

# 变电运行人因事故分析的拟 REASON 模型

梁广<sup>1</sup>, 张勇军<sup>2</sup>, 黎浩<sup>2</sup>, 凌毅<sup>1</sup>

(1. 广东电网公司, 广东 广州 510600; 2. 华南理工大学电力学院, 广东 广州 510640)

**摘要:** REASON 模型是航空事故调查与分析的理论模型之一, 引入进来并建立了变电运行人因事故分析的拟 REASON 模型, 提出了事故链上的六个要素, 包括环境、信息、组织、危险点、监护人、操作人。分别针对这六个要素提出防止变电运行人因事故发生的具体措施, 并指出各方面安全措施的协调是追求“事故零目标”的必然要求。所提模型对变电运行人因事故分析具有重要的指导意义。

**关键词:** 变电运行; 人因事故; REASON 模型

## Quasi-reason model for human errors analysis in substation operation

LIANG Guang<sup>1</sup>, ZHANG Yong-jun<sup>2</sup>, LI Hao<sup>2</sup>, LING Yi<sup>1</sup>

(1. Guangdong Power Grid Company, Guangzhou 510600, China;  
2. South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Based upon REASON Model, which is used for air accident survey and analysis, the quasi-REASON model of human errors analysis for substation operation is established and the six components on the accident train are presented in this paper, which include environment, information, management, hazard point, supervisor, and operator. Some measures to avoid the human errors of substation operation are proposed based on these six elements then, which should be harmonized to realize “zero accident goal”. The proposed model can be used as a kind of guidance for human errors analysis for substation operation.

**Key words:** power substation operation; human errors; REASON model

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)03-0023-04

## 0 引言

变电站是电力企业的重要生产场所, 变电运行操作是电力企业工作中一项十分重要的环节, 其生产过程的安全可靠运行水平直接影响到电网的安全性, 影响到企业的利益和发展。一般来说, 引发事故的基本因素是自然环境、人和物(设备)。随着科技的进步, 电力系统设备的不断更新, 变电站的运行环境也得到很大程度的改善。而由于人的因素而诱发的事故已成为变电站运行操作最主要事故源之一<sup>[1,2]</sup>。2003~2005年, 广东电网共发生366起事故, 其中变电站运行人因误操作事故43起, 占总事故数的11.8%<sup>[3-5]</sup>。人为过失(如带电误合接地刀闸)造成的故障往往是发生在线路出口或母线上的永久性故障, 所造成的事故持续时间较长、事故后果也较为严重<sup>[6]</sup>。这些恶性误操作事故长期以来一直严重威胁人身、电网、设备安全<sup>[7,8]</sup>。因此加强变电运行人因事故分析的理论研究、深入探讨其中

的人因失效规律, 对安全管理部门制订对策预防恶性电气误操作事故的发生具有重要意义。

本文依据心理学领域的 REASON 模型, 提出人因事故分析的拟 REASON 事故链模型及防范变电运行人因事故的具体措施。

## 1 REASON 模型

REASON 模型是曼彻斯特大学教授 James Reason 在其著名的心理学专著《Human Error》一书中提出的概念模型, 原始模型在理论上建立后被迅速而广泛地应用于人机工程学、医学、核工业、航空等领域<sup>[9-11]</sup>。这一模型的核心创新点在于其系统观的视野, 在对不安全事件行为人的行为分析之外, 更深层次地剖析出影响行为人的潜在组织因素, 从一体化相互作用的分系统、组织权力层级的直接作用到管理者、利益相关者、企业文化的间接影响等角度全方位地拓展了事故分析的视野, 并以一个逻辑统一的事故反应链将所有相关因素进行了理论

