

平原水库提高蓄水深度的研究

马俊德

(胜利石油管理局,山东 东营 257099)

摘要:从坝体坝基应力、变形、稳定和渗流控制方面研究了提高平原水库蓄水深度的可能性.研究证实,在黄河河口冲积和海相沉积的软弱地基上对坝基不作全面处理,而使蓄水深度大幅度提高是完全可行的.研究成果可供平原水库规划设计参考.

关键词:平原水库;蓄水深度;围坝;应力水平;允许沉降

中图分类号:TV697 文献标识码:A 文章编号:1000-1980(2002)04-0082-03

黄河下游和滨海地区建有不少为供水和灌溉用的平原水库,这些平原水库是在平地上四面筑坝围成.筑坝地区工程地质条件较差,受软弱地基的限制,坝一般不高,水库蓄水浅.

平原水库的技术经济指标主要取决于坝型、设计供水量和蓄水深度 H . 由于坝基软弱,坝型均采用就地取土填筑的土坝,当筑坝土料的渗透特性不能满足防渗要求时,可铺设土工塑膜或复合土工膜作为防渗体,其典型剖面如图 1. 在设计供水量确定的条件下, H 是决定坝高 H_d 、坝长 L 、占地面积 A 、库面蒸发损失 W_{ev} 等技术指标的关键参数. 已建平原水库坝低水浅,致使占地相当可观,库面蒸发损失相当大,如胜利油田广南水库,库容 $V = 1.14$ 亿 m^3 , $H = 4$ m, $L = 24.64$ km, $A = 39$ km 2 , W_{ev} 达 0.3 亿 m^3 , 占总库容的 26.5%. 土地是不可再生资源,水库占地是不能重复利用的. 我国是水资源短缺的国家,尤其在北方,水是极为宝贵的资源. 节地、节水应该是平原水库规划设计中首要考虑的问题. 提高平原水库的 H 可以大大减小 A , L 和 W_{ev} , 不但可以改善水库建设的技术经济指标,而且可以合理利用当地水资源和土地资源. 如胜利油田纯化水库, $V = 3340$ 万 m^3 . 若 $H = 4$ m 则 $A = 9.2$ km 2 , $W_{ev} = 800$ 万 m^3 ; 若 $H = 8.5$ m 则 $A = 3.45$ km 2 , $W_{ev} = 350$ 万 m^3 . 可见节地节水效果明显. 因此,研究平原水库合理的蓄水深度是一项意义重大的课题.

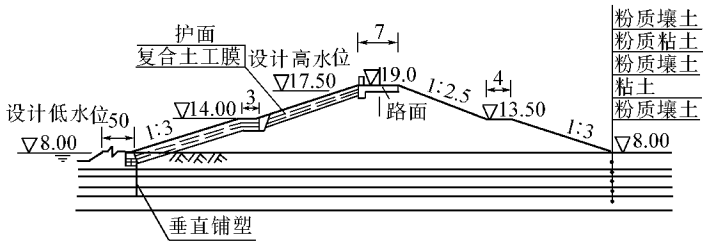


图 1 纯化水库围坝标准剖面图(单位:m)

Fig.1 Cross section of embankment of Chunhua Reservoir

1 提高蓄水深度的控制标准

平原水库的围坝高度受坝基工程地质条件的限制,以往设计一般均简单地以经验的地基承载能力来确定坝高.黄河河口地区近期沉积的粉质壤土和粘土,一般承载能力标准值为 70 ~ 100 kPa,因而水库蓄水深度被限制在 4 ~ 6 m.

黄河河口冲积和海相沉积巨厚地层的土层分布一般为粉质壤土或粉质砂壤土、粉质粘土或粘土的互层,各层厚度在 1 ~ 6 m 左右,其浅层土体的物理力学性质甚差.在这样的地基上建坝,水库蓄水深度能否提高以及能提高多少,需要认真研究.研究以下列标准控制:

- a. 以坝基不作全面加固处理为原则 ,若全面加固坝基 ,费用太高 ,经济性不够合理.
- b. 为保证坝基、坝身安全 ,以不出现拉应力、压应力水平 $S_L \leq 0.8$ 控制. S_L 以下式表达

$$S_L = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)(1 - \sin \varphi)}{2C \cos \varphi + 2\sigma_3 \sin \varphi}$$

式中 : σ_1, σ_3 ——最大、最小主应力 ; C, φ ——土的粘聚力和内摩擦角. 该式反映了非线性应力应变关系条件下土体中各点应力状态与抗剪强度之间的关系. 当 $S_L = 1$ 时 ,按摩尔-库伦破坏准则 ,土体处于临界破坏状态 ;当 $S_L < 1$ 时表示土体未被剪切破坏.

c. 坝体坝基沉降量的控制. 软弱土基上修建水工建筑物 ,沉降是不可避免的 ,允许沉降量则有不同规定. 按《碾压式土石坝设计规范(SDJ218—84)》规定 :竣工后总沉降量(包括坝体和坝基)一般不宜大于坝高的 1% .《堤防工程设计规范(GB50286—98)》规定预留沉降量为堤高的 3% ~ 8% . 顾淦臣先生建议施工期沉降量应不大于坝高的 3% ,运行期沉降量不超过坝高的 1% ~ 1.5% . 有些实际工程的沉降量达到坝高的 10% 左右仍能安全运行 ,如胜利油田孤东水库围坝最大沉降量 59 cm ,为坝高的 8.4% . 因此 ,本项研究对施工期沉降量不加控制 ,以控制坝体填筑上升速率来保证施工期的坝基坝体稳定 ,竣工后坝基坝体总沉降量以不大于 1.5% 控制.

d. 允许渗流水力坡降的控制. 巨厚河积海积层的浅层粉质壤土既是坝基土 ,也是筑坝土料 ,其粘粒含量一般在 10% 以下 ,粉粒含量达 60% ~ 80% ,按照《水利水电工程地质勘察规范(GB50287—99)》附录 M ,管涌型允许水力坡降 $J_a = 0.1 \sim 0.2$. 山东省水利科学研究所曾对胜利油田孤东水库进行研究 ,建议粉质壤土 $J_a = 0.08 \sim 0.10$,因此这里将允许出逸坡降值定为 $J_a = 0.10$. 坝基的流土允许坡降值根据渗透破坏试验成果拟订为 $J_a = 0.326$.

按照上列控制标准 ,对坝基坝体的静动力应力变形、稳定和渗流状态进行分析 ,以论证在软弱坝基上修建平原水库的合理蓄水深度.

2 研究方法和应用实例

2.1 研究方法

坝体坝基的静动力应力变形分析利用非线性静动力有限元分析程序对典型坝体剖面进行仿真模拟 ,模拟计算坝体分层填筑至竣工、蓄水运行并发生设防烈度地震的各阶段坝基坝体的应力、变形和应力水平分布 ,以及地震的动力响应、地震引起的超静孔隙水压力分布 ,从而对坝基坝体中出现塑性区、裂缝以及地震液化的可能性作出分析和判断. 对不同防渗布置方案进行渗流有限元分析 ,以确定合理的防渗布置方案. 稳定分析采用简化 Bishop 法对竣工期、稳定渗流期和设防地震烈度的工况进行坝体坝基抗滑稳定性分析 ,并以土工离心模型试验进行验证.

2.2 实例

胜利油田筹建纯化水库时对提高水库蓄水深度问题进行了研究. 研究按上述控制标准和方法对纯化水库围坝进行了全面计算分析. 纯化水库围坝的标准剖面见图 1. 典型的沉降、应力水平等值线如图 2、3.

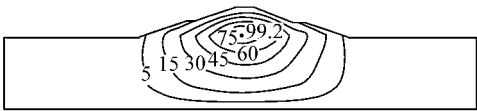


图 2 蓄水期沉降等值线(cm)

Fig.2 Isoleth of settlement during storage period

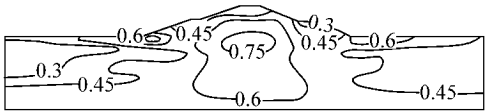


图 3 蓄水期应力水平等值线

Fig.3 Isoleth of stress level during storage period

应力变形分析的结果汇总如表 1. 坝体坝基固结后的最终最大沉降量为 106.5 cm ,遇 7 度地震时坝顶附加沉降 1.2 cm ,地震超静孔隙水压力最大值为 9.8 kPa ,该值甚小 ,无液化区出现. 计算表明坝体坝基中未出现拉应力 ,应力水平大多小于 0.75 ,只在上下游坝脚地基中有一范围极小的区域 $S_L \geq 0.9$. 这是未考虑土体塑性的结果 ,可以排除出现剪切破坏区的可能性. 计算得到总沉降量由施工期、蓄水期、固结沉降 3 部分组成 ,最大总沉降量虽然达到 106.5 cm ,但施工期沉降占 85.8% ,竣工后的总沉降量相当于坝高的 1.26% ,满足不超过坝高 1.5% 的要求.

表 1 应力变形分析成果

Table 1 Results of stress and deformation analysis

工况	坝体坝基最大沉降量 /cm	坝基最大沉降量 /cm	上游最大水平位移 /cm	下游最大水平位移 /cm	σ_{1max}	σ_{3max}	S_{Lmax}
竣工期	91.4	84.2	19.3	22.5	331.9	186.8	0.9
蓄水期	99.2	91.1	20.1	23.4	344.8	194.9	0.9

渗流分析结果证实,对上游坡铺土工膜、下接坝基垂直铺塑达到粘土相对不透水层的完整防渗体系,可保证渗流控制安全.

抗滑稳定分析成果说明,各种工况下坝坡抗滑稳定安全系数 K 均大于 1.26,满足要求.但各种工况下滑弧均通过下卧的软弱粘土层,该层的埋深、性状在论证中应给予特别重视.

两个坝体剖面的土工离心模型试验证实,坝体坝基稳定安全度大于 1.3,模型坝基面最大变形 0.6~0.7 cm,换算至原型约 1 m,与数值分析成果基本相同.试验中模型坝基坝体未出现稳定破坏现象.

研究成果说明,纯化水库蓄水深度达到 9.5 m,相应的最大坝高约 11.5 m,坝体坝基的应力、变形、稳定、渗流控制的安全性均能得到保证.该水库 1998 年 11 月开工,1999 年 10 月坝体填筑完成,2000 年 11 月工程竣工蓄水,至今运行良好.施工期实测坝体坝基沉降量 88.3 cm,与计算结果 91.42 cm 极为相近.

3 结 语

a. 平原水库的蓄水深度 H 是决定工程技术经济指标的关键参数.已建一些软弱地基上水库的 $H=4\sim6$ m,蓄水深度偏小.提高蓄水深度可以大大减少占地面积和库面蒸发损失水量,缩短围坝长度和改善供水水质,节地、节水效果明显.因而提高蓄水深度可以给平原水库建设带来巨大的社会效益和经济效益.

b. 研究表明,在黄河河口冲积和海相沉积的软弱地基上修建平原水库,在对坝基不做全面加固处理的条件下,只要精心设计、精心施工,可以将蓄水深度提高到 9.5 m,相应的坝高约 11.5 m,其围坝的应力、变形、稳定、渗流控制的安全性能得到保证.纯化水库的顺利建成证明了这一点.

c. 研究成果可供类似地基上建设平原水库参考.已建坝低水浅的平原水库,在必要时可据此增高扩容,以提高水库的使用效率.

Study on feasibility of increase of water-storage depth for plain reservoirs

MA Jun-de

(Shengli Petroleum Administrative Bureau , Dongying 257099 , China)

Abstract :Based on the analysis of stress ,deformation ,and stability of and control of seepage from dam bodies and dam foundations ,the feasibility of increase of water-storage depth of plain reservoirs is studied. The research shows that ,without comprehensive treatment of dam foundations ,it is feasible to greatly increase the depth of water-storage on soft soil foundations formed by alluviation at the Yellow River Estuary and marine deposition. The result is of a certain reference value to design and planning of plain reservoirs.

Key words :plain reservoir ; water-storage depth ; polder dyke ; stress level ; allowable settlement