

# 基于Demo3D仿真的四线一库设计方法和应用

徐飞<sup>✉</sup>, 易明锋, 侯恩振, 张磊, 陈柱良

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** [目的] 为了进一步优化四线一库的设计工作, 提出了一种基于Demo3D仿真的四线一库勘察设计方法, 该方法在保证方案先进性、完整性、正确性等前提下, 尽可能降低设计人员工作强度。[方法] 该方法完成四线一库的设计输入收集、基础参数计算、流水线关键参数计算、智能立库关键参数计算、仿真输入参数计算、仿真设计工作、仿真输出工作和导出设计成果等八部分主要工作。[结果] 该方法为建设单位、设计人员、设备厂家、施工单位等多方主体提供相关技术支撑, 提升方案和数据流过程的效率和正确率。[结论] 该方法逐步投入到多地区实际设计工作中, 得到了实际工作的充分验证和应用, 证明所提方法是切实可行的, 并为实际应用提供指导和关键技术支持。

**关键词:** 智能立体仓库; 仿真; Demo3D

中图分类号: TM73; TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2020)S1-0119-08

开放科学(资源服务)二维码:



## Design Method and Application of Assembly Lines and Intelligent Warehouse Based on Demo3D Simulation

XU Fei<sup>✉</sup>, YI Mingfeng, HOU Enzhen, ZHANG Lei, CHEN Zhuliang

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** [Introduction] In order to further optimize the design of meter testing and storage, this paper proposes a Demo3D simulation based survey and design method of the “intelligent meter testing line and storage system”, which reduces the work intensity of designers as much as possible on the premise of guaranteeing the advancement, integrity and correctness of the scheme. [Method] The method included basic design input data collection, parameter calculation, testing line key parameters calculation, Intelligent warehouse key parameters calculation, simulation input parameters calculation, simulation design work, simulation output work and output design results. [Result] This method provides relevant technical support for construction units, designers, equipment manufacturers and construction units, and improves the efficiency and correctness of the scheme and data flow process. [Conclusion] This proposed method is gradually put into the practical design work in many areas, and has been fully verified and applied in practical work, which proves that the method is feasible, and provides guidance and key technical support for practical application.

**Key words:** intelligent warehouse; simulation; Demo3D

随着电网公司“一体化”管理工作的深入开展, 各省公司加强电能计量检定集约化管理, 全面推进省级计量检定中心建设。国家电网和南方电网公司的相关文件均明确提出计量检定集约化, 并列入工作要点。且多次强调推进网、省计量中心实体化运作, 加强检定集约化管理, 全面推进省级计量

检定中心建设。

以智能化、自动化、信息化为手段, 建设省级集中、独立运转、整体授权的计量中心, 实现四种电能计量设备(单相电能表、三相电能表、计量自动化终端和低压电流互感器)的集中检定、集中仓储、统一配送、统一监督, 达到“整体式授权、自动化检定、智能化仓储、物流化配送”。满足市场化改革形势下智能电能计量设备大规模推广后的检定需求。结合其他管理手段, 促进电网公司计量技

收稿日期: 2019-09-24 修回日期: 2019-11-13

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目“含多种新能源的大型微电网多目标优化调度与控制研究”(2015A030310227)

术水平向“可靠、高效、绿色、智能”方向发展。

四线一库指针对四种电能计量设备（单相电能表、三相电能表、计量自动化终端和低压电流互感器）配套建设的自动化检定检测流水线 and 用于存储和配送的智能立体化仓库。目前四线一库勘察设计工作，同一般设计相似，大体上分为项目启动、项目收资、项目设计、项目招标、项目施工、项目总结六大阶段，存在以下问题：

1) 目前四线一库节拍计算均采用人工计算方案，结合工作经验和简单 Excel 公式判断四线一库整体系统节拍，并以此为依据配置检定和检测设备的数量和参数要求。这种计算和配置方法存在较大的误导性，可能会导致设备配置过剩或不足，从而影响整体系统的工作效率和经济效益。

