

电力工程 水务 设计手册

西北电力设计院



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

电力工程 水务 设计手册

西北电力设计院



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是一部大中型火力发电和核能发电工程冷源设计的实用手册，主要提供在选厂和初步设计阶段所涉及的设计、计算工作重点内容及所需的相关技术资料，并提供了一定的工程设计和计算示例。主要包括厂址选择水务工作要点、地表水水源及取水、管沟稳态流和瞬变流、电厂凝汽冷却系统优化及布置、水面冷却、湿式冷却塔、干式冷却系统、水务管理及零排放等。

本书是在归纳总结国内多年来在电力工程水务设计方面积累的经验和技术资料基础上同时学习和借鉴国外先进技术成果及成熟经验编写而成的，具有很强的实用性，对电力工程有关专业设计人员、施工及运行管理人员、有关制造人员是本不可多得的工具书，对大专院校师生及其他相关大型工业企业有关专业人员也具有很强的参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力工程水务设计手册/西北电力设计院编. —北京: 中国电力出版社, 2005

ISBN 7-5083-2936-8

I. 电... II. 西... III. ①火电厂-水处理-技术手册②核电站-水处理-技术手册 IV. TM62-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 127863 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>)

三河市宏达印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

2005 年 5 月第一版 2005 年 5 月北京第一次印刷
787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 63.25 印张 1721 千字
印数 0001—3000 册 定价 120.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

《电力工程水务设计手册》

编 辑 委 员 会

主任委员 张文斌

副主任委员 曹永振 朱 军

委 员 雷克昌 王良中 王增顺 杨平正 唐燕萍

李新江 倪季良 陈建功 王 秦 刘选杰

宁 涛 任智民 杨 睿 姚青海 惠建本



前 言

本书是一部大、中型火力发电厂及核电站冷源工程设计的实用手册。本书主要提供在选厂和初步设计阶段所涉及的设计、计算工作的重点内容以及所需的相关技术资料；注重内容的实用性；为了便于使用和参考，书中提供了较多的工程设计和计算示例。

本书内容主要包括：厂址选择水务工作要点，主要内容为水源和供水系统选择、地下水源、水工布置及贮灰场，提出了我国几个河口地区厂址的工程示例；凝汽冷却系统优化与布置部分提出了经济因素对优化结果的影响分析以及系统布置原则和工程示例；地表水取水，内容为江河、河口、海水取水水源特点，取水地点及型式选择；管沟稳态流和瞬变流部分，管沟沿程损失计算采用了国际通用公式及数据，给出了大水量计算表格，局部阻力计算采用 BHRA 的资料正确性判断标准，瞬态流计算方法及其防护设计；水面冷却，内容主要包括水面热交换过程，表层排放、淹没排放，冷却池设计，取、排水口布置原则，取、排水口与环境；湿式冷却塔部分内容主要包括逆流式及横流式自然通风和机械通风冷却塔塔型设计，空气动力及热力计算，给出了国内部分大型自然通风冷却塔的特性系数以及冷却性能综合评价方法，冷却塔与环境；干式冷却系统内容主要包括干式冷却汽轮机，四种干式冷却系统组成及技术要求，空气动力及热力计算示例；水务管理部分主要内容为各工艺系统用、排水技术要求及特点，影响节约用水因素分析，全厂水置平衡及水质平衡方法，优化废水处理方式，并提供了一些国内外缺水地区零排放工程示例。

本书编入的内容遵循并体现国家和电力行业现行的方针、政策，以及相关法规、规范中规定的技术原则，同时力求反映目前相关技术的发展趋势和先进技术水平。

本书主要供从事火力发电厂、核电站水工及有关专业设计人员，电力热力工程运行、施工安装及有关制造人员，大专院校师生及核电站有关专业人员使用。

本书是在归纳总结多年来在电力工程水务设计方面积累的经验和有关技术资料的基础上编制而成的，同时学习吸收了业内兄弟单位和国外的先进技术成果及成熟经验。

本书由王良中任主编，王增顺任副主编。

本书第 1、2 章由王良中编写；第 3 章由杨平正、唐燕萍、杨睿、王良中编写；第 4 章由唐燕萍编写；第 5 章由王良中、王洁编写；第 6 章由王良中、唐燕萍、王增顺编写；第 7 章由李新江编写；第 8 章由王良中编写；第 9 章由杨平正、王良中、倪季良、王增顺编写；第 10 章由王良中编写；第 11 章由陈建功、王良中编写；第 12 章由唐燕萍、王良中编写。

