





## Copula 熵

Jian Ma and Zengqi Sun. "Mutual Information Is Copula Entropy". In: *Tsinghua Science & Technology* 16.1 (2011). See also arXiv preprint arXiv:0808.0845 (2008), pp. 51–54

$$H_c(\mathbf{x}) = - \int_{\mathbf{u}} c(\mathbf{u}) \log c(\mathbf{u}) d\mathbf{u} \quad (1)$$



- 测光红移
  - 测光红移准确度提升<sup>1</sup>
  - 斯隆类星体巡天观测数据

<sup>1</sup>Jian Ma. "Photometric Redshifts with Copula Entropy". In: *arXiv preprint arXiv:2310.16633* (2023).





# 理论化学

- 变构效应研究
  - 变构效应配位点和激活点热力学耦合模型<sup>4</sup>
    - 丙氨酸二肽的 C 端和 N 端

<sup>4</sup> Michel A. Cuendet, Harel Weinstein, and Michael V. LeVine. "The Allosteric Landscape: Quantifying Thermodynamic Couplings in Biomolecular Systems". In: *Journal of Chemical Theory and Computation* 12.12 (2016), pp. 5758–5767. DOI: [10.1021/acs.jctc.6b00841](https://doi.org/10.1021/acs.jctc.6b00841).



# 化学信息学

- 分子设计
  - 设计具有特定属性的分子结构<sup>5</sup>
    - 有机分子属性 QM9 数据库

<sup>5</sup>[Mario Wieser](#). “Learning Invariant Representations for Deep Latent Variable Models”. PhD thesis. University of Basel, 2020.

# 材料学

- 耐热型含能材料分子设计
  - 含能材料热分解温度预测<sup>6</sup>
    - 含能材料化合物分子结构和量子化学性质数据集
- 高纯金属制备
  - 真空蒸馏法制备高纯金属工艺参数优化<sup>7</sup>
    - 真空蒸馏法制备高纯金属硒和碲过程数据

<sup>6</sup>田杰.“基于机器学习的耐热型含能材料设计方法研究”.硕士学位论文.西南科技大学,2023.

<sup>7</sup> 田庆华 et al. “一种真空蒸馏制备高纯金属的优化方法及优化系统”. Pat. CN117577229A. 2024.

- 洪水预报
  - 金沙江流域洪水预报<sup>8</sup>
- 河流相关性
  - 长江上游河段（金沙江、岷江、沱江、嘉陵江）相关性<sup>9</sup>
  - 长江上游河段复合洪水事件分析<sup>10</sup>
- 水沙关系分析
  - 黄河西柳沟河流域径流量和输沙量数据分析<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Longxia Qian et al. "A New Estimation Method for Copula Parameters for Multivariate Hydrological Frequency Analysis With Small Sample Sizes". In: *Water Resources Management* 36.4 (2022), pp. 1141–1157. DOI: 10.1007/s11269-021-03016-w.

## 12 / 47

# 水文学 III

- 中长期径流预报
  - 南水北调工程丹江口水库入库径流预报<sup>17</sup>
  - 洪泽湖和骆马湖长期径流预报<sup>18</sup>
- 流域分区<sup>19</sup>
- 多站点径流生成
  - 巴西雅瓜拉比-大都市水库系统<sup>20</sup>

<sup>17</sup>黄朝君 et al. “基于 Copula 熵-随机森林的中长期径流预报研究”. In: 人民长江 52.11 (2021), pp. 81–85.

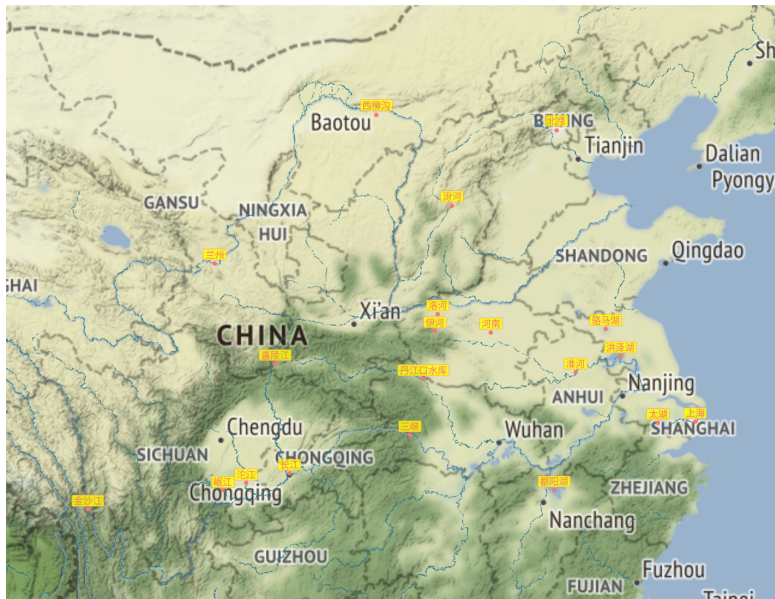
<sup>18</sup>Ran Mo et al. "Long-term probabilistic streamflow forecast model with "inputs-structure-parameters" hierarchical optimization framework". In: *Journal of Hydrology* (2023), p. 129736. DOI: 10.1016/j.jhydro.2023.129736.

