

建筑施工工程师技术丛书

高层建筑基础工程施工

赵志缙 编著

中国建筑工业出版社

建筑施工工程师技术丛书

高层建筑基础工程施工

赵志缙 编著

中国建筑工业出版社

本书主要介绍高层建筑基础工程的施工技术。内容包括：高层建筑基础工程的结构形式、施工方案；降低地下水位与土方开挖；深基坑的支护结构；地下连续墙；土层锚杆；桩基施工；大体积钢筋混凝土基础结构施工。

本书可供建筑施工、设计人员及土建大专院校师生参考。

* * *

责任编辑 余永祯

建筑施工工程师技术丛书

高层建筑基础工程施工

赵志缙 编著

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：8 $\frac{5}{8}$ 插页：2 字数：230千字

1986年10月第一版 1986年10月第一次印刷

印数：1—29,100册 定价：2.00元

统一书号：15040·5070

出版说明

当前，新技术革命浪潮冲击着一切经济部门，建筑业也不例外。许多现代化的科学技术方法和管理手段正逐步地应用在建筑业中，取得了越来越大的经济效益。党的十一届三中全会以来，我国的建筑事业得到了蓬勃发展，各种现代化的建筑如雨后春笋，逐年增多。常年奔波在施工生产第一线的建筑施工工程师们，担负着繁重而复杂的施工任务。他们渴望学习新技术，提高业务水平，渴望更新自己的知识以适应现代化的要求。从科学技术的发展和四化建设的需要考虑，对在职科技人员进行继续教育的重要性和迫切性也日益突出。为此，我们组织出版了这套丛书，希望这套书能对他们有所裨益，并在工程实践中广泛应用新技术，建造出更多优良的工程，取得更佳的经济效益。

城乡建设环境保护部曾委托同济大学、重庆建筑工程学院、哈尔滨建筑工程学院从一九八一年开始举办建筑施工工程师进修班。这套丛书就是根据这些班的教学内容，结合当前施工技术的发展，将施工新技术、新材料、新结构的课题适当加多，以同济大学的老师为主组织编写的。可作为工程师进修班的教材，也可作为建筑施工工程师和有关人员自学参考。计划列题十余种，三年左右出齐。成书时尽量做到内容完整系统，文字叙述深入浅出，以便于现场施工工程师和技术员自学。当然，书中的内容选材是否适当，能否满足读者的要求，还希望广大读者提出意见，以便我们改进。谢谢！

城乡建设环境保护部干部局
中国建筑工业出版社

1986年6月

目 录

前 言

第一章 高层建筑基础工程的结构和施工方案	1
一、高层建筑的基础结构	1
二、高层建筑基础工程的施工方案	3
第二章 降低地下水位与土方开挖	5
一、降低地下水位	5
二、边坡稳定	29
三、基坑土方开挖	37
第三章 深基坑的支护结构	43
一、支护结构的荷载	43
二、钢板桩	48
第四章 地下连续墙	98
一、概述	98
二、地下连续墙结构设计要点	100
三、地下连续墙施工	116
四、“逆作法”施工技术	149
第五章 土层锚杆	164
一、概述	164
二、土层锚杆设计	165
三、土层锚杆施工	174
四、土层锚杆的试验	182
五、土层锚杆实例	186
第六章 桩基施工	189
一、预制桩施工	189
二、大直径钻孔灌注桩施工	211
第七章 大体积钢筋混凝土基础结构施工	236
一、大体积钢筋混凝土结构的裂缝控制	236
二、大体积钢筋混凝土基础结构施工	264

第一章 高层建筑基础工程的 结构和施工方案

一、高层建筑的基础结构

高层建筑的上部结构荷载很大，除采用特殊的基础型式外，一般的独立基础是不能满足技术要求的，因此，常用的基础结构型式如下：

1. 片筏基础

这种基础是在建筑物下面采用整片的钢筋混凝土基础，使其具有足够的刚度，可跨过局部软弱或易受压缩的地区。这种基础如不考虑利用挖去土的重量来补偿建筑物的荷载，则沉降较大。如上海展览馆的塔楼，采用这种基础目前已沉降 2 m 左右。

