# 基于DTM的工控网网形设计

黄俊华

（桂林工学院国土开发与测绘系）

**摘 要** 讨论了以数字地面模型为基础，利用计算机及其外设，以软件的方式进行工程控制网网形设计等问题。介绍了DTM和控制网信息数据结构，网形设计流程和利用DTM进行通视判别等。

**关键词** 数字地面模型；控制网设计；计算机制图

**中图号** P282；TP391.72

工程控制网是工程地形图测绘，工程施工放样，变形观测等工作的基础和精度保证。控制网的设计可分为最优化设计和规范化设计两类方法。目前实际应用所采用的多为规范化设计方法；即以有关规范的规定为设计依据，在图纸地形图上进行网形设计；所设计控制网的网形参数应符合规范规定，实施时按规范规定的施测要求作业。虽然规范化设计所获方案一般不是最优的，但它有便于实施、执行统一的优点。同时也应看到：按规范化设计思想进行方案设计，并将所设计的多个方案按某目标要求（如精度、经费等）进行比选，取其中的最优者；此比选的过程也是方案优化的过程。本文讨论的问题是应用规范化设计方法，利用软件直接在DTM的数字集上进行工程控制网网形设计，以替代传统的在图纸地图上的网形设计，并对所设计的各网形方案进行比选。最终将选定方案在计算机外设中输出。

## 1 数据结构

### 1.1 数字地面模型数据结构

DTM是描述地表形态及属性的一个有序数集。DTM建模方法有多种，本文所采用的为以矢量数据结构为基础的三角网络法（TIN）。构成本文所讨论控制网网形设计所需数字地面模型数据结构的有采样点点表，三角网络信息表（表1），禁域信息表等诸种描述数据存放及数据关系的表格，详见文献〔2〕。

表1中$S_1$，$S_2$，$S_3$为三角形三个顶点点号，$LS_1$，$LS_2$，$LS_3$为三角形三条边相邻的信息。

$$LS_i=\begin{cases}\text{正整数，对应的是相邻三角形号}\\ \text{负整数，对应相邻的禁域号}\\ 0\text{，该边为三角网络边缘边}\end{cases}$$

1995年2月22日收稿，4月25日改回。

作者简介：黄俊华，1963年出生，硕士，讲师，工程测量专业。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

表 1 三角网络信息

| 三角形号 | $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | $L_1$ | $LS_2$ | $LS_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|

## 1.2 控制网数据结构

与在图纸上进行控制网设计一样，计算机进行控制网设计的首步工作是选点。工程控制网设计时，控制点按性质可分为 3 类：（1）已知控制点；（2）新选控制点中的定点；（3）是新选控制点中的动点。在网形设计过程中进行网形的重构和优化时，定点点位是不可变动的，而动点是可以变动的。网形设计时，将控制点点位输入计算机的方式可为键盘直接键入，也可为屏幕编辑选点输入和数字化仪数字化所选点位输入。输入的控制点信息包括：点名，$X$，$Y$，$H$，在此点观测的各方向名称和观测方式（方向观测或方向和距离观测）。由所输入的控制点信息，还可由软件自动构成对控则网网形进行描述的网形信息。

1.2.1 控制点信息　如前所述，按键盘输入或屏幕编辑输入、数字化仪输入 3 种输入方式将控制点信息输入到计算机中。所输入的数据其存贮格式及相互关系见表 2。

表 2　点位数据（a）及观测方向（b）

（a）

| 点名 | $X$ | $Y$ | $H$ | $L$ | $K$ | $M$ | $N$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 点 1 | $X_1$ | $Y_1$ | $H_1$ | $L_1$ | $K_1$ | 0 | 0 |
| 点 2 | $X_2$ | $Y_2$ | $H_2$ | $L_2$ | $K_2$ | 0 | 0 |
| ⋮ | ⋮ | | | | | | ⋮ |
| 点 $i$ | $X_i$ | $Y_i$ | $H_i$ | $L_i$ | $K_i$ | 2 | 0 |
| ⋮ | ⋮ | | | | | | ⋮ |
| 点 $n$ | $X_n$ | $Y_n$ | $H_n$ | $L_n$ | $K_n$ | 1 | 0 |

（b）

| 记录号 | 点名 | $P$ |
|---|---|---|
| 1 | Ⅳ1 | 0 |
| 2 | Ⅳ3 | 0 |
| ⋮ | | |
| $L_i$ | Ⅳ7 | 0 |
| $L_{i+1}$ | Ⅳ10 | 2 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| $K_i$ | Ⅳ | 0 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ |

表中：

$$M_i=\begin{cases}0, & \text{该点为已知点}\\ 1, & \text{该点为新选控制点中的定点}\\ 2, & \text{该点为新选控制点中的动点}\end{cases}$$

$$N_i=\begin{cases}0, & \text{三角点}\\ 1, & \text{导线点}\end{cases}$$

$$P_i=\begin{cases}0, & \text{方向观测}\\ 1, & \text{距离观测}\\ 2, & \text{方向、距离观测}\\ 3, & \text{方位角观测}\end{cases}$$

$$i=1,\ 2,\ \cdots,\ n$$

表 2 中描述控制点点位和观测方向的各个数据，除 $L_i$，$K_i$ 外均应由操作者输入。$L_i$，$K_i$ 为 2 个指针，它们是在数据输入过程中由软件自动生成。指针 $L_i$，$K_i$ 指向表 2（b）中相应数值的记录号。表 2（b）由记录 $L_i$，至记录 $K_i$ 范围的（$K_i-L_i+1$）条记录是表 2（a）控制点“点 $i$”所要照准观测的各个方向的点名和观测的方式（方向、距离

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnk

等）。

1.2.2 网形信息 以数字方式对网形进行描述即网形信息。较之直接组织进入计算机的如表2所示的控制点信息，网形信息对网的描述更显性。同时也便于在网形设计时进行图形参数计算、图形条件判别和通视判别、图形绘制等工作。三角网网形信息存放形式如表3～5所示。

表3 三角网网形信息

| 三角形号 | 边1 | 边2 | 边3 |
|---|---|---|---|

表4 三角网边表

| 边　名 | 端点1 | 端点2 |
|---|---|---|

表5 控制点坐标表

| 点　名 | $x$ | $y$ | $H$ |
|---|---|---|---|

以上诸表，表4，5由表2整理获得；表3三角网网形信息可由表4生成。软件生成表3的处理流程由以下步骤完成:

（1）初始化，进行变量设置。边数→$SN$，$K=1$，$TN=1$。

（2）读表4第$K$条记录。端点1→$P_1$，端点2→$P_2$，边名→$S_1$，$K$→$KK$。

（3）读表4第$KK$条记录，若与第$K$条记录有一端点相同则（5）。

（4）$KK=KK+1$，如$KK>SN$则（8），否则（3）。

（5）表4第$K$、$KK$两条记录，两不同端点点名分别存贮到$P_1$、$P_2$。

（6）$KK=KK+1$，如$KK>SN$则（8），否则读取表4第KK条记录。

（7）如第$KK$条记录两端点分别等于$P_1$、$P_2$，则：边名→$S_3$；将$TN$、$S1$、$S2$、$S3$分别写入表3“三角形号”、“边1”、“边2”、“边3”各栏，否则转向（6）。

（8）$K=K+1$，$TN=TN+1$，如$K>SN$则（9），否则（2）

（9）结束。

## 2 以DTM为基础进行网形设计的实现

在数字地面模型已获建立，控制点和控制网信息编码、数据结构确定的基础上，可以软件的形成来完成工程控制网网形设计和方案比选这一过程。

### 2.1 设计实现的总体流程

软件实现网形设计的步骤如下:

（1）输入控制点点位信息。控制网中的控制点包括已知点和新选控制点的定点、动点。已知点点位信息由键盘输入。新选控制点中的定点、动点的点位可经数字仪的数字化输入，或通过屏幕上显示的地形图，以屏幕编辑选点的方式输入，其它信息则仍应以键盘输入。各类控制点输入的点位信息的内容，在前文已有讨论。

（2）输入控制网观测等级和精度要求。虽然各等级控制网，规范均规定了其相应的精度指标，但工控网通常还会有一些特殊的要求，如某点点位误差、某边边长相对中误差等。这些要求均在精度估算前输入计算机。

（3）控制网通视条件判别。在DTM上进行网形设计除了可方便地在屏幕上流览显示地形图进行控制点的选定，其最大的便利还在于可利用$DTM$的数据对构成网形的各条边进行通视条件的判别。

