

# PMH—40系列母线差动保护屏可靠性预计与统计分析

阿城继电器厂 晏国华 郑国顺

## 摘要

本文对PMH—42/13型母线保护的可靠性进行定量的预计估算,对已经投入运行的3套保护的运行情况进行统计分析,而后概要说明对该保护所进行的可靠性设计与可靠性制造的措施内容,以强调继电保护新产品开发过程中开展可靠性工程的必要性与重要性。

该保护是由东电技改局、东北电力设计院、东电调度局、鞍山电业局与阿城电站设备自动化设计研究所联合开发设计的,由阿城继电器厂负责制造供货。

本文中所采用的基础数据来源于国内外有关文献,不会完全符合国情,但仍能起到定量导向与定性指导的参考作用。

## 一 产品简介

### 1. 用途

PMH—40系列母线差动保护屏用于发电厂、变电所的母线保护。它适用于单母线、 $1\frac{1}{2}$ 接线、双母线、双母线单分段、双母线双分段等各种主接线方式,并兼有母线重合闸灵敏启动跳闸回路及断路器失灵保护等功能。

### 2. 结构

产率。微机监控方式很多,如焊接电流的监控、通电时间的监控、焊接电压的监控、能量监控、钳口间电压的监控、位移量监控等十几种。

同时国外有人提出采用方波电源来替代正弦交流电,不但能稳定闪光过程,而且缩短闪光时间,节省能量。

考虑到我厂的实际生产情况,如批量较大、质量要求较高等,如能向微机监控这一方向发展,将对我厂8MF屏侧框焊接生产的高质量及高效率提供可靠保证,而且有必要在焊件装夹及调换方面实现自动化。

## 参考文献

- 1.《焊接设备及工艺》机械工业出版社 毕惠琴编 1986年6月
- 2.《闪光对焊微机监控系统研究》哈工大 陈益平著 1989年5月
- 3.《焊接手册》美国焊接学会 1986年3月

本保护屏分别由PK-10/12、PK-10/8及ZXW-2/6户外端子箱组成。PK-10/8为前后带门的全封闭结构，屏体外型尺寸为2200×800×600mm（高×宽×深）。PK-10/12与PK-10/8基本相同，只是屏内安装板部分可以转出屏外，从而对屏内元件的安装调整等操作更加方便。ZXW-2/6端子箱考虑安装在户外，在设计中注意了防雨、雪、风沙的要求。

