

《1000MW 级核电汽轮机组整锻高压转子锻件 技术条件》团体标准

编制说明

一、工作简况

1.1 任务来源

本标准由中国第一重型机械股份公司提出，经中国锻压协会标准委员会批准，列入 2022 年团体标准制修订计划项目，项目名称为《1000MW 级核电汽轮机组整锻高压转子锻件技术条件》，项目编号为 TB/JH/CCMI 009-2021。

本标准主编单位为中国第一重型机械股份公司

本标准参编单位为哈尔滨汽轮机厂有限责任公司、上海电气电站设备有限公司。

1.2 项目背景和意义

中国现已成为核电发展大国，新建核电机组容量居世界第一，核电技术国产化率最高已经达到 95% 以上。但目前国内大型核电汽轮机整锻高压转子锻件制造依据的标准基本上是国内企业依据日本三菱标准制定，国内尚无适用的行业统一标准，在“走出去”过程中必然面临着技术成熟度和标准国际化的挑战。编制此标准是为了改变国内大型核电机组整锻高压转子锻件无国产适用标准的现状，为实现核电机组国产化并国际化推进提供坚实的技术支撑，具有良好的社会效益和巨大的经济效益。

1.3 主要工作过程

制定组全面调研了国内外 1000MW 核电低压转子的产品技术条件，同时对我国高压转子锻件的市场需求和生产厂家现状深入了解，同时也对比评价了国内外相关产品各项检测数据，确定了标准主要内容。并通过中国锻压协会标准委员会提出制定标准的建议。

立项申请通过后，按后续计划开展标准制定工作。

1.4 标准主要起草人及其所做的工作

标准主要起草人员：张金珠、于秀平、芮守泰、曹志远、张国利、赵义翰、陈纪伟、宫金鑫。

起草人张金珠、于秀平、芮守泰、曹志远、张国利来自中国第一重型机械股份公司，负责基础研究和模拟实验、数值模拟、试验件生产及解剖分析检测等，并制定产品制造过程中的各项热加工工艺参数、制造过程工艺控制和实施等各项技术工作。

起草人赵义翰来自哈尔滨汽轮机厂有限责任公司，根据产品使用环境和工况提供产品性

能指标要求和无损探伤要求。

起草人陈纪伟和宫金鑫来自上海电气电站设备有限公司，二者作为转子汽轮机设计方的技术人员，对转子各项性能指标和检测标准提供合理建议。

二、标准技术内容论据

中国一重自 2013 年开始 1000MW 级核电机组高压转子的研制，2013 年 8 月和 9 月投产的海阳 AP1000 核电常规岛 3#和 4#机组高压转子，历经一年的产品制造，完成了冶炼、锻造、锻后热处理、调质热处理、机械性能检验以及机械加工制造工序，实现产品交付。经过中国电力投资集团公司、山东核电有限公司、哈电集团哈尔滨汽轮机有限公司质量评审和产品鉴定，认为海阳 3#、4#机组两支高压转子锻件成份纯净，组织和性能均匀，锻件洁净致密，满足了核电高压转子技术标准要求。这标志着 AP1000 核电常规岛高压转子锻件已在一重已研制成功，其制造技术填补了国内空白，产品成果实现了国产化目标。

后续为哈汽制造并成功交付了田湾 4#机组 AP1000 核电高压转子锻件，各项指标完全满足技术条件要求。为上海汽轮机厂制造提供了巴基斯坦卡拉奇项目“华龙一号”核电机组和漳州核电机组用高压转子锻件，各项指标完全满足技术条件要求。

以上产品制造业绩表明，中国一重成为国内唯一具有核电汽轮机整锻高压转子锻件工程化、批量化能力的企业，有编写该标准的资格和条件。

三、调研综述

核电作为清洁能源，在国家“双碳”战略目标提出后将发挥更大的作用。截至 2021 年底，我国大陆地区在建和运行核电机组共 71 台，其中运行机组 52 台。2022 年新核准 6 台机组，我国大陆地区在建、在运、核准的核电机组已达 77 台。