（4）网形中各条边均通过（3）则（6）；否则（5）。

（5）逐条显示不通视边，进行控制点点位调整，输入新的点位信息；转向（3）。

（6）控制网图形条件判别。计算三角形各内角，边长等；调用存贮有规范要求的“规

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

范和识库”判别图形条件是否符合规范规定。

图形条件判别通过则（8）；否则（7）。

（7）网形调整。显示未能符合规范规定的图形，移动控制点点位（输入方式与前同），获经调整后的网形；转向（3）。

（8）控制网精度估算。

按坐标平差法，根据表 2 信息列立各观测方向误差方程式，可获设计矩阵 $A$。

而：

$$Q=(A^{\mathrm{T}}PA)^{-1}$$

$$D_{XX}=\sigma_0^2\cdot Q$$

所设计控制网的第$i$个新点，其坐示协亏差阵为：

$$Q_{ii}=\begin{pmatrix} q_{XX} & q_{XY} \\ q_{YX} & q_{YY} \end{pmatrix}$$

坐标亏差：

$$m_i^2=\sigma_0^2(q_{XX}+q_{YY})$$

此外还可计算出各边的相对中误差。

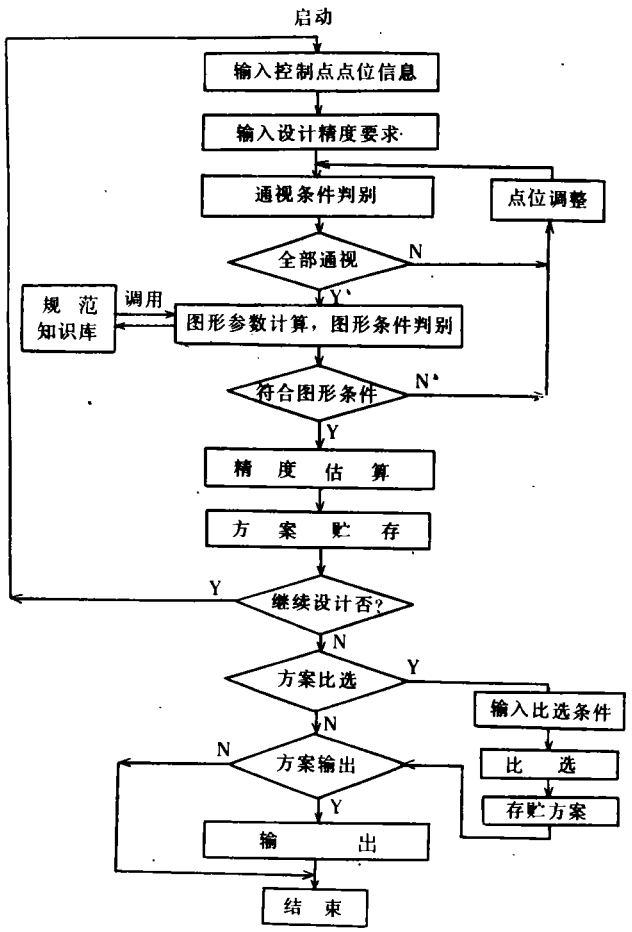



图 1　机辅网形设计流程

（9）方案存贮。存贮的内容包括控制点点位信息，网形信息，精度估算结果（网中各点点位中误差等）。

（10）设计新网形则（1）；否则（11）。

（11）方案比选和确定。

操作者可要求系统将所设计各方案符合要求者全部打印输出，然后经分析确定方案；亦可提出满足要求的目标，由软件完成比选，将方案中满足目标的最优者输出。实现以上过程的机辅网形设计流程图见图 1。

## 2.2　通视条件判别

进行控制网网形设计时，“通视条件判别”部分需调用数字地面模型的数据集完成。在 DTM 基础上完成各条观测边通视条件判别的程序设计流程如图 2 所示。其基本过程为：

(1) 初始化，设定变量的初始值。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnk

（2）调用第 $K$ 号边，根据其起、终点坐标建立其直线方程。

（3）求解 $K$ 边与构成 DTM 三角网络各三角形的真交点。

（4）计算在各个真交点处，$K$ 边的高程 $H_K$ 和地面的高程 $H_{K'}$（由 DTM 的三角形可解出）。并逐个进行比较，要求：

$$H_K > H_{K'} + h$$

$h$ 为规范或设计得要求视线高出地表的高度。

（5）通过（4）则（7），否则（6）。

（6）记录不通视边的边号。

（7）（$K$+1）→$K$，$K$>网的边数则（8），否则（2）。

（8）显示各条不通视边，进入图 1 中的点位调部分。

根据以上的算法，文献①②进行了初步试验，并取得了较好效果。显然，在进一步深入研究和完善软件基础上，在 DTM 上进行工控网设计将提高网形设计的效率，并更便于设计方案的比选。

