

212216

水库坍岸研究

官厅水库坍岸研究小组著

水利电力出版社

2
04 官水

前 言

水庫蓄水后，由于水位抬高及风浪作用，在水庫运用水位范围内，岸壁土壤遭受破坏发生坍塌，又經风浪及沿岸水流作用，使庫岸发生再造作用。对水庫造成补充淤积，对沿岸地区造成破坏，影响到沿岸生产及交通的发展。

由于这个問題的重要性，在国家科学规划委员会的統一计划下，由一些学校科学研究單位和生产部門互相协作組織了对官厅水庫坍岸問題的研究。

为了总结一部分国内外已有的研究成果，我們决定編輯本書，其中包括苏联对于水庫坍岸問題研究的成果，以及与坍岸有关的风浪理論等，作为指导野外观测工作，及进一步进行深入研究的参考。

在党的建設社会主义总路綫的光輝照耀下，我国的各項建設正在飞跃前进，水利电力事业也在大力发展。

在黃土地区已經或將要修建大量的水庫。在設計阶段就必須研究坍岸对水庫沿岸地区发展以及对水庫淤积，水工建筑物的影响等問題。本書也提供了一些对水庫坍岸进行預报的方法。

我們希望，通过本書能对水庫坍岸問題有进一步的了解，以促使这一研究工作更快的取得丰富的成果，以解决当前生产实践的問題。

我們希望各方面同志多多予以批評和指导。

本書各篇編写人如下：

- | | |
|--------------------|-----|
| 1. 官厅水庫坍岸动态观测的初步分析 | 孙广忠 |
| 2. 关于水庫下游区坍岸預測方法問題 | 孙广忠 |
| 3. 波浪作用下岸灘演变問題 | 陈子霞 |
| 4. 风浪理論及其要素的計算 | 侯穆堂 |

官厅水庫坍岸問題研究小組 1958年8月

目 录

官厅水库坍岸动态观测的初步分析	3
一、緒言	3
二、区域自然条件特点	5
三、官厅水库坍岸过程、坍岸现象及坍岸作用因素	21
四、官厅水库风浪特性	26
五、庫岸变形量	37
六、坍岸发展预测	56
七、結語	62
关于水库下游区坍岸预测方法問題	64
一、緒言	64
二、水库坍岸研究概况	65
三、水库坍岸原因及影响坍岸速度与尺寸的因素	78
四、水库下游区坍岸预测方法	93
五、在已建水库中組織坍岸动态观测問題	113
参考文献	115
波浪作用下岸灘演变問題	117
一、概論	117
二、海岸地形及海岸水流	118
三、沿岸泥沙运动	127
四、岸灘演变問題	138
五、結語	151
参考文献	152
风浪理論及其要素的計算	153
一、緒言	153
二、风浪生成及其发育的主要阶段	154
三、深水原始波浪要素的計算	159
四、淺水波浪要素的計算	164
五、波浪的折射	184
六、結語	188
参考文献	189

官厅水庫坍岸动态觀測的初步分析

一、緒 言

官厅水庫于1951年10月开始动工修建，1953年汛期开始起攔洪作用，1955年7月下旬正式开始运用。

伴随着水庫蓄水，水位升高，岸壁发生大量崩坍。庫岸崩坍結果威胁着岸上已有的建筑物（水庫右岸丰沙鉄路綫及分布在岸上的村庄）的安全，使兩岸耕地面积不断地在减少，水庫淤积量逐年在增加。

1954年水利部苏联專家就曾建議过應該在官厅水庫組織坍岸觀測工作，水利部根据苏联專家的意見制定了“1954年官厅水庫岸緣变形測驗計劃及今后工作的意見書”。意見書中詳細的闡述了觀測工作的目的、任务及工作开展方法。意見書中規定測驗工作的目的为：

1. 研究和估算坍岸造成的补充淤积，以便修正庫容；
2. 积累資料研究和預測发生坍岸的情况和范围，为工程單位研究防护措施提出科学根据，并为其他水庫坍岸計算找出規律。

据此，意見書中指出，工作方法應該是全水庫普遍的定期进行觀測和研究由于水庫坍岸所造成的淤积及迭出有意义的断面重点的觀測，以探求坍岸变化的規律性。并詳細地提出了研究項目。

