



2019年中国电机工程学会年会
清洁能源 智慧电力 美好生活

水电机组健康评估及智能诊断专题技术报告

主 编：潘罗平

副主编：周 叶 安学利 胡伟明 罗兴锜 徐洪泉

汇报人：周 叶

**水电设备专委会
中国水利水电科学研究院
2019.11**



C 汇报内容 Contents

一、概述

二、健康评估与异常检测

三、常见故障的智能诊断

四、系统集成与应用



1.1 背景 - 智能化水电站的需要

水电发展“十三五”规划指出，我国将建设“**互联网+**”智能水电站。



设备信息数字化

基本实现



数据共享网络化

正在逐步完善



信息应用智能化

信息应用智能化将会面临很大的技术瓶颈，设备运行状态的**智能识别、智能评估、趋势预测、决策支持**等技术的研发和工程应用，会成为智能水电站建设过程中亟需解决的关键技术难点和主要研究方向。



1.1 背景 -安全高效生产的需要

安全运行

- 重大事故隐患
- 带病运行
- 非正常停机



安全稳定差

经济高效

- 耗水量大
- 出力不足
- 偏离高效区



水能资源浪费

智能诊断

- 运行工况复杂
- 故障样本缺乏
- 计划检修模式



运维的盲目性

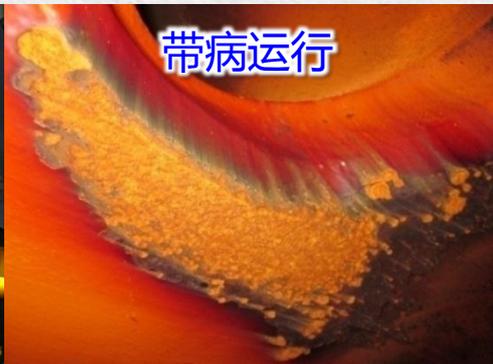
重大事故隐患



非正常停机



带病运行



抗磨板撕裂



1.2 水电机组故障诊断的特点

1

水电机组故障的特殊性

- ① 受到机械因素、水力因素和电气因素的影响；
- ② 水力激振力的不同，其振动故障的表现特征也各不相同，很难进行全面的故障知识的收集和分类；
- ③ 一些振动故障和绝缘故障的机理尚不清楚，系统的故障建模比较困难；

