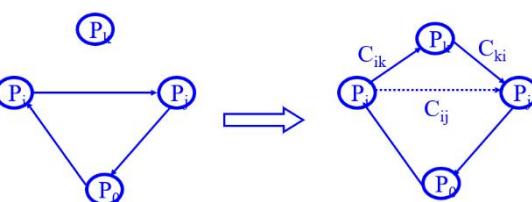
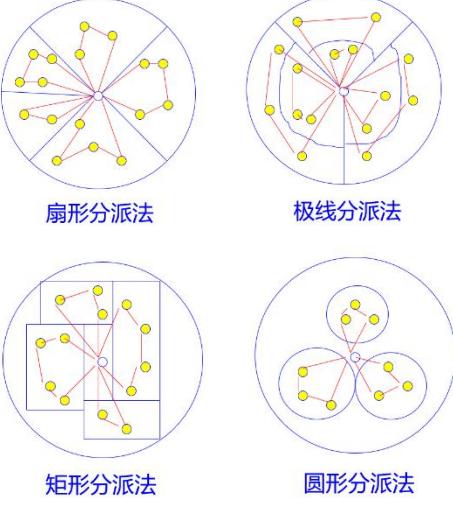


# 《典型运筹学问题与模型》教学设计

| 课程名称        | 第六章 车辆路径规划问题（一）  | 学时     | 3    |
|-------------|--|--------|------|
| 学情分析        | <p>典型运筹学是一个深入研究优化决策过程的经典领域。自古以来，人们对如何优化资源配置和提升效率充满兴趣。在现代社会，运筹学应用广泛，从物流配送到生产调度、从金融投资到交通流量管理，这些应用的成功都离不开运筹学的支持。运筹学通过数学模型和算法，帮助我们解决各种复杂的决策问题，例如最优路径选择、资源分配和系统优化等。在实际应用中，它不仅依赖于领域知识和问题的精确建模，还涉及高效的算法设计和解决策略。通过系统地解决这些问题，运筹学为各种行业提供了有力的决策支持。</p> <p>授课对象为大数据实验班，该班级学生普遍具备扎实的数学和运筹学基础，对运筹学课程有较高的认知水平。学生的学习风气良好，思维活跃，具有较强的好奇心和进取心，这为深入探讨运筹学的理论和应用打下了坚实的基础。由于他们已经具备了良好的基础知识，这使得他们能够更快地理解和掌握课程中的复杂概念和高级算法，能够积极参与讨论和解决实际问题。因此，在授课过程中，可以更深入地探讨运筹学的高级话题，结合实际案例和大数据应用，进一步提升学生的实际操作能力和理论水平，以满足他们对未来工作的高要求。</p> |        |      |
| 教学目标        | <ol style="list-style-type: none"><li>掌握车辆路径规划问题特征、数学模型、求解算法，了解 VRP 问题分类与应用</li><li>培养学生建模能力，使其能够将实际交通问题转化为数学模型，利用所学知识进行有效求解。这一过程将激励学生拓宽视野，提升逻辑思维与分析能力。</li><li>培养学生作为交通强国建设者的责任与担当，增强学生民族自豪感，强调交通运输在国家发展中的重要性，引导学生认识自己作为未来交通强国建设者的责任与担当，增强他们的社会责任感。同时，通过分享中国在交通领域的创新成就，激发学生的民族自豪感，鼓励他们为推动国家交通现代化和可持续发展贡献智慧与力量。通过这种融入思政教育的方式，培养学生的综合素质，树立正确的价值观，为他们未来的发展奠定良好的基础。</li></ol>   |        |      |
| 教学思想        | <p>充分调动学生学习主动性和积极性</p> <p>用讨论交流的方式引导学生梳理知识</p> <p>将立德树人、德智兼修的思想融入课程教学中</p> <p>提高学生专业能力的同时帮助学生树立正确的人生观、价值观。</p>   |        |      |
| 课程资源        | <p>视频资源：《交通强国建设纲要》：2035 年基本形成“全国 123 出行交通圈”</p> <p>《数学规划与组合优化》浙江大学出版社 第 12 章（12.2）</p> <p>MIT OpenCourseWare – Introduction to Algorithms (6.006) 第 6 章</p> <p>课件 源代码</p>  |        |      |
| 教学内容        | <ol style="list-style-type: none"><li>播放视频：《交通强国建设纲要》：2035 年基本形成“全国 123 出行交通圈”</li><li>VRP 问题简介：定义、背景、应用、分类</li><li>VRP 问题数学模型</li><li>VRP 算法类型及简要介绍</li></ol>   |        |      |
| 教学重点与难点     | <p><b>重点：</b>深入理解车辆路径规划问题（VRP）的数学模型和求解算法。学生需掌握 VRP 的基本构成，包括车辆数量、客户需求、配送路线等要素，并能够系统地构建相应的数学模型。同时，重点讲解常用的求解算法，如线性规划、整数规划、启发式算法和元启发式算法等，帮助学生理解这些算法的基本原理、步骤及其适用场景，提升求解实际问题的能力。</p> <p><b>难点：</b>对数学模型中各个约束条件的理解。这包括对车辆容量限制、时间窗约束、最大行驶距离等约束的深入分析与解释。学生需要掌握如何将实际交通环境中的复杂限制转化为数学模型中的约束条件，从而确保模型的有效性与合理性。</p>  |        |      |
| 教学方法与工具     | <p>教学方法：本科主要采用任务驱动教学，过程中辅以启发提问、自主学习方法</p> <p>工具：多媒体、板书</p>   |        |      |
| <b>教学安排</b> |  |        |      |
| 教学环节        | 教师行为   | 预设学生行为 | 设计意图 |

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| 情境导入（3分钟）   | <p>播放视频：《交通强国建设纲要》：2035年基本形成“全国123出行交通圈”，结合交通强国热点问题，引入运输问题</p>    | 关注新闻，思考装箱问题的实际应用  | 增强学生的民族自信与使命担当，在激发学生学习兴趣的同时，提高学生的人文素养  |
| VRP 问题的定义、背景及应用、分类、数学模型，重点讲解数学模型中对各个约束的理解（60分钟）                       | <p><b>引入与背景讲解：</b>解释 VRP 的定义和实际应用背景，引发学生兴趣。</p>  <p><b>分类与应用：</b>详细介绍 VRP 的不同分类及其在实际中的应用。</p> <p><b>数学模型讲解：</b>逐步讲解 VRP 的数学模型，包括目标函数和约束条件，通过示例帮助学生理解。</p> <p><b>约束条件解析：</b>重点解释每个约束条件的数学表达式及其实际意义，使用图示或实际案例来说明。</p> <p><b>解决策略：</b>介绍常用的算法和求解方法，如精确算法和启发式算法，演示如何应用这些方法解决实际问题。</p> | <p><b>基础理解：</b>学生应能理解 VRP 的基本概念及其实际应用。</p> <p><b>参与讨论：</b>积极参与讨论，提出问题并分析案例。</p> <p><b>分析模型：</b>能够分析 VRP 的数学模型，理解各约束条件的作用。</p> <p><b>应用算法：</b>理解并尝试使用解决策略和算法。</p> <p><b>解决问题：</b>应用所学知识解决实际的 VRP 问题。</p> | <p><b>建立基础知识：</b>通过引入和背景讲解建立对 VRP 的基本理解。</p> <p><b>提升分类理解：</b>通过分类讲解帮助学生识别不同类型的 VRP。</p> <p><b>深入数学模型：</b>通过详细讲解数学模型和约束条件，帮助学生掌握问题建模和求解的基础。</p> <p><b>增强问题解决能力：</b>通过介绍算法和实际应用案例，提升学生的实际问题解决能力。</p> <p><b>促进互动与反馈：</b>通过互动讨论和反馈，确保学生能深入理解并实际应用 VRP 知识。</p> |
