

杆塔力学分析模型智能校正工具的研发

(浙江华云电力工程设计咨询有限公司)

一、背景与挑战

1.1 行业背景

在输电线路工程建设中，杆塔是输电线路的核心支撑结构，其设计质量直接关系到电网的运行安全。杆塔设计分为结构计算与施工图绘制两个紧密衔接的环节：一方面，设计人员使用 SmartTower 等专业软件建立力学分析模型，完成结构受力计算与杆件选型；另一方面，依据计算成果绘制杆塔加工图（即施工图），用于指导铁塔厂家的生产制造。确保力学分析模型与加工图完全一致（即“图模一致”），是保障设计安全可靠的核心前提。

然而，在实际工程中，受设计阶段反复优化调整、模型与图纸由不同专业人员分别维护、截面合并借用等多种因素影响，大量杆塔的力学分析模型与加工图存在显著差异，主要表现为杆件截面尺寸、材料强度等级、端部螺栓规格等参数不符。若不加以校核修正，将导致计算结果与施工实际脱节，严重时可能引发结构安全事故。因此，在加工图交付前，必须逐基逐杆件对两者进行全面比对，以加工图为准修正力学分析模型——这项工作即“杆塔力学分析模型校正”。

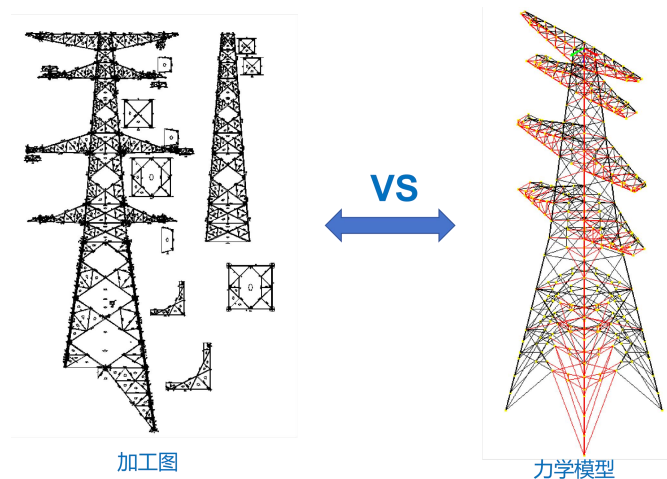


图 1.1 杆塔力学分析模型校正

1.2 具体项目需求

2024 年底，公司承接了国网浙江省电力有限公司建设分公司的磐安抽水蓄能电站～苍岩 500kV 线路工程设计项目，项目计划于 2025 年 1 月启动，2025 年 8 月 30 日完成。该项目涉及 96 基杆塔，线路途经山区地形复杂，塔型多样，对设计质量和交付进度提出了极高要求。为确保项目按期交付，输电事业部于 2024 年 12 月 31 日召开项目进度启动预备会，根据整体进度节点倒排计划，杆塔力学分析模型校正工作须在 15 个工作日内完成。配置 2 名结构校核人员，按每人每天工作 8 小时计算，推算出单基杆塔的校正时限为 2.5 小时。

1.3 传统人工校核方法的困境

目前，校正工作完全依赖人工逐项比对与修改，流程包括：导出司令图、人工叠图比对、逐一修正模型。选取 6 个典型塔型实测，结果如下：



图 1.2 杆塔图纸模型人工校正流程

为量化评估传统方法的效率，课题小组选取了 6 个具有代表性的塔型（涵盖直线塔、耐张塔、终端塔等不同类型），按照上述人工校正流程开展实测。统计结果如下：

表 1.1 塔型力学分析模型校正所需的耗时统计表

序号	塔型	司令图生成 耗时 (小时)	人工比对 耗时 (小时)	人工修正模型耗 时 (小时)	总耗 时 (小 时)
1	500-KC21S-Z2	0.03	22.5	16.8	39.3
2	500-KC21S-Z3	0.03	25.3	15.7	41.0
3	500-KC21S-ZK	0.03	26.6	16.3	42.9

4	500-KD21S-J1	0.03	24.7	18.7	43.4
5	500-KD21S-J2	0.03	24.6	16.5	41.1
6	500-KD21S-DJ	0.03	25.6	18.6	44.2
平均耗时		0.03	24.9	17.1	42.0

