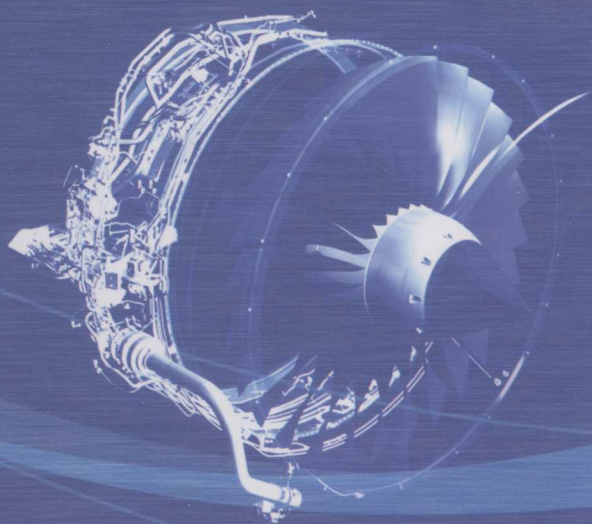


航空发动机设计用 材料数据手册

(第四册)

《航空发动机设计用材料数据手册》编委会 编



航空工业出版社

航空发动机设计用

材料数据手册

(第四册)

《航空发动机设计用材料数据手册》编委会 编

航空工业出版社

内 容 提 要

本手册是《航空发动机设计用材料数据手册》系列的续篇，是在原有手册基础上，补充研究测试了航空发动机目前设计中需要的一批材料的性能数据。这些材料均为先进航空发动机的关键材料或重要材料（共24种牌号），涉及变形高温合金、铸造高温合金、粉末高温合金、高温钛合金和结构钢；而测定的性能涵盖了室温和高温条件下的静力、持久/蠕变、疲劳裂纹扩展、断裂韧性、高周疲劳、低周疲劳，以及考虑材料在实际使用条件下的薄壁持久性能、热机械疲劳性能和疲劳/蠕变交互作用等。

本手册不仅可以供航空发动机结构强度设计和高温结构材料研究人员使用，而且也可以为从事航天发动机设计、燃气涡轮设计、高温高压锅炉设计、热电站设备设计等工作的工程技术人员提供参考。此外，本手册对高等院校相关专业的师生，也具有参考价值。

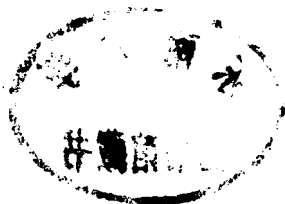
图书在版编目 (C I P) 数据

航空发动机设计用材料数据手册. 第4册/《航空发动机设计用材料数据手册》编委会编. --北京:航空工业出版社, 2010. 12

ISBN 978 - 7 - 80243 - 620 - 6

I. ①航… II. ①航… III. ①航空发动机—航空材料—数据—手册 IV. ①V25 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 189320 号



航空发动机设计用材料数据手册 (第四册)

Hangkong Fadongjij Shejiyong Cailiao Shuju Shouce (Di-si Ce)

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

发行部电话: 010 - 64815615 010 - 64978486

北京印刷学院实习工厂印刷

全国各地新华书店经售

2010 年 12 月第 1 版

2010 年 12 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 35.5

字数: 842 千字

印数: 1—1300

定价: 180.00 元

航空发动机设计用材料数据手册

(第四册)

审委会和编委会名单

审 委 会

主 审：刘大响 曹春晓
副主审：尹泽勇 王 欣
审 委：(按姓氏笔画排列)
江和甫 孙岩峰 李晓红 李晓欣 李继保 杨晓光
姚俊臣 徐春荣 陶春虎 黄维娜 戴圣龙

编 委 会

主 编：于慧臣 吴学仁
副主编：周柏卓 古远兴 李 影
编 委：(按姓氏笔画排列)
刘 芳 许 超 李 骋 李旭东 杨治国 何怀玉
张仕朝 张国栋 郑 飞 钟 斌 郭伟彬 黄新跃

前 言

高温结构材料的力学性能数据和使用条件下的力学行为是航空发动机选材、设计、结构完整性评定和寿命分析的重要依据，也是新材料实现发动机型号应用的重要前提。对材料的力学行为进行深入的研究，对发动机设计用材料力学性能进行全面系统的测定，将为材料的合理使用和航空发动机的设计与服役奠定重要基础，也将为新材料的研制和新工艺的制定提供重要评价依据。

