

DOI: 10.7667/PSPC152150

智能变电站二次系统物理回路建模方法及设计实现

高磊¹, 杨毅¹, 苏麟², 娄悦², 曹卫国³, 李鹏³

(1. 江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103; 2. 中国能源建设集团江苏省电力设计院有限公司, 江苏 南京 211102; 3. 南京五采智电电力科技有限公司, 江苏 南京 211106)

摘要: 智能变电站二次系统逻辑回路遵循 IEC 61850 建模, 而物理回路的设计仍采用图纸表达, 不利于智能变电站信息化技术的发展。借鉴逻辑回路的建模思路, 提出二次系统物理回路的建模方法。设计了基于虚实解耦理念的物理回路模型配置流程; 给出了物理回路模型的语法语义; 实现了基于物理回路模型的完整工程应用解决方案, 包括物理回路配置工具、物理回路可视化工具。关键的是采用虚实对应技术, 实现了物理回路和逻辑回路的关联。填补了二次光缆和网络结构的模型配置空白, 便于设计工具和厂站级系统导入和导出物理回路配置, 扩展了物理回路模型的应用空间。

关键词: 智能变电站; 物理回路建模; 虚实解耦; 虚实对应

A modeling approach and design implementation of secondary system physical circuit for smart substation

GAO Lei¹, YANG Yi¹, SU Lin², LOU Yue², CAO Weiguo³, LI Peng³

(1. Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China; 2. China Energy Engineering Group, Jiangsu Power Design Institute Co., Ltd., Nanjing 211102, China; 3. Nanjing Five-C Smart Power Grid Technology Co., Ltd., Nanjing 211106, China)

Abstract: The logical circuits of smart substation secondary system follow IEC 61850 for modeling, while the design of physical circuits is still expressed with blueprint, which is unfavorable to the development of smart substation information technology. By referring to the modeling idea of logic circuits, a modeling method of the secondary system physical circuits is proposed. A model configuration process of physical circuits based on the concept of logical-physical decoupling is designed. The grammar and semantics of the physical circuit model are given. A complete engineering application solution based on the physical circuit model is realized, including the physical circuits configuration tool and physical circuits visualization tool. The key technology adopts the logical-physical corresponding in order to realize the association between physical circuits and logical circuits. The model configuration blank of secondary optical fiber and network structure is filled. It is convenient to import and export physical circuits configuration for the design tool and substation automation system. The application space of physical circuits model is extended.

Key words: smart substation; physical circuit modeling; logical-physical decoupling; logical-physical corresponding

0 引言

变电站二次系统由二次设备及设备间的二次回路构成。常规站二次回路由设备间的物理电缆接线实现, 物理回路本身就表达了设备间逻辑功能的联系, 只需出具电缆接线图即可; 而智能站设备间通

过数字信号通信, 由变电站配置描述(SCD)文件描述设备间的逻辑回路(也称虚回路)联系, 二次设备间的物理光纤连接构成了物理回路(也称实回路), 智能变电站二次回路由 SCD 文件描述的“虚回路”和由物理光纤连接构成的“实回路”共同组成^[1-3]。逻辑回路在物理回路上传输, 物理回路是实现逻辑回路的媒介, 逻辑回路和物理回路是智能变电站二次系统设计的核心部分。

IEC 61850-6 标准^[4]定义了智能变电站逻辑回

基金项目: 国家电网公司科技项目“智能变电站多厂家配置工具集成技术研究”

路的建模标准,SCD文件是二次系统逻辑回路的模型表达,通过SCD文件完成二次系统逻辑回路设计,根据SCD文件完成二次系统逻辑回路配置^[5-6]。但目前智能变电站物理回路模型尚无相关标准规范,设计单位依然通过光缆联系图表达物理回路设计,工程实施单位根据光缆联系图完成二次系统物理回路的施工^[7-10]。

当前智能变电站系统配置工具大多仅考虑逻辑回路的设计功能,尽管少数设计软件具有物理回路的设计功能,但其物理回路的信息定义在私有数据库结构,物理回路的设计成果无法模型化表示,其他设计工具和厂站级系统无法导入和导出以及无缝对接,难以实现图纸版本管理和施工调试高级应用的开发^[11]。

有文献^[12]提到了一种智能电子设备(IED)物理端口的建模及虚实回路的拓扑搜索方法,但模型中仅涉及了IED之间的物理回路,缺少屏柜、装置、光纤配线架(ODF)、交换机等物理设备的对象模型和连接关系,信息量严重不足。本文提出了一种智能变电站二次系统物理回路建模方法及工具实现,在设计阶段,将逻辑回路和物理回路解耦设计,可并行设计逻辑回路配置文件和物理回路配置文件,提高设计效率。在设计出图或者调试实用时可将两个配置文件进行虚实对应,实现虚实一体化设计和应用。

1 物理回路建模总体思路

智能变电站二次系统物理回路建模的总体思路是:设备厂商设计人员通过配置工具配置装置物理端口自描述(IPCD)文件,对IED设备中的装置板卡和物理端口进行描述;设计单位将IPCD文件实例化成屏柜模型,再设计屏柜间的光缆连接和装置间的光纤连接,完成全站物理回路配置(SPCD)文件设计;设计单位可同步通过装置能力自描述(ICD)文件完成全站的SCD文件设计,从而实现逻辑回路与物理回路的解耦设计。

基于虚实回路的全景信息流解析过程是通过将SCD和SPCD文件导入解析工具来实现虚实一体化设计,可以展示物理回路和逻辑回路虚拟对应的全景信息流,清晰展现物理回路和逻辑回路的对应关系,提升智能变电站设计效率和准确性,丰富工程现场调试方法,提高施工效率和便利性。

