



水电厂检修技术丛书

水电厂辅助设备 及公用系统检修

张 诚 陈国庆 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

水电厂检修技术丛书

水电厂辅助设备及公用系统检修

张 诚 陈国庆 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是《水电厂辅助设备及公用系统检修》分册,全书详细讲解了水电厂辅助设备及公用系统的检修与维护技术,并介绍了一些常见故障的诊断及处理方法。为了帮助读者更好地理解书中内容,本书还辅以大量的图形和图片,力求直观、易懂。

本书共分六篇二十章。第一篇为概述;第二篇介绍油系统的检修与维护;第三篇介绍水系统的检修与维护;第四篇介绍压缩空气系统的检修与维护;第五篇介绍厂用电系统的检修与维护;第六篇介绍直流系统的检修与维护。

本书重点在于针对现场实际操作,对基本理论和工作原理不作过多阐述,可供水电厂生产及其管理人员现场培训参考,也可作为大、中专及职业技术学院教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

水电厂辅助设备及公用系统检修/张诚,陈国庆主编.
北京:中国电力出版社,2011.3

(水电厂检修技术丛书)

ISBN 978-7-5123-1507-5

I. ①水… II. ①张… ②陈… III. ①水力发电厂-
设备-检修 IV. ①TV73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 044314 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 4 月第一版 2012 年 4 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 26.5 印张 495 千字 2 插页

印数 0001—3000 册 定价 70.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

《水电厂检修技术丛书》编委会

编委会主任 张 诚

编委会副主任 陈国庆

编委会成员 王 宏 杨兴斌 罗仁彩 鲁结根

肖 荣 卢进玉 周江余 张亚明

吴丹清

《水电厂辅助设备及公用系统检修》

编 写 人 员

统 稿 人 杨兴斌 张良颖

编 写 人 员 蒋惠君 易继亮 张官松 孙亚涛

宋文金 杨 备 王兴圣 刘光权

审 查 人 欧阳定

前 言

近年来,我国水电开发迎来了历史性的发展机遇,水电机组单机容量和装机规模不断扩大,水电工程机电设计、制造和安装技术已赶上和达到世界一流水平。随着全球低碳经济的发展,作为大规模可再生清洁能源的水力发电必将得到越来越充分的开发和应用。

水电工程的性能和效益的发挥最终都要通过运行来实现。在水电工程全生命周期管理过程中,优质的建设、优化的运行和优良的检修维护对于充分发挥水电工程的效益都十分重要。得益于计算机、自动化、信息化、网络技术,新材料、新工艺的高速发展,以及现代管理理念和方法的应用,水电厂检修技术也得到不断更新和提高。但一直以来,鲜有全面、完整地介绍水电厂检修技术的书籍面市,使水电厂检修技术的学习、交流和推广受到限制。为了与水电厂同行进行技术交流,探讨推广标准化、规范化的水电厂检修方法,推动水电厂检修技术的不断进步,为从事水电厂检修工作的技术人员和管理人员提供参考和借鉴,中国长江电力股份有限公司在认真总结三峡水电厂和葛洲坝水电厂多年的检修经验的基础上,精心组织编写了一套《水电厂检修技术丛书》。

《水电厂检修技术丛书》由《水轮发电机组检修》、《水电厂辅助设备及公用系统检修》、《水电厂电气一次设备检修》、《水电厂电气二次设备检修》、《水工建筑物与闸坝机电设备检修》五个分册组成。

本丛书是国内第一套专门针对大中型水电厂的检修技术丛书,力求全面、系统、实用,强调指导性和可操作性。

由于不同形式水轮发电机组的检修方法与工艺有很大差别,因此本丛书检修实例均以国内大型混流式和轴流转桨式水轮发电机组及常见的大型输变电、自动控制和保护设备为主。

《水电厂检修技术丛书》凝聚着中国长江电力股份有限公司广大生产技术人员、智慧和心血,丛书编写历时两年,先后有 100 余人参与其中。公司成立了编写组,总经理张诚亲自组织编写工作,总工程师陈国庆组织了多次编审会议,公司所

