

博茨瓦纳风积层的工程特性

汪家斌

中南电力设计院

摘要:博茨瓦纳的气候干旱少雨,一年分旱、雨两季,工程区为风积平原。经过现场勘测试验,工程场地为风积层(Qeol)沙质土,不同的层位具有不同的湿陷性。在设计施工时应采取相应的防治与处理措施。

关键词:风积层;湿陷性;工程特性

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.01.069

The Engineering Characteristics of Aeolian Deposit in Botswana

Wang Jiabin

(Central Southern China Electric Power Design Institute)

Abstract: Throughout the year in Botswana of rainy season and dry season, the climatic feature there is drought, and the engineering area of aeolian deposit plains. Through field survey test, the soil in the work area is aeolian deposit sandy loams and the collapsibility is different in different position. In the lifting operation, we must take measures to protect.

Key words: Aeolian Deposit, Collapsible, Engineering properties

一、引言

博茨瓦纳是位于非洲南部的内陆国家。东接津巴布韦,西连纳米比亚,北邻赞比亚,南接南非共和国。属南非高原中部的卡拉哈迪盆地,地势东高西低,平均海拔1000米左右。北部有沼泽,东南部多丘陵,西南部为半荒漠地区。境内多间歇性河流,仅林波波河和乔贝河是常流河。

该国大部分地区属热带草原气候,西部为沙漠、半沙漠气候。年平均气温21℃。一年分旱、雨两季,雨季炎热,旱季干冷,昼夜温差大。10月至次年4月为雨季(湿热季),5月至9月为旱季(干冷季)。1月最热,白天平均气温33℃,最高可达43℃,夜间平均气温18℃。7月最冷,平均最高气温22℃,最低5℃,夜间最低可到0℃以下。年平均降雨量457毫米,大部分地区干旱少雨。北部地区年均降雨量650—700毫米,南部和东南部地区年均降雨量400—500毫米,西部和西南部地区年均降雨量仅250毫米。降雨主要集中在雨季,旱季降雨量仅占全年的1%到10%,1、2两月为降雨最多的月份。

2009年我们承担了博茨瓦纳莫鲁卜勒(Morupule)B电厂的勘测设计工作,对场地的工程地质特性进行了研究。

拟建厂区属于风积平原地貌。地势平缓,地面标高在939.99—947.28m之间,最大高差不超过7.5m。地面主要覆盖风积粉细砂,原始状态表层生长大量的灌木及各种草本植物。

本次进行了现场地基土的平板载荷试验与工程地质勘察,勘察试验工作自2009年7月10日开始,于2009年9月22日结束,共完成平板载荷试验12个点。试验正值博茨瓦纳的干旱季节,工作结束就进入了雨季。

二、岩土工程条件

该地区地层主要为卡拉哈里系(Kalahari)第四系风积层(Qeol)、风积半胶结层(Qeol)、上艾卡亚群(Upper Ecca Subgroup)的砂岩、砂质砾岩及下覆的洛萨尼组页岩(Lotsane Shale Formation)组成。

根据勘探查明,本阶段厂区所揭露的地层中,上覆风积砂层一般厚度在4~7m。基岩顶面埋深4.7~11.7m。

地层岩土特性

根据本次工程地质调查测绘以及钻探的结果,厂区地层主要由上部卡拉哈里系(Kalahari)第四系风积层(Q^{eo1})、风积半胶结层(Q^{eo1})、上艾卡亚群(Upper Ecca Subgroup)第三系的砂岩、砂质砾岩及下覆三叠系的洛萨尼组页岩(Lotsane Shale Formation)组成。按地基岩土的形成时代、成因类型等依次从新至老的顺序描述如下:

1) 第四系人工堆积层(Q^s)

(1) 层填土(粉煤灰和粉细砂):灰色、黄棕色,主要成分为粉煤灰,结构不均,层厚随原始地形的变化而变,主要分布于靠近莫鲁卜勒电厂灰场区域。

2) Kalahari第四系风积层(Q^{eo1})

