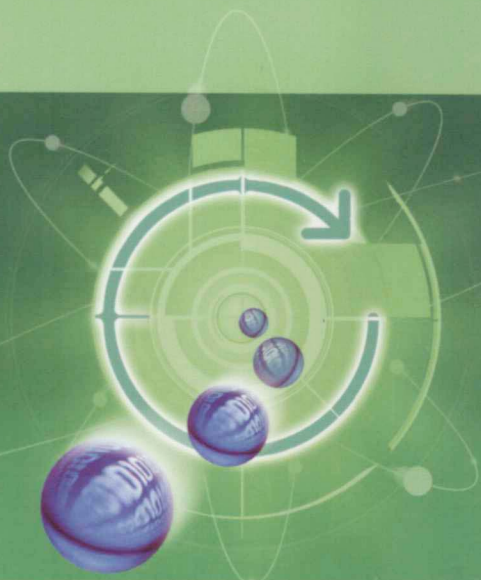




哈尔滨工业投资集团有限公司
HARBIN INDUSTRIAL INVESTMENT GROUP CO., LTD



装备工业产业 技术分析

(2013 年度)

◎主编 于明升



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

F426.4

108

2013

013959032

装备工业产业技术分析 (2013 年度)

主 编 于明升

副主编 毕 明 张 波 刘 毅

宋传滨 王吉特



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



北航

C1667575

F426.4
108
2013

内 容 简 介

装备工业是为国民经济发展提供技术装备的各种制造工业的总称,在国民经济中占有举足轻重的地位。我国装备工业在新中国成立后特别是改革开放以来取得了长足的进步,目前已基本形成了比较完整的产业体系。

哈尔滨工业投资集团有限公司(以下简称“哈工投”),集中了哈尔滨工业资产经营有限公司旗下29家企业的优良资产组建,以装备工业类公司为主,按照下属企业产业属性及业务关联性,划分为电力电气、功能部件、整机制造、传统工业和现代服务业5个产业板块。

哈工投集团所属企业大多是新中国成立后我国的第一批企业,很多企业具有60余年的光辉历史,为我国国民经济发展做出了重要贡献。部分企业在行业内曾是引领行业的龙头企业,其中一些现在仍然在我国装备工业中占有重要地位,引领所在行业的技术发展。编写本书的目的,只为能从某一个方面了解目前装备行业技术的发展状况,供装备行业专家审阅,抛砖引玉,为集团公司的技术发展贡献一份微薄之力。

本书作为哈工投企业所在行业部分技术情况工作总结,共分为九章,内容涵盖了空冷技术分析、重型机械技术分析、刀具技术分析、衡器技术分析,同时关注了三维打印机的发展趋势及节能热泵技术的实际情况。

本书紧密结合哈工投企业所在行业实际情况,力求用工程实例及简单的语言将笔者掌握的情况介绍给各位专家,有不当之处,希望各位专家多多包涵、指正。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

装备工业产业技术分析.2013年度/于明升主编. —北京:北京理工大学出版社,2013.7

ISBN 978-7-5640-7910-9

I. ①装… II. ①于… III. ①制造业-工业产业-技术经济分析-中国-2013
IV. ①F426.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第154727号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775(总编室)

82562903(教材售后服务热线)

68948351(其他图书服务热线)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京泽宇印刷有限公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/7

字 数/154千字

版 次/2013年7月第1版 2013年7月第1次印刷

定 价/25.00元

责任编辑/陈 竑

文案编辑/胡卫民

责任校对/周瑞红

责任印制/王美丽

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

吸纳人才. 博采众长.
为哈尔滨装备工业转
型升级. 做强做大.
提供研究和设计动
力.

