doi:10.3788/gzxb20134210.1256

基于四粒子 Ω 态的量子对话方案及拦截-重发攻击安全性分析

杨幼凤,叶志清
(江西师范大学 物理与通信电子学院;江西省光电子与通信重点实验室,南昌 330022)

摘 要:提出了一个利用四粒子 Ω 态实现量子对话的方案.首先,通信方 Bob 制备四粒子 Ω 态对其中的两个粒子作幺正变换,编码要传送的经典秘密信息,并把这两粒子发送给 Alice.然后,Alice 对接收的两粒子也作幺正变换,编码自己要传送的秘密信息,把粒子返还给 Bob.最后,Bob 对四粒子 Ω 终态作联合测量并公布结果.通信双方 Alice、Bob 根据公布的测量结果和自己编码时用的幺正算子,解码出对方传送的经典信息,达到双向通信的目的.结果表明:该通信方案只需要传输两个粒子,作两次幺正变换,通信双方都可以获得对方传送 4 比特经典信息,既实现了用量子信道同时双向传递经典信息,又实现了超密编码,提高了通信容量.通过在系统中随机插入诱骗光子,可以及时发现窃听者 Eve 的拦截-重发攻击,提高整个通信系统的安全性.

关键词:四粒子 Ω 态;量子对话;经典秘密信息;安全性
中图分类号:TN918 **文献标识码**:A **文章编号**:1004-4213(2013)10-1256-5

Scheme of Quantum Dialogue Based on Four-particle Omega State and Security of Intercept-resend Attack

YANG You-feng, YE Zhi-qing
(*College of Physics and Communication Electronic; Key Laboratory of Photoelectronics & Telecommunication of Jiangxi Province, Jiangxi Normal University, Nanchang* 330022, *China*)

Abstract: A scheme of quantum dialogue was proposed based on four-particle omega state. First, Bob, a communication party, prepared a four-particle omega state, encoded classical secret information by performing an approprite unitary transformation on two particles of the omega state and sent them to Alice. Then, Alice also performed an approprite unitary transformation on the two particles to encode secret information and sent back to Bob. Finally, Bob made joint measurement to final omega state, and announced the results. Alice and Bob, two parties of communication, could decode classical information the opposite one transfers, according to the announced measurement results and itself unitary operator, making the bidirectional communication come true. The result shows that the communication scheme only transfers two particles and makes unitary operations twice, and two communication parties get the opposite four-bit classcical information. It realizes both two-way communication of classical information with quantum channel and dense encoding to improve the communication capacity. The Eve′s intercept-resend attack can be found in time by inserting decoy photons in the system to raise the security of communication system.

Key words: Four-particle omega state; Quantum dialogue; Classical information; Security

基金项目:国家自然科学基金(No. 61368001),江西省自然科学基金(No. 20114BAB202003)和江西省教育厅科技项目(No. GJJ10401)资助
第一作者:杨幼凤(1988—),女,硕士研究生,主要研究方向为光量子通信. Email:yangyoufeng2007@126.com
导师(通讯作者):叶志清(1960—),男,教授,主要研究方向为光量子通信、光纤光栅传感器. Email:yezhiqing2008@163.com
收稿日期:2013-04-15;**录用日期**:2013-06-08

0　引言

量子通信是指利用量子的纠缠效应传递信息的一种新型的通讯方式，它是近 20 年发展起来的新型交叉学科，是量子论和信息论相结合的新的研究领域，主要包括量子秘密共享[1]、量子密钥分配[2]、量子安全直接通信[3]和量子隐形传态. 但这些方式只能够实现信息的单向传递，从某种意义上来说，并不是真正的“通信”，要满足现实生活的客观需求，信息必须沿两个方向传递（即 Alice 到 Bob 和 Bob 到 Alice）. 为克服此缺陷，2004 年，Nguyen[4]率先提出第一个量子对话协议. 该协议是基于 Bell 态实现双方在一个量子信道内同时传递信息，吸引了研究者们的高度关注. 2006 年，Ji 和 Zhang[5]提出了一个基于单粒子的量子对话协议（简称 JZ 协议）. Xia 等[6]于 2007 年提出了一个基于 GHZ 态受控安全量子对话协议，之后又相继出现了一些量子对话方案[7-8]. 量子超密编码[9]自 1993 年由 Bennett 和 Wiener 首次提出后，就成为量子信息处理的研究热点领域之一，特点是提高信道容量. 根据超密编码原理，文献[10-13]提出了基于多维二粒子的密集编码方案，但这些主要讨论的是二粒子或三粒子的量子对话.

