毛乌素沙漠南缘沙漠化特点与岩土工程勘察治理探讨

刘志伟
(西北电力设计院)

摘 要 毛乌素沙漠南缘是我国正在大规模开发建设的煤炭、石油、天然气以及西电东送的能源化工基地,其生态环境脆弱,开发建设中应注重工程建设和保护生态环境协调发展。本文介绍了毛乌素沙漠南缘沙漠化特点,结合工程实际对该区岩土工程勘察、岩土的工程特性以及风沙危害、边坡防护与治理、采空区、烧变岩、地基处理等方面进行了分析与讨论,供在该区参与开发建设的有关人员参考。

关键词 毛乌素沙漠 沙漠化 岩土工程

1 毛乌素沙漠南缘沙漠化特点

毛乌素沙漠地区属北温带半干旱半沙漠高原大陆性气候,气候干旱,降水稀少,蒸发量大。毛乌素沙漠流沙主要是新月形沙丘、新月形沙丘链,其余为半固定和固定沙漠,主要是格状沙丘、垄状沙丘和椭圆形沙丘。固定沙丘与半固定沙丘经常混杂在一起,其形态是“蹄”、“堆”、“垅”3种,高一般 1～20m。除沙丘地貌外,还有包括丘间地、盐碱地以及黄土丘陵等。毛乌素沙漠南缘植被条件比较优越,生长良好,固定、半固定沙丘上植被主要是油嵩、小叶锦鸡儿、臭柏以及旱生禾本科草类等,植被覆盖度在 40%～50%;在丘间地以及滩地上,则主要分布草甸、盐生草甸以及沼泽性灌丛,主要由蒙古柳、沙柳和酸刺等主要灌木组成,植被覆盖度一般在 70%～80%之间。在流动沙丘上几乎没有植被覆盖,半流动沙丘上的植被稀少。

乌素沙漠南缘从西往东,西部主要以固定以及半固定沙丘、沙地与流动、半流动沙丘相间分布为主,沙丘高度大约在 1.0～5.0m,中部流动沙丘则有比较密集的分布,主要以新月形沙丘和沙丘链为主,沙丘高度多在 1.0～10.0 m之间,少数则高达 10.0～20.0m,在东部如横山地区,流动沙丘主要以侵入体表现,其覆盖在黄土梁状丘陵以及台状高地上,但沙丘比较低矮,一般在 3.0～5.0m之间。

上世纪 80年代以来,国家实施的生态环境治理工程,目前区域生态环境明显好转,是我国沙漠化出现逆转的典型区之一,风沙活动有减缓之趋势。

2 区域地质概况

区域地质构造属华北地台鄂尔多斯台向斜东翼,陕北斜坡。基底为前震旦系结晶岩系,古老地层没有受到大地构造的破坏,地层比较稳定,古生代以后构造变化微弱,中生代时从三叠纪开始形成大型坳陷,在侏罗纪坳陷继续发展,至白垩纪早期地壳由下降转为上升,盆地日趋缩小,至第三纪上新世结束了大型坳陷的沉降历史,形成一整套内陆河湖相建造。

地层区划属华北地层区鄂尔多斯盆地分区,侏罗纪煤田以资源非常丰富,地质构造相对简单,煤质优良,非常适宜建设特大型高产高效矿井而著称。含煤地层为侏罗系中下统延安组 (J_{1-2y}),与下伏地层富县组整合接触,或假整合于永坪组之上,与上覆直罗组亦呈假整合接触。因遭直罗期河流的侵蚀,煤系地层上部均有不同程度的缺失。延安组地层为一套陆源碎屑沉积,岩性以浅灰色中细粒长石砂岩,岩屑长石砂岩及钙质砂岩为主,根据不同岩性段的特征及煤层富集部位的不同,将煤系地层划分为 5个中级旋回。

3 岩土工程勘察方法

根据毛乌素沙漠南缘地形地貌及地层特点,勘测方法主要包括工程地质测绘、物探、钻探、坑槽探、室内试验和原位测试等。

(1) 工程地质测绘与调查,在于查明与研究场

收稿日期〕 2007-5-31

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

地及其相邻有关地段的地形地貌、地层岩性、地质构造、不良地质作用、地表水与地下水情况以及当地的建筑经验,并结合区域地质资料,分析场地的工程地质条件和存在的主要工程地质问题,为合理确定勘探和测试工作提供依据。

