

IEC 61850 配置文件测试的研究

王珍珍, 孙丹

(国网电力科学研究院/南京南瑞集团公司, 江苏 南京 210003)

摘要: 介绍了 IEC 61850 配置文件, 分析了对其测试的必要性, 研究了国内广泛应用的几种测试工具, 总结了这些工具测试的关注点, 并且根据其测试能力提出测试方案。通过工程应用中的探索, 总结出强制性的测试内容。通过分析测试中出现的典型问题, 提出了对于扩展的数据项的测试依据。对于标准中定义不一致的数据属性类型, 明确了使用方法。对测试中有待完善的若干问题进行了探讨, 说明了目前配置文件测试的局限性, 研究了测试发展的方向。

关键词: IEC 61850; 互操作性; 一致性测试; 配置文件; 变电站配置语言

Research on testing of IEC 61850 configuration files

WANG Zhen-zhen, SUN Dan

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing NARI Group Corporation, Nanjing 210003, China)

Abstract: The IEC 61850 configuration files are introduced, the importance of its test is analyzed, some testing tools widely used nowadays are studied and the checking points of these tools are summarized. Then according to the test ability of all these tools, proper testing schemes are put forward. Besides, through the study on the engineering application, mandatory contents for testing are concluded. After the analysis of some typical problems which occur in the testing process, the standard of testing the extended data and the correct use of some data attributes types which have a inconsistent definition in the standards are proposed. At the end of this paper, the aspects of testing needed to be improved are listed. The limitations of the testing and the direction of its development are discussed as well.

Key words: IEC 61850; interoperability; conformance testing; configuration files; substation configuration language

中图分类号: TM73 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2011)06-0095-04

0 引言

IEC 61850 是目前数字化变电站自动化系统的核心技术之一^[1], 而标准的一致性测试是确保不同厂家产品实现互操作的关键^[2]。一致性测试的工作量主要体现在对于 IEC 61850-6 部分配置文件的测试以及对于 IEC 61850 7-2、8-1、9-1、9-2 部分相关服务的一致性测试。其中, 配置文件的测试工作不仅在单装置的一致性测试中需要严格把关, 在系统级测试中更是各项互操作试验的基础。

协议的一致性测试是电力自动化产品投入使用前的必经阶段^[3]。文献[4]对 IEC 61850 的一致性测试进行了系统的研究, 阐述了测试的程序、内容和结构及其重要性。文章中提到了配置文件的测试项, 但是并未展开深入研究, 且针对此问题鲜有文章发表。本文主要就配置文件的测试内容及方案等方面加以讨论。

1 IEC 61850 配置文件及其测试简介

采用 IEC 61850 标准协议的系统及其智能电子设备 IED (Intelligent Electronic Device) 的优点之一就是可以实现灵活的配置。标准中引入了变电站配置语言 SCL (Substation Configuration Language) 的概念。SCL 是一种变电站专用语言, 用来描述通信相关的 IED 配置和参数、通信系统结构、开关间隔结构及它们之间的关系。SCL 的提出使系统设备的自描述、设备的在线配置、设备的即插即用以及信息在不同设备间的共享得以实现^[5], 因此对 SCL 的研究对实现变电站的互操作性、通用性和开放性都有积极和重要的意义。

IEC 61850 中, 用 SCL 编写的配置文件有四种^[6], 根据描述的内容和用途的不同进行分类, 并且通过扩展名加以区分, 如图 1。其中, SSD 文件 (系统规范描述文件 System Specification

Description) 主要描述变电站的单线图、电压等级、一次设备等信息, 文件包括变电站描述以及数据类型模板等。ICD 文件 (IED 能力描述文件 IED Capability Description) 与 IED 一一对应, 描述 IED 装置的能力, 使用模板定义逻辑节点、数据和服务。SCD 文件 (变电站配置描述文件 Substation Configuration Description) 由系统配置从 SSD 文件和 ICD 文件里生成, 描述了完整的变电站、IED 以及通信系统。CID 文件 (IED 配置描述文件 Configured IED Description) 跟 ICD 一样与 IED 一一对应, 是最终的配置文件。

