

# 曹妃甸蓄水池工程地质问题分析与评价

翟新典

(河北省水利水电第二勘测设计研究院, 石家庄 050021)

**摘要:**通过对曹妃甸蓄水池区的地质情况、地层空间分布、地基土(尤其是软土层)的物理力学性质、饱和砂土震动液化问题及边坡稳定问题的分析和判别,评价了蓄水池区的工程地质条件和水文地质条件,对主要工程地质问题进行了详细分析和研究,提出了相应地基处理措施或建议,为建筑物设计提供了地质依据,同时也为滨海地区地质勘察提供了借鉴或参考。工程区的软土承载力低,饱和砂土有发生液化的可能性,在地基处理设计时应进行统筹考虑,使工程设计既经济又安全合理。

**关键词:**软土地基;砂土液化;边坡稳定

**中图分类号:**P642 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-1683(2010)02-0110-03

## Geology Analysis and Examination of CaoFeidian Reservoir

ZHAI Xin-dian

(The Second Institute of Survey and Design for Water Conservancy and Hydropower of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China)

**Abstract:** Based on the analysis and examination of the geology, space distribution of stratum, physical and mechanical properties of soil (especially the soft layer), liquefaction of saturated sand and stability of slope, the paper evaluates the engineering geology condition and hydrological geological condition of CaoFeidian Reservoir Area, analyzes the main problems of the engineering geology and applies measures or suggestions for the foundation treatment, all those provide the geological foundation for the structure design. In order to make the design economic and secure, the low bearing capacity of the weak soil and the potential liquefaction of saturated sand in the Project Area should be taken into account.

**Key words:** soft foundation; liquefaction of sand; stability of slope

## 1 工程概况

曹妃甸蓄水池是曹妃甸工业区供水工程的重要配套设施,担负着供水工程事故检修时的临时供水和正常运行时的调节任务,对于保障用户水量和提高供水系统保证率有着重要作用。蓄水池南邻首钢工业基地,西侧为华润电厂,东侧200 m 通岛公路与京沈、唐津、唐港高速相连,交通十分便利。蓄水池总容积 94.6 万  $\text{m}^3$ ,设计水深 7.5 m。

## 2 工程地质及水文地质条件

工程区位于滦河三角洲前缘与滨海浅滩的交接地带<sup>[1]</sup>。场区为人工吹填而成,地势平坦开阔,地面高程 4.18~4.76 m,吹填厚度 3.3~4.2 m。

地层岩性主要有第四系上更新统海相沉积( $\text{mQ}_3$ )的黏土、壤土;第四系上更新统陆相沉积( $\text{alQ}_3$ )的壤土、砂壤土、

粉砂;第四系全新统海相沉积( $\text{mQ}_4$ )的壤土、淤泥质壤土、砂壤土、粉砂;第四系全新统人工吹填土( $\text{mlQ}_4$ ),为多层地质结构<sup>[2]</sup>。

在区域地质构造上,场区位于黄骅拗陷和抚宁隆起的交接地段。根据《中国地震动参数区划图》<sup>[3]</sup>,工程区地震动峰值加速度 0.15 g,相应地震基本烈度为 7 度。

场区地下水为吹填未消散海水,水位埋深 0.5~0.9 m,水位高程 3.41~4.06 m。

为研究地基土层的岩性分布,尤其是软土层的空间分布及物理力学性质,除现场采取原状样、扰动样、地表水和地下水样,进行标准贯入试验外,针对本工程岩性特点现场还进行了静力触探、十字板剪切试验等原位测试,室内进行了常规土工试验、三轴固结不排水剪、三轴不固结不排水剪、无侧限抗压强度、有机质含量、灵敏度和水质分析等试验<sup>[4,9]</sup>。各土层主要物理力学指标统计见表 1。

收稿日期:2009-12-24 修回日期:2010-01-04

作者简介:翟新典(1965-),男,河北辛集人,高级工程师,主要从事工程地质专业工作。

表 1 蓄水池各土层物理力学指标统计成果

地层时代	岩性	统计项目	天然重度	孔隙比	饱和快剪		压缩模量	压缩系数	无侧限抗压强度		灵敏度
			$\gamma$ (kN · m <sup>-3</sup> )	$e$	凝聚力 $c$ kPa	内摩擦角 $(^\circ)$	$E_{s-2}$ / MPa	$a_{v-2}$ / MPa <sup>-1</sup>	$qu$ / kPa	$qu$ / kPa	$St$
mlQ <sub>4</sub>	人工吹填土	范围值	19.7 ~ 20.2	0.598 ~ 0.753	5.5 ~ 10.6	15.9 ~ 23.3	7.3 ~ 10.7	0.16 ~ 0.23			
		平均值/ 组数	19.9/ 9	0.659/ 9	8.6/ 7	18.6/ 7	8.8/ 5	0.194/ 5			
		标准差	0.219	0.052	2.003	2.381	1.57	0.035			
	壤土	范围值	18 ~ 20.3	0.641 ~ 0.998	6.8 ~ 24.9	9.2 ~ 20.2	2.4 ~ 5.2	0.33 ~ 0.82	16.9 ~ 33.5	5.8 ~ 13.8	2.1 ~ 3
		平均值/ 组数	19.1/ 99	0.827/ 63	13.3/ 38	13.5/ 38	3.5/ 38	0.552/ 38	25.2/ 7	9.6/ 5	2.6/ 5
		标准差	0.505	0.103	4.513	3.066	0.791	0.142	5.316	2.888	0.37
mQ <sub>4</sub>	砂壤土	范围值	18.9 ~ 20.4	0.578 ~ 0.842	4.8 ~ 12.6	17.9 ~ 23.7	3.2 ~ 6.8	0.26 ~ 0.57			
		平均值/ 组数	19.8/ 24	0.687/ 15	9.7/ 6	19.6/ 6	4.8/ 9	0.382/ 9	12.9/ 1	5.8/ 1	2.2/ 1
		标准差	0.399	0.077	3.006	2.088	1.214	0.109			
	淤泥质壤土	范围值	17.8 ~ 19.6	0.901 ~ 1.215	5.5 ~ 22.7	8.9 ~ 13.5	2.4 ~ 4.6	0.38 ~ 0.87			
		平均值/ 组数	18.4/ 24	1.037/ 18	12.2/ 8	11.5/ 8	3/ 14	0.703/ 14	57.6/ 1		
		标准差	0.4	0.068	5.814	1.852	0.692	0.152			
	壤土	范围值	18.8 ~ 20.5	0.539 ~ 0.937	14.6 ~ 24.6	13.2 ~ 20.3	3.7 ~ 7.7	0.21 ~ 0.49			
		平均值/ 组数	19.9/ 26	0.707/ 19	17.9/ 6	16.1/ 6	4.9/ 18	0.368/ 18			
		标准差	0.541	0.134	3.724	2.298	1.027	0.083			
alQ <sub>3</sub>	砂壤土	范围值	20.6 ~ 20.6	0.542 ~ 0.542	9.5 ~ 15.1	14.4 ~ 19.2	4.9 ~ 4.9	0.32 ~ 0.32			
		平均值/ 组数	20.6/ 3	0.542/ 1	12.3/ 2	16.8/ 2	4.9/ 1	0.32/ 1			

3 工程地质问题分析

3.1 软土地基沉降及承载力问题

蓄水池地基土中的海相沉积壤土和淤泥质壤土层,压缩性高力学性状差,尤以淤泥质土层较为软弱,对建筑物的安全和稳定影响很大。

淤泥质壤土大部呈流塑 - 软塑状态,局部为可塑,分布在 1.16 ~ - 23.95 m 高程范围,平均厚度 5.45 m,压缩模量 2.7 ~ 2.9 MPa,属高压缩性土,承载力特征值 70 kPa,承载力较低。壤土呈少含或不含淤泥质,但大部也呈软塑状态,局部为可塑,分布在高程 0.96 ~ - 30.79 m 范围,层厚 0.5 ~ 18.4 m,平均厚度 6.27 m,压缩模量 2.9 ~ 3.5 MPa,属高压缩性,承载力特征值 80 kPa,承载力值较低<sup>[5,10]</sup>。

上述两种土质具有含水量高,孔隙比大,承载力低的工程特性,易产生压缩沉降变形,抗滑稳定性较差,对建筑物稳定十分不利。同时该土层力学强度较弱,遇强震时有震陷的可能,应考虑软土震陷的影响。因此,该地层不宜作为建筑物天然地基,应采取适当的措施进行加固处理,改善其物理力学性质,以满足建筑物沉降变形和抗滑稳定要求。根据区内软土的分布特点和工程特性,可结合砂性土液化问题采取预压法、强夯法、振冲碎石桩法、水泥土搅拌桩法等方法加固地基,或采用多种方法相结合的综合地基处理措施<sup>[6]</sup>。

3.2 砂性土液化

工程区地处 7 度地震基本烈度区,建筑物地基中的砂性土(指粉砂和砂壤土)处于饱和状态,有发生液化的可能。根据建筑抗震设计规范<sup>[7]</sup>,对埋深在 15 m 以上的砂土层进行了初判、详判和分析计算,过程如下。

液化判别标准贯入锤击数临界值采用以下公式:

$$N_{cr} = N_0 [0.9 + 0.1(d_s - d_w)] \sqrt{\frac{30}{\rho_c}}$$

式中:  $N_{cr}$  —液化判别临界贯入击数;  $N_0$  —液化判别标准贯入击数基准值,取值为 8;  $d_s$  —标准贯入点埋深(m);  $d_w$  —地下水位深度(m);  $\rho_c$  —土的黏粒含量百分率,当  $\rho_c < 3\%$  或为砂土时,取值 3%;  $N_{63.5}$  —实测标贯击数;判定标准:当  $N_{63.5} > N_{cr}$  时不液化;当  $N_{63.5} < N_{cr}$  时液化。

判别结果,大部为中等液化,局部为严重液化,个别地段为轻微液化。轻微等级的液化指数 0.71 ~ 1.93,中等等级的液化指数 5.74 ~ 14.8,严重等级的液化指数 15.46 ~ 20.91。液化砂性土的分布范围见表 2。

表 2 液化砂性土分布范围

钻孔液化等级	钻孔编号	岩性	砂性土埋深/ m	砂性土高程范围/ m
轻微	BK3	粉砂	4.0 ~ 11.6	0.24 ~ - 7.36
	BK5	粉砂	4.2 ~ 11.8	0.07 ~ - 7.53
	XK10	粉砂	3.5 ~ 8.5	1.23 ~ - 3.77
中等	XK2	砂壤土	5.6 ~ 10.7	- 1.18 ~ - 6.28
	XK4	粉砂	6.1 ~ 11.5	- 1.79 ~ - 7.19
	XK8	粉砂	4.2 ~ 11.9	0.26 ~ - 7.44
	XK12	粉砂	4.5 ~ 6.0	- 0.04 ~ - 1.54
严重	XK3	砂壤土	3.9 ~ 6.1	0.43 ~ - 1.77
	XK11	粉砂	3.5 ~ 6.7	1.06 ~ - 2.14

从上表可以看出,工程区内可能发生液化的砂性土埋深范围在 3.5 ~ 11.9 m 之间,高程在 1.23 ~ - 7.53 m 以内。从地层岩性区分,发生液化的既有粉砂层,也有砂壤土层。从场区总体考虑,当发生地震液化时以上部位的砂性土首先产生破坏,从而引起临近砂性土的应力产生变化,可能会导致整个场区砂性土的破坏。砂性土液化虽在特定组合条件下发生,但是一旦发生则破坏严重,从建筑物的长期安全运行考虑应引起足够重视。建议对地基砂性土采取适当的抗液化措施,设计时可结合地基承载力低的问题对砂土层进行综合处理。

3.3 边坡稳定及施工排水

蓄水池基坑边坡由人工吹填土及全新统海相层顶部的粉砂、淤泥质壤土、壤土等岩性组成,土体结构疏松,边坡稳定性差,尤其吹填土中存在未消散海水,地下水埋藏浅,对边坡稳定十分不利,应予以重视。

地下水位高于基础设计高程 3~5 m,施工期应布置好排水系统,预降地下水位,保障施工干场作业。建议采取全断面防渗措施,防止蓄水渗漏或海水倒渗污染供水水质。

4 工程地质评价

蓄水池围堤坐落在人工吹填土上,下部为海相沉积层。人工吹填土结构疏松,压缩模量 3 MPa,属高压缩性土,抗变形能力较弱,承载力较低为 60 kPa<sup>[11]</sup>。海相沉积层的淤泥质壤土、壤土压缩模量 2.7~2.9 MPa,属高压缩性土,抗变形能力较弱,承载力较低为 70~80 kPa。粉砂压缩模量 5 MPa,属中高压缩性土,承载力 110 kPa,承载力虽高些,但存在液化问题。因此人工吹填土和海相层的工程地质条件较差,不宜直接作为基础持力层,应通过地基处理措施改善其物理力学性质,满足基础稳定要求。海相层以下的第四系上更新统陆相沉积的壤土、砂壤土和粉砂,承载力 120~140 kPa,是区内较理想的基础持力层<sup>[12]</sup>。

池区设计底高程约 0.0 m,池底坐落于海相层的淤泥质壤土和壤土上,局部位于粉砂层上。蓄水池基坑巨大,边坡由人工吹填土和海相层的壤土、淤泥质壤土、砂壤土、粉砂等组成,边坡稳定性较差。地下水对施工影响较大,施工期应布置好排水系统,预降地下水位。

蓄水池地基中的砂性土液化指数 1.93~20.91,液化等

级轻微~严重。从液化程度来看,大部为中等液化,局部为严重液化,个别地段为轻微液化。建议采取适当的抗液化措施,可结合提高地基承载力采取强夯、振冲碎石桩措施对砂土层进行综合处理。

场区地下水为高矿化水(盐水),对普通水泥有硫酸镁型弱腐蚀、硫酸盐型强腐蚀性,对抗硫酸盐水泥无腐蚀性。对钢筋混凝土结构中的钢筋,在长期浸水条件下具有弱腐蚀性,在干湿交替条件下具有强腐蚀性。对钢结构具有中等腐蚀性<sup>[8]</sup>。建议采用抗硫酸盐水泥,对蓄水池全断面采取防渗措施,防止地下水污染池水。

参考文献:

[1] 河北省地质矿产局. 河北省北京市天津市区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1989.  
[2] SL 188-2005,堤防工程地质勘察规程[S].  
[3] GB 18306-2001,中国地震动参数区划图[S].  
[4] 李明良. 河北省京津以南平原区地面沉降机理及其防治对策[J]. 南水北调与水利科技,2006,4(1):52-53.  
[5] GB 50007-2002,建筑地基基础设计规范[S].  
[6] JGJ 79-2002,建筑地基处理技术规范[S].  
[7] GB 50011-2001,建筑抗震设计规范[S].  
[8] GB 50487-2008,水利水电工程地质勘察规范[S].  
[9] SL 237-1999,土工试验规程[S].  
[10] J TJ 240-97,港口工程地质勘察规范[S].  
[11] 温海燕,时振阁. 曹妃甸工业区主水源供水保证分析[J]. 南水北调与水利科技,2006,4(Z1):43-45.  
[12] 何运龙. 西会埭湖心岛边坡防护工程地质条件及工程地质问题[J]. 南水北调与水利科技,2009,7(02):119-121.

·更正·

本刊 2010 年第 1 期第 100 页表 1 更正为:

表 1 河北省平原区主要农作物灌溉用水定额

作物	保证率	灌溉方式	m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>			
			太行山前平原区		燕山山前平原区	
			灌溉定额	灌水定额	灌溉定额	灌水定额
冬小麦	50 %	管 灌	1 200~1 350	600~675	1 800~2 025	600~675
		地面灌	1 350~1 500	675~750	2 025~2 250	675~750
	75 %	管 灌	1 800~2 025	600~675	2 400~2 700	600~675
		地面灌	2 025~2 250	675~750	2 700~3 000	675~750
夏玉米	50 %	管 灌	600~675	600~675	600~675	600~675
		地面灌	675~750	675~750	675~750	675~750
	75 %	管 灌	1 200~1 350	600~675	1 200~1 350	600~675
		地面灌	1 350~1 500	675~750	1 350~1 500	675~750
夏播棉	50 %	管 灌	675~750	600~675		
		地面灌	675~750	675~750		
	75 %	管 灌	1 200~1 350	600~675		
		地面灌	1 350~1 500	675~750		
春播棉	50 %	管 灌	600~675	600~675		
		地面灌	675~750	675~750		
	75 %	管 灌	1 200~1 350	600~675		
		地面灌	1 350~1 500	675~750		
综合灌溉定额	50 %		2 700~3 000		2 100~2 400	
	75 %		3 300~3 600		2 700~3 300	