

第一章 土方工程施工

土方工程的主要施工过程是开挖、运输和填筑。土方工程施工，根据不同的自然和物资条件，可以采用人工、机械、爆破或水力机械等方法进行。水利工程中，土方工程量往往很大，选择恰当的施工方法和机械设备，合理地组织施工，加快工程进度，对保证工程质量和降低工程造价，十分必要。

第一节 土的施工分级和可松性

一、土的施工分级

从广义上讲，土包括土质土和岩石两大类。在土方施工中，按开挖的难易程度将土、石综合分为十六级，其中 I ~ N 级属土质土，即狭义的“土”（表 1-1），V ~ XVI 级属岩石。不同级别的土应采用不同的方法和设备施工，其施工定额和单价亦不同。

表 1-1 土的分级表

土的等级	土的名称	自然湿容重 (kg/m ³)	可松性系数		开挖工具
			K _s	K' _s	
I	1. 砂土	1650~1750	1.08~1.17	1.01~1.03	用锹或略加脚踩开挖
	2. 种植土				
II	1. 轻亚粘土	1750~1850	1.14~1.28	1.02~1.05	用锹，须用脚踩开挖
	2. 淤泥				
	3. 含根种植土				
III	1. 粘土	1800~1950	1.24~1.30	1.04~1.07	用镐、三齿耙开挖或用锹用力加脚踩开挖
	2. 干燥黄土				
	3. 干淤泥				
	4. 含少量砾石粘土				
IV	1. 坚硬粘土	1900~2100	1.26~1.32	1.06~1.09	用镐、三齿耙等开挖
	2. 砾质粘土				
	3. 含卵石粘土				

二、土的可松性

自然状态的土经开挖后会因变松散而使体积增大，以后即使再经填筑压实也难于恢复到原来的体积，这种性质称为土的可松性。土的可松性大小用可松性系数表示，即：

$$K_s = \frac{V_2}{V_1} \quad K'_s = \frac{V_3}{V_1} \quad (1-1)$$

式中 K_s——最初可松性系数（表 1-1）；

K'_s——最后可松性系数（表 1-1）；

V₁——土在自然状态下的体积，m³；

V₂——土经开挖后的松散体积，m³；

第二节 起重拔杆

拔(扒)杆又称桅杆,是一种土法吊装起重设备,适于交通不便、地形复杂,正规起重机械难于使用的工程的吊装施工,它主要由拔杆、底座、滑车组、卷扬机(或绞磨)、缆风绳和地锚等组成,结构简单,制作容易,安拆方便,造价低廉,在农田水利工程装配式结构施工中得到广泛应用。按其构造和吊重形式不同,可分为独脚拔杆、人字拔杆、龙门拔杆、悬臂拔杆和牵缆式桅杆起重机等多种类型。

一、独脚拔杆

采用一根独立的竖直拔杆作为承重结构,其长度、截面大小可根据起重构件重量和高度,由计算确定(可参阅有关吊装书籍),非重要的吊装时,可直接由施工手册查取经验数据。按制作材料分,有木制(杉木、红松圆木等,如图4-14)、钢管制及金属(角钢及钢管等,如图4-15)格构式独脚拔杆等几种。

独脚拔杆一般略微前倾,倾角 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$,过大时拔杆底部水平分力大,容易滑动。拔杆顶部拉4~6根缆风绳锚于地面,与地面成 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 夹角,过大时将增大拔杆的轴向压力。拔杆底铰接支承于移动或固定的硬木或钢板支座上。拔杆顶设有起重滑车组,起重绳的跑头经过杆底的导向滑轮引向绞磨或卷扬机。导向滑轮对侧设留绳,防止

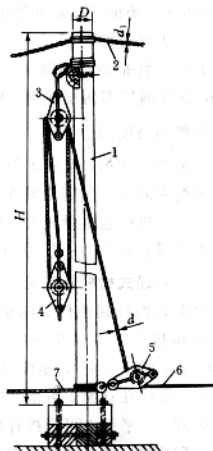


图4-14 木独脚拔杆

1—拔杆; 2—风缆; 3—定滑车; 4—动滑车; 5—导向滑轮; 6—至绞车; 7—留绳(去地锚)

