

基于大数据平台的数据产品测试模式研究

汪骥宇¹, 代维佳², 王小康²

(1. 核动力运行研究所 信息技术研究中心;

2. 中核武汉核电运行技术股份有限公司 信息技术研究中心, 湖北 武汉 430223)

摘要: 数据产品是企业实现数据要素价值的最直接方式,也是推动数据治理的基本抓手。数据产品作为一种特殊产品,具有无形性、可复制性与共享性、动态性、数据驱动性、算法依赖性和数据治理需求等特性,这些特性使传统软件测试方法难以有效验证,需要采用更加有效的数据产品测试模式和方法来进行检测。通过研究基于大数据平台的数据产品开发过程、内容与方法,构建了一种基于测试维度、测试依据和测试执行3个方面有机结合的数据产品测试模式。该模式明确了数据产品动态测试的维度、依据、流程与内容,为数据产品测试工作提供了指导。同时,通过实践应用,验证了该模式能够简便有效地指导数据产品测试工作,确保测试工作的科学性、针对性和有效性。这种测试模式不仅能够帮助开发人员改进数据处理程序,还能够帮助管理人员了解数据产品的质量和潜在风险,从而做出更加科学的产品决策。

关键词: 大数据平台;数据治理;数据产品;动态测试;测试模式

DOI: 10.11907/rjdk.251079

扫描二维码阅读全文:



中图分类号: TP311.13

文献标识码: A

文章编号: 1672-7800(2026)003-0172-07

Research on Data Product Testing Mode Based on Big Data Platform

WANG Jiyu¹, DAI Weijia², WANG Xiaokang²

(1. Information Technology Research Center of Research Institute of Nuclear Power Operation;

2. Information Technology Research Center of China Nuclear Power Operation Technology Co., Ltd., Wuhan 430223, China)

Abstract: Data products are the most direct way for enterprises to realize the value of data elements, and also the basic starting point to promote data governance. As a special product, data products have the characteristics of invisibility, replicability and sharing, dynamic and real-time, data-driven, algorithm dependence, and data governance requirements. Traditional software testing methods can not effectively test these characteristics, so an effective test mode is needed for data products. By studying the development process, content and method of data products based on the big data platform, a data product test mode method based on the organic combination of test dimension, test basis and test execution is constructed, which defines the dimension, basis, process and content of dynamic test of data products, and guides the test work of data products. At the same time, through the practical application of this mode, it is verified that this mode can simply and effectively guide the data product testing work, ensure the scientificity, pertinence and effectiveness of the testing work, so as to help developers improve the data processing program, and help managers understand the quality and potential risks of data products and make scientific product decisions.

Key Words: big data platform; data governance; data products; dynamic testing; testing mode

0 引言

数据是重要的生产要素。在数字经济时代,如何有效利用数据、充分发挥其在企业生产经营中的价值,已成为

企业亟需解决的问题。为实现这一目标,企业通过建立大数据平台,整合数据资源、管理数据资产、监控数据流转、开发数据产品等手段,以提升数据质量、支持决策并实现数据价值。数据产品是实现数据要素价值的基本手段^[1-6]。

收稿日期:2025-03-04

作者简介: 汪骥宇(1981-),男,CCF会员,核动力运行研究所信息技术研究中心正高级工程师,研究方向为企业数字化转型、数据治理;代维佳(1992-),女,中核武汉核电运行技术股份有限公司信息技术研究中心工程师,研究方向为信息化应用、数据处理、软件工程;王小康(1985-),男,中核武汉核电运行技术股份有限公司信息技术研究中心工程师,研究方向为数据治理、软件工程。本文通讯作者:汪骥宇。

数据产品是一种特殊的产品,既具备实物产品和软件产品的众多特性,如价值交付、生命周期管理、用户需求驱动等^[7-8],又具有实物产品所不具备的无形性、可复制性与共享性、动态性与实时性^[9-10],同时也拥有软件产品不具备的数据驱动性、算法依赖性、数据治理需求等特性。这些特性使得数据产品的开发和测试面临独特的挑战。在后续的研究中,本文将基于这些特性,进一步探讨数据产品的测试方法,以确保其质量和价值交付。

1 测试模式提出

传统软件产品的测试主要围绕功能、性能、安全性、用户体验等方面开展,常用的方法包括单元测试、集成测试、系统测试和验收测试等^[11-15]。这些方法各有侧重,是软件质量保证的基石。然而,由于数据产品的特殊性,这些方法在实际应用中存在以下明显的局限性:

(1) 无形性。数据产品功能边界难以界定,传统方法主要针对有形功能,无法有效测试数据产品的数据流动、数据质量等无形特性。

(2) 可复制性与共享性。数据产品涵盖的应用环境和场景具有多样性且难以固化,传统测试方法主要针对固定的环境和场景,难以覆盖数据复制和分发的复杂性,无法有效测试数据产品在不同环境下的复制行为和一致性。

(3) 动态性。其行为和输出会随着时间发生变化,而传统测试方法难以捕捉这些动态变化,导致无法有效评估其在动态环境中的稳定性和适应性。

(4) 数据驱动性。数据产品的输出高度依赖输入数据,传统方法主要对功能、操作和调用等方面进行测试,难以覆盖数据驱动的复杂性,无法有效测试数据产品在不同数据输入下的行为和输出。

(5) 算法依赖性。传统方法无法有效测试数据产品算法的性能和准确性。

(6) 数据治理需求。传统测试方法难以覆盖数据治理的复杂性,无法有效测试数据产品在数据治理方面的合规性和安全性。

基于以上原因,在数据产品开发过程中,需要一种更为有效的测试模式来指导数据产品的测试。本文通过研究基于大数据平台的数据产品的开发过程、内容和方法,构建了一种基于测试维度、测试依据和测试执行3个方面有机结合的数据产品测试模式,为数据产品的开发工程实践提供指导。

2 数据产品测试模式

2.1 背景条件说明

本文基于某公司大数据平台建设项目实践,构建了一个大数据平台的数据产品开发架构,如图1所示。大数据

平台的数据模型分为3层,包括操作数据层(Operational Data Store, ODS,也称原始数据层、贴源数据层)、数据仓库层(Data Warehouse, DW,也称明细数据层)和数据集市层(Data Mart, DM,也称汇总数据层)。在该实践中,DW层模型建模运用数据保险箱(Data Vault, DV)建模^[16]和维度建模^[17]2种方法相结合的方式设计。其中,维度表和事实表采用DV建模方法设计;汇总表(累计快照型事实表、周期快照型事实表)采用维度建模方法设计。DV方法的3个主要组成部分:中心表(Hub表,简称H表)、关联表(Link表,简称L表)和附属表(Satellite表,简称S表)。

在该架构中,数据产品相关的数据流经路径如下:外部数据资源(简称源数据,包括外部数据库、外部数据服务和外部数据文件)—ODS层—DW层—DM层—数据产品。该过程涉及图1中4个数据动态处理环节,测试工作也基于这些环节开展。测试工作包括:①ODS测试:检测源数据—ODS层数据处理情况;②DW测试:检测ODS—DW层数据处理情况;③DM测试:检测DW—DM层数据处理情况;④产品测试:检测数据产品应用功能。

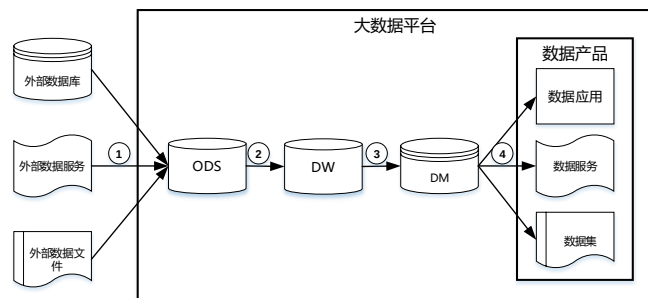


Fig. 1 Data product development architecture based on big data platform

图1 基于大数据平台的数据产品开发架构

在基于成熟大数据平台开发数据产品的工程实践中,数据产品的部分质量维度特性(安全性、可访问性)由平台保障,在这些维度仅需投入少量的测试工作。

2.2 测试模式框架

本文构建的企业数据产品测试模式由3个相互关联的部分组成:测试维度、测试依据和测试执行。其中,测试维度定义了测试的范围和方向,测试依据提供了测试的标准和参考,而测试执行则是根据维度和依据,具体实施测试并记录结果。三者共同确保数据产品测试的系统性和有效性,从而保障产品质量。企业数据产品测试模式框架如图2所示。

2.2.1 测试维度

在基于大数据平台的数据产品测试中,通过数据的准确性、完整性、一致性、时效性、唯一性、相关性、可访问性以及安全性8个测试维度的测试来评判数据和数据产品的质量^[18-20]。

