

# 气动设计数据手册自定义生成系统的设计与实现

骆蓉, 蒙小龙, 黄俊, 黎茂锋, 刘志勤

(西南科技大学 计算机科学与技术学院, 四川 绵阳 621010)

**摘要:** 针对传统模式下编写气动设计数据手册 (ADDB) 存在的数据筛选困难、模式单一、生成效率低等问题, 在已有气动数据基础上, 设计并实现了气动设计数据手册自定义生成系统; 该系统基于溯源技术构建数据供应链, 能实时显示气动设计过程, 并对设计过程进行质量评估, 辅助研究人员快速选择 ADDB 的内容; 实现了 ADDB 模板自定义生成, 能满足研究人员对 ADDB 内容与样式的个性化要求; 并根据用户自定义的模板, 使用 OOXML 规范以及 Enjoy 模板引擎技术动态生成 ADDB, 极大提高了 ADDB 的规范性和时效性, 减少了研究人员的工作量; 实际应用表明, 该系统界面友好, 性能稳定, 能够简单快捷地生成 ADDB 文档, 满足研究人员的研究需要。

**关键词:** 气动设计数据手册; 数据供应链; 模板自定义; Word 自动生成

## Design and Implementation of a User-defined Auto-generating System of the Aerodynamic Design Data Book

Luo Rong, Meng Xiaolong, Huang Jun, Li Maofeng, Liu Zhiqin

(School of Computer Science and Technology, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of data screening, single mode and low efficiency in the traditional mode of generating the Aerodynamic Design Data Book (ADDB), a user-defined auto-generating system of the aerodynamic design data book is designed and implemented based on the existing aerodynamic data. The data supply chain is built based on data traceability technology, which can illustrate the aerodynamic design process and evaluate the quality of the design process in real time to assist researchers in selecting the content of ADDB; User-defined generation of ADDB templates is also implemented to meet the individualized requirements of ADDB content and styles for researchers with different research directions; According to the user-defined template, ADDB is dynamically generated through the OOXML specification and the Enjoy template engine technology, which not only greatly improves the standardization and timeliness of ADDB, but also reduces the workload of researchers. The practical application shows that the system has friendly interface, steady performance, and can generate ADDB documents quickly and easily to meet the research requirements of researchers.

**Keywords:** aerodynamic design data book; data supply chain; user-defined template; automatic generation of Word documents

## 0 引言

气动设计数据手册 (Aerodynamic design data book, ADDB) 是记录飞行器在气动设计过程中产生的气动数据以及相关处理任务的 Word 文档, 能够为研究人员分析数据可靠性、优化气动设计过程以及后续研究提供数据支撑, 具有十分重要的应用价值。

现有的气动数据管理与分析系统<sup>[1-2]</sup>只能生成简单的数据报表, 展示部分结果数据、图表, 而忽略了如何得到这些结果数据的一系列处理过程。ADDB 的生成仍停留在手

工编写阶段, 需要研究人员人工对本阶段的研究内容进行汇总、整理, 筛选出在飞行器设计、试验、飞行性能评估与优化等过程中产生的有用数据, 并根据这些数据的演化过程来进行编写。这一过程不但耗时费力, 时效性低, 而且 ADDB 一旦生成, 内容就基本固定了, 后期难以修改, 灵活性不够, 无法满足不同研究方向的个性化需求。而随着计算机技术的快速发展, 飞行器气动设计过程越来越复杂, 产生的数据呈指数增长, 数据复杂度大幅度上升, 极大地增加了手工筛选数据、编写 ADDB 的难度, 使得如何高效筛选 ADDB 内容, 实现 ADDB 的个性化、自动化生成, 成为飞行器气动设计领域亟待解决的问题。

本文基于已有气动数据管理与分析系统的数据基础, 设计实现了气动设计数据手册自定义生成系统。该系统基于溯源技术构建数据供应链, 可实时显示气动设计过程, 并对设计过程进行质量评估, 帮助研究人员更简单、快捷地筛选出气动数据集以及需要的处理任务。同时, 本系统能根据特定需求进行模板自定义, 动态生成所需的 ADDB, 极大地提高了 ADDB 的规范性和时效性, 很大程度上减少

