



# POWER STATION RELIABILITY

## 电厂可靠性

---

DR ALLEN TAM 譚承斌 博士 (工程资产管理，可靠性工程)



CONTENT

目录

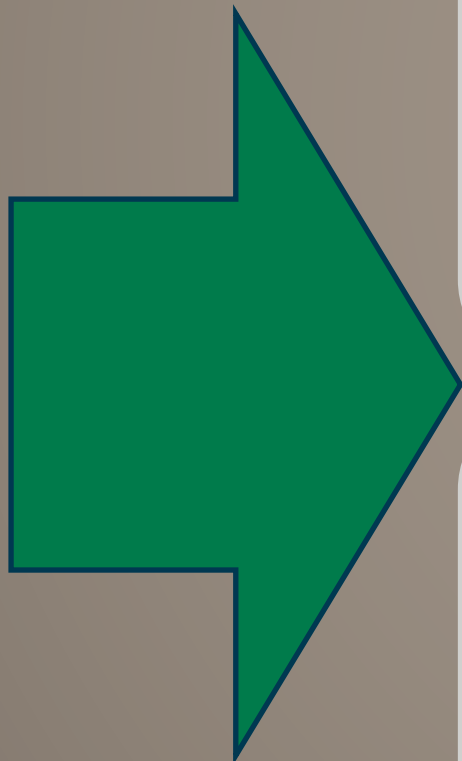
|               |        |
|---------------|--------|
| 简介            | 3      |
| 电厂维修信息化工程系统蓝图 | 4      |
| 闭环管理系统        | 5      |
| 数据分析          | 7-8    |
| 可靠性建模         | 9-16   |
|               | 制定维护策略 |
| 17-19         |        |
| 健康管理系统 / 人工智能 | 20-22  |

Do you want to  
您想要:

