



清华大学
Tsinghua University



工程图学基础

机械工程系

胡楚雄

2022.2.22

教师简介

教师： 胡楚雄

研究方向： IC制造装备、精密/超精密运动控制

办公室： 李兆基大楼A819

电话： 18810078096 (微信)

E-mail： cxhu@tsinghua.edu.cn

助教： 于济川

办公室： 李兆基大楼A803-3

电话： 17693433482 (微信)

E-mail： yujc21@mails.tsinghua.edu.cn

极端制造

极大制造



大型模锻压机是衡量一个国家工业实力的重要标志。我国研制型号可在8万吨压力以内任意吨位无级实施锻造。总高42米，单件重量在75吨以上的零件68件，压机尺寸、整体质量和最大单件重量均为世界第一。该机为国产大飞机C919制造提供了大型关键锻件。

极小制造



高端光刻机号称世界上最精密的仪器，目前分辨率最高可达5nm，其制造难度之大，全世界只有少数几家公司能够制造。国外品牌主要以荷兰ASML（镜头来自德国）和日本Nikon（Intel曾经购买过Nikon的高端光刻机）为主。

课 程 内 容

- 绪论
- 几何元素的投影

绪 论

1.本门课程的学习意义（Why?）

语言是人们交流思想、传递信息的工具。自古以来，**声音**、**图形**和**文字**就是人类的共同语言。

从最初的象形文字到现代集成制造技术、扫描技术、建筑学等等,都与图形技术有密切的联系。

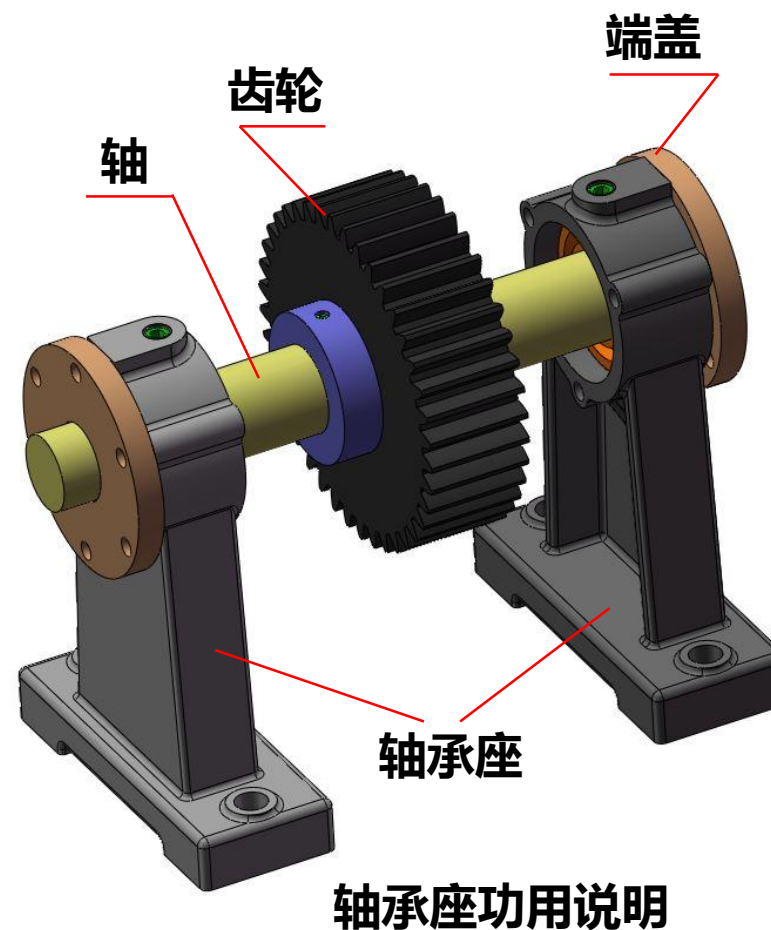
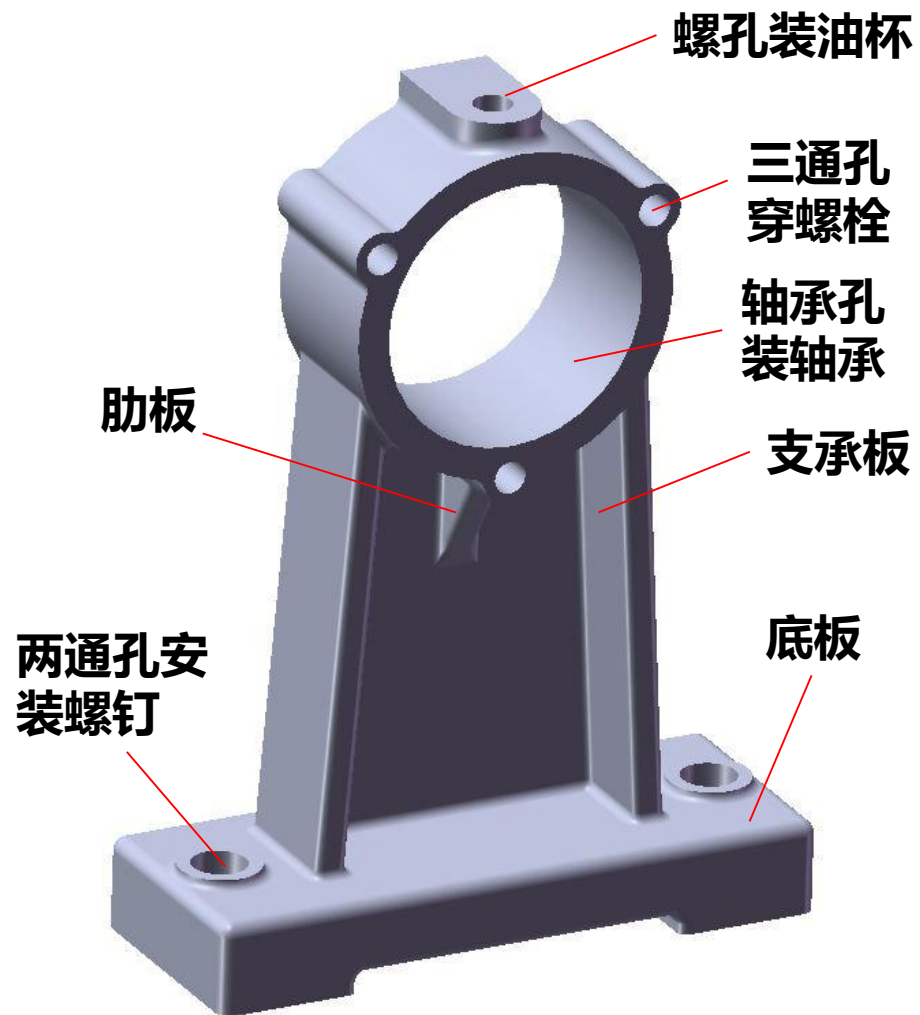
在现代社会的许多领域，如制造、建筑、电子、计算机等，其产品的诞生都经历了类似的过程——先绘制出图样，然后由生产者按图样制造、加工，最终才能得到相应的产品。

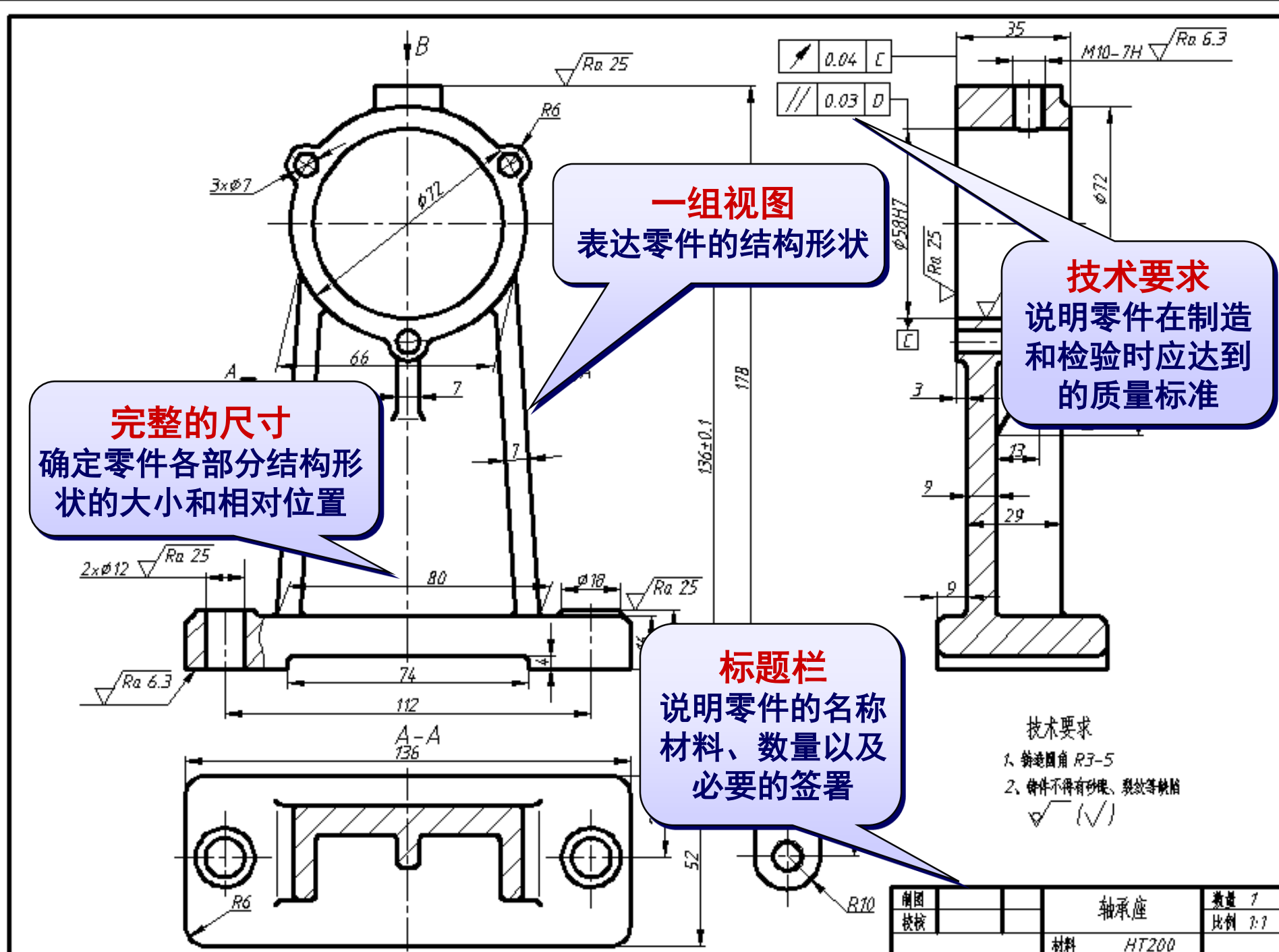
作用：反映设计思想，指导生产和施工

“工程界的语言”

工程图样 - 零件图

例：轴承座的零件图





完整的尺寸
确定零件各部分结构形状的大小和相对位置

一组视图
表达零件的结构形状

技术要求
说明零件在制造和检验时应达到的质量标准

标题栏
说明零件的名称、材料、数量以及必要的签署

制图		轴承座	数量 1
审核		材料 HT200	比例 1:1

2.研究对象和研究内容（What?）

《工程图学》是图形问题求解的一门总体科学。

包括：画法几何 和 工程图

画法几何采用投影的方法，将三维立体投射到二维平面上，用几何的方法描述立体的形状及其它属性信息。



蒙日(G.Monge,1746 - 1818)，法国著名的数学家、教育家，被称为“画法几何之父”。



战国错金银兆域图铜版

世界已发现的最早的有比例的铜版建筑图

中国（北宋），公元1100，李诫，《营造法式》

世界上最早的一部建筑规范巨著

34 卷： 建筑技术、用工用料估算以及装修。

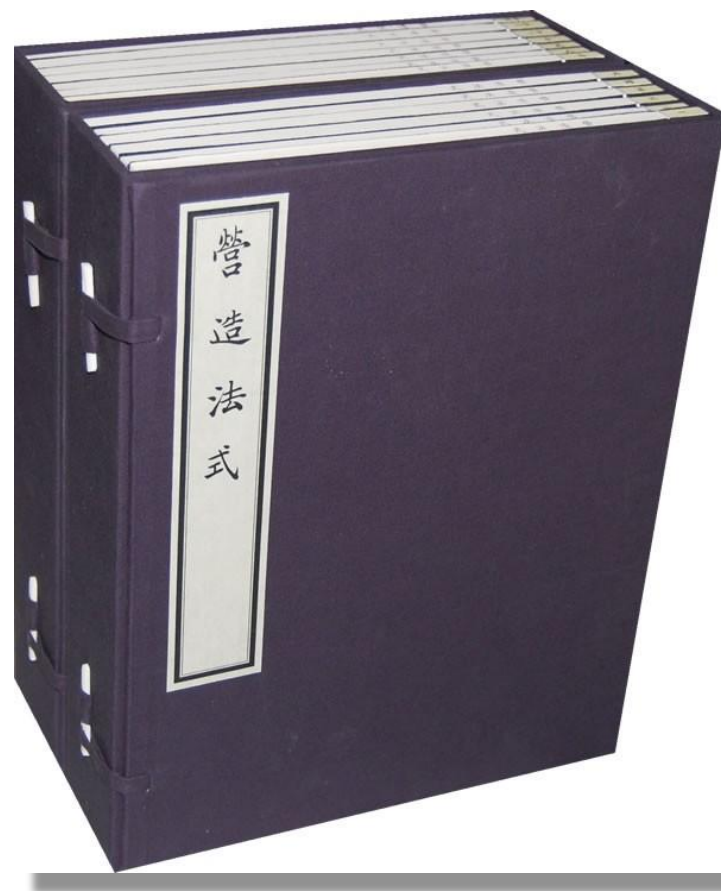
6卷： 一千余幅图。

“图样”——名称起源。

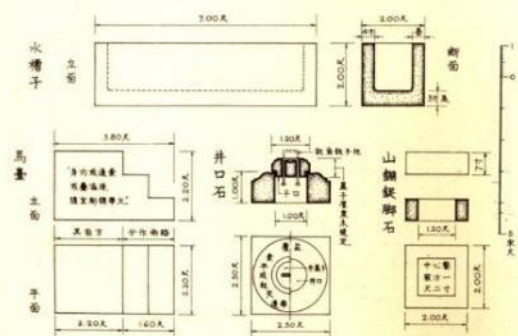
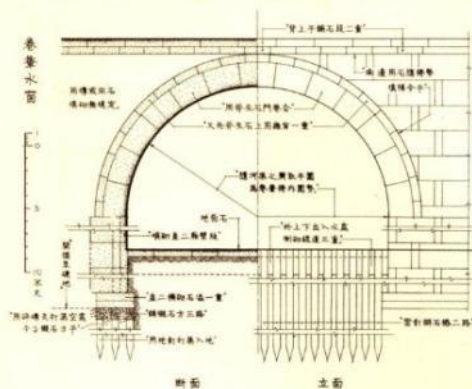
包括宫殿房屋的

- 平面图
- 立面图
- 剖面图
- 详图
- 构件图

各种投影法。



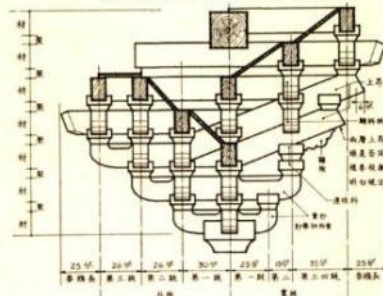
石作制度圖樣五



大木作制度圖樣九

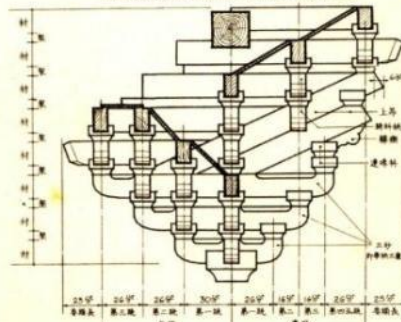
上尋出跳分數之二

七鋪作重拱出上昂偷心殿內當中拋騎斜拱



“物七歸作而重於上則
上界的重度自權利心
此第一說華軌心長二
十三說。第二說華軌
心長一十五說華軌上
所應權軌。第三說上
界心長三十五說而重
上界共此一說。是方
界方重權利心內共重
七則六說。其說科詳

八錢作重模出上昂銜心脫肉雷中施騎科模

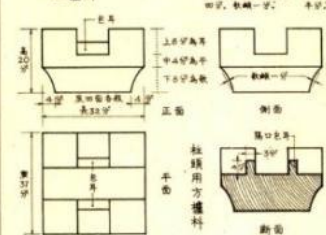


如八續作此三形
上用上界兩重
重續則心長一
跳學則心長二十
六。第二跳是
三跳並學則心
長一十六。此
三跳學則上兩
續。第四跳是
學心長二十六
而重上界並此
一。其中心長
續口內共八
十七。其續
則又六續作此

