

基坑降水工程的环境效应与评价方法

于开宁 赵 民 李治广 王秀丽 李 健 著

地质出版社

划重点项目（课题编号：2008BAJ06B02）

石家庄经济学院学术著作出版基金资助

基坑降水工程 的环境效应与评价方法

于开宁 赵 民 李治广 王秀丽 李 健 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书系统介绍了基坑降水环境影响及评价方法。主要包括六方面内容：第一，介绍了国内外关于基坑降水工程环境效应与评价方法的研究现状和发展趋势；第二，介绍了基坑降水环境效应及作用机理；第三，确定了基坑地下水控制方案的环境约束指标，建立了基坑降水环境评价指标体系，提出了基坑降水环境影响评价方法和评价模型；第四，介绍了基于支持向量机的基坑降水引发地面沉降的预测模型；第五，介绍了基坑降水地面沉降的控制标准，并与现有基坑降水的相关环境控制要求进行了对比；第六，以北京、青岛多个基坑为实例，介绍了以上成果的应用方法。

图书在版编目 (CIP) 数据

基坑降水工程的环境效应与评价方法/于开宁等著.

—北京：地质出版社，2013.12

ISBN 978-7-116-08556-5

I. ①基… II. ①于… III. ①基坑排水-环境效应

IV. ①TV551.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 248587 号

责任编辑：祁向雷

责任校对：王 瑛

出版发行：地质出版社

社址邮编：北京海淀区学院路 31 号，100083

咨询电话：(010) 82324508 (邮购部)；(010) 82324538 (编辑室)

网 址：<http://www.gph.com.cn>

传 真：(010) 82310759

印 刷：北京地大天成印务有限公司

开 本：787mm×1092mm¹/16

印 张：8

字 数：210 千字

版 次：2013 年 12 月北京第 1 版

印 次：2013 年 12 月北京第 1 次印刷

定 价：36.00 元

书 号：ISBN 978-7-116-08556-5

(如对本书有建议或意见，敬请致电本社；如本书有印装问题，本社负责调换)

在改革开放的三十多年中,我国经济得到很大的发展,成为世界第二大经济国。相应的,我国城镇化也呈现出高速发展的状态。因此,城镇的规模不断扩大,建筑物的规模和高度不断增大加高,对地下空间的开拓也随之而加深,而首先涉及工程稳定与安全的先导工程——基坑的挖掘,体积也愈来愈大,深度愈来愈深。

基坑能否顺利挖掘,不仅涉及工程建设的基础稳定,更涉及到对周围环境的影响。因为,深大基坑的开挖,首先应当维护基坑周边的稳定性,这种人工坑周的稳定性,涉及土层、砂层的特性,更主要涉及基坑排水后,增大基坑边沿人力排水产生的大坡降,这就导致水-土、水-砂的作用,诱发基坑内出现滑坍,严重的使基坑因崩坍而出现严重灾害,甚至不能使用。目前,基坑不断加大加深,所需采取水力措施的排水也越多,产生的地下水降落漏斗也越来越大,必然影响到周边的环境,也会导致周边的地面沉降,并对周边已有建筑物造成危害。目前,我国因基坑开挖导致出现工程事故,造成的经济损失是惊人的。前些年,我国建设地铁等城市轨道交通,多采用明挖法,实际上是长大基坑,也产生不少事故。而明挖法修建后期,虽然进行了人工回填,但已有人工排水的效应还是会存在着。目前,采用暗挖较多,但排水对环境影响也还是存在着。

于开宁教授等多年参加各地、多种类型的基坑调查与施工,积累了丰富的经验,于近期参加“十一五”国家科技支撑项目“基坑地下水控制方法与渗漏监测技术研究”(2008BAJ06B02),提出了本课题成果《基坑降水工程环境效应与评价方法》。本项成果的主要创新贡献是:

