绪　　论

《水利工程施工与概预算》是一门理论与实践紧密结合的专业课。它是在总结国内外水利工程建设经验的基础上，从施工技术、施工机械、施工组织、施工管理、工程造价等方面，研究水利工程建设基本规律的一门学科。

一、我国水利工程施工的成就与发展

我国水利建设有着卓越的成就，积累了许多宝贵的施工经验。几千年来，修建了都江堰工程、黄河大堤、南北大运河以及其它许多施工技术难度大的水利工程。在长期实践中，创造了不少施工工具，如夯、硪、钎等，并积累了许多宝贵经验，如梢捆、竹笼、杩槎及草土围堰截流，木桩加固基础，埽工、砌石护堤，砖石砌拱，水力拉砂，爆破开石等。这些水利工程和独特的施工技术，至今仍发挥作用，有力地促进了我国水利建设的发展。

新中国成立后，我国水利建设事业取得了辉煌的成就。在水利建设中，江河干支流上加高加固和修建了大量的堤防，整治江河，提高了防洪能力。修建了官厅、佛子岭、大伙房、密云、岳城、潘家口、南山、观音阁、桃林口、江垭等大型水库，为防洪、蓄水服务。修建了三门峡、青铜峡、丹江口、满拉、乌鲁瓦提等水利枢纽，具有防洪、蓄水、发电等综合效益。在灌溉工程方面，修建了人民胜利渠，是黄河下游第一个引黄灌溉渠。还修建了饣开史灌区、内蒙古引黄灌区、林县红旗渠、陕甘宁盐环定扬黄灌区、宁夏扬黄灌区等。在跨流域引水工程方面修建了东港供水、引滦入津、南水北调东线一期、引黄济青、万家寨引黄入晋等。我国取水、输水、灌溉技术达到国际先进水平。

在防洪方面，修建和加高加固大江大河堤防 26 万 km,兴建水库 8.5万多座，总库容 4924亿 m^3 初步控制了常遇洪水，保护了 4 亿多人口、470 座城市、5 亿亩耕地和大量交通道路、油田等基础设施。新中国成立后，战胜了历次大洪水和严重的干旱灾害，黄河年年安澜。1998 年大洪水，长江堤防保持安澜，松花江、嫩江主要城市和河段保证了安全。

在农田水利方面，灌溉面积发展到 8 亿亩，灌区生产的粮食占全国总产量的 75%，棉花和蔬菜产量占 90%，我国以占世界近 10%的耕地面积，解决了占世界 22%人口的粮食问题。

在供水水源方面，兴建了大量蓄水、引水、扬水工程，抽用地下水，农业灌溉和城市工业供水水源已经初具规模，乡镇供水发展迅速，水利工程年供水能力达 5800亿 m^3。修建各种农村饮水工程 315 万处，解决了 2 亿多人和 1.3 亿头牲畜的饮水问题。

在水资源调配方面，兴建了一批流域控制性工程，以及跨流域调水工程，初步解决了区域水资源分布和城乡工农业用水的矛盾，缓解国民经济和社会发展用水的需要。三峡工程和小浪底工程建成后，还将得到进一步的缓解。南水北调工程规模巨大，正在规划中，

需要全本请访问 www.ertongbook.com

时机成熟也将兴建。

施工技术也不断提高采用了定向爆破、光面爆破、预裂爆破、岩塞爆破、喷锚支护、预应力锚索、滑模和碾压混凝土及混凝土防渗面板等新技术、新工艺。

施工机械装备能力迅速增长，使用了斗轮式挖掘机、大吨位的自卸汽车、全自动化混凝土搅拌楼、塔带机、隧洞掘进机和盾构机等。水利工程施工学科的发展，为水利建设事业展示了一片广阔的前景。

在取得巨大成就的同时，应认识到我国施工水平与先进国家相比，尚有较大差距。如新技术新工艺研究、推广和使用不够普遍；施工机械还比较落后、配套不齐、利用率不充分，施工组织管理水平不高。这些和我国水电建设事业的发展是不相适应的，这就要求我们必须认真总结过去的经验和教训，努力学习和引进国外先进的技术和科学的管理方法，走出一条适合我国国情的水利工程建设新路。

二、水利工程施工的特点

水利工程施工有以下特点：

（1）水利工程施工多在河流上进行，因而需要采取导截流、基坑排水、施工度汛、施工期通航及下游供水等措施，以保证工程施工的顺利进行。

（2）水利工程施工经常遇到复杂的地质条件，如渗漏、软弱地基、断层、破碎带及滑坡等。因而要进行相应的地基处理，以保证施工质量。

（3）水利工程多为露天施工，需要采取适合的冬季、夏季、雨季等不同季节的施工措施，保证施工质量和进度。

（4）水利工程一般都是挡水或过水建筑物，这些建筑物的安全往往关系到国计民生和下游千百万人民生命财产的安危，因此，必须确保施工质量。

三、课程内容和学习方法

本课程将系统地阐述农业水利工程施工中各主要工种的施工工艺、主要水工建筑物的施工程序与方法，农业水利工程概预算的组成内容、编制步骤、方法以及施工组织、施工管理等内容。通过学习，要求了解农业水利工程中施工常用的施工机械的主要组成部分、工作原理、主要性能及其选择；掌握主要工种的施工过程、施工方法、操作技术、质量控制检查、施工安全技术，以及主要水工建筑物的施工特点、施工程序和施工技术要求、施工方法以及质量控制检查方法；了解农业水利工程概预算的组成内容，掌握其编制步骤、方法；了解施工组织、施工管理基本知识。

根据教材内容和课程实践性很强的特点，学习中应掌握基本概念、基本原理、基本方法，结合所学过的课程，循序渐进地进行。必须密切联系生产实际，配合生产实习、生产劳动、生产现场教学、电化教学、多媒体教学、课程设计、毕业设计等教学环节，运用所学的施工知识，才能有效地掌握本课程的内容

第一章　土石坝施工

第一节　土的工程性质

在水利工程的土方施工中，根据其开挖难度，将土方分为四级，如表 1-1。

表 1-1　一般工程土类分级表

土质级别	土质名称	自然密度（g/cm³）	外形特征	开挖方法
Ⅰ	沙土、种植土	1.65～1.75	疏松、粘着力差或易透水，略有粘性	用锹或略加脚踩开挖
Ⅱ	壤土、淤泥、含壤种植土	1.75～1.85	开挖时能成块，并易打碎	用锹需用脚踩开挖
Ⅲ	粘土、干燥黄土、干淤泥、含少量砾石粘土	1.80～1.95	粘手、看不出砂粒或干硬	用镐、三齿耙开挖或用锹需用力加脚踩开挖
Ⅳ	坚硬粘土、砾质粘土、含卵石粘土	1.90～2.10	土壤结构坚硬，将土分裂后成块状或含粘粒、砾石较多	用镐、三齿耙开挖

