

## 【水利水电工程】

# 黄河古贤水库诱发地震的环境条件分析

张 一, 曲 敏, 张书光

(黄河水利委员会 勘测规划设计研究院, 河南 郑州 450003)

**摘 要:** 根据水库诱发地震的机理和条件, 对古贤水利枢纽的区域构造、地层岩性、水文地质等条件加以分析, 对坝区水库诱发地震的可能性进行详细的评价。初步认为该地区不存在明显有利于水库诱发地震的环境和条件, 即使有诱发地震也是轻微的, 不会对水库安全构成威胁。

**关 键 词:** 地震评价; 诱发地震; 环境条件; 古贤水库

**中图分类号:** P315.9

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-1379(2003)02-0036-02

拟建的黄河古贤水利枢纽位于壶口瀑布上游 10 km 处, 左岸属山西省吉县, 右岸属陕西省宜川县。设计最大坝高 126 m, 正常高水位 640 m, 库容 160 亿  $m^3$ , 最大装机容量 256 kW, 为一级开发方案指标。库坝区两岸出露的地层为第三系的二马营和铜川组红色砂页岩地层, 地层平缓, 构造简单, 未发现大的褶皱和断裂构造, 为一相对稳定的地区。

## 1 水库诱发地震的环境和条件

水库诱发地震的机理是: 在一定的介质和初始应力条件下, 通过库水渗透或水压力的传递, 使岩体中已有的不连续结构面(如断层、节理、裂隙等)不断地弱化, 最终导致一定深度范围内的岩体结构面突发性失稳而释放已积累的能量, 从而诱发地震。水库诱发地震有其特定的环境条件, 搞清这些特殊的环境条件是评价拟建水库诱发地震的可能性和危害性的关键。从中国水库诱发地震实例来分析, 水库诱发地震的环境条件如下。

### 1.1 库深和库容条件

水库诱发地震的发生与库深和库容相关, 一般随坝高(库深)和库容的增大, 诱发的概率也相应增高。就我国情况看, 库容小于 0.1 亿  $m^3$  的小型水库, 其诱发概率小于 1‰; 库容为 0.1 亿 ~ 1 亿  $m^3$  的, 发震概率小于 1‰; 库容为 1 亿 ~ 10 亿  $m^3$  的, 发震概率约为 1%; 10 亿  $m^3$  以上大型水库诱发地震概率约为 14%。国外水库水深大于 92 m 或库容大于 100 亿  $m^3$  的深、大水库诱发地震的先验概率约为 12%, 发生 5.0 级以上诱发地震的概率约为 3%。

库水对地质体的影响, 主要是蓄水造成附加孔隙压力的水库作用和水体重量的荷载作用。其中荷载作用是一种体力, 会引起地质体内的弹性应力增加、库盆不均一下沉、库边出现张裂缝等, 但与地质体内原有应力状态相比, 库水荷载影响量是较小的。

库水深度引起孔隙压力增加, 孔隙压力传递的前提必须有透水通道。在岩体中, 只有具有一定透水导水能力, 同时又与

库水保持某种水力联系的不连续结构面, 才能成为这样的通道。

### 1.2 地震活动背景

大部分水库诱发地震都发生在低频度和低强度的地震活动区。该地区地震活动和影响的历史记载没有或不多, 最大地震烈度有感或小于 Ⅴ 度为主。少数的水库诱发地震发生在中强地震活动区。

### 1.3 岩性条件

岩溶发育的碳酸盐类岩石发生水库地震的可能性最大, 其次为花岗岩和坚硬的火山类岩石, 占实例的 15% ~ 23%; 泥灰岩和碎屑岩诱发水库地震的概率极小, 可视为不易或非诱发水库地震的岩类。

### 1.4 断层活动性条件

众所周知, 完整岩石的强度很高, 水库荷载与之相比是很小的, 一般不会引起深部地应力的较大变化, 因此很难发生水库地震。水库诱发地震震例的统计资料也表明: 绝大多数的中、强地震(构造型水库地震)与活动断层或由于蓄水而活化了

