维普资讯 http://www.cqvip.com

永定河滞洪水库工程地质分析

(1)
31-35
P642
TV873+.2

北京市水利规划设计研究院　郭铁柱

[摘　要]　通过收集资料和地质勘察，对永定河滞洪水库存在的主要工程地质问题进行分析评价。认为水库以暂时性渗漏为主，各建筑物基础均为细砂层，当地震烈度为8°，砂层饱和状态时将发生液化危害，需地基处理。且由碱活性试验砂浆棒检测法可知，砂砾料属可能具有潜在碱活性危害。

[关键词]　工程地质；分析；永定河滞洪水库

永定河是北京西部主要排洪河道，是首都防洪的关键。为控制山峡洪水，拟利用永定河卢沟桥以下的稻田、马厂段滩地开阔的地形条件，修建滞洪水库。上库为稻田水库，起自大宁水库副坝左岸，下至永立桥。右侧为永定河右堤，左侧为沿永定河右侧治导线新建大堤，库底高程48.00 m，库容3008万m³。下库为马厂水库，上游与稻田水库的连通闸相接下至老三坝，水库右侧为永定河右堤，左侧为沿治导线新建大堤，库底高程47.00 m，库容1381万m³；两库总库容4389万m³。主要建筑物包括小清河分洪闸扩建、进水闸、连通闸和退水闸。对永定河滞洪水库勘察工作共分两个阶段进行。可研阶段从1998年8月底开始，1998年9月底结束，通过收集资料和工程地质勘察，对存在的主要工程地质问题进行了初步评价。对建库所需天然建筑材料进行了初查，初设阶段从1999年4月初开始，1999年8月底结束。基本查明了库区、坝(闸)址区工程地质条件及各土体的物理力学性质。

1　区域地质概况

永定河滞洪水库所在区域属山前沉降型平原河谷地貌，永定河全新世以来在场区附近多次摆动、改道，至公元1698年筑成系统堤防后，方被挟制于堤内。

永定河左堤以东为永定河冲积平原，地势由北向南逐渐降低，地面高程49.0～42.0 m，局部有采砂坑，坑中填有人工垃圾。永定河右堤以西至高佃、稻田、高陵、小马厂一带为永定河与小清河间之河间地块，地势北高南低，地面高程56.0～43.0 m。永定河大堤内为永定河现漫滩及河床，滞洪水库即建在永定河右侧河漫滩上，漫滩由河床向西侧逐渐升高，地势总体平缓，地面高程46.60～57.04 m，地表有风成砂垅、砂丘。主河床原地貌已被人工开采破坏，地面高程相差较大，局部残留弧丘。

根据区域地质资料，地质测绘及地质勘探成果显示，库区内均被第四系冲洪积层所覆盖，下伏早第三系粘土岩及碎屑岩。库区钻孔揭露的地层主要为第四系全新统冲洪积物。自上而下共分四层。

(1)细砂层：黄色，稍密—中密，分布于现永定河两岸漫滩顶部，厚度1～8 m。

(2)中砂层：黄色，中密—密实，该层在马厂库区厚度较大，分布于细砂层下部，一般厚度5～14 m。

(3)壤土层：黄褐色，可塑，分布于库区中砂层下部，局部不连续，最大厚度20.10 m，向上游逐渐变薄，至稻田水库中段左岸处尖灭。

(4)卵砾石层：杂色，磨圆较好，分选一般，成份以辉绿岩为主，灰岩等为副，粒径2～5 cm，充填有中细砂，局部夹粗砂，砂壤土薄层。该层向下游埋深逐渐增大，且在稻田水库左侧永定河主河床处被人工开采大面积出露。

来自洪水期，所以本文在滞洪水库水文分析的基础上，主要对滞洪水库不同频率洪水泥沙淤积情况进行分析。通过上述计算分析可以看出，滞洪水库100年一遇洪水，大库方案淤积量为2000多万m³，而旁侧库方案大部分来沙量由永定河干流下泄，100年一遇淤积在库内的沙量约为780万m³，与大库方案比较淤积量较少，通过机械清淤，可保持防洪库容长期使用。因此，从解决滞洪水库泥沙问题方面考虑，论证推荐的旁侧库方案优于大库方案。