土的工程性质对土方工程的施工方法及工程进度影响很大。主要的工程性质有：自然密度、干密度含水量、渗透性、可松性等。土的可松性指自然状态的土在挖掘后变松散的性质。

土方工程中有自然方、松方、压实方等几种计量方法，其换算关系如表 1-2。

表 1-2　土石方的松实系数

项　目	自然方	松　方	实　方	项　目	自然方	松　方	实　方
土方	1	1.33	0.85	砂	1	1.07	0.94
石方	1	1.53	1.31	混合料	1	1.19	0.88

注　本表摘自《水利建筑工程预算定额》（水利部文件水总［2002］116 号）。

第二节　土方工程量计算

一、场地平整土方量计算

场地平整就是将施工现场平整为满足施工布置要求的一块施工场地。场地平整前，应确定场地的设计标高，计算挖、填土方工程量，进行挖、填方的平衡调配。

场地平整土方量的计算，一般采用方格网法，计算步骤如下：

（1）在地形图上将需要平整的施工场地划分成边长为 10～40m 的方格网。

（2）计算各方格角点的自然地面标高。

(3) 确定场地设计标高，并根据泄水坡度要求计算各方格角点的设计标高。

(4) 确定各方格角点的挖填高度。

(5) 确定零线，即挖、填方的分界线。

(6) 计算各方格内挖、填土方量和场地边坡土方量，最后求得整个场地挖、填总方量。

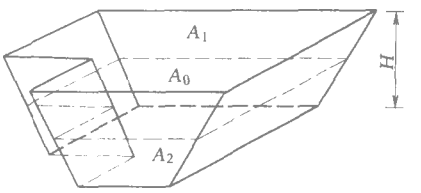


图 1-1 基坑土方量计算

二、基坑、基槽土方量计算

(1) 基坑的土方量可近似按棱柱体体积公式计算（图 1-1）：

$$V = (A_1 + 4A_0 + A_2)H/6 \qquad (1-1)$$

式中 H——基坑深度，m；

A_1、A_2——基坑上、下底面积，m^2；

A_0——基坑深 $H/2$ 处的面积，m^2。

(2) 基槽是一狭长沟槽，其土方量计算可沿其长度方向分段进行，然后相加求得总方量。

当基槽某段内横截面尺寸不变时，其土方量即为该段横截面的面积乘以该段基槽长度；当某段内横截面的尺寸、形状有变化时，仍可按式（1-1）计算该段土方量。

三、堤坝填筑工程量计算

堤坝工程为狭长形，工程量一般采用断面法计算，即每隔一定长度（形状变化较小时取大值，反之取小值）取一断面，每一段的方量用两端的断面面积的平均值乘以段长即可，各段方量之和即为总方量。

第三节 土方工程施工工艺

一、土方开挖

1. 推土机

推土机是一种挖运综合作业机械，是在拖拉机上装上推土铲刀而成（图 1-2）。按推土板的操作方式不同，可分为索式和液压式两种。索式推土机的铲刀是借刀具自重切入土中，切土深度较小；液压式推土机能强制切土，推土板的切土角度可以调整，切土深度较大。因此，液压推土机是目前工程中常用的一种推土机。

推土机构造简单，操作灵活，运转方便，所需作业面小，功率大，能爬 30°左右的缓坡。适用于施工场地清理和平整，开挖深度不超过 1.5m 的基坑以及沟槽的回填土，堆筑高度在 1.5m 以内的路基、堤坝等。在推土机后面安装松土装置，可破松硬土和冻土，还可牵引无动力的土方机械（如拖式铲运机、羊脚碾等）进行其它土方作业。推土机的推运距离宜在 100m 以内，当推运距离在 30～60m 时，经济效益最好。

提高推土机生产效率的方法：

(1) 下坡推土。借推土机自重，增大铲刀的切土深度和运土数量，以提高推土能力和缩短运土时间。一般可提高效率 30%～40%。

(2) 并列推土。对于大面积土方工程，可用 2～3 台推土机并列推土。推土时，两铲

刀相距 15～30cm，以减少土的侧向散失；倒车时，分别按先后顺序退回。平均运距不超过 50～75m 时，能提高效率 15%～30%.

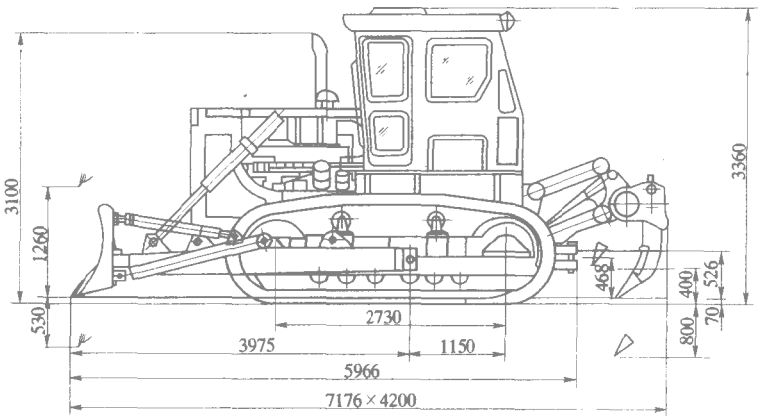


图 1-2 T180推土机（单位：mm）

(3) 沟槽推土。当运距较远，挖土层较厚时，利用前次推土形成的槽推土，可大大减少土方散失，从而提高效率。此外，还可在推土板两侧附加侧板，增大推土板前的推土体积以提高推土效率。

2. 铲运机

按行走机构不同，铲运机有拖式和自行式两种。拖式铲运机由拖拉机牵引，工作时靠拖拉机上的操作机构进行操作。根据操作机构不同，拖式铲运机又分索式和液压式两种。自行式铲运机的行驶和工作都靠本身的动力设备，不需要其它机械的牵引和操作，如图 1-3。

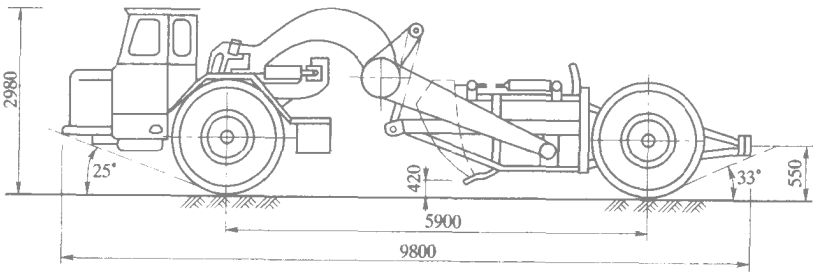


图 1-3 CL_7 自行式铲运机（单位：mm）

铲运机能独立完成铲土、运土、卸土和平土作业，对行驶道路要求低，操作灵活，运转方便，生产效率高。铲运机适用于大面积场地平整，开挖大型基坑、沟槽以及填筑路基、堤坝等，最适合开挖含水量不大于 27%的松土和普通土，不适合在砾石层和沼泽区工作。当铲运较坚硬的土壤时，宜先用推土机翻松 0.2～0.4m，以减少机械磨损，提高效率。常用铲运机的铲斗容量为 1.5～6m^3；拖式铲运机的运距以不超过 800m 为宜，当运距在 300m左右时效率最高；自行式铲运机经济运距为 800～1500m。