<sup>19</sup> 刘磊 et al. “基于非线性相关性和复杂网络的径流相似性分区”. In: 水科学进展 33.3 (2022), pp. 442–451.

<sup>20</sup>Victor Costa Porto et al. "A GLM copula approach for multisite annual streamflow generation". In: *Journal of Hydrology* 598 (2021), p. 126226.

## 14 / 47

## 水文学-国内应用地图



# 气候学

- 气候变化对水文气象变量相关性的影响
  - 美国德州达拉斯地区降水和气温相关性关系分析<sup>27</sup>
    - 达拉斯市沃斯堡 (Fort Worth) 地区降水和气温观测数据
- 气候评估
  - 欧洲城市气候分类<sup>28</sup>
    - 欧洲 25 座城市气温和降水数据

<sup>27</sup> Zengchao Hao and Vijay P. Singh. "Integrating Entropy and Copula Theories for Hydrologic Modeling and Analysis". In: *Entropy* 17.4 (2015). pp. 2253–2280. doi: 10.3390/e17042253.

<sup>28</sup> **Francesca Condino**. “La divergenza di Jensen-Shannon nell’algoritmo di clustering dinamico per dati descritti da distribuzioni multivariate”. PhD thesis. Università degli Studi di Napoli Federico II, 2009.



## 17 / 47



- 动物运动轨迹分析
  - Cylcop 算法包<sup>35</sup>

<sup>35</sup> Florian H. Hodel and John R. Fieberg. "Cylcop: An R Package for Circular-Linear Copulae with Angular Symmetry". In: *bioRxiv* (2021), p. 2021.07.14.452253, Florian Hodel. *Cylcop: Circular-Linear Copulas with Angular Symmetry for Movement Data*. CRAN. R package version 0.2.0. 2022. URL: <https://cran.r-project.org/package=cylcop>.



# 农学

- 作物产量预测
  - 气候变化对我国南方两季稻产量的影响及对策<sup>38</sup>
    - 南方（江南和华南）54 个地点未来气候变化数据和作物数据

---

<sup>38</sup> Ziya Zhang et al. "Impact of climate change and planting date shifts on growth and yields of double cropping rice in southeastern China in future". In: *Agricultural Systems* 205 (2023), p. 103581. DOI: 10.1016/j.agsy.2022.103581, 张子雅. "气候变化对中国水稻物候和产量的影响及播期优化". 硕士学位论文. 西北农林科技大学, 2023.

# 神经科学 I

## ● 认知神经学

- 分析大脑认知活动的多模态数据<sup>39</sup>
  - 人脸检测任务 EEG 数据
  - 听觉语音刺激任务和认知行为映射任务 MEG 数据
  - 奖惩学习任务前脑岛 (anterior Insula) SEEG 数据
- 语音信息的编码和解析<sup>40</sup>
  - 故事讲述语音及相应的 EEG 数据
- 因果关系脑连接网络分析<sup>41</sup>
  - 注意缺陷多动障碍患者 EEG 数据
  - 葡萄牙老年人静息态 fMRI 数据
- 神经元特异化识别<sup>42</sup>
  - 小鼠大脑海马 CA1 区钙荧光信号数据

<sup>39</sup>Stephanie J. Kayser et al. "Irregular Speech Rate Dissociates Auditory Cortical Entrainment, Evoked Responses, and Frontal Alpha". In: *The Journal of Neuroscience* 35.44 (2015), pp. 14691–14701, Robin A. A. Ince et al. "The Deceptively Simple N170 Reflects Network Information Processing Mechanisms Involving Visual Feature Coding and Transfer Across Hemispheres". In: *Cerebral Cortex* 26.11 (2016), pp. 4123–4135, Robin A.A. Ince et al. "A statistical framework for neuroimaging data analysis based on mutual information estimated via a gaussian copula". In: *Human Brain Mapping* 38.3 (2017), pp. 1541–1573, Etienne Combrisson et al. "Group-level inference of information-based measures for the analyses of cognitive brain networks from neurophysiological data". In: *NeuroImage* (2022), p. 119347. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2022.119347.

<sup>40</sup>Pieter De Clercq et al. "Beyond linear neural envelope tracking: a mutual information approach". In: *Journal of Neural Engineering* 20.2 (2023), p. 026007. DOI: 10.1088/1741-2552/acbe1d.

<sup>41</sup>Paolo Victor Redondo, Raphaël Huser, and Hernando Ombao. "Measuring Information Transfer Between Nodes in a Brain Network through Spectral Transfer Entropy". In: *arXiv preprint arXiv:2303.06384* (2023), 汪方毅 et al. "基于静息态 fMRI 区分健康老年人认知水平的 MVPA 方法研究". In: *磁共振成像* 14.6 (2023), pp. 18–25.

