

# 差分脉冲伏安法 (DPV) 通信协议文档

## 目录

- [1. DPV 概述](#)
- [2. 通信规范](#)
- [3. 协议状态机](#)
- [4. 命令格式](#)
- [5. 响应格式](#)
- [6. 完整通信流程](#)
- [7. 错误处理](#)
- [8. 数据格式](#)
- [9. 技术指标](#)
- [10. 附录](#)

## DPV 概述

差分脉冲伏安法 (Differential Pulse Voltammetry, DPV) 是一种电化学检测技术，通过施加规则脉冲并测量电流响应来检测物质浓度。本通信协议定义了主机与 DPV 电化学设备之间的串口通信方式。

## 主要特性

- 差分脉冲扫描
- 高灵敏度检测
- 约 50 Hz 数据采集频率
- 自动参数配置
- 实时数据流传输

## 通信规范

### 物理层

参数	值	说明
接口	RS232/USB	串口通信
波特率	115200	默认波特率
数据位	8	标准配置
校验位	N (无)	无奇偶校验
停止位	1	1个停止位

参数	值	说明
超时	1s	串口读取超时

数据层

- 编码格式：UTF-8
- 行结束符：\r\n (CRLF)
- 分隔符：逗号, (用于参数和数据字段分隔)
- 字段类型：
  - 浮点数：电压值、电流值（4位小数精度）
  - 整数：参数值
  - 特殊符号：控制响应

协议状态机

状态定义

状态	值	说明
IDLE	0	初始状态，未连接
PARAMETER_SET	1	参数已设置
WAITING_ACK	2	等待参数确认响应
STARTING_TEST	3	测试即将开始
RECEIVING_DATA	4	正在接收数据
TEST_COMPLETE	5	测试完成
ERROR	6	错误状态

状态转移

当前状态	事件	下一状态
IDLE	设备连接	IDLE
IDLE	发送参数	PARAMETER_SET
PARAMETER_SET	收到 #	WAITING_ACK
WAITING_ACK	确认完成	PARAMETER_SET
PARAMETER_SET	发送开始命令	STARTING_TEST
STARTING_TEST	收到 *	RECEIVING_DATA

当前状态	事件	下一状态
RECEIVING_DATA	接收数据行	RECEIVING_DATA
RECEIVING_DATA	收到 @	TEST_COMPLETE
任何状态	异常	ERROR

## 命令格式

### DPV 参数设置命令

**格式：** P <参数1>,<参数2>,...,<参数19>,<结束符>

**完整参数列表：**

P <start\_v>,<end\_v>,<scan\_dir>,<pulse\_height>,<start\_v2>,,<vertex\_v>,,,,<pulse\_width>,<pulse\_period>,<sample\_width>,<current\_range>,,,,<end\_marker>

### 参数详解

位置	参数名	类型	单位	范围	说明
1	start_v	float	V	-3.0~3.0	起始电位
2	end_v	float	V	-3.0~3.0	结束电位
3	scan_dir	int	-	1/-1	扫描方向（1=正向，-1=负向）
4	pulse_height	float	V	0.01~0.5	脉冲幅度
5	start_v2	float	V	-3.0~3.0	第二扫描起始点
6	cycles	int	-	1~100	循环次数
7	vertex_v	float	V	-3.0~3.0	顶点电位（-1默认自动）
8-11	param8-11	int	-	-	保留参数
12	pulse_width	int	ms	1~100	脉冲宽度
13	pulse_period	int	ms	50~1000	脉冲周期
14	sample_width	int	ms	10~500	采样窗口宽度
15	current_range	int	μA	1~1000	电流量程
16-18	param16-18	int	-	-	控制参数
19	end_marker	char	-	'D'	命令结束标记

## 参数示例

发送命令：P -1,1,1,0.1,-1,2,-1,0,0,10,100,10,10,20,50,2,1,1,D

参数含义：

- 起始电位：-1 V
- 结束电位：1 V
- 扫描方向：正向 (1)
- 脉冲幅度：0.1 V
- 循环次数：2 次
- 脉冲宽度：10 ms
- 脉冲周期：10 ms
- 采样窗口：20 ms
- 电流量程：50  $\mu$ A

---

## 响应格式

### 参数确认响应 (#)

格式：#\r\n

含义：设备已收到并解析参数，参数配置成功

期望后续状态：PARAMETER\_SET

### 开始响应 (\*)

格式：\*\r\n

含义：设备已开始接收测试数据，DPV 扫描正在进行中

期望后续状态：RECEIVING\_DATA

### 完成响应 (@)

格式：@\r\n

含义：数据接收完成，DPV 扫描结束

期望后续状态：TEST\_COMPLETE

### 扫描完成信号 (\$)

格式：\$\r\n

含义：DPV 扫描完成信号（等同于 @ 响应）

期望后续状态：TEST\_COMPLETE

# 数据行 (Data)

格式: „\r\n

字段说明:

字段	类型	单位	格式	说明
voltage	float	V	-X.XXXX	当前脉冲电位值
current	float	μA	X.XX	脉冲差分电流值

## 数据行示例

-1.0055,0.24,  
-0.9958,0.08,  
-0.9861,0.16,  
-0.9765,-0.32,  
-0.9668,0.40,

特点:

- 电压值: 4位小数精度
- 电流值: 2位小数精度
- 采集间隔: 约 19.8 ms (50 Hz)
- 单次测试数据行数: 约 200-250 行

## 完整通信流程

### 标准 DPV 测试流程

主机端通信流程:

1. 建立串口连接
2. 发送 DPV 参数设置命令 P <参数列表>,D
3. 等待参数确认响应 #\r\n
4. 发送启动命令 D
5. 等待开始响应 \*\r\n
6. 循环接收数据行 „\r\n
7. 接收完成响应 @\r\n
8. 处理数据并断开连接

## 时序示例

时间	事件	说明
00:00	连接设备	建立串口连接
00:01	发送参数	发送 P 命令
01:02	收到确认	收到 # 响应
01:03	发送启动	发送 D 命令
04:05	收到开始	收到 * 响应
05:10	接收数据	约 209 条数据行 (5秒 × 50Hz)
10:10	收到完成	收到 @ 响应
10:11	处理数据	保存和处理数据

## 错误处理

### 常见错误情况

错误	原因	解决方案
连接失败	串口不存在或被占用	检查端口号，关闭其他应用
参数确认超时	设备未正确响应	检查波特率，重启设备
数据不完整	测试中断或超时	增加 timeout 值，检查设备
无效数据格式	串口数据损坏	检查波特率和线缆

## 超时处理

数据接收超时分类：

- 参数确认超时：5秒内未收到 # 响应表示参数设置失败
- 测试数据超时：60秒内未收到 @ 响应表示测试中断

## 异常处理

设备应在以下情况下返回错误或异常状态：

- 参数值超出范围
- 串口通信错误
- 测试过程中设备故障
- 数据接收中断

## 数据格式

### 数据特征

#### 数据点数量计算：

- 电位扫描范围：从 start\_v 到 end\_v
- 脉冲周期：pulse\_period (ms)
- 采集频率：约 50 Hz（每 20 ms 一条数据）
- 示例：-1V 到 1V 扫描，脉冲周期 10 ms → 约 200+ 数据点

#### 数据精度：

- 电压精度：4 位小数（0.0001 V 级别）
- 电流精度：2 位小数（0.01  $\mu$ A 级别）

### CSV 输出格式

标准 CSV 格式包含两列：电位(V) 和 电流( $\mu$ A)

示例数据：

-1.0055,0.24

-0.9958,0.08

-0.9861,0.16

-0.9765,-0.32

### 文件命名规则

- 数据文件：** dpv\_data\_YYYYMMDD\_HHMMSS.csv
- 图形文件：** dpv\_curve\_YYYYMMDD\_HHMMSS.png

## 技术指标

### 性能

指标	值
最大数据点率	50 Hz
数据精度	4位小数（电压），2位小数（电流）
响应延迟	< 100 ms
最大并发测试	1
脉冲宽度范围	1~100 ms
脉冲周期范围	50~1000 ms

## 兼容性

项目	值
操作系统	Windows, Linux, macOS
串口接口	RS232, USB Virtual COM
Python 版本	3.7+

## 附录

### A. DPV 参数范围表

参数	最小值	最大值	单位	说明
start_v	-3.0	3.0	V	起始电位
end_v	-3.0	3.0	V	结束电位
pulse_height	0.01	0.5	V	脉冲幅度
pulse_width	1	100	ms	脉冲宽度
pulse_period	50	1000	ms	脉冲周期
sample_width	10	500	ms	采样窗口宽度
cycles	1	100	-	循环次数
current_range	1	1000	μA	电流量程