



岩土工程丛书

SERIES BOOK

—1—

吴林高 等编著

Design and Execution of Dewatering &
Theory of Seepage in Deep Excavation

工程降水设计施工 与基坑渗流理论



人民交通出版社

China Communications Press



岩土工程丛书

SERIES BOOK

1

工程降水设计施工 与基坑渗流理论

吴林高 等编著



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书为岩土工程丛书之一,共分两篇。第一篇主要论述地下水对工程作用的基本概念、工程降水设计与施工方法以及五个工程实例;第二篇在论述渗流基本理论的基础上分别介绍了三类基坑渗流问题的计算模型与计算方法,讨论了井的水头损失、渗流参数的计算方法,最后还讨论了降水对软土工程性质的影响和抽水引起的地面沉降的计算方法。

本书主要供岩土工程设计、施工技术人员使用,也可供大专院校岩土工程及相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程降水设计施工与基坑渗流理论/吴林高等编著.
北京:人民交通出版社,2003.6
ISBN 7-114-04653-7

I.工... II.吴... III.①地下工程—人工降低地下水②地下工程—工程施工③地下工程—基坑—渗流—研究 IV.TU94

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第025339号

岩土工程丛书

-1-

Gongcheng Jiangshui Sheji Shigong Yu Jikeng Shenliu Lilun

工程降水设计施工与基坑渗流理论

吴林高 等编著

责任校对:宿秀英 责任印制:张 恺

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷有限公司印刷

开本:787×980 1/16 印张:20.75 字数:350千

2003年9月 第1版

2003年9月 第1版 第1次印刷

印数:0001—3500册 定价:30.00元

ISBN 7-114-04653-7

《岩土工程丛书》编审出版委员会

名誉主任委员 许溶烈 孙 钧 刘建航 沈珠江 郑颖人

主任委员 史佩栋

副主任委员 高大钊(常务) 朱合华 张建民 陈云敏
韩 敏 岳中琦(港)

委 员(按姓氏汉语拼音为序)

包承纲	陈云敏	陈正汉	崔玉军
冯夏庭	高大钊	龚晓南	顾宝和
桂业琨	韩 敏	何满潮	李广信
李建中(台)	李永盛	李焯芬(港)	廖红建
凌天清	刘建航	刘金砺	刘松玉
莫若楫(台)	沈珠江	史佩栋	施建勇
孙 钧	王钟琦	谢永利	许溶烈
杨林德	殷建华(港)	岳中琦(港)	杨志法
宰金珉	张建民	张苏民	赵锡宏
郑 刚	郑颖人	周申一	朱合华

秘 书 曲 乐 艾智勇

总序

2002年3月23日,对于《岩土工程丛书》而言,是一个值得纪念的日子,因为在那一天,我们萌生了组织出版这部《丛书》的构想。

经过两岸三地部分专家学者数度聚首商讨,又以函电形式广泛征求各方意见,反响热烈,令人鼓舞。大家的观点几近一致,都认为面对我国岩土工程的空前大发展,认真总结半个多世纪,特别是近20余年以来弥足珍贵的工程经验、科研成果和事故教训,实属当务之急。这不仅对于指导当前持续高速发展的工程建设,以确保设计施工质量和工程安全大有裨益,而且对于培养专业人材、提升行业素质、促进学科进步,乃至加强对外交流,都极具重大意义。这应是出版此《丛书》的宗旨和指导思想。

根据各方推举,本《丛书》的编委会承蒙深孚众望的国内20余所高等院校、科研院所和10余家有关企事业单位(含出版社)的41位专家组成,其中含内地36位,香港3位,台湾2位,其名单列于卷首。在各位编委和同行专家的热情关怀和出版社领导的大力支持下,《丛书》即将陆续问世,我们的内心能不激动?

由于岩土工程源远流长,而又与时俱进,日新月异

异,本《丛书》的素材将取之不尽,因此它将是开放性系列性的,成熟一本,出版一本。其稿源将包括编委本人报送的,编委推荐的,以及编委会特约或组织撰写的各类作品。同时,我们热忱欢迎海内外各地同仁多赐佳作,共襄此举。

本《丛书》将分为专题著述、工程案例和手册指南三大类,其选题将围绕岩土工程发展中的热点难点问题、理论问题和重大工程的进展研究确定。著述内容力求精炼浓缩、深入浅出,实用性与学术性相结合,文字可读性强;工程案例将侧重于有影响和代表性的项目,可一例一书,也可同类工程数例并写于一书;要使之从实践中来,提到理论的高度进行分析与总结,以期能为日后的工程所用;手册指南将不重复已有的出版物而推陈出新。