本书是我国第一部较大型关于电力工程的水务设计手册，编写经验和资料来源都有一定的局限性，有待不断补充完善，不足之处恳请专家和读者批评指正。

编 者

2004.6

目 录

前 言

第1章 厂址选择水工工作要点

1

1.1 厂址选择工作内容	1
1.1.1 概述 (1); 1.1.2 可行性研究阶段一般规定 (1); 1.1.3 可行性研究报告内容深度 (1)	
1.2 水源及供水系统选择	2
1.2.1 直流供水系统选择 (2); 1.2.2 直流供水系统升压方式的选择 (4); 1.2.3 再循环供水系统补给水源选择 (4)	
1.3 地下水水源	5
1.3.1 概述 (5); 1.3.2 水源勘察的阶段划分 (6); 1.3.3 勘察方法及工作内容 (7); 1.3.4 地下水量计算与评价 (7); 1.3.5 北方隐伏岩溶水源地的勘察 (10); 1.3.6 北方岩溶泉域水源地的勘察 (12)	
1.4 水工总体布置	14
1.4.1 直流供水厂址场地标高 (14); 1.4.2 直流供水水源与主厂房朝向 (14); 1.4.3 冷却塔群布置 (14)	
1.5 贮灰场	15
1.5.1 水力除灰贮灰场的选择 (15); 1.5.2 干灰碾压灰场 (17); 1.5.3 贮灰场与环境保护 (19)	
1.6 黄河河口地区选厂水工工作示例 (初步可行性研究阶段)	20
1.6.1 概述 (20); 1.6.2 黄河水源及平原水库 (22); 1.6.3 海洋水文 (22); 1.6.4 黄河流路变迁 (23); 1.6.5 港区泥沙及淤积预测 (25); 1.6.6 供水系统方案研究 (26); 1.6.7 对厂址的意见 (28)	
1.7 钱塘江河口外海滨地区选厂水工工作示例 (可行性研究阶段)	28
1.7.1 概述 (28); 1.7.2 杭州湾水文特征 (29); 1.7.3 河床稳定性分析 (31); 1.7.4 冷却水取排水方案设计原则 (32); 1.7.5 对厂址的意见 (33)	
1.8 长江河口某地区选厂水工工作示例 (可行性研究阶段)	34
1.8.1 概况 (34); 1.8.2 水文特征 (34); 1.8.3 河道稳定性分析 (37); 1.8.4 冷却水取排水方案设计原则 (41); 1.8.5 冷却水取排水方案布置 (46); 1.8.6 对厂址的意见 (49)	
参考文献	52

第2章 设计基础资料

53

2.1 设计基础资料	53
2.1.1 水文资料 (53); 2.1.2 气象资料 (59); 2.1.3 地形测量 (60); 2.1.4 工程地	

质 (61); 2.1.5 供水水文地质 (67)	
2.2 水和饱和水蒸气性质	68
2.2.1 饱和水蒸气压力 (68); 2.2.2 水的密度 (71); 2.2.3 水的黏度 (73); 2.2.4 饱和溶解氧浓度 (74)	
2.3 泥沙性质	75
2.3.1 泥沙粒径及分类 (75); 2.3.2 泥沙密度 (76); 2.3.3 泥沙沉速 (76); 2.3.4 细颗粒泥沙化学成分 (78); 2.3.5 浑水的物理性质 (78)	
2.4 环境质量标准摘要	80
2.4.1 地表水环境质量标准 (GB 3838—2002) (80); 2.4.2 生活饮用水卫生标准 (GB 5749—85) (82); 2.4.3 渔业水质标准 (GB 11607—89) (83); 2.4.4 农田灌溉水质标准 (GB 5084—92) (83); 2.4.5 海水水质标准 (GB 3097—1997) (84); 2.4.6 地下水质量标准 (GB/T 14848—93) (86); 2.4.7 环境噪声标准 (87)	
参考文献	89
第3章 汽轮机及凝汽设备	90
3.1 汽轮机	90
3.1.1 概述 (90); 3.1.2 汽轮机的型式与分类 (92); 3.1.3 汽轮机主要性能参数 (93); 3.1.4 汽轮机末级叶片 (96); 3.1.5 汽轮机的主要性能参数示例 (98)	
3.2 凝汽器	103
3.2.1 凝汽器分类和总体结构 (103); 3.2.2 凝汽器热力计算 (120); 3.2.3 凝汽器水力计算 (125); 3.2.4 凝汽器管束的基本类型 (126); 3.2.5 凝汽器冷却管的腐蚀与选材 (135); 3.2.6 多压凝汽器 (139); 3.2.7 凝汽器特性及曲线示例 (148)	
3.3 循环水泵	159
3.3.1 水泵的一般特性 (159); 3.3.2 循环水泵选择 (163); 3.3.3 水泵中的气穴与气蚀 (170); 3.3.4 水泵启动特性和电动机匹配 (173); 3.3.5 混凝土涡壳泵 (177); 3.3.6 循环水泵部件材料选用 (180); 3.3.7 循环水泵型谱及特性曲线示例 (183)	
参考文献	199
第4章 湿式冷却系统设计及布置	201
4.1 湿式冷却系统设计原则	201
4.1.1 湿式冷却系统基本型式 (201); 4.1.2 湿式冷却系统主要参数 (202); 4.1.3 汽轮机低压缸的有关特性 (204)	
4.2 供水系统恒定流水力计算	205
4.2.1 恒定流水力计算的目的 (205); 4.2.2 扩大单元制直流供水系统水力计算 (207); 4.2.3 单元制再循环供水系统水力计算 (208); 4.2.4 两机三泵扩大单元制直流供水系统水力计算 (210)	
4.3 辅助冷却水系统	211
4.3.1 概述 (211); 4.3.2 辅助冷却水系统的选择 (212); 4.3.3 辅助冷却水系统的主要设计要农 (213); 4.3.4 辅助冷却水系统项目及分类 (214); 4.3.5 辅助冷却水系统示例 (215)	
4.4 湿式冷却系统选择	216