二次系统物理设备主要分为三类:1) IED,主要包括保护装置、测控装置、合并单元、智能终端、故障录波器、网络分析仪、对时装置、监控设备、远动设备;2) 交换机,包括站控层交换机

和过程层交换机;3) 光配设备,包括光纤配线架和光缆终端盒。

设计人员通过IPCD文件配置模块,根据二次设备接口资料、交换机接口资料和光配接口资料进行配置,生成相应的装置级IPCD描述文件。

将二次系统不同物理设备的IPCD文件导入到SPCD文件配置模块,在SPCD中完成层级构建、实回路配置,系统软件根据以上信息自动完成光缆布置,所有信息配置完成后生成厂站级的SPCD文件。

在解析模块中,导入厂站级的SPCD文件和逻辑回路SCD文件,解析SPCD文件层级构建、物理端口、实回路、光缆信息,解析SCD文件中的虚回路及“虚实对应”关系。

通过解析结果,绘制全站设备的全景信息流图,全景信息流图可以实现“虚实对应”功能,通过实回路可以显示虚回路连接,通过虚回路可以显示实回路连接。

2 物理回路建模方法

2.1 物理回路建模的设计流程

智能变电站二次系统逻辑回路配置过程:设备厂商通过IED配置工具生成ICD文件,设计人员收集ICD文件后由系统配置工具配置产生SCD文件,通过SCD文件即可以展示全站二次设备的通信参数及虚拟连线关系,系统配置完成后,由设备厂商通过IED配置工具导出IED实例配置(CID)文件下载至装置中,调试人员进行现场调试。

物理回路的建模方法也将参照虚回路的建模方法,各设备厂家提供描述物理端口的IPCD文件,并通过配置工具进行光缆连接后形成描述物理端口和回路的SPCD文件,图1为二次回路全景模型设计流程。

设备厂家提供的IPCD文件应包括设备物理端口信息,含端口数量、端口类型和插头类型,物理端口既包括过程层端口,也包括站控层端口和对时端口。全站SPCD文件除应该包括IPCD文件中的内容外,还应该包括继保小室、屏柜、设备(装置、光配、交换机等)、实回路连线、光缆型号及编号。

在SPCD的配置中,设计人员需要完成变电站设备层级关系的建立,包括创建继保小室、屏柜、设备;选择各自设备的IPCD文件,获取各种设备的各种物理端口;根据实际物理路径,连接不同设备间、不同屏柜间、不同小室间的物理连线;描述各个物理路径的信息方向;所有连接完成后,形成SPCD文件。

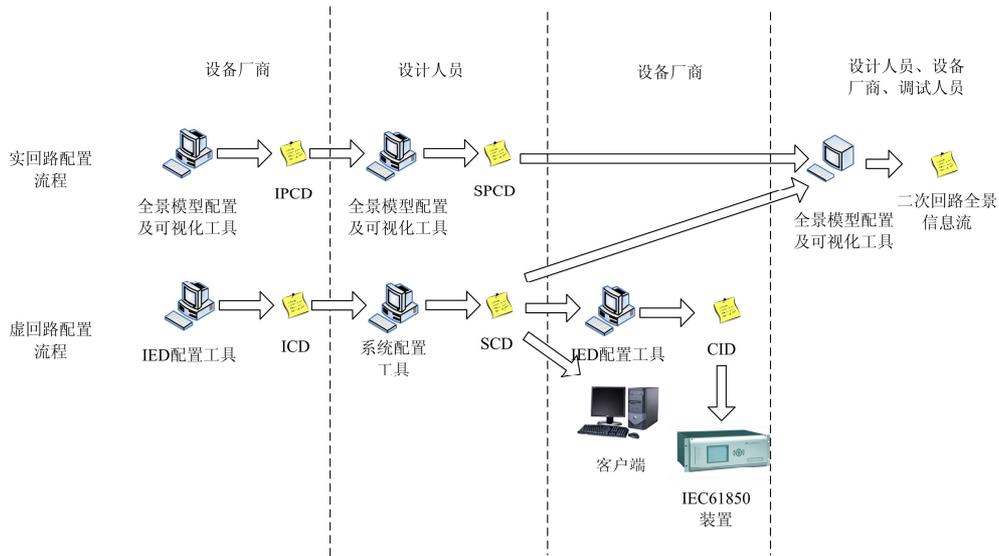


图 1 二次回路全景模型设计流程

Fig. 1 Design process of secondary circuit panoramic model

智能变电站二次系统逻辑回路 SCD 文件在各个 IED 设备中采用 Inputs 容器方式存储所有虚回路的接收连线，而不存储发送连线，这样既可以节约模型空间，也能够减少冗余连线，解析更为方便。在二次系统物理回路中，考虑到物理光缆信息不具有流向性，采用 Inputs 方式反而增加了解的复杂度，因此物理回路采用直接描述光缆的方式，屏柜内采用 IntCore 元素描述屏内光纤连接，屏柜间采用 Cable 元素描述光缆模型，模型中设置了光纤所连接的收发两端的物理端口属性。

2.2 SPCL 物理信息模型

IPCD 和 SPCD 文件采用变电站物理配置描述语言(以下简称 SPCL)表示。SPCL 语言示例如下：

```

<SPCL>
<Substation desc="220kVXX变" name="">
<Region desc="220kV继保室1" name="R220">
<Cubicle desc="线路保护屏A" name="XLP1A">
<Unit desc="线路1保护A" IEDname="PL2201A" name="1n"
type="IED">
<Board desc="NR1102" slot="1">
<Port desc="MMS" direction="Tx" no="A" plug="ST"
type="FOC"/>
.....
<Port desc="GPS" direction="Rx" no="H" plug="ST"
type="FOC"/>
</Board>
</Unit>
<Unit desc="光纤配线架" IEDname="" name="2n"