本《丛书》稿件的审查,一般可由作者在征求编委会的意见后,自行约请专家审查并提出评语,必要时也可商请编委会指定专家负责。书稿经审定后,将由作者与出版社直接签订合同,履行各自的权利与义务。文责由作者自负。

本《丛书》的读者对象主要是从事岩土工程勘察、设计、施工、检测、监理等方面实务的专业人士,也可供高等院校、科研院所相关专业的教师、研究人员、研究生和大学高年级学生等参考。

衷心希望本《丛书》能成为岩土工程界广大同仁的良师益友!

史佩栋 高大钊 朱合华

2003年7月

序

两年前,人民交通出版社曲乐编辑在选题组稿时,希望能请一位专家撰写工程降水的专著,征求我的意见,我毫不迟疑地说应当请吴林高教授,写这本书非他莫属。吴林高教授是同济大学的资深教授,长期从事水文地质学的教学、科研与工程实践。我与他共事 40 余年,深知吴教授理论功底深厚、实践经验丰富,学优才赡,著书立说,正当其时。

2002 年底,吴林高教授将厚厚的一叠书稿放到我的书桌上,使我有幸仙睹为快,从其中学到了不少新的知识,深感这是一本既有系统的理论论述又有丰富的工程实践经验的好书,相信读者在阅读以后一定会与我同感。

20 世纪 80 年代以来,我国的工程建设以超常的速度和超常的规模发展,由于高层建筑大量兴建,城市地下空间广泛利用,深基坑工程数量之多,规模之大,监测资料之丰富,堪称世界之首,而基坑工程事故率之高,也是首屈一指的,基坑工程已成为我国岩土工程中的一大技术难点和热点。在基坑工程的事故中,由于地下水的原因引发的比例相当高,究其原委,莫不与对地下水治理缺乏理论指导,设计不当或施工措施不力等有关。在国家标准《岩土工程勘察规范》中,对地下水的勘察、参数测定和作用评价提出了更为严格的要求,一门称为“城市工程水文地质”的学科正在我国悄

然兴起,吴教授的新作为贯彻国家标准提供了理论与方法,为这门新学科的发展作出了重要贡献。

这本书分为两篇共十二章,在工程降水设计施工篇的四章中,论述了地下水对工程作用的基本概念、工程降水的设计与施工方法以及五个工程降水实例。根据基坑围护结构与含水层的关系,提出了地下水渗流特征的三种类型,为读者从事基坑工程降水的设计与施工提供全新的理念与方法。这五个工程降水的实例从不同的侧面为读者提供了可供借鉴的案例,具体给出了解决工程问题的思路与方法。在基坑渗流理论篇中的八章中,在论述渗流基本理论的基础上分别介绍了上述三类渗流问题的计算模型与计算方法,讨论了井的水头损失、渗流参数的计算方法;最后还讨论了降水对软土工程性质的影响和抽水引起的地面沉降的计算方法。这些都是工程降水中具有普遍性和前瞻性的理论问题和技术问题,也是做好工程降水的勘察、设计与施工所必需的理论准备。在我看到的出版物中,像这样集实用性与理论性于一体,如此系统地论述基坑渗流理论的著作,还不多见,相信能给读者以很大的启迪和帮助。

2003年刚开始,在这新年伊始,万象更新的日子里,阅读这本充满新意的力作是一种最好的享受,欣喜之余,写下上面的一些话,是作为序。

高大钊

2003年元月3日于同济园

高大钊,同济大学教授、博士生导师

前言

随着城市建设的高速发展,特别是市政工程和高层建筑的大量兴建,基坑开挖深度越来越深,已达到 35m 深度。因此,遇到地下水问题也越来越多。如何控制好地下水是确保基坑安全施工的关键,目前最有效而又经济的办法是采用井点降水方法控制地下水位。井点降水在避免流砂、管涌和底鼓,保持干燥的施工环境,提高土体强度与稳定性方面都有着显著的效果。在实际工程中,它已越来越被人们所依赖,已成为一种必要的工程措施。但人们对于其内在规律还缺乏深入的了解。

