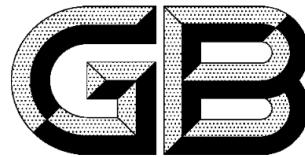


ICS 35.040  
L 80



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 32918.3—2016

## 信息安全技术 SM2 椭圆曲线公钥 密码算法 第3部分：密钥交换协议

Information security technology—Public key cryptographic algorithm  
SM2 based on elliptic curves—Part 3: Key exchange protocol

2016-08-29 发布

2017-03-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

前言 .....	III
引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 符号和缩略语 .....	1
5 算法参数与辅助函数 .....	2
5.1 综述 .....	2
5.2 椭圆曲线系统参数 .....	2
5.3 用户密钥对 .....	3
5.4 辅助函数 .....	3
5.5 用户其他信息 .....	3
6 密钥交换协议及流程 .....	4
6.1 密钥交换协议 .....	4
6.2 密钥交换协议流程 .....	5
附录 A (资料性附录) 密钥交换及验证示例 .....	6
A.1 综述 .....	6
A.2 $F_p$ 上椭圆曲线密钥交换协议 .....	6
A.3 $F_{2^m}$ 上椭圆曲线密钥交换协议 .....	9
参考文献 .....	13

## 前　　言

GB/T 32918《信息安全技术 SM2 椭圆曲线公钥密码算法》分为 5 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：数字签名算法；
- 第 3 部分：密钥交换协议；
- 第 4 部分：公钥加密算法；
- 第 5 部分：参数定义。

本部分为 GB/T 32918 的第 3 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分由国家密码管理局提出。

本部分由全国信息安全标准化技术委员会(SAC/TC 260)归口。

本部分起草单位：北京华大信安科技有限公司、中国人民解放军信息工程大学、中国科学院数据与通信保护研究教育中心。

本部分主要起草人：陈建华、祝跃飞、叶顶峰、胡磊、裴定一、彭国华、张亚娟、张振峰。



## 引言

N.Koblitz 和 V.Miller 在 1985 年各自独立地提出将椭圆曲线应用于公钥密码系统。椭圆曲线公钥密码所基于的曲线性质如下：

- 有限域上椭圆曲线在点加运算下构成有限交换群,且其阶与基域规模相近;
- 类似于有限域乘法群中的乘幂运算,椭圆曲线多倍点运算构成一个单向函数。

在多倍点运算中,已知多倍点与基点,求解倍数的问题称为椭圆曲线离散对数问题。对于一般椭圆曲线的离散对数问题,目前只存在指数级计算复杂度的求解方法。与大数分解问题及有限域上离散对数问题相比,椭圆曲线离散对数问题的求解难度要大得多。因此,在相同安全程度要求下,椭圆曲线密码较其他公钥密码所需的密钥规模要小得多。

SM2 是国家密码管理局组织制定并提出的椭圆曲线密码算法标准。GB/T 32918 的主要目标如下:

- GB/T 32918.1 定义和描述了 SM2 椭圆曲线密码算法的相关概念及数学基础知识,并概述了该部分同其他部分的关系。
- GB/T 32918.2 描述了一种基于椭圆曲线的签名算法,即 SM2 签名算法。
- GB/T 32918.3 描述了一种基于椭圆曲线的密钥交换协议,即 SM2 密钥交换协议。
- GB/T 32918.4 描述了一种基于椭圆曲线的公钥加密算法,即 SM2 加密算法,该算法需使用 GB/T 32905—2016 定义的 SM3 密码杂凑算法。
- GB/T 32918.5 给出了 SM2 算法使用的椭圆曲线参数,以及使用椭圆曲线参数进行 SM2 运算的示例结果。

本部分为 GB/T 32918 的第 3 部分,规定了 SM2 椭圆曲线密码系统的密钥交换过程。

# 信息安全技术 SM2 椭圆曲线公钥密码算法 第3部分：密钥交换协议

## 1 范围

GB/T 32918 的本部分规定了 SM2 椭圆曲线公钥密码算法的密钥交换协议，并给出了密钥交换与验证示例及其相应的流程。

本部分适用于商用密码应用中的密钥交换，可满足通信双方经过两次或可选三次信息传递过程，计算获取一个由双方共同决定的共享秘密密钥（会话密钥）。

## 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 32918.1—2016 信息安全技术 SM2 椭圆曲线公钥密码算法 第1部分：总则

GB/T 32905—2016 信息安全技术 SM3 密码杂凑算法

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**从 A 到 B 的密钥确认 key confirmation from A to B**

使用户 B 确信用户 A 拥有特定秘密密钥的保证。

### 3.2

**密钥派生函数 key derivation function**

通过作用于共享秘密和双方都知道的其他参数，产生一个或多个共享秘密密钥的函数。

### 3.3

**发起方 initiator**

在一个协议的操作过程中发送首轮交换信息的用户。

### 3.4

**响应方 responder**

在一个协议的操作过程中不是发送首轮交换信息的用户。

### 3.5

**可辨别标识 distinguishing identifier**

可以无歧义辨别某一实体身份的信息。



## 4 符号和缩略语

下列符号适用于本文件

A, B 使用公钥密码系统的两个用户。

- $d_A$  用户 A 的私钥。  
 $d_B$  用户 B 的私钥。  
 $E(F_q)$   $F_q$  上椭圆曲线  $E$  的所有有理点(包括无穷远点  $O$ )组成的集合。  
 $F_q$  包含  $q$  个元素的有限域。  
 $G$  椭圆曲线的一个基点,其阶为素数。  
 $Hash(\cdot)$  密码杂凑算法。  
 $H_v(\cdot)$  消息摘要长度为  $v$  比特的密码杂凑算法。  
 $h$  余因子,  $h = \#E(F_q)/n$ , 其中  $n$  是基点  $G$  的阶。  
 $ID_A, ID_B$  用户 A 和用户 B 的可辨别标识。  
 $K, K_A, K_B$  密钥交换协议商定的共享秘密密钥。  
 $KDF(\cdot)$  密钥派生函数。  
 $\text{mod}n$  模  $n$  运算。例如,  $23 \bmod 7 = 2$ 。  
 $n$  基点  $G$  的阶( $n$  是  $\#E(F_q)$  的素因子)。  
 $O$  椭圆曲线上的一个特殊点,称为无穷远点或零点,是椭圆曲线加法群的单位元。  
 $P_A$  用户 A 的公钥。  
 $P_B$  用户 B 的公钥。  
 $q$  有限域  $F_q$  中元素的数目。  
 $a, b \in F_q$  中的元素,它们定义  $F_q$  上的一条椭圆曲线  $E$ 。  
 $r_A$  密钥交换中用户 A 产生的临时密钥值。  
 $r_B$  密钥交换中用户 B 产生的临时密钥值。  
 $x \parallel y$   $x$  与  $y$  的拼接,其中  $x, y$  可以是比特串或字节串。  
 $Z_A$  关于用户 A 的可辨别标识、部分椭圆曲线系统参数和用户 A 公钥的杂凑值。  
 $Z_B$  关于用户 B 的可辨别标识、部分椭圆曲线系统参数和用户 B 公钥的杂凑值。  
 $\#E(F_q)$   $E(F_q)$  上点的数目,称为椭圆曲线  $E(F_q)$  的阶。  
 $[k]P$  椭圆曲线上点  $P$  的  $k$  倍点,即,  $[k]P = \underbrace{P + P + \cdots + P}_{k \text{ 个}}, k$  是正整数。  
 $[x, y]$  大于或等于  $x$  且小于或等于  $y$  的整数的集合。  
 $\lceil x \rceil$  顶函数,大于或等于  $x$  的最小整数。例如,  $\lceil 7 \rceil = 7, \lceil 8.3 \rceil = 9$ 。  
 $\lfloor x \rfloor$  底函数,小于或等于  $x$  的最大整数。例如,  $\lfloor 7 \rfloor = 7, \lfloor 8.3 \rfloor = 8$ 。  
& 两个整数的按比特与运算。