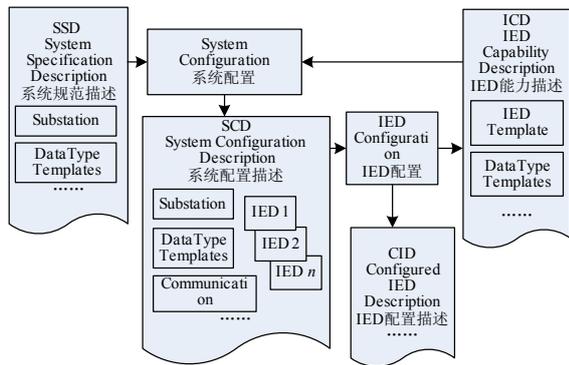


图 1 配置文件之间的关系

Fig.1 Relationship among configuration files

配置文件是构建数据库的依据, 变电站工程应用的重点及难点所在就是如何保证配置文件的正确性, 这也是本文讨论的主要内容。图 1 中四种类型的配置文件在工程和测试中均有意义, 其中 SSD 和 CID 文件都是可选的。在系统级测试中, SCD 文件是工程配置和测试中最重要文件。而在单装置的一致性测试中根本没有 SCD 的概念, 测试主要把关的是 ICD 文件。所以配置文件的测试主要针对 SCD 和 ICD 文件。

一致性测试分为静态测试和动态测试两部分^[7]。静态测试需提交被测设备的相关文档 (ICD 文件、协议实现一致性陈述等), 依此进行静态性能检查。本文所指的配置文件的测试就是指静态测试中的一部分, 内容包括按照标准的句法 (IEC 61850-6) 和按照设备相关的对象模型 (IEC 61850-7-4、IEC 61850-7-3) 进行设备的配置文件测试两方面。

2 测试工具及其应用研究

2.1 常用测试工具简介

配置文件采用 XML (可扩展标记语言 Extensible Markup Language) 作为信息交换格式,

以一种开放的自我描述的方式定义了数据结构, 体现数据之间的层次关系。

Altova XMLSpy 是一个工业标准的 XML 开发环境, 为 XML Schema、XML 文件的创建和编辑提供了高效灵活的环境。它还支持多种文档视图, 便于对工程中 XML 文档进行管理。

IEC 61850 SCL-Validator 是由 UCA International Usersgroup 和 Siemens 提供技术支持, 一种基于网页的 SCL 有效性的免费测试工具。主要验证配置文件和 IEC 61850-6 中 Schema 的一致性, 并且有针对性地测试 SCD 和 ICD 文件。

IED Scout 是 Omicron 开发的针对 IEC 61850 设备的测试工具, 与 KEMA 相关软件的测试重点不同。它可以通过服务获取 IED 的数据模型, 验证其正确性, 并且自动生成配置文件。就配置文件的测试来说, 具有 Checking Model 的功能主要是为了方便 IED 的开发, 模型测试根据 IEC 61850-7 中的定义进行模型比对, 不考虑 IEC 61850-8-1 和 IEC 61850-6 中的互操作性。

荷兰电力试验所 KEMA 是一家在全球的测试和认证领域居于前沿的权威机构, 也是第一个被 UCA Users Group 授权可以进行 IEC 61850 一致性测试并且颁发 UCA 认证证书的独立测试机构。KEMA 使用自主开发的一套先进的测试系统结合协议分析软件对设备进行一致性测试。其中 UniCA SCL Checker 是专门针对配置文件的测试工具, 是较为权威和全面的测试软件。

