

# SM9 标识密码算法

## 第 3 部分：密钥交换协议



# 目 次

1 术语.....	2
2 符号.....	3
3 算法参数与辅助函数.....	4
3.1 总则.....	4
3.2 系统参数组.....	4
3.3 系统加密主密钥和用户加密密钥的产生.....	4
3.4 辅助函数.....	4
3.4.1 概述.....	4
3.4.2 密码杂凑函数.....	4
3.4.2.1 密码杂凑函数 $H_v( )$ .....	5
3.4.2.2 密码函数 $H_1( )$ .....	5
3.4.2.3 密码函数 $H_2( )$ .....	5
3.4.3 密钥派生函数.....	5
3.4.4 随机数发生器.....	6
4 密钥交换协议及流程.....	6
4.1 密钥交换协议.....	6
4.2 密钥交换协议流程.....	7

# SM9 标识密码算法

## 第 3 部分：密钥交换协议

本部分规定了用椭圆曲线对实现的基于标识的密钥交换协议，并提供了相应的流程。该协议可以使通信双方通过对方的标识和自身的私钥经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。该秘密密钥可作为对称密码算法的会话密钥。协议中选项可以实现密钥确认。

### 1 术语

#### 1.1

##### 密钥交换 key exchange

在通信实体之间安全地交换密钥的方案，可以使通信双方在非安全通信线路上为信息传送安全地交换密钥。

#### 1.2

##### 密钥协商 key agreement

多个用户之间建立一个共享秘密密钥的过程，并且其中的任何一个用户都不能预先确定该密钥的值。

#### 1.3

##### 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。

#### 1.4

##### 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它参数，产生一个或多个共享秘密密钥的函数。

#### 1.5

##### 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。

#### 1.6

##### 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。

## 1.7

### 加密主密钥 encryption master key

处于标识密码密钥分层结构最顶层的密钥，包括加密主私钥和加密主公钥，其中加密主公钥公开，加密主私钥由 KGC 秘密保存。KGC 用加密主私钥和用户的标识生成用户的加密私钥。在标识密码中，加密主私钥一般由 KGC 通过随机数发生器产生，加密主公钥由加密主私钥结合系统参数产生。

## 1.8

### 标识 identity

可唯一确定一个实体身份的信息。标识应由实体无法否认的信息组成，如实体的可识别名称、电子邮箱、身份证号、电话号码、街道地址等。

## 1.9

### 密钥生成中心 key generation center; KGC

在本部分中，负责选择系统参数、生成加密主密钥并产生用户加密私钥的可信机构。

## 2 符号

下列符号适用于本部分。

$A, B$ : 使用公钥密码系统的两个用户。

$cf$ : 椭圆曲线阶相对于  $N$  的余因子。

$cid$ : 用一个字节表示的曲线的识别符，其中 0x10 表示  $F_p$ (素数  $p > 2^{191}$ ) 上常曲线(即非超奇异曲线)，0x11 表示  $F_p$  上超奇异曲线，0x12 表示  $F_p$  上常曲线及其扭曲线。

$de_A$ : 用户 A 的加密私钥。

$de_B$ : 用户 B 的加密私钥。

$e$ : 从  $G_1 \times G_2$  到  $G_T$  的双线性对。

$eid$ : 用一个字节表示的双线性对  $e$  的识别符，其中 0x01 表示 Tate 对，0x02 表示 Weil 对，0x03 表示 Ate 对，0x04 表示 R-ate 对。

$G_T$ : 阶为素数  $N$  的乘法循环群。

$G_1$ : 阶为素数  $N$  的加法循环群。

$G_2$ : 阶为素数  $N$  的加法循环群。

$g^u$ : 乘法群  $G_T$  中元素  $g$  的  $u$  次幂，即  $g^u = \underbrace{g \cdot g \cdot \dots \cdot g}_{u \uparrow}$ ， $u$  是正整数。