2) 目前有多款三维建模仿真软件，均可进行四线一库的三维建模和仿真计算<sup>[1-8]</sup>，但设计工作和仿真工作分裂进行。四线一库平面布局图是结合实际场所环境、节拍估算和设备配置等多种因素初步绘制的平面布局图，其他三维仿真软件不能精准匹配四线一库平面布置图，即不能直接导入平面布局图，将降低设计工作效率，更重要的是将丢失实际场所环境等多种设计方案相关影响因素。

3) 目前没有相关设计系统将设计输入（需求预测、参数计算等）和设计输出（三维仿真、设备材料、CAD 平面图纸、方案视频演示动画等）相关联，缺少系统化设计工器具<sup>[9-18]</sup>。目前设备招标过程中的技术协议签订、施工过程中的施工图交底、竣工后的竣工图提交等多个领域均采用静态图纸。四线一库项目复杂，涉及到较多非标准化设备，技术参数存在动态变化且影响因素较多。缺少设计系统支撑，容易出现设计漏项和错误，且单纯依靠静态图纸进行交底，存在理解盲区，不利于技术方案的落实。

本文主要针对项目设计部分，提出了一种基于 Demo3D 仿真的四线一库设计方法，从根本上改变四线一库的设计思路和方法，基于多种边界条件，更加系统和高效的完成最优四线一库方案设计。基于 Demo3D 进行四线一库勘察设计时注入了较多新的流程和优化策略，有助于提升方案的可行性、科学性和经济型。

## 1 方法简介

一种基于 Demo3D 仿真的四线一库勘察设计方

法，完成四线一库的设计输入收集、基础参数计算、流水线关键参数计算、智能立库关键参数计算、仿真输入参数计算、仿真设计工作、仿真输出工作和导出设计成果等八部分主要工作，为建设单位、设计人员、设备厂家、施工单位等多方主体提供相关技术支撑。

本系统主要特点是：

1) 在传统设计方法基础上，融合了三维仿真优化。在参数化的系统仿真设计中，纳入了多方面边界条件，将传统设计中考虑的建筑环境、检定需求、关键指标等作为本系统的输入条件，且为输入条件的计算、管理、追溯等提供系统化条件。基于此，本系统保证仿真结论真实可信、准确可靠，所有使用到的参数都与实际设计参数相符，关键设备单机输入数据与现实环境中使用的同类型设备参数相同。

2) 提升了传统设计的效率，增强了设计成果的价值。本系统依据传统设计方案及主要设备实际参数为系统模拟参数，并以此建立仿真环境。打通了三维仿真与 CAD 平面布置图的接口，提高了传统设计到三维仿真设计转变的工作效率，并实现了平面设计成果向三维设计成果的升华，更有利于设计工作的全生命周期管理，为建设单位提供更多的增值服务。

3) 提供了传统设计方案的优化途径。提出了闭环的设计优化思路，将传统手工进行的节拍计算作为初始值进行三维仿真节拍计算，从而选取最优方案，提升设计精度。

### 1.1 设计方法的目的

- 1) 系统性进行四线一库设计工作；
- 2) 融合三维仿真优化传统设计方案；
- 3) 提升传统设计效率；
- 4) 设计全生命周期管理；
- 5) 为相关方提供更多增值服务；
- 6) 三维动画展示。

### 1.2 三维仿真模块

采用英国 Emulate3D 公司基于 .NET 技术开发的 Emulate3D 仿真软件，主要使用 Demo3D 模块。仿真环境按照物流设备实际参数进行设定。

### 1.3 总体架构

本方法主要涉及到设计输入、基础参数、流

水线估算、智能立库估算、仿真输入、仿真设计、仿真输出、导出成果共八个模块。具体如图 1 所示:

