

高度互操作性的电力系统数据平台设计与实现

白日昶¹, 李 颖², 帅玲玲¹, 陈 颖²

(1. 江西省电力公司超高压分公司, 江西省南昌市 330006;

2. 电力系统国家重点实验室, 清华大学电机系, 北京市 100084)

摘要: 基于公共信息模型(CIM)的应用集成主要困难在于 CIM 数据本身互操作性不足, CIM 版本升级、不同描述语言都造成了 CIM 数据互操作性的缺失。分析了 CIM 数据的互操作性层次关系, 并结合元数据互操作性要求给出了适用于任何模型描述规则、描述语言的 CIM 数据解析和翻译方法。开发了一套能够为多数据源和多应用系统提供统一数据输入/输出接口的 SMARTCIM 平台。该平台可实现数据源与应用系统间的灵活解耦和高效集成, 已应用于江西超高压局集控中心综合数据平台的建设项目中。

关键词: 公共信息模型; 元数据; 互操作性; 模型描述规则; 自适应解析; 自定义翻译

0 引言

标准、开放的电力系统信息模型是实现应用集成的基础^[1]。IEC 61970 标准中的公共信息模型(CIM)不仅描述了不同电力应用之间需要交换的信息的语义^[2-3], 还为数据交换和利用提供了最大的灵活性和可扩展性。

然而, 基于 CIM 的信息交换机制和应用集成也存在一些不足^[4]。通常 CIM 由可扩展标记语言(XML)进行描述, 虽然十分灵活, 但其中大量的冗余文本内容影响了解析速度。为此, 国调中心推出 CIM/E 语言, 以提高描述和解析效率^[5]。描述语言的差异给 CIM 数据解析和应用带来一定困难。电力系统数据描述需求变化和旧版本改进引发 CIM 标准版本不断升级。不同版本标准中描述规则的差异直接影响了 CIM 数据的互操作性。CIM 本身的面向对象建模思想与传统的关系型数据难以方便转换^[6-8], 从而加大了遗留软件重用的难度, 也在一定程度上限制了 CIM 的互操作性。CIM 数据有效性校验较为困难^[9], 使得应用软件之间信息交互可靠性缺乏保障。

本文首先从互操作性定义出发, 改进了电力数据自适应解析和翻译方法, 解决了不同描述语言、描述规则的数据互操作性问题; 然后基于此方法设计和实现了一个数据解析和融合平台——SMARTCIM 平台; 最后结合江西超高压局集控中心综合数据平台的工程建设, 阐述了 SMARTCIM 平台的工程实现。

1 CIM 数据的互操作性层次关系

IEEE 对互操作性的定义是: 2 个或多个系统或组成部分之间交换信息以及对所已经交换的信息加以使用的能力^[10]。它包含了语法和语义 2 层含义: 语法互操作性是指系统间通信并交换数据的能力, 通常采用标准的通信协议或描述语言来实现; 语义互操作性是指准确解释交换所得信息的能力, 通常采用建立资源描述框架(RDF)、制定标准模型描述规则、实现模型描述规则间的映射 3 种方法来实现。语义互操作性实现的前 2 种方法都需要多方遵从同一标准, 实现难度较高, 第 3 种方法能够保留现有各种数据的描述规则, 只需建立不同规则间的转换接口即可, 更为灵活高效。

按照此互操作性层次, 可根据图 1 来理解电力数据的组织和描述。首先, 电力数据的本质与任何描述语言、数据建模规则无关, 称为核心数据。然后, 将核心数据按照一定的模型描述规则(Schema)进行语义层次的封装, 得到关于核心数据的元数据(Metadata)集合。最后, 采用特定的描述语言, 如 XML 或 E 语言将元数据映射为文本文件, 完成语法层次上的组织。

