

基坑降水工程

# 基坑降水工程

张永波 孙新忠 编著



地震出版社



地震出版社

## 内 容 提 要

本书全面系统地介绍了目前国内常用的基坑降水方法及其设计计算理论和施工技术。全书共设8章，分别为：概述、渗流基本理论、基坑降水方法、井点降水系统设计、井点降水系统施工、降水系统监测与管理、降水环境效应与对策、工程实例等。书中有理论，重实践，讲应用。

本书可供从事基坑降水工程设计、施工、监理、监测和管理人员应用，也可供岩土工程设计、研究单位的技术人员和大专院校岩土工程专业师生参考。

D2296/10

## 基坑降水工程

张永波 孙新忠 编著

责任编辑：张友联

责任校对：王花芝

\*

地震出版社出版

北京民族学院南路9号

北京地大彩印厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

\*

787 × 1092 1/16 7.125 印张 201 千字  
2000年2月第一版 2000年2月第一次印刷  
印数 0001 - 1000

ISBN 7 - 5028 - 1754 - 9/ TU·145

(2285)定价：15.00 元

# 前 言

近十多年来,随着高层建筑和地下空间利用的发展,基坑降水工程日益增多。由于基坑降水工程综合性强,影响因素多,再加上设计、施工不当,各地工程事故时有发生,导致重大经济损失并延误建设工期。为了总结基坑降水工程和施工方面的经验,作者参阅国内外有关文献资料,结合自己的教学、科研和管理经验,完成了《基坑降水工程》一书,供读者参考。

全书共分八章。第一章介绍地下水的不良地质作用及基坑工程主要的治水措施;第二章介绍地下水的贮藏和运移特征,地下水流向水平集水建筑物、管井及辐射井的运动理论公式;第三章介绍基坑降水的常用方法,包括明沟排水、轻型井点、喷射井点、电渗井点、管井、辐射井点、自渗井点及综合井点等降水方法;第四章介绍井点降水方案、管路系统、抽水设备的设计方法以及降水工程设计书的编写原则;第五章介绍井点的施工工艺,地面抽水系统的安装方法以及降水设备的维护等;第六章介绍降水系统监测方法及运行管理措施;第七章介绍由于降水引起的地基土的变形及其计算方法,减少降水不良影响的主要措施等;第八章介绍6个工程实例。

全书以实用为主,理论为辅,着重介绍我国工程实践经验,同时兼收了国外基坑降水的新成果,以期满足我国当前基坑降水技术迅速发展的需要。

本书由张永波、孙新忠等编著,时红参加了部分工作,对工程实例进行了验算。全书由张永波统稿。

在本书编写过程中,参考了大量的文献资料,对本书引用资料的所有作者、单位及有关人员表示一并感谢。

由于作者水平有限,难免有不妥之处,恳切希望读者批评指正。

作 者

1999年6月

# 目 录

第一章 概述 .....	( 1 )
第一节 地下水的不良作用 .....	( 1 )
第二节 基坑工程治水措施 .....	( 4 )
第二章 渗流基本理论 .....	( 6 )
第一节 地下水的贮存和运移特征 .....	( 6 )
第二节 渗流理论公式 .....	( 8 )
第三章 基坑降水方法 .....	( 26 )
第一节 明沟排水 .....	( 26 )
第二节 轻型井点降水 .....	( 27 )
第三节 喷射井点降水 .....	( 34 )
第四节 电渗井点降水 .....	( 38 )
第五节 管井降水 .....	( 40 )
第六节 辐射井点降水 .....	( 41 )
第七节 自渗井点降水 .....	( 42 )
第八节 综合井点降水 .....	( 44 )
第四章 井点降水系统设计 .....	( 45 )
第一节 井点降水系统设计基础 .....	( 45 )
第二节 井点降水方案设计 .....	( 52 )
第三节 井点管路系统设计 .....	( 57 )
第四节 抽水设备选择 .....	( 61 )
第五节 降水工程设计书的编写 .....	( 63 )

第五章 井点降水系统施工 .....	(64)
第一节 主要成井工艺 .....	(64)
第二节 地面抽水系统的安装 .....	(72)
第六章 降水系统监测与管理 .....	(78)
第一节 降水系统运行管理 .....	(78)
第二节 降水监测与管理 .....	(82)
第七章 降水环境效应与对策 .....	(84)
第一节 降水引起地基土变形 .....	(84)
第二节 减少降水不良影响的措施 .....	(85)
第八章 工程实例 .....	(90)
参考文献 .....	(108)

# 第一章 概 述

## 第一节 地下水的不良作用

在地下水位较高的透水土层（例如砂类土及粉土）中进行基坑开挖施工时，由于坑内外的水位差大，较易产生潜蚀、流砂、管涌、突涌等渗透破坏现象，导致边坡或基坑坑壁失稳，直接影响到建筑物的安全。

### 一、潜蚀

渗透水流在一定的水力坡度下产生较大的动水压力，冲刷、挟走细小颗粒或溶蚀岩石体，使岩土体中的孔隙逐渐增大，甚至形成洞穴，导致岩土体结构松动或破坏，以致产生地表裂缝、塌陷，影响建筑工程的质量。在黄土和岩溶等地区的岩、土层中最易发生潜蚀作用。

