

团体标准

T/CAMET XXXXX—XXXX

城市轨道交通 地铁车辆维修策略优化方法 第3部分：维修策略评估方法及原则

Urban rail transit—Vehicle maintenance policy optimization method
—Part 3: Evaluation methods and principles for maintenance strategies

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国城市轨道交通协会 发布

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 维修策略评估流程	1
5 维修间隔评估	2
5.1 实施流程	2
5.2 数据收集	3
5.3 数据预处理	3
5.4 数据分析	3
5.5 综合评估	4
6 风险评估	5
6.1 总体原则	5
6.2 现有维修间隔风险评估	5
6.3 现有维修任务风险评估	5
7 以可靠性为中心的维修分析	5
7.1 总体原则	5
7.2 实施流程	6
7.3 确定维修重要项	6
7.4 维修重要项分析	6
7.5 维修任务选择	7
7.6 维修间隔确定	8
8 提出维修策略优化可行性	8
附 录 A (资料性) 明显类故障维修任务选择逻辑决断	9
附 录 B (资料性) 隐蔽类故障维修任务选择逻辑决断	10

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是T/CAMET XXXXX《城市轨道交通 地铁车辆维修策略优化方法》的第3部分。T/CAMET XXXXX已经发布了以下部分：

- 第1部分：总则；
- 第2部分：运维检修数据要求；
- 第3部分：维修策略评估方法及原则；
- 第4部分：服役评估方法及要求；
- 第5部分：验证评估方法及要求。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国城市轨道交通协会标准化技术委员会提出并归口。

本文件起草单位：福州地铁集团有限公司、中车唐山机车车辆有限公司、天津轨道交通集团有限公司、上海申通地铁集团有限公司、中车株洲电力机车有限公司、石家庄市轨道交通集团有限责任公司、株洲中车时代电气股份有限公司、南京康尼机电股份有限公司、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、天津一号线轨道交通运营有限公司、天津三号线轨道交通运营有限公司、中交（天津）轨道交通投资建设有限公司、中车长春轨道客车股份有限公司、广州地铁集团有限公司、中车制动系统有限公司、中车南京浦镇车辆有限公司、中车青岛四方车辆研究所有限公司、呼和浩特市地铁运营有限公司、深圳地铁运营集团有限公司、南京地铁运营有限责任公司、西南交通大学、中车永济电机有限公司、中车戚墅堰机车车辆工艺研究所股份有限公司、北京交通大学、上海轨道交通设备发展有限公司、北京航空航天大学、青岛地铁运营有限公司

本文件主要起草人：吴方厚、邹志敬、田添华、郑英佳、黄毓田、王海冰、商宁、马青军、郭丰源、吕鑫、赏鉴栋、张轶、曾伟、谢叶青、王智勇、陈莹、班立权、王天昱、潘俊、林庸、张祖伟、张自强、李存东、田青、石鹏飞、李志斌、钱满年、孙洪亮、杨文娇、申天亮、陈斯、安震、牛玉国、时蒙、赵未、王博、李松、冀欣、贾春来、段永魁、曾建华、理文祥、张雪青、吴兴文、彭波、万金、李如琰、朱飞、吴成攀、候宇、杨广雪、叶都玮、辛格、王洵、李翔宇、李静

引 言

从2020年起，我国城市轨道交通已从以建设为主导走向以车辆运营为主导的发展新阶段。发展较早的各大城市从以往“增量为主，规模扩张”的阶段转向“存量为主，持续优化”的阶段，发展方式转变为新线建设与既有线改造双轮驱动，地铁车辆系统运营的稳定性、安全性和运营效率成为行业关注的重点。伴随着《中国城市轨道交通既有线改造指导意见》的发布，城市轨道交通维修策略的优化，作为保障城市轨道交通系统高效、稳定运行的关键环节，受到行业内的高度重视。