针对这一不足，根据量子对话和超密编码的原理，本文提出了利用四粒子 Ω 态[14]实现量子对话的方案. Ω 态是一种非常好的量子源，具有良好的纠缠性，易于密集编码等优点. 为实现双向通信，通信双方需要将己方要传送的经典信息通过作幺正操作编码到纠缠态中，然后进行联合测量，并公布结果. 最后，双方根据公布结果和自己作的幺正操作解码出对方传送的信息. 由于本方案中使用的是四粒子纠缠态，只用 2-qubit 量子信道同时承载了 8-bit 经典信息，大大提高了通信容量. 实现了基于四粒子纠缠的大容量的量子对话方案.

1　基于四粒子纠缠态的量子对话方案的原理

在该通信系统中，有通信双方 Alice 和 Bob，其中 Alice 拥有一个四粒子（A_1，A_2，B_1，B_2）的 Ω 态，初态为 $|\Omega\rangle_0$. 通信开始后，Alice 通过对自己的部分粒子（B_1，B_2）作合适的幺正变换 $U^i_{\{B\}}$，编码自己要传送的秘密经典信息，再把这两粒子（B_1，B_2）发送给 Bob. Bob 也对 B_1，B_2 粒子作相应的幺正变换 $U^{i'}_{\{B\}}$，编码己方要传递的经典信息，然后把这两个粒子返还给 Alice. 该纠缠态共有 16 种正交纠缠态函数，分别表示为

$$|\Omega\rangle_0=\frac{1}{2}(|0000\rangle+|0110\rangle+|1001\rangle-|1111\rangle)_{\{A\}\{B\}}$$

$$|\Omega\rangle_1=\frac{1}{2}(|1000\rangle-|1110\rangle+|0001\rangle+|0111\rangle)_{\{A\}\{B\}}$$

$$|\Omega\rangle_2=\frac{1}{2}(|0000\rangle+|0110\rangle-|1001\rangle+|1111\rangle)_{\{A\}\{B\}}$$

$$|\Omega\rangle_3=\frac{1}{2}(-|1000\rangle+|1110\rangle+|0001\rangle+|0111\rangle)_{\{A\}\{B\}}$$

$$|\Omega\rangle_4=\frac{1}{2}(|0100\rangle+|0010\rangle-|1101\rangle+|1011\rangle)_{\{A\}\{B\}}$$

$$|\Omega\rangle_5=\frac{1}{2}(-|1100\rangle+|1010\rangle+|0101\rangle+|0011\rangle)_{\{A\}\{B\}}$$

$$|\Omega\rangle_6=\frac{1}{2}(|0100\rangle+|0010\rangle+|1101\rangle-|1011\rangle)_{\{A\}\{B\}}$$

$$|\Omega\rangle_7=\frac{1}{2}(|1100\rangle-|1010\rangle+|0101\rangle+|0011\rangle)_{\{A\}\{B\}}$$

$$|\Omega\rangle_8=\frac{1}{2}(|0000\rangle-|0110\rangle+|1001\rangle+|1111\rangle)_{\{A\}\{B\}}$$

$$|\Omega\rangle_9=\frac{1}{2}(|1000\rangle+|1110\rangle+|0001\rangle-|0111\rangle)_{\{A\}\{B\}}$$

$$|\Omega\rangle_{10}=\frac{1}{2}(|0000\rangle-|0110\rangle-|1001\rangle-|1111\rangle)_{\{A\}\{B\}}$$

$$|\Omega\rangle_{11}\frac{1}{2}(-|1000\rangle-|1110\rangle+|0001\rangle-|0111\rangle)_{\{A\}\{B\}}$$

$$|\Omega\rangle_{12}=\frac{1}{2}(-|0100\rangle+|0010\rangle+|1101\rangle+|1011\rangle)_{\{A\}\{B\}}$$

$$|\Omega\rangle_{13}=\frac{1}{2}(|1100\rangle-|0101\rangle+|1010\rangle+|0011\rangle)_{\{A\}\{B\}}$$

$$|\Omega\rangle_{14}=\frac{1}{2}(-|0100\rangle-|1101\rangle+|0010\rangle-|1011\rangle)_{\{A\}\{B\}}$$

$$|\Omega\rangle_{15}=\frac{1}{2}(-|1100\rangle-|0101\rangle-|1010\rangle+|0011\rangle)_{\{A\}\{B\}}$$