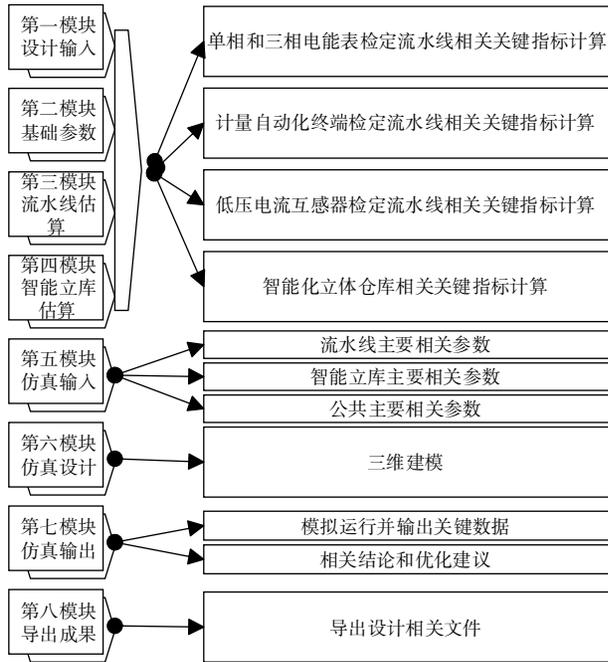


图 1 系统总体架构图

Fig. 1 System architecture

## 2 设计输入

第一模块主要收集设计工作开始的相关资料, 主要内容如图 2 所示:

四线一库的设计输入内容主要包括以下几点:

1) 统计分析建设单位历年的用户数, 且计算年平均增长率。

2) 参考建设单位近五年相关营销技改与电能计量规划等材料, 分析未来各计量装置的年均增长率。

3) 确定以下参数: (1) 轮换周期根据相关设备规范计取; (2) 检定系统正式运行年份, 需根据建设单位业务发展需求来确定, 该年限直接影响年平均检定量的值; (3) 平均轮换规模计算目标年, 结合各种计量设备的轮换周期来计算, 一般为设备预计轮换年份为计算目标年; (4) 5 年规划平均增长率; (5) 预计未来平均增长率, 根据建设单位业务发展和历史数据来确定。

## 3 基础参数

第二模块主要计算四线一库基础参数, 主要内容如图 3 所示。

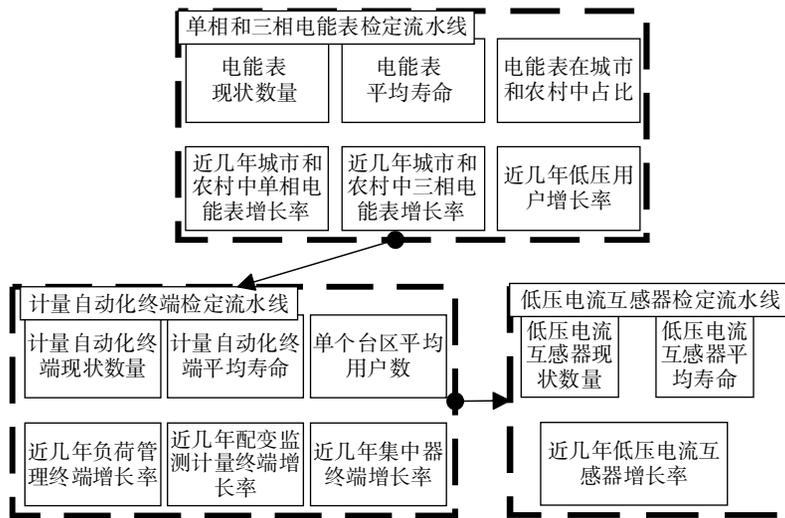


图 2 第一模块设计输入架构图

Fig. 2 Architecture diagram of the first module: design input

### 3.1 平均检定需求

以第  $N$  年为现状年举例说明, 假设计量装置的轮换周期为  $M$  年, 分别根据建设单位各电能计量设备的增长率推算预计第  $N+M$  年计量装置数。通过预计总体在运行计量设备进行估算, 计算出年预期

