参赛密码 __

(由组委会填写)

"华为杯"第十三届全国研究生

数学建模竞赛

学 校 中国科学院上海技术物理研究所

参赛队号	K0003
	1.王誉都
队员姓名	2.王丛笑
	3.朱萍

参赛密码 _____ (**由组委会填写**)



"华为杯"第十三届全国研究生

数学建模竞赛

题 目 军事行动避空侦察的时机和路线选择

摘 要:

卫星侦察对大型国防工程施工、武器装备试验及部队隐蔽性移动具有较大 威胁。为反制卫星侦察,必须掌握卫星运动规律,在此基础上采用"避、变、骗、 反"等手段。本文主要解决的是卫星运动的精确建模,卫星侦察时机的准确预测 和避空行进路线的最优设计问题。

为解决问题一,本文引入多个空间坐标系及转换关系,将卫星运动数学化 为二体运动问题。针对Q型卫星、L型卫星的预测问题,结合轨道根数和卫星 观测情况,建立了准确的卫星运动模型。该模型中,将零时刻平近地点角创新 性地修正为随时间变化的线性函数,使预测卫星被探测情况的精度达到秒级(Q 星)或分钟级(L-1、L-2星)。针对K型卫星的预测问题,仅利用观测情况建 立了准确的卫星运动模型。建模仿真结果表明:

1. Q 型卫星 D3 日被观测到的时间为 00:31:28 到 00:36:47、12:02:27 到 12:09:29 和 22:37:03 到 22:38:10, D5 日被观测到的时间为 11:15:53 到 11:22:23、 12:48:37 到 12:56:36 和 23:19:37-23:28:26; D3 和 D5 未出现过顶情况; D3 和 D5 任意时刻均可安全施工,不需避开卫星侦察。

2. L-1 型卫星在 8 月 23 日被观测时间是 03:02:40 到 03:06:41、04:40:25 到 04:49:28、17:10:54 到 17:16:03、18:48:39 到 18:57:23, L-2 型卫星在 8 月 23 日 被观测时间是 04:12:30 到 04:21:49、05:56:30 到 06:01:45、12:48:48 到 12:58:02、14:32:15 到 14:36:36;这两颗星均未出现过顶情况;L-1 卫星不覆盖国防设施区

域,但L-2卫星在04:16:28-04:17:49时段覆盖部分区域,必须停止施工。

3. K型卫星未来三次的被观测时间为最后一次观测后的第二天 07:49:54 到 07:58:29、19:40:21 到 19:48:16、21:17:35 到 21:22:27。定性分析可得: 1 次过顶 观测即可粗略预测卫星未来被观测情况; 3 次过顶观测可较为精确预测未来被 观测情况; 观测次数越多, 预测精度越高。

针对问题二中合理的行军时机、路线和宿营地问题,在问题一对 L-1 型卫 星和 Q 型卫星星下点拟合轨迹的基础上,首先使用 ArcGIS 软件进行新疆地图 和 2012 全国基础地理信息数据矢量图为底图数据库的匹配,建立完整道路网络 数据库,然后通过 Dijkstra 算法、Buffer 算法,寻找最短时间行军路径,建立车 队行驶时刻的缓冲区,最后通过判断卫星星下点轨迹与车队缓冲区是否产生交 集来确定当前道路是否会被卫星侦察,并及时根据反馈信息做出相应的行程规 划调整,建立针对行军规避的躲避规则算法,选取行军时长最短的最优行军路 线。结果表明,从阿勒泰至喀什段全长 2576.44km,从喀什到和田段全长 621.97km,从和田返回阿勒泰段全长 2736.20km,全部行军所需时长共计 6 天 19 时 23 分 53 秒。该方法成功躲避多次 L-1 型卫星侦察,并准确预测 Q 型卫星 过项时间,结果可信度高。

针对问题三中要求的不同类型的卫星,着重分析了单星、双星卫星星下点轨迹对行军的区域大小和形状的影响,提出了根据预测卫星轨道找到侦察盲区用于分别躲避L型双星侦察和K型星的方法。针对Q型卫星利用其轨道特性和光学卫星特性,可以在新疆大部分地区躲避侦察72小时。还可以使用无线电静默、伪装等方法躲避Q型卫星和L型卫星的组合侦察。

总之,本文中应用了数理统计、二体运动、最小二乘线性拟合和 Dijkstra 算法等多种数学模型,建立了躲避规则算法,结合大量 MATLAB 仿真计算,建 立了精确的卫星运动模型,对于掌握卫星运动规律,及时避空和合理行军具有 一定的技术支撑作用。

关键字:卫星运动、预测、全局优化、Dijkstra 算法

1.	问	题重述	5 -
2.	模型	包假设	5 -
3.	符号	号说明	6 -
4.	问是	亟分析	7 -
	4.1	问题一的分析	7 -
	4.2	问题二的分析	7 -
	4.3	问题三的分析	8 -
5.	模型	过建立与求解	8 -
	5.1	问题一的模型建立与求解	8 -
		5.1.1 坐标系的建立和转换	8 -
		5.1.2 二体运动模型	11 -
		5.1.3 Q 型卫星运动建模与分析	12 -
		5.1.4 L-1、L-2 型卫星运动建模与分析	15 -
		5.1.5 K 型卫星运动建模与分析	18 -
	5.2	问题二的分析与建模	20 -
		5.2.1 数据预处理	20 -
		5.2.2 模型选择与模型介绍	22 -
		5.2.3 问题二模型建立与求解	25 -
	5.3	问题三的分析与建模	32 -
		5.3.1 针对 L 型卫星(L-1、L-2)的反侦察可行性分析	32 -
		5.3.2 针对 Q 型卫星的反侦察可行性分析	35 -
		5.5.3 针对 K 型卫星的反侦察可行性分析	36 -
		5.5.4 针对两种卫星(Q型和L型)的反侦察可行性分析	37 -
6.	模型	2优缺点与改进	38 -
	6.1	模型的优点	38 -
	6.2	模型的不足和改进	39 -
参	考文i	献	39 -
附表	录一.		40 -
附表	录二.		46 -

目录

1. 问题重述

准确掌握卫星的运动规律是应对卫星侦察的必要前提。结合卫星运动预报 信息,可采取避开卫星过顶时间、改变地面部队活动规律、伪装军事目标、反 卫星等诸多反制手段。

某地域内拟建设大型国防工程,利用境外卫星过顶的间隙施工。境外卫星 主要包括 Q 型光学侦察卫星,L 型电子侦察卫星(L-1、L-2 双星星座)、K 型 卫星。已知 Q 型卫星、L-1 和 L-2 型卫星的部分轨道根数,并且该区域内的观 察站可观测获取上述卫星的方位距离等信息。在此基础上,可建模推算上述卫 星的运动规律。具体地,本文建立数学模型以解决下列问题:

一,结合部分轨道根数和观测情况,定量计算 Q 型卫星、L-1 和 L-2 型卫 星的轨道根数,推算此卫星任意时刻在地固坐标系和地心惯性系下的运动信息, 并准确推断未来被观测时刻、过顶时间和安全施工时刻。

二,仅根据观测情况,定量计算K型卫星的轨道参数,并准确预知未来被 观测情况,定性分析了确定卫星轨道所需的观察次数和观察次数对预报精度的 影响。

三,推算 Q 型卫星、L-1 型卫星星下点运动轨迹,计算往返行军过程中所 需最短时长的最优路径,设计合理的行军时机、路线和宿营地避开 L-1 卫星侦 察、隐蔽 Q 型卫星侦察,并预测 Q 型卫星的过项时刻。

四,针对Q型、L型(包括L-1、L-2)、K型卫星的侦察能够规避的可行性、条件(区域大小、形状、路网状况及其他你们认为需要的条件)和方式。

2. 模型假设

(1)不考虑极移、岁差章动等影响,假设地固坐标系和地心惯性系之间的 转换仅存在地球自转的影响。

(2)假设卫星不受除地球引力外的其他作用,卫星轨道在地心惯性系下为 椭圆轨道。

(3) 在分析 K 型卫星被观察时刻距地心距离的基础上, 假设 K 型卫星的 轨道为圆轨道。

(4)部队从阿勒泰隐蔽地经喀什运动到和田,选择高速公路行驶,时速为 100 公里/小时,匀速行驶;选择普速公路行驶,时速为 50 公里/小时,匀速行 驶。不考虑部队行驶过程中加速、减速时间。

(5) 连续行驶时长为 10 到 12 小时,部队中途休息一次时间为 10 小时,时间一到立即出发。

(6)卫星辐照宽度为272km,车队最长为2km,相对卫星过顶时的覆盖面积太小,不考虑车队长度对避开卫星侦察时的影响。

(7)行军路线选择的道路类型是县级以上道路,只包括高速公路、国道、 省道、县道、快速通道,不包括乡镇街道等其他类型道路。

3. 符号说明

表 1 符号说明表

\vec{r}_{GCRS}	GCRS 坐标系下的坐标			
r rrs	ITRS 坐标系下的坐标			
R(t)	地固坐标系到地心惯性系的坐标转换矩阵			
а	轨道半长轴			
е	轨道偏心率			
i	轨道倾角			
Ω	升交点赤经			
ω	近地点幅角			
М	平近点角			
G=(V, E)	带权值的图			
V	点集合(点视为道路之间的交点)			
Е	边集合(边视为道路)			
D(i)	起始点到终点的最短距离长度			
N	邻接矩阵			
Vm	从起始点出发的最短路径的顶点集合			
Ms(x, y, t)	t 时刻卫星星下点的经纬度坐标所对应的 0、1 权图			
Mpm(x, y, t)	表示t时刻躲避过m次卫星侦察后的车队位置经纬度坐标权图			

4. 问题分析

4.1 问题一的分析

问题一需建模求解多个型号卫星的轨道根数,并预测卫星未来的运动情况。 其中,已知Q型卫星和L-1、L-2卫星的部分轨道根数和若干次观测情况,仅已 知K型卫星的10次观测情况。由此,运动的轨道模型建立如下:

首先,将实际问题数学化,明确地固坐标系、地心惯性系等坐标系,并给 出各坐标系的转换关系;

第二,卫星绕地球运动实质是二体运动模型,使用 6 个轨道参数可确定卫 星在各坐标系下的运动情况,明确轨道根数和卫星运动状态之间的关系;

第三,对Q型和L-1、L-2卫星,利用卫星在地心惯性系下的轨迹为椭圆和 卫星观测情况,可采用最小二乘法反推出观测时间和春分之间的时间差,并据 此计算所缺的轨道根数,即平近点角M,从而得到卫星在未来的运动情况,预 测过顶时间、被观测时间和安全施工时间;

第四,对K型卫星,首先建立新的地心惯性系,利用卫星在地心惯性系下的轨迹位于同一平面和卫星观测情况,得到最优的地心惯性系和地固坐标系的转换关系,据此计算卫星的运动状态,从而预测未来的被观测时间。

4.2 问题二的分析

问题二要求行军车辆避开 L-1 型卫星侦察、隐蔽 Q 型卫星、预测 Q 型卫星 的过顶时间,以最快时间从阿勒泰经喀什安全到达目的地和田。同时要保证连 续行军时间介于 10 小时至 12 小时之间,必须选择县级以上县以上(含县级) 的地方宿营休息,宿营时间为 10 小时以上。到达和田后执行某任务需停留 24 小时,然后立即返回阿勒泰。

