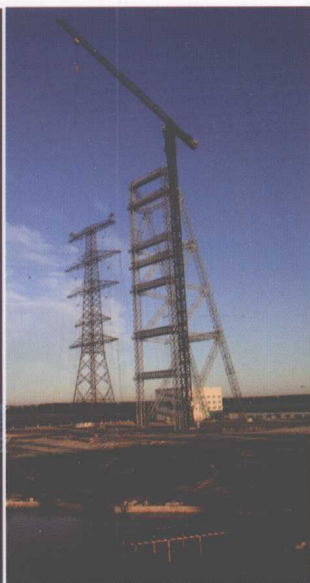


特高压杆塔结构 试验系统



张文亮 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

特高压杆塔结构 试验系统

张文亮 主编

中国电力科学研究院专著出版基金资助



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是根据国家电网公司特高压杆塔结构试验系统的构成情况, 密切结合当前国内外特高压工程输电线路杆塔结构设计和试验技术发展的实际而编写的。全书共分八章, 主要内容包括结构试验概论、特高压杆塔结构试验、承力系统、液压加荷系统、测控系统、部件试验系统, 以及系统调试和特高压杆塔结构试验系统工程应用实例等内容。同时, 随书还附有一张全面介绍特高压杆塔试验基地的光盘, 使读者可以对特高压杆塔结构试验系统的组成及试验能力有比较直观的了解。

本书可供从事输变电工程领域的结构工程师、设计人员、试验检测人员和研究人员参考, 还可供对工程结构试验系统研究感兴趣的人员参考学习。

图书在版编目 (CIP) 数据

特高压杆塔结构试验系统/张文亮主编. —北京: 中国电力出版社, 2009

ISBN 978 - 7 - 5083 - 9890 - 7

I. ①特… II. ①张… III. ①高电压 - 输电线路 - 线路杆塔 - 结构试验 IV. ①TM75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 230100 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 12 月第一版 2009 年 12 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 13.75 印张 231 千字 2 彩页

印数 0001—3000 册 定价 45.00 元 (含 1DVD)

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

《特高压杆塔结构试验系统》

编 委 会

主 编 张文亮

副 主 编 杨建平 李 正

编委会成员 程永锋 何长华 郭玉莹 周 伟 董玉明

王景朝 崔 赤 刘超群

编写组成员 费香泽 李清华 耿景都 邢海军 黄 璜

安 平 吴 静 卢智成 张新房 周立民

刘宝刚 焦国强 聂硕儒 聂建华 丁 平

鲁先龙 杨靖波 唐树坤 杜正安 田 斌

李茂华 张子富 刘华清

建设以特高压电网为骨干网架，各级电网协调发展，具有信息化、数字化、自动化、互动化特征的统一的坚强智能电网，已成为国家电网公司的发展方向和战略目标，这是坚持以人为本、落实科学发展观的必然要求和具体体现，具有极其重要的社会意义。

智能电网首先应该是坚强的电网，而网架坚强是坚强电网的基础，特高压又是坚强网架的核心。2008年的雨雪冰冻灾害给全国电网所带来的严重损失再次让人们认识到，担负着架空电力线重任的杆塔结构对电网安全稳定的运行和建设投资的经济合理具有重要的影响。杆塔结构真型试验作为一种检验杆塔结构设计是否安全可靠的重要手段，在设计理论的发展、杆塔结构的优化研究、新材料和新工艺的推广应用方面起到了不可替代的作用。长期以来，国内外一直都非常重视杆塔结构的真型试验研究，特别是随着我国晋东南—南阳—荆门1000kV特高压交流输电试验示范工程的建成投运和向家坝—上海±800kV特高压直流输电示范工程的全线贯通，标志着我国电力科技水平又迈上了一个新的台阶，在电压等级不断提高的形势下，杆塔结构大型化、复杂化的趋势日益明显，对杆塔结构试验的能力提出了新的更高的要求。

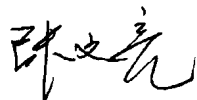
为满足特高压杆塔结构设计和试验研究的需要，保障特高压工程建设的顺利进行，在国家电网公司党组的正确决策和领导下，特高压杆塔试验基地在较短的时间内全面、顺利地建成，并迅速具备了科研生产能力。特高压杆塔试验基地在功能设计、设备研制、试验技术和工程应用等方面取得多项重大技术创新和技术专利，万能基础、加荷塔架、加荷控制系统、液压加荷系统、部件试验系统、整体试验能力等七项主要技术装备和性能指标居该领域世界首位，综合试验能力达