潜蚀分机械潜蚀和化学潜蚀两种。在地下渗透水流的作用下，产生岩土体中细小颗粒的位移和掏空现象称为机械潜蚀；易溶盐类（如方解石、菱镁矿、白云石等）在流动水流的作用下，尤其是在地下水循环比较剧烈的地域，盐类逐渐被溶解或溶蚀，使岩土体颗粒间的胶结力被削弱或破坏，导致岩土体结构松动，甚至破坏，这种现象称为化学潜蚀。机械潜蚀和化学潜蚀一般是同时进行的，且二者是相互影响、相互促进的。

潜蚀产生的条件主要有二：一是有适宜的岩土颗粒组成；二是有足够的水动力条件。具有下列条件的岩土体易产生潜蚀作用。

(1) 岩土层的不均匀系数 ( $C_u$ ) 愈大，愈易产生潜蚀作用，一般当  $C_u > 10$  时，易产生潜蚀；

(2) 两种互相接触的岩土层，当其渗透系数之比 ( $K_1/K_2$ ) 大于 2 时，易产生潜蚀；

(3) 当地下水流的水力坡度 ( $i$ ) 大于岩土临界水力坡度 ( $i_0$ ) 时，易产生潜蚀。

产生潜蚀的临界水力坡度 ( $i_0$ ) 可按下列公式计算：

$$i_0 = (G_s - 1)(1 - n) + 0.5n \quad (1-1)$$

式中  $G_s$ ——岩土颗粒比重；

$n$ ——岩土孔隙度。

### 二、流砂

流砂是指松散细颗粒被地下水饱和后，在动水压力即水头差的作用下，产生的悬浮流动现象。在工程上，如基坑开挖至某一深度时，地下水产生自下而上的渗透压力，当此渗透压力达到土的浮重度时，土粒处于飘浮状态，此时坑内土体变成类似于液体的沸腾状态，故流砂亦有“砂沸”之称。这时若继续开挖，则因土不断上涌而无法增大挖深，而且人立于坑底将会陷入土中（图 1-1）。

流砂现象的出现，与土壤性质和外界条件有关。一般认为，流砂是土被水饱和之后产生的流动状态，通常是由于工程活动而引起的。从实际工程中发现，在下列情况下易产生流砂现象。



图 1-1 基坑流砂现象

(1) 土层由粒径均匀 (不均匀系数  $C_u < 5$ , 一般在 1.6 ~ 3.2 之间) 的细颗粒组成 (一般粒径在 0.01mm 以下的颗粒含量在 30% ~ 35% 以上), 土中含有较多的片状、针状矿物 (如云母、绿泥石等) 和附有亲水胶体矿物颗粒, 从而增加了岩土吸水膨胀性, 降低了土粒重量;

(2) 土的渗透系数较小, 排水条件不畅通时, 易形成流砂;

(3) 砂土的孔隙率 ( $n$ ) 愈大, 愈易形成流砂, 一般认为, 当  $n > 43\%$  时, 易产生流砂;

(4) 土的含水量大于 30%;

(5) 土层厚度大于 25cm;

(6) 水力坡度较大, 流速增大, 当动水压力超过土颗粒重量能使土粒悬浮时, 土颗粒会随着地下水流入基坑, 这时的水力坡度称为临界水力坡度。

《水利水电工程地质手册》中关于产生流砂的临界水力坡度计算公式为:

(1) 斜坡表面受由里向外水平方向渗流作用时, 流砂破坏的临界水力坡度:

对于无粘性土

$$i_0 = G_w (\cos\theta \tan\varphi - \sin\theta) \frac{1}{\gamma_0} \quad (1-2)$$

对于粘性土

$$i_0 = [G_w (\cos\theta \tan\varphi - \sin\theta) + c] \frac{1}{\gamma_0} \quad (1-3)$$

式中  $G_w$ ——岩土的浮重;

$\gamma_0$ ——水的重度;

$\varphi$ ——土的内摩擦角;

$c$ ——土的粘聚力;

$\theta$ ——斜坡坡度。

(2) 地基表面土层受自下而上的渗流作用时, 流砂破坏的临界水力坡度:

对于无粘性土

$$i_0 = \frac{\gamma_d}{G_s} (1 - n) \quad (1-4)$$

对于粘性土

$$i_0 = \frac{\gamma_d}{G_s} (1 - n) + \frac{c}{G_s} \quad (1-5)$$

式中  $\gamma_d$ ——土的干重度；  
 $n$ ——土的孔隙度；  
 $G_s$ ——土的比重；  
 $c$ ——土的粘聚力。

### 三、管涌

地基土在具有某种渗透速度（或坡度）的渗透水流作用下，其细小颗粒被冲走，岩土的空隙逐渐增大，慢慢形成一种能穿越地基的细管状渗流通道，从而掏空地基，使地基变形、失稳，这种现象称为管涌。在基坑开挖抽水时，很容易出现大的水力坡度，产生紊流，如果围护桩有间隙，未采取止水措施，坑外地下水通过这些间隙向坑内渗流，并不断带出泥沙，使渗水通道逐渐扩大，最终导致大量泥沙突然涌出，坑外地面产生严重塌陷（图 1-2）。

