

# 综合检修

## 在交直流大电网中的应用

国网山西省电力公司 编



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 综合检修 在交直流大电网中的应用

国网山西省电力公司 编



中国水利水电出版社

[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

·北京·

## 内 容 提 要

本书共7章, 主要内容包括综合检修提出的背景及意义, 电网检修管理及检修模式, 国网山西电力综合检修实践, 综合检修在交直流大电网中的适应性, 交直流大电网综合检修协同机制流程及制度规范, 综合检修在交直流大电网中的综合效益, 最后以结束语的形式对全书内容进行了梳理并提出了对今后开展综合检修的建议。

本书内容是对国家电网公司综合检修模式的实践总结, 希望能够对国内外电网企业的检修管理有所借鉴和启发。

## 图书在版编目(CIP)数据

综合检修在交直流大电网中的应用 / 国网山西省电力公司编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2016. 7  
ISBN 978-7-5170-4582-3

I. ①综… II. ①国… III. ①电网—检修—研究  
IV. ①TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第174958号

|                                        |                                                                                                                                               |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名                                    | 综合检修在交直流大电网中的应用<br>ZONGHE JIANXIU ZAI JIAOZHILIU DADIANWANG<br>ZHONG DE YINGYONG                                                              |
| 作 者<br>出版发行                            | 国网山西省电力公司 编<br>中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)<br>网址: www.waterpub.com.cn<br>E-mail: sales@waterpub.com.cn<br>电话: (010) 68367658 (营销中心) |
| 经 售                                    | 北京科水图书销售中心(零售)<br>电话: (010) 88383994、63202643、68545874<br>全国各地新华书店和相关出版物销售网点                                                                  |
| 排 版<br>印 刷<br>规 格<br>版 次<br>印 数<br>定 价 | 中国水利水电出版社微机排版中心<br>北京嘉恒彩色印刷有限责任公司<br>140mm×203mm 32开本 5.5印张 110千字<br>2016年7月第1版 2016年7月第1次印刷<br>0001—4000册<br>30.00元                          |

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

## 编委会

主任 刘宏新 沈同

副主任 梁建伟

委员 曹明德 原敏宏 张晓亮 尉 镔  
李 坚 王海鹏

主 编 曹明德

副主编 原敏宏 李 坚

成 员 王海鹏 尉 镔 解 涛 张 海  
王中杰 胡 多 郝登朴 成小胜  
冯 霆 吴随莲 王 斌 李晓梅  
张 政 王鸿海 张庆华 李东升  
李晓东

# 前言



随电网技术的飞速发展，国家电网已经进入交直流大电网迅速发展的新时期。国家电网公司“十三五”电网规划总体目标要求：加快建设以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强智能电网；到2020年，形成西南、西北、东北三送端和“三华”（华北、华东、华中同步电网）一受端的四个同步电网格局，满足全面建成小康社会对电力增长的需求。随着电网结构和设备制造能力的升华，电网在检修工作时如何能更快、更好、更经济地开展，也对传统运检管理模式优化升级提出了新的需求。

“十二五”期间，国网山西省电力公司积极参与变革传统的生产管理方式，探索开展综合检修的管理模式，在交直流大电网中开展省内和跨省市、跨区域的综合检修工作，对于提高运检质效、保障电网安全可靠运行具有重要作用。同时对于提升交直流大电网运检管理水平，提高跨地区甚至跨省的协同配合能力，防范和化解跨区电网系统运行风险也都具有十分重大的意义。

本书共分7章。第1~3章系统阐述了综合检修

模式的意义以及综合检修在国内外企业的相关实践。第4章建立综合检修适应度模型,以同停设备和同停时间为主要变量,计算综合检修的适应度,指出综合检修与常规检修的临界值,并重点对综合检修在交直流大电网中的应用进行了适应性分析。第5章基于项目管理思想,应用系统工程理论方法,提出交直流大电网综合检修全过程管理体系,并提出了跨省市、跨区域综合检修协同工作机制,构建横向协同、纵向贯通工作管理体系。第6章构建综合检修效益分析模型,以供电可靠性、安全效益和经济效益为主变量,从理论上对综合检修模式提供了佐证。第7章以结束语的形式对全书内容进行了梳理并提出了对今后开展综合检修的建议。