到国际领先水平。试验基地圆满完成了 1000kV “皖电东送” 特高压交流输变电工程和 $\pm 800\text{kV}$ “锦屏—苏南” 特高压直流输电工程十余基杆塔的真型试验，取得了大量宝贵的试验数据，及时发现了杆塔结构设计、施工中存在的不足之处，有力地保障了东线特高压工程的顺利建设。

这些建设和科研成果的取得，标志着国家电网公司已经建成了以特高压交流试验基地、特高压直流试验基地、特高压杆塔试验基地、高海拔试验基地为主体的，世界上功能最完整、试验能力最强、技术水平最高的特高压试验研究体系，使国家电网公司“四基地二中心”的建设项目又取得了重大突破。试验基地的建成必将提升特高压输电技术的设计和研究水平，为特高压电网大规模建设和安全可靠运行提供强有力的技术支撑，为将来公司建设统一坚强智能电网提供重要的支撑和基础。

为全面展示特高压杆塔试验基地的建设和科研成果，促进特高压杆塔结构设计、施工和试验检测水平的提升，我们精心组织相关科研人员编写了本书，以期广大读者能从中更多地了解中国特高压以及特高压杆塔结构试验的重要意义，为共同推动以特高压电网为核心的统一坚强智能电网在中国的发展作出应有的贡献。

中国电力科学研究院院长



2009 年 12 月

随着我国电力工业的快速发展,电力的长距离、大容量输电技术越来越成为今后的发展方向和客观需求,超高压、特高压交流和特高压直流等各种更高电压等级的输电线路不断地建成和投运。随着电压等级的不断增高,杆塔结构的高度也越来越高,100m以上的高塔在特高压工程中将非常普遍,新的杆塔型式也将不断涌现。因此,面对新形势的挑战与机遇,建设特高压杆塔结构试验系统,对满足特高压杆塔设计理论创新和结构优化研究的需要,保障特高压输电工程的安全、稳定运行就显得尤为重要。

本书以结构试验的基本理论和基础知识为起点,重点介绍了特高压杆塔结构试验系统的构成及其主要的设计方法和内容,使读者能全面地掌握杆塔结构试验系统的运行流程,以适应杆塔结构试验、设计和科学研究工作的需要。

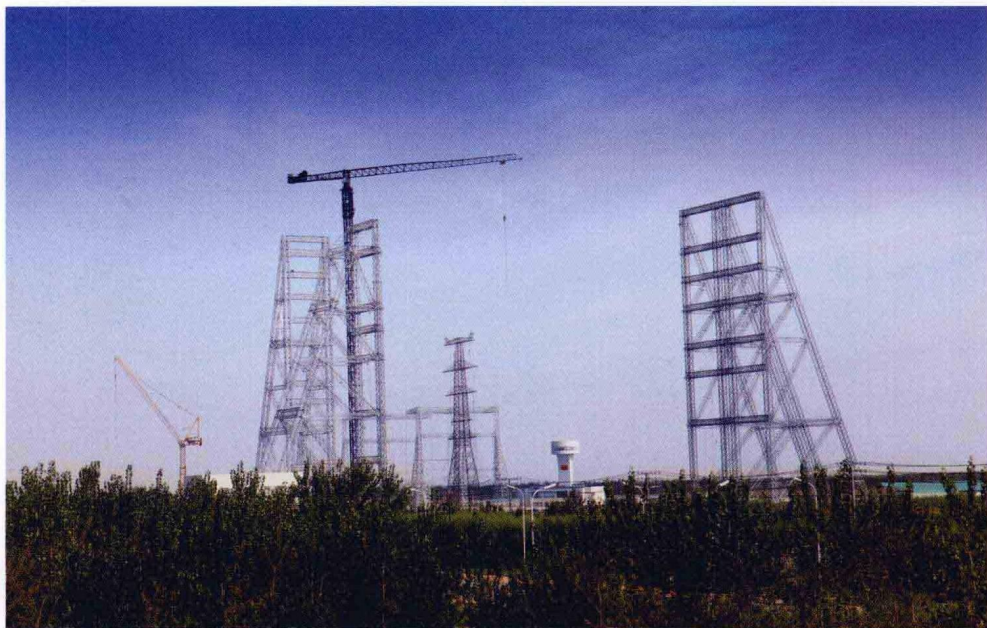
本书以国家电网公司科技项目——特高压杆塔试验基地的研究报告作为基础,并参考大量的杆塔结构试验专业书籍和研究成果进行编写的,是我国第一本关于特高压杆塔结构试验系统的书籍。全书由费香泽负责统稿,由李正负责主审。