| 课堂提问（5分钟）   | 提问：什么是 VRP 问题？   | 回答问题  | 加深对知识点的记忆  |
| VRP 问题的求解方法：<br><b>C-W 节约算法</b> 。针对每一种算法，先让学生自主学习，独立思考，之后再进行讲解。（20分钟） | <p><b>C-W 节约算法</b>是一种用于解决车辆路径问题的启发式算法。其核心思想是通过逐步改进初始解来优化运输路线，以最小化总运输成本。具体步骤包括：</p> <p><b>初始化：</b>从一个初步的解决方案开始，通常是将每个客户的需求单独处理。</p> <p><b>计算节约：</b>计算将两个客户合并到同一辆车上的节约量，这个节约量是单独处理这两个客户与合并后处理的成本差。</p> <p><b>排序：</b>按照节约量从大到小排序。</p>   | <p><b>自主学习：</b>学生在独立学习和思考过程中，可以先理解算法的基本步骤和计算方式。</p> <p><b>独立思考：</b>学生应当能够通过自主研究计算节约值并尝试将不同路径合并，以直观了解算法的效果。</p>  | <p><b>逐步引导：</b>通过逐步引导学生学习 C-W 节约算法，使学生在理论学习和实际应用中逐步掌握算法的各个步骤。</p> <p><b>自主学习：</b>鼓励学生先进行自主学习和思考，使他们对算法有初步理解，提高课堂讲解的效率和针对性。</p> <p><b>应用实践：</b>通过实际操作和问题解决，帮助学生将理论知识转化为实践能力，增强理解和记忆。</p>  |

|  | <p><b>合并:</b> 按照排序的顺序尝试合并客户，直到无法进一步合并或达到某种约束条件。</p> <table border="1" data-bbox="358 204 890 557"> <thead> <tr> <th>序号</th><th>弧</th><th>线路及说明</th><th>插入该弧的节约值</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td><td></td><td>A-B-A,A-C-A,A-D-A,A-E-A,A-F-A,A-G-A</td><td></td></tr> <tr> <td>1</td><td>(D,E)</td><td>A-B-A,A-C-A,A-D-E-A,A-F-A,A-G-A</td><td>34.70</td></tr> <tr> <td>2</td><td>(E,F)</td><td>A-B-A,A-C-A,A-D-E-F-A,A-G-A</td><td>33.44</td></tr> <tr> <td>3</td><td>(C,E)</td><td>E点与基点A不相邻，不插入</td><td>0</td></tr> <tr> <td>4</td><td>(C,F)</td><td>A-B-A,A-D-E-F-C,A-G-A</td><td>30.07</td></tr> <tr> <td>5, 6</td><td>(D,F)<br/>(C,D)</td><td>这些点已在同一条线路上</td><td>0</td></tr> <tr> <td>7</td><td>(F,G)</td><td>F点与基点A不相邻，不插入</td><td>0</td></tr> <tr> <td>8</td><td>(B,C)</td><td>A-D-E-F-C-B-A,A-G-A</td><td>25.8</td></tr> <tr> <td>9, 10</td><td>(E,G)<br/>(C,G)</td><td>E点、C点与基点A不相邻，不插入</td><td>0</td></tr> <tr> <td>11</td><td>(D,G)</td><td>A-G-D-E-F-C-B-A</td><td>23.11</td></tr> </tbody> </table> | 序号  | 弧  | 线路及说明 | 插入该弧的节约值 | 0 |  | A-B-A,A-C-A,A-D-A,A-E-A,A-F-A,A-G-A |  | 1 | (D,E) | A-B-A,A-C-A,A-D-E-A,A-F-A,A-G-A | 34.70 | 2 | (E,F) | A-B-A,A-C-A,A-D-E-F-A,A-G-A | 33.44 | 3 | (C,E) | E点与基点A不相邻，不插入 | 0 | 4 | (C,F) | A-B-A,A-D-E-F-C,A-G-A | 30.07 | 5, 6 | (D,F)<br>(C,D) | 这些点已在同一条线路上 | 0 | 7 | (F,G) | F点与基点A不相邻，不插入 | 0 | 8 | (B,C) | A-D-E-F-C-B-A,A-G-A | 25.8 | 9, 10 | (E,G)<br>(C,G) | E点、C点与基点A不相邻，不插入 | 0 | 11 | (D,G) | A-G-D-E-F-C-B-A | 23.11 |  |  |
|--|--|---|--|-------|----------|---|--|-------------------------------------|--|---|-------|---------------------------------|-------|---|-------|-----------------------------|-------|---|-------|---------------|---|---|-------|-----------------------|-------|------|----------------|-------------|---|---|-------|---------------|---|---|-------|---------------------|------|-------|----------------|------------------|---|----|-------|-----------------|-------|--|--|
