

吐鲁番地区某水库成库地质条件分析

时祥来

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v9i4.6290

[摘要] 本研究以吐鲁番地区某水库库区为研究靶区,系统梳理了区域地质构造特征及库区工程地质环境要素,重点评价了库区潜藏的五大工程地质隐患:水库渗漏风险带空间分布特征、库岸失稳潜在区段、淹没区与浸没带影响范围、泥石流发育条件及地震活动诱发机制。通过多维度地质论证,构建了支撑水利工程建设立体化地质模型。研究表明:库区虽存在岩体结构复杂性和局部塌岸显著性问题,但整体地质环境未发现重大不良地质缺陷,工程整体具备建设可行性,建议施工期需强化地质灾害动态监测预警机制。

[关键词] 水库库区; 成库条件; 工程地质评价

中图分类号: TV62 文献标识码: A

Analysis of Geological Conditions for Reservoir Formation in a Certain Reservoir Area in Turpan Region

Xianglai Shi

Xinjiang Water Resources and Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd.

[Abstract] This study takes a certain reservoir area in Turpan region as the research target area, systematically combs through the regional geological structural characteristics and engineering geological environmental factors in the reservoir area, and focuses on evaluating five major potential engineering geological hazards in the reservoir area: the spatial distribution characteristics of reservoir leakage risk zones, potential sections prone to bank instability, the impact scope of inundation and immersion zones, the conditions for debris flow development, and the triggering mechanisms of seismic activity. Through multi-dimensional geological demonstration, a three-dimensional geological model supporting the construction of hydraulic engineering is established. The research indicates that although there are issues of complex rock mass structure and significant local bank collapse in the reservoir area, no major adverse geological defects have been identified in the overall geological environment, and the project is generally feasible for construction. It is recommended to strengthen the dynamic monitoring and early warning mechanism for geological disasters during the construction period.

[Key words] Reservoir area; Reservoir formation conditions; Engineering geological evaluation

引言

该水库为吐鲁番地区控制性水利工程,由拦河大坝、导流洞、溢洪道等主要建筑物组成,为具有灌溉、防洪、生态、城镇及工业供水等综合效益的水利工程^[1-3]。库区坐落于中山区同源地貌单元构造的峡谷之中,两岸基岩山体如刀削斧劈般直插云霄,海拔梯度跨越1550至2000米,形成100至550米的壮美高差。

1 库区工程地质

1.1 工程地质条件

1.1.1 地形地貌。该库区河谷地貌特征鲜明且复杂多样。谷坡以30°至70°锐角凌空对峙,谷底横向延展250至500米,横断面呈开阔“U”型,河谷轴线近似南北走向,天然纵坡降约3%,

两岸分布着I至IV级阶地体系。I、II级阶地发育完整, I级阶地高出河床2-5m,阶面平坦宽阔,具典型二元结构; II级阶地较I级抬升8-12m,堆积物有明显胶结特征。III、IV级阶地情况不同, III级阶地以1480米为基底高程基准,阶面宽10至20米,前缘有砂卵砾石构成的天然屏障,后缘有厚层黄土状土覆盖; IV级阶地多已消蚀,左岸1515米高程之上尚存零星遗迹。

库区河谷两岸冲沟系统纵横交错,左岸冲沟如梳齿般密集,间距300至500米,横剖面多呈“V”型,沟壁坡度大,雨季形成暂时性洪流及扇形堆积体;右岸冲沟相对稀疏,间距500至800米,沟道内常见基岩出露。冲沟多呈正交网络切入河谷,延伸300至700米,切割深度百米内,充填第四系洪坡积沉积物,沟头扎根于

基岩山体。此外,库区河谷横剖面不对称,左岸谷坡更陡峻且局部有三级侵蚀平台,河床纵剖面呈阶梯状下切,谷底有冲积砂卵石层覆盖,两岸基岩出露良好,风化壳以物理风化为主,垂直节理发育。

1.1.2地层岩性。库区地质剖面主要展布上石炭统石人子沟组(C_{3s})与第四系地层,岩性特征具体如下:

(1)上石炭统石人子沟组(C_{3s})以凝灰岩与英安岩组合为典型特征。凝灰岩作为库区基岩主体,呈连续带状分布于两岸坝区,形成陡峭的层状地貌。该岩体以中厚层构造为显著特征,质地致密坚硬,受多期褶皱构造作用影响,发育密集的揉皱变形痕迹,致使岩层产状呈现显著的空间变异。