Improve Electricity  
Generation Efficiency  
提高发电效益

Improve Safety &  
Reliability  
提高安全性和可靠性

Scientific approach to  
Maintenance Strategy  
Development  
科学方法的维护策略



RCM  
以可靠性为中心的维护

- 设计和优化设备维护策略和程序的过程
- 制定中长期维护策略

RAM Models  
可靠性可用性与可维护性模型

- 一种预测系统总体性能的方法, 并确定子系统、组件的可靠性重要性
- 预测性能, 设计问题, 假设分析

RCA  
根本原因分析

- 确定系统故障和故障的根本原因的过程。
- 这一过程决定了各种问题的程度和导致失败的因素链, 以便我们能够防止未来的灾难事件。

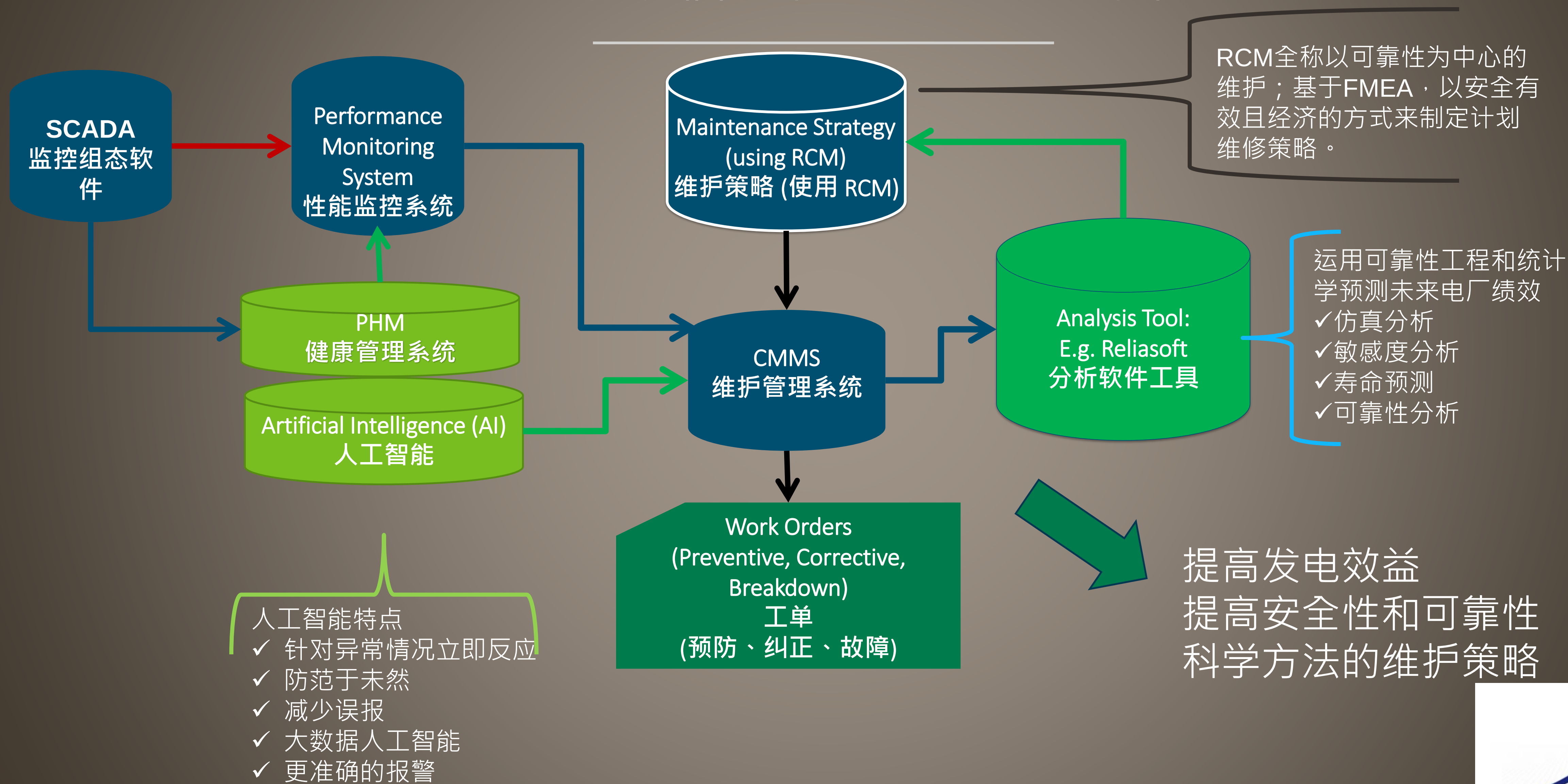
PHM  
健康管理系统

- 监测、预测和诊断设备性能
- 提前几分钟到几个小时预测

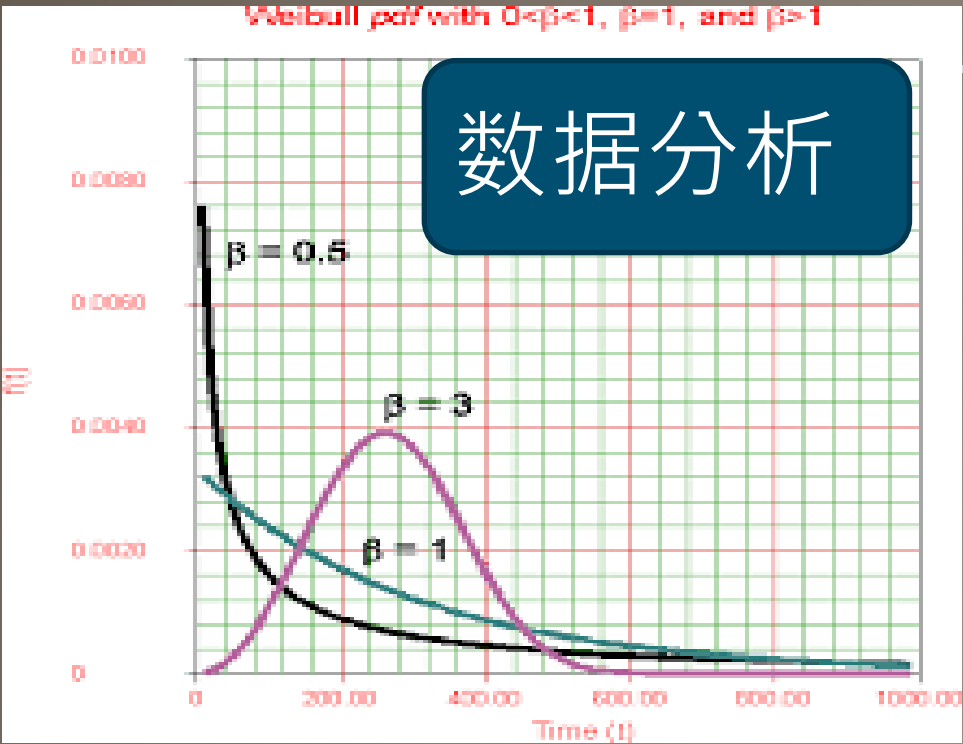


# Power station maintenance Information system Blueprint

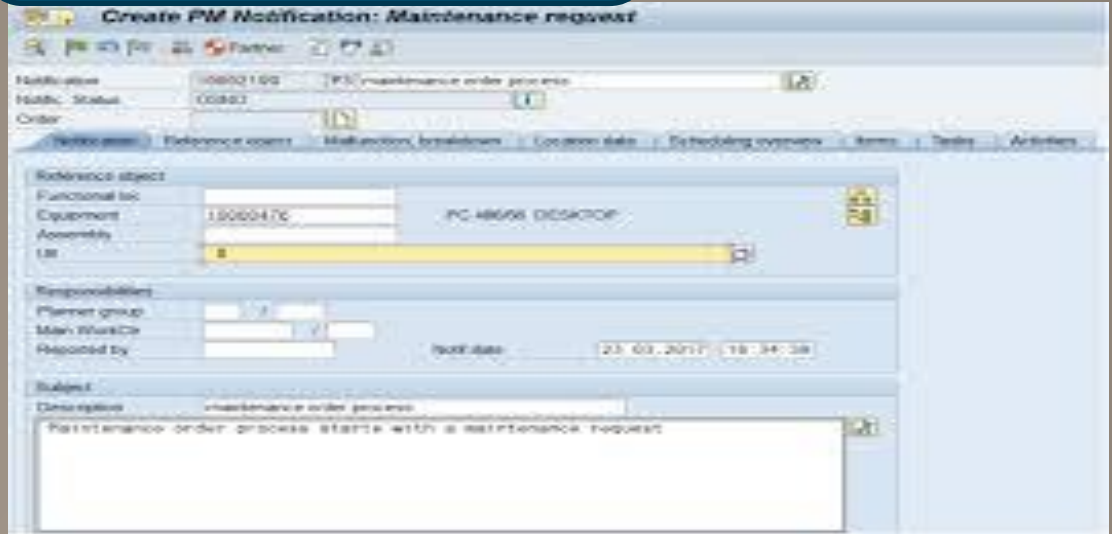
## 电厂维修信息化工程系统蓝图



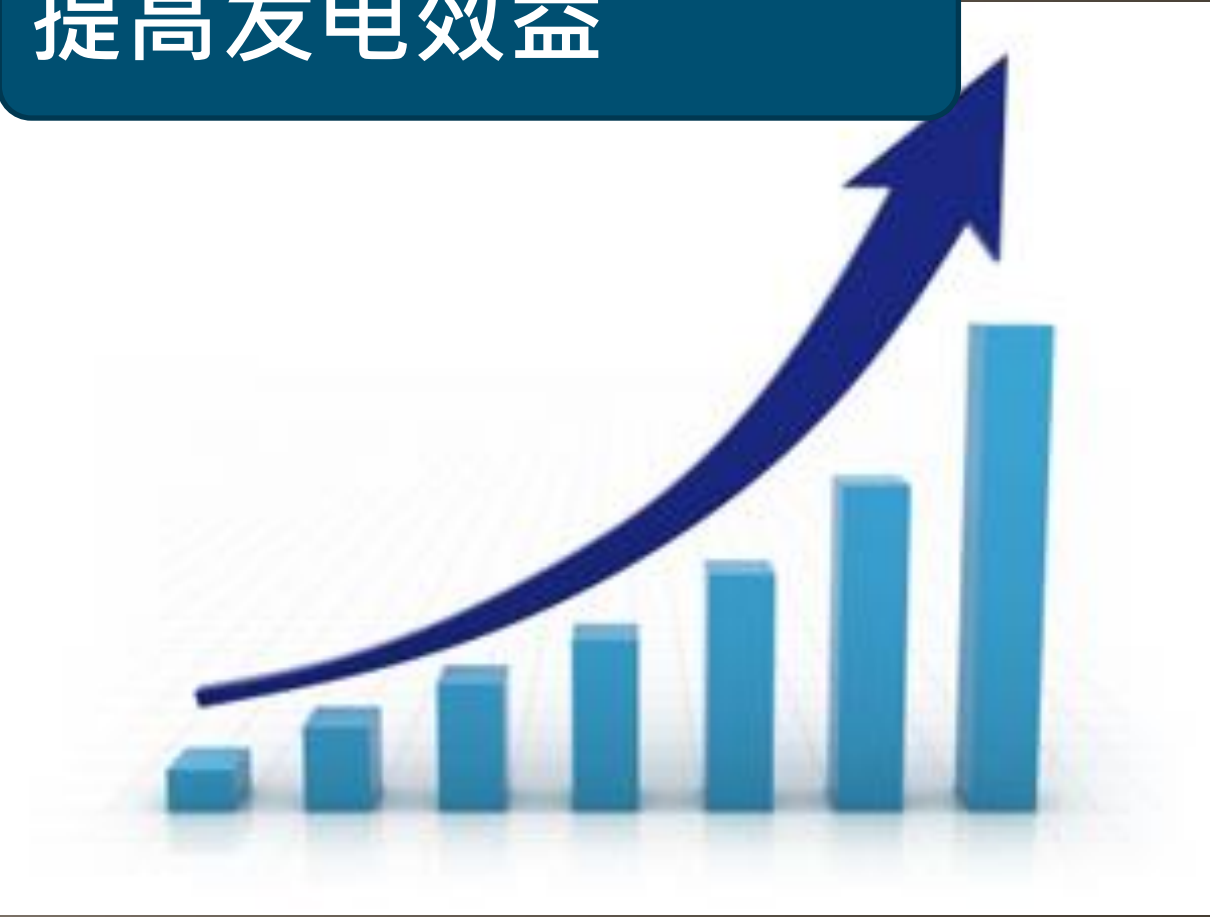
# Close loop Management Cycle 闭环管理系统



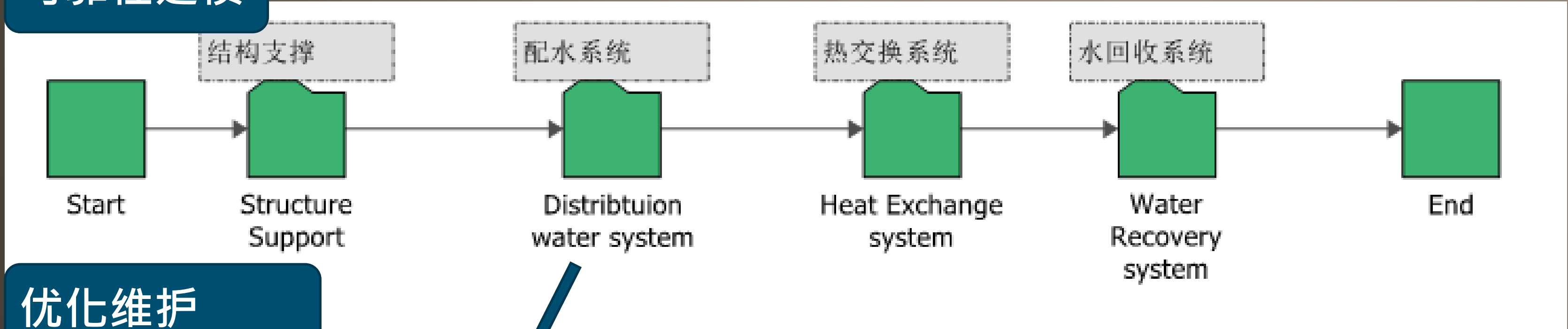
故障历史数据



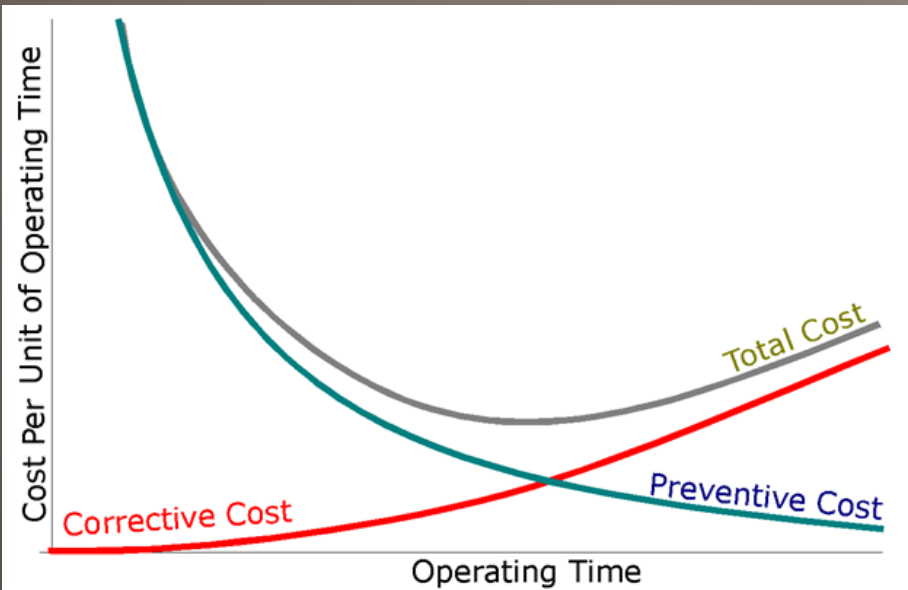
提高发电效益



可靠性建模



优化维护



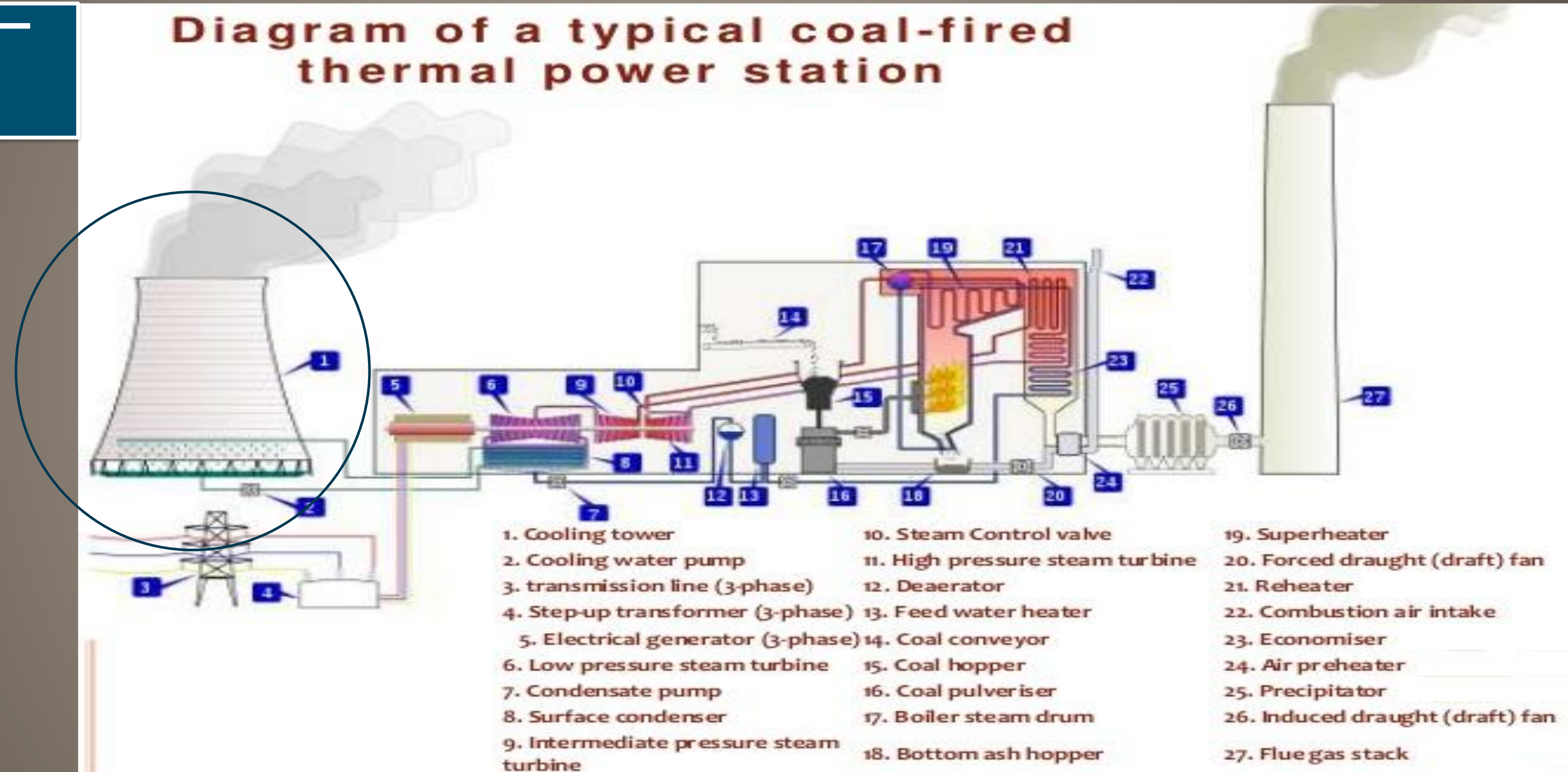
更新维护策略





这可以用于以下系统

# 火电厂





# Data analysis 数据分析

## Function 作用

- Predicts the life of a population of equipment by fitting statistical curves to life data of a representative sample.
- The analysis is suited for repairable, non-repairable equipment.
- Power Generation Reliability
- 通过现场数据分析, 预测总体设备寿命。
- 分析适用于可修复设备, 不可修复设备
- 分析发电可靠性