依据问题二题设,从卫星角度,拟合 L-1 型卫星和 Q 型卫星从 2016 年 11 月 1 日凌晨 5 时整开始的运动轨迹,得出两卫星的星下点信息,包括经纬度坐 标和所经时刻。从地面角度,附件三所示新疆地区交通图数据格式局限,不包 含地理坐标和投影信息,无法进行经纬度和距离计算。本文通过 ArcGIS10.1 软 件,采用墨卡托投影,将附件三图示信息赋予从国家基础地理信息中心获取到 的 2012 年全国基础地理信息数据(新疆片区),增加原图示信息中缺少的部分 包括高速公路、省道、国道、县道、快速通道,得到完整的空间道路数据。

本文通过分析 L-1 型卫星和 Q 型卫星的星下点信息,发现两卫星对某区域的连续侦察时间较短,例如:对半径为 272km 的点所形成区域的连续侦察时间约为一至两分钟。题设规定 L-1 型卫星和 Q 型卫星的侦察范围为半径 272km 的圆,如果为了躲避侦察而选择绕行,极有可能增加行军路程和时间,反而无法达到题设要求。因此本文采用的躲避 L-1 型卫星的方法是提前预判行军道路是否会和 L-1 星的侦察范围重合,如果预测到下条道路会与侦察范围重合,则在当前道路停下,等待卫星离开下个行军道路,再继续行军。这种做法既可躲避卫星侦察又可以以最短的时间到达目的地。

流程如图1所示。



图 1 问题二流程图

4.3 问题三的分析

问题三要求针对不同类型的卫星,提出相应的反侦察可行性、条件和方式。 本文在问题二的基础上,考虑到实际行军可能遇到的侦察方式,着重分析了卫 星星下点轨道对行军的区域大小和形状的影响,提出了多种躲避或伪装的反侦 察方法。

5. 模型建立与求解

5.1 问题一的模型建立与求解

5.1.1 坐标系的建立和转换

本文中所涉及的坐标系主要是地心地固坐标系、地心惯性坐标系和地面坐标系。^[1]

(1) 地心地固坐标系

对于地球上的目标,一般采用地心地固坐标系来描述其位置。如图2所示,

坐标原点位于地心, xoy 平面为过地心与与 CIO (国际协议原点)确定的自转 轴垂直, x 轴位于 xoy 面内指向 0°经线位置, z 轴垂直于 xoy 面指向北极, y 轴 与 x、z 轴构成右手系。

ITRS (国际地球参考系) 是一种标准地固坐标系。



图 2 地心地固坐标系

(2) 地心惯性坐标系

为描述卫星的运动状态,定义地心惯性坐标系。坐标原点位于地心, xoy 平面为迟到平面,x轴位于赤道面内指向春分点方向,z轴垂直于 xoy 平面指向 北天极,y轴与 x、z轴构成右手系。该坐标系又称为地心天固坐标系,如图 3 所示。

常用的 J2000 平赤道地心系就是地心惯性坐标系的一个实现,其原点也是 地球质心, xoy 平面为 J2000 时刻的地球赤道面, x 轴指向 J2000 时刻的平春分 点。IERS Conventions 2003 颁布后,国际天文联盟推荐使用 GCRS (地球质心 参考系)。



图 3 地心惯性坐标系

(3) 地面坐标系

为描述地面上的观测站或地面运动的物体,定义地面坐标系(图4)。坐标 原点设置为地面上的观测站,z轴正方向为垂直于地面指向天空,x轴正方向指 向正东,y轴正方向指向正北方向。



图 4 地面坐标系

(4) 坐标转换基础

当坐标系绕其三个轴旋转 θ 角时,其坐标旋转矩阵为:

 $R_{x}(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$ $R_{y}(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix}$ $R_{z}(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

其旋转方向符合右手螺旋法则,即逆时针旋转方向为正方向。

(5) 地面坐标系和地固坐标系的转换关系

假设地面坐标系的坐标原点的经度 θ_j (东经为正,西经为负),纬度 θ_w (北 纬为正,南纬为负),观测站的观测仰角为 θ_{Elv} ,观测方位角 θ_{Am} ,距离为 r_{sat} 。 则卫星在地面坐标系下的坐标 X_{sg} 为

 $(r_{sat} \cdot \cos \theta_{Elv} \cdot \cos \theta_{Azm}, r_{sat} \cdot \cos \theta_{Elv} \cdot \sin \theta_{Azm}, r_{sat} \cdot \sin \theta_{Elv})^{\mathrm{T}}$

地面坐标系按照以下旋转和平移转化为地固坐标系为:1)地面坐标系绕 x 轴逆时针旋转 $\theta_w = 90^\circ$;2)绕 z 轴逆时针旋转 $-\theta_j = 90^\circ$;3)坐标原点平移至地 心。

因此,卫星在地固坐标系下的坐标为:

$$X_{sf} = R_z(-\theta_j - 90^\circ) \cdot R_x(\theta_w - 90^\circ) \cdot X_{sg} + \begin{bmatrix} r_g \cdot \cos \theta_w \cdot \cos \theta_j \\ r_g \cdot \cos \theta_w \cdot \sin \theta_j \\ r_g \cdot \sin \theta_w \end{bmatrix}$$

其中, r_e为观测站与地心的距离^[2]。

(6) 地固坐标系与地心惯性系的转换

地球的自转轴在惯性空间中不是固定的,因此地心地固坐标系和地心惯性 坐标系间存在特定的坐标变换。地球自转轴的不断摆动造成地州绕北黄极顺时 针运动,夹角约 23.5°。与此同时,地轴还在做微小的抖动。前者的运动成为岁 差,后者的运动成为章动。岁差和章动的原因主要有两个方面。其一是太阳系 行星对地球绕日轨道所产生的摄动影响;其二是太阳和月球对地球赤道隆起部 分的摄动影响。

地球的自转轴相对于地球的位置并不固定,地极点在地球表面的位置是随 时变化的,这种现象称为极移。

此外,如果忽略岁差章动、极移的影响,将地心惯性系绕 z 轴旋转此时刻 的格林威治子午线的恒星时角,就转换为地固坐标系。因此,在不要求极高精 度计算的情况下,认为两个坐标系之间仅存在一个时角差别。

因此,从地固坐标系(ITRS)到地心惯性系(GCRS 或 J2000)的坐标转 换矩阵由极移、自转、岁差章动组成,如下式^[3]:

$$r_{GCRS} = Q(t) \cdot R(t) \cdot W(t) \cdot r_{ITRS}$$

式中, \vec{r}_{GCRS} 为 GCRS 下的坐标, Q(t) 为岁差章动矩阵, R(t) 为自转矩阵,

W(t)为极移矩阵, r_{TRS} 为 ITRS 下的坐标。

本文中,为简化计算过程,不考虑岁差章动和极移产生的影响,仅考虑自转,此时的转换矩阵为:

$$R(t) = R_z(-\theta)$$

其中, $\theta = \omega_0 t_p$, ω_0 为常数 7.292115*10⁻⁵, t_p 为卫星过近地点时刻。

5.1.2 二体运动模型

在地心惯性系中,卫星绕地球运动的实质是二体运动。经坐标转换后,可 得到卫星在地固坐标系下的运动状态,这种运动状态可用轨道根数表示。

本文中,卫星轨道根数为:半长轴*a*,轨道偏心率*e*,轨道倾角*i*,升交点 赤经Ω,近地点幅角ω,平近点角*M*。这几个根数除平近点角外,均不随时间 变化。使用轨道根数,可描述卫星的运动状态,以下进行说明^{[4][5]}。



在卫星轨道坐标系(图 5,原点在地心,X 轴在卫星轨道的长轴上的坐标

系)中,可得:

$$E - e\sin E = M = n(t - t_p)$$

式中,E为偏近点角,
$$n = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}}$$
为卫星运动平均角速度,t为待求时刻, t_p 为

卫星过近地点时刻。

卫星的真近地点角 f 与 E 的关系为:

$$\tan\frac{f}{2} = \frac{\sqrt{1+e}}{\sqrt{1-e}}\tan\frac{E}{2}$$

可得,卫星在轨道坐标系下的坐标 \vec{r}_{ORB} 为($\frac{a(1-e^2)\cos f}{1+\cos f}$, $\frac{a(1-e^2)\sin f}{1+e\cos f}$,

0)。

卫星在地心惯性系下的坐标 rGCRS 为:

$$\vec{r}_{GCRS} = R_z(\Omega)R_y(i)R_z(\omega)\vec{r}_{ORB}$$

5.1.3Q 型卫星运动建模与分析

附件中给出了该卫星的多个根数和观测站多次观测该卫星的数据,只需确 定剩下的根数即平近点角,就可确定卫星未来的运动状态。建模过程的流程如 图 6 所示。





具体建模求解过程如下:

(1) 确定观测站点的地球半径

在该步骤中,假定卫星距地心距离为定值 6866km,根据正弦定律有:

$$\frac{R_g}{\sin\theta_{R_g}} = \frac{R_s}{\sin\theta_{R_s}} = \frac{a}{\sin\theta_a}$$

式中, *R_g*为观测站点的地球半径, *R_s*为卫星和观测站点距离, *a*为卫星距地心距离。

对于附件中给出的多个观测距离和观测仰角,可得出多组Rg, 求平均得

 $R_{g} = 6372.5 km$ \circ

(2) 计算观测到的卫星点在地固坐标系下的坐标

根据轨道坐标系和地固坐标系间的转换关系,代入每次观测的距离、方位 角和仰角数据,可得到这些卫星点在地固坐标系下的坐标。

(3) 计算观测到的卫星点在地心惯性系下的坐标和t_n

根据地固坐标系和地心坐标系间的转换关系,代入不同的*t_p*,可得到不同的观测卫星点在地心惯性系下的坐标。对于最优的*t_p*,得到坐标的 z 坐标应为零。因此,取判据 V 为:

$$V = \sum_{i} z_{GCRSi}^2$$

其中, z_{GCRSi} 为各点在 GCRS 下的 z 坐标。当 V 最小时,得到最优的 t_n 。

代入最优的 t_n ,得到观测到的卫星点在地心惯性系下的坐标 r_{GCRSi} 。

(4) 计算并修正 M0

对于得到的多个 \vec{r}_{GCRSi} ,利用 $M_0 = M - nt$,即可得到多个 M_0 ,可以发现多个 M_0 并不固定,而是随时间呈现线性规律,如图7所示。



图 7 M0 随时间呈现出线性趋势

因此,采用线性拟合,可得 $M_0 = M_{0b} + M_{0k}t$,式中 M_{0b} 和 M_{0k} 是拟合参数。 至此,得到了该卫星的所有轨道根数,可确定卫星在任意时刻的运动状态。计 算卫星在一段连续时间(D3)在地固坐标系和地心质心系下的轨迹如图8所示。



图 8 卫星 D3 在两个坐标系下的轨迹

(5) 计算观察时间、过顶时间和安全施工时间

由附件给出的探测情况可知,观测站观测到卫星的临界条件是卫星仰角大于 10°,利用卫星在地固坐标系下的坐标可计算得,卫星在 D0-D2、D3、D5 的 探测时间如表 2 所示。结合 D0-D3 观测情况,平均偏差约 17 秒。转换得 D3 观测时间为 0:31:28-0:36:47、12:2:27-12:9:29、22:37:3-22:38:10, D5 观测时间为 11:15:53-11:22:23、12:48:37-12:56:36、23:19:37-23:28:26。

日期	开始观测	开始观测	开始观测	结束观测	结束观测	结束观测
	时刻 (s):	时刻 (s):	时刻偏差	时刻 (s):	时刻 (s):	时刻偏差
	计算值	实际值	(s)	计算值	实际值	(s)
D0-D2	423	427	4	854	848	6
	42015	42001	14	42279	42293	14
	47578	47587	9	47927	47914	13
	85423	85423	0	85854	85852	2
	132550	132551	1	132964	132963	1
	170444	170450	6	170839	170834	5
	176220	176190	30	176290	176318	28
	217541	217543	2	217977	217977	0
	255493	255650	157	255801	255780	21
D3	261088			261407		
	302547			302969		
	340623			340690		
D5	472553			472943		
	478117			478596		
	515977			516506		