这种基础分平板式和梁板式两类。平板式片筏基础，可近似按倒无梁楼盖进行计算，地基反力假定均匀分布。梁板式片筏基础，当上部结构的刚度较大，地基为较均匀的高压缩性土层时，可假定地基反力在两个方向都按直线分布，根据静力平衡条件确定。如果通过调整底板的外挑长度，使基础接近中心受荷时，亦可假定地基反力为均匀分布。

当上部结构的柱网接近方形，且在柱网单元内不布置次肋时，则梁板式片筏基础按井式楼盖进行计算。底板按多跨连续双向板计算；纵向肋和横向肋都按多跨连续梁计算。当上部结构的柱网呈矩形，柱网单元内又布置了次肋且次肋间距较小时，则梁板式片筏基础按平面肋形楼盖计算。筏基底板按单向多跨连续板计算；次肋作为次梁，按多跨连续梁计算；纵向肋作为主梁也按多跨连续梁计算。

片筏基础的四角及四边边区格上，地基反力较大，应加强配筋以免产生裂缝。

2. 箱形基础

当高层建筑的上部结构荷载很大，地基软弱，片筏基础仍不能满足要求时，可用箱形基础。有时高层建筑亦需要地下室，做成箱形基础是很适宜的。

箱形基础大部分为补偿性基础，视其基底的实际平均压力的大小可分为全补偿性基础（基底的实际平均压力等于基底的自重压力）或欠补偿性基础，亦称部分补偿性基础（基底的实际平均压力大于基底的自重压力）。我国目前施工的层数较多的高层建筑大多数都属于这类基础。

箱形基础由钢筋混凝土底板、顶板和纵横交错的隔墙组成一个空间整体结构，刚性很大，可减少建筑物的不均匀沉降。

箱形基础的计算方法有两种：

第一种方法，是把箱形基础看作绝对刚性的板，不考虑上部结构的共同作用，用弹性理论确定地基反力和基础内力。计算顶板和底板时，考虑整体受弯和局部弯曲共同产生的内力。

第二种方法，是把箱形基础作为建筑物的一个地下楼层，不考虑箱形基础整体受弯作用，只按局部弯曲来计算底板内力。地基反力假定均匀分布，底板按倒楼盖计算，隔墙看作支座。顶板按支承在隔墙上的平面楼盖计算。

当箱形基础置于地下水位以下时，要重视施工阶段中的抗浮稳定性。所以施工中往往用钢板桩挡土，用轻型井点降低地下水位。上海施工的很多高层住宅都是这样施工的。如上海四平路12层高层住宅、上海北站康乐路12层高层住宅、上海华盛路13层高层住宅等皆如此。

3. 桩基础

桩基础亦是高层建筑常用的基础型式，尤其在沿海一带软土地基地区应用更多，如上海、广州、深圳等地很多高层建筑都用桩基础。上海解放前施工的国际饭店、锦江饭店、华侨饭店等高

层建筑都打的是木桩。近几年施工的上海宾馆、上海电信大楼、华亭宾馆、联谊大厦、雁荡公寓等高层建筑都是打的钢筋混凝土桩或钢管桩，这些高层建筑多有箱形基础的地下室，所以是箱形基础加桩基础。广州的白天鹅饭店、广州花园酒店等高层建筑也采用了桩基础。

桩基础有预制桩、灌注桩和爆扩桩几种形式。近年来，在高层建筑中除预制桩（钢筋混凝土桩、钢管桩）大量应用外，大直径灌注桩的应用有扩大的趋势，国内外不少的高层建筑都采用了这种桩基础，广州和深圳的一些高层建筑也用了这种桩。

为减少沉降，采用桩基础时最好将桩打到坚硬的持力层。为此，事先应做好地质勘探工作。

在大城市，采用长桩基础，会给后来的地下铁道建设带来困难。国外有的城市在这方面就有限制，如美国的休斯顿，就规定地面下18m是最大深度。因此，比较著名的52层、高218m的贝壳广场大厦亦只能建造18m深的基础。

二、高层建筑基础工程的施工方案

高层建筑基础工程的施工方案视基础结构、基础埋深、土质、地下水位、周围情况等而定，还需要通过经济比较以选择最优方案。

如果所施工的基础工程周围无建筑物，深度不太深且有足够的空地时，可采用放坡开挖。此时要解决的问题，主要就是挖土机的选择，配套运土汽车选择和数量计算、分层施工的划分和流水施工等。如果地下水位较高，为提高施工效率，也为了减少补偿性基础因挖土引起自重应力解除而产生的基坑回弹，可用轻型井点或喷射井点等设备进行降低地下水位。水位降低后再进行开挖，这对施工是很方便的。