<sup>42</sup>NA Pospelov et al. "Searching for cognitive specializations of neurons using mutual information framework". In: *Genes & Cells* 18.4 (2023), pp. 878–881.

# 神经科学 II

- 运动神经学
  - 分析运动的肌肉组合协同策略<sup>43</sup>
    - 伸手运动时肌肉 sEMG 数据
    - 自主运动肌肉疲劳状态 sEMG 数据
- 计算神经学
  - 神经元可塑性建模<sup>44</sup>
  - 神经网络信息传输关系分析<sup>45</sup>

---

<sup>43</sup> 吴亚婷 et al. “多尺度肌间耦合网络分析”. In: 生物医学工程学杂志 38.4 (2021), pp. 742–752, Yating Wu et al. “R-Vine Copula Mutual Information for Intermuscular Coupling Analysis”. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Computer Engineering and Networks*. 2022, pp. 526–534, David Ó’ Reilly and Ioannis Delis. “A network information theoretic framework to characterise muscle synergies in space and time”. In: *Journal of Neural Engineering* 19.1 (2022), p. 016031. DOI: 10.1088/1741-2552/ac5150, Shaojun Zhu et al. “Intermuscular coupling network analysis of upper limbs based on R-vine copula transfer entropy”. In: *Mathematical Biosciences and Engineering* 19.9 (2022), pp. 9437–9456, 金国美 et al. “基于小波包-Copula 互信息的肌间耦合特性”. In: *传感技术学报* 35.10 (2022), pp. 1348–1353.

<sup>44</sup> Johannes Leugering and Gordon Pipa. “A Unifying Framework of Synaptic and Intrinsic Plasticity in Neural Populations.”. In: *Neural Computation* 30.4 (2018), pp. 945–986.

<sup>45</sup> Ari Pakman et al. “Estimating the Unique Information of Continuous Variables in Recurrent Networks”. In: *Advances in Neural Information Processing Systems* (2021).

# 心理学

- 生物心理学
  - 情绪刺激下心跳诱发脑电位的时间交互现象<sup>46</sup>
    - 用于情绪分析的生理信号 DEAP 数据集

---

<sup>46</sup>Liesa Ravijts. "Revealing temporal interactions around the heartbeat-evoked potential modulated by emotional perception". MA thesis. Ghent Univeristy, 2019.



# 生物学

## ● 系统生物学

- 生物信号调控和传导<sup>47</sup>
  - 癌症分子机制数据
- 生物现象动态网络结构和功能<sup>48</sup>
  - 酵母细胞周期数据

## ● 生物信息学

- 分析基因数据，研究生命和疾病机理<sup>49</sup>
  - 肝炎病毒感染治疗基因表达谱数据
- 筛选与癌症有关的变异基因<sup>50</sup>
  - cBioPortal 癌症基因组数据
  - 美国亚利桑那州立大学癌症基因组数据
- 单细胞测序基因调控网络构建<sup>51</sup>
  - DREAM3 的 Ecoli 数据和小鼠胚胎早期血液发育的单细胞测序数据

<sup>47</sup>Agata Charzyńska and Anna Gambin. "Improvement of the k-NN Entropy Estimator with Applications in Systems Biology". In: *Entropy* 18.1 (2015), p. 13.

<sup>48</sup>Farzaneh Farhangmehr et al. "An information-theoretic algorithm to data-driven genetic pathway interaction network reconstruction of dynamic systems". In: *2013 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine*. 2013, pp. 214–217.

<sup>49</sup>Mario Wieser et al. "Inverse Learning of Symmetries". In: *Advances in Neural Information Processing Systems*. Vol. 33. 2020, pp. 18004–18015.

<sup>50</sup>Qiang Wu and Dongxi Li. "CRISA: An Interactive Gene Selection Algorithm for Cancers Prediction Based on Copy Number Variations". In: *Frontiers in Plant Science* 13 (2022), p. 839044. DOI: 10.3389/fpls.2022.839044.

<sup>51</sup>竺政彤. "基于单细胞测序数据构建基因调控网络的方法研究". 硕士学位论文. 内蒙古农业大学, 2023.

# 医学 I

- 临床医学

- 心脏病诊断<sup>52</sup>

- UCI 心脏病数据

- 糖尿病病情管理<sup>53</sup>

- 美国 Health Facts 糖尿病救治网络数据

- 癌症预后<sup>54</sup>

- UCI 肺癌数据

- SEER 数据库乳腺癌临床数据

---

<sup>52</sup> Jian Ma. "Variable Selection with Copula Entropy". In: *Chinese Journal of Applied Probability and Statistics* 37.4 (2021). See also arXiv preprint arXiv:1910.12389 (2019), pp. 405–420.

<sup>53</sup> Radko Mesiar and Ayyub Sheikh. "Nonlinear Random Forest Classification, a Copula-Based Approach". In: *Applied Sciences* 11.15 (2021), p. 15. DOI: 10.3390/app11157140.