(1) 准确性。数据准确性是指数据记录的信息与真实值或公认真值的接近程度。在数据产品测试中,具体表现

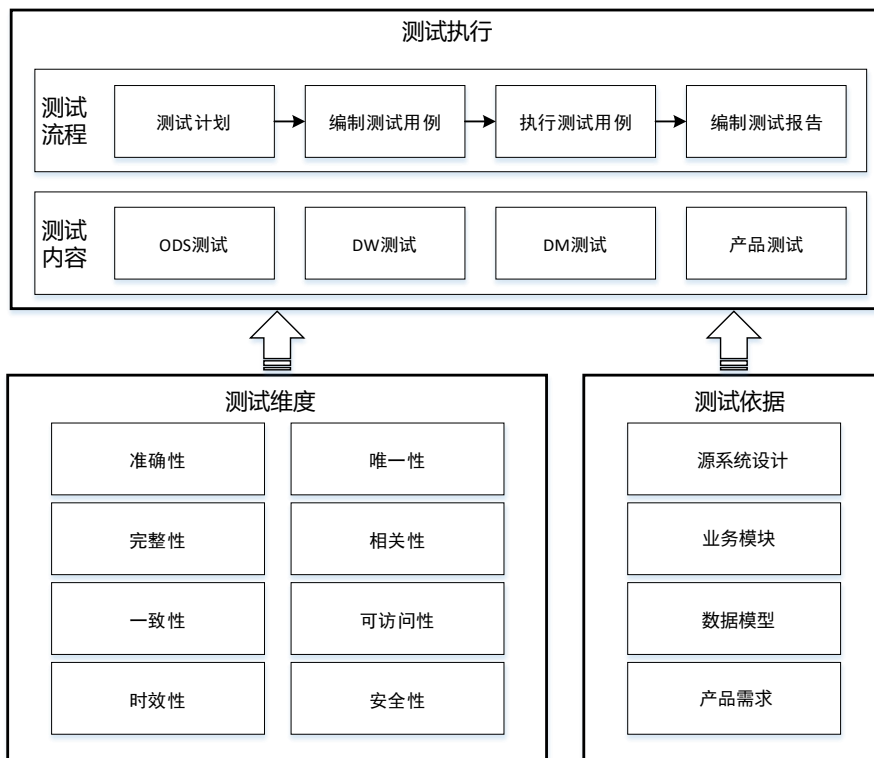


Fig. 2 Enterprise data product testing mode framework

图 2 企业数据产品测试模式框架

为结果数据与来源数据是否相同(包含按规则转换的情况)。测试用例设计如下:

输出数据是输入数据经过规则转换得到的,如公式(1)所示。

$$x \xrightarrow{f(x)} y \quad (1)$$

其中, x 为输入,即来源数据; y 为输出,即结果数据; $f(x)$ 为处理函数,即转换规则。

基于数据类型和处理规则,选择测试场景,并确定输入输出数据(集)、处理规则,编写测试脚本,完善期望结果。处理规则包括原值传递、数据映射和数值计算等类型。

(2)完整性。数据完整性是指数据是否存在完全缺失、局部缺失等问题。在数据产品测试中,具体表现为结果数据与来源数据的数量是否一致。测试用例设计如下:

输出数据数量与输入数据数量存在转换关系,具体如公式(2)所示。

$$\text{Count}(x) \xrightarrow{f(x)} \text{Count}(y), x \in [lx, hx], y \in [ly, hy] \quad (2)$$

其中, x 是输入数据集, lx 为 x 取值下限, hx 为 x 取值上限; y 是输出数据集, ly 为 y 取值下限, hy 为 y 取值上限; $f(x)$ 是数量转换规则函数; $\text{Count}(x)$ 、 $\text{Count}(y)$ 是对输入数据集的计数统计。

基于数据量转换规则,以及数据的取值范围,选择测试场景,确定输入输出数据和转换规则,编写测试脚本,完善期望结果。

(3)一致性。数据一致性是指数据在不同来源、不同

时间点或不同系统之间是否一致。一致性是确保数据逻辑连贯性的关键,不一致的数据可能导致分析结果的混乱和误导。在数据产品测试中,具体表现为测试不同来源的数据是否一致。通常用于衡量企业数据模型在不同系统的相同业务对象数据汇聚情况下,各个属性是否按照标准进行了数据清洗。测试用例设计如下:

多个数据源或同源多版本对象数据,经过规则转换,从而得到统一标准的输出数据,如公式(3)所示。

$$x \xrightarrow{f_1(x)|f_2(x)|\dots} y \quad (3)$$

其中, x 是输入,即来源数据; y 是输出,即结果数据; $f_1(x)$ 、 $f_2(x)$ 、 $\dots$ 是处理函数,即转换规则。

根据数据对象、数据类型、处理规则以及多个数据来源,选择合适的测试场景,确定输入输出数据(集)和处理规则,编写测试脚本,并完善期望结果。处理规则包括原值传递、数据映射和数值计算等类型。