表2Q型卫星的被观测时间

计算卫星星下点对应经度和纬度,可得: D3 和 D5 卫星星下点不经过国防 设施区域,即不存在过顶情况。

计算卫星星下点 D3 和 D5 左右 272km 覆盖区域,与国防设施区域并无交集,可在 D3 和 D5 任意时刻安全施工。

5.1.4L-1、L-2型卫星运动建模与分析

这两个卫星的运动建模过程与Q型卫星的建模过程相似。其流程图如图9

所示。



图 9 建立 L-1、L-2 型卫星的运动模型流程图

(1) 计算观测到的卫星点在地固坐标系下的坐标

与 Q 型卫星的建模过程步骤(2)类似,根据轨道坐标系和地固坐标系间的转换关系,代入每次观测的距离、方位角和仰角数据,可得到这些卫星点在地固坐标系下的坐标。

(2) 计算观测到的卫星点在地心惯性系下的坐标和 t_p

与Q型卫星的建模过程步骤(3)类似,取判据V为:

$$V = \sum_{i} z_{GCRSi}^2$$

其中, z_{GCRSi} 为各点在 GCRS 下的 z 坐标。当 V 最小时,得到最优的 t_p 。

代入最优的 t_p ,得到观测到的卫星点在地心惯性系下的坐标 \vec{r}_{GCRSi} 。

与 Q 型卫星的建模过程步骤(4)类似,对于得到的多个 \vec{r}_{GCRSi} ,利用 $M_0 = M - nt$,即可得到多个 M_0 ,可以发现多个 M_0 并不固定,而是随时间呈现 线性规律,如图 10 所示。



图 10 M0 随时间呈现出线性趋势

因此,采用线性拟合,可得 $M_0 = M_{0b} + M_{0k}t$,式中 M_{0b} 和 M_{0k} 是拟合参数。 至此,得到了该卫星的所有轨道根数,可确定卫星在任意时刻的运动状态。计 算卫星在一段连续时间,在地固坐标系和地心质心系下的轨迹(8月23日)如图





图 11 卫星 L-1 和 L-2 在两个坐标系下的轨迹

(4) 计算观察时间、过顶时间和安全施工时间

由附件给出的探测情况可知,观测站观测到卫星的临界条件是卫星仰角大于 10°,利用卫星在地固坐标系下的坐标可计算得:

1)卫星 L-1 在 8 月 23 日被观测时间是 03:02:40-03:06:41、4:40:25-4:49:28、 17:10:54-17:16:3、18:48:39-18:57:23。

2) 卫星 L-1 在 8 月 23 日不存在过顶情况。

3) 计算 L-1 卫星星下点左右 272km 覆盖区域, 与国防设施区域并无交集, 可在 8 月 23 日任意时刻安全施工。

4) 卫星 L-2 在 8 月 23 日被观测时间是 4:12:30-4:21:49、5:56:30-6:1:45、12:48:48-12:58:2、14:32:15-14:36:36。

5) 卫星 L-2 在 8 月 23 日不存在过顶情况。

6) 计算 L-2 卫星星下点左右 272km 覆盖区域,发现 4:16:28-4:17:49 时段 卫星幅宽国防设施区域并有交集,施工需避开这一时段以实现安全施工。

5.1.5K 型卫星运动建模与分析

与前面的两种卫星不同,该卫星的轨道根数均未知,仅已知 10 次观测情况。 建模流程如图 12 所示。





(1) 计算观测到的卫星点在地固坐标系下的坐标

与 Q 型卫星的建模过程步骤(2)类似,根据轨道坐标系和地固坐标系间的转换关系,代入每次观测的距离、方位角和仰角数据,可得到这些卫星点在地固坐标系下的坐标。

(2) 假设卫星轨道为圆轨道,计算卫星轨道的半径

根据上步所得结果,计算卫星与地心的距离,如图 13 所示。由图可得,该 卫星与地心距离波动极小,故此处假设卫星轨道为圆轨道。计算卫星与地心距 离的平均值,可得卫星的轨道半径为 6988.1km。



图 13 各观测卫星点与地心距离

(3) 建立新的地心惯性系,并计算在此坐标系下的观测点坐标

设置第一次观测所在日期的 00:00:00 时刻为零时刻点,建立新的地心惯性系,此坐标系与 GCRS 类似均是地心惯性系,区别是该坐标系假设零时刻点 X 轴正方向与地固坐标系 X 轴正方向重合。此时的转换矩阵为:

 $R(t) = R_z(-\theta)$

其中, $\theta = \omega_0 t$, ω_0 为常数 7.292115*10⁻⁵, t为卫星过零时刻点所经历的时

间。

由此可计算观测的卫星点在该地心惯性系下的坐标,如图 14 所示。可见该 轨道大致为高轨道倾角的圆轨道。



图 14 观测卫星点在地心惯性系下的分布 (4)建立轨道坐标系,并建立轨道坐标系和地心惯性系的关系

建立轨道坐标系 xoy 平面与轨道面重合, z 轴指向轨道面法向量。 地心惯性系下,利用地心指向各观测卫星点的向量,两两结合分别计算法 向量,最终取平均值得到该轨道面的法向量。法向量的方位角为θ_i,极角为θ_i。

则地心惯性系转换为轨道坐标系可通过绕 z 轴逆时针旋转 θ_i , 再绕新的 y 轴逆

时针旋转θ,得到。因此,地心惯性系到轨道坐标系的转换矩阵为:

$$R_{ECI \ orb} = R_{v}(\theta_{i})R_{z}(\theta_{f})$$

(5) 建立运动模型

根据圆轨道下的动力学理论,可得该轨道下的卫星坐标为:

$$r_{orb} = [R_{sat} \cos(nt + M_0), R_{sat} \sin(nt + M_0), 0]$$

式中, R_{sat} 为圆轨道半径, $n = \sqrt{\frac{\mu}{R_{sat}^3}}$ 为轨道平均角速度, M_0 为带求参数。

利用与修正Q星和L星的 M_0 相同的方法,可修正得 $M_0 = M_{0b} + M_{0k}t$ 。

至此得到卫星在轨道坐标系下的运动模型,根据转换矩阵^{R_{ECI_orb}和R(t)可得卫星在地心惯性系和地固坐标系下的坐标。仿真可得一段连续时间的在地心惯性系和地固坐标系下的卫星坐标如图 15 所示。}



图 15 K 型卫星在不同坐标系下的轨道

(6) 预测未来被观测情况,及观测次数对预报的影响

1)根据卫星的运动方程,并依据观测临界条件,可得未来3次被观测到的时间为最后一次观测后的第二天7:49:54-7:58:29、19:40:21-19:48:16、21:17:35-21:22:27。

2)卫星运动轨迹在地心惯性下为椭圆,为得到椭圆方程需得到至少三个观测点。因此,一次观测就可以推算出下次卫星的过顶情况,但是由于一次观测的三个点距离较近,这种方法得到的预测精度较低。

3)3次观测可得到较为准确的轨道信息,从而使预报时间更为准确。定性 来说,观测次数越多,预报的准确性越高。

5.2 问题二的分析与建模

5.2.1 数据预处理

结合附件三(新疆地区交通图)对 2012 年全国基础地理信息数据进行校正 (图 16),生成新疆地区基础地理信息数据(图 17),包含省界,市界,县界等 面状数据;全国高速公路、国道、省道、县道、快速通道、地铁与轻轨、乡镇 道路与其它道路等线状数据;县政府、公园、银行、医疗机构、高速公路出入 口等点状数据。该数据库均采用横轴墨卡托投影。根据第二道题题干信息,本 文主要采用县界、高速公路、国道、省道、县道、快速通道、高速路出入口数 据,作为本文基础数据。



图 16 新疆地区交通图空间校正分布图

获取基础数据之后,首先对每条道路路段进行编号。同时,提取所有道路 交叉点(新疆地区县级以上道路交叉点共 2750 个),交叉点属性信息包括交叉 点编号、经纬度、交叉点间道路距离。根据高速公路行驶时速为 100 公里/小时, 普速公路行驶时速为 50 公里/小时的题设信息,计算经过每两个相邻交叉点之 间的道路路段所需时长,将时长赋值给对应交叉点,以备建模所需。



图 17 新疆县级以上道路分布图

5.2.2 模型选择与模型介绍

地理信息系统(geographic information system, GIS)中,道路交通网络由带 权的图 *G*=(*V*, *E*) 表示,其中: *E* 为边集合,可视为道路; *V* 为点集合,可视 为道路与道路的交叉点。在 GIS 中边和点都有与之相联系的权重属性,权重用 来表示通过点和边时需要的代价值,其主要通过边和点矢量要素的属性字段来 创建。如道路长度、道路宽度、隧道高度、转弯角度都可以转换为道路权重。 由于道路网络比较密集,复杂度较高,采用对复杂网络适应度较高的 Dijkstra 算法作为模型建立的基础^[6]。

题干要求避开 L-1 型卫星、隐蔽 Q 型卫星,在一定休息时长下寻求行军时 机和宿营地,因此需要具有空间信息的道路数据结合 L-1 型卫星星下点运动轨 迹叠加分析获取行军时机。结合地理信息空间几何关系分析,采用地理信息空 间几何关系分析中的 Buffer 算法。Buffer 算法作为独立的数据层进行叠加分析, 在本题中可以用于道路数据与 L-1 型卫星星下点运动轨迹叠加的空间分析,用 于寻找最佳路径。

考虑行军过程的侦察情况,需通过预测卫星轨道与行军路线是否相遇制定 躲避规则,因此我们提出一种躲避规则算法,用以躲避行军过程中的侦察。 Dijkstra 算法和 Buffer 算法为躲避规则算法的建立提供基础。

(1) Dijkstra 算法

Dijkstra 算法由荷兰科学家 Edsger Wybe Dijkstra 提出,是从一个顶点到其 余各顶点的最短路径算法,解决有向图中最短路径问题。对于问题二,新疆地 区基础地理信息数据显示新疆共有 114 个县级以上城市可供部队躲避卫星和休 息,可选择行军的道路交叉点和道路端点共计 2750 个。如果采用一般的全局优 化算法如蚁群算法、粒子群算法等,数据处理量巨大,不符合实际行军的实时 性要求。

Dijkstra 算法的主要特点是以起始点为中心向外层层扩展,直到扩展到终点 为止,属于从局部优化到全局优化的扩散,大大缩短寻找最佳路径的时间。因 此本文采用 Dijkstra 算法来对问题二的行军问题进行建模。

Dijkstra 算法的一般思路为,带权图 G=(V,E),其中 V 是顶点集合,E 是边的集合。引进一个代价数组 D, 它的每个分量 D(i)表示当前所找到的从起 始点 Vo 到终点 Vi 的最短路径的长度。用邻接矩阵 N 表示带权图 G, N (i, j) 表示点 Vi 到 Vi 的权值, 若 Vi 到 Vi 不存在路径, 则 N (i, i) 为无穷大。设 Vm 为已经标记从 Vo 出发的最短路径的顶点集合,其初始状态为空集。

