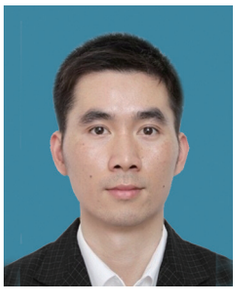
# 基于FLUKE 6100A标准源的PQDIF文件一致性测试系统

PQDIF文件是电能质量监测系统中常用的标准化数据交换格式，该文件一致性测试是电能质量监测装置入网检测的必检项目之一。通过总结PQDIF文件一致性测试的内容和方法，分析了目前PQDIF文件一致性测试过程中存在的困难，设计了一种电能质量监测装置PQDIF文件一致性自动测试系统，并详细介绍了PQDIF文件一致性自动测试系统的组成架构、工作原理和工作流程以及电能质量标准源控制、数据正确性检测方法等关键技术。实际应用表明该系统不但可实现PQDIF语法规范性检测，还可实现数据完整性和数据正确性的自动检测，具有良好应用效果。

陈卫东 郭敏 金庆忍 楚红波 刘路/广西电网有限责任公司电力科学研究院



陈卫东/工程师

*关键词/Keywords*

PQDIF文件·
电能质量·
一致性测试·
XML·

## 0 引言

从技术先进性来看，IEC 61850是电能质量监测装置通信规约的必然发展趋势[1,2]。但由于标准化工作的滞后，以及不同厂家理解的差异，目前IEC 61850在电能质量监测装置中的应用仍未普及，再加上存量的电能质量监测装置，使得私有通信规约解析和兼容问题成为电能质量监测装置入网检测、电能质量监测系统建设等业务流程中的一大难题[1]。

在这种情况下，电能质量数据交换格式PQDIF（Power Quality Data Interchange Format）作为IEEE所定义的一种通用电能质量数据交换格式[3]，在我国电能质量监测领域仍有广泛的应用[4-8]，尤其是应用于不同厂家装置和系统之间的电能质量数据交换。目前采用PQDIF作为数据交换格式的国内省级电网公司有广西、广东、贵州、云南、上海、山西和福建等十来家。在采用PQDIF作为数据交换标准的地区，针对PQDIF文件的一致性检测应该是电能质量监测装置入网检测的必要检测项目。但PQDIF与IEC 61850一样，也是基于可扩展标记语言XML（eXtensible Markup Language）语言的一种可自由实现、灵活的标准，IEEE 1159.3允许PQDIF文件使用自定义标签以及不同的文件结构；而且电能质量参数众多，一个PQDIF文件中可能包含数百个参数的数据记录。这些情况导致PQDIF文件的一致性检测工作，尤其是针对PQDIF文件数据完整性和数据正确性的检测实际上难以开展。以PQDIF文件数据完整性的检查为例，目前基本上依靠人工，以定性形式进行，工作效率低下，检测质量无法保证，而PQDIF文件数据正确性检查目前根本无法进行。

针对上述情况，本文提出了一种电能质量监测装置PQDIF文件一致性检测系统。该系统基于对FLUKE 6100A系列电能质量标准源的输出控制，除可实现PQDIF文件语法标准性的检查之外，还可以实现PQDIF文件数据完整性、数据正确性的快速和自动检查，从而提高电能质量监测装置入网检测工作的效率和质量。

南方电网公司科技项目：基于标准源的全自动设备校准系统研制与应用（K-GX2014-023）



(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

## 1 PQDIF文件及其一致性测试内容和方法

### 1.1 PQDIF文件简介[3]

PQDIF是IEEEStd 1159.3TM标准提出的一种以解决数据交换兼容性问题为目标的电能质量通用数据格式，可利用高度压缩的存储方式减少存储空间及传输时间。符合电能质量数据交换格式的数据文件，简称PQDIF文件。

