

SHIGONG XIANCHANG
SHESHI ANQUAN SHEJI
JISUAN SHOUC

施工现场设施安全设计 ◀ 计算手册 ▶

[附光盘]

谢建民 肖 备 © 编著

中国建筑工业出版社

SHIGONG XIANCHANG
SHESHI ANQUAN SHEJI
JISUAN SHOUC

施工现场设施安全设计 ◀ 计算手册 ▶

[附光盘]

谢建民 肖 备 © 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

施工现场设施安全设计计算手册/谢建民,肖备编著.

北京:中国建筑工业出版社,2007

ISBN 978-7-112-09568-1

I. 施… II. ①谢…②肖… III. 施工现场—安全设施—
技术手册 IV. TU731.6-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 127163 号

施工现场设施安全设计计算手册

谢建民 肖 备 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京永峥排版公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 30¼ 字数: 753 千字

2007 年 11 月第一版 2007 年 11 月第一次印刷

印数: 1—3500 册 定价: 60.00 元 (附光盘)

ISBN 978-7-112-09568-1

(16232)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码: 100037)

前 言

目前我国建筑工程施工安全形势相当严峻,已成为除采矿业以外第二大风险行业,致使建设部与各省建设厅每年多次下文,督促检查、整改,但情况并没有得到根本性的好转。造成这种状况的原因很多,主要是施工队伍素质不高、企业管理水平低。从施工技术管理角度来说,在施工第一线做管理工作的技术人员普遍比较年轻,刚从学校毕业出来,缺乏施工实践经验,学校里学的知识与施工实践尚有相当的距离,理论脱离实际,常常存在学校里学的知识在施工中应用不上,而施工中常用基本知识在学校里未学过或讲得很少。如塔吊基础设计与附墙以及安全使用,学校里教科书找不到,老师也不讲,市场上这方面内容科技书籍比较少。故刚毕业大学生和现场技术人员提出的设计方案存在较多不安全因素。有的科研单位与大学提供计算软件,提出的设计方案常脱离现场实际情况,很难配套使用,一旦输入数据与实际情况不符,其结果自然不正确,现场管理人员不熟悉施工机械管理和审批程序,致使塔吊倒塌事故频频发生。模板支承系统与计算方法方面在学校里讲得很少,设计计算数学模型与实际情况往往不符,表现在模板支撑系统延性很差,模板倒塌从发生到结束,仅仅几秒钟;目前尚无比较完整的 $\phi 48 \times 3.5$ 钢管支模计算理论,现场管理不到位,致使模板倒塌事故经常发生;高层深基坑支护计算理论目前并不成熟,一旦现场管理不到位,也极易发生死亡事故。可见施工中如何提高安全意识,保证安全措施不仅是普通工人,也是掌握现代科学技术的技术人员必上之课。《施工现场设施安全设计计算手册》一书正是针对这种现实情况而编写的。本书系统地介绍建筑工程施工安全设计与计算方面实用性很强的基本知识以及有关管理程序,其目的是使参与施工的技术人员与工人熟悉和了解所承担工程的特点、安全方面的关键计算方法和管理方面有关问题。从保障建筑工程安全生产、减少工程安全事故的角度,分析实际工程的事故类型、事故原因、易忽视的因素、正确的设计计算方法、构造措施、注意事项等等,特别是针对危险性较大的分项工程,如基坑支护与模板工程等,提出详细、系统的计算方法、安全技术措施,又符合施工现场要求。本书附有大量实际施工工程实例以及引以为鉴的国内重大安全事故案例,在施工实际中可作参考。

编者希望本书的出版对加强建筑施工企业安全技术管理能有所裨益。因本书介绍的计算方法简捷快速,又符合结构力学基本原理,密切联系施工实践,提供大量工程实例和案例,对现场施工人员有较好的指导作用,同时可作为教师和科研人员参考书。由于编者水平有限,书中肯定存在不少缺点和不足,恳切希望有关专家和读者批评指正。

