



团 体 标 准

T/CES XXX-XXXX

行波测距装置与配电自动化设备接口 技术要求

Technical requirements for interface between travelling wave fault
location devices and distribution automation equipment

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 录

目 录.....	I
前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 总体要求.....	2
5 接口形式.....	2
5.1 行波装置与柱上开关类设备的接口形式.....	2
5.2 行波装置与站所类设备的接口形式.....	10
5.3 行波装置时钟同步接口.....	17
5.4 行波装置本地维护接口.....	17
6 接口要求.....	17
6.1 行波装置与柱上开关类设备的接口要求.....	17
6.2 行波装置与站所类设备的接口要求.....	21
6.3 行波装置时钟同步接口.....	23
6.4 行波装置本地维护接口.....	23
7 测试方法.....	23
7.1 行波测距装置与柱上开关类设备的接口测试.....	23
7.2 行波装置与站所类设备的接口测试.....	24
7.3 行波装置时钟接口.....	25
7.4 行波装置本地维护接口.....	25
附录 A（资料性）通信协议.....	26

行波测距装置与配电自动化设备接口技术要求

1 范围

本文件规定了行波测距装置（简称“行波装置”）与配电自动化设备接口的术语和定义、总体要求、接口形式、接口要求、测试方法。

本文件适用于 10kV（含 20kV、6kV）配电网中所用的双端行波测距装置与配电自动化设备的接口。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 7261-2016 继电保护和安全自动装置基本试验方法

GB/T 35791-2017 中性点非有效接地系统单相接地故障行波选线装置技术要求

DL/T 357-2019 输电线路行波故障测距装置技术条件

DL/T 478-2013 继电保护和安全自动装置通用技术条件

DL/T 721-2024 配电自动化终端技术规范

DL/T 844-2003 12kV 少维护户外配电开关设备通用技术条件

DL/T 872-2016 小电流接地系统单相接地故障选线装置技术条件

IEC TR 61850-90-21:2022 Communication Network and Systems for Power Utility Automation

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

行波 travelling wave

电力系统在发生故障等扰动时产生的运动的电磁场在电压和电流上的反应，其中沿参考方向传播的行波称为正向行波（或前行波），沿参考方向的相反方向传播的行波称为反向行波（或反行波）。

3.2

行波测距装置 fault location module based on travelling wave

行波测距是一种基于故障时行波初始波头来进行测距的技术。行波测距装置是具备行波信号采集、处理并能给出行波初始波头的绝对时标或直接给出测距结果的装置。双端行波测距装置是利用两个行波监测装置测量线路故障点产生的初始行波到达两个行波监测装置的时间差来计算故障点位置。

3.3

配电自动化设备 distribution automation equipment

安装在配电网的各类远方监测、保护控制等设备，包括断路器、互感器等一次设备和测控单元、通信模块等二次设备（配电终端），包括柱上开关类配电自动化设备（简称“柱上开关类设备”）和站所类配单自动化设备（简称“站所类设备”）。其中：配电终端是指安装在配电网的各类远方监测、控制单元的总称，完成数据采集、控制、通信等功能，简称配电终端，包括馈线终端（FTU）、站所终端（DTU）等。

4 总体要求

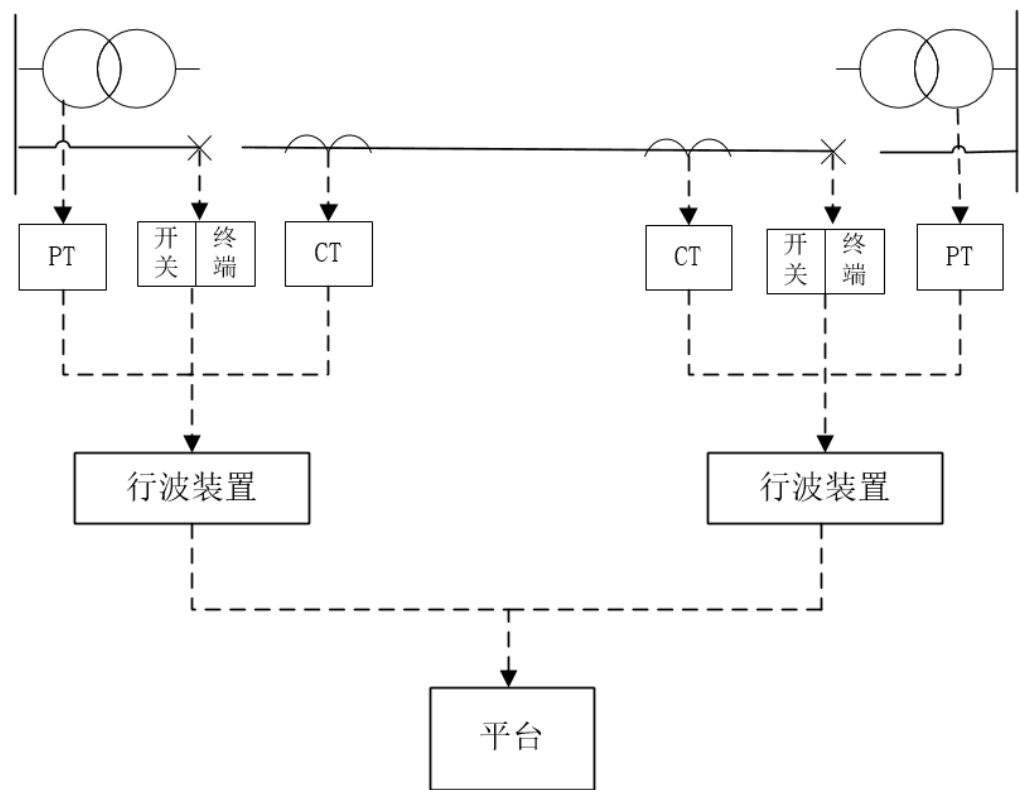


图 1 双端行波测距装置应用场景

4.1 行波装置与配电自动化系统的接口包括电源接口、一次互感器接口、时钟同步接口、本地维护接口和远程通讯接口，本标准中的接口范围限于行波装置与配电自动化设备的接口，包括电源接口、一次互感器（传感器）接口、时钟同步接口、本地维护接口。

4.2 行波装置包括内嵌式和外挂式两类。内嵌式是行波装置嵌入配电终端箱体或传感器内部，外挂式是行波装置置于配电终端箱体外（区别于独立式行波装置：独立式行波装置可完全独立运行，与配电终端及开关无接口连接）。

4.3 内嵌式行波装置与配电终端共用互感器航插接口，外挂式行波装置在配电终端外部直接与互感器连接。

4.4 内嵌式及外挂式行波装置应支持独立北斗模块或复用配电终端北斗模块实现时钟同步。

5 接口形式

5.1 行波装置与柱上开关类设备的接口形式

行波装置与柱上开关类设备的接口可分为内嵌式和外挂式。

5.1.1 内嵌式行波装置与柱上开关类设备的接口形式

内嵌式行波装置主要有两种结构，一种是行波装置内嵌于 FTU 并深度融合，如图 2 所示，另一种是行波装置内嵌于数字式互感器的数字化单元并深度融合，如图 3、图 4 所示。

