

“天车与冶炼炉的作业调度”竞赛题的 工业背景及其他

刘祥官 李吉鸾

(浙江大学, 杭州 310027)

又一度金秋收获的季节。又一届“大学生数学建模竞赛”的数学难题摆在了参赛队的面前。在短短的 72 个小时中(按参赛队计算为 9 个人·日作量),参赛队必须完成赛题的数学建模的全套工作,包括实际问题的建模分析与计算,绘制出相关的图表,编制相应的计算机程序,给出正确的答案与讨论,最后还要写成一篇条理清晰、论证明确的论文,……。如此繁重的脑力劳动,许多参赛队出色地完成了。在批阅完毕全国 22 个赛区报送竞赛组委会评奖的“B 题”79 篇论文后,阅卷人的心都深深地为大学生们的智慧和创造力所震动。莘莘学子的智慧燧石在难题的撞击下,在时间、速度与质量竞争的压力下,迸发出了耀眼的火花。这智慧的火花就象炼钢炉中取样出来的钢水,钢花四射,发出耀眼的光芒,令人兴奋,令人喜悦。

“天车与冶炼炉的作业调度”这一道竞赛题,来源于我国自力更生建设起来的钢铁钒钛基地——攀枝花钢铁公司。原来的工业问题是:“攀钢提钒炼钢厂原料跨七车七炉作业的优化调度”。十多年前,为了提钒炼钢厂的生产跨上一个新台阶,为了企业的管理现代化,当时攀钢有远见卓识的领导人向数学工作者提出了这个数学难题。期望科技人员深入生产第一线,总结出天车与冶炼炉的生产调度规律,提出优化调度方案,指导车间的生产调度,提高天车与冶炼炉的劳动生产效率。同时论证生产线的最大通过能力,为公司的一项重要决策提供数量化的依据。为了解决这一文献本上查阅不到的难题解法和求解思路,攀钢的科技人员来到北京,向中科院应用数学所、系统工程所的数学家们求教;攀钢顾问华罗庚教授和他的助手们,老一辈数学家许国志、越民义等都为该项难题的探索作过指导。到科学院数学所查阅了英国的《运筹学季刊》。我国著名的学府清华大学应用数学系的师生们接受了这一难题的科研工作;四川联合大学(原成都科技大学)应用数学系的师生们接受了这一难题的科研工作;四川联合大学(原成都科技大学)应用数学系的师生冒着炎热和高温来到攀钢提钒炼钢厂参加了包括 2 座提钒炉—2 座混铁炉—3 座转炉在内的“七车七炉作业的跟车调查”;攀钢的科技人员和调度人员在三九寒冬来到首钢炼钢厂,完成了 2 座混铁炉—3 座转炉的“五车五炉作业的跟车调查”…。在大量调查数据的基础上,通过数理统计分析,建立起天车、冶炼炉的作业参数;采用了网络计划技术、动态规划、时间序列分析等运筹学的各种方法,建立起各种作业条件下的天车—冶炼炉作业优化调度方案,并论证了各种方案下的生产线通过能力。清华大学还编制了适合攀钢具体情况的整套计算机模拟软件 GPSS,模拟天车—冶炼炉的作业和调度过程,验算了生产线的最大

通过能力。经过攀钢和清华大学科研人员前后两年的努力工作。终于向攀钢领导交出了一份有份量的答卷。攀钢召开了有中国科学院应用数学所、科技政策与管理科学所、清华大学等教授专家参加的鉴定会。中国数学会运筹学会原秘书长桂湘云教授主持了鉴定会。鉴定意见认为该项应用数学工作达到了国内的领先水平。后来,台湾清华大学学者来到北京,在与清华大学学者的交流中,也对该项工业应用数学成果给予了高度的评价。

综上所述,本次数学模型竞赛的“天车与冶炼炉的作业调度”问题是一道实实在在的从实际工业课题提炼、简化出来的数学问题。这种多车多炉的优化调度问题是每一个钢铁厂都普遍存在的生产问题。也正如一些学生在建模分析中指出的,不仅在冶金,而且在铁路运输等部门,都有类似的优化调度问题。因此,本题解答中好的数学建模就是要能够归纳提炼出具有通用性的数学模型与计算方法。要从数据中归纳出相关的计算公式,而不能仅仅是数据的罗列。可喜的是从优秀答卷中,我们可以看到建模方法的多样性与数学方法应用的灵活性。不完全列举,学生们使用的方法就有:线性规划、统筹法(网络计划技术 PERT、CPM 等)、动态规划、层次分析法、PETRI 法、图论方法、排队论方法等等;运用已有的计算机软件包来解题的有 MATHEMATICA、GPSS、DSS 决策支持系统等,许多参赛队自行编制了计算及绘图程序。通过这些方法、手段的综合应用,许多参赛队建立了有关的模型与计算公式,计算出了具体结果。他们从工业企业生产实际的常识出发对结果进行科学的讨论分析并得到了正确的结论,取得了优秀的成绩。本期全文选登和部分摘录的论文就是其中优秀答卷的代表。