本书内容是对国家电网公司综合检修模式的实践总结,希望能够对国内外电网企业的检修管理有所借鉴和启发。由于时间和水平有限,书中难免有不足之处,敬请各位读者批评指正。

编者

2016年5月1日

# 目录



## 前言

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 第1章 综合检修提出的背景及意义 .....                | 1  |
| 1.1 国内外检修模式概述 .....                   | 2  |
| 1.2 综合检修的意义 .....                     | 4  |
| 1.2.1 综合检修模式的描述 .....                 | 5  |
| 1.2.2 综合检修优点 .....                    | 7  |
| 1.2.3 综合检修模式开展情况 .....                | 8  |
| 1.3 本章小结 .....                        | 10 |
| 第2章 电网检修管理及检修模式 .....                 | 11 |
| 2.1 电网检修的管理现状概述 .....                 | 11 |
| 2.1.1 电网检修的管理制度 .....                 | 13 |
| 2.1.2 检修工作相关组织机构与职责 .....             | 15 |
| 2.1.3 检修管理流程概述 .....                  | 16 |
| 2.1.4 运检专业目前存在的问题 .....               | 18 |
| 2.2 交流 750kV 及以下输变电设备<br>检修模式现状 ..... | 19 |
| 2.3 交流特高压及直流输变电设备<br>检修模式现状 .....     | 20 |
| 2.3.1 交直流大电网特点 .....                  | 20 |

|            |                               |           |
|------------|-------------------------------|-----------|
| 2.3.2      | 交流特高压输变电设备检修<br>模式现状 .....    | 22        |
| 2.3.3      | 直流输变电设备检修模式现状 .....           | 23        |
| 2.4        | 交直流运行相互影响因素分析 .....           | 24        |
| 2.4.1      | 交流系统对特高压直流系统运行的<br>支撑作用 ..... | 24        |
| 2.4.2      | 特高压直流对电网安全稳定影响 .....          | 26        |
| 2.4.3      | 交直流系统综合检修影响因素分析 .....         | 28        |
| 2.5        | 本章小结 .....                    | 29        |
| <b>第3章</b> | <b>国网山西电力综合检修实践 .....</b>     | <b>30</b> |
| 3.1        | 综合检修项目管理理念的形成 .....           | 30        |
| 3.2        | 国网山西电力综合检修工作情况 .....          | 32        |
| 3.2.1      | 省检修公司综合检修工作开展情况 .....         | 33        |
| 3.2.2      | 地市公司综合检修工作开展情况 .....          | 34        |
| 3.3        | 典型案例实证分析 .....                | 35        |
| 3.3.1      | 1000kV 综合检修 .....             | 35        |
| 3.3.2      | 500kV 综合检修 .....              | 42        |
| 3.3.3      | 220kV 综合检修 .....              | 48        |
| 3.4        | 综合检修工作管理 .....                | 59        |
| 3.4.1      | 综合检修协同机制 .....                | 59        |
| 3.4.2      | 综合检修制度流程 .....                | 60        |
| 3.4.3      | 综合检修成效分析 .....                | 62        |
| 3.5        | 存在主要问题 .....                  | 66        |
| 3.6        | 本章小结 .....                    | 67        |