## Target 目标

- Statistical parameters of Equipment Life
- Estimate the life characteristics such as the reliability or mean life.
- 设备寿命统计参数
- 建立寿命特征, 如可靠性或平均寿命。

## Benefits 好处

- Scientific quantitatively analysis
- Need only small historical failure data to accurately predict performance
- 科学量化分析
- 只需要少量的历史故障数据, 作出准确预测

# Case Study 案例

## Data analysis 数据分析

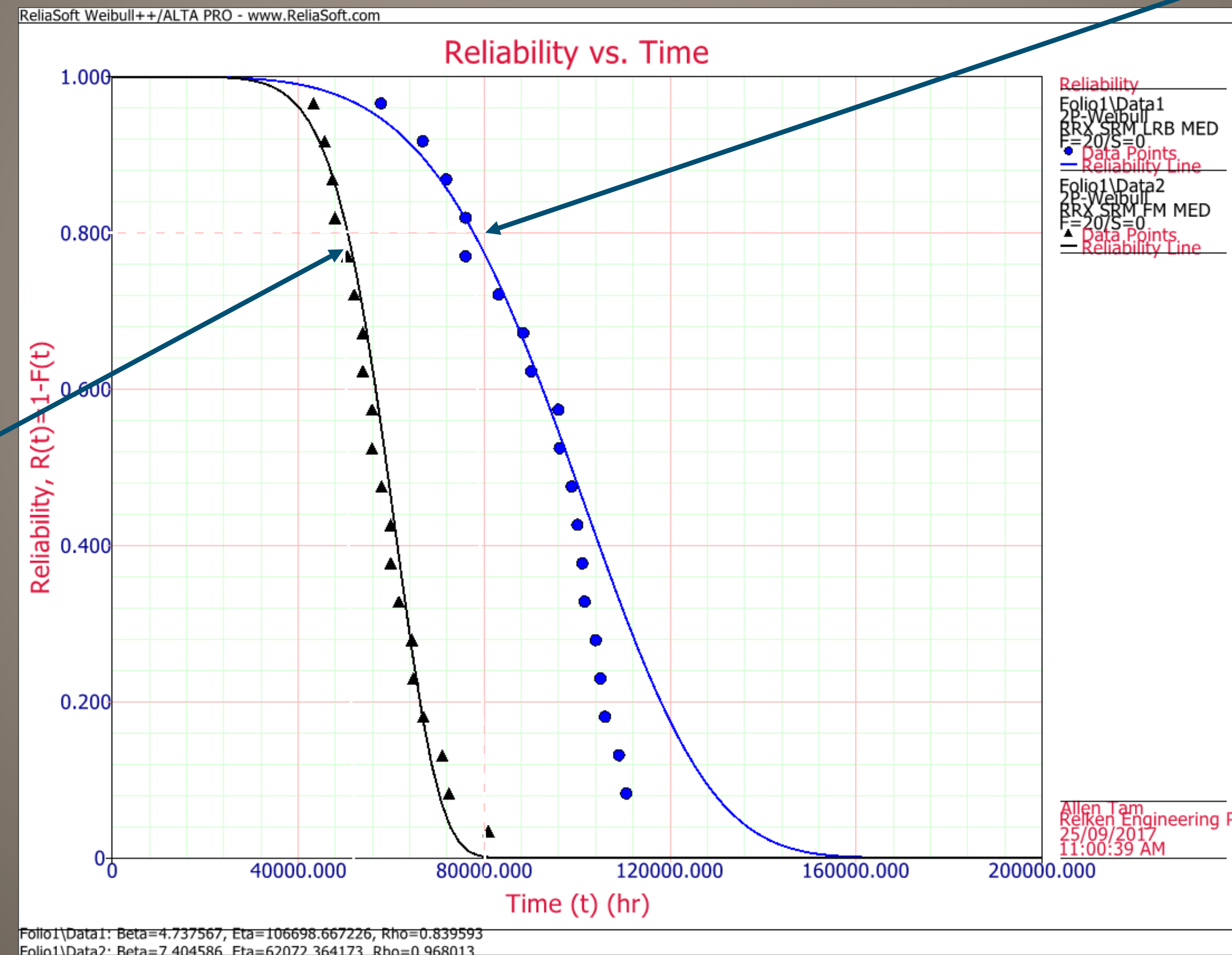
本案例探讨冷却塔水泵  
水泵故障会降低冷却效率, 可能导致停机  
哪个泵需要改进维修策略

泵1  
80%可靠性  
80000 小时

使用失效历史, 数据分析预测相似设备的寿命。  
在这里, 我们展示了2种相同工况的水泵的比较。  
泵1的可靠性比泵2好得多。

然后, 我们可以比较泵的设计和维修策略和历史,  
以了解为什么泵1 较好。

泵2  
80%可靠性  
50400 小时





# Reliability Block modelling

## 可靠性建模

### Function 作用

- Reliability modelling is the process of predicting or understanding the reliability of a component or system.
- What-if analysis
- 可靠性建模是用来理解组件, 子系统, 整体系统可靠性的关系
- 模拟仿真及分析

### Target 目标

- Component Reliability Relationship
- Critical Reliability Component
- 组件相互可靠性关系
- 关键可靠性组件

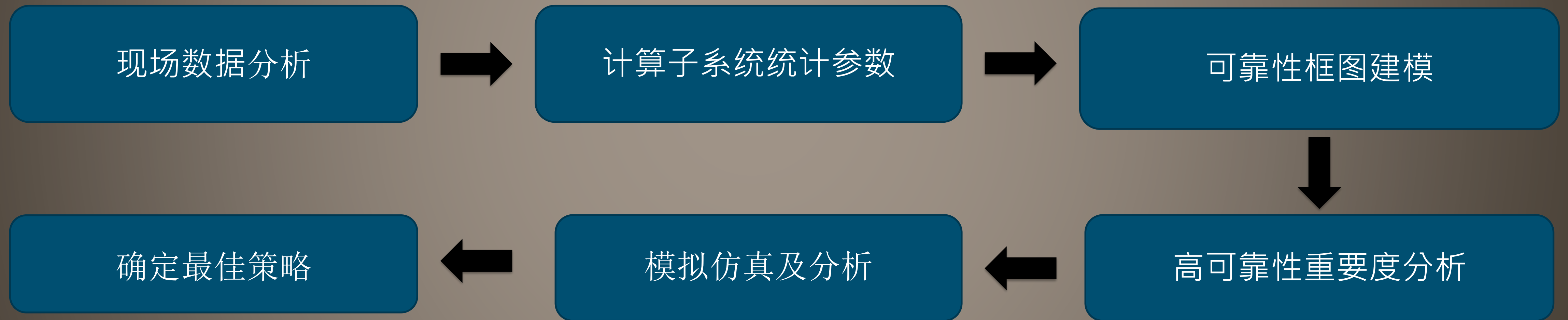
### Benefits 好处

- Predict a complete system's Reliability, Availability and Maintainability and Safety behaviour
- Able to include effects from logistics issues like spare part provisioning, transport and manpower
- 预测一个完整的系统的可靠性、可用性和可维护性以及安全性
- 能够包括后勤问题的影响, 如备件供应, 运输和人力

