

# 三维地图的机助制图试验\*

黄 伟

**【提要】** 作者指出三维地图正在逐渐得到广泛使用，其原因是：

1. 许多制图物体具有三维表面，而就制图手段而言，三维地图能显示所表示物体的本来面目。2. 从地图感受论来说，用透视方法制成的地图能较好地符合人们对实在的观察，因此这种地图具有更多的直观性而读者能便于获得具体印象。其次这种地图易于用机助制图方法制作。

本文中指出若干不同题材的三维地图例子。是在美国北达科他州立大学地理系实验室用 IBM 370/158 计算机和 Calcomp 自动绘图机用机助制图方法完成的。

随着机助制图的发展，三维地图（也称立体地图）被应用得越来越多，这类地图在一定程度上也颇得地图作者与地图读者的喜爱，其原因可能是：

1、由于许多制图物体几乎都具有三度空间的连续表面，按地图的表现手段来说，三维地图能够在某种程度上还制图物体的本来面目。

2、从地图的感受论来说，用透视方法制成的地图比较符合人们眼睛观察制图对象的实况，因而有着较强的直观性，容易使读者获得概念。

图 1 是表示中国地势的一幅立体地图，它不是用平面地图所惯用的水平透视的数学法则

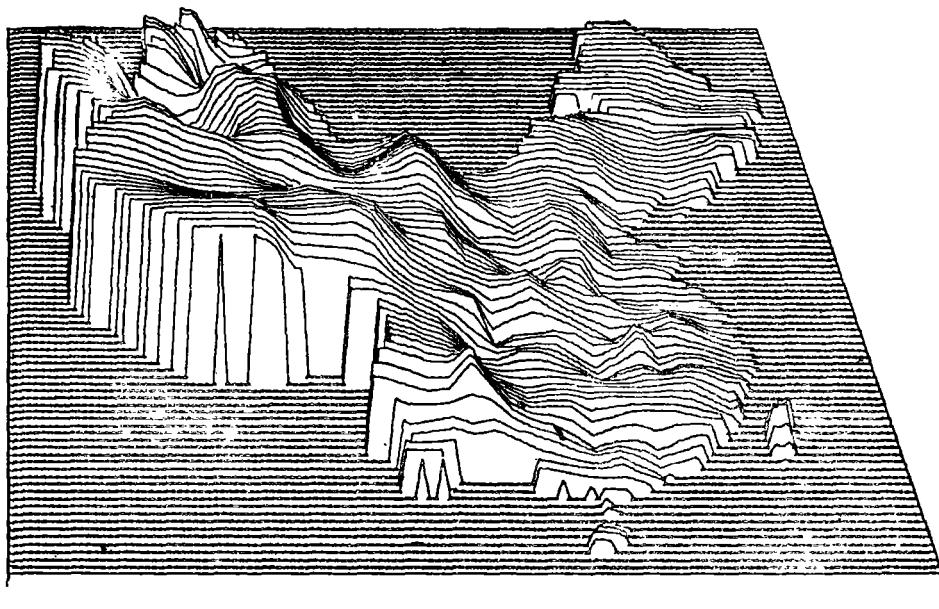


图 1 中国地势  
高度角 60° 方位角 0° 视点距离 25 厘米

\* 本文承美国北达科他州立大学地理系主任，教授张康聪博士审阅，谨致谢忱。试验工作中使用该校 TBM370/158 计算机，Calcomp 绘图机。

（视点在无穷远处，视线与制图平面垂直），而是采用倾斜透视的方法，仿佛让读者在中国大陆南方的高空俯视地势的全貌，其效果是显著的。

传统的二维平面地图采用南北定向，读者处在制图平面的正上方观察制图物体。而立体地图可以不受这样的约束，地图的作者依据制图的目的与地图的用途选择透视线的位置，使读者有机会在不同的高度，由不同的角度和距离观察制图对象，大大地提高了地图的使用价值和表达能力。

