

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.191536

一种输变电工程智能设计平台

袁敬中¹, 胡楚叶², 陆亦齐², 高扬¹, 王少荣², 贾祎轲¹, 刘城欣², 邹婧怡²

(1. 国网冀北电力有限公司经济技术研究院, 北京 100038; 2. 华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 为了提高输变电工程设计效率、提升工程设计质量以及优化设计方案, 提出了一种输变电工程智能设计平台。从平台构建原则、平台总体架构、平台构建的关键问题和平台运作方式四个方面清晰地阐明了平台的构建思想。所提出的智能设计平台, 通过建立基于对象的异构数据管理平台、提取云数据库文本信息并实现结构化表达, 以解决设计平台的云数据库构建问题。通过引入基于网络图的动态协同管理策略, 以解决多任务并行多专业协同管理系统的构建问题。通过设计节点组件化和评价体系智能化, 综合解决了智能设计终端的分阶段开发、拓展、升级的相关问题, 并将设计过程和评价过程融为一体。所构建的输变电工程智能设计平台, 为实现输变电工程设计从目前的人工设计模式到智能设计模式的跨越提供了一种可行思路。

关键词: 输变电工程; 变电站设计; 输电线路设计; 设计平台; 人工智能; 智能设计

An intelligent design platform for power transmission and transformation engineering

YUAN Jingzhong¹, HU Chuye², LU Yiqi², GAO Yang¹, WANG Shaorong², JIA Yike¹, LIU Chengxin², ZOU Jingyi²

(1. Economics and Technology Research Institute, State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd., Beijing 100038, China;

2. School of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to increase the working efficiency, improve the design quality of transmission and transformation engineering design, and optimize the design scheme, an intelligent design platform is proposed. The new idea of constructing the proposed platform is explicitly demonstrated in four aspects: the construction principles, the overall structure, the key issues, and the operation modes. The proposed key measures can solve the problems of building up a cloud database of the intelligent design platform by means of constructing an object-based management platform of heterogeneous data, extracting and structuring cloud database text information. A dynamic collaboration management strategy based on a network diagram is introduced to solve the issues of building up multi-task paralleling and a multi-profession-collaborating management system. Modularizing design and the intellectualizing evaluation are introduced to solve the key problems of developing periodically, expanding and upgrading the intelligent-design-terminal, and the evaluation is integrated in the design process. The intelligent design platform for power transmission and transformation engineering provides a feasible way to achieve a leapfrog from the current artificial design mode to the intelligent design mode.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 51607075).

Key words: power transmission and transformation engineering; substation design; power transmission line design; design platform; artificial intelligence; intelligent design

0 引言

输变电工程设计, 包括输电线路设计和变电站设计, 是在明确工程设计任务和设计内容的前提下, 遵循相关技术标准和规范、按照一定设计原则和设

计程序进行的工程设计。目前, 我国的输变电工程设计主要采用以人工为主、以专业设计软件为辅助的设计模式。采用这种设计模式, 需要专业设计人员的大量劳动; 并且设计质量与设计人员的技术水平和设计经验密切相关。随着输变电工程规模的不断扩大, 其工程设计的复杂性也不断提高。如何优化输变电工程的设计方案, 如何提升输变电工程设

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(51607075)

计工作的效率, 如何客观、准确地评价输变电工程的设计质量, 已经成为输变电工程设计领域的巨大挑战。

现阶段, 电气工程领域的许多方面已经实现了较高程度的数字化、自动化和智能化。但是, 这些技术在输变电工程设计领域的应用程度还不高。比如, 三维数字化设计技术虽然在输变电工程设计中得到较广泛的应用, 但未进入综合应用阶段; 对自动化设计方法和智能化设计方法的研究也处于探索阶段。文献[1]针对输变电工程智能信息共享平台的构建, 提出了电网信息模型(GIM)概念。文献[2]研究开发了一种输电线路三维数字化设计平台。文献[3]设计了一种用于输电线路设计的智能一体化系统。文献[4]通过构建三维现场环境, 研究了满足输电工程中勘测设计、施工设计和成果移交等需求的三维数字化技术。文献[5]提出了一种基于分层算法的输电线路智能选线算法。文献[6]提出了一种基于地理信息系统(GIS)的输电线路智能优选方法。上述研究虽然都涉及输变电工程设计的数字化、自动化和智能化, 但缺乏整体性。从而, 未能给出宏观清晰、微观深入的输变电工程智能设计的总体架构。

基于上述背景, 本文研究输变电工程设计的智能自动化技术, 提出输变电工程智能设计平台的构建方法。本文的研究目的在于, 采用数字化技术、自动化技术和人工智能实现输变电工程设计从目前的人工设计模式到智能设计模式的跨越, 以大幅度提高设计效率、提升工程设计质量和更准确地评价设计方案。

1 平台构建原则

本文所提的输变电工程智能设计平台的构建, 遵循以下原则:

(1) 坚持求真务实、继承和创新相结合的原则, 以现有设计理论、设计流程、专家经验和设计规范为基础, 根据实际需要恰当采用成熟技术、先进技术和创新理念。

(2) 采用总体设计、分步实施、组件化研发验证和系统集成的推进策略。

(3) 以有效提升设计质量和大幅度提高设计效率为主要目标。

(4) 以强实用性、高可靠性、高安全性、智能化、高度自动化和先进性为特征, 构建具有自主知识产权的输变电工程智能设计平台。

2 平台总体架构

本文所提出的输变电工程智能设计平台, 由云

数据库、多任务并行多专业协同管理系统和智能设计终端组成, 如图 1 所示。

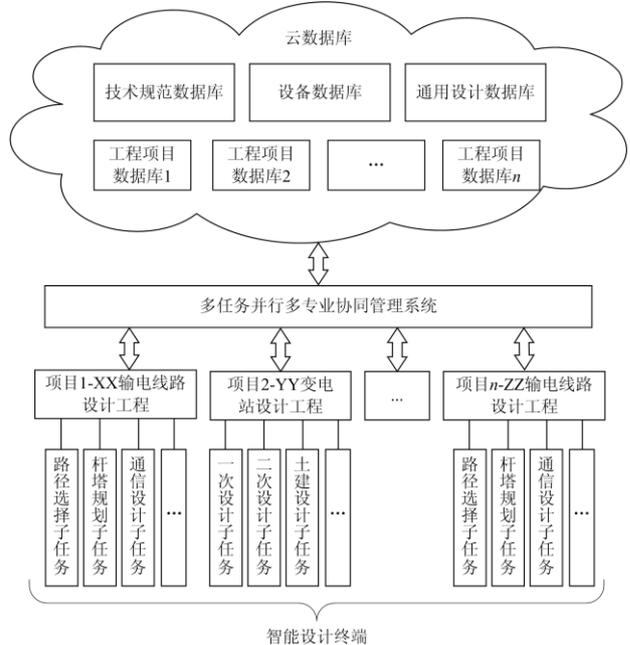


图 1 智能设计平台示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the intelligent design platform

2.1 云数据库

云数据库为输变电工程智能设计平台提供数据支撑。云数据库由技术规范数据库、设备数据库、通用设计数据库和 n 个工程项目数据库组成。技术规范数据库存储 35~750 kV 输电线路工程设计和变电站工程设计需要遵循和参照的技术标准和技术规范。设备数据库存储 35~750 kV 输电线路和变电站相关的所有设备的技术参数和三维结构模型。通用设计数据库存储 35~750 kV 输电线路和变电站的典型工程设计。工程项目数据库用于存储各个工程项目(包括已经完成设计和正在进行设计的工程项目)的设计数据。

2.2 多任务并行多专业协同管理系统

多任务并行多专业协同管理系统简称“双多系统”, 由云数据库访问控制、设计任务驱动和权限管理三个部分组成。其功能包括: (1) 为每个工程项目, 在云数据库中创建一个专用的工程项目数据库, 在本系统内创建一个多专业协同设计和多任务进程动态管理的网络图; (2) 控制和协调对技术规范数据库、设备数据库和通用设计数据库的读取; (3) 控制和协调对各个工程项目数据库的读取和写入; (4) 驱动各个智能设计终端的设计过程; (5) 权限管理功能。

2.3 智能设计终端

智能设计终端包括硬件和软件两个部分。其中,

硬件系统可选用高性能计算机工作站; 软件系统根据不同专业设计流程和设计要素开发。智能设计终端可在专业设计人员干预下或全自动地完成专业设计任务。一个智能设计终端可以承担多个项目的专业设计任务, 但是, 在任何一个时间断面, 仅进行一个设计子任务的设计工作。设计子任务以具体的输变电工程设计项目按照专业划分。输电线路设计工程可以划分为路径选择、通道规划、杆塔规划、通信设计、基础规划、防雷保护、绝缘配合、导地线选型、变电站进出线、其他设施等子任务; 变电站设计工程可以划分为电气一次系统设计、电气二次系统设计、土建设计、采暖通风空调设计、站区规划与总布置设计、给排水设计、消防设计等子任务。

多个承担同一工程项目的不同专业设计子任务的智能设计终端, 在多任务并行多专业协同管理系统的协调下, 共同完成一个输变电工程设计项目的设计工作。

3 构建云数据库需解决的关键问题

3.1 异构数据的统一管理问题

输变电工程设计涉及到多种异构数据, 既有结构化数据, 也有半结构化数据和非结构化数据。结构化数据, 如输变电设备的技术参数等, 一般用诸如 MySQL 等关系型数据库存储; 半结构与非结构化数据, 如文本文件、输变电设备的图形图像等, 一般用诸如 Membase 等非关系型数据库存储^[7-8]。

对输变电工程设计中所涉及的多种异构数据进行高效、统一管理, 建立异构数据管理平台, 使设计人员在查询数据库内容时, 能忽略它们在数据结构、数据库系统环境方面的异构性^[9], 实现异构数据的集成应用, 是构建云数据库需要解决的关键问题。

为解决上述关键问题, 本文建议构建一种针对输变电工程设计智能化的异构数据管理平台。异构数据管理平台应建立基于对象的异构数据管理模式, 即针对描述同一对象的不同数据结构的数据子集, 分别存储在不同结构的数据库系统中。在查询某个对象的数据信息时, 将查询请求分解为针对各个数据子集的“子查询请求”; 每个“子查询请求”针对一种结构的数据库进行查询操作; 在接收到各个“子查询请求”的查询结果后, 按照一定方式组合成该对象的数据信息返回给查询端。例如, 某变压器的技术参数和三维模型分别存储于关系型数据库 A 和非关系型数据库 B 中, 在智能设计终端查询该变压器数据信息时, 异构数据管理平台将查询请求分解为分别向数据库 A 和 B 的“子查询请求”,