1954年曾由黃委会抽派測量队在全水庫区測設了205个坍岸觀測断面。1954及1955年曾进行了部分觀測工作。1956年初正式的在官厅水庫区水文試驗站設立了坍岸組專門进行这一觀測工作。

1956年5月大連工学院所聘請的苏联專家曾亲临官厅水庫进行过指导。專家指出，研究工作必須从水文及地質兩方面結合着进行。研究工作應該与科学研究机关密切配合。为了便于开展工作，必須制定出工作大綱，并推荐了測量波浪要素及水深的方法。

1957年5月在官厅水庫召开了“坍岸研究工作会议”。参加这次会议的單位有：水利部水文局、官厅水庫区水文实验站、大连工学院、南京水工研究所、北京大学、铁道部第三设计院及其他有关單位。会上通过了“官厅水庫坍岸野外观测工作大纲”，研究了各單位合作問題，并进行了学术性的报告。

经过几年来的探索，官厅水庫坍岸观测工作已经步入了正轨，目前确定坍岸动态观测重点地区为：北寨、辛寨子及施庄子3个。此外，在楊大人庄、定州营等地布設了定期观测剖面。重点地区除定期进行剖面测量工作外，并进行季度周期性岸緣变形測繪。在各重点地区布置有簡易的气候观测、波浪观测及水位观测，各地区的坍岸观测工作布置示于图1（見插頁）。

观测工作中岸形变化是用一般测量仪器进行的，波浪一般地区均用测波杆及周期观测，北寨地区并采用三点法观测（最近在試用电阻式电表观测）。此外，还进行了土質試驗及沿岸流速測量等工作。

经过2年多来的观测工作，已经取得了很多資料，为了：

1. 估計水庫蓄水至今由于坍岸所造成的水庫补充淤积量；
2. 研究坍岸作用所呈現的規律；
3. 利用已积累的資料对部分地区坍岸将来可能发展情况做出預測。

4. 进一步修正观测項目及工作方法等目的，在1957年11月至1958年2月3个月余時間內將所取得的資料进行了初步的整理与分析。

資料整理工作由中国科学院地質研究所孙广忠指导，参加整理的有官厅水庫区水文实验站張迺蘭、史玉礼、王光瑞及王树生等同志。此外，官厅水庫区水文实验站王开棣、中国科学院地質研究所陈从健等同志亦参加了部分工作。

在資料整理过程中官厅水庫水文实验站給与了大力的支持与帮助。

2年来官厅水庫坍岸观测工作集中地在定州营及丰沙綫铁路。

新8号桥至坝址范围内的水库下游区进行。因此，此次资料整理和分析亦只限制在此区域内。

由于观测时间极短，偶然性因素极多，故本文中所提出的一些资料不能做为一般性的，它可能存在着很大的局限性，在此应当加以指出。

二、区域自然条件特点

官厅水库坝址位于流穿怀来盆地的永定河及其支流媯水河汇合点下游9公里附近官厅村处。水库位于怀来盆地中。水库形态一般特点示于表1中，由表中资料可见，媯水河部分为水库的主要组成部分；水库淹没面较大，两岸原始岸坡缓为此部分特点。丰沙铁路新8号桥以上永定河部分河床很窄，水深极浅，且由于水库蓄水后来流速显著降低，水库淤积发展极为迅速，至1957年秋淤积三角洲已发展至新8号桥址以下，枯水时期三角洲顶面已可出露水上，水库库容已经减少很多。此2区段中所发生的坍岸现象一般不甚显著，过去未进行过研究。水库自小七营、新8号桥至坝址段的下游区水库尺寸相当可观；水深大、水面宽，原始岸坡陡为其特点。此区段中坍岸现象发展相当严重，过去的观测工作集中在此区内进行。兹将此区自然条件一般特点简述如下：

表1 官厅水库各区段的形态特点

	蓄水前河床标高 (公尺)	蓄水后水库尺寸 (478公尺高程以下)			库岸原始 岸壁形态	备 注
		长 度 (公尺)	最大宽度 (公尺)	最大深度 (公尺)		
丰沙铁路 新8号桥以上	470	1,000	11,000	8	右岸为悬崖，左岸480高程以下坡角小于30°	表中最大值系以石门湾为准
小七营以上 媯水河部分	465	6,500	27,000	13	左岸坡角小于2°，右岸坡角小于3°	表中最大值系以太师庄为准
小七营新8号桥至坝址段 水库下游区	455	5,000	9,000	23	465标高河床宽达4,000公尺以上为大于45°的岸坡	表中最大值系以辛窑子为准

