

土方工程

本章学习要求：了解土方工程主要内容与施工特点，掌握土的工程性质；了解施工降排水的主要原理及意义，掌握主要方法及适用范围；了解边坡稳定的条件、影响因素，掌握边坡稳定及支护的方法与适用条件；了解常用土方施工机械作业特点及适用范围，掌握基坑开挖、土方填筑的方法与要求。

土方工程是建筑、道路、桥梁、水利、地下工程等各种土木工程施工的首项工程，主要包括平整、开挖、填筑等主要施工过程和排水疏干、降低水位、稳定土壁等辅助工作。土方工程具有量大面广、劳动繁重和施工条件复杂等特点，且存在较大的危险性，因此在施工前必须做好调查研究，选择合理的施工方案，制定可靠的措施，并采用先进的施工方法和机械化施工，以保证工程的质量与安全，获得较好的效益。

1.1 概述

1.1.1 土方工程的特点与施工要求

1. 工程特点

(1) 面广量大、劳动繁重。建筑工程的场地平整，面积往往很大，某些大型工矿企业工地面积可达数平方公里，机场可达十平方公里。在场地平整、大型基坑开挖中，土方工程量可达几百万立方米；路基、堤坝施工中土方量更大。若采用人工开挖、运输、填筑压实时，劳动强度更大。

(2) 施工条件复杂。土方工程施工多为露天作业，土又是成分较为复杂的天然物质，且地下情况难以确切掌握。因此，施工中直接受到地区、气候、水文和地质等条件及周围环境的影响。

2. 施工要求

- (1) 尽可能采用机械化或半机械化施工,以减轻体力劳动、加快施工进度。
- (2) 要合理安排施工计划,尽量避开冬、雨期施工;否则应做好相应的准备工作。
- (3) 统筹安排,合理调配土方,降低施工费用,减少运输量和占用农田、道路。
- (4) 在施工前要做好调查研究,了解土的种类、施工地区的地形、地质、水文、气象资料及工程性质、工期和质量要求,拟定合理的施工方案和技术措施,以保证工程质量和施工安全,加快施工进度。

1.1.2 土的工程分类及性质

1. 土的工程分类

土的分类方法较多,在施工中按开挖的难易程度,可将土分为八类,如表 1-1 所示。

表 1-1 土的工程分类

类别	土的名称	开挖方法	密度/ (t/m^3)	可松性系数	
				K_s	K'_s
一类 (松软土)	砂,粉土,冲积砂土层,种植土,泥炭(淤泥)	用锹、锄头挖掘	0.6~1.5	1.08~1.17	1.01~1.04
二类土 (普通土)	粉质黏土,潮湿的黄土,夹有碎石、卵石的砂,种植土,填筑土和粉土	用锹、锄头挖掘,少许用镐翻松	1.1~1.6	1.14~1.28	1.02~1.05
三类土 (坚土)	软及中等密实黏土,重粉质黏土,粗砾石,干黄土及含碎石、卵石的黄土、粉质黏土、压实的填土	主要用镐,少许用锹、锄,部分用撬棍	1.75~1.9	1.24~1.30	1.04~1.07
四类土 (砾砂坚土)	重黏土及含碎石、卵石的黏土,粗卵石,密实的黄土,天然级配砂石,软泥灰岩及蛋白石	主要用镐、撬棍,部分用楔子及大锤	1.9	1.26~1.37	1.06~1.09
五类土 (软石)	硬石炭纪黏土,中等密实的页岩、泥灰岩、白垩土,胶结不紧的砾岩,软的石灰岩	用镐或撬棍、大锤,部分用爆破方法	1.1~2.7	1.30~1.45	1.10~1.20
六类土 (次坚石)	泥岩,砂岩,砾岩,坚实的页岩、泥灰岩,密实的石灰岩,风化花岗岩、片麻岩	用爆破方法,部分用风镐	2.2~2.9	1.30~1.45	1.10~1.20
七类土 (坚石)	大理岩,辉绿岩,玢岩,粗、中粒花岗岩,坚实的白云岩、砾岩、砂岩、片麻岩、石灰岩,风化痕迹的安山岩、玄武岩	用爆破方法	2.5~3.1	1.30~1.45	1.10~1.20
八类土 (特坚石)	安山岩,玄武岩,花岗片麻岩,坚实的细粒花岗岩、闪长岩、石英岩、辉长岩、辉绿岩、玢岩	用爆破方法	2.7~3.3	1.45~1.50	1.20~1.30