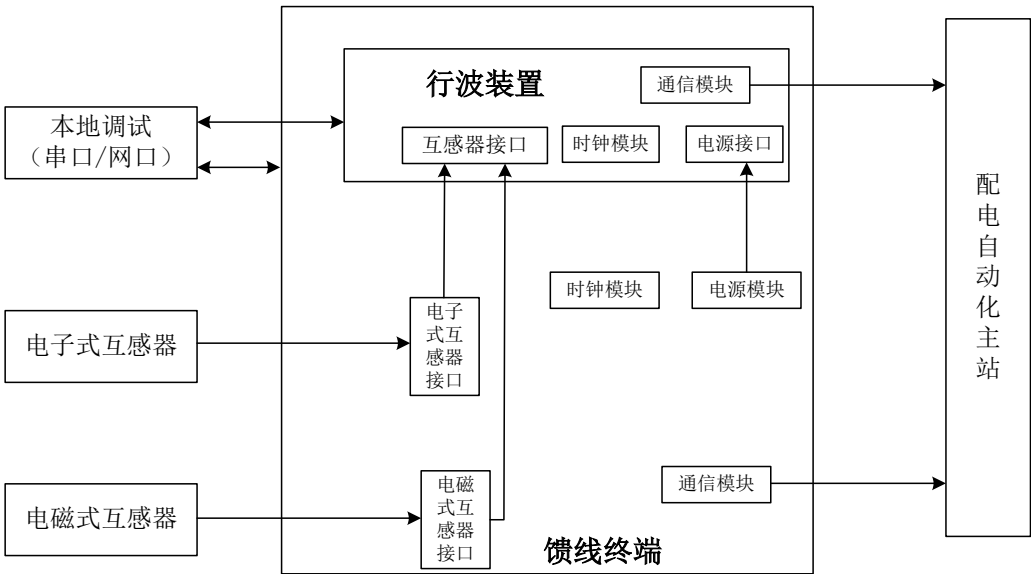


图 2 行波装置内嵌于 FTU 接口示意图

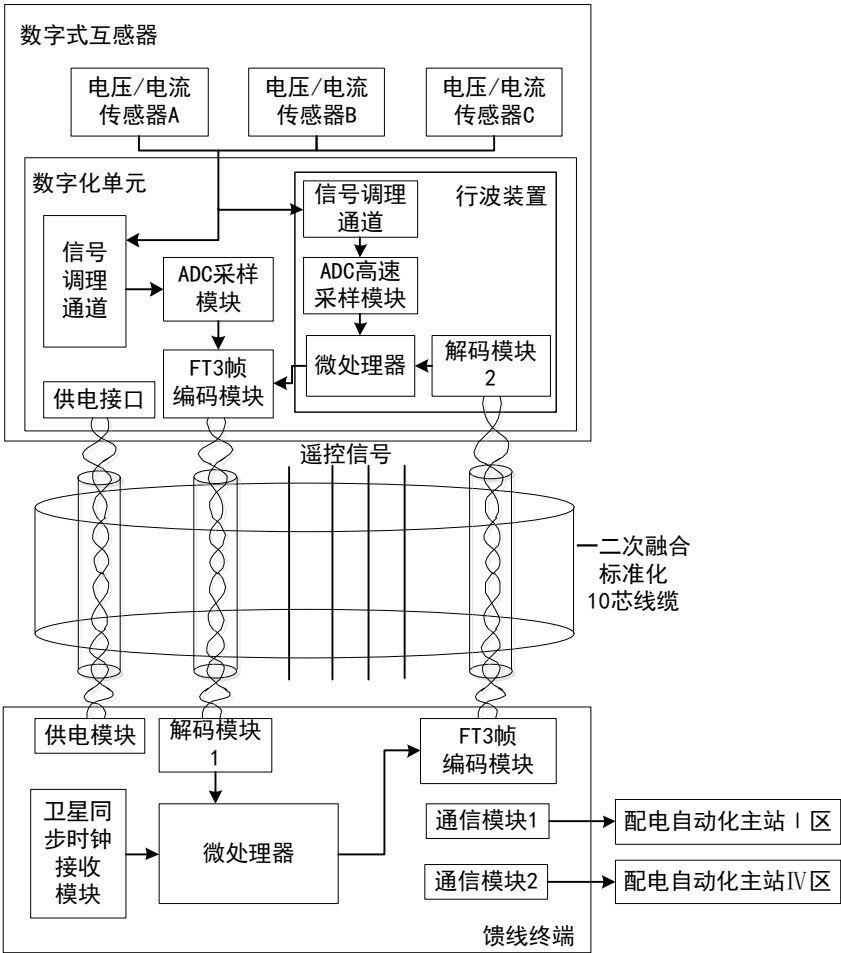


图 3 行波装置内嵌于数字式互感器接口方案一示意图

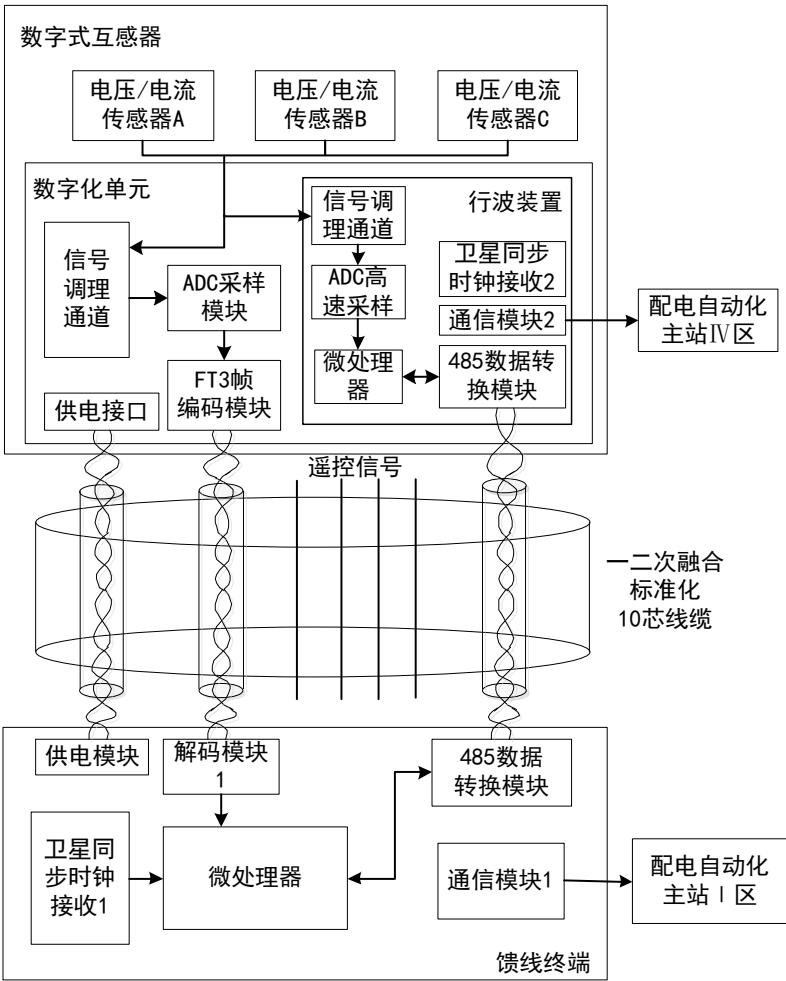


图 4 行波装置内嵌于数字式互感器接口方案二示意图

5.1.1.1 电源接口

(1) 内嵌于 FTU 的行波装置电源接口形式
电源信号的接入采用插拔式端子，接口定义见表 1 所示。

表 1 电磁式、电子式电源接口引脚定义

类型	名称	引脚号	说明
电磁式	V+	1	供电电源正（DC24V）
	GND	2	供电电源地
电子式	V1+	1-1	供电电源正（DC5V）
	GND1	2-1	供电电源地
	GND2	1-2	供电电源地
	V2+	2-2	供电电源正（DC24V）

(2) 与数字式互感器深度融合的行波装置的电源接口形式
行波装置采用 24V 进行供电，与数字转换单元（ADMU）供电电源接口兼容，采用排针对接，接口定义见表 2 所示。

表 2 数字式电源接口引脚定义

类型	名称	引脚号	说明	接线规格
数字式	V+	1	供电电源正（DC24V）	排针对接（板卡对接）
	GND	2	供电电源地	

5.1.1.2 与一次互感器（传感器）接口

(1) 应用于交流采集为电磁式互感器的柱上断路器
接口应包含工频电流、工频电压、零序电压，其中：模拟量信号采集来自于一次互感器传变，电流信号由二次互感器输出，电压接口为可插拔式端子。与互感器的接口如表 3 所示。

表 3 电磁式电压、电流互感器接口要求

类型	名称	标记说明	说明
电磁式	IA	A 相电流	穿心式互感器
	IB	B 相电流	
	IC	C 相电流	
	IN	相电流公共端	
	I0	零序电流	
	I0com	零序电流公共端	
	UAB	AB 线电压	5 芯插拔式端子
	UBC	BC 线电压	
	U0	零序电压	

(2) 应用于交流采集为电子式互感器的柱上断路器
接口应包含三相电流、三相电压、零序电流、零序电压，其中：模拟量信号采集来自于一次互感器传变，电压信号、电流信号输出接口均为多芯排针对接。与互感器的接口如表 4 所示。

表 4 电子式电压、电流互感器接口要求

类型	名称	标记说明	说明
----	----	------	----

电子式	I0+	零序电流+	多芯排针对接（板卡对接）
	I0-	零序电流-	
	IB+	B 相电流+	
	IC+	C 相电流+	
	IC-	C 相电流-	
	IB-	B 相电流-	
	IA+	A 相电流+	
	IA-	A 相电流-	
	UA	A 相相电压	多芯排针对接（板卡对接）
	UB	B 相相电压	
	UC	C 相相电压	
	U0	零序电压	
	Ucom	电压信号公共端	

（3）应用于交流采集为数字式互感器的柱上断路器

应用于交流采集为数字式互感器的柱上断路器中的行波装置为深度融合到数字式互感器中，不涉及二次接口，仅规定一次接口，断路器应具备三相电压、三相电流。

5.1.2 外挂式行波装置与柱上开关类设备的接口形式 1

（1）外挂式行波装置与电磁式柱上断路器的接口形式

行波装置与柱上断路器之间的接口包含电压信号、电流信号、状态及控制信号的接口，行波装置与馈线终端之间的接口包含电压信号、电流信号接口、状态及控制信号接口、电源接口、有线通讯接口；信号传递方向是从柱上断路器传输至行波装置，再由行波装置传输至馈线终端。接口类型为航插电缆，电压及电流信号从断路器经行波装置传输至馈线终端时，需保证信号没有衰减及变化，其接口关系如图 5 所示：

¹ 受下行 FT3 信号速率的影响，数字式不支持外挂式行波测距装置的安装，故本部分不在对外挂式行波测距装置与数字式开关的接口形式说明。

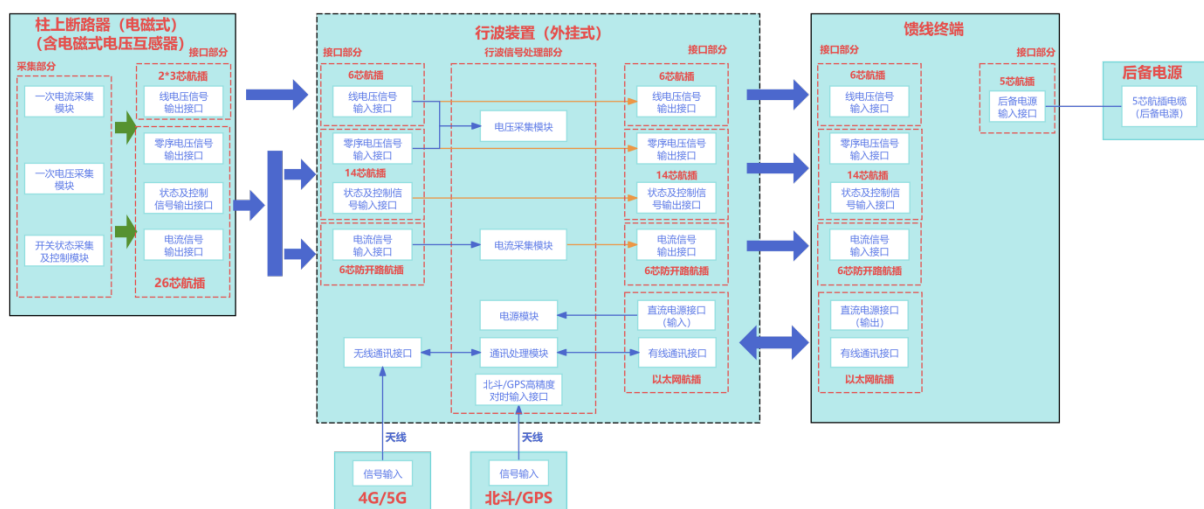


图 5 行波装置（外挂式）与电磁式开关接口关系图

(2) 外挂式行波装置与电子式柱上断路器的接口形式

柱上断路器经航插电缆将电气信号传输至行波装置, 行波装置采集、处理并经航插传输至馈线终端, 柱上断路器将开关状态、控制信号、交流电源传输至馈线终端, 馈线终端经以太网航插给行波装置提供 DC24V 电源, 如图 6 所示。

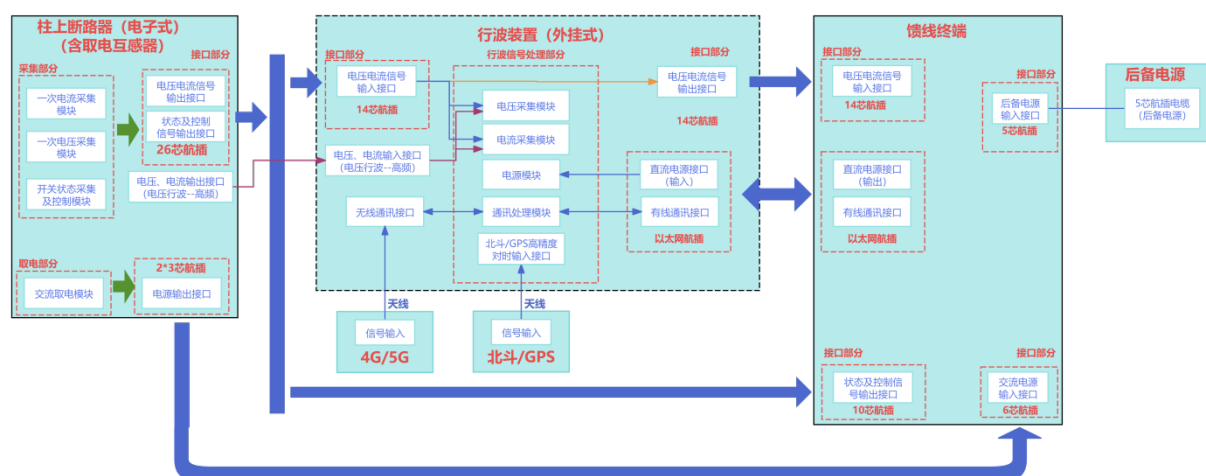


图 6 行波装置（外挂式）与电子式开关接口关系图

行波装置与 FTU、柱上断路器、电压互感器之间的关系如图 7、图 8 所示：

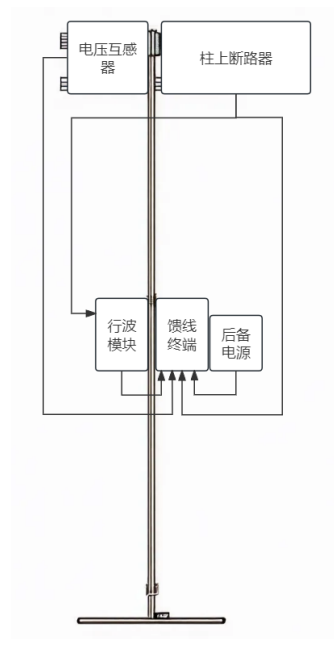
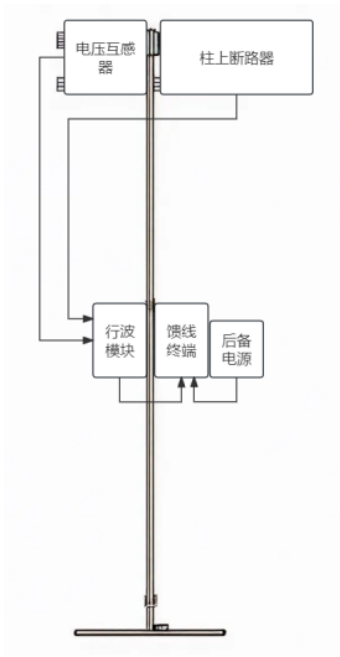
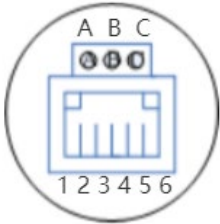


图 7 行波装置（外挂式）与电磁式开关 图 8 行波装置（外挂式）与电子式开关
安装示意图 安装示意图

5.1.2.1 电源接口

外挂式行波装置供电电压为 DC24V，经馈线终端的以太网航插电缆提供，并与馈线终端共用备用电源接口。接口形式采用以太网航插，接口定义见表 5。

表 5 以太网通讯、通讯电源接口引脚定义及接线要求

引脚号	标记	标记说明	备注	图示
A	24+	V+		
B	--	--		
C	24-	V-		
1	RJ45-1-1	网口 1 发信号+	RJ45 接口	
2	RJ45-1-2	网口 1 发信号-		
3	RJ45-1-3	网口 1 收信号+		
4	--	--		
5	--	--		
6	RJ45-1-6	网口 1 收信号-		

5.1.2.2 与一次互感器（传感器）接口

(1) 应用于交流采集为电磁式互感器的柱上断路器

接口应包含三相电流、三相电压、零序电流、零序电压。其中：三相电流的接口采用 6 芯防开路航空插头，具体接口定义详见表 6。

表 6 电磁式电流传感器接口定义

引脚号	标记	标记说明	图示
1	Ia	A 相电流	
2	Ib	B 相电流	
3	Ic	C 相电流	
4	In	相电流公共端	
5	I0	零序电流	
6	I0com	零序电流公共端	

零序电压的接口采用 14 芯航插插头，具体接口定义详见表 7。

表 7 零序电压传感器接口定义

引脚号	标记	标记说明	图示
13	Uo+	零序电压	
14	Uo-	零序电压公共端	

注：其他控制信号行波装置不采集，仅中转。

三相电压的接口采用 6 芯航空插头，具体接口定义详见表 8。

表 8 电压传感器接口定义

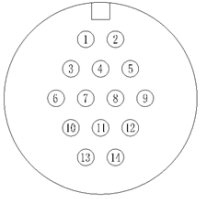
引脚号	标记	标记说明	图示
1	1TVa1	AB 线电压 TV 二次侧电压（对应 A 相）	
2	2TVc1	CB 线电压 TV 二次侧电压（对应 C 相）	
3	1TVb1/2TVb1	AB/BC 线电压 TV 二次侧电压（对应 B 相）	
4	1TVa2	AB 线电压 TV 二次侧电压（对应 A 相）	
5	2TVc2	CB 线电压 TV 二次侧电压（对应 C 相）	
6	1TVb2/2TVb2	AB/BC 线电压 TV 二次侧电压（对应 B 相）	

(2) 应用于交流采集为电子式互感器的柱上断路器

接口应包含三相电流、三相电压、零序电流、零序电压，均采用 14 芯航空插头，具体接口定义见表 9。

表 9 电子式电压、电流传感器接口定义

引脚号	标记	标记说明	电缆规格	图示
1	Io+	零序电流+	/	
2	Io-	零序电流-	/	

引脚号	标记	标记说明	电缆规格	图示
3	Ib+	B 相电流+	/	
4	Ic+	C 相电流+	/	
5	Ic-	C 相电流-	/	
6	Ib-	B 相电流-	/	
7	Ia+	A 相电流+	/	
8	Ia-	A 相电流-	/	
9	备用	备用	备用	
10	Ua+	A 相电压+	屏蔽线缆	
11	Ub+	B 相电压+	屏蔽线缆	
12	Uc+	C 相电压+	屏蔽线缆	
13	Uo+	零序电压+	屏蔽线缆	
14	Ucom	电压公共端	屏蔽线缆	