I、水库下游区地质、地貌、水文地质特点

水库四周为高达1,000~1,500公尺羣山所环抱。

四周高山为前震旦纪片麻岩，震旦纪雾迷山砂质灰岩所构

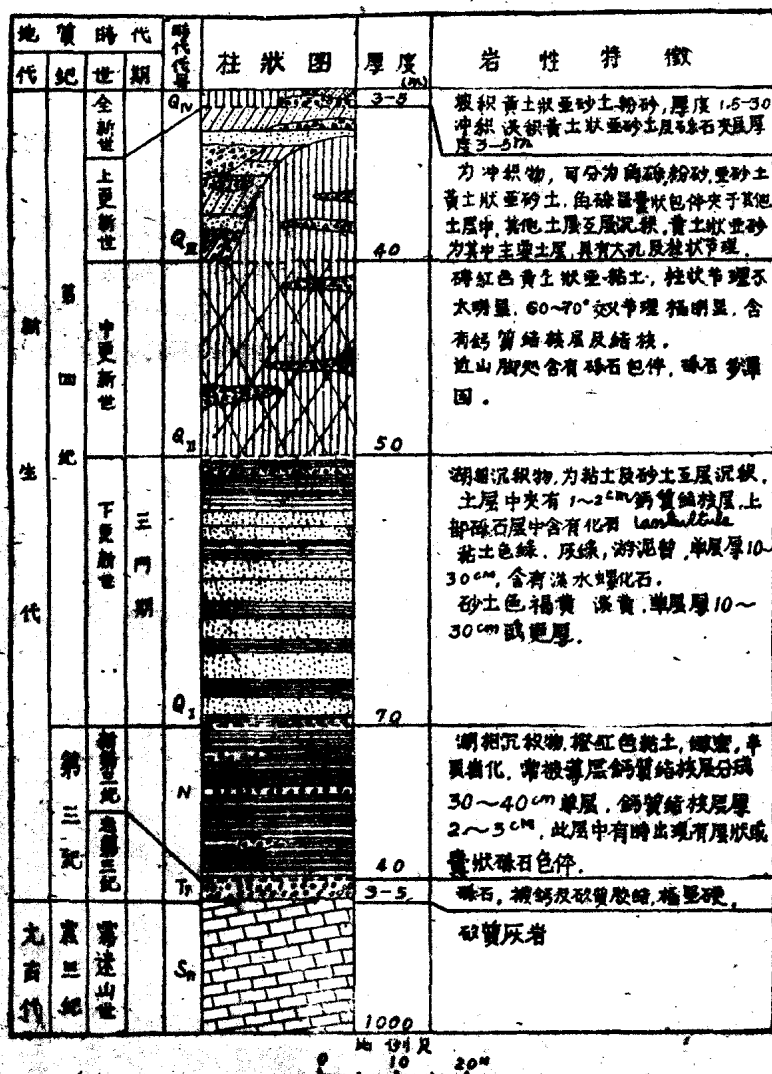


图2 官厅水库下游区地质综合柱状图

成。盆地中为第三紀及第四紀沉积物所充填，水庫塋岸即发生在此諸第三紀及第四紀沉积物所構成的岸壁区内。

区域内所見的第三紀沉积物可分为兩层，即老第三紀(T_r)时期內所沉积成的礫岩层及新第三紀(N)时期內所沉积成的紅色粘土层（見图 2）。

礫岩层(T_r)色灰、微紅。礫石渾圓狀。礫石成分及层岩厚度各地所見不一。于水庫左岸万家寨南大溝中所見礫石成分以片麻岩礫石为主，少夾有砂質灰岩礫石，岩层厚度达 5 公尺以上（見图 3）。于水庫右岸施庄子大溝中所見，礫石成分以砂質灰岩为主；岩层厚度小于 1 公尺，礫石被鈣質及砂質所膠結，質地极坚，此层不整合伏于古老的基岩之上。