<sup>54</sup> Jian Ma. "Copula Entropy based Variable Selection for Survival Analysis". In: *arXiv preprint arXiv:2209.01561* (2022), 付金露. "基于特征选择的乳腺癌患者预后模型研究". 硕士学位论文. 江西财经大学, 2023.

# 医学 II

## ● 临床医学

- 白内障术后角膜水肿风险预测<sup>55</sup>
  - 临床白内障超声乳化手术患者数据
- 主动脉瓣置换手术射血分数分析<sup>56</sup>
  - 临床主动脉瓣置换手术前后射血分数数据
- 脑肿瘤医学影像组学诊断模型构建<sup>57</sup>
  - 重庆医科大学附属第一医院、西南医院和四川省肿瘤医院脑肿瘤患者数据
- 基于脉搏波的高血压和糖尿病健康状态分类<sup>58</sup>
  - 高血压和糖尿病患者脉搏波数据

---

<sup>55</sup> Yu Luo et al. "Research on Establishing Corneal Edema after Phacoemulsification Prediction Model Based on Variable Selection with Copula Entropy". In: *Journal of Clinical Medicine* 12.4 (2023), p. 1290. DOI: 10.3390/jcm12041290.

<sup>56</sup> S.M. Sunoj and N. Unnikrishnan Nair. "Survival Copula Entropy and Dependence in Bivariate Distributions". In: *REVSTAT-Statistical Journal* (2023). URL: <https://revstat.ine.pt/index.php/REVSTAT/article/view/560>.

<sup>57</sup> 潘红宇. "基于影像组学与深度学习的脑肿瘤图像分类研究". 硕士学位论文. 西南大学, 2023.

<sup>58</sup> 汤宇飞. "基于脉搏波的糖尿病和高血压诊断算法研究". 硕士学位论文. 中国矿业大学, 2023.

## 28 / 47

# 公共卫生学

- 新冠肺炎流行病 (COVID19)
  - 发热症状疑似病人筛查诊断<sup>63</sup>
    - 新冠临床数据
- 高血压
  - 高血压关联基因研究<sup>64</sup>
    - ELEMENT 数据集

<sup>63</sup>Radko Mesiar and Ayyub Sheikh. "Nonlinear Random Forest Classification, a Copula-Based Approach". In: *Applied Sciences* 11.15 (2021), p. 15. DOI: 10.3390/app11157140.

<sup>64</sup> Soumik Purkayastha and Peter X.K. Song. "Asymmetric predictability in causal discovery: an information theoretic approach". In: *arXiv preprint arXiv:2210.14455* (2022).

# 社会科学 I

## ● 经济学

- 扶贫政策效果评估，用于政策目标人口鉴别<sup>65</sup>
  - 2018 年政府贫困家庭状况普查数据（四川省和河南省）
- 议价机制中的互惠行为和时间效应<sup>66</sup>
  - eBay 的 Best Offer 平台数据
- 产业链内部相关性分析<sup>67</sup>
  - 国内畜禽养殖产业链主要上市企业股票价格数据
- 投资者情绪分析<sup>68</sup>
  - 中国新能源汽车上市公司的百度搜索数据

<sup>65</sup> Qingsong Shan and Qianning Liu. "Binary Trees for Dependence Structure". In: *IEEE Access* 8 (2020), pp. 150989–150998. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3017529. 罗良清 et al. "中国贫困治理经验总结：扶贫政策能够实现有效增收吗？". In: *管理世界* 38.2 (2022), pp. 70–83. Haonan Zhang, Jiapeng Dai, and Yousaf Ali Khan. "Poverty improvement policies and household income: Evidence from China". In: *Heliyon* (2023), E21442. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e21442.

<sup>66</sup> Leonie Bossemeyer. "Machine Learning for Causal Discovery with Applications in Economics". MA thesis. Ludwig-Maximilians-Universität München, 2021.

<sup>67</sup> 韦颖璐. "基于 pair-copula 熵的相关性度量". 硕士学位论文. 苏州大学, 2021.

<sup>68</sup> Muye Han and Jinsheng Zhou. "Multi-Scale Characteristics of Investor Sentiment Transmission Based on Wavelet, Transfer Entropy and Network Analysis". In: *Entropy* 24.12 (2022), p. 1786. DOI: 10.3390/e24121786.

# 社会科学 II

## ● 管理学

### ● 商品期货价格预测<sup>69</sup>

- 国家统计局猪肉价格数据和大连商品交易所大豆期货价格数据

### ● 单周期库存管理<sup>70</sup>

- 大众朗逸汽车销售数据

### ● 中国企业海外并购影响因素分析<sup>71</sup>

- Wind 数据库经济数据

## ● 社会学

### ● 分析教育、职业和收入上的性别不平等问题<sup>72</sup>

- 美国国家成年人收入调查数据（1994 年）

<sup>69</sup>Wuyue An, Lin Wang, and Dongfeng Zhang. "Comprehensive commodity price forecasting framework using text mining methods". In: *Journal of Forecasting* 42.7 (2023), pp. 1865–1888. DOI: 10.1002/for.2985.