串联。

REASON 模型的内在逻辑是：事故的发生不仅有一个事件本身的反应链，还同时存在一个被穿透的组织缺陷集，事故促发因素和组织各层次的缺陷（或安全风险）是长期存在的并不断自行演化的，但些事故促因和组织缺陷并不一定造成不安全事件，当多个层次的组织缺陷在一个事故促发因子上同时或次第出现缺陷时，不安全事件就失去多层次的阻断屏障而发生了。REASON 模型强调“光线穿透奶酪”的逻辑，即从光线最终透出的“漏洞”处回望可以比较清晰地确定所有“奶酪”的“漏洞”。

## 2 人因事故分析模型

电网事故通常都是多起事件的复杂序列引起的，所谓电力系统事故链，是指把电力系统事故看成是由许多影响因素共同促成的，像链条一样把事故的各个环节连接在一起<sup>[12]</sup>。

### 2.1 拟 REASON 事故链模型

参考 REASON 模型，结合变电运行事故<sup>[3-5]</sup>的发生规律和特点以及基于 CREAM 追溯法的变电运行人因失效分析<sup>[1]</sup>，我们提出了变电运行人因事故分析的拟 REASON 事故链模型，包含环境、信息、组织、危险点、监护人、操作人六个关键要素，如图 1 所示。图中每个要素的边框和所围面积表示该要素的作用范围，里面的圈表示一些漏洞和缺陷。每个环节都可能存在一些或大或小的漏洞、隐患、缺陷或者不安全因素，一旦在某一项操作的过程中这 6 个环节的漏洞都同时或者依次出现，则就会引发事故的发生。换言之，基本上所有的事故都在这 6 个方面都出现缺陷的时候发生，不过有时候有些环节并不那么显眼直观，而另外一些环节则是事故发生的直接原因或主要原因。该模型可以定义为六元组：

$$A = \{E, I, M, H, G, O\} \quad (1)$$

式中： $A$  为变电运行事故集合， $E$  为环境元素， $I$  为信息元素， $M$  为组织元素， $H$  为危险点元素， $G$  为监护人元素， $O$  为操作人元素。

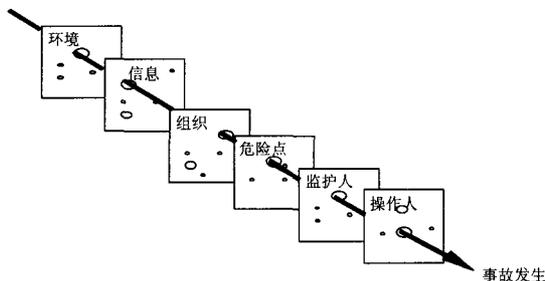


图 1 变电运行人因事故分析的拟 REASON 模型

Fig.1 Quasi-REASON model for human errors analysis

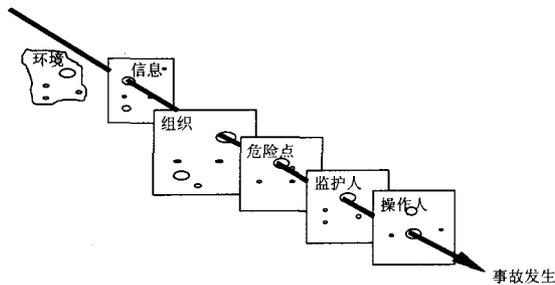


图 2 各要素作用范围不同的拟 REASON 模型

Fig.2 Quasi-REASON model with different sizes

事实上，有些事故的发生在分析时并非都能够与 6 个要素全部对应上，即该事故在某个甚至部分要素上找不到显见漏洞或者缺陷，因此我们认为 6 个要素的权重在实际事故中并非相同的，直观地说，图 1 中的各要素的面积是不完全相等的，形状大小也是不一致的。这样的话，一个事故的发生既可能是从 6 个要素的漏洞中穿透，也可能是从部分要素的漏洞与其他部分要素的面积外部穿透而导致，比如图 2 表示了组织的权重较大而环境要素不在事故缺陷链中的情况。