在数据库 A、B 中分别执行查询操作, 异构数据管理平台接收查询结果, 按照一定方式组合成该变压器的数据信息返回给发出查询请求的智能设计终端。

3.2 文本信息提取及结构化表达问题

输变电工程设计需遵循和参照技术规程的要求。例如, 220 kV 变电站主变压器的选择需按照文献^[10]中表达的“220 kV、330 kV 变压器若不受运输条件的限制, 应选用三相变压器”来选定三相变压器。然而, 技术标准和技术规范都是以文本文件的形式存储和文字表达的, 对计算机来说难以直接理解, 以引导和约束输变电工程的智能设计。因此, 如何从大量文本形式的技术标准和技术规范中提取准确信息, 并将其用结构化数据予以表达, 是构建云数据库需要解决的另一关键问题。

为解决上述关键问题, 本文建议采用一种针对输变电工程设计的文本挖掘利用方法。首先应从非关系型数据库采集提取技术标准和技术规范的文本信息, 可采用模糊匹配法^[10-11]匹配字段进行抽取或是人工提取。接着对数据进行拆分转换, 在处理某一专业设计的技术标准和技术规范时, 应以一条标准为一个单位, 对文本信息进行专有名词的实体识别和关系抽取^[12-13], 从而获得构建技术规范数据库的数据对象, 实现文本数据的结构化; 例如在处理电气一次设计专业的标准和规范时, 在一条标准中(即技术标准和技术规范中一个三级标题下的内容), 识别“变压器”、“三相”、“220 kV”等电气一次专业的专有名词, 对其实体关系进行抽取, 实现该条标准的结构化。

4 构建“双多系统”需解决的关键问题

4.1 工程项目设计任务网络图构建问题

网络图方法广泛应用于项目进度管理中^[14-15]。本文将网络图引入输变电工程智能设计平台的“双多系统”中。“双多系统”所需构建的工程项目设计任务网络图分别针对输电线路工程设计和变电站工程设计, 用于引导和控制输变电工程设计的设计进度。合理的工程项目设计任务网络图可以优化设计流程。因此, 对于“双多系统”而言, 如何构建合理的工程项目设计任务网络图是一个必须解决的关键问题。

考虑到输变电工程设计具有模式化的设计流程, 因此, 为解决上述关键问题, 本文建议构建输电线路和变电站工程项目的设计网络图模板。以典型工程设计案例为参考, 组织专业设计人员梳理输变电工程设计中的各步骤, 明确各步骤的紧前、紧后、平等、交叉的逻辑关系; 根据设计案例中总工

程量、规定工期与各设计步骤所需时间之间的关系,初步建立起工程项目设计任务网络图模板中各设计步骤时间参数的数学模型。

在完成上述前期工作的基础上,将各设计步骤、各步骤之间的逻辑关系以及时间参数绘制到设计任务网络图模板中。在网络图模板构建时,每个设计步骤对应于网络图中的不同事件,具有固定编号并且号码不能重复;根据以往的输变电工程典型设计案例,分别确定针对输电线路和变电站设计中的“关键路线”^[15](从网络图起点到终点的各项作业时间之和最长的路线)以及“关键事件”^[15](关键路线上的各事件为关键事件),使“关键路线”的总时长在工程项目规定工期之内。

在输变电工程项目设计任务网络图模板建立之后,不同的输变电工程项目可以调用设计任务网络图模板。根据实际工程情况修改网络图模板,如增加或改变某些组织逻辑关系;动态调整“关键路线”、“关键事件”以满足项目工期要求;综合考虑工期与成本的相互关系对设计任务网络图进行优化。修改后的工程项目设计任务网络图用于指导本工程项目的智能设计。

4.2 动态协同管理策略

协同管理,是指把局部力量合理地排列、组合,来完成某项工作和项目^[16]。本文建议将协同管理应用于输变电工程设计中,通过制定动态协同管理策略来协调输变电工程设计中多专业、多任务的协作。

“信息协同”^[17]是输变电工程设计动态协同管理的基础。“双多系统”作为云数据库与智能设计终端的中间桥梁,可以通过对各智能设计终端进行身份认证以及权限设置,来实现各专业智能设计终端的信息协同:通过“双多系统”身份认证的各智能设计终端采用并发访问机制^[18]访问云数据库,读取最新数据;具有相关权限的智能设计终端可以实时读取其他专业智能设计终端的设计成果,本专业的设计成果也能实时传递给其他终端的设计团队,供其他专业设计参考;具有相关权限的智能设计终端可以实时修改其余专业智能设计终端的设计结果,实现多专业终端的跨平台协同设计。

在信息协同的基础上,“双多系统”需要对多任务进行“业务协同”^[19]。按照设计任务网络图判别各设计任务的逻辑关系如紧前、紧后等,建立输变电工程智能设计平台内部的通信机制,使得下游协同设计端可以收到上游设计端改动、更新的提醒通知;同时实现上下游设计端的实时通信交流,保证下游设计内容与上游设计内容的实时一致。

5 构建智能设计终端需解决的关键问题

5.1 设计节点组件化

一个智能设计终端在任何一时间断面,仅进行一个设计子任务的设计工作。为了使设计子任务的执行更有效率,在每一个子任务内,参照人工设计的具体步骤映射到各设计节点,各个设计节点顺序执行。各设计节点与最后的子任务评价模块一同构成了一个设计子任务。具体的设计节点划分详见本文第6节。