|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| <b>第4章 综合检修在交直流大电网中的适应性</b>           | 68 |
| 4.1 交直流大电网中综合检修模式                     | 68 |
| 4.2 综合检修适应性论述                         | 69 |
| 4.2.1 特高压交流 1000kV 输变电设备检修<br>模式适应性分析 | 69 |
| 4.2.2 直流±800kV 输电检修模式<br>适应性分析        | 71 |
| 4.2.3 交流 500kV 输变电检修模式分析              | 76 |
| 4.3 综合检修的适应性分析                        | 77 |
| 4.3.1 计划优劣分析                          | 77 |
| 4.3.2 资源管理分析                          | 79 |
| 4.3.3 安全性分析                           | 80 |
| 4.3.4 适应度分析                           | 80 |
| 4.4 综合检修适应性实证分析                       | 84 |
| 4.4.1 大同 220kV 马军营站综合检修<br>项目实证分析     | 84 |
| 4.4.2 大同 500kV 雁同站综合检修项目<br>实证分析      | 87 |
| 4.4.3 特高压 1000kV 长治站项目实证分析            | 89 |
| 4.4.4 适应度数据分布分析                       | 90 |
| 4.5 综合检修开展原则                          | 92 |
| 4.6 本章小结                              | 93 |
| <b>第5章 交直流大电网综合检修协同机制流程<br/>及制度规范</b> | 94 |

|       |                                |     |
|-------|--------------------------------|-----|
| 5.1   | 交直流大电网中综合检修模式 .....            | 94  |
| 5.2   | 跨省市的综合检修协同工作机制 .....           | 95  |
| 5.2.1 | 跨省市、跨地区组织机构平台设置 .....          | 95  |
| 5.2.2 | 省内组织机构平台设置 .....               | 98  |
| 5.2.3 | 跨省市的综合检修项目管理模式 .....           | 98  |
| 5.3   | 交直流大电网综合检修管理制度的完善 .....        | 99  |
| 5.4   | 交直流大电网综合检修全过程管理<br>流程的完善 ..... | 105 |
| 5.5   | 本章小结 .....                     | 105 |

## 第6章 综合检修在交直流大电网中的

|       |                     |     |
|-------|---------------------|-----|
|       | 综合效益 .....          | 107 |
| 6.1   | 综合效益评价指标体系 .....    | 108 |
| 6.1.1 | 电网检修效益指标选择的原则 ..... | 108 |
| 6.1.2 | 电网检修综合效益指标的制定 ..... | 109 |
| 6.2   | 综合效益评价 .....        | 113 |
| 6.2.1 | 指标无量纲化处理 .....      | 113 |
| 6.2.2 | 综合评价指标权重 .....      | 115 |
| 6.2.3 | 综合评价模型的建立 .....     | 118 |
| 6.3   | 综合检修综合效益的实证分析 ..... | 119 |
| 6.3.1 | 实证数据 .....          | 119 |
| 6.3.2 | 实证分析 .....          | 120 |
| 6.4   | 综合检修安全分析 .....      | 121 |
| 6.4.1 | 安全投入产出模型 .....      | 122 |
| 6.4.2 | 安全投入产出模型的实证分析 ..... | 123 |

|            |                           |            |
|------------|---------------------------|------------|
| 6.5        | 综合检修成本费用管控 .....          | 125        |
| 6.5.1      | 经济效益指标分析 .....            | 125        |
| 6.5.2      | 经济效益管控解决方案 .....          | 126        |
| 6.6        | 综合检修社会效益分析 .....          | 129        |
| 6.7        | 本章小结 .....                | 130        |
| <b>第7章</b> | <b>结束语 .....</b>          | <b>132</b> |
| 7.1        | 主要内容 .....                | 132        |
| 7.2        | 结论 .....                  | 136        |
| 7.3        | 建议 .....                  | 137        |
| 7.3.1      | 对管理层公司的建议 .....           | 137        |
| 7.3.2      | 省公司层面的优化改进建议 .....        | 140        |
|            | 术语解释 .....                | 144        |
| <b>附录1</b> | <b>网省公司综合检修系列流程 .....</b> | <b>147</b> |
| <b>附录2</b> | <b>山西电网综合检修管理办法 .....</b> | <b>152</b> |

