

ASME PTC6-2004

汽轮机性能试验规程

西安热工研究院有限公司

付昶 赵杰 吴涛 安红心 译

ASME
SETTING THE STANDARD



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

ASME PTC6-2004

汽轮机性能试验规程

西安热工研究院有限公司

付昶 赵杰 吴涛 安红心 译
施延洲 朱立彤 审

授 权 声 明

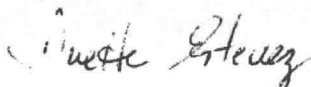
In response to your e-mail dated October 23, 2014, ASME hereby grants you permission to translate and reproduce up to 500 copies of the ASME PTC 46—1996 and ASME PTC 6—2004 standards, provided that you:

1. Pay ASME a royalty of \$ 500.00 (a check payable to ASME should be sent to my attention).

2. Agree to include a statement in each document in both English and Chinese that the English version is the official version of the document, that permission was granted to translate and reproduce was granted by ASME, and that ASME retains the copyright, and takes no responsibility for any syntax errors or conflicts in understanding that arise from the standards being referenced out of context.

3. You send a complimentary copy of the translated works to me when they are printed.

Sincerely



Ivette Estevez
Systems Administrator
(212) 591-8482
Estevezi@asme.org

译 者 声 明

本译文采用美国机械工程协会 (ASME) 发行的 ASME PTC 6—2004 官方原版英文版, 经 ASME 授权翻译并出版发行 500 本, ASME 持有版权。

图书在版编目 (CIP) 数据

ASME PTC 6—2004 汽轮机性能试验规程 / 美国机械工程师协会颁布; 付昶等译. —北京: 中国电力出版社, 2015. 12
ISBN 978-7-5123-8564-1

I. ①A… II. ①美… ②付… III. ①燃气轮机-性能试验
IV. ①TK477

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 276987 号

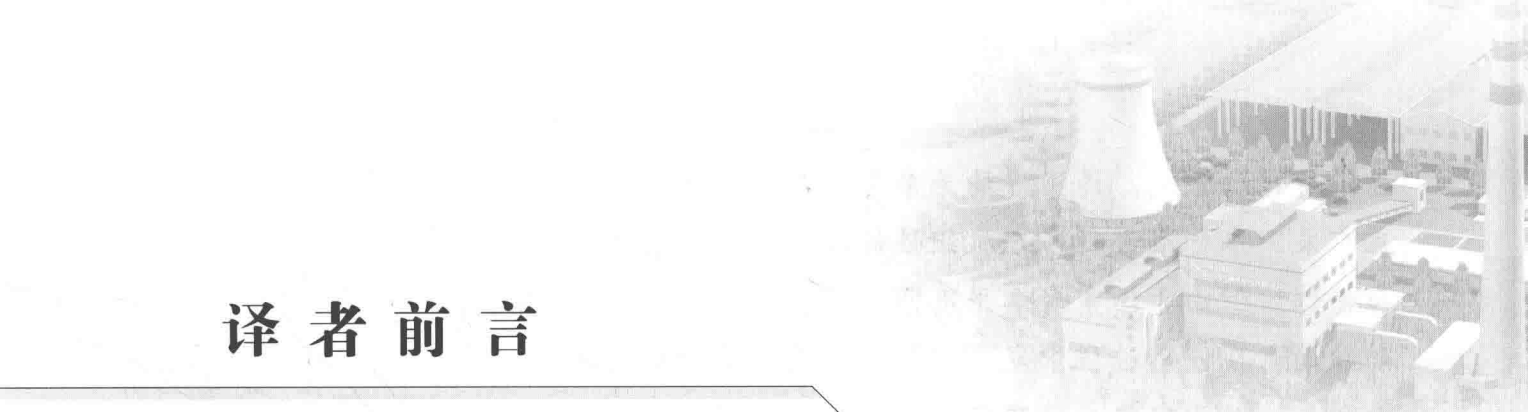
中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)
北京盛通印刷股份有限公司印刷
各地新华书店经售