# Reliability Block modelling

## 可靠性框图建模案例

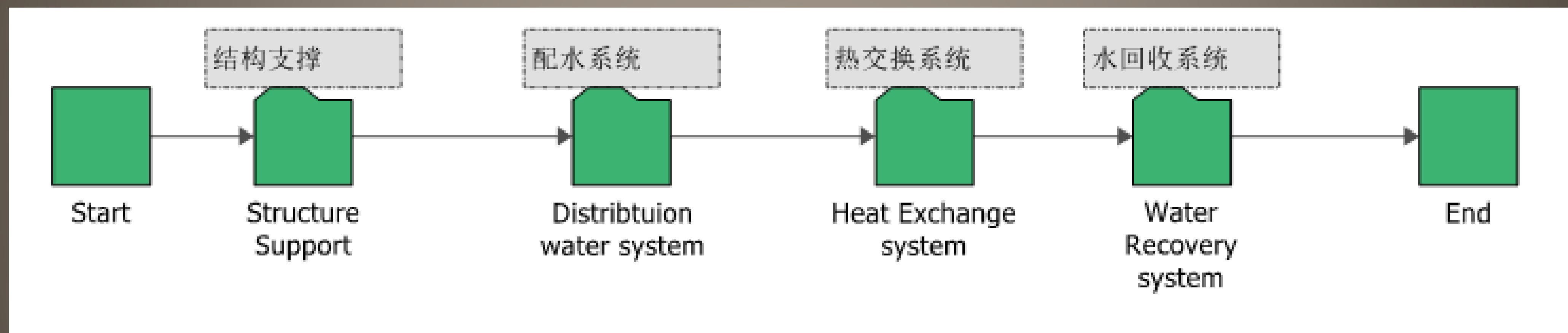
- 澳大利亚的一个发电厂
- 本案例探讨发电站的冷却塔系统可靠性框图建模



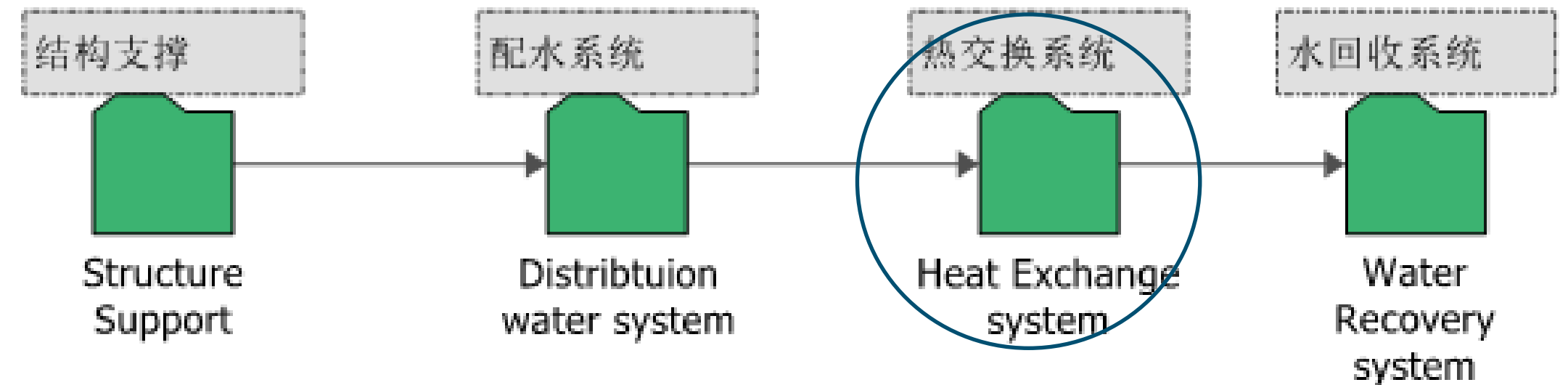
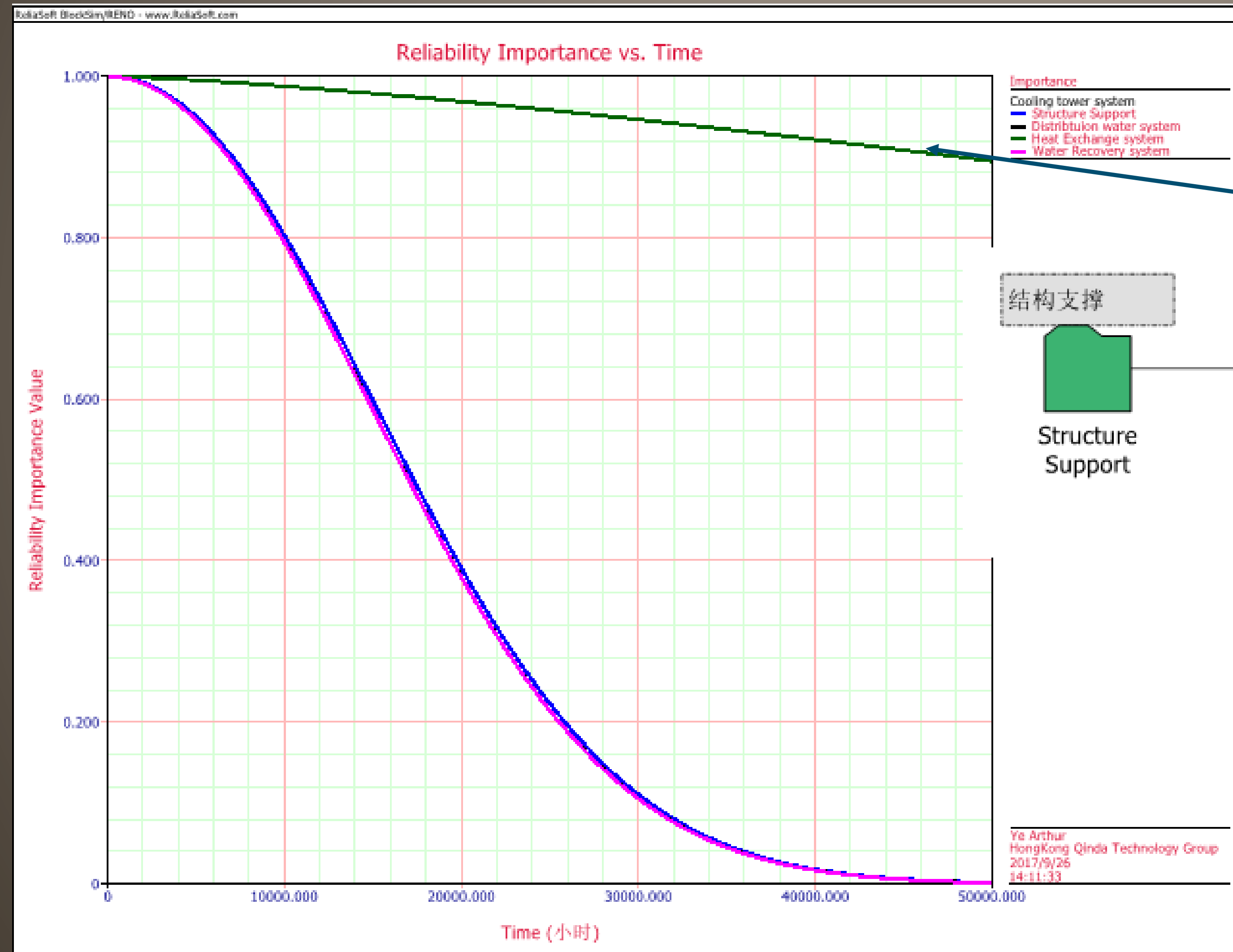


# 可靠性框图建模

## 冷却塔系统可靠性框图建模



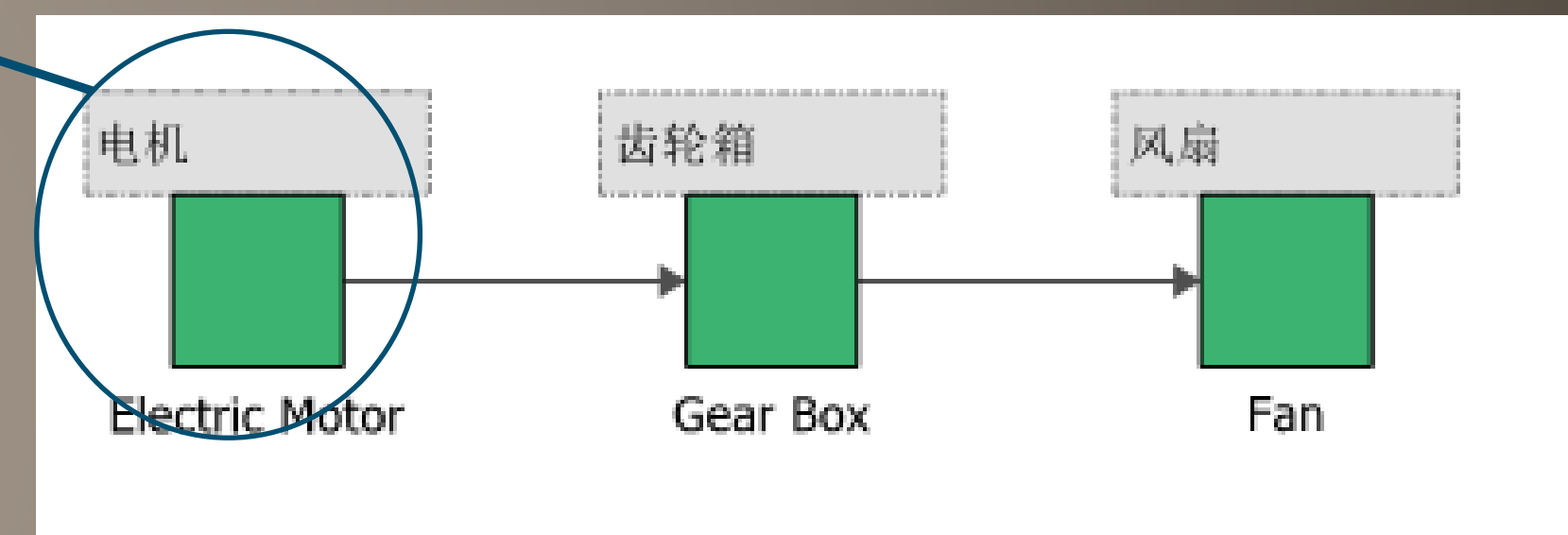
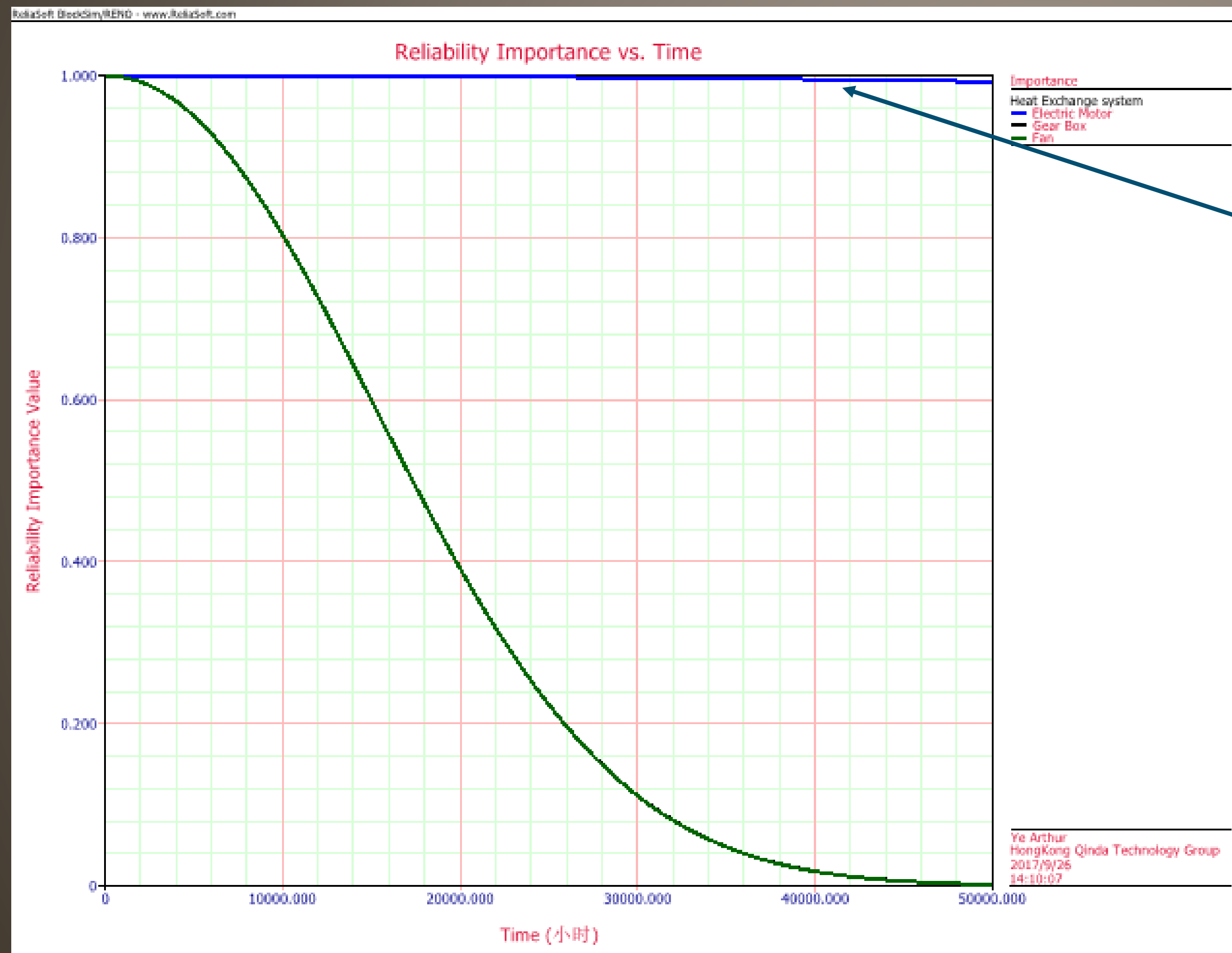
Heat Exchange system is the worse Performing system  
(i.e. high reliability importance)  
(高可靠性重要度分析)