## 5 算法参数与辅助函数

### 5.1 综述

密钥交换协议是两个用户 A 和 B 通过交互的信息传递,用各自的私钥和对方的公钥来商定一个只有他们知道的秘密密钥。这个共享的秘密密钥通常用在某个对称密码算法中。该密钥交换协议能够用于密钥管理和协商。

### 5.2 椭圆曲线系统参数

椭圆曲线系统参数包括有限域  $F_q$  的规模  $q$ (当  $q = 2^m$  时,还包括元素表示法的标识和约化多项式);定义椭圆曲线  $E(F_q)$  的方程的两个元素  $a, b \in F_q$ ;  $E(F_q)$  上的基点  $G = (x_G, y_G)$  ( $G \neq O$ ),其中  $x_G$  和  $y_G$  是  $F_q$  中的两个元素;  $G$  的阶  $n$  及其他可选项(如  $n$  的余因子  $h$  等)。

椭圆曲线系统参数及其验证应符合 GB/T 32918.1—2016 第 5 章的规定。

### 5.3 用户密钥对

用户 A 的密钥对包括其私钥  $d_A$  和公钥  $P_A = [d_A]G = (x_A, y_A)$ , 用户 B 的密钥对包括其私钥  $d_B$  和公钥  $P_B = [d_B]G = (x_B, y_B)$ 。

用户密钥对的生成算法与公钥验证算法应符合 GB/T 32918.1—2016 第 6 章的规定。

### 5.4 辅助函数

#### 5.4.1 概述

在本部分规定的椭圆曲线密钥交换协议中,涉及三类辅助函数:密码杂凑算法,密钥派生函数与随机数发生器。这三类辅助函数的强弱直接影响密钥交换协议的安全性。

#### 5.4.2 密码杂凑算法

本部分规定使用国家密码管理局批准的密码杂凑算法,如 SM3 密码杂凑算法。

#### 5.4.3 密钥派生函数

密钥派生函数的作用是从一个共享的秘密比特串中派生出密钥数据。在密钥协商过程中,密钥派生函数作用在密钥交换所获共享的秘密比特串上,从中产生所需的会话密钥或进一步加密所需的密钥数据。

密钥派生函数需要调用密码杂凑算法。

设密码杂凑算法为  $H_v()$ ,其输出是长度恰为  $v$  比特的杂凑值。

密钥派生函数  $KDF(Z, klen)$ :

输入:比特串  $Z$ ,整数  $klen$ [表示要获得的密钥数据的比特长度,要求该值小于 $(2^{32}-1)v$ ]。

输出:长度为  $klen$  的密钥数据比特串  $K$ 。

a) 初始化一个 32 比特构成的计数器  $ct=0x00000001$ ;

b) 对  $i$  从 1 到  $\lceil klen/v \rceil$  执行:

1) 计算  $Ha_i = H_v(Z \parallel ct)$ ;

2)  $ct^{++}$ ;

c) 若  $klen/v$  是整数,令  $Ha_{\lceil klen/v \rceil} = Ha_{\lceil klen/v \rceil}$ ,

否则令  $Ha_{\lceil klen/v \rceil}$  为  $Ha_{\lceil klen/v \rceil}$  最左边的( $klen - (v \times \lfloor klen/v \rfloor)$ )比特;

d) 令  $K = Ha_1 \parallel Ha_2 \parallel \dots \parallel Ha_{\lceil klen/v \rceil-1} \parallel Ha_{\lceil klen/v \rceil}$ 。

#### 5.4.4 随机数发生器

本部分规定使用国家密码管理局批准的随机数发生器。

### 5.5 用户其他信息

用户 A 具有长度为  $entlen_A$  比特的可辨别标识  $ID_A$ ,记  $ENTL_A$  是由整数  $entlen_A$  转换而成的两个字节;用户 B 具有长度为  $entlen_B$  比特的可辨别标识  $ID_B$ ,记  $ENTL_B$  是由整数  $entlen_B$  转换而成的两个字节。在本部分规定的椭圆曲线密钥交换协议中,参与密钥协商的 A、B 双方都需要用密码杂凑算法求得用户 A 的杂凑值  $Z_A$  和用户 B 的杂凑值  $Z_B$ 。按 GB/T 32918.1—2016 中 4.2.5 和 4.2.6 给出的方法,将椭圆曲线方程参数  $a, b, G$  的坐标  $x_G, y_G$  和  $P_A$  的坐标  $x_A, y_A$  的数据类型转换为比特串, $Z_A = H_{256}(ENTL_A \parallel ID_A \parallel a \parallel b \parallel x_G \parallel y_G \parallel x_A \parallel y_A)$ ;按 GB/T 32918.1—2016 中 4.2.5 和 4.2.6 给出的方法,将椭圆曲线方程参数  $a, b, G$  的坐标  $x_G, y_G$  和  $P_B$  的坐标  $x_B, y_B$  的数据类型转换为比特串, $Z_B = H_{256}(ENTL_B \parallel ID_B \parallel a \parallel b \parallel x_G \parallel y_G \parallel x_B \parallel y_B)$ 。

## 6 密钥交换协议及流程

### 6.1 密钥交换协议

设用户 A 和 B 协商获得密钥数据的长度为  $klen$  比特, 用户 A 为发起方, 用户 B 为响应方。

用户 A 和 B 双方为了获得相同的密钥, 应实现如下运算步骤:

记  $w = \lceil (\lceil \log_2(n) \rceil / 2) \rceil - 1$ 。

用户 A:

A<sub>1</sub>: 用随机数发生器产生随机数  $r_A \in [1, n-1]$ ;

A<sub>2</sub>: 计算椭圆曲线点  $R_A = [r_A]G = (x_1, y_1)$ ;

A<sub>3</sub>: 将  $R_A$  发送给用户 B;

用户 B:

B<sub>1</sub>: 用随机数发生器产生随机数  $r_B \in [1, n-1]$ ;

B<sub>2</sub>: 计算椭圆曲线点  $R_B = [r_B]G = (x_2, y_2)$ ;

B<sub>3</sub>: 从  $R_B$  中取出域元素  $x_2$ , 按 GB/T 32918.1—2016 中 4.2.8 给出的方法将  $x_2$  的数据类型转换为整数, 计算  $\bar{x}_2 = 2^w + (x_2 \& (2^w - 1))$ ;

B<sub>4</sub>: 计算  $t_B = (d_B + \bar{x}_2 \cdot r_B) \bmod n$ ;

B<sub>5</sub>: 验证  $R_A$  是否满足椭圆曲线方程, 若不满足则协商失败; 否则从  $R_A$  中取出域元素  $x_1$ , 按 GB/T 32918.1—2016 中 4.2.8 给出的方法将  $x_1$  的数据类型转换为整数, 计算  $\bar{x}_1 = 2^w + (x_1 \& (2^w - 1))$ ;

