



沿海火力发电厂 岩土工程勘测与施工

刘朝安 主编



 中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

针对沿海火力发电厂建设中的岩土工程,本书编者依据相关国家、行业规程规范,并在多年实践的基础上,就场地和地基勘察、原体试验、设计、施工、检测及与之相关的管理等环节,对已有的经验和遇到的各种不同类型的岩土工程问题进行分析和总结。

全书内容共分11章,分别为概述,沿海火力发电厂厂址选择,可行性研究阶段的地质工作,综合试桩,场地整平及预压处理,初勘、详勘,桩基础,地基处理,岩土工程施工,桩基工程监理和桩基检测。

本书可供沿海火力发电厂建设的岩土工程技术和管理人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

沿海火力发电厂岩土工程勘测与施工/刘朝安主编. —北京:
中国电力出版社, 2011. 11

ISBN 978 - 7 - 5123 - 2324 - 7

I. ①沿… II. ①刘… III. ①沿海 - 火电厂 - 岩土工程 -
工程勘测②沿海 - 火电厂 - 岩土工程 - 工程施工 IV. ①TU4
②TU7

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第229785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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011年12月第一版 2011年12月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 18印张 303千字

印数0001—3000册 定价45.00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

《沿海火力发电厂岩土工程勘测与施工》

编 委 会

主编 刘朝安

编委 (按姓氏拼音)

方 锐 高文龙 金永军 刘 颖

李彦利 孟庆辉 徐放明 闫洪军

张新奎



序

我非常幸运，在这本《沿海火力发电厂岩土工程勘测与施工》正式出版之前就有机会阅读，受益匪浅，并得到了很多重要的启迪。

本书内容贯彻了从厂址选择、可行性研究、初勘、详勘、施工到检测的岩土工程全过程，包括滩涂围填、软基处理、边坡稳定、基坑开挖和降水、桩基试验和设计、施工、检测等岩土工程的诸多方面，内容非常丰富。实践与理论相结合，概念清楚，技术先进，数据翔实，是十几年来沿海火力发电厂岩土工程勘测与施工经验的系统总结。本书不仅对电力系统相关专业的从业者十分有用，而且对其他行业的岩土工程从业者也很有裨益，值得推荐。

本书的主要特点是实践性非常强，总结了很多非常有用的工程经验。我们知道，岩土工程理论都是从实践经验中抽象和总结出来的，没有岩土工程实践，就没有岩土工程理论。太沙基首先是一位伟大的岩土工程实践家，之后才成为近代土力学的奠基人。各种桩基工程、地基处理工法、锚杆等支护技术、土工合成纤维等，都是先有工程实践，才有理论计算。岩土工程的创造性主要在工程实践领域，不能轻视工程实践和工程经验。

本书在总结经验时，在成熟理论框架内进行，在理论指导下实践，这一点非常重要。工程经验一定要上升到理论层面总结，只有植根于理性的经验才有生命力。

岩土工程注重综合判断，这是岩土工程的特点所决定的，本书贯彻了这个原则。由于岩土工程条件的不确定性和参数的不确定性，不能依靠单纯的计算，必须在翔实数据的基础上进行综合判断。综合判断是考察岩土工程师能力最重要的标志，有了丰富的经验和深厚的理论素养，工程师才能有很强的洞察力，才能作出正确的综合判断。

事先的综合判断和预测总是或多或少有一定的偏差，工程实测才是最后的检验，本书也充分注意到了这一点。一定要牢记，检测与监测是工程质量与安全的最后一道防线。无论岩土工程正面的经验还是反面的教训，大多是从检测与监测中总结得来，因此是岩土工程绝对不可忽视的环节。

