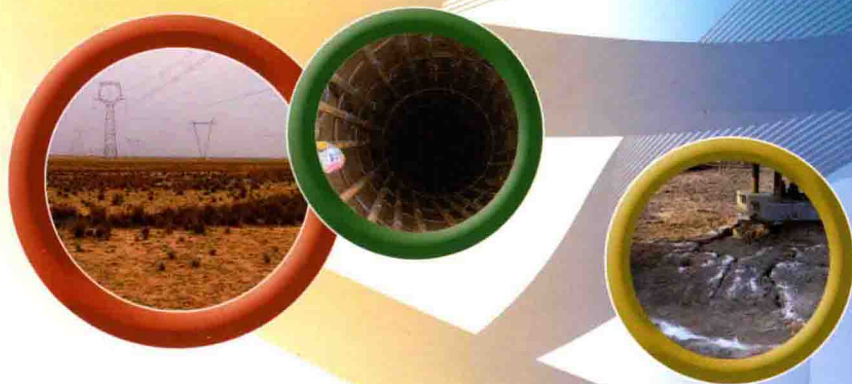




国家电网公司
电力科技著作出版项目

戈壁抗拔基础 承载性能试验与计算

鲁先龙 程永锋 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国家电网公司
电力科技著作出版项目

戈壁抗拔基础 承载性能试验与计算

鲁先龙 程永锋 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

戈壁地基是广泛分布于我国西北地区的一类区域性特殊土地基。随着西部资源开发和经济的快速发展,越来越多的电网工程建设需途经戈壁地区。杆塔基础作为输电线路的一个重要组成部分,抗拔性能通常是其设计的控制条件。戈壁基础抗拔承载特性是西部特殊土地地区电网建设中亟待研究解决的关键问题之一。本书依托国家电网公司“戈壁滩地区输电线路碎石地基杆塔基础研究”、“原状土杆塔基础剪切法抗拔稳定计算参数 A_1 和 A_2 的研究”以及新疆电力设计院“新疆地区戈壁滩碎石土地基输电线路杆塔掏挖基础试验研究”项目研究成果,系统地介绍了戈壁原状土基础的抗拔性能,建立了基于强度和变形统一的戈壁地基抗拔基础的设计理论和方法。

本书共分为戈壁覆盖层概述、戈壁掏挖基础抗拔现场试验、戈壁掏挖基础抗拔荷载一位移特性、戈壁掏挖扩底基础抗拔承载力计算与抗拔设计可靠度分析、基于强度和变形统一的戈壁基础抗拔设计和戈壁抗拔基础承载性能研究展望共六章。

本书可供从事架空输电线路杆塔基础研究和设计人员使用,也可作为岩土工程专业勘察、设计和施工人员及高等院校土木工程相关专业教师和学生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

戈壁抗拔基础承载性能试验与计算/鲁先龙,程永锋著. —
北京:中国电力出版社,2015.2

ISBN 978-7-5123-6693-0

I. ①戈… II. ①鲁… ②程… III. ①戈壁-基础(工程)-
抗拔力-承载力-试验 ②戈壁-基础(工程)-抗拔力-承载力-计
算 IV. ①TU441

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 246894 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 2 月第一版 2015 年 2 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 特 16 开本 8 印张 138 千字

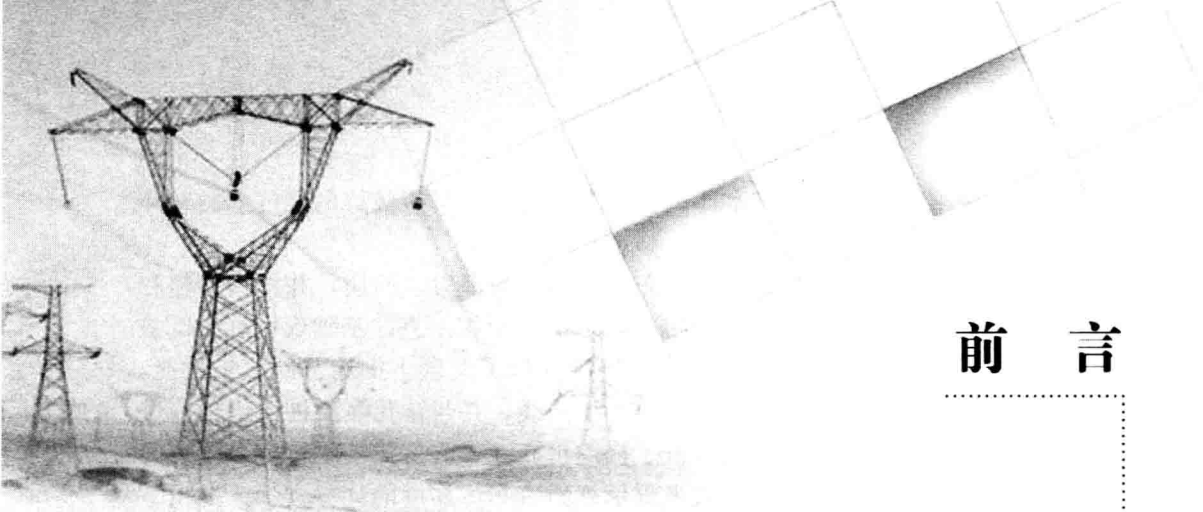
定价 50.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前言