式中，$\{A\}=\{A_1A_2\}$，$\{B\}=\{B_1B_2\}$. 这 16 个四粒子纠缠态相应的有 16 个幺正操作

$$U^0=\begin{bmatrix}1&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&1&0\\0&0&0&1\end{bmatrix},U^1=\begin{bmatrix}0&1&0&0\\1&0&0&0\\0&0&0&1\\0&0&1&0\end{bmatrix}$$

$$U^2=\begin{bmatrix}1&0&0&0\\0&-1&0&0\\0&0&1&0\\0&0&0&-1\end{bmatrix},U^3=\begin{bmatrix}0&-1&0&0\\1&0&0&0\\0&0&0&-1\\0&0&1&0\end{bmatrix}$$

……

$$U^{12}=\begin{bmatrix}0&0&-1&0\\0&0&0&-1\\1&0&0&0\\0&1&0&0\end{bmatrix},U^{13}=\begin{bmatrix}0&0&0&-1\\0&0&-1&0\\0&1&0&0\\1&0&0&0\end{bmatrix}$$

$$U^{14}=\begin{bmatrix}0&0&-1&0\\0&0&0&1\\1&0&0&0\\0&-1&0&0\end{bmatrix},U^{15}=\begin{bmatrix}0&0&0&1\\0&0&-1&0\\0&-1&0&0\\1&0&0&0\end{bmatrix}$$

为了进行双向通信，传递经典比特信息，通信双方 Alice 和 Bob 事先约定按下述序列幺正变换进行二进制编码，其对应算子为

$U^0\to 0000, U^1\to 0001, U^2\to 0010, U^3\to 0011,$

$U^4\to 0100, U^5\to 0101, U^6\to 0110, U^7\to 0111,$

$U^8\to 1000, U^9\to 1001, U^{10}\to 1010, U^{11}\to 1011,$

$U^{12}\to 1100, U^{13}\to 1101, U^{14}\to 1110, U^{15}\to 1111$

整个通信过程中使用了块传输方法[15]，将 Bob 制备的所有纠缠态分为两个序列 P_A 和 P_B，再将 P_B 序列经过编码发送给 Alice. 为了简化通信过程，取一个 Ω 态为例. 具体步骤为：

Step 1：Bob 制备大量的四粒子（A_1，A_2，B_1，B_2）的 Ω 态，初态为 $|\Omega\rangle_0$ 并储存在自己的量子存储器中.

$$|\Omega\rangle_0=\frac{1}{2}(|0000\rangle+|0110\rangle+|1001\rangle-|1111\rangle)_{\{A\}\{B\}} \tag{1}$$

Step 2：Bob 从存储器中提取出纠缠态的部分粒子（B_1，B_2）作适当的幺正操作，编码自己要传送的秘密经典信息，初态变为

$$|E\rangle^i_{\{A\}\{B\}}=U^i_A|\Omega\rangle_0$$

例如 $i=5$，即编码的经典信息为 0101

$$|E\rangle^5_{\{A\}\{B\}}=\frac{1}{2}(-|1100\rangle+|1010\rangle+|0101\rangle+|0011\rangle)_{\{A\}\{B\}} \tag{2}$$

Step 3：Bob 把载有经典信息的粒子（B_1，B_2）发送给 Alice.

Step 4：Alice 接收了 Bob 发过来的粒子后，也对这两粒子（B_1，B_2）作相同的幺正操作，编码己方要传送的经典信息，纠缠态变为

$$|E\rangle^{5i'}_{\{A\}\{B\}}=U^{i'}_B|E\rangle^5_{\{A\}\{B\}}$$

例如 $i'=6$，即编码的经典信息为 0110，则

$$|E\rangle^{56}_{\{A\}\{B\}}=\frac{1}{2}(1000\rangle-|1110\rangle-|0001\rangle-|0111\rangle)_{\{A\}\{B\}} \tag{3}$$

Step 5：Alice 将编码后的粒子（B_1，B_2）返还给 Bob.