2.2 测试方案的研究

Altova XMLSpy 具有良构性检查和内置验证器, 在切换视图和文件时, XMLSpy 会自动对 XML 文档进行良构性检查。如果关联了 schema (DTD 或 XML Schema) 的 XML 文件, XMLSpy 还会对它进行验证。这样就保证了所描述的文档在语法上的正确性以及内容上的有效性。但是大多数厂家对 Altova XMLSpy 的应用还停留在编辑和良构性的检查, 并没有关联 schema, 默认配置的 schema 路径为 http://www.iec.ch/61850/2003/SCL_SCL.xsd。 <http://www.iec.ch/61850/2003/SCL> 是为 IEC 61850-6 的附录 A 中的 XML schema 保留的命名空间, 如果直接进行验证, 则会显示无法从目标命名空间获取 schema 文件的错误。所以必须手动关联 schema 文件才能进行有效的验证。Altova XMLSpy 主要针对配置文件语法层面的测试。一些对配置文件仅需要进行简单的编辑管理和语法测试的厂家, 大多不会购买专业的测试软件, Altova XMLSpy 这款免费的软件已经能够基本满足需求。本文测试的配置文件

也都是使用 Altova XMLSpy 2009 Enterprise 编辑并且进行基本的语法检测的。

IEC 61850 SCL-Validator 的测试点与 Altova XMLSpy 有很大一部分重合, 虽然不需要手动关联 Schema 文件, 但是必须通过网络上传配置文件进行测试, 效率较低。因此它可以成为研发人员初期开发时测试少量配置文件的工具。

IED Scout 的测试重点放在工程应用方面, 对配置文件的测试没有深入开发, 但是根据 IEC 61850-7 的模型比对是对 Altova XMLSpy 和 IEC 61850 SCL-Validator 很好的补充, 可以结合使用。

SCL Checker 作为专业的测试软件测试点非常全面, 且测试内容也更为严谨。除了包括有效性测试等静态测试, 还能结合动态测试中通过服务获取的服务模型进行比对。有效性测试根据 IEC 61850-6 部分对配置文件进行检测。内部测试检测文件是否有自相矛盾的配置, 如数据集中元素的个数是否小于等于 maxAttributes 配置的值等。引用测试根据 IEC 61850-7-4 和 IEC 61850-7-3 检测配置文件中数据类型模板部分的引用是否与标准一致, 如强制的数据对象和属性是否存在等。IED 模型比对测试检测 ICD、SCD 和 CID 文件与 IED 中模型是否一致, 如数据对象及其类型和数据集元素是否一致等。因为拥有强大的技术支持和第三方公正的立场, SCL Checker 是大多数国内独立权威的测试机构进行验收性测试时, 测试配置文件的主要工具。

3 工程应用分析

3.1 测试内容的总结

随着测试软件的不断升级以及 IEC 61850 标准的不断修订, 测试点也在不断地发生变化。但是测试细节的调整不会影响测试的方向, 所以下面根据第 2 节中介绍的配置文件的测试工具及其能力, 总结了工程应用中强制性的测试内容。

1) 文件良构性, 即配置文件作为一种 XML 文档, 包含一个或多个元素, 各个元素都应该有正确的嵌套, 并且正确地使用属性, 符合 XML 的基本语法规则^[8]。测试内容包括以下几个方面: XML 文档必须以一个 XML 声明开始; 每一个起始标签和结束标签必须成对出现, 且对大小写敏感; 各元素间必须正确地嵌套, 即不能有单个起始或结束标签出现在另一个标签对中。

2) 文件有效性, 即为了使配置文件能明确规范地描述变电站模型, 必须规定可使用的标签、标签之间的层次关系、在 SCL 对象中标签出现的顺序等。而这些都是 Schema 的规定内容, 即要求配

置文件必须符合 IEC 61850-6 部分 Schema 的各种规则^[9]。测试内容包括以下几个方面: 配置文件的结构和文件中包含的元素及其属性出现的次数、先后顺序必须符合 Schema 的规定; 数据对象和数据属性的命名和类型的定义等必须与标准中一致。

3) 信息完整性, 即配置文件中所有引用的对象必须有定义, 测试内容包括以下几个方面: 数据集中引用的数据所在的逻辑节点必须定义; 引用的逻辑节点和数据类型必须在 DataTypeTemplate 中有定义。