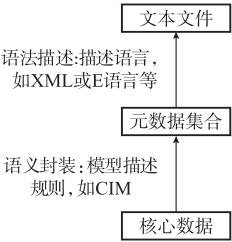


图 1 CIM 数据互操作性层次

Fig. 1 Interoperability levels of CIM data

2 提高数据互操作性的自适应解析和翻译方法

基于前述电力数据的核心数据-元数据-文本文件的层次关系,结合元数据互操作性要求给出自适应解析和翻译方法,实现对不同描述规则、描述语言的适应性。

从数据文件获得电力数据分为 2 个步骤:①自适应解析,从结构化的文本获取元数据;②自定义翻译,将元数据翻译为多方公认、无歧义的核心数据。2 个步骤中分别采取元数据通用解析方法和模型映射匹配来解决语法和语义互操作性问题,传统解析方法未作此区分,因而任何一点变化都会影响到解析全部流程,从而降低了互操作性。

本文设计的自适应解析和翻译方法流程如图 2 所示。

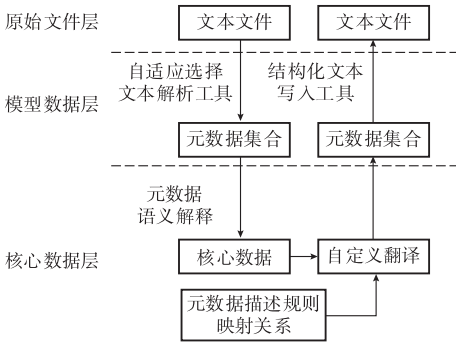


图 2 CIM 自适应解析和翻译方法
Fig. 2 Adaptive decoding and translation of CIM

图 2 中,自适应解析完成从数据文件到元数据集合的读入,不包含对语义的解释,只需要根据描述语言的差异配置不同的文本解析工具即可实现语法互操作性。同时,该步骤还能自动提取出文件中蕴含的元数据描述规则。

进一步,可完成元数据语义解释的工作,即根据自动提取的描述规则与一个标准的描述规则的映射关系,将得到的元数据翻译为核心数据。而自定义翻译转换的工作与此类似,只需要给定目标元数据集合的描述规则与标准规则的映射关系,即可完成核心数据到所需格式元数据的翻译转换。这一步骤的灵活性保证了语义互操作性的实现。

本文提出的方法以表征数据本质内容的核心数据层为中心,通过给定的元数据描述规则映射进行自定义翻译以实现语义互操作性,通过自适应选择文本解析工具以实现语法互操作性。该方法能够兼容不同 CIM 版本描述规则、不同描述语言的差异,为电力应用集成提供支持。

3 SMARTCIM 平台的设计与实现

基于本文方法设计了一种面向多数据源接入和多应用集成的 SMARTCIM 平台。该平台作为数据源和应用之间的解耦和缓冲中间件,分别向输入和输出提供了统一的接口,为多数据源融合和应用集成“即插即用”提供了数据基础。基于 SMARTCIM 平台的应用集成方案如图 3 所示。

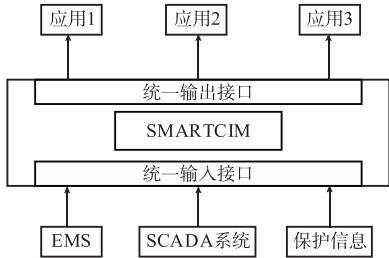


图 3 基于 SMARTCIM 平台的应用集成方案
Fig. 3 Integration scheme based on SMARTCIM platform

3.1 SMARTCIM 平台的功能设计

SMARTCIM 平台的核心功能包括:①数据自适应接入,对不同描述规则和语言的数据,统一解析为核心数据;②自定义翻译,可自定义配置模型描述规则,实现不同版本 CIM 数据的翻译转换;③数据融合,多来源数据的整合,如模型拼接;④双向关联映射,基于核心数据,快捷、高效地建立数据中类、属性间的双向关联;⑤有效性校验,校验数据的描述准确性、模型完整性和关联完备性,保证提供给应用有效的数据;⑥数据输出,包括通过统一接口提供给上层应用、持久化到关系数据库,甚至根据应用需求转为对象型数据。

