

项目编号：

密级：

## 国家重点研发计划项目中期 执行情况报告

项目名称：\_\_\_\_\_

所属专项：\_\_\_\_\_

项目负责人：（签字）\_\_\_\_\_

项目牵头单位：（公章）\_\_\_\_\_

项目管理专业机构：\_\_\_\_\_

执行期限：\_\_\_\_\_年 月 至 \_\_\_\_\_年 月

中华人民共和国科学技术部制

20     年     月     日

## 编 报 要 求

### 一、内容说明

项目中期执行情况报告着重从组织实施角度, 围绕项目任务书的内容报告项目中期重要进展情况, 具体包括项目的总体目标及考核指标实现程度, 一体化组织实施及管理运行情况, 人员、资金等支撑条件落实情况, 项目和各课题经费使用情况等, 并报告中期执行过程中的重大事项及突出进展。

### 二、格式要求

文字简练; 报告的密级一般与任务书规定的密级相同; 报告文本统一用 A4 幅面纸, 文字内容一律通过“国家科技管理信息系统公共服务平台”在线填报; 报告文本第一次出现外文名称时要写清全称和缩写, 再出现时可以使用缩写。

### 三、编制程序及时间要求

项目中期检查前, 由项目牵头单位组织项目参与单位编制项目中期执行情况报告, 经项目负责人及项目牵头单位审核后, 按

照填报项目任务书时的用户名和密码, 登陆国家科技管理信息系统公共服务平台 (<http://service.most.gov.cn/>) 在线填写, 并由单位管理员审核提交专业机构审核确认。填报完毕后, 打印装订, 由项目负责人签字, 项目牵头单位盖章后, 报送专业机构。

涉密项目中期执行情况报告不得在线填写, 请在国家科技管理信息系统公共服务平台下载文档模板, 并按照保密规定进行填写、打印及报送。

# 编写大纲

## 一、总体进展情况

### 1.项目中期总体进展情况

对照项目任务书的计划目标和各项主要指标要求, 简要阐明项目中期进展情况, 评述项目中期任务的实施进展状态。

#### 1.1 项目年度计划及指标要求

年度	任务	考核指标	成果形式
2017 年 7 月 -2018 年 6 月	收集与存储已有镍基单晶高温合金材料计算数据; 开发主动学习的多层级交互式特征选择方法, 定性定量分析各种因素对性能的影响程度	实践机器学习及数据挖掘方法, 为提取“数据关联”规律作准备	提出一份提取已知单晶高温合金中的数据关联规律的初步报告
2018 年 1 月 -2019 年 6 月	使用机器学习方法挖掘高温合金数据, 根据不同的学习目标自适应地构造出多种学习器混合预测模型, 提高对性能的预测精度	开展以机器学习及数据挖掘为重点的数据关联分析	研发相关数据分析软件
2019 年 7 月 -2020 年 6 月	基于数据关联分析计算, 提取规律构建高通量并发式计算数据分析与管理软件	重点为发展机器学习及数据挖掘方法提出数据关联规律	研究报告及计算软件

2020 年 1 月 -2020 年 12 月	研究基于规则抽取的可解释性方法, 将机器学习学到的结果转为易于理解的 if-then-else 规则, 提高预测方法的可解释性	发展机器学习方法用于解析关联分析	研究报告或论文
----------------------------	---	------------------	---------

## 1.2 项目总体进展情况

我组的基本任务是针对单晶高温合金材料高通量并发式集成计算的数据中蕴含的复杂的数据关联, 引入机器学习及数据挖掘方法对其内在相关性进行分析, 探索高温合金材料性能预测方法、数据关联表征方法。面向高通量计算数据, 发展实现复杂数据分析与管理软件。因此, 本课题组紧紧围绕我们的基本任务, 从数据、算法、应用与平台四个方面展开了系统的研究, 采集到来自王院士 49 篇文献中的单晶高温合金计算、实验数据、来自文献 / 专利的蠕变性能数据和四年一届国际高温合金会议文献中合金成分-结构-工艺-性能数据, 为机器学习做好数据准备; 制定了一套数据挖掘与机器学习算法规范, 初步完成机器学习 / 数据挖掘算法库的研发, 并针对高温合金数据特点, 研发了多层级交互性特征分析方法, 定性定量分析各种因素对高温合金性能的影响程度; 基于以上研究, 研发了高温合金机器学习演示平台。工作进展情况如图 1 所示。

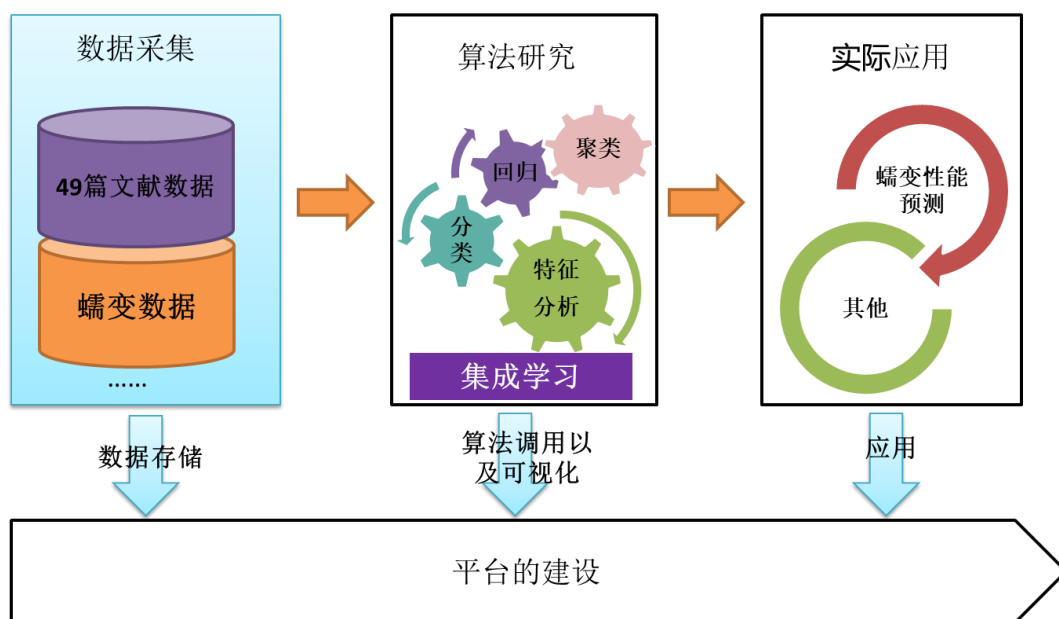


图 1 项目总体进展情况

### 1.2.1 高温合金数据采集和存储

#### (1) 王院士 49 篇文献数据的分类与存储

我组完成了王院士 49 篇文献的精读，并对 49 篇文献进行了分类，其中研究原子占位与分配 7 篇，力学性能 12 篇，原子扩散 3 篇，错配位错、位错网络、位错运动 19 篇，结构和界面 10 篇。我们收集了每一篇文献中存在的各类数据，包括图片数据 142 条、规则数据 89 条、文献信息数据 49 条（49 篇文献）以及表结构数据 235（高温合金性能数据）；同时，也对 49 篇文献出现的高温合金性能描述因子进行了归纳和分类，主要分为以下 4 大类：合金化元素占位和相分配（晶格常数、结合能、占位形成能、原子择位能等）；错配位错、相界面裂纹、位错运动（裂纹方向、晶格捕获上限、晶格错配度等）；扩散（空位形成能、原子迁移能）；力学性能（弹性刚度常数、杨氏模量、剪切模量等），如图 2 所示。

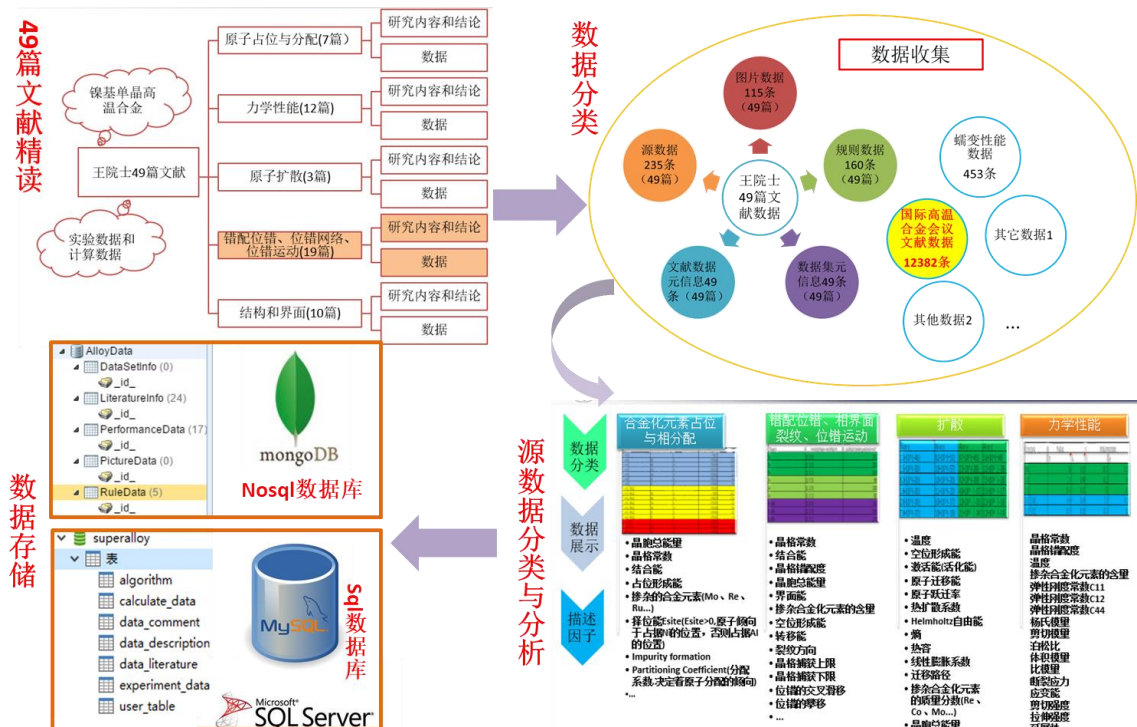


图 2 王院士 49 篇文献数据采集、分类与存储

## (2) 蠕变性能数据的采集与存储

另外，我组也通过查阅大量文献，从表 2 中列出的文献和专利中采集了镍基单晶高温合金的成分-工艺-蠕变性能数据 453 条，部分数据如表 3 所示。

表 2 镍基单晶高温合金蠕变相关文献和专利

编号	作者	所属机构	中文名
US5888451A	Maxim KonterMichael NewnhamChristoph Tonnes	ABB Research Ltd	ABB 研究有限公司(瑞士)
US4885216A	Subhash K. Naik	Avco Corp	阿夫科公司(美国)
US5399313A	Earl W. RossCarl S. WukusickWarren T. King	General Electric Co	通用电气公司(美国)
US5100484A	Carl S. WukusickLeo Buchakjian, Jr.Ramgopal	General Electric Co	通用电气公司(美国)