对于问题二,考虑到实际行军路线规划中,除了休息时需要考虑临近道路 的县、市之外,其余的路线选择只考虑道路交叉点,因此本文必须对 Dijkstra 算法进行适当的修改,以提高算法效率。带权图G中定点集合V为道路交叉口。 边的集合 E 为各个可选择道路。以交叉点 Vi 到 Vi 的行军时间作为权值 N(i, i), 即如果该道路为高速公路,则以速度 100km/h 计算驶过该路段的时间,如果该 路段为非高速公路,则以速度 50km/h 计算该路段的时间。如果交叉口 Vi 与 Vi 没有直达道路可以选择,则设为无穷大。

算法流程如下:

1) 对代价数组 D 进行初始化,在 N 中找到点 Vo 到点 Vi 的权值并赋值给 数组 D,得到

$$D(i) = N(V_0, V_i)$$

2) 从数组 D 中选择 Vi, 使得

$$D(j) = minD(i)$$
 $V_i \in V - V_m$

Vi 就是当前从点 Vo 出发求得的最短路径的终点,将点 Vi 加入已经标记的 集合 Vm 中。

3) 检验从点 Vo 到集合 V - Vm 中任一顶点 Vk 的路径长度,并设置

 $D(k) = \min(D(j) + N(j, k), D(k))$

将 Vk 加入已经标记的集合 Vm 中。

4) 重复步骤 2) 和 3), 使得集合 V - Vm 中所有点都标记, 然后退出算法。

(2) Buffer 算法

Buffer 算法是指以点、线、面实体为基础,自动建立其周围一定宽度范围 内的缓冲区多边形图层,然后建立该图层与目标图层的叠加,进行分析而得到 所需结果。它是用来解决邻近度问题的空间分析工具之一。邻近度描述了地理 空间中两个地物距离相近的程度,对于问题二,地理空间的两个地物可以看作 车队与星下点运动轨迹。问题二提出寻找行军时机与宿营地,本文采用 Dijkstra 算法获取的最优行军路线作为基础,建立 L-1 卫星对其产生影响的宽度范围的 缓冲区多边形,然后建立道路受影响缓冲区数据与星下点运动轨迹数据叠加, 分析计算其交汇时刻即行军车队进入 L-1 型卫星和 O 型卫星所能侦察到的区域 的时刻,最后得出行军时机。

行军路线缓冲区建立采用线要素的缓冲区建立方式,以线为轴,以R为距 离作两侧的平行线,R是线要素受影响范围的半径,在线的两端构建两个半圆弧 段,和平行线一起组成缓冲区。针对行军路线缓冲区建立,以行军路线为轴, 以 L-1 型卫星的辐照宽度 272Km 为距离作行军路线两侧的平行线, 在行军路线 两端构建两个半圆弧段,和平行线一起组成行军路线受 L-1 型卫星影响的区域 范围。

缓冲区分析算法采用角平分线法,即"简单平行线法",在轴线的两边生成 平行线,在转角处形成尖角,两端形成弧段,组成缓冲区^[7]。

(3) 躲避规则算法

建立最短路径和相应的缓冲区后,将经过每段路径的时间和卫星轨迹的时间进行匹配,分别生成两个三维数组 Ms(x,y,t)和 Mp(x,y,t)。其中(x,y)代表图中点的经纬度,t代表时刻,t=0表示 2016年11月1号5点0分0秒。将路径和卫星轨迹投影到响应 M 数组中形成0,1权重。

设卫星在 T_i时刻的坐标 X_i, Y_i, 则有 Ms(x, y, t_i)=1 x=X_i, y=Y_i, t_i=Ti Ms(x, y, t_i)=0 $x \neq X_i$, $y \neq Y_i$, t_i =Ti 设经过的路段在 Ti 时刻的缓冲区坐标集为 X_j, Y_j, 则有 Mp(x, y, t_i)=1 $x \in X_j$, $y \in Y_j$, t_i =Ti Mp(x, y, t_i)=0 $x \in X_j$, $y \in Y_j$, t_i =Ti 随着时间 t 的变化, 以 Ms(x, y, t_i)=1 为起始点判断邻近点坐标值是否为 1,

若为0则表示未入缓冲区,则继续改变t,若为1则表示进入缓冲区。 是否进入缓冲区判断示意图如图18所示



图 18 缓冲区判断示意图: 1) 未进入 2) 即将进入 3) 退出 躲避规则算法流程如图 19 所示。



图19 躲避规则算法流程图

5.2.3 问题二模型建立与求解

本问题依据初步预判,首先预估阿尔泰,途径喀什到和田,再返回喀什总 共所需时间少于9天。根据问题一的计算过程,通过 MATLAB 软件,首先拟合 出 2016 年 11 月 1 日凌晨 5 时整开始9天内的Q型卫星和 L-1 型卫星的星下点 行动轨迹(包括星下点经纬度信息和当前时刻),由于本问题研究区域为新疆维 吾尔自治区,因此截取9天内通过新疆维吾尔自治区方圆 272km 区域内(经度 介于东经 71.143~98.839 之间,纬度介于北纬 32.538~50.945 之间)的两颗卫星 的星下点行动轨迹数据,相邻星下点间隔为 5 秒,星下点属性包含当前所在位 置的经纬度和当前时刻信息,如图 20 所示。



图20 新疆区域内L-1型卫星和Q型卫星星下点运动轨迹图

模型实现具体步骤如下:

(1)初始化。根据题设信息设置去程起点阿勒泰市,中间点喀什市,终点和田市;返程起点和田市,终点阿勒泰市。将数据预处理中道路交叉点数据导入 MATLAB 软件中。根据预处理中道路路段编号,找到该路段对应的两个交叉点编号,把邻近交叉点之间行驶对应道路所需时长作为两个交叉点之间的权值。 生成每个交叉点和其余所有交叉点的权值矩阵,若直接相连,赋值为两个交叉点之间的权值;若不直接相连,设其权值为无穷大^[8]。例如:

	0 INF	INF 0	0.316 0.8632	INF INF	INI INI	F INF F INF	INF INF	INF INF]	
	0.316	0.8632	0	0.053	4 INH	F INF	INF	INF		
	INF	INF	0.0534	0	0.0304	4 INF	INF	INF		
w =	INF	INF	INF	0.0304	0	0.0044	INF	INF		
	INF	INF	INF	INF	0.0044	4 0	0.0041	INF		
	INF	INF	INF	INF	INF	0.0041	0	0.816		
	INF	INF	INF	INF	INF	INF	0.0816	0		
	L									

(2)使用 MATLAB 软件实现 Dijkstra 算法,找到从阿尔泰(交点编号 2260) 经喀什(交点编号 91)到达和田(交点编号 504)的所需最短时间的路径,以 及从和田返回阿尔泰的所用时间最短的路径,并生成路径示意图,输出各个途 经道路交点的编号以及所经道路编号与对应的道路行驶所用时间,并将时间换 算成部队出发后的时刻表。MATLAB 生成最短时间最优路径直线连接数据如图 21。



图21 最优路径示意图

通过路径编号建立最优路径与实际道路路段对应关系,得到往返路线所需 最短时间的最优路线,如图 22 所示。路段 1 全长 2576.44km ,其中:普通公路 1000.62km,高速公路 1575.82km。在不停止的情况下,所需时长为 35.77 小时。路段 2 全长 621.97km,均为高速公路,所需时长为 6.22 小时。路段 3 全长 2736.20km ,普通公路全长 20.01km,高速公路 2716.19km,所需时长为 37.36 小时。



图22 最优行军路线图

(3)根据躲避规则算法流程图,通过 MATLAB 程序得出卫星星下点进入 行军车队所建缓冲区的时刻以及离开时刻。若 L-1 型卫星星下点进入行军队伍 缓冲区,则通过提前预判下个行军道路路段是否会和 L-1 星的侦察范围重合, 若下条道路会与侦察范围重合,则在当前道路停下,等待卫星离开下个行军道 路,再继续行军。若 Q 型卫星进入侦察范围,则通过伪装措施原地等待。图 23 是 2016 年 11 月 1 日 L-1 型卫星在 17:27:29 分还未进入缓冲区的情况,图 24 是 在 17:27:50 分首次进入缓冲区的情况,图 25 是在 17:28:49 分即将离开缓冲区的 情况。记录 L-1 卫星进入缓冲区的总时间,更新行军路线时刻表。



图24 L-1型卫星运动轨迹时刻图(开始侦察)



图25 L-1型卫星运动轨迹时刻图(结束侦察)

(4) 根据(3) 计算过程, 按照连续行驶 10 到 12 小时、休息 10 小时原则、 在和田执行任务 24 小时以及躲避 L-1 型卫星、隐蔽 Q 型卫星原则计算, 更新 行军路线时刻表, 直至终点, 行军路线规划和总时刻表见表 3, 具体道路编号 和里程、时刻表见附录 2。

本次行军总时长为 6 天 19 时 23 分 53 秒,从 11 月 1 日凌晨 5 点从阿勒泰 出发,在 11 月 1 日 08:58:26 至 08:59:50 暂停行军躲避 L-1 星后继续行军,在 11 月 1 日 16:10:46 至 02:10:46 在行军最近的尼勒克县休息 10 小时,休息过程 中再次躲避 L-1 星一次。于 11 月 2 日 13:11:04 至 23:11:04 在新和县休息 10 小 时,休息过程中进入Q星侦察范围,可选择释放烟雾弹等方式隐蔽。之后于 11 月 3 日 10:44:46 至 20:44:46 在莎车县休息 10 小时后继续行军,到达中继站喀什 市。

到达喀什市后直接沿高速出发到达终点和田,到达时刻为 11 月 4 日 05:00:48。在和田执行任务 24 小时后,于 11 月 5 日 05:00:48 开始返程,在 11 月 5 日 08:54:35 发现 L-1 型即将进入侦察范围,提前躲避,于 11 月 5 日 08:55:35 继续行军,中途经过阿克苏市、和静县和布克赛尔蒙古自治县均休息 10 小时,在布克赛尔蒙古自治县休息时又一次进入Q星侦察范围,可采取适当隐蔽措施。

因此,本次行军所经过的宿营地分别是:尼勒克县、新和县、莎车县、阿 克苏市、和静县和和布克赛尔蒙古自治县。

序号	开始时刻	结束时刻	状态	行军路段	
1	2016/11/01	2016/11/01	计阿勒表再名王孙行军	阿勒泰至喀	
1	05:00:00	08:58:26	<u> </u>	什段	
2	2016/11/01	2016/11/01	新信行宏 即渡 1 月	阿勒泰至喀	
2	08:58:26	08:59:50	首厅们半,	什段	

