电网调度自动化系统应急预案实用化研究

高 明，李文云，袁德君，蒋亚坤，马 玲

（云南电力调度中心，云南 昆明 650011）

摘要：从科学化和本地化两个思路对调度自动化系统应急预案如何实用化进行了研究与实践，给出了修订或制定预案的具体做法。对预案标题的选择与描述问题进行了分析，并在此基础上建立了一次索引与二次索引。将项目管理中的责任矩阵方法引入到预案的制定中并给出了过程实例，论述了使用故障树理论对预案完备性进行评价的思路，提出应建立应急预案安全知识库。

关键词：应急预案；调度自动化系统；二次索引；责任矩阵；故障树；安全知识库

Practical study on emergency plan of power network dispatching automation system

GAO Ming, LI Wen-yun, YUAN De-jun, JIANG Ya-kun, MA Ling

(Yunnan Electric Power Dispatching Center, Kunming 650011, China)

Abstract: The subject of how to make a practical power network dispatching automation system emergency plan is studied and practiced, using both of the scientific and indigenous ways. Concrete methods are given to edit or make the plans. The problem of how to choose and describe the titles of the plans is analyzed, and the first index and the secondary index are established based on it. The responsibility matrix method of the project management field is introduced to the making process of the plans, and an example of this process is given, too. The idea of evaluating the completeness degree is described, and the establishment of the safety knowledge base is suggested.

Key words: emergency plan; power dispatching automation system; secondary index; responsibility matrix; fault tree; safety knowledge base

中图分类号： TM76 文献标识码：A 文章编号： 1674-3415(2010)09-0067-05

0 引言

各级调度中心强烈需要科学应对调度自动化系统的紧急事件的有效手段[1-2]，而现有的调度自动化系统应急预案大多难以实用，两者之间存在矛盾。目前大多预案往往是在照搬照抄其他预案的基础上加以预案制定者的主观习惯和经验形成，普遍存在两个问题。①缺少科学方法与理论的支撑。预案编制过程缺乏科学理论指导，主观经验色彩浓厚。②缺少本地化思考。预案制定不能从预案要解决的实际问题和本地环境出发，流于形式和套路，存在“千篇一律”的现象。这些问题导致了预案大多不实用、不科学，预案往往被束之高阁，没有达到通过编制预案来有效应对突发事件的目的。

本文的研究针对目前调度自动化系统应急预案难以实用这一生产工作中长期存在的实际问题，研究能使其实用化的途径和手段并在实践中加以应用和检验，为修订现有应急预案和制定新应急预案提出具体做法。

科学化和本地化是本文主要两个研究与实践思路。科学化是指预案的制定有科学理论方法的支持，本文将项目管理中的责任矩阵方法及标准故障树理论引入到电网调度自动化系统应急预案的制定与完备性评价中。本地化是指在本地环境下解决实际问题是预案制定的出发点和落脚点，必须一切从自身实际出发。不同厂家的系统具有不同特点，即便是同一厂家的产品，在本地环境下都有不同的薄弱点和危险点，应急处理方法也不尽相同。预案的制定必须具有针对性。强调科学化要避免预案制定拘泥于条条框框的限制而偏离实用化方向，强调本地化要避免抛弃科学理论的指导。预案制定要达到两个手段的平衡与细化。预案的实用化是本文研究与实践的最高目标。

1 应急预案标题的拟定与检索

在着手制定或修订应急预案时，首先要回答的

两个问题是：可能的突发事件数目众多，如何判断哪些事件值得为其制定应急预案？如何科学规范地描述这些事件？

1.1 应急预案与操作处理手册的区别

应为可预想的每个事件均拟定应对措施，但对每个事件均制定应急预案却缺乏必要性和操作性。其原因在于：在调度自动化系统的日常维护工作中，存在部分这样的事件，当事件发生时，它们由 1 到 2 名专责技术人员负责处理，技术人员依据相应的故障处理手册及自身的处理经验即可做出迅速反映并加以正确处理。为这些事件制定应急预案不仅没必要，而且反而会增加应急处理流程的复杂度，在生产工作中并不可取。

本文采用如下原则来进行甄别：如果处理该事件必需一个组织模式和相应的组织机构，就应对其制定预案；反之，其相应处理过程与措施就应被描述在“操作处理手册”中。亦即，本文认为在实际工作中，应急预案与“操作处理手册”的根本区别在于前者包含应急处理组织模式，该组织模式包括了多名应急处理参与者，并应对其给出明确的角色定义与职责分配。