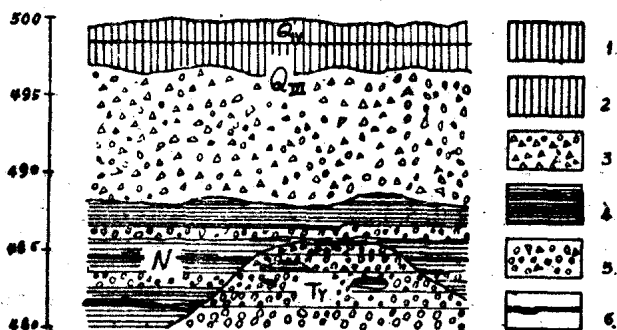


图 3、万家寨南大溝中地質岩性剖面图

1—坡积黃土狀亞砂土；2—黃土；3—角礫；4—粘土；5—礫石；6—鈣質結核层。

紅色粘土(N)与礫岩层呈不整合接触（見图 3）色橙紅及磚紅。半頁岩化。于施庄子大溝，丰沙綫铁路 64 号隧洞西口南山坡及万家寨一帶冲溝中有清楚的露头出現（見图 3.4）。紅色粘土层常被厚 2~3 公分的鈣質結核层分成 30~40 公分厚單层。层間时而夾有囊狀或层狀礫石层。礫石层愈近山边出現愈多。此层構造节理极发育。于施庄子大溝及丰沙綫铁路 64 号隧洞西公路路堑中發現有正断层切穿此层（見图 4）；断层面傾向河谷，傾角为 60~70°，断距达 1 公尺以上。此层层頂标高于丰沙綫 64 号隧洞

西口南山坡見为530公尺，于万家窑西山山坡見为610公尺，岩层总厚度达40公尺以上。

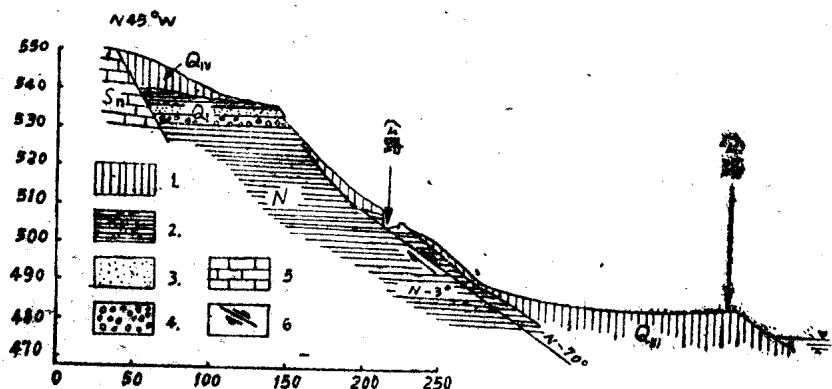


图4 丰沙铁路64号隧洞北口西山坡地质剖面

1—黄土；2—粘土；3—砂土；4—礫石；5—砂質灰岩；6—石断层。

第三紀沉积物上面平行不整合复以第四紀沉积物。

区域所見第四紀沉积物有：下更新世三門期湖相沉积物，中更新世湖相黄土狀沉积物，上更新世冲积物及全新世冲积、洪积、坡积、风积物（见图2.5）。

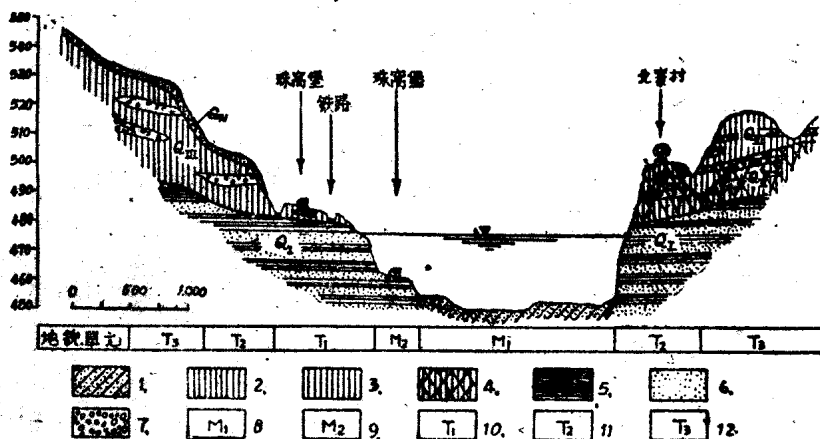


图5 北寨~珠窩堡地质地貌剖面图

1—亞砂土；2—坡积黄土狀亞砂土；3—黄土；4—具有構造节理之黄土；
5—粘土；6—砂土；7—礫石；8—低漫灘；9—高漫灘；10—一級台地；
11—二級台地；12—三級台地。