4) 信息一致性, 即配置文件中模型描述必须完全符合 IEC 61850-7-4 和 IEC 61850-7-3 的数据模型规定, 这也是 IEC 61850-10 中规定的一致性检测的内容。测试内容包括以下几个方面: 逻辑节点中的强制数据项(数据项包括数据对象和数据属性)、条件可选数据项和可选数据项的配置和顺序必须与标准中一致; 数据项的类型及其表示方法必须与标准中一致; 数据项和枚举类型及其值的扩充和使用必须与标准中一致。

5) 配置一致性, 即一些特定配置参数必须与实际信息保持一致。测试内容包括以下几个方面: 元素 ConnectedAP 中的数据属性 apName 和 iedName 必须引用一个实际存在的对象; 元素 confdataset 中的数据属性 maxAttributes 的值必须大于等于数据集中实际配置的属性个数; 元素 confreportcontrol 中的数据属性 max 的值必须大于等于实际配置的控制块个数。

6) 模型一致性, 即配置文件中的模型必须和通过服务读取的 IED 的数据模型一致。测试内容包括以下几个方面: 数据对象的配置和类型必须一致; 数据集元素的配置必须一致; 配置文件中数据的初始值必须与 IED 重启后读取的值一致; 报告控制块和 GOOSE 控制块的顺序必须一致。

3.2 典型问题的探讨

实际测试过程中会出现很多具体的问题, 下面仅列出具有典型意义的几个问题加以探讨。

1) 对于扩展的数据项(包括数据对象和数据属性)

数据项的命名可能是标准中已有的也可能是私有扩展的, 现有的测试软件无法保证扩展的数据项一定符合标准, 只能检测扩展的数据对象是否继承了 dataNs 的属性, 从而给出相应的提示。使用标准中的命名不需要继承 dataNs 的属性, 而使用私有的命名则必须继承, 否则给出错误性提示。如果符合要求则给出陈述性提示, 然后由测试人员人工判断扩展是否符合标准。

人工判断的内容主要有以下几个方面:

- a. 扩展的数据项必须在配置文件中找到定义;
- b. 一般情况下, 扩展的数据项必须放在逻辑节点定义的最后。唯一的例外就是根据 IEC 61850-8-1 附录 E 中对于控制服务映射的公用数据类的扩展, 必须将 SBOw 等扩展的数据属性放在数据对象定义的最前面。

在国内, 各厂家经过多次工程实践中的交流和探讨, 已经在一定程度上达成一致, 对扩展数据项的顺序要求已经没有标准中规定的那么严格。在国际权威电力认证机构 KEMA 进行的 IEC 61850 一致性认证中, 被测产品必须严格遵守标准对扩展数据项顺序的规定。而在国内的实际工程项目中, 这个问题上已经不会对互操作性带来影响。

2) 对于数据属性的类型

在 IEC 61850-6、IEC 61850-7-4 和一些 tissue 中均有关于数据属性类型的定义, 若三者规定一致, 则测试软件可以明确地判断数据属性类型的定义是否正确, 否则测试软件给出建议性提示, 因为第六部分的执行力高于后面的标准, 建议按照 IEC 61850-6 配置。

工程应用中也可能因为厂家需要扩展成要求更高的类型, 所以对于这个方面的测试要根据厂家的情况进行具体分析, 暂时没有统一的标准。

3.3 测试发展方向的研究

目前, 配置文件的测试工具已经得到逐步完善, 但是仍不可避免地存在一些盲区, 如数据有效性。即一些数据的值应该在取值范围内, 保证参数的有效性。虽然在 `DataTypeTemplate` 中可以声明取值范围, 但是使用 `Schema` 无法验证实例化的数据属性的值是否有效。例如变电站运行方面的, 逻辑节点中某些数据对象的数据值不能超越变电站的安全运行阈值, 现有的配置文件的测试工具没有提供有效手段进行约束, 测试内容受到测试工具能力的限制, 所以还有需要完善的空间。现阶段, 由于各个 IED 及工程情况不尽相同, 技术上实现比较复杂, 所以只能由各个厂家通过开发 IED 配置器的功能来实现数据有效性的检测。