平均检定需求。

1) 第  $N$  年底在运行各种计量装置数量为现状统计数据。

2) 第  $N+M$  年底在运行各种计量装置数量为以现状统计数据为基础, 考虑未来十年年均增长率计算。

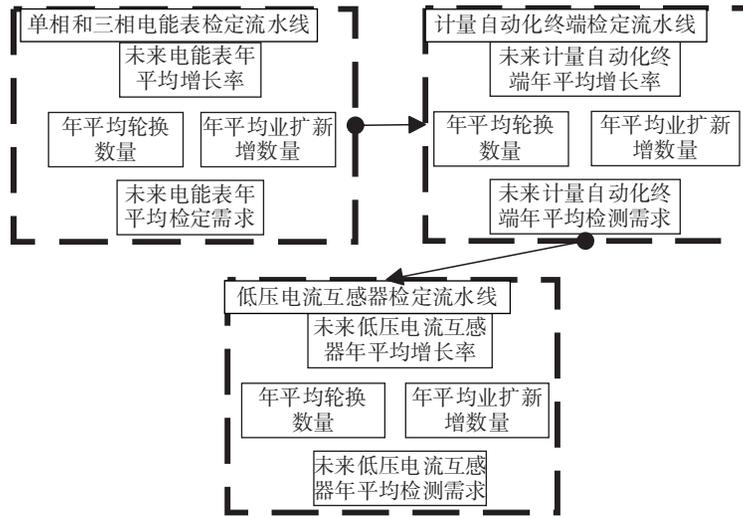


图3 第二模块基础参数架构图

Fig. 3 Architecture diagram of the second module: basic parameters

3) 年业扩新增数量, 取未来第十年业扩新增设备数量。

4) 年轮换数量, 结合各种计量装置平均寿命记取。具体为: 假设现状年为新装计量装置, 在寿命周期内装置折旧和故障率相同, 从而计算年平均轮换数量。

5) 年预期平均检定需求, 取年业扩新增数量与年轮换数量之和。

### 3.2 峰值检定需求

峰值检定需求指严格按照计量装置寿命进行预测, 以单相电能表为例进行峰值分析如下:

单相电表峰值检定需求计算: 假设建设单位第  $N$  年为智能电表更换的高峰期, 共新增和更换  $B$  万只单相智能电表, 轮换周期取  $M$  年, 因此第  $N+M$  年为单相表的检定需求峰值, 再加上业扩新增电表  $C$  万只, 即峰值检定需求为  $B+C$  万只。

### 3.3 自动化检定系统检定需求

根据“平均检定需求分析”、“峰值检定需求分

析”和建设单位五年营销技改与电能计量规划, 同时按照未来十年期间用电客户平均增长率(参考近几年及规划数据)计算, 分析自动化检定系统建设需求。

综合考虑建设单位多年运行经验, 评估分析平均检定需求和峰值检定需求, 从中选取合适的检定需求, 一般情况下流水线 and 智能立库的方案按照平均检定需求进行设计, 同时检定系统应可通过延长生产时间等办法, 提高临时扩展能力, 满足峰值检定需求。

未来正常生产过程中, 各类计量装置的检定需求存在变动, 该方法还考虑对各类计量装置的检定规模的高中低方案对比, 并可据此进行后续技术方案对比分析。

## 4 流水线估算

第三模块主要为流水线初步方案的计算和配置, 主要内容如图4所示。

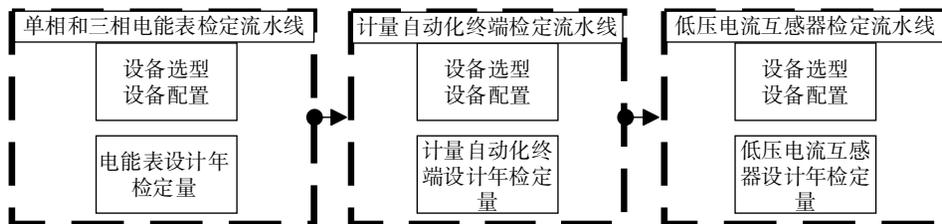


图4 第三模块流水线估算架构图

Fig. 4 Architecture diagram of the third module: assembly line's estimation

结合行业内最新技术和成熟设备效率, 选择本流水线适合的设备和技术方案, 并结合设备的节拍和效率, 初步估算单相电能表自动检定系统。设计人员结合建设单位需要、相关检测检定设备的关键指标、成熟案例和方案初步估算, 进行设备选型, 之后进行设计检定能力计算。

$$\text{设计检定能力}_{\text{单相}} = \text{流水线条数} \times \text{单条流水线工位数} \times \text{年检定工作日} \times \text{日检定批次} \quad (1)$$