本智能设计平台采用总体设计、分步实施、组件化研发验证和系统集成的推进策略,逐步实现输变电设计的自动化和智能化。一方面,为了使智能设计终端的开发更易于分工、更有效率,应将设计子任务细化分割成各设计节点进行组件化开发。另一方面,由于各个设计节点的自动化实现水平不一,软件调试和维护的需求量大,对设计节点采用组件化开发策略,可有效降低各个设计节点间的耦合性。

可将当前能自动化实施的设计节点自动化实现(如变电站设计中的短路电流计算环节);将当前仍需人工完成的设计节点引入人工干预操作后自动化实现(如输电线路设计路径选择子任务中的比选最优路径环节);将可用人工智能替代的设计节点进行重点研发实现(如基础资料的输入环节)^[20-22]。

5.2 评价体系智能化

智能设计终端的评价体系包含子任务内某一设计节点的评价环节以及子任务的总体评价模块。智能化评价体系的核心在于确定合理可靠的评价指标、智能化的评价模型以及自动化的评价流程。

评价指标的确定关乎到最终评价结果的客观准确性。无论是对某一设计节点或是整个设计子任务来说,设计方案中一般都会包含多个影响因素,这些因素之间往往是相互矛盾、相互制约的。因此,如何综合考虑各因素,从中选取若干个因素作为评价指标是一个关键问题。

通常来说,根据设计目标的不同,由设计人员初步选定评价指标,专家组对评价指标提出建议,专业设计人员达成一致性认可从而确定具体评价指标。目前在输变电工程设计中的几个主要评价指标包括技术指标、安全指标、经济指标和环境指标等^[23-24]。然而,专业人员存在知识局限性,因此,可以将大数据技术和人工智能等运用到评价指标的确立中,通过对海量设计方案的目标与结果的比对计算,选出更可信的评价指标。

在确定评价指标的基础上,需要通过评价模型来对设计方案进行评价。虽然已有的评价模型,如

层次分析模型等, 可以对输变电工程设计结果进行有效评价, 但采用这些模型时如何更科学地对评价指标进行定量赋值则是一个需要解决的问题。因此, 本文建议将人工智能引入输变电工程设计的评价模型中。比如, 神经网络模型可以根据设计目标来不断修改评价指标的权值, 直到达到预期设计目标为止。采用此类智能化评价模型, 可减少主观的影响因素, 使得评价结果更客观。

智能设计终端的评价流程应尽量减少人工干预, 其终极目标是全自动化。完成后的设计方案流转至评价流程时, 设计方案中的待评价数据自动输入至评价模型中, 评价模型根据既定的指标参数, 对设计方案进行自动评价, 并将无纸化的评价结果反馈至智能设计终端^[25]。

6 平台运作方式

输变电工程的设计任务总体可分为输电线路设计工程和变电站设计工程两大类, 各设计任务依据项目要求确定。如图 1 所示的项目 1— \times 输电线路设计工程、项目 n — \times 变电站设计工程均属于不同项目的设计任务, 且各个项目的设计任务相互独立而不相互影响, 而各个设计任务又划分为各自的设计子任务。下面介绍设计子任务的设计节点划分和设计子任务的工作流程。

6.1 设计子任务的设计节点划分

各设计任务按照不同设计专业来划分为多个设计子任务。各设计子任务按照设计习惯划分为一系列设计节点, 设计节点间按照时间顺序依次执行智能自动化设计。变电站设计工程的设计节点划分如图 2 所示。以变电站一次设计子任务为例, 则可以

将设计节点具体划分为主变压器设计、主接线选择等。输电线路设计工程的设计节点划分如图 3 所示。以输电线路工程设计的选线子任务为例: 为了实现该子任务, 通常人工设计会首先在图纸上进行路径预选, 拟定若干个路径备选方案, 并对经济指标进行划定; 在图上选线的基础上, 进行实地踏勘, 由实地勘探的结果和一系列协议类资料等, 对图上选线的路径进行调整; 确定最终的合适路径之后, 设计人员基于 CAD 等设计软件, 在 CAD 上绘制具体路径图。上述的人工设计步骤对应到智能设计平台的设计节点则分别为: (1) 预选路径; (2) 路径方案调整; (3) 经济指标概算; (4) 比选最优路径; (5) 绘制最终路径图。

6.2 设计子任务的工作流程

输变电工程智能设计平台依据其架构, 可允许许多工程设计端多设计子任务同时进行设计。设计子任务的工程流程如图 4 所示。

(1) 基础资料的输入和索引过程

在输变电工程智能设计平台的智能设计终端, 通过人工或自动匹配的方式输入待设计任务的基础资料, 同时, 对资料内容以自然段落为基本单元, 分别建立关键词索引以及关键词库, 并储存于云端的工程项目数据库。基础资料在输电线路工程设计中, 包括输电线路容量、电压等级、起止位置、区域地质、环境勘测报告、初选路径方案以及相关支持性文件等; 在变电站工程设计中, 包括待建变电站的建设规模、待建变电站与系统的连接情况、待建变电站负荷、环境条件、变电站地理位置及变电站供电范围等。