(4)时效性。数据时效性是指数据项从产生到可以查看的时间间隔,也称为数据同步的延时时长,其表示的业务内容具备使用效能,可通俗理解为数据的保质期。在数据产品测试中,具体表现为来源数据的时间戳与结果数据的时间戳的差值是否满足业务要求。测试用例设计如下:

数据延时时间是输出时间与输入时间的差值,如公式(4)所示。

$$\Delta t = t(y) - t(x) \quad (4)$$

其中, Δt 是结果数据时间与来源数据的时间差; $t(y)$ 是输出数据的时间; $t(x)$ 是输入数据的时间。

选择时效性较高(小于半小时)应用场景的数据,确定输入输出数据(集)和处理规则,编写测试脚本,完善期望结果。

(5)唯一性。数据唯一性是指数据项或数据集中是否存在重复值,避免在数据分析和挖掘过程中出现重复计算或误判。在数据产品测试中,具体表现为依据对象数据的业务标识规则,检查结果数据中是否存在重复的数据。测试用例设计如下:

每一个数据对象的数据,依据标识属性进行计数是 1,如公式(5)所示。

$$\text{Count}(f(y_1, y_2, \dots)) = 1, (y_1, y_2, \dots) = (a, b, \dots) \quad (5)$$

其中, $f(y_1, y_2, \dots)$ 是数据在标识变量 $(y_1, y_2, \dots)$ 为 $(a, b, \dots)$ 时的值是唯一的; $\text{Count}()$ 是对计数函数。

根据业务对象及其标识属性,选定测试场景,确定测试数据,编制测试脚本(根据标识属性对结果数据进行分组计数统计),完善期望结果(计数均等于 1)。

(6)相关性。数据相关性是指数据能够满足数据消费者需求的程度,即数据能在多大程度上对数据消费者的需要产生作用。在数据产品测试中,具体表现为测试产品功能性要求,是否满足用户的需求。测试用例设计如下:按照测试数据产品功能是否满足要求,从操作交互便利性、显示数据完备性和 UI 规范性 3 个方面,选择测试场景,设计测试用例。

(7)可访问性。数据可访问性是指数据能在多大程度上供用户或系统使用或检索。在数据产品测试中,具体表现为数据产品是否可被访问。测试用例设计如下:参照“测试相关的数据产品是否可访问”这一原则,判断其是否合格,并据此设计测试用例。

(8)安全性。数据安全性是指数据库中为保护数据而具备的防御能力,即非授权用户无法访问数据。在数据产品测试中,该能力为平台产品提供支持。一般仅测试用户角色对相关类型数据的知悉范围情况。测试用例设计如下:基于测试平台的能力,检查用户角色与数据分类分级访问权限控制是否匹配,测试数据产品的安全性配置是否合格。

2.2.2 测试依据

在大数据平台数据产品开发过程中,数据转换处理基于以下 4 个方面进行:产品需求、数据模型、业务模型以及源系统设计相关内容。这些内容同时也是测试用例中数据处理规则的依据。

(1) 产品需求。数据产品的详细需求,定义了数据产品需要实现的功能性和非功能性要求,这些需求构成了产品测试的基础依据。

(2) 数据模型。企业数据架构、概念模型和物理模型等,定义了数据对象、属性以及关系等约束内容,是设计数据测试用例的规则依据。

(3) 业务模型。业务领域模型、业务流程模型等,定

义了与测试相关的业务规则,是设计开发测试用例的规则依据。

(4) 源系统设计。数据来源系统的相关设计资料,包括系统需求、系统数据模型和业务模型等相关资料,也是设计数据测试用例的规则依据。

2.2.3 测试执行

测试执行是基于测试依据和测试维度进行的测试工作,包括测试流程和测试内容 2 个部分。测试流程定义了测试活动,包括测试计划、编制测试用例、执行测试用例和编制测试报告 4 个步骤;测试内容定义了测试工作的具体内容,包括 ODS 测试、DW 测试、DM 测试和产品测试。

2.3 测试矩阵

本文根据大数据平台数据产品的开发特性,构建了数据测试矩阵,如表 1 所示。其中,M 表示必须项,O 表示可选项,“—”表示不开展项。

Table 1 Data testing matrix

表 1 数据测试矩阵

维度内容	ODS 测试	DW 测试	DM 测试	数据产品测试
准确性	O	M	M	M
完整性	O	M	M	O
一致性	—	M	—	O
时效性	O	O	O	—
唯一性	—	M	M	O
相关性	—	—	O	M
可访问性	—	—	O	M
安全性	—	—	O	M