按以上功能设计 SMARTCIM 平台的总体框架如附录 A 图 A1 所示。

3.2 SMARTCIM 平台的关键技术

3.2.1 数据自适应接入

数据自适应接入是独立于模型定义文件,对任何版本、任何模型定义都适用的数据解析方法。数据自适应接入包含:获得模型描述规则;读取所有数据到内存。

根据 XML 或 E 语言的自描述性,在遍历 CIM 文件的基础上可获得该数据的模型描述规则。CIM 文件中的描述片段示例如下:

```
<cim:VoltageLevel rdf:ID="211000092">
<cim:Naming.name>220</cim:Naming.name>
<cim:VoltageLevel.highVoltageLimit>229.000000
</cim:VoltageLevel.highVoltageLimit>
<cim:VoltageLevel.lowVoltageLimit>220.000000
</cim:VoltageLevel.lowVoltageLimit>
```

```
<cim:VoltageLevel, MemberOf_Substaion rdf:
    resource="#210000024"/>
<cim:VoltageLevel, BaseVoltage rdf:
    resource="#200000002"/>
</cim:VoltageLevel>
```

由上述描述可知:“电压等级”类的命名方式为 VoltageLevel, 此类包含 name, highVoltageLimit 等 5 个属性, 最后 2 个特殊属性表示了 VoltageLevel 与 Substation, BaseVoltage 的关联关系。这样, CIM 的类、属性、关联关系等要素都通过一次遍历得到。通过对整体文件的遍历, 可获得完整的模型描述规则。

无论是 XML 还是 E 语言, 文件本身的结构都与关系数据库中的二维表十分相似, 因此通过常见的文本解析器, 可以将数据转换为多张数据表格的形式: 每一种资源类(如 VoltageLevel)对应一张表, 每一个设备实例对应表中一条记录, 类的每一个属性对应表的每一列。这样就将 CIM 中原本对象型描述解析成了关系型的元数据集合。

得到的元数据集合是核心数据在该文件模型描述规则下的表达, 要得到标准规则下的核心数据, 只需要通过规则映射进行翻译转换即可。

3.2.2 自定义翻译转换

自定义翻译转换技术是指任意给定 2 种模型描述规则之间的映射关系 (Schema Mapping), 就可以将相应的数据进行翻译转换的方法。

例如, 2 种 CIM Schema 之间的映射关系如表 1 所示。

表 1 Schema 映射关系表
Tab. 1 Mapping table of Schema

Schema 1	Schema 2
VoltageLevel	VL
VoltageLevel, highVoltageLimit	—

翻译的结果是, 原 CIM 中所有“电压等级”类命名改为 VL, 而其中 highVoltageLimit 属性丢失。这里属性丢失代表了实际工程应用中的一种常见情况, 即不同厂家对同一系统的建模关注程度不同。

在 SMARTCIM 平台中, 已有核心数据和自适应提取到的相应 Schema, 只需要给定现有 Schema 与目标 CIM Schema 之间的映射关系表, 即可完成 CIM 的翻译转换。Schema Mapping 可以通过界面进行人工配置, 实现灵活的自定义翻译转换。

3.2.3 双向关联映射表的建立

针对 CIM 中各种类和属性之间的双向关联索引, 采用关系型数据模式比对象型数据模式效率更高。SMARTCIM 平台的核心数据层采用关系型数

据结构。因此在 CIM 解析完成后, 可以一次性生成所有类之间的双向关联索引表, 然后以 CIM 数据的相同形式存储, 极大提高了建立双向关联的快捷性、关联表的存储方便性以及关联索引时的高效性。

3.2.4 CIM 有效性校验

CIM 的有效性检验内容十分庞杂, 但通过对常见的 CIM 应用^[11-12] 进行分析可知, CIM 的有效性总的来说是建模规则与标准协议一致、描述内容与实际系统一致, 具体表现如下。

1) 描述准确性。首先是指文件语法正确性, 其次是描述规则合理, 不出现数据类型命名歧义、属性归属关系错误、关联和继承关系错误等问题。

2) 模型全面性。包括 3 方面的内容: 第 1 是类型全面性, 如 CIM 中必须包括基本的类型如母线、线路等, 应根据系统规定对必须建模的设备列表进行检查; 第 2 是记录全面性, 是对各种类型设备的建模数量进行检查, 需要给出系统各种类型设备的数量以作参照; 第 3 是属性全面性, 是对特定类型设备的必备属性进行检查, 也需要给出系统各种类型设备的必备属性集以作参照。