下更新世三門期(Q_1)湖相沉积物岩性为淤泥質粘土及砂土間层,其上部分布有薄层礫石层(见图4、5及6)。

淤泥質粘土,色灰綠,綠,淡黃綠。极致密,迂水可湿化。單层厚10~30公分。层面緩緩傾向水庫。于施庄子大溝内此层中发现有淡水螺化石,于頂部礫石层上下,存在有黑色粘土二三層,层厚20~30公分。

砂土,色黃,淡黃,成分为中粒及細粒石英砂,被鉄質輕微膠結。單层厚常为20~30公分。

礫石层位于此系沉积物的上部,礫石为渾圓狀,直径多为5~10公分,于北寨东南大溝中見,礫石成分为砂質灰岩,层厚約80公分。含有化石(见图6及照片1)。

此系岩层出露标高:于北寨东南大溝中見为510公尺,丰沙綫鉄路64号隧洞西口南山坡見为535公尺,石門湾东南鉄路路堑中見为495公尺,水庫周边普遍出露于479公尺高程。岩层总厚度約70公尺。

中更新世(Q_2)湖相

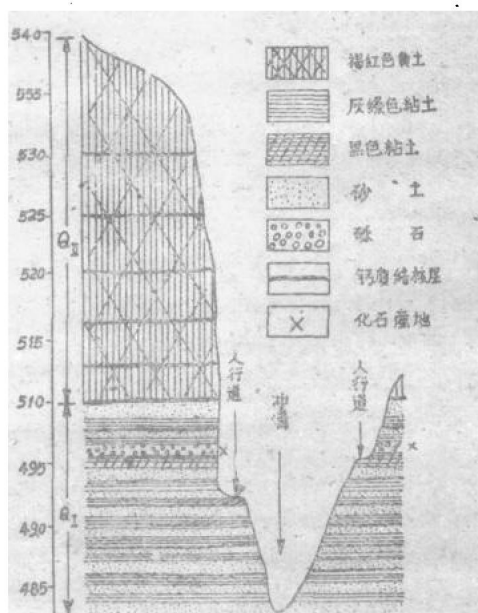


图6 北寨东南大溝地質岩性剖面



照片1

黃土狀沉积物为粘性土。色褐紅及褐黃。具有大孔及植物根腐乱遺留之孔洞。粘性土层間时而夾有薄层砂土，近山边处常含有卵石包体（見图 5 及 7）卵石呈半磨圓狀。隱約可見有层理，常含有鈣質結核及鈣質結核层（見图 6 及 7）。具有明显的交叉节理。垂直劈理不显。层厚約 50 公尺，此层与三門期沉积物成平行不整合接触。

上更新世(QⅢ)冲积物为淡黃色黃土狀亞砂土及粉砂，并交替堆积有角礫。角礫呈袋狀及透鏡体狀分布愈近山脚愈多。黃土狀亞砂土具有大孔及垂直劈理，被鈣質及粘土質物質輕微膠結。粉砂中常保有交斜层理。此系沉积物于河谷兩岸普遍有所分布，为河谷岸壁上部

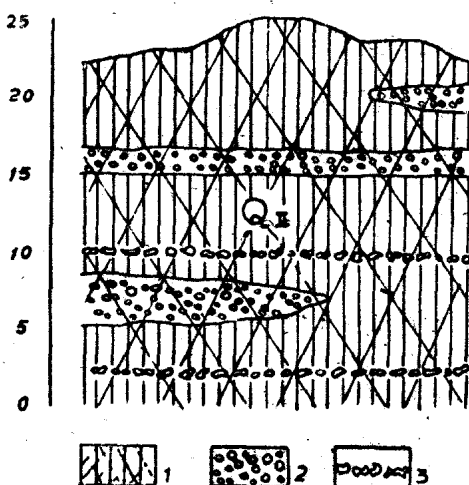


图 7 何家寨西南 500 公尺处地質岩性剖面图及 5) 厚度达 40 公尺。1—具有構造节理的黃土；2—卵石；3—鈣質結核层。

全新世(QⅣ)沉积物，其岩性为亞粘土，亞砂土，砂及礫石。按成因可分为冲积、洪积、坡积及风积等类型。冲积亞粘土及亞砂土構成一級台地及漫灘之表层复盖物，此层頂部常存在有数层古土壤层。洪积物常于死冲溝中出現，岩性为亞砂土及礫石。堆积物主要为亞砂土及亞粘土，厚度約 1 ~ 2 公尺，区域内 2 ~ 3 級台地表面几乎全为此层所复盖。在北寨东北分布有少量风环砂丘。