于明升
2012.11

哈尔滨工业投资集团有限公司董事长于明升先生
于二〇一二年十一月题词

哈尔滨工业投资集团有限公司
装备工业产业技术分析（2013 年度）
编辑委员会

主 编：于明升

副主编：毕 明 张 波 刘 毅 宋传滨 王吉特

编 委：齐志广 朱剑平 龚宇洋 袁 新 冯 峰

魏家现 李凤满 莫 非 周顺燕 袁 萌

王立志 解 轲 于尔亮 曲方文 何文汇

吴凤来 姜书寅 徐全勇

本书的作者不畏艰辛，勇于承担挑战，在有限的时间内，完成了该书的编写，为我们提供了一份较为翔实的参考资料。希望各位同仁认真分析，高度重视我们企业所在领域的技术情况，充分利用两个平台的作用，团结一致，为我国的装备工业的发展贡献我们应有的力量。

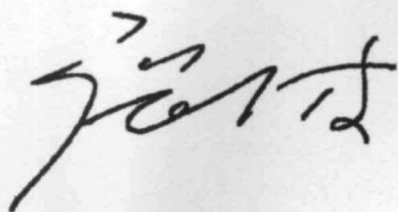
序

新中国成立以后，我国开始了独立自主的工业建设，装备工业在国家工业建设中扮演着重要角色。装备工业为工业发展提供各种技术，包括金属制品业、普通机械制造业、专用设备制造业、交通运输设备制造业、武器弹药制造业、电气机械及器材制造业、电子及通信设备制造业、仪器仪表制造业等。装备工业是一个国家科技实力的体现，是一个国家国力强大的技术保障，深深影响着国民经济建设的各个领域。

我国东北装备工业企业历经 60 余年的发展，为我国国家建设做出了重要贡献，现在仍然在各个领域起着举足轻重的作用。为了解东北装备工业企业所在行业的技术情况，哈工投组织力量进行了该书的编写，力求寻找差距，了解自我，集中力量，整军备战，为东北装备制造业的跨越式发展贡献出一份力量。

近年来，在政府和企业多方努力下，在装备工业重大关键技术的突破上，取得了一定的进展，但我国装备工业与发达国家相比仍然有较大差距，因此必须加大技术的整合力度，利用大型研发中心和企业自身研发力量两个平台，进行深入合作，加大先进人才的引进力度，加大科研投入的力度，提高我国企业自身的科研水平，在实践中吸收消化国外的先进技术，提高自主创新能力，不断为东北装备工业的发展提供技术动力。

本书的作者不畏艰辛，勇于挑战，在较短的时间内，完成了该书的编写，给我们提供了一份较为翔实的参考资料。希望各位同人认真分析，高度重视我们企业所在领域的技术情况，充分利用两个平台的作用，团结一致，为我国的装备工业的发展贡献我们应有的力量。

A large, stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to the author or a senior official, positioned at the bottom right of the page.

前 言

改革开放以来，西方发达国家各装备工业公司迅速挺进中国，在各个领域向我国企业发起了挑战。装备工业是国民经济的支柱产业和战略产业，一个国家的现代化某种程度上体现在装备工业的现代化上，因此国家在装备工业上给予了大力的支持。深处东北腹地的我国企业，曾为国家建设做出了历史性的突出贡献，面对如今不容小觑的竞争对手及如此之大的竞争压力，我们仍需推进装备工业领域的技术工作，不断加大科技研发的投入，以保证在未来的竞争中赢得先机。

本书共分九章：第一章为空冷技术分析；第二章为斗轮堆取料机结构分析；第三章为花键拉刀有限元仿真分析；第四章为衡器仿真力学分析；第五章为核电站冷却塔有限元仿真分析；第六章为节能热泵技术分析；第七章为可转位齿轮铣刀仿真分析；第八章为低温有机朗肯循环（ORC）发电系统分析；第九章为三维打印技术分析。

本书以哈尔滨工业投资集团有限公司下属企业所在行业为基本面，对部分装备工业技术情况进行了分析。本书在编写过程中，得到了哈工投（北京）研发设计中心的大力支持，一并感谢。由于时间仓促、编者水平的局限性，错误在所难免，请各位专家多多见谅。

编 者

1.5 空冷技术的最新技术发展	11
1.5.1 工业换热需求的优化及改进	11
1.5.2 自然通风直接空冷系统	11
1.5.3 核电厂空冷技术	12
1.5.4 复合循环空冷系统	12
1.6 总 结	13
第二章 斗轮堆取料机结构分析	15
2.1 概 述	17
2.2 结构说明	15
2.3 模型建立	17
2.4 施加荷载	18
2.5 结构分析	18