如果所施工的基础工程周围无足够的空地，不允许进行放坡开挖时，则深基坑的开挖需要打设支护结构。最常用的支护结构

是钢板桩，此时要进行土压力计算和钢板桩支护结构的设计，并要考虑打桩机械、打桩工艺和封闭合拢的方法。有时为提高支护结构的刚度，也可用钢筋混凝土灌注桩做为支护结构。

如果所施工的基础工程埋深很大，而且条件又允许时，可采用地下连续墙的方法进行施工。地下连续墙的刚度比钢板桩大得多，因而，可使周围的地面和地下的变形减小到最小限度，有利于在施工期间保证周围的建筑物、交通干线和地下管线的正常使用。如果再采用“逆作法”进行施工，不但刚度更大，变形更小，而且还可以节省支撑材料，有利于加快施工速度。

无论是钢板桩、灌注桩支护结构，还是地下连续墙，都需要支撑结构。如果土质允许，可以用外拉的土层锚杆来代替基坑内部的支撑。土层锚杆国外已应用较多，我国也已试用成功，取得了一些施工经验。

如果所施工的基础工程采用的是桩基础，则首先要看设计采用的是预制桩还是灌注桩，是一般灌注桩还是大直径灌注桩。然后再根据工程特点选用合适的沉桩机械和沉桩工艺。预制桩的打设，挤土很严重，振动大，会危及周围的建筑物、道路和地下管线，因此，要设法克服振动和噪音大的问题。大直径钢筋混凝土灌注桩，虽然国外已推广，但国内的施工经验尚不丰富，还需要通过实践作进一步的研究和改进。

高层建筑的基础结构，不论是筏形基础还是箱形基础，往往有厚大的底板，它们都属于大体积混凝土的范畴，在确定施工方案时，对温度应力和收缩裂缝的控制应给予足够的重视，以保证工程质量。

基础工程在高层建筑的施工中，占有重要的地位，无论是造价、劳动力消耗和工期，都占有相当的比重，在组织高层建筑施工时，应予以重视。以下几章将对高层建筑基础工程施工常遇到的一些问题一一加以研究。

第二章 降低地下水位 与土方开挖

高层建筑多有地下室，有的甚至是多层地下室，因而其基础埋深较大。在软土地区施工，如不采用钢板桩、地下连续墙等施工技术，而采用大开口放坡开挖，则经常会遇到降低地下水位的问题。为此，本章将着重研究高层建筑基础工程施工中的降低地下水位问题、土方开挖方法和边坡稳定。

一、降低地下水位

开挖深基坑时，土的含水层常被切断，地下水就会不断地流入基坑内。为了保证施工的正常进行，防止边坡坍方和地基承载力下降，必须做好基坑的降水工作，使坑底保持干燥。降水的方法有集水井降水和井点降水两类。

集水井降水，是在开挖基坑时沿坑底周围开挖排水沟，再于坑底设集水井，使基坑内的水经排水沟流向集水井，然后用水泵抽出坑外。但是，当基坑开挖深度较大，地下水位较高而土质又不好时，用集水井降水容易引起流砂、管涌和边坡失稳，此时，则宜采用井点降水方法。

井点降水法有轻型井点、喷射井点和电渗井点几种。它属于人工降低地下水位的方法，除上述三种属于井点降水法的井点之外，还有管井井点和深井泵。

管井井点就是沿开挖的基坑，每隔一定距离（20~50m）设置一个管井，每个管井单独用一台水泵（潜水泵、离心泵）进行抽水，以降低地下水位。用此法可降低地下水位5~10m，适用

于渗透系数较大（土的渗透系数 $K = 20 \sim 200 \text{m/d}$ ）地下水量大的土层中。

当降水深度更大，在管井内用一般的水泵降水满足不了要求时，可改用特制的深井泵，此法即“深井泵降水法”。深井泵法适用于土的渗透系数 $K = 10 \sim 80 \text{m/d}$ 、降水深度大于 15m 的情况。