为规范城市轨道交通地铁车辆维修策略优化分析，规定地铁车辆维修策略评估流程、维修间隔评估、风险评估和以可靠性为中心的维修分析等，制定本文件。

T/CAMET XXXXX由以下五个部分构成。

第1部分：总则。目的在于明确地铁车辆维修策略优化工作流程及内容，规定各个环节的技术要求，指导地铁车辆维修策略优化规范化执行。

第2部分：运维检修数据要求。目的在于规定地铁车辆维修策略优化数据结构及规范要求，确保维修策略评估、服役评估及验证评估规范化实施。

第3部分：维修策略评估方法及原则。目的在于规定地铁车辆维修策略评估输入数据、实施流程和工作内容。

第4部分：服役评估方法及要求。目的在于规定地铁车辆维修策略优化服役评估的输入数据、实施流程和工作内容。

第5部分：验证评估方法及要求。目的在于规定地铁车辆维修策略优化验证评估的输入数据、实施流程和工作内容。

本文件是维修策略优化方法的第3部分“维修策略评估方法及原则”。总则是纲领性指导文件，是对第2部分、第3部分、第4部分和第5部分总体性概括；4个分部分是对总则执行的进一步细化，其中：第2部分为第3部分、第4部分和第5部分提供数据规范基础，保障第3部分、第4部分和第5部分所需数据的规范化；第3部分、第4部分和第5部分分别从现有修程评估、更改后修程和服役状态评估以及验证修程和服役状态评估三个维度进行风险评价，科学遵循“现有修程评估、更改修程评估、评审确认、验证修程评估、评审发布”的路径，实现维修策略优化风险闭环。总则明确了地铁车辆维修策略优化实施流程和技术要求，为运维检修数据、维修策略评估、服役评估及验证评估提供技术依据。运维检修数据要求是基于总则中输入数据要求，给出了地铁车辆维修策略优化数据结构及规范要求，确保维修策略评估、服役评估及验证评估规范化实施。维修策略评估方法及原则规定了地铁车辆维修策略评估方法及技术要求，实现对现有车辆修程状态评价。服役评估方法及原则基于总则中输入数据要求，评价车辆服役过程中的运用状态，预测系统、部件寿命，基于维修策略评估中规定的方法实施维修评估，确定修程优化项点。验证评估方法及原则基于总则中输入数据要求，基于运维检修数据要求整理验证数据，评价车辆验证过程中的运用状态，确认修程优化项点。

城市轨道交通 地铁车辆维修策略优化方法

第 3 部分：维修策略评估方法及原则

1 范围

本文件规定了地铁车辆维修策略评估流程、维修间隔评估、风险评估和以可靠性为中心的维修分析等，指导地铁车辆维修策略评估规范化执行。

本文件适用于地铁车辆维修策略优化维修策略评估的实施与管理，其他制式车辆可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 21562-2008 轨道交通 可靠性、可用性、可维修性和安全性规范和示例

GJB 1378A-2007 装备以可靠性为中心的维修分析

IEC 60300-3-11:2009 Dependability management Part3-11 Application guide-Reliability Centred Maintenance

T/CAMET XXXXX—XXXX 城市轨道交通 地铁车辆维修策略优化方法 第1部分 总则

3 术语和定义

T/CAMET XXXXX—XXXX《城市轨道交通 地铁车辆维修策略优化方法 第1部分 总则》确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

维修重要项 maintenance significant items

轨道交通车辆以可靠性为中心的维修分析对象，承担特定的功能，其失效会产生不可接受的影响。

3.2

维修活动/任务 maintenance action/task

为特定目的进行的一系列基本维护活动。

[来源：IEC 60300-3-11:2009，3.1.14]

注：如诊断、定位、功能检查或其组合等。

4 维修策略评估流程

根据车辆运行数据、检修维护数据以及试验数据等，利用维修策略评估方法，方法选择可参照《城市轨道交通 地铁车辆维修策略优化方法 第1部分 总则》第7.2节，实施车辆（）系统、部件现有维修间隔以及现有维修任务优化，确定维修策略优化的可行性。评估流程如图1。