3) 关联完备性。指各种类型的元件间的双向关联必须完备。关联完备的测试内容很多, 如多端元件关联端不缺不漏、设备必备属性关联资源存在性等。

根据上述要求, SMARTCIM 平台实现了数据一致性测试, 其流程如图 4 所示。

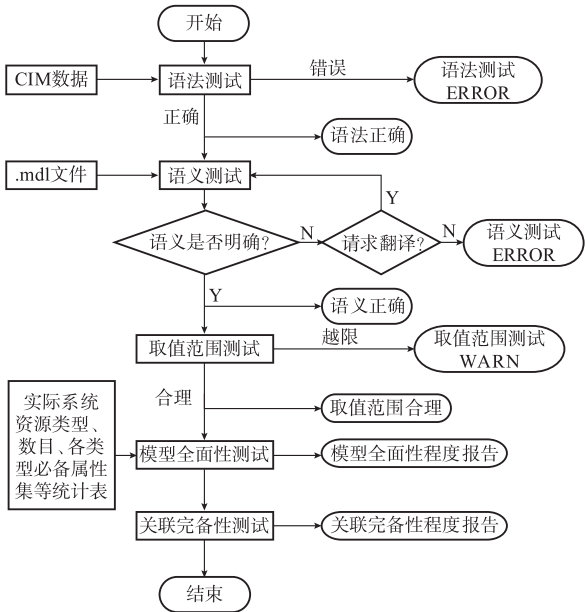


图 4 CIM 数据一致性测试流程
Fig. 4 Flow chart of CIM data conformance test

图 4 中,首先需要构建包含描述准确性、模型全面性和关联完备性的一致性声明,作为 CIM 测试结果的标准参照,比如 CIM 模型定义文件(.mdl)、实际设备类型、数量、必备属性列表等;然后,根据测试具体任务流程,依次选择具体的一致性声明输入,调用本文前述的各种 CIM 解析、翻译和关联工具,将 CIM 数据描述与一致性声明进行对比,得到一致性测试评述,作为 CIM 有效性的检验结果。

4 江西超高压集控中心综合数据平台实现

江西超高压局建设的集控中心涉及到来自不同数据系统如网省 EMS,SCADA 系统及下属各个变电站子站等,其上层应用有图模一体化维护、Web 发布等。拟建设综合数据平台,作为数据源和应用之间的缓冲和解耦中间组件,为今后超高压各种数据和应用的“即插即用”提供可扩展的平台。按照基于 SMARTCIM 平台的电力应用集成方案,设计集控中心综合数据平台总体框架如图 5 所示。

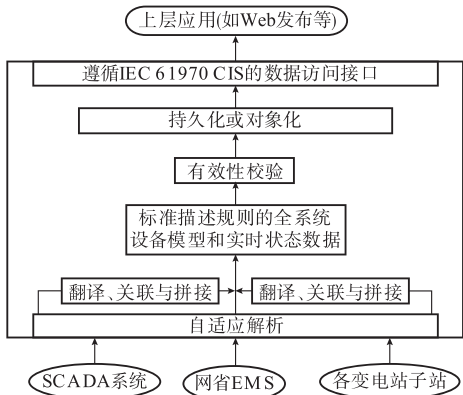


图 5 集控中心综合数据平台整体框架
Fig. 5 General frame of information platform of integrated control center

图 5 中,不同数据源如网省 EMS、集控中心 SCADA 系统分别提供不同描述规则的 CIM 文件。综合数据平台对上述 CIM 文件进行统一的自适应解析、翻译转换和模型拼接,并建立完备的关联索引,形成标准描述规则的全系统设备模型和实时状态数据,完成不同数据源的融合。基于此设计遵循 IEC 61970 公共接口规范(CIS)的通用数据接口,供上层应用访问。

针对如下的工程场景进行测试:网省 EMS 提供的罗坊变以北的江西 500 kV 北部主干网架 CIM 文件 A;集控 SCADA 系统提供的罗坊变以北的江西 500 kV 北部主干网架 CIM 文件 B,描述的内容与 A 完全一致,但描述规则不同;变电站子站提供的罗坊变以南的江西 500 kV 南部主干网架 CIM 文

件 C。江西 500 kV 主干网架地理图如附录 A 图 A2 所示。江西 500 kV 主干网架信息统计表如附录 A 表 A1 所示。

针对 3 种不同描述规则和内容的数据来源,测试上述方案对多数据源的接入、融合和输出功能。详细测试方案如下:

1)对 3 份 CIM 文件 A,B,C 分别进行自适应解析,得到 3 份元数据集合 A1,B1,C1。

2)对 3 份元数据分别按照各自文件描述规则与标准描述规则的映射文件进行翻译转换,得到 3 份基于标准描述规则的核心数据 A2,B2,C2。

3)识别 A2 和 B2 的一致性,选取其一(如 A2)即可;将 C2 与 A2 进行合并,得到合并后的全局系统模型 U。

4)建立 U 中各种设备间的关联索引,并纳入到数据 U 中(形成多数据源融合后的熟数据)。

5)上层应用通过标准数据访问接口取得数据 U 并完成拓扑绘制功能。

按照上述方案对 3 份数据分别自适应解析,在对不同文件解析时没有增加任何额外的人工操作,将解析后的设备类型统计列出(如附录 A 表 A2 所示),合并、关联后的熟数据如附录 A 表 A3 所示,与附录 A 表 A1 对比可知,解析、翻译和融合后的数据维持了与实际系统的一致性。

将融合后的数据提供给外部单线图绘制程序使用,得到如图 6 所示的单线图。与附录 A 图 A2 的实际拓扑对比一致,说明了数据的有效性。

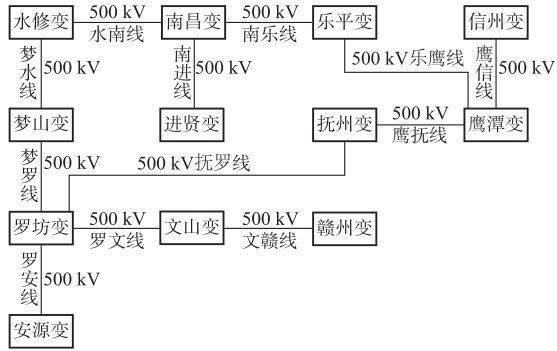


图 6 根据整合后的数据绘制得到单线图
Fig. 6 Single line diagram based on integrated data

以上测试说明,SMARTCIM 平台成功地实现了从原始文件到应用程序的数据接入、融合和输出功能。

5 结语

本文在分析 CIM 数据互操作性的层次关系基础上,给出了兼容多种描述语言、不同 CIM 版本差

异的解析和翻译方法,为电力应用集成提供数据支持。进而设计了一套作为数据源与应用之间解耦和缓冲的中间件平台——SMARTCIM 平台,为应用集成的“即插即用”提供了统一的数据基础。该平台的理念在江西超高压局集控中心的综合数据平台建设中得到实现,获得了很好的效果。

附录见本刊网络版(<http://aeps.sgepri.sgcc.com.cn/aeps/ch/index.aspx>)。

参考文献

- [1] 张慎明,刘国定. IEC 61970 标准系列简介[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(14): 1-6.
ZHANG Shenming, LIU Guoding. Introduction of IEC 61970 [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(14): 1-6.
- [2] 邢佳磊,杨洪耕. 一种面向应用系统的 CIM 数据处理方法[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(18): 46-50.
XING Jialei, YANG Honggeng. A novel CIM data processing method for application systems [J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(18): 46-50.
- [3] 罗四夕. CIM/CIS 标准在电力企业信息化领域中的应用[J]. 电力信息化, 2005, 3(10): 19-21.
- [4] 孙宏斌,吴文传,张伯明,等. IEC 61970 标准的扩展在调度控制中心集成化中的应用[J]. 电网技术, 2005, 29(16): 21-25.
SUN Hongbin, WU Wenchuan, ZHANG Bomeng, et al. Application of extension of IEC 61970 standard in control center integration [J]. Power System Technology, 2005, 29(16): 21-25.
- [5] 辛耀中,陶洪铸,李毅松,等. 电力系统数据模型描述语言 E[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(10): 48-51.
XIN Yaozhong, TAO Hongzhu, LI Yisong, et al. E language for electric power system model description [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(10): 48-51.
- [6] 张慎明,卜凡强,姚建国,等. 遵循 IEC 61970 标准的实时数据库管理系统[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(24): 26-29.
ZHANG Shenming, BU Fanqiang, YAO Jianguo, et al. Real-time database management system (RDMS) that conforms to

