

演出飞行装置运动性能检验方法

Test Method of Kinematic Performance for Performing Flying System

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

(本草案完成时间：2025年3月11日)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号定义	2
4.1 基本缩略语	2
4.2 符号	2
4.3 符号下标定义	3
5 检测总体要求	3
6 测试区域	3
6.1 工作区间	3
6.2 测试区域	3
7 试验方法	4
7.1 停位精度	4
7.2 停位重复性	4
7.3 轨迹精度	5
7.4 运行速度	5
7.5 速度精度	6
7.6 同步精度	6
附录 A（规范性） 飞行装置测试区域及测试轨迹选取参考	8
附录 B（资料性） 双线演出飞行装置	9
附录 C（资料性） 停位精度示意图	10

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国文化和旅游部提出。

本文件由全国剧场标准化技术委员会（SAC/TC 388）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

演出飞行装置运动性能检验方法

1 范围

本文件规定了演出飞行装置下列运动性能参数的检测方法，包括：

- a) 停位精度；
- b) 停位重复性；
- c) 轨迹精度；
- d) 运行速度；
- e) 速度精度；
- f) 同步精度；

本文件适用于设置在各类剧场、秀场、主题公园、景区等室内外演出场所长期固定安装的以及在体育场（馆）临时大型演出活动短期使用的演出飞行装置。

本文件不适用于影视拍摄的演出飞行装置。

景区内用于游客体验的类似装置可参照执行。

本文件所指的演出飞行装置为电动演出飞行装置，不包括人力驱动的演出飞行装置。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

WH/T 35 舞台机械 术语

WH/T 78.7 演出安全 第7部分：舞台威亚安全

GB/T 36727 舞台机械验收检测规范

3 术语和定义

下列术语和定义以及本文件中直接引用的WH/T 35和WH/T 78.7中的界定的术语和定义适用于本文件。

3.1

演出飞行装置 performance flying systems

安装在演出场地上方通过钢丝绳或纤维绳悬挂、牵引演员或布景、道具，用卷扬、自驱等方式实现移动、升降及其复合运动，为演出活动服务的设备。

注1：本文件所指的演出飞行装置包括WH/T 35中所定义的演员飞行器以及WH/T 78.7所定义的威亚，也包括附录B所示的双线演出飞行装置在内的其他形式的用绳索悬吊的可以在空中运行的表演用设备。

注2：演出飞行装置在空间运行的维度不同，分为一维演出飞行装置、二维演出飞行装置、三维演出飞行装置。

注3：演出飞行装置按照应用场合又分为永久安装式和重构安装式。永久安装式演出飞行装置一般是为了某个演出场合专门设计制造并且长久固定安装，其性能参数根据特定演出场景要求设计。重构安装式指在某些临时演出场合，把已有设备根据现场条件重新组装、短期使用，其性能参数需要根据临时演出需求进行重新设定、限制。

3.2

末端承载装置 end load carrying device

载荷接受装置

演出飞行装置的末端承载装置是指演出飞行装置上用于直接接受有效外载荷且传递予承载设备的部件。

示例：如WH/T 78.7中威亚系统吊挂小车的弯弓系统。

注：来源于WH/T 35中的4.1.1的载荷接受装置，因处于承载装置最末端，为体现这一特征，所以进行修改。

3.3

运动性能参数 kinematic performance parameter

衡量和反映设备在启动、运行途中及停止等运动过程中各项性能表现的参数。

注：在本文件中演出飞行装置的运动性能参数具体指：停位精度、停位重复性、轨迹精度、运行速度、速度精度、同步精度。

3.4

额定速度 rated velocity

末端承载装置最高的运行速度。

注：运行速度来源于WH/T 35第5.3.1条；额定速度来源于WH/T 35 第5.3.2条，有改动。

3.5

指令速度 specified speed

目标速度

演出飞行装置通过操作控制系统设定的末端承载装置的预期运行速度。

3.6

指令位置 specified position

目标位置

演出飞行装置操作控制系统设定的末端承载装置预期停止的终点的空间位置。

注：在本文件中指令位置用末端承载装置在一个参考系的坐标表示，不包括末端承载装置在空中的姿态，即不考虑相对于坐标轴的转角。

3.7

安全工作载荷 safe working load (SWL)