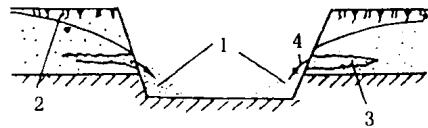


图 1-2 管涌破坏示意图

1. 管涌堆积颗粒；2. 地下水位；3. 管涌通道；4. 渗流方向

管涌多发生在非粘性土中，其特征是：颗粒大小比值差别较大，往往缺少某种粒径，磨圆度好，孔隙直径大而且相连通，细粒含量较少，不能全部充满孔隙；颗粒多由比重较小的矿物构成，易随水流移动，有较大的和良好的渗透水流出路等。具体条件包括：

- (1) 土由粗颗粒（粒径为  $D$ ）和细颗粒（粒径为  $d$ ）组成，且  $D/d > 10$ ；
- (2) 土的不均匀系数  $C_u > 10$ ；
- (3) 两种相互接触土层渗透系数之比  $K_1/K_2 > 2 \sim 3$ ；
- (4) 渗透水流的水力坡度（ $i$ ）大于土的临界水力坡度（ $i_0$ ）。

确定产生管涌的临界水力坡度的方法有以下几种（常士骝，1992）：

(1) 根据公式计算确定。计算公式同式 (1-1)。

(2) 根据土中细粒含量确定。管涌破坏的临界水力坡度与土中细颗粒含量关系见图 1-3。

应用图 1-3 时须注意：当土中细粒含量大于 35% 时，由于趋向于流砂破坏，应同时进行对流砂可能性的破坏评价。

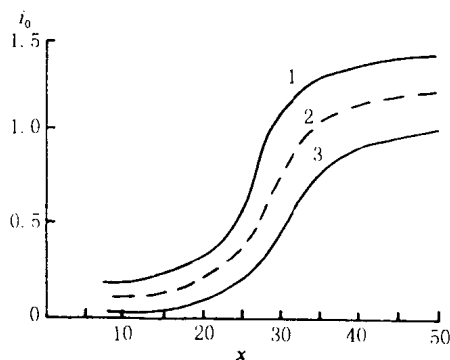


图 1-3 临界水力坡度与细粒含量关系  
 $x$ . 细粒含量 (%)； $i_0$ . 临界水力坡度  
 1. 上限；2. 中值；3. 下限

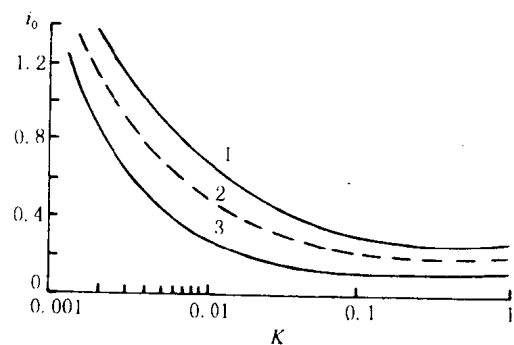


图 1-4 临界水力坡度与渗透系数关系图  
 $K$ . 渗透系数 (cm/s)； $i_0$ . 渗透破坏临界水力坡度  
 1. 上限；2. 中值；3. 下限



(3) 根据土的渗透系数确定。管涌破坏的临界水力坡度与土的渗透系数关系见图 1-4。

应用上述方法确定的临界水力坡度在进行基坑渗流管涌稳定性计算评价时, 应考虑采用一定的安全系数。对于管涌安全系数可取大于 1.5 修正后的水力坡度 (称为允许水力坡度)。根据渗透系数确定允许水力坡度的参考值见表 1-1。

表 1-1 允许水力坡度经验值

土的渗透系数/(cm/s)	允许水力坡度/%
$\geq 0.5$	0.1
0.5 ~ 0.025	0.1 ~ 0.2
0.025 ~ 0.005	0.2 ~ 0.5
$\leq 0.005$	$\geq 0.5$

#### 四、突涌

当基坑下有承压水存在, 开挖基坑减小了含水层上覆不透水层的厚度, 在厚度减小到一定程度时, 承压水的水头压力能顶裂或冲毁基坑底板, 造成突涌现象。基坑突涌将会破坏地基强度, 并给施工带来很大困难。

验算坑底不透水层厚度 (图 1-5) 与承压水头压力的平衡条件如下:

$$\gamma H = \gamma_0 h \quad (1-6)$$

由式 (1-6) 知, 基坑开挖后不透水层的厚度 ( $H$ ) 应为:

$$H = \frac{\gamma_0 h}{\gamma} \quad (1-7)$$

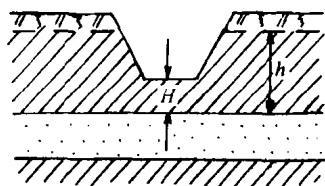


图 1-5 基坑底部最小不透水层的厚度

式中  $H$ ——基坑开挖后不透水层厚度;

$\gamma$ ——岩土的重度;

$\gamma_0$ ——水的重度;

$h$ ——承压水头高于含水层顶板的高度。

当  $H \geq \frac{\gamma_0 h}{\gamma}$  时, 基坑不发生突涌; 当  $H \leq \frac{\gamma_0 h}{\gamma}$  时, 基坑可能发生突涌。