保护中的调整部分，如模拟显示、运行压板、复归按钮等，全部暴露于安装板上。这对运行监视、整定、操作都是十分方便的。屏体结构及安装示意图见图1。

### 3. 工作原理

以双母线保护为例，保护屏由选择元件、启动元件、断线闭锁元件与直流逻辑部件组成，其工作原理在产品说明书中已有介绍，且不是本文重点，故此处从略。

### 4. 主要特性

#### 4.1 解决了双母线保护的几个关键问题：

4.1.1 保护装置不受电流互感器饱和的影响，当电流互感器饱和母线内部故障时，能够正确快速动作（不超过半周波）；外部故障时，装置可靠不误动。

4.1.2 保护装置不受运行方式的影响。在双母线并列运行、双母线分列运行、破坏固定连接运行及倒闸操作过程中，保护装置均能正常工作。

4.1.3 保护装置能够对母线发生任何类型的故障（包括双母线同时故障、相继故障及母联与其电流互感器之间故障等）保证正确工作。

4.1.4 保护装置只有电流回路，无电压回路，接线简单。

4.1.5 保护装置技术指标先进，整组动作时间小于半个周波。

4.2 保护装置兼有双母线保护和断路器失灵保护两种功能。

4.3 保护装置设有母线重合闸灵敏启动跳闸回路。

4.4 保护装置调试简单，基本上没有可调、可动部件。

4.5 保护装置采用新型结构，坚固耐震，布置合理。

### 5. 技术要求

#### 5.1 额定值

直流电压220V或110V

交流电流5A或1A；交流电压100V

#### 5.2 整组动作时间

在2倍整定值下，保护屏整组动作时间不大于10ms。

#### 5.3 保护屏各整定值

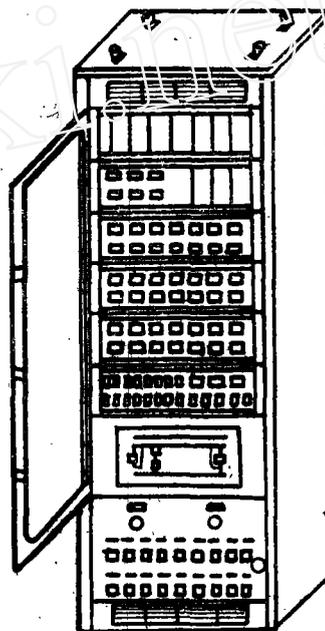


图 1

选择元件最小动作电流 $0.5 \pm 0.1A$ 。

启动元件当额定交流电流为5A时最小动作为 $1.56 \pm 0.05A$ ，1A时为 $1.3 \pm 0.05A$ 。

断线元件整定值为50mA。

#### 5.4 断开容量

出口元件的触点在直流电压不大于250V、电流不大于0.5A、时间常数不大于 $5 \pm 0.75ms$ 的直流回路中，断开容量不小于100W。

#### 5.5 绝缘强度

保护屏能耐受1750V、50Hz、历时1min的耐压试验，无击穿闪络现象。

#### 5.6 重量

PMH—42/13保护屏约800kg。

## 二 可靠性预计

### 6. 预计的目的

6.1 估算出产品的失效率 $\lambda_r$ 或平均无故障时间MTBF（该保护屏确认为是可修复系统）。

6.2 验证研究设计阶段中，针对薄弱环节，采取的设计对策的必要性与正确性。

6.3 探索制订产品可靠性指标的技术依据。

### 7. 预计方法

#### 7.1 预计的困难性

7.1.1 基础数据不但不全，国外的数据不见得符合国情，国内的数据有待于及时更新，据此估算出的可靠性指标势必缺乏精确性。

7.1.2 预测技术的复杂性，周密的预测过于烦琐，费用高昂，由于7.1.1的缘故，精确性亦难于保证。

#### 7.2 预计方案的选择

7.2.1 众所周知，元器件的失效将导致系统故障的发生，这是可靠性预计的前提。因此，采用元器件的通用失效率，它仅与元器件的类型有关，而与工作状态（工作温度、应力）无关，再把已知的元器件减额设计因素考虑进去，得出估算用失效率 $\lambda_r$ ，可选用“元器件计数预计法”进行估算。

#### 7.2.2 元器件计数预计法

具体方法是：计算每一类元器件的数目，用该类元器件的通用失效率 $\lambda_c$ （或 $\lambda_E$ ）乘以元器件的数目 $n$ ，把各类元器件乘积加起来，从而得出每一个功能单元（或分系统）的失效率，再把所有分系统的失效率加起来，就得出整个系统的总失效率 $\lambda_s$ 。这种方法的数学表达式是：

$$\lambda_{ss} = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_{Ei} \text{ (或 } \lambda_{Ci} \text{)} \quad (1)$$

$$\lambda_s = \sum_{j=1}^m \lambda_{ssj} \quad (2)$$

式中

$\lambda_{s_s}$  为分系统(单元)的失效率

$\lambda_{E_i}$  为第*i*个元器件的估用失效率

$\lambda_{G_i}$  为第*i*个元器件的通用失效率

$N_i$  为第*i*个元器件的数量

$n$  为不同的元器件的类数

$\lambda_s$  为系统失效率

$\lambda_{j,j}$  为第*j*个分系统的失效率

$m$  为不同的分系统的类数

若每个元器件的寿命数都服从指数分布,则系统的可靠度 $R_s$ 与MTBF可分别用下式表达:

$$R_s = e^{-\lambda_s t} \quad (3)$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_s} \quad (4)$$

### 7.3 元器件计数预计法的应用分析

7.3.1 该方法首先认为所有单元的可靠性逻辑框图都是串联的,所有单元又串联组成整个系统,显然它的 $\lambda_{j,j}$ 与 $\lambda_s$ 都偏高,即估算出来的 $R_s$ 与MTBF都要偏低。这个方法与“下限法的算法”可视为相同。但有一点应给以明确,使用这个方法估算出来的 $\lambda_s$ 、 $R_s$ 、MTBF能适合产品可靠性指标要求时,可以肯定开发、设计出来的产品,其固有可靠性指标的实际值会高于这些估算值,令人具有安全感。