在本书的编写过程中,得到了中国电力科学研究院及工程力学研究所有关领导和同仁的大力支持与帮助,在此表示诚挚的感谢。

限于编者水平有限,书中难免存有不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

编 者

2009年12月



特高压杆塔试验基地全貌。



特高压杆塔试验基地
横向加荷塔。

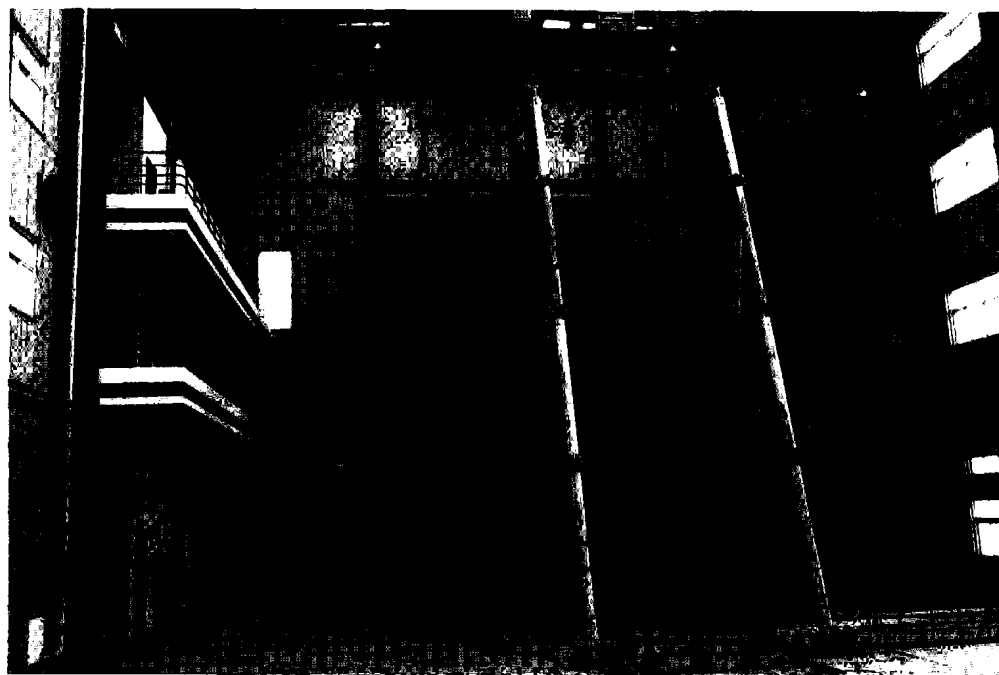


国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

特高压杆塔结构试验系统



特高压杆塔试验基地测控中心。



特高压杆塔试验基地部件试验室。



特高压杆塔试验基地纵向反向加荷塔。



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

特高压杆塔结构试验系统



特高压杆塔试验基地纵向加荷塔。

前言

编者的话

第一章 结构试验概论 1

第一节 概述 1

第二节 输电线路杆塔结构真型试验 7

第三节 国内外杆塔结构试验发展概况 11

第二章 特高压杆塔结构试验 21

第一节 特高压电网与杆塔结构试验 21

第二节 特高压杆塔结构试验系统构成 26

第三节 特高压杆塔结构试验系统试验能力 28

第三章 承力系统 31

第一节 概述 31

第二节 万能基础 39

第三节 加荷塔 57

第四章 液压加荷系统 84

第一节 概述 84

第二节 液压加荷系统加荷能力设计方法 86

第三节 液压系统设计 96

第四节 电气控制系统设计 107

第五章 测控系统 116

第一节 概述 116

第二节	荷载测控系统	117
第三节	数据采集系统	136
第四节	图像监控系统	146
第五节	信息管理系统	155

第六章 部件试验系统

第一节	概述	163
第二节	设计要求	163
第三节	设计方法	165

第七章 系统调试

第一节	杆塔结构真型试验系统调试	186
第二节	部件试验系统调试	194

第八章 特高压杆塔结构试验系统工程应用实例

第一节	工程应用试验实例概况	198
第二节	工程应用试验成果	202

参考文献

结束语

结构试验概论

第一节 概 述

工程结构试验是研究和发展土木工程结构新材料、新体系、新施工工艺以及探索结构设计理论和计算方法的重要手段,在土木工程结构科学研究和技术创新等方面起着重要作用。从确定结构材料的物理力学性能,到验证各种结构构件的受力特点和破坏特征,直至建立一个新的结构体系的计算理论,都建立在大量试验研究的基础上,结构试验已日益成为人们研究结构新体系不可缺少的手段。

