

一种线路高频保护防误方法分析及措施研究

梁静¹, 赵青春², 于冰³, 胡立锦⁴, 赵伟², 常喜强³

(1. 国网新疆电力公司电力科学研究院 新疆 乌鲁木齐 830002; 2. 南瑞继保电气有限公司 江苏 南京 210000;
3. 国网新疆电力公司电力调度控制中心 新疆 乌鲁木齐 830002; 4. 国网重庆电力公司建设分公司 重庆 410021)

摘要: 提出了由于电网结构差异较大, 负荷结构和电源布局不均匀导致线路区外对称故障时可能出现较大的零序电流, 进而导致线路高频保护误动作的思考。理论推导了对称故障下出现零序电流的原因, 在此基础上搭建了仿真模型进行仿真。理论分析和仿真结果表明线路系统区外对称故障下零序电流的最大确实会导致被保护线路高频保护误动。以新疆某地区实际电网为模型, 沿用系统参数设置, 采用在线和离线的方法调节系统负荷及电源投入情况, 模拟并分析出现的高频保护误动情况, 进而针对模拟情况提出合理的预防建议和措施。

关键词: 对称故障; 负荷; 高频保护; 仿真分析; 离线模拟

Abstract: A stronger zero - sequence current may occur when the symmetrical fault appears outside the line zone due to the different structure of power grid , uneven load structure and power distribution , which results in the misoperation of high - frequency protection. The reasons why zero - sequence current occurs under symmetrical fault are analyzed by theoretical derivation , and the simulation model is established. The theoretical analysis and simulation results show that the maximum zero - sequence current under symmetrical fault outside the line zone will exactly cause the misoperation of high - frequency protection in the protected line. Taking the actual power grid as the model in one place of Xinjiang , the misoperation of high - frequency protection is simulated and analyzed by following the setting of system parameters and adopting the on - line and off - line methods to control the system load and the power source connection , thus the reasonable preventive suggestions and measures are put forward.

Key words: symmetrical fault; load; high - frequency protection; simulation analysis; off - line simulation

中图分类号: TM773 文献标志码: A 文章编号: 1003 - 6954(2013)06 - 0029 - 04

0 引言

分布式电源、特高压输变电工程以及大规模新能源的飞速发展并投入运行, 改变了电网原有的较为单一的能源结构和负荷模式。基于传统能源结构而设置的线路高频保护^[1], 旨在弥补联动和差动保护在被保护线路区内对称故障时不能及时有效从故障点两端同时切除线路的不足^[2], 由于此时电路一般为理想状态, 线路参数基本对称, 线路对称故障^[3]时并无明显的零序电流产生和流通。

但是, 随着电网结构的不断变化, 导致线路参数不完全换位或不换位的情况存在并增多。零序电流大小与相间互感的不平衡程度, 与两回线之间互感的不平衡程度有着较为直接的关系, 不平衡程度越大, 零序电流越大; 负荷越大零序电流越大^[4-6]。当线路参数满足一定条件时, 有可能使得零序电流

与短路电流的方向相反, 进而表现为零序电流在双回线内呈环流的现象, 从而导致相关线路高频保护装置误动作^[7-10]。

基于此思考, 从理论上分析并推导了对称故障下线路参数的变化情况, 明确了零序电流可能出现的原因。结合理论分析, 搭建了符合实际的仿真模型进行仿真分析。结果表明, 对称故障下线路参数不平衡确实会导致零序电流增加, 证明了推测的合理性和准确性。