结论:  
从数据分析发现热交换系统为表现最差的系统

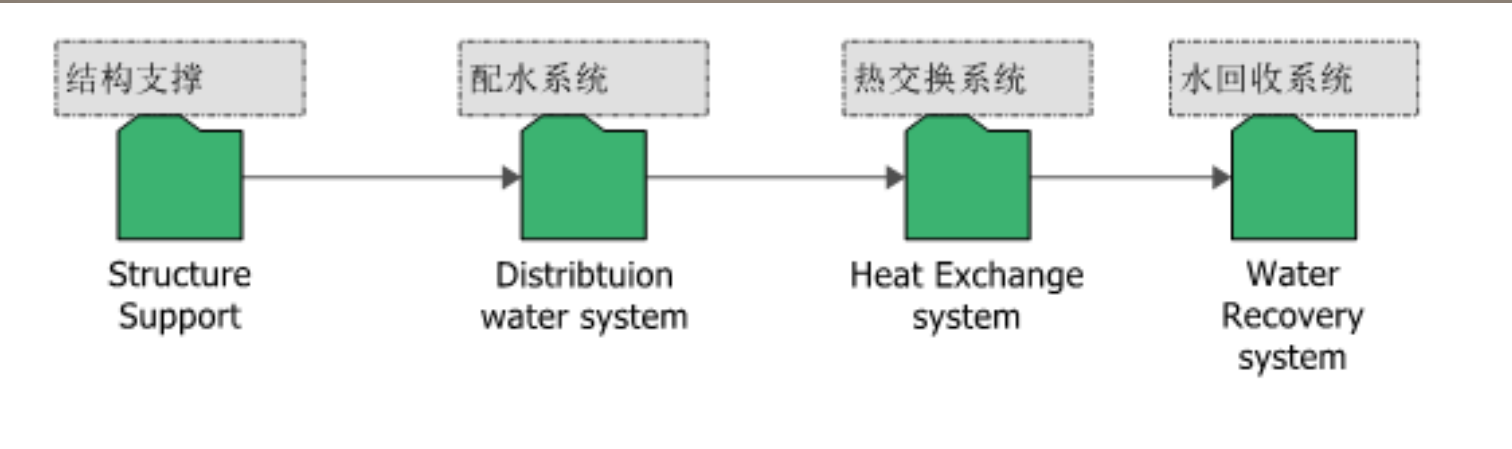


# 高可靠性重要度分析

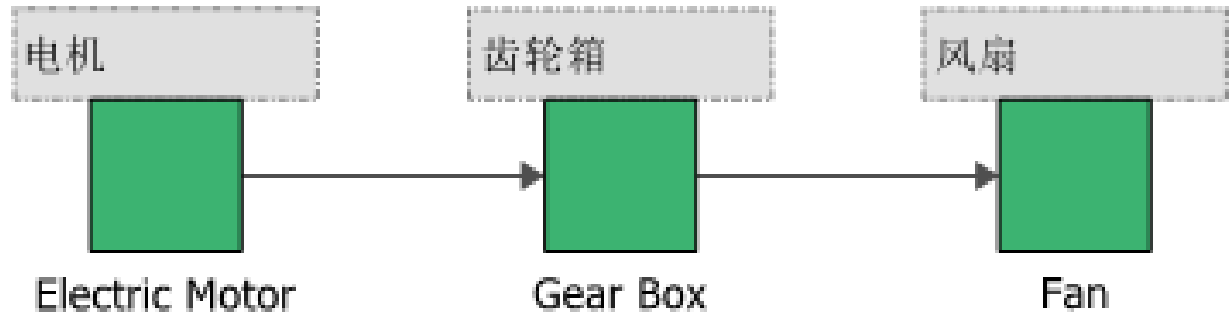


结论  
电机是热交换系统中最差的部件

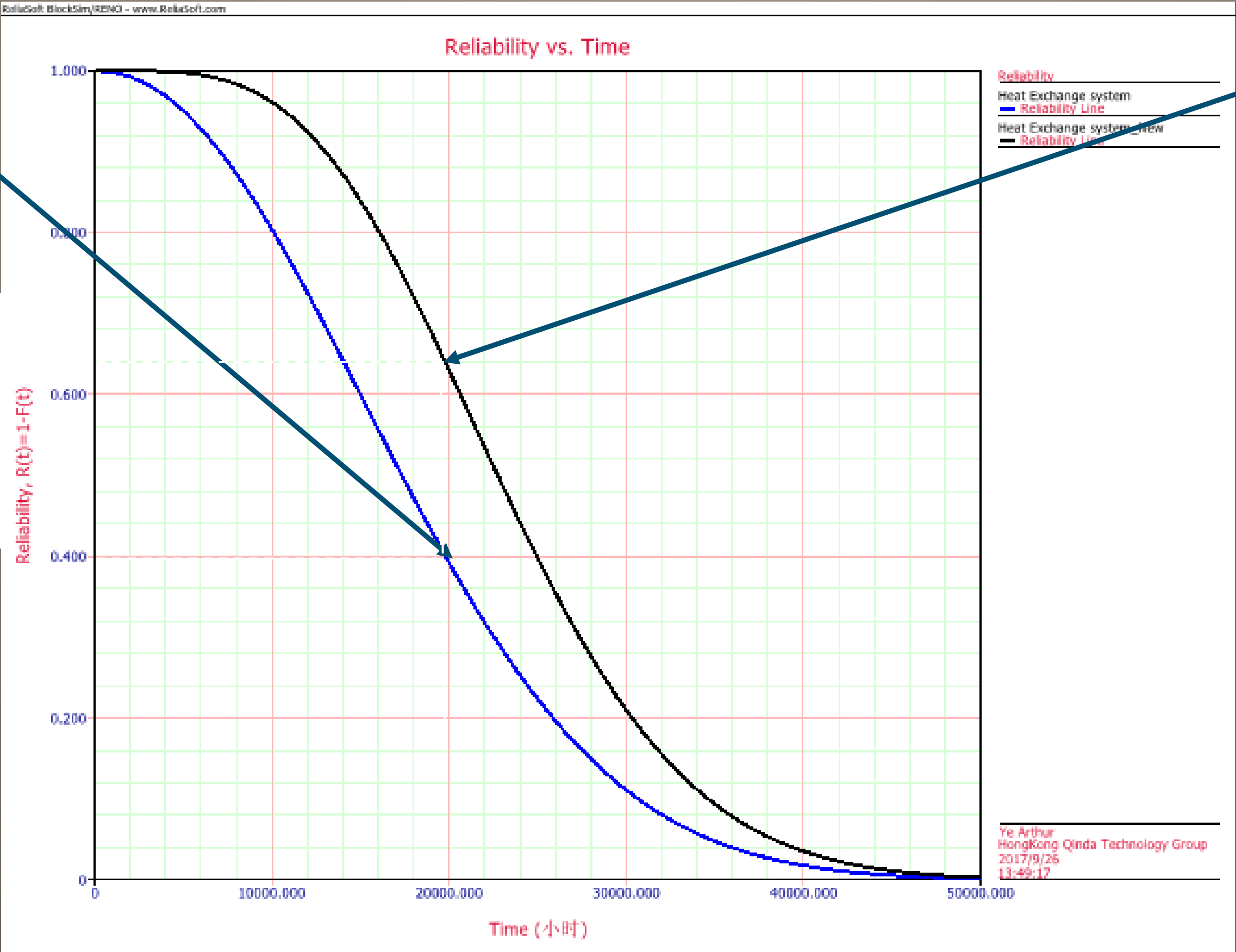
如果我们在热交换系统中额外增加一个电机作为备用，可靠性能够提升多少？



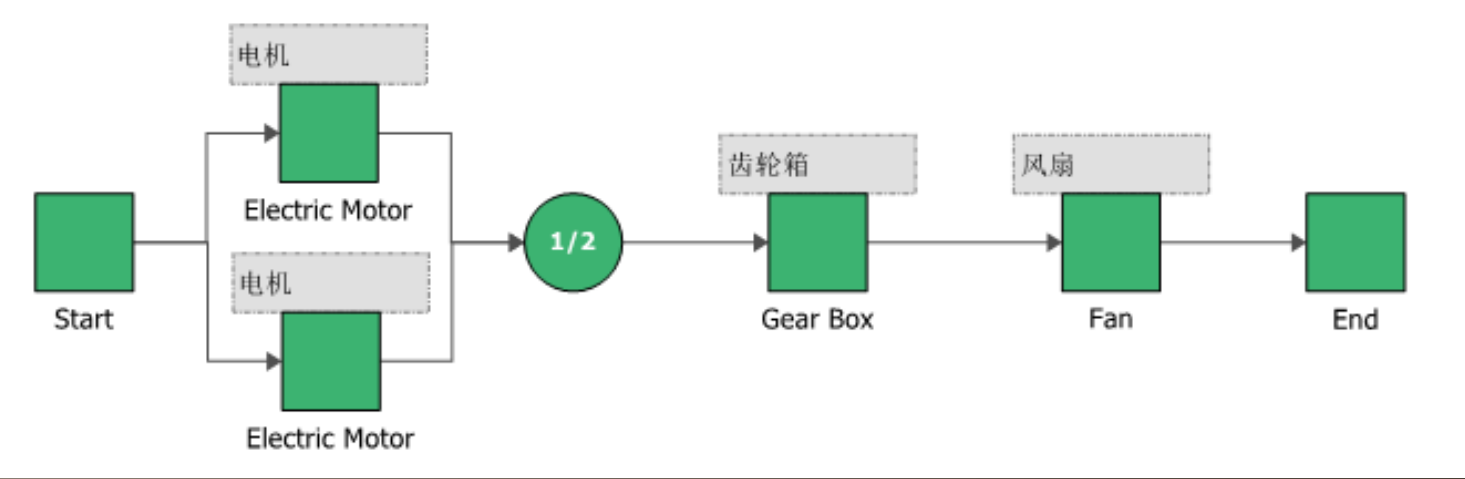
At 20000 hours, Reliability is 39%  
在20000小时热交换系统可靠度为39%