1.2 应急预案标题的描述、分类与检索方法

在确定了需制定预案的事件后，还必须研究如何为其拟定科学而合理的标题，这些标题能够清晰而规范地描述出预案所针对的事件，以使应急处理人员能根据标题迅速找到并启动对应的预案。这一问题看似简单，但本文认为却是预案实用化的难点和关键之一，其原因有三。

① 在实际工作中对事件的描述信息不规则。应急处理中，相关人员所接收到的事件描述信息（一般来自调度自动化系统值班员）大多是不规则的口语化信息，例如“遥测数据不刷新了”，“空调坏了”等。在预案标题没有被规范科学描述的情况下，处理人员往往无法迅速将信息与预案对应起来，不知该启动哪个预案，耽误了应急处理的宝贵时间。②习惯上应急预案标题倾向于以故障原因为关键字进行表述，但应急处理人员面对事件描述信息时并不都能准确判断出故障原因，因而无法迅速确定应启动的预案。③同一故障现象可能由不同的一个或者多个故障原因引起，某一个故障原因导致的故障现象在不同角度去观察也非单一，这进一步增加了问题的复杂性。

本文对这一问题的解决手段如下：①对可能出现的事件信息描述进行归纳，将其划分为按故障现象描述和故障原因描述这两类信息，并对其使用固定格式的主谓宾结构进行规范表达；②在预案中同时采用这两类标题并加以分类；③在标题分类的基础上建立查找一次索引，在一次索引的基础上建立查找二次索引。

1.2.1 预案标题的格式化规范表达

本文在对可能的事件信息描述进行归纳后发现，绝大多数事件的口语化描述信息可归纳为按故障现象描述和故障原因描述两类，并可迅速对应于以下两类用固定格式描述的预案题目。

一类以故障设备为主语使用主谓句进行表达，其格式定义为：①主语为发生故障的设备。②谓语为动作谓语词，均为“故障”。另一类采用主谓句或主谓宾结构表达故障现象，其格式为：①主语为故障现象发生主体。②谓语为动作谓语词。如表示否定意义时均为“不能”。③宾语为动作。在第二类标题中宾语并非必需部分。第一类标题如：机房 UPS 系统故障应急预案。第二类标题如：AGC 画面上不能人工置数应急预案。

1.2.2 一次索引和二次索引

一次索引的具体做法：将预案题目按故障现象描述和故障原因描述分类后，再按预案题目第一个汉字的拼音顺序建立查找索引。其作用是：无论应急处理人员知晓故障现象还是故障原因，都可快速检索到相应预案，达到预案帮助手册化的目的。

建立二次索引的原因在于：在调度自动化系统可能发生的事件中，故障现象与故障原因之间存在一对多的关系，不同的故障现象之间本身也存在一对多的关系，不同的故障原因之间亦然。上述原因导致了这样的问题：应急处理人员根据初始事件信息（可能是故障现象或故障原因的某种描述）启动了某一应急预案，但随着处理进程的深入，发现了更值得关注的故障现象或真正的故障原因，而必须参考或启动对应于这些现象或原因的预案。

二次索引的目的在于：为应急处理人员提供预案启动的多元入口与过程引导。无论应急处理人员获知的是什么类型的事件信息，都可先从该信息着手进行故障处理。这一做法也符合实际应急处理的真实过程，是预案实用化的又一手段。

二次索引的具体做法是：在预案的“通告”部分建立查找索引，该索引指明了与本预案实施过程中的相关预案的查找方式。例如，在本文制定的《所有厂站信息退出应急预案》的“通告”部分，对“前置交换机应急预案”、“前置服务器全部故障应急预案”及“前置机柜故障应急预案”等预案建立了查找二次索引，这些预案均是在“所有厂站信息退出”应急处理过程中可能涉及到的故障现象和真正的故障原因所在。

各种可能的故障原因或故障现象间实际存在的联系或远较举例复杂。受限于现有的理论与技术水平，对这些联系进行详细完整表述尚有困难，二次索引对其进行了简化而实用的描述。建立二次索引的过程就是对应急处理过程提前进行深入思考与细致准备的过程，该过程的成果在应急处理技术方面集中体现在预案的“通告”部分（见 2.1），二次索引是该成果的一部分。