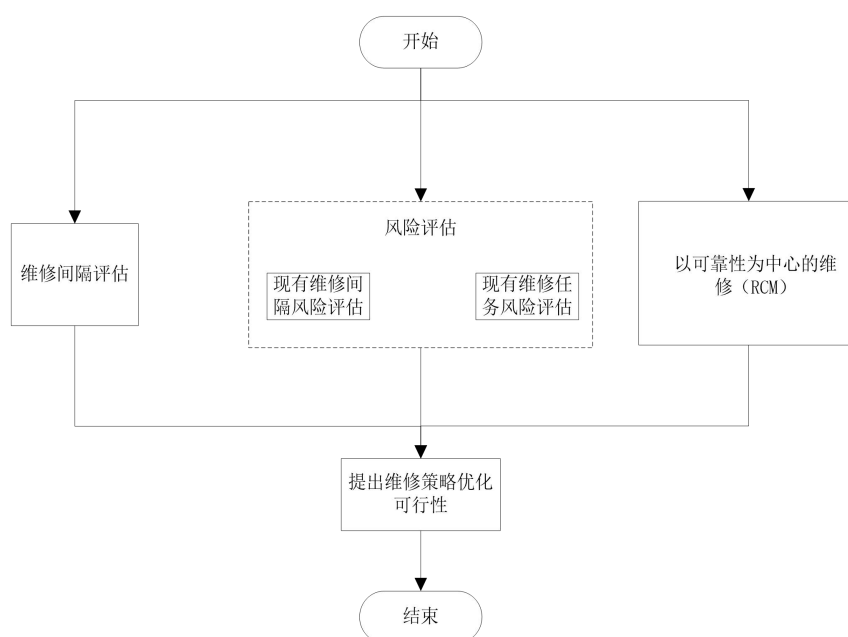


图1 维修策略评估流程

5 维修间隔评估

5.1 实施流程

建立地铁车辆系统、部件的可靠性、经济性、可用性评估模型，评价规定条件下的可靠性、可用性以及经济性水平，综合考量可靠性、可用性以及经济性分析结果，评价车辆系统、部件的维修间隔延长潜力，确定最佳维修间隔。评估流程如图2。

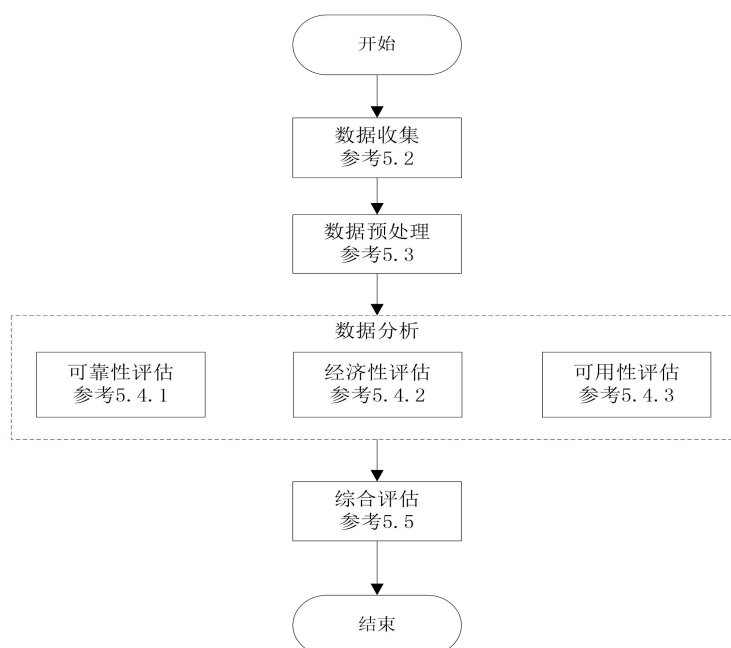


图2 维修间隔评估流程

5.2 数据收集

按照《城市轨道交通 地铁车辆维修策略优化方法 第2部分 运维检修数据要求》第7章的要求收集《城市轨道交通 地铁车辆维修策略优化方法 第1部分 总则》第6章规定的输入数据。

5.3 数据预处理

对故障数据进行预处理，支撑数据分析：

- a) 在一次工作中出现的同一部件或设备的间歇性故障或多次报警只计为一次故障；
- b) 当可证实多个故障模式是由同一器件的故障引起的时候，整个事件计为一次故障；
- c) 在有多个零部件或单元同时故障的情况下，当不能证明是一个故障引起了另一些故障时，每个元器件的故障均计为一次独立的故障；
- d) 已经报告过的故障由于未能真正修复而又再次出现的，应和原来报告过的故障合计为一次故障；
- e) 由于独立故障引起的从属故障不计入故障次数；
- f) 试验对象或其部件计划内的拆卸事件不计入故障次数；
- g) 零部件的轻微缺陷，若不丧失规定功能，并且能够按照维修规程通过工作前检查和工作后检查等予以原位修复（不引起拆卸）的事件，如松动、漂移、噪声、渗漏等，不计入故障次数；
- h) 已确认为非关联故障的故障不计入故障次数。其中，非关联故障是指已经证实是未按规定的条件使用而引起的故障，或已证实仅属某项将不采用的设计所引起的故障。