大木作制度圖樣三

造料之制有四

一日 植料

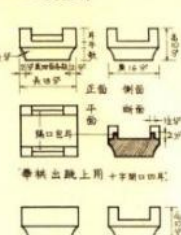


“交支糾纏”之說，實則皆出於上四句。蓋其中二句爲平下四句爲軌，開口音與十句連四句，其四句各殺二字，如前

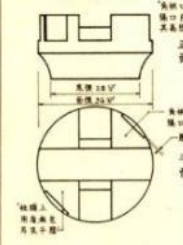
“凡四聲終結喉韻口內當使聲氣在齒後口世耳無二口聲一似字，應利於此”，所內韻韻的爲城口內留韻口世耳其意謂口世爲內應入乎也。

二四 交支科

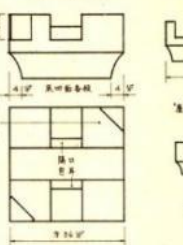
二四 交互科



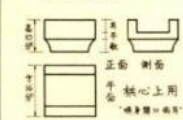
角柱上圓檜科



角柱上方檐枋



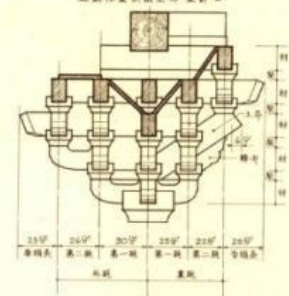
三田齊心科



大木作制度圖樣八

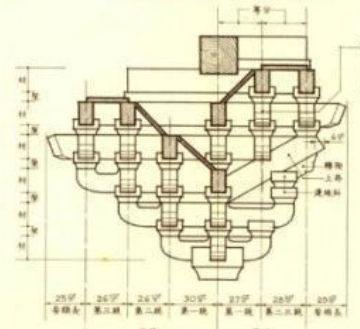
上昂出跳分數之一

五領竹實錄出上馬 並計收



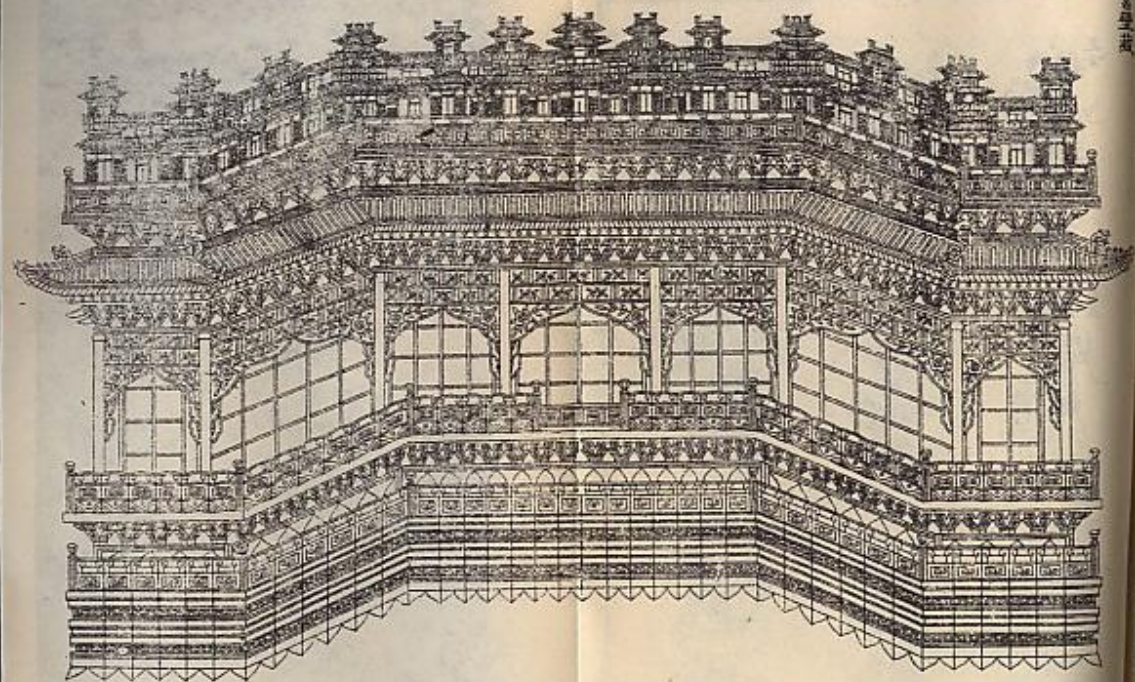
*如五種作單行上則
定為欄料心共第一
軌心共二十五心第
二軌上再心共二十
二切。其第一軌上
料心內用欄料。其
平基方至欄料心內
共五五料四股。其
第一軌重料心內

六鑄作重軌出上馬倫心鏡內書中施鑄科軌



向雲雲中地獄和氣——
 原指其下所處之心理境。
 依此卷五十二上另列諸經
 部俱有雲氣和氣等語？

如六轉位重和上則
 是五種和心云第一
 說帶心一為二十
 八經一說帶心云
 上為心一為二十
 八經。學上所謂
 和氣和心內為轉
 其中心是五種和
 心內共有六種五
 於和氣之內雲中
 地獄和氣。



天宮壁畫



轉輪經藏

營造法式

七

卷三十一

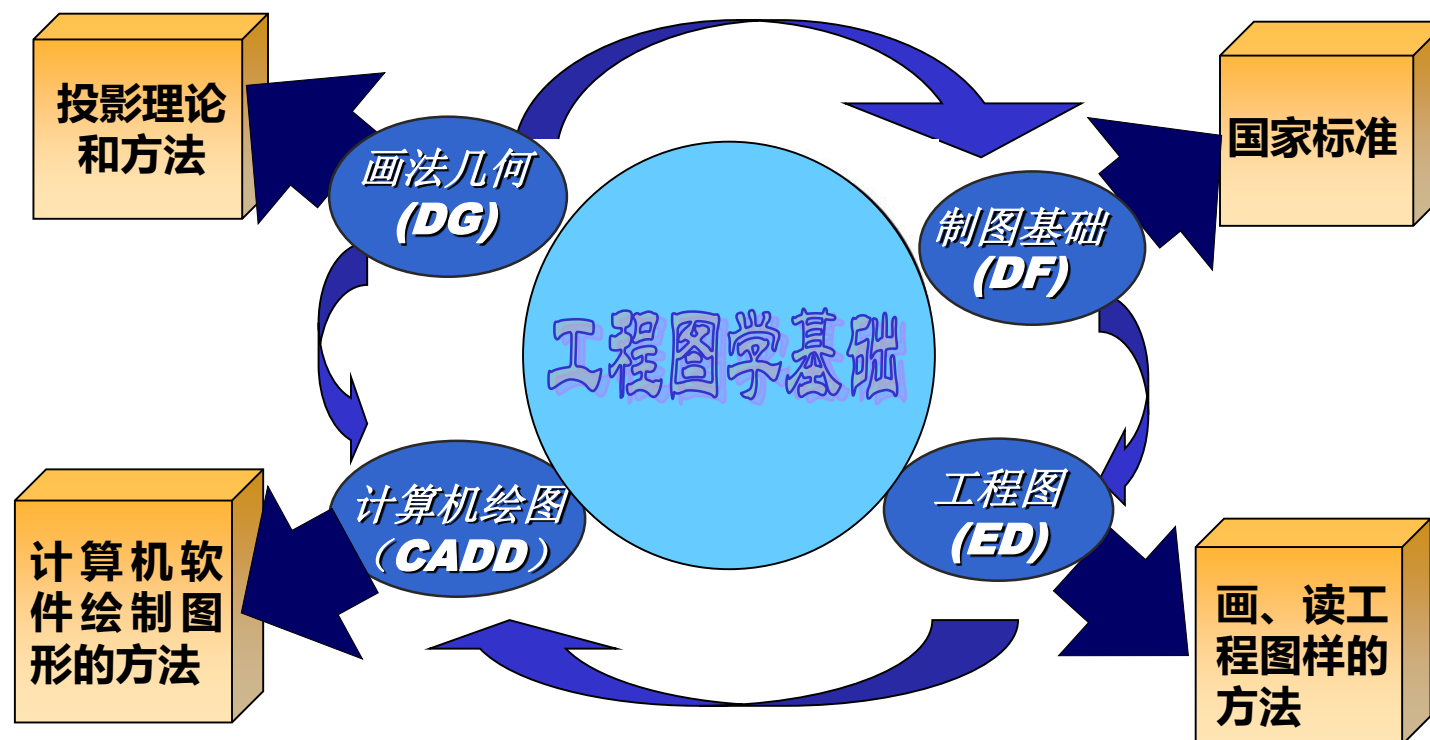
一百

■ 研究对象：

3D与2D间的转换规律

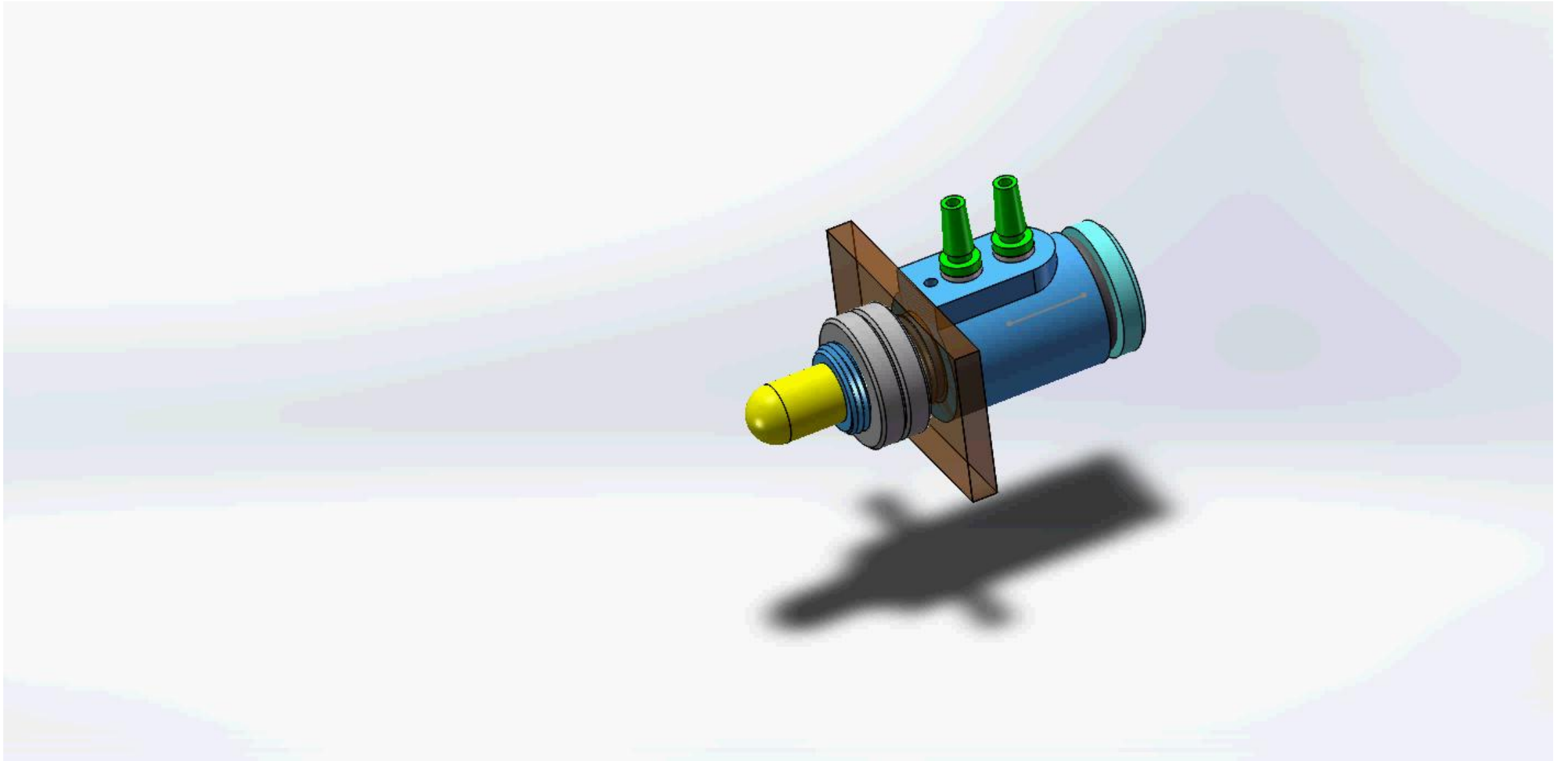


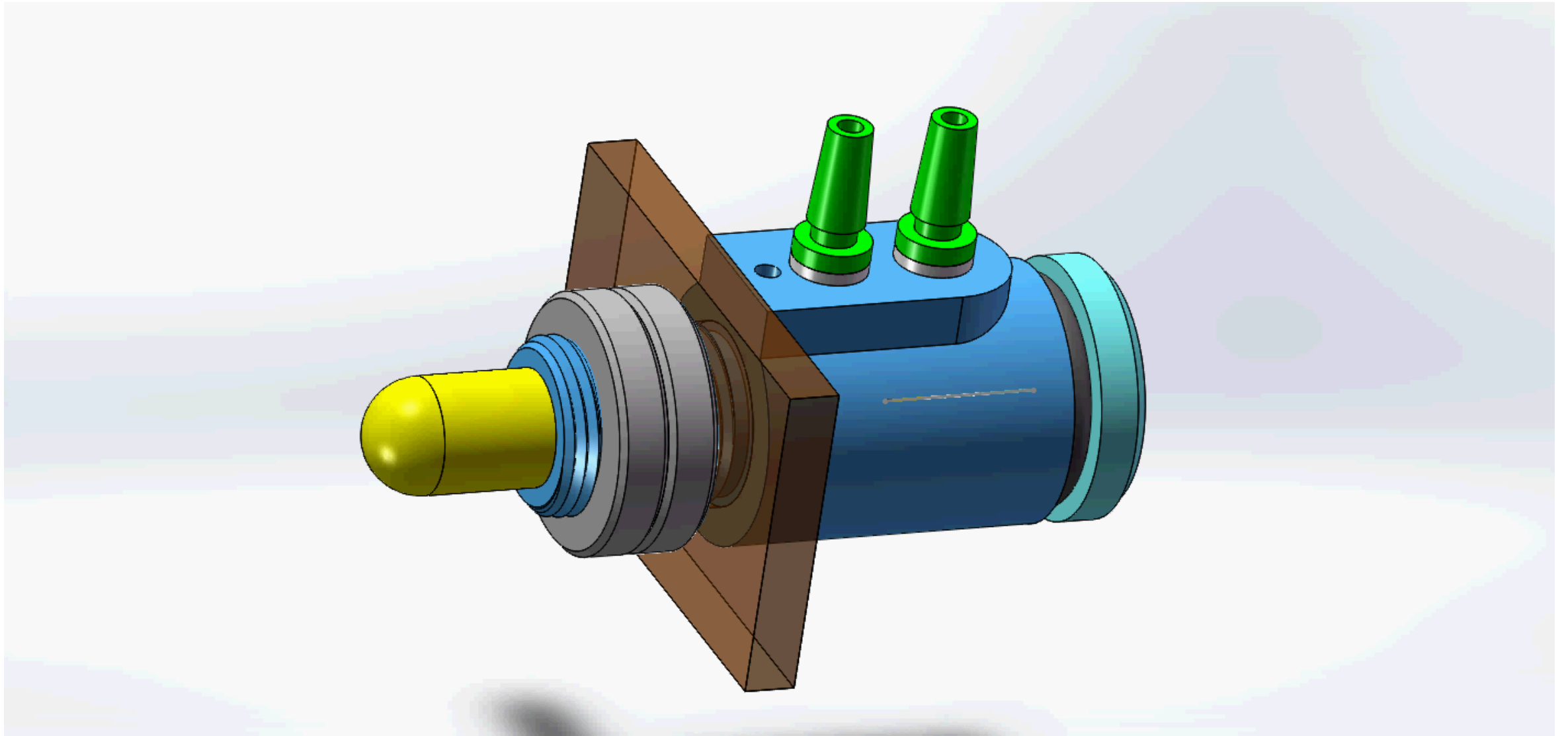
■ 研究内容：

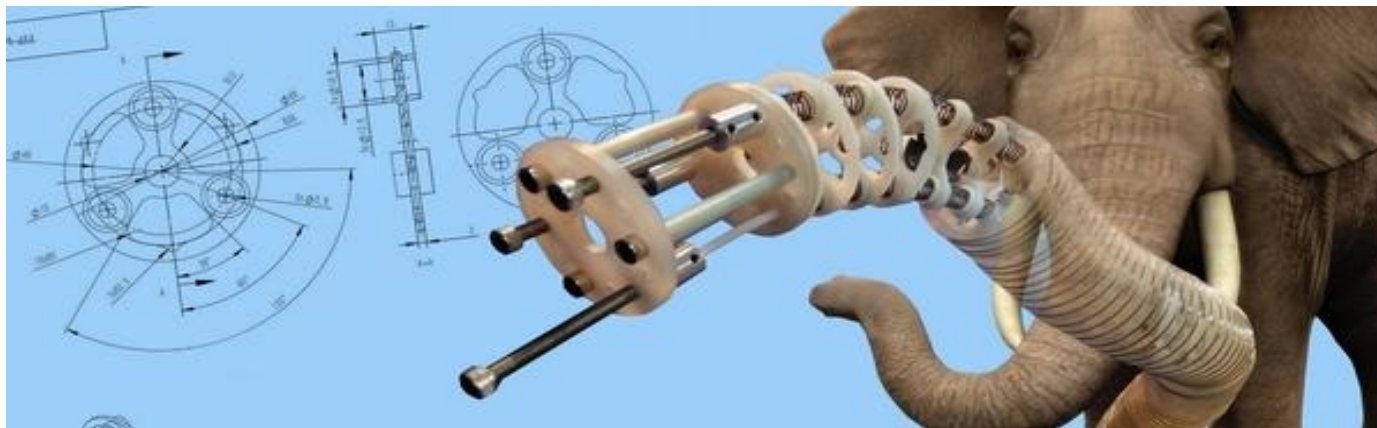


3.学习目标

- 掌握**投影法**的基本理论和作图方法
- 培养以**图形**为基础的**形象思维能力**
- 培养**阅读和绘制简单工程图样**的基本能力
- 了解**计算机设计绘图手段**
- 培养**工程素质**







**多自由度柔性
仿象鼻机械臂**



**拟人遥控操作
机器人手臂系统**

4.学习方法 (How?)

