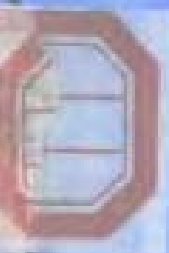


基坑降水工程

张永波 孙新忠 编著



地质出版社

464942

基坑降水工程

张永波 孙新忠 编著



00464942

地震出版社

2000

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。

DY96/10

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 ——岩土浮重;

γ_0 ——水的重度;

φ ——土的内摩擦角;

c ——土的粘聚力;

θ ——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 γ_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降，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）。

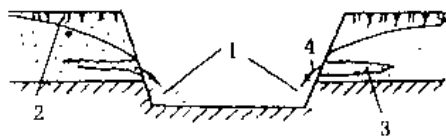


图 1-2 管涌破坏示意图

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。

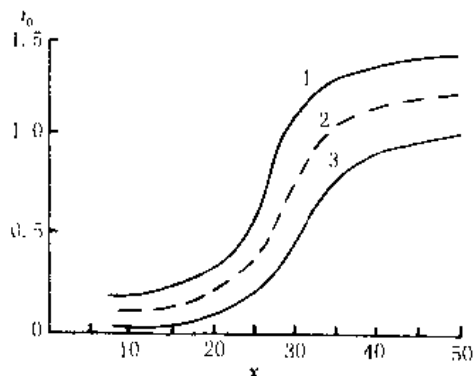


图 1-3 临界水力坡度与细粒含量关系

x 、细粒含量（%）； i_0 、临界水力坡度

1. 上限；2. 中值；3. 下限

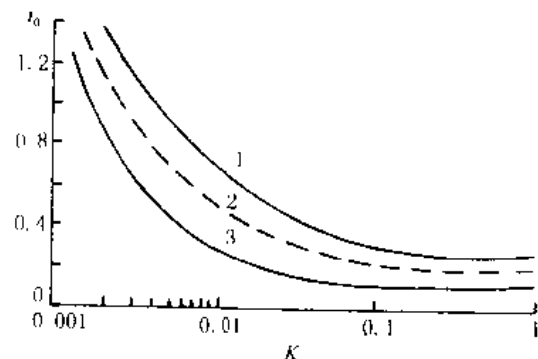


图 1-4 临界水力坡度与渗透系数关系图

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/%
≥ 0.5	0.1
0.5 ~ 0.025	0.1 ~ 0.2
0.025 ~ 0.005	0.2 ~ 0.5
≤ 0.005	≥ 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:

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

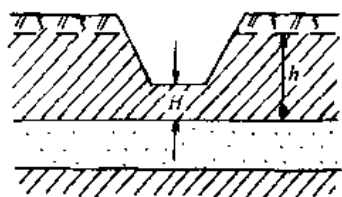


图 1-5 基坑底部最小不透水层的厚度

式中 H ——基坑开挖后不透水层厚度;
 γ ——岩土的重度;
 γ_0 ——水的重度;
 h ——承压水头高于含水层顶板的高度。

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

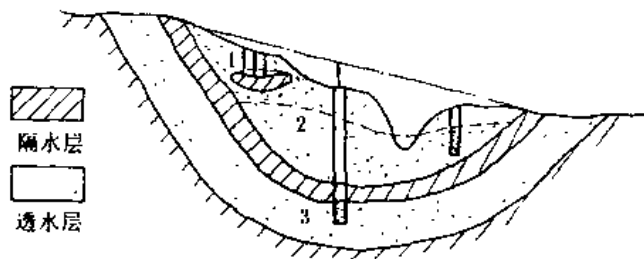


图 2-1 各种类型地下水埋藏示意图

1. 上层潜水; 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 and 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, 水的质点排列较为有秩序, 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)。

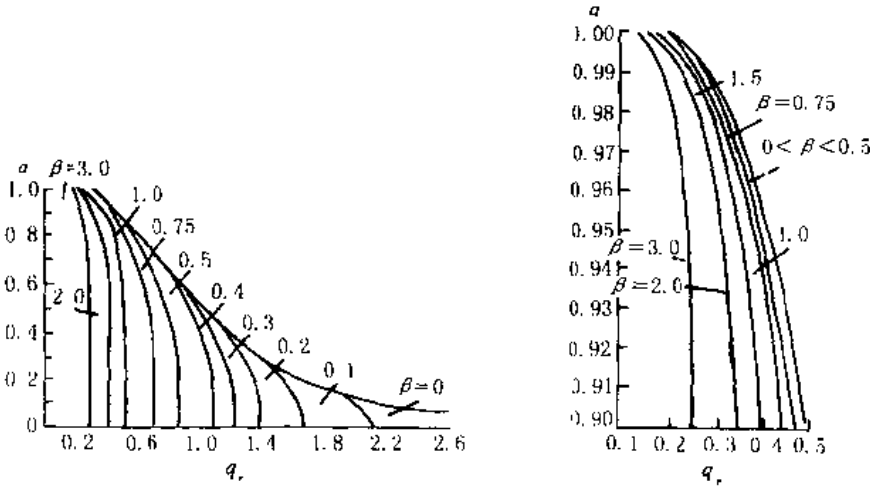


图 2-2 $q_r = f(\alpha - \beta)$

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;毛昶熙,1990)。

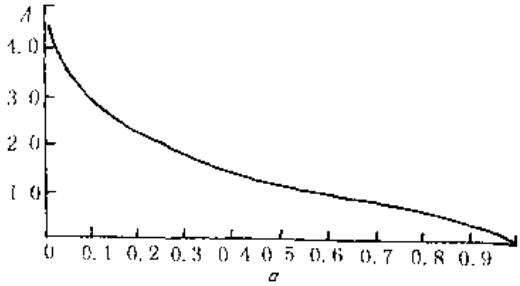


图 2-3 $A = f(\alpha)$ 曲线图

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	<p>Q: 水平集水建筑物进水量;</p> <p>H: 含水层中任一点地下水位标高;</p> <p>H_0: 含水层静水位标高;</p> <p>H_w: 水平集水建筑物中地下水位标高;</p> <p>H: 含水层中任一点水位标高;</p>
			$K_m = \frac{\sum_{i=1}^n K_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$ $Q = \frac{2K_m m L (H_0 - H_w)}{R}$ $H = H_0 - \frac{(H_0 - H_w)}{R}x$	层状含水层;其他条件同上	<p>m: 含水层厚度;</p> <p>K: 含水层渗透系数;</p> <p>K_m: 渗透系数加权平均值;</p> <p>R: 抽水影响半径;</p>
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	<p>L: 基坑长度;</p> <p>B: 水平集水建筑物宽度的一半;</p> <p>T: 水平集水建筑物至含水层隔水底板的距离;</p>
			$Q = Q_1 + Q_2$ $Q_1 = K_1 L \frac{H_0^2 - H_w^2}{R_1}$ $Q_2 = K_2 L \frac{H_0^2 - H_w^2}{R_2}$ $H = \sqrt{H_0^2 - \frac{x}{R_{1,2}}(H_0^2 - H_w^2)}$	水平集水建筑物两侧含水层渗透性不同;其他条件同上	<p>x: 含水层中任一点距水平集水建筑物的距离</p>
	非完整水平集水建筑物		$Q = K \frac{H_0^2 - H_w^2}{2R} + Kq(H_0 - H_w)$ $\alpha = \frac{R}{R+B} \quad \beta = \frac{R}{T}$ $q_r = f(\alpha - \beta) \text{ 由图 2.2 确定}$	单侧流向非完整水平集水建筑物;其他条件同上	
承压、无压含水层	完整水平集水建筑物		$Q = \frac{KmL(2H_0 - m) - H_w^2}{R}$ <p>承压水地段:</p> $H = H_0 - \frac{H_0 - m}{l}x$ <p>潜水地段:</p> $H = \sqrt{H_0^2 + \frac{x}{R-l}(m^2 - H_w^2)}$	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	

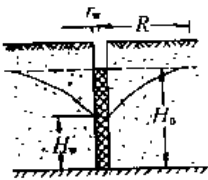
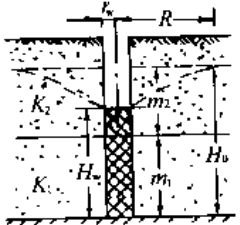
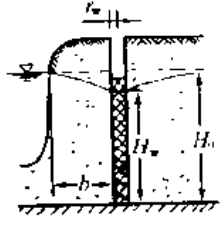
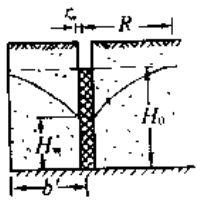
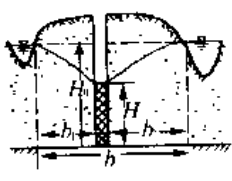
表 2-2 管井稳定流水力计算公式

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_0: 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_w: 管井中地下水位标高;</p> <p>K: 含水层渗透系数;</p> <p>K_m: 含水层渗透系数加权平均值;</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>m: 含水层厚度;</p> <p>R: 抽水影响半径;</p> <p>r_w: 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	

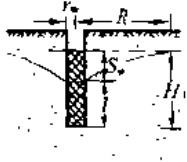

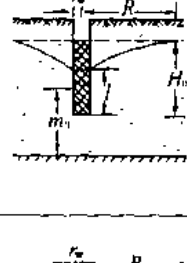
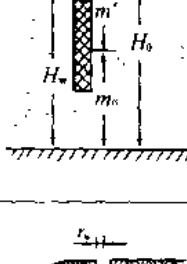
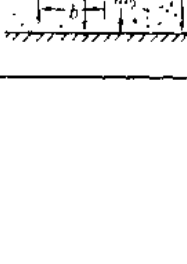

续表 2-2

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		$Q = \frac{2\pi K l (H_0 - H_w)}{\ln \frac{1.32l}{r_w}}$ $H = H_w + \frac{Q}{2\pi K l} \ln \frac{1.32l}{r_w}$	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; 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	
				$Q = \frac{2\pi K m (H_0 - H_w)}{\frac{1}{2\alpha} \left(2 \ln \frac{4m}{r_w} - 2.3A \right) - \ln \frac{4m}{R}}$ $H = H_0 + \frac{Q}{2\pi K m} \times \left[\frac{1}{2\alpha} \left(2 \ln \frac{4m}{r_w} - 2.3A \right) - \ln \frac{4m}{R} \right]$ $\alpha = \frac{l}{m}, A = f(\alpha) \text{ 按图 2-3 确定}$	含水层厚度有限, 过滤器紧靠隔水顶板; 其他条件同上	
				$Q = \frac{K l (H_0 - H_w)}{0.16 \left(\ln \frac{1.32l}{r_w} - \frac{l}{2b} \right)}$ $H = H_w + \frac{6.25 Q}{K l} \left(\ln \frac{1.32l}{r_w} - \frac{R}{2b} \right)$	直线补给边界, 且 $b > 2l$; 其他条件同上	
				$Q = \frac{K l (H_0 - H_w)}{\lg \frac{1.32l}{r_w} + \frac{l}{2m} \lg \frac{b^2}{m^2 - 0.56l^2}}$ $H = H_w + \frac{Q}{K l} \left(\lg \frac{1.32l}{r_w} + \frac{l}{2m} \lg \frac{b^2}{m^2 - 0.56l^2} \right)$	直线补给边界, 且 $b < 2l$; 其他条件同上	
				$Q = \frac{2.73 K m (H_0 - H_w)}{\lg R^2 - \lg 2b'm + \xi}$ $\xi = \frac{m}{2l} \left(2 \ln \frac{4m}{r_w} - A \right) - 1.38$ $\alpha = \frac{l}{m}, A = f(\alpha) \text{ 由图 2-3 确定}$	直线隔水边界, 且 $b' < 0.5R$; 其他条件同上	

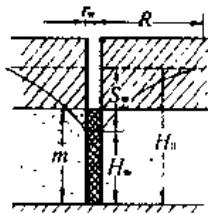
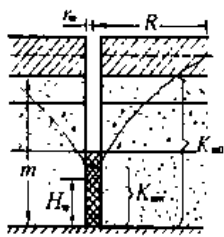
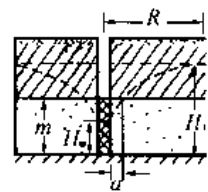
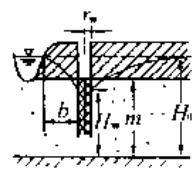
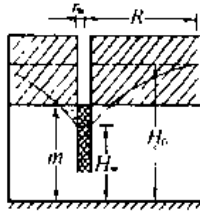
续表 2-2

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	潜水含水层	完整井		$Q = \frac{\pi K (H_0^2 - H_w^2)}{\ln \frac{R}{r_w}}$ $H = \sqrt{H_w^2 + \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{r_w}}$	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;
				$K_w = \frac{K_{mw} H_w + K_{m0} H_0}{H_0 + H_w}$ $K_{mw} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i m_{i,w}}{\sum_{i=1}^n m_{i,w}}$ $K_{m0} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i m_{i,0}}{\sum_{i=1}^n m_{i,0}}$ $Q = \frac{\pi K_w (H_0^2 - H_w^2)}{\ln \frac{R}{r_w}}$ $H = \sqrt{H_w^2 + \frac{Q}{\pi K_w} \ln \frac{R}{r_w}}$	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	

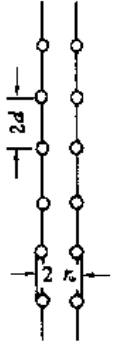
续表 2-2

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	潜水含水层	非完整井		$Q = \pi K (H_0 - H_w) \left[\frac{l + (H_0 - H_w)}{\ln \frac{R}{r_w}} + \frac{l}{\ln \frac{0.66l}{r_w}} \right]$	均质各向同性潜水含水层; 无限含水层; 大厚度含水层 ($l < 0.3H_w$) 非完整井; 过滤器未能淹没	m_0 : 过滤器中点距隔水底板的距离;
				$Q = \pi K (H_0 - H_w) \left[\frac{l + (H_0 - H_w)}{\ln \frac{2b}{r_w}} + \frac{l}{\ln \frac{0.66l}{r_w} + 0.22 \operatorname{Arsh} \frac{0.44l}{b}} \right]$	直线补给边界, 且 $b > l$; 其他条件同上	m' : 过滤器中点距水面的距离;
				$Q = \pi K (H_0 - H_w) \left[\frac{l + (H_0 - H_w)}{\ln \frac{2b}{r_w}} + \frac{l}{\ln \frac{0.66}{r_w} - 0.1 \frac{l}{b}} \right]$	直线补给边界, 且 $b < l$; 其他条件同上	其他符号意义同前
				$Q = \pi K (H_0 - H_w) \left[\frac{l + (H_0 - H_w)}{\ln \frac{R}{r_w}} + \frac{2m_0}{\frac{1}{2\alpha} \left(2 \ln \frac{4m_0}{r_w} - 2.3A \right) - \ln \frac{4m_0}{R}} \right]$ $\alpha = \frac{l}{2m_0} \quad A = f(\alpha) \text{ 由图 2-3 确定}$	含水层厚度有限, 过滤器未能淹没; 其他条件同上	
				$Q = 2.73 K (H_0 - H_w) \times \left[\frac{m'}{\frac{1}{2\alpha_1} \left(2 \lg \frac{4m'}{r_w} - A_1 \right) - \lg \frac{4m'}{R}} + \frac{m_0}{\frac{1}{2\alpha_2} \left(2 \lg \frac{4m_0}{r_w} - A_2 \right) - \lg \frac{4m_0}{R}} \right]$ $A_1 = f(\alpha_1) \quad \alpha_1 = \frac{l}{2m'}$ $A_2 = f(\alpha_2) \quad \alpha_2 = \frac{l}{2m_0}$ $A_1, A_2 \text{ 由图 2-3 确定}$	含水层厚度有限; 过滤器被淹没; 其他条件同上	
				$Q = 1.366 K (H_0 - H_w) \left[\frac{l + (H_0 - H_w)}{\lg \frac{2b}{r_w}} + \frac{l}{\lg \frac{0.66l}{r_w} - \frac{l}{4m_0 \lg \frac{b^2}{m_0^2 - 0.14l^2}}} \right]$	含水层厚度有限; 过滤器未被淹没; 直线补给边界 $b > 0.5m_0$; 其他条件同上	

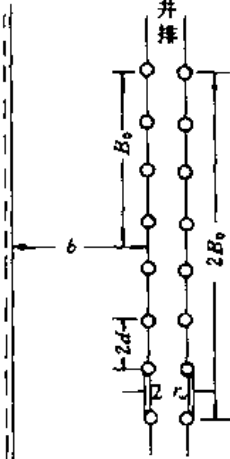
续表 2-2

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	完整井		$Q = \pi K \frac{m(2H_0 - m) - H_w^2}{\ln \frac{R}{r_w}}$ 承压水地段: $H = \sqrt{m^2 + \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{a}}$ 潜水地段: $H = \sqrt{H_w^2 + \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{a}{r_w}}$	均质各向同性承压-潜水含水层, 隔水底板水平; 无限含水层; 完整井; 层流	a: 管井至承压-无压含水层转折点的距离; T: 非完整井底部距隔水底板的距离;
				$Q = 1.366 K_m \frac{m(2H_0 - m) - H_w^2}{\ln \frac{R}{r_w}}$ $K_m = \frac{K_{mw}H_w + K_{mo}m}{m + H_{ow}}$ 承压水地段: $H = \sqrt{m^2 + \frac{Q}{\pi K_m} \ln \frac{R}{a}}$ 潜水地段: $H = \sqrt{H_w^2 + \frac{Q}{2K_m} \ln \frac{a}{R}}$	层状含水层; 其他条件同上	其他符号意义同前
				$Q = \pi K \frac{(2H_0 - m)m - H_w^2}{\ln \frac{R}{2br_w}}$ 承压水地段: $H = \sqrt{m^2 + \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{2b'r_w}}$ 潜水地段: $H = \sqrt{H_w^2 + \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{2b'r_w}{R}}$	直线隔水边界; 其他条件同上	
		非完整井		$Q = K \left[\frac{\pi(2H - m)m - \frac{1}{4}}{\ln \frac{2b}{r_w}} + \frac{2\pi K(H_0 - H_w)}{\ln \frac{2b}{T} + \xi} \right]$ $\xi = \frac{T}{l} \left(2 \ln \frac{4T}{r_w} - A \right) - 1.38$ $\alpha = \frac{l}{2T} \quad A = f(\alpha) \text{ 由图 2-3 确定}$	非完整井; 直线补给边界 $b < 0.5R$; 其他条件同 1.	
				$Q = K \left[\frac{\pi(2H - m)m - \frac{1}{4}}{\ln \frac{R^2}{2b'r_w}} + \frac{2\pi T(H_0 - H_w)}{\ln \frac{R^2}{2b'T} + \xi} \right]$ ξ 计算公式同上	直线隔水边界, $b < 0.5R$; 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
干 扰 井 群	承压含水层	完整井		$q = \frac{2\pi Km(H_0 - H_w)}{\ln \frac{d}{\pi r_w} + \frac{\pi R}{2d}}$ $H = H_w + \frac{Q}{2\pi Km} \left(\ln \frac{d}{\pi r_w} + \frac{\pi R}{2d} \right)$	均质各向同性承压含水层, 隔水底板水平; 无限含水层; 层流; 直线井排等间距布置	q : 干扰井群单井涌水量; d : 井间距; 其他符号意义同前
		非完整井		$q = \frac{2\pi Km(H_0 - H_w)}{\ln \frac{d}{\pi m} + \frac{2R}{2d} + \xi}$ $H = H_w + \frac{Q}{2\pi Km} \left(\ln \frac{d}{\pi m} + \frac{2R}{2d} + \xi \right)$ $\xi = \frac{m}{2l} \left(2\ln \frac{4m}{r_w} - A \right) - 1.38$ $\alpha = \frac{l}{m}, A = f(\alpha) \text{ 由图 2-3 确定}$	非完整井; 其他条件同上	
	潜水含水层	完整井		$q = \frac{\pi K(H_0^2 - H_w^2)}{\ln \frac{d}{\pi r_w} + \frac{\pi R}{2d}}$ $H = \sqrt{H_w^2 + \frac{Q}{\pi K} \left(\ln \frac{d}{\pi r_w} + \frac{\pi R}{2d} \right)}$	潜水含水层; 完整井; 其他条件同上	
		非完整井		$q = \frac{\pi K(H_0^2 - H_w^2)}{\ln \frac{d}{2\pi r_w} + \frac{2R}{2d}} + \frac{2\pi KT(H_0 - H_w)}{\ln \frac{d}{2T} + \frac{2R}{2d} + \xi}$ $\xi = \frac{T}{l} \left[2\ln \frac{4T}{r_w} - A \right] - 1.38$ $\alpha = \frac{l}{2T}, A = f(\alpha) \text{ 由图 2-3 确定}$	非完整井; 其他条件同上	
	承压-潜水含水层	完整井		$q = \frac{\pi K(2H_0 - m)m - H_w^2}{\ln \frac{d}{\pi r_w} + \frac{\pi R}{2d}}$	承压-潜水含水层; 完整井; 其他条件同上	
		非完整井		$q = \frac{2K \left[(H_0^2 - m^2) - \frac{1}{4} \right]}{\ln \frac{d}{\pi r_w} + \frac{\pi R}{2d}} + \frac{\pi KT(H_0 - H_w)}{\ln \frac{d}{2T} + \frac{2R}{2d} + \xi}$ $\xi \text{ 计算公式同前}$	非完整井; 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
十 机 井 群	承压含水层	完整井		$q = \frac{4\pi Km(H_0 - H_w)}{2\ln \frac{5.4b}{B_0} + \frac{2l}{n} \ln \frac{d}{\pi r_w}}$ $H = H_w + \frac{q}{4\pi Km} \left(2\ln \frac{5.4b}{B_0} + \frac{2l}{n} \ln \frac{d}{\pi r_w} \right)$	均质各向同性, 承压含水层, 隔水底板水平; 层流; 点线补给边界, 井排平行边界	B_0 : 直线井排长度之半; 其他符号意义同前
		非完整井		$q = \frac{4\pi Km(H_0 - H_w)}{2\ln \frac{5.4b}{B_0} + \frac{2l}{n} \left(\ln \frac{d}{\pi r_w} + \frac{1}{2} \xi_0 \right)}$ $\xi_0 = f\left(\frac{l}{m}, \frac{m}{r_w}\right) \text{ 由表 2-3 确定}$	非完整井; 其他条件同上	
	潜水含水层	完整井		$q = \frac{2\pi K(H_0^2 - H_w^2)}{2\ln \frac{5.4b}{B_0} + \frac{2l}{n} \ln \frac{d}{\pi r_w}}$ $H = \sqrt{H_w^2 + \frac{Q}{2\pi K} \left(2\ln \frac{5.4b}{B_0} + \frac{2l}{n} \ln \frac{d}{\pi r_w} \right)}$	潜水含水层; 完整井; 其他条件同上	
		非完整井		$q = \frac{2\pi K(H_0^2 - H_w^2)}{2\ln \frac{5.4b}{B_0} + \frac{2l}{n} \left(\ln \frac{d}{\pi r_w} + \frac{1}{2} \xi_0 \right)}$ $\xi_0 = f\left(\frac{l}{m}, \frac{m}{r_w}\right) \text{ 由表 2-3 确定}$	非完整井; 其他条件同上	
	承压、潜水含水层	完整井		$q = \frac{2\pi K[(H_0^2 - m^2) - H_w^2]}{2\ln \frac{5.4b}{B_0} + \frac{2l}{n} \ln \frac{d}{\pi r_w}}$	承压—无压含水层; 完整井; 其他条件同上	
		非完整井		$q = \frac{2\pi K(H_0^2 - m^2 - H_w^2)}{2\ln \frac{5.4b}{B_0} + \frac{2l}{n} \left(\ln \frac{d}{\pi r_w} + \frac{1}{2} \xi_0 \right)}$ $\xi_0 = f\left(\frac{l}{m}, \frac{m}{r_w}\right) \text{ 由表 2-3 确定}$	非完整井; 其他条件同上	

续表 2-2

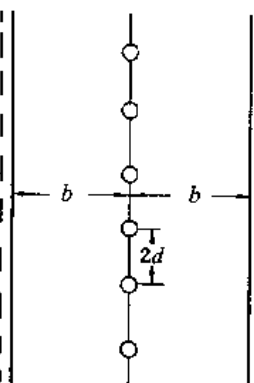
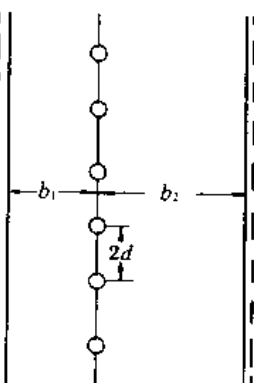
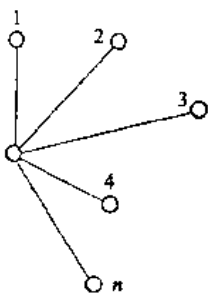
单井或井群	含水层类型	管井型式	计算示意图	计算公式	适用条件	说明
干 扰 井 群	承压含水层	完整井		$q = \frac{2\pi Km (H_0 - H_w)}{\ln \frac{d}{2\pi r_w} + \operatorname{sh} \frac{\pi R}{d}}$ $H = H_w + \frac{Q}{2\pi Km} \left(\ln \frac{d}{2\pi r_w} + \operatorname{sh} \frac{\pi R}{d} \right)$	均质各向同性承压含水层; 隔水底板水平; 层流; 两条平行分布的直线补给边界; 直线排列干扰井群位于两边界中部	r: 管井至含水层中任意点的距离; 其他符号意义同前
	潜水含水层			$q = \frac{\pi K (H_0^2 - H_w^2)}{\ln \frac{d}{2\pi r_w} + \operatorname{sh} \frac{\pi R}{d}}$ $H = \sqrt{H_w^2 + \frac{Q}{2K} \left(\ln \frac{d}{2\pi r_w} + \operatorname{sh} \frac{\pi R}{d} \right)}$	潜水含水层; 其他条件同上	
	承压含水层	完整井		$q = \frac{2\pi Km (H_0 - H_w)}{\ln \frac{b}{2\pi r_w} + \frac{b_1 b_2}{d(b_1 + b_2)}}$ $H = H_w + \frac{Q}{2\pi Km} \left[\ln \frac{d}{2\pi r_w} + \frac{b_1 b_2}{d(b_1 + b_2)} \right]$	直线排列干扰井群距两直线补给边界的距离不等; 其他条件同上	
	潜水含水层			$q = \frac{\pi K (H_0^2 - H_w^2)}{\ln \frac{b}{2\pi r_w} + \frac{b_1 b_2}{d(b_1 + b_2)}}$ $H = \sqrt{H_w^2 + \frac{Q}{2K} \left[\ln \frac{b}{2\pi r_w} + \frac{b_1 + b_2}{d(b_1 + b_2)} \right]}$	潜水含水层; 其他条件同上	
	承压含水层	完整井		$q = \frac{2\pi Km (H_0 - H_w)}{\ln R_0 - \frac{1}{n} \ln r_1, r_2, \dots, r_n}$ $H = H_w + \frac{Q}{2\pi Km} \left(\ln R_0 - \frac{1}{n} \ln r_1, r_2, \dots, r_n \right)$	承压含水层; n个流量相等的井群无规则任意排列; 无限边界; 其他条件同上	
	潜水含水层			$q = \frac{\pi K (H_0^2 - H_w^2)}{\ln R_0 - \ln r_1, r_2, \dots, r_n}$ $H = \sqrt{H_w^2 + \frac{Q}{\pi K} (\ln R_0 - \ln r_1, r_2, \dots, r_n)}$	潜水含水层; 其他条件同上	

表 2-3 稳定流非完整井补充水流阻力值 ξ_0

$C=0$ 时的 ξ_0 值										
l/m	m/r_w									
	0.5	1	5	10	30	100	200	500	1000	2000
0.05	0.00423	0.135	2.30	12.6	35.5	71.9	94	126	149	169
0.1	0.00391	0.122	2.04	10.4	24.3	42.8	53.8	69.5	79.6	90.9
0.3	0.00297	0.0908	1.29	4.79	9.23	14.5	17.7	21.8	24.9	28.2
0.5	0.00165	0.0494	0.656	2.26	4.21	6.55	7.86	9.64	11.0	12.4
0.7	0.000546	0.0167	0.237	0.879	1.69	2.67	3.24	4.01	4.58	5.19
0.9	0.0000482	0.0015	0.0251	0.128	0.334	0.528	0.664	0.846	0.983	1.12

 $C \neq 0$ 时的 ξ_0 值


l/m	C/m	m/r_w				
		10	30	100	500	1000
0.1	0	10.4	24.5	43.5	70.2	81.8
0.1	0.1	6.48	17.0	33.6	59.7	71.8
0.1	0.2	5.23	15.6	32.6	58.6	70.4
0.1	0.3	4.91	15.1	31.9	58.1	70.3
0.1	0.45	4.3	14.5	31.5	57.5	70.2
0.1	0.6	4.91	15.1	31.9	58.1	70.3
0.1	0.7	5.23	15.6	32.6	58.6	70.4
0.1	0.8	6.48	17.0	33.6	59.7	71.8
0.1	0.9	10.4	24.5	43.5	70.2	81.8
0.3	0	4.79	9.2	14.5	21.8	24.9
0.3	0.1	3.3	7.13	12.2	19.3	22.3
0.3	0.2	2.72	6.58	11.6	18.8	21.9
0.3	0.35	2.4	6.2	11.4	18.7	21.8
0.3	0.5	2.72	6.58	11.36	18.8	21.9
0.3	0.6	3.3	7.13	12.2	19.3	22.3
0.3	0.7	4.79	9.2	14.5	21.8	24.9
0.5	0	2.26	4.21	6.5	9.64	11.0
0.5	0.1	0.51	3.23	5.41	8.49	9.9
0.5	0.25	1.2	2.9	5.12	8.24	9.64
0.5	0.4	1.51	3.23	5.41	8.49	9.9
0.5	0.5	2.26	4.21	6.5	9.64	11.0

注：表 2-3 适用于承压非完整井，对于潜水井查用此表时，需按下列值代换：

$$l_0 = l - \frac{H_0 - H_w}{2}, m = H - \frac{H_0 - H_w}{2}, C = C_0 - \frac{H_0 - H_w}{2}$$

式中， l_0 为过滤器底部至潜水静止水位的距离； C_0 为过滤器顶部至静止水位的距离。

表 2-4 管井非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		$S = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad u = \frac{r_w^2}{4at}$ 当 $u \leq 0.1$ 时: $S = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25at}{r_w^2}$ $W(u) \text{ 由表 2-5 确定(下同)}$	均质各向同性等厚承压含水层; 无限含水层; 无越流补给; 层流; 完整单井	Q : 管井出水量; H_0 : 静水位标高; H_w : 管井中地下水位标高;
		非完整井		$S = \frac{Q}{4\pi T} [W(u) + \xi'_0]$ 当 $u \leq 0.1$ 时: $S = \frac{Q}{4\pi T} \left(\ln \frac{2.25at}{r_w^2} + \xi'_0 \right)$ $\xi'_0 = f\left(u, \frac{m}{r}, \frac{l}{m}\right) \text{ 由表 2-6 确定}$	承压含水层; 非完整井; 其他条件同上	S : 水位降深; K : 渗透系数; α : 导压系数;
	潜水含水层	完整井		$S = \sqrt{\frac{Q}{2\pi K} W(u) + H_w^2}$ 当 $u \leq 0.1$ 时: $S = \sqrt{H_w^2 + \frac{Q}{2\pi K} \ln \frac{2.25at}{r_w^2}}$	潜水含水层; 完整井; 其他条件同上	T : 导水系数; r_w : 管井半径; t : 抽水时间; l : 过滤器有效长度;
		非完整井		$S = \sqrt{H_w^2 + \frac{Q}{2\pi K} [W(u) + \xi'_0]}$ 当 $u \leq 0.1$ 时: $S = \sqrt{H_w^2 + \frac{Q}{2\pi K} \left(\ln \frac{2.25at}{r_w^2} + \xi'_0 \right)}$ $\xi'_0 = f\left(u, \frac{H}{r}, \frac{l}{H}\right) \text{ 由表 2-6 确定}$	潜水含水层; 非完整井; 其他条件同上	m : 含水层厚度; $W(u)$: 泰斯井流函数
	承压-潜水含水层	完整井		$Q = \frac{2\pi K(H_0^2 - m^2 - H_w^2)}{W(u)}$ 当 $u \leq 0.1$ 时: $Q = \frac{2\pi K(H_0^2 - m^2 - H_w^2)}{\ln \frac{2.25at}{r_w^2}}$	承压-潜水含水层; 完整井; 其他条件同上	
		非完整井		$Q = \frac{2\pi K(H_0^2 - m^2 - H_w^2)}{W(u) + \xi'_0}$ 当 $u \leq 0.1$ 时: $Q = \frac{2\pi K(H_0^2 - m^2 - H_w^2)}{\ln \frac{2.25at}{r_w^2} + \xi'_0}$ $\xi'_0 = f\left(u, \frac{m}{r}, \frac{l}{m}\right) \text{ 由表 2-6 确定}$	承压-潜水含水层; 非完整井; 其他条件同上	

续表 2-4

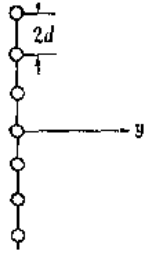
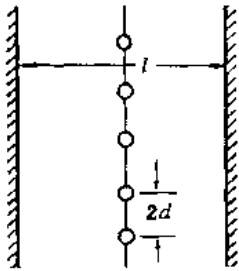
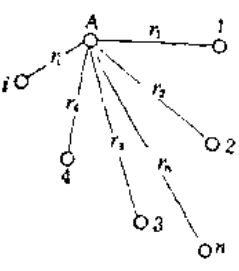
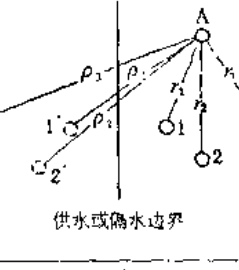
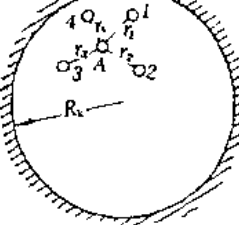
单井或井群	含水层类型	管井型式	计算示意图	计算公式	适用条件	说 明
干 扰 井 群	承压含水层	完整井		$Q = \frac{4\pi TS_0}{\frac{3.55\sqrt{at}}{d} + \ln \frac{0.16d}{r_w^2} - R_H^*}$ R_H^* 查表 2-7 确定	均质各向同性、等厚、承压含水层；无限含水层；层流；完整井；流量相同的直线排列井群	d : 直线排列井群间距； S_0 : 直线排列井群中点水位降；
				$Q = \frac{2\pi TS_0}{\frac{1.13\sqrt{at}}{b} - 0.7\lg \frac{\pi r_w}{b} - \frac{R_H^*}{\pi}}$ $+ \frac{2\pi TS_0}{\frac{4\sqrt{at}}{b} \sum_{i=1}^n R_i}$ $R_i = f\left(\frac{2d_i}{2\sqrt{at}}\right)$ 由图 2-4 确定	直线井群位于两平行隔水边界所限定的带状含水层中，且 $d < b$ ；其他条件同上	r_i : 任意排列井群距含水层任一点的距离； ρ_i : 虚井距含水层任一点的距离；
				$S = \frac{Q}{4\pi T} \sum_{i=1}^n W\left(\frac{r_i^2}{4at}\right)$ 当 $\frac{r_{i\max}^2}{4at} \leq 0.01$ 时： $S = \frac{nQ}{4\pi T} \ln \frac{2.25at}{\sqrt{r_1^2, r_2^2, \dots, r_n^2}}$	n 个流量相同的井无规则分布在无限含水层中，各井同时开始抽水，每个井流量在抽水过程中保持不变；其他条件同上	R_k : 封闭含水层的半径； 其他符号意义同前
				$S = \frac{1}{4\pi T} \left\{ \sum_{i=1}^n Q_i W\left[\frac{r_i^2}{4a(t-t_i)}\right] \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^n Q_i W\left[\frac{\rho_i^2}{4a(t-t_i)}\right] \right\}$ 为补给边界时用减号，隔水边界时用加号	流量不同的 n 个井无规则分布，各井开始抽水时间不同；其他条件同上	
				当 $t \leq (0.1 \sim 0.2) \frac{R_k^2}{a}$ 时： $S = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{\pi T} \frac{at}{R_k^2} + \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{2\pi T} \ln \frac{R_k}{r_i \cdot r}$	任意排列的井群位于封闭含水层中；其他条件同上	

