

室内设计

北京市建筑设计院

前言

土方竖向设计是建筑总平面设计中不可缺少的一个组成部分。在表示地形竖向高程方面，过去土方竖向设计中多沿用红色等高线法，但在北京地区，自然地坪坡度一般较小，用等高线法不易明确地体现小范围内的地貌，本文由我院第一设计室张德沛同志研究编写，提出在地形平坦的总平面设计图纸制作上可采用倾斜面法。在土方回填工程方面根据过去积累的点滴经验，提出了土方回填质量应注意的一些问题。在土方计算方面，为便于灵活掌握计算原则，对于一些通常采用的土方计算公式做了一些推算工作；并据此绘制了一些计算图表，仅供参考。

限于水平，错误难免，欢迎指正。

设计管理室

一九七七年十一月

1977.11

〈一〉 总论

建筑用地，就其原来地形，常常不能满足总平面上和地下工程设计要求和行车排水的要求。因此我们必须根据设计要求对原有地形进行合理改造，做出竖向设计。其任务是：

- 一、根据原有地形特点，合理布置建筑物及交通道路。
- 二、确定道路高低位置以满足交通运输需要。
- 三、保证地面水可沿街道或谷地排入地下雨水管网或天然沟壑。
- 四、土方工程量为最小：即 $K_{min} = \sum Q_i S_i$ Q_i —运土量 S_i —运距
- 五、标高的确定应考虑地面保留物附近的原有标高。
- 六、土质应符合卫生要求，如有机土的处理、填地处理等。必要时应进行换土。
- 七、竖向布置要考虑与周围环境的关系，如城市道路、天然排洪沟壑，相邻地区的高程关系等。

〈二〉 竖向设计的表示方法

甲 等高线法：等高线为一定海拔高程的水平面与高低不平起伏的地面相交的迹线，因此等高线有以下的性质：

- 1 在同一等高线上各点均为同一标高。
- 2 不同高程的等高线彼此不相交。
- 3 等高线原则上应为一系列闭合曲线，如图-1所示。
- 4 等高线为曲线，或为不平行直线或曲线，则地面亦为曲面（如图-2；图-3）等高线为等距平行直线组则其所表示的地面为倾斜平面。（如图-4）等高线若为互相平行的折线，其转折顶点如果指高低高程则折线顶点联线为脊线（或曰分水线）（如图-5）反之顶点指向高高程方向则顶点

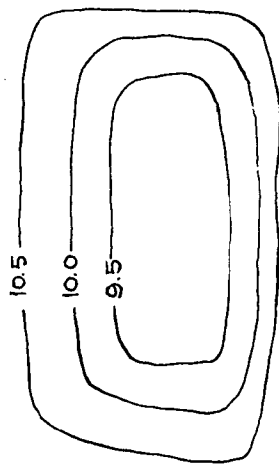


图-1

联线为谷线(或曰汇水线),如图-6.

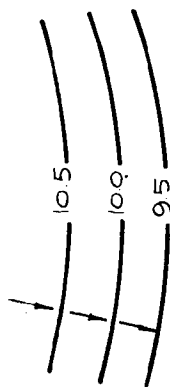


图-2

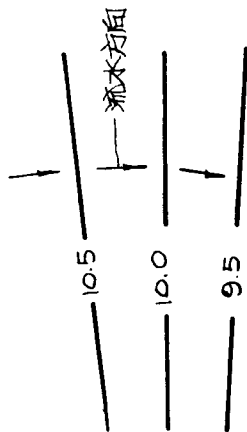


图-3

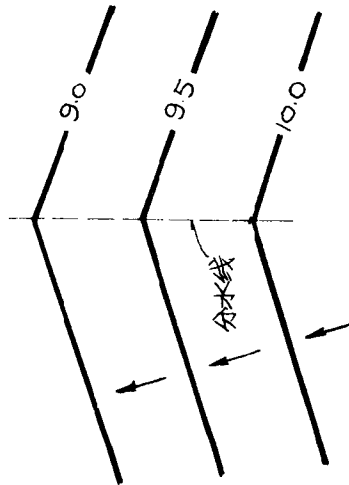


图-5

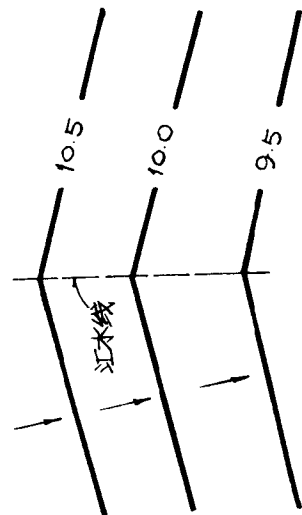


图-6

图-4

5. 地面最大坡度方向垂直于等高线, 故地面排水方向亦垂直于等高线, 见图-2~图-6.

6. 等高线之间的距离即等高线水平投影距离, 以下均称为平距. 平距越大地面坡度越小, 反之越大. 相邻等高线的高差为高距, 在一般情况下同一图面内高距为一常数. 在平距不变的情况下, 高距越大地面坡度越大, 反之越小.