5.2 行波装置与站所类设备的接口形式

5.2.1 行波装置与集中式站所类设备的接口

行波装置与集中式站所类设备之间的接口包括电源接口、一次互感器（传感器）接口、时钟同步接口本地维护接口等，见图 9。

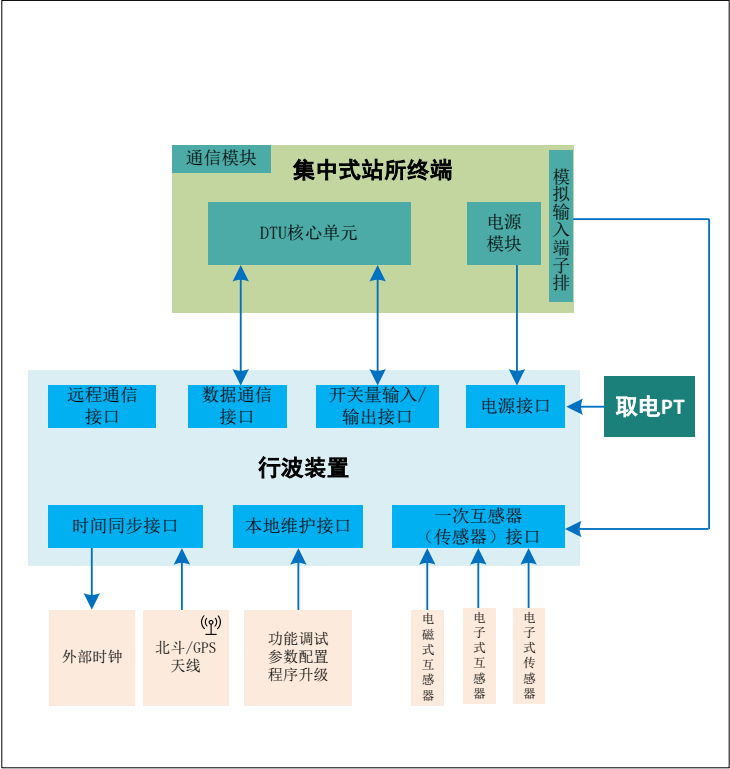


图 9 行波装置与集中式站所类设备接口示意图

5.2.1.1 电源接口

交流电源可从站所终端的电源模块输入端获取或从三相五柱式 PT 获取，直流电源可从站所终端的电源模块输出端获取，见图 10 所示，引脚定义见表 10、表 11。

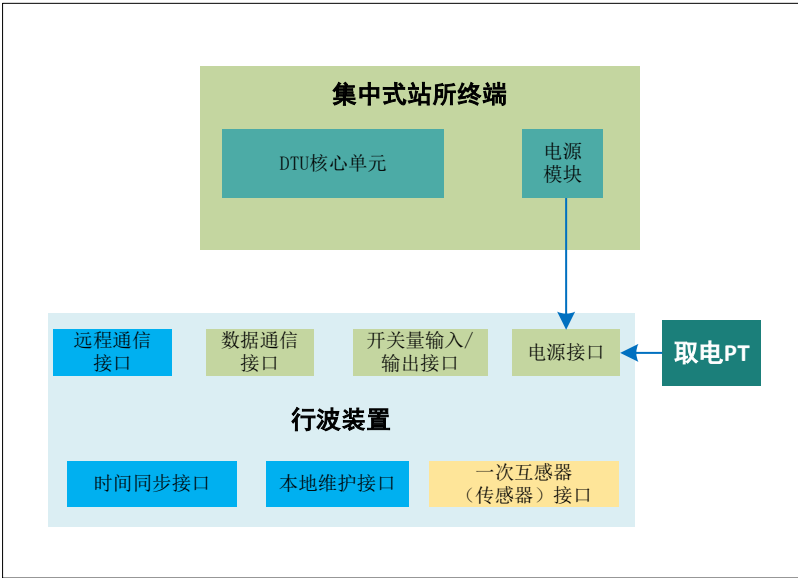


图 10 电源接口示意图

表 10 直流电源接口引脚定义

引脚号	标记	标记说明
1	DC24+	工作电源+
2	DC24-	工作电源-

表 11 交流电源接口引脚定义

引脚号	标记	标记说明
1	U1a	交流输入
2	U1b	交流输入
3	U1c	交流输入

5.2.1.2 与一次互感器（传感器）接口

行波装置与一次互感器（传感器）的接口主要传输电压、电流、零序电压、零序电流等数据。数据获取可采用以下方式：

（1）与电磁式互感器的接口

行波装置经电磁式电压/电流互感器二次侧获取电压/电流信号。当集中式站所终端采用端子排接入电磁式互感器二次侧信号时，行波装置宜从站所终端的模拟输入端子排获取电压和电流信号。

（2）与电子式互感器的接口

行波装置从电子式电压/电流互感器二次侧获取小功率电压/电流信号。当集中式站所终端采用端子排接入电子式互感器二次侧小功率信号时，行波装置宜从站所终端的模拟输入端子排获取小功率电压和电流信号。

（3）与电子式传感器的接口

当不宜于从电磁式/电子式互感器二次侧或集中式站所终端端子排获取电压和电流信号时，行波装置可通过专门的电子式传感器获取环网柜母线电压信号和各开关间隔电缆接地线的电流信号。

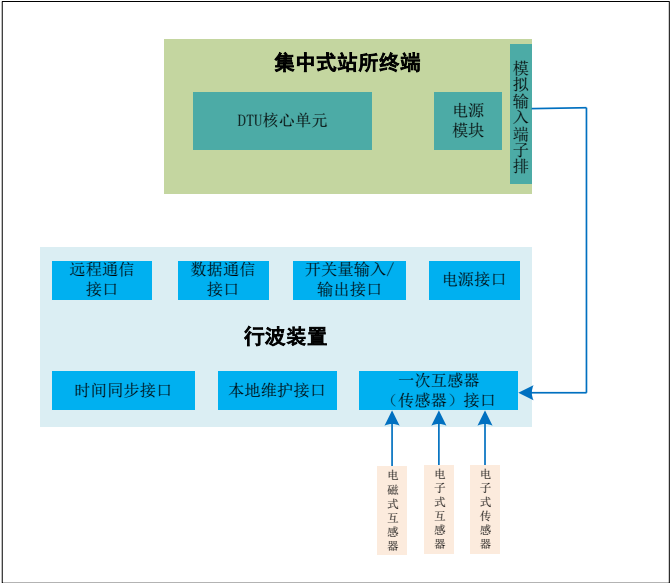


图 11 与一次互感器（传感器）接口示意图

表 12 电磁式/电子式互感器接口引脚定义

引脚号	标记	标记说明	备注
1	Ia1+	A 相电流+	间隔 1
2	Ia1-	A 相电流-	
3	Ib1+	B 相电流+	
4	Ib1-	B 相电流-	
5	Ic1+	C 相电流+	
6	Ic1-	C 相电流-	
7	I01+	零序电流+	
8	I01-	零序电流-	
n+7	Ian+	A 相电流+	间隔 n
n+8	Ian-	A 相电流-	
n+9	Ibn+	B 相电流+	
n+10	Ibn-	B 相电流-	
n+11	Icn+	C 相电流+	
n+12	Icn-	C 相电流-	
n+13	I0n+	零序电流+	
n+14	I0n-	零序电流-	
8n+1	Ua	A 相电压	/
8n+2	Ub	B 相电压	/
8n+3	Uc	C 相电压	/

8n+4	Un	相电压公共端	/
8n+5	Uo+	零序电压	/
8n+6	Uo-	零序电压公共端	/

表 13 电子式传感器接口引脚定义

引脚号	标记	标记说明
1	I1+	间隔 1 电缆接地线电流+
2	I1-	间隔 1 电缆接地线电流-
3	I2+	间隔 2 电缆接地线电流+
4	I2-	间隔 2 电缆接地线电流-
5	I3+	间隔 3 电缆接地线电流+
6	I3-	间隔 3 电缆接地线电流-
7	I4+	间隔 4 电缆接地线电流+
8	I4-	间隔 4 电缆接地线电流-
9	I5+	间隔 5 电缆接地线电流+
10	I5-	间隔 5 电缆接地线电流-
11	I6+	间隔 6 电缆接地线电流+
12	I6-	间隔 6 电缆接地线电流-
49	Ua	A 相电压
50	Ub	B 相电压
51	Uc	C 相电压
52	Un	相电压公共端
53	Uo+	零序电压
54	Uo-	零序电压公共端

5.2.2 行波装置与分散式（分布式）站所类设备的接口

环网柜（箱）将采集到的电气信号（包括工频、高频）分别传输至行波装置并处理。行波装置的电源由环网柜（箱）提供 DC24V。外挂式行波装置与分散式（分布式）站所类设备的接口关系如图 12 所示。

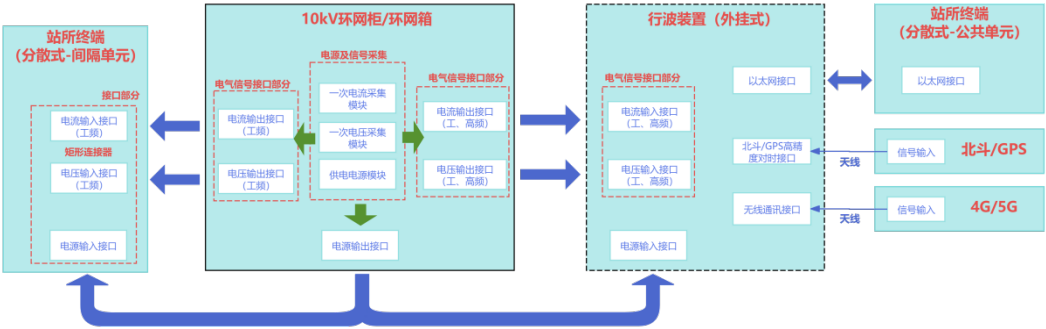


图 12 外挂式行波装置与分散式站所类设备接口关系图

内嵌式行波装置与分散式站所类设备的接口关系如图 13 所示。内嵌式行波装置与分散式站所类设备的间隔单元共用电流采集通道、电压采集接通道、电源通道，行波装置可具备独立以太网接口，与站所类设备的公共单元进行通讯。

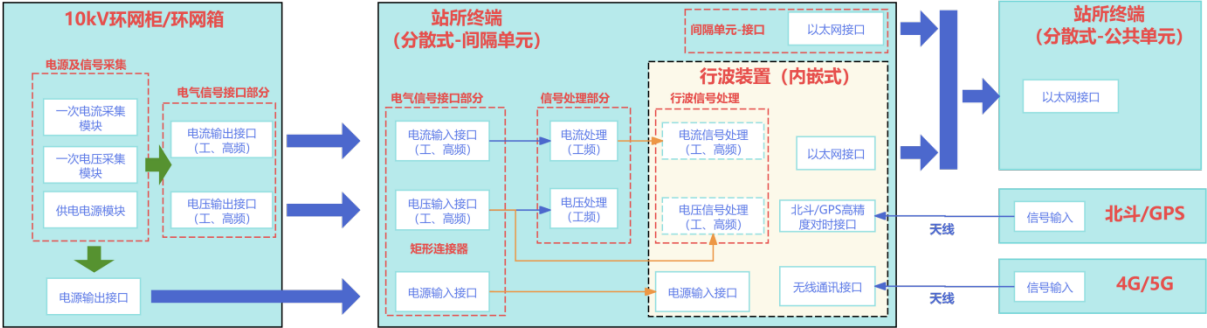


图 13 内嵌式行波装置与分散式站所终端接口关系图

5.2.2.1 电源接口

行波装置（含内嵌式、外挂式）应支持 DC24V、DC48V 供电，其中：外挂式可采用端子排、矩形连接器等方式；内嵌式可与间隔单元共用电源回路接口。电源接口应包括如表 14 定义：

表 14 电源接口定义及接线要求

引脚号	标记	标记说明	电缆规格
1	DC24+	工作电源+	RV2.5mm ²
2	DC24-	工作电源-	RV2.5mm ²

5.2.2.2 与一次互感器（传感器）接口

（1）应用于交流采集为电磁式互感器的环网柜（环网箱）

行波装置（含内嵌、外挂）在配套电磁式互感器时，模拟量采集接口应包含三相电流、零序电压，宜包含三相电压、零序电流，其中：外挂式可采用端子排方式采集信号，内嵌式可与间隔单元共用三相电流、三相电压、零序电流、零序电压采集接口。接口形式如下表。

三相电流接口端子应包括如表 15 定义：

表 15 电流互感器（电磁式）接口定义及接线要求

引脚号	标记	标记说明
1	Ia	A 相电流
2	Ib	B 相电流
3	Ic	C 相电流
4	In	相电流公共端

零序电流（若有）应包括如表 16 定义：

表 16 零序电流互感器（电磁式）接口定义及接线要求

引脚号	标记	标记说明
1	I0	零序电流
2	I0com	零序电流公共端

零序电压应包括如表 17 定义：

表 17 零序电压互感器（电磁式）接口定义及接线要求

引脚号	标记	标记说明
1	Uo+	零序电压
2	Uo-	零序电压公共端

三相电压（若有）应包括如表 18 定义：

表 18 电压互感器（电磁式）接口定义及接线要求

引脚号	标记	标记说明
1	Ua	A 相电压
2	Ub	B 相电压
3	Uc	C 相电压
4	Un	相电压公共端

（2）应用于交流采集为电子式互感器的环网柜（环网箱）

行波装置（含内嵌、外挂）在配套电子式互感器时，模拟量采集接口应包含三相电流、零序电压，宜包含三相电压、零序电流，具体如下图所示：

内嵌式行波式模块与间隔单元共用三相电流、三相电压、零序电流、零序电压采集接口，具体关系如内嵌式行波装置模拟量采集接口关系图 14 所示：

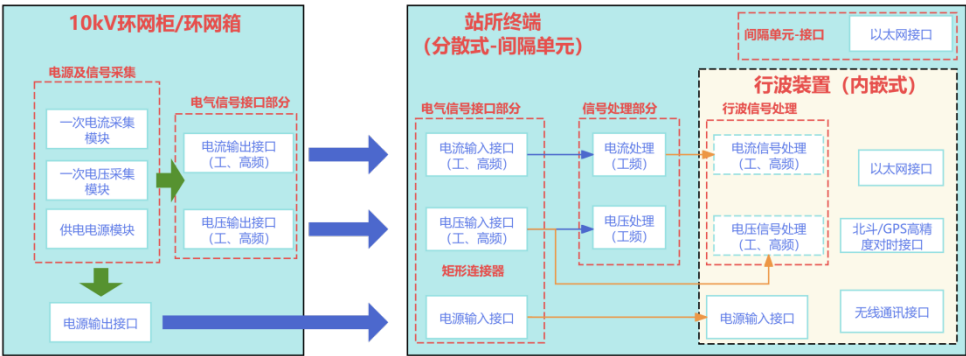


图 14 内嵌式行波装置模拟量采集接口关系图

外挂式行波装置模拟量采集接口可采用端子排、圆形连接器、矩形连接器等方式，具体设计如图 15 所示：

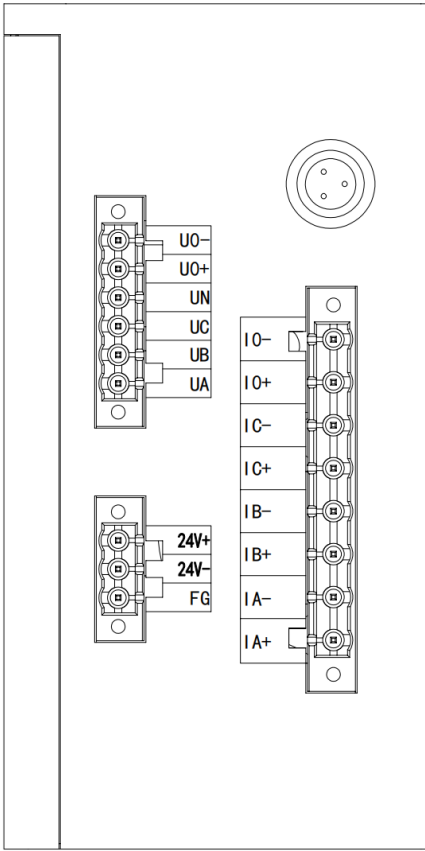


图 15 外挂式行波装置模拟量采集接口设计示例图

三相电流及零序电流接口端子应包括如表 19 定义：

表 19 电流互感器（电子式）接口定义及接线要求

引脚号	标记	标记说明
1	IA+	A 相电流+
2	IA-	A 相电流-
3	IB+	B 相电流+
4	IB-	B 相电流-
4	IC+	C 相电流+
5	IC-	C 相电流-
6	I0+	零序电流+
7	I0-	零序电流-

三相电压（若有）及零序电压应包括如表 20 定义：

表 20 零序电压互感器（电子式）接口定义及接线要求

引脚号	标记	标记说明
1	Ua	A 相电压
2	Ub	B 相电压

3	Uc	C 相电压
4	Un	相电压公共端
5	Uo+	零序电压
6	Uo-	零序电压公共端

5.3 行波装置时钟同步接口

- A) 行波装置可支持独立北斗模块或复用配电终端北斗模块实现时钟同步；
- B) 当采用独立北斗模块时，可通过 SMA 天线接口方式外接天线实现与北斗的连接。
- C) 当复用配电终端北斗模块时，时钟同步接口见表 21：

表 21 时钟同步接口引脚定义及要求

引脚号	标记	标记说明
1	1PPS	秒脉冲
2	TX	串口通信发送
3	RX	串口通信接收
4	GND	串口通信地

5.4 行波装置本地维护接口

行波装置本地维护接口应支持网口/串口/蓝牙，支持 MQTT 协议对行波装置进行就地运维，包含：功能调试、参数配置、程序升级等。具体接口定义如表 22 所示：

表 22 本地维护接口定义

引脚号	标记	标记说明	备注	图示
1	RJ45-1-1	网口 1 发信号+	RJ45 接口	<div>运维串口&网口</div> 
2	RJ45-1-2	网口 1 发信号-		
3	RJ45-1-3	网口 1 收信号+		
4	TX	串口发送		
5	RX	串口接收		
6	RJ45-1-6	网口 1 收信号-		
7	GND	串口发送		
8	RX	串口接收		

6 接口要求

6.1 行波装置与柱上开关类设备的接口要求

6.1.1 内嵌式行波装置与柱上开关类设备的接口要求

6.1.1.1 电源接口

内嵌于 FTU 的行波装置电源采用 2 芯插拔式端子，用于电源信号接入。FTU 主电源具备双路交流电源输入和自动切换功能，采用 TV 取电。电源要求参见标准 DL/T 721-2024 章节 4.2 中的电源要求。

与数字式互感器深度融合的行波装置电源来源于数字化单元 ADMU 的电源输入接口，此电源由馈线终端提供。额定电源电压为直流 24V，电源电压的标准参考范围为额定电源电压的 80%~120%。

相关电源接口要求见表 23：

表 23 电源接口要求

电源接口参数	
DC 电压	24V
功率	<10W

6.1.1.2 与一次互感器（传感器）接口

6.1.1.2.1 应用于交流采集为电磁式互感器的柱上断路器

内嵌式行波装置应用于电磁式互感器的柱上断路器时对互感器的要求如下表 24、表 25、表 26、表 27 所示。

表 24 一次侧电磁式电流互感器要求

电流互感器参数	
额定电流比	相电流：600A/5A 零序电流：100A/1A
准确等级	相电流：保护 5P10 级，测量 0.5 级 零序电流：保护 5P10 级
容量	相 CT：额定 5A 时≥10VA，额定 1A 时≥1VA；零序 CT：100A/1A, 0.5VA
温度范围	-40℃~70℃
互感器带宽	30Hz~200kHz

表 25 一次侧电磁式电压互感器要求

电压互感器参数	
额定电压比	相电压测量：10KV/0.1KV 供电电压：10KV/0.22KV
准确等级	线电压：0.5 级 供电电压：3 级
测量绕组输出容量	≥10VA
供电绕组输出容量	≥300VA，瞬时容量≥500VA/1S
温度范围	-40℃~70℃
互感器带宽	30Hz~2kHz

表 26 一次侧电磁式零序电压互感器要求

零序电压互感器参数	
额定电压比	(10 kV/√3) / (6.5V/3)
准确等级	3P 级
额定负荷	2MΩ ±5%
终端输入阻抗	≥300VA，瞬时容量≥500VA/1S
温度范围	-40℃~70℃
互感器带宽	30Hz~2kHz

表 27 二次侧电流传感器要求

二次侧电流互感器参数	
工频变比	90A/1V
行波变比	10A/1V
准确等级	5P 级

温度范围	-40℃~70℃
互感器带宽	30Hz~500kHz

6.1.1.2.2 应用于交流采集为电子式互感器的柱上断路器

内嵌式行波装置应用于电子式互感器的柱上断路器时对互感器的要求见表 28、表 29 所示。

表 28 电压/电流互感器组合模式的电子式电流互感器要求

电压/电流互感器组合模式电子式电流互感器参数	
额定变比	相电流：600A/1V 零序电流：20A/0.2V
准确等级	相电流：0.5 级 零序电流：1S 级，保护 10P10
额定负荷	20K Ω
终端输入阻抗	≥20K Ω
互感器带宽	30Hz~500kHz

表 29 电压/电流互感器组合模式的电子式电压互感器要求

电压/电流互感器组合模式电子电压互感器参数	
额定电压比	相电压：（10 KV/√3）/（3.25V/√3） 零序电压：（10 KV/√3）/（6.5V/3）
准确等级	相电压：0.5 级 零序电压：3P
额定负荷	2M Ω ±5%
终端输入阻抗	≥2M Ω
互感器带宽	30Hz~2KHz

6.1.1.2.3 应用于交流采集为数字式互感器的柱上断路器

行波装置应用于数字式互感器的柱上断路器时对互感器的要求见表 30、表 31 所示。

表 30 电压/电流互感器组合模式的电子式电流互感器要求

电压/电流互感器组合模式数字式电流互感器参数	
额定变比	相电流：测量 600A/11585，保护 600A/463 零序电流：测量 20A/(11585/5)，保护 20A/463
准确等级	相电流：保护 5P10 级、测量 0.5S 零序电流：一次侧输入电流为 1A 至额定电流时，满足 1S 级，保护 10P30
额定负荷	20K Ω
终端输入阻抗	≥20K Ω
互感器带宽	30Hz~500kHz

表 31 电压/电流互感器组合模式的数字式电压互感器要求

电压/电流互感器组合模式数字式电压互感器参数	
额定电压比	相电压：(10kV/√3)/11585 零序电压：(10kV/√3)/(11585/3)
准确等级	相电压：0.5 级，零序电压：3P 级
额定负荷	2M Ω ±5%
终端输入阻抗	≥2M Ω
互感器带宽	30Hz~2KHz

6.1.2 外挂式行波装置与柱上开关类设备的接口要求

6.1.2.1 电源接口

外挂式行波装置交流电源及后备电源应满足 DL/T 721-2024 章节 4.2 中的电源要求。

6.1.2.2 与一次互感器（传感器）接口

（1）应用于交流采集为电磁式互感器的柱上断路器

外挂式行波装置对于电压、电流等模拟量的接口要求见表 32、表 33、表 34、表 35、表 36 所示。

表 32 电磁式电压互感器要求

项目	参数
额定电压比	相电压测量：10KV/0.1KV 供电电压：10KV/0.22KV
准确级	线电压：0.5 级 供电电压：3 级
温度范围	-40℃~70℃
供电绕组输出容量	300VA

三相电流、零序电流的接口要求：

表 33 电磁式电流互感器要求

项目	参数
额定电流比	相电流：600A/5A 或 600A/1A 零序电流：100A/1A（电流扩大倍数≥6）
准确级	相电流：保护 5P10 级、测量 0.5S 级 零序电流：采用三个独立的 100A/1A 变比的电流互感器，一次侧输入电流为 1A 至额定电流时，满足 1S 级（角差、比差），保护准确度等级为 5P10 级。
额定输出容量	相 CT：额定 5A 时，10VA，额定 1A 时，1VA； 零序 CT：100A/1A，0.5VA。
频响范围	1kHz~1MHz
行波电流测量范围	0.1~100A
行波电流幅值测量误差	±3%±0.1A
温度范围	-40℃~70℃

零序电压的接口要求：

表 34 零序电压互感器要求

项目	参数
额定变比	$(10\text{kV}/\sqrt{3})/(6.5\text{V}/3)$
准确级（含线缆）	零序电压：3P
额定负荷	$2\text{M}\Omega \pm 5\%$
终端输入阻抗	$\geq 2\text{M}\Omega$

（2）应用于交流采集为电子式互感器的柱上断路器

外挂式行波装置对于电压、电流等模拟量的接口要求如下表所示。

三相电压、零序电压的接口要求：

表 35 电压互感器（电子式）要求

项目	参数
额定变比	相：600A/1V，零序：20A/0.2V
准确级（含线缆）	相：测量 0.5S 级，保护 5P10 零序：采用三个独立的 20A/0.2V 变比的电流互感器，一次侧输入电流为 1A 至额定电流时，满足 1S 级（角差、比差），保护 10P30

额定负荷	20k Ω
终端输入阻抗	$\geq 20k \Omega$
频响范围	1kHz~1MHz
行波电流测量范围	0.1~100A
行波电流幅值测量误差	$\pm 3\% \pm 0.1A$
温度范围	-40℃~70℃

三相电流、零序电流的接口要求：

表 36 电流互感器（电子式）要求

项目	参数
额定变比	相：600A/1V，零序：20A/0.2V
准确级（含线缆）	相：测量 0.5S 级，保护 5P10 零序：采用三个独立的 20A/0.2V 变比的电流互感器，一次侧输入电流为 1A 至额定电流时，满足 1S 级（角差、比差），保护 10P30
额定负荷	20k Ω
终端输入阻抗	$\geq 20k \Omega$
频响范围	1kHz~1MHz
行波电流测量范围	0.1~100A
行波电流幅值测量误差	$\pm 3\% \pm 0.1A$
温度范围	-40℃~70℃

6.2 行波装置与站所类设备的接口要求

6.2.1 行波装置与集中式站所类设备的接口要求

6.2.1.1 电源接口

- (1) 交流电源要求 AC220V，从集中式站所终端的电源模块输入端获取或从三相五柱式 PT 获取。
- (2) 直流电源要求 DC24V，从集中式站所终端的电源模块输出端获取，支持+5V~36V 宽电压输入，模块应内置电源反向保护和过压保护。