1 系统对称故障出现零序电流的原因分析

对于双回线路, 根据其两端电压和六相电流, 有以下方程。

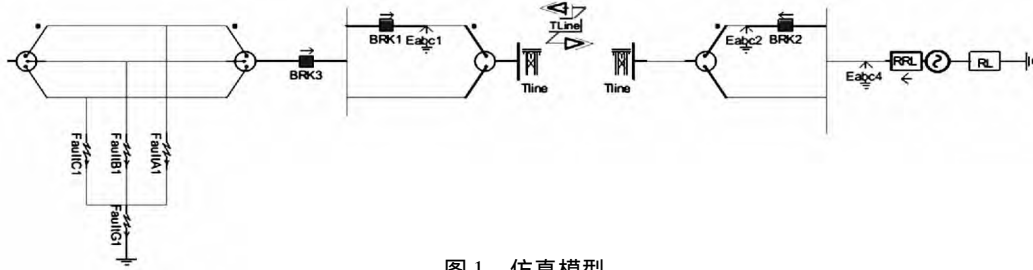


图1 仿真模型

$$\begin{bmatrix} \Delta U_A \\ \Delta U_B \\ \Delta U_C \\ \Delta U_{A'} \\ \Delta U_{B'} \\ \Delta U_{C'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ZL & ZM_{AB} & ZM_{CA} & ZM_{AA'} & ZM_{AB'} & ZM_{AC'} \\ ZM_{AB} & ZL & ZM_{BC} & ZM_{BA'} & ZM_{BB'} & ZM_{BC'} \\ ZM_{CA} & ZM_{BC} & ZL & ZM_{CA'} & ZM_{CB'} & ZM_{CC'} \\ ZM_{AA'} & ZM_{BA'} & ZM_{CA'} & ZL & ZM_{A'B'} & ZM_{A'C'} \\ ZM_{AB'} & ZM_{BB'} & ZM_{CB'} & ZM_{A'B'} & ZL & ZM_{B'C'} \\ ZM_{AC'} & ZM_{BC'} & ZM_{CC'} & ZM_{A'C'} & ZM_{B'C'} & ZL \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \\ I_{A'} \\ I_{B'} \\ I_{C'} \end{bmatrix} \quad (1)$$

参照转换为导纳方程后如下。

$$\begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \\ I_{A'} \\ I_{B'} \\ I_{C'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} YL & YM_{AB} & YM_{CA} & YM_{AA'} & YM_{AB'} & YM_{AC'} \\ YM_{AB} & YL & YM_{BC} & YM_{BA'} & YM_{BB'} & YM_{BC'} \\ YM_{CA} & YM_{BC} & YL & YM_{CA'} & YM_{CB'} & YM_{CC'} \\ YM_{AA'} & YM_{BA'} & YM_{CA'} & YL & YM_{C'B'} & YM_{A'C'} \\ YM_{AB'} & YM_{BB'} & YM_{CB'} & YM_{A'B'} & YL & YM_{B'C'} \\ YM_{AC'} & YM_{BC'} & YM_{CC'} & YM_{B'C'} & YM_{B'C'} & YL \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta U_A \\ \Delta U_B \\ \Delta U_C \\ \Delta U_{A'} \\ \Delta U_{B'} \\ \Delta U_{C'} \end{bmatrix} \quad (2)$$

再转为正负零序参数如下。

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \\ I_{0'} \\ I_{1'} \\ I_{2'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{00} & Y_{01} & Y_{02} & Y_{00'} & Y_{01'} & Y_{02'} \\ Y_{10} & Y_{11} & Y_{12} & Y_{10'} & Y_{11'} & Y_{12'} \\ Y_{20} & Y_{21} & Y_{22} & Y_{20'} & Y_{21'} & Y_{22'} \\ Y_{00} & Y_{01} & Y_{02} & Y_{00'} & Y_{01'} & Y_{02'} \\ Y_{10} & Y_{11} & Y_{12} & Y_{10'} & Y_{11'} & Y_{12'} \\ Y_{20} & Y_{21} & Y_{22} & Y_{20'} & Y_{21'} & Y_{22'} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta U_0 \\ \Delta U_1 \\ \Delta U_2 \\ \Delta U_{0'} \\ \Delta U_{1'} \\ \Delta U_{2'} \end{bmatrix} \quad (3)$$

忽略零序和负序电压量,可求得 I 回线零序分量如下。

$$I_0 = (Y_{01} + Y_{01'}) \Delta U_1 \quad (4)$$

$$Y_{01} = \frac{YM_{AB} + a^2 YM_{BC} + a^* YM_{CA}}{3} (1 + a^2) \quad (5)$$

$$Y_{01'} = \frac{(YM_{AA'} + YM_{AB'} + YM_{CA'})}{3} + \frac{(YM_{BB'} + YM_{AB'} + YM_{BC'})^* a^2}{3} + \frac{(YM_{CC'} + YM_{BC'} + YM_{CA'})^* a}{3} \quad (6)$$