7. 等高线决定地面坡度的比例式:

$$i = \frac{H}{L} \quad \text{式中 } i \text{ — 地面坡度, } H \text{ — 等高线高距, } L \text{ — 等高线平距.}$$

8. 在地形图上所标的等高线一般称之为黑色等高线, 设计地形图的等高线一般称之为红色等高线, 并作为计划填挖土

方的基本根据。

乙. 倾斜面表示方法:

采用等高线表示地形地貌, 一般高距不能太小並以不小于 5 厘米为宜, 但在工程实践中基地常较平坦, 地面坡度多在 $\frac{1}{1000}$ 左右, 如若总平面用地较小院落交错, 房屋纵横, 雨水口布置分散, 用等高线不易准确地表示设计地貌, 再如等高线平距不等或不相平行, 则一般土建施工不易放线。为此我们采用倾斜面的表示方法。

1. 三角形倾斜面法制制图原则: 任何地段均可根据地面排水与其它方面设计需要任意分成不同三角形的组合, 如图-7. 基地

□ ABCD 可如图-7(1) 分割为两块亦可按图-7(2) 分割为四块。

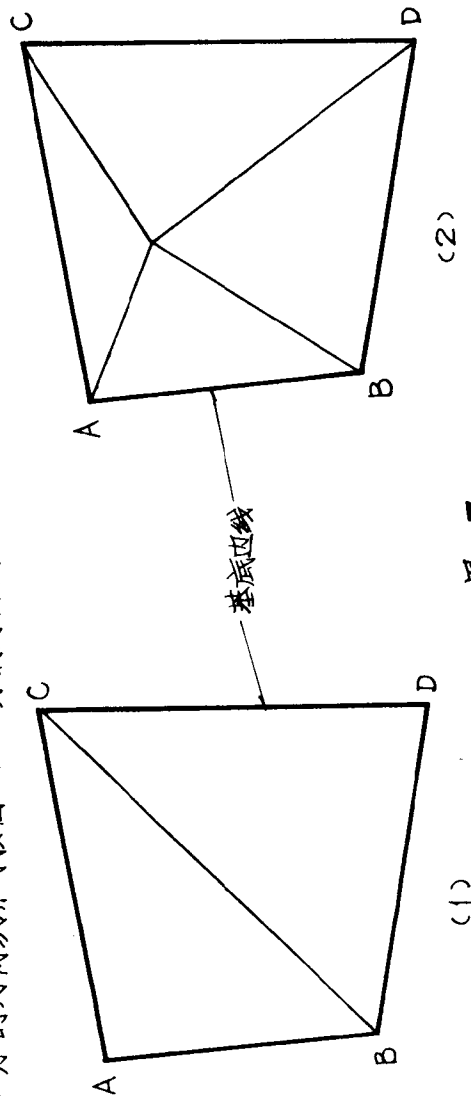


图-7

2. 每个三角形可以认为是一个倾斜平面 (三点决定一平面)。三角形边线可能是分水线, 也可能是汇水线或经流转向线, (见图-8)。基地 ABCD 四角标高分别为 +10, +20, +15, +5; 如图 8-1 联 BE 将地段分为 $\triangle ABE$ 及 $\triangle BCD$ 则 BC 为分水线; 图 8-2 联 AD 将地段分为 $\triangle ABD$ 与 $\triangle ACD$ 为汇水线; 同理图 8-3 如选基地中 E 点为下水口位置, 其标高订为 ± 0 自 E 点联 AE, BE, CE, DE; 四线则此四根线均为汇水线。

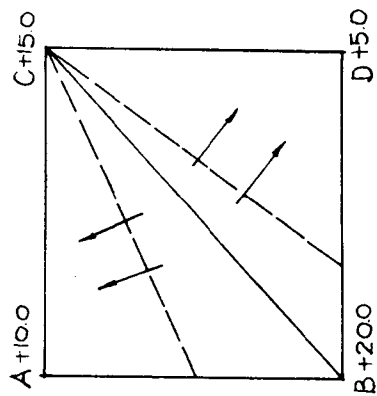


图-8 (1)

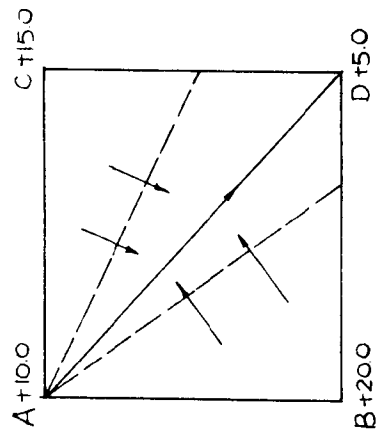


图-8 (2)

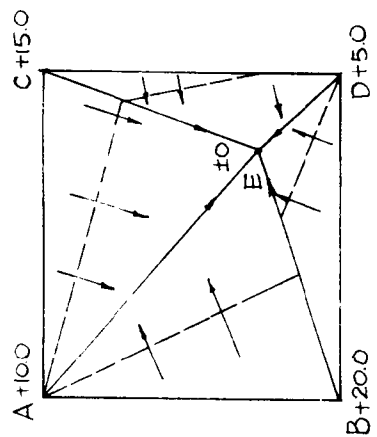


图-8 (3)

地面排水方向根据(二-5)应垂直于等高线,可用插入法求得图上所示的一条参考等高线(虚线)然后作该线垂线则得流水方向线,正式出图时虚线应当擦去。由于各个三角形均为平面倾斜面,因此在此坡面上各点的流水方向均应相互平行。若基地ABCD四角标高如图8-4所示,联BC分基地为 $\triangle ABC$ 及 $\triangle BCD$,则BC线如图所示为流水转向线。

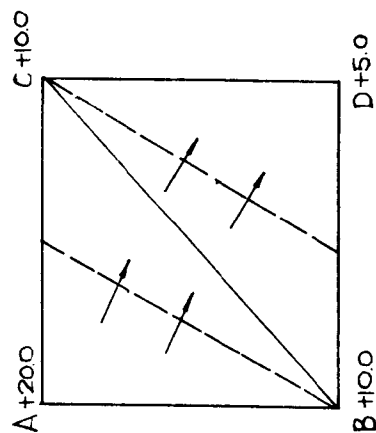


图-8 (4)

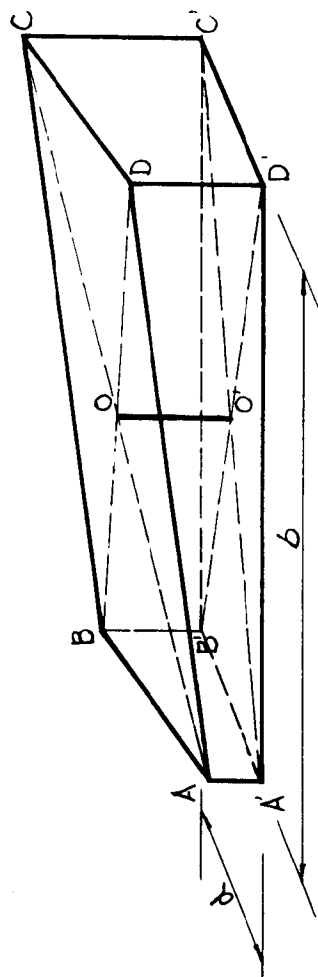


图-9.