随着 21 世纪重大建设工程项目的增多,越来越多的岩土工程建设中都存在基础抗拔问题,如输电线路杆塔和通信塔基础、抗浮桩、海洋平台基础、水中及泥中的管道基础、水下基础、冻土和膨胀土地基的基础等都需要承受上拔荷载,抗拔基础承载特性研究已成为当今岩土工程界关注的一个热点问题。

戈壁地基是广泛分布于我国西北地区的一种特殊土地基,一般为冲洪积物,多分布在盆地边缘地带、冲积—洪积扇地段。戈壁土胶结效应明显,其工程性质明显不同于一般的“土石混合体”。总体上看,土骨架结构和相互作用可分为 3 个层次,即粗粒(圆砾、角砾、卵石等碎石)、细粒(砂类或黄土类黏性土堆积填充)以及细粒—粗粒间的胶结作用。随着我国疆电外送等电网工程的建设,越来越多的输电线路杆塔基础工程需经过戈壁地区,而抗拔性能通常是杆塔基础设计的控制条件。为充分利用天然戈壁地基抗拔性能,掏挖基础(扩底基础或直柱基础)在该地区输电线路工程中广泛应用。但目前国内外对承受上拔荷载作用地基基础问题研究相对较少,且多集中于桩基及回填土条件下的扩展基础,而对戈壁地基原状土抗拔基础承载性能的研究尚属空白。

本书依托国家电网公司“戈壁滩地区输电线路碎石地基杆塔基础研究”、“原状土杆塔基础剪切法抗拔稳定计算参数 A_1 和 A_2 的研究”以及新疆电力设计院“新疆地区戈壁滩碎石土地基输电线路杆塔掏挖基础试验研究”项目,对戈壁碎石土掏挖基础的抗拔承载性能展开研究,从而分析戈壁碎石土基础抗拔荷载—位移特征,揭示戈壁碎石土基础抗拔承载机理,建立上拔荷载作用下戈壁碎石土基础抗拔极限承载力计算理论及其荷载—位移数学模型,形成戈壁碎石土基础抗拔荷载位移控制与计算方法。

本书研究成果已经在 DL/T 5219—2005《架空送电线路基础设计技术规定》修订,以及 Q/GDW 1777—2012《架空输电线路戈壁碎石土地基掏挖基础技术导则》、电力行业标准《架空输电线路戈壁碎石土地基掏挖基础设计与施工技术导则》制订中获得采纳。此外,相关理论成果已应用于多个输电线路工程中,

并同原设计相比,可节约基础本体造价 15%~30%,具有较好的经济效益和环境效益。

本书系统介绍了戈壁的定义、分布、类型及物理力学性质,并根据新疆和甘肃 7 个地点 46 个戈壁地基掏挖扩底基础和 19 个掏挖直柱基础现场抗拔试验成果,采用 4 种典型基础承载性能失效准则评价了戈壁土掏挖基础抗拔性能,得到了戈壁抗拔基础归一化荷载一位移特征曲线,并与钻孔灌注桩抗拔性能进行分析对比。基于正交试验成果分析了掏挖扩底基础的抗拔极限承载力影响因素,建立了戈壁掏挖扩底基础抗拔极限承载力及其可靠度的计算方法,提出了戈壁地基掏挖基础抗拔荷载、位移的预测模型与方法,给出了戈壁原状土抗拔基础正常使用极限状态下允许位移和允许荷载的计算方法,形成了基于强度和变形统一的戈壁原状土抗拔基础工程设计理论与方法。

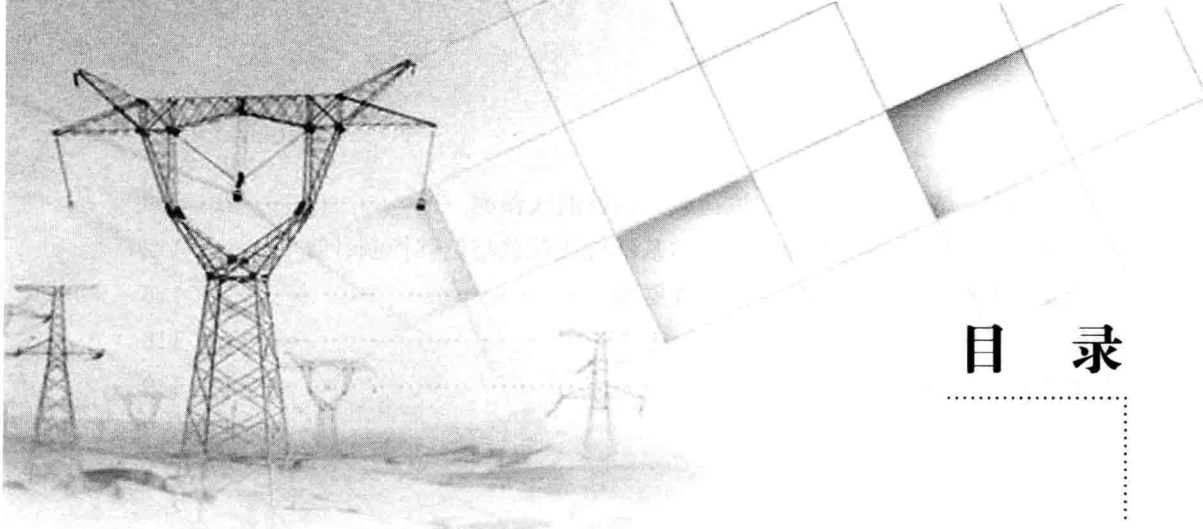
本书试验工作得到了国家电网公司“戈壁滩地区输电线路碎石地基杆塔基础研究”、“原状土杆塔基础剪切法抗拔稳定计算参数 A_1 和 A_2 的研究”以及新疆电力设计院“新疆地区戈壁滩碎石土地基输电线路杆塔掏挖基础试验研究”等项目的资助。试验过程中得到了甘肃电力设计院张西、安维忠、李永祥、刘生奎以及新疆电力设计院朱江、邓海骥、张鹏、董天元等领导和专家的关心与支持。同时,项目研究得到了作者所在的岩土工程实验室(国家电网公司重点实验室)全体同事的大力支持,特别是童瑞铭、郑卫锋、崔强、杨文智等在试验、计算分析中付出了辛勤的劳动。在此,作者一并表示感谢。