- IEC 61970 standard [J]. Automation of Power Systems, 2002, 26(14): 26-29.
- [7] 薛艳芳,吴健. 基于 CIM 的内存实时数据库的设计[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(14): 3508-3510.
XUE Yanfang, WU Jian. Design of memory real-time database based on CIM [J]. Computer Engineering and Design, 2007, 28(14): 3508-3510.
- [8] 鲁尊强,王会诚,张志伟,等. 基于 IEC61970 的开放式调度自动化集成平台[J]. 电网技术, 2006, 30(增刊 1): 89-92.
LU Zunqiang, WANG Huicheng, ZHANG Zhiwei, et al. Open dispatching automation system integration platform based on IEC 61970 [J]. Power System Technology, 2006, 30(Supplement 1): 89-92.
- [9] 宋鑫,曹阳,黄海峰,等. 基于电力系统规则的 CIM-XML 模型校验[J]. 电力信息化, 2006, 4(12): 35-37.
- [10] GERACI A. IEEE standard computer dictionary: a compilation of IEEE standard computer glossaries [M]. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 1991.
- [11] 邓显达,何光宇,陈颖,等. 上海电网基于 Java 反射机制的 CIM 导入[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(18): 21-25.
DENG Xianda, HE Guangyu, CHEN Ying, et al. CIM lead-in based on Java reflection mechanism in AEMS of Shanghai power grid [J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(18): 21-25.
- [12] 王彬,何光宇,董树锋,等. 基于 CIM 的全图形自生成及三维可视化[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(4): 55-58.
WANG Bin, HE Guangyu, DONG Shufeng, et al. Automation generation of diagrams for power system and three-dimensional visualization based on CIM [J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(4): 55-58.

白日昶(1952—),男,高级工程师,副总工程师,主要研究方向:电力系统自动化、电力通信系统。

李颖(1986—),男,通信作者,博士研究生,主要研究方向:电力系统分析与控制。E-mail: ly010866@163.com

帅玲玲(1983—),女,硕士研究生,主要研究方向:电力系统自动化。

Design of a Power System Information Platform Based on CIM

BAI Richang¹, LI Ying², SHUAI Lingling², CHEN Ying²

(1. Jiangxi Electric Power Company Extra-high Voltage Sub-company, Nanchang 330006, China;

2. State Key Lab of Power Systems, Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: As the main obstacle to application integration is inadequate interoperability of itself, both the upgrade of common information model (CIM) version and different descriptive languages will result in the loss of interoperability. The interoperability levels of CIM data are analyzed, and based on metadata interoperability, an adaptive decoding and translation method applicable to any model description schema or text descriptive language is proposed. Furthermore, a SMARTCIM platform that can provide unified data I/O interface for multi-data sources and multi-application systems is designed, which is used as a decoupling and buffering platform between data and applications. The practicability and efficiency of the SMARTCIM are proved in the project of the integrated data platform in the Central Control Center of Jiangxi Extra-High Voltage Sub-company.

Key words: common information model (CIM); metadata; interoperability; model description schema; adaptive decoding; user-defined translation