3. 若出现一块矩形地段或广场设计要求为一倾斜平面时, 则此矩形面角标高应符合以下原则: 即两对角标高的和应相等; 如上图9所示, 倾斜面ABCD水平投影AB'CD'此矩形边长为b, d, 则 $\overline{AA'} + \overline{CC'} = \overline{BB'} + \overline{DD'}$.

证: 由图9 □AA'CC' AA' // DD' // CC' 而且 $\overline{AA'} + \overline{CC'} = \overline{2DD'} \square BB'DD' BB' // DD' // CC'$ 而且 $\overline{BB'} + \overline{DD'} = \overline{2CC'}$ ∴ $\overline{AA'} + \overline{CC'} = \overline{BB'} + \overline{DD'}$

〈三〉竖向设计一般问题的探讨

甲 总平面竖向上的考虑:

1. 在一般情况下, 总平面内地面高程应高出用地四周道路以避免路面水倒灌, 但如总平面平均高程必须低于四周城市道路, 则所有通向城市道路的街区内部交通道在街区入口处20~25'范围内应坡向城市道路。

2. 位于山地丘陵陡坡上的小区或街坊, 可规划成台层(如图10所示)每层平台应有其单独的地面排水系统, 上层平台雨水不应沿边坡流至下层平台, 为此沿平台前沿最好设置截流管和在坡脚设置截流沟, 以避免山洪冲刷平台。

在山地排水沟上严禁修建房屋, 道路穿过排水沟时, 应按上游流域面积大小设计安置排水涵洞。

3. 公共建筑前广场: 在一般情况下, 一方面为了地面排水, 另一方面为使建筑入口处外视立面高崇巍拔, 而坡向城市道路, 为保证广场上行车安全, 广场坡度不宜太大。在北京地区一般应控制在2~5%。但如城市道路纵坡较大, 雨季排水通畅, 则建筑前广场坡度还可以减小以节约土方。例如北京首都体育馆: 其西南两面城市道路纵坡均为10%。雨季排水畅通, 因此将建筑前沿标高降低较城市道路中心标高仅高十余厘米, 实践证明

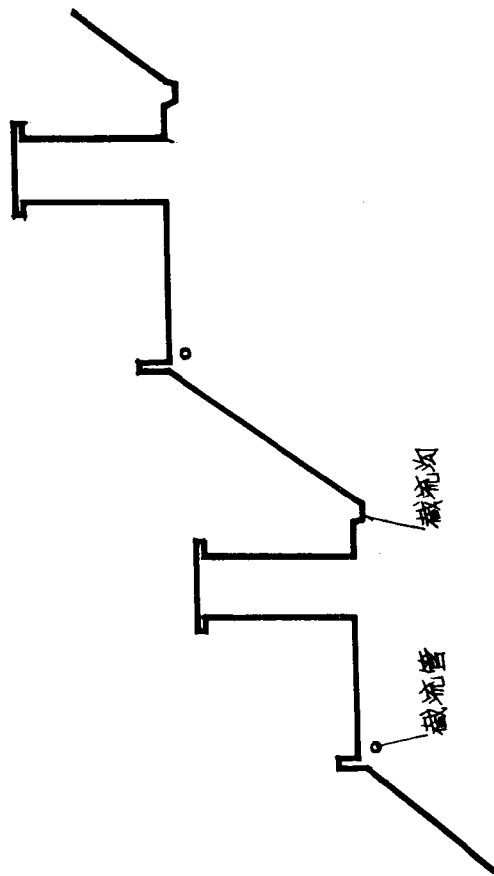


图-10

效果良好。

4. 工厂内部道路及广场：一般理想的地面纵坡为2-4%。在厂区内如铺设轻便铁路运输线，其路基纵坡应控制在2%以下，以避免滑行导致安全事故。

5. 山区用地内部道路：由于山区地形复杂，可能出现大纵坡道路，但建筑群内来往行人较多，另外我国自行车较多，在我国北方地区街坊内如铺设大纵坡的行车道路极易发生安全事故，因此我们认为在山区街坊内部道路的纵坡标准不宜沿用一般山区公路标准。总之此类道路纵坡一般不宜大于50%（平原微丘二级公路标准），如考虑自行车的行驶方便最好控制在25%以下，而且坡长也不应太大，最好控制在100m以内。

6. 城市小区内部道路：除考虑道路纵坡外，小区道路中间起伏亦应注意不宜太大，否则极易造成行人及自行车的滑跌，同时要考虑在雨季不致形成滞水路面，纵横坡度应控制在10%~20%之间。

7. 城市内小区儿童游乐场或运动场：地面坡度应大于5%，並应较毗隣地段地面高出0.3~0.5m为宜，另外儿童游戏场地面应采用持水性较小的砂质土壤以利排水並保证地面乾燥。

乙. 土方工程土方填挖施工质量问题：

建筑基地的合理竖向设计必须有合理的施工以及严格的质量控制，才能全部实现竖向设计。在过去由于缺乏经验，不少工程由于土料回填不密实而导致地面湿陷影响使用，给国家造成损失。近年来在土料回填方面取得很大的成绩，並总结出不少宝贵经验。如北京东大桥统建住宅基础就放在回填土上。再如北京首都体育馆基地回填土深达6~7米质量完好，建筑物使用以来填土未见湿陷现象。