单塔平均耗时 42 小时，是允许时限（2.5 小时）的近 17 倍，96 基杆塔需约 4032 工时（504 人日），远超项目周期。此外，人工比面对单塔约 3000 个杆件，极易漏判、误判，质量缺乏保障

二、解决方案与创新点

2.1 总体研发思路与技术借鉴路径

面对上述困境，小组开展了广泛的技术调研。重点关注到清华大学夏圣斌在其硕士论文《建筑结构自动化翻模系统研究》中提出的技术路径——该系统通过“CAD 图纸智能识别模块”与“BIM 模型自动生成模块”，实现了从二维图纸到三维信息模型的自动转换。

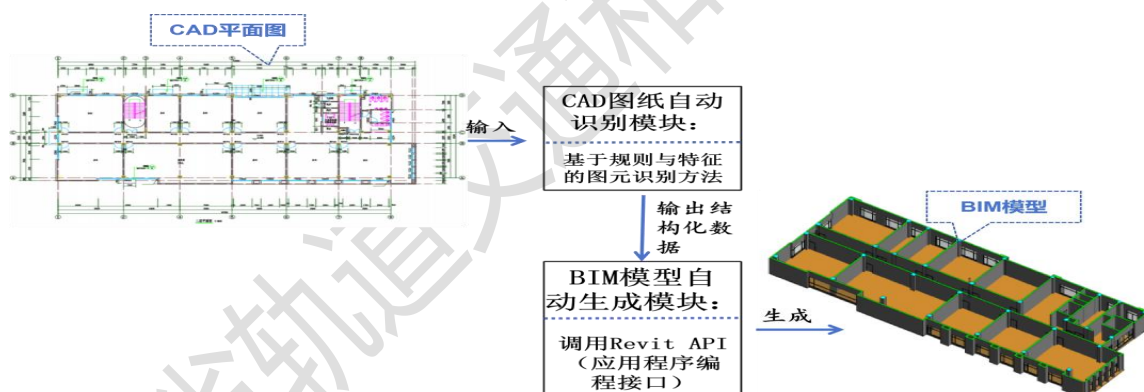


图 2.1 建筑结构自动化翻模系统

这一研究成果为小组提供了关键启发：若能借鉴其“图纸自动识别+模型自动生成”的技术组合，将有望实现杆塔图纸与模型校核工作的自动化。基于此，小组明确提出创新课题：研发“杆塔力学分析模型智能校正工具”，实现从图纸信息自动提取、智能比对到模型自动修正的全流程自动化，从根本上突破人工校核的效率与质量瓶颈。

根据创新启发，小组确立了“两大模块、五个核心技术”的总体研发框架：

模块一：杆塔图纸模型智能比对——实现加工图与司令图信息的高精度自动提取与比对，包括加工图截面信息提取算法、司令图信息提取算法、截面信息与杆件轴线匹配算法三个核心技术。

模块二：杆塔模型自动修正——实现修改数据源生成与模型数据自动更新，包括智能比对+人工复核整合生成修改数据源、模型数据文件自动解析修正两个核心技术。

工具基于 Rhino&Grasshopper 可视化编程平台进行集成开发，以《DL/T 5442-2020 输电线路杆塔制图和构造规定》等行业规范为算法设计依据，确保与现有设计流程高度契合。



图 2.2 研发框架图

（二）核心技术详解

1. 加工图截面信息智能提取算法

加工图的突出特点是制图多样性强、标准化程度低——不同设计人员、不同设计院在图纸表达习惯上存在差异，截面标注方式灵活多变，给自动化识别带来极大挑战。针对这一难点，小组采取了“规则驱动+统计验证”的双重策略研发基于制图规则的加工图截面信息提取算法。

