



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110481666 B

(45) 授权公告日 2022.06.21

(21) 申请号 201910804080.9

(22) 申请日 2019.08.28

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110481666 A

(43) 申请公布日 2019.11.22

(73) 专利权人 太原科技大学
地址 030024 山西省太原市万柏林区窰流
路66号

专利权人 太原理工大学
中国极地研究中心

(72) 发明人 赵富强 常宝玉 黄庆学 张晓东
郭井学 窦银科 杜鹏阳

(51) Int. Cl.
B62D 57/02 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 109176461 A, 2019.01.11

CN 109533082 A, 2019.03.29

CN 105480320 A, 2016.04.13

CN 109733500 A, 2019.05.10

JP 2014161991 A, 2014.09.08

US 5857533 A, 1999.01.12

陈文等. 并联构型四履带足机器人的越障
特性分析. 《机械设计与研究》. 2006, 第22卷 (第
06期), 第28-31页.

审查员 马丽芳

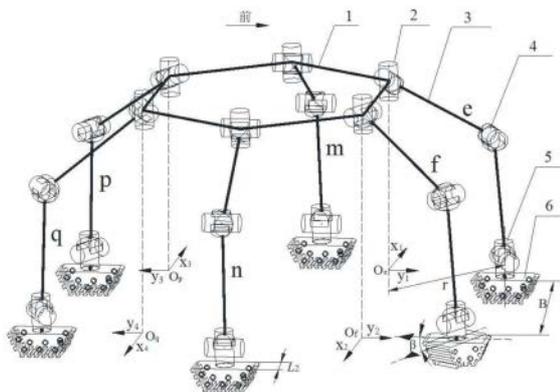
权利要求书2页 说明书7页 附图6页

(54) 发明名称

超大型六肢腿履带足极地科考车跨越雪丘
步态规划方法

(57) 摘要

本发明涉及一种超大型六肢腿履带足极地
科考车跨越雪丘步态规划方法。本发明主要解决
极地车遇到雪丘时因肢腿大跨度动作造成整车
重心失稳的技术问题。本发明的技术方案是，一
种超大型六肢腿履带足极地科考车跨越雪丘步
态规划方法，其包括以下步骤：第一步骤，当科
考车上的测距传感器监测到前方有雪丘时，六
个履带足全部停止前进，科考车整体保持不
动，开始进行跨越雪丘动作准备；第二步骤，
肢腿展开；第三步骤，前行跨越雪丘；第四步
骤，肢腿回笼。所述肢腿展开、肢腿回笼步态
规划中，履带足始终与冰面保持接触，避免科
考车跨越障碍时，车体出现严重偏移和倾侧问
题，保证了这种超大型六肢腿履带足极地科
考车在横跨南极雪丘、雪垄时平稳行进。



CN 110481666 B

1. 一种超大型六肢腿履带足极地科考车跨越雪丘步态规划方法, 其特征在于: 包括以下步骤,

第一步骤, 当科考车上的测距传感器监测到前方有雪丘时, 六个履带足全部停止前进, 科考车整体保持不动, 开始进行跨越雪丘动作准备;

第二步骤, 肢腿展开:

1) 科考车上的测距传感器测量出雪丘宽度为 b , 依据前端两肢腿连接的履带足之间的距离 B 和履带足车身宽度 L_2 , 计算前端两肢腿连接的履带足需要移动的水平距离, 计算水平距离的公式为 $L_1 = (B + L_2 - b) / 2$;

2) 建立平面直角坐标系: 以所需要转动肢腿连接的转动关节中心在地面的投影为圆心, 科考车行驶的方向为 y 轴, 垂直于 y 轴且肢腿要偏转的方向为 x 轴, 建立平面直角坐标系 $x-y$;

3) 计算履带足的行驶路程 L : 以左前肢腿展开为例, 左前肢腿的履带足回转装置圆心在地面的投影为 $A(x_1, y_1)$, 左前肢腿的履带足回转装置圆心移动后到达的位置在地面的投影为 $A'(x_1', y_1')$, 左前肢腿的转动关节中心在地面的投影为左前肢腿展开动作的相对坐标圆心 O_e , 左前肢腿的履带足回转装置圆心与 O_e 在地面的投影距离为半径 r , 可得

$$x_1' = x_1 + L_1, y_1' = \sqrt{r^2 - (x_1 + L_1)^2},$$

$$A-A' \text{ 点之间的直线距离为 } d, d = \sqrt{(x_1' - x_1)^2 + (y_1' - y_1)^2},$$

$$\sin \alpha = d / 2r,$$

$$A-A' \text{ 间弧长公式为 } L = \frac{2\alpha\pi r}{180},$$

整合上述公式可得履带足的行驶路程为

$$L = \frac{\pi r}{90} \arcsin \frac{\sqrt{(B + L_2 - b)^2 + \sqrt{4r^2 - (B + L_2 - b)^2 - 4y_1^2}}}{4r};$$

4) 依据履带足行驶路程 L , 前后四组肢腿依次向科考车外侧转动; 即左前肢腿连接的转动关节解锁转动, 左前肢腿连接的履带足带动左前肢腿以左前肢腿连接的转动关节中心为圆心向左中肢腿方向逆时针转动, 转动角度为 2α , α 不超过45度, 行驶路程 L , 其轨迹为圆弧形, 到达预定位置 A' 后左前肢腿连接的履带足停止行进, 左前肢腿连接的转动关节锁定, 此后左前肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向, 左前肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在展开过程中相对位置保持不动;

右前肢腿连接的转动关节解锁转动, 右前肢腿连接的履带足带动右前肢腿以右前肢腿连接的转动关节中心为圆心向右中肢腿方向顺时针转动, 转动角度为 2α , α 不超过45度, 行驶路程 L , 其轨迹为圆弧形, 到达预定位置 B' 后右前肢腿连接的履带足停止行进, 右前肢腿连接的转动关节锁定, 此后右前肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向, 右前肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在展开过程中相对位置保持不动;

左后肢腿连接的转动关节解锁转动, 左后肢腿连接的履带足带动左后肢腿以左后肢腿连接的转动关节中心为圆心向左中肢腿方向顺时针转动, 转动角度为 2α , α 不超过45度, 行驶路程 L , 其轨迹为圆弧形, 到达预定位置 C' 后左后肢腿连接的履带足停止行进, 左后肢

腿连接的转动关节锁定,此后左后肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向,左后肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在展开过程中相对位置保持不动;

右后肢腿连接的转动关节解锁转动,右后肢腿连接的履带足带动右后肢腿以右后肢腿连接的转动关节中心为圆心向右中肢腿方向逆时针转动,转动角度为 2α , α 不超过45度,行驶路程 L ,其轨迹为圆弧形,到达预定位置 D' 后右后肢腿连接的履带足停止行进,右后肢腿连接的转动关节锁定,此后右后肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向,右后肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在展开过程中相对位置保持不动;