	Darolia		
US006051083A	Hideki Tamaki	Hitachi Metals	日立金属(日本)
US4765850A	Frederick A. Schweizer	Honeywell International Inc	霍尼韦尔国际公司(德国)
US5077004A	Frederick A. Schweizer Xuan Nguyen-Dinh	Honeywell International Inc	霍尼韦尔国际公司(德国)
US4207098A	Stuart W. Shaw	Huntington Alloys Corp	亨廷顿合金公司(英国)
US5925198A	Niranjan Das	India Defence Ministry of Research and Development Organization	印度国防部研究与发展组织(印度)
US4707192A	Michio Yamazaki Toshihiro Yamagata Hiroshi Harada	National Research Institute for Metals	国家金属研究所(日本)
US4629521A	Gernant E. Maurer William J. Boesch Jean M. Theret	Special Metals Corp	特种金属公司(美国)
US4209348A	David N. Duhl Walter E. Olson	United Technologies Corp	联合技术公司(美国)
US4222794A	Frederick A. Schweizer David N. Duhl	United Technologies Corp	联合技术公司(美国)
US4371404A	David N. Duhl Xuan Nguyen-Dinh	United Technologies Corp	联合技术公司(美国)
US4719080A80 A	David N. Duhl Alan D. Cetel	United Technologies Corp	联合技术公司(美国)



US4908183A	Stephen ChinDavid N. Duhl	United Technologies Corp	联合技术公司(美国)
------------	---------------------------	--------------------------	------------

表 3 镍基单晶高温合金蠕变性能部分数据

Alloy	Ni_wt	Re_wt	Co_wt	Al_wt	Ti_wt	V_wt	Mo_wt	Cr_wt	Ta_wt	C_wt	B_wt	Y_wt	Nb_wt	Hf_wt	solutio n_treat ment_ti me	1st_ste p_sing le_treat ment_ti me	2nd_step _aging_t _time	solutio n_treat ment_t _time	1st_step _aging_t _time	2nd_step _aging_t _time	temperat ure	applied stress	creep_li fe	
1	59.885	0	10	5	2	12	0	9	0	0.1	0.015	0	0	0	2	4	4	32	1204	870	1093	138	30	
2	65.146	3.1	7.5	5.9	1.5	0	3.65	8	5	0.05	0.004	0	0	0.15	2	4	4	16	1307	1080	898	1148	90	30
3	67.281	3	6	6	1	3	1.5	7	6	0.004	0.05	0.015	0	0.15	2	4	4	16	1307	1080	898	1093	138	30.2
4	64.2945	3	7.5	6.5	0	3	1.5	8	6	0.05	0.004	0.0015	0	0.15	2	4	4	16	1307	1080	898	1093	138	31.6
5	62.5	0	5	5	1.5	4	0	10	12	0	0	0	0	0	0	4	4	32	1285	1080	870	982	248.4	33
6	67.281	3	6	6	1	3	1.5	7	6	0.004	0.05	0.015	0	0.15	2	4	4	16	1307	1080	898	871	852	35.1
7	63.896	6	7.5	6.4	0	2	0	8	6	0.05	0.004	0	0	0.15	2	4	4	16	1307	1080	898	1093	138	35.4
8	64.2945	3	7.5	6.5	0	3	1.5	8	6	0.05	0.004	0.0015	0	0.15	2	4	4	16	1307	1080	898	1148	90	39.2
9	62.5	0	5	5	1.5	4	0	10	12	0	0	0	0	0	0	4	4	32	1285	1080	870	871	817.5	40
10	64.896	3	7.5	6.5	1	3	0.5	5	8	0.004	0.05	0.05	0	0.5	2	4	4	16	1307	1080	898	1093	138	42.3

### (3) 国际高温合金会议文献中成分-结构-工艺-性能数据的采集、分类与存储

为了采集更多的镍基单晶高温合金性能数据，更为准确地探索和揭示出合金成分-结构-工艺-性能之间的关系。我组采纳了王院士的建议，检索和下载了每四年一次的国际高温合金会议相关论文集。我们还通过北京科技大学尹海清老师的**国家材料数据共享平台**获得了**四年一届国际高温合金会议文献**中的所有数据，并在我们的平台中进行了存储，经过数据清洗、数据预处理后，目前已获得高温合金数据 **12382** 条。数据详细情况如图 3 所示，其中主要包括力学性能数据 7433 条，蠕变性能数据 3310 条，物理性能数据 536 条，热学性能数据 413 条，化学性能数据 597 条，其他 93 条。

我组专门对高温合金会议文献中蠕变性能数据进行了详细解读，并将影响蠕变性能的描述符（材料特征）划分为合金成分、热处理工艺、铸造工艺、试验条件和合金微观组织等五大类，如图 4所示。对每一类别蠕变描述符（特征）影响蠕变行为的机理进行如下的分析与总结：① 合金化元素：20%左右的 Co、Cr、Mo、Ru、Re 等难熔合金元素的添加很大程度上提升合金的组织稳定性和蠕变性能。然而，一方面 Re、Ru 元素的掺杂提高了合金的成本，另一方面难熔元素的大量添加容易造成铸造缺陷的

形成，不利于合金力学性能的提高，C、B 和 Hf 等微量元素，可以强化晶界，改善  $\gamma'$  相的形貌有助于提高合金的蠕变性能和持久寿命；② 合金的微观组织结构： $\gamma'$  相的尺寸和体积分数和形态与合金的蠕变性能密切相关。③ 蠕变实验测试条件；④ 热处理工艺直接影响着  $\gamma'$  相的形态、尺寸和体积分数，进而对合金的持久性能和蠕变性能产生影响；⑤ 铸造工艺的合理与否决定着铸件上是否会出现缩孔、缩松、变形、裂纹等缺陷