收稿日期: 2019-11-21; 修回日期: 2019-12-10。

**基金项目:** 国家自然科学基金面上项目 (61672438); 四川省教育厅研究项目 (18TD0021); 四川省军民融合研究院开放基金 (18sxb024); 西南科技大学研究生创新基金资助 (18ycx006)。

**作者简介:** 骆蓉 (1995-), 女, 四川营山人, 硕士研究生, 主要从事计算机应用技术方向的研究。

**通讯作者:** 刘志勤 (1962-), 女, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事高性能计算、数值模拟方向的研究。

了研究人员的工作量。

## 1 系统总体设计

气动设计数据手册自定义生成系统依托于已有气动数据管理与分析系统,能快速地筛选出气动数据库管理与分析系统中研究所需的气动数据集以及相关任务,并提供模板自定义服务,准确规范地生成所需的 ADDB。系统的功能主要分为 ADDB 内容的快速筛选、ADDB 模板的自定义以及 ADDB 的动态生成三个部分,其总体设计如图 1 所示。

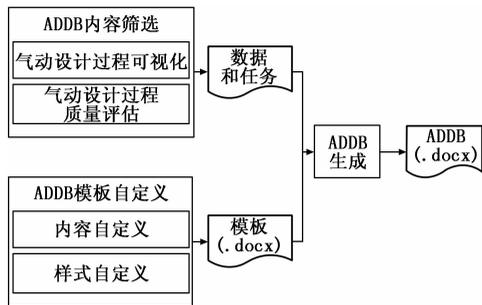


图 1 系统总体设计

### 1.1 ADDB 内容的快速筛选

在气动设计中,通常以前期处理任务的数据输出作为后续处理任务的数据输入。ADDB 中记录的通常是气动设计过程中原始数据经过多次数据处理形成目标数据的整个演变过程,因此,系统引入数据溯源技术中的数据供应链<sup>[3-4]</sup>,用于描述数据的产生、随时间推移而演化的整个过程信息。通过选择数据供应链的方式来完成 ADDB 内容的选择。系统基于数据供应链构建气动设计过程可视化和质量评估模块,辅助研究人员更方便地选择需要的数据集和处理任务,实现 ADDB 内容的快速筛选。

气动设计过程可视化是指将气动设计过程中的气动数据及其处理过程直观有效地展示给用户,是用户进行选择数据手册内容的基础。气动设计过程质量评估是指在数据供应链的基础上,通过任务重要程序系数与数据集质量分数两个指标,评估气动设计过程中每条数据供应链的整体质量,帮助研究人员更快更简单的选择数据供应链。

### 1.2 ADDB 模板自定义

ADDB 的应用范围十分广泛,不同研究方向的研究人员关注数据手册的侧重点不同。因此,对生成 ADDB 的要求存在内容与样式上的差异,不能只按一个固定模式生成。ADDB 模板自定义提供了 ADDB 的内容与样式的个性化定制服务,能满足各个研究方向的不同需求。

### 1.3 ADDB 的动态生成

ADDB 的动态生成是指将选中的数据集供应链里对应的数据填充到自定义生成的模板中生成 ADDB 的过程。由于生成 ADDB 时,填充的数据量较大,在保证生成的 ADDB 与模板样式一致的情况下,还需考虑 ADDB 的生成效率。快速、准确、规范的 ADDB 的动态生成,不仅能缩短文档编制周期,提高文档质量以及时效性,还能降低编制成本。

## 2 ADDB 内容的快速筛选

### 2.1 气动设计过程可视化平台的构建

本系统通过数据溯源技术构建数据供应链,重现气动设计的整体过程,让用户快速理解数据内容以及数据与任务之间的关系。

系统设计的数据供应链是由数据集、处理任务、执行者以及之间的关系共同构成的有向无环图结构,记为  $G(N, E)$ 。其中,  $N$  代表  $G$  中所有节点的集合,表示为  $N = \{n_1, n_2, \dots, n_n\}$ ,其中节点  $n_i = (dataSet | task | actor)$ ,表示该节点的类型为数据集、处理任务以及执行者中的一种;  $E$  代表  $G$  中所有的有向边的集合,记为  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ ,对于  $E$  中的任意一条边  $e_i$ ,可表示为  $e_i = (source, target, relation)$ ,代表源节点  $source$  与目标节点  $target$  之间的关系为  $relation$ ,  $relation$  的值可以为“使用”(used)、“引用”(ref)、“生成”(gen)以及“执行”(act)。