为实现电能质量数据的灵活交换，PQDIF文件被设计成一个信息完整自洽的数据系统。PQDIF文件中既包含了电能质量参数的数据及其数据类型、量纲、缩放倍数和越限阈值等信息，又包含了电能质量监测点、监测装置和测量时间等有关电能质量测量的信息，还包含了一种“记录-通道-序列-数据”四层数据结构。为此，PQDIF文件采用了一种灵巧而复杂的文件结构。具体而言，PQDIF文件结构包括物理结构和逻辑结构，其中逻辑结构由记录及记录间的逻辑关系构成，用于标定文件中元素的层次关系；物理结构由一系列相互独立的记录构成平面结构，每个记录由记录头和记录体构成，描述PQDIF文件的存储方式，并根据逻辑结构进行数据存储。

### 1.2 PQDIF文件一致性测试内容和方法

所谓PQDIF文件一致性检测，主要通过检查电能质量监测装置生成的PQDIF文件语法标准性、数据完整性和数据正确性等是否满足XML、IEEE1159.3以及本地区规范要求，以便验证电能质量监测装置是否可接入电能质量主站系统正常运行。

PQDIF文件语法标准性测试主要测试受检PQDIF文件的XML语法是否满足XML规范，测试受检PQDIF文件的文件结构、压缩算法是否满足IEEE1159.3的要求。

PQDIF文件数据完整性测试主要测试受检PQDIF文件中电能质量参数相关通道定义、序列定义，以及参数数量、参数名称和参数顺序等是否满足地区规范的要求。

PQDIF文件数据正确性测试主要测试受检PQDIF文件中所存储电能质量参数的统计数据是否在允许误差范围之内。

## 2 PQDIF文件一致性检测系统

### 2.1 系统组成架构

电能质量监测装置PQDIF文件一致性测试系统采用闭环结构，主要由测试主机及专用测试软件、电能质量标准源和电能质量监测装置等组成。测试主机通过GBIP总线与电能质量标准源相连，电能质量标准源与电能质量监测装置通过测试信号线相连接，电能质量监测装置通过RJ-45网线与测试主机连接，构成闭环控制系统，系统组成架构如图1所示。

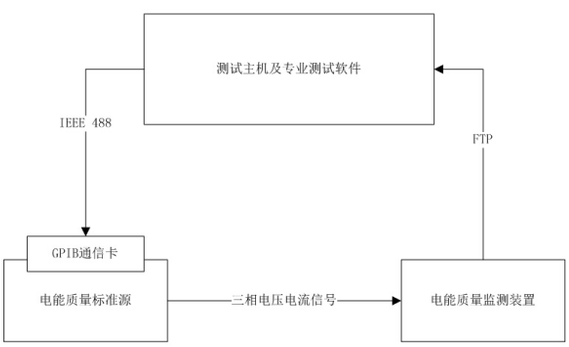



图1 PQDIF文件一致性测试系统组成架构

测试主机使用常用品牌商用电脑，配置Windows NT内核的操作系统，内存不低于2GB，硬盘不低于500GB。

电能质量标准源使用1台FLUKE 6100A主机和2台FLUKE 6100A辅机，用于模拟电力系统三相回路。

电能质量监测装置应满足GB/T 19862《电能质量监测设备通用要求》中所规定的电能质量监测功能要求以及准确度要求，并具备PQDIF文件生成功能和FTP文件传输功能，具备基于SNTP网络对时功能。

专用测试软件部署在测试主机上，主要包括PQDIF文件一致性测试模块、电能质量标准源控制模块、电能质量监测装置通信模块和测试报告模块等。其中：①电能质量标准源控制模块用于实现按照参数设置、对时和基于IEEE 488标准控制电能质量标准源输出电能质量信号，并记录电能质量标准源所输出的原始信号；②电能质量监测装置通信模块用于从电能质量监测装置获取PQDIF文件，并对电能质量监测装置进行校时；



(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

③PQDIF文件一致性测试模块用于测试PQDIF文件语法标准性、数据完整性和数据正确性，同时作为人机界面用于测试参数设置、测试过程控制和测试结果展示等人机交互功能；④测试报告模块用于实现测试报告的查看、编辑和打印等功能。专用测试软件的组成结构如图2所示。