*

2015 年 12 月第一版 2015 年 12 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米 16 开本 6 印张 192 千字
印数 001-500 册 定价 100.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪
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



译者前言

美国机械工程师协会 (ASME) 颁布了涵盖热力发电领域全部主要设备的性能试验标准, 其技术水平处于国际领先水平。随着 20 世纪 80 年代我国引进国外 300、600MW 等级亚临界汽轮机技术而同步引进, ASME PTC 6—1976《汽轮机性能试验规程》已经作为汽轮机性能试验和考核验收的标准, 得到广泛的关注和大量的使用。

随着测试仪表技术的不断升级和技术进步, ASME PTC 6 标准也在不断更新和完善, 最近两次版本更新分别是: ASME PTC 6—1996 和 ASME PTC 6—2004。随着近年来我国电力行业的快速发展, 一大批高效超超临界汽轮机相继投运, 特别是我国发电设备的批量出口, 迫切需要在试验技术上与国际先进水平保持同步发展。ASME PTC 6—2004 标准沿用了在 ASME PTC 6—1996 标准的基本结构, 按照参加试验各方事先平等、协商一致的原则, 可得到期望的最小不确定试验结果, 用于评价汽轮机本体或汽机岛的性能。

本规程有两种试验方法可供选择, 分别为全面性试验方法或简化试验方法。试验各方应权衡试验成本和试验结果来确定使用哪种方法。全面性试验方法: 测试几乎全部的汽机岛的热力参数和系统, 使用的试验仪表较多, 试验成本相对较高, 可以得到不确定度相对较小的试验结果。简化试验方法: 仅测试对试验结果影响较大的热力参数和系统, 试验测试成本相对较低, 得到的试验结果不确定度相对较大, 同时需要足够经验的试验人员进行试验操作。

ASME PTC 6—2004 修改了前一版本一些不易察觉的错误, 增加了以下几项条款内容: ① 水蒸气程序推荐采用 IAPWS-IF1997 (见 3.11.3); ② 对流量喷嘴上游管段加工要求 (见 4.8.10); ③ 对流量喷嘴校验分散度不满足要求的处理方法 (见 4.8.15.3); ④ 高中压缸间汽封漏汽量 (见 4.16.5)。

ASME 于 2005 年颁布了 ASME PTC 6—2004 标准, 经西安热工研究院有限公司与 ASME 规程委员会联系, 获得了在中国国内翻译并印刷 500 本的书面授权。该中文译本根据 ASME PTC 6—2004 官方原版英文版进行翻译。由西安热工研究院有限公司付昶、赵杰、吴涛、安红心负责翻译, 施延洲、朱立彤研究

员进行精心审阅。译审者均为多年从事热电厂性能试验的科技工作者，并且有采用本标准进行多个机组性能试验的成功经验，与国外同行有过多次交流与合作。但由于译审者水平有限，中文译本可能出现翻译、校对或其他错误，如果读者在使用过程中发现问题或错误，请以英文版相应的条款为准，或与译者联系。对西安热工研究院有限公司各位同仁在审阅和出版该中文译本中所做的工作表示衷心的感谢。

任何复制该中文译本的行为均违反中华人民共和国著作权法及侵犯 ASME 的版权。

译 者

2015 年 4 月



前 言

1. 历史背景

汽轮机性能试验规程是 1915 年出版的 10 个 ASME 性能试验规程中的 1 个试验规程。1918 年开始对这些规程进行修订，并于 1928 年 4 月出版了汽轮机试验规程的修订版。

1932 年决定对 1928 年版本进行全面修订，并在 ASME 标准第六委员会主席 C. H. Beery 的要求下扩大了委员会。两个方面原因促成了这一决定：首先，由于抽汽式、混压式和其他形式汽轮机应用的增加，要求把汽轮机试验规程的范围扩大以包括这些形式；其次，由于国际会议召开，对试验规程有了更广泛的概念。