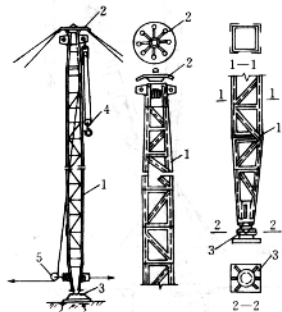


图4-15 格构式独脚拔杆

1—桅杆; 2—活顶板; 3—底座; 4—起重滑车组; 5—导向滑车

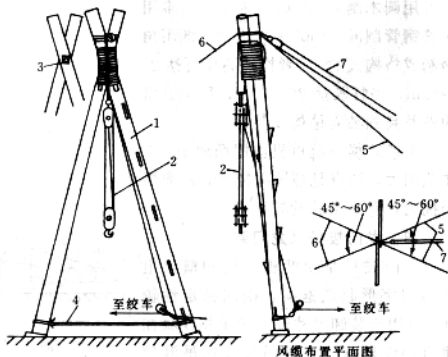


图4-16 木人字拔杆

1—拔杆; 2—起重滑车组; 3—螺栓; 4—绞脚绳; 5—后风缆; 6—前风缆; 7—背索滑车组

工作时拔杆底被拉动。缆风绳和留绳必须与地锚联结牢固。

木独脚拔杆圆大梢径 18~30cm, 杆高 6~15m, 起重力 30~100kN, 有的可达 200kN。无缝钢管独脚拔杆管径 250~300mm, 壁厚 8mm, 杆高 10~20m, 起重力为 100~300kN。格构式独脚拔杆断面 400×400~1200×1200mm, 高 15~50m, 起重力 50~600kN, 有的可达 1000kN, 为便于运输和装拆, 一般做成 4~6m 长的节段式, 采用法兰螺栓连接。

二、人字拔杆

人字拔杆是用两根圆木、方木、钢管或型钢格构式杆, 在顶端以螺栓联结并用 $\phi 16 \sim 19\text{mm}$ 钢丝绳捆绑两层或钢铰联结而成人字形, 在交接处悬挂在重滑车组, 拔杆下端两脚之间的距离为高度的 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$, 并设防滑钢丝绳 (也称绊脚索) 或横拉杆以承受水平推力。拔杆前后风绳各两根, 互成 $45^\circ \sim 60^\circ$ 角。后风绳受力较大, 直径应大些。当起重重量较大时, 可在后风绳中间加一副背索滑车组, 共同受力。拔杆向前的倾斜度可用风绳绳和背索滑车组调整。人字拔杆起重重量较大, 横向稳定性好。木人字拔杆高 5~15m, 起重力 30~300kN; 钢管人字拔杆起重力一般为 100~300kN 或更大。结构布置见图 4-16。

三、牵缆式桅杆起重机

牵缆式桅杆起重机又叫摇臂拔杆, 是在独脚拔杆下端铰接一根吊杆而成 (图 4-17)。顶部设 6~8 根缆风绳, 以保持稳定。吊杆在立面上可由变幅滑车组带动俯仰, 在平面上可绕拔杆旋转或随拔杆一同旋转。牵缆式桅杆起重机吊装时, 构件在空间可作水平移动, 吊装范围大。起重力 50kN 以下的, 拔杆与吊杆均可用圆木制成; 100kN 左右的, 多用无缝钢管制成; 150kN 以上的, 常用角钢制成格构式的。后者桅杆高度可达 25~85m, 吊杆长达 20~77m, 用于重型构件及高耸独立结构安装。

牵缆式桅杆起重机占用场地小, 工作范围大, 缺点是缆风绳较多, 对周围干扰大, 且本身移动较困难。

四、龙门拔杆 (龙门架)

龙门拔杆是由两根立柱和横梁组成的门字形起重框架, 横向稳定性较好, 可用于装卸尺寸较大的重物或骑在建筑物纵轴线上单独吊装或抬吊渡槽槽身及桥梁等构件。最简单的为木制单肢柱、单横梁的龙门拔杆, 结构如图

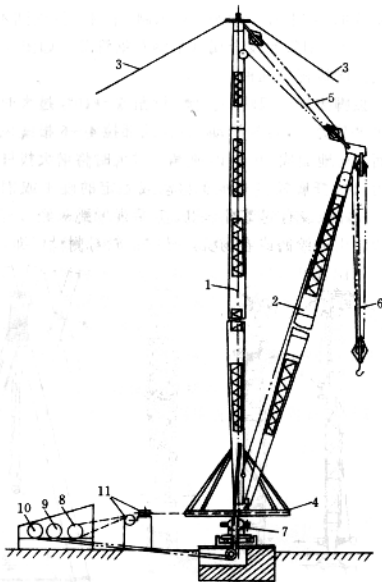


图 4-17 钢格构牵缆式桅杆起重机

- 1—桅杆; 2—吊杆; 3—缆风绳; 4—转盘; 5—变幅滑车组;
6—起重滑车组; 7—支座; 8—旋转绞车; 9—起重绞车;
10—变幅绞车; 11—导向滑车