表 2-5 $W(u)$ 函数表

$\begin{matrix} u \\ N \end{matrix}$	$N \times 10^{-15}$	$N \times 10^{-14}$	$N \times 10^{-13}$	$N \times 10^{-12}$	$N \times 10^{-11}$	$N \times 10^{-10}$	$N \times 10^{-9}$	$N \times 10^{-8}$
1.0	33.9616	31.6590	29.3564	27.0538	24.7512	22.4486	20.1460	17.8435
1.5	33.5561	31.2535	28.9509	26.6483	24.3458	22.0432	19.7406	17.4380
2.0	33.2684	30.9653	28.6632	26.3607	24.0581	21.7555	19.4529	17.1503
2.5	33.0453	30.7427	28.4401	26.1375	23.8349	21.5323	19.2298	16.9272
3.0	32.8629	30.5604	28.2578	25.9552	23.6526	21.3500	19.0474	16.7449
3.5	32.7088	30.4062	28.1036	25.8010	23.4985	21.1959	18.8933	16.5907
4.0	32.5753	30.2727	27.9701	25.6675	23.3649	21.0623	18.7598	16.4572
4.5	32.4575	30.1549	27.8523	25.5497	23.2171	20.9446	18.6420	16.3394
5.0	32.3521	30.0495	27.7470	25.4444	23.1418	20.8392	18.5366	16.2340
5.5	32.2568	29.9542	27.6516	25.3491	23.0465	20.7439	18.4412	16.1387
6.0	32.1698	29.8672	27.5646	25.2620	22.9595	20.6569	18.3543	16.0517
6.5	32.0898	29.7872	27.4846	25.1820	22.8794	20.5768	18.2742	15.9717
7.0	32.0156	29.7131	27.4105	25.1079	22.8053	20.5027	18.2001	15.8976
7.5	31.9467	29.6441	27.3415	25.0389	22.7363	20.4337	18.1311	15.8280
8.0	31.8821	29.5795	27.2769	24.9744	22.6718	20.3692	18.0666	15.7640
8.5	31.8215	29.5189	27.2163	24.9137	22.6112	20.3086	18.0060	15.7034
9.0	31.7643	29.4618	27.1592	24.8566	22.5540	20.2514	17.9488	15.6462
9.5	31.7103	29.4077	27.1051	24.8025	22.4999	20.1973	17.8948	15.5922
$\begin{matrix} u \\ N \end{matrix}$	$N \times 10^{-7}$	$N \times 10^{-6}$	$N \times 10^{-5}$	$N \times 10^{-4}$	$N \times 10^{-3}$	$N \times 10^{-2}$	$N \times 10^{-1}$	N
1.0	15.5409	13.2383	10.9357	8.6332	6.3315	4.0379	1.8229	0.2194
1.5	15.1354	12.8328	10.5303	8.2278	5.9266	3.6374	1.4645	0.1000
2.0	14.8477	12.5451	10.2426	7.9402	5.6394	3.3547	1.2227	0.04890
2.5	14.6246	12.3220	10.0194	7.7172	5.4167	3.1365	1.0443	0.02491
3.0	14.4423	12.1397	9.8371	7.5348	5.2349	2.9591	0.9057	0.01305
3.5	14.2881	11.9855	9.6830	7.3807	5.0813	2.8099	0.7942	0.006970
4.0	14.1546	11.8520	9.5495	7.2472	4.9482	2.6813	0.7024	0.003779
4.5	14.0368	11.7342	9.4317	7.1295	4.8310	2.5684	0.6253	0.002073
5.0	13.9314	11.6280	9.3263	7.0242	4.7261	2.4679	0.5598	0.001148
5.5	13.8361	11.5330	9.2310	6.9289	4.6313	2.3775	0.5034	0.0006409
6.0	13.7491	11.4465	9.1440	6.8420	4.5448	2.2953	0.4544	0.0003601
6.5	13.6691	11.3665	9.0640	6.7620	4.4652	2.2201	0.4115	0.0002034
7.0	13.5950	11.2924	8.9899	6.6879	4.3916	2.1508	0.3738	0.0001155
7.5	13.5260	11.2234	8.9209	6.6190	4.3231	2.0867	0.3403	0.0000658
8.0	13.4614	11.1589	8.8563	6.5545	4.2591	2.0269	0.3106	0.0000376
8.5	13.4008	11.0982	8.7957	6.4939	4.1990	1.9711	0.2840	0.0000216
9.0	13.3437	11.0411	8.7386	6.4368	4.1423	1.9187	0.2602	0.0000124
9.5	13.2896	10.9870	8.6845	6.3828	4.0887	1.8695	0.2387	0.0000071

表 2-6 非稳定流非完整井水流阻力系数 ξ'_0 $\frac{l}{m} = 0.25$ 时的 ξ'_0 值

$u \backslash \frac{r}{m}$	0.01	0.03	0.1	0.2	0.5	1.0
$< 10^{-5}$	18.18	11.93	5.75	2.97	0.70	0.10
10^{-5}	18.18	11.93	5.75	2.97	0.70	0.10
10^{-4}	18.13	11.93	5.75	2.97	0.70	0.10
10^{-3}	16.27	11.87	5.70	2.97	0.70	0.10
10^{-2}	11.33	9.86	5.70	2.97	0.70	0.10
10^{-1}	5.29	5.01	3.93	2.62	0.70	0.10
1	0.63	0.63	0.57	0.50	0.28	0.08
2	0.14	0.14	0.13	0.12	0.08	0.03

 $\frac{l}{m} = 0.5$ 时的 ξ'_0 值

$u \backslash \frac{r}{m}$	0.01	0.03	0.1	0.2	0.5	1.0
$< 10^{-5}$	6.51	4.40	2.26	1.23	0.33	0.05
10^{-5}	6.51	4.40	2.26	1.23	0.33	0.05
10^{-4}	6.49	4.40	2.26	1.23	0.33	0.05
10^{-3}	5.65	4.37	2.26	1.23	0.33	0.05
10^{-2}	3.85	3.42	2.24	1.23	0.33	0.05
10^{-1}	1.78	1.71	1.44	1.06	0.33	0.05
1	0.22	0.21	0.20	0.18	0.12	0.01

 $\frac{l}{m} = 0.75$ 时的 ξ'_0 值

$u \backslash \frac{r}{m}$	0.01	0.1	0.2	0.5
$< 10^{-5}$	2.02	0.64	0.33	0.08
10^{-5}	2.02	0.64	0.33	0.08
10^{-4}	2.01	0.64	0.33	0.08
10^{-3}	1.81	0.64	0.33	0.08
10^{-2}	1.26	0.64	0.33	0.08
10^{-1}	0.59	0.44	0.30	0.08
1	0.07	0.06	0.05	0.03

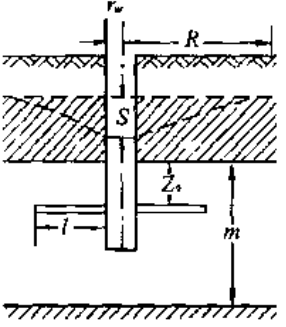
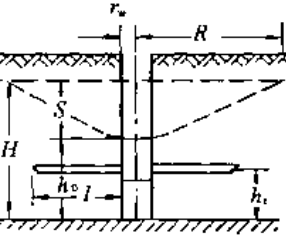
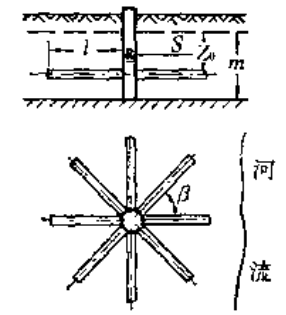
表 2-7 R_H^* 函数值表

$\frac{\pi \sqrt{at}}{d}$	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
R_H^*	1.32	0.737	0.270	0.090	0.024	0.005	0.001	0.000

三、辐射井水力计算公式

辐射井水力计算的影响因素较多,按各种经验公式和理论公式计算的结果与实际情况往往有很大出入,一般只作粗略的估算。不同条件下的计算公式如表 2-8(地质矿产部水文地质工程地质技术方法研究队,1978)。

表 2-8 辐射井水力计算公式

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			$Q = \frac{2.73 K \beta (H_0 - H_w)}{\lg V_r + 2 \lambda \lg V_m} n \varphi$ $V_r = \frac{1}{1.36 r_w} \sqrt{\frac{2R-l}{2R+l}}$ $V_m = \frac{l + \sqrt{l^2 + 4m^2}}{2m} \sqrt{\frac{2R-l}{2R+l}}$ $\beta \text{ 由图 2-5 确定, } \lambda \text{ 由图 2-6 确定, } \varphi \text{ 由图 2-7 确定(下同)}$	均质各向同性承压含水层,隔水底板水平;无限含水层;辐射井	Q : 辐射井出水量; H_0 : 含水层静水位标高; H_w : 辐射井中水位标高; h_r : 辐射管轴线至不透水层底板之距离; K : 含水层渗透系数; m : 含水层厚度; n : 辐射管数; l : 辐射管长度; r : 辐射管半径; R : 影响半径; β : 埋深系数; φ : 辐射管互阻系数; λ : 系数
潜水含水层	辐射井		$Q = 1.36 n K a \frac{H_0^2 - H_w^2}{\lg \frac{R}{0.75 l}}$ 当 $h_r > H_w$ 时: $Q = 1.36 n K a \frac{H_0^2 - H_w^2}{\lg \frac{R}{0.25 l}}$ $\alpha = f(n) \text{ 由图 2-8 确定}$	潜水含水层;其他条件同上	
潜水含水层			一根辐射管垂直河岸: $Q = \beta \frac{2\pi K l (H_0 - H_w)}{F_n}$ $F_n = \ln \left(\frac{0.74 l}{r} \sqrt{\frac{2R-l}{2R+l}} \right) + 2\mu \ln \left(\frac{l + \sqrt{l^2 + 4m^2}}{2m} \sqrt{\frac{2R-l}{2R+l}} \right)$ 一根辐射管平行河岸: $Q = \beta \frac{2\pi K l (H_0 - H_w)}{F'_n}$ $F'_n = \ln \frac{1.5 l R}{r_w (l + \sqrt{l^2 + 4R^2})} + 2\mu \ln \frac{(l + \sqrt{l^2 + 4m^2}) R}{m (l + \sqrt{l^2 + 4R^2})}$ 有 n 根辐射管时: $Q = \beta \frac{2\pi K l (H_0 - H_w)}{F_n} n \varphi$ $\mu = f(\alpha) \text{ 由图 2-9 确定}$	辐射井位于直线河流附近;其他条件同上	

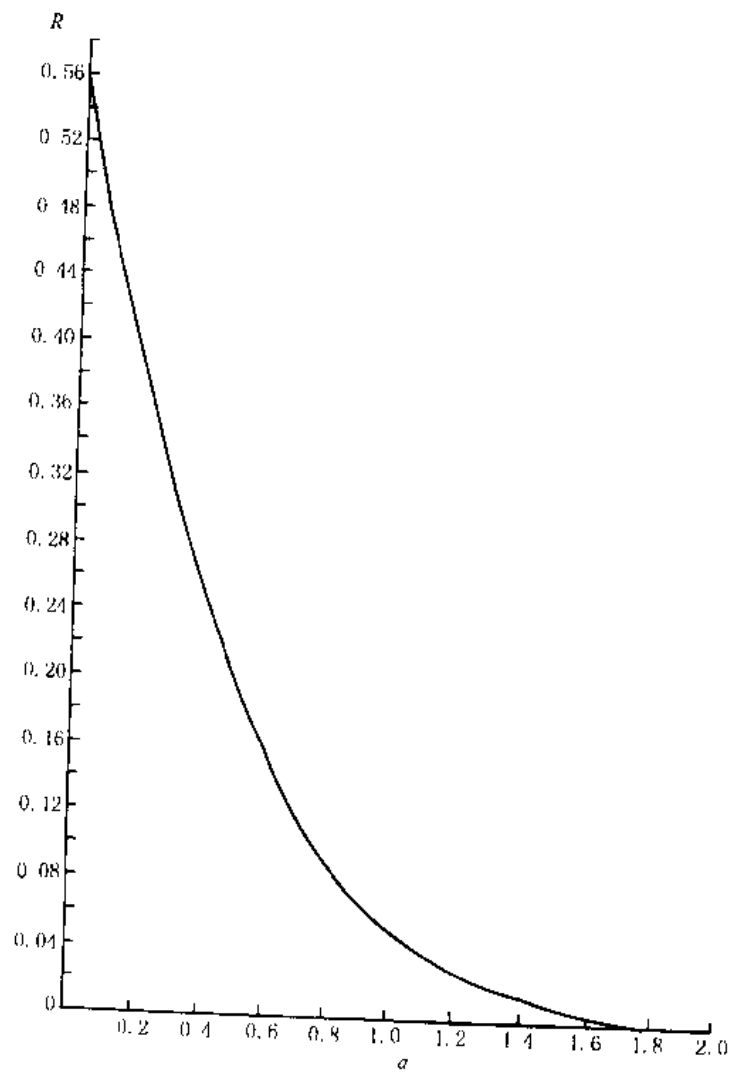


图 2-4 $R = f(\alpha)$ 函数图

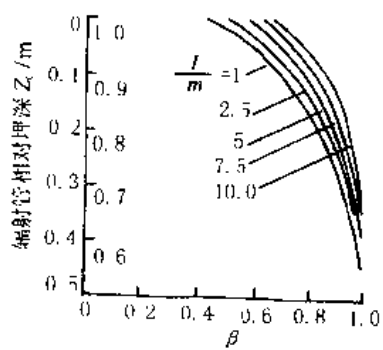


图 2-5 埋深系数 β 曲线图

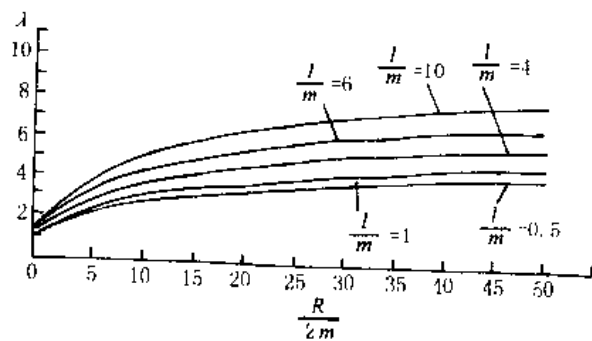


图 2-6 确定 λ 系数曲线图

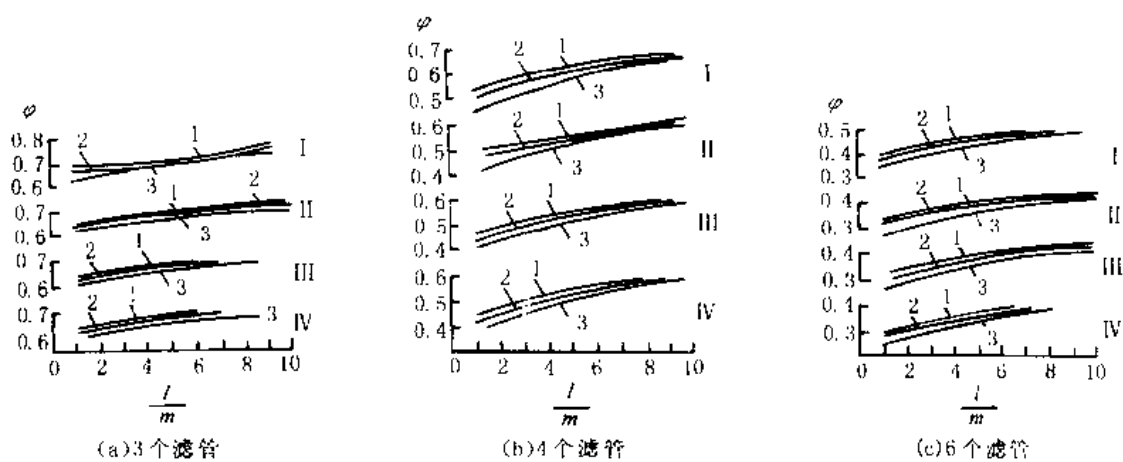


图 2-7 辐射管互阻系数 φ 曲线图

曲线 1, 2, 3 分别代表 $\frac{\tau_{\pi}}{m}$ 值为 $\frac{1}{370}, \frac{1}{150}, \frac{1}{37}$.

图中 I, II, III, IV 分别代表 $\frac{R}{2m}$ 值为 5, 15, 25, 50

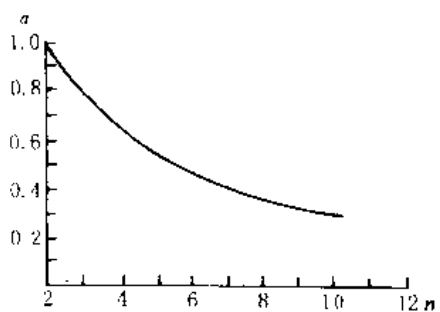


图 2-8 $\alpha = f(n)$ 关系曲线

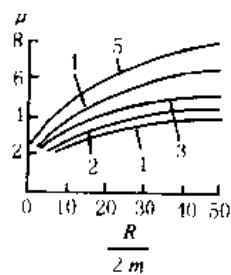


图 2-9 决定辐射管互阻系数图

曲线 1, 2, 3, 4, 5 分别表示 $\frac{l}{m}$ 为

0.5, 1, 4, 6, 10

第三章 基坑降水方法

第一节 明沟排水

一、明沟排水方法及适用条件

明沟排水是指在基坑内设置排水明沟或渗渠和集水井，然后用水泵将水抽出基坑外的降水方法。

明沟排水（简称明排）一般适用于土层比较密实，坑壁较稳定，基坑较浅，降水深度不大，坑底不会产生流砂和管涌等的降水工程。选用明排降水时，应根据场地的水文地质条件、基坑开挖方法及边坡支护形式等综合分析确定。当具备下列条件时，一般可以采用明沟排水方案。

(1) 地质条件。场地为较密实的、分选好的土层，特别是带有一定胶结度或粘稠度的土层时，由于其渗透性低，渗流量较少，在地下水流出时，边坡仍稳定，即使在挖土方时，底部可能会出现短期翻浆或轻微变动，但对地基无损害，所以适宜明排；当地层土质为硬质粘土夹无水源补给的砂土透镜体或薄层时，由于在基坑开挖过程中，其所储存的少量水会很快流出而被疏干，有利于明排；在岩石土质中施工时，一般均可以进行明排。

(2) 水文条件。场地含水层为上层滞水或潜水，其补给水源较远，渗透性较弱，涌水量不大时，一般可以考虑采用明排降水。

(3) 挖土方法。当采用拉铲挖斗机、反向铲和抓斗挖土机等机械挖土，为避免由于挖土过程中出现的临时浸泡而影响施工时，对含水层的砂、卵石，涌水量较大，具有一定降水深度的降水工程，也可以采用明排降水。

(4) 其他条件。当基坑边坡为缓坡或采用堵截隔水后的基坑时；建筑场地宽敞，邻近无建筑物时；基坑开挖面积大，有足够场地和施工时间时；建筑物为轻型地基荷载等条件下，采用明排降水的适用条件可以扩大。

明沟排水的抽水设备常用离心泵、潜水泵和污水泵等，以污水泵为好。采用明沟排水，具有施工方法简单，抽水设备少，管理方便和成本费用低等优点。但由于地下水沿基坑坡面或坡脚或坑底涌出，易使基坑软化，甚至泥泞，影响地基强度和施工；特别是当降水段内夹有粉、细砂层时，易产生地下水潜蚀、边坡失稳以及地面沉降等危害；还会使基坑的土方开挖受到影响。由于地下水位降至基底下距离较小，容易发生水位回升而浸泡基坑，因此必须备有双套电力供应和备用水泵，由专人严格管理。

二、明沟排水工程的布置

随着基坑的开挖，当基坑深度接近地下水位时，沿基坑四周（基础轮廓线以外，基坑边缘坡脚0.3m内）设置排水沟或渗渠，在基坑四角或每隔30~40m设一直径为0.7~0.8m的集水井，沟底宽大于0.3m，坡度为0.5%~1.0%，沟底比基坑底低0.3~0.5m，集水井底比排水沟底低0.5~1.0m。集水井容积大小决定于排水沟的来水量和水泵的排水量，宜保证泵停抽后30分钟内基坑坑底不被地下水淹没。随着基坑的开挖，排水沟和集水井随之分级设

置与加深，直到坑底达到设计标高为止（图 3-1）。基坑开挖至预定深度后，应对排水沟和集水井进行修整完善，沟壁不稳时还须利用砖石干砌或用透水的砂袋进行支护。

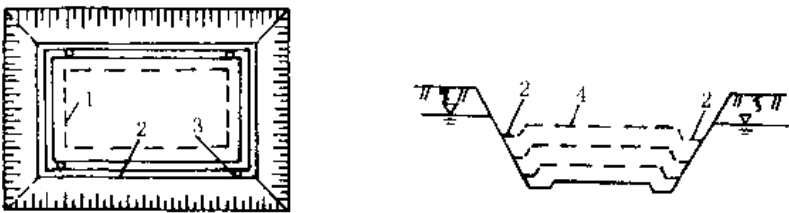


图 3-1 基坑内明沟排水

1. 基坑内线；2. 排水沟；3. 集水井；4. 挖土面

若基坑宽度较大时，为加快降水速度和降低基坑中部的水位，可在基坑的中部设置排水沟，沟宽宜小于0.3m，沟深小于0.5m，沟内填入级配砂石，使之既能引水，又不会影响地基的强度。当基坑深度较大，在坑壁出现多层水渗出时，可在基坑边坡上分层设置排水沟，以防止上层水流对边坡的冲刷而造成塌方。需要采用上述方法前，应做好基坑开挖范围和边坡支护的设计。

第二节 轻型井点降水

一、轻型井点的降水原理及适用条件

轻型井点抽水系真空作用抽水，如图 3-2 所示。轻型井点由井点管、过滤器、集水总管、支管、阀门等组成管路系统，并由抽水设备启动，在井点系统中形成真空，并在井点周围一定范围形成一个真空区，真空区通过砂井扩展到一定范围。在真空力的作用下，井点附

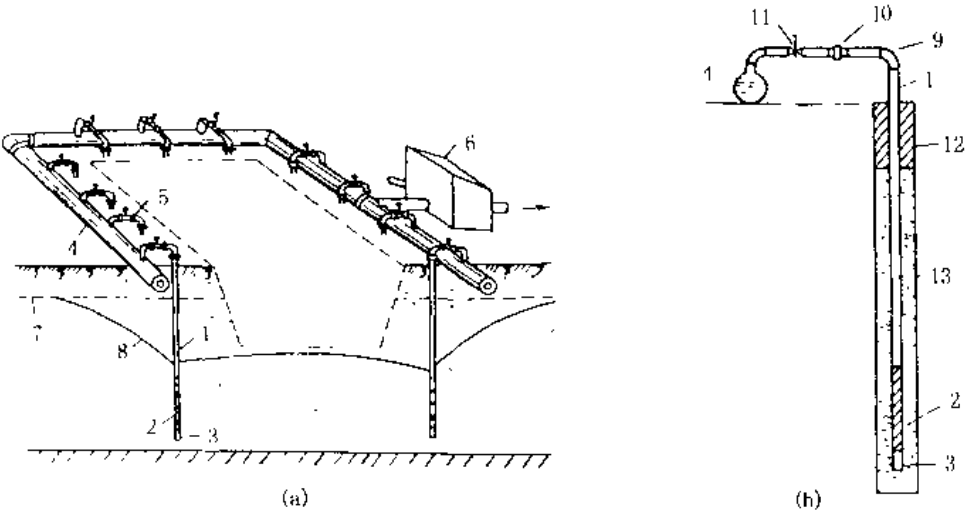


图 3-2 轻型井点系统

(a) 轻型井点系统总体布置图；(b) 单井点布置图

1. 井点管；2. 过滤器；3. 沉淀管；4. 集水总管；5. 连接管；6. 水泵房；7. 静水位；
8. 动水位；9. 弯头；10. 出管；11. 阀门；12. 粘土；13. 砾料

近的地下水通过砂井，经过滤器被强制吸入井点系统内抽走，使井点附近的地下水位降低。在作业过程中，井点附近的地下水位与真空区外的地下水位之间，存在一个水头差，在该水头差作用下，真空区外的地下水是以重力方式流动的，所以常把轻型井点降水称为真空强制抽水法，更确切地说应是真空-重力抽水法。只有在这两个力作用下，基坑地下水才会降低，并形成一定范围的降水漏斗。

轻型井点降水一般适用于粉细砂、粉土、粉质粘土等渗透系数较小（ $0.1 \sim 20\text{m/d}$ ）的弱含水层中降水，降水深度单层小于 6m ，双层小于 12m 。采用轻型井点降水，其井点间距小，能有效地拦截地下水流入基坑内，尽可能地减少残留滞水层厚度，对保持边坡和桩间土的稳定较有利，因此降水效果较好。其缺点是：占用场地大、设备多、投资大，特别是对于狭窄建筑场地的深基坑工程，其占地和费用一般使建设单位和施工单位难以接受，在较长时间的降水过程中，对供电、抽水设备的要求高，维护管理复杂等。

二、轻型井点管路系统

1. 井点管

井点管一般采用直径 $38 \sim 55\text{mm}$ 钢管，长 $6 \sim 9\text{m}$ ，其管下端配有长 $1.0 \sim 1.5\text{m}$ 的过滤器（图 3-3）。过滤器的管壁上钻直径 $10 \sim 18\text{mm}$ 的孔眼，呈梅花状分布，孔间距 $30 \sim 40\text{mm}$ ，孔隙率为 25% 左右，管壁包两层滤网，内层为细滤网，采用网眼 $30 \sim 60$ 孔/ cm^2 的尼龙网或铜丝网；外层为粗滤网，采用网眼 $3 \sim 10$ 孔/ cm^2 的铁丝网或尼龙网。滤网外再缠绕粗铁丝一层保护滤网，滤网下端装铸铁管靴，以防止泥沙进入管内。

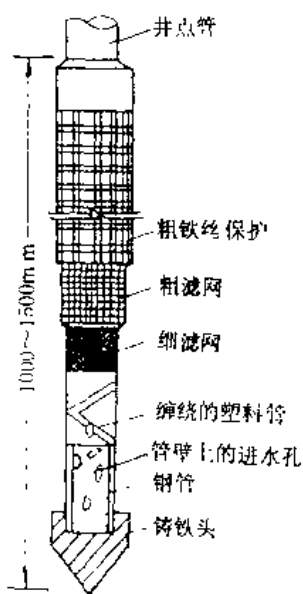


图 3-3 滤管构造

2. 集水总管

集水总管一般为直径 $75 \sim 100\text{mm}$ 的钢管，每根长 4m 左右，互相用法兰连接，在管壁每隔 $1 \sim 2\text{m}$ 设一个与井点管连接的短接头。

3. 连接管

连接管一般为螺纹胶管或塑料管，直径 $38 \sim 55\text{mm}$ ，长 $1.2 \sim 2.0\text{m}$ ，用来连接井点管和集水总管。

三、轻型井点抽水设备及其性能

目前常用的轻型井点抽水设备有真空泵型、射流泵型及隔膜泵型配套抽水装置。轻型井点根据抽水设备类型的不同，可划分为：干式真空泵轻型井点、射流泵轻型井点和隔膜泵

轻型井点三种类型。

（一）真空泵型抽水设备

1. 工作原理

真空泵型抽水设备包括水气分离器（水箱）、真空泵、离心泵、冷却泵等主要装置，如图 3-4 所示，抽水时先将真空泵 13 开动，使土中的水分和空气受真空吸力产生水气混合液，经管路系统向上流到水气分离器 6 中，然后开动离心泵 14，在水气分离器内，水和空气向两个方向流去，水经离心泵由出水管 16 排出，空气集中在水箱上部管口由真空泵抽走。如水多而来不及排除时，水箱内浮筒 7 浮起，由阀门 9 将通向真空泵的道路关住，不让水进入

真空泵缸体。此外，副水气分离器 12 的作用是过滤从空气中带来的少量水分使其落入该器下层室放出，以保证水不致吸入真空泵内。压力箱 15 除调节出水量外，并阻止由水泵部分窜入水气分离器，影响真空度。过滤箱 4 用以防止由水流带来的部分细砂磨损机械。为了维护真空泵的运转，还设有一套循环冷却水箱，使冷却水在此通路内循环流动，盘管在水箱内被地下水所包围，而地下水温度较低，因此能将真空泵工作所发之热，借循环水之媒介，传给地下水。当真空泵和离心泵工作时，地下水不断被离心泵排出，而又在井点中不断得到新的补给，使真空泵工作所发之热能不断被导出散发。

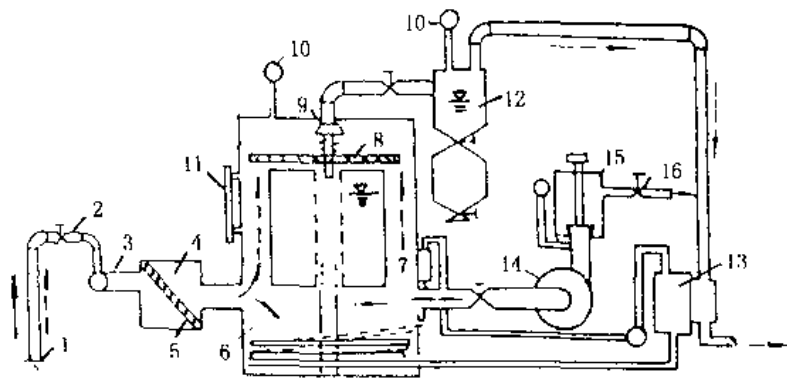


图 3-4 真空泵型抽水设备工作简图

1. 井点管；2. 连接管；3. 总管；4. 过滤箱；5. 过滤网；6. 水气分离器；
7. 浮筒；8. 挡水布；9. 阀门；10. 真空表；11. 水位计；12. 副水气分离器；
13. 真空泵；14. 离心泵；15. 压力箱；16. 出水管

2. 配套设备工作性能

真空泵型抽水配套设备工作性能列于表 3-1（冶金工业部建筑研究总院，1993）。

表 3-1 真空泵型抽水配套设备工作性能

设备名称	规格型号	数量	性 能	用 途
真空泵	W ₄	1	真空度 100kPa, 抽气速率 75m ³ /h, 转速 200r/min, 功率 10kW	造成真空抽取地下水
离心泵	3BL-9 或 3BA-9	2	流量 45m ³ /h, 扬程 32.6m, 功率 7.5kW	排送气水分离的水
	BL-6	1	流量 11m ³ /h, 扬程 17.4m, 允许吸上真空度 6.7m	供给真空泵冷却循环水
电动机	JQ160S-6L	1	额定输出 11kW, 电压 380V, 电流 24A, 转速 972r/min	带动真空泵运转
	J02-42-2	2	功率 7.5kW, 电压 380V, 电流 14.4A, 转速 200r/min	带动水泵运转
	J02-90-S2	1	功率 2.2kW, 电压 380V, 电流 4.85A, 转速 2850r/min	带动 BL-6 泵运转

真空泵式轻型井点抽水设备能带动 60~80 个井点，总管长度达 70~100m。具有安装方便，抽气能力较大，带动井点数较多，排水能力大，形成真空度较稳定等优点。缺点是所需设备多，耗电量大，设备磨损快，维修困难。

(二) 射流泵型抽水设备

1. 工作原理

射流泵是利用射流技术获得真空的，其抽水工艺见图 3-5。水箱先贮好工作水，然后启动水泵，具有一定压力的工作水经射流泵喷嘴（如图 3-5 和图 3-6）喷射，水流加快，在工作室产生真空。地下水吸入工作室，两股水流经混合室进行混合后进入扩散管，流入水箱，部分水为循环用水，多余水（即地下水）从溢流管排走，如此循环便达到降水的目的。

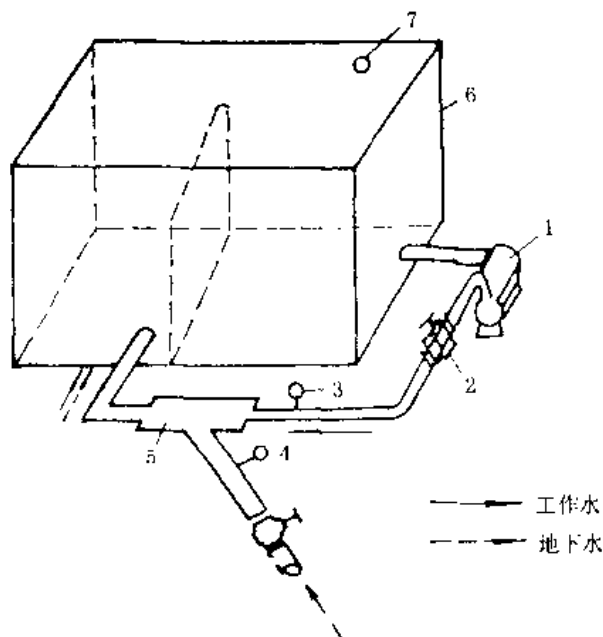


图 3-5 射流泵抽水工艺

1. 水泵；2. 阀门；3. 压力表；4. 真空表；
5. 射流泵；6. 水箱；7. 溢流管

射流泵是由高速水流经射流作用后引射地下水的，即为液液的相态变化。很显然，这与真空泵工作状态不同，它是直接由工作水流体获得引射流体，避免真空泵工作时由机械运动所产生能量的损失，因此有利于抽水效益的提高。

2. 射流泵的设计

射流泵由喷嘴、混合室（包括收缩管、混合管及扩散管）组成，如图 3-6 所示。

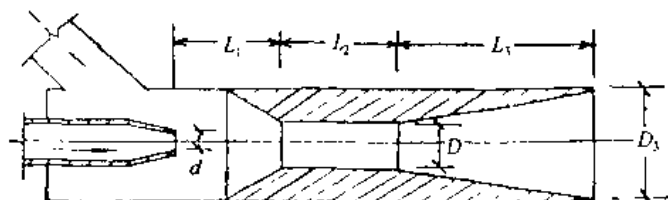


图 3-6 射流泵构造图

d ：喷嘴直径； D ：混合室直径； L_1 ：喷嘴出口外至混合室始端的距离； L_2 ：混合室长度； L_3 ：扩散管长度

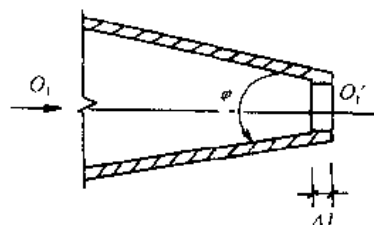


图 3-7 喷嘴构造图

Δl ：直线段长度

喷嘴构造如图 3-7。喷嘴在截面大处，压力高、流速低；在截面小处，压力低、流速高。当流速增大到一定值时，将呈现负压状态，即可抽取地下水。为了减少液体在喷射中的阻力并使喷射出来的水流呈圆柱形，要求喷嘴具有一定的锥度。根据经验，喷嘴锥度 φ 一般为 $6^\circ \sim 12^\circ$ 。为使喷射水柱成圆柱状，出口处需取一段直线长度，通过实验得知，该段长度对抽水效率会产生一定的影响，一般取 10mm 较好。

混合室是液体进行收缩、混合、扩散三个工作过程的地方，又是工作水流与地下水流进行能量与动量交换的场所，在工作过程中会产生摩擦、撞击、夹带谐振等现象，因而液体在混合室内的传输过程十分复杂。

混合室的设计有 4 个影响因素，即 L_1 、 L_2 、 L_3 和 D （图 3-6）。混合室必须与喷嘴构成一个整体，互相比例关系要协调，方能获得最佳工作状态。

收缩段长度 L_1 是反映工作水流的工作环境，由喷嘴喷射出来的水柱周围形成负压域，地下水被吸入，两股水流在此汇合之后进入混合段，为了减少摩阻损失，宜选用逐渐收缩的形状。

混合室直径 D 与喷嘴直径 d 的比例关系是否合适，会直接影响到射流泵的真空度。因为由喷嘴喷射出来的水柱，经混合室必须严密地封住混合室出口断面，射流泵才会获得较高的真空度。

关于混合室的长度 L_2 ，从能量变化关系分析，在混合室段中，工作水流流速是由强变弱，而地下水的流速则由弱变强，当两股运动中的水流在混合室末端达到基本混合均匀时，则认为此时的混合室长度为合理长度。

工作水流与地下水流流经混合室混合之后，它们的速度能经扩散管变成势能。即在扩散管中，混合水流流速降低，而压力升高，混合水流的压力代表喷射井点扬程的能力，压力越大，扬程越高，因而降水越深。而射流泵在扩散管所形成的压力，仅能将半混合水送入环境水箱就行了，因为压力越大，能量损失越大，不但无利反而有害。

射流泵各部分构成尺寸主要是依据实验为基础确定的，各射流泵的构造尺寸及技术性能，如表 3-2 所示（冶金工业部建筑研究总院，1993）。

表 3-2 各射流泵的构造尺寸及技术性能

喷嘴直径 d/mm	混合室 直径 D/mm	d/D	L_1	L_2	L_3	锥度 $\varphi/$ ($^\circ$)	空载最大 真空度/kPa	工作水 压力/kPa	工作水 流量/(m^3/h)	抽水效率/ (m^3/h)
20	36	1:1.8	70	150	200	6	99.8	147~196	30	10~25
26	48	1:1.85	92	170	300	6	99.8	147~196	45	15~40
42	80	1:1.9	150	270	490	6	99.8	196~245	130	50~110
50	96	1:1.9	170	320	500	6	99.8	196~245	180	70~160

3. 喷射泵的计算

(1) 喷嘴直径 d 按下式计算：

$$d = \sqrt{\frac{Q}{0.785 \times 3600 \varphi_1 \sqrt{2gp_1}}} \tag{3-1}$$

式中 Q ——注入喷射器的工作水流量；

g ——重力加速度；
 φ_1 ——喷嘴流速系数，取0.95；
 p_1 ——工作水压力（或扬程）。

(2) 混合室直径 D 按以下经验公式算出：

$$D = d\sqrt{\frac{1}{\alpha}} = d\sqrt{\frac{p_1}{p_2}} \quad (3-2)$$

式中 α ——工作压力系数，其经验值为0.2~0.3；

p_1 ——工作水压力；

p_2 ——扩散管扬程压力。

(3) 扩散管长度 L_2 的计算：

$$L_2 = \frac{D - D_3}{2 \tan \frac{\varphi}{2}} \quad (3-3)$$

式中 D ——混合室直径；

D_3 ——扩散管出口处直径，一般为1.78 D ；

φ ——锥度，一般取 $6^\circ \sim 12^\circ$ 。

(4) L_1 、 L_2 值仅依据实验确定：

$$\begin{aligned} L_1 &= (1.5 \sim 3)D \\ L_2 &= (4 \sim 7)D \end{aligned} \quad (3-4)$$

射流泵型抽水设备所配用的电机功率为7.5kW，能带动25~40个井点，总管长度为30~60m，具有结构简单、加工容易、造价低、体积小、重量轻、耗电少、经久耐用，便于管理等优点。其缺点是排气量较小，管路系统稍有漏气，真空度容易下降，因此能带动的井点数量相对较少。

(三) 隔膜泵型抽水设备

隔膜泵分真空型、压力型和真空压力型三种。真空压力隔膜泵兼有真空型和压力型隔膜泵结构特征，其工作原理如图3-8所示。借助缸体皮碗上下运动，当一缸体内皮碗上升时，缸内产生真空，此时排水口关闭，进水口打开，由于真空压力的作用地下水被吸进缸内；当皮碗向下运动时，进水口关闭，出水口开启，并形成一定压力将地下水挤出。隔膜泵配备两个缸体，皮碗运动一上一下，反复运动，以达到连续抽水的目的。

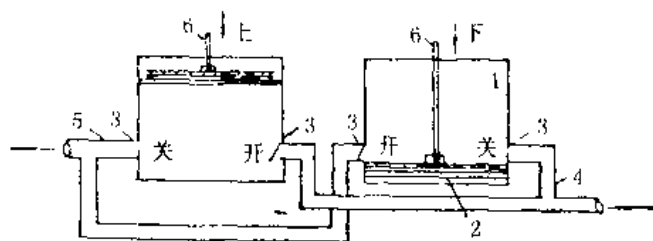


图 3-8 隔膜泵工作示意图

1. 缸体；2. 皮碗；3. 阀门；4. 进水管；5. 出口管；6. 传动杆

井点降水中所使用的隔膜泵通常是隔膜直径 400mm 的真空压力型。其主要技术性能列于表 3-3 中。

表 3-3 400mm 真空压力型隔膜泵的技术性能

名 称	规格/ mm	隔膜数量/ 个	隔膜频率/ (r/min)	隔膜行程/ mm	电动功率/kW	真空度/ kPa	压力/ kPa	工作流量/ (m ³ /h)
隔膜泵	400	2	58	90	3	93 ~ 99	98 ~ 196	10