第三步骤,前行跨越雪丘:所述的左前、右前、左后、右后肢腿展开动作全部完成后,科考车向前行进,从雪丘上方越过,科考车上的测距传感器时刻检测雪丘,科考车调节履带足行驶方向,确保履带足不在雪丘表面行驶,上述过程中科考车六组肢腿与平台保持相对位置不变;

第四步骤,肢腿回笼:当科考车上的测距传感器检测到科考车六个履带足完全越过雪丘并且能保证科考车恢复初始状态所需距离 L_3 时,科考车停止前进,前后四肢腿依次转回初始位置,继续前进;

$$L_3 = \sqrt{r^2 - (x_1 + L_1)^2} - y_1,$$

式中 L_3 为科考车后端履带足车尾距雪丘的垂直距离。

2.根据权利要求1所述的一种超大型六肢腿履带足极地科考车跨越雪丘步态规划方法,其特征在于:所述肢腿回笼的步骤为:左前肢腿连接的转动关节解锁转动,左前肢腿连接的履带足带动左前肢腿以左前肢腿连接的转动关节中心为圆心向远离左中肢腿方向顺时针转动,转动角度为 2α , α 不超过45度,行驶路程 L ,其轨迹为圆弧形,到达预定位置A后左前肢腿连接的履带足停止行进,左前肢腿连接的转动关节锁定,此后左前肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向,左前肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在回笼过程中相对位置保持不动;

右前肢腿连接的转动关节解锁转动,右前肢腿连接的履带足带动右前肢腿以右前肢腿连接的转动关节中心为圆心向远离右中肢腿方向逆时针转动,转动角度为 2α , α 不超过45度,行驶路程 L ,其轨迹为圆弧形,到达预定位置B后右前肢腿连接的履带足停止行进,右前肢腿连接的转动关节锁定,此后右前肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向,右前肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在回笼过程中相对位置保持不动;

左后肢腿连接的转动关节解锁转动,左后肢腿连接的履带足带动左后肢腿以左后肢腿连接的转动关节中心为圆心向远离左中肢腿方向逆时针转动,转动角度为 2α , α 不超过45度,行驶路程 L ,其轨迹为圆弧形,到达预定位置C后左后肢腿连接的履带足停止行进,左后肢腿连接的转动关节锁定,此后左后肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向,左后肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在回笼过程中相对位置保持不动;

右后肢腿连接的转动关节解锁转动,右后肢腿连接的履带足带动右后肢腿以右后肢腿连接的转动关节中心为圆心向远离右中肢腿方向顺时针转动,转动角度为 2α , α 不超过45度,行驶路程 L ,其轨迹为圆弧形,到达预定位置D后右后肢腿连接的履带足停止行进,右后肢腿连接的转动关节锁定,此后右后肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向,右后肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在回笼过程中相对位置保持不动。

超大型六肢腿履带足极地科考车跨越雪丘步态规划方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种超大型六肢腿履带足极地科考车跨越雪丘步态规划方法。

背景技术

[0002] 南极冰盖内陆地区常年覆盖百米冰雪,暴风雪天气突出,冰面常形成不同形状的雪丘、雪垄,通常雪丘高1米左右,长3米到10米,宽3米左右,现有常规极地科考车辆遇到这种极端地形时,通常实行绕行或直接从雪丘表面越过,但绕行受冰面地形限制,而直接从雪丘表面越过时易发生车体倾覆,造成安全事故,都会严重影响科考效率。

[0003] 一种超大型六肢腿履带足极地科考车具有六肢腿履带足特殊结构,可以解决中小型极地车难以越过的雪丘、雪垄,在未来的南极科考中有不可替代的优势。对此,需要针对一种超大型六肢腿履带足极地科考车,设计出特有的步态规划方法,实现跨越雪丘等极端地形。

发明内容

[0004] 本发明的目的是,提供一种超大型六肢腿履带足极地科考车跨越雪丘步态规划方法,实现科考车平稳、可靠地跨越雪丘等极端地形,避免因肢腿大跨度动作造成整车重心失稳,解决科考车跨越雪丘的技术问题。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:

[0006] 一种超大型六肢腿履带足极地科考车跨越雪丘步态规划方法,其包括以下步骤:

[0007] 第一步骤,当科考车上的测距传感器监测到前方有雪丘时,六个履带足全部停止前进,科考车整体保持不动,开始进行跨越雪丘动作准备;

[0008] 第二步骤,肢腿展开:

[0009] 1) 科考车上的测距传感器测量出雪丘宽度为 b ,依据前端两肢腿连接的履带足之间的距离 B 和履带足车身宽度 L_2 ,计算前端两肢腿连接的履带足需要移动的水平距离,计算水平距离的公式为 $L_1 = (B+L_2-b)/2$;

[0010] 2) 建立平面直角坐标系:以所需要转动肢腿连接的转动关节中心在地面的投影为圆心,科考车行驶的方向为 y 轴,垂直于 y 轴且肢腿要偏转的方向为 x 轴,建立平面直角坐标系 $x-y$;

[0011] 3) 计算履带足的行驶路程 L :以左前肢腿展开为例,左前肢腿的履带足回转装置圆心在地面的投影为 $A(x_1, y_1)$,左前肢腿的履带足回转装置圆心移动后到达的位置在地面的投影为 $A'(x_1', y_1')$,左前肢腿的转动关节中心在地面的投影为左前肢腿展开动作的相对坐标圆心 O_e ,左前肢腿的履带足回转装置圆心与 O_e 在地面的投影距离为半径 r ,可得,

$$[0012] \quad x_1' = x_1 + L_1, y_1' = \sqrt{r^2 - (x_1 + L_1)^2},$$

$$[0013] \quad A-A' \text{ 点之间的直线距离为 } d, d = \sqrt{(x_1' - x_1)^2 + (y_1' - y_1)^2},$$

$$[0014] \quad \sin\alpha = d/2r,$$

[0015] A-A' 间弧长公式为 $L = \frac{2\alpha\pi r}{180}$,

[0016] 整合上述公式可得履带足的行驶路程为

$$[0017] \quad L = \frac{\pi r}{90} \arcsin \frac{\sqrt{(B+L_2-b)^2 + \sqrt{4r^2 - (B+L_2-b)^2} - 4y_1^2}}{4r};$$

[0018] 4) 依据履带足行驶路程L,前后四组肢腿依次向科考车外侧转动;即左前肢腿连接的转动关节解锁转动,左前肢腿连接的履带足带动左前肢腿以左前肢腿连接的转动关节中心为圆心向左中肢腿方向逆时针转动,转动角度为 2α , α 不超过45度,行驶路程L,其轨迹为圆弧形状,到达预定位置A'后左前肢腿连接的履带足停止行进,左前肢腿连接的转动关节锁定,此后左前肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向,左前肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在展开过程中相对位置保持不动;