目 录

第一章 空冷技术分析	1
1.1 概 述	1
1.2 空冷系统关键技术介绍	2
1.2.1 空冷换热元件和管束设计及制造	3
1.2.2 直接空凝汽器全厂流动和传热数值研究	3
1.2.3 空冷钢结构平台设计	4
1.2.4 大直径薄壁负压排汽管道的优化设计	5
1.2.5 超大型冷却塔的结构计算	5
1.3 电站空冷系统介绍	6
1.3.1 直接空冷系统	6
1.3.2 间接空冷系统	7
1.4 空冷技术的发展及现状	9
1.4.1 国外空冷技术的发展	9
1.4.2 国内空冷技术的发展	10
1.5 空冷技术的最新技术发展	11
1.5.1 翅片换热管束的优化及改进	11
1.5.2 自然通风直接空冷系统	11
1.5.3 核电厂空冷技术	12
1.5.4 复合循环空冷系统	12
1.6 总 结	13
第二章 斗轮堆取料机结构分析	15
2.1 概 述	15
2.2 结构说明	15
2.3 模型建立	17
2.4 施加载荷	18
2.5 结构分析	18

2.6 结 论	23
第三章 花键拉刀有限元仿真分析	24
3.1 概 述	24
3.2 结构说明	24
3.3 模型建立	25
3.4 材料属性	26
3.5 施加载荷	26
3.6 结构分析	26
3.7 结论与展望	31
第四章 衡器仿真力学分析	32
4.1 概 述	32
4.2 结构说明	32
4.3 材料及计算参数	33
4.4 模型建立	33
4.5 施加载荷	35
4.6 计算结果	36
4.7 分析结论	42
第五章 核电站冷却塔有限元仿真分析	43
5.1 前 言	43
5.2 分析工具	43
5.3 规范和标准	43
5.4 几何模型	43
5.5 材料参数	45
5.6 有限元模型	46
5.7 载荷分类	47
5.7.1 净重 (DW)	47
5.7.2 外部载荷 (EL)	48
5.7.3 风载荷 (W)	48
5.7.4 热载荷 (T)	48

5.7.5 压力载荷 (P)	48
5.8 有限元分析	48
5.9 结 论	65
第六章 节能热泵技术分析	66
6.1 研究背景及意义	66
6.1.1 世界能源现状	66
6.1.2 采用热泵回收余热的意义	66
6.2 热泵技术概述	67
6.2.1 热泵的热源及分类	67
6.2.2 第一类溴化锂热泵系统介绍	68
6.3 溴化锂吸收式热泵各部件作用与制热循环	70
6.4 相关项目研发介绍	72
6.4.1 电厂项目介绍	72
6.4.2 溴化锂吸收式制冷机的主要特点	74
6.5 小 结	74
第七章 可转位齿轮铣刀仿真分析	76
7.1 概 述	76
7.2 结构说明	76
7.3 模型建立	78
7.4 施加载荷	79
7.5 计算结果	79
7.6 结 论	83
第八章 低温有机朗肯循环 (ORC) 发电系统分析	84
8.1 引 言	84
8.2 低温热资源及利用现状	84
8.2.1 余热资源	84
8.2.2 热资源利用现状	85
8.3 有机朗肯循环 (ORC) 发电系统	86
8.3.1 ORC 的系统构成与原理	86

8.3.2	ORC 的系统特点	87
8.3.3	典型的 ORC 发电系统装置	88
8.4	有机朗肯循环 (ORC) 发电系统的应用现状	88
8.5	有机朗肯循环 (ORC) 发电系统的经济分析	89
8.6	结 论	90

第九章 三维打印技术分析 91

9.1	概 述	91
9.2	三维打印技术发展现状	91
9.2.1	三维 (3D) 打印技术发展	91
9.2.2	国内外现状	92
9.3	三维打印技术简介	93
9.3.1	三维打印技术原理	93
9.3.2	三维打印技术应用	93
9.4	三维打印技术市场前景	97
9.5	结 论	97

第一章 空冷技术分析

1.1 概 述

空气冷却技术简称“空冷技术”，是利用空气作为冷却介质将热流体冷却到所需温度的换热技术，管内的热流体通过管壁和翅片与管外空气进行换热，所用的空气通常由强制通风或自然通风供给。