2

故障诊断面临的困难

- 基于故障样本的诊断方法存在故障样本少、复杂故障机理不清晰、故障知识不健全等技术难点，难于实现正确诊断。



1.3 本专题研究的思路

1. 理念创新



2. 方法研究



3. 技术实现



C 汇报内容 Contents

一、概述

二、健康评估与异常检测

三、常见故障的智能诊断

四、系统集成与应用

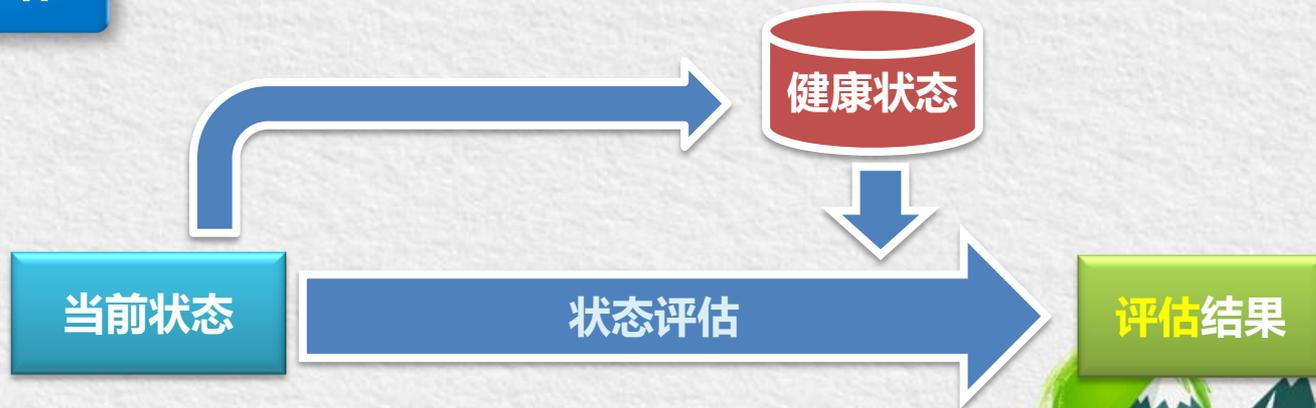


2.1 两种诊断思路的对比

常规诊断思路：



健康评估思路：



2.2 两种诊断过程的对比

目的

分析历史



判断当前



预测未来

方法

特征提取



故障诊断



趋势预测

统计建模



状态评估



2.3 分步研究与实现

1. 建立机组健康大数据

数据
获
取

机组稳定性

机组能量特性

部件动应力



2. 创建参数识别及建模方法

数
据
建
模

特征参数提取

统计特性分析

健康样本库建立



4. 建立监测与诊断平台

水电机组远程监测
与故障诊断中心



3. 开展智能诊断与评估

智
能
诊
断

实时健康评估

实时异常检测

机组劣化趋势预测

2.4 健康评估与异常检测方法

(1) 利用海量数据资源，建立水电机组健康样本库，量化健康指标

难点

水电机组运行故障样本少，故障知识不健全

解决方案

利用海量数据资源，提取敏感特征参数，建立机组健康样本库

现场试验数据



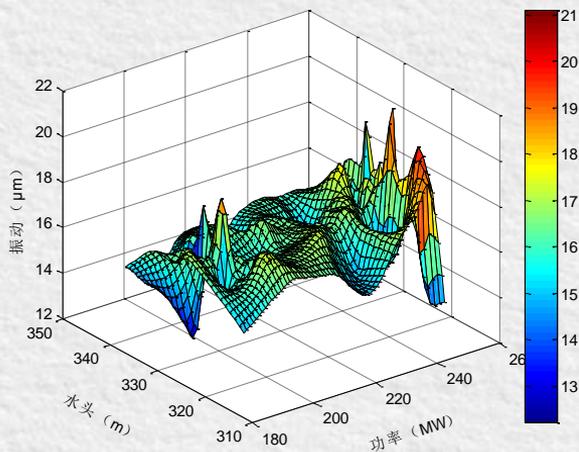
在线监测数据



运行记录数据



健康样本库



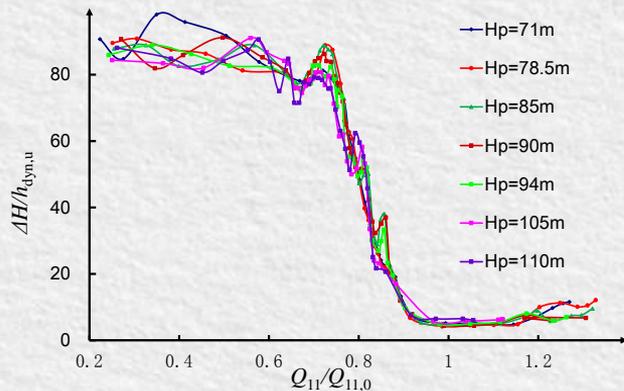
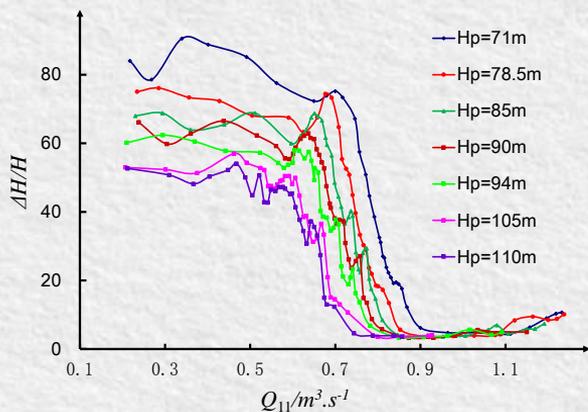
提出了基于健康样本的考虑机组状态参数与运行工况映射关系的水电机组诊断评估模型。