本书作者十几年来致力于工程降水设计理论、基坑渗流规律、降水对软土工程性质影响以及降水引起地面沉降等的研究工作,并参与 20 多个各类大、中型基坑工程井点降水设计与施工。作者深感有必要向读者介绍国内外工程降水发展现状,特别是我国近几年的发展,并将我们的体会与读者进行交流。本书的特点:重点介绍工程降水系统设计原理与方法,管井井点施工技术,基坑渗流规律以及降水引起地面沉降的计算方法。

全书分为两篇十二章。第一篇工程降水设计施工,包括四章。第一章介绍地下水赋存与运移规律,基坑周围地下水渗流特征,工程中地下水的不良作用以及防止不良作用产生的方法;第二章工程降水设计,重点介绍根据非稳定流理论设计井点降水的方法;第三章工程降水施工技术,重点介绍管井(深井)

施工技术;第四章介绍几个超深、特大型基坑工程降水实例以及工程降水加固地基实例和防止地面沉降采用回灌工程的实例。第二篇基坑渗流理论,包括八章。第五章是渗流理论基础,简述了渗流物理参数的概念、渗流基本定律及渗流基本方程;第六章至第八章介绍基坑周围三种类型渗流的计算方法;第九章井的水头损失问题;第十章渗流参数的计算方法;第十一章降水对软土工程性质影响的试验研究;第十二章抽水引起地面沉降计算。

由于工程降水技术在我国尚处于发展阶段,设计理论也有待于完善,目前对于基坑渗流计算方法尚未完全统一,各地具体条件及地方经验也不尽相同。本书所列的部分渗流计算公式及工程降水实例,也带有一定的地区性与经验性,请读者在工程应用时应予以注意。

本书由同济大学吴林高教授主编。全书共分十二章。第一章由刘陕南、吴林高执笔;第二章、第五章、第十二章、附录由吴林高执笔;第三章由李恒仁执笔;第四章由姚迎、张瑞、吴林高执笔;第六章、第十一章由刘陕南执笔;第七章、第九章由李国执笔;第八章由姚迎执笔;第十章由张瑞执笔。

本书在编写过程中得到同济大学高大钊教授、赵锡宏教授的关心与大力支持,在此谨向他们致以衷心感谢。书中引用了一些单位及个人的研究成果与工程总结,作者在此表示深切的谢意。

由于作者水平有限以及认识上的不同,书中某些看法可能是不恰当的,甚至是错误的,敬请读者批评指正,以便作进一步修改与补充。

作 者

2003.1 月

符号与量纲

符 号	说 明	量 纲
A	1. 多孔介质横断面积	L^2
	2. 圆形井群半径	L
	3. 基坑换算半径	L
a	1. 微观意义下的一种数量或向量	
	2. 井中心至边界的垂直距离	L
	3. 井点间距	L
	4. 压力传导系数	L^2T^{-1}
	5. 抽水含水层(承压含水层)土骨架的竖向弹性压缩系数	LT^2M^{-1}
$\bar{a}$	量 a 的宏观平均	
a_1	弱透水层土骨架的竖向弹性压缩系数	LT^2M^{-1}
a_2	非抽水含水层(潜水含水层)土骨架的竖向弹性压缩系数	LT^2M^{-1}
B	越流因数	L
b	1. 井中心至边界的垂直距离	L
	2. 抽水含水层(承压含水层)土骨架的竖向蠕变压缩系数	LT^2M^{-1}
b_1	弱透水层土骨架的竖向蠕变压缩系数	LT^2M^{-1}
b_2	非抽水含水层(潜水含水层)土骨架的竖向蠕变压缩系数	LT^2M^{-1}
C	浓度	ML^{-3}
C_v	固结系数	L^2T^{-1}
C_α	组分 α 的浓度	ML^{-3}
D	1. 孔径	L
	2. 过滤器外径	L
d	1. 含水层顶板到过滤器顶部距离	L
	2. 井管外径	L
E_1	Hookean 弹簧的弹性模量	$ML^{-1}T^{-2}$
E_2	Voigt 结构模型中的弹性模量	$ML^{-1}T^{-2}$
e	土骨架空隙比	
f	井壁摩擦系数	
g	重力加速度	LT^{-2}
H	1. 含水层地下水位	L