气动设计过程可视化主要通过数据供应链的构建与显示来实现。系统使用标注法<sup>[5]</sup>进行数据溯源追踪,实现数据供应链的构建与显示,具体流程主要有以下 3 个步骤。

#### 1) 数据集与处理任务的概要信息标注:

为了能统一描述气动数据集从生产到处理再到使用的整个过程,在用户进行数据处理时,就需要对新采集或者新生成的数据集以及处理任务,进行概要信息的抽取,并保存至数据库。

#### 2) 数据供应链的构建:

构建数据供应链的核心思想是检索出气动设计过程中涉及到的所有处理任务并进行遍历,对每一个任务做如下处理:

首先,根据任务的概要信息生成相应的任务节点,添加到  $G$  的节点集合中,记录该任务在节点集合中的序列。其次,查询该任务的输入数据集、输出数据集以及执行者,分别判断这些节点是否已经添加到  $G$  的节点集合中,如果未添加,则根据对应的概要信息生成节点,添加到  $G$  中,否则,查出该节点在节点集合中的序列。最后,根据任务与节点之间的关系以及各自的序列生成边,添加至  $G$  的边集合中。

所有处理任务遍历结束后,数据供应链的构建完成。

#### 3) 数据供应链的绘制:

D3 (Data-Driven Documents)<sup>[6]</sup>作为当前最为主流的数据可视化库之一,功能强大,性能优异,广泛应用于各类数据可视化。系统选用 D3.js 可视化库中的力导向图来绘制数据供应链,绘制效果如图 2 所示。

图 2 中,圆圈代表数据集;正方形代表处理任务;人物代表执行者;有向边上的标签显示节点之间的关系。通过该图,用户可以实时了解气动设计的全局进展情况,快速地实现 ADDB 内容的选择。

气动数据管理与分析系统中,一个飞行器有多个原型,一个原型中又包含多个模型。为方便用户理解,将数据供应链划分为 3 个范围:飞行器、原型以及模型范围。

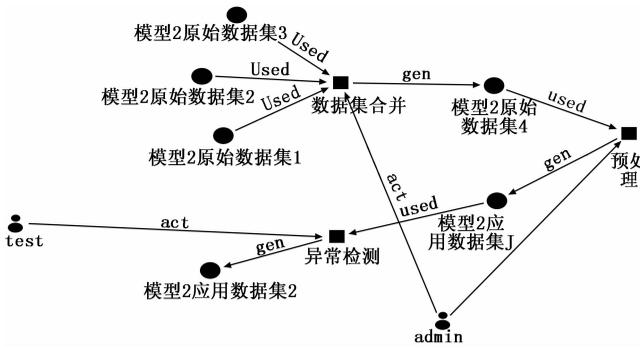


图 2 气动设计过程可视化效果图

### 2.2 气动设计过程质量评估体系

在气动设计过程中，数据供应链可能存在任务节点相同，但数据集节点与执行者节点不同的情况。为了帮助研究人员快速地选择满意的数据供应链，系统引入了数据集质量分数、任务重要程度系数来对数据供应链的质量进行评估，实现数据供应链质量的定量分析。数据供应链的质量分数由该链中任务的重要程度系数与任务输出数据集的平均质量分数加权平均决定，具体表达式如式 (1) 所示。

$$Q = \frac{\sum_{k=1}^n (I_k \times \bar{Q}_k)}{\sum_{k=1}^n I_k} \quad (1)$$

其中：Q 为数据供应链的质量分数， $I_k$  为任务  $T_k$  的重要程度系数， $\bar{Q}_k$  为任务  $T_k$  中所有输出数据集的平均质量分数。由式 (1) 可知，一条数据供应链的质量不仅取决于该链中的数据质量，还取决于该链中重要处理任务的数量。