近年来,随着自动控制系统和电液伺服加荷系统在结构试验中的广泛应用,由计算机集中控制完成的各种模拟荷载的精确施加、数据采集和自动处理系统可以准确、及时、完整地收集并表达荷载与结构行为的各种信息,结构试验的手段和精度得到了极大提高,并逐步向智能化、模拟化方向深入发展,结构试验技术发展的前景广阔。

一、结构试验的目的和任务

工程结构试验是根据不同的试验要求,对不同的试验对象,在不同的试验条件下,利用各种试验手段,测量各种试验参数,并依据一定的试验标准来判断结构的工作性能、承载能力和相应的安全度。

结构试验对象可以是工程结构部件、整体实物或是结构模型;试验条件包括不同的荷载(包括重力、风力、挠动力)以及其他因素(如温度、变形等);试验手段是为完成试验目的而配置的各种加荷、控制、测量仪器设备;所需测量的试验参数一般包括结构在外界作用下的应力、应变、振幅、频率等。

通过对工程结构试验结果的分析研究,就可以从强度、刚度、稳定性、抗疲劳性以及结构破坏模式等方面对结构的实际工作性能进行判断和估计,明确实际工程结构的承载能力范围,确定结构对工程实际使用要求的符合程度,为结构的安全使用提供重要的依据,检验和发展结构设计理论,探索和完善新材料、新体系、新工艺在工程结构上的应用。

根据结构试验目的的不同,可以对试验条件进行有控制地调节,测量数据的类型、部位、时间也可以进行选择,并实现试验过程的可重复性和标准化,可以很大程度上减少不可控制因素和次要因素对试验结果的影响,突出主要影响因素,使理论研究和工程应用的方向更加明确,在推动结构工程的技术革新和进步等方面发挥了不可替代的作用,因此结构试验是发展结构理论和解决工程设计方法的重要手段之一。特别是随着电子计算机技术的飞速发展,利用计算机控制的结构试验技术,可以准确、及时、完整地收集荷载模拟、数据采集、数据分析等一系列信息,并为整个试验过程实现自动化提供了有利的条件,使结构试验技术的发展产生了根本性的变化,结构试验本身也成为一门要求同时具有很深厚的理论分析技术和很强的工程实践技能的试验科学,并始终与结构理论和结构计算保持着相互促进、螺旋上升发展的密切关系,共同成为结构工程学科的三个重要组成部分。

二、结构试验的分类

根据不同的试验目的、试验对象、试验荷载性质、荷载时效性质、试验场合等因素,结构试验分类如下。

(一) 根据不同的试验目的分类

按不同的试验目的来分,工程结构试验可分为科学研究性试验和生产鉴定性试验。

1. 科学研究性试验

科学研究性试验具有研究、探索和开发的性质,其目的在于验证结构设计的某些理论,或验证各种判断、推理、基本假设及概念的正确性,或者是为了创造某种新型结构体系及其计算理论,而有系统地进行的试验研究。

科研性试验的试验对象,可以是研究工作中的具体结构或者结构中的某些节点、部件,也可以是经过力学分析后抽象出来的模型。模型必须反映研究工作中的主要参数,因此,科研性试验的试件都是针对某个研究目的而专门设计和制作的,一般都在室内进行,以便于使用专门的加荷设备和数据测试系统对试件的应力、应变进行连续观察、测量和全面的分析研究,从而找出其变化规律,为验证设计理论和计算方法提供依据。

科研性试验的研究内容通常包括以下几个方面:

(1) 验证结构计算理论的基本假定。在结构设计中,为了计算上的方便,人们经常对结构构件的计算图式和本构关系作出某些简化的假定。如在构件静力试验和动力分析中,本构关系的模型化则完全是通过试验加以确定的。

(2) 为制定设计规范提供依据。国内外各种结构设计规范除了总结已有大量科学试验和经验外,为了理论和设计方法的发展,都进行了大量的钢筋混凝土结构、钢结构构件及足尺和缩尺模型的试验,以及实体结构物的试验研究,为编制各类结构设计规范、导则提供了基本资料与试验数据。例如,我国架空输电线路杆塔、基础、导线等各方面的设计规范、规程的制定和修订,都是建立在大量的试验研究的直接结果之上的,这也进一步体现了结构试验学科在发展设计理论和改进设计方法上的作用。