■ **1** 个中心 →

2D与3D的转换规律

投影分析与空间想象相结合

■ **2** 个基本点 →

基本概念

基本方法：投影分析方法

■ **3** 个要求 →

(听、做、看)

听课 (要求、重点、基本方法)

练习 (巩固提高)

观察 (多看模型, 图与模型对照)

5.教学安排

■ 教学学时：

■ 总学时：32

■ 学习评价

平时作业：15%

大作业：5%

计算机绘图：5%+5%

课堂表现及其它：5%

期末考试：65%

■ 资源

✓ 网络学堂：课件、习题答案等学习资源。

✓ 模型室：实物模型。

(地点：新水313 (周一至周五13:00—17:00))

✓ 答疑

- 提前预约，李兆基科技大楼A819或A803-3
南1门或南2门进
- 课程群内讨论

模型室



■ 教材

- 《工程制图》田凌、黄利平、杨小庆主编，电子工业出版社，2012年6月第一版
- 《工程制图习题集》田凌、许纪旻主编，电子工业出版社，2012年6月第一版
- 《补充习题》

■ 教学进度安排

第1周	绪论；点和直线的投影； 点线关系；两直线的相对位置	第9周	机件的表达方法一：基本视图与 辅助视图、全剖、半剖
第2周	平面投影；平面上的点 线面、面面相对位置	第10周	机件的表达方法二：局部剖、断 面剖、规定画法与简化画法、尺 寸标注；Solidworks介绍
第3周	基本体的三投影	第11周	五一放假
第4周	平面体和回转体的截切	第12周	Solidworks上机
第5周	平面体和回转体的相贯	第13周	螺纹及连接件
第6周	轴测图，AutoCAD介绍	第14周	零件图；表面结构
第7周	AutoCAD上机	第15周	公差配合；装配图简介
第8周	组合体	第16周	总结及答疑

课程要求

1. 规范作图

- 用铅笔、尺规准确作图，字迹工整
- 粗细线型分明，保留辅助线

2. 按时交作业，有错必改，**作业全部保留**

3. 上课携带：教材、习题集、绘图工具

■ 绘图仪器

- 透明三角板一对（ 45° 和 30° 各1）
- 圆规一个，分规一个（可选）；
- 铅笔2支：细线（H or HB），粗线（HB or B）
- 橡皮，削笔刀
- 其它不限



3D如何用2D表达？

几何元素的投影

(一) 投影的概念及分类

- 投影的概念
- 投影的分类

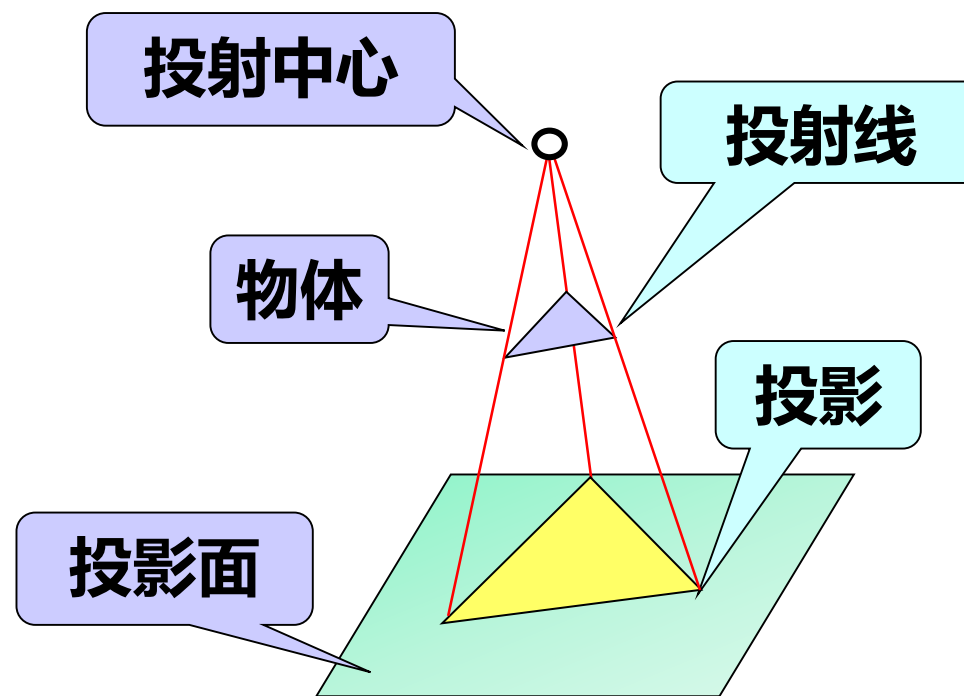
(二) 点的投影

(三) 直线的投影

投影的概念

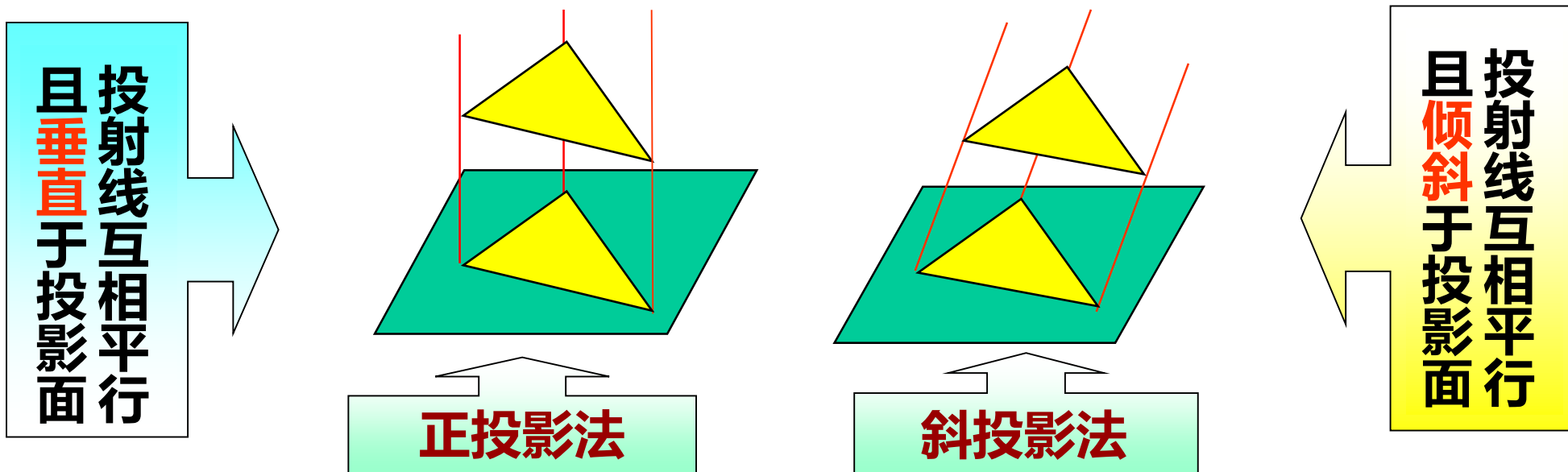
中心投影法

投影特性



投射中心、物体、投影面三者之间的相对距离对投影的大小有影响。

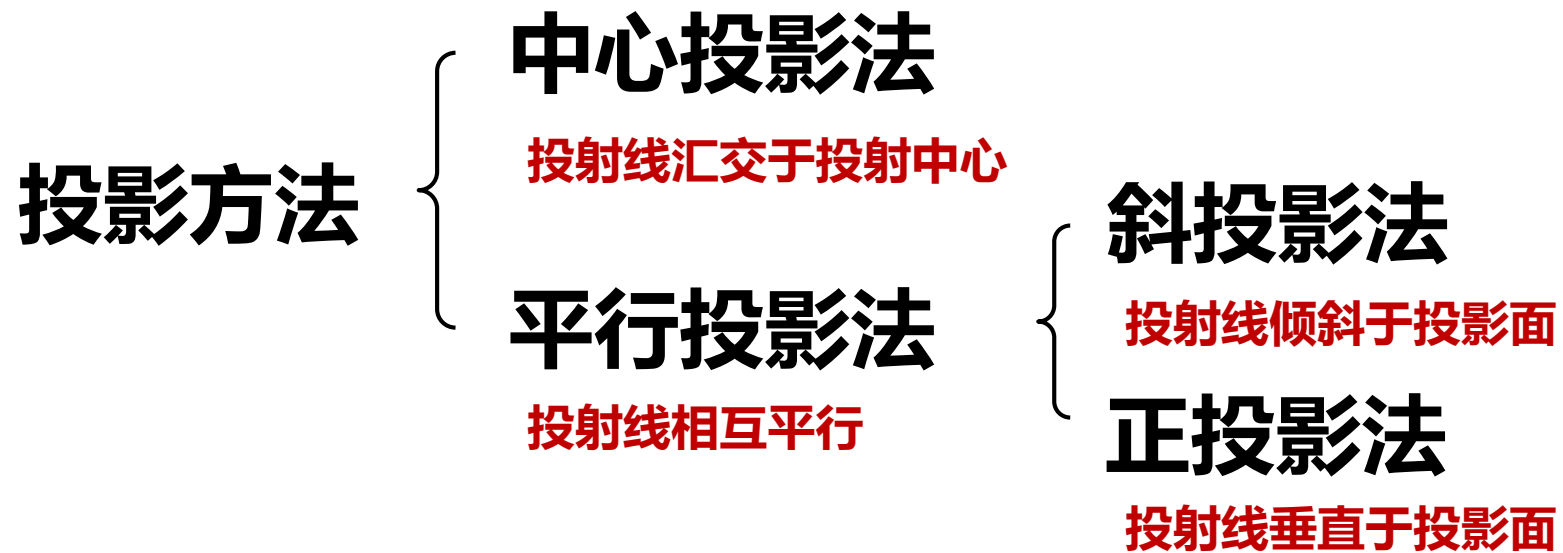
平行投影法

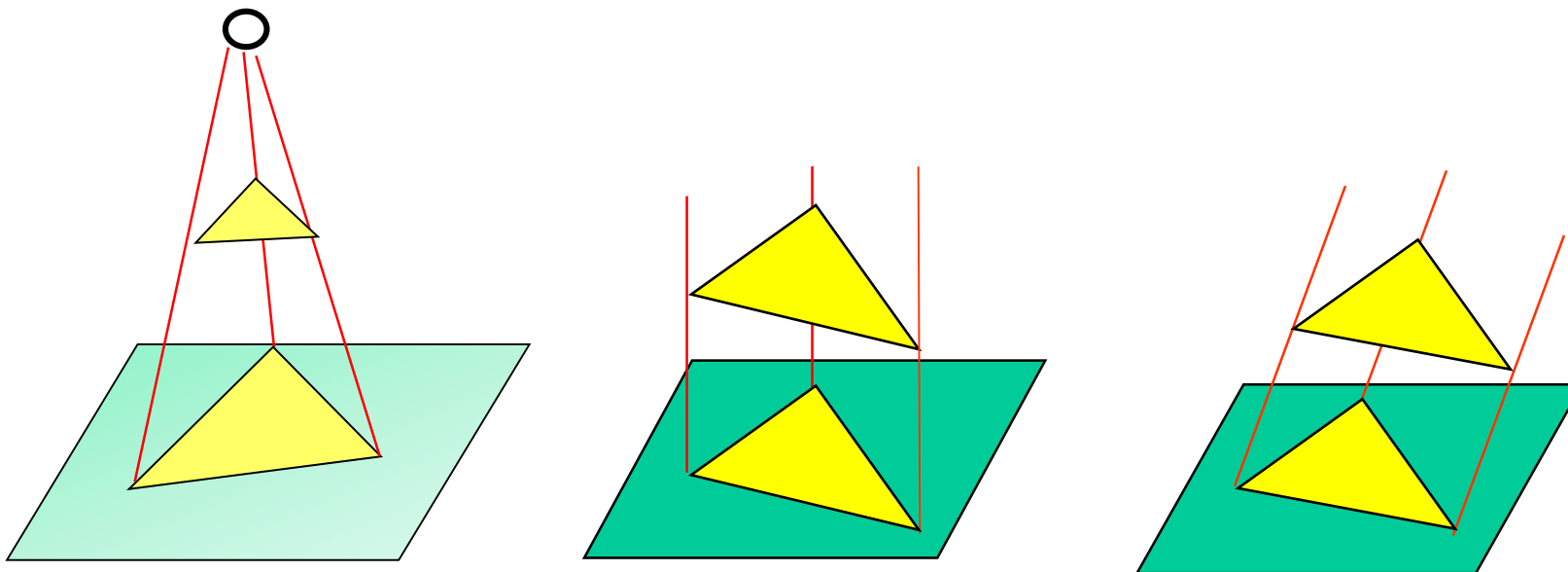


投影特性

投影大小与物体和投影面之间的距离无关。

投影分类





共同点（产生投影必须具备的条件）

投射线

投影面

物体

投影三要素

如无特殊说明，本课均使用正投影法

几何元素的投影

(一) 投影的概念及分类

(二) 点的投影

- 点的投影特性

- 两点的相对位置

(三) 直线的投影

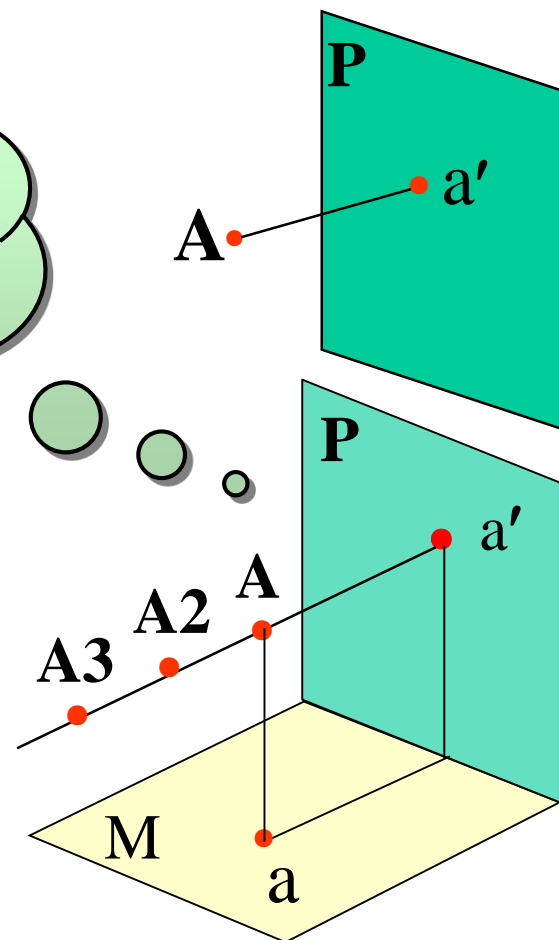
一、点在一个投影面上的投影

点在一个投影
投影不能确定点
置。

点的一个投影能
确定点的空间位置
吗？

如何解决？

多面投影



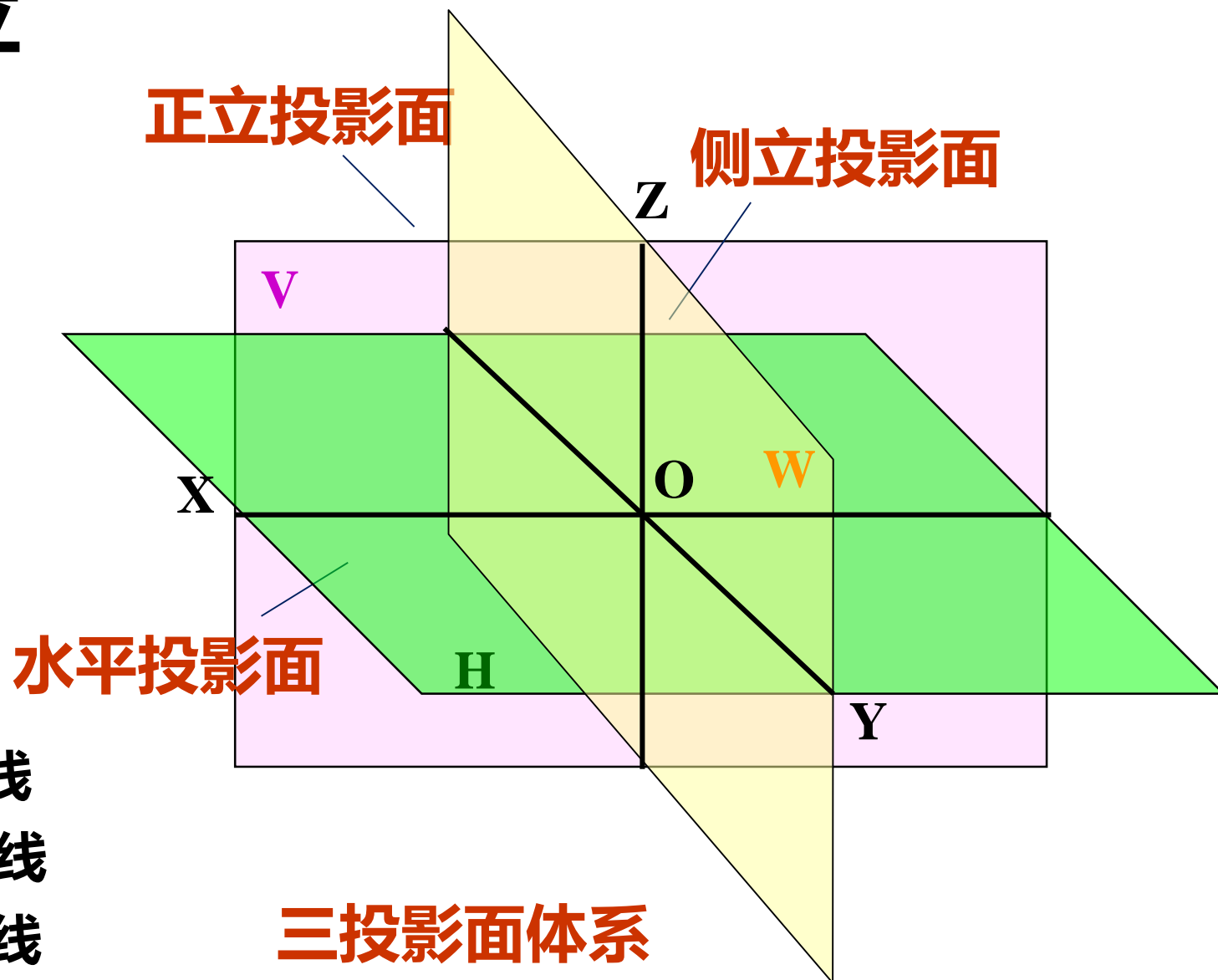
投影面体系的建立

投影面

- ◆正立投影面
(简称**正面**或**V面**)
- ◆水平投影面
(简称**水平面**或**H面**)
- ◆侧立投影面
(简称**侧面**或**W面**)

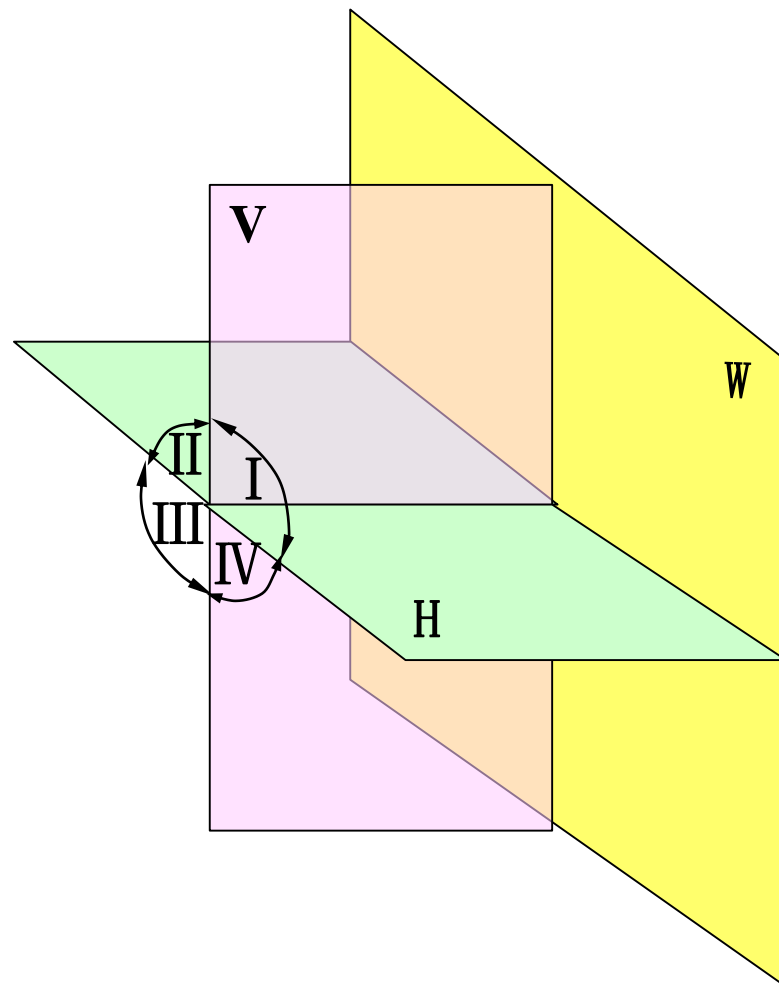
投影轴

- OX轴 V面与H面的交线
OY轴 H面与W面的交线
OZ轴 V面与W面的交线

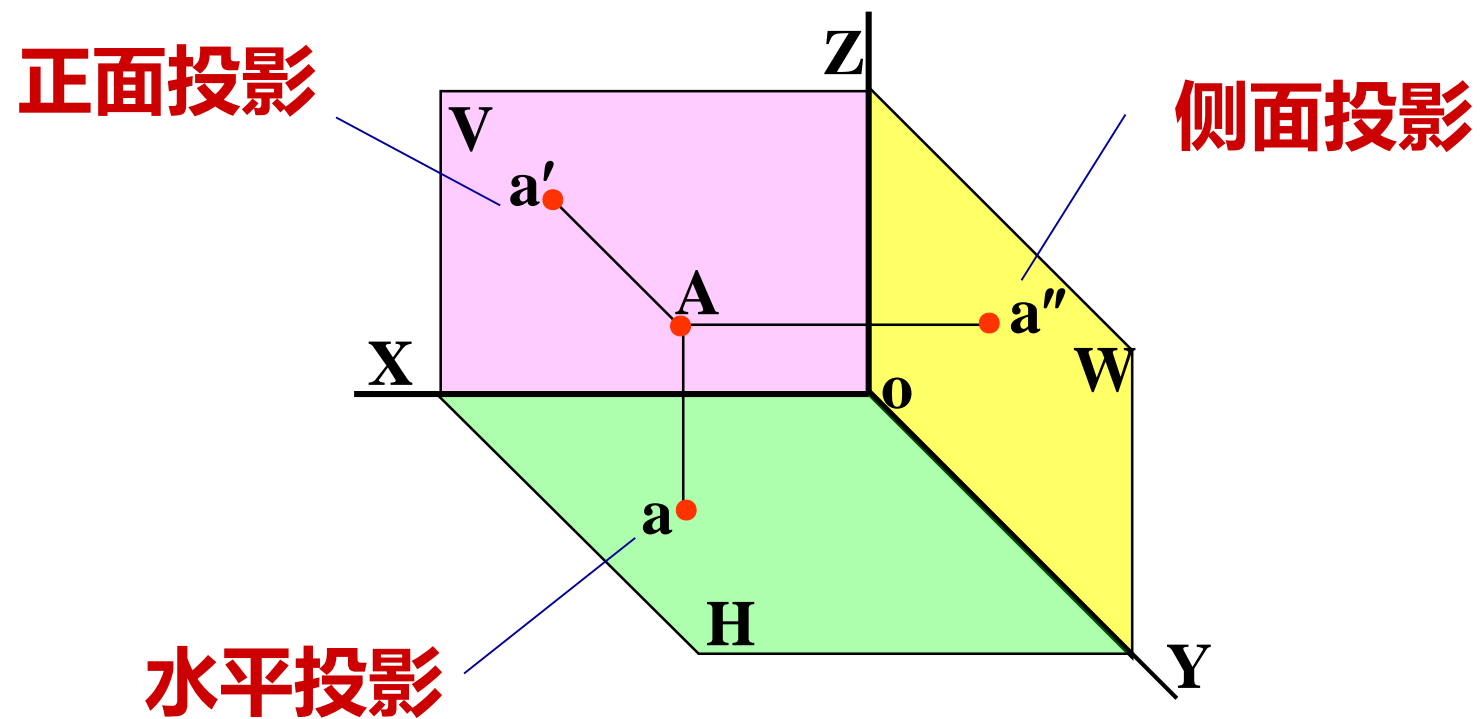


将物体放在第一角，使其处在观察者和投影面之间进行投射。

——**第一角投影法**

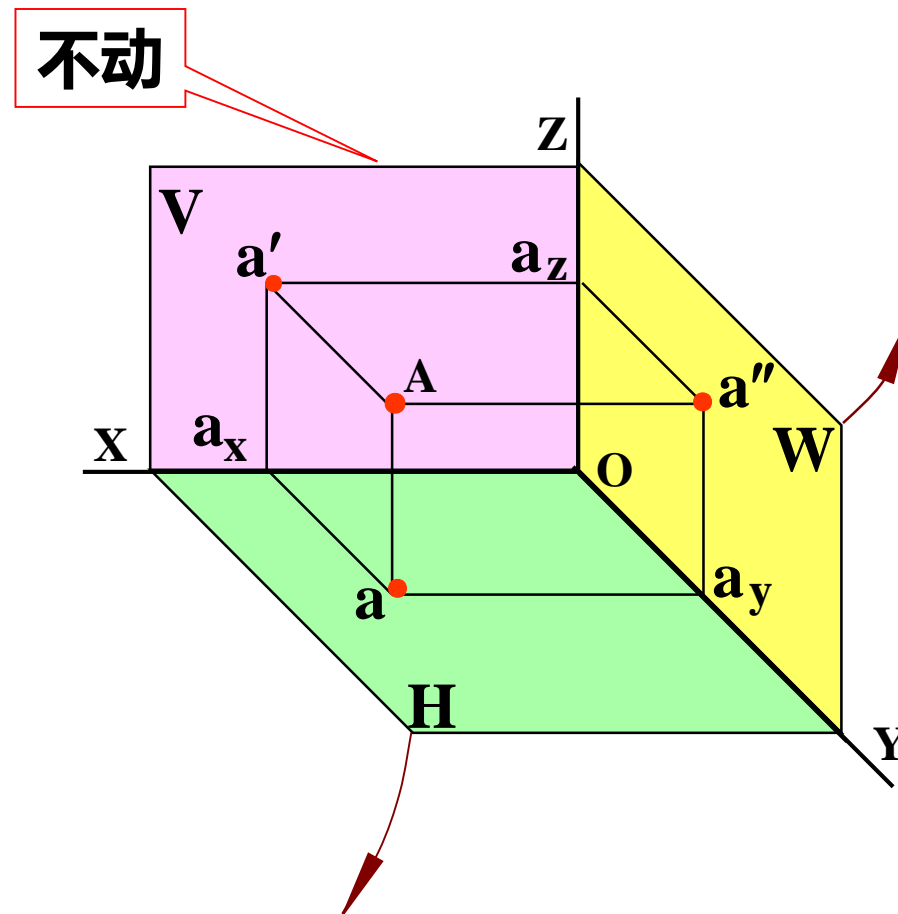
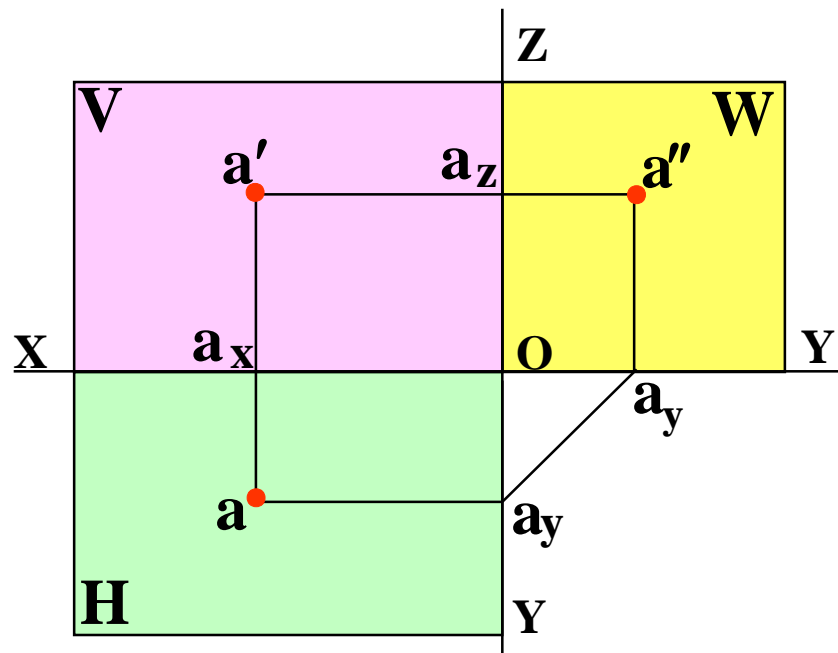


