.2.3-5 模型部署与预警机制图

3.2.4 可视化智能软件

基于以上三大核心技术，本产品还开发出一套完整的配套面向用户的可视化建筑物智能晃动监测软件，内嵌有上述的“跨模态图像融合”、“兴趣点时序匹配”和“内-外多源数据晃动智能预测”三大算法，由一份客户端软件和一个浏览器端可视化数据管理平台组成，具备与多硬件协同数据交互的能力，为合作用户的便捷使用提供了低门槛和高灵活的使用渠道。其中，本产品的配套软件可分为四大功能组成部分，分别为“后端监测部分”“用户交互部分”“数据处理部分”和“智能预警部分”。

3.2.4.1 后端监测功能

本项目同步开发了后端晃动监测软件、前端显示客户端软件和浏览器端可视化数据管理平台。后端监测软件控制项目设备，自主采集建筑物红外和可见光图像并发送至项目数据库进行存储。

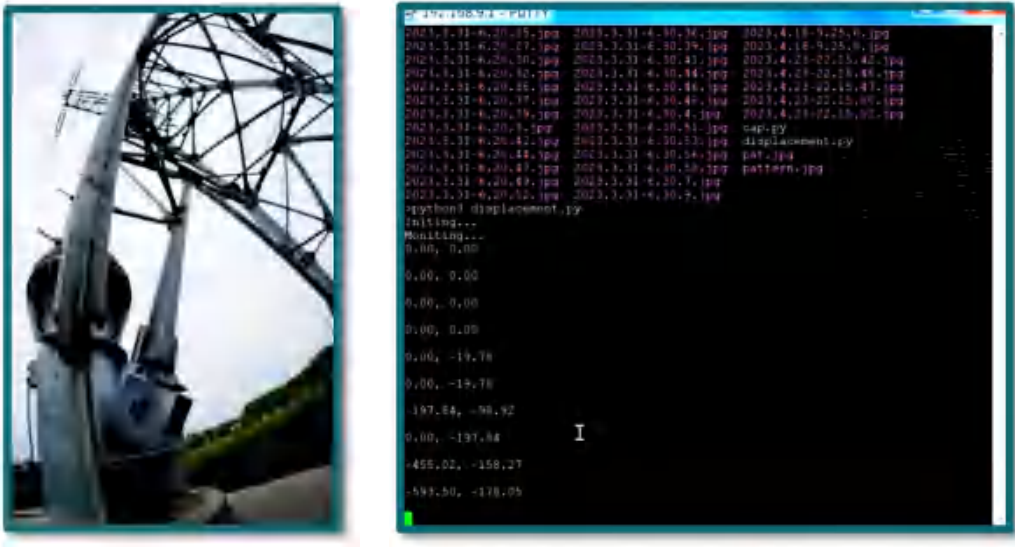


图 3.2.4-1 项目野外监测部分的监测设备和监测设备后台代码

如上图所示，左边是我们项目的自研监测设备，右边是项目的后端监测代码。

3.2.4.2 用户交互功能

用户可以通过交互界面进行注册、登录、获取建筑物图像、晃动数据等信息。如图 3.2.4-2。



图 3.2.4-2 用户交互界面

3.2.4.3 数据处理功能

当软件检测数据库有多源数据存入时，将调用部署在云端的跨模态图像融合算法，对实时监测获取的红外和可见光图像进行图像融合，得到更具互补信息的高清图像。基于此，软件将调用自研 IFM 深度学习模型，对兴趣点进行时序匹配，然后采用自研铁塔数据库时序晃动预测算法，对输入的图像数据进行位移计算，并输入预测网络进行计算预测，从而预报建筑物未来一段实际的晃动结果，并进行显示，如图 3.2.4-3。

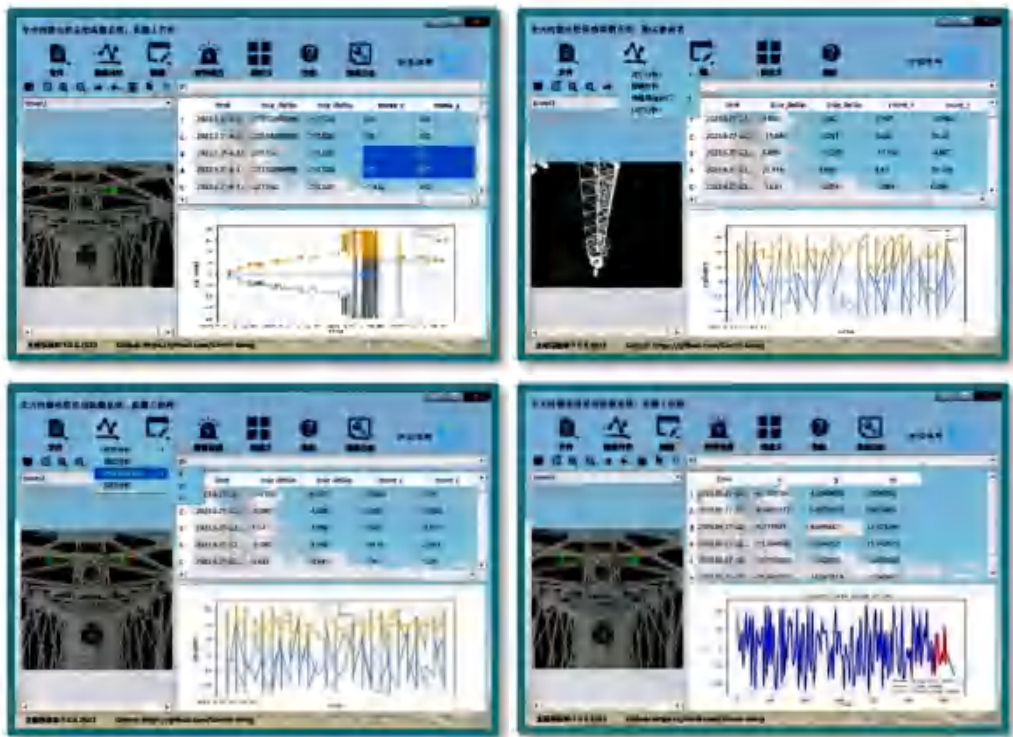


图 3.2.4-3 数据处理结果

3.2.4.4 智能预警功能

进行数据处理后，软件可以根据用户设置的晃动阈值判断当前的晃动数据和预测的晃动数据是否超出阈值，当数超过阈值后，软件会记录下预警时间、晃动数据并发送预警信息至用户邮箱，从而实现晃动预警，见图 3.2.4-4。



图 3.2.4-4 软件预警功能中预警信息生成界面和预警信息通知界面

3.2.4.5 数据管理平台

本团队还开发了一个浏览器端可视化数据管理平台，实现用户、信号塔数据统筹可视化管理。如图 3.2.4-5。

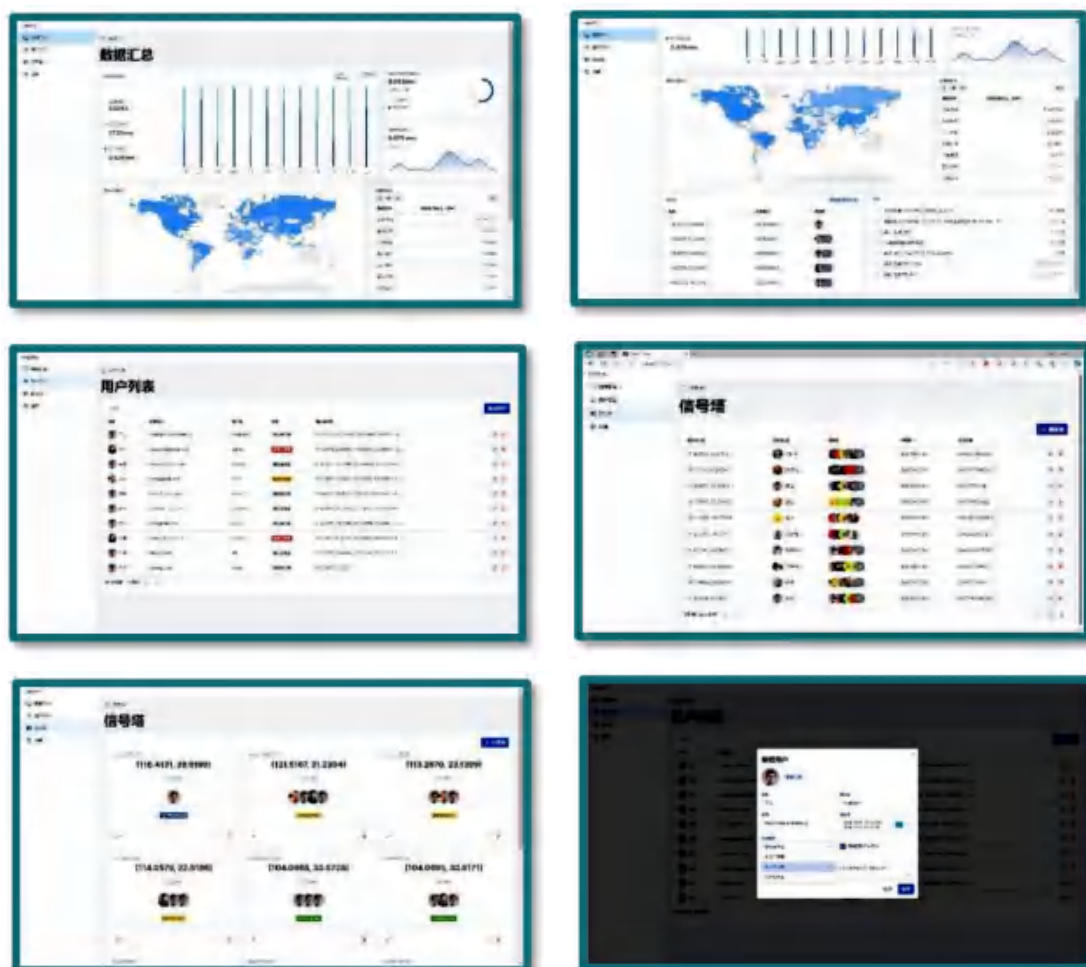


图 3.2.4-5 数据管理平台

上述软件集成了本团队研究计划目前的全部内容。客户端软件使用流程可

以总结为：打开软件--连接树莓派 wifi--SSH 连接界面用户输入账号及密码连接树莓派--拍摄可见光+红外模板图片——标注兴趣区（可见光图像）--软件将可见光图像兴趣区坐标转换为红外光图像兴趣区坐标获取红外光模板--树莓派实时拍摄视频流，调用云端自研的特征匹配 AI 深度学习模型进行视频帧模板匹配--树莓派返回模型输出的.txt 文件--软件根据.txt 文件进行四种数据分析（时序、频谱、BP 神经网络、回归），随后通过 GBDT-LSTM 模型进行预测——python 实现数据可视化——超过阈值自动预警——邮件发送预警。其中，所有软件注册用户数据和高塔管理数据则在“数据管理”平台统一管理，使客户端软件和浏览器端平台各司其职。并且对于后续软件维护，本团队也制定了相应计划持续跟进。

3.3 产品优势

本产品实现了建筑物实时晃动监测网的一体化覆盖和建筑物倒塌的实时预警，利用红外-可见光双相机作为核心介质，实现了建筑物晃动监测中“晃动监测-数据处理-智能预警”生命周期的全覆盖。本产品集成于一个精确度高、实时性强的“护筑红眸”软硬件协同监测平台，助力电力保护指挥及调度工作。

本产品一方面基于红外-可见光双相机、激光雷达构建“护筑红眸”晃动监测一体机，首次在建筑物监测领域引入红外摄影技术，克服多气候干扰等问题，综合考虑红外图像捕捉建筑物热信息、可见光图像获取建筑物细节信息，实现对建筑物晃动进行协同监测。红外传感器采用 640X512 分辨率的传感器，在实测中精度达到毫米级，满足精度要求，实际精度已经超过了目前监测方案的各种技术。为了避免相机镜头对图像产生畸变，本团队自主研发了一种相机镜头标定纠正技术，对相机镜头进行纠正，成功为后续数据计算和分析奠定坚实基础，为提高晃动位移计算精度作出突出贡献。

另一方面基于由客户端监测软件和浏览器端数据管理平台组成的“护筑红眸”可视化软件系统，具备与多硬件协同数据交互的能力，为合作用户的便捷

使用提供了低门槛和高灵活的使用渠道。同时，内嵌有“红外-可见光跨模态图像融合”、“兴趣点时序匹配”和“内-外多源数据仿真晃动智能预测”三大算法。

- 红外-可见光跨模态图像融合技术：考虑到红外图像能够捕捉建筑物热信息，可见光图像提供建筑物细节信息，本团队自研 ST-DcGAN 模型，利用所获红外-可见光图像数据进行融合处理，综合提取红外、可见光图像的特征，更好通过其自注意力机制有效地捕捉全局的特征关系，获取到具备更多互补信息的高清图像，大大提高了后续特征匹配和时序晃动监测的精确度。
- 兴趣点时序匹配技术：相较于传统的手动选取兴趣点的方法，本团队使用 Harris 角点检测技术，对初始拍摄照片科学选取晃动兴趣点。考虑到在计算建筑物晃动位移的过程中，进行连续拍摄时不同位置图片中的兴趣点位置识别会出现一定的误差。因此，本团队自研 IFM 深度学习模型，实现兴趣点时序匹配，有效提高了兴趣点坐标与相对初始照片中兴趣点的位移计算准确率，将建筑物晃动检测精度从厘米级有效提升至毫米级，远超电力检测要求。
- 内-外多源数据仿真晃动智能预测技术：由于此前对建筑物晃动倒塌预测技术通常只关注建筑物的晃动位移，缺乏对其他影响因素的综合判断。本团队建立内-外因多源铁塔数据库，综合考虑建筑物自身损耗情况、自身材质等内部因素，以及不同地区、不同气候下建筑物事故的外部因素，通过 GBDT-LSTM 融合模型对建筑物晃动进行协同监测，根据建筑物实时监测数据对其倒塌进行提前预测，同时，当硬件设备断连、成像数据无法传回软件端时，我们可以通过建立的建筑物仿真模型，结合内、外因多源信息，对建筑物晃动继续进行预测，做到真正预警作用，有效降低了电力检测人员的决策成本。经过实验，本模块可同时对三座铁塔进行预测计算，时延低于 6s，并具备高达 92.7% 的预测精度，大大提高了建筑物未来多个小时晃动的预判精度，为维修决策提供了有力支撑。

综上，本产品依托一套“红外-可见光双相机集成硬件装置”和配套“客户端监测软件+浏览器端数据管理平台”软件系统，集成于一个精确度高、实时性强的“护筑红眸”软硬件平台，实现全天时高精度建筑物晃动的实时监测及预警，助力电力保护指挥及调度工作。



武汉大学

全天时高精度输电塔晃动智能监测开拓者

04

市场分析

4.1 宏观环境分析

PEST 分析模型是一种用于分析企业所面临的宏观环境的战略工具。它通过对政治、经济、社会和技术四个方面的关键因素进行系统分析，帮助企业识别潜在的机会和威胁，制定有效的战略和决策。本团队利用 PEST 分析模型，针对“护筑红眸”公司产品进入市场、参与竞争、长期发展的宏观环境进行全方位、立体化、多角度的结构化分析。

在 PEST 模型的分析范式中，企业经营必须考虑四个要素为：

- 政治因素 (Political)：如政府政策、法律法规、政治制度、国际关系等。
- 经济因素 (Economic)：如经济增长率、利率、通货膨胀、失业率、产业结构、消费者信心等。
- 社会因素 (Social)：如人口结构、文化价值观、教育水平、生活方式、社会变革等。
- 技术因素 (Technological)：如科技发展水平、新技术应用、技术创新速度、技术壁垒等。



图 4.1-1 PEST 模型

4.1.1 政治背景：营商环境良好，政企互动密切

1. 法律法规：体系完整，框架明确

现阶段，国家对建筑物制造与维护行业实行生产许可证管理制度，这是确保产品质量和安全生产的重要措施。在当前制度框架下，只有符合国家规定的生产条件和技术标准的企业才能获得生产许可，从而保证了建筑物产品的质量和可靠性。此外，相关部门还出台了一系列管理和规范铁塔制造业的法律法规及规范性文件，如《电力监管条例》、《中华人民共和国电信条例》、《电力设施保护条例》及其实施细则、《承装（修、试）电力设施许可证管理办法》、《电网运行规则（试行）》等，这些法规为建筑物制造与维护行业的发展提供了明确的法律框架和操作指南。

2. 技术标准：要求严格，鼓励创新

在技术标准方面，国家也制定了一系列标准，如 GB/T 50545-2010《输电线路铁塔制造技术条件》、GB/T 32673-2016《架空输电线路故障巡视技术导则》等，这些标准规定了铁塔的设计、制造、检验和验收等方面的技术要求，确保了产品的质量和安全性。国家鼓励企业采用新材料、新技术、新工艺，提高铁塔的抗风、抗震、抗腐蚀等性能，以适应复杂多变的自然环境和极端气候条件。

3. 政策支持：补贴优惠，利好多多

2022 年国家发改委发布《关于印发促进工业经济平稳增长的若干政策的通知》，指出要“综合运用财政税费政策、金融信贷政策、保供稳价政策、用地用能和环境政策，鼓励企业进行技术创新和研发投入”，推动铁塔监测技术的进步。国家支持建立和完善铁塔健康监测系统，利用先进的传感器、物联网、大数据分析等技术，实现对建筑物的实时监控和智能诊断，及时发现和处理潜在的安全隐患。此外，人力资源社会保障部、工业和信息化部、国务院国资委三部门联合发布《制造业技能根基工程实施方案》，加快培养制造业高质量发展急需的高素质技能人才，提高了行业的整体技术水平和服务能力。

4. 国际合作：全球联动，协同发展

中国积极参与国际电力领域的交流与合作，出台《参与“一带一路”建设规划》《服务共建“一带一路”高质量发展的指导意见》等文件，引进国外先进的铁塔设计、制造和监测技术，同时也将国内成熟的技术和经验输出到国际市场，提升了中国铁塔制造业的国际竞争力。通过这些措施，中国铁塔制造业不仅满足了国内电力系统的需求，也为全球电力工业的发展做出了贡献。目前国家预计建设中俄、中蒙等 10 条跨国输电线路，为“护筑红眸”装置“走出去”创造了良好机遇。

4.1.2 经济背景：体系全面赋能，点燃发展引擎

1. 宏观经济增长与投资驱动

中国宏观经济的持续增长为电力行业提供了坚实的基础。从国家统计局统计数据《2023-2024 年度全国电力供需形势分析预测报告》和可以明显看出，随着 GDP 的稳步提升，工业和居民用电需求不断攀升，这直接推动了电力基础设施的扩张和升级。《国家发展改革委 国家能源局关于加强和规范电网规划投资管理工作的通知》要求增加在电力基础设施上的投资，尤其是对新能源和智能电网的投入，为建筑物监测行业带来了新的增长机遇。这些投资不仅增加了对监测设备的需求，也提高了对监测技术精度和可靠性的要求。

2. 一带一路建设与对外贸易

随着“一带一路”等国际合作项目的推进和《新时代的中国国际发展合作》白皮书的出台，中国建筑物监测技术和设备有机会进入更广阔的国际市场。这不仅为国内企业提供了新的增长点，也有助于推动全球电力安全标准的提升。中国国家电网积极“走出去”，目前在境外资产总额已达 400 亿美元。国际市场的拓展，对于提升中国建筑物监测行业的全球影响力具有重要意义。