B<sub>6</sub>: 计算椭圆曲线点  $V = [h \cdot t_B](P_A + [\bar{x}_1]R_A) = (x_V, y_V)$ , 若 V 是无穷远点, 则 B 协商失败; 否则按 GB/T 32918.1—2016 中 4.2.6 和 4.2.5 给出的方法将  $x_V, y_V$  的数据类型转换为比特串;

B<sub>7</sub>: 计算  $K_B = KDF(x_V \parallel y_V \parallel Z_A \parallel Z_B, klen)$ ;

B<sub>8</sub>: (选项) 按 GB/T 32918.1—2016 中 4.2.6 和 4.2.5 给出的方法将  $R_A$  的坐标  $x_1, y_1$  和  $R_B$  的坐标  $x_2, y_2$  的数据类型转换为比特串, 计算  $S_B = \text{Hash}(0x02 \parallel y_V \parallel \text{Hash}(x_V \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2))$ ;

B<sub>9</sub>: 将  $R_B$ 、(选项  $S_B$ ) 发送给用户 A;

用户 A:

A<sub>4</sub>: 从  $R_A$  中取出域元素  $x_1$ , 按 GB/T 32918.1—2016 中 4.2.8 给出的方法将  $x_1$  的数据类型转换为整数, 计算  $\bar{x}_1 = 2^w + (x_1 \& (2^w - 1))$ ;

A<sub>5</sub>: 计算  $t_A = (d_A + \bar{x}_1 \cdot r_A) \bmod n$ ;

A<sub>6</sub>: 验证  $R_B$  是否满足椭圆曲线方程, 若不满足则协商失败; 否则从  $R_B$  中取出域元素  $x_2$ , 按 GB/T 32918.1—2016 中 4.2.8 给出的方法将  $x_2$  的数据类型转换为整数, 计算  $\bar{x}_2 = 2^w + (x_2 \& (2^w - 1))$ ;

A<sub>7</sub>: 计算椭圆曲线点  $U = [h \cdot t_A](P_B + [\bar{x}_2]R_B) = (x_U, y_U)$ , 若 U 是无穷远点, 则 A 协商失败; 否则按 GB/T 32918.1—2016 中 4.2.6 和 4.2.5 给出的方法将  $x_U, y_U$  的数据类型转换为比特串;

A<sub>8</sub>: 计算  $K_A = KDF(x_U \parallel y_U \parallel Z_A \parallel Z_B, klen)$ ;

A<sub>9</sub>: (选项) 按 GB/T 32918.1—2016 中 4.2.6 和 4.2.5 给出的方法将  $R_A$  的坐标  $x_1, y_1$  和  $R_B$  的坐标  $x_2, y_2$  的数据类型转换为比特串, 计算  $S_1 = \text{Hash}(0x02 \parallel y_U \parallel \text{Hash}(x_U \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2))$ , 并检验  $S_1 = S_B$  是否成立, 若等式不成立则从 B 到 A 的密钥确认失败;

A<sub>10</sub>: (选项) 计算  $S_A = \text{Hash}(0x03 \parallel y_U \parallel \text{Hash}(x_U \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2))$ , 并将  $S_A$  发送给用户 B。

用户 B:

B<sub>10</sub>: (选项)计算  $S_2 = \text{Hash}(0x03 \parallel y_V \parallel \text{Hash}(x_V \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2))$ , 并检验  $S_2 = S_A$  是否成立, 若等式不成立则从 A 到 B 的密钥确认失败。

注: 如果  $Z_A, Z_B$  不是用户 A 和 B 所对应的杂凑值, 则自然不能达成一致的共享秘密值。密钥交换协议过程的示例参见附录 A。

## 6.2 密钥交换协议流程

密钥交换协议流程见图 1。

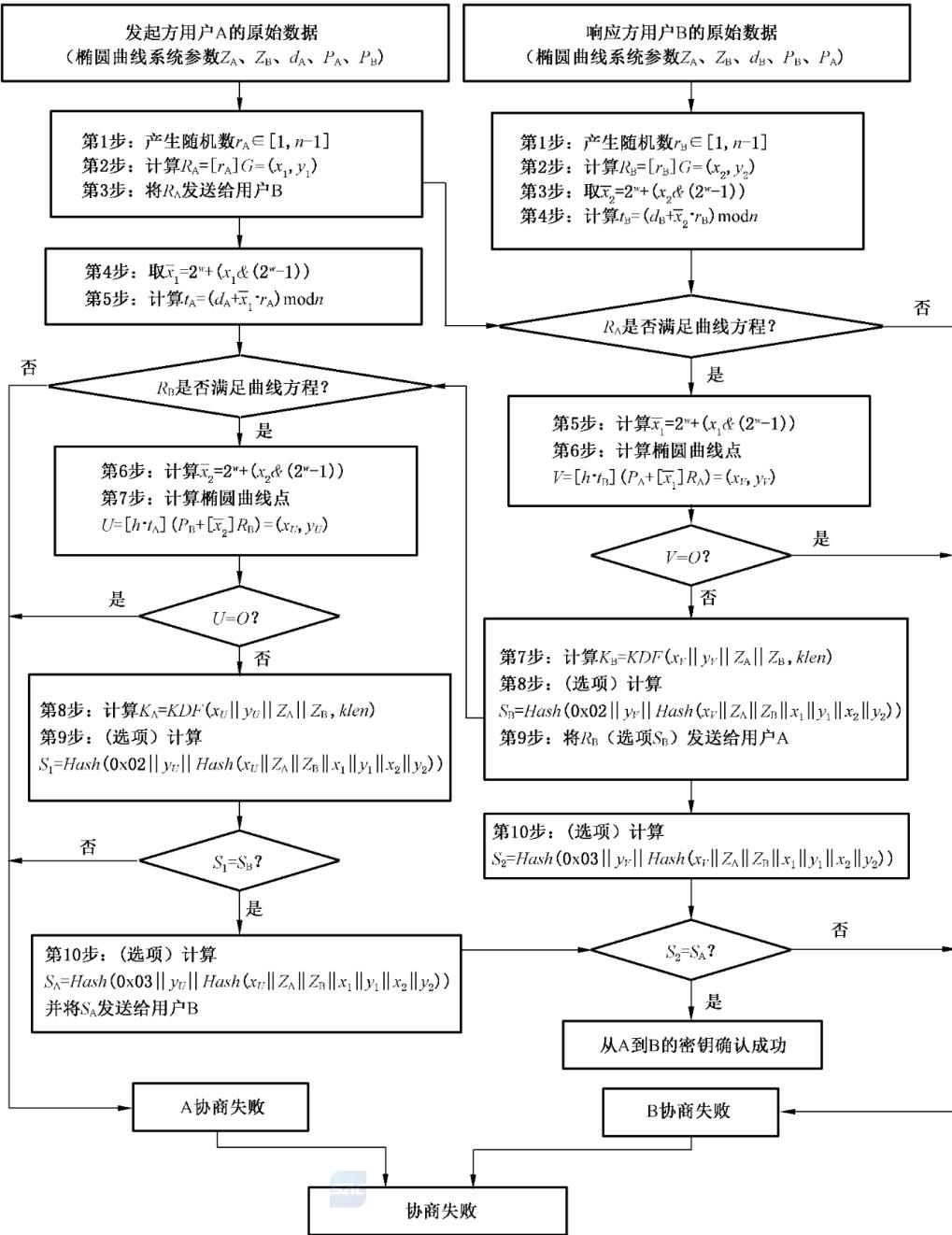


图 1 密钥交换协议流程

附录 A  
(资料性附录)  
密钥交换及验证示例

### A.1 综述

本附录选用 GB/T 32905—2016 给出的密码杂凑算法,其输入是长度小于  $2^{64}$  的消息比特串,输出是长度为 256 比特的杂凑值,记为  $H_{256}(\cdot)$ 。