隔膜型抽水设备配用的电机功率为 3.0kW，能带动 30 ~ 50 个井点，总管长度 30 ~ 70m。具有构造简单、加工容易、耗能少、功率高等优点。但皮碗易磨损，修理频繁，推广受到限制。

四、轻型井点工程的布置

轻型井点系统的平面布置由基坑的平面形状、大小，要求降深，地下水流向和地基岩性等因素决定，可布成环形、U 型或线形等，一般沿基坑外缘 1.0 ~ 1.5m 布置（图 3-2）。

当降水基坑为窄条形时（如地下管线施工工程），采用单排或双排井点线形布置在基坑一侧（地下水来水方向）或两侧，基坑两端井点应适当外延，外延长度为槽宽的 1 ~ 2 倍。一般槽宽 7 ~ 10m，且要求降深较小（ ≤ 4.5 m）时，可采用单排井点；槽宽大于 10m 时，应通过计算其远侧的降水深度能否满足降水要求，来确定采用单排井点或双排井点。当基槽的一侧为地下水来水方向，而另一侧为有地表水补给（如水沟、河流、池塘或管线漏水等）的地段，应采用双排井点降水为好。

当降水基坑为矩形、圆形、三角形或不规则形状时，常采用环形封闭式或 U 形井点布置。对于基坑跨度大，根据其水文地质条件计算的降水浸润曲线在基坑中心不能满足降水深度要求时，或因工期紧，需要加速降水，缩短预降时间等情况下，可在基坑内适当增设临时井点。在基坑周边设置的运土和运料通道部位，可以断开，但应沿通道两侧外延增设井点，其外延布井长度为通道宽度的 1 倍左右；也可以将通道部位的井点管和集水管下卧一定深度，上面铺设钢板或水泥盖板等，以保证通道部位的降水质量。

当降水深度在 6m 以内时，采用单级井点降水，当降水深度较大时，可采用下卧降水设备或多级井点降水（图 3-9）。一般情况下，降水深度不大于 8m 时，以下卧降水设备为好，即先挖土 1 ~ 2m 后再布置井点；降水深度为 8 ~ 10m 时，采用两级井点降水，即第一级在地面布置，第二级于 4.5 ~ 5.0m 深度布置；降水深度为 10 ~ 12m 时，仍采用两级井点降水，即先挖土 1 ~ 2m 后布置第一级井点，于 6 ~ 7m 深度布置第二级井点；降水深度大于 12m 时，可采用多级井点降水，每级以阶梯状接力抽水来降低地下水位，每级井点的降水深度按 4.5 ~ 5.0m 设计。

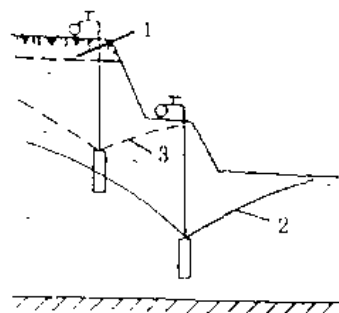


图 3-9 二级轻型井点系统的布置

1. 地下水静止水位；2. 从第二级抽水时地下
水位的降落曲线；3. 从第一级抽水时地下
水位的降落曲线

轻型井点的间距应根据场地的水文地质条件（如渗透系数、含水层厚度和含水层底板埋

深等)和降水深度及降水面积综合考虑确定。当含水层的渗透系数为 $0.1 \sim 1.0\text{m/d}$ (粉土和粉、细砂),含水层底板在基坑底以下不小于 1.0m ,降水深度小于 5.0m ,基坑宽度 20m 左右时,井点间距可采用 $3 \sim 5\text{m}$;当含水层的渗透系数小于 0.1m/d 或大于 1.0m/d ,含水层底板在基坑底以下不小于 0.5m ,降水深度为 $5 \sim 6\text{m}$,基坑宽度 30m 左右时,井点间距可采用 $2 \sim 3\text{m}$;当含水层的渗透系数为 $0.1 \sim 20\text{m/d}$,含水层底板在基坑底以上或降水深度为 $6 \sim 7\text{m}$ 或基坑宽度大于 30m 时,井点间距可采用 $1.5 \sim 2.0\text{m}$,同时每组泵所带井点数应小于 50 (干式真空泵)和小于 25 (射流泵或隔膜泵)。当降水层为粘质粉土等弱含水层,而基坑开挖深度内有砂层透镜体时,在砂层透镜体部位的井点应适当加密。

第三节 喷射井点降水

一、喷射井点降水原理及适用条件

喷射井点系统由高压水泵、供水总管、井点管、喷射器、测真空管、排水总管及循环水箱所组成,如图 3-10。

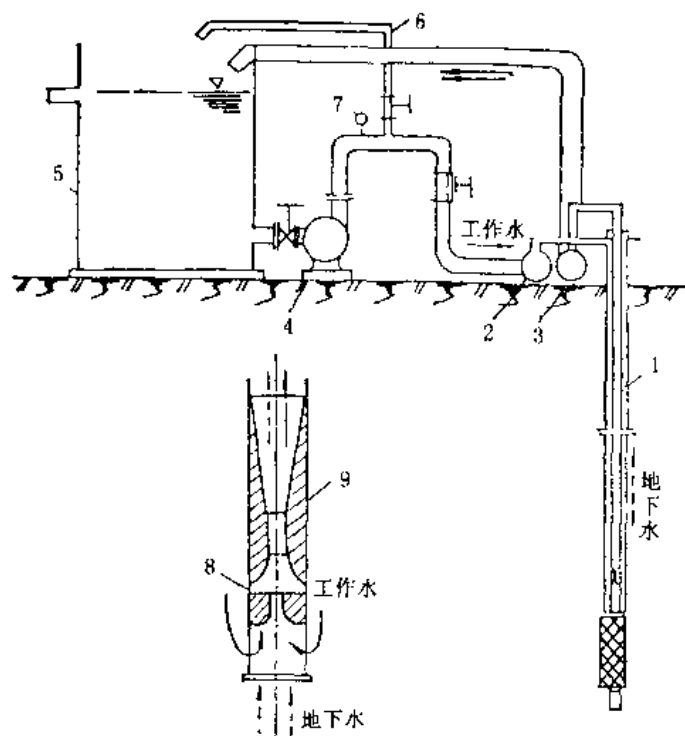


图 3-10 喷射井点降水系统

1. 井点管; 2. 供水总管; 3. 排水总管; 4. 高压水泵; 5. 循环水箱;
6. 调压水管; 7. 压力表; 8. 喷嘴; 9. 混合室

喷射井点是采用高压水泵将压力工作水经供水管压入井点内外之间环形空间,并经过喷射器两边的侧孔流向喷嘴。由于喷嘴截面的突然变小,喷射水流加快(一般流速达 30m/s 以上),这股高速水流喷射之后,在喷嘴喷射出水柱的周围形成负压,从而将地下水和土中空气吸入并带至混合室。这时地下水流速度得以加快,而工作水流速逐渐变缓,二者流速在

混合室末端基本上混合均匀。混合均匀的水流射向扩散管，扩散管截面是逐渐扩大的，其目的是减少摩擦损失。当喷嘴不断喷射水流时，就推动着水沿内管不断上升，混合水流由井点进入回水总管至循环水箱。部分作为循环水用，多余部分（地下水）溢流排至现场之外，如此循环，以达到深层降水的目的。

喷射井点主要适用于渗透系数较小的含水层和降水深度较大（8~20m）的降水工程。其主要优点是降水深度大，但由于需要双层井点管，喷射器设在井孔底部，有二根总管与各井点管相连，地面管网敷设复杂，工作效率低，成本高，管理困难。

二、喷射器的构造与工作特征

喷射器是喷射井点工作的主要部件，它是能量转换的场所，它的工作状态直接影响喷射井点抽水效果。

（一）喷射器工作状态

喷射器由喷嘴、混合室（包括收缩管、混合管和扩散管）组成，如图 3-11。当工作水流从喷嘴射出之后，首先占据混合室的始端，然后扩散到全部混合室的截面（图 3-12）。开始时，喷射出的圆柱水流并不与地下水混合，当工作水进入混合室始端时，地下水被带入开始与工作水混合，混合的范围逐渐扩大，最后整个截面充满着不规则水分子运动，直到完全混合为止。此点为混合室末端，混合室由始端开始至末端有一定距离，在这段距离里，进行工作水与地下水能量交换过程。过程中，工作水的能量逐渐减少，而地下水能量逐渐增加，二者到混合室末端基本上得到均匀。混合室太短，二者混合不均匀，会影响扬程压力，若太长，则摩擦阻力增大，水流与混合室壁碰击能量损失较大。一般认为，取二者混合均匀时的

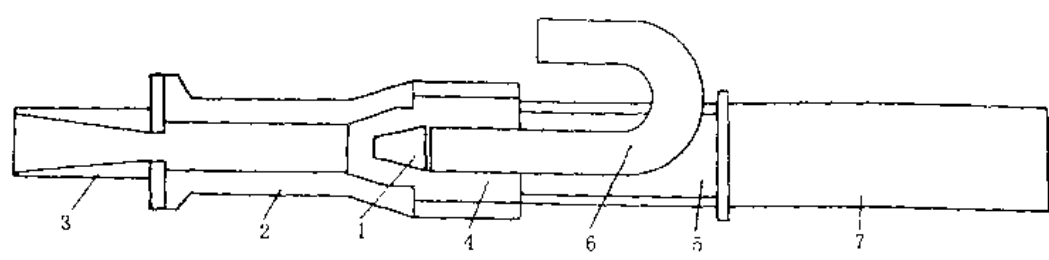


图 3-11 喷射器构造

1. 喷嘴；2. 混合室；3. 扩散室；4. 吸水室；
5. 吸水管；6. 喷射管；7. 滤管

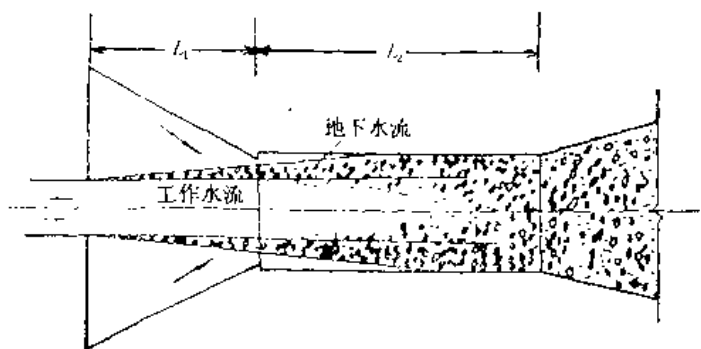


图 3-12 喷射井点工作状态示意图

长度为宜。

进入扩散管的混合水流有三种基本状态：扩散管的张角为 $6^\circ \sim 14^\circ$ 时，流体在扩散管流动均匀；若超过 14° 时，在扩张段内流体的流动已不能使流体在全部断面均匀，因此沿扩张段壁面形成更强的旋涡出现回流区；若扩张角太小，则扩张段很少，摩擦阻力增加，但流体流动均匀。

经喷射器工作之后，混合水流的动能转化为位能，沿内管上升，其上升高度视速度能的大小而定。

(二) 喷射器的工作特性

(1) 工作水压力与扬程压力的关系。由喷嘴喷射出来的工作水流沿着内管上升的高度，就是扬程压力。这是一种由动能变势能，再产生压力的过程。这种压力不仅在扩散管内产生，而且在混合室的圆柱末端就已产生了。

这种运动的水流状态是，具有很高速度的工作水射入混合室后，将和地下水（吸入水）相遇而降低自己的能量，其水柱外层水流速度降低，而吸入水流速度增加，于是两股水流到混合室末端得到均匀混合，当喷嘴不断喷射，水就不断地从混合室冲入扩散管，这时扩散管内获得一定压力，该压力就推动管内水流上升，但必须克服管内水的自重对喷射水流的阻力。试验表明，工作水压力越大，扬程压力越高，二者关系式如下：

$$\alpha = \frac{p_2}{p_1} \quad (3-5)$$

式中 α ——压力系数，取经验值 $0.2 \sim 0.4$ ；

p_1 ——工作水压力；

p_2 ——扬程压力。

(2) 工作水流速度与混合水流的关系。工作水流系指喷嘴出口处流速为 v_p 的水流，混合水流系指工作水引射地下水流之后在混合室末端均匀流速为 v_2 的水流，二者关系为：

$$\Phi = \frac{v_2}{v_p} \quad (3-6)$$

式中 Φ ——流速系数。

(3) 工作水流量与吸入地下水流量的关系。工作水压力越高，水的流速越大，而被引射的流体也愈多，通常用引射系数表示。引射系数 μ 定义为单位流量的工作流体所引射的另一液体的流量。即

$$\mu = \frac{G'}{G} \quad (3-7)$$

式中 G ——工作流体流量；

G' ——被引射液体流量。

(4) 工作水压力与真空度的关系。喷射井点所形成的真空度表示其吸水能力的大小。喷射器安装在过滤器上部，它所形成的真空度就是要把地下水从过滤器吸入至混合室。要完成这段吸程一般不需要太高的真空度，因为中点过滤器外层为填砂层所包围，垂直渗透性增加，在砂井内的地下水靠重力可以流入过滤器内。在地下水淹没喷嘴的情况下，即使喷射井点没有形成真空度，地下水也能进入混合室。

真空度越高对土中造成真空帷幕越有利，但不能片面追求过高的真空度，因为要达到很

高的真空度势必提高工作水压力，这样势必引起喷嘴、水泵叶轮摩擦的加剧，管路系统漏水和工作水流量相应增加，以及电动机负荷增大等。工作水压力与真空度关系的一些数据列于表 3-4（冶金工业部建筑研究总院，1993）。

表 3-4 工作水压力与真空度的关系

工作水压力/ kPa	喷射井点真空度/kPa		
	4 型	2.5 型	6 型
98.0	21.3	54.5	16.9
196.0	39.9	86.5	42.8
294.0	88.3	87.9	90.2
392.0	88.3	88.7	90.2
490.0	87.9	89.2	90.2
588.0	88.3	88.7	90.2
686.0	87.2	89.1	90.2
784.0	88.8	92.4	90.2

从表 3-4 中看出，当工作水压力达到一定值时，真空度急剧增加，再增加工作水压力，真空度增加甚微，所以选择合理的工作水压力是重要的。

（三）喷射器的计算

（1）喷嘴直径计算：

$$d = \sqrt{\frac{4Q_p}{\pi\mu\sqrt{2gp_1}}} \quad (3-8)$$

式中 Q_p ——注入喷射器的工作水流量；

μ ——引射系数，取 0.76；

g ——重力加速度；

p_1 ——喷嘴前工作水压力。

（2）混合室直径计算：

$$D = \sqrt{\frac{1}{\Phi} \left(\frac{Q_{bc}}{Q_p} \right) + 1} \quad (3-9)$$

式中 Q_{bc} ——地下水吸入量；

Φ ——流速系数。

（3）混合室长度计算：

$$L = 6D \quad (3-10)$$

式中符号意义同前。

目前国内喷射井的类型及技术性能如表 3-5 所示。在实际工作中，最关键的是要根据场地的水文地质条件和降水要求，选择合适的喷射井点类型。当含水层的渗透系数为 0.1~5.0m/d 时，可选用 1.5 型（并列式）或 2.5 型（同心式）喷射井点；当含水层渗透系数为 8~10m/d 时，选用 4.0 型喷射井点；当含水层渗透系数为 20~50m/d 时，选用 6.0 型喷射井点。

表 3-5 喷射井点类型及技术性能

型号	安装形式	外管直径/ mm	内管直径/ mm	喷嘴 d / mm	混合室 D / mm	工作水压力/ kPa	工作水流量/ (m^3/h)	吸入水流量/ (m^3/h)
1.5 型	并列式	38		7	14	588~784	4.7~6.8	4.22~5.76
2.5 型	同心式	68	38	6.5	14	588~784	4.6~6.1	4.3~5.76
4 型	同心式	100	68	10	20	588~784	9.6	10.8~16.2
6 型	同心式	152	100	19	40	588~784	30	25~30

三、喷射井点工程的布置

喷射井点的平面布置与轻型井点基本相同(图 3-10),纵向上因其抽水深度较大,只需单级井点降水即可,井点间距一般为 3~5m,井点深度视降水深度而定,一般应低于基坑底以下 3~5m。

第四节 电渗井点降水

一、电渗井点降水的原理及适用条件

粘土颗粒表面一般带负电荷,吸附着各种正离子。水分子是极性分子,颗粒周围的部分水分子又为正离子所吸附,当土中通以直流电荷时,这些正离子将携同周围被吸附的水分子一起移向阴极,吸附力消失,水分子被释放出来成为自由水。这种在土中插入金属电极并通以直流电,在电场作用下,土中水源源不断地流向阴极的现象称为电渗。

电渗井点降水是利用轻型井点和喷射井点的井点管作阴极,另埋设金属棒(钢筋或钢管)为阳极,在电动势作用下构成电渗井点抽水系统,如图 3-13 所示。当接通直流电流,

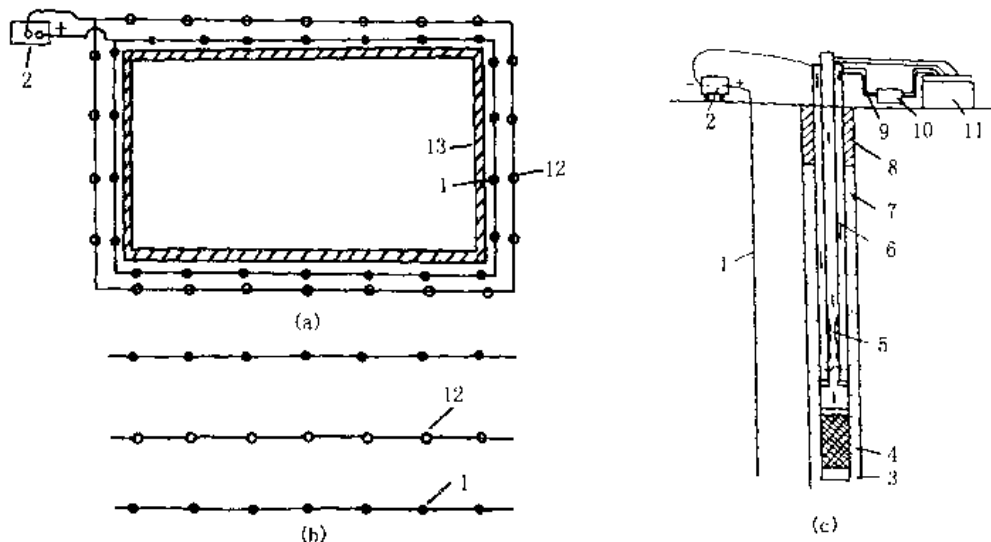


图 3-13 电渗排水系统

(a) 基坑外侧阳、阴极比为 1:1 布置; (b) 阳、阴比为 2:1 布置; (c) 阳、阴极剖面结构

1. 阳极金属棒; 2. 直流电源; 3. 沉淀管; 4. 过滤器; 5. 喷射器; 6. 井管内管; 7. 井管外管;

8. 封口粘土; 9. 进水管; 10. 高压水泵; 11. 水箱; 12. 抽水井点; 13. 支护工程

在电势的作用下，使带正电荷的孔隙水向阴极方向流动，带负电荷的粘土微粒向阳极方向移动，通过电渗和真空抽吸的双重作用，强制粘性土中的水向井点管汇集，由井点管吸取排出，使地下水水位逐渐下降，达到疏干含水层的目的。

电渗降水一般只适用于含水层渗透系数较小（ $< 0.1\text{m/d}$ ）的饱和粘土，特别是在淤泥和淤泥质粘土之中的降水。由于粘性土的颗粒较小，地下水流动十分困难，其中仅自由水在孔隙中流动，其它部分地下水则处于被毛细管吸附的约束状态，不能在压力水头作用下参与流动，当向土中通以直流电流后，不仅自由水、而且被毛细管约束的粘滞水也能参与流动，增加了孔隙水流动的有效断面，其渗透性提高数十倍，从而缩短降水时间，提高降水效果。

二、电渗井点工程的布置

电渗井点工程在与轻型井点或喷射井点结合降水时，将井点管沿基坑外围 $1 \sim 2\text{m}$ 布置，另以直径 $38 \sim 50\text{mm}$ 的钢管或直径不小于 20mm 的钢筋作阳极，埋设在井点管排的内侧，与井点管保持垂直平行，但不能与井点管相接触，上部露出地面 $0.2 \sim 0.3\text{m}$ ，下部应比井点管深 0.5m 左右。井点管的间距和深度与采用轻型井点或喷射井点降水时相同，在非降水段或渗透性能稍大的地层中无需电渗时，可在这些部位给电极涂上绝缘材料，使之与地面隔绝，以节省电能。井点管（阴极）与阳极平行排列，其数量应相等，必要时阳极数量可多于阴极（图 3-13）。将阴、阳极分别用电线或钢筋连接成通路，并接到直流发电机（一般常用 $9.6 \sim 55\text{kW}$ 的直流电焊机代替）的相应电极上。井点管与阳极的间距一般为：采用轻型井点时 $0.8 \sim 1.0\text{m}$ ；采用喷射井点时 $1.2 \sim 1.5\text{m}$ ，或按下式计算确定：

$$L = \frac{V \times 100}{I_0 \varphi} \quad (3-11)$$

式中 L ——井点管与电极列之间的距离；

V ——工作电压；

I ——在电极列截面上被疏干土体单位面积上的电流；

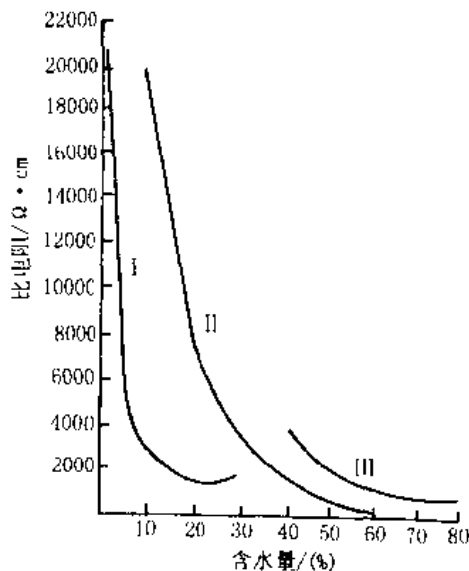


图 3-14 土比电阻曲线

I. 砂土；II. 粉质粘土；III. 淤泥

ρ ——土的比电阻率；

φ ——与电极布置有关的系数。

式 (3-11) 中, 土的比电阻率 ρ 宜根据实际测得的土的含水量, 按图 3-14 确定。系数 φ 是考虑到实际所用的棒状电极与理论的板状电极在电力作用上的差别, 一般取 2~3。若同列中列电极的间距小于电极间的距离, φ 值可取 2; 而当同列中电极的间距大于电极列间的距离时, φ 可取 3。

三、直流电源的功率计算

直流电源电压一般采用低压 40~110V, 电源设备功率按下式计算:

$$P = K \frac{FVI}{100} \quad (3-12)$$

其中

$$F = L \times h$$

式中 P ——直流电源设备功率;

K ——设备安全系数, 一般取 1.2~1.6;

I ——选用的电流密度, 一般为 0.5~2A/m²;

V ——选用的直流电压;

F ——阴阳极土体断面上渗流帷幕面积;

L ——基坑周长;

h ——阴极井点埋深。

第五节 管井降水

一、管井降水原理及适用条件

管井降水方法即利用钻孔成井, 多采用单井单泵 (潜水泵或深井泵) 抽取地下水的降水方法。当管井深度大于 15m 时, 也称为深井井点降水。

管井井点直径较大, 出水量大, 适用于中、强透水含水层, 如砂砾、砂卵石、基岩裂隙等含水层, 可满足大降水、大面积降水要求。

二、管井结构

管井的结构如图 3-15 所示。管井的孔径一般为 400~800mm, 管径为 200~500mm, 当井深较浅, 地层水量较大时, 孔径可为 800~1200mm, 管径为 500~800mm。井管一般采用钢管、铸铁管、水泥管、塑料管或竹木管等, 滤水管有穿孔管和钢筋骨架管外缠铅丝或包尼龙网或金属网的, 也有水泥砾石滤水管, 目前用于降水的管井点多采用后者。

三、管井降水工程的布置

抽降管井一般沿基坑周围距基坑外缘 1~2m 布置, 如场地宽敞或采用垂直边坡或有锚杆和土钉护坡等条件下, 应尽量距离基坑边缘远些, 可用 3~5m; 当基坑边部设置围护结构及止水帷幕的条件下, 可在基坑内布置管井, 采

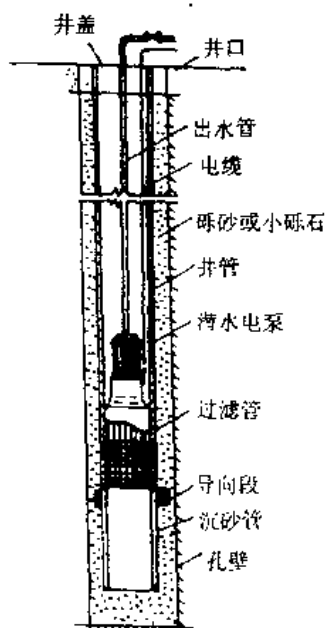


图 3-15 管井结构示意图

用坑内降水方法。

管井的间距和深度应根据场地水文地质条件、降水范围和降水深度确定。井间距一般为 10~20m。当降水层为弱透水层或降水深度超过含水层底板时，井间距应缩小，可用 6~8m；当降水层为中等透水层或降水深度接近含水层底板时，井间距可为 8~12m；当降水层为中等到强透水层，含水层厚度大于降水深度时，可用 12~20m；当降水深度较浅，含水层为中等以上透水层，具有一定厚度时，井间距可大于 20m。井点深度要大于设计井中的降水深度或进入非含水层中 3~5m，井中的降水深度由基坑降水深度、降水范围等计算确定。

第六节 辐射井点降水

一、辐射井点降水的原理及适用条件

辐射井降水是在降水场地设置集水竖井，于竖井中的不同深度和方向上打水平井点，使地下水通过水平井点流入集水竖井中，再用水泵将水抽出，以达到降低地下水位的目的。该降水方法一般适用于渗透性能较好的含水层（如粉土、砂土、卵石土等）中的降水，可以满足不同深度，特别是大面积的降水要求。

二、辐射井点降水工程的布置

辐射井降水的竖井和水平井点设置，应根据场地水文地质条件、降水深度和降水面积等综合考虑确定。

集水竖井一般设置在基坑的角点外 2~3m，竖井直径 3~5m，深度超过基坑底 3~5m。对于长方形基坑，可在对角设置两个集水竖井；当基坑长度较大时，可在一长边的两个角和另一边中部各设置一个集水竖井；基坑长度大于 100m 时，可按 50~80m 间距设置一个竖井。对于正方形基坑，其边长大于 40m 时，可在基坑的四个角设置竖井。当降水面积特别大时，除在周边按 50~80m 间距布设竖井外，还可以在基坑中部设置临时降水井点。竖井的布设，还应根据水平井点的施工设备能力、地层岩性、井点直径、水量大小及土层渗透能力等确定。

水平井点在集水竖井内施工，其平面位置一般沿基坑四周布设，形成封闭状。当面积较大或降水时间要求紧时，可在基坑中部打入水平井点，形成扇形状。在纵向上，必须根据降水深度、含水层厚度和层数、含水层的渗透能力和底板埋置深度等确定。对于单一含水层，其渗透性为弱到中等，基坑底板位于含水层之中，降水深度为 5m 左右时，可采用单层水平井点；当降水深度大于 5m 时，可采用多层水平井点，每层间距可按 3~5m 考虑。若含水层的渗透性较强，水量较大时，每层水平井点间距以 2~3m 为宜；当基坑深度超过含水层底板时，应在含水层底板以上 0.1~0.3m 位置布设一层水平井点，并在基坑的四周设置排水沟，以排走残留滞水；若含水层底部为粉、砂层时，应进行护坡处理。

对于多层含水层结构的场地，应在每一含水层中至少设置一层水平井点，当含水层底板起伏变化较大（>1.0m），且基坑深度位于含水层底板以下时，应设置两层，即分别埋设在其高低底板以上 0.1~0.3m 的位置。

对于含水层厚度较大，基坑底板位于含水层之中时，水平井点可设置一定坡度，但最里端应低于基坑 1~2m。

水平井点孔的直径一般为 70~150mm，孔内放入直径 38~100mm 的钢滤水管或波纹塑料滤水管或硬塑料滤水管。孔径、管径和管材应根据地层土质、井点深度、涌水量等确定，

目前一般使用的滤水管是上海生产的直径为 50mm 的波纹塑料滤水管，但在砂卵石层中应用钢滤水管。

第七节 自渗井点降水

一、自渗井点降水的原理和适用条件

自渗降水是指在降水场地的一定深度内，存在有两层以上的含水层，且下层的渗透能力大于上层，在下层水位（或水头）低于降水深度的条件下，人为地沟通上下含水层，在水位差的作用下，上层地下水就会通过井孔自然地流到下部含水层中，从而无需抽水即可达到降低地下水位的目的，如图 3-16 所示（黄运飞，1996）。

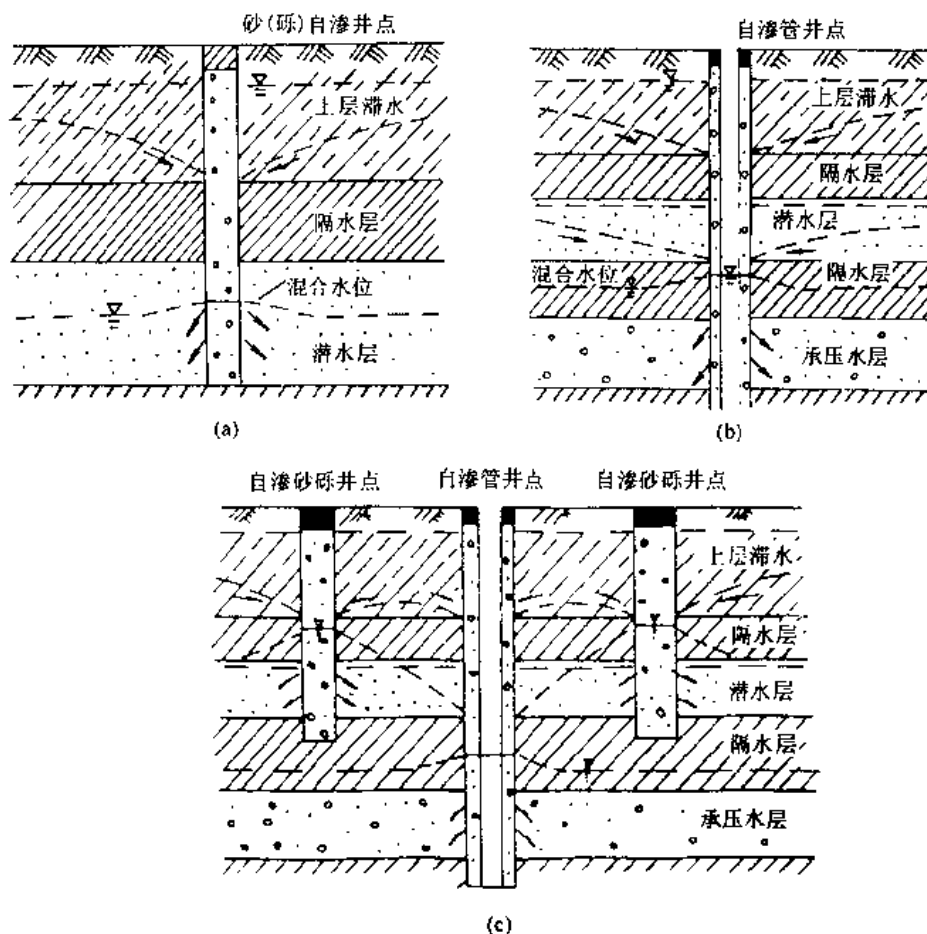


图 3-16 自渗降水示意图
(a) 浅层自渗降水；(b) 深层自渗降水；(c) 深浅结合自渗降水

自渗井点降水法适用于下列条件：

- (1) 在降水范围内的地层结构为三层以上，含水层有两层以上，各含水层之间为相对隔水层（以粉质粘土为主）或隔水层（以粘土为主）。下层含水层的埋深以距离基坑底 5~20m 为宜。
- (2) 下层含水层的水位（或水头）低于上部含水层水位，并低于基坑施工要求降低水位。
- (3) 下层渗透系数大于上层含水层的渗透系数，且具有一定厚度（一般大于 2m），能容纳的水量大于或等于降水深度内的基坑涌水量。

(4) 上层地下水的水质未受污染, 符合引入下层地下水的要求。

这种降水方法是近年来发展起来的一类新型井点降水方法, 具有施工简单、快速, 不用抽水设备, 不排水, 不耗能, 不占用场地, 便于管理, 成本低等优点。降水深度适用范围大 (5~20m), 井点中的混合水位一般都大于含水层的底板, 有利于所降含水层的疏干, 取得好的降水效果。边施工引渗井就能边发挥降水作用, 到引渗井施工结束或施工之中, 就可动铲挖槽, 不用进行抽水预降, 可以大大缩短降水施工工期。在大跨度的基坑降水时, 只需在基坑内的有利部位增加少量管井, 待地下水位降至要求深度后回填级配砂石或打砂砾引渗井, 既可以保证降水质量, 缩短降水工期, 又能满足地基强度要求。有效降水时间长, 在引渗井不被破坏的条件下, 能维持数年之久, 对地下构筑物的防渗漏和保持地下室的干燥等非常有利。

二、自渗井点的类型及井点布置

自渗井点根据引渗条件, 大致可以划分为: 浅层自渗、深层自渗、深浅结合自渗三种类型; 从结构特点又可分为管井引渗和砂砾井引渗两种。

1. 浅层自渗降水

浅层自渗降水指将上层滞水通过引渗井自然入渗到埋藏较浅的下部含水层, 即第一入渗目的层中, 以降低上层滞水水位, 达到基坑降水的目的, 如图 3-16 (a) 所示。浅层自渗主要适用于降水深度较小 (一般小于 7m), 上层滞水含水层为弱透水的粘质粉土或粉土, 水量较少, 入渗目的层埋藏于 10~20m 左右, 为中等透水的粉、细砂层, 含水层厚度为 2~5m, 属潜水或微承压水, 水位 (水头) 埋深 -10~-15m, 能消纳一定入渗水量。当沟通两层地下水后, 引渗井点中的混合水位保持在 -7m~-10m, 雨季时略有抬升。

对于浅层自渗降水, 一般可用砂砾引渗井, 井孔直径 150~300mm, 孔深以进入砂层 2~3m 为宜, 上层滞水水量较大或引渗井间距较大时, 应揭穿砂层底板, 成孔后下入直径 38~50mm 的铁管或塑料管 (将管在上、下含水层部位加工成滤水管, 主要用于洗井, 洗井后拔出或重复使用), 然后填入粗砂或直径 2~4mm 的砾石滤料, 作为引水入渗的通道。当成孔质量好时, 也可直接向孔中填入滤料, 不用洗井。

砂砾引渗井的布置与轻型井点基本相同, 对于基坑宽度较大 (大于 40m 时), 可在中部增加少量引渗井。井间距在四周一般为 2~3m; 当降水深度较浅或含水层底板低于基坑深度或下渗砂层的渗透性较好或水位差较大或引渗井的孔径较大等条件下, 可用 3~5m, 中部为 5~10m。引渗井的孔径应由上层滞水层的渗透性能、水量大小、基坑深度及施工设备等确定, 一般对于粉土或含砂土透镜体的场地, 孔径以 300mm 为宜。

2. 深层自渗降水

深层自渗降水指上部地下水 (上层滞水或潜水) 通过引渗井自然入渗到埋藏较深的下部砂、卵石含水层中, 即第二入渗目的层中, 达到基坑降水的目的, 如图 3-16 (b) 所示。深层自渗主要适用于下部含水层的渗透能力远大于上部含水层, 其渗透系数为上部含水层的数倍甚至数十倍以上, 具有一定厚度, 一般不小于 2m, 水位 (或水头) 差较大, 一般为 10~20m, 能消纳大量的入渗水量, 以及上部地下水的水质未受污染的场地。

对于深层自渗, 一般采用管井作为引渗通道, 其引渗管井的布设、结构及施工等与抽水管井基本相同。井孔直径一般为 400~600mm, 井管内径为 200~300mm 的水泥砂石滤水管, 井间距一般为 6~12m, 井深以进入下部砂、卵石含水层中 3~5m, 或进入下部砂、卵石层底板以下 1~2m 为准。

对于上层为透水性能较强的砂、卵石潜水含水层，下部为透水性很强的砂、卵石承压水或潜水含水层，而上层潜水水位埋藏较深（大于 15m），基坑深度接近和超过含水层底板时，如在地面施工井点，工作量较大，应尽可能在基坑挖至地下水位以上 0.5m 左右时，于基坑内的周边设置引渗井；当含水层厚度小于 3m 时，可用直径 100~200mm 引渗井，井孔中下入直径 30~50mm 的硬塑料管作为引水管，降水效果良好。

3. 深浅结合自渗降水

深浅结合自渗降水指采用浅层自渗不能完全满足降水要求，而采用深层自渗又工作量较大，成本增高或不能满足特殊降水要求时，将二者结合起来降水的方法。如图 3-16 (c)，即以浅层砂砾引渗井为主，大间距布置少量深层引渗管井，靠砂砾引渗井降低上层滞水的水位，用引渗管井降低第二含水层的水位，使砂砾引渗井中的混合水位低于基坑底 1~2m。当基坑深度超过上层滞水含水层的底板时，光有引渗管井不能很好地疏干含水层，特别是含水层为粉土或粉、细砂，若残留水层太厚，将会出现涌砂，引起边坡失稳，因此应以深层引渗井点为主，在管井之间布置砂砾引渗井，靠管井降低上层滞水水位，再用砂砾引渗井来减少残留水位的高度，保证基坑的降水质量。