7.3.2 由于选用元器件的 $\lambda_{G_i}$ 偏低,对于偏高的 $\lambda_{j,j}$ 与 $\lambda_s$ ,有一定的补偿作用,有利于改善估算值的精确性。

## 8. 确定元器件的通用失效率 $\lambda_{G_i}$ 或估用失效率 $\lambda_{E_i}$

### 8.1 元器件失效率 $\lambda_{G_i}$ 或 $\lambda_{E_i}$ 的数据来源

8.1.1 《可靠性基础及其应用》,许陇云等编著,机械工业部仪器仪表工业局1985年3月出版,第131~132页,表6~13元器件计数预计法统计表格。

8.1.2 《可靠性设计手册》,〔美〕R.T.安德森主编,曾纪科等译校,国防工业出版社1981年7月出版,第61页,表4~14继电器与电感器的基本失效率。

8.1.3 按 $\lambda_{E_i} = \lambda_{G_i} S^5$ 估算,式中 $S$ 为温度以外的降额系数,详见8.1.1参考文献中第159~160页上,减额设计的理论依据中,关系式(8-14)~(8-18)。

### 8.2 确定元器件的通用失效率 $\lambda_{G_i}$ 值(次· $10^{-6}$ /hr)

干簧继电器——0.11

切换继电器——0.13

中间继电器——0.11

时间继电器——0.11

信号继电器——0.13

电阻器——0.10

氖灯——0.10 (减额运行视同电阻器)

### 8.3 确定少数元器件的估算失效率 $\lambda_E$

#### 8.3.1 辅助变流器的 $\lambda_E$

国内电源变压器的 $\lambda_G = 0.9 \text{次} \cdot 10^{-6} / \text{hr}$ , 鉴于该变流器一、二次绕组都是电流型、线径较粗、匝数少、抽头少, 绝缘不易被破坏, 因此, 可以降低其失效率为电源变压器的 $2/3$ , 即:

$$\text{辅助变流器 } \lambda_E = 0.60 \times 10^{-6} / \text{hr}$$

#### 8.3.2 2CZ硅二极管的 $\lambda_E$

国内统计值为 $1.4 \cdot 10^{-6} / \text{hr}$ , 鉴于它们设计为降额 $1/3 \sim 1/4$ 功率下工作, 今取 $S = 1/3$ , 代入 $\lambda_E = \lambda_G S^5$ 式中, 得:

$$\begin{aligned} \text{2CZ二极管 } \lambda_E &= 1.4 \times 10^{-6} \times (1/3)^5 \\ &= 0.00576 \times 10^{-6} / \text{hr} \end{aligned}$$

### 8.4 确定连接节点的 $\lambda_G$ 值(次 $10^{-6} / \text{hr}$ )

国内统计的焊点(手工锡焊)的 $\lambda_G$ 为0.025。

根据连接方式不同, 其节点牢固程度亦不同, 其排序为:

插接 > 螺丝 > 锡焊

现给定级差,  $\Delta \lambda_G$ 为0.005, 则:

插 接——0.015

螺丝拧接——0.020

锡焊点接——0.025

## 9. 可靠性预计估算

### 9.1 系统(产品)综合失效率 $\lambda_s$ (或 $\lambda_E$ )估算

将8.2的 $\lambda_G$ 、8.3的 $\lambda_E$ 与8.4的 $\lambda_G$ 按类填入表1中。

表1 元器件计数预数法统计表格

单元名称	元器件名称	数量 $N_i$	失效率 $\lambda_{G_i}$ 或 $\lambda_{E_i}$	累计失效率 $N_i \lambda_{G_i}$ (或 $\lambda_{E_i}$ )	单元失效率 $\lambda_{ss}(10^{-6} / \text{hr})$
交流输入	FLH辅助变流器	39	0.60	23.4	29.9
	螺(丝)点	325	0.02	6.5	
选 择 单 元	2CZ55N二极管	6	0.00576	0.0346	12.077
	2CZ57M二极管	156	0.00576	0.89	
	2CZ58M二极管	30	0.00576	0.1728	
	HG33/M <sub>1</sub> 干簧继	6	0.11	0.66	
	焊点	180	0.025	4.50	
	螺点	192	0.02	3.84	
	插接	132	0.015	1.98	