英安岩作为浅成侵入岩体,与上覆凝灰岩呈清晰沉积接触关系,其空间展布具有显著差异性:集中出露于坝址周缘,而库区未见其踪迹。该岩体具典型块状构造特征,基质坚硬且具脆性特征,表层岩体节理裂隙发育导致风化破碎明显,但新鲜基岩仍保持良好完整性。

(2)第四系地层主要由中-上更新统冲积层、全新统冲积物及全新统洪积-坡积物共同构成。

①中-上更新统冲积层。中更新统冲积层(Q^{2al}):岩性特征表现为含土质及漂石的砂卵石层,具泥质-钙质混合胶结特征,胶结程度具明显空间差异性。层厚约10-25m,底部多呈现半胶结特征,主要赋存于IV级阶地堆积体中。

上更新统冲积层(Q^{3al})集中分布于库区两岸III级阶地,岩性组合以含土质砂卵石为主,偶见漂石成分。沉积体多呈密实结构,局部可见微弱钙质胶结现象,发育近水平层理构造,层厚15-25m。

②上更新统洪坡积物(Q^{3pl+d1})。主要分布于库区两岸III级阶地砂卵石层上部,表层被全新统洪坡积物覆盖,只在III级阶地坎边出露。岩性为碎石土,局部微泥质胶结,厚度3-18m。

③全新统冲积物(Q^{4al})。主要分布于河谷谷底,为现代河床及I、II级阶地组成物,据物探和钻孔揭露,最大厚度65m左右,其上部(10m以上)岩性主要为砂卵石夹漂石,下部(10m以下)以含土砂卵石为主,夹厚度不大的含漂石砂卵石。

④全新统洪坡积物(Q^{4pl+d1})和坡积物(Q^{4al})。主要分布于库区两岸冲沟内及岸边坡脚一带,岩性主要为碎石土,表层结构松散,下部结构密实,厚度一般1-20m,碎块石岩石成分主要为凝灰岩。

⑤全新统洪坡积物(Q^{4p1+d1})和坡积物(Q^{4d1})。主要分布于库区两岸冲沟内及岸边坡脚一带,岩性主要为碎石土,表层结构松散,下部结构密实,厚度一般1-20m,碎块石岩石成份主要为凝灰岩。其中洪坡积物具有显著的山洪堆积特征,碎屑物质多呈棱角状至次棱角状,磨圆度差,粒径分选性较弱,可见粒径5-60cm的凝灰岩碎块与砂砾混杂堆积,局部夹有薄层粉质黏土透镜体。坡积物多发育于30°以下斜坡地带,堆积体前缘常形成坡积裙,碎屑物质运移距离较短,岩性成分与母岩具有高度一致性。通过探槽揭露显示,该类堆积体垂向上具有明显二元结构特征:表层0.5-2m为含植物根系的褐色碎石土,孔隙发育;中部

2-8m为灰黄色含黏性土碎石层,碎块石含量约40-60%;底部多过渡为胶结较好的含砾粉土层,渗透系数约 1×10^{-5} cm/s。值得注意的是,在右岸5#冲沟口可见厚度达18m的复合型堆积体,其下部12m处揭露古土壤层,经光释光测年显示形成于全新世中期,表明该区域存在多期次堆积过程。此类松散堆积体在暴雨工况下易产生渗透变形,需重点关注其与基岩接触面的水力联系特征。

1.1.3地质构造。库坝区未发现大型断裂构造贯穿,两岸仅零星分布若干NE向中小型压扭性次级断层,其延伸长度介于10至200米之间。库岸两侧褶皱构造较为发育,表现为NWW向(近EW向)轴面的背斜、向斜呈相间排列,主要由一系列近直立西倾伏褶皱构成。区内最具代表性的构造为3号向斜与10号向斜。

3号向斜:位于坝址上游约330m处,横穿河床,延伸长度约1.1km,向斜轴向275°,北翼产状290°~300° SW∠30°~40°,南翼产状70°~80° NW∠50°~60°。

10号向斜:轴向60°~75°,北翼产状40°~50° SE∠30°~40°,南翼产状80° NW∠45°~290° NE∠30°。该向斜由东向西横穿河谷后向西南方向偏移,延伸长约1.2km,向斜两翼可见顺层构造滑动面。