2. 土的工程性质

土有各种工程性质,其中对施工影响较大的有土的质量密度、含水量、渗透性和可松性等。

(1) 土的质量密度

土的质量密度分天然密度和干密度。土的天然密度,是指土在天然状态下单位体积的质量,用 ρ 表示;它影响土的承载力、土压力及边坡的稳定性。土的干密度,是指单位体积土中固体颗粒的质量,用 ρ_d 表示;它是检验填土压实质量的控制指标。

(2) 土的含水量

土的含水量 ω 是土中所含水与土的固体颗粒间的质量比,以百分数表示:

$$\omega = \frac{G_{\text{湿}} - G_{\text{干}}}{G_{\text{干}}} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中: $G_{\text{湿}}$ ——含水状态时土的质量;

$G_{\text{干}}$ ——烘干后土的质量。

土的含水量影响土方施工方法的选择、边坡的稳定和回填土的质量,如土的含水量超过25%~30%时,就难以进行机械化施工;含水量超过20%时,一般运土汽车就容易打滑、陷车。而在填土中则需保持“最佳含水量”,方能在夯压时获得最大干密度。如砂土的最佳含水量为8%~12%,而黏土则为19%~23%。

(3) 土的渗透性

土的渗透性是指土体中水可以渗流的性能,一般以渗透系数 K 表示。从达西地下水流动速度公式 $v=KI$,可以看出渗透系数 K 的物理意义,即:当水力坡度 I (如图1-1中水头差 Δh 与渗流距离 L 之比)为1时地下水的渗透速度。 K 值大小反映了土渗透性的强弱。不同土质,其渗透系数有较大的差异,如黏土的渗透系数小于0.1m/d,细砂为5~10m/d,而砾石则为100~200m/d。

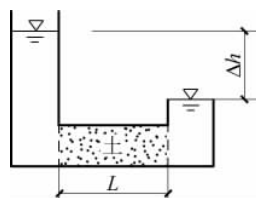


图1-1 水力坡度示意

在排水降低地下水时,需根据土层的渗透系数确定降水方案和计算涌水量;在土方填筑时,也需根据不同土料的渗透系数确定铺填顺序。

(4) 土的可松性

土具有可松性,即自然状态下的土经过开挖后,其体积因松散而增加,以后虽经回填压实,仍不能恢复其原来的体积。土的可松性程度用可松性系数表示,即:

$$K_s = \frac{V_2}{V_1} \quad (1-2)$$

$$K'_s = \frac{V_3}{V_1} \quad (1-3)$$

式中: K_s ——最初可松性系数;

K'_s ——最终可松性系数;

V_1 ——土在天然状态下的体积;

V_2 ——土经开挖后的松散体积;