这一新概念的形成过程如下：1925 年国际电工委员会（IEC）下的美国国家委员会邀请 ASME 准备制定一个国际性汽轮机试验规程。这一邀请被提交到 ASME 性能试验委员会并为其所接受。这一项目的 IEC 秘书处设在美国，并发行了两本国际出版物，一本为技术规范，另一本为验收试验规程。委员会就国际规程的附录内容取得了一致意见，附录包含了 ASME 性能试验规程委员会在其 1941 年版本汽轮机试验规程中增加的汽轮机形式。

通过这一国际合作，获得了该试验规程内容更为广泛的概念。ASME 性能试验委员会不断讨论这些新概念，并以委员会的试验规程大纲的修订本作为规程新版本准备和现有版本修订的指导。

由于 1941 年版本在使用中发现有差异和歧义，需要纠正和澄清，该规程经修订后被 ASME 委员会批准和采用，并于 1949 年 1 月出版，编号为 ASME PTC 6—1949。

随着蒸汽循环技术的发展，尤其是再热技术的广泛应用，也就需要考虑对 ASME PTC 6—1949 再次修订。由于压力和温度水平的提高，以及热力循环变得更为复杂，同时也出现了先进的测量技术，1956 年 11 月，ASME 第六委员会重新进行了改组，目的是准备修订规程以反映测试方法、试验仪器和热力循环发展趋势的现状。修订后的规程于 1964 年出版，其目的是确定性能的绝对

水平。1964 年版试验规程很大程度上反映了热力循环朝着高主蒸汽压力和温度、使用再热蒸汽和先进的热力系统布置的发展趋势。

经过多年的发展, ASME PTC 6 委员会一项额外的任务是制定一个相对准确的用于常规试验或商业试验的简化方法。委员会对这些问题进行了全面研究, 编写了两个报告, 即 ASME PTC 6S 和 ASME PTC 6 Report。

随着核能蒸汽供汽系统在热力循环中的应用, 出现了主要在湿汽区运行的汽轮机, 由于在这类应用中湿蒸汽的特殊性, 因而需要有新的技术和仪器。因而编制了一个过渡性的试验规程 ASME PTC 6. 1—1972, 颁布试用并征求意见。该过渡性规程与其他几处修订一起并入 ASME PTC 6—1964, 形成 ASME PTC 6—1976 并颁布。

在制定 ASME PTC 6—1976 的同时, IEC 的汽轮机第五委员会也在同步修订其验收试验规程, 该规程包含了工作在干蒸汽和饱和蒸汽参数下汽轮机试验规程。通过努力, 于 1990 年颁布了 IEC 953-1 和 IEC 953-2 两个标准。前者是针对大型凝汽式汽轮机高准确度试验规程, 而后者是针对各种类型和容量汽轮机宽准确度试验规程。

ASME PTC 6—1976 出版几年后, 委员会发现了明显问题, 由于依据本规程进行全面性试验的费用相对较高, 因而大多数机组没有进行性能试验。委员会研究了替代试验技术并编制了简化验收试验方法。因为该试验方法在确定整体性能时并不需要测量全部参数, 不但满足高准确度的标准要求, 而且试验费用又相对较低。该简化方法作为过渡性规程 ASME PTC 6. 1 于 1984 年颁布, 仅包括了为达到其目的的附加要求和导则, 应与 ASME PTC 6—1976 一起使用。

随后颁布的 1996 版本 ASME PTC 6 规程综合了 1984 年过渡性规程和 ASME PTC 6—1976 规程, 并包含了新开发的高精度仪器。

修订后的规程, 命名为 ASME PTC 6—1996 《汽轮机性能试验规程》, 由 ASME 性能试验规程委员会批准, 随后被 ANSI 标准委员会批准作为美国国家标准, 于 1996 年 7 月 31 日颁布。

2. 现状

用于定期检测汽轮机性能、相对高准确度的简化试验方法, 在 ASME PTC 6S Report —1988 《汽轮机常规性能试验规程》(1993 年重新核定版) 中作了描述, 报告由 ASME PTC 第六性能试验委员会单独出版。这个规程可用于汽轮机整个服役周期内的性能试验。该规程的目的不是用于验收试验, 也不满足 ASME PTC 6—2004 规程的所有要求。