表 3 行军路线规划和总时刻表

2	2016/11/01	2016/11/01	行军	阿勒泰至喀		
3	08:59:50	16:10:46	1] 牛	什段		
4	2016/11/01	2016/11/02	尼勒克县休息 10 小时,并躲避	阿勒泰至喀		
4	16:10:46	02:10:46	L-1 星	什段		
5	2016/11/02	2016/11/02	信军	阿勒泰至喀		
3	02:10:46	13:11:04	1] 牛	什段		
(2016/11/02	2016/11/02	新和县休息 10 小时,休息时将进	阿勒泰至喀		
0	13:11:04	23:11:04	入Q星侦察范围	什段		
7	2016/11/02	2016/11/03	信军	阿勒泰至喀		
/	23:11:04	10:44:46	1] 牛	什段		
0	2016/11/03	2016/11/03	苏东目休自 10 小时	阿勒泰至喀		
0	10:44:46	20:44:46	沙平云怀虑 10 小时	什段		
0	2016/11/03	2016/11/03	云山土肉儿	阿勒泰至喀		
9	20:44:46	22:47:38	判赵略们	什段		
10	2016/11/03	2016/11/04	从喀什出发开始行军,到达目的	喀什至和田		
10	22:47:38	05:00:48	地和田	段		
11	2016/11/04	2016/11/05	左 和田工佐 24 小时	工		
11	05:00:48	05:00:48	在和田工作 24 小时			
12	2016/11/05	2016/11/05	川和田山尖开始行军	和田至阿勒		
12	05:00:48	08:54:35	从和田田及开始打车	泰段		
12	2016/11/05	2016/11/05	新信行宏 凱胺工1月	和田至阿勒		
13	08:54:35	08:55:35	舀悙11年,	泰段		
14	2016/11/05	2016/11/05	信军	和田至阿勒		
14	08:55:35	17:12:28	1] 牛	泰段		
15	2016/11/05	2016/11/06	阿古艾吉休自 10 小时	和田至阿勒		
13	17:12:28	03:12:28	两兄亦巾怀忘 10 小时	泰段		
16	2016/11/06	2016/11/06	行军	和田至阿勒		
10	03:12:28	13:39:11	1] 半	泰段		
17	2016/11/06	2016/11/06	和 善 目 休 自 10 小 时	和田至阿勒		
17	13:39:11	23:39:11	和伊安怀虑 10 小时	泰段		
19	2016/11/06	2016/11/07	行军	和田至阿勒		
18	23:39:11	11:06:46	1] 牛	泰段		
10	2016/11/07	2016/11/07	和布克赛尔蒙古自治县休息10小	和田至阿勒		
19	11:06:46	21:06:46	时,休息时将进入Q星侦察范围	泰段		
20	2016/11/07	2016/11/08	到计日的地图势丰	和田至阿勒		
20	21:06:46	00:23:53	到达日的地門朝泰	泰段		
表4	表4和表5为L-1型卫星和Q型卫星进入侦察区域的时刻表。其中,L-1型卫星					

在行军过程中进入侦察区域四次,行军中两次,休息中一次,工作中一次。Q型 卫星进入侦察区域三次,均在10小时休息时进入。

表 4 L-1 型卫星的预测时间表

序号	开始时刻	结束时刻	相遇状态	躲避策略
1	2016/11/01	2016/11/01	阿勒泰至喀什行军时将会相	坦盖斩庐仁宏即鸿
1	08:58:26	08:59:50	遇	征 則百行11年
2	2016/11/01	2016/11/01	尼勒克县休息时将会相遇	休息前采取躲避措

	17:27:50	17:28:49		施
2	2016/11/04	2016/11/04	左 和田工佐时收入相遇	工作时采取措施躲
3	08:29:40	08:31:06	在他田上1F的 付云相過	避
1	2016/11/05	2016/11/05	和田至阿勒泰行军时将会相	坦益新禧行宏即遵
4	08:54:35	08:55:35	遇	灰 則 百 行 1 年 秋 西
		表5Q	型卫星的预测时间表	
序 号	开始时刻	结束时刻	相遇状态	躲避策略
1	2016/11/02	2016/11/02	新和目休自时收入 过顶	休息前采取隐藏
1	20:20:19	20:21:25	利和去怀忌时将云过坝	措施
r	2016/11/06	2016/11/06	和热日休自叶收入扫潮	休息前采取隐藏
Z	20:16:30	20:17:45	和伊县怀忌时将会相遇	措施
2	2016/11/07	2016/11/07	和布克赛尔蒙古自治县休息时	休息前采取隐藏
3	19:53:14	19:54:30	将会相遇	措施

5.3 问题三的分析与建模

5.3.1 针对 L 型卫星(L-1、L-2)的反侦察可行性分析

L 型卫星主要使用雷达技术进行侦察,一般的伪装和欺骗都无法躲避该技术的侦察,该卫星可以穿透云雨层,因此须从根本上找到躲避卫星的方法。本节先讨论仅有一个 L-1 卫星时的反侦察可行性。

(1) 通过研究 L-1 型卫星的运动轨迹对应的星下点轨迹找到某个地区的侦察时间盲点。



图26 L-1型卫星星下点运动轨迹拟合图 例如针对新疆维尔族自治区范围内的乌鲁木齐(如图 26 所示)。第一天

17:26:25, L型卫星对乌鲁木齐市有一次有效侦察(侦察范围为以星下点为圆心, 以卫星的辐照宽度 272km 为半径的圆),第四天 08:54:40, L型卫星对乌鲁木齐 市进行第二次有效侦察,第一次侦察与第二次侦察间隔 63 小时,该 63 小时的 时间间隔可以视为L型卫星的侦察时间盲区,该时间盲区足够进行一次完整的 军事行动和部署。搜索该时间盲区范围内除乌鲁木齐市以外新疆维尔族自治区 的其他地区的区域盲点(如图 27 所示)。由该图可得,从第一天 17:26:25 到第 四天 08:54:40,红色阴影区域内的车队和其他活动都不会被 L型卫星发现。



图27 针对L-1型卫星的规避区域形状及大小分析 (2)考虑 L-1 型和 L-2 型卫星协同侦察情况,首先绘制 L-1 和 L-2 双星星 下点运动轨迹拟合图(图 28),并列出可以侦察到乌鲁木齐市的时间(表 6)。



图28 L型双星协同侦察星下点运动轨迹拟合图 表 6 乌鲁木齐市被 L 型双星侦察时间表

日期	卫星型号	侦察开始时间	侦察结束时间	与上次卫星侦察间隔(小时)
第一天	L1	17: 26: 25	17: 32: 10	0
第二天	L2	21: 32: 35	21: 39: 10	28
第三天	L2	04: 23: 35	04: 29: 55	7
第四天	L1	08: 29: 05	08: 34: 05	28
第四天	L2	17: 00: 50	17: 06: 35	9
第五天	L1	17: 24: 50	17: 30: 35	24
第五天	L2	21: 18: 45	21: 25: 25	4
第六天	L2	04: 09: 55	04: 16: 05	7
第七条	L1	08: 03: 30	08: 09: 15	28

可以发现 L-1 和 L-2 星组合侦察的效果明显优于单星侦察,星下点运动轨 道较密集,几乎找不到长时间未被侦察到的大面积区域。但是针对乌鲁木齐市, 可以找到最长 28 小时不被侦察到的时间。同时躲避侦察的时间具有一定的规律 性,可以通过准确预测双星轨道找到相应的躲避时间,进行快速的军事行动。

(3)区域选择的主要考虑因素是行军车队是否能够被准确的识别。由于新 疆地区的道路网络和车流量密度道路网络和车流量密度相对稀疏,不利于车队 的隐藏,因此选择中国中部、东南部等道路网络和车流量密度较高的地区作为 行军的区域。密度高的道路网络和车流量有利于将大车队分散为多个小车队行 军,每个小车队可以选择不同的道路进行隐藏。

(4)针对躲避L型卫星的电磁侦察,车队可以采用多谱伪装网进行隐藏。

例如陆射战斧导弹地面设备的伪装网组件中配有对抗雷达侦察的散射屏,其上 有附着的网织物和覆盖层。或者在发射车上设置伞状遮障,可以改变目标形状。 这种遮障质量小,行军时也可使用,利于机动。

(5)行军途中如果发现车队必须要进入L型卫星的侦察范围,可立即采取 无线电静默来躲避雷达侦察。假设车队是一个半径为1km圆形范围,该范围从 进入卫星的侦察区域到离开卫星的侦察区域的时间长度约为2-3分钟。不考虑 有其他雷达预警机情况下,无线电静默10分钟即可保证不会被该电子侦察卫星 发现。

5.3.2 针对 Q 型卫星的反侦察可行性分析

Q型卫星为光学侦察卫星,侦察原理是利用自身携带的光学相机对目标进行拍照,相机光谱波段包括红外光波段,可以在夜间进行拍摄工作,相机拍摄所得影像分辨率为23米。针对Q型卫星的反侦察原理主要是利用光学性质。

(1)结合问题处理过程, 拟合卫星运动轨迹的星下点坐标(如图 29)



图29 Q型卫星星下点运动轨迹拟合图

根据上图,从第一天到第九天,Q型卫星星下点轨迹按照一定的规律经过 该地区,该星下点轨迹经过该地区的位置以相对均匀的距离向东移动。以新疆 维吾尔尔族自治区为例,第四天 08:53:50 时,Q型卫星对新疆维吾尔族自治区 的乌鲁木齐市进行一次有效侦察。第七天 19:50:15 时,Q型卫星对乌鲁木齐市 进行第二次有效侦察。第一次侦察与第二次侦察间隔 72 小时,该 72 小时的时 间间隔可以视为Q型卫星的侦察时间盲区,该时间盲区足够进行一次完整的军 事行动和部署。然后搜索该时间盲区范围内除乌鲁木齐市以外新疆维尔族自治 区的其他地区的区域盲点(如图 30 所示)。由该图可得,从第四天 08:53:50 到 第七天 19:50:15,红色阴影区域内的车队和其他活动都不会被 L型卫星发现, Q型卫星的侦察区域盲点较大。



图30 针对Q型卫星的规避区域形状及大小分析

(2)可以增加一些假目标车队朝相反方向行军.一方面,分辨率为23m的 Q型卫星很难将隐藏在普通车辆中的军用车队准确识别出来;另一方面,即使 Q型卫星识别出个别车队,也无法准确地判断出各个车队最终的目的地。虽然 行军成本略有提高,但是可以让对方无法准确判断重要目标的行军路线和目的 地。

(3)由于光学卫星的侦察原理主要利用光的反射和热辐射进行拍照侦察, Q型卫星无法穿过云层进行拍照,阴雨天天空的云层较多较厚,可以选择阴雨 天行军。同时根据车队、载具装置外形图和足够详细的模型来制订迷彩方案。 可以先在发射装置外形图或者模型上的所有明亮底色部分涂上黑色迷彩。在反 差极大的情况下,可以容易地检查伪装效果。借助模型,从不同观察方向和照 明方向检查迷彩方案,花费较少。最后要对伪装效果进行检查。

(4) 夜间行军主要针对 Q 型的红外波段进行反侦察。红外热成像技术可 以敏锐地捕捉极其细微的温度差异,从而轻易地戳穿一般防可见光和防雷达侦 察的伪装。因此,重要的目标比如移动导弹发射装置可采取降低红外辐射的伪 装措施。使用泡沫塑料,该塑料具有质量小、使用方便、隔热性能优良、易于 着色的优点,可以将其喷刷或粘贴到车辆表面,使发射装置表面与背景的热辐 射特性接近,甚至一致^[9]。

5.5.3 针对 K 型卫星的反侦察可行性分析

对于 K 型卫星,目前唯一已知的信息是该星十次被该观察站观测到的情况。 在问题一中,本文已经计算出该卫星的精确轨道,并可以预测任意一天卫星星 下点的运动轨迹。现在通过第一天至第六天 K 型卫星在新疆区域的星下点运动 轨迹(图 31)探索可行的反侦察方式。



图31 K型卫星星下点运动轨迹拟合图

K型卫星的星下点轨迹和Q型卫星星下点轨迹拟合图十分相似,都存在一定时间的观察时间盲区,侦察区域盲点形状和大小也与Q型卫星相似。K型卫星的特点在于其观察时间盲区比较长,大致达到三到四天,因此在选择规避侦察的条件中,区域大小和形状可以参考Q型卫星。

5.5.4 针对两种卫星(Q型和L型)的反侦察可行性分析

考虑到实际情况,尤其是战时敌军不可能仅使用单一卫星对重点军事目标和车队进行侦察,因此针对光学卫星Q型和电子侦察卫星L型的双星组合侦察的躲避和伪装研究十分重要,同时考虑这两种侦察方式的优势和弊端,找到合理的反侦察方法。