续表 1

启动单元	2CZ55N	3	0.00576	0.0173	5.998
	2CZ57M	78	0.00576	0.4493	
	2CZ58M	15	0.00576	0.0864	
	HG—33/M1	3	0.11	0.33	
	焊点	90	0.025	2.25	
	螺点	96	0.02	1.92	
	插接	63	0.015	0.945	
切换单元	DLS42切换继	24	0.13	3.12	21.43
	RJ200K电阻	26	0.10	2.60	
	NHD—8氖灯	26	0.10	2.60	
	焊点	78	0.025	1.95	
	插接	744	0.015	11.16	
公共逻辑单元	DZM10A干簧继	1	0.11	0.11	3.67
	DZM70A干簧继	2	0.11	0.22	
	DS230/C时间继	1	0.11	0.11	
	DZ32E中间继	1	0.11	0.11	
	DZM71中间继	15	0.11	1.65	
	螺点	6	0.02	0.12	
	插接	90	0.015	1.35	
失灵动单元	DS21D时间继	2	0.11	0.22	1.16
	DZ31E中间继	2	0.11	0.22	
	插接	48	0.015	0.72	
重合闸单元	DS22D时间继	1	0.11	0.11	1.17
	DZ31E中间继	2	0.11	0.22	
	插接	56	0.015	0.84	
信号单元	DXM2B0.075A 信号继	2	0.13	0.26	1.04
	DXM2B220V 信号继	6	0.13	0.78	

$$\begin{aligned}
 \text{产品综合失效率 } \lambda_s \text{ (或 } \lambda_s) &= \sum_{i=1}^n \lambda_{i,i} = 29.9 + 12.077 + 5.998 + 21.43 + 3.67 \\
 &\quad + 1.16 + 1.17 + 1.04 \\
 &= 76.445 (\times 10^{-6}/\text{hr}) \text{ 即:}
 \end{aligned}$$

$$\lambda_s \text{ (或 } \lambda_z) = 76.445 \times 10^{-6} / \text{hr.}$$

### 9.2 产品可靠度 $R_s$ 的估算

$$R_s = e^{-\lambda_s t} = e^{-(76.445 \times 10^{-6})t} \quad (5)$$

令 $t$ 分别为0、2000、4000、6000、8000、10000hr，代入上式(5)，可估计出：

$$R_s(0) = 1.000$$

$$R_s(2000) = 0.859$$

$$R_s(4000) = 0.738$$

$$R_s(6000) = 0.632$$

$$R_s(8000) = 0.543$$

$$R_s(10000) = 0.468$$

依据上述数据，可绘出下述 $R_s = f(t)$ 的曲线。

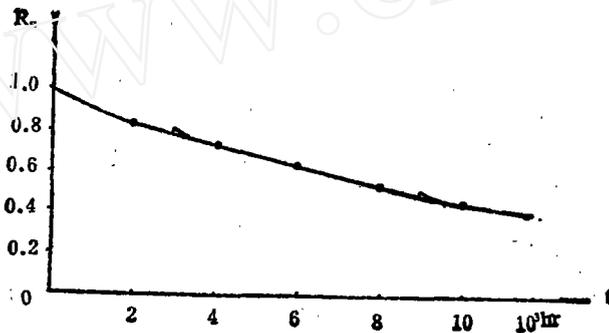


图2  $R_s(t)$ 曲线

### 9.3 产品平均无故障时间MTBF与可用率A的估算

#### 9.3.1 MTBF的估算

预先假定过元器件寿命数都服从指数分布，则可利用关系式(4)，求MTBF，即：

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_s} = \frac{10^6}{76.445} = 13\ 081 \text{hr.}$$