Baseline case/  
基础结构



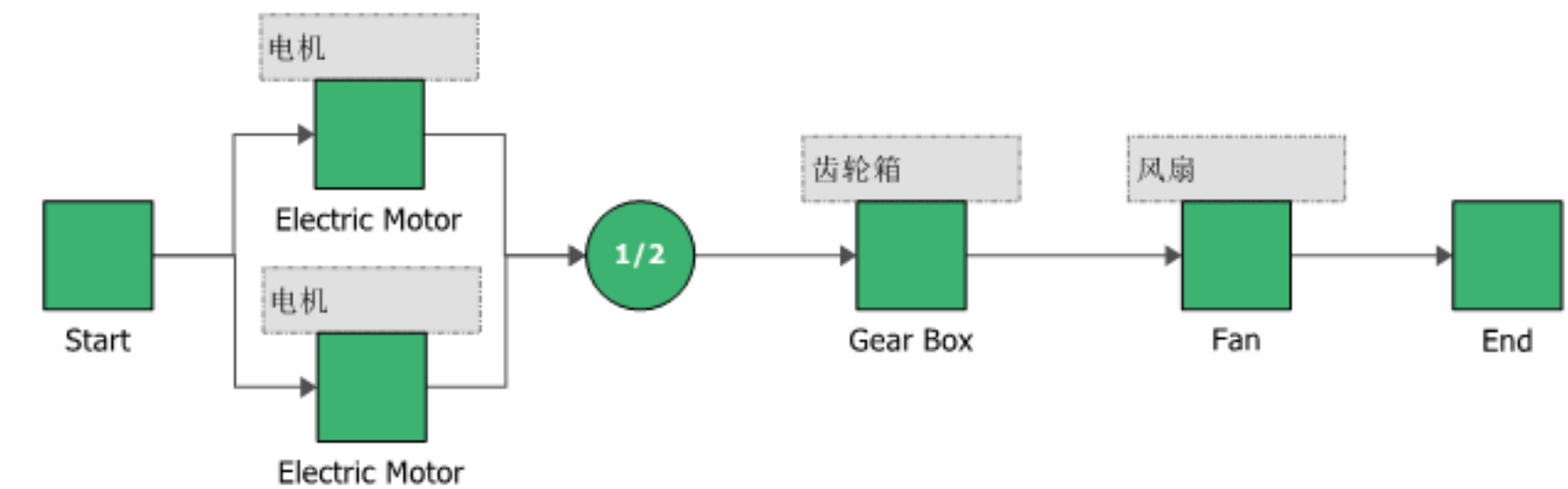
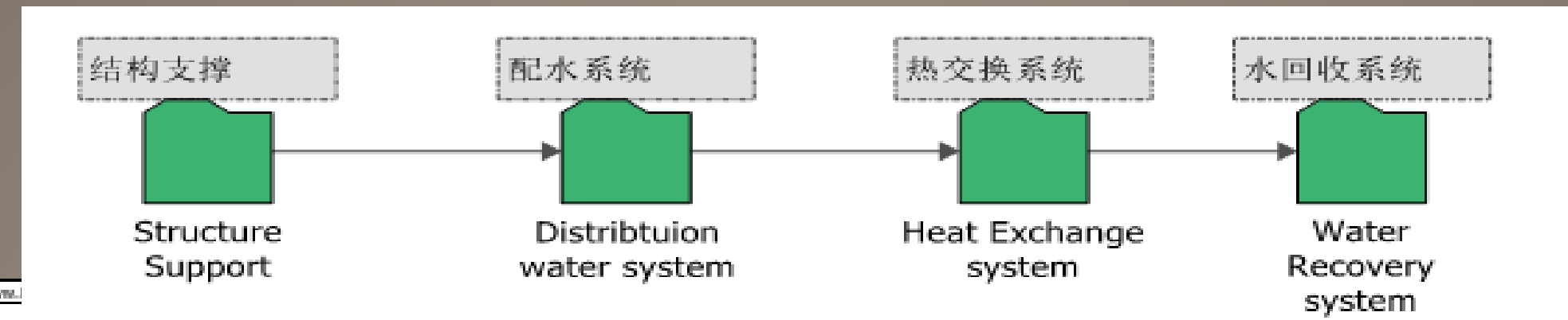
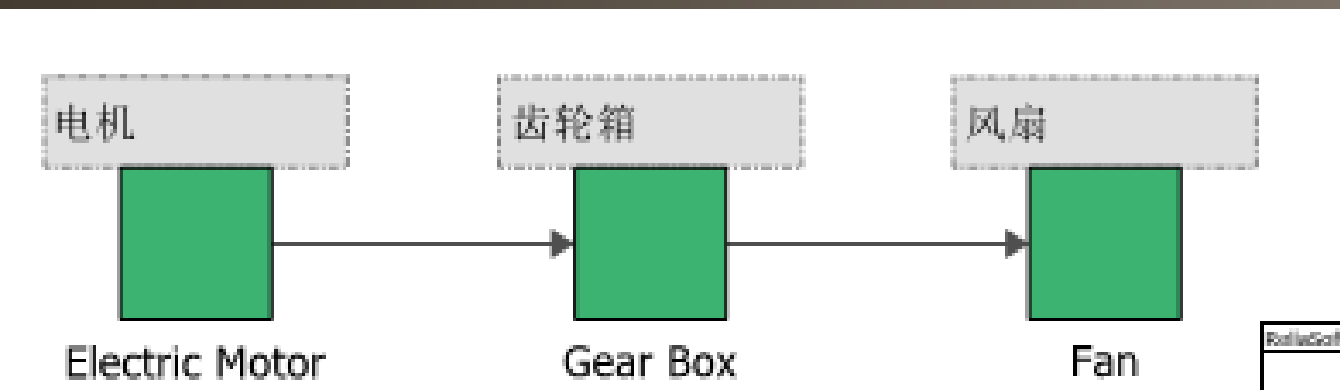
结论:  
At 20000 hours, Reliability is 63%  
在20000小时热交换系统可靠度为63%



Extra Motor in Heat  
Exchange System/增加额  
外电机作为冗余



# 5 years operation simulation 5年运行仿真



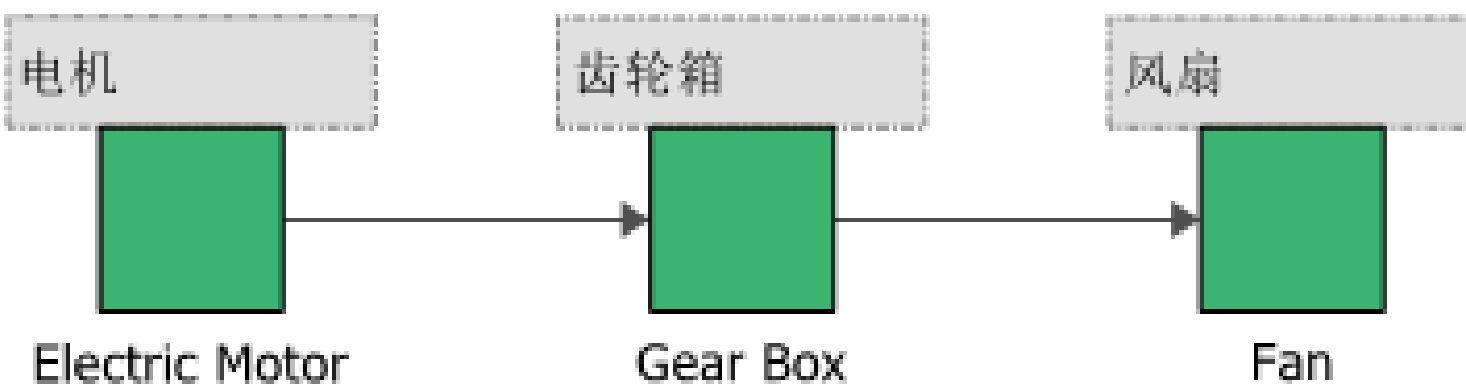
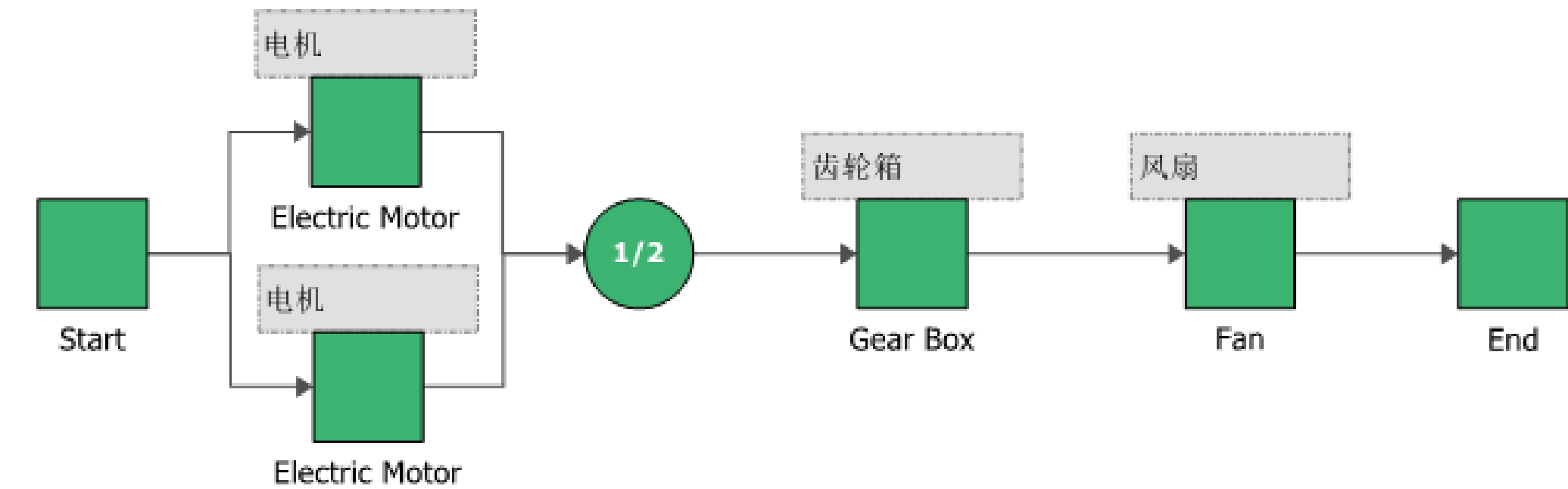
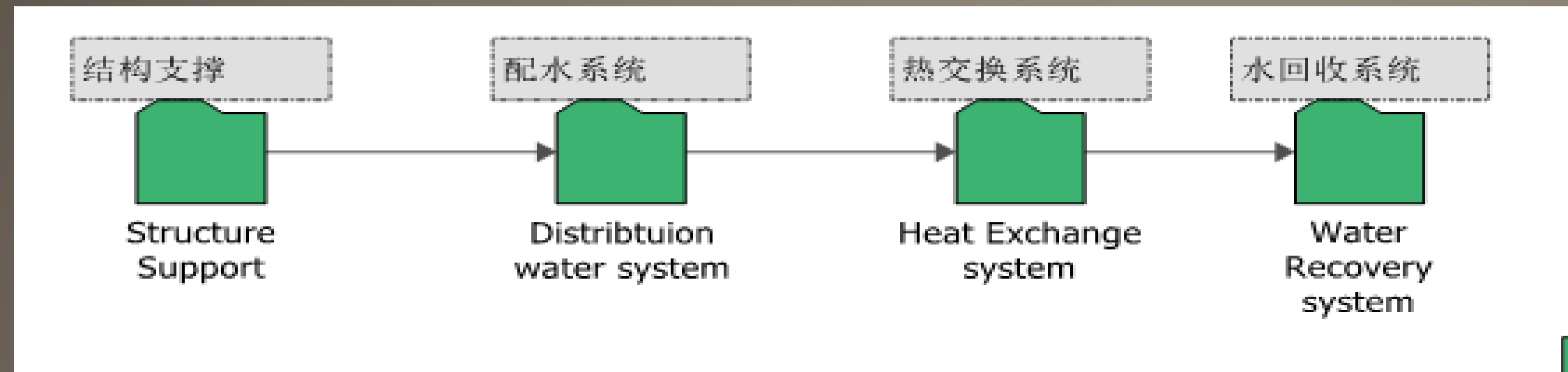
增加额外电机作为备件

结论:

增加额外备件

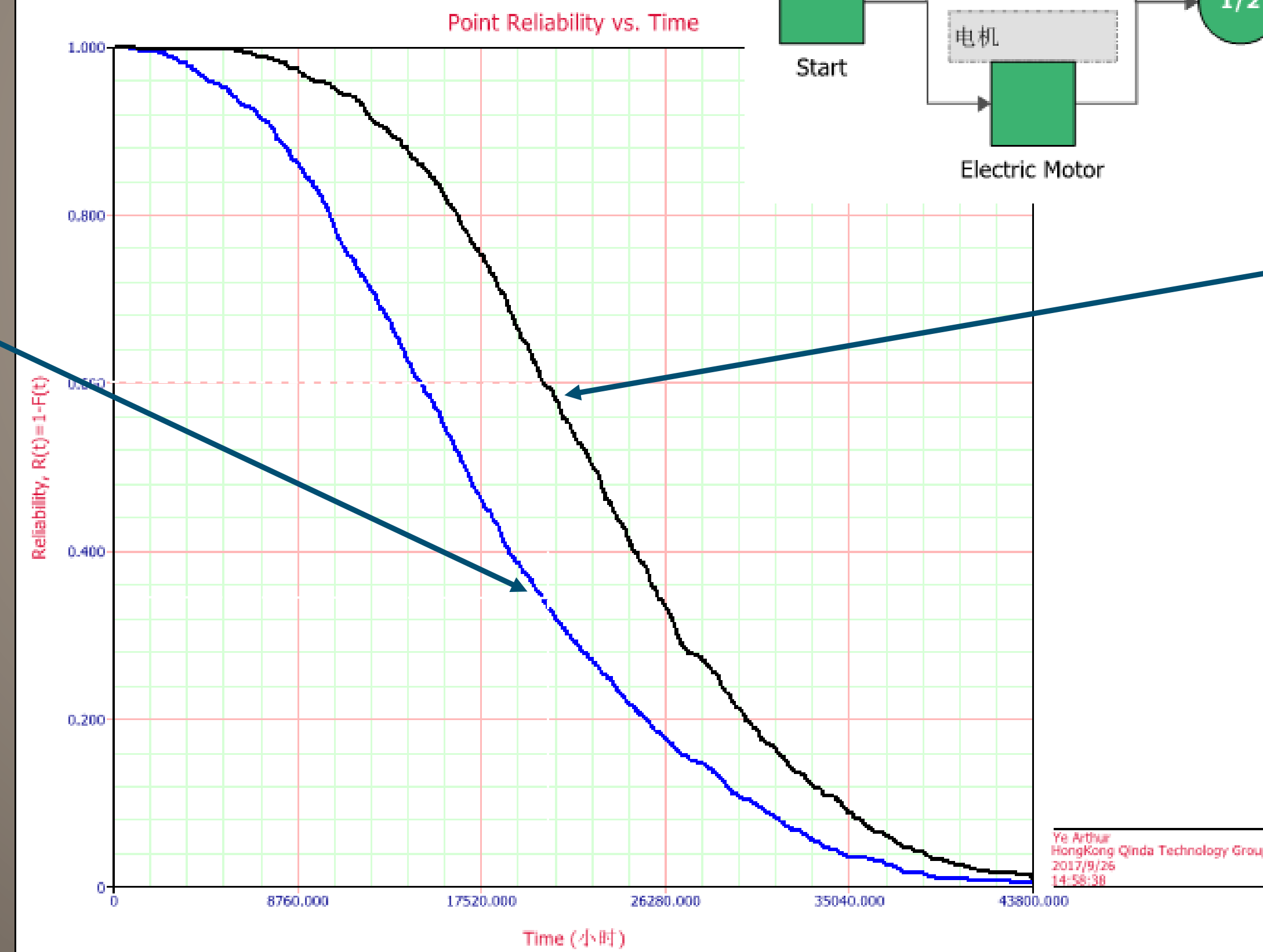
20000运行小时期望的冷却塔故障次数为0.39 (更好)

# 5 years operation simulation 5年运行仿真



Baseline case/  
基础结构

20000小时冷却塔可靠  
度为36%



增加额外电机作为备件

结论:

增加额外电机作为备件  
20000小时冷却塔可靠度  
为63%(更好)





# Maintenance Strategy (using RCM)

## 制定维护策略 (使用 RCM – 以可靠性为中心的维护)

### Function 作用

- Reliability Centred Maintenance (RCM) use FMEA to determine the optimal and safe maintenance strategy.
- RCM全称以可靠性为中心的维护；基于FMEA，以安全有效且经济的安安全有效且经济方式来制定计划维修任务

### Target 目标

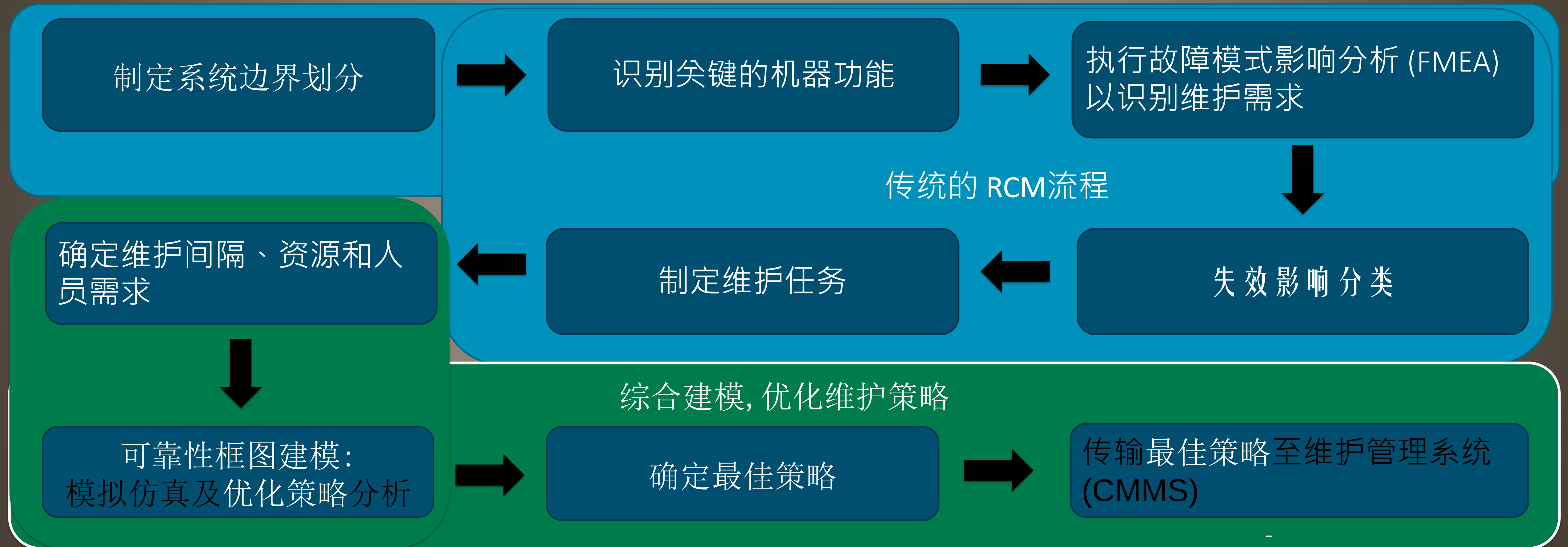
- Develop maintenance strategy based on a structured system engineering and risk management approach
- 用系统工程和风险管理方法选择维修策略
- Run-to-Failure: 矫正性维修
- Scheduled Failure-Finding Inspections: 定期检测
- Scheduled On-Condition Inspections: 根据设备情况进行检测
- Scheduled Repair/Replace (PM): 定期更换
- Scheduled Service: 定期保养
- Design Change: 新的设计

### Benefits 好处

- Optimal and Safe maintenance strategy
- Scientific, Engineering and Risk based
- Proven internationally best approach
- 安全有效且经济的维护策略
- 基于科学, 工程和风险为基础
- 公认的国际最佳