## 第二节 基坑工程治水措施

在基坑开挖施工中, 为了避免产生流砂、管涌, 防止坑壁土体坍塌, 保证施工安全和工程质量, 必须对地下水进行有效的治理。在基坑工程施工中, 对地下水的治理一般可从两个方面进行, 一是堵截地下水; 二是降低地下水位。

### 一、堵截治水法

目前, 国内外对地下水进行堵截的方法有钢板桩、地下连续墙、稀浆槽、夹心墙、防渗垂直帷幕、防渗水平帷幕及冻结法等。

(1) 钢板桩。在挖方工程开始前, 把钢板桩打入地下, 能就地有效地堵截地下水, 且对边坡起支撑护坡的作用。为了充分发挥钢板桩的阻水作用, 需将其打入基坑下部的隔水层中, 并将它们联结成一体。这种方法主要适用于淤泥质砂和粘土质砂等地层, 但由于其投资费用高、施工噪声大等, 在国内应用不多。

(2) 地下连续墙。近年来, 在深基础施工中, 常采用地下连续墙施工法。连续墙为钢筋

混凝土结构，有一定的入土深度，它既能承受较大的侧土压力，也能防止地下水入侵。对于软弱、渗透性小的土层，地下连续墙的止水效果很好。

(3) 稀浆槽。在基坑四周挖一槽沟，于槽中灌入膨润液，并用不透水物质回填，使膨润液在槽壁上形成一层滤饼，可以防止或减少地下水向坑内渗流，达到治理地下水的目的。该方法具有很好的阻水作用，但对边坡不起支撑作用。它适用于各种地层，但在大卵石和岩石中使用，造价太高，一般用于具有施工场地的浅基础施工。

(4) 夹心墙。在稀浆槽中再挖一条沟槽，在槽内用导管灌注混凝土，形成防渗挡土墙。该方法既能有效地阻截地下水，又能对边坡起到支撑作用，但造价较高。适用范围与稀浆槽相同。

(5) 防渗垂直帷幕。于基坑四周采用高压喷射注浆、压力注浆或渗透注浆和深层搅拌等技术方法，在地下形成一道连续的墙幕，既可以起到很好的防渗阻水效果，又能有效地支撑边坡。该方法适用范围很广，目前国内，特别是在沿海城市得到了广泛应用。

(6) 防渗水平帷幕。在基坑底部采用高压注浆、搅拌方法，形成一道地下水平连续帷幕，用于基坑底的防渗和抗基坑底隆起、变形等。一般只用于场地不允许降水和防渗垂直帷幕也不能解决问题的工程中。

(7) 冻结法。采用冷冻技术，将基坑四周的土层冻结，达到阻水和支撑边坡的目的。可适用于淤泥质砂和粘土质砂及砂卵石土，但由于施工技术和设备要求较高，使用较少。

## 二、降水法

当地下水位高于基坑底面时，应进行基坑降水。通常采用的方法有明沟排水和井点降水两种。

(1) 明沟排水。在基坑内（或外）设置排水沟、集水井，并用抽水设备把地下水从集水井中不断抽走，保持基坑干燥。此法因设备简单、施工简便、成本低，而得到广泛采用。

(2) 井点降水。井点降水法是在拟建工程的基坑四周埋设能渗水的井点管，配置一定的抽水设备，不间断地将地下水抽走，使基坑范围内的地下水降至设计深度。井点法降水适用于具有不同几何形状的基坑，它有克服流砂、稳定边坡的作用。由于基坑内土方干燥，有利机械化施工，缩短工期，保证工程质量与安全，是一种行之有效的现代化施工方法，已广泛应用。

目前国内常用的井点降水法有轻型井点、喷射井点、电渗井点、管井井点、自渗井点等，可依据土层的岩性、渗透性、要求降低水位的深度及工程特点而选用（表 1-2）。

表 1-2 各类井点适用范围

井点类型	岩 性	渗透系数/(m/d)	降低水位深度/m
轻型井点	粉质粘土、粉土、细砂、中细砂	0.1~50	3~12
喷射井点	砂土、粉土	0.1~50	8~20
电渗井点	粘性土、淤泥质土、粉土	<0.1	<6
管井井点	砂土、碎石类土、岩石	>3	不限

## 第二章 渗流基本理论

### 第一节 地下水的贮存和运移特征

#### 一、地下水的贮存空间和形式

地下水贮存在岩土空隙中,并利用岩土空隙空间作渗透运动。因此,岩土空隙空间的大小、数量、均质程度和连通状况,都直接影响到地下水的贮存和运动。

根据岩土的空隙类型,可分孔隙空间、裂隙空间和岩溶空间三类。松散岩石中的孔隙分布于颗粒之间,连通良好,分布均匀,在不同方向上孔隙通道的大小和多少都很接近,赋存于其中的地下水分布与流动都比较均匀。坚硬岩石的裂隙是宽窄不等、长度有限的线状缝隙,往往具有一定的方向性,只有当不同方向的裂隙相互穿切连通时,才在某一范围内构成彼此连通的裂隙网格。裂隙的连通性远较孔隙为差,因此赋存于裂隙基岩中的地下水相互联系较差,分布与流动往往是不均匀的。可溶岩石的溶穴是一部分原有裂隙与原生孔缝溶蚀扩大而成的,空隙大小悬殊且分布极不均匀,因此赋存于可溶岩石中的地下水分布与流动通常极不均匀。