在区域构造应力场作用下,库区岩体发育两组优势节理:①走向30°~50°的陡倾角剪节理(间距0.5~2.0m);②走向290°~310°的缓倾角卸荷裂隙(张开度1~5mm)。坝址区右岸发现两条NW向次级断层(F21、F22),断层带宽度0.3~0.8m,由碎裂岩和断层泥组成,其中F22断层延伸至3号向斜北翼,局部可见方解石脉充填现象。值得注意的是,10号向斜核部发育的层间错动带具有明显的渗透差异性,错动带内黏土矿物含量达15%-20%,渗透系数低至 10^{-6} cm/s量级,构成天然防渗屏障。河床深槽处揭露的构造扰动带宽度达8-12m,岩体呈碎裂结构,RQD值降至40%以下,需重点关注其压缩变形特性。通过节理玫瑰花图分析显示,优势节理走向与主构造线方向呈15°~30°夹角,这种共轭关系表明库区主要受NNE-SSW向水平挤压应力作用形成现今构造格局。

1.1.4水文地质条件。库区位于中山区峡谷内,两岸基岩山体高陡、雄厚且连续。由于当地气候干燥,年降水量稀少,基岩裂隙水不发育。通过地质测绘发现,库区基岩不存在强透水性岩层。据压水试验,基岩强风化层或部分弱风化层的透水性一般较大,微风化~新鲜岩体透水性小甚至不透水。

库区河床砂卵石层含水且为透水层,地下水类型主要为孔隙潜水和承压水。结合压水试验与地下水位监测数据,库区岩体透水性呈现典型垂向分带特征:强风化带透水性多大于10 Lu,局部达25Lu;弱风化带透水性降为3-5Lu;微风化及新鲜基岩透水性普遍小于1Lu,形成相对隔水底板。值得注意的是,F21、F22断层带因充填致密断层泥,其渗透系数仅为 10^{-5} ~ 10^{-6} cm/s量级,与围岩形成明显水力梯度。河床砂卵石层渗透系数达 1×10^{-2} ~ 5×10^{-3} cm/s,抽水试验显示单井涌水量达500~800m³/d,表明其强富水特性。承压水头监测显示,在枯水期河床中部测压水位高出潜水位2.3~3.1m,水力坡降0.15%~0.2%,反映出地

下水径流受构造格架控制。同位素测试表明,基岩裂隙水 δD 值偏负2%~3%,与大气降水存在显著差异,揭示其补给源主要为古封存水。

1.2 工程地质评价

1.2.1 水库渗漏。库区两岸巍峨耸立的山体凌空俯瞰库区全貌,其垂直高度远超正常蓄水位高程。库区地质构造完整致密,未发现贯穿性大断裂及强透水岩层发育,加之库外无深切邻谷分布,因此水库蓄水后不会引发任何形式的永久性渗漏问题^[4]。

结合压水试验成果及水文地质结构分析,库区渗漏风险整体可控。强风化带虽透水性强,但其顶界面埋深普遍低于正常蓄水位30~50m,且下伏弱风化带透水率骤降形成天然防渗屏障。F21、F22断层带发育的断层泥构成连续阻水帷幕,渗透系数较围岩低2~3个数量级,三维渗流模拟显示其水力屏障效应可使渗流场产生明显绕流特征。河床砂卵砾石层虽具强富水性,但空间展布受控于冲积扇前缘边界,东、西两侧均被弱透水的坡积含砾粘土层所围限。同位素示踪揭示基岩裂隙水 $\delta 18O$ 值较现代河水偏负4%~6%,反映其与地表水体不存在密切水力联系。值得注意的是,暴雨期间局部冲沟段可能通过Q4d1坡积碎石层产生暂时性渗漏,但渗透路径最大延伸长度不超过200m,且末端均与弱透水基岩相接,不会形成贯穿性渗漏通道。三维地质模型渗流计算表明,百年运行工况下渗漏总量不足入库径流量的0.3%,满足规范允许值要求。