附录 A

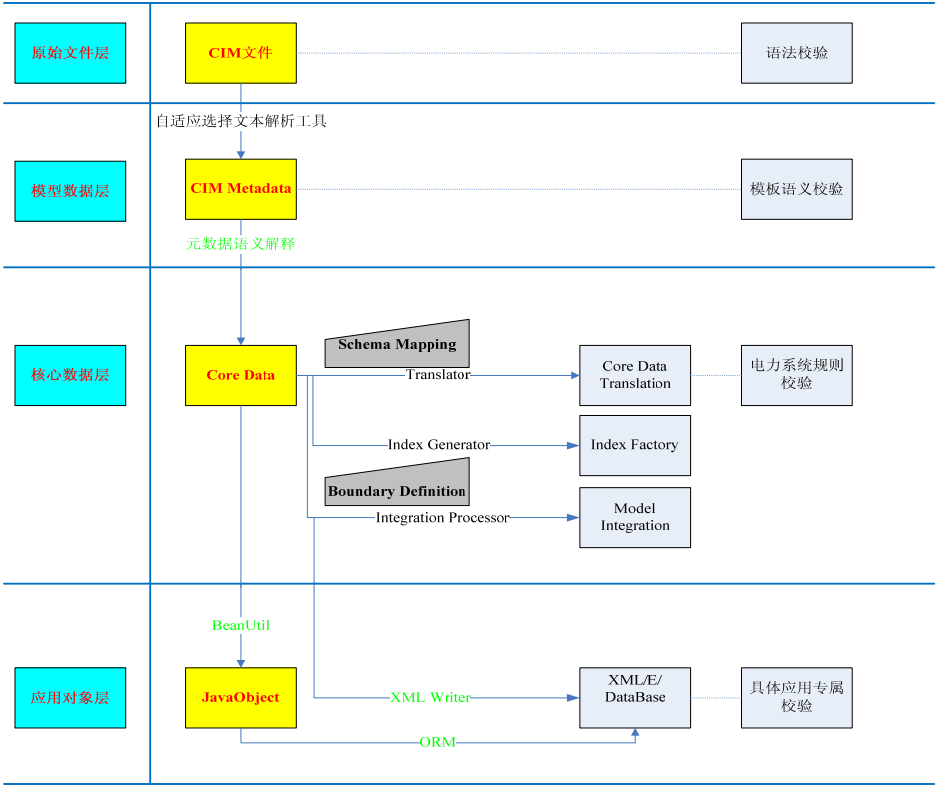


图 A1 SMARTCIM 平台总体框架
Fig.A1 General frame of SMARTCIM platform

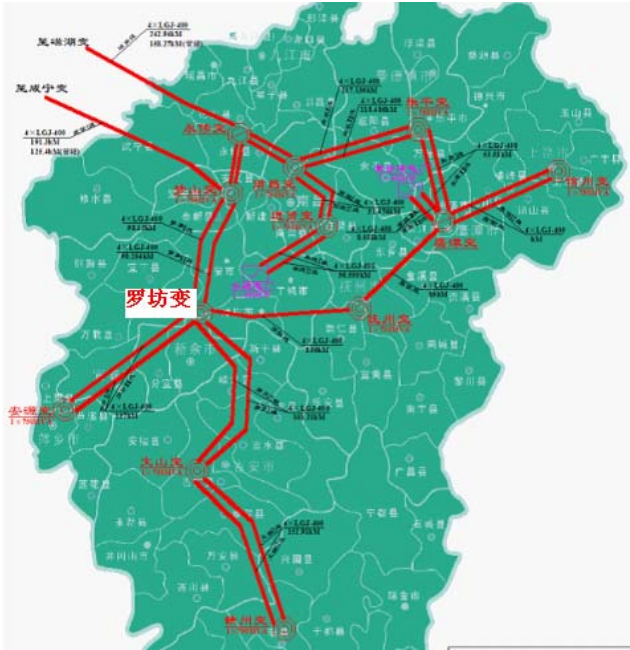


图 A2 江西 500 kV 主网架示意图
Fig.A2 500 kV main structure of Jiangxi power grid

表 A1 江西 500 kV 主干网架信息统计表
Tab.A1 Statistic information of 500 kV power grid network

设备类型	数目统计
区域	1
变电站	12
电压等级	12
节点	12
线路	12

表 A2 三份数据解析结果信息统计
Tab.A2 Statistic information of decoded data

数据 A		数据 B		数据 C	
SubControlArea	1	Company	1	SubControlArea	1
BaseVoltage	1	SubControlArea	1	BaseVoltage	1
Substation	9	BasePower	1	Substation	4
VoltageLevel	9	BaseVoltage	1	VoltageLevel	4
ConnectivityNode	9	PSRType	2	ConnectivityNode	4
ACLLineSegment	9	Substation	9	ACLLineSegment	3
Terminal	18	Company	1	Terminal	6
		VoltageLevel	9		
		ConnectivityNode	9		
		Line	9		
		ACLLineSegment	9		
		Terminal	18		

表 A3 融合后数据信息统计
Tab.A3 Statistic information of merged data

CIM data type	Number
SubControlArea	1
BaseVoltage	1
Substation	12
VoltageLevel	12
ConnectivityNode	12
ACLLineSegment	12
Terminal	24