测试矩阵中各环节测试说明如下:

(1)ODS 测试。在数据产品开发过程中,ODS 层的开发实现了企业数据资源的汇聚,并完成了对数据进行贴源操作,包括记录数据来源和汇聚时间等信息,需要测试数据的准确性、完整性和时效性。

(2)DW 测试。在数据产品开发过程中,DW 层的开发实现了企业数据资源清洗和加载,从而形成标准企业模型数据,建立企业数据仓库,需要测试数据的唯一性、完整性、准确性、一致性以及时效性。

(3)DM 测试。在数据产品开发过程中,DM 层的开发是通过抽取企业数据和仓库数据来建立数据集市,需要测试数据的唯一性、完整性和准确性。

(4)数据产品测试。在数据产品开发过程中,通过大数据平台数据资产管理和数据分析组件,基于 DM 层中表的数据集开发数据产品,包括数据应用、数据集和数据服务。需要测试数据的准确性、相关性、可访问性、安全性、唯一性、完整性以及一致性。

(5)矩阵中不开展的测试内容,由大数据平台提供产品保障。

3 数据产品测试模式实践

3.1 数据产品需求

以基于大数据平台的“公司采购问题分析”数据产品开发为例,该产品基本需求是通过对公司近 10 年来的采购数据进行综合分析,形成一系列分析报表,已帮助发现采购过程中存在的问题。该分析涉及多分类、多维度和多线索数据的综合分析。开发过程中采用了本文构建的数

据产品测试模式,通过对数据加工各个环节的测试,以保障产品质量和产品提供的数据可信,为管理决策人员判断产品可用性提供决策依据。

以“不合格供应商采购合同问题线索”为例介绍了测试模式的应用。该案例中需要通过综合分析对比供应商在黑名单期间的合同数据,建立不合格供应商采购合同清单,以供监察人员分析问题线索。该需求涉及的简化数据流如图 3 所示。

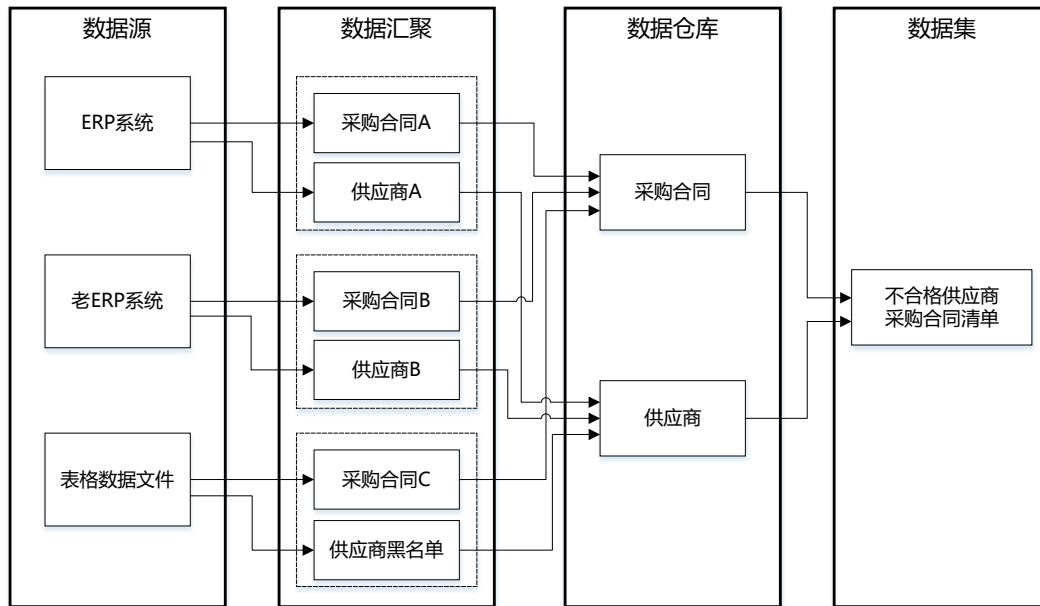


Fig. 3 Simplified data flow diagram of unqualified supplier procurement contract list

图 3 不合格供应商采购合同清单简化数据流图

由图 3 可知:合同和供应商有 3 个数据来源,包含 ERP 系统、老 ERP 系统和表格数据文件;DW 层中的采购合同和供应商数据则是通过清洗 3 个数据源的相关数据所得。