本节中所有努力的目的是：使应急处理人员在得到紧急情况的信息描述时能够迅速找到并启动正确的应急预案，并提供启动应急预案的多元入口与故障处理引导。

2　应急预案内容

2.1 基本内容

本文所建立的应急预案包括的主要内容有：预案名称；预案编号；预案目的；预案启动条件；预案实施日期；预案响应级别；组织机构及其首要职责；需汇报的相关领导；需通知及协调的其他部门；厂家联络方式；备品备件存放及保管明细；相关软件及以其存放及保管明细；预案通告；预案执行步骤；预案执行流程图；责任矩阵。

其中，预案组织机构及其首要职责明细表指明了各应急处理人员及其首要责任（任务）。但实际上各人在应急处理过程中的角色并非单一，其完全责任描述见第 3 节中的责任矩阵。预案通告中包括了故障原因（现象）通告、故障诊断方法通告、故障处理需周知的事项及二次索引。

2.2 预案编号与响应级别分级

本文对预案的编号采用统一格式。例如，某一预案编号为 XXPG-SD-ZDH-EMS-01，其各项含义如下。XXPG：XX 电网公司；SD：省调；ZDH：自动化；EMS：能量管理系统；01：具体编号。规范编号有利于在各级调度中心进行统一编号。此外，预案的响应级别应采取上级单位所制定的应急体系的分级标准，不宜自己另定规则。

3　责任矩阵

应急过程中的每项任务可能由一个或多个应急人员完成，每人可能参加一项或几项任务，并且各人在不同任务中扮演的角色也并非单一。应急人员责任分配是否合理明确是应急处理能否成功的关键之一。责任矩阵的建立可以明确表示出应急处理过程中人员和责任配置关系，从而有效避免责任不清、推诿扯皮的现象发生。本文为每个预案均建立了责任矩阵。

3.1 责任矩阵简介

责任矩阵(Responsibility Matrix, RM)是一种在项目管理中的有效方法，被成功应用于国内外成功的多个大型项目管理中[3]。责任矩阵将工作任务分配、落实到项目执行组织的相关职能部门或个人，并明确表示出其角色、职责和工作关系的矩阵图形，即以表格的形式表示完成工作分解结构中每项工作的个人责任的一种工具。

3.2 应急任务责任划分

文献[4]将责任矩阵方法引入到对我国自然灾害类应急预案的评价中，本文再尝试将其研究结果应用于电网调度自动化系统的应急预案中。从本地化目的出发，根据预案实施科室自身特点，将每个应急任务划分出四种责任。①负责 R(Responsibility)：负责人不直接参与任务执行，但对任务可进行强制性影响，可许可、暂停、中止预案实施及改变预案内容。②指挥 C(Command)：指挥、协调、监督应急人员有效实施预案。③执行 E(Execution)：按指挥者指令结合预案进行逐步正确操作。④协助 A(Assistance)：为任务执行提供咨询和建议。

3.3 责任矩阵实例

以本文制定的《XXPG-SD-ZDH-EMS-01 调度自动化系统黑启动预案》为例，按如下步骤建立责任矩阵。

1）确立应急参与处理人员，并将其列入责任矩阵的列位置。

2）分解应急过程得到应急任务。文献[4]采用(Integration Definition for Function Modeling，IDEFO)法，按自上而下逐层分解的方式构建任务分解包，直至产生不可继续分解的基本任务并得到任务分解包。本文认为，这种在自然灾害类应急处理中采用的方法不宜使用在调度自动化系统应急处理中。其原因在于相比于前者，调度自动化系统的故障现象和故障原因之间存在更为复杂的联系，而目前的技术与理论水平还难以对这种联系给出明确解析，故而从发现调度自动化系统异常、进行分析原因到处理以至完毕这一过程中的每个具体的基本任务难以被全部分解和固化下来。注意到以上问题，根据经验和主观判断来分解应急任务成为了更为实用的做法，本文将这一个过程划分为如下 5 个应急任务：①任务 1（T1）：按预案流程逐步进行正确操作。②任务 2（T2）：确保应急处理期间空调及电源系统正常。③任务 3（T3）：迅速联系厂家，在具备条件时打开 MODEM 并进行配置，确保厂家顺利拨号。④任务 4（T4）：找到应急处理需要的备品备件、

手册及工具。⑤任务 5（T5）：汇报相关领导，通知、协调相关部门，负责对外通报、解释事宜。

3）对每个任务进行责任分析，形成各任务的十字丝表示形式。十字丝的建立需要进行深入思考，并可以在辅助问题提问方式[4]来帮助分析，分析的目的在于确认承担起 R、C、A、E 四种责任的具体人员。以应急任务 1“按预案流程逐步进行正确操作”为例，其责任十字丝表示如表 1 所示。在此基础上，再综合考虑每个应急人员的工作经验、教育背景、性格能力因素，形成该应急预案的责任矩阵实例如表 2 所示。