分布于土骨架孔隙中的水,一般按其物理化学性质,分为结合水、毛细管水和重力水(王大纯等,1986)。

(1)结合水。结合水由土粒和水的相互作用所吸持,并可分为强结合水和弱结合水两部分。强结合水在水力梯度的作用下是不能移动的,而弱结合水则具有半结晶水的属性,在小的水力梯度下,能克服外层弱结合水的粘滞阻力,逐渐转变为自由水而参与运动,从而扩大孔隙通道的过水断面。

(2)毛细水。毛细水依靠气-水界面弯液面的表面张力而被吸持于土体的孔隙中。当土体的含水量很小时,毛细水的数量很小,只是在土粒接触点周围形成孤立的水环,不能传递静水压力,也不能以液态转移。随着土体含水量的增加,毛细水数量也增加,孤立的水环相互联系起来,可以传递静水压力,且可以呈液态缓慢转移。

(3)重力水。重力水也称自由水,它在本身的重量下,不能静止地悬留在土体中,而在孔隙中按重力规则进行运动。井点降水主要指重力水。

#### 二、地下水的埋藏条件

重力水按其埋藏条件,又可分为上层滞水、潜水和承压水三种类型(图 2-1)。

(1)上层滞水。在上部松散地层的包气带中,当存在局部隔水层时,在该局部隔水层上将积聚具有统一水面的重力水,称上层滞水。其含水层多为微透水至弱透水层,水位随季节变化,不同场地不同季节的地下水位各不相同;涌水量很小,且随季节和含水层性质的变化而有较大的变化;水质易受污染。其补给与分布区一致,以降水补给和垂直蒸发排泄为主,与区域地下水无水力联系,与邻近的地表水体可能有水力联系,但联通性一般较差。上层滞水是深基坑降水的第一含水层,由于其埋藏浅,水量小,采取合适的降水措施后,治水效果较好,对深基坑施工影响不大。

(2)潜水。地表以下第一个具有自由表面的含水层中的水称为潜水,一般埋藏在第四纪松

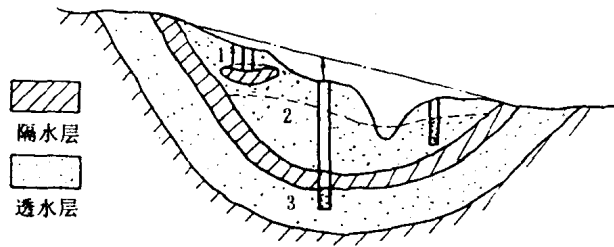


图 2-1 各种类型地下水埋藏示意图

1. 上层滞水; 2. 潜水; 3. 承压水

散沉积层及基岩的风化层中。含水层可为弱透水和强透水层。潜水一般无压,局部为低压水,具有统一自由水面,水位受气象因素影响变化明显,同一场地的水位在一定区域内基本相同或变化具有规律性;水量变化较大,由含水层的岩性、厚度和渗透性等决定;水质易受污染。地下水的补给一般以降水为主,同时接受场地外地下水的径流补给,当与地表水体有联系时,可接受地表水的补给;以径流流向下游或排泄到沟谷、河流之中;当埋藏较浅或含水层为弱透水层时,以蒸发排泄为主。可以用各种方法对潜水进行治理,其对基坑施工危害不大。

(3)承压水。充满于两个隔水层之间的含水层中的水,叫承压水,分布于松散地层、基岩构造盆地、向斜、断裂及岩溶等地区。地下水具有承压性,水头随场地位置而变化,一般不受当地气候因素的影响,场地内的水头保持相对稳定;水量由含水层或含水构造的性质、渗透性等决定;水质一般不易受污染。地下水的补给与分布区不一致,主要在上游地段和基岩裂隙接受降水补给,然后以径流形式流向下游,在低谷、河流以泉水排泄,或通过越流补给上下含水层。承压水对基坑底板和基坑施工的危害较大,一般由于其埋深大、水头高、水量大等原因,给深基坑的治水工作带来一定困难。

### 三、地下水的运动特征

地下水在岩石空隙中的运动称为渗流,发生渗流的区域称为渗流场。由于受到介质的阻滞,地下水的流动远较地表水缓慢。

在岩层空隙中渗流时,水的质点有秩序地、互不混杂的流动,称为层流运动;在具狭小空隙的岩石(如砂、裂隙不很宽大的基岩)中流动时,重力水受介质的吸引力较大,水的质点排列为有秩序,故作层流运动。水的质点无秩序地、互相混杂的流动,称为紊流运动。作紊流运动时,水流所受阻力比层流状态大,消耗能量较多。在宽大的空隙中(大的溶穴、宽大裂隙及卵砾石孔隙中),水的流速较大时,容易呈紊流运动。

(1)地下水作层流运动时,在土中的渗透流速可按达西定律计算:

$$v = Ki \quad (2-1)$$

式中  $v$ ——水在土中的渗透流速;

$K$ ——土的渗透系数;