1. 土料的物理性能：在探讨土料回填之前首先回顾一下土料的一般物理性能是必要的。

a. 土料分类：

土料分类根据不同角度和出发点，可以有多种分类，下面我们仅就土料的颗粒组成，介绍一下一般土料分类並列表如下。

表 1 土料按照粒径大小分类

颗粒粒径大小(单位 MM)	类 别 名 称
> 2	砾 石
2—1	粗 砂
1—0.5	中 砂
0.5—0.05	细砂粉砂
0.5—0.005	粉 土
< 0.005	粘 土

表 2 土料按照粘土含量而分的类别

粘土粒的含量 %	土的基本类别名称
< 3	砂 料
3—12	砂 壤 土 料
12—18	壤 土 料
18—25	重 壤 土 料
> 25	粘 土 料

岩石保有“分散性质”直到碎裂到一定的界限为止，到那时岩石将具有与“分散性”完全相反的“凝聚性”或曰“粘性”，因此砂石类均为“分散性”的材料，而粘土类则为“粘性”材料，亦可称为“可塑性”材料。

b 土料含水的物理性能：

砂石类在任何含水量的情况下都是分散状态的，砂石在含水量为 0 时或饱和水量时其体积为最小，也就是说密实度最大，但在中间含水量时细颗粒砂土有体积膨胀现象，其含水量在 3%—5% 的粉细砂体积可能膨胀 25%—30%，因此一般充填砂石类土料时要大量浇水，以求达到最大密实度。

对于可塑性材料，随着含水量的改变，从固态变为可塑状态或液态，在一定含水量所谓分界含水量之下，土料由一个状态进入另一个状态，当利用可塑性土料时确定其相当于塑性状态的含水量是特别重要的，可塑性土料在塑性状态时，在外力影响下，可以范模而不产生裂缝或改变体积。在一定含水量（或曰最佳含水量）可将土料压到最小体积。

土料在下列分界含水量的范围内具有塑性。

▲塑性上限含水量或液性下限含水量(w_L)即以“塑态”转为“液态”时的含水量。

▲塑性下限含水量即从半固体状态转为塑性状态时的含水量(w_M)。

塑性上下限相差愈大，土料处于塑性状态的含水量范围也愈大，差数 $w_L - w_M = M_m$ ，称为塑性指数，根据试验土料内粘土粒的含量愈高则塑性指数也愈高。

$M_m \geq 17$ 的土料为高塑性的(粘土—I级)

$M_m = 17 \sim 7$ 的土料为塑性的(坡土—II级)

$M_m = 7 \sim 0$ 的土料为低塑性的(砂坡土—III级)

$M_m = 0$ 的土料为无塑性的(砂—IV级)

土料塑性指数与粘土颗粒含量之间的关系见表3

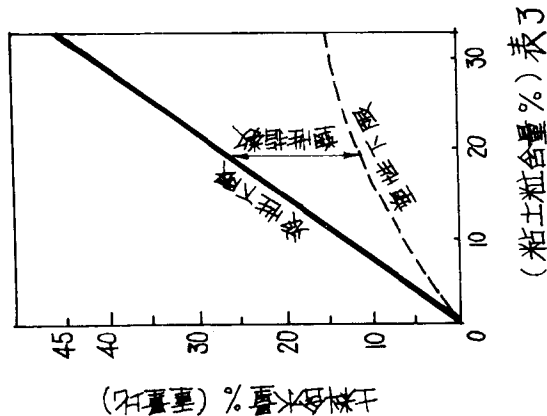
2. 为保证土料回填质量，根据经验认为有以下几个方面应予以充分注意：

a. 回填土料要严格控制土料的含水量以确保回填质量。如选用非粘性土料、天然级配砂石、粗砂、中砂等回填时，在碾压过程中必须大量注水，最好在饱和条件下进行施工，但如选用可塑性粘性土料回填时，其含水量必须控制在土料上下限含水量之间，根据实践一般塑性土料含水量控制在15~18%接近最佳含水量，可以通过碾压以求达到或接近最大密实度，北京地区土方工程要求密实度一般为95~98%。

土料含水量的现场测定：用手抓紧土料可使成团，然后在距地一米高处令其向地面自由下落而复摔成碎块，即可认为此土料的含水量接近最佳含水量，土料含水量太低则失去粘性不易压实，土料含水量过高则会形成橡皮地(或曰剪刀破坏)

b. 如回填在地下水位以下，可选用天然级配砂石回填，砂石直接抛入水中不必碾压，一待砂石高出水面后再进行分层

夯填。



c. 冬季回填时不得用冻土回填，一般适于选用天然级配砂石回填，土料含砾量应高一些为好，一般不小于 50%。

d. 回填土最好大面积碾压不留接茬，如限于现场条件必须分段施工时，则接茬处边坡虚土必须清除，取样试验合格后方可再铺土套压。

e. 大面积回填或回填深度 $> 600\text{mm}$ 时，则回填土应要求施工单位层层取样，试验合格后方得继续回填，一般房心及道路路基回填土的碾压标准为密实度 $> 98\%$ 。

f. 在地下水位较高的基地上，庭园道路之床回填土料，要求选用持水性能低、微管性小的砂石土料，以避免冬季路面冻鼓，春季翻浆。

g. 地表低洼处如有贵重树木，回填土深度应 $< 100\text{mm}$ ，而且应要求采用透气性较好的土料（如砂石）以免将树闷死。

h. 在山区土方工程中要避免可能产生的滑坡，并确保建筑背向的坡面上没有松动山石。

i. 在山区土石方工程中要注意裂隙水的问题，因此地质勘察要在丰水季节调查裂隙水的水路，如果房屋基地内有裂隙水存在，应设法截流引流或房屋如做防水层。

<四> 土方计算方法

土方计算的方法很多，应根据不同情况，选用不同方法计算，以达到既简单又能较正确地反映土方施工数量，下面介绍几种计算办法，供在不同情况下选用参考。

甲 等高线法：

大面积基地或小区土方调查设计可采用此法较方便。

1 等高线调整的几条规律

a. 减小地面坡度可用加大等高线的平距达到，反之减小平距则加大了地平坡度，详图 11。

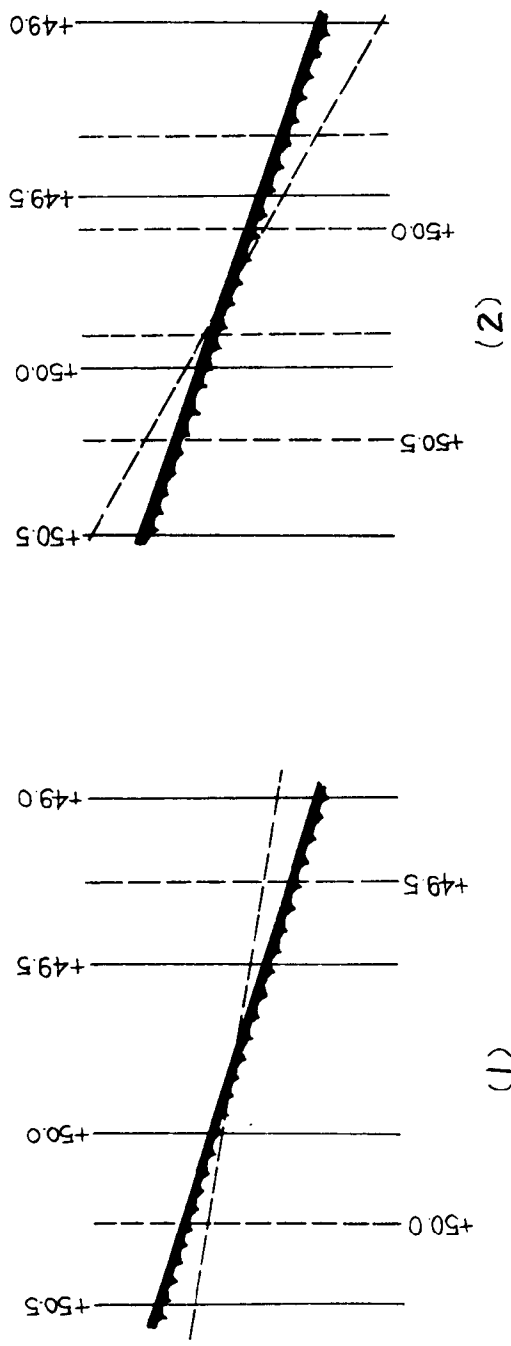


图-11

注：实线表示黑色等高线，虚线表示红色等高线。

b 路面：路面等高线在绘制时，在缺乏经验时常常容易忽视横断面起拱与等高线的关系造成庭园竖向与路面设计不交圈

如图-12 所示：路面宽 500cm，纵坡 1%，中间起拱 5cm。

▲ 设 1 道路纵坡不变，而路起拱由 5cm 减小到 2.5cm 则等高线修改应如虚线所示。

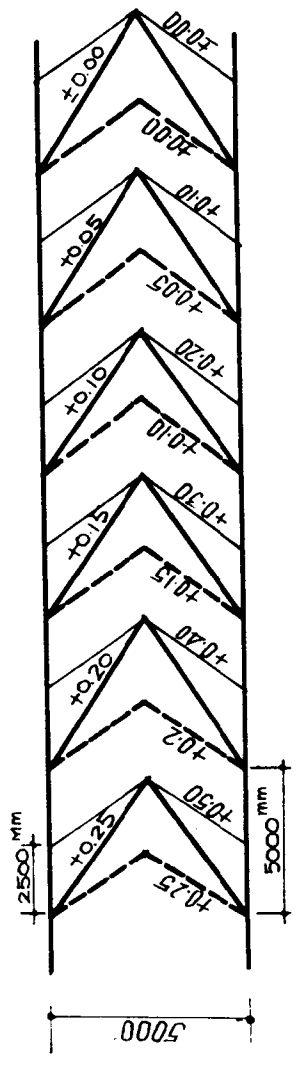


图-12

- ▲设2：道路路面起拱不变，而道路纵坡由1%加到2%则等高线修改应如细线所示，
 C.使等高线向下坡弯曲以设计凸面，使等高线向上坡弯曲以设计凹面，见下图-13。

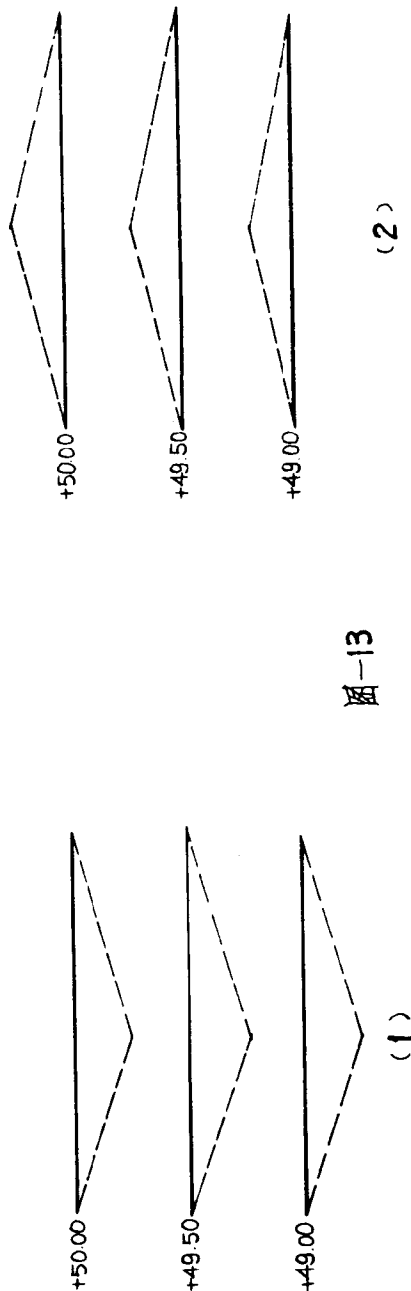


图-13

D.等高线法计算：在等高线设计图纸上（有设计等高线和测量等高线以及红色等高线和黑色等高线）土方数量可以用求积仪，量出红色等高线与黑色等高线间的面积来求算。如图-14 若求等高线+500 与等高线+50.5 间的土方数量V。