表 1 任务 1 责任的十字丝表示

Tab.1 Cross of the responsibilities of the first task

任务 1	
R（P1）	C（P2）
A(P5、P8)	E(P3、P4、P9、P10、P11、P12、P13)
注：R、C、A、E 的含义见 3.2 节的说明。P1-P13 的含义见表 1 的说明。	

表 2 责任矩阵实例

Tab.2 Example of responsibility matrix

	T1	T2	T3	T4	T5
P1	R	R	R	R	R
P2	C				
P3	A				C
P4	E				
P5	A			C	
P6		E			
P7		C		A	
P8	A	E			
P9	E				A
P10	A		C		
P11	E			A	
P12			A		E
P13	E		E	E	
$\sum C$	1	1	1	1	1

注：P1-P13 分别表示 13 名应急处理人员。

3.4 责任矩阵的分析与评价

应对所建立的责任矩阵进行完备性和合理性评价与检查。文献[4]提出了如下两个责任矩阵的评价准则，并分别用式（1）和式（2）（本文中按新划定的责任进行了相应修改）进行了量化。①准则 1：每一任务有且只有一个角色处于指挥者 C 地位。②准则 2：每个角色至少参与到一个任务中。

即，对于每一任务，

$$\sum C = 1 \tag{1}$$

对于每一应急处理人员，

$$\sum r + \sum c + \sum e + \sum a \geq 1 \tag{2}$$

其中：$\sum C$ 是某一任务中处于指挥角色的应急人员的个数；$\sum r, \sum c, \sum e, \sum a$ 是某一应急处理人员在应急过程中处于 R，C，E，A 角色的个数。

式（1）和式（2）是对准则 1 和准则 2 简单而直观的数学表达。准则 1 和式（1）规定了每项任务有且只有一个角色处于中心负责地位，准则 2 和式（2）规定了每个应急处理人员必须参与项目过程，均“有事可做”[4]。

根据式（1）和式（2）分别计算出表 2 所示责任矩阵的 $\sum C$，$\sum r, \sum c, \sum e, \sum a$ 如表 2、表 3 所示。可以看到，该应急预案的责任矩阵和角色分配完全符合式（1）和式（2）的要求。应对预案集中的每个预案的责任矩阵做上述检查，以确保责任分配的合理而完备。

表 3 应急处理人员责任统计

Tab.3 Statistics of the responsibilities of the emergency treatment people

	$\sum r$	$\sum c$	$\sum e$	$\sum a$
P1	5	0	0	0
P2	0	1	0	0
P3	0	1	0	1
P4	0	0	1	0
P5	0	1	0	1
P6	0	0	1	0
P7	0	1	0	1
P8	0	0	1	1
P9	0	0	1	1
P10	0	1	0	1
P11	0	0	1	1
P12	0	0	1	1
P13	0	0	3	0

4 应急预案完备性的量化评价

在预案制定完成后，尚有一个重要问题：所制定的预案完备度几何？预案的完备性对应急效果的好坏具有重要影响，引起了相关学者高度重视，文献[5-6]等提出了不同的评价方法。其中，使用故障树理论对应急预案进行完备性评价是一个有效思路。作为实用化研究的重要内容，笔者建立了针对调度自动化系统应急预案的标准故障树，据其得到了预案所缺失的基本事件，并量化得到了预案的不完备度。限于篇幅，这部分的研究内容另文介绍。

5 应急预案安全知识库的建立

事件处理的实际经验与案例是一笔宝贵财富，

系统真实出现过的问题往往比事故设想更能暴露出薄弱点所在。应对这些已有经验和案例进行总结、分析、归纳，形成预案安全知识库，对于高效而科学地进行应急处理具有重要作用。

6 结语

根据本文的研究成果共建立了 19 个应急预案，涉及 EMS、DMIS、TMR 系统。实践表明：科学化和本地化是应急预案实用化的有效手段。调度自动化系统应急预案的实用化涉及到多方面的因素，除了预案本身要实用，还必须在配套管理措施诸如预案演练上给予配套支撑。本文的研究成果可望有助于类似系统应急预案的实用化。

参考文献

[1] 蔡春元. 电网调度自动化系统的安全运行问题探讨[J]. 继电器, 2005, 33(7): 66-69.
CAI Chun-yuan. Discussion on the Safety Operating of Electric Power Network Dispatching Automation System[J]. Relay, 2005, 33(7): 66-69.