因此，似乎可以认为，“实践优先，理论导向，综合判断，实测验证”这十六个字，是岩土工程应当共同遵守的准则。过去已有专家做过类似的总结，读了本书后有了更深刻体会。

勘察大师

邬宝和

2011年11月5日



前 言

近年来在经济较发达的沿海地区兴建了许多单机容量在 600MW 及以上的大型火力发电厂。与内陆地区相比,沿海火力发电厂在场地方面具有地形地貌变化较大、地质条件复杂、土地资源紧缺等特点;在水文气象方面具有地下水位高、水的腐蚀性较强,台风、暴雨较多等特点;在建(构)筑物方面型式多样,分布密集,同时包含码头、船台、护岸、防波堤、取排水口等岸边工程。这些特性使得沿海火力发电厂工程建设中所涉及的山体开挖、滩涂围填、软土地基处理、港湾淤积、水下施工等诸多岩土工程勘测和施工活动具有一定的特色和复杂性。特别是软土地基处理方面,如有的勘探结果不到位,有的设计方案选的不好,有的现场抢进度缺乏科学性,计划提前工期,但遇到地基处理问题,反而拖延工期。因此业主、设计单位和施工单位都感到费时费力,追加投资也非常大,在设计和施工中给业主、设计单位和施工单位都带来很大的困难。岩土工程是理论和实践性很强的学科,通过对已有的经验和教训进行总结和分析,对提高解决复杂岩土工程问题的能力具有重要的意义。

本书是针对沿海火力发电厂建设中的岩土工程,在我们多年实践的基础上,结合工作中所做的调查,就场地和地基勘察、原体试验、设计、施工、检测及与之相关的管理等环节,对已有的经验和各种不同类型的岩土工程问题进行的分析和总结。全书共包括 11 章,其中第 1 章阐述了沿海火力发电厂建设过程中相关的主要岩土工程问题及其复杂性;第 2 章阐述了沿海火力发电厂在厂址选择时所关注的区域稳定性、场地稳定性、软土地基处理和建材资源等地质问题;第 3 章阐述了可行性研究阶段解决厂址的稳定性和适宜性问题时所需进行的地震安全性评价、地质灾害危险性评估、岩土工程勘察工作;第 4 章阐

述了综合试桩的内容、工作步骤等内容，总结了试桩中易出现的问题，并提出了相应的建议；第5章阐述了素填土回填、围堤吹填、山体开挖削坡等几种场地整平方法和场地预压处理的重要性；第6章阐述了海域软土勘察、薄壁取土器的改进、基岩界面确定等初勘、详勘阶段所遇到的重要问题，并介绍了自主研发的勘测绘图软件；第7章阐述了沿海火力发电厂常用的预制混凝土方桩、PHC管桩和钢筋混凝土灌注桩、支盘桩等桩型的特点，并就桩基设计中一些问题进行了探讨；第8章重点通过实例阐述了沿海火力发电厂采用一些地基处理方法的特点；第9章阐述了岩土工程施工中桩基施工、基坑开挖与降水的特点和质量控制；第10章阐述了钻孔灌注桩和预应力混凝土管桩的监理方法，并就提高桩基工程监理水平提出了建议；第11章阐述了高、低应变法用于桩基检测的原理、方法及注意事项等内容。

沿海火力发电厂建设中的岩土工程范围很广，本书涉及的仅是岩土工程中部分问题，而且有些部分可能还不成体系、也不够深入，有些部分可能比较散乱，希望通过我们的阐述能起到抛砖引玉的作用，有助于提高沿海火力发电厂建设的岩土工程技术和管理水平，为今后类似工程提供借鉴。

在本书编写过程中，得到华北电力设计院工程有限公司的领导及勘察大师彭念祖的大力支持，在此表示衷心的感谢！现场调查工作得到大唐国际发电股份有限公司张毅、王振彪、王海臣、刘福阁、付东、刘小平等领导和工程技术人员的大力帮助，并提出了很多宝贵的建议，在此向他们表示衷心的感谢！