### 5 智能立库估算

第四模块主要为智能立库初步方案的计算和配置, 主要内容如图5所示。

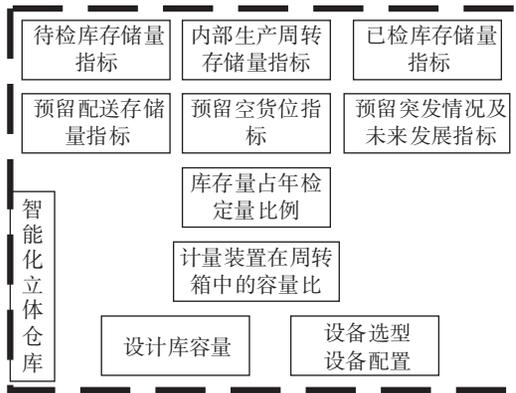


图5 第四模块智能立库估算架构图

Fig. 5 Architecture diagram of the fourth module: intelligent stereo warehouse's estimation

参考国内外同等行业经验并结合建设单位实际情况, 智能立库的存储量按照以下原则进行估算:

- 1) 待检库  $D$  个工作日存量, 保障到货不及时情况下有物料可生产。
- 2) 内部生产周转存量, 按到货、抽检、首检等工艺流程工作量及工作效率计算, 需  $E$  个工作日存量。
- 3) 已检库  $F$  个工作日存量, 保证意外情况下有表可配。
- 4) 预留  $H$  天配送量, 用于存储配送用空周转箱。
- 5) 预留  $I\%$  空货位用于周转, 以及不合格品等的存储。
- 6) 预留  $G\%$  货位用于突发情况及长远发展。

结合建设单位实际需求, 库存量与折算后总体年检定量比例计算公式如下:

$$\text{库存量/折算后总体年检定量} = (D + E + F + H) / \text{年检定工作日} / I\% / G\% \quad (2)$$

式中: 年检定工作日一般取250天工作日(其中运维检修20天), 计入公式230天工作日。

根据一垛周转箱所容纳单相电能表、三相电能表、计量自动化终端及低压电流互感器的容量关系比(一般按照常规设备体积计算比例为1:3:3:2), 将三相电能表、计量自动化终端、低压电流互感器按单相电能表折算后, 折算后总体年检定量计算公式如下:

$$\begin{aligned} \text{折算后总体年检定量} = & \text{单相电能表年检定规模} \\ & + \text{三相电能表年检定规模} * 3 \\ & + \text{计量自动化终端年检定规模} * 3 \\ & + \text{低压电流互感器年检定规模} * 2 \end{aligned} \quad (3)$$

结合库存量与折算后总体年检定量比例、折算后总体年检定量两个指标, 计算库存量公式如下:

$$\text{库存量} = \text{折算后总体年检定量} * (\text{库存量/折算后总体年检定量}) \quad (4)$$

结合建设单位实际场所等外部条件, 如智能立库应设置楼层、承重、通高高度、库区长宽等, 设计人员选取库前区和库区的相应设备, 设计人员结合建设单位需要、智能立库相关设备的关键指标、成熟案例和方案初步估算, 进行设备选型, 之后进行设计库容量能力计算。

智能立库基本配置参数, 相关计算公式如下:

$$\text{货位数} = \text{排数} \times \text{列数} \times \text{层数} \quad (5)$$

$$\text{设计库容量} = \text{货位数} \times \text{单货位存储单相电表只数} \quad (6)$$

其中, 设计库容量与库容量需求进行对比分析, 应能满足建设单位库容量需求, 且设计库容量与库容量均为按照设备尺寸比例折算成单相电表之后计算的库容量。

### 6 仿真输入

第五模块主要四线一库专用参数和公共参数计算, 并以仿真计算所需的数据格式进行输入, 主要内容如图6所示。

结合前四个模块的计算结果和设计方案, 将四线一库方案中主要设备参数整理并输入仿真模块中, 以下列出主要设备的参数:

- 1) 输送机: 输送速度、输送机宽度。
- 2) 顶升移栽: 顶升速度和输送速度。

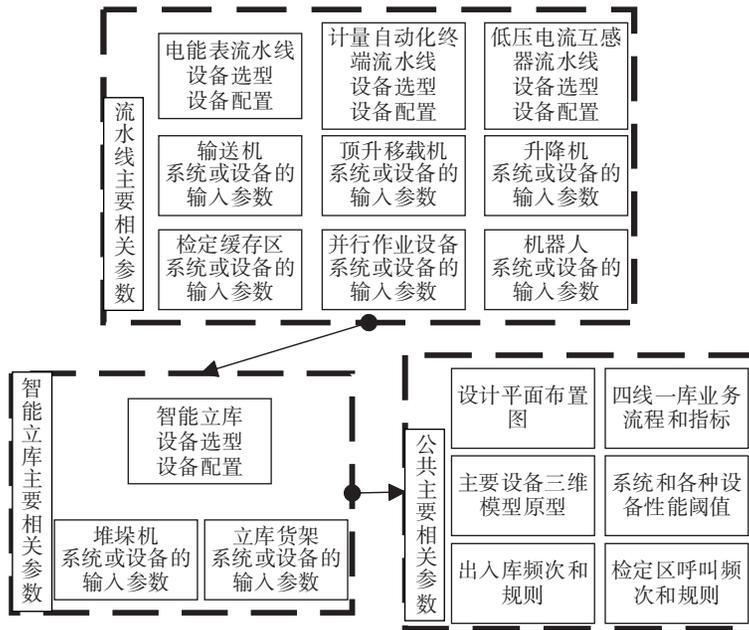


图6 第五模块仿真输入架构图

Fig. 6 Architecture diagram of the fifth module: simulation input

- 3) 升降机：升降速度和输送速度。
- 4) 堆垛机：水平行走速度和加速度、载货台升降速度和加速度、货叉（单深位或双深位）。
- 5) 立体仓库：排、列、层。
- 6) 检定缓存区：相关设备的缓存位数量。
- 7) 并行作业设备数量：各个环节需并行作业的设备数量。
- 8) 机器人：各流水线上机器人数量、一次抓取设备数、一次抓取时间。
- 9) 入库频次：单词入库箱数、拆码垛策略、AGV送货一次耗时等。
- 10) 出入库规则：出入优先策略、出入路径数等。
- 11) 检定区和仓库区联动：末端传感设备位置和数量等。

### 7 仿真设计

第六模块主要为三维仿真建模和设计，主要内容如图7所示。

- 1) 将设计方案CAD图纸以2D模式导入仿真设计模块。
- 2) 在导入后的平面布置图基础上，结合设计方案尺寸、数量、链接关系等，进行三维建模和仿真。



图7 第六模块仿真设计架构图

Fig. 7 Architecture diagram of the sixth module: simulation design

3) 四线一库所有设备三维模型和业务关系建成，且能正确运行，即经过多方评审确定了三维模型的逻辑和业务。

### 8 仿真输出

第七模块主要输出运行之后的关键数据和优化建议，主要内容如图8所示。

通过不同场景的仿真运行，输出主要设备和系统参数，以下主要列出几种常用场景，仅供参考：

- 1) 仿真运行8小时，统计检定作业的相关数据。包括：①检定流量，检定出库总垛数及每条流水线的相关参数；②机器人效率；③检定区域关键设备利用率。
- 2) 不断执行空箱、新品入库以及检定作业，不出库，统计分析巷道堆垛机的效率和各条流水线的每批次检定时间。