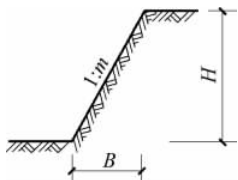
V_3 ——土经填筑压实后的体积。

土的可松性对土方量的平衡调配,确定运土机具的数量及弃土坑的容积,以及计算填方所需的挖方体积、确定预留回填用土的体积和堆场面积等均有很大的影响。

土的可松性与土质及其密实程度有关,其相应的可松性系数可参考表 1-1。

1.1.3 土方边坡坡度

多数情况下,土方开挖或填筑的边缘都要保留一定的斜面,称土方边坡。边坡的形式如图 1-2 所示,边坡坡度常用 $1:m$ 表示,即:



$$\text{土方边坡坡度} = \frac{H}{B} = \frac{1}{B/H} = 1:m \quad (1-4)$$

式中: $m=B/H$, 称坡度系数。其意义为: 当边坡高度已知为 H 时, 其边坡宽度 B 则等于 mH 。

图 1-2 边坡坡度示意

土方边坡坡度确定一定要合理,以满足安全和经济方面的要求。土方开挖时,若边坡太陡,容易造成土体失稳而发生塌方事故;若边坡太缓,则占用较多场地、增加开挖量,甚至会影响到邻近建筑物的使用和安全。

1.1.4 土方施工的准备工作的准备工作

土方工程施工前应做好如下准备工作:

(1) 制定施工方案。根据勘察文件、工程特点及现场条件等,确定场地平整、降水排水、土壁稳定与支护、开挖顺序与方法、土方调配与存放的方案,并绘制施工平面布置图,编制施工进度计划。

(2) 场地清理。场地清理包括清理地面及地下各种障碍。在施工前应拆除旧房,拆除或改建通信、电力设备、地下管线及构筑物,迁移树木,做好古墓及文物的保护或处理,清除耕植土及河塘淤泥等。

(3) 排除地面水。场地内低洼地区的积水必须排除,同时应注意雨水的排除,使场地保持干燥,以利土方施工。地面水的排除一般采用排水沟,必要时还需设置截水沟、挡水土坝等防洪设施。

(4) 修筑好临时道路及供水、供电等临时设施。

(5) 做好材料、机具、物资及人员的准备工作。

(6) 设置测量控制网,打设方格网控制桩,进行建筑物、构筑物的定位放线等。

(7) 根据土方施工设计做好边坡稳定、基坑(槽)支护、降低地下水位等辅助工作。

1.2 土方量计算与调配

土方工程施工之前,必须进行土方工程量计算。但施工的土体一般比较复杂,几何形状不规则,要做到精确计算比较困难。工程中,常采用具有一定精度的近似方法进行计算。

1.2.1 基坑、基槽和路堤的土方量计算

当基坑上口与下底两个面平行时(图 1-3),其土方量即可按拟柱体的体积公式计算。即:

$$V = \frac{H}{6} (F_1 + 4F_0 + F_2) \quad (1-5)$$

式中: H ——基坑深度(m);

F_1, F_2 ——基坑上、下两底面积(m^2);

F_0 —— F_1 与 F_2 之间的中截面面积(m^2)。

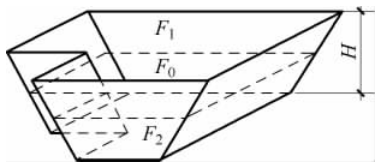


图 1-3 基坑土方量计算

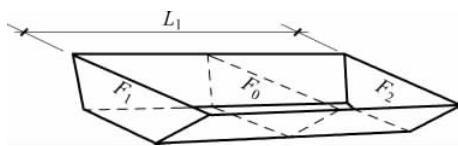


图 1-4 基槽土方量计算

当基槽和路堤沿长度方向断面呈连续性变化时(图 1-4),其土方量可以用同样方法分段计算。

$$V_1 = \frac{L_1}{6} (F_1 + 4F_0 + F_2) \quad (1-6)$$

式中: V_1 ——第一段的土方量(m^3);

L_1 ——第一段的长度(m)。

将各段土方量相加即得总土方量。

1.2.2 场地平整标高与土方量

场地平整前,要确定场地的设计标高,计算挖方和填方的工程量,然后确定挖方和填方的平衡调配方案,再根据工程规模、施工期限、现有机械设备条件,选择土方施工机械,拟定施工方案。