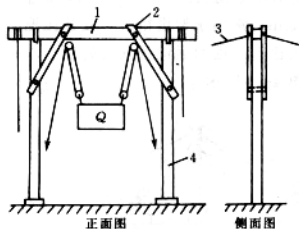


图 4-18 简易木龙门拔杆

1—横梁；2—撑木；3—风绳；4—柱

4-18, 柱底有垫木, 前后设缆风绳以维持垂直状态, 但起重不大, 移动较困难。起重大的龙门拔杆可采用钢结构或木桁架的型式, 有的用格构式钢塔架与工字钢作横梁组成的龙门拔杆, 也有用万能杆件组成的龙门拔杆。此时柱的纵向 (与龙门平面垂直的方向) 宽度较大, 纵向亦较稳定, 不须设风绳, 柱底设轮, 可沿轨道行走。如果横梁为双梁式的, 上设可移动的起重小车, 起重范围扩大为轨道控制的长方形, 则基本上已接近正规的桥式起重机。龙门拔杆的起吊高度一般为 5~15m, 有的已达 20m, 起吊宽度 3~20m, 有的已达 30m。

五、悬臂拔杆

悬臂拔杆是在独脚拔杆的中上部铰接一根可俯仰和旋转的悬臂吊杆而成。比独脚拔杆的吊装高度大, 平面范围广。起重时, 吊杆的水平分力使拔杆产生较大的弯曲应力, 限制了起重量。为此, 可在吊杆的对侧加设由撑杆、钢筋拉条, 与拔杆组成加劲桁架, 增加抗弯能力, 可加大起重量。有的吊杆还可以上下移动, 以适应构件对起吊高度和幅度的不同要求。悬臂拔杆的构造如图 4-19 所示。

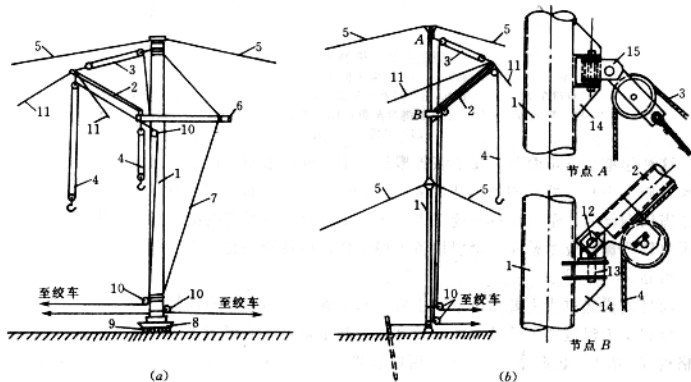


图 4-19 悬臂拔杆

(a) 木悬臂拔杆; (b) 钢管悬臂拔杆

1—独脚拔杆；2—悬臂；3—变幅滑车组；4—起重滑车组；5—风绳；6—撑杆；7—拉杆；
8—木拖子；9—滚木；10—导向滑车；11—拉绳；12—悬臂枢轴；13—转销；14—托架；15—旋转耳

第三节 简易缆式起重机

缆式起重机是利用悬挂于承重索上的起重滑车组进行工作的起重设备。承重索支承于

两个塔架顶端的天轮之间，又称悬索或主索。悬索上有沿索滑行的起重小车，车下挂有起重滑车组。缆式起重机的跨距很大，一般有100~400m，常用于架设桥梁，安装渡槽、水闸、厂房，吊运材料、设备及混凝土等，最适于狭长建筑工程的运输及安装施工。农田水利工程施工中使用的是简易缆式起重机，其构造如图4-20所示。

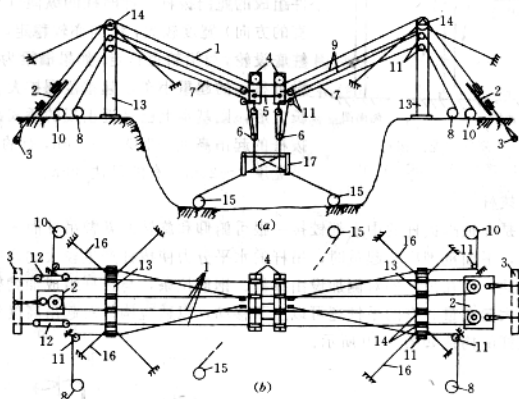


图 4-20 简易缆式起重机

- 1—主索；2—主索平衡滑车；3—主索木捆龙地锚；4—起重小车；5—小车联系杆；
6—起重滑车组；7—起重绳；8—起重绞车或绞磨；9—牵引绳；10—牵引绞车或绞磨；
11—导向滑车；12—主索紧绳滑车组；13—塔架；14—天轮；15—偏拉绞车；
16—风绳；17—起吊构件