在系统中，点击某条数据供应链的任意节点，即可选中对应的数据供应链，并计算、显示该链的质量分数，其效果如图 3 所示。

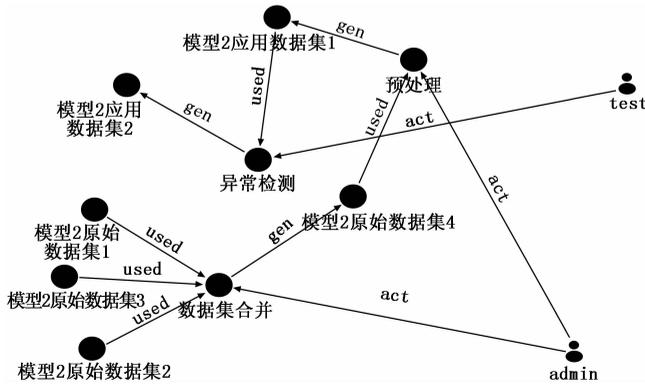


图 3 气动设计过程质量评估效果图

### 3 AADB 模板的自定义生成

为了准确表达飞行器设计过程中所包含的原型、模型、气动试验、数据处理流程、处理结果数据等内容，系统定义了 AADB 的 5 个内容对象：任务、数据集、模型、原型以及飞行器，并设计了内容逻辑层次结构，如图 4 所示。

系统中，AADB 模板的自定义主要体现在用户可以自

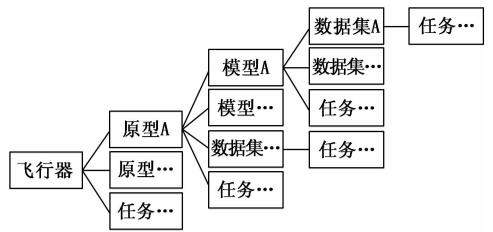


图 4 AADB 的内容逻辑层次结构

主地选择内容对象以及相应内容对象中的段落、表格、图片等具体内容。具体实现采用了模板内容与模板样式分离的思想，用户需要先制定模板内容再进行样式修改，流程如图 5 所示。

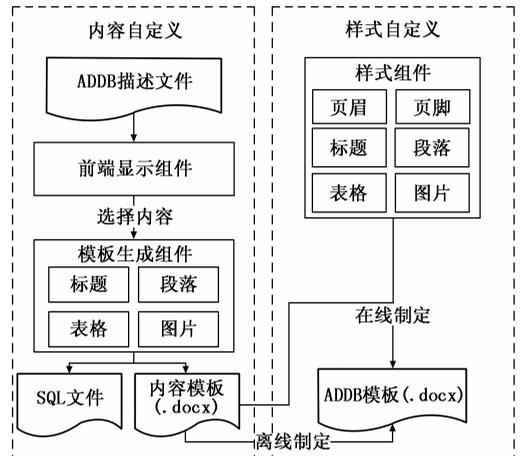


图 5 模板自定义生成流程

AADB 模板自定义生成流程主要分为内容自定义与样式自定义两大部分。在内容自定义中，AADB 描述文件是根据图 4 中内容逻辑层次结构对每一个内容对象的具体内容进行定义组成的；通过前端组件解析 AADB 描述文件，并显示 AADB 的大纲与内容，其界面如图 6 所示；用户根据显示的文档大纲，选择需要的内容对象以及相应内容对象中的段落、表格、图片等具体内容；内容确定后，上传选中的内容对象，通过模板生成组件将上传的内容写入 Word 中，生成内容模板以及对应的 SQL 文件。为了支持后续系统使用 Enjoy 模板引擎技术生成 AADB 正文，在生成内容模板时，需要通过模板生成组件将控制动态内容生成逻辑的 Enjoy 指令一同写入模板中。