(2) 场地表层大多为松散风积砂覆盖,勘探方法主要以钻孔为主,在局部有黄土类土出露区可以开展一些探井工作。在横山县一带,风积砂和冲洪积沙层厚度大,取不扰动土很困难,这时主要依靠钻孔中进行标准贯入试验和轻型、重型动力触探试验获得有关地层工程性能指标。在榆林、神木一带风积砂以下为冲洪积层,往往有一定厚度的黄土状粉土或粉土,可以采取不扰动土试样进行室内土工试验。根据几个工程情况,静力触探试验效果不是很好,贯入深度一般不超过 20m。

(3) 毛乌素沙漠地震地质条件基本良好,利用地震反射波法可以有效控制钻孔之间煤层的连续性、厚度变化及起伏形态。在陕北煤田区,烧变岩往往有出露与分布,正常岩石和烧变岩层之间的磁性差异明显,磁法勘探可圈定煤层自燃区范围。疏松沙与密实沙之间由于密实度的不同介电性质存在较大差异,土层与砂、基岩之间电性存在较大差异。这些电性差异使借助高密度电法或地质雷达划分各地层之间的界线成为可能 (图 1)。

(4) 由于地层主要以砂层为主,钻探需采用泥浆护壁,地下水量测往往很困难。这时水位观测方法可采用民井、探井、地下水天然露头进行,在钻孔中观测时需进行洗孔,必要时可下入 PVC管进行专门的地下水位观测。

4 毛乌素沙漠南缘岩土工程条件

(1) 抗震设防参数:毛乌素沙漠南缘区域地表多为固定 -半固定新月形沙丘,或为沙丘草滩地貌。虽然场地均显开阔,但高差起伏较大,表层多为新近堆积的松散风积砂土,第四系覆盖层厚度在平面分布上成因、岩性、状态不均匀,下伏基岩面起伏较大,属建筑抗震不利地段或为可进行建设的一般场地。根据《中国地震动参数区划图》(GB18306 - 2001),靖边、横山、榆林一带场地的地震动峰值加速度 $<0.05g$,对应的地区地震基本烈度小于 Ⅵ度,其他区域地震动峰值加速度为 $0.05g$,对应的地区地震基本烈度为 Ⅵ度。表 1为几个工程抗震设防参数,从表中可以看出总体上与区划图一致。

(2) 地层岩性及工程特性:第四系覆盖层厚度变化较大,一般厚度在 15～30m,有些区域可达 80m以上,表层风积砂一般呈浅黄 ～褐黄色,稍湿 ～很湿,随深度增加,由松散逐渐达稍密,矿物成分以长石、石英为主,暗色矿物次之。物质组成绝大部分为细砂 (<0.25 mm),其次为中砂,两者含量为 80～90%,粉砂 (0.05～0.005 mm)以及粘粒 (<0.005 mm)很少,其含量一般在 5%以下,平均粒径 d_{50}在 0.11～0.16mm,不均匀系数 C_u在 2.44～2.85,曲