参加编写人员包括:卢徽檀、刘悦、陈飞军、李继刚、侯国梁、章旭江、朱兵、王建宏、杨琪伟等 28 人。

本书是依据现行国家标准和规范,针对施工现场的特点和要求,对施工现场设施的设计计算进行详细的讲解,力求从概念上和方法上为施工技术人员对安全设施设计计算提供帮助。全书共分12章,基本涵盖了施工现场安全设施的计算范围,主要包括降水工程与土方工程,基坑支护工程,地基基础工程,外脚手架,模板工程,塔吊,操作平台与转料平台设计计算,施工电梯、井架与吊篮设计计算,施工平面图的设计及临时供电供水的设计,结构吊装工程,大体积混凝土和泵送混凝土,施工电算化介绍及示例等内容,并对常见的设施安全事故进行分析,提出相应的处理方法与措施,书中还附有大量的工程实例,供读者学习参考。全书内容丰富,实践性强,突出解决现场设施安全设计计算中的难点、重点问题,帮助施工技术人员建立科学而规范的设计计算模式,减少各种安全专项方案编制和计算时的人为错误,减少施工现场设施的安全隐患。

本书可供施工现场工程技术人员、管理人员、监理工程师及施工安全监督和管理人员学习参考,也可供大专院校相关专业的师生参考。

* * *

责任编辑:范业庶

责任设计:董建平

责任校对:孟楠 王金珠

本书所附光盘为“品茗施工安全设施计算软件学习版”

目 录

第一章 降水工程与土方工程	1
第一节 降水井分类	1
第二节 井点降水依据与计算方法	4
第三节 井点降水计算实例	10
第四节 井点降水施工要求与监测	14
第五节 轻型井点降水施工方案	17
第六节 井点降水工程实例	21
第七节 土方工程准备工作	23
第八节 某工程基坑土方开挖方案	27
第九节 土方工程实例	29
第二章 基坑支护工程	36
第一节 基坑支护基本数学模型	36
第二节 放坡支护（坡率法）	38
第三节 坑槽管沟支护计算	41
第四节 水泥搅拌桩支护结构设计计算	45
第五节 悬臂桩支护结构设计计算	52
第六节 支护桩加水平支撑基坑支护结构设计计算	57
第七节 钢筋混凝土桩加环形支护结构设计计算	67
第八节 土钉支护结构设计计算	72
第九节 锚杆支护结构设计计算	84
第三章 地基基础工程	96
第一节 天然地基与计算	96
第二节 桩基	102
第三节 大直径人工挖孔混凝土灌注桩	104
第四节 地基验收与地基处理	107
第四章 外脚手架	110
第一节 $\phi 48$ 钢管外脚手架材料	110

第二节	外脚手架设计计算	111
第三节	扣件式钢管脚手架水平杆计算实例	123
第四节	落地式扣件钢管脚手架设计计算实例	125
第五节	悬挑型钢外脚手架设计计算实例	128
第六节	悬挑扣件钢管桁架外脚手架计算实例	130
第七节	转角(阳角)外脚手架计算实例	133
第八节	某高层施工外脚手架施工方案	136
第九节	门式落地外架设计计算	142
第十节	外脚手架支承在混凝土板上的验算	153
第五章	模板工程	158
第一节	模板工程设计计算依据与模板分类	158
第二节	模板荷载计算及基本要求	163
第三节	楼板模板计算	167
第四节	转换层大梁支模计算实例	170
第五节	柱模板计算	176
第六节	大模板计算	178
第七节	滑动模板计算	185
第八节	高层悬挑混凝土结构支模计算实例	193
第九节	型钢与 $\phi 48 \times 3.5$ 钢管组合支模实例	208
第十节	支模立杆与对拉螺栓设计计算	212
第十一节	$\phi 48$ 钢管扣件式支模架与脚手架倒塌事故分析	219
第六章	塔吊	226
第一节	塔吊基础设计规范技术要求	226
第二节	塔吊独立基础设计与实例	229
第三节	塔吊桩基础设计与实例	232
第四节	塔吊复合地基基础设计与实例	238
第五节	塔吊附墙计算	239
第六节	塔吊附着支座计算	242
第七节	塔吊附墙对基础影响	247
第八节	塔吊非标准附墙计算方法	250
第九节	塔吊在裙楼房顶拆卸方案	254
第十节	塔吊倾斜纠偏	258
第十一节	塔吊地脚螺栓折断处理实例	262
第十二节	多层与高层建筑施工垂直运输机械选用	264
第十三节	塔吊安拆技术交底实例	267