```

```

type="ODF">
<Board desc="" slot="A">
<Port desc="" direction="TxRx" no="01" plug="ST"
type="FOC"/>
.....
<Port desc="" direction="TxRx" no="12" plug="ST"
type="FOC"/>
</Board>
</Unit>
<IntCore portA="3n.A.01-Tx" portB="2n.A.02-TxRx"
name="TX01" type="FJ"/>
<IntCore portA="3n.A.01-Rx" portB="2n.A.01-TxRx"
name="RX01" type="FJ"/>
</Cubicle>
.....
<Cable coresNum="4" cubicleA="R220.SWP1A"
cubicleB="R220.MXP1A" desc=""name="XL_WL_185A"
type="FT">
<Core no="1" portA="3n.A.03-Tx" portB="1n.10.A-Rx"/>
<Core no="2" portA="3n.A.03-Rx" portB="1n.10.A-Tx"/>
<Core no="3" portA="" portB=""/>
<Core no="4" portA="" portB=""/>
</Cable>
</Region>
.....
</Substation>
</SPCL>

```

SPCL 中的元素及属性定义见表 1。

表 1 SPCL 元素及属性定义
Table 1 Elements and their attributes of SPCL

元素名	说明	属性名	说明
Substation	变电站	name	变电站名称
		desc	变电站描述
Region	区域(保护小室、开关场)	name	区域标识, 由英文+数字构成, 如 R220
		desc	区域描述
Cubicle	屏柜	name	屏柜标识, 由英文+数字构成, 如 XLG1A
		desc	屏柜描述
Unit	物理装置(IED、光配架、交换机)	name	装置编号, 图纸中的设计编号, 如 1n(IPCD 文件初始可为 Template)
		desc	装置描述
		IEDname	与 SCD 文件中的 IEDname 应一致, 非 IED 为空
		type	装置类型, 枚举值为 IED、ODF(光纤配线架)、SWI(交换机)、GS-NET(GOOSE 交换机)、SV-NET(SV 交换机)、GS-SV-NET(GOOSE/SV 交换机)、MMS-NET(MMS 交换机)
Board	板卡	slot	板卡槽位, 枚举值为 1-20(对于横板结构的 ODF 和 SWI, 枚举值为 A-Z)
		desc	板卡描述
Port	端口	no	端口名称, 枚举值为 A-Z(ODF 和 SWI 的枚举值为 1-20)
		desc	端口描述
		direction	端口数据流向, 枚举值为 Tx(发送)、Rx(接收)、TxRx(发送接收均可, 如 ODF)
		plug	插头类型, 枚举值为 LC、ST、SC、FC、RS485、RS232、RJ45
		type	端口类型, 枚举值为 FOC(光缆)、100BaseT(百兆网线)、STP(屏蔽双绞线)
IntCore	屏内光纤连线	name	屏柜内光纤名称, 如 TX01
		PortA	光纤连线的 A 端口标识, 如 1n.A.01-Tx
		PortB	光纤连线的 B 端口标识, 如 2n.A.02-TxRx
		type	光纤类型, 枚举值为 FJ(跳纤)、STP、100BaseT
Cable	屏柜间的光缆连线	name	屏柜间光缆名称, 如 SW_GL_183A
		desc	光缆描述
		coresNum	光缆的芯数
		cubicleA	光缆连接的 A 屏柜, 如 R220.SWP1A
		cubicleB	光缆连接的 B 屏柜, 如 Outdoor.XLG1A
Core	屏柜间光缆的纤芯	type	光缆类型, 枚举值为 FC(光缆)、FT(尾纤)、FJ、STP、100BaseT
		no	光缆的纤芯号
		PortA	光纤连线的 A 端口, 如 2n.A.02-TxRx
		PortB	光纤连接的 B 端口, 如 3n.B.01-TxRx

3 物理回路配置和可视化工具的实现

3.1 物理回路配置工具

物理回路配置工具包括两个工具, 一个是 IED 物理回路配置工具, 完成单装置的物理端口及属性配置, 输出 IPCD 文件; 一个是物理回路系统配置工具, 完成变电站的物理回路描述文件配置, 输出 SPCD 文件。

IED 物理回路配置工具的配置流程为: 新建设备, 实例化 Unit 元素信息; 新建板卡, 实例化 Board 元素信息; 新建端口, 实例化 Port 元素信息; 输出 IPCD 文件。

物理回路系统配置工具的配置流程包括: 物理设备建模阶段和物理设备连接阶段。

首先需要进行物理设备建模, 包括:

(1) 新建变电站, 实例化 Substation 元素信息;

(2) 在变电站中新建任意多个小室, 实例化 Region 元素信息;

(3) 在小室中新建任意多个屏柜, 实例化 Cubicle 元素信息;

(4) 在屏柜中新建任意多个装置, 实例化 Unit 元素信息。

完成设备物理建模后, 进行物理设备连接, 线缆连接包括屏柜内信息连接, 实例化 IntCore 元素信息, 信息和屏柜间信息连接, 实例化 Cable 和 Core 元素信息。物理回路系统配置工具的配置流程图如图 2 所示。