的稳定断层有关。活动断层对水库诱发地震的作用: 一方面表现在控制地震发生的地点; 另一方面, 活动断层控制库水的渗入, 是构成深部水力联系的通道, 使孔隙压力有可能传递到岩体深部, 改变深部的应力状态。

### 1.5 诱发中强地震的条件

水库诱发中强地震的条件一是在地质构造上具有产生中强地震背景的地区, 二是存在与水库相交的活动性断层等较深水文地质结构面。

岩体中具有一定含水性和导水性的不连续结构面, 称为水文地质结构面。风化作用发生在地表附近至百米深度左右, 最深也超不过几百米。发育在岩石中的裂隙和节理, 由于上部

收稿日期: 2002-11-25

作者简介: 张一(1969-), 男, 河南灵宝人, 工程师。

负荷产生的垂直和侧向应力的作用,使深部的裂隙和节理趋向于闭合,因此这些都只能算作浅、表的水文地质结构面。只有延伸至数公里深的断裂不连续结构面,通过这些断裂带,特别是一些多期继承性的活动断层,地下水的作用才可能到达较深的部位,构成有效的通往深部的透水通道,从而成为深的水文地质结构面。

## 2 古贤水库诱发地震的条件分析

### 2.1 库区构造条件分析

从大地构造环境、磁异常、布格异常、均衡异常等地球物理异常和地壳厚度、地壳形变场、地壳应力场及强震活动等方面分析,显示古贤坝段库区场地是个相对完整的地块,地球物理异常、地壳活动和地壳形变场变化平稳的地段,地震活动在频度和强度上相对较低的地区,新生代以来整体抬升相对稳定的块体。

上述水库诱发地震环境条件分析表明:古贤库区及其周围不存在6.0级以上破坏性地震发生的危险性,如果出现水库诱发地震,其震级应在6.0级以下。

古贤库坝区位于鄂尔多斯台向斜的东南边缘,地层总体上为一走向 $10^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 、倾向NW、倾角为 $0^{\circ}\sim 130^{\circ}$ 的单斜构造。地层平缓,未发现褶皱和断裂构造,库水没有良好的通道渗入岩体深部,不具备中、深水水文地质结构面。

坝段内节理一般在砂岩地层内表现明显,主要有四组,其中有两组较为发育。其节理间距一般为 $0.5\sim 2.0\text{ m}$ ,节理面有的平直光滑、有的粗糙弯曲,一般闭合无充填,局部微张,充填钙膜,可见长度 $20\sim 50\text{ m}$ 。因此,该坝段属于弱导水性、弱透水性,浅水文地质弱结构面。坝段内发育有构造破碎带,其特征表现为岩体破碎呈菱形块状集合体,有时为缓倾角裂隙密集带。菱形块体大小不等,一般为 $0.3\sim 0.5\text{ m}$ ,其长轴在壁面上表现为水平近南北,短轴接近垂直向。破碎带分布高程为 $480\sim 495\text{ m}$ ,埋深较浅,长度为 $100\sim 280\text{ m}$ ,延伸短,其厚度 $2\sim 6\text{ m}$ ,属层间挤压错动所致,规模较小。

坝段内泥化夹层普遍存在,可以分为3种结构类型:泥夹碎屑型、碎屑夹泥型和全泥型。泥化夹层出露高程 $480\sim 640\text{ m}$ ,埋深较浅,多发育在泥质粉砂岩的顶层,延伸长度较短,一般在 $100\sim 150\text{ m}$ ,与母岩产状基本一致,即基本水平,一般连续性较差。上、下层泥化夹层不能沟通。

由上可知,节理带、构造破碎带和泥化夹层带均属浅弱水文地质结构面,不会诱发或仅诱发微弱地震。

### 2.2 库区地层岩性条件分析

库坝区蓄水位以下为基岩,基岩均为三迭系中统( $T_2$ )砂质岩地层,可以细分为3个岩组,由上往下依次为铜川组下段第二岩组、铜川组下段第一岩组、二马营组上段岩组。