各种井点降水法的选择，视土的渗透系数、降水深度、设备条件及经济比较等而定。

当土的渗透系数 $K < 5 \text{m/d}$ 时，宜选用轻型井点和喷射井点；当土的渗透系数 $K = 5 \sim 20 \text{m/d}$ 时，可选用轻型井点、喷射井点，亦可选用管井井点。

当土的渗透系数 $K < 0.1 \text{m/d}$ 时，此时土的渗透性很差，可在轻型井点管的内圈增设一些电极（钢筋或钢管），通入直流电，以加速地下水向井点管渗透，加速排水，这就成为“电渗井点”。

一般轻型井点降低水位的深度，一层井点为 $3 \sim 6 \text{m}$ ，当地下水位较高，而基坑较深时，用轻型井点降水，则需两层甚至多层井点进行降水。这样，设备数量多，基坑挖土量大。如改用“喷射井点”进行降水，其降水深度可达 $8 \sim 20 \text{m}$ 。所以，进行深层降水宜用喷射井点的方法。

（一）地下水流的基本性质

进行高层建筑的深基础工程施工，为了进行降低地下水位的计算和保证土方工程施工顺利进行，需要对地下水流的基本性质有所了解。

1. 动水压力和流砂

地下水分潜水和层间水两种。潜水即从地表算起第一层不透水层以上含水层中所含的水，这种水无压力，属于重力水。层间水即夹于两不透水层之间含水层中所含的水。如果水未充满此含水层，水没有压力，称无压层间水；如果水充满此含水层，水则

带有压力，称承压层间水（图2-1）。

从水的流动方向取一柱状土体 A_1A_2 做为脱离体（图2-2），其横截面面积为 F ， Z_1 、 Z_2 为 A_1 、 A_2 在基准面以上的高程。

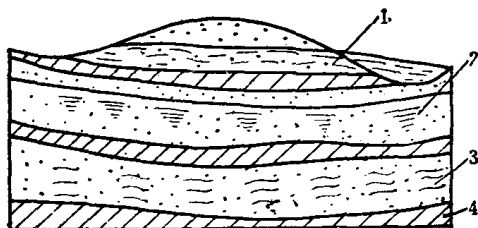


图 2-1 地下水

1—潜水；2—无压层间水；3—承压层间水；4—不透水层

由于 $h_1 > h_2$ ，存在压力差，水从 A_1 流向 A_2 。作用于脱离体 A_1A_2 上的力有：

$\gamma_w \cdot h_1 \cdot F$ —— A_1 处的总水压力，其方向与水流方向一致；
 $\gamma_w \cdot h_2 \cdot F$ —— A_2 处的总水压力，其方向与水流方向相反；
 $n \cdot \gamma_w \cdot L \cdot F \cdot \cos \alpha$ ——水柱重量在水流方向的分力（ n 为土壤的孔隙率）；

$(1 - n) \cdot \gamma_w \cdot L \cdot F \cdot \cos \alpha$ ——土骨架重力在水流方向的分力；

$L \cdot F \cdot T$ ——土骨架对水流的阻力（ T 为单位阻力）。

由静力平衡条件得：

$$\gamma_w h_1 F - \gamma_w h_2 F + n \gamma_w L F \cos \alpha + (1 - n) \gamma_w L F \cos \alpha - L F T = 0$$

即：

$$\gamma_w h_1 - \gamma_w h_2 + n \gamma_w L \cos \alpha + (1 - n) \gamma_w L \cos \alpha - L T = 0$$