本书编写过程中引用和参考了一些书籍和专业刊物所公开发表的论文的内容，对这些书籍和论文的作者致以谢意！

由于编者水平有限，书中难免存有不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

2011年11月



目 录

序 前言

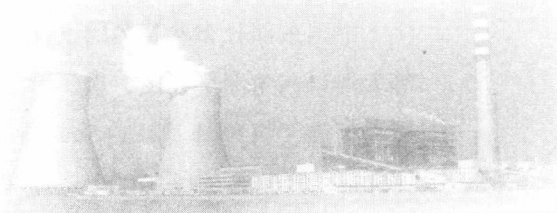
1 概述	1
1.1 沿海火力发电厂工程地质特点和分类	1
1.2 沿海火力发电厂相关的岩土工程问题	5
2 沿海火力发电厂厂址选择	9
2.1 厂址选择的一般原则	9
2.2 厂址选择中的地质问题	14
2.3 选厂勘察的工作方法	22
3 可行性研究阶段的地质工作	23
3.1 可行性研究在项目建设前期中的作用	23
3.2 地震安全性评价	24
3.3 地质灾害危险性评估	26
3.4 岩土工程勘察	32
3.5 某工程地基处理方案	45
4 综合试桩	55
4.1 综合试桩的必要性	55
4.2 综合试桩的内容及技术依据	56
4.3 综合试桩的工作步骤	57
4.4 试桩测试	60
4.5 试桩中易出现的问题及应对措施	67
4.6 基桩静载荷试验国内与美国规范比较分析	69

4.7	某电厂试桩示例	76
4.8	某滨海发电厂工程综合试桩简介	93
5	场地整平及预压处理	102
5.1	素填土回填整平	102
5.2	围堤吹填整平	104
5.3	护岸防波堤修筑	109
5.4	削坡填海整平	110
5.5	场地预压处理	124
6	初勘、详勘	127
6.1	初勘的目的、任务及勘探点布置	127
6.2	详勘的目的、任务及勘探点布置	128
6.3	海域软土勘察	130
6.4	软土取样的影响因素及薄壁取土器的改进	138
6.5	静力触探在软土勘察中的应用	144
6.6	基岩界面的确定	147
6.7	提高野外勘探工作质量侧重点	148
6.8	电力岩土工程勘测绘图软件的开发	150
7	桩基础	155
7.1	沿海火力发电厂常用桩型的特点	155
7.2	桩基础的概念设计	168
7.3	桩的负摩阻力问题	172
7.4	桩基础的腐蚀性防护	175
7.5	嵌岩桩承载特性分析及相关问题探讨	176
8	地基处理	183
8.1	地基处理的对象、目的和方法	183
8.2	地基处理工程应用实例	189
9	岩土工程施工	199
9.1	桩基工程施工特点及质量控制	199
9.2	防止软土地基桩位偏移的技术措施	213
9.3	工程事故桩的处理措施	217

9.4	基坑开挖、降水与支护	224
9.5	水工建（构）筑物施工简述	236
9.6	天然地基的验槽及隐患处理	237
10	桩基工程监理	243
10.1	桩基工程监理概述	243
10.2	钻孔灌注桩施工质量监理	244
10.3	预应力混凝土管桩施工质量监理	249
10.4	提高桩基工程监理水平的措施	254
11	桩基检测	257
11.1	桩基检测的目的	257
11.2	低应变法	257
11.3	高应变法	264
11.4	工程桩检测的数量	271
	参考文献	272

1

概述



随着我国经济建设的发展，对能源特别是电力的需求逐年增大。近年来在全国各地投资兴建了许多单机容量为 600MW 及以上的大型火力发电厂，其中大量的建设项目主要集中在经济较发达的沿海地区，如河北大唐国际王滩发电厂、天津国投北疆发电厂和河北国华黄骅发电厂等。沿海大型火力发电厂厂址的优点是靠近负荷中心、燃煤和设备的运输便捷、循环冷却水的取用充足、贮灰场的选配容易；缺点是浅部土质软弱、场地狭小、淡水引用困难等。