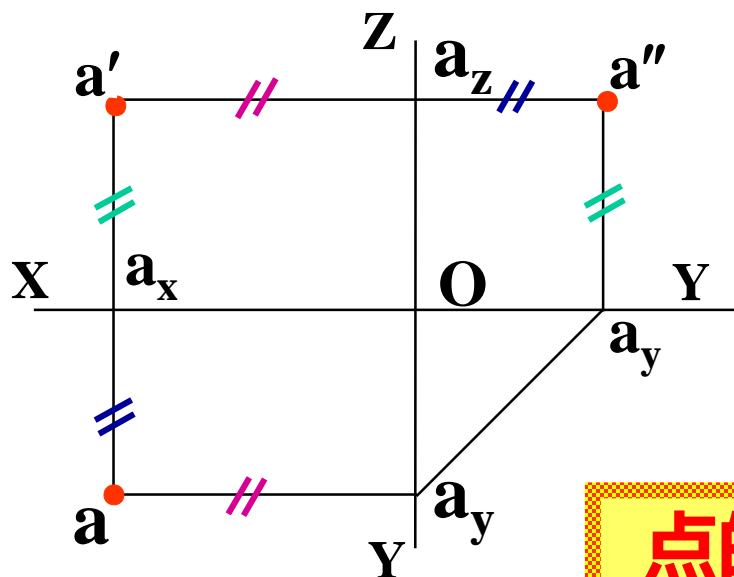
二、点的三面投影



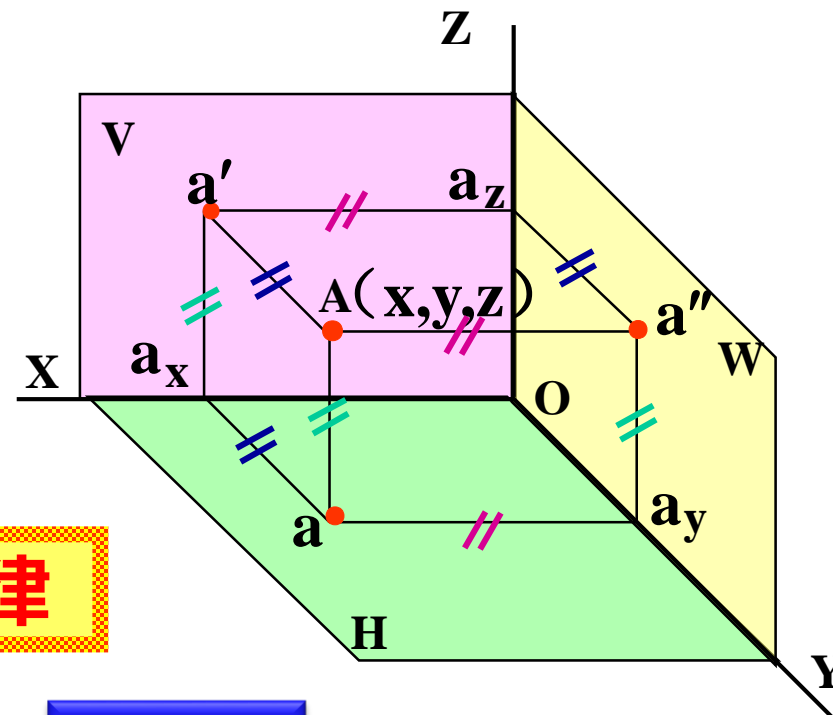
注意投影的描述

投影面展开





点的投影规律



① $a'a \perp OX$ 轴 $a'a'' \perp OZ$ 轴

两垂直

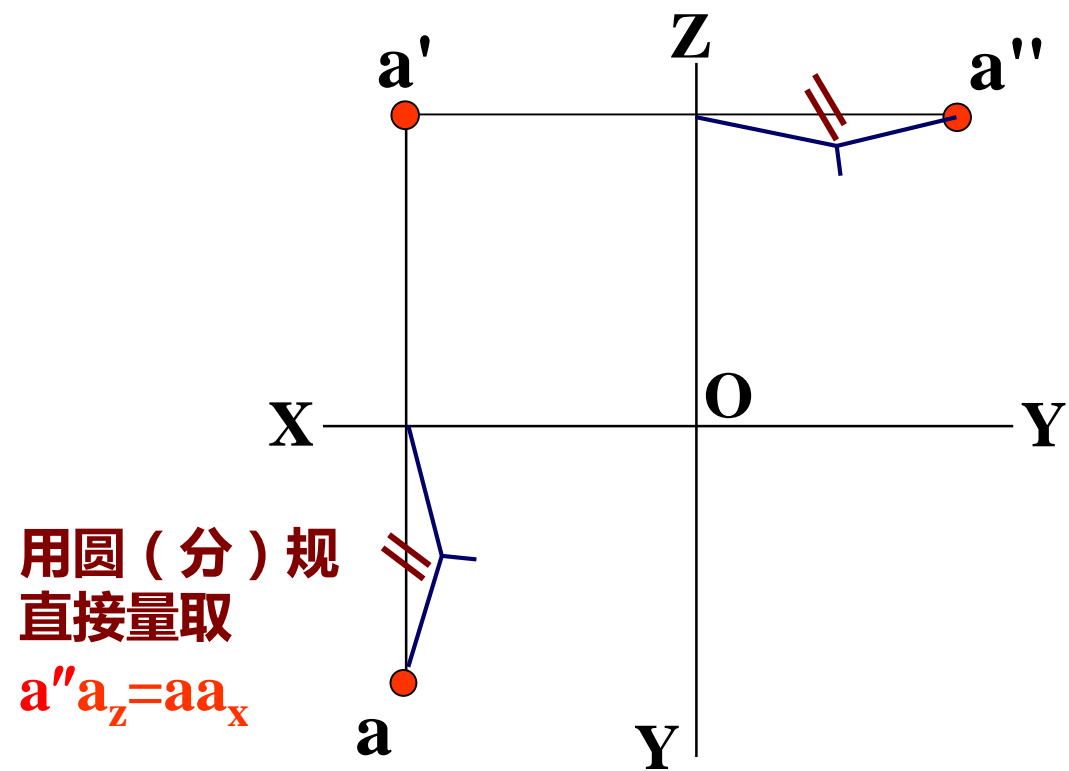
② $a'a_x = a''a_y = Aa$ (A到H面的距离) = z

$a'a_z = aa_y = Aa''$ (A到W面的距离) = 三相等

$aa_x = a''a_z = Aa'$ (A到V面的距离) = y

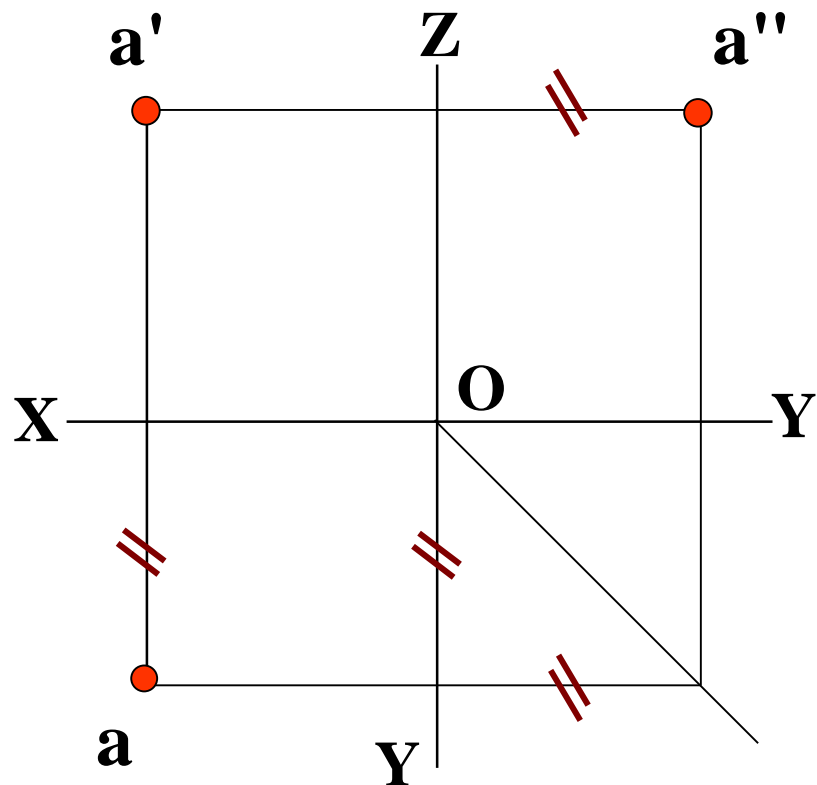
将投影轴当作坐标轴
将投影面当作坐标面

例1：(点的二求三)已知点A的两个投影，求第三投影。

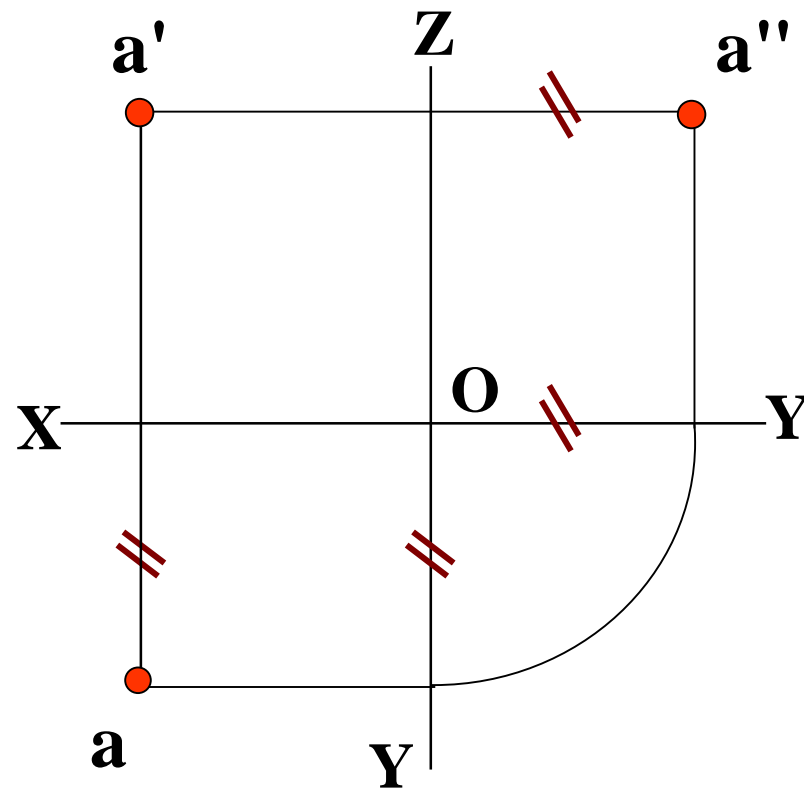


例1：(点的二求三)已知点A的两个投影，求第三投影。

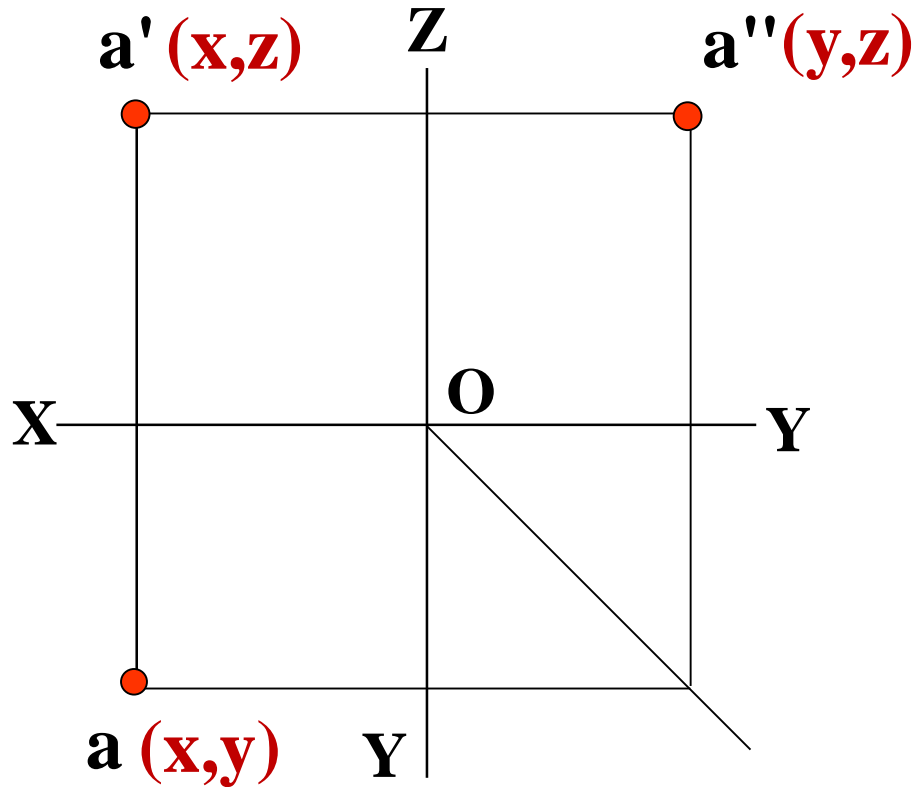
作45°分角线



作1/4圆弧



研讨：由点A的三个投影，能否得到A点的坐标？

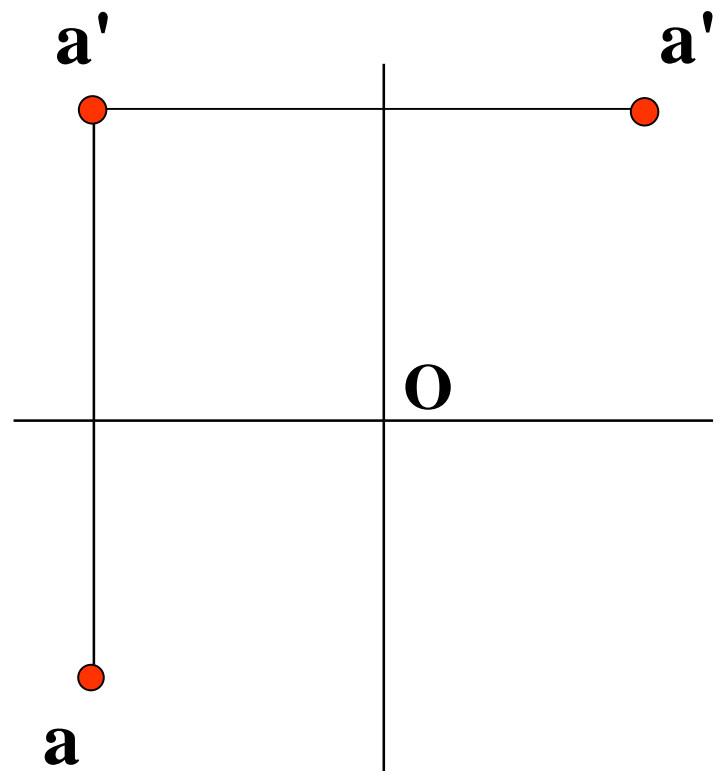
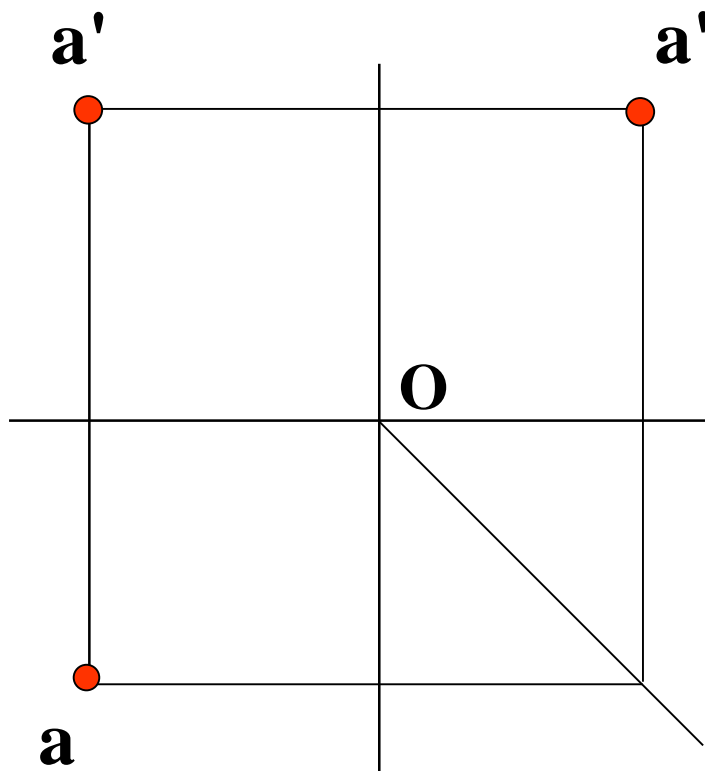


结论：

**已知点的任意两个投影，
一定能得到其坐标值！**

**已知点的空间坐标，一
定能画出其投影图！**

研讨：已知点的任意两个投影，求其第三投影？

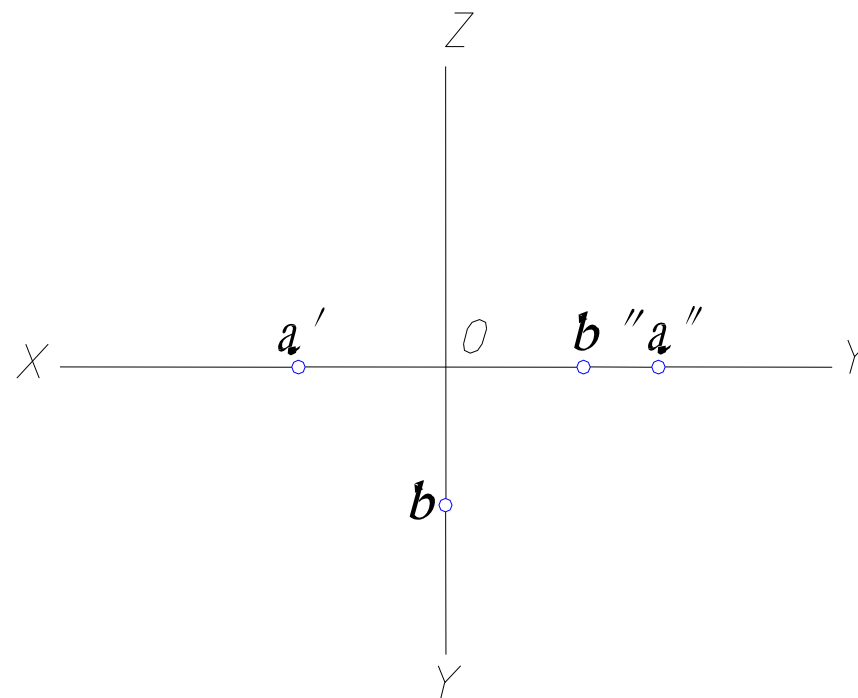


结论：

已知点的任意两个投影，一定能求出其第三投影！

已知点A和点B的两个投影，问：A点的空间位置有何特点？B点呢？

- ☐ A A在XOY面内，B在OX轴上
- ☐ B A在OX轴上，B在OY轴上
- ☒ C A在XOY面内，B在OY轴上
- ☐ D A在OX轴上，B在OX轴上



解决两类问题：

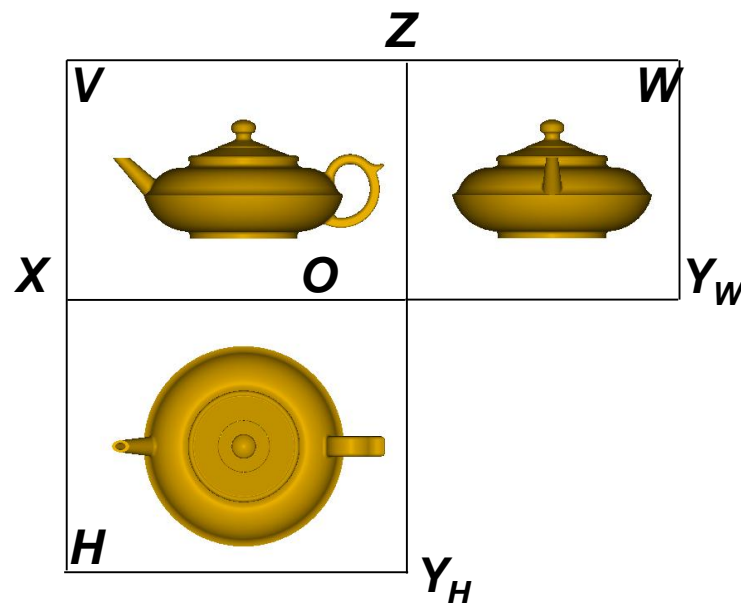
- 1. 已知点的任意两个投影，求解第三投影。**
- 2. 点的投影与点的空间坐标的互求问题。**

三、两点的相对位置

两点的相对位置指两点在空间的**上下、前后、左右**位置关系。

方位关系:

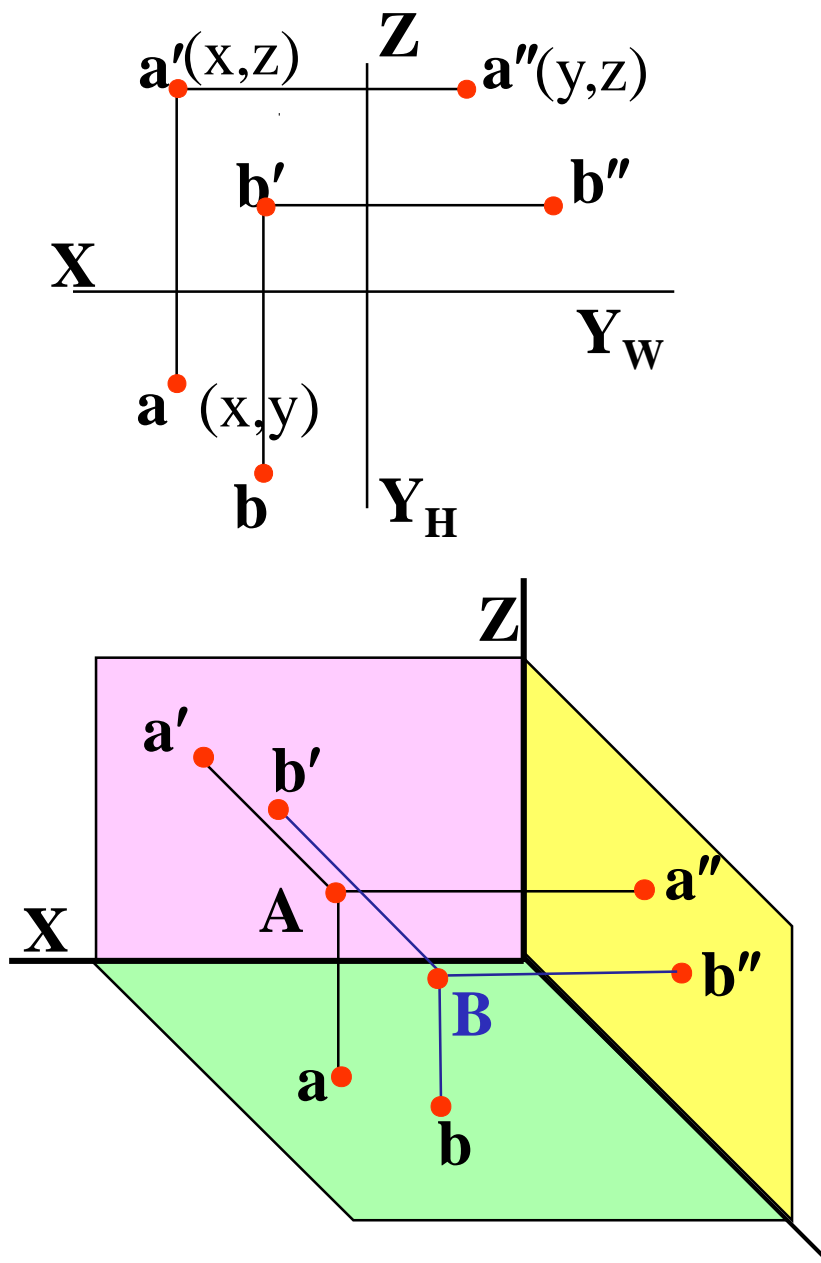
距观察者近的方位: 前、左、上



判断方法：

- ▲ x 坐标大的在左
- ▲ y 坐标大的在前
- ▲ z 坐标大的在上

B在A之下、之前、之右



四、重影点及可见性

1.重影点：

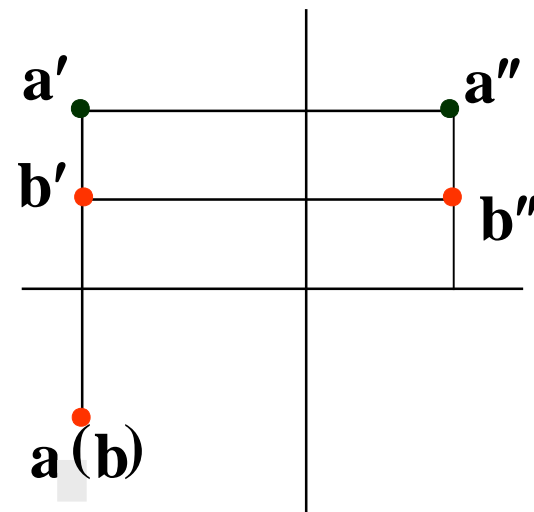
空间两点在某一投影面上的投影重合为一点时，则称此两点为该投影面的重影点。

2.可见性

在投影中，若出现重影点，则距观察者近的点为可见点；远离观察者的点为不可见点。

3.表示方法

不可见点的投影加圆括号表示。



A, B为H面的重影点

几何元素的投影

(一) 投影的概念及分类

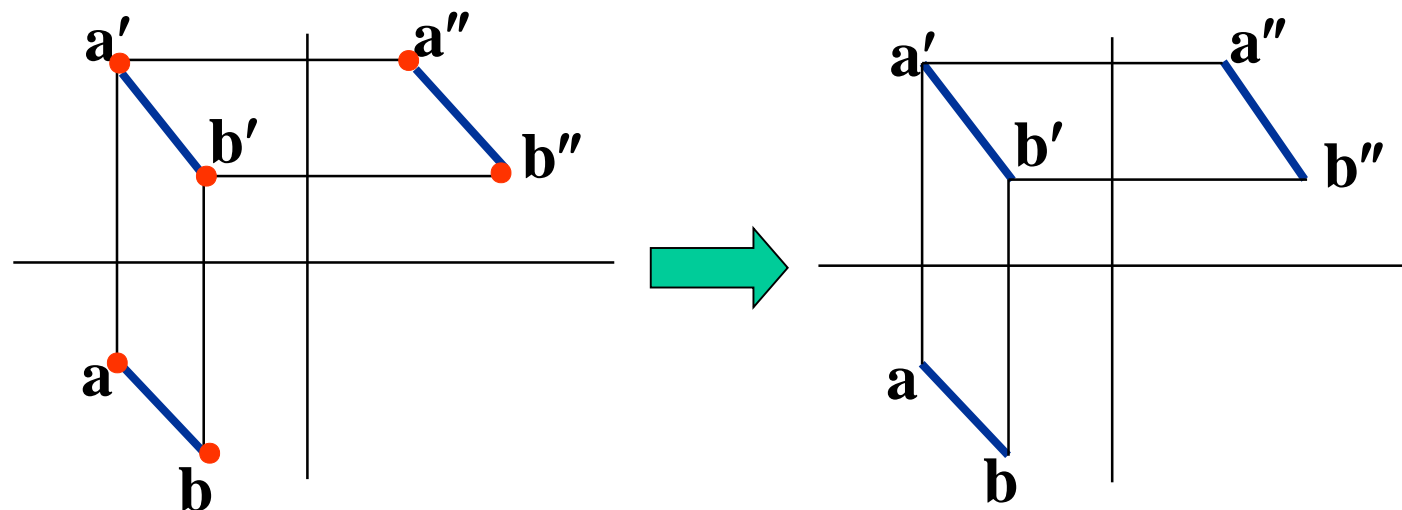
(二) 点的投影

(三) 直线的投影

- 直线的投影特性
- 直线与点的相对位置
- 两直线的相对位置

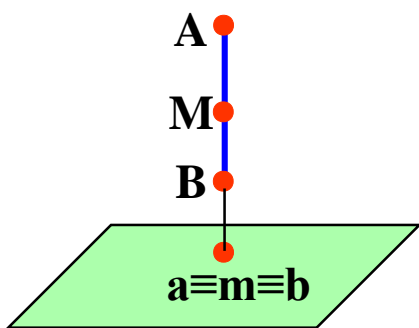
直线的投影

两点确定一条直线，将两点的**同面（名）投影**用直线连接，就得到直线在该投影面的投影。



一、直线的投影特性

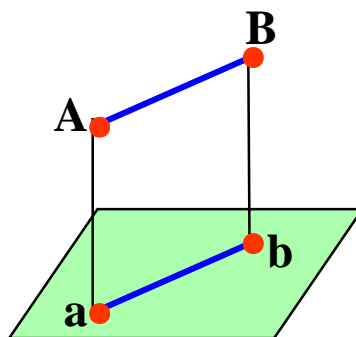
1) 直线对一个投影面的投影特性



垂直

直线垂直于投影面
投影重合为一点

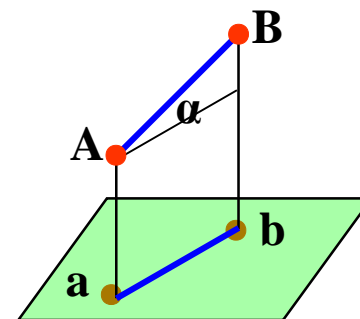
积 聚 性



平行

直线平行于投影面
投影反映线段实长

实 长 性



倾斜

直线倾斜于投影面
投影比空间线段短

$ab = AB \cos \alpha$

2) 直线在三个投影面中的投影特性

投影面平行线

正平线 (平行于 **V** 面)
侧平线 (平行于 **W** 面)
水平线 (平行于 **H** 面)

平行于某一投影面而
与其余两投影面倾斜

统称特殊位置直线

投影面垂直线

正垂线 (垂直于 **V** 面)
侧垂线 (垂直于 **W** 面)
铅垂线 (垂直于 **H** 面)

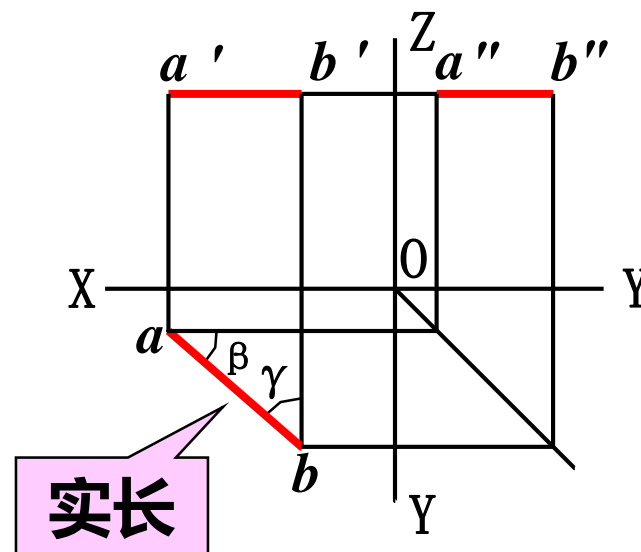
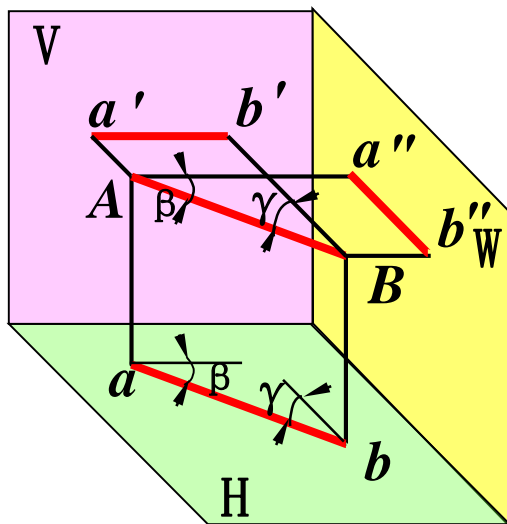
垂直于某一投影面

一般位置直线

与三个投影面都倾斜的直线

(1) 投影面平行线

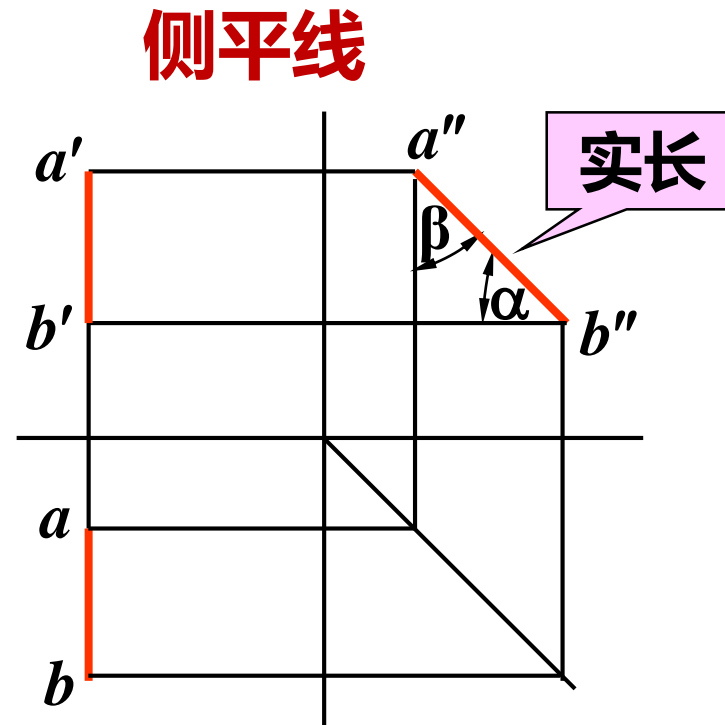
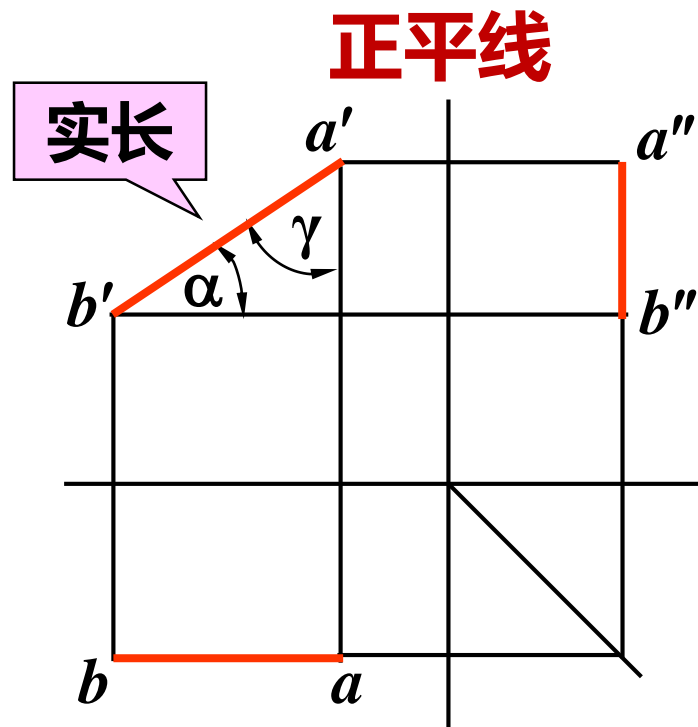
水平线



直线与投影面夹角的表示规定：

与H面的夹角： α ；与V面的夹角： β ；与W面的夹角： γ

判断下列直线是什么位置的直线？

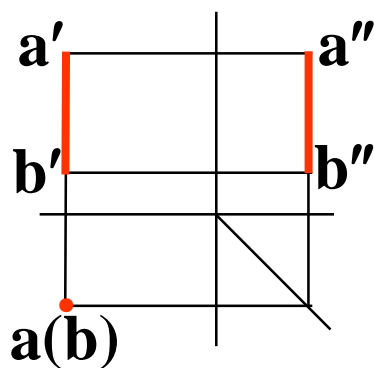


投影特性：

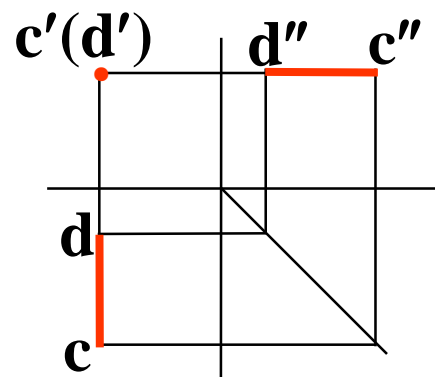
- ① 在其平行的那个投影面上的投影反映**实长**，并反映直线与另两投影面**倾角的实际大小**。
- ② 另两个投影面上的投影**平行于相应的投影轴**，其到相应投影轴距离反映直线与它所平行的投影面之间的距离。