这种起重机设备简单，易于装拆搬运，不受地形限制，在跨越河流、深谷的桥梁、渡槽架设施工中具有特殊的优越性，起重力100~300kN，最大的已达650kN。简易缆机的缺点是需用钢丝绳、牵引设备和施工人员多；吊装时须有严密的组织指挥；操作中冲击和摆动现象较严重，应尽量保持牵引设备平稳工作；应特别注意主索、地锚的施工质量，必须安全可靠。

简易缆式起重机主要由塔架、主索、起重索、牵引索及地锚等组成。

塔架支于建筑物吊装轴线两端较高处。起重重量不大时可用人字拔杆（圆木、钢管或型钢格构式）塔架；起重量大时，多采用矩形截面（400mm×400mm~1400mm×1400mm）的型钢格构式独柱或双柱塔架，塔底铰接于底座上，塔架顶一般设6根风绳，位于塔后的两根平行于主索，较粗，称为主后风绳。高20m以上的塔架，常在塔架中间增设一道腰风绳，增加塔架的稳定性。

承重索由一根、两根、四根或六根平行的粗钢丝绳组成，它跨过塔顶的天轮（起支和导向作用的滑轮），收紧并固定于塔后的主地锚上。各根承重索的张紧程度必须相同，以保证悬垂直高度一致。这只需通长的承重索，让其来回都绕过设于主地锚前的平衡滑轮，并用紧绳滑车组收紧端头，使各支受力一致即可达到目的。承重索上一般设有两台跑车，借

助带槽的车轮沿绳移动。两跑车下各挂有一副起重滑车组，以便抬吊水平的长形构件。跑车间装有联系杆或索，以控制两起重滑车组的距离。

牵引索挂于两跑车的外侧，绕过塔顶和塔底的导向滑轮后分别引向各自的牵引绞车。工作时，两根牵引索一紧一松即可使跑车和吊重沿承重索移动。当所需牵引力超过绞车的牵引能力时，可在跑车与塔顶间增设“走三”牵引滑车组，以满足要求。

两副起重滑车组的跑头绕过设于跑车外侧、塔顶及塔底的导向滑轮后也分别引向各自的起重绞车。

在构件起吊和安装过程中，为了能控制构件的方向并能将某些构件拉离轴线一定距离就位，在承重绳两侧地面上分别设有一台偏拉绞车，引出的偏拉索分别系在构件两端的适当位置上。

简易缆式起重机固定承重索的主地锚所受拉力很大，常达几十吨甚至数百吨，均采用捆龙地锚，必须确保其施工质量，吊装中并须专人观察地锚移位情况。

简易缆式起重机的塔架、承重索、起重索、牵引索和主地锚均须计算确定，计算方法可参阅有关专著。

第四节 其他起重机械

农田水利工程中吊装施工为适应地点偏僻、地形复杂、交通不便、工程分散或缺电而采用前述各类土法吊装机具外，一切正规起重机械如汽车式、履带式、轮式及塔式起重机等，也都可根据构件、工程量、设备、工地地形、交通情况等择优使用。

一、汽车式起重机

汽车式起重机是将起重装置安装在载重汽车底盘上的一种自行杆式起重机。其动力由汽车发动机供应，有可伸缩、俯仰的箱形吊臂和可伸缩的支腿，均由液压操纵。其构造如图 4-21 所示。国产液压汽车起重机有多种型号，起重能力分别为 50、80、120、160、250、320、400、650kN 等。

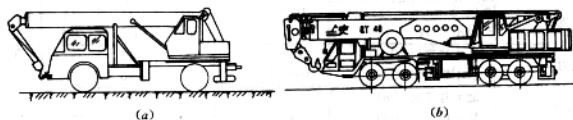


图 4-21 汽车式起重机外形图

(a) Q₂-8 型汽车式起重机；(b) QY₁₀₀ 汽车式起重机

汽车式起重机的主要优点是转移迅速，机动灵活，对路面破坏小。但起吊时，必须将支脚落地，不能负载行驶，且对工作场地要求较高，必须平整、压实，以保证操作平稳安全。

二、履带式起重机

履带式起重机是将起重回转台安装在履带行驶机构上的一种自行杆式起重机。在回转台上装有起重臂、发动机、传动机构、卷扬机和操纵室，其尾部挂有平衡重。构造如图 4-22 所示。