(1)研究区域依旧选择新疆维吾尔自治区范围内的乌鲁木齐市,采用分析 Q型卫星和L型卫星单独的轨道时间盲点的方法。得到L1卫星第一次侦察时 间是11月1号17:32:10,Q型卫星第一次侦察时间是11月3号19:53:55,Q型 卫星第一次侦察时间之前没有出现L1卫星第二次侦察,由此计算得出L1卫星 和Q型卫星存在46小时时间盲点。该时间盲点范围内,新疆维吾尔自治区范 围内除乌鲁木齐市以外的其他区域盲点,区域盲点如图32红色阴影部分所示:



图32 针对Q型和L型卫星的规避区域形状及大小分析

(2) 在行军路线规划前考虑是否有 Q 型和 L 型卫星单独进入侦察区域的 情况,如果有则按照单独针对躲避一种卫星的侦察方案。

(3)如果必须要经过 Q 型卫星和 L 型卫星同时侦测到的地区,可结合多种方法来避免被其发现。比如可以选择在阴雨天行军,并在卫星即将到达探测 区域时采用无线电静默状态,等待卫星离开相关区域后再继续行军。或者车队 表明采用伪装遮挡物和电磁屏蔽网等^[10]。

6. 模型优缺点与改进

6.1 模型的优点

本文引入了多个卫星坐标系,并明确这些坐标系之间的转换关系,建立了 使用五个轨道根数和卫星观测情况计算卫星准确运动状态的数学模型。该模型 中,针对卫星根数零时刻平近地点角 M0 随观测卫星点存在漂移的情况,创新 型地修正 M0 为随时间变化的线性函数,使预测卫星被探测情况的精度达到秒 级(Q星)或分钟级(L-1、L-2星)。

本文针对 K 型卫星仅有 10 次观测数据、无任何已知轨道根数的情况,建 立新的地心惯性系和轨道坐标系,在卫星轨道为圆轨道的合理假设下,建立卫 星的运动模型,准确预报未来的被观测时间,并进行了观测次数与预报精度的 定性分析。

本文解决问题二和问题三时,使用了 Dijkstra 算法、Buffer 分析算法和躲避 规则算法。分别实现了道路的最优选择、预判车队是否会进入卫星侦察范围和 选择合理修改车队行军时间以避开 L-1 型卫星躲避 Q 型卫星等功能。其中 Dijkstra 算法大幅缩减了最优路线寻找的时间和复杂度, Buffer 分析算法将判断 车队是否进入卫星侦察范围的问题简化为判断两幅权图是否有交集的问题,躲 避规则算法选择了合理的行军时机,将行军时间尽可能缩短,完成了题目要求。

本文充分运用 MATLAB、EXCEL 等软件的强大科学计算能力,优化了计 算程序,得到了精细准确的计算结果。

6.2 模型的不足和改进

本文的不足之处在于:

1)本文在求解 K 型卫星运动轨道时,将该卫星的轨道假设为圆轨道。虽然此假设保证了很高的预测精度,但对于偏心率较高的椭圆轨道的卫星适用性较差。

2)本文在分析仅有观测数据以预测未来过顶情况时,仅定性描述,没有给 出定量的结果。

3)分析问题三中卫星轨道特点时算法不够智能,无法快速寻找安全规避区 域,计算可以规避时间。

基于上述不足,以后的改进方向是:(1)建立仅通过观测数据得到椭圆轨 道的卫星运动状态的数学模型;(2)定量计算观测次数对于预测未来过顶情况 的影响;(3)提高分析卫星轨道特点算法的智能化程度和运行效率。

参考文献

[1]张捍卫,郑勇,马高峰, CRS 与 ITRS 之间的坐标转换研究[J],大地测量与地球动力学,31(1):63-67,2011。

[2]方晓松,卫星轨道建模与仿真技术研究[D],电子科技大学,2010。

[3]张如伟,刘根友,低轨卫星轨道拟合及预报方法研究[J],大地测量与地球动力学,28(4):115-120,2008。

[4]沈欣,光学遥感卫星轨道设计若干关键技术研究[D],武汉:武汉大学,2012。 [5]万家欢,庄春华,陈秀万,导航卫星轨道拟合方法与仿真研究[J],测绘通报, 2012(7): 1-5。

[6]王鹏,郑贵省,王元,基于 GIS 躲避卫星侦察的公路运输机动路线选择[J],军事交通学院学报,17(7):86-90,2015。

[7]李志刚,胡圣武,关于角平分线法建立线状缓冲区算法的改进[J],测绘地理信息,30(5):35-36,2005。

[8]花玲玲,于 GIS 空间分布特征的 Dijkstra 最短路径算法研究[D],重庆大学, 2007。

[9]董魁,战时公路军事运输决策支持平台及数据中心建设初探[J],国防交通工程与技术,7(2):63-66,2009。

[10]辛华玺, 基于 BAM 神经网络的公路军事运输道路选择方法研究[D], 国防科学技术大学, 2013。

附出第一问部分程序

%以下求观测站点的地球半径 rg

rs=[1667,627,1683,1686,1299,1675,1685,1167,1678,1666,522,1679,1687,705,1 674,1670,886,1683,1675,1611,1678,1684,496,1675,1674,1378,1682];%卫星和观测 站距离

a=6866;%卫星轨道半径

sita_a=90+[10.1,49.9,10,10,17,10,10,20.4,10,10.1,69.3,10.1,10,42.2,10.1,10.1,3 0.4,10,10,11,10,10.1,82.8,10,10,15.3,10];

rgf=zeros(27,1);

for j=1:27

sita_rs=asind(sind(sita_a(j))/a*rs(j));

sita_rg=180-sita_a(j)-sita_rs;

rgf(j)=a/sind(sita_a(j))*sind(sita_rg);

end

rg=mean(rgf);

%以下求观测到的卫星点在 ITRS 下的坐标

sita_j=118.7681;%观测站经度

sita w=32.0209;%观测站纬度

sita_elv=[10.1,49.9,10,10,17,10,10,20.4,10,10.1,69.3,10.1,10,42.2,10.1,10.1,30.4,10,10,11,10,10.1,82.8,10,10,15.3,10];%观测仰角

sita_azm=[183.7,259.9,337,52.8,95.5,137.8,337,287.8,238.8,160.5,76.4,353.9,3 56.3,284.5,213,136.6,74.1,11.3,249.1,266.4,283.7,13.1,104.6,189.9,107.6,70.7,33.7];% 观测方位角

```
Xsg=[rs.*cosd(sita_elv).*sind(sita_azm);
rs.*cosd(sita_elv).*cosd(sita_azm);
rs.*sind(sita_elv)];
sita_1=-sita_j-90;
sita_2=sita_w-90;
Rz1=[cosd(sita_1) sind(sita_1) 0;
-sind(sita_1) cosd(sita_1) 0;
0 0 1];
Rx1=[1 0 0;
0 cosd(sita_2) sind(sita_2);
0 -sind(sita_2) cosd(sita_2)];
Xsf=Xsg;
for j=1:27
```

Xsf(:,j)=Rz1*Rx1*Xsg(:,j)+[rg*cosd(sita_w)*cosd(sita_j);rg*cosd(sita_w)*sind(sita_j);rg*sind(sita_w)];

end %以下求观测卫星点在 GCRS 下的坐标和 t0

```
e = 0.0002;
                                %Eccentricity
    i = deg2rad(97.418);
                                        %Inclination (rad)
    omega = deg2rad(318.063);
                                             %Right Ascension of Ascending
Node (rad)
                                         %Argument of Perigee (rad)
    w = deg2rad(36.122);
    132551,132758,132963,170450,170641,170834,176190,176254,176318,217543,217
761,217977,255521,255650,255780];
    Xsc=Xsg;
    Xso=Xsg;
    p1 = omega;
    p2 = w;
    p3 = i;
    C11 = cos(p1)*cos(p2) - sin(p1)*sin(p2)*cos(p3);
    C12 = -\cos(p1) \sin(p2) - \sin(p1) \cos(p2) \cos(p3);
    C13 = sin(p1)*sin(p3);
    C21 = sin(p1)*cos(p2) + cos(p1)*sin(p2)*cos(p3);
    C22 = -\sin(p1) \sin(p2) + \cos(p1) \cos(p2) \cos(p3);
    C23 = -\cos(p1) * \sin(p3);
    C31 = sin(p2)*sin(p3);
    C32 = cos(p2)*sin(p3);
    C33 = cos(p3);
    C orbit to ECI = [C11, C12, C13; C21, C22, C23; C31, C32, C33];
    value=zeros(86164,1);
    for t0=1:86164
        t=t0+t1;
        for j=1:27
             Xsc(:,j) = ECEF2ECI(Xsf(:,j), t(j));
             Xso(:,j)=C orbit to ECIXsc(:,j);
        end
        value(t0)=sum(Xso(3,:).^2);
        (xso(1,:)+a*e).^{2/a^{2}+(xso(2,:)).^{2/a^{2}/(1-e^{2})-1)};
       % value(t0)=sum(abs(Xso(3,:)));
    end
    mm=min(value);
    [t0,xx]=find(value==mm);
    %以下求 M0
    M=zeros(27,1);
    for j=1:27
        Xsc(:,j) = ECEF2ECI(Xsf(:,j), t0+t1(j));
        Xso(:,j)=C orbit to ECIXsc(:,j);
        xe=Xso(1,j)+a*e;
        ye=Xso(2,j)/sqrt(1-e^2);
        E=atan2(ye,xe);
```

```
M(j)=E-e*sin(E);
    end
    mu = 398600e9;
    n = sqrt(mu/(a*1e3)^3);
    %修正 M0
    M0f=M-(n*t1)';%新 M0 的几个采样,包含周期性
    T0=M0f/2/pi;%M0转换为周期,包含周期为1
    T0 temp=T0-floor(T0);%化为不含周期的 T0
    M0 temp=T0 temp*2*pi;%化为 M0 不含周期
    P=polyfit(t1',M0 temp,1);%拟合 M0 的斜率和截距
    %%问题一第一小问被观测情况
    %计算 D3D5 的被观测情况
    %先计算 D3D5 的卫星轨道
    Xsatd3 ECI=zeros(3,86401);
    Xsatd3 ECEF=zeros(3,86401);
   j=1;
    for t1=3*24*3600:1:4*24*3600
        M0=P(1)*t1+P(2);
        orb para = [a*1e3;e;i;omega;w;M0];
        Xsatd3 ECI(:,j)=orbmotion(t1,orb para);
        Xsatd3 ECEF(:,j)=ECI2ECEF(Xsatd3 ECI(:,j),t0+t1);
        i=i+1;
    end
    Xsatd5 ECI=zeros(3,86401);
    Xsatd5 ECEF=zeros(3,86401);
   i=1;
    for t1=5*24*3600:1:6*24*3600
        M0=P(1)*t1+P(2);
        orb para = [a*1e3;e;i;omega;w;M0];
        Xsatd5 ECI(:,j)=orbmotion(t1,orb para);
        Xsatd5 ECEF(:,j)=ECI2ECEF(Xsatd5 ECI(:,j),t0+t1);
        i=i+1;
    end
    %计算与观察站相差小于观测距离的时间
    Xdet=[rg*cosd(sita w)*cosd(sita j);rg*cosd(sita w)*sind(sita j);rg*sind(sita
w)]*1e3;
    d0=1e8;
    Tstartd3=zeros(100,1);
    Tstopd3=zeros(100,1);
   j1=1;
   j2=1;
    for j=1:86401
        dsat sg=norm(Xsatd3 ECEF(:,j)-Xdet);
```

```
if(dsat sg<1686e3&&d0>1686e3)
         Tstartd3(j1)=3*24*3600+j-1;
         i1=i1+1;
    end
    if(dsat sg>1686e3&&d0<1686e3)
         Tstopd3(j2)=3*24*3600+j-1;
         j_{2}=j_{2}+1;
    end
    d0=dsat sg;
end
d0=1e8:
Tstartd5=zeros(100,1);
Tstopd5=zeros(100,1);
j1=1;
j2=1;
for j=1:86401
    dsat sg=norm(Xsatd5 ECEF(:,j)-Xdet);
    if(dsat_sg<2040e3&&d0>2040e3)
         Tstartd5(j1)=5*24*3600+j-1;
         j1=j1+1;
    end
    if(dsat sg>2040e3&&d0<2040e3)
         Tstopd5(j2)=5*24*3600+j-1;
         j2=j2+1;
    end
    d0=dsat sg;
end
%%问题一第一小问过顶时间
%D3
Tgstart3=zeros(100,1);
i1=1;
d3 jw=zeros(2,86401);
for j=1:86401
    sita j d3=rad2deg(atan2(Xsatd3 ECEF(2,j),Xsatd3 ECEF(1,j)));
    sita w d3=asind(Xsatd3 ECEF(3,j)/norm(Xsatd3 ECEF(:,j)));
    d3 iw(1,i)=sita i d3;
    d3_jw(2,j)=sita_w_d3;
    if(sita w d3>31.9&&sita w d3<32.25)
         if(sita j d3>118.02&&sita j d3<118.91)
                 Tgstart3(j1)=3*24*3600+j-1;
                 j1=j1+1;
         end
```

```
- 43 -
```

```
end
                          s1=sita w d3;
                          s2=sita j d3;
             end
             %D5
             Tgstart5=zeros(100,1);
            i1=1;
             d5 jw=zeros(2,86401);
             for j=1:86401
                          sita j d5=rad2deg(atan2(Xsatd5 ECEF(2,j),Xsatd5 ECEF(1,j)));
                          sita w d5=asind(Xsatd5 ECEF(3,j)/norm(Xsatd5 ECEF(:,j)));
                          d5 jw(1,j)=sita j d5;
                          d5 jw(2,j)=sita w d5;
                          if(sita w d5>31.9&&sita w d5<32.25)
                                        if(sita j d5>118.02&&sita j d5<118.91)
                                                                    Tgstart5(j1)=5*24*3600+j-1;
                                                                      i1=i1+1;
                                        end
                          end
                          s1=sita w d5;
                          s2=sita j d5;
             end
             %问题一第一小问安全施工
             %D3
             rearth=6378e3;
             sw1=31.90;
             sw2=32.25;
             sj1=118.02;
             sj2=118.91;
             x1=[rearth*cosd(sw1)*cosd(sj1);rearth*cosd(sw1)*sind(sj1);rearth*sind(sw1)];%
地面军事区域坐标
             x2=[rearth*cosd(sw2)*cosd(sj1);rearth*cosd(sw2)*sind(sj1);rearth*sind(sw2)];
             x3=[rearth*cosd(sw1)*cosd(sj2);rearth*cosd(sw1)*sind(sj2);rearth*sind(sw1)];
             x4=[rearth*cosd(sw2)*cosd(sj2);rearth*cosd(sw2)*sind(sj2);rearth*sind(sw2)];
             Tshigongd3=zeros(100000,1);
            j1=1;
             for j=1:86401
xd3=[rearth*cosd(d3 jw(2,j))*cosd(d3 jw(1,j));rearth*cosd(d3 jw(2,j))*sind(d3 jw(2,j))*si
(1,j);rearth*sind(d3 jw(2,j))];
                          d31=norm(xd3-x1);
```

```
d32=norm(xd3-x2);
```

```
d33=norm(xd3-x3);
                                                d34=norm(xd3-x4);
                                                if(d31<272e3||d32<272e3||d33<272e3||d34<272e3)
                                                                         Tshigongd3(j1)=3*24*3600+j-1;
                                                                        j1=j1+1;
                                                end
                        end
                        Tshigongd5=zeros(100000,1);
                      j1=1;
                        for j=1:86401
xd5=[rearth*cosd(d5_jw(2,j))*cosd(d5_jw(1,j));rearth*cosd(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*sind(d5_jw(2,j))*si
(1,j);rearth*sind(d5 jw(2,j))];
                                               d51=norm(xd5-x1);
                                                d52=norm(xd5-x2);
                                                d53=norm(xd5-x3);
                                                d54=norm(xd5-x4);
                                                if(d51<272e3||d52<272e3||d53<272e3||d54<272e3)
                                                                         Tshigongd5(j1)=5*24*3600+j-1;
                                                                        j1=j1+1;
                                                end
```

end

附录二

问题二征	行军路线规	利与时刻表

途经交点	途经路线	路线时间	出发地	目的地	时刻	行军状态
2260	3540	0.35849629	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					05:00:00	
2250	3539	0.08630004	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					05:21:30	
2247	3538	0.21487251	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					05:26:41	
2232	3537	0.89074477	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					05:39:34	
1745	3535	0.19085528	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					06:33:01	
1713	3536	0.38973159	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					06:44:28	
1645	3534	1.15431823	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					07:07:51	
1412	3533	0.73734086	阿勒泰	喀什	2016/11/01	相遇L星
					08:17:07	
1344	3532	0.00027208	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					09:02:45	
1343	3531	0.01963603	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					09:02:46	
1334	3530	0.00570331	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					09:03:57	
1333	3529	0.86203809	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					09:04:17	
1277	3528	0.11471692	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					09:56:01	
1274	3527	0.20338621	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					10:02:54	
1268	3526	0.04203355	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					10:15:06	
1255	3525	0.43174718	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					10:17:37	
1226	3524	0.61525486	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					10:43:31	
1225	3523	0.08475165	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					11:20:26	
1231	3522	0.34052721	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					11:25:31	

1250	3521	0.08701796	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					11:45:57	
1254	3520	0.24593334	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					11:51:11	
1249	3519	0.0748446	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					12:05:56	
1244	3518	0.00024861	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					12:10:25	
1243	3042	0.00724762	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					12:10:26	
1239	2073	0.01118219	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					12:10:52	
1238	2071	0.0237245	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					12:11:33	
1236	2067	0.95818509	阿勒泰	喀什	2016/11/01	
					12:12:58	
1235	1855	3.00526813	阿勒泰	喀什	2016/11/01	休息 10 小
					13:10:27	时,并躲避 L
						卫星(尼勒克
						县)
1165	1391	2.37367224	阿勒泰	喀什	2016/11/02	
					02:10:46	
1151	1287	0.04299705	阿勒泰	喀什	2016/11/02	
					04:33:12	
1153	1285	1.17201619	阿勒泰	喀什	2016/11/02	
					04:35:46	
1160	1242	6.11458643	阿勒泰	喀什	2016/11/02	
					05:46:06	
1078	921	0.61217078	阿勒泰	喀什	2016/11/02	
					11:52:58	
1073	828	0.04653092	阿勒泰	喀什	2016/11/02	
					12:29:42	
1072	3299	0.1184673	阿勒泰	喀什	2016/11/02	
					12:32:30	
1065	3298	0.00648629	阿勒泰	喀什	2016/11/02	
					12:39:36	
1063	3297	0.13656804	阿勒泰	喀什	2016/11/02	
					12:39:59	
1048	3296	0.16260925	阿勒泰	喀什	2016/11/02	
					12:48:11	
1017	3295	0.1628548	阿勒泰	喀什	2016/11/02	
					12:57:56	
1005	3294	0.05586037	阿勒泰	喀什	2016/11/02	休息 10 小
					13:07:43	时,(新和

						县),休息时
						Q过顶
992	3293	1.98540568	阿勒泰	喀什	2016/11/02	
					23:11:04	
645	3292	0.55855194	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					01:10:11	
550	3291	0.01126858	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					01:43:42	
547	698	0.1201927	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					01:44:23	
546	689	0.12660334	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					01:51:35	
543	683	0.03973095	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					01:59:11	
535	681	0.06541044	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					02:01:34	
527	679	0.09662025	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					02:05:30	
525	677	0.02520817	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					02:11:17	
522	676	1.49065577	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					02:12:48	
476	664	1.37237776	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					03:42:15	
428	640	0.00987321	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					05:04:35	
429	638	0.10431415	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					05:05:11	
427	637	1.44398019	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					05:11:26	
415	625	0.6923936	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					06:38:05	
407	3239	0.29764342	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					07:19:37	
410	3238	1.3616367	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					07:37:29	
377	3237	0.10963223	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					08:59:11	
371	3236	0.33134956	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					09:05:45	
360	3235	0.10628893	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					09:25:38	
357	3234	0.03472639	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					09:32:01	

354	3233	0.16176607	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					09:34:06	
339	3232	0.33385901	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					09:43:48	
309	3231	0.02959121	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					10:03:50	
304	3230	0.30101051	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					10:05:37	
240	3229	0.02347739	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					10:23:40	
237	277	0.0096064	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					10:25:05	
238	275	0.05520412	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					10:25:39	
234	3192	0.01886765	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					10:28:58	
227	3193	0.04695947	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					10:30:06	
214	3194	0.06604455	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					10:32:55	
205	3190	0.10840477	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					10:36:53	
201	3188	0.0230044	阿勒泰	喀什	2016/11/03	休息 10 小
					10:43:23	时,(莎车县)
196	3195	0.73346289	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					20:44:46	
170	3196	0.03858012	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					21:28:46	
168	3197	0.03731532	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					21:31:05	
162	2100					
	3198	0.02236821	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
	3198	0.02236821	阿勒泰	喀什	2016/11/03 21:33:19	
159	3198	0.02236821 0.1672893	阿勒泰 阿勒泰	喀什喀什	2016/11/03 21:33:19 2016/11/03	
159	3198	0.02236821	阿勒泰 阿勒泰	喀什喀什	2016/11/03 21:33:19 2016/11/03 21:34:40	
159 147	3198 3199 3200	0.02236821 0.1672893 0.23596048	阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰	喀什 喀什 喀什	2016/11/03 21:33:19 2016/11/03 21:34:40 2016/11/03	
159 147	3198 3199 3200	0.02236821 0.1672893 0.23596048	阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰	喀什 喀什 喀什	2016/11/03 21:33:19 2016/11/03 21:34:40 2016/11/03 21:44:42	
159 147 139	3198 3199 3200 3201	0.02236821 0.1672893 0.23596048 0.07899834	阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰	喀什 喀什 喀什 喀什	2016/11/03 21:33:19 2016/11/03 21:34:40 2016/11/03 21:44:42 2016/11/03	
159 147 139	3198 3199 3200 3201	0.02236821 0.1672893 0.23596048 0.07899834	阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰	喀什 喀什 喀什 喀什	2016/11/03 21:33:19 2016/11/03 21:34:40 2016/11/03 21:44:42 2016/11/03 21:58:52	
159 147 139 136	3198 3199 3200 3201 3202	0.02236821 0.1672893 0.23596048 0.07899834 0.23586492	阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰	喀什 喀什 喀什 喀什 喀什	2016/11/03 21:33:19 2016/11/03 21:34:40 2016/11/03 21:44:42 2016/11/03 21:58:52 2016/11/03	
159 147 139 136	3198 3199 3200 3201 3202	0.02236821 0.1672893 0.23596048 0.07899834 0.23586492	阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰	喀什 喀什 喀什 喀什	2016/11/03 21:33:19 2016/11/03 21:34:40 2016/11/03 21:44:42 2016/11/03 21:58:52 2016/11/03 22:03:36	
159 147 139 136 120	3198 3199 3200 3201 3202 3203	0.02236821 0.1672893 0.23596048 0.07899834 0.23586492 0.08794293	阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰	喀什 喀什 喀什 喀什 喀什	2016/11/03 21:33:19 2016/11/03 21:34:40 2016/11/03 21:44:42 2016/11/03 21:58:52 2016/11/03 22:03:36 2016/11/03	
159 147 139 136 120	3198 3199 3200 3201 3202 3203	0.02236821 0.1672893 0.23596048 0.07899834 0.23586492 0.08794293	阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰 阿勒泰	喀什 喀什 喀什 喀什 喀什	2016/11/03 21:33:19 2016/11/03 21:34:40 2016/11/03 21:44:42 2016/11/03 21:58:52 2016/11/03 22:03:36 2016/11/03 22:17:45	
159 147 139 136 120 115	3198 3199 3200 3201 3202 3203 3204	0.02236821 0.1672893 0.23596048 0.07899834 0.23586492 0.08794293 0.11766157	阿勒泰 阿勒泰	喀什 喀什 喀什 喀什 喀什 喀什	2016/11/03 21:33:19 2016/11/03 21:34:40 2016/11/03 21:44:42 2016/11/03 21:58:52 2016/11/03 22:03:36 2016/11/03 22:17:45 2016/11/03	