<sup>70</sup>Yu-Xin Tian and Chuan Zhang. "An end-to-end deep learning model for solving data-driven newsvendor problem with accessibility to textual review data". In: *International Journal of Production Economics* (2023), p. 109016. DOI: 10.1016/j.ijpe.2023.109016.

<sup>71</sup>王琳君. "中国企业海外并购的影响因素和绩效评价研究". 博士学位论文. 中国科学院大学, 2022.

<sup>72</sup>Jian Ma. "Causal Domain Adaptation with Copula Entropy based Conditional Independence Test". In: *arXiv preprint arXiv:2202.13482* (2022).

## 32 / 47



## 社会科学 IV

- 政治学
  - 分析政权领导力因素和政权危机之间关系<sup>77</sup>
    - 雪城大学莫伊尼汉全球事务研究所国际政治领导力数据集
- 军事学
  - 目标意图识别<sup>78</sup>
    - 空中飞行目标示例
- 情报学
  - 颠覆性技术科学-技术-产业互动模式分析<sup>79</sup>
    - 再生医学（干细胞）和白血病治疗相关资料数据

<sup>77</sup>Stuart William Card. "Towards an Information Theoretic Framework for Evolutionary Learning". MA thesis. Syracuse University, 2011.

<sup>78</sup>张可 et al. “一种基于动态贝叶斯网络的目标意图识别方法”. Pat. CN114997306A. 2022.

<sup>79</sup>许海云 et al. “颠覆性技术的科学-技术-产业互动模式识别与分析”. In: 情报学报 42.7 (2023), pp. 816–831.

# 工程学 I

## ● 能源工程

- 能源网络管理，研究天气因素与能源网络的耦合<sup>80</sup>
  - 北方某地区能源系统运行数据
- 光伏发电功率预测<sup>81</sup>
  - 澳大利亚 Yulara 地区光伏电站数据
- 风电机组工况划分<sup>82</sup>
  - 广东某海上风电场 SCADA 数据
- 电力负荷预测<sup>83</sup>
  - 摩洛哥缔头万 (Tétouan) 城电力消费数据
  - 美国亚利桑那居民建筑综合能源负荷 2018 年数据
- 风光储协同规划<sup>84</sup>
  - 某工业园区风光火储联合发电系统

<sup>80</sup>Xueqian Fu et al. "Uncertainty analysis of an integrated energy system based on information theory". In: *Energy* 122.122 (2017), pp. 649–662.

<sup>81</sup>朱正林 和 张冕. "基于 AO 优化 VMD-CE-BiGRU 的光伏发电功率预测". In: *国外电子测量技术* 41.10 (2022), pp. 56–61.

<sup>82</sup>崔双双 和 孙单勋. "分工况下风电机组各变量相关性研究". In: *综合智慧能源* 44.12 (2022), pp. 49–55.

<sup>83</sup>Jian Ma. "Identifying Time Lag in Dynamical Systems with Copula Entropy based Transfer Entropy". In: *arXiv preprint arXiv:2301.06037* (2023), Qin Yan et al. "Short-term prediction of integrated energy load aggregation using a bi-directional simple recurrent unit network with feature-temporal attention mechanism ensemble learning model". In: *Applied Energy* 355 (2024), p. 122159. DOI: 10.1016/j.apenergy.2023.122159.

<sup>84</sup>董海艳 et al. "一种含源荷时序相似度约束的源储协同规划配置方法". Pat. CN114421538A. 2022.

# 工程学 II

## ● 能源工程

- 电网频率稳定性预测<sup>85</sup>
  - 贵州电网数据
- 用户线损贡献分析<sup>86</sup>
  - 辽宁电网数据
- 配电网拓扑辨识<sup>87</sup>
  - 接入风机和光伏的家庭负荷配电网仿真数据
- 电价预测<sup>88</sup>
  - 2017 年美国 PJM 电力市场电价数据
- 电力系统宽频振荡影响因素和传播路径分析<sup>89</sup>
  - 直驱风机并网系统和含风电场的四机两区系统仿真数据

---

<sup>85</sup> Peili Liu et al. "Frequency Stability Prediction of Power Systems Using Vision Transformer and Copula Entropy". In: *Entropy* 24.8 (2022), p. 1165. DOI: 10.3390/e24081165.

<sup>86</sup> Wei Hu et al. "Research on User Loss Contribution Calculation of High-Loss Distribution Area Based on Transfer Entropy". In: *2022 China International Conference on Electricity Distribution (CICED)*. 2022, pp. 499–502. DOI: 10.1109/CICED56215.2022.9929052.

<sup>87</sup> 秦超 and 潘毓笙. "一种基于时空特征的配电网拓扑辨识方法". Pat. CN117154679A. 2023.

<sup>88</sup> Xiaoping Xiong and Guohua Qing. "A hybrid day-ahead electricity price forecasting framework based on time series". In: *Energy* (2022), p. 126099. DOI: 10.1016/j.energy.2022.126099.