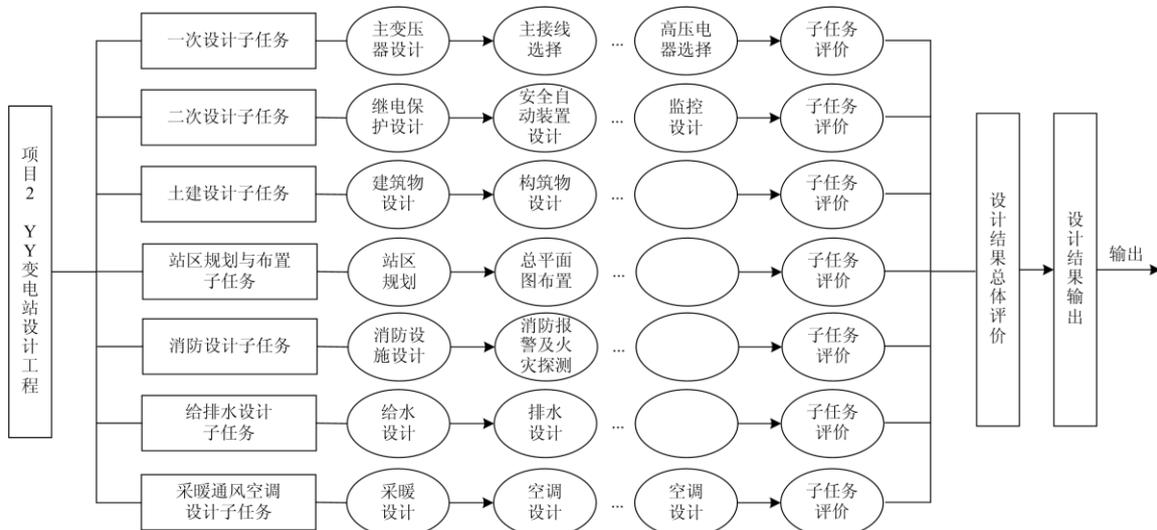


图 2 变电站工程的设计节点划分示意图

Fig. 2 Schematic diagram of design node division of substation engineering design

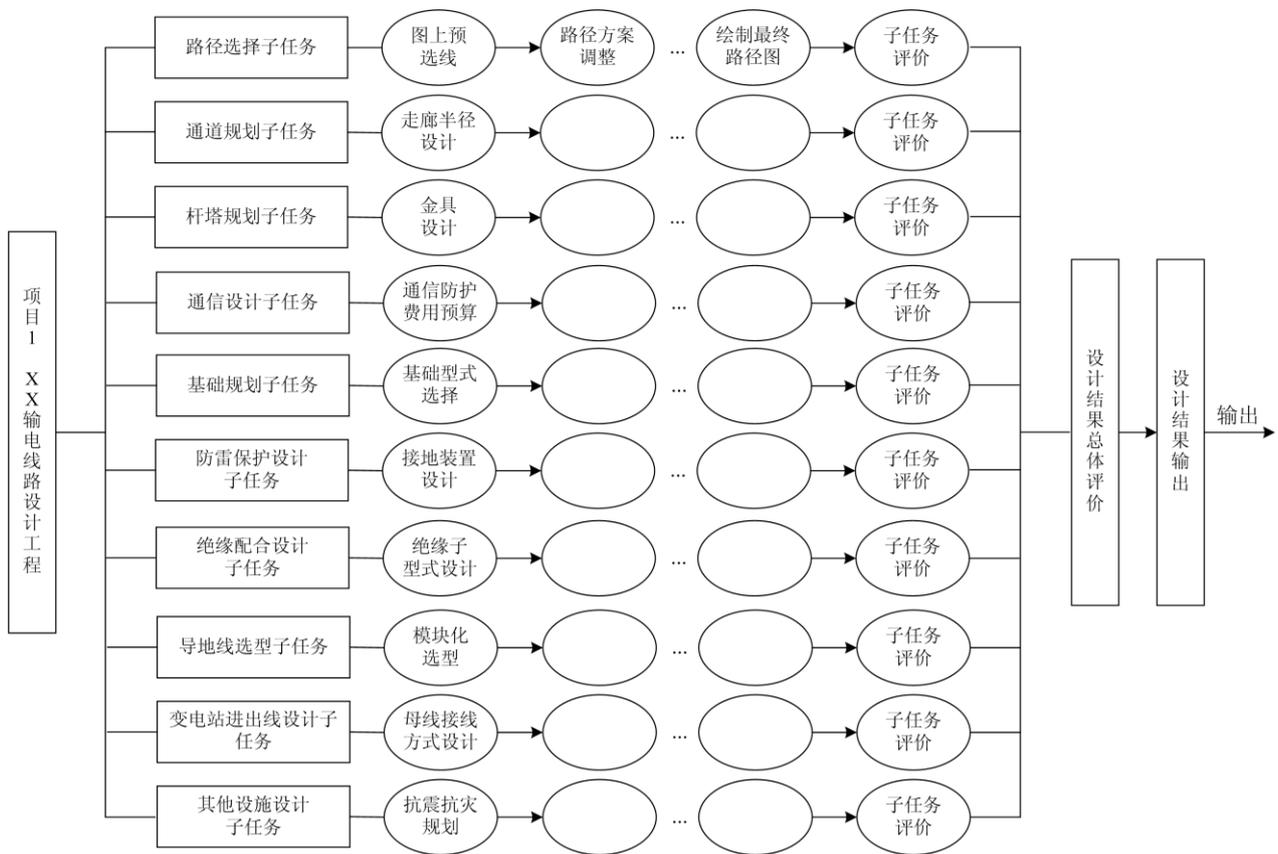


图 3 输电线路工程的设计节点划分示意图

Fig. 3 Schematic diagram of design node division of transmission line engineering design