4.4.1 小水位变幅直流供水系统 (216); 4.4.2 大水位变幅直流供水系统 (219); 4.4.3 二级升压直流供水系统 (219); 4.4.4 无泵直流供水系统 (219); 4.4.5 多泥沙河流直流供水系统 (221); 4.4.6 带冷却塔的再循环供水系统 (227)	
4.5 直流供水系统总布置	227
4.5.1 汽机房外侧 A 排轴线面向水源 (227); 4.5.2 锅炉房面向水源 (236); 4.5.3 主厂房固定端面向水源 (或主厂房垂直水源) (241)	
4.6 再循环供水系统总布置	247
4.6.1 冷却塔的布置与环境的关系 (247); 4.6.2 冷却设施布置的原则 (248); 4.6.3 冷却塔与建、构筑物之间的间距 (248); 4.6.4 冷却塔的布置方式 (250)	
参考文献	254
第 5 章 地表水取水	255
5.1 江河水源及取水地点选择	255
5.1.1 河流分类 (255); 5.1.2 河型分类 (255); 5.1.3 河道水流、泥沙运河及河床演变 (260); 5.1.4 黄河上游河段取水问题 (262); 5.1.5 取水地点选择 (267)	
5.2 河口水源及取水地点和型式选择	269
5.2.1 河口水流特性 (269); 5.2.2 河口潮波特性 (271); 5.2.3 河口泥沙运动 (272); 5.2.4 河口的分段 (274); 5.2.5 河口的分类 (275); 5.2.6 河口取水地点和型式的选择 (277)	
5.3 海水水源及取水地点选择	278
5.3.1 海岸分类及分布 (278); 5.3.2 海岸泥沙运动 (279); 5.3.3 海岸剖面特征 (280); 5.3.4 海岸取水地点及型式的选择 (281)	
5.4 取水构筑物型式和选用	284
5.4.1 基本型式 (284); 5.4.2 岸边取水构筑物的布置 (284); 5.4.3 升墩式取水构筑物一般选用条件 (285); 5.4.4 河床式取水构筑物一般选用条件 (285)	
5.5 开敞式取水构筑物	285
5.5.1 一般设计要求 (285); 5.5.2 斗槽式取水构筑物 (286); 5.5.3 双向流河道取水工程示例 (291); 5.5.4 纵向底流槽取水工程示例 (293); 5.5.5 多泥沙流凌河道河心取水工程示例 (294); 5.5.6 海湾引水前池取水工程示例 (296)	
5.6 河床式取水构筑物	308
5.6.1 取水头部 (308); 5.6.2 引水管路 (313); 5.6.3 长江河口盾构取水工程示例 (315)	
5.7 进水流道水力设计	321
5.7.1 旋涡形态及临界淹没深度 (321); 5.7.2 湿井式水泵道水流道布置及尺寸要求 (322); 5.7.3 干井式水泵流道布置及尺寸要求 (330); 5.7.4 进水流道模型试验 (331)	
5.8 滤水设施	334
5.8.1 概述 (334); 5.8.2 滤水设施设计运行要求 (334); 5.8.3 格栅及扒耙机械 (336); 5.8.4 常规旋转滤网 (338); 5.8.5 鼓形旋转滤网 (341)	
参考文献	343
章 6 章 管沟阻力	344
6.1 管沟沿程阻力	344

6.1.1 概述 (344); 6.1.2 管沟沿程阻力计算公式及参数选择 (344); 6.1.3 计算示例 (349); 6.1.4 圆管沿程水头损失 (350); 6.1.5 钢筋混凝土矩形沟道沿程水头损失 (351)	
6.2 有关局部阻力系数取值问题	403
6.2.1 概述 (403); 6.2.2 局部阻力系数正确性判别标准 (403)	
6.3 弯流局部阻力系数	404
6.3.1 圆管弯头局部阻力系数 (404); 6.3.2 沟道弯头局部阻力系数 (406); 6.3.3 单斜切弯头局部阻力系数 (409); 6.3.4 90°组合斜切弯头局部阻力系数 (409); 6.3.5 弯头—弯头相互作用的修正 (409)	
6.4 扩散流局部阻力系数	413
6.4.1 概述 (413); 6.4.2 圆锥形扩散段的阻力系数 (414); 6.4.3 矩形扩散段的阻力系数 (416); 6.4.4 超限扩散段的阻力系数 (416)	
6.5 汇流和分流局部阻力系数	418
6.5.1 概述 (418); 6.5.2 尖锐边缘 T 形连接汇流 (419); 6.5.3 倒角半径对汇流 T 形连接阻力系数的影响 (425); 6.5.4 对称汇流的连接 (426); 6.5.5 尖锐边缘分流 T 形连接 (427); 6.5.6 倒角半径对分流 T 形连接阻力系数的影响 (431); 6.5.7 对称分流连接 (431); 6.5.8 四通分流连接 (431); 6.5.9 截面形状的影响 (432)	
6.6 其他部件局部阻力系数	439
6.6.1 进口局部阻力系数 (439); 6.6.2 突然收缩和突然扩大局部阻力系数 (439); 6.6.3 渐缩流局部阻力系数 (439); 6.6.4 阀门局部阻力系数 (439)	
6.7 局部阻力系数简明汇总表	442
6.7.1 弯流、扩散、渐缩流局部阻力系数 (442); 6.7.2 汇、分支流局部阻力系数 (445)	
6.8 工程算例	451
6.8.1 2×600MW 电厂直流供水系统水力计算示例 (451); 6.8.2 2×600MW 电厂再循环供水系统水力计算示例 (456)	
参考文献	459
第 7 章 管沟瞬变流	460