3.2 测试内容

产品测试要点如下:①通过平台数据加载模块汇聚数据,完成数据贴源操作,为后续简单数据处理奠定基础。ODS 层测试要点是检查数据贴源字段是否正确补充。②根据企业数据模型规则,开发数据处理程序对 ODS 层数据进行清洗和转换,形成符合企业标准的采购合同和供应商相关数据。DW 层测试要点是验证 DW 层数据的准确性、完整性、一致性和唯一性。③基于数据集模型规则,开发数据处理程序,抽取 DW 层数据形成数据集。DM 层测试要点是确保数据的准确性、完整性和唯一性。④采用平台 BI 工具进行数据产品开发,该过程不涉及代码开发。测试要点是功能操作和安全性等相关内容。

以 DW 测试为例,介绍相关关键测试点的工程应用情况,具体如下:

(1) 准确性。检测采购合同在 DW 层与 ODS 层中的数

据是否一致。具体测试内容如表 2 所示。

(2) 完整性。检查 ODS 层合同和供应商是否全部加

Table 2 DW accuracy test content

表 2 DW 层准确性测试内容

测试内容	输入	检测规则 $f(x)$	输出
采购合同签订日期相等	ODS 层、DW 层的合同签订日期	基于相同的日期格式,检查两层的合同中是否存在,合同编号相同签到日期不同的合同	签订日期不相等的合同
采购金额相等	ODS 层、DW 层的合同金额	基于相同的金额格式,检查两层的合同中是否存在,合同编号相同签到日期不同的合同	金额不相等的合同
供应商进入黑名单日期相等	ODS 层、DW 层的供应商进入黑名单日期	基于相同的日期格式,检查两层的供应商中是否存在,供应商编号相同进入黑名单日期不同的供应商	日期不相等的供应商
供应商移出黑名单日期相等	合同在 ODS 层、DW 层的供应商移出黑名单日期	基于相同的日期格式,检查两层的供应商中是否存在,供应商编号相同移出黑名单日期不同的供应商	日期不相等的供应商

载到 DW 层;检查合同和供应商的相关属性数据是否加载;检查模型定义必填属性是否有数据。具体测试内容如表 3 所示。

(3) 一致性。检查多个来源的合同和供应商数据是否

Table 3 DW completeness test content
表 3 DW 层完整性测试内容

测试内容	输入	检测规则 f(x)	输出
有效合同、供 应商加载	ODS 层、DW 层 的合同和供应 商数据	基于去重、统一合同和供应商 编号,检查:①只存在于 ODS 层 的合同和供应商数据;②只存 在于 DW 层的合同和供应商数 据	ODS 层独有 数据;DW 层 独有数据
		基于两层属性映射,检查:① ODS 层属性不为空,DW 层为空 合同和供应商数据;②DW 层属 性不为空,ODS 层为空合同和 供应商数据	ODS 层有 DW 层无的 数据;DW 层 有 ODS 层无 的数据
合同、供应商 相关属性数据	ODS 层、DW 层 的合同和供应 商属性	检查 DW 层中,是否必填属性为 空的合同和供应商数据。如: 合同(合同编号、签订日期、合 同名称、合同类型、供应商等); 供应商(供应商编号、供应商名 称)	必填属性为 空的数据

加载到 DW 层;检查参考数据的一致性和编码的一致性。
具体测试内容如表 4 所示。

Table 4 DW consistency test content
表 4 DW 层一致性测试内容

测试内容	输入	检测规则 f(x)	输出
参考数据一 致	ODS 各来源合 同、供应商数据; DW 合同、供应 商数据	基于相同的参考数据转化 数据,检查:①各来源中是 否有不能转化的数据;②是 否有同一合同或供应商在 各源中不一致,但加载到 DW 层的数据	为转化的源数 据;不一致但加 载的数据
		基于统一的编码格式转化 数据,检查:①只存在于 ODS 层的合同和供应商数 据集;②只存在于 DW 层的 合同和供应商数据集	ODS 层独有的数 据集;DW 层独有 的数据集

(4) 唯一性。检查 DW 层的合同和供应商是否重复。
具体测试内容如表 5 所示。

3.3 实践结果

在“公司采购问题分析”数据产品开发实践中,通过运

Table 5 DW uniqueness test content
表 5 DW 层唯一性测试内容

测试内容	输入	检测规则 f(x)	输出
合同和供 应商明确 重复	ODS 各来源合 同、供应 商数据; DW 合同、供 应商数据	基于统一的编码格式转化数据,获 取在多个源中转换编码相同、源标 识不同的数据,在 DW 层的对象 H 表中是否有重复情况	编码相同 重复对象 的数据
合同和供 应商可能 重复	ODS 各来源合 同、供应 商数据; DW 合同、供 应商数据	基于统一的编码格式转化数据,获 取在多个源中转换编码不同,但根 据合同和供应商相关属性推测相同 的数据,这些合同和供应商在 DW 层的对象 H 表中是否有重复情况	推测复对 象的数据