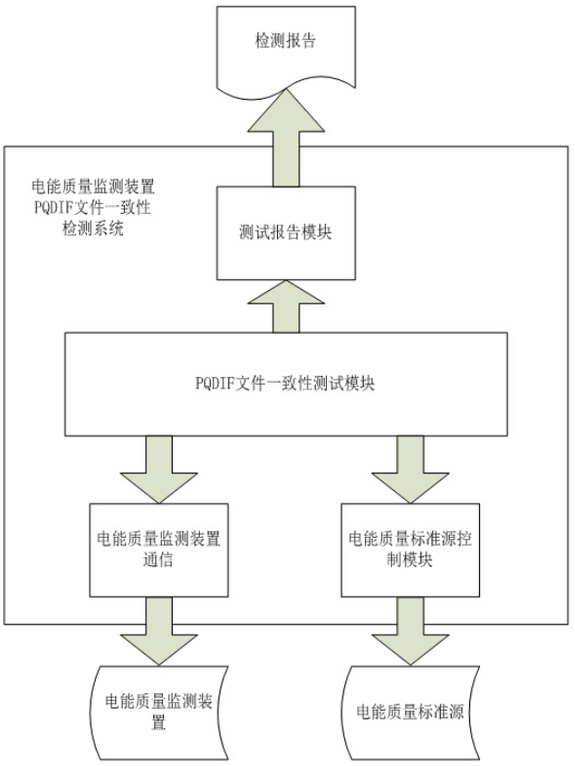



图2　专用测试软件组成结构及工作流程

## 2.2 工作原理和流程

通过对目前PQDIF文件检测中主要问题的调研分析可知，PQDIF文件数据完整性和数据正确性分析无法实现的最主要原因是：送检的PQDIF文件通常由装置厂家提交，测试人员不清楚电能质量参数标准值，因此无法通过对比和误差计算来评价数据完整性和数据正确性。针对上述原因，本文研制的PQDIF文件一致性测试系统研究并实现了电能质量标准源的自动控制输出，并结合自动读取电能质量监测装置内部生成的PQDIF文件、自动开展PQDIF文件一致性测试，实现从PQDIF文件生成、读取、解析和测试等全自动化流程，工作流程如图3所示。

电能质量监测装置PQDIF文件一致性测试的流程主要包括：

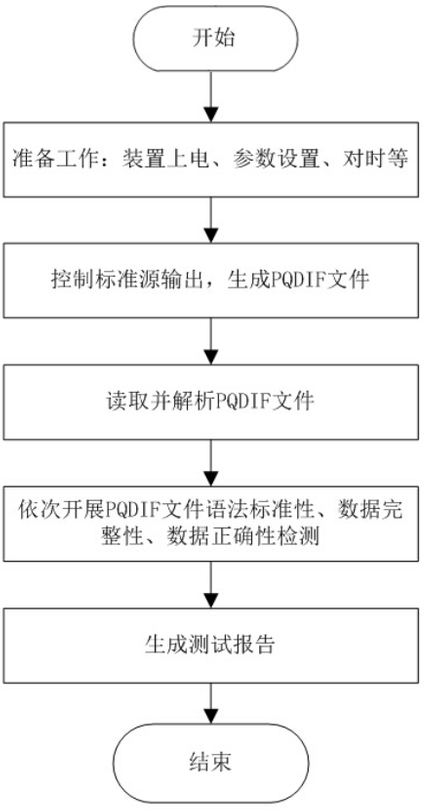



图3　PQDIF文件一致性测试系统工作流程

1）准备工作：对电能质量监测装置上电，设置统计数据归集时间间隔、PQDIF文件的生成间隔等配置参数，并将电能质量监测装置与电能质量标准源进行连接，通过专用测试软件保证电能质量监测装置与电能质量标准源时标一致。

2）启动电能质量标准源：通过专用测试软件自动控制电能质量标准源输出，包含电能质量特征的电压电流信号并维持设定时间，以确保PQDIF文件能生成，记录电能质量标准源输出的电压电流信号原始值。

