

# 基于 ATML 的 D 矩阵诊断模型实现

胡宇, 文永康

(成都天奥测控技术有限公司, 成都 611731)

**摘要:** 故障诊断是自动测试系统/设备的重要功能, 能否快速、准确地隔离故障是影响装备维修效率的重要因素; 当今先进自动测试系统采用 ATML 系列标准, 实现信息交换, 其核心在于利用 XML 语言, 通过规定的语法和结构描述测试系统、被测设备、测试流程和测试诊断结果等信息; 针对故障诊断, 标准定义了贝叶斯网络、D 矩阵推理、诊断逻辑和故障树等故障诊断模型; 其中 D 矩阵推理模型建立较容易, 易于工程实现, 被广泛应用; 文章采用图形化建模方法建立了测试一故障依赖模型, 描述了 D 矩阵模型建立方法、建立过程、推理规则和推理算法, 并以某电台为例介绍了 XML 语言相关描述方法; 最后基于 D 矩阵对电台测试性进行分析, 根据评估结果完善 D 矩阵内容, 优化推理算法, 有效提高了电台故障隔离率, 降低了诊断模糊度。

**关键词:** 自动测试系统/设备; 自动测试标记语言; 故障诊断; 依赖矩阵

## Implementation of D-matrix Reasoning Model Based on ATML

Hu Yu, Wen Yongkang

(Spaceon T&C Technology Co., Ltd., Chengdu 611731, China)

**Abstract:** Fault diagnosis is an important function of Automatic Test System/Equipment (ATS/ATE), whether the fault can be isolated quickly and accurately is an important factor affecting the maintenance efficiency of equipment. Nowadays, advanced automatic test system adopts ATML series standard usually for information interchange, the description of information such as test system, unit under test, test process, test results and diagnostic results using XML with the syntax and data structure is the key of the standard. The standard defines the fault diagnosis models such as Bayesian network, D-matrix reasoning, diagnosis logic and fault tree. Among them, D-matrix reasoning model can be easily established, it is widely used in engineering because it is easy to realize. This paper build the dependency model using graphic modeling method, and describes the method of establishing, the process of establishing, reasoning rules and reasoning algorithm of D-matrix model, and takes a radio station as an example to introduce the related description method of XML language. Finally, this paper analyses the testability of the radio base on the D-matrix, perfects the matrix and algorithm on the basis of the testability analysis result, it improved the radio fault isolation rate, and reduced the ambiguity group.

**Keywords:** ATS/E; ATML; diagnosis; D-matrix

## 0 引言

自动测试系统(ATS)是装备维修保障的重要手段, 通过自动测试、诊断推理将故障隔离到内场可更换模块(SRU)或元器件, 给出维修建议, 指导维修, 是 ATS 的主要使命, 故障诊断性能是决定 ATS 效能的关键要素。故障诊断技术是对系统、设备故障进行检测、识别、分辨和定位的技术<sup>[1]</sup>, 传统故障诊断方法有直接观察法、参数测试法等<sup>[2]</sup>, 在自动测试系统中采用的故障诊断方法通常有故障字典<sup>[3]</sup>、故障树<sup>[4]</sup>、神经网络<sup>[5]</sup>和专家系统<sup>[6]</sup>等等。

新一代的自动测试系统采用 ATML 系列标准用于信息交换, 其核心在于利用 XML 语言按照规定的语法和结构描述测试系统、被测设备、测试流程和测试诊断结果等信息, ATML 标准包括 IEEE 1671、IEEE 1641、IEEE 1636 和 IEEE 1232 等标准族谱, 故障诊断遵循 IEEE 1232 标准<sup>[7]</sup>。IEEE1232 标准推荐了贝叶斯网络、D 矩阵推理、诊断逻辑

和故障树等故障诊断模型<sup>[8]</sup>, 其中 D 矩阵模型建立较容易, 易于工程实现, 被广泛应用于故障诊断和测试性设计领域<sup>[9]</sup>。田横、段富海、江秀红等基于信息熵研究了一种 D 矩阵故障诊断新算法<sup>[10]</sup>, 孙萌、景博、黄以锋等针对单特征量 D 矩阵的不足提出一种多特征量 D 矩阵模型<sup>[11]</sup>, 文献<sup>[12]</sup>在测试性 D 矩阵基础提出了单故障化的多故障诊断与维修策略。

## 1 D 矩阵推理模型的建立

### 1.1 建立依赖模型

IEEE1232 “测试设备人工智能信息交换服务使用指南”标准定义的 D 矩阵推理模型主要用于测试一诊断依赖矩阵的信息交换, 具体包含一系列诊断推理规则的编码, 构建 D 矩阵推理模型的信息根源来自于系统测试一故障依赖性建模<sup>[8]</sup>。下文以图 1 所示的电铃电路为例, 说明依赖模型建立过程。

电铃电路主要包括电池、开关、线圈和铃舌等 4 个部件。按下开关时, 电路导通, 线圈产生磁力吸引铃舌, 铃舌与铃铛脱离接触, 电路断开, 线圈失去磁力, 铃舌弹回, 敲击铃铛发出声响, 电路再次导通, 如此循环产生连续敲铃声; 松

收稿日期: 2019-10-22; 修回日期: 2019-11-18。

作者简介: 胡宇(1981-), 男, 四川成都人, 大学本科, 工程师, 主要从事自动测试系统方向的研究。

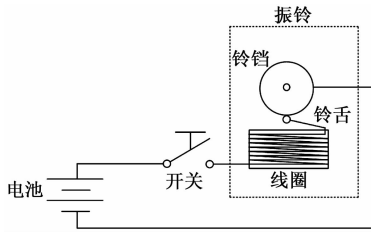


图 1 电铃电路图

开开关, 电路断开, 铃声停止。电池、开关、线圈和铃舌故障会引起电路失效。开关故障可分为常闭和常开两种模式, 常闭是指开关粘连或卡死导致开关不能弹回, 一直处于接通状态。开关常开指开关卡死不能按下或接触簧片断裂导致开关不能接通, 一直处于断开状态。电池故障指电量不足以驱动线圈, 主要表现为电压低于规定值。线圈故障主要指线圈断开, 不能形成电流回路, 不能产生磁力。铃舌故障包括常闭和常开两种情况, 通常为机械卡死导致不能来回移动, 敲击铃铛发出声音。电铃电路故障模式如表 1 所示。

表 1 电铃故障模式

故障模式	描述
开关—常闭	开关常闭, 无法断开
开关—常开	开关常开, 无法闭合
电池故障	无电量或电量低
线圈—断路	线圈断开, 电路开路
铃舌—常闭	铃舌卡死, 不能吸合
铃舌—常开	铃舌卡死, 不能弹回

当按下开关电铃不能发出声音或松开开关后声音不能停止, 均为电铃电路失效。可以通过按压开关听取声音、测量电池电压、短接开关两端和直接给振铃施加激励电压等方法来检查和隔离故障。按压开关, 若不能听到振铃音, 则代表“按压”测试失败, 可能的原因包括“开关—常开”、“电池故障”、“线圈—断路”、“铃舌—常闭”和“铃舌—常开”等; 按压开关, 若能正常听到振铃音, 则代表“按压”测试通过, 可排除“开关—常开”、“电池故障”、“线圈—断路”、“铃舌—常闭”和“铃舌—常开”等故障模式。连续按压、松开开关, 若开关能正常弹起则“连续按压”测试通过, 否则测试失败, 测试通过可排除“开关—常闭”故障, 测试失败则代表存在“开关—常闭”故障。利用万用表测量电池正极和负极两端电压, 若等于或高于额定值, 则“电压测量”通过, 排除“电池故障”, 若低于额定值, 则测试失败, 存在“电池故障”。利用导线桥接开关两端, 若出现振铃音, 则“桥接”测试通过, 可排除“电池故障”、“线圈—断路”、“铃舌—常闭”和“铃舌—常开”故障; 若没有出现振铃音, 则“桥接”测试失败, “电池故障”、“线圈—断路”、“铃舌—常闭”和“铃舌—常开”可能故障。在振铃两端施加电压激励, 若能听到振铃音, 则“激励”测试通过, 可排除“线圈—断路”、“铃舌—常闭”和“铃舌—常开”故障; 若不能听到振铃音, 则“激励”测试失败, “线圈—断路”、“铃舌—常闭”和“铃舌—常开”可能故障。电铃电路测试项目及诊断逻辑如表 2 所示。

表 2 电铃测试项

序号	测试名称	描述	注释
1	按压	按压开关检查是否有振铃音	此测试覆盖除“开关—常闭”以外的故障模式, 测试诊断逻辑为: “失败”: {开关—常开, 电池故障, 线圈—断路, 铃舌—常闭, 铃舌—常开} 其中存在 1 个或以上的故障模式; “通过”: {开关—常开, 电池故障, 线圈—断路, 铃舌—常闭, 铃舌—常开} 全部故障模式不存在。
2	连续按压	多次按压开关, 检查开关是否能正常弹起	此测试覆盖“开关—常闭”故障模式, 仅用于开关故障隔离, 通过按压感觉检查开关是否粘连, 不依赖铃音, 诊断逻辑为: “失败”: “开关—常闭”故障模式存在; “通过”: “开关—常闭”故障模式不存在。
3	电压测量	检查电池电压、电量是否正常	此测试仅覆盖电池故障, 诊断逻辑为: “失败”: “电池故障”故障模式存在; “通过”: “电池故障”故障模式不存在。
4	桥接	利用导线桥接开关两端, 检查是否有振铃音	此测试检查开关之外的故障模式, 诊断逻辑为: “失败”: {电池故障, 线圈—断路, 铃舌—常闭, 铃舌—常开} 其中存在 1 个或以上的故障模式; “通过”: {电池故障, 线圈—断路, 铃舌—常闭, 铃舌—常开} 全部故障模式不存在。
5	激励	在振铃两端施加电压激励, 检查是否有振铃音	此测试隔离振铃故障, 覆盖振铃内部故障模式, 诊断逻辑为: “失败”: {线圈—断路, 铃舌—常闭, 铃舌—常开} 其中存在 1 个或以上的故障模式; “通过”: {线圈—断路, 铃舌—常闭, 铃舌—常开} 全部故障模式不存在。

依据表 2 诊断逻辑, 可推导出“开关—常开”故障模式将导致“按压”测试失败; “开关—常闭”故障模式将导致“连续按压”测试失败; “电池故障”将导致“按压”、“电压测量”、“桥接”测试失败; “线圈断路”故障会导致“按压”、“桥接”、“激励”测试失败; “铃舌—常开”会导致“按压”、“桥接”、“激励”测试失败; “铃舌—常闭”会导致“按压”、“桥接”、“激励”测试失败。这种“故障”将导致“测试”失败的关系, 即为故障—测试依赖关系。“测试”与“测试”之间也存在依赖关系, 包括: “电压测量”失败会导致“按压”、“桥接”测试失败; “激励”测试失败会导致“桥接”、“按压”测试失败; “桥接”测试失败会导致“按压”测试失败。根据这些信息可建立电铃依赖模型, 如图 2 所示。

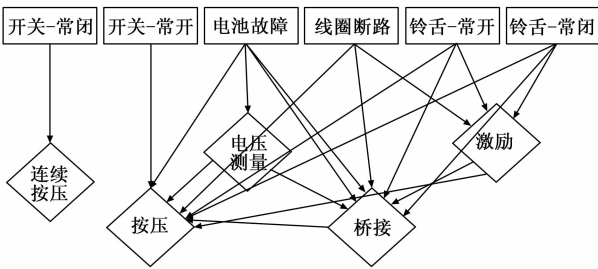


图 2 电铃依赖模型

### 1.2 建立 D 矩阵

图 2 中矩形框为“故障模式”, 菱形框为“测试项目”, 箭头代表依赖关系。“故障模式”到“测试项目”的箭头表明“故障模式”会导致该“测试项目”测试失败。“测试项目”到“测试项目”的箭头表明该“测试项目”测试失败会导致连接的“测试项目”测试失败。根据电铃依赖模型可构建出表 3 所示的 D 矩阵。