用数据产品测试模式,能够有效保障数据产品的可靠性。
本文针对 4 个数据处理环节,开展了相应的测试活动,开
发了相关测试用例,并详细描述了测试内容,明确了测试
目标,从而确保了测试工作的科学性、针对性和有效性。
此外,通过四层次的测试体系,不仅显著提升了对数据产
品缺陷的发现率,还推动了开发团队对 ETL 脚本的优化和
对数据清洗规则的调整。这些努力为管理人员提供了涵
盖数据全生命周期质量的可靠依据,有效降低了采购问题
分析应用的落地风险

4 结语

本文提出了一种基于大数据平台的企业数据产品测
试模式,并通过实证研究验证了其有效性和实用性。该测
试模式能够为企业数据治理和数据产品测试提供有力的
支持和指导。

此外,在本文的实践过程中,各层数据测试均通过编
写测试脚本,采用手动执行的方式进行测试,需要投入大
量人力资源。在软件产品测试领域,专家学者对自动化、
智能化以及测试用例复用^[21-25]等方面进行了较为深入的
研究。建议未来参考这些研究成果,开展基于数据测试的
自动化和智能化方面的研究与实践,以进一步提升数据产
品测试工作的效率。

参考文献:

[1] HUANG L H, DU W L, WU B Y. Structural separation of data property rights based on data factor circulation value chain[J]. Big Data Research, 2023,9(2):5-15.
黄丽华,杜万里,吴蔽余. 基于数据要素流通价值链的数据产权结构性分置[J]. 大数据,2023,9(2):5-15.

[2] CHEN G Q, ZENG D J, WEI Q, et al. Transitions of decision-making paradigms and enabled innovations in the context of big data[J]. Management World, 2020, 36(2): 95-105.
陈国青,曾大军,卫强,等. 大数据环境下的决策范式转变与使能创新[J]. 管理世界, 2020, 36(2): 95-105.

[3] XU X C, ZHANG Z W, HU Y R. Research on deriving measures of data assets in national accounts [J]. Management World, 2022, 38 (2) : 16-30.
许宪春,张钟文,胡亚茹. 数据资产统计与核算问题研究[J]. 管理世界, 2022, 38(2): 16-30.

[4] RONG J X, WANG D Z. Overview of current studies on data factor[J]. Southern Economy, 2021 (11): 18-43.
荣健欣,王大中. 前沿经济理论视野下的数据要素研究进展[J]. 南方经济, 2021 (11): 18-43.

[5] ZHU Y Y, YE Y Z. Defining data assets based on the attributes of data [J]. Big Data Research,2018,4(6):65-76.
朱扬勇,叶雅珍. 从数据的属性看数据资产[J]. 大数据,2018,4(6): 65-76.

[6] XU T, YOU J X, ZENG C X, et al. Practical exploration and theoretical modeling of enterprise data assetization[J]. Foreign Economics & Management, 2022, 44(6): 3-17.
徐涛,尤建新,曾彩霞,等. 企业数据资产化实践探索与理论模型构建