3. 经济结构调整与产业升级

《国家发展改革委国家能源局关于进一步推进增量配电业务改革的通知》

加速了中国能源经济结构的调整，特别是从劳动密集型向技术密集型转变，为建筑物监测行业带来了新的机遇。随着产业升级，对高端装备和技术的需求增加，监测行业需要不断研发新技术，以适应市场的变化。这不仅促进了行业的技术创新，也为相关产业链的发展带来了新的活力。

4.1.3 社会背景：促进社会和谐，响应民众诉求

1. 舆论焦点：建筑物事故频发引起公众担忧

近年来，建筑物事故频发，引起了社会的广泛关注。例如，2021年4月合肥发生的建筑物倾斜事故，造成了人员伤亡；2023年10月甘肃天水的电力塔倒塌事件，导致多人被埋，伤亡惨重；同年12月山西运城的110kV铁塔倒塌，不仅造成了大面积停电，还迫使百余辆应急发电车紧急出动进行救援。这些事件凸显了建筑物安全监测的重要性。公众对电力安全的认知也在不断提高。通过媒体和教育，越来越多的人开始意识到建筑物安全的重要性，并支持相关监测技术的研发和应用。这种社会支持为建筑物监测行业的发展提供了良好的舆论环境。

2. 社会稳定：供电系统抗风险能力有待提高

输电线路作为现代社会的能源大动脉，承载着高负荷电能的输送任务，是保障国家经济运行和社会生活正常秩序的关键基础设施。然而，尽管科技不断进步，安全建设日益严格，但由于建筑物数量庞大、分布广泛、技术规格和要求各异，加之天气条件的多变性，建筑物事故仍然时有发生。这些事故不仅导致大规模停电，影响居民的日常生活，严重时甚至威胁到人民群众的生命财产安全。建筑物的安全问题不仅关系到电力系统的稳定，也直接影响到社会经济的健康发展。大规模停电可能导致交通瘫痪、通信中断、医疗系统失效等一系列连锁反应，对经济活动造成重大损失。此外，建筑物事故还可能引发火灾、环境污染等次生灾害，对社会安全构成威胁。

3. 环保诉求：低碳绿色的监测体系迫在眉睫

近日，生态环境部发布关于征求《输变电工程环境保护规定（征求意见稿）》，社会对建筑物监测行业的发展也提出了新的需求。随着城市化进程的加快，建筑物往往位于人口密集区，如何确保在不影响居民生活的情况下进行有效监测，成为行业需要解决的问题。同时，《关于中央第四生态环境保护督察组交办群众举报环境污染问题查处情况的通报（2021 年——第 14 期）》表明民众环保意识的提升，对建筑物监测设备的环境影响也提出了更高要求，推动行业向绿色、环保的方向发展。往常的高压建筑物监控系统往往耗电巨大，且一些电子零部件废弃报废后会对周边环境造成污染，因此建立低碳绿色的高压建筑物监测体系已经刻不容缓。

4.1.3 技术背景：底层技术创新，高端技术集成

1. 底层技术进步：新材料、新部件、新思路

近年来，红外相机、可见光相机领域都有着突飞猛进的技术进步。碲化镉、砷化镓、氧化钒等新型材料具有更高的灵敏度和探测效率，能够在更低的光照条件下工作；石英、蓝宝石、陶瓷等新型材料具有更高的透射率和耐高温性，能够更好满足红外相机和可见光相机对光学性能的要求。随着微电子技术的进步，微型红外探测器阵列的尺寸和成本不断降低，使得红外相机的体积和价格更加亲民；新出现的固态光学器件具有体积小、重量轻、功耗低等优点，能够有效提高红外相机和可见光相机的性能。人工智能技术可以用于红外相机和可见光相机的图像处理和分析，提高图像的清晰度和识别率；将红外图像和可见光图像融合在一起，可以获得更加丰富的信息，提高目标识别的准确性。

2. 高端技术集成：嵌入式系统整合最新科技

在硬件层面，“护筑红眸”系统结合了红外线探测装置和可见光相机的双重优势，在不同的天气、不同的温度和不同的地形条件下相互补充，提高了系统的适应能力、容灾能力和续航能力。在软件层面，“护筑红眸”独创的 ST-DcGAN 跨模态图像融合算法、兴趣点时序匹配技术和 Harris 角点检测技术极

大提高了数据获取、数据处理、数据分析的效率。硬件为软件提供了强大的物理支持和数据来源，而软件也充分发挥了硬件的全部性能。

正因如此，“护筑红眸”的应用场景十分广泛，其主要功能包括但不限于：温度监测——红外传感器可以用于监测高压建筑物结构和设备的表面温度。通过测量不同部位的温度变化，可以及时发现建筑物结构和设备的异常热量，帮助识别潜在的故障点或者火灾风险，以及预防由于电气设备过热引发的事故。故障检测——电力设备在工作过程中可能会出现异常情况，如接触不良、过载、短路等故障，红外传感器可以检测到这些故障产生的热量，帮助快速定位故障点，提高了故障检测的准确性和效率。预防火灾——高压建筑物经常受到雷击、短路等外部因素的影响，容易引发火灾，红外传感器可以实时监测建筑物结构和设备的温度变化，一旦发现异常温度上升，立即发出警报，有助于提前预警和防范火灾风险。节能减排——通过对电力设备的温度变化进行监测，可以及时发现设备的能耗异常或者热能浪费情况，帮助优化设备运行状态和能源利用效率，达到节能减排的目的。远程监控——红外传感器可以与监控系统集成，实现对高压建筑物的远程监控，通过实时传输温度数据，监控人员可以随时随地监测建筑物结构和设备的温度变化，及时处理异常情况，保障电力输送系统的安全运行。

3. 现有产品弊病：范围窄、精度差、成本高

一是原有监测方法所成的图像易受到外界因素的影响。由于高压建筑物处于户外，外界环境就是影响观测的最主要因素。旧有的监测设备不能很好的应对复杂多样的环境，即不能再各类环境下正常工作运行，严重影响了监测的结果，使得监测结果不全面，存在偶然性，不具有普遍性。二是电工安全和误差问题。由于高压建筑物高度较高，常需要专业电工登塔监测，这种方法容易给高压电工带来安全隐患同时给监测结果带来了较大误差。三是材料耐腐蚀问题和金属疲劳。高压建筑物通常位于户外环境中，长期受到大气中的湿度、污染物和化学物质的影响，容易发生腐蚀，使得塔身出现开裂、断裂等问题。

“护筑红眸”装置一定程度上克服了原有测量方法的局限，同时又兼收各方法的长处。表现在;环境适应性更强，尤其是能在夜间和恶劣天候下的工作；

保密且稳定，比雷达和激光探测更安全且保密性强，不易被干扰;精密度更高，我们使用的红外相机可分辨 0.05 度的温差，可以更好地分析建筑物的结构，提取建筑物兴趣点位置信息；更为先进，红外传感器具有可用性高、抗干扰能力强、精度高，且操作方法简便、体积小等优点。

4.2 微观环境分析

SWOT 微观环境分析是一种战略分析工具，用于评估企业的内部优势、劣势、外部机会和威胁，以制定更有效的战略，提高竞争力。SWOT 的四个字母分别代表：优势（Strengths）、劣势（Weaknesses）、机会（Opportunities）、威胁（Threats）。SWOT 分析的意义在于，它可以帮助组织识别自身的优势和劣势，从而更好地了解自身的竞争力；可以帮助组织识别外部环境中的机会和威胁，这对于组织制定适应性战略和规避风险至关重要；可以帮助组织将自身的优势与外部的机会相匹配，并制定有效的战略来实现目标。



图 4.2-1 SOWT 分析图

4.2.1 优势分析

1. 技术先进，功能强大

护筑红眸的硬件由独创的“多硬件跨模态协同监测子模块”、“兴趣点时序

匹配子模块”和“内-外多源数据晃动智能预测子模块”三大模块组成，利用可见光-红外相机为核心介质，实现了建筑物监测中“多源数据采集-数据处理-未来晃动预测-实时预警”生命周期的全覆盖，配套的软件也集中体现了用户友好（User-friendly）的设计理念。高可用性、强大的抗干扰能力、高精度以及简便的操作和紧凑的体积，使得护筑红眸在实际应用中更加高效和便捷。

团队精心设计的 GBDT-LSTM 内-外因协同晃动预警模型、聚焦于特征匹配的 IFM 深度学习模型等在业界均处于顶尖水平，相关开发人员掌握核心技术并持续推进更新迭代，保证护筑红眸产品始终占领行业科技制高点。

2. 成本低廉，性价比高

护筑红眸综合利用各方面优势条件降低自身生产成本，从而提供更加实惠的终端价格。生产上，护筑红眸系统核心技术已经发展得比较成熟，软硬件设备完善，公式在此基础上持续优化生产技术和工艺，提高生产效率和优化供应链管理，精益求精控制生产成本。此外，护筑红眸还注重产品设计的精简和优化，充分考虑材料和结构的合理搭配，努力以最小的投入获得最大的收益。原料供应上，护筑红眸与多家供应商建立了长期稳定的合作关系，经过谈判在原材料、组成部件方面争取价格优惠。施工建设上，护筑红眸在施工方案设计上力求做到尽善尽美，提高施工效率和管理水平，减少无效施工，降低施工成本。运营管理上，护筑红眸采用智能化技术和设备进行精准监控和远程操控，提高了施工质量和安全性，进一步降低运营过程中的经常性开销。

护筑红眸是一套物美价廉的建筑物安全监测解决方案，这体现在四个角度。从功能完备性角度看，护筑红眸系统具备更加全面的功能，能够监测建筑物结构的振动、应变、温度、倾斜等多个参数，并能够及时报警和提供数据分析功能，以确保对建筑物的全面监测和评估，只需一套护筑红眸系统即可满足各方面的安全需求，无需添置其他产品。从可靠性与稳定性角度看，护筑红眸能够在恶劣的环境条件下长时间稳定运行，且不易出现误报警或漏报警情况，确保监测数据的准确性和可信度，性能媲美更昂贵同类产品。从安装和维护角度看，

护筑红眸系统对用户非常友好，能够减少人工成本，无需大量专业的技术人员即可进行操作和维护。从价格角度看，护筑红眸系统具有较为实惠的价格，既能够满足客户监测建筑物安全的需求，又不会放大用户的投资成本，从而确保提高用户的投资回报率。从持续支持与服务角度看，护筑红眸系统和优质的供应商能够提供持续的技术支持和售后服务，包括远程监控、定期维护、故障排除等服务，以保障装置的稳定运行和用户的满意度，提高产品的附加值，长期培育客户黏性。

3. 用户体验良好，服务优势显著

软件方面，护筑红眸产品配套的软件平台由一份客户端软件和一个浏览器端可视化数据管理平台组成，具备与多硬件协同数据交互的能力，为合作用户的便捷使用提供了低门槛和高灵活的使用渠道。客户端和浏览器平台界面简洁，易于上手使用，时序、频谱、BP 神经网络、回归四种数据分析和可视化策略可以一键式完成，有效提升用户的使用体验。

护筑红眸项目人才资源雄厚，运营效率突出。公司依托国内高等学府尤其是武汉大学等人才培养基地，吸引和培养大量相关专业的优秀人才，从教育教学中全流程培育、选拔、录用专业人才。公司拥有全面的服务模块和高效的研发团队，能够针对行业痛点进行长期、持续的科研攻关。规范高效的运营团队能够快速响应客户需求，提供技术服务方案，并通过互联网技术团队的深度学习和大数据分析，实现精准定价和广告投放。

4.2.2 劣势分析

1. 缺乏品牌认知度，用户基础薄弱

新产品尚未在市场上建立起足够的用户基础，缺乏用户的关注和需求，这限制了产品的市场渗透和品牌影响力的提升。用户反馈的缺失使得产品难以根据实际使用情况进行改进和优化，进而影响产品的成熟度和用户满意度。消费者倾向于选择他们熟悉的品牌和产品，护筑红眸项目产品作为新兴产品，缺乏

品牌认知度，这可能会在市场上的表现上形成障碍。

规模效应不显著，融资难融资贵初创阶段的公司规模较小，难以独立承担大规模产品生产的财务压力，需要依赖外部融资来支持生产活动。融资活动本身具有较高的不确定性，受到宏观经济形势、政策环境等多种因素的影响，增加了企业的经营风险。成功融资后，企业需要支付较高的财务费用，这不利于控制业务成本，可能会压缩利润空间，影响企业的长期发展。

2. 管理水平待提高，难以迅速响应

与成熟的同类型企业相比，公司在管理人员和管理模式上存在差距。新企业大多会面临人才短缺的挑战，决策部门较为缺乏经验，经理部门与各部门间尚不熟悉，营销部门手段不熟练，”通才型“领导者匮乏，这可能会影响企业的运营效率和决策质量，使得企业在面对市场竞争和内部管理挑战时可能会处于不利地位。此外，由于缺乏完善的管理体系和规范的管理流程，往往会导致管理混乱和执行不力的情况发生。职责分工和流程化管理尚未形成科学化、系统化的模式，结构可能不够灵活和高效，可能导致决策缓慢和资源配置不合理，上下信息传达不畅，从而影响企业的响应速度和市场适应能力。

3. 市场接受不确定，用户认可需培养

护筑红眸尚未经过充分的市场测试和验证，可能存在未知的问题和故障，这不仅会影响用户体验，还可能损害品牌声誉。新产品在市场上的接受度和信任度需要时间来建立，这要求公司在产品推广和市场教育上投入更多的资源和努力。在竞争激烈的市场中，护筑红眸项目产品需要面对来自成熟品牌的竞争压力，这要求公司在产品特性、价格策略、服务支持等方面进行差异化竞争。用户习惯的转变需要时间，公司需要通过有效的市场策略来引导用户接受和适应新产品，这可能会增加市场推广的难度和成本。

4.2.3 机会分析

1. 同类产品综合效益差

目前，建筑物晃动监测相关产品几乎都普遍存在着一些难以克服的通病，客户已被这类弊端困扰许久，可以构成“护筑红眸”占据市场的契机。

- 设备维护困难——现有设备通常需要专业人员进行调试和维护，而这些专业人员的数量有限。此外，频发的设备故障或损坏可能导致监测设备无法正常进行，从而影响电力系统的稳定运行。
- 数据分析繁琐——现有的监测设备生成的数据量较大，工作复杂且负担大，需要经过专业人员进行分析和解读。然而，由于数据分析工作复杂且耗时，会造成高昂的成本，同时可能导致分析结果滞后甚至无法及时反馈给相关部门，进一步延误问题的处理。
- 检测准确性难以保证——现有的解决方案具有一定的技术难度，需要操作人员具备专业的知识和经验。由于操作环境、工艺条件等的复杂性，以及设备老化、缺陷变化等因素的影响，导致检测结果的准确性难以完全保证。这给评估设备状态和预防潜在问题带来了一定的风险。
- 工作量大、效率低下——在电力系统中，设备数量庞大，传统的建筑物安全监测工作通常依赖人工逐一进行晃动检测，需要耗费大量的时间和人力资源，既存在安全风险又使得效率较低。

2. 建筑物晃动监测需求不断扩大

据国家电网统计，截至 2022 年底，我国电网运行超过 20 年的输电线路占比超过 50%，超过 30 年的输电线路占比超过 20%。2022 年 7 月，河南省遭遇极端暴雨，导致多座建筑物倒塌，引发大范围停电。2023 年 1 月，东北地区遭遇大范围冰雪灾害，导致多座建筑物覆冰折断，造成电网运行受阻。

市场调研机构预测，2023 年全球建筑物安全监测市场规模将达到 100 亿美元，预计到 2028 年将达到 150 亿美元。中国作为全球最大的电力市场，建筑物安全监测市场需求也将持续增长。护筑红眸将借助市场大势和自身优势迅速占领行业制高点，提供一流的建筑物晃动监测解决方案。

3. 产品适用范围拓展潜力较大

“护筑红眸”的核心技术实际上也可以经过进一步改造而将其监测对象拓展至建筑物以外的其他高耸结构，例如通信基站、电视塔、气象塔、摩天大楼、巨型雕塑等。这些高耸结构也会受到风荷载、冰荷载、地震荷载等外力作用，也面临着自然灾害、金属疲劳等因素导致的晃动，同样需要加以监测从而更好地维护保养。在设计之初，护筑红眸的技术团队就考虑到了系统功能的广泛适用性，现有仪器只需进行微调和参数配置，即可满足不同类型高塔的监测需求，无需进行大幅改动或二次开发，降低了拓展成本。

4.2.4 威胁分析

1. 行业总体竞争激烈

电力行业的竞争性是护筑红眸项目面临的主要威胁之一。随着建筑物监测市场的开放和新技术的不断涌现，市场上可能出现更多的竞争者，他们可能拥有更先进的技术、更低的成本或更强的市场渗透能力。这些竞争对手可能会通过价格战、技术创新或营销策略来争夺市场份额，从而对护筑红眸项目构成直接挑战。如果监测器技术不能及时更新和升级，无法满足市场需求和用户期望，可能会失去竞争优势，影响产品的市场地位和销售业绩。此外，现有的建筑物监测企业也可能通过扩大规模、提高服务质量或加强与电力公司的合作关系来巩固其市场地位，这同样会对护筑红眸项目构成威胁。

2. 安全风险

安全风险是护筑红眸项目必须严格把控的关键因素。建筑物的安全监测直接关系到电力系统的稳定运行和公众安全。高压建筑物监测器面临来自黑客和恶意攻击者的安全威胁，可能受到网络攻击、数据泄露、拒绝服务攻击等各种安全漏洞和攻击行为的影响。以及项目在实施过程中出现技术故障或操作失误等等，均可能导致监测器系统的失效、数据泄露、运行中断等问题，不但会影响监测器的正常工作和数据的可靠性，更甚者会导致建筑物损坏或电力中断，

还可能引发更严重的安全事故，如火灾或人员伤亡。这样的安全问题不仅会对企业的声誉造成严重损害，还可能导致法律责任和经济损失。

3. 经济环境波动

经济环境的变化也可能对护筑红眸项目产生不利影响。电力行业的发展与宏观经济紧密相关，经济增长放缓或经济衰退都可能导致电力需求减少，进而影响建筑物建设和维护的投资。此外，原材料价格的波动会造成供应链风险，高压建筑物监测器的供应链可能受到原材料供应中断、生产制造质量问题、供应商倒闭等供应链风险的影响。这可能导致监测器产品的生产延迟、成本增加、质量下降等问题，影响企业的生产运营和市场竞争力。

4. 法律法规变动

法律法规的变化同样对护筑红眸项目构成潜在威胁。电力行业及高压建筑物监测器受到严格的法律法规监管，包括安全生产、环境保护、产品质量等方面需要符合各项法律法规和合规要求，如网络安全法、个人信息保护法等。如果监测系统未能满足相关法律法规和合规要求，可能面临罚款、处罚甚至停业整顿等风险，对企业的经营和发展造成不利影响。此外如果相关法律法规发生变化，如提高安全标准或增加环保要求，护筑红眸项目可能需要投入更多的资源来满足新的法规要求，这会增加项目的运营成本和实施难度。

5. 意外自然灾害

近年来自然灾害频发，”护筑红眸“遭受意外灾害的可能性不可忽视，监测器设备可能面临来自等自然灾害（洪水、地震、滑坡、泥石流等）、恶劣天气（雷劈、雨雪、冰雹、冻雨风灾等）等物理损坏和破坏的威胁。这些自然灾害可能会导致设备结构受损或倒塌，线路覆冰、增加了设备故障的风险，并降低了数据的传输能力。以上种种均可能导致监测器设备的损坏、失效或者丧失，影响监测器的正常运行和数据的采集。