[0019] 右前肢腿连接的转动关节解锁转动,右前肢腿连接的履带足带动右前肢腿以右前肢腿连接的转动关节中心为圆心向右中肢腿方向顺时针转动,转动角度为 2α , α 不超过45度,行驶路程L,其轨迹为圆弧形状,到达预定位置B'后右前肢腿连接的履带足停止行进,右前肢腿连接的转动关节锁定,此后右前肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向,右前肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在展开过程中相对位置保持不动;

[0020] 左后肢腿连接的转动关节解锁转动,左后肢腿连接的履带足带动左后肢腿以左后肢腿连接的转动关节中心为圆心向左中肢腿方向顺时针转动,转动角度为 2α , α 不超过45度,行驶路程L,其轨迹为圆弧形状,到达预定位置C'后左后肢腿连接的履带足停止行进,左后肢腿连接的转动关节锁定,此后左后肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向,左后肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在展开过程中相对位置保持不动;

[0021] 右后肢腿连接的转动关节解锁转动,右后肢腿连接的履带足带动右后肢腿以右后肢腿连接的转动关节中心为圆心向右中肢腿方向逆时针转动,转动角度为 2α , α 不超过45度,行驶路程L,其轨迹为圆弧形状,到达预定位置D'后右后肢腿连接的履带足停止行进,右后肢腿连接的转动关节锁定,此后右后肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向,右后肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在展开过程中相对位置保持不动;

[0022] 第三步骤,前行跨越雪丘:所述的左前、右前、左后、右后肢腿展开动作全部完成后,科考车向前行进,从雪丘上方越过,科考车上的测距传感器时刻检测雪丘,科考车调节履带足行驶方向,确保履带足不在雪丘表面行驶,上述过程中科考车六组肢腿与平台保持相对位置不变;

[0023] 第四步骤,肢腿回笼:当科考车上的测距传感器检测到科考车六个履带足完全越过雪丘并且能保证科考车恢复初始状态所需距离 L_3 时,科考车停止前进,前后四肢腿依次转回初始位置,继续前进。

$$[0024] \quad L_3 = \sqrt{r^2 - (x_1 + L_1)^2} - y_1,$$

[0025] 式中 L_3 为科考车后端履带足车尾距雪丘的垂直距离。

[0026] 进一步地,所述肢腿回笼的步骤为:

[0027] 左前肢腿连接的转动关节解锁转动,左前肢腿连接的履带足带动左前肢腿以左前肢腿连接的转动关节中心为圆心向远离左中肢腿方向顺时针转动,转动角度为 2α , α 不超过

45度,行驶路程L,其轨迹为圆弧形状,到达预定位置A后左前肢腿连接的履带足停止行进,左前肢腿连接的转动关节锁定,此后左前肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向,左前肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在回笼过程中相对位置保持不动;

[0028] 右前肢腿连接的转动关节解锁转动,右前肢腿连接的履带足带动右前肢腿以右前肢腿连接的转动关节中心为圆心向远离右中肢腿方向逆时针转动,转动角度为 2α , α 不超过45度,行驶路程L,其轨迹为圆弧形状,到达预定位置B后右前肢腿连接的履带足停止行进,右前肢腿连接的转动关节锁定,此后右前肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向,右前肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在回笼过程中相对位置保持不动;

[0029] 左后肢腿连接的转动关节解锁转动,左后肢腿连接的履带足带动左后肢腿以左后肢腿连接的转动关节中心为圆心向远离左中肢腿方向逆时针转动,转动角度为 2α , α 不超过45度,行驶路程L,其轨迹为圆弧形状,到达预定位置C后左后肢腿连接的履带足停止行进,左后肢腿连接的转动关节锁定,此后左后肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向,左后肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在回笼过程中相对位置保持不动;

[0030] 右后肢腿连接的转动关节解锁转动,右后肢腿连接的履带足带动右后肢腿以右后肢腿连接的转动关节中心为圆心向远离右中肢腿方向顺时针转动,转动角度为 2α , α 不超过45度,行驶路程L,其轨迹为圆弧形状,到达预定位置D后右后肢腿连接的履带足停止行进,右后肢腿连接的转动关节锁定,此后右后肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向,右后肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在回笼过程中相对位置保持不动。

[0031] 本发明的有益效果是:

[0032] 本发明针对南极冰面上的雪丘或雪垄,提出一种通过调节四部分肢腿与履带足协同动作的新步态方法,实现超大型六肢腿履带足极地科考车横跨雪丘、雪垄的目的;在本发明中的肢腿展开与肢腿回笼步态规划中,履带足始终与冰面保持接触,避免科考车跨越障碍时,车体出现严重偏移和倾侧问题,保证了这种超大型六肢腿履带足极地科考车在横跨南极雪丘、雪垄时平稳行进。

附图说明

[0033] 图1为本发明超大型六肢腿履带足极地科考车示意简图;

[0034] 图2为本发明超大型六肢腿履带足极地科考车跨越雪丘时履带足转动角度变化示意图;

[0035] 图3为本发明超大型六肢腿履带足极地科考车跨越雪丘时四肢腿履带足轨迹示意图;

[0036] 图4为本发明超大型六肢腿履带足极地科考车跨越雪丘时左前肢腿展开步态时序图;

[0037] 图5为本发明超大型六肢腿履带足极地科考车跨越雪丘时右前肢腿展开步态时序图;

[0038] 图6为本发明超大型六肢腿履带足极地科考车跨越雪丘时左后肢腿展开步态时序图;

[0039] 图7为本发明超大型六肢腿履带足极地科考车跨越雪丘时右后肢腿展开步态时序图;

[0040] 图8为本发明超大型六肢腿履带足极地科考车跨越雪丘时左前肢腿回笼步态时序图；

[0041] 图9为本发明超大型六肢腿履带足极地科考车跨越雪丘时右前肢腿回笼步态时序图；

[0042] 图10为本发明超大型六肢腿履带足极地科考车跨越雪丘时左后肢腿回笼步态时序图；

[0043] 图11为本发明超大型六肢腿履带足极地科考车跨越雪丘时右后肢腿回笼步态时序图。

[0044] 图1中:1-平台,2-转动关节,3-肢腿,4-腿关节,5-履带足回转装置,6-履带足,e-左前肢腿,f-右前肢腿,m-左中肢腿,n-右中肢腿,p-左后肢腿,q-右前肢腿。

具体实施方式

[0045] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步的描述。

[0046] 如图1所示,本实施例中的一种超大型六肢腿履带足极地科考车,由平台1通过转动关节2与肢腿3连接,肢腿3可以左右转动设定角度,肢腿3有六组,每组肢腿3与履带足6通过履带足回转装置5连接,每组肢腿3包括上肢腿和下肢腿,由腿关节4连接,在整个跨越雪丘步态规划方法中腿关节4不运动,肢腿3与地面角度保持不变,履带足6可以原地转动。