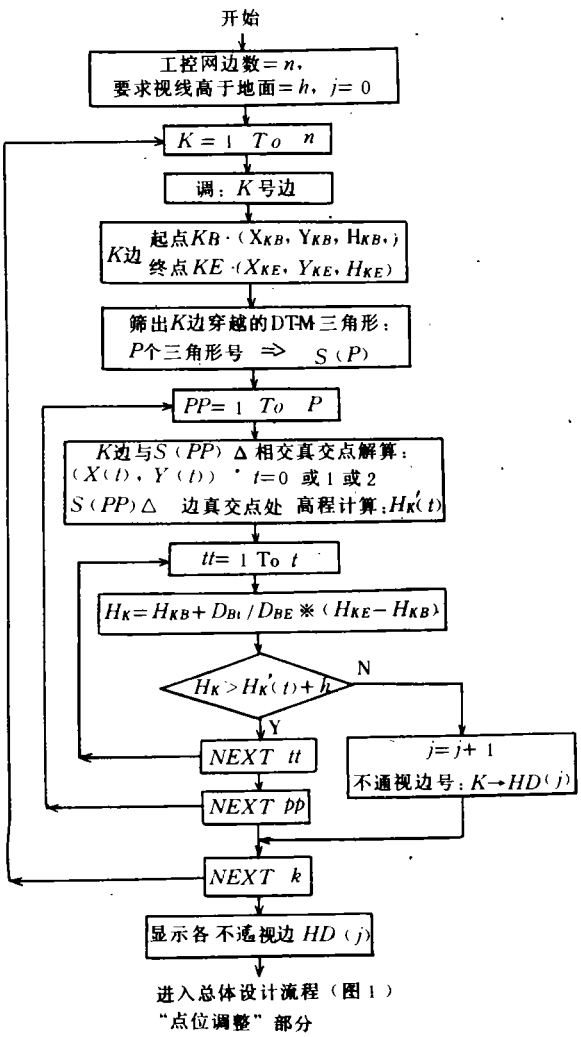



**图 2 各观测边通视判别**

①刘小武. 利用数字地面模型进行控制网设计的若干问题 [学位论文]. 桂林：桂林工学院，1994

②杨艳辉. 规范化设计方法在DTM数字集上进行工控网设计试验 [学位论文]. 桂林：桂林工学院，1994

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

## 参 考 文 献

1 彭先进. 测量控制网的优化设计. 武汉：测绘科技大学出版社, 1991. 6～14, 161～180

2 黄俊华. 由块状DTM生成带状DTM. 桂林工学院学报, 1995, (3): 308～312


# ENGERNERING CONTROL NET DESIGN BASE ON DTM


Huang Junhua

( *Department of Land Development and Surveying and Mapping, Guilin Institute of Technology* )



**Abstract**

This paper discusses a problem that basing on DTM, and using computer and its aiding device, surveying control nets are designed by using software. It deals in detail with the data structure of control net and the data structure of DYM, the processing flow of contral net design, and sighting condition conzudge etc.



**Key words** Degital Terain Model (DTM); control net design; computer plotting


## 国际大地测量与地球物理学联合会 21 届大会在美国举行

国际大地测量与地球物理学联合会 (IUGG), 1995 年 7 月 2 日至 14 日在美国科罗拉多大学波尔德学校举行第 21 届大会. 来自 83 个国家和地区的 5 000 多名代表出席了这一盛会, 其中有中国代表 100 多人. 笔者与数十名海外中国学生、学者亦参加了大会.

与国际地质大会齐名的国际大地测量与地球物理学联合会创办于 1919 年, 旨在研究地球, 并促进矿物资源的合理利用、减少自然灾害的影响和环境保护. 研究领域包括地球形状、地磁场与重力场、地球整体与局部动力学、地球内部结构、水 (包括雪和冰) 循环、海洋、大气圈、电离圈与磁层的各个方面, 日-地关系、地球与其它行星及月球有关的问题. 联合会下设 7 个协会: 国际大地测量协会, 国际地震学与地球内部物理学协会, 国际火山与地球内部化学协会, 国际地磁学与高空大气物理协会, 国际气象与大气科学协会, 国际水文科学协会, 国际海洋物理学协会.

"地球物理与环境"是本届大会的主题, 议题包括减轻自然灾害、地磁场与重力场特征及变化、臭氧层减薄、火山作用、岩石圈演化、地震预报、水资源与环境、大气圈动力学、海洋循环、全球变化、遥感应用等. 多数论文是有关地球环境与自然灾害的研究成果, 部分论文涉及水资源与环境 (很少涉及矿产地质), 反映了防灾减灾是当今国际地学界的主要任务. 地球作为一个整体, 其环境问题的研究, 要求国际间多学科的高度合作和有效协调. 国际大地测量与地球物理联合会与联合国教科文组织合作, 组织各国进行自然灾害研究及成果交流. 下一届大会将于 1999 年在英国爱丁堡举行.

(刘文龙)

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk