

《运筹优化与最优决策》期末 Project 选题报告

——基于整数规划的高速列车运行路径优化问题

第 5 组 小组成员：张思成 王文杰 赵子涵 伊慧澄

一、 选题背景、意义与可行性分析

在我国，高速铁路是指设计时速不低于 250km/h，初期运营时速不低于 200km/h 的铁路线路。随着我国高速铁路网络的快速发展和完善，高速动车组已经成为了国民出行的重要方式。2021 年底，京港高铁安九段的开通标志着我国高速铁路运营里程正式突破 4 万千米，而随着“八纵八横”的路网趋于完善和区域性城际铁路的大面积通车，路网中从某一起点到目的地往往存在着多条可通达的路径，满足不同的出行需求。例如，以北京-南昌作为出发地和目的地，目前路网中共有 3 种运行经由，分别是经由京广高速-沪昆高速的 G485 次列车，经由京广高速-武九客专-昌九城际的 G487 次列车和经由京沪高速-宁杭高速-沪昆高速的 G169 次列车。在这些列车的跨线运行决策中，往往涉及车站跨线作业条件，线路负荷，区间客流等多种因素的权衡，在实际操作中具有一定挑战性。

结合以上实际情况，探究高速列车在多个目的地之间跨线运行的最优方案对综合安排列车运行线，优化列车运行图，满足乘客多样化出行需求，最大化路局运营收益等方面有重要价值，是值得探究的优化问题。

二、 优化目标分析

考虑到上述提到的跨线运行列车的多种因素约束，单纯考虑最短路径未必是列车运行最优、最符合实际条件的路径，而需要考虑综合考虑列车运行时间，距离，运行区段承载能力，因此该问题将是一个多目标线性优化问题。

通过文献阅读、专家调研等方式，我们最终选择了**列车运行总里程最短，运行总时间最小，跨线运行时对区段线路承载能力最小和区间客流最大四个目标作为最终的优化目标**。其中，列车运行里程和时间可通过官方数据获取，区段承载能力可通过列车跨线运行安排数量等规则计算，区间客流可通过官方数据或两地人口、经济活跃程度、距离等因素综合推算。在此基础上，由于目标函数的量纲存在不同，我们通过引入标准化函数的方式（最小-最大值标准化，即将所有可选择的路径中运行时间，运行里程和区段承载能力均匀映射到 0-1 区间上，最小

值设为 0，最大值设为 1）使得四类优化目标可比，并通过加权求和的方式得到最终的优化函数。我们考虑用专家访谈等方式确定四类目标的权重，并使得权重之和为 1，最后通过敏感性分析的方式探索权重的相应影响。

三、 约束条件分析

在以上基础上，我们确定了以下 4 类约束条件。

- ① 区段运行时间。即列车在两站之间的运行时间受到线路允许最高速度，路况条件（如沉降限速）等因素限制。该约束条件可根据路局官方数据确定。
- ② 区段线路影响能力。通常而言，高铁线路（尤其是干线）优先满足本线列车开行，而跨线列车大量开行将挤占区间运力，因此将考虑对不同等级线路跨线列车的开行比例进行约束，并考虑部分特殊线路的情况（如京沪高铁作为上市公司，跨线运行的比例受限制更大）给予相应的调整。
- ③ 路网贯通条件约束。该约束为两地之间是否有已建成通车的高速铁路运行，为网络约束，可参照课程内容中“网络流”等内容给出约束条件；需要注意添加额外条件防止列车“环状运行”进入死循环。
- ④ 跨线枢纽站是否具备作业条件约束。部分枢纽车站存在多个运行方向时，不同运行方向跨线受到联络线、渡线、站台条件以及是否需要换向运行（即跨线线路位于车站同侧，列车需要调转运行方向，通常需要占据站台和线路较长时间）等因素影响。为简化上述问题，我们将联络线等客观条件设定为 0-1 约束，并约束某运行经由中需要换向运行的次数不超过 1。

四、可行性分析

在以上问题中，由于国家高速铁路网络运行条件，运营里程和运营时长均为公开数据，因此该问题的数据获取难度相对较低。就优化条件而言，以上约束条件等大多为 0-1 规划约束和整数规划约束，因此可通过课程所学的方法求解。

由于国家铁路路网具有相对较大的规模和复杂性，求解以上问题所需的算力开销可能是巨大的。为此，我们考虑以下几种可能的简化收敛方向：①简化运行网络，仅考虑重要城市节点（如省会城市）之间的运行线路，减小运算规模；②增大对整数约束误差的容忍程度，或对部分整数规划的约束条件进行松弛，探究常规 LP 问题的解等。