[0047] 本发明的超大型六肢腿履带足极地科考车,各肢腿可以向车身两侧转动,转动角为 2α ,并在科考车平台上设有测距传感器。由于跨越雪丘时左前、右前、左后、右后肢腿所运行的轨迹长度一样,且没有竖直方向上的位移,为了方便说明,本发明定义了两个坐标系,具体如下:

[0048] 图1、3出示肢腿坐标系,以所需要转动肢腿连接的转动关节中心在地面的投影为圆心,科考车行驶的方向为y轴,垂直于y轴且肢腿要偏转的方向为x轴,为了方便说明,将左前、右前、左后、右后四个肢腿所对应的坐标系的原点合在一起组成一个坐标系,左前肢腿在第二象限活动,右前肢腿在第一象限活动,左后肢腿在第三象限活动,右后肢腿在第四象限活动;

[0049] 图2a、图2b分别出示了肢腿展开、肢腿回笼过程中履带足转角-时间坐标系,以履带足回转装置圆心在地面的投影为原点,肢腿展开、肢腿回笼过程时间为t轴,履带足车身的轴线与科考车行进方向的夹角变换为 β 轴。

[0050] 图4-图11是本发明超大型六肢腿履带足极地科考车跨越雪丘时各肢腿步态规划的动作时序图,其步态规划方法包括以下步骤:

[0051] 第一步骤,当科考车上的测距传感器监测到前方有雪丘时,六个履带足全部停止前进,科考车整体保持不动,开始进行跨越雪丘动作准备。

[0052] 第二步骤,肢腿展开:

[0053] 1) 科考车上的测距传感器测量出雪丘宽度为b,依据前端两肢腿连接的履带足之间的距离B和履带足车身宽度 L_2 ,计算前端两肢腿连接的履带足需要移动的水平距离,计算水平距离的公式为 $L_1 = (B+L_2-b)/2$;

[0054] 2) 建立平面直角坐标系:以所需要转动肢腿连接的转动关节中心在地面的投影为圆心,科考车行驶的方向为y轴,垂直于y轴且肢腿要偏转的方向为x轴,建立平面直角坐标

系x-y;

[0055] 3) 计算履带足的行驶路程L:以左前肢腿展开为例,左前肢腿的履带足回转装置圆心在地面的投影为A(x_1, y_1),左前肢腿的履带足回转装置圆心移动后到达的位置在地面的投影为A'(x_1', y_1'),左前肢腿的转动关节中心在地面的投影为左前肢腿展开动作的相对坐标圆心Oe,左前肢腿的履带足回转装置圆心与Oe在地面的投影距离为半径r,可得

$$[0056] \quad x_1' = x_1 + L_1, y_1' = \sqrt{r^2 - (x_1 + L_1)^2},$$

$$[0057] \quad A-A' \text{ 点之间的直线距离为 } d, d = \sqrt{(x_1' - x_1)^2 + (y_1' - y_1)^2},$$

$$[0058] \quad \sin\alpha = d/2r,$$

$$[0059] \quad A-A' \text{ 间弧长公式为 } L = \frac{2\alpha\pi r}{180},$$

[0060] 整合上述公式可得履带足的行驶路程为

$$[0061] \quad L = \frac{\pi r}{90} \arcsin \frac{\sqrt{(B+L_2-b)^2 + \sqrt{4r^2 - (B+L_2-b)^2} - 4y_1^2}}{4r};$$

[0062] 4) 依据履带足行驶路程L,前后四组肢腿依次向科考车外侧转动;即左前肢腿连接的转动关节解锁转动,左前肢腿连接的履带足带动左前肢腿以左前肢腿连接的转动关节中心为圆心向左中肢腿方向逆时针转动,转动角度为 2α , α 不超过45度,行驶路程L,其轨迹为圆弧形,到达预定位置A'后左前肢腿连接的履带足停止行进,左前肢腿连接的转动关节锁定(图4),此后左前肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向,左前肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在展开过程中相对位置保持不动;

[0063] 右前肢腿连接的转动关节解锁转动,右前肢腿连接的履带足带动右前肢腿以右前肢腿连接的转动关节中心为圆心向右中肢腿方向顺时针转动,转动角度为 2α , α 不超过45度,行驶路程L,其轨迹为圆弧形,到达预定位置B'后右前肢腿连接的履带足停止行进,右前肢腿连接的转动关节锁定(图5),此后右前肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向,右前肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在展开过程中相对位置保持不动;

[0064] 左后肢腿连接的转动关节解锁转动,左后肢腿连接的履带足带动左后肢腿以左后肢腿连接的转动关节中心为圆心向左中肢腿方向顺时针转动,转动角度为 2α , α 不超过45度,行驶路程L,其轨迹为圆弧形,到达预定位置C'后左后肢腿连接的履带足停止行进,左后肢腿连接的转动关节锁定(图6),此后左后肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向,左后肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在展开过程中相对位置保持不动;

[0065] 右后肢腿连接的转动关节解锁转动,右后肢腿连接的履带足带动右后肢腿以右后肢腿连接的转动关节中心为圆心向右中肢腿方向逆时针转动,转动角度为 2α , α 不超过45度,行驶路程L,其轨迹为圆弧形,到达预定位置D'后右后肢腿连接的履带足停止行进,右后肢腿连接的转动关节锁定(图7),此后右后肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向,右后肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在展开过程中相对位置保持不动;上述四肢腿履带足轨迹如图3所示。

[0066] 以左前肢腿连接的履带车转动为例,左前肢腿连接的履带车在左前肢腿展开过程中角度变化如图2a所示,在 t_1 时刻,左前肢腿连接的履带足转至轨迹圆弧L切线方向,旋转

角度为 β_1 , β_1 角不超过90度, t_2 时刻左前肢腿连接的履带足由A(x_1, y_1)到达A'(x_1', y_1')位置, 转动角度为 2α , α 角不超过45度, t_1 到 t_2 过程中左前肢腿连接的履带足车身的轴线与科考车行进方向的夹角逐渐减小, t_3 时刻左前肢腿连接的履带足转回到初始角度。右前、左后、右后肢腿连接的履带足在对应的肢腿展开过程中转角变化过程与左前肢腿连接的履带足相同。

[0067] 第三步骤, 前行跨越雪丘: 所述的左前、右前、左后、右后肢腿展开动作全部完成后, 科考车向前行进, 从雪丘上方越过, 科考车上的测距传感器时刻检测雪丘, 科考车调节履带足行驶方向, 确保履带足不在雪丘表面行驶, 上述过程中科考车六组肢腿与平台保持相对位置不变;