表 3 电铃 D 矩阵

		测试项目				
		连续按压	按压	电压测量	桥接	激励
测试项目	连续按压					
	按压					
	电压测量		1		1	
	桥接		1			
	激励		d		1	
故障模式	开关—常闭	1				
	开关—常开		1			
	电池故障		d	1	1	
	线圈断路		d		d	1
	铃舌—常开		d		d	1
	铃舌—常闭		d		d	1
	无故障					

表 3 上部分为测试—测试依赖矩阵, 下部分为故障—测试依赖矩阵。矩阵中“1”代表直接依赖关系, 对应图 2 中的 1 个箭头; “d”代表间接依赖关系, 对应图 2 中 2 个及

以上的箭头。IEEE1232 没有区别“1”和“d”, 均代表依赖关系。

### 1.3 推理规则

D 矩阵中的行中的测试项目测试“失败”必然会导致具有依赖关系的列中测试项目测试“失败”, 行中的故障模式“存在”必然会导致具有依赖关系的列中的测试项目测试“失败”。从 D 矩阵中行的测试失败和故障到列中的测试失败推理规则可表达为:

测试<sub>行</sub>: 失败 → 与<sub>列</sub> (测试<sub>列</sub>: 失败);

故障<sub>行</sub>: 存在 → 与<sub>列</sub> (测试<sub>列</sub>: 失败)。

例如“电压测量”测试失败必然会导致“按压”和“桥接”测试失败, “开关—常闭”故障会导致“连续按压”测试失败。

根据 D 矩阵中从“行”到“列”推理的逆反命题可推导出, 列中的测试项目测试“通过”, 则具有依赖关系的行中的测试项目必然“通过”; 列中的测试项目测试“通过”, 则具有依赖关系的行中的故障模式必然“不存在”; 列中的测试项目测试“失败”, 则具有依赖关系的行中的故障模式可能“存在”。“列”到“行”的推理规则可归纳为:

测试<sub>列</sub>: 通过 → 与<sub>行</sub> (测试<sub>行</sub>: 通过);

测试<sub>列</sub>: 通过 → 与<sub>行</sub> (故障<sub>行</sub>: 不存在);

测试<sub>列</sub>: 失败 → 或<sub>行</sub> (故障<sub>行</sub>: 存在)。

例如: “按压”测试通过, 则“电压测量”、“桥接”、“激励”必然通过; “按压”测试通过, 则“开关—常开”、“电池故障”、“线圈断路”、“铃舌—常开”、“铃舌—常闭”必然不存在; “按压”测试失败, 则“开关—常开”、“电池故障”、“线圈断路”、“铃舌—常开”、“铃舌—常闭”至少存在 1 个故障。

### 1.4 诊断逻辑

测试—测试的推理规则通常用于测试序列优化, 例如: 当“按压”测试通过时则不需要再进行“电压测量”、“桥接”、“激励”测试, 减少测试开销。测试—故障的推理规则用于故障诊断, 根据测试结果推理出存在的故障模式。

具体诊断过程为将故障—测试 D 矩阵中测试通过的列逻辑加得到数组“GOOD []”代表无故障的模式集合, 其中“1”代表无故障, “0”代表不确定; 将测试失败的列逻辑加得到数组“FAULT []”代表可能故障的模式集合, 其中“1”代表可能故障, “0”代表不确定; 将“GOOD []”取反得到 $\overline{GOOD} []$ , 其中“0”代表无故障, “1”代表不确定; 将 $\overline{GOOD} []$ 与“FAULT []”进行逻辑与, 即把确定无故障的模式从可能故障的模式集合中剔除, 得到数组“DIAG []”, “DIAG []”即为诊断结果, “1”代表故障, “0”正常。