7.1 概述	460
7.1.1 管沟瞬变流分类及计算目的 (460); 7.1.2 瞬变流基本方程 (461); 7.1.3 边界条件 (462)	
7.2 水泵全特性曲线	466
7.2.1 概述 (466); 7.2.2 水泵全特性曲线 (466); 7.2.3 水泵全特性曲线求值 (471)	
7.3 直流供水系统瞬变流	475
7.4 再循环供水系统瞬变流	481
7.4.1 常规湿式冷却塔供水系统瞬变流 (481); 7.4.2 高位收水湿式冷却塔供水系统瞬变流 (484)	
7.5 补给水系统瞬变流	488
7.5.1 高扬程、驼峰管路瞬变流计算 (488); 7.5.2 长距离管路瞬变流计算 (491)	
7.6 简易水锤计算方法	492

7.6.1 帕马金停泵水锤计算曲线 (492); 7.6.2 刘竹溪停泵水锤计算曲线 (495); 7.6.3 富泽清治停泵水锤计算曲线 (501)	
7.7 供水系统水锤防护设计要求	507
参考文献	509
第8章 水面冷却	510
8.1 概述	510
8.1.1 水面冷却设计任务和分类 (510); 8.1.2 水体中热的迁移 (511); 8.1.3 水面冷却的研究方法 (512)	
8.2 水面热交换过程	514
8.2.1 概述 (514); 8.2.2 辐射散热 (515); 8.2.3 蒸发散热 (516); 8.2.4 对流传热通量 (517); 8.2.5 水面热交换计算 (517); 8.2.6 平衡水温、自然水温 (519); 8.2.7 综合散热系数 (519)	
8.3 表层排放	523
8.3.1 概述 (523); 8.3.2 有限水深二元温差出流的局部掺混 (524); 8.3.3 静止深水三元温差表层排放 (527); 8.3.4 静止浅水三元温差表层排放 (528); 8.3.5 受纳水体横向流的影响 (529)	
8.4 淹没排放	531
8.4.1 概述 (531); 8.4.2 多口排放近区的稳定性 (533); 8.4.3 浅水单向多口排放 (534); 8.4.4 浅水分级多口排放 (537); 8.4.5 浅水交替多口排放 (539); 8.4.6 浅水多口排放规划设计 (541)	
8.5 冷却池	543
8.5.1 冷却池水力及热力特性 (543); 8.5.2 深、浅型冷却池的判别 (548); 8.5.3 冷却池稳态热力计算 (550); 8.5.4 深冷却池稳态热力计算模型 (551); 8.5.5 浅冷却池稳态热力计算模型 (552); 8.5.6 冷却池瞬态热力计算 (553); 8.5.7 冷却池设计 (555)	
8.6 冷却水远区特性	557
8.6.1 完全混合一维江河水温预报 (557); 8.6.2 沿江多电厂冷却水工程 (558); 8.6.3 表层排放海域水温预报 (563); 8.6.4 淹没排放海域水温预报 (582)	
8.7 取排水口布置和选择取水	585
8.7.1 取排水口布置 (585); 8.7.2 分列式布置工程示例 (586); 8.7.3 差位式布置工程示例 (587); 8.7.4 重叠式布置 (590); 8.7.5 混合式布置工程示例 (598); 8.7.6 选择取水 (599); 8.7.7 挡热墙 (603); 8.7.8 深层水平管取水 (605); 8.7.9 取水头部 (607)	
8.8 电厂取排水与环境	612
8.8.1 取水的鱼类保护 (612); 8.8.2 取水工程中鱼类保护工程示例 (613); 8.8.3 水温对鱼类的影响 (615); 8.8.4 水温对水稻、水生植物及浮游植物的影响 (619); 8.8.5 热排放对水环境影响的评价 (620)	
参考文献	620
第9章 湿式冷却塔	622
9.1 概述	622

9.1.1 湿式冷却塔的类型与选择 (622); 9.1.2 湿式冷却塔主要设计原则 (625); 9.1.3 冷却塔的主要设计参数 (626); 9.1.4 冷却塔设计气象条件的分区 (628)	
9.2 湿空气性质及气水热交换	632
9.2.1 湿空气的组成及其基本特性 (632); 9.2.2 气水热交换 (658)	
9.3 逆流式自然通风冷却塔	659
9.3.1 逆流式自然通风冷却塔设计 (659); 9.3.2 冷却塔的空气动力计算 (661); 9.3.3 冷却塔的热力计算 (670); 9.3.4 逆流式双曲线自然通风冷却塔塔体优化 (673); 9.3.5 淋水填料的技术条件 (676); 9.3.6 配水系统及水力计算 (680); 9.3.7 除水器及风吹损失 (694); 9.3.8 防冻措施 (700)	
9.4 自然通风冷却塔的特性系数	701
9.4.1 特性系数及其特点 (701); 9.4.2 特性系数的计算 (703); 9.4.3 自然通风冷却塔综合冷却特性的评价 (705); 9.4.4 已建自然通风冷却塔的特性系数 (705); 9.4.5 用特性系数设计冷却塔 (710)	
9.5 横流式自然通风冷却塔	712
9.5.1 横流式自然通风冷却塔的工艺布置 (712); 9.5.2 空气动力计算 (713); 9.5.3 热力计算 (715); 9.5.4 横流塔配水的设计计算 (721); 9.5.5 横流式自然通风冷却塔的设计示例 (724)	
9.6 机械通风冷却塔	732
9.6.1 冷却塔塔型选择 (732); 9.6.2 逆流式机械通风冷却塔塔体设计 (733); 9.6.3 轴流式通风机 (735); 9.6.4 逆流式机械通风冷却塔的空气动力计算 (744); 9.6.5 逆流式机械通风冷却塔热力计算 (748); 9.6.6 $\phi 9.14\text{m}$ 风机逆流式方形塔工程示例 (749); 9.6.7 集群风机横流式圆形塔工程示例 (752)	
9.7 冷却塔原体测试	754
9.7.1 概述 (754); 9.7.2 冷却塔原体测试分类 (755); 9.7.3 测试准备 (755); 9.7.4 测试条件 (756); 9.7.5 测试要点控制 (756); 9.7.6 测试方法 (757); 9.7.7 测试结果的评价 (757)	
9.8 冷却塔与环境	759
9.8.1 自然风对自然通风冷却塔运行的影响 (760); 9.8.2 逆温对自然通风冷却塔的影响 (762); 9.8.3 湿热空气回流 (766); 9.8.4 飘滴影响 (771); 9.8.5 雾羽 (776); 9.8.6 噪声的影响 (781); 9.8.7 海水冷却塔与环境 (784)	
参考文献	786
第 10 章 干式冷却系统	787