用于简化试验的仪表和试验方法，在 ASME PTC 6 Report—1985 《汽轮机性能试验不确定度评价导则》（1991 年重新核定版）中作了描述，报告由 ASME PTC 第六性能试验委员会单独出版。该导则的试验方法不满足 ASME PTC 6—2004 规程的要求，除非参加试验各方在试验前对偏离 ASME PTC 6—2004 规程的全部内容达成书面同意协议，该导则不可考虑作为验收试验规程。任何与试验规程差异都应在试验报告中明确的描述，同时应按照 ASME PTC 6 Report—1985 在报告中附上不确定度评价。

ASME PTC 6 最直接应用场合是针对具有给水回热加热器的汽轮机。由 ASME PTC 第 6.2 性能试验委员会单独出版的 ASME PTC 6.2 《联合循环汽轮机性能试验规程》，主要用于联合循环汽轮机及其热电联产应用。

底部循环的多压联合循环汽轮机及其热电联产应用的出现，给针对回热循环的汽轮机性能试验提出了不同的挑战。这些底部循环及其热电联产汽轮机在系统配置上的差别，使得 ASME PTC 6 性能试验规程不适用。因此，对于联合循环和热电联产汽轮机的性能试验推荐采用 ASME PTC 6.2 规程。

因为存在很多不同汽轮机热力循环配置形式，包括混合联合循环、给水回热循环和热电联产，因此明确推荐哪种热力循环配置形式选择是采用 ASME PTC 6 还是 ASME PTC 6.2 规程是不切实际的。对热力循环配置形式与上述两个规程定义的循环均不一样的情况，本规程使用者应选用能达到试验目的最接近的一个试验规程。在这种情况下，在试验计划中应尽早确定选择哪个规程来进行试验。

自从本规程颁布以来，就有一些咨询要求澄清规程中的某些技术条款。针对上述咨询问题，委员会修改了规程中语言描述以澄清规程中的条款，另外修改了一些不易察觉的错误，作为本次修订的基础。

本次修订的版本于 2004 年 4 月 22 日由 ASME 性能试验规程委员会批准，并于 2004 年 12 月 6 日被美国国家标准局批准为美国国家标准。

颁布时间：2005 年 10 月 31 日

本规程将不颁布本版本的任何补遗，会在 ASME 批准颁布新版本时重新修订。

ASME 对有关规程案例和技术内容解释的书面答复，发布在 ASME 委员会的主页上：<http://www.asme.org/codes/>。

ASME 是美国机械工程师协会的注册商标

本规程或标准按照美国国家标准的标准化工作程序开发和编写。批准本规程或标准的审查委员会由代表不同利益的人员组成，以平衡不同的利益诉求。定稿前曾向公众提供了本规程或标准的征求意见稿，以得到来自工业、研究机构、标准化机构及公众的反馈意见。

ASME 不“批准”、“评估”或“保证”任何项目、工程、设备或动议。

ASME 不对与本标准条款有关的任何专利的有效性发表见解，并且不对采用某一标准的任何人保证其不承担专利侵权的责任，也不假定存在的责任。敬告规程或标准的用户，确定任一专利权的有效性和是否发生侵权完全是用户本身的责任。

有联邦政府机构的代表或工业界人士的参与，并不能被理解为政府或工业界对本规程或标准承担任何保证责任。

ASME 仅承担依据 ASME 工作程序与政策来解释本标准的责任，但不对由任何个人发表的解释负责。

未经出版商的书面许可，不得以任何形式复制本标准的内容。

美国机械工程师协会

Three Park Avenue, New York, NY 10016-5990

版权 2005

美国机械工程师协会

版权所有

美国印刷

须知

所有的性能试验规程应遵循 ASME PTC 1《总则》的要求，以下内容源自该文件，目的是强调其重要性和方便规程的使用者。希望规程的使用者在使用本规程之前完全熟悉并已阅读了 ASME PTC 1 的第 1 章和第 3 章。

