基于人员健康状况的高原执法优化研究

班玛多吉[1] 舒晓萍[1] 毕思远[1] 张安文[2通信作者]
1. 甘孜州烟草专卖局（公司） 四川 甘孜 626000；
2. 成都加米谷大数据科技有限公司 四川 成都 610000

摘 要 烟草行业在实施行政管理方面已取得了一些成绩,随着经济社会的迅速发展，在关注人文执法的同时，也需要对高原（海拔≥3 000 m）执法人员的人身健康进行关注。本文分析了高原执法路径，借助智能手环对执法人员身体健康状态进行实时监测、分析、评估，结合GIS和人员调度，利用动态规划（DP）方法，对执法路径进行优化研究。该方法使得在关注高原执法人员身体健康的同时，更加客观、科学地进行执法路径优化，为高原执法路径优化问题打开了全新的思路。本文结尾以甘孜县为例，印证了该方法的科学性。

关键词 智能手环、健康评估、GIS、动态规划（DP）

Research on Optimization of Plateau Law Enforcement Based on Personnel Health Status

Banma Duoji[1], Shu Xiao-ping[1], Bi Si-yuan[1], Zhang An-wen[2Corresponding Author]
1. Ganzi Prefecture Tobacco Monopoly Bureau (Company), Ganzi 626000, Sichuan Province, China;
2. Chengdu Jiamigu Big Data Technology Co., Ltd., Chengdu 610000, Sichuan Province, China

Abstract The tobacco industry has made certain achievements in administrative law enforcement. With the rapid development of the economy and society, while focusing on humanistic law enforcement, attention must also be paid to the physical health of law enforcement personnel in plateau areas (altitude ⩾ 3,000 meters). This paper analyzes plateau law enforcement routes, utilizes smart bracelets to monitor, analyze, and assess the real-time health status of law enforcement personnel, and combines GIS and personnel dispatch with dynamic programming (DP) to optimize law enforcement routes. This method enables objective and scientific optimization of law enforcement routes while prioritizing the physical health of plateau law enforcement personnel, providing a novel approach to the optimization of plateau law enforcement routes. The paper concludes with a case study of Ganzi County, validating the scientific validity of the proposed method.

Key words Smart Bracelet; Health Assessment; GIS; Dynamic Programming (DP)

烟草行业不仅为国家贡献了大量的税收，还在促进就业和社会稳定方面发挥了重要作用。然而，在执行行政管理任务时，特别是在环境条件恶劣的高原地区，执法人员面临诸多挑战[1]。高原地区（海拔≥3 000 m）因其极端环境，对执法人员构成极大威胁，传统执法模式难以兼顾效率与人员健康安全。探索科学、人本的高原执法路径优化方法，既是落实执法人员职业健康的迫切需求，也是提升高原地区烟草市场管控效能、维护国家专卖制度权威的关键环节[2–4]。为了保障执法人员的身体健康并提高执法效率，本研究探索了一种创新的方法来优化执法路径。

1 影响因素分析

1.1 人员健康状态

在高原环境中，低氧、低温等极端条件对执法人员的身体健康构成威胁[5]，因此，在路径规划中需要考虑执法人员的实时健康数据（如通过智能手环监测的心率、血氧饱和度等），以确保其安全。本文研究的人员健康状态影响因素：低氧血症、心血管负荷加重、体能消耗加剧、恶劣气候影响。

1.2 合理的路径规划

高原地区零售户监管及专卖执法，由于环境因素和人力资源因素影响，传统人工排班模式存在很多问题。因此，除却考虑执法人员身体健康状况外，合理的路径规划是不可忽视的问题，以保障执法效率。本文研究的合理路径规划影响因素：实时健康监测、地理信息系统（GIS）的应用、优化算法、人员调度优化、应急响应机制。

2 模型构建

2.1 健康状态评估模型

通过智能手环数据建立健康评分模型：

$$H=w_1\cdot HR+w_2\cdot SpO_2+w_3\cdot T \quad (1)$$

式中，H—健康指数；HR—心率；SpO_2—血氧饱和度；T—体温；w—权重系数。

2.2 路径优化目标函数

最小化总成本（时间+健康风险）：

$$\min \sum_{i=1}^{n}(c_i \cdot t_i + r_i \cdot h_i) \quad (2)$$

式中，c_i—路径权重；t_i—耗时；r_i—健康风险系数；h_i—健康状态惩罚项。

2.3 约束条件

①执法人员健康指数需始终高于阈值（如H≥70）；②单次任务耗时不超过安全上限（如x小时）；③路径需覆盖所有执法点且不重复。

2.4 动态规划（DP）模型

通过递推公式计算最小代价路径：

$$C(i) = \min_{j \in \text{predecessors}(i)} [C(j) + cost(j \to i)] \quad (3)$$

式中，$C(i)$—到达节点i的最小路径权重（总代价）；i—目标节点（当前需要计算的节点）的索引；j—节点i的某个前驱节点索引；predecessors(i)—节点i的所有前驱节点集合；$cost(j \to i)$—从节点j到节点i的直接代价（边权）。

3 验证

本文将以甘孜藏族自治州甘孜县为例，采用上述方法进行分析、验证。

3.1 准备工作

1.资源准备。本次研究需要准备的资源主要为数据，包括：人员的健康数据（血氧饱和度、心率、体温、健康指数）、路径规划影响数据（距离、出行方式、所需时间、健康风险、零售户地址）。

2.路径选择。本次研究采用选定区域—理论分析—实际对比—市场反馈的路径进行。先根据地理环境因素和执法难度选取甘孜县作为试验区域，再根据不同类型的区域进行理论分析及计算，然后根据计算结果与当前实际情况进行比对分析，最后结合执法团队和执法人员的反馈得出本次研究结论。

3.数据准备。为15名一线执法人员配备高原特制智能手环。部署云端监控平台与移动端App。整合甘孜县及周边乡镇120家烟草零售户GIS数据。

3.2 实例验证

1.人员健康状态评估模型。本研究以甘孜县执法人员为例，从心率、血氧饱和度、体温等方面，结合健康指数、权重指数对人员健康状态进行评估。

（1）健康指数计算：以其中一名队员A的BMI为20、血压为120/80、血糖5.0、心理评分85/100、周运动时长3 h为例，H=0.5001。

（2）通过智能手环数据建立健康评分：以其中一名队员A的心率70次/min、血氧98%、体温36.5℃为例，根据医学专家或健康领域知识确定权重，根据数据计算标准化值，见表1。

表1 健康领域知识确定权重分配

指标	实际值	健康范围	标准化值计算	标准化值	权重
心率（HR）	70次/min	60～100	（70～60）/（100～60）	0.25	0.4
血氧（SpO_2）	98%	95%～100%	（98～95）/（100～95）	0.60	0.35
体温（T）	36.5 ℃	36.1～37.2 ℃	（36.5～36.1）/（37.2～36.1）	0.364	0.25

评分=0.401，表示健康状态处于中等偏低水平。

2.路径优化目标函数。以路径目标优化影响因素综合分析，路径目标的优化主要从成本方面考虑，及从执法过程中所消耗的时间和人员的健康风险综合考虑，计算如下：

以执法人员从甘孜藏族自治州烟草专卖局出发到3个零售户（A、B、C）为例，到每个零售户所需时间和健康风险如表2所示：

表2 执法人员到每个零售户的时间和健康风险

零售户	时间上限（h）	健康风险上限	时间成本（元/h）	健康风险成本（元/单位）
A	2	0.1	10	100
B	3	0.2	15	80
C	4	0.15	20	90

（1）决策变量：t_1、t_2、t_3分别为去往零售户A、B、C的所需时间（需满足$0 \leqslant t_i \leqslant T_{\max,i}$）。$h_1$、$h_2$、$h_3$分别为去往零售户A、B、C的健康风险（需满足$0 \leqslant h_i \leqslant H_{\max,i}$）。

（2）目标函数：$\min(10t_1+100h_1+15t_2+80h_2+20t_3+90h_3)$。

（3）约束条件：①时间约束：$t_1 \leqslant 2$，$t_2 \leqslant 3$，$t_3 \leqslant 4$；②健康风险约束：$h_1 \leqslant 0.1$，$h_2 \leqslant 0.2$，$h_3 \leqslant 0.15$。

（4）健康风险与时间的关系（假设健康风险随时间线性增加）：$h_1=0.05t_1$，$h_2=0.06t_2$，$h_3=0.04t_3$。

（5）将健康风险h_i代入目标函数：$Total\ Cost=15t_1+19.8t_2+23.6t_3$在约束条件下最小化$15t_1+19.8t_2+23.6t_3$。最优解：取$t_1=2$，$t_2=3$，$t_3=4$（均取时间上限）。总成本最低：183.8元。健康风

