

DOI:10.15886/j.cnki.hdxzbk.2022.0009



引用格式:王谋渊,吴晚博,曾翔,等. Q890 高强结构钢高温蠕变性能[J]. 海南大学学报(自然科学版), 2022, 40(1): 76-83.

Citation: Wang Mouyuan, Wu Wanbo, Zeng Xiang, et al. Creep behavior of Q890 high-strength structural steel at elevated temperature [J]. Natural Science Journal of Hainan University, 2022, 40(1): 76-83.

## Q890 高强结构钢高温蠕变性能

王谋渊,吴晚博,曾翔,曹宝珠

(海南大学 土木建筑工程学院,海南海口 570228)

**摘要:** 为了解 Q890 高强结构钢在高温下的蠕变性能,在恒温恒载下对 Q890 高强结构钢进行了高温蠕变试验研究,试验参数包括温度(400 °C、500 °C、600 °C 和 700 °C)与应力比(0.45~0.95)。通过试验,得到了各个温度及应力比下 Q890 钢的蠕变-时间曲线及蠕变速率-时间曲线,并对其进行了分析。基于蠕变速率-时间曲线,划分了 Q890 钢高温蠕变过程的发展阶段。最后,利用蠕变试验数据拟合了 Field&Field 蠕变模型的参数,拟合得到的蠕变模型与 Q890 高强钢的试验曲线吻合良好。

**关键词:** Q890 高强钢; 高温蠕变试验; 高温蠕变曲线; 高温蠕变模型

**中图分类号:** TU392

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1004-1729(2022)01-0076-08

在钢结构中应用高强结构钢(屈服应力 $\geq 460$  MPa,以下简称“高强钢”)有诸多优点,如节约钢材,降低材料运输及建造成本,节能环保;减小结构自重,进而减少结构地震作用;减少截面尺寸,进而减少焊接工作量及焊接残余应力等<sup>[1]</sup>。因而,其已被广泛地应用于高层、大跨度和桥梁结构中。钢结构在服役期间,可能会面临火灾的作用。而钢材耐火、耐热性能较差,在较高温度时(通常在 600 °C 以上),钢材强度会显著降低,并且在持续高温下,钢材的高温蠕变会加剧结构的性能退化,从而导致结构破坏,造成人员伤亡以及经济损失<sup>[2-3]</sup>。因而,高强钢的高温力学性能(包括高温蠕变性能)受到广泛关注,其对评估结构在火灾下的力学性能十分重要。

目前,国内外对钢材的高温蠕变性能的研究已取得了一些进展。Dorn<sup>[4]</sup>基于 Dorn 理论提出了 Dorn 模型,认为在恒定应力下的蠕变应变是应力、温度 and 时间的函数。Harmathy 等<sup>[5-6]</sup>对 Dorn 理论进行了改进,提出了 Harmathy 模型,并对 ASTM A36 和 CSAG40.12 结构钢以及 ASTM A421 预应力筋开展了高温蠕变试验,验证了 Harmathy 模型的正确性。Williams-Leir<sup>[7]</sup>分析了 Harmathy 模型,并通过试验数据拟合提出了 Williams-Leir 模型。Findley 等<sup>[8]</sup>基于粘弹性力学提出了 Burger's 模型,但该模型只适用于初始和稳定状态下的蠕变阶段,无法模拟加速阶段的蠕变。Brnic 等<sup>[9-10]</sup>对高强度合金钢开展了高温蠕变试验,分析表明 Burger's 模型能较好地描述该钢材高温蠕变的发展。Fields 等<sup>[11]</sup>提出了 Field&Field 蠕变模型,并给出了 A36 钢的蠕变模型参数取值,通过与试验数据对比验证了模型的准确性。王卫永等<sup>[12]</sup>通过试验研究得到了 Q345 钢的高温蠕变-时间曲线,建立了其复合时间强化蠕变模型和 Norton 蠕变模型。Wang 等<sup>[13-14]</sup>在 300 °C~900 °C 温度范围内对 Q460 和 Q690 高强钢进行了不同应力水平下的高温蠕变试验,建立了两种钢材考虑温度、应力和时间影响的蠕变模型。王欣欣等<sup>[15]</sup>通过对 Q550、Q690 和 Q890 三种高强钢进行了一系列的高温蠕变试验,结果表明:温度以及应力比对高强度钢材蠕变的发展具有显著影响。

收稿日期: 2021-08-29

基金项目: 海南省重大科技计划(ZDKJ201803)

作者简介: 王谋渊(1998—),男,海南澄迈人,海南大学土木建筑工程学院 2020 级硕士研究生, E-mail: wangmy2322@163.com

通信作者: 曾翔(1983—),男,湖南邵东人,博士,硕士,副教授,研究方向:组合结构及结构抗火抗冲击性能, E-mail: zengxce@hainanu.edu.cn

690 MPa 的高强钢已在高层、大跨及桥梁中有所应用,《高强钢结构设计标准》(JGJ/T 483—2020)已引入了 Q690 高强钢结构的相关条文. 随着高强钢材料及其结构设计理论研究的不断深入,更高强的 Q890 钢将具有良好的应用前景. 因而,对其力学性能进行广泛的研究十分必要. 尽管文献[15-16]已对 Q890 高强钢的高温力学性能及蠕变性能进行了研究,但关于 Q890 高强钢的高温蠕变模型的研究还未见报道. 本文通过试验,得到了 Q890 高强钢在不同温度和不同应力比下的高温蠕变-时间曲线,通过分析进一步获得 Q890 高强钢的高温蠕变速率曲线以确定其蠕变发展的各个阶段,然后基于试验数据建立其高温蠕变模型,为 Q890 高强钢结构在高温下的力学性能的分析提供基础.