3）专用测试软件：以FTP文件传输规约从电能质量监测装置内部获取PQDIF文件，并按IEEE 1159.3标准方法对PQDIF文件进行解析。

4）专用测试软件依次执行PQDIF文件语法标准性、数据完整性和数据正确性检查，任何一项测试不合格均不导致测试过程的终止。

5）专用测试软件生成PQDIF文件一致性测试报告，列出所有测试不合格项。

## 2.3 FLUKE 6100A电能质量标准源控制

在DL/T 1368－2014《电能质量标准源校准



(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

规范》中定义电能质量标准源为：一种电压、电流信号发生装置，通过调节输出电压、电流的幅值、频率、相位以及电压调制方式，实现电能质量测试分析设备的校准和检定[10]。电能质量标准源按用途可分为实验室型和便携型，按功能可分为单功能和多功能（含两种及以上功能）。

本文选择FLUKE 6100A系列功率源作为PQDIF文件一致性测试的标准源，主要考虑到：①FLUKE 6100A系列产品是基于IEC 61000－4－30标准研制的、可覆盖电能质量稳态和暂态全指标的多功能电能质量标准源，并且在电网公司有广泛应用；②FLUKE 6100A提供丰富的对外接口函数库，可由任意外部系统调用并直接实现对标准源的控制[11]。

例如，如需控制FLUKE 6100A输出一个50 Hz、115 V交流电压信号，同时叠加10 V、角度为0的2次谐波分量，可通过调用以下一系列接口实现。

```
*RST
// 初始化FLUKE 6100A
OUTP:STAT OFF
// 停止所有通道的输出
UNIT:MHAR:VOLT ABS
// 设置电压的单位为V
SOUR:PHAS1:VOLT:RANG 23,336
// 设置A相电压输出变化范围为23-336V
SOUR:PHAS1:VOLT:MHAR:HARM1 115,0
// 设置A相电压输出基波幅值115V，相角0
SOUR:PHAS1:VOLT:MHAR:HARM2 10,0
// 设置A相2次谐波电压幅值10V，相角0
SOUR:FREQ 50
// 设置输出信号频率为50Hz
SOUR:PHAS1:VOLT:STAT ON
// 控制标准源输出A相电压信号
OUTP:STAT ON
// 控制标准源输出所有相的信号
```

基于对FLUKE 6100A的研究，FLUKE 6100A系列功率源与外部的通信接口采用标准GPIB（General-Purpose Interface Bus，通用接口总线）接口及控制卡，通信协议为标准IEEE－488并行总线接口标准。

### 2.4 XML语法规范性检测

PQDIF文件语法规范性检测主要检测PQDIF文件是否满足XML语法规范。XML是SGML[12]（Standard Generalized Markup Language，标准通用标记语言）的一个子集，最早由W3C于1998年10月推出1.0版[13]，具有可自定义标记、数据语义和显示方式隔离、严格的语法控制并可在WEB上传递等特点，是数据存储、处理和交换领域广泛使用的一种语言。

XML的重要特征之一是把标记定义、内容和显示分开。因此XML主要包括三要素：DTD（Document Type Definition，文档类型定义）或XML Schema（XML大纲）、定义XML显示的样式单XSL、以及可扩展链接语言Xlink。其中DTD/XML Schema定义了XML文件的逻辑结构、元素、元素属性以及元素和元素属性之间的关系。针对XML语法规范性的检测主要是针对DTD/XML Schema的检测，具体检测内容可以分为两步：①检查XML是否是结构良好的；②根据对应的DTD文档，检查XML文档是否是有效的。XML语法规范性检测方法可采用归约法、推导法等[14]，目前相关技术和产品均已经相对成熟，本文不再赘述。

### 2.5 数据正确性检测

数据正确性测试需在保证测试主机、电能质量监测装置和FLUKE 6100A电能质量标准源时标一致的基础上进行，测试方法采用简单的误差对比算法。数据正确性测试主要是针对电能质量统计数据（通常指最大值、最小值和平均值）的测试。以特定的电能质量参数如A相电压为例，数据正确性测试的流程如下。