第十四节	塔吊事故分析与预防	276
第十五节	施工现场变压器、高压线防护实例	279
第十六节	塔吊基础钢格构柱设计计算	283
附录 6-1	塔吊固定式基础精确计算	287
附录 6-2	塔吊桩基与承台梁设计	291
附录 6-3	复合地基在塔吊基础设计中的应用	296
第七章	操作平台与转料平台设计计算	301
第一节	移动式操作平台	301
第二节	高层建筑施工转料平台设计计算	304
第三节	高层施工转料平台设计实例	309
第四节	转料平台制作安装施工方案	312
第八章	施工电梯、井架与吊篮设计计算	316
第一节	施工电梯与井架基础设计	316
第二节	施工井架设计计算	318
第三节	施工电梯等支承在混凝土板上的实例	324
第四节	施工电梯基础设计与基础补强处理实例	329
第五节	施工电梯附墙计算与非标准附墙实例	333
第六节	$\phi 48 \times 3.5$ 钢管井架实例	335
第七节	施工电梯安装方案实例	342
第八节	井架、龙门架安拆与使用实例	348
第九节	施工电梯、井架、龙门架等物料提升机安装验收与事故预防	355
第十节	吊篮安全验算与安装	358
第九章	施工平面图的设计及临时供电供水的设计	368
第一节	施工平面图的设计	368
第二节	施工临时供水的设计计算	369
第三节	施工现场临时用电设计	372
第十章	结构吊装工程	384
第一节	吊绳	384
第二节	吊装工具	391
第三节	吊索槽钢悬挂支模架施工方案	398
第四节	凉亭千斤顶提升施工方案	404
第五节	拔杆设计计算	406
第六节	吊装工程重大事故实例	428

第十一章 大体积混凝土和泵送混凝土	430
第一节 大体积混凝土温度效应	430
第二节 大体积混凝土施工管理	435
第三节 泵送混凝土	437
第十二章 施工电算化介绍及示例	439
第一节 施工电算化的发展历史和现状	439
第二节 品茗施工电算化软件的使用介绍	440
第三节 工程示例	466
参考文献	474

第一章 降水工程与土方工程

第一节 降水井分类

在基坑开挖过程中，为了能顺利地进行土方开挖与地下室结构施工，必须防止管涌、流砂、坑底隆起及与地下水有关的坑外地层过度变形，做好对地下水的控制。基坑工程控制地下水的方法有：降低地下水位、隔离地下水两类，或两者均应用。

降低地下水位方法有：集水明排及降水井，降水井包括电渗井点、轻型井点、喷射井点、管井、渗井；隔离地下水包括地下连续墙、连续排列的排桩墙、隔水帷幕、坑底水平封底隔水等。

对于弱透水地层中的浅基础，当基坑环境简单、含水层较薄、降水深度较小时，可考虑采用集水明排；在其他情况下宜采用降水井降水、隔水措施或隔水、降水综合措施。

集水明排是在基坑内设置排水沟和集水井，用抽水设备将基坑中的水从集水井排出，达到疏干基坑内积水的目的。这是非常有用的方法，即使采用井点降水，也将集水明排方法列入方案之中，将坑内雨水等地表水流入排水沟中，并将其排出坑外。在基坑边缘自然地面，也常设排水沟以免地面水流入基坑之内。

井点降水是对基坑内的地下水或基坑底板以下的承压水进行疏干或减压，便于基坑内土方开挖和地下结构施工，是施工方案重要组成部分。隔水是用地下连续墙及喷射注浆（旋喷）、深层搅拌或注浆形成具有一定强度和抗渗性能的截水墙或底板，阻止地下水流入基坑的方法，包括竖向隔水（悬挂式和落底式）及水平封底隔水。

在井点降水方案设计中，要从水文地质报告中查取含水层的水文地质参数、工程地质参数，包括渗透系数、贮水系数、影响半径、越流因素及压缩模量、孔隙比等，其水文地质参数数值宜采用抽水试验值。基坑地下水的控制设计事先需仔细调查邻近地下管线的渗漏情况及地表水源的补给情况。作者在大量深基坑实践中发现，采用井点降水公式求得基坑涌水量与实际相差较大，目前一些井点降水理论尚未非常成熟，还需要施工技术人员自身的实践经验对降水计算结果作适当调整与补充。这说明通常降水设计应具备的详细资料或参数宜根据当地地层适宜的或习惯的降水方式及计算方法确定。