Step 6：Bob 在收到（B_1，B_2）粒子后，从存储器中提取出另两粒子（A_1，A_2）. 用四粒子纠缠态对终态进行测量，并通过经典信道公布测量结果.

Step 7：Bob 和 Alice 根据公布的测量结果和自己使用的幺正算子，解码出对方传送的经典信息.

整个通信过程可以用式(4)进行描述

$$|E\rangle^{ii'}_{\{A\}\{B\}}=|\Omega\rangle_{final}=U^{i'}_AU^i_B|\Omega\rangle_0 \tag{4}$$

式中（i，$i'=0,1,2,\cdots,15$）. A、B 分别表示 Alice 和 Bob 的幺正变换.

由约定可知，每个幺正变换对应着4 bits经典信息. 一次通信要作两次幺正变换（Alice 作一次，Bob 作一次）意味着有 8 bits 经典信息编码到了四粒子的 Ω 态，即有 8 bits 的信息传递. 仅根据步骤 6 中公布的测量结果和表 1 解码表，可以推断出 Alice 和 Bob 的编码操作一定是下面 16 种可能之一：

$\{(U^0_A,U^3_B),(U^1_A,U^2_B),(U^2_A,U^1_B),(U^3_A,U^0_B),(U^4_A,U^7_B),(U^5_A,U^6_B),(U^6_A,U^5_B),(U^7_A,U^4_B),(U^8_A,U^{11}_B),(U^9_A,U^{10}_B),(U^{10}_A,U^9_B),(U^{11}_A,U^8_B),(U^{12}_A,U^{15}_B),(U^{13}_A,U^{14}_B),(U^{14}_A,U^{13}_B),(U^{15}_A,U^{12}_B)\}_{AB}$

因此在此次通信中，Alice 根据测量结果和自己用的幺正操作 U^5_A，推断出 Bob 作的幺正操作为 U^6_B(0110)，也就解码出了 Bob 编码的经典信息 0110；同理，Bob 根据 Alice 公布的测量结果和自己使用的幺正算子 U^6_B，推断出 Alice 作的幺正操作为 U^5_A(0101)，同样解码出了 Alice 传送的经典信息 0101. 这样实现了四粒子 Ω 态的量子对话方案.

该方案利用四粒子纠缠态实现了一次传递 8 比特的经典信息，达到了密集编码的目的. 当测量结果为其他情况，同样可以通过解码表 1 推断出 Alice 和 Bob 作的可能的幺正操作.

表 1 中 U^j 表示 Alice 的测量结果，$(U^i_A,U^{i'}_B)$ 表示 Alice 和 Bob 对应的幺正操作. （i，i'，$j=0,1,2,\cdots,15$）.

表 1 Alice 的测量结果及相应的解码表

Table 1 Alice′s measurement results and decoding

U^0……	U^3……	U^{15}
(U^0_A,U^0_B)	(U^0_A,U^3_B)	(U^0_A,U^{15}_B)
(U^1_A,U^1_B)	(U^1_A,U^2_B)	(U^1_A,U^{14}_B)
(U^2_A,U^2_B)	(U^2_A,U^1_B)	(U^2_A,U^{13}_B)
(U^3_A,U^3_B)	(U^3_A,U^0_B)	(U^3_A,U^{12}_B)
(U^4_A,U^4_B)……	(U^4_A,U^7_B)……	(U^4_A,U^{11}_B)
(U^5_A,U^5_B)	(U^5_A,U^6_B)	(U^5_A,U^{10}_B)
(U^6_A,U^6_B)	(U^6_A,U^5_B)	(U^6_A,U^9_B)
(U^7_A,U^7_B)	(U^7_A,U^4_B)	(U^7_A,U^8_B)
(U^8_A,U^8_B)	(U^8_A,U^{11}_B)	(U^8_A,U^7_B)
(U^9_A,U^9_B)	(U^9_A,U^{10}_B)	(U^9_A,U^6_B)
(U^{10}_A,U^{10}_B)……	(U^{10}_A,U^9_B)……	(U^{10}_A,U^5_B)
(U^{11}_A,U^{11}_B)	(U^{11}_A,U^8_B)	(U^{11}_A,U^4_B)
(U^{12}_A,U^{13}_B)	(U^{12}_A,U^{15}_B)	(U^{12}_A,U^3_B)
(U^{13}_A,U^{13}_B)	(U^{13}_A,U^{14}_B)	(U^{13}_A,U^2_B)
(U^{14}_A,U^{14}_B)	(U^{14}_A,U^{13}_B)	(U^{14}_A,U^1_B)
(U^{15}_A,U^{15}_B)	(U^{15}_A,U^{12}_B)	(U^{15}_A,U^0_B)