随着我国航空发动机新材料和发动机结构强度设计思想的发展，对发动机设计用材料性能数据的需求范围不断扩大，当前主要包括：静强度、持久/蠕变，高周/低周疲劳、断裂韧度、疲劳裂纹扩展、热机械疲劳和疲劳/蠕变交互作用等性能。近20年来，航空系统已出版了《航空发动机设计用材料数据手册》第一册（1990年）、第二册（1993年）和第三册（2008年），但已有的材料性能数据还不能满足我国航空发动机的设计与制造需求。高性能先进航空发动机的研制对结构强度分析和寿命评估所需的新材料设计用性能数据更为迫切。

“十五”期间，原国防科工委在航空发动机专项研究计划中，针对航空发动机研制对设计用材料力学性能的急迫需求，设立了相应的研究项目。该项目系统开展了先进航空发动机用关键材料和部分优选材料（共24种牌号）的力学性能研究测试。材料类别包括变形高温合金、铸造高温合金、粉末高温合金、高温钛合金和结构钢；测定的性能涵盖了室温和高温条件下的静力、持久/蠕变、疲劳裂纹扩展、断裂韧度、高周疲劳和低周疲劳性能，以及考虑材料在实际使用条件下的薄壁持久性能、热机械疲劳性能和疲劳/蠕变交互作用等。本手册全面总结了项目的研究与数据测定结果。手册的编写继承了《航空发动机设计用材料数据手册》前三册的特点。所提供的材料性能数据均以足够的试验为基础，测试工作和数据处理均根据相关标准方法进行。为进一步提高数据的可靠度，手册初稿完成后，及时提供给发动机设计所、生产厂试用。通过三年多的试用校验，手册编委会及时依据反馈信息对手册稿件进行了多次修改、校订，形成了手册出版稿。

本手册是在原国防科工委和原中国航空工业第一集团公司的领导和支持下，由北京航空材料研究院联合沈阳发动机设计研究所、中国燃气涡轮研究院和中国航空动力机械研究所，经过多年的辛勤劳动共同完成的。测试用试样毛坯来自北京航空材料研究院、贵州安大航空锻造有限责任公司、宝钢集团上海特殊钢有限公司和抚顺特殊钢集团有限公司等单位。试样加工均在北京航空材料研究院完成。力学性能测试主要由北京航空材料研究院承担，西安飞机工业（集团）有限责任公司和西安航空发动机（集团）有限公司等单位也承担了部分测试任务。手册按照材料牌号顺序编排，在每种材料中按性能类别撰写。承担项目研究和手册编写工作的人员有：于慧臣、吴学仁、周柏卓、古远

兴、李影、钟斌、张国栋、李骋、何玉怀、郭伟彬、黄新跃、许超、刘芳、郑飞、张仕朝、李旭东。刘孝安、杨士杰、韩希鹏等老专家在项目的立项论证、需求分析、研究方案制定和手册编写等方面提供了宝贵指导，在此表示衷心的感谢！

限于编撰人员水平，本手册不足之处在所难免，衷心欢迎广大读者予以批评指正。

编委会

2010年10月

目 录

第 1 章 概述	(1)
第 2 章 变形高温合金	(15)
2-1 GH141	(17)
2-2 GH188	(40)
2-3 GH3044	(52)
2-4 GH4169	(65)
2-5 ZSGH4169	(85)
2-6 GH536	(107)
2-7 GH909	(145)
第 3 章 铸造高温合金	(155)
3-1 K403	(157)
3-2 DZ125	(171)
3-3 DZ417G	(214)
3-4 DD3	(229)
3-5 DD6	(250)
3-6 IC10	(323)
第 4 章 粉末高温合金	(347)
4-1 FGH95	(349)
第 5 章 钛合金	(367)
5-1 TA12	(369)
5-2 TC4	(403)
5-3 YZTC4	(418)
5-4 TC11	(426)
5-5 TC17	(435)
5-6 ZTA15	(455)
5-7 ZTC4	(473)
第 6 章 结构钢	(485)
6-1 1Cr11Ni2W2MoV	(487)
6-2 16Cr3NiWMoVNbE	(501)
6-3 35Cr2Ni4MoA	(533)
参考文献	(559)

第 1 章

概 述

1.1 目的和范围

航空发动机的设计研制或现役发动机的改进、改型、定寿、延寿，都需要有足够的材料性能数据作为强度计算和寿命预估的基础。设计者依据这些性能数据，才能把握构件材料所具有的能力，在安全、可靠的前提下确保构件于寿命期内充分发挥材料的潜力，使构件达到最优化的设计。