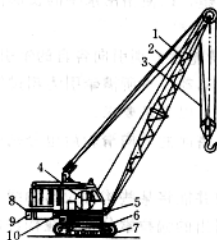


图 4-22 履带式起重机

1—起重臂；2—变幅钢索；3—起重钢索；4—起重卷扬机；5—底盘；6—履带；7—支重轮；8—回转台；9—平衡重；10—变幅卷扬机

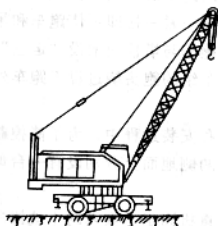


图 4-23 轮胎式起重机

履带式起重机操纵灵活，使用方便，可在一般道路上行驶和工作，车身能回转 360° ，臂杆可俯仰，可以负载行驶，在场地比较平整、要求吊装高度不大的渡槽、桥梁、单层厂房等安装中应用广泛。缺点是稳定性较差，转移速度慢，对路面有一定的破坏作用。常用的国产履带式起重机有 W_1-50 、 W_1-100 、 W_1-200 等型号，系由正向铲挖土机更换工作装置而成，性能如表4-3。

三、轮胎式起重机

轮胎式起重机是一种将起重回转台安装在一个由加重轮胎和轮轴组成的特制底盘上的自行杆式起重机（图4-23）。

表 4-3

常用履带式起重机性能

项 目		起 重 机 型 号						
		W_1-50		W_1-100		W_1-200		
起重臂长度 (m)		10	18	13	23	15	30	40
幅 度	最大 (m)	10	17	12	17	14	22	30
	最小 (m)	3.7	4.5	4.5	6.5	4.5	8	10
起重力	最大幅度时 (kN)	26	10	37	17	94	48	15
	最小幅度时 (kN)	100	75	150	80	500	200	80
起重高度	最大幅度时 (m)	3.7	7.6	6.5	16	5	19.8	25
	最小幅度时 (m)	9.2	17.2	11	19	12.1	26.5	36

这种起重机车轮间距大，两侧装有可伸缩的支腿，操作方便，稳定性较好，行驶速度快，对路面破坏性小。一般在支腿状态下吊装，不负重行驶。常用的国产轮胎式起重机有多种型号，起重力分别为80、160、250、400、750kN等。

四、塔式起重机

塔式起重机是将起重臂置于型钢格构式塔身上部的一种起重机（图4-24）。类型很多，按行走机构分有固定式和行走式（又分轨道式和轮胎式），按变幅机构分有动臂变幅式和小车变幅式，按回转部分分有上回转式和下回转式，按升高方式分有附着自升式和内爬式。塔

式起重机起吊高度大，有效范围广，是大坝、大型水闸、混凝土预制构件厂及多高层建筑施工中常用的起重机械。

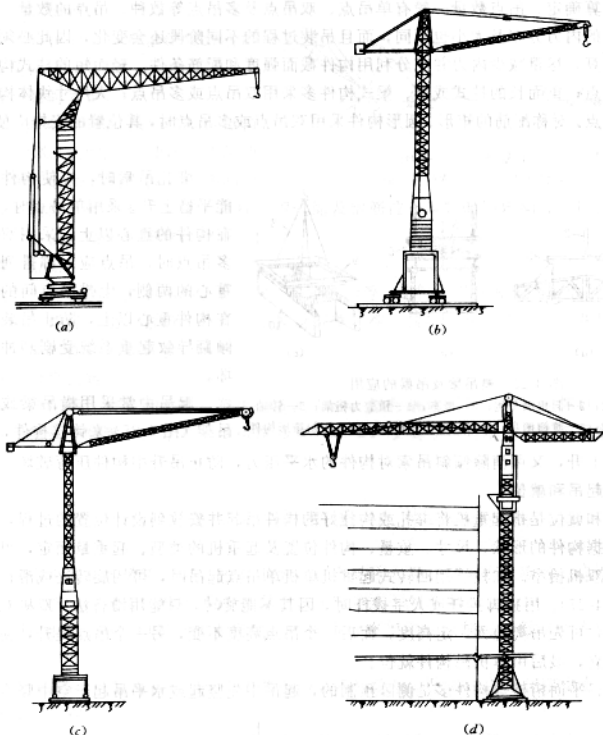


图 4-24 常用塔式起重机外形图

(a) QT₁-2 型; (b) QT₁-6 型; (c) QT_{60/80} 型; (d) QT₈-10 型

第五节 构件吊装工艺

构件吊装一般都要经过绑扎、起吊、就位、临时固定、校正和最后固定等工序。

一、绑扎

绑扎是用吊索、卡环等索具将构件捆绑并与起重机吊钩连系起来以便起吊。通常事先在构件的适当位置预埋钢筋吊环，直接用索具钩挂，方便快捷。绑扎应保证构件在起吊中不致发生永久变形、滑脱、晃动、冲击、倾翻和断裂。绑扎本身应牢固可靠、简便、解脱