$$V = (F_1 + F_2) \times \frac{h}{2} \quad \text{式内 } h \text{ 即为等高线高距，此处为 } (50.5 - 50.0 = 0.5 \text{ m}).$$

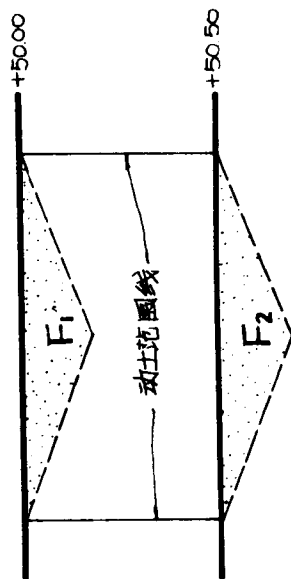


图-14. 注：黑线为测量等高线，虚线示设计等高线。

图-15 若自等高线动土范围线内取 ΔL 长度内计算动土体积 ΔV

$$\text{则 } \Delta V = \frac{1}{2} (hy + hx) h \times \Delta L$$

$$V = \frac{1}{2} \int_0^L (hy + hx) \Delta L$$

$$= \frac{1}{2} \left(\int_0^L hy \Delta L + \int_0^L hx \Delta L \right)$$

$$= \frac{1}{2} (F_2 + F_1)$$

$$\text{注: } \int_0^L hy \Delta L = F_2$$

$$\int_0^L hx \Delta L = F_1$$

其 F_1 及 F_2 两面积的数值愈接近, 则公式所求得的数值愈精确
其通用公式可列如下, 式中末项 $\frac{1}{2} [F_0 + F_n]$ 为端部以外两部分的
填挖体积。

$$V = \frac{1}{2} [F_0 + 2F_1 + 2F_2 + \dots + 2F_{n-1} + F_n] + \frac{1}{2} [F_0 + F_n]$$

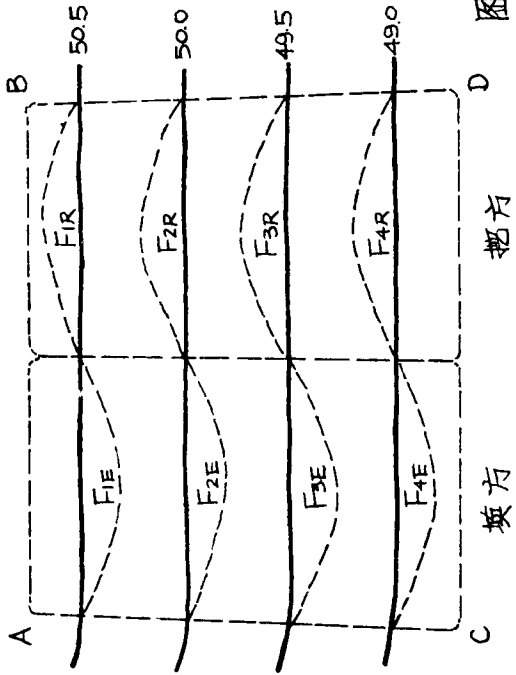


图-16

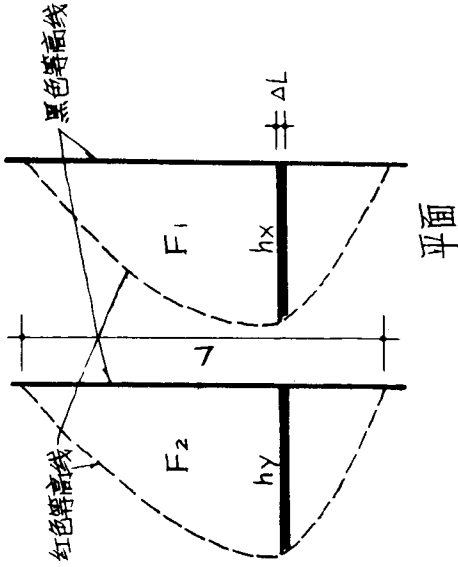
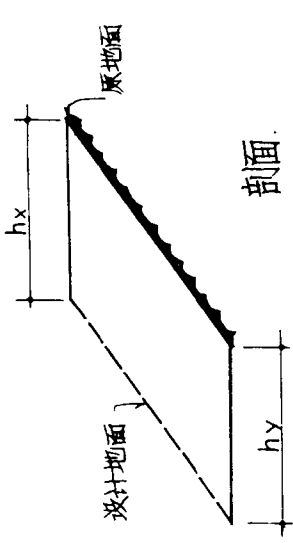


图-15

如图-16 地形等高线与设计等高线所包括之面积在挖方部分与填方部分之和相等则基地 ABCD 内土方可以认为基本平衡矣。

矣。

乙 三角棱体法：

▲ 所有的地形测量方格在图纸上按一定的次序分成三角形如图-17。

- i 其各顶点天然标高 $H_{12}, H_{13}, \dots$ 注在顶点右下角 (天然标高可用插入法用原测量等高线求得)。
- ii 设计标高 (亦曰红色标高) $H'_{12}, H'_{13}, H'_{23}, \dots$ 注于顶点左上角。
- iii 其各点挖填深度注于顶点左上角 $h_{11}, h_{12}, h_{13}, \dots$ 施工标高则为天然标高与设计标高之差数填方为 (-), 挖方为 (+)。