(2-1) 层粉细砂:稍湿,松散状态,标贯击数一般在6-10击。该层广泛分布于厂区之中,呈褐黄色,质地较为均一。

(2-2) 层粉细砂:稍湿,稍密状态,呈褐黄色,质地较为均一。该层一般位于(2-1)层之下,广泛分布于厂区之中,局部缺失。该层具有湿陷性。

(2-3) 层粉细砂,稍湿,中密状态,底部含少量姜结石。呈褐黄色,质地较为均一,标贯击数一般在22-28击。该层也广泛分布于厂区之中。该层具有湿陷性。

(2-4) 层粉细砂,稍湿,密实状态,底部含少量姜结石,局部呈半胶结状态。褐黄色或棕黄色,质地较为均一,标贯击数一般在30~50击。该层零星分布于整个厂区之中。该层具有湿陷性。

(3) 层粉细砂:黄色、棕黄色,密实状态,水蚀溶孔较为明显,亦可见古植物根系孔隙。呈半胶结状态,胶结物主要为钙质或者是铁质,含多量姜结石,质地较为均一。标贯击数一般在32-38,局部>50击,该层

局部分布于厂区内。

3) 上艾卡亚群 (Upper Ecca Subgroup) 第三系 (N)

(4) 层砂岩: 红褐色, 岩体风化破碎, 溶蚀现象较为明显, 尚可见少量古植物根系孔隙。中厚层状, 强风化。

(5-1) 层砂质砾岩: 红棕、灰褐色, 岩体风化破碎, 可见大量砾石, 砾石一般粒径2-5cm, 个别8-10cm, 钙质胶结, 强风化。

(5-2) 层砂质砾岩: 红棕、灰褐色, 岩体较为完整, 钙质胶结, 中等风化。

4) 洛萨尼组页岩 (Lotsane Shale Formation) 三叠系 (T)

(6) 层页岩: 灰白色、灰色, 钙质胶结, 胶结程度较好, 层理清晰, 埋深一般在地面21m以下。

对工程而言, 其重点是Kalahari第四系风积层 (Q^{eol})。

地基土的湿陷性

厂区上覆第四系风积砂土层主要为松散~密实的粉细砂。通过现场土工试验以及载荷试验, 判定该风积砂土层具有一定的湿陷性。对于处于不同深度、具有不同密实度的各亚层, 湿陷性强弱也有所不同。但由于现场的砂土层, 尤其是中密~密实的砂土, 即(2-3)、

(2-4)层, 十分致密, 取样难度较大。因此现场采取典型深度和类型的砂土样, 通过土工试验获得湿陷系数、自重湿陷系数以及起始压力等数据指标; 同时, 选择具有代表性的区域, 采用双线法平板载荷试验, 来确定湿陷性砂土层的各项湿陷指标。地基土湿陷性指标统计表见表1。

根据《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB50025-

表1 地基土湿陷性指标统计表

取样 亚层	起始压力 (P_{sh}) kPa	各压力下湿陷系数 (δ_s)					自重 湿陷系数 δ_{zs}
		50 kPa	100 kPa	200 kPa	300 kPa	400 kPa	
(2-1)	3	0.014	0.014	0.014	0.013	0.013	0.009
(2-2)	68	0.0153	0.0175	0.0193	0.0193	0.020	0.012
(2-3) (2-4)	10	0.0418	0.054	0.0658	0.0715	0.076	0.076

2004) 的第4.4.2条判断, (2-1)层的湿陷系数小于0.015, 该层可不考虑其湿陷性; (2-2)层湿陷系数处于0.015~0.03之间, 起始压力约为68kPa, 该层具有轻微湿陷性; 而(2-3)层湿陷系数大于0.07, 起始压力约为10kPa, 其具有强烈湿陷性。