图2是在北方上空自北向南观察中国地势，它能给读者一种与图1不完全相同的感觉。

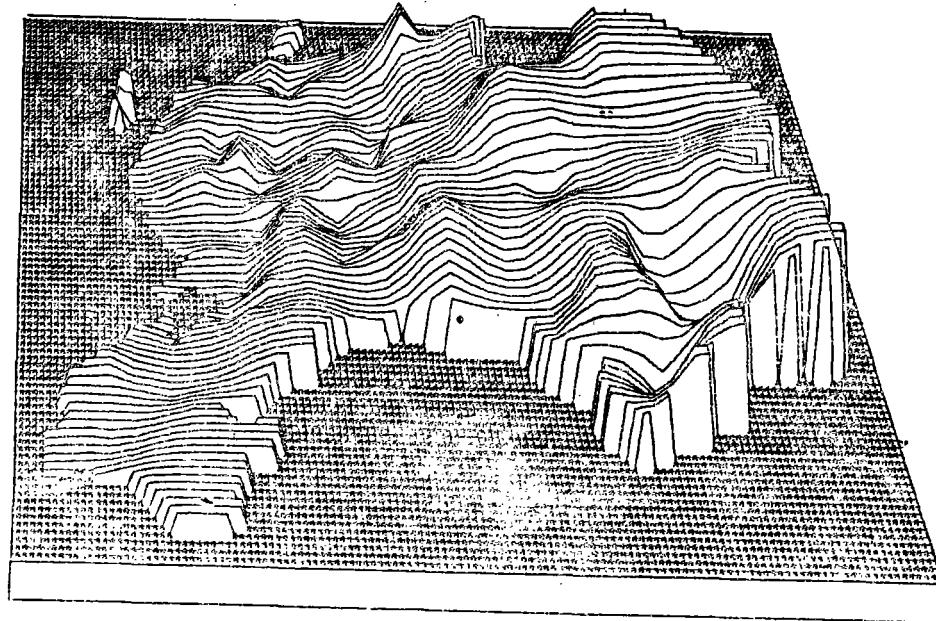


图2 中国地势

高度角 60° 方位角 180° 视点距离 25 厘米

如果按习惯的说法，中国的地势西高东低，由东向西为平原、丘陵与低山、中高山、高原而至世界屋脊，略似阶梯逐级上升，试验一下由东向西的观察也是很有意思的，图3就是为此目的而制成的图。

不难看出，如果想让读者能全面地，透彻地认识一个制图物体，用不同的透视角度的制图方法是一种可取的途径。当然，增大制图幅面，增加数据点（对地势图而言就是那些有地势特征的高程点），甚至还可以把地图由单色改为多色绘制，三维地图将会更详细，更生动。

从制图生产的工艺过程来看，用常规的制图方法制作严格符合某种数学法则的三维空间的立体地图是十分费时费力的，如果提出要对同一制图物体作不同方向的观察（地理学家、地质学家常有这样的要求），就意味着每一个被要求的观察方向都代表一幅新的地图，其制图工作量之大是完全可以想象得到的，因而也就很少有人愿意去尝试。