随着核电机组不断增加，核电上网电量也不断增加，由 2016 年 1965.68 亿千瓦时增加至 2021 年的 3820.84 亿千瓦时，到 2022 年第一季度，中国核电上网电量为 928.99 亿千瓦时，同比增长 6.90%。

核电高压转子锻件作为机组核心锻件，服役工况复杂，制造技术要求高，一重多个核电项目的高压转子锻件，并随着核电机组走出国门，已交付锻件 6 支和在制锻件 2 支创收约 2600 万元。

四、生产验证报告

本章列举一重首次承制的海阳 AP1000 核电常规岛 3#和 4#机组高压转子的生产制造工艺和产品检验结果。

4.1 成分控制

表 1 锻件熔炼成分和成品分析 (wt.%)

元素	熔炼分析	成品分析	海阳 3#高压转子		海阳 4#高压转子	
			熔炼分析	成品分析	熔炼分析	成品分析
C	≤0.35	≤0.37	0.26	0.26	0.26	0.25
Mn	0.20-0.40	0.17-0.43	0.30	0.28	0.30	0.29
P	≤0.015	≤0.02	0.004	<0.005	0.003	<0.005
S	≤0.015	≤0.02	0.003	0.0021	0.002	0.0025
Si	≤0.12	≤0.14	0.02	<0.05	0.02	<0.05
Ni	3.25-3.75	3.18-3.82	3.47	3.55	3.52	3.62
Cr	1.50-2.00	1.45-2.05	1.76	1.78	1.72	1.77
Mo	0.30-0.60	0.28-0.62	0.42	0.42	0.43	0.44
V	0.07-0.15	0.06-0.16	0.10	0.09	0.10	0.10
Sb	≤0.0015	≤0.0017	<0.0015	0.0007	<0.0015	<0.0007
Cu	≤0.20	≤0.22	0.04	0.04	0.04	0.03
Al	≤0.015	≤0.017	0.005	<0.004	0.005	<0.004
Sn	≤0.015	≤0.017	0.003	0.003	0.003	0.002
As	≤0.020	≤0.025	0.005	0.004	0.004	0.002

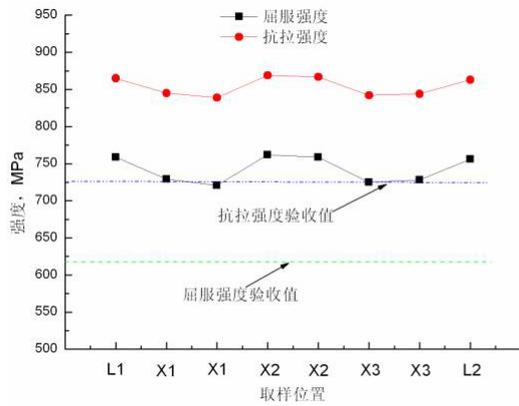
通过严格控制冶炼过程，材料中各种化学元素含量满足了技术标准的要求；

材料中的 P、S 等有害元素和 As、Sn、Sb 等残余元素含量很低，结合锻件夹杂物检验结果，可以看出锻件材料非常纯净。

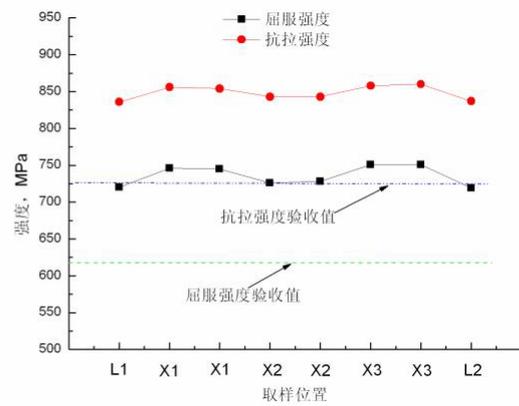
表 2 锻件夹杂物检测结果

	非金属夹杂物							
	硫化物		氧化铝		硅酸盐		球状氧化物	
	细	粗	细	粗	细	粗	细	粗
海阳 3#	0	0.5	0.5	0	0	1	0.5	0
海阳 4#	0.5	0	0.5	0	0	0.5	0.5	0