ASME 性能试验规程提供了试验方法，据此能获得与当前最先进的工程知识和实践相一致的最高准确度的试验结果。试验规程是由各有关方面的委员参与编制，规定了试验方法、仪器、设备运行要求、计算方法和不确定度分析。

当依据某一规程进行试验时，在未调整不确定度的情况下，试验结果本身最能反映被测设备的真实性能。ASME 性能试验规程不提供试验结果与合同保证值进行比较的方法。因此，推荐参与商业化试验的各方在试验之前，最好在签订合同前，就试验结果和合同保证值进行比较的方法达成一致。确定或解释如何进行这种比较已超出了任何一个试验规程的范围。

ASME PTC 性能试验标准委员会

标准委员会官员

J. G. Yost	主任
J. R. Friedman	副主任
S. Weinman	秘书

标准委员会委员

P. G. Albert	R. P. Allen
J. M. Burns	W. C. Campbell
M. J. Dooley	A. J. Egli
J. R. Friedman	G. J. Gerber
P. M. Gerhart	T. C. Heil
R. A. Johnson	T. S. Jonas
D. R. Keyser	S. J. Korellis
M. P. McHale	P. M. McHale
J. W. Milton	G. H. Mittendorf, Jr.
S. P. Nuspl	A. L. Plumley
R. R. Priestley	J. A. Rabensteine
J. W. Siegmund	J. A. Silvaggio, Jr.
W. G. Steele, Jr.	J. C. Westcott
W. C. Wood	J. G. Yost

ASME PTC 6 汽轮机性能试验规程编写委员会

(以下为本规程批准之时的编写委员会成员)

编写委员会

E. Braley 主任
A. J. EGLI 副主任
J. H. Karian 秘书

编写委员会委员

P. G. Albert, General Electric Co.
E. Braley, Jr., Gernman Pederson, Inc.
T. M. Brown, Consultant
N. R. Deming, Consultant
A. J. Egli, Alstom Power
J. H. Karian, The American Society of Mechanical Engineers
D. C. Karg, Santee Cooper
J. S. Lamberson, Dresser-Rand Co.
R. W. Moll, Alternate, Dresser-Rand Co.
J. Nystrom, Alden Research Laboratory, Inc.
K. D. Stone, Alternate, General Electric Co.
L. M. E. Svensen, Alternate, Santee Cooper
E. J. Sundstrom, Dow Chemical USA
J. A. Zoller, Black & VeatchK. S. Brooks, Jacobs

ASME PTC 6 委员会通信方式

总则 ASME 规程的编制和完善，以代表各有关利益的共识。规程的使用者可以通过诸如修订建议、解释请求及参加委员会会议等方式与本委员会进行沟通，通信地址如下：

Secretary, PTC6 Standards Committee
The American Society of Mechanical Engineers
Three Park Avenue
New York, NY 10016-5990