[0068] 第四步骤, 肢腿回笼: 当科考车上的测距传感器检测到科考车六个履带足完全越过雪丘并且能保证科考车恢复初始状态所需距离 L_3 时, 科考车停止前进, 前后四肢腿依次转回初始位置, 继续前进。

$$[0069] \quad L_3 = \sqrt{r^2 - (x_1 + L_1)^2} - y_1,$$

[0070] 式中 L_3 为科考车后端履带足车尾距雪丘的垂直距离。

[0071] 所述肢腿回笼的步骤为:

[0072] 左前肢腿连接的转动关节解锁转动, 左前肢腿连接的履带足带动左前肢腿以左前肢腿连接的转动关节中心为圆心向远离左中肢腿方向顺时针转动, 转动角度为 2α , α 不超过45度, 行驶路程 L , 其轨迹为圆弧形状, 到达预定位置A后左前肢腿连接的履带足停止行进, 左前肢腿连接的转动关节锁定(图8), 此后左前肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向, 左前肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在回笼过程中相对位置保持不动;

[0073] 右前肢腿连接的转动关节解锁转动, 右前肢腿连接的履带足带动右前肢腿以右前肢腿连接的转动关节中心为圆心向远离右中肢腿方向逆时针转动, 转动角度为 2α , α 不超过45度, 行驶路程 L , 其轨迹为圆弧形状, 到达预定位置B后右前肢腿连接的履带足停止行进, 右前肢腿连接的转动关节锁定(图9), 此后右前肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向, 右前肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在回笼过程中相对位置保持不动;

[0074] 左后肢腿连接的转动关节解锁转动, 左后肢腿连接的履带足带动左后肢腿以左后肢腿连接的转动关节中心为圆心向远离左中肢腿方向逆时针转动, 转动角度为 2α , α 不超过45度, 行驶路程 L , 其轨迹为圆弧形状, 到达预定位置C后左后肢腿连接的履带足停止行进, 左后肢腿连接的转动关节锁定(图10), 此后左后肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向, 左后肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在回笼过程中相对位置保持不动;

[0075] 右后肢腿连接的转动关节解锁转动, 右后肢腿连接的履带足带动右后肢腿以右后肢腿连接的转动关节中心为圆心向远离右中肢腿方向顺时针转动, 转动角度为 2α , α 不超过45度, 行驶路程 L , 其轨迹为圆弧形状, 到达预定位置D后右后肢腿连接的履带足停止行进, 右后肢腿连接的转动关节锁定(图11), 此后右后肢腿连接的履带足原地转回初始行驶方向, 右后肢腿上的上肢腿、下肢腿、腿关节在回笼过程中相对位置保持不动。

[0076] 以左前肢腿连接的履带车转动为例, 左前肢腿连接的履带车在左前肢腿回笼过程中角度变化如图2b所示, 在 t_1 时刻, 左前肢腿连接的履带足转至轨迹圆弧 L 切线方向, 旋转角度为 $\beta_1 - 2\alpha$, t_2 时刻左前肢腿连接的履带足由A'(x_1, y_1)到达A(x_1', y_1')位置, 转动角度为 2α , α 角不超过45度, t_1 到 t_2 过程中左前肢腿连接的履带足车身的轴线与科考车行进方向的夹