3. 装载机

需要全本请访问 www.ertongbook.com

装载机是一种高效的挖运综合作业机械。主要用途是铲取散粒材料并装上车辆，可用于装运、挖掘、平整场地和牵引车辆等，更换工作装置后，可用于抓举或起重等作业（图 1－4）因此在工程中被广泛应用。

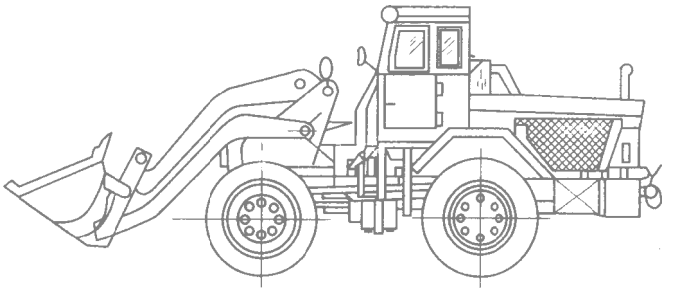


图 1－4　装载机

装载机按行走装置分为轮胎式和履带式；按卸料方式分为前卸式、后卸式和回转式三种；按载重量分为小型（小于 1t）、轻型（1～3t）、中型（4～8t）、重型（大于 10t）四种。目前使用最多的是四轮驱动铰接转向的轮式装载机，其铲斗多为前卸式，有的兼可侧卸。

4. 单斗挖掘机

单斗挖掘机是一种循环作业的施工机械，在土石方工程施工中最常见。按其行走机构的不同，可分为履带式和轮胎式；按其传动方式不同，分机械传动和液压传动两种；按工作装置不同分为正铲、反铲、拉铲和抓铲等（图 1－5）。

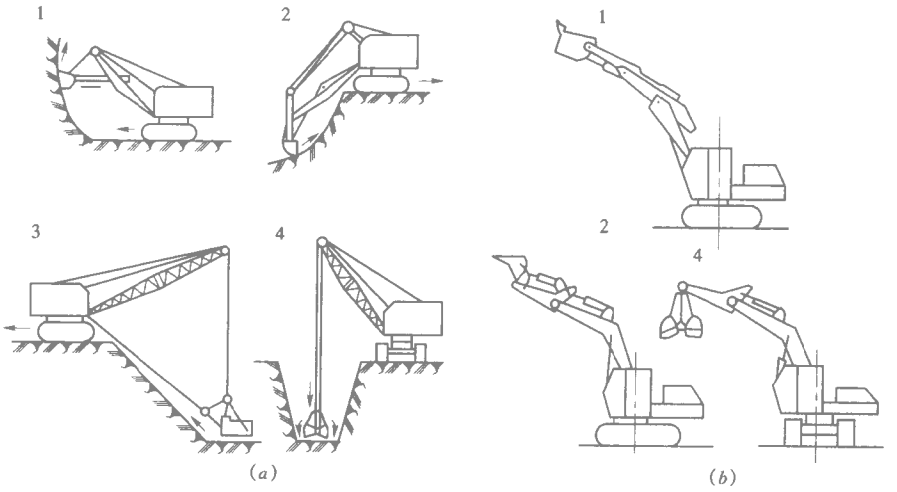


图 1－5　单斗挖掘机
（a）机械式；（b）液压式
1—正铲；2—反铲；3—拉铲；4—抓铲

（1）正向铲斗式挖掘机。如图 1－6，正铲挖掘机由动臂、斗杆、铲斗、提升索等主要部分组成。

图 1－7 为正铲工作过程示意图。每一工作循环包括挖掘、回转、卸料、返回四个过

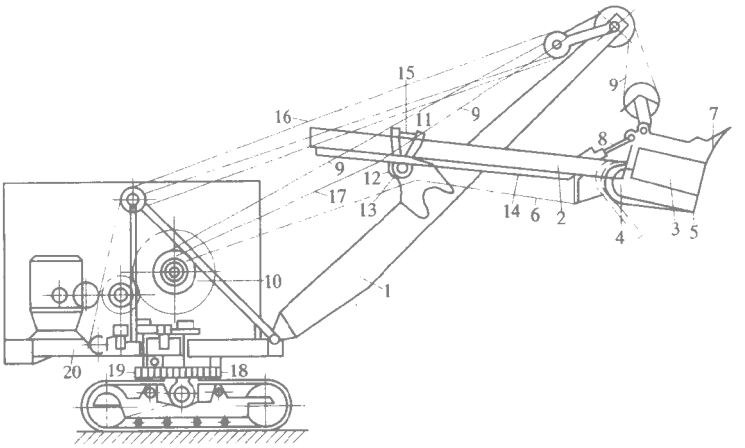


图 1-6 正铲挖掘机构造图

1—支杆；2—斗柄；3—铲斗；4—斗底绞链连接；5—门扣；6—开启斗门用索；7—斗齿；8—拉杆；9—提升索；10—绞盘；11—枢轴；12—取土鼓轴；13—齿轮；14—齿杆；15—鞍式轴承；16—支承索；17—回引索；18—旋转用大齿轮；19—旋转用小齿轮；20—回转盘

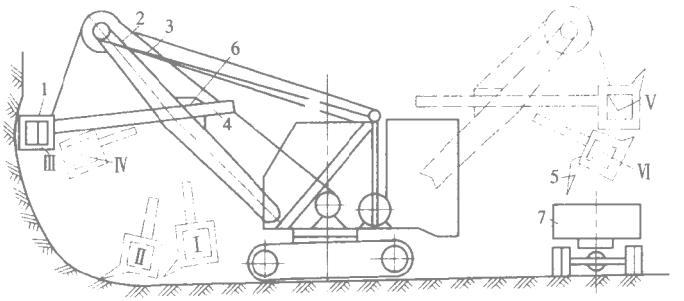


图 1-7 正铲挖掘机工作过程示意图

1—铲斗；2—支杆；3—提升索；4—斗柄；5—斗底；6—鞍式轴承；7—车辆

Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ—挖掘过程；Ⅴ、Ⅵ—装卸过程

程。挖掘时先将土斗放到工作面底部（Ⅰ）的位置，然后将铲斗自下而上提升，同时向前推压斗杆，在工作面上形成一弧形挖掘带（Ⅱ、Ⅲ）；铲斗装满后，将铲斗后退，离开工作面（Ⅳ）；回转挖掘机上部机构至运输车辆处，打开斗门，将土卸出（Ⅴ、Ⅵ）此后再回转挖掘机，进入第二个工作循环。