为航空发动机设计提供所需的材料性能数据是一项技术基础性工作，是航空发动机发展的基本建设之一，需要不断补充完善。虽然之前已为设计者提供了三册航空发动机设计用材料数据手册，测试技术亦比较成熟，但其中除了材料品种、性能数据尚待补齐外，提供的性能数据绝大部分还只是属于常用的基本性能。这些性能固然重要，但随着航空发动机设计水平和方法的不断改进和提高，对材料设计用性能数据的需求也更加全面，包括：常规的静强度、持久/蠕变、高周/低周疲劳、断裂和疲劳裂纹扩展、热机械疲劳、疲劳/蠕变交互作用等。模拟发动机部件使用条件下的材料性能数据还有待今后随着设计的需求、测试技术的发展，逐步得到补充和完善，手册的内容亦将会随之不断地更新和充实。目前已有的设计用材料性能数据，尚难以满足航空发动机的设计研制需求。

《航空发动机设计用材料数据手册》已出版发行了三册：第一册于1990年出版，列出了航空发动机研制和结构完整性研究中所需的55种金属材料的性能数据，给出了以A、B或S基值表达的强度设计许用值，以及持久/蠕变、高周疲劳、应变疲劳、裂纹扩展速率和断裂韧度性能的均值^[1]；第二册于1993年出版，为满足《航空涡喷涡扇发动机通用规范》(GJB 241—1987)和《航空涡喷、涡扇发动机结构设计准则》中规定的“材料容许的强度与寿命特性应以负三倍的标准差(-3σ)为基础”的要求，着重给出了航空发动机断裂关键件(轮盘、叶片、轴)所用5种材料具有不同置信度、存活率在各种温度下的持久、应力疲劳、应变疲劳性能数据和曲线^[2]；第三册于2008年出版，由24种材料(30个品种)性能测试数据编写而成，其中变形高温合金11种(16个品种)、铸造高温合金6种、钛合金7种(8个品种)，并搜集了各材料研制单位提供的性能数据，以及按要求提供了16种重要关键件材料具有置信度存活率的统计性能^[3]。本书是对以上工作的继续，在原有手册的基础上，系统地研究测试了航空发动机当前设计中所需要的一批材料的性能数据。这些材料均为先进航空发动机的关键材料或重要材料(共24种牌号)，涉及变形高温合金、铸造高温合金、粉末高温合金、钛合金和结构钢，而测定的性能涵盖了室温和高温条件下的静力、持久/蠕变、疲劳裂纹扩展、断裂韧度、高周疲劳、低周疲劳，以及考虑材料在实际使用条件下的薄壁持久性能、热机械疲劳性能和疲劳/蠕变交互作用等。

1.2 数据的获取处理与表达

本手册继承了《航空发动机设计用材料数据手册》系列出版物的特点，手册中的材料性能数据均以足够的试验为基础，采用标准的试验方法获得。为了保证提供的数据正确可靠，对本册中列入的数据进行了严格的质量控制，从试样各料必需的炉批数，到试样数量、取样部位与方向、试样加工、试验方案设计、试验、数据处理与表达等，每个环节都遵循

相关标准和规定。在数据表达方式上也是从有利于设计使用出发,尽量采用方程、曲线图、数据表表示,设计者可由方程内插计算,很容易获得所需的性能数据。由于对数据进行了质量控制,凡纳入本册的每个性能数据基本上都能追溯到该数据的试样毛坯品种、热处理状况、取样部位、试验用设备仪器、试验原始记录、数据处理情况等历史资料,做到有据可依,有据可查,保证了数据的准确可靠。

1.3 手册的使用说明

(1) 本手册共有6章,第1章为概述;第2章为变形高温合金,包括7种材料牌号;第3章为铸造高温合金,包括6种材料牌号;第4章为粉末高温合金,包括1种材料牌号;第5章为钛合金,包括7种材料牌号;第6章为结构钢,包括3种材料牌号。全书最后为参考文献。

(2) 本手册采用一个材料牌号为一个独立编写单元的形式。为了便于各牌号的材料的技术要求及有关数据进行交流、应用和计算机管理,各材料的内容采用统一的标题序号编排格式,具体如下所示:

1 概述

- 1.1 材料牌号
- 1.2 相近牌号
- 1.3 材料技术标准
- 1.4 化学成分
- 1.5 热处理制度
- 1.6 品种规格与供应状态
- 1.7 材料制备工艺
- 1.8 应用概况及说明

2 物理性能

- 2.1 熔化温度范围
- 2.2 相变点
- 2.3 热导率
- 2.4 比热容
- 2.5 线膨胀系数
- 2.6 密度

3 力学性能

- 3.1 材料技术标准规定的性能
- 3.2 短时力学性能
 - 3.2.1 拉伸性能
 - 3.2.2 扭转性能
- 3.3 持久和蠕变性能
- 3.4 高周疲劳性能
 - 3.4.1 轴向高周疲劳性能

3.4.2 旋转弯曲疲劳性能

3.4.3 扭转疲劳性能

3.5 低周疲劳性能

3.6 其他疲劳性能

3.7 疲劳裂纹扩展性能

3.8 断裂韧度

3.9 弹性性能

3.9.1 弹性模量

3.9.2 剪切模量

3.9.3 泊松比

(3) 本手册为了与已出版的《航空发动机设计用材料数据手册》第一、第二和第三册保持系统性、连续性,在常用量名称、符号及单位上基本仍沿用前三册的相关规定。当这些名称、符号与新颁发的国家标准规定不一致时,可参照相应新试验方法国家标准的附录中有关新旧标准性能名称和符号对照。

(4) 为方便设计者作构件的热分析、温度场分布计算等,本册纳入了各种材料的物理性能,该性能绝大部分都引自《中国航空材料手册》(第二版)^[4],在本手册中不再对每个材料一一引注。

(5) 本手册中的短时力学性能、持久/蠕变、疲劳裂纹扩展速率、断裂韧度、拉伸和剪切模量都以均值表达,而应力疲劳、应变疲劳性能则按要求提供具有不同置信度、存活率的统计性能数据。

(6) 本手册中材料的持久性能,可利用持久热强参数综合方程进行外推,但一般不应超过最长试验时间的3倍。各材料持久性能的最长试验时间可从其应力—寿命图上得知。对持久(或蠕变)性能的推算,应首选持久(或蠕变)热强参数综合方程。为了与MIL-HDBK-5H表达形式一致,本手册给出了持久(或蠕变)应力—寿命曲线图和方程,但用其方程推算性能,对两端(低温高应力和高温低应力)数据有时误差较大。

(7) 本手册的轴向疲劳数据当用等效应力方程表示时,可利用该方程推算出试验应力比覆盖范围内的其他未试验应力比下的疲劳性能。

(8) 本手册中材料的性能除(6)中所述持久性能可允许少量外推外,其他性能都不允许超出所给曲线的范围进行外推。

1.4 数值的修约规则

手册中各种测量和计算得出的数值的修约,在指定修约间隔或指定有效位数的情况下,按GB 8170—1987《数值修约规则》进行。

1.5 常用量名称、符号及单位

名称	符号	单位	名称	符号	单位
长度	$l, (L)$	m, mm	抗扭强度	τ_b	MPa
宽度	$b, (W)$	m, mm	扭转屈服强度	$\tau_{0.3}$	MPa
高度	h	m, mm	延伸率	δ	%
厚度	$\delta, (d, t), B$	m, mm	断面收缩率	ψ	%
半径	r, R	m, mm	线应变	ε	mm/mm, %
直径, 孔径	d, D	m, mm	总应变	ε_t	mm/mm, %
距离	d, r	m, mm	布氏硬度值	HB	kgf/mm ²
面积	$A, (F, S)$	m ² , mm ²	冲击韧性	a_k	J/m ²
体积, 容积	V	m ³ , mm ³	冲击功	A_k	J
时间, 时间间隔, 持续时间	t	s, min, h	弹性应变	ε_e	mm/mm, %
转速	n	r/min	塑性应变	ε_p	mm/mm, %
频率	f	Hz	切应变, 剪应变	γ	%
热力学温度	T	K	泊松比	μ, ν	
摄氏温度	θ	°C	应力—应变曲线的 形状参数	n	
线膨胀系数	α	K ⁻¹ , °C ⁻¹	应变硬化系数	K	MPa
热导率, 导热系数	λ	W/(m·K), W/(m·°C)	弹性模量	E	GPa
比热容	C	J/(kg·K), J/(kg·°C)	切变模量, 剪切模量	G	GPa
密度	ρ	kg/m ³	持久极限	σ_t^0	MPa
力, 载荷	F, P	N	蠕变极限	σ_c^0/t	MPa
正应力	σ	MPa	最大应力	σ_{max}	MPa
切应力, 剪应力	τ	MPa	最小应力	σ_{min}	MPa
屈服点	σ_s	MPa	平均应力	σ_m	MPa
屈服强度	$\sigma_{0.2}, \sigma_{0.1}$	MPa	应力幅	σ_a	MPa
比例极限	$\sigma_{0.01}$	MPa	加载系数	$k = \sigma_{max}/\sigma_{bH}$	MPa
抗拉强度	σ_b	MPa	应力比	R	
缺口拉伸强度	σ_{bH}	MPa	理论应力集中系数	K_t	
剪切强度	τ	MPa	平均值	\bar{x}	