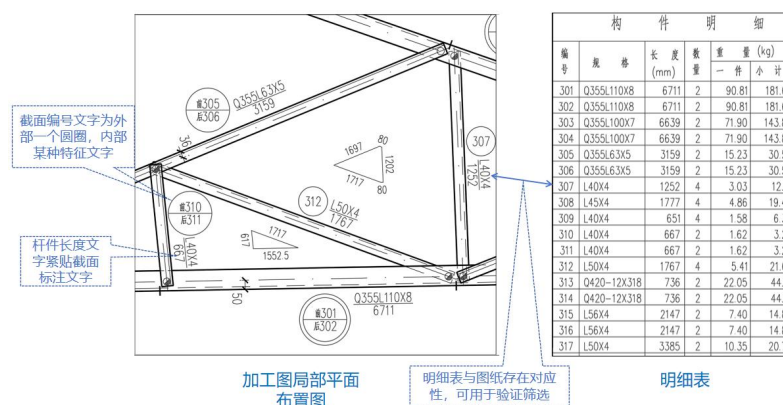


图 2.3 规则驱动+统计验证的加工图截面信息提取算法

制图规则解析：依据《DL/T 5442-2020》规范，系统梳理了截面文字的表达式规律，编写了涵盖角钢（如“L125×10”）、钢管（如“φ406×10”或“Φ406×10”）、组合截面（如“2L125×10”）等各类截面格式的正则表达式库，确保全面覆盖。

带圈编号识别：开发了圆形检测算法，用于识别将杆件编号圈住的“圆圈标注”——圈内单个编号时为普通杆件，圈内两个编号分别带有“前”“后”标识时则代表主材分段信息，算法能准确区分并分类处理。

长度属性提取：根据杆件长度文字须为整数、且与对应的截面文字保持平行、同时两者间距最小的空间关系特征，精准查找与各截面关联的长度标注。

统计表交叉验证：自动定位图纸中的材料统计表，将识别出的截面信息与表格条目进行交叉比对，剔除说明文字等无关干扰，大幅提升识别准确率。

经 6 个典型塔型测试，该算法的截面信息识别率平均达到 99.0%，识别准确率达到 100%，远超预设目标（识别率≥95%，准确率≥98%）。

2. 司令图信息智能提取算法

司令图由 SmartTower 软件自动生成，其突出优势在于图层分类严格、信息规整度高——受力材节点、辅助材节点、受力材规格、辅助材规格、受力材原始杆件、辅助材原始杆件等均分属不同图层。针对

这一特点，小组采用“基于图层属性的直接提取”方案，按固定图层名称分别筛选并提取节点编号、杆件截面及杆件轴线信息，同时直接根据图层归属将杆件标记为“受力材”或“辅助材”。

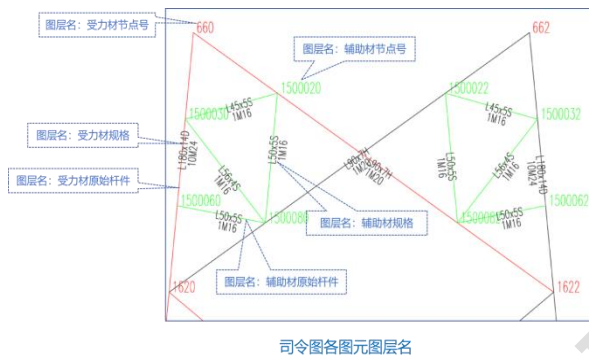


图 2.4 司令图图层命名规则

该方案的本质是“直接读取标准答案”——因为司令图为软件自动生成，图层属性的归类是软件底层逻辑决定的，具有 100% 的确定性。实测结果验证了这一判断：杆件信息识别率和识别准确率均达 100%。

3. 变精度多次匹配算法

截面信息与杆件轴线的匹配是整个校正流程中最核心的技术难题。其难点在于：加工图与司令图虽描述同一对象，但由于图纸来源不同、绘制误差、坐标体系差异等因素，截面文字与对应轴线之间并非精确对应，存在一定的位置偏差。若采用固定容差的单次匹配方案，难以兼顾“不漏配”和“不错配”的双重要求。

小组创新性地提出了变精度多次匹配算法，核心思路是“分而治之、逐级收敛”。首先定义三个核心匹配条件：文字倾斜角度与轴线夹角（ $\Delta\theta$ ）、标注长度与轴线实际长度差值与轴线长度之比（ $\Delta L/L$ ）、文字中心到轴线的最短距离与文字高度之比（ $\Delta D/H_{\text{text}}$ ）。

在此基础上实施三级迭代：第一轮（高精度）：采用最严格容差（ $\Delta\theta < 5^\circ$ ， $\Delta L/L < 0.2$ ， $\Delta D/H_{\text{text}} < 10$ ），快速锁定绘制精确的杆件，确保匹配质量。第二轮（中精度）：移除已匹配项后放宽容差（ $\Delta\theta < 8^\circ$ ，