2.4 健康评估与异常检测方法

(2) 确定特征参数与工况参数间的关联关系，解决特征参数的离散问题

基于三峡、溪洛渡等巨型电站大量的真机试验数据统计分析



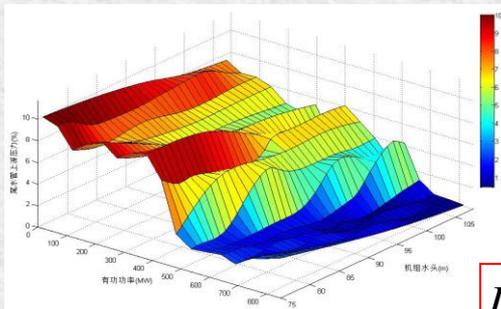
解决了特征参数的离散问题

尾水管压力脉动相关性研究



2.4 健康评估与异常检测方法

(3) 提出多维度水电机组实时健康评估与异常诊断方法

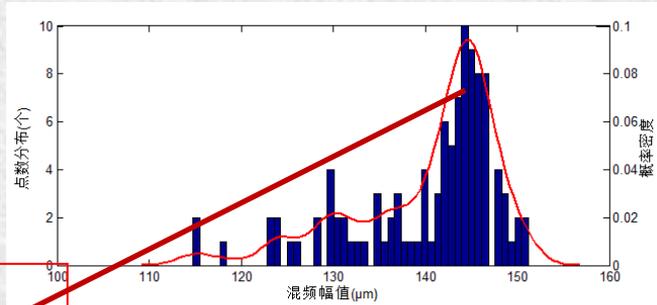


映射关系

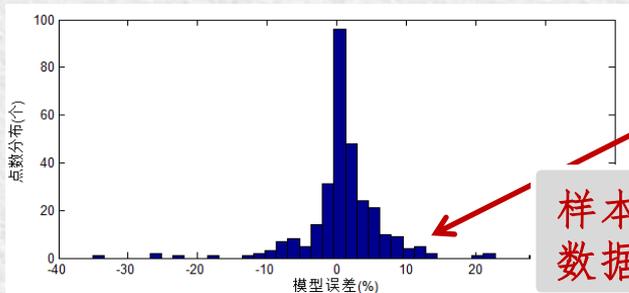
统计分析

$$\prod_{i=1}^n P\{X_i = x_i\} = \prod_{i=1}^n p\{x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m\}$$

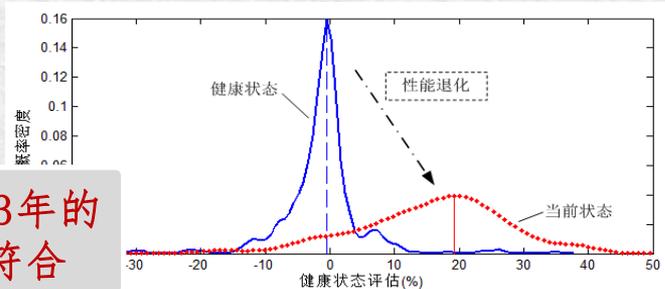
$$L(x_1, x_2, \dots, x_m; \tilde{\theta}_1, \tilde{\theta}_2, \dots, \tilde{\theta}_m) = \max_{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m} L(x_1, x_2, \dots, x_m; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$$



振动数据频数分布图



振动健康标准模型误差频数分布图



健康评估结果

样本取自三峡在线监测系统3年的数据，评估结果与实际应用符合

C 汇报内容 Contents

一、概述

二、健康评估与异常检测

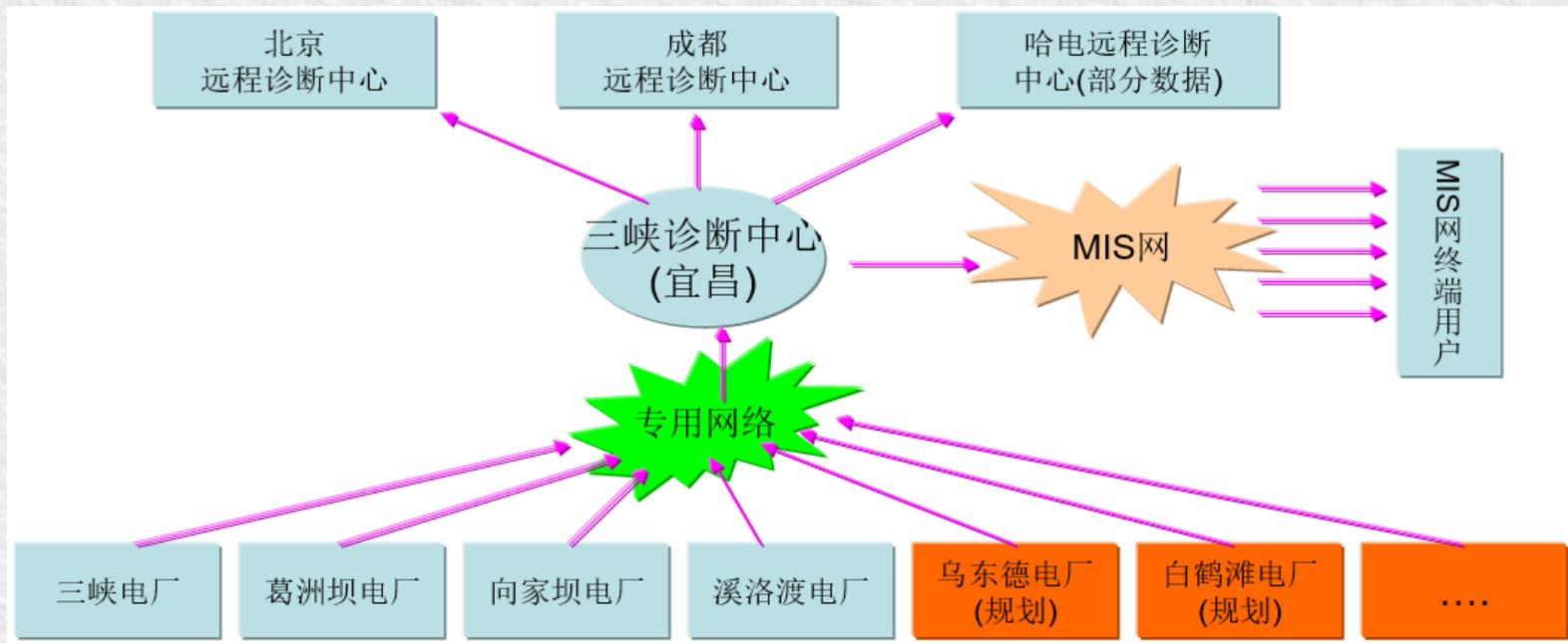
三、常见故障的智能诊断

四、系统集成与应用



3.1 专家诊断平台

建立了专家诊断平台，实现了疑难故障的远程专家会诊。

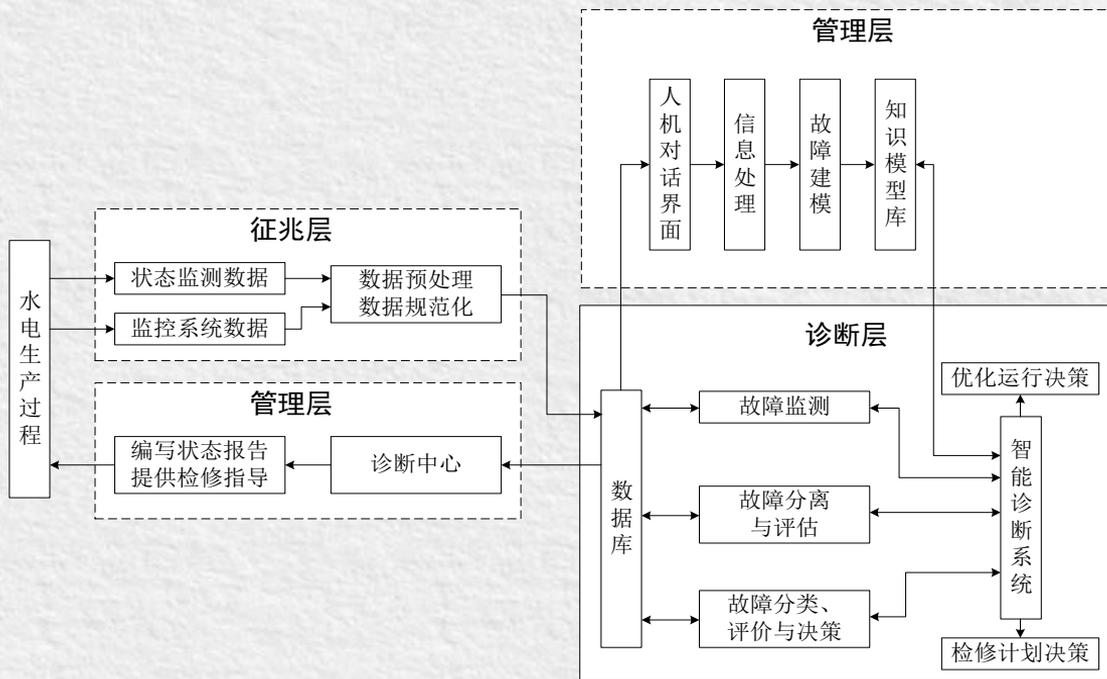


专家远程会诊平台



3.1 专家诊断平台

对智能诊断系统的组成部分进行层级划分，设计为分层开放式结构，即整个系统分为**管理层**、**诊断层**和**征兆层**。

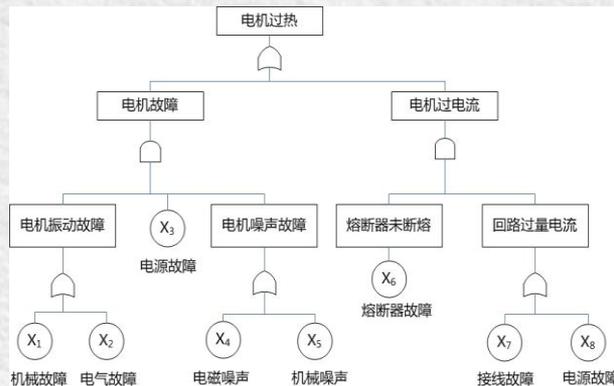


3.1 专家诊断平台

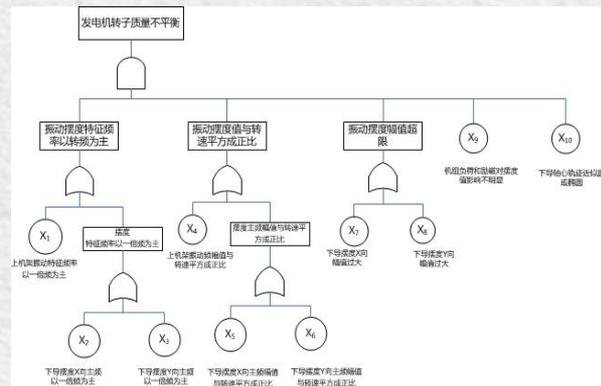
创建了智能诊断专家知识库，实现了水电机组四大类数十种故障的实时自动识别和定位。



电机铁心过热故障



电机过热故障

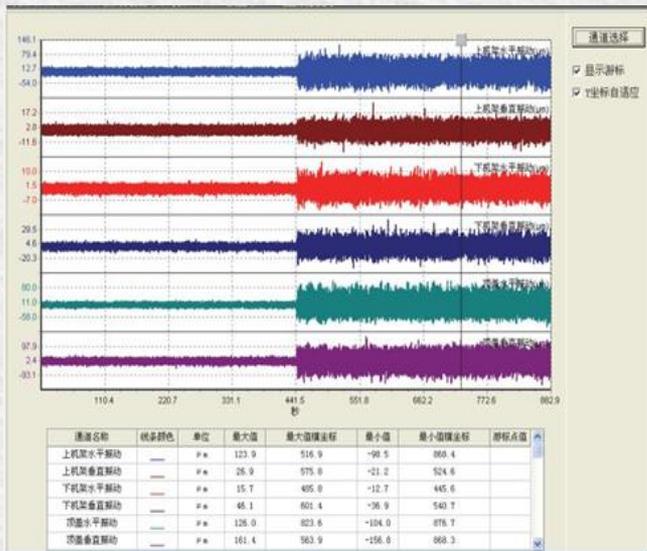


转子质量不平衡



3.2 诊断案例1

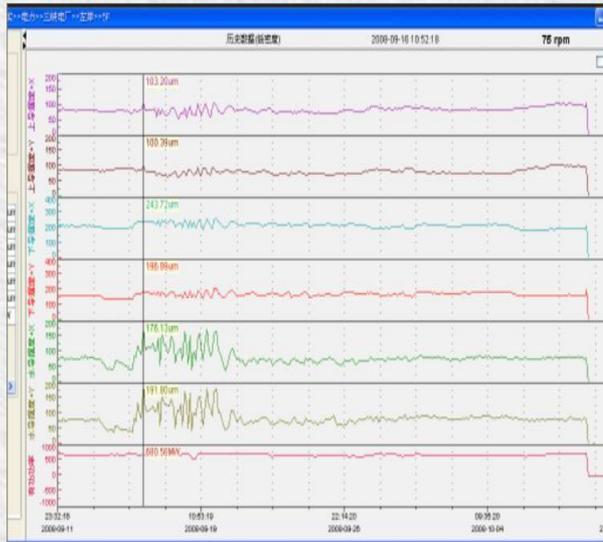
诊断案例1：三峡10F机组座环导流板撕裂



三峡10号机组在运行过程中振动摆度突然增大，系统诊断确定其原因为机组水力失衡。随后停机检查发现有数块座环导流板破裂，经补焊加强筋加固后，机组运行恢复正常。

3.2 诊断案例2

诊断案例2：三峡5F机组转轮上止漏环脱落



三峡5号机组在运行过程中，水轮机顶盖振动、水导轴承摆度均异常增大、突变现象，经检查发现转轮上止漏环大部分已断裂掉落。更换转轮上止漏环并采取加固措施后，机组运行恢复正常。

C 汇报内容 Contents

一、概述

二、健康评估与异常检测

三、常见故障的智能诊断

四、系统集成与应用



4.1 诊断平台建设

建立了规模最大、流域面积最广、涉及参数最全面的水电机组远程状态监测与诊断系统平台

经6年运行考验，系统稳定可靠，诊断准确率高，直接经济效益巨大。



- ✓ 2个流域，4个巨型电站（三峡、葛洲坝、溪洛渡、向家坝），81台机组，装机容量4549万千瓦，18种机型，21类监测子系统、24.9万个测点。
- ✓ 涉及机组稳定性、效率、噪声、温度、发电机气隙与磁场强度、主变局放等。

4.2 通讯标准制定

制定了水电站设备在线监测与分析诊断技术标准，规范了水电设备智能诊断方法和流程。

1) 三峡电站

- 创为实S8000稳定性监测系统
- 华科同安TN8000稳定性监测系统
- 南瑞NARI趋势分析系统
- 中水科技H9000趋势分析系统
- 许继油气TM8监测系统
- 宁波理工油气监测系统
- 杭州申昊油气监测系统
- 格鲁布DMS GIS局放监测系统
- 高压线缆局放检测系统
- 华科同安发电机气隙监测系统

2) 葛洲坝电站

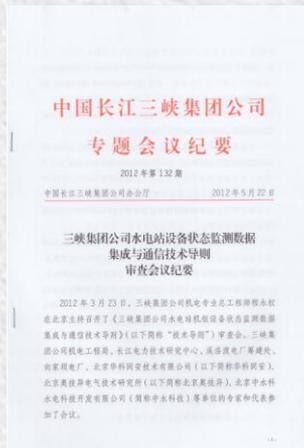
- 葛洲坝HOMS监测分析系统

3) 溪洛渡电站

- 中水科技H9000监控系统数据
- 奥技异振摆在线监测系统。
- 宁波理工油气监测系统。
- 格鲁布GIS局放在线监测系统

4) 向家坝电站

- 中水科技H9000监控系统数据
- 奥技异振摆在线监测系统
- 宁波理工油气监测系统。
- 格鲁布GIS局放在线监测系统
- 华科同安发电机局放监测系统
- 上海波慧光纤测温系统
- 上海慧东电气环流监测系统



三峡集团公司机组远程监测与故障诊断中心于2011年12月移交长江电力投入生产运行，出具各类评价报告6000余份，为保障机组安全高效运行发挥重要作用。

应用及经济效益证明					
项目名称	三峡集团公司机组远程状态监测与故障诊断系统				
应用单位	中国长江电力股份有限公司				
通讯地址	湖北省宜昌市西坝建设路1号				
应用成果 起止时间	2013年1月-2017年12月				
经济效益(万元)					
年度	2013	2014	2015	2016	2017
新增产值	16000	24350	23862.5	25750	26361.5
新增利税(纯收入)	/	/	/	/	/
年增收节支总额	16380	24740	24287.5	26160	26811.5
应用情况和社会环境效益:					
<p>长江电力拥有三峡、葛洲坝、溪洛渡和向家坝四座电站的全部发电资产，年设计发电量为1500亿千瓦时。截至2017年底，公司所管理的装机容量达4349万千瓦，其中70万千瓦及以上大型机组58台，为国内最大、全球最大的水电公司，因此更好地掌控流域的水电机组，保障机组安全、稳定、高效运行具有非常重大的意义。中国水电水利研究院《北京中水水电科技开发有限公司》进行“三峡点公司机组远程状态监测与故障诊断中心”、“向家坝主设备状态在线监测趋势分析系统”、“溪洛渡主设备状态在线趋势分析系统”、“三峡电站在线监测系统集成应用及功能优化研究”、“水电机组智能诊断技术研究与应用国家重点实验室”自主研发的发明专利“一种水电机组运行方式的优化方法”(专利号: ZL2014101600338.8)、“一种混流式水轮机出力异常检测方法”(专利号: ZL201410140072.4)、“一种水轮机尾水管动态监测量测方法”(专利号: ZL201410140030.9)都得到应用和广泛推广。</p> <p>在此平台上已经推出了转子质量不平衡、卡门涡共振、导流板脱胶、轴端节导流板脱落、转轮上止漏环脱落、轴振摆动与气隙不均、主变运行异常等7项故障，同时开展了水电站高空运行、机组运行优化、消流护层监测、升空位监测诊断、水轮机尾水管等全部缺陷应用研究。累计出具评价报告和研究报告6000余份，为保障公司机组安全、稳定、高效运行发挥了巨大的作用并提供了可靠技术支持。通过“三峡集团公司机组远程状态监测与故障诊断中心”的建设和应用，提高了设备的可靠性，减少了设备故障频次。截至2017年底，共二期、三期、溪洛渡电站“三峡点”机组中心设备缺陷导致的弃水电量及节省检修费用累计达1000万元，取得了巨大的社会和经济效益。</p>					
<p>应用单位盖章: </p> <p>2018年 3月 11日</p>					

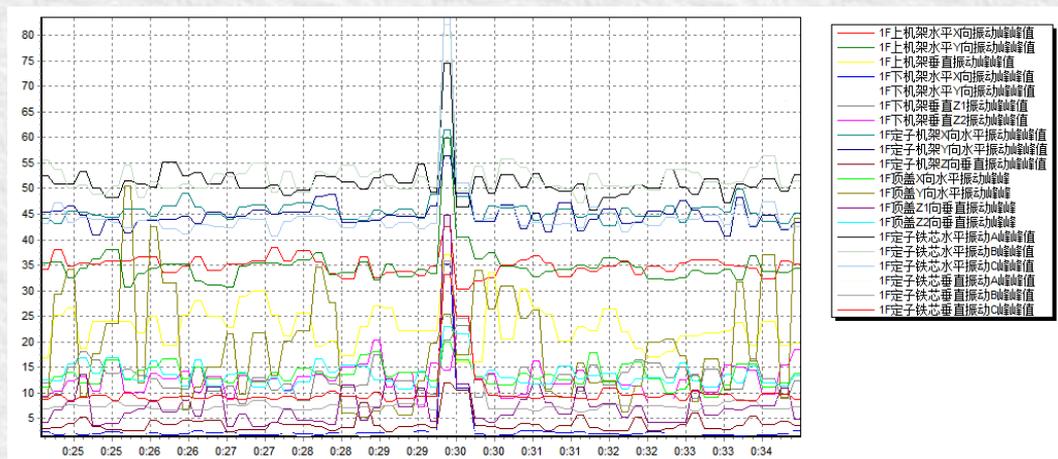


三峡集团公司机组远程监测与故障诊断中心，累计诊断出了转子质量不平衡、卡门涡共振、导流板撕裂、转轮上止漏环脱落、发电机极频振动、主变运行异常等故障。



4.4 应用案例1-地震对机组影响的分析

2013-2014年期间，西南地区多次发生有感地震，由于行业内没有地震对机组的健康状态影响实际经验，运行单位及设备制造商等各方都对地震“是否会给机组带来损害”以及“会带来什么损害”非常关注。

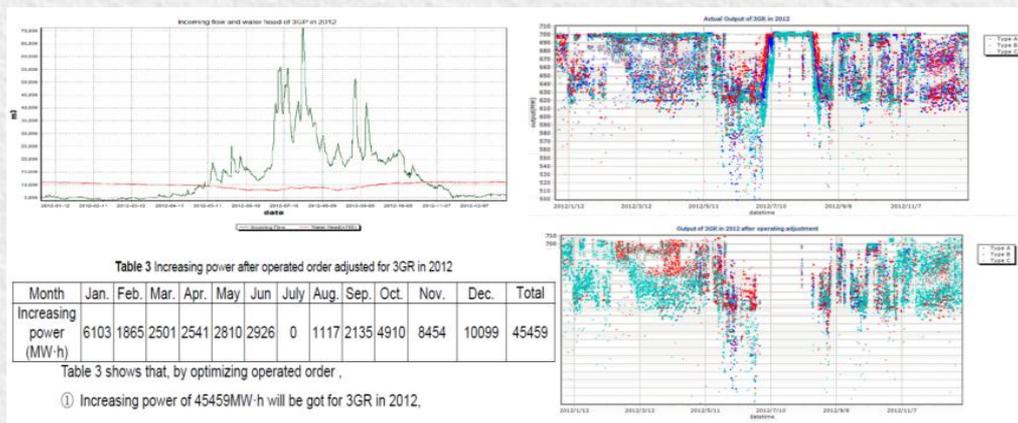


图为2014年“9.12永善地震”时溪洛渡电站20F机组的振动情况



4.5 应用案例2-机组优化运行

在三峡集团公司大型水电机组状态监测与诊断检修统一数据平台的基础上，开展了大口径超声波流量现场率定的探索性研究，以及基于流量和机组效率测量的提高水电站综合效益的分析研究。



图为根据2012年长江实际来水量和机组的实际开机情况，分析调整三峡右岸电站开机顺序的研究，以及该研究能够为三峡右岸电站带来的增发电量的计算过程及计算结果。



研究成果获2017年度中国水科院科学技术特等奖、2018年度大禹水利科学技术一等奖。





2019年中国电机工程学会年会
清洁能源 智慧电力 美好生活

中国水利水电科学研究院

谢谢大家！

