



中华人民共和国电力行业标准

DL/T 302.2 — 2011

火力发电厂设备维修分析技术导则 第 2 部分: 风险维修分析

Equipment maintenance analysis guideline for power plant
Part 2: risk-based maintenance (RBM) analysis

2011-07-28 发布

2011-11-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 术语和定义	1
3 设备风险维修分析方法	1

前 言

DL/T 302《火力发电厂设备维修分析技术导则》共分为两个部分：

——第1部分：可靠性维修分析；

——第2部分：风险维修分析。

本部分是 DL/T 302 的第2部分。

本部分由中国电力企业联合会提出。

本部分由电力行业电站金属材料标准化技术委员会归口。

本部分起草单位：西安热工研究院有限公司。

本部分主要起草人：李耀君、范长信、孙玺。

本部分在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

引 言

本标准是根据国家发展和改革委员会办公厅关于印发 2008 行业标准计划的通知（发改办工业〔2008〕1242 号文）的安排而制订的，制订的目的是提供一种对火力发电厂设备检验与维修过程中的工作策略和决策过程进行优化的分析技术，以保证和提高设备检验与维修工作的合理性、经济性和可靠性。

开展风险维修分析的主要目的是合理控制设备失效风险；优化设备检验和维修计划；提高设备可用率；减少维修费用；制订长期设备管理策略；设备管理知识的积累与传承。

风险维修分析是提高设备维修合理性，减少维修成本的有效方法之一。本标准系统介绍了风险维修分析的流程，给出了分析的基本过程。

火力发电厂设备维修分析技术导则

第 2 部分：风险维修分析

1 范围

本标准规定了以风险分析为基础的维修分析的基本要求与方法；确立了火力发电厂设备风险管理程序的一般原则。

本标准适用于火力发电厂设备和系统的维修策略分析、风险管理、检验与维修计划调整。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

2.1

风险维修 risk-based maintenance (RBM)

风险维修指以风险分析为基础的维修，是通过分析设备或部件的状态以确定其风险级别，据此制定相应的维修策略，从而将有限的维修资源投入到高风险的设备或部件上，获得最佳成本效益的一种设备维修分析方法。

2.2

风险 risk

风险是对人员伤害和经济损失潜在程度的度量，风险综合反映了一个负面结果（失效）发生的可能性（或者概率）以及对人员健康、财产或环境影响的严重程度。风险的计算式为：风险 = 失效可能性 × 损失大小。

3 设备风险维修分析方法

3.1 基本步骤

设备和系统风险维修分析方法的基本步骤如下：

- a) 前期准备工作；
- b) 确定重要设备；
- c) 风险分析；
- d) 维修策略制订。

3.2 前期准备工作

3.2.1 确定风险维修分析范围

应根据实际需要，确定风险维修分析的范围，可包括机组、系统、设备和部件等。

3.2.2 系统划分

系统划分应符合下列规定：

- a) 在整个机组范围内进行风险维修分析时应先进行系统划分；
- b) 宜以系统图为基础按照系统功能划分系统边界；
- c) 在系统内应按照设备的功能逐层划分，系统划分应细致、完整、没有遗漏；
- d) 可将选定的机组（例如 A 发电厂 1 号机组）分为系统（例如锅炉系统）、设备（例如过热器管）、部件（例如过热器管焊接接头）等多个层次。

3.2.3 确定风险维修分析期限

应预先确定监控设备失效风险的时间范围。例如：

- a) 当前风险。
- b) 到下次定期维修前的风险（如 1, 2, 5 年）。
- c) 长期风险（如 10, 20 年）。
- d) 以设备管理为目的进行风险维修分析时，宜进行中短期风险分析，以预测设备运行一个检修期内的失效风险。
- e) 以资产管理为目的进行风险维修分析时，宜进行长期风险分析，以预测设备运行 10 年和 20 年后应更换的部件。

3.2.4 信息收集

应收集下列有关信息：

- a) 设备设计、制造、安装、调试和运行信息，例如设备的构成、功能、设计裕度、制造与安装质量、当前及历史运行状况等；
- b) 设备的故障信息，例如设备的故障类型、故障原因和影响、可能的检测方法等；
- c) 设备的维修信息，例如维修方法和所需的人力、设备、工具、备件等；
- d) 费用信息，包括预防性维修的费用，以及所需维修设备的研制和维修费用等；
- e) 其他电厂同类设备的上述信息。

3.2.5 选择辅助分析工具软件

可选择风险维修分析软件进行评估，以提高分析效率。

3.3 确定重要设备

在整个机组范围内进行分析时，应首先确定重要设备。重要设备是指一旦失效可能会对整体安全、环境、经济性有重大影响设备，只对重要设备进行风险分析。

3.4 风险分析

3.4.1 故障预想

进行风险分析前，应参考过去的经验及相关维修和事故记录对其主要部件进行故障预想。

故障预想分析应包括以下步骤：

- a) 分析设备的主要功能；
- b) 分析设备的故障类型（现象）、原因和影响；
- c) 确定实际可能发生的重要故障并进行评价。

3.4.2 确定失效可能性

3.4.2.1 定性方法

根据过去的经验、定期维修结果、本厂事故记录、其他厂事故记录等定性评价，确定失效可能性。失效可能性应按照从小到大的顺序分为 I、II、III、IV 四个级别，即微、低、中、高四级，见图 1。