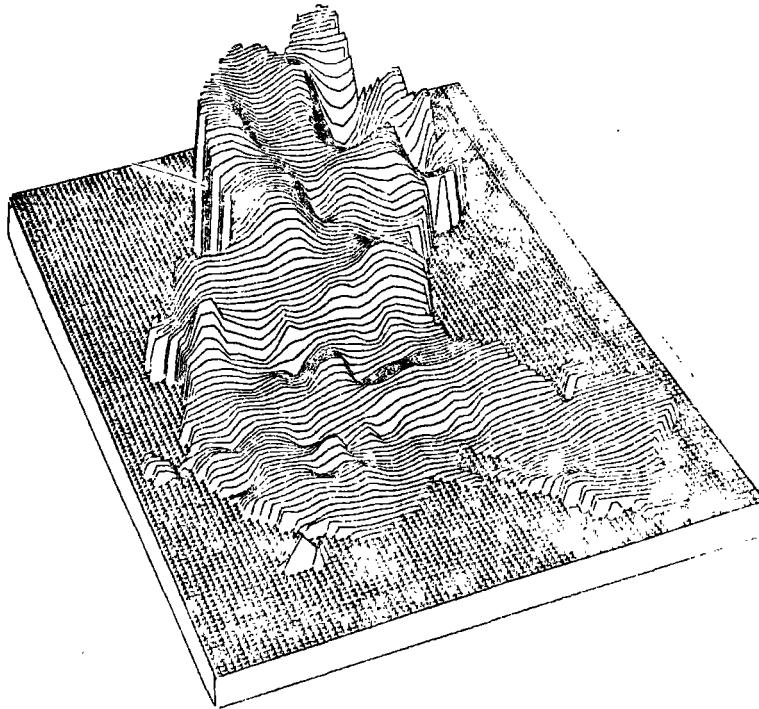


图 3 中国地势

高度角 60° 方位角 300° 视点距离 25厘米

但是，当表达物体三维空间制图的各种数学模式被解决之后，可以把大量的计算工作与机械的绘图过程编成某种适合电子计算机执行的运算程序以及由它操纵绘图机画图的绘图程序，由计算机与绘图机配合实现机助制图。软件程序一旦设计成功，即可作为基本程序（软件包）存储于计算机内长期使用而不竭。对于不同的制图区域、不同的制图表示方法，只需要对计算机输入不同的指令与已知制图数据即能达到。譬如希望从不同的角度观察制图物体而不打算改变地图的内容，则仅需利用指令对程序输入不同的透视方位角而实现。

三维地图的基本原理可以这样来叙述：

1、设想用一系列相互平行的平面与制图物体相截，而把所截得的交线视为物体第三维的空间表象。

于是在实践上把制图区域划分为一定的正方形或矩形网格，利用输入到制图区域内的已知数据点通过加权平均的计算方法算出各网格交点的Z值。

2、用垂直夸张的手段指定三维地图由各网格交点之中最大的Z值在制图时的投影高度，如前面所附的地势图指定了珠穆朗玛峰在图上表示高度为3.8厘米，其余各网格交点的制图高度便可以由投影公式按比例算出。

3、按一定的间隔依次联结属于同一平面的第三维的顶点，如平面S上的a, b, c, d, e, f, g等等，便得到一条表面交线，然后平面R，直至完成要求的各平面上的表面交线为止。在作这一步时要考虑到在前面平面的表面交线会遮挡一部分后面各平面上的表面交线，如R平面遮挡L平面。设计的绘图程序要具有一个判断的功能，要能够指示绘图机在

下笔与抬笔的动作中不要画出已被遮挡的交线部分，也就是消除隐藏线。因为隐现相辅相承，不隐即不可现，如果将应当隐藏的线条也全部画出（尤其是单色图），图幅内线条势必相互混杂，这样会降低甚致最终失去地图的可读性。

以上各点叙述也可以简单用图 4 表示。

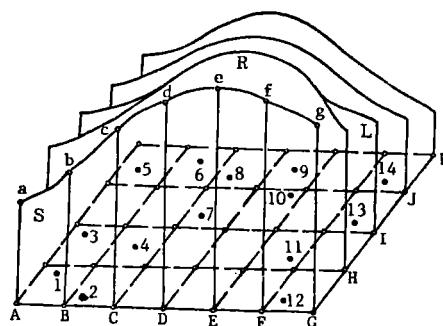


图 4

1, 2, 3…已知数据点

A, B, C…网格交点（结点）

aA, bB…投影高

abcdefg — 表面交线

表面交线可以用平行于 x 轴的一系列平面截出（图 5.a）也可以用平行于 y 轴的平面系列截出（图 5.b），更可以用 a 和 b 叠加而成为图 5.c。这种被称为“渔网式”的立体表面与单一方向线条的构图相比其效果似乎要好一些。