图 8 第七模块仿真输出架构图

Fig. 8 Architecture diagram of the seventh module: simulation output

3) 不断执行空箱、配送出库以及检定作业, 不入库, 统计分析巷道堆垛机的效率和各条流水线的每批次检定时间。

4) 各作业不断执行。统计分析检定流量、机器人效率、堆垛机效率、检定区域关键设备利用率等。

5) 相关结论和优化建议。通过以上仿真运行和分析数据导出, 直接在仿真模块中修改布局或设备配置, 提升整体系统的效率, 同时将调整结果生成 CAD 平面图。

### 9 导出成果

第八模块主要为导出 CAD 平面图、物料清单、效果图、视频动画等设计相关资料, 主要内容如图 9 所示。

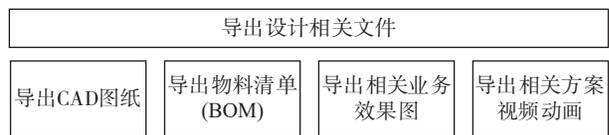


图 9 第八模块导出成果架构图

Fig. 9 Architecture diagram of the eighth module: export results

在最优四线一库方案的基础上, 系统导出 CAD 图纸、物料清单、效果图和视频动画等, 以应对建设单位组织的各轮评审。

### 10 结论

本文提出的一种基于 Demo3D 仿真的四线一库勘察设计方法, 将分散的、动态的、多变的相关数据, 系统的关联在一起, 实现设计方案的全过程管理, 达到设计全程可优化、可追溯、可交付。该方法在南方多省市具体设计工作中得到了应用, 具体应用效果如下:

1) 该方法通过引入 Demo3D 三维仿真软件, 将复杂的系统节拍计算和设备配置, 通过三维仿真计算进行逐步优化, 达到贴合实际且经济可行的设计方案。

2) 该发法在具体设计过程中, 充分考虑设计人员工作效率和劳动强度, 结合传统设计平面图纸, 融合考虑多种设计方案的影响因素, 实现三维仿真与平面设计相结合且相互校验和印证的工作模式, 在保证设计人员工作效率和适当劳动强度的前提下, 保证设计方案达到最优。

3) 该方法亦可支撑设计后续各阶段的工作, 考虑到设备招投标、项目施工、竣工电子化移交和后期运维等多个环节中沟通交流效率的问题, 提出三维动画交底的思路, 充分保证设计方案落到实处, 避免理解误区和盲区, 提升项目整体实施进度和质量, 并为后期运行维护提供可参考的动态视频资料。

综上所述, 本文提出的一种基于 Demo3D 仿真的四线一库勘察设计方法具有一定的先进性和可推广性。下一步工作中, 将进一步优化设计过程, 开发和完善相关勘察设计系统。

#### 参考文献:

[1] 庄葛巍, 申娟, 张静月, 等. 关于仓库存储空间三维布局设计仿真 [J]. 计算机仿真, 2017, 34(11): 257-260+338.  
 ZHUANG G W, SHEN J, ZHANG J Y, et al. Three dimensional layout design and simulation of warehouse storage space [J]. Computer Simulation, 2017, 34(11): 257-260+338.

[2] 赖思琦, 尹显明, 杨应洪. 基于 FMS 的自动化立体仓库设计 [J]. 机床与液压, 2013, 41(4): 6-9+13.

[3] 何用辉. 基于 iFIX 的立体仓库监控系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(5): 1225-1228.  
 HENG Y H. Design and implementation of AS/RS monitoring and control system based on iFIX [J]. Computer Simulation, 2012, 20(5): 1225-1228.