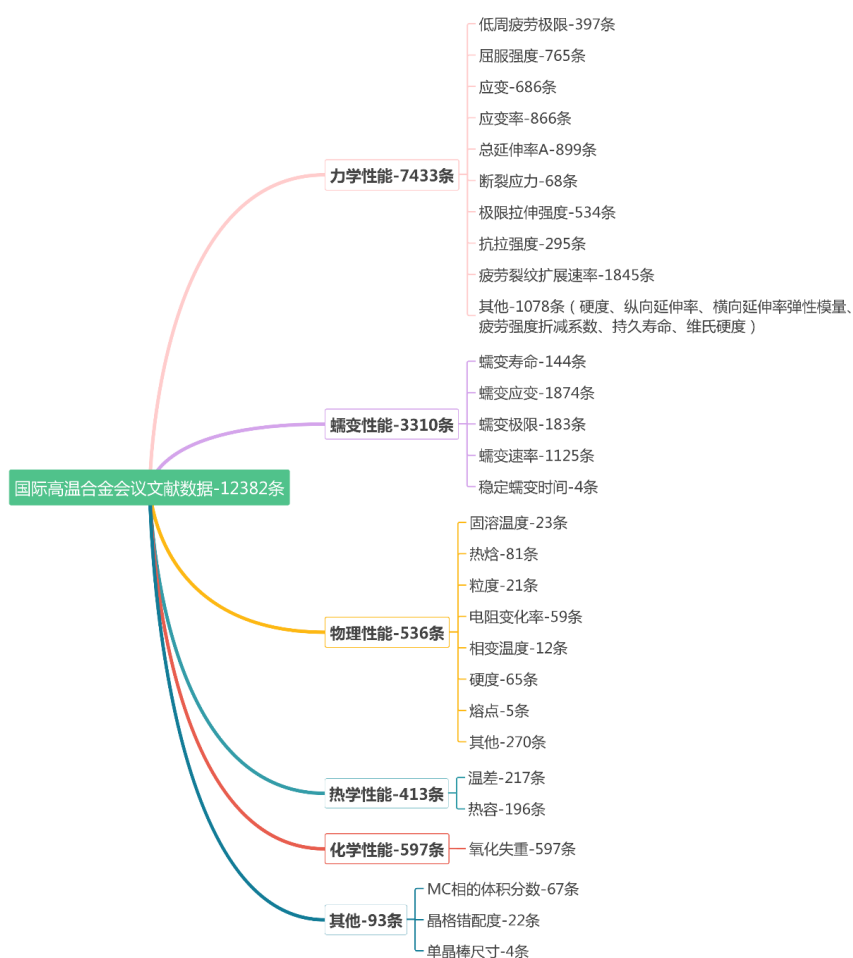


图 3 国际高温合金会议文献数据概况

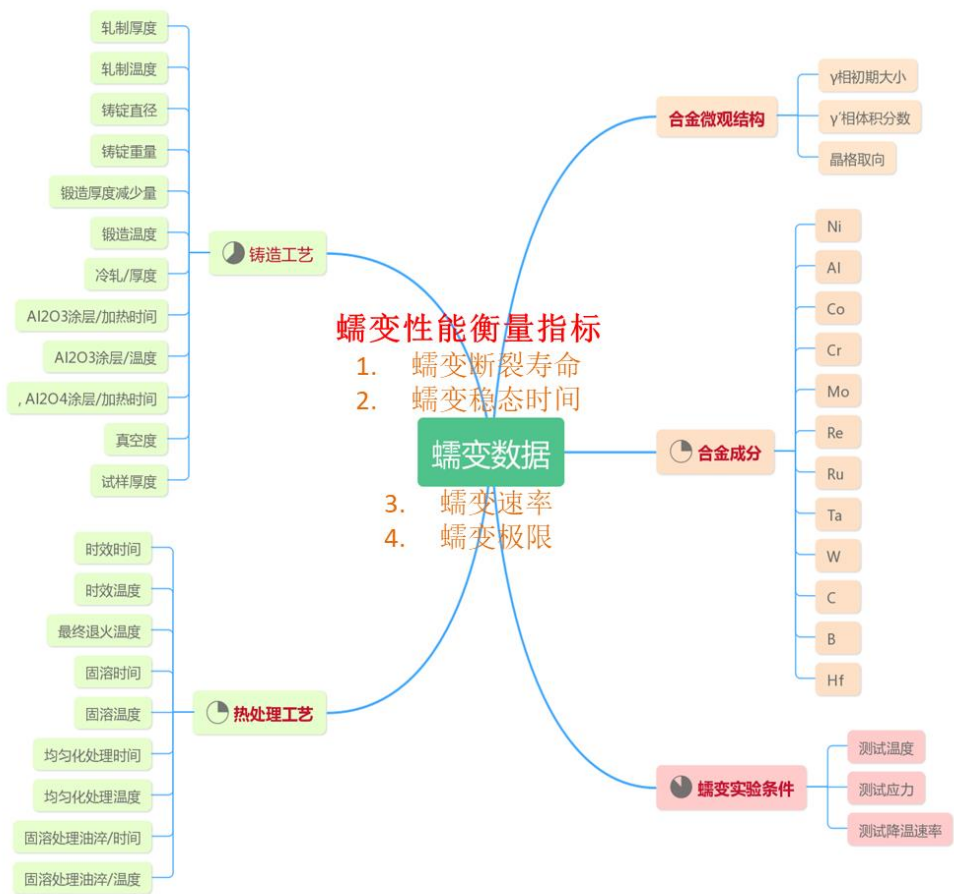


图 4 国际高温合金会议文献蠕变性能描述符的归纳与分类

## 1.2.2 面向蠕变性能的数据关联分析与预测

### (1) 结合领域专家知识的多层级交互特征分析方法

目前的特征选择算法选择特征时存在不稳定性，可能会剔除专家认为关键的特征给剔除掉，这一方面可能会影响材料领域专家对新属性的计算；另一方面也可能降低机器模型的预测精度。因此在进行特征选择时，需要综合考虑领域专家经验、机器学习模型的预测精度等因素，协同完成特征分析。因此课题组针对上述问题，提出并完

成了结合领域专家知识的多层级交互特征分析方法，流程如图 5所示。针对高温合金数据可能存在的稀疏性、冗余性、不相关性、高维度等问题展开了逐层的特征分析，初步设计与实现了专家经验的表示和融入方法，特征分析的阈值确定以及算法筛选条件的学习，模型选择和多目标评价函数的确定，并设计了特征重要性集成方法。利用该方法可以定性定量分析各种因素对高温合金性能的影响程度。

多层级交互式特征分析方法集成了多领域专家的知识 and 经验，并对特征分析得到的结果采用机器学习模型进行验证。算法、模型验证、领域专家经验三者共同保证筛选特征子集的质量。该方法在获得最优特征子集的同时，也能有效的分析属性与属性之间的关联关系，属性与性能之间的因果关系。

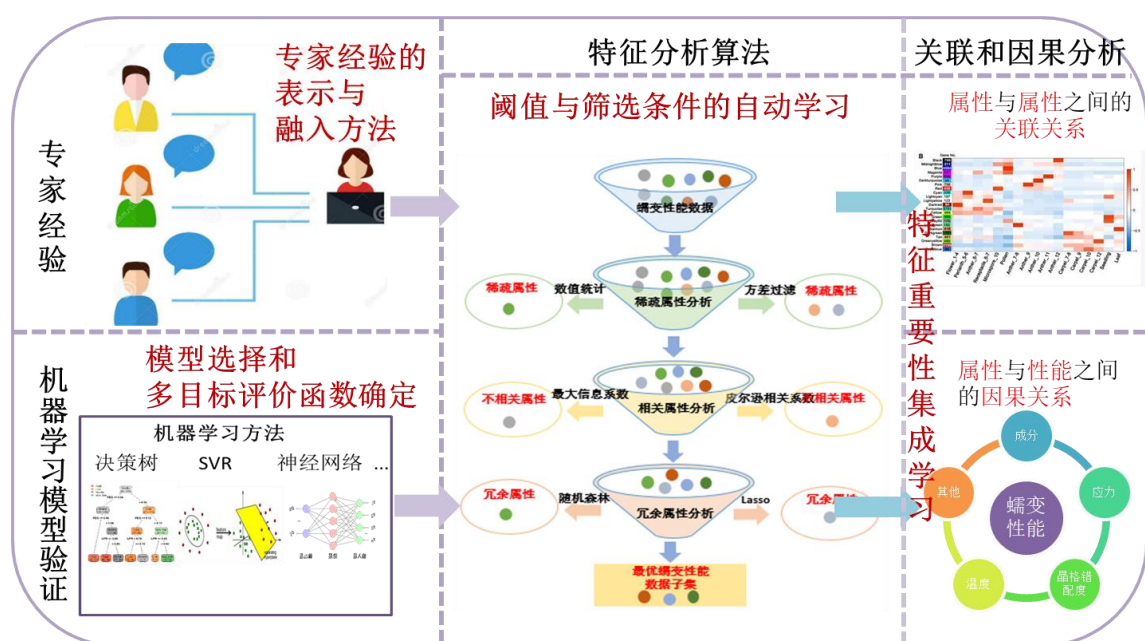


图 5 结合领域专家知识的多层级特征分析方法

为了验证我们提出的特征分析方法的有效性和可行性，我们将计算好蠕变新属性的 78 条蠕变性能数据作为学习样本，样本成分维度 14 维，包括 Ni, Re, Co, Al, Ti, W, Mo, Cr, Ta, C, B, Y, Nb, Hf 各元素的质量分数，热处理维度 6 维，包括固溶温度、固溶时间、

第一阶段时效处理温度、第二阶段时效处理温度、第一阶段时效处理时间、第二阶段时效处理时间，外部条件维度 2 维，包括外部温度、外部应力，目标属性（蠕变断裂寿命）1 维，计算新属性 5 维，包括  $\gamma'$ 相摩尔分数、堆垛层错能、晶格常数、剪切模量、晶格扩散系数。

首先，我们对样本数量为 78 条，描述因子有 27 个的蠕变性能数据进行稀疏属性分析。稀疏属性指的是当属性值为离散值时比如 0,1，如果其中某个离散值的数量超过总数的 95%，说明该离散值对应的属性为稀疏属性；当属性值为连续值时，如果属性值的方差小于给定阈值时，也说明该属性为稀疏属性。通过稀疏属性分析可以过滤一些稀疏属性，使得各个属性值的分布尽可能均匀，从而为后续的数据分析提供良好质量的数据，提高机器学习的预测精度。如图 5 所示，根据专家经验，稀疏值阈值设定为 95，从左图可以看出 Y（钇）元素的质量分数和 2sat（二阶段时效处理时间）这两个离散属性的稀疏值大于 95，因此它们都是稀疏属性。依据专家经验，属性方差阈值设定为 0.01，从右图中可看出所有连续属性方差都大于 0.01，因此保留全部的连续属性。稀疏属性分析后，保留了 25 个属性。

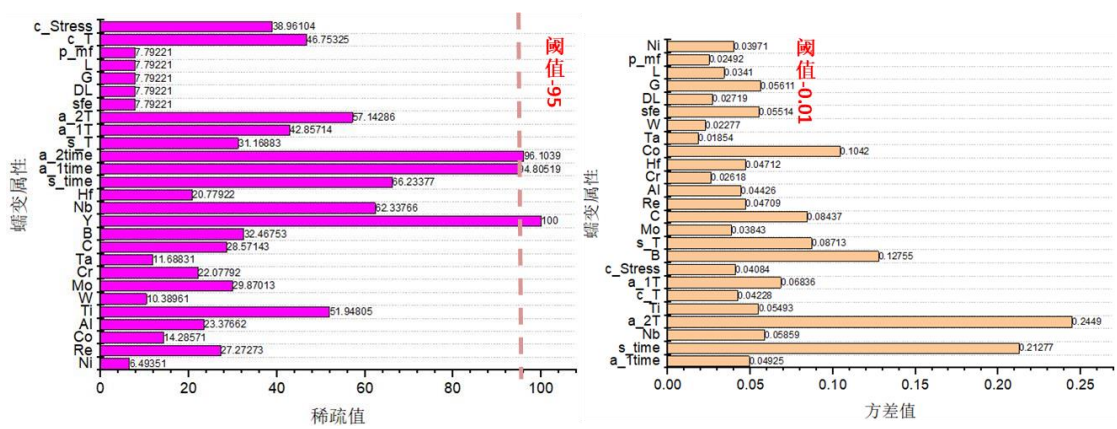


图 6 稀疏属性分析结果



其次，蠕变性能数据在经过稀疏属性分析后，虽然消除了特征集中存在的稀疏信息，但特征集中仍然可能存在不相关信息、冗余信息。因而我们对蠕变数据做了相关属性分析。相关属性分析可以过滤无关或弱相关的属性，保留最相关的属性，使得条件属性与决策属性之间的相关性较强，从而为后续的数据分析提供良好质量的数据，提高机器学习的预测精度。从图 7 中可以看出，固溶处理中，s\_time(固溶处理时间)的相关系数最高为 0.63，s\_T(固溶温度)的相关系数为 0.36。