同理可得到 II 回线零序分量如下。

$$I_{0'} = (Y_{01'} + Y_{01}) \Delta U_1 \quad (7)$$

$$Y_{01} = \frac{YM_{AB'} + a^2 YM_{BC'} + a^* YM_{CA'}}{3} (1 + a^2) \quad (8)$$

$$Y_{01} = \frac{(YM_{AA'} + YM_{AB'} + YM_{CA'})}{3} + \frac{(YM_{BB'} + YM_{AB'} + YM_{BC'})^* a^2}{3} + \frac{(YM_{CC'} + YM_{BC'} + YM_{CA'})^* a}{3} \quad (9)$$

(1) 线路完全换位

各互感导纳和自感导纳均相等,此时 $Y_{01} = Y_{01'}$
 $= Y_{01} = Y_{01'} = 0$,不会有零序电流。

(2) 线路不完全换位或不换位

零序电流大小与相间互感纳的不平衡程度,与两回线之间互感的不平衡程度亦有关,不平衡程度越大,零序电流越大;负荷 (ΔU_1) 越大零序电流越大。当线路参数满足一定条件时,有可能使得 I_0 与 $I_{0'}$ 的方向相反,进而表现为零序电流在双回线内呈环流的现象。

从以上分析可以看到,当线路物理确定时,可根据两端电压情况计算出线路上由于线路参数不对称而产生零序电流。

2 仿真分析

结合理论分析,搭建仿真模型如图1。

TV 变比 220 kV/100 V,TA 变比 2 000 A/1A,线路相序安排如图2。



图2 模拟区外三相对称故障

2.1 近故障侧仿真结果分析

故障电流电压仿真波形如图3所示。

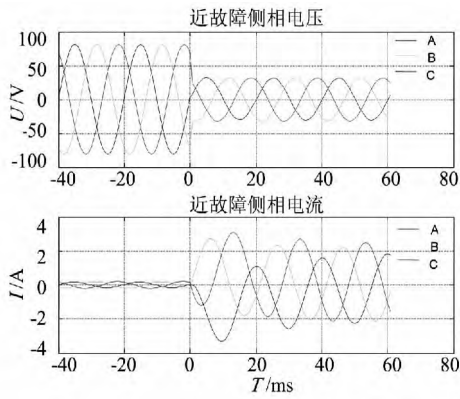