#### 9.3.2 产品平均维修时间MTTR的确定

该产品可动可调部件较(很)少，系统调试简单，据现场实践，整组调试时间不超过两天工作日，按每日8小时计算，可认为该产品的MTTR为16小时，即：

$$MTTR = 16 \text{hr}$$

#### 9.3.3 产品的可用率A的估算

按可用率的定义及关系式为：

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (6)$$

将9.3.1与9.3.2中所确定的估算代入关系式(6)得：

$$A = \frac{13,081}{13,081 + 16} = 0.9988$$

若令MTTR分别为8、32, 则

$$A_8 = 0.9994$$

$$A_{32} = 0.9976$$

求其影响程度

$$\frac{\Delta A_8}{A} = \frac{A_8 - A}{A} = 0.6\%$$

$$\frac{\Delta A_{32}}{A} = \frac{A_{32} - A}{A} = -1.2\%$$

## 10. 可靠性预计估算后的分析意见

### 10.1 从表1中可看出:

- a. 交流输入单元的失效率最大, 其次是切换单元, 二者应作为改进主要对象。
- b. 2CZ二极管由于采用降额设计, 起到主要降低整组失效率的关键作用。

c. 所有焊点、螺点、插接共2 100个, 其失效率合计共 $38.055 \times 10^{-6}/\text{hr}$ , 它占整个系统失效率 $\lambda_s$  ( $=79.445 \times 10^{-6}/\text{hr}$ ) 的几乎50%, 即1/2, 因此, 欲降低产品失效率, 提高产品可靠度或MTBF, 对于机电一体化导线连接节点甚多的产品, 从工艺上、检查上保证焊点、螺点、插接的可靠性是十分重要的、必要的。

10.2 从9.3.1中的MTBF=13 081hr, 如对用户声称该产品具有8 760hr的MTBF, 则具有 $(13\ 081 \sim 8\ 760) / 8\ 760 = 0.49 \approx 50\%$ 余度; 如声称具有10 000hr的MTBF, 则具有30%的余度。前一个声称值, 即MTBF为8 760hr保险程度大, 并且符合一年一度维修制度, 是准优值; 后一个声称值, 即MTBF为10 000hr, 保险程度略低, 但其有强的市场竞争能力, 在工艺、检测手段、纪律得到保证前提下, 亦是可行值。

### 10.3 从9.3.3中A值的变动, 即:

$$\frac{0.9994}{A_8} > \frac{0.9988}{A_{16}} > \frac{0.9976}{A_{32}}$$

虽然MTTR的数值远远小于MTBF, 其大小仅仅影响到小数点以后的第三位, 但这个第三位的数字大小却往往是国内外供需双方谈判争论的焦点, 又是多个供方之间的竞争指标, 故制造部门在努力降低 $\lambda_s$ 值的同时, 亦须设法降低MTTR的数值。

10.4 从10.2中, 若确定MTBF为8 760hr, 此时刻的 $R_s(8\ 760) = 0.512$ , 产品可靠度这样低, 似乎令人难以置信, 如何继续使用这些产品, 但在现场实际运用中8 760hr的MTBF的产品却是绝大多数。这个问题有必要深入实际, 分析研究。70年代以来, 国际上开发的许多自动化、继电保护系统, 都设置自动监视、自动检查单元(或分系统), 做到及时发现本身故障, 及时维修, 及时恢复(提高)可靠度 $R_s$ , 确是有效措施, 这样可以把 $R_s$ 的平均值保持在一个较高水平, 其示意图如下。图中 $t_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 为自检单元发现(检出)系统有本身故障的时刻。

