

序

《全国火力发电工人通用培训教材》出版、发行了，这是电力职工培训工作的一件大事。

工人技术培训教材建设，是搞好培训、提高人员素质、直接为生产服务的一项重要基础工作。电力工业部领导对电力职工队伍的培训和教材建设非常重视，多次为之做过重要指示。

关于电力工人培训教材建设工作，多年来我部取得了较大的成绩，得到了劳动部的肯定。由原水利电力部组织、山西省电力工业局编写、原水利电力出版社出版的《火电生产类学徒工初级工培训教材》和《火电生产类中级工培训教材》已发行、使用 10 余年，并多次重印，基本上满足了电力行业火力发电工人培训、考核、提高技术水平的需要，有力地促进了培训工作的开展。在 1987 年全国电力普及读物评优中，这两套培训教材荣获了“普及电力科学技术知识特别奖”。

但是，随着我国电力工业技术装备的不断更新和技术水平的不断提高，对电业生产人员的素质相应地提出了更高的要求。此外，由于劳动、培训制度改革不断深化，关于工人培训教育的思想、方法和手段也发生了深刻变化。为适应这一新情况、新需要，进一步加强电力工人培训教材的建设，有必要对原编写的两套培训教材进行修订和增补。为此，决定由山西省电力工业局重新编写《全国火力发电工人通用培训教材》。这套新编的培训教材业经中电联教培部组织审定，

作为全国火力发电工人通用的培训教材，由中国电力出版社出版、发行。

《全国火力发电工人通用培训教材》具有相当的权威性。首先，这套培训教材的编写依据，是电力工业部、劳动部颁发的《中华人民共和国工人技术等级标准·电力工业·火力发电部分》和中电联教培部《关于电力工人培训教材建设的意见》，以及有关电业生产、建设的技术规程、规范。无论是在内容的取舍上，还是在深度的把握上，这套教材都是按以上国家标准和部颁规程、规范的要求来进行的。

其次，这套培训教材从总体设计上来讲，思路是清晰的，指导思想是正确的。教材的编写突破了传统的学校教科书模式，注意按照工人培训的特点和规律，安排教学内容，即强调实用性，并且“以工种立目，以岗位立篇”。与每一个专业工种对应的初、中、高三个分册在内容上是阶梯式递进的，互不重复或不简单重复。这些思路都是超前的、可行的，符合中电联教培部《关于电力工人培训教材建设工作的意见》的精神。

再有，这套培训教材的编写、出版力量都是相当强的。其作者是山西省电力系统中技术上比较权威的专家，有相当丰富的培训工作经验，基本上能够代表全国电力系统的技术力量水平。作为全国首批认定的15家优秀出版社之一的电力出版社，无论在编辑力量和水平上，还是在出版质量上，都是国内一流的。对于这套培训教材，出版社领导亲自挂帅，组织了20余人的编辑班子，精心策划，全面指导，精雕细刻，因此，其质量是高的。

《全国火力发电工人通用培训教材》的另一个特点是实用性较强。一方面，这套培训教材是从生产实际需要和工人实

际水平出发，进行设计、编写的。为了使教材更具有针对性，更加实用，我们做了大量的前期工作，对电力系统的人员结构、整体素质进行过调查和认真分析。这套培训教材不仅适用于具有初中及以上文化程度、没有经过系统专业培训的电力生产人员，而且对于现场的工程技术人员，也是有参考价值的。另一方面，这套培训教材以培养工人实际能力为重点，以提高工人操作技能为主线，教材中所提供的“知识”是为“技能”服务的，因而增强了教材的实用性，使经过培训的工人能较快运用所学的知识 and 掌握的技能，指导或改进所从事的生产实践。

此外，这套培训教材图文并茂，通俗易懂，好学好用，特别适合于工人学习。

当然，《全国火力发电工人通用培训教材》所反映的是普遍适用的主要内容。各单位在使用过程中，只要结合本单位的设备、工艺特点和人员素质的实际情况，在内容上做适当的补充和调整，便可有针对性地对本单位职工开展培训。