$i$ ——水力坡度。

(2)地下水作紊流运动时,在土中的渗透流速可按哲才定律计算:

$$v = Ki^{1/2} \quad (2-2)$$

式中,各符号意义同前。

渗透系数  $K$  是表示岩石透水性的指标。水力坡度为定值时,渗透系数愈大,渗透流速就愈大;渗透流速为一定值时,渗透系数愈大,水力坡度愈小。由此可见,基坑内外渗流性状和地下水涌水量大小均与土的渗透系数有关。

水在渗流场内运动,各个运动要素(水位、流速、流向等)不随时间改变时,称作稳定流。运动要素随时间变化的水流运动,称作非稳定流。严格地讲,自然界中地下水都属于非稳定流,但为了便于分析和计算,也可以将某些运动要素变化微小的渗流,近似地看作稳定流。

## 第二节 渗流理论公式

### 一、水平集水建筑物水力计算公式

各种含水层类型,不同水平集水建筑物型式的水力计算公式如表 2-1 所示(薛禹群、朱学遇,1979;地质矿产部水文地质工程地质技术方法研究队,1978)。

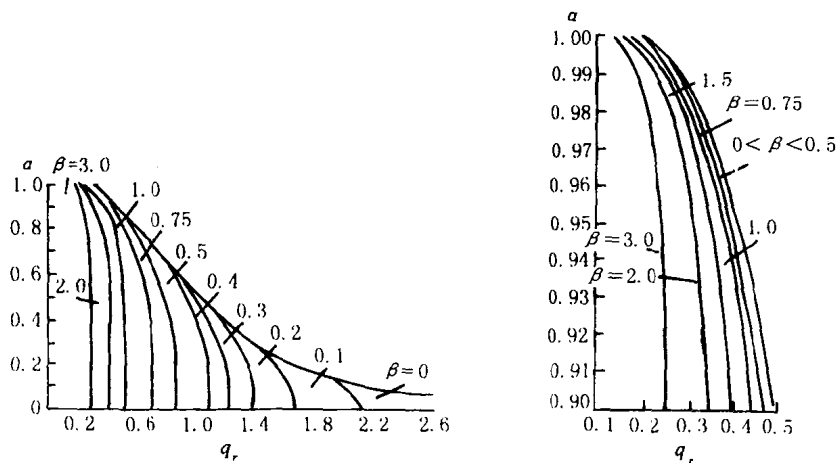


图 2-2  $q_r = f(\alpha - \beta)$

### 二、管井水力计算公式

各种含水层类型、不同管井结构型式,其水力计算公式如表 2-2 及表 2-4 所示(薛禹群、朱学遇,1979;地质矿产部水文地质工程地质技术方法研究队,1978;毛祖熙,1990)。