(3) 为发展和推广新材料、新结构与新工艺提供实践经验。随着工程技术和基本建设发展的需要,新材料、新结构和新工艺不断涌现,应用范围不断拓展。例如,随着输电规模的发展和输电走廊日益紧缺,在输电线路杆塔结构设计出现的紧凑型铁塔、钢管塔、高强钢等各种新型塔型和新材料的应用得到了迅速发展。但是,一种新材料的应用,一个新结构的设计和新工艺的施工,往往需要经过多次的工程实践与科学试验,即由实践到认识、由认识到实践的多次反复,从而积累资料,丰富认识,总结经验,使设计计算理论不断改进和不断完善。

2. 生产鉴定性试验

生产鉴定性试验是非探索性的,一般在比较成熟的设计理论上进行。其目的是通过试验来检验结构构件是否符合结构设计规范及施工验收规范的要求,并对检验结果作出技术结论,其试验对象一般是真实的结构或构件。

生产鉴定性试验通常应用在以下几个方面:

(1) 检验结构的质量,说明工程的可靠性。对某些重要性结构或采用新材料、新工艺及新设计计算理论而设计建造的结构物或构筑物,在建成后需进行总体的结构性能试验,以综合评价其结构设计及施工质量的可靠性。如桩基工程中,通常要采用低应变、高应变等试验手段对工程桩的完整性、承载力进行检测,以检验是否满足规范和工程设计要求。

(2) 检验构件或部件的结构性能,判定构件的设计及制作质量。例如,输电线路中的各种导线、金具、电气设备,在出厂前或工程应用前,均要对其承载力、刚度、变形和耐久性能进行抽样检验,以确定其结构性能是否满足结构设计和构件检验规程所要求的指标。此外对某些结构构造复杂的部件(如网架节点、特种桥梁、高耸桅杆和焊接构件等)均应进行严格的质量检验。检验性试验严格按照有关的检验规程或规定进行。

(3) 判断旧构件的实际承载力,为改造、扩建工程提供依据。当结构物由

于使用功能或使用条件发生了变化,原有结构物需要加固、改造时(如厂房、桥梁、基础等),往往需要通过试验实测及分析,从而确定原有结构物的实际条件和潜力。

(4) 检验和鉴定已有结构物的可靠性。这类结构物一般经过多年的使用,发生过异常变形或局部损伤,继续使用时人们对其安全性及可靠性持有怀疑。例如,我国部分输电线路的铁塔、基础等结构物建成运行已经几十年了,经过了长期的腐蚀和各种原因的损伤,需要通过试验评价其安全等级和可靠度。鉴定这类结构物的性能首先需进行全面的科学调查,调查的方法包括观察、检测和分析,检测手段大多采用无损检测方法,并在调查和分析的基础上,根据有关损伤评价模型评定其所属安全等级,最后推算其可靠性。这类鉴定工作应按照可靠性鉴定规程的有关规定进行。

(5) 为处理工程事故提供依据。对于因受到地震、洪水、火灾、爆炸、撞击等原因而损坏的结构,或在建造期间及使用过程中发生过严重的工程事故,产生了过度变形和裂缝的结构,都要通过试验为加固和修复工作提供依据。

(二) 根据不同的试验对象分类

按不同的试验对象来分,工程结构试验可分为真型试验和模型试验两类。

1. 真型试验

真型试验也可称为原型试验,是指试验对象为实际结构或是按实物结构足尺复制的结构或构件。

对于生产鉴定性试验必须采用实际结构或构件,在研究结构整体性能的试验中,如果不会对结构的性能造成影响,也可以在实际结构上进行。例如,核电站安全壳加压整体性的试验、工业厂房结构的刚度试验、桥梁在移动荷载下的动力特性试验均是在实际结构上加荷量测,另外在汽轮发电机基座上直接进行振动测试以及在实际输电线路上的导线振动测试等结构动力特性试验均属此类。

在真型试验中,另一类就是足尺结构或构件的试验。以往一般对构件的足尺试验主要是针对一根梁、一根杆件或一榀屋架之类的实物,它可以在试验室内进行,也可现场进行。但对于体系庞大复杂的结构,以及随着结构抗振研究的发展,国内外开始重视对结构整体性能的试验研究,因为通过对这类足尺结构物进行试验,可以对结构构造、构件之间的互相作用、结构整体刚度和耦合以及结构破坏阶段的实际工作性能进行全面观测了解。例如对输电杆塔进行各种大风工况、覆冰及不平衡张力工况下的试验就属于此类。