《全国火力发电工人通用培训教材》是《全国电力工人公用类培训教材》的延伸，两套培训教材要配合使用。这些培训教材的出版，必将对我国电力职工培训工作的有效开展和“九五”期间电力职工素质的提高，产生积极而深远的影响。

中国电力企业联合会教育培训部

1996年12月

前 言

由原水利电力部组织、山西省电力工业局编写、原水利电力出版社出版的《火电生产类学徒工初级工培训教材》和《火电生产类中级工培训教材》，发行、使用已历时 10 余年。其间，《学徒工初级工》各分册分别重印 5 至 9 次，《中级工》各分册分别重印 4 至 7 次，发行量很大，深受全国电力系统广大读者的欢迎，基本上满足了电力行业火力发电工人培训、考核、提高技术水平的要求，取得了显著的社会效益。为此，这两套培训丛书在全国电力普及读物评优中，荣获了“普及电力科学技术知识特别奖”。

10 余年来，由于改革开放的不断深入发展，我国的电力工业有了很大的发展，现已普遍进入大机组、大电网、高参数、超高参数、高电压、超高电压和高度自动化的发展阶段，对电业生产人员的素质提出了更高的要求。继 1991 年 12 月原能源部颁发的《电力工人技术等级标准》之后，1995 年 9 月电力工业部、劳动部又颁发了《中华人民共和国工人技术等级标准·电力工业·火力发电部分》。因此有必要根据电力生产的新情况和电力工人技术等级标准的新要求，对上述两套培训教材进行修订并增补高级工培训教材。经山西省电力工业局和中国电力出版社通力合作，并在全国电力工人技术教育研究所的支持下，现编写、出版了这套《全国火力发电工人通用培训教材》。本套丛书的内容覆盖了火力发电 16 个专业对初、中、高级工的技术要求，每个专业分初级工、中

级工、高级工三个分册出版，共计 48 个分册；每一分册中又以各专业的不同岗位工种设“篇”，共覆盖了 40 余个工种。

在编写本套丛书的过程中，首先根据工人技术等级标准中对每一工种的定义、工作内容、技术等级、适用范围等的规定，紧扣标准提出的知识要求和技能要求，从火电生产实际需要出发拟出初步的编写提纲；经数月重点调查研究、广泛征求意见、认真修订后形成正式的编写提纲；之后，又历时半年余，始成初稿。初稿形成后，在局系统内进行了专家审稿和主编者的修改、统稿工作。因此，定稿后的火力发电工人培训教材，深信是紧扣新的工人技术等级标准的实用性教材。

火力发电工人培训教材，体现了工人技术培训的特点以及理论联系实际的原则，尽量反映了新技术、新设备、新工艺、新材料、新经验和新方法；教材以 300MW 机组及其辅机为主，兼顾 600MW 和 200MW 机组及其辅机的内容，因而有相当的先进性和普遍适用性，适应于“九五”期间主要机型的技术要求。与每一专业对应的初、中、高级工三个分册，自成一个小的系列，呈阶梯式递进，内容上互不重复。每一分册的具体内容又分为核心内容和复习题两大部分。核心内容主要讲解必备知识以及与技能要求对应的一些专业知识。复习题的形式多种多样，解答习题的目的在于巩固和深化所学知识。有些习题，如操作题、读绘图题、设计试验题等，主要用以培养和巩固必备的技能。鉴于全国电力系统各基层单位、部门培训力量和师资水平并不平衡，学员水平也参差不齐，所以有必要为每一分册编写相应的《教材使用说明和习题解答》，这将在本套丛书出版后陆续推出。

本分册是《汽轮机设备检修》高级工培训教材，全部内

容分成四篇，共十四章：第一、二、三章由太原第一热电厂谢东健、苏晋生、徐进编写；第四、五、六章由太原第一热电厂阎红宇、郭友生编写；第八、九、十、十一章由太原第一热电厂高澍芃编写；第十二、十三、十四、十五章由太原第一热电厂刘俊龙编写。全书由谢东健主编，山西省电力工业局郭余庆同志主审。