3.2 物理回路可视化工具

物理回路模型可视化工具主要实现物理设备层级关系展示、物理回路展示和物理回路和逻辑回路的“虚实对应”展示。由于在工具进行软件界面展

示时空间有限,一般都截取一个或几个的物理路径展示,而如何截取则需要一定物理路径解析方法进行支撑。本文提出的可视化工具解析方法如图3所示。

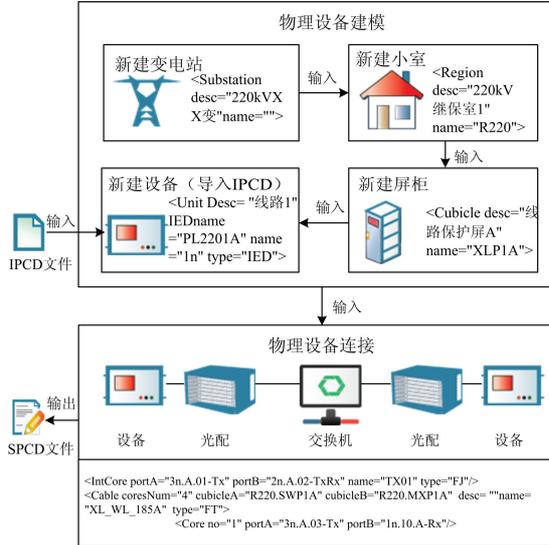


图2 物理回路系统配置工具的实现流程
Fig. 2 Implement process of physical circuits system configuration tools

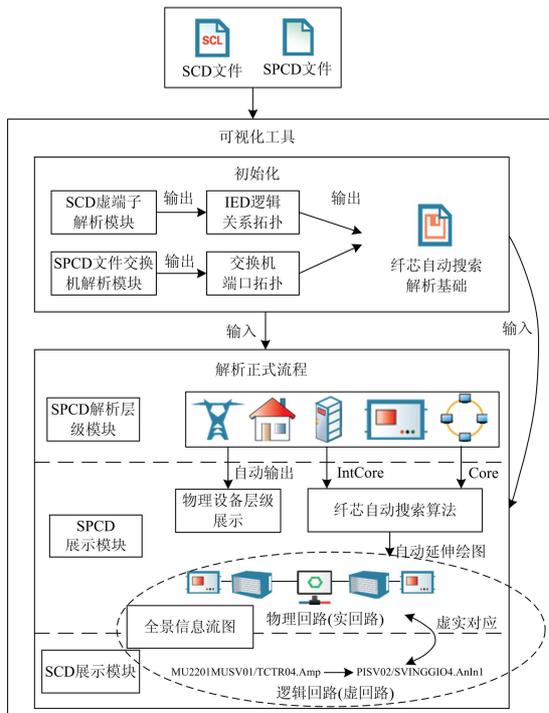


图3 SPCD文件可视化工具的解析方法

Fig. 3 Parsing method of SPCD file visualization tools

3.2.1 初始化

可视化工具导入 SCD 文件和 SPCD 文件后,首

个先进入初始化。初始化主要是为后续的“纤芯自动搜索”提供解析基础,解析包括两个内容。

(1) 通过解析 SCD 文件的虚端子连接,获取每个 IED 的输入和输出的关系,即该 IED 发送的对侧设备和接收的对侧设备,形成 IED 逻辑关系拓扑。

(2) 通过解析 SPCD 文件中交换机的模型,获取所有交换机的物理连接关系,即交换机各个端口的物理连接路径。如果交换机端口直连至装置端口则记录此条物理连接路径;如果交换机端口连接到光配或者另一级交换机则进入迭代搜索,直到搜索到装置端口为止,记录此条完整物理路径。最终形成交换机端口拓扑。

3.2.2 解析正式流程

初始化结束后,进入解析的正式流程,具体包括以下功能模块。

(1) SPCD 层级解析模块,遍历 SPCD 文件,提取变电站(Substation)、小室(Region)、屏柜(Cubicle)、设备(Unit)和光缆(Cable)等元素。

(2) SPCD 展示模块,包括物理设备层级展示和物理回路展示。其中物理设备层级展示经过上一步解析后已经较为容易绘图,但光缆绘制由于物理路径较为复杂绘图难度较大,本文提出了“纤芯自动搜索算法”较好地解决了这个问题(具体的软件算法见 3.4 节所述),软件界面根据用户点击内容及时绘图。具体的来说,点击屏柜,开始解析屏柜内的 IntCore 元素,调用“纤芯自动搜索算法”,实时绘制屏柜内物理回路图;点击光缆,开始解析光缆中的 Core 元素,调用“纤芯自动搜索算法”,实时绘制屏柜间物理回路图。

(3) SCD 展示模块,解析 SCD 文件绘制 IED 设备的逻辑回路图。

3.3 基于“虚实对应”技术的全景信息流图

3.3.1 “虚实对应”理论依据

在《Q/GDW 11396-2012 IEC61850 工程继电保护应用模型》^[13]规定了 GOOSE、SV 接收访问点物理端口关联:即采用在 ExtRef 元素的 intAddr 属性中增加物理端口描述的方式,示例如下:

```
<ExtRef daName="stVal" doName="Pos" iedName="IL2201A" IdInst="RPIT" lnClass="XCBR" lnInst="1" prefix="Q0A" intAddr="1-A: PIGO/GOINGGIO1.DPCS01.stVal" />
```

1396 标准在 SCD 文件的 Inputs 中引入物理端口,使得实现上可通过该物理端口做为纽带,建立实回路和虚回路对应关系,从而较方便地实现“虚

实对应”。

3.3.2 全景信息流图

SCD 文件展示模块能够实现虚回路可视化, SPCD 文件展示模块能够实现实回路可视化, 在实际工程中, 更有益的是要了解虚实回路之间的关系, 采用“虚实对应”技术完成信息流的判断, 构建全景信息流图, 如图 3 所示。

全景信息流图可以实现虚回路和实回路的自动切换, 通过实回路连线可以展示内部的虚回路连线, 通过虚回路连线也可以查询到对应的实回路连线。

3.4 纤芯自动搜索算法

SPCD 文件格式中的 Core 元素和 IntCore 元素属性相似, 都主要描述了纤芯的 A 侧和 B 侧物理设备及端口, 区别仅在于前者描述屏柜内部, 后者描述屏柜间, 因此其搜索方法也是相同的。“纤芯自动搜索算法”通过 Core 或 IntCore 作为切入点, 分别向两侧不断延伸搜索, 最终搜索到两侧的装置。智能站二次回路的物理设备主要包括装置、ODF 和交换机, 其中, 装置和 ODF 的搜索较为简单, 交换机的搜索算法涉及递归调用和收敛问题则较为复杂, 因此“纤芯自动搜索算法”的重点在于研究“交换机循环搜索算法”。下面将分三种情况进行说明。