4.3 目标市场分析

4.3.1 整体分析

建立智能化的“全域感知”基础设施是提升国家治理体系和治理能力现代化的重要基础，是国家安全风险监测预警体系的重要组成部分。《国务院令第二三九号》关于建筑物等电力基础设施的运营提出多项要求，如”第三条 电力设施的保护，实行电力管理部门、公安部门、电力企业和人民群众相结合的原则，第二十条 电力设施的建设和保护应尽量避免或减少给国家、集体和个人造成的损失”，明确或间接要求保护建筑物等基础设施，运用多项技术、多元设备、多维方案开展建筑物安全监测，确保电力稳定运输，维护建筑物基础设施的安全和稳定，减轻建筑物的倾斜、错位甚至倒塌所造成的危害。

4.3.2 痛点分析

目前，建筑物安全监测存在如下问题，市场痛点突出，一是抗环境干扰能力弱，无法做到全天候监测；二是监测精度低，无法做到高精度监测；三是决策成本高，无法做到智能化决策。“护筑红眸”业对此市场痛点给予相应的解决方案，一是“看得远”，红外、可见光双相机协同监测加智能棋盘标识法；二是“看得广”，跨膜态固像融合；三是“看得准”，实现时空序晃动异常检测技术。四是“看得稳”，可实现恶劣环境下的长期观测。

4.3.3 目标用户分析

1. To B 业务

我国是基础设施建设大国，众多电力、能源相关的企业都需要建筑物监测设备。其一，国家电网是高压建筑物的主要用户之一，他们需要建设和维护高

压输电线路，以确保电力的稳定供应，其他能源供应商也需要高压建筑物来输送能源，还可能需要建设公司内的局部电网。其二，工业企业和制造业需要大量的电力支持其生产和运营，这些企业可能会直接购买电力输送服务，或者与电力公司合作建设专用的输电线路和配电设施，他们也可以构成“护筑红眸”的客户群体。其三，大数据储存库、高新技术产业密集区对电力有很大需求，其附近往往需要大量高压建筑物，正是“护筑红眸”装置的用武之地。

2. To G 业务

在我国，大量国家机关、企事业单位的电网设备硬件老旧，管理混乱，安全事故频发。针对这些部门的建筑物设备，“护筑红眸”及相关配套设施可以有效提高电网安全性。政府机关、学校、医院、广电部门、气象系统、路桥管理部门等公共设施都需要稳定的电力供应来保障其正常运行，其业务中常用的某些高耸建筑结构也需要动态监测晃动情况，故可以成为“护筑红眸”的重要客户。

4.3.4 产业链分析

“护筑红眸”产品与上下游产业链有着密切的联系，公司针对产业链的不同环节，制定不同的改善策略。

产业链环节	改善策略
上游—基础供应 环节	1.与大型企业展开合作，在设备制造上提高精度，提升质量； 2.与相关服务企业开展劳动培训，训练成熟的安装工人； 3.在软件方面，开展跨企合作，努力降低软件的使用价格； 4.在市场上进行筛选，选择高质量、高准度的配套软件，在软件服务方面提质增效；

中游—关键核心领域	1.持续推进技术创新，打造企业自身硬实力； 2.打造产品品牌，提升产品知名度与品牌信誉度； 3.打造积极向上的员工风貌，营造团结协作的企业文化； 4.灵活使用资金，合理安排扩容资金，实现企业设备更新与规模调整； 5.做好产品质检工作，打造“零失误·高精度·无瑕疵”的品牌。
下游—售后服务方面	1.做好售后服务工作，及时响应客户需求； 2.及时反馈问题，打造良好运作的问题反馈平台，帮助客户解决问题； 3.对相关设备进行定期抽样检察，保证设备正常高效运转； 4.及时了解客户需求，通过反馈与评价及时调整策略或产品生产； 5.保证设备运输平稳安全运输，实现设备安全运达固定场所。

表 4.3.4-1

4.4 竞品分析

	中海达	上海直川	大疆	科大讯飞	护筑红眸
产品描述	电力杆塔监测 预警系统	倾角检测仪	建筑物巡检 无人机	手持式声学 成像仪	建筑物全天时晃动监测 预警系统
占用场地	大	不占用	不占用	不占用	不占用
功能范围	形变、灾害监测、输变电	形变、倾斜、沉降、风向、	所有塔身及 周边环境	放电位置、 输变电	所有塔身问题

后端软件	相对成熟的软件	温度、振动	红热分析软件	无需软件	相对成熟的精度更高的创新式软件，且支持多级预警
		支持监测阈值的设置和多级预警			
安装难度	需建立地基增强系统	安装繁琐，仪器较多	无需安装	无需安装	只需安装单一集成仪器
前期成本	非常高	高	低	低	较低
运维成本	非常高	高	一般	高	较低
安全性	多个设备对塔身伤害大	多个设备对塔身伤害大	无人机砸落风险大	安全性高	安全性高
续航时间	5 年	5 年	需经常充电	需经常充电	10 年
稳定程度	易受外界恶劣天气影响	适应恶劣巡检环境	恶劣天气失效	与雷达有关	适应各种环境

表 4.4-1

通过上述对比可知，“塔红眸项目”在多个面、多重域上具有多元优势，潜力巨大且前景广阔。但由于中海达和上直川科技等公司起较早，部分企业已经开始实现产业化、规模化以及上下游企业联合与协作，使得上述企业在行业内部的品牌影响力与议价能力均较高，在市场上竞争力明显。本项目起步时间较晚，产品初具雏形，规模较小，尽管具有明显的技术优势，但是与大公司的正面竞争还存在不足与劣势。

4.5 核心竞争力分析

4.5.1 红外-可见光集成化硬件装置

产品高度集成，功能完善，具有监测、通信、供能、防护等模块，共同构成“护筑红眸”晃动监测一体机。

监测模块中，由于红外相机对温差敏感，可以很好区分不同温度的物体，但分辨率较低、缺乏细节信息；可见光的分辨率高，纹理细节丰，但在光线弱时成像效果差；激光点云数据的精度高达厘米级，距离信息准确。因此，使用640X512分辨率的传感器，能够满足精度毫米级要求。将可见光相机、热红外相机安装在产品内，激光雷达分开提供信息，负责扫描每个建筑物得到点云数据。通信模块中，我们使用树莓派作为网络传输单元，它可以将获取的图像数据和计算的位移数据，传输给应用端；也可以接收应用端的指示信息。供能模块中，结合实际情况，我们决定开发出一套太阳能供电系统。防护模块中，为了使产品在全气候都能稳定工作，我们开发出一套良好的防护构件，做到了我国绝大部分环境都能安装使用。

4.5.2 AI 模型全流程辅助监测预警

建筑物全流程晃动监测预警技术基于AI模型，开创性地运用“红外-可见光跨模态图像融合”、“兴趣点时序匹配”和“内-外多源数据晃动智能预测”三大算法，实现建筑物实时晃动监测预警。

实现“红外-可见光跨模态图像融合”，本团队自研ST-DcGAN模型，对可见光和红外双相机协同拍摄的图像进行图像融合处理，能够同时利用局部信息和全局信息，更好地通过其自注意力机制有效地捕捉全局的特征关系。“兴趣点时序匹配”中，本团队使用Harris角点检测技术，对初始拍摄照片科学选取晃动兴趣点。对跨模态融合后的图像进行去噪、增强处理后，自研IFM深度学

习模型，实现兴趣点时序匹配，有效提高了兴趣点坐标与相对初始照片中兴趣点的位移计算准确率，将建筑物晃动检测精度从厘米级有效提升至毫米级。最后进行“内-外多源数据晃动智能预测”，本团队建立内-外因多源铁塔数据库，综合考虑建筑物自身损耗情况、自身材质等内部因素，以及不同地区、不同气候下建筑物事故的外部因素，通过 GBDT-LSTM 融合模型对建筑物晃动进行协同监测，并通过建立建筑物仿真模型，结合内、外因素影响，在硬件设备网络断连时仍能实现监测与预警。

4.5.3 可视化智能预警软件系统

“护筑红眸”可视化软件系统由客户端监测软件和浏览器端数据管理平台组成，内嵌有上述“红外-可见光跨模态图像融合”、“兴趣点时序匹配”和“内-外多源数据晃动智能预测”三大算法，作为功能组件内嵌于软件内部。本团队从软件需求建模出发，采用完整 UML 建模软件架构，并对多种设计模式进行对比分析，最终提出一种“基于策略模式的三层 C-S 软件架构”，成功搭建出完整且高效的软件系统其具备与多硬件协同数据交互的能力。同时也具有可操作的友好型图形界面，助力用户快速上手，降低设备熟悉的时间和精力成本，为合作用户的便捷使用提供了低门槛和高灵活的使用渠道，并在之后对软件进行了专业性的测试和日常维护。



武汉大学

全天时高精度输电塔晃动智能监测开拓者

05

商业模式

5.1 盈利模式

5.1.1 产品盈利

1. “护筑红眸”全套硬件产品售卖

“护筑红眸”的硬件产品表现形态为一个高集成盒子，具有监测、通信、供能、防护等模块。监测模块中，可见光相机、热红外相机安装在产品内，激光雷达分开提供，负责扫描建筑物。通信模块中，我们使用树莓派作为网络传输单元。供能模块中，结合实际情况，护筑红眸开发出了一套太阳能供电系统。防护模块中，为了使产品在全气候都能稳定工作，我们使用了一套良好的防护结构，做到了绝大部分环境都能安装使用。硬件可以整套售卖，也可以每一个模块可以单独售卖。

该硬件设备的销售将会是本企业的主营业务，目前结合原材料成本、人工成本、风险防控、利润等因素，初步定价为为每套设备 10 万元，后期根据多元定价策略和软硬件打包销售策略会相应调整价格。

2. “护筑红眸”智慧监测平台软件售卖

“护筑红眸”智慧监测平台软件是与硬件相互配套的产品，其组成包括一份客户端软件和一个浏览器端可视化数据管理平台组成。客户在获取硬件产品后，除了持续购买配件和维修服务外，还将获取软件的后续更新服务。公司将作为软件平台设计开发更多的模块和功能作为软件的增值服务，例如更加丰富的数据可视化程序模块、能处理更大规模数据的管理平台、与企业内部网络对接

的数据集散模块等。

针对不同客户的不同需求，护筑红眸团队可以提供更加定制化的软件设计方案，帮助客户在具体的特殊应用场景下充分发挥护筑红眸系统的技术优势。

5.1.2 服务盈利

1. 专利许可业务

本公司作为具有多个智能模型和内含算法以及两大硬件等多项专利的技术所有人，可以通过许可他人在一定空间和时间内以特定的方式使用本公司专利，来收取相应费用。具体的许可形式和费用大小由本公司与他人具体协商决定。具体来说，本公司的专利许可业务包含排他许可和非独占许可。

- 排他许可：本公司与被许可人在合同中约定的时间和地域内，只有本公司和被允许使用人有权使用该专利，其他任何人无权使用该专利。
- 非独占许可：本公司与被许可人通过合同形式确定，除双方可使用某一专利外，权利人（即本公司）还可以允许第三方使用该专利

使用本公司专利的情况包括他方硬件搭载本公司的产品模块及软件设备内含对应算法，他方制造本公司的两大硬件设备等形式。此外，护筑红眸团队研发的最新核心技术将作为商业机密，不予以专利许可。

2. 技术服务和数据服务

通过对建筑物晃动监测设备的研究，本公司掌握了大量建筑物维护的实践经验，可以为企业和政府提供相关领域的技术支持，并通过知识付费的形式获取相应的咨询报酬。对于政府对公众招标的公共项目，本公司可以与其他企业以联合投标形式参与政府项目，为其他企业提供技术背书以实现合作共赢。

此外，护筑红眸系统获取的大量数据不仅可以服务于购置产品的客户，也可以作为公司大数据分析系统的数据材料，通过包装整合后作为数据产品在市场上直接流通，服务于金融机构、科研机构或数据库等数据需求方。本公司可

以针对部分数据进行深度分析，产出更加有价值的分析报告作为增值服务，进一步扩大盈利空间。

3. 定制化解决方案

针对特定客户的需求，本公司可以提供定制化的监测解决方案，包括硬件配置、软件定制以及专属的数据分析服务。定制化服务满足了客户独特的需求，带来更高的利润。服务流程如下图所示。



图 5.1.2-1

5.2 营销策略

5.2.1 营销目标

针对我国基础设施密度大、用电需求高、建筑物安全隐患多的情况，本企业将主要面向 1764 个县级行政区、359 个市级行政区和 34 个省（包括直辖市、自治区）提供服务。在 2023 年度，由于品牌影响力、市场销售渠道、合作厂商等多重因素的限制，第一年销售设备数量为 5 套。随着市场认知度的提升，第二年度即 2024 年度，产品销量有望实现增长，预计销售 20 套设备；到 2025 年，预计销售量将进一步增至 50 套，2026 年将达到 100 套，2027 年预计销售 150 套设备。

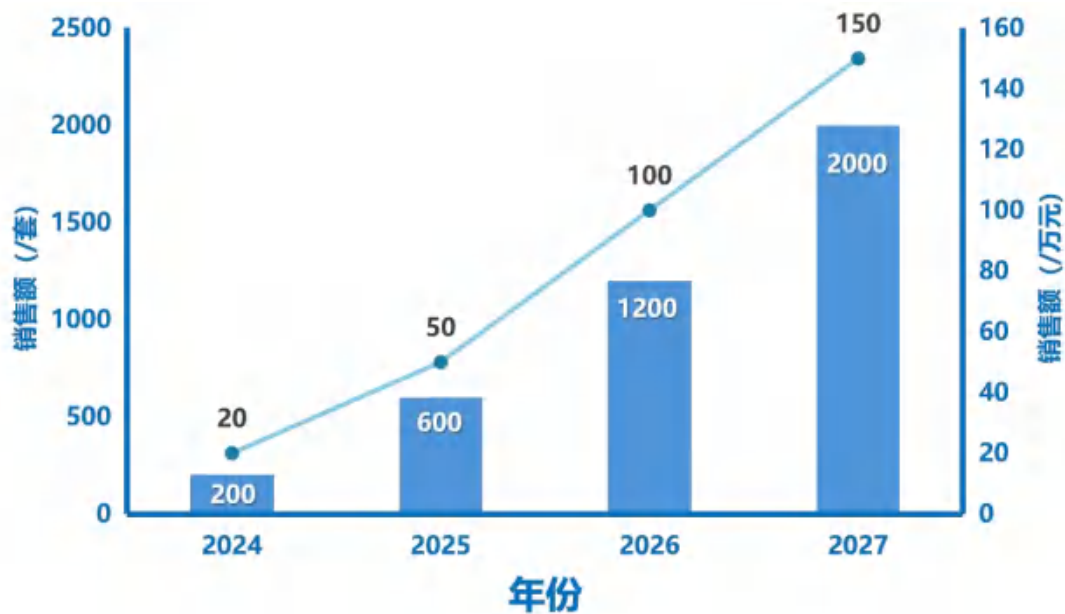


图 5.2.1-1

面对这一市场趋势，本企业在 2025 年后将积极拓展自主研发的软件产业链。我们将加大对智能算法、数据分析以及用户体验等方面的研发投入，以提升产品的附加值和竞争力。通过自主研发软件，我们将逐步实现从硬件代工向自主生产的转变，从而提高产品的整体利润率和市场占有率。这一举措将进一步巩固我们在行业中的领先地位，为未来的可持续发展奠定坚实基础。

考虑到“护筑红眸”项目所提供的主要产品为服务型硬件设备产品，本团队预估在 2025 年后积极拓展自主研发的软件产业链，并顺利实现从硬件代工转换为自主生产。通过智能算法、数据分析和用户体验等方面的研发投入，我们将逐步实现从硬件代工向自主生产的转变，提高产品的整体利润率和市场占有率，巩固我们在行业中的领先地位，为未来的可持续发展奠定坚实基础。

5.2.2 产品策略

护筑红眸的产品策略是一个全面、多元化的体系，涵盖了产品组合的扩大、品牌合作的深化、市场的快速进入、市场的持续拓宽以及市场的稳固维护。通过这些策略的实施，护筑红眸才可能在建筑物安全监测领域保持其领导地位，

实现持续的增长和发展。

1. 扩大产品组合

扩大产品组合策略是护筑红眸应对市场变化的重要手段。除了现有的建筑物安全监测设备和智慧指挥平台，公司将积极研发和引入更多新颖、高效的产品，如预防性维护系统、智能诊断工具、数据分析增值套餐等，以覆盖更广泛的安全监测领域。这些新产品将针对不同地区、不同类型建筑物的安全监测需求，提供定制化的解决方案。通过不断丰富产品线，护筑红眸可以提高市场占有率，确立在建筑物安全领域的领导地位。

2. 品牌合作

合作品牌策略是护筑红眸增强产品竞争力的另一关键策略。通过与其他具有相关优势和资源的品牌合作，如高德视感等红外热成像技术公司，护筑红眸可以共同研发先进的监测设备，缩短产品上市时间，降低成本，并在市场上快速占据一席之地。这种合作将充分发挥双方的优势，实现互利共赢，提升品牌影响力和市场地位。

3. 分阶段市场提升



图 5.2.2-1

在市场进入阶段，护筑红眸将利用其自主研发的高精度、抗环境干扰能力

强的建筑物安全监测设备，快速与市场上现有的安全监测产品形成差异化。公司将针对复杂地形和恶劣天气条件下的建筑物监测需求，提供有效的解决方案，逐渐替代现有的无人机监测、手持式成像仪、倾角式检测仪等技术。同时，公司将推广差异化的产品，增强产品的竞争力，并提供优质的售前、售后服务，增加产品的附加价值，树立良好的品牌形象，快速抢占市场。

在市场拓宽阶段，护筑红眸将利用其技术领先优势，联合其他品牌，结合各自优势，增强竞争力。公司将保持对市场的高度敏感性，设计有针对性的新产品，不断进行技术创新，为客户解决现有问题，甚至预见并解决客户尚未发现的问题。同时，公司将挖掘增值服务，加强与客户的互动，提升客户满意度。

在市场稳固阶段，护筑红眸将继续维持其多元产品线，同时吸纳资金和技术支持，与知名高校、企业建立联盟，制定行业标准，完善产业结构。公司将持续迭代研发热成像产品，优化监测精度，拓宽软件监测功能，确保产品的质量和 Service 的高性价比，为公司的长期发展提供源源不断的生命力。

5.2.3 定价策略

护筑红眸的产品策略结合渗透定价、满意价格和多元定价等多种策略，以适应不同市场阶段和客户需求。通过灵活的定价策略，护筑红眸可以在确保盈利的同时，实现市场份额的扩大和品牌价值的提升。

1. 渗透定价

渗透定价策略是指通过在新产品导入期设定较低的价格迅速吸引消费者，增加产品的市场曝光度和用户基础，并随着用户对产品的认可度提高逐步调整价格，以反映其技术价值和市场地位同时确保盈利性。这种策略尤其适用于技术密集型产品，而护筑红眸作为典型的技术密集型产品，单件商品功能丰富、寿命较长，在进入市场初期可能难以迅速提高客户的购买意愿，因此可以在价

格上予以妥协以积累市场占有率，并随着市场占有率的提升扩大盈利水平。

2. 满意价格

满意价格策略是护筑红眸在市场稳定后的重要策略。这种策略要求企业在考虑成本和竞争者定价的同时，也要考虑消费者的支付意愿，以实现生产者和消费者的利益平衡。护筑红眸需要通过市场调研来确定一个既能反映产品价值，又能让大多数目标客户接受的价格点。此外，护筑红眸应持续监控市场和竞争者的价格变动，灵活调整自己的定价策略，以保持较强的市场竞争力。

3. 多元化定价

在硬件设备方面，护筑红眸可以采取多元定价策略。从规模角度考虑，对于大规模购买的客户提供价格优惠，吸引大型企业或政府机构等大客户，从而实现销售量的快速增长，同时也有助于护筑红眸在市场中建立价格领导者的形象。