发电厂汽轮机排汽空气冷却技术的应用和发展，为在严重缺水的煤矿和电力负荷中心区域建设大型火力发电厂开辟了一条节水、经济、安全、可靠的途径，也为水资源丰富区域保持生态平衡、避免江河水资源污染创造了有利条件。因此，发电厂空冷技术在世界范围内得到了广泛的应用。特别是我国，走和谐、可持续发展道路，节约用水，避免污染，提高水资源利用率，已成为新世纪电力工业发展的重大课题。华北、西北是富煤而缺水的地区，发电厂采用空冷技术已成为必然，其他水资源相对充沛地区，发电厂采用空冷技术的问题也将会受到高度的重视。图 1-1-1 为火力发电厂空冷岛。



图 1-1-1 火力发电厂空冷岛

与传统的水冷相比较，空冷技术的优点见表 1-1-1。

表 1-1-1 空冷与水冷的比较

空 冷	水 冷
对环境没有热污染和化学污染	排放水对环境有热污染，也常有化学污染
空气可随意取得，不需任何附属设备和费用。 选厂址不受限制，这对无水和缺水地区尤为重要	冷却水往往受水源限制，要设置管线和泵站 等设施，特别对较大的厂，选厂址时必须考虑有 充足的水源
空气腐蚀性小，不需要除垢和清洗，使用寿命长	水腐蚀性强，也易于结垢，需要进行处理
空气的压降仅有 98 ~ 196 Pa，故空冷的操作费用低	循环水压较高，故水冷的能耗也较高
空冷系统的维护费用，一般情况下仅为水冷系统的 20% ~ 30%	由于水冷设备多，易于结垢，在温暖气候条件下易生成微生物，附于冷却器表面，常需停工清洗
一旦风机电源被切断，仍有 30% ~ 40% 的自然冷却能力	电源一断，即要被迫全部停产

1.2 空冷系统关键技术介绍

空冷技术起源于德国，由于国外厂家对电站空冷关键技术的垄断及封锁，2004 年以前，我国电站空冷行业处于发展初期，美国 SPX、德国 GEA 两家外资厂商基本垄断当时我国大型电站空冷系统市场，早期的产品市场价格由于外资垄断而居高不下，限制了大型电站空冷系统在国内的广泛应用，空冷系统国产化成为行业发展的必然趋势。2004—2005 年，哈空调作为国内少数具备大型电站空冷系统供货能力的内资厂商，签订了乌拉山 2 × 300 MW、通辽 1 × 600 MW 空冷订单，实现业绩突破，这是内资厂商首次签订大型电站空冷系统订单，标志着空冷系统国产化的开始，也成功地掌握了电站空冷设计的关键技术，打破了国外公司的长期垄断。哈空调在意大利 800 MW 以及印度 600 MW 等项目的完全自主设计，标志着中国空冷系统设计已经达到世界先进水平，占领了电站直接空冷核心技术的制高点。

1.2.1 空冷换热元件和管束设计及制造

空冷换热元件即翅片管，它是空冷系统的核心，其性能直接影响空冷系统的冷却效果（见图1-2-1）。直接空冷机组的发展主要是围绕如何提高管束的性能进行的，即冷却效果和防冻性能，经过多年的发展，冷却管束型式不断创新，经历如下革新过程：在管排数上，从多排管到单排管，单排管以其管内流通截面大、防冻性能优越而受到人们普遍关注；在管束尺寸上，从基管小管径到大管径，管束长度也逐渐增大，可达9~10 m；在管束形状上，由从圆管到椭圆管、从等翅片间距到不等间距。另外，控制系统的设计也有了很大的改进，通过合理设计管束的顺、逆流结构以及翅化比，散热器防冻问题得到了很好的解决。