正铲挖掘机施工时，应注意以下几点：为了操作安全，使用时应将最大挖掘高度、最大挖掘半径值减少 5%～10%；在挖掘粘土时，工作面高度宜小于最大挖土半径时的挖掘高度，以防止出现土体倒悬现象；为了发挥挖掘机的生产效率，工作面高度应不低于挖掘一次即可装满铲斗的高度。

挖掘机的工作面称为掌子面，正铲挖掘机主要用于停机面以上的掌子开挖。根据掌子面布置的不同，正铲挖掘机有不同的作业方式，如图 1-8 所示。

正向挖土、侧向卸土［图 1-8（a）］：挖掘机沿前进方向挖土，运输工具停在侧面装

土（可停在停机面或高于停机面上）。这种挖掘方式在挖掘机卸土时，动臂回转角度小，运输车辆行驶方便，生产效率高，故被广泛使用。

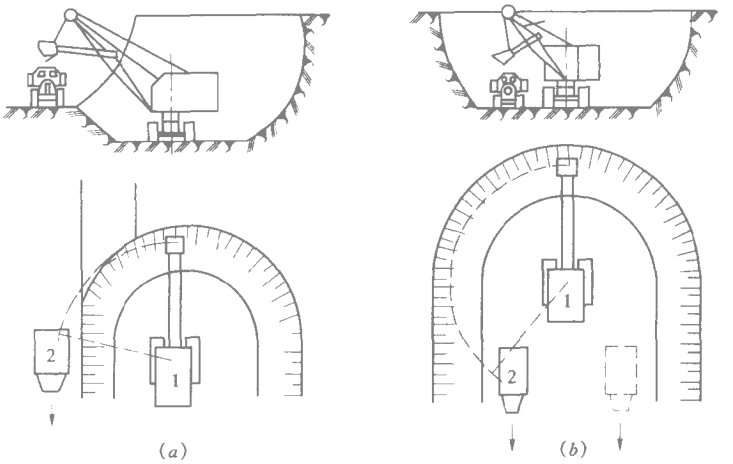


图 1-8 正铲挖掘机的作业方式

(a) 正向开挖、侧向卸土；(b) 正向开挖、后方卸土

1—正铲挖掘机；2—自卸汽车

正向挖土、后方卸土［图 1-8 (b)］：挖掘机沿前进方向挖土，运输工具停在它的后面装土。卸土时挖掘机动臂回转角度大，运输车辆需倒退对位，运输不方便，生产效率低。适用于开挖深度大、施工场地狭小的场合。

(2) 反向铲斗式挖掘机。反铲挖掘机为液压操作方式，适用于停机面以下土方开挖。挖土时后退向下，强制切土，挖掘力比正铲挖掘机小，主要用于小型基坑、基槽和管沟开挖。反铲挖土时，可用自卸汽车配合运土，也可直接弃土于坑槽附近。

反铲挖掘机工作方式分为以下两种：

沟端开挖［图 11-9 (a)］：挖掘机停在基坑端部，后退挖土，汽车停在两侧装土。

沟侧开挖［图 11-9 (b)］：挖掘机停在基坑的一侧移动挖土，可用汽车配合运土，也可将土弃于土堆。由于挖掘机与挖土方向垂直，挖掘机稳定性较差，而且挖土的深度和宽度均较小，故这种开挖方法只是在无法采用沟端开挖或不需将弃土运走时采用。

(3) 单斗挖掘机生产效率的计算。挖掘机的生产率是指在单位时间内从掌子面中挖取并卸入土堆或车厢的土方量。影响挖掘机生产率的主要因素有：土壤性质、掌子的高度、旋转角度、工作时间的利用程度、运输车辆的大小、司机的操作水平和挖掘机的技术状况等。根据具体施工条件分析上述因素后，单斗挖掘机生产率 P 可按下式计算，即

$$P = 60nqK_{充}K_{修}K_{时}K_{延}/K_{松}\ (\mathrm{m^3/h}\text{,自然方}) \qquad (1-2)$$

$$K_{修} = 1/(0.4K_{\pm} + 0.6\beta)$$

式中 n——设计每分钟循环次数，$n = 3600/T$，T 为挖掘机一个工作循环时间，s

q——铲斗平装容量,(即铲斗的几何容积)，$\mathrm{m^3}$；

$K_{充}$——铲斗充盈系数，与土质有关，一般取 0.80～1.10

$K_{修}$——工作循环时间修正系数；

$K_{土}$——土壤级别修正系数，可采用 1.0～1.2；

β——转角修正系数，转角 90°时取 1.0，100°～135°时取 1.08～1.37；

$K_{时}$——时间利用系数，取 0.8～0.9；

$K_{延}$——联合工作系数，卸入弃土堆时取 1.0，卸入车厢时取 0.9；

$K_{松}$——土壤的可松性系数。

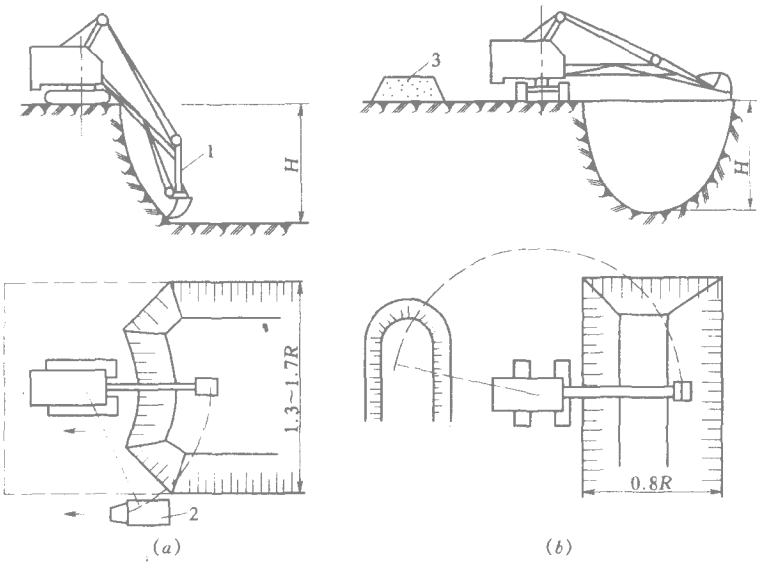


图 1-9 反铲挖掘机开挖方式与工作面

(a) 沟端开挖；(b) 沟侧开挖

1—反铲挖掘机；2—自卸汽车；3—弃土堆

提高挖掘机生产效率的措施：合理布置掌子面，缩短挖掘机工作循环时间；合理配套挖运设备；规范施工方法和步骤，提高机械设备操作水平，加强施工管理，提高时间利用系数；加强机械维修保养，保证机械正常运转。