续上表

符 号	说 明	量 纲
H_0	2. 抽水含水层(承压含水层)的水位	L
	3. 井点管埋设深度	L
	1. 含水层初始地下水位或边界定水位	L
H_{01}	2. 抽水含水层(承压含水层)的初始水位	L
	3. 抽水前承压含水层或潜水含水层的水位	L
	弱透水层的初始水位	L
H_{02}	非抽水含水层(潜水含水层)的初始水位	L
H_1	1. 弱透水层的水位	L
	2. 井点管埋至基坑底面的距离	
H_2	非抽水含水层(潜水含水层)的水位	L
h	1. 潜水含水层厚度	L
	2. 基坑底面至降低后的地下水位距离	L
h_c	井群中心点承压含水层的水头或潜水含水层厚度	L
h_e	承压含水层的第一类边界水位	L
h_{e1}	弱透水层的第一类边界水位	L
h_{e2}	潜水含水层的第一类边界水位	L
i	x 方向单位向量	
J	1. 水力梯度	
	2. 各向同性压缩蠕变函数	
j	y 方向的单位向量	
K	1. 渗透系数(水力传导系数)	LT^{-1}
	2. 抽水含水层(承压含水层)渗透系数	LT^{-1}
$\underline{K}$	渗透系数张量	LT^{-1}
K_d	垂直、水平渗透系数比值	

续上表

符 号	说 明	量 纲
K_{ij}	张量 $\mathbf{K}$ 的分量	LT^{-1}
K_p	平行层面的渗透系数	LT^{-1}
K_r	水平径向渗透系数	LT^{-1}
K_v	垂直层面的渗透系数	LT^{-1}
K_z	竖向渗透系数	LT^{-1}
K_1	弱透水层渗透系数	LT^{-1}
K_{11}, K_{22}, K_{33}	张量 $\mathbf{K}$ 的主分量	LT^{-1}
K_2	非抽水含水层(潜水含水层)渗透系数	LT^{-1}
k	1. 渗透率 2. 超径系数	L^2
$\mathbf{k}$	z 方向的单位向量	
l	含水层顶板到过过滤器底部距离	L
M	1. 含水层厚度 2. 抽水含水层(承压含水层)厚度	L L
M_0	多孔介质骨架比表面	L^{-1}
M_1	弱透水层厚度	L
M_2	非抽水含水层(潜水含水层)厚度	L
n	1. 孔隙率 2. 抽水含水层(承压含水层)土骨架孔隙率 3. 降水井数量	
$\bar{n}$	外法线方向	
$\bar{\mathbf{n}}$	外法线向量	
n_1	弱透水层土骨架孔隙率	
n_2	非抽水含水层(潜水含水层)土骨架孔隙率	
P	1. 流体压强 2. 孔隙水压力 3. 地下水水头压力	$ML^{-1}T^{-2}$ $ML^{-1}T^{-2}$ $ML^{-1}T^{-2}$
Q	1. 抽水井流量或注水井流量 2. 基坑出水量	L^3T^{-1} L^3T^{-1}

续上表

符 号	说 明	量 纲
Q_0	1. 基坑出水总量	L^3T^{-1}
	2. 井群总出水量	L^3T^{-1}
Q_i	i 井出水量	L^3T^{-1}
Q_w	单井出水量	L^3T^{-1}
$\bar{q}$	Darcy 渗流速度向量	LT^{-1}
q	Darcy 渗流速度	LT^{-1}
q	抽水含水层(承压含水层)土骨架的竖向压密粘滞系数	$ML^{-1}T^{-1}$
q_1	1. $\bar{q}$ 在 x 方向上的分量	LT^{-1}
	2. 弱透水层土骨架的竖向压密粘滞系数	$ML^{-1}T^{-1}$
q_2	1. $\bar{q}$ 在 y 方向上的分量	LT^{-1}
	2. 非抽水含水层(潜水含水层)土骨架的竖向压密粘滞系数	$ML^{-1}T^{-1}$
q_3	$\bar{q}$ 在 z 方向上的分量	LT^{-1}
q^b	承压含水层第二类边界流量	L^3T^{-1}
q_2^b	潜水含水层第二类边界流量	L^3T^{-1}
R	影响半径或基坑影响半径	L
Re	Reynolds 数	
R_i	i 井的影响半径	L
r	计算点至抽水井轴线的径向距离	L
r_w	井的半径	L
r_1	观测井至实井的距离	L
r_2	观测井至虚井的距离	L
S	1. 含水层的贮水系数	
	2. 抽水含水层(承压含水层)的贮水系数	
(S)	曲面	
S_s	含水层的比贮水系数	L^{-1}
S_1	弱透水层的贮水系数	
S_2	非抽水含水层的贮水系数	
s	1. 水位降深或抬高	L
	2. 抽水含水层(承压含水层)中水位降深	L