6.2.1.2 与一次互感器（传感器）接口

- (1) 与电磁式互感器的接口
- 宜从站所终端的模拟输入端子排获取电磁式电压和电流信号（信号带宽 0~500kHz）；
 - 支持 4 路电压和至少 24 路电流信号的接入；
 - 不应影响站所终端的模拟信号采集精度。
- (2) 与电子式互感器的接口
- 宜从站所终端的模拟输入端子排获取电子式电压和电流信号（信号带宽 0~500kHz）；
 - 支持 4 路电压和至少 24 路电流信号的接入；
 - 不应影响站所终端的模拟信号采集精度。
- (3) 与电子式传感器的接口
- 支持 4 路电压和至少 6 路电流信号的接入，信号带宽不低于 500kHz。

6.2.2 行波装置与分散式（分布式）站所类设备的接口要求

6.2.2.1 电源接口

应用于分散式（分布式）站所类设备的行波装置交流电源及后备电源应满足 DL/T 721-2024 章节 4.2 中的电源要求。

6.2.2.2 与一次互感器（传感器）接口

（1）应用于交流采集为电磁式互感器的环网柜
外挂式行波装置对于电压、电流等模拟量的接口要求见表 37 所示。
三相电压、零序电压的接口要求：

表 37 电磁式电压互感器要求

项目	参数
额定电压比	相电压：(10kV/√3) / (0.1kV/√3) 零序电压：(10kV/√3) / (0.1kV/3) 供电相电压：(10kV/√3) / (0.22kV/√3)
准确级	相电压：0.5 级 零序电压：3P 供电：3 级
温度范围	-40℃~70℃
供电绕组输出容量	3×300VA，短时 3000VA/1s

三相电流、零序电流的接口要求见表 38：

表 38 电磁式电流互感器要求

项目	参数
额定电流比	相电流：600A/5A 或 600A/1A 零序电流：100A/1A（电流扩大倍数≥6）
准确级	相电流：保护 5P10 级、测量 0.5S 级 零序电流：采用三个独立的 100A/1A 变比的电流互感器，一次侧输入电流为 1A 至额定电流时，满足 1S 级（角差、比差），保护准确度等级为 5P10 级。
额定输出容量	相 CT：额定值，10VA，额定 1A 时，1VA； 零序 CT：100A/1A，0.5VA。
频响范围	1kHz~1MHz
行波电流测量范围	0.1~100A
行波电流幅值测量误差	±5%±0.2A
温度范围	-40℃~70℃

（2）应用于交流采集为电子式互感器的环网柜
外挂式行波装置对于电压、电流等模拟量的接口要求见表 39 所示。
三相电压、零序电压的接口要求：

表 39 电压互感器（电子式）要求

项目	参数
额定变比	相电压：(10kV/√3) / (3.25V/√3) 零序电压：(10kV/√3) / (6.5V/3) 供电相电压：10kV/0.22kV
准确级（含线缆）	相电压：0.5 级 零序电压：3P 供电：3 级
额定负荷	相电压：≥2MΩ 零序电压：≥2MΩ 供电：3×300VA，短时 3000VA/1s

频响范围	1kHz~1MHz
温度范围	-40℃~70℃

三相电流、零序电流的接口要求见表 40：

表 40 电流互感器（电子式）要求

项目	参数
额定变比	相：600A/1V 零序：20A/0.2V
准确级（含线缆）	相：测量 0.5S 级，保护 5P10 零序：采用三个独立的 20A/0.2V 变比的电流互感器，一次侧输入电流为 1A 至额定电流时，满足 1S 级（角差、比差），保护 10P30
额定负荷	≥20k Ω
频响范围	1kHz~1MHz
行波电流测量范围	0.1~100A
行波电流幅值测量误差	±5%±0.2A
温度范围	-40℃~70℃

6.3 行波装置时钟同步接口

行波装置可采用独立的时钟同步模块或复用馈线终端的同步模块。

当内置北斗模块时间同步时，时间同步误差不大于 0.1 μs。

当复用馈线终端北斗模块时间同步时，馈线终端的北斗模块时间同步误差不大于 0.1 μs。

6.4 行波装置本地维护接口

行波装置应能通过本地维护接口进行功能调试、参数配置和程序升级。

行波装置的本地维护接口应支持 DL/T 634 标准的 104/101 通信规约、宜支持 MQTT、DDS、HTTP 等物联网通讯协议；宜包含以太网通讯接口、串口、无线通讯接口，其中：网口要求传输速率选用 10/100Mbps 全双工等；串口要求传输速率可选用 9600bps-115200bps 等。

行波装置与数字式互感器深度融合的行波装置本地维护接口采用串口来维护时，可采用 RJ45 形式；当接口采用网口维护时，相关接口要求见表 41 所示：

表 41 行波装置本地维护接口要求

项目	参数
网口通讯速率	以太网 10/100Mbit/s
网口通讯方式	差分输入对
网口规范	符合百兆以太网规范

7 测试方法

7.1 行波测距装置与柱上开关类设备的接口测试

7.1.1 内嵌式行波测距装置与柱上开关类设备的接口测试

7.1.1.1 电源接口

检查行波装置电源接口是否采用 2 芯插拔式端子用于电源信号接入，接口定义应满足 5.1.1.1 要求。按接口定义要求，在电源接口施加 24V 直流电压，行波装置可正常工作。

按照 DL/T 721-2024 中第 5.5 章节规定的方法，FTU 电源试验应满足 6.1.1.1 要求。

7.1.1.2 与一次互感器（传感器）接口

（1）应用于交流采集为电磁式互感器的柱上断路器

按表 3 接口定义依次施加 A、B、C 相电流和 AB 线电压、CB 线电压及零序电压，通过行波装置上送数据核对施加信号端口与定义接口一致，满足 5.1.1.2 要求。

（2）应用于交流采集为电子式互感器的柱上断路器

按表 4 接口定义依次施加 A、B、C 相、零序电流信号和 A、B、C 相电压及零序电压信号，通过行波装置上送数据核对施加信号端口与定义接口一致，满足 5.1.1.2 要求。

7.1.2 外挂式行波装置与柱上开关类设备的接口测试

7.1.2.1 电源接口

按行波装置以太网航插定义的 A、C 引脚施加 24V 直流电压时，行波装置可正常工作。

按照 DL/T 721-2024 中第 5.5 章节规定的方法，FTU 电源试验应满足 6.1.2.1 要求。

7.1.2.2 与一次互感器（传感器）接口

（1）应用于交流采集为电磁式互感器的柱上断路器

按表 6~8 接口定义依次施加 A、B、C 相电流、零序电流、零序电压及 AB 线电压、CB 线电压，通过行波装置上送数据核对施加信号端口与定义接口一致，满足 5.1.2.2 要求。

（2）应用于交流采集为电子式互感器的柱上断路器

按表 9 接口定义依次施加 A、B、C 相电流、零序电流信号和 A、B、C 相电压及零序电压信号，通过行波装置上送数据核对施加信号端口与定义接口一致，满足 5.1.2.2 要求。

7.2 行波装置与站所类设备的接口测试

7.2.1 行波装置与集中式站所终端的接口测试

7.2.1.1 电源接口

（1）行波装置采用交流电源接口时，检查电源接口定义满足表 11 要求，施加 220V 交流电压时，行波装置可正常工作。

（2）行波装置采用直流电源接口时，检查电源接口定义满足表 10 要求，施加直流电压范围为 5V~36V 时，行波装置可正常工作。

7.2.1.2 与一次互感器（传感器）接口

（1）应用于交流采集为电磁式/电子式互感器的环网柜

按表 12 接口定义对互感器接口各间隔依次施加 A、B、C 相电流、零序电流信号和 A、B、C 相电压、零序电压信号，通过行波装置上送数据核对施加信号端口与定义接口一致，满足 5.2.1.2 要求。

（2）应用于交流采集为电子式传感器的环网柜

按表 13 接口定义对传感器接口各间隔依次施加电流信号和母线 A、B、C 相电压、零序电压信号，通过行波装置上送数据核对施加信号端口与定义接口一致，满足 5.2.1.2 要求。

7.2.2 行波装置与分散式站所终端的接口

7.2.2.1 电源接口

检查行波装置电源接口支持 24V、48V 供电，按表 30 的接口定义要求，在电源接口施加 24V、48V 直流电压，行波装置可正常工作。

按照 DL/T 721-2024 中第 5.5 章节规定的方法，DTU 电源试验应满足 6.2.2.1 要求。

7.2.2.2 与一次互感器（传感器）接口

（1）应用于交流采集为电磁式互感器的环网柜（环网箱）

按表 15~18 接口定义依次施加 A、B、C 相电流、零序电流、零序电压及 A 相电压、B 相电压、C 相电压，通过行波装置上送数据核对施加信号端口与定义接口一致，满足 5.2.2.2 要求。