诊断算法可表述为:

$$DIAG[] = \sum COL_{(TEST:PASS)} \times \sum COL_{(TEST:FALL)} \quad (1)$$

表 4 电铃故障—测试 D 矩阵

		测试项目				
		连续按压	按压	电压测量	桥接	激励
故障模式	开关—常闭	1	0	0	0	0
	开关—常开	0	1	0	0	0
	电池故障	0	1	1	1	0
	线圈断路	0	1	0	1	1
	铃舌—常开	0	1	0	1	1
	铃舌—常闭	0	1	0	1	1
	无故障	0	0	0	0	0

例如, 假设“按压”测试失败, 其余测试项均测试通过。按上述诊断流程, 首先将测试通过的第 1、3、4、5 列进行逻辑加, 取反后再与第 2 列进行逻辑与, 结果如下:

$$DIAG[] = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

即 D 矩阵中第 2 行“开关—常开”故障模式存在, 无其他故障模式。

## 2 某电台 D 矩阵推理模型描述

某型电台由前面板模块、音频救生模块、数据处理模块、信号处理模块、频综模块、主接收机模块、激励模块、功放模块和柔板及电缆等内场可更换单元 (SRU) 组成, 如表 5 所示。

表 5 某电台 SRU 组成表

序号	SRU 编号	SRU 名称
1	SRU1	前面板模块
2	SRU2	音频救生模块
3	SRU3	数据处理模块
4	SRU4	信号处理模块
5	SRU5	频综模块
6	SRU6	主接收机模块
7	SRU7	激励模块
8	SRU8	功放模块
9	SRU9	柔板及电缆

前面板模块提供电台对外接口、整机电源处理、EMI 滤波、收发转换、音频接口适配、总线接口等功能; 音频救生模块实现音频处理, 接收救生频率点信号经变频、放大后输出至信号处理模块; 数据处理模块完成话音编解码、信道编译码及数据组/分帧、解/打包等数据处理, 同时承担电台整机控制、BIT、对外状态与控制接口; 信号处理模块是电台的核心处理模块, 要完成不同信号波形和工作模

式下的中频信号处理; 频综模块以高稳定晶振为频率源, 产生电台需要的收发本振, 为整机提供高稳定的时钟; 主接收机模块完成对接收射频信号的调谐放大及滤波, 经过二次变频、滤波及放大, 送出符合接口要求的抗干扰中频和常规中频; 激励模块完成电台发射频率变换、电调滤波、信号放大功能, 为功放提供足够大的激励功率和保证在全频段内的功率均衡; 功放模块主要完成功率放大、ALC、AM 调制、功率调节和各种控制、保护、检测功能; 柔板及电缆用于模块间的信号连接。

当电台工作在接收状态时, 从天线接收的信号经过收发开关, 进入接收机的电调高放进行选频放大, 然后与频率合成器送来的收一本振信号进行一混频, 产生一中频信号, 经滤波, 一中放; 再与频率合成器送来的收二本振信号进行二混频, 得到二中频信号, 再经滤波, 中频放大, 进入信号处理模块进行相关调制方式的解调, 解调出的音频信号经过静噪控制、音频处理电路、低放, 得到额定功率的音频信号输出。

当电台工作在发射状态时, 话筒送来的话音信号经过机上音响中心送到电台发音频处理电路进行处理, AM 方式下, 由信号处理模块产生中频信号经变频后, 直接在功放进行 AM 调制, 再经功率放大、滤波后输出; 对于其他方式, 经窄带 A/D, 转换为数字信号后再作信源编码, 送入信号处理模块进行相关模式的调制, 输出已调载波, 最后由激励模块、功放模块进行上变频、滤波、功率放大后输出。

在电台内场中继级检测中需将故障隔离到内场可更换单元 (SRU), 测试项目一般包括功耗测试、1553B 总线控制测试、自检测试、语音发射功率测试、AM 调制度测试、FM 频偏测试、AM 侧音测试、频率误差测试、数传发射功率测试和接收灵敏度测试。测试通常在外部接口进行, 不进行开盖测试, 电台依赖模型如图 3 所示。