采用深浅结合自渗降水时，除井间距外，其余均与以上两种降水方法相同。井间距：当以砂砾引渗井点为主时，砂砾井间距为 2~3m，深层引渗管井间距为 20~30m，在有管井的部位，砂砾井点间距可为 3~4m；当以深层引渗井为主时，管井间距为 15~20m，在两井点之间加 3~5 个砂砾井，使两种井的间距为 3~5m。

第八节 综合井点降水

对于一些特定的水文地质条件和工程有特殊要求，采用某一种井点降水难以取得满意的降水效果时，可以同时采用两种或多种降水方法，如管井与轻型井点降水相结合，喷射井点和电渗井点降水相结合，管井与引渗砂砾井相结合，轻型井点与喷射井点降水相结合等。下面介绍渗抽结合的降水方法。

在具备一定自渗条件，但自渗后的水位降深不能满足降水要求，或降水面积较大，光靠周边围降不能使基坑中部的降水深度及降水时间满足设计、施工要求时，可以采用砂砾井或管井引渗配合轻型井点或管井抽水来达到降水目的。

当场地具备浅层自渗条件，但自渗后的水位埋深高于降水深度或降水面积大时，沿基坑四周或中部布置砂砾引渗井，以降低上层滞水水位，并于基坑四周边沿适当增加管井抽取下部砂层的地下水，以加深引渗井中的混合水位，从而达到设计降水深度和保证降水工期的要求。两种井的间距和深度应根据场地水文地质条件和降水要求确定，可参照以上相同井点布置。

当场地具备深层自渗条件，但降水深度很大，或降水面积很大时，可在基坑周边或中部布置引渗管井，以降低上层滞水和中部潜水含水层中的水位，再选用部分管井作为抽水井，抽取下部承压（潜水）含水层中的地下水，以满足降水要求。此方法可以将地下水位降至 20m 以下。

当上层滞水或潜水含水层埋藏较浅，其含水层为粉、细砂，基坑深度进入第二含水层或以下时，虽然具备深层自渗条件，但只有引渗管井难以有效地疏干含水层，常常引起边坡或桩间土的坍塌。因此，采用引渗管井降低地下水位，再用轻型井点疏干上层滞水或潜水的残留水，以保证降水效果和边坡稳定。

第四章 井点降水系统设计

第一节 井点降水系统设计基础

一、降水系统设计要求

- (1) 基坑内任意点的水位降深满足工程降水要求，即基坑内水位低于基坑设计标高1.5~2.0m；
- (2) 在达到降水目的情况下，抽出的总水量最小；
- (3) 当基坑设置止水帷幕时，降水设计必须与止水帷幕相结合，必要时可更改止水帷幕设计；
- (4) 预测水位降深和出水量随时间的变化；
- (5) 预测降水可能产生的不良地质影响及相应采取的的必要措施；
- (6) 施工工艺成熟，有补救措施。

二、降水设计必需的各种资料

- (1) 降水工程的地理位置，建筑物占地面积和基础类型（包括软弱地基的处理方案），基坑支护设计方案，开挖施工作业方法及工期；
- (2) 基坑要求降水深度、降水范围面积和延续时间；
- (3) 基坑外围环境建筑物条件。包围附近已有建筑物、地下供排水管线、热力管线、煤气管道、电缆及其他人防等隐蔽工程的平面分布和具体位置；
- (4) 区域和场地的水文地质条件及所需设计参数。包括场地地层分布、含水层类型（上层滞水、潜水或承压水），以及其补给、径流、排泄条件，不同含水层之间的水力联系，各含水层的水位动态，地下水与地表水体之间的水力联系，各含水层的水文地质参数（渗透系数、影响半径、释水系数等）。

三、降水设计前的抽水试验

当降水区缺少应有的水文地质资料，又无相邻地区的资料可借鉴，而降水技术要求较高，水文地质条件又较复杂，则应先进行水文地质勘探、试验，取得必要的水文地质参数，才能进行降水方案设计。

（一）抽水试验的目的

- (1) 了解含水层富水性及其相互间的水力联系；
- (2) 确定抽水井的实际出水量，推算最大出水量、单位出水量，并可根据水位降深和涌水量选择水泵型号；
- (3) 计算含水层水文地质参数。

（二）抽水试验孔的布置

抽水试验孔的布置主要依据抽水试验目的。为求取含水层水文地质参数的抽水孔（主孔），一般应远离含水层的透水、隔水边界，应布置在含水层的导水及贮水性质、补给条件、厚度和岩性条件等有代表性的地方；观测孔一般应和抽水主孔组成观测线，要求通过水位观

测孔观测所得到的地下水位降落曲线，对于整个抽水流量来说，具有代表性。一般应根据抽水时可能形成的水位降落漏斗的特点，来确定观测线的位置（房佩贤等，1987）。

（1）均质各向同性、水力坡度较小的含水层，其抽水降落漏斗的平面形状为圆形，即在通过抽水孔的各个方向上，水力坡度基本相等，但一般上游侧水力坡度较下游侧为小，故在与地下水流向垂直方向上布置一条观测线即可（图 4-1a）。

（2）均质各向同性、水力坡度较大的含水层，其抽水降落漏斗形状为椭圆形，下游一侧的水力坡度远较上游一侧大，故除垂直地下水流向布置一条观测线外，尚应在上、下游方向上各布置一条水位观测线（图 4-1b、c）。

（3）均质各向异性的含水层，抽水水位降落漏斗常沿着含水层贮、导水性质好的方向发育，该方向水力坡度较小；贮、导水性差的方向为漏斗短轴，水力坡度较大。因此，抽水时的水位观测线应沿着不同贮、导水性质的方向布置（图 4-1d），以分别取得不同方向的水文地质参数。

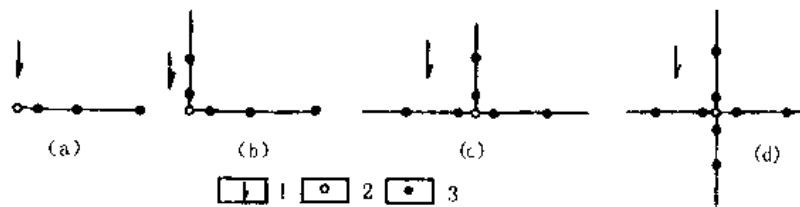


图 4-1 抽水试验观测孔平面布置示意图

（a）垂直流向一条观测线；（b）垂直、平行流向各一条观测线；（c）垂直流向两条、平行流向一条观测线；

（d）垂直和平行流向各两条观测线

1. 地下水流向；2. 抽水孔；3. 观测孔

观测线上观测孔的数目，若只为求参，一个即可，若为提高精度则需 2 个以上。观测孔距主孔的距离，愈近主孔距离应愈小，愈远离主孔距离应愈大。最近一个观测孔距主孔的距离一般约等于含水层的厚度（至少应大于 10m），以避免抽水孔三维流的影响；最远的观测孔，要求观测到的水位降深应大于 20cm；相邻观测孔距离，亦应保证两孔的水位差大于 20cm。

观测孔的深度，要求揭穿含水层，至少深入含水层 10 ~ 15m。

（三）抽水试验的主要技术要求

1. 对水位降深的要求

稳定流抽水试验，为提高水文地质参数的计算精度和预测更大水位降深时井的出水量，一般要求进行三次不同水位降深的抽水，要求各次降深的抽水连续进行；对于富水性较差的含水层，可只做一次最大降深的抽水试验。对松散孔隙含水层，为有助于在抽水孔周围形成天然的反滤层，抽水水位降深的次序可由小到大地安排；对于裂隙含水层，为了使裂隙中充填的细粒物质及早吸出，增加裂隙的导水性，抽水降深次序可由大到小安排。一般抽水试验所选择的最大水位降深值（ S_{\max} ）：潜水含水层， $S_{\max} = (1/3 \sim 1/2) H$ （ H 为潜水含水层厚度）；承压含水层， $S_{\max} \leq$ 承压含水层顶板以上的水头高度。当进行三次不同水位降深抽水试验时，其余两次试验的水位降深应分别等于最大水位降深值的 1/3 和 1/2。但是，在一般

情况下,当含水层富水性较好,而勘探中使用的水泵出水量又有限时,则很难达到上述抽水降深的要求。此时,要求 S_{\max} 等于水泵的最大扬程即可。当 S_{\max} 降深值不太大时,相邻两次水位降深之间的水头差值也不应小于 1m。

2. 对抽水试验延续时间的要求

按稳定流抽水试验所求得的水文地质参数的精度,主要决定于抽水试验时抽水井的水位和流量是否真正达到了稳定状态。生产规范一般是通过规定的抽水井水位和流量稳定后的延续时间来作保证。所谓稳定状态,即抽水井出水量的波动值不超过正常出水量的 5%,抽水主孔的动水位波动值不超过水位降深的 1%,且无持续上升或下降的变化趋势。如果抽水试验的目的仅为获得含水层的水文地质参数,抽水井的出水量和水位稳定延续时间达到 24h,距主孔最远的水位观测孔的水位稳定延续时间不少于 2~4 小时即可。

对于非稳定流抽水试验,当抽水试验的目的主要是求得含水层的水文地质参数时,抽水延续时间一般不太长,只要求水位降深 (S)-时间对数 ($\lg t$) 曲线的形态比较固定和能较明显地反映出含水层的边界性质即可停抽,一般达 1000 分钟即可。

3. 对抽水流量和水位的观测要求

抽水主孔的水位和流量与观测孔的水位,都应同时进行观测。对于稳定流抽水试验,其观测频率一般为:5、10、15、20、25、30 分钟,以后每隔 30 分钟观测一次;对于非稳定流抽水试验,其观测频率一般为:1、2、3、4、6、8、10、15、20、25、30、40、50、60、80、100、120 分钟,以后每隔 120 分钟观测一次。停抽后应观测恢复水位,应一直观测到恢复水位变幅接近天然水位变幅时为止。

(四) 抽水试验的资料整理

对于稳定流抽水试验,在抽水试验过程中主要是编绘出涌水量 (Q)-时间 (t)、水位降深 (S)- t 曲线以及 Q - S 和 q - S 关系曲线 (q 为单位降深涌水量)。 Q - t 、 S - t 曲线可及时帮助了解抽水试验进行得是否正常;而 Q - S 、 q - S 曲线则可帮助了解曲线形态是否正确地反映了含水层的类型和边界性质,检验试验是否有人为错误。图 4-2 和图 4-3 表示了抽水试验常见的各种 Q - S 和 q - S 曲线类型,图中曲线 I 表示承压井流(或厚度很大、降深相对较小的潜水井流);曲线 II 表示潜水或承压转无压的井流(或为三维流、紊流影响下的承压井流);曲

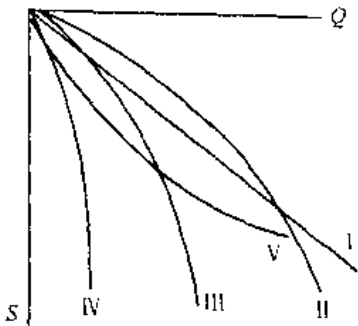


图 4-2 Q - S 曲线图

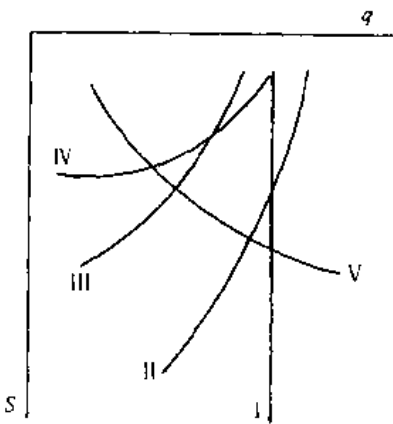


图 4-3 q - S 曲线图

线Ⅲ表示从某一降深值起，涌水量随降深的加大而增加很少；曲线Ⅳ补给衰竭或水流受阻，随 S 加大 Q 反而减小；曲线Ⅴ通常表示试验有错误，但也可能反映在抽水过程中，原来被堵塞的裂隙、岩溶通道被突然疏通等情况的出现。

对于非稳定流抽水试验，在抽水试验过程中主要是编绘出水位降深和时间的各类关系曲线，包括 $S-\lg t$ 或 $\lg S-\lg t$ 曲线、 $S-\lg r$ 或 $S-\lg \frac{t}{r^2}$ 曲线（ r 为观测孔至抽水主孔的距离、以及 $S'-\lg\left(1+\frac{t_p}{t'}\right)$ 和 $S^*-\lg \frac{t}{t'}$ 曲线（ S' 为剩余水位降深， S^* 为水位回升高度， t_p 为抽水主井停抽时间， t' 为从主井停抽后算起的水位恢复时间， t 为从抽水试验开始至水位恢复到某一高度的时间）。这些曲线，除用于及时掌握抽水试验进行得是否正常和帮助确定试验的延续、终止时间外，主要是为计算水文地质参数服务的。

四、水文地质参数的计算

（一）利用稳定流抽水试验资料求参

利用稳定流抽水试验资料可以求得含水层的渗透系数（ K ）和影响半径（ R ）。这里介绍的渗透系数计算公式，仅适用于抽水井远离补给或隔水边界的潜水或承压完整井情况，其它条件的渗透系数计算公式可根据第二章介绍的稳定井流公式导出。

1. 对于单孔抽水试验

承压含水层

$$K = \frac{0.366 Q \lg \frac{R}{r_w}}{m S_w} \quad (4-1)$$

潜水含水层

$$K = \frac{0.733 Q \lg \frac{R}{r_w}}{(2H_0 - S_w) S_w} \quad (4-2)$$

式中 K ——含水层渗透系数；
 Q ——管井涌水量；
 S_w ——管井中水位降深；
 H_0 ——含水层静水位标高；
 r_w ——管井半径；
 R ——影响半径；
 m ——含水层厚度。

影响半径可根据以下经验公式确定：

承压含水层

$$R = 10 S_w \sqrt{K} \quad (4-3)$$

潜水含水层

$$R = 2 S_w \sqrt{K H_0} \quad (4-4)$$

式中各符号意义同前。

根据式（4-1）～（4-4），采用试算法即可求得含水层渗透系数及抽水影响半径。具体

作法是：首先假定一渗透系数值，代入式 (4-3) 或 (4-4) 中，计算影响半径；再将求得的影响半径，代入式 (4-1) 或 (4-2) 中，计算渗透系数；对比求得与渗透系数与假定值，若二者差值较大，则调整渗透系数值，再代入式 (4-3) 或 (4-4) 中，计算影响半径；将新求得的影响半径再代入式 (4-1) 或 (4-2) 中，计算渗透系数。重复以上计算过程，直到新求得的渗透系数与前次求得的 K 值相差很小时，则此时求得的渗透系数即为含水层渗透系数。

实际观测和实验研究证明，潜水井抽水时，井内水位和井壁外水位只有在水位降深值很小的情况下才比较接近，当水位降深很大时，井内水位比井壁水位低得多（图 4-4），这种现象称为水跃。完整井抽水时水跃值的大小可按式计算：

$$\Delta h = \sqrt{\frac{Q}{K} + 0.73 \lg \left(\frac{\sqrt{Q/K}}{r_w} - 0.51 \right)} + h_w^2 - h_w^2 \quad (4-5)$$

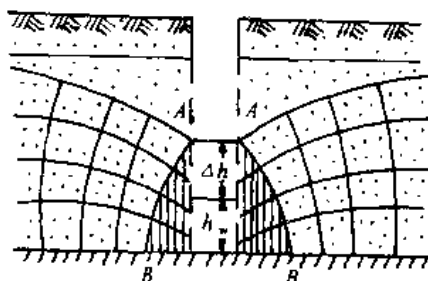


图 4-4 潜水井水跃示意图

式中 Δh ——水跃值；

h_w ——井内水柱高度；

其他符号意义同前。

为了提高计算精度，潜水含水层按以上方法计算参数时，尚需削除水跃值的影响。

2. 对于多孔抽水试验

若抽水试验布置有一个观测孔时，可利用主孔和观测孔的抽水试验资料计算 K 和 R 值，计算公式如下：

承压含水层

$$K = \frac{0.366Q}{m(S_w - S_1)} \lg \frac{r_1}{r_w} \quad (4-6)$$

$$\lg R = \frac{S_w \lg r_1 - S_1 \lg r_w}{S_w - S_1} \quad (4-7)$$

潜水含水层

$$K = \frac{0.733Q}{(S_w - S_1)(2H_0 - S_w - S_1)} \lg \frac{r_1}{r_w} \quad (4-8)$$

$$\lg R = \frac{S_w(2H_0 - S_w) \lg r_1 - S_1(2H_0 - S_1) \lg r_w}{(S_w - S_1)(2H_0 - S_w - S_1)} \quad (4-9)$$

式中 r_1 ——观测孔距主孔的距离；

S_1 ——观测孔中的水位降深；

其他符号意义同前。

若抽水试验布置有两个观测孔时，则可利用两个观测孔的抽水试验资料求参，计算公式如下：

承压含水层

$$K = \frac{0.366Q}{m(S_1 - S_2)} \lg \frac{r_2}{r_1} \quad (4-10)$$

$$\lg R = \frac{S_1 \lg r_2 - S_2 \lg r_1}{S_1 - S_2} \quad (4-11)$$

$$K = \frac{0.733Q}{(S_1 - S_2)(2H_0 - S_1 - S_2)} \lg \frac{r_2}{r_1} \quad (4-12)$$

$$\lg R = \frac{S_1(2H_0 - S_1) \lg r_2 - S_2(2H_0 - S_2) \lg r_1}{(S_1 - S_2)(2H_0 - S_1 - S_2)} \quad (4-13)$$

式中 r_1, r_2 ——观测孔距主孔的距离;

S_1, S_2 ——观测孔中的水位降深;

其他符号意义同前。

(二) 利用非稳定流抽水试验资料求参

利用非稳定流抽水试验资料可求得含水层的渗透系数 (K)、导水系数 (T)、释水系数 (u') 及导压系数 (a)。这里介绍的计算方法仅适用于抽水井远离补给或隔水边界的潜水或承压完整井情况, 其他条件的参数计算可依据前节介绍的非稳定井流理论作类似处理。

1. 标准曲线对比法

本方法主要依据泰斯公式求解。首先, 根据表 2-5 所列资料, 在双对数纸上作 $W(u)-1/u$ 的关系曲线, 称之为标准曲线。其次在另一张模数相同的透明双对数纸上, 根据抽水资料作 $S-t$ 关系曲线或 $S-r$ 关系曲线、 $S-r^2/t$ 关系曲线 (有若干个观测孔时), 称为实际资料曲线。然后把实际资料曲线重叠在标准曲线上, 保持坐标轴平行, 移动到二根曲线完全重合时为止, 在重合的双对数纸上任选一点作为配合点 (无论在曲线上或曲线外均可)。为计算方便起见, 尽量取对数周期上的简单数值 (如 0.1、1、10 等)。读出该点在两张对数纸上的相应的坐标 $W(u)$ 、 $1/u$ 、 S 和 t (或 r 、 r^2/t) 的值 (图 4-5)。最后把这些值代入下列公式中, 即可解出含水层参数。

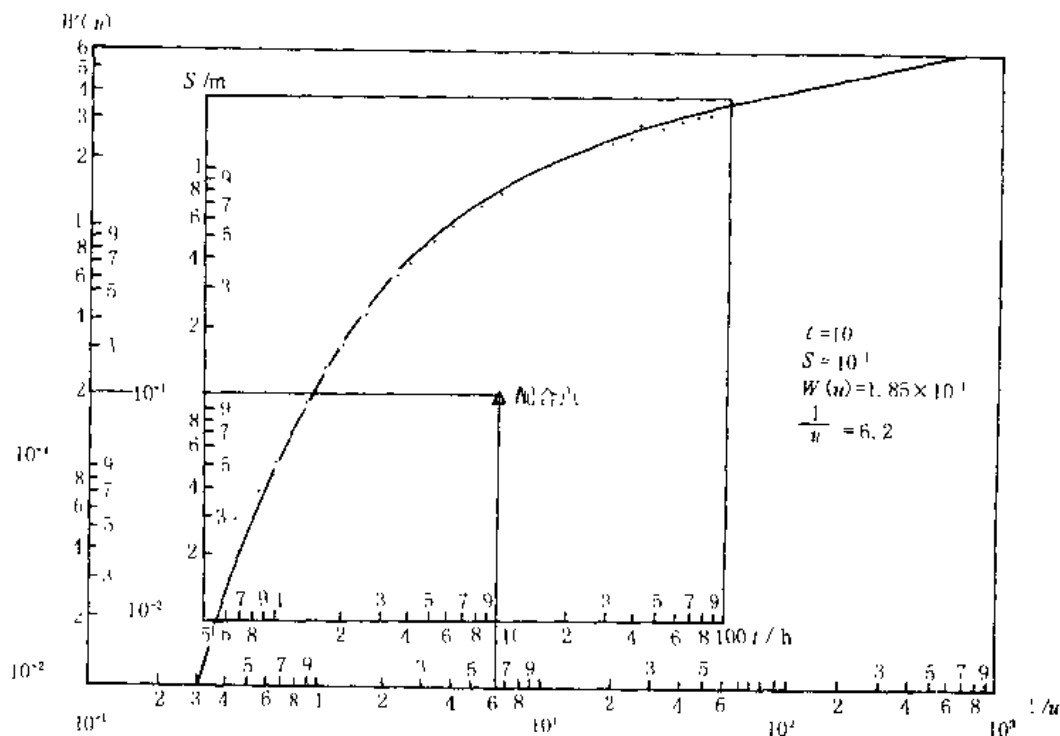


图 4-5 时间-降深标准曲线法

$$T = \frac{0.08Q}{S} W(u) \quad (4-14)$$

$$u^* = \frac{4Tt}{r^2(1/u)} \quad (4-15)$$

$$a = u^* / T \quad (4-16)$$

式中各符号意义同前。

2. 直线图解法

本方法主要依据雅柯布近似公式来求解。首先根据抽水资料在一张单对数纸上绘制 $S-t$ 曲线（或 $S-r$ 曲线、 $S-t/r^2$ ）曲线，其次在图中的时间 t （或 r 、 t/r^2 ）的对数坐标轴上截取一个对数周期，使 $\Delta \lg t = 1$ （或 $\Delta \lg r = 1$ 、 $\Delta \lg (t/r^2) = 1$ ）。作两条平行于纵轴的线来截取一个直线段，该线段在纵轴上的投影长度就等于直线的斜率 i 。然后在图中量出直线在横轴上的截距 t_0 （或 r_0 、 t_0/r_0^2 ），将 i 、 t_0 （或 r_0 、 t_0/r_0^2 ）的值代入下式中，即可求得含水层水文地质参数（图 4-6）。

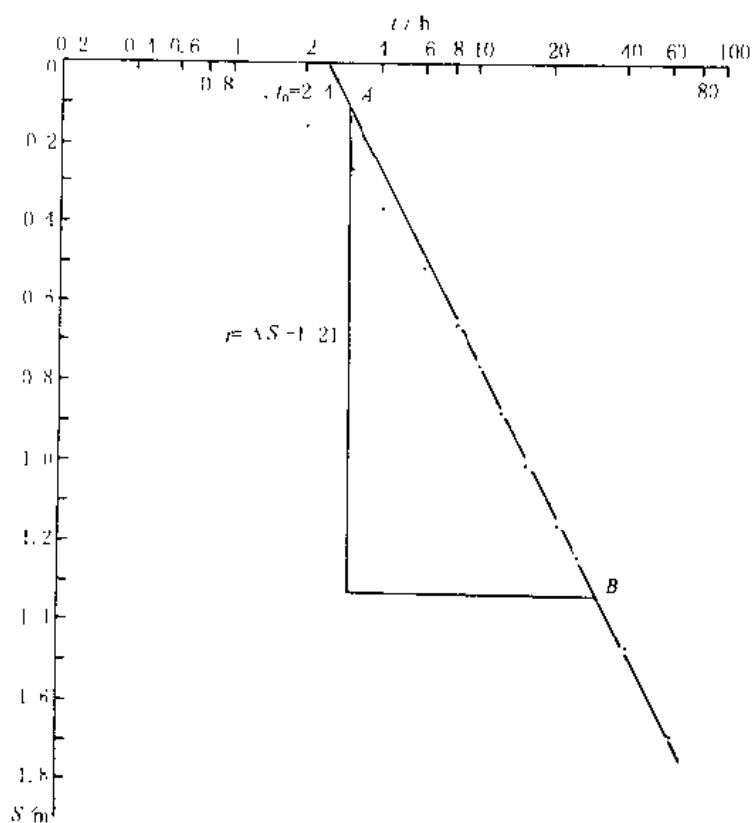


图 4-6 时间-降深对数曲线法

$$T = 0.183 \frac{Q}{i} \quad (4-17)$$

$$u^* = \frac{2.25Tt_0}{r^2} \quad (4-18)$$

式中各符号意义同前。

利用恢复水位资料，在单对数纸上绘制 $S' - (1 + t_p/t')$ 曲线（ S' 为剩余降深， t_p 为抽

水延续时间, t' 为从抽水停止以后算起的水位恢复时间), 作类似处理, 可求得含水层导水系数。计算公式同式 (4-17)。

(三) 水文地质参数经验数据

基坑降水设计中, 常用水文地质参数的经验数据列入表 4-1 中 (地质矿产部水文地质工程地质技术方法研究队, 1978)。

表 4-1 水文地质参数经验数据

岩 性	粒径/ mm	影响半径/ m	渗透系数/ (m/d)	给水度
砂卵石	> 10.0	> 500	80	0.26
砂砾石	1.0 ~ 10.0	> 400	45 ~ 50	0.25
粗 砂	0.5 ~ 1.0	300 ~ 400	20 ~ 30	0.24
中粗砂	0.35 ~ 0.5	200 ~ 300	22	0.22
中 砂	0.25 ~ 0.35	100 ~ 200	20	0.21
中细砂	0.15 ~ 0.25	80 ~ 120	17	0.2
细 砂	0.1 ~ 0.15	50 ~ 100	6 ~ 8	0.18 ~ 0.19
粉细砂	0.08 ~ 0.1	30 ~ 90	5 ~ 8	0.16 ~ 0.18
粉 砂	0.05 ~ 0.08	25 ~ 50	2 ~ 3	0.14 ~ 0.16
亚砂土	0.03 ~ 0.05		0.2	0.12 ~ 0.14
亚砂-亚粘土	0.01 ~ 0.03		0.1	0.11 ~ 0.12
亚粘土	0.005 ~ 0.01		0.02	0.1
粘 土	0.001 ~ 0.005		0.001	0.03

第二节 井点降水方案设计

一、井点降水方法的选择及降水工程的布置

(一) 降水方法的选择

在查明降排水区的水文地质条件和明确降水任务要求的基础上, 参考表 1-2 选择合适的降水方法。由于各种降排水方法具有一定程度的通用性, 在具体选择时应作方案比较, 以期得到经济合理的降水效果。

(二) 降水工程的平面布置

降水工程的几何图形是多样的, 但井点布置基本上可分为两种形式: 块状形的基坑多数采用环形封闭式, 条形状的基坑采用直线形式的布置方法。

(1) 环形封闭式平面布置。凡基坑成块状的均宜采用封闭式井点布置。当遇有降水面积大, 封闭式井点布置因跨度大不能满足降水要求时, 可分块进行抽水。

(2) 线型平面布置。当降水工程基坑为条形状图形时, 如管沟、电缆沟、运河、水渠等工程, 均采用线形式布置井点。究竟采用单排或采用双排 (坑二侧) 井点布置, 需视工程特点而定。当基坑宽度不大于 5m 及地下水位降低又不超过 4m 时, 一般均采用单排井点布置。

降水工程, 根据井点布置在坑外或坑内又可区分为三种类型: 即坑外降水、坑内降水及坑外与坑内相结合降水。

(1) 坑外降水。即将井点布设在基坑以外, 适用于以下条件: ① 当坑壁不设维护结构, 地下水将向坑内渗流, 在坡趾附近易产生渗流破坏, 宜采用坑外井点降水方案; ② 基坑底

部以下有承压含水层，需降水深度较大时，宜采用坑外降水；③当基坑周围环境容许降水，或坑外降水对邻近地面无大影响者，可在坑外降水。当含水层分布均匀时，可沿基坑边缘外侧平均等距离布置；当含水层分布不均匀时，在主要富水地段加密布置。在基岩裂隙水场地，重点布置在补给与排泄两端。

(2) 坑内降水。即将井点布置在基坑内部。在基坑边部设置围护结构及止水帷幕的条件下，采用坑内降水方案，可减少降水的总出水量，缩小降水的影响范围，减小坑外的水位下降及相应的地面沉降，井点布置多呈网格状或梅花状。

(3) 坑内与坑外相结合降水。采用坑外降水时，若基坑宽度较大，也可以在基坑内布置少量降水井点。

(三) 井点管埋设深度计算

井点管的埋深 (H_m) 主要取决于基坑深度、降水区内地下水的水力坡度、降水后水面距离基坑底的深度、降水期间地下水水位的变化幅度、过滤器工作部分长度和沉砂管长度，如图 4-7 所示。井点管埋设深度可按式确定：

$$H_m > H_1 + h + i \cdot L + Z + Y + T \quad (4-19)$$

式中 H_1 —— 基坑深度；
 h —— 井点外露高度；
 i —— 降水区内水力坡度；
 L —— 井点管至基坑中心的距离；
 Z —— 降水期间地下水水位的变化幅度；
 Y —— 过滤器工作部分长度；
 T —— 沉砂管长度。

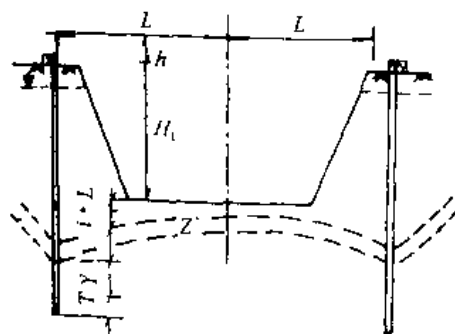


图 4-7 井点埋设深度图

二、井点降水方案设计

(一) 基坑总排水量计算

1. 环形布置井点

降水井点按环形封闭式布置时，若干扰井群中各井流量相等，井结构一致，则可近似把基坑周围的井群当成一个以基坑为“中心”的大井，根据实际情况，选择表 2-2 中的有关单井涌水量计算公式进行近似计算，如：

对于潜水完整井

$$Q_{\text{总}} = 1.366K \frac{(2H_0 - S_w) S_w}{\lg \frac{R_0}{r_0}} \quad (4-20)$$

对于承压完整井

$$Q_{\text{总}} = 2.73K \frac{m S_w}{\lg \frac{R_0}{r_0}} \quad (4-21)$$

式中 $Q_{\text{总}}$ —— 基坑总排水量；
 K —— 含水层渗透系数；
 H_0 —— 含水层静止水位标高；
 m —— 承压含水层厚度；

S_w ——设计基坑水位降深;

R_0 ——引用影响半径($R_0 = R + r_0$);

R ——影响半径;

r_0 ——引用半径。

对于不同排列的降水井群,其引用半径(r_0)的计算公式如表 4-2 所示。

表 4-2 引用半径计算公式

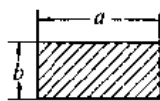
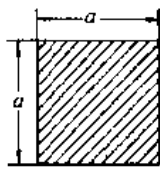
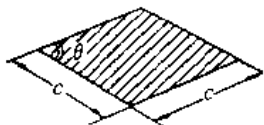
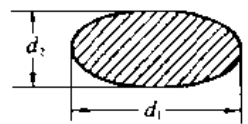
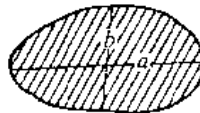
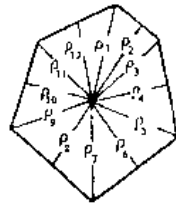
井群平面布置图形	计算公式	说 明
矩 形 	$r_0 = \eta \frac{a \times b}{4}$ 当 $a/b \gg 10$ 时 $r_0 = 0.25a$	a, b : 基坑长和宽; η : 系数, 查表 4-3 确定
正 方 形 	$r_0 = 0.59a$	a : 基坑边长
菱 形 	$r_0 = \eta' \frac{c}{2}$	c : 菱形边长; η' : 系数, 查表 4-4 确定
椭 圆 形 	$r_0 = \frac{d_1 + d_2}{4}$	d_1, d_2 : 分别为椭圆形长轴和短轴长度
不 规 则 的 圆 形 	$r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}}$ $= 0.565 \sqrt{F}$	F : 基坑面积
不 规 则 的 多 边 形 	$r_0 = \frac{\rho}{2\pi}$ 或 $r_0 = \sqrt{\frac{\rho_1^2 + \rho_2^2 + \dots + \rho_{2n}^2}{2n}}$	ρ : 多边形周长; $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_{2n}$: 多边形重心至多边形顶及其多边形中点的距离; n : 多边形顶角数

表 4-3 系数 η 与 b/a 关系

b/a	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0
η	1.0	1.0	1.1	1.12	1.14	1.16	1.18	1.18

表 4-4 系数 η' 与 Q 关系

Q	0°	18°	36°	54°	72°	90°
η'	1.0	1.06	1.11	1.15	1.17	1.18

2. 线型布置井点

降水井点按线型布置时, 可根据实际情况选择表 2-1 中的涌水量计算公式近似计算。

如:

对于潜水完整水平集水建筑物

$$Q_{\text{总}} = KL \frac{H_0^2 - H_w^2}{R_0} \quad (4-22)$$

对于承压完整水平集水建筑物

$$Q_{\text{总}} = \frac{2KmS_w L}{R_0} \quad (4-23)$$

式中各符号意义同前。

(二) 单井最大允许出水量的计算

单井出水量决定于含水层的允许渗透速度、过滤器长度及直径等, 其理论计算最大允许出水量为:

$$q = 120\pi r l \sqrt[3]{K} \quad (4-24)$$

式中 r ——过滤器半径;

l ——过滤器长度;

其他符号意义同前。

由于过滤器加工及成井工艺等人为影响, 设计的单井出水量一般小于上式的计算值。实际工作中常利用现场抽水试验资料求得的单井涌水量值, 与上述公式计算结果进行对比后确定。

(三) 井点数量的确定

布设井点的数量是根据基坑总排水量与单井出水量进行试算而确定的。

(1) 首先根据基坑总排水量及设计出水量确定初步布设井数 (n), 计算公式如下:

$$n = (1.1 \sim 1.2) \frac{Q_{\text{总}}}{q} \quad (4-25)$$

式中各符号意义同前。

(2) 在抽水设备及水位降深确定的情况下, 根据实际情况选择表 2-2 中的干扰井群公式计算单井的出水量。如:

对于潜水完整井群

$$q = \frac{2K (2H_0 - S_w) S_w}{\ln \frac{R_0^2}{nr_w r_0^{n-1}}} \quad (4-26)$$

对于承压完整井群

$$q = \frac{2\pi KmS_w}{\ln \frac{R_0^2}{nr_w r_0^{n-1}}} \quad (4-27)$$

式中各符号意义同前。

单井出水量也可用以下经验公式计算：

$$q = 1.25 k_i D H_s \quad (4-28)$$

式中 D ——过滤器直径；

H_s ——过滤器有效长度；

其他符号意义同前。

(3) 验算井群总出水量是否满足要求。若 $nq > Q_{\text{总}}$ ，则认为所布设井点数合理；若 $nq < Q_{\text{总}}$ ，则需增加布设井数。

(4) 重复 (2)、(3) 步计算，直到计算出的井群总出水量大于基坑总排水量时，此时的井数便是需要的井数。

(四) 井点间距的计算

井点间距按下式计算：

$$a = \frac{L}{n} \quad (4-29)$$

式中 a ——井点布设间距；

L ——基坑长度；

n ——布设井点数。

当含水层分布不均匀时，在主要富水地段井点间距可适当小些。

(五) 水位降低检验

井点数量、井点间距及排列方式确定之后，便可选择表 2-2 或表 2-4 中列出的干扰井群水位降深预测公式计算基坑的水位降深，主要计算基坑内抽水影响最小处的水位降深值，检查其是否满足设计水位降深的要求。如：

1. 稳定流公式

对于潜水完整井群

$$S = H_0 - \sqrt{H_0^2 - \frac{Q_{\text{总}}}{1.366} \left[\lg R_0 - \frac{1}{n} \lg(r_1 \cdot r_2 \cdots r_n) \right]} \quad (4-30)$$

对于承压完整井群

$$S = \frac{0.366 Q_{\text{总}}}{Km} \left[\lg R_0 - \frac{1}{n} \lg(r_1 \cdot r_2 \cdots r_n) \right] \quad (4-31)$$

式中各符号意义同前。

2. 非稳定流公式

$$S = H_0 - \sqrt{H_0^2 - \frac{Q_{\text{总}}}{2\pi K} W\left(\frac{r_i^2}{4at}\right)} \quad (4-32)$$

对于承压完整井群

$$S = \frac{Q_{\text{总}}}{4\pi T} \sum_{i=1}^n \left[W\left(\frac{r_i^2}{4at}\right) \right] \quad (4-33)$$

式中各符号意义同前。

经过降深场的水位计算，如果达不到设计水位降的要求（过小或过大），则须重新调整井点数与井点间距，再进行降深场的水位计算。

第三节 井点管路系统设计

一、井点管的设计

（一）井点管的作用及基本要求

井点管由井壁管、过滤器和沉淀管组成。井壁管安装在非含水层处，起保护井壁稳固的作用；过滤器安装在含水层处，起滤水的作用；沉淀管位于井点管的最下端，以沉淀井中所含的砂粒。

常用的井点管有钢管、铸铁管、塑料管、石棉水泥管、木管、矿渣混凝土管和砾石水泥管等。各种井点管应符合以下的要求：

（1）井点管本身尽可能不弯曲，连接部分也应保证井壁不弯曲，以便安装时能使井点管顺利下入井孔，并保持整个井壁垂直，便于安装抽水设备和进行维修；

（2）井管内壁应平滑、圆整，便于在井管内安装抽水设备，特别是便于在管井维修时升降井管、工具之用；

（3）井点管应能经受管壁外侧岩层和人工填充物的压力及可能发生的地震对井管的影响，因此管壁要有一定的厚度，质材要坚韧，有一定的抗压、抗剪和抗弯强度；

（4）井点管在安装时，管壁及连接部分要能经得住全部井管的重量，即要有一定的抗拉强度，因此管壁厚度要适宜；

（5）过滤器要有较大的孔隙率，以保证减少地下水流入管内的阻力，最大可能地增加井的出水量；

（6）加工工艺和结构形式应满足经济耐用的要求。选择井管材料要做到因地制宜、就地取材，并要考虑地下水对井管的腐蚀作用，以延长井点管使用寿命。

按照上述对井点管的基本要求，结合井管的经济价值来比较各种井点管的优缺点，可知：钢制井点管的强度大、质量好，过滤器的孔隙率较大，为井管的理想材料，但造价昂贵，目前多用作轻型井点或喷射井点的井点管。铸铁井点管的强度和重量较好，过滤器孔隙率较大，造价仅为钢管的二分之一。石棉水泥管如使用得当，强度尚可，价格更廉，仅为铸铁管的二分之一左右，而且管壁光滑耐侵蚀，但过滤器孔隙率较小。木制井管强度较差，寿命较短，加内外箍后，尚能使用，价钱便宜，约为铸铁管的三分之一至四分之一。矿渣混凝土井点管和一般混凝土井管成本低，强度尚好；砾石水泥井管成本低，制造简单，但强度低。这两种井管在排水工程中常用。