在这里特别指出“天车—冶炼炉作业运行图”的绘制在本道难题的解答中,检验了学生们的创新思路和数学技巧。实际生产过程的调度作业是难以按照所建立的数学模型公式——计算然后再去调度的。为了调度的简明性,工业中许多调度岗位都是使用“图上作业法”。这种方法也是数学中解决难题的一种有用方法。它比解析公式具有更直观、简明的效果。而要把天车—冶炼炉这 8 项生产设备的作业在一张运行图上简明地表达出来,确实要花一番研究的功夫。许多答卷绘制了常规调度使用的 GANTT 图即横道图。这是外国人创造的,写进了书本上的方法。在工程项目的网络计划技术中常常使用。然而这种传统的方法不足之处是不能直观反映各岗位作业之间的有机关联。特别是天车的作业不是孤立的,它要配合并服务于冶炼炉的作业。因此调度图如果不反映这种有机的联系是难以搞好动态调度的。一些优秀的答卷绘制了反映随时间推移各设备(包括天车与冶炼炉)综合作业状态的“二维调度图”显示了数学思维的创新之处。这种由生产车间的三维空间作业简化提炼而得到的“二维调度图”,其一是“时间维”,反映生产依时间动态推移的过程;其二是“空间维”,三维空间依题意简化为一维,抓住由冶炼炉与作业点相对位置确定的一维空间座标。在这样的时空二维平面上反映天车的作业过程就能把天车为冶炼炉作业服务的衔接关系准确地、简明地、动态地表达出来。它给调度人员一个完整的、直观的、各设备统筹兼顾的生产调度概念,因而受到调度人员的欢迎。迄今“七车七炉作业优化调度”的论文尚未发表,普通文献上也没有“二维调度图”的论述。参赛者能在短时间中建立“二维调度图”的概念,其数学图形提炼技巧和灵活应用的创新思路实属可贵。

对于应用数学问题建模计算之后的分析与结论,是本赛题对参赛者的又一个考验。可以说,数学建模问题的“题外常识”,是作出结论的重要前提。并且通常是不在题目中“点明”的。成功的参赛者都充分注意到了这个问题。有些好的答卷没有使用任何计算机工具,

然而他们成功地完成了计算分析,并得出正确的结论。究其成功之处在于他们把功夫下在动脑筋上。而有些参赛队在计算机上确实花了很大功夫,然而却未得出正确的结论。优秀的参赛队则在充分动脑筋的基础上,使用计算机也达到了较高的水平。这给我们一个启示:计算机只是“聪明人”更能干的工具。在本题的解答中,有些参赛队按要求完成了“设计一种满足上述要求的天车与冶炼炉的作业调度方案”,只计算了三台天车的作业数据,但未对模型作更深入的讨论和对比就下了“最优”结论,显然这样的解答是难以获得更好的成绩。而最令人惋惜的是,一些参赛队在充分比较三台天车方案、四台天车方案和五台天车方案之后,不能全面推敲“各台天车作业率尽量均衡”的实践含意,片面追求数字上的均衡,脱离了企业生产实际,以五台天车作业为“最优方案”,其结论当然也就令人难以赞同了。如果深入分析一下就可以得知五台天车作业之间的相互干扰,等待,让车所造成的被迫“无效作业”同样也要带来“天车作业率”的升高。此时并不能认为天车处于“无作业”的自由状态。更何况一台能够吊起120吨铁水(连同空罐将达到150吨)的天车价值数百万元。因此,应当明了,天车作业率的“均衡”是在作业率均不超过70%意义下的均衡,有的参赛队也能机敏地列出了三台天车的“均匀”作业方案。参赛者应当能够理解:从企业实际出发,怎么能够设想仅仅为了“尽量均衡”天车的作业率,管理者会作出多花数百万元的决策呢。因此,在运用数学建模方法处理实际问题作出分析结论的时候,我们一定要避免陷入“数学脱离实际”的境地。这是积多年工业应用数学实践经验提出的忠告。