3.4.1 A 侧为装置的纤芯自动搜索算法

本算法如图 4 所示, 简述如下。

(1) A 侧为装置, 则开始逐段搜索 B 侧, 如果 B 侧为装置, 则搜索结束, 否则判断是否为 ODF, 如果是 ODF 则继续向下一段搜索, 然后循环进行装置-ODF 的搜索(循环搜索的目的在于防止有 ODF 转接情况的发生), 如果不是装置也不是 ODF 则一般认为是交换机, 进入交换机循环搜索算法。

(2) 基于初始化时分析的“交换机端口拓扑”和“IED 逻辑关系拓扑”, 可对当前交换机进行判断: 当为纯设备交换机, 取当前交换机端口拓扑和 A 侧装置逻辑关系拓扑交集, 获得所有 B 侧装置后全部结束; 当为普通级联交换机(只有一个交换机级联), 获得本交换机的所有 B 侧装置后继续搜索下一台交换机, 再次递归调用“交换机循环搜索算法”; 当为中心交换机(有两个以上交换机级联), 获得本交换机的所有 B 侧装置后继续搜索下一级所有交换机, 考虑到中心交换机一般不会再级联中心交换机, 因此本算法仅再搜索一次即结束。

本算法如图 5 所示, 简述如下。

(1) A 侧为 ODF, 则开始逐段搜索 A 侧, 如果 A 侧为装置, 则直接执行第 1 种情况, 否则判断是否为 ODF, 如果是 ODF 则继续向下一段搜索, 然

后循环进行装置-ODF 的搜索, 如果不是装置也不是 ODF 则一般认为是交换机, 此时 A 侧搜索停止开始 B 侧搜索。

(2) 因为 A 侧是 ODF 则按照现场实际 B 侧也应该从 ODF 开始, 如果是 ODF 继续下一段搜索。

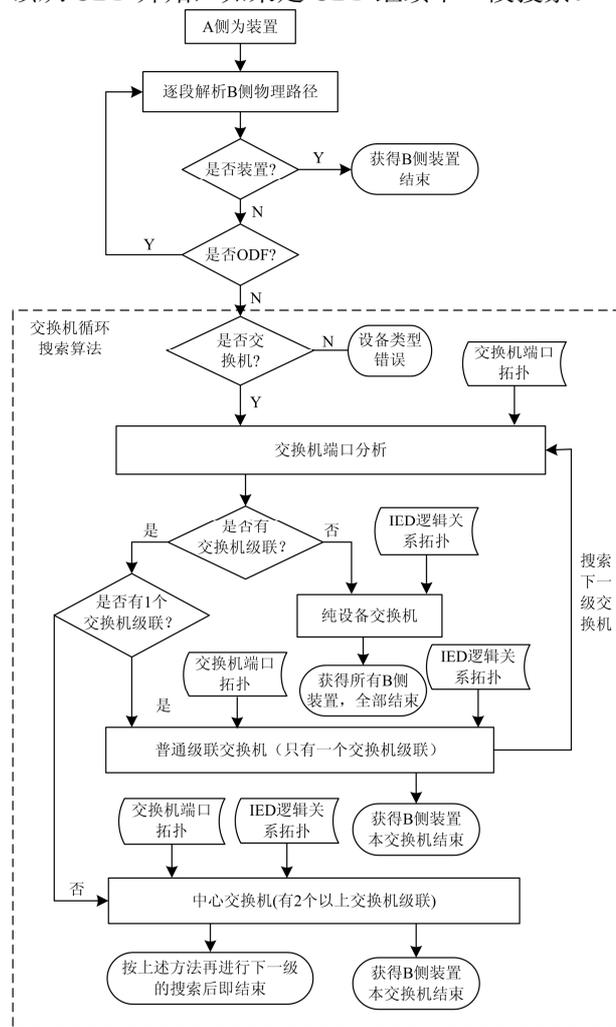


图 4 A 侧为装置的纤芯自动搜索流程

Fig. 4 Fiber core automatic search process when A side is IED

(3) 下一段如果是装置, 则获得 B 侧装置, 此时可重新开始 A 侧搜索, 由于 A 侧搜索停止在交换机, 则调用“交换机循环搜索算法”可以通过输入 B 侧装置获得 A 侧装置。

