

盐渍土地基

徐攸在等 编著

(国家自然科学基金资助项目)



中国建筑工业出版社

盐渍土地基

徐攸在等 编著

(国家自然科学基金资助项目)

地质出版社

(京) 新登字 035 号

本书是介绍盐渍土地基的专著，除了阐述盐渍土的成因、类别、分布及其对工程建设的危害外，重点介绍了盐渍土地基的工程特性以及相应的工程地质勘察、设计、施工和建筑物使用维护的特殊要求和措施，以防止盐渍土地区工程事故的发生。本书总结了多年来我国在盐渍土地区工程建设的经验，并附有工程实例，同时，也介绍了国外在研究盐渍土地基方面的新成果。

全书内容包括：盐渍土的基本性质，盐渍土地基的溶陷性、盐胀性和腐蚀性，盐渍土地区的建筑规定，盐渍土地基的处理和盐渍土地区建筑物的维护管理和事故处理。

本书可供土建设计、施工和科研人员以及工程勘察技术人员使用，亦可供大专院校有关专业师生参考。

* * *

责任编辑：高峰

盐渍土地基

徐攸在 等 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）

新华书店经销

总参工程兵印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：11.5 字数：280.0千字

1993年12月第一版 1993年12月第一次印刷

印数：1—2,000册 定价：7.90元

ISBN7—112—02203—7/TU·1694

(7223)

前 言

盐渍土在我国分布较广，主要集中在西北干旱地区，在华北及东部沿海地区也均有分布。随着我国广大西北地区的开发和建设，特别是能源及交通等基本建设事业的需要，对盐渍土地基工程特性的了解，提出了更高的要求。另一方面，由于盐渍土本身与一般土不同，甚至与冻土、膨胀土和湿陷性黄土等一些特殊土相比，还更特殊和复杂，它除了具有溶陷性外，还有盐胀性和腐蚀性，给工程带来许多危害，造成了巨大的经济损失。因此，对盐渍土地基进行必要的研究，制定出适合于盐渍土地区的建筑规定，以保证工程建设的安全、经济和合理，是十分重要的。

本书的作者在编制《盐渍土地区建筑规定》的过程中，在盐渍土地区进行了一系列的调查、试验和研究，也参考了国外的有关文献，积累了不少有价值的资料，我们觉得，将这些资料系统地编写出来，以阐明盐渍土的基本工程特性，作为有关规定的补充并供设计和施工人员参考，会有一定益处的。但由于盐渍土的问题比较复杂，对许多问题的研究尚不够深入，加上我们的知识水平有限，所以本书中存在错误和缺点在所难免，作者诚恳地希望读者不吝指正。

本书也是国家自然科学基金委员会资助的研究项目——盐渍土的工程性质与处理对策研究的成果。在本课题的研究过程中得到了国内外有关单位和人士的支持和帮助，作为国际土力学与基础工程学会第三技术委员会的委员，我还有幸参加了1993年召开的有关盐渍土地基的国际学术会议，无疑有助于广泛了解国内外在盐渍土方面的研究近况和工程实践经验。另外，今年4月在俄罗斯访问时，与俄国盐渍土专家B·П·别特鲁辛博士详尽地讨论并交流了有关学术和工程技术问题，对本书正确引用俄国资料，掌握其有关技术规定的依据和背景材料有极大的帮助。

本书共分八章，参加各章编写的作者分工如下：第一章—徐攸在；第二章—史桃开；第三章—徐攸在；第四章—史桃开；第五章—洪乃丰；第六章—周亮臣、耿树江；第七章—史玉良、史桃开、洪乃丰；第八章—史玉良、耿树江。全书由徐攸在总成。

作者谨对在本书编写和出版过程中以及对盐渍土地基研究工作中曾给予支持的朱象清、石振华、周根寿、厉承隆、梁继超、范锡盛、赵祖禄、徐庆怡、王优龙、李康琪、张维全、李永金、李开泉、何文杰、徐志华、何良熙、田武鼎、黎树福、刘景政、覃柳林、李宁、徐毅、王怡、郑炭、申怀西等同志表示衷心的感谢，并向国家自然科学基金委员会、中国石油天然气总公司基建工程局、《盐渍土地区建筑规定》编制组和《工业建筑》编辑部致谢。

徐攸在

主要符号

- A —— 面积；
 B —— 宽度，溶解度（100克水中溶解的盐量）；
 b —— 宽度，参数；
 C —— 含盐量，盐溶液浓度；
 C_0 —— 原始含盐量；
 C_s —— 溶解度；
 D —— 扩散系数；
 D_y —— 压实系数；
 d —— 基底直径；
 E_0 —— 变形模量；
 E_s —— 压缩模量；
 e —— 孔隙比；
 F —— 面积，冲量；
 F_0 —— 块体基础基准面积；
 f —— 承载力设计值；
 f_k —— 承载力标准值；
 f_0 —— 承载力基本值；
 f_n —— 自由振动频率；
 G_s —— 土的比重；
 G_{it} —— t ℃时纯水的比重；
 g —— 重力加速度；
 H —— 深度；
 h —— 土样高度，土层厚度，落距，湿润深度；
 h_{cr} —— 盐渍化临界深度；
 h_0 —— 土样原始高度；
 h_p —— 压力 p 作用下土样高度；
 I_L —— 液性指数；
 I_p —— 塑性指数；
 K —— 侧压系数；
 K_G —— 经验系数；
 K_z —— 地基竖向弹性刚度；
 k —— 与水的矿化度有关的系数，渗透系数；
 l —— 长度，土层厚度；
 M —— 夯锤质量，块体基础质量；
 m —— 质量；
 N —— 桩轴向压力设计值，水量；

n ——土的孔隙率, 模型试验的比例系数, 土层数目, 系数;
 P_e ——贝克列定数;
 p ——压力;
 p_0 ——压力极值, 临塑荷载;
 p_s ——潜蚀溶陷起始压力, 比贯入阻力;
 p_{cz} ——自重压力;
 p_z ——附加压力;
 Q ——渗流的水量比;
 q ——基底附加压力, 滤液量, 桩端土的承载力标准值;
 q_n ——负摩擦力;
 q_s ——桩侧土摩擦力标准值;
 R ——圆形基础半径;
 R_k ——承载力标准值;
 r ——径向坐标;
 S_0 ——总盐胀量;
 S_r ——饱和度;
 s ——溶陷量, 沉降量, 地基变形值;
 t ——时间, 温度;
 V ——体积 (V_c ——土中含盐体积, V_s ——土颗粒体积, V_w ——土中水体积);
 V_R ——瑞利波速;
 v ——渗流速度;
 w ——含水量;
 w_B ——含液量;
 w_a ——强结合水含量;
 w_c ——结晶水含量;
 w_L ——液限;
 w_p ——塑限;
 w_1 ——能起溶盐作用的含水量;
 W ——重量 (W_c ——土中含盐重量, W_s ——土颗粒重量, W_w ——土中水重量);
 Y ——每 1m^3 盐渍土所需的浸水量;
 z ——深度, 厚度;
 z_s ——地基潜蚀溶陷的起始深度;
 α ——吸(放)热系数;
 α_0 ——参数;
 β ——强夯或离心模型试验中的系数;
 β_0 ——地基动测中与土类有关的系数;
 γ ——土的重度 (γ_d ——土的干重度, γ' ——土的浮重度);
 $\bar{\gamma}$ ——盐的溶解系数;
 δ ——溶陷系数;
 δ_{\max} ——最大溶陷量;

目 录

| | |
|-----------------------|----|
| 前言 | |
| 主要符号 | |
| 第一章 绪论 | 1 |
| 第一节 盐渍土的特点与分布概况 | 1 |
| 第二节 盐渍土的成因及其分布规律 | 1 |
| 第三节 盐渍土的分类 | 7 |
| 第四节 盐渍土对工程的危害 | 11 |
| 第五节 国内外对盐渍土地基的研究概况 | 17 |
| 第二章 盐渍土的基本工程性质 | 19 |
| 第一节 盐渍土的三相组成与物理指标 | 19 |
| 第二节 盐渍土的化学性质与测定方法 | 24 |
| 第三节 盐渍土的力学性质 | 24 |
| 第四节 盐渍土的结构特征 | 24 |
| 第三章 盐渍土地基的溶陷性 | 24 |
| 第一节 盐渍土上的溶陷机理 | 24 |
| 第二节 盐渍土潜蚀计算的理论基础 | 24 |
| 第三节 计算潜蚀溶陷变形的离心模型试验方法 | 24 |
| 第四节 计算潜蚀溶陷变形的工程实用方法 | 24 |
| 第五节 盐渍土地基溶陷性的评价 | 24 |
| 第六节 盐渍土地基溶陷变形计算中的若干问题 | 24 |
| 第四章 盐渍土地基的盐胀性 | 24 |
| 第一节 盐渍土的盐胀机理及影响因素 | 24 |
| 第二节 盐渍土的盐胀指标及测定方法 | 24 |
| 第五章 盐渍土地基的腐蚀性 | 24 |
| 第一节 盐渍土腐蚀的机理和特征 | 24 |
| 第二节 主要建筑材料耐盐渍土腐蚀的性能 | 24 |
| 第三节 盐渍土地基腐蚀性的评价 | 24 |
| 第六章 盐渍土地区的建筑规定 | 24 |
| 第一节 工程地质勘察 | 24 |
| 第二节 设计的一般规定 | 24 |
| 第三节 防水措施 | 24 |
| 第四节 地基基础措施 | 24 |
| 第五节 结构措施 | 24 |
| 第六节 施工要求 | 24 |
| 第七章 盐渍土地基的处理 | 24 |
| 第一节 减小盐渍土地基溶陷的处理方法 | 24 |
| 第二节 防止盐渍土地基盐胀的措施 | 24 |
| 第三节 盐渍土地基的防腐蚀措施 | 24 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 第六章 盐渍土地地区建筑物的维护管理及事故处理 | 110 |
| 第一节 建筑物的维护和管理 | 110 |
| 第二节 工程事故的原因分析 | 111 |
| 第三节 工程事故的危害程度及监测 | 112 |
| 第四节 工程事故的处理 | 113 |
| 参考文献 | 114 |

第一章 绪 论

盐渍土是指含盐量超过一定数量的土。

土的含盐量通常是用一定土体内含盐的重量(或质量)与其干土重量(或质量)之比,以百分数来表示。

国内外有关盐渍土含盐量和含盐类别标准的规定历来不同。例如:前苏联曾规定,当土中易溶盐含量超过 0.5% 或中溶盐含量超过 5% 时,称为盐渍土;我国《岩土工程勘察规范》(GBJ123-88)沿用的盐渍土的界限含盐量标准是易溶盐含量达 0.5%;现在俄国建筑部门的有关规定,是对不同的土类分别定出不同的含盐量界限,作为盐渍土的定名标准,比较合理,其中最小的易溶盐含量标准为 0.3%;我国 1982 年《公路设计手册——路基》(公路设计手册《路基》编制组,人民交通出版社,1982 年)中对盐渍土含易溶盐量的规定也是 0.30%;1991 年《盐渍土地地区建筑规定》认为,当地基土中易溶盐含量超过 0.3% 时,就应按盐渍土地基进行勘察、设计和施工。

我国一些盐渍土地地区的勘察资料表明,不少土样的易溶盐含量虽然小于 0.5%,但其溶陷系数却大于 0.01,最大的达到 0.09 以上。另外,我国有些地区(如青海西部)的盐渍土层厚度特别厚,超过 20m,且渗透性强,浸水后的累计溶陷量大,对工程的危害也较严重,不少实例已经证明这点。所以,将易溶盐含量超过 0.3% 作为区别盐渍土和非盐渍土的最低界限是较适当的,但是,对不同土类是否均采用此同一最低界限含盐量,还值得进一步研究和商榷。另外,对中溶盐含量的多少,是否可以完全不考虑(特别在含大量中溶盐的情况下),也需再深入研究。

还必须指出,在测定含量的试验中,上述干土重量的确定方法不同,所得的含盐量就不一样。目前我国执行的土工试验有关规定中,不计入大于 2mm 粒径的干土重量,由此得出的含盐量,显然难以反映土的实际情况(尤其对粗颗粒土)。

综上所述,迄今为止还没有一个科学的、确切的对盐渍土含盐量界限的划分方法。但作者认为,从工程的观点来说,更重要的是直接对盐渍土地基工程特性的了解和评价。

第一节 盐渍土的特点与分布概况

一、盐渍土的主要特点

盐渍土地基通常在岩土工程中归入特殊地基。盐渍土之所以要作为一种特殊土来研究,是因为它具有一般土所没有的特点,不能按一般土来对待。盐渍土主要有如下几个特点:

首先,盐渍土的三相组成与一般土不同,液相中含有盐溶液,固相中含有结晶盐,尤其是易溶的结晶盐。它们的相转变对土的大部分物理指标均有影响,因而,测定非盐渍土物理性质指标的常规土工试验方法对盐渍土不完全适用,对土的颗粒分析、塑限和液限试验结果以及重度、含水量等给出的不正确的评价,会导致对土的名称和状态等的错误判断。

其次,盐渍土中的盐遇水溶解后,土的物理和力学性质指标均会发生变化,其强度指

标明显降低，所以盐渍土地基不能同一般土地基一样只考虑天然条件下土的原始物理和力学性质指标。

第三，盐渍土地基浸水后，因盐溶解而产生地基溶陷。地基溶陷量的大小主要取决于易溶盐的性质、含量及其分布形态；取决于盐渍土的类别、原始结构状态和土层厚度；取决于浸水量、浸水时间和方式；取决于渗透方式和土的渗透性等。

第四，某些盐渍土（如含硫酸钠的土）地基，在温度或湿度变化时，会产生体积膨胀，对建筑物和地面设施造成危害。这种由于盐胀引起的地基变形的大小，取决于土中硫酸钠含量的多少以及土中温度的湿度变化的大小。

第五，盐渍土中的盐溶液会导致建筑物和地下设施的材料腐蚀。腐蚀程度取决于材料的性质和状态以及盐溶液的浓度等。

除了上述主要的工程特性外，盐渍土还具有许多其它的特点。例如，在盐渍土地区除低洼处地下水位较高能生长盐蒿、芦苇外，一般地表没有植物生长或仅有衰退的植物残体存在。又如，盐渍土一般具有较强的吸湿性，因土中存在吸附性阳离子，所以遇水后能吸收较多水分，使盐渍土变软；反之，失水时土体干缩严重，有时造成地面龟裂。另外，干旱地区的盐渍土，由于其特殊的成因和地理条件，其结构常呈现架空的点接触或胶结接触的形式，使盐渍土具有不稳定的结构性。

二、盐渍土的分布概况

盐渍土在世界各地均有分布。在欧洲的法国、西班牙、意大利、匈牙利、罗马尼亚均存在着盐渍土。在美洲的加拿大、墨西哥、阿根廷、智利和秘鲁的某些地区，也有盐渍土；美国的盐渍土主要集中在加利福尼亚等西部地区。非洲的盐渍土分布在南非、东非和北非，特别在尼罗河三角洲一带，面积相当广泛。盐渍土在亚洲和中东地区分布也很广泛，主要分布在蒙古、印度、巴基斯坦、土耳其、伊朗、伊拉克、叙利亚、科威特、沙特阿拉伯等国。盐渍土在原苏联的分布面积约有 75 万平方公里之多，主要分布在中亚地区、后高加索地区、乌拉尔地区、第聂伯地区、黑海地区和东、西西伯利亚地区。

我国的盐渍土主要分布在西北干旱地区的新疆、青海、甘肃、宁夏、内蒙古等地势低平的盆地和平原中。其次，在华北平原、松辽平原、大同盆地以及青藏高原的一些湖盆洼地中，也都有分布。另外，滨海地区的辽东湾、渤海湾、莱州湾、海州湾、杭州湾以及台湾在内的诸海岛沿岸，也有相当面积存在。

盐渍土中有一些以含碳酸钠或碳酸氢钠为主的盐类，碱性较大（一般 pH 值为 8~10.5），称为碱土，湿时膨胀、分散、泥泞，干时收缩，这主要是由于其吸附钠离子具有高度分散作用造成的。这些碱性盐渍土（或碱土）则零星分散在我国东北的松辽平原，华北的黄、淮、海河平原，内蒙古草原以及西北的宁夏、甘肃、新疆等地的平原地区。

根据中华人民共和国土壤图以及近若干年来我国各部门在各地进行工程地质勘察的资料，作者编制了我国盐渍土分布的示意图（如图 1-1 所示），仅供初步参考。随着工程建设和工程地质勘察资料的进一步积累，我国盐渍土的分布图，将会得到补充和完善。应当说明，示意图中的盐渍土的含盐量规定；由于各部门的标准不尽相同，所以其分布面积也不能精确划定；此外，有些已查明的盐渍土分布区，由于面积较小，未能在图上标明。所以，实际的盐渍土分布面积要比示意图中的大。

我国盐渍土不仅地区之间差别很大，即使在同一地区，也有很大的不同。前述有关盐渍土的工程特性，在有的地区就不一定都显示出来。例如在盐湖地区的盐渍土，就没有溶

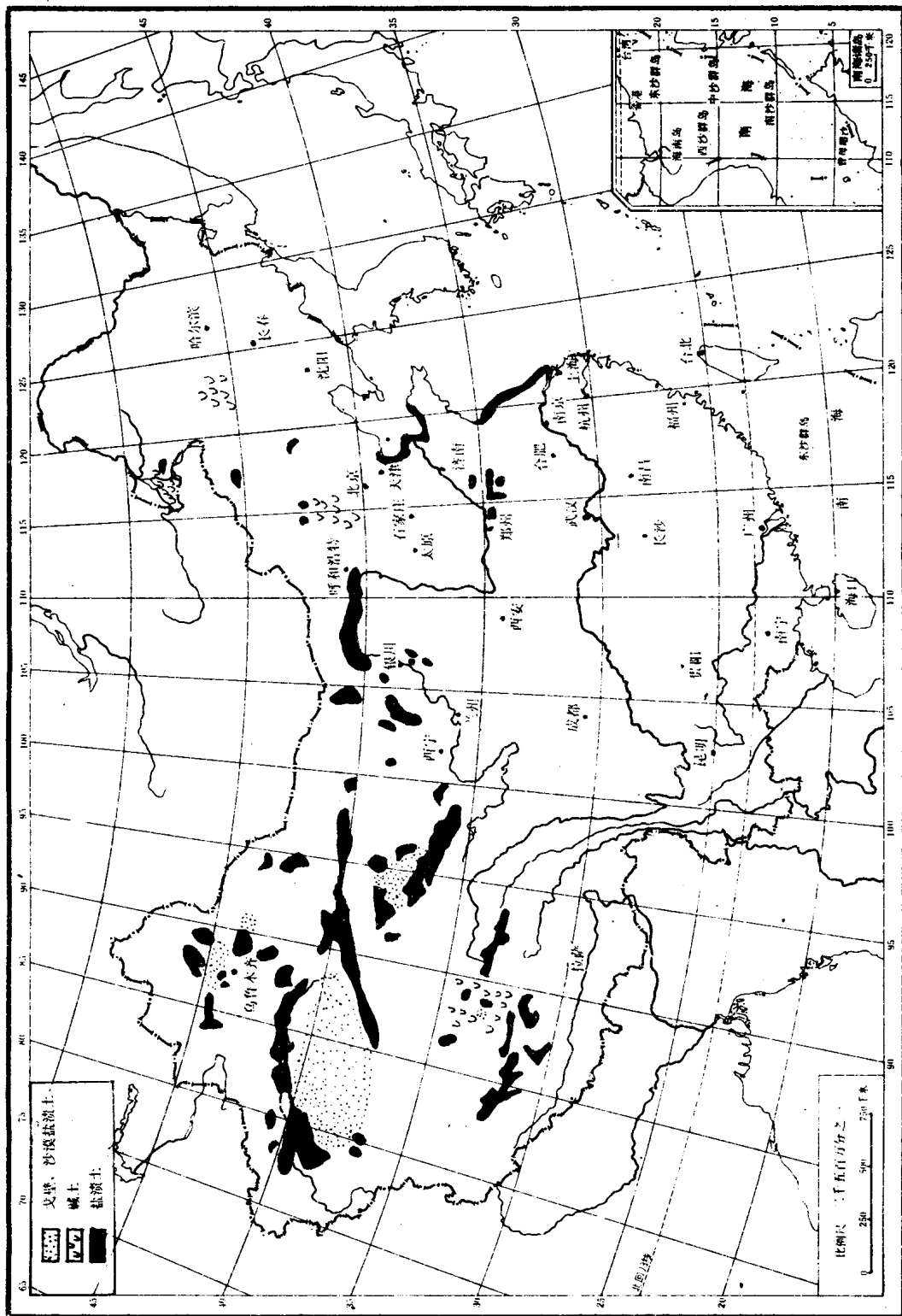


图 1-1 我国盐渍土分布示意图

陷性，而且也很少表现出有盐胀性。同样，滨海地区的盐渍土也以腐蚀性为主，溶陷和盐胀的问题不严重。相反，在地下水位较深的干旱地区，则盐渍土的溶陷或盐胀问题比较突出。

图 1-1 中的碱土，是盐渍土中含碳酸钠 (Na_2CO_3) 和碳酸氢钠 (NaHCO_3) 较多的土，具有强烈的碱性反应，一般厚度不大，多数在地表 1m 深度范围内。因其吸附钠离子的作用，遇水后可形成很厚的结合水膜，引起土体膨胀，粘聚力降低；失水时则干缩，虽然碱土层因埋藏不深对有足够埋深的基础及其它工程设施的影响不大，但其腐蚀性还应引起重视。

我国西北的戈壁和沙漠地区，不少地方含盐量较高，属于盐渍土地区，但地基并不都是盐渍土（如河流附近的土含盐量较低），具体情况还有待进一步查明。

第二节 盐渍土的成因及其分布规律

了解作为地基材料的盐渍土的形成过程和大致分布规律，无疑对我们进行勘察、设计和施工以及防止土的进一步盐渍化，都是有很大帮助的。关于盐渍土的成因，曾有不同的学说解释其形成过程，这些学说并不互相排斥，可以互为补充，所以本节予以综合并简述如下。

一、盐的来源及迁移

近代的观点认为，盐渍土中的含盐，主要来源于三方面：岩石中盐类的溶解，工矿业废水的注入和海水的渗入。而盐的迁移和在土中的重新分布，则是靠水流（地表水和地下水）和风力来进行。

（一）盐的来源

盐渍土中的盐主要来自岩石。如火山爆发时，直接喷出盐酸、氯气和各种氧化硫等，与岩石相互作用，产生新的氯盐和硫酸盐。凝固后的岩浆遇水后，则逐渐被溶解，导致其矿物成分的改变而生成盐溶液。岩石的化学风化是由氧气、水、碳酸和其他有机酸等作用下，岩石发生氧化、碳化、水化和高岭土化的过程，最后使原来岩石的化学成分发生变化，同时也产生出不同的盐类。此外，含盐的沉积岩也是盐渍土中盐的来源。

工业废水中常含有大量硫酸盐、镁盐、氯盐、钾盐和铵盐以及许多酸类，另外，一些矿（如硫化矿和煤矿等）的矿水，渗入土中后，均会造成土的盐渍化。

海滨地区如果由于某种原因造成海水侵入，例如大量地抽取地下水，使海水倒灌，则盐类会随着海水渗入土中，形成滨海盐渍土。

（二）盐的迁移

如前所述，盐的迁移是靠风力或水流来完成。飓风可以将含盐的海水带到陆地；在沙漠等干旱地区，大风常将盐或含盐的土粒和粉尘吹落到远处，积聚起来，使盐分重新分布。我国西北地区的一些地方，可以见到相当厚度的、较均匀的含盐的细、粉砂和粉土层，即是由于风力迁移的结果。

水流是使盐类迁移和重新分布的主要因素。雨水、冰雪融水等水流，一部分渗入地下，其余的形成地表水，从地势高处流向低处，地表水和地下水将其流动过程中所溶解的盐带至低洼处，有时形成较大的盐湖。在含盐水流经的途中，如遇到干旱的气候条件或地区，水流中的部分盐分就会因强烈的地面蒸发而析出并积聚在那里。因此，盐分迁移的远近及其重分布的情况，除与水的流量大小、地形和地质条件、土的渗透性有关外，还取决于当地

的气候条件。由于海水入侵而造成的盐分迁移的范围，则取决于陆地地下水下降的程度和范围。

二、盐渍土的形成原因

盐渍土的形成及其分布，均由其当地的地理、地形、气候以及工程地质和水文地质条件等自然因素决定。当然，由于人类活动而改变原来的自然环境，也使本来不含盐的土层产生盐渍化，生成所谓次生盐渍土。归纳起来，盐渍土的形成，不外乎以下几个原因。

(一) 由含盐的地表水蒸发

在干旱地区，每当春夏冰雪融化或骤降暴雨后，形成地表径流，在其溶解了沿途中的盐分后成为含盐的矿化地表水，当流出山口或流速减慢，形成漫流时，在强烈的地面蒸发下，流程不长即被蒸发殆尽，水中盐分即聚集在地表或地表以下的一定深度范围内，形成盐渍土。戈壁滩中的盐渍土，就是这样形成的。其含盐成分与地表水所溶解的盐的成分直接有关。

(二) 由含盐的地下水造成

如前所述，当地下水中含有盐分，则通过土的毛细管作用，含盐的水溶液上升，如果在毛细管带范围，由于地表蒸发而湿度降低或因地温降低，都会使毛细水中的盐分析出而生成盐渍土。其积盐程度取决于地下水位的深度、毛细水的升高、地下水的矿化度或含盐量以及土的类别和结构等。当地下水位低于一定深度时，就不会形成盐渍土，此深度称为盐渍化临界深度。临界深度首先与土的毛细水的升高高度有关，后者与土质、土的粒径和比表面积有关。根据多年观测，粘性土的临界深度一般约在3~4m，砂土中则约在1m以内。根据原苏联的有关资料，临界深度 h_{cr} 还与年平均气温 t 有关， $h_{cr}=170+8t$ (cm)，式中 t 以 $^{\circ}C$ 计。人为抬高地下水水位也会使土层产生盐渍化。

由于含盐地下水形成的盐渍土层，其含盐成分与地下水的基本一致。从铁道部第一勘测设计院所提供的资料(表1-1)可以看出，土层中的各种盐类阴离子性质和含量，直接与地下水中阴离子的性质和含量有关。

土中含盐与地下水的关系

表 1-1

| 山前冲积平原 | 1m 深度内含盐量 (%) | 地 下 水 | | 土层阴离子含量 (g/L) | | | 地下水阴离子含量 (g/L) | | |
|--------|------------------|------------|--------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | 埋 深 (m) | 矿化度 (g/L) | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ |
| 上 部 | 0.166 | 7.5 | 0.40 | 0.012 | 0.032 | 0.038 | 0.043 | 0.079 | 0.144 |
| 中 部 | 3.357 | 2.0 | 4.13 | 0.540 | 1.3000 | 0.014 | 0.830 | 1.500 | 0.050 |
| 下 部 | 7.290 | 1.0 | 5.20 | 1.460 | 4.130 | 0.026 | 1.002 | 0.748 | 0.044 |

(三) 由含盐海水

滨海地区经常受到海潮侵袭或因海面上颶风直接将海水吹上陆地，经过蒸发后，盐分析出积留在土中，形成盐渍土。另外，由于滨海地区大量采取地下水，以满足日益增长的生活和工业发展的需要，使含盐的海水倒灌，加上气候的干旱，蒸发量大，也能形成人为的次生盐渍土。滨海盐渍土的最大特点：一是其含盐成分与海水一致，都是以氯化钠为主；二是含盐量除表土稍多外，以下土层都含有一定量的盐分，而且比较均匀。

(四) 由盐湖、沼泽退化生成

由于新构造运动和气候的变化,使一些内陆盐湖或沼泽退化干涸,生成大片的盐渍土。例如新疆塔里木盆地的罗布泊,历史上曾是我国第二大咸水湖,面积达5000平方公里;50年代初,积水面积尚有2000多平方公里,后因塔里木河上游建水库截流,在年降雨量不足10mm、蒸发量超过3000mm的极端干旱的气候条件下,很快干涸,变成盐渍土和盐壳。

(五) 其它成因

在前面关于盐的迁移中已经谈到,在我国西北干旱地区,有风多、风大的特点。大风将含盐的砂土吹落到山前戈壁和沙漠以及倾斜平原处,积聚成新盐渍土层。

另外,在干旱或半干旱地区,有不少植物可以从很深的土层中汲取大量盐分,积聚在枝干中,枯死后盐分重新进入表层土中。有的植物(如胡杨树等),本身枝干能分泌出盐结晶;有的植物还有强烈的蒸腾作用,其消耗的水分,可超过地面蒸量的1.5~2.0倍,所以这些植物的生长。都会促使土层的盐渍化。

三 盐渍土的分布规律

盐渍土的类型、含盐成分等均较复杂,它与盐渍土的成因有关,必须通过勘察和试验具体查明。但由于各种盐类的溶解度等性质不同,所以在不同的地理、地貌、工程地质和水文地质条件下。其分布在宏观上还是有一定规律的。

(一) 盐类在土中的分布形态

土中的盐类可以以四种形态存在:土层孔隙中的结晶盐;盐壳层;孔隙中的盐溶液和地下水中的盐溶液。根据B·A·考夫达(Ковда)的资料,各种盐在土中的这四种形态的分布量,大致如图1-2所示。由图可见,难溶的碳酸钙和中溶的硫酸钙基本上以固态形式存在,而易溶的氯化钠、氯化镁等,则更多的以液态存在。

| 盐类 | 土中盐晶 | 盐壳 | 孔隙水中 | 地下水中 |
|---------------------------------|------|----|------|------|
| CaCO ₃ | ■ | | | |
| CaSO ₄ | ■ | | | |
| Na ₂ SO ₄ | | | ■ | ■ |
| MgSO ₄ | | | ■ | ■ |
| NaCl | | | ■ | ■ |
| MgCl ₂ | | | ■ | ■ |
| CaCl ₂ | | | ■ | ■ |
| NaNO ₃ | | | ■ | ■ |

图 1-2 盐类在土中的四种形态的分布量示意

(二) 盐渍土在平面上的分布规律

地形、地貌对盐渍土的形成过程有很大影响,从而也决定了盐渍土类别和分布规律。如以青海省为例,从昆仑山向柴达木盆地中心,按地貌单元依次可分为:山前区,山前冲、洪积倾斜平原区,冲、洪积平原区,湖积平原区和察尔汗盐湖区。地形由陡变缓,土的粒径组成也由粗变细,从卵石、砾石、砾砂逐步过渡到粗、中、细、粉砂以至粉土或粘性土。

地下水位离地表逐渐由深变浅(如图1-3所示)。

由于碳酸盐的溶解度小,所以在山前洪、冲积倾斜平原区,形成以碳酸盐为主的盐渍土带。而在洪、冲积平原区,则成为过渡带,从含少量的碳酸盐(碳酸钠和碳酸氢钠),过渡到以含硫酸盐(硫酸钙、硫酸钠)为主的硫酸盐、亚硫酸盐和氯盐型盐渍土。在毗邻察尔汗盐

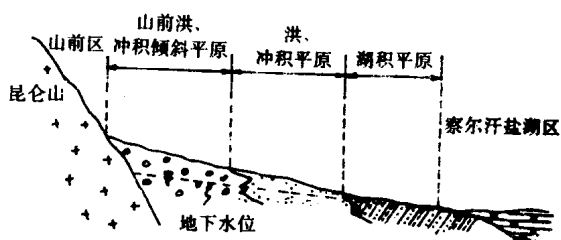


图 1-3 青海柴达木盆地南缘盐渍土水平分带示意
(摘自《盐渍土地区铁路工程》)

湖的湖积平原区，地下水位很浅，土中含的主要是易溶的氯盐。

(三) 盐渍土在深度上的分布规律

各种盐类因其溶解度不同，故在含盐的地下水或毛细水的迁移和受蒸发的过程中，以先后不同的次序达到饱和并析出(图 1-4)，这样，在深度上盐渍土的分布也有一定的规律。

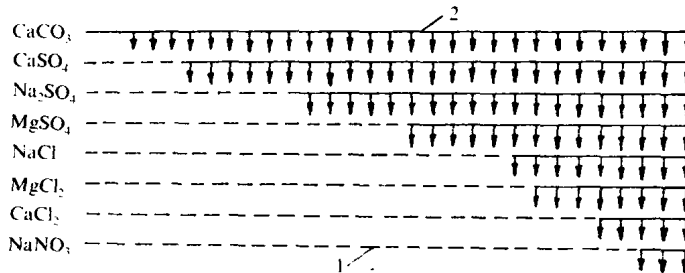


图 1-4 在迁移和蒸发过程中各种盐从溶液中析出的先后次序

1 不饱和的盐溶液；2 饱和盐溶液

如难溶的碳酸钙，因其溶解度很小而最先析出，故碳酸钙盐渍土层埋藏较深；然后，溶解度不大的中溶盐，如硫酸钙(即石膏)，达到饱和并析出，故含硫酸钙的盐渍土一般位于碳酸钙盐渍土之上。硫酸钠的溶解度较大，夏天温度高时基本溶于水(地下水和孔隙水)中，冬天温度降低时才析出，故其积盐过程具有季节性。硫酸镁和氯化钠的溶解度大，所以只有在特别干旱的时候，在强烈的地表蒸发下，浅层处的土层中才有结晶盐从溶液中析出。同样是易溶盐的氯化镁和氯化钙，其溶解度很大，且具有很强的吸湿性，所以只有在炽热的酷暑中，空气特别干燥，当水分很快蒸发时，才能从饱和的溶液中析出固体的盐类，但当空气的湿度一旦增高，这些盐又很快转化为溶液。

总之，盐渍土在深度上分布的大致规律是，氯盐在地面附近的浅层处，其下为硫酸盐，碳酸盐则在较深的土层中。当然，实际上这些盐类有时是交错混杂逐渐过渡，无明显界面。

第三节 盐渍土的分类

盐渍土的分类方法很多，但其分类原则无非是根据盐渍土本身特点(如含盐的性质、含盐量的多少、盐在水中溶解的难易程度、盐渍土的地理条件等)，按其对工业、农业或交通运输业的影响和危害程度进行分类。例如，农业上是考虑对一般农作物生长有害程度，按可溶盐类别和含量进行分类，而工程上则考虑对工程使用的影响，进行盐渍土的分类。

盐渍土对不同工程对象的危害特点和影响程度是不同的。如对铁路或公路路基的危害和影响，就与对建筑物地基和基础的不同，所以各部门都可根据各自的特点和需要来划分盐渍土的类别。此外，尚应指出，各种盐渍土分类方法中的界限，都是人为确定的，考虑的因素和角度不同，所以盐渍土分类的界限值也不尽相同。本节将介绍目前国内外几种主要盐渍土的分类方法，可以作为对盐渍土地基进行了解和研究的参考。

一、按盐的性质分类

地基中常含有多种盐类，不同性质盐的含量的多寡，影响着盐渍土的工程性质。如含氯盐为主的盐渍土，因氯盐的溶解度大，遇水后土中的结晶盐极易溶解，使土质变软，强度降低，并产生溶陷变形，此外，其盐溶液对钢筋混凝土基础和其它地下设施中的钢筋或钢材产生腐蚀。又如含硫酸盐为主的盐渍土，除了会产生溶陷变形外，其中的硫酸钠（俗称芒硝）在温度和湿度变化时，还将产生较大的体积变形，造成地基的膨胀和收缩，此外，其溶液对基础和其它地下设施的材料（如混凝土等）将产生腐蚀作用。碳酸盐对土的工程性质的影响，视盐的成分而定，碳酸钙和碳酸镁等很难溶于水，对土起着胶结和稳定的作用，而碳酸钠和碳酸氢钠则使土在遇水后产生膨胀。

因此，需要对盐渍土中含盐成分，按常规方法进行全量化学分析，确定各种盐的含量，然后进行分类，以判断哪种或哪几种盐对盐渍土的工程性质起主导作用。但迄今为止，还没有这种分类标准，而是按 100g 土中阴离子含量（以毫克当量计）的比值作为分类指标。土中主要含盐成分为氯盐、硫酸盐和碳酸盐，故根据氯离子（ Cl^- ）、硫酸根离子（ SO_4^{2-} ）、碳酸根离子（ CO_3^{2-} ）和碳酸氢根离子（ HCO_3^- ）含量的比值，按表 1-2 分为：氯盐渍土、亚氯盐渍土、亚硫酸盐渍土、硫酸盐渍土和碳酸（氢）盐渍土。这种分类方法是我国 40 多年来一直沿用的原苏联的分类法，但应注意，原苏联从 1972 年起，就已改用新的分类表（见原苏联建筑法规 CH449-72），修改后的分类表如表 1-3 所示。

盐渍土按盐性质分类

表 1-2

| 盐渍土名称 | $\frac{\text{Cl}^-}{\text{SO}_4^{2-}}$ | $\frac{\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-}{\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}}$ |
|----------|--|--|
| 氯盐渍土 | >2 | — |
| 亚氯盐渍土 | 2~1 | — |
| 亚硫酸盐渍土 | 1~0.3 | — |
| 硫酸盐渍土 | <0.3 | — |
| 碳酸（氢）盐渍土 | — | >0.3 |

盐渍土按盐性质分类

表 1-3

| 盐渍土名称 | $\frac{\text{Cl}^-}{\text{SO}_4^{2-}}$ | $\frac{\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-}{\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}}$ |
|----------|--|--|
| 氯盐渍土 | >2.5 | — |
| 亚氯盐渍土 | 2.5~1.5 | — |
| 亚硫酸盐渍土 | 1.5~1 | — |
| 硫酸盐渍土 | <1 | — |
| 碳酸（氢）盐渍土 | — | >0.33 |

表 1-2 和表 1-3 的分类，都只对盐渍土中的含盐成分作出定性的间接说明，而作为建筑物地基，其危害性则并不清楚，它们仅适用于路基的设计，可供建筑物地基设计时参考。

二、按盐的溶解度分类

各种盐在水中溶解的难易程度不同，通常可用一定温度下的溶解度来衡量，即以 100g

溶液中能溶解该盐的克数来表示。不同的盐，其溶解度差别很大，如在温度 $t=20^{\circ}\text{C}$ 的情况下，氯化钠 (NaCl) 的溶解度为 36.6%，石膏 (CaSO_4) 的溶解度仅为 0.2%，而碳酸钙 (CaCO_3) 则基本上很难溶于水 (表 1-4)。土中固态的盐结晶遇水后是否溶解而变为液态以及溶解的程度，直接影响地基的变形和强度特性，所以盐渍土按含盐的溶解度分类，对建筑物地基有很大的实用意义。

土中盐的溶解度

表 1-4

| 盐类的分子式 | 可结合的结晶水 | 温度为 t 时 100g 溶液中能溶解的盐量 (g) | | |
|-----------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|
| | | $t=0^{\circ}\text{C}$ | $t=20^{\circ}\text{C}$ | $t=60^{\circ}\text{C}$ |
| NaCl | — | 35.6 | 36.6 | 37.3 |
| KCl | — | 22.2 | 25.5 | 31.3 |
| CaCl_2 | $6\text{H}_2\text{O}$ | 37.2 | 42.7 | — |
| CaCl_2 | $4\text{H}_2\text{O}$ | — | — | 57.8 |
| MgCl_2 | $6\text{H}_2\text{O}$ | 34.6 | 35.3 | 37.9 |
| NaHCO_3 | — | 6.9 | 9.6 | 16.4 |
| $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ | — | 16.5 | 16.6 | 17.5 |
| Na_2CO_3 | $10\text{H}_2\text{O}$ | 7.0 | 21.5 | 31.7 |
| MgSO_4 | $7\text{H}_2\text{O}$ | — | 26.8 | 35.5 |
| Na_2SO_4 | $10\text{H}_2\text{O}$ | 4.5 | 16.1 | — |
| Na_2SO_4 | — | — | — | 45.3 |
| CaSO_4 | $2\text{H}_2\text{O}$ | 0.18 | 0.20 | 0.20 |
| CaCO_3 | — | — | 0.0014 | 0.0015 |

根据土中含盐的溶解度，盐渍土通常可分为：易溶盐渍土、中溶盐渍土和难溶盐渍土。各类土的含盐成分见表 1-5 所示。

盐渍土按盐的溶解度分类

表 1-5

| 盐渍土名称 | 含盐成分 | 溶解度 (%) $t=20^{\circ}\text{C}$ |
|-------|--|-----------------------------------|
| 易溶盐渍土 | 氯化钠 (NaCl)、氯化钾 (KCl)、氯化钙 (CaCl_2)、硫酸钠 (Na_2SO_4)、硫酸镁 (MgSO_4)、碳酸钠 (Na_2CO_3)、碳酸氢钠 (NaHCO_3) 等 | 9.6~42.7 |
| 中溶盐渍土 | 石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、无水石膏 (CaSO_4) | 0.2 |
| 难溶盐渍土 | 碳酸钙 (CaCO_3)、碳酸镁 (MgCO_3) 等 | 0.0014 |

地基中同时含有易溶盐，中溶盐或难溶盐时，如易溶盐含量已超过盐渍土所定义的最低标准时，均定名为易溶盐渍土；当中溶盐含量超过盐渍土所定义的最低标准时，可定名为中溶盐渍土或石膏土。我国的盐渍土绝大部分属易溶盐渍土，部分地区分布有中溶盐渍土。至于含难溶盐的土，因其盐类基本上不溶于水，故对工程的影响很小。

三、按含盐量分类

按土中可溶盐 (易溶盐和中溶盐) 的含量多少来分类，历来是国内外对盐渍土进行分