5.4 数据分析

5.4.1 可靠性评估

根据车辆的故障数据、试验数据等实施分布拟合，构建车辆系统、部件的可靠性评估模型。

$$R(T) = e^{-\int_0^T \lambda(t) dt} \quad (1)$$

式中：

$\lambda(t)$ 为失效函数。

常用失效分布模型有指数分布、正态分布、对数正态分布和威布尔分布等，具体分布模型按实际需求选用。

评估如下指标：

- a) 车辆系统、部件的可靠度、故障率；
- b) 根据可靠度约束值，评估可靠性间隔。可靠度约束值（推荐值）定义如下：
 - 1) 发生功能故障：
安全类部件，可靠度不低于 0.9；秩序类部件，可靠度不低于 0.8；其余部件，可靠度不低于 0.7。
 - 2) 仅有潜在故障：
安全类部件，可靠度不低于 0.85；秩序类部件，可靠度不低于 0.75；其余部件，可靠度不低于 0.65。

其中，安全秩序类部件分类可参考《城市轨道交通 地铁车辆维修策略优化方法 第1部分 总则》8.1.6。

5.4.2 经济性评估

根据收集的车辆系统、部件的经济性数据，包括预防性维修成本和修复性维修成本数据，构建车辆系统、部件经济性评估模型。

$$C(T) = \frac{C_p R(T) + C_f F(T)}{T} \quad (2)$$

式中：

C_p —一个周期内平均预防性维修成本，包括直接维修成本和间接成本；

C_f —一个周期内平均修复性维修成本，包括直接维修成本和间接成本；

$R(T)$ —一个周期内的可靠度函数；

$F(T) = \int_0^T \lambda(t) dt$ —一个周期内累积失效概率， $\lambda(t)$ 为失效函数。

评估得到最低费用条件下车辆维修间隔。其中， T 为时间或里程。

5.4.3 可用性评估

根据检查记录及故障数据中记录的车辆系统、部件预防性维修停机时间与修复性维修停机时间，构建车辆系统、部件的可用性评估模型。

$$A = 1 - \frac{T_p + T_c \int_0^T \lambda(t) dt}{T} \quad (3)$$

式中：

T —一个周期的时间总量 = 评估周期（小时）× 评估对象数量

T_p —一个周期内预防性维修时间；

T_c —一个周期内修复性维修时间；

$\lambda(t)$ —失效函数

5.5 综合评估

以系统、部件的可靠性间隔为核心依据，平衡经济性与可用性，兼顾维修成本、故障损失与系统、部件的可用水平，适配现有的检修周期框架，衔接当前检修周期体系，综合权衡后最终确定最佳维修间隔。

6 风险评估

6.1 总体原则

车辆系统、部件的维修任务进行风险评估时，需遵循以下原则：

- a) 对于影响行车安全、秩序的相关维修任务，宜全面执行风险评估；
- b) 其它维修任务，根据需求，选择性执行风险评估。

6.2 现有维修间隔风险评估

以车辆系统、部件的维修任务为对象，识别潜在失效模式及影响，结合风险评价准则，实施风险评估，实现维修间隔优化。

- a) 以车辆系统、部件现有维修任务为分析对象，逐条进行风险评估，判定维修任务潜在失效模式的风险严重度等级；
- b) 结合车辆运行数据、检修维护数据，对现有的维修任务进行风险评估，判定风险频率等级；
- c) 按照 GB/T 21562 风险评价准则，明确风险的可接受程度，对于不可接受的项点，需补充维修任务或调整间隔，直至风险可接受。对于不可接受的项点，在补充或调整有效措施之前，不建议进行维修策略优化。

6.3 现有维修任务风险评估

针对车辆系统、部件技术的升级迭代以及车辆运行环境的变化，以最小维修单元为对象，识别潜在失效模式及影响，结合风险评价准则，实施风险评估，实现维修任务优化。

- a) 对特定或更改的车辆系统、部件结构和功能划分至最小维修单元；
- b) 对系统、部件的结构和功能进行分析，包括基本功能和冗余功能；
- c) 分析每个功能对应的故障模式，识别所有的故障模式可能会导致的故障后果；
- d) 判断故障后果是否安全相关，如安全相关，结合现有故障数据，按照 GB/T 21562 风险评价准则，对相关部件进行风险评估，判定风险等级；如故障后果非安全相关，可选择性执行风险评估。对于风险评估结果为不可接受的项点，需补充维修任务，直至风险可接受，对于不可接受的项点，在补充有效的维修任务之前，不建议进行维修策略优化。

7 以可靠性为中心的维修分析

7.1 总体原则

通过 RCM 分析，重新制定维修策略，需遵循以下原则：

- a) 优先考虑对安全和性能至关重要的系统或部件的维护，确保其功能在关键时刻可靠运行；
- b) 维修策略不得降低系统设计时的安全性要求，确保所有维护措施支持并维持原始设计的安全标准；
- c) 全面识别所有可能的故障模式，评估每个模式对安全、性能和维护的影响；
- d) 维护任务应针对具体的失效模式，制定相应的维护策略；
- e) 维护任务的成本应与其带来的效益相平衡，避免不必要的高成本维护；