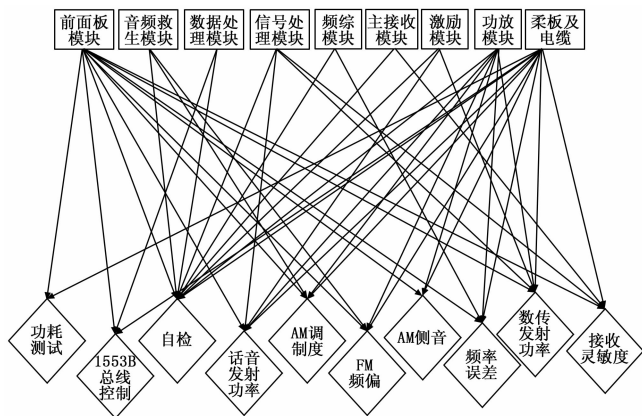


图 3 某电台依赖模型

某型电台故障—测试 D 矩阵如表 5 所示, 矩阵中“1”代表依赖关系, 即“SRU”故障会导致相应“TEST”测试失败, “TEST”测试失败表明相应“SRU”可能故障, “TEST”测试通过表明相应“SRU”没有故障。

表 5 某电台故障—测试  $D$  矩阵

		功耗测试		1553B 总线控制	自检	话音发射功率	AM 调制制度	FM 调制频偏	AM 侧音	频率误差	数传发射功率	接收灵敏度
		TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 4	TEST 5	TEST 6	TEST 7	TEST 8	TEST 9	TEST 10	
前面板模块	SRU1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
音频救生模块	SRU2			1		1	1	1				
数据处理模块	SRU3		1	1								
信号处理模块	SRU4			1	1						1	1
频综模块	SRU5			1					1			
主接收机模块	SRU6			1								1
激励模块	SRU7			1	1						1	
功放模块	SRU8			1	1	1	1	1	1	1	1	
柔板及电缆	SRU9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

假设“FM 调制频偏”测试通过，则“前面板模块”、“音频救生模块”、“功放模块”、“柔板及电缆”均无故障，推理表达式为：

TEST6: PASS=> (SRU1: GOOD & SRU2: GOOD & SRU8: GOOD & SRU9: GOOD).

在 ATML 标准中要求对  $D$  矩阵诊断推理模型描述即是对此类推理表达式的描述，按照 ISO 10303-28 格式，采用 XML 语言描述如下，其中“i261”代表第 6 列测试通过，“i111”代表第 1 行无故障，“i121”代表第 2 行无故障，“i181”代表第 8 行无故障，“i191”代表第 9 行无故障。

```
<? xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"? >
< dim; uos xmlns: xsi = " http://www. w3. org/2001/
XMLSchema-instance"
xmlns: exp = " urn: iso: std: iso: 10303: - 28: ed - 2: tech:
XMLschema:common"
xmlns: dim = "urn:iso10303-28:schema/Ai_estate_dmatrix_in-
ference_model"
targetNamespace="urn:oid:1.3.111.2.1232.100.2011.3"
xsi:schemaLocation=
"urn:iso10303-28:schema/Ai_estate_dmatrix_inference_model
Ai_estate_dmatrix_inference_model.xsd"
express="dim. exp">
<dim:Outcomeinference id="i850">
<Andorrows>
<dim:Inference ref="i851" xsi:nil="true"/>
<dim:Inference ref="i852" xsi:nil="true"/>
<dim:Inference ref="i853" xsi:nil="true"/>
<dim:Inference ref="i854" xsi:nil="true"/>
</Andorrows>
<Preconditiontestoutcome>
<dim:Testoutcome ref="i261" xsi:nil="true"/></Precon-
ditiontestoutcome>
<Andorrelation>true</Andorrelation>
</dim:Outcomeinference>
<dim:Inference id="i851">
<Cell><dim:Diagnosisoutcome ref="i111" xsi:nil="true"/>
></Cell></dim:Inference>
```

```
<dim:Inference id="i852">
<Cell><dim:Diagnosisoutcome ref="i121" xsi:nil="true"/>
></Cell></dim:Inference>
<dim:Inference id="i853">
<Cell><dim:Diagnosisoutcome ref="i181" xsi:nil="true"/>
></Cell></dim:Inference>
<dim:Inference id="i854">
<Cell><dim:Diagnosisoutcome ref="i191" xsi:nil="true"/>
></Cell></dim:Inference>
</dim;uos>
```