(2) 投影面垂直线

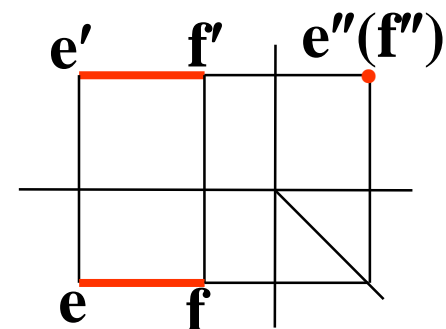
铅垂线



正垂线



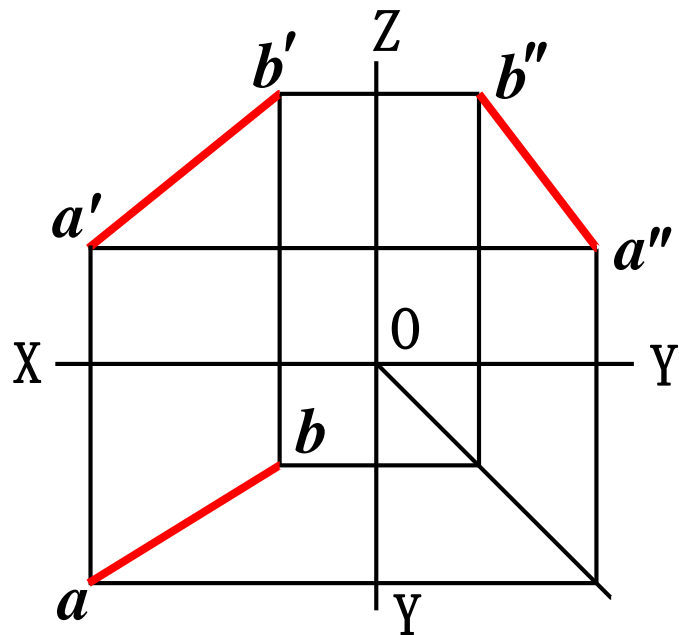
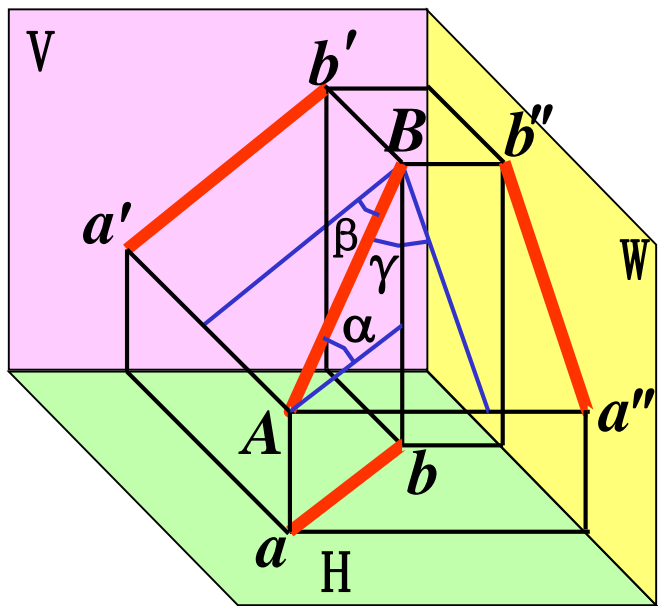
侧垂线



投影特性:

- ① 在其垂直的投影面上，投影有积聚性。
- ② 另外两个投影，反映线段实长。且垂直于相应的投影轴。

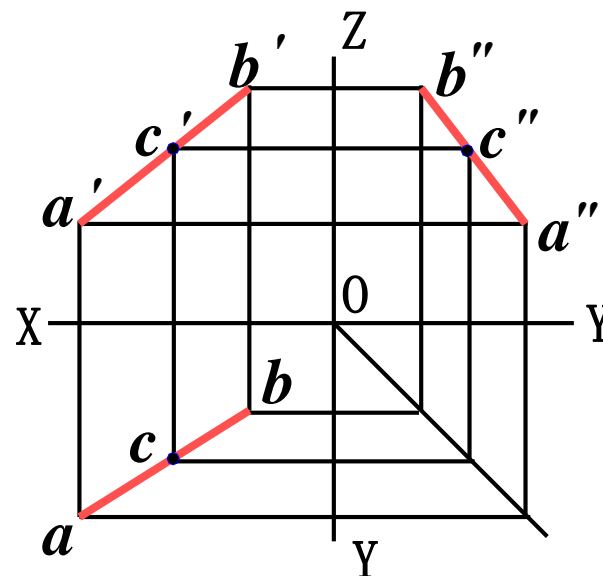
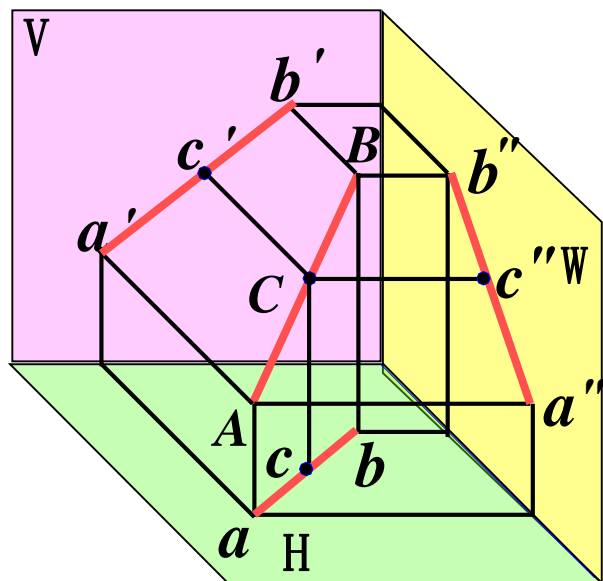
(3) 一般位置直线



投影特性

三个投影都缩短。即：都不反映空间线段的实长及与三个投影面夹角的实际大小，且与三个投影轴都倾斜。

二、直线与点的相对位置



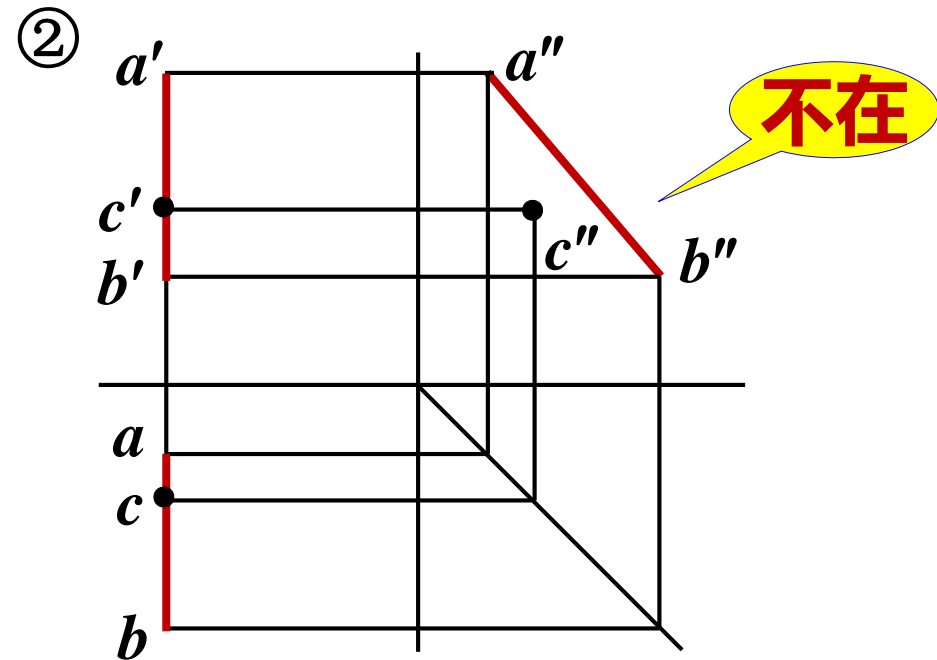
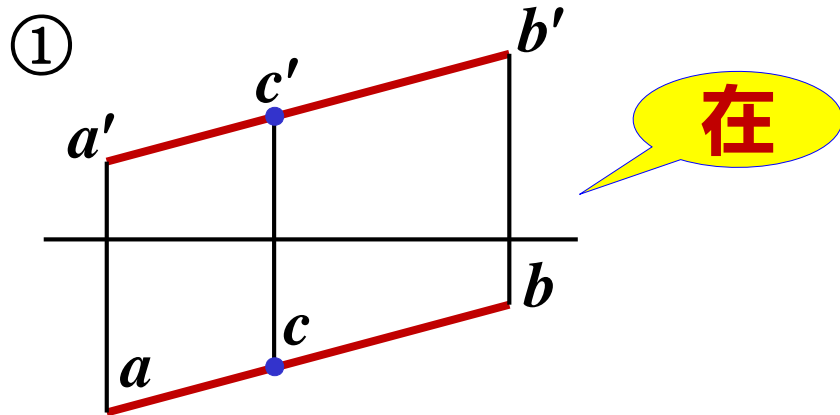
- ◆若点在直线上，则点的投影必在直线的同名投影上。
- ◆点的投影将线段的同名投影分割成与空间线段相同的比例。

即：

$$AC:CB = ac:cb = a'c':c'b' = a''c'':c''b''$$

定比定理

例1：判断点C是否在线段AB上。



应用定比定理

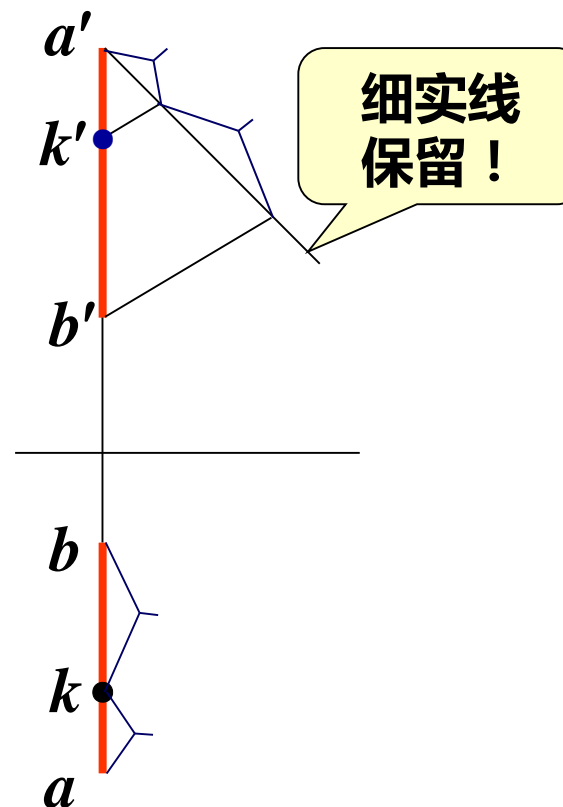
$$ac/cb \neq a'c'/c'b'$$

例2：已知点K在线段AB上，求点K正面投影。

解法一：
应用第三投影（略）

解法二：
应用定比定理

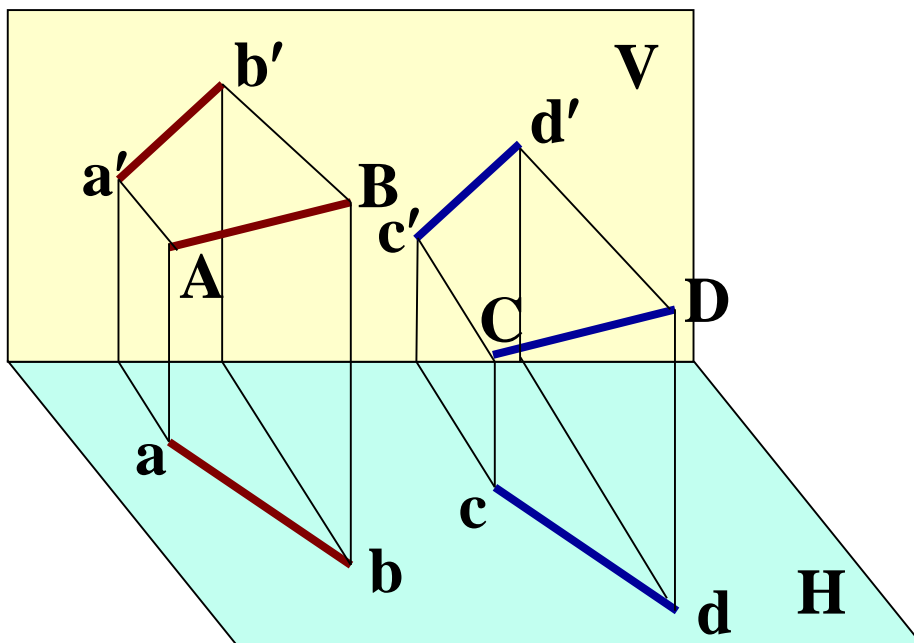
作图：利用相似三角形



三、两直线的相对位置

空间两直线的相对位置分为：**平行、相交、交叉。**

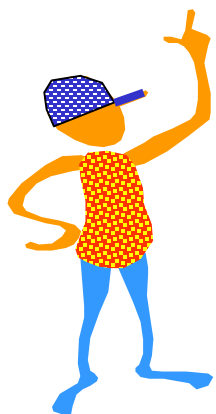
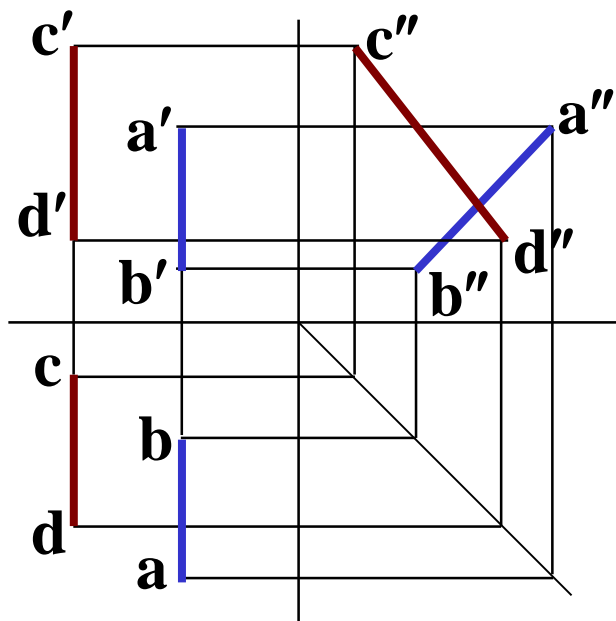
1) 两直线平行



投影特性

空间两直线平行，则
其各同名投影必相互平行，
反之亦然。

例：判断图中两条直线是否平行。



如何判断？

1) 求出侧面投影

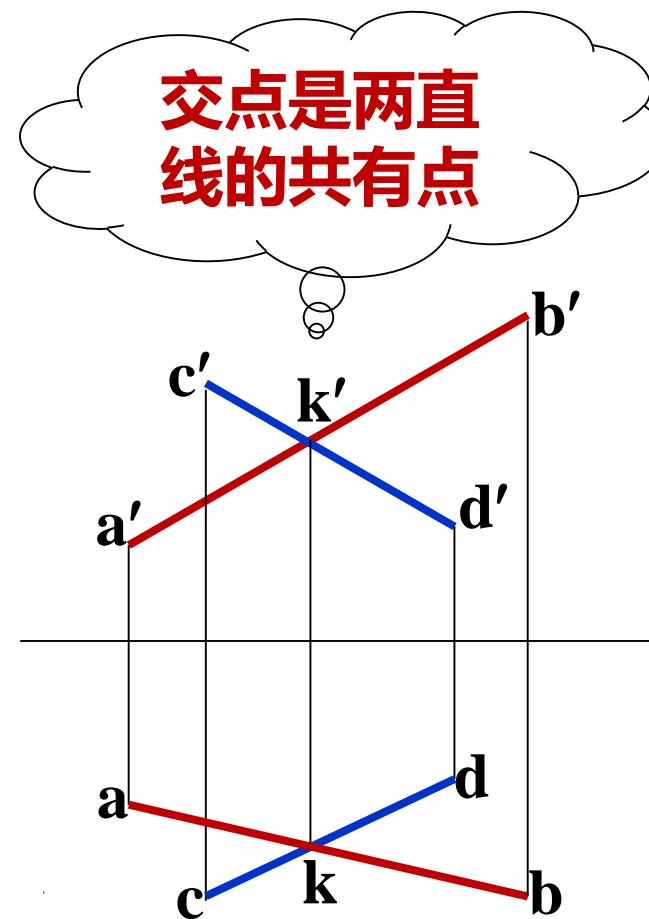
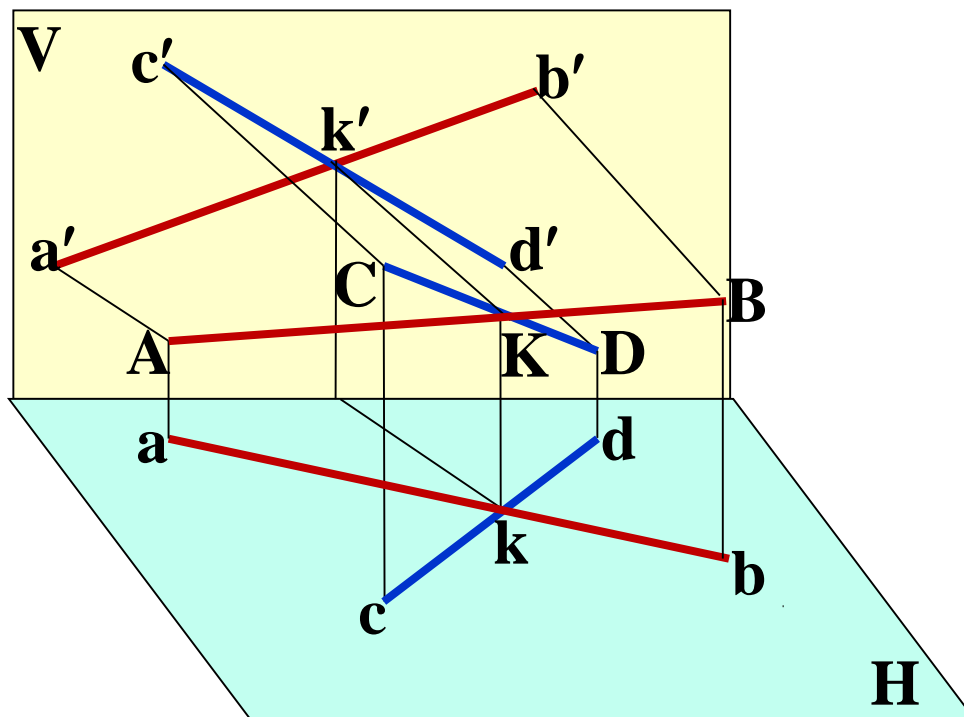
2) 摆出空间位置