角逐渐增大, t_3 时刻左前肢腿连接的履带足转回到初始角度。右前、左后、右后肢腿连接的履带足在对应的肢腿回笼过程中转角变化过程与左前肢腿连接的履带足相同。

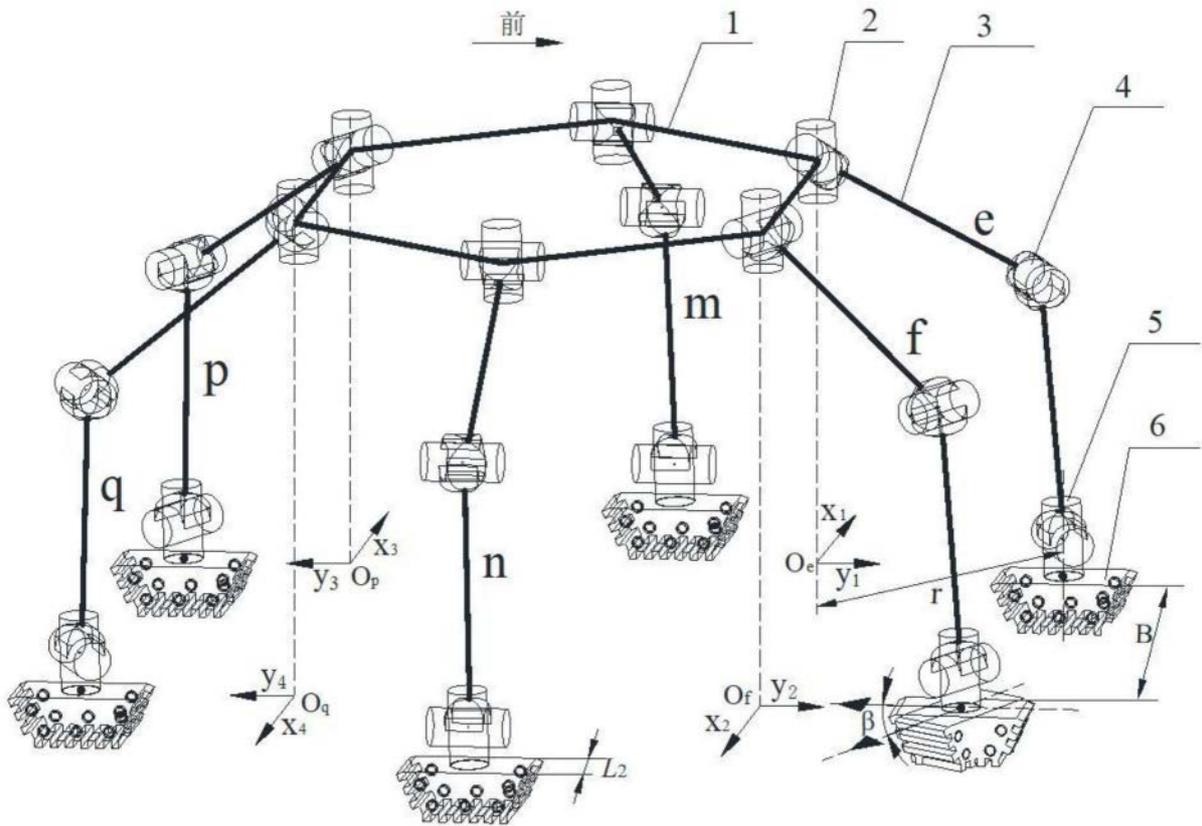


图1

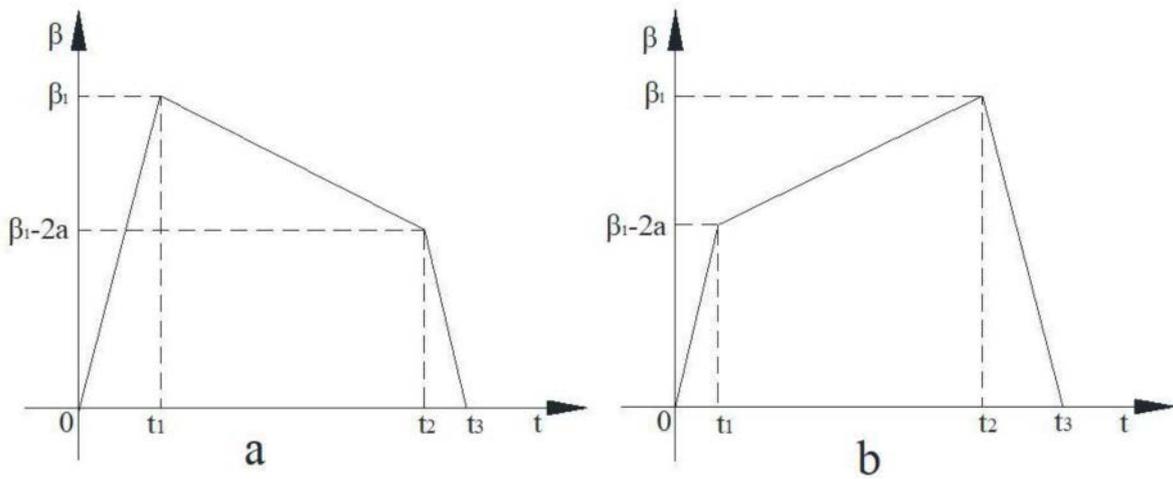


图2

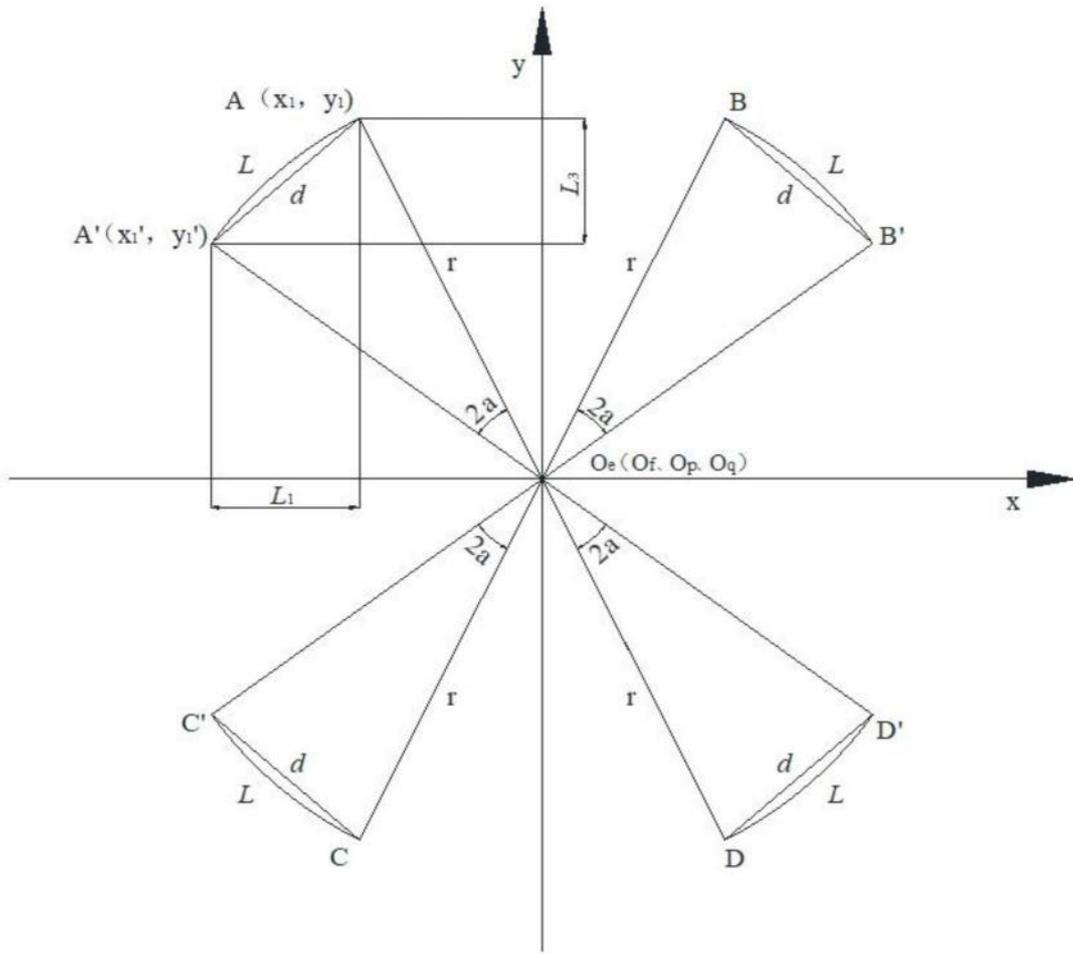