二、土方运输

土方运输机械可分为：有轨运输、无轨运输和皮带机运输。

1. 有轨运输

(1) 标准轨运输（轨距 1435mm）。工程量一般不少于 30 万 m^3，运距不少于 1km，坡度不宜大于 2.5%，转弯半径不小于 200m。

(2) 窄轨运输。轨距有 1000mm、762mm、610mm 三种。窄轨运输设备简单，线路要求比标准轨低，能量消耗少，在工程中得到广泛使用。

有轨运输路基施工较难，效益较低，除窄轨运输有时用于隧洞出渣外，一般较少采用。

2. 无轨运输

(1) 自卸汽车运输。机动灵活，运输线路布置受地形影响小，但运输效率易受气候条

件的影响，燃料消耗多，维修费用高。自卸汽车运输，运距一般不宜小于 300m，重车上坡最大允许坡度为 8%～10%，转弯半径不宜小于 20m。

(2) 拖拉机运输。拖拉机运输是用拖拉机拖带拖车进行运输。根据行走装置不同，拖拉机分为履带式和轮胎式两种。履带式拖拉机牵引力大，对道路要求低，但行驶速度慢，适用于运距短、道路不良的情况。轮式拖拉机对道路的要求与自卸汽车相同，适用于道路良好，运距较大的情况。

3. 皮带机运输

皮带机是一种连续式的运输设备。与车辆运输相比，皮带机具有以下特点：结构简单、工作可靠、管理方便，易于实现自动控制；负荷均匀，动力装置的功率小，能耗低；连续运输，生产效率高，如图 1-10。

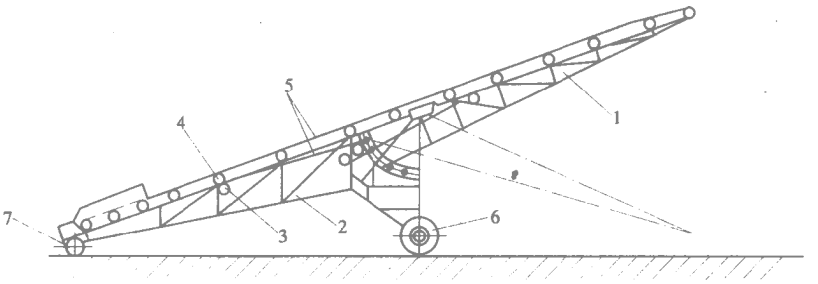


图 1-10 移动式皮带机

1—前机架；2—后机架；3—下托辊；4—上托辊；5—皮带；6—行走轮；7—尾部导向轮

三、土方压实

(一)压实理论

填筑于土坝或土堤上的土方，通过对其压实，可以达到以下目的：提高土体密度，提高土方承载能力；加大土坝或土堤坡角，减小填方断面面积，减少工程量，从而减少工程投资，加快工程进度；提高土方防渗性能，提高土坝或土堤的渗透稳定性。

土坝或土堤填方的稳定性主要取决于土料的内摩擦力和粘聚力。土料的内摩擦力、粘聚力和防渗性能都随填土的密实程度的增大而提高。例如某种砂壤土干密度由 1.4 g/cm^3 压实提高到 1.7 g/cm^3，其抗压强度可提高 4 倍，渗透系数将降低为原来的 1/2000。

土体是三相体，即由固相的土粒、液相的水和气相的空气所组成。通常土粒和水是不会被压缩的，土料压实的实质是将水包裹的土粒挤压填充到土粒间的空隙里，排走空气占有的空间，使土料的空隙率减少，密实度提高。所以，土料压实的过程实际上就是在外力作用下土料的三相重新组合的过程。

试验表明，粘性土的主要压实阻力是土体内的粘聚力。在铺土厚度不变的条件下，粘性土的压实效果（即干密度）随含水量的增大而增大，当含水量增大到某一临界值时，干密度达到最大，如此时进一步增加土体含水量，干密度反而减小，此临界含水量称为土体的最优含水量，即相同压实功能时压实效果最大的含水量。当土料中的含水量超过最优含水量后，土体中的空隙逐步被水填充，此时作用在土体上的外荷，实际上有一部分是作用在水上，因此即使压实功能增加，但由于水的反作用抵消了一部分外荷，被压实土体的体

积变化却很小，而呈此伏彼起的状态，土体的压实效果反而降低。

对于非粘性土，压实的主要阻力是颗粒间的摩擦力。由于土料颗粒较粗，单位土体的表面积比粘性土小得多，土体的空隙率小，可压缩性小，土体含水量对压实效果的影响也小，在外力及自重的作用下能迅速排水固结。粘性土颗粒细，孔隙率大，可压缩性也大，由于其透水性较差，所以排水固结速度慢，难以迅速压实。此外，土体颗粒级配的均匀性对压实效果也有影响。颗粒级配不均匀的砂砾料，较级配均匀的砂土易于压实。

（二）压实方法

土料的物理力学性能不同，压实时要克服的压实阻力也不同。粘性土的压实主要是克服土体内的粘聚力，非粘性土的压实主要是克服颗粒间的摩擦力。压实机械作用于土体上的外力有静压碾压、震动碾压和夯击三种，如图 1-11。