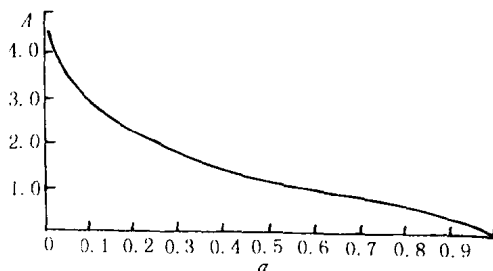


图 2-3  $A = f(\alpha)$  曲线图

表 2-1 水平集水建筑物稳定水力计算公式

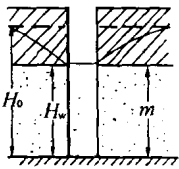
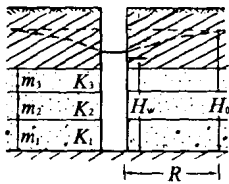
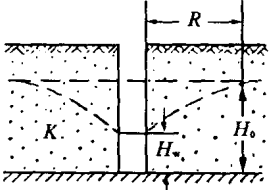
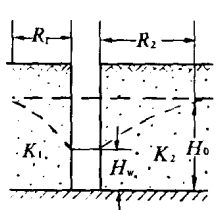
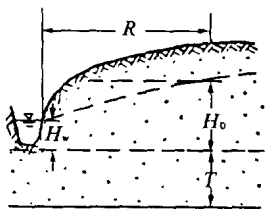
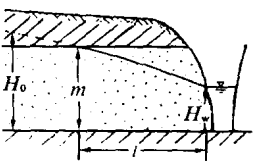
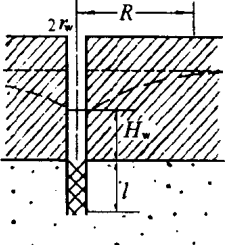
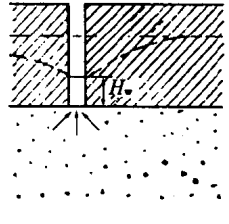
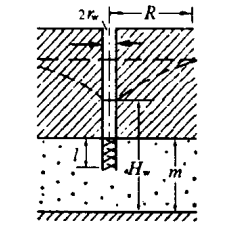
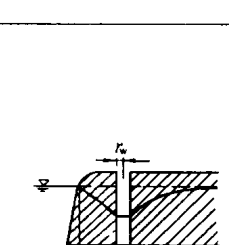
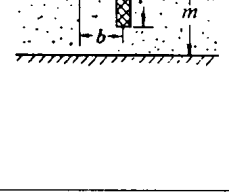
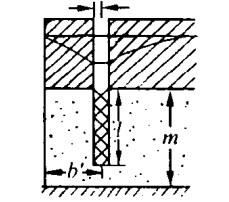
含水层类型	集水建筑物型式	计算示意图	计算公式	适用条件	说明
承压含水层	完整水平集水建筑物		$Q = \frac{2KmL(H_0 - H_w)}{R}$ $H = H_0 - \frac{(H_0 - H_w)}{R}x$	均质各向同性承压含水层;隔水底板水平;完整水平集水建筑物(L > 50m)两侧进水;远离地表水体	Q: 水平集水建筑物进水量; H: 含水层中任一点地下水位标高;
			$K_m = \frac{\sum_{i=1}^n K_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$ $Q = \frac{2K_m m L (H_0 - H_w)}{R}$ $H = H_0 - \frac{(H_0 - H_w)}{R}x$	层状含水层;其他条件同上	H0: 含水层静水位标高; Hw: 水平集水建筑物中地下水位标高; H: 含水层中任一点水位标高;
潜水含水层	完整水平集水建筑物		$Q = KL \frac{H_0^2 - H_w^2}{R}$ $H = \sqrt{H_0^2 - \frac{x}{R}(H_0^2 - H_w^2)}$	均质各向同性潜水含水层;其他条件同上	m: 含水层厚度; K: 含水层渗透系数; Km: 渗透系数加权平均值; R: 抽水影响半径;
			$Q = Q_1 + Q_2$ $Q_1 = K_1 L \frac{H_0^2 - H_w^2}{R_1}$ $Q_2 = K_2 L \frac{H_0^2 - H_w^2}{R_2}$ $H = \sqrt{H_0^2 - \frac{x}{R_{1,2}}(H_0^2 - H_w^2)}$	水平集水建筑物两侧含水层渗透性不同;其他条件同上	L: 基坑长度; B: 水平集水建筑物宽度的一半; T: 水平集水建筑物至含水层隔水底板的距离;
	非完整水平集水建筑物		$Q = K \frac{H_0^2 - H_w^2}{2R} + Kq_s (H_0 - H_w)$ $\alpha = \frac{R}{R+B} \quad \beta = \frac{R}{T}$ $q_s = f(\alpha - \beta) \text{ 由图 2-2 确定}$	单侧流向非完整水平集水建筑物;其他条件同上	x: 含水层中任一点距水平集水建筑物的距离
承压-无压含水层	完整水平集水建筑物		$Q = \frac{KmL(2H_0 - m) - H_w^2}{R}$ 承压水地段: $H = H_0 - \frac{H_0 - m}{l}x$ 潜水地段: $H = \sqrt{H_0^2 + \frac{x}{R-l}(m^2 - H_w^2)}$	均质各向同性承压-无压含水层;单侧流向完整水平集水建筑物;其他条件同上	

表 2-2 管井稳定流水力计算公式

单井或井群	含水层类型	管井型式	计算示意图	计算公式	适用条件	说明
单井	承压含水层	完整井		$Q = \frac{2\pi Km(H_0 - H_w)}{\ln \frac{R}{r_w}}$ $H = H_w + \frac{Q}{2\pi Km} \ln \frac{R}{r_w}$	均质各向同性承压含水层;隔水底板水平;无限含水层完整井;层流	<p>Q: 单井出水量;</p> <p>H: 含水层中任一点地下水位标高;</p> <p>H<sub>0</sub>: 含水层静水位标高;</p>
				$K_m = \frac{\sum_{i=1}^n K_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$ $Q = \frac{2\pi K_m m (H_0 - H_w)}{\ln \frac{R}{r_w}}$ $H = H_0 + \frac{Q}{2\pi K_m m} \ln \frac{R}{r_w}$	层状含水层;其他条件同上	<p>H<sub>w</sub>: 管井中地下水位标高;</p> <p>K: 含水层渗透系数;</p> <p>K<sub>m</sub>: 含水层渗透系数加权平均值;</p> <p>m: 含水层厚度;</p>
				$Q = \frac{2\pi Km(H_0 - H_w)}{\ln \frac{2b}{r_w}}$ $H = H_w + \frac{Q}{2\pi Km} \ln \frac{2b}{r_w}$	直线补给边界, b < 0.5R; 其他条件同上	<p>R: 抽水影响半径;</p> <p>r<sub>w</sub>: 管井半径;</p> <p>b: 抽水井至直线补给边界的距离;</p>
				$Q = \frac{2K\pi m(H_0 - H_w)}{\ln \frac{R^2}{2r_w b'}}$ $H = H_w + \frac{Q}{2K\pi m} \ln \frac{R^2}{2r_w b'}$	直线隔水边界, b' < 0.5R; 其他条件同上	<p>b': 抽水井至直线隔水边界的距离</p>
				$Q = \frac{2\pi Km(H_0 - H_w)}{\ln \left[ \frac{2b}{\pi r_w} \cos \frac{\pi(b_2 - b_1)}{2b} \right]}$ $H = H_w + \frac{Q}{2\pi Km} \ln \left[ \frac{2b}{\pi r_w} \cos \frac{\pi(b_2 - b_1)}{2b} \right]$	两条平行直线补给边界; 其他条件同上	
				$Q = \frac{2\pi Km \sqrt{R(H_0 - H_w)}}{\sqrt{R - r_w}}$ $H = H_w + \frac{R - r_w}{4R} \left( \frac{Q}{\pi Km} \right)^2$	紊流; 其他条件同上	