（二）过滤器的设计

过滤器是井点降水系统的重要部分，设计不好，不是造成大量进砂，影响正常抽水，就是进水不畅，形成过大的水跃值。

1. 过滤器的类型及适用条件

过滤器主要由过滤骨架和过滤层组成。常用过滤器类型如图 4-8 所示，其适用范围和优缺点如表 4-5 所示（郭连科等，1973）。

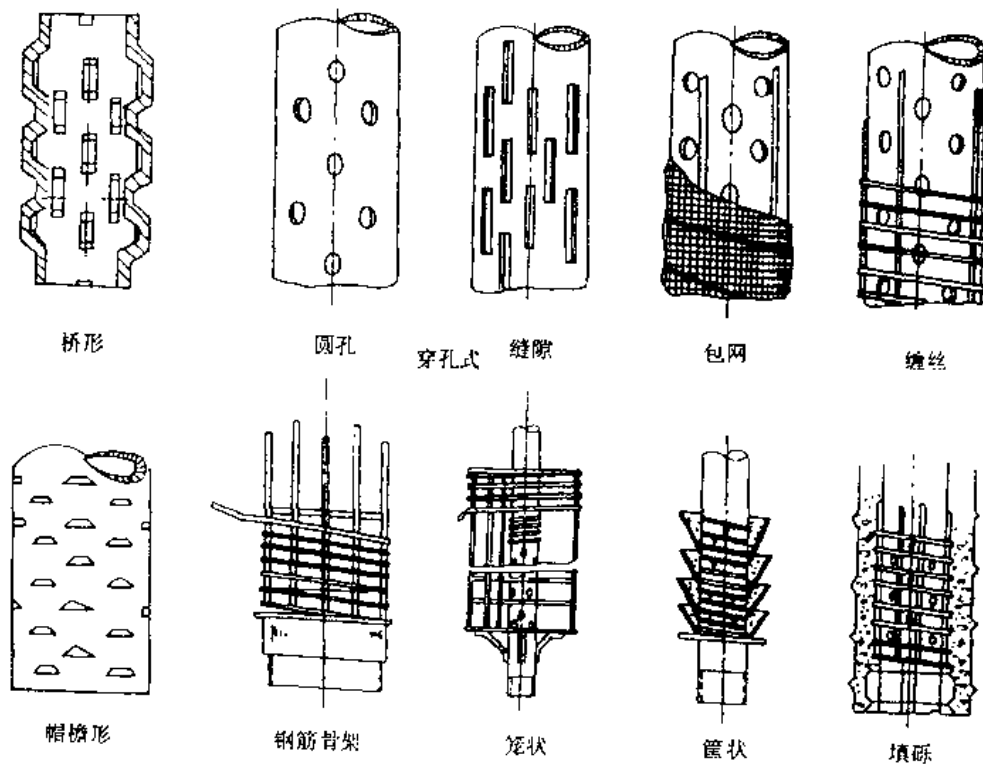


图 4-8 常用过滤器类型

表 4-5 常用过滤器类型及适用条件

过滤器类型		骨架材料	孔隙率/(%)	适用范围	优 缺 点
骨架过滤器	圆孔过滤器	钢管	30 ~ 35	不稳定裂隙岩层, 松散碎石、卵石层	强度较大, 孔隙率高, 加工方便, 重量大, 造价高
		铸铁管	20 ~ 25		
	条孔过滤器	钢管、塑料管	10 ~ 30	中粗砂砾石层	加工困难、使用不多
	桥形孔过滤器	钢板冲压后卷焊	10 ~ 30	粉、细、中、粗砂、砾石、卵石层	孔眼不易被堵塞, 进水阻力小, 耐腐蚀
	帽檐孔过滤器		8 ~ 19		
缠丝过滤器	钢筋骨架过滤器	圆钢	50 ~ 70	中粗砂砾石层	重量小、造价低、孔隙率大、强度低
	管状骨架过滤器	钢管	35		强度大、孔隙率较大
		铸铁管	25		抗腐蚀强、重量大
		钢筋混凝土	15 ~ 20		成本低、强度差、重量大
包网过滤器		钢管、铸铁管、钢筋混凝土	10 ~ 35	中细砂	包网阻力大、易堵塞、易腐蚀
砾石过滤器	填砾过滤器	钢管、铸铁管 钢筋混凝土	10 ~ 75	细、中、粗砂和砾石层	管井渗透性及渗透稳定性高
	贴砾过滤器	钢管外加铁丝网罩	20	粉、细、中、粗砂、砾石、卵石层	填料洗井时间短, 井径缩小, 降低钻孔成本, 但贴砾层易腐蚀
砾石水泥过滤器		无砂混凝土管	20	细、中、粗砂和砾石层	取材容易, 制作简单, 造价低, 强度小, 重量大

2. 过滤骨架的设计

过滤骨架起支撑作用, 有两种结构: 一为带网眼的管子; 二为用钢筋间隔排列而成的管状物。管子材料一般为钢、铸铁、水泥、塑料等。轻型井点和喷射井点一般采用钢管, 管井降水多采用水泥管。

管状过滤骨架上的孔眼多为圆形及长条形。孔的大小、排列和间距与管材强度及所要求的孔隙率有关。圆孔骨架, 其孔眼按三角形顶点排列, 直径一般为 $10 \sim 15\text{mm}$, 孔间距为孔径的 $1 \sim 2$ 倍; 条形孔骨架, 条形孔一般为简单的相间排列, 其宽度视孔壁的砂石粒径大小而定, 长度一般为宽度的 $10 \sim 30$ 倍。钢筋骨架, 其钢筋一般粗 $14 \sim 16\text{mm}$, 间距多为 $20 \sim 30\text{mm}$ 。

当过滤器直接与含水层接触时, 孔眼尺寸可参考表 4-6 设计。

表 4-6 骨架过滤的孔眼尺寸

过滤器类型	孔 眼 直 径		说 明
	含水层颗粒均匀	含水层颗粒不均匀	
圆孔过滤器	$(2.5 \sim 3.0) d_{cp}$	$(3 \sim 4) d_{cp}$	细砂取较小值, 粗砂取较大值; d_{cp} 为含水层颗粒组成的加权平均值
条孔过滤器	$(1.25 \sim 1.5) d_p$	$(1.5 \sim 2.0) d_{cp}$	
包网过滤器	$(1.5 \sim 2.0) d_{cp}$	$(2.0 \sim 2.5) d_{cp}$	

过滤骨架的孔隙率设计要求取决于管材强度、抽水含水层颗粒粒径及其对出水量的要求, 其孔隙率应不小于抽水含水层的孔隙率, 圆孔过滤器孔隙率可按下式计算:

$$p = \frac{d^2 \times n}{40D} \times 100\% \quad (4-34)$$

式中 p ——过滤器孔隙率;

d ——滤孔直径;

D ——过滤器外径;

n —— 1m 过滤器上滤水孔数量。

滤管孔眼数可按下式计算:

$$n = \frac{4Q}{2vd^2} \quad (4-35)$$

式中 Q ——管井出水量;

v ——地下水渗流速度;

其他符号意义同前。

3. 缠丝与包网的设计

缠丝与包网材料多为铜、铁、塑料等, 网眼尺寸或缠丝间距可按表 4-7 设计。

表 4-7 缠丝与包网规格

含水层岩性		缠丝间距或包网尺寸	说 明
均质砂类含水层		$(1.5 \sim 2.0) d_{50}$	均质砂类含水层: $\frac{d_{60}}{d_{10}} < 2$
非均质砂类含水层	细砂	$d_{50} \sim d_{60}$	非均质砂类含水层: $\frac{d_{60}}{d_{10}} > 2$ d_{10} 、 d_{30} 、 d_{40} 、 d_{50} 、 d_{60} 分别相当于过筛 量 10%、30%、40%、50%、60% 的粒径
	中砂	$d_{40} \sim d_{50}$	
	粗砂	$d_{30} \sim d_{40}$	

4. 填砾的设计

砾料的形状应以均质近圆形颗粒为宜,最好采用石英砂岩的砾石,砾料运至现场后,要过筛、冲洗、剔除杂质、土和不合格的砾石。

填砾粒径大小应与含水粒度相配合,还应与骨架空隙尺寸相配合,一般含水层颗粒越细,填砾粒径越小,填砾厚度越大。填砾高度一般高于含水层以上数米即可。管外填砾规格和缠丝间距可参见表 4-8。

表 4-8 管外填砾、缠丝间距选用表

含水层岩性	筛分结果		砾料直径/mm		填砾厚度/ mm	缠丝间距/ mm
	粒径/mm	重量百分比/(%)	规格砾料	混合砾料		
粉砂流砂	0.05~0.1	50~70	0.75~1.5	1~3	100 左右	0.75
细 砂	0.1~0.25	>75	1~2.5	1~3	100 左右	1~1.5
中 砂	0.25~0.5	>50	2~5	1~5	100 左右	2~3
粗 砂	0.5~2.0	>50	4~7	1~7	75~100	3~4
砾 砂	2.0~10.0	>50	7.5~20	7.5~20	50~75	5
卵石			回填	回填	50~75	6

5. 过滤器长度和直径的设计

过滤器长度主要根据含水层厚度和单井出水量而定。一般当含水层厚度小于 15m 时,其长度可等于或小于含水层厚度 0.5~1.0m,当含水层厚度较大时,可按式确定:

$$L = \frac{Q \cdot \alpha}{D} \quad (4-36)$$

式中 L ——过滤器长度;

Q ——设计单井出水量;

D ——过滤器外径;

α ——经验系数,按表 4-9 确定。

表 4-9 经验系数 α 值

含水层岩性	渗透系数/(m/d)	α 值
细砂	2~5	90
中砂	5~15	60
粗砂	15~30	50
砾石	30~70	30

过滤器直径根据水文地质条件、出水量、井的深度、过滤器长度等因素确定。选择过滤器的直径时,除应满足出水量或抽水设备的安装要求外,还应按下式进行验算:

$$D \geq \frac{W}{\pi L V_e} \quad (4-37)$$

式中 D ——过滤器的外径;

Q ——井的出水量;

L ——过滤器工作部分长度；

V_e ——含水层允许渗透速度。

含水层允许渗透速度可按以下公式计算：

$$V_e = 65 \sqrt[3]{K} \quad (4-38)$$

式中 K ——含水层渗透系数；

其他符号意义同前。

二、集水总管的设计

集水总管的设计，主要是确定合适的管径。集水总管的管径，应根据所排水量确定，计算公式如下（杨钦等，1987）：

$$D = \sqrt[3]{\frac{4Q_{\Sigma}}{\pi V}} \quad (4-39)$$

式中 D ——集水总管直径；

Q_{Σ} ——集水管总排水量；

V ——允许流速，一般为 $2.5 \sim 3.0 \text{m/s}$

因为市售水管有一定的规格，而标准管径的分档数不多，所以算出的管径必须按相近的标准管径选用。

第四节 抽水设备选择

一、泵型选择

基坑降水工程常用的抽水设备有离心泵、潜水泵、深井泵及空气压缩机等。离心水泵构造简单、体积小、装卸方便、出水量大、出水均匀、起动迅速、水量易于调节，而且能吸送含砂的水。但其吸程不大，一般为 $7 \sim 9 \text{m}$ ，只适用于地下水位浅的井。空气压缩机构造简单，不受水位高低的限制，可以输送含砂的水，井管略弯曲时不影响抽水。但空气压缩机的工作效率一般只有 $15\% \sim 25\%$ ，浪费动力过多，而且出水不均匀。深井水泵能吸取深层水，而且出水均匀，但抽水费用较高，而且不能吸送含砂的水。

水泵泵型的选择，主要根据地下水的静水位、井的设计出水量、水位降以及井管口径等因素决定。常用抽水设备的型号、规格及性能，见表 4-10、表 4-11（龚晓南，1998）。

当基坑渗水量较大时，为适应排水量的变化，应选用多种流量的水泵，以保证渗水量小时水泵不会过多的停机，渗流量大时，也能满足排水要求。因此，应选择容量不同的水泵，以便组合运用。

表 4-10 降水工程常用水泵性能

型号	性能	流量/ (m^3/h)	扬程/ m	电机功率/ kW	允许吸程/ m	重量/ (kg)
BA 型 离心泵	1-BA-6	6~14	14~20.3	1.7	6~6.6	30
	1-BA-6B	4.5~13	8.8~12.8	1	6.3~6.4	30
	2BA-6	10~30	24~34.6	4.5	5.7~8.7	35
	2BA-6B	30~70	44.5~62	20	4.7~7.7	116

续表 4-10

型号	性能	流量/ (m ³ /h)	扬程/ m	电机功率/ kW	允许吸程/ m	重量/ kg
sh 型 离心泵	6sh-6	126 ~ 198	70 ~ 84	55	5	150
	8sh-6	180 ~ 288	82.5 ~ 100	100	4.5	309
DA 型 离心泵	2DA-8	10.8 ~ 21.6	14 ~ 90	2.8 ~ 10	8	105 ~ 240
	3DA-8	25.2 ~ 39.6	19 ~ 112.5	4.5 ~ 20	7.5	164 ~ 474
	4DA-8	36 ~ 72	28.4 ~ 154	10 ~ 55	7	263 ~ 672
TSW 型 离心泵	50TSW	15 ~ 22	14 ~ 90	3 ~ 10	5 ~ 7.6	124 ~ 243
	75TSW	30 ~ 42	19 ~ 112.5	5.5 ~ 22	6.2 ~ 7	155 ~ 365
JD 型 深井泵	4JD10	10	30 ~ 72	5.5		585 ~ 935
	4JD36	36	38 ~ 86	7.5 ~ 16		1100 ~ 2300
SD 型 深井泵	SD8	35	35 ~ 91	10 ~ 20		883 ~ 2494
	SD10	72	24 ~ 120	10 ~ 40		991 ~ 4714
QJ 型 深井潜 水泵	100QJ2	2	34 ~ 95	0.5 ~ 1.5		14 ~ 23
	100QJ4	4	29 ~ 140	0.75 ~ 3.7		20 ~ 29
	100QJ6	6	35 ~ 130	1.5 ~ 5		22 ~ 37
	100QJ8	8	14 ~ 126	0.75 ~ 7.5		40 ~ 68
	100QJ10	10	25 ~ 58	1.5 ~ 3.7		39 ~ 51
	100QJ20	20	24 ~ 37	2.2 ~ 3.7		74 ~ 110
	100QJ36	36	30 ~ 36	5.5 ~ 15		
潜水 电泵	JQB1-6	5	22	2.2	55	
	JQB2-10	25	17	2.2	55	
	JQB4-31	65	7.5	2.2	38	
	JQB5-69	100	43	2.2	45	
	JQB21-2	35	18 ~ 25	2.2	28	

表 4-11 降水工程常用空气压缩机类型

型号	V 型			螺杆型	W 型二级单动		V 型二级单动		W 型
性能	2VY-12/7	2VYZ-12/7	2VY-10/7	LY-10/7	W-6/7	AW-6/7	YV-6/8-2	V-3/8-4	YW-9/7
排气量/ (m ³ /min)	12	12	10	10	6	6	6	3	9
工作压力/ MPa	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.2	0.2	0.7
冷却方式				水冷	风冷	风冷	风冷	风冷	
储气罐容 量/m ³					0.25	0.7	0.25	0.2	
轴功率/ kW	>72	>72	>60	73.5	≥37	39	≤37	≤16	≤55.9
转速/ (r/min)	1500	1500	1500	3776	1225	965	980	980	960
拖速/ (km/h)				25	15	固定式	< 20	< 20	35
质量/ kg	2900	2900	2900	< 3000	3200	1500	2250	2800	4700
外形尺寸/ mm 长×宽×高	3800×1700 ×1950	3800×1700 ×1950	3800×1700 ×1950	3590×1800 1760	3550×1840 ×2115	3183×1086 ×2330	1150×1040 ×1040	900×1000 ×1100	3560×2150 ×2440
动力功率/kW	88	139.7	88	88		60	40	29	60
备注				4 轮转动	2 轮转动				

二、水泵数量的确定

在泵型初步选定之后,即可根据各型水泵所承担的排水流量来确定水泵台数:

$$n_i = (1.2 \sim 1.5) \frac{Q_i}{q_i} R_i \quad (4-40)$$

式中 n_i —— i 型号水泵台数;

Q_i —— i 型号水泵所承担的计算排水量;

q_i —— i 型号水泵单机排水流量;

k_i —— 备用系数,可参考表 4-12 确定。

表 4-12 水泵备用系数参考表

工作台数	1	2	3	4	≥ 5
备用率/(%)	100	50	33	25	20

三、动力机械选择

水泵所需功率按下式计算:

$$N_i = \frac{kQ_i H_i}{75 \eta_1 \eta_2} \quad (4-41)$$

式中 N_i —— i 型号水泵配套动力机械所需功率;

Q_i —— i 型号水泵所承担的计算排水量;

H_i —— 包括扬水、吸水以及各种阻力所造成的水头损失在内的总高度;

η_1 —— 工作水泵效率,取 0.3~0.5;

η_2 —— 动力机械效率,取 0.75~0.85。

第五节 降水工程设计书的编写

降水工程设计书是降水工程施工的依据和总体调度方案,故编制好设计书是完成降水工作的关键性环节,应予以充分重视。

1. 设计书的内容

(1) 降水工程的任务。包括任务来源、降水范围、降水深度和工期要求等;

(2) 降水区的自然地理概况。包括降水区的位置、地形、水文、气象、交通及周围环境状况等;

(3) 工程地质及水文地质条件。包括地层分布、岩性、结构、含水层类型、富水性、地下水的补给、径流、排泄条件和动态特征等;

(4) 降水方案设计。降水方法的选择,降水设计方案的计算与优化;

(5) 降水施工技术要求。钻探施工技术要求,井点管结构设计要求,下管、填砾、洗井要求,设备安装与管理要求,降水场地的供排水部署和要求;

(6) 降水监测与管理。降水期间的水位、流量观测要求,观测资料的整理与分析。

2. 常编制的附图

(1) 降水区的平面图。包括基坑、井点、观测孔、泵组设置及排水布置等;

(2) 降水区剖面图。包括水文地质剖面、降水孔及降水浸润曲线;

(3) 降水井点与观测孔结构图等。

第五章 井点降水系统施工

降水工程和其他工程施工一样，要做好施工前的准备工作。其内容有：

(1) 编制施工组织设计，包括施工方案、机械设备、施工进度计划及劳动力安排等，并绘制施工平面布置图；

(2) 清理现场，平整场地、清除障碍物；

(3) 现场放线，确定排水沟、井点、泵房、集水井、吊车行驶等位置；

(4) 准备井点管、填砂料，喷射井点事先逐个检查试压，合格后运至现场；

(5) 接通水源、电源，备有施工井点起吊设备、高压水泵、成孔机具等；

(6) 检查抽水设备系统及测试仪表。

在做好施工前的准备工作后，要因地制宜，选择不同的降水系统。

第一节 主要成井工艺

一、成孔

目前国内常用的成孔方法有水冲法、夯击法及钻孔法等。

(一) 水冲法

利用高压水力冲击土层形成井孔。常用的有井点水射法、导杆水冲法和套管水冲法三种。

1. 井点水射法

井点管本身结构附设射水装置（图 5-1）。当工作水（高压水）沿井点向下流动时，环形阀上升，防止工作水沿着过滤器外流，工作水冲开球阀（木制或橡皮）由井点管底部射出，冲刷土壤，从而使井点管靠自重随着冲刷的孔洞下沉至设计标高。

冲水压力视土层岩性而定，在易塌孔地层中，压力不宜过大，一般为 400 ~ 500kPa，通常靠自重下沉即可。

该方法宜用于渗透性较好的砂类土，水平与垂直渗透性差异相对较小，但该方法施工简便，速度快。

2. 导管水冲法

导管为一直径大于 200mm 的钢制管，在导管中装有水冲设备，随着水冲刷土，导管下沉成孔。导管水冲法有两种形式（图 5-2）。

(1) 振动式导管水冲法。在导管顶部安装一台捣拌混凝土用的平板振动器，其目的为加速导杆的下沉速度。

(2) 旋转破土式导管水冲法。除导管水冲外，在导管顶端安装动力设备，导管内有转动轴，底部装有旋转破土刀片，类似钻井钻孔下沉。

导管水冲法施工工序是：①导管水冲成孔至设计标高；②将导管拔出，放入井点管；③填砾料至距地面 1.5 ~ 2.0m；④用粘土回填封口。

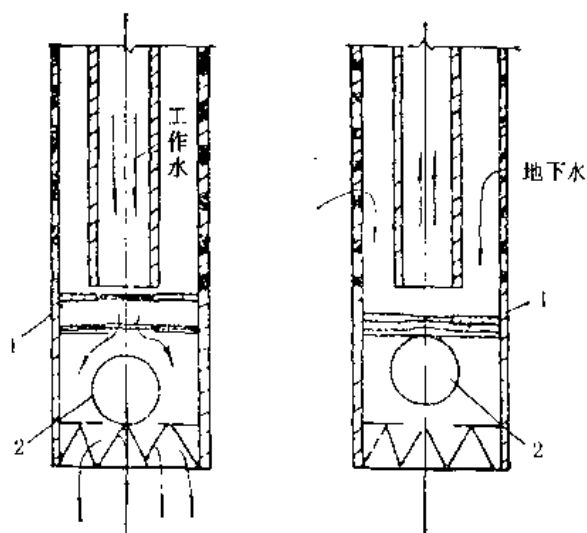


图 5-1 水射法装置图

1. 环形阀; 2. 球阀

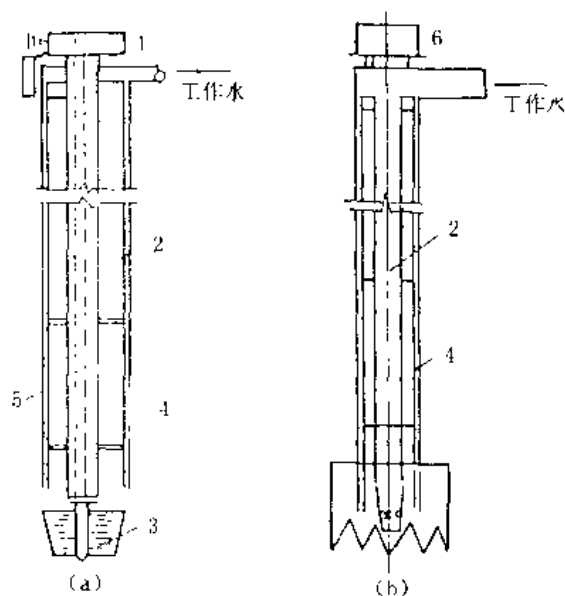


图 5-2 导管水冲法装置图

(a) 旋转破土式; (b) 振动式

1. 传动装置; 2. 导杆; 3. 破土刀; 4. 水射管; 5. 风管; 6. 振动器

在软弱上层中应用导管法下沉井点管时, 存在下列问题:

(1) 因水冲法下沉导管而扰动孔壁上, 当导管从上中被拔出来时, 砂层易产生流砂现象, 出现孔壁坍落, 即缩颈、堵塞情况, 大大减少孔径断面, 难以保证填砾质量。

(2) 在井点管放入孔洞过程中, 井点管实际上不可能放置在井孔的中心位置, 井点过滤器在孔内左右摆动下沉并与土接触, 过滤器表面已局部或大部分被泥土封死, 而削弱过滤器的渗透性能。

因此，深层降水采用导管法施工成功率低，该方法主要适用于浅层降水。

3. 套管水冲法

套管水冲法，即由套管水冲枪以高压水冲击，破坏土的结构，使水土混合的泥浆水排出孔外流走，套管靠本身自重下沉，下沉至设计标高后，清洗管内泥水，把井点管放入管内，然后往井点管周围填砂，填至距地面一定高度后，拔出套管，或者边拔套管，边回填砂，最后用粘土封口。这种方法能确保井点周围填砂层质量，加强垂直渗透性，获得良好的降水效果。

水冲枪由钢套管、水冲器及输水、输气系统组成，如图 5-3。

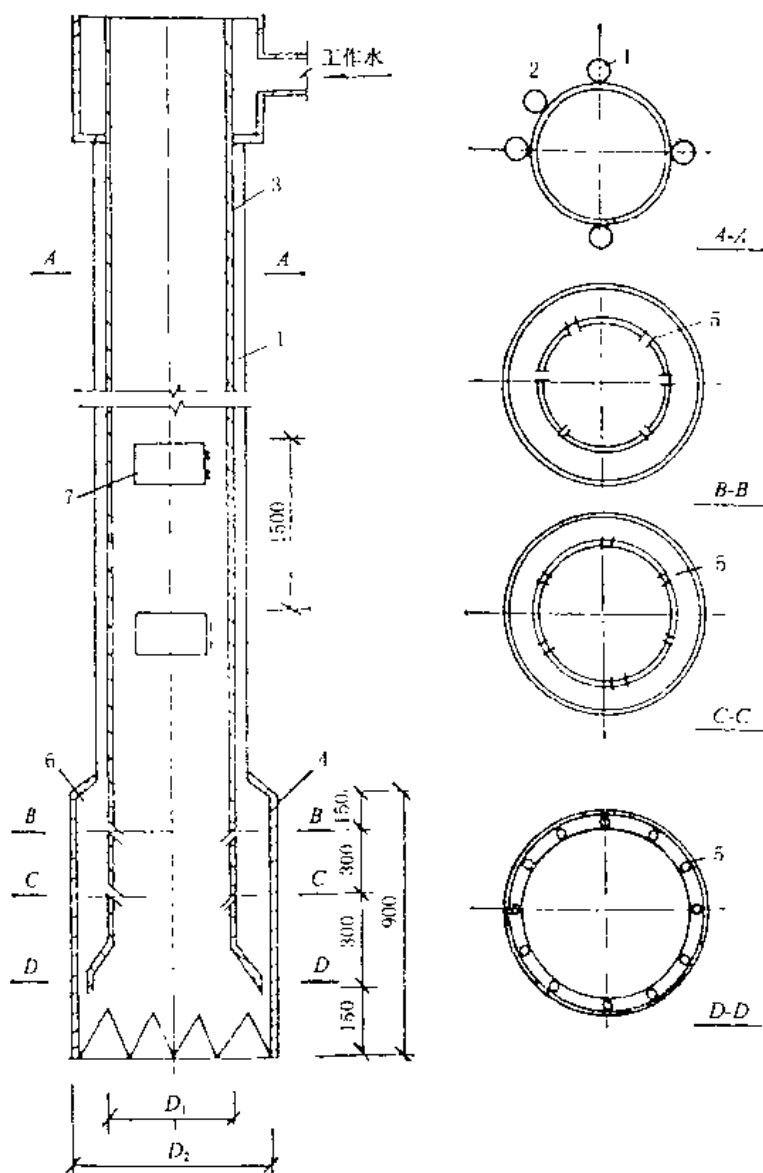


图 5-3 套管水冲枪结构图

1. 送水管 (4 根, $\phi 6.35\text{cm}$); 2. 风管 (1 根, $\phi 2.54\text{cm}$); 3. 套管 D_1 ;
4. 外套管; 5. 喷嘴; 6. 贮水室; 7. 排泥口; 图中数据单位 mm

套管直径按不同井点类型进行选择，如轻型井点为 0.3m，喷射井点为 0.4m。套管长度

按井点埋设深度而定。在套管一侧开有若干排泥窗口（一般1.5~2m开一个口），以便泥浆水从窗口排走。当前头窗口入土时，把门关上，逐序打开上面的窗口。

水冲器是套管水冲枪主要部分，安装在套管的底端，由贮水室和三组喷嘴组成。喷嘴A的孔径 ϕ 为8~10mm，分布在贮水室下端，嘴口设计向下。当套管直径为0.3~0.4m时，喷嘴为8~10个圆形分布，当高压水由喷嘴射出时，形成较强烈的水流，类似取土环刀，破坏土壤。喷嘴B、C两组，它们在贮水室内壁上，分二层交错布置并与套管垂直向成45°角，它们的作用是：当套管下沉被切割的土体进入套管内时，以冲击的水柱粉碎其中的土体，使其成泥浆水或土水混合物，易于从套管窗口和套管与土之间空隙排出来。

在套管顶部和底部设有贮水室，以便均匀供水。上、下贮水室用若干输水管联接，高压水从上而下流动，不断地供水以满足水冲的要求。当套管成孔深度超过10m时，为了提高泥浆水流出的速度，可在套管底部设1~2根空气管，将压缩空气放入，使水与气混合，混合气体的水因密度小而流速加快。

工作水压力视土质软硬程度而定，一般为784~1176kPa。如果一台泵不能满足要求，可以考虑多泵串联工作。

套管水冲法在使用中应注意下列事项：

(1) 掌握好下沉速度。应防止在软土层中泥土尚未排出而套管下沉速度过快，引起喷嘴失灵。套管的进尺速度以0.3~0.5m/s为宜，并经常起落套管，以加大冲击面。若有大块泥堵塞排泥口，将其捣碎排出。套管下沉到相当深度后，加压缩空气易将大块泥排出。

(2) 套管下沉至设计标高（比井点管深1m）时，仍需继续冲水，以减少水中的含泥量（控制为5%）。先往管内回填少量的砂，此砂起清泥沉淀作用，然后将井点管套入管内，立即回填砂。如果套管深度超过10m，则不能一次将砂填至设计标高，因填入套管内侧的砂与套管产生摩擦阻力，当井点管、砂自重小于摩擦阻力，以及套管拔出便带动井点管一起上升时，井点管一旦被抬起，再也无法回原设计标高处，只好重新下沉井点。因此，套管内填砂应从排泥窗口分多次进行。

(3) 为了防止已施工好的井点被泥砂水回灌，应采取井点管与排泥沟位置分开的作法（图5-4）。

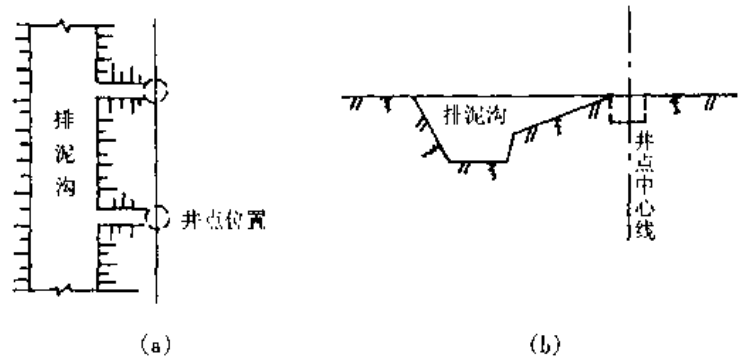


图5-4 井点与排泥沟分布图

(a) 平面图；(b) 剖面图

(4) 在喷射井点深层降水的情况下，应先组装抽水管路系统。每施工完成一根井点后，便可立即进行试抽，把尚未沉淀的泥水迅速抽走，使井点管过滤层流水通畅。

(二) 夯击法

夯击法有两种，一种是利用冲击或振动冲击将带有管靴的套管打入土层预定深度，拔出套管形成井孔；另一种是直接在井点管下端安装锥形管靴（管靴外径大于过滤器外径 10mm 以上）将井点管打入预定深度。

夯击法为不取土的挤入成孔，使井点周围土层密实度增加，特别对于层理十分发育的不均匀透水性细粘土层，易造成层理扰动，使井点出水能力减弱。

(三) 钻孔法

利用各种型号的冲击式钻机、长螺旋钻机和正、反循环回转钻机进行钻进成孔。常用钻机型号和性能如表 5-1 所示。

表 5-1 常用钻机性能

型 号 参 数	XY-1 型	XY-2 型	SPJ-300	SPC-300H	CZ 系列	8JZ 系列
钻进深度/m	150 ~ 180	100 ~ 500	300	200 ~ 300	50	30 ~ 60
钻孔直径/mm	150	56 ~ 300	500	500	600 ~ 1500	600 ~ 1500
动力功率/kW	7.5 ~ 9.7	22	40	柴油 6219Q	22 ~ 37	22
提升能力/kN	9.8 ~ 11.0	30	30	29	40 ~ 60	20 ~ 30
液压泵排量/(L/min)	12 ~ 15	32	600 ~ 850	600		
重量/kg	450 ~ 500	950	11000	30000		900 ~ 1565
最大外形尺寸/mm	1640	2150	11700	10832	5600	
生产厂家	北京探矿厂	重庆探矿厂	上海探矿厂	天津探矿厂	内蒙古探矿厂	天台探矿厂
适用条件	各类岩土小口径钻进		松散岩类较大口径钻进		松散岩类大口径钻进	

(1) 冲击式钻进施工。冲击钻进施工工艺，是靠钻具的自身重力作用冲击地层，形成井孔。常用的钻具有两种：①钻头与抽筒为一体，在钻进的同时将泥土和泥浆抽出；②钻头和抽筒分开，钻进一定深度后，再用抽筒抽出泥浆。该方法具有设备简单、适用范围广、成孔较好，成本低等优点；但泥浆量多、场地泥泞、施工速度慢、洗井困难等是其缺点。

(2) 长螺旋钻进施工。长螺旋钻进是用动力（电动机或柴油机）转动带有螺旋叶片的钻杆，靠钻头切割地层，被切割下的土沿螺旋叶片返出地面成孔。可以广泛用于砂土和粘性土等细颗粒地层，钻孔深度一般可达 10 ~ 20m，钻孔直径一般为 300 ~ 800mm。在粘性土层中钻孔时，由于孔壁较稳定，所以孔底沉砂少，成孔速度快，但容易造成泥浆护壁，降低井孔的渗透性，洗井较困难，常常会影响降水质量。在含有砂土夹层的场地成孔时，钻孔过程中和提钻后，含水砂层易坍塌，影响井点管的顺利下入。

(3) 循环回转钻进施工。通过钻杆转动带动三翼钻头切割地层，同时从钻杆内送入高压清水，将切割下来的土块和泥浆返出地面。该方法施工速度快，可用于砂土和粘性土层中的成孔。

上述钻探方法根据钻进时使用冲洗液护壁情况又可分为跟管钻进和泥浆护壁钻进两种。

(1) 跟管钻进。利用套管自重或加压下入孔内，边钻进边下入套管，保护孔壁不坍塌。钻进时使用清水作冲洗液，减少了孔壁被堵塞的机会，成孔质量好，并有利于提高成井质

量。但操作复杂，效率较低，成本高。

(2) 泥浆护壁钻进。钻进时使用具有一定标准的泥浆冲洗液，用以保护孔壁。这种方法成孔效率高，操作简单，成本低，但易堵塞孔壁孔隙，处理不当易造成成井失败。

泥浆配制的原料为：粘土、水、处理剂。粘土为膨润土，多以小于0.002mm的胶粒和少部分的0.002~0.005mm的颗粒为主，其矿物成分主要为蒙脱石，其次为高岭石、水云母等。泥浆处理剂是为了调节泥浆的性能，以提高护壁质量。降水成井钻探用泥浆常加入碱类，以调节泥浆的pH值，溶解有机质，使泥浆中粘粒团分散，提高护壁性能。在孔壁坍塌严重时，则向泥浆中加入有机处理剂，如纤维素类，使泥浆增粘，迅速形成泥皮，固定孔壁。

钻进工程中使用的泥浆，一般需要控制泥浆的比重、粘度、含砂量、胶体率等四项指标，其中以比重和粘度最为重要。钻进各类岩层对泥浆比重和粘度的一般要求如表5-2、5-3所示（郭连科等，1973）。

表 5-2 钻进各类岩层对泥浆比重的一般要求

非含水层岩性	含水层压力水头及岩性	一般适用的泥浆比重
非含水层为亚粘土、粘土、淤泥等，无流砂等易塌岩层	含水层水头低于地表2m，含水层为砂、砂砾层	1.08~1.1
非含水层为粘土、亚粘土、亚砂土等，其中以粘土为主，无流砂层	含水层的水头低于地表5m，含水层为砂、砂砾层	1.05~1.08
非含水层为亚粘土、亚砂土，其中易塌岩层较多	含水层水头低于地表1~2m，含水层为流砂、砾石	1.1~1.2
非含水层为亚粘土、亚砂土、粘土层等	含水层水头高于地表20~40m，含水层为粗砂、砾石、卵石	1.4~1.6

表 5-3 钻进各种岩层对泥浆粘度的要求

岩层名称	泥浆粘度要求/ η_s
非含水层(粘土、亚粘土)	15~16
中、细砂层	16~17
粗砂、砾石层	17~18
大卵石层	18~22

二、井点管的安装

为了防止孔内泥浆沉淀和保证下管深度，在下管前，首先必须将孔内含大量泥沙的稠泥浆全部换为新泥浆，以保证下管、填砾和洗井工作的顺利进行。当扩孔结束后，利用扩孔钻具将稀泥浆压入孔底，由下而上将井里稠泥浆逐渐顶替换稀（或全部换成清水）。使用冲击钻进时，可使用提砂筒将孔内的稠泥浆掏出，同时注入稀泥浆或清水。

在成孔结束前，应按设计要求配制好井管（沉淀管+过滤器+井管）。冲孔换浆结束后，要及时按顺序逐根下入。一般采用钻机、卷扬机提吊下管法；当井管刚度较差，也可采用托盘下管法。下管时注意轻提慢放，仔细检查滤网包扎质量，并使井管居中。当上部孔壁缩径或孔底淤塞，应向孔内注水，缓慢放入，禁止上下提拉和强行冲击。