在深基坑井点降水设计中还应统一考虑保障周围建筑物、地下管线等的安全及正常使用，需综合考虑降水、支护结构变形产生的影响。为有效控制降低地下水位引起的沉降，需考虑采用隔渗措施，常用的有：（1）采用地下连续墙、连续排列的排桩墙挡水；（2）采用分离式排桩墙，在桩间设旋喷、深层搅拌等与桩共同形成隔水帷幕或在桩后单独设隔渗墙；（3）基坑四周隔渗深入隔水层且基底稳定时，可不设封底隔渗。其他情况可考虑采用高压喷射注浆等方法形成封底隔渗。设计时还应考虑清理废旧上下水管和人防等，以免城市地下排水管（如居民排污管）损坏后使这些水不断渗入周边基坑后，破坏深基坑

的稳定性。另外,还应对周围民居等建筑物进行调查,及时将建筑物原有的裂缝等损坏情况记录在案,并通报有关单位,因为深基坑降水将对周边环境和建筑物有影响,避免建筑物新裂缝与原有裂缝混在一起,对今后处理有较可靠的依据。

基坑地下水控制设计应与边坡支护结构的设计统一考虑,对降、排水和支护结构水平位移引起的地层变形和地表沉陷应控制在允许的范围之内。

一、轻型井点

轻型井点降水适用于土层渗透系数较小的基坑,如北方黄土地地区深基坑常采用轻型井点降水方案,南方淤泥质土层,也采用轻型井点降水方案。如上海飞龙公寓住宅小区,位于天钥桥路,八万人体育场对面,开挖深度为4~5m左右,四周采用深层搅拌桩加土钉支护,采用轻型井点降水方案。

轻型井点降水方案是将沿基坑四周布置许多直径较细、井距较密的井点埋入地下相应降水标高含水层中,井点管顶端通过弯曲联管与总管连接,利用抽水设备将地下水从井点管内不断抽去,将地下水位降至基坑底面500mm以下。

1. 轻型井点设备

轻型井点设备由管路系统与抽水设备组成。

管路系统包括滤管、井点管、弯曲联管与总管。滤管的直径约35~50mm,长约1000~1500mm,管臂上设有 $\phi 10 \sim \phi 20\text{mm}$ 小孔,外包尼龙布,水流畅通。防止阻塞影响水流畅通而造成死井,在滤管与滤网之间应用钢丝隔开。

井点管采用 $\phi 35 \sim \phi 50\text{mm}$ 钢管或塑料管,长5~8m,下端与滤管连接,上端用弯曲联管与总管相接。弯曲联管带有阀门,便于检修井点,弯曲联管可采用透明塑料管,可以清楚地查看该井点工作状况,检查是否在抽水和水的流量,若发现该井点已成死井,可立即进行检修。

总管采用 $\phi 100 \sim \phi 150\text{mm}$ 钢管,可重复使用,每隔1.0~2.0m设置一个与井点管连接的短管,总管每节长4~8m,每节总管连接可采用橡皮软管,再用钢箍卡紧,以防漏水。抽水设备可采用离心水泵、真空泵和水气分离器。水气分离器与总管连接的接口应高于底部300~500mm,使水气分离器内保持一定水位,便于水气分离,避免被水泵抽空。

2. 轻型井点布设

轻型井点布设数量与间距应先进行计算,再通过当地轻型井点使用经验作适当调整,主要根据当地土质情况、渗透系数、地下水位高低、降水深度和周围环境情况而定。

(1) 轻型井点平面布置

轻型井点一般沿基坑周边布置,井点距基坑外壁一般取值为800~1200mm,井点管间距根据土质情况、降水深度通过计算而定,通常采用800~2000mm。当一般轻型井点降水达不到工程要求的降水深度时,可采用二级轻型井点降水,也就是先将第一级轻型井点疏干的土挖去,再在二级轻型井点标高位置施工第二级轻型井点进行降水。

一套抽水设备能带动100~120m长度总管,当基坑周边较长时,要采用多套抽水设备,各套抽水设备带动的总管长度基本接近,其分段处宜选择在基坑边缘转角处,减少总管弯曲数量,提高水泵工作效率。抽水设备的水泵宜放在各级总管的中部,使泵两边水流基本平衡。多套抽水设备的环形井点,应分段装置阀门,避免管内水流紊乱,影响水泵工作效率。

(2) 抽水深度

轻型井点降水深度,从大气压理论计算,抽水深度可达到10m,实际上由于井点管存在弯头和各种水流阻力,不可避免有水头损失,故实际上轻型井点降水深度一般不会超过6m。当基坑深度大于6m时,故要采用多级轻型井点进行降水。