属三峡水电厂、葛洲坝水电厂和检修厂组织了一大批技术骨干，利用业余时间编写，为《水电厂检修技术丛书》的顺利完成作出了宝贵的贡献。

本书为《水电厂辅助设备及公用系统检修》分册，全书详细讲解了水电厂辅助设备及公用系统的检修与维护技术，并介绍了一些常见故障的诊断及处理方法。为了帮助读者更好地理解书中内容，本书还辅以大量的图形和图片，力求直观，易懂。本书共分六篇二十章，第一篇为概述；第二篇介绍油系统的检修与维护；第三篇介绍水系统的检修与维护；第四篇介绍压缩空气系统的检修与维护；第五篇介绍厂用电系统的检修与维护；第六篇介绍直流系统的检修与维护。

本书第一篇（第一～三章）由蒋惠君编写，第二篇（第四～六章）由易继亮、张官松编写，第三篇（第七～十章）由孙亚涛、蒋惠君编写，第四篇（第十一～十三章）由宋文金编写，第五篇（第十四～十六章）由杨备、王兴圣编写，第六篇（第十七～二十章）由刘光权编写。全书由欧阳定审核，由杨兴斌、张良颖统稿。

该书是大中型水电厂检修技术人员几十年经验的积累与总结，内容丰富、易懂、实用，可作为我国水电厂检修维护人员、管理者以及高校相关专业师生的参考书。

由于水电厂检修技术创新日新月异，加之编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者提出宝贵意见。

编者

2011年5月

目 录

前言

第一篇 概述	1
第一章 辅助设备及公用系统的组成和工作原理	1
第二章 辅助设备及公用系统检修的一般原则	4
第三章 检修模式和检修周期	6
第二篇 油系统的检修与维护	10
第四章 油系统概述	10
第一节 水电厂用油的基本性质和质量监督	10
第二节 水电厂用油的种类及其作用	17
第三节 水电厂用油环境污染控制	19
第五章 透平油系统	21
第一节 透平油系统概述	21
第二节 透平油的分析化验	26
第三节 透平油的净化处理	38
第四节 透平油系统的检修与维护	42
第五节 透平油系统的布置及防火要求	47
第六章 绝缘油	50
第一节 绝缘油概述	50
第二节 绝缘油的物理、化学和电气性能	57
第三节 绝缘油质量标准 and 监督	73
第四节 绝缘油的老化与污染	95
第五节 绝缘油故障特征气体性质	102
第六节 绝缘油的检修与维护	114
第三篇 水系统的检修与维护	135

第七章 水系统概述	135
第一节 技术供水系统概述	135
第二节 排水系统概述	146
第三节 技术供水系统主要设备及其工作原理	151
第四节 排水系统主要设备及其工作原理	176
第五节 水系统实例介绍	186
第八章 技术供水系统检修与维护	203
第一节 技术供水系统的检修原则	203
第二节 减压阀的检修与维护	204
第三节 滤水器的检修与维护	210
第四节 泄压阀/持压阀的检修与维护	216
第五节 电动双向供水转阀的检修与维护	220
第九章 排水系统检修与维护	225
第一节 排水系统的检修原则	225
第二节 深井泵的检修与维护	227
第三节 潜水排污泵的检修与维护	234
第十章 水系统常见故障及处理	243
第一节 技术供水系统常见故障及处理	243
第二节 排水系统常见故障及处理	245
第四篇 压缩空气系统的检修与维护	248
第十一章 压缩空气系统概述	248
第一节 压缩空气系统的用途	248
第二节 压缩空气系统的组成	249
第十二章 压缩空气系统主要设备检修与维护	251
第一节 活塞式空气压缩机的检修与维护	251
第二节 螺杆式压缩机的检修与维护	269
第三节 冷冻式干燥机的检修与维护	284
第四节 气体减压阀的检修与维护	286
第五节 储气罐的维护与检测	290
第六节 管道阀门的维护与检测	293
第十三章 压缩空气系统常见故障及处理	294
第一节 活塞式压缩机常见故障及处理	294

第二节 螺杆式压缩机常见故障及处理	296
第三节 冷冻式干燥机常见故障及处理	297
第四节 气体减压阀常见故障及处理	301
第五篇 厂用电系统的检修与维护	302
第十四章 厂用电系统概述	302
第一节 厂用电系统负荷分类	302
第二节 厂用电系统的组成及接线方式	303
第三节 厂用电系统供电质量	306
第四节 低压系统的接地方式	307
第五节 厂用电系统的继电保护及备用电源自动投入装置	310
第十五章 厂用电主要设备检修与维护	313
第一节 中压断路器的检修与维护	313
第二节 低压断路器的检修与维护	321
第三节 干式变压器的检修与维护	323
第四节 母线的检修与维护	329
第五节 电力电缆的检修与维护	332
第十六章 厂用电主要设备的常见故障及处理	342
第一节 中压断路器的常见故障及处理	342
第二节 低压断路器的常见故障及处理	345
第三节 干式变压器的常见故障及处理	346
第四节 母线的常见故障及处理	347
第五节 电缆的常见故障及处理	348
第六篇 直流系统的检修与维护	350
第十七章 直流系统概述	350
第一节 直流系统的分类	350
第二节 直流系统的组成	351
第十八章 直流系统设备的检修与维护	355
第一节 直流系统的检修原则	355
第二节 蓄电池组的运行与维护	357
第三节 充放电装置的检修与维护	367
第四节 直流馈线盘的检修与维护	382
第五节 微机监控器的检修与维护	389

第十九章 直流系统的试验.....	394
第一节 交接验收试验项目及要求.....	394
第二节 直流系统检修后的试验	397
第二十章 直流系统故障及处理.....	405
第一节 蓄电池的故障及处理	405
第二节 直流系统接地故障的处理.....	409
参考文献.....	414



第一篇

概述

第一章 辅助设备及公用系统的组成和工作原理

一、油系统的组成和工作原理

(一) 油的分类和使用范围

(1) 水电厂用油可分为润滑油和绝缘油两大类。大中型水电厂一般使用润滑油和绝缘油，其中尤以汽轮机油和变压器油用量最大。

(2) 汽轮机油（俗称透平油）一般作为机组轴承润滑、调速系统、进水阀、调压阀、液压操作阀及液压启闭机的液压作用油，在水电厂得到广泛应用；其他如电动机、水泵轴承、齿轮变速器等使用的机械油，空气压缩机使用的空气压缩机油，以及风机轴承和水泵填料函润滑密封使用的润滑脂用量都比较少，一般按照设备维护手册中的说明就可以满足使用维护的要求。

(3) 绝缘油主要用在变压器、断路器、电流互感器、电压互感器、套管等处。绝缘油起着绝缘、散热冷却和熄灭电弧的作用。在电力系统中，变压器油的用量占绝缘油用量的比重很大。随着技术和装备的进步，以及 GIS 和干式变压器的广泛使用，变压器和断路器的油量正逐步减少。

(二) 油的净化处理和污染控制

(1) 汽轮机油在运行、储存过程中被氧化或油中混入水分和其他杂质等，将导致油的劣化。对劣化油的回收和处理，一定要有严格的回收和处理程序。对油的处理，目前常用的方法仍然是压力过滤和真空过滤，这两种方法组合使用效果更好。紧急情况下，也可以采用便携式油处理设备进行现场过滤。同时也要注意运行、检修和储存过程中的污染控制，尤其是设备检修和系统维护时的污染控制。

(2) 变压器油的老化机理比较复杂，在光、热、氧、电磁场、电弧、辐射，以及铜、铁等催化剂的作用下，变压器油会发生速度缓慢的氧化、裂解与碳化等化学反应，生成某些氧化产物及其缩合物（油泥），产生氢及低分子烃类气体和固体蜡



等,造成油的劣化,从而使其介电性能逐渐下降或变坏。绝缘油的老化可分为热氧老化和电气老化两种。变压器油中混入了水分和杂质,其绝缘性能会变坏,击穿电压降低,介质损耗增大。对变压器油的处理,一般采用现场过滤的方式进行。

(三) 油的检测和状态监测

(1) 汽轮机油的检测和状态监测。汽轮机油的状态监测,一般通过在油槽上安装液位计和观察孔来进行,或通过集油槽本体上安装温度计和油混水探测器进行。当油系统设备检修后和运行异常时,应及时进行油样化验检测。

(2) 变压器油的检测和状态监测。变压器油的状态监测,一般通过在变压器本体上安装气体继电器、油气在线监测装置、局放监测装置进行,同时定期进行油样化验和介损测量来对变压器运行状态进行监视。

二、水系统的组成和工作原理

水电厂水系统包括技术供水系统、清洁水系统和排水系统。一般水电厂清洁水系统都由外来水源提供。

水电厂技术供水系统依据电站水头情况的不同,其供水方式包括自流供水、加压供水和混合供水三种方式。对于水头变化幅度较大的水电厂,也可根据水头情况选择多种供水方式。技术供水系统由水源、管网、加压设备(或减压设备)、用水设备及测量和控制元件等组成。水源一般采用上游取水 and 下游取水两种方式,特殊情况下也可考虑采用其他水源(如支流或地下水源)作为主水源、补充水源或备用水源。

排水系统包括渗漏排水和机组检修排水两部分,一般由排水设备、管网及测量和控制元件等组成。

三、气系统的组成和工作原理

水电厂压缩空气系统一般包括油压装置用气、机组制动用气、工业用气、机组强迫补气和封闭母线微正压用气等系统。压缩空气系统主要由空气压缩装置、供气管网、测量和控制元件、用气设备等组成。其中,空气压缩装置包括空气压缩机(简称空压机)及其附属设备,水电厂中常用活塞式空气压缩机、螺杆式空气压缩机;附属设备主要有储气罐、气水分离器、减压阀和空气冷却器(或冷干机)等。

四、厂用电系统的组成和工作原理

按电压等级的高低,厂用电系统接线方式可分为高压厂用电接线方式和低压厂用电接线方式。各机组的高压厂用电系统应该相对独立,这主要是为了防止某一台机组的厂用电母线故障时,不致影响其他机组的正常运行。低压厂用电接线方式的基本原则与高压厂用电接线方式基本一致,最重要的原则是根据厂用电系统负荷重要程度的不同,将提供不同的供电方式。

为了保障厂用电系统的正常运行,应装设厂用电系统保护。目前,主要保护配



置及功能有电流速断保护、过电流保护、过负荷保护、低电压（欠电压）保护、单相接地保护等。

厂用电系统主要设备有中压断路器、低压断路器、干式变压器、母线和电缆等。中压断路器包括油断路器、SF₆断路器、QF4 型真空断路器。其中，油断路器结构简单，使用历史长、范围广，运行经验丰富，但在中压电路中逐渐被 SF₆ 断路器和真空断路器所取代。

低压断路器也称为自动空气断路器，型号众多。某些新型断路器如 3VL 系列塑壳断路器采用模块化设计，带有热磁式或电子式过电流脱扣器，配置直流电动操作机构，具有自动储能功能，满足远方操作要求；同时具有手动和电动操作功能，能在主进线电源不停电的情况下检修和更换，使用非常方便。

干式变压器具有无油、免维修、阻燃防火、环保等优点，在厂用电系统中得到广泛应用。

五、直流系统的组成和工作原理

（一）直流系统的分类及组成

充电装置、蓄电池组及馈线回路构成了直流系统。正常运行情况下，充电装置带直流负荷，同时给蓄电池组浮充电。在交流电源消失或充电装置故障的情况下，蓄电池组带直流负荷运行，从而保证了直流负荷供电的不间断性。

（二）直流系统的主要设备

蓄电池组和充电装置是直流系统的核心部分。电力系统采用的蓄电池可分为防酸蓄电池、镉镍蓄电池和阀控蓄电池三类，不同类型的蓄电池适用于不同的场所。大中型水电厂、220kV 及以上变电所和直流输电换流站宜采用防酸蓄电池或阀控蓄电池。

目前，国内外生产的充电装置可分为磁放大型充电装置、相控型充电装置和高频断路器电源型充电装置。高频断路器频率结合脉宽调制技术应用在断路器电源上，取消了庞大的隔离变压器，在高频化、小型化及模块化上有很大进展，具有稳压精度高、稳流精度高、体积小、质量轻、效率高、输出纹波系数小、模块任意叠加、N+1 热备用设计及便于计算机管理等优点，符合现代直流电源的潮流。目前，高频断路器电源型充电装置已在水电厂直流系统中得到了广泛应用。



第二章 辅助设备及公用系统 检修的一般原则

一、术语和定义

(一) 基于诊断与评估的预防性维修

基于诊断与评估的预防性维修是指在定期检修的基础上,根据诊断与评估的结果,确定设备检修间隔、停用时间和检修项目的检修方式。

(二) 设备检修间隔

设备检修间隔是指从上次检修后设备复役时开始,至下一次同级检修开始时的时间间隔。

(三) 标准检修项目

标准检修项目是指根据国家标准、法律、法规,以及设备制造厂提供的技术文件、同类设备的检修经验等确定的各类检修必须进行的检修项目。

(四) 非标准检修项目

非标准检修项目是指根据设备的状况评估结果需要增加的检修项目、运行中发现的需要停机处理的缺陷项目,以及需要停机进行的技改项目等标准检修项目以外的项目。

(五) 首次整顿性检修

首次整顿性检修是指设备设施接管后的第一次检修,主要包括全面检查与清扫,设备标识的装设,端子、定值和控制流程的核对与梳理,功能检查和试验,安装调试期间遗留问题或接管后发现问题的处理等。

(六) H (Hold) 点和 W (Witness) 点

H 点和 W 点是过程控制中的质量验收点类别标识。其中, H 点为停工待检点,需验收通过后方可进行下一道工序; W 点为见证点,工作可以继续,见证点的后续工作不影响见证的内容。

注:在技术标准中, H 点和 W 点采用“* & #”的表示方式,如“3H2”、“2W2”。其中,“*”指验收级别;“&”指验收点类别;“#”为一个项目中同一类别验收点的序号。例如,“3W4”即指一个项目中第四个需要三级验收的 W 点。

(七) 精益检修原则

(1) 实施精益维修策略。采取基于诊断与评估的预防性维修方式,兼顾安全



性、法规性、经济性和统筹性原则，检修管理实行项目管理与节点控制相结合的过程控制方法。

(2) 加强检修项目管理。建立检修过程控制的信息管理平台，实行检修计划、进度、成本控制、资源管理、节点控制、项目评价和过程记录等全方位信息化管理。

(3) 设备检修过程应做到“作业规范、标识清晰、摆放有序、工停场清”。

(4) 设备检修主体按设备检修等级和设备分工范围确定。

二、辅助设备及公用系统的检修原则

一般采用年度维护、部分维护（限于气系统和排水系统）、整体维护检修模式，检修间隔和停用时间以主设备为参考，一般随主设备一起检修。技术供水系统随水轮发电机组一起进行对应级别的检修。



第三章 检修模式和检修周期

一、油系统

油系统设备检修没有固定的检修模式和检修周期，本篇主要针对油系统中汽轮机油、绝缘油的化验检测和油质监测进行介绍。

二、水系统

(1) 技术供水系统根据设备检修规模、停用时间和检修内容，将设备检修分为不同等级，见表 3-1 和表 3-2。

表 3-1 技术供水系统设备检修等级

设备（系统）	检修等级	检 修 内 容
技术供水系统	A	技术供水设备进行全面的解体检查和修理，以保持、恢复或提高设备性能
	B	针对技术供水设备或组件存在的问题进行解体检查和修理，可根据状态评估结果实施部分 A 级检修项目
	C	根据技术供水设备的磨损、老化规律，有重点地对设备进行检查、评估、修理、清扫，可进行少量的零件更换、设备消缺、调整、预防性试验等作业，以及实施部分 B 级检修项目
	D	技术供水设备总体运行状况良好，对主要设备的附属系统和设备进行维护、保养与消缺

表 3-2 技术供水系统设备定期检修间隔与停用时间

设备（系统）	检修等级：C		首次整顿性检修
	检修间隔	停用时间	停用时间
技术供水系统	1 年	14 天	14 天

(2) 排水系统根据设备检修规模、停用时间和检修内容，将设备检修分为不同等级，见表 3-3。

表 3-3 排水系统设备检修等级

设备（系统）	检修等级	检 修 内 容
排水系统	整体维护	对设备设施进行全面检查、维护、清扫，包括电气或机械特性试验、功能试验、设备全面解体检查和保养、电气预防性试验、水工建筑物的修补等
	部分维护	对设备设施进行全面检查、评估、维护、清扫，设备部分解体检查和保养等
	年度维护	对设备设施进行外观检查、评估、清扫等



排水系统定期检修间隔与停用时间, 见表 3-4。

表 3-4 排水系统定期检修间隔与停用时间

设备 (系统)	整体维护		部分维护		年度维护
	检修间隔	停用时间	检修间隔	停用时间	停用时间
排水系统	8 年	20 天/台套			7 天/泵站

三、气系统

(1) 气系统根据设备检修规模、停用时间和检修内容, 将设备检修分为不同等级, 见表 3-5。

表 3-5 气系统设备检修等级

设备 (系统)	检修等级	检 修 内 容
气系统	整体维护	对设备设施进行全面检查、维护、清扫, 包括电气或机械特性试验、功能试验、设备全面解体检查和保养、电气预防性试验等
	部分维护	对设备设施进行全面检查、评估、维护、清扫, 设备部分解体检查和保养等
	年度维护	对设备设施进行外观检查、评估、清扫等

在气系统中, 空气压缩装置定期检修间隔与停用时间以空气压缩机设备厂家要求为准。

(2) 储气罐的维护及检测, 一般由当地技术监督部门或有相关资质的权威部门进行。

1) 压力容器外部检查, 每年至少进行一次。

2) 内外部检验周期: 安全状况等级为 1、2 级的, 每 6 年至少进行一次; 安全状况等级为 3 级的, 每 3 年至少进行一次。

3) 对固定式压力容器, 每两次内外部检验期间内, 至少进行一次耐压试验; 对移动式压力容器, 每 6 年至少进行一次耐压试验。

4) 投用后, 首次内外部检验周期一般为 3 年。

(3) 安全阀、压力表定期校验, 每年至少校验一次; 测温仪表、液面计按计量部门的规定进行校验; 经重大改造使用条件变更, 且停用 2 年以上需要重新投用的仪器、仪表, 应进行压力试验。

四、厂用电系统

对国产电气设备, 变压器类设备执行部颁 DL/T 573 《电力变压器检修导则》; 开关类设备执行相关设备的部颁标准和网、省公司检修规定; 预防性试验执行 DL/T 596 《电力设备预防性试验规程》。对于各类进口设备的运行、维护、检修及