本附录中,所有用 16 进制表示的数,左边为高位,右边为低位。

设用户 A 的身份是:ALICE123@YAHOO.COM。用 GB/T1988 编码记  $ID_A:414C\ 49434531\ 32334059\ 41484F4F\ 2E434F4D$ 。 $ENTL_A=0090$ 。

设用户 B 的身份是:BILL456@YAHOO.COM。用 GB/T1988 编码记  $ID_B:42\ 494C4C34\ 35364059\ 41484F4F\ 2E434F4D$ 。 $ENTL_B=0088$ 。

### A.2 $F_p$ 上椭圆曲线密钥交换协议

椭圆曲线方程为:  $y^2 = x^3 + ax + b$

示例 1:  $F_p$ -256

素数  $p:8542D69E\ 4C044F18\ E8B92435\ BF6FF7DE\ 45728391\ 5C45517D\ 722EDB8B\ 08F1DFC3$

系数  $a:787968B4\ FA32C3FD\ 2417842E\ 73BBFEFF\ 2F3C848B\ 6831D7E0\ EC65228B\ 3937E498$

系数  $b:63E4C6D3\ B23B0C84\ 9CF84241\ 484BFE48\ F61D59A5\ B16BA06E\ 6E12D1DA\ 27C5249A$

余因子  $h:1$

基点  $G=(x_G, y_G)$ , 其阶记为  $n$ 。

坐标  $x_G:421DEBD6\ 1B62EAB6\ 746434EB\ C3CC315E\ 32220B3B\ ADD50BDC\ 4C4E6C14\ 7FEDD43D$

坐标  $y_G:0680512B\ CBB42C07\ D47349D2\ 153B70C4\ E5D7FDFC\ BFA36EA1\ A85841B9\ E46E09A2$

阶  $n:8542D69E\ 4C044F18\ E8B92435\ BF6FF7DD\ 29772063\ 0485628D\ 5AE74EE7\ C32E79B7$

用户 A 的私钥  $d_A:6FCBA2EF\ 9AE0AB90\ 2BC3BDE3\ FF915D44\ BA4CC78F\ 88E2F8E7\ F8996D3B\ 8CCEDEE$

用户 A 的公钥  $P_A=(x_A, y_A)$ :

坐标  $x_A:3099093B\ F3C137D8\ FCBBCDF4\ A2AE50F3\ B0F216C3\ 122D7942\ 5FE03A45\ DBFE1655$

坐标  $y_A:3DF79E8D\ AC1CF0EC\ BAA2F2B4\ 9D51A4B3\ 87F2EFAF\ 48233908\ 6A27A8E0\ 5BAED98B$

用户 B 的私钥  $d_B:5E35D7D3\ F3C54DBA\ C72E6181\ 9E730B01\ 9A84208C\ A3A35E4C\ 2E353DFC\ CB2A3B53$

用户 B 的公钥  $P_B=(x_B, y_B)$ :

坐标  $x_B:245493D4\ 46C38D8C\ C0F11837\ 4690E7DF\ 633A8A4B\ FB3329B5\ ECE604B2\ B4F37F43$

坐标  $y_B:53C0869F\ 4B9E1777\ 3DE68FEC\ 45E14904\ E0DEA45B\ F6CECF99\ 18C85EA0\ 47C60A4C$

杂凑值  $Z_A=H_{256}(ENTL_A \parallel ID_A \parallel a \parallel b \parallel x_G \parallel y_G \parallel x_A \parallel y_A)$ 。

$Z_A:E4D1D0C3\ CA4C7F11\ BC8FF8CB\ 3F4C02A7\ 8F108FA0\ 98E51A66\ 8487240F\ 75E20F31$

杂凑值  $Z_B=H_{256}(ENTL_B \parallel ID_B \parallel a \parallel b \parallel x_G \parallel y_G \parallel x_B \parallel y_B)$ 。

$Z_B:6B4B6D0E\ 276691BD\ 4A11BF72\ F4FB501A\ E309FDAC\ B72FA6CC\ 336E6656\ 119ABD67$

**密钥交换  $A_1 \sim A_3$  步骤中的有关值:**

产生随机数  $r_A:83A2C9C8\ B96E5AF7\ 0BD480B4\ 72409A9A\ 327257F1\ EBB73F5B\ 073354B2\ 48668563$

计算椭圆曲线点  $R_A = [r_A]G = (x_1, y_1)$ :

坐标  $x_1: 6CB56338\ 16F4DD56\ 0B1DEC45\ 8310CBCC\ 6856C095\ 05324A6D\ 23150C40\ 8F162BF0$

坐标  $y_1: 0D6FCF62\ F1036C0A\ 1B6DACC9\ 57399223\ A65F7D7B\ F2D9637E\ 5BBBEB85\ 7961BF1A$

#### 密钥交换 $B_1 \sim B_9$ 步骤中的有关值:

产生随机数  $r_B: 33FE2194\ 0342161C\ 55619C4A\ 0C060293\ D543C80A\ F19748CE\ 176D8347\ 7DE71C80$

计算椭圆曲线点  $R_B = [r_B]G = (x_2, y_2)$ :

坐标  $x_2: 1799B2A2\ C7782953\ 00D9A232\ 5C686129\ B8F2B533\ 7B3DCF45\ 14E8BBC1\ 9D900EE5$

坐标  $y_2: 54C9288C\ 82733EFD\ F7808AE7\ F27D0E73\ 2F7C73A7\ D9AC98B7\ D8740A91\ D0DB3CF4$

取  $\bar{x}_2 = 2^{127} + (x_2 \& (2^{127} - 1))$ :  $B8F2B533\ 7B3DCF45\ 14E8BBC1\ 9D900EE5$

计算  $t_B = (d_B + \bar{x}_2 \cdot r_B) \bmod n$ :

$2B2E11CB\ F03641FC\ 3D939262\ FC0B652A\ 70ACAA25\ B5369AD3\ 8B375C02\ 65490C9F$

取  $\bar{x}_1 = 2^{127} + (x_1 \& (2^{127} - 1))$ :  $E856C095\ 05324A6D\ 23150C40\ 8F162BF0$

计算椭圆曲线点  $[\bar{x}_1]R_A = (x_{A0}, y_{A0})$ :

坐标  $x_{A0}: 2079015F\ 1A2A3C13\ 2B67CA90\ 75BB2803\ 1D6F2239\ 8DD8331E\ 72529555\ 204B495B$

坐标  $y_{A0}: 6B3FE6FB\ 0F5D5664\ DCA16128\ B5E7FCFD\ AFA5456C\ 1E5A914D\ 1300DB61\ F37888ED$

计算椭圆曲线点  $P_A + [\bar{x}_1]R_A = (x_{A1}, y_{A1})$ :

坐标  $x_{A1}: 1C006A3B\ FF97C651\ B7F70D0D\ E0FC09D2\ 3AA2BE7A\ 8E9FF7DA\ F32673B4\ 16349B92$

坐标  $y_{A1}: 5DC74F8A\ CC114FC6\ F1A75CB2\ 86864F34\ 7F9B2CF2\ 9326A270\ 79B7D37A\ FC1C145B$

计算  $V = [h \cdot t_B](P_A + [\bar{x}_1]R_A) = (x_V, y_V)$ :