第五章 灌浆施工

灌浆是将一定配比的浆液以适当的压力灌入地基孔隙、裂缝或建筑物自身的接缝、裂隙中作充填、胶结的防渗或加固处理。

水利工程中的灌浆按其目的不同，可分为：混凝土坝裂隙岩石地基及隧洞围岩的固结灌浆，岩基及砂砾石地基的防渗帷幕灌浆，混凝土坝与岩基间的接触灌浆，混凝土建筑物的接缝及补强灌浆，土坝心墙防渗的劈裂灌浆，透水地基防渗的高压喷射灌浆等。按其所用浆液材料不同，可分为水泥灌浆、粘土灌浆、化学灌浆和沥青灌浆等。

本章仅介绍岩基灌浆、高压喷射灌浆及劈裂灌浆。

第一节 灌浆材料

一、水泥灌浆

水泥灌浆的优点是胶凝性好，结石强度高，施工方便，成本较低，故得到广泛应用。灌浆用的水泥要求颗粒细、稳定性好、胶结性强、耐久性好。一般采用硅酸盐大坝水泥或普通硅酸盐水泥，有特殊要求时，可用抗酸水泥等特种水泥。矿渣水泥和火山灰水泥由于早期强度低、稳定性差等原因，不宜用于灌浆，尤其不宜在稀于1:1的浆液中使用。对回填灌浆、帷幕和固结灌浆、接缝灌浆所用的水泥标号应分别不低于325、425和525号。

水泥细度对灌浆效果有决定意义。只有当水泥颗粒粒径小于裂隙宽度的 $1/3 \sim 1/5$ 时，灌浆才易生效。用细粒水泥不仅易于灌入微细裂缝，扩大灌浆范围，而且浆液稳定，不易沉淀分离，水化反应充分，强度高，胶结牢固。当灌注裂隙较大的部位时，为节省水泥，可掺入一些惰性材料，如砂、粘土及粉煤灰等。在帷幕灌浆中，掺入铝粉、膨润土或其他高塑性粘土等细粒料，有助于提高帷幕的密实性。掺入减水剂（塑化剂）等表面活性材料，可使浆液中的颗粒分布均匀，提高浆液流动性，可灌性好。

二、粘土灌浆

灌浆用的粘性土，要求遇水能迅速崩解，吸水膨胀并有一定的稳定性和粘聚力。土坝坝体和砂砾石地基灌浆对土料有不同要求。土坝坝体灌浆，一般采用与坝体相同的土料或选择粘粒含量为20%~45%、粉粒含量为40%~70%、砂粒含量不超过10%、塑性指数为10~25的亚粘土或粘土。砂砾石地基灌浆，一般选用粘粒含量不少于40%~50%、粉粒含量不超过45%~50%、砂粒（0.05~0.25mm）含量不大于5%、塑性指数为10~20的亚粘土或粘土。

灌浆用的粘土浆，系将土料经过浸泡、搅拌、筛滤净化后拌制而成。帷幕灌浆很少用纯粘土浆，而多采用水泥粘土浆，这样可以改善浆液的胶结性能，提高结石强度，加速固结，且在水下也能继续凝固。浆液的配比视帷幕的设计要求而定。要求高的，水泥用量应多一些。一般水泥与土料的比例为1:1~1:4。浆液的稠度，即水和干料的比例，多在1

: 1~6:1 之间。

三、化学灌浆

化学灌浆多是用高分子材料配制成的溶液作为浆液的一种新型灌浆。浆液灌入地基或建筑物裂隙中，经凝固后，可以达到较好的防渗、堵漏和补强加固效果。常用的化学灌浆材料有环氧树脂、水玻璃、铬木素、甲凝、丙凝和聚氨酯浆液等。

化学浆液的聚合时间（即胶凝、固结、硬化时间），可以较准确地控制（从几秒到几十分钟），有利于施工；化灌聚合体几乎是不透水的，防渗性强；化灌聚合体的自身强度和粘结力大多较高，其中甲凝和环氧浆用于补强加固，聚氨酯浆用于防渗堵漏和补强加固，而水玻璃、丙凝、铬木素浆的抗压强度低，只用于防渗堵漏。化灌材料大多有毒性，污染环境，施工工艺复杂，价格较贵，故使用受到一定限制，目前只用于水泥和粘土浆不适用或难于保证质量的场合。各种化灌材料相对的经济指标及适用范围如表 5-1。