维普资讯 http://www.cqvip.com

工程区位于中朝淮地台、华北迭断陷，坨里—丰台迭凹陷内，近场区存在有黄庄—高丽营断裂、八宝山断裂，永定河断裂，前门—良乡断裂，南苑—通县断裂，良乡北断裂。但第四纪以来断裂活动强度很低，活动时代较早，多为早、中更新世。仅黄庄—高丽营断裂的芦井—晓幼营段(长达15 km)晚更新世时期仍有明显活动，其最晚一次活动时代为晚更新世末—全新世初，该断裂是工程活断层，其产状为：走向北东45°～55°，倾向南东，倾角70°～80°，具走滑正断活动性、晚更新世以来平均垂直活动速率为0.01 mm/a，它与库区的最近距离为8 km。

根据1990年国家地震局颁发的1/400万《中国地震烈度区划图（50年超越概率10%）》、工程区地震基本烈度为8°。

库区地下水补给主要来源于大气降水和侧向径流补给，近几年官厅水库放水，对沿河两岸补给也十分明显。

根据该区地层沉积特点，可将库区划分为基岩区、永定河和小清河三个水文地质单元。

永定河与小清河河间地段大宁至稻田村一带第三系(E_{2c})基岩隆起，大宁村北可见基岩出露地表。第三系基岩隆起东侧为永定河水文地质单元，沉积地层为第四系冲洪积层($al\text{-}plQ_4$)，表层为中细砂层，厚度7.4～15.6 m，主要分布在稻田和马厂水库一带。基岩隆起西侧为小清河水文地质单元，沉积地层为第四系冲洪积层($al\text{-}plQ_4$)，表层为砂壤土层，厚度2.0 m。

从稻田村向南第三系基岩沿滞洪水库右堤方向呈不连续分布，且向南基岩埋深增大。该区沉积地层分别为永定河、小清河第四系冲洪积层，河间地段沉积地层为两河交错沉积层。

小清河与永定河在大宁村至稻田村一带无水力联系，第三系隆起的基岩成为该地区两河的分水岭。但到了稻田村以南地区，由于河床的冲刷和沉积，两河河间地段无连续的分水岭，地下水等水位线连成一体，两河间水力联系密切。总体流向由西北向东南。

库区含水层主要由第四系全新统冲洪积($al\text{-}plQ_4$)中细砂、砾石、卵石组成；相对隔水层主要为第三系(E_{2c})基岩及第四系全新统冲洪积($al\text{-}plQ_4$)壤土及砂壤土。地下水类型以孔隙水为主，局部基岩出露地区为孔隙裂隙水。基岩区地下水高程46.0 m左右，向南地下水水位逐渐降低为45.0 m左右，地下水总体流动趋势为由北向南，至库区下游，地下水高程降至35.0 m。

小清河地下水流动方向为由北向南，水力坡度为2‰。永定河地下水流动方向由西北向东南，水力坡度为1.5‰。稻田向南，两河间无连续的分水岭，该段小清河流域地下水水位高于永定河流域地下水水位。由此可见，小清河地下水补给永定河地下水，且总体流动方向为由西北向东南，其水力坡度1‰。

库区地下水分为两层：第一层地下水赋存于中部砾石层中，库内及左堤外地下水埋深大，水位高程36.0～37.0 m，普遍低于上覆隔水层顶板；右堤～小清河一带，除连通闸以西马厂村～西营村一带中部含水层顶板较高，该层地下水不具承压性外，含水层上部普遍覆盖一层相对隔水层，该层地下水在此区具承压性，承压水头1.5～3.5 m，最高可达6.7 m。承压水头总体上西高东低。第二层地下水赋存于下部卵石层中，为承压水，滞洪水库上部埋深在20.0 m左右，在退水闸一带，埋深加大至24.0 m左右。承压水头6.0～12.0 m，局部地段高达16.0 m。承压水头高程：稻田水库区平均约为36.0 m，马厂水库区平均约为34.0 m。该层承压水补给方向亦为小清河至永定河，流动方向由西北向东南。