| 序号   | 弧  | 线路及说明   | 插入该弧的节约值   |       |          |   |  |                                     |  |   |       |                                 |       |   |       |                             |       |   |       |               |   |   |       |                       |       |      |                |             |   |   |       |               |   |   |       |                     |      |       |                |                  |   |    |       |                 |       |  |  |
| 0  |  | A-B-A,A-C-A,A-D-A,A-E-A,A-F-A,A-G-A   |  |       |          |   |  |                                     |  |   |       |                                 |       |   |       |                             |       |   |       |               |   |   |       |                       |       |      |                |             |   |   |       |               |   |   |       |                     |      |       |                |                  |   |    |       |                 |       |  |  |
| 1  | (D,E)  | A-B-A,A-C-A,A-D-E-A,A-F-A,A-G-A   | 34.70  |       |          |   |  |                                     |  |   |       |                                 |       |   |       |                             |       |   |       |               |   |   |       |                       |       |      |                |             |   |   |       |               |   |   |       |                     |      |       |                |                  |   |    |       |                 |       |  |  |
| 2  | (E,F)  | A-B-A,A-C-A,A-D-E-F-A,A-G-A   | 33.44  |       |          |   |  |                                     |  |   |       |                                 |       |   |       |                             |       |   |       |               |   |   |       |                       |       |      |                |             |   |   |       |               |   |   |       |                     |      |       |                |                  |   |    |       |                 |       |  |  |
| 3  | (C,E)  | E点与基点A不相邻，不插入   | 0  |       |          |   |  |                                     |  |   |       |                                 |       |   |       |                             |       |   |       |               |   |   |       |                       |       |      |                |             |   |   |       |               |   |   |       |                     |      |       |                |                  |   |    |       |                 |       |  |  |