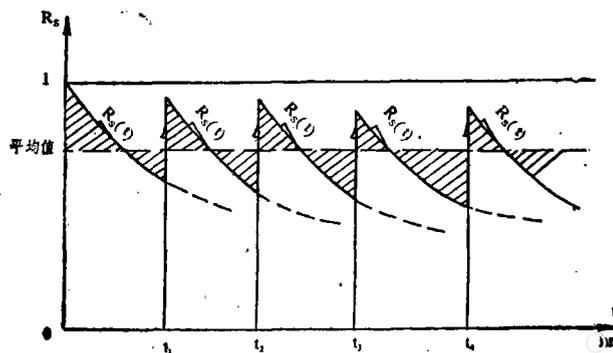


图3 示意图

### 三 现场运行统计分析

#### 11. 继电保护装置可靠性的特点

11.1 在安装的位置上，保护装置的工作状态，基本分三种：

11.1.1 准备状态或叫监视状态，带电，这个状态时间很长，往往以月、年为计算单位。

11.1.2 动作状态或叫工作状态，时间很短，一年中最多持续几秒钟。

11.1.3 检修状态，一年中有几小时或几天。

11.2 两个工作状态之间的平均时间界于几个月和几年之间。

11.3 保护装置本身失效方式可分为三类：

11.3.1 母线区内故障，装置拒动。

11.3.2 母线区外故障，装置误动（非选择性的）。

11.3.3 母线区内外无故障，装置误动。

11.3.4 母线进行倒闸操作（扰动），装置误动。

11.4 保护装置正确动作（工作）可分两类：

11.4.1 母线区内故障，装置可靠输出跳闸脉冲。

11.4.2 母线区外故障，装置可靠不输出跳闸脉冲。

12. 母差保护装置可靠性的统计分析的主要参数。

12.1 正确动作率：装置在规定的条件下，能正确动作的概率。

$$\text{正确动作率} = \frac{\text{正确动作次数}}{\text{总动作次数}}$$

12.2 拒动率：保护装置应正确动作时，所出现的不正确动作的概率。

$$\text{拒动率} = \frac{\text{拒动次数}}{\text{拒动次数} + \text{正确动作次数}}$$

12.3 误动率：保护装置应正确不动作时，所出现的不正确的动作概率。

$$\text{误动率} = \frac{\text{误动次数}}{\text{承受考验的次数}}$$

误动率还细分为：非选择性误动，母线区内外正常时的误动与母线倒闸操作时误动三种，其关系式不再重复，可类推。

12.4 失效率 $\lambda(t)$ ：工作到时间 $t$ 时刻，保护装置在单位时间内发生失效的比例，把它称为瞬时失效率，可表示为：

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \quad (7)$$

可靠度函数 $R(t)$ 可用 $\lambda(t)$ 表示为：

$$R(t) = \exp \left[ -\int_0^t \lambda(t) dt \right] \quad (8)$$

此外，还有平均失效率 $\bar{\lambda}(t_i)$ ，定义为：

$$\bar{\lambda}(t_i) = \frac{\text{(该时间内的)总失效数}}{\text{总工作时间}(t_i - 0)}$$

12.5 平均无故障时间MTBF：保护装置在两相邻故障之间工作时间的平均值。

$$MTBF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (9)$$

式中  $n$  ——失效（故障）次数

$t_i$  ——从时间 $t_{i-1}$ 到 $t_i$ 次发生失效的时间间隔，示意图如下：

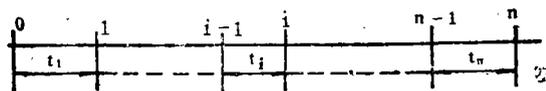


图 4

12.6 可用率 $A$ ：保护装置在某一特定瞬间维持其功能的概率。

$$A = \frac{\text{(可工作时间)}}{\text{(可工作时间)} + \text{(不能工作时间)}}$$

一般  $A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$  即 (6)

### 13. 母差保护装置可靠性指标统计

#### 13.1 PMH—40系列初步运行统计表

有关数据列于表 2 中。

#### 13.2 PMH—40系列可靠性指标初步统计

正确动作率： 100%；

拒动率： 0%；

非选择性误动率： 0%；

系统正常时误动率： 0%；

倒闸操作时误动率： 0%；

平均无故障时间 (MTBF)： 15 413hr (用平均每台运行时间代)；

平均修理时间 (M T T R) : 75hr. (用平均每台总停时间代);

可用率 (有效度) A: 0.995

平均失效率  $\bar{\lambda}$  :  $64.88 \times 10^{-6} / \text{hr.}$  (用  $\frac{1}{\text{MTBF}}$  反求)。

表 2 PMH—40系列初步运行统计表(简化)