因此，式(1)中的每一个元素包含了面积  $F$ 、时间  $T$ 、空间  $S$ 、缺陷率  $D$  等变量，即：

$$E = A_1(F, T, S, D) \quad (2)$$

$$I = A_2(F, T, S, D) \quad (3)$$

$$M = A_3(F, T, S, D) \quad (4)$$

$$H = A_4(F, T, S, D) \quad (5)$$

$$G = A_5(F, T, S, D) \quad (6)$$

$$O = A_6(F, T, S, D) \quad (7)$$

由图 1 知，人因事故发生的前提条件之一是

$$(F_1 D_1) \cap (F_2 D_2) \cap (F_3 D_3) \cap (F_4 D_4) \cap (F_5 D_5) \cap (F_6 D_6) |_{T_0, S_0} \in \Phi \quad (8)$$

式中  $\Phi$  为空集， $\cap$  表示取交集计算。该式的含义是在特定的时间  $T_0$ 、空间  $S_0$  下，6 大要素的漏洞存在非空交集时将诱发人因事故。

由图 2 知，人因事故发生的前提条件之二是

$$\bigcap_{i,j} (F_i D_i) \bar{F}_j |_{T_0, S_0} \in \Phi, i, j = 1, 2, 3, \dots, 6, \text{且 } i \neq j \quad (9)$$

式(9)表明了图 2 所示的第  $j$  个要素整体离开事故链而不起作用的情况，此时即使第  $j$  个要素完全没有漏洞，也不能阻断某事故链的产生。

对文献[3-5]中的 43 起人因误操作事故原因分析验证了图 2 模型的正确性，拟 REASON 模型 6 大要素的直接相关性的确存在权重差别，如图 3 所示。图中表明，组织要素存在漏洞而发生事故的

况最多,其次是操作人、监护人和危险点。因此加强对操作人和监护人的操作行为的组织监管以及加强危险点分析预控非常关键。

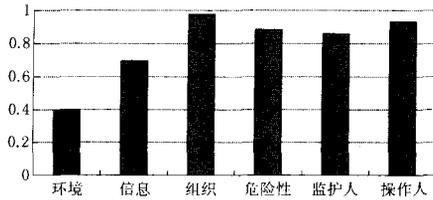


图3 变电操作人因事故致因要素相关性

Fig.3 Relativity of cause factors and the accidents

表1 拟 REASON 模型的要素

Tab.1 Elements of quasi REASON model

要素	内容	含义
环境	自然环境	光线, 风雨, 温度, 湿度
	工作环境	作业场所狭窄、杂乱, 地面滑, 间隔、设备不易区别
	环境突变	设备状态变化, 突发状态, 工作间断
信息	通讯中断	与调度或现场人员通讯失败; 有意或无意的联系中断
	信息提供	信息不完善或错误; 作业内容不明确; 信息费解; 设备命名发音有歧义; 填写操作票出错
	信息传递	未传递信息; 传达方式不当; 确认失误; 复诵不当
	信息缺失	无安全技术交底; 无操作票; 无班前班后会; 无填写工作日志; 无操作录音
组织	宏观管理	管理决策, 激励与惩处机制, 安全文化, 技能培训
	生产管理	运行方式安排, 人员配置
	安全管理	安全规程与制度及其执行, 安全监督与教育, 工作许可与监护, 工作间断、转移和终结, 设备巡视管理, 施工管理, 验收程序, 图纸管理, 设备维护管理
危险点	危险点预控	危险点分析, 应急预案, “五防”技术
	安全防护设备	警示标志, 遮拦围栏
	安全防护措施	核对设备, 停电和验电, 补救措施, 紧急避险, 紧急救护
监护人	监护缺失	无人监护, 监护人自行独自操作
	技能	知识、经验、技能、对操作过程和规程的理解、执行力
	生理因素	感觉局限、健康状态、疲劳程度
	心理因素	安全意识、注意力、工作压力、时间压力、精神状态、性格和个性
	社会心理因素	社会压力、家庭压力、同事关系
操作人	技能	知识、经验、技能、对操作过程和规程的理解、执行力
	生理因素	感觉局限、健康状态、疲劳程度
	心理因素	安全意识、注意力、工作压力、时间压力、精神状态、性格和个性
	社会心理因素	社会压力、家庭压力、同事关系