图3 近故障侧电流电压

零序电压电流仿真波形如图4所示。

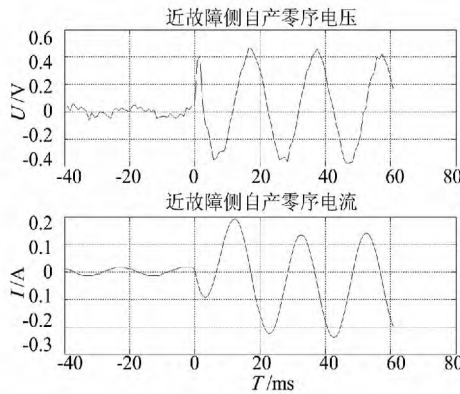


图4 近故障侧零序电流

零序电压大小、零序电流大小、零序电压电流相对相位及零序功率如图5所示。

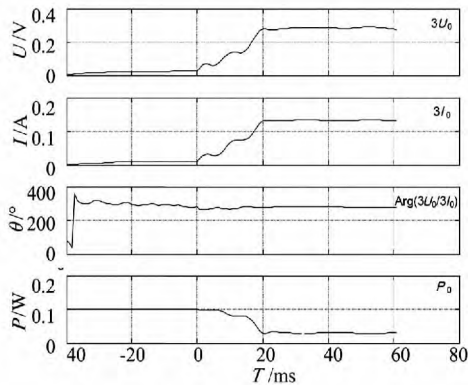


图5 近故障侧零序电气量相位比较

由于零序电压较小,零序功率不足 -0.1 VA ,但零序功率特征呈现正方向特征。

2.2 远故障侧仿真结果分析

远故障侧仿真结果见图6~图8。

由于零序电压较小,零序功率不足 -0.1 VA ,但零序功率特征呈现正方向特征。

从理论和仿真分析来看,由于线路不换位或者不完全换位,在特定相序安排下确有可能出现区外发生不接地故障导致双回线出现零序电流。

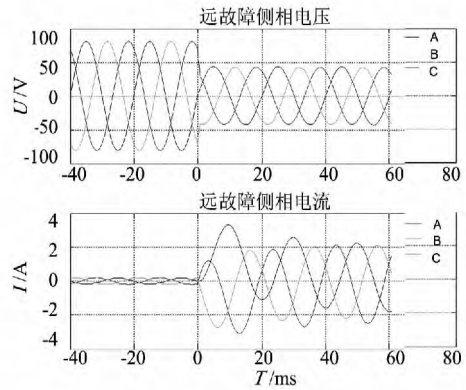


图6 远故障侧电流电压

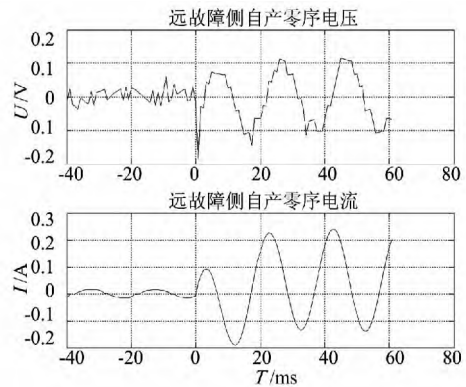


图7 远故障侧零序电压电流

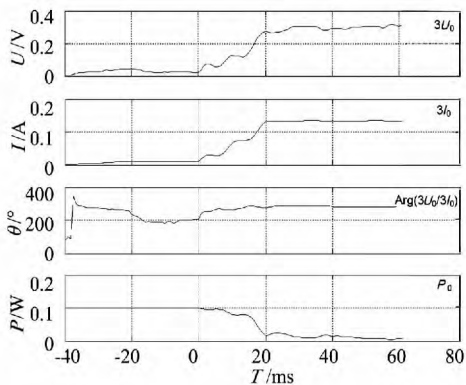


图8 远故障侧零序电气量相位比较

3 实际电网离线模拟验证

新疆电网某地区新建750 kV变电站改变了附近地区电网的结构特性,由于新建线路同杆架设,线路长短不同,导致参数存在不平衡现象。以此局部电网为例,进行离线模拟分析。选取保护线路如图9所示。

乌岗I、II线两端采用高频距离保护装置,龙岗侧区外三相短路故障,图中 $0+$ 表示零序功率判为正方向, $0-$ 表示零序功率判为反方向; $Z+$ 表示纵联距离判为正方向, $Z-$ 表示纵联距离未判为正方