A→B：上前→下后

C→D：上后→下前

AB与CD不平行

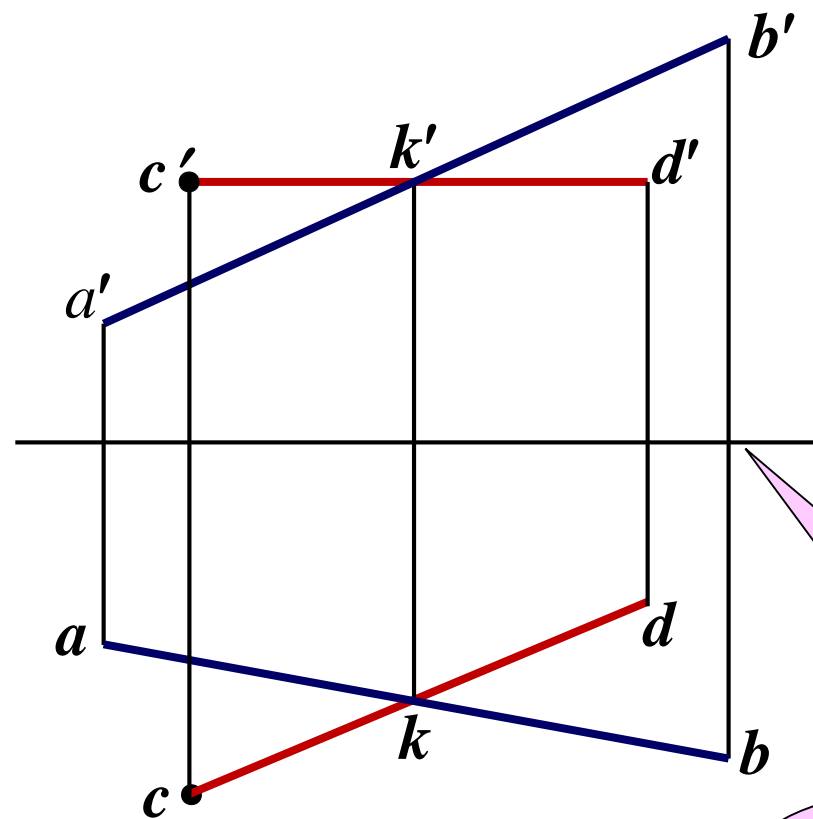
2) 两直线相交



判别方法：

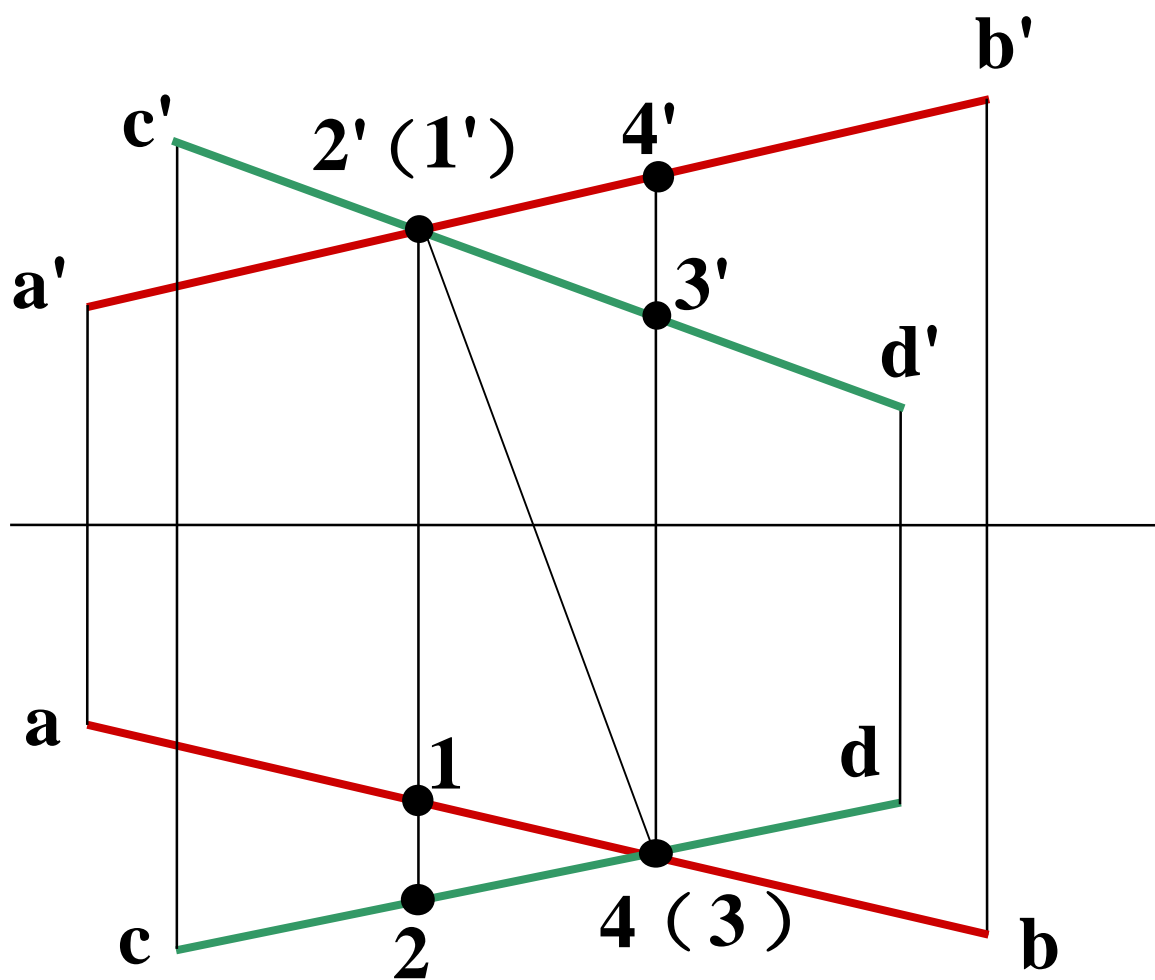
**若空间两直线相交，则其同名投影必相交，
且交点的投影必符合空间点的投影规律。**

例：过C点作水平线 CD 与 AB 相交。



先作正面投影

3) 两直线交叉



两直线相交吗？
投影特性

★ 同面投影可能相交，但“**交点**”不符合空间一个点的投影规律。

★ “**交点**”是两直线上的一对**重影点**的投影，用其可帮助判断两直线的空间位置。

I、II——V 面的重影点，
III、IV——H 面的重影点。

小 结

■ 投影的概念

■ 正投影

■ 点的投影

- 点在三投影面体系中的投影特性，“两垂直、三相等”
—— **注意 H面投影与W面投影的关系**

■ 直线的投影

- 直线的投影特性（特别是**特殊位置直线**）
- 点与直线的相对位置的投影特性，**定比定理**

■ 两直线的相对位置

- 两直线平行，其同名投影必平行。**注意两侧平线平行的判断方法。**
- 两直线相交，其同名投影必相交，且交点应符合**点的投影规律**。
- 两直线交叉，同名投影可能相交，但“交点”不符合空间一个点的投影规律。“交点”是两直线上**一对重影点**的投影。

自学：

第一章

本周作业:

P8 : 1 , 2 ;

P9 : 4 ;

P10 : 6 , 8 ;

P11 : 10 ;

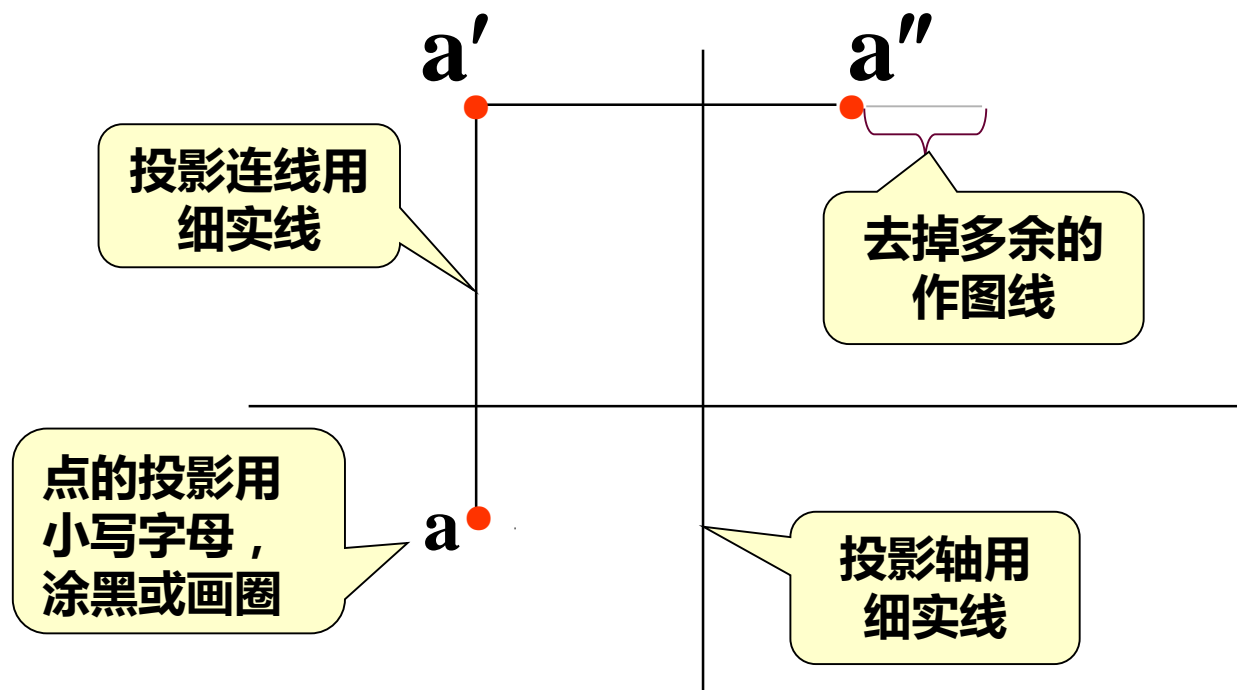
下次讲：

平面的投影；

线面和面面相对位置

- 本次交**P8 ~ 11** 页的作业，整齐裁剪，按顺序**装订好**，**每页填写**姓名、班级、学号。
- **周日下午2点前**课代表交到李兆基A803-3房间交给助教。

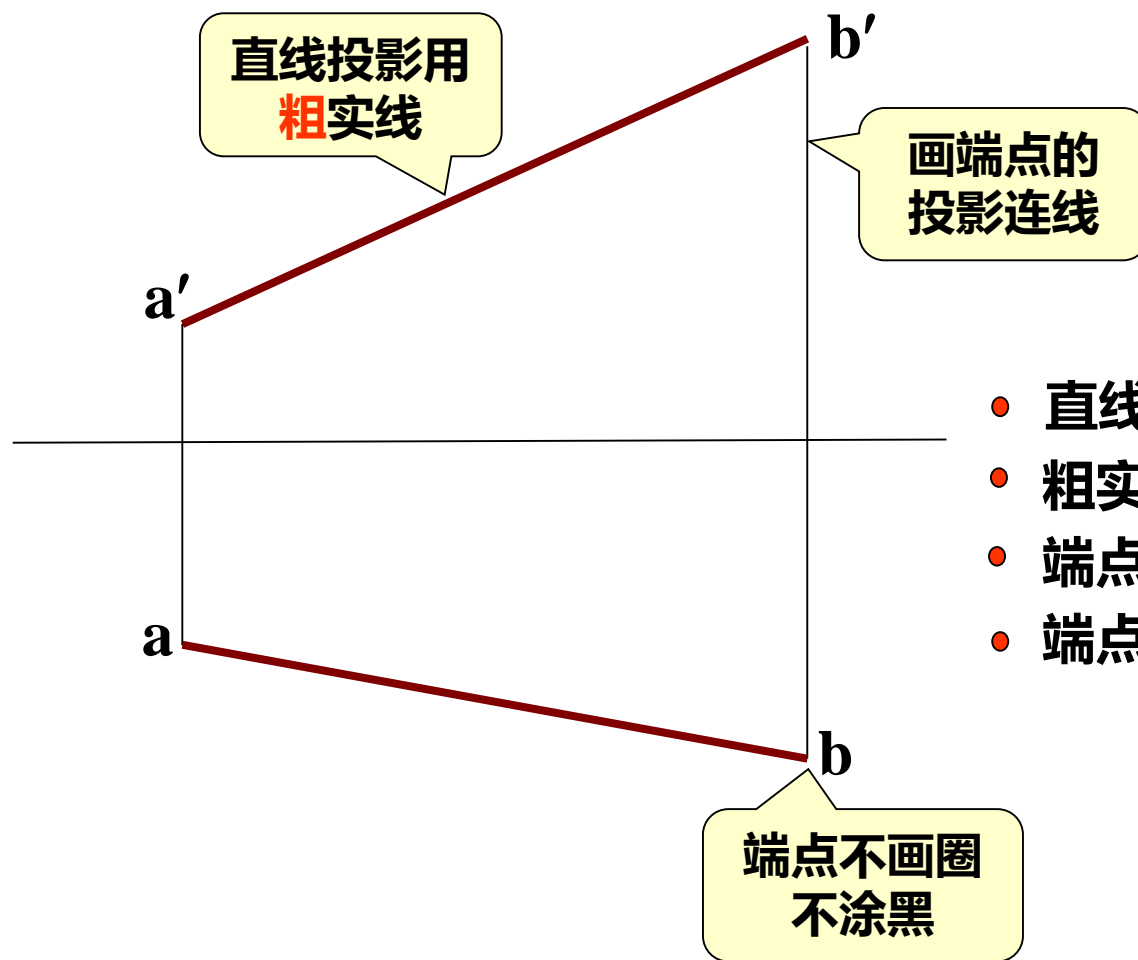
作业规范



点的投影 作图示例

- 全部用铅笔作图、书写
- 垂直线、平行线用两个三角板配合（**推平行线**）作图
- 图上单位一律为毫米（不标），比例按1：1度量。填表要完整。
- **保留必要的作图线，并去掉多余的线**

直线的投影作图示例



- 直线的投影用**粗实线**，线要画均匀
- 粗实线与细实线之比为2 : 1
- 端点要画出投影的连线
- 端点A，B不画圈、不涂黑

线型及应用：

图线名称	图线型式	图线宽度	一般应用
粗实线		d	可见轮廓线、可见过渡线
细实线		0.5d	尺寸线及尺寸界线、剖面线、重合断面的轮廓线、螺纹的牙底线及齿轮的齿根线、引出线、分界线及范围线、弯折线、辅助线、不连续的同一表面的连线、成规律分布的相同要素的连线
波浪线		0.5d	断裂处的边界线、视图和剖视的分界线
双折线		0.5d	断裂处的边界线、视图和剖视的分界线
虚线		0.5d	不可见轮廓线、不可见过渡线
点画线		0.5d	轴线、对称中心线、轨迹线、节圆及节线
双点画线		0.5d	相邻辅助零件的轮廓线、极限位置的轮廓线、坯料的轮廓线或毛坯图中制成品的轮廓线、假想投影轮廓线、试验或工艺用结构（成品上不存在）的轮廓线、中断线

字体（GB/T14691-1993）

图样上除有图形外还有较多的汉字、数字和字母，国家标准对图样中的字体基本要求是：

字体工整 笔画清楚 排列整齐 间隔均匀

字体的字号表示字的书写高度 h ，有**1.8、2.5、3.5、5、7、10、14、和 20**（mm）等字号，字宽一般为 $h/\sqrt{2}$ 。

图样中的汉字应写成**长仿宋体**，并采用国家正式公布的简化字。汉字的高度不应小于3.5mm。

长仿宋体字的书写要领是：

横平竖直 起落有锋 结构匀称 填满方格

字母和数字

图样中的字母和数字可写成斜体或直体，字母和数字分A型和B型，B型的笔画比A型宽。

斜体字字头向右倾斜，与水平基准线成75°。

用作指数、分数、极限偏差、注脚的数字及字母的字号一般应采用小一号字体。

A型大写斜体 *ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ*

A型小写斜体 *abcdefghijklmnopqrstuvwxyz*

A型斜体 *0123456789*

A型直体 0123456789

A型斜体 *I II III IV V VI VII VIII IX X*

A型直体 I II III IV V VI VII VIII IX X

好的开始是成功的一半！