三、填砾料和封孔口

井管下入后，立即向井管周围回填已准备好的砾料，常用填砾方法见表5-4。

表 5-4 填砾方法选择

填砾方法	操作程序	特 点	适用条件
静水填砾	填砂前彻底换浆稀释, 停泵后孔口填入	简单, 通过孔口返水判断填砾情况	井壁完整, 地层稳定
动水填砾	边冲边填, 向井管内注水, 使清水从管外上返, 砾料从孔口填入	砾料清洁, 均匀	井壁不稳, 井深较大, 砾料不易投入
边抽边填	用空压机从井管内抽水, 砾料从井管外填入	增大出水量, 滤层质量好, 操作复杂, 易坍塌	适于较完整的稳定含水层
整体下入	把砾料与滤水管安装在一起, 同时下入孔中	重量大, 制作复杂, 但质量较好	采用贴砾, 筐状、笼状过滤器时采用

填料的数量可按表 5-5 确定 (地质矿产部水文地质工程地质技术方法研究队, 1978), 也可按下式计算:

$$V = 0.785(D^2 - d^2)Lk \quad (5-1)$$

式中 V ——单井填砾数量;

D ——孔径;

d ——井管外径;

L ——填砾孔段长度;

k ——超径系数, 取 1.2 ~ 1.5。

表 5-5 每米井深砾料用量

管径/mm 孔径/mm	108	120	146	168	219	273	325	377	426	439	480	500
219	0.028											
273		0.058										
325		0.070	0.066	0.061								
426				0.120	0.100	0.034						
450				0.137	0.132	0.100						
480					0.143	0.122	0.0978					
500					0.159	0.137	0.113	0.085				
550						0.180	0.154	0.126	0.095			
600						0.224	0.200	0.170	0.140	0.118		
650							0.250	0.220	0.190	0.165	0.150	
700								0.270	0.242	0.220	0.200	0.189

砾料填至孔口 1m 左右, 改换粘土填入, 边填边捣实, 直至孔口。

四、洗井

洗井是成井工艺中重要的一道工序。洗井的目的是要彻底清除井内泥浆, 破坏井壁泥皮, 抽出渗入含水层中的泥浆和细小颗粒, 使过滤器周围形成一个良好的人工过滤层, 以增加井孔涌水量。为防止泥皮硬化, 在下管填砾后应立即进行洗井。洗井的质量一般应达到:

(1) 用不同工具反复洗井后, 进行试验抽水, 最后两次试验抽水在相同水位下降时的单位涌水量之差不超过 15%。试验抽水时的出水量, 不应小于正式抽水时的出水量;

(2) 洗井后, 井内沉渣不上升或基本不上升。

常见的洗井方法如表 5-6 所示。

表 5-6 洗井方法选择

洗井方法	施 工 要 点	适 用 条 件	特 点
冲孔器洗井	利用水泵注水洗井	适宜于松散层, 不填砾料小口径井管, 非金属管	设备简单, 操作方便, 效果较好, 成本低
封闭反压洗井	利用水泵加压注水洗井	适宜于泥浆钻进, 井管坚固	洗井时间短, 效果好, 设备简单, 操作方便, 成本低
空压机洗井	利用空压机振荡洗井, 即送风—停风—再送风—再停风的程序, 反复抽洗	适用于各种深度不同涌水时的钻孔, 不受井管弯曲限制	洗井能力强, 能清除孔底沉淀物, 安装方便, 但功率较低
射流洗井	利用射流泵抽水洗井	适宜于基岩及松散层井孔	洗井时间短, 洗井质量好, 但要求操作严格
水泵洗井	利用抽水水泵洗井	适宜于不同深度的基岩、松散层井孔, 堵塞不严重	设备简单, 操作方便, 成本低
抽筒洗井	选用 10~20cm (4~8 英寸) 掏砂筒上下振动, 破坏泥壁	适宜于浅井, 可清除孔底沉渣	设备简单, 操作容易, 但洗井时间长, 效果差
活塞洗井	利用活塞在管内反复提拉, 造成的瞬时局部真空, 破坏泥壁进行洗井	适用于井管强度高的金属井管及中砂含水层	迅速有效简便, 成本低
多磷酸盐洗井	用泥浆泵将浓度为 0.6%~0.8% 的多磷酸盐溶液注入井内, 待静 5~6 小时, 多磷酸盐与粘土粒子充分结合, 形成水溶性络合离子, 再用其他方法洗井	适宜于泥浆钻进含水层井壁不稳固的管井, 滤水管外有砾料结构的井孔	对泥浆具有分散作用, 对井壁泥皮溶蚀、剥离能力强, 但对含水层孔隙疏导能力差
液态二氧化碳洗井	通过高压管送入井下的液态二氧化碳, 经吸热和降压后气化, 在井内产生强大的高压水气流, 从而破坏井壁泥浆皮	适宜于井壁稳定的各种管井, 不同深度的新井、旧井、废井处理修复	产生直接水击, 洗井效能高、节省时间、能源, 设备简单, 投资少

五、钻探成井常见故障与处理

钻探成井常见故障及处理措施列入表 5-7 中 (郭连科等, 1973)。

表 5-7 钻探成井常见故障与处理

现 象	原 因	处 理 措 施
回转遇阻	局部塌孔	立即上下活动钻具, 保持冲洗液循环
提钻受阻	缩径掉块	转动钻具, 送入冲洗液, 严禁猛拉硬提

续表 5-7

现 象	原 因	处 理 措 施
回转受阻, 提不起来	孔壁坍塌, 钻具被埋	保持冲洗液循环, 上下活动钻具, 边回转边上升; 振动上拔; 千斤顶顶升, 保护孔壁, 用反丝工具将钻杆逐根反出
钻具卡在套管底端	套管与钻具不同心	转动钻具, 使钻具进入套管
井管内淤粉细砂	滤料颗粒粗, 滤网孔隙大	捞砂; 继续洗井, 减缓洗井强度
井管内淤塞含水层中较粗颗粒	滤网破裂, 反滤部分设计不合理	局部修补; 重新成井
长时间出水混浊	滤网、滤料设计不合理, 止水不好	延长洗井时间, 洗井强度应由小逐渐增大, 减少停开次数
井点出水量小	泥浆堵塞; 滤网密度大; 抽水机械安装不合理	加大洗井强度, 改变洗井方法, 调整抽水机械安装
井点出水量逐渐减小或不出水	过滤器被堵, 水位下降, 水源不足	重新洗井, 调整抽水机械安装

第二节 地面抽水系统的安装

一、轻型井点地面抽水系统的安装

(一) 集水总管和连接管的组装

集水总管一般安装在距基坑 1~2m 的地面上, 下部用垫物托住, 防止发生较大的沉降。总管至抽水装置应保持有 3%~5% 的坡度。

总管每节长 4~6m, 节与节之间的连接方法有法兰法和钢套箍法两种形式 (图 5-5)。
① 法兰法为常用的方法, 以胶皮垫、螺栓连接之;
② 钢套箍法: 箍内先用橡皮套将总管两头套上, 然后用钢筋箍接上, 总管端部须得光滑, 以便容易套上橡皮套。该方法的优点是: 施工速度快, 对高差大、圆形布置、长短有差异时方便。

连接管是将井点管与总管连接起来, 连接方法有两种: ① 采用短管、弯头、活接、阀门等部件组装连接。此法水路畅通, 阻力小。
② 采用透明塑料管, 管内须装弹簧, 以防真空作用将管吸扁。此法水流阻力较大, 但适应性强, 施工简便, 已获广泛应用。

(二) 抽水设备的安装

抽水系统随着总管的增长, 水头损失增加, 形成靠近抽水设备井点抽水深度深而远离抽水设备井点抽水深度浅的现象 (图 5-6)。为了尽可能克服井点之间的抽水深度深浅不一的情况, 一般抽水设备都安置在总管的中部地段。

1. 真空泵式成套设备的安装

轻型井点使用真空泵型抽水设备, 安装时应注意以下几点:

(1) 总管与泵进口标高要求基本一致, 泵摆放水平, 调整好;

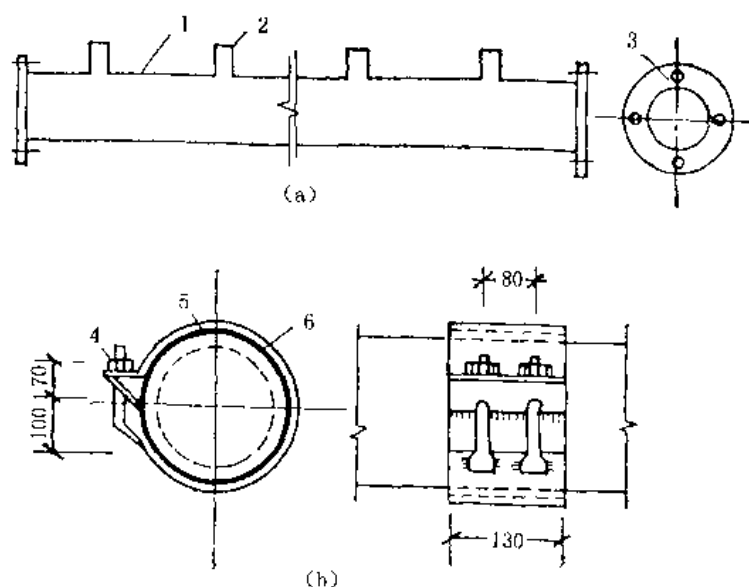


图 5-5 集水总管与总管连接法

(a) 法兰连接; (b) 钢套箍法

1. 总管; 2. 短管; 3. 法兰盘; 4. 螺栓; 5. 钢套; 6. 橡皮套管

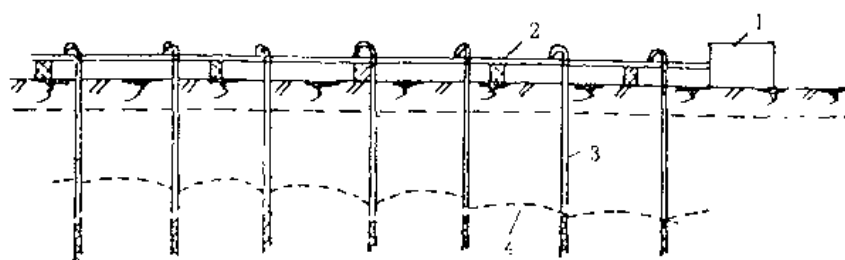


图 5-6 一端布置抽水装置降水曲线

1. 水泵房; 2. 总管; 3. 井点管; 4. 降水曲线

- (2) 在安装过程中注意防止杂物进入泵内;
- (3) 注意真空泵进气口安装过滤网及泵内部件安装的精密度;
- (4) 各电动机安装牢固, 轴线正确, 电源安全, 电动机转动方向正转;
- (5) 各压力表、真空表、温度表要有较高的灵敏度。

2. 射流泵的安装

轻型井点使用射流型抽水设备, 安装时应注意以下几点:

- (1) 射流器中的喷嘴与混合室同心度误差不得超过 $\pm 0.5\text{mm}$;
- (2) 清除水泵中的杂物, 各部件要完好;
- (3) 清洗水箱内杂物;
- (4) 检查压力表及真空表的灵敏度;
- (5) 泵基础牢固, 电源安全。

二、喷射井点地面抽水系统的安装

喷射井点集水总管与连接管的组装同轻型井点, 其抽水设备的安装如图 5-7 所示。

喷射井点设备安装时, 应注意以下几点:

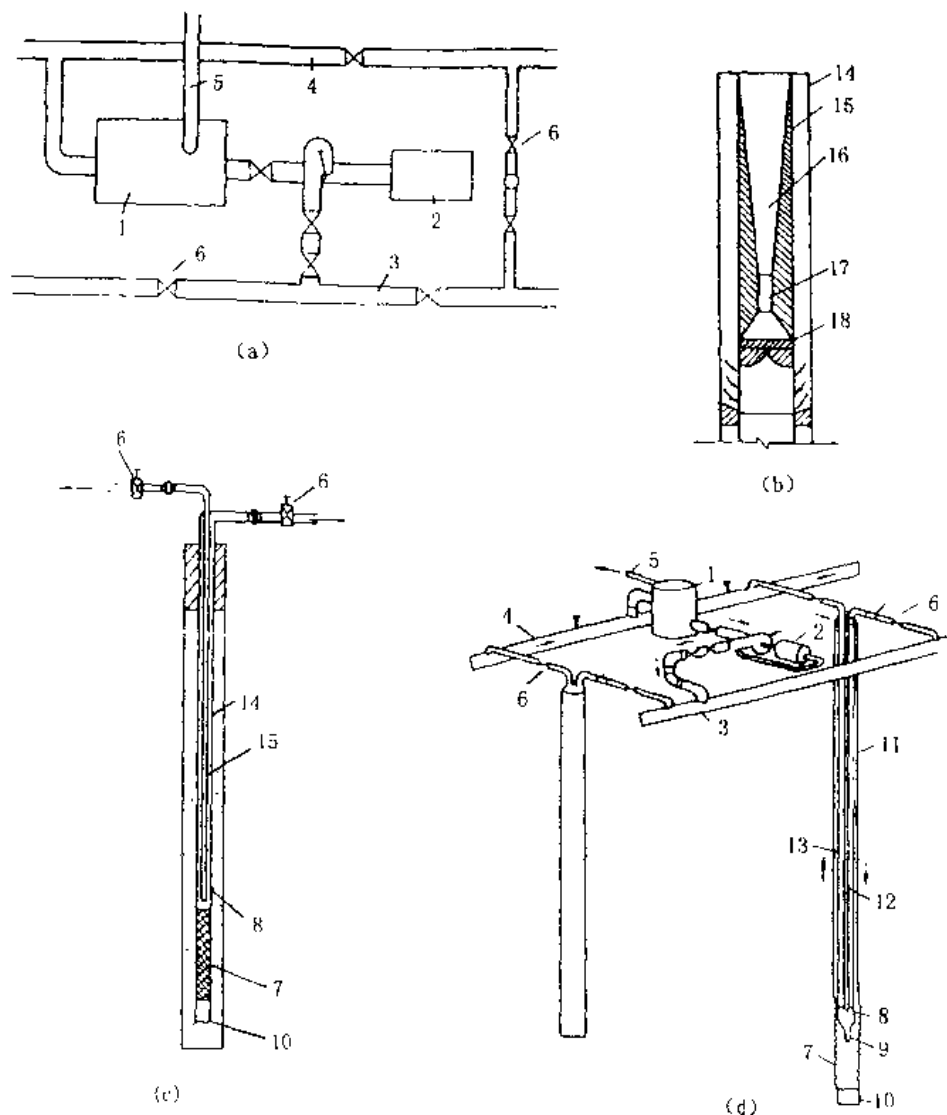


图 5-7 喷射井点系统

(a) 平面组合; (b) 喷射器构造; (c) 单管 (同心式); (d) 双管 (并列式)

1. 水箱; 2. 水泵; 3. 工作水管; 4. 回水管; 5. 排水管; 6. 阀门;
7. 过滤器; 8. 喷射器; 9. 底阀; 10. 沉淀管; 11. 井管; 12. 进水管;
13. 出水管; 14. 外管; 15. 内管; 16. 扩散室; 17. 混合室; 18. 喷嘴

(1) 高压水泵地基较好, 基础用垫木垫上, 所需配备的备用水泵一起组装, 以便轮换使用;

(2) 循环水箱有一定容积, 并设有清洗孔, 安装补给水源;

(3) 水泵与总管联接设有逆止阀或 U 型管, 防止停泵后水箱水倒灌;

(4) 检查工作水压力表及井点管真空度。

三、管井地面抽水系统的安装

管井多以单井单泵抽水, 只要将管井中的出水管 (或水泵扬水管) 通过弯联管接入排水沟即可。当降深较小, 单井出水量不大时, 也可利用虹吸管将多个管井并联。

1. 离心泵的安装

使用离心泵抽水，设备安装时应注意以下几点：

- (1) 安装时应使机座平稳，水泵轴及电动机轴润滑部分应适当加润滑油；
- (2) 抽水管连接部分要求严密不漏气，丝扣连接部分要求用铅油、麻填充，底阀要启动灵活；
- (3) 在排水管或吸水管上加一阀门，以便调节其出水量；
- (4) 如水泵的抽水能力大于出水量很多时，可在排水管上安装胶皮制或铁制回水管，将一部分水返回井内。

2. 深井泵的安装

使用深井泵抽水，设备安装时应注意以下几点：

- (1) 详细检查各部件的完整性，安排起吊设备及工具；
- (2) 深井泵水管及传动轴均分节组装，以丝扣联接，确保接头牢固，防止脱落；
- (3) 泵座放在井孔中间位置，基础牢靠，轴心垂直，确保密封处的严密度；
- (4) 电动机下降要保持平直，避免轴受损害，传动轴与电动转子仍需调正泵座，校正无误后，拧紧泵座与电机间的螺栓；
- (5) 调整传动轴及水泵叶轮片，待运转正常后投入使用。

3. 空气压缩机的安装

用空气压缩机抽水时，孔内风管与出水管的安装形式如图 5-8 所示。图 5-8 (a) 为同心式，风管安装在出水管内，一般适用于小口径抽水；图 5-8 (b) 为并列式，风管和出水管并列安装，效能比同心式高，适合于大口径钻孔抽水；图 5-8 (c) 和图 5-8 (d) 为利用井壁管或井壁作出水管。在下列情况可用井壁管作出水管：①在水头压力较高的承压含水层中抽水；②在含水层上部井壁完整和不漏水的稳定地层中抽水。

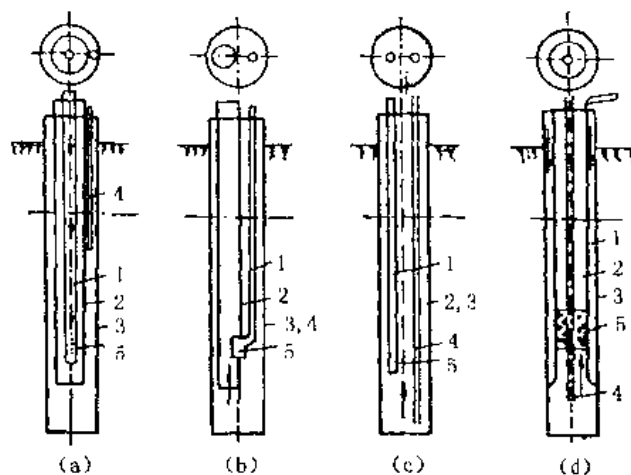


图 5-8 空压机抽水风管、水管安装示意图

(a) 同心式；(b) 并列式；(c) 用孔壁管作水管；(d) 用水管与孔壁管的间隙作风管

1. 风管；2. 水管；3. 井壁管或过滤管；4. 测水管；5. 混合器

用空气压缩机抽水，安装时应注意：

- (1) 为测得井内动水位，需下入测水管，下入深度至少应超过混合器 5m，而出水管应

超过混合器 3~5m；

(2) 混合器应置于出水管的中心，下入位置由风管浸没比计算，但应比过滤器顶端高 3~5m。严禁直接对准过滤器工作部分，以免水气混合物侧向溢水，影响出水 量和动水位的测量；

(3) 风管、测水管、出水管的口径与钻孔涌水量及风量等应适应，一般宜按表 5-8、5-9 配置。若钻孔涌水量大而出水管过小，则抽水时达不到预想的降深；反之，则出水不均匀；

(4) 出水管上应安装水气分离器（如消能桶、出水三通等），以减少出水的冲力，便于流量观测；

(5) 为避免下入的风管、出水管等发生漏风、漏水现象，在下管前应进行严格检查，各接口丝扣要缠棉纱，涂铅油拧紧。

表 5-8 井孔抽水适用空压机容量

含水层岩性	井管直径/mm	预计抽水量/ (m ³ /d)	适用空压机容量/ (m ³ /min)
细中砂	200~250	1500~2000	6
粗 砂	200~300	2000~3000	6
砾 砂	250~350	3000~5000	9
卵 砾	300~400	5000~8000	9~12

表 5-9 风管与出水管的选择

井孔出水量/ (L/s)	管径/mm					
	并列式			同心式		
	出水管	风 管	井 管	出水管	风 管	井 管
9~12	89	25~30	200	108	30	150
12~18	108	30~38	200	127	38	170
18~30	127	38~50	250	146	50~63	200
30~45	146	50~63	300	168	75	250
45~60	168	50~63	350			

四、电渗井点直流电动机的组装

电渗井点直流电动机安装时，应注意以下几点：

(1) 电渗井点导线可用一般铝线或铜线，电极及井点管可用钢筋联接；

(2) 直流电动机的电压、电流量指标合乎电渗要求，每台直流电机控制一定范围的电渗井点区；

(3) 安装电流、电压表；

(4) 建立专用房，防止设备被雨淋。

在降水系统安装运行后，必要时须对井点降水系统拆除与维护。

1. 井点降水系统的拆除

井点工作结束后，应立即拆除。轻型井点系统拆除先后顺序是：抽水设备→连接管→集水总管→拔井点管。喷射井点在拆除之前，有条件的应事先回灌水，以减少井点管与土的摩擦阻力。拔除井点的施工可因地制宜地采用不同的起重设备。

不易拔出的井点管宜采取下列措施：

- (1) 水冲法。可沿着井管用高压水翻砂，以减少井点管的摩擦阻力；
- (2) 顶升法。用两台小型油压千斤顶，预先提升一定高度，然后再起吊；
- (3) 振动法。先振动井点管，使井点管周围土液化，减少摩擦力，以便拔除；
- (4) 备有专门的夹具，充分发挥起吊能力。

2. 井点降水系统设备的维护

井点系统拆除后，要及时进行维护，以便重复使用。主要有以下几点：

- (1) 井点管、总管、连接管分节拆开冲洗除锈；
- (2) 滤水管清洗干净；
- (3) 喷射井点的喷嘴与混合室，经检验磨损不超过 $\pm 0.5\text{mm}$ 的经上油保存以备再用；
- (4) 管路系统零件堆放在防雨处，上油保存；
- (5) 机械设备和电气设备要经过擦洗，加油保养；
- (6) 仪表要重新校正。

第六章 降水系统监测与管理

第一节 降水系统运行管理

一、轻型井点降水系统运行管理

(一) 真空泵型抽水设备的管理

1. 起动前的准备工作

- (1) 检查起动器是否正常；
- (2) 往曲轴箱内加入清洁润滑油，冬天用 40[#] 机械油，夏天用 60[#] 机械油；
- (3) 往油杯内加入清洁润滑油，一点一点加入气缸内，冬天用 13[#] 压缩空气油，夏天用 19[#] 压缩空气油；
- (4) 打开冷却阀门、三通阀门、气缸下部泄水旋塞；
- (5) 人力转动三角皮带，确认无故障时再起动。

2. 运转

- (1) 首先开动冷却循环水泵，然后开动真空泵，最后开动水泵；
- (2) 气室的最高允许温度为 90℃，轴承为 40℃，超出者要停泵降温后再启动；
- (3) 要求冷却水进出口温差在 5℃ 内，最高温度不超过 40℃，超出者换清冷水；
- (4) 发现异常声响，及时维修。

3. 停泵

首先关闭进气、水阀门，然后停泵，再关闭油杯阀，开泄水旋塞。在冬季运转停泵时，把水泵水放尽，以免冻坏设备。

(二) 射流泵型抽水设备的管理

首先检查水泵运转是否正常；空载时压力与真空度是否满足设计要求；负载时检查盘根、进出口连接处是否漏水；电器设备是否出现过载或过热等不正常现象；每根井点管的上水情况及总管是否漏气等。

二、喷射井点降水系统运行管理

1. 运转

(1) 先启动高压水泵，观察工作循环水箱贮水量，待工作正常后打开给水总管，然后逐个打开井管阀门。每开一根井点，都要观测该井点的真空度，测定总抽水量；

(2) 在抽水过程中，发现工作水含泥量超过 3‰ 时，应立即注入清水，降低工作水的含泥量；

(3) 严格控制工作水压力，开始使用时压力较低，随着抽水时间的延长及喷嘴的磨损，可适当地提高工作水压力，但最高不宜超过 784kPa。

2. 常见故障及处理方法

降水系统一旦发生故障，如水泵、井点、总管、连接管等部件出问题，抽水量、工作水压力及真空度便会立即出现异常现象。常见以下几种情况：

(1) 井点管不上水。多数由成孔质量低、芯管短、沉砂、停泵次数多、泥沙淤积而造成滤水管堵塞,即成“死”井;

(2) 抽水泵工作水压力及流量下降。主要为井点管工作水倒流、喷嘴严重磨损、水泵进入杂物,总管、连接管严重漏气、漏水,或者电源不足而造成的;

(3) 井点管无真空度。除因芯管淤死之外,还因喷嘴严重磨损,或喷嘴夹板焊缝开裂,以及喷嘴杂物堵塞所引起。

故障排除水法有:

(1) 反冲法。遇有喷嘴堵塞,芯管、过滤器淤积,可通过往内管反冲水(或高压空气)的作法,但水冲时间不宜过长;

(2) 提起内管,上下左右转动,观测真空度变化情况,当恢复真空度时为抽水正常;

(3) 反浆法。将回水管阀门关住,工作水通过滤管向土中冲洗,以破坏原来滤层。停冲后,悬浮的泥沙又重新沉淀,部分被抽走,若反复多次仍无效时,应停止该井点工作;

(4) 更换喷嘴。将内管拔出更换喷嘴,重新组装。一般情况只要换上喷嘴,抽水便会立即正常。

三、管井降水系统运行管理

管井降水常用的抽水设备有离心泵、深井泵、潜水泵及空气压缩机等。在抽水过程中,应随时对电源、抽水设备进行检查,发现问题及时修理和更换。

抽水设备常见故障及其处理方法如表 6-1 ~ 6-4 所示。

表 6-1 离心泵常见故障原因及处理

现 象	原 因	防止和处理方法
起动后不出水	1. 吸水管路未灌满水 2. 方向反转 3. 吸程太大 4. 转速太低	1. 从灌水口灌水,灌满为止 2. 纠正旋转方向 3. 按说明书要求,下放水泵 4. 按说明书要求,达到规定转速
起动后只出一股水就不再出水	1. 吸水管内有空气 2. 填料发生硬化 3. 水量小,起动后水位已降至吸程下	1. 检查密封进水管道路 2. 更换新填料 3. 下放水泵或更换出水量小的泵
排水量小	1. 填料处漏水过多 2. 扬程超过额定高度 3. 逆止阀压在出水口上,开得太小	1. 调整填料 2. 按说明书规定调整扬程 3. 把逆水阀开大,并吊起
水泵振动	1. 主轴受突然负荷弯曲 2. 叶轮与电机轴连接有偏差 3. 轴承过度磨损或故障 4. 固定不紧	1. 更换新轴 2. 换新泵 3. 更换新轴承 4. 紧固螺丝
轴承发热	1. 润滑油失效或量不足 2. 水漏到轴承盒内,把油冲掉 3. 电机转速超过水泵允许转速	1. 清洗轴承,更换加足油量 2. 密封填料 3. 更换靠背轮

现 象	原 因	防 止 和 处 理 方 法
电动机过载	1. 泵内部装的过紧, 摩擦阻力大或叶轮偏斜卡住 2. 排水量超过规定	1. 拆开重装 2. 更换电机或减小排水量
填料发热	1. 填料过紧或松紧不一 2. 主轴与压紧盖的间隙太小	1. 适当调整填料 2. 压紧盖内径控制在0.5mm左右
电流表指针不稳	1. 电机绕组有问题 2. 电机超载, 水泵流量增大 3. 出水阀、底阀没有完全打开	1. 停泵检修电机 2. 关小出水阀检查 3. 打开出水阀、底阀
真空表指针过高	1. 吸程过大 2. 莲蓬头堵塞	1. 调整吸程 2. 清除堵塞物

表 6-2 深井泵常见故障原因及处理方法

现 象	原 因	处 理 方 法
电动机在水泵运转中功率增大	1. 叶轮与导水壳产生摩擦 2. 井孔中含砂量大 3. 电动机轴承损坏	1. 升起水泵转子, 增大叶轮导壳间隙 2. 防止井孔中出砂 3. 调换轴承
流量降低	1. 水位降低, 叶轮过高 2. 敞开式叶轮片磨损 3. 封闭式水轮吸水圆柱紧密部磨损 4. 滤水管堵塞 5. 连接导水壳螺丝部分松扣 6. 扬水管接头处漏水 7. 转速降低	1. 增加扬水管, 调整叶轮, 缩小间隙 2. 更换叶轮 3. 修理磨损部体 4. 清洗井孔 5. 紧固丝扣 6. 检查调整扬水管连接处 7. 检查电机、电源
不出水	1. 扬程高, 叶轮磨损, 轴间隙太大 2. 吊泵 3. 扬水管开裂漏水 4. 传动轴折断	1. 调换新叶轮 2. 下放水泵, 加长扬水管 3. 更换扬水管 4. 查明原因, 更换轴, 校水平, 修改孔斜
水泵运转时激烈振动	1. 橡胶轴承没有加入引水 2. 水泵轴向间隙小, 叶轮与导壳摩擦 3. 传动轴弯曲, 传动装置不正, 轴心不吻合。 4. 井孔弯曲 5. 电机平衡相差太多	1. 多加引水润滑轴承 2. 调整轴向间隙 3. 重新校正轴心 4. 修理井或改换小一级水泵 5. 校正电机平衡
填料函中流水过多	1. 填料已磨损 2. 填料过硬或不够紧密 3. 轴摆动或弯曲	1. 换填料 2. 换填料, 旋紧螺帽 3. 校正轴或更换
填料函过热	1. 缺少向内注入黄油润滑 2. 填料堆压过紧或轴弯曲 3. 函内流水不足或不流	1. 清洗注入油管, 及时加入 2. 检查调整填料 3. 松弛填料
轴承过热	1. 无润滑油或油不清洁 2. 滚珠轴承损坏	1. 停泵清洗, 注入润滑油 2. 拆卸传动装置, 换轴承

表 6-3 潜水泵常见故障及处理方法

现 象	原 因	处 理 方 法
不能起动	<ol style="list-style-type: none"> 1. 电源断路, 缺相 2. 电缆过长, 电压降大 3. 接触器损坏或接触不良 4. 热断电器跳闸 5. 泵的叶轮卡住 (电流变大) 6. 电机定子烧坏 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 恢复供电, 查缺相 2. 调高压, 增粗电源线 3. 更换或打磨修理触头 4. 接热继电器复位钮 5. 提泵检查或换相检查 6. 修理更换新电机
出水量少或不出水, 电流偏大	<ol style="list-style-type: none"> 1. 叶轮反方向旋转 2. 泵体下入不够深, 无水空转 3. 叶轮损坏, 磨损 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 调换相线 2. 泵体下放 3. 更换新叶轮
出水量少或不出水, 电流正常	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水泵的过滤器堵塞 2. 止水阀卡住 3. 供水线路泄漏 4. 电机轴心松掉或损坏 5. 泵使用已久 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 清洗井 2. 检修止水阀 3. 检修更换出水管路 4. 重新连接, 或更换 5. 检修, 更换叶轮等
声音异常	<ol style="list-style-type: none"> 1. 叶轮与泵壳摩擦 2. 电机反转 3. 机械磨损 4. 流道有堵塞物 5. 下水位电极低于水泵砂网 6. 电机与泵体联轴器脱节 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 调整轴承 2. 调换三相中其中两相 3. 检查更换磨损件 4. 清除堵塞物 5. 提高电极于砂网上 6. 重新接牢联轴器
能自动但起动频繁	<ol style="list-style-type: none"> 1. 上下水位电极的距离太近 2. 上下水位电极调错 3. 电压太低 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 增长距离 2. 重新调换上下水位电极 3. 调高电压
其他	<ol style="list-style-type: none"> 1. 电子水位器不工作 2. 热继电器不工作 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 检查电源电压、水位线路 2. 调整电流刻度, 检查微动开关和热电器线圈

表 6-4 空气压缩机常见故障和处理方法

现 象	原 因	排 除 方 法
运转声响不正常	<ol style="list-style-type: none"> 1. 活塞严重磨损 2. 气阀松动 3. 气缸内落入损坏零件碎片 4. 阀片损坏 5. 上死点间隙不够, 活塞撞击气缸盖或阀垫 6. 主动轴承损坏 7. 连杆头衬套磨损 8. 进排气阀装反, 排气量小, 动力机负荷大 9. 高压气室内的顶位管未顶住压盖, 轴承在内活动 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 更换活塞 2. 拧紧阀盖上的顶紧螺钉 3. 打开气缸盖, 取出碎片 4. 更换 5. 增加缸垫或阀垫 6. 更换或整修 7. 更换衬套 8. 检查校正进排气阀 9. 上紧顶位管

续表 6-4

现 象	原 因	排 除 方 法
一级排气压力 高于 $2\text{kg}/\text{cm}^2$	1. 二级进气阀门损坏 2. 一级排气阀损坏 3. 中间冷却器管路部分堵塞	1、2. 检查并更换进气阀 3. 吹洗中间冷却器
一级排气压力 低 于 $1.7\text{kg}/\text{cm}^2$	1. 一级排气阀漏气 2. 压力表管路漏气 3. 空气过滤器堵塞 4. 气缸盖顶位螺丝过长, 使缸盖密封不严	1. 检查进气阀和阀座 2. 检查并清除 3. 清洗 4. 缩短顶位螺丝
供水量不足, 压力降低	1. 主发动机马力不足, 转速降低 2. 气阀弹簧及阀片破裂 3. 阀片与阀座间有杂物进入, 使阀片和阀座配合不严 4. 阀片变形 5. 气阀座下面垫片漏气或气缸盖垫片漏气 6. 空气过滤器堵塞 7. 活塞环漏气 8. 安全阀提前开放 9. 管道漏气	1. 检查主发动机工作情况 2. 更换新阀片和弹簧 3. 清除气阀上的积物, 研磨阀片, 使它靠紧阀座 4. 更换新阀片 5. 检查并紧固所有连接螺丝 6. 卸下并清洗 7. 检查活塞环的磨损程度 8. 检查安全阀, 调整至额定压力 9. 检查并堵塞漏气
空压机过热	1. 冷却不良 2. 润滑油稀薄 3. 润滑油供油量不足 4. 润滑油吸入气缸而燃烧 5. 连杆机构倾斜	1. 检查风扇及冷却器的工作情况 2. 检查曲轴箱底盖内的质量或更换润滑油 3. 检查油泵供油量及吸油管的通路情况, 必要时清洗滤油网和油管 4. 检查润滑油的高度是否超过油针上“正常”规定; 检查油杯的刮油情况及润滑油燃烧点和进气温度。机油闪火点不低于 230°C 5. 用刮轴承瓦的方法消除
空压机和柴油 机离合器打滑	1. 弹簧压力不足 2. 弹簧损坏 3. 摩擦片太脏, 有油 4. 摩擦片严重磨损, 铆钉外露 5. 摩擦片硬滑	1. 调整弹簧压力 2. 换弹簧 3. 清洗摩擦片 4. 更换摩擦片 5. 用砂纸打毛

第二节 降水监测与管理

一、降水监测的内容

- (1) 降水过程中, 地下水水位的变化及平面扩展趋势;
- (2) 降水过程中, 单井点出水量及基坑总出水量随时间的变化;
- (3) 对于轻型井点、喷射井点, 在观测水位、流量的同时, 对水泵的工作压力、真空度、电压、电流进行观测与记录, 分析运行是否正常, 发现问题及时处理, 使工作水压力、

真空度与降水深度、抽水量保持正常关系。

除上述监测内容外，还应当配合水位和流量监测设置地面沉降变形监测，并记录周围建筑物是否有开裂、变形等。

二、监测孔的布置

观测孔的布置应能控制降水区和影响范围内的地下水动态。根据不同的观测目的，观测孔宜分别符合下列要求：

(1) 为控制降水区和影响范围内的地下水动态，自降水区中心垂直和平行地下水流向各布置一排观测孔。在降水区内，观测孔排延至基坑中心；在降水区外，观测孔排延长 2~3 倍的降水深度，每排观测孔数不宜少于 4 个；

(2) 在降水深度内存在二个以上的含水层时，为了解各含水层的降水情况，应分层布置观测孔；

(3) 当降水区靠近地表水体或人为漏水点时，为查明其渗漏对降水的影响，应增加少量观测孔；

(4) 为查明降水区内最不利（即受抽水影响最小点）的水位情况，应有选择地布置观测孔；

(5) 当降水区位于已有建筑物附近，为查明降水对已有建筑物的影响，应增设观测孔。

观测孔结构，施工工艺方法同抽水井孔，但井管口径、井深能满足监测需要即可。管径多为 50~70mm，井深达预测的最大下降水位以下 2~3m。

三、监测与管理

(1) 降水开始前，所有抽水井、观测井统一时间联测静水位，量测基准点。在降水开始 5~10 天内，要求每天早晚各观测一次水位、流量，以后改为每天观测一次，并作好记录。进入雨季或出现新的补给源时，应增加观测次数。

(2) 观测记录应及时整理，绘制 $Q-t$ （抽水量与时间）及 $S-t$ （水位下降值与时间）关系曲线图，分析水位下降趋势与流量变化，预测水位下降达到设计要求的时间。根据实际抽水情况，研究降水设计的可靠程度或提出调整措施。

基坑降水常见异常与处理办法如表 6-5 所示。

表 6-5 基坑降水常见异常与处理

现 象	原 因 分 析	处 理 措 施
基坑水位下降至一定深度不再下降	1. 降水井点少 2. 抽水设备类型不当 3. 有新的水源补给	1. 增加降水井点 2. 调整或更换抽水设备
基坑内水位下降缓慢	1. 井点较少 2. 井点布置不合理	1. 增加井点 2. 延长抽水时间
基坑内水位持续下降，并超过设计降深	1. 井点过多 2. 水源不足	间断关停井点
基坑内水位下降不均匀	1. 含水层渗透性差 2. 井点出水能力差 3. 布井不合理	1. 调整井点布设 2. 调整更换抽水设备
基坑出现流砂	基坑开挖速度超过水位下降速度	1. 放慢开挖 2. 增大降水能力
基坑外侧地表变形大	水位下降过快过大	在降水井点外侧布设回灌井系统

第七章 降水环境效应与对策

第一节 降水引起地基土变形

一、降水引起地基土变形的原因分析

沿基坑周围布置井点降水,起疏干基坑内土方的作用,为基础施工创造有利的环境。但在井点降水作用下,随着地下水水位的下降,土层中的含水量减小,使浮托力减小,等于增加了附加荷重,使土产生固结、压缩,使建筑物基础发生不均匀沉降,直接影响到邻近建(构)筑物的安全,所以必须特别重视。

井点降水的结果引起土体的固结,土体的固结有主固结与次固结之分。主固结即为渗透固结,是随着孔隙水从土中排出而发生的压缩过程;次固结即称蠕变,是指具有粘滞性的土骨架在有效应力下出现的蠕变过程。土体的沉降受三个因素的影响:

(1) 孔隙水压力消散。井点降水到一定深度后,土中的孔隙水压力便发生转移、消散(即浮力消散),由于总压力基本不变,孔隙水压力降低,有效应力相应增大,则土体的孔隙比减小;

(2) 动水压力的作用。在自然状态下,地下水以较小的水力坡度在土壤中运动;在井点抽水后,地下水水位下降,水力坡度增大,相应地渗透压力也增大。当抽取地下水时,在地下水自上而下的渗透过程中,若水的渗透压力与土的浮重的合力等于土体颗粒间的摩擦力及粘滞力时,则处于极限平衡状态;当渗透压力继续增大时,土体颗粒就会被滞流带走或移动,表现为地基土沉降;

(3) 井点的真空作用。井点降水作用实质上是真空-重力联合起作用,即在井点管周围一定范围内形成真空,沿基坑方向造成了一道真空影响帷幕(即低于大气压力面),从而使土颗粒向负压力方向移动,并达到某种程度的挤密状态,表现为地基土的沉降。

二、降水产生地基土变形计算

在井点降水无大量细颗粒随地下水被带走的情况下,周围地面所产生的沉降量可用分层总和法进行计算:

$$S_{\infty} = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i \Delta P_i \Delta H_i}{1 + e_{0i}} \quad (7-1)$$

式中 S_{∞} ——地面最终沉降量;

α_i ——各土层压缩系数;

e_{0i} ——各土层初始孔隙比;

ΔP_i —— i 土层因降水产生的附加应力;

ΔH_i —— i 层土的厚度。

在降水期间,降水面以下的上层通常不产生明显的固结沉量,而降水面至原始地下水面的土层因排水条件好,会在所增加的自重应力条件下很快产生沉降,通常降水所引起的地面沉降即以这一部分沉降量为主。因此,可以采用下列简易方法估算降水所引起的沉降值:

对于粘性土类

$$S = \frac{\alpha \Delta P \Delta H}{1 + e_0} = \frac{\alpha \Delta H^2 \gamma_w}{2(1 + e_0)} \quad (7-2)$$

对于砂土类

$$S = \frac{\Delta P \Delta H}{E} = \frac{\Delta H^2 \gamma_w}{2E} \quad (7-3)$$

式中 S ——降水所引起的沉降值；
 α ——计算土层的压缩系数；
 e_0 ——计算土层的孔隙比；
 ΔP ——降水产生的自重附加应力；
 ΔH ——降水深度；
 γ_w ——水重度；
 E ——降水深度范围内土层的压缩模量。

因降水而引起的土体沉降在平面上的各点都是不同的，其沉降值相应于该点上的水位降低值也是随着降水漏斗曲线而变化的，在井点管处沉降值最大。

第二节 减少降水不良影响的措施

一、充分估计降水可能引起的不良影响

降水工程是一项复杂的以岩土及其贮存的地下水为对象的岩土工程，必须按照岩土工程的勘察、设计、施工、监测程序进行。在降水设计中，要充分估计可能引起的不良影响，考虑周密，防患于未然。降水过程中，要有周密可靠的监测，制定防范措施，发现问题及时处理。

二、设置有效的止水帷幕，尽量不在坑外降水

在开挖边线外设置一圈垂直防渗帷幕，把降水对周围的影响减小到满足要求的范围。常用的帷幕有高压旋喷（或定喷）、深层搅拌、注浆防渗帷幕等。竖向止水帷幕的设置，最好达到不透水层，使止水帷幕发挥最有效的作用。

当含水层很厚，竖向止水帷幕难以穿透或造价太高时，也可以考虑在坑底以下设置水平止水帷幕。

三、合理使用井点降水，尽可能减小对周围环境的影响

降水必然会形成降落漏斗，从而造成周围地面的沉降，但只要合理使用井点，可以把这类影响控制在周围环境可以承受的范围之内。

(1) 防范抽水带走土层中的细颗粒。在降水时要随时注意抽出的地下水是否有混浊现象。抽出的水中带走的细颗粒不但会增加周围的沉降，而且还会使井点管堵塞，井点失效。为此，首先要根据周围土层的情况选用合适的滤网，同时应重视埋设井管时的成孔和回填滤料的质量。

(2) 适当放缓降水漏斗线的坡度。在同样的降水深度前提下，降水漏斗线的坡度越平缓，影响范围越大，因此产生的不均匀沉降越小，因而降水影响区内的地下管线和建筑物受损伤的程度也愈小。根据地质勘探报告，把滤管布置在水平向连续分布的砂性土中可获得较平缓的降水漏斗曲线，从而减少对周围环境的影响。

(3) 井点应连续运转，尽量避免间歇和反复抽水。轻型井点和喷射井点在原则上应埋在砂性上层内。对砂性土层，除松砂以外，降水引起的沉降量是很小的，然而倘若降水间歇和

反复进行，现场和室内试验均表明每次降水都会产生沉降。每次降水的沉降量随反复次数的增加而减少，逐渐趋向于零，但是总的沉降量可以累积到一个相当可观的程度。因此，应尽可能避免反复抽水。

(4) 防范开挖基坑下部承压水的突涌。假设在开挖基坑底面下有一粘土薄层，下面又有相当厚度的砂层时，若仅将井点设在开挖深度，即开挖基坑底面，那么这层粘土会随渗透水压力差的变化，坑底有产生涌砂现象的危险性。对这种情况，可打穿粘土层释放下卧粉砂层的承压水，即井点管伸到粘土层下面含水砂层中，以降低砂层中承压水头，而使坑底达到稳定。

(5) 防范井点和附近储水体贯通，从而产生地下水位不下降，而出现流砂现象。在附近有储水体时，应考虑在井点和储水体间设置隔水墙。

(6) 采用内井点降水方法可以减少对周围环境的影响。在板桩地下墙支护的开挖基坑内圈设置一圈井点，通常称为内井点。在采用板桩作为侧向支护时，只要板桩接缝密封性较好且有足够的人土深度，使板桩下端较井点滤管下端深 2m 左右，则内井点降水可以大大减轻对周围环境的影响，收到良好的效果。

四、设置回灌系统，形成人为常水头边界

使用井点后，不可避免地造成周围地下水位的下降，从而使该地段的地下建筑和地下构筑物以及地下管线因不均匀沉降而受到不同程度的损坏。为尽可能消除这类影响，可采用在保护区设置回灌工程的措施，在基坑降水的同时，向地下含水层注入一定水量，形成一道阻渗水幕，使基坑降水的影响范围不超过回灌工程的范围，阻止地下水向降水区的流失，保持已有建筑物所在地原有的地下水位，土压力仍处于原有平衡状态，从而有效地防止降水的影响，使建筑物的沉降达到最小程度。

(一) 回灌方法及适用条件

1. 地面入渗法

地面入渗法就是在基坑四周形成渗沟渗渠，依靠良好透水层，将水引入自然渗透补给的方法(图 7-1)。当地面覆盖有薄层(<3m)的弱(不)透水层时，渗沟渗渠应揭露下卧透水层。

地面入渗补给法适用于地表或接近地表饱气带有透水性较好的砂砾卵石层，并且饱气带厚度不大，一般小于 10~20m。其优点是施工简单、便于管理、费用低廉；其缺点是占地面积大、单位面积的人渗效率低，而且入渗量随时间而逐渐减少。

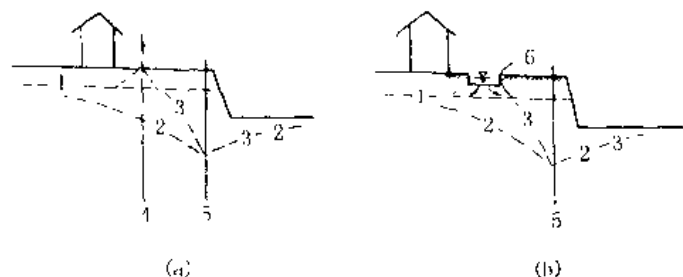


图 7-1 基坑回灌系统

(a) 井点回灌示意图；(b) 回灌沟回水示意图

1. 静止水位；2. 回灌前水位降曲线；3. 回灌后水位降曲线
4. 回灌井；5. 抽水井；6. 渗渠(渗坑)

2. 井点注入法

井点注入法即通过回灌井点将水直接注入地下含水层中的方法（图 7-1）。根据注水方式的不同，井点注入法又划分为三种类型：

（1）自由注入法。利用井内水位高于地下水位之间的水压力差，使水通过井壁进入含水层。该方法适用于埋藏较深的潜水含水层或上部具有较厚的弱（不）透水层的深层承压含水层（压力水头不高）。

（2）真空灌注法。真空回灌就是在管路密封装置下，利用真空虹吸原理产生水头差进行回灌。它适用于地下水位埋藏较深（静水位埋深在 10m 以内），含水层渗透性能良好的地区，并适用于滤网结构耐压耐冲强度较差，对回灌量要求不大的深井。

（3）加压灌注法。利用机械动力设备（如离心式水泵）进行加压，促使水流较快补给地下水。适用于地下水位埋藏较浅、透水性较差的含水层和滤网强度较强的深井。

井点注入法的主要优点是：占地少，不受地形条件限制，也不受地面厚层弱透水层分布和地下水位埋深等条件的限制。但该方法由于水量集中注入，井及其附近含水层中流速较大，因此井管和含水层易被阻塞；还由于补给水直接注入含水层等原因故对水质要求高，常需专门的水处理设备、输配水系统和加压系统，故工程投资和运转时的管理费用较高，且管理比较复杂。

（二）回灌井点的布置

回灌井点一般沿降水井点外围呈均匀等距布置。回灌井点至降水井点距离决定于基坑降水水位下降引起地表变形允许的最小（距基坑边界）范围，宜尽可能的远离抽水井点，一般宜大于 6m。回灌井点的埋设深度应根据透水层的深度而定，以确保基坑施工安全和回灌效果为准。

回灌井点的结构应有利于注入的水向降水深度内渗流，回灌井点的滤水管工作部分长度应入于抽水井点，最好从自然水位以下直至井点管底部均为过滤器。为使井结构能更好地适应回灌的要求，必须适当增大填砾厚度和加固过滤器。

回灌井数决定于基坑回灌量和单井回灌量的大小，可用下式确定：

$$n = \frac{1.1Q_{\text{灌}}}{q_{\text{灌}}} \quad (7-4)$$

式中 n —— 布置回灌井数；

$Q_{\text{灌}}$ —— 基坑回灌量；

$q_{\text{灌}}$ —— 单井回灌量。

基坑回灌量一般应等于基坑降水水位降低影响至限定边界时的基坑涌水量，可按井流理论计算。单井回灌量决定于水文地质条件、成井工艺、回灌方法、压力大小等，一般宜在现场进行试验确定。

（三）回灌工程施工

回灌井点的施工要求与降水井点相同，其管路系统的安装如图 7-2 所示。

各种回灌井点的管路装置都必须达到密封要求。尤其对泵座轴、阀门轴及泵管接头、管路接头等部位，应严格密封，以防进气造成各种堵塞现象，影响正常回灌。加压回灌还需增加泵管与井管间的密封，其密封方法和适用条件见表 7-1。

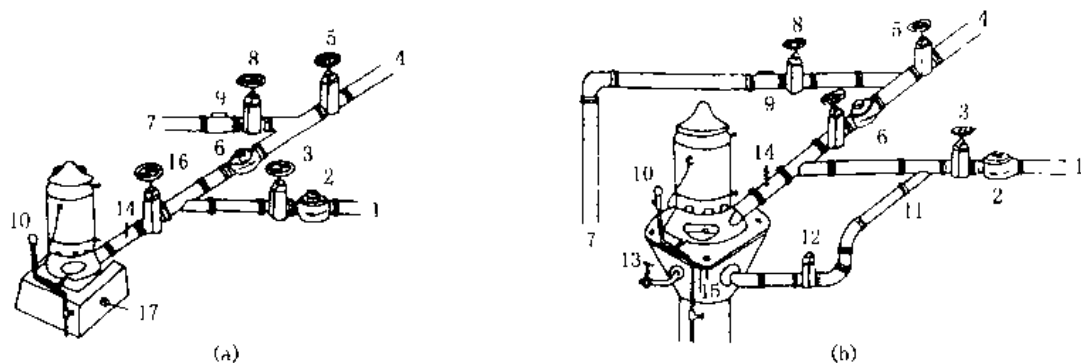


图 7-2 回灌设备安装图

(a) 真空回灌法管路装置图; (b) 压力回灌法管路装置图

1. 进水管; 2. 进水管水表; 3. 进水管阀门; 4. 用水管; 5. 用水阀门; 6. 用水水表; 7. 扬水管; 8. 扬水阀门; 9. 单流阀; 10. 真空压力表; 11. 回流管; 12. 回流阀门; 13. 放气阀; 14. 温度计; 15. 井管座; 16. 控制阀门; 17. 测水位孔

表 7-1 加压回灌泵管与井管间密封装置类型对比

名 称	密封方法	适用条件	优 点	缺 点
法兰圈密封	在泵管与井管之间用数层外夹有橡皮的法兰圈进行密封	井管与泵管间隙较大(7.5mm 以上), 井管口较低的深井	设备简单、不用电焊	受间隙限制, 容易漏水, 井管倾斜不便安装
水泥基座密封	在井管与水泥基座间填以黄砂、三合土和碎石等, 捣实后用水泥密封	井管口高于地面的深井	施工简单, 节省材料	水泥易破, 容易漏水
井泵座密封	井泵直接坐落在铸铁基座上, 井夹有橡皮圈进行密封	井管口高于地面的深井	安装方便, 密封效果好	

(四) 回灌系统运行管理

1. 真空回灌系统管理

真空回灌的操作程序为: ①关进水阀门, 开出水阀门和控制阀门; ②开泵回扬至清水; ③拉真空停泵, 关出水阀门和控制阀门; ④开足进水阀门, 再缓慢开控制阀门; ⑤调节回灌量, 正式回灌; ⑥记录回灌量、水温、真空度等。

真空回灌过程中必须注意:

- (1) 保证管路系统的密封;
- (2) 定期回扬冲洗, 一般一天回扬 1~3 次, 每次 10~20 分钟;
- (3) 回灌量须由小到大;
- (4) 准确地记录静水位 (关进水阀门后 10~15 分钟测定)、动水位 (回扬时测)、水温、回灌前后的真空度、回灌量和回扬量;
- (5) 保证回灌水的水质标准, 严禁各种杂质进入井内;
- (6) 停灌期间要注意对水井的保养管理, 一般每 7~15 天回扬一次, 以保证水流畅通, 防止井内水质变臭和滤网被堵。

2. 加压回灌系统管理

用水泵加压回灌的操作程序为: ①关离心水泵、进水阀门、控制阀门、回流阀门, 开出水阀门; ②开泵回扬至水清; ③停泵, 关出水阀门; ④开进水阀门和控制阀门; ⑤开水泵灌

水、放气，待水溢出，关放气孔，再开回流阀门；⑥控制回灌压力，定期记录。

在加压过程中，必须注意：

- (1) 遵守上述操作程序；
- (2) 回扬时应详细记录和测定静水位、动水位、压力值、灌水量、出砂量等；
- (3) 坚持定期回扬冲洗，回扬后要放气；
- (4) 放气时先从泵内进水，以排除井内空气，当水从放气孔大量排出后，才可开回流阀门；
- (5) 灌水量与压力要由小到大，逐步调节到适宜压力；
- (6) 离心泵不能断水打空泵，若遇此情况必须停泵，及时回扬处理。

(五) 回灌监测与管理

回灌水量应根据实际地下水位的变化及时调节，保持抽、灌平衡。既要防治回灌水量过大而渗入基坑影响施工，又要防止回灌量过小使地下水位失控影响回灌效果。因此，要求在其附近设置必要数量水位观测孔和沉降观测点，定时进行观测和分析，以便及时调整回灌水量。

回灌水必须是清水，以防回灌井点过滤器的堵塞，影响回灌渗透能力。深井回灌中常见事故及处理方法列入表 7-2 中。

表 7-2 回灌工程常见事故及处理方法

事故名称		产生原因	处理方法
物理 化学 堵塞	气相堵塞	由于回灌装置封闭不严，回灌时携带大量空气造成。此种堵塞回扬水呈乳白色，夹有大量微小气泡，严重时见大量气泡，并有很浓的臭味	<ol style="list-style-type: none"> 1. 经常检查回灌的密封效果，发现漏气及时处理 2. 及时掌握回灌量、回扬量及地下水的动态变化 3. 当发现有堵塞现象时，必须加强回扬，增加回扬次数，缩短回扬间隔进行处理。对堵塞较轻，且滤网强度小的深井，以采用回流回扬效果好，堵塞较重或滤网强度大的深井，可用真空回扬及间隙反冲（间隙回扬）进行处理。若井下沉淀物已胶结，用回扬法不能处理，可加酸处理
	悬浮物堵塞	因回灌水源含有飞花、泥土、胶结物、有机物等杂质造成。此种堵塞在回扬时水浑浊，携带杂质和泥等	
	铁细菌堵塞	铁细菌在地下水中以亚铁盐为养料，经过有机作用，以含水氢氧化铁形式积存在粘液表面或表面内而造成堵塞。此种堵塞在回扬时，水中含有大量棕红色胶体状粘着物，并带臭味	
	化学堵塞	回灌水中含有较高的溶解氧，它与地下水的亚铁离子作用，生成氢氧化铁胶体物沉淀于砂层孔隙及过滤器周围。此种堵塞在回扬时，水呈黄褐色、有臭味、夹有 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀物	
出 砂	出少量粉细砂	由于回灌时改变了抽水井的水流方向，使砂层受到冲动，部分过滤层受到破坏，使地层中少部分细砂透过人工滤层和滤网孔隙进入井内，随回扬水流带出井外	一般进行长时间抽水，出砂现象可停止，不必处理
	大量出粉细砂夹中粗砂	深井回灌量过大，水流速度较快，使部分人工砂冲向表面，填砂高度不断下降至过滤器顶端以下造成回扬涌砂	<ol style="list-style-type: none"> 1. 停灌和减少灌量，间隔 3~5 天，进行少量回流回扬，以使滤层重新排列 2. 加设补砂管补充人工砂
	大量出回填料砂与地层砂	滤网破裂（因滤网强度低，回灌压力大，或滤网长期遭受腐蚀造成）	<ol style="list-style-type: none"> 1. 吊泵套补修井 2. 减少回扬次数，到回灌结束再修井
水质变坏		回灌水中含有有机物，由于老井的滤水管橡皮腐烂及地下水中的有机物质的腐烂发臭造成。一般发生在回灌井周围，影响范围不大	<ol style="list-style-type: none"> 1. 作好管路密封，保证回灌水质标准，严禁脏水、脏物流入井内 2. 连续回扬，抽净臭水，或加漂白粉处理 3. 停灌期间要定期回扬，每次把脏水抽净

第八章 工程实例

一、太原钢铁公司某氧化铁皮坑工程喷射井点降水

(一) 工程概况及降水要求

太原钢铁厂某氧化铁皮坑工程为 $\phi 18\text{m}$ 圆形钢筋混凝土结构, 深度 15.8m (图 8-1)。设计要求降水深度为 -10m (自然地面设为 ± 0.00), 即实际降水深度 $S = 6\text{m}$, 降水面积为 $F \approx 1900\text{m}^2$ 。

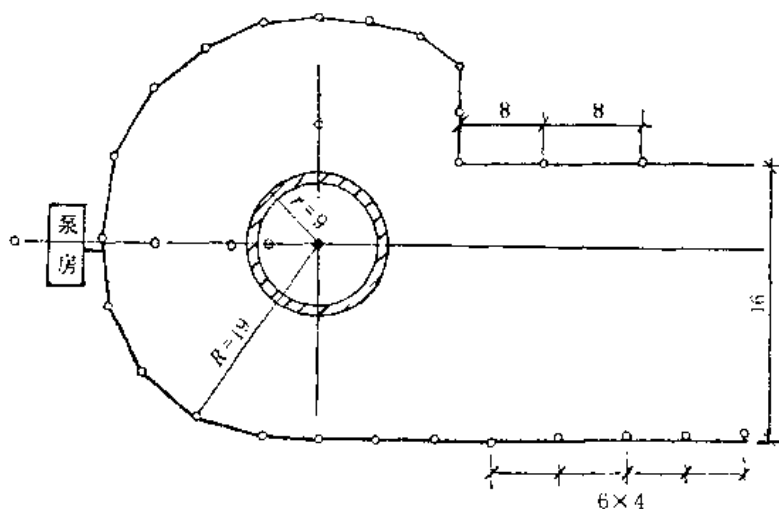


图 8-1 井点平面布置

(二) 场地水文地质条件

在深度 20m 范围内的土层主要由亚粘土所组成, 但在不同深度的亚粘土层内夹有薄层亚砂土和砂层以及粘土层; 地面以下 3.26m 为静止地下水位, 土的渗透系数 $K = 5.7\text{m/d}$, 含水层厚度 $m = 13.3\text{m}$ 。

(三) 降水方案设计

依据水文地质特点及工程要求降水深度, 选用 2.5 型喷射井点深层降水法。

1. 有关水力参数的确定

抽水影响半径 R 按式 (4-4) 确定:

$$R = 2S_w \sqrt{mK} = 2 \times 6 \sqrt{13.3 \times 5.7} = 103(\text{m})$$

计算引用半径 r_0 :

$$r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}} = \sqrt{\frac{1900}{3.1416}} = 24(\text{m})$$

井点过滤器半径 $r = 0.054\text{m}$, 长度 $l = 1.5\text{m}$ 。

2. 水力计算

(1) 基坑总涌水量采用式 (4-20) 计算:

$$\begin{aligned}
 Q &= 1.366K \frac{(2H-S)S}{\lg R - \lg r_0} \\
 &= 1.366 \times 5.7 \frac{(2 \times 13.3 - 6)6}{\lg 103 - \lg 24} \\
 &= 1500(\text{m}^3/\text{d})
 \end{aligned}$$

(2) 井点单井抽水量 q 按式 (4-24) 计算:

$$\begin{aligned}
 q &= 120\pi rl \sqrt[4]{K} \\
 &= 120 \times 3.1416 \times 0.054 \times 1.5 \sqrt[4]{5.7} \\
 &= 47.1(\text{m}^3/\text{d})
 \end{aligned}$$

(3) 井点数目 n 按下式算出:

$$n = \frac{Q}{q} = \frac{1550}{47.1} \approx 33(\text{根})$$

如果按现场抽水试验, 喷射井点 2.5 型, 当工作水压力 589kPa、实测抽水量为 58.50 m³/d 时, 井点数目 n 为:

$$n = \frac{1550}{58.5} = 27(\text{根})$$

(4) 基坑周长为 150m, 其井点间距为:

$$a = \frac{150}{26} \approx 6(\text{m})$$

(5) 校核基坑水位降低值 y_0 :

$$\begin{aligned}
 y_0 &= \sqrt{H^2 - \frac{Q}{1.366K}(\lg R - \frac{1}{n}r_1 \cdots r_n)} \\
 &= \sqrt{(13.3)^2 - \frac{1550}{1.366 \times 5.7}(\lg 103 - \frac{1}{25}19.24 \cdots)} \\
 &= 5.92(\text{m})
 \end{aligned}$$

则

$$S_0 = H - y_0 = 13.30 - 5.92 = 7.38(\text{m}) > 6\text{m}$$

(6) 井点埋设深度 H_m 按如下方法求出:

从试验得知, 水力坡度 $i = \frac{1}{6}$, 基坑中心距离最大为 $L = 35\text{m}$, $i \cdot L = \frac{1}{6} \times 35 = 5.83(\text{m})$, 井点外露高度 $h = 0.3\text{m}$, 中心点基坑最大深度 $H_1 = 10\text{m}$, 挖掘面到降低水位为 0.3m, 则

$$H_m = h + H_1 + i \cdot L + 0.3 = 0.3 + 10 + 5.8 + 0.3 \approx 16.4(\text{m})$$

3. 井点过滤器、滤网及砂滤层的确定

(1) 过滤器进水的孔隙率的确定

$$q = 2\pi rvlp$$

式中 q ——单井抽水量, 1.9 m³/h;

v ——允许流速, $\leq 36\text{m}^3/\text{h}$;

$2\pi rl$ ——过滤器表面积, 0.5 m²。

代入

$$p \geq \frac{1.9}{36 \times 0.5} = 0.105 \geq 10\%$$

(2) 滤网一般与土的颗粒组成有关,本工程库存有 60~80 目铜网供选用。

(3) 砂滤层的确定。

按含水层的土的颗粒组成:

$$5d_{50} \leq D_{50} \leq 10d_{50}$$

则砂滤填料粒径为 0.5~1.0mm 为宜,砂滤层厚度为 7~10cm。

(四) 降水效果

(1) 降低地下水位。经连续抽水 27 天,基坑中心点水位降至 -10.71m, 满足设计要求的降水深度,见图 8-2;

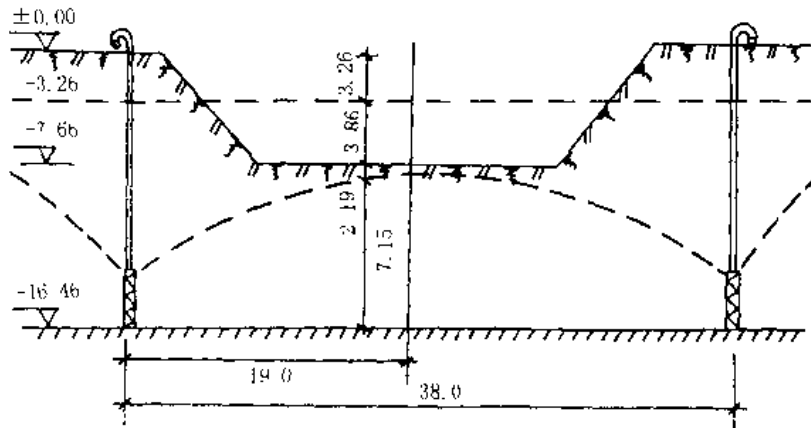


图 8-2 水位降低值

(2) 抽水量的变化。井群的抽水量随着抽水时间的增加而减少,但最后相对稳定在一定值上。抽水初期总抽水量最大达 2940m³/d, 抽水 8 天之后基本稳定变化在 700~800m³/d, 最小值为 490m³/d, 平均出水量为 625m³/d, 单井抽水量平均为 25m³/d。

抽水量和水位降低与时间的变化关系见图 8-3。

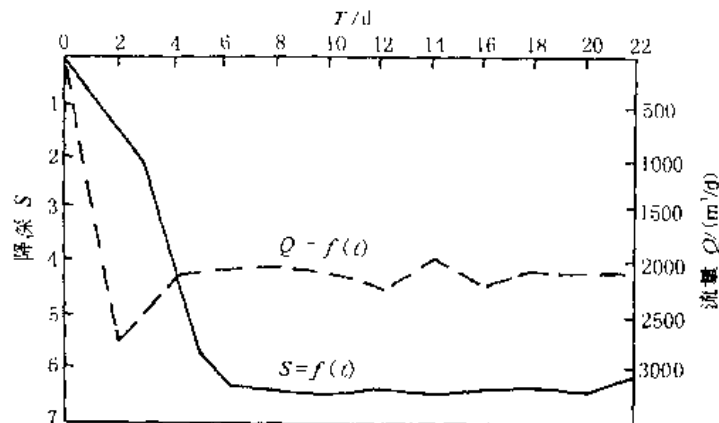


图 8-3 Q 、 S 与 T 关系曲线

二、上海宝山钢铁公司某铁皮坑工程电渗井点降水

(一) 工程概况及降水要求

上海宝山钢铁公司无缝管厂某铁皮坑工程为圆形筒形体钢筋混凝土结构，外径13.6m，壁厚0.8m，埋深-20.5m(自然地面标高-1.2m)，降水面积 $F=1595\text{m}^2$ 。降水所遇到土层：表土为2~3m厚黄色亚粘土；向下为7~8m厚淤泥质亚粘土， $K=0.3\text{m/d}$ ；再往下为处于降水范围土厚为10.2m的淤泥质粘土， $K\leq 0.05\text{m/d}$ ；含土层厚度23.6m(图8-4)。

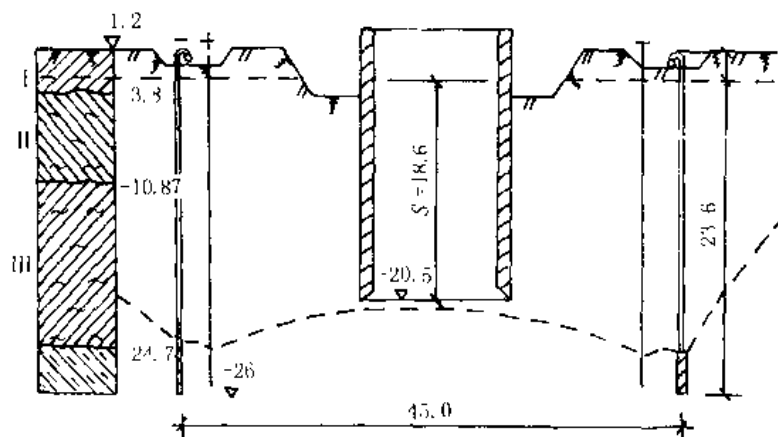


图 8-4 电渗井点降水剖面图

(二) 降水方案设计

根据场地水文地质条件及工程要求降水深度，选用电渗喷射井点降水方法。

1. 基坑涌水量的计算

(1) 引用计算半径

$$r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}} = \sqrt{\frac{1590}{3.1416}} = 22.5(\text{m})$$

(2) 抽水影响半径 R

处于淤泥质亚粘土降水深度 $S=8.4\text{m}$ ， $H=8.4\text{m}$ ，则：

$$R = 2S \sqrt{HK} = 2 \times 8.4 \times \sqrt{8.4 \times 0.3} = 26.6(\text{m})$$

处于淤泥质亚粘土降水深度 $S=18.6\text{m}$ ， $H=23.6\text{m}$ ，则：

$$R = 2 \times 18.6 \sqrt{23.6 \times 0.175} = 75.5(\text{m})$$

在降水深度较浅时，式(4-4)计算值偏小。实际计算时可选用 $R_1=60\text{m}$ 、 $R_2=100\text{m}$ 的当地经验值。

(3) 基坑涌水量

处于淤泥质亚粘土土层基坑涌水量：

$$\begin{aligned} Q_1 &= 1.366K \frac{(2H - S)S}{\lg R - \lg r_0} \\ &= 1.366 \times 0.3 \frac{(2 \times 8.4 - 8.4)8.4}{\lg 60 - \lg 22.5} \\ &= 67.2(\text{m}^3/\text{d}) \end{aligned}$$

处于淤泥质粘土层基坑涌水量：

$$Q_2 = 1.366 \times 0.05 \frac{(2 \times 15.2 - 10.2)10.2}{\lg 100 - \lg 22.5}$$

$$= 21.8(\text{m}^3/\text{d})$$

(4) 基坑总涌水量:

$$Q_1 + Q_2 = 67.2 + 21.8 = 89(\text{m}^3/\text{d})$$

(5) 单井抽水量:

按经验公式 (4-28) 计算。井点埋设采用套管水冲法, 砂井直径 $D = 0.45\text{m}$, $H_{s1} = 3.6\text{m}$, $H_{s2} = 15.2\text{m}$, 代入式 (4-28) 得:

$$q_1 = 1.25 \times 0.3 \times 0.45 \times 8.6 = 1.45(\text{m}^3/\text{d})$$

$$q_2 = 1.25 \times 0.05 \times 0.45 \times 15.2 = 0.42(\text{m}^3/\text{d})$$

则单井抽水量为:

$$q_1 + q_2 = 1.45 + 0.42 = 1.87(\text{m}^3/\text{d})$$

(6) 井点数量 n :

$$n = \frac{89}{1.87} \approx 48(\text{根})$$

(7) 井点布置周长 $L = 141.37\text{m}$, 其井点间距 a :

$$a = \frac{L}{n} = \frac{141.37}{48} = 3(\text{m})$$

2. 电渗的设计

电渗的设计计算包括电极、电极列间距、及电动功率等的设计计算。

(1) 电极。一般采用 $\phi 25\text{mm}$ 钢筋或其他旧钢材, 埋设深度比井点管深 1.0m , 电极数量与井点相同, 采用和井点对称或梅花式布置形式。

(2) 电极列间距。即井点管与电极之间距离, 可按下式计算:

$$L = \frac{V100}{I\rho\varphi}$$

式中 V ——工作电压, 取 $40 \sim 60\text{V}$;

I ——在电极列面积上被抽干土体的电流, 取 $1 \sim 2\text{A}/\text{m}^2$;

φ ——与电极布置有关系数, 取 $2 \sim 3$;

ρ ——土的比电阻 ($\Omega \cdot \text{cm}$)。

如图 8-5 所示, 得知淤泥质粘土 $\rho = 1800\Omega \cdot \text{cm}$ 。则

$$L = \frac{40 \times 100}{1 \times 1800 \times 2} = 1.1(\text{m})$$

或

$$L = \frac{60 \times 100}{1 \times 1800 \times 2} = 1.6(\text{m})$$

选用 1.2m 。

(3) 电渗功率的计算:

$$N = \frac{VIF}{1000}$$

式中 F ——电渗面积。

淤泥质亚粘土层 $K = 0.3 \text{ m/d}$ ，不用电渗；而淤泥质粘土层 $K \leq 0.05 \text{ m/d}$ 为电渗土层。不电渗在电极上涂上沥青绝缘或套塑料管的办法，所以该工程电渗深度为 12.5 m 。

$$F = \pi DH = 3.1416 \times 42.6 \times 12.5 = 1672 (\text{m}^2)$$

代入
$$N = \frac{40 \times 1 \times 1672}{1000} = 66.8 (\text{kW})$$

选用 A×8-500 型直流电焊机 3 台。

(三) 降水效果分析

(1) 总抽水量开始 $600 \text{ m}^3/\text{d}$ ，稳定抽水量 $30 \text{ m}^3/\text{d}$ ；

(2) 水位降低曲线见图 8-5。1#、2# 观测井未通电，附近钢板桩缝渗水，电渗 10 天后渗水消失，观测井水位很快下降到 10 m 以上；

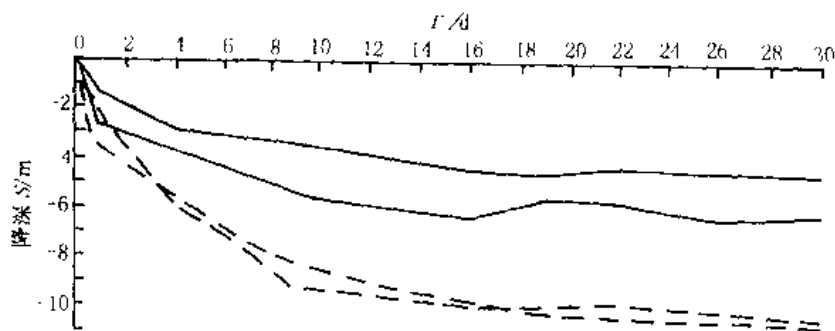


图 8-5 S-T 关系曲线

(3) 基坑内土壤干燥，淤泥质亚粘土含水量降低为 $15.14\% \sim 20.99\%$ ，淤泥质粘土降 $3.75\% \sim 4.36\%$ ，土的抗剪强度有所提高，土坡稳定性增强。

三、福州长乐国际机场航站楼管井降水

(一) 工程概况及降水要求

福州长乐国际机场航站楼分主楼与翼楼，平面呈“T”型展布。长 1032 m （其中主楼长 360 m ），最宽处 156 m （图 8-6）。主楼基坑开挖面积约 4.8 万 m^2 。场地自然地面标高为 $4.26 \sim 7.10 \text{ m}$ ，主楼 ± 0.00 标高为自然标高 9.50 m 。地下水位埋深约 0.5 m 左右。基坑开挖底标高为自然标高的 0.70 m （ ± 0.00 标高 -8.80 m ）。基坑底面多位于地下水位以下 $3.5 \sim 6.4 \text{ m}$ 。故必须采取人工降低地下水位才能施工。为此，提出如下降水方案：

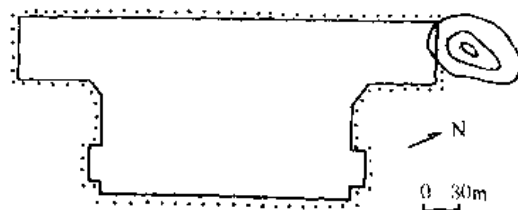


图 8-6 管井井点布置图

- (1) 第一阶段区域降水降至承台下 50 cm ，维持 3 个月；
- (2) 第二阶段区域降水至承台面（即 -6.18 m ），维持 3 个月；
- (3) 井点施工工期 10 天，降水开始后 10 天开始开挖，30 天达到降深要求。

(二) 场地水文地质条件

场地位于长乐漳港沿海风积砂平原上。地貌上由众多的砂垅、砂丘、砂纹地组成，零星散布有孤山残丘。地势总体低平，略显北高南低，地表坡度约 5% 。场地东、南两侧距海岸

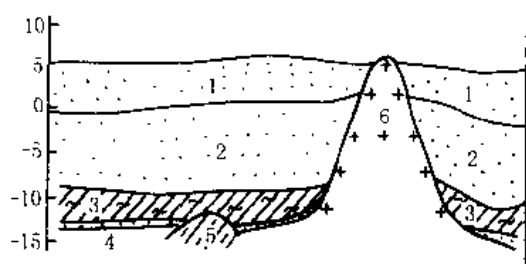


图 8-7 场地地层剖面示意

1. 黄色细砂；2. 灰色细砂；3. 淤泥质土；
4. 灰色中砂；5. 残积土；6. 基岩（花岗岩、火山岩）

约1.8km。场地地层岩性从上至下为（图 8-7）：

（1）细砂。土黄色，全新统风积成因。松散，分选性好，平均粒径0.24mm，不均匀系数小于5。渗透性好。厚度变化大，多在5~9m。

（2）细砂。灰色，全新统海积成因。松散，分选性好，平均粒径0.21mm，不均匀系数小于5。透水性好，厚度多在8~12m。

（3）淤泥质土。深灰色，软塑，局部夹细砂微层，故层理发育，垂向透水性极弱。厚度变化大，一般在3~20mm。

（4）细中砂。灰绿色，局部为含砾细中砂和碎石土。稍密，透水性一般。层位不稳定，厚度较薄，多在1~3m。

（5）残积砂质粘性土。灰绿、杂色、可塑。泥质含量高，透水性极弱。分布不均匀。厚度多在3~10m。

（6）风化基岩。为花岗岩、火山岩。多呈块状，裂隙发育，透水性较强。

（三）降水方案设计

1. 降水方案设计，应包含下列含义：

- （1）在达到降水目的的情况下，抽出的水量最少；
- （2）降水井点间距的合理性；
- （3）预测降水所需时间及出水量；
- （4）方案实施工艺成熟，与施工水平相适应；
- （5）主体降水一次性成功，有补救措施；
- （6）疏干后果分析，预测降水病害。