续表

名称	符号	单位	名称	符号	单位
子样标准差	s		循环强度系数	K'	MPa
变异系数	C_v		循环应变硬化指数	n'	
疲劳寿命, 循环数	N, N_f	周	疲劳延性系数	ϵ'_f	
中值疲劳寿命	N_{50}	周	疲劳强度系数	σ'_f	MPa
置信度	γ	%	裂纹长度	a	mm
中值对数疲劳寿命	X_{50}		初始裂纹长度	a_0	mm
旋转弯曲疲劳极限	σ_{-1}	MPa	有效裂纹长度	a_e	mm
缺口疲劳极限	σ_{-1H}	MPa	临界裂纹长度	a_c	mm
疲劳强度, 中值疲劳强度	σ, σ_{50}	MPa	表观裂纹扩展量	$da = \Delta a - \Delta a_0$	mm
疲劳极限	σ_D	MPa	裂纹扩展量	Δa	mm
扭转疲劳强度	τ_{max}	MPa	应力强度因子	K	MPa \sqrt{m}
扭转疲劳极限	τ_{-1}	MPa	应力强度因子范围	ΔK	MPa \sqrt{m}
存活率	P	%	最大应力强度因子	K_{max}	MPa \sqrt{m}
P 存活率的疲劳强度	σ_P	MPa	最小应力强度因子	K_{min}	MPa \sqrt{m}
P 存活率的疲劳寿命	N_P	周	平面应变断裂韧度	K_{IC}	MPa \sqrt{m}
应变比	R_ϵ		条件断裂韧度	K_Q, K_q	MPa \sqrt{m}
总应变范围	$\Delta\epsilon_t$	mm/mm, %	平面应力断裂韧度	K_C	MPa \sqrt{m}
弹性应变范围	$\Delta\epsilon_e$	mm/mm, %	裂纹扩展阻力	K_R	MPa \sqrt{m}
塑性应变范围	$\Delta\epsilon_p$	mm/mm, %	疲劳裂纹扩展速率	da/dN	mm/cycle
失效反向数	$2N_f$	反向数	疲劳裂纹扩展门槛值	ΔK_{th}	MN/m ^{3/2}
疲劳延性指数	c		力学性能的基值	$S, A, B, -3\sigma$	MPa
疲劳强度指数	b				

1.6 材料牌号与测试内容分布

为使读者了解本手册所包含的性能数据类别的全貌, 表1-1-1~表1-1-15详细给出了按照材料牌号分类的力学性能数据种类, 以及按照性能种类分类的每种材料牌号的的具体测试内容。

表 1-1-1 材料牌号与测试内容分布

No.	牌号	品种	泊松比	光滑拉伸	缺口拉伸	扭转	持久	蠕变	轴向	旋弯	扭转	低周	da _c /dN	K _{1c}	薄壁	C/F	TMF
1	GHI41	环	✓		✓		✓		✓	✓		✓					
2	GHI88	环	✓							✓			✓				
3	CH3044	轧棒							✓	✓							
4	CH4169	环	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓					
5	ZSCH4169	锻	✓	✓								✓	✓			✓	
6	GH536	环	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
7	GH909	环	✓						✓								
8	K403	铸													✓		
9	DZ125	铸	✓	✓								✓			✓		✓
10	DZ417G	铸	✓												✓		
11	DD3	铸										✓			✓		
12	DD6	铸	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓		✓
13	IC10	铸		✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓					
14	FCH95	HIP	✓				✓					✓	✓			✓	
15	TA12	锻	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓					
16	TC4	锻	✓						✓				✓				
17	YZTC4	锻	✓							✓							
18	TC11	锻										✓					
19	TC17	锻	✓		✓		✓			✓	✓	✓					
20	ZTA15	铸							✓			✓					
21	ZTC4	铸							✓	✓	✓						
22	1Cr11Ni2W2MoV	锻										✓					
23	16Cr3NiWMoVNbE	轧棒	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓				
24	35Cr2Ni4MoA	轧棒	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓				