续表 2-2

单井或井群	含水层类型	管井型式	计算示意图	计算公式	适用条件	说明
单井	承压含水层	非完整井		$Q = \frac{2\pi Kl(H_0 - H_w)}{\ln \frac{1.32l}{r_w}}$ $H = H_w + \frac{Q}{2\pi Kl} \ln \frac{1.32l}{r_w}$	均质各向同性承压含水层; 无限边界; 层流; 非完整井; 含水层厚度无限; 过滤器与含水层顶板相接	$l$ : 过滤器有效长度; 其他符号意义同前
				$Q = 4Kr_w(H_0 - H_w)$ $H = H_w + \frac{Q}{4Kr_w}$	无限厚含水层, $m \geq 10r_w$ , 且 $\frac{R}{m} < 10$ ; 平底浅井; 其他条件同上	
				$Q = \frac{2\pi Km(H_0 - H_w)}{\frac{1}{2\alpha} \left( 2 \ln \frac{4m}{r_w} - 2.3A \right) - \ln \frac{4m}{R}}$ $H = H_0 + \frac{Q}{2\pi Km} \times \left[ \frac{1}{2\alpha} \left( 2 \ln \frac{4m}{r_w} - 2.3A \right) - \ln \frac{4m}{R} \right]$ $\alpha = \frac{l}{m}, A = f(\alpha) \text{ 按图 2-3 确定}$	含水层厚度有限, 过滤器紧靠隔水顶板; 其他条件同上	
				$Q = \frac{Kl(H_0 - H_w)}{0.16 \left( \ln \frac{1.32l}{r_w} - \frac{l}{2b} \right)}$ $H = H_w + \frac{6.25Q}{Kl} \left( \ln \frac{1.32l}{r_w} - \frac{R}{2b} \right)$	直线补给边界, 且 $b > 2l$ ; 其他条件同上	
				$Q = \frac{Kl(H_0 - H_w)}{\lg \frac{1.32l}{r_w} + \frac{l}{2m} \lg \frac{b^2}{m^2 - 0.56l^2}}$ $H = H_w + \frac{Q}{Kl} \left( \lg \frac{1.32l}{r_w} + \frac{l}{2m} \lg \frac{b^2}{m^2 - 0.56l^2} \right)$	直线补给边界, 且 $b < 2l$ ; 其他条件同上	
				$Q = \frac{2.73Km(H_0 - H_w)}{\lg R^2 - \lg 2b'm + \xi}$ $\xi = \frac{m}{2l} \left( 2 \ln \frac{4m}{r_w} - A \right) - 1.38$ $\alpha = \frac{l}{m}, A = f(\alpha) \text{ 由图 2-3 确定}$	直线隔水边界, 且 $b' < 0.5R$ ; 其他条件同上	



单井或井群	含水层类型	管井型式	计算示意图	计算公式	适用条件	说明
单井	潜水	完整		$Q = \frac{\pi K (H_0^2 - H_w^2)}{\ln \frac{R}{r_w}}$ $H = \sqrt{H_w^2 + \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{r_w}}$	均质各向同性潜水含水层;隔水底板水平;无限含水层;完整井;层流	$K_{mw}$ : 管井断面渗透系数加权平均值;
				$K_m = \frac{K_{mw} H_w + K_{m0} H_0}{H_0 + H_w}$ $K_{mw} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i m_{i,w}}{\sum_{i=1}^n m_{i,w}}$ $K_{m0} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i m_{i,0}}{\sum_{i=1}^n m_{i,0}}$ $Q = \frac{\pi K_m (H_0^2 - H_w^2)}{\ln \frac{R}{r_w}}$ $H = \sqrt{H_w^2 + \frac{Q}{\pi K_m} \ln \frac{R}{r_w}}$	层状含水层;其他条件同上	$K_{m0}$ : 无限远断面渗透系数加权平均值; 其他符号意义同前
				$Q = \frac{\pi K (H_0^2 - H_w^2)}{\ln \frac{2b}{r_w}}$ $H = \sqrt{H_w^2 + \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{2b}{r_w}}$	直线补给边界,且 $b < 0.5R$ ;其他条件同上	
				$Q = \frac{\pi K (H_0^2 - H_w^2)}{\ln \frac{R}{2r_w b'}}$ $H = \sqrt{H_w^2 + \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{2r_w b'}}$	直线隔水边界,且 $b' < 0.5R$ ;其他条件同上	
				$Q = \frac{\pi K (H_0^2 - H_w^2)}{\ln \left[ \frac{2b}{\pi r_w} \cos \frac{\pi(b_1 - b_2)}{2b} \right]}$ $H = \sqrt{H_w^2 + \frac{Q}{\pi K} \ln \left[ \frac{2b}{\pi r_w} \cos \frac{\pi(b_1 - b_2)}{2b} \right]}$	两条平行直线补给边界;其他条件同上	