对于配置文件能否完全描述 IED 的数据模型和通信模型这一问题^[10]。按照一般的理解, 配置文件提供了 IED 的全部信息, 包括数据模型和通信模型, 但是实际上配置文件描述的范围是有限的, 只能够完全描述服务器模型、逻辑装置模型、逻辑节点模型、数据模型以及数据集模型, 对于各种控制块模型(报告控制块等)只能提供部分描述。例如报告控制块实例的配置, 配置文件中只有一个参数,

具体使用多个实例是在程序中实现的。要实现控制块模型的互操作, 就需要 IEC 61850 客户端和服务器端对控制块模型的理解达成一致, 这就需要进行服务方面的测试进行验证, 所以动态测试也是非常重要的。测试方案的适当结合可以使配置文件的测试更为有效。这方面的研究需要在测试过程中积累经验总结而成, 无法一蹴而就。

4 结语

本文对配置文件的测试工具及其应用进行了初步的研究。结合工程应用实践, 详细总结了配置文件的测试内容, 并且指出了测试中存在的典型问题及测试的不足之处。对于配置文件的应用还有很多方面的工作要做, 相信本文关于配置文件测试方面的一些理解对今后的进一步研究起到了积极的推动作用。

参考文献

- [1] 高翔. 数字化变电站应用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
GAO Xiang. Application of digital substation[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2008.
- [2] 吴在军, 胡敏强. 基于IEC 61850标准的变电站自动化系统研究[J]. 电网技术, 2003, 27(10): 61-65.
WU Zai-jun, HU Min-qiang. Research on a substation automation system based on IEC 61850[J]. Power System Technology, 2003, 27(10): 61-65.
- [3] 何卫, 徐劲松. IEC60870-5-6 一致性测试规则探讨[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(15): 78-79.
HE Wei, XU Jin-song. Discussion on IEC 60870-5-6 conformance testing[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(15): 78-79.
- [4] 崔厚坤, 汤效军, 梁志成, 等. IEC 61850 一致性测试研究[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(8): 80-88.
CUI Hou-kun, TANG Xiao-jun, LIANG Zhi-cheng, et al. Study on IEC 61850 conformance testing[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(8): 80-88.
- [5] 樊陈, 陈小川, 马彦宇, 等. 基于IEC 61850的变电站配置研究[J]. 继电器, 2007, 35(8): 41-44.
FAN Chen, CHEN Xiao-chuan, MA Yan-yu, et al. Research of configuration about substation based on IEC61850[J]. Relay, 2007, 35(8): 41-44.
- [6] 吴永超, 王增平, 等. 变电站配置语言的应用及解析[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(15): 38-41.
WU Yong-chao, WANG Zeng-ping, et al. Application and parsing of substation configuration language[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(15): 38-41.
- [7] 陈炯聪, 高新华, 潘璠. IEC61850互操作测试分析[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(15): 121-123.

(下转第 123 页 continued on page 123)