10.1 概述	787
10.1.1 分类及特点 (787); 10.1.2 现状及发展 (790); 10.1.3 系统主要参数优化 (792); 10.1.4 干湿式联合冷却系统 (793)	
10.2 翅片管及冷却器	795
10.2.1 翅片管基本类型 (795); 10.2.2 翅片管空气侧的抗腐蚀性能 (797); 10.2.3 管材选择和材料消耗 (798); 10.2.4 翅片管热力及空气阻力特性 (799); 10.2.5 冷却器热力计算 (800)	
10.3 干式冷却系统设计气象条件	802

10.3.1 干球温度 (802); 10.3.2 风 (805)	
10.4 干式冷却系统汽轮机	806
10.4.1 干式冷却系统汽轮机的背压和 ITD 值 (806); 10.4.2 干式冷却系统汽轮机设计特点 (808); 10.4.3 干式冷却系统汽轮机各项功率及工况的定义 (810); 10.4.4 干式冷却系统汽轮机末级叶片的选择 (812); 10.4.5 干式冷却系统汽轮机运行要求 (812)	
10.5 机械通风直接干式冷却系统	815
10.5.1 系统组成及技术要求 (815); 10.5.2 ACC 系统热力计算 (820); 10.5.3 ACC 系统空气阻力计算 (823); 10.5.4 ACC 系统风机转速及叶片角度优化计算示例 (829); 10.5.5 ACC 系统优化 (831); 10.5.6 国外 ACC 系统设计数据 (834)	
10.6 表面式凝汽器间接干式冷却系统 (ISC)	842
10.6.1 ISC 系统建设经验 (842); 10.6.2 ISC 系统设计特点 (843); 10.6.3 南非肯达尔电厂 ISC 系统设计、安装及测试概况 (846); 10.6.4 扩大单元制供水系统水力分析 (852); 10.6.5 ISC 系统冷却塔设计过程和热力计算 (858); 10.6.6 冷却塔阻力和抽力计算 (860); 10.6.7 ISC 系统冷却塔热力、阻力及抽力计算示例 (866)	
10.7 混合式凝汽器间接干式冷却系统 (IMC)	868
10.7.1 IMC 系统的系统与设备 (869); 10.7.2 IMC 系统热力及空气动力计算 (874); 10.7.3 IMC 系统冷却塔设计示例 (875); 10.7.4 IMC 系统水力计算 (877)	
10.8 自然通风直接干式冷却系统 (NDC)	878
10.8.1 采用 NDC 系统的可行性 (878); 10.8.2 NDC 系统设计要点 (879); 10.8.3 NDC 系统冷却塔设计示例 (879)	
参考文献	883
第 11 章 凝汽冷却系统优化	885
11.1 优化的分类与内容	885
11.1.1 概述 (885); 11.1.2 系统优化设计过程 (886)	
11.2 资金的时间价值及利息计算	887
11.2.1 利息和利率 (887); 11.2.2 复利计算 (888)	
11.3 优化方法及经济因素	890
11.3.1 热耗率变化的计费问题 (890); 11.3.2 年固定分摊费率的取值 (891); 11.3.3 优化中的敏感因素 (893)	
11.4 直流供水系统优化问题	894
11.4.1 小水位变幅水源的系统优化 (894); 11.4.2 大水位变幅水源的系统优化 (895); 11.4.3 水源水温 (895)	
11.5 冷却塔优化设计	896
11.5.1 冷却塔本体优化和面积选择 (896); 11.5.2 300~600MW 机组冷却塔系列 (897)	
11.6 凝汽器优化设计	898
11.6.1 双压凝汽器的经济性 (898); 11.6.2 凝汽器冷却管经济流速 (899)	
11.7 600MW 机组湿式冷却系统优化示例	902
11.7.1 厂址条件及参数取值 (902); 11.7.2 优化结果及分析 (904); 11.7.3 优化结果评述 (910); 11.7.4 优化结果等值线图 (914)	
11.8 干式冷却系统的规划设计和优化	914

- 11.8.1 干式冷却系统的选择和计算 (914); 11.8.2 干式冷却系统的优化 (915); 11.8.3 临界水费 (915); 11.8.4 临界水费算例 (916)
- 11.9 干湿式联合冷却系统规划和优化 918
- 11.9.1 干湿式联合冷却系统总体布置 (919); 11.9.2 干湿式联合冷却系统规划要点 (919); 11.9.3 规划设计示例 (919)