静压碾压：作用在土体上的外荷不随时间而变化，如图 1-11（a）所示。

震动碾压：作用在土体上的外力随时间做周期性的变化，如图 1-11（c）所示。

夯击：作用在土体上的外力是瞬间冲击力，其大小随时间而变化，如图 1-11（b）所示。

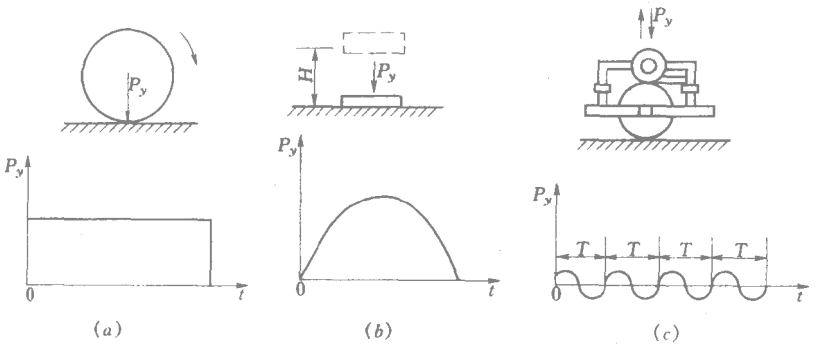


图 1-11 土料压实作用外力示意图

（a）静压碾压；（b）夯击；（c）震动碾压

（三）压实机械与压实机械的选择

常用的压实机械如图 1-12。

1. 平碾

平碾的构造如图 1-12（a）所示。钢铁空心滚筒侧面设有加载孔，加载大小根据设计要求而定。平碾碾压质量差，效率低，较少采用。

2. 肋碾

肋碾的构造如图 1-12（b）所示，一般采用钢筋混凝土预制。肋碾单位面积压力较平碾大，压实效果比平碾好，用于粘性土的碾压。

3. 羊脚碾

羊脚碾的构造如图 1-12（c）所示，其碾压滚筒表面设有交错排列的羊脚。钢铁空心滚筒侧面设有加载孔，加载大小根据设计要求而定。

羊脚碾的羊脚插入土中，不仅使羊脚底部的土体受到压实，而且使其侧向土体受到挤压，从而达到均匀压实的效果。碾筒滚动时，表层土体被翻松，有利于上下层间结合。但

需要全本请访问 www.ertongbook.com

对于非粘性土，由于插入土体中的羊脚使无粘性颗粒产生向上和侧向移动，会降低压实效果，所以羊脚碾不适于非粘性土的压实。

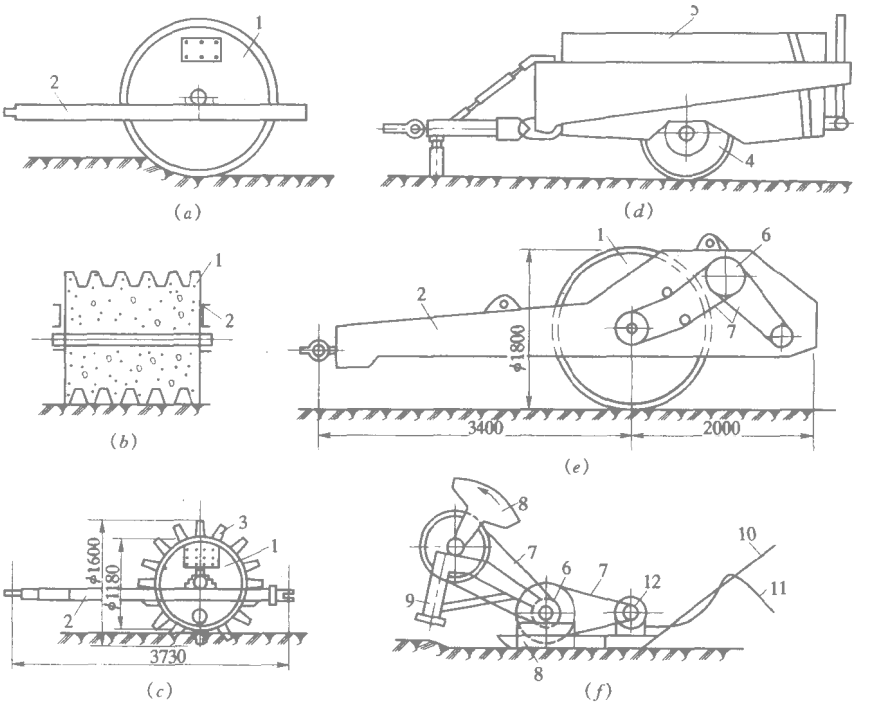


图 1-12 土方压实机械（单位：mm）

(a) 平碾；(b) 肋碾；(c) 羊脚碾；(d) 气胎碾；(e) 振动碾；(f) 蛙夯

1—碾滚；2—机架；3—羊脚；4—充气轮胎；5—压重箱；6—主动轮；7—传动皮带；8—偏心块；9—夯头；10—扶手；11—电缆；12—电动机

羊脚碾压实土料的方法有两种：圈转套压法和进退错距法，如图 1-13 (a)、图 1-13 (b)。圈转套压法：羊脚碾从填方一侧开始，转弯后沿压实区域中心线另一侧返回，逐圈错距，以螺旋形线路移动进行压实。这种方法适用于碾压工作面大，多台碾具同时碾压，生产效率高。但转弯处重复碾压过多，容易引起超压剪切破坏，转角处易漏压，难以保证工程质量。进退错距法：碾压机械沿直线错距进行往复碾压。这种方法操作简单，容易控制碾压参数，便于组织分段流水作业，漏压重压少，有利于保证压实质量。此法适用于工作面狭窄的情况。

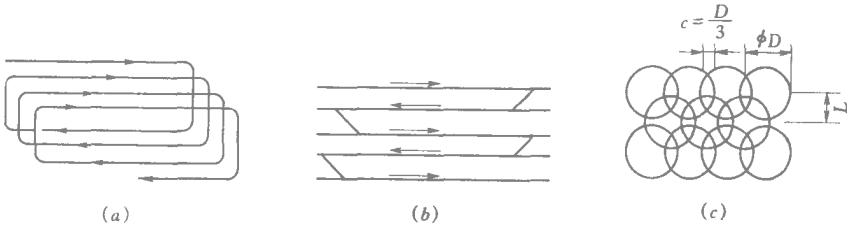


图 1-13 碾压机械压实方法

(a) 圈转套压法；(b) 进退错距法；(c) 套压夯实法

4. 气胎碾

气胎碾是一种拖式碾压机械，分单轴和双轴两种。图 1-12（d）所示是单轴气胎碾。单轴气胎碾的主要构造是由装载荷载的金属车厢和装在轴上的 4～6 个充气轮胎组成。碾压时在金属车厢内加载同时将气胎充气至设计压力。为避免气胎损坏，停工时用千斤顶将金属车厢顶起，并把胎内的气放出一些。

气胎碾在压实土料时，充气轮胎随土体的变形而发生变形。开始时，土体很松，轮胎的变形小，土体的压缩变形大。随着土体压实密度的增大，气胎的变形也相应增大，气胎与土体的接触面积也增大，始终能保持较均匀的压实效果。另外，还可通过调整气胎内压，来控制作用于土体上的最大应力不致超过土料的极限抗压强度。增加轮胎上的荷重后，由于轮胎的变形调节，压实面积也相应增加，所以平均压实应力的变化并不大。因此，气胎的荷重可以增加到很大的数值。而对于平碾和羊脚碾，由于碾滚是刚性的，不能适应土壤的变形，当荷载过大就会使碾滚的接触应力超过土壤的极限抗压强度，而使土壤结构遭到破坏。

气胎碾既适宜于压实粘性土，又适宜于压实非粘性土，适用条件好，压实效率高，是一种十分有效的压实机械。

5. 震动碾

震动碾是一种震动和碾压相结合的压实机械，如图 1-12（e）所示。它是由柴油机带动与机身相连的轴旋转，使装在轴上的偏心块产生旋转，迫使碾滚产生高频振动。振动功能以压力波的形式传递到土体内。非粘性土料在振动作用下，内摩擦力迅速降低，同时由于颗粒不均匀，震动过程中粗颗粒质量大、惯性力大，细颗粒质量小、惯性力小。粗细颗粒由于惯性力的差异而产生相对移动，细颗粒填入粗颗粒间的空隙，使土体密实。而对于粘性土，由于土粒比较均匀，在震动作用下，不能取得像非粘性土那样的压实效果。