本题的题目是“天车与冶炼炉的作业调度”,它包含运输工具与生产设备两方面的作业调度。精明的参赛者在很长的问题面前,越过“语文”这一关后,通过系统分析很快就会发现生产线科学管理的“中心”是冶炼炉而不是天车。就象是太阳系问题,按照“地心说”很难画出太阳的运行轨道,而按照“日心说”则地球的运行轨道一目了然一样。当计算好冶炼炉的作业要求后,按最大生产能力去安排天车的作业工序及其时间要求,天车服务于冶炼炉作业的关键问题也就一清二楚。成功的参赛队也就很快从天车作业率不大于70%的要求中列出了计算最少所需天车台数的公式,判断出至少必须有三台天车才能完成基本工序。而不必用“穷举法”从一台天车作业计算到五台天车作业,一一进行比较。

本题答案中,天车的“工序清单”绝大多数答卷均能正确回答。然而对于“调度规则”的阐述多数答卷则变成“天车作业时间表”。未能归纳成冶炼炉作业、天车作业的相关规则。这反映了参赛者尚缺乏理论提炼的基本功。从数据到公式(即规律),再从规律到调度规则,这是一个从实际到理论,再用理论指导实践的提炼过程。个别成功的答卷能够归纳阐述天车—冶炼炉的“作业优先级”概念,如天车作业时间服从于冶炼炉作业时间,并按时间提前量作好准备;T2天车(即中间一台天车)作业优先;负载天车作业优先等“规则”。这些“规则”给调度人员以明确的调度指导,从而灵活地处理时间参数随机变动后的情况。当然,提炼“规则”是在全面理解了整个生产作业调度要素之后才能想出来的。即使不见得是完整的答案,也令人赞赏其对运筹学知识的灵活应用。

对于本题中“提高钢产量到年产300万吨以上的建议”,许多答卷意识到本题的通过改善管理调度提高劳动生产率的挖潜含意,因而能够用计算结果作出冶炼炉作业和天车作业两方面的挖潜分析,给出了正确的回答。而建议再添一座甚至两座冶炼炉的参赛者,如果知道一座大型转炉需要数千万元至上亿元的配套投资时,他就不会轻而易举地下笔写出这样的答案了。

最后说到本题的数学知识要求和数学应用的思想方法问题。在参赛队充分理解本题的要求和进行求解之后,我们可以看到,只要有初等数学知识,完全不用计算机就能完成本题的全部解析计算。然而计算结果是否正确的前提和关键却是时间参数之间的逻辑关系分析是否正确。因此本题数学考验的核心是逻辑数学,是工序之间的“关系”,特别是时间参数的“衔接关系”。实际工业应用数学问题大量的是“离散数学”问题,要善于综合应用“肯定型”、“概率型”和“逻辑型”的数学工具。如果只习惯于自然科学中的“肯定型—连续型”数学问题的分析思路和解法,我们就常会在实际生产问题和管理问题面前束手无策。因为这些问题经常是离散的概率型、逻辑型问题。本赛题最后提出的时间参数随机问题的讨论就是基于这样的背景提出的。许多答卷能够按平均时间的正态分布或统筹法中数学期望时间的正态分布或统筹法中数学期望时间的 β 分布来讨论时间参数对生产的影响都是正确的。然而这里也要指出一些参赛队不恰当地把有计划的生产调度问题用随机排队模型来套。殊不知一条轨道上的 N 台天车到达某一工作点根本不是随机自由到达。套用不恰当的模型而得出不正确的结果,失之偏颇也就难免了。可以说,深入浅出的运用数学工具解决实际问题应用数学的“Know How”;而相反用了高深的数学理论却脱离了问题的实际,实乃数学建模之“大忌”。

“科技兴国”的号角召唤着有志于“科学技术面向经济建设”的学子。要使我国经济运行质量赶超世界的先进水平,应用数学的参与大有作为。数学建模竞赛给有志者一个小试锋芒的机遇。我们期待着更多的优秀者脱颖而出,取得更好的成绩!

天车与冶炼炉的作业调度

邱玉平 谭小术 干 斌

(四川轻化工学院, 自贡 643033)

指导教师: 武亦文

编者按:本文主要优点是能抓住主要的影响因素建立了“瓶颈模型”,通过详细、正确的数学论证分析了使用一至五台天车的可能性,并对使用三台天车的情形给出了详细的各天车的工序清单、天车炉子作业运行图。本文还用层次分析法给出了一种评估三、四、五台天车是否最优的模型,从而认为使用三台天车为最优。

摘要:本模型首先考虑该车间工序的相互影响,抓住主要的影响因素(即各环节的过程速度)在满足生产条件和假设条件的情况下,利用“递推法”找到其钢年产量的决定因素,建立了较为实用的“瓶颈模型”,应用层次分析法确定了天车的台数为3台,再运用排队理论制定了天车调度的最优方案,求出了在所给条件下钢的年产量为:282.76万吨。

关键词:瓶颈模型,排队论,层次分析法。