对较大面积的场地平整,正确选择设计标高是十分重要的。选择设计标高时应遵循以下原则:要满足生产工艺和运输的要求;尽量利用地形,以减少挖填方数量;争取场地内挖填方平衡,使土方运输费用最少;要有一定泄水坡度,满足排水要求。

场地设计标高一般应在设计文件上规定,若设计文件对场地设计标高没有规定时,对中小型场地可采用“挖填土方量平衡法”确定;对大型场地宜作竖向规划设计,采用“最佳设计平面法”确定。下面主要介绍“挖填量平衡法”的原理和步骤。

1. 确定场地设计标高

1) 初步设计标高

初步确定场地设计标高的原则是场地内挖填方平衡,即场地内挖方总量等于填方总量。计算场地设计标高时,首先将场地划分成有若干个方格的方格网,每格的大小根据要求

的计算精度及场地平坦程度确定,一般边长为10~40m,见图1-5(a)。然后找出各方格角点的地面标高。当地形平坦时,可根据地形图上相邻两等高线的标高,用插入法求得。当地形起伏或无地形图时,可在地面用木桩打好方格网,然后用仪器直接测出。

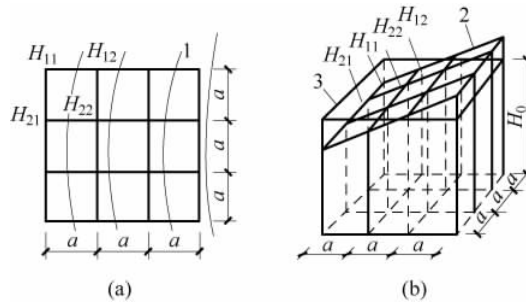


图1-5 场地设计标高 H_0 计算示意图

(a) 方格网划分; (b) 场地设计标高示意图

1—等高线; 2—自然地面; 3—场地设计标高平面

按照场地内土方的平整前后相等,即挖填方平衡的原则,如图1-5(b)所示,场地设计标高即为各个方格平均标高的平均值。可按下式计算:

$$H_0 = \frac{\sum (H_{11} + H_{12} + H_{21} + H_{22})}{4N} \quad (1-7)$$

式中: H_0 ——所计算的场地设计标高(m);

a ——方格边长(m);

N ——方格数量;

$H_{11}, H_{12}, H_{21}, H_{22}$ ——任一方格的四个角点的标高(m)。

从图1-5(a)可以看出, H_{11} 是一个方格的角点标高, H_{12} 及 H_{21} 是相邻两个方格的公共角点标高, H_{22} 是相邻四个方格的公共角点标高。如果将所有方格的四个角点全部相加,则它们在上式中分别要加一次、两次、四次。

如令 H_1 表示1个方格仅有的角点标高, H_2 表示2个方格共有的角点标高, H_3 表示3个方格共有的角点标高, H_4 表示4个方格共有的角点标高,则场地设计标高 H_0 可改写成下式:

$$H_0 = \frac{\sum H_1 + 2 \sum H_2 + 3 \sum H_3 + 4 \sum H_4}{4N} \quad (1-8)$$

2) 场地设计标高的调整

按式(1-8)计算的场地设计标高 H_0 为一理论值,尚需考虑以下因素进行调整。

(1) 土的可松性影响

由于土具有可松性,一般填土会有剩余,需相应地提高设计标高。由图1-6可看出,考虑土的可松性引起设计标高的增加值 Δh ,得

$$\Delta h = \frac{V_w(K'_s - 1)}{F_T + F_w K'_s} \quad (1-9)$$

式中: V_w ——按理论标高计算出的总挖方体积;

F_w, F_T ——按理论设计标高计算出的挖方区、填方区总面积;