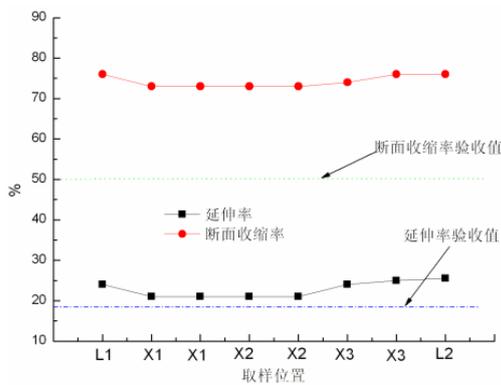
4.2 机械性能指标



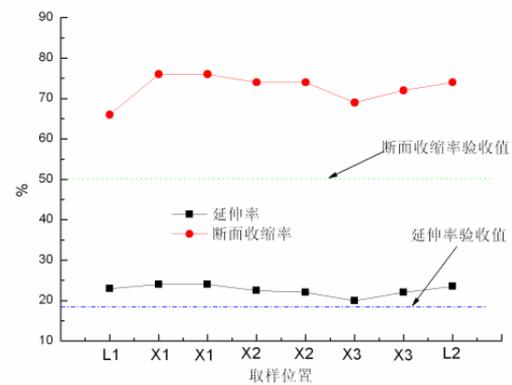
(a) 海阳 3# 高压转子强度分布



(b) 海阳 4# 高压转子强度分布图



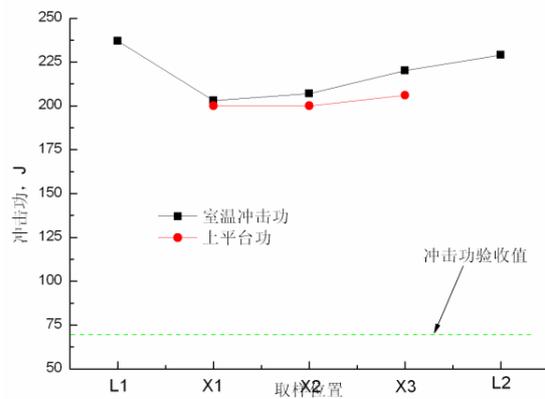
(c) 海阳 3# 高压转子塑性分布



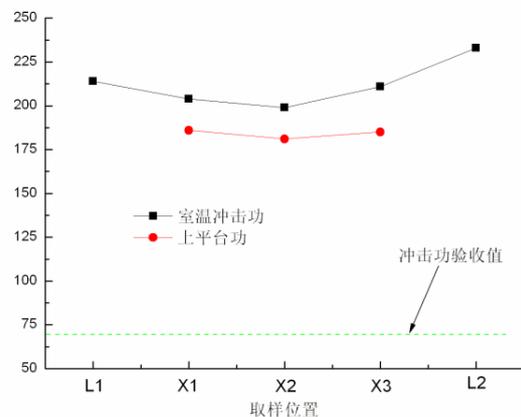
(d) 海阳 4# 高压转子塑性分布

图 1 锻件室温强度和塑性检测结果

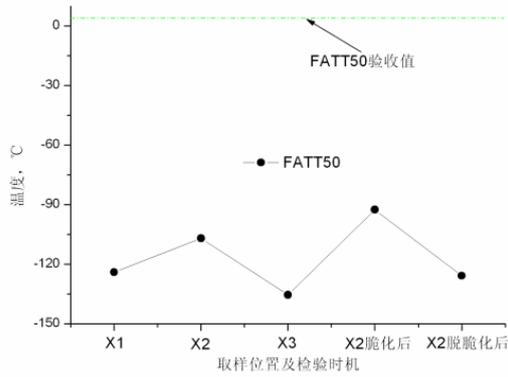
两根转子的屈服强度和抗拉强度都完全满足技术条件的要求，并且均有很大的富裕量；两个锻件的屈服强度和抗拉强度的波动值都非常小；海阳 3# 高压转子分别为 32MPa 和 24MPa，海阳 4# 高压转子分别为 37MPa 和 30MPa。