- f) 维护策略需确保操作过程中不损害人员安全和环境，合理处理废弃物和化学品，确保操作人员的安全。

7.2 实施流程

参考既有/相似地铁车辆历史运行数据，实施RCM分析，优化车辆系统、部件维修任务；通过综合权衡车辆可靠性、可用性以及经济性，建立车辆新维修策略，包含：计划性维修任务、状态修任务以及修复性维修任务等。实施流程如图3。

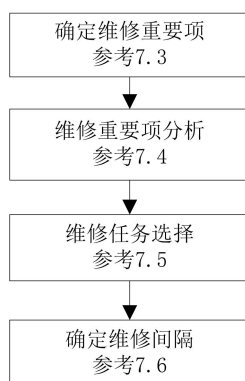


图 3 RCM 实施流程

7.3 确定维修重要项

参考 GJB 1378A 重要功能产品的确定原则和确定步骤，确定维修重要项：

- 从系统功能实现的角度，将功能关联关系密切的单元作为功能组，构建轨道车辆的系统功能结构树；
- 根据系统功能结构树，对功能组或子系统层级宜使用故障树分析（FTA）、故障模式、影响与关键性分析（FMECA）等方法进行维修重要项判定。

注：如某一功能组/子系统被确定为维修重要项，则应继续判定其他功能组/子系统是否为维修重要项。此过程反复进行，直至所有功能组/子系统完成维修重要项判断。

系统或设备的故障影响在以下范围内的，应为维修重要项：

- 可能影响运行安全；
- 可能影响运行秩序；
- 可能导致重大的经济损失；
- 可能对环境造成重大污染或破坏的；
- 隐蔽功能故障与另一有关的或备用产品的故障的综合导致上述一项或多项影响；
- 可能产生从属故障导致上述一项或多项影响。

7.4 维修重要项分析

通过对维修重要项的故障影响进行分析，对故障影响进行分类，如表 1，可结合车辆的实际运行情况进行调整。

表 1 故障影响表

序号	故障影响分类	说明
1	安全类影响	功能故障或由该功能故障引起的二次损伤，或与其它功能故障的结合，会对车辆的运行安全、司乘人员的人身安全产生直接不利影响。
2	秩序类影响	功能故障或由该功能故障引起的二次损伤，或与其它功能故障的结合，会对线路的运行秩序产生直接不利影响。
3	使用/经济类影响	功能故障或由该功能故障引起的二次损伤，或与其它功能故障的结合，会对旅客的乘坐舒适性产生直接不利影响。
		功能故障无安全类、秩序类、使用类影响，但会增加车辆的使用或保障人力、物力或其他资源的影响。

根据故障能否被设备使用人员在正常履职时发现，对故障影响进一步划分为明显安全类、明显秩序类、明显使用类、明显经济类影响和隐蔽安全类、隐蔽秩序类、隐蔽使用类、隐蔽经济类影响。按照图 4 进行故障影响分析。