## 1 高温蠕变试验

**1.1 试件设计** 已有研究<sup>[15,17-20]</sup>表明,温度和应力水平是影响钢材高温蠕变的主要因素. 由于温度较低时,蠕变变形不明显,试验温度通常在 400 °C 以上,并且在前期试验过程中发现,温度达到 800 °C 时,试验采用的视频引伸计无法准确地捕捉到试件上的散斑并进行应变测量,因此最高温度设计为 700 °C. 当应力水平过低时,试件蠕变变形不明显,而应力水平过高时,试件在加载阶段已经发生断裂,不符合试验目的. 因而,本文采用表 1 所示的试验参数,试验温度  $T$  为 400 °C、500 °C、600 °C 和 700 °C,每一温度水平下设计 3 种应力比  $\alpha$  (施加应力  $\sigma$  与该温度下屈服强度之比,屈服强度参考文献[16]取 1.0% 残余应变对应的应力),以较好地考察温度与应力对蠕变的影响. 因蠕变试验时间较长,大多数研究<sup>[17-19]</sup>中一组参数通常设计一个试件,较少的研究<sup>[15]</sup>设计两个试件. 本研究每组试验设置两个试件,根据温度和应力比的不同共有 12 组试验,共计 24 个试件. 蠕变试件的几何尺寸设计如图 1 所示.

表 1 试验参数

$T/^\circ\text{C}$	$f_{l,0}/\text{MPa}$	$\sigma/\text{MPa}$	$\alpha$
400	865.160	562,735,822	0.65,0.85,0.95
500	735.045	478,551,625	0.65,0.75,0.85
600	431.026	194,237,280	0.45,0.55,0.65
700	134.635	61,74,88	0.45,0.55,0.65

**1.2 试验装置及试验方法** 试验装置如图 2 所示,共由四部分组成:微机控制电子万能试验机、高温炉、视频引伸计及电脑控制与数据采集系统. 试验机加载、高温炉升温及视频引伸计的应变测量均为软件系统自动控制采集. 高温炉安装在万能试验机中间(图 2a),可控温度范围 300 °C~1 200 °C,其内部工作环境如图 2b 所示. 试件置于炉内,其上下两端通过销栓与试验机相连(图 2b). 试验时高温炉闭合,利用视频引伸计通过高温炉的可视窗口对试件的拉伸应变进行

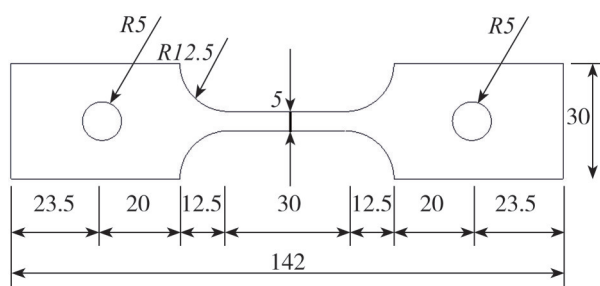


图 1 试件几何尺寸(单位:mm)

测量. 采用高温漆在试件表面布满散斑,视频引伸计可跟踪散斑的位移变化,从而实现应变的测量. 视频引伸计包括摄像机、蓝光灯与配套数据采集软件,其数据采集与拉伸试验机的数据采集过程能实现同步.

试验时,先在不应力状态下对高温炉进行升温(升温速度为 2.6~7.7 °C·min<sup>-1</sup>),达到预设温度后恒温 10 min,使试件温度均匀分布,此时试件的热膨胀应变已完成. 然后,继续保持恒温,利用试验机采用力加载(速度为 1~15 N·s<sup>-1</sup>)的方式对试件施加荷载,至目标荷载后保持力恒定(应力比恒定),此时应力产生的应变也已完成. 然后,开始采用视频引伸计进行应变测量,直至试验结束. 由于热膨胀应变与应力产生的应变已完成,视频引伸计测量的应变为蠕变应变. 试验结束条件设置为在恒温恒载条件下试件发生蠕变断裂或蠕变时间达 10 小时. 在钢材高温蠕变的相关研究中,闫守海<sup>[18]</sup>、王康<sup>[19]</sup>均采用试件断裂或蠕变时间达到 10 小时作为试验结束条件,而在王欣欣等<sup>[15]</sup>和李翔等<sup>[20]</sup>的研究中,采用试件断裂或蠕变时间达到 6 小时作为试验结束条件. 综上,为在温度较低、应力比较小时获取较完整的蠕变-时间曲线,将 10 小时作

为试验结束条件.