▲ 计算公式的推演：

在未推演公式之前，熟习一下锥体体积的求法：

例：试求下图-18 棱体的体积，设棱体 ABCD 底面积为 F ，高为 H 。

今在 H_x 高处截取一平行与底 F 高度为 ΔH 的薄片 $E'E'F'F'G'G'$ 由于 ΔH 甚小其体积 dV 可以用下式表示：

$$dV = \left(\frac{H-H_x}{H} \right)^2 F \Delta H$$

则棱体 ABCD 体积 $V = \sum_{\Delta H} \left(\frac{H-H_x}{H} \right)^2 F \Delta H$

$$V = \int_0^H \frac{H^3 - 2HH_x + H_x^2}{H^3} F dH$$

$$= \frac{FH}{3} + C \quad \text{此处 } C=0$$

$$\therefore V = \frac{1}{3} FH$$

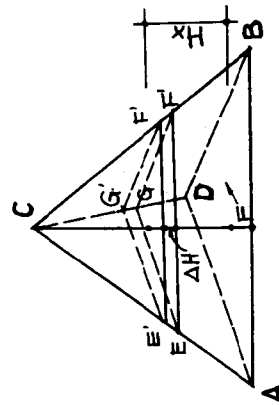


图-18

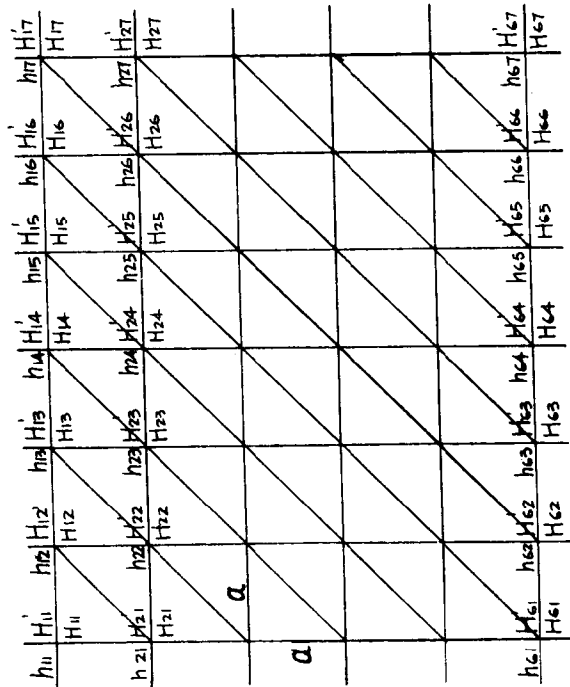


图-17 (方格边长=a)

用三角棱体法求设计图上每个三角形内填挖（如三角顶点均为挖方或均为填方）可利用下列公式：

$V = \frac{q^2}{6}(h_1 + h_2 + h_3)$ (一) 式内：V—填挖方体积，q—三角形顶点到对边的长度，h—为三角挖填深度。

I 求证如下图-19，设 $\triangle ABI$ 为原地形水平面，其底面积为F， $\triangle DEC$ 为设计后地面平面，求填方 ABCDEI 体积。

证：由 h_2, h_3 取线段FA及GI使等于BC即 h_1 ，则棱体体积 $V = VBF + VCD$

$$V = VBF + VCD = F \cdot h_1 + VCD$$

$$VCD = (h_2 - h_1 + h_3 - h_1) \cdot \frac{q}{2} \cdot \frac{q}{2} = \frac{q^2}{6} (h_2 + h_3 - 2h_1)$$

$$\therefore V = \frac{q^2}{6} h_1 + \frac{q^2}{6} (h_2 + h_3 - 2h_1) = \frac{q^2}{6} (h_1 + h_2 + h_3)$$

II：同前例如铅垂线 h_1, h_2, h_3 ，不垂直于底面亦即底面非一水平面，求此棱体填方体积：（如下图-20）

设 $\triangle BCD$ 非一水平面作水平面 ABN 则：

$$\begin{aligned} V_{DE} &= V_{AE} - V_{AC} \\ &= \frac{q^2}{6} [(h_1^2 + \Delta h^2) + (h_3 + \Delta h_3) + h_1] \\ &\quad - \frac{q^2}{6} [\Delta h_2 + \Delta h_3 + D] \\ &= \frac{q^2}{6} [h_1 + h_2 + h_3] \end{aligned}$$