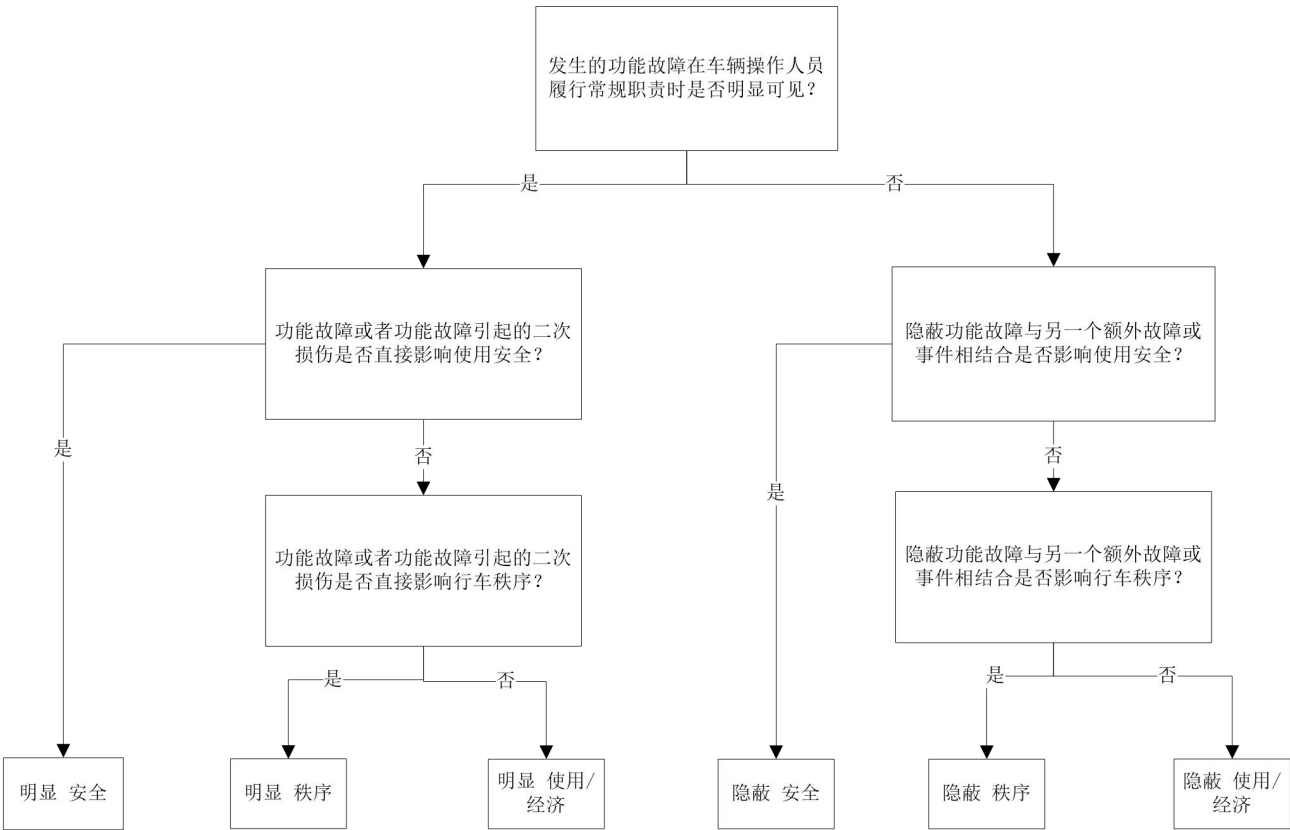


图 4 故障后果分析逻辑决断图

7.5 维修任务选择

预防性维修任务分为 6 种，如表 2。

表 2 维修任务分类

序号	维修任务分类	分类说明
1	润滑/保养	为保持项目固有的设计性能而进行的表面清洗、擦拭、通风、添加油液或润滑剂、充电、充气、紧固和调整等作业，不包括功能检测和使用检查等工作。
2	目视检查/操作检查	按计划进行的，以检查隐蔽功能故障为目的的维修任务，用于确定项目能否执行规定功能。
3	检查/状态监测	按计划进行的，以检查潜在故障为目的的维修任务，用于确定项目功能状态是否在限定限度内。通过感觉辨认异常现象或潜在故障，如通过对气味、声音、振动、温度、外观、操作力等变化的辨识及时发现异常现象或潜在故障。其中，检查是指需要借助利用工具进行的维修工作，如间隙、尺寸检查。
4	计划性拆修	项目使用到规定的使用维护条件（时间、里程或动作次数等）予以拆修，使其恢复到规定的状态和性能。
5	计划性报废	项目使用到规定的使用维护条件（时间、里程或动作次数等）予以废弃，更换新品或符合规定要求的项目。
6	综合工作	实施两种或多种类型的预防性维修任务。

应从维修任务的适用性、有效性角度选择维修任务：

- a) 应按附录 A 中的明显类故障维修任务选择逻辑确定明显类故障的维修任务；
- b) 应按附录 B 中的隐蔽类故障维修任务选择逻辑来确定隐蔽类故障的维修任务；
- c) 应根据故障原因，选择对应的维修任务类型。未找到任务类型的维修项目，应根据其故障后果的严重程度确定是否更改设计；
- d) 在使用/经济类影响的故障的分析中，如分析结果满足适用性和有效性条件，则可退出逻辑分析；
- e) 在安全类的故障分析完成后，可选择所有的预防性维修任务；
- f) 在秩序类影响的故障分析完成后，应选择最有效的预防性维修任务。

7.6 维修间隔确定

可参考以下信息以确定维修间隔：

- a) 产品供应商提供的数据；
- b) 相似产品的数据；
- c) 已有的现场故障统计数据；
- d) 有经验的分析人员的判断。

最优的预防性维修工作间隔期只有在产品投入使用后才能得到。在有一定的故障数据的基础上，以系统、部件的可靠性间隔为核心依据，平衡经济性与可用性，兼顾维修成本、故障损失与系统、部件的可用水平进行维修间隔评估，在缺少有关故障率、维修费用等数据时，维修间隔可根据相似产品的数据和分析人员的经验判断来确定。

