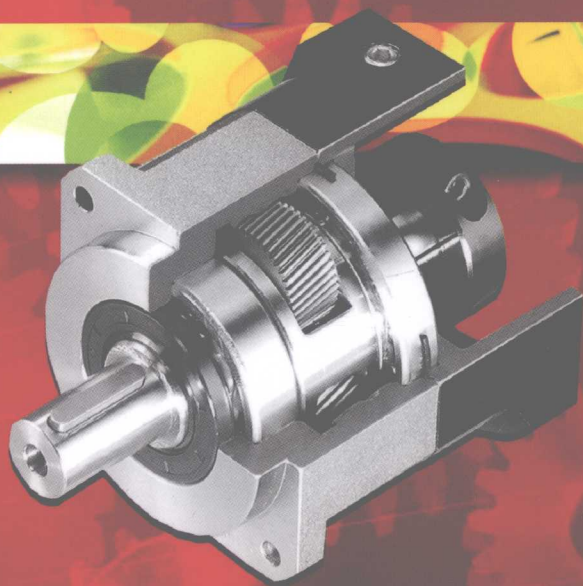


机电一体化设备系列手册

JIDIAN YITIHUA SHEBEI XILIE SHOUCE

# 直线传动技术与 设备选用手册

杨帮文 编



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

机电一体化设备系列手册

---

# 直线传动技术与设备选用手册

杨帮文 编



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

本书共分六章，第一章线性滑轨、第二章滚珠丝杠、第三章线性马达系统、第四章精密线性模组、第五章位置量测系统、第六章线性致动器。本书资料翔实、内容新颖、图文并茂、查阅方便，是一本具有较强实用价值的工具书。

本书适合机械、电气设计工程师，工程维修人员，用户技术支持人员，相关厂商、经营户等阅读使用，也可供大专院校相关专业师生参考使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

直线传动技术与设备选用手册/杨帮文编. —北京:  
中国电力出版社, 2009

(机电一体化设备系列手册)

ISBN 978 - 7 - 5083 - 9381 - 0

I. 直… II. 杨… III. 直线电机-直流电传动-技术手册 IV. TM359.4 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 155959 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2010 年 4 月第一版 2010 年 4 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 25.75 印张 450 千字

印数 0001—3000 册 定价 48.00 元

### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



# 前 言

PREFACE

直线传动主要包括线性滑轨（滚珠式导轨、滚柱式导轨）、滚珠丝杠（研磨级滚珠螺杆、转造级滚珠螺杆）、线性模组（普通级模组、精密级模组）、线性致动器（滚珠螺杆式、T型丝杠式）及线性马达系统等。本书共分六章，第一章线性滑轨、第二章滚珠丝杠、第三章线性马达系统、第四章精密线性模组、第五章位置量测系统、第六章线性致动器。直线传动适用于数控机床、雕刻机、注塑机、线切割机、纺织机械、印刷机械、包装机械、木工机械、半导体机械、机械手、搬运设备、精密测量仪器、激光、医疗、健身、家装、交通、输送机械、产业自动化机械、电子半导体机械等，广泛应用于工业、军事、航空航天等需求精密直线传动及定位的领域。

本书中所涉及的产品及元器件绝大多数都可购买到，见效快，可直接为生产所用。

本书在编写过程中，得到了大银（HIWIN）集团、天津罗升企业有限公司、天津隆创日盛科技有限公司的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢！

由于水平有限，加之编写仓促，书中错漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者



## 前言

<b>第一章 线性滑轨</b> .....	1
<b>第一节 概述</b> .....	1
一、HIWIN 线性滑轨特点 .....	1
二、选用准则 .....	2
三、额定负载 .....	3
四、线性滑轨寿命 .....	5
五、工作负载 .....	7
六、摩擦力 .....	11
七、润滑 .....	12
八、滑轨接牙件 .....	12
九、线性滑轨的配置 .....	12
十、线性滑轨的安装 .....	14
<b>第二节 HIWIN 线性滑轨分类</b> .....	19
一、系列型式、精度等级、预压等级 .....	19
二、滚珠线性滑轨——HG 系列 .....	21
三、低组装式滚珠线性滑轨——EG 系列.....	49
四、微小型线性滑轨——MGN、MGW 系列 .....	68
五、滚柱式线性滑轨——RG 系列 .....	80
六、自润式线性滑轨——E2 型 .....	98
七、静音式线性滑轨——Q1 型 .....	103
<b>第二章 滚珠丝杠</b> .....	116
<b>第一节 HIWIN 滚珠螺杆的特性及应用</b> .....	116
一、滚珠螺杆的特性 .....	116
二、应用范围 .....	120
<b>第二节 HIWIN 滚珠螺杆的分类</b> .....	121
一、标准滚珠螺杆 .....	121
二、螺母型式 .....	121

三、轴端肩部参考尺寸 .....	124
第三节 HIWIN 滚珠螺杆的设计及选用 .....	127
一、滚珠螺杆选用和安装的重要观念 .....	127
二、滚珠螺杆选用流程 .....	132
三、滚珠螺杆精度等级 .....	133
四、预压方式 .....	140
五、设计计算资料 .....	143
六、温升对滚珠螺杆的影响 .....	156
七、HIWIN 滚珠螺杆型号规格表示方法 .....	159
第四节 HIWIN 精密研磨级滚珠螺杆 .....	160
一、精密研磨级滚珠螺杆系列 .....	160
二、微小型研磨级滚珠螺杆系列 .....	206
三、精密研磨级滚珠螺杆轴端加工品（一般标准型） .....	210
四、高导程滚珠螺杆 .....	226
五、超高导程滚珠螺杆 .....	230
六、高速静音化滚珠螺杆 .....	233
七、重负载滚珠螺杆 .....	247
第五节 HIWIN 转造级滚珠螺杆 .....	248
一、简介 .....	248
二、精密转造级滚珠螺杆 .....	248
三、转造级滚珠螺杆尺寸 .....	250
第六节 HIWIN 滚珠螺杆的失效分析 .....	255
一、简述 .....	255
二、滚珠螺杆发生问题的原因与预防 .....	255
三、检查引起异常背隙的位置 .....	258
<b>第三章 线性马达系统</b> .....	259
第一节 订制定位系统 .....	259
一、实际案例 .....	259
二、技术用语 .....	262
三、重要物理量 .....	264
第二节 线性马达平台 .....	264
一、线性马达平台特性 .....	264
二、涵盖产品 .....	265

三、平台组成 .....	266
四、型号说明 .....	267
五、标准线性马达平台 .....	269
六、龙门系统 .....	296
第三节 平面马达 .....	300
一、平面伺服马达 .....	301
二、平面伺服马达驱动器 .....	303
第四节 线性马达元件 .....	305
一、线性马达 LMS 系列 .....	305
二、LMC 系列线性马达 .....	309
三、LMT 系列线性马达 .....	315
四、LMF 系列线性马达 .....	318
五、LSM 系列线性马达 .....	323
第五节 转矩马达旋转平台 .....	325
一、概要与应用范围 .....	325
二、TMS 旋转平台 .....	326
第六节 控制与驱动 .....	331
一、PCI4P 控制卡 .....	331
二、驱动器 .....	333
<b>第四章 精密线性模组 .....</b>	<b>337</b>
第一节 KK 型精密线性模组 .....	337
一、特性 .....	337
二、型号说明 .....	338
三、最大速度 .....	339
四、负载规格 .....	340
五、精度等级 .....	341
六、马达与马达连接法兰 .....	342
七、附件选配 .....	351
八、寿命计算 .....	353
九、润滑 .....	354
十、精密线性模组尺寸 .....	354
第二节 KS05 型精密线性模组 .....	363
一、外形 .....	363

二、特性 .....	363
三、适用领域 .....	363
四、型号说明 .....	364
五、KS05 型精密线性模组外形尺寸 .....	364
<b>第三节 KS 型精密线性模组</b> .....	366
一、外形 .....	366
二、特性 .....	366
三、适用领域 .....	366
四、型号说明 .....	366
五、外形尺寸 .....	367
<b>第四节 KA 型精密线性模组</b> .....	371
一、外形 .....	371
二、特性 .....	371
三、适用领域 .....	371
四、型号说明 .....	371
五、外形尺寸 .....	372
<b>第五章 位置量测系统</b> .....	377
<b>第一节 高精度位置量测 (1mm)</b> .....	377
一、1mm 位置尺 .....	377
二、标准型位置量测器 .....	378
<b>第二节 精密位置量测 (5mm)</b> .....	379
一、5mm 位置尺 .....	379
二、直立型位置量测器 .....	380
<b>第三节 其他重要设备</b> .....	382
一、H 型位置量测器 .....	382
二、线性量测系统 LCD 显示器 .....	382
三、工具机用多功能显示器 .....	382
<b>第六章 线性致动器</b> .....	383
一、LAM 系列 .....	383
二、LAM3 系列 .....	384
三、LAS 系列线性致动器 .....	385
四、LAS3 系列线性致动器 .....	386
五、LAS4 系列线性致动器 .....	387



六、LAN1 系列线性致动器 .....	388
七、LAN2 系列线性致动器 .....	389
八、LAN3 系列线性致动器 .....	391
九、LAN4 系列线性致动器 .....	392
十、LAK2 型线性致动器 .....	393
十一、LAK2B 型线性致动器 .....	393
十二、LAK2D 型线性致动器 .....	394
十三、LAK2LR 型线性致动器 .....	395
十四、LAK4 型线性致动器 .....	395
十五、LAK6B 型线性致动器 .....	395
十六、LAKC-1 型线性致动器 .....	396
附录 A 线性滑轨选用需求表 .....	397
附录 B 滚珠螺杆资料表 (A) .....	398
附录 C 滚珠螺杆资料表 (B) .....	399
附录 D 线性马达需求规格调查表 (A) .....	400
附录 E 线性马达需求规格调查表 (B) .....	401

# 线 性 滑 轨

## 第一节 概 述

线性滑轨系一种滚动导引，是由钢珠在滑块与滑轨之间作无限滚动循环，负载平台能沿着滑轨轻易地以高精度做线性运动。与传统的滑动导引相比较，滚动导引的摩擦系数可降低至原来的  $1/50$ ，由于起动的摩擦力大大减少，相对的较少无效运动发生，故能轻易达到  $\mu\text{m}$  级精度及定位。再加上滑块与滑轨间的束制单元设计，使得线性滑轨可同时承受上下左右等各方向的负载，上述特点并非传统滑动导引所能比拟，因此机台若能配合滚珠螺杆，使用线性滑轨作导引，必能大幅提高设备精度与机械效能。

### 一、HIWIN 线性滑轨特点

#### 1. 定位精度高

使用线性滑轨作为线性导引时，由于线性滑轨的摩擦方式为滚动摩擦，不仅摩擦系数降低至滑动导引的  $1/50$ ，动摩擦与静摩擦力的差距也变得很小。因此当床台运行时，不会有打滑的现象发生，可达到  $\mu\text{m}$  级的定位精度。

#### 2. 磨损少能长时间维持精度

传统的滑动导引，无可避免地会因油膜逆流作用造成平台运动精度不良，且因运动时润滑不充分，导致运行轨道接触面的磨损，严重影响精度。而滚动导引的磨损非常小，故机台能长时间维持精度。

#### 3. 适用高速运动且大幅降低机台所需驱动马力

由于线性滑轨移动时摩擦力非常小，只需较小动力便能让床台运行，尤其是在床台的工作方式为经常性往返运行时，更能明显降低机台电力损耗量。且因其



摩擦产生的热较小，可适用于高速运行。

4. 可同时承受上下左右方向的负载

由于线性滑轨特殊的束制结构设计，可同时承受上下左右方向的负载，不像滑动导引在平行接触面方向可承受的侧向负载较轻，易造成机台运行精度不良。

5. 组装容易并具互换性

组装时只要铣削或研磨床台上滑轨的装配面，并依建议的步骤将滑轨、滑块分别以特定扭力固定于机台上，即能重现加工时的高精密度。传统的滑动导引，则需对运行轨道加以铲花，既费事又费时，且一旦机台精度不良，又必须再铲花一次。线性滑轨具有互换性，可分别更换滑块或滑轨甚至是线性滑轨组，机台即可重新获得高精密度的导引。

6. 润滑构造简单

滑动导引若润滑不足，将会造成接触面金属直接摩擦损耗床台，而滑动导引要润滑充足并不容易，需要在床台适当的位置钻孔供油。线性滑轨则已在滑块上装置油嘴，可直接用注油枪打入油脂，也可换上专用油管接头连接供油油管，以自动供油机润滑。

## 二、选用准则

1. 使用条件设定

- (1) 应用的设备。
- (2) 行程。
- (3) 内部空间的限制。
- (4) 运行速度、加速度。
- (5) 精度的要求。
- (6) 使用频率。
- (7) 刚性的要求。
- (8) 使用环境。
- (9) 负载方式。
- (10) 要求寿命年限。

2. 选用系列产品

(1) HG 系列：磨床、铣床、车床、钻床、综合加工机、放电加工机、镗床、线切割机、精密量测仪器、木工机器、搬运机器、运送装置。

(2) EG 系列：产业自动化机器、半导体机械、激光雕刻机、包装机器等。



(3) MGN、MGW 系列：印表机、机器手臂、电子仪器设备、半导体设备等。

(4) RG 系列：CNC 加工机、重切屑加工机、CNC 磨床、射出成型机、放电加工机、线切割机、大型龙门机床等。

### 3. 选用精度等级

C、H、P、SP、UP 等级视设备精度要求而定。

### 4. 假定滑块尺寸及数目

(1) 依经验选用。

(2) 负载状态。

(3) 若与滚珠螺杆配合使用，则使用的线性滑轨规格与螺杆外径相似，如螺杆外径为 35mm，则选用 HG35 的规格即可。

### 5. 计算滑块最大负载

(1) 参照负载计算，例计算单个滑块最大等效负载。

(2) 确认选用的线性滑轨静安全系数应超过静安全系数使用表所列之值。

### 6. 选择预压力

依刚性要求及安装面精度选用。

### 7. 确认刚性

参照刚性表计算变形量。提高预压力，加大选用尺寸或滑块数以提高刚性。

### 8. 计算使用寿命

依使用速度、频率计算寿命距离要求，依寿命公式计算选定线性滑轨的寿命距离。

### 9. 润滑剂选用

润滑剂选用，依设备需求可选择润滑脂、润滑油或特殊润滑剂润滑，定期注入润滑脂或自动供油。至此线性滑轨选用完成。

## 三、额定负载

### (一) 基本静额定负载

#### 1. 基本静额定负载 ( $C_0$ ) 的定义

线性滑轨在静止或运动中若承受过大的负载，或受有很大冲击负载时，会导致珠道接触面和钢珠产生局部的永久变形；当永久变形量超过某一限度，将妨碍线性滑轨运动的平稳性。基本静额定负载便是允许这个永久变形量的极限负载。依照定义：负载的方向和大小不变的状态下，在受到最大应力接触面处，钢珠与珠道表面的总永久变形量恰为钢珠直径万分之一时的静止负载。

基本静额定负载的数值详列于各规格尺寸表中,使用者可参照表格选用适合的线性滑轨,但必须注意被选用的线性滑轨在运行中受的最大静负载不可超过其基本静额定负载。

### 2. 允许静力矩 ( $M_0$ ) 的定义

当滑块中受到最大应力的钢珠达到上述定义的静额定负载时,此时滑块所承载的力矩。在线性滑轨运动中是以  $M_R$ 、 $M_P$ 、 $M_Y$  这三个方向来定义,如图 1-1 所示。

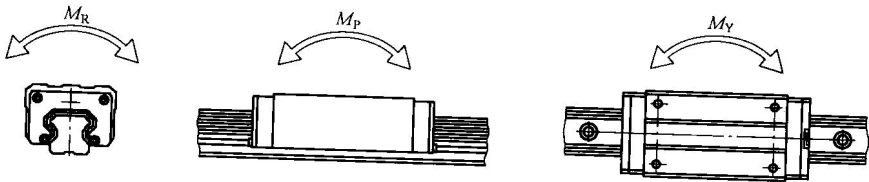


图 1-1 线性滑轨运动  $M_R$ 、 $M_P$ 、 $M_Y$

### 3. 静安全系数

当线性滑轨使用在慢速运动或动作频率不高的情况下,需考虑静安全系数(见表 1-1)。根据不同的使用状况,计算静负载必须考虑不同的安全系数,尤其是当滑轨受有冲击性负载时,需要取用较大的安全系数。

表 1-1 静安全系数

负载条件	$f_{SL}$ 、 $f_{SM}$ 下限	负载条件	$f_{SL}$ 、 $f_{SM}$ 下限
一般运行状况	1.0~3.0	运行时受冲击、振动	3.0~5.0

$$f_{SL} = \frac{C_0}{P} \quad \text{或} \quad f_{SM} = \frac{M_0}{M}$$

式中  $f_{SL}$ ——静安全系数;  
 $f_{SM}$ ——静安全系数(力矩负载);  
 $C_0$ ——基本静额定负载, kN;  
 $M_0$ ——允许静力矩, kN·m;  
 $P$ ——工作负载, kN;  
 $M$ ——静力矩负载, kN·m。

### (二) 基本动额定负载

基本动额定负载 ( $C$ ) 用于线性滑轨承受负载并作滚动运动时的寿命计算。其定义是在负载的方向和大小不变的状态下,线性滑轨的额定寿命为 50km 时(滚柱式线性滑轨为 100km)的最大负载。此值详列于各规格尺寸表中,使用者



可由此值先估算出选用的线性滑轨的额定寿命。

#### 四、线性滑轨寿命

##### (一) 寿命

当线性滑轨承受负载并作运动时，珠道表面与钢珠因不断地受到循环压力的作用，一旦到达滚动疲劳的临界值，接触面就会开始产生疲劳破损，并在部分表面发生鱼鳞状薄片的剥落现象，此种现象叫做表面剥离。寿命的定义即为珠道表面及钢珠因材料疲劳而产生表面剥离时为止的总运行距离。

##### (二) 额定寿命

线性滑轨的寿命，具有很大的分散性，即使同一批制造的产品，在相同的运动状态下使用，寿命也会有所不同；这大多归咎于材料本身在疲劳特性上固有的变化。因此为定义线性滑轨的寿命，一般以额定寿命为基准；其定义是：以一批同样的产品，逐个在相同的条件及额定负载下运行，其中 90% 未曾发生表面剥离现象而能达到的总运行距离。

##### (三) 寿命的计算

线性滑轨的寿命会因实际承受工作负载而不同，可依选用的线性滑轨的基本动额定负载及工作负载推算出使用寿命。

(1) 不考虑环境因素的影响，寿命计算式为

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \times 50\text{km} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \times 31\text{mile}$$

$$1\text{mile} = 1609.344\text{m}$$

式中  $L$ ——额定寿命；

$C$ ——基本动额定负载；

$P$ ——工作负载。

(2) 若考虑线性滑轨使用的环境因素，其寿命会随运动的状态、珠道表面硬度及系统温度而有所变化。

$$L = \left(\frac{f_h f_t C}{f_w P_c}\right)^3 \times 50\text{km} = \left(\frac{f_h f_t C}{f_w P_c}\right) \times 31\text{mile}$$

式中  $L$ ——寿命；

$f_h$ ——硬度系数；

$C$ ——基本动额定负载；

$f_t$ ——温度系数；

$P_c$ ——工作负载；

$f_w$ ——负载系数。



#### (四) 寿命系数

##### 1. 硬度系数 ( $f_h$ )

线性滑轨的珠道接触表面硬度要求在一定的硬度为 HRC 58~62, 若硬度值无法达到要求的水准, 将会降低线性滑轨的额定负载及使用寿命, 此时动、静额定负载为尺寸表列值再乘以对应的硬度系数 (见表 1-2)。HIWIN 出厂的线性滑轨硬度要求皆为 HRC 58 以上, 故  $f_h$  为 1。

表 1-2 珠道接触面硬度系数

HRC	60	50	40	30	20	10
$f_h$	1.0	0.6	0.3	0.2	0.1	0.03

##### 2. 温度系数 ( $f_t$ )

温度系数会对线性滑轨的材质有影响, 当温度高于 100℃ 时线性滑轨的额定负载及使用寿命将会降低, 此时动、静额定负载为尺寸表列值再乘以对应的温度系数 (见表 1-3)。由于有些配件是塑料材质较不耐高温, 故建议使用温度应低于 100℃。

表 1-3 温度系数

℃	100	150	200	250	
$f_t$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6

##### 3. 负载系数 ( $f_w$ )

作用于线性滑轨的负载, 除装置本身自重、起动停止时的惯性负载及因悬置而产生的力距负载外, 还有因运动伴随而来的振动及冲击负载, 此种型式的负载并不容易算出, 根据经验依负载状况及使用速度, 建议将计算负载值再乘以对应的负载系数 (见表 1-4)。

