

2017 年 MathorCup 大学生数学建模挑战赛题目

A 题 流程工业的智能制造

“中国制造 2025”是我国制造业升级的国家大战略。其技术核心是智能制造，智能化程度相当于“德国工业 4.0”水平。“中国制造 2025”的重点领域既包含重大装备的制造业，也包含新能源、新材料制造的流程工业。

在流程工业中，钢铁冶金，石油化工等行业是代表性的国民经济支柱性产业。其生产过程的系统优化与智能控制的目标函数包括节能，优质，低耗，绿色环保等多目标要求。为了实现这样的优化目标，生产过程智能控制的关键技术就要从原来的反馈控制进一步升级为预测控制。即通过生产工艺大数据的信息物理系统（Cyber Physical System）建模，通过大数据挖掘，确定生产过程的最佳途径与最佳参数控制范围，预测性地动态调整生产过程控制，获得最佳生产效果。

以高炉冶炼优质铁水为例，高炉炼铁过程是按加料顺序由高炉顶部加入矿石和焦炭等原燃料，由高炉下部连续鼓入热风、喷入煤粉进行炉温调整的冶炼过程。从原燃料炉顶加入，到冶炼成炉渣和铁水，其冶炼周期 6-8 小时。而高炉每经过 2 小时就出渣、出铁一次。并且化验得到此次出铁的铁水与炉渣的化学成分。因此，前后两炉铁水含硅量，即炉温之间是具有相关性的。

炼铁过程是一个离散加入，连续冶炼，离散输出的复杂生产过程。炼铁过程的机理既包含由热平衡/物料平衡约束的化学反应过程，也包括由三相流体动力学混合的物理运动过程。因此完整的冶炼过程机理模型是一个由代数方程组和偏微分方程组构成的复杂数学模型，模型方程如下：

$$A+B = F+G+\Delta Q \cap (ST \cap P \cap D)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho v) = k\rho$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla)v = F - \frac{1}{\rho} \operatorname{grad} p$$

$$p = f(\rho)$$

从机理上求解上述混合动力学方程组的最优解是尚未解决的数学难题。因此，通过大数据的数据挖掘技术对其进行过程优化是一条可行的求解途径。

炼铁过程依时间顺序采集的工艺参数是一个高维的大数据时间序列。影响因素数以百计。其终极生产指标产量、能耗、铁水质量等指标都与冶炼过程的一项

控制性中间指标——炉温，即铁水含硅量[Si]（铁水含硅质量百分数）密切相关。对 2 小时后或 4 小时后高炉炉温上升或下降的预测，即[Si]时间序列的预测关系着当前高炉各项操作参数的调控方向。因此，[Si]的准确预测控制建模成为冶炼过程优化与预测控制的关键技术。

为了简化问题，本项目仅提供由铁水含硅量[Si]、含硫量[S]、喷煤量 PML 和鼓风量 FL 组成的数据库作为数学建模分析和数据挖掘的基础。序号 N 既是数据序列的序号，其实也是高炉出铁时间的顺序序号。

本课题数学建模的要求是：

（1）从给定数据表中[Si]-[S]-FL-PML 依序号排列的 1000 炉生产大数据中，自主选取学习样本和算法，建立[Si]预测动态数学模型，包括一步预测模型和两步预测模型。全面论述你的数学建模思路。

（2）自主选取验证样本，验证你所建立的数学模型的预测成功率。包括数值预测成功率和炉温升降方向预测成功率。并且讨论其动态预测控制的可行性。

（3）以质量指标铁水含硫量[S]为例，含硫量低，铁水质量好，可以生产优质钢，制造优质装备。试建立质量指标[S]的优化数学模型，并且讨论按照优化模型计算结果进行[Si]预测控制的预期效果。

（4）讨论你所建立的复杂流程工业智能控制大数据建模的心得体会。

附件 1：某钢铁公司高炉“智能控制专家系统”在线采集的[Si]-[S]-FL-PML 时间序列数据表。[Si]为铁水含硅量，[S]为铁水含硫量，FL 为风量，PML 为喷煤量，N 为出铁炉次序号。多元数据时间序列 $X=\{[Si]_i, [S]_i, FL_i, PML_i\}$, $i=1, 2, \dots, 1000$.