坐标  $x_V: 47C82653\ 4DC2F6F1\ FBF28728\ DD658F21\ E174F481\ 79ACEF29\ 00F8B7F5\ 66E40905$

坐标  $y_V: 2AF86EFE\ 732CF12A\ D0E09A1F\ 2556CC65\ 0D9CCCE3\ E249866B\ BB5C6846\ A4C4A295$

计算  $K_B = KDF(x_V \parallel y_V \parallel Z_A \parallel Z_B, klen)$ :

$x_V \parallel y_V \parallel Z_A \parallel Z_B$ :

$47C82653\ 4DC2F6F1\ FBF28728\ DD658F21\ E174F481\ 79ACEF29\ 00F8B7F5\ 66E40905\ 2AF86EFE$

$732CF12A\ D0E09A1F\ 2556CC65\ 0D9CCCE3\ E249866B\ BB5C6846\ A4C4A295\ E4D1D0C3\ CA4C7F11$

$BC8FF8CB\ 3F4C02A7\ 8F108FA0\ 98E51A66\ 8487240F\ 75E20F31\ 6B4B6D0E\ 276691BD\ 4A11BF72$

$F4FB501A\ E309FDAC\ B72FA6CC\ 336E6656\ 119ABD67$

$klen = 128$

共享密钥  $K_B: 55B0AC62\ A6B927BA\ 23703832\ C853DED4$

计算选项  $S_B = Hash(0x02 \parallel y_V \parallel Hash(x_V \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2))$ :

$x_V \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2$ :

$47C82653\ 4DC2F6F1\ FBF28728\ DD658F21\ E174F481\ 79ACEF29\ 00F8B7F5\ 66E40905\ E4D1D0C3$

$CA4C7F11\ BC8FF8CB\ 3F4C02A7\ 8F108FA0\ 98E51A66\ 8487240F\ 75E20F31\ 6B4B6D0E\ 276691BD$

$4A11BF72\ F4FB501A\ E309FDAC\ B72FA6CC\ 336E6656\ 119ABD67\ 6CB56338\ 16F4DD56\ 0B1DEC45$

$8310CBCC\ 6856C095\ 05324A6D\ 23150C40\ 8F162BF0\ 0D6FCF62\ F1036C0A\ 1B6DACC9\ 57399223$

$A65F7D7B\ F2D9637E\ 5BBBEB85\ 7961BF1A\ 1799B2A2\ C7782953\ 00D9A232\ 5C686129\ B8F2B533$

$7B3DCF45\ 14E8BBC1\ 9D900EE5\ 54C9288C\ 82733EFD\ F7808AE7\ F27D0E73\ 2F7C73A7\ D9AC98B7$

$D8740A91\ D0DB3CF4$

$Hash(x_V \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2)$ :

$FF49D95B\ D45FCE99\ ED54A8AD\ 7A709110\ 9F513944\ 42916BD1\ 54D1DE43\ 79D97647$

$0x02 \parallel y_V \parallel Hash(x_V \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2)$ :

$02\ 2AF86EFE\ 732CF12A\ D0E09A1F\ 2556CC65\ 0D9CCCE3\ E249866B\ BB5C6846\ A4C4A295$

$FF49D95B\ D45FCE99\ ED54A8AD\ 7A709110\ 9F513944\ 42916BD1\ 54D1DE43\ 79D97647$

选项  $S_B: 284C8F19\ 8F141B50\ 2E81250F\ 1581C7E9\ EEB4CA69\ 90F9E02D\ F388B454\ 71F5BC5C$

密钥交换  $A_4 \sim A_{10}$  步骤中的有关值：

取  $\bar{x}_1 = 2^{127} + (x_1 \& (2^{127}-1))$ ; E856C095 05324A6D 23150C40 8F162BF0

计算  $t_A = (d_A + \bar{x}_1 \cdot r_A) \bmod n$ : 236CF0C7 A177C65C 7D55E12D 361F7A6C 174A7869 8AC099C0  
874AD065 8A4743DC

取  $\bar{x}_2 = 2^{127} + (x_2 \& (2^{127} - 1))$ : B8F2B533 7B3DCF45 14E8BBC1 9D900EE5

计算椭圆曲线点 $[\bar{x}_2]R_B = (x_{B0}, y_{B0})$ :

坐标 x<sub>BO</sub>:66864274 6BFC066A 1E731ECF FF51131B DC81CF60 9701CB8C 657B25BF 55B7015D

坐标 y<sub>BO</sub>: 1988A7C6 81CE1B50 9AC69F49 D72AE60E 8B71DB6C E087AF84 99FEEF4C CD523064

计算椭圆曲线点  $P_B + [\bar{x}_2]R_B = (x_{B1}, y_{B1})$ :

坐标 x\_B1 : 7D2B4435 10886AD7 CA3911CF 2019EC07 078AFF11 6E0FC409 A9F75A39 01F306CD

坐标 y\_B1 : 331F0C6C 0FE08D40 5FFEDB30 7BC255D6 8198653B DCA68B9C BA100E73 197E5D24

$$\text{计算 } U = [h \cdot t_A] (P_B + [\bar{x}_2] R_B) = (x_U, y_U);$$

坐标  $x_u$ :47C82653 4DC2F6F1 FBF28728 DD658F21 E174F481 79ACEF29 00F8B7F5 66E40905

坐标 y<sub>U</sub>:2AF86EFE 732CF12A D0E09A1F 2556CC65 0D9CCCE3 E249866B BB5C6846 A4C4A295

计算  $K_A = KDF(x_U \parallel y_U \parallel Z_A \parallel Z_B, klen)$ :

$x_U \parallel y_U \parallel Z_A \parallel Z_B$ :

47C82653	4DC2F6F1	FBF28728	DD658F21	E174F481	79ACEF29	00F8B7F5	66E40905	2AF86EFE
732CF12A	D0E09A1F	2556CC65	0D9CCCE3	E249866B	BB5C6846	A4C4A295	E4D1D0C3	CA4C7F11
BC8FF8CB	3F4C02A7	8F108FA0	98E51A66	8487240F	75E20F31	6B4B6D0E	276691BD	4A11BF72
F4FB501A	E309FDAC	B72FA6CC	336E6656	119ABD67				

*klen*=128

共享密钥 K<sub>A</sub>: 55B0AC62 A6B927BA 23703832 C853DED4

计算选项  $S_1 = \text{Hash}(0x02 \parallel y_U \parallel \text{Hash}(x_U \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2))$ :

$x_U \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2$ :

47C82653	4DC2F6F1	FBF28728	DD658F21	E174F481	79ACEF29	00F8B7F5	66E40905	E4D1D0C3
CA4C7F11	BC8FF8CB	3F4C02A7	8F108FA0	98E51A66	8487240F	75E20F31	6B4B6D0E	276691BD
4A11BF72	F4FB501A	E309FDAC	B72FA6CC	336E6656	119ABD67	6CB56338	16F4DD56	0B1DEC45
8310CBCC	6856C095	05324A6D	23150C40	8F162BF0	0D6FCF62	F1036C0A	1B6DACC9	57399223
A65F7D7B	F2D9637E	5BBBEB85	7961BF1A	1799B2A2	C7782953	00D9A232	5C686129	B8F2B533
7B3DCF45	14E8BBC1	9D900EE5	54C9288C	82733EFD	F7808AE7	F27D0E73	2F7C73A7	D9AC98B7
D8740A91	D0DB3CF4							

$\text{Hash}(x_U \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2)$ : FF49D95B D45FCE99 ED54A8AD 7A709110 9F513944