失效可能性	高	II	III	IV	IV
	中	II	II	III	IV
	低	I	I	II	III
	微	I	I	II	II
		小	大	严重	重大
		失效后果			

风险级别：I—希望的；II—有条件接受；III—不希望；IV—不允许

图 1 风险评级图

3.4.2.2 定量方法

应采用式 (1) 定量计算失效可能性：

$$Y = P \times (X_a + X_b + X_c + X_d + X_e) \quad (1)$$

式中：

P ——统计的损伤概率；

X_a ——设计因子，计算设计偏差对设备失效的影响度；

X_b ——制造、安装因子，计算制造、安装偏差对设备失效的影响度；

X_c ——运行因子，计算运行偏差对设备失效的影响度；

X_d ——检验和维修因子，计算检验和维修偏差对设备失效的影响度；

X_e ——管理因子，计算管理偏差对设备失效的影响度。

式 (1) 中 P 可通过以下方法确定：

- 通过失效统计确定损伤概率。该方法须在有大量实际失效数据的基础上才能使用。
- 通过寿命评估确定损伤概率。电厂高温金属设备长期运行后的失效机理有疲劳、蠕变、腐蚀等。如果确定了某一部件主要的失效机理，那么在材料使用条件（负荷、温度、应力、环境）确定的情况下可以对分析对象进行寿命评估，从而确定失效可能性。
- 通过模拟试验确定损伤概率。当设备运行时间较短、没有失效实例时，应在使用条件下通过模拟试验求出发生损伤的位置和形式概率。

3.4.3 确定失效后果

3.4.3.1 定性方法

设备失效后果分析应包括安全性分析和经济性分析，主要内容如下：

- 安全性分析主要考虑设备失效对运行人员和周围作业人员构成的威胁及对机组安全生产影响的严重程度。
- 经济性分析主要包括维修失效设备所需的费用、造成周边设备损坏的维修费用及设备停机造成的生产损失。经济性损失的可接受程度因设备的规模、重要性等不同而有差异。

综合考虑设备安全性和经济性的影响大小确定设备失效后果级别，按照严重程度由低至高可分为 A、B、C、D 四个级别，即小、大、严重、重大四级，见表 1。

表 1 失效后果的评级标准

等级	失效后果的评估结果
小	低于下述严重程度的事故
大	造成机组 24h 内延迟启动
严重	造成系统降出力，机组限负荷
重大	造成人员伤亡或机组非计划停机

3.4.3.2 定量方法

应采用式 (2) 定量确定失效后果：

$$C = FM \times CF_1 + CF_2 \times CF_3 \quad (2)$$

式中：

FM ——失效模式因子，对人员安全造成影响分析；

CF_1 ——设备损坏，直接经济性损失；

CF_2 ——单位时间停产损失；

CF_3 ——设备恢复需要时间。

3.4.4 风险评级

3.4.4.1 定性方法

通过对失效可能性和失效后果进行评级后，将评定结果标入图 1 所示的评级图中，可定性确定风险等级，风险等级从低到高分为 I、II、III、IV 四个级别，即“希望的”、“有条件接受”、“不希望”、“不允许”四级。通常用绿、黄、橙、红四种颜色表示。

3.4.4.2 定量方法

定量确定风险大小应采用式 (3) 的分析式：

$$R = YC \quad (3)$$

式中：

R ——风险；

Y ——失效可能性；

C ——失效后果。

3.4.5 风险排序

风险评级完成后，应根据风险大小进行排序，找出评估周期内的高风险设备。

3.4.6 维修策略制订

3.4.6.1 定性方法

应针对设备不同风险等级采用不同的风险控制与管理策略（见表 2），风险管理的基本原则是控制设备风险始终处于 II 级（有条件接受）风险程度。

当设备风险达到 III 级或 IV 级时，应采取表 2 中相应的维修策略，并再次对采取措施后的效果进行评估，使设备风险下降至 II 级。

当设备风险达到 IV 级，且采取的措施无法使设备风险降低时，可考虑对该设备进行更换。而风险 I 级的设备可考虑延长检修周期，减少检修内容，控制检修费用。

表 2 风险级别和维修策略

风险级别	含 义	维 修 策 略
I	希望的	在评估期限内，除规定的维修外，不需要安排其他维修和对策
II	有条件接受	如果已有合适的维修计划，则可以继续使用
III	不希望	在下次维修之前，应采取下列一种或几种措施降低风险等级。 (1) 改进检验或维修方法； (2) 改进运行或者管理方式； (3) 增加在线检测或监测； (4) 采取降低损失的对策
IV	不允许	立即采用 III 中 (1) ~ (4) 方法降低风险等级，直到“有条件接受”或“希望的”水平

3.4.6.2 定量方法

根据风险排序的结果与风险承受能力，采用等距划分或不等距划分的方法，划分风险的四个级别，并采取表 2 相同的维修策略。

3.4.7 维修计划的改进

根据设备对应的维修策略制订优化后的维修计划，以保证所有设备达到 I 级或 II 级风险。