[2] 熊文. 广州电网调度自动化系统容灾备份研究[J]. 继电器, 2004, 32(20): 60-62.
XIONG Wen. Research of Disaster Recovery and Back up of Guangzhou Power Network SCADA System[J]. Relay, 2004, 32(20): 60-62.

[3] Sinclair K C C S M. A Case Study Example of the Role Matrix Technique[J]. Project Management, 2006, 24: 506-515.

[4] 刘吉夫, 张盼娟, 陈志芬, 等. 我国自然灾害类应急预案评价方法研究（Ⅱ）:责任矩阵评价[J].中国安全科学学报, 2008, 18(4): 5-11.
LIU Ji-fu，ZHANG Pan-juan, CHEN Zhi-fen, et al. Study on Evaluation Method of Natural Disaster Emergency Plan in China(Part II): Responsibility Matrix Evaluation[J]. China Safety Science Journal, 2008, 18(4): 5-11.

[6] 吴宗之, 刘茂. 重大事故应急预案分级、分类体系及其基本内容[J]. 中国安全科学学报, 2003, 13(1): 15-18.
WU Zong-zhi, LIU Mao. Gradation and Categorization System of Emergency Plan for Major Accidents and Their Main Contents[J]. China Safety Science Journal, 2003, 13(1): 15-18.

[7] 刘吉夫, 张盼娟, 陈志芬, 等. 我国自然灾害类应急预案评价方法研究（Ⅰ）: 完备性评价[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(2): 5-11.
LIU Ji-fu, ZHANG Pan-juan,CHEN Zhi-fen, et al. Study on Evaluation Method of Natural Disaster Emergency Plan in China(Part I):Completeness Evaluation[J]. China Safety Science Journal, 2008, 18(2): 5-11.

收稿日期：2009-06-08

作者简介：

高　明（1978-），男，硕士，从事 EMS 运行工作及电力系统分布式计算研究；E-mail:gaoyugui0508@163.com

李文云（1965-），男，教授级高级工程师，从事电网运行管理及电力系统稳定分析研究工作；

袁德君（1966-），男，高级工程师，从事 EMS 运行管理工作。

（上接第 54 页　continued from page 54）

LI Dong-dong, CHEN Chen. A Study on Dynamic Model of Wind Turbine Generator Sets[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(3):115-119.

[7] 钱少锋, 林俐,沈 辉, 等. 基于 PSS/E Wind 大型风电场并入输电网的动态特性研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(6):11-16.
QIAN Shao-feng, LIN Li, SHEN Hui, et al. Dynamic Characteristic Analysis of Transmission Grid Including Large Wind Farm by PSS/E Wind Package[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(6):11-16.

[8] International Electrotechnical Commission. IEC61400-12-1 International Standard:Power Performance Measurements of Electricity Producing Wind Turbines[S]. IEC, 2005.

[9] 郎斌斌, 穆 钢, 严干贵, 等. 联网风电机组风速-功率特性曲线的研究[J]. 电网技术, 2008, 32(12):70-74.
LANG Bin-bin, MU Gang, YAN Gan-gui, et al. Research on Wind Speed vs Output Power Characteristic Curve of Wind Power Generator Interconnected with Power Grid[J]. Power System Technology, 2008, 32(12):70-74.

[10] Slootweg J G, Polinder H, Kling W L. Representing Wind Turbine Electrical Generating Systems in Fundamental Frequency Simulation[J]. IEEE Trans Energy Converters, 2003,18(4):516-524.

[11] Ledesma P, Usaola J, Rodríguez J L. Transient Stability of a Fixed Speed Wind Farm[J]. Renewable Energy, 2003, 28(9): 1341-1355.

收稿日期：2010-01-06；　修回日期：2010-03-24

作者简介：

苏勋文(1976-)，男，讲师，博士研究生，研究方向为风电机组、风电场的建模与验证，风力发电对电力系统的影响; E-mail:suxunwen@163.com

米增强(1960-)，男，教授，博士生导师，研究方向为风电场建模与接入系统分析、风电场监控系统、风电场发电功率预测等;

陈盈今(1986-)，女，硕士研究生，研究方向为风电场建模，风力发电对电力系统的影响。