在中电联教培部为本套培训教材组织的审定会议上，本书由上海电力检修公司黄余春技师、吴泾热电厂吴敬强高工审定，并被推荐为全国火力发电工人通用培训教材。

在编写这套《全国火力发电工人通用培训教材》的过程中，得到了电力工业部领导的关怀以及中电联教培部和各有关司局的关心、支持，同时也取得了全国电力系统各有关单位和人员的关注、支持和帮助，他们为本书进行了审定，提供了咨询、技术资料以及许多宝贵的建议，在此一并表示衷心的感谢。

各单位和广大读者在使用本套教材过程中，如发现有不妥之处或需修改的意见，敬请随时函告，以便再版时修改。

山西省电力工业局 中国电力出版社

1996年11月

目 录

序 前 言

第一篇 汽轮机本体检修

第一章 静止部套检修	1
第一节 汽缸裂纹的检查与处理	1
第二节 汽缸结合面漏泄的处理	15
第三节 轴瓦的补焊与重新浇铸	21
复习题	30
第二章 转子检修	34
第一节 换叶片	34
第二节 直轴	64
复习题	81
第三章 汽轮机找中心	85
第一节 隔板及轴封套按转子找中心	85
第二节 轴系的调整	100
复习题	108

第二篇 汽轮机调节系统的检修

第四章 调节系统试验	112
第一节 静态试验及调整	113

第二节	动态试验	126
复习题	.....	130
第五章	中间再热汽轮机的旁路系统调节控制	133
第一节	旁路系统的作用	133
第二节	供油装置的构成及检修	140
第三节	高、低压旁路控制阀的控制装置	143
复习题	.....	152
第六章	功频电液调节与数字式电液调节系统	154
第一节	功频电液调节的基本原理和特点及主要元件	154
第二节	数字式电液调节系统 (DEH)	163
复习题	.....	166
第七章	调节系统的缺陷分析及处理	168
第一节	凝汽式汽轮机调节系统常见缺陷及处理	168
第二节	抽汽式汽轮机调节系统常见缺陷及消除方法	179
复习题	.....	180

第三篇 水 泵 检 修

第八章	液力偶合器	182
第一节	液力偶合器的工作原理	183
第二节	典型液力偶合器介绍	187
第三节	液力偶合器的检修与故障处理	198
复习题	.....	203
第九章	机械密封	206
第一节	机械密封的形式及工作原理	206
第二节	典型机械密封介绍	214
第三节	机械密封的检修与故障处理	226
复习题	.....	230
第十章	给水泵汽轮机	233

第一节	给水泵汽轮机的结构特点	234
第二节	给水泵汽轮机调节系统的特点	241
第三节	给水泵汽轮机的检修要点	243
复习题	.....	246
第十一章	典型水泵检修示例	248
第一节	威尔型泵的检修	248
第二节	72LKXA-28.5 型立式循环水泵的检修	266

第四篇 汽轮机辅机检修

第十二章	阀门传动装置的检修	280
第一节	手动装置的检修	280
第二节	齿轮传动装置的检修	284
第三节	气动和液动传动装置的检修	287
第四节	电动装置的检修与调试	290
复习题	.....	296
第十三章	高温、高压管道的检修	299
第一节	高温、高压管道的检修项目及工艺质量要求	299
第二节	高压管道的焊接	302
第三节	高温、高压管道的试验、吹扫和验收	312
复习题	.....	317
第十四章	特种阀门的检修	320
第一节	高压加热器联成阀的检修	320
第二节	高压旁路控制阀的检修	325
第三节	高压旁路喷水调节阀的检修	329
第四节	低压旁路阀及低压旁路喷水调节阀的检修	332
复习题	.....	339
后记	.....	李振生

第一篇 汽轮机本体检修

第一章 静止部套检修

第一节 汽缸裂纹的检查与处理

一、汽缸裂纹的检查

汽缸由于结构设计、制造和运行等方面的原因均可能产生裂纹。裂纹的存在严重影响着机组的安全运行。因此在大修机组时应将汽缸裂纹的检查作为一个重点，进行全面宏观检查，发现问题再深入进行各种微观检查。

