

松嫩平原

分散性黏土形成机理与治理对策研究

◎ 戴春胜 龙显助 孙 飏 付建和 林 明 张洪志 编著

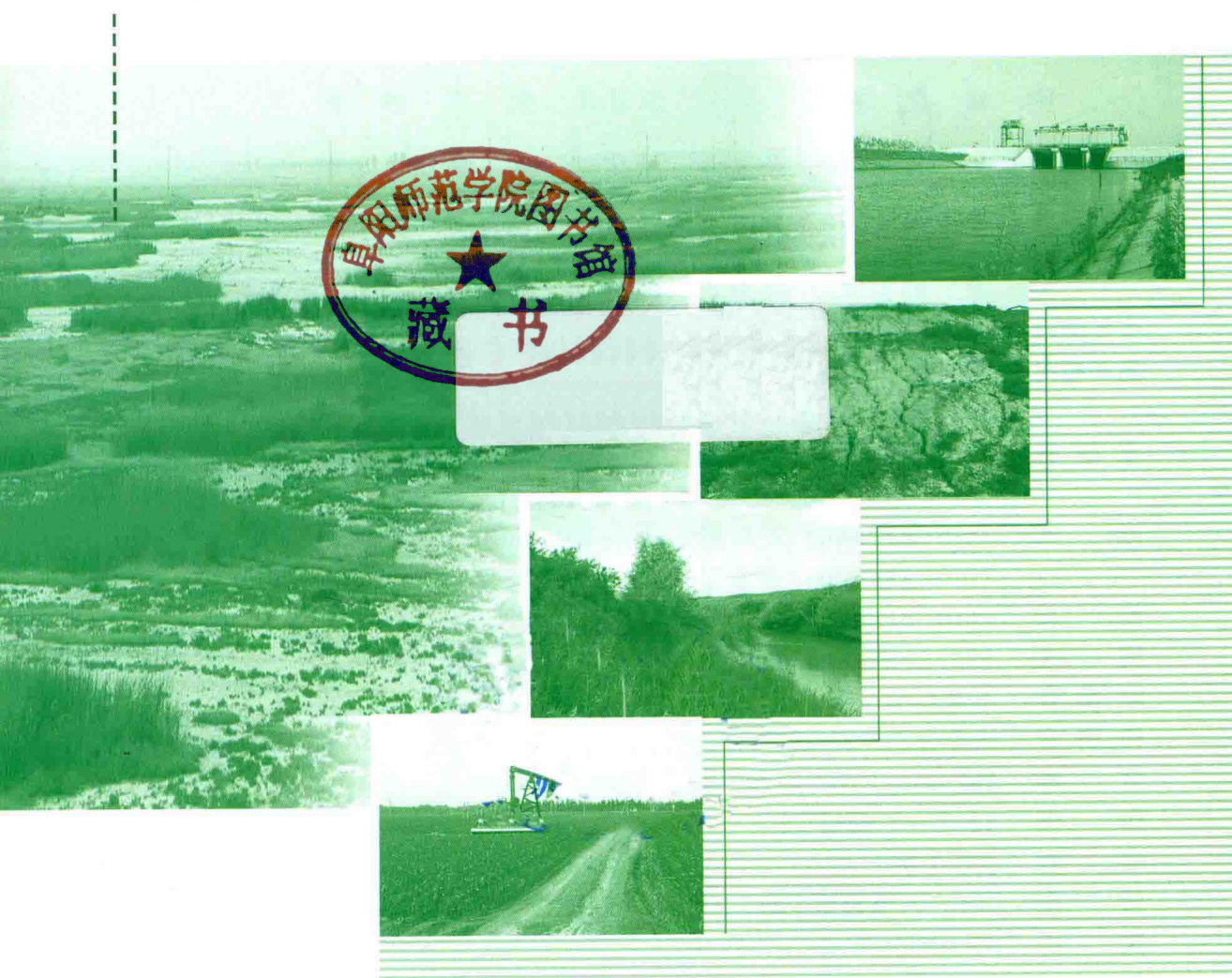


中国农业科学技术出版社

松嫩平原

分散性黏土形成机理与治理对策研究

◎ 戴春胜 龙显助 孙 飏 付建和 林 明 张洪志 编著



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

松嫩平原分散性黏土的形成机理与治理对策研究 / 戴春胜等编著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2014. 10

ISBN 978 - 7 - 5116 - 1539 - 8

I. ①松… II. ①戴… III. ①松嫩平原 - 黏土 - 研究②松嫩平原 - 黏土 - 土壤改良 IV. ①P619. 23②S156. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 018511 号

责任编辑 贺可香

责任校对 贾晓红

出 版 者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 82109704 (发行部) (010) 82106638 (编辑室)
(010) 82109709 (读者服务部)

传 真 (010) 82106650

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 各地新华书店

印 刷 者 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16

印 张 12 彩插 8

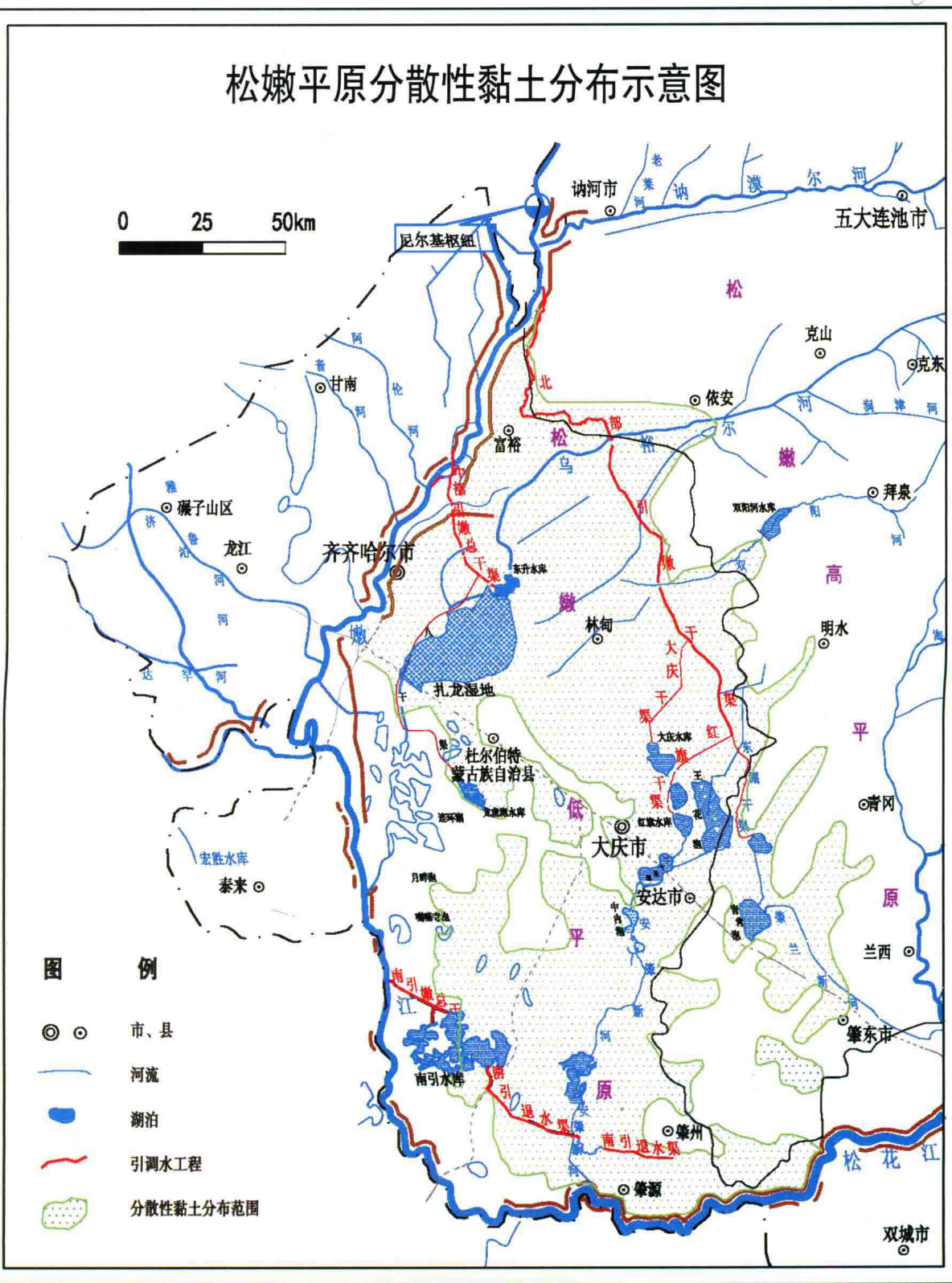
字 数 320 千字

版 次 2014 年 10 月第 1 版 2014 年 10 月第 1 次印刷

定 价 40.00 元

— 版权所有 · 翻印必究 —

901





研究人员与引嫩管理局人员合影



北引总干左堤护坡植物



北引渠道进水闸



嫩江干流拦河闸



乌裕河泄水闸



青肯泡污水库



萨分干沙杞护坡



分散土破坏渠堤



分散土破坏堤体



东城水库供水泵站北坡裂缝



松嫩平原盐渍土



分散土破坏堤坝



盐渍土草原



南引水库 21 号坝处理后迎水面护坡



南引水库 17 号坝迎水面护坡



分散土冲蚀孔洞



东升水库泄水闸



盐渍地平原



北二十里泡滞洪区湿地芦苇生长



野外采取土样



中引引水渠（白色为盐碱）



分散土研究区油田草原



红旗泡水库除险加固纪念碑合影



研究人员在北引总干渠



北部引嫩乌南总干渠



分散土在堤坝上破坏空洞



分散土对背水坡破坏



滞洪区泄水闸



红旗泡水闸主坡背水种植被



北二十里泡滞洪区沼泽湿地



库里泡滞洪区泄水闸右堤分散土



滞洪区泄水闸

序

21 世纪以来，随着嫩江最大的水利枢纽——尼尔基水库 2005 年建成蓄水，下游的黑龙江引嫩扩建工程也按计划陆续实施，北、中引引嫩水量将由现状的约 10 亿 m^3 ，提高到 29 亿 m^3 ，这对保证哈大齐工业走廊城市发展用水需求、松嫩平原农业生产和生态环境改善都将起到重大作用。但松嫩平原较广泛分布的分散性黏土导致水利工程破坏造成损失，一直是当地工程建设和管理的棘手问题。为满足工程建设和管理需要，兴利避害，水利部黑龙江水利水电勘测设计研究院提出了“松嫩平原分散性黏土形成机理与治理对策研究”项目，经水利部水利水规划设计总院 2006 年 3 月 26 日批准正式立项研究，2013 年 12 月 20 日黑龙江省水利厅对该项研究进行最后验收鉴定，研究工作历时 8 年。此研究报告现已由中国农业科学院中国农业科学技术出版社正式出版。

该项研究报告，共分九章，第一章、第二章、第三章，论述分散性黏土形成的环境，分散性黏土的特性及分散性黏土的分布。第四章与第五章，论述分散土形成机理条件与分散机理的研究。第六章与第七章，论述分散性黏土鉴别方法与研究成果。第八章提出了分散性黏土对工程危害与治理对策研究。第九章结论。

该项研究有以下 4 个特点：

一、研究区域面广，立题意义重大

研究区位于黑龙江省西部松嫩平原，总面积 4 万余 km^2 ，是国家石油工业、农牧业生产基地，同时也是国家和现代化农业综合生产示范区。北部引嫩扩建后增加水量，主要用于发展灌溉和改善生态用水，确保国家粮食安全生产。但区内是国家乃至世界盐碱化土壤与分散性黏土集中分布区域，如引水用水不当，将使土壤发生次生盐碱化，分散性黏土也会使工程带来更大的危害，由此可见，此项研究具有明显的现实与深远意义。

二、研究持续时间长，内容充实

此项研究是 20 世纪 80 年代初南部引嫩 17 号坝 2.3km 研究，中引 97.1km、双阳河水库以及北部引嫩总干渠 203.2km 对分散性土研究的继续和发展，并在北部引嫩工程通水前，在自然条件的土壤与水质研究的基础上，于 2013 年 6 月再次对引嫩与滞洪区的土壤与地面及地下水水质进行了深入研究。

此外，在研究内容上，包括分散性黏土的形成条件：形成机理的相关因素（pH 值、黏土、黏粒含量、矿物成分、阳离子与 Na^+ 离子含量与来源）并用关联分析原理，物理化学参数与分散性灰关联鉴别分散性黏土的形成过程；同时采用美国鉴别分散土的四项试验方法，并结合研究区特点创建了线性膨胀系数测定文法；针对性的提出处理措施并在设计与施工中进行了应用。

三、测试数据多，信息量大

该项研究从立题研究以来到 2010 年对北引总干渠 203.2km 渠道的堤体堤基采取土样 1 269 个进行了分散性土与膨胀土的试验研究，采取水样 157 个，并于 2011 年与 2012 年由中国水利水电研究院岩土所在 203.2km 重点渠段采取了 63 个土样，分别对分散土与膨胀土的土样进行了深入研究。

四、边深入研究，边实践作用

此项研究在在研究过程中，将阶段研究成果，不断提供规划设计、工程管理部门加以应用。这不仅使规划设计部门及时获得研究成果，确保规划设计成果质量，从而也保证了施工单位和工程管理部门的工程需要，使研究成果尽快转化为生产力。

总之，本项研究成果，内容丰富，资料介全，可操作性与实用性均强，丰富了土壤学，工程地质学与水利工程学的学科内容，可供国内外同类地区与相关的院校教学应用。



2014 年 2 月 19 日

目 录

绪言	(1)
第一章 分散性黏土的形成环境	(5)
第一节 自然环境	(5)
第二节 社会经济环境	(38)
第二章 松嫩平原分散性黏土的特性	(42)
第一节 土的物理、化学性质	(42)
第二节 黏土矿物成分	(86)
第三节 土的膨胀性	(95)
第三章 分散性黏土的分布	(98)
第一节 分散性黏土的分布	(98)
第二节 膨胀性黏土的分布	(109)
第四章 分散性黏土的形成机理	(122)
第一节 环境演变与分散性黏土的形成	(122)
第二节 地形地貌与分散性黏土的形成	(122)
第三节 成土母质与分散性黏土的形成	(122)
第四节 水文地质条件与分散性黏土的形成	(123)
第五节 气候与分散性黏土的形成	(124)
第六节 水文与分散性黏土的形成	(124)
第七节 人为因素与分散性黏土的形成	(128)
第五章 分散性黏土分散机理的研究	(129)
第一节 黏土矿物与土的分散性	(129)
第二节 钠离子与土的分散性	(130)
第三节 pH 值与土的分散性	(132)
第四节 黏粒含量与土的分散性	(133)
第五节 微观结构与土的分散性	(133)
第六章 土的物理、化学性质对分散性的影响	(134)
第一节 灰色关联分析原理	(134)
第二节 灰关联分析法的计算过程	(135)
第三节 物理化学参数与分散性灰关联分析过程	(136)
第七章 分散性黏土鉴别方法与研究成果	(145)
第一节 分散性黏土鉴别方法	(145)

第二节 试验研究成果	(148)
第八章 分散性黏土对工程的危害与防治对策研究	(162)
第一节 分散性黏土对水利工程的危害	(162)
第二节 分散性黏土的利用与治理措施	(164)
第三节 膨胀土对工程的危害、预防与处理措施	(170)
第九章 结论	(174)
第一节 分散性黏土形成环境条件	(174)
第二节 松嫩平原分散性黏土的特性	(175)
第三节 分散性黏土的分布	(176)
第四节 分散性黏土形成机理	(177)
第五节 分散性黏土分散机理的研究	(179)
第六节 分散性黏土鉴别方法与研究成果	(180)
第七节 分散性黏土对工程的危害与治理对策研究	(180)
第八节 与国内外研究比较	(183)
参考文献	(184)

绪 言

一、研究区地理位置

研究区在黑龙江省西部，位于嫩江干流以东（左岸）、松花江干流以北、明青坡地西侧、乌裕尔河及其以南的松嫩低平原区域。地理坐标：东经 $123^{\circ}55'$ ~ $126^{\circ}15'$ ；北纬 $44^{\circ}56'$ ~ $48^{\circ}10'$ ，涵盖乌裕尔河、双阳河、安肇新河与肇兰新河等流域。行政区域包括齐齐哈尔市的讷河、依安、拜泉、克山、克东、富裕；大市市区、林甸、杜蒙、肇州、肇源；绥化市的青岗、明水、兰西、安达、肇东；哈尔滨市的呼兰区等市、县全部或部分地区，总面积约 4.5 万 km^2 。

二、研究背景与重要意义

20 世纪初期美国水土保持局土壤学者，提出土壤中高钠离子是产生分散土的主要原因，也是许多建筑物造成冲蚀、管涌事故的根源。30 年代中期土壤学文献提出并承认分散性黏土的概念。直到 60 年代澳大利亚和美国等国一些土坝由于分散性黏土管涌造成破坏的垮坝，才广泛的认识到分散性黏土研究的重要性。

我国首次发现分散性黏土对工程破坏是黑龙江省兴建引嫩工程期间，为解决大庆石油工业生产、生活与农田灌溉用水的需要，70 年代初开始兴建北部引嫩、中部引嫩和南部引嫩工程，简称“三引”工程。1979 年在南部引嫩工程的南引水库 17 号坝发现雨水淋蚀的洞穴 10 多处，到 1980 年淋蚀洞穴已发展到 300 多处，直接影响工程的安全。为此，黑龙江省水利勘测设计院（黑龙江省水利水电勘测设计研究院的前身），组织了分散性黏土研究组，从 1981 年开始，收集了国内外资料，结合南部引嫩工程的实际，对分散性黏土进行了研究。

1993 年 11 月至 12 月又对中部引嫩的渠首至龙虎泡水库引水干渠（长 97.1 km ）进行了工程地质勘测，由地质、土壤、工程设计人员组成分散性黏土综合调查组共采取土样 111 个，水样 6 个，进行了室内试验，结合南部引嫩工程分散性黏土试验研究的经验，提出了中引工程分散性黏土处理技术措施，并在建设中实施应用。并通过多年运行的检验，措施可行，效果良好。为配合嫩江干流尼尔基水利枢纽配套项目——黑龙江省引嫩扩建骨干工程前期设计与建设的需要，2005 年以后，陆续对北部引嫩总干渠的堤体与堤基采取了土样 1 269 个、水样 157 个进行室内试验，为北部引嫩扩建设计施工提供科学依据。至此，分散性黏土的研究开始在松嫩平原北、中、南引地区全面覆盖。

为保障国家粮食安全，加快水利发展、加强水利基础设施建设的需要，2006 年 3 月，结合北部、中部、南部引嫩工程分散性黏土试验研究和区域内已有相关文献与基础研究资料，黑龙江省水利水电勘测设计研究院编写了“分散性黏土形成机理与治理对策研究”项目申请书，并由水利部水利水电规划设计管理局（总院）于 2006 年 3 月 26 日立项（合

同编号:水总科外[2006]02号)。

2006年7月14日在美国费城召开的世界土壤科学大会期间,美国加州大学伯克利分校吴姗眉、徐振荣教授,黑龙江省水利水电勘测设计研究院龙显助、韩守江以及黑龙江省土肥管理站付建和等专家共同商议联合开展松嫩平原变性土(含分散性黏土与膨胀土)研究工作,并起草了研究工作的建议书,经加州大学伯克利分校与黑龙江省水利水电勘测设计研究院、省土肥管理站领导签署,上报省科委。随后吴姗眉于2006年与2007年先后对松嫩平原进行现场考察,并采取了土样进行线性膨胀系数的研究,并委托北大燕园微结构分析测试中心对黏土矿物成分进行 χ 射线衍射分析。2010年至2012年4月间,由水利部水利水电科学院岩土研究所分别对北引总干渠203.2km采取了63个点土样,(包括膨胀土、分散性黏土共计1269个土样)进行了室内试验研究,累计1512项次,并提出了全部试验研究成果报告。

从2011年12月开始,在继续收集区内有关的文献资料、补充土、水等内外业调查研究成果和影像资料基础上,对课题进行全面系统分析与总结。松嫩平原是我省重要粮食安全生产基地,是国家粮食主产核心区,又处于国家东北老工业基地哈大齐工业走廊,石油工业集中分布,也是国家重要能源工业生产基地。区域人口较密集,工业、农业、居民生产生活的生态环境脆弱。由于分散性黏土区,均属苏打草甸盐土、草甸碱土、盐化碱化草甸土、草甸黑钙土,呈复区分布,并是典型黑土、黑钙土、风砂土区,存在盐碱、洪涝、干旱、水土流失多种自然灾害。由于国内外发现分散性黏土对工程的影响时间不长,在分散土分类与工程治理方面至今尚未提出标准的规程规范,因此立题进行分散性黏土形成机理与治理对策研究。该项研究,不但是本区引嫩扩建等工程建设的需要,对松嫩平原经济社会环境持续发展也具有重要意义。研究成果对国内外盐渍土壤区分散性黏土开发治理具有很重要的参考应用价值,从而也可以丰富岩土地质工程学、土壤学科、水利学科的内容。

三、主要研究内容

通过对松嫩平原特别是北引、中引、南引地区开展野外调查、实验分析,结合国内外相关研究成果,揭示松嫩平原分散性黏土分布特点;研究分散性黏土的特征、形成机理、鉴定方法以及分类标准;结合区域内典型工程建设案例对治理工程措施进行研究,并结合形成机理研究成果对化学、生物等综合治理措施进行探讨。

1. 通过对松嫩平原特别是北引、中引、南引地区分散性黏土的野外调查、试验分析,结合国内外相关研究成果,揭示分散性黏土的特征、分布规律及分散机理。

2. 在分析分散性黏土的物理化学性质及矿物成份基础上,研究土的分散性主要影响因素。

3. 研究分散性黏土的鉴定方法。

4. 对松嫩平原分散性黏土的膨胀性进行系统研究。

5. 结合区域内典型工程建设案例,对分散性黏土治理工程措施进行研究,提出适合松嫩平原分散性黏土治理的工程技术措施。

四、研究方法 with 主要工作量

将分散性黏土作为一种可以利用自然资源,针对分散性黏土利用中的问题以及对工程、对植物产生的不利因素,进行兴利避害的综合研究,以研究区内北部、中部、南部“三引”工程和安肇新河、肇兰新河及其水库、滞洪区堤坝区域现状为基础进行研究,坚持边研究边应用的原则,使研究成果尽快为工程建设、盐碱化土壤利用改良所应用。

总体步骤是“收集资料—外业调查试验—室内实验—阶段分析与研究—综合分析 with 总结—提出研究成果”,具体技术路径如下。

1. 查阅整理国内外关于分散黏土的资料,了解分散黏土的工程特性及其对水利工程的破坏作用。

2. 现场调查:调查了解松嫩平原地形、地貌、水文和地层岩性等特征,调查分散性黏土的分布,通过路旁水沟、水坑、渠道及堤坝的冲蚀破坏现象和水质特征对分散黏土进行初步的识别。

3. 取样及实验:采取地下水及地表水样,并取不同深度处土样,进行室内物理化学性质试验、矿物分析试验、微结构测试和分散性判别试验。

4. 规律分析与鉴定模式构建:通过外业调查及试验研究,结合松嫩平原的地形地貌、气候特征及水土、地质环境等因素,揭示该区分散性黏土的分布规律、分散机理及分散性黏土的鉴定模式。

5. 理化特性与分散性关联分析:通过对试验数据的分析,采用灰关联度分析法研究土的物理化学性质与其分散性的相关性,确定对分散性影响较大的主要物理化学参数。

6. 膨胀性研究:通过对土的自由膨胀率、膨胀率、膨涨力试验,研究分散性黏土的膨胀性。

7. 治理技术研究:通过对松嫩平原分散性黏土的工程应用及治理措施研究,提出了适合松嫩平原分散性黏土治理的工程技术措施。

8. 总结研究成果。

主要研究的工作量:

1. 收集研究区内文献资料 100 余份,对收集的文献资料进行分析整理引用。

2. 2010 年前采取并进行室内试验研究分散性黏土及膨胀土样 2 654 个,其中南引 5 个,中引 111 个,北部总干渠 2 538 个。水样 157 个。2011 年至 2012 年由水利部水利水电科学院岩土所进行土样试验 63 组。

3. 采集水样及室内分析水样 173 个(其中,南引 6 个,中引扩建 10 个,北引总干渠 157 个)。

4. 黏土矿物成分分析土样 37 个,线膨胀系数测定土样 28 个。

5. 2013 年 6 与 9 月进行全面总结阶段,补充土、水样共计 58 个,共 1 700 余项次。

五、主要研究成果与应用

该研究通过对松嫩平原分散性黏土分布特点、特征、形成机理、鉴定方法与分类标准以及工程治理措施研究,结合国内外相关研究,提出了《松嫩平原分散性黏土形成机理与治理对策研究报告》,并编辑出版了《松嫩平原分散性黏土形成机理与治理对策研究》

一书。课题组围绕研究中重要基础问题和结合实际应用撰写学术论文 10 余篇,见书中参考文献。

研究中黑龙江省水利水电勘测设计研究院分别提出了南部、中部、北部引嫩工程等分散性黏土试验研究报告,在全省规划设计和工程建设中应用。如利用试验研究成果对因分散性黏土造成北部引嫩乌北总干渠、齐市江东灌区、富裕繁荣灌区渠首引渠以及安肇新河中游右堤等已建工程事故进行分析,提出了工程处理方法和应对措施,运行检验效果良好,已治理工程至今未出现新的分散性破坏现象。在建设的双阳河水库,中引引水工程、东城水库以及北引总干渠扩建勘测、设计及施工中,利用了该项试验和研究成果,并进行了相应的工程技术处理,目前工程安全运行。

该相关研究在国内工程建设、大专院校、研究单位的科研教学中也均有应用,取得较好的社会经济效益。

六、发现与创新点

该研究主要有以下发现与创新。

1. 首次从松嫩平原的地形地貌、气候特征及水土、地质环境等方面,全方位、多角度对分散性黏土成因进行了系统研究,揭示了分散性黏土的形成机理。

2. 通过大量的野外勘察及室内试验工作,并结合典型区域和工程对分散性黏土分布进行了深入研究,首次提出了松嫩平原分散性黏土的水平及垂直分布规律。确定了南部引嫩、中部引嫩及北部引嫩工程堤基及堤体分散性黏土的分布。

3. 对分散性黏土的物理化学特性及矿物成份进行了研究,揭示了松嫩平原分散性黏土的分散机理。

4. 采用灰关联度分析法,定量地分析了松嫩平原分散性黏土的物理化学性质对其分散性的影响程度,揭示钠蒙脱石或伊蒙混层、交换性钠离子、pH 值是影响松嫩平原土体分散性的主要因素。

5. 采用针孔试验、碎块试验、双比重计法、孔隙水阳离子试验和交换性钠百分比试验等方法,对土体分散性进行了鉴定研究,首次提出了适合松嫩平原分散性黏土特点的鉴定方法。

6. 首次对松嫩平原分散性黏土的膨胀性进行了系统研究,通过对分散性黏土的自由膨胀率、膨胀率、膨涨力试验,揭示了分散性黏土具有较弱的膨胀潜势、膨胀率及膨涨力较小、不易产生膨胀破坏作用等特点。

7. 通过对现有水利工程的破坏情况研究,揭示了松嫩平原水利工程分散性黏土的破坏机理。

8. 通过对松嫩平原分散性黏土的工程应用及治理措施研究,提出了适合松嫩平原分散性黏土治理的工程技术措施。

第一章 分散性黏土的形成环境

第一节 自然环境

自然环境包括气候、地质地貌、水文、生物、土壤等方面。

一、气候特征

松嫩平原处于中纬度，气候属于中温带大陆性季风气候。其特点是：春季风大，少雨干旱；夏季短暂炎热，降水集中；秋季凉爽，降温急剧；冬季漫长严寒、干燥少雪。松嫩平原气候要素的分布虽受纬度的影响很大，但在许多的气候要素中都表现出南北方向分布上的东西差异性。尤其是降水量和蒸发量，东西差异表现明显，在气候上表现为西部干旱而东部湿润。

（一）降水与蒸发

研究区多年平均降水量 427.4mm（以哈尔滨、大庆与齐齐哈尔为例，下同），年降水量集中在 6~8 月，降水量为 294.65mm，为全年降水量的 68.94%，而 3 月、4 月、5 月苗期降水量 67.55mm，占年降水量的 15.8%。年际变幅也很大。大庆市 1980—2011 年降水量资料统计：丰水年年均 500~650mm 有 6 年，占 27.3%，其中，1983 年 651.2mm，1987 年 536.2mm，1988 年 582.9mm，1991 年 605.5mm，2005 年 564.0mm。低于 300mm 有 5 年，占 22.73%。其中，1982 年 267.3mm，1989 年 286.0mm，1995 年 268.1mm，2000 年 242.6mm，2001 年 242.6mm，这些枯水年自然泡沼与双阳河与乌裕尔河干枯断流，而降水量集中在 301~499mm，占 50%（图 1-1 至图 1-3）。

研究区多年平均蒸发量为 1 500~1 600mm，全区蒸发量自东向西逐渐递增。一年四季中以春季的蒸发量最大，尤其 5 月，是全年蒸发量的峰月值。

（二）气温

研究区气温由北向南，由东向西逐渐由低至高，年平均气温以哈尔滨、大庆与齐齐哈尔为例（下同）4.31℃，最低在 1 月，为 -18.9℃；最高在 7 月、8 月，为 21.99℃与 22.24℃，年均日照 2 701.5h。每年的 11 月至次年的 3 月在 0℃ 以下；初霜出现在每年 9 月 16~24 日，终霜在每年的 4 月 4 日~15 日，土壤最大冻土深为 231.7km。从区内 1951 年开始有气象观测到 2011 年，气温有增加的趋势，1951—2011 年，年均气温由 3.2℃ 达到了 4.83℃。

土壤从每年 11 月初开始结冻，次年的 7 月才能全部化冻，土壤的结冻与融冻，对植物需水与土壤盐化、营养物质供需影响以及潜水变化关系十分密切。