2 安全性分析

安全性[16-17]即信息泄露是判断通信是否可靠的重要标准之一，因此在此特地对该方案的安全性进行分析. 本文假设 Alice 对通过幺正变换编码后的

纠缠态作联合测量的结果为 U^0. 只要知道这一结果的人根据解码表都可以推断出 Alice 和 Bob 的编码操作一定是解码表中的 16 种可能之一. 因此 Alice、Bob 传输的信息相应的必为下面 16 种之一：

{(0000,0000),(0001,0001),(0010,0010),
(0011,0011),(0100,0100),(0101,0101),
(0110,0110),(0111,0111),(1000,1000),
(1001,1001),(1010,1010),(1011,1011),
(1100,1100),(1101,1101),(1110,1110),
(1111,1111}$_{AB}$(A、B 分别表示 Alice 和 Bob 的幺正操作).

窃听者 Eve 获取有用信息的途径是对上面 16 种可能进行猜测，那么窃听者 Eve 猜对的概率仅有 1/16，也就是说窃听者 Eve 不能获得可靠的信息.

然而，该方案在拦截-重发攻击[18]下存在安全隐患. 首先，窃听者 Eve 在半路拦截 Bob 发送给 Alice 的真粒子(B_1，B_2)；其次，Eve 根据拦截的粒子制备相同纠缠态，并把其中两个假粒子发送给 Alice；再者，待 Alice 在假粒子上编码自己的秘密信息后，在返还给 Bob 的途中再次拦截，对其作联合测量，推断出 Alice 作的幺正变换并解码出 Alice 传递的信息；最后对真粒子作与 Alice 相同的幺正变换，发送给 Bob. Bob 在不知情的情况下，公布自己的测量结果. Eve 就可以根据 Bob 的公布结果推断出 Bob 传递的秘密信息. 这样以来，信息就泄露了. 为了确保本方案通信的安全性，在通信过程中插入诱骗光子. Bob 制备处于{|0⟩，|1⟩，|+⟩，|−⟩}中的一系列诱骗光子，并将诱骗光子和纠缠态存储在量子存储器中. 随后，Bob 从存储器中提取诱骗态和要发送给 Alice 的粒子，并把用于信道安全检测的诱骗态随机插入到要发给 Alice 的粒子中，然后一起发给 Alice. Alice 把接收的粒子储存在自己的量子存储器中. Alice 在得知 Bob 公布诱骗光子的位置后，用 X 或 Z 基(X={|+⟩，|−⟩}，Z={|0⟩，|1⟩})对提取的诱骗光子进行随机测量，随后公开宣布测量结果和测量基. 理想情况下，Alice 的测量结果和 Bob 用于制备诱骗光子的基是一致的. Bob 可以通过计算误码率是否超过预先设定的阈值，判断这次通信是否存在窃听. 如果误码率超过阈值，则表示存在窃听者，那么 Alice 和 Bob 就放弃这次通信，重新开始. 同理，Alice 在返还过程中同样要进行误码率的计算检测. 所以，Eve 的所有拦截-重发攻击都能被检测出来，即 Eve 不能获得 Alice 和 Bob 编码的任何信息，也就意味着通信是安全的.

3　结论

为满足现实生活中的通信需要和提高通信系统中的信息容量，本文提出的基于四粒子 Ω 态实现量子对话的方案能实现这一目的. 在该方案中，首先，通信方 Bob 对四粒子 Ω 态中的两个粒子(B_1，B_2)作相应的幺正变换，编码要传送的经典秘密信息，并把这两粒子发送给 Alice；然后，Alice 对接收的两粒子也作相同的幺正变换，编码自己要传送的秘密信息，再把粒子返还给 Bob；最后，Bob 对编码后的四粒子 Ω 态作联合测量，并公布测量结果. 通信双方 Alice、Bob 根据公布的测量结果和自己编码时用的幺正算子，推断出对方作了哪种幺正变换，解码出对方传送的经典信息. 每个幺正变换对应着 4 bits 的经典信息，该通信方案只需要传输二个粒子，作两次幺正变换，通信双方都可以获得对方传送 4 比特经典信息，实现了经典信息的双向同时传递，并提高了通信容量(即通信效率). 通过在系统中随机插入诱骗光子，可以及时发现窃听者 Eve 的拦截-重发攻击，提高整个通信系统的安全性.