此外,在本书编写过程中,收集和引用了国内外相关科研院所、高校和工程单位的研究成果,在此,作者也对他们一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免存有错误和不当之处,敬请广大读者批评指正。

著 者

2014 年 12 月

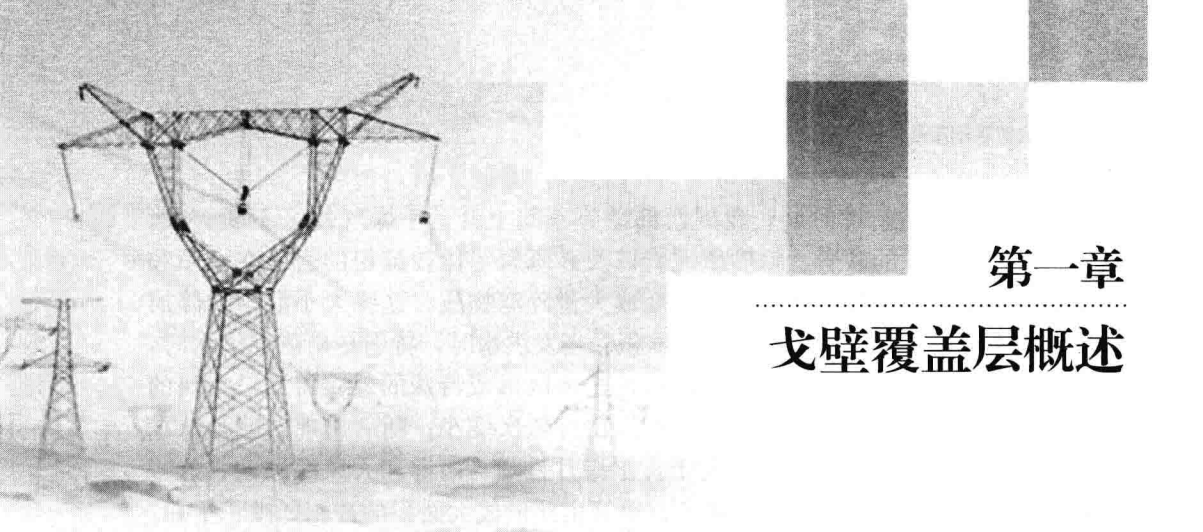


目 录

前言

第一章 戈壁覆盖层概述	1
第一节 戈壁成因与类型	1
第二节 戈壁土骨架颗粒组成及其胶结作用	4
第三节 戈壁覆盖层物理力学性质试验	7
第二章 戈壁掏挖基础抗拔现场试验	28
第一节 试验基础设计与施工	28
第二节 抗拔试验系统与测试方法	33
第三节 试验基础抗拔荷载—位移曲线	36
第三章 戈壁掏挖基础抗拔荷载—位移特性	41
第一节 抗拔极限承载力与位移确定的常见方法	41
第二节 基于不同失效准则的戈壁掏挖基础抗拔性能评价	45
第三节 戈壁掏挖基础抗拔归一化荷载—位移特征曲线	50
第四节 戈壁掏挖基础与灌注桩抗拔性能比较	57
第四章 戈壁掏挖扩底基础抗拔承载力计算与抗拔设计可靠度分析	60
第一节 戈壁掏挖扩底基础抗拔承载力影响因素分析	60
第二节 抗拔基础承载力计算的常用方法	65
第三节 戈壁掏挖扩底基础抗拔极限承载力计算	74
第四节 输电线路杆塔戈壁掏挖基础抗拔设计可靠度分析	90
第五章 基于强度和变形统一的戈壁基础抗拔设计	97
第一节 描述基础荷载—位移曲线的双曲线方程及其参数	97
第二节 戈壁掏挖扩底基础与回填土扩展基础抗拔性能比较	99
第三节 戈壁掏挖基础抗拔归一化荷载—位移双曲线模型与参数	104

第四节	戈壁掏挖基础抗拔荷载—位移曲线预测	109
第五节	基于强度和变形统一的基础抗拔荷载与位移控制计算	112
第六章	戈壁抗拔基础承载性能研究展望	116
索引		118
参考文献		119



第一章

戈壁覆盖层概述

第一节 戈壁成因与类型

一、定义及其分布

戈壁 (Gobi) 也称戈壁荒漠 (Gobi Desert), 是沙漠边缘的一种地貌形态, 即由粗砂、砾石覆盖在硬土层上形成的一种荒漠地形, 主要分布在我国西北地区的平原、低山和丘陵地区。

戈壁一词来自蒙古语, 是指地势起伏平缓、地面覆盖大片砾石、气候干旱、植被稀少的荒漠, 而蒙古语中沙漠则仅指荒漠、半荒漠和干草原地的沙地。戈壁地区终年少雨或无雨, 年降水量一般少于 250mm, 且多为阵性降水, 越向荒漠中心越少。戈壁地区多晴天, 日照时间长, 气温、地温的日差和年差均较大。在戈壁地区, 风沙活动频繁, 地表干燥, 裸露, 沙砾易被吹扬, 易形成沙暴, 冬季则更多。但是, 荒漠中水源较充足的地区也会出现绿洲, 形成独特的生态环境, 有利于当地人民的生产和生活。

在我国, 戈壁荒漠主要分布在新疆、青海、甘肃、内蒙古和西藏东北部等地, 东起大兴安岭西缘, 向西延伸至 1600km 之外的新疆地区, 形成一个被南面的青藏高原和北面的天山山脉所包围长 1600 多公里、宽 483~966km 的广阔弧形盆地。戈壁的界限北抵阿尔泰山和杭爱山, 南至阿尔金山、北山和阴山, 总面积约 45.5km²。

二、形成与类型

戈壁荒漠地区的典型地貌特征是盆山交错, 其覆盖层的成因很大程度上受气候和地形、地貌的影响。戈壁的结构和性质与成因有着根本的联系。

根据戈壁成因的不同, 戈壁可分为风化的、水成的和风成的 3 种, 但主要形成原因是洪水冲积而成。科学家认为, 自 200 万年以来, 特别是近几十万

年以来的中、晚更新世时期,我国西部地势不断上升,干燥气候区不断扩大。这些地带表面沉积的砂岩、粉砂质泥岩以及砂砾岩等比较疏松的岩体在太阳和风力的作用下,不断被风化剥蚀,而变成大量碎屑物质。这些大小混杂的碎屑物质从山上崩解下来,开始在山脚下堆积。当发洪水时,特别是山区发洪水时,随着出山洪水能量的逐渐减弱,在洪水冲击地区形成特殊的地貌特征:大块的岩石堆积在离山体最近的山口处,岩石向山外依次变小;随后出现的就是从拳头大小到指头大小不一的岩石。由于长年累月日晒、雨淋和大风的剥蚀,这些岩石的棱角都逐渐被磨圆,变成砾石;最终由此形成大面积的冲积—洪积平原。每当干燥季节,在大风作用下,冲积—洪积平原上的碎屑物质中的细砂和尘土被吹到天空中,其中尘土被吹到千里外的地区,形成了黄土高原;而那些细砂则被风携带到附近,形成沙漠。粒径比较大的砾石,则被留在原地而形成戈壁地貌。

根据地表组成物质不同,戈壁可划分为岩漠、砾漠两类。岩漠是指地表岩石裸露或仅有很薄的一层岩石碎屑覆盖的山麓地带,其分布在高山周围及内部山前,一般面积不大。砾漠地表为砾石覆盖,砾石大小不等,是荒漠吹蚀区中的各类沉积物,如山前冲积—洪积平原面上的洪积物、冲积物、冰川、冰水平原上的冰碛物和冰水堆积物以及基岩经强烈风化后的碎屑残积物等,经过强劲的风力作用,细粒砂与粉尘被吹掉而留下粗大的砾石并成片覆盖于地面形成砾漠。

根据形成过程不同,戈壁也可分为剥蚀(侵蚀)和堆积两种类型,往往由山地向两侧谷地或盆地作带状排列。

(一) 剥蚀(侵蚀)类型

剥蚀(侵蚀)类型的戈壁形成过程以剥蚀(侵蚀)作用为主,主要分布于内蒙古高原中西部及其边缘山地,为白垩纪以来连续耸起成陆,其后未经海侵或剧烈地壳运动而长期处于剥蚀作用的地区。地面组成物质较粗,地面起伏稍大,基岩常裸露,砾石堆积层很薄,水土资源贫乏。剥蚀(侵蚀)类型戈壁又可分为以下2个亚类。

1. 剥蚀(侵蚀)石质戈壁

剥蚀(侵蚀)石质戈壁呈狭带状分布于马鬃山等内蒙古高原边缘山地及其山前地带,准平原化现象显著,地面几乎全部为戈壁,而戈壁面上基本没有或很少堆积物,因而大部分地方基岩裸露,山地基本削平,仅以零星残丘存在。地面平坦而略有起伏,侵蚀沟广布。常流河缺乏,地下水位埋深10m以上。土壤瘠薄,以粗骨质石膏棕色荒漠土和石膏灰棕荒漠土为主,植被极为稀疏,植



被覆盖度一般不到 1%~5%。

2. 剥蚀（侵蚀）—坡积—洪积粗砾戈壁

剥蚀（侵蚀）—坡积—洪积粗砾戈壁广泛分布于内蒙古高原中西部，在马鬃山、天山等山麓地带也有狭带状分布。地面组成物质以直径 2~20cm 的粗砾为主，由坡积—洪积作用而成，带棱角、分选作用和磨圆度不佳，一般堆积物厚度不到 1m，其下即为削平的基岩。距山地越远，堆积物的颗粒越细，厚度也越大，地面基本平坦，自山地向两侧逐渐倾斜，坡度一般为 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ，侵蚀沟发达，但常流河不多，地下水位深达 10m 以上。土壤瘠薄，以砾质灰棕荒漠土和棕钙土为主，植被覆盖度一般为 1%~5%。

（二）堆积类型

堆积类型的戈壁形成过程以堆积作用为主，主要分布于塔里木盆地、准噶尔盆地、柴达木盆地及河西走廊等内陆盆地边缘及山麓地带。这些内陆盆地周边的高大山地（昆仑山、天山、阿尔泰山、祁连山等）经长期剥蚀和侵蚀后，产生大量岩屑碎石，在山麓及盆地边缘堆积，从而为堆积类型戈壁的形成提供了丰富的物质基础。堆积类型戈壁又可分为 3 个亚类。

1. 坡积—洪积碎石戈壁

坡积—洪积碎石戈壁主要分布于山间盆地的边缘和山麓地带。戈壁分布特点是与石质低山和山间盆地相错综，或广大成片或较为零星。戈壁的地区差异性显著，例如在马鬃山地，戈壁分布于山间盆地的边缘，由强烈剥蚀的古老岩层风化物就近坡积和洪积而成，地面坡度为 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ，砾径多为 3~10 cm，一般具有明显的漆皮，当地称为“黑戈壁”，土壤多为贫瘠且厚仅 50~60cm 的石膏棕色荒漠土，植被覆盖度为 5% 左右，人烟稀少。而在祁连山地则不同，由坡积—洪积形成的戈壁位于海拔 2200m 以下的山间盆地边缘，组成物质为粗大的砾石和碎石，呈灰色或灰黑色，当地称为“白戈壁”。地面坡度为 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ，降水较多，水网较密，植被较好，植被覆盖度一般为 20%~30%。

2. 冲积—洪积砾石戈壁

冲积—洪积砾石戈壁分布面积在堆积类型戈壁中最为广阔，其在地貌上相当于山麓扇形地，地面绝大部分是砾石，主要由第四纪冲积、洪积物组成。砾石磨圆度较好，分选较明显。但冲积—洪积砾石戈壁的分布和性质也表现出地区差异。例如，在马鬃山南麓倾斜平原，其砾石戈壁呈东西向的狭带状分布，砾石层厚 10~20m，砾径 2~10cm，均有棱角和漆皮。而祁连山北麓的扇形地带，其砾石戈壁呈东西向的宽带状分布，砾石层厚 100 m 左右，砾径 2~20cm，磨圆度较好，呈灰色及灰黑色。

3. 洪积—洪积砂戈壁

洪积—洪积砂戈壁多位于山麓冲积扇前缘,或沿现代和古代河床及局部洼地分布,主要散布于绿洲或盐碱滩之中,面积不大,自然条件在各类戈壁中最为良好。例如,疏勒河中、下游的戈壁,主要由河流冲积砂砾组成,水平层次明显,砾石磨圆度好,分选作用显著,砾径 $1\sim 5\text{cm}$ 居多。有河水可供灌溉,地下水位小于 5m ,细粒土较其他戈壁类型多,土层较厚,植被较茂密。

第二节 戈壁土骨架颗粒组成及其胶结作用

一、土骨架颗粒组成结构

图1-1所示为开挖后戈壁地基断面结构,其特点就是土体颗粒的粒径较大,主要以圆砾、角砾、卵石等碎石为主,并常有砂类及黄土类堆积填充,或呈交互层状及透镜体产出,土粒间胶结效应明显、咬合作用强烈。



图1-1 开挖后戈壁地基断面结构

根据图1-1所示的戈壁地基断面结构特征,可绘制出图1-2所示的戈壁土骨架结构和相互作用示意图,其骨架结构和相互作用可分为3个层次:粗粒(圆砾、角砾、卵石等碎石)、细粒(砂类或黄土类黏性土堆积填充)以及细粒—粗粒间的胶结作用,其中粗粒与细粒之间的胶结作用是影响和控制戈壁土物理力学特性及宏观工程特征的主要因素。土体骨架颗粒微观胶结力通过一定的结合方式累加、积累,形成戈壁土宏观土体力学强度。

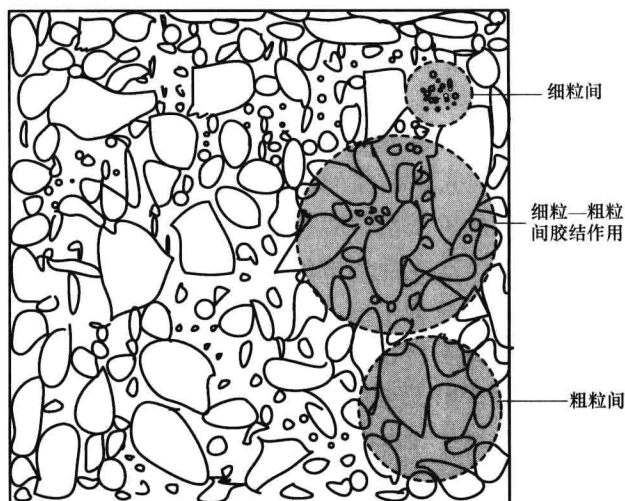


图 1-2 戈壁土骨架结构和相互作用示意图

二、化学蒸发盐及其胶结作用

戈壁覆盖层地基开挖过程常能观察到由易溶盐结晶而形成的胶结块状土体（见图 1-3），其主要是干旱的戈壁覆盖层中的易溶盐随蒸腾作用而上升的地下水携带迁移而在覆盖层中形成的蒸发盐，这种易溶盐胶结作用是戈壁土体粒间诸多作用力的一种。

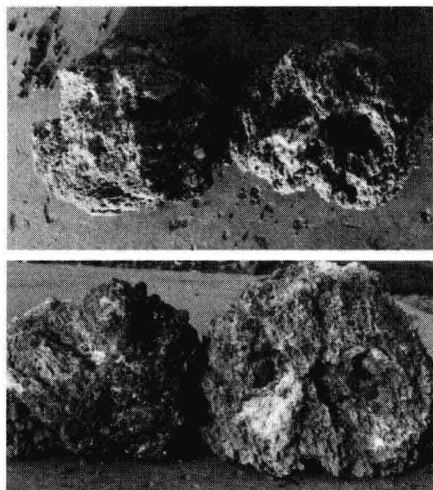


图 1-3 戈壁覆盖层盐分结晶形成的胶结块状土体

蒸发作用是干旱地区最主要的成土作用,蒸发垒是指表生带在短距离内迁移条件明显交替,并导致化学元素浓集的地段。在干旱的戈壁荒漠区,盐类物质主要是靠地下水蒸发向地表迁移,由于溶解度的不同,盐类物质在随水迁移的过程中会逐渐浓缩直至沉淀在覆盖层的不同分层中,溶解度小的盐会先沉淀出来,因而不同的覆盖层分层所富集的盐类物质的种类也不同。

戈壁覆盖层中次生盐的种类根据溶解度的大小主要分为3类,即易溶盐类、石膏、碳酸钙,而且这3类次生盐形成的蒸发垒在覆盖层的各分层中沉积程度各不相同。蒸发垒按盐分组成的不同,可分为碳酸盐蒸发垒、石膏蒸发垒和易溶盐蒸发垒。由于气候的影响,在降水量由多到少、气温由低到高的地带,蒸发垒按碳酸盐蒸发垒、石膏蒸发垒、易溶盐蒸发垒的顺序分布。这与土壤中盐分的溶解度大小有关,并与盐在水中的溶解性保持一致。

正是由于戈壁土蒸发垒的盐分胶结效应,使得其工程性质明显不同于一般的“土石混合体”,具有较好的物理力学特性和承载性能。下面简要介绍碳酸盐蒸发垒、石膏蒸发垒和易溶盐蒸发垒。

1. 碳酸盐蒸发垒

由于碳酸钙难溶于水,且碳酸钙运移需要较多的水。因此,碳酸盐蒸发垒多产生于降雨量稍多的干旱区。碳酸盐蒸发垒与戈壁钙积层有较大关联。一般情况下,以碳酸钙为主的碳酸盐蒸发垒多产生于戈壁钙积层。正常钙积干旱土的水分状况多属非淋溶型,但也具有季节性淋溶特点,反映为碳酸钙、易溶性盐的淋溶强度减弱,淀积部位也相应提高。碳酸钙一般出现在2~30cm处,钙积层厚度为20~30cm,发育在砂砾质母质上的钙积层上界可下降到30~40cm,其碳酸钙平均含量为100~400g/kg。碳酸钙的聚积形式多呈粉末状,连续成层分布,也有呈斑块状分布。

2. 石膏蒸发垒

由于石膏微溶于水,在同等条件下比碳酸钙的溶解度要稍大一些。因此,石膏蒸发垒形成环境比碳酸盐蒸发垒更为干旱。钙积层剖面下部石膏聚积通常较少,特别在内蒙古高原戈壁地区未发现石膏的聚积,这主要由于该地区土壤存在较高的总碱度,不能形成石膏聚积。而在鄂尔多斯高原戈壁的剖面下部有少量石膏结晶,通常石膏含量不超过10g/kg。甘肃地区戈壁的钙积层表层石膏含量最低,下层含量高,石膏溶解度比碳酸钙高,淀积部分比碳酸钙深,多出现在50~100m土体内,石膏平均含量为10~20g/kg。

3. 易溶盐蒸发垒

易溶盐蒸发垒主要形成于更为干旱的戈壁地表,因为即使少量的地下水蒸



腾作用,也可能把易溶盐带到地表沉积。从易溶性积盐特点看,一般戈壁土含盐量为 $0.3\sim 10\text{g/kg}$ 。易溶盐的成分主要以钠盐为主,硫酸盐在钙积层易溶盐中占有极大的比例,但总碱度普遍偏高,且大多以游离的苏打出现。

第三节 戈壁覆盖层物理力学性质试验

一、试验场地概况

戈壁覆盖层物理力学性质试验场地分别位于新疆和甘肃地区的7个地点,其中新疆地区3个、甘肃地区4个。各试验场地具体地理位置、场地编号、地质概况以及探坑开挖情况分别如下。

1. 新疆乌鲁木齐市达坂城区盐湖附近山脚下750 kV双回路附近(场地编号: XJ-YH)

XJ-YH场地主要为角砾,呈褐、灰青色,湿,中密,颗粒以棱角状为主,砂土充填。碎石土基本呈松散状态,含砂土较多,碎石粒径小,一般在50mm以下。XJ-YH场地探坑及挖出松散碎石土如图1-4所示。

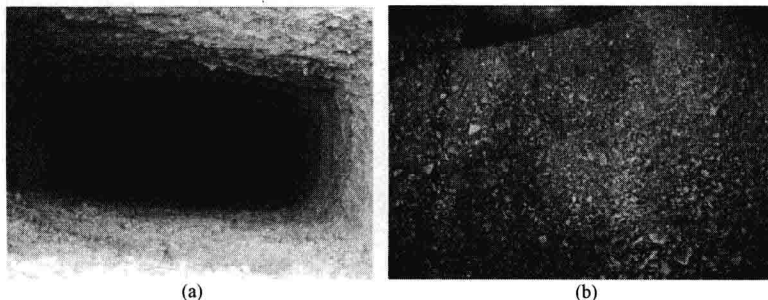


图1-4 XJ-YH场地探坑及挖出松散碎石土

(a) 场地探坑; (b) 挖出松散碎石土

2. 新疆乌鲁木齐市达坂城区二十里店750kV双回路附近(场地编号: XJ-ERD)

XJ-ERD场地主要为卵石,呈土黄一灰黄色,中密,充填物以粉土、粗砾砂为主,含漂石。碎石土基本处于干燥状态,黏结性较好,漂石含量大,一般粒径为 $20\sim 100\text{mm}$ 。XJ-ERD场地探坑及挖出松散碎石土如图1-5所示。

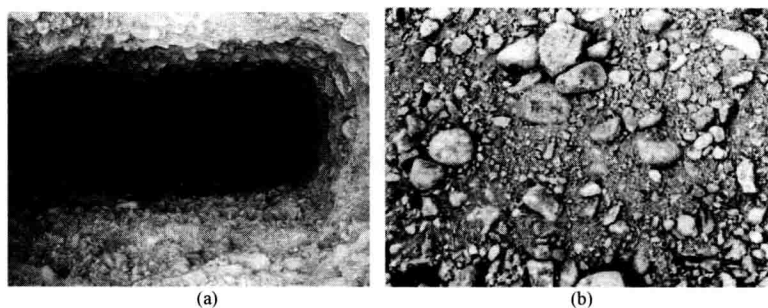


图 1-5 XJ-ERD 场地探坑及挖出松散碎石土

(a) 场地探坑；(b) 挖出松散碎石土

3. 新疆乌鲁木齐市野生动物园附近（场地编号：XJ-DWY）

XJ-DWY 场地以卵石为主，混杂角砾与大型漂石，表层 1.5~2m 盐分胶结现象明显，胶结部分碎石土黏结性强度高，一般粒径为 10~200mm。XJ-DWY 场地探坑及坑壁的盐分胶结情况如图 1-6 所示。

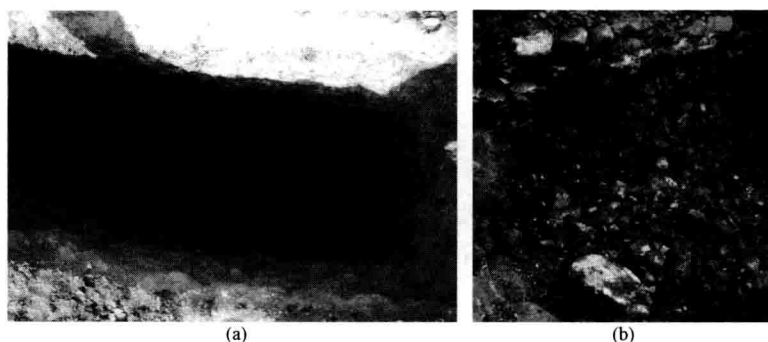


图 1-6 XJ-DWY 场地探坑及坑壁的盐分胶结情况

(a) 场地探坑；(b) 坑壁的盐分胶结情况

4. 甘肃张掖市高台县 330kV 张嘉 I 回线 173 号塔位附近（场地编号：GS-GTX）

GS-GTX 场地属冲积—洪积扇地段，呈单层结构，主要为青灰色，稍密—中密，一般粒径为 20~200mm，充填中粗砂，角砾占 20%~35%，混零星块石和少量黏性土，主要成分为砂岩、花岗岩和变质岩颗粒。GS-GTX 场地概貌及其断面特征如图 1-7 所示。



图 1-7 GS-GTX 场地概貌及其断面特征

(a) 场地概貌; (b) 断面特征

5. 甘肃张掖市山丹县 330kV 金山 I 回线 193 号塔位附近 (场地编号: GS-SDX)

GS-SDX 场地属山前冲洪积扇地貌单元, 呈两层结构, 上覆浅黄褐色状粉土, 稍密, 稍湿, 水平层理明显, 粉细砂含量较高, 土质均一, 厚度一般为 1~2m。下覆青灰色卵石, 稍密—中密, 一般粒径为 20~200mm, 磨圆度较好, 水平层理明显。充填中粗砂、圆砾, 含量占 20%~35%, 混零星漂石和少量黏性土, 主要成分为砂岩、花岗岩和变质岩颗粒。GS-SDX 场地概貌如图 1-8 所示。

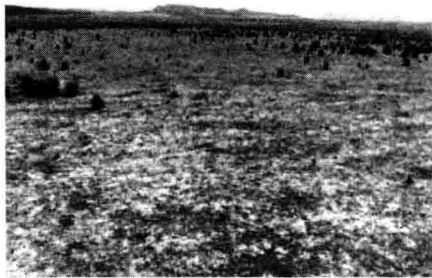


图 1-8 GS-SDX 场地概貌

6. 甘肃金昌市金川区 750kV 金昌变电站附近 (场地编号: GS-JCB)

GS-JCB 场地地层结构主要为第四系冲洪积物。主要划分为 3 个地质层序: ① 0.2~0.8m 为黄土状粉土, 褐黄—灰黄色, 稍湿, 稍密—中密, 孔隙较发育; ② 0.8~2.0m 为卵石, 灰黄色, 稍湿, 稍密, 卵石成分主要为沉积岩 (石英砂岩、砂岩、砾岩), 变质岩 (花岗岩、闪长岩) 次之, 颗粒抗风化能力较强, 表面呈中等风化, 一般粒径 20~150mm, 混零星漂石, 含量不超过总质量的 5%, 空隙中主要由中细砂、粗砾砂和不等量的黄土状粉土充填; ③ 2.0m 以下为卵石, 呈青灰色, 干燥—稍湿, 中密—密实, 卵石成分主要为沉积岩 (砂岩、泥岩、砂砾岩), 变质岩 (花岗岩、石英岩) 次之, 呈中等风化, 一般粒径 20~150mm, 混零星漂石, 含量不超过总质量的 5%, 骨架颗粒略显水平层理, 局部地带骨架颗粒表面分布钙质和氧化铁条纹斑点, 3.0~6.0m 之间尤为明显,

并呈胶结状，在局部地带的不同深度处还分布有中细砂薄夹层，薄夹层厚度 100~300mm，一般以透镜体的形式分布在卵石层中，卵石层空隙中主要由中细砂、粗砾砂、少量圆砾及粉土充填。GS-JCB 场地概貌及开挖出的碎石土如图 1-9 所示。

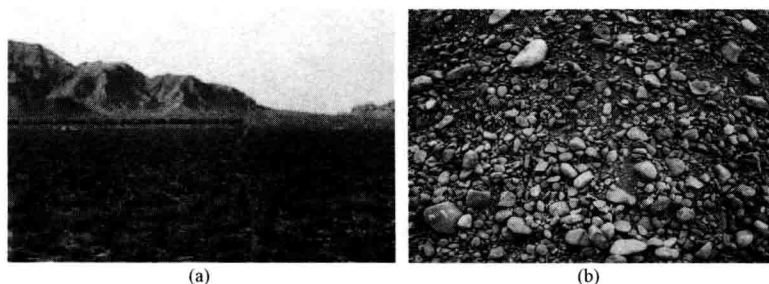


图 1-9 GS-JCB 场地概貌及开挖出的碎石土
(a) 场地概貌；(b) 开挖出的碎石土

7. 甘肃酒泉市 750kV 酒泉变电站附近（场地编号：GS-JQB）

GS-JQB 场地地层为单层结构，主要为青灰色卵石，稍密—中密，一般粒径为 20~200mm，磨圆度较好，空隙中充填粗砂、圆砾，混零星漂石和少量黏性土，主要成分为砂岩、花岗岩和变质岩颗粒，含量占 20%~35%。GS-JQB 场地概貌及其断面特征如图 1-10 所示。

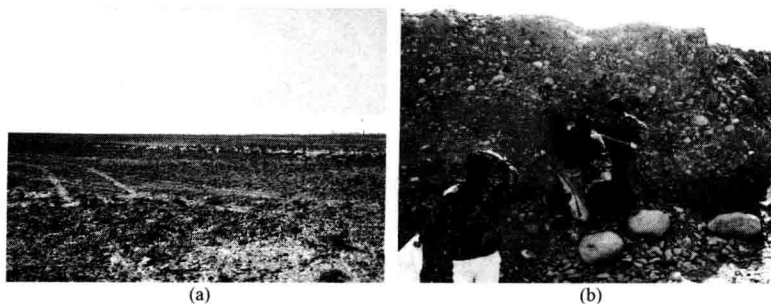


图 1-10 GS-JQB 场地概貌及其断面特征
(a) 场地概貌；(b) 断面特征

二、试验项目

采用现场和室内试验方法，在上述 7 个场地分别开展了戈壁覆盖层碎石土粒径级配、天然容重、原位直剪和 pH 值及易溶盐分析等试验，各场地试验项目如表 1-1 所示。