| 4  | (C,F)  | A-B-A,A-D-E-F-C,A-G-A   | 30.07  |       |          |   |  |                                     |  |   |       |                                 |       |   |       |                             |       |   |       |               |   |   |       |                       |       |      |                |             |   |   |       |               |   |   |       |                     |      |       |                |                  |   |    |       |                 |       |  |  |
| 5, 6   | (D,F)<br>(C,D)   | 这些点已在同一条线路上   | 0  |       |          |   |  |                                     |  |   |       |                                 |       |   |       |                             |       |   |       |               |   |   |       |                       |       |      |                |             |   |   |       |               |   |   |       |                     |      |       |                |                  |   |    |       |                 |       |  |  |
| 7  | (F,G)  | F点与基点A不相邻，不插入   | 0  |       |          |   |  |                                     |  |   |       |                                 |       |   |       |                             |       |   |       |               |   |   |       |                       |       |      |                |             |   |   |       |               |   |   |       |                     |      |       |                |                  |   |    |       |                 |       |  |  |
| 8  | (B,C)  | A-D-E-F-C-B-A,A-G-A   | 25.8   |       |          |   |  |                                     |  |   |       |                                 |       |   |       |                             |       |   |       |               |   |   |       |                       |       |      |                |             |   |   |       |               |   |   |       |                     |      |       |                |                  |   |    |       |                 |       |  |  |
| 9, 10  | (E,G)<br>(C,G)   | E点、C点与基点A不相邻，不插入  | 0  |       |          |   |  |                                     |  |   |       |                                 |       |   |       |                             |       |   |       |               |   |   |       |                       |       |      |                |             |   |   |       |               |   |   |       |                     |      |       |                |                  |   |    |       |                 |       |  |  |
| 11   | (D,G)  | A-G-D-E-F-C-B-A   | 23.11  |       |          |   |  |                                     |  |   |       |                                 |       |   |       |                             |       |   |       |               |   |   |       |                       |       |      |                |             |   |   |       |               |   |   |       |                     |      |       |                |                  |   |    |       |                 |       |  |  |