1）取PQDIF文件中解析的平均值统计数据为测量值。依据电能质量标准源输出时间的长短，该测量值是一个包含1个或多个A相电压平均值的数组。

2）基于电能质量标准源输出的电压电流原始信号，采用IEC 61000－4－30所规定的标准算法，采用与受检电能质量监测装置相同的数据归集间隔计算A相电压的平均值统计数据并作为标准值。所得到的标准值也是一个数组，包含与测量值相同数量的A相电压平均值，且各数据的时标能



(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

一一对应。

3）依次计算测量值与标准值数组内相同时标数据的相对误差，并基于设定的A相电压允许测量误差，判断误差是否超标。电能质量参数的允许测量误差可参照GB/T 19862－2005《电能质量监测设备通用要求》进行设定。在一个PQDIF文件内，只要有一个数据的误差超标，则认为该PQDIF文件的数据正确性测试不合格，并停止后续其余数据和电能质量参数的数据正确性检测。

## 3 系统应用

基于本文所研制的PQDIF文件一致性检测系统，已作为一个独立功能模块在广西电网电能质量监测装置全自动检测系统中实现并投入实际应用。

利用该系统对某型号电能质量在线监测装置进行PQDIF文件数据正确性检测。测试前设置电能质量监测装置PT、CT电压比均为1:1，设置电能质量监测装置每3 min生成一组电能质量指标平均值，设置电能质量监测装置每30 min生成一个PQDIF文件，最后由系统控制FLUKE 6100A标准源自动输出基波100 V、含有率为2%的三相2~25次谐波电压信号30 min。系统自动读取装置内部生成的PQDIF文件并进行解析，以PQDIF文件中解析的各次谐波电压3 min平均值为测量值，取FLUKE 6100A输出值为标准值，计算相对误差，并判断检测结果。整个检测过程仅需要33 min。检测数据和结论见表，由于篇幅限制，本文仅列出了部分参数的检测数据。

从应用情况来看，相对于传统手动检测方法，本文所研制的PQDIF文件一致性检测系统不仅解决了PQDIF文件数据正确性无法检测的问题，而且通过自动化技术极大提高了检测效率，具有非常良好的应用效果。

## 4 结束语

PQDIF文件是目前我国电能质量监测系统中常用的标准化数据交换格式，PQDIF文件一致性测试是电能质量监测装置入网检测的必检项目之一。通过对目前PQDIF文件一致性测试中存在困难的分析，提出了一种电能质量监测装置PQDIF文件一致性自动测试系统。该系统基于对FLUKE 6100A系列电能质量标准源的输出控制，实现从PQDIF文件生成、读取、解析和测试等自动化流程，除可实现PQDIF文件语法标准性测试之外，还可实现PQDIF文件数据完整性和数据正确性的测试，从而提高电能质量监测装置入网检测工作的效率和质量。

表 PQDIF文件一致性检测系统应用效果

| 谐波次数 | 标准值/V | 测量值/V | 允许误差/V | 检测结果 |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 2.000 | 2.031 | ±0.10 | 合格 |
| | | 2.028 | | 合格 |
| | | 2.028 | | 合格 |
| | | 2.044 | | 合格 |
| | | 2.019 | | 合格 |
| | | 2.005 | | 合格 |
| | | 2.017 | | 合格 |
| | | 1.979 | | 合格 |
| | | 2.013 | | 合格 |
| | | 2.041 | | 合格 |
| | | 2.008 | | 合格 |
| | | 2.027 | | 合格 |
| | | 2.025 | | 合格 |
| 9 | 2.000 | 2.046 | ±0.10 | 合格 |
| | | 2.020 | | 合格 |
| | | 2.013 | | 合格 |
| | | 1.969 | | 合格 |
| | | 1.960 | | 合格 |
| | | 1.997 | | 合格 |
| | | 2.014 | | 合格 |
| | | 2.015 | | 合格 |
| | | 2.038 | | 合格 |
| | | 2.044 | | 合格 |
| | | 2.038 | | 合格 |
| | | 2.050 | | 合格 |
| | | 2.030 | | 合格 |
| 15 | 2.000 | 2.000 | ±0.10 | 合格 |
| | | 1.979 | | 合格 |
| | | 1.980 | | 合格 |
| | | 2.005 | | 合格 |
| | | 2.038 | | 合格 |
| | | 2.052 | | 合格 |
| | | 2.042 | | 合格 |