第 1 章 概 述

表 1-1-2 光滑拉伸性能测试内容

材料牌号	品种	取向	试验温度/°C	备注
GH4169	环	C	RT ^[3] 、400 ^[3] 、500 ^[3] 、650 ^[3] 、750	E、 σ_b 、 $\sigma_{0.2}$ 、 δ_5 、 ψ 和平均 σ - ε 曲线
ZSGH4169	锻	C	RT、400、500、650、700	
GH536	环	C	RT ^[3] 、200 ^[3] 、400 ^[3] 、500 ^[3] 、600、800、900、1000	
DZ125	铸	L	RT、650、760、850	
		T	RT、650、760、850	
		45°	RT、650、760、850	
DD6	铸	[001]	RT、650、700、760、850、980、1070、1100	
		[011]	RT、700、760、850、980、1070、1100	
		[111]	RT、700、760、850、980、1070、1100	
IC10	铸	L	RT、200、400、600、650、700、760、800、850、900、1000、1100	
		T	RT、800、900、1100	
TA12	锻	C	RT、200、300、400、500、550	
16Cr3NiWMoVNbE	轧棒	L	RT、200、300	
35Cr2Ni4MoA	轧棒	L	RT、160	

表 1-1-3 缺口拉伸性能测试内容

材料牌号	品种	取向	试验温度/°C	备注
GH141	环	C	RT ^[3] 、500、600 ^[3] 、700、760、850	σ_{bH}
GH4169	环	C	RT ^[3] 、500 ^[3] 、600 ^[3] 、750	
GH536	环	C	RT ^[3] 、400 ^[3] 、600、800、1000	
DD6	铸	[001]	RT、650、700、760、850、980、1070、1100	
		[011]	RT、700、760、850、980、1070、1100	
		[111]	RT、700、760、850、980、1070、1100	
IC10	铸	L	RT、900、1100	
		T	RT、900、1100	
TA12	锻	L	RT、200、400、550	
TC17	锻	C	RT ^[3] 、200、300、400 ^[3]	
16Cr3NiWMoVNbE	轧棒	L	RT、200、300	
35Cr2Ni4MoA	轧棒	L	RT、160	

表 1-1-4 扭转性能测试内容

材料牌号	品种	取向	试验温度/℃	备注
GH4169	环	C	20、300、500、600、750	G、 τ_b 、 $\tau_{0.3}$
GH536	环	C	RT ^[3] 、400 ^[3] 、500 ^[3] 、600、800	
DD6	铸	[011]	760、980、1070	
		[111]	760、980、1070	
16Cr3NiWMoVNbE	轧棒	L	RT、200、300	
35Cr2Ni4MoA	轧棒	L	RT、160	

表 1-1-5 泊松比性能测试内容

材料牌号	品种	取向	试验温度/℃	备注
GH141	环	C-R	RT、500、700、850、900	μ
GH188	环	C-R	RT、600、800、1000	
GH4169	锻	C-R	RT ^[3] 、300 ^[3] 、400 ^[3] 、500 ^[3] 、600 ^[3] 、650 ^[3] 、750	
ZSCH4169	锻	C-R	RT、300、400、500、600、650、700	
GH536	环	C-R	RT、600、800、1000	
GH909	环	C-R	RT、100、200、300、400、500、600	
		C-L		
DZ125	铸	L	RT、500、600、700、750、800、850、900、950、980、1000、1050	
		T		
		45°		
DZ417G	铸	L	RT、600、700、800、900、950	
DD6	铸	[001]	RT、650、700、760、850、900、980、1070、1100	
		[011]		
		[111]		
FGH95	HIP	C-R	RT、100、200、300、400、500、550、600、650、700、750	
		C-L		
TA12	锻	C-R	RT、200、300、400、500、550	
TC4	锻	C-R	RT、100、200	
YZTC4	锻	C-R	RT、100、200、300、400、500	
TC17	锻	C-R	RT、100、200、300、400、500	
16Cr3NiWMoVNbE	轧棒	L	RT、200、300	
35Cr2Ni4MoA	轧棒	L	RT、100、200	