<sup>89</sup> 冯双 et al. "一种电力系统宽频振荡影响因素和传播路径分析方法". Pat. CN114977222A. 2022, 冯双 et al. "基于 Copula 传递熵的设备级和网络级宽频振荡传播路径分析及振荡源定位方法". In: *电工技术学报* (2023). DOI: 10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.230873.

# 工程学 III

- 能源工程
  - 锂电池容量估计<sup>90</sup>
    - NASA 锂电池退化数据
  - 能效异常原因诊断<sup>91</sup>
    - 空压机系统运行数据

---

<sup>90</sup> Jiabei He and Lifeng Wu. "Cross-conditions capacity estimation of lithium-ion battery with constrained adversarial domain adaptation". In: *Energy* 277 (2023), p. 127559. DOI: 10.1016/j.energy.2023.127559.

<sup>91</sup> Jian Ma. "Root Cause Analysis on Energy Efficiency with Transfer Entropy Flow". In: *arXiv preprint arXiv:2401.05664* (2024).

# 工程学 IV

- 食品工程
  - 葡萄酒质量与理化成分关系分析<sup>92</sup>
    - 葡萄牙绿酒葡萄酒理化成分与质量评价数据
- 土木建筑
  - 建筑能源系统节能技术<sup>93</sup>
    - 大连某教学楼供热监测数据
  - 工程变形监测<sup>94</sup>
    - 某隧道工程施工段围堰监测数据

---

<sup>92</sup>Marvin Lasserre, Régis Lebrun, and Pierre-Henri Wuillemin. "Learning Continuous High-Dimensional Models using Mutual Information and Copula Bayesian Networks". In: *Thirty-Fifth AAAI Conference on Artificial Intelligence, AAAI 2021*. AAAI Press, 2021, pp. 12139–12146. URL: <https://ojs.aaai.org/index.php/AAAI/article/view/17441>, Marvin Lasserre. "Apprentissages dans les réseaux bayésiens à base de copules non-paramétriques". PhD thesis. Sorbonne Université, 2022. URL: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03647090>.

<sup>93</sup>Zhiwei Li et al. "A model-free method for identifying time-delay characteristics of HVAC system based on multivariate transfer entropy". In: *Building and Environment* 217 (2022), p. 109072. DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109072.

<sup>94</sup>曹久慧 et al. "一种基于自注意力机制的变形监测方法". Pat. CN116378120A. 2023.

# 工程学 V

- 交通运输
  - 大件货物运输方案制定<sup>95</sup>
    - 大件货物运输案例数据
  - 航空和高铁票价影响因素分析<sup>96</sup>
    - 京沪高铁和航空票价数据
  - 城市轨道交通客流分析和预测<sup>97</sup>
    - 苏州市轨道交通系统客流时序数据

<sup>95</sup> 黄达. “基于区块链构建的大件货物多式联运方案研究”. 博士学位论文. 北京交通大学, 2021.

<sup>96</sup> 许罗豪 et al. “基于熵与回归树的票价影响因素研究”. In: 综合运输 45.6 (2023), pp. 125–130.

<sup>97</sup> 王升. “基于多源数据的城市轨道交通系统客流分析与预测”. 硕士学位论文. 东南大学, 2022.

# 工程学 VI

## ● 制造工程

- 制造质量管理，研究优化制造过程参数，预测产品质量<sup>98</sup>
  - 富士康生产线制造过程数据
- 装配质量控制<sup>99</sup>
  - 江淮汽车某型汽油发动机关键零部件装配过程数据
- 工业过程故障监测<sup>100</sup>
  - 鞍钢热轧带钢工艺过程数据
  - 田纳西伊斯曼过程数据
- 钢铁工艺过程碳排放预测<sup>101</sup>
  - 某钢铁厂烧结过程数据
- 液晶显示器质量预测<sup>102</sup>
  - 薄膜晶体管液晶显示器生产数据

<sup>98</sup>Yan-Ning Sun et al. "Modelling and Prediction of Injection Molding Process Using Copula Entropy and Multi-Output SVR". In: *IEEE 17th International Conference on Automation Science and Engineering*. 2021.

<sup>99</sup>王小巧. "复杂机械产品装配过程质量自适应控制方法及支持系统研究". 博士学位论文. 合肥工业大学, 2015.

<sup>100</sup>Jie Dong, Keren Cao, and Kaixiang Peng. "Hierarchical Causal Graph-Based Fault Root Cause Diagnosis and Propagation Path Identification for Complex Industrial Process Monitoring". In: *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 72 (2023), pp. 1–11. DOI: 10.1109/TIM.2023.3268464, 刘鹏阳. "数据驱动的全流程分布式过程监控". 硕士学位论文. 北方工业大学, 2023.

<sup>101</sup>Jie Hu et al. "Dynamic Modeling Framework Based on Automatic Identification of Operating Conditions for Sintering Carbon Consumption Prediction". In: *IEEE Transactions on Industrial Electronics* (2023), pp. 1–9. DOI: 10.1109/TIE.2023.3270514.