（2）应用于交流采集为电子式互感器的环网柜（环网箱）

按表 19、20 接口定义依次施加 A、B、C 相电流、零序电流信号、零序电压及 A 相电压、B 相电压、C 相电压信号，通过行波装置上送数据核对施加信号端口与定义接口一致，满足 5.2.2.2 要求。

7.3 行波装置时钟接口

（1）采用独立北斗模块

将行波装置放置在北斗信号良好区域并上电工作，等待行波装置对时稳定工作后，利用时间测试仪测量行波装置和标准时钟源各自输出的 1PPS 信号有效沿之间的偏差，检测持续时间 $\geq 100\text{s}$ 。行波装置正常情况下对时误差应满足 6.3 的要求。

（2）复用配电终端北斗模块

将配电终端放置在北斗信号良好区域并上电工作，等待配电终端对时稳定工作后，利用时间测试仪测量配电终端和标准时钟源各自输出的 1PPS 信号有效沿之间的偏差，检测持续时间 $\geq 100\text{s}$ 。配电终端正常情况下对时误差应满足 6.3 的要求。

7.4 行波装置本地维护接口

检查行波装置应具有一路 RJ45 形式的以太网及串口接口和无线运维模块，通过网线应能支持以太网运维软件，协议满足 DL/T 634.5104，根据本地维护接口定义的串口收发引脚接入串口调试线应支持串口运维软件，协议满足 DL/T 634.5101，串口速率设置为 9600bps~115200bps，行波装置串口均能正常工作，可无线接入远程运维工具。

通过维护软件对行波装置进行修改配置参数及升级程序操作，行波装置应能准确执行参数配置，当程序升级后调阅当前程序版本号应正确返回升级的程序版本。

附录 A

(资料性)
通信协议

(1) 上行 FT3 通信协议

序号	名称	描述	数据帧内容举例
字 0	帧头	0564 (十六进制)	0564
有效数据 1			
字 1	时钟同步标志位	0000: 上行 FT3 不具有秒脉冲同步信息 0001: 上行 FT3 具有秒脉冲同步信息且帧间隔具有同步信息 0002: 上行 FT3 具有秒脉冲同步信息但帧间隔无同步信息	0000
字 2	有效数据 2 功能代码	0000: 数据段为无用信息 0001: 数据段为调试信息 0002: 参数设置 0003: 升级程序	0000
字 3	有效数据 3 功能代码	0000: 数据段为无用信息 0001: 数据段为调试信息 0002: 参数设置 0003: 升级程序	0000
字 4	有效数据 4 功能代码	0000: 数据段为无用信息 0001: 数据段为调试信息 0002: 参数设置 0003: 升级程序	0000
字 5	/	/	0000
字 6	/	/	0000
字 7	额定延迟时间	额定延迟时间以微秒 (μs) 数给出。	0011
字 8	帧计数	此 16 比特计数用以检查连续更新的帧数。此计数应在每出现一个新帧时加 1。连续运行中一旦溢出, 它应以 0 值重新开始。	0000
字 9	CRC 校验字 1	字 1-8 的 16 位 CRC 校验字。	19E6
有效数据 2			
字 10	数据 1	数据段数据为调试信息、参数设置、程序升级等 (主要参考字 2 功能代码)	0000
字 11	数据 2	同上	0000

字 12	数据 3	同上	0000
字 13	数据 4	同上	0000
字 14	数据 5	同上	0000
字 15	数据 6	同上	0000
字 16	数据 7	同上	0000
字 17	数据 8	同上	0000
字 18	CRC 校验字 2	字 10-17 的 16 位 CRC 校验字	FFFF
有效数据 3			
字 19	数据 9	数据段数据为调试信息、参数设置、程序升级等（主要参考字 3 功能代码）	0000
字 20	数据 10	同上	0000
字 21	数据 11	同上	0000
字 22	数据 12	同上	0000
字 23	数据 13	同上	0000
字 24	数据 14	同上	0000
字 25	数据 15	同上	0000
字 26	数据 16	同上	0000
字 27	CRC 校验字 3	字 19-26 的 16 位 CRC 校验字	FFFF
有效数据 4			

字 28	数据 17	数据段数据为调试信息、参数设置、程序升级等（主要参考字 4 功能代码）	0000
字 29	数据 18	同上	0000
字 30	数据 19	同上	0000
字 31	数据 20	同上	0000
字 32	数据 21	同上	0000
字 33	数据 22	同上	0000
字 34	数据 23	同上	0000
字 35	数据 24	同上	0000
字 36	CRC 校验字 4	字 28-35 的 16 位 CRC 校验字。	FFFF

（2）下行 FT3 通信协议

序号	名称	描述	数据帧内容举例
字 0	帧头	0564（十六进制）	0564
有效数据 1			
字 1	数据集长度(Length)	长度字段包括数据集的长度，本标准定义的点对点链接的长度是 62（十进制）。	002C
字 2	逻辑节点名(LNName)	本标准定义的点对点链接的逻辑节点名（LNName）值是 02。	0201

	数 据 集 (DataSetName)	识别数据集结构的一个独立数，即数据通道分配。其允许值为 01 和 FE H（十进制 254），由于不是标准通道映射，所以本标准定义 DataSetName=FEH。	
字 3	逻辑设备名 (LDName)	用在变电站中识别数据集信号源的一个独立数。LDName 可以参数化，例如，在安装时给定其参数。	8000
字 4	额 定 相 电 流 (PhsA.Artg)	按照未来的 IEC 61850-7-4，各相可以有自身的额定值。此值的传输为任选。如果不发送，则应以传输 0 值代替。	0258
字 5	额 定 中 性 点 电 流 (Neut.Artg)	按照未来的 IEC 61850-7-4，额定中性点电流以安培（方均根值）数给出。此值的传输为任选。如果不发送，则应以传输 0 值代替。	0014
字 6	额 定 相 电 压 (PhsA.Vrtg)	按照未来的 IEC 61850-7-4，各相可以有自身的额定值。此传输值为任选。如果不发送，则应以传输 0 值代替。	0064
字 7	额定延迟时间	额定延迟时间以微秒（ μs ）数给出。	0011
字 8	帧计数	此 16 比特计数用以检查连续更新的帧数。此计数应在每出现一个新帧时加 1。连续运行中一旦溢出，它应以 0 值重新开始。	0000
字 9	CRC 校验字 1	字 1-8 的 16 位 CRC 校验字。	4A99
有效数据 2			
字 10	DataChannel #1	A 相电流，保护	FFFD
字 11	DataChannel #2	B 相电流，保护	FFFF
字 12	DataChannel #3	C 相电流，保护	FFFD
字 13	DataChannel #4	中性点电流，测量	0000
字 14	DataChannel #5	A 相电流，测量	0018
字 15	DataChannel #6	B 相电流，测量	0017
字 16	DataChannel #7	C 相电流，测量	0019

字 17	DataChannel #8	A 相电压	0004
字 18	CRC 校验字 2	字 10-17 的 16 位 CRC 校验字	E680
有效数据 3			
字 19	DataChannel #9	B 相电压	0002
字 20	DataChannel #10	C 相电压	0002
字 21	DataChannel #11	中性点电压	0002
字 22	DataChannel #12	中性点电流, 保护	0000
字 23	DataChannel #13	A 相电压, 扩展通道	0000
字 24	DataChannel #14	B 相电压, 扩展通道	0020
字 25	DataChannel #15	C 相电压, 扩展通道	0001
字 26	DataChannel #16	/	0000
字 27	CRC 校验字 3	字 19-26 的 16 位 CRC 校验字	C28E
有效数据 4			
字 28	DataChannel #17	/	0000
字 29	DataChannel #18	/	0000
字 30	DataChannel #19	/	0000

字 31	DataChannel #20	/	0000
字 32	DataChannel #21	扩展数据功能代码 0000：行波数据 0001：调试信息 其它：保留	0000
字 33	DataChannel #22	用作遥信状态的输出 状态字 0 的说明详见表 B.5 扩展-0	0020
字 34	状 态 字 1 (StatusWord#1)	状态字 1 的说明见表 B.6 扩展-1。	0000
字 35	状 态 字 2 (StatusWord#2)	状态字 2 的说明见表 B.7 扩展-2。	7F00
字 36	CRC 校验字 4	字 28-35 的 16 位 CRC 校验字。	9A35
扩展数据 1			
字 37	数据 1	行波数据或者功能调试信息等（具体依据字 32 扩展数据功能代码）	0000
字 38	数据 2	同上	0000
字 39	数据 3	同上	0000
字 40	数据 4	同上	0000
字 41	数据 5	同上	0000
字 42	数据 6	同上	0000
字 43	数据 7	同上	0000
字 44	数据 8	同上	0000

字 45	扩展数据 1 校验	字 37-44 的 16 位 CRC 校验字	FFFF
.....			
扩展数据 4			
字 64	数据 25	同上	0000
字 65	数据 26	同上	0000
字 66	数据 27	同上	0000
字 67	数据 28	同上	0000
字 68	数据 29	同上	0000
字 69	数据 30	同上	0000
字 70	数据 31	同上	0000
字 71	数据 32	同上	0000
字 72	扩展数据 4 校验	字 64-72 的 16 位 CRC 校验字	FFFF