区域受喜馬拉亞構造运动之影响曾发生过数次升降，如此，在周圍構造剝蝕山地包围的盆地小平原內形成有三級台地及二級漫灘（低漫灘及高漫灘）（見图 5）。

低漫灘高出水面 3 ~ 5 公尺，最低标高（以施庄子至水关剖

面为标准, 以下同此) 为451公尺。漫灘表面傾角为 $1\sim 2^\circ$ 。总寬度約为700公尺, 殘留寬度左岸为460公尺。右岸高几近于0。为河道冲积亞砂土所組成。

高漫灘高出水面 $15\sim 20$ 公尺, 最低标高为460公尺。1953年汛期曾被洪水淹沒, 漫灘表面坡度为 $1\sim 3^\circ$ 。总寬度約为1,000公尺, 左岸殘留寬度达200~300公尺, 右岸几近为零, 为三門期沉积物所構成, 表面复以薄层亞砂土。

一級台地高出水面約30公尺, 台地面最低标高为475公尺, 坡度約为 $2\sim 3^\circ$, 总寬度約为1,500公尺, 左岸殘留寬度为90公尺, 右岸約为420公尺。其地質結構为双层, 上部为冲积黃土狀亞粘土及亞砂土組成, 下部为三門期沉积物所構成。水庫蓄水后, 由于水位升降变化, 台地面时而出露水上, 时而被水淹沒。

二級台地高出水面一般为45公尺, 最低标高为490公尺。台地面坡度一般为 6° 。总寬度約为3,200公尺, 殘留寬度左岸为600公尺, 右岸为1,100公尺。其表面多被耕田破坏及冲溝切割, 水庫蓄水后形成岸咀及岸湾。478公尺高程以上多为上更新世黃土狀亞砂土, 亞粘土及角礫所構成, 局部为中更世黃土狀亞粘土所構成(北寨区)。478公尺高程以下为三門期湖相沉积物所構成。二級台地为水庫岸壁的主要組成部分。

三級台地多殘留在山脚处或距河岸极远。台地面标高在520公尺以上, 高出河水面达60余公尺。其地質結構是多样的(见图5)。

此外, 在小七营一帶分布有鵝水河一級台地, 楊大人庄分布有冲积扇。

区域的水文地質条件研究得极少。水庫蓄水后水庫下游区左岸一般是水庫水補給地下水, 右岸水关至坝址段, 同样, 为水庫補給地下水, 水关至万家寨一帶則为地下水補給庫水。水关至万家寨一帶灣处常出現有沼泽地帶及在庫岸478~480公尺高程一帶礫石层有泉水涌出。