<sup>102</sup>Hongxia Cai and Zhiqiang Rong. "Key Quality Feature Identification and Quality Prediction in Complex Manufacturing Processes". In: *2023 15th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC)*. 2023, pp. 229–232. DOI: 10.1109/IHMSC58761.2023.00060.

# 工程学 VII

## ● 可靠性工程

- 系统退化过程建模<sup>103</sup>
  - 微波电子组件数据
- 风电机组健康状态评估<sup>104</sup>
  - 内蒙古某风场的风机 SCADA 数据
- 砂轮剩余寿命预测<sup>105</sup>
  - 威孚高科 CPM2.2 生产线上磨床 SCADA 数据

---

<sup>103</sup>Fuqiang Sun et al. "A Copula Entropy Approach to Dependence Measurement for Multiple Degradation Processes". In: *Entropy* 21.8 (2019), p. 724.

<sup>104</sup>齐咏生 et al. "一种基于多维度 SCADA 数据评估风电机组健康状态评估方法". Pat. CN110442833A. 2019.

<sup>105</sup>程毅. "基于深度学习的砂轮剩余使用寿命预测". 硕士学位论文. 江南大学, 2023.



# 工程学 VIII

## ● 化学工程

- 化学过程故障监测和诊断<sup>106</sup>
  - Tennessee Eastman 过程数据
- 化工过程因果网络构建<sup>107</sup>
  - 连续搅拌槽式反应器数据和 Tennessee Eastman 过程数据
- 化工过程缺失数据补全<sup>108</sup>
  - 脱丁烷塔过程数据和聚丙烯生产过程数据

---

<sup>106</sup> Min Yin, Jince Li, and Hongguang Li. "A CNN approach based on correlation metrics to chemical process fault classifications with limited labeled data". In: *The Canadian Journal of Chemical Engineering* 101.7 (2022), pp. 3982–3997. DOI: 10.1002/cjce.24749, Yingpeng Wei and Li Wang. "Copula entropy-based PCA method and application in process monitoring". In: *2022 4th International Conference on Intelligent Information Processing (IIP)*. 2022, pp. 61–64. DOI: 10.1109/IIP57348.2022.00019, Shuangshuang Pan, Li Zhu, and Xirong Xu. "Root cause and fault propagation analysis based on causal graph in chemical processes". In: *2023 CAA Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes (SAFEPROCESS)*. 2023, pp. 1–6. DOI: 10.1109/SAFEPROCESS58597.2023.10295717.

<sup>107</sup> Xiaotian Bi et al. "Large-scale chemical process causal discovery from big data with Transformer-based deep learning". In: *Process Safety and Environmental Protection* 173 (2023), pp. 163–177. DOI: 10.1016/j.psep.2023.03.017.

<sup>108</sup> 武昊. "基于深度学习的化工过程软测量建模方法研究". 博士学位论文. 北京化工大学, 2023.

# 工程学 IX

## ● 航空航天

- 飞行器总体参数分析和优化<sup>109</sup>
  - 美国喷气战斗机总体设计参数数据
- 卫星在轨健康状态监测<sup>110</sup>
  - 真实卫星遥测数据
  - NASA 公开的 SMAP 和 MSL 数据集
- 涡扇发动机健康状态监测<sup>111</sup>
  - NASA 格林中心引擎性能退化模拟数据
- 机场间航班延误因果关系分析<sup>112</sup>

## ● 车辆工程

- CAN 总线入侵检测<sup>113</sup>
  - 现代汽车 YF 索纳塔 CAN 数据

<sup>109</sup>Baby Alpettiyil Krishnankutty, Rajesh Ganapathy, and Paduthol Godan Sankaran. "Non-parametric estimation of copula based mutual information". In: *Communications in Statistics - Theory and Methods* 49.6 (2020), pp. 1513–1527. DOI: 10.1080/03610926.2018.1563180.

<sup>110</sup>Hao Liu et al. "Data-driven identification model for associated fault propagation path". In: *Measurement* 188 (2022), p. 110628. DOI: 10.1016/j.measurement.2021.110628, Zefan Zeng et al. "Satellite Telemetry Data Anomaly Detection Using Causal Network and Feature-Attention-Based LSTM". In: *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 71 (2022), pp. 1–21. DOI: 10.1109/TIM.2022.3151930.

<sup>111</sup>贾如侠. "涡扇发动机故障预测及剩余寿命分析方法研究". 硕士学位论文. 哈尔滨师范大学, 2023.

<sup>112</sup>吴格 et al. "一种因果关系分析方法及装置". Pat. CN110766314A. 2020.

<sup>113</sup>Sheng Gao et al. "Attack Detection for Intelligent Vehicles via CAN- Bus: A Lightweight Image Network Approach". In: *IEEE Transactions on Vehicular Technology* (2023), pp. 1–13. DOI: 10.1109/TVT.2023.3296705.