- [J]. 外国经济与管理, 2022, 44(6): 3-17.
- [7] POPPENDIECK M, POPPENDIECK T. Transformation of product development mode: from requirement delivery to value delivery[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2021.
- [8] JIN Z F, ZHANG Y W, YE W H, et al. Research on application of DevOps in documentation towards full value delivery[J]. Journal of Software, 2019, 30(10): 3127-3147.
金泽锋, 张佑文, 叶文华, 等. 面向完整价值交付的文档DevOps应用研究[J]. 软件学报, 2019, 30(10): 3127-3147.
- [9] HUANG L H, DOU Y F, GUO M K, et al. Features and transaction modes of data products in data markets[J]. Big Data Research, 2022, 8(3): 3-14.
黄丽华, 窦一凡, 郭梦珂, 等. 数据流通市场中数据产品的特性及其交易模式[J]. 大数据, 2022, 8(3): 3-14.
- [10] ZHU Y M, ZHANG C. Data-based product development and circulation[J]. Big Data Research, 2023, 9(2): 46-55.
朱永敏, 张诚. 数据产品开发与流通[J]. 大数据, 2023, 9(2): 46-55.
- [11] National Technical Committee for Information Technology Standardization of China, GB/T 38634. 1-2020. Systems and software engineering software testing part 1: concepts and definitions[S]. Beijing: China National Institute of Standardization Press, 2020.
全国信息技术标准化技术委员会, GB/T 38634. 1-2020. 系统与软件工程 软件测试 第1部分: 概念和定义[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [12] National Technical Committee for Information Technology Standardization of China, GB/T 38634. 2-2020. Systems and software engineering software testing part 2: test processes[S]. Beijing: China National Institute of Standardization Press, 2020.
全国信息技术标准化技术委员会, GB/T 38634. 2-2020. 系统与软件工程 软件测试 第2部分: 测试过程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [13] National Technical Committee for Information Technology Standardization of China, GB/T 38639-2020. Systems and software engineering software combinatorial testing method[S]. Beijing: China National Institute of Standardization Press, 2020.
全国信息技术标准化技术委员会, GB/T 38639-2020. 系统与软件工程 软件组合测试方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [14] QIU Z A, WANG F, REN Z W. Difficulties and coping strategies of software testing[J]. Electronics Optics & Control, 2023 (9): 99-105.
仇振安, 王锋, 任志伟. 软件测试的难点及应对策略[J]. 电光与控制, 2023 (9): 99-105.
- [15] HUANG J X, LIN Y K, DENG Z M. Research on data-driven crowdsourcing test worker management mode[J]. Software Guide, 2023, 22(12): 139-146.
黄静璇, 林怡坤, 邓志敏. 数据驱动的众测工人管理模式研究[J]. 软件导刊, 2023, 22(12): 139-146.
- [16] INMON W H, LINSTEDT D, LEVINS M. Data architecture: a primer for the data scientist[M]. Translated by Huang Zhibin, Tao Yuan. Beijing: China Machine Press, 2021.
INMON W H, LINSTEDT D, LEVINS M. 数据架构: 数据科学家的第一本书[M]. 黄智渊, 陶袁, 译. 北京: 机械工业出版社, 2021.
- [17] INMON W H. Data Warehouse (4th ed.)[M]. Translated by Wang Zhihai. Beijing: China Machine Press, 2006.
INMON W H. 数据仓库(原书第4版)[M]. 王志海, 译. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [18] National Technical Committee for Information Technology Standardization of China, GB/T 42129-2022. Maturity assessment method for data management capability[S]. Beijing: China National Institute of Standardization Press, 2022.
全国信息技术标准化技术委员会, GB/T 42129-2022. 数据管理能力成熟度评估方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [19] National Technical Committee for Information Technology Standardization of China, GB/T 36073-2018. Data management capability maturity assessment model[S]. Beijing: China National Institute of Standardization Press, 2022.
全国信息技术标准化技术委员会, GB/T 36073-2018. 数据管理能力成熟度评估模型[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [20] International DAMA . DAMA-DMBOK: data management body of knowledge (2nd ed.)[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2021.
国际数据管理协会. DAMA数据管理知识体系指南(第2版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2021.
- [21] WEI X, LI L. Path test case generation method based on branch evolution theory[J]. Software Guide, 2023, 22(8): 117-123.
魏雄, 李莉. 基于分支进化理论的路径测试用例生成方法[J]. 软件导刊, 2023, 22(8): 117-123.
- [22] ZHU J Y, LIU C J. Design and implementation of automatic test framework based on Selenium[J]. Software Guide, 2023, 22(5): 103-108.
朱佳艺, 刘从军. 基于Selenium的自动化测试框架设计与实现[J]. 软件导刊, 2023, 22(5): 103-108.
- [23] ZHANG Q R, HUANG S, SUN L L. A survey of Web function automation testing[J]. Software Guide, 2023, 22(3): 227-236.
张清睿, 黄松, 孙乐乐. Web功能自动化测试综述[J]. 软件导刊, 2023, 22(3): 227-236.
- [24] LUO H R, ZHU W X, SHI Y Q, et al. Research on the application of knowledge repository system in software test reuse [J]. Software Guide, 2021, 20(10): 242-246.
罗浩榕, 朱卫星, 史涯晴, 等. 知识库系统在软件测试复用中的应用研究[J]. 软件导刊, 2021, 20(10): 242-246.
- [25] WAN J Y, SHI Y Q, HUANG S, et al. Research on test case reuse method based on Bert[J]. Software Guide, 2021, 20(12): 59-63.
万进勇, 史涯晴, 黄松, 等. 基于Bert的测试用例复用方法研究[J]. 软件导刊, 2021, 20(12): 59-63.

(责任编辑: 陈维捷)