

盐渍土改良方法研究现状及其展望

虎啸天^{1,2}, 余冬梅¹, 付江涛^{1,2}, 李光莹^{1,2}, 胡夏嵩^{1,3}

(1. 中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 青海大学, 青海 西宁 810016)

摘要:总结了盐渍土改良的常用方法及利用盐生植物降低土壤含盐量的有关研究。介绍了在工程建设中由于盐渍土的特殊性质可导致产生的一些工程地质问题;论述了近年来在盐渍土的加固和改性方面的有关研究;最后探讨了利用盐生植物脱盐用以改良盐渍土的研究。在此基础上总结了有关盐渍土改良研究的发展方向。

关键词:盐渍土;改良;盐生植物

中图分类号:P642.1

文献标识码:A

文章编号:1008-858X(2014)02-0068-05

工程上一般将盐渍土定义为易溶盐含量大于0.3%,且具有溶陷、盐胀、腐蚀性等工程性质的土^[1]。我国盐渍土面积广阔,从太平洋沿岸的东海之滨到新疆塔里木盆地、准噶尔盆地,由海南岛至内蒙古呼伦贝尔高原,从海拔-152 m的艾丁湖畔到海拔4 500 m的西藏羌塘高原,均有盐渍土分布^[2]。根据农业部组织的第二次全国普查资料统计,我国盐渍土的面积为 $3.47 \times 10^7 \text{ hm}^2$,其中盐土为 $1.60 \times 10^7 \text{ hm}^2$,碱土为 $8.67 \times 10^5 \text{ hm}^2$,各类盐化、碱化土壤共为 $1.8 \times 10^7 \text{ hm}^2$,在 $3.47 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 盐渍土中已开垦种植的有 $5.77 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ^[3]。从分布区域来说,我国盐渍土主要分为滨海盐渍土和内陆盐渍土,前者主要分布在黄河三角洲及长江口以北的广大地区,后者则主要分布在黄淮海平原、东北松嫩平原、准噶尔盆地、吐鲁番盆地、塔里木盆地、甘肃河西走廊、宁夏银川平原、内蒙古河套灌区,以及青海柴达木盆地西部、西宁盆地、平安县湟水河南岸山前倾斜平原带^[4]。

1 盐渍土特性对工程建设的影响及其一般措施

1.1 盐渍土特性对工程建设的影响

盐渍土的溶陷、盐胀、腐蚀性等工程性质,给基础设施建设和维护带来诸多困难^[5-6]。盐渍土地区修筑的道路易发生盐胀、翻浆、溶陷等工程地质问题,使公路路面出现网裂、变形、波浪和鼓包等破坏,严重影响交通运输和公路养护的正常进行。由于盐渍土中大量易溶盐具有遇水溶解的特性,使得盐渍土的密度、孔隙度等物理性质及压缩性、抗剪强度等力学性质指标发生变化,使盐渍土强度显著降低,且由于盐的溶解而产生诸如地基溶陷等,由此产生的土体收缩沉降对地面建筑物造成破坏^[7-8]。张洪萍等对新疆克拉玛依至榆树沟段公路(S201)沿线盐渍土的调查结果表明,在盐渍土地区进行建筑施工时,因地基浸水、盐类矿物遇水溶解,

收稿日期:2013-08-19;修回日期:2013-10-21

基金项目:中国科学院“百人计划”资助项目(Y110091025);长安大学西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室开放基金资助(CHD2011SY016)

作者简介:虎啸天(1986-),男,硕士研究生,主要研究方向为环境岩土工程与工程地质。Email:rhuael@gmail.com。

通信作者:胡夏嵩。Email:huxiasong@tsinghua.org.cn。

使得土体强度显著降低并产生溶蚀现象,从而导致地基严重失稳^[9]。温利强等在西北地区进行了较详细的盐渍土分布调查,在调查中发现诸多盐渍土对工程设施的危害,如新疆克拉玛依地区的钢筋混凝土电线杆,曾因腐蚀而报废,大直径预应力钢筋混凝土输水线路,亦遭到严重破坏,造成巨大的经济损失;西宁东郊硝湾330 kV 变电所因为地基土的盐胀而被迫迁移等^[10]。王智明对青海某厂进行了盐渍土危害调查,发现环绕厂房的电缆沟已塌陷,生产重地配电室底梁断裂,所有建筑物墙壁有裂缝^[11]。

1.2 盐渍土的工程改良

盐渍土的工程改良通常指利用埋设地下暗管、开挖明渠、竖井排水脱盐、客土减盐、铺砂压盐等工程措施,达到隔盐、抑盐、脱盐目的^[12]。在盐渍土地区筑路时,需要切断下层土中的盐源^[13]。利用埋设地下暗管、开挖明渠、竖井排水等措施能有效降低土壤盐分,且起效迅速,但这些措施在降低含盐量的同时亦会将土体中的氮、磷、钾等其它有利的营养元素稀释,降低土壤肥力,该脱盐方法不利于在农业种植中推广,特别是在水资源相对缺乏的干旱半干旱农业区。干旱半干旱地区发生土地盐碱化的主要原因在于地表蒸发量过大,整平土地可减小地表蒸发面,降低水分蒸发量,同时有利于在一定范围内保持地下水位一致。土地整平过程中还能够翻动土壤,切断土壤毛细管,减少盐分上升^[14]。客土置换法也是一种改良盐渍土的有效方法,它是指根据实际需要,将盐碱土置换为所需的某种非盐渍土,或者置换部分盐碱土,而将非盐渍土与留下的盐碱土混合,这样可根据建筑用地、种植用地等盐渍土具体用途和改良要求,获得预期目标含盐量的改良土。一般来说客土采集源和改良地点有着较大距离,该方法需要运输大量客土,因而采用置换土的方式成本相对较高。

对于盐渍土地基的处理一般可根据盐渍土厚度,当盐渍土层厚度小于可挖深度时,可采用砂石垫层处理地基;反之,如果盐渍土厚度较大,即大于可挖深度时,亦可进行部分清除,即将主要影响范围内的溶陷和盐胀性土层挖除,

铺设灰土垫层设置隔离层后其上用素土回填^[7,15]。王祥等总结了盐渍土作为路基填料时的常见病害,并对其产生机理做了简明分析,即针对盐渍土路基常见病害的预防和处理归纳出抬高路基、提升防腐能力、控制盐分、利用防水土工布等4种常用方法^[16-17]。

1.3 盐渍土加固的化学方法

易溶盐晶体是组成盐渍土格架的一部分,这些易溶盐遇水后溶解使盐渍土结构遭受破坏,从而降低盐渍土的强度。故通过改变盐渍土化学成分,即降低含盐量或加入其它组分均将有利于增强盐渍土的强度。马晓婷等利用陕西杨凌地区黄土通过室内配制含盐量为2%、5%、8%的氯盐渍土作为研究对象,在未添加粉煤灰及添加不同量的粉煤灰条件下,形成5种不同配比的改性盐渍土,分别进行固结试验和溶陷性试验。试验结果表明,粉煤灰的掺入可降低盐渍土的压缩性和湿陷性,并进一步得出粉煤灰掺量为20%时,盐渍土具有较低的压缩变形和最低的溶陷系数^[18]。平树江等借助X衍射的方法揭示了不同加固土生成物质的差异,采用半定量分析法解释了不同加固混合料强度差异。结果表明,石灰加固细粒氯盐渍土早期强度主要由离子交换作用形成,后期强度主要由石灰的碳酸化形成;二灰(石灰、粉煤灰)、三灰(水泥、石灰、粉煤灰)加固土细粒氯盐渍土形成强度物质种类较多,反应较为复杂,盐分的存在使得加固土材料更为稳定,石灰的碳酸化作用随着龄期的延长对加固土强度的贡献逐渐降低^[19]。魏丽等采用水泥、石灰、SH 固土剂固化盐渍土,研究含盐量、固化材料掺量、养护龄期和浸泡用水对固化土体抗压强度的影响,结果表明石灰固化土和SH 固土剂+水泥+石灰固化土的抗压强度随含盐量的变化趋势基本相同,含盐量小于1%时,盐分对两种固化土的抗压强度影响较小;含盐量大于1%时,随含盐量的增加,两种固化土的抗压强度均减小^[20]。

1.4 盐渍土加筋加固方法

工程上常用的加筋材料一般包括土工条

带、土工膜、土工格栅、合成纤维和植物纤维等,植物纤维加筋法通常将麦秸秆拌和在盐渍土中,依靠麦秸秆的筋土摩擦作用和麦秸秆间的嵌锁作用,产生加筋功效^[21-22]。柴寿喜、王生新等利用麦秸秆和石灰对盐渍土加筋及固化,进行了三轴压缩试验研究,分析评价了加筋土的抗变形能力,结果表明随着含水率增加,加筋土的抗变形能力减弱;随着加筋长度和质量加筋率增加,加筋土的抗变形能力逐渐增强,超过一定的加筋长度和质量加筋率,加筋土的抗变形能力又开始减弱^[23-24]。李敏等探讨了麦秸秆的微结构特征及防腐方法,测试并对比了防腐前后的麦秸秆的质量增加率、吸水率、极限拉力和极限延伸率,证实用 SH 胶浸泡麦秸秆不仅能起到防腐作用,还可提高麦秸秆的力学性能,麦秸秆加筋盐渍土的抗压强度高于素盐渍土^[25-26]。王沛等利用重型击实试验探讨了麦秸秆加筋的方法处理的盐渍土,以提高盐渍土的强度和抗变形能力;试验结果表明,加筋盐渍土的最大干密度均小于盐渍土的最大干密度,最优含水率变化不大,与盐渍土一样,随着含水率的增加,加筋土的干密度呈先升后降的变化规律^[27]。

2 利用盐生植物改良盐渍土的方法

Waisel 将盐生植物定义为在高含盐量的生境中能生长并完成其生活史的植物^[28]。在盐生植物改良盐渍土的机理与应用方面国内外学者开展了大量研究,并取得显著的研究成果。

Chaudhri 等早在 1964 年对用碱蓬属植物 (*Suaeda fruticosa*) 改良西巴基斯坦平原盐渍土和碱土进行了研究,通过对 70 株该类脱盐植物自然生长状态下含盐量进行计算,得出理论脱盐率为 2 697 kg/hm²;进一步研究认为,如果在人工种植条件下,实际脱盐率将至少是理论脱盐率的 3 倍^[29]。雷金银等通过大田对比试验,以盐碱荒地作为对照,分析了柽柳 (*Tamarix ramosissima*) 对土壤养分、全盐及盐分离子的影响特征,认为在盐碱地种植耐盐植物,通过根系穿插作用、增加地表覆盖等物理机械作用,改善土壤

结构,使土壤理化性质向良性循环方向发展,即通过种植柽柳降低了土壤 pH 值,即土壤表层为 0~20 cm 和底层为 20~40 cm 脱盐率分别达到 86.4% 和 88.2%,碱化度分别降低 75.4% 和 53.8%^[30]。罗廷彬等^[31]和任崑等^[32]分别研究了新疆地区在盐碱地上种植耐盐冬小麦 (*Triticum aestivum*) 后土壤的脱盐情况,并分析了其经济和生态意义,即在沙壤土中,经过种植耐盐冬小麦一个生长周期(约 8 个月)后,地表以下 0~40 cm 土层内全盐含量由原来的 1.94% 降低至 0.8% 以下;当种植耐盐小麦 5 年以后,从地表开始 0~40 cm 土层内盐分降到 0.4%。赵可夫在盐碱地上种植碱蓬 (*Suaeda glauca*) 和紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 的试验结果表明,种植碱蓬相对具有明显的脱盐作用,即地表以下 0~60 cm 土层内集中的钠离子含量每年减少 1 245~1 920 kg/hm²^[33]。李海英等利用种植耐盐作物燕麦 (*Avena sativa*)、紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 改良柴达木盆地弃耕盐碱地,经过 3 年的生长期后,地表以下 0~30 cm 耕作层全盐量由试验前的 1.518% 下降到 0.126%,脱盐率达 91.7%,盐分表聚现象已不明显^[34]。班乃荣等^[35]、张永宏等^[36-37]分别在宁夏银北盐碱地上种植耐盐植物红豆草 (*Onobrychis viciifolia*)、紫花苜蓿 (*Medicago sativa*)、聚合草 (*Symphytum peregrinum*)、小冠花 (*Coronilla varia*)、苇状羊茅 (*Festuca arundinacea*) 等属种的试验结果表明,种植耐盐植物具有显著的脱盐作用,其结果使得盐碱地地表以下 0~20 cm、0~100 cm 土层平均土壤脱盐率分别达 31.1%、19.1%。包纯志在以硫酸盐、氯化物为主的内蒙古河套平原的中度盐渍化和重度盐碱地种植星星草 (*Puccinellia tenuiflora*)、聚合草 (*Symphytum peregrinum*) 等耐盐牧草的试验结果表明,土壤盐分和 pH 值逐年下降,同时养分含量提高,植物生长期为 4 年时,从地表开始 0~15 cm 表土层含盐量普遍降低 70% 左右,故种植耐盐牧草是有效的生物改良盐荒地的措施^[38]。Ravindrana、Rabhi 研究了碱蓬 (*Suaeda glauca*)、海马齿 (*Sesuvium portulacastrum*) 等盐生植物对盐分的吸收,认为种植耐盐植物能够降低盐渍土盐分含量,且植物体内盐分随着种

植年限不断增加,并估算了碱蓬和海马齿两种耐盐性较高的植物在生长4个月内,各自从盐土中吸收钠盐分别为 504 kg/hm^2 和 474 kg/hm^2 ^[39-40]。

3 发展方向

1)盐渍土区域分布广泛且分布区地势多数较为平坦,具有良好的光照条件,故科学开发和利用盐渍土在工程建设和农业生产中都显得尤为重要。盐渍土具有工程改良见效快的特点,且在基础设施等建设过程中易于推广。对盐渍土工程性质特征的进一步研究领域则主要涉及盐渍土溶陷、盐胀、腐蚀等工程特性方面的形成条件、机理及动态监测,诸如盐渍土分布区修筑的各类路基边坡的稳定性,包括季节性盐胀、地下水运移等作用过程所引起的地面溶陷等现象,以及对路基边坡稳定性的定量评价;从机理方面分析溶蚀、盐胀等现象所引起的地面沉陷等工程问题,需进一步探讨盐渍土分布区水—盐运移规律及其引发地表变形变化机理,以有效地针对盐渍土区存在的工程地质问题采取科学防范措施。在盐渍土区进行农业用地改良时,如何有效防治土壤中氮、磷、钾等有用元素的淋滤现象的发生,从而有效避免有用元素的流失将是农业用地改良时需要解决的主要问题之一。

2)盐渍土的化学改良可借助于石灰、粉煤灰等材料达到理想的效果,在实际应用中需要进一步结合在盐渍土中的主要化学成分探讨确定可行的改良方案,选取相应的化学改良材料。结合盐渍土的类型采用相应的化学方法解决工程改良中存在的诸如元素流失等实际问题,将是今后开展盐渍土相对较大规模改良的有效方法之一。在此过程中,在考虑改良剂的改良效果的同时,尚需考虑加入盐渍土的改良剂对环境的影响,盐渍土的改良与环境间的相互作用,即在盐渍土中由于改良剂在土壤内扩散、淋溶和渗透的过程中与其周围土壤之间的作用过程和机理等方面需要进一步的系统监测和定量评价。

3)在盐渍土地区开展基础工程建设时,通过对盐渍土采用加筋改良的方式可提高盐渍土

的强度,且适用于盐渍土地区开展的相关工程建设。研究表明,同一般的非盐渍土加筋方法一致,该方法属于加筋法在盐渍土应用领域中的延伸。盐生植物根系是一种良好的筋材,由其根系与周围土体共同形成的根—土复合体是盐渍土地区一种天然的加筋材料。已有研究表明,盐生植物具有促使土壤脱盐,降低土壤盐量的效应,同时盐生植物根系又具有加固土体、增强土体强度的作用。有关进一步系统探讨盐生植物吸收土壤盐分、改良盐渍土程度、不同盐生植物之间的差异及其相互关系,盐生植物根系增强盐渍土体抗剪强度效应及其增强土体抗剪强度机理等方面的研究有待于深入探讨。

参考文献:

- [1] 黎立群,王遵亲. 青海柴达木盆地盐渍类型及盐渍地球化学特征[J]. 土壤学报,1990,27(1):43-53.
- [2] 俞仁培,陈德明. 我国盐渍土资源及其开发利用[J]. 土壤通报,1999,30(4):158-159.
- [3] 俞仁培. 对盐渍土资源开发利用的思考[J]. 土壤通报,2001,32(增刊):138-140.
- [4] 罗友弟. 青海地区盐渍土分布规律及其盐胀溶陷机制探讨[J]. 水文地质工程地质,2010,37(4):116-120.
- [5] 王建. 盐渍土工程性质分析[J]. 交通标准化,2010,(11):140-143.
- [6] 张洪萍. 盐渍土的工程性质及防治[M]. 北京:国防工业出版社,2012:1-8.
- [7] 仲德春. 西宁地区盐渍土的分布特征及地基处理研究[J]. 青海大学学报(自然科学版),2011,29(02):30-33.
- [8] 张洪萍. 新疆S201线克榆公路盐渍土工程特性的试验研究[D]. 西安:长安大学,2005.
- [9] 张洪萍,杨晓华. 盐渍土溶陷特性的试验研究与分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2009,20(4):95-100.
- [10] 温利强,杨成斌,李士奎. 中国西北地区盐渍土分布及危害[J]. 工程与建设,2010,24(5):585-587.
- [11] 王智明. 西宁地区黄土状盐渍土区工程建设应重视的问题[J]. 西部探矿工程,2010,(3):7-10.
- [12] 蔺海明. 干旱半干旱地区盐渍土的形成与改良[J]. 世界农业,1994,(12):23-25.
- [13] 吴育权. 公路工程盐渍土地质危害分析与技术对策[J]. 山西建筑,2009,35(4):291-292.
- [14] 张建峰,张旭东,周金星,等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施[J]. 水土保持研究,2005,12(6):28-30.
- [15] 薛海林. 青海诺木洪—格尔木高速公路盐渍土路段勘察与处理方法探讨[J]. 矿产与地质,2010,24(3):275-

- 279.
- [16] 王祥,房建宏,孙继彪.盐渍土作为路基填料时常见病害及其机理分析[J].青海交通科技,2005,(1):28-30.
- [17] 王小生,章洪庆,薛明,等.盐渍土地区道路病害与防治[J].同济大学学报,2003,31(10):1178-1182.
- [18] 马晓婷,党进谦,张超.粉煤灰改良氯盐渍土变形性质的试验研究[J].中国农村水利水电,2010,(6):150-156.
- [19] 平树江,李炜光,申爱琴,等.黄河中下游冲积平原细粒氯盐渍土的加固机理[J].长安大学学报(自然科学版),2008,28(4):21-26.
- [20] 魏丽,柴寿喜,蔡宏洲.含盐量与固化材料掺量对固化盐渍土抗压强度的影响[J].工程勘察,2011,(1):4-8.
- [21] 魏丽,柴寿喜,蔡宏洲,等.加筋土的筋土界面作用及影响因素[J].工程勘察,2008,(4):5-9.
- [22] 陈昌富,刘怀星,李亚平.草根加筋土的室内三轴试验研究[J].岩土力学,2007,28(10):2043-2045.
- [23] 柴寿喜,王沛,魏丽.以峰值轴向应变评价麦秸秆和石灰加筋固化盐渍土的抗变形性能[J].吉林大学学报(工学版),2012,42(3):643-650.
- [24] 王生新,柴寿喜,王晓燕.加筋条件和含水率对加筋土抗压强度和应力应变的影响[J].吉林大学学报(地球科学版),2011,41(3):784-790.
- [25] 李敏,柴寿喜,魏丽.麦秸秆的力学性能及加筋滨海盐渍土的抗压强度研究[J].工程地质学报,2009,17(4):545-549.
- [26] 余沛,柴寿喜,王晓燕,等.麦秸秆加筋滨海盐渍土的加筋效应及工程应用问题[J].天津城市建设学院学报,2010,16(3):161-165.
- [27] 王沛,柴寿喜,王晓燕,等.麦秸秆加筋盐渍土重型击实效果的影响因素分析[J].岩土力学,2011,32(2):448-452.
- [28] Waisel Y. *Biology of halophytes* [M]. New York and London: Academic Press, 1972: 395.
- [29] Chaudhri I I, Shah B H, Naqvi N, *et al.* Investigations on the role of *suaeda fruticosa* forsk in the reclamation of saline and alkaline soils in the west Pakistan plains [J]. *Plant and Soil*, 1964, 21(1): 1-7.
- [30] 雷金银,班乃荣,张永宏,等.柽柳对盐碱土养分与盐分的影响及其区化特征[J].水土保持通报,2011,31(2):73-76.
- [31] 罗廷彬,李彦,任崑,等.新疆盐碱地种植耐盐小麦土壤盐分的变化[J].干旱区资源与环境,2004,18(8):107-113.
- [32] 任崑,艾合买提·那尤甫,罗廷彬,等.在盐碱地上种植耐盐冬小麦的综合效益研究[J].干旱区研究,1999,16(1):53-56.
- [33] 赵可夫,张万钧,范海,等.改良和开发利用盐渍化土壤的生物学措施[J].土壤通报,2001,32(增刊):115-119.
- [34] 李海英,彭红春,牛东玲,等.生物措施对柴达木盆地弃耕盐碱地效应分析[J].草地学报,2002,10(1):63-68.
- [35] 班乃荣,陈兴会,张永宏,等.耐盐植物对盐碱地的改良效果试验[J].宁夏农林科技,2004,(1):26-27.
- [36] 张永宏.盐碱地种植耐盐植物的脱盐效果[J].甘肃农业科技,2005,(3):48-49.
- [37] 张永宏,班乃荣,樊振军.银北地区盐碱地耐盐牧草高效种植技术的研究[J].中国牛业科学,2007,33(1):51-54.
- [38] 包纯志.生物治理河套地区盐碱地[J].中国草地,1996,(4):16-18.
- [39] Ravindrana K C, Venkatesana K, Balakrishnana V, *et al.* Restoration of saline land by halophytes for Indian soils [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, 39(10): 2661-2664.
- [40] Rabhi M, Ferchichi S, Jouini J, *et al.* Phytodesalination of a salt-affected soil with the halophyte *Sesuvium portulacastrum* L. to arrange in advance the requirements for the successful growth of a glycophytic crop [J]. *Bioresource Technology*, 2010, 101(17): 6822-6828.

Methods and Prospect of Saline Soil Improvement

HU Xiao-tian^{1,2}, YU Dong-mei¹, FU Jiang-tao^{1,2}, LI Guang-ying^{1,2}, HU Xia-song^{1,3}

(1. Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China; 3. Qinghai University, Xining, 810016, China)

Abstract: Common methods used for the improvement of saline soil and the use of halophytes to reduce soil salt content are reviewed. Some dramatic engineering problems resulting from the characteristics of saline soil have been studied. And the studies on reinforcement and modifying of saline soil in recent years are summarized. The use of halophytes to desalt saline soil has been studied. Based on these works, several possible prospects of saline soil improvement are analyzed.

Key words: Saline soil; Improvement; Halophyte