$\Delta L/L < 2$, $\Delta D/H_{\text{text}} < 18$), 匹配存在轻微误差的杆件。第三轮(低精度/几何关联): 对剩余“疑难”杆件, 采用几何关联法——寻找与该截面文字距离最近的未匹配轴线, 完成最终匹配。

实测结果表明, 该算法匹配成功率平均 99.1%, 匹配准确率 100%, 显著优于单精度一次匹配方案(成功率 92.8%, 准确率 95.2%)。

4. 智能比对+人工复核整合生成修改数据源

智能比对完成后, 需要一个环节将比对结果转化为可供模型修改使用的数据源。虽然智能比对算法已实现了高精度识别, 但是无法达到 100% 准确, 如果试图用纯算法把比对算法准确率达到 100%, 难度会呈指数级增加, 研发周期都难以承受。但反过来, 那几个影响精度的关键因素——比如主材的截面合并与借用标识——对算法是“大难题”, 单是通过人工复核确认, 平均每基塔不到 0.24 小时。于是我们果断用“机器干重活、人工抓关键”的策略, 用极低的人工投入换来了 100% 的数据源准确率。

实测 6 个塔型, 修正数据源准确率达 100%, 人工复核平均额外耗时仅 0.24 小时/塔(约 14 分钟), 远低于 0.5 小时的控制目标。

5. 模型数据文件自动解析修正

获得修改数据源后, 最后一步是将修改内容写入力学分析模型。小组进一步创新采用模型数据文件直接解析修改的方案。通过对 SmartTower 模型输入文件(“工程名.dat”)格式的逆向解析, 建立了完整的数据映射关系。编写自动化修改脚本后, 程序可根据校核结果清单自动查找并修改对应数据段, 完成后重新载入模型即可生效。实测结果显示, 单塔修改耗时仅 0.1 分钟(6 秒), 修正正确率 100%, 且完全消除了人工操作的差错风险。

一、模型文件.dat 格式说明

1.1 控制行信息说明

数据格式如下：

1	山南取风	1~107为0~20°计算风压工况	108~214为0~10°工况	215~321为10~20°工况	计算基础作用力。						
2	3C31201C	固定头3行为工程信息									
3	高利平										
4	2002	93	-115	526	0	203	560	32	0	334	10
5	1	560	1	1	202309	0	0	1505	0	3003	21
6	3000	3000	3003	19995	0	0	0	0	0	0	0
7	3600	3600	3603	29995	0	0	0	0	0	0	0

固定占两行，每行10个整数，格式均为14，内容为：

KIND	N10	N20	M10	M20	IE	NL	NC	NW	NSEC	WIND
±K1	K2	K3	K4	K5	K6	NA	TSM	REN	±NGP	VAL2

KIND的个位数必须填成0~9；

- 1 表示按国内规程（SDGJ94-90）选材；
- 2 表示按国内技术规定DL/T5486-2020选材；
- 3 表示按美国标准ASCE10-15选材。
- 4 表示按国内技术规定（DL/T 5154-2002）规程
- 6 表示按国内技术规定（DL/T5154-2012）选材
- 7 表示按照BSEN50341-EN1993保守方式（非试验）选材
- 8 表示按照BSEN50341-1-2012非保守（试验）选材
- 9 表示按照印度IS802-95选材

KIND填成0-9时，究竟是满足应力设计或是单纯验算（不选材，但算出应力）要看第2行中的TSM>0（优选）或=0（验算）而定。

KIND的十位数必须填成0、1或2；

图 2.5 杆塔力学模型数据文件解析

6. 系统集成与全流程贯通

上述五个核心技术模块分别解决了图纸信息提取、模型信息提取、信息匹配、数据源生成和模型自动修正等环节的技术难题。为实现“一键式”智能校正，小组基于 Grasshopper 可视化编程平台完成了所有功能模块的一体化集成，构建了从图纸输入到模型修正输出的完整 workflow。经 6 个塔型全流程压力测试，运行成功率 100%。