### 参考文献

[1] 李鹏, 李培. 基于CAC的变电站统一通信平台在电能质量监测系统中的应用研究[J]. 电气应用, 2012, 32(22):26-29.

[2] 余晓鹏, 李琼林, 杜习周, 等. 基于IEC61850 的电能质量监测终端的数据需求及模型实现[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(4): 56-60.

[3] IEEE 1159.3 IEEE recommended practice for the



(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

transfer of Power Quality [S].1995.
[4] 张欣欣. 电能质量在线监测系统与PQDIF的实现[D]. 北京：华北电力大学，2008.
[5] 聂晶晶. 电能质量监测系统及PQDIF数据存储格式的研究[D]. 南京：东南大学，2006.
[6] 王云杰. 电能质量监测系统及PQDIF格式应用研究[D]. 南京：东南大学，2009.
[7] 何维国, 谢伟, 张健. 上海电网电能质量监测系统[J]. 华东电力, 2010, 38(4):497-499.
[8] 袁晓东，罗曦，顾伟. 电能质量监测统一平台及PQDIF数据格式研究[J]. 江苏电机工程，2009，28(5):29-32,51.
[9] GB/T 19862－2005电能质量监测设备通用要求[S]. 北京：中国标准出版社，2005.
[10] DL/T 1368－2014电能质量标准源校准规范[S].北京：中国标准出版社，2014.
[11] 王玲，徐柏榆，李玎，等. 电能质量监测装置全自动校准系统设计与应用[J]. 电测与仪表，2014，51(1):95-100.
[12] ISO 8879 Information processing, Text and office systems: Standard Generalized Markup Language (SGML)[S].1986.
[13] Bray T, Paoli J, Sperberg-McQueen C.M.. Extensible markup language (XML) 1.0[S]. http:// www.w3.org/xml/1998/06/xmlspec-report-19980910.htm, 1998.
[14] 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.

作者简介
陈卫东（1983-），男，工程师，主要研究电能质量分析与控制、微电网技术方向。
郭敏（1984—），男，助理工程师，从事电能质量方面的研究。
金庆忍（1988—），男，工程师，从事电能质量及无功电压方面研究。

（收稿日期：2015-11-20）EA
（编辑：朱历）

（上接第833页）

3）高性能化：电力电子技术发展迅速，并且在许多领域都开始大规模应用，但是在控制性能改善方面还需要作大量的研究。

4）高可靠性：电力系统安全问题历来就是一个很值得重视的问题，如果电力电子设备本身就不可靠，那么在实际应用中可能会给电力系统的安全运行带来隐患。

5）无污染化：电力电子设备对电网的污染已经成了公认的问题。目前，由于电力电子设备发展的落后性，很多设备产生的污染，需要别的设备去进行治理，属于被动型，因此主动型设备（自身治理自身）的发展也成为了一个趋势。

6）高效率、高度集成化：由于开关器件的损耗使得设备的效率偏低，不仅造成能源的浪费，同时还使得设备需要很大的散热器以及足够的尺寸去解决热的问题。

7）信息化：和现代微机技术及通信技术结合起来使得设备网络化，真正满足高度自动化的要求。

8）普及化：充分扩展电力电子技术潜在的应用范围，使该技术在电力系统中得以最大程度的应用。

作者简介
冯欢（1970-），女，工程师，从事电力系统电子技术应用工作。
陆正忠（1968-），男，助理工程师，从事配电网电能质量管理工作。

（收稿日期：2015-11-20）EA
（编辑：朱历）



(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net