2. 水文地质参数选择

根据现场抽水试验及当地经验取值。设计所需的渗透系数 K 、影响半径 R 、导水系数 T 、给水度 μ 分别为：11~13m/d、52m/d、1282m/d、0.18m/d。

3. 计算基坑涌水量

细砂含水层岩性均匀，厚度虽有变化，但从较大范围看仍属均一，基坑边部向外延伸5倍影响半径，仍未出现明显的阻隔和地表水等边界条件改变，故假定是无限边界条件，地下水位自然坡度平缓，假定为水平潜水完整井。

（1）大井法（稳定流）

$$Q = 1.366 \frac{K(2H - S)S}{\lg \frac{R_0}{r_0}}$$

式中 K ——含水层渗透系数（m/d）；

H ——含水层水位标高（m）；

S ——疏干要求最大降深（m）；

R_0 ——基坑引用影响半径（m）；

r_0 ——基坑引用半径（m）。

(2) 疏干法

$$Q = \pi H \left[\frac{x\mu(R_0^2 - 2R_0r_0 - 3r_0^2)}{6t} - R_0K \frac{H}{R} \right]$$

式中 x ——与水动力有关的系数 (取 1);
 μ ——给水度;
 t ——降水历时 (d);
其他符号意义同前。

(3) 非稳定流法

$$Q = \frac{2\pi K(2H - S)S}{2.3\lg \frac{2.25at}{R_0^2}}$$

式中 a ——导压系数 (m^2/d);
 t ——降水累积历时 (d);
其他符号意义同前。
计算结果如表 8-1 所示。

表 8-1 计算与实测基坑涌水量对比

涌水量/ (m^3/d) 方 法 历时/d		5	10	20	30	60	90	120
计 算	疏干法	29585	20204	15513	13949	12385	11864	11604
	非稳定法		22592	8972	6167	4314	3611	3236
	大井法	$K = 11\text{m/d}, Q = 12193\text{m}^3/\text{d}; K = 13\text{m/d}, Q = 16545\text{m}^3/\text{d}$						
实 测		22000	18960	15400	14400	12100	70d 实测 11950	

4. 单井出水量确定

- (1) 场地水文地质条件。完整井井深多在 18m 左右, 含水层为细砂;
(2) 现有钻探设备多为 100 型, 移动方便, 可以大量投入赶工期。但钻探孔径最大为 273 ~ 325mm, 这样就限定了井管直径为 127 ~ 168mm。
其单井出水量按下式计算:

$$q = 102Dl \sqrt[3]{K}$$

式中 D ——过滤器直径 (m);
 l ——过滤器长度 (m);
 K ——含水层渗透系数 (m/d)。
计算结果为:

$$\begin{aligned} D = 0.127\text{mm} & \quad q = 288\text{m}^3/\text{d} \\ D = 0.146\text{mm} & \quad q = 331\text{m}^3/\text{d} \\ D = 0.168\text{mm} & \quad q = 381\text{m}^3/\text{d} \end{aligned}$$

考虑到含水层厚度不一, 滤水管长度有一定变化, 特别是实际现场多次成井试验, 单井

出水量在 $120 \sim 250 \text{m}^3/\text{d}$ ，故选择设计单井出水量 $q \geq 150 \text{m}^3/\text{d}$ ，可满足小于计算单井出水量之要求。

5. 管井数量与布置

管井数量 n 及井间距 L 与基坑总出水量、设计单井出水量及单井降深有关。一般采用试算法确定：

$$n = \frac{Q}{q} = \frac{12192}{150} = 81(\text{个})$$

$$n = \frac{Q}{q} = \frac{16500}{150} = 110(\text{个})$$

当 $n = 81$ 个，井间距 $L = 9.6 \text{m}$ ；当 $n = 110$ 个，井间距 $L = 7.1 \text{m}$ 。

设单井降深 8m ，经单排井点干扰抽水水位削减验算，井间距为 8m 时，即可满足二井点中部水位降深达到设计降深要求。其最终井点数为：

$$n = 1.1 \frac{\text{基坑周长}}{\text{井间距}} = 1.1 \frac{780}{8} = 108(\text{个})$$

实际布置时，还考虑到含水层厚度变化、富水非均匀性及配合开挖施工需要，采取了不等距布设。

6. 补救措施

水文地质参数是随机变量，变异性大，不同测试方法得到不同的测试值，且差异往往很大。因此，降水设计不可能与实际完全相同。为确保降水工程基本上成功，必须采取相应的补救措施。

(1) 在井点布设上，不同管径（ 127mm 、 146mm 、 168mm ）的井点相间排列。富水性较丰富处多布设较大管井井点；

(2) 选择配备了不同出水能力（ 4 、 6 、 8 、 $10 \text{m}^3/\text{h}$ ）的水泵；

(3) 单井井深要求大于单井设计降深 3m 以上。

上述措施的作用是在一旦出现降深达不到设计要求时，可采取更换大功率水泵或下放泵体等措施，而不必临时增补新井点。降水初期，西北侧（靠近地表水体）水位下降速度缓慢，及时调整更换数台较大功率水泵，水位迅速下降，达到了降深要求。实践证明，这些措施是必备而有效的。

7. 基坑外围沉降量预测

根据设计地下水位降落，按照砂层短期瞬时完成沉降特点，计算基坑周边外围地面变形沉降约 $4.7 \sim 9.4 \text{cm}$ ，场地位于旷野平原，四周无任何建筑物，仅西侧有施工便道，此沉降量不会造成不良影响，相反可提高边坡土体抗剪强度。故不必采取防范措施。

(四) 管井施工

管井的施工，成井质量是降水设计方案成败的关键。因此，施工前制定统一的成井质量标准，技术人员现场指导把关。特别对下列工序进行控制：

孔深：由于局部含水层底板淤泥质土厚仅有 1.5m ，故严格控制孔深，以免钻穿隔水层，造成下部承压水向上补给，增大涌水量。

滤料：严格按照含水层颗粒分析资料选择滤料。并满足填砾数量要求，保证充盈系数 ≥ 1 。

洗井：采用活塞—水泵相结合方法，反复进行，直到满足洗井前后两次涌水量差值

$< 10\%$, 水中含砂量 $< 1/200$ 万, 平均单井洗井达 6h。

试抽: 坚持单井验收签证, 验收按照统一标准进行。没有技术负责人签证, 机组不得迁移新井位。验收时特别应满足抽水 $> 4\text{h}$, 基本稳定出水量 $> 150\text{m}^3/\text{d}$, 井内沉渣 $< 0.1\text{m}$ 。

管井施工中, 加强现场服务协调, 仅用 10d 就完成了全部成井工作。

(五) 效果与体会

1. 效果

从正式降水开始 8h 后, 管井内水位降至 -3.5m , 低于基坑底 4.2m 。

1 天后, 基坑边部水位降至 1.0m , 水位高出基坑底 0.3m 。随后进行试开挖成功, 基坑开挖全面展开。

5 天后, 基坑中部水位降至 2.5m , 高出坑底 1.8m 。之后地下水位以 $0.3 \sim 0.2\text{m}/\text{d}$ 速率下降。

10 天后, 基坑中部水位降至 1.0m , 高出坑底 0.3m 。

15 天后, 基坑中部水位降至 0.5m , 低于基坑底 0.2m , 水位下降速度明显减小, 渐变为 $0.1 \sim 0.03\text{m}/\text{d}$ 。此时基坑 $2/3$ 面积基本达到降深要求。仅北侧水位下降缓慢, 水位高出坑底 0.3m 。原因是北侧边界为园珠山, 原假定该岩体为隔水边界, 未布置降水井点, 而开挖后发现岩体构造裂隙特别发育, 勾通了园珠山北部大面积地表水体 (约 1万 m^3) 补给。经增补 2 个管井和 10 个轻型井点后, 水位开始明显下降, 但直到北部地表水体被疏干后, 北侧基坑内水位方降至预定深度。

25 天后, 基坑内水位均降至坑底以下 $0.2 \sim 0.5\text{m}$ 。并且一直稳定在这一范围, 历时 120 天。期间虽有数次暴雨影响, 对管井水位有小幅度的变化, 但均未高出坑底 (图 8-8、8-9)。

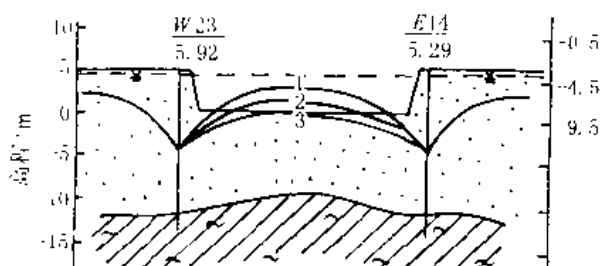


图 8-8 降水水位变化

1. 降水 5 天时水位;
2. 降水 15 天时水位;
3. 降水 25 天后水位

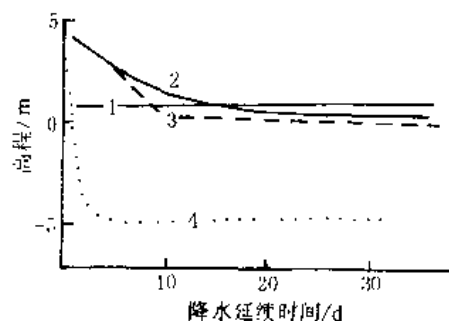


图 8-9 基坑动水位变化

1. 基坑坑底高程;
2. 实测水位;
3. 计算预报水位;
4. 周边降水孔水位

与此同时, 基坑开挖同步进行, 30 天后上方开挖完毕, 提前工期 21 天; 由于在无水状态下施工, 提高了边坡稳定性, 由原设计的 $1:1.5$ 放坡改为 $1:0.8$, 节约了大量土方; 由于施工供水发生故障, 基坑降水井点排出的水又返供给整个航站楼施工所用, 日供水量在 3000m^3 。长达 3 个月, 供水 30万 m^3 。不仅保证了施工工期, 而且节约了供水经费, 其经济和社会效益都十分显著。

2. 体会

(1) 水文地质参数应以现场正式抽水试验方法为准。含水层是不均质的, 其参数是随机变量, 变异性大。不同的测试方法会得到不同的数值, 差异可能相当大, 且相互间无确定的

关系。因此场地多孔抽水试验所得参数是最可信赖的。

(2) 利用大井法计算基坑涌水量是可行的 (表 8-1)。其值相当于开始降水时涌水量的 60% ~ 70%，代表基坑降水进入稳定初期的涌水量值。当基坑面积在整个含水层中所占比例很小时，该方法计算的涌水量将偏小更多。故在设计井点数量、井径、抽水设备等方面应予以充分注意，留有较大的安全储备。

(3) 该场地利用消耗疏干法预测水量、水位随时间的变化是可行的 (图 8-10)。而非稳定流方法预测效果误差极大，其主要原因是假定条件不符所致。

(4) 严格控制成井工艺质量。紧持实施单井验收条件，是保证降水成功的关键。

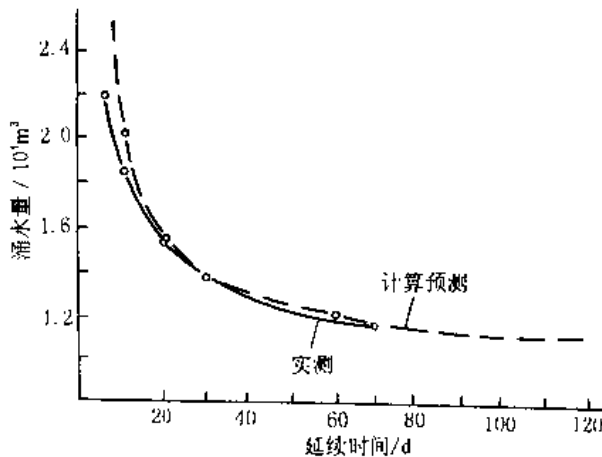


图 8-10 基坑涌水量与降水时间关系

四、北京京宝花园引渗管井降水

(一) 工程概况及降水要求

北京京宝花园，位于北京市安外大街，主楼长 113m，宽 20m。楼座基坑开挖面积 6000m² (长 140m，宽 42m)，基坑深 -14.64m，局部 -16.20m，要求降水深度 -16.7m 以下；运土车道开挖面积约 900m²，要求降水深度 -10m。在满足以上降水要求的基础上，尽可能达到无地下施工，即要求地下水位降至 -19.5m 以下。

(二) 场地水文地质条件

该场地位于永定河冲洪积扇中段，地形平坦。在埋深 -35m 内的地层自上而下为粘质粉土，粉质粘土，细、中砂及卵石层，详见图 8-11。其主要含水层有：

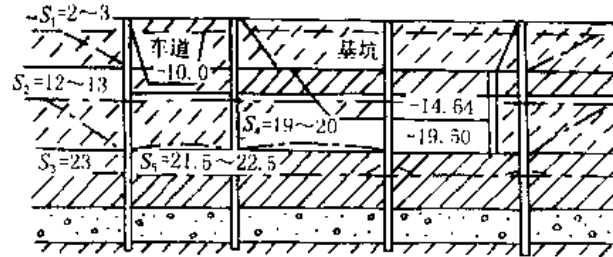


图 8-11 深基坑自渗降水断面图

(1) 上层滞水含水层。分布于 $-6.0 \sim -7.5\text{m}$ 以上的粉质粘土层和粉细砂透镜体中, 水位埋深 $-2 \sim -3\text{m}$, 年变幅 1m 左右, 含水层厚度平均约 4.5m , 渗透系数 $K_1 = 0.20\text{m/d}$ 。

(2) 潜水含水层。分布于 $-11 \sim -21\text{m}$ 的粘质粉土层中, 水位埋深 $-12 \sim -13\text{m}$, 年变幅约 1m , 含水层平均厚度 7m , 渗透系数 $K_2 = 0.15\text{m/d}$ 。

(3) 承压水含水层。分布于 $-28 \sim -34\text{m}$ 的砂卵石层中, 水位埋深一般 -23m , 年变幅 2m 左右, 含水层厚度 $4 \sim 5\text{m}$, 渗透系数 $K_3 \approx 75\text{m/d}$ 。

(三) 降水方案的选择

根据场地的水文地质条件、场地环境及降水方法的适用条件等综合因素, 提出了自渗降水方案。这一方案不但可以很好地克服施工场地狭小和其他降水方法带来的困难和不足, 而且可以满足 -7m 以下无水进行护坡桩施工 (桩底深 -19.5m) 的要求。同时降水有效延续时间长, 降水费用不增加。

1. 自渗井点布置

基坑四周边沿按间距 $8 \sim 10\text{m}$, 基坑中部按间距 $10 \sim 12\text{m}$ 进行布孔。为引走上层滞水层底部的少量残留滞水和雨季基坑坡面的雨水, 于第一步槽台上沿沟布置 3 个自渗井, 共计 47 个。为解决运土车道的降水问题, 在车道外侧增打 5 个自渗井点。如图 8-12 所示。

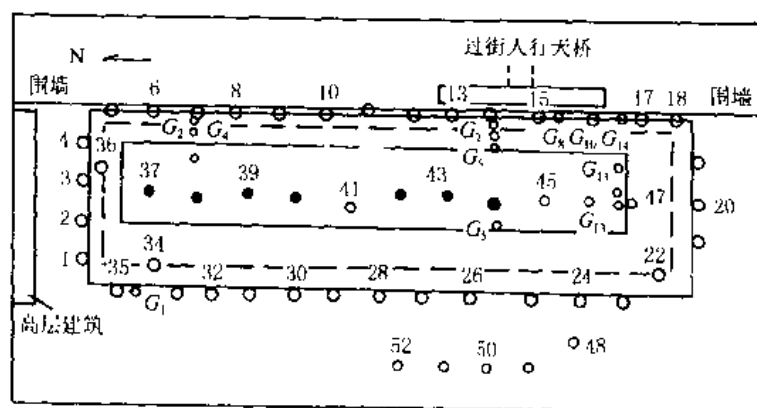


图 8-12 自渗降水井布置图

2. 自渗井点结构

井点深 $33 \sim 35\text{m}$, 孔径 550mm , 下入 $\phi 300\text{mm}$ 的水泥砾石滤水管, 管外填入砾石滤料, 上部 3m 用粘土进行封井, 防止雨水和污水等渗入井中。

3. 井点施工要求

采用 250 型冲击式钻机, 加清水自动造浆钻进, 终孔后清水稀释泥浆, 使泥浆相对密度稀释到 $1.05 \sim 1.10$ 即止, 然后下管、填料、洗井。

4. 设计验算

(1) 上层滞水进入基坑内的涌水量 Q_1 :

$$Q_1 = \frac{1.366K_1H_1^2}{\lg(R_1/x)} = \frac{1.3666 \times 0.20 \times 4.5^2}{\lg(60.37/51.87)} = 44.99(\text{m}^3/\text{d})$$

(2) 潜水进入基坑内的涌水量 Q_2 :

$$Q_2 = \frac{1.366K_2H_2^2}{\lg(R_2/x)} = \frac{1.3666 \times 0.15 \times 7.0^2}{\lg(66.22/51.87)} = 94.65(\text{m}^3/\text{d})$$

(3) 确定自渗井的单井入渗量 (按四周井点计算) Q_3 :

$$Q_3 = \frac{Q_1 + Q_2}{n} = \frac{139.64}{35} \approx 3.99(\text{m}^3/\text{d})$$

(4) 自渗井中的水位抬升值 Δh 及井中混合水位埋深 $S_{混}$:

$$\Delta h = \frac{Q_3(\lg R_3 - \lg r_w)}{2.73 K_3 \cdot m} = \frac{3.99(\lg 500 - \lg 0.275)}{2.73 \times 75 \times 4} = 0.016(\text{m})$$

$$S_{混} = S_3 - \Delta h = 23 - 0.016 = 22.98(\text{m}) > 19.50(\text{m})$$

根据设计验算降水方案可以满足设计要求。

(四) 降水效果

自渗井点于 1991 年 3 月 10 日施工完毕, 1991 年 3 月 15 日开挖第一步基槽 (-7.5m), 边挖边在槽底 (北侧和东侧) 用长螺旋钻打护坡桩孔, 基槽北段、中段和南段分别于 1991 年 4 月 18 日、25 日和 28 日挖至要求深度 (-14.6m)。除局部地段在上层滞水层底部的粉、细砂透镜体处有极少量残留滞水渗出外, 整个基坑内无地下水, 降水效果非常好。地下水位降至 -19.30 ~ -20.00m, 不但满足了基坑降水的要求, 而且满足了护坡桩顺利地用长螺旋钻成孔和无水施工的要求, 保证了护坡桩的质量。同时使整个基坑开挖工期比原计划提前 20 多天完成, 受到了建设单位的好评。

五、北京三元大厦渗抽结合降水

(一) 工程概况及降水要求

北京三元大厦, 位于北京市朝阳区三元立交桥, 由主楼 (33 层) 及裙楼组成, 基坑为边长 60m 的正方形, 基坑底深度为 -16.25m, 主楼小箱基和大直径扩底基础桩 (上部直径 1.4m, 底部 2.6m) 深度为 -23.5m, 基坑边坡采用护坡桩加两道锚杆 (-4m 和 -9m), 护坡桩深度为 -23.5 ~ -24.0m。因此, 降水要求分为三个部分: ① 基坑降水, 面积约 3600m², 降水深度为 -16.5m; ② 护坡桩降水, 降水深度为 -23.5 ~ -24.0m; ③ 小箱基和基础桩降水, 降水深度为 -24.0m 以下。

(二) 场地水文地质条件

该场地位于永定河冲洪积扇的中下部, 埋深 30m 以上的地层自上而下为: ① 填土, 层底深 1 ~ 3m, 层厚 1 ~ 3m; ② 粘质粉土, 层底深度为 6 ~ 8m, 层厚 4 ~ 6m; ③ 粉、细砂, 层底深度 7 ~ 9m, 层厚 0.5 ~ 3m; ④ 粉质粘土, 层底深度 15 ~ 16m, 层厚 7 ~ 8m; ⑤ 粉、细砂, 层底深度 17 ~ 18m, 层厚 1 ~ 3m; ⑥ 粘土, 层底深度 20 ~ 22m, 层厚 2 ~ 5m; ⑦ 粘质粉土, 层底深度 22 ~ 23m, 层厚 1 ~ 3m; ⑧ 砂、砾石, 层底深度 25 ~ 26m, 层厚 3 ~ 4m; ⑨ 粉质粘土, 层底深度 27 ~ 30m, 层厚 2 ~ 5m。

与基坑有关的地下水有上层滞水、微承压水和承压水 3 层。

(1) 上层滞水。分布于 7 ~ 9m 以上的粉、细砂和粘质粉土层中, 水位埋深 0.6 ~ 1.9m, 含水层平均厚度约 6m, 渗透系数为: 粘质粉土取 0.2m/d, 粉、细砂取 3m/d, 其加权平均值 K_1 为 1m/d。

(2) 微承压水。分布于 15 ~ 18m 的粉、细砂⑤层中, 水头埋深 12 ~ 13m, 含水层平均厚度约 2m, 渗透系数 K_2 取 5m/d。

(3) 承压水。分布于砂、砾⑧层中, 水头埋深约 20m, 含水层平均厚度 3.5m, 渗透系数 K_3 为 50m/d。

(三) 降水方案设计

1. 选择降水方法

根据场地水文地质条件和降水任务要求及环境条件, 选用渗、抽结合降水方法。对于基坑, 所要降水的含水层为上层滞水和微承压水。其渗透能力较弱, 水量不大; 而下部砂、砾石承压含水层的渗透能力较强, 能容纳大量入渗水量; 将上部和中部的地下水引渗到下部承压含水层中是可行的。

对于小箱基、大直径扩底桩及护坡桩, 由于其降水深度大, 降水层为承压强透水层, 水量较大, 选用管井点抽降。

2. 设计计算 (表 8-2)

表 8-2 降水设计计算表

计 算 步 骤	计 算 项 目	代 号	计 算 公 式	上层滞水	微承压水	承压水	单 位
				①	②	③	
1	含水层渗透系数	K		1.0	5.0	50.0	m/d
	含水层厚度(潜水)	H		6.0	5.0	5.5	m
	含水层厚度(承压水)	m			2.0	3.5	m
	降水深度	S		5.5	4.5	3.5	m
	计算影响半径	R	$2S_w \sqrt{K \cdot H}$	27.0	45.0	116.0	m
	圆形基坑半径	r_0	$\mu \frac{L+B}{4}$	35.4	35.4	35.4	m
	引用影响半径	R_0	$R + r_0$	62.4	80.4	151.4	m
2	基坑涌水量(潜水)	Q	$\frac{1.366K(2H-S)S}{\lg R_0/r_0}$	198.4			m ³ /d
	基坑涌水量(承压水)	Q	$\frac{2.732K \cdot M \cdot S}{\lg R_0/r_0}$		345.1	2651.4	m ³ /d
3	单井点出水能力	q'	$\frac{L \cdot d}{\alpha'} \times 24$	6.4	14.7	288	m ³ /d
4	井点数量	n	$1.1 \frac{Q}{q'}$	34	26	10	个
5	井点间距	l_n	$\frac{L}{n-1}$	7.3	9.6	26.7	m

3. 降水方案设计

降水方案设计分为两个方面, 一是基坑降水; 二是护坡桩、基础桩和小箱基的降水。对于基坑降水, 采用管井引渗; 对于桩和小箱基, 采用临时(施工期间)抽降。

(1) 降水井布置:

①为满足基坑降水, 选用上层滞水的计算井数, 即布置引渗管井点 34 个, 井间距为 7m, 沿基坑四周均匀布井;

②为满足桩和小箱基降水, 在以上引(渗)管井中选择部分井, 于桩和小箱基施工期间抽水, 抽水井数为 10~12 个, 一般间隔 2~3 个引渗井抽 1 个。

(2) 井点结构:

①孔深, 引渗管井为 25~26m, 抽水井为 27~29m;

②孔径为 600mm;

③井管为水泥砾石滤水管, 井管内径为 300mm;

④滤料, 一般为 2~4mm 砾石, 在粉、细砂层部位为粗砂和砾石的混合滤料。

(3) 基坑开挖过程中应采取的措施:

①开挖第一步土(-4m)进行第一排锚杆施工期间,在基坑内上层滞水残留厚度大的部位,用挖土机挖出1~2个集水坑,用污水泵抽水,尽可能降低上层滞水的残留水位;

②开挖第二步土(-9m)进行第二排锚杆施工期间,于上层滞水层底板埋设引水管,并在桩间砌砖支护砂层易塌部位。当第二排锚杆的钢梁锁定后,在钢梁之上架设环形排水主管道,把坑壁引水管接上排水管后,与抽水井点联通(用洛阳铲打穿井管),将全部残滞水引入井中抽走或自渗;

③挖第三步土(-16m)时,如微承压水层有部分渗水,则在该部位的槽边工作面上用洛阳铲打孔,将水引渗到承压水层中,或设置排水沟;

④对“小箱基”和人工挖孔大直径扩底桩,由于要穿过微承压含水层的底板,而砂层的底部肯定会有残留水。因此,应先挖“小箱基”,并利用其进行抽水,将残留水尽可能减少后,再于“小箱基”周边的隔水层设置截水暗沟和引渗砂、砾井点,将水引渗到承压含水层中。人工挖扩底桩时,必须采取防护措施,防止塌孔;

⑤由于基坑开挖正值雨季,必须做好地面防渗措施。

4. 设计验算

(1) 验算自渗能否满足基坑的降水要求

①基坑的总入渗水量 Q_A :

$$Q_A = Q_1 + Q_2 = 543.5(\text{m}^3/\text{d})$$

②各引渗管井点的单井入渗水量 Q_i :

$$Q_i = \frac{Q_A}{n} = \frac{543.5}{34} = 16.0(\text{m}^3/\text{d})$$

③引渗井点的水位反升值 Δh :

$$\Delta h = \frac{Q_i (\lg R / r_w)}{2.73 K_3 \cdot m_3} = 0.1(\text{m})$$

考虑到成井泥浆等的影响,取0.5m。

④引渗井点的混合水位埋深 $S_{混}$:

$$S_{混} = h_3 - 0.5 = 20 - 0.5 = 19.5(\text{m})$$

因此,自渗降水满足基坑降水要求。

(2) 验算基坑中心各层残留地下水的厚度 h_i

①上层滞水:

$$h_1 = \sqrt{H_1^2 - \frac{Q_1}{0.366 K_1} \left[\lg R - \frac{1}{n} \lg(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \right]} = 0.5(\text{m})$$

②微承压水:

$$h_2 = H_2 - \frac{0.366 Q_2}{K_2 \cdot m_2} \left[\lg R - \frac{1}{n} \lg(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \right] = 0.5(\text{m})$$

基坑中心残留水层厚度为0.5m左右,根据经验,不会影响基坑的正常施工。

(3) 验算桩和小箱基的降水深度:

①干扰井群抽水量 Q_3 :

$$Q_3 = n \cdot \frac{2.73 K_3 \cdot m_3 \cdot S_3}{\lg R_3 / n \cdot r_0^{n-1} \cdot r_w} = 3235.4(\text{m}^3/\text{d})$$

②基坑中心的水位埋深 $h_{中}$:

$$h_{中} = h_3 + S'_{中} = h_3 + \frac{Q_3}{2.73K_3 \cdot m_3} (\lg R_3 / r_0) = 23.8(\text{m})$$

因此,抽水后能满足护坡桩、基础桩及小箱基的降水要求。

(四) 降水施工

降水井点施工于1996年3月初开始,历时12天,完成管井34个,砂、砾井5个,观测孔5个。由于甲方原因,到5月6日开挖第一步土(-4m),然后打护坡桩和第一排锚杆,作连梁,4m以上砌砖墙护坡。因开工证未办好,1996年7月17日开挖第二步土(-9.5m),作第二排锚杆和钢梁,在此期间作上层滞水的残留水处理,每桩间插入1~2根引水管,砌砖0.2~0.5m高,在钢梁上架设排水管道,并与5个井点沟通。由于连降大雨,挖土十分困难,到1996年8月10日开挖第三步土(-16.0m),1996年8月25日开始人工挖桩和挖“小箱基”(-23.5m)。抽水于1996年8月1日开始,下潜水泵8台,连续抽水7天,基坑中心水位降至-24.0m以下。

(五) 降水效果

井点施工完成后,自渗5~7天,上层滞水和微承压水已降至设计深度(上层滞水-7.0~-8.0m,微承压水-16.5~-17.5m),残留水层厚度一般为0.3~0.5m。在护坡桩施工期间,抽水时地下水位降至-24.0m以下,锚杆孔可以干钻成孔,但由于其锚固力不够,后改为扩径水冲钻孔。基坑挖至-9.5m时,边坡渗水层厚度0.1~0.5m,采用砌砖作引水管后,边坡稳定,无塌方现象;渗水量随降雨有明显变化,由于正值雨季,特别是当年的雨水较多,在连下大雨和暴雨后1~2天,渗水量变化大,雨后3~5天减小,其差值达3~5倍。作好排水管后,基坑内无渗水。挖至-16m时,基坑内无渗水,水位降至基坑底-17.0m。开挖“小箱基”和人工挖孔扩底桩顺利,在砂层中进行灌注桩人工扩孔时,未采取支护措施即能成孔,下层水位降至-24.0m以下。

六、苏州伊莎中心大厦二级轻型井点回灌工程

(一) 工程概况

伊莎中心大厦位于苏州新区,西面和北面与交通要道滨河路、狮山路接壤,东面紧邻一栋新建的商城大厦。本工程建筑面积73000m²,裙房地下1层,地上2层,主楼地下2层,地上38层,全高151m。

本工程自然地面标高-1.40m。场地土层由上至下依次为杂填土(底标高-1.80m),耕植土(底标高-2.69~-3.69m),粘土(底标高-6.83~-6.99m),粉质粘土(底标高-8.43~-8.57m),粉砂(底标高-19.49~-19.94m)。地下水位-3.20m,土层渗透系数为3.85m/d。裙房基础承台底标高-5.50m,坐在粘土层上。主楼基础筏板底标高-12.25m,坐在粉砂层上。

“伊莎”土方工程,实施非封闭式二级井点降水,放坡,机械开挖施工。一级轻型井点降水,保证挖土至-5.50m。二级采用喷射井点降水,另增加三眼大口井作辅助降水,保证主楼基坑由5.50m挖至-12.25m。

由于“伊莎”离商城大厦很近,其相邻基础之间只有7.33m,故“伊莎”在降水过程中,首先遇到的问题,即是如何保证商城大厦的结构安全。

(二) 施工方案的选择

为了防止“伊莎”在降水过程中造成商城大厦产生不均匀下沉,当初考虑三种施工方案:①在商城大厦与“伊莎”之间打一排U型钢板桩,以保持“伊莎”降水时商城大厦的地下水位基本不变,但造价太高,且施工周期长;②在两栋建筑物之间采用无砂管大口井并井点回灌措施。由于商城大厦离“伊莎”开挖的基坑边沿太近,深井成孔困难,也未能实施;③根据商城大厦的地质条件(同“伊莎”)及“伊莎”基坑分二次开挖、采取二级井点降水施工的情况,最后选定采用二级轻型井点回灌施工方案。

(三) 二级轻型井点回灌施工技术

1. 回灌井点设备

回灌系利用轻型井点降水使用的射流泵机组,略加改造,变抽水为注水,并在原机具上另安装一闸阀和一水表,以控制水流量。注水总管采用直径 $\phi 100\text{mm}$ 钢管,分节连接,每节长6m。注水支管为直径 $\phi 38\text{mm}$ 钢管,滤管长度1.5m。

2. 回灌井点设计

(1) 井点支管设计:

按无压非完整井计算,“伊莎”基坑总涌水量 $Q = 1901\text{m}^3/\text{d}$ 。商城大厦在“伊莎”一侧,其所需回灌水量 Q_1 设计按“伊莎”总涌水量1/4考虑,并考虑补偿系数为2(即考虑回灌水量仅有1/2流向商城大厦一侧),则所需回灌水量:

$$Q_1 = 2 \times (1901 \times 1/4) = 950.5(\text{m}^3/\text{d})$$

单根井点管的回灌水量:

$$q_1 = 65\pi dl \sqrt[3]{K} = 65 \times 3.14 \times 0.038 \times 1.5 \times \sqrt[3]{3.85} = 18.23(\text{m}^3/\text{d})$$

井点管根数:

$$n = 1.1 \times \frac{Q_1}{q_1} = 1.1 \times \frac{950.5}{18.23} \approx 58(\text{根})$$

(2) 回灌井布置:

一级回灌井点布设在商城大厦与“伊莎”基坑之间,离基坑上口边沿1m,共布50根分别长7m、12m、14.5m的支管,交错布置,其中3根支管作为观测井点——观测回灌水位。二级回灌井点布设在“伊莎”裙房基坑东侧-5.50m标高处,仅限在靠商城大厦主楼的一段范围内,共设12根7m支管。支管间距1.3m。回灌井点布置见图8-13。

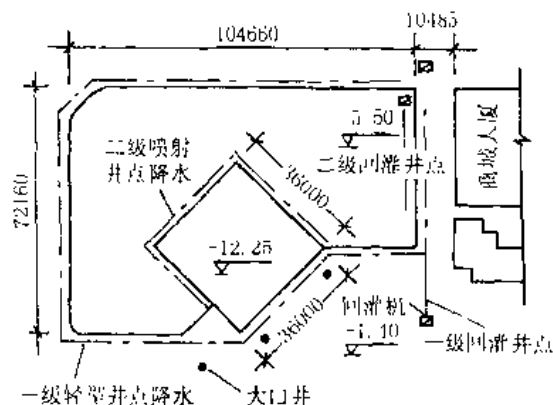


图 8-13 伊莎中心大厦井点降水与回灌井点注水布置图

3. 回灌井点施工

采用机械钻孔成孔，孔径 300mm。下管前在滤管管面用胶带包 180°，将滤管一半的滤孔封死，下井管时使包胶带的管面朝向基坑，促使回灌水能大部分注入商城大厦下各地层中。

下管后在井管与孔壁之间用豆粒石作填料，上部井口处用粘土封口，厚度大于 2m，其中 3 根观测井井管四周全部用豆粒石回填。

4. 注水

(1) 水位观测井布设

为及时了解商城大厦地下水位变化的情况，及时调整回灌井点的注水量，分别在两处共设了 6 眼井。其一，在一级回灌井点中抽出 3 号、18 号、31 号井点管为观测井，观测回灌水位，其深度分别为 7m、12m、14.5m。另在商城大厦的西南面，离回灌井平均距离约 100cm 处，钻了 3 眼 $\phi 300\text{mm}$ 无砂管井，深 15m，用以观测工程附近自然水位的变化情况。

(2) 注水方法

一级与二级回灌井点向商城大厦地下注水，系在“伊莎”基坑一级轻型井点与二级喷射井点降水通过试抽进入正常后，按对应次序同时进行。为防止滤管眼堵塞，回灌水则直接利用自来水。

在回灌前，通过观测井对商城大厦地下水位进行首次观测，注水后前两周每天观测 4 次，当水位变化基本稳定后，每天观测 2 次。在观测水位的同时并对机组的注水压力及注水流量作好记录。根据观测水位变化及时调整注水量，以保持水位相对稳定。通常水泵出水口工作压力约 0.3MPa，所形成的真空约 $-0.06 \sim -0.08\text{MPa}$ 。

5. 沉降控制

为准确测定在降水与回灌注水期间商城大厦沉降情况，在商城大厦四周共设有 11 个沉降观测点，进行精密水准测量，初期每天观测一次，待地下水位基本稳定后，每 3 天观测一次。

(四) 井点回灌效果与体会

1. 效果

“伊莎”采取轻型井点回灌措施历时 5 个月，根据沉降观测，商城大厦累计沉降量最大为 +4mm，主体结构在安全上未受到任何影响。回灌施工费用仅为采用钢板桩止水费用的 1/3。

2. 体会

(1) 工程实践表明，如果回灌地层为非粘土层，则利用轻型井点降水设备进行回灌是行之有效的。当工程地下水位降低超过 7m，采用二级轻型井点回灌技术其效果更佳；

(2) 通过回灌注水来保持工程相邻建筑物的地下水位不变只是相对的，其地下水位除受降水影响外，还与自然地下水位升降有关，所以在设置水位观测井时，除应在回灌井点附近设置外，还应在降水与回灌注水影响范围以外设置观测井，观测自然水位变化情况；

(3) “伊莎”在回灌刚开始曾一度出现注水受阻，其原因是：①井点管周围在回填豆粒石时混杂有粘土，致使部分滤管眼堵死；②井点管口粘土封口不严，且部分封口厚度不足 2m，造成注入的水部分沿井点管外壁溢出地面。上述两点在施工中必须注意；

(4) 根据对商城大厦地下水位与沉降观测数据分析，在工程降水的过程中，如能控制回灌水位始终在自然水位 $\pm 50\text{cm}$ 范围内波动，则工程降水对相邻建筑物的沉降几乎无影响。

参 考 文 献

- 王大纯等编著, 水文地质学基础, 北京: 地质出版社, 1986。
- 毛昶熙主编, 渗流计算分析与控制, 北京: 水利水电出版社, 1990。
- 地质矿产部水文地质工程地质技术方法研究队编, 水文地质手册, 北京: 地质出版社, 1978。
- 冶金工业部建筑研究总院编, 地基处理技术—基坑开挖与支护技术, 北京: 冶金工业出版社, 1993。
- 房佩先等编, 专门水文地质学, 北京: 地质出版社, 1987。
- 杨钦, 严煦世主编, 给水工程, 北京: 中国建筑工业出版社, 1987。
- 黄运飞编著, 深基坑工程实用技术, 北京: 兵器工业出版社, 1996。
- 龚晓南主编, 深基坑工程设计施工手册, 北京: 中国建筑工业出版社, 1998。
- 常土驷主编, 工程地质手册, 北京: 中国建筑工业出版社, 1992。
- 郭连科等编著, 供水管井设计与施工, 北京: 中国建筑工业出版社, 1973。
- 薛禹群、朱学遇编著, 地下水动力学, 北京: 地质出版社, 1979。