由于 Word 文档的保存机制是将 Enjoy 指令作为段落中的文本，保存进 document.xml 部件的段落元素内，而不是将 Enjoy 指令写入元素之间来控制动态内容的生成逻辑。因此，在使用 Enjoy 模板引擎生成正文之前，还需要将正文内容所在的 document.xml 文件转换为标准的 Enjoy 模板。所以，系统在 Enjoy 指令的基础上，设计了一组模板指令，用来标记正文中的 Enjoy 指令在 document.xml 部件中的相对位置，详细说明如表 1 所示。系统根据这些模板指令的具体语义，实现相应的转换，就可完成 document.xml 部件到 Enjoy 模板的自动转换。



图 6 ADDB 模板定制页面

表 1 模板指令详细说明

指令	说明
# (para)	文本指令,解析时位置不改变。
@ blk(stats)	块逻辑指令,解析时将指令所在的 w: p 替换为 Enjoy 指令 stats。
@ befTr(stats)	行前逻辑指令,在指令所在的 w: tr 之前插入 Enjoy 指令 stats。
@ aftTr(stats)	行后逻辑指令,在指令所在的 w: tr 之后插入 Enjoy 指令 stats。
@ pic(picObj)	图片插入指令,解析时会将 picObj 对象插入绘图元素 w:drawing\的属性中。

针对样式自定义部分,用户可以通过样式组件在线自定义页眉、页脚、标题、段落、表格、图片等样式,并将自定义的样式添加到内容模板中,生成最终的模板。对于复杂样式,系统提供离线定制功能,用户可以直接内容模板下载到本地,并在 MS office 中进行样式设置,再同步至系统。

根据图 6 模板定制页面选择的内容,生成内容模板,并修改样式,得到的模板实例(部分内容)如图 7 所示。

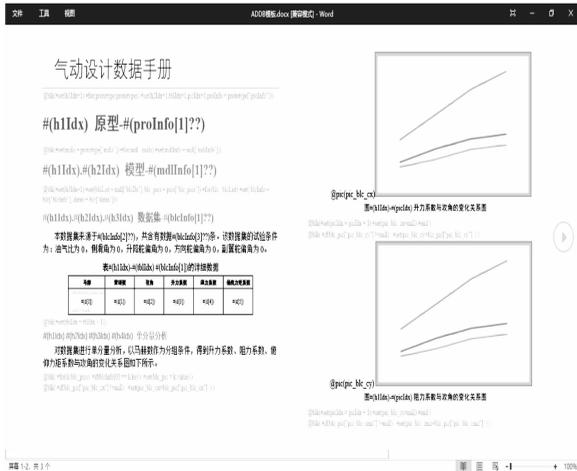


图 7 ADDB 模板实例(部分内容)

### 4 ADDB 的动态生成

将选中的数据供应链里对应的数据填充到自定义生成的模板中,即可完成 ADDB 的动态生成。为保证 ADDB 的

样式与模板完全一致,系统基于 Office Open XML 规范<sup>[7]</sup>实现了 ADDB 的动态生成。Office Open XML 规范(简称 OOXML),为 Microsoft 开发的一种以 XML 为基础并以 ZIP 格式压缩的电子文件规范,支持文件、表格、备忘录、幻灯片等文件格式<sup>[8]</sup>。目前,有不少研究者通过 OOXML 建立相应的 Word 自动化解决方案<sup>[9]</sup>。

在 OOXML 规范下,Word 文档由一系列的 XML 文件组成,这些 XML 文件被称之为部件,分别定义了文档的特定信息。修改 ADDB 模板中的特定部件并复制模板的其他部件,就能生成最终的 ADDB。系统生成 ADDB 需要修改的模板部件有:主文档部件 document.xml、文档关系部件 document.xml.rels 以及内容类型部件 [Content\_types].xml。

当 ADDB 内容容量较大时,需要频繁地向 document.xml 中插入节点,降低了文档的生成效率。Enjoy 模板引擎技术<sup>[10]</sup>作为最新研发的一个极轻量级模板引擎,主要用于生成特定格式的文档,相比于传统的模板引擎,其指令数量更少,操作更简单,性能更突出。使用 Enjoy 模板引擎技术生成 document.xml,能有效提高文档生成效率。

