

人工冻融土的工程性质研究

——以安徽省淮南刘庄煤矿主井井塔地基为例

崔可锐 查甫生 / 著



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

人工冻融土的工程性质研究

——以安徽省淮南刘庄煤矿主井井塔地基为例

崔可锐 查甫生 著

合肥工业大学出版社

内容提要

全书共分九章,详细研究了淮南刘庄煤矿的主井井塔人工冻融土地基土的物理力学性质、工程性质、化学成分、中微观结构、人工冻融土的模拟试验、应力场模型、温度场的数学模型。此外,还研究了人工冻融土的冻胀和融沉特性、人工冻融土地基桩基承载力、沉降计算以及回冻对桩基的影响和处理措施。

本书可作为高校和大专院校工程地质、岩土工程和土木工程等专业学生的参考书,也可供煤炭、交通、建筑、水利、地质、铁道、冶金和建材等部门从事工程地质、设计、施工的技术人员、现场管理人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

人工冻融土的工程性质研究:以安徽省淮南刘庄煤矿主井井塔地基为例/
崔可锐,查甫生著. —合肥:合肥工业大学出版社,2013. 12

ISBN 978-7-5650-1741-4

I. ①人… II. ①崔…②查… III. ①煤矿—井架—地基—人造冻土—冻融试验—研究 IV. ①TD223

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 315712 号

人工冻融土的工程性质研究

——以安徽省淮南刘庄煤矿主井井塔地基为例

崔可锐 查甫生 著

责任编辑 权 怡

出版 合肥工业大学出版社

版次 2013 年 12 月第 1 版

地址 合肥市屯溪路 193 号

印次 2014 年 3 月第 1 次印刷

邮编 230009

开本 710 毫米×1010 毫米 1/16

电话 总编室:0551-62903038

印张 14.25

市场营销部:0551-62903198

字数 226 千字

网址 www.hfutpress.com.cn

印刷 安徽江淮印务有限责任公司

E-mail hfutpress@163.com

发行 全国新华书店

ISBN 978-7-5650-1741-4

定价:35.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社市场营销部联系调换。

前 言

目前,采用人工快速解冻法的冻融土地基施工正在悄然兴起,冻融土地基研究越来越受到人们的重视。人工快速解冻的冻融土地基工程性质研究可用于公路、铁路、煤矿主井、水利、隧道和城市地下工程等行业建设中,存在着潜在的巨大社会效应,具有广阔的推广前景。

人工冻融土研究目前还不广泛,为了促进人工冻融土的研究,我们将这些年来对安徽省淮南刘庄煤矿的主井井塔人工快速解冻法的冻融土地基所有资料进行了整理、分类、分析和深入研究,并予以出版,目的是希望大家都能重视人工冻融土研究,讨论它、研究它,从而促进人工冻融土研究的发展,让我国能在这方面走在世界的前沿。

全书共分九章,深入浅出地介绍了淮南刘庄煤矿的主井井塔人工冻融土地基土的物理力学性质、工程性质、化学成分、中微观结构、人工冻融土的模拟试验、应力场模型、温度场的数学模型。此外,还研究了人工冻融土的冻胀和融沉特性、人工冻融土地基桩基承载力及沉降计算。全书由崔可锐和查甫生统稿。

本书由崔可锐、查甫生等多人合作完成,在出书前的研究中,得到了毛由田、闫红新、朱晓辉、杨立华、曹三华、唐明辉、陈诗高等人的大力帮助和指导,国投新集能源股份有限公司给予了资金上的支持,在此一并表示衷心的感谢。本书第一章由崔可锐、查甫生、马海春编写,第二章由杨立华、曹三华、周阳、胡清华编写,第三章由崔可锐、胡清华、苏文生、马文生编写,第四章由崔可锐、周阳、张超、张鑫编写,

第五章由崔可锐、查甫生、储诚富、马文生编写,第六章由崔可锐、张超、薛博、苗士强编写,第七章由崔可锐、查甫生、苏文生、管政亭、孙献国编写,第八章由崔可锐、管政亭、马海春编写,第九章由崔可锐、苏文生、冯敏杰、储诚富、李天堡编写,内容提要、前言、参考文献和附录等由崔可锐、查甫生编写。

由于作者水平有限,书中不妥和错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

目 录

第一章 概述	(001)
1.1 研究意义	(001)
1.2 国内外研究现状及展望	(002)
1.3 主井井塔人工冻融土地基概况	(006)
1.4 主井井塔场地工程地质条件及水文地质条件	(007)
第二章 刘庄煤矿主井地基土的物理力学性质研究	(010)
2.1 试验及数据处理	(010)
2.2 物理性质研究	(010)
2.3 力学性质研究	(015)
2.4 静力触探及标准贯入试验研究	(019)
2.5 人工冻融土的物理力学性质冻融前后对比研究	(023)
2.6 人工冻融前后地基土物理力学性质和水理性质的变化分析	(033)
第三章 人工冻融土的模拟试验	(036)
3.1 实验内容及目的	(036)
3.2 实验方法和实验装置	(036)
3.3 人工冻融土的冻胀和融沉特性	(038)
3.4 人工冻融土的冻胀和融沉试验的曲线拟合和回归方程	(042)
3.5 地基土的冻胀和融沉分析	(050)
3.6 人工冻融土的蠕变特性	(055)

第四章 人工冻融土的矿物学和化学成分研究	(072)
4.1 X射线衍射的矿物学研究	(072)
4.2 化学成分及其对比研究	(077)
4.3 矿物含量和化学成分的变化规律及原因分析	(077)
第五章 人工冻融土的中微观结构研究	(083)
5.1 土的结构特征和微结构类型	(083)
5.2 人工冻融土中观结构的研究与对比	(088)
5.3 人工冻融土微观结构的研究与对比	(096)
5.4 中微观结构的变化规律和原因分析对比	(105)
第六章 人工冻融土的矿物化学成分及中微观结构与工程性质之间的 关系研究	(111)
6.1 人工冻融土的矿物成分与工程性质之间的关系研究	(111)
6.2 人工冻融土的化学成分与工程性质之间的关系研究	(113)
6.3 人工冻融土的中微结构与工程性质之间的关系研究	(114)
第七章 人工冻融土地基应力场的数学模型研究	(124)
7.1 三维应力与应变基本方程	(124)
7.2 人工冻融土地基应力场的数学模型	(127)
7.3 模型破坏准则	(128)
7.4 桩基极限承载力的数学模型	(130)
7.5 应力场的数学模型计算与分析	(133)
第八章 人工冻融土地基温度场的数学模型研究	(163)
8.1 有限元分析方法	(164)
8.2 基本假定和热传导方程及其求解	(166)
8.3 人工冻土的温度场数学模型	(173)
8.4 人工冻融土温度场的数学模型	(177)

8.5 温度场有限元计算及评价	(178)
8.6 人工冻融土中水热耦合迁移的数学模型	(194)
第九章 人工冻融土地基桩基承载力及沉降计算	(197)
9.1 桩身承载力及压屈验算	(197)
9.2 单桩承载力的计算	(198)
9.3 群桩承载力的计算	(202)
9.4 基础的沉降计算	(205)
9.5 桩基稳定性评价	(208)
附录 1 安徽淮南刘庄煤矿土样详表	(212)
附录 2 土样标本及实验场景	(213)
附录 3 2006 年桩压力盒应力测试	(214)
参考文献	(216)

第一章 概述

1.1 研究意义

人工快速解冻的冻融土地基是人工对天然地基的土体进行冻结,待土体施工结束后再人工进行快速解冻的一种地基。该地基的土体在经过人工冻结和人工快速解冻后,其物理力学性质、微结构、固结度、强度、承载力和土体内土与桩体的相互作用关系都发生了变化,给今后在这种地基上进行的大型工程建设带来了新的问题。然而,人工快速解冻施工工艺对施工中地下水的防治、缩短工期和提早投产有着极其重要的经济意义和社会意义。人们不会因为出现新的问题而放弃这种新的工艺。随着我国大规模基本建设的深入,新材料、新技术、新工艺的不断发展,各种大型地下工程建设和煤田的主井建设越来越多,目前采用冻结法施工的工程日渐增多,而采用人工快速解冻法的冻融土地基施工也正在悄然兴起,冻融土地基研究越来越受到人们的重视。为了确保工程的安全和今后的正常运行,并给以后类似的工程建设提供参考数据和建设经验,必须开展人工快速解冻的冻融土地基工程性质研究,在工程建设以及理论上、学术上有全面细致地研究和评价,使工程建设意义上一个新台阶,注入新的科学含义,更好地为后人服务。

人工快速解冻的冻融土地基工程性质研究可用于公路、铁路、煤矿主井、水利、隧道和城市地下工程等行业建设中,存在着潜在的巨大社会效应,具有广阔的推广前景。

1.2 国内外研究现状及展望

1.2.1 现状

人工冻结法由于基本不受支护范围和支护深度的限制,以及能有效防止涌水以及城市挖掘、钻凿施工中防止相邻土体的变形,且适应性强、隔水性能好、无噪音、无污染、施工工艺简单而受到越来越多的重视,并将成为完成地下工程的主要技术手段之一。人工冻结法是利用人工制冷技术,使地层中的水冻结,把天然土体变成冻土,增强其强度和稳定性,隔绝地下水与地下工程的联系,以便在冻结壁的保护下进行隧道、竖井和地下工程开挖与衬砌施工的特殊施工技术,其实质是利用人工制冷技术临时改变土体的状态以固结土层。

1862 年在南威尔士的建筑施工中,英国首先采用了人工制冷技术加固土壤;1883 年在德国阿尔巴里德煤矿,工程技术人员采用冻结开凿了深达百米的竖井筒;1886 年,瑞典在一个长 24m 的人行隧道施工中使用了冻结法;1906 年法国把冻结法施工用于横穿河底的地铁工程;苏联在 20 世纪 70 年代,使用冻结法构筑了地下铁道的斜井隧道;日本自 1962 年起已在地铁、隧道、排水管道等建设中应用冻结法完成了数百项工程。人工冻结法在我国也已经得到成功的应用,1955 年我国首次在开滦煤矿林西风井首次使用人工冻结法凿井并获成功,之后在全国推广使用。至今已利用冻结法建成矿井 450 多个,总延米 70000m,其中冻结深度最大达 435m,冻结表层土最厚达 374.5m。20 世纪 60 年代末,在北京地铁开挖施工中,用垂直孔冻结法,形成长 90m 的护坡加固带,其冻深达 26m,开挖深度为 20~22m。20 世纪 90 年代末,上海地铁开挖施工中也采用了人工冻结法。目前盐溶液人工冻结法已成为一种较成熟的凿井手段,特别是在平原地区进行矿井建设,由于第四系地层较厚,采用冻结法凿井的施工方法,可以增强土体的稳定性,减少变形和隔断地下水。目前仅安徽两淮地区就已有 36 个煤矿的 111 个矿井在施工时使用了人工冻结法。

人工冻结法施工后的解冻有自然解冻和人工快速解冻两种,前者耗时

长,影响工期;后者耗时短,可增加经济效益,但解冻后地基土体的各种性质会发生变化,从而影响地基的稳定性。

目前国内外对冻融土地基的研究深度不够,尤其是对人工快速解冻的冻融土地基工程性质研究不足,研究水平较低。

国内外对冻融土的研究进展不大,特别是在其物理力学性质的变化规律、本构关系、固结作用和冻融土地基与建筑物的相互作用等方面,国内外学者的研究资料更是甚少。1983年,淮北矿务局朱仙庄煤矿的主井塔高40余米,钢筋混凝土结构,地基为自然解冻的冻融土,由合肥煤炭设计研究院勘测设计。该项目对我国冻融土研究起到了推动作用,第一次提出了冻融土的概念,并于1985年获得全国优秀勘察设计银质奖。但此后对冻融土性质的研究一直未有重大突破。1992年,淮南矿务局谢桥煤矿主井井塔需要建设在人工快速解冻的冻融土地基上,由于当时没有这方面建设的成功经验,原煤炭部邀请了国内许多著名专家进行长达半年的反复论证,最后决定采用斜岔式钢结构井塔,回避人工快速解冻的冻融土地基。但从这些年的运行情况来看,主井的提升能力受到了较大的制约,而且提升过程中的振动、噪声均较大,影响了该主井的使用功能。如果当时能在人工快速解冻的冻融土地基上建井塔,则可避免后来的这些影响,并能增加较大的经济效益。

然而,目前国内外在人工快速解冻的冻融土地基上建大型建筑物的成功案例极少,其原因是人工快速解冻的冻融土地基有很多问题没有解决,如:人工快速解冻的冻融土的物理力学性质变化规律;冻融土的中观结构和微结构变化规律;人工快速解冻的冻融土地基的强度和承载力的变化;冻融土在自然固结过程中对桩基产生负摩擦的影响;人工快速解冻的冻融土作为地基土时沉降量的计算和变化规律;回冻对冻融土桩基承载力和变形的影响等等问题。

国投新集能源股份有限公司淮南刘庄煤矿,2008年首次采用在人工快速解冻的冻融土地基上建筑特大型主井井塔,目前已完工投产。刘庄煤矿主井井塔塔高90m,跨度24m,钢筋混凝土结构,总重量为31000t。人工冻结深度307m,人工快速解冻深度60m。采用人工快速解冻的冻融土地基可缩短工期2年,极大地提高了煤矿的经济效益。为了保证主井建设的质量和安全,我们这个研究团体对该地基的冻融土进行了采样、室内

外测试以及大量的计算和模拟,取得了许多第一手资料。为了更好地研究人工快速解冻的冻融土地基,把它们上升到理论高度以及推广到淮南、淮北以及国内其他煤矿主井建设、公路铁路的隧道建设和合肥的地铁建设中,我们特此出版了这本书,其目的就是研究不足的人工快速解冻的冻融土地基工程性质的变化规律进行总结和归纳,和大家共同丰富和发展该方面的内容,给以后类似的工程建设提供参考数据和建设经验,更好地为后人服务。

1.2.2 展望

关于冻胀融沉问题的研究已从单因素、单一场转向多因素、多场耦合阶段,正朝着从表象到机理、从宏观到微观的方向深化,并不断涌现出各种多场耦合的数学模型。因岩土工程的特殊性,各种模型的普适性、实用性还需要进一步的探讨;理论模型已从试验——经验模式转向理性——物理、力学、热动力学理论模式,从水热耦合向着水—热—力耦合的方向发展。在今后的段时间内,理论模型的完善与物理意义的明确、参数的测定方法、模型的实用性及可行性等方面还需进行深入的研究,并朝着分析问题多样化以及广度、深度发展。

对冻胀融沉问题研究的方向主要包括:多孔介质中热质迁移的物理过程,特别是水分迁移驱动力与温度梯度间的关系,提出能反映冻胀过程物理本质且简便的冻胀融沉预报模式,以及研制出冻胀不敏感的材料,降低融沉带来危害的方法。具体来说,今后的研究主要集中在以下几个方面:

(1)用能量的观点研究土与水相互作用的规律,进一步揭示水分迁移的机理以及合成冰机制。通过土体物理化学特性对冻胀影响的研究,可以促进比表面积、孔径大小和孔隙中水溶液的成分和浓度方面的研究。

(2)研究冻结锋面的物理特性,包括冻结锋面的形成和变化规律、冻结锋面中未冻水势能及导湿系数与试验边界条件的关系,运用模型试验,统一考虑水、热、力、位移的耦合作用,定量研究土在冻结过程中的温度、水分、应力分布及变形,深刻揭示冻胀机理及其内在规律。

(3)研究孔隙水压力、温度、水的饱和度、含冰量、冻土的组构与冻土融化下沉的关系,融化固结速率和时间过程特征,以及多孔介质和可变形体系的冻土热、质、力的耦合场问题,通过试验研究,建立更简便、更适用于工程

实践的融化固结理论模型及可靠的计算方法。

(4)融土和冻土的物理力学参数的精确化、系统化,特别是寻求这些参数随深度的变化规律,开展室内模型试验,分析验证数值计算模型的正确性和普适性。

(5)开展人工冻结工程现场实测,对数值计算模型进一步验证;建立可靠的技术支撑系统、精确的自动监测系统,开发大型数值仿真软件包,对大型人工冻结工程冻胀量、冻胀力以及融沉量做出精确的预报。

(6)开展人工冻土冻结工程界面研究,尤其是土体冻胀融沉对周围工程建筑及环境的影响,降低冻胀和融沉给环境带来的负面影响。冻结和消融对地基承载力的影响,以及受冻胀融沉作用的地基土体与上部建筑结构物基础的相互作用。

(7)建立必要的加载装置,以满足开展物理模拟的需要。尤其是深冻结井冻结壁的变形性状及稳定性的研究,以及深基坑冻土挡土墙承载能力的研究。

(8)开展数值计算方面的工作,尤其是对重大工程冻土结构的数值模拟和预测、热学计算等,从而可达到优化设计的目的。

(9)开展土壤冻胀、融沉特性的研究,除了解决建井工程中冻胀对支护的影响以及冻融对土层弱化后使井壁受载恶化的影响之外,还有在市政工程中应用冻结法时冻胀和融沉对周围设施的影响。

(10)冻土围墙形成规律的研究也极为重要。如大流速地下水情况下冻结壁形成规律;不同孔间距、不同冻结管直径对冻结壁形成的影响,以及深低温下冻结壁形成的若干问题等。

(11)冻土力学室内试验标准化问题,对泊松比、弹性模量、长期强度、高围压下强度准则、含盐分冻土力学特征、深低温下冻土的力学特征、不同应力路径下三轴剪切强度等研究,对工程及完善冻土力学理论十分重要。

(12)对冻土热学参数方面的测定,必须逐步建立起来。尤其是工程中必备参数,如热容量、负温下的导热系数等。

(13)把已有成果理论化,形成适合我国国情的冻融土力学理论的条件已经初步具备。

1.3 主井井塔人工冻融土地基概况

安徽省刘庄煤矿是国投新集能源股份有限公司新建的特大型现代化矿井(图 1-1),是国家和安徽省“十五”重点建设工程,也是安徽省“861”计划建设能源基地的重要组成部分。

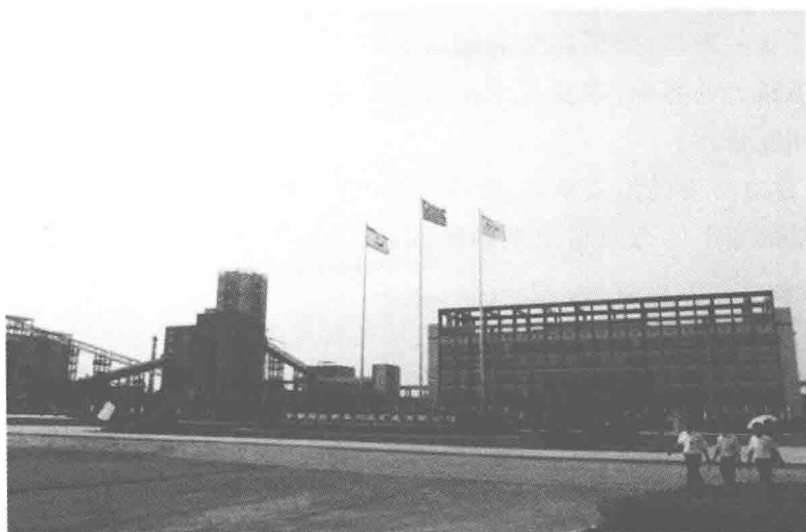


图 1-1 安徽省刘庄煤矿厂区

刘庄煤矿位于安徽省阜阳市颍上县镇内的刘庄村,南距县城约 20km,西至阜阳市约 40km。矿区交通便利,南部有阜淮铁路干线通过,东部与颍上至利辛公路相接。流经井田西南外缘的颍河常年通航,与淮河相通。刘庄井田面积 82km²,煤炭地质储量 15.6 亿吨,煤质优良,属中灰、低硫—特低硫、低磷—特低磷、中高发热量的优质气煤,是良好的动力、化工用煤和炼焦配煤,符合环保政策对燃煤质量的要求。设计生产能力为年产煤炭 800 万吨,主井井塔高为 90m,跨度为 24m,钢筋混凝土结构,总重量为 31000 吨,堪称亚洲第一井塔。主井井筒采用冻结法施工,冻结采用 -33℃ 盐水。自 2004 年 3 月 28 日开始正式冻结,2004 年 10 月 26 日停止冻结,冻结深度为 600m。由于工期紧迫,2005 年 5 月初采用人工解冻,解冻深度为 60m。

解冻利用原冻结孔,采用热水循环,其中解冻孔为间隔布置。自 2005 年 3 月 15 日开始解冻,2005 年 7 月 31 日停止解冻,累计解冻时间为 138 天。主井井塔基础采用钻孔灌注桩,设计桩径为 1m,桩长为 45m,单桩竖向承载力特征值为 4000kN~4300kN,总桩数为 86 根。

1.4 主井井塔场地工程地质条件及水文地质条件

1.4.1 地形地貌

刘庄矿井位于安徽省阜阳市颍上县刘庄村,场地原为农田,现已平整,表层堆矸石填埋。本场地属淮北冲、洪积平原地貌,场地地形平坦,地面标高 26.70m 左右,场地地貌单一,第四系土层覆盖厚度大。

1.4.2 工程地质条件

该场地各个土层以黏性土为主,根据勘察所揭示的资料,现将场地地层按自上而下的顺序分述如下:

① 层杂填土:灰黑色,松散,以煤矸石和建筑垃圾为主。该层土是在冻结结束后堆填的,未受冻结影响。该层土厚度 1.50~3.30m,层底标高 23.55~25.50m,层底埋深 1.50~3.30m。

② 层粉质黏土:灰黄色,硬塑,土质均匀致密,夹铁锰结核颗粒,网纹状裂隙结构,裂隙中充填灰绿色黏土,干强度高,韧性强。该层土厚度 2.40~5.00m,层底标高 20.10~21.20m,层底埋深 5.50~6.70m。

③ 层粉土:黄色,饱和,稍密,颗粒均匀,震动有水析现象,标贯正常,无自行下沉现象。该层土厚度 1.10~3.70m,层底标高 16.60~19.70m,层底埋深 7.50~10.20m。

④ 层粉质黏土:灰黄色,局部棕红色,可塑~硬塑,夹砂姜,干强度高,韧性中等。该层土厚度 0.80~4.30m,层底标高 14.60~15.80m,层底埋深 11.00~12.10m。

⑤ 层粉土:黄色,饱和,稍密~中密,颗粒均匀,震动有水析现象,主要成

分为石英,含白云母片。该层土厚度 1.50~3.50m,层底标高 12.30~13.50m,层底埋深 13.40~14.50m。

⑥ 层粉质黏土:灰黄色,可塑,含铁锰氧化物,土质较密实,局部夹薄层粉土,夹砂姜。该层土厚度 2.20~3.50m,层底标高 9.40~10.90m,层底埋深 16.00~17.30m。

⑦ 层粉质黏土:灰黑色~深灰色,可塑,含有机质,土质较均匀,夹白色贝壳,为古河湖淤积层。该层土厚度 1.70~3.70m,层底标高 6.30~8.40m,层底埋深 18.40~20.40m。

⑧ 层粉质黏土:灰黄色,可塑,含铁锰氧化物,局部夹薄层粉土或粉砂,夹砂姜。该层土厚度 6.80~9.00m,层底标高 -1.80~-0.90m,层底埋深 26.00~28.50m。

⑨ 层黏土:灰绿色,硬塑~坚硬,土质均匀致密,含铁锰氧化物,夹白砂姜、灰白色黏土,砂姜粒径 2~5cm,干强度大,韧性很强。该层土厚度 8.10~9.50m,层底标高 -10.60~-9.50m,层底埋深 36.20~36.70m。

⑩ 层黏土:灰黄色~黄色,硬塑~坚硬,含铁锰氧化物、砂姜,夹灰白色黏土,干强度大,韧性强。该层土厚度 12.50~13.50m,层底标高 -33.53~-32.50m,层底埋深 59.50~60.40m。

⑪ 层粉土:黄色,饱和,密实,颗粒均匀,震动有水析现象,标贯贯入 10~20cm 后,锤击几乎不能贯入,标贯锤反弹。该层土厚度 9.00~10.00m,层底标高 -42.50~-42.30m,层底埋深 69.00~69.50m。

⑫ 层粉砂:灰绿色,饱和,密实,颗粒均匀,震动有水析现象,标贯贯入 10~20cm 后,锤击几乎不能贯入,标贯锤反弹。该层土未钻穿最大揭露厚度 5.00m(见表 1-1)。

1.4.3 水文地质条件

该场地地下水类型为潜水,主要补给来源为地表水和大气降水,地下水位受季节和大气降水影响较大。本次勘查时,地下水初见水位埋深 5.50~6.30m,平均值 6.01m;标高 20.60~21.30m,平均值 20.84m。稳定水位埋深 2.50~3.00m,平均值 2.77m;标高 23.80~24.50m,平均值 24.07m。根据工业广场的勘察资料,该场地地下水对各种混凝土均无腐蚀性,场地内无污染土,场地土层渗透系数见表 1-2。

表 1-1 地层厚度表

层号	厚度(m)			层底标高(m)			层底埋深(m)			数据个数
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
①	1.50	3.30	2.25	23.55	25.50	24.57	1.50	3.30	2.25	28
②	2.40	5.00	3.95	20.10	21.20	20.59	5.50	6.70	6.23	27
③	1.10	3.70	1.91	16.60	19.70	18.67	7.50	10.20	8.15	26
④	0.80	4.30	3.44	14.60	15.80	15.16	11.00	12.10	11.65	23
⑤	1.50	3.50	2.20	12.30	13.50	12.95	13.40	14.50	13.85	23
⑥	2.20	3.50	2.83	9.70	10.90	10.13	16.00	17.30	16.68	23
⑦	1.70	3.70	3.05	6.30	8.40	7.11	18.40	20.40	19.71	20
⑧	6.80	9.00	7.98	-1.80	0.90	-0.82	26.00	28.50	27.67	18
⑨	8.10	9.50	8.99	-10.60	-9.50	-10.04	36.20	37.60	36.96	8
⑩	9.20	11.00	10.00	-20.80	-19.80	-20.23	46.80	47.50	47.19	7
⑪	12.50	13.50	12.85	-33.53	-32.50	-33.18	59.50	60.40	60.05	4
⑫	9.00	10.00	9.50	-42.50	-42.30	-42.40	69.00	69.50	69.25	2
⑬	该层未钻穿,最大揭露厚度为 5.00m									2

表 1-2 渗透系数表

土层	土名	渗透系数	
		K_v (cm/s)	K_h (cm/s)
②	黏土	9.23×10^{-7}	8.68×10^{-7}
③	粉质黏土	2.39×10^{-7}	1.97×10^{-7}
④	粉土	2.36×10^{-6}	3.55×10^{-6}
⑤	粉质黏土	7.08×10^{-7}	6.02×10^{-7}
⑥	粉质黏土	1.07×10^{-7}	9.69×10^{-7}