- [27] Moursi M E, Joos G, Abbey C. A secondary voltage control strategy for transmission level interconnection of wind generation[J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2008, 23 (3): 1178-1190.
- [28] Tapia G, Tapia A, Ostolaza J X. Proportional-integral regulator-based approach to wind farm reactive power management for secondary voltage control[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 2007, 22 (2): 488-498.
- [29] Zhao J J, Li X, Hao J T, et al. Wind farm reactive power output optimization for loss reduction and voltage profile improvement[C]. //IEEE 6th International Conference on Power Electronics and Motion Control, Wuhan, China, May 17-20, 2009: 1009-1103.
- [30] Ko H-S, Bruey S, Jatskevich J, et al. A PI control of DFIG-based wind farm for voltage regulation at remote location[C]. //IEEE Power Engineering Society General Meeting, Tampa, FL, June 24-28, 2007: 1-6.
- [31] 朱雪凌, 张洋, 高昆, 等. 风电场无功补偿问题的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(16): 68-76.
ZHU Xue-ling, ZHANG Yang, GAO Kun, et al. Research on the compensation of reactive power for wind farms[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(16): 68-76.
- [32] 朱春明, 刘明波, 裴爱华, 等. 变电站电压无功控制范围的整定计算方法[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (8): 70-74.
ZHU Chun-ming, LIU Ming-bo, PEI Ai-hua, et al. Setting method for control range of voltage and reactive power in substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (8): 70-74.
- [33] 阎振坤, 厉吉文, 李晓华. 基于模糊边界和双九区图的变电站电压无功控制策略研究[J]. 继电器, 2003, 33(10):36-40
YAN Zhen-kun, LI Ji-wen, LI Xiao-hua. Study of voltage and reactive power integrative control strategy based on fuzzy boundary and double nine-area control method [J]. Relay, 2003, 33(10): 36-40.
- [34] 乔颖, 鲁宗相, 徐飞. 双馈风场自动电压协调控制策略的研究[J]. 电力系统自动化, 已接收.
QIAO Ying, LU Zong-xiang, XU Fei. Study on coordinate automatic voltage control strategy of double-fed induction generator wind farms[J]. Automation of Electric Power Systems, Accepted.
- [35] 国际能源署风电工作组. 大规模风电并网问题研究报告[R]. 中国电机工程学报, 译. 北京, 2009: 10-20.
International Energy Agency Wind Power Working Group. Reports on large-scale grid-integrated wind power[R]. Chinese Society of Electrical Engineering, Trans. Beijing, 2009: 10-20.
- [36] 席裕庚. 预测控制[M]. 北京: 国防工业出版社, 1993: 5-28.
XI Yu-geng. Predictive control[M]. Beijing: National Defense & Industry Press, 1993: 5-28.
- [37] 诸静. 智能预测控制及其应用[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2002: 29-44.
ZHU Jing. Intelligent predictive control and its application[M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2001: 29-44.

收稿日期: 2010-04-06; 修回日期: 2010-06-07

作者简介:

乔颖(1981-), 女, 工学博士, 主要从事新能源、分布式发电、电力系统安全与控制研究工作; E-mail: qiao-y02@mails.tsinghua.edu.cn

鲁宗相(1974-), 男, 副教授, 工学博士, 研究方向是电力系统可靠性、新能源及分布式发电、风力发电及微电网;

徐飞(1973-), 男, 副教授, 工学硕士, 研究方向为风力发电与分布式发电。

(上接第 98 页 continued from page 98)

- CHEN Jiong-cong, GAO Xin-hua, PAN Fan. Analysis of interoperability test of IEC61850[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(15): 121-123.
- [8] 张仕, 毛宇光. XML 语法检查的实现[J]. 计算机工程与设计, 2002, 23 (11): 86-90.
ZHANG Shi, MAO Yu-guang. Implementation of XML parser[J]. Computer Engineering and Design, 2002, 23 (11): 86-90.
- [9] 王丽华, 马君华, 王传启, 等. 变电站配置描述语言 SCL 的应用研究[J]. 电网技术, 2006, 30(增刊): 93-96.
WANG Li-hua, MA Jun-hua, WANG Chuan-qi, et al. Research on application of substation configuration description language[J]. Power System Technology, 2006, 30 (S): 93-96.
- [10] 张燕涛, 黄伦, 王庆平, 等. IEC 61850 标准一致性测

试的方案和现场应用[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (4): 98-102.

ZHANG Yan-tao, HUANG Lun, WANG Qing-ping, et al. Scheme and application of IEC 61850 standard conformance test[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (4): 98-102.

收稿日期: 2010-03-26; 修回日期: 2010-05-27

作者简介:

王珍珍(1986-), 女, 通信作者, 本科, 助理工程师, 主要研究方向为变电站自动化设备规约测试的研究; E-mail: wangzhenzhen@sgepri.sgcc.com.cn

孙丹(1978-), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为变电站自动化设备的研发, 数字化变电站的实现工作。