# RCM Process

## 以可靠性为中心的维护流程





# RCM++ 软件工具

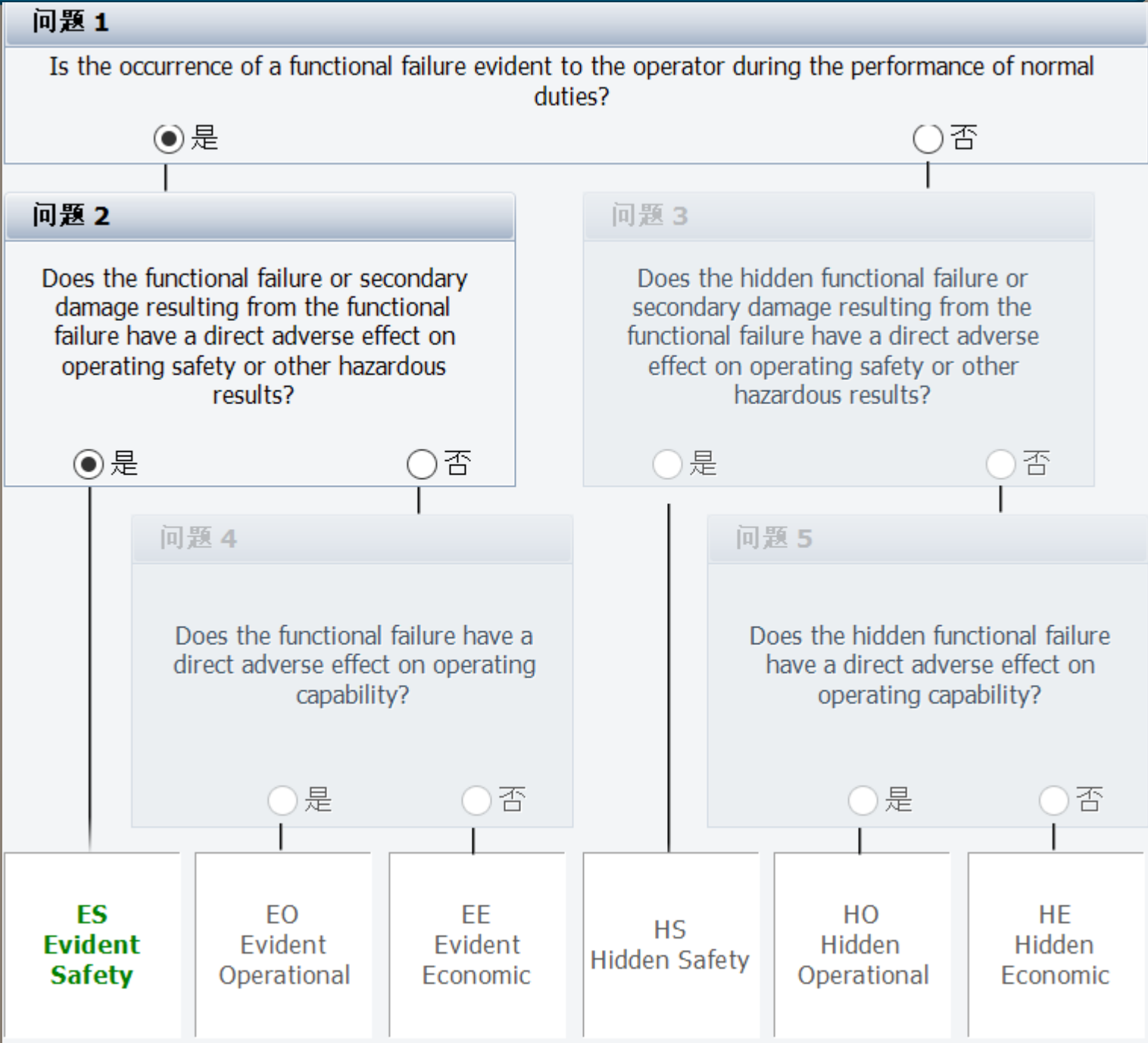
## 1. 制定系统边界划分

| System Hierarchy |  |
|------------------|--|
| Name             |  |
| 火电厂              |  |
| 锅炉灰斗             |  |
| 辅助燃烧系统           |  |
| 循环水              |  |
| 煤场               |  |
| 冷凝液及进料           |  |
| 送风系统             |  |
| 一般设施             |  |
| 发电机              |  |
| 主燃烧系统            |  |
| 除尘器              |  |
| 锅炉               |  |
| 锅炉循环系统-锅炉循环泵     |  |
| 锅炉循环系统-省煤器       |  |
| 锅炉循环系统-混合容器      |  |
| 锅炉循环系统-分离器       |  |
| 锅炉循环系统-滤器        |  |
| 锅炉结构             |  |
| 水冷壁              |  |
| 吹灰器              |  |
| 电站电气             |  |
| 电站消防             |  |
| 轮机装置             |  |
| 水处理场             |  |
| 除灰&回水系统          |  |

## 2. 故障模式影响分析 (FMEA)

| Properties |             | FMEA               |            |                |  |
|------------|-------------|--------------------|------------|----------------|--|
|            | Function    | Functional Failure | Effect     | Failure Mode   |  |
| 1          | 利用废气对冷水进行预热 | 无法对冷水进行预热          | 造成煤的浪费, 停产 | 腐蚀, 错位, 污垢, 碰摩 |  |
| 2          |             |                    |            | 孔板故障, 膨胀       |  |
| 3          |             |                    |            | 焊缝失效, 腐蚀, 锈蚀   |  |
| 4          |             |                    |            | 断裂, 残渣, 磁性涂层   |  |

## 3. 失效影响分类



## 4. 制定维护任务

维修任务

任务名称

在每个主要的断供期内进行检修/探伤

任务类型

失效寻找 (FF)

复原 (RS)  
放弃 (DS)  
维修/置换 (RR)  
保养 (S)  
润滑 (LU)  
失效寻找 (FF)  
基于状态 (OC)

任务属性

任务计划中...

什么时候执行此任务?

固定间隔

单位

☐ 使用任务包裹覆盖任务周期属性。

基本任务属性

任务时长 (天)

任务人员

未选择任何人员

任务后果

复原

需考虑的额外成本

RCM

标识符

历史记录

关注

描述

旗标

任务类型

未打包的

射线探伤. 对岔管的一个样本进行破坏性检测.

在主要断供期对管道样本检测.

射线探伤. 对岔管的一个样本进行破坏性检测.

在每个主要的断供期内进行检修/探伤

失效寻找

失效寻找

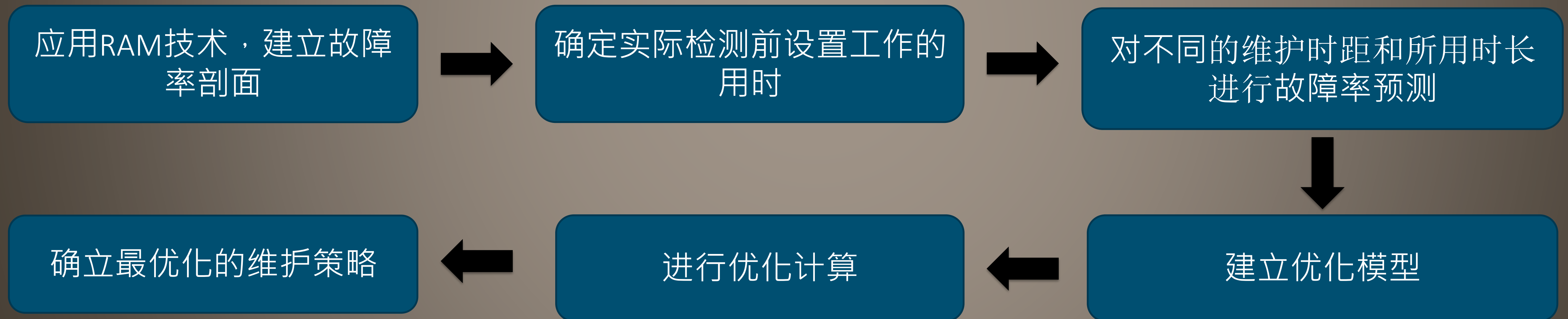
失效寻找

失效寻找

# 案例

公司: Loy Yang发电厂(澳大利亚的一个褐煤火力发电站)  
这是一个通过评估故障率和风险来优化锅炉维护成本的案例。

方法：应用RAM技术，确定失效率剖面并建模，从而优化维护工作的时距和时长。



成果：针对计划性停机的不同时距和时长建立了故障率剖面。依据成本效益，优化了维护策略。通过这种科学方法建立的最优化维护策略可以节省5%的维护成本和风险。





谢谢!

SUPPLEMENTARY  
补充资料

---





# 步骤

## 1. 管道检视之前的设置工作用时

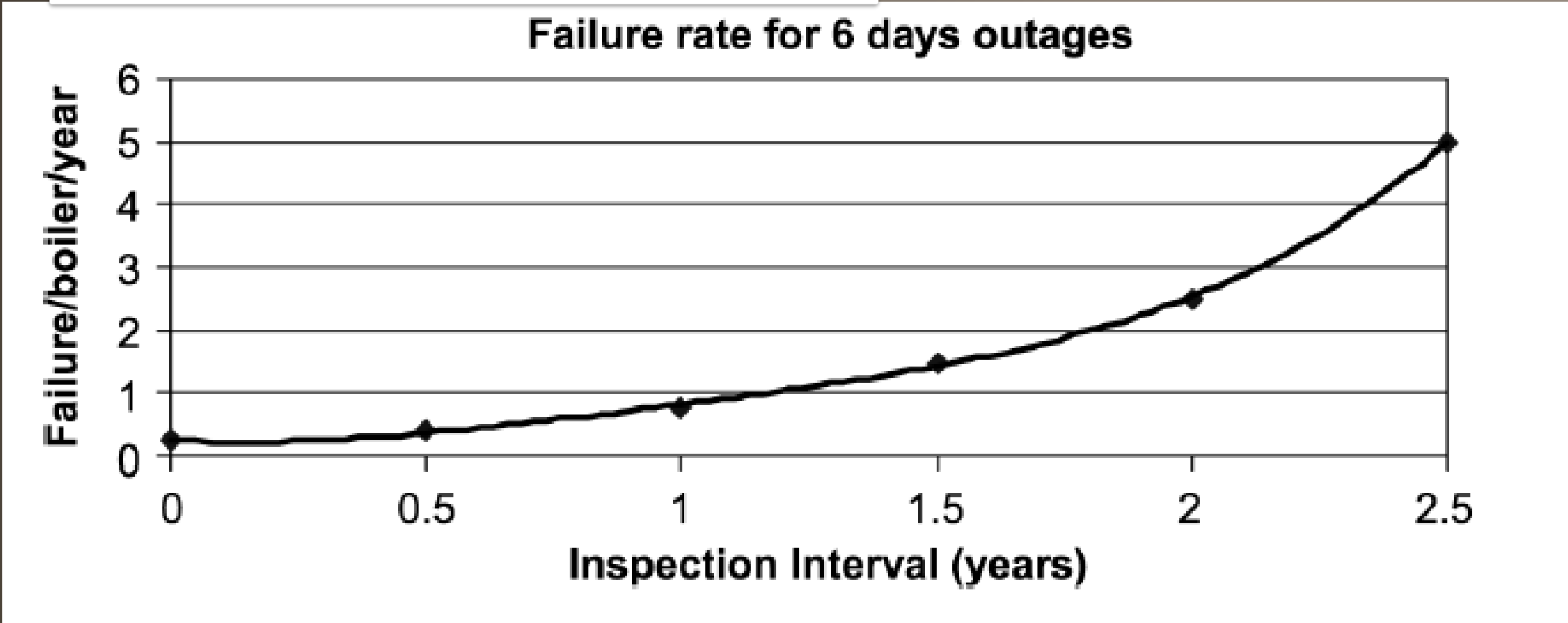
| Setting up works before tubes inspections and maintenance can be carried out | Hours |
|------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Cool down + cleaning (hour per outage)                                       | 24    |
| Unit run-up (hour per outage)                                                | 20    |
| Permits/plant isolation (hour per day of outage)                             | 1     |
| Installation of duct board (per day of outage)                               | 1     |
| Boarding (hour per day of outage)                                            | 3.5   |
| Mobilisation inside the boiler unit (hour per day of outage)                 | 3     |

## 2. 管道检视工作的实际用时

| Duration of outages (days) | 4  | 5    | 6   | 7    | 8   | 9    | 10  |
|----------------------------|----|------|-----|------|-----|------|-----|
| Total outage hours         | 96 | 120  | 144 | 168  | 192 | 216  | 240 |
| Mobilisation (hours)       | 12 | 15   | 18  | 21   | 24  | 27   | 30  |
| Useful time (hours)        | 18 | 33.5 | 49  | 64.5 | 80  | 95.5 | 111 |

# 步骤

## 3.计划性维护时长6天的故障率



## 4. 基于不同的计划性维护时长和时距预测的失效率

| Maintenance intervals (year) | Duration of planned outages |        |        |        |        |        |        |
|------------------------------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                              | 4                           | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |
| 0                            | 0.25                        | 0.25   | 0.25   | 0.25   | 0.25   | 0.25   | 0.25   |
| 0.5                          | 1.5927                      | 0.5851 | 0.4000 | 0.3039 | 0.2450 | 0.2052 | 0.1766 |
| 1                            | 2.9863                      | 1.0970 | 0.7500 | 0.5698 | 0.4594 | 0.3848 | 0.3311 |
| 1.5                          | 5.9726                      | 2.1940 | 1.5000 | 1.1395 | 0.9188 | 0.7696 | 0.6622 |
| 2                            | 9.9544                      | 3.6567 | 2.5000 | 1.8992 | 1.5313 | 1.2827 | 1.1036 |
| 2.5                          | 19.9088                     | 7.3134 | 5.0000 | 3.7984 | 3.0625 | 2.5654 | 2.2072 |



# 结论

5. 最优的维护频率为每1.5年进行一次，每次时长8天。该结论在计划性维护与故障停机两种状况间进行了权衡。