运行单位		辽阳变	董家变	海城变	合计
装置台数		1	1	1	3
系统故障次数	母内	0	0	0	24
	母外	15	2	7	
倒闸操作次数		22	6	14	42
拒动次数		0	0	0	0
非选择性误动次数		0	0	0	0
系统正常时误动次数		0	0	0	0
倒闸操作时误动次数		0	0	0	0
正确动作数	母内跳闸	0	0	0	24
	母外不跳	15	2	7	
不正确动作数		0	0	0	0
总统计时间(h)		10 680	13 512	22 272	46 464
运行时间(h)		10 616	13 448	22 716	46 240
总停用时间(h)		(2次)64	(2次)64	(3次)96	224
维修时间(h)		(2次)32	(2次)32	(3次)48	112

#### 14. 初步统计后的分析意见

14.1 由于PMH—40系列保护装置处于新产品开发后投入运行逐步增长时期,投运时间超过一年(合8760hr)的仅有3台;又由于被保护的母线发生区内故障的机遇很小,据《高压电网继电保护运行技术》(王梅义等合著,1981年电力工业出版社出版)介绍,以220kV母线为例,其故障率为0.06次/条年,即平均每条母线17年1次区内故障,运行中受到系统故障考验次数中,至今尚未碰到母线区内故障,已发生的故障都是区外的。使用这样不全面的数据进行运行统计,给出全面结论,为时过早。因此,本文加上“初步”二字,以备将来,随着时间的前进,区内故障的发生,投运台数的增加,逐年

统计积累，势将臻于全面客观。

14.2 虽然上述统计的可靠性指标不够全面客观，但是系统发生24次母线区外故障、进行过42次倒闸操作，保护装置都未发生过误动，系统正常时装置也未发生过误动，这对保证电力系统的供电安全性，起到了非常重要的作用，也可以说明该装置的安全可靠性是令人满意的。

14.3 鉴于无法克服的基础数据不够多，采用的初步统计方法给以适当简略，亦未影响结论的定量导向，故也是可行的。

## 四 结论意见

15. 本文预计与统计结果说明PMH-40系列母线差动保护从设计上、工艺上实施了可靠性工程，从而提高保证了产品的可靠性指标。主要实施内容如下：

15.1 从设计上提高产品固有可靠性方面

15.1.1 采用了比率制动原理，在正常运行和区外故障时，选择元件与启动元件都呈现很强的制动特性；但在区内故障时，制动作用迅即下降，从而大大地提高了动作的灵敏性。

15.1.2 采用了先进电路与先进出口干簧元件，在电流互感器严重饱和下，既能保证区外故障下装置不误动，又能保证区内故障下装置的速动性与不拒动。

15.1.3 数量达2100个的导线连接处，53%采用高可靠接触的圆柱式插接方式，大幅度地降低了连接节点群的失效率。

15.1.4 装置全部采用了高可靠的新型元件，并且充分考虑了它们的降额使用，特别是做为执行及出口继电器中干簧触点是采用引进转化专门工艺制造出来的，这些都有效地提高了装置的可靠性。

15.2 从工艺上保证产品的可靠性方面

15.2.1 利用数控机床加工出来的屏体骨架、面机形位公差严紧，采用自攻螺钉组装紧固，充分保证新型屏体结构的防护性、牢固性，从而防止屏内单元遭受外界侵入的污染、破坏，抗衡运输、装卸、安装带来的振动、冲击与碰撞，极大限度的降低了装置的误动、拒动的可能性。

15.2.2 所用2CZ二极管都是经过严格老化筛选，已经剔除它们的早期失效。

16. 预计估算出来的可靠性指标基本符合产品实际运行情况，它的MTBF值在分等规定中可以订为10 000h。元器件所选用的 $\lambda_0$ 值，可以为别的保护装置预计时参考使用。预计结果起到了定量导向作用。

17. 初步统计出来的可靠性指标，由于运行出来的数据不够全面，但也基本证明（说明）该装置的安全可靠性是令人满意的。虽然有待于将来逐年补充完善，但它已起到了类似的定量导向作用。

### 参考文献

在8.1.1与8.1.2条款中，已经写出，故此处从略。