假设“频率误差”测试不通过，则“前面板模块”、“频综模块”、“功放模块”、“柔板及电缆”其中至少存在 1 个故障，推理表达式为：

TEST8: FAIL => (SRU1: BAD | SRU5: BAD | SRU8: BAD | SRU9: BAD).

采用 XML 语言描述如下，其中“i282”代表第 8 列测试失败，“i112”代表第 1 行可能故障，“i152”代表第 5 行可能故障，“i182”代表第 8 行可能故障，“i192”代表第 9 行可能故障。

```
<? xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"? >
< dim; uos xmlns: xsi = " http://www. w3. org/2001/
XMLSchema-instance"
xmlns: exp = " urn: iso: std: iso: 10303: - 28: ed - 2: tech:
XMLschema:common"
xmlns: dim = "urn:iso10303-28:schema/Ai_estate_dmatrix_in-
ference_model"
targetNamespace="urn:oid:1.3.111.2.1232.100.2011.3"
xsi:schemaLocation=
"urn:iso10303-28:schema/Ai_estate_dmatrix_inference_model
Ai_estate_dmatrix_inference_model.xsd"
express="dim. exp">
<dim:Outcomeinference id="i950">
<Andorrows>
<dim:Inference ref="i951" xsi:nil="true"/>
<dim:Inference ref="i952" xsi:nil="true"/>
<dim:Inference ref="i953" xsi:nil="true"/>
<dim:Inference ref="i954" xsi:nil="true"/>
</Andorrows>
```



表 7 某电台故障—测试扩充  $D$  矩阵

		功耗测试	1553B 总线控制	自检 (SRU1)	话音发射功率	AM 调制度	FM 调制频偏	AM 侧音	频率误差	数传发射功率	接收灵敏度	自检 (SR-U2)	自检 (SR-U3)	自检 (SR-U4)	自检 (SR-U5)	自检 (SR-U6)	自检 (SR-U7)	自检 (SR-U8)	模糊组大小
		TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 4	TEST 5	TEST 6	TEST 7	TEST 8	TEST 9	TEST 10	TEST 11	TEST 12	TEST 13	TEST 14	TEST 15	TEST 16	TEST 17	
前面板模块	SRU1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							1
音频救生模块	SRU2					1	1	1				1							1
数据处理模块	SRU3		1										1						1
信号处理模块	SRU4				1					1	1			1					1
频综模块	SRU5								1						1				1
主接收机模块	SRU6										1					1			1
激励模块	SRU7				1					1							1		1
功放模块	SRU8				1	1	1	1	1	1								1	1
柔板及电缆	SRU9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

$$DIAG_{CTN} = \sum ((\sum COL_{(TEST,PASS)} \times COL_{(TEST,FALL)} )_{(sum=1)}) \quad (4)$$

$$DIAG_{UNCTN} = \sum ((\sum COL_{(TEST,PASS)} \times COL_{(TEST,FALL)} )_{(sum > 1)}) \times \overline{DIAG_{CTN}} \quad (5)$$

假设表 7 所示的  $D$  矩阵中 TEST1~11 测试失败, TEST12~17 测试通过, 按照公式 (1) 计算得到:

$$DIAG[] = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

即: SRU1 “前面板模块” 和 SRU2 “音频救生模块” 故障。

按照公式 (4)、(5) 计算得到:

$$DIAG_{CTN} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, DIAG_{UNCTN} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

即: SRU1 为 “前面板模块” 必定故障, SRU2 为 “音频救生模块” 可能故障。