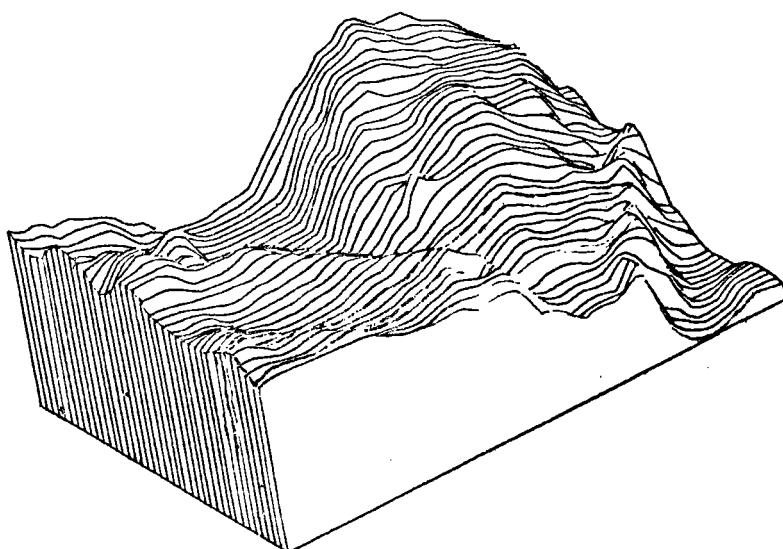


图 5.a 表面交线平行 x 轴

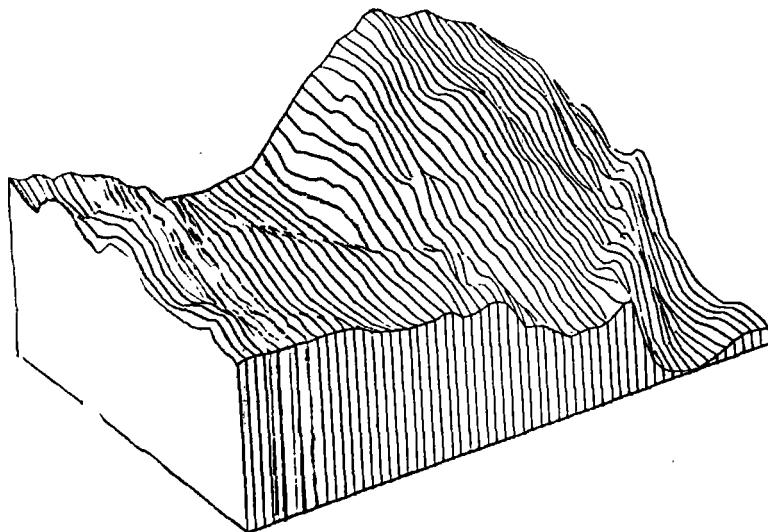


图 5.b 表面交线平行y轴

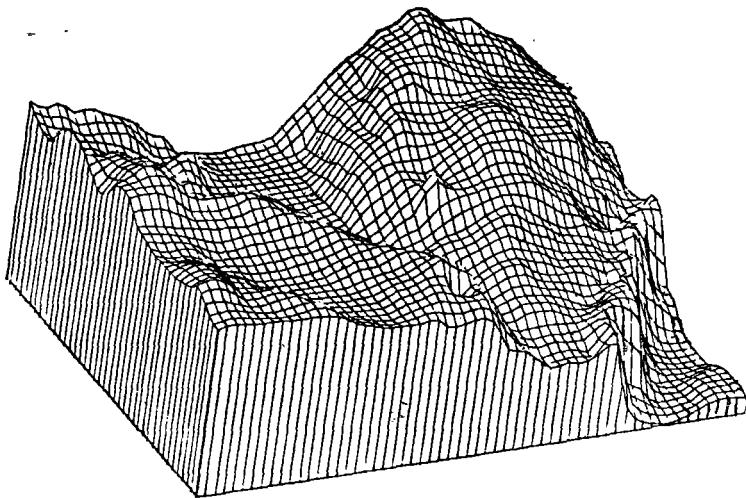


图 5.c “渔网”式表面

三维地图也能够表示某些专题内容的地图。图 6 是一幅以中国各省、市、自治区为单位的人口密度分布图，属于专题制图表示法中的质底法，，这种地图的制图程序的设计比较简单，其步骤可以叙述为：

1、视 30 省、市、自治区为 30 个多边形，多边形的每一边由该边上起止两点连成直线表示。这些起止点的坐标  $x$ ， $y$  可以通过利用一张中国分省地图作数字化而获得。