# 第 1 章 综合检修提出的 背景及意义

“十二五”期间，国家电网公司以安全、优质、经济、清洁、高效为目标，加快建设以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的智能电网；以“三集五大”（即“三集”：深化人、财、物集约化管理，“五大”：建设大规划、大建设、大运行、大检修、大营销体系）管理体系建设为重点，建立适应交直流大电网发展要求的管理体系、运营机制，全面提升运营效率和效益，提升安全效益和社会效益。

电网设备检修是电力企业生产管理工作的的重要组成部分，对准确掌握设备状态、及时消除缺陷隐患对提高设备可靠性、保障电网安全稳定运行具有重要意义。随着我国工业化、城镇化的深入推进，国民经济平稳较快发展将带动电力需求持续增长。“十三五”期间，国家电网公司系统将在 2017 年建成“四交五直”特高压工程，2019 年建成“五交八直”特高压工程，2020 年建成“三华”同步电网，形成东北、西北、西南三送端电网和“三华”一受端电网的四个同步电网格局，特高压电网规模呈现爆发式增长。期间，随着区域性的电网技

术改造、扩容、市政临时用电等多元化的动态需求与现行的电网设备定期检修、状态检修等的结合，引出了交直流大电网设备检修工作的综合性管理问题。为此，如何统筹安排各方停电计划，提高检修质效，提高人身、电网和设备的安全性，减少停电时间，减少重复停电次数，最大限度地确保电网安全稳定持续运行，已成为当前在交直流大电网中进行综合检修探索应用研究的重要课题。

### 1.1 国内外检修模式概述

电气设备的检修历程，大致经历了三个阶段，即事故后检修、定期检修（按规定周期进行的定期预防性检修）和状态检修（主动检修或预知检修）。状态检修始于1970年，由美国杜邦公司 I. D. Quinn 首先倡议。状态检修是当前耗费最低、技术最先进的维修制度，它为设备安全、稳定、长周期、全性能、优质运行提供了可靠的技术和管理保障。

从国外来看，1970年以后，美国电力科学研究院（EPRI）就对电力装备的状态检修进行研究和运用，目前已向以可靠性为中心的检修（RCM）发展。日本是从1980年以来，对电力装备实施以状态分析和在线监测为基础的状态检修。而欧洲大多数国家也正在进行检修体系体例的改造，目标也是状态检修。

我国从 1985 年开始，清华大学先后着手研究的电力设备放电在线监测系统、水泵/水轮机组运行状态监测与跟踪分析系统等，为我国开展电力设备状态检修做出了积极探索。1990 年以后国内电力企业开始了状态检修试点工作，2001 年 12 月 3 日，国家电力公司（国家电网公司和南方电网公司前身）印发了《火力发电厂实施装备状态检修的指导意见》（国电发〔2001〕745 号），进一步推动火电厂实施装备状态检修工作的展开。2003 年，中国电力企业联合会供电分会《状态检修指导意见框架》研讨会在陕西宝鸡召开，确定了状态检修基本框架。2006 年年初，国家电网公司全面开展了状态检修相关准备和规章制度体系建设工作。2007 年，国家电网公司进一步加大了相关工作力度，组织编制了状态检修相关规章制度和技术标准，对状态检修工作进行了全面规范。2010 年起，国家电网公司在公司范围内所有区域电网公司和省级公司（以下简称“网省公司”）全面开展了状态检修工作。但鉴于直流换流站和特高压交流变电站在电网运行中的重要性，仍采用每年定期检修方式。

近年来，我国的电力基础设施建设取得了巨大成果。在山西，随着能源重化工基地的战略地位和“晋电外送”大格局的形成，使得特高压交直流输电发展迅猛，因此，交直流特高压电网设备的检修也就越来越至关重要。为此，国网山西省电力公司（以下简称国网山

