

发电厂可靠性综合评估系统设计与实现

丁坚勇,赵炜炜,李中建

(武汉大学 电气工程学院,湖北 武汉 430072)

摘要: 发电厂可靠性综合评估系统采用模块化、最小系统及面向对象的设计方法,并充分考虑系统的安全性。应用可靠性基本原理,以发电厂可靠性统计数据为基础,在 Visual C++ 6.0 的开发环境下,开发出一套发电厂可靠性综合评估系统软件,该系统已在发电厂的实际管理中得到了检验。

关键词: 可靠性;发电厂;综合评估;数据库

中图分类号: TM 62;TP 202^{*1} **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6047(2005)02-0055-04

开展发电厂可靠性综合评估研究,探讨积极主动地把握设备和全厂生产的动态全过程可靠性是可靠性管理深化的方向,也是面向电力市场充分利用已有可靠性工作基础发挥可靠性管理效益,适应电力市场竞争的必然要求^[1~3]。

1 可靠性综合评估方法主要特点^[1,2,4]

- a. 全面性:可靠性综合评估运用多种方法从多个角度对发电厂可靠性进行综合评价与分析,利用已有的数据最大限度地揭示发电厂可靠性内在规律。
- b. 客观性:与过去管理体制相比,可靠性综合评估基于严密的可靠性理论分析及大量的数据统计分析,因此得出的结论更加客观,可靠性决策更加科学。
- c. 实用性:以往的机组指标统计分析比较粗略,只能定性地判断须对某台机组加强维护,并不能给出具体可行的措施;可靠性综合评估则从设备运行、维护、检修多个方面研究设备的可靠性特性,从而提出提高发电厂可靠性的各种措施,因此具有更好的实用性。

d. 元件化:以往发电厂可靠性研究一般只进行到机组一级,未对其进行更加深入的分析,可靠性综合评估则要求在基础数据允许的情况下,尽可能深入地分析发电机组及其他设备的子系统、部件甚至元件的可靠性,揭示其内在规律,为发电厂及其设备的运行维护提出更加具体的措施。

2 可靠性综合评估系统主要设计思想^[5]

可靠性综合评估系统的操作系统为 Microsoft Windows 2000 Server,数据库为 Microsoft SQL Server 2000,软件开发语言为 Visual C++ 6.0。

2.1 模块化设计

为了提高代码的可重用性和可维护性,根据可靠性综合评估系统的功能将其分为若干个模块,每个模块完成可靠性评估的一种功能。本系统包括的模块有可靠性指标计算、设备状态考核评价、寿命预计、检修管理、经济性评估、故障树分析及薄弱环节分析等模块。此外,还将一些公用的功能如数据导入、数据查询、打印、报表表头设计等设计为软件的公用模块,模块化设计不但可以简化程序的设计

与调试,还使得用户的操作变得容易,可以根据自己的需要选择对应的模块。

2.2 最小系统设计

有些发电厂由于自动化水平较低或其他一些原因,导致某些方面的可靠性数据缺乏或难以统计,因而不能对其进行相应的可靠性评估分析。本系统包括多个评估分析模块,但在实际使用中并不要求必须使用全部模块,而是采用了最小系统设计思想,即一个分析系统最小可以只包括可靠性指标计算模块及设备状态考核评价模块,因此只要有关于设备或整个发电厂故障事件的基础数据,就可对其进行可靠性分析。对于数据较多、较为完备的用户,可以根据需要应用相应的分析模块。

2.3 面向对象的设计方法

项目对应着发电厂可靠性综合评估分析,项目由上述的模块组成,除了可靠性指标计算模块、设备状态考核评价模块两个必需的模块外,用户可以针对不同设备或系统选择添加任意多的其他模块。整个分析内容及结果保存在一个项目文件中,同时将某些结果数据保存到可靠性综合评估的数据库中作为数据备份,或满足其他软件的需要。这种设计思想使得在一个项目中可以分析整个发电厂的可靠性,同时可以很容易对要分析的同类型设备及元件进行可靠性比较,综合各种可靠性分析结果,从整体上把握系统的可靠性,并使得可靠性数据非常紧凑,易于维护。

2.4 安全性设计

为了正确地评估发电厂的可靠性数据,有必要维护可靠性数据的完整性与正确性。因此,本系统从应用软件登录、数据库访问以及操作系统安全漏洞等方面进行安全性设计,建立了用户访问权限系统及密码防护机制,对于可能导致数据丢失的用户操作进行备份提示及警告。