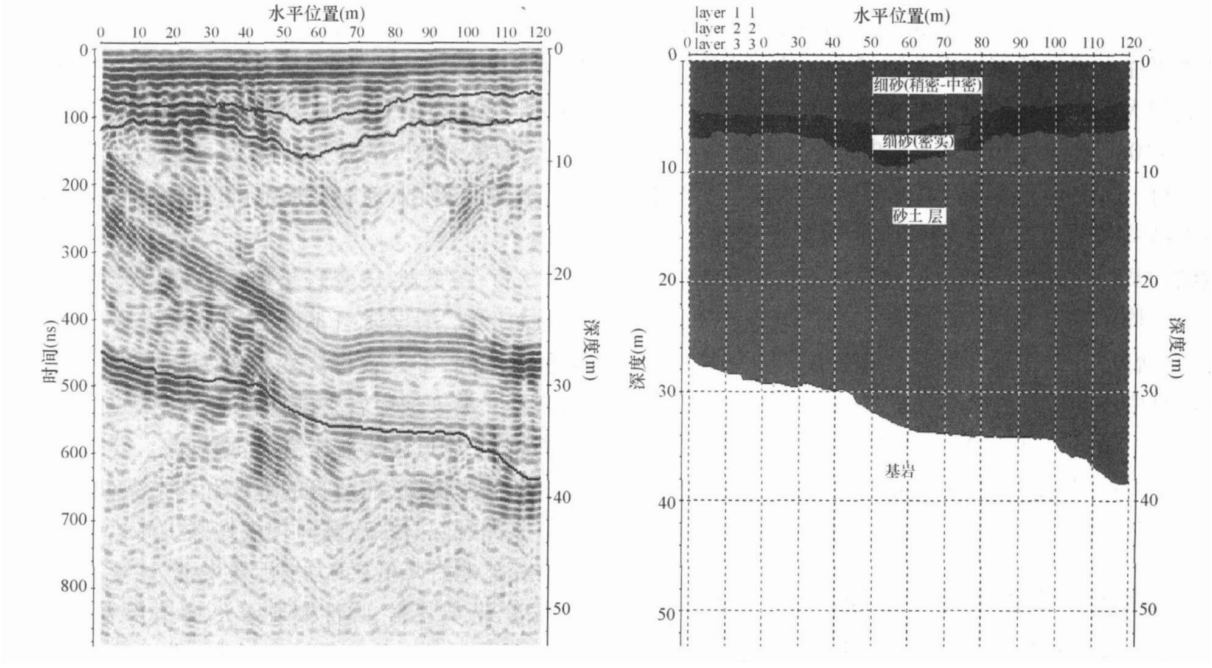


图 1 地质雷达剖面及解释成果图

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 工程抗震设防参数一览表

工程地点	等效剪切波速 V_{se} /m·s^{-1}	建筑场地类别	地震动峰值加速度 g	特征周期 s	对应的地震基本烈度
榆林市榆阳区	318.1～319.3	Ⅱ类	0.036	0.42	<Ⅵ度
榆林市横山县	308.2～317.2	Ⅱ类	0.038	0.41	<Ⅵ度
榆林市神木县	270.0～347.0	Ⅱ类	0.066	0.35	Ⅵ度
榆林市府谷县	236.0～240.0	Ⅱ类	0.05	0.35	Ⅵ度

率系数在 0.84～1.19。风积砂以下一般为细砂、黄土状粉土、粉土、老黄土等,下伏侏罗系、白垩系砂岩、泥岩等,局部区域有基岩出露地表,呈棕红、砖红、灰绿等色,薄～中厚层状,泥质胶结,强风化厚度为 2.0～5.0m。岩石饱和抗压强度一般在 6～17MPa,软化系数 0.35～0.59。

(3) 黄土的湿陷性:黄土丘陵属陕北黄土高原的一部分,在中国湿陷性黄土工程地质分区图上划属北部边缘地区,根据神木、榆林、横山等地土工试验资料,一般为非自重湿陷性黄土,土中含砂量较多,湿陷性黄土分部不连续,地基湿陷等级一般为Ⅰ～Ⅱ级。

(4) 砂土液化问题:毛乌素沙漠南缘地下水埋深一般在表层风积砂以下,地基土多为较密实的砂土,该区地震基本烈度为Ⅵ度,一般不需考虑场地土的液化等问题。

(5) 地下水及水、土腐蚀性:地下水类型为潜水型,分为第四系松散层孔隙潜水(沙漠滩地潜水)和基岩及烧变岩裂隙孔洞潜水。第四系松散层潜水主要接受大气降水的补给,基岩和烧变岩裂隙孔洞潜水可得到上覆孔隙潜水补给,局部地段下伏基岩裂隙水可能上涌补给第四系孔隙潜水。地下水埋深变化也较大。在丘间地、滩地河谷地下水的埋深一般在 3～10m,部分段为 0.5～2.0m,在榆阳区红石桥乡、巴拉素乡,地下水位埋深大于 45m。地下水对混凝土结构和钢筋混凝土结构中的钢筋无腐蚀性,对钢结构具弱腐蚀性。场地土对混凝土结构和钢筋混凝土结构中的钢筋均无腐蚀性。局部地势低洼的沟底,含盐量高,对混凝土结构和钢筋混凝土结构中的钢筋具中～强腐蚀性。

(6) 最大冻土深度:最大冻土深度一般在 130～150cm之间,榆林、横山一带为 130cm,神木、府谷在 142～146cm。

5 主要岩土工程问题与治理

(1) 风沙危害与治理:风沙危害泛指由于风沙运动而产生的各种灾害现象,对输电线路的危害形式主要有:风沙堆积造成的掩埋,减小导线的距地高度、掩埋损坏电力设施;风蚀会造成塔基悬空倒塌以及设施磨损;强沙尘天气中,会出现风沙电现象,影响输电质量。线路在穿越固定沙丘、半固定沙丘进行塔位选择时,应尽量选择地势较低、植被较好的位置;当穿越半流动沙丘,其沙丘厚度较大时,可考虑直接跨越,当沙丘厚度较薄时,可考虑适当加大基础埋深;当穿越沙地时,应尽量选择盐渍化程度较弱的地区。对位于沙漠地区表层植被覆盖较少(但沙丘稳定)、小型流动沙丘上的杆塔,可考虑加大基础宽度或采用重力式基础等措施。

防风砂的措施一般有改变地基土性质,即采用大粒径材料或者粘性土改变地基性质等;降低风速,其主要是采取草方格进行风蚀、风积防护;覆盖地基隔绝风沙活动则是使用不易风蚀材料如砾石、草皮等将地基完全覆盖等几种途径。

(2) 压矿和采空区问题:在陕北地区建厂,压矿(煤)问题往往难免。在拟建场地选择时,应选择无煤区或下压煤层较薄区,如神木锦界开发区、陕西榆横电厂等就选择在压煤很少的区域。当场地有压矿问题时,应得到有关主管部门的批复,并留出安全煤柱。场地一般不应选择在采空区内,当靠近采空区时,应研究采空区与保安矿柱以及采空区与建筑物的变形协调规律。当前,小煤矿跨界开采问题也常发生,搜集采空区的开采条件、开采性质以及相应的采空区影响范围、地表变形范围、规模等资料非常重要。

(3) 烧变岩:烧变岩是煤层自燃引起周围围岩变质而形成,根据岩石不同类型及受煤层自燃火烧的程度不同,可大致将烧变岩分为烧熔岩、烧结岩、烘烤岩三类。烧变岩裂隙空洞十分发育,岩层紊乱支离破碎,靠近煤层有垮落、坐塌现象。烧变岩具有良好的储水构造,在适宜的地形和构造条件下,常有较集中的裂隙泉水出露。神木地区烘烤岩吸水性与原岩相比略有降低,但力学性质增强,主要表现在抗压强度、抗剪强度、弹性模量增大,软化系数增大,而泊松比略变小。在工程处理措施上,对受烘烤的岩石,其工程性能可按正常岩石考虑;对分布全风化的粘性土、风化岩屑(碎块)及自燃煤层部分或完全燃

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

烧后残留的渣体等工程性能较差的区域,当其距基础底面较近时,可进行清除或换填处理,通过垫层的压力扩散来降低软弱层顶面的压力值;采用桩基础的建筑物,应将其穿越。

6 建筑物地基基础方案选择

毛乌素沙漠南缘区基岩面起伏较大,少部分区域基岩出露或埋深较浅可作为建筑物天然地基外,一般需要进行处理。对一般建筑物地基,常以换土垫层或复合地基方案较为经济合理,当地居民住房常用浸水密实法处理。但对于重要建(构)筑物,一般需要采用桩基。对复合地基的处理方案,可选择采用振冲碎石桩或 CFG桩等。根据某工程振冲碎石桩试验,采用 75kW振冲器、等边三角形布桩、有效桩长 12m、平均桩径 1.0m、2.2m桩间距,其复合地基承载力特征值为 240～270 kPa,变形模量为 14.6～16.1MPa。对于处理厚度要求不大的土层,可以采用碎石碾压垫层换填处理,某工程试验碎石垫层承载力特征值可达 500 kPa,变形模量在 80MPa以上。

对于灌注桩方案,桩长的选择可根据上部建筑物的荷重情况来考虑,桩端持力层可根据基岩埋藏深度考虑。当基岩埋藏深度在 30m以内时,可选择中等风化基岩作为桩端持力层;当基岩埋藏深度大时,可选择下部工程性能相对较好的土层作为桩端持力层。对于灌注桩成孔工艺的选择,因场地上部砂土层厚度大,有些区域地下水埋藏浅,人工挖孔桩一般不适用。对钻孔灌注桩,成孔中往往存在护壁问题,采用泥浆护壁时,泥皮和沉渣厚度影响摩阻力和端阻力发挥,这时可采用后压浆技术提高单桩承载力。若采用套管护壁,则土层摩阻力较高,相应单桩承载力高。根据某工程采用全套管灌注桩试验,桩长 21.4～23.3m、桩径 800mm的嵌岩桩单桩极限承载力在 7200～12000kN。桩长 28.5m、桩径 800mm的摩擦桩(下部土层作为持力层)单桩极限承载力为 7600kN。

对建筑场地内边坡、公路、铁路路堤边坡,高度一般不超过 10m时,采用"草格"固沙防风蚀及边坡防护已经得到非常成功的应用,一般采用麦草或芦苇方格固定,坡比一般在 1∶2～1∶3之间,其规格为 1m×1m,草头出露高度为 20～30cm,一旦格状沙障发挥作用之后,格内会有植物生长,发挥固沙作用,草方格沙障更新的周期会更长。某工程采用浆砌片石方格网护坡,放坡坡率 1∶1.75,方格网尺寸一般为 2m×2m,达到经济合理的治理效果。当边坡高度较大时,下部可设置重力式挡墙支挡,上部采取削坡、浆砌片石护坡等措施。由于土质相对疏松,边坡治理中做好防排水工作很重要。治理工程结束后,方格网之间可以种植当地耐旱品种的植物。

7 结束语

(1) 毛乌素沙漠南缘以固定、半固定沙丘、沙地与流动、半流动沙丘为主。该区煤炭、石油、天然气等资源丰富,是国家能源化工基地,应做好工程建设和保护生态环境协调发展。

(2) 毛乌素沙漠南缘区地层比较稳定、地震活动水平低、构造相对简单。勘探方法主要采用钻探和原位测试等手段,工程物探方法也有较好的应用前景。

(3) 场地表层一般为风积砂,以下为黄土状粉土、粉土、老黄土等,下伏侏罗系、白垩系砂岩、泥岩。黄土一般具非自重湿陷性,地基湿陷等级一般为Ⅰ～Ⅱ级。一般不需考虑场地土的液化等问题,地下水、土对混凝土结构和钢筋混凝土结构中的钢筋均无腐蚀性。

(4) 风沙危害是该区主要的工程问题,同时工程中应做好边坡防护与治理,"草格"固沙防风蚀及边坡防护已经得到非常成功的应用。对压矿、采空区、烧变岩区应进行详细的调查、分析与评价。由于第四系土层性质相对较差,建筑物一般需要进行地基处理,根据建筑物的重要性、荷载等不同可选择灌注桩、碎石桩复合地基或垫层等工法处理。

参 考 文 献

[1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 火力发电厂岩土工程勘测技术规程(DL/T 5074-2006)[S]. 北京:中国电力出版社,2006.

[2] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 电力工程地基处理技术规程(DL/T 5024-2005)[S]. 北京:中国电力出版社,2005.

[3] 西北电力设计院. 陕西神木电厂岩土工程勘察报告[R]. 2003.

[4] 西北电力设计院,中国科学院寒区旱区环境与工程研究所. ±500kV宁东—天津直流输电线路沙漠稳定性评价及地基基础方案论证[R]. 2005.

[5] 西北电力设计院. 陕西华电榆横电厂岩土工程勘察报告[R]. 2006.

第一作者通讯地址:西安市金花北路 280号西北电力设计院
邮编:710032

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net