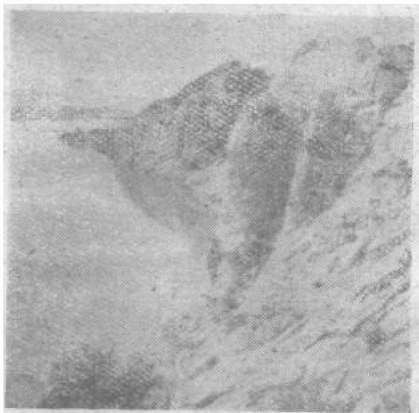
I、北寨、施庄子及辛寨子坝岸动态观测区

库岸结构工程地质特性

库岸结构系指岸的地质结构，岸坡保护情况及岸的形态特点。

北寨、施庄子及辛寨子区岸壁皆为二级台地所构成，原始岸坡植物保护性极弱（见照片2）土层绝大部分直接暴露在表面，无工程建筑物等保护。而岸的状态及地质结构则略有出入。

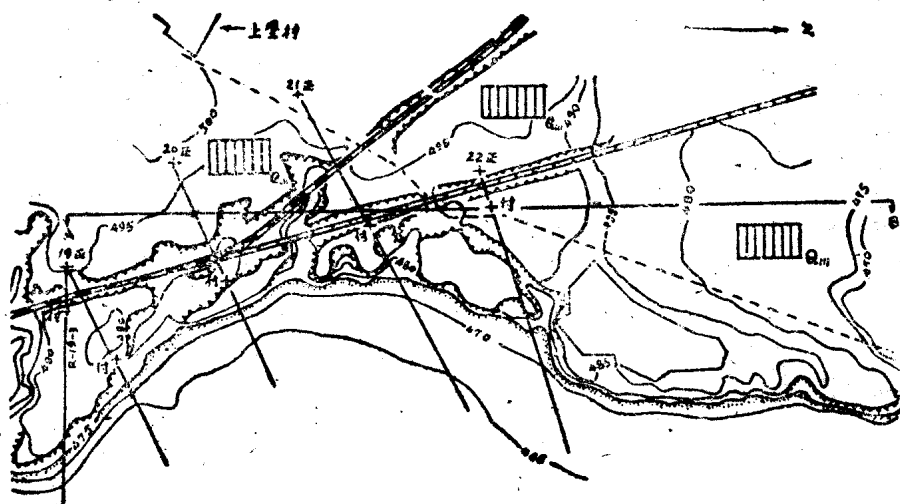
北寨区岸顶标高一般为484~498公尺，478公尺水位上岸高一般为8~19公尺。原始岸坡一般约为 40° 。总的岸形呈弧状向外突出，岸壁受冲沟切割较严重，1.8公里的观测地段内有大小冲沟七条，岸壁受冲沟切割多成孤立向外延伸的岸咀，最大岸咀宽度仅为百余公尺（见图8（见插页）），岸前一级台地宽度一般为100~200公尺。



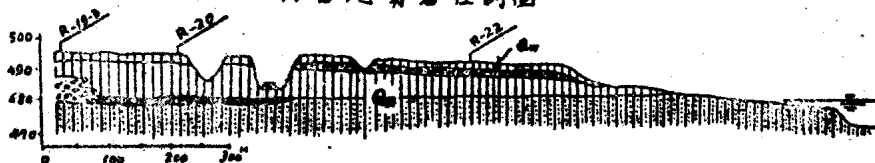
照片2

施庄子观测区距山脚很近，故岸高较高，岸顶标高一般为500公尺左右，478公尺水位上残留岸高常为20~30公尺，原始岸坡一般为 $60^\circ \sim 70^\circ$ ，总的岸线呈弧状向库内弯曲。岸壁受冲沟切割情况与北寨大致相仿（见图9（见插页））。1.4公里的观测地段内有大冲沟6条，最大岸咀宽度一般为160公尺（干永L008剖面），岸前一级台地一般不存在。

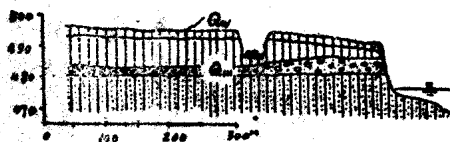
辛寨子区位于水库西岸，岸顶标高一般为490公尺，高出478公尺水位上残留岸高一般为12~13公尺。原始岸坡一般为 $60^\circ \sim 70^\circ$ 。总的岸线呈槽状向水库内弯曲，岸壁受冲沟切割较轻微。观测地段长1.4公里内有较大的冲沟4条，岸咀宽度多达200余公尺（见图10）。岸前一级台地一般不存在。



A-B地質岩性剖面



永R-19-3地質岩性剖面



永R-20地質岩性剖面

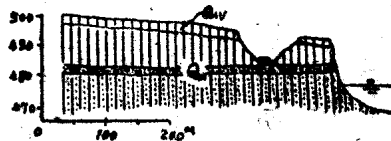


图10 辛寨子册岸动态观测区地质图

1—第四纪全新世；2—第四纪上更新世；3—黄土；4—黄土状粉砂；
5—砾石；6—等高线；7—水边线。

观测地区北寨、施庄子及辛寨子地質結構特点示于图 8.9、10。

由图 8.9、10 比較可見，由施庄子、北寨到辛寨子岸壁的組成成分中礫石逐漸減少，黃土狀土逐漸增多，辛寨子岸壁全为上更新世沉积物所構成，而施庄子及北寨区内个别地段 479 公尺高程以下存在有下更新世三門期湖相沉积物（干永 L005⁻¹，嬌 L0008⁺ 1⁻¹ 等剖面附近）。施庄子区 479 公尺高程以上全部为上更新世角礫及黃土狀土沉积物所構成，北寨区嬌 L003⁺ 1⁻¹ 剖面以北 479 公尺高程以上为中更新世黃土狀亞砂土及礫石構成。嬌 L003⁺ 1⁻¹ 剖面以南为上更新世黃土所構成。这便是 3 个重点观测区岸壁的地質結構一般特点。