1. 对汽缸的检查

对汽缸裂纹的检查是一项比较费力且要求很细致的工作。多年的检修经验证明，裂纹的分布是比较集中的。一般把下列部位作为主要检查对象：

(1) 下汽缸各抽汽、疏水、热工测点、孔洞的内外侧附近区域。

(2) 汽缸的水平结合面。

(3) 上、下缸的喷嘴弧段附近，以及导向环和各汽封、隔板槽等部位。

(4) 上、下缸的外侧圆角过渡区。

(5) 上、下缸制造厂原焊补区。

(6) 其他温度变化剧烈、断面尺寸突变、曲率大的部位。

裂纹的检查要在用砂轮打磨完（对非加工面），清除氧化皮（对于加工面），使汽缸露出金属光泽后进行。先用10%~

15%的硝酸水溶液酸浸，用5~10倍的放大镜仔细检查。在发现有可疑裂纹后，可进一步采取着色探伤法、磁力探伤法以至用超声波探伤仪进行检查。待裂纹被确定后，即进行对裂纹本身的深入检查。

2. 对裂纹的检查

对已经发现的裂纹要进行全面检查，以便确定裂纹产生的原因、性质、尺寸等，为确定处理方案提供依据。检查的方法、步骤是：

(1) 在裂纹周围100mm范围内打磨光滑，表面粗糙度 R_a 达12.5以下，用超声波探伤法确定裂纹的边界；裂纹深度的检查可以采用钻孔法，或使用裂纹测深仪。

(2) 用20%~30%硝酸酒精溶液进行酸浸检查，主要检查裂纹有无扩展和确定制造厂原焊补区的范围；使用超声波探伤仪检查裂纹附近有无砂眼、疏松、夹层等隐蔽缺陷。

(3) 对原焊补区进行光谱定性分析。

(4) 对裂纹尖端进行金相检验（实物观察或作胶膜金相），以确定裂纹的性质（穿晶或沿晶）。

(5) 对原焊补区、热影响区、裂纹附近（约距裂纹5mm）以及汽缸母材进行硬度测量。

二、产生裂纹的原因分析

裂纹产生的原因是非常复杂的，但归纳起来无非是以下两种：一是存在易于产生裂纹缺陷的薄弱环节，如铸造缺陷、脆性大的区域等；二是应力较大，包括铸造应力、热应力、机械应力等。针对这两种情况分析，产生裂纹的原因有如下几方面：

1. 铸造工艺方面的原因

由于汽缸的形状比较复杂，厚薄不均，冷却速度不同，产

生相变收缩应力及热应力,使金属在强度较弱的部位先拉裂。另外,在铸造过程中造成的夹渣、气孔、疏松等宏观缺陷和微观金相方面缺陷,都成为机组投入运行后产生裂纹的原因。由于铸造原因引起的裂纹特点是:裂纹的长度、深度及表面宽度较大,往往成不连续几段,裂纹内部有较深的脱碳层和晶体长大现象。较宽的裂纹中大多数有黑褐色的夹杂物。

2. 补焊工艺方面的原因

首先是焊条使用不当。经验证明,补焊的铬钼钒铸钢件必须严格选择焊条。其次是焊工焊接水平对补焊区的质量有着巨大的影响。焊缝未焊透、夹渣和气孔,都是造成裂纹的根源。再就是补焊前后热处理温度过低,或只进行局部热处理,使补焊区造成过大的焊接应力及热应变。在补焊区产生的裂纹有如下特点:

(1) 裂纹横断补焊区或沿熔合线和热影响区。

(2) 裂纹表面很细,不打磨难以发现。

(3) 裂纹深度较大,多和补焊区深度相当。

(4) 补焊区硬度高,金相组织多为索氏体或网状铁素体加索氏体。

3. 运行方面的原因

汽轮机在运行过程中,汽缸除了承受内压力作用,在机组起动、停机、负荷变化、参数波动时,还要承受因温差引起的较大热应力。这种热应力一般不会导致汽缸产生裂纹,多数只会造成汽缸变形。若汽缸内部本身存在缺陷,造成高度应力集中或削弱了材料的机械性能,这时运行中产生的热应力就会成为裂纹产生的触发因素,或促使已产生的裂纹继续发展。另外,若机组投运时间较长,起停频繁,由于热疲劳引起裂纹的可能性还是有的。这种类型的裂纹一般产生在受