第12章 水务管理

922

- 12.1 规划设计主要原则和用水、排放指标 922
- 12.1.1 水务管理内容 (922); 12.1.2 规划设计的主要原则 (922); 12.1.3 用水指标、耗水率和排放率定义及计算方法 (923)
- 12.2 循环水的补给和处理 925
- 12.2.1 再循环供水系统的特点 (925); 12.2.2 循环水系统的污垢沉积 (925); 12.2.3 循环水系统的腐蚀 (927); 12.2.4 循环水的水质要求及判别 (928); 12.2.5 再循环系统的水量补给 (932); 12.2.6 循环水处理 (934); 12.2.7 旁流水系统 (935); 12.2.8 排污水的处理及回用 (936)
- 12.3 除灰渣用水及处理 937
- 12.3.1 除灰渣系统 (937); 12.3.2 灰渣特性 (939); 12.3.3 灰管防垢 (940); 12.3.4 灰场排水处理及回用 (941)
- 12.4 烟气脱硫用水及洗涤器沉浆处理 942
- 12.4.1 烟气脱硫概况及流程 (942); 12.4.2 洗涤器沉浆处置流程 (945); 12.4.3 沉浆成分及特性 (946); 12.4.4 沉浆量计算 (948)
- 12.5 其他废污水处理及回用 951
- 12.5.1 生活污水处理 (951); 12.5.2 含油废水处理 (952); 12.5.3 输煤设施排水处理 (954); 12.5.4 酸碱废水处理 (955); 12.5.5 三级处理的必要性 (956)
- 12.6 美国水务管理经验和工程实例 957
- 12.6.1 美国西部干旱地区电厂零排放系统 (957); 12.6.2 科尔斯特里普 (Colstrip) 电厂 ($2 \times 358\text{MW}$) (963); 12.6.3 吉姆伯雷其 (Jim Bridger) 电厂 ($4 \times 500\text{MW}$) (973); 12.6.4 帕罗维达 (Palo Verde) 核电站 ($3 \times 1270\text{MW}$) (976); 12.6.5 俄达克 (Wyodak) 电厂 ($1 \times 365\text{MW}$, ACC系统) (977)
- 12.7 国内工程水务管理示例 979
- 12.7.1 10%排放率湿式冷却系统工程示例 ($4 \times 300\text{MW}$) (979); 12.7.2 零排放湿式冷却系统工程示例 ($2 \times 600\text{MW}$) (981); 12.7.3 零排放干式冷却系统工程示例 ($2 \times 600\text{MW}$) (989)
- 参考文献 995
- 附录 单位换算 996

厂址选择水工工作要点

1.1 厂址选择工作内容

1.1.1 概述

火电厂（核电站）厂址选择一般分为初步可行性研究和可行性研究两个阶段。总的任务是论证电厂建设的必要性，厂址在技术上的可行性和经济上的合理性。全面阐明该工程项目能够成立的根据。

初步可行性研究报告的主要内容包括：电力发展规划中对地区负荷的要求，电厂在电两和电源优化中的优先地位，和厂址有关的地形、地质、地震、水文、气象等自然条件，以及煤源、运输、水源、灰场、环境保护、电网连接、出线走廊等和建厂有关的社会条件。应有详尽的说明和技术经济比较，并结合厂区规划、总平面布置、工艺系统和主设备的布置、土建设计的原则等进行勘测、调查，逐项落实，然后与有关方面签订必要的协议，以具体确定建厂地址和建设规模。报告还须在上述工作的基础上提出工程投资估算，落实投资来源，算出投资回收年限、发电成本和电价、工程建设周期等测算数据。此外，还应提出初步设计或设计中需进一步解决的重大问题。

1.1.2 可行性研究阶段一般规定^[1]

可行性研究是基本建设程序中为项目决策提供依据的一个重要阶段，应以审定的初步可行性研究报告或扩建工程鉴定报告作为基础。

批准的可行性研究报告是计划部门编制和审查可研报告的依据。国家批准的可行性研究报告的投资估算（静态价）是限额设计的额度。

可行性研究报告应满足下列要求：

- (1) 对拟建厂址进行全面技术经济比较，提出推荐意见。新建工程应有两个及以上的厂址。
- (2) 进行必要的调查、收资、勘测和试验工作，落实建厂外部条件。
- (3) 煤、灰、水、路、接入系统、环境保护、地基处理等应有方案比较。
- (4) 为主机招标创造条件，应对其主要技术条件进行论证。在采用干式冷却系统时，要对干冷系统主要参数、汽轮机冷端参数及锅炉匹配容量提出意见。
- (5) 利用外资并采用国际招标的工程，应提出标书技术条件和供货范围，其标准和供货范围应符合有关规定。
- (6) 投资估算应能满足控制概算的要求，并应与已审定的参考造价进行对比分析。

1.1.3 可行性研究报告内容深度^[1]

1. 电厂水源

应说明各厂址的供水水源、冷却方式、冷却水量及在采取节水措施条件下所需要的补充水量。提出不同供水水源的水文报告或水文地质详查报告，并征得地方水资源管理部门的同意，取得有关协议文件，明确允许开采范围及开采量。对利用水库、湖泊、河道、海水水面冷却的电厂，还应提出这方面的专题论证报告或水工模型试验报告。在掌握可靠和充分的资料基础上，提