$H_v(), Hash()$ : 密码杂凑函数。

$H_1()$ : 由密码杂凑函数派生的密码函数。

$hid$ : 在本部分中，用一个字节表示的加密私钥生成函数识别符，由 KGC 选择并公开。

$ID_A$ : 用户 A 的标识，可以唯一确定用户 A 的公钥。

$ID_B$ : 用户 B 的标识，可以唯一确定用户 B 的公钥。

$KDF()$ : 密钥派生函数。

$N$ : 循环群  $G_1$ 、 $G_2$  和  $G_T$  的阶，为大于  $2^{191}$  的素数。

$P_{pub-e}$ : 加密主公钥。

$P_1$ : 群  $G_1$  的生成元。

$P_2$ : 群  $G_2$  的生成元。

$r_A$ : 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。

$SK_A, SK_B$ : 密钥交换协议商定的共享秘密密钥。

$ke$ : 加密主私钥。

$\langle P \rangle$ : 由元素  $P$  生成的循环群。

$[u]P$ : 加法群  $G_1$ 、 $G_2$  中元素  $P$  的  $u$  倍。

$\lceil x \rceil$ : 顶函数, 不小于  $x$  的最小整数。例如,  $\lceil 7 \rceil = 7$ ,  $\lceil 8.3 \rceil = 9$ 。

$\lfloor x \rfloor$ : 底函数, 不大于  $x$  的最大整数。例如,  $\lfloor 7 \rfloor = 7$ ,  $\lfloor 8.3 \rfloor = 8$ 。

$x||y$ :  $x$  与  $y$  的拼接,  $x$  和  $y$  是比特串或字节串。

$[x, y]$ : 不小于  $x$  且不大于  $y$  的整数的集合。

$\beta$ : 扭曲线参数。

### 3 算法参数与辅助函数

#### 3.1 总则

本部分规定了一个用椭圆曲线对实现的基于标识的密钥交换协议。参与密钥交换的发起方用户 A 和响应方用户 B 各自持有一个标识和一个相应的加密私钥, 加密私钥均由密钥生成中心通过加密主私钥和用户的标识结合产生。用户 A 和 B 通过交互的信息传递, 用标识和各自的加密私钥来商定一个只有他们知道的秘密密钥, 用户双方可以通过可选项实现密钥确认。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。

#### 3.2 系统参数组

系统参数组包括曲线识别符  $cid$ ; 椭圆曲线基域  $F_q$  的参数; 椭圆曲线方程参数  $a$  和  $b$ ; 扭曲线参数  $\beta$  (若  $cid$  的低 4 位为 2); 曲线阶的素因子  $N$  和相对于  $N$  的余因子  $cf$ ; 曲线  $E(F_q)$  相对于  $N$  的嵌入次数  $k$ ;  $E(F_{q^{d_1}})$  ( $d_1$  整除  $k$ ) 的  $N$  阶循环子群  $G_1$  的生成元  $P_1$ ;  $E(F_{q^{d_2}})$  ( $d_2$  整除  $k$ ) 的  $N$  阶循环子群  $G_2$  的生成元  $P_2$ ; 双线性对  $e$  的识别符  $eid$ ; (选项)  $G_2$  到  $G_1$  的同态映射  $\psi$ 。

双线性对  $e$  的值域为  $N$  阶乘法循环群  $G_T$ 。

#### 3.3 系统加密主密钥和用户加密密钥的产生

KGC 产生随机数  $ke \in [1, N-1]$  作为加密主私钥, 计算  $G_1$  中的元素  $P_{pub-e} = [ke]P_1$  作为加密主公钥, 则加密主密钥对为  $(ke, P_{pub-e})$ 。KGC 秘密保存  $ke$ , 公开  $P_{pub-e}$ 。

