

# 外弹道学

390664

国防工业出版社

# 外 弹 道 学

〔苏〕A. A. 德米特里耶夫斯基

孟 宪 昌 译

## 内 容 简 介

本书阐述了火箭和火炮弹丸的外弹道理论基础。

全书共分十四章。主要内容有：第一、二章介绍火箭和弹丸运动的一般理论；第三、四、五章研究解决了外弹道学基本问题之一，即建立火箭和弹丸运动微分方程；第六、七章给出了运动方程的积分方法；第八章研究火箭和弹丸的运动稳定性；第九章研究控制方法对火箭和弹丸弹道的影响；第十、十一章为弹道研究，分析了各种扰动因素对弹道诸元偏差的影响，并给出了修正公式和修正弹道诸元的计算方法；第十二、十三章论述了火箭发射时运动特点、射击误差和火箭及弹丸的散布；最后一章介绍了外弹道学的试验方法。

本书可供从事火箭和炮弹研究、生产的工程技术人员参考，也可供大专院校师生阅读。

ВНЕШНЯЯ БАЛЛИСТИКА

А. А. Дмитриевский

«Машиностроение»

1972

\*

## 外弹道学

〔苏〕А. А. 德米特里耶夫斯基

孟宪昌 译

\*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张 17<sup>7</sup>/<sub>8</sub> 459 千字

1977年9月第一版 1977年9月第一次印刷 印数：0,001—3,400册

统一书号：15034·1526 定价：2.65元

# 目 录

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 前言                          | 7   |
| 基本符号                        | 8   |
| 绪论                          | 11  |
| § 1 外弹道学的对象和任务              | 11  |
| § 2 各类火箭的飞行特性               | 13  |
| § 3 炮弹和迫击炮弹的飞行特性            | 19  |
| 第一章 火箭和弹丸运动的一般理论            | 22  |
| § 1 变质量物体动力学基本方程            | 22  |
| § 2 定质量物体动力学基本方程            | 32  |
| 第二章 作用于飞行中火箭和弹丸上的力与力矩       | 35  |
| § 1 决定飞行器空间位置的座标系和角度        | 36  |
| § 2 地球引力场和地球旋转对火箭和弹丸飞行的影响   | 47  |
| § 3 大气及其特性                  | 63  |
| § 4 空气动力和力矩                 | 74  |
| § 5 推力                      | 89  |
| § 6 控制力和力矩                  | 96  |
| 第三章 《面对面》类火箭在稠密大气层中的运动方程    | 100 |
| § 1 火箭的空间运动方程               | 100 |
| § 2 空间运动分解为移动和旋转、纵向和侧向运动的原理 | 114 |
| § 3 导弹在稠密大气层中纵向和侧向运动方程组的简化  | 119 |
| § 4 考虑地球旋转的导弹质心运动方程组        | 125 |
| § 5 导弹在地心引力场平面内的运动方程        | 128 |
| § 6 无控火箭在面平行引力场中的运动方程       | 130 |
| § 7 相对的非因次自变量方程组            | 131 |
| 第四章 对运动目标导引的导弹运动            | 134 |
| § 1 对运动目标的导引法               | 137 |
| § 2 对运动目标的空间导引              | 146 |

|     |                             |     |
|-----|-----------------------------|-----|
| § 3 | 运动目标在特殊情况下的特点·····          | 157 |
| 第五章 | 弹丸和火箭在弹道被动段上的自由飞行·····      | 160 |
| § 1 | 稠密大气层中的空间运动·····            | 160 |
| § 2 | 弹丸在稠密大气层中的质心运动方程·····       | 161 |
| § 3 | 弹丸在真空中的质心运动方程·····          | 165 |
| 第六章 | 外弹道学方程的数值积分和电子计算机的应用·····   | 169 |
| § 1 | 外弹道学微分方程的数值积分·····          | 170 |
| § 2 | 应用数字电子计算机求解外弹道学方程·····      | 214 |
| § 3 | 应用电子模拟计算机求解外弹道学问题·····      | 230 |
| 第七章 | 外弹道学问题的分析解法和表解法·····        | 243 |
| § 1 | 抛物线理论·····                  | 244 |
| § 2 | 椭圆理论·····                   | 247 |
| § 3 | 定质量弹丸弹道计算的近似分析解法·····       | 256 |
| § 4 | 弹道相似和弹道表解法·····             | 283 |
| § 5 | 齐奥尔科夫斯基公式 无控火箭弹道主动段的计算····· | 285 |
| § 6 | 《面对面》类导弹主动段终点速度的确定·····     | 290 |
| § 7 | 确定火箭弹道全射程的近似方法——相当弹丸法·····  | 293 |
| 第八章 | 运动稳定性以及火箭和弹丸的稳定·····        | 298 |
| § 1 | 运动稳定性以及火箭和弹丸稳定的一般概念·····    | 298 |
| § 2 | 火箭和弹丸运动方程的线性化·····          | 304 |
| § 3 | 火箭和弹丸线性化扰动运动方程的求解法及其研究····· | 315 |
| § 4 | 旋转式火箭和弹丸的飞行稳定性条件·····       | 330 |
| § 5 | 无控尾翼式火箭和弹丸的飞行稳定性条件·····     | 351 |
| 第九章 | 火箭和弹丸的控制飞行·····             | 365 |
| § 1 | 定质量火炮弹丸和无控火箭的射程变化·····      | 365 |
| § 2 | 自动控制导弹的射程变化·····            | 367 |
| § 3 | 俯仰角程序方程·····                | 375 |
| § 4 | 机动性和过载·····                 | 378 |
| 第十章 | 弹道研究和外弹道问题的最佳解概念·····       | 383 |
| § 1 | 在空气中运动的定质量火箭和弹丸弹道的一般特性····· | 383 |
| § 2 | 定质量弹丸真空弹道的一般特性·····         | 386 |
| § 3 | 导引弹道的动力学研究方法·····           | 390 |
| § 4 | 外弹道问题最佳解的概念·····            | 394 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第十一章 外弹道学的修正公式 .....          | 408 |
| § 1 修正公式和修正系数 .....           | 410 |
| § 2 决定参数的定性分析和修正系数的符号 .....   | 412 |
| § 3 修正量和修正系数的算法 .....         | 416 |
| § 4 起始弹重改变时火炮弹丸的射程修正量 .....   | 448 |
| § 5 大气参数对火箭和火炮弹丸飞行影响的计算 ..... | 449 |
| § 6 复杂弹道修正量的确定 .....          | 469 |
| 第十二章 射击的起始条件 .....            | 474 |
| § 1 运载装置的运动对射击起始条件的影响 .....   | 475 |
| § 2 火箭沿发射装置定向器的运动 .....       | 484 |
| § 3 从发射台和由发射井中发射时的火箭运动 .....  | 491 |
| § 4 决定起始射击条件的附加因素 .....       | 493 |
| 第十三章 射击误差; 火箭和弹丸的散布 .....     | 496 |
| § 1 判定散布特性的分析法 .....          | 498 |
| § 2 确定散布特性的统计试验法 .....        | 511 |
| § 3 由射击结果确定散布特性 .....         | 514 |
| § 4 对目标导引时的射击误差 .....         | 523 |
| 第十四章 外弹道学的试验方法 .....          | 527 |
| § 1 弹丸在弹道上的运动速度测量 .....       | 528 |
| § 2 根据弹道射击结果确定空气动力特征数 .....   | 536 |
| § 3 火箭空间位置确定法的理论基础 .....      | 540 |
| § 4 光学测量 .....                | 547 |
| 附录 .....                      | 554 |
| 参考文献 .....                    | 569 |

# 外 弹 道 学

〔苏〕A. A. 德米特里耶夫斯基

孟 宪 昌 译

## 内 容 简 介

本书阐述了火箭和火炮弹丸的外弹道理论基础。

全书共分十四章。主要内容有：第一、二章介绍火箭和弹丸运动的一般理论；第三、四、五章研究解决了外弹道学基本问题之一，即建立火箭和弹丸运动微分方程；第六、七章给出了运动方程的积分方法；第八章研究火箭和弹丸的运动稳定性；第九章研究控制方法对火箭和弹丸弹道的影响；第十、十一章为弹道研究，分析了各种扰动因素对弹道诸元偏差的影响，并给出了修正公式和修正弹道诸元的计算方法；第十二、十三章论述了火箭发射时运动特点、射击误差和火箭及弹丸的散布；最后一章介绍了外弹道学的试验方法。

本书可供从事火箭和炮弹研究、生产的工程技术人员参考，也可供大专院校师生阅读。

ВНЕШНЯЯ БАЛЛИСТИКА

А. А. Дмитриевский

«Машиностроение»

1972

\*

## 外弹道学

〔苏〕А. А. 德米特里耶夫斯基

孟宪昌 译

\*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张 17<sup>7</sup>/<sub>8</sub> 459 千字

1977年9月第一版 1977年9月第一次印刷 印数：0,001—3,400册

统一书号：15034·1526 定价：2.65元

# 目 录

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 前言                          | 7   |
| 基本符号                        | 8   |
| 绪论                          | 11  |
| § 1 外弹道学的对象和任务              | 11  |
| § 2 各类火箭的飞行特性               | 13  |
| § 3 炮弹和迫击炮弹的飞行特性            | 19  |
| 第一章 火箭和弹丸运动的一般理论            | 22  |
| § 1 变质量物体动力学基本方程            | 22  |
| § 2 定质量物体动力学基本方程            | 32  |
| 第二章 作用于飞行中火箭和弹丸上的力与力矩       | 35  |
| § 1 决定飞行器空间位置的座标系和角度        | 36  |
| § 2 地球引力场和地球旋转对火箭和弹丸飞行的影响   | 47  |
| § 3 大气及其特性                  | 63  |
| § 4 空气动力和力矩                 | 74  |
| § 5 推力                      | 89  |
| § 6 控制力和力矩                  | 96  |
| 第三章 《面对面》类火箭在稠密大气层中的运动方程    | 100 |
| § 1 火箭的空间运动方程               | 100 |
| § 2 空间运动分解为移动和旋转、纵向和侧向运动的原理 | 114 |
| § 3 导弹在稠密大气层中纵向和侧向运动方程组的简化  | 119 |
| § 4 考虑地球旋转的导弹质心运动方程组        | 125 |
| § 5 导弹在地心引力场平面内的运动方程        | 128 |
| § 6 无控火箭在面平行引力场中的运动方程       | 130 |
| § 7 相对的非因次自变量方程组            | 131 |
| 第四章 对运动目标导引的导弹运动            | 134 |
| § 1 对运动目标的导引法               | 137 |
| § 2 对运动目标的空间导引              | 146 |

|     |                             |     |
|-----|-----------------------------|-----|
| § 3 | 运动目标在特殊情况下的特点·····          | 157 |
| 第五章 | 弹丸和火箭在弹道被动段上的自由飞行·····      | 160 |
| § 1 | 稠密大气层中的空间运动·····            | 160 |
| § 2 | 弹丸在稠密大气层中的质心运动方程·····       | 161 |
| § 3 | 弹丸在真空中的质心运动方程·····          | 165 |
| 第六章 | 外弹道学方程的数值积分和电子计算机的应用·····   | 169 |
| § 1 | 外弹道学微分方程的数值积分·····          | 170 |
| § 2 | 应用数字电子计算机求解外弹道学方程·····      | 214 |
| § 3 | 应用电子模拟计算机求解外弹道学问题·····      | 230 |
| 第七章 | 外弹道学问题的分析解法和表解法·····        | 243 |
| § 1 | 抛物线理论·····                  | 244 |
| § 2 | 椭圆理论·····                   | 247 |
| § 3 | 定质量弹丸弹道计算的近似分析解法·····       | 256 |
| § 4 | 弹道相似和弹道表解法·····             | 283 |
| § 5 | 齐奥尔科夫斯基公式 无控火箭弹道主动段的计算····· | 285 |
| § 6 | 《面对面》类导弹主动段终点速度的确定·····     | 290 |
| § 7 | 确定火箭弹道全射程的近似方法——相当弹丸法·····  | 293 |
| 第八章 | 运动稳定性以及火箭和弹丸的稳定·····        | 298 |
| § 1 | 运动稳定性以及火箭和弹丸稳定的一般概念·····    | 298 |
| § 2 | 火箭和弹丸运动方程的线性化·····          | 304 |
| § 3 | 火箭和弹丸线性化扰动运动方程的求解法及其研究····· | 315 |
| § 4 | 旋转式火箭和弹丸的飞行稳定性条件·····       | 330 |
| § 5 | 无控尾翼式火箭和弹丸的飞行稳定性条件·····     | 351 |
| 第九章 | 火箭和弹丸的控制飞行·····             | 365 |
| § 1 | 定质量火炮弹丸和无控火箭的射程变化·····      | 365 |
| § 2 | 自动控制导弹的射程变化·····            | 367 |
| § 3 | 俯仰角程序方程·····                | 375 |
| § 4 | 机动性和过载·····                 | 378 |
| 第十章 | 弹道研究和外弹道问题的最佳解概念·····       | 383 |
| § 1 | 在空气中运动的定质量火箭和弹丸弹道的一般特性····· | 383 |
| § 2 | 定质量弹丸真空弹道的一般特性·····         | 386 |
| § 3 | 导引弹道的动力学研究方法·····           | 390 |
| § 4 | 外弹道问题最佳解的概念·····            | 394 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第十一章 外弹道学的修正公式 .....          | 408 |
| § 1 修正公式和修正系数 .....           | 410 |
| § 2 决定参数的定性分析和修正系数的符号 .....   | 412 |
| § 3 修正量和修正系数的算法 .....         | 416 |
| § 4 起始弹重改变时火炮弹丸的射程修正量 .....   | 448 |
| § 5 大气参数对火箭和火炮弹丸飞行影响的计算 ..... | 449 |
| § 6 复杂弹道修正量的确定 .....          | 469 |
| 第十二章 射击的起始条件 .....            | 474 |
| § 1 运载装置的运动对射击起始条件的影响 .....   | 475 |
| § 2 火箭沿发射装置定向器的运动 .....       | 484 |
| § 3 从发射台和由发射井中发射时的火箭运动 .....  | 491 |
| § 4 决定起始射击条件的附加因素 .....       | 493 |
| 第十三章 射击误差; 火箭和弹丸的散布 .....     | 496 |
| § 1 判定散布特性的分析法 .....          | 498 |
| § 2 确定散布特性的统计试验法 .....        | 511 |
| § 3 由射击结果确定散布特性 .....         | 514 |
| § 4 对目标导引时的射击误差 .....         | 523 |
| 第十四章 外弹道学的试验方法 .....          | 527 |
| § 1 弹丸在弹道上的运动速度测量 .....       | 528 |
| § 2 根据弹道射击结果确定空气动力特征数 .....   | 536 |
| § 3 火箭空间位置确定法的理论基础 .....      | 540 |
| § 4 光学测量 .....                | 547 |
| 附录 .....                      | 554 |
| 参考文献 .....                    | 569 |

## 前 言

本书阐述了在地球引力场中运动的火箭和弹丸外弹道学的基础（对于其它行星的宇宙飞行在此不予讨论。这是一独立的、大而复杂的课题）。

在很长的时间内，外弹道学专注于研究迫击炮弹和火炮弹丸的运动。随着火箭技术的发展和火箭与弹丸飞行理论的完善，外弹道学研究的范围也得到很大的扩展。在包含火箭运动的最佳方案和方案选择等专题的可控火箭外弹道学方面，出现了许多著作。在使用火箭和炮弹射击的情况下，弹道设计的弹道散布计算也得到很大的发展。计算技术的应用，为外弹道学的进一步研究提供了更好的条件。

书中所叙述的内容，可分为阐明外弹道学基础的十个部分。绪论中给出了外弹道学这门课程的对象和要解决的基本任务，并指出了不同类型的火箭和炮弹的飞行特点。

第一和第二章研究火箭和弹丸运动的一般理论：飞行中作用于火箭和弹丸上的力和力矩，弹道和运动特性。以这两章所阐明的一般理论，建立了外弹道学与空气动力学和理论力学的关系。第三、第四和第五章研究解决了外弹道学基本问题之一，即建立火箭和弹丸运动微分方程。第六和第七章给出了运动方程的积分方法。第八章研究运动的稳定性和火箭与弹丸的稳定；第九章研究控制方法对火箭和弹丸弹道的影响。第十章为弹道研究。第十一章研究了各种扰动因素对弹道诸元偏差的影响（此处的弹道诸元是根据火箭的技术条件和标准大气计算出来的），并给出了修正公式和修正弹道诸元的计算方法。第十二章和第十三章，研究了火箭发射时的运动特点、射击误差和火箭及弹丸的散布。最后，第十四章介绍了外弹道学的试验方法。

外弹道学是以力学定律为基础的，并与空气动力学、地球的重力测量学和地形学说，以及气象学有着密切关系。

## 基 本 符 号

$\bar{Q}_1$ ——变质量物体的动量矢量

$\bar{K}$ ——变质量物体的动量矩矢量

$T_1$ ——变质量物体的动能

$m$ ——运动物体（火箭、弹丸）的质量

$v$ ——物体质心的绝对运动速度

$a$ ——物体质心的绝对运动加速度

$v_e$ ——弹体质心的牵连运动速度

$a_e$ ——弹体质心的牵连运动加速度

$v_r$ ——弹体-燃料-气体系统的质心相对于火箭弹体的速度

$a_r$ ——弹体-燃料-气体系统的质心相对于火箭弹体的加速度

$\Sigma \bar{F}$ ——外力的合力（矢量）

$\Sigma \bar{F}_p$ ——反作用力的合力（矢量）

$F_{\text{кoп}}$ ——柯氏力

$\bar{\omega}$ ——弹丸旋转角速度矢量

$M_F$ ——外力对惯性中心的合力矩

$M_p$ ——反作用力对惯性中心的合力矩

$J_{x_i}, J_{y_i}, J_{z_i}$ ——火箭相对于坐标系  $0x_i y_i z_i$  各轴的转动惯量

$J_{x_i y_i}, J_{x_i z_i}, J_{y_i z_i}$ ——惯性积

$Q_i$ ——广义力

$\vartheta$ ——俯仰角

$\psi$ ——偏航角

$\gamma$ ——倾斜角

$\theta$ ——弹道切线倾角

$\Psi$ ——弹道回转角

- $\gamma_0$ ——速度坐标系的倾斜角  
 $v_{x_3}=u$ ——质心速度在发射坐标轴  $0x_3$  上的投影  
 $v_{y_3}=w$ ——质心速度在发射坐标轴  $0y_3$  上的投影  
 $\alpha$ ——攻角  
 $\beta$ ——侧滑角  
 $\Pi_r$ ——地球引力势  
 $\Pi_{\text{и}}$ ——惯性离心力势  
 $\Pi$ ——重力势  
 $g_r$ ——引力加速度  
 $g$ ——重力加速度  
 $\Omega$ ——地球的自转角速度  
 $\varphi_r$ ——地球纬度  
 $\varphi_{\text{гн}}$ ——地理纬度  
 $\lambda$ ——经度  
 $\lambda^*$ ——中心线的经度  
 $t_{\text{п}}$ ——全飞行速度  
 $A$ ——方位角  
 $\varepsilon$ ——高低角  
 $\Phi$ ——地重力势高  
 $H$ ——几何高  
 $p$ ——气压 (公斤/厘米<sup>2</sup>)  
 $\rho$ ——空气密度  
 $h$ ——以毫米汞高表示的气压  
 $\tau$ ——虚温度  
 $H(y)$ ——空气比重随高度变化的函数  
 $q$ ——速度头  
 $S$ ——最大横截面积  
 $M$ ——马赫数  
 $X$ ——迎面阻力

$Y$ ——升力

$Z$ ——侧向力

$c_R$ ——总空气动力系数

$c_x, c_y, c_z$ ——迎面阻力、升力和侧向力系数

$m_{x1}$ ——俯仰力矩系数

$m_{x1}$  和  $m_{y1}$ ——倾斜和偏航力矩系数

$M_{cr}$ ——稳定力矩

$M_{\pi}$ ——阻尼力矩

$F(v), G(v), K\left(-\frac{v}{a}\right)$ ——空气阻力函数

$c$ ——弹道系数

$a$ ——音速

$\pi(y)$ ——气压随高度变化的函数

$\Gamma$ ——表面摩擦力矩

$P$ ——台推力

$X_{p1}, Y_{p1}, Z_{p1}$ ——作用于各轴线方向的控制力

$v_{\pi}$ ——目标质心速度

$v_p$ ——火箭质心速度

$x_c$ ——水平射程

$y_s$ ——弹道高

$L$ ——沿地球表面的直线射程

$v_{01}$ ——第一宇宙速度

$v_{01}$ ——第二宇宙速度

$2\psi$ ——角射程

$Q$ ——弹重

$Q_{сек}$ ——燃料的秒流量

# 绪 论

## § 1 外弹道学的对象和任务

关于火箭和弹丸运动的科学称为弹道学。内弹道学研究弹丸在膛内的运动。研究弹丸自炮口飞出到伴随流出的气体消失为止的运动是内弹道学的一部分，通常称为中间弹道学。

关于火箭和弹丸与发射装置之间力的相互作用中断后的飞行的科学，称为外弹道学。

外弹道学所研究的整个问题，现在常称之为飞行原理。例如，“火箭飞行原理”与“火箭外弹道学”通用。这两种说法，我们在下文中都将使用。此外，在说明飞行原理的一般问题时，我们所说的“弹丸”是指控制和无控制火箭、旋转式炮弹、涡轮式火箭弹、步枪子弹、迫击炮弹和滑膛弹。

我们把火炮弹丸称为定质量弹丸（或物体），而把火箭称为变质量弹丸（或物体）。

尽管不同类型的火箭和弹丸的弹道问题有一定的差别，但这些问题的提出和它们的解在许多方面却是一致的。火箭和弹丸的运动遵守同样的力学定律，并以同样形式的微分方程来描述。但方程的第一部分，即具体的作用力和力矩往往是有区别的。描述可控火箭（导弹）和可控弹丸运动的微分方程就与装置的控制系统有关。

火箭、迫击炮弹和火炮弹丸的飞行，是可控飞行一般力学问题的一种特殊情况。

外弹道学着重解决以下四个主要任务：

第一个任务是根据预先知道的数据计算弹道。为此，首先必

须正确决定作用于弹丸上的力，并知道它们在每一瞬时的值。其次，在考虑全部作用力的情况下建立弹丸运动微分方程。求解这些微分方程可得到全部弹道特性：速度、加速度、飞行时间和质心坐标。根据这些坐标可以把弹道画出来。第一个任务，有时叫做外弹道学的基本问题或正面问题。运动中作用于弹丸上的力，其数量和它在运动过程中的变化特性，以及描述运动的方程数目和它们的形式，取决于弹丸的用途、结构、飞行中的稳定方法和预定的运动弹道。

第二个任务（或叫做反面问题）是根据给定的火箭或火炮系统的战术技术要求决定运动的弹道特性。第二个任务与火箭或火炮系统的弹道设计密切相关。寻求运动和飞行弹道的最佳方案乃是弹道设计的重要阶段。

不同用途弹丸的稳定性计算及其控制条件的确定，是外弹道学的第三个任务。如果火箭或弹丸在飞行中不稳定，显然就不能期望它们按照既定的方向正确飞行。

弹道计算通常是在逐次近似下进行的。在进行弹道设计时，首先应根据战斗部的重量及假定的最大和最小射程确定弹丸质心的理想弹道特性。根据这些计算结果来确定所选控制方法、弹道形状、弹道曲率、切线加速度和法线加速度值的合理性；确定弹丸与目标相遇时的运动特性和散布特性。在火箭（或火炮）总体设计和制造过程中，需用新的更加准确的弹丸、控制系统和稳定系统的数据重复进行弹道计算。保证高射击精度的火箭和弹丸所选控制和稳定方法的实现，是外弹道学运动稳定性问题的一部分，这一问题与可控飞行问题最为接近。此外，外弹道学给出了拟定瞄准和射击规则的基本知识。

设计弹道的计算，通常是在标准气象条件下对理想弹丸进行的。但实际上，在飞行中总要出现一些引起弹丸偏离计算弹道的因素。某些射弹的散布不仅取决于设计和工艺的原因（如推力偏心），而且与计算时的飞行条件的偏差有关，例如与气象因素的