在整体气候特征相对干旱的条件下, (2-1)层由于处于厂区地层的最表层, 长期受到空气中的凝结水以及大气降水或短暂地表水径流的浸湿, 原有存在的湿陷性逐渐减弱, 当该层浸水后结构基本无变化, 附加下沉的现象不明显, 因此该层无湿陷性; (2-2)层位于(2-1)层以下, 所受到的空气中的凝结水以及大气降水或短暂地表水径流的浸润较少, 当遇水后, 自身结构会发生小幅变化, 产生的附加下沉现象较为轻微, 因此该层具有轻微湿陷性的特点; 而(2-3)和(2-4)位于(3)层半胶结粉细砂或基岩之上, 由于埋藏较深, 空气中的凝结水或大气降水或地表水难以渗透到该深度, 而厂区下伏地下水埋藏较深, 长期水位不能达到该层所埋藏深度, 原始结构除了因上覆土的自重压力而略有固结变形以外, 原有的湿陷性能并未改变。当该层遇水之后, 容易崩解, 自身结构迅速被破坏, 在附加应力或上覆土层的自重压力之下, 产生强烈的湿陷下沉现象, 因此该层具有强烈的湿陷性。

厂区砂土覆盖层一般较浅, 普遍为4~7m, 但局部区域基岩面起伏大, 中密~密实的粉细砂层厚度较大, 根据《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB50025-2004)的第4.4.4、4.4.5及4.4.7条计算, 自重湿陷量的计算值

Δ_{zs} 处于70~350mm之间, 同时其湿陷量的计算值 Δ_s 处于300~600mm之间, 因此可以判断厂区为自重湿陷性场地, 地基湿陷等级为II级(中等)。

地下水条件

根据STA公司勘探成果, 原设置的三个水位观测孔, 当时观测数据为地下水位埋深在10.30m和16.65m之间, 同期莫鲁卜勒电厂所设置的观测孔, 水位埋深在12.94m及17.70m之间变化, 本次勘测期间再次观测水位埋深为: 18.4m(雨后)。综合分析不同阶段勘测结果, 同时依据区域地下水资料及区域调查结果, 本区域地下水部分时间内以不连续基岩裂隙潜水存在, 水量不大。对上部土层不构成影响。

三、现场载荷试验

本次对(2-1)层粉细砂进行了6个点(P-1~P-6)试验; (2-3)层粉细砂浸水前3个点(P-7、P-8和P-10)试验; (2-3)层粉细砂浸水后3个点试验(P-9、P-11和P-12)。上述试验最大加载情况下均未达到破坏状态, 极限承载力取破坏前一级荷载, 承载力特征值取极限值的一半。

承载力统计及推荐如下:

(2-1)层粉细砂6个点试验的承载力特征值为100 kPa-125 kPa, 离散性较小, 其特征值极差为平均值18%, 小于30%, 该组试验承载力特征值推荐值取其平均值为117 kPa。变形模量为6.16 MPa-10.22 MPa, 离散性较大, 其极差大于平均值的30%, 去掉离散性最大的10.22 MPa后, 其极差为平均值的11%, 平均值为6.94

MPa。变形模量推荐值为6.94 MPa。从试验结果来看，该层松散，承载力低。

(2-3)层粉细砂。浸水前3个点(P-7、P-8和P-10)试验的承载力特征值均为500 kPa，离散性很小，承载力特征值推荐值取其平均值500 kPa。变形模量为16.74 MPa-33.62 MPa，离散性较大，其极差大于平均值的30%，去掉离散性最大的16.74 MPa后，其极差小于平均值的30%，平均值为31.39 MPa。变形模量推荐值为31.39 MPa。浸水后3个点(P-9、P-11和P-12)试

验的承载力特征值为75 kPa-87 kPa，离散性较小，其极差为平均值的14%，承载力特征值推荐值取其平均值为83 kPa，变形模量为1.53 MPa-4.16 MPa，离散性较大，其极差大于平均值的30%，去掉离散性最大的1.53 MPa后，其极差小于平均值30%，平均值为4.03 MPa。变形模量推荐值为4.03 MPa。从结果看(2-3)层粉细砂在未浸水的情况下承载力较高，(2-3)层粉细砂在浸水的情况下遇水即软化承载力较低。