图3

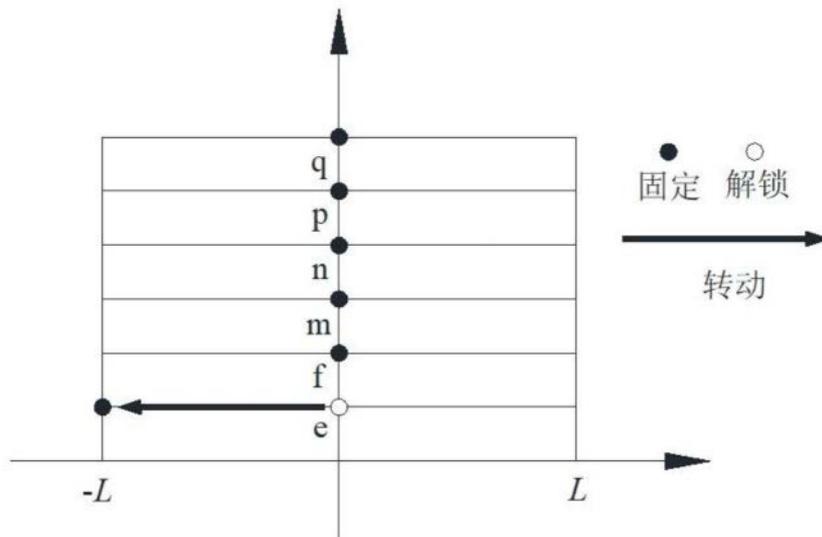


图4

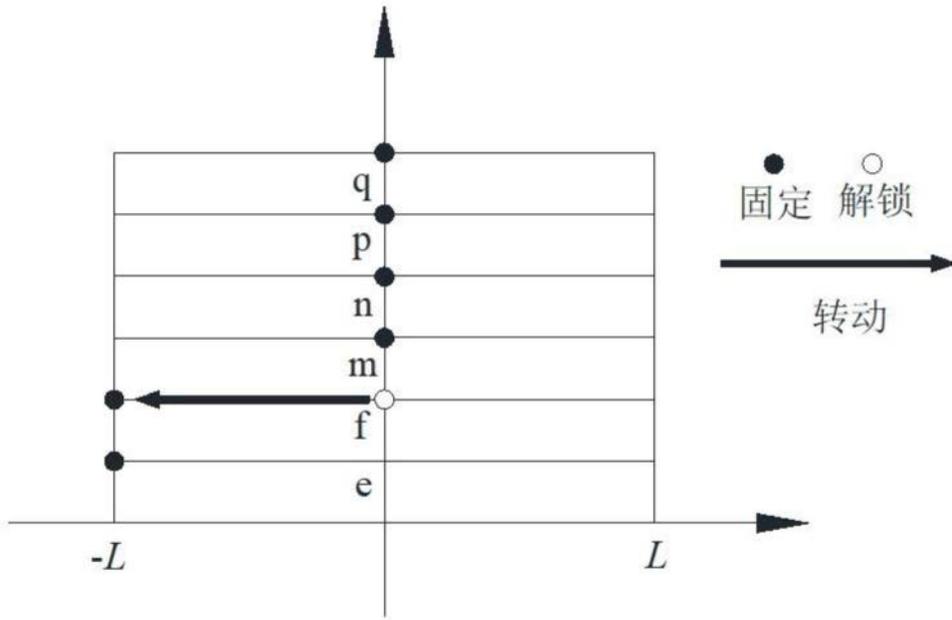


图5

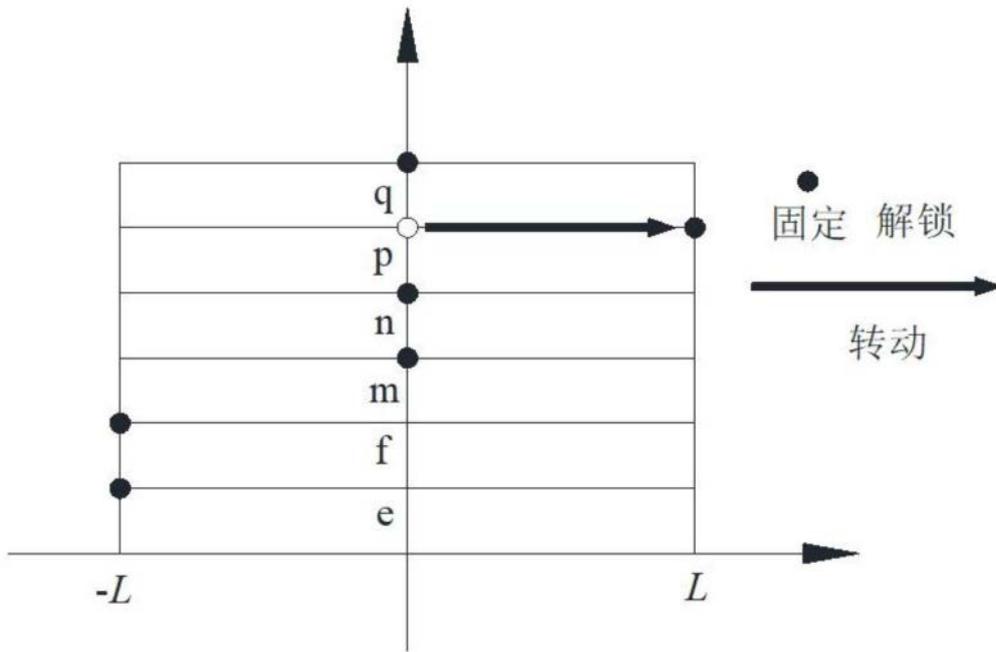


图6

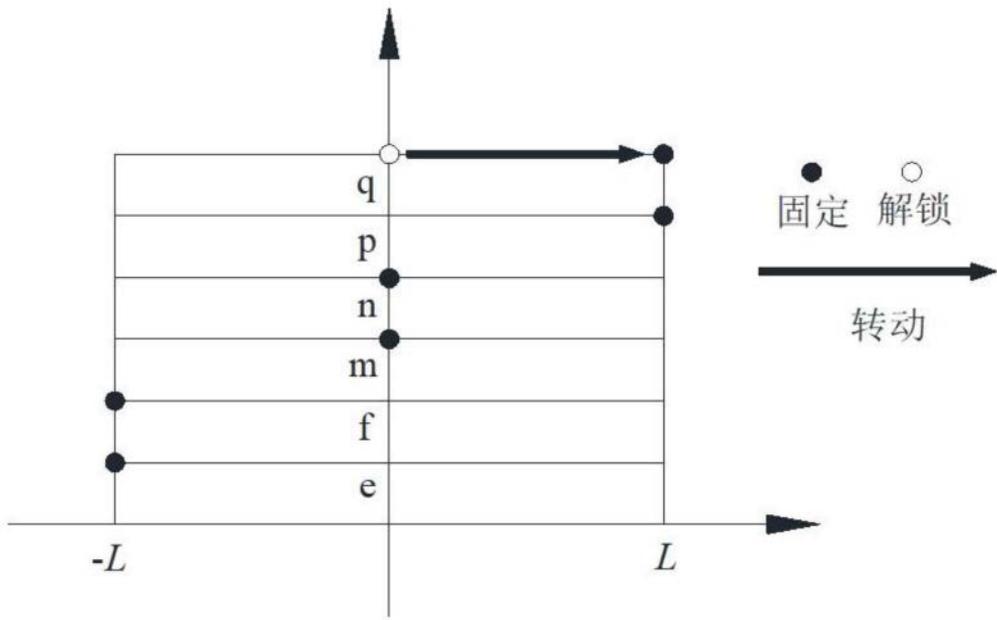