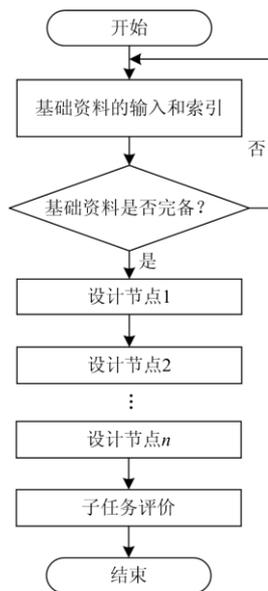


图 4 设计子任务的工作流程图

Fig. 4 Flowchart of the design subtask

(2) 设计任务的启动

多任务并行多专业协同管理系统对智能设计终

端进行权限认证与身份认证，并查询工程项目数据库中当前设计任务的基础资料是否完备。如果通过权限和身份认证且基础资料完备，则设计任务自动启动。

(3) 设计节点的智能设计与评价过程

首先根据该设计节点所需要的基础资料，在并发访问的规则下访问查询工程项目数据库，根据关键词查询所需基础资料及前置设计节点已完成的存储于工程项目数据库中的设计资料；根据该设计节点的设计内容，在并发访问的规则下访问查询技术规范数据库、通用设计数据库和设备数据库。

接着，根据该节点设计内容，以通用设计为基础，按照技术规范的要求在人工参与下或全自动进行设计。具体体现在：设计人员或设计节点智能设计软件包通过选择相应设计内容的通用设计模板，并将通用设计模板中的内容提取到系统平台操作界面；对于需要根据具体工程的实际情况进行设计的内容，则可由设计人员根据设计模板提供的下拉菜单交互式选择或录入相关设计内容，或是由智能设计软件包按照技术规范智能选择或计算。

在完成该设计节点的任务后, 可由设计人员选择或预先设置是否进入该设计节点的评价环节。若要进入评价环节, 则按照评价模型和评价流程对该设计节点的设计结果进行评价, 给出评价结果。最后, 在当前设计节点完成设计内容后, 将设计内容和评价结果按照并发访问的规则写入工程项目数据库。

(4) 子任务的评价过程

当某一子任务的所有设计节点均已完成其节点的设计任务和评价环节之后, 按照对该子任务设定

好的评价指标、评价模型和评价流程, 对该子任务的设计结果进行评价, 形成评价报告并写入工程项目数据库。

下面以输电线路工程设计的路径选择子任务为例, 介绍该设计子任务在智能设计平台的工作流程, 如图 5 所示。其中, 路径选择子任务在智能设计平台的设计节点分别为: 1) 预选路径; 2) 路径方案调整; 3) 经济指标概算; 4) 比选最优路径; 5) 绘制最终路径图, 形成设计图纸。

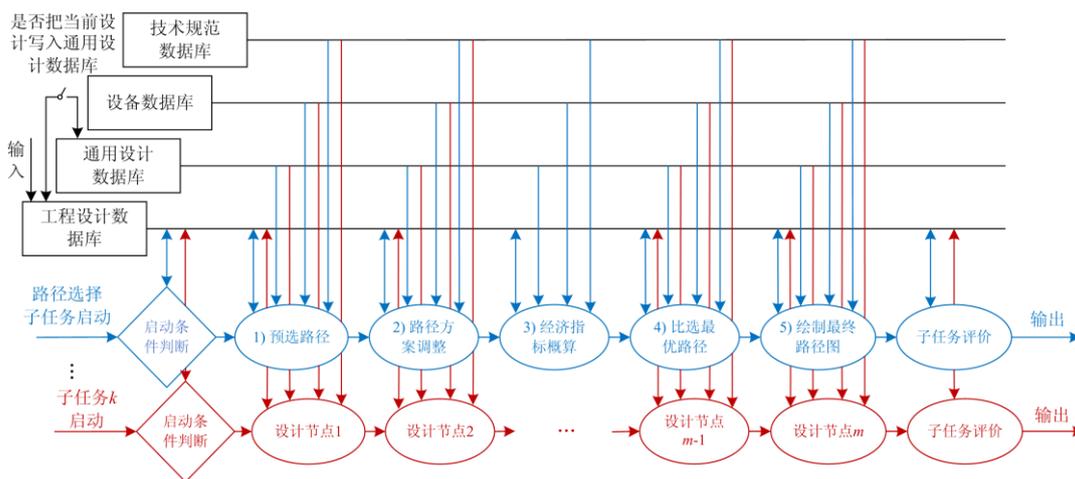


图 5 路径选择子任务工作流程示意图

Fig. 5 Workflow diagram of path selection subtask

其中, 在 1) 节点-预选路径, 读取调用基础资料数据库的资料, 采用人机协同或软件智能的设计方式预选路径。可将当前设计进度保存并写入当前设计任务数据库, 用于后续设计或是其他设计节点的读取调用。