2、每个多边形只有一个第三维的  $Z$  值（平均人口密度，如人/平方公里）。

3、每一个多边形都被表示为同高。这种棱柱状的三维地图需要由作者规定其中一个  $Z$  值的最大投影高度（如指定上海市的投影高为 3.5 厘米），其余多边形的柱高随后由透视比例而算出。

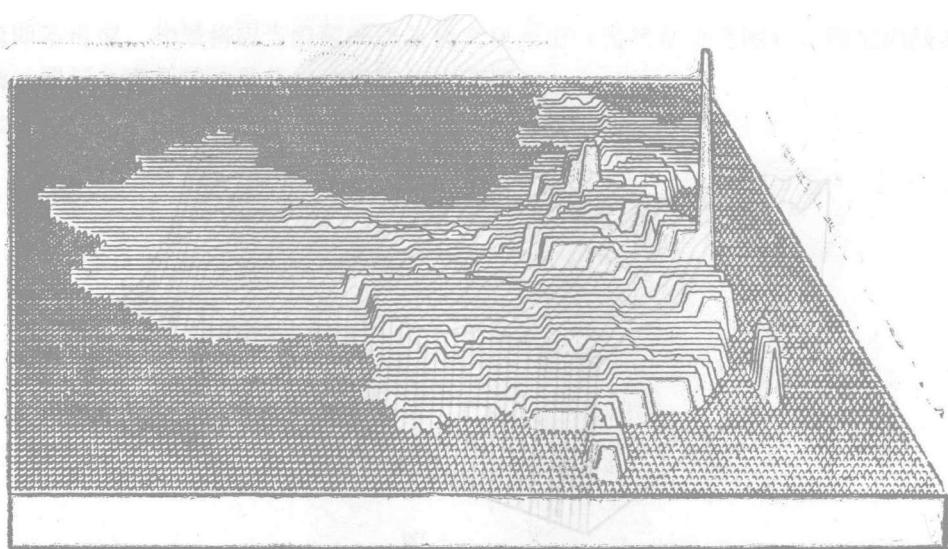


图6 中国人口密度分布

还有另一种方式，如果输入中国的周界及多边形中心（几何中心）的坐标及人口密度，而不是输入30省、市、自治区的边界，这样得到的三维地图这一个连续的表面，可以被认为是表示了中国人口分布密度的趋势，如图7。这种表示方法是把中国当作一个整体作内插计算，而图6则是视中国为30多个边形分别表示。不论那一种方法，都能较好地表示了人口分布的密度，保留了分布上的特征及规律。

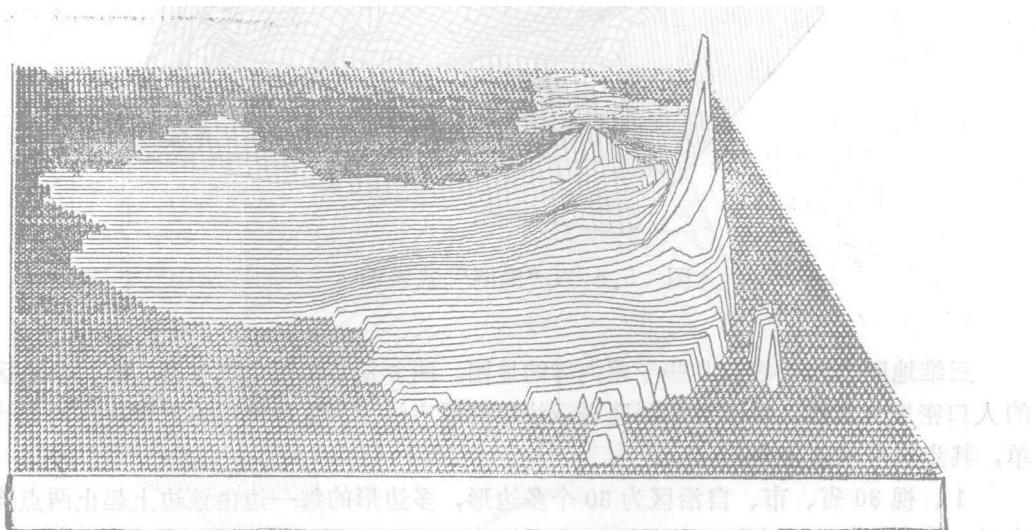


图7 中国人口分布密度趋势

按此原理输入每省、市、自治区的年平均气温数据，可以得到一幅中国年平均气温分布趋势图，如图8。

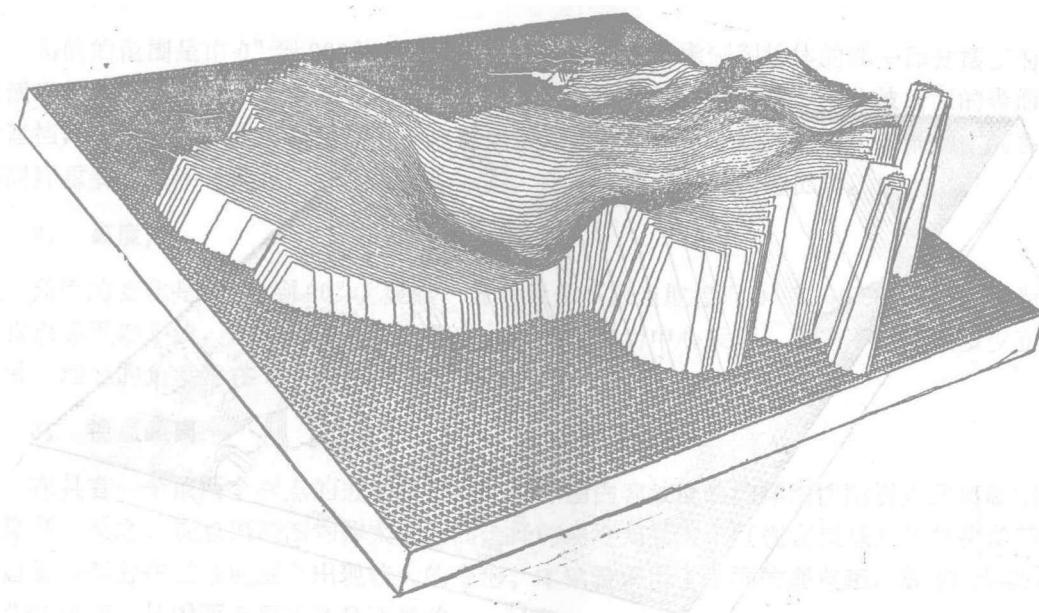


图 8 中国年平均气温分布

仿效航空摄影测量中由立体镜观察具有摄影视差的象片对能够获得良好立体效果这一思想, 将其实践于机助制图之中, 令计算机绘制两张指标相同的三维地图, 并使其二者之间保持一个不大的视角差, 这两幅有左、右视差较的地图如果被放置在立体镜之下, 能够获得较好的立体效果(红、绿互补色迭印成图同理)。图9是按此设想制成的地图对, 这也是一种新颖的制图方法, 制图过程中包含着精度要求颇高的计算工作, 但它却容易为计算机制图所实现。现在还不知道这样的成图有多少实用价值, 当有待进一步的探讨。

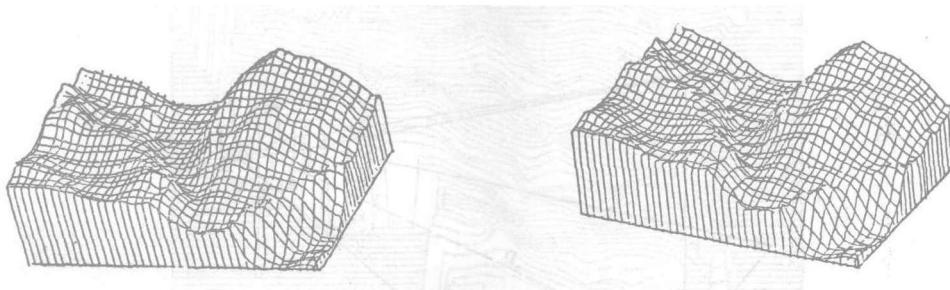


图 9 三维地图对

下面讨论在制作三维地图过程中值得注意的两个问题。

一、三维地图立体表面起伏的详细程度主要依赖于数据点的多寡。如果单位网格的大小相同, 已知数据点对成图的详细性的影响是主要的, 例如单位网格  $3.175 \times 3.175$  (毫米)<sup>2</sup>, 图1有101个已知点, 图5.c有514个已知点, 而图10仅有30已知点(每省、市、自治区一个点), 可见其成图的面貌是大不相同的。

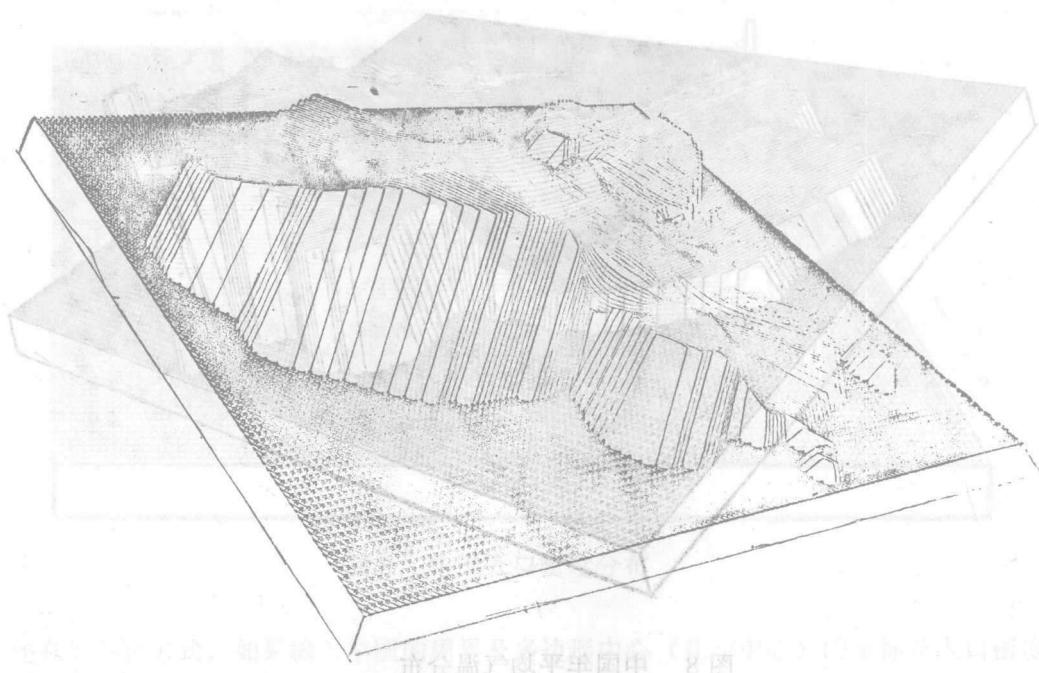


图 10 地势略图  
高度角  $60^{\circ}$  方位角  $45^{\circ}$  视点距离 25 厘米

二、三维地图用倾斜透视的方法使地图获得立体感，所以，在这样的透视投影中对视点的选择是十分重要的，因为视点一旦被选定，计算公式所要求的几个参数即可赋值。而视点主要是由这样三个因素决定的，即透视方位角，透视高度角，视点距离（视点到制图物体中心的距离），我们可以由下图简单地示意。