1.2.2 库岸稳定。库区两岸基岩以凝灰岩与英安岩巍然矗立。其中凝灰岩多呈中厚层状构造,其岩层走向与河道轴线呈大角度斜交,产状整体平缓舒展。构成岸坡主体的凝灰岩层通常具备良好的整体稳定性,发生大规模塌岸的地质风险较低。但在边坡高陡的局部区域,受褶皱构造、裂隙发育、断层活动及风化营力等复合地质作用影响,表层岩体易发生小规模崩塌剥落现象,尤以岩体结构面交汇处及风化卸荷带为典型发育区^[5]。

库水位位于阶地砂卵砾石陡坎下部,阶地卵砾石在库水浪击作用下将发生库岸再造现象,初估塌岸方量约20万 m^3 。

1.2.3 水库浸没。库区内无工矿企业和可开采的矿产资源。库区内有十几户牧民(约70余人)的住房及其小片农田、果园和水文观测站将被淹没,须搬家迁移。其次右岸I级阶地的河谷林(沿河长约600m,宽50~100m)和左岸的一块墓地(约有10多座坟墓)将被淹没。除此之外,其它无淹没损失。

1.2.4 水库淤积。在山区河段区域,地表植被覆盖率低,基岩大面积出露。受强烈风化等外动力地质作用影响,坡积物、洪积物及其混合堆积体较为发育,广泛分布于沟口、岸坡脚及两岸斜坡区域,构成水库淤积的主要物质来源^[5]。水库蓄水后,库岸坡积物与洪积物在波浪侵蚀作用下存在失稳风险,经初步测算,两者体量基本相当,均约为8万立方米。值得注意的是III级阶地特征:该阶地前缘砂卵砾石形成的陡峭岸坡将发生渐进性岸坡再造,预计形成约20万立方米的冲积型淤积体;而阶地主体因位

于正常蓄水位高程(1509m)控制线以上,不会产生库区淤积效应。此外,汛期洪水裹挟的悬浮质泥沙将在库区形成动态沉积过程。

1.2.5 水库诱发地震。水库诱发地震的成因机制涉及多重地质要素的耦合作用,主要包括区域地震构造背景、地质构造活动特征、新构造应力场分布特征、地层岩性组合特征及水库工程参数等关键控制因素。

具体而言,该水库所在的构造单元夹持于博格达北缘断裂带与南缘断裂带之间,该区域具有显著的构造稳定性特征:地表未见大规模活动断裂发育,历史地震活动频次低且强度弱。关键控制性构造山前断裂F2距坝址13km,未贯穿库盆区。鉴于水库库容有限且坝高较低,其水荷载效应难以对断裂带形成有效影响,缺乏触发构造活化所需的能量积累条件。综合地质力学分析与水文地质模型计算结果,工程区产生水库诱发地震事件的概率处于极低水平。

2 结语

(1)库区两岸山体雄厚,山体高度远大于正常蓄水位高程。不存在贯穿库岸山体大断裂和透水性较强的岩层,库外无过深邻谷,因此水库蓄水后均存在永久性渗漏问题。

(2)库区阶地卵砾石在库水浪击作用下将发生库岸再造现象,初估塌岸方量约20万 m^3 ,水库蓄水一般不会产生突然坍塌,对水库的运行安全不会产生太大影响。

(3)库区存在浸没问题,主要为十几户牧民的住房及其小片农田、果园和水文观测站。

(4)水库蓄水后约产生20万 m^3 的砂卵砾石淤积物,洪水期由洪水携带而下的泥沙在库区也将产生一定的淤积。

(5)基于枢纽工程规模、坝址区地层岩性组合特征及区域构造稳定性分析,结合区域地震地质背景综合研判,水库蓄水后不具备诱发中强震的地震地质条件。

【参考文献】

[1]张欣,令军帅.博斯坦水库库区工程地质评价[J].云南水力发电,2021,37(07):89-92.

[2]韩锐敏.石口子水库坝址工程地质评价[J].山西水利,2017,(05):31-33.

[3]郑作民.南水北调东线东湖水库工程地质评价[J].四川水利,2021,42(03):33-35.

[4]孙领辉.深厚覆盖层槽孔混凝土防渗墙施工中地质问题综述[J].黑龙江水利科技.2017,45(12):138-140

[5]柴扬.新疆高昌区黑沟水库工程地质条件评价[J].湖南水利水电.2022,(01):103-104+109.

作者简介:

时祥来(1997--),男,汉族,河南南阳人,本科,助理工程师,研究方向为水利水电工程、岩土工程地质勘察。