修订建议 本规程将定期进行修订，以吸纳在本规程使用中经过验证有必要或希望修改的内容，经批准的修订版将定期出版。

本委员会欢迎对本规程的修订建议。此类建议宜尽可能具体，引用章节编号，建议修改的文字，以及详细地描述建议的原因并包括任何相关的文件。

解释请求 一经收到解释请求，PTC6 委员会将呈递有关的解释，其只受理递交给 PTC6 标准委员会秘书处的书面解释请求。

需请求解释的文件宜清楚明确。建议咨询者以下列格式递交其解释请求。

主题：引用章节标号并给出简洁的描述。

版本：要求解释的引用规程版本。

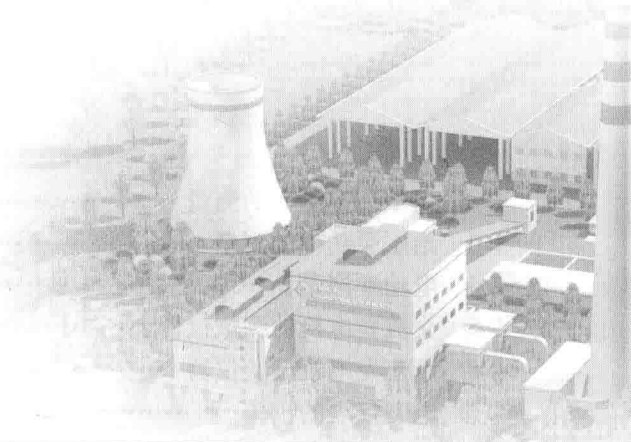
问题：应按照请求解释的文本措辞所提出的问题，以便于理解和采纳，而不能采用以要求批准某一设计的请求措辞。咨询者也可以提供为说明所提问题所必需的设计图或图解，但不宜包含设计者的姓名信息。

未按照以上格式提交的请求文件将由本委员会重新撰写，然后再予以答复，但由于理解上的差异，可能会偏离原请求的本意而造成误解。

根据 ASME 工作程序，如有新的资料表明某一解释不适合，ASME 将重新审核该解释。而且，对某一解释不满者，可求助于 ASME 审核委员会。ASME 不“批准”、“证明”、“评估”或“核准”任何项目、工程、专有设备或动议。

参加委员会的会议 PTC6 标准委员会举行面向公众参与的会议或电话会议，有意参与者宜与 PTC6 标准化委员会秘书处联系。

目 录



译者前言

前言

须知

ASME PTC 性能试验标准委员会

ASME PTC 6 汽轮机性能试验规程编写委员会

ASME PTC 6 委员会通信方式

第 1 章 目的和范围	1
1.1 目的	1
1.2 范围	1
1.3 全面性试验和简化试验	1
1.4 与本规程的一致性	1
1.5 附加要求和参考资料	2
第 2 章 定义和术语说明	3
2.1 符号	3
2.2 缩写	3
2.3 下标	3
2.4 名词定义	4
2.5 国际单位换算表	5
第 3 章 指导性原则	6
3.1 试验计划	6
3.2 协议中应包括的条款	6
3.3 验收试验的时间	7
3.4 试验的总体要求	8
3.5 系统隔离	8
3.6 汽轮机阀点位置	9
3.7 试验次数	9
3.8 试验条件	10
3.9 观测频率和试验持续时间	12
3.10 仪器的校验	13
3.11 蒸汽压力和温度的测量	13
3.12 修正	14
3.13 试验结果的比较方法	14
3.14 允差	15
第 4 章 仪器和测量方法	16
4.1 总则	16

4.2	机械功率输出的测量	16
4.3	给水泵功率的测量	17
4.4	电功率测量	19
4.5	交流发电机的测试仪器	22
4.6	直流发电机试验仪器	22
4.7	电气仪表的校验	23
4.8	主流量测量	23
4.9	流量管段的安装	29
4.10	流动特性	33
4.11	其他流量测量装置	33
4.12	蒸汽流量的测量	33
4.13	用水箱测量水流量	33
4.14	差压的测量	34
4.15	用焓降法确定蒸汽流量	36
4.16	辅助流量测量	36
4.17	压力的测量	37
4.18	温度测量	41
4.19	蒸汽品质的测量	42
4.20	转速的测量	45
4.21	时间的测量	46
4.22	水位的测量	46
第 5 章	试验结果计算	47
5.1	与规定运行工况的偏差	47
5.2	试验结果	47
5.3	试验数据整理	47
5.4	主蒸汽流量	47
5.5	最大出力（容量）	48
5.6	汽耗率	48
5.7	热耗率	48
5.8	试验结果修正到规定条件	48
5.9	汽轮机排汽焓的计算	49
5.10	汽轮机效率及有效度（Effectiveness）	50
5.11	第一类修正计算	51
5.12	第二类修正计算	51
5.13	平均热力性能	52
第 6 章	试验报告	53
6.1	汽轮发电机组验收试验报告	53
第 7 章	试验需要的读数次数	54
7.1	引言	54
7.2	举例说明	54
7.3	流量喷嘴差压的影响	54
7.4	主蒸汽温度的影响	55
7.5	一个以上传感器或仪表的综合读数次数	57
7.6	整个试验期间的所有读数误差影响估算	57
7.7	图 3.1 的推导	57