K'_s ——土的最后可松性系数。

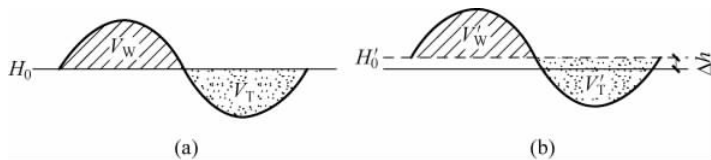


图 1-6 考虑土的可松性调整设计标高计算示意图

调整后的设计标高值如下：

$$H'_0 = H_0 + \Delta h \quad (1-10)$$

(2) 场内挖方和填土的影响

由于场内大型基坑挖出的土方、修筑路基填高的土方、场地周围挖填放坡的土方，以及经过经济比较，而将部分挖方就近弃于场外或将部分填方就近从场外取土，均会引起场地挖或填方量的变化，必要时也需调整设计标高。

(3) 场地泄水坡度的影响

按上述计算和调整后的设计标高进行场地平整时，场地将是一个水平面。但实际上由于排水的要求，场地表面均需有一定的泄水坡度，因此还需根据泄水要求，最后计算出场地内各方格角点实际施工时的设计标高。

① 单向泄水时各方格角点的设计标高

当场地只向一个方向泄水时(图 1-7(a))，应以计算出的设计标高 H_0 (或调整后的设计标高 H'_0)作为场地中心线的标高，场地内任一点的设计标高为

$$H_n = H_0 \pm li \quad (1-11)$$

式中： H_n ——场地内任意一方格角点的设计标高(m)；

l ——该方格角点至场地中心线的距离(m)；

i ——场地泄水坡度(不小于 0.2%)；

\pm ——该点比 H_0 高则用“+”，反之用“-”。

例如图 1-7(a)中，角点 10 的设计标高为

$$H_{10} = H_0 - 0.5ai$$

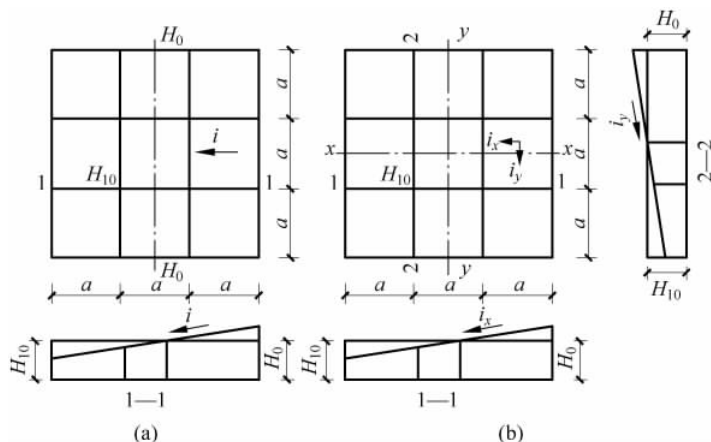


图 1-7 场地泄水坡度示意图

(a) 单向泄水；(b) 双向泄水

② 双向泄水时各方格角点的设计标高

当场地向两个方向泄水时(图 1-7(b)),应以计算出的设计标高 H_0 (或调整后的标高 H'_0) 作为场地中心点的标高,场地内任意一点的设计标高为

$$H_n = H_0 \pm l_x i_x \pm l_y i_y \quad (1-12)$$

式中: l_x, l_y ——该点于 $x-x, y-y$ 方向上距场地中心点的距离;

i_x, i_y ——场地在 $x-x, y-y$ 方向上的泄水坡度。

例如图 1-7(b)中,角点 10 的设计标高:

$$H_{10} = H_0 - 0.5 a i_x - 0.5 a i_y$$

2. 场地土方量计算

场地平整土方量的计算方法通常有方格网法和断面法两种。方格网法适用于地形较为平坦、面积较大的场地,断面法多用于地形起伏变化较大的地区。

用方格网法计算时,先根据每个方格角点的自然地面标高和实际采用的设计标高,算出相应的角点填挖高度,然后计算每一个方格的土方量,并算出场地边坡的土方量,这样即可得到整个场地的挖方量、填方量。其具体步骤如下。