西电力)在传统的检修方式上进行了创新,并提出了综合检修相关理念。通过多年来的探索和实践,已经形成了比较完善的理论体系和实际经验,即坚持“一年不消缺,三年不年度检修,五年不技改”的管理理念,形成了综合检修组织管理模式。

综合检修是基于“三集五大”体系要求的全新、科学的生产管理方法,根据设备状态评价结果,以“整站、多线,分级分片”为主要停电方式,统筹例行检修、消缺、年度检修、技改、辅修、基建、用户、电厂、市政等停电工作,按照“七三工作法”的要求,统筹人、财、物等各方资源,集中时间和精力,在确保人身电网设备安全的基础上,做到“一停多用”,实现一个检修周期内不重复停电的“两个减少”目标。该模式在聚合检修资源、深化专业协同、开展“设备”会诊、完善后期跟踪方面成效明显。

### 1.2 综合检修的意义

综合检修管理模式是集中管理、统一调控、优化配置、合理布局的有效科学的检修管理思路。国网山西电力“十三五”期间将承担9项特高压工程建设、维护任务,新建晋北站、晋中站两座1000kV特高压交流变电站,新建晋北±800kV特高压直流换流站,新建1000kV交流线路2976km,新建特高压直流线路

1726km。为此，要充分研究综合检修的意义，探索其范围及关联关系，减小因检修停电所引起的对电网和用电客户的影响，为国网山西电力迎接交直流大电网新常态运检工作奠定基础。同时在充分挖掘自身优势及潜力的前提下，不断完善改进现有运检工作开展方式方法，为省公司、地市公司进一步提高检修质效、强化检修管理水平提供理论支撑。

综合检修有以下意义：

(1) 管理创新。基于项目管理思想，应用系统工程理论方法，在电网检修中采用综合检修模式。

(2) 模式创新。坚持“一年不消缺，三年不年度检修，五年不技改”的管理理念，综合各种检修模式的优点，统筹各方停电需求，结合设备状态分析结果，制定三年综合检修基准计划和年度滚动修正计划，实现“两个减少”的检修目标。

(3) 理论创新。形成了大量的制度规范，形成了一整套综合检修的理论体系。

(4) 机制创新。横向协同纵向贯通的协同机制，实现“一停多用”。

### 1.2.1 综合检修模式的描述

检修模式是指从电力设备检修经验中经过抽象和升华提炼出来的有关提高设备可用性的核心知识体系。核心知识包括检修流程、检修标准以及检修状况的评估；相关知识包括组织管理、技术经济等内容。



综合检修和常规检修是电力企业检修工作中偏重组织管理的工作管理方式，而定期检修与状态检修为偏重周期管理的检修方式，状态检修和定期检修都可以引入综合检修工作理念。

综合检修相对于常规检修管理模式来讲，统筹停电需求的范围更多，停电模式也由“单线、间隔”方式变成了“整站、多线，分级分片”的更大范围的停电模式，目的是“一停多用”；综合检修是计划性的检修管理工作，是以定期检修或状态检修的检修周期（3~5年）为基准，纳入基建、市政、电厂等其他停电需求，年度滚动调整的计划管理工作；综合检修一次检修（不适宜在一个检修周期内组织两次或多次综合检修）就要达到停电设备的全面检修，无死角，以保证“三年不年度检修”目标的实现，在一个周期内减少电网非正常运行时间和人工操作时间的“两个减少”目标；综合检修是聚集资源，突出“七三工作法”和多部门多专业的协同精细化管理的系统工程；在综合检修管理模式中，从检修周期和检修规程方面结合了定期检修和状态检修的技术特点，在管理上得以升华和提高。但在一个检修周期内，一次综合检修代替不了所有的检修工作，常规检修仍然要担负起保障电网稳定运行的任务，且不应为符合综合检修的理念，而导致检修范围及内容贪多求大，产生同停设备过多或检修计划所需资源过多等现象，在本书第5章针对综合检修的适应性研究有专门的论述，