110	3205	0.1381122	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					22:30:05	
101	3206	0.01970576	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					22:38:23	
100	3207	0.05799906	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					22:39:34	
97	3208	0.02722052	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					22:43:02	
96	3209	0.04928464	阿勒泰	喀什	2016/11/03	
					22:44:40	
91	3209	0.04928464	喀什	和田	2016/11/03	到达喀什,并
					22:47:38	立即从喀什
						出发
96	3208	0.02722052	喀什	和田	2016/11/03	
					22:50:35	
97	3207	0.05799906	喀什	和田	2016/11/03	
					22:52:13	
100	3206	0.01970576	喀什	和田	2016/11/03	
					22:55:42	
101	3205	0.1381122	喀什	和田	2016/11/03	
					22:56:53	
110	3204	0.11766157	喀什	和田	2016/11/03	
					23:05:10	
115	3203	0.08794293	喀什	和田	2016/11/03	
					23:12:13	
120	3202	0.23586492	喀什	和田	2016/11/03	
					23:17:30	
136	3201	0.07899834	喀什	和田	2016/11/03	
					23:31:39	
139	3200	0.23596048	喀什	和田	2016/11/03	
					23:36:24	
147	3199	0.1672893	喀什	和田	2016/11/03	
					23:50:33	
159	3198	0.02236821	喀什	和田	2016/11/04	
					00:00:35	
162	3197	0.03731532	喀什	和田	2016/11/04	
					00:01:56	
168	3196	0.03858012	喀什	和田	2016/11/04	
					00:04:10	
170	3195	0.73346289	喀什	和田	2016/11/04	
					00:06:29	
196	3188	0.0230044	喀什	和田	2016/11/04	
					00:50:29	
201	3190	0.10840477	喀什	和田	2016/11/04	

					00:51:52	
205	3194	0.06604455	喀什	和田	2016/11/04	
					00:58:23	
214	3193	0.04695947	喀什	和田	2016/11/04	
					01:02:20	
227	3192	0.01886765	喀什	和田	2016/11/04	
					01:05:09	
234	3191	0.03603001	喀什	和田	2016/11/04	
					01:06:17	
241	3189	0.04090046	喀什	和田	2016/11/04	
					01:08:27	
260	3187	0.08828111	喀什	和田	2016/11/04	
					01:10:54	
270	3186	0.10684604	喀什	和田	2016/11/04	
					01:16:12	
275	3185	0.03210924	喀什	和田	2016/11/04	
					01:22:37	
278	3184	0.13703558	喀什	和田	2016/11/04	
					01:24:32	
286	3183	0.08995439	喀什	和田	2016/11/04	
					01:32:46	
288	3182	0.05780832	喀什	和田	2016/11/04	
					01:38:09	
291	3181	0.05077297	喀什	和田	2016/11/04	
					01:41:38	
294	3180	0.07956866	喀什	和田	2016/11/04	
					01:44:40	
310	3179	0.02858772	喀什	和田	2016/11/04	
					01:49:27	
317	3178	0.01461743	喀什	和田	2016/11/04	
					01:51:10	
319	3177	0.03786198	喀什	和田	2016/11/04	
					01:52:02	
327	3176	0.01472366	喀什	和田	2016/11/04	
					01:54:19	
330	3175	0.97168565	略什	和田	2016/11/04	
202	2171	0.400/0105	मलेन् हो	1000	01:55:12	
382	3174	0.49068425	略什	│ 和田	2016/11/04	
207	2172	1 4200 4007	त्रायेत्र / 1	3°00 FP1	02:53:30	
397	3173	1.43804085	略什	利田	2016/11/04	
1.00	0.1 = 0	0.11020-51	त्रासंत्र / T		03:22:56	
469	3172	0.11358561	略什	│ 和田	2016/11/04	
					04:49:13	

484	3171	0.05742145	喀什	和田	2016/11/04	
					04:56:02	
495	3170	0.00723326	喀什	和田	2016/11/04	
					04:59:29	
500	3169	0.0149162	喀什	和田	2016/11/04	到达目的地
					04:59:55	和田 工作24
						小时
504	3169	0.0149162	和田	阿勒泰	2016/11/05	从和田出发
					05:00:48	
500	3170	0.00723326	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					05:01:41	
495	3171	0.05742145	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					05:02:07	
484	3172	0.11358561	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					05:05:34	
469	3173	1.43804085	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					05:12:23	
397	3174	0.49068425	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					06:38:40	
382	3175	0.97168565	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					07:08:06	
330	3176	0.01472366	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					08:06:24	
327	3177	0.03786198	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					08:07:17	
319	3178	0.01461743	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					08:09:34	
317	3179	0.02858772	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					08:10:26	
310	3180	0.07956866	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					08:12:09	
294	3181	0.05077297	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					08:16:56	
291	3182	0.05780832	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					08:19:58	
288	3183	0.08995439	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					08:23:27	
286	3184	0.13703558	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					08:28:50	
278	3185	0.03210924	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					08:37:04	
275	3186	0.10684604	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					08:38:59	
270	3187	0.08828111	和田	阿勒泰	2016/11/05	

					08:45:24	
260	3189	0.04090046	和田	阿勒泰	2016/11/05	遇 L1 星
					08:50:42	
241	3191	0.03603001	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					08:54:09	
234	275	0.05520412	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					08:56:19	
238	277	0.0096064	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					08:59:37	
237	3229	0.02347739	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					09:00:12	
240	3230	0.30101051	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					09:01:37	
304	3231	0.02959121	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					09:19:40	
309	3232	0.33385901	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					09:21:27	
339	3233	0.16176607	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					09:41:29	
354	3234	0.03472639	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					09:51:11	
357	3235	0.10628893	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					09:53:16	
360	3236	0.33134956	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					09:59:39	
371	3237	0.10963223	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					10:19:31	
377	3238	1.3616367	和田	阿勒泰	2016/11/05	
					10:26:06	
410	3239	0.29764342	和出	阿勒泰	2016/11/05	
					11:47:48	
407	625	0.6923936	和田	阿勒泰	2016/11/05	
41.5	(27	1.44200010	1000		12:05:40	
415	637	1.44398019	和田	阿朝泰	2016/11/05	
107	(20)	0.10401415	10.00	四世主	12:47:12	
427	638	0.10431415	和田	阿朝泰	2016/11/05	
420	(40	0.00097221	- ≭n m	四世士	14:13:50	
429	640	0.0098/321	们出	門朝茶	2010/11/03	
120	CCA.	1 27027776	≠nm	同點主	14:20:00	
428	004	1.3/23///0	小山口	門則來	2010/11/05	
176	676	1 40065577	£⊓⊓⊓	同對丰	14:20:42	休自10小时
4/0	0/0	1.490033//	74 田	門切尔	2010/11/05	(四古革主)
					15:45:02	(門兄の甲)

522	677	0.02520817	和田	阿勒泰	2016/11/06	
					03:12:28	
525	679	0.09662025	和田	阿勒泰	2016/11/06	
					03:13:59	
527	681	0.06541044	和田	阿勒泰	2016/11/06	
					03:19:47	
535	683	0.03973095	和田	阿勒泰	2016/11/06	
					03:23:43	
543	689	0.12660334	和田	阿勒泰	2016/11/06	
					03:26:06	
546	698	0.1201927	和田	阿勒泰	2016/11/06	
					03:33:41	
547	3291	0.01126858	和田	阿勒泰	2016/11/06	
					03:40:54	
550	3292	0.55855194	和田	阿勒泰	2016/11/06	
					03:41:35	
645	3293	1.98540568	和田	阿勒泰	2016/11/06	
					04:15:05	
992	3294	0.05586037	和田	阿勒泰	2016/11/06	
					06:14:13	
1005	3295	0.1628548	和田	阿勒泰	2016/11/06	
					06:17:34	
1017	3296	0.16260925	和田	阿勒泰	2016/11/06	
					06:27:20	
1048	3297	0.13656804	和田	阿勒泰	2016/11/06	
					06:37:06	
1063	3298	0.00648629	和田	阿勒泰	2016/11/06	
					06:45:17	
1065	3299	0.1184673	和田	阿勒泰	2016/11/06	
					06:45:41	
1072	828	0.04653092	和田	阿勒泰	2016/11/06	
					06:52:47	
1073	921	0.61217078	和田	阿勒泰	2016/11/06	
					06:55:35	
1078	1242	6.11458643	和田	阿勒泰	2016/11/06	休息(10)小
					07:32:18	时 和静县,
						期间 Q 星过
						顶
1160	1285	1.17201619	和田	阿勒泰	2016/11/06	
					23:39:11	
1153	1287	0.04299705	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					00:49:30	
1151	1391	2.37367224	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					00:52:05	

1165	1855	3.00526813	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					03:14:30	
1235	2067	0.95818509	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					06:14:49	
1236	2071	0.0237245	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					07:12:19	
1238	2073	0.01118219	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					07:13:44	
1239	3042	0.00724762	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					07:14:24	
1243	3518	0.00024861	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					07:14:50	
1244	3519	0.0748446	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					07:14:51	
1249	3520	0.24593334	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					07:19:21	
1254	3521	0.08701796	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					07:34:06	
1250	3522	0.34052721	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					07:39:19	
1231	3523	0.08475165	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					07:59:45	
1225	3524	0.61525486	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					08:04:50	
1226	3525	0.43174718	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					08:41:45	
1255	3526	0.04203355	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					09:07:40	
1268	3527	0.20338621	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					09:10:11	
1274	3528	0.11471692	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					09:22:23	
1277	3529	0.86203809	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					09:29:16	
1333	3530	0.00570331	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					10:20:59	
1334	3531	0.01963603	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					10:21:20	
1343	3532	0.00027208	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					10:22:31	
1344	3533	0.73734086	和田	阿勒泰	2016/11/07	休息 10 小
					10:22:32	时,和布克赛
						尔蒙古自治
						县,期间 Q

						星过顶
1412	3534	1.15431823	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					21:06:46	
1645	3536	0.38973159	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					22:16:02	
1713	3535	0.19085528	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					22:39:25	
1745	3537	0.89074477	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					22:50:52	
2232	3538	0.21487251	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					23:44:18	
2247	3539	0.08630004	和田	阿勒泰	2016/11/07	
					23:57:12	
2250	3540	0.35849629	和田	阿勒泰	2016/11/08	
					00:02:23	
2260					2016/11/08	到达目的地
					00:23:53	