7.8	标准偏差	57
7.9	图 7.1 的讨论	57
7.10	平均值的标准偏差	57
7.11	不确定度的极限	58
7.12	图 3.1 中 $N_R = N_a$ 曲线的公式推导	58
7.13	图 3.1 中 N_a 等值线的推导	58
第 8 章	简化试验的第一类修正	59
8.1	规定工况下的修正	59
8.2	循环参数	59
8.3	修正曲线	59
8.4	燃煤机组第一类修正曲线实例	60
8.5	核电机组第一类修正曲线实例	62
第 9 章	热耗率试验不确定度基本原理	64
9.1	目的	64
9.2	范围	64
9.3	热耗率试验	64
9.4	测量误差	64
9.5	变量	64
9.6	不确定度数值	64
9.7	典型的试验不确定度计算	64
非强制性附录 A (资料性附录) 参考文献		68
索引		69
ASME PTC 性能试验规程		75

插图索引

图 2.1	温熵图	4
图 3.1	读数分散度对试验结果不确定度的影响为 0.05% 时对应的读数次数	12
图 3.2	修正后第一级进汽室压力与修正后主蒸汽流量的关系曲线 (用于预测 VWO 工况下的主蒸汽流量)	15
图 3.3	修正后主蒸汽流量与修正后试验负荷的关系曲线 (用于预测 VWO 工况下的负荷)	15
图 4.1	测量给水泵功率的典型仪器	18
图 4.2 (a)	星形连接发电机—3 相, 3 线	20
图 4.2 (b)	三角形连接发电机—3 相, 3 线	20
图 4.2 (c)	星形连接发电机—3 相, 4 线	20
图 4.2 (d)	典型的用 3 功率表法测量电功率输出接线图	21
图 4.2 (e)	直流串联发电机	21
图 4.2 (f)	直流并联发电机	21
图 4.2 (g)	直流复式复联发电机	21
图 4.3	具有不均匀分布孔的板式或管束式整流器	23
图 4.4 (a)	带板式整流器的主流量管段	24
图 4.4 (b)	带管束式整流器的主流量管段	24
图 4.5	喉部取压流量喷嘴	25
图 4.6	喉部取压喷嘴达到流线性光滑所需要的表面粗糙度	25
图 4.7 (a)	带可选扩流锥的喉部取压喷嘴	26
图 4.7 (b)	流量喷嘴上游管段钻孔	26
图 4.8	焊接组装的主流量管段	27
图 4.9	检查孔组装	27
图 4.10	喷嘴校验参考曲线	28
图 4.11 (a)	试验仪表类型及布置图 (用过热抽汽供高压给水加热器)	30
图 4.11 (b)	测量仪器的类型和测点位置 (加热器逐级疏水至凝汽器, 示踪技术测量流量)	30
图 4.11 (c)	测量仪器的类型和测点位置 (加热器经疏水泵至凝结水, 示踪技术测量流量)	31
图 4.11 (d)	简化试验的仪器类型及布置——化石燃料	31
图 4.11 (e)	简化试验的仪器类型及布置——核燃料	32
图 4.12	流量测量中的水柱修正	32
图 4.13	流量测量取压孔在水平管段的位置	33
图 4.14 (a)	校验过的流量测量管段与传感器之间的连接	34
图 4.14 (b)	校验过的流量测量管段与差压计之间的连接	34
图 4.15	高辐射区流量管段和变送器之间的连接	35
图 4.16	水分分离器疏水流量测量中水封管布置	36
图 4.17	HP-IP 轴封漏汽量对 IP 测量效率的影响	37
图 4.18	压力源与变送器之间的连接	38
图 4.19	压力源与差压计之间的连接——传压管内充满空气	39
图 4.20	压力源与传感器之间的连接——传压管内充满水	39
图 4.21	网笼探头	41
图 4.22	导流板	41