合金化元素中，相关系数比较高的是 Co(0.43) Nb(0.34) Al(0.3) Re(0.3)。微观属性中，剪切模量 G 的相关系数为 0.4，层错能 sfe 为 0.32，扩散系数 DL 为 0.29，晶格常数 L 为较低的 0.08 这里和蠕变关系比较大的外部应力 c\_Stress 的相关系数为 0.04，因为 78 条样本中，大部分的应力是相同的。依据专家经验，相关系数阈值设定为 0.02，从左图可以看出，所有的蠕变属性（25 个）与决策属性（蠕变断裂寿命）之间的相关系数都大于 0.02，因此保留了全部属性。

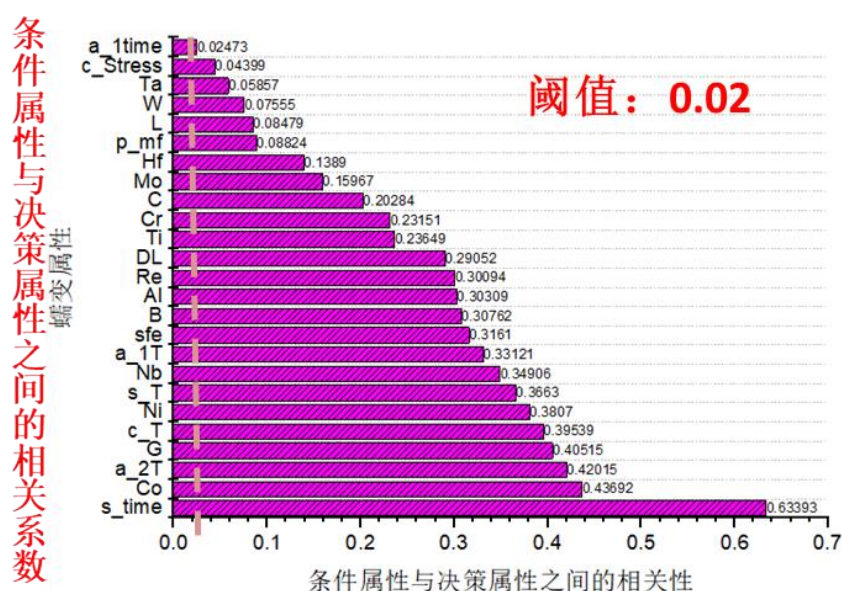


图 7 相关属性分析

[illegible]

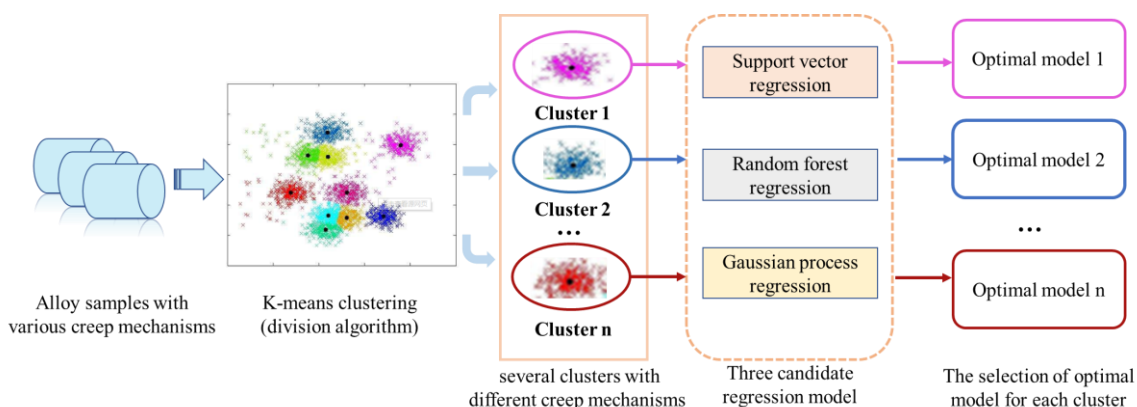
— 15 —

## (2) 基于聚类的最优回归集成方法

### (i) 方法的思想 and 过程

材料数据通常呈现小样本、高维度和分布不均匀的特点，综合样本物理背景的复杂性，所以难以找到一种单一的模型对高维且具有一定物理复杂性背景的小样本进行建模。针对这个问题，我们提出了基于聚类的最优回归集成学习方法。

方法框架如图 4 所示，对于输入的学习样本，首先把它投射到特征空间并利用聚类的方法把样本划分为不同的簇，其中簇内样本的特性相似、簇间样本的特性不同；针对不同的簇，依据预测的精度从候选的支持向量回归、随机森林回归以及高斯过程回归等三种回归模型中选择最优的模型，最后通过异构集成的方法集成模型。



基于聚类的最优回归集成学习方法

### (ii) 蠕变断裂寿命预测中的应用

我组通过收集并整合了文献和专利的图片数据、表格数据和文本中的数据，初步得到了 453 条蠕变数据，考虑到专利数据的完整性，最后用于蠕变寿命预测的数据全部选择专利，横向看，一共 402 条蠕变数据，纵向看，它包含了 25 个维度，其中有关于成分的 14 维：Ni, Re, Co, Al, Ti, W, Mo, Cr, Ta, C, B, Y, Nb, Hf，热处理的 6 个维度：



固溶处理的时间和温度，两个阶段时效处理的时间和温度，外部条件的 2 个维度：温度和应力，还有目标属性：蠕变断裂寿命、蠕变断裂应变和到达指定应变的时间。

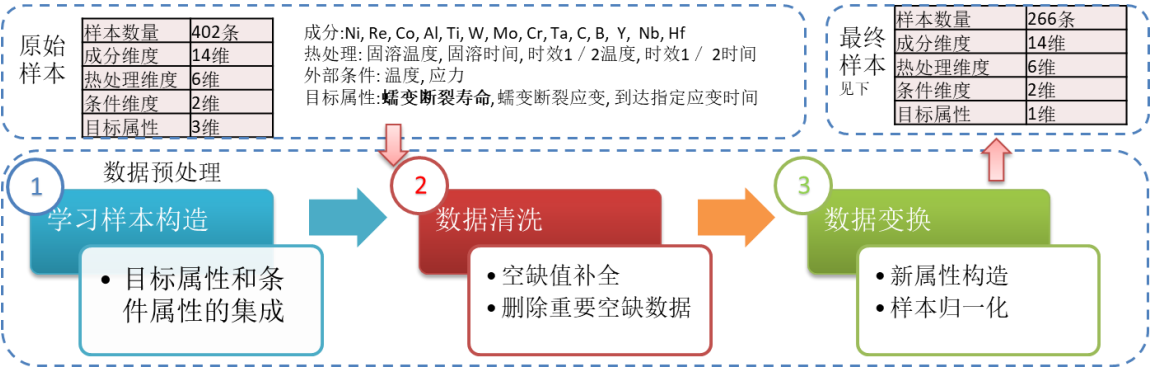


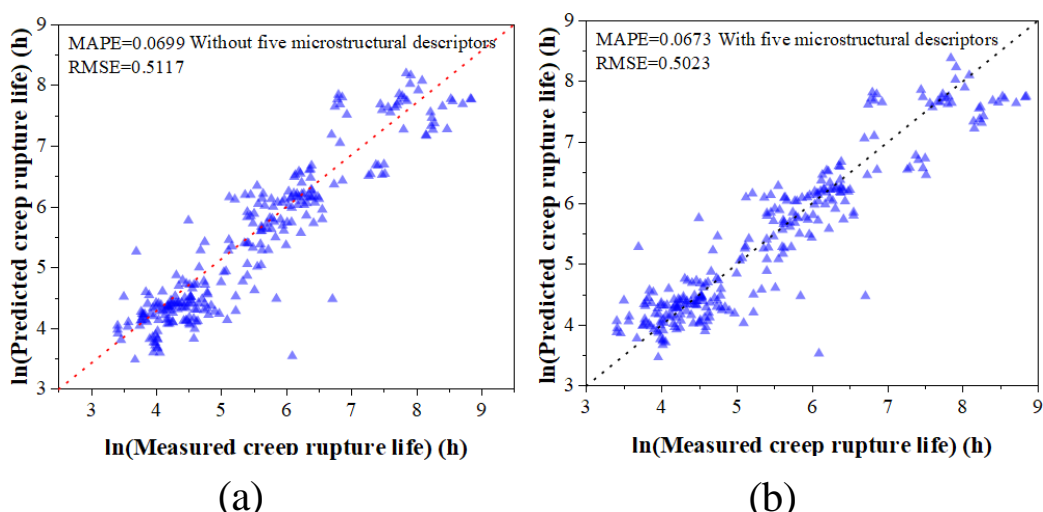
图 5 数据预处理的步骤

由于原始的样本存在空缺值、不一致和不同维度数值差异大等问题，不能构成学习样本，为此，我组对原始数据进行了数据预处理，如图 5 所示。首先时目标属性和条件属性的集成，目标属性选定为蠕变断裂寿命，条件属性则保留了所有的成分、热处理和外部条件；其次对数据进行了清洗，包括了一些成分空缺值的补零处理、缺失热处理样本的删除；最后对所有数据进行了归一化处理，最终形成了可学习样本 276 条。

之后对上述的样本进行了数据质量检查和分析，通过求解各个属性的均值、方差、最小值、1/4 位数、中位数、3/4 位数、最大值、偏度和范围。通过分析，可以得出了两个重要的结论：第一，外部条件变化幅度大，包含了高温高应力、高温低应力、低温高应力、低温低应力这四种不同的情况，而在这四种外部条件下蠕变的机理存在一定的差异，第二，这 276 条样本中包含了不同体系(包含了 1 2 3 4 代)的合金，而不同体系合金的蠕变机理也存在较大的差异。而在现有的小样本的情况下，不适合对所有体系的合金统一建模。

针对上述的问题，基于聚类的最优回归集成学习方法首先依据合金的宏观、微观多尺度的特性以及外部环境因素，采用聚类将其聚成不同的合金类，然后基于聚类划分的结果，针对不同性能的合金类以预测精度为学习目标采用集成学习方法为每类合金构建适合的模型。