出各种冷却方式的供水方案和技术经济比较。

电厂水源必须落实可靠，应调查清楚枯旱年份近期与远期工农（牧）业以及城市居民生活等用水量的情况，着重分析在保证率为97%枯水年电厂用水的保证程度。当电厂用水与工农（牧）业及城市用水有矛盾时，应提出解决矛盾的方案和意见。如因电厂建设需要新建水库或对现有水库进行改造，必须有水利设计部门提供的新建或改造水库的可行性研究报告，经有关主管部门审查确定由电厂承担的投资部分，将其列入电厂的投资估算中。

2. 贮灰场

应说明各厂址方案可供选择的贮灰场情况及贮灰方式。

应说明各厂址与贮灰场的相对位置。应论证并落实贮灰场的容积能满足电厂规划容量和本期容量贮灰要求，提出贮灰场分期建设的方案和意见。

应提出灰场占地面积、房屋拆迁面积、户数、山洪流量、洪水位、潮水位、除灰水量、工程地质与水文地质条件、建坝材料储量、运距及运输条件、灰场堤坝的建设条件、主要工程量及投资。

应在优化的基础上，进行灰坝坝型的选择，提出经济合理的坝体结构方案、工程量及投资估算。

3. 工程设想

(1) 供水系统

应拟定供水系统方案，选择主要设备以及泵房、取排水口位置，选择供、排水管道的走向等。根据初步优化结果，拟定冷却倍数、凝汽器面积和冷却塔面积。

参照国内同类机组情况，提出消防设计原则。

(2) 贮灰场

应对灰坝型式，灰坝（堤）结构、坝基处理等进行研究比较，提出推荐方案，并考虑灰、渣分期筑坝的可能条件。根据灰、渣特性及水质情况，拟定除灰管及灰水回收管管材及防垢等措施。

1.2 水源及供水系统选择

1.2.1 直流供水系统选择

1. 一般原则

当水源水量充足，供水总扬程在25m以内，输水距离不超过1km，采用直流供水系统通常是经济的。我国长江和珠江三角洲及沿海平原电厂的几何扬程只有0~2m，循环水泵总扬程为15m左右，个别标高较高的厂址可能增至25m；长江中游地区水位变幅较大，总扬程约为30m左右；长江上游地区水泵总扬程在40m以上，在这些地区要考虑排水位能的回收，约可回收循环水泵功率的30%。

在长江上游地区，如可简单地取得再循环系统的补给水量，例如直流系统电厂的扩建，为避免再建取水构筑物，通过技术经济比较，亦可采用再循环供水系统。

2. 河流环境热容量

《地面水环境质量标准》（GB 3838—2002）中规定，对人为造成的环境水温变化应限制在夏季周平均最大的温升不超过1.0℃，冬季周平均最大温降不超过2.0℃。根据这一要求，以直流冷却水温升为10℃计，则要求为直流供水系统提供冷却水的河流夏季流量至少为冷却水量的10倍，在冬季至少为冷却水量的5倍。这使许多中小河流采用直流供水系统成为不可能。采用混流

系统便更不可能了。

许多流量较大的河流，由于沿江建了多个火电厂，河流的环境热容量根据水温升高的限制，已不能满足有关电厂再扩建直流供水系统的要求，增加装机容量，只能采用再循环供水系统。例如上海黄浦江沿岸建有多个电厂，现总装机容量已超过 2000MW，位于上游的吴泾电厂再扩建 $2 \times 600\text{MW}$ 机组，如采用直流供水系统，下游水文站频率 $p = 10\%$ 的水温将由 31.4°C 升高到 34.9°C ，显然这已超过了河流允许的环境热容量，只能采用再循环供水系统。

3. 取水对水生动物的影响

电厂取水泵房设备的抽吸、碰撞、高速旋扰及凝汽器的温升对水生动物都会造成较大危害，这种危害习称卷载效应 (entrainment)。其危害性常较温排水的温升造成的危害更大。

海湾和河口的某些区域为鱼虾集中的产卵或索饵区，而在邻近的地区可能并非鱼虾密集的产卵区或索饵区。在选厂时要对有关水生动物进行调查研究，应选择对水生动物危害较小的厂址及取排水地点。

大港电厂采用二级升压的海水直流供水系统。在鱼虾产卵期停运一级海水泵房，利用厂区附近的河网进行海水循环冷却，以保护水生动物。

4. 温排水对水环境的影响

温排水对水环境的影响是多方面的。这里只对这一问题作一概述：

(1) 大江大河及海域的水域广阔，水容量宏大，温排水一般符合国家水环境质量标准的要求。因而采用直流供水系统是可行的。

(2) 中、小河流，当温排水不符合国家水环境质量标准要求时，应对水环境进行调查研究，评估其影响程度，论证采用直流供水系统或混合供水系统是否可行。

(3) 采用综合利用水库作冷却池，应尽量利用水库向下游排放热水。温排水进入水库后的水温分布情况，宜进行较长时间的动态水温三维分布的预报。在这一基础上，全面分析温排水对环境的影响，必要时制定相应的工程措施。

5. 淤泥质海岸供水系统

淤泥质海滩坡度平缓，多为 $1:500 \sim 1:2000$ 。退潮时水边线远离海岸可达数公里。如仍采用全潮取水，取水构筑物建在岸边时，则引潮沟将很长，防淤清淤有一定困难。在低潮水边线附近建取水构筑物，不但建造费用较高，交通及输水构筑物的建造也有一定困难。通常的解决方案是高潮取水，河网或蓄水池蓄水。低潮时以蓄水供直流用水，潮位再低时利用河网或蓄水池再循环冷却。