[4] 程梦璋, 景为平. 新型流水线 ADC 的设计与分析 [J]. 电子

- 科技大学学报, 2008, 37(6): 930-933.
- [5] 刘娟, 周全申. 自动化仓库中转仓容设计仿真 [J]. 物流技术, 2013, 32(9): 329-331.
- [6] 王雨琪, 于爱民, 唐涛. 基于仿真系统的MSLB事故后运行计算分析 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(4): 47-52.
- [7] 王海涛, 王海军, 顾红芳, 等. 基于CFD的电力工程仿真设计研究 [J]. 南方能源建设, 2017, 4(1): 38-43+48.  
WANG H T, WANG H J, GU H F, et al. Study on power engineering simulation design based on CFD [J]. Southern Energy Construction, 2017, 4(1): 38-43+48.
- [8] 刘为雄, 曹祥麟, 黄庆云, 等. 面向电网规划设计的电磁暂态仿真研究与应用 [J]. 南方能源建设, 2018, 5(3): 19-25.
- [9] 诸小鹏, 朱志明. 自动化流水线实训系统设计 [J]. 实验室研究与探索, 2010, 29(11): 193-197.  
ZHU X P, ZHU Z M. The design of automated line training system [J]. Research and Exploration in Laboratory, 2010, 29(11): 193-197.
- [10] 谭腾飞, 马德, 黄凯, 等. 多层图像叠加处理的低功耗自适应流水线设计 [J]. 浙江大学学报(工学版), 2015, 49(1): 27-35+53.
- [11] 靳文兵, 左琦. 复杂指令集流水线系统设计 [J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(4): 19-22.  
JIN W B, ZUO Q. Design of CISC pipeline system [J]. Microelectronics & Computer, 2012, 29(4): 19-22.
- [12] 李伟. 果蔬气调自动化立体仓库堆垛机控制系统的设计 [J]. 中国农机化学报, 2014, 35(5): 173-174+186.  
LI W. Design of control system in the automated high-rise air conditioning storage and storage and retrieval machine for fruits and vegetables [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014, 35(5): 173-174+186.
- [13] 李苗苗, 杨伟东, 杨泽青, 等. 基于ZigBee和RFID技术的仓库货物定位系统设计 [J]. 现代电子技术, 2017, 40(4): 103-106.
- [14] 汪鸿鹏, 陆阳, 程运安, 等. 基于Zigbee网络的数字化仓库设计 [J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2011, 34(12): 1830-1835.
- [15] 李志民, 赵一丁. 基于工作流的大型仓库物流监控系统设计 [J]. 现代电子技术, 2016, 39(6): 66-69.
- [16] 孙兆杰, 谷岩, 韩文帅, 等. 建筑信息建模技术在物流仓库设计中的应用 [J]. 工业建筑, 2017, 47(4): 30-33+56.  
SUN Z J, GU Y, HAN W S, et al. Application of BIM technology in logistics warehouse design [J]. Industrial Construction, 2017, 47(4): 30-33+56.
- [17] 陈叶荣, 刘祺. 节拍式流水线电机出厂试验系统设计 [J]. 电机与控制应用, 2012, 39(8): 33-35.  
CHEN Y R, LIU Q. Design of pulse flow sequence for motor routine test system [J]. Electric Machines & Control Application, 2012, 39(8): 33-35.
- [18] 董俐君, 祝恩国, 张芊, 等. 自动化检定流水线现场校验系统的设计与实现 [J]. 电测与仪表, 2015, 52(17): 118-123.  
DONG L J, ZHU E G, ZHANG Q, et al. Design and application of site calibration system for automatic verification pipeline [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2015, 52(17): 118-123.

#### 作者简介:



徐飞

徐飞 (通信作者)

1987-, 男, 河南开封人, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司一级工程师, 高级工程师, 四川大学电力系统及其自动化硕士, 主要从事电能计量、智能用电、计量检定、配电自动化、智能配电网等技术研究和设计 (e-mail) xu-fei@gedi.com.cn。

#### 易明锋

1985-, 男, 江西南昌人, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司工程师, 江西财经大学电子元件与材料, 主要从事四线一库一平台研究及设计 (e-mail) yiming-feng@gedi.com.cn。

#### 侯恩振

1983-, 男, 山东菏泽人, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司工程师, 山东工商学院计算机专业学士, 主要从事营销计量、智能电表、计量自动化系统、计量检定、智能用电等技术研究及设计 (e-mail) houenzhen@gedi.com.cn。

#### 张磊

1977-, 男, 河南永城人, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司营配技术部部长, 高级工程师, 华南理工大学电力系统及其自动化专业硕士, 主要从事电能计量、智能用电、计量检定、配电自动化、智能配电网等技术研究和设计 (e-mail) zhanglei@gedi.com.cn。

#### 陈柱良

1990-, 男, 广东龙川人, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司工程师, 华南理工大学广州学院电气工程及其自动化专业学士, 主要从事智能化、数据中心等技术研究和设计 (e-mail) chenzhuliang@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)