3. 轻型井点设计

轻型井点降水计算公式在许多文献中都有介绍,各计算结果也不同,误差较大。由于水文地质报告提供的渗透系数和列出各层土质情况与实际不尽相同,以及抽水设备工作性能等影响,设计计算基坑总涌水量等数据只能是近似值,并应根据当地大量井点降水施工实践经验进行适当调整与补充。

井型确定:

水井根据地下水是否有压力,分为无压井与承压井。当水井滤管以上无不透水的土层,此时地下水为无压潜水,该井称为无压井。当水井滤管以上存在不透水的土层,此时地下水存在水压力,即上面土层自重承压下部水体,此时该井称为承压井。

水井根据井管底是否到达不透水层,即水井滤管是否到达或超过500~1000mm不透水层,分为完整井与不完整井。若井点管达到不透水层时,称为完整井;井点管在不透水层以上时,该井点称为非完整井。各种井涌水量计算方法不同,目前以完整井计算理论比较可靠。完整井标准图见图1-1。

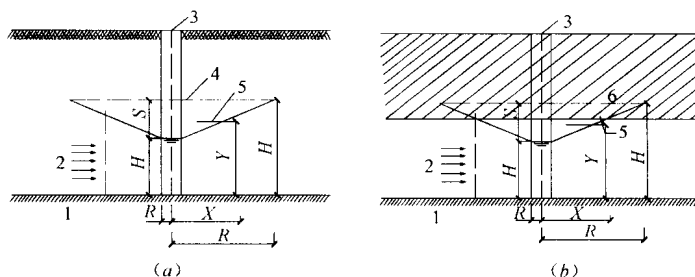


图 1-1 完整井水位降落曲线

(a) 无压完整井; (b) 承压完整井

1—不透水层; 2—透水层; 3—井; 4—原有地下水位线; 5—降水漏斗; 6—压力水位线

降水漏斗: 轻型井点抽水开始后, 井中水位必然逐渐下降, 致使井点四周土层中水流向井点, 经过一段时间抽水之后 (一般达7~15d), 井点周围原有水位由水平面逐渐转化为斜向曲面, 最后地下水位形成一个降水漏斗。

涌水量与井点数量等计算详见本章第二节。

二、喷射井点

当基坑较深 (大于8m) 时, 采用轻型井点降水的经济效益不佳, 可改为采用喷射井点降水方案。

喷射井点分为喷水井点与喷气井点两种, 喷射井点系统由喷射器、高压水泵和管路组成。喷射器由高压水泵提供高压水流, 安置在管井底部, 高压水泵应采用流量大于 $80\text{m}^3/\text{h}$

的多级高压水泵,如功率为55kW,扬程为70m,流量为 $160\text{m}^3/\text{h}$,每台高压泵可带动30根以上井点管。喷射井点的管路系统和井点管的埋设基本上与轻型井点类同。井管间距取2~3m,可采用潜水工程钻机成孔,成孔后应下钢筋笼保护喷射器,每下一根井点管须立即与总管连接,井管与成孔土体内壁之间须灌粗砂,上井点管口处应用黏土封口填实,封口黏土长度应大于1500mm。单管试抽水排泥,测真空度,应不小于93kPa,试抽至井管出水变清后机械停止。所有单个井管连接成管路系统后进行试抽水,工作水循环应保持清洁,方可正式投入降水施工作业。

三、管井井点

在土层渗透系数较大情况下,基坑应采用管井井点降水方案。管井井点沿基坑每隔20m左右设置一个管井,每个管井单独使用一台水泵不断抽水,达到降低地下水位的目的。

管井井点的设备主要由管井、滤水管与水泵组成。井壁管直径约200~380mm,材质分为混凝土管、钢管、塑料管。滤管可用钢筋焊成钢筋骨架即钢筋笼,外包滤网(孔眼直径约1~2mm),长度约2~3m,滤网可用钢丝网或尼龙网,用钢筋固定在滤管钢筋外面,滤网一般应设两层以上。可采用无砂混凝土管作滤管,也可用市政混凝土下水管上凿孔 $\phi 100$,间距150~200mm,外包滤网作滤管。吸水管可采用 $\phi 50 \sim \phi 120\text{mm}$ 的钢管、胶皮管或塑料管,其下端应沉入管井抽水时最低水位以下,可以安装止回阀。水泵可采用潜水泵或单级离心泵。