(1) 提出基于支持向量机的基坑降水地面沉降预测方法

对基坑开挖深度 $H_1(\text{m})$ 、等效压缩模量 $E(\text{MPa})$ 、土体平均重度 $G(\text{KN}/\text{m}^3)$ 、渗透系数 $K(\text{m}/\text{d})$ 、水位降深 $H_2(\text{m})$ 、支护刚度 n 、沉降点距基坑的距离 $L(\text{m})$ 共 7 个参数进行相关分析,提取沉降点距基坑的距离 $L(\text{m})$ 、等效压缩模量 $E(\text{MPa})$ 、水位降深 $H(\text{m})$ 、支护刚度 n 作为建立基坑降水地面沉降预测模型的基本参数。在此基础上,以实际工程数据为依据,运用 BP 神经网络和支持向量机理论,以构建预测模型,对基坑降水周边地面沉降进行预测,并与工程经验估算法预测结果相对比。结果表明,基于支持向量机的预测精度明

显高于 BP 神经网络和工程经验估算法的结果。所以，基坑降水引发的地面沉降预测问题应优先采用基于支持向量机的创新性预测方法。

(2) 提出基于模糊数学的基坑降水环境影响评价方法

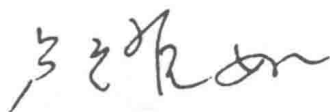
该研究成果主要考虑了基坑支护刚度、岩土性质、降水方式、水文地质边界、基坑侧壁状态、边载分布、后续使用年限、基础型式和差异沉降九个方面因素，构建了基坑降水环境影响评价指标体系。进而分别依据模糊数学理论、支持向量机理论和 BP 神经网络构建基坑降水环境影响评价模型。研究工作中，采用北京、青岛两地共 5 个基坑对三种评价模型进行验证，结果表明基于模糊数学的基坑降水环境影响评价与实际环境态势最为相符。因此，对于基坑降水环境影响评价是创新的成果。

根据上述两项创新成就，将基坑降水方式和固有环境两要素一起作为基坑等级划分的依据，在总结现有国家规范、地区及企业经验的基础上，着重由安全性和适用性优先的原则，建立了基坑降水方法和基坑地面沉降设计允许值和监测报警值的关系，提出以基坑环境影响评价为基础的基坑降水地面沉降控制方法和基坑降水地面沉降控制标准。

本项成果从人们常忽视的基坑入手，提出创新性的新成果，却是会影响到今后城镇化发展的前景，涉及对宝贵地下水资源的开发与保护，涉及周边城镇群的安全以及相应的防灾减灾，也涉及城镇发展与水土资源的配置与高效集约节约的开发利用。

基坑不只是坑，这方面对城镇群的发展，对今后不论用何种施工方式进行的地下空间开拓，都是具有重要的现实意义。研究成果的价值，不是对于单一的坑，而是面积广阔的城镇群的建设，都需认真思考与采纳。

有机会先学习此成果，感到欣喜，特此为之写下其成就的要点以为序！



2013 年 11 月 18 日

环境是严重影响 21 世纪人类生存和社会经济发展的关键问题。随着我国城镇化水平的提高,大量高层建筑破土动工,人们对地下空间的需求越来越高,深大基坑工程大量涌现,由此带来的工程及环境安全问题日益凸显。唐业清教授曾对国内 168 个基坑事故调查表明:基坑工程事故率高达 30%,46% 的事故由设计不当造成,70% 的事故与基坑地下水控制有直接或间接关系。据不完全统计,目前国内基坑工程每年投资近 5000 亿元,由于基坑失事造成的损失超过 200 亿元,环境破坏带来的损失是其中的重要因素,主要有周边地下管线破坏、影响周边已有建(构)筑物的安全使用、影响市政体系(管网)的正常运行,给周边居民造成恐慌心理,诱发社会秩序局部混乱,甚至不稳定,造成的恶劣社会影响难以估量。如 2005 年 7 月 21 日 12 时左右,在广州海珠区江南大道南珠城海广场深基坑发生滑坡,导致 3 人死亡,4 人受伤,地铁二号线停运近一天,7 层的海员宾馆倒塌,多家商铺失火被焚,一栋 7 层居民楼受损,三栋居民被迫转移。2008 年 11 月 15 日下午 3 时 15 分,正在施工的杭州地铁湘湖站北 2# 基坑现场发生大面积坍塌事故,造成 21 人死亡,24 人受伤,直接经济损失 4961 万元。大量的基坑事故警醒我们要万分重视地下工程的勘查、设计、施工和监测,要千方百计的研究、探索、总结基坑工程的特殊性,寻求与之相匹配的理论、技术和方法,以期提高基坑工程的品质,降低基坑工程带来的生产及环境风险。