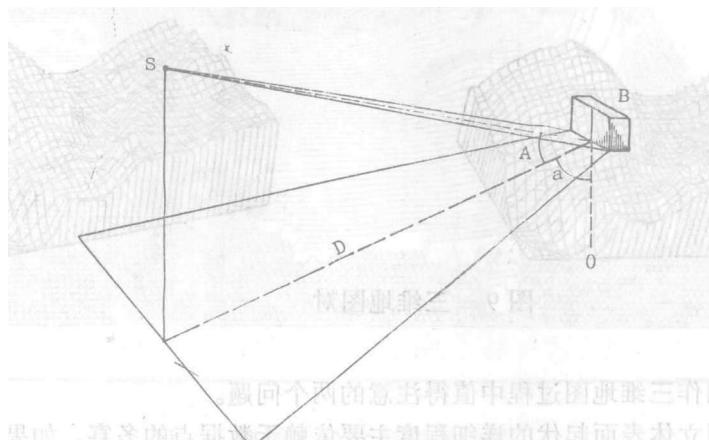


图 11  
S—视点 B—制图表象 a—方位角  
A—高度角 D—距离

## 1. 方位角

角值的范围是由 $0^{\circ}$ 到 $360^{\circ}$ 。决定方位角 $a$ 主要是考虑制图物体的那一部分摆在前面以让读者能够看得清楚。因为在成图之后，后面的表面交线自然会有一部分被前面的表面交线所遮挡，因此地图的作者总是尽可能地把他认为是重要的部分摆在前面。如果物体的各部分都同样重要，就不可能只用一个方位角成图，而必须考虑不同的方位角。

## 2. 高度角

角值的变化是由 $0^{\circ}$ 到 $90^{\circ}$ 。显然，透视投影不应当取接近 $0^{\circ}$ 和 $90^{\circ}$ 的角值，因为前者的视点靠近地平线，没有“鸟瞰”的感觉；后者则成为中心投影，几乎不能产生多少立体的效果。理想的角度常在 $30^{\circ}$ 到 $60^{\circ}$ 的范围内选择。

## 3. 视点距离

在具有一个或两个视点的透视投影中，立体图内容被反映的详细性随视点远离制图物体而降低。反之，视点离制图物体太近，而选择的高度角又太小（视点较低）又会使得制图物体边缘的部分在三维地图上出现较大的变形。本试验采用了不同的视点距，数值从25厘米到380厘米，从图面上看来还是适当的。

如果视点被选在无穷远，透视成为正射投影的形式，即各倾斜视线相互平行并且与图廓保持正交，于是构成了矩形图幅（或平行四边形），前后图廓边等长，左右图廓边也等长，这样的三维地图能使制图区域的轮廓在投影前后保持着比较相似的关系，如图12。

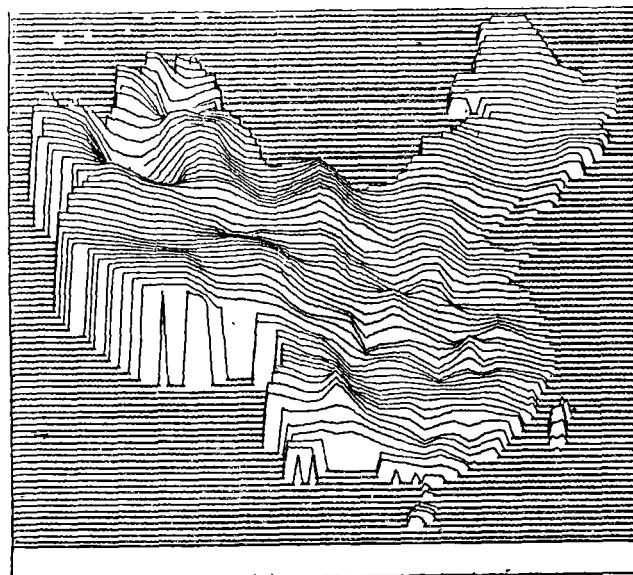


图 12 中国地势

高度角  $60^{\circ}$  方位角  $0^{\circ}$

## Some Experiments on Three-dimensional Map

Huang Wei

### Abstract

In this paper some examples are made to show 3-dimensional maps with different topics. These are made by the computer asisted cartographic method with IBM 370/158 computer and Calcomp ADM in the Lab of Geography Department of UND (University of North Dakota). Nowadays three-dimensional maps are gradually used on a larger scale. The reasons are as follows:

1. Many cartographic objects have 3-dimensional surfaces, and a 3-dimensional map, so far as cartographic means is concerned, can reveal the natural feature of the object represented.
2. From the viewpoint of cartographic conception, maps made by perspective methods are in better coincidence with man's view to the reality, therefore map readers can get a concrete impression easier. Moreover, it is easy to make by means of computer asisted cartography.