进汽温度和汽流流速变化影响严重的部位,如调节级汽室。裂纹的特点是尺寸较小、深度较浅、数量多。

三、裂纹的处理

根据裂纹的深浅、部件和性质的不同,可采取不同的处理方法。具体步骤如下:

(一) 不影响汽缸强度裂纹的处理

对于不足以影响强度的裂纹(深度小于 $1/3$ 壁厚),可用砂轮打磨干净(经酸浸)后检查确认完全消除,可以不必补焊,但凹槽曲面必须圆滑过渡,以减少应力集中。

汽缸的强度计算相当复杂,可用下式粗略估算裂纹深度对强度的影响:

$$s = \frac{pD_n}{2[\sigma] + p} + C \quad (1-1)$$

式中 s ——汽缸壁需要的厚度, mm;

p ——蒸汽设计压力, Pa;

D_n ——汽缸的名义外径, mm;

$[\sigma]$ ——材料许用应力, Pa;

C ——考虑汽缸壁厚公差的附加值, mm。

(二) 裂纹的补焊

目前高压汽轮机的高压缸材料多为 ZG20CrMoV 钢, 这种钢的化学成分按其技术条件规定如表 1-1 所示。

表 1-1 ZG20CrMoV 钢化学成分(%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	S	F	Ni
						不大于		
0.18~ 0.25	0.20~ 0.35	0.4~ 0.6	0.9~ 1.2	0.5~ 0.7	0.2~ 0.3	0.03	0.03	0.03

根据一般常用的碳当量公式, 碳当量 C_d 计算式如下:

$$C_d = C + Mn/6 + Cr/3 + Mo/4 + V/5 + P/2 + Ni/15 \quad \% \quad (1-2)$$

高压汽缸材料的碳当量为 0.7%~0.99%。一般认为,碳当量在 0.45% 以上焊接性较差,高压汽缸的碳当量高出一倍多,可见其焊接性是很差的。由于焊后极易形成淬火组织,导致冷裂纹出现,一般要求焊前预热 300℃ 左右,焊后要进行 700℃ 的高温回火。但是汽缸是大而厚的刚性工件,在这样的工件上进行这样高温的加热,而且补焊工作多在汽缸中部封闭槽中进行,因而极易使汽缸发生较大的永久变形。

(三) 热焊工艺

目前汽缸补焊有热焊和冷焊两种方法。热焊工艺如下:

1. 焊前开坡口

对要进行补焊的裂纹,要先开坡口。为了便于施焊和改善焊缝应力状态,坡口尺寸应尽量小;坡口形状应规整;转角处的过渡应圆滑;坡口表面务必平整光滑,不得有凹凸不平的死角。

根据裂纹深度,各裂纹之间以及各裂纹相对于原焊补区的位置,决定开坡口的范围及形状。开坡口应采用机械方法,先在裂纹两端钻止延孔。坡口尺寸可参照图 1-1。

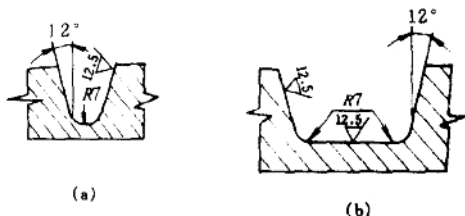


图 1-1 坡口尺寸

(a) 条形槽横剖面; (b) 条形槽纵剖面

如果裂纹或原开槽端部接近原补焊区熔合线，应将坡口长度增加到熔合线两侧外各 20mm 左右处，如图 1-2 所示。开槽后一定要认真检查裂纹是否全部铲掉，否则，残余裂纹会产生应力集中，特别是焊补后增加了焊接应力，裂纹会在应力集中部位重新扩展（裂纹尖端的应力集中系数可达 4 倍），如图 1-3 所示。