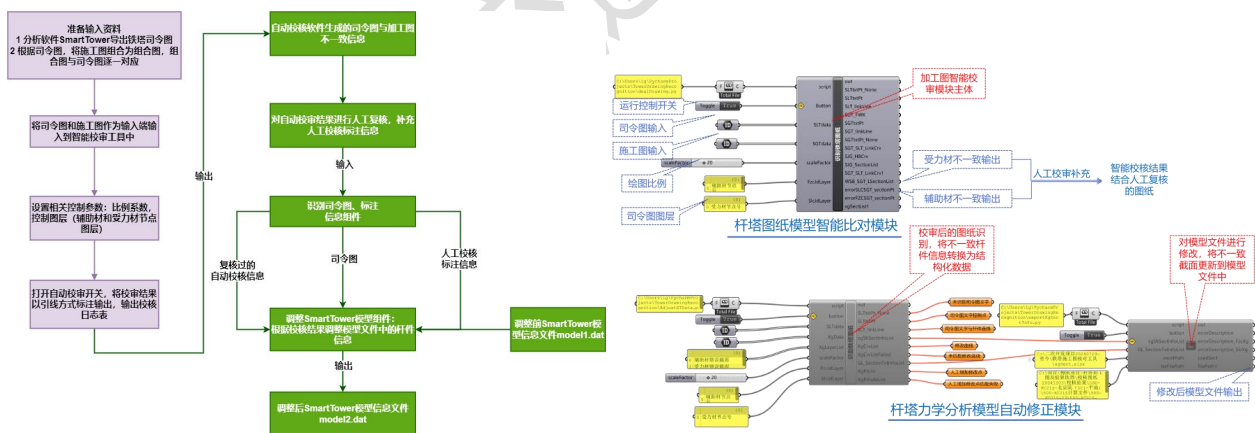


图 3.1 杆塔图纸模型智能校正 workflow

（三）创新亮点总结

本成果的核心创新可归纳为以下几点：

1. 提出“智能校正”新思路，实现图模一致性校核从人工到智能

的范式变革

传统杆塔图纸与力学分析模型的一致性校核，采用的是“人工叠图比对+逐项手动修改”的串行工作模式——工程师将两张图纸叠加后，用肉眼逐一比对数千个杆件的截面信息，再手工在软件中逐项修改，劳动强度极大、出错率极高，单塔平均耗时高达 42 小时。

本成果从根本上改变了这一模式：提出以“自动化信息提取+智能化差异比对+批量自动修正”为核心的智能校正技术思路，将传统的“人眼比对、人手修改”升级为“机器识别、一键修正”的全新工作范式。设计人员仅需提供加工图文件与力学分析模型文件，工具即可自动完成图纸信息提取、差异比对、数据源生成与模型批量修正的全流程操作。

2. 创新提出“图纸信息的高精度自动化提取算法”

图纸信息的高精度自动化提取：深度融合行业制图规范，研发了“基于制图规则与文字特征识别”及“基于图层属性识别”两套算法，分别攻克了加工图（制图灵活）与司令图（图层规整）的自动化识别难题，实现了对截面、节点、轴线等关键信息的高精度提取。图纸识别精度极高。

3 创新提出“变精度多次匹配算法”

变精度多次匹配算法：针对图纸绘制误差，创新设计了“高一中一低”三级精度迭代匹配策略，大幅提升了对非理想图纸的适应能力，匹配成功率和准确率均达 99%以上。

4 模型数据文件逆向解析与批量自动修正

模型数据文件逆向解析与批量自动修正：通过对 SmartTower 模型数据文件（.dat）格式的逆向解析，实现了模型信息的批量、精准、自动修正，将单塔修正时间从分钟级压缩至秒级，且完全消除人工差错风险。

5. 一体化系统集成，形成完整自动化闭环

基于 Grasshopper 平台实现五大功能模块的无缝集成，构建了从图纸输入到模型修正的标准化一键式 workflows，显著降低了工具使用门槛，使复杂技术真正落地为日常设计工具

三、成果与效益

（一）质量安全效益

1. 校核质量实现质的飞跃

传统人工校核高度依赖个人状态和经验水平，面对单塔约 3000 个杆件的海量信息，遗漏和误判难以避免。智能校正工具的应用实现了标准化、自动化校核——系统校核准确率超过 98%，模型修正正确率达到 100%，从根本上保障了“图模一致”，杜绝了因人为疏忽导致的设计隐患。

2. 安全源头保障

“图模一致”是杆塔结构安全的前提。通过 100% 准确的模型修正，确保了铁塔结构计算与施工图纸的完全对应，从设计源头消除了因模型与图纸不符可能引发的结构受力偏差，为输电线路长期安全稳定运行奠定了坚实基础。