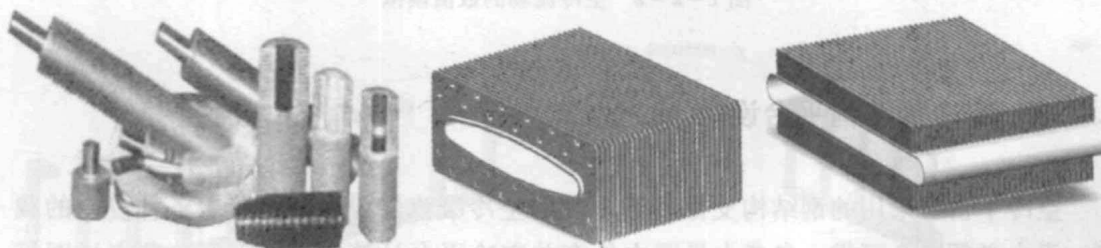


图1-2-1 空冷换热元件

1.2.2 直接空冷凝汽器全厂流动和传热数值研究

直接空冷凝汽器全厂区流动和传热数值研究是在当地气象条件下，通过分析周围已建的建筑物和构筑物以及未来扩建的建筑物和构筑物对空冷凝汽器换热可能造成的影响，确定厂区最佳布置方案。空冷凝汽器的换热不仅受环境温度、风向、风速的影响，同时受到周围建筑物的影响。厂区内建筑布局（包括前期建筑，如老厂房、水冷塔等）都会对新建空冷凝汽器的换热情况产生很大的影响，如果建筑布局选择不合理，会对建成后电厂的发电效果产生负面影响。应根据当地实际情况，通过对空冷电厂厂区进行研究，确定主厂房和空冷岛的布局 and 出线的位置等，提出最佳的厂区布置方案。对某直接空冷电厂的数值研究，如图1-2-2所示。通过对空冷岛换热情况进行数值模拟，研究风速、风向、平台高度、地形和厂房布局的影响，对空冷平台换热性能进行评价，确定合理的平台高度和平台布局设计方案。通过对空冷岛的数值研究可对大风影响和热风再循环做出评估，以确定挡风墙的高度和是否在空冷平台下部增加挡风墙或导流板及其他改进措施，消除上述因素对空冷岛换热所造成的负面影响。

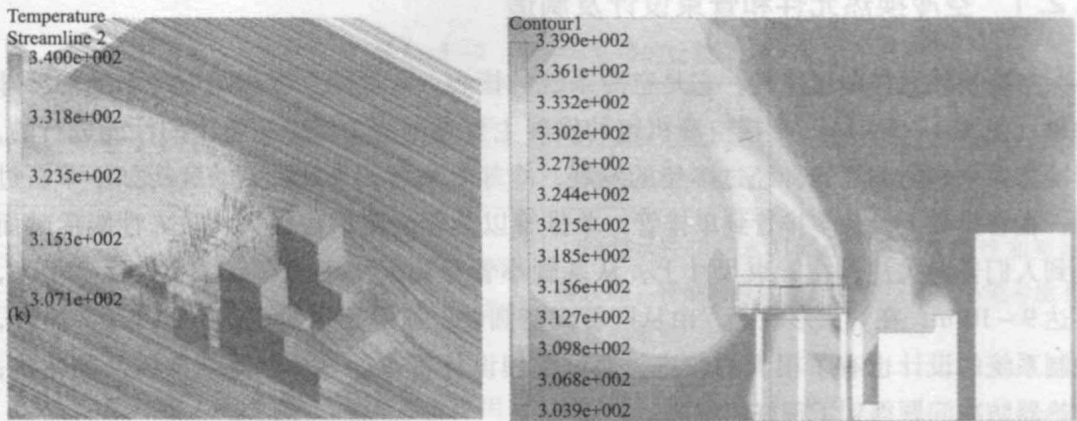


图 1-2-2 空冷流场的数值模拟

1.2.3 空冷钢结构平台设计

空冷平台所采用的钢结构支撑着近万吨的空冷凝汽器设备，承受着各种复杂的载荷，平台必须安全可靠。参考大量国内外有关空冷平台计算、结构布置、节点详图等资料，统筹考虑了各种载荷组合，以国际公认的钢结构计算软件作为平台结构计算工具，进行了静力和动力分析。动力分析主要为钢平台在扰力载荷作用下的振动分析，使平台的振动满足设备及结构自身的要求。在确保绝对安全的前提下，确定空冷平台的计算方案，并用 ANSYS 有限元分析软件对平台设计方案进行了验证，使设计符合国家技术规范和安全要求，如图 1-2-3 所示。