沿海大型火力发电厂建设工程主要包括厂区建筑、码头、管道、取排水、填海和贮灰场等，与内陆地区相比，除具有地形地貌变化较大（滨海山地型电厂）、地质条件复杂、土地资源紧缺等特点外，另外还包含码头、船台、护岸、防波堤、取排水口等岸边工程。因此沿海大型火力发电厂的建设，涉及山体开挖、滩涂围填、软土地基处理、港湾淤积、水下施工等诸多岩土工程问题。

1.1 沿海火力发电厂工程地质特点和分类

根据地形地貌和工程地质特点的不同，沿海地区工程地质条件大致可分为以下几种类型。



1.1.1 滨海平原型

中国东部分布着著名的下辽河、华北和江淮大平原，还有南部珠江、闽江等大河口三角洲平原区，属于新生代构造断陷沉积平原，新生代以来仍在持续缓慢下降，沉降速率 $1 \sim 5\text{mm/a}$ 。第四纪堆积物厚度多大于 100m ，最厚达 1000m ，如天津 $800 \sim 1000\text{m}$ ，营口约 400m ，上海 $200 \sim 300\text{m}$ 。滨海平原基底断裂发育，主要是北北东向断裂、北西西向断裂。北北东向断裂规模大，活动强烈。著名的郯庐大断裂使华北平原东北部成为中国沿海地震活动最强烈的地区。滨海平原型电厂场地条件开阔，地下水埋藏浅，地层强度低，土层大部分处于欠固结状态，且饱水。典型地区如天津和上海。

天津位于环渤海地区，为河口冲积、海积平原，地势平坦，高程一般为 $1.5 \sim 5.0\text{m}$ ；第四纪堆积物厚度较大，巨厚的新生界松散堆积物直接覆盖在古老地层上；区内浅层地下水为孔隙潜水，主要是大气降水补给，以蒸发形式排泄，地下水位随地形起伏及岩性变化，埋深约为 $0.5 \sim 1.2\text{m}$ 。构造位置处于华北平原沉降带的东北部，为沿海地震活动最强烈的地区。

上海市地势平坦，属湖沼滨海平原地貌，在大地构造上属下扬子断块，属长江中下游地震亚区，扬州—铜陵地震带的南侧，为一个地震活动相对比较缓和的地区。第四纪堆积物厚度较大，多为 100m 以上，沉积物时代以全新世为主，其中粉细砂、黏性土及淤泥类土普遍发育，地下水埋藏浅。

1.1.2 滨海山地平原型

滨海山地平原型地貌是既有平原又有山地，但以平原为主，其工程地质环境具有中间过渡型特征。

滨海山地平原型以宁波、温州、福州等地区为代表，主要特点是：地貌单元有平原、丘陵，但以平原为主，土层较厚。以宁波为例，第四系厚 $50 \sim 120\text{m}$ ，平原地区软土厚度 $10 \sim 20\text{m}$ 以上，硬土层（黄色粉质黏土）埋深大于 19m 。中更新统为冲洪积层，分布零星，埋藏在平原盆地的底部，上更新统

中下部为河湖相沉积，普遍分布两个含水层，晚更新世晚期至全新世堆积，以海相为主，超覆在早期地层之上。该类地区地壳以整体活动为主，断裂活动不发育，地震活动较弱，是我国东南沿海地震带从福建向北伸向陆地的一个分支——镇海—温州弱震带。

1.1.3 滨海平原山地型

滨海平原山地型总的特点是地貌上既有平原又有山地，在靠近山坡处，基岩埋藏浅，上有坡积物覆盖，在滨海地段，地表有 1.0~3.0m 的硬壳层，下面为海相淤泥，最厚达 20 多米，再下面为较为坚硬的黏性土和基岩。典型地区如烟台、秦皇岛、广州、汕头和湛江等。