由图 2-2 知：

$$\cos \alpha = \frac{Z_1 - Z_2}{L}$$

代入上式得：

$$\gamma_w [(h_1 + Z_1) - (h_2 + Z_2)] - L T = 0$$

$$\gamma_w (H_1 - H_2) = L T$$

$$T = \gamma_w \frac{H_1 - H_2}{L}$$

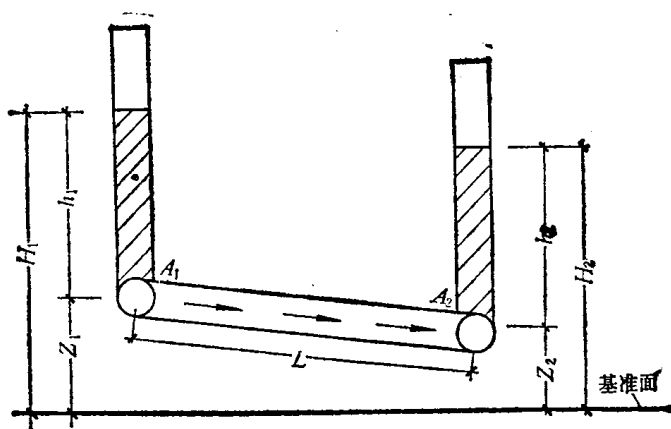


图 2-2 动水压力

式中 $\frac{H_1 - H_2}{L}$ 为水头差与渗透路程长度之比，称为水力坡度，以 I 表示。因而上式可写成

$$T = \gamma_w I$$

设水在土中渗流时，对单位土体的压力为 G_D ，由作用力等于反作用力，但方向相反的原理，可知

$$G_D = -T = -\gamma_w I \quad (2-1)$$

我们称 G_D 的动水压力，其单位为 kN/m^3 。动水压力 G_D 与水力坡度成正比，即水位差 $H_1 - H_2$ 愈大， G_D 亦愈大；而渗透路线 L 愈长，则 G_D 愈小。动水压力的作用方向与水流方向相同。当水流在水位差作用下对土颗粒产生向上的压力时，动水压力不但使土颗粒受到水的浮力，而且还使土颗粒受到向上的压力，当动水压力等于或大于土的浸水容重 γ'_s 时，即

$$G_D \geq \gamma'_s$$

则土颗粒失去自重，处于悬浮状态，土的抗剪强度等于零，土颗粒能随着渗流的水一起流动，这种现象称“流砂”。

在一定的动水压力作用下，细颗粒、颗粒均匀、松散而饱和的土容易产生流砂现象。降低地下水位，消除动水压力，是防止

产生流砂现象的重要措施之一。此外，打钢板桩、施工地下连续墙和采用冻结法等亦能制止流砂产生。

2. 渗透系数

渗透系数是计算水井涌水量的重要参数之一。水在土中的流动称为渗流。水点运动的轨迹称为“流线”。水在流动时如果流线互不相交，这种流动称为“层流”；如果水在流动时流线相交，水中发生局部旋涡，这种流动就称为“紊流”。水在土中运动的速度一般不大，因此，这种流动属于“层流”。从达西定律 $V = KI$ 可以看出渗透系数的物理意义：水力坡度 I 等于 1 时的渗透速度即渗透系数 K 。渗透系数具有速度的单位，常用 m/d 、 m/s 等表示。

土的渗透性，取决于土的形成条件、颗粒级配、胶体颗粒含量和土的结构等因素。一般常用稳定流的裘布依公式计算渗透系数。

渗透系数 K 值取得是否正确，将影响井点系统涌水量计算结果的准确性，最好用扬水试验确定。

3. 等压流线与流网

水在土中渗流，地下水水头值相等的点连成的面；称为“等水头面”，它在平面上或剖面上则表现为“等水头线”，等水头线即等压流线。由等压流线和流线所组成的网称为“流网”。流网有一个特性，即流线与等压流线正交。

(二) 轻型井点

1. 轻型井点设备

轻型井点降低地下水位，是沿基坑周围以一定的间距埋入井管（下端为滤管），在地面上用水平铺设的集水总管将各井管连接起来，再于一定位置设置真空泵和离心泵，开动真空泵和离心泵后，地下水在真空吸力作用下，经滤管进入井管，然后经集水总管排出，这样就降低了地下水位。

轻型井点设备主要包括：井管（下端为滤管）、集水总管、

水泵和动力装置等。

井管长6 m, 滤管长1.0~1.2m, 井管与滤管用螺丝套头连接。滤管的骨架管为外径38或51mm的无缝钢管, 管面上钻有 $\phi 12$ mm的星棋状排列的滤孔, 滤孔面积为滤管面积的20~25%。骨架管外面包以两层孔径不同的塑料布滤网。为使水流通, 在骨架管与滤网之间用梯形铅丝隔开, 梯形铅丝沿骨架管绕成螺旋形。滤网外面再绕一层粗铁丝保护网, 滤管下端为铸铁塞头。