1) 计算场地各方格角点的施工高度

各方格角点的施工高度(即挖、填方高度) h_n

$$h_n = H_n - H'_n \quad (1-13)$$

式中: h_n ——该角点的挖、填高度,“+”为填方高度,“-”为挖方高度(m);

H_n ——该角点的设计标高(m);

H'_n ——该角点的自然地面标高(m)。

2) 绘出“零线”

零线是场地平整时,施工高度为“0”的线,是挖、填的分界线。确定零线时,要先找到方格线上的零点。零点是在相邻两角点施工高度分别为“+”、“-”的格线上,是两角点之间挖填方的分界点。方格线上的零点位置见图 1-8,可按下式计算:

$$x = \frac{a h_1}{h_1 + h_2} \quad (1-14)$$

式中: h_1, h_2 ——相邻两角点挖、填方施工高度(以绝对值代入);

a ——方格边长;

x ——零点距角点 A 的距离。

参考实际地形,将方格网中各相邻零点连接起来,即成为零线。如不需要计算零线的确切位置,则绘出其大致走向即可。零线绘出后,也就划分出了场地的挖方区和填方区。

3) 场地土方量计算

计算场地土方量时,先求出各方格的挖、填土方量和场地周围边坡的挖、填土方量,把挖、填土方量分别加起来,就得到场地挖方及填方的总土方量。

各方格土方量计算,常用“四方棱柱体法”和“三角棱柱体法”两种方法。下面仅介绍四方棱柱体法。

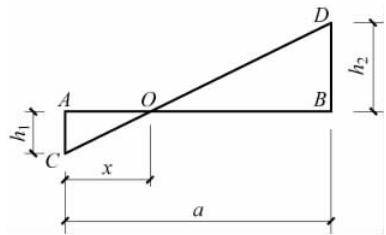


图 1-8 零点位置计算

(1) 全挖全填格

方格四个角点全部为挖方(或填方),如图 1-9 所示,其挖或填的土方量为

$$V = \frac{a^2}{4} (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \quad (1-15)$$

式中: V ——挖方或填方的土方量(m);

h_1, h_2, h_3, h_4 ——方格四个角点的挖填高度,以绝对值代入(m)。

(2) 部分挖部分填格

方格的四个角点中,有的为挖方、有的为填方(图 1-10,图 1-11)时,该格的挖方量或填方量为

$$V_{挖} = \frac{a^2}{4} \cdot \frac{(\sum h_{挖})^2}{\sum h} \quad (1-16)$$

$$V_{填} = \frac{a^2}{4} \cdot \frac{(\sum h_{填})^2}{\sum h} \quad (1-17)$$

式中: $V_{挖}$ 、 $V_{填}$ ——挖方或填方的土方量(m);

$\sum h_{挖}$ 、 $\sum h_{填}$ ——挖方或填方各角点的施工高度之和(m);

$\sum h$ ——方格 4 个角点的施工高度绝对值之和(m)。

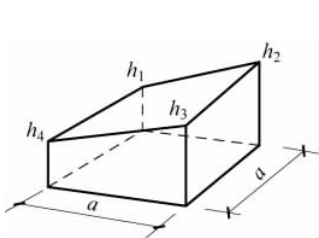


图 1-9 全挖(全填)格

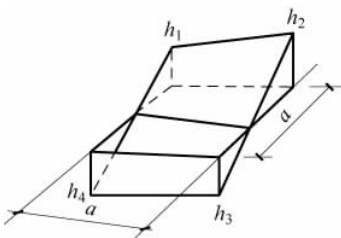


图 1-10 两挖两填格

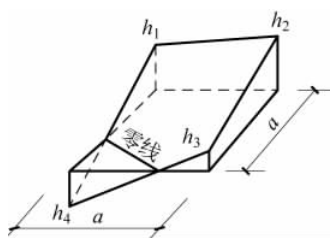


图 1-11 三挖一填格

1.2.3 土方调配

土方调配是大型土方工程施工设计的一个重要内容。其目的是在使土方总运输量($m^3 \cdot m$)最小或土方运输成本最低的条件下,确定填挖方区土方的调配方向和数量,从而达到缩短工期和降低成本的目的,其步骤如下。