# 工程学 X

- 电子工程
  - 集成电路封装材料物理性能预测<sup>114</sup>
    - CuNi 合金体系材料强度和稳定性计算数据
- 通信工程
  - 通讯网络加密技术研究<sup>115</sup>
  - 6G 网络语义通信技术研究<sup>116</sup>
    - ImageNet-1k 数据集和 VOC2012 数据集
- 高性能计算
  - 高性能计算能源效率优化<sup>117</sup>
- 信息安全
  - 深度神经网络对抗攻击防御算法<sup>118</sup>
    - CIFAR-10 和 CIFAR-100 数据集

<sup>114</sup> 刘勃. “基于机器学习的封装材料加速预测”. 硕士学位论文. 哈尔滨理工大学, 2022.

<sup>115</sup> Xu Wang et al. “Physical Layer Secret Key Capacity Using Correlated Wireless Channel Samples”. In: *2016 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*. 2016, pp. 1–6.

<sup>116</sup> 傅宇舟 et al. “面向 6G 网络的基于语义通信的端到端服务框架”. In: *移动通信* 47.6 (2023), pp. 35–40.

<sup>117</sup> Andreas Gocht-Zech. “Ein Framework zur Optimierung der Energieeffizienz von HPC-Anwendungen auf der Basis von Machine-Learning-Methoden”. PhD thesis. Technische Universität Dresden, 2022.

<sup>118</sup> Lin Liu, Cong Hu, and Xiao-Jun Wu. “ $CE^2$ : A Copula Entropic Mutual Information Estimator for Enhancing Adversarial Robustness”. In: *Pattern Recognition and Computer Vision*. Springer, 2024, pp. 163–174.

# 工程学 XI

- 测绘遥感
  - 高光谱遥感数据分析<sup>119</sup>
    - 美国印第安纳 Indian Pine 高光谱遥感数据

---

<sup>119</sup>Xuexing Zeng and T S Durrani. "Band selection for hyperspectral images using copulas-based mutual information". In: *2009 IEEE/SP 15th Workshop on Statistical Signal Processing*. 2009, pp. 341–344. DOI: 10.1109/SSP.2009.5278570.

# 金融工程 I

- 投资组合优化
  - 股票资产相关性网络分析<sup>120</sup>
    - 沪深 A 股指数、沪深 300 指数数据
  - ST 股票分类<sup>121</sup>
    - A 股市场 ST 股票数据
- 金融问题建模
  - Copula 函数模型选择<sup>122</sup>
    - 标普 500 指数数据
- 股票相关性建模
  - R-vine copula 结构建模<sup>123</sup>
    - 德国 DAX 指数数据
    - 中证五大行业指数数据

<sup>120</sup> Qitong Wang. "Social Networks, Asset Allocation and Portfolio Diversification". MA thesis. University of Waterloo, 2015, 廖轶楠. "基于 Copula 熵选股及集成神经网络预测的投资组合管理研究". 硕士学位论文. 南京信息工程大学, 2023.

<sup>121</sup> 朱仲儿. "多种机器学习方法的股票分类预测". 硕士学位论文. 上海师范大学, 2022.

<sup>122</sup> Rafael Calsaverini and Renato Vicente. "An information-theoretic approach to statistical dependence: Copula information". In: *EPL (Europhysics Letters)* 88.6 (2009), p. 68003. DOI: 10.1209/0295-5075/88/68003.

<sup>123</sup> Fadhah Amer Alanazi. "Truncating Regular Vine Copula Based on Mutual Information: An Efficient Parsimonious Model for High-Dimensional Data". In: *Mathematical Problems in Engineering* 2021 (2021), p. 4347957, 王念鸽. "基于互信息的 Vine Copula 模型的高频数据投资组合风险测度研究". 硕士学位论文. 浙江财经大学, 2023.

- 量化金融工具箱 MLFinLab<sup>124</sup>
- 金融系统性风险
  - 行业风险溢出效应分析<sup>125</sup>
    - 我国股票市场 11 个行业交易数据
  - 金融脆弱性度量<sup>126</sup>
    - 沪深 300 指数股票数据
- 信用风险评价
  - 信用风险卡模型建立<sup>127</sup>
    - 信用卡客户数据
- 金融产品价格预测
  - 基于因果关系的迁移学习价格预测模型构建<sup>128</sup>
    - 国际主要金融指数、能源期货价格和农产品价格数据

<sup>124</sup>Hudson and Thames. *Machine Learning Financial Laboratory (MLFinLab)*. GitHub. 2021. URL: <https://github.com/hudson-and-thames/mlfinlab>.

<sup>125</sup> 熊靖宇, “基于 Copula 熵的行业风险溢出效应分析”, 硕士学位论文, 东北财经大学, 2020.

<sup>126</sup>Mengyuan Chen et al. "Vulnerability Analysis Method Based on Network and Copula Entropy". In: *Preprints* (2023).

<sup>127</sup>孔祥永 et al. “一种自动化特征工程信用风险评价系统及方法”. Pat. CN114049198A. 2021.

<sup>128</sup>**Dabin Zhang et al.** "A novel deep transfer learning framework with adversarial domain adaptation: application to financial time-series forecasting". In: *Neural Computing and Applications* (2023). doi: 10.1007/s00521-023-09047-1.

# My Golf



# Enjoy the Power of Copula Entropy!