42916BD1 54D1DE43 79D97647

`0x02 || yU || Hash(xU || ZA || ZB || x1 || y1 || x2 || y2):`

02 2AF86EFE 732CF12A D0E09A1F 2556CC65 0D9CCCE3 E249866B BB5C6846 A4C4A295

FF49D95B D45FCE99 ED54A8AD 7A709110 9F513944 42916BD1 54D1DE43 79D97647

选项 S<sub>1</sub>:284C8F19 8F141B50 2E81250F 1581C7E9 EEB4CA69 90F9E02D F388B454 71F5BC5C

计算选项  $S_A = \text{Hash}(0x03 \parallel y_U \parallel \text{Hash}(x_U \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2))$ :

$x_U \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2$ :

47C82653	4DC2F6F1	FBF28728	DD658F21	E174F481	79ACEF29	00F8B7F5	66E40905	E4D1D0C3
CA4C7F11	BC8FF8CB	3F4C02A7	8F108FA0	98E51A66	8487240F	75E20F31	6B4B6D0E	276691BD
4A11BF72	F4FB501A	E309FDAC	B72FA6CC	336E6656	119ABD67	6CB56338	16F4DD56	0B1DEC45
8310CBCC	6856C095	05324A6D	23150C40	8F162BF0	0D6FCF62	F1036C0A	1B6DACC1	57399223
A65F7D7B	F2D9637E	5BBBEB85	7961BF1A	1799B2A2	C7782953	00D9A232	5C686129	B8F2B533
7B3DCF45	14E8BBC1	9D900EE5	54C9288C	82733EFD	F7808AE7	F27D0E73	2F7C73A7	D9AC98B7

D8740A91 D0DB3CF4  
 $\text{Hash}(x_U \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2)$ : FF49D95B D45FCE99 ED54A8AD 7A709110 9F513944 42916BD1  
54D1DE43 79D97647  
0x03 ||  $y_U \parallel \text{Hash}(x_U \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2)$ :  
03 2AF86EFE 732CF12A D0E09A1F 2556CC65 0D9CCCE3 E249866B BB5C6846 A4C4A295  
FF49D95B D45FCE99 ED54A8AD 7A709110 9F513944 42916BD1 54D1DE43 79D97647  
选项  $S_A$ : 23444DAF 8ED75343 66CB901C 84B3BDBB 63504F40 65C1116C 91A4C006 97E6CF7A  
**密钥交换  $B_{10}$  步骤中的有关值:**  
计算选项  $S_2 = \text{Hash}(0x03 \parallel y_V \parallel \text{Hash}(x_V \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2))$ :  
 $x_V \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2$ :  
47C82653 4DC2F6F1 FBF28728 DD658F21 E174F481 79ACEF29 00F8B7F5 66E40905 E4D1D0C3  
CA4C7F11 BC8FF8CB 3F4C02A7 8F108FA0 98E51A66 8487240F 75E20F31 6B4B6D0E 276691BD  
4A11BF72 F4FB501A E309FDAC B72FA6CC 336E6656 119ABD67 6CB56338 16F4DD56 0B1DEC45  
8310CBCC 6856C095 05324A6D 23150C40 8F162BF0 0D6FCF62 F1036C0A 1B6DACC 57399223  
A65F7D7B F2D9637E 5BBBEB85 7961BF1A 1799B2A2 C7782953 00D9A232 5C686129 B8F2B533  
7B3DCF45 14E8BBC1 9D900EE5 54C9288C 82733EFD F7808AE7 F27D0E73 2F7C73A7 D9AC98B7  
D8740A91 D0DB3CF4  
 $\text{Hash}(x_V \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2)$ : FF49D95B D45FCE99 ED54A8AD 7A709110 9F513944 42916BD1  
54D1DE43 79D97647  
0x03 ||  $y_V \parallel \text{Hash}(x_V \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2)$ :  
03 2AF86EFE 732CF12A D0E09A1F 2556CC65 0D9CCCE3 E249866B BB5C6846 A4C4A295  
FF49D95B D45FCE99 ED54A8AD 7A709110 9F513944 42916BD1 54D1DE43 79D97647  
选项  $S_2$ : 23444DAF 8ED75343 66CB901C 84B3BDBB 63504F40 65C1116C 91A4C006 97E6CF7A

### A.3 $F_{2^m}$ 上椭圆曲线密钥交换协议

椭圆曲线方程为:  $y^2 + xy = x^3 + ax^2 + b$

示例 2:  $F_{2^m} - 257$

基域生成多项式:  $x^{257} + x^{12} + 1$

系数  $a: 0$

系数  $b: 00$  E78BCD09 746C2023 78A7E72B 12BCE002 66B9627E CB0B5A25 367AD1AD 4CC6242B

余因子  $h: 4$

基点  $G = (x_G, y_G)$ , 其阶记为  $n$ 。

坐标  $x_G: 00$  CDB9CA7F 1E6B0441 F658343F 4B10297C 0EF9B649 1082400A 62E7A748 5735FADD

坐标  $y_G: 01$  3DE74DA6 5951C4D7 6DC89220 D5F7777A 611B1C38 BAE260B1 75951DC8 060C2B3E

阶  $n: 7FFFFFFF FFFFFFFF FFFFFFFF FFFFFFFF BC972CF7 E6B6F900 945B3C6A 0CF6161D$

用户 A 的私钥  $d_A: 4813903D 254F2C20 A94BC570 42384969 54BB5279 F861952E F2C5298E$

84D2CEAA

用户 A 的公钥  $P_A = (x_A, y_A)$ :

坐标  $x_A: 00$  8E3BDB2E 11F91933 88F1F901 CCC857BF 49CFC065 FB38B906 9CAAE6D5 AFC3592F

坐标  $y_A: 00$  4555122A AC0075F4 2E0A8BBD 2C0665C7 89120DF1 9D77B4E3 EE4712F5 98040415

用户 B 的私钥  $d_B: 08F41BAE 0922F47C 212803FE 681AD52B 9BF28A35 E1CD0EC2 73A2CF81$

3E8FD1DC

用户 B 的公钥  $P_B = (x_B, y_B)$ :

坐标  $x_B: 00$  34297DD8 3AB14D5B 393B6712 F32B2F2E 938D4690 B095424B 89DA880C 52D4A7D9

坐标  $y_B : 01\ 99BBF11A\ C95A0EA3\ 4BBD00CA\ 50B93EC2\ 4ACB6833\ 5D20BA5D\ CFE3B33B\ DBD2B62D$   
 杂凑值  $Z_A = H_{256}(ENTL_A \parallel ID_A \parallel a \parallel b \parallel x_G \parallel y_G \parallel x_A \parallel y_A)$ 。

$Z_A : ECF00802\ 15977B2E\ 5D6D61B9\ 8A99442F\ 03E8803D\ C39E349F\ 8DCA5621\ A9ACDF2B$

杂凑值  $Z_B = H_{256}(ENTL_B \parallel ID_B \parallel a \parallel b \parallel x_G \parallel y_G \parallel x_B \parallel y_B)$ 。

$Z_B : 557BAD30\ E183559A\ EEC3B225\ 6E1C7C11\ F870D22B\ 165D015A\ CF9465B0\ 9B87B527$

#### 密钥交换 $A_1 \sim A_3$ 步骤中的有关值：

产生随机数  $r_A : 54A3D667\ 3FF3A6BD\ 6B02EBB1\ 64C2A3AF\ 6D4A4906\ 229D9BFC\ E68CC366$   
 $A2E64BA4$

计算椭圆曲线点  $R_A = [r_A]G = (x_1, y_1)$ ：

坐标  $x_1 : 01\ 81076543\ ED19058C\ 38B313D7\ 39921D46\ B80094D9\ 61A13673\ D4A5CF8C\ 7159E304$

坐标  $y_1 : 01\ D8CFFF7C\ A27A01A2\ E88C1867\ 3748FDE9\ A74C1F9B\ 45646ECA\ 0997293C\ 15C34DD8$

#### 密钥交换 $B_1 \sim B_9$ 步骤中的有关值：

产生随机数  $r_B : 1F219333\ 87BEF781\ D0A8F7FD\ 708C5AE0\ A56EE3F4\ 23DBC2FE\ 5BDF6F06$   
 $8C53F7AD$

计算椭圆曲线点  $R_B = [r_B]G = (x_2, y_2)$ ：

坐标  $x_2 : 00\ 2A4832B4\ DCD399BA\ AB3FFE7\ DD6CE6ED\ 68CC43FF\ A5F2623B\ 9BD04E46\ 8D322A2A$

坐标  $y_2 : 00\ 16599BB5\ 2ED9EAFA\ D01CFA45\ 3CF3052E\ D60184D2\ EECFD42B\ 52DB7411\ 0B984C23$

取  $\bar{x}_2 = 2^{127} + (x_2 \& (2^{127} - 1))$ ;  $E8CC43FF\ A5F2623B\ 9BD04E46\ 8D322A2A$

计算  $t_B = (d_B + \bar{x}_2 \cdot r_B) \bmod n : 3D51D331\ 14A453A0\ 5791DB63\ 5B45F8DB\ C54686D7\ E2212D49$   
 $E4A717C6\ B10DED80$

计算  $h \cdot t_B \bmod n : 75474CC4\ 52914E81\ 5E476D8D\ 6D17E36F\ 5882EE67\ A1CD8C26\ FE4122B0$   
 $B741A0A3$

取  $\bar{x}_1 = 2^{127} + (x_1 \& (2^{127} - 1))$ ;  $B80094D9\ 61A13673\ D4A5CF8C\ 7159E304$

计算椭圆曲线点  $[\bar{x}_1]R_A = (x_{A0}, y_{A0})$ ：

坐标  $x_{A0} : 01\ 98AB5F14\ 349B6A46\ F77FBFCB\ DDBFCD34\ 320DC1F4\ C546D13C\ 3A9F0E83\ 0C39B579$

坐标  $y_{A0} : 00\ BFB49224\ ACCE2E51\ 04CD4519\ C0CBE3AD\ 0C19BF11\ 805BE108\ 59069AA6\ 9317A2B7$

计算椭圆曲线点  $P_A + [\bar{x}_1]R_A = (x_{A1}, y_{A1})$ ：

坐标  $x_{A1} : 00\ 24A92F64\ 66A37C5C\ 12A2C68D\ 58BFB0F0\ 32F2B976\ 60957CB0\ 5E63F961\ F160FE57$

坐标  $y_{A1} : 00\ F74A4F17\ DC560A55\ FDE0F1AB\ 168BCBF7\ 6502E240\ BA2D6BD6\ BE6E5D79$

16B288FC

计算  $V = [h \cdot t_B](P_A + [\bar{x}_1]R_A) = (x_V, y_V)$ :

坐标  $x_V : 00\ DADD0874\ 06221D65\ 7BC3FA79\ FF329BB0\ 22E9CB7D\ DFCFCCFE\ 277BE8CD$

4AE9B954

坐标  $y_V : 01\ F0464B1E\ 81684E5E\ D6EF281B\ 55624EF4\ 6CAA3B2D\ 37484372\ D91610B6\ 98252CC9$

计算  $K_B = KDF(x_V \parallel y_V \parallel Z_A \parallel Z_B, klen)$ :

$x_V \parallel y_V \parallel Z_A \parallel Z_B$ :

00DADD08 7406221D 657BC3FA 79FF329B B022E9CB 7DDFCFCC FE277BE8 CD4AE9B9 5401F046

4B1E8168 4E5ED6EF 281B5562 4EF46CAA 3B2D3748 4372D916 10B69825 2CC9ECF0 08021597

7B2E5D6D 61B98A99 442F03E8 803DC39E 349F8DCA 5621A9AC DF2B557B AD30E183 559AEEC3

B2256E1C 7C11F870 D22B165D 015ACF94 65B09B87 B527

$klen = 128$

共享密钥  $K_B : 4E587E5C\ 66634F22\ D973A7D9\ 8BF8BE23$

计算选项  $S_B = Hash(0x02 \parallel y_V \parallel Hash(x_V \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2))$ :

$x_V \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2$ :

00DADD08 7406221D 657BC3FA 79FF329B B022E9CB 7DDFCFCC FE277BE8 CD4AE9B9 54ECF008

0215977B 2E5D6D61 B98A9944 2F03E880 3DC39E34 9F8DCA56 21A9ACDF 2B557BAD 30E18355  
 9AEEC3B2 256E1C7C 11F870D2 2B165D01 5ACF9465 B09B87B5 27018107 6543ED19 058C38B3  
 13D73992 1D46B800 94D961A1 3673D4A5 CF8C7159 E30401D8 CFFF7CA2 7A01A2E8 8C186737  
 48FDE9A7 4C1F9B45 646ECA09 97293C15 C34DD800 2A4832B4 DCD399BA AB3FFFE7 DD6CE6ED  
 68CC43FF A5F2623B 9BD04E46 8D322A2A 0016599B B52ED9EA FAD01CFA 453CF305 2ED60184  
 D2EECFD4 2B52DB74 110B984C 23  
 $Hash(x_V \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2)$ :  
 E05FE287 B73B0CE6 639524CD 86694311 562914F4 F6A34241 01D885F8 8B05369C  
 $0x02 \parallel y_V \parallel Hash(x_V \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2)$ :  
 02 01F0464B 1E81684E 5ED6EF28 1B55624E F46CAA3B 2D374843 72D91610 B698252C  
 C9E05FE2 87B73B0C E6639524 CD866943 11562914 F4F6A342 4101D885 F88B0536 9C  
 选项  $S_B$ : 4EB47D28 AD3906D6 244D01E0 F6AEC73B 0B51DE15 74C13798 184E4833 DBAE295A