下一段如果是 ODF 则循环进行装置-ODF 的搜索。

下一段如果是交换机则因为 A 侧和 B 侧均未搜索到装置而结束, 判断此纤芯为级联纤芯, 无法绘图。

3.4.3 A 侧为交换机的纤芯自动搜索算法

本算法如图 6 所示, 简述如下。

(1) A 侧为交换机, 此时 A 侧搜索停止开始 B 侧搜索。

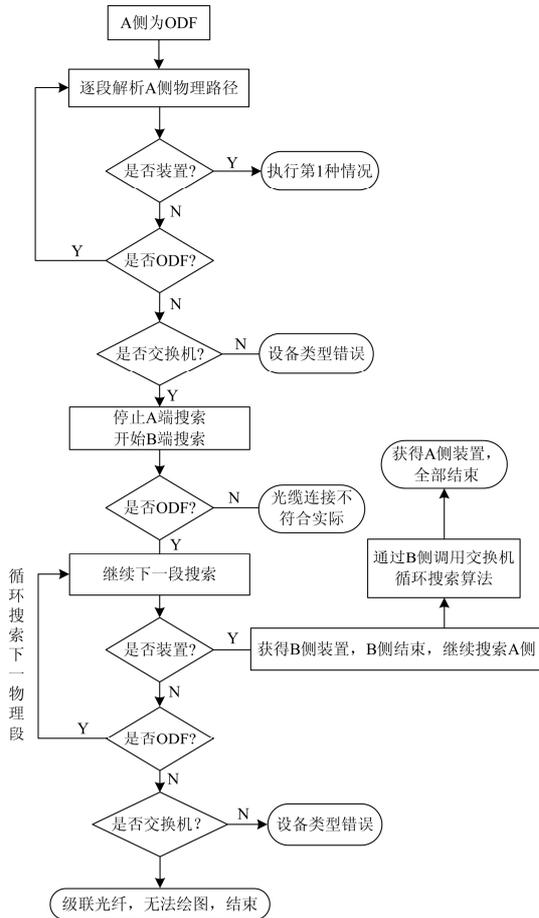


图 5 A 侧为 ODF 的纤芯自动搜索流程
Fig. 5 Fiber core automatic search process when A side is ODF

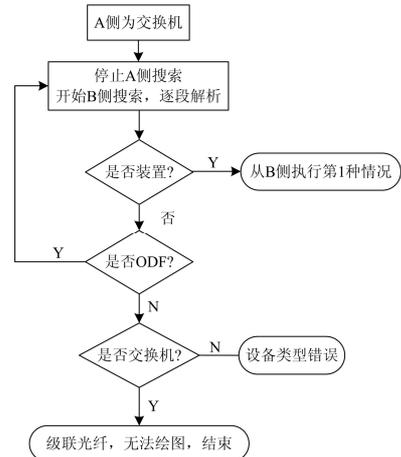


图 6 A 侧为交换机的纤芯自动搜索流程
Fig. 6 Fiber core automatic search process when A side is switch

(2) 如果 B 侧为装置，则从 B 侧执行第一种情况后结束，否则判断是否为 ODF，如果是 ODF 则继续向下一段搜索，然后循环进行装置-ODF 的搜索，如果不是装置也不是 ODF 则一般认为是交换机，因为 A 侧和 B 侧均为交换机则搜索结束，判断此纤芯为级联纤芯，无法绘图。

4 物理回路建模实例

物理回路的模型和智能设备之间的端口连接关系密切相关。首先选择一个典型间隔的物理端口连接联系图(图 7)，然后依据此典型间隔连接关系使用物理回路配置工具给出一个完整的物理回路模型实例。

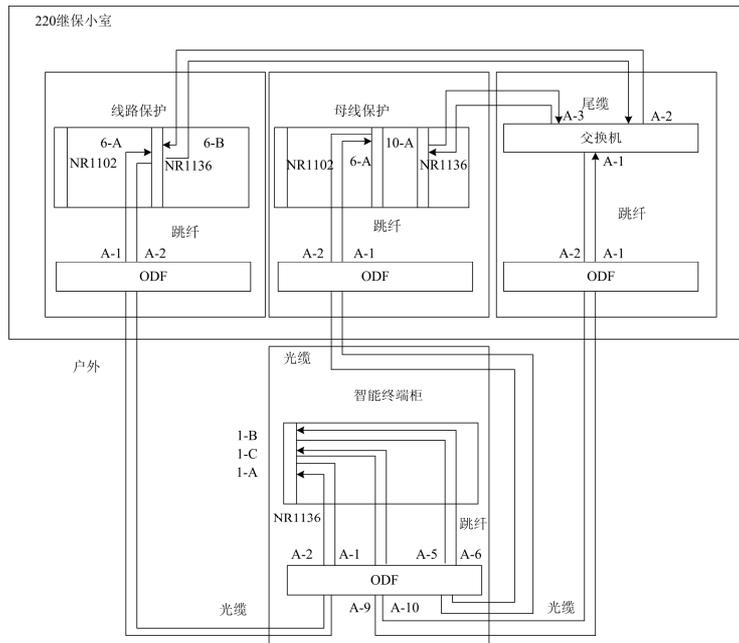


图 7 220 kV 典型间隔物理联系图
Fig. 7 220 kV classic bay physical circuits connection

典型间隔物理模型如下:

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<SPCL>
<Substation desc="220kV海韵变" name="">
<Region desc="220kV继保室1" name="R220">
<Cubicle desc="线路保护屏A" name="XLP1A">
<Unit desc="线路1保护A" iedName="PL2201A" name="1n"
type="IED">
<Board desc="NR1102" slot="1">
<Port desc="MMS" direction="Tx" no="A" plug="ST"
type="FOC"/>
<Port desc="MMS" direction="Rx" no="A" plug="ST"
type="FOC"/>
<Port desc="MMS" direction="Tx" no="B" plug="ST"
type="FOC"/>
<Port desc="MMS" direction="Rx" no="B" plug="ST"
type="FOC"/>
<Port desc="MMS" direction="Tx" no="C" plug="ST"
type="FOC"/>
<Port desc="MMS" direction="Rx" no="C" plug="ST"
type="FOC"/>
<Port desc="GPS_SYN+" direction="" no="D" plug="RS485"
type="STP"/>
<Port desc="GPS_SYN-" direction="" no="D" plug="RS485"
type="STP"/>
<Port desc="GPS_SGND" direction="" no="D" plug="RS485"
type="STP"/>
<Port desc="GPS_GND" direction="" no="D" plug="RS485"
type="STP"/>
<Port desc="PRINT_RXD" direction="" no="E"
plug="RS232" type="STP"/>
<Port desc="PRINT_TXD" direction="" no="E" plug="RS232"
type="STP"/>
<Port desc="PRINT_GND" direction="" no="E"
plug="RS232" type="STP"/>
</Board>
<Board desc="NR1136" slot="6">
<Port desc="GOOSE/SV" direction="Tx" no="A" plug="LC"
type="FOC"/>
<Port desc="GOOSE/SV" direction="Rx" no="A" plug="LC"
type="FOC"/>
.....
<Port desc="GOOSE/SV" direction="Tx" no="G" plug="LC"
type="FOC"/>
<Port desc="GOOSE/SV" direction="Rx" no="G" plug="LC"
type="FOC"/>
<Port desc="GPS" direction="Rx" no="H" plug="ST"
type="FOC"/>
</Board>
</Unit>
<Unit desc="光纤配线架" iedName="" name="2n"
type="ODF">
<Board desc="" slot="A">
<Port desc="" direction="TxRx" no="01" plug="ST"
type="FOC"/>
<Port desc="" direction="TxRx" no="02" plug="ST"
type="FOC"/>
.....
<Port desc="" direction="TxRx" no="12" plug="ST"
type="FOC"/>
</Board>
</Unit>
<IntCore portA="1n.6.A-Tx" portB="2n.A.02-TxRx"
name="TX01" type="FJ"/>
<IntCore portA="1n.6.A-Rx" portB="2n.A.01-TxRx"
name="RX01" type="FJ"/>
</Cubicle>
<Cubicle desc="母线保护屏A" name="MXP1A">
<Unit desc="母线保护A" iedName="PM2201A" name="1n"
type="IED">
<Board desc="NR1102" slot="1">
模型结构参见上面的线路保护
</Board>
<Board desc="NR1136" slot="6">
模型结构参见上面的线路保护
</Board>
<Board desc="NR1136" slot="10">
模型结构参见上面的线路保护
</Board>
</Unit>
<Unit desc="光纤配线架" iedName="" name="2n"
type="ODF">
<Board desc="" slot="A">
模型结构参见上面的光纤配线架
</Board>
</Unit>
<IntCore portA="1n.6.A-Tx" portB="2n.A.02-TxRx"
name="TX01" type="FJ"/>
<IntCore portA="1n.6.A-Rx" portB="2n.A.01-TxRx"
name="RX01" type="FJ"/>
</Cubicle>
<Cubicle desc="交换机屏A" name="SWP1A">
<Unit desc="交换机" iedName="" name="3n"
type="GS-NET">
<Board desc="" slot="A">
<Port desc="" direction="Tx" no="01" plug="ST"
type="FOC"/>
<Port desc="" direction="Rx" no="01" plug="ST"
type="FOC"/>
<Port desc="" direction="Tx" no="02" plug="ST"
type="FOC"/>
<Port desc="" direction="Rx" no="02" plug="ST"
type="FOC"/>
.....

```

```

<Port desc="" direction="Tx" no="16" plug="ST"
type="FOC"/>
<Port desc="" direction="Rx" no="16" plug="ST"
type="FOC"/>
</Board>
</Unit>
<Unit desc="光纤配线架" iedName="" name="2n"
type="ODF">
<Board desc="" slot="A">
    模型结构参见上面的光纤配线架
</Board>
</Unit>
<IntCore portA="3n.A.01-Tx" portB="2n.A.02-TxRx"
name="TX01" type="FJ"/>
<IntCore portA="3n.A.01-Rx" portB="2n.A.01-TxRx"
name="RX01" type="FJ"/>
</Cubicle>
</Region>
<Region desc="户外" name="Outdoor">
<Cubicle desc="线路开关汇控柜A" name="XLG1A">
<Unit desc="线路1智能终端A" iedName="IL2201A"
    name="1n" type="IED">
<Board desc="NR1136" slot="1">
    模型结构参见上面的线路保护
</Board>
</Unit>
<Unit desc="光纤配线架" iedName="" name="2n"
type="ODF">
<Board desc="" slot="A">
    模型结构参见上面的光纤配线架
</Board>
</Unit>
<IntCore portA="1n.1.A-Tx" portB="2n.A.01-TxRx"
name="TX01" type="FJ"/>
<IntCore portA="1n.1.A-Rx" portB="2n.A.02-TxRx"
name="RX01" type="FJ"/>
<IntCore portA="1n.1.B-Tx" portB="2n.A.05-TxRx"
name="TX02" type="FJ"/>
<IntCore portA="1n.1.B-Rx" portB="2n.A.06-TxRx"
name="RX02" type="FJ"/>
<IntCore portA="1n.1.C-Tx" portB="2n.A.09-TxRx"
name="TX03" type="FJ"/>
<IntCore portA="1n.1.C-Rx" portB="2n.A.10-TxRx"
name="RX03" type="FJ"/>
</Cubicle>
</Region>
<Cable coresNum="4" cubicleA="R220.XLP1A"
cubicleB="Outdoor.XLG1A" desc="" name="XL_GL_181A"
type="FC">
<Core no="1" portA="2n.A.01-TxRx"
portB="2n.A.01-TxRx"/>
<Core no="2" portA="2n.A.02-TxRx"

```