各组试验结果汇总表2。

表2 载荷试验结果汇总表

试验编号	试验地层	状态	承压板面积 cm ²	试验深度 m	最大试验荷载		极限承载力 kPa	取极限荷载值的一半			取s/b=0.01所对应的荷载值			承载力特征值推荐值 kPa	变形模量推荐值 MPa		
					kPa	沉降量 mm		承载力特征值		变形模量 MPa	承载力特征值		变形模量 MPa				
							kPa	沉降量 mm	kPa		沉降量 mm	kPa		沉降量 mm			
P-1	(2-1)层粉细砂	未浸水	2500	1.30	250	47.32	200	100	5.44	7.45	102	5.64	7.33	117	6.94		
P-2			2500	1.50	250	39.44	225	112	7.37	6.16	94	5.64	6.76				
P-3			2500	2.60	275	38.88	250	125	4.96	10.22	130	5.64	9.35				
P-4			2500	2.60	275	38.38	250	125	6.34	7.99	117	5.64	8.41				
P-5			2500	1.63	275	42.79	250	125	8.31	6.10	103	5.64	7.40				
P-6			2500	1.70	250	38.04	225	112	6.49	7.00	106	5.64	7.62				
P-7	(2-3)层粉细砂	未浸水	2500	2.50	1000	17.32	1000	500	6.95	29.17	435	5.64	31.27	500	31.39		
P-8			2500	2.50	1000	16.20	1000	500	6.03	33.62	477	5.64	34.29				
P-10			2500	3.20	1000	14.66	1000	500	12.11	16.74	428	5.64	30.77				
P-9		浸水后	2500	2.50	175	119.46	150	75	19.88	1.53	50	5.64	3.59			83	4.03
P-11			2500	3.50	200	62.31	175	87	8.48	4.16	75	5.64	5.39				
P-12			2500	3.25	200	65.34	175	87	9.04	3.90	72	5.64	5.18				

四、结论

本阶段厂区所揭露的地层中，上覆风积砂层一般厚度在4~7m。基岩顶面埋深4.7~11.7m。根据现场野外鉴定及室内土工试验成果、浅层平板荷载试验结果，判定厂区(2-2)层、(2-3)层、(2-4)层风积砂土层具有湿陷性，其中(2-2)层湿陷性轻微，(2-3)层、(2-4)层湿陷性强烈。厂区为自重湿陷性场地，地基湿陷等级为II级(中等)。

未经处理，湿陷性土层不能作为重要建(构)筑物基础持力层及下卧层；当作为一般建(构)筑物的基础持力层及下卧层时，应考虑防湿陷或消除(或部分消除)湿陷量的工程措施，如超挖、灰土换填、强夯。

(3)层密实呈半胶结状态的粉细砂层以及(4)层砂岩、(5)层砂质砾岩和(6)层中等风化的页岩均可作

为重要建(构)筑物的天然地基持力层及下卧层。基岩可作为桩端持力层。

由于上覆砂土层存在一定较强的湿陷性，遇水易崩解，因此应避免在雨季或者是雨天进行基坑的开挖，遇到降雨天气，应及时做好坑壁的防水与坑外的导水措施。

参考文献

[1]伍皓, 崔晓庄, 熊国庆, 张予杰, 江新胜. 甘肃皋兰—白银—靖远地区早白垩世沙漠沉积的特征及其古风带恢复[J]. 地质通报, 2011-07-15.
 [2]徐树建. 山东庙岛群岛黄土的粒度特征及其环境意义[J]. 海洋科学, 2008-12-09.
 [3]付佳俊. 福州长乐某拟建河道岩土工程特征分析[J]. 福建建材, 2022-08-20.