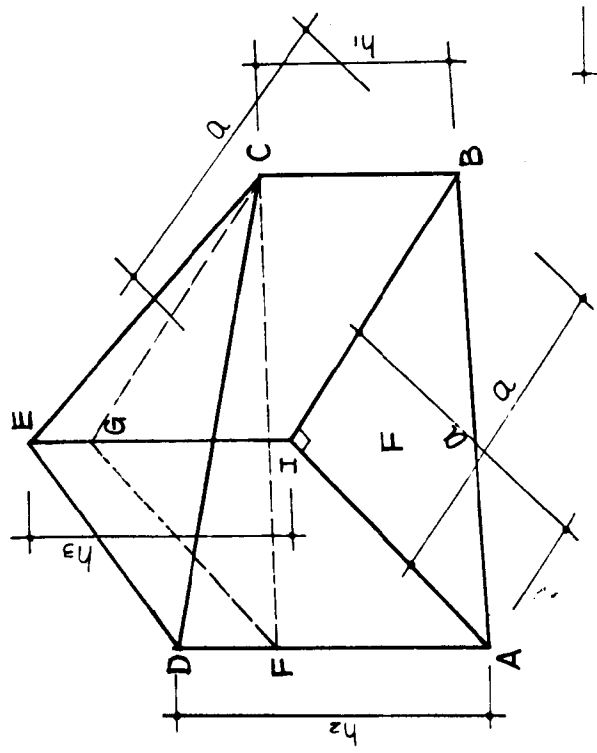


图-19

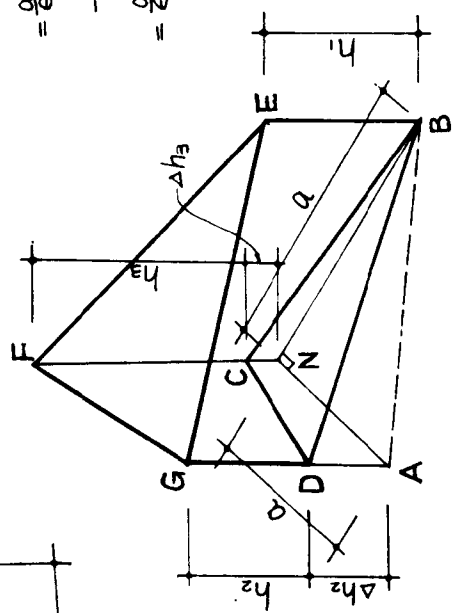


图-20

III 如三角形内填方面同时存在的情况下, 则不能采用公式(一), 应采用以下公式(二)、(三)分别计算, 按图-21设DEF为原地面

AGS为设计地面, 则

$$V_1 = V_{AC} = \frac{a^2}{6} \cdot \frac{h_3^3}{(h_1+h_3)(h_2+h_3)} \quad \text{..... (二)}$$

(注: 式中 h_1, h_2, h_3 以施工前 的绝对值代入)

$$V_2 = V_{BEG} = V_{挖} + V_1 \quad \text{..... (三)}$$

(注: 式中 $V_{挖}$ 以(一)公式求得, 但 h_1, h_2, h_3 则应根据挖填正负值代入公式)

公式(二)求证:

$$V_1 = V_{AC} = \Delta ABC \text{面积} \times \frac{h_3}{3}$$

$$AG = \sqrt{2}a \quad \Delta ADC \sim \Delta GFC \quad h_2 : h_3 = GC : AC$$

$$\frac{h_2+h_3}{h_3} = \frac{GC+AC}{AC} \quad h_3/h_2+h_3 = AC/\sqrt{2}a$$

$$\therefore AC = \sqrt{2}a \cdot \frac{h_3}{h_2+h_3}$$

$$\therefore \Delta ABC = \frac{1}{2} AC \cdot AB \sin 45^\circ = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}a^2}{\sqrt{2}} \cdot \frac{h_3^2}{(h_1+h_3)(h_2+h_3)} = \frac{a^2}{2} \cdot \frac{h_3^2}{(h_1+h_3)(h_2+h_3)}$$

$$\therefore V_1 = \frac{1}{3} h_3 \times \frac{a^2}{2} \times \frac{h_3^2}{(h_1+h_3)(h_2+h_3)} = \frac{a^2}{6} \cdot \frac{h_3^3}{(h_1+h_3)(h_2+h_3)}$$

公式(三)求证: $V_{挖} - V_{BEG} = V_{BGC} + V_{BSG} = \Delta FGC \times \frac{BT}{3} + \square FGES \times \frac{1}{3} BS \quad \text{..... (四)}$

$$\text{按前式: } AB = \frac{a h_3}{h_1+h_3} \quad BT = AB \sin 45^\circ = \frac{a h_3}{\sqrt{2} (h_1+h_3)}$$

$$AC = \sqrt{2}a h_3 / (h_2+h_3) \quad AC + CG = \sqrt{2}a \quad \therefore CG = \sqrt{2}a - \sqrt{2}a \cdot \frac{h_3}{h_2+h_3} = \frac{h_2}{h_2+h_3} \sqrt{2}a$$

$$\Delta FGC = \frac{1}{2} \sqrt{2}a \cdot \frac{h_3^2}{h_2+h_3} = \frac{\sqrt{2}a}{2} \cdot \frac{h_3^2}{h_2+h_3}$$

$$\square FGES = (h_1+h_2) \cdot \frac{a}{2} \quad BS = \frac{a h_1}{h_1+h_3} \quad \text{代入前式(四)}$$

$$\text{则: } V_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{a h_3}{\sqrt{2} (h_1+h_3)} \cdot \frac{\sqrt{2}a}{2} \cdot \frac{h_3^2}{h_2+h_3} + \frac{a}{2} (h_1+h_2) \cdot \frac{a h_1}{h_1+h_3} \cdot \frac{1}{3} = \frac{a^2}{6} \cdot \frac{h_3^3}{(h_1+h_3)(h_2+h_3)} + \frac{a^2}{6} (h_1+h_2-h_3)$$

$$\therefore V_2 = V_1 + V_{挖}$$

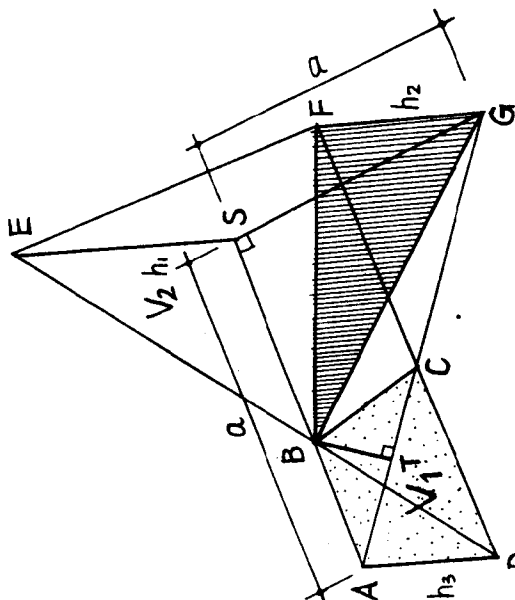


图-21