铜川组下段第二岩组的岩性特征为:暗紫、灰紫色粉砂质黏土岩,泥质、钙泥质粉砂岩与黄绿、灰白色中厚层长石砂岩互层,夹少量黏土岩。

铜川组下段第一岩组的岩性特征为:以灰绿、灰白色巨厚、厚层、长石砂岩为主,夹紫红色、杂色泥质钙泥质粉砂岩。

二马营组上段的岩性特征为:以暗紫红色、紫红色泥质粉

砂岩、粉砂质黏土岩为主,夹灰绿、肉红、灰褐色厚层长石砂岩,局部夹有砾岩和钙质结核。

由此可见,库坝区的岩性为碎屑岩和泥质碎屑岩,属不易或非诱发水库地震的岩类。

### 2.3 岩体水文地质条件分析

#### 2.3.1 岩体层间裂隙水条件分析

岩体层间裂隙水主要分布于 $T_2f_1^2$ 岩相的巨厚层长石砂岩中,以大气降水补给为主。地形坡度较大,侵蚀强烈,裂隙水多在沟谷边坡沿砂岩底部流出地表而成泉。由于岩性垂直向变化和节理裂隙分布的不均一性,因此岩性层间裂隙水的分布也很不均匀。泉水出露高程一般在 $630\text{ m}$ 以上,三个坝区正常蓄水位设计标高也在 $630\text{ m}$ 左右,因此岩体裂隙水主体不和拟建水库水相连。泉水流量不大,一般为 $0.5\sim 3.0\text{ L/s}$ ,主要出露在基岩顶部 $T_2f_1^2$ 岩组中,约占90%。

#### 2.3.2 岩体的透水性

坝区岩体透水性主要取决于岩性、节理裂隙和风化卸荷作用的发育程度,具有较明显的垂直分带性。砂岩性脆,裂隙较发育,透水性相对强一些;粉砂岩、砂质黏土岩中裂隙较少,且多闭合,透水性差。在近地表处,由于风化卸荷作用的影响,岩体较破碎,透水性较强,因此坝区岩体顶部透水性较强,中、下部较弱,砂岩中有许多泥质岩夹层,上部裂隙水不易直接渗入中、下部岩体中。

## 3 古贤水库地震评价

黄河古贤水库坝区位于地震活动频度低和强度少的地区,不存在易诱发水库地震的碳酸盐类地层,而是不易和非诱发地震的泥质岩和碎屑岩地层;大地构造环境、磁异常、布格重力异常、均衡异常等地球物理异常和地壳厚度、地壳形变场、地壳应力场及地震活动等方面分析表明,坝区地块构造稳定,不具备发生强地震的构造背景;地质上坝区地块为背斜的一翼的单斜构造,地层产状极平缓,基本上呈水平状,未发现断裂带,特别是不存在贯穿坝区的大断裂;不能为库水渗入岩体深部提供通道;地层中夹有不透水或极弱透水的泥质岩层,库水下渗极其困难;两岸泉水多为下降泉,水量小、分布高程高,距河床水位 $150\text{ m}$ 以上,多数处于正常蓄水位附近。

由此可见,坝区不存在明显有利于诱发水库地震的环境条件。即使由于某些其他诱发条件引起了水库地震,也属于浅源的微小地震,远远比不上区域天然地震对坝区安全的影响,即对坝址的水利枢纽地震安全性不会带来影响。

【责任编辑 王 琦】

《人民黄河》2002年精装合订本已装订发行,每本定价80元。杂志社现存有少量往年精装合订本,1985~1991年每本50元,1992~1997年每本60元,1998~2000年每本70元,2001年每本80元(以上价格均含邮费)。有需要订购的单位或个人可汇款至杂志社,并请在“附言”栏内注明所需合订本的年份和数量。联系方式详见目录页。