在软件服务方面，护筑红眸的定价策略应体现其技术优势和解决行业痛点的能力。通过提供高精度图像融合技术和智能决策平台，护筑红眸可以为用户带来显著的价值。在定价上，护筑红眸可以将图像融合算法技术的定价设定得相对较低，以吸引用户尝试和采用其技术。而对于智能决策平台及相关服务，由于其在决策成本和效率上的优势，可以设定较高的价格，以反映其在市场中的独特价值。

5.2.4 渠道策略

渠道策略是指企业用来将产品或服务推向市场并让客户购买的方法和手段。“护筑红眸”护筑红眸采取了直销和合作开发的策略，以确保产品和服务能够直接、有效地到达目标客户。

1. 产品导入期：直接营销策略

在导入期，护筑红眸可以在线上和线下两个角度自力更生，建立自有营销

团队实行直接销售策略，以便快速建立市场地位和客户信任。线上营销方面，除了建立官方网站和微信公众号，护筑红眸还可以利用社交媒体、行业论坛、专业博客等多种网络渠道，提高品牌知名度和产品曝光度。此外，可以考虑通过线上研讨会、产品演示视频、客户案例研究等形式，展示产品的优势和应用效果，增强潜在客户的购买意愿。线下营销方面，护筑红眸可以利用武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室的资源，举办行业研讨会、产品发布会等活动，邀请行业专家、潜在客户和合作伙伴参与，以提升品牌形象和市场影响力。同时，可以与行业协会、专业媒体合作，通过行业报告、市场分析等方式，展示护筑红眸在建筑物监测领域的专业能力和市场潜力。

2. 产品成熟期：多渠道营销策略

进入成熟期后，护筑红眸将逐步转型为多渠道营销策略，以适应市场的发展和变化，与上下游供应商、经销商共享产业红利。网络营销方面，除了继续优化官方网站和微信公众号，还可以考虑建立电子商务平台，提供在线订购、支付和客户服务，方便客户进行交易。同时，可以通过大数据分析，了解客户需求 and 行为模式，实现精准营销和个性化推荐。

在建立分销网络方面，护筑红眸可以与区域内的经销商、代理商建立合作关系，共同开发市场。通过提供培训、技术支持和市场推广资源，帮助分销伙伴提升销售能力和服务水平。此外，护筑红眸还可以考虑与行业解决方案提供商合作，将产品集成到他们的解决方案中，以拓宽销售渠道和市场应用。为了确保渠道策略的有效实施，护筑红眸需要建立一套完善的渠道管理体系。这包括对分销伙伴的选拔、培训、激励和评估，以及对市场动态的监测和反馈。通过定期的渠道会议、销售竞赛和奖励机制，可以激发分销伙伴的积极性，提高整个销售网络的效率和效果。

5.2.5 促销策略

1. 免费试用

免费试用营销是一种有效的市场推广方式，它允许潜在客户在没有风险的情况下体验产品。这种策略不仅可以帮助客户更好地了解产品性能和优势，还可以通过客户的正面反馈和推荐，形成口碑效应，扩大市场影响力。为了确保这一策略的成功，护筑红眸需要制定详细的试用流程，包括试用申请、产品交付、使用指导和反馈收集等环节，并确保试用期间提供充分的技术支持和服务。

2. 行业展销会

参加行业展销会是另一种提升品牌知名度的有效途径。通过在专业展会上展示产品，护筑红眸可以直接与行业内的专业人士、潜在客户和合作伙伴进行交流，了解市场动态，收集行业信息。此外，护筑红眸还可以通过举办产品发布会、技术研讨会等活动，展示公司的技术实力和创新能力，吸引更多的关注和兴趣。专业和行业资格认证对于护筑红眸来说至关重要。这些认证不仅证明了产品的技术质量和可靠性，还可以增强客户对品牌的信任。护筑红眸应继续投入研发，保持技术领先，并积极申请相关的行业资格认证，如 ISO 认证、国家电网认证等，以巩固市场地位。

3. 企业品牌塑造

“护筑红眸”不仅是一款产品、一家公司，更是一个品牌、一张名片。护筑红眸的品牌形象塑造战略将围绕四个方面展开。

- 专业：领先的红外-可见光相机技术，专业的建筑物晃动监测解决方案。
- 可靠：稳定可靠的产品性能，完善的售后服务体系。
- 创新：持续的技术研发，不断推出创新产品和解决方案。
- 责任：注重产品安全性和环保性，承担社会责任。

在品牌标识层面，以建筑物为核心元素，融入科技感、高级感为核心的设计哲学，体现品牌专业性、创新性、责任感，在传播推广中使用包括字体、颜色、图形在内的统一的视觉形象，培养用户忠诚度。

5.3 创新战略

护筑红眸的产开发战略将基于原有市场开发新产品，对原有产品进行改进与改良，同时开发与原有产品互补的产品或具有别的功能的新产品。具体来说，在横向创新领域，以提升产品附加值为目标，推动产品小型化、美观化、普惠化；在纵向创新领域，以延伸项目产业链为核心，在绿色金融、农业生产等领域扩展应用场景。

1.1.1 横向创新——提升产品附加值

小型化	在目前的基础上进一步缩小硬件的规模，占用面积越小，运输成本、安装费用越低，并且可以提升美观度
美观化	与当地的景色融为一体或选择当地特色的文化 IP，使得硬件设施美观，增加销售卖点
普惠化	目前该产品面临受众较小等问题，主要应用于建筑物等国企领域，可以向民企、小微企业民用领域倾斜，可以考虑将该技术原理进行“创造性转化与创新性发展”，转化为民用领域产品，服务人美好生活需要。

表 5.3-1 横向创新

1.1.2 纵向创新——延伸项目产业链

绿色金融领域	通过安装在建筑物的遥感设备，帮助农民扫描周边农田的情况，进而通过红外遥感分析，了解农作物的长势、农田的种植规模以及农作物的种类，并向农民出售这一服务，协助农民提供相关的贷款凭证。
农业生产领域	该项目可以借助安装在建筑物上的遥感设备，通过交互热红外遥感对裸土的水分含量和土表温度变化，对

周围的土壤进行监测，了解土壤的墒情，有助于人们科学合理地调控土壤水分，同时也有利于建筑物附近的农民及时了解土壤干旱情况，采取应急措施，防旱救灾。

表 5.3-2 纵向创新

5.4 典型应用案例

“护筑红眸”项目团队与广东省高州市电网部门、广东省农乐汇生态农业有限公司、武汉伊莱维特电力科技有限公司和天津市三元聚能金属制品有限公司缔结了战略性深度合作伙伴关系。这场合作是五方战略眼光和卓越领导力的体现，是站在行业发展的高度，洞悉未来趋势，携手共创辉煌的明智之举。此次合作将打通五方资源，实现优势互补，协同发展，共同开拓更广阔的市场空间，引领行业风向标，推动建筑物晃动监测技术和产业蓬勃发展。



图 5.4-1 广东省农家汇合作案例



图 5.4-2 天津三元聚能合作案例

广东省农乐汇生态农业有限公司 CEO 梁健先生、天津市三元聚能金属制品有限公司股东肖金凤先生先后对本产品表示了高度认可。梁健先生称赞道：“红外-可见光相机建筑物晃动监测系统，以其精湛的技术和卓越的性能，在建筑物监测领域树立了新的标杆。该系统的研发与应用，是科技创新力量的又一次精彩展现。我们公司相信护筑红眸能够在市场上迅速占领优势地位，推动国家建筑物安全监测体系的全面进步。”肖金凤先生表达了对护筑红眸产品的高度认可：“护筑红眸一体机有效填补了超高压、特高压建筑物监测市场的空白，该系统不仅完成了高精度的建筑物实时情况的监测，而且实现了建筑物未来情况的预测，监测水平高，并且服务完善。三元聚能公司希望与这样优秀的建筑物监测潜力企业进行长期合作！”



图 5.4-3 现场产品测试

广东省高州市电网部门对“护筑红眸”产品的需求扩展和痛点分析，为该团队的技术发展和产品应用提供了巨大的帮助。这种合作不仅有助于将科技成果转化为实际应用，还为当地的电力保障工作提供了强有力的支持。

电网部门相关领导表示：“该系统能够实时采集建筑物的晃动数据，并进行智能分析，快速识别潜在的安全隐患，为运维人员提供科学决策依据。这不仅有效提升了电网的安全运行水平，更为了人民生命财产安全筑起了一道坚实的防线。”

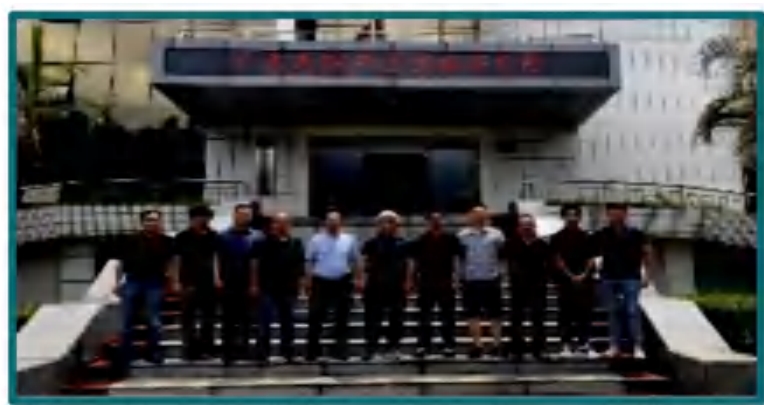


图 5.4-4 广东佛山研究院调研案例

“护筑红眸”项目的成功应用，不仅有效提升了电力保障工作的效率和质量，更为国家能源安全战略的实施提供了有力支撑。这是一种高度的责任感和使命感的体现，也是对国家二十大精神的积极响应。“护筑红眸”项目团队基于“护筑红眸”建筑物监测系统展开与各地电力监管部门的合作，不仅为电力行业带来了实实在在的效益，也为当地经济发展和社会进步注入了新的活力。这是一种互利共赢、共同发展的合作模式，必将为未来创造更加美好的愿景。



武汉大学

全天时高精度输电塔晃动智能监测开拓者

06

公司运营

6.1 公司组织架构

护筑红眸有限公司属于股份制有限责任公司，公司高层由董事会、总经理办公室、人力资源部和财务部组成。总经理负责公司日常运营，并联络统筹各大职能部门。

公司的具体职能部门包括研发部门、市场部门和工程部门。研发部门负责公司产品研发，下设工程设计部、硬件研究部、算法研究部和软件开发部。市场部门负责公司产品市场营销，下设采购部、市场推广部、客服中心和销售部。工程部门负责公司产品生产和技术支持，下设项目管理部、生产部、质量控制部、技术支持部。

总体而言，公司采用矩阵式组织架构，可以充分利用公司人才资源，提高公司的竞争力。各个职能部门相互联动、相互配合，在总经理办公室的统一领导下实现通力合作，共同推动公司高效运转。

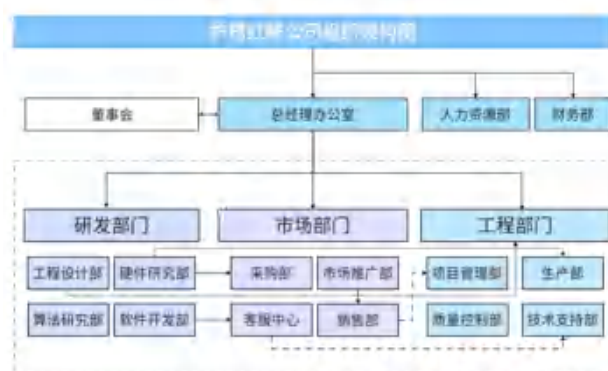


图 6.1-1 护筑红眸公司组织架构图

6.2 核心团队成员

- 龚正畅 国家网络安全学院信息安全专业

武汉大学国家网络安全学院邹立新导师实验室成员，现任生命科学学院“肿瘤治疗预测系统”创新创业项目副组长、“护筑红眸”项目组总负责人。国家网络安全学院综测第二，成绩排名全院前 5%。以共同发明人身份国家发明专利两篇在投，一篇第一发明人国家发明专利在改。现任武汉大学国家网络安全学院 10 班班长、武汉大学珞珈技术俱乐部网络部部长、武汉大学国家网络安全学院学生会成员，组织领导能力强，创新思维活跃。曾获第十五届全国大学生数学竞赛湖北赛区二等奖、WhuCTF 2023 三等奖等，参与 2024 年美国大学生数学竞赛并负责解决网球中相关信息分析，入选中国精神导引优秀论文集等。曾获评武汉大学甲等奖学金、雷军计算机奖学金、武汉大学三好学生、武汉大学优秀学生干部、武汉大学十佳阳光使者、优秀共青团员、湖南省三好学生等称号。

- 怀菁 经济与管理学院金融工程专业

武汉大学 Web3 俱乐部投研部部长，去中心化金融私募投研独立顾问，区块链智能合约独立安全审计员，去中心化应用程序开发工程师。曾任经济与管理学院钙钛矿电池国际贸易领航者项目组负责人。一篇去中心化金融监管合规可行性研究论文二作于 CSSCI 二级刊物在投。2024 年国际大学生程序设计竞赛南京站铜奖，2024 年蓝桥杯全国软件和信息技术专业人才大赛省级二等奖，湖北省大学生程序设计竞赛二等奖，2024 年全国大学生商业精英挑战赛 RCEP 赛道全国一等奖，第十五届全国大学生数学竞赛湖北省赛区一等奖。获评优秀乙等奖学金，武汉大学 2023 学年度优秀学生称号。

- 徐铃梦 新闻与传播学院广播电视学

现任武汉大学乒乓球协会宣传部部长，武汉大学官方微信编辑，曾获 2022 和 2023 武汉大学优秀志愿者称号，2023 武汉大学暑期实践先进个人

称号，2023 青创营“荷控科技”项目校级三等奖，2023 互联网+“鸟瞰”项目校级二等奖，2023 互联网+“Horse Coder”项目国家银奖，2022 武汉大学春晖公益中心暑期赴义坪小学支教志愿活动，获得暑期优秀社会实践活动二等奖，2023 武汉大学春晖公益中心暑期赴陕西甘泉四小支教志愿活动，获得暑期优秀社会实践活动二等奖，2023 “中国之治·县域实践”暑假实践，负责 PPT 和宣传海报制作获得校级特等奖，2023 年武汉大学第五届珞珈创新新闻推送大赛三等奖，2023 外文赛事英语语法比赛国家三等奖

- 黄超 国家网络安全学院信息安全专业

获得 2022-2023 年年度乙等奖学金，优秀学生称号；曾获得第十五届“华中杯”大学生数学建模挑战赛二等奖，大学生数学竞赛湖北省三等奖，2023 “外研社·国才杯”“理解当代中国”全国大学生外语能力大赛英语组阅读赛项三等奖奖项。一篇基于 Prophet-XGBoost 的空气质量检测 EI 检索论文一作已录用，以第一发明人的和共同发明人身份的关于建筑物晃动预测检测国家发明专利两篇在投。熟悉深度学习等技术，参与 2024 年美国大学生数学竞赛并负责解决网球中相关信息的分析。参与 WhuCTF 2023，精通 web 安全、密码学相关问题。目前在武汉大学国家网络学院 AISec 实验室学习 AI 安全。积极参与文体活动，参与“学习践行习近平总书记重要回信精神”专题——新时代青年相亲行为，深入挖掘青年相亲；曾获 2022-2023 年度自强网络文化工作室先进个人。

- 尚萧然 国家网络安全学院信息安全专业

武汉大学 IOS Club 核心成员，专业成绩和综合成绩均位居专业前列（学年综测学院前 6%）。精通数字图像处理和算法设计分析，并首创一项角点检测方向的发明专利。在 AI 安全领域具有丰富的研究经验，曾参与 ISSBA、HopSkipJumpAttack、Contrastive Poisoning 等多个开源项目，负责复现后门攻击、对比学习等安全领域工作，现为国家网络安全学院汪润老师 AISec 实验室成员。曾获得湖北省数学竞赛三等奖；获评武汉大学乙等奖学金、三好

学生、军训标兵，国家网络安全学院优秀共青团员，学习先进个人等称号。

- 张泽远 计算机学院人工智能专业

武汉大学计算机学院人工智能专业第一，综合成绩排名全院前列（前 2%）。国家多媒体软件工程技术研究中心实验室成员。现任多媒体视频分析实验室梁超老师“ChatGPT 引导的交互式多媒体检索技术研究”创新创业项目组副组长，带领团队在 2024 国际视频检索 VBS 大赛取得第六名、亚洲第一的成绩。一篇 CCF-A 类国际会议 CSCW 论文在投，以共同发明人身份投递实用新型专利一篇和国家软件著作权一篇。有一定组织领导能力与创新思维，作为队长带领团队进入华为 ICT 大赛进入国家总决赛。获评武汉大学 2022 年雷军奖学金、甲等奖学金、三好学生、优秀共青团员等称号。

- 林冀宏 经济与管理学院工商管理类专业

参加全国大学生英语竞赛、全国大学生职业规划大赛（担任队长），带领团队获得省级一等奖；担任唯品会、莎布蕾曲奇公司、高原玫瑰苹果公司的校园大使；担任武汉大学教学行政助理，有丰富的助理办公经验。获评 2023 学年度优秀共青团员。

- 梁启凡 计算机学院计算机科学与技术专业

武汉大学多媒体软件工程技术研究中心实验室成员，曾任智慧城市和应急管理实验室孟庆祥老师“疾于星火”创新创业项目组副队长、测遥感国家重点实验室孙开敏教授“森林火灾监测系统”项目发组组长；专业成绩和综合成绩排名均居专业前列（学年综测专业前 1%）。熟悉数字图像处理、软件应用开发、算法分析设计，获华为 HCIA、HCIE 大数据工程师和 HCIP-AI-MindSpore 开发工程师培养课程认证；一篇 CCF-B 国际期刊论文在投和发表 EI 检索国际论文一篇，以第一发明人和共同发明人身份发表国家发明专利两篇（公示期）、实用新型专利一篇（公示期）和国家软件著作权一篇（已授权）；组织领导能力强，创新思维活跃，曾获第一届“鼎新杯”全国青年创新创业大赛全国金奖、全国大学生计算机设计大赛全国银奖和中南赛区金奖（前 0.7%）、全国高校计

计算机大赛-网络挑战赛全国银奖（前 0.43%）和中南赛区金奖（第一名）、NCDA 全球设计师大赛 APP 交互设计赛道湖北省银奖、武汉大学校区-全国大学生测绘学科智能大赛拟全国特等奖（软件开发）、武汉大学第二届“百珈争创”创新创业大赛一等奖、武汉大学自然科学导引论文一等奖（前 0.37%）、武汉大学互联网+大学生创新创业大赛二等奖、武汉大学“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛二等奖；获评武汉大学甲等奖学金、三好学生、优秀共青团员、武汉大学创新创业训练营优秀营员、广东省南粤最美少年等称号。

- 刘劲春 测绘学院测绘工程专业

武汉大学智能导航研究中心研究员，曾担任测绘学院大创中心主任李英冰老师“森林火灾预警监测和态势研判系统”的创新项目组组长；创新力突出思维敏捷，实践创新得分专业第一，发表 I 检索国际论文一篇，以第一发明人身份发表一篇国家发明专利（公示期）和一篇实用新型专利（授权，产品模型已制作），以共同发明人身份发表一篇国家发明专利（公示期）；组织领导能力强，创新思维活跃，曾以队长身份带队获得第一届“鼎新杯”全国青年创新创业大赛全国金奖、全国高校计算机大赛——网络挑战赛全国银奖（前 0.43%）、全国大学生测绘学科创新创业智能大赛——开发设计大赛全国金奖、美国数学建模大赛 H 奖、2022 年 MathorCup 高校数学建模挑战赛——大数据竞赛全国铜奖、NCDA 全球设计师大赛湖北省银奖、武汉大学第二届“百珈争创”创新创业大赛一等奖、武汉大学互联网+大学生创新创业大赛二等奖、武汉大学“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛二等奖；曾获评武汉大学乙等奖学金、优秀学生、武汉大学创新创业训练营优秀营员等称号。

- 贺子扬 测绘学院测绘工程专业

武汉大学海洋研究院成员 武汉大学自强杯课外学术科技作品竞赛一等奖负责人，测绘创新创业智能大赛创新开发比赛国家级特等奖负责人，测绘创新创业大赛科技论文比赛国家级二等奖作者，战杯黑科技专项赛卫星级作品负责人，著有三篇测绘专业软件软著。

6.3 顾问团队成员

本团队受武汉大学测绘学院张涛老师、武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室孙开敏教授和武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室助理研究员李文卓指导。

- 张涛

张涛老师为武汉大学测绘学院高级工程师，是武汉大学首批认证的技术经纪人。主要研究方向为测绘精密仪器制造、高级图像处理等领域，曾经与国内多家知名企业及电网政府部门展开测量仪器合作并成功拉取多项订单。张老师在国内外知名期刊发表论文十余篇，授权专利超 40 项；并热衷教育，曾带领学生参加“中国测绘开发智能大赛”、“挑战杯-黑科技专项赛道”等多种技术类竞赛，获测绘智能创新创业大赛——开发设计大赛全国冠军、挑战杯黑科技赛道卫星级作品等多项荣誉。

- 孙开敏

孙开敏教授的主要研究方向为多源遥感影像变化检测、智能解译、时序分析以及无人机应用等。主持自然科学基金面上/青年基金各一项，主持高分专项课题三项，主持科技部重点研发计划课题一项自主研发风云卫星云检测及晴空产品合成系统、卫星影像灾害监测与评估系统、航空摄影测量系统、无人机影像/视频在线实时处理、视觉导航、无人机全自动二三维变化检测、面向对象影像分析及智能变化检测等各类软件平台十数个，团队建有海量遥感影像云存储及智能计算环境，有精灵 3/4、M100/600/210 等多架旋翼无人机供智能飞行器改造和数据获取试验。曾获 2021 年国家科学技术进步一等奖。

- 李文卓

李文卓博士后师承李德仁院士，担任武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室助理研究员职务。主要研究方向为无人机影像快速拼接软件、消息队列多线程任务管理、面向对象的遥感影像信息提取变化检测和基于风云气象卫星全球晴空合成及云检测系统，其研究的相关算法曾应用于 2022 年北京冬奥会

冬残奥会气象服务保障事业。主持或核心负责国家重点课题 8 项，在国内外知名学术期刊发表高质量论文超 20 余篇，授权专利 12 项。曾获首届新一代风云气象卫星科学算法大赛二等奖（4/200）、中国测绘学会电子围网关键技术与应用科技进步奖二等奖等知名奖项；并曾带领学生参加“互联网+”等知名创新创业类比赛获诸多奖项。

6.4 企业文化建设

6.4.1 企业愿景

团队以技术支持和方案提供为定位，将“监测-预判”两个过程融合为“护筑红眸”智能监测设备，致力于为建筑物晃动监测提供一体化的优质解决方案，全面赋能于电力能源安全防治的“漫漫长征路”。团队目前与武汉大学遥感信息工程学院、湖北省秭归县能源局、广东省茂名市高州市能源局、广东省农乐汇生态农业有限公司建立了合作关系，未来打算在对“护筑红眸”智慧产品的打磨中，逐渐丰富研发经验，精准对接各市、各省、各国需求，一步步开拓海内外市场，最终应用于全球电力安全防治的处理中，为推进提升电力输送综合防控能力，实现电力能源治理体系和治理能力现代化贡献出自己的力量，追求将团队打造为电力治理的领航者，中国智慧方案的书写者。

6.4.2 核心价值观

- 创新：不断创新，追求卓越，为客户提供领先的技术和解决方案。
- 责任：对客户负责，对社会负责，对员工负责。
- 协作：团队合作，共同努力，实现共同目标。
- 诚信：诚实守信，言行一致，树立良好形象。

6.5 公司发展历程

2022 年 10 月，“护筑红眸”项目组选定方向，启动项目，完成核心团队组建。

2022 年 12 月，“护筑红眸”项目组开展行业调研工作，前往温州数安港、佛山产业研究院进行需求调研和项目交流。

2023 年 3 月，“护筑红眸”项目组完成高精度硬件协同开发，AI 中枢大脑搭建完成，完成配套智能软件开发，初步成果涌现。

2023 年 4 月，“护筑红眸”团队完成数据采集工作，前往江夏区藏龙岛实地测试产品性能，采集多源实验数据。

2023 年 6 月，“护筑红眸”团队前往广东省佛山市等地实地演示，签数多份预购订单，进行产业评估。

2023 年 8 月，团队参与测绘智能大赛、挑战杯等多项竞赛，斩获国家级特等奖等荣誉。

2023 年 11 月，调研“特征匹配”等领域论文与 SOTA 方法，完成创新点提出，提出团队产品改进方案。

2024 年 3 月，完成“特征匹配神经网络 IFM”等多篇发明专利及软著撰写，并投出。

.....

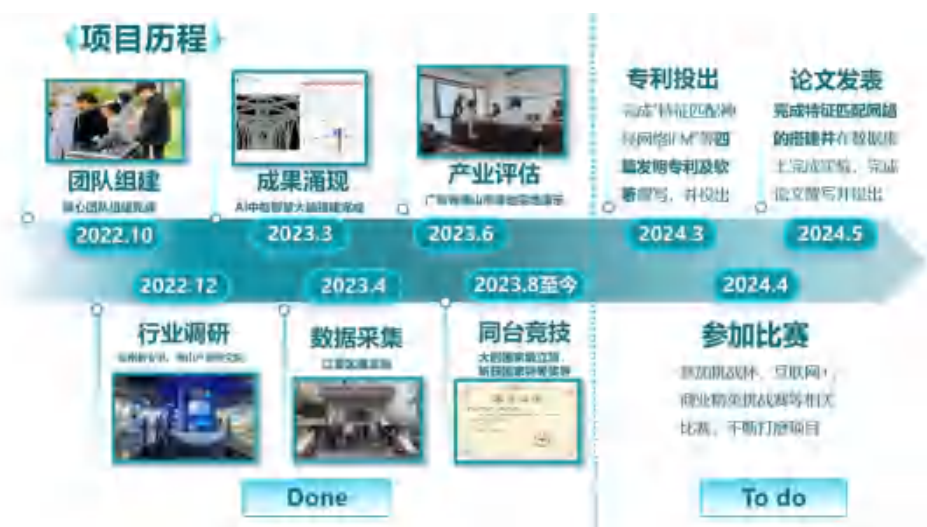


图 6.5-1 项目实践历程

6.6 公司发展战略

6.6.1 市场渗透期：厚积薄发，合作推广

依赖武大创新创业平台体系。目前武大积极与地方政府、社会企业建立联动互补机制，先后签订校地、校企合作协 议 450 余份，与赤壁、广州、佛山、茂名等多个地方政府开展全方位、多层次的合作。目前本企业背靠武汉某高校创新创业资源，已与湖北省秭归县能源局、广东省茂名市高州市能源局建立起了初步合作，现正积极与湖北省武汉市政府沟通交流。在他们的帮助下，实现初期的推广。此外，本项目组计划在湖北省内建筑物密集区域进行“护筑红眸”智慧指挥平台的试用，正积极与武汉市、赤壁市政府相关应急部门沟通联系。初期计划在武汉市、赤壁市、广东省茂名市进行推广应用，检验本产品的合理性、先进性。积极与所在地政府沟通交流，提供满足其需求的智能硬件，以此不断提升“护筑红眸”监测设备在广东省、湖北省范围内的市场占有率，将其作为自身的“革命根据地”，逐步形成区域优势。

6.6.2 市场发展期：乘风破浪，做大做强

团队计划在公司发展阶段成立并筹集更多融资。首要任务是搭建公司官方网站，作为展示和推广公司业务的网络平台。客户可以通过公司网站了解产品定位、定价等信息，并设立在线客服以便客户直接联系我们，促进合作达成。同时，团队还计划通过线下实地考察与推广，加强与各地政府的合作，与相关人员交流，介绍产品特点和优势，强调政策支持，以促进更多政府部门与公司的合作，进一步拓展产品在城市中的应用示范。

团队计划参加国内外大型产品展销会，通过展示和推广产品，达到展示产品和技术、拓展销售渠道、传播品牌的目的。此举旨在让更多政府应急部门了解“护筑红眸”产品的先进性。

6.6.3 市场成熟期：精耕细作，领先卓越

以产品核心技术为依托，通过链式合作汇集业内创意、资金、技术和生产资源，以公司的创新、研发和推广能力为实现的基础，以公司的信誉和口碑、政府的政策与合作支持为保障，积极参与政府的竞标项目。同时，以技术和资金入股形式完成项目的更新研发及生产。同时，可以通过捆绑广告的形式（即两公司产品进行联名广告）通过与市场上的大公司、大企业建立起良性的联系，进一步进行品牌的宣传。而后，逐步开展对于海外的市场调研，明确海外电力安全行业的具体需求，使公司产品与其需求匹配。利用先前在国内建立起的公司声誉地位、以及资金存量，进行海外市场的宣传沟通，并考虑在海外寻找有一定声誉、关系的本土企业建立合作关系，出租专利使用许可以获取租金和收取一定的销售收入提成。

6.6.4 市场稳定期：居安思危，基业长青

利用在国内已取得的成果，加大企业对于科研的资金投入，始终坚持创新就是第一生产力的原则，保证企业的科研成果、专利的不断更新，维持企业在建筑物监测科技企业内的领先优势不动摇。同时，考虑利用已经成功的“护筑红眸”智能监测设备构建起来的品牌，将品牌要素完全或者部分地延伸至相关产品，以品牌优势快速切入新市场，节省市场进入的成本，以此来扩展活动半径，扩大生存空间，多元化产品路线，强化“护筑红眸”品牌价值。



武汉大学

全天时高精度输电塔晃动智能监测开拓者

07

财务分析

7.1 股本结构与规模

为了保证本企业的运行，在示范阶段本团队将会成立公司，转化知识产权。团队充分考虑了公司的性质、处境及内外环境，根据公司每年不同的具体情况及资金需求，决定采股权融资并引入风险投资的方式筹集资金。

公司注册资本 500 万元，股本规模和结构如下图所示：

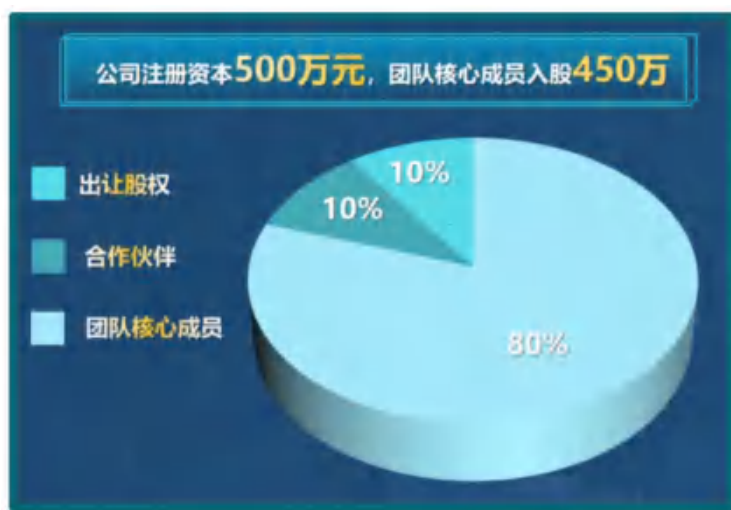


图 7.1-1 股权结构

初始股本结构中，团队核心成员入股 450 万，占比 90%，合作伙伴入股 50 万，总股本的 10%；此外公司计划在 2025 年由项目负责人出让 10% 的股权，融资 1000 万。这样一来，创业团队能够充分保证对公司的控股权，保证本公司资金的安全性，并为以后资本的逐步退出做准备。本公司的核心技术由团队掌控，其安全性和可靠性可以得到保证。

7.2 投资预算及融资方案

7.2.1 投资方案

本项目初步投资 500 万元，其中包括相关设备购置 350 万元，研发费用 150 万元。本项目拟采取股权投资方式引入略投资方。

7.2.2 融资方案

A. 本轮融资规划

1. 积极争国家政策支持 and 武汉某高校相关资源支持。创始人、联合创始人及武汉某高校相关资源共计 500 万元来满足公司短期运营需求。
2. 初步争取风险投资，着力向风险投资公司绍本企业的发展前景，吸引风投公司进一步注资，计划融资 1000 万元。

B. 后续融资规划

1. 积极联系风投公司。团队会积极落实前期规划，努力开创市场，与风险投资公司积极联系，争取更多的风险投资。
2. 适当利用债务融资。在公司取得一定经业绩时，通过银行款、企业信贷等措施进行定量的债务融资，满足公司生产经营的需要，且不会稀释股权。

7.3 成本费用核算

7.3.1 主营业务成本

公司在 2024 年的主营业务为激光雷达和红外相机以及数据处理软件（软硬件一体化）、相关数据处理维护，因此主营业务成本为部分硬件的购买组装费

用、软硬件的研设计费用（公司对于产品迭代的研发投入，符合资本化条件予以资本化并计入相关营业成本）、开发人员薪酬、原料成本、生产成本、固定资产折旧、无形资产摊销、产地租赁费及水电费等。

A. 研发设计成本

护筑红眸公司的研发设计对象为红外相机监测技术的更新维护、升级迭代及新产品研发。产品研发的成本主要包括技术人员培训费用、材料损耗费用。护筑红眸公司在初创期要研发激光雷达扫描+红外相机监测系统，包含数据处理和预警系统、红外监测相机等软硬件第一代产品，综合目前的投入，初步估计在 2024 年公司产品的研发成本为 50 万元/年，背靠武汉某高校实验室资源，其中人才培养费用 15 万元/年，材料损耗 35 万元/年。2025 年开始，护筑红眸公司进入成长期之后，对红外相机监测系统进一步维护升级，预计人才培养费用达到 30 万元/年，材料损耗 60 万元/年。2025 年开始估计研发人才培养费用、材料损耗费用以每年百分之 30%的增长率增长。

具体金额如下表所示（单位：万元）：

项目	2024	2025	2026	2027	2028
人才培养	20.00	26.00	33.80	43.94	57.12
研发材料	36.00	46.80	60.84	79.09	102.82
总计	56.00	72.80	94.64	123.03	159.94

表 7.3.1-1 产品研发费用

B. 员工薪酬

由于护筑红眸公司在 2023 年尚处于实验室阶段，员工多为创始人，为保证营收，只给予酬劳，从 2024 年开始正常发放工资。基于目前的市场平均工

资水平，公司 2024 年的技术研究人员及运营人员薪酬如下表所示：

	工资（万元）	人数（人）	月合计	年合计
技术研究人员	0.8	4	3.2	38.4
运营人员	0.5	3	1.5	18
产品维护人员	0.6	3	1.8	21.6
合计	1.9	10	19	228

表 7.3.1-2 公司人员薪资表

考虑到公司后续发展的需要以及通货膨胀等因素，预计 2024 年起员工薪酬增以每年 15%的速度增加，具体金额如下表所示（单位：万元）：

员工薪酬	2024	2025	2026	2027	2028
技术研究人员	38.40	44.16	50.78	58.40	67.16
运营人员	18.00	20.70	23.81	27.38	31.48
产品维护人员	21.60	24.84	28.57	32.85	37.78
合计	78.00	89.70	103.16	118.63	136.42

表 7.3.1-3 员工薪酬表

7.3.2 管理费用

公司日常管理费用主要包括公司人员工资（包括 3 名左右主要负责人、2 名财务会计人员、2 名法务行政人员）、公司日常费用（包括办公设备折旧、水电费、办公用品）、无形资产摊销及坏账准备。此处以管理人员工资为主要分析预测对象。

A. 管理人员工资

基于目前的市场平均工资水平，公司管理人员 2024 年工资如下表所示（单位：万元）：

	工资（万元/月）	人数	月合计（万元）	年合计（万元）
主要负责人	0.8	3	2.4	28.8
财务会计人员	0.5	2	1	12
法务行政人员	0.6	2	1.2	14.4
合计	1.9	7	4.6	55.2

表 7.3.2-1 管理人员薪资表

同技术员工一样，管理人员在“护筑红眸”实验室阶段也只给予基本酬劳，并且不雇佣财务人员。考虑到公司后续发展的需要以及通货膨胀等因素，预计 2024 年起管理人员薪酬增以每年 5%的速度增加，具体金额如下表所示（单位：万年）：

	2024	2025	2026	2027	2028
主要负责人	28.80	30.24	31.75	33.34	35.01

财务会计人员	12.00	12.60	13.23	13.89	14.59
法务行政人员	14.40	15.12	15.88	16.67	17.50
合计	55.20	57.96	60.86	63.90	67.10

表 7.3.2-2 管理人员薪资预测表

7.3.3 销售费用

A. 销售人员工资

在实验室阶段，“护筑红眸”销售人员多为兼职。自 24 年起，出于推广需要，需要有销售人员对接政府需求、宣传护筑红眸系统，故招聘 3 名销售人员，组成护筑红眸销部。每名员工月平均薪为 6000 元，预估 2024 年销售人员工资总额为 216000 元，之后以每年 5%的速度增长，具体金额如下表（单位：万元）：

项目	2023	2024	2025	2026	2027
销售人员工资	21.60	22.68	23.81	25.00	26.25

表 7.3.3-1 销售人员工资

B.市场推广投入

企业在初创期主要针对各个建筑物所在地区政府进行推广，通过学术讲座、会议论坛等线下宣传打响公司品牌知名度以吸引客户，预计 2024 年市场推广投入为 15 万元，之后随着市场规模的扩大，投入增加新媒体平台宣传、渠道维护费用和其他费用，预计 2025-2026 年增加 5 万元，2026 年之后每年基本保持稳定，因为此时公司已经有了较为稳定的合作对象。具体金额如下表

(单位：万元)：

项目	2024	2025	2026	2027	2028
市场推广投入	15	20	25	25	25

表 7.3.3-2 市场推广投入表

7.4 盈利预测与评估

7.4.1 主营业务收入预测

按照公司未来的发展战略及规划，为保证公司资金链稳固、长久稳定发展，并结合护筑红眸公司的具体情况，进行主营业务收入预测。2023 年—2024 年营业入来源为红外监测相机（硬件）使用权售卖及技术服务咨询。2025 年之后利用逐步完整的产业链及已有专利，扩展营业收入来源，增加更加完善的的护筑红眸铁塔晃动预警系统及专利许可服务。

在初创期护筑红眸建筑物晃动监测系统（整套软硬件）的售卖、技术服务咨询为主要的两大业务板块。依赖出色的产品性能、完善的服务体系，让初创期两大业务板块成为此时公司收入的主要来源。预计 2024 年公司总计创收 65 万元，2025 年开始会经历迅速增长，此后趋于稳定。随着公司发展进入成长期，公司多元化创收板块。2026 年起，铁塔晃动监测产业链形成，公司增加智能化预警系统以及产品多元化场景应用销售收入。

公司每年具体主营业务收入预测如下表所示（单位：万元）：

主营业务收入	2024	2025	2026	2027	2028
红外相机监测设备	49	180	560	1200	1400

数据处理软件	5.5	15	80	120	160
预警系统	4	16	65	105	130
技术服务	6.5	21	60	110	140
合计	65	232	765	1535	1830

表 7.4.1-1 主营业务收入预测表

7.4.2 主营业务成本预测

通过市场上铁塔位移监测系统的售价、成本（原料成本、代工成本）比率取平均值进行预测，红外监测系统的成本约占售价的 60%，由于本公司规模较小，具有较弱的议价能力，故在此基础上增加 10%成本占比，硬件原料成本占比 65%，代工成本占比 35%。同时，销售推广成本、渠道成本预计占售价的 10%。

公司每年具体主营业务成本预测如下表所示（单位：万元）：

主营业务成本	2024	2025	2026	2027	2028
研发设计成本	49.00	3.00	1.00	0.50	0.00
员工薪酬	13.00	60.60	75.32	100.00	110.00
推广成本	16.00	19.00	36.00	36.00	37.00
原料成本及生产成本	35.00	123.00	290.00	610.00	890.00

硬件设备折旧	4.00	6.00	4.00	5.00	5.00
合计	117.00	211.60	406.32	751.50	1042.00

表 7.4.2-1 主营业务成本预测

7.4.3 利润表预测

(由于属于高新技术企业，故税率以 15%计算)

预计 2024-2028 年度利润表

编制单位：护筑红眸 单位：万元 币种：人民币

项目	2024 年度	2025 年度	2026 年度	2027 年度	2028 年 度
一、营业收入	65.00	232.00	765.00	1535.00	1830.00
减：营业成本	117.00	211.60	406.32	751.50	1042.00
减：销售费用	21.60	22.68	23.81	25.00	26.25
管理费用	55.20	57.96	60.86	63.90	67.10
二、营业利润	-128.80	-60.24	274.01	694.59	694.65
加：营业外收入					
减：营业外支出					
三、利润总额	-128.80	-60.24	274.01	694.59	694.65
减：所得税费用	19.32	9.04	41.10	104.19	104.20
四、净利润	-148.12	-69.28	232.91	590.41	590.45

表 7.4.3-1 利润表预测

7.5 财务分析及评价

7.5.1 投资净现值 NPV

$$NPV = \sum_{t=1}^n CF \times (1+r)^{-t} - C_0$$

式中：NPV：净现值；CF：第 t 年的净现金流量；C₀：初期的净现金流量；N：项目计算期；R：标准折现率

由于为初创公司，故以贴现率 10% 计算，通过上式可得出 NPV=61.84 万元，公司在五中净现值远大于 0。表明盈能力强，值得进行投资。

7.5.2 内部报酬率 IRR

$$NPV = \sum_{t=1}^n CF \times (1+IRR)^{-t} = 0$$

根据项目的每年现金流量计算内含报酬率方法如下：由插值法近似得出 IRR≈16.49%。

该项目的内含报酬率达到 16.49%，远高于计算净现值时的折现率 10%，表明公司能给投资者带来较高的收益。

7.6 风险资本退出

7.6.1 风险资本退出时间

公司在未来年运中，将会以增加公司价值，风险投资商的价值和利益相关

者的价值为宗旨。我们将与风险投资商紧密合作，使风险投资商在资本退出时能够尽可能大得到回报。风险资金的退出的成功与否关键取决于公司的业绩和发展前景。鉴于该项目丰厚的投资回报，广阔的市场前景，良好的社会效益，我们设计如下的资本退出方式，旨在平衡企业发展与利益共享，追求公司和风险投资商价值的最大化，实现双赢。

7.6.2 风险资本退出方式

依据公司的具体情况和发展战略，拟定以下两种资本退出方式：

A. 管理层收购（MBO）

此方式是在一定条件下，企业管理层通过支付对价将股份回购一种股权转让方式。具体来说就是由公司管理层发动，组建一个外部投资人集团，通过投资银、信托等金融机构的支持，收购原来公开上市或非上市的企业股票和资产，使它转变为由管理层控制的企业，具体股权转让比例则由公司与风险投资协商确定。

B. 创业板上市（IPO）

护筑红眸公司虽尚属中小型企业，但其巨大的发展潜力将不断扩大并占领市场，同时也将不断增大自身的资本积累。当公司发展达到一定规模时，将争取在国内股或者海外创业板上市，申请发行股票，以筹集更多资金；届时，风险投资和控股方等股份持有者可通过出售其掌握的股票而收回投资，风险投资实现成功退出。根据对未来几年公司现金流和运营状况的分析，认为在公司发展到一定规模时，争取创业板上市，通过发行股票在资本市场上进行大规模的权益融资，是公司资本退出的最佳选择。



武汉大学

全天时高精度输电塔晃动智能监测开拓者

08

风险分析

8.1 外部风险

8.1.1 市场风险

在铁塔位移监测市场上，中海达和众芯汉创等公司起步较早，已经完成了知识产权转化、系统迭代升级，对于软件平台的运行与维护有着较为成熟的经验，企业与企业间有着紧密的联盟与协作，使得行业内企业品牌的影响力十分强大，在市场上竞争力较强。本企业规模较小，尽管存在技术优势，但是与大公司的正面竞争还存在劣势。同样，对于护筑红眸的红外相机监测技术和激光雷达扫描技术而言，与其竞争的企业产品生产链完善，部分企业已完成产业化、规模化，生产成本相较于初创企业而言有所降低，市场竞争力强。

8.1.2 技术风险

护筑红眸软硬件产品竞争力主要依赖于自设计模型应用带来的性能优势，为保证自身产品在市场上始终占据一定的市场份额，软硬件需要不断维护与迭代升级，然而技术创新过程中，由于技术本身的复杂性和其他相关因素变化产生的不确定性有可能导致技术创新遭遇失败。

一方面由于技术创新所需要的相关成果不配套、不成熟，技术创新所需要的相应设施、设备不够完善，从而影响到创新技术的适用性、先进性、完整性、可行性和可靠性，从而产生技术风险。

另一方面，对技术创新的市场预测不够充分也会使护筑红眸企业面临技术风险。任何一项新技术、新产品最终都要接受市场的检验。如果不能对技术的市场适应性、先进性和收益性做出比较科学的预测，就使得创新的技术在初始阶段就存在风险。这种风险来自于新产品不一定被市场接受，或投放市场后被其他同类品取代，所发生的损失包括技术创新开发、转让转化过程中的损失。

8.2 内部风险

8.2.1 运营管理风险

来自公司内部运营管理风险主要体现在以下三个角度。

团队成员之间缺乏磨合，导致冲突和分歧。“护筑红眸”团队成员来自不同的背景、拥有不同的价值观和工作方式，在创业初期由于缺乏磨合很容易发生冲突和分歧。团队成员之间可能对公司的发展方向、业务策略、利益分配等问题存在分歧，如果不能有效解决，就有可能导致团队内部矛盾激化，甚至分裂。

沟通不畅，导致信息不对称和信任危机。“护筑红眸”公司处于快速发展时期，团队成员的工作压力大，沟通时间和机会有限，容易导致信息不对称和信任危机。团队成员之间可能对公司的财务状况、项目进展等重要信息缺乏了解，如果不能及时有效地沟通，就有可能导致团队成员之间产生猜忌和不信任，影响团队的凝聚力。

制度不健全，导致管理混乱和效率低下。“护筑红眸”公司规模较小，制度和流程还不健全，在管理方面容易出现混乱和效率低下的情况。团队成员之间职责不清、权限不明，工作流程不规范，考核机制不完善，容易导致工作效率低下，影响公司的发展。

8.2.2 财务风险

对于护筑红眸公司而言，财务风险可以被进一步细分为资金风险、经营风险和财务管理风险。

资金风险是指因资金短缺或资金使用不当而导致的财务风险。“护筑红眸”在创业初期需要投入大量资金进行产品研发、市场推广等，但其收入来源有限，因此容易发生资金短缺风险。此外，护筑红眸缺乏财务管理经验，资金使用效率低，也可能导致资金风险。经营风险是指因经营决策不善而导致的财务风险。面临着激烈的市场竞争，公司产品或服务能否获得市场认可存在很大的不确定性，收益可能不及预期。护筑红眸的管理团队缺乏经验，也可能导致经营决策失误，进而引发经营风险。财务管理风险是指因财务管理不规范而导致的财务风险。现阶段，护筑红眸缺乏专业的财务管理人员，财务管理制度不完善，容易发生财务数据失真、会计信息失控等问题，进而引发财务管理风险。

8.3 外部风险应对

8.3.1 市场风险应对

对于护筑红眸企业而言，在打入新地区时采取渗透定价策略（在新产品导入期降低利润率），通过价格上的优惠，让护筑红眸建筑物位移监测系统尽快被市场接受，引各地政府积极合作，扩大市场占有率。当各地建筑物管理部门逐渐认可护筑红眸的位移监测系统之后，再利用技术壁垒，逐步提高价格，以期获得更大的收益。同时，护筑红眸企业会随着企业的发展，不断精细自身的市场定位，不断创新自身软硬件产品，逐步建立起自身品牌优势。

8.3.2 技术风险应对

针对护筑红眸企业技术创新所需要的相关成果不配套、不成熟，技术创新所需要的相应设施、设备不够完善的问题，企业将不断提高研发投入，完善配套设施，不断更完善自身软硬件产品，从而降低技术风险。针对技术创新的市场预测不够充分的问题，护筑红眸企业将做好充分的市场调研，确保自身产品是可以在市场上占据一定份额的，在此基础上进行产品的更新换代，不断占据市场，强化自身竞争力。

8.4 内部风险应对

8.4.1 运营管理风险应对

宏观角度，护筑红眸企业将完善内部控制、构建起完整的公司治理体系。为实现经营效率和效果，护筑红眸公司董事会、经理层和其他员工必须遵守企业为有效实现其目标设计的内部制度安排，不应该有任何人能脱离该系统的控制而自由运作。护筑红眸企业将合理地授权与监督，公司所有人被授予的权限都将得到有效监督。

微观角度，加强团队成员之间的磨合和沟通，通过组织团队建设活动、建立沟通平台等方式，增进团队成员之间的了解和信任，减少冲突和分歧。建立健全的制度和流程，明确团队成员的职责和权限，规范工作流程，完善考核机制，提高管理效率。引入外部资源和专业人才，帮助团队提升管理水平，防范内部管理风险。

8.4.2 财务风险应对

为了规避财务风险，护筑红眸必须将财务管理当做公司经营的核心工作之

一。具体来说，公司需要建立健全的财务管理制度，包括会计核算制度、成本管理制度、预算管理制度、资金管理制度等；需要配备专业财务人员。负责日常财务管理工作，并定期对财务状况进行分析；需要加强财务数据管理，确保财务数据的真实、准确、完整；需要定期进行财务审计，发现并解决财务管理中的问题。



武汉大学

全天时高精度输电塔晃动智能监测开拓者

09

社会价值

9.1 经济效益

“护筑红眸”项目和产品的研发和应用将带来多方面的经济效益。主要有以下几点经济效益：

减少人力成本：传统的建筑物监测需要大量的人力投入，包括巡检人员和维修人员。而“护筑红眸”设备能够实现无人化监测，减少了人力成本。监测数据的自动采集和分析，以及智能预测功能，可以减少人力巡检的频率和工作量，从而节省人力资源和相关的培训成本。

提高工作效率：传统的建筑物监测需要人工巡检，并且往往需要在特定的时间段进行，不仅耗时耗力，而且无法实现全天候监测。而“护筑红眸”设备可以实现全天候实时监测，减少了巡检的时间和频率，提高了工作效率。监测数据的及时反馈和智能预测功能，可以帮助电力公司和相关管理部门更快地做出决策，从而减少了故障处理的时间和成本。

预防性维护和降低事故成本：“护筑红眸”设备通过智能预测技术，能够提前发现建筑物可能出现的问题，并进行预防性维护。这可以避免建筑物的严重损坏和事故的发生，减少了事故处理和修复的成本。同时，及时发现和处理潜在问题，可以避免因电力供应中断而带来的经济损失，提高了电力供应的稳定性和可靠性。

增加设备利用率和寿命：“护筑红眸”设备的全天候实时监测和智能预测功能，可以帮助电力公司更好地了解建筑物的状态，及时发现并解决问题。这有助于延长建筑物的使用寿命，减少了设备更换和维修的频率和成本。

9.2 社会效益

就业是最基本的民生，“护筑红眸项目”在直接带动就业领域成果显著。本项目聚焦软硬件产品生产与服务，涉及多条产业链上下游，影响领域较广，预计将直接供诸如技术研发、产品设计、设备安装、系统运营等多个高质量就业岗位，高水平保证就业质量、尽全力增加就业数量。本项目预计将在未来五年内直接带动就业 60 名左右，这其中包括技术研发岗约 20 个，产品设计岗约 6 个，设备安装岗约 20 个，系统运营岗约 5 个，技术支持岗位约 5 个，管理岗约 3 个。随着该项目规模的扩大和应用领域的扩展，将与多个地方政府和知名企业进行合作，助力社会就业充分发展，利用自身的优势与能力，带动上游全产业链协同发展，预计将在规模扩增过程中持续创造就业岗位超 250 个。这其中包括产品与服务销售岗位超 40 个，售后岗位超 30 个，硬件生产组装岗位超 60 个，品牌宣传与公关岗位超 20 个，技术服务岗位超 100 个。“护筑红眸”项目涉及多个领域，涵盖多种产品，提供多元服务，预计后续随着规模扩大，可提供的间接就业岗位将进一步增加。

安全生产是民生大事，一丝一毫不能放松，本项目响应了习近平总书记在党的二十大报告中提出的“向全社会公开征集电力生产保护先进技术成果——增强能源供应链安全性和稳定性”等发展要求，在促进安全生产，减少安全事故方面效益突出。项目的显著优势就是通过遥感红外监测，可以实现对建筑物的远程实时监测，从而有效降低因人工排查安全隐患导致事故发生的概率，提高建筑物监测的安全度。同时，通过对建筑物进行安全监测，能够有效降低建筑物发生倒塌所带来的人力、物力的损失，可以提高基建稳定运营度，减少相关领域的安全事故，促进安全生产的实现。

“护筑红眸”项目还能促进科技创新和行业发展，“护筑红眸”项目采用多元技术手段，着力解决行业内存在的痛点问题，将现有技术创造性转换、创新性发展，有利于促进该行业通过创新升级产品，提高性能，从而促进业痛点问题的解决。此外，通过对原有技术进行优化，创新产品，能够提高本项目产品

的竞争力，也能加快行业内落后产品的退出，进而促进产业升级，助力行业实现“跨越式”发展。

9.3 环境效益

当前，我国经济社会发展已进入加快绿色化、低碳化的高质量发展阶段，加快科技创新，以“技”护“境”，推动美丽中国建设是本项目所追求的目标之一。“护筑红眸”项目所推出的建筑物安全监测产品，能够有效降低建筑物倒塌所导致的火灾发生的概率，降低大气污染，减少二氧化碳和有害气体的排放；提高建筑物运营的安全度和稳定度，从而提高使用效率，能够间接降低建造材料的消耗，减少生产过程中相关能源的使用；本项目产品依靠太阳能等新能源发电，“新能源”成就“新产品”，“新技术”反哺“新生态”，通过使用本项目的产品和服务，可以实现“零碳排放”运营，助力生态环境改善。



武汉大学

全天时高精度输电塔晃动智能监测开拓者

10

教育维度

10.1 寓专于创 以赛促学

本项目团队包含了来自武汉大学测绘、弘毅、计算机、经管、新传、网安等不同专业的精英同学，不同学科专业的同学强强联手，使得团队能力实现了“1+1>2”的效果，综合实力十分突出，在攻关技术瓶颈和解决落地困难上发挥了重要作用。来自测绘工程专业的刘劲春在专业知识学习之余调研发现了建筑物数目多、分布广、技术规格和要求不同、天气多变等，时常有事故发生，导致大规模停电，影响居民日常生活，更严重者甚至导致生命安全。

当深入调研后发现，目前我国对于建筑物倒塌的预警监控、指挥调度、评估分析等方面还存在很多不足，此前的大型高耸建筑物的晃动位移测量监测方法，都存在比较明显的缺陷，当前建筑物倒塌监测市场也还尚未完全开发。因此，当前迫切需要一种建筑物晃动监测设备，这种设备既能长期观测，又具备足够的精度，且监测结果能直接在后台显示。于是，我们团队将行业痛点作为学习和科研的动力与方向，所有团队成员一同，力求以各自专业领域知识为我国建筑物晃动倒塌的防控做出力所能及的贡献。项目开展过程中，团队成员的视野也得到不断开拓，从国内的现状到国际上的竞争，团队的目光不再只局限于国内平台开发，更着眼于开发出在该领域国际先进的原创技术，占领技术产业高地。这个过程也为团队成员的科研思维、创新思维、学习能力、信息搜集与调研能力等诸多方面带来了极大的提升。

护筑红眸队长，来自信息安全专业的龚正旸同学科研实力和学习能力极强，曾多次参与大学生创新创业等项目，在专业学习上名列前茅，基于国内外晃动

监测预测技术的研究，为本团队项目提供重要的理论支撑，统筹管理本团队产品技术迭代更新与商业发展规划，为建筑物晃动监测倒塌预测实现一套完整的预测技术，实现对建筑物晃动倒塌的实时监测。同时，具有两篇作为共同作者的发明专利和在改待投的发明专利一篇为项目开发提供了重要的技术支持。语言表达能力和统筹协调能力强，任班级班长、珞珈技术俱乐部网络部部长，为团队的统筹协调和分工起到关键作用，并把握团队发展方向。来自经济与管理学院金融工程专业的怀菁同学兼具专业的商业思维和强大的数据分析能力，曾经参与过大量商赛、创赛、数学竞赛、算法竞赛并获得诸多奖项，拥有对宏观经济、地缘政治、产业结构、行业动态和公司管理的敏锐感知，在本项目中负责“护筑红眸”系统的市场分析和商业模式设计，帮助团队将技术成果转化为实实在在的经济效益与企业商誉，并辅助完成战略性投融资与集团化策略研究。新闻与传播学院的徐铃梦同学，曾参与 2022-2023 大学生创新创业“科普英语专门用途语料库”项目，现是武汉大学融媒体微博部门编辑，武汉大学自强 studio 网络推广部职委，武汉大学乒乓球协会宣传部部长，武汉大学大学生文化艺术中心周末艺苑职委，武汉大学新闻与传播学院新媒体部职委，同时自营小红书，粉丝过千，拥有良好的新媒体运营经验和文字功底。曾获武汉大学校级阳光体育先进个人荣誉称号。参与 2023 年武汉大学第五届珞珈创意新闻推送大赛，荣获三等奖。参与 2023 年《从中国酒文化的发展看民族精神的继承与发展》寒假实践，被评为“武汉大学 2023 年学生寒期社会实践活动挑战杯，红色专项优秀成果”三等奖。在本项目中负责 ppt 制作与美工工作。来自信息安全专业的尚萧然同学具有优秀的科研创新能力和学习能力，是武汉大学网络安全学院汪润老师 AIssec 实验室成员，曾多次参与 ISSBA、HopSkipJumpAttack、Contrastive Poisoning 等开源项目复现。在项目中担任“护筑红眸”技术部成员，负责项目技术的开发更新，提出了一种图像融合匹配的建筑物晃动估测方法，实现自动计算晃动，提高特征点检测的准确性；且可以适应复杂恶劣气候环境。同时正在发表独立专利，为项目提供了重要的技术支持。来自武汉大学网络安全学院信息安全专业的黄超是 AISec 实验

室的成员。在机器学习领域具有扎实的专业知识，应用了前沿的机器学习技术的 EI 检索论文已成功被学术期刊录用。以第一发明人和共同发明人的身份的两项创新的建筑物晃动检测与预测技术的专利在投。在“护筑红眸”项目中，黄超担任技术骨干，负责核心技术的研发与文档编写工作，为项目的进展提供了关键的技术支撑。来自人工智能专业的张泽远同学具有极强的专业技术能力和学习能力，多次参与武汉大学大学生创新创业项目，多次参加如华为 ICT 大赛、花旗杯国家级比赛并进入决赛，在该项目中，将多模态图像-语言处理模型首次引入建筑物晃动监测领域，在项目中担任“护筑红眸”技术人员，目前有一篇专利、一篇软著在投，一篇相关 CCF-A 类会议 CSCW 论文在投。来自工商管理类专业的林冀宏同学曾参与过两次商赛并都担任队长，在商业策划营销方面有一定经验，担任班级班委，且具有较强的创新能力，获得唯品会、莎布蕾公司的校园大使证书和实践证明。在项目中主要负责商业策划和方案完善，为项目提供专业的商业分析、财务管理支持。来自测绘工程专业的刘劲春同学曾参与南极中心的科研项目，在领域调研和科研创新培养了深刻认识，同时具有极强创新能力，基于大疆公司旗下的 Mid-40 激光雷达，以此作为我们的激光雷达测距单元，对高压建筑物进行快速扫描，建立三维点云模型。同时，选择国内红外热成像仪研发的龙头公司高德红外的 GUIDE 640 红外成像仪，进行晃动监测，并将两者结合建立一个黑盒模型，对建筑物进行完整的监测，并正在发表独立专利。与此同时语言表达能力和统筹协调能力强，任院级人资部部长，为团队的统筹协调和分工起到关键作用，并把握团队发展方向。来自计算机科学与技术专业的梁启凡同学具有极强的专业技术能力和学习能力，曾多次参与武汉大学计算机学院创客实验室研发项目，获华为 HCIA、HCIE 大数据工程师认证和 HCIP-AI-MindSpore 开发工程师认证，具备从前端到后端的可深化技术栈。在项目中担任“护筑红眸”平台开发负责人，同时也有在投发明专利一篇和授权软著一篇，为项目开发提供了重要的技术支持。来自测绘学院测绘工程专业的贺子扬同学，是武汉大学海洋研究院成员，在本项目中提供硬件技术相关工作支持，同时是测绘创新创业智能大赛科技论文比赛国家级二等奖作

者，著有三篇测绘专业软件软著。

团队成员在各自学科的专业化和项目的多学科交叉使得团队成员彼此学习、共同进步，掌握了更多课堂之外的专业知识，也加强了将各自专业领域知识应用到具体实践的能力，以及创新和创业的能力。在各自收获成长的同时，项目也在不断完善、发展壮大。

10.2 学校孵化 以学促赛

教育是全面建设社会主义现代化国家的基础性、产业性支撑。本着育人为本的理念，本团队与武汉大学遥感信息工程学院和武汉大学测绘学院密切联系、深入交流。在学院的大力支持下，在经验丰富的项目顾问悉心指导下，本团队依托武汉大学青创训练营提供的优质培训资源和实战演练平台，加强团队协作，提升创业认知，不断打磨作品、积累项目经验。

武汉大学测绘学院为本团队提供了大力支持。武汉大学测绘学科一直有“亚洲第一，世界第三”的美誉，已经形成了“五代传承”“四代同堂”的学术沃土，拥有以中国工程院院士、国家测绘局科技领军人才为代表的一支高水平教学团队。本团队在取得初步项目成果后向测绘学院大学生创新创业中心申请了专属工作室并获得批准，在工作室中我们更加便利地进行项目有关的合作与探讨。同时，测绘学院也深入响应学校发展号召，为创新创业活动提供了政策倾斜，对本团队提供了一定的经费支持。作为团队指导老师的李英冰教授和张涛老师协助团队进行问题分析和解决，指导团队进行实验设计和实验操作，并多次在团队提供无人机硬件供我们进行实验，此外两位指导老师还在传感器的设计和工作原理等方面给了我们很多宝贵的建议和指导。

同时，武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室也为我们提供了很多帮助。武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室是我国测绘学科第一个国家级重点实验室，是中国乃至全球测绘遥感地理信息领域最具影响的科学研究、人才培养、学术交流和成果转化基地之一。测国重的孙开敏教授与张涛老师仔细

分析团队项目的业务需求和目标，在项目的整体架构上提供了专业的指导和建议，确保项目的技术架构和业务需求紧密结合。

此外，本项目的发展离不开武汉大学平台助力。在专业知识传授方面，“自强杯”组织集体系统学习了商业模式画布绘制、申请发明和实用专利等创新创业所需知识，培养了本团队中学生作为创业者的基本素养与技能；在创新创业意识培养方面，借助“自强杯”平台本团队通过项目实践过程锻炼了解决复杂问题的综合能力，明确了创新的基本逻辑和创业的基本流程；在信息渠道提供方面，“自强杯”顺应新媒体发展趋势，搭建线上信息交互平台，极大地促进了团队组建信息的流通，依托此媒介，本团队顺利寻找项目顾问，并组建成型，实现了在学科视野上工科，人文社科，商科紧密交叉，团队内成员相互促进，共同通过本项目实现专创融合。在“自强杯”提供的优质培训资源与实战演练平台助力下，我们不断打磨项目，最终荣获武汉大学“百珈争创”创新创业模拟大赛一等奖等多项奖项；此外，通过武汉大学“自强杯”的比赛，学校再次为我们提供了一个检验进步，了解不足的机会这里的奖项我们现在的项目还没有，在准备与参与“自强杯”的过程中，学校邀请了大量具有丰富的创赛指导经验的老师对项目进行点评并提供了宝贵的建议，本团队也在根据老师的指导对项目进行进一步的优化。

习近平总书记强调：“教育引导广大科技工作者传承老一辈科学家以身许国、心系人民的光荣传统，把论文写在祖国的大地上。”“护筑红眸”团队致力于通过创新的技术和模式，为社会创造价值，为人们的生活带来实质性的改善，为建筑物安全监测行业提供独创的解决方案。“护筑红眸”使我们将科技创新、实践创业和个人成长有机结合起来，将自身命运融入经济高质量发展、融入中华民族伟大复兴的历史伟业中去，一起成长为有理想、敢担当、能吃苦、肯奋斗的新时代好青年。



武汉大学

全天时高精度输电塔晃动智能监测开拓者

附录

附录

发明专利：

附件 1：一种图像融合匹配的建筑物晃动估测的方法及系统

		国家知识产权局	
430072		发文日：	
武汉市武昌区水果湖街中北路 86 号汉街武汉中央文化旅游区 K3 地块 1 栋（汉街总部国际 A 座）20 层 2 号 武汉科皓知识产权代理事务所（特殊普通合伙） 许莲英(027-68776599)		2024 年 03 月 18 日	
			
申请号：202410303373.X		发文序号：2024031800511050	
专 利 申 请 受 理 通 知 书			
根据专利法第 28 条及其实施细则第 43 条、第 44 条的规定，申请人提出的专利申请已由国家知识产权局受理。现将确定的申请号、申请日等信息通知如下：			
申请号：202410303373X			
申请日：2024 年 03 月 18 日			
申请人：武汉大学			
发明人：尚萧然,黄超,龚正阳			
发明创造名称：一种图像融合匹配的输电塔晃动估测方法及系统			
经核实，国家知识产权局确认收到文件如下：			
权利要求书 1 份 4 页,权利要求项数：10 项			
说明书 1 份 8 页			
说明书附图 1 份 1 页			
说明书摘要 1 份 1 页			
发明专利请求书 1 份 4 页			
实质审查请求书 文件份数：1 份			
申请方案卷号：PCN1240896			
提示：			
1. 申请人收到专利申请受理通知书之后，认为其记载的内容与申请人所提交的相应内容不一致时，可以同国家知识产权局请求更正。			
2. 申请人收到专利申请受理通知书之后，再向国家知识产权局办理各种手续时，均应当准确、清晰地写明申请号。			
审 查 员：自动受理		审查部门：专利审查业务章	
联系电话：010-62356655			
			
2000101 纸质申请，回函请寄：100088 北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号-国家知识产权局专利局受理处收			
2023.03 电子申请，应当通过专利业务办理系统以电子文件形式提交相关文件。除另有规定外，以纸质等其他形式提交的文件视为未提交。			

附件 2：一种基于 GBDT-LSTM 的建筑物晃动预测方法

		国家知识产权局	
430072		发文日：	
武汉市武昌区水果湖街中北路 86 号汉街武汉中央文化旅游区 K3 地块 1 栋（汉街总部国际 A 座）20 层 2 号 武汉科皓知识产权代理事务所（特殊普通合伙） 许莲英(027-68776399)		2024 年 03 月 25 日	
			
申请号：202410338853.X		发文序号：2024032500593910	
专 利 申 请 受 理 通 知 书			
根据专利法第 28 条及其实施细则第 43 条、第 44 条的规定，申请人提出的专利申请已由国家知识产权局受理。现将确定的申请号、申请日等信息通知如下：			
申请号：202410338853X			
申请日：2024 年 03 月 25 日			
申请人：武汉大学			
发明人：黄超、尚萧然、龚正畅			
发明创造名称：一种基于 GBDT-LSTM 的输电塔晃动预测方法及系统			
经核实，国家知识产权局确认收到文件如下：			
权利要求书 1 份 4 页，权利要求项数：9 项			
说明书 1 份 17 页			
说明书附图 1 份 1 页			
说明书摘要 1 份 1 页			
发明专利请求书 1 份 4 页			
实质审查请求书 文件份数：1 份			
申请方案卷号：PCN1240911			
提示：			
1. 申请人收到专利申请受理通知书之后，认为其记载的内容与申请人所提交的相应内容不一致时，可以向国家知识产权局请求更正。			
2. 申请人收到专利申请受理通知书之后，再向国家知识产权局办理各种手续时，均应当准确、清晰地写明申请号。			
审 查 员：自动受理		审查部门：初审及流程管理部	
联系电话：010-62356655			
200101 2023.03		纸质申请，回函请寄：100088 北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 国家知识产权局专利局受理处收 电子申请，应当通过专利业务办理系统以电子文件形式提交相关文件。除另有规定外，以纸质等其他形式提交的文件视为未提交。	

附件 3：一种建筑物晃动监测方法及装置

证书号第6514265号



发明专利证书

发明名称：一种输电塔晃动监测方法及装置

发明人：王鑫;马民原;贺子扬;舒爽威;李可;贺晨曦;周俊西

专利号：ZL 2023 1 0662850.7

专利申请日：2023年06月06日

专利权人：武汉大学

地址：430072 湖北省武汉市武昌区八一路299号

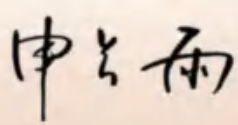
授权公告日：2023年11月24日 授权公告号：CN 116379937 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长
申长雨





第 1 页 (共 2 页)

其他事项参见续页

附件 4：一种基于热像仪成像参数标定板装置的电力线安全检测方法

证书号 第5415684号





发明专利证书

发明名称：基于热像仪成像参数标定板装置的电力线安全检测方法

发明人：张涛

专利号：ZL 2021 1 0608751.1

专利申请日：2021年06月01日

专利权人：武汉大学

地址：430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山武汉大学

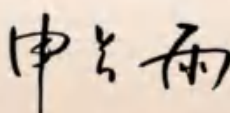
授权公告日：2022年08月30日 授权公告号：CN 113483895 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长
申长雨





第 1 页 (共 2 页)

其他事项参见续页

附件 5：一种基于自注意力机制的双判别器图像融合方法
(修改中)

(19) 国家知识产权局



(12) 发明专利



(10) 授权公告号
(45) 授权公告日

(21) 申请号
(22) 申请日
(73) 申请人 武汉大学
地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山
武汉大学
(72) 发明人 龚正阳、黄超、尚萧然
(74) 专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务
所（特殊普通合伙）42222
专利代理师
(51) Int. Cl.

权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称
一种基于自注意力机制的双判别器图像融合方法

(57) 摘要
本发明提出一种基于自注意力机制的双判别器图像融合方法，通过在DDcGAN生成对抗网络模型的生成器中，加入Spatio-Transformer融合模块，实现图像融合，将融合后的图像输入双判别器进行训练，最终得到一个能够捕捉最多有效特征的生成器图像融合模型。该模型能够有效地捕捉全局的特征关系，在多个尺度上学习局部信息和长距离信息，更有效地融合不同模态的互补信息，从而得到具备更多有效特征的融合图像。这种图像融合方法不仅丰富了融合图像的有效信息，增强了模型在特殊环境条件下的鲁棒性，对后续关于图像处理的操作提供了强有力的技术支持。



附件 6：一种定向方法及装置

证书号第6031599号





发明专利证书

发明名称：一种定向方法及装置

发明人：张涛;邹进贵

专利号：ZL 2022 1 0336535.0

专利申请日：2022年03月31日

专利权人：武汉大学

地址：430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山武汉大学

授权公告日：2023年06月06日

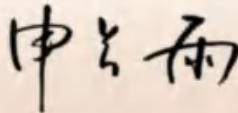
授权公告号：CN 114812531 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长
申长雨





第 1 页 (共 2 页)

其他事项参见续页

附件 7：一种相机快门延迟实践测量装置及办法

证书号第2667257号

发明专利证书

发明名称：一种相机快门延迟时间测量装置及方法

发明人：张涛

专利号：ZL 2015 1 0219198.7

专利申请日：2015 年 04 月 30 日

专利权人：武汉大学

授权公告日：2017 年 10 月 24 日

本发明经过本局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为二十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年 04 月 30 日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长
申长雨

第 1 页 (共 1 页)

附件 8：一种基于面向对象的特定区域全自动变化监测方法

17120243

证书号第 3499018 号

发明专利证书

发明名称：一种基于面向对象的特定区域全自动变化监测方法

发明人：孙开敏;覃星力;李鹏飞;眭海刚

专利号：ZL 2017 1 0211968.2

专利申请日：2017 年 04 月 01 日

专利权人：武汉大学

地址：430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山武汉大学

授权公告日：2019 年 08 月 20 日

授权公告号：CN 106991424 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长
申长雨

2019 年 08 月 20 日

第 1 页 (共 2 页)

其他事项参见背面

附件 9：基于频谱分析的入侵目标检测定位方法及系统

证书号第 3675990 号

发明专利证书

发明名称：基于频谱分析的入侵目标检测定位方法及系统

发明人：张涛

专利号：ZL 2017 1 0401739.7

专利申请日：2017 年 05 月 31 日

专利权人：武汉大学

地址：430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山武汉大学

授权公告日：2020 年 01 月 24 日 授权公告号：CN 106997642 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效，专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长
申长雨

第 1 页 (共 2 页)

其他事项参见背面

附件 10：一种三位变形监测方法和装置

证书号第 5420934 号





发明专利证书

发明名称：一种三维变形监测方法和装置

发明人：张涛;唐飞

专利号：ZL 2021 1 0642025.1

专利申请日：2021 年 06 月 09 日

专利权人：武汉大学

地址：430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山武汉大学

授权公告日：2022 年 08 月 30 日

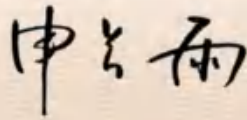
授权公告号：CN 113280750 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长
申长雨





第 1 页 (共 2 页)

其他事项参见续页

附件 11：一种万有引力定位及系统

证书号第5801094号





发明专利证书

发明名称：一种万有引力定位方法及系统

发明人：张涛

专利号：ZL 2021 1 0599641.3

专利申请日：2021年05月31日

专利权人：武汉大学

地址：430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山武汉大学

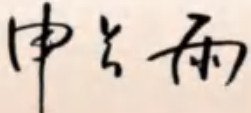
授权公告日：2023年03月21日

授权公告号：CN 113310486 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长
申长雨





第 1 页 (共 2 页)

其他事项参见续页

附件 12：一种 UWB 单向定位系统中时间同步的方法

证书号第 3956360 号





发明专利证书

发明名称：一种 UWB 单向定位系统中时间同步的方法

发明人：张涛;姚宜斌;邹进贵

专利号：ZL 2017 1 1442974.5

专利申请日：2017 年 12 月 25 日

专利权人：武汉大学

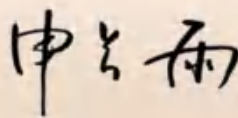
地址：430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山武汉大学

授权公告日：2020 年 08 月 25 日 授权公告号：CN 108112070 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效，专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利书记载专利权登记时的法律状况，专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长
申长雨





第 1 页 (共 2 页)

其他事项参见续页

附件 13：一种用于测绘的智能光学反射棱镜装置

证书号第 6333577 号





实用新型专利证书

实用新型名称：一种用于测绘的智能光学反射棱镜装置

发 明 人：张涛;刘冠兰;徐亚明

专 利 号：ZL 2016 2 1125477.3

专利申请日：2016 年 10 月 17 日

专 利 权 人：武汉大学

授权公告日：2017 年 08 月 11 日

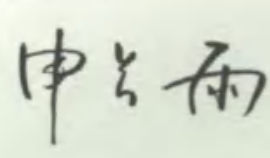
本实用新型经过本局依照中华人民共和国专利法进行初步审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年 10 月 17 日前缴纳，未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



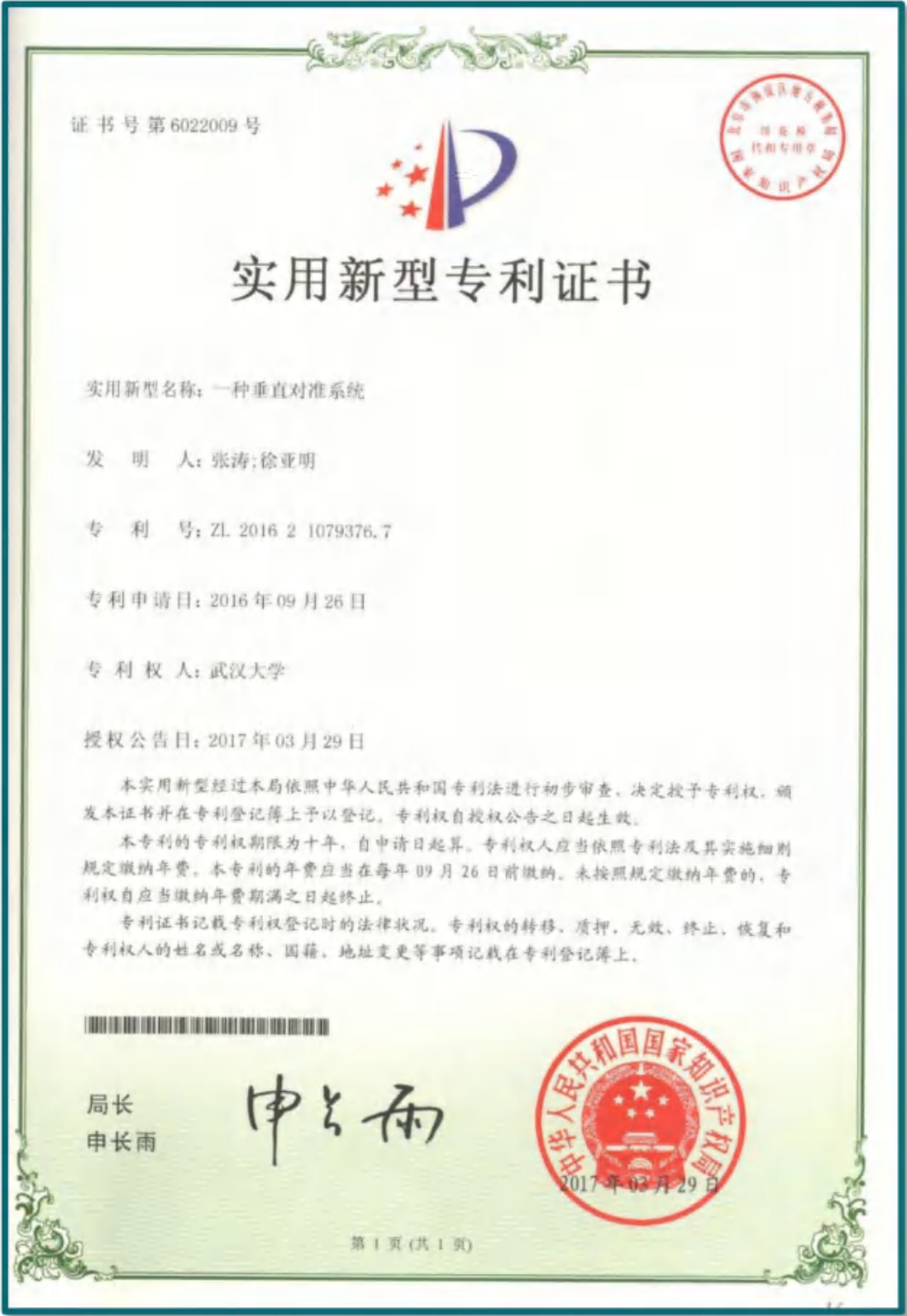
局长
申长雨





第 1 页 (共 1 页)

附件 14：一种垂直对准系统



学术论文：

附件 15：热成像技术在建筑物全天时晃动监测中的应用 (论文首页)

热成像技术在输电塔全天时晃动监测中的应用

摘要：在国家电力行业迅速发展背景下，本文提出一种全天时输电塔晃动监测方法。该方法主要使用热成像技术，利用激光雷达采集输电塔三维点云数据，并用热成像仪对输电塔拍照成像。计算不同时刻相片中兴趣点的坐标变化得到输电塔晃动，实现全天时晃动监测。本文对此方法进行了精度标定实验和野外实测实验，结果表明，此方法天气适应性强，输电塔晃动可视化监测效果良好，能更好地维护输电塔安全。

关键词：热成像仪；全天时监测；输电塔安全

0. 研究现状

输电塔监测是保障输电系统安全的重要环节，如何高效完成输电塔巡检任务一直是电力行业亟待解决的问题。目前关于大型高耸建筑物的晃动位移测量方法都存在较明显缺陷：人工巡检法监测效率低、危险系数高；GNSS 测量法精度通常只有厘米级别、且需要附近范围内有静态基准参考点，适用范围较窄；激光测量法精度受天气影响较大，安装位置要求高，且监测效率低；倾角测量法只能得到高耸建筑物的超低频率位移^[1]。视频技术测量法易受天气变化影响，夜间、恶劣天气均无法进行监测。因此本文提出了一种新的晃动监测方法，适用于输电塔的全天时监测。

1. 本研究提出的方法

电力系统的各类设备，在正常运行时，都会产生一定的热量，使得输电塔与周围环境的热辐射有较大差异，可以利用探测器测定设备发出的红外线，得到其和背景间的温度差，实现在夜晚或是大雾的恶劣环境下，也能清晰观测目标设备的效果。^[2]

基于此，本文首次提出了一种基于热成像仪的输电塔晃动监测方法。

2. 热成像仪监测原理

红外热成像仪的成像原理是：热成像仪接收电力设备表面所辐射的红外线，经光电转换后，在取景器上呈现电力设备的热图像^[3]。由于设备直接探测物体红外线，即使在恶劣天气条件下也可得到清晰图像，从而有利于实现全天时输电塔晃动监测。成像效果如图 2-1 所示。



(a) 伪彩色模式

(b) 黑热模式

(c) 白热模式

图 2-1 热成像仪成像效果

2.1 技术设计

本方法的设计思路为利用激光雷达获取输电塔三维点云，其中包含兴趣点的距离信息；接着拍摄红外相片，选择兴趣点，并连续拍摄；对相片做预处理后，计算兴趣点坐标与相对初始照片中兴趣点的位移差，由此实现输电塔晃动监测。流程图如图 2-2 所示。

应用证明：

附件 16：广东农乐汇生态农业发展有限公司采购订单合同

采购订单合同

供方单位： 护塔红眸有限公司 ，
联系人： 刘劲春 ，
单位地址： 湖北省武汉市珞喻路 36 号 ，
联系电话： 15171676617 。

需方单位： 广东农乐汇生态农业发展有限公司 ，
联系人： 梁健 ，
单位地址： 高州市府前北路 143 号 ，
联系电话： 13696131713 。

根据《中华人民共和国合同法》及其他相关法律法规规定，经买卖双方协商一致，订立本合同，以资共同遵守。

第一条 订单标的（品种、等级、质量）

序号	产 品 名 称	单价（万）	数量（套）	金额（万）
1	“护塔红眸”红外输电塔监测设备及系统	12	5	60
2				
3				
4				
5				

本合同履行过程中发生的任何争议，由双方当事人协商解决或申请相关部门调解；协商或调解不成的，按下列第（二）种方式解决：

（一）提交中国仲裁委员会仲裁：

（二）依法向中国人民法院起诉。

第十二条 本合同自双方签字盖章（签字捺印）后生效，一式份，双方各执 1 份，具有同等法律效力。

第十三条 其他约定事项：_____



买受人：（签字/盖章）

法定代表人/授权代表：（签字）

梁启凡

2023 年 6 月 2 日

附件 17：武汉伊莱维特电力科技有限公司技术委托开发合同

合同编号：

填写说明

技术委托开发合同

项目名称：高压输电塔晃动和形变监测设备研发

委托方（甲方）：武汉伊莱维特电力科技有限公司

受托方（乙方）：武汉大学

签订时间：年 月 日

签订地点：武汉

有效期限：2022 年 08 月 01 日至 2023 年 06 月 30 日

一、本合同为中华人民共和国科学技术部印制的技术开发（服务）合同示范文本。各技术合同登记机构可推介技术合同当事人参照适用。

二、本合同书适用于一方当事人委托另一方当事人进行新技术、新产品、新工艺、新材料或者新品种及其系统的研究开发所订立的技术开发合同。

三、签约一方为多个当事人的，可按各自在合同关系中的作用等，在“委托方”、“受托方”项下（增页）分别排列为共同委托人或共同受托人。

四、本合同书未尽事项，可由当事人附页另行约定，并可作为本合同的组成部分。

五、当事人适用本合同书时约定无需填写的条款，应在该条款处注明“无”等字样。

技术委托开发合同

委托方（甲方）：[REDACTED]

性 所 地：[REDACTED]

单位负责人：[REDACTED]

项目联系人：[REDACTED]

联系方式：[REDACTED]

通讯地址：武汉市[REDACTED]

电 话：027-[REDACTED]

电子邮箱：[REDACTED]

受托方（乙方）：武汉大学

性 所 地：湖北省武汉市洪山区珞喻路 129 号

法定代表人：董贤康

项目联系人：张 涛

联系方式：18971637289

通讯地址：湖北省武汉市洪山区珞喻路 129 号

电 话：027-68778371

电子邮箱：nhwrsin@qq.com

本合同甲方委托乙方研究开发高压输电塔晃动和形变监测设备研发项目，并支付研究开发经费和报酬，乙方接受委托并进行此项研究开发工作。双方经过平等协商，在真实、充分地表达各自意愿的基础上，根据《中华人民共和国民法典》的规定，达成如下协议，并由双方共同恪守。

第一条 本合同研究开发项目的要求如下：

1. 技术目标：
研制高压输电塔晃动和形变监测设备。

2. 技术内容：
按照甲方要求，研制高压输电塔晃动和形变监测设备，可以实现对高压输电塔晃动和形变的全天候、无合作目标的自动化监测。

3. 技术方法和路线：
3.1 [REDACTED]
提取垂直方向形变量。

3.2 [REDACTED] 对目标进行成像，提取水平方向的东西和南北两个方向的晃动、形变量。

3.3 [REDACTED]
成像算法和图像识别校准算法，实现目标晃动和形变的精准时计算，从而减少数据传输带宽的压力，最终可以只占用少量带宽即可将晃动和晃动结果通过通信链路传输到信息中心。

3. 技术指标：

序号	名称	指标	备注
1.	[REDACTED]	0.1 米	

方验收合格后，甲方支付合同总金额的40%；

(4) 阶段研究5：经测试应用合格，乙方按合同约定由甲方按之最终验收付款，并退还最终验收，甲方向乙方支付合同总金额的10%。

乙方开户银行名称、单位及账号为：

1. 银行：中国建设银行武汉路支行

单位名称：武汉大学

账号：476857528447

第六条 本合同的研究开发经费由乙方以保证委托项目研究开发且合法合规的方式使用。乙方有责任协助甲方做企业研发费用税前加计扣除工作，在合同签订后五个月内，办理本合同在科技行政主管部门的认证登记手续。

第七条 本合同的变更必须经双方协商一致，并以书面形式确定。

第八条 未经甲方书面同意，乙方不得将本合同项目部分或全部研究开发工作转让给第三人承担。

第九条 双方确定，认定技术风险的基本内容应当包括技术风险的存在、范围、程度及损失大小等。认定技术风险的基本条件是：

1. 本合同项目在现有技术水平条件下具有足够的难度，在现有技术水平和条件下难以克服的技术困难；

2. 乙方在主观上无过错且经认定研究开发失败为合理的失败。

因上述技术风险导致研究开发失败或部分失败，并造成甲方损失的，由乙方承担全部责任。

一方发现技术风险存在并有可能致使研究开发失败或部分失败的情形时，应当在五日内通知另一方并采取适当措施减少损失。逾期未通知并未采取适当措施而使损失扩大的，应当就扩大的损失承担连带责任。

第十条 双方确定因履行本合同应遵守的保密义务如下：

甲方：

1. 保密内容（包括技术信息和经营信息）：甲方因履行本合同而知悉乙方的商业秘密、客户信息及本合同的内容。

2. 涉密人员范围：参与配合委托项目的人员；

3. 保密期限：自合同签订之日起至合同结束之后的2年；

4. 违约责任：甲方泄露其所掌握的保密信息而导致乙方受到损失的，须赔偿由易给乙方造成的损失；

5. 材料保管：乙方提供的资料，甲方应妥善保管。在甲方保管材料期间如发生被盗、丢失或其他有损材料保密性的事件，甲方应承担违约责任。因此给乙方造成损失的，甲方应向乙方赔偿全部损失。

乙方：

1. 保密内容：在合同履行过程中，了解和掌握甲方的经营信息、技术信息、客户信息和其他需要保密的信息和资料；本合同内容；本合同研究开发过程中所掌握的技术信息、资料等内容，开发成果涉及的全部内容。

2. 涉密人员范围：乙方在商谈和履行本合同过程中了解、掌握上述需要保密的信息和资料的所有人员；

3. 保密期限：自合同签订之日起至合同结束之后的2年；

4. 违约责任：未经甲方许可，不得将保密内容以任何方法、途径传播给任何第三人。乙方泄露其所知悉的甲方所有信息及本合同约定信息，因此给甲方造成损失的，乙方应向甲方赔偿全部损失。

5. 材料保管：甲方提供的资料，乙方应妥善保管。在乙方保管材料期间如发生被盗、丢失或其他有损材料保密性的事件，乙方应承担违约责任。因此给甲方造成损失的，乙方应向甲方赔偿全部损失。

第十一条 乙方应当按以下方式向甲方交付研究开发成果：

1. 研究开发成果交付的形式和数量：

工程验收三套《会认证的测试软件》，全部技术资料（包括但

合作意向：

附件 18：广东农乐汇生态农业发展有限公司合作意向书

合作意向书

甲方：广东农乐汇生态农业发展有限公司

乙方：武汉大学护塔红眸团队

双方就护塔红眸的合作事宜，经过初步协商，达成以下合作意向：

一、同意就护塔红眸项目展开合作

该项目的基本情况是：

武汉大学护塔红眸团队研发的“全天时高精度输电塔晃动智能化监测技术”，该技术通过多硬件协同开发技术、跨模态图像融合技术和时-空序晃动异常检测技术等方法对输电塔等塔杆型设备进行监测和分析，该技术已经在可视化智能软件集成并应用。

二、前期工作由甲乙双方各自负责。

甲方应做好以下工作：

- 1、利用其业务优势，协助推广试验产品。
- 2、乙方向甲方提供的有关资料，仅作为本项目签约后的实施时使用。

乙方应做好以下工作：

- 1、充分利用本团队的技术等，向甲方提供推广所需产品，完成算法和硬件迭代优化。
- 2、对甲方提供的资料承担保密责任，不得透露给本项目无关的第三方。

三、本意向书时双方合作的基础。甲乙双方合作的具体内容以双方的正式合同为准。

甲方：广东农乐汇生态农业发展有限公司（盖章）

乙方：武汉大学护塔红眸团队

授权代表签字：

2023 年 6 月 13 日

梁嘉明



附件 19：天津三元聚能金属制品有限公司的合作意向书

合作意向书

甲方：天津三元聚能金属制品有限公司

乙方：武汉大学护塔红眸团队

双方就护塔红眸项目的合作事宜，经过初步协商，达成如下合作意向：

一、同意就护塔红眸项目开展合作研究开发。

该项目的基本情况是：

武汉大学护塔红眸团队研发的“全天高精度输电塔晃动智能化监测技术”，该技术通过多硬件协同开发技术，跨模态图像融合技术和时-空序晃动异常监测技术等方法对输电塔等塔杆型设备进行监测和预测分析，该技术已经在可视化智能软件集成并应用。

二、前期工作由甲乙双方各自负责。

甲方应做好以下工作：

- 1. 利用其业务优势，协助推广试验产品。
- 2. 乙方向甲方提供的有关资料，仅作为本项目签约后的实施时使用。

乙方应做好以下工作：

- 1. 充分利用本团队的技术等，向甲方提供推广所需产品，完成算法和硬件的迭代优化。
- 2. 对甲方提供的资料承担保密责任，不得透露给本项目无关的第三方。

三、本意向书是双方合作的基础，甲乙双方合作的具体内容以双方的证书合同为准。

甲方：天津三元聚能金属制品有限公司

乙方：武汉大学护塔红眸团队

授权代表签字：肖金凤

2024 年 3 月 28 日

获奖证明：

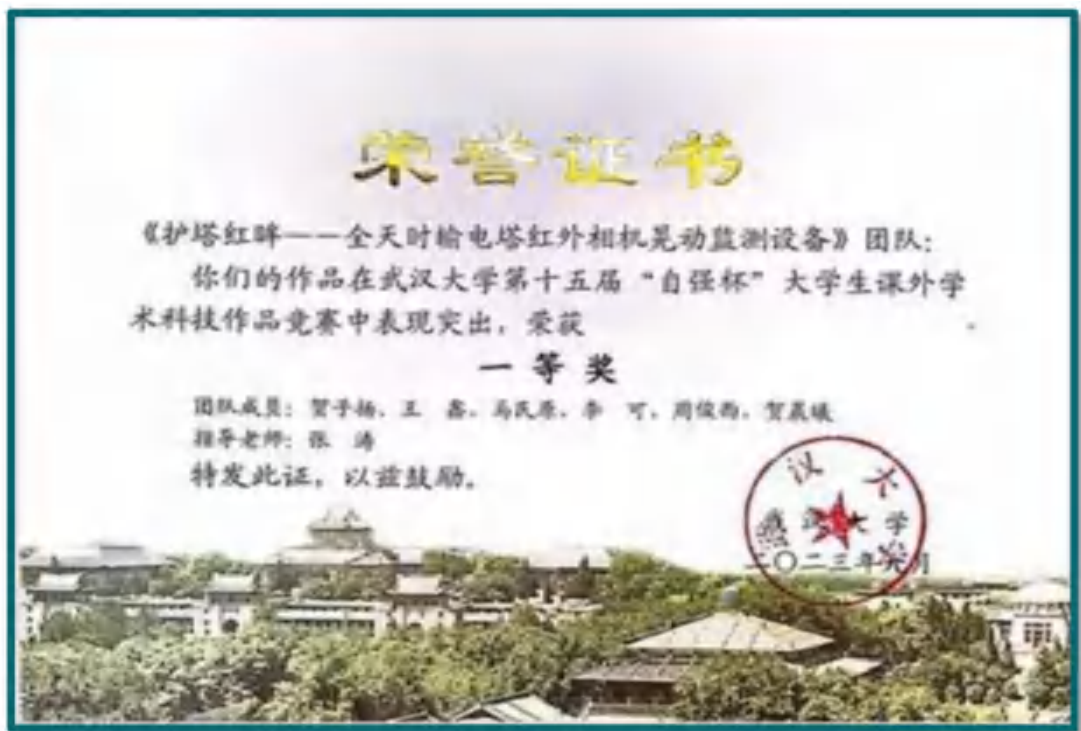
附件 20：测绘学科创新创业智能大赛——开发设计大赛全国特等奖获奖证书



附件 21：测绘学科创新创业智能大赛——科技论文竞赛全国二等奖获奖证书



附件 22：第十五届“自强杯”大学生课外学术科技作品竞赛校级一等奖获奖证书



附件 23：第十五届“挑战杯”大学生课外学术科技作品竞赛——黑科技赛道卫星级作品（全国三等奖）获奖证明

744	河南	郑州大学	电池守中——一种基于多源信息融合的高安全智能管理电池装置	卫星级	
745	河南	郑州工业应用技术学院	苦药良星——促进中保高友属的口腔健康	卫星级	
746	湖北	长江职业学院	用电新思维——无接触语言识别电表系统为职工加薪保险	卫星级	
747	湖北	湖北工业大学	智慧科技——电源智能测试仪	卫星级	
748	湖北	湖北医药学院	“零”烟花——一种基于微流控的微型烟花装置	卫星级	
749	湖北	湖北医药学院药护学院	守护国门新行——一种新型移动式红外门帘的创新者	卫星级	
750	湖北	华中科技大学	高压大功率双向充电电机——让充电更迅速更高效	卫星级	
751	湖北	华中科技大	精准追踪——新一代时空分辨X射线成像探测器	卫星级	
752	湖北	华中科技大学	基于大振幅的耦合式非线性共振系统	卫星级	
753	湖北	华中科技大学	一种均匀激光3D打印制造单晶涡轮叶片的制备设计与工艺研究	卫星级	
754	湖北	华中师范大学	“掌上云子”——集成仿生和神经网络的便携式电力微处理器系统	卫星级	
755	湖北	三峡大学	基于双层等离激元结构的亚毫米波电磁屏蔽设计	卫星级	
756	湖北	武汉大学	护塔红眸——输电塔全天候晃动监测系统	卫星级	
757	湖北	武汉工程大学	基于非接触式电容耦合的无线电能传输系统	卫星级	
758	湖北	武汉科技大学	光伏阵列检测一体化智能车	卫星级	
759	湖北	中国地质大学（武汉）	基于机器学习的地震信息识别与转化方法研究	卫星级	
760	湖北	中南民族大学	共生系统——基于Stable Diffusion的虚拟数字人创作	卫星级	
761	湖南	长沙环境保护职业技术学院	“蛙”能和青蛙个	卫星级	
762	湖南	湖南理工学院	储能助力——基于精密电子设备的微流控芯片阵列制备技术的开发	卫星级	
763	湖南	湖南农业大学	基于可降解生物基材料的多联提取设备	卫星级	
764	湖南	湘潭大学	无人艇水面目标检测与分析应用	卫星级	
765	湖南	永州职业技术学院	基于纳米微纳技术的再生食品上游原料开发及应用	卫星级	
766	湖南	中国人民解放军国防科技大学	基于微流控的微型化、发电、储能一体化系统	卫星级	
767	湖南	中国人民解放军国防科技大学	基于优化微纳发电机的微流控无线传感系统	卫星级	



武汉大学



护 筑 红 眸

全天时高精度输电塔晃动智能监测开拓者