表 1-4 负载系数

负载状况		使用速度	$f_w$
HG/EG/RG 系列	无冲击力且平滑	$v \leq 15\text{m/min}$	1~12
	微小冲击力	$15\text{m/min} < v \leq 60\text{m/min}$	1.2~1.5
	普通负载	$60\text{m/min} < v \leq 120\text{m/min}$	1.5~2.0
	受冲击力及振动	$v > 120\text{m/min}$	2.0~3.5
MG 系列	无冲击力且平滑	$v \leq 15\text{m/min}$	1~1.5
	普通负载	$15\text{m/min} < v \leq 60\text{m/min}$	1.5~2.0
	受冲击力及振动	$v > 60\text{m/min}$	2.0~3.5



(五) 寿命时间的换算

依使用速度及频率将寿命距离换算成寿命时间。

$$L_h = \frac{L \times 10^3}{v_e \times 60} = \frac{(C/P)^3 \times 50 \times 10^3}{v_e \times 60}$$

式中  $L_h$ ——寿命时间, h;

$L$ ——寿命, km;

$v_e$ ——运行速率, m/min;

$C/P$ ——负载比。

五、工作负载

1. 工作负载计算

工作负载的计算方式会随实际受力分布的情形而产生变化。例如承载物体本身重心的位置、施力的位置, 以及运行时起动、停止的加速度惯性力等皆对负载的计算发生影响, 因此使用线性滑轨时必须仔细考虑各种负载状况, 以计算出最正确的负载值。

(1) 单个滑块承受负载, 见表 1-5。

表 1-5

负载计算

线性滑轨配置图	受力分布图	单个滑块负载与 U 点的偏移量
		$P_1 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} + \frac{Fa}{2c} + \frac{Fb}{2d}$ $P_2 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} + \frac{Fa}{2c} - \frac{Fb}{2d}$ $P_3 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} - \frac{Fa}{2c} + \frac{Fb}{2d}$ $P_4 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} - \frac{Fa}{2c} - \frac{Fb}{2d}$ $\delta_x = -Z_u \frac{P_1 - P_2}{dK}, \delta_y = -Z_u \frac{P_1 - P_3}{cK}$ $\delta_z = -\frac{F}{4K} + X_u \frac{P_1 - P_2}{dK} - Y_u \frac{P_1 - P_3}{cK}$
		$P_1 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} + \frac{Fa}{2c} + \frac{Fb}{2d}$ $P_2 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} + \frac{Fa}{2c} - \frac{Fb}{2d}$ $P_3 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} - \frac{Fa}{2c} + \frac{Fb}{2d}$ $P_4 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} - \frac{Fa}{2c} - \frac{Fb}{2d}$ $\delta_x = -Z_u \frac{P_1 - P_2}{dK}, \delta_y = Z_u \frac{P_1 - P_3}{cK}$ $\delta_z = -\frac{F}{4K} + X_u \frac{P_1 - P_2}{dK} - Y_u \frac{P_1 - P_3}{cK}$





续表

线性滑轨配置图	受力分布图	单个滑块负载与U点的偏移量
		$P_1 = P_3 = \frac{W}{4} - \frac{Fl}{2d}$ $P_2 = P_4 = \frac{W}{4} + \frac{Fl}{2d}$ $\delta_x = -Z_u \frac{P_1 + P_2}{dK}$ $\delta_y = 0$ $\delta_z = -X_u \frac{P_1 + P_2}{dK}$
		$P_1 \sim P_4 = -\frac{Wh}{2d} + \frac{Fl}{2d}$ $\delta_x = -Z_u \frac{P_1 + P_2}{dK}$ $\delta_y = 0$ $\delta_z = -X_u \frac{P_1 + P_2}{dK}$
		$P_1 \sim P_4 = -\frac{Wh}{2c} + \frac{Fl}{2c}$ $P_{11} = P_{13} = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} + \frac{Fk}{2d}$ $P_{12} = P_{14} = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} - \frac{Fk}{2d}$ $\delta_x = -Y_u \frac{P_{11} - P_{12}}{dK}$ $\delta_y = -\frac{F}{4K} + X_u \frac{P_{11} - P_{12}}{dK} - Z_u \frac{P_1 + P_3}{cK}$ $\delta_z = -Y_u \frac{P_1 + P_3}{cK}$

(2) 惯性力负载, 见表 1-6。