6 蛙夯

夯击机械是利用冲击作用来压实土方，具有单位压力大、作用时间短的特点，既可用来压实粘性土，也可用来压实非粘性土。如图 1-12（f）所示，蛙夯由电动机带动偏心块旋转，在离心力的作用下带动夯头上下跳动而夯击土层。夯击作业时各夯之间套压，如图 1-13（c）。一般用于施工场地狭窄、碾压机械难以施工的部位。

7. 压实机械的选择

选择压实机械主要考虑以下原则。

(1) 适应筑坝材料的特性。粘性土应优先选用气胎碾、羊脚碾；砾质土宜用气胎碾、夯板；堆石与含有特大粒径（大于 500mm）的砂卵石宜用震动碾。

(2) 应与土料含水量、原状土的结构状态和设计压实标准相适应。对含水量高于最优含水量 1%～2%的土料，宜用气胎碾压实；当重粘土的含水量低于最优含水量，原状土天然密度高并接近设计标准，宜用重型羊脚碾、夯板；当含水量很高且要求的压实标准低时，粘性土也可选用轻型的肋碾、平碾。

(3) 应与施工强度大小、工作面宽窄和施工季节相适应。气胎碾、震动碾适用于生产强度要求高和抢时间的雨季作业；夯击机械宜用于坝体与岸坡或刚性建筑物的接触带、角和沟槽等狭窄地带。冬季作业选择大功率、高效能的机械。

(四)压实参数与压实试验

1. 压实标准

土方工程以设计干密度作为压实标准来控制填方质量。

2. 压实参数的确定

当初步选择了压实机械类型后，还应进一步确定机械所能达到的、具有最佳技术经济效果的各种压实参数。为了使土料达到设计要求的压实效果，且技术经济效果最佳，要求在施工现场进行压实试验，以确定碾重、铺土厚度、压实遍数及土料的最优含水量等。

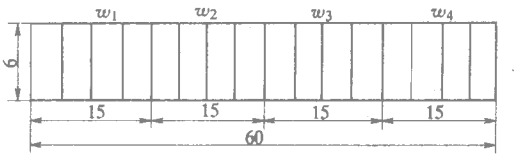


图 1-14 土料压实试验场地布置示意图（单位：m）

3. 碾压试验

碾压试验方法步骤如下：

(1) 选择一 60m×6m 的条形试验区,如图 1-14 所示。将此条带分为 15m 长的 4 等分,各段含水量依次为 w_1、w_2、w_3、w_4，控制其误差不超过 1%。对粘性土，试验含水量可定为：$w_1 = w_p - 4\%$；$w_2 = w_p - 2\%$；$w_3 = w_p$；$w_4 = w_p + 2\%$；w_p (为土料的塑限)。

(2) 每段沿长边等分为 4 块，每块规定其碾压遍数分别为 n_1、n_2、n_3、n_4。

(3) 试验时，每一小块内取 9 个试样为一组，分别测定其含水量和干密度，根据整个试验区一次试验的结果，作出同一铺土厚度情况下不同压实遍数的压实效果曲线，如图 1-15 所示。

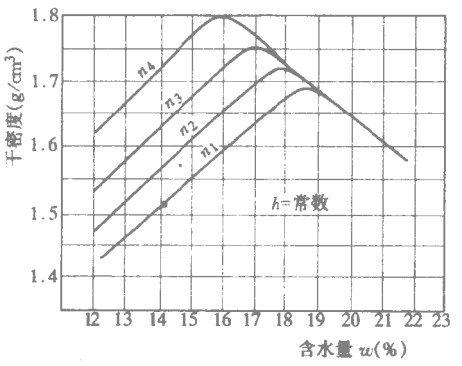


图 1-15 压实遍数、含水量、最大干密度的关系曲线

(4) 改变铺土厚度，重复上述步骤。

(5) 根据铺土厚度的不同，分别作出各不同铺土厚度情况下的最优含水量、最大干密度与压实遍数的关系曲线，如图 1-16 所示。

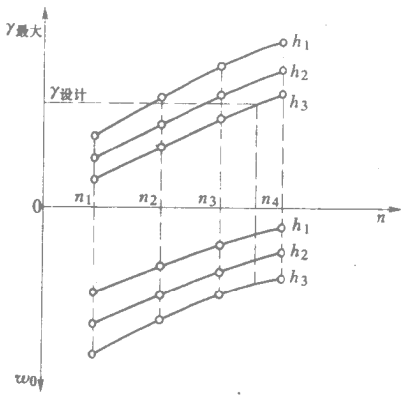


图 1-16 最优含水量与压实遍数及最大干密度与压实遍数关系曲线

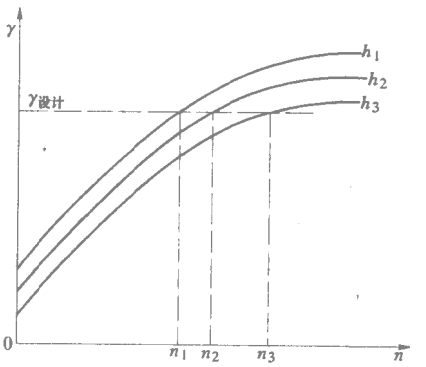


图 1-17 非粘性土干密度与压实遍数关系曲线

(6）根据设计干密度 γ_d，从图 1－16 上分别查出不同铺土厚度时所对应的压实遍数 n_1、n_2、n_3，分别计算 h_1/n_1、h_2/n_2、h_3/n_3（即单位压实遍数的压实厚度),以单位压实遍数下压实厚度最大者所对应的压实参数作为最终施工参数。

对于非粘性土，由于压实效果与含水量的关系不显著，所以只需作土料压实的铺土厚度、压实遍数和干密度的关系曲线即可，如图 1－17 所示。确定合理的铺土厚度和压实遍数时，用设计要求的压实干密度查图 1－17，便可得到与不同铺土厚度相对应的压实遍数，然后仍以单位压实遍数下铺土厚度最大者所对应的压实参数作为最终施工参数。

第四节　土石坝施工

按施工方法的不同，土石坝分为填筑碾压、水力冲填、水中倒土和定向爆破等类型。目前仍以填筑碾压式为最多。

碾压式土石坝施工，包括准备作业（如平整场地，修筑道路，架设水、电线路，修建临时用房，清基、排水等）；基本作业（如土石料开挖、装运、铺卸、压实等）以及为基本作业提供保证条件的辅助作业（如清除料场的覆盖层、清除杂物、坝面排水、刨毛及加水等）和保证建筑物安全运行而进行的附加作业（如修整坝坡、铺砌块石、种植草皮等）。