8 提出维修策略优化可行性

结合风险评估与维修间隔评估结果，判定维修策略优化的可行性，包括但不限于：

- a) 评估维修策略优化方案与现有检修体系、资源配置的适配性，确认落地条件成熟，则具备可行性；
- b) 评估维修策略优化后在满足可靠性要求后，收益大于改造成本则具备可行性。

附录 A

(资料性)

明显类故障维修任务选择逻辑决断

A.1 明显类故障维修任务选择逻辑决断

明显类故障维修任务选择逻辑决断应按图A.1的要求进行。

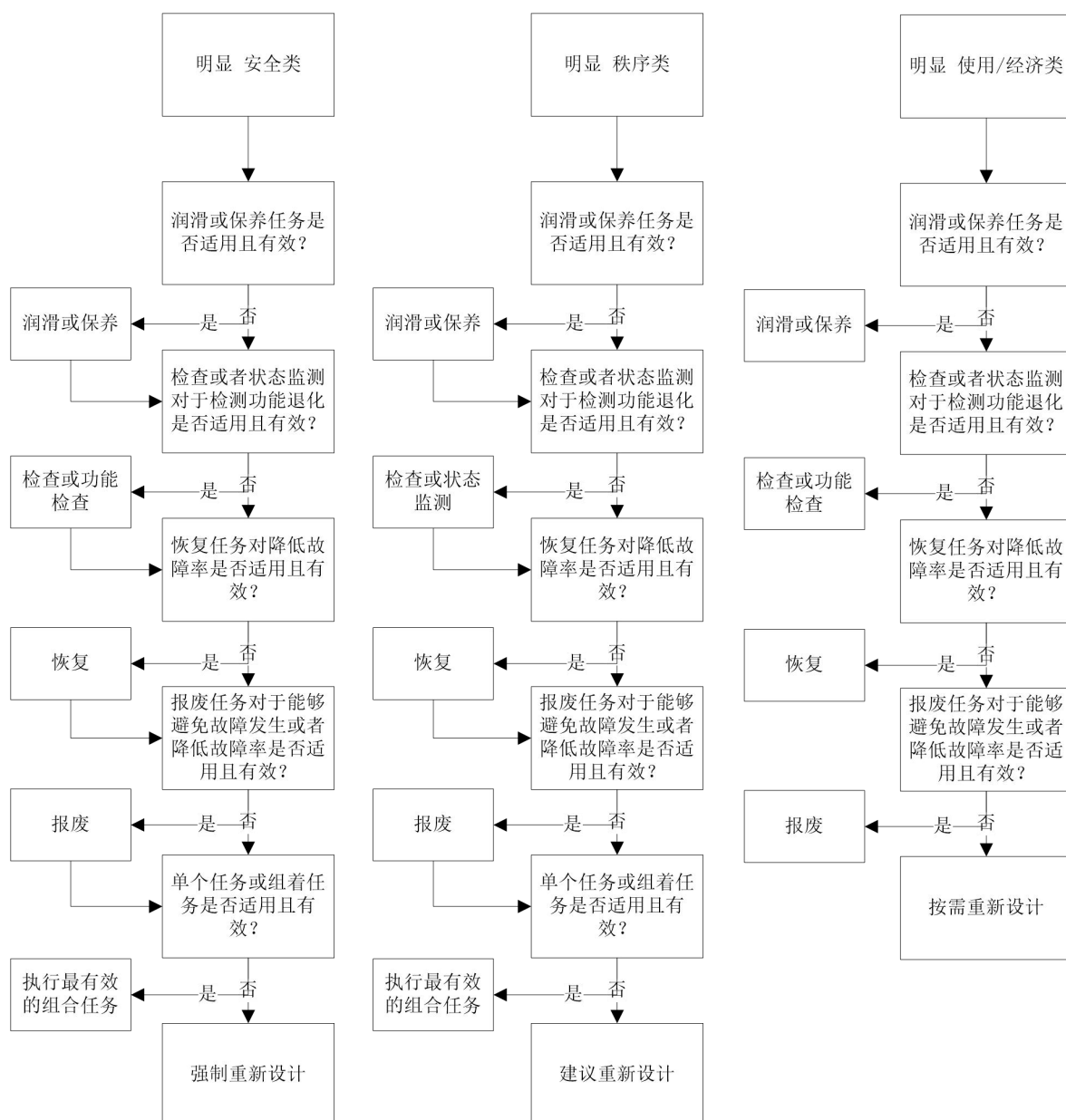


图 A.1 明显类故障维修任务选择逻辑决断

附录 B

(资料性)