表 5-1 化灌材料相对的经济指标及适用范围比较

项目 材料名称	浆液造价 (元/m ³)	粘 度 (10 ³ Pa·s)	胶凝时间	抗压强度 (MPa)	适用缝隙范围 (可灌性) (mm)	灌浆目的
水泥水玻璃	<200	1.5~100 (5~10)	十几秒~几十分	5~20	1.0~0.6 可灌中粗砂层	防渗堵漏 补强加固
铬木素	200	1.4~100 (2.5~6)	十几秒~几十分	0.4~2	0.08~0.03 可灌粗粉砂层	防渗堵漏 砂基加固
聚脲树脂	900~1200	1.4~6	十几秒~几十分	2~8	0.08~0.05 可灌细砂层	防渗堵漏
丙 凝	2100~2300	1.2~1.6	几秒~几十分	0.4~0.6	0.01~0.013 可灌中粉砂层	防渗堵漏 砂基加固
丙 强	3000	5~6	十几秒~几十分	8~10	0.08~0.05 可灌细砂层	防渗堵漏 补强加固
环氧树脂	10000	>10	>24 小时	50~80	0.1~0.2 (裂缝)	补强加固
甲 凝	15000	<1	几十分~几小时	75~85	极细裂缝	补强加固
聚氨酯	13000~15000	5~1000	几秒~几十分	0.1~20	可二次渗透, 可灌粗粉砂层	防渗堵漏 补强加固

注 表中造价为 80 年代初的价格。

(1) 环氧树脂 环氧树脂具有强度高、粘结力强、收缩率小以及可常温固化等优点。但普通的环氧树脂（如 E-44，即 6101）粘度较大，难于灌入细小裂缝和孔隙。国内已制成性能较好的三聚氰酸环氧树脂（A-42，即 654），改善了浆液的亲水性，降低了粘度，如以酮亚胺为固化剂，可用于修补潮湿的宽度大于 0.5mm 的混凝土裂缝。在普通环氧树脂中加入糠醛和丙酮的混合稀释剂，环氧浆液粘度降到 0.01Pa·s，就能渗入大于 0.08mm 的裂缝中去。

环氧树脂浆液是以环氧树脂为主体，加稀释剂、促进剂、亲水剂、增韧剂、固化剂等有机化学材料配制而成。施工时须采用压力进浆措施，即在固化前给浆液施加压力，可使形成的聚合物强度提高 1~2 倍。因为加压可增加浆液浸入被粘物体表面孔隙的渗透能力，并促进粘结界面的气体的排除。

(1) 全孔一次灌浆法 是将灌浆孔一次钻至全深,灌浆塞置于孔口,全孔一次灌浆。此法施工简单,但灌浆效果较差,仅适于孔深不超过10m、岩隙少、透水性不大的情况。

(2) 自上而下分段灌浆法 将孔深分为段长3~5m的若干段,自上而下钻一段灌一段。待前一段浆液凝固后再钻至下一段,将灌浆塞移至前一段底,灌下一段。如此反复,直至全深。此法优点是:随段深的加大,可逐段加大灌浆压力,提高灌浆质量;上部灌实

后形成完整结石,灌下部时,地面不会冒浆,岩层不会被搅动;分段钻灌,分段进行压水试验,成果准确,有利于判断各段灌浆质量。缺点是:钻机移动次数较多,钻孔工作量大,待凝时间长,工效低。当地质条件差、岩层破碎、竖向节理裂隙发育、灌浆质量要求高的情况下,多用此法。

(3) 自下而上分段灌浆法 一次将孔钻至全深,然后自下而上逐段灌浆。此法钻孔工作量小,施工简便、工效高,但当上部岩隙多时,地层易松动,易冒浆,不能提高灌浆压力,灌浆质量不如自上而下法高,故仅适于岩层较完整,裂隙少或岩层倾角小地面不易冒浆的情况。

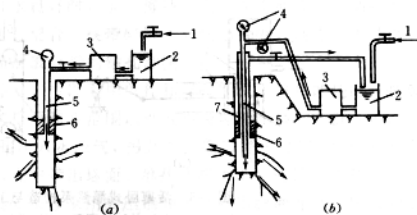


图 5-5 纯压式和循环式灌浆示意图

(a) 纯压式灌浆; (b) 循环式灌浆

1—水; 2—拌浆筒; 3—灌浆泵; 4—压力表;
5—灌浆管; 6—灌浆塞; 7—回浆管

(4) 综合灌浆法 实际工作中,岩层通常是上部裂隙多而下部较完整。深孔灌浆时,可兼取以上两法的优点,即上部采用自上而下、下部采用自下而上的钻灌方法,称为综合灌浆法。

4. 灌浆压力

灌浆压力指灌浆时灌浆段中心处浆液承受的实际压力。压力越高,可使浆液更好地压入细小裂缝,增大浆液的扩散半径,析出多余的水分,提高灌浆结石的密实度,有利于提高防渗和固结质量。但压力过高,可能导致裂缝扩大或搅动上部岩层和坝体,同时浆液压出应灌范围外,造成浪费。灌浆允许压力与孔深、岩层情况和有无压重等因素有关。一般以不松动地层为原则(如图5-6)。