续上表

符 号	说 明	量 纲
s_c	基坑中心水位降深	L
s_1	弱透水层中水位降深	L
s_2	1. 非抽水含水层(潜水含水层)中水位降深 2. 井的水头损失	L L
T	1. 导水系数 2. 多孔介质管子的弯曲率 3. 抽水含水层(承压含水层)的导水系数	L^2T^{-1} L^2T^{-1} L^2T^{-1}
T_1	弱透水层的导水系数	L^2T^{-1}
T_2	非抽水含水层(潜水含水层)的导水系数	L^2T^{-1}
t	时间	T
U	多孔介质中所取单元体积	L^3
$[U_0(\chi)]$	表征体元(位于数学点 χ 处的物理点)	L^3
$U_{0,v}$	表征体元中孔隙所占的体积	L^3
u	1. x 方向的分速 $u = v_1$ 2. 积分变量 3. $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$	LT^{-1} LT^{-1} LT^{-1}
V	平均速度大小	LT^{-1}
V	1. 平均孔隙流速 2. 质量平均流速	LT^{-1} LT^{-1}
V_a	组分 a 的速度	LT^{-1}
V'	体积平均速度	LT^{-1}
$\bar{V}$	表征体元上的平均速度, 其分量为 V_1, V_2, V_3	LT^{-1}
v	y 方向上的分速 $v = v_2$	LT^{-1}
W	1. 单位时间单位面积上的入渗量 2. 承压含水层入渗量	LT^{-1} LT^{-1}
$W(u)$	Theis 井函数	
$W\left(u, \frac{r}{B}\right)$	Hantush 越流井函数	
w	z 方向上的分速 $w = V_3$	LT^{-1}

续上表

符 号	说 明	量 纲
x	空间坐标	
y	空间坐标	
y_0	井管进水部分长度	L
z	空间坐标	
α	1. 多孔介质骨架的弹性压缩系数 2. 重力水滞后疏干延迟指数	LT^2M^{-1}
α^*	土的压密系数	LT^2M^{-1}
α_1	土骨架的弹性压缩系数	LT^2M^{-1}
α_{1s}	土骨架的瞬时回弹系数	LT^2M^{-1}
α_2	土骨架的蠕变压缩系数	LT^2M^{-1}
α_{2s}	土骨架的蠕变回弹系数	LT^2M^{-1}
α_v	土的压缩系数	LT^2M^{-1}
β	流体的弹性压缩系数	LT^2M^{-1}
(Γ_1)	第一类边界段	
(Γ_2)	第二类边界段	
(Γ_3)	第三类边界段	
γ	1. 土的重度 $\gamma = \rho g$ 2. 流体的重度	$ML^{-2}T^{-2}$ $ML^{-2}T^{-2}$
γ_w	水的重度	$ML^{-2}T^{-2}$
ϵ	竖向压缩总应变	
ϵ_{kk}	压缩应变张量的主分量	
ϵ_s	竖向膨胀总应变	
ϵ_{skk}	膨胀应变张量的主分量	
ϵ_0	承压含水层的初始应变变量	
ϵ_{01}	弱透水层的初始应变变量	
ϵ_{02}	潜水含水层的初始应变变量	
η	土骨架粘滞系数	$ML^{-1}T^{-1}$
θ	含水率	
μ	1. 给水度	

续上表

符 号	说 明	量 纲
	2. 流体的动力粘度	$\text{ML}^{-1}\text{T}^{-1}$
ρ	流体体系的密度	ML^{-3}
ρ_α	多组分流体中组分 α 的密度	ML^{-3}
ρ_β	多孔介质中液相 β 的密度	ML^{-3}
σ	总应力	$\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$
σ^1	有效应力	$\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$
$\bar{\sigma}$	有效应力增量	$\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$
$\bar{\sigma}_{kk}$	有效应力增量张量的主分量	$\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$
$\bar{\sigma}_s$	有效应力递减量	$\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$
$\bar{\sigma}_{skk}$	有效应力递减张量的主分量	$\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$
τ	1. 切应力	$\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$
	2. 时间积分变量	
ν	流体的运动粘度 $= \nu \frac{\mu}{\rho}$	L^2T^{-1}
ν_α	组分 α 的体积因数	
ϕ	单井单位长度出水量	L^2T^{-1}
χ	多维空间中的点	
(Ω)	一般的流动区域	
ω_α	组分 α 的质量因数	