根据具体演出场合条件在满足相关标准安全规定的前提下，演出飞行装置末端承载装置能够承受的最大外载荷。

注：安全工作载荷来源于WH/T 35第5.2.4条，有改动。

3.8

运动轨迹 trajectory

运动轨迹指二维或三维演出飞行装置的末端承载装置在平面内或空间运行时的位置随时间变化构成的轨迹。

3.9

指令轨迹 specified trajectory

通过演出飞行装置人机交互装置，操作系统编程或其他方式设定的末端承载装置预期的运动轨迹。

4 符号定义

下列符号适用于本文件。

4.1 基本缩略语

下列缩略语适用于本文件。

A	精度 (Accuracy)
P	位置 (Position)
R	重复性 (Repeatability)
T	轨迹 (Trajectory)
V	速度 (Velocity)
S	同步 (Synchronization)

4.2 符号

下列符号适用于本文件。

AP	停位精度
AT	轨迹精度
AV	速度精度
AS	同步精度

D	相对位置间距
h	高度
l	实到位置和各个实到位置中心间的距离
m	沿轨迹测量点数
n	测量循环次数
RP	停位重复性
x, y, z	在测试坐标系下沿x、y、z 轴的直线坐标
Δ	两个物理量的差值

4.3 符号下标定义

下列符号下标定义适用于本文件。

c	表示指令
i	表示第i点
j	表示第j次测试
t	时间

5 检测总体要求

5.1 演出飞行装置已经按照设计文件或 GB/T 36727、WH/T 78.7 中的相关要求安装完毕，正式电源已经接通。控制系统已经连接并且经过调试已实现设计功能，设备运转正常，安全设施按照设计要求调整到位并能正常工作，自检工作完成。

5.2 测量仪器精度符合 GB/T 36727 的要求并经过计量校准。测量仪器的采样频率等动态特性应确保能充分满足被测参数特性。

5.3 检测环境条件应能满足测量仪器的对环境条件的要求。

5.4 演出飞行装置运动性能参数检测在末端载荷承载装置上施加的载荷应和其安全工作载荷值一致。如部分测量仪器附加于末端承载装置上，应把其质量当作试验负载的一部分。

5.5 演出飞行装置运动性能参数检测应按照指令速度进行，且指令速度最大值应与额定速度一致。

5.6 检测前应检查确认演出飞行装置运行正常、测试载荷与末端承载装置连接牢固可靠、测试区域内没有影响运行检测的障碍物。

5.7 绳索受力随着末端承载装置位置的改变而发生变化的演出飞行装置，在进行运动性能参数检测时宜同时监测绳索受力。

5.8 被测位置应以测量设备所确定的坐标系来表示。如果指令位置和指令轨迹由另一坐标系（如在演出飞行装置操作台上手动输入或离线编程中使用的演出飞行装置控制系统坐标系）确定，则应把数据转换到测量设备所确定的坐标系中。用测量方法建立坐标系间的相互关系。

6 测试区域

6.1 工作区间

6.1.1 设备供应商应提供关于演出飞行装置工作区间说明的技术文件。

6.1.2 工作区间除了考虑演出飞行装置正常工作时允许到达的位置，还应在 WH/T 78.7 中 7.8.5.1.7 条规定的表演包络线内以及现场其他安全限制范围内。

6.1.3 在确定其工作空间时还应满足绳索拉力在防止松绳需要的最小预紧力与绳索安全系数允许的最大张紧力之间的条件。

6.2 测试区域

6.2.1 演出飞行装置运动参数检测时应在测试区域内进行，测试区域应在工作区间内。

6.2.2 测试区域应为工作区间中预期应用最多的那部分区域，宜覆盖不少于工作区间的 50%。

7 试验方法

7.1 停位精度

7.1.1 概述

停位精度指演出飞行装置末端承载装置实际到达位置和指令位置接近的准确度，同WH/T 35中所定义的停位精度，用末端承载装置对同一指令位置重复运行多次实际到达位置平均值和指令位置之间的偏差表示。

注：根据WH/T 35中5.5.1条，停位精度包含了重复定位的概念。

7.1.2 试验步骤

- 设定指令位置：可通过离线编程方式在演出飞行装置操作台上直接输入指令位置坐标，或通过手动示教方式将演出飞行装置手动运行引导到目标位置，并将此时的位置坐标记录保存到演出飞行装置的操作控制系统作为指令位置。
- 在操作台上设定运行轨迹。一维演出飞行装置设定指令位置高度；二维、三维演出飞行装置可按附录B中推荐的直线轨迹上选取起始点P0和指令停止点P1。启动设备通过程序控制自动按照指令速度和轨迹运行到指令位置停止并稳定后，用测量仪器测量当前位置数据。
- 按照同样程序重复运行n次（n不应小于10）。