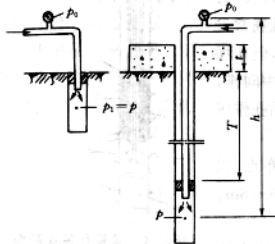


图 5-6 灌浆压力计算示意图

$$p = p_1 + mT + 9.81 \times 10^{-3} K \gamma t \quad (5-2)$$

式中 p ——灌浆段中心处允许的最高灌浆压力, MPa;
 p_1 ——孔口处岩层的允许灌浆压力(可由表 5-2 查取), MPa;
 m ——灌浆段以上岩层每增加 1m 增加的压力(由表 5-2 查取), MPa;
 T ——灌浆段以上的岩层厚度, m;
 K ——系数,可在 1~3 间选用,当压重层松散时取低值,反之取高值;
 γ ——岩层以上压重层或建筑物的容量, t/m³;
 t ——岩层以上压重层或建筑物的厚度, m。

表 5-2

 p_1 和 m 值选用表

岩石分类	岩 性	m (MPa)	p_1 (MPa)	常用压力 (MPa)
I	具有陡倾斜裂缝、透水性低的坚固大块结晶岩与岩浆岩	0.2~0.5	0.3~0.5	4~10
II	风化的中等整固块状结晶岩、变质岩或大块的弱裂缝沉积岩	0.1~0.2	0.2~0.3	1.5~4
III	坚固的半岩性岩石、砂岩、粘土页岩、凝灰岩强或中等裂隙已成层的岩浆岩	0.05~0.1	0.15~0.2	0.5~1.5
IV	坚固性差的半岩性岩石, 软质石灰岩, 胶结弱的砂岩及泥灰岩, 裂隙发育的较坚固岩石	0.025~0.05	0.05~0.15	0.25~0.5
V	松软的、未胶结的泥砂土壤、砾、石、砂、砂质粘土	0.015~0.025	0	0.05~0.25

注 1. 采用自下而上分段灌浆时, m 值选用较小值;

2. V 类岩石, 在外加重压时, 才能有效地灌浆。

对于帷幕灌浆, 除了按上述方法选择灌浆压力外, 经验认为灌浆压力在表层段不应小于 1~1.5 倍最大工作水头, 在底部宜为最大工作水头的 2~3 倍。至于固结灌浆, 多为浅孔, 在坝体浇筑前灌浆时, 其灌浆压力采用 0.2~0.5MPa; 在坝体浇筑后灌浆, 可采用 0.3~0.7MPa; 在地质条件较差或软弱岩层地区, 可适当降低灌浆压力; 深孔固结灌浆可参照帷幕灌浆确定。灌浆压力值大小最终通过灌浆试验确定。

灌浆压力须由孔口的压力表间接量度, 当灌浆压力为 p 时, 表读数数为:

$$p_0 = p - 9.81 \times 10^{-3} \gamma_0 h - \Delta p \quad (5-3)$$

式中 p_0 ——压力表读数, MPa;

γ_0 ——浆液容重, t/m^3 ;

h ——压力表中心到灌浆段中心之高差, m;

Δp ——灌浆段到压力表之间的管路压力损失, MPa。

5. 浆液浓度控制

灌浆过程中, 必须根据吸浆量的变化情况及时调整浆液的浓度。稀浆流动性好, 但会扩散到灌浆范围外, 造成浪费, 而且凝固时收缩大, 水泥结石与岩石缝面脱开, 防渗和固结质量降低。稠浆流动性差, 扩散范围小, 细小裂缝灌不进去, 但凝固时收缩小, 与缝面粘附较好, 防渗、固结质量相对提高。

坝基灌浆浓度, 以水灰比表示, 采用 8:1、5:1、3:1、2:1、1.5:1、1:1、0.8:1、0.6:1、0.5:1 (重量比) 九个等级。灌浆过程从稀浆开始, 使细裂缝首先灌满, 而后逐级变浓, 充填较大裂隙。这种由稀到浓的变换方式, 灌浆的整体质量最好。

浆液浓度的变换, 根据每一级浓度的浆液灌入量进行控制, 称为限量法。控制办法是, 当某一级浓度的浆液灌入量已达到限量标准, 而灌浆压力及吸浆量均无改变, 或改变不显著时, 就换浓一级浆液灌注。但如果变浓后吸浆量突然显著下降或灌浆压力突然上升, 说明裂隙在尚未充填密实情况下被浓浆堵塞, 变浓不适当, 应迅速恢复原浓度继续灌注。

6. 灌浆结束