根据收集的库区地下水观测资料，稻田水库区1998年最高地下水位43.39 m，最低地下水位41.14 m，年变幅2.25 m；马厂水库区1998年最高地下水位32.47 m，最低地下水位31.26 m，年变幅1.21 m。由此可见，滞洪水库区1998年地下水年变幅2.0～3.0 m。

区内地下水无色、无味、无嗅、透明、pH值8.14，为弱碱性水，水质较好，水化学特性为HCO^-_3—Ca^{2+}—Mg^{2+}型水，矿化度0.65 g/L，硬度较高为26德国度，属极硬水，受地下水超采和电厂排水的影响，C^-_1和SO^{2-}_4的含量较高。地下水对混凝土无腐蚀性。

2　水库区的主要工程地质问题

2.1　库区渗漏

库区渗漏有暂时性渗漏和永久性渗漏两种。滞洪水库是用于滞洪而不长期蓄水，库水滞留时间最长不超过10 d，洪峰过后，库水即刻下泻，因此水库渗漏主要为暂时性渗漏，渗漏量估算可简化为库底垂向入渗和向两岸库外渗漏两部分。库底渗漏量按下式计算：

$$Q = Fh_0\mu$$

式中：F—库底面积(m^2)；

h_0—从库底到潜水位的深度或当无潜水时，从库底到隔水层的深度(m)；

μ—饱和差。

计算结果库底暂时性渗漏量为1330.7万m^3。

当库底地下水位以上的土体孔隙被垂直下渗的库水基本饱和以后，库水将沿两岸向库外渗漏，由水库设计库容减去库底暂时性渗漏量即为水库内所剩库容，由库容—水位关系可知库底饱和后库内库水位。

稻田水库设计库容为3008.0万m^3，饱和库底后剩余库容为2417.2万m^3，查库容—水位关系，库水位为52.5 m，库

维普资讯 http://www.cqvip.com

内水深约4.5 m。

马厂水库设计库容为1381.0万 m^3，饱和库底后剩余库容为641.1万 m^3，查库容—水位关系，库水位为48.6 m，库内水深约1.6 m。

由设计部门提供资料，洪水入库后，滞洪时间最长为10 d，根据地下水渗流理论，10 d后水库渗漏迴水范围由下式计算：

$$L=4\sqrt{at}，其中 a=\frac{KM}{\mu}，则 L=4\sqrt{\frac{KMt}{\mu}}$$

式中：L—t d迴水范围(m)；

a—传导系数；

M—平均含水层厚度(m)；

K—渗透系数(m/d)；

t—迴水时间(d)。

由库内向库外渗漏的主要地层为中细砂、砾石及砂壤土层，采用下式计算漏水段单宽渗漏量 q(m^3/d·m)：

$$q=K\frac{H_1-H_2}{L}\cdot\frac{M_1+M_2}{2}$$

$$Q=B\cdot q$$

式中：M_1—库内含水层厚度(m)；

M_2—库外含水层厚度(m)；

H_1—水库水位(m)；

H_2—库外地下水水位(m)；

Q—渗漏量(万 m^3/d)；

B—漏水段长度(m)。

计算中，根据过水断面的不同，分段进行计算。根据野外渗水试验、室内试验成果及经验数据，经综合考虑，中细砂及砾石层渗透系数取值50 m/d，砾石层渗透系数取值75 m/d。由计算结果，稻田水库右岸渗漏量为0.20万 m^3/d，左岸渗漏量为26.2万 m^3/d。马厂水库右岸渗漏量为3.8万 m^3/d，左岸渗漏量为1.8万 m^3/d。总渗漏量为32.0万 m^3/d。

2.2　库区浸没计算分析

水库蓄水后，库区周围土体浸润、饱和形成地下水水位上升，大量的库水源源不断地渗漏，是引起地下水浸没的先决条件，当地下水在径流区的下游无良好排泄出路时，或当库区周围地下水深度小于土体的毛细上升高度与安全超高时，便有可能产生地下水浸没。