在 2) 节点-路径方案调整, 读取调用基础资料数据库的资料包括保存在当前设计任务数据库的前一节点的设计数据以及详勘后的勘测、协议资料数据等, 在此基础上对 1) 节点的预选路径进行调整, 可将当前设计进度保存并写入当前设计任务数据库, 用于后续设计或是其他设计节点的读取调用。

在 3) 节点-经济指标概算, 读取调用基础资料数据库数据, 对 1)、2) 节点形成的若干个线路路径方案进行经济指标概算, 并将概算结果写入当前设计任务数据库。

在 4) 节点-比选最优路径, 主要从经济指标方面对路径方案进行比选, 得到最优路径方案, 并将比选结果写入当前设计任务数据库。

在 5) 节点-绘制最终路径图, 形成无纸化路径方案图纸, 并保存写入当前设计任务数据库。

至此, 输电线路工程设计的路径选择子任务完

成。在后续的杆塔设计等其他子任务中可以调用路径选择子任务的数据进行下一步设计。

6.3 设计任务的总体流程

同一工程项目的各个设计子任务在“双多系统”的管理下进行协同设计, 共同配合完成该工程项目的任务。设计任务的总体流程如下。

(1) 子任务的协同设计

各专业子任务基于多任务并行多专业协同管理系统的监控提醒服务, 从云端工程设计数据库访问读取最新的数据资料, 实时调整更新本专业子任务的设计内容, 与其他各专业子任务保持同步协作状态。

(2) 设计结果的总体评价

依据设定好的评价指标、评价模型和评价流程, 对设计任务进行模式化评价, 并将评价结果写入云端的工程项目数据库。同时, 智能设计终端可以访问读取存储于云端的评价结果报告。

(3) 设计结果的输出

当前设计任务被评价为合格后, 按照通用设计数据库中的设计报告模板, 通过人工或自动的方式填写设计报告, 并最终生成无纸化可研性报告、设

计说明书、评价报告、工程概算书以及设计图纸等。

7 结论

本文在深入研究输变电工程设计的智能化技术的基础上,提出了一种输变电工程智能设计平台,并从平台构建原则、平台总体架构、构建平台需解决的关键问题和平台运作方式四个方面阐述了该平台的设计思想。针对构建输变电工程智能设计平台需解决的关键问题,本文给出了可行的解决问题的思路,主要包括:(1)建立基于对象的异构数据管理平台,以解决云数据库的异构数据的管理问题;(2)采用一种针对输变电工程设计的文本挖掘利用方法,以解决云数据库文本信息提取及结构化表达问题;(3)引入网络图和动态协同管理策略,以实现多任务并行多专业协同的管理功能;(4)提出设计节点组件化和评价体系智能化开发策略,以实现智能设计终端的智能化高效开发。

随着人工智能、大数据技术等先进技术的不断发展和深入广泛应用,输变电工程设计必将从目前的人工设计模式向智能设计模式转变。希望本文提出的输变电工程智能设计平台能起到抛砖引玉的作用。

参考文献

- [1] 盛大凯, 郗鑫, 胡君慧, 等. 研发电网信息模型(GIM)技术构建智能电网信息共享平台[J]. 电力建设, 2013, 34(8): 1-5.
SHENG Dakai, QIE Xin, HU Junhui, et al. Conducting research and development of grid information model (GIM) technology and constructing the sharing platform of smart grid technology information[J]. Electric Power Construction, 2013, 34(8): 1-5.
- [2] 熊晓光. 输电线路三维数字化设计平台建设与应用研究[J]. 电力勘测设计, 2013(3): 66-70, 77.
XIONG Xiaoguang. Construction and application of three-dimensional digital design platform in transmission line[J]. Electric Power Survey & Design, 2013(3): 66-70, 77.
- [3] 高妙仙, 胡天硕. 输电线路设计智能一体化系统设计[J]. 科技经济导刊, 2017(12): 26-27.
GAO Miaoxian, HU Tianshuo. Design of intelligent integrated system for transmission line design[J]. Technology and Economic Guide, 2017(12): 26-27.
- [4] 张鲲. 三维数字化设计技术在输电工程中的应用[J]. 电力勘测设计, 2019(4): 55-60.
ZHANG Kun. Application of 3D digital design technology in power transmission projects[J]. Electric Power Survey & Design, 2019(4): 55-60.
- [5] 康健民, 袁敬中, 肖少辉, 等. 基于分层模型的输电线路选线算法设计[J]. 电力建设, 2012, 33(4): 6-10.
KANG Jianmin, YUAN Jingzhong, XIAO Shaohui, et al. Algorithm design for route selection of transmission line based on layered model[J]. Electric Power Construction, 2012, 33(4): 6-10.
- [6] 王钰. 基于GIS的输电线路路径优化设计算法研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2015.
WANG Yu. Optimization algorithm of transmission line route designing based on GIS[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2015.
- [7] 冯显力, 韦化, 韦洪波, 等. 含微服务的调度自动化系统分布式实时数据库[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(21): 138-144.
FENG Xianli, WEI Hua, WEI Hongbo, et al. Distributed real-time database for dispatching automation system with micro-services[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(21): 138-144.
- [8] 黄俊杰, 杨健晟, 刘晓波, 等. 基于双目视觉监控的输电线路立体空间建模[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(19): 102-108.
HUANG Junjie, YANG Jiansheng, LIU Xiaobo, et al. Stereo space modeling of transmission line based on binocular vision monitoring[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(19): 102-108.
- [9] 黄新波, 邢晓强, 李菊清, 等. 输电线路视频监控智能分析专家系统关键技术设计[J]. 中国电力, 2018, 51(1): 90-96.
HUANG Xinbo, XING Xiaoqiang, LI Juqing, et al. Key technical design of intelligent analysis expert system on transmission line video monitoring[J]. Electric Power, 2018, 51(1): 90-96.
- [10] 220~750 kV 变电站设计技术规程: DLT 5218[S].
Technical specification for 220~750 kV substation design: DLT 5218[S].
- [11] 邹振宇, 孙中尉, 修黎明, 等. 智能变电站信息模型组态解耦技术研究[J]. 中国电力, 2018, 51(1): 78-82.
ZOU Zhenyu, SUN Zhongwei, XIU Liming, et al. The Research of decoupling technology used to smart substation model configuration[J]. Electric Power, 2018, 51(1): 78-82.
- [12] 邱剑. 电力中文文本数据挖掘技术及其在可靠性中的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
QIU Jian. Research on Chinese textual data mining techniques and reliability applications in power systems[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.
- [13] 万里鹏. 非结构化到结构化数据转换的研究与实现[D].