向。以电网实际运行参数为基础,调整电源及复合结构,模拟分析故障情况下高频保护动作情况。

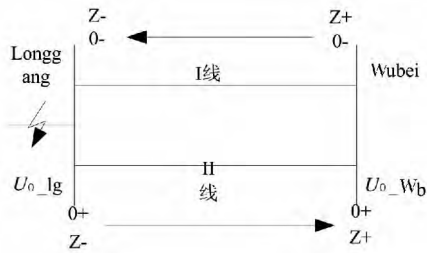


图9 保护对象模型

(1) 乌岗 II 线龙岗变电站侧保护装置离线计算结果分析

取乌岗 II 线龙岗变电站侧保护装置录波数据如图 10。

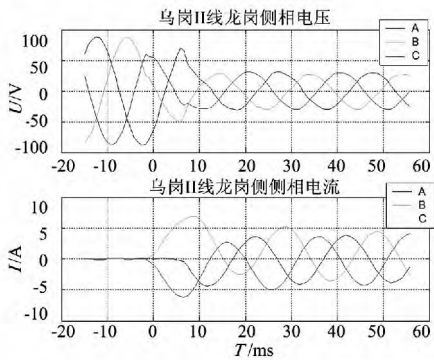


图10 乌岗 II 线龙岗侧电压电流波形

根据保护录波数据,离线计算故障时乌岗 II 线乌北变电站侧保护装置的 AB、BC、CA 相间测量阻抗如图 11。

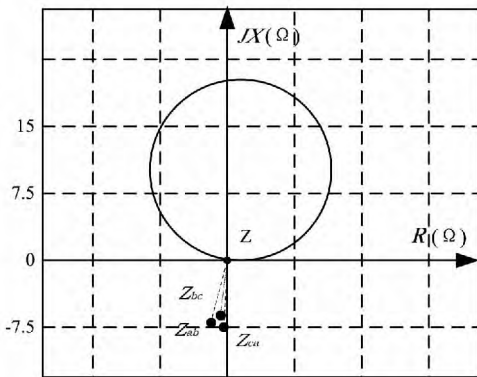


图11 乌岗 II 线龙岗侧测量阻抗

从测量阻抗与动作范围来看,乌岗 II 线乌北变电站侧 Z_{ab} 、 Z_{bc} 、 Z_{ca} 均未进入动作区。

根据离线数据计算零序电压、零序电流、零序电压和电流相对相位以及零序功率如图 12。

图 12 中,第 1 幅为零序电压有效值,第 2 幅为零序电流有效值,第 3 幅为零序电压相对零序电流相

位,第 4 幅为零序功率,零序功率 < -0.1 为正方向。

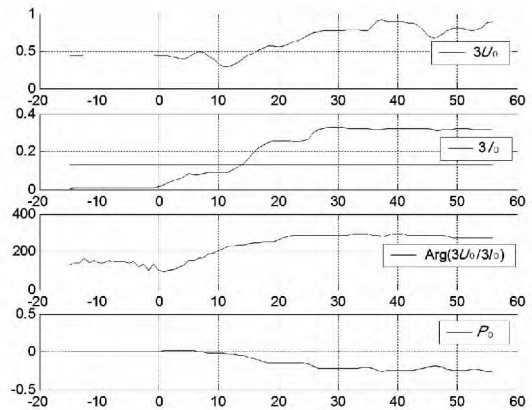


图12 乌岗 II 线龙岗侧零序功率情况

(2) 乌岗 II 线乌北侧保护装置动作行为分析取乌北侧保护装置录波数据如图 13。

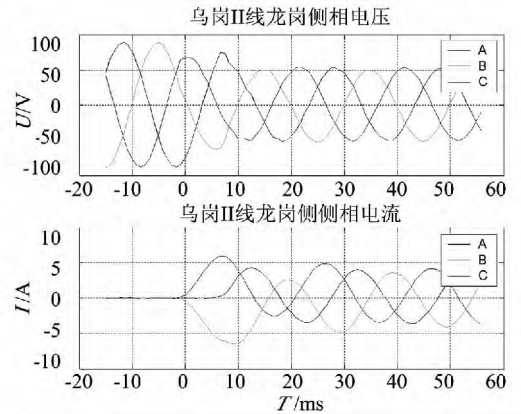


图13 乌岗 II 线乌北侧电压电流波形

计算乌北侧 3 个相间测量阻抗如图 14。

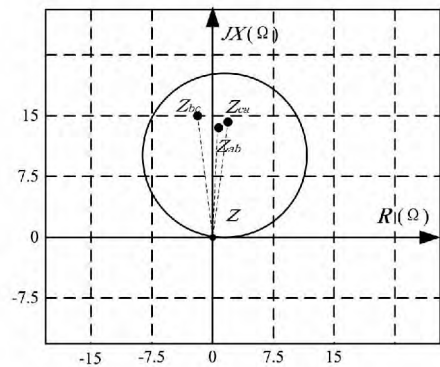


图14 乌岗 II 线乌北侧测量阻抗

测量阻抗位于动作区内。

根据离线数据计算零序电压、零序电流、零序电压和电流相对相位以及零序功率如图 15。

第 1 幅为零序电压,第 2 幅为零序电流,第 3 幅为零序电压相对零序电流相位,第 4 幅为零序功率,零序功率位于正方向的边界。

(下转第 38 页)

的无功控制策略[J]. 电网技术 2012 36(1): 118 - 122.

[16] 张望 郝俊芳 曹森 等. 直流输电换流站无功功率控制功能设计[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(14): 72 - 76.