对本水库而言，由于滞洪水库在库内滞洪时间不超过10 d，由前计算，水库右堤10 d的迴水长度仅在马厂～小马厂村北(5820～9520 m)段超出右堤外，迴水距离为276.3 m左右，该堤段沿中细砂向库外渗漏。经计算，右堤外堤脚处渗漏后水位达44.5 m左右，该水位上覆土层为砂壤土，其毛细上升高度为2.0～3.0 m，安全超高为0.3～0.5 m，取保守值，地面高程在48.0 m之上，将不会出现浸没现象。马厂～小马厂村北一带地面高程均低于48.0 m，经计算，沿右堤堤脚外50～100 m范围内会出现暂时性浸没现象，范围约0.27 km^2。

2.3　库岸稳定

水库两岸均为人工堤防，堤高6～8 m，边坡值1:4.5，已按稳定边坡核算，因此不存在塌岸问题。堤基为细砂层，抗冲刷能力较差，须采取防冲刷措施。

根据《水利水电工程地质勘察规范》(GB50287－99)附录M，流土和管涌应根据的细粒含量采用下列方法判定。

(1)流土　$Pc>\frac{1}{4(1-n)}\times 100$

(2)管涌　$Pc<\frac{1}{4(1-n)}\times 100$

式中：Pc—土的细颗粒含量，以重量百分比率计(54)；

n—土的孔隙率(0.50)。

通过计算　$\frac{1}{4(1-n)}\times 100=50$

$Pc=54$，$Pc>\frac{1}{4(1-n)}\times 100$

细砂层渗透破坏类型为流土。

根据土的物理指标，按下列公式计算细砂层临界水力坡降 $J_{临}$：

$$J_{临}=\frac{Gs-1}{1+e}$$

式中：Gs—土的比重(取最小值2.62)；

e—土的孔隙比(取最大值0.99)。

得出细砂层临界水力坡降 $J_{临}=0.81$，安全系数为2，允许水力坡降为0.4左右。

综上所述，永定河滞洪水库在正常蓄水情况下，堤基细砂层发生流土破坏的临界水力坡降 $J_{临}=0.81$。允许水力坡降可按0.4考虑。

3　各建筑物的主要工程地质问题

3.1　地震液化

工程区地震基本烈度为8°，判定结果全新统细砂层在饱水情况下地震烈度为8°时，可能产生液化危害。存在液化问题的主要建筑物有连通闸、退水闸、新建左堤，液化深度见表1、表2。

3.2　渗透稳定

根据《水利水电工程地质勘察规范》(GB50287－99)附录M，进水闸基础砾石层可能发生管涌破坏，其允许水力坡降为0.10～0.20；连通闸和退水闸闸基土层为中、细砂，在正常蓄水情况下，可能发生流土破坏，通过分析计算，细砂层

维普资讯 http://www.cqvip.com

表1　闸基液化深度一览表

建筑物名称	液化土层岩性	液化底高程(m)	液化深度(m)
连通闸	细砂	43.00	6.00~8.00
退水闸	中砂	38.50	6.50~8.50

表2　滞洪水库左堤液化土层分段一览表

桩号	液化段长度(m)	液化土层岩性	液化底高程(m)	液化深度(m)
0+360~1+000	640	中砂	52.50	3.50
1+000~1+680	680	中砂	50.10	6.00
2+840~4+240	1400	细砂	47.80~49.66	4~5
4+240~6+560	2320	细砂	42.80~46.17	5~6
6+560~7+120	560	细砂	45.60~46.82	3~4
7+120~10+480	3360	细砂	41.51~45.64	4~5

时，河道中洪水水位为54.0 m。当河道流量超过2500 m^3/s后，洪水分流入滞洪水库。通过计算，稻田水库左岸反渗量为20.96万m^3/d；马厂水库左岸反渗量为6.77万m^3/d。河道洪水反渗仅补给地下水，在24 h时段内，地下水位低于库底高程，对滞洪水库库容不存在影响。

4　天然建筑材料

料场为整个库区开挖范围，地层岩性稻田库上游具上砂下砾及马厂库区范围内具上砂、下粘性土的特点，属第四系全新统冲洪积地层。稻田库区内细砂层厚度自上游至下游为4.5~9.0 m、马厂库区开挖范围内均为细砂层厚度6~10 m。砂成份以长石、石英为主，含少量云母及暗色矿物，层间夹有砾石薄层；稻田库区在靠近大宁一带下层卵砾石厚度大于7 m，成份以辉绿岩、安山岩及凝灰岩等为主，灰岩、泥岩为辅，磨圆较好，分选一般，充填中细砂，局部夹泥。试验成果与规范指标对比见表3、表4及表5。