- 成都: 西南交通大学, 2013.
- WAN Lipeng. Research and implementation of the transformation from unstructured to structured data[J]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2013.
- [14] 田丰春. 项目进度管理研究[J]. 中国科技信息, 2008(14): 98-100.
- TIAN Fengchun. Study on project scheduling management[J]. China Science and Technology Information, 2008(14): 98-100.
- [15] 李树明. 网络计划技术在实际工程中的应用[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2006.
- LI Shuming. Application of network planning technology in practical engineering[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2006.
- [16] 陈杰. 基于云 BIM 的建设工程协同设计与施工协同机制[D]. 北京: 清华大学, 2014.
- CHEN Jie. Cloud-BIM-based collaborative design and construction of construction projects[D]. Beijing: Tsinghua University, 2014.
- [17] 张静晓, 王引, 白礼彪. 基于信息共享的建设项目协同管理模式研究[J]. 工程管理学报, 2016, 30(2): 91-96.
- ZHANG Jingxiao, WANG Yin, BAI Libiao. Model study on collaborative management for construction project based on information sharing[J]. Journal of Engineering Management, 2016, 30(2): 91-96.
- [18] 涂振宇, 曾瑄. 数据库并发访问机制研究[J]. 江西教育学院学报, 2006, 27(3): 22-24.
- TU Zhenyu, ZENG Xuan. Study on the concurrency of the multi-user database system[J]. Journal of Jiangxi Institute of Education, 2006, 27(3): 22-24.
- [19] 王天堃, 梁志宏, 张金营. 燃煤锅炉高效低 NO_x 协同优化系统开发及应用[J]. 热力发电, 2019, 48(3): 96-101.
- WANG Tiankun, LIANG Zhihong, ZHANG Jinying. Development and application of efficient cooperative optimization system for low NO_x emission control in coal-fired boilers[J]. Thermal Power Generation, 2019, 48(3): 96-101.
- [20] 吴浩. 变电站设计中短路电流的计算与分析[J]. 电子设计工程, 2012, 12(11): 70-75.
- WU Hao. Calculation and analysis of short-circuit current in substation[J]. Electronic Design Engineering, 2012, 12(11): 70-75.
- [21] 姚武. 浅谈架空输电线路路径选择的方法和手段[J]. 科技视界, 2012(30): 378, 409.
- YAO Wu. Talking about the methods and means of overhead transmission line path selection[J]. Science & Technology Vision, 2012(30): 378, 409.
- [22] 田甜. 基于实时数据库的状态监视系统实现[J]. 华电技术, 2018, 40(6): 47-48.
- TIAN Tian. Implementation of status monitoring system based on real time database[J]. Huadian Technology, 2018, 40(6): 47-48.
- [23] 张厚, 刘长良, 王梓齐. 基于 PCA 和改进 TOPSIS 法的电厂混煤配比方案综合评价[J]. 热力发电, 2019, 48(11): 73-78.
- ZHANG Hou, LIU Changliang, WANG Ziqi. Comprehensive evaluation of coal-blending scheme in power plants based on PCA and improved TOPSIS method[J]. Thermal Power Generation, 2019, 48(11): 73-78.
- [24] 李响, 胡天彤, 牛赛, 等. 一流配电网全寿命周期评价体系建设研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(9): 80-85.
- LI Xiang, HU Tiantong, NIU Sai, et al. Research of the assessment system for the life-cycle of first-class distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(9): 80-85.
- [25] 耿明. 基于数据平台的智能协同设计系统研究[J]. 铁道工程学报, 2016, 33(4): 16-21.
- GENG Ming. Research on the intelligent collaborative design system based on data platform[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2016, 33(4): 16-21.

收稿日期: 2019-12-12; 修回日期: 2020-01-26

作者简介:

袁敬中(1966—), 男, 硕士, 教授级高工, 从事电网建设设计、技术和科技创新等研究管理工作; E-mail: 2449742343@qq.com

胡楚叶(1996—), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统自动化; E-mail: 1261957537@qq.com

陆亦齐(1995—), 女, 通信作者, 硕士研究生, 研究方向为电力系统自动化。E-mail: 980828237@qq.com

(编辑 张爱琴)