3 可靠性综合评估系统基本功能^[3]

3.1 数据维护

数据维护包括数据导入、录用和查询功能。本系统提供手工与文件两种方式实现数据录入,手工录入提供了用户手动输入、修改及删除数据记录功能,文件导入可以将 Access,SQL Server,Oracle 等文件的数据成批导入综合评估数据库。为了防止非法录入数据,在数据录入的过程中,提供了录入权限保护。

数据查询模块提供对所有可靠性数据进行查询,包括可靠性基础数据、可靠性指标数据以及其他的可靠性评估结果报告。查询方式既可以通过数据报表形式,又可以单条纪录逐一查询。表 1 为电厂事件数据查询示例(以某发电厂 5 号机为例)。

3.2 设备可靠性指标计算

指标计算模块对设备可靠性指标进行计算,计算设备按指数分布及威布尔分布的寿命分布和《发电设备可靠性评价规程》的可靠性指标。用户可以选择指标计算的时间段、要进行计算的设备以及指标计算条件,既可以分机组进行计算又可以对发电厂同类设备进行综合统计。

3.3 设备可靠性指标考核

指标考核模块提供对设备可靠性的综合评价,在评价过程中,作为参考指标的国内指标值既可以用综合评估数据库提供的值,也可由用户给定,考核的时间段也可以由用户确定。表 2 为某发电厂 2000 年水轮机部分的设备可靠性指标评分示例。

3.4 重要设备可靠性管理

对发电厂可靠性影响较大的设备进一步进行分析,从可靠性指标、影响因子、设备运行维护等多个方面给出管理意见。发电厂重要设备由综合评估系统根据设备评估状况给出,也可由用户指定。

表 1 电厂事件数据查询表
Tab.1 The table of power plant events data inquiry

机组编号	事件起始时间	事件结束时间	机组状态	持续时间/h	启动次数	启动失败次数	事件原因编码
453105	2000-01-03T 03:23:00	2000-01-03T 18:44:00	U04	15.350	2	0	5101001
453105	2000-01-05T 19:35:00	2000-01-18T 11:48:00	FR	304.217	1	0	
453105	2000-01-26T 13:05:00	2000-01-26T 17:24:00	FR	4.317	1	0	
453105	2000-02-01T 09:22:00	2000-02-01T 15:55:00	U04	6.550	0	0	5210001
453105	2000-03-13T 11:31:00	2000-03-23T 11:41:00	P02	240.167	1	0	
453105	2000-04-01T 00:00:00	2000-05-01T 00:00:00	FS	720.000	0	0	
453105	2000-05-08T 10:29:00	2000-05-10T 10:20:00	FR	47.850	1	0	5208001
453105	2000-05-21T 21:18:00	2000-05-22T 01:25:00	U040	4.117	1	0	
453105	2000-06-01T 00:00:00	2000-07-01T 00:00:00	FS	720.000	0	0	
453105	2000-07-04T 12:37:00	2000-07-04T 14:16:00	FR	1.650	1	0	
453105	2000-07-12T 09:00:00	2000-07-12T 09:26:00	FR	0.433	1	0	
453105	2000-07-21T 02:08:00	2000-07-21T 02:44:00	FR	0.600	1	0	
453105	2000-08-19T 01:45:00	2000-08-19T 05:13:00	FR	3.467	1	0	
453105	2000-09-01T 00:00:00	2000-10-01T 00:00:00	FS	720.000	0	0	5208001
453105	2000-10-01T 00:00:00	2000-11-01T 00:00:00	FS	744.000	0	0	
453105	2000-11-26T 15:35:00	2000-11-27T 04:05:00	FR	12.500	0	0	
453105	2000-11-27T 04:05:00	2000-12-01T 00:00:00	P01	91.917	0	0	5208001
453105	2000-12-01T 00:00:00	2001-01-01T 00:00:00	P01	744.000	0	0	

表 2 设备可靠性指标评分表
Tab.2 The table of equipment reliability index grade

设备名称	指标类型	当前值	历史值	国内值	先进值	相对值	专家评分
水轮机	平均无故障时间 /h	4 293.311	3 926.804	49.380 95	48.571 430	1.3	优
水轮机	平均修复时间 /h	13.854 17	13.804 390	5.857 143	2.857 143	0.512 045	差
水轮机	非计划停运次数	0.379 912	0.766 667	0.285 714	0.228 571	1.030 942	中
水轮机	非计划停运小时 /h	5.263 358	7.959 682	2.857 143	2.666 667	0.776 151	差
水轮机	故障率	2.040 384	2.279 335	0.219 048	0.190 476	0.356 294	差
水轮机	修复率	632.300 8	1 290.086	3.333 333	3.304 762	1.3	优