```

portB="2n.A.02-TxRx"/>
<Core no="3" portA="2n.B.03-TxRx"
portB="2n.A.03-TxRx"/>
<Core no="4" portA="2n.B.04-TxRx"
portB="2n.A.04-TxRx"/>
</Cable>
<Cable coresNum="4" cubicleA="R220.MXP1A"
cubicleB="Outdoor.XLG1A" desc="" name="MX_GL_182A"
type="FC">
<Core no="1" portA="2n.A.01-TxRx"
portB="2n.A.05-TxRx"/>
<Core no="2" portA="2n.A.02-TxRx"
portB="2n.A.06-TxRx"/>
<Core no="3" portA="2n.B.03-TxRx"
portB="2n.A.07-TxRx"/>
<Core no="4" portA="2n.B.04-TxRx"
portB="2n.A.08-TxRx"/>
</Cable>
<Cable coresNum="4" cubicleA="R220.SWP1A"
cubicleB="Outdoor.XLG1A" desc="" name="SW_GL_183A"
type="FC">
<Core no="1" portA="2n.A.01-TxRx"
portB="2n.A.09-TxRx"/>
<Core no="2" portA="2n.A.02-TxRx"
portB="2n.A.10-TxRx"/>
<Core no="3" portA="2n.B.03-TxRx"
portB="2n.A.11-TxRx"/>
<Core no="4" portA="2n.B.04-TxRx"
portB="2n.A.12-TxRx"/>
</Cable>
<Cable coresNum="4" cubicleA="R220.SWP1A"
cubicleB="R220.XLP1A" desc="" name="XL_WL_184A"
type="FT">
<Core no="1" portA="3n.A.02-Tx" portB="1n.6.B-Rx"/>
<Core no="2" portA="3n.A.02-Rx" portB="1n.6.B-Tx"/>
<Core no="3" portA="" portB=""/>
<Core no="4" portA="" portB=""/>
</Cable>
<Cable coresNum="4" cubicleA="R220.SWP1A"
cubicleB="R220.MXP1A" desc="" name="XL_WL_185A"
type="FT">
<Core no="1" portA="3n.A.03-Tx" portB="1n.10.A-Rx"/>
<Core no="2" portA="3n.A.03-Rx" portB="1n.10.A-Tx"/>
<Core no="3" portA="" portB=""/>
<Core no="4" portA="" portB=""/>
</Cable>
</Substation>
</SPCL>

```

5 结语

本文提出一种智能变电站二次系统物理回路建模及虚实对应方法，建立了二次系统物理回路

SPCL 信息模型,实现了基于物理回路模型的完整工程应用解决方案,包括物理回路配置工具、物理回路可视化工具,提升了设计成果的信息化水平,基于SCD和SPCD的全景模型为研究智能变电站二次设备状态监视和故障诊断、二次图纸自动输出、二次运维和调试等高级应用奠定了理论基础。

参考文献

- [1] Q/GDW 383-2009 智能变电站技术导则[S]. 北京: 国家电网公司, 2009.
- [2] 张巧霞, 贾华伟, 叶海明, 等. 智能变电站虚拟二次回路监视设计方案及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10): 123-128.
ZHANG Qiaoxia, JIA Huawei, YE Haiming, et al. Design and application of virtual secondary circuit monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 123-128.
- [3] 杨毅, 高翔, 朱海兵, 等. 智能变电站 SCD 应用模型实例化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 107-113.
YANG Yi, GAO Xiang, ZHU Haibing, et al. Case study on SCD application based on demo smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 107-113.
- [4] IEC 61850-6 communication networks and systems for power utility automation: part 6 configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs[S]. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2009.
- [5] 邹晓玉, 王浩, 吴晓博. IEC 61850 标准中 SCL 语言的几个实践应用问题探讨[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(15): 77-80.
ZOU Xiaoyu, WANG Hao, WU Xiaobo. Discussion on practical issues of substation configuration language in IEC 61850 standards[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(15): 77-80.
- [6] 曹楠, 王芝茗, 李刚, 等. 智能变电站二次系统动态重构初探[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(5): 113-121.
CAO Nan, WANG Zhiming, LI Gang, et al. Study on dynamic reconfiguration in secondary system of intelligent substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(5): 113-121.
- [7] 王增华, 窦青春, 王秀莲, 等. 智能变电站二次系统施工图设计表达方法[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(6): 112-116.
WANG Zenghua, DOU Qingchun, WANG Xiulian, et al. A construction-drawing design expression method of secondary system for smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(6): 112-116.
- [8] 黄凯, 杨骥, 顾全, 等. 一体化电网运行智能系统的源端维护技术[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(15): 71-75.
HUANG Kai, YANG Ji, GU Quan, et al. A source-based maintenance technology for integrated intelligent operation system of power grids[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(15): 71-75.
- [9] 修黎明, 高湛军, 黄德斌, 等. 智能变电站二次系统设计方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(22): 124-128.
XIU Liming, GAO Zhanjun, HUANG Debin, et al. Research of intelligent substation secondary systems design method[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(22): 124-128.
- [10] 高吉普, 张沛超, 何旭, 等. 智能变电站可靠性的自动分析方法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(15): 107-112.
GAO Jipu, ZHANG Peichao, HE Xu, et al. An automatic reliability analysis method for protection systems in smart substations[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(15): 107-112.
- [11] 袁浩, 屈刚, 庄卫金, 等. 电网二次设备状态监测内容探讨[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(10): 100-106.
YUAN Hao, QU Gang, ZHUANG Weijin, et al. Discussion on condition monitoring contents of secondary equipment in power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(10): 100-106.
- [12] 高磊, 杨毅, 刘珂, 等. 基于举证表的智能变电站过程层通道故障定位方法[J]. 电力系统自动化, 2015, 33(4): 147-151.
GAO Lei, YANG Yi, LIU Yu, et al. Proof table based fault location method for process level channel in smart substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 33(4): 147-151.
- [13] Q/GDW 1396-2012 IEC61850 工程继电保护应用模型[S]. 北京: 国家电网公司, 2012.

收稿日期: 2015-12-10; 修回日期: 2016-03-01

作者简介:

高磊(1982-), 男, 工程师, 主要从事电力系统继电保护试验研究工作; E-mail: gaolei.seu@gmail.com

杨毅(1983-), 男, 博士, 主要从事电力系统继电保护试验、智能变电站网络通信及信息安全研究; E-mail: yang_yi_ee@163.com

苏麟(1980-), 男, 高级工程师, 主要从事变电站二次系统设计工作。E-mail: sulin@jspdi.com.cn

(编辑 姜新丽)