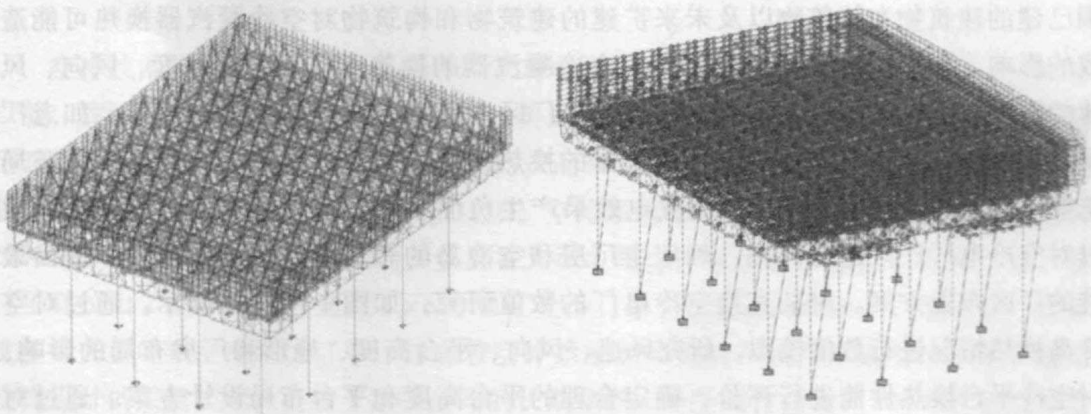


图 1-2-3 空冷钢结构平台的有限元计算

1.2.4 大直径薄壁负压排汽管道的优化设计

大直径排汽管道的结构稳定性分析保证排汽管道在各种载荷作用下的安全可靠,使其对汽轮机低压缸的推力和力矩值在安全范围之内。在设计计算中,参考大量国内外有关大直径排汽管道的结构布置、设计详图等资料,考虑了各种载荷的组合,以国际公认的管道应力分析软件 CAESAR II 和结构计算软件 ANSYS 作为设计计算工具,根据 ASME 的相关规范标准的要求,进行了管道详细的整体应力和特殊部件的应力及结构稳定性分析,保证了排汽管道在各种载荷作用下的安全可靠,使其对汽轮机低压缸的推力和力矩值在安全范围之内,以达到设计标准和满足正常运行的要求,如图 1-2-4 所示。

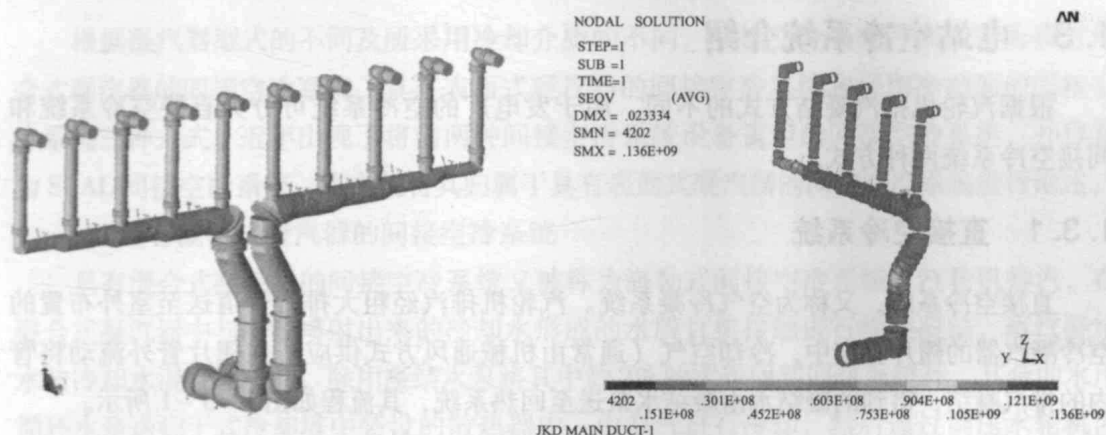


图 1-2-4 空冷排汽管道的有限元计算

1.2.5 超大型冷却塔的结构计算

双曲线自然通风塔是间接空冷系统设计的核心技术之一。冷却塔是一种典型的薄壳结构,对于高度为 250 m、直径为 200 m 的超大型冷却塔,其厚度很薄(最薄处约 42 cm)。如果成比例缩小成鸡蛋壳大小,则比鸡蛋壳还要薄,仅为蛋壳厚度的 1/5,并且冷却塔承受重力、风、地震等多种载荷的作用,其结构的分析成为设计中的一个难点。它通常需要采用有限元分析软件进行计算,如图 1-2-5 所示。