参考文献

[1] HILLERY M, BUZEK V, BERTHIAUME A. Quantum secret sharing[J]. *Physical Review A*, 1999, **59**(3): 1829-1834.

[2] BENNETT C H, BRASSARD G. Quantum cryptography: public-key distribution and coin tossing[C]. Proceedings of the International Conference on Computers, Systems and Signal Processing, India: Bangalore Press, 1984, 175-179.

[3] DENG F G, LONG L G, LIU X S. Two-step direct communication using the EPR pair block[J]. *Physical Review A*, 2003, **68**(4): 042317-1-042317-6.

[4] NGUYEN B A. Quantum dialogue[J]. *Physics Letters A*, 2004, **328**(6): 6-10.

[5] JI Xin, ZHANG Shou. Secure quantum dialogue based on single-photon[J]. *Chinese Physics*, 2006, **15**(7): 1418-420.

[6] XIA Yan, SONG Jie, SONG He-shan. Controlled secure quantum dailogue using a pure entangled GHZ states[J]. *Communications in Theoretical Physics*, 2007, **48**(5): 841-846.

[7] DONG Li, XIU Xiao-ming, GAO Ya-jun, *et al*. Quantum dialogue protocol using a class of three - photon w states[J]. *Communications in Theoretical Physics*, 2009, **52**(5): 853-856.

[8] ZOU Xin, YE Zhi-qing. Controlled by a third party to realize quantum secure dialogue[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, **41**(4): 501-504.
邹昕，叶志清. 受第三方控制的量子安全对话方案[J]. 光子学报，2012, **41**(4): 501-504.

[9] BENNETT C H, WISNER S J. Communication via one- and two-particle on Einstein-Podolsky-Rosen States[J]. *Physical Review Letters*, 1992, **69**(20): 2881-2884.

[10] YI Xiao-jie, WANG Jian-min. Dense coding via local measurement with extended GHZ-Type state [J]. *International Journal of Theoretical Physics*, 2013, **52**(3): 750-756.

[11] ZHOU Rui, ZHU Yu-lan, NIE Yi-you. One-way communication scheme based on superdense coding of four dimension two particle[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, **39**(1): 952-955.

周锐，朱玉兰，聂义友. 四维二粒子超密编码的单向通信方案[J]. 光子学报，2010，**39**(1)：156-159.

[12] HUANG Ping-wu，ZHOU Ping，NONG Liang-qin，*et al*. Quantum superdense coding scheme based on high-dimensional two-particles system[J]. *Acta Photonica Sinica*，2011，**40**(5)：780-784.
黄平武，周萍，农亮勤，等. 基于高维两粒子纠缠态的超密方案[J]. 光子学报，2011，**40**(5)：780-784.

[13] WANG Dong，ZHA Xin-wei. Quantum communication based on cluster state [J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics*，2011，**28**(6)：687-692.

[14] PRADHAN B，AGRAWAL P，PATI AK. Teleportation and superdense coding with genuine quadripartite entangled state[OB/OL]. (2007-05-14)[2013-04-15]. http://arxiv.org/pdf/0705.1917v1.pdf.

[15] LONG G L，LIU X S，Theoretically efficient high-capacity quantum-key-distribution scheme[J]. *Physical Review A*，2002，**65**(3)：032302-1-032302-3.

[16] GAO Fei，GUO Fen-zhuo，WEN Qiao-yan，*et al*. Revisiting the security of quantum and bidirectional quantum secure direct communication[J]. *Science in China Ser. G Physics，Mechanics & Astronomy*，2008，**38**(5)：477-484.

[17] SHUKLA C，KOTHARI V，BANERJEE A，*et al*. On the group-theoretic structure of a class of quantum dialogue[J]. *Physics Letters A*，2013，**377**(7)：518-527.

[18] MAN Zhong-xiao，ZHANG Zhan-jun，LI Yong. Quantum dialogue revisited[J]. *Chinese Physics Letters*，2005，**22**(1)：22-24.