20 世纪 90 年代以来,先后由建设部组织,多家设计院、高校、科研院所参与,制定出版了一系列基坑类规范、手册,使得基坑工程从勘查、设计到施工、监测等环节从理论依据到技术方法均有了质的飞跃,基坑降水作为基坑工程的主要环节,其引发的环境问题在以上规范中被广泛关注。诸如《建筑与市政降水工程技术规范(JGJ/T111-98)》对降水工程设计的一般规定中指出:“降水工程设计应进行多方案对比分析后选择最优降水方案,降水工程设计应重视工程环境问题,防止产生不良工程环境影响”;《建筑基坑支护技术规程(JGJ 120-99)》规定对于周边环境复杂的基坑,需预测基坑地下水控制引发的地面沉降,并论证由此引发的环境变化;《建筑基坑工程监测技术规范》(GB50497-2009)和《基坑施工监测规程》(DG/TJ 08-2001-2006)给出了基坑变形监测项目、监测方法和变形报警值,要求以表格或变化曲线的形式处理基坑变形监测数据,分析变形的发展趋势并对变形做出预

质环境地质调查中心郭建强教授级高级工程师、张青教授级高级工程师，中国建筑科学研究院李显忠研究员，北京城建集团张晋勋教授级高级工程师、傅鑫谊高级工程师，北京城建勘测设计研究院马健工程师，北京地矿奥通建设工程有限公司叶锋教授级高级工程师，山东海天岩土工程有限公司李明高级工程师，青岛市勘察测绘研究院张志华研究员、吕三和研究员、王殿斌研究员，以及石家庄经济学院董兆祥教授、袁颖副教授、侯征博士、李文萍实验师和硕士研究生阳艳、吕炳旭等相关单位和个人的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。特别感谢，百忙之中给予本成果提出宝贵指导意见并作序的卢耀如院士和顾宝和大师！

由于作者水平有限，书中难免有错误和不足之处，敬请各位同行、专家和读者批评指正。

著 者

2013 年 11 月 25 日

测,为优化基坑设计、指导施工提供依据。但以上规范、手册中关于基坑工程环境评价方法的论述还有待完善。对于每个基坑工程的降水,怎样事先预知其可能带来的环境影响成为了一个亟待解决的问题,只有这个问题得到解决,才能为降水方案的对比和降水方案的设计提供科学依据。因此,开展基坑降水工程的环境效应与评价方法研究,可为降水工程设计提供评价方法和依据,具有重大的现实意义和理论价值。

2008年,为促进、引导和规范我国基坑开挖工程的建设设计与施工,围绕我国城市地下空间建设必须解决的突出问题,瞄准国际前沿,结合我国实际情况,科技部启动了“十一五”科技支撑计划重点项目《地下开挖工程岩土加固关键技术研究》。该项目是《国家中长期科学和技术发展规划纲要》重点领域“城镇化与城市发展”中“城市功能提升与空间节约利用”优先主题的重要研究内容;是城市轨道交通建设、城市地下空间利用工程的关键配套技术。项目总体目标是研发一批具有自主知识产权的基坑工程设计、施工、监测技术与方法,提出一套综合集成的减少事故、降低造价、保护环境、节约资源的基坑工程安全质量保障体系,为完善或修订基坑工程相关规程、规范、指南提供依据,为我国城市化建设的国家战略决策提供强有力的技术支撑。作者在该项目研究过程中,结合多年的生产及研究经验,对基坑地下水控制方案的环境约束指标及不同地下水控制方案的环境影响评价方法和评价模型开展了深入研究。本著作凝练相关成果,系统介绍了基坑降水环境影响及评价方法。主要包括六部分内容:第一部分,指出基坑降水工程的环境效应与评价研究的现实意义和理论价值,介绍了国内外关于基坑降水工程环境效应与评价方法的研究现状和发展趋势;第二部分,介绍了基坑降水环境效应及作用机理;第三部分,确定了基坑地下水控制方案的环境约束指标,建立了基坑降水环境评价指标体系,提出了基坑降水环境影响评价方法和评价模型,模型考虑了降水方式、岩土性质、渗透系数、水文地质边界、基坑侧壁状态、边载分布、建设年代、基础型式等影响因素;第四部分,介绍了关于基坑降水地面沉降预测的相关研究成果,指出基于支持向量机的基坑降水引发地面沉降的预测模型优于工程经验法和神经网络法;第五部分,介绍了基坑降水地面沉降的控制标准,并与现有基坑降水的相关环境控制要求进行了对比;第六部分,以北京、青岛多个基坑为实例,介绍了以上成果的应用方法,对以上工程进行基坑降水环境影响评价,结果与实际环境影响相符,避免了由于基坑降水不当造成的环境事故。

本专著为“十一五”国家科技支撑计划项目“基坑地下水控制方法与渗漏监测技术研究(2008BAJ06B02)”部分成果。期间,得到了中国地质大学(北京)万力教授、胡伏生教授、刘飞副教授、殷昊博士,中国科学院地质与地球物理研究所秦四清研究员、马平博士,中基发展有限责任公司王清高级工程师、李征翼高级工程师、陈志辉高级工程师,中国水电基础局有限公司肖恩尚教授级高级工程师、宋伟教授级高级工程师,中国地质调查局水文地

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 问题的提出	1
1.2 国内外研究现状	3
1.2.1 基坑工程环境影响机理	3
1.2.2 基坑工程环境影响评价	5
1.2.3 基坑工程环境影响控制	6
1.3 存在的问题	9
1.3.1 基坑工程的功能要求	9
1.3.2 基坑工程的环境保护与处理相邻关系要求	10
1.4 发展趋势	11
第 2 章 基坑降水环境效应及作用机理	12
2.1 基坑工程的岩土环境问题	12
2.1.1 基坑周围地表沉降	12
2.1.2 基坑支护结构的变形	12
2.1.3 基坑失稳	13
2.1.4 基坑突涌	14
2.1.5 基坑隆起变形	15
2.1.6 基坑施工中的环境污染	16
2.1.7 基坑工程中的其他环境问题	17
2.2 基坑降水方法	18
2.2.1 明排降水	19
2.2.2 轻型井点降水	19
2.2.3 喷射井点降水	20
2.2.4 电渗井点降水	21
2.2.5 管井降水	21
2.2.6 辐射井点降水	21
2.2.7 自渗井点降水	22

3.6 基于 BP 神经网络的环境影响评价方法 55

3.7 三种评价方法的对比分析..... 57

第 4 章 基坑降水地面沉降预测 58

4.1 地面沉降机理及危害..... 58

4.1.1 地面沉降现状..... 58

4.1.2 地面沉降的危害..... 59

4.1.3 地面沉降的成因机制和形成条件..... 60

4.1.4 地面沉降研究存在的问题..... 63

4.2 基坑降水引起地面沉降的影响因素分析..... 65

4.2.1 SPSS 简介 65

4.2.2 相关分析..... 66

4.3 基坑降水地面沉降预测方法..... 73

4.4 基于 BP 神经网络的基坑降水地面沉降预测模型 75

4.4.1 BP 神经网络原理 75

4.4.2 建立 BP 神经网络地面沉降预测模型 78

4.5 基于支持向量机的基坑降水地面沉降预测模型..... 81

4.5.1 支持向量机原理..... 81

4.5.2 建模数据的选取..... 84

4.5.3 核函数的选取..... 84

4.5.4 参数的选择..... 85

4.5.5 结果分析..... 85

4.6 三种预测模型效果比较..... 86

第 5 章 基坑降水地面沉降控制标准 88

5.1 基坑降水地面沉降控制方法..... 88

5.1.1 基坑降水设计阶段地面沉降控制..... 88

5.1.2 基坑降水施工监测环节地面沉降控制..... 93

5.2 基坑降水地面沉降控制标准..... 95

5.3 基坑降水地面沉降监测与防治..... 98

5.3.1 基坑降水地面沉降监测..... 98

5.3.2 基坑降水地面沉降防治 101

第 6 章 基坑降水工程实例应用分析..... 103

6.1 基坑降水地面沉降预测模型的应用 103

2.2.8 综合井点降水..... 22

2.3 基坑降水环境影响机理..... 23

2.3.1 基坑降水带来的环境问题..... 23

2.3.2 基坑降水环境影响的原因分析..... 24

2.3.3 地下水及地下水运动..... 25

2.3.4 基坑降水水位计算理论..... 28

2.3.5 固结沉降计算理论..... 29

2.3.6 降水固结变形..... 34

2.3.7 基坑降水引起地面沉降..... 34

第3章 基坑降水环境影响评价 36

3.1 环境影响评价的一般思路..... 36

3.2 基坑降水环境影响评价指标体系..... 37

3.2.1 评价指标体系的构建原则..... 37

3.2.2 评价指标体系的构建方法..... 37

3.2.3 指标量化及分级体系..... 38

3.2.4 指标数据标准化处理..... 40

3.2.5 评价单元划分..... 41

3.3 环境影响评价方法..... 42

3.3.1 地理信息系统 (GIS) 42

3.3.2 BP 人工神经网络 43

3.3.3 灰色系统理论..... 44

3.3.4 模糊数学方法..... 45

3.4 基于模糊数学的环境影响评价方法..... 46

3.4.1 权重的确定..... 46

3.4.2 模糊数学评价模型..... 49

3.4.3 MTLAB 数学模型..... 51

3.5 基于支持向量机的环境影响评价方法..... 51

3.5.1 支持向量机研究现状..... 51

3.5.2 多类支持向量分类..... 52

3.5.3 基坑降水环境影响评价..... 53

3.5.4 支持向量机学习算法..... 54

3.5.5 支持向量机基坑降水环境影响评价结果..... 55

6.1.1 工程概况 103

6.1.2 降水方案 104

6.1.3 地面沉降预测 105

6.2 基坑降水环境影响评价方法的应用 106

6.2.1 工程概况 106

6.2.2 基坑设计及施工监测 108

6.2.3 环境影响评价 109

参考文献..... 111

1.1 问题的提出

环境是严重影响新世纪人类生存和社会经济发展的关键问题，已被列入我国中长期科学与技术发展规划纲要。基坑的支护、降水、开挖会引发许多环境问题，诸如周边地区地面沉降、周边建筑物及地下管线的破坏、地下水位下降、地下水水质恶化、地面干旱化等，严重时会给人民的生命财产安全带来巨大损失。随着我国城镇化水平的提高，大量高层建筑破土动工，人们对地下空间的需求越来越高，深大基坑工程大量涌现，由此带来的工程及环境安全问题日益凸显。

调查资料显示，基坑工程导致的安全和环境问题约占工程总量的 10%~15%，高地下水位软土地区达 20%，个别地区基坑工程中，有较大问题的约占 60%（雷宏刚，2005；范锡盛，1999）。根据王曙光（2005）对我国基坑工程发展将近 20 年以来出现基坑事故的总结，各种大大小小的基坑工程事故不胜枚举：如湛江半球太新广场基坑深 9m，由于基坑开挖之前对其旁边的配电房没有进行加固处理，导致基坑开挖过程中配电间滑入基坑，3 根支护桩被折断；长沙华联大厦基坑深 13.7m，由于地质勘查资料与实际情况不符导致支护设计不合理，使得基坑在开挖到 2m 时，靠主干道一侧的支护桩产生水平位移，道路岩石与地面交界处全线开裂，2 天之内 19 根支护桩全部断裂倒塌，未断桩桩顶水平位移也达到了 500~800mm；成都锦绣花园工程基坑深 8m，部分区段采用台阶式开挖，部分区段直立开挖，采用喷锚网护壁，开挖完成后基坑东侧边壁中部突然坍塌，造成施工运输道路中断，直接危及临近高级住宅的安全。由于基坑失稳给国家和人民造成的损失也难以估计：1998 年 5 月 6 日下午，广东省珠海市拱北祖国广场工地发生一起特大基坑坍塌事故，事故造成 5 人在撤离现场时受轻伤，3 栋民房、37 间商铺和 1 间员工饭堂倒塌陷入坑中，10 栋民房和附近道路、排污、供水、供电设施受到不同程度影响，直接经济损失 1377.6 万元；2008 年，杭州风情大道地铁施工现场发生大面积坍塌事故，八车道的风情大道塌下去 100 多米长，塌陷深度

20m 左右, 边上的河水倒灌向塌陷的地铁坑道内, 造成 20 多人被困, 损失惨重; 2009 年 6 月 28 日, 上海“莲花河畔景苑”楼盘的 7 号楼房因邻近深基坑一侧堆载超限, 发生倒塌事故, 在建 13 层楼整体倒塌, 造成多人伤亡和重大的经济损失; 同年 7 月, 甘肃华亭陈家山煤矿邻近既有主斜井驱动机房东侧修建地下输煤通道, 由于加固支护方案不合理, 当基坑开挖至 15m 时, 发生垮塌, 主斜井驱动机房失稳, 给煤矿造成了巨大损失; 2012 年 10 月, 西安武警医院一基坑邻近一两层建筑物开挖, 由于未对该建筑进行加固处理, 基坑开挖过程中侧壁失稳引发了工程事故, 造成了严重的经济损失, 所幸无人员伤亡。因此, 保证基坑开挖过程中的安全尤为重要。

唐业清(1999)对国内 168 个基坑事故调查表明: 基坑工程事故率高达 30%, 46% 的事故由设计不当造成, 70% 的事故与基坑地下水控制有直接或间接关系。于 1996 年 10 月在安徽省黄山市召开的深基坑开挖与支护研讨会上, 与会专家一致认为基坑事故绝大部分与地下水有关(顾宝和, 1997)。基坑降水是控制基坑地下水和保证施工安全的主要方法。基坑降水是否合理不仅关系到工程施工的安全, 更重要的是对周边环境安全产生直接影响。

建设部制定的中华人民共和国行业标准《建筑与市政降水工程技术规范(JGJ/T111-98)》对降水工程设计的一般规定中指出: “降水工程设计应进行多方案对比分析后选择最优降水方案, 降水工程设计应重视工程环境问题, 防止产生不良工程环境影响”(中华人民共和国建设部, 1999)。

国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120-99)规定对于周边环境复杂的基坑, 需预测基坑地下水控制引发的地面沉降, 并论证由此引发的环境变化(中华人民共和国建设部, 1999)。

国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》(GB50497-2009)和上海市标准《基坑施工监测规程》(DG/TJ08-2001-2006)给出了基坑变形监测项目、监测方法和变形报警值, 要求以表格或变化曲线的形式处理基坑变形监测数据, 分析变形的发展趋势并对变形做出预测, 为优化基坑设计、指导施工提供依据(中华人民共和国住房和城乡建设部, 2009; 上海市建设与交通委员会, 2006)。

以上规范均表明基坑降水引发的环境问题已经受到岩土工程界的广泛重视, 并在各类基坑规范中都明确了要对基坑降水造成的环境影响进行评价, 而目前还没有较为完善的基坑工程环境评价方法, 上海市标准《基坑工程设计标准》(DBJ-61-97)虽然给出了不同围护结构的地面沉降预测及环境影响估算方法, 但对基坑降水带来环境影响缺乏相关论述(上海市建设与交通委员会, 1997)。

对于每个基坑工程的降水设计, 怎样事先预知其可能带来的环境影响成为了一个亟待解决的问题, 只有这个问题得到解决, 才能为降水方案的对比和降水方案的设计提供科学依

据。因此,开展基坑降水工程的环境效应与评价方法研究,可为降水工程设计提供评价方法和依据,具有重大的现实意义和理论价值。

1.2 国内外研究现状

近年来,学术界和工程界就基坑工程环境影响机理、评价方法和控制措施三个方面开展了卓有成效研究,得到了许多有益成果。

1.2.1 基坑工程环境影响机理

普遍认为(刘建航,1997;王军,2006;王曙光,2013;向华强,2013;雷珂娜,2013),基坑开挖是卸荷的过程,将引起基坑周边土体应力场变化及地面沉降,支护结构在两侧压力差的作用下产生水平向位移因而导致支护结构后面的土体产生位移,卸荷引起的坑底土体产生向上的位移,也会导致支护结构后面的土体产生位移。支护结构(支护桩、地下连续墙、锚杆、土钉等)施工引起的挤土效应或土体损失会导致周边土体发生位移,长时间、大范围降低地下水甚至基坑围护结构渗漏易发生基坑外侧土层坍塌、地面沉降,进而引发基坑周边的环境问题。

近年来,随着城市建设和地下空间开发利用的快速推进,基坑工程尤其是深基坑工程的数量不断增加,由基坑工程引起的环境问题越发凸显,具体为:

(1) 支护结构侧向位移和地面沉降,由此带来邻近建(构)筑物倾斜、开裂,地下管线破裂,道路沉陷等。

(2) 基坑开挖、加固带来的噪声、粉尘、地下水污染。

(3) 基坑降水带来的水资源浪费。

(4) 基坑施工带来的复杂的社会问题,如交通堵塞、经济纠纷等。其中支护结构侧向位移和地面沉降最受关注,严重时会带来巨大的工程事故。

目前,国内外许多专家学者对基坑开挖引起的基坑周围环境变形规律进行了大量的理论与试验研究,并取得了许多研究成果。Peck R. B (1969) 通过总结分析收集的基坑实测数据,得出了坑外地表的沉降曲线及基坑围护再开挖过程中最大变形发生的位置;Goldberg D. T (1976) 在 Peck R. B 结论的基础上考虑了墙体刚度对坑外土体沉降的影响;Clough G. W (1990) 分析了墙后地表沉降的规律,并对开挖引起的围护结构变形形式进行了分类;Chang Y. Q (1993) 指出基坑开挖引起的地表沉降曲线有三角形和凹槽型两种形态;Pio - Go Hsieh (1998) 在 Chang Y. Q (1993) 研究的基础上进一步给出两种沉降形态的预测方法;吴佩轮 (1997)、龚晓南 (1998) 对连续墙的变形曲线进行了分类;徐中华 (2007) 根

据工程实测数据得到了围护墙最大水平位移随基坑开挖深度在不断变化,即随着开挖深度的增加和支护的架设,墙体最大水平位移逐渐下移。孙钧(1993)利用“时空效应”方法对基坑问题进行分析研究,对土层沉降、变形进行理论预测;李云峰(2005)分析了基坑变形的不同形式,总结了围护结构的设计计算理论,并利用有限元软件分析了邻近超载对支护结构的水平位移、弯矩以及土压力的影响。另外,围护结构和周围土体的变形必然导致邻近基坑建筑物的变形。Attwell P. B (1986) 分析总结了基坑开挖对邻近建筑物的影响规律;Boone S. J (1999) 研究了地表位移引起建筑物破坏的规律,并得出了建筑物破坏的控制标准和计算方法;Laefer (2001) 通过模型试验,分别研究了刚性和柔性悬臂支护结构对基坑周围土体和邻近建筑物位移的不同影响;Iame Ishihara (1970) 定性分析了影响基坑周围土体变形的各种因素,并将其归为基坑尺寸(长度、宽度、深度)、土层的性质、地下水条件、基坑暴露时间、支撑系统、开挖和支撑的顺序、邻近的结构和设施恒荷载、活荷载等八个方面的影响因素;李勇(2005)结合具体的工程实例,就基坑开挖对周边建(构)筑物地基承载力的影响作了深入的研究与分析;付垚(2009)通过运用数值模拟分析研究了基坑开挖过程对周边建筑物的影响,找出了基坑开挖过程对周边建筑物的影响规律及最优的基坑开挖次序;王素霞(2006)通过建立基坑开挖条件下考虑上部结构、基础与岩土体共同作用的数值分析模型,探讨了基坑开挖对邻近建筑物位移和内力的影响规律;张亚奎(2003)应用数值模拟方法,分析了在不同支护情况下,深基坑开挖对近邻建筑物的变形、支护结构变形以及基坑外地层沉降的影响,对其发展变化规律进行了分析总结;刘建飞(2003)从基坑土体开挖、基坑降排水、基坑支护三个方面讨论了基坑环境影响的形成机理及防治措施;付建军(2010)对二元地质环境下狭长型基坑的变形及周边影响作了研究;孙志斌(2006)对深基坑工程带来的环境问题进行了分析,对支护变形、基坑降水引发的地面沉降问题,基坑工程引起的噪声污染、废弃物污染、化学污染、空气污染、水土流失、对正常生活与交通秩序的干扰等进行了深入研究,并提出了相应的防治措施。

基坑开挖将引起基坑周边土体产生位移,并不断向周围扩展。若基坑邻近既有建筑物,则会影响既有建筑地基的反力分布,进而对既有建筑造成影响。由于地基土和建筑物基础刚度差异较大,变形不一致,基础与地基之间的接触会出现“不紧密”或“脱开”的现象;为满足变形协调达到新的平衡,上部既有建筑物及其基础在荷载的作用下将与地基相互作用,共同发生变形。若基础变形过大,会对既有建筑造成很大损害或建筑物外观破坏或影响正常使用功能或结构失去稳定性。从力学角度分析,土体开挖引起建筑物破坏形式主要有两类,剪切破坏和拉裂破坏。剪切破坏会对上部既有建筑物墙体产生附加剪应力,大大降低墙体强度;拉裂破坏会对上部既有建筑物墙体产生附加拉应力,导致墙体拉裂破坏,使垂直裂缝的方向不能继续承受拉力(刘影,2009)。根据既有建筑

和开挖基坑之间的距离, 基坑开挖对建筑物的影响可分为直接影响和间接影响。根据已有施工经验, 距离基坑 2~3 倍基坑开挖深度范围内的建筑物会直接受开挖影响; 当场地地下水位较高, 基坑开挖前需大范围降水, 可能会对 2~3 倍基坑开挖深度范围外的地方也产生影响, 即间接影响。如果基坑开挖对邻近既有建筑的影响过大, 会造成既有建筑产生不均匀沉降、倾斜 (或局部倾斜), 甚至倒塌。薛丽影 (2011) 在判断影响范围时, 除以建筑物距基坑距离与基坑深度的比值 b/H 为依据外, 还同时考虑基础埋深和沉降分布曲线的形状, 判断结果更为符合工程实践。

总体来说, 基坑工程所带来的环境问题主要由基坑变形引起, 基坑变形主要包括围护墙的变形、坑底隆起、基坑周围土体水平移动和垂向移动 (地面沉降), 基坑支护和基坑降水是产生基坑变形的两个主要原因 (赵志缙, 1999; 杨天亮, 2009)。

1.2.2 基坑工程环境影响评价

近年来, 关于基坑工程环境影响评价的研究成果较少, 已有成果大多通过估算基坑变形量或依据基坑开挖监测数据来定性的评估基坑对环境的影响。

李志高 (2008) 对上海地铁 8 号线人民广场站深基坑开挖进行了研究, 估算了由此引起的邻近已运营车站的变形, 进而对基坑的环境影响进行评估。

王永新 (2004) 根据黄兴路站深基坑施工过程监测情况, 分析了各工序、不同工艺和结构设计等因素对周边环境的影响程度, 并提出了控制和减少施工对周边环境影响的对策。

陈生东 (2004) 以复杂环境下基坑开挖为例, 根据基坑开挖监测结果, 评价了基坑开挖环境影响, 并指导现场施工开挖, 确保了围护结构本身和周围环境的安全, 信息化施工取得良好效果。陈生东 (2006) 以复杂环境下基坑开挖为例, 根据基坑开挖监测结果, 评价了基坑开挖环境影响, 并指导现场施工开挖, 确保了围护结构本身和周围环境的安全, 信息化施工取得良好效果。程守信 (2011)、牟建华 (2013)、吴科一 (2013) 等通过监测数据预测基坑施工对周边环境的危害, 控制环境安全。

袁勇 (1999) 利用模糊数学的概念和模糊逻辑的推理方法, 实现了对环境规模的“影响”因素和潜在事故的危害“后果”这两个方面的模糊识别, 建立了基坑开挖工程对不同环境影响的控制等级模糊评价体系; 戴佳立 (2011) 基于模糊数学理论, 建立深基坑施工对周围环境影响的模糊综合评判模型, 对基坑工程的安全性进行评价。张驰 (2013) 基于模糊数学的相关理论建立深基坑施工对周边环境影响的模糊风险评估模型, 对工程实例加以解析化和定量化分析, 提出合理的风险损失评价指标、风险等级划分以及风险损失计算公式。

杨华伟 (2012) 基于强度折减原理对深基坑周边环境安全性进行评价。