## 2.2 各元素的具体内容

具体地, 变电运行人因事故分析的各要素包含的内容如表1所示。

事实上, 以上六个环节总会在客观上或多或少地存在着或大或小的漏洞和缺陷。因此要完全消灭和根除所有的缺陷是不现实的, 绝对安全是不存在的。但是这也不是意味着这些客观存在着的漏洞就务必在任何时刻都能引发人因事故。

根据本文所建立的拟 REASON 模型及其“光线穿透奶酪”逻辑, 单纯一个环节的漏洞和缺陷往往不能引发人因事故的发生, 只有从环境、信息、组织、危险点、监护人和操作人等各个环节在某次操作过程中形成了缺陷链才会导致人因事故的发生。

## 3 切断变电运行事故链的对策

因此, 要追求人因“事故零目标”, 在以上六个环节上我们都需要努力下工夫, 一方面是减少各环节的漏洞, 一方面是减小各个漏洞的“面积”, 从而切断人因事故反应链, 避免人因事故的发生。具体地,

(1) 针对环境, 争取预测自然环境, 改善工作环境, 实时监视设备状态变化并示警, 工作间断后严格执行工作间断、转移和终结规定等。

(2) 针对信息, 规范通讯设备及通讯机制, 严格操作票填写与审核工作, 规范唱票与复诵, 杜绝设备标识标签模棱两可的情况, 强化安全技术交底工作, 加强班前班后会的安全信息传达等。

(3) 针对组织, 需要加强管理决策, 合理安排人员配置, 严格执行各项管理, 丰富安全文化, 建立和贯彻安全规程与制度, 安全监督与培训制度化, 加强专业技能培训, 加强防误(在线)闭锁方案<sup>[8]</sup>和技术等。

(4) 针对危险点: 应用危险点预控管理系统, 充分进行危险点分析, 配备安全应急预案, 做足安全防护设备与措施, 加强安全工具管理, 恰当设置警示标志、遮拦围栏, 认真核对设备, 进行停电和验电, 掌握补救措施、紧急避险和救护知识等。

(5) 针对监护人: 通过培训教育增强安全意识和安全知识, 严格执行正确的监护站位, 不断提高技能, 提高安全执行力, 对自己身体状况合理判断以避免自身成为危险点, 主动调节心理状态等。

(6) 针对操作人: 通过培训教育增强安全意识和安全知识, 严格执行规定的操作步骤, 不断提高专业技能和主动反违章意识, 对自己身体状况合理判断以避免自身成为危险点, 主动调节心理状态等。

以上对策显然也符合 3E 原则, 即对于事故的

预防与控制, 须从工程技术 (Engineering) 对策、教育 (Education) 对策、法制 (Enforcement) 对策三方面入手<sup>[13]</sup>。

如前所述, 要 100% 根除任何一个事故链要素上的漏洞是不现实的, 而且单个要素“0 漏洞”并不能保证阻断事故链。要实现“事故零目标”, 只有从以上 6 个方面进行系统的协调, 力图使各个要素上的漏洞都控制到最小、最少, 那么才能够避免式(8)或(9)中交集的出现、“光线穿透”触发事故链。

#### 4 结论

变电运行人因误操作分析尚没有一种完整的理论分析方法, 存在盲目性和随意性的缺点。本文基于安全心理学中的 REASON 分析模型, 提出了适用于变电运行人因事故分析的 REASON 事故链模型, 概括出六大致因要素, 并相应地提出了切断变电运行事故链、防止人因事故发生的措施。为人因事件分析提供了指导性方法有利于寻找引发人因事件的根本原因, 为提高人因可靠性和变电运行安全性提供理论依据。

#### 参考文献

- [1] 刘国中, 张勇军, 李哲, 等. 基于 CREAM 追溯法的变电运行人因失效分析[J]. 中国电力, 2007, 40(5): 85-89.  
LIU Guo-zhong, ZHANG Yong-jun, LI Zhe, et al. Human Errors Analysis in Substation Operation Based on CREAM [J]. Electric Power, 2007, 40(5): 85-89.
- [2] 凌毅, 张勇军, 李哲, 等. 基于事故因果继承原则的变电站电气误操作事故分析[J]. 继电器, 2007, 35(16): 55-58.  
LING Yi, ZHANG Yong-jun, LI Zhe, et al. Analysis of Electric Operation Error Accident in Substation Based on the Principle of Causal Relation of Accident [J]. Relay, 2007, 35(16): 55-58.
- [3] 中国南方电网公司. 2003 年度人身事故及误操作事故汇编[Z]. 广州, 2004.
- [4] 广电集团有限公司安全监察部. 2004 年度事故汇编[Z]. 广州, 2005.
- [5] 广东电网公司安全监察部. 2005 年度事故汇编[Z]. 广州, 2006.
- [6] 屈靖, 郭剑波. “九五”期间我国电网事故统计分析[J]. 电网技术, 2004, 21(28): 60-62.  
QU Jing, GUO Jian-bo. Statistics and Analysis of Faults in Main Domestic Power Systems From 1996 to 2000[J]. Power System Technology, 2004, 21(28): 60-62.
- [7] 张占龙, 李冰, 高磊, 等. 变电站接地状态电子管理显示系统[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(24): 88-90.  
ZHANG Zhan-long, LI Bing, GAO Lei, et al. Electronic Management Display System of Grounding Status in Substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(24): 88-90.
- [8] 刘念, 段斌, 肖红光, 等. 电力操作在线闭锁方法及其实现模式[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(23): 58-63.  
LIU Nian, DUAN Bin, XIAO Hong-guang, et al. On-line Interlocking of Substation Automation and Its Mode of Implementation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(23): 58-63.
- [9] 刘亚军, 王中东, 吕人力. 一起空管责任事故征候的 REASON 模型分析[J]. 空中交通管理, 2006, (3): 4-9.  
LIU Ya-jun, WANG Zhong-dong, LU Ren-li. REASON Model Analysis for One Incident Caused by ATC[J]. Air Traffic Management, 2006, (3): 4-9.
- [10] Hollnagel E. Cognitive Reliability and Error Analysis Method [M]. Oxford, UK: Elsevier Science Ltd, 1998.
- [11] Fujita Y, Hollnagel E. Failures without Errors: Quantification of Context in HRA [J]. Reliability Engi & Syst Safety, 2004, 83(2): 145-151.
- [12] 罗金山, 罗毅, 涂光瑜, 等. 基于随机 Petri 网模型的地区电网事故链监控研究[J]. 继电器, 2006, 34(7): 32-37.  
LUO Jin-shan, LUO Yi, TU Guang-yu, et al. Study on Fault Chains Monitoring in Regional Power Network by Using a SPN Model[J]. Relay, 2006, 34(7): 32-37.
- [13] 贾明涛, 王海星, 肖贵平. 铁路道口安全影响因素分析及对策[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(6): 123-126.  
JIA Ming-tao, WANG Hai-xing, XIAO Gui-ping. Safety Analysis on Highway-railway Crossings[J]. Journal of Safety and Environment, 2006, 6(6): 123-126.

收稿日期: 2007-07-04; 修回日期: 2007-10-05

作者简介:

梁广 (1974-), 男, 工程师, 电网及设备安全专责;  
张勇军 (1973-), 男, 博士, 副教授, 从事电力系统优化运行与控制、电力系统安全与可靠性研究; E-mail: zhangjun@scut.edu.cn

黎浩 (1982-), 男, 硕士生, 从事电力系统安全与可靠性研究。