为了验证添加这 5 个计算的微观结构因子是否能更准确、更有效地揭示蠕变行为，我们采用 BPNN 分别在没有这些描述符和有这些描述符的蠕变数据集上进行了预测实验。实验结果如图 6 所示。100 年平均日军和 RMSE 迭代数据集上的摘要没有这些微观结构描述符分别为 0.0699 和 0.5117,如图 6 所示(一个)。如图 6 所示(b),与这些微观结构描述符的数据集,摘要达到较高的预测精度与日军和 RMSE 0.0673 和 0.5023,这表明引入新计算的微观结构参数确实可以更全面、准确地了解蠕变行为。



而通过实验验证，如图 6 所示，聚类方法区分出了不同体系的合金和不同的外部条件。

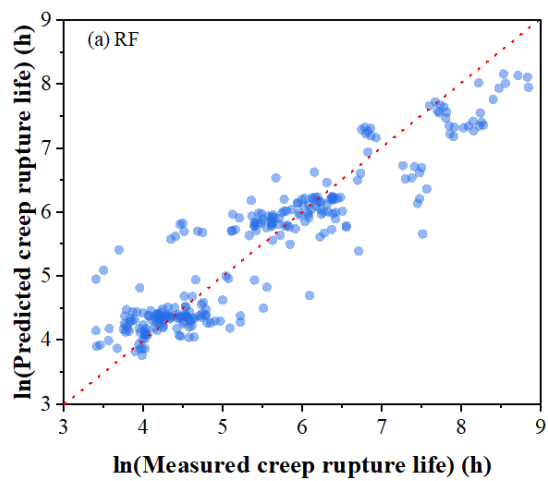
图 6 聚类中心

其次,如图 7 所示,对比单一模型预测结果,基于聚类的最优回归集成学习方法能够更加准确的预测蠕变断裂寿命。

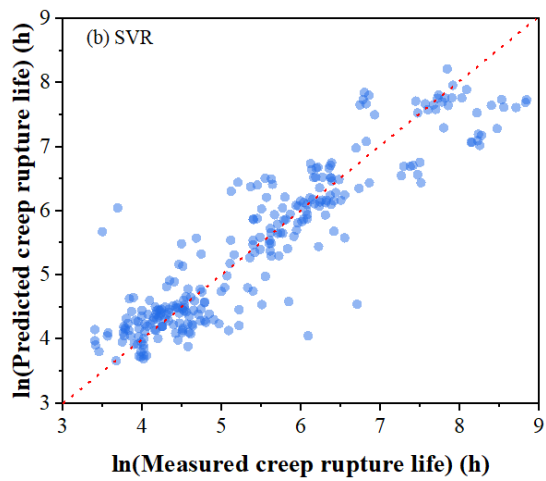
图 7 基于聚类的最优回归集成学习模型和单一预测模型的预测精度对比

如图 8 所示,虽然总体的预测精度提高,但还存在部分样本的预测误差相比未聚类方法更高。

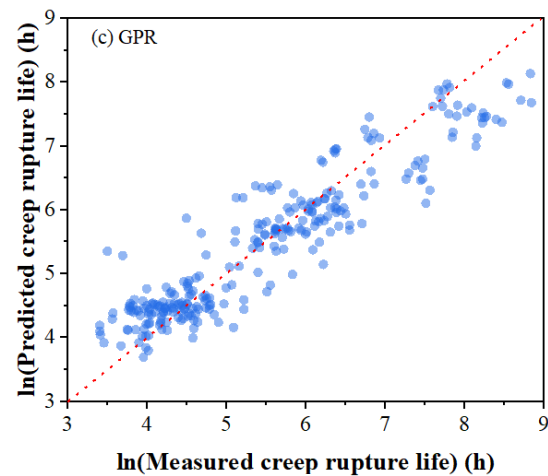
为了进一步证明基于分治的自适应学习方法的有效性,采用了 RF、SVR、GPR、BPNN、MLR 和我们的模型 DCSA 五种最先进的回归模型来预测蠕变断裂寿命。模型训练性能如图 10 所示,横轴为实测蠕变断裂寿命(实测值),纵轴为预测蠕变断裂寿命(预测值)。将上述六种模型预测的蠕变断裂寿命值作为实测值的函数绘制出来。图沿 45° 对角线排列越紧密,预测的蠕变破坏寿命与实测的蠕变破坏寿命越一致。由图 10 (f) 可以直观地看出,DCSA 模型拟合效果很好,其中 6 个回归模型的  $MAPE$  和  $RMSE$  值如图 11 所示,其中蓝色的条形表示  $MAPE$ ,绿色的条形表示  $RMSE$ 。可以看出,与其他 5 个基线模型相比,DCSA 模型的  $RMSE$  和  $MAPE$  值最低,分别为 0.0359 和 0.0304,表明该模型具有较好的预测性能。



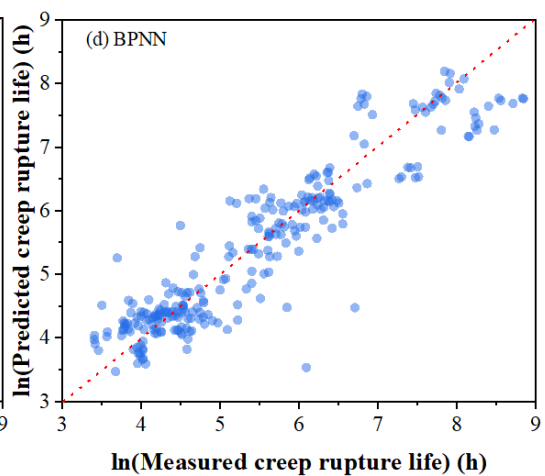
(a)



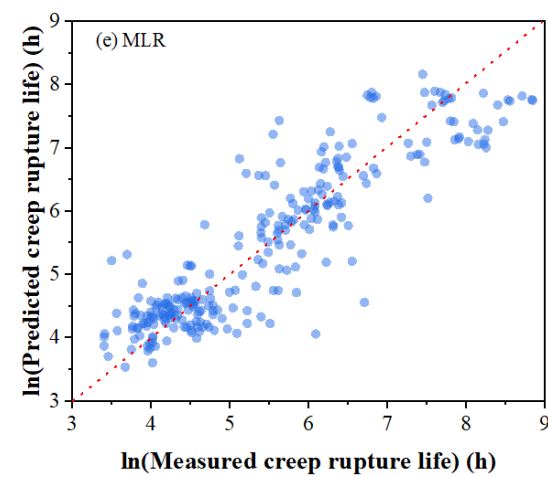
(b)



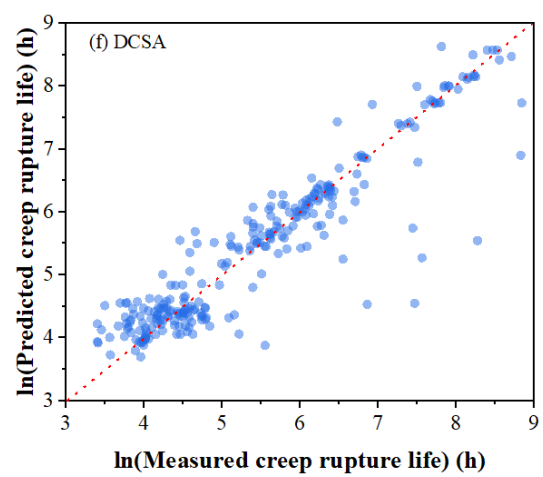
(c)



(d)



(e)



(f)

图 8 6 种机器学习模型对采集的蠕变数据集的预测性能。(a)随机森林(RF);(b)支持向量回归(SVR);(c)高斯过程回归(GPR);(d)反向传播神经网络;(e)多元线性回归(MLR);(f)我们提出的方法(DCSA)。

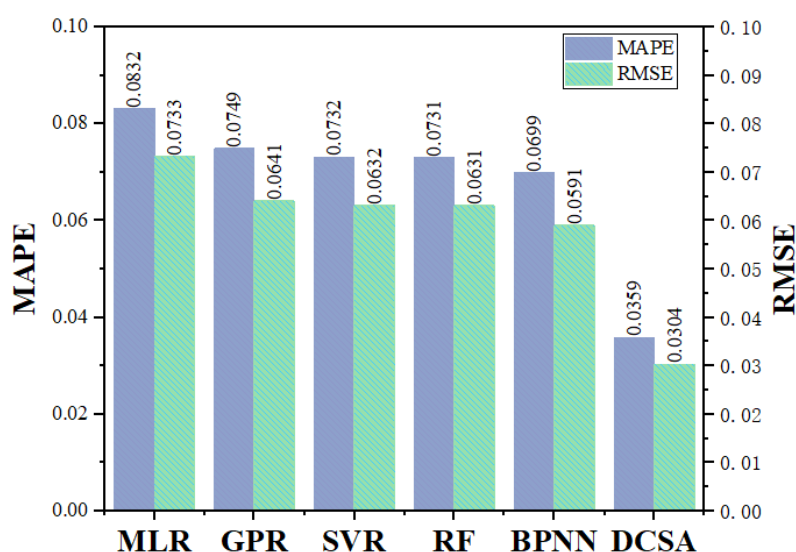


图 9. 蠕变数据集上不同机器学习模型的  $MAPE$  和  $RMSE$

### (3) 基于聚类的蠕变性能优劣关联分析与规则抽取

针对收集到的高温合金蠕变性能数据，不单单只是希望能够通过回归分析方法准确高效地预测合金的蠕变断裂寿命，而且也需要重点聚焦于蠕变性能优劣的关联分析和规则抽取，利用提取的规则或知识指导高温合金设计和发现，最终以获得一种综合性能优异的高温合金。