1. 划分调配区

进行土方调配时,首先要划分调配区。划分调配区应注意下列几点:

(1) 调配区的划分应该与工程建(构)筑物的平面位置相协调,并考虑它们的开工顺序、分期施工的要求,使近期施工与后期利用相协调;

(2) 调配区的大小应该满足土方施工主导机械(如铲运机、推土机等)的技术要求;

(3) 调配区的范围应该和方格网协调,通常可由若干个方格组成一个调配区;

(4) 当土方运距较大或场地范围内土方不平衡时,可根据附近地形,考虑就近取土或就近弃土,这时每个取土区或弃土区都应作为一个独立的调配区;

(5) 调配区划分还应尽量与大型地下建筑物的施工相结合,避免土方重复开挖。例如,某场地调配区划分如图 1-12 所示。

2. 确定平均运距

平均运距一般是指挖方区土方重心至填方区土方重心的距离。当填、挖方调配区之间距离较远,采用汽车等运土工具沿工地道路或规定线路运土时,其运距应按实际情况进行计算。将上述平均运距的计算结果填入土方平衡表内。

3. 确定调配方案

确定最优调配方案,是以线性规划为理论基础,常用“表上作业法”求解。现结合示例介绍。

已知某场地有四个挖方区和三个填方区,各区的挖填土方量和各调配区之间的运距如图 1-13 所示。利用“表上作业法”进行调配的步骤如下。

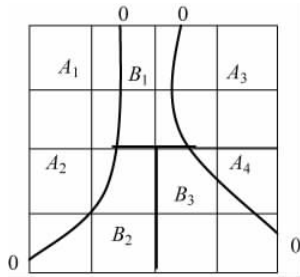


图 1-12 调配区划分示例

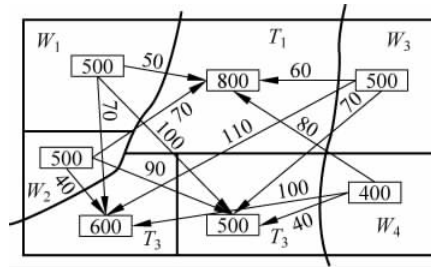


图 1-13 各调配区土方量和平均运距

(1) 编制初始调配方案

采用“最小元素法”进行就近调配,即先在运距表中找一个最小数值,如 $C_{22} = C_{43} = 40$ (任取其中一个,现取 C_{22}),先确定 X_{22} 的值,使其尽可能大,即将 W_2 挖方区的土方全部调到 T_2 填方区,所以 X_{21} 和 X_{23} 都等于零。此时,将 500 填入 X_{22} 格内,同时将 X_{21} 、 X_{23} 格内画上一个“×”号。然后在没有填上数字和“×”号的方格内再选一个运距最小的方格,即 $C_{43} = 40$,便可确定 $X_{43} = 400$,同时使 $X_{41} = X_{42} = 0$ 。此时,又将 400 填入 X_{43} 格内,并在 X_{41} 、 X_{42} 格内画上“×”号。重复上述步骤,依次确定其余 X_{ij} 的数值,最后得出表 1-2 所示的土方初始调配方案。

表 1-2 土方初始调配方案

填 挖	T_1	T_2	T_3	挖方量
W_1	500 50	× 70	× 100	500
W_2	× 70	500 40	× 90	500
W_3	300 60	100 110	100 70	500
W_4	× 80	× 100	400 40	400
填方量	800	600	500	1900