3. 标准化作业体系建立

围绕本成果，小组编制了完整的标准化技术文档，包括《杆塔力学分析模型智能校正工具操作手册》（HYSJ-GL/[07-15]-2025）、《软件安装指南》（HYSJ-GL/[07-16]-2025）、《故障排除手册》（HYSJ-GL/[07-17]-2025）及《典型案例库》（HYSJ-GL/[07-18]-2025），形成了可复制、可推广的标准化作业流程，将创新成果固化为企业日常设计规范。

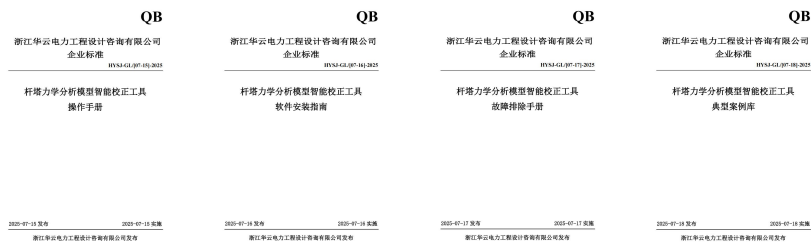


图 3.1 杆塔图纸模型智能校正 workflow

4. 第三方检测认证

为保证成果安全可靠投入使用，小组委托国网浙江省电力有限公司经济技术研究院作为第三方检测机构，对系统运行稳定性、校核结果准确性、模型修改可靠性及对现有设计流程的影响等方面进行了全面评估。检测报告结论为：系统运行稳定，校核结果准确，模型修改可靠，对现有设计流程无负面影响，具备投入实际工程应用的条件。

表 3.1 负面影响验证表

检测方式	检测内容	检测单位	成果
第三方功能测评报告	系统运行稳定性、校核结果准确性、模型修改可靠性以及对现有设计流程的影响等方面开展全面评估。	国网浙江省电力有限公司经济技术研究院	报告编号：312051430002-13900-00-1390-01 杆塔力学分析模型智能校正工具的研发测评报告 被测单位：浙江华云电力工程设计咨询有限公司 测评单位：国网浙江省电力有限公司经济技术研究院 报告时间：2020 年 7 月 05 日

(二) 经济效益

本成果的经济效益已在多个实际工程项目中得到充分验证，主要体现在以下方面：

1. 大幅节约工时

以磐安抽水蓄能电站～苍岩 500kV 线路工程为例：

改进计划	具体内容
------	------

大幅节约人工成本	以磐安抽水蓄能电站～苍岩 500kV 线路工程为例，本项目中，共计有 96 个 类似铁塔需要进行校核与模型修正。传统人工校核需 42 小时/基，使用本系统后仅需 2 小时/基，效率提升 19 倍以上。该项目累计节约校核工时约 480 人日。				
	<table><tr><td>计算过程</td></tr><tr><td>传统人工校核总耗时：96 基 × 42 小时/基=4032 小时（约 504 人日）</td></tr><tr><td>智能工具总耗时：96 基 × 2 小时/基 = 192 小时（约 24 人日）</td></tr><tr><td>累计节约工时：504 - 24 = 480 人日</td></tr></table>	计算过程	传统人工校核总耗时：96 基 × 42 小时/基=4032 小时（约 504 人日）	智能工具总耗时：96 基 × 2 小时/基 = 192 小时（约 24 人日）	累计节约工时：504 - 24 = 480 人日
	计算过程				
传统人工校核总耗时：96 基 × 42 小时/基=4032 小时（约 504 人日）					
智能工具总耗时：96 基 × 2 小时/基 = 192 小时（约 24 人日）					
累计节约工时：504 - 24 = 480 人日					
杆塔力学分析模型智能校正工具的研发 经济和社会效益分析报告 浙江华云电力工程技术有限公司 编制时间：2025 年 7 月 09 日 杆塔力学分析模型智能校正工具经济和社会效益分析报告					
缩短工程周期	工具将磐安抽水蓄能电站～苍岩 500kV 线路工程原需近 8 个月的校核周期压缩至两周周内，加速了设计交付进度，为工程整体推进争取宝贵时间，间接降低项目管理和时间成本。				
减少设计返工与差错成本	系统校核准确率高、修正无误，从根本上避免了因图纸与模型不一致导致的现场施工变更、材料浪费或安全风险，隐性经济效益显著。				

2. 大幅缩短工程周期

工具将原需近 8 个月（按 2 人并行）的校核工作压缩至 11 个工作日内完成，为后续设计环节争取了宝贵时间，有效保障了项目整体按期交付，间接降低了项目管理和资金占用成本。

3. 减少设计返工与差错成本

系统校核准确率高、修正无误，从根本上避免了因图纸与模型不

一致导致的后期设计变更、现场施工返工、材料浪费乃至安全质量事故，隐性经济效益十分可观。在工程建设中，设计变更往往牵一发而动全身，涉及材料重购、工期延误、施工索赔等连锁成本，本工具的应用有效规避了此类风险。

4. 多项目复用效益

该工具可无限次复用于后续输电线路工程项目。按公司年均承接约 5 个含 100 基以上杆塔的 500kV 线路工程估算，仅人工成本一项，每年可节约超过 100 万元，且随着工具应用范围的扩大，综合经济效益将持续增长。

（三）社会效益

1. 提升电网工程设计质量与安全水平

通过 100%准确的模型修正，保障了铁塔结构计算与图纸的一致性，从源头上杜绝设计隐患，为输电线路长期安全稳定运行奠定基础，助力构建高可靠性电网。在当前我国大力推进新型电力系统建设、电网投资持续增长的背景下，本成果对提升大规模电网工程设计质量具有积极意义。

2. 成果在外部设计院成功推广应用

该工具已成功推广至浙江电力设计院和绍兴大明设计院等外部单位，并在多个实际工程中投入应用。应用反馈显示：系统运行稳定、界面友好，单塔校核时间从传统人工的数天缩短至 2 小时内，效率提升超过 10 倍，校核准确率超过 98%，模型修正正确率达 100%。外部用户对工具的实用价值和推广潜力给予了充分肯定。

3. 推动行业设计手段数字化升级

成果是输电设计领域“数智化”转型的成功实践，为同行提供了可复用的自动化校核解决方案。公司已于 2025 年 8 月 6 日组织“杆塔力

学分析模型智能校正工具”专题培训，结构设计室全体人员参与学习，系统掌握工具操作与标准化流程，标志着该工具已从研发成果转化为实际生产力，正在推动设计手段从传统人工向数智协同全面转型。

4. 赋能设计人员，弘扬工匠精神

将设计人员从重复、繁琐的人工比对中解放出来，使其更专注于创新设计与技术优化。培训中参训人员通过理论讲解、案例演示与实操练习，全面掌握工具应用，纷纷表示将在实际工作中积极使用，真正体现了“技术赋能基层、工具服务专业”的理念，营造了“精益求精、科技攻关”的团队文化。

5. 获得业主单位高度认可

应用本工具的多个工程项目中，业主单位对设计交付成果的质量和效率给予了高度评价。梅溪电厂~妙西 500kV 等项目的业主反馈表示，设计成果的“图模一致”大大减少了施工阶段的变更洽商，确保了工程建设的顺利推进，对设计院的专业能力和创新精神表示充分肯定。

6. 提升企业科技形象与竞争力

作为自主创新的智能化工具，成果已在多个工程项目中成功应用，展现了企业在数字化转型中的技术实力与前瞻性，增强了企业在电力设计市场的专业口碑与影响力，为企业开拓市场、承接高要求项目奠定了技术品牌优势。

四、可复制性与展望

（一）内部项目的充分验证

本工具已在公司承接的多个工程中完成应用测试，涵盖不同电压等级、不同塔型、不同地形条件：

磐安抽水蓄能电站~苍岩 500kV 线路工程：96 基杆塔规模化应用，系统运行稳定、校核结果可靠，充分验证了工具在大规模工程中的实

战能力。

（二）外部单位的成功推广

2025 年 7 月，公司组织召开成果推广应用评审会，邀请公司内部结构设计专家及外部合作单位代表参加。评审结论为：“本成果是一项技术先进、实用性强、经济效益显著的创新型工具，建议加快在行业内推广应用，并持续迭代优化，进一步推动输电设计领域的数智化转型。”

应用证明		应用证明	
项目名称	杆塔力学分析模型智能校正工具	项目名称	杆塔力学分析模型智能校正工具
应用单位	中国能源建设集团浙江省电力设计院有限公司	应用单位	绍兴大明电力设计院有限公司
应用地点	宁波	应用地点	浙江绍兴
应用起止时间	2025 年 6 月—2025 年 7 月	应用起止时间	2025 年 6 月—2025 年 7 月
使用评价： 我公司在丹水—蔡洲 220 千伏线路工程中，试用了“铁塔加工图智能校核与模型自动修正工具”，对工程中 12 基铁塔进行批量校核与模型同步。该系统有效识别并解决了图纸与 SmartTower 模型间的不同步问题，校核准确率达到 98% 以上，模型修正准确率 100%。显著降低人工校核数量，使用该系统后每基塔 2 小时以内，效率能提升 10 倍，大幅节约了人力资源与项目周期。 该工具操作逻辑清晰，结果可靠，显著提升了设计质量与工程安全性，具备较高的实用性与推广价值，建议在同类设计项目中推广应用。		使用评价： 我公司在 110kV 方田输变电、110kV 陆家输变电等工程中，采用贵单位研发的“铁塔加工图智能校核与模型自动修正工具”，对多基改造塔进行图纸与模型一致性核查。该系统有效解决了传统人工校核效率低、易遗漏的痛点，实现全自动比对与批量修正，校核准确率高，大幅降低了设计差错风险。 使用过程中，该系统运行稳定，界面友好，输出结果清晰，显著提高了复核效率与设计文件质量，为工程顺利推进提供了有力技术支持，值得在电力设计、施工图审查等相关环节推广应用。	
中国能源建设集团浙江省电力设计院有限公司 2025 年 7 月 15 日		绍兴大明电力设计院有限公司 2025 年 7 月 13 日	

图 4.1 杆塔图纸模型智能校正 workflow

（三）标准化推广体系

为确保成果的可复制性，小组建立了完整的标准化推广体系：

操作手册：详细说明工具安装、操作流程、参数设置及注意事项，零基础人员可在短时间内完成学习；

安装指南：涵盖运行环境配置、软件安装步骤及常见问题解决，确保快速部署；

故障排除手册：系统梳理可能出现的异常情况及解决方案，降低运维门槛；

典型案例库：收录各类型塔型的校核案例及经验总结，为初学者提供直观参考。

四份标准化文档均已纳入公司质量管理体系归档管理，为公司内

外部的推广应用提供了坚实的制度保障和技术支撑。

（四）行业推广前景

本成果针对的是一类普遍存在的行业共性难题——凡遵循《DL/T 5442-2020 输电线路杆塔制图和构造规定》绘制杆塔施工图，并采用 SmartTower 软件开展杆塔结构设计的电力设计单位，均可直接应用本工具。考虑到 SmartTower 在国内输电设计领域的广泛应用以及《DL/T 5442-2020》作为行业通用标准的主导地位，本成果的潜在应用覆盖了国内绝大多数输电设计院，推广前景十分广阔。

此外，本成果采用的“图纸自动识别+模型自动修正”技术路线，其核心方法论——基于制图规范的图文识别、基于图层属性的信息提取、变精度匹配算法、数据文件逆向解析等——具有一定的通用性，可为其他设计领域的类似问题（如变电站结构设计校核、桥梁钢结构设计校核等）提供借鉴与参考。

（五）持续迭代与下一步研发方向

小组在成果推广过程中同步收集用户反馈，目前已启动新一轮研发规划：

在工程实践中，小组发现新的行业痛点：部分早期老旧杆塔因资料归档不完整，普遍缺乏对应的力学分析模型。若依据现有图纸手动重建模型，效率极低——单个模型的创建往往耗时十余天，严重制约了利旧杆塔的评估效率。为此，小组已明确下一步研发方向为“老旧杆塔力学分析模型自动重建工具”，旨在将本成果的认识能力“逆向应用”——从历史加工图中自动提取结构信息，重建力学分析模型，填补老旧杆塔数字化管理的空白。

这一方向将与本成果形成完整的闭环——既有模型可校核、无模型可重建，全面覆盖杆塔设计、校核、运维全生命周期的数智化需求，

持续推动输电设计领域的技术进步。

五、项目团队

单位：浙江华云电力工程设计咨询有限公司

项目组成员：龙甘、李坚卿、楼佳悦、徐世泽、周文俊、任远、郝舰艇、李焱、周亚洲

浙江省轨道交通和能源业联合会