检修管理模块根据可靠性指标计算设备最佳检修周期,指导设备计划检修。最佳检修周期确定原则有最小费用为目标和最大可用度为目标两种。

寿命预计模块根据设备的可靠性指标预计设备的实际寿命,确定设备故障的高发期,使可靠性管理人员在故障高发期到来之前对设备进行维修,降低设备发生故障的概率。

影响因子分析模块对设备可靠性影响因子进行统计,以便在出现对设备影响较大的条件时,对其加强维护,包括对水文(水电厂)、气象(室外设备)、人误等因子进行统计,给出受影响程度报表。

3.5 经济性评价

经济性评价按机组统计年可靠性运行费用,形成机组可靠性费用及全厂可靠性费用报表,并将其与过去值与国内平均值进行比较,作出评价。

3.6 系统维护

系统维护包括用户权限管理、打印报表、用户自定义表格和运行日志等。

4 数据库设计与访问技术^[5]

4.1 可靠性数据建模

发电厂可靠性综合评估数据库首先应实现发电厂基础数据的记录,同时应保存对这些基础数据的指标计算结果。对于可靠性指标评价,可以设立一个指标评价专家系统数据库,根据专家规则对可靠性指标进行评价,可进一步建立一个专家决策数据系统对评价的结果作出可靠性管理决策。发电厂可靠性综合评估系统的数据流向如图 1 所示。

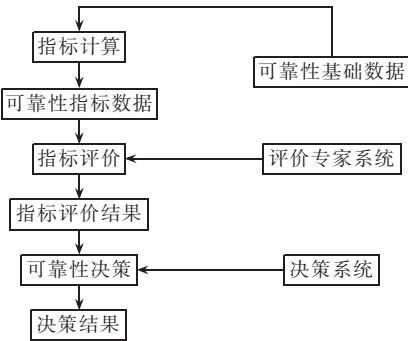


图 1 可靠性综合评估系统数据流程
Fig.1 The data flow of integrated reliability assessment system

4.2 数据库访问技术

本系统采用 Visual C++6.0 的 ADO 绑定技术实现对发电厂综合评估数据库的访问。ADO 是建立在 OLE DB 基础上的高层应用,它实际上是一个 OLE DB 供应程序。ADO 通过简化 OLE DB,避开了复杂的底层技术,使得用户对数据库的访问大大简化。ADO 支持客户/服务器模式和基于 Web 的数据操作,便于互联网应用的开发。ADO 具有良好的可扩展性,能够通过提供者属性集合动态地表示指定的数据提供者。此外,ADO 基于 COM 技术,支持 COM 扩展的数据类型。在最新的 Visual C++ 数据库访问技术中,可以利用 ADO 对数据表进行绑定,通过定义一个绑定类,将其成员变量绑定到记录集的字段,在实际应用中通过访问和控制该类的成员变量,就可实现对数据库的访问操作,使用十分方便。

程序中与数据库相连接的实现代码举例如下(ZWW-CDA688MGS7Q 为服务器计算机名,db1 为要访问数据库名):

```
CString ConnectString;
ConnectString =
"driver={SQL Server};server=ZWW-CDA688MGS7Q;
UID=sa;PWD="";database=db1";
//生成连接对象,并与数据库连接
m_dbConnection.CreateInstance(_uuidof(Connection));
m_dbConnection->Open(_bstr_t
(ConnectString),"",",adModeUnknown);
//初始化记录集和绑定指针
m_piAdoBiaoRecordBinding = NULL;
m_BiaoRecordSet = NULL;
//生成记录集对象的实例
m_BiaoRecordSet.CreateInstance(_uuidof(Recordset));
m_BiaoRecordSet->putref_ActiveConnection
(m_dbConnection);
//访问“列表”
m_BiaoRecordSet->Open("Select * from 列表",
vNull, adOpenKeyset, adLockOptimistic, adCmdUnknown);
//获取记录对象绑定接口的指针
m_BiaoRecordSet->QueryInterface(_uuidof(IADO
```

RecordBinding),
(LPVOID*)&m_piAdoBiaoRecordBinding);
m_piAdoBiaoRecordBinding ->BindToRecordset
(&m_BiaoDatarecord);

5 应用举例

以某发电厂 1997~2000 年的可靠性事件数据为基础,给出可靠性评价的实例,限于篇幅,本文仅简要给出检修管理中的检修周期优化的应用举例。

根据发电厂的实际情况,可按以下两种方法初步制定机组的预防检修周期(设机组的寿命符合指数分布)。

5.1 按总费用最小原则确定的预防检修周期

设在检修周期 T 内机组发生故障的概率为 P 、每次检修的费用为 A 、故障损失的费用为 B ,故障率为 λ ,当 $(\lambda+1)T \leq 1$ 时,机组的可靠性费用为

$$C = (A + BP) / T \approx A / T + B \lambda T / 2 \tag{1}$$

由求机组的最小可靠性费用可以确定机组的预防检修周期,得到:

$$T \approx \sqrt{2A / (B \lambda)}, \quad C_{\min} = \sqrt{2 \lambda AB} \tag{2}$$

该评估系统通过计算得到的机组最佳检修周期见表 3(表 3 中的空白部分是由于该机组在统计时间内的故障率为 0;表 4 同)。

表 3 按总费用最小原则确定的
机组最佳检修周期

Tab.3 The optimal check period
by minimum total cost

机组编号	最佳检修周期/d	可靠性费用/10 ⁴ 元
453101	1 593.706 0	1.007 714
453102	750.733 6	2.042 003
453103	856.244 1	1.875 633
453104	1 057.204 0	1.450 051
453105		
453106	561.340 6	4.161 467
453107		
453108	1 388.013	1.788 168

5.2 按机组可靠度最大原则确定的预防检修周期

设机组的检修周期为 T 、平均预防检修时间为 t ,则机组的平均可用时间为 $T-t$,可得到机组的平均可靠度为

$$R(T) \approx \frac{1}{\lambda T} \{1 - [1 - \lambda(T-t) + \frac{1}{2} \lambda^2 (T-t)^2]\} \tag{3}$$

由求 $R(T)$ 最大可以确定机组的预防检修周期,得到:

$$T = \sqrt{2t / \lambda + t^2} \tag{4}$$

该评估系统通过计算得到的机组最佳检修周期见表 4。

表 4 按机组可靠度最大原则
确定的机组最佳检修周期

Tab.4 The optimal check period by
maximum reliability

机组编号	最佳检修周期/h	可靠度
453101	4 560.106	0.898 365 6
453102	2 309.424	0.810 765 0
453103	2 653.421	0.835 058 0
453104	3 599.260	0.846 779 2
453105		
453106	2 244.428	0.732 980 3
453107		
453108	4 074.550	0.906 894 1

6 结语

发电厂可靠性综合评估是一项重要而复杂的工作,目前还没有成熟的经验,本研究项目将可靠性基本理论具体应用于发电厂的实际管理工作中,并进行了一系列的创新和尝试,开发出一套可用于发电厂实际可靠性管理的综合评估系统。

参考文献:

[1] 郭永基. 电力系统可靠性原理和应用(上册)[M]. 北京:清华大学出版社,1985.
[2] 郭永基. 电力系统可靠性原理和应用(下册)[M]. 北京:清华大学出版社,1986.
[3] 蒋锦峰. 发电设备可靠性评价规程[M]. 北京:中国电力出版社,2002.
[4] 郭永基. 可靠性工程原理 [M]. 北京:清华大学出版社,2002.
[5] 李闽溪,吴继刚,周学明. Visual C++ 6.0 数据库系统开发实例导航[M]. 北京:人民邮电出版社,2002.

(责任编辑:柏英武)

作者简介:

丁坚勇(1957-),男,湖北武汉人,教授,长期从事电力系统辨识与控制、电力系统可靠性等方面的科研与教学工作;
赵炜炜(1980-),男,安徽淮南人,硕士研究生,研究方向为电力系统规划及可靠性(E-mail:zww_hello@sina.com)。

Design and realization of power plant reliability
integrated assessment system

DING Jian-yong,ZHAO Wei-wei,LI Zhong-jian

(School of Electrical Engineering,Wuhan University,Wuhan 430072,China)

Abstract: The integrated assessment system of power plant reliability adopts modularization, minimum system and object-oriented design and considers the system security adequately. Applying the fundamental principle of reliability,its software is developed based on the reliability statistic data of power plant with Visual C++ 6.0. The proposed system has been tested in the real management of power plant.

Key words: reliability; power plant; integrated assessment; database