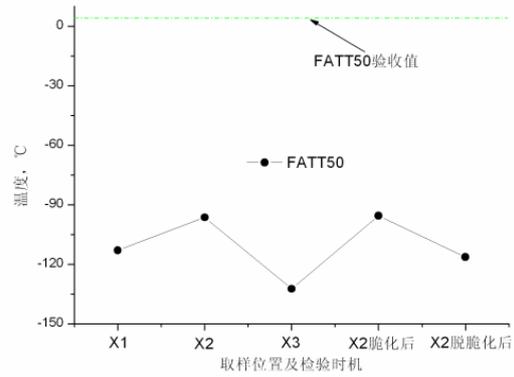
(a) 海阳 3# 高压转子韧性分布



(b) 海阳 4# 高压转子韧性分布



(c) 海阳 3#高压转子 FATT 分布



(d) 海阳 4#高压转子 FATT 分布

图 2 锻件冲击和 FATT 检测结果

冲击功完全满足技术条件的要求，且均有很大的富裕量。

4.3 UT 探伤检测结果

表 3 锻件超声波探伤检测结果

锻件	探伤时机	探头类型	超声波探伤结果	
			需评价的缺陷 ($\geq \phi 1.6$)	记录不需评价的缺陷 ($< \phi 1.6$)
海阳 3#高压	调质前	直探头	无	无
	调质后	直探头	无	47
		斜探头	无	5
海阳 4#高压	调质前	直探头	无	无
	调质后	直探头	无	23
		斜探头	无	7

五、 国内外水平对标

从标准上看，目前国际上只有日本三菱有专门的 1000MW 等级核电常规岛汽轮机整锻高压转子锻件制造、检验、验收的技术标准；国内虽然有哈汽的 HD100.120《1000MWe 核电汽轮机高压转子锻件订货技术条件》，但基本相当于三菱标准的翻译版；上汽标准 SQB44.49《620MPa 强度等级 30Cr2Ni4MoV 钢汽轮机转子体锻件》虽然也作为核电高压转子锻件技术标准但基本属于 30Cr2Ni4MoV 材质转子锻件标准的升级翻版。

国内现状：亟需统一的、行业内一致认可的锻件制造技术标准，既有利于锻件国产化技术的提升，也便于制造厂、汽轮机厂和核电业主方的合同招投标、技术对标、解决技术争议等工作的开展。

六、 标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利。

七、预期达到的社会效益或经济效果

本标准得有应用和实施，填补该类锻件行业标准空白，对锻件生产制造、检查和验收等方面提供操作纲领，有效推进 1000MW 级核电常规岛整锻低压转子锻件技术自主化和核电机组出口应用，具有很好的社会效益。

在核电装备领域，“积极”的核电发展政策为我国发展核电事业提供了前所未有的机遇和广阔的市场空间。目前，全球核电已进入了一个高速发展时期，为了改善能源结构，各工业发达国家和发展中国家都在积极致力于核电的发展。根据中国核电中长期发展规划，年均核准建设 8~10 台机组，每套机组配备 1 支高压转子锻件，订货额达到 3000 万元以上。

八、在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本标准与现行相关法律、法规、规章及相关标准协调一致。

九、大分歧意见的处理经过和依据

无。

十、标准性质的建议说明

建议本标准的性质为推荐性标准。

十一、贯彻标准的要求和措施建议

本标准发布实施后，CCMI 将给相关企业寄送标准文本，并通过相关网站、期刊、会议等渠道宣贯本标准，使广大企业了解、掌握、执行本标准。

建议本标准批准发布 2 个月后实施。

十二、废止现行相关标准的建议

无。

十三、其他应予说明的事项

无。