系统结合 OOXML 规范与 Enjoy 模板引擎技术,实现了 ADDB 的动态生成,具体流程如图 8 所示。

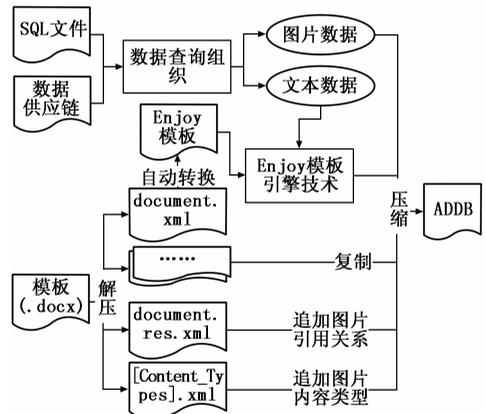


图 8 ADDB 的动态生成流程

在 ADDB 的动态生成过程中,系统首先通过对应的数据供应链与 SQL 文件,查询并组织出所需的图片数据与文本数据,其中,图片数据需要统计图片的内容类型以及记录对应的引用关系;然后,将自定义的 ADDB 模板解压缩,并将 document.xml 转化为 Enjoy 模板,使用 Enjoy 模板引擎填充数据;其次,复制模板中的 document.xml.rels 与 [ContentTypes].xml 部件,并分别追加图片的引用关系与内容类型;最后,复制模板中的其他部件,与修改的部件一同压缩输出,并将图片数据压缩写入 word/media/文件夹中,生成 ADDB。根据图 7 的模板生成的 ADDB 实例(部分内容)如图 9 所示。

通过对比,ADDB 实例的固定文本、样式等静态内容与图 7 的模板实例完全一致;标题、表格、图片、文字等动态数据也都填充到了模板中的对应位置,生成的 ADDB 能够满足实际应用。

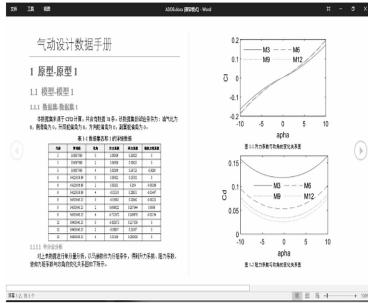


图 9 生成的 ADDB 实例 (部分内容)

### 5 结束语

本文设计的气动设计数据手册自定义生成系统, 主要用于解决传统模式下编写 ADDB 所存在的数据筛选困难、模式单一、生成效率低等问题。该系统实现了气动设计过程可视化以及质量评估, 能够快速地帮助研究人员汇总、整理、筛选气动数据与处理任务; 完成了 ADDB 模板内容和样式的自定义, 满足了研究人员对 ADDB 的个性化要求; 并基于 OOXML 规范实现了 ADDB 的动态生成, 且通过引入 Enjoy 模板引擎提高了生成效率, 极大地减少了研究人员的工作量。实际应用表明, 该系统界面友好, 性能稳定, 能够简单快捷地生成 ADDB 文档, 满足研究人员的研究需要。

(上接第 235 页)

### 7 结语

本文利用 GIS/GPS 技术, 采用相关分析、耿贝尔极值等方法, 开展致灾因子识别、微地理影响因子研究, 制定了覆冰气象条件阈值; 利用欧洲中心细网格、日本细网格和我国多种数值预报模式产品, 采用多模式集成等预报方法, 根据各成员的预报准确率, 动态调整权重系数, 建立覆冰厚度短期预报模型; 采用欧氏距离计算方法, 结合电力部门覆冰实况与灾情资料, 建立了覆冰多指标综合指数评估模型; 建立了基于覆冰预报方法与预报集成、预报产品制作、预报信息发布的广西覆冰预报与评估系统, 实现覆冰预报与评估产品实时在线发布, 并在电力部门应用。