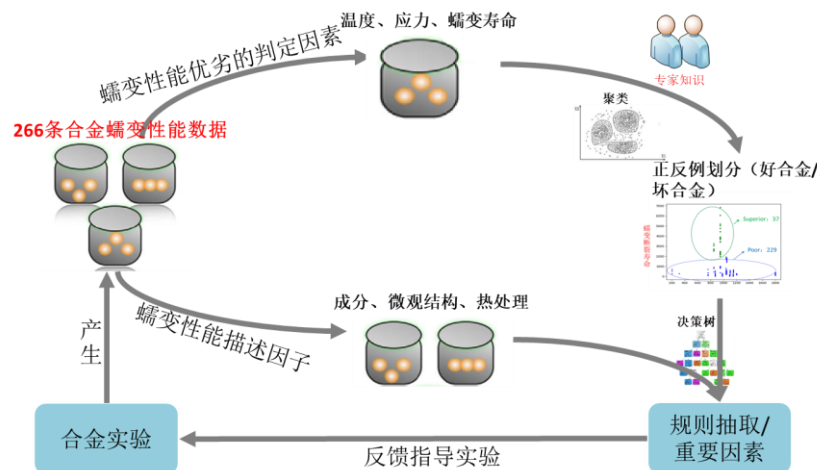
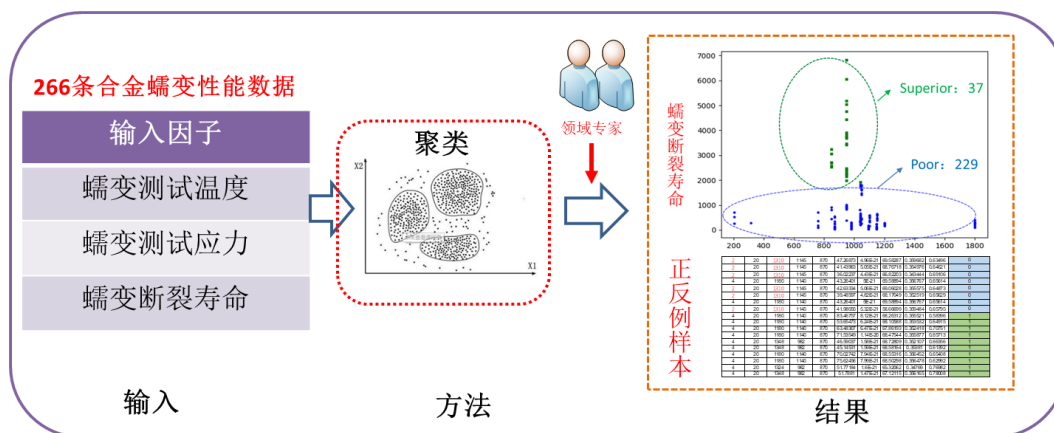


图 7

在采集的合金蠕变断裂寿命数据中，考虑到蠕变性能的优劣（superior/poor）可以由蠕变测试温度、蠕变测试应力、蠕变断裂寿命三个条件来决定，因而我们选取这三个因素，利用聚类分析方法和领域专家知识来对合金蠕变性能的优劣进行正反面划分。



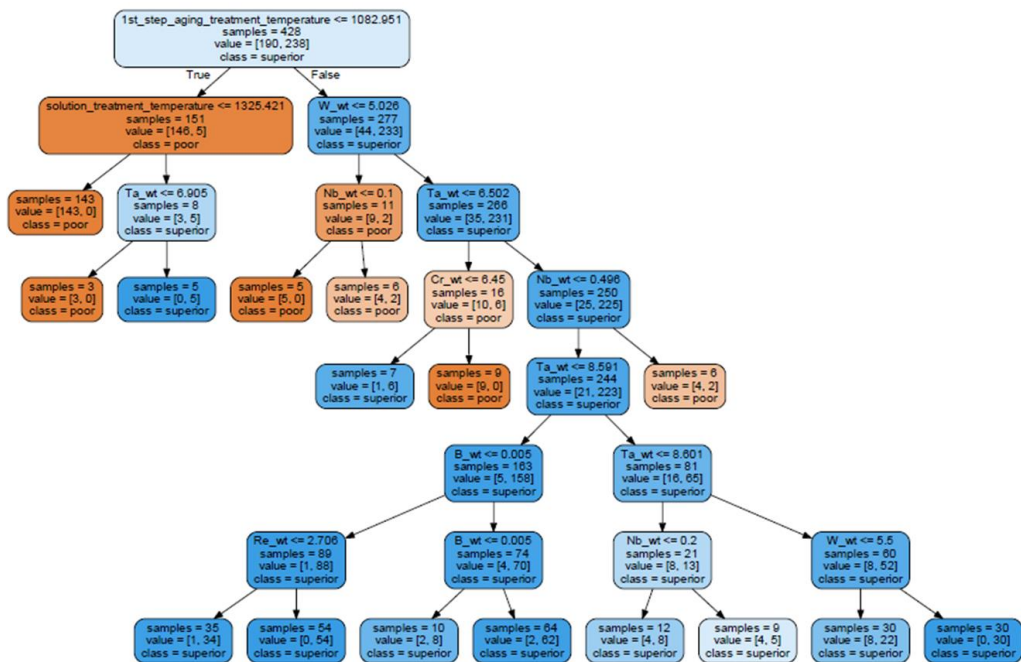


图 8 基于合金组分与热处理工艺的蠕变性能决策树

正例规则：

- 1.if 第一阶段时效处理温度 1082.951, 固溶处理温度>1325.421, Ta 元素的质量分数>6.905, then **superior**;
- 2.If 第一阶段时效处理温度 1082.951, W 元素的质量分数> 5.026,Cr 元素的质量分数 6.45.then **superior**;

反例规则：

- 1.if 第一阶段时效处理温度 1082.951, 固溶处理温度>1325.421, Ta 元素的质量分数<6.905, then **poor**
- 2.If 第一阶段时效处理温度 1082.951, W 元素的质量分数 5.026,then **poor**

...

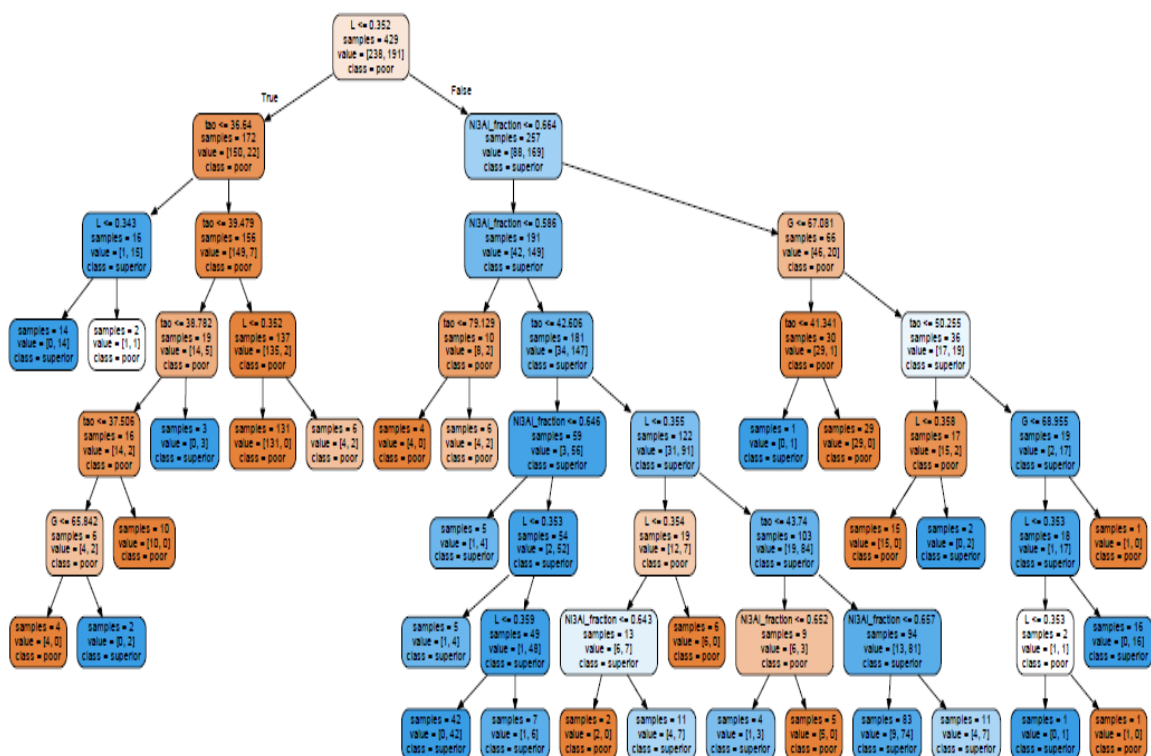


图 8 基于计算新属性的

正例规则：

- 1.if 点阵常数  $0.343 \leq L \leq 0.352$ , 层错能  $\tau \leq 36.64$ , then **superior**;
- 2.If 点阵常数  $> 0.352$ ,  $0.646 \leq \text{Ni}_3\text{Al 相的体积分数} \leq 0.664$ , 层错能  $\leq 42.606$ , then **superior**