例如大港电厂在中潮位海滩建一级升压泵房，以渠道输水到河网，在主厂房设二级升压泵房供凝汽器冷却水。低潮时利用河网蓄水或再循环冷却。

又如青岛老电厂，在高潮时由悬挂式拍门进水，将三个大蓄水池充满水，供低潮时直流供水或再循环冷却。直至新厂 $2 \times 300\text{MW}$ 机组建设时，胶州湾环海公路在广阔的淤泥质海滩上建成，才在高老厂 1km 远的公路靠海侧建成新的海床式取水泵房，同时对新老厂一级升压供水。引水钢筋混凝土构单长近 700m 。

6. 多泥沙河流直流供水系统

根据目前认识与实践，河流含沙量一般不大于 $200\text{kg}/\text{m}^3$ ，泥沙平均粒径为 $0.01 \sim 0.05\text{mm}$ ，凝汽器冷却管流速为 $1.5 \sim 2.0\text{m}/\text{s}$ ，在有效的除去杂草与石子的情况下，电厂可以采用不经沉淀的河水作直流供水，可使凝汽器冷却管不堵不磨。

例如黄河上游的石嘴山河段，最大含沙量为 $94\text{kg}/\text{m}^3$ 。石嘴山一厂采用黄河水不经沉淀的直流供水系统。河心泵房取水，引桥长约 110m 。而石嘴山二厂 ($4 \times 300\text{MW}$)，距一厂仅 1.5km 。经

试验研究,附近无经济合理的取水地点,而改用再循环供水系统,补给水由一厂河心泵房供给。

西固热电厂以黄河为直流供水水源,河流最大含沙量约 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 。采用辐流式沉淀池沉沙。

1.2.2 直流供水系统升压方式的选择

直流供水系统一般均采用一次升压系统,冷却水由水泵房升压通过循环水管直接送水进入凝汽器。但根据自然条件,也可采用其他升压方式,主要有以下几种。

1. 两级升压系统

输水距离较远,通过天然河道、湖泊或人工建造的沟渠输水。优点是沿程水头损失小,投资省。

(1) 利用厂区和水源之间的天然河网或湖泊输水。水源设一级升压泵房,在厂区设二级升压泵房向凝汽器供水。例如青山热电厂在长江设一级泵房供水到河网湖泊。

(2) 海水直流供水系统为防止紫贝贻在封闭的输水构筑物中生长及便于清理,采用混凝土明沟输水到汽机房前,在汽机房内设二级升压泵房。例如龙口电厂便是采用这种系统。

(3) 水源为综合利用水库,水位变幅较大,离水位历时较长,为节省投资及运行费用,高、中水位时停运一级泵房,由高中水位进水闸进水,经输水明渠送水到汽机房前的二级泵房。清镇电厂便是采用这种系统。

2. 一级升压自流到凝汽器

(1) 长江上游,泥沙粒径较大,可能淤塞或磨损凝汽器冷却管。故一般设高位沉沙池,除去粒径为 0.25mm 以上的泥沙。长江上游水位变幅较大,在泵房设置旋转滤网有一定困难,也不合理。一般设后置滤网,将后置滤网设在沉沙池上。沉沙池一般设在离地上。没有条件时可高架布置。处理后的水自流到凝汽器。

(2) 在输水距离较远,而输水沿途有基本连续的丘陵小山时,可一级打水到高位输水渠,到厂区后自流进入凝汽器。例如金竹山电厂便是采用这种系统。

3. 无泵直流供水系统

寒冷及山前冲积扇地区,电厂水源水温较低,可采用较低的冷却倍数,这时系统阻力较小。河流及引水渠道坡降较大。可利用这一特点,实现无泵直流供水系统。

例如玛纳斯电厂,以玛纳斯河水为水源,利用引玛纳斯河的大坡度输水渠道将水引入厂区。当冷却倍数为 $40\sim 55$ 时,系统阻力为 $6.7\sim 7.3\text{mH}_2\text{O}$ 。进、排水点的水位高差可满足无泵直流供水的要求。

1.2.3 再循环供水系统补给水源选择

1. 地下水源优选方案

地下水源以其水量稳定、水质较好、供水距离较近等优点,常成为电厂补给水源的优选方案。在规划选择地下水源时,除参照1.3节的要求外,还要考虑下列问题:

(1) 第四纪潜水的大部或部分已为农业用水所开采,电厂采用这一部分水往往会引起水资源分配的问题。在条件可能时,电厂用水要尽量考虑未被开发的岩溶水或深层地下水。例如平凉电厂采用部分地下水,与农业用水有一定矛盾,后开发岩溶水,缓解了部分与农业用水的矛盾。

(2) 岩溶泉水常出露在标离较低的河床中,开采比较困难。可根据水文地质条件,在附近洪水位以上区域另凿管井取水,可能是经济合理的方案。如蒲城电厂袁家坡水源地,在洛河河床上有 $2\text{m}^3/\text{s}$ 水量的泉水,在附近较广阔的范围用管井取水,比较合理。

(3) 山前洪冲积扇地下水的开采要注意地下水源上游地层的组成。如上游地层中含有硫化物,则地下水含硫量较高,不适宜作生活用水及锅炉补给水。而左右相邻的山前洪冲积扇,水质可能较好。例如大武口电厂从大武口沟取水,含硫量较高,只能作冷却水的补给水,生活用水