#### 密钥交换 $A_4 \sim A_{10}$ 步骤中的有关值:

取  $\bar{x}_1 = 2^{127} + (x_1 \& (2^{127} - 1))$ : B80094D9 61A13673 D4A5CF8C 7159E304  
 计算  $t_A = (d_A + \bar{x}_1 \cdot r_A) \bmod n$ : 18A1C649 B94044DF 16DC8634 993F1A4A EE3F6426 DFE14AC1  
 3644306A A5A94187  
 计算  $h \cdot t_A \bmod n$ : 62871926 E501137C 5B7218D2 64FC692B B8FD909B 7F852B04 D910C1AA  
 96A5061C  
 取  $\bar{x}_2 = 2^{127} + (x_2 \& (2^{127} - 1))$ : E8CC43FF A5F2623B 9BD04E46 8D322A2A  
 计算椭圆曲线点  $[\bar{x}_2]R_B = (x_{B0}, y_{B0})$ :  
 坐标  $x_{B0}$ : 01 0AA3BAC9 7786B629 22F93414 57AC64F7 2552AA15 D9321677 A10C7021 33B16735  
 坐标  $y_{B0}$ : 00 C10837F4 8F53C46B 714BCFBF AA1AD627 11FCB03C 0C25B366 BF176A2D C7B8E62E  
 计算椭圆曲线点  $P_B + [\bar{x}_2]R_B = (x_{B1}, y_{B1})$ :  
 坐标  $x_{B1}$ : 00 C7A446E1 98DB4278 60C3BB50 ED2197DE B8161973 9141CA61 03745035 9FAD9A99  
 坐标  $y_{B1}$ : 00 602E5A42 17427EAB C5E3917D E81BFFA1 D806591A F949DD7C 97EF90FD  
 4CF0A42D  
 计算  $U = [h \cdot t_A](P_B + [\bar{x}_2]R_B) = (x_U, y_U)$ :  
 坐标  $x_U$ : 00 DADD0874 06221D65 7BC3FA79 FF329BB0 22E9CB7D DFCFCCFE 277BE8CD  
 4AE9B954  
 坐标  $y_U$ : 01 F0464B1E 81684E5E D6EF281B 55624EF4 6CAA3B2D 37484372 D91610B6 98252CC9  
 计算  $K_A = KDF(x_U \parallel y_U \parallel Z_A \parallel Z_B, klen)$ :  
 $x_U \parallel y_U \parallel Z_A \parallel Z_B$ :  
 00DADD08 7406221D 657BC3FA 79FF329B B022E9CB 7DDFCFCC FE277BE8 CD4AE9B9 5401F046  
 4B1E8168 4E5ED6EF 281B5562 4EF46CAA 3B2D3748 4372D916 10B69825 2CC9ECF0 08021597  
 7B2E5D6D 61B98A99 442F03E8 803DC39E 349F8DCA 5621A9AC DF2B557B AD30E183 559AEEC3  
 B2256E1C 7C11F870 D22B165D 015ACF94 65B09B87 B527  
 $klen = 128$   
 共享密钥  $K_A$ : 4E587E5C 66634F22 D973A7D9 8BF8BE23  
 计算选项  $S_1 = Hash(0x02 \parallel y_U \parallel Hash(x_U \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2))$ :  
 $x_U \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2$ :  
 00DADD08 7406221D 657BC3FA 79FF329B B022E9CB 7DDFCFCC FE277BE8 CD4AE9B9 54ECF008  
 0215977B 2E5D6D61 B98A9944 2F03E880 3DC39E34 9F8DCA56 21A9ACDF 2B557BAD 30E18355  
 9AEEC3B2 256E1C7C 11F870D2 2B165D01 5ACF9465 B09B87B5 27018107 6543ED19 058C38B3  
 13D73992 1D46B800 94D961A1 3673D4A5 CF8C7159 E30401D8 CFFF7CA2 7A01A2E8 8C186737  
 48FDE9A7 4C1F9B45 646ECA09 97293C15 C34DD800 2A4832B4 DCD399BA AB3FFFE7 DD6CE6ED

68CC43FF A5F2623B 9BD04E46 8D322A2A 0016599B B52ED9EA FAD01CFA 453CF305 2ED60184  
D2EECFD4 2B52DB74 110B984C 23

$\text{Hash}(x_U \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2)$ :

E05FE287 B73B0CE6 639524CD 86694311 562914F4 F6A34241 01D885F8 8B05369C

$0x02 \parallel y_U \parallel \text{Hash}(x_U \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2)$ :

02 01F0464B 1E81684E 5ED6EF28 1B55624E F46CAA3B 2D374843 72D91610 B698252C

C9E05FE2 87B73B0C E6639524 CD866943 11562914 F4F6A342 4101D885 F88B0536 9C

选项  $S_1$ : 4EB47D28 AD3906D6 244D01E0 F6AEC73B 0B51DE15 74C13798 184E4833 DBAE295A

计算选项  $S_A = \text{Hash}(0x03 \parallel y_U \parallel \text{Hash}(x_U \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2))$ :

$x_U \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2$ :

00DADD08 7406221D 657BC3FA 79FF329B B022E9CB 7DDFCFCC FE277BE8 CD4AE9B9 54ECF008

0215977B 2E5D6D61 B98A9944 2F03E880 3DC39E34 9F8DCA56 21A9ACDF 2B557BAD 30E18355

9AEEC3B2 256E1C7C 11F870D2 2B165D01 5ACF9465 B09B87B5 27018107 6543ED19 058C38B3

13D73992 1D46B800 94D961A1 3673D4A5 CF8C7159 E30401D8 CFFF7CA2 7A01A2E8 8C186737

48FDE9A7 4C1F9B45 646ECA09 97293C15 C34DD800 2A4832B4 DCD399BA AB3FFE7 DD6CE6ED

68CC43FF A5F2623B 9BD04E46 8D322A2A 0016599B B52ED9EA FAD01CFA 453CF305 2ED60184

D2EECFD4 2B52DB74 110B984C 23

$\text{Hash}(x_U \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2)$ :

E05FE287 B73B0CE6 639524CD 86694311 562914F4 F6A34241 01D885F8 8B05369C

$0x03 \parallel y_U \parallel \text{Hash}(x_U \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2)$ :

03 01F0464B 1E81684E 5ED6EF28 1B55624E F46CAA3B 2D374843 72D91610 B698252C

C9E05FE2 87B73B0C E6639524 CD866943 11562914 F4F6A342 4101D885 F88B0536 9C

选项  $S_A$ : 588AA670 64F24DC2 7CCAA1FA B7E27DFF 811D500A D7EF2FB8 F69DDF48 CC0FECB7

#### 密钥交换 $B_{10}$ 步骤中的有关值:

计算选项  $S_2 = \text{Hash}(0x03 \parallel y_V \parallel \text{Hash}(x_V \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2))$ :

$x_V \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2$ :

00DADD08 7406221D 657BC3FA 79FF329B B022E9CB 7DDFCFCC FE277BE8 CD4AE9B9 54ECF008

0215977B 2E5D6D61 B98A9944 2F03E880 3DC39E34 9F8DCA56 21A9ACDF 2B557BAD 30E18355

9AEEC3B2 256E1C7C 11F870D2 2B165D01 5ACF9465 B09B87B5 27018107 6543ED19 058C38B3

13D73992 1D46B800 94D961A1 3673D4A5 CF8C7159 E30401D8 CFFF7CA2 7A01A2E8 8C186737

48FDE9A7 4C1F9B45 646ECA09 97293C15 C34DD800 2A4832B4 DCD399BA AB3FFE7 DD6CE6ED

68CC43FF A5F2623B 9BD04E46 8D322A2A 0016599B B52ED9EA FAD01CFA 453CF305 2ED60184

D2EECFD4 2B52DB74 110B984C 23

$\text{Hash}(x_V \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2)$ :

E05FE287 B73B0CE6 639524CD 86694311 562914F4 F6A34241 01D885F8 8B05369C

$0x03 \parallel y_V \parallel \text{Hash}(x_V \parallel Z_A \parallel Z_B \parallel x_1 \parallel y_1 \parallel x_2 \parallel y_2)$ :

03 01F0464B 1E81684E 5ED6EF28 1B55624E F46CAA3B 2D374843 72D91610 B698252C

C9E05FE2 87B73B0C E6639524 CD866943 11562914 F4F6A342 4101D885 F88B0536 9C

选项  $S_2$ : 588AA670 64F24DC2 7CCAA1FA B7E27DFF 811D500A D7EF2FB8 F69DDF48 CC0FECB7

### 参 考 文 献

- [1] GB/T 1988—1998 信息技术 信息交换用七位编码字符集
-