7.1.3 停位精度计算

- 一维演出飞行装置设定的指令位置高度为 Z_c ，n次实到位置高度测量结果分别为 Z_i （ $i=1, 2, \dots, n$ ），n次实到位置高度的中心位置为 \bar{Z} ， $\bar{Z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i$ ，则停位精度D为：

$$AP = \bar{z} - z_c \dots\dots\dots (1)$$

- 二维演出飞行装置指令位置坐标为 (X_c, Y_c) ，n次实到位置坐标测量结果为 (X_i, Y_i) （ $i=1, 2, \dots, n$ ），n次实到位置中心点坐标为 (\bar{X}, \bar{Y}) ： $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ， $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ ，则停位精度D为：

$$AP = \sqrt{(\bar{x} - x_c)^2 + (\bar{y} - y_c)^2} \dots\dots\dots (2)$$

- 三维演出飞行装置指令位置坐标为 (X_c, Y_c, Z_c) ，n次实到位置坐标测量结果为 (X_i, Y_i, Z_i) （ $i=1, 2, \dots, n$ ），n次实到位置中心点坐标为 $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z})$ ： $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ， $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ ， $\bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i$ ，则停位精度D为：

$$AP = \sqrt{(\bar{x} - x_c)^2 + (\bar{y} - y_c)^2 + (\bar{z} - z_c)^2} \dots\dots\dots (3)$$

7.2 停位重复性

7.2.1 概述

停位重复性指演出飞行装置末端承载装置对同一指令位置重复运行多次实到位置的一致程度。

7.2.2 试验步骤

停位重复性具体试验步骤同7.1.2。

7.2.3 停位重复性计算

- 一维演出飞行装置第i次实到位置高度 Z_i 与n次实到位置中心 \bar{Z} 的偏差距离 $l_i = z_i - \bar{z}$ ；二维演出飞行装置第i次实到位置 (X_i, Y_i) 与n次实到位置中心点 (\bar{X}, \bar{Y}) 的偏差距离

$$l_i = \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2}$$

$$l_i = \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2 + (z_i - \bar{z})^2}$$

b) n 次偏差距离的平均值为 $\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i$ 。

c) 标准偏差为 $S_l = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2}{n-1}}$ 。

d) 停位重复性 RP:

$$RP = \bar{l} \pm 3S_l \dots\dots\dots (4)$$

n次偏差距离的平均值为 $\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i$, 其标准偏差为 $S_l = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2}{n-1}}$, 停位重复性RP按照 (4) 式计算。

7.3 轨迹精度

7.3.1 概述

轨迹精度指二维或三维演出飞行装置末端承载装置沿着指定轨迹准确移动的能力, 表示二维或三维演出飞行装置在同一方向沿指令轨迹多次运行, 其实到轨迹与指令轨迹的偏差情况。

7.3.2 试验步骤

a) 设定指令轨迹: 根据演出飞行装置的运动特点, 可按附录 B 中推荐的轨迹中确定一条直线轨迹和/或一条圆轨迹, 设定指令轨迹起始点和终止点以及指令速度。

注: 对于二维平面运行的演出飞行装置可只做直线轨迹检测。三维飞行装置应做直线轨迹和圆轨迹检测。

b) 在演出飞行装置操作台上编辑运行程序: 启动设备按程序运行, 运行过程中使用测量仪器对演出飞行装置的运动轨迹信息进行采集记录。

c) 按同样的程序重复运行 n 次 (n 不小于 10)。

7.3.3 轨迹精度计算

a) 在第 i 次运行过程中 (i=1, 2, ..., n), 在轨迹起始点和终止点之间测量了 m_i 个实到轨迹点 P_{ij} (j=1, 2, ..., m_i) 的位置信息。

b) 过 P_{ij} 点计算指令轨迹与实到轨迹之间的偏差 d_{ij} 。

c) 计算这 m_i 个偏差距离的平均值: $\bar{d}_i = \frac{\sum_{j=1}^{m_i} d_{ij}}{m_i}$ 和最大值 $d_{imax} = \max(d_{ij})$ 。

d) 计算 n 次测量结果中偏差的平均值 $\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{d}_i$ 和最大值 $d_{max} = \max(d_{imax})$, 它表示与指令轨迹的平均偏离情况和最大偏离情况。

e) 轨迹精度 $AT = \bar{d}$ 。

7.4 运行速度

7.4.1 概述

演出飞行装置运行速度指末端承载装置在其运动方向上单位时间所经过的距离 (WH/T 35第5.3.1)。

7.4.2 试验步骤

a) 一维飞行装置设定起始点 P_0 和终止点 P_i 二维或三维演出飞行装置可从附录 B 中选用一条直线轨迹, 设定起始点 P_0 和和终止点 P_1 , 在这个区间以能达到的最大运行速度作为指令速度。

b) 设备由指令速度及轨迹从 P_0 开始匀速运行到点 P_1 后停止, 使用测量仪器对运行速度信息进行采集并记录。

c) 按相同的程序重复运行 n 次 (n 不小于 10)。

7.4.3 运行速度计算

a) 按公式 (5) 计算第 i (i=1, 2, ..., n) 次运行中采集中得到的 P_0 到 P_1 区间的 m 个实际运行速度值的平均值:

$$\bar{v}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m v_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \dots\dots\dots (5)$$

式中：

V_{ij} ——第 i 次运行时第 j ($j=1, 2, \dots, m_i$) 个实际速度值。

b) 按公式 (6) 计算 n 次运行速度的平均值即为实际运行速度 V 。

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{v}_i \dots\dots\dots (6)$$

7.5 速度精度

7.5.1 概述

速度精度表示演出飞行装置的指令速度和沿轨迹运行 n 次重复测量所获得的实际运行速度的偏差情况。

7.5.2 试验步骤

速度精度的试验步骤同 7.4.2。

7.5.3 速度精度计算

根据公式 (6) 计算的结果，按公式 (7) 计算得到速度精度 (AV)。

$$AV = \left(1 - \left| \frac{V - v_c}{v_c} \right| \right) \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

式中：

v_c ——指令速度

7.6 同步精度

7.6.1 概述

7.6.1.1 同步精度表示两台或两台以上的演出飞行装置同步运行时，其末端承载装置随时间变化的位移量在变化过程中保持相对关系的准确程度。

7.6.1.2 同步运行是指演出飞行装置末端承载装置以相同的指令速度沿相同的指令轨迹同时同向移动相同的距离，同步精度用彼此之间空间距离的改变量的最大值来表示。

7.6.2 试验步骤

- a) 在演出飞行装置操作台上对有同步精度要求的设备按照同步运行条件进行同步编组编程。
- b) 启动设备按程序运行，过程中用测量仪器对编组内设备位置随时间的变化量进行采集记录。
- c) 按照相同的程序重复测量 n 次 (n 不应小于 10)。

7.6.3 同步精度的计算

a) 同步运行的一维演出飞行装置，在 t 和 $t + \Delta t$ 时刻的高度分别为 h_{1t} 、 h_{2t} 和 $h_{1(t+\Delta t)}$ 、 $h_{2(t+\Delta t)}$ ，两者之间相对位置的改变量为 $\Delta_{t+\Delta t} = (h_{1(t+\Delta t)} - h_{2(t+\Delta t)}) - (h_{1t} - h_{2t})$ ，则这两个之间的同步精度为： $AS = \max(\Delta_{t+\Delta t})$ 。

b) 同步运行的二维演出飞行装置，在 t 和 $t + \Delta t$ 时刻的位置分别为 (X_{1t}, Y_{1t}) 和 (X_{2t}, Y_{2t}) 和 $(X_{1(t+\Delta t)}, Y_{1(t+\Delta t)})$ 、 $(X_{2(t+\Delta t)}, Y_{2(t+\Delta t)})$ ，在 t 时刻和 $t + \Delta t$ 时刻两者之间相对位置间距分别为： $D_t = \sqrt{(x_{1t} - x_{2t})^2 + (y_{1t} - y_{2t})^2}$ ， $D_{t+\Delta t} = \sqrt{(x_{1(t+\Delta t)} - x_{2(t+\Delta t)})^2 + (y_{1(t+\Delta t)} - y_{2(t+\Delta t)})^2}$ ，相对位置改变量 $\Delta_{t+\Delta t} = (D_{t+\Delta t} - D_t)$ ，则这两个演出飞行装置之间的同步精度： $AS = \max(\Delta_{t+\Delta t})$ 。

c) 同步运行的三维演出飞行装置，在 t 和 $t + \Delta t$ 时刻的位置分别为 (X_{1t}, Y_{1t}, Z_{1t}) 和 (X_{2t}, Y_{2t}, Z_{2t}) 和 $(X_{1(t+\Delta t)}, Y_{1(t+\Delta t)}, Z_{1(t+\Delta t)})$ 、 $(X_{2(t+\Delta t)}, Y_{2(t+\Delta t)}, Z_{2(t+\Delta t)})$ ，在 t 时刻和 $t + \Delta t$ 时刻两者之间相对位置间距分别为： $D_t = \sqrt{(x_{1t} - x_{2t})^2 + (y_{1t} - y_{2t})^2 + (z_{1t} - z_{2t})^2}$ ， $D_{t+\Delta t} =$

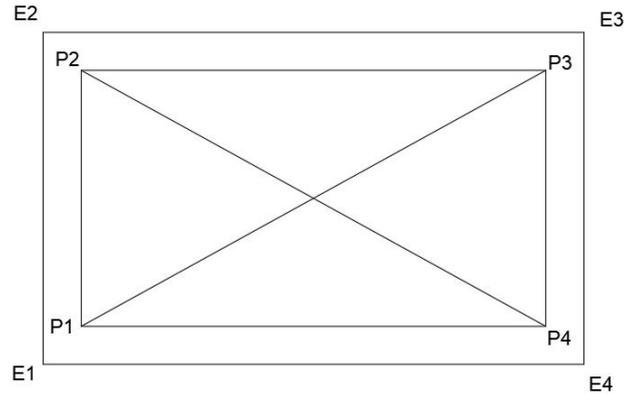
$\sqrt{(x_{1(t+\Delta t)} - x_{2(t+\Delta t)})^2 + (y_{1(t+\Delta t)} - y_{2(t+\Delta t)})^2 + (z_{1(t+\Delta t)} - z_{2(t+\Delta t)})^2}$, 相对位置改变量 $\Delta_{t+\Delta t} = (D_{t+\Delta t} - D_t)$, 则这两个演出飞行装置之间的同步精度 $AS = \max(\Delta_{t+\Delta t})$ 。

附录 A
(规范性)

飞行装置测试区域及测试轨迹选取参考

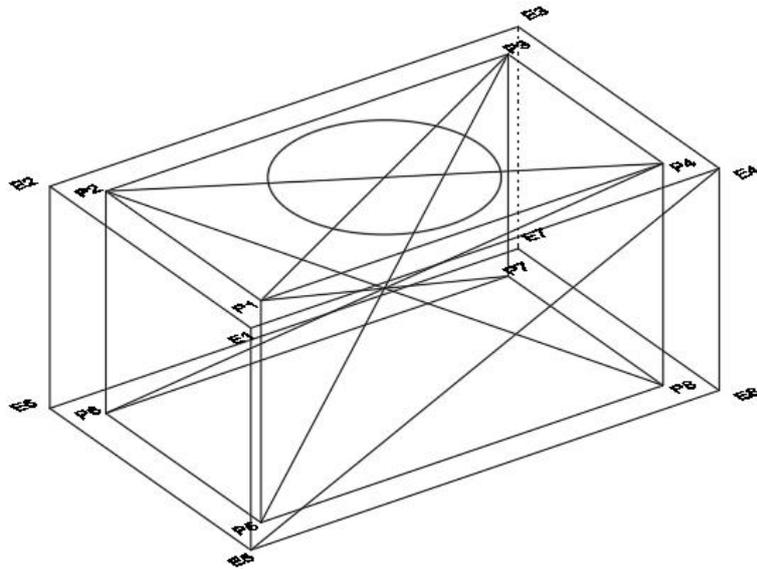
A.1 二维平面演出飞行装置测试区域及测试轨迹选取参考示意图

二维平面内运行的演出飞行装置测试区域见图中矩形区域E1E2E3E4。测试轨迹推荐在P2P3、P2P4、P1P3中选取。



A.2 三维四绳柔索式演出飞行装置测试区域及测试轨迹选取参考示意图

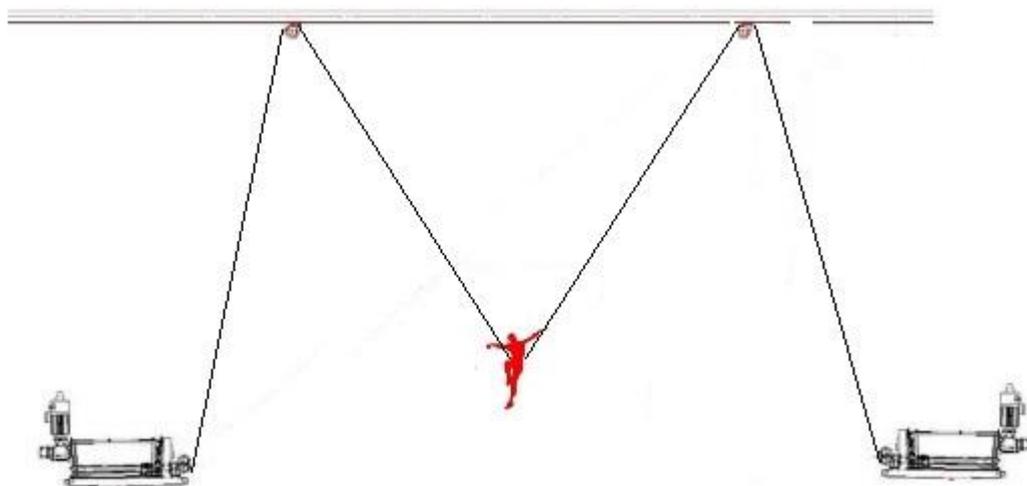
三维四绳柔索式演出飞行装置可以在其工作区间内选取一个长方体空间E1E2E3E4E5E6E7E8作为测试区域。测试直线轨迹优先选择直线P2P3、P1P4、P2P4、P1P3作为测试轨迹，也可选择P1P7、P2P8、P3P5、P4P6。圆轨迹优先在平面P1P2P3P4内选择。



附录 B
(资料性)
双线演出飞行装置

B.1 双线演出飞行装置示意图

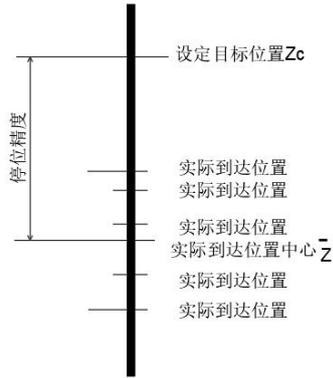
双线演出飞行装置形式如下图所示，两套卷扬机构分别布置在表演区域的两侧，卷扬机上钢丝绳或纤维绳通过滑轮组与演员或道具相连接。两套卷扬机构控制绳索的收放，可以实现演员或道具在二维空间运行。



双线演出飞行装置示意图

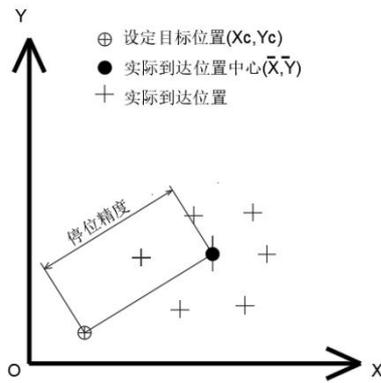
附录 C
(资料性)
停位精度示意图

C.1 一维演出飞行装置停位精度示意图



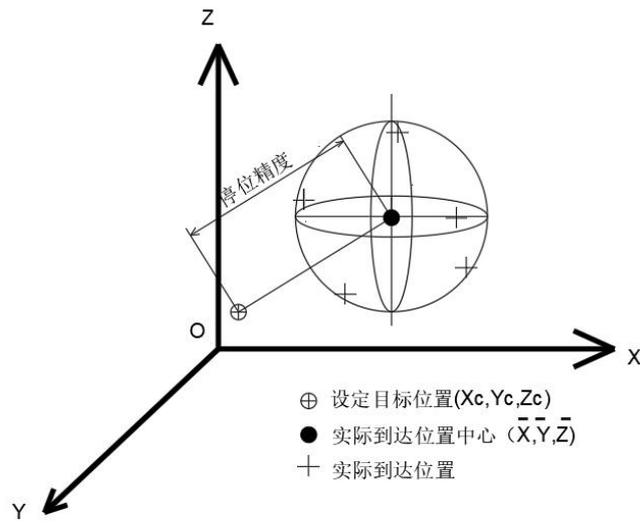
一维演出飞行装置停位精度示意图

C.2 二维演出飞行装置停位精度示意图



二维演出飞行装置停位精度示意图

C.3 三维演出飞行装置停位精度示意图



三维演出飞行装置停位精度示意图