管井井点布设,间距可达到20~50m,管井的入土深度可达到8~15m,井内水位降低可达到6~12m。管井涌水量等计算,一般可参考轻型井点计算方法。

管井井点可采用钻机泥浆护壁成孔工艺,其孔径应比管井外径大150~300mm,成孔之后要清除孔底土渣,并应洗孔后再下管井,孔壁与管井之间应填入直径3~16mm的碎石作过滤层。下管井之后要洗井,直至清水为止,其目的在于清除井内泥砂,防止过滤层阻塞使井失效,使管井抽水量达到设计要求。洗井方法可采用水泵洗井或空气压缩机洗井。在抽水时期应经常对电动机等设备进行检查,观测水位,将结果记录后作为技术档案。

四、深井泵井点

当基坑较深,致使要求降水深度很大,在普通管井井点内的潜水泵或离心泵无法满足现场降水要求时,应改用深井泵降水方案。

深井井点的成孔方法、管井构造、井位设置基本上与管井井点相同,深井泵的电缆线要牢固可靠,深井泵的电机应设置阻逆装置,发现电机出故障时,在换泵前应先清洗滤井,防止再次损坏电机与深井泵。

第二节 井点降水依据与计算方法

一、井点降水设计依据

基坑地下水控制设计应具备下列资料:

- (1) 地层各分层的岩性厚度及顶底板高程;
- (2) 地下水的类型、地下水位标高与动态规律以及各含水层之间的水力联系;
- (3) 各含水层的水文地质及与降水相关的工程地质参数;
- (4) 含水层的补给、径流条件, 基坑与附近大型地表水源的距离关系及其水力联系;
- (5) 基坑开挖深度、尺寸, 基坑周围建筑物与地下管线基础情况, 基坑支护结构类型;
- (6) 基坑工程施工季节内的气象资料及基坑维持时间。

二、井点降水计算方法之一

井点降水设计时应全盘考虑井点降水后所引发的各种后果和影响, 为防止深部承压水引起坑底隆起, 需要根据经验设置减压井降低基坑下的承压水: 对于土钉墙、喷锚支护、放坡开挖等, 边坡渗水易造成边坡失稳, 降水应采取措施保证边坡不渗漏水, 以及减少对周边环境综合影响。

1. 基坑工程中降水方案的选择与设计应满足下列要求:

- (1) 基坑开挖及地下结构施工期间, 地下水位保持在基底以下 0.5 ~ 1.5m, 以保障基坑底处于干燥状态, 使土方开挖与地下室底板能顺利施工;
- (2) 深部承压水不引起坑底隆起;
- (3) 降水期间确保临近建筑物及地下管线的正常使用;
- (4) 基坑边坡的稳定性, 防止边坡塌陷等事故发生。

在基坑井点降水设计与施工中, 应特别注意基坑重要部位, 以及周边环境最为敏感部位。基坑内、外重要部位指基坑外四角、深大基坑边坡中部、基坑中心及群井干扰处。周边环境敏感部位是指离基坑边距离较近的居民楼、街道、地铁、防空洞和各种地下管网(如煤气管道、上下水管、通信光缆等市政管网)。

2. 基坑降水设计方法

(1) 井点的布置方式, 宜综合考虑各种因素, 并结合当地降水实践经验确定, 井点布置的几条基本原则是:

1) 降水井点宜尽量布设在基坑外, 为土方开挖及围护结构稳定创造条件。如需要在基坑内设井点, 应仔细研究地下水及地层资料, 尽量布砂(砾)渗井或短期使用的抽水井。含水层渗透系数较小, 下部有渗透性较好的地层时, 宜考虑抽水井、渗井综合使用;

2) 基坑围护结构采用分离排列的桩式结构或喷锚、土钉墙结构, 不设隔水帷幕时, 降水井点应主要布设在基坑外, 达到控制地下水进入基坑及降低承压水头的目的; 基坑内可视基坑规模、地下水及地层情况, 布置一定数量的自渗井和抽水井;

3) 基坑四周设竖向隔水帷幕(包括地下连续墙), 隔水帷幕插入隔水层时, 井点应设置在基坑内; 隔水帷幕未进入隔水层时, 降水井点宜设置在基坑外, 如为降低降水对周围建筑物的影响, 井点也可设置在基坑内;