集水总管为内径127mm的无缝钢管, 每段长约4 m, 其上装有与井管连接用的短接头, 间距0.8或1.2m。总管与井管用90°弯头或塑料管连接。

轻型井点设备的主机由真空泵(W-5、W-6型)、离心泵(2BA-6、3BA-9型等)和集水箱等组成(图2-3)。离心泵、真空泵分别由电动机带动。主机的工作原理是: 开动真空泵19, 将集水箱10内部抽成一定程度的真空, 在真空吸力作用下, 地下水经滤管1, 井管2吸上, 经弯管和阀门进入总管5, 由此再经过滤室8(进一步过滤泥沙, 以免其进入离心泵引起磨损)进入集水箱10, 集水箱内有一浮筒11, 沿中间导杆升降, 当集水箱内的水多起来时, 浮筒上升, 此时开动离心泵24将集水箱内的水排出。

为防止水进入干式真空泵, 在真空泵与进水管之间装一分水室16。为对真空泵进行冷却, 特设一冷却循环水泵23。

真空泵的负荷能力, 与其型号、性能和地质情况有关。一般情况下, 一个真空泵能负担100~120m的集水总管。

2. 轻型井点的计算

轻型井点计算的目的是, 是求出在规定的水位降低深度下每昼夜排出的地下水流量, 和需要的抽水设备。

轻型井点的计算, 受到许多不易确定的因素(水文地质因素和各种技术因素)的影响, 要求计算结果十分精确是不可能的, 但如能仔细地分析水文地质资料和选用适当的数据和计算公式,

其误差一般可保持在一定范围内，在工程上应用是可以的。

一些施工经验成熟的地区和单位，从实践中掌握了一定的规律，常按一般常用的间距进行布置。但是对于多层井点系统、近河岸处的井点、渗透系数很大的土中的井点以及非标准的井点系统，仔细地进行完整的计算还是必要的。

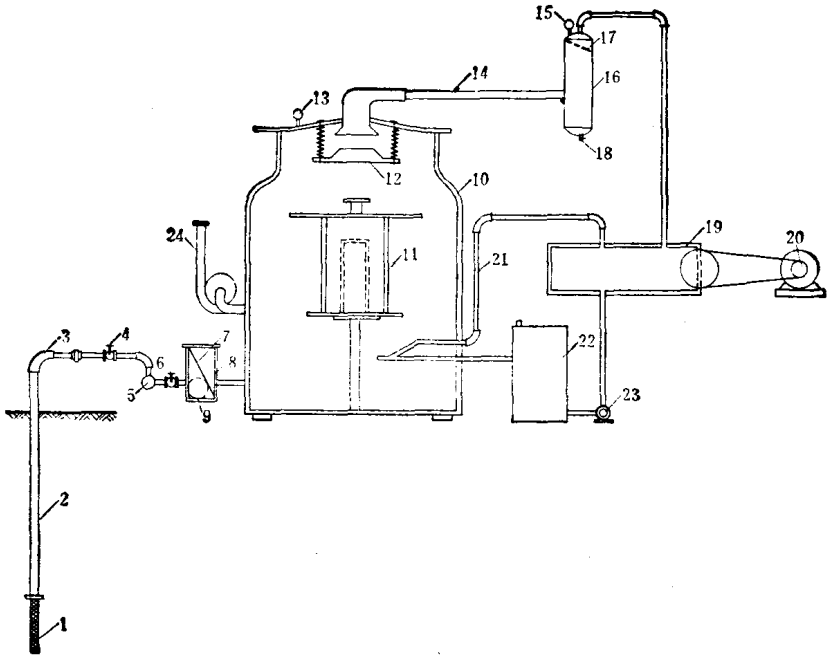


图 2-3 轻型井点设备主机原理图

1—滤管；2—井管；3—弯管；4—阀门；5—集水总管；6—集水总管的闸门；7—滤网；8—过滤室；9—掏砂孔；10—集水箱；11—浮筒；12—进气管阀门；13—真空计；14—进水管；15—真空计；16—分水室；17—挡水板；18—放水口；19—真空管；20—电动机；21—冷却水管；22—冷却水箱；23—冷却循环水泵；24—离心泵

井点系统的计算是以水井理论为依据的。水井根据其井底是否到达不透水层，分为完整井与非完整井。井底到达不透水层的称为完整井（图2-4a、c）；否则为非完整井（图2-4b、d）。根据地下水有无压力，水井又有承压井与无压井（潜水井）之