| <p>VRP 问题的求解方法：<br/><b>插入法。</b>针对每一种算法，先让学生自主学习，独立思考，之后再进行讲解。(20分钟)</p>      | <p><b>算法思想:</b><br/>在已有的路径中插入别的需求点，从而不断扩大配送路径，在插入其他需求点时，需检验是否满足最大运距约束、最大载重量约束和作业时间约束等条件。</p> <p><b>算法步骤:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>分别对于每台配送车辆适当选择客户群。</li> <li>在配送中心与客户群之间构筑路径，以此作为初始路径。</li> <li>对于客户群之外的客户 <math>k</math> 按照适当顺序，在具有实施可能性而且使总的费用增加最小。</li> </ol>   | <p><b>理解插入法基本概念:</b><br/>学生应理解插入法的核心思想，即通过将客户逐步插入到已有路径中来构建和优化路线。</p> <p><b>独立应用算法:</b> 学生能够根据算法步骤，在简单的 VRP 实例中应用插入法，包括客户插入的选择和路径调整。</p> | <p><b>引导自主学习:</b> 通过引导学生自主学习插入法，让学生首先对算法有基本的了解和应用体验，提升其主动学习能力。</p> <p><b>理论与实践结合:</b> 讲解过程中将理论与实际操作相结合，使学生能够通过实例验证和应用算法，增强对算法步骤和效果的理解。</p> |       |          |   |  |                                     |  |   |       |                                 |       |   |       |                             |       |   |       |               |   |   |       |                       |       |      |                |             |   |   |       |               |   |   |       |                     |      |       |                |                  |   |    |       |                 |       |  |  |
| <p>VRP 问题的求解方法：<br/><b>Sweep 算法。</b>针对每一种算法，先让学生自主学习，独立思考，之后再进行讲解。(20分钟)</p> | <p><b>Sweep 算法</b>用于解决车辆路径问题 (VRP) 的核心思想是通过将客户按某种排序规则划分到不同的车队中，从而优化整体路径。具体步骤包括：<br/><b>按角度排序:</b> 首先将所有客户点按与中心点（通常是配送中心）连线的角度排序。<br/><b>划分区域:</b> 将这些客户点分配到预定数量的车辆中，每辆车负责一个角度范围内的客户。<br/><b>构建路径:</b> 为每辆车依次访问其分配到的客户点，构建完整的路径。</p>  | <p><b>理解算法概念:</b> 学生应能理解 Sweep 算法的基本概念，即通过将区域划分为扇形区域，逐步构建路径。</p> <p><b>路径构建:</b> 学生能够根据划分的区域构建路径，并合理安排客户访问顺序以优化路线。</p>                  | <p><b>自主学习引导:</b> 通过让学生先自主学习 Sweep 算法的基本原理和步骤，引导他们对算法有初步认识，并培养独立思考能力。</p>  |       |          |   |  |                                     |  |   |       |                                 |       |   |       |                             |       |   |       |               |   |   |       |                       |       |      |                |             |   |   |       |               |   |   |       |                     |      |       |                |                  |   |    |       |                 |       |  |  |
| <p>VRP 问题的求解方法：<br/><b>先路径后分组算法。</b>针对每一种算法，先让学生自主学习，独立思考，之后再进行讲解。(15分钟)</p> | <p><b>算法思想:</b><br/>先松弛模型中关于车辆载重和距离等的约束，构造一个或几个很长的路径，然后把这些很长的线路分解成一些短而可行的线路。</p> <p><b>算法步骤:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>寻求对于每个节点通过一次且只通过一次的巡回路径。</li> <li>在满足步骤 1 上的路径中节点的连续性和给定</li> </ol>  | <p><b>理解算法概念:</b> 学生应能理解先路径后分组算法的基本思路，即先构建一个初步的路径，然后将路径中的客户进行分组以满足车辆容量限制。</p> <p><b>路径构建:</b> 学生能够独</p>                                 | <p>通过自主学习和系统讲解的结合，确保学生能够全面掌握先路径后分组算法，提升其解决 VRP 问题的能力。</p>  |       |          |   |  |                                     |  |   |       |                                 |       |   |       |                             |       |   |       |               |   |   |       |                       |       |      |                |             |   |   |       |               |   |   |       |                     |      |       |                |                  |   |    |       |                 |       |  |  |