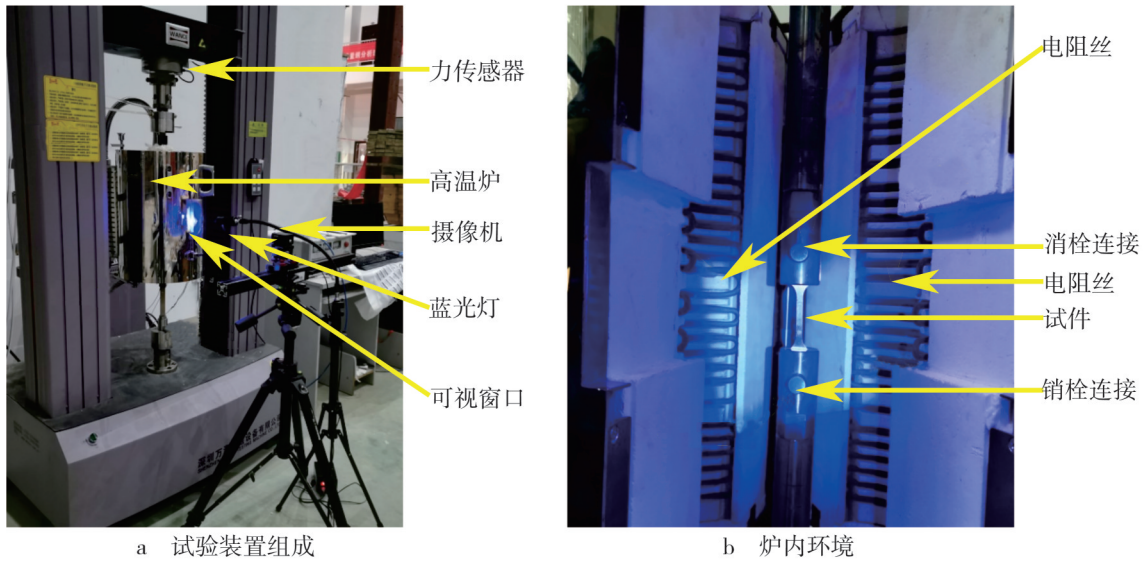


图2 试验装置

## 2 试验结果分析

**2.1 试验现象** 试验中,部分试件发生断裂,包括500 °C下应力比为0.85、600 °C下应力比为0.65及700 °C下的全部试件.断裂试件可见明显的颈缩现象.试件经高温蠕变冷却后,其表面颜色变化明显.温度为400 °C时,试件局部呈现红褐色并带有金属光泽,即使应力比较大( $\alpha=0.95$ )时,试件也未发生断裂,试件变形较小.500 °C时,试件失去金属光泽,整个试件遍布红褐色,并且局部带有黑色,断裂试件变形明显大于未断裂试件.600 °C时,碳化现象明显,试件整体呈黑色略带红褐色和白色,试件变形较大.700 °C时,试件整体呈灰色略带红褐色和黑色,应力比越大,试件断裂越快.

**2.2 高温蠕变-时间曲线** Q890高强钢在相同温度不同应力比下和相同应力比不同温度下的蠕变-时间曲线如图3和图4所示.图3和图4中,横坐标为时间( $t$ ),纵坐标为蠕变应变( $\epsilon_{cr}$ ),试件编号的含义:

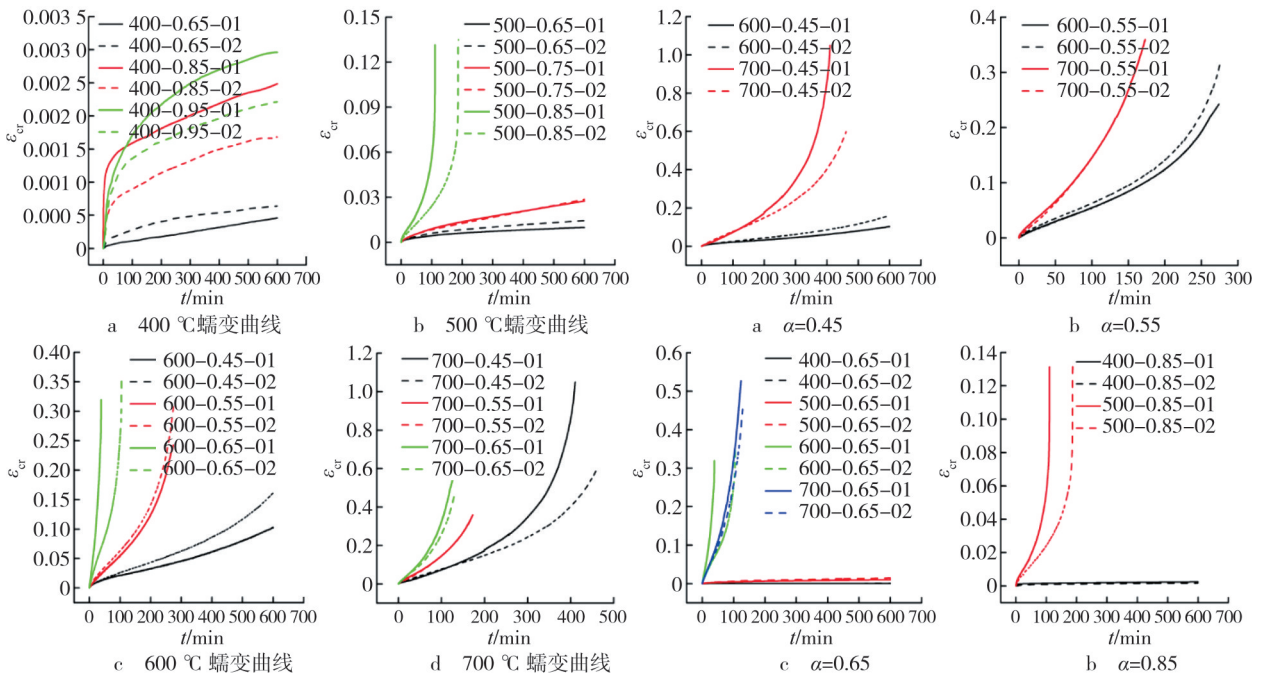


图3 相同温度不同应力比下Q890高强钢高温蠕变-时间曲线

图4 相同应力比不同温度下Q890高强钢高温蠕变-时间曲线

受热温度—应力比—试件序号. 如 400-0.65-01 表示: 受热温度为 400 °C, 应力比为 0.65 的 01 号试件.

图 3 和图 4 所示的蠕变发展规律可总结为图 5 所示的典型蠕变曲线. 其中,  $\varepsilon$  为应变增加总量,  $t$  为时间. 钢材在高温下的应变增加总量 ( $\varepsilon$ ) 由热膨胀应变 ( $\varepsilon_e$ )、应力产生的应变 ( $\varepsilon_p$ ) 和蠕变应变 ( $\varepsilon_{cr}$ ) 组成. 蠕变随时间的发展大致可以分为 3 个阶段: 1) 第 I 阶段 (图 5 中 AB 段) 又称瞬时蠕变阶段, 该阶段蠕变增长速率随时间增长而减小; 2) 第 II 阶段 (图 5 中 BC 段), 又称稳态蠕变阶段, 该阶段蠕变增长速率基本保持恒定; 3) 第 III 阶段 (图 5 中 CD 段), 又称加速蠕变阶段, 该阶段蠕变增长速率急剧增大, 直至试件断裂. 根据试验参数的不同, 蠕变曲线包含 I—II 阶段或者同时包含 3 个阶段. 当温度较低, 应力比较小时, 蠕变发展较慢, 主要发展 I—II 阶段蠕变; 当温度较高, 应力比较大时, 蠕变发展快, 可能进入第 III 阶段蠕变.

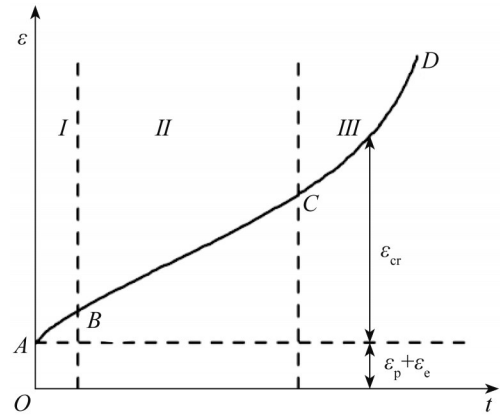


图 5 钢材典型的高温蠕变曲线

如图 3 所示, 相同温度下随应力比增加, 第 I 阶段蠕变发展更快更大, 第二阶段蠕变来得更早. 700 °C 下应力比  $\alpha$  达到 0.45 时、600 °C 下应力比  $\alpha$  达到 0.55 时和 500 °C 下应力比  $\alpha$  达到 0.85 时, 蠕变均发展到第 III 阶段. 从图 4 可见, 温度是影响蠕变的非常重要因素. 在温度较低时 (如 400 °C), 即使应力比较大, 蠕变发展也相对小很多.

由图 3、图 4 可知, 在相同试验条件下, 部分蠕变曲线表现出较大的离散性. 从微观上解释, 这可能是由于蠕变在发展的过程中, 其内部结构损伤有较强的随机性, 因而导致在宏观上蠕变的发展有明显差异. 但是在相同试验条件下, 两条蠕变曲线的发展趋势基本相同. 通常在相同试验条件下取蠕变发展程度较大的试件进行分析, 因无更多的统计数据, 其他已有的相关研究也是采用该方式处理. 表 2 为同组试件中所测蠕变-时间曲线的最大蠕变应变.

从表 2 看出, 在相同应力比不同温度的条件下, 最大蠕变应变会随温度的升高而增加. 应力比  $\alpha$  为 0.45 和 0.65 时, 应力比越高, 相同应力比下温度从 600 °C 增加到 700 °C 导致的最大蠕变差异越小.

表 2 Q890 高强钢高温蠕变应变最大值

$\alpha$	$\varepsilon_{cr,max} / \%$			
	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C
0.45	—	—	16.122	104.993
0.55	—	—	31.472	35.933
0.65	0.065	1.453	35.811	52.702
0.75	—	2.856	—	—
0.85	0.249	13.506	—	—
0.95	0.293	—	—	—

2.3 蠕变速率-时间曲线及发展阶段划分 图 6 为 Q890 高强钢各温度及应力比下蠕变速率 ( $\varepsilon'_{cr}$ )—时间 ( $t$ ) 曲线 (红色虚线、对应右纵坐标).

从图 6 可见, 蠕变发展初始阶段, 速率从快到慢衰减很快, 然后进入较稳定的速率阶段, 部分试件最后进入加速发展阶段, 对应图 5 所示的 3 个阶段. 根据蠕变速率 ( $\varepsilon'_{cr}$ )—时间 ( $t$ ) 曲线, 将各参数下的蠕变曲线分成 3 个阶段, 如图 6 所示. 在温度较低时 ( $T=400$  °C 所有曲线以及  $T=500$  °C,  $\alpha < 0.85$  曲线), 蠕变曲线只有第 I 阶段和第 II 阶段, 其余情况均进入第 III 阶段蠕变.

### 3 蠕变模型

现有的蠕变模型有 Dorn 模型<sup>[4]</sup>、Harmathy 模型<sup>[5-6]</sup>、G. Williams-Leir 模型<sup>[7]</sup>、Burger's 模型<sup>[8-10]</sup> 和 Field&Field 模型<sup>[11]</sup>等. 本文采用 Field&Field 蠕变模型描述 Q890 高强钢的高温蠕变的发展. Field&Field 蠕

变模型包含3个参数,且每个参数都是温度的函数,适用于第I蠕变阶段和第II蠕变阶段.基于高温蠕变试验数据,可拟合得到3个参数取值.该模型的表达式为:

$$\varepsilon_{cr} = at^b \sigma^c, \quad (1)$$

式中: $\varepsilon_{cr}$ 为蠕变应变, $t$ 为时间; $\sigma$ 为应力; $a$ 、 $b$ 、 $c$ 分别为与温度有关的参数.

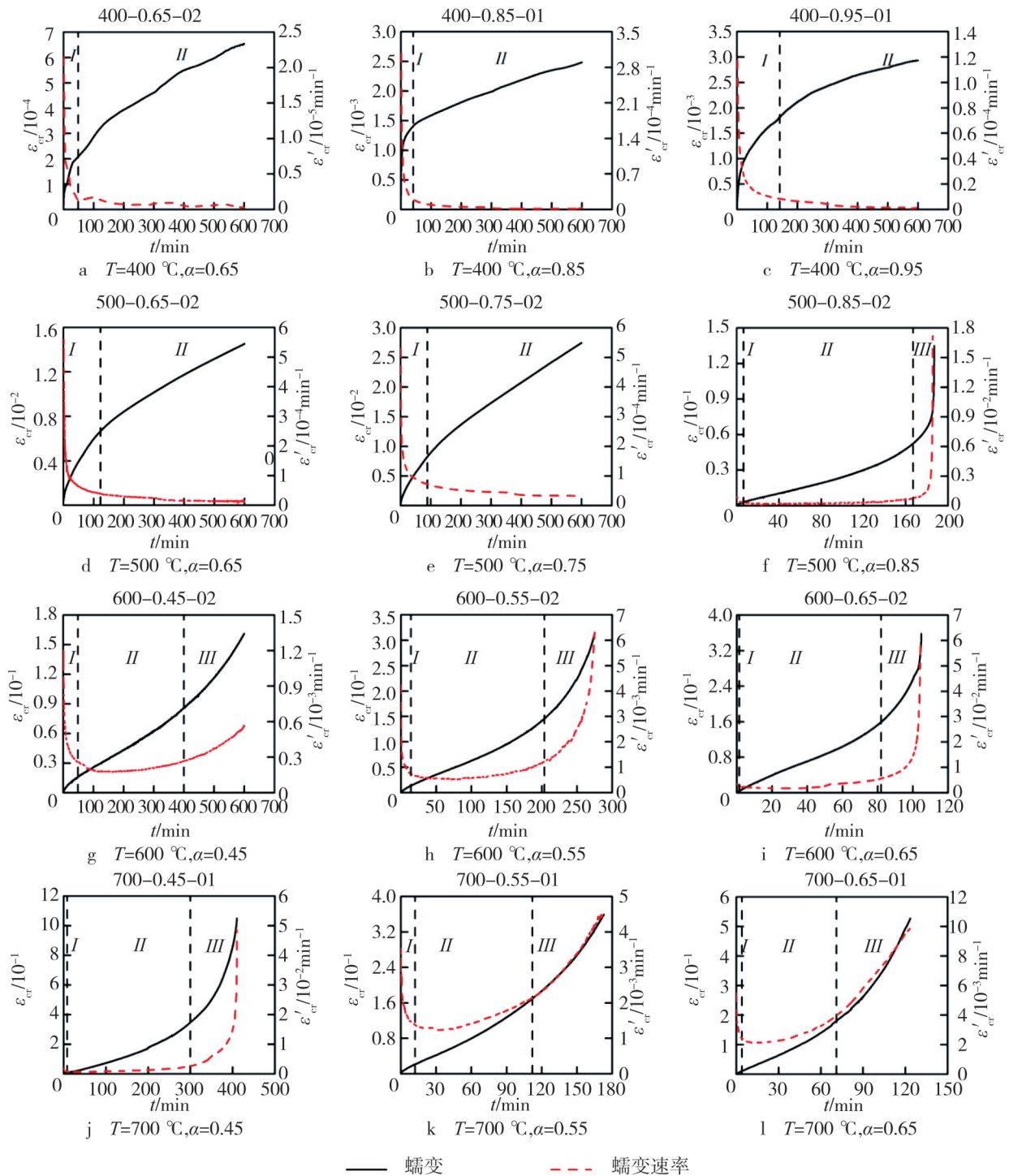


图6 Q890高强度钢高温蠕变速率曲线及蠕变3个阶段划分

表3为通过数据拟合后得到的各个温度下的Field&Field蠕变模型参数值,其关于温度( $T$ )的参数模型见式(2)~(4).去除第III蠕变阶段,将Field&Field蠕变模型曲线与试验曲线进行对比(图7),结果表明,二者吻合良好.

$$\log(a) = -1.485 3 \times 10^{-6} T^3 + 2.757 5 \times 10^{-3} T^2 - 1.644 1 T + 298.348 3, 400 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 700 \text{ }^\circ\text{C} \quad (2)$$

$$b = -3.105 3 \times 10^{-8} T^3 + 5.630 2 \times 10^{-5} T^2 - 0.029 5 T + 5.073 6, 400 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 700 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3)$$

$$c = 4.054 1 \times 10^{-7} T^3 - 7.816 7 \times 10^{-4} T^2 + 0.484 5 T - 91.315 5, 400 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 700 \text{ }^\circ\text{C} \quad (4)$$

表 3 Q890 高强钢 Field&Field 高温蠕变模型参数

温度(°C)	a	log(a)	b	c
400	7.15e-14	-13.145 5	0.302 05	3.362 32
500	1.04e-20	-19.984 8	0.526 87	6.192 01
600	5.83e-17	-16.234 5	0.946 13	5.550 73
700	1.56e-11	-10.806 6	1.373 51	3.870 95

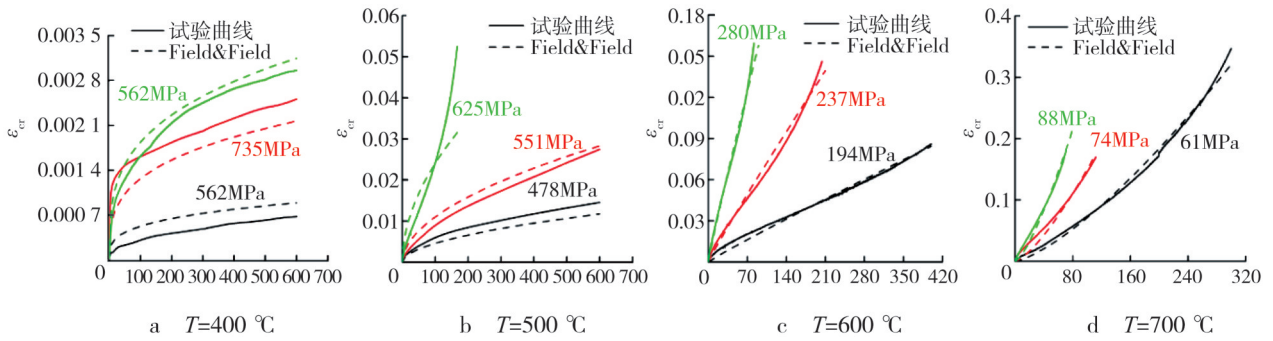


图 7 Field&Field 蠕变模型曲线与试验曲线对比

图 8 为本文 Field&Field 蠕变模型曲线与文献[15]蠕变曲线的对比,可见存在明显差异. 表 4 和表 5 分别为本文和文献[15]中 Q890 钢的化学成分和强度的比较. 从表 4 和表 5 可以看出, 本文与文献[15]的 Q890 钢的化学成分及强度存在明显差异. 相关研究<sup>[21-27]</sup>表明, 一些化学元素及其含量对钢或合金的高温蠕变存在明显影响. 受试验条件的限制, 目前针对元素变化对建筑结构钢高温蠕变性能影响的研究极少, 这一问题值得进一步探讨. 在缺乏大量蠕变试验数据和 Q890 钢高温蠕变模型的情况下, 本文仅结合文中的试验结果提出相应的蠕变模型, 其可靠性有待进一步研究, 但该模型仍能为描述 Q890 高强钢蠕变行为提供一定参考.

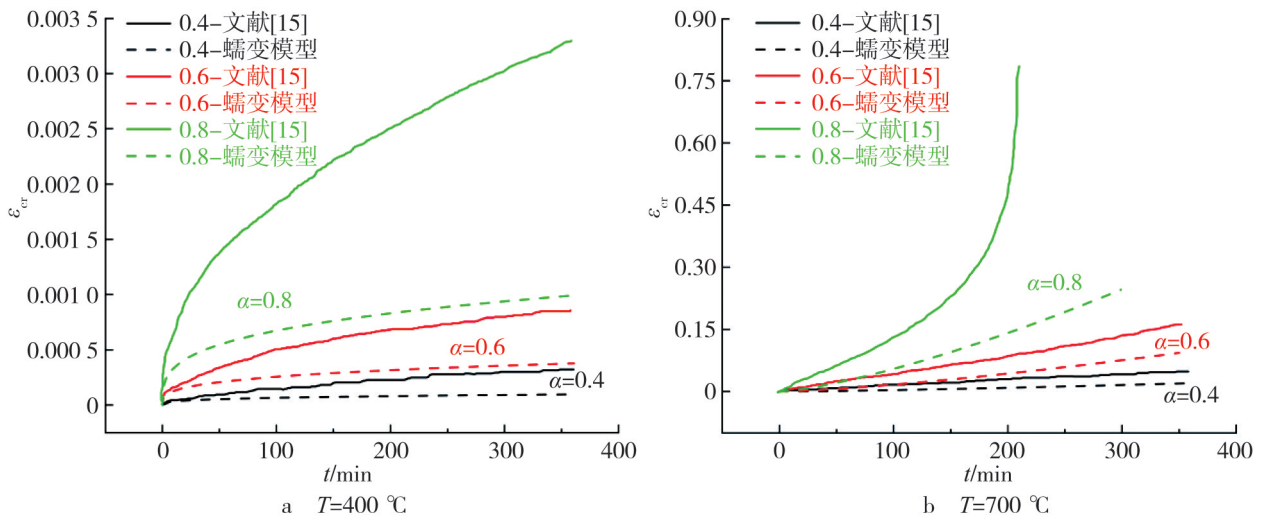


图 8 Field&Field 蠕变模型曲线与文献[15]试验曲线对比

### 4 结 论

(1) 温度和应力比对高温蠕变发展的程度影响显著. 相同应力比不同温度下, 温度越高, 高温蠕变发展越充分. 相同温度不同应力比下, 应力比越大, 高温蠕变发展越充分.

表4 本文与文献[15]Q890钢化学成分比较

化学成分	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Ti	Cr	Ni	Cu	Mo	B	Alt	Ceq
本文	含量/0.001%	171	336	1269	11	2	29	5	13	319	45	68	325	4	520
文献[15]	含量/0.001%	160	270	1220	12	5	1	4	11	340	130	30	170	42	481

表5 本文与文献[15]Q890钢强度比较

	$T/^\circ\text{C}$	$f_{t,0}/\text{MPa}$
本文	400	865.160
	700	134.635
文献[15]	400	765.0
	700	70.6

(2)Q890高强钢在400℃且应力比小于0.95时和500℃且应力比小于0.85时,高温蠕变发展仅包含第I和II阶段蠕变.500℃且应力比达到0.85时及温度达到600℃且应力比达到0.45时,高温蠕变发展包含完整的3个蠕变阶段.

(3)400℃时,即使应力比达到0.95,Q890钢的高温蠕变发展也相对较小.温度达到600℃时,在0.45的应力比下,其高温蠕变也有很大的发展.

(4)基于本文试验数据,拟合得到Q890高强钢的Field&Field高温蠕变模型,模型与试验曲线吻合良好.

### 参考文献:

- [1] Li G Q, Wang Y B, Chen S W. The art of application of high-strength steel structures for buildings in Seismic zones[J]. Advanced Steel Construction: An International Journal, 2015, 11(4):492-506.
- [2] Dwaikat M, Kodur V. Effect of location of restraint on fire response of steel beams [J]. Fire Technology, 2010, 46:109-128.
- [3] Kodur V, Dwaikat M, Fike R. High-temperature properties of steel for fire resistance modeling of structures [J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2010, 22(5):423 - 434.
- [4] Dorn J E. Some fundamental experiments on elevated temperature creep [J]. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 1954, 3(2):85-88.
- [5] Harmathy T Z. A Comprehensive creep model [J]. Journal of Basic Engineering, 1967, 89(3):496-502.
- [6] Harmathy T Z, Stanzak W W. Elevated-temperature tensile and creep properties of some structural and prestressing steels [J]. American Society for Testing and Materials Special Technical, 1970, 464 :186-208.
- [7] Willams-Leir G. Creep of structural steel in fire: analytical expressions [J]. Fire And Materials, 1983, 7(2):73-78.
- [8] Findley W N, Lai J S, Onaran K. Creep and relaxation of nonlinear viscoelastic materials [M]. New York: Dover Publications, 1976.
- [9] Brnic J, Turkalj G, Canadija M, et al. Creep behavior of high-strength low-alloy steel at elevated temperatures [J]. Materials Science and Engineering, 2009, 499(1-2):23 - 27.
- [10] Brnic J, Turkalj G, Canadija M, et al. Structural steel Astm A709—Behavior at uniaxial tests conducted at lowered and elevated temperatures, short-time creep response, and fracture toughness calculation [J]. Journal of Engineering Mechanics, 2010, 136(9):1083 - 1089.
- [11] Fields B A, Fields R J. The prediction of elevated temperature deformation of structural steel under anisothermal conditions [R]. [S. l.]: U. S. Departement of Commerce National Institute of Standards and Technology, 1991.
- [12] 王卫永, 闫守海, 张琳博, 等. Q345钢高温蠕变试验及考虑蠕变后钢柱抗火性能研究 [J]. 建筑结构学报, 2016, 37(11):47-54.
- [13] Wang W Y, Yan S H, Liu J P. Studies on temperature induced creep in high strength Q460 steel [J]. Materials and Struc-

- tures, 2017, 50(1): 68.
- [14] Wang W Y, Wang K, Kodur V, et al. Mechanical properties of high-strength Q690 steel at elevated temperature [J]. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2018, 30(5): 04018062.
- [15] 王欣欣, 李国强, 张超. 超 500 MPa 高强钢高温蠕变性能试验研究[J]. *建筑结构学报*, 2021, 42(1): 159-168.
- [16] 李国强, 黄雷, 张超. 国产超高强钢 Q890 高温力学性能试验[J]. *建筑科学与工程学报*, 2018, 35(3): 1-6.
- [17] 王卫永, 闫守海. 高强度 Q460 钢高温蠕变性能[J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2016, 44(6): 830-837.
- [18] 闫守海. 钢材高温蠕变性能试验研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2015.
- [19] 王康. 高强度 Q690 钢材高温力学性能研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016.
- [20] 李翔, 王卫永, 张艳红. 国产高强度 Q960 钢高温蠕变及其对钢柱抗火性能影响[J]. *土木工程学报*, 2021, 54(6): 26-34.
- [21] 于兴福, 周金华, 吴玉超, 等. 元素 V 对镍基柱状晶合金显微组织和高温蠕变性能的影响[J]. *材料研究学报*, 2016, 30(6): 465-472.
- [22] 艾卓群. 含 Cr 的  $\gamma'$  相强化 Co 基高温合金的元素分配, 点阵错配和蠕变行为[J]. *不锈*, 2019(2): 1-7.
- [23] 陈坤. 2. 25Cr1Mo 钢中杂质元素铈对其高温蠕变性能的影响[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.
- [24] 梁爽, 赵凤芹, 刘智鑫. 高温条件下 Ru 对镍基单晶合金元素浓度分布及蠕变性能的影响[J]. *中国有色金属学报*, 2020, 30(9): 2116-2126.
- [25] 张剑, 赵云松, 刘晨光, 等. 微量元素 B 对一种第二代镍基单晶高温合金组织和蠕变性能的影响[C]//第十三届中国高温合金年会摘要文集. [出版地不详]: [出版者不详], 2015: 125.
- [26] 周灿旭, 刘彬, 刘咏, 等. 元素 C 对  $\beta$ -TiAl 合金高温压缩及蠕变性能的影响[J]. *中国有色金属学报(英文版)*, 2017(27): 2400-2405.
- [27] 郭魁文, 朱健. 新型铁素体耐热钢 T/P91[J]. *品牌与标准化*, 2010(6): 47.

## Creep Behavior of Q890 High-Strength Structural Steel at Elevated Temperature

Wang Mouyuan, Wu Wanbo, Zeng Xiang, Cao Baozhu

(College of Civil Engineering and Architecture, Hainan University, Haikou 570228, China)

**Abstract:** In order to understand the creep behavior of Q890 high-strength structural steel at elevated temperature, in the report, the high-temperature creep tests of Q890 steel were performed under the condition of constant temperature and constant load. The parameters included temperature (400 °C, 500 °C, 600 °C, and 700 °C) and stress ratio (0.45-0.95). The creep versus time curves and creep rate versus time curves were obtained, and the data were analyzed. Based on the creep rate versus time curves, three stages of creep development at elevated temperature were determined. Finally, the parameters of the Field & Field creep model were acquired by fitting the test results, and the Field & Field creep model for Q890 steel at elevated temperature is in accordance with the experimental curves.

**Keywords:** Q890 high strength steel; creep test at elevated temperature; creep curves at elevated temperature; high-temperature creep model