4) 基坑设全封闭隔水帷幕, 一般不需要井点降低地下水位, 为正常开挖基坑, 可在基坑内布置井点抽出坑内积水。

对降低地下水位有特殊要求的基坑, 应根据具体情况布置降水井点, 并考虑必要的回灌井点。

(2) 井深通常宜贯穿影响基坑工程的整个含水层, 如果含水层深度较大, 应通过技术

经济比较，并结合类似工程经验确定井深；井距宜根据含水地层的渗透性及具体工程安排，并结合类似工程经验选择。

(3) 降水井点的设计宜根据水文地质、工程地质情况，并结合类似地层成功经验选择计算方法。常用的稳定流理论计算方法适用于基坑开挖遇多层含水层、地层渗透性相差较大及滞水层较厚等条件下的降水设计计算，有边界条件的计算公式可参见有关资料。在地下水补给源足、单井出水量稳定的均质地层条件下，其降水设计计算可采用非稳定流理论；基坑涌水量计算也可采用结合当地实践的经验公式。

降水设计按圆形、线形两类基坑考虑，不规则的基坑可做相应的简化；计算条件按潜水完整井、潜水非完整井、承压水完整井、承压水非完整井分别考虑，如遇特殊条件可参考有关的计算方法。

(4) 单井干扰出水量 q 及单井单位长度出水量 φ 估算。

3. 降水井类型

应根据基坑规模、槽深、环境条件、各土层渗透性和降低水位的深度，以及当地井点降水实践经验等合理选择降水井类型。常用井点类型和使用范围见表 1-1。

降水井类型及使用范围 表 1-1

适用条件 降水井类型	渗透系数 ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	可降低水位深度 (m)	土 质 类 别
轻型井点及多层轻型井点	$1 \times 10^{-7} \sim 2 \times 10^{-4}$	<6 6~10	含薄层粉砂的粉质黏土，黏质粉土，粉细砂
喷射井点	$1 \times 10^{-7} \sim 2 \times 10^{-4}$	8~20	同上
电 渗 井 点	$< 1 \times 10^{-7}$	根据选定的井点确定	黏土，淤泥质黏土，粉质黏土
管 井	$> 1 \times 10^{-6}$	>10	含薄层粉砂的粉质黏土，砂质粉土，各类砂土，砾砂，卵石
砂（砾）渗井	$> 5 \times 10^{-7}$	根据下伏导水层的性质及埋深确定	含薄层粉砂的粉质黏土，黏质粉土，粉土，粉细砂

4. 井点降水计算内容

(1) 确定降水井类型；

(2) 降水系统设计：降水井的系统布设，包括井数、井深、井距、井径、过滤管、人工滤层、单井出水量、水位与地面沉降的监测等；

(3) 降水效果预测：包括基坑内、外重要部位的最终稳定水位及水位降深随时间的变化，降水引起的沉降及对邻近建筑物、地下管线等的影响；

(4) 设置回灌井时，降水系统设计应包括回灌系统。

5. 井点降水数学模型

(1) 降水井布设方式宜根据场地水文地质、工程地质条件，基坑围护结构形式，是否设隔水帷幕及帷幕深度，基坑平面尺寸及槽深，邻近建筑物的安全要求等确定。

(2) 初步确定井深、井距。

(3) 按圆形（矩形、不规则形换算成圆形）或线形基坑计算基坑涌水量 Q ，计算方

法见表 1-2。

基坑涌水量计算表

表 1-2

降水井类别	圆 形 基 坑	线形基坑(宽/长 ≤ 0.1)
潜水完整井	$Q = \frac{1.366K(2H-S)S}{\lg[(R+r_0)/r_0]}$	$Q = \frac{KL(H^2-h^2)}{R}$
承压水完整井	$Q = \frac{2.73kMS}{\lg[(R+r_0)/r_0]}$	$Q = \frac{2KLMS}{R}$
潜水非完整井	$Q = \frac{1.366k(H^2-h^2)}{\lg[(R+r_0)/r_0] + (h-l)/l \times \lg(1+0.2h/r_0)}$	
承压水非完整井	$Q = \frac{2.73kMS}{\lg[(R+r_0)/r_0] + (M-l)/l \times \lg(1+0.2M/r_0)}$	

注: Q ——基坑计算涌水量 (m^3/d);

k ——含水层渗透系数 (m/d), 若为相近的多层含水层可取加权平均值, $k = \sum (k_i h_i) / \sum h_i$;

k_i ——各含水层渗透系数 (m/d);

h_i ——各含水层厚度 (m);

H ——潜水含水层厚度 (m), $H = \sum h_i$;