隐蔽类故障维修任务选择逻辑决断

B.1 隐蔽类故障维修任务选择逻辑决断

隐蔽类故障维修任务选择逻辑决断应按图B.1的要求进行。

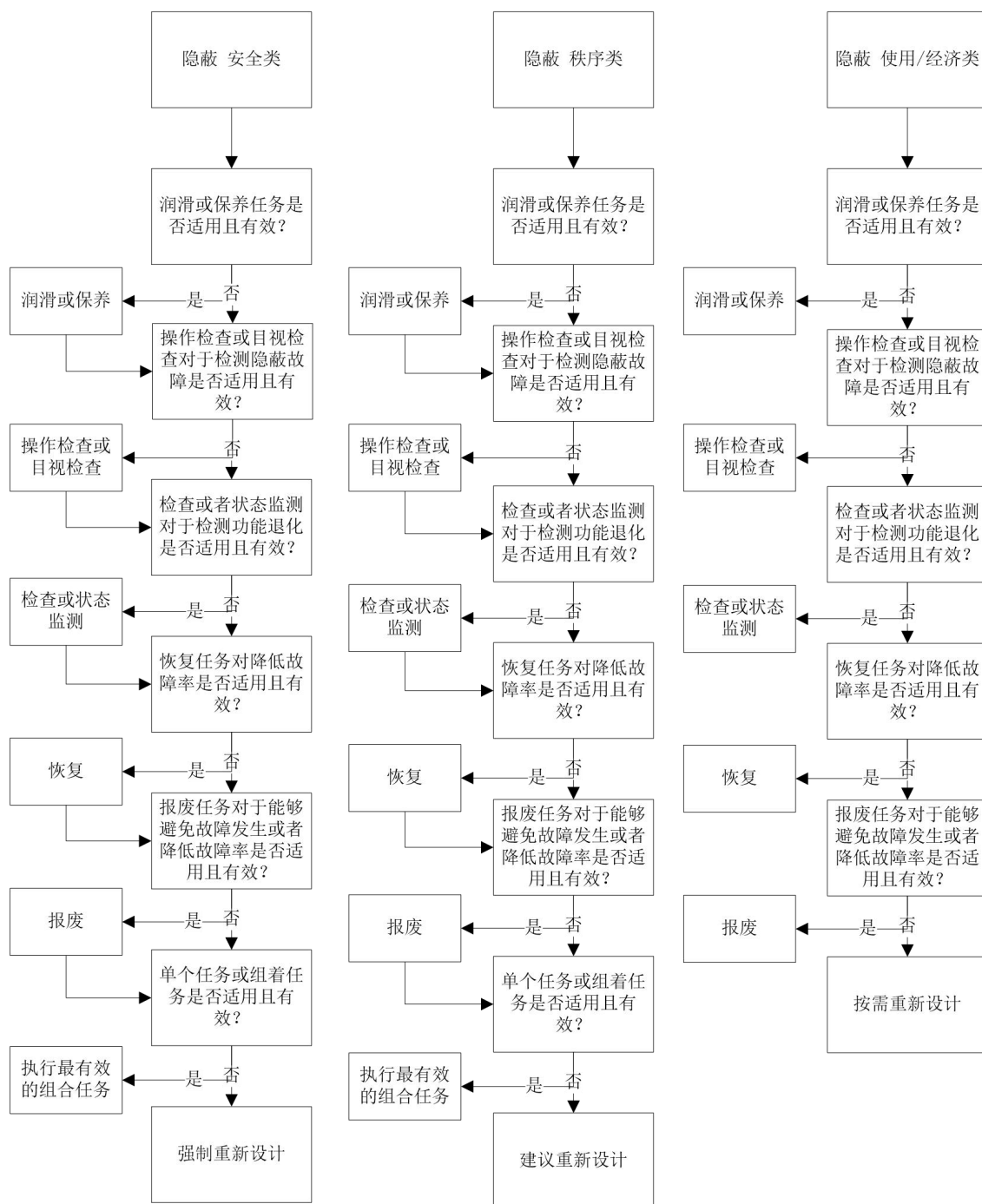


图 B.1 隐蔽类故障维修任务选择逻辑决断