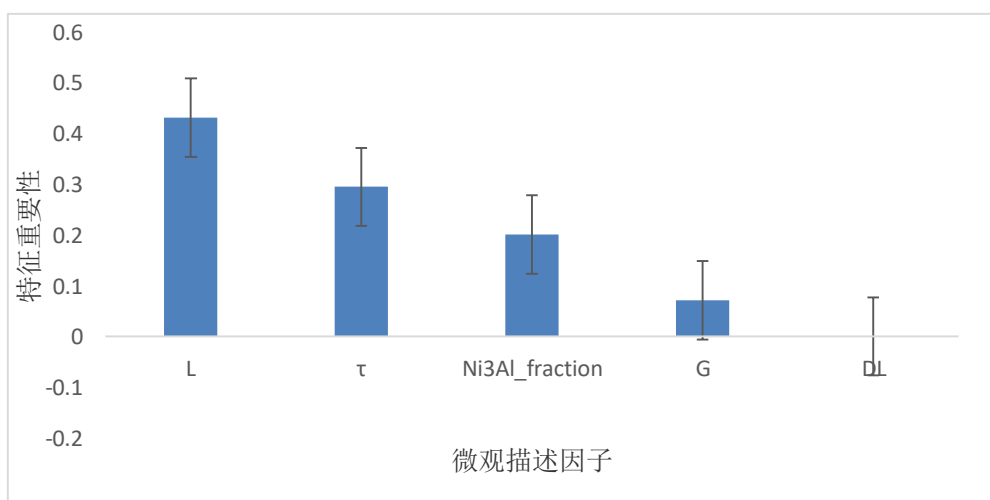
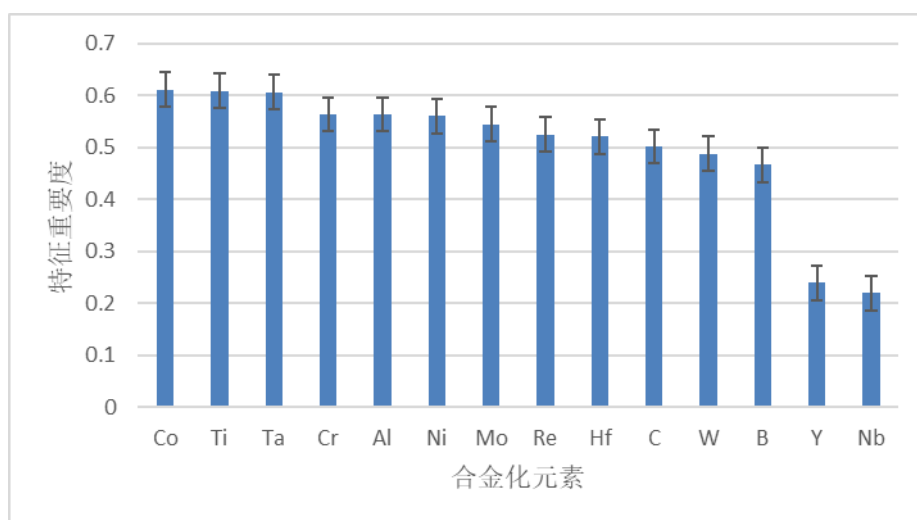
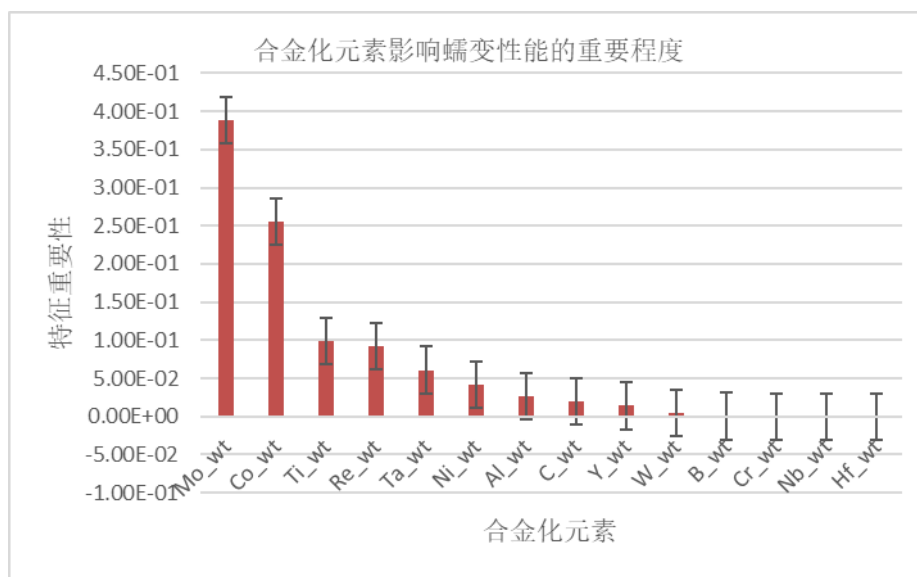
...

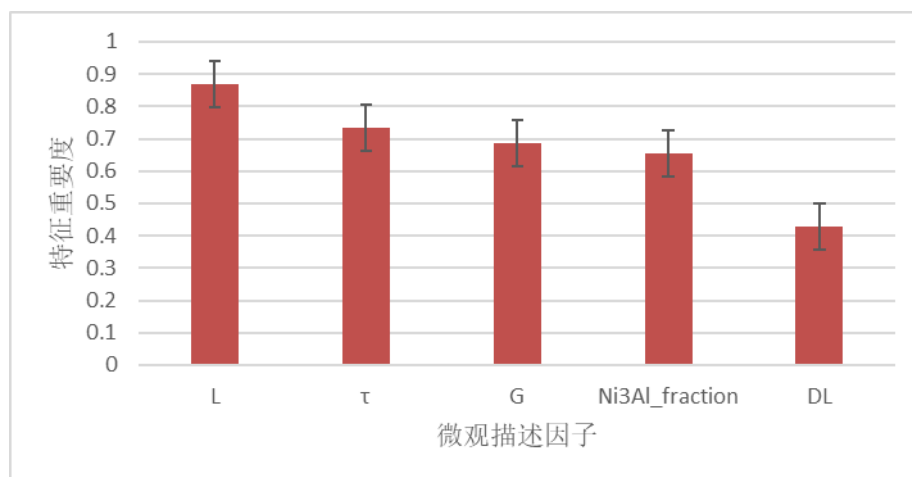
反例规则：

- 1.if 点阵常数  $L \leq 0.352$ ,  $36.64 < \text{层错能 } \tau \leq 37.506$ , 剪切模量  $\leq 65.842$ , then **poor**
- 2.If 点阵常数  $L \leq 0.352$ , 层错能  $\tau > 39.479$ , then **poor**

...







## 2.项目调整情况

如项目出现超前/迟滞等情况，请详细说明原因、措施及履行相关审批管理制度的情况。

## 二、取得的重要进展及成果

### 1.项目中期重要进展及成果

简要介绍项目研究工作的重要进展、阶段性成果（一般不超过3项）及前景。

### 2.预期经济社会效益

重点阐明对学科/行业产生的重要影响，对社会民生、生态环境、国家安全等的作用，以及研究成果的合作交流、转移转化和示范推广情况，人才、专利、技术标准战略在项目中的实施情

况等。

### 三、项目人员及经费投入使用情况

#### 1.人员及经费投入情况

对照项目任务书阐述项目及课题资金(包括中央财政专项资金、其他来源资金等)到位情况、项目资金单独核算情况、预算调剂情况、支出情况和经费使用监督管理情况、人员投入情况等。

#### 2.项目经费拨付情况

项目牵头单位向课题承担单位、课题承担单位向课题参与单位拨付中央财政专项资金情况。

#### 3.人员及经费实际调整情况

如出现项目人员的调整,以及经费未及时到位、停拨、迟拨等特殊情况,请详细说明原因、措施、履行相关审批管理制度以及整改等情况。

### 四、项目配套支撑条件情况

阐述各主要研究任务的配套支撑条件落实及调整变化情况。如有调整变化,请说明调整变化对完成项目目标的影响和作用。

## 五、项目组织实施管理工作

### 1.项目组织管理情况

阐述项目按照一体化组织实施的要求,内部管理机构和管理制度建立、运行情况和效果,以及项目牵头单位组织课题间交流、检查评估等方面的管理情况。

### 2.项目间协作情况

阐述项目参与重点专项的相关管理活动,项目间资源与数据共享、协作研发以及成果转化应用情况等。

### 3.组织实施风险及应对情况

阐述项目在组织实施过程中,面对外部政策、组织管理、研发变化和知识产权等方面的风险以及应对措施。

## 六、项目组织实施中的重大问题及建议

### 七、任务书中有特殊约定或其他需要说明的事项

### 八、专业机构要求提交的其他材料

附表 1

## 国家重点研发计划项目中期执行情况信息表

## 一、项目基本情况

项目名称							
项目编号							
所属专项							
指南方向							
密级		<input type="checkbox"/> 公开 <input type="checkbox"/> 秘密 <input type="checkbox"/> 机密		单位总数		课题数	
项目类型		<input type="checkbox"/> 基础前沿 <input type="checkbox"/> 重大共性关键技术 <input type="checkbox"/> 应用示范研究 <input type="checkbox"/> 其他					
		<input type="checkbox"/> 青年项目					
经费预算		总预算 万元，其中中央财政专项资金 万元，地方财政资金 万元，单位自筹资金 万元，其他渠道获得资金 万元					
项目周期节点		起始时间	年 月		结束时间	年 月	
		实施周期	共 个月		预计中期时间点	年 月	
项目 牵头 承担 单位	单位名称					单位性质	
	单位所在地					组织机构代码	
	通信地址					邮政编码	
	银行账号					法定代表人姓名	
	单位开户名称					汇入地点	
	开户银行（全称）					银行机构代码	
推荐单位	单位名称			推荐单位性质	<input type="checkbox"/> 部门 <input type="checkbox"/> 地方 <input type="checkbox"/> 行业协会 <input type="checkbox"/> 产业技术创新战略联盟 <input type="checkbox"/> 其他		
项目 负责人	姓 名		性 别	<input type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女	出生日期		
	证件类型		证件号码				
	所在单位						

	最高学位	<input type="checkbox"/> 博士 <input type="checkbox"/> 硕士 <input type="checkbox"/> 学士 <input type="checkbox"/> 其他				
	职 称	<input type="checkbox"/> 正高级 <input type="checkbox"/> 副高级 <input type="checkbox"/> 中级 <input type="checkbox"/> 初级 <input type="checkbox"/> 其他			职务	
	电子邮箱			移动电话		
项目 联系 人	姓 名			电子邮箱		
	固定电话			移动电话		
	证件类型			证件号码		
项目 财务 负责 人	姓 名			电子邮箱		
	固定电话			移动电话		
	证件类型			证件号码		
课题 分解	序号	课题名称	承担 单位	负责人	总经费 (万元)	其中中央 财政专项资金 (万元)
其他 参与 单位	序号	单位名称		单位性质	组织机构代码	
项目 参加 人数	__人。其中：		高级职称__人，中级职称__人，初级职称__人，其他__人；			
			博士学位__人，硕士学位__人，学士学位__人，其他__人。			
项目执行进展 情况	<input type="checkbox"/> 按计划进行，达到预期目标 <input type="checkbox"/> 进度超前，超过预期目标 <input type="checkbox"/> 进度拖延，未达到预期目标 <input type="checkbox"/> 进度停顿				项目状况	<input type="checkbox"/> 去年延续 <input type="checkbox"/> 今年新立
与专项内其他项目/应用单位/ 企业合作状况			<input type="checkbox"/> 信息交流 <input type="checkbox"/> 技术咨询 <input type="checkbox"/> 研发合作 <input type="checkbox"/> 成果转化 <input type="checkbox"/> 实现产业化			
项目 简介 (限 1500 字以内)						

**填表说明：**1. 组织机构代码指企事业单位国家标准代码，单位若已三证合一请填写单位统一社会信用代码，无组织机构代码的单位填写“000000000”；

2. 单位公章名称必须与单位名称一致；

3. 单位开户名称应与单位名称一致，如有开户名称不一致等特殊情况，必须提供证明文件。

二、项目中期经费及人员投入情况（经费单位：万元）

总资金		中央财政专项资金							其他来源资金		
预算数	累计到位数	预算数		累计到位数		拨付课题 承担单位 金额	累计资金 支出数	是否按计 划拨付课 题承担单 位	预算数	累计到位 数	累计资金 支出数
总人数	其中女性	高级职称	中级职称	初职职称	其他人员	博士	硕士	学士	其他学历	总人年	



三、项目中期目标及考核指标完成情况

项目目标	成果名称	成果类型	对应的课题	考核指标				考核方式 (方法)及 评价手段	当前指标状态
				指标名称	立项时已有 指标值/状态	中期指标值/ 状态	完成时指标 值/状态		
	1:	<input type="checkbox"/> 新理论 <input type="checkbox"/> 新原理 <input type="checkbox"/> 新产品 <input type="checkbox"/> 新技术 <input type="checkbox"/> 新方法 <input type="checkbox"/> 关键部件 <input type="checkbox"/> 数据库 <input type="checkbox"/> 软件 <input type="checkbox"/> 应用解决方案 <input type="checkbox"/> 实验装置/系统 <input type="checkbox"/> 临床指南/规范 <input type="checkbox"/> 工程工艺 <input type="checkbox"/> 标准 <input type="checkbox"/> 论文 <input type="checkbox"/> 发明专利 <input type="checkbox"/> 其他_____		指标 1.1					
				.....					

	2:	同上		指标 2.1	无	初步建立软件框架，并获得相关材料数据	实现数据关联分析通用软件，提取数据规律，建立构效关系，登记软件著作权 1 项，发表论文 2 篇	现场评测或第三方检测，软件登记受理通知，论文发表或用通	采集和存储了一份关于“文献—数据—方法”的镍基单晶高温合金材料成分-结构-工艺-性能数据；设计与初步实现了基于主动学习的多层级交互式特征选择方法和非自动/半自动/全自动的机器学习集成学习方法，并在蠕变断裂寿命的预测中得到初步应用；结合和利用聚类分析和决策树算法等，构建了能够精确预测合金蠕变性能优劣的决策模型，并基于此对合金的蠕变构效关系进行了正反例分析简单的规则抽取；开发了高温合金
--	----	----	--	--------	---	--------------------	---	-----------------------------	--

				.....					
	...	同上		指标					
				.....					
科技报告 考核指标	序号	报告类型	数量	提交时间	公开类别及时 限	是否按计划 提交科技报 告			
其他目标与考核指标完成情况									

#### 四、项目中期取得经济社会效益情况

1. 标准情况	获得国际标准数		获得国家标准数		
	获得行业、地方标准数		获得其他标准数		
2. 专利情况	申请发明专利项数		获得授权发明专利项数		
	其中国际		其中国际		
	申请其他各类专利项数		获得授权其他各类专利项数		
	其中国际		其中国际		
3. 专著人才等情况	毕业研究生数		其中博士生		
	取得软件著作权数		出版专著数		
4. 新理论、新技术、新产品等情况	取得的新理论、新原理数		取得的新技术、新工艺、新方法数		
	取得的新产品、新装置数		示范、推广面积数（亩）		
	获得新药（医疗器械）证书数、临床批件数		获得临床指南、规范数		
	新建生产线数		新建示范工程数		
5. 培训情况	培训技术人员数		培训农民数		
6. 成果转化情况	成果转让数（项）		成果转让收入（万）		
论文专著发表情况 （请列出不超过5篇代表性论文）	论文/专著名称	发表期刊/出版单位		完成人	发表时间
	...				
专利申请授权情况 （请列出不超过5项代表性专利）	申请/授权的专利名称	申请号/批准号	申请/批准国别	完成人	专利类型
	...				
技术标准获批情况	获得技术标准名称	标准类型		标准号	
	...				
其他情况 （不超过5项）					
	...				

附表 2

# 国家重点研发计划课题中期执行情况信息表

## 一、 课题基本情况

课题名称						
课题编号						
所属项目						
所属专项						
密级		<input type="checkbox"/> 公开 <input type="checkbox"/> 秘密 <input type="checkbox"/> 机密		单位总数		
课题类型		<input type="checkbox"/> 基础前沿 <input type="checkbox"/> 重大共性关键技术 <input type="checkbox"/> 应用示范研究 <input type="checkbox"/> 其他				
课题活动类型		<input type="checkbox"/> 基础前沿 <input type="checkbox"/> 应用研究 <input type="checkbox"/> 试验发展				
课题研究 所属学科		一级学科 二级学科				
课题成果应用的主要国民经济行业						
课题的社会 经济目标		一级目标 二级目标				
经费预算		总需求 万元，其中中央财政专项资金需求 万元				
课题周期节点		起始时间	年 月	结束时间	年 月	
		实施周期	共 个月	预计中期时间点	年 月	
课题 承担 单位	单位名称				单位性质	
	单位所在地				组织机构代码	
	通信地址				邮政编码	
	银行账号				法定代表人姓名	

	单位开户名称					
	开户银行（全称）		包括银行机构代码的显示			
课题负责人	姓 名			性 别	<input type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女	出生日期
	证件类型			证件号码		
	所在单位					
	最高学位		<input type="checkbox"/> 博士 <input type="checkbox"/> 硕士 <input type="checkbox"/> 学士 <input type="checkbox"/> 其他			
	职 称		<input type="checkbox"/> 正高级 <input type="checkbox"/> 副高级 <input type="checkbox"/> 中级 <input type="checkbox"/> 初级 <input type="checkbox"/> 其他			职务
	电子邮箱				移动电话	
课题联系人	姓 名			电子邮箱		
	固定电话			移动电话		
	证件类型			证件号码		
课题财务负责人	姓 名			电子邮箱		
	固定电话			移动电话		
	证件类型			证件号码		
其他参与单位	序号	单位名称			单位性质	组织机构代码
课题参加人数	__人。其中：		高级职称__人，中级职称__人，初级职称__人，其他__人；			
			博士学位__人，硕士学位__人，学士学位__人，其他__人。			
项目执行进展情况	<input type="checkbox"/> 按计划进行，达到预期目标 <input type="checkbox"/> 进度超前，超过预期目标 <input type="checkbox"/> 进度拖延，未达到预期目标 <input type="checkbox"/> 进度停顿				项目状况	<input type="checkbox"/> 去年延续 <input type="checkbox"/> 今年新立
与专项内其他项目/应用单位/企业合作状况		<input type="checkbox"/> 信息交流 <input type="checkbox"/> 技术咨询 <input type="checkbox"/> 研发合作 <input type="checkbox"/> 成果转化 <input type="checkbox"/> 实现产业化				
课题简介 (限 500)						

字以内)	
------	--



二、 课题中期经费及人员投入情况（经费单位：万元）

总资金		中央财政专项资金							其他来源资金		
预算数	累计到位数	预算数		累计到位数		拨付课题参与单位金额	累计资金支出数	是否按计划拨付课题参与单位	预算数	累计到位数	累计资金支出数
总人数	其中女性	高级职称	中级职称	初职职称	其他人员	博士	硕士	学士	其他学历	总人年	

三、课题中期目标及考核指标完成情况

课题目标	成果名称	成果类型	考核指标				考核方式（方法）及评价手段	本年度指标状态
			指标名称	立项时已有指标值/状态	中期指标值/状态	完成时指标值/状态		
	1:	<div>□新理论 □新原理 □新产品 □新技术 □新方法 □关键部件 □数据库 □软件 □应用解决方案 □实验装置/系统 □临床指南/规范 □工程工艺 □标准 □论文 □发明专利 □其他_____</div>	指标 1.1					
			.....					
	2:	同上	指标 2.1					
			.....					
	...	同上	指标					
			.....					
	科技报告考核指标	序号	报告类型	数量	提交时间		公开类别及时限	是否按计划提交科技报告
其他目标与考核指标完成情况								

#### 四、课题中期取得经济效益情况

1. 标准情况	获得国际标准数		获得国家标准数		
	获得行业、地方标准数		获得其他标准数		
2. 专利情况	申请发明专利项数		获得授权发明专利项数		
	其中国际		其中国际		
	申请其他各类专利项数		获得授权其他各类专利项数		
	其中国际		其中国际		
3. 专著人才等情况	毕业研究生数		其中博士生		
	取得软件著作权数		出版专著数		
4. 新理论、新技术、新产品等情况	取得的新理论、新原理数		取得的新技术、新工艺、新方法数		
	取得的新产品、新装置数		示范、推广面积数（亩）		
	获得新药（医疗器械）证书数、临床批件数		获得临床指南、规范数		
	新建生产线数		新建示范工程数		
5. 培训情况	培训技术人员数		培训农民数		
6. 成果转化情况	成果转让数（项）		成果转让收入（万）		
论文专著发表情况 （请列出不超过5篇代表性论文）	论文/专著名称	发表期刊/出版单位		完成人	发表时间
	...				
专利申请授权情况 （请列出不超过5项代表性专利）	申请/授权的专利名称	申请号/批准号	申请/批准国别	完成人	专利类型
	...				
技术标准获批情况	获得技术标准名称	标准类型		标准号	
	...				
其他情况 （不超过5项）					
	...				