[17] 刘崇茹 张伯明. 考虑换流变压器和无功补偿协调控制计算 AC/DC 系统有功 - 电压曲线[J]. 电力自动

化设备 2009 29(1): 50 - 53.

作者简介:

朱 玲(1990), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统安全稳定与控制;

王 骅(1973), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力系统仿真。

(收稿日期: 2013 - 06 - 14)

(上接第 32 页)

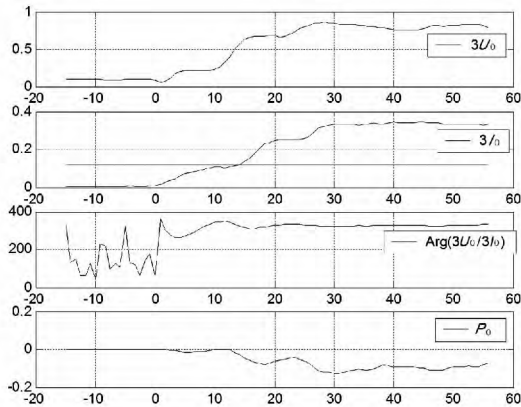


图 15 乌岗 II 线乌北侧零序功率情况

4 结 论

通过分析可知: 乌岗 II 线乌北侧纵联距离元件动作; 龙岗侧纵联零序功率判为正方向。从高频保护逻辑来看, 两侧保护有可能出现不正确动作

在区外不接地对称故障中, 系统中出现零序分量, 导致乌岗 II 回线保护感受到零序电压和零序电流, 从而造成保护装置出现上述的动作特性。

结合理论分析、仿真计算和离线模拟分析, 在实际电网运行的经验基础上, 给出以下建议。

(1) 对系统不平衡程度进行判别, 当不平衡程度较弱时, 闭锁纵联零序正方向或者延时投入纵联零序正方向。

方案优点: 常规区内故障能可靠快速动作; 能有效防止线路不换位时区外故障出现零序分量导致保护误动;

方案缺点: 重负荷高阻接地故障时, 纵联零序动作速度受到影响(此时系统电压下降不多, 对系统稳定影响不大)。

(2) 考虑利用高阻投入抑制零序电流。但此方案需在以下几方面进行进一步研究, 以保障高阻投入的正确性。

1) 零序功率方向元件投入需要确定是高阻情况才投入;

2) 研究如何区别高阻接地与不平衡零序电流;

3) 对方向元件进行研究, 确保各种条件下, 反方向故障时不启动发信。

参考文献

[1] 孙国凯. 电力系统继电保护原理 [M]. 北京: 中国水利电力出版社, 2002: 137 - 142.

[2] 贺家李. 电力系统继电保护原理 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1994: 87 - 91.

[3] 王瑞敏. 电力系统继电保护原理 [M]. 北京: 北京农业出版社, 1994: 25 - 32.

[4] 刘杨, 李晓明, 曹凯丽. 220 kV 系统高频保护异常运行分析及预防措施 [J]. 电力自动化设备, 2005, 25(5): 98 - 101.

[5] 苏斌, 董新洲, 阿德南, 等. 方向高频保护的动作为第二部分: 复故障情况下方向高频保护的动作为分析 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2003(2): 9 - 13.

[6] 康小宁, 梁振锋. 同杆平行双回线路保护及自动重合闸综述 [J]. 继电器, 2004, 31(23): 72 - 76.

[7] 王红光. 影响高频保护正常投入的原因分析及对策 [J]. 继电器, 2000, 28(11):

[8] 汤大海, 周立刚. 区外母线故障高频保护动作为分析 [J]. 江办电机工程, 1995(4): 13 - 16.

[9] 景胜. 河南电网高频保护不正确动作原因分析与建议 [J]. 继电器, 2003, 31(3): 76 - 78.

[10] 高智勇. 高频保护误动原因分析及改进措施 [J]. 四川电力技术, 2002(S1): 33, 37.

作者简介:

梁 静(1963), 女, 高级工程师, 主要从事电力系统继电保护分析方面的研究;

赵青春(1980), 男, 高级工程师, 主要从事电力系统继电保护分析方面的研究;

胡立锦(1983), 男, 硕士研究生, 主要从事电网运行控制方面的工作。

(收稿日期: 2013 - 07 - 08)