险：h_1=0.1，h_2=0.18，h_3=0.16。所有健康风险均未超过上限。

3.约束条件。执法人员健康指数需始终高于阈值（如H≥70）。单次任务耗时不超过安全上限（如8 h）。路径需覆盖所有执法点且不重复。

4.动态规划（DP）模型。随时间推移，同一执法人员在不同海拔路段健康状态的动态变化。根据实时健康预警（如某员风险突升为“橙色”），动态调整后续路径（如就近休整、任务移交）。通过递推公式计算最小代价路径：

以仁果乡的9户零售户为例，将执法人员从甘孜州烟草专卖局到零售户的最小代价代入到矩阵中：

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 4 & 2 & 1 \\ 4 & 3 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

移动方向向右或向下。求从左上角(0,0)(0,0)到右下角(2,2)(2,2)的最小代价路径。

前驱节点定义：每个节点(i,j)的前驱节点为：

上方节点$(i-1,j)$（若$i>0$，$j>0$）；

左方节点$(i,j-1)$（若$i>0$，$j>0$）。

动态规划构建：创建二维数组$C^{[i][j]}$存储每个节点的最小代价，初始化：$C^{[0][0]}$=1(起点代价)，其余位置初始化为+∞。递推计算，按行优先顺序（从上到下，从左到右）计算每个节点的$C^{[i][j]}$：

第一行（i=0）：$C^{[0][0]}$=1；$C^{[0][1]}$=4；$C^{[0][2]}$=9。

第一列（j=0）：$C^{[1][0]}$=5；$C^{[2][0]}$=9。

中间节点：$C^{[1][1]}$=6；$C^{[1][2]}$=7；$C^{[2][1]}$=9；$C^{[2][2]}$=9。

由此得出最小代价路径：1→3→2→1→1，总代价为8。

4 结果

将甘孜县的120户零售户的距离和15名执法人员代入计算模型中进行计算，将计算结果与原掌握的执法代价等进行比对，如表3所示。

表3 传统模式与优化系统对比表

指标	传统模式	优化系统	提升幅度
日均有效检查户数	18户	25户	+38.9%
高风险健康事件	2.1次/周	0.3次/周	−85.7%
单车日均行驶里程	85 km	68 km	−20.0%
偏远区域周覆盖率	60%	92%	+53.3%
执法人员满意度	一般	显著提升	

系统显著降低了高原健康风险事件发生率，同时大幅提升了执法覆盖效率和资源利用率，尤其在偏远区域覆盖上效果突出，执法人员反馈工作负荷和健康担忧明显减轻。

本研究通过科学化健康监测、个性化干预、智能化路径规划、多部门协同及前沿技术赋能，构建了“预防—响应—优化”的全链条高原执法健康防护体系。

5 结束语

本研究创新性地将物联网健康监测技术与智能路径优化算法深度融合，构建了面向高原烟草执法的“健康—路径”协同优化体系：①实现了健康保障前置化：通过实时生理监测与风险评估，将健康管理由事后处置转向事前预警与事中动态规避。②提升了执法科学化水平：运用动态规划（DP）等算法，在复杂健康与时空约束下，求得执法资源的最优或近优配置方案。③验证了模式有效性：甘孜县案例证实该系统能显著降低健康风险、提升执法效率与覆盖广度。

展望：①深化健康预测模型：引入机器学习算法，结合历史数据预测个体高原反应趋势。②扩展多源数据融合：纳入实时交通、更精细气象预报数据。③探索群智协同优化：研究多执法单元间的信息共享与任务协同机制。④推广适用场景：该模式可扩展至边防巡查、高原科考、电力巡线、物流配送等广泛的高原户外作业领域。

参考文献

[1]郑双锦,覃军,余洁,等.健康青年男性高原习服后进入更高海拔的心率、血压和血氧饱和度变化规律及与急性高原病的关系[J].军事医学,2013,37(5):325-328.

[2]宋陈.智能可穿戴设备高精度健康检测算法研究[D].淮南:安徽理工大学,2022.

[3]李世博.地铁车辆列检机器人动态路径规划探讨[J].时代汽车,2025(12):7-9.

[4]向江海,赵军,张思宇,等.铁路编组站到发场技术作业计划编制优化方法研究[J].铁道学报,2025,47(2):11-23.

[5]范玲玲,尹立,王式功,等.高原健康风险与潜在康养效应研究进展[J].中国医药导刊,2024,26(8):755-763.

（本文编辑 吴文博）