表3　混凝土用粗骨料试验指标与规范标准对比表

项目	干松容重(t/m^3)	比重	含泥量(%)	软弱颗粒含量(%)	针片状颗粒含量(%)	粒度模数	活性骨料含量	硫酸盐及硫化物含量(换算成SO_3)(%)	有机质含量(比色)
试验指标(下层)	1.74	2.69	2.1	1.98	1.75	6.93		<0.5	浅于标准色
规范标准	>1.60	>2.60	<1	<5	<15	6.25~8.30		<0.5	浅于标准色

表4　混凝土用细骨料试验指标与规范标准对比表

项目		干松容重(t/m^3)	比重	含泥量(%)	平均粒径(mm)	粒度模数	云母含量(%)	膨胀率(%)	硫酸盐及硫化物含量(换算成SO_3)(%)	有机质含量(比色)	孔隙率(%)	活性骨料含量
试验指标	上层	1.44	2.68	4.5	0.29	1.21	0.2	0	0.22	浅于标准色	46.2	
	下层	1.48	2.69	4.2	0.34	2.00	0.4		0.42	浅于标准色		
规范标准		>1.50	>2.55	<3	0.36~0.50	2.5~3.5	<1	<5	<1	浅于标准色	<40	

表5　堤防填筑用砂料试验指标表

项目	紧密容重(t/m^3)	含泥量(%)	击实 最大干容重(t/m^3)	击实 最小干容重(t/m^3)	自然休止角(°)	内摩擦角(°)	渗透系数(cm/s)
上层	1.89	2.03	1.70	1.33	31.4	26.5	3.85×10^{-3}

$J_{临}=0.81$，中砂层$J_{临}=0.82$。安全系数为2，细砂、中砂允许水力坡降可按0.40考虑。

3.3　左岸反渗

根据设计提供的滞洪水库设计洪水过程线可知，100年一遇洪水过程约需20 h，永定河河道流量达到2500 m^3/s

根据规程要求对比试验成果，可以得出如下结论：

(1)混凝土用粗骨料质量、下层各项技术指标除含泥量偏高(2.1，应<1)外，其它指标均符合要求。

(2)混凝土用细骨料的比重，云母含量，硫酸盐、硫化物含量，以及有机质含量等项指标均能满足规程要求。由于0.60~0.15 mm粒组含量过高，级配较差，导致其平均粒径、粒度模数、干松容重等值偏低，孔隙率偏大，超出要求范围，含泥量指标超标。其中上层细骨料，上述指标偏差大；而下层细骨料，上述指标接近于标准值。以上问题需采用人工级配方法即添加机制砂或天然粗砂料，可改变

维普资讯 http://www.cqvip.com

表6　化学法碱活性试验结果

编号	产　地	C_{SiO_2} (mol/L)	δ_R (mol/L)	结　论
1#	农东砂石料厂（原状样砂子）	0.053	0.052	$\delta_R<0.070$, $C_{SiO_2}<0.035+\delta_R/2$ 评定为无潜在危害
2#	农东砂石料厂（砂子）	0.067	0.058	$\delta_R<0.070$, $C_{SiO_2}>0.035+\delta_R/2$ 可能存在碱活性危害，须进行砂浆棒法试验
3#	窑上第三砂石料厂（石子）	0.036	0.106	$\delta_R>0.070$, $C_{SiO_2}<\delta_R$ 评定为无潜在危害
4#	窑上第三砂石料厂（砂子）	0.027	0.054	$\delta_R<0.070$, $C_{SiO_2}<0.035+\delta_R/2$ 评定为无潜在危害
5#	长利砂石料厂（细石子）	0.032	0.112	$\delta_R>0.070$, $C_{SiO_2}<\delta_R$ 评定为无潜在危害
6#	长利砂石料厂（砂子）	0.031	0.067	$\delta_R<0.070$, $C_{SiO_2}<0.035+\delta_R/2$ 评定为无潜在危害
7#	长利砂石料厂（粗石子）	0.036	0.106	$\delta_R>0.070$, $C_{SiO_2}<\delta_R$ 评定为无潜在危害