由于土石坝施工一般不允许坝顶过水，在河道截流后，必须保证在一个枯水期内将大坝修筑到拦洪高程以上。因此，除了应合理确定导流方案以外，还需周密研究料场的规划使用，采取有效的施工组织措施，确保上坝强度，使大坝在一个枯水期内达到拦洪高程。

一、料场规划

土石坝用料量很大，在坝型选择阶段应对土石料场全面调查，在施工前还应结合施工组织设计，对料场作进一步勘探、规划和选择。料场的规划包括空间、时间和质量等方面的全面规划。

空间规划，是指对料场的空间位置、高程进行恰当选择，合理布置。土石料场应尽可能靠近大坝，并有利于重车下坡。坝的上下游、左右岸最好都有料场，以利于各个方向同时向大坝供料，保证坝体均衡上升。用料时，原则上低料低用、高料高用，以减少垂直运输。

时间规划，是指料场的选择要考虑施工强度、季节和坝前水位的变化。在用料规划上力求做到近料和上游易淹的料场先用，远料和下游不易淹的料场后用；含水量高的料场旱季用，含水量低的料场雨季用。上坝强度高时充分利用运距近、开采条件好的料场，上坝强度低时用运距远的料场，以平衡运输任务。在料场使用计划中，还应保留一部分近料场供合拢段填筑和拦洪度汛施工高峰时使用。

料场质与量的规划，是指对料场的质量和储料量进行合理规划。在选择规划和使用料场时，应对料场的地质成因、产状、埋深、储量以及各种物理力学性能指标进行全面勘探试验。

料场规划时还应考虑主要料场和备用料场。主要料场，是指质量好、储量大、运距近的料场，且可常年开采；备用料场，是指在淹没范围以外，当主要料场被淹没或因库水位抬高而导致土料过湿或其它原因不能使用时，在备用料场取料，保证坝体填筑的正常进

行。应考虑到开采自然方与上坝压实方的差异，杂物和不合格土料的剔除，开挖、运输、填筑、削坡、施工道路和废料占地不能开采以及其它可能产生的损耗。

此外，为了降低工程成本，提高经济效益，料场规划时应充分考虑利用永久水工建筑物和临时建筑物的开挖料作为大坝填筑用料。如建筑物的基础开挖时间与上坝填筑时间不相吻合时，则应考虑安排必要的堆料场地储备开挖料。

二、土料的开挖与运输

1. 挖运配套方案

常用土石料挖运配套方案有以下几种：

(1) 人工开挖，手推胶轮车和架子车运输。一般手推车载重量 100～200kg，架子车载重量 300～500kg，运距不宜大于 1km，坡度不宜大于 2%。如坡度较陡可采用拉坡机或转皮带机运输。拉坡机拉车上坡坡度不宜陡于 1:3～1:5，爬高不宜大于 30m。

(2) 挖掘机挖装，自卸汽车、拖拉机运输。适宜运距 2～5km，双线路宽 5～5.5m，转弯半径不宜小于 50m，坡度不宜大于 10%.

挖运方案选择，应根据工程量大小、上坝强度高低、运距远近和可供选择的机械型号、规格等因素，进行综合经济技术比较后确定。

2. 挖运机械配套计算

(1) 挖运强度的确定。

1) 上坝强度 Q_d：单位时间填筑到坝面上的土方量，按坝面压实成品方计。

$$Q_d = \frac{Vk_a k}{Tk_1} \text{（压实方，m}^3\text{/d）} \qquad (1-3)$$

式中 V——某时段内填筑到坝面上的土方量，m^3；

k_a——坝体沉陷影响系数，取 1.03～1.05；

k——施工不均衡系数，取 1.2～1.3；

k_1——坝面土料损失系数，取 0.9～0.95；

T——某时段内的有效施工天数，等于计算时段内的总天数减去法定节假日天数和因雨停工的天数。

2) 运输强度 Q_T：为满足上坝强度要求，单位时间内应运输到坝面上的土方量，按运输松方计。

$$Q_T = \frac{Q_d k_c}{k_2} \text{（松方，m}^3\text{/d）} \qquad (1-4)$$

$$k_c = \frac{\gamma_d}{\gamma_y}$$

式中 k_c—— 压实影响系数；

k_2—— 土料运输损失系数，取 0.95～0.99

γ_d、γ_y——分别为坝面土料设计干密度和土料运输松散密度。

3) 开挖强度 Q_C：为了满足坝面土方填筑要求，料场土料开挖应达到的强度。

$$Q_C = \frac{Q_d k'_c}{k_2 k_3} \text{（自然方，m}^3\text{/d）} \qquad (1-5)$$

$$k'_c = \frac{\gamma_d}{\gamma_n}$$

式中 γ_n——料场土料自然干密度；

k_3——料场土料开挖损失系数，随土料性质和开挖方式而异，取 0.92～0.97；

其它符号意义同前。

（2）挖运设备数量的确定。

1）挖掘机需要量 N_c 的计算：

$$N_c = \frac{Q_C}{P_C} \tag{1-6}$$

式中 N_c——挖掘机需要量，台；

P_C——挖掘机的生产率，m^3／（d·台）。

2）与一台挖掘机配套的自卸汽车数 N_a 的计算：合理的配套应满足：从第一辆汽车装满后离开挖掘机到再次回到挖掘地点所消耗的时间，应该等于剩下的（N_a-1）辆汽车在装车地点所消耗的时间。即

$$(N_a-1)(t_{装}+t_{位}) = (t_{重}+t_{卸}+t_{空})$$

则

$$N_a = \frac{t_{装}+t_{重}+t_{卸}+t_{空}+t_{位}}{t_{装}+t_{位}} = \frac{T_{循}}{t_{装}+t_{位}} \tag{1-7}$$

$$t_{装} = kmt_{挖} \tag{1-8}$$

$$m = \frac{Qk_s}{\gamma_{料}qk_H} \tag{1-9}$$

式中 N_a——与一台挖掘机配套的自卸汽车台数；

$T_{循}$——自卸汽车一个工作循环时间；

$t_{装}$——装车时间；

$t_{重}$——重车开行时间；

$t_{卸}$——卸车时间；

$t_{空}$——空车返回时间；

$t_{位}$——空车就位时间；

$t_{挖}$——挖掘机一个工作循环时间；

k——装车时间延误系数；

m——装车斗数；

Q——自卸汽车载重量，t；

$\gamma_{料}$——料场土料自然密度，t/m^3；

q——挖掘机斗容量，m^3；

k_H——铲斗充盈系数；

k_s——土料的可松性系数。

为了充分发挥挖掘机和自卸汽车的生产效率，合理的装车斗数 m 应为 3～5 斗。

需要全本请访问 www.ertongbook.com