烟台和秦皇岛地处山区向沿海过渡地带，地貌类型多变，呈现低山、丘陵、台地、平原、海滩的层次。根据成因类型，可划分为构造剥蚀低山丘陵区、剥蚀平原残丘台地区和淤积平原区。岩土类型有基岩、风化岩、砾石、砂类土、黏土和淤泥质黏土等类型。地下水类型有松散岩类孔隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水、岩浆岩、变质岩裂隙水和少量碳酸盐岩岩溶裂隙水。该类地区位于华北地台，构造上以断裂活动为特征，活动断裂发育，地壳差异性升降运动显著。地震活动主要以 6 级左右为主。

广州、汕头和湛江位于我国东南沿海的珠江三角洲、潮汕平原和雷州半岛地区，基本特点是：地貌单元既有丘陵山地，又有残丘平原，第四系厚度不大，大部分地区厚度小于 15m。因而工程地质条件较简单，大部分地区是工程地质条件良好和较好的地区。根据地貌、岩土体类型、埋藏条件及物理力学性质等，可细分为三个工程地质类型，即低山残丘岩土工程地质类、台地风化土工程地质类和平原沉积松软土工程地质类。在丘陵区，地表水系发育，各时代基岩均有含水岩层，其中碳酸盐岩含水岩层水量丰富；在滨海台地与平原区，台地多数由基岩构成，岩石含水性较差，滨海平原沿海岸断续分布，地势平坦，地表水系发育，河网密布。这类城市多属于南岭纬向构造带南缘，新构造运动的特征主要表现为断块的不均匀升降，且大面积的上升具有普遍性。地震

活动属东南沿海型，局部地区地震活动具差异性。

1.1.4 滨海山地型

滨海山地型地区地质环境的突出特点是基岩直接出露地表或埋藏很浅，第四系松散沉积物分布面积小，厚度薄，建（构）筑物地基和场地以基岩为主。典型地区如青岛、大连和深圳等。

青岛、大连的地貌单元以低山丘陵为主，山地之间有少量山间平原，滨海地带有狭窄的滨海平原。地表水系不发育，地下水总体贫乏，主要赋存在岩体裂隙中，水位埋藏深浅不一，水质水量不同，有的以泉的形式出露于地表或形成山间流水。该类城市地壳活动以稳定上升为主。地震活动属华北地震区，抗震设防烈度为6~7度。

深圳、厦门、珠海分布在东南沿海地区，地貌单元以山地丘陵为主，地下水有松散岩类孔隙水和基岩裂隙水，前者主要分布在滨海平原和冲积平原，含水层为冲积、海积和洪积层，可分为孔隙承压水和孔隙潜水；后者以块状基岩裂隙水为主，次为层状基岩裂隙水、风化带裂隙水和构造裂隙水。基岩裂隙水大部分为微侵蚀性，松散岩类孔隙水以弱分解侵蚀为主，广泛分布在冲积平原下游和滨海平原一带。该类地区地质构造复杂，以断裂构造为主。地震活动属东南沿海地震区，抗震设防烈度为6~7度。

综合以上沿海地区的工程地质特点，沿海火力发电厂可分为滨海平原型和滨海山地型两大类。

(1) 滨海平原型。工程地质具有滨海平原和滨海山地平原地区的特点，属于这一类型的电厂有河北大唐国际王滩发电厂、天津国投北疆发电厂、河北国华黄骅发电厂等。该类大型火力发电厂建设面临的较为复杂的岩土工程问题为场地回填、软土地基处理、河口淤积、河岸滑坡等。

(2) 滨海山地型。工程地质具有滨海山地和滨海平原山地地区的特点，属于这一类型的电厂有浙江大唐乌沙山发电厂、福建大唐宁德发电厂等。该类地区电厂建设面临的主要岩土工程问题为岩土体边坡失稳、场地回填、软土地