结果及分析结果见表6。

(2) 砂浆棒检测法试验结果与分析。按照试件16 d的膨胀率将集料碱活性分为三类：

①膨胀率 $\varepsilon_t<0.10\%$，集料无潜在碱活性危害；

②膨胀率 $\varepsilon_t>0.20\%$，集料具有潜在碱活性危害；

③膨胀率 $0.10\%\leqslant\varepsilon_t\leqslant0.20\%$，集料可能具有潜在碱活性危害。

试验检测结果及分析结果见表7。

根据碱活性化学方法的试验检测结果，永定河滞洪水库上游附近河道的7个被检砂石料试样中，有6个(1#、3#、4#、5#、6#、7#)均属无潜在碱活性危害，唯有2#试样恰在临界状态而判定为可能存在碱活性危害。

表7　砂浆棒法碱活性试验结果

编号	产　地	9 d膨胀率 (%)	16 d膨胀率 (%)	结　论	备　注
1#	农东砂石料厂（原状样砂子）	0.14	0.26	具有潜在碱活性危害	试件无变形、无裂缝、表面无胶体物质
2#	农东砂石料厂（砂子）	0.11	0.24	具有潜在碱活性危害	试件无变形、无裂缝、表面无胶体物质
3#	窑上第三砂石料厂（石子）	0.12	0.17	可能具有潜在碱活性危害	试件无变形、无裂缝、表面无胶体物质
4#	窑上第三砂石料厂（砂子）	0.11	0.18	可能具有潜在碱活性危害	试件无变形、无裂缝、表面无胶体物质
5#	长利砂石料厂（细石子）	0.08	0.14	可能具有潜在碱活性危害	试件无变形、无裂缝、表面无胶体物质
6#	长利砂石料厂（砂子）	0.09	0.24	具有潜在碱活性危害	试件无变形、无裂缝、表面无胶体物质
7#	长利砂石料厂（粗石子）	0.07	0.16	可能具有潜在碱活性危害	试件无变形、无裂缝、表面无胶体物质

根据砂浆棒检测法试验结果，在7个被检试样中，有4个试样(3#、4#、5#、7#)的膨胀率在0.10%～0.20%之间，属可能具有潜在碱活性危害，另外3个试样(1#、2#、6#)的膨胀率均大于0.20%，属具有潜在碱活性危害。

5　结语

(1) 滞洪水库用于滞洪消峰，库水滞留时间短，水库以暂时性渗漏为主，在滞洪过程中，仅在马厂～小马厂村北一带，距右岸外堤脚50～100 m范围内会出现暂时性浸没现象，不会对周边环境造成危害。

(2) 各建筑物基础均为细砂层，当地震烈度为8°，同时砂层为饱和状态时，将发生液化危害，因此须进行地基处理消除液化。

(3) 各闸基及堤基均存在渗透变形问题。

(4) 混凝土用粗骨料除含泥量偏高外，质量能满足设计要求，细骨料中0.60～0.15 mm粒组含量过高，级配较差，平均粒径、粒度模数，干松容重，孔隙率等超出要求范围，需添加机制砂或天然粗砂才能使用。根据碱活性试验砂浆棒检测法结果，砂砾料属可能具有潜在碱活性危害。因此，对永定滞洪水库混凝土用粗、细骨料须作进一步的分析研究和论证。

配比，并降低含泥量。

本工程混凝土用料在库区开挖范围内，仅稻田水库进水闸下游1 km内第二层砂砾石层中，粗骨料可开采储量为24.67万 m^3，细骨料储量为13.01万 m^3。

本次对混凝土用粗、细骨料的碱活性做了专门试验论证。野外分不同地点共取了4组砂样和3组砾石样进行了室内试验检测。为增加试验结果的可靠性，采用了化学方法与砂浆棒检测法两种方法进行检测。

(1) 化学方法试验结果与分析。当试验结果出现以下两种情况的任一种时，则还应进行砂浆长度法试验。

① $\delta_R>0.070$，并 $C_{SiO_2}>\delta_R$；

② $\delta_R>0.070$，并 $C_{SiO_2}>0.035+\delta_R/2$。

如不出现上述情况，则可判定为无潜在危害。试验检测