M ——承压水含水层厚度 (m), $M = \sum h_i$;

S ——设计水位降深 (m);

R ——引用影响半径 (m), 可根据稳定流抽水试验获得或按 $R = 2S \sqrt{KH}$ 估算;

h ——潜水含水层厚度与动水位以下的含水层厚度的平均值 (m);

l ——滤管有效工作部分长度 (m);

r_0 ——基坑换算半径 (m), 矩形或不规则形基坑, $r_0 = 0.564 \sqrt{F}$, F 为基坑面积 (m^2); 如已确定井位布置, $r_0 = \sqrt[4]{r_1 \cdot r_2 \cdots r_{n-1} \cdot r_n}$, $r_1, r_2, \dots, r_n$ 为各降水井至基坑中心的距离, n 为井点数量;

L ——基坑长度 (m)。

(4) 估算单井干扰出水量 q 及单井单位长度出水量 φ 。

(5) 初步确定降水井数量 n 、井点间距 a :

$$\left. \begin{aligned} n &= 1.1Q/q \\ a &= L/(n-1) \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式中 L ——沿基坑周边布置降水井的总长度 (m);

a ——降水井间距 (m), 一般要求大于 $15d$ (d 为滤管外径)。

(6) 检验降水井的出水能力:

潜水完整井:

$$y_0 = \sqrt{y^2 - 0.732Q \lg(r_0/nr_w)/(kn)} \quad (1-2)$$

式中 y_0 ——井管进水部分计算长度 (m);

y ——基坑中心降水要求以下的含水层厚度 (m), $y = H - S_0$;

S_0 ——基坑中心设计水位降深 (m), 通常与 S 值相同;

r_w ——降水井成孔半径 (m)。

承压水完整井的滤管进水部分长度可视为 M (含水层厚度); 要求 $y_0\varphi$ 或 $M_\varphi > Q/n$ 及 $M_\varphi \leq Q/(n-1)$, 如不成立, 调整井数、井距或井深。

(7) 复合基坑抽水影响最小处的水位降深。

(8) 对于地下水补给源足、地层基本均质的条件下,可采用非稳定流理论进行降水设计。

承压水完整井:

$$S = \frac{1}{4\pi KM} \sum_{i=1}^n q_i W(u_i) \quad (1-3)$$

承压水非完整井:

$$S = \frac{1}{4\pi KM} \sum_{i=1}^n q_i [W(u_i, r_i/B) + 2(M/\pi l)^2 \cdot \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \cdot W(u_i, \lambda) \sin^2(n\pi d/M)] \quad (1-4)$$

式中 $W(u_i) = \int_{u_i}^{\infty} (1/y) \exp(-y) dy$ ——井函数;

$W(u_i, r_i/B) = \int_{u_i}^{\infty} (1/y) \exp\{-y - [r_i^2/(4B^2y)]\} dy$ ——井函数;

$W(u_i, \lambda) = \int_{u_i}^{\infty} (1/y) \exp\left(-y - \frac{\lambda^2}{4y}\right) dy$;

$\lambda = \sqrt{(r_i/B)^2 + (n\pi r_i/M)^2}$, $u_i = [r_i^2 s/(4KMt)]$

S ——在降水井抽水影响范围内承压含水层中某点水位降深 (m), 潜水含水层以 $(H-h)$ 代替, h 为计算点潜水面至潜水含水层底板的距离;

q_i ——各单井干扰出水量 (m^3/d);

s ——贮水系数, 潜水用给水度 μ 代替;

r_i ——计算点至各降水井的距离 (m);

t ——降水时间 (d);

n ——井数;

M ——承压含水层厚度 (m), 潜水含水层以 $(H+h)/2$ 代替;

B ——越流因素 (m);

l ——过滤管长度 (m);

d ——含水层顶板至过滤管顶部的距离 (m);

K ——渗透系数 (m/d)。

当基坑开挖遇多层含水层时,宜分层进行计算,位于基底之上的含水层出水量按疏干 ($S=H$) 考虑。

三、轻型井点降水计算方法之二

轻型井点降水应用比较多,计算方法也比较熟悉,故其他井点类型降水设计计算有时也套用轻型井点计算方法。

1. 环形井点的假想半径 x_0

$$x_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}} \quad (1-5)$$

式中 F ——环形井点所包含的面积。

2. 抽水影响半径 R

$$R = 1.95S \sqrt{HK} \quad (1-6)$$