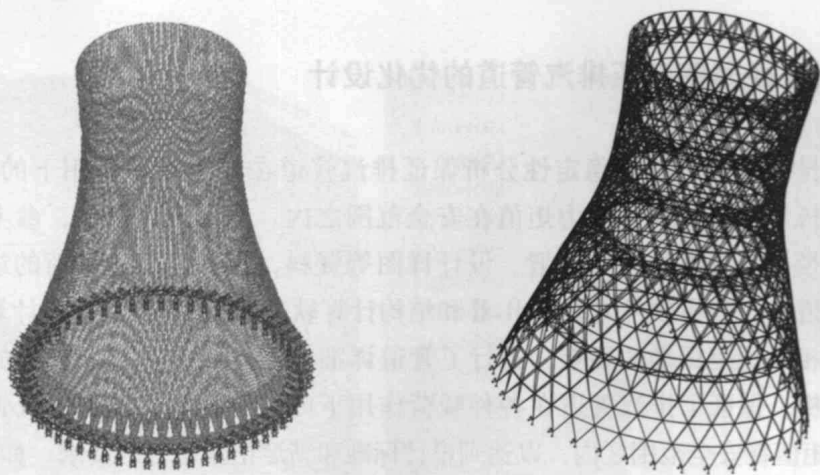


图 1-2-5 超大型冷却塔的有限元计算

1.3 电站空冷系统介绍

根据汽轮机排汽凝结方式的不同，用于发电厂的空冷系统可分为直接空冷系统和间接空冷系统两种方式。

1.3.1 直接空冷系统

直接空冷系统，又称为空气冷凝系统。汽轮机排汽经粗大排汽管道送至室外布置的空冷凝汽器的翅片管束中，冷却空气（通常由机械通风方式供应）在翅片管外流动将管内的排汽凝结，得到的凝结水由凝结水泵送至回热系统，其流程如图 1-3-1 所示。

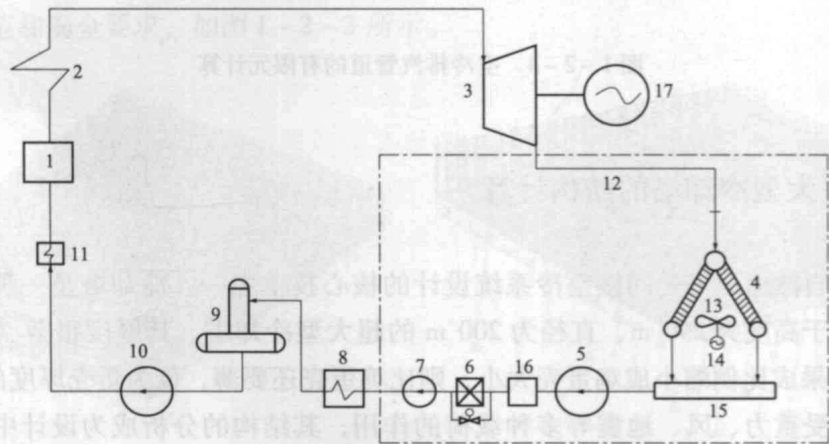


图 1-3-1 直接空冷机组原则性汽水系统

- 1—锅炉；2—过热器；3—汽轮机；4—空冷凝汽器；5—凝结水泵；
6—凝结水精处理装置；7—凝结水升压泵；8—低压加热器；9—除氧器；10—给水泵；11—高压加热器；
12—汽轮机排汽管道；13—轴流冷却风机；14—立式电动机；15—凝结水箱；16—除铁器；17—发电机