同一个观测区内，由上述可知，不同地段处岸壁的地質結構亦不相同。根据其地質結構的差异在各观测区内选有典型观测剖面，各重点观测区典型观测剖面的物質組成成分特点示于表 2 中。

由表中資料分析，大致可看出，区域的上更新世黃土的顆粒成分中小于 0.05 公厘及大于 0.25 公厘粒組含量一般不超过 10%，而 0.05~0.005 公厘含量有的达 60% 以上。砂土（不論上更新世的或中更新世的）多为細砂，礫石直徑多在 4~40 公厘。

黃土狀土中碳酸鹽含量一般为 5~10%。

組成岸壁土的物理性質研究得极不够而不系統。

据有限的資料整理，各种土的比重示于图 11，由图中資料可見，礫石及粘土的比重較大。礫石的比重可大至 2.77，应当注意礫石的成分多为砂質灰岩。粘土比重可达 2.74~2.75。黃土狀亞砂土比重一般較小，多为 2.68~2.69。砂土及黃土狀亞粘土比重相近，介于礫石，粘土与黃土狀亞砂土之間。

据有限的实測資料分析，黃土狀土的干容重多为 1.3~1.6，砂土多为 1.45~1.55，黃土狀土孔隙度多为 38~48% 个别的达 50% 以上。砂土多为 42~46% 含水量黃土狀土变化于 5~15% 之間，砂土多为 3~5%，礫石質土沒有測定。

續表 2

測區 地區 名稱	剖面編號	土層 標高 (公尺)	土 的 名 稱	顆 粒 成 分									
				>40	40~ 20	20~ 10	10~ 4	4~ 2	2~ 0.5	0.5~ 0.25	0.25~ 0.1	0.1~ 0.05	0.05~ 0.005
北票區	橋L006-3	477.3	礫石(QII)	—	68	29.5	2.5	—	—	—	—	—	—
		477.1	礫石(QII)	—	12.2	22	42	21	1.4	0.3	—	—	—
	橋L008+1-1	484.4	黃土狀亞砂土(QII)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		483.6	砂土(QII)	—	—	—	—	—	7	43	15	—	0.5
		481.6	黃土狀粉砂(QII)	—	—	—	—	—	0.3	1.7	29.5	58	1.5
		478.4	砂土(QI)	—	—	—	—	—	3	57	9	4	—
		477.7	砂土(QI)	—	—	—	—	—	1	19	4.7	—	—
施莊 子區	永L003	477.2	砂土(QI)	—	—	—	—	—	18	54	25.5	—	—
		491.3	黃土狀亞粘土(QIII)	—	—	—	—	—	—	4	16	26	18
		487.1	黃土狀亞粘土(QIII)	—	—	—	—	—	—	4	16	24	24
		488.2	砂土(QIII)	—	—	—	—	—	—	4	40	34	2
		506	黃土狀亞砂土(QIII)	—	—	—	—	—	—	—	14	20	6
辛家 子區	永L008	476.2	黃土狀中砂(QIII)	—	—	—	—	—	18	80	2	—	—
		484.0	砂土(QIII)	—	—	—	—	—	—	2	21	68	9
	永R-19	480.3	礫石質砂土(QIII)	—	24	16	6	1	25	20	5	3	—
		488.2	黃土狀粘土(QIII)	—	—	—	—	—	—	—	—	12.4	61.6
		488.2	黃土狀亞砂土(QIII)	—	—	—	—	—	—	4	8	30.5	52.5
		484.5	黃土狀粘土(QIII)	—	—	—	—	—	—	—	—	10	62
辛家 子區	永R-20	476.1	黃土狀亞粘土(QIII)	—	—	—	6	10	1	8	14	16	24
				—	—	—	—	—	—	—	—	—	20