图7

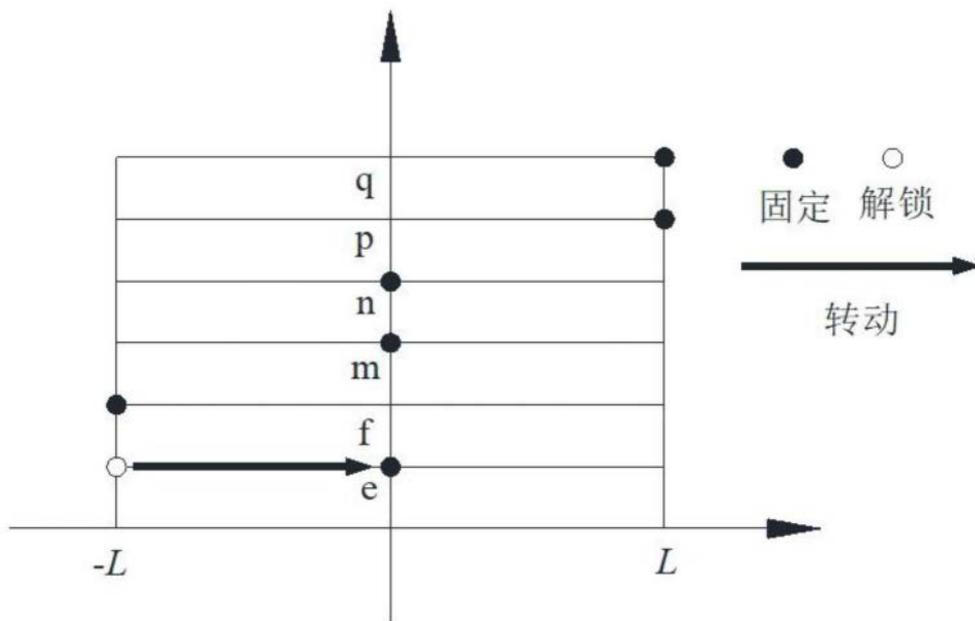


图8

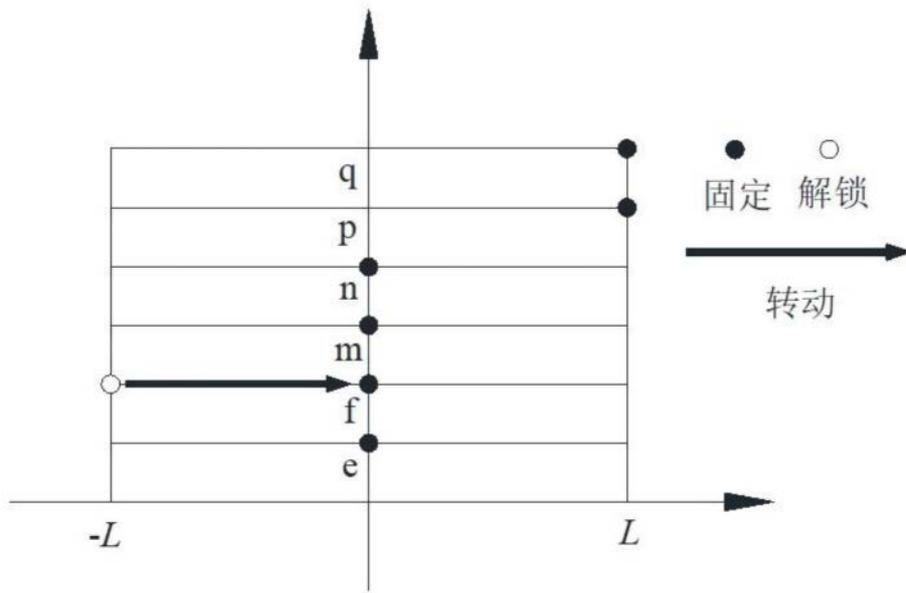


图9

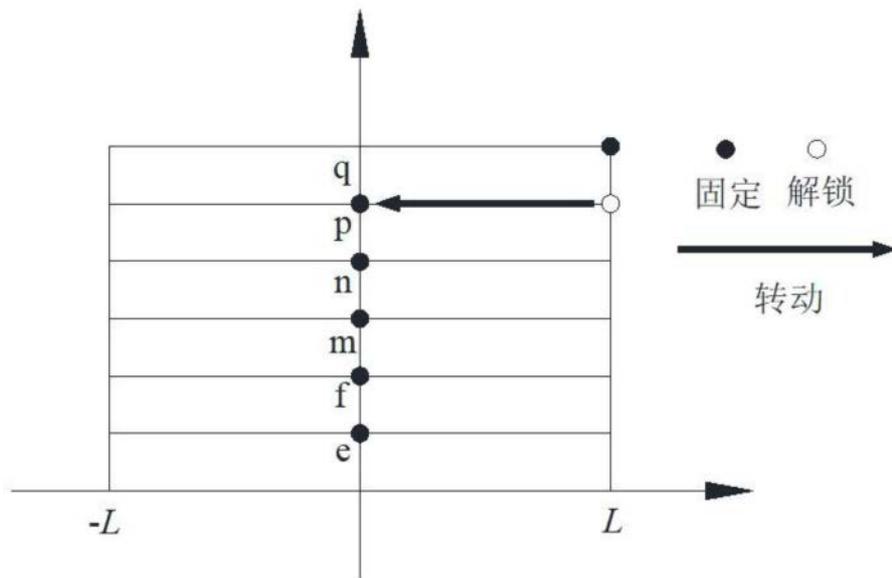


图10

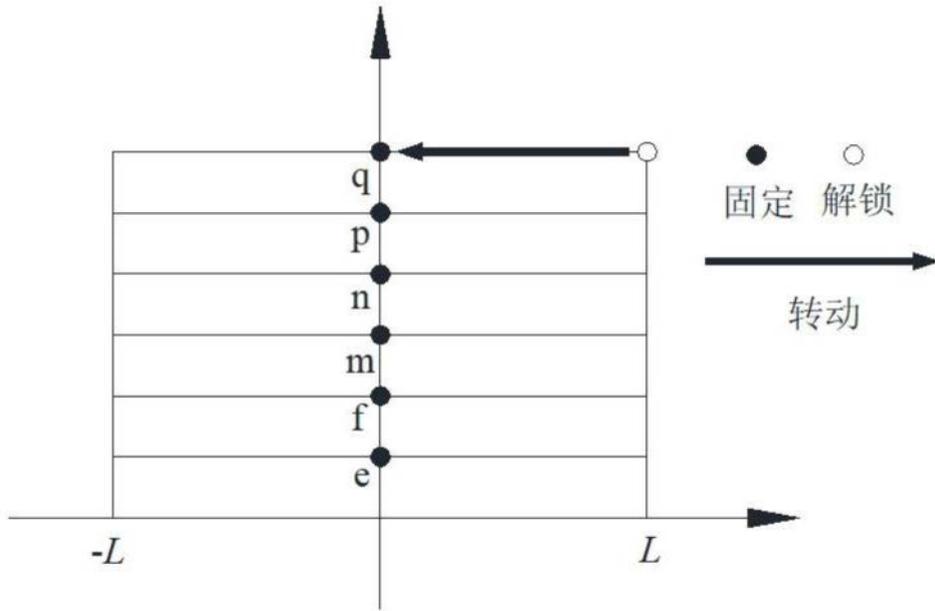


图11