|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
|  | <p>的条件（最大装载量或最大距离）下进行分组。</p> <p>3. 确定各组需求点的最优访问顺序。</p>   | <p>立完成初步路径的构建，包括选择客户的访问顺序。</p> <p><b>分组处理：</b>学生能够根据构建的路径进行客户分组，确保每组的客户满足车辆容量限制，并尽量优化每组的路线。</p>  |   |
| <p>VRP 问题的求解方法：</p> <p><b>邻域分派法。</b>针对每一种算法，先让学生自主学习，独立思考，之后再进行讲解。(15分钟)</p> | <p>邻域分派法在解决车辆路径问题 (VRP) 时的核心思想是通过局部优化改进当前解，具体步骤如下：</p> <p><b>生成初步解：</b>使用启发式方法生成一个初始的路径解。</p> <p><b>定义邻域操作：</b>选择可进行的局部调整操作，如<b>交换客户、插入客户、或重排路径</b>等。</p> <p><b>探索邻域：</b>在当前解的邻域中尝试不同的操作，评估其对目标函数（如总成本或总距离）的影响。</p> <p><b>接受新解：</b>如果新的邻域解表现更好，则更新当前解；否则，继续探索其他邻域。</p> <p><b>迭代优化：</b>重复探索和更新过程，直到满足停止条件（如达到最大迭代次数或解的改善不明显）。</p>  | <p><b>理解基本概念：</b>学生应能理解邻域分派法的基本思想，即通过在当前解决方案的邻域内进行局部调整来改进路径。</p> <p><b>局部调整：</b>学生能够识别和应用邻域内的不同调整方法，例如交换、插入或反转操作，以改进路径。</p> <p><b>评估效果：</b>学生能够评估局部调整的效果，包括计算调整前后的成本，判断是否改进了解决方案。</p> <p><b>优化能力：</b>学生能够识别常见的局部优化问题并提出有效的调整策略，以提高路径的整体效率。</p> | <p>通过自主学习和详细讲解的结合，确保学生能够掌握邻域分派法，并有效应用于 VRP 问题的解决。</p> |
| 内容总结 (5分钟)   | 请学生对上述内容进行总结   | 总结教师讲授内容   | 了解并加强学生对知识的掌握   |
| <p><b>教学评价</b></p>   | <p><b>形成性评价：</b>通过课堂中的小测验、即时反馈、讨论参与等方式，实时评估学生的学习进度。这种评价方式注重过程，帮助教师在教学过程中发现学生的困难与不足，并及时进行调整。</p> <p><b>总结性评价：</b>在单元或课程结束时，通过考试、论文、项目报告等方式评估学生的最终学习成果。注重学生对知识的整体把握和实际应用能力。</p> <p><b>过程性评价：</b>通过观察学生在课堂中的参与度、作业完成情况、项目进展等过程性表现，综合评估学生的学习状态和进步。</p> <p><b>结果性评价：</b>结果性评价重点关注学生通过学习最终达成的成果，如期末考试成绩、项目完成情况等。这类评价能够反映学生的总体学习效果和能力发展。</p> <p>课堂氛围活跃，学生积极回答问题，对知识点总结到位，知识掌握水平较好</p>                                       |  |   |
|  | 预习：VRP 研究举例  |  |   |

|      |  |
|------|--|
| 课后作业 | 要求掌握 VRP 问题数学模型, 对求解算法上机操作   |
| 板书设计 | <p style="text-align: center;"><b>车辆路径问题<br/>(Vehicle Routing Problem)</b></p> <p>如货物需求量、发送量、交货时间、车辆容量限制、行驶里程限制、时间限制等<br/>对一系列发货点或收货点, 组织适当的行车路线, 使车辆有序地通过它们, 在满足一定的约束条件下, 达到一定的目标。</p> <p>如路程最短、费用最小、时间尽量少、使用车辆尽量少等</p> <p>可以根据车辆类型、车场数量、约束条件、任务特征等进行分类</p> <p><b>VRP问题定义</b></p> <p><b>VRP问题的分类</b></p> <p><b>VRP基本数学模型</b></p> <p><b>VRP算法类型</b></p> <p>变量定义</p> $X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{第}k\text{辆车从点}i\text{到点}j \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad i \neq j, \quad i, j = 0, 1, \dots, n$ <p>目标函数</p> $Y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{需求点}i\text{由车辆}k\text{送货} \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, m$ <p>约束条件</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>各车辆行走的路径使总运输费用最小。</li> <li>每个客户点必须被访问且仅被访问一次。</li> <li>每辆车的路径必须从起始点开始, 并在终点结束。</li> <li>每辆车所运送的货物量不超过其载重量。</li> <li>若客户点i由车辆k送货, 则车辆k必由某点i到达点j。</li> <li>若客户点i由车辆k送货, 则车辆k送完该点的货后必到达另一点j。</li> </ul> <p>C-W节约算法<br/>插入法<br/>Sweep算法<br/>先路径后分组算法<br/>邻域分派法</p> |