研发的预报和评估模型对覆冰过程开始时间、持续时间、覆冰厚度、灾情评估等级均具有较好预报评估效果, 应用已发挥较大作用, 由于覆冰气象观测台站资料较少、覆冰观测设备不统一, 加之预报模型是通过不同离地高度、地形、密度等因子作出标准冰厚的换算, 与电力部门通过张力换算的实测覆冰资料及实地调研的覆冰资料差别较大, 导致预报与实况有差异。因此需在广西架空输电线路特殊地形区域增设覆冰气象观测站, 充实资料; 跟随数值预报产品性能不断提高, 继续优化覆冰气象预报与评估模型, 提高预报准确率。

本文建立的覆冰短期预报和评估模型, 经过适应性分析和订正, 可形成超高压局输电线路覆冰预报评估产品或风电场风机覆冰开始、消融预报产品, 满足电力用户生产和防灾减灾工作的需求。其成果可在电网公司、各市供电

### 参考文献:

[1] 齐志敏. 气动综合数据库管理系统的设计与实现 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.

[2] 李光伟. 基于 ORACLE OLAP 的气动数据多维分析研究与实现 [D]. 绵阳: 西南科技大学, 2018.

[3] 魏银珍, 邓仲华. 基于 PROV 模型的溯源管理设计与实现 [J]. 情报理论与实践, 2016, 39 (11): 95-100.

[4] 李 鹏. 数据供应链模型及服务质量保障研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2018.

[5] Chiticariu L, Tan W C, Vijayvargiya G. DBNotes: a post-it system for relational databases based on provenance [A]. Proceedings of the 2005 ACM SIGMOD international conference on Management of data [C]. ACM, 2005: 942-944.

[6] 赵 聪. 可视化库 D3.js 的应用研究 [J]. 信息技术与信息化, 2015 (2): 113-115.

[7] Surhone L M, Timpledon M T, Marseken S F, et al. Standardization of Office Open XML [M]. Montana: Betascript Publishing, 2010.

[8] 蒋金敏. 基于 OOXML 标准的论文格式检查平台 [D]. 济南: 济南大学, 2017.

[9] 刘伟男. 基于 OXML 格式的 Word 文档智能处理研究 [D]. 青岛: 中国石油大学 (华东), 2016.

[10] Final. Java 极轻量级模板引擎 Enjoy [EB/OL]. <https://www.oschina.net/p/enjoy>, 2017.

局、超高压局和风电场推广应用。

### 参考文献:

[1] 陆航波. 2008 年桂北架空线路覆冰的初步分析 [J]. 红水河, 2009, 28 (2): 98-101.

[2] 周绍毅, 苏 志, 李 强. 广西导线覆冰的特征及其气候成因研究 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38 (21): 11337-11339.

[3] 陈百炼, 吴战平, 张艳梅. 贵州冬季电线积冰及其天气成因分析 [J]. 气象, 2014, 40 (3): 355-363.

[4] 段 旭, 段 伟, 陶 云, 等. 云南冰冻灾害研究与电线覆冰区划 [M]. 北京: 气象出版社, 2010, 1-96.

[5] 毛淑君, 李栋梁. 基于气象要素的我国南方低温雨雪冰冻综合评估 [J]. 冰川冻土, 2015, 37 (1): 14-26.

[6] 赵晓萌, 李栋梁, 熊海星, 等. 西南地区覆冰气象要素的变化特征及综合评估 [J]. 自然资源学报, 2011, 26 (5): 802-813.

[7] 施 能. 气象科研与预报中的多元分析方法 [M]. 北京: 气象出版社, 2002.

[8] 周国兵. 三峡库区流域面雨量预报模糊检验 [J]. 气象科技, 2005, 33 (2): 120-123.

[9] 刘 静, 叶金印, 张晓红, 等. 淮河流域汛期面雨量多模式预报检验评估 [J]. 暴雨灾害, 2014, 33 (1): 58-64.

[10] 程 鹏, 郑启锐, 张 涛. 数值降水预报结果的并集集成方法及其试验研究 [J]. 暴雨灾害, 2008, 26 (3): 256-260.

[11] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法 [M]. 北京: 气象出版社, 1990.

[12] 王西平, 赵春雷, 方利英. 利用气象台站常规资料的欧氏距离指标估算梨园冠层露情 [J]. 中国农业气象, 1996 (5): 52-55.