KGC 选择并公开用一个字节表示的加密私钥生成函数识别符  $hid$ 。

用户 A 和 B 的标识分别为  $ID_A$  和  $ID_B$ 。为产生用户 A 的加密私钥  $de_A$ , KGC 首先在有限域  $F_N$  上计算  $t_1 = H_1(ID_A || hid, N) + ke$ , 若  $t_1 = 0$  则需重新产生加密主私钥, 计算和公开加密主公钥, 并更新已有用户的加密私钥; 否则计算  $t_2 = ke \cdot t_1^{-1}$ , 然后计算  $de_A = [t_2]P_2$ 。为产生用户 B 的加密私钥  $de_B$ , KGC 首先在有限域  $F_N$  上计算  $t_3 = H_1(ID_B || hid, N) + ke$ , 若  $t_3 = 0$  则需重新产生加密主私钥, 计算和公开加密主公钥, 并更新已有用户的加密私钥; 否则计算  $t_4 = ke \cdot t_3^{-1}$ , 然后计算  $de_B = [t_4]P_2$ 。

#### 3.4 辅助函数

##### 3.4.1 概述

在本部分规定的基于标识的密钥交换协议中, 涉及到三类辅助函数: 密码杂凑函数、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。

##### 3.4.2 密码杂凑函数

### 3.4.2.1 密码杂凑函数 $H_v()$

密码杂凑函数 $H_v()$ 的输出是长度恰为 $v$ 比特的杂凑值。本部分规定使用国家密码管理主管部门批准的密码杂凑函数，如SM3密码杂凑算法。

### 3.4.2.2 密码函数 $H_1()$

密码函数 $H_1(Z, n)$ 的输入为比特串 $Z$ 和整数 $n$ ，输出为一个整数 $h_1 \in [1, n-1]$ 。 $H_1(Z, n)$ 需要调用密码杂凑函数 $H_v()$ 。关于密码杂凑函数 $H_v()$ ，应符合本部分5.4.2.1的规定。

**密码函数  $H_1(Z, n)$ :**

**输入:** 比特串  $Z$ ，整数  $n$ 。

**输出:** 整数 $h_1 \in [1, n-1]$ 。

步骤 1: 初始化一个 32 比特构成的计数器  $ct=0x00000001$ ;

步骤 2: 计算  $hlen=8 \times \lceil (5 \times (\log_2 n)) / 32 \rceil$ ;

步骤 3: 对  $i$  从 1 到  $\lceil hlen/v \rceil$  执行:

步骤 3.1: 计算  $Ha_i = H_v(0x01 \| Z \| ct)$ ;

步骤 3.2:  $ct++$ ;

步骤 4: 若  $hlen/v$  是整数，令  $Ha!_{\lceil hlen/v \rceil} = Ha_{\lceil hlen/v \rceil}$ ，

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

步骤 5: 令  $Ha = Ha_1 \| Ha_2 \| \dots \| Ha_{\lceil hlen/v \rceil-1} \| Ha!_{\lceil hlen/v \rceil}$ ，将  $Ha$  的数据类型转换为整数;

步骤6: 计算 $h_1=(Ha \bmod (n-1))+1$ 。

### 3.4.2.3 密码函数 $H_2()$

密码函数 $H_2(Z, n)$ 的输入为比特串 $Z$ 和整数 $n$ ，输出为一个整数 $h_2 \in [1, n-1]$ 。 $H_2(Z, n)$ 需要调用密码杂凑函数 $H_v()$ 。关于密码杂凑函数 $H_v()$ ，应符合本部分5.4.2.1的规定。

**密码函数  $H_2(Z, n)$ :**

**输入:** 比特串  $Z$ ，整数  $n$ 。

**输出:** 整数 $h_2 \in [1, n-1]$ 。

步骤 1: 初始化一个 32 比特构成的计数器  $ct=0x00000001$ ;

步骤 2: 计算  $hlen=8 \times \lceil (5 \times (\log_2 n)) / 32 \rceil$ ;

步骤 3: 对  $i$  从 1 到  $\lceil hlen/v \rceil$  执行:

步骤 3.1: 计算  $Ha_i = H_v(0x02 \| Z \| ct)$ ;

步骤 3.2:  $ct++$ ;

步骤 4: 若  $hlen/v$  是整数，令  $Ha!_{\lceil hlen/v \rceil} = Ha_{\lceil hlen/v \rceil}$ ，

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

步骤 5: 令  $Ha = Ha_1 \| Ha_2 \| \dots \| Ha_{\lceil hlen/v \rceil-1} \| Ha!_{\lceil hlen/v \rceil}$ ，将  $Ha$  的数据类型转换为整数;

步骤6: 计算 $h_2=(Ha \bmod (n-1))+1$ 。

### 3.4.3 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函数。

设密码杂凑函数为  $H_v()$ ，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  $Z$ (双方共享的数据)，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  $K$ 。

步骤 1：初始化一个 32 比特构成的计数器  $ct=0x00000001$ ；

步骤 2：对  $i$  从 1 到  $\lceil klen/v \rceil$  执行：

    步骤 2.1：计算  $Ha_i=H_v(Z\|ct)$ ；

    步骤 2.2： $ct++$ ；

步骤 3：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；

步骤 4：令  $K=Ha_1\|Ha_2\|\dots\|Ha_{\lceil klen/v \rceil-1}\|Ha_{\lceil klen/v \rceil}$ 。

### 3.4.4 随机数发生器

本部分规定使用国家密码管理主管部门批准的随机数发生器。

## 4 密钥交换协议及流程

### 4.1 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：

**用户 A：**

A1： 计算群  $\mathcal{G}_1$  中的元素  $Q_B=[H_1(ID_B\|hid, N)]P_1+P_{pub-e}$ ；

A2： 产生随机数  $r_A \in [1, N-1]$ ；

A3： 计算群  $\mathcal{G}_1$  中的元素  $R_A=[r_A]Q_B$ ；

A4： 将  $R_A$  发送给用户 B；

**用户 B：**

B1： 计算群  $\mathcal{G}_1$  中的元素  $Q_A=[H_1(ID_A\|hid, N)]P_1+P_{pub-e}$ ；

B2： 产生随机数  $r_B \in [1, N-1]$ ；

B3： 计算群  $\mathcal{G}_1$  中的元素  $R_B=[r_B]Q_A$ ；

B4： 验证  $R_A \in \mathcal{G}_1$  是否成立，若不成立则协商失败；否则计算群  $\mathcal{G}_T$  中的元素  $g_1=e(R_A, de_B)$ ， $g_2=e(P_{pub-e}, P_2)^{r_B}$ ， $g_3=g_1^{r_B}$ ，将  $g_1, g_2, g_3$  的数据类型转换为比特串；

B5： 把  $R_A$  和  $R_B$  的数据类型转换为比特串，计算  $SK_B=KDF(ID_A\|ID_B\|R_A\|R_B\|g_1\|g_2\|g_3, klen)$ ；

B6： (选项)计算  $S_B=Hash(0x82\|g_1\|Hash(g_2\|g_3\|ID_A\|ID_B\|R_A\|R_B))$ ；

B7： 将  $R_B$ 、(选项  $S_B$ )发送给用户 A；

**用户 A：**

A5： 验证  $R_B \in \mathcal{G}_1$  是否成立，若不成立则协商失败；否则计算群  $\mathcal{G}_T$  中的元素  $g_1'=e(P_{pub-e}, P_2)^{r_A}$ ，

$g_2'=e(R_B, de_A)$ ， $g_3'=(g_2')^{r_A}$ ，将  $g_1', g_2', g_3'$  的数据类型转换为比特串；

A6： 把  $R_A$  和  $R_B$  的数据类型转换为比特串，(选项)计算  $S_1=Hash(0x82\|g_1'\|Hash(g_2'\|g_3'\|ID_A\|ID_B\|R_A\|R_B))$ ，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；

A7： 计算  $SK_A=KDF(ID_A\|ID_B\|R_A\|R_B\|g_1'\|g_2'\|g_3', klen)$ ；

A8： (选项)计算  $S_A=Hash(0x83\|g_1'\|Hash(g_2'\|g_3'\|ID_A\|ID_B\|R_A\|R_B))$ ，并将  $S_A$  发送给用户 B。

**用户 B：**



B8: (选项)计算  $S_2 = \text{Hash}(0x83 \| g_1 \| \text{Hash}(g_2 \| g_3 \| ID_A \| ID_B \| R_A \| R_B))$ ，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。

## 4.2 密钥交换协议流程

密钥交换协议流程如图1。

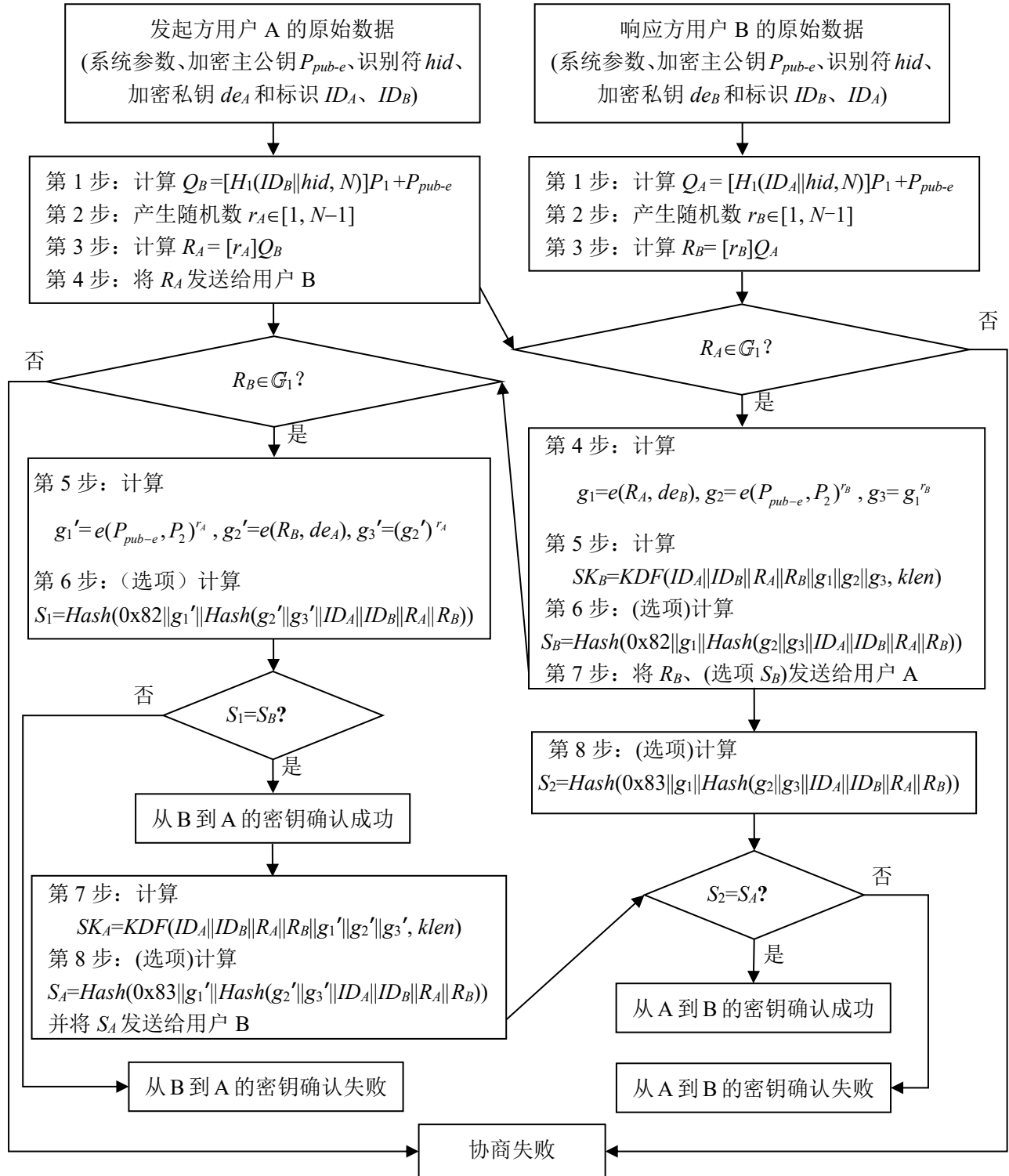


图 1 密钥交换协议流程