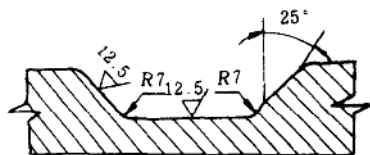


图 1-2 方形横剖面图

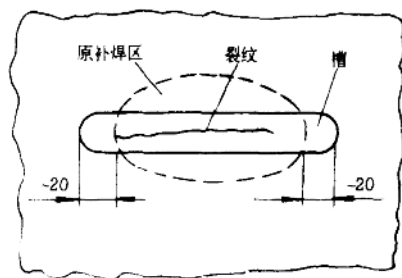


图 1-3 原补焊区开槽方法

2. 焊前汽缸变形测量

为了掌握汽缸由于焊补而产生的变形，在焊补前和焊补后均应对汽缸的变形做出准确可靠的测量。其步骤如下：

(1) 在汽缸结合面清理干净后，扣上大盖，拧紧 1/2 的螺栓，用与检查汽缸严密性相同的方法对汽缸结合面的间隙

进行测量，并在卡片上做出记录。

(2) 松开螺栓后，使大盖在自由状态下再测量汽缸结合面间隙。

(3) 在做第(1)步的同时，在汽缸内选定固定点（尽量在焊补区附近），测出汽缸内径。

(4) 在汽缸上下结合面上，用大平尺测量纵向、横向相对于大平尺的角度变形数值。横向测量时，重点在焊补区。大平尺的放置需要垂直和平行于汽缸轴线。

3. 装设温度测点

(1) 焊补区测点不少于4个，布置情况如图1-4(a)所示。加热区中心横剖面内外侧和汽缸结合面附近至少各装一对测点，如图1-4(b)所示。沿汽缸轴向每隔200mm装一个测点。

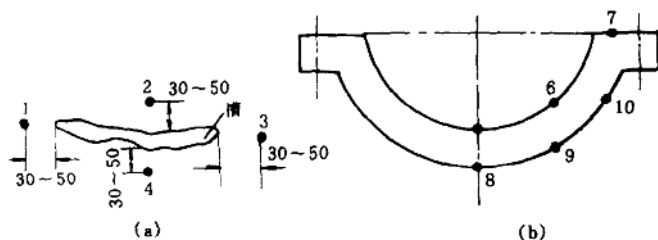


图 1-4 温度测点的布置

(a) 开槽附近温度测点的布置；

(b) 沿加热中心汽缸横断面内外壁温度测点的布置

(2) 测点的热电偶可以采用点焊的方法；也可以在金属上钻 $\phi 3\sim 4\text{mm}$ 、深5mm的孔，将热电偶碾压进去。无论采用何种方法，都需保证热电偶接触良好、安装牢固，以达到准

确测出金属温度的目的。

(3) 温度测量可采用多点式电子电位温度测量仪。对其反复检验,以保证所测数值的准确性。

(4) 在铺设保温层前,需将热电偶安装完毕,并进行编号,然后将引线用管道引出汽缸外。

4. 铺设保温层和缠绕感应线圈

(1) 若焊补上缸,应将汽缸牢固地架在便于施焊的位置,且不能妨碍工作的可拆除部件。

(2) 保温层的铺设以不妨碍施焊而又有足够的保温厚度为原则;保温层宽度均在补焊区两侧各 500mm 范围内;保温材料不限,以易铺设、保温性能好的材料为宜。

(3) 缠绕感应线圈以补焊区为中心在两侧各 300~400mm 范围内绕线。尽量使补焊区两侧导线匝数相同,以便使补焊区附近的加热温度保持均匀。感应线圈可以由大直径导线绕成,也可采用 $\phi 14 \times 2\text{mm}$ 紫铜管绕成,铜管内通水可以提高效率。

采用工频感应加热的绕线匝数和导线截面积的计算公式如下:

$$N = U\lambda \left[\frac{tS}{\rho L Kcm(T - T_0)} \right]^{1/2} \quad (1-3)$$
$$A = \frac{Kcm(T - T_0)}{tiU\lambda}$$

式中 N ——导线缠绕匝数;

A ——导线截面积, m^2 ;

U ——电源电压, V ;

λ ——功率因数,取 0.4~0.6;

t ——加热时间, s , 一般为 3~6h;