基处理、水土流失、海水入侵、海岸带变迁与泥沙淤积等。

1.2 沿海火力发电厂相关的岩土工程问题

沿海火力发电厂工程面临着海岸带构造运动、断裂及地震活动、港湾淤积、软土地基、基岩不均匀风化以及人类工程活动所带来的不良地质作用等主要的灾害性地质因素。在沿海火力发电厂的建设过程中，主要有以下几个方面的岩土工程问题。

1.2.1 软土地基

1.2.1.1 软土的定义和特点

天然孔隙比大于或等于 1.0，且天然含水量大于液限的细粒土应判定为软土，包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭土等。软土的压缩系数大于 0.5MPa^{-1} ，不排水抗剪强度小于 30kPa 。

我国沿海地区分布有三角洲相沉积的软土，如长江三角洲、闽江三角洲和珠江三角洲等。当河流流至海洋时，流速急剧减小，因此河水所携带的沉积物质在河口沉积，以这种方式堆积在陆相和海相环境边界上的沉积物形成了三角洲。三角洲相沉积的软土，主要特点是厚度比较大，黏性土和砂土或粉土相间成层，土层的厚度和工程性质一般比较均匀。在沿海地区的软土，除了三角洲相外，还分布有泻湖相和滨海相等成因类型的软土，地质上属于第四纪全新世。这类土具有天然含水量高、压缩性高、承载力低、孔隙比大、渗透性小、结构灵敏性高等特点。

除了天然软土，在沿海地区的工程建设中，围海造地的吹填土一般也属于软土的范畴。

事实上，软土的软硬是相对的，软硬不但对土质而且对工程而言也是相对的。软硬应与土质、工程性质两者相关。因此软土应是与土质、工程性质相关的高孔隙比、高含水量、低强度、高压缩性及低渗透性的以黏性土为主的软弱



土层的统称。

1.2.1.2 软土地基处理复杂性

由于软土成因类型复杂,分布范围广泛,在工程实践中经常会遇到软土地基及由此引起的工程问题,这主要是由软土的特性决定的。在沿海火力发电厂工程中,软土地基的承载力和变形均不能满足主要建(构)物和重要的、载荷相对较大的附属、辅助建(构)物的设计要求,均需进行加固处理。主厂房、烟囱、锅炉、冷却塔等主要建(构)物均采用桩基础,重要的、载荷相对较大的附属、辅助建(构)物采用桩基础或地基处理。

软土一般都是母岩风化,经过水、冰川、风的剥蚀和搬运,在适宜的地方沉积形成土层。不同地区的土其形成的过程不同,导致土的结构千差万别,工程性质也不同。而且沿海火力发电厂工程建(构)筑物类型众多,对地基稳定性和变形的要求也各不相同,因此可供选择和采用的对软土加固处理的方法很多,每种方法都有其适用范围和优缺点,处理费用和工期也相差很多。选择不当,就会产生如沉桩困难、基础沉降较大等问题。另外,软土地基的处理还具有牵涉面广的特点,从场地整平、打桩、基坑开挖与支护、降水以及基槽的回填等每一个环节都相互影响、相互作用,工程实践中出现因基坑开挖而引起桩位偏移就是很典型的例子,这就更增加了地基处理的难度。因此,对每一个工程都要进行具体细致分析,应从地基条件、处理要求、施工方案、工程费用以及材料等各方面进行综合考虑,科学合理管理,精心设计和施工,才能做好软土地基的处理工作。

1.2.2 基坑开挖与降水

沿海火力发电厂工程中主厂房、锅炉、烟囱区域基坑的开挖深度一般为4~6m,局部为7~9m,循环水泵房等区域的基坑开挖深度可达15m。沿海火力发电厂建设场地一般具备放坡开挖的条件,这是基坑开挖相对有利的条件,但沿海火力发电厂基坑开挖所具有的一些的特性加大了基坑开挖的难度,表现在以下几个方面: