

关于江垭坝区岩体抬升变形问题的研究

汪士同

(水利部·湖南省水利水电勘测设计研究院,湖南长沙 410007)

摘要:江垭水利枢纽工程经变形监测发现整个坝区岩体在水库蓄水后出现明显的抬升变形,最大抬升量已达到 33.4 mm,文章对此进行了专题研究,揭示了坝区岩体抬升规律,并对抬升变形机理进行了分析,指出江垭坝区岩体抬升变形是由坝基深部存在的承压热水含水层承压水位变化所引起。

关键词:岩体抬升;岩体变形;江垭水利枢纽

中图分类号:TV697.2+3

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2001)07-0013-03

江垭水利枢纽工程位于湖南省慈利县境内澧水一级支流的姜水中游,大坝为全断面碾压混凝土重力坝,河床建基面高程 114 m,最大坝高 131 m,水库正常蓄水位 236 m,总库容 $17.41 \times 10^8 \text{ m}^3$,是一座以防洪为主,兼有发电、供水、航运等综合效益的工程。

工程于 1998 年 10 月下闸蓄水,2000 年 11 月,水库蓄水位上升到 235.94 m,并在 233 m 以上持续 81 d.经观测,水库在蓄水运行过程中,坝区岩体发生了抬升变形,截止 2001 年 6 月,两岸山体最大抬升 18.98 mm,坝基最大抬升 33.4 mm,坝区岩体在蓄水后产生如此明显的抬升现象,在国内外极为罕见,倍受各方关注,并可能影响到大坝安全。

1 地质概况

坝区在区域上属相对稳定地块,地震基本烈度小于 6 度,水库区横跨一系列背向斜构造,无大断裂通过。

坝址区河谷为“U”形狭谷,两岸地形较对称,山坡坡度 $45^\circ \sim 55^\circ$,基岩裸露,地层岩性为泥盆系中、上统砂页岩和二叠系碳酸盐岩类;岩层横切河谷,倾向下游略偏右岸,平均倾角 36° ,坝区断层规模小,仅局限于某一岩层内,破碎带宽一般小于 1 m;坝区水文地质条件特殊,存在呈上下层结构的两种类型地下水,上为以灰岩为主的二叠系中统栖霞组(P_{1q})、茅口组(P_{1m})岩溶裂隙含水层,下为泥盆系中统云台观组(D_{2y} ,厚 173 m)石英砂岩承压裂隙热水含水层,中间以页岩为主的隔水层(包括泥盆系上统 D_{3h} , D_{3s} 及栖霞组下段 P_{1q} ,厚共 67 m)分隔,热水层底板由中泥盆统小溪组(D_{2x})和中志留统罗惹坪群(S_{2lr})砂泥

质页岩(层厚超过 1000 m)组成(见图 1)。

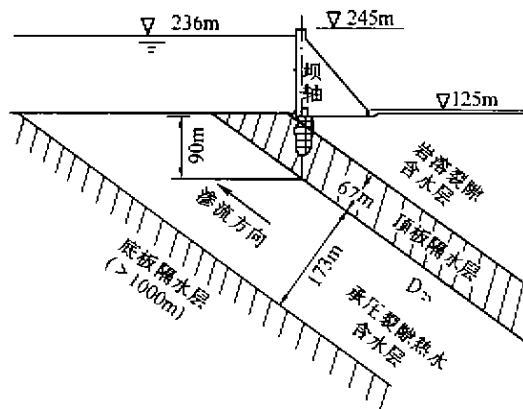


图1 坝基河床地质纵剖面图

承压裂隙热水含水层埋藏于坝轴线河床坝基 90 m 以下,受顶底板隔水层控制,由江垭向斜自流盆地深循环加热形成,坝区热水的补给循环条件见图 2 所示,整个渗流途程约 20 ~ 24 km.勘探期坝区实测热水最高水温 52°C ,承压水位 139 ~ 141 m,以 0.58% ~ 0.98% 的水力坡度倾向上游.经电阻网络模拟试验,水库蓄水后,在库水位 236 m 时坝址处承压水位由 140 m 增大到 239.4 m,变幅 99.4 m,影响距离至坝下游 15 km,经建库后实测,大坝下游侧承压水位始终高于库水位 2 ~ 3 m,而水温基本保持不变。

2 坝区岩体抬升变形规律

根据对监测资料综合分析,坝区岩体抬升变形的规律如下:①抬升变形主要发生在坝前 460 m 至坝下 310 m、高程 360 m 以下河谷及两岸近坝山体的 D_{2y} 承压裂隙热水含水层上覆岩层出露范围;②受

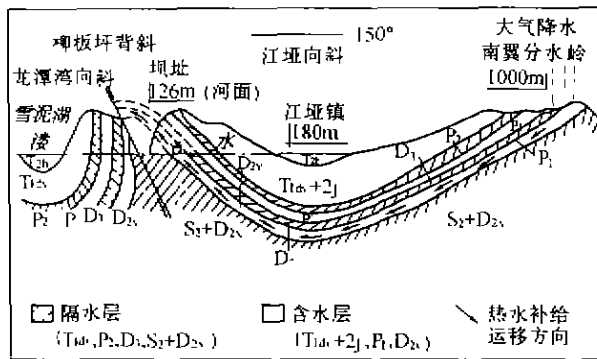


图2 江坝温泉补给循环条件示意剖面

D_{2v} 上覆岩体厚度影响明显,厚度越大,抬升变形越小,故河床大于两岸,且由于岩层倾向下略偏右岸,因此向下游抬升变形渐小(上游以 D_{2v} 顶板为界),左岸略大于右岸;③差异抬升变形不明显,表现为较均匀过渡;④抬升变形的幅度和升降与库水位的升降密切相关,对库水回落反应滞后2~3个月,且变形不能完全恢复;⑤坝基与坝体抬升变形幅度基本一致;⑥坝区岩体抬升变形范围内的水平变形与抬升变形能大致相对应,即随着抬升变形的增大,向下游方向的水平位移分量亦增大。

3 抬升变形机理分析

3.1 影响因素分析

由于坝区岩体抬升变形与库水位密切相关,显然是受随库水位变化而变化的地质因素影响。

a. 遇水膨胀性矿物的影响. 勘探期查明,虽然坝基底部隔水层页岩中含有20%~87%的水云母,但它在建库前就长期位于地下水位以下而处于饱和状态,在建库后这部分岩体饱水条件没有变化.另外,根据有关资料及工程实践证实,岩体中所含膨胀矿物的遇水膨胀性主要与其所受荷载条件相关,在不同荷载条件下其试验膨胀率差别悬殊,而本工程坝区出现的岩体抬升过程中,岩体中所含的膨胀性矿物所受荷载约束条件并未发生大的改变,即使饱水条件有所变化,其膨胀量也是很微小的.通过坝前水库两岸以页岩为主的 D_{2x} 地层中监测点观测,未发现含膨胀性矿物较多的 D_{2x} 岩组有抬升现象,这便足以证明。

b. 构造应力场的影响. 勘探期地应力测量结果表明坝区最大水平主应力 S_H 为14.2~17.2 MPa,对应的最小水平主应力 S_h 为10.2~11.2 MPa,铅直应力 S_v 为3.2~3.6 MPa,最大水平主应力平均方向为346°(与河流方向近于平行),应力状态表现为 $S_H > S_h > S_v$,属逆断层型应力体制,整个测区内侧压系数 S_H/S_h 保持中等水平,为1.22~1.79,应力来源

除自重应力外,存在构造残余应力.但这种构造残余应力场对区内岩体位移场的影响在漫长的地质年代中应已趋于稳定,且构造应力引起的岩体变形应是区域性和持续性的,不会是像本工程坝址区局部范围(相对区域而言),如此敏感于库水位而反复波动,而且本工程区属相对稳定地块,新构造运动迹象不明显.坝区无大断层,不具备由于水库蓄水,积累足以造成坝区岩体抬升变形应变能的地质条件。

c. 坝基岩体温度场变化的影响. 建库后有如下温度观测及相关的试验项目:①承压热水层水温观测;②承压热水层上覆地层水温观测;③坝基排水孔温度观测;④坝基岩体温度观测;④坝前库水温观测;⑤岩石热膨胀性试验.通过多项温度观测成果资料统计分析,均说明坝区岩体内温度在水库蓄水后非但未增加,还略有降低,坝前库水温度正常;而且通过岩石的热膨胀性试验,坝区岩体的线热膨胀系数一般在 $(1 \sim 10) \times 10^{-6} K^{-1}$ 之内,即温度每升高1℃,每100m岩石的热膨胀量在0.1~1mm以内,即使温度升高,岩石受热膨胀变形也是很小的.因此地温因素对坝区岩体抬升的影响可以不考虑。

d. 坝基岩溶含水层扬压力的影响. 坝基防渗帷幕深入到承压热水含水层顶板隔水层(即坝基底部隔水层)中部,切断了作为坝基持力层的岩溶含水层,经观测帷幕达到预期效果,且幕后排水系统完善有效,河床坝基幕后排水岩溶含水层内地下水位保持在130m左右,基本不随库水位变化。

e. 坝基深部承压热水层与库水相通(见图1),其承压水位与库水位密切相关,经观测承压水位始终高于库水位2~3m;并如前述坝区岩体抬升变形分布空间规律亦与承压热水含水层有密切的相关性.故由水库蓄水引起承压热水含水层内承压水位变化是导致坝区岩体抬升的控制性因素。

3.2 承压水位变化对抬升变形的作用机理

对承压热水含水层回弹变形量的估算表明,由于坝址区及其下游一定范围 D_{2v} 层内裂(空)隙水压应力升高,使其岩体有效应力降低,导致岩体卸荷回弹变形,进而引起其地表临空面方向上的上覆岩层抬升变形。

在理论上,坝区岩体抬升变形范围内承压水头的变幅差别是很小的,按承压水头最大变幅99.4m,影响距离为15km计算,得出其变化坡度仅为0.67%,而且 D_{2v} 岩体内的裂隙发育程度也近一致,所以在坝区范围内 D_{2v} 岩体的回弹变形近于均一,即它本身对上覆岩体的抬升变形影响是近于均一的.但考虑其上覆岩体并非是一个刚性体,它是一个含有层间软弱带及节理裂隙的弹塑性体, D_{2v} 回弹变形

在通过其上覆岩体传递到地表的过程中,变形量会有损耗,总体上是上覆盖层越厚,这种损耗便越大。这就解释了抬升变形幅度总体趋势明显受 $D_{2\gamma}$ 上覆岩体厚度影响的抬升变形规律;而坝体可近似看成是一个刚性体,故坝体与坝基抬升变形幅度基本一致。由于坝区岩体是受其下伏的 $D_{2\gamma}$ 回弹变形影响而上抬,实际上可看成是沿岩层倾向向下游的掀斜变形,故随着抬升变形的增大、向下游方向的水平位移分量亦增大。

实际上,抬升问题是一个较复杂的三维变形问题,应考虑各种应力的叠加作用。基于此,应用三维拉格朗日分析程序(FLAC^{3D})进行了三维数值模型分析,结果表明,计算的抬升变形量及变化趋势与实际相符,应证了坝区岩体抬升乃是由坝基深部承压裂隙热水含水层承压水位随水库蓄水位变化所引起的地质结论。通过循环蓄水模拟显示,坝区岩体抬升变形基本上还属于一种微量的弹性变形,其残余变形不明显,说明前述抬升变形量在库水回落时不能完全恢复的变形现象,实际上是属于只在一定时期内存在的部分不可逆变形现象,并非真正的塑性变形,这进一步应证了回弹变形的作用机理。

另外,通过现场取样进行的室内岩石力学模拟试验证实,空隙水压力增高相当于使轴向荷载减荷,均可使试件卸荷回弹;当空隙水压力阶梯式增高时,每增高一级,卸荷回弹变形延续一段时间以后才完成,这是由于水渗入裂隙有一过程。试验展示了变形

的时效特征。

4 结 语

a. 江垭坝区岩体抬升的关键是由于其水文地质条件特殊,即坝基深部存在与库水连通的、富水性良好的承压热水含水层。其作用机理是,水库蓄水后引起该含水层内裂(空)隙水压力增加,使岩体内有效应力降低,引起岩体回弹变形,进而造成坝区岩体抬升。其抬升总变形量受库水位制约,在水库正常蓄水位范围内变形会逐渐趋于稳定。因坝区岩体抬升表现为较均匀过渡,大坝为整体抬升,故不致因差异变形对工程造成危害。目前通过坝内外变形监测和坝基渗压、渗流场观测,证实大坝及坝基防渗帷幕工作良好,其顶板隔水层作为坝基底部隔水层防渗可靠。

b. 江垭坝区岩体抬升虽有它的特殊性,但由于建库引起岩体裂(空)隙水压力的变化却是共有的地质问题。20世纪50年代,岩石力学界已从理论上将太沙基(1933)土力学中的有效应力原理引入岩石力学,本工程为这一理论提供了一个典型实例,因此具有重要的理论意义和实际应用价值。一般情况下,虽岩体内裂(空)隙水压力的变化不足以产生像本工程如此明显的抬升变形现象,但其影响实际上是存在的,在研究岩体破坏和稳定时值得重视。

参考文献:

- [1] 徐志英. 岩石力学[M]. 北京:水利出版社,1981.
(收稿日期:2001-08-20 编辑:熊水斌)
- (上接第5页)
- [3] 许东俊. 岩基软弱面的工程力学性质研究 30 年[J]. 岩土力学,1989,10(3):13~19.
- [4] 叶金汉. 岩石基本力学性质的试验研究[J]. 水利水电技术,1991(1):24~28.
- [5] 周维垣、杨延毅. 节理岩体力学参数取值研究[J]. 岩土工程学报,1992,14(5):1~11.
- [6] 张永兴. 岩石高陡边坡的岩体模型及其参数研究[J]. 岩土工程学报,1995,17(4):77~84.
- [7] 张勤. 裂隙岩体结构面力学参数取值的工程地质研究[J]. 河海大学学报,1999,27(6):114~117.
- [8] 陈志坚,卓家寿. 样本单元法及层状含裂隙岩体力学参数的确定[J]. 河海大学学报,2000,28(1):14~17.
- [9] 石根华. 岩体稳定分析中的赤平投影方法[J]. 中国科学,1977(1):17~26.
- [10] 罗国煜. 地质灾害优势面分析理论与方法[J]. 自然灾害学报,1992,1(3):45~55.
- [11] 罗国煜. 岩坡优势面分析理论方法[M]. 北京:地质出版社,1991.
- [12] 卓家寿. 工程稳定问题中确定滑塌面、滑向与安全度的干扰能量法[J]. 水利学报,1997(8):80~83.
- [13] 陈志坚. 干扰位移法及层状岩质边坡滑动边界的确定[J]. 岩石力学与工程学报,2000,19(5):630~634.
- [14] 刘光尧. 砂页岩和泥岩的含水条件及含水层分类[J]. 水文地质工程地质,1980,7(5):24~27.
- [15] 吴旭君. 水对岩质边坡稳定性的影响[J]. 水文地质工程地质,1991,18(3):32~36.
- [16] 李德欣. 暴雨时边坡稳定性的计算实例[J]. 水文地质工程地质,1985,12(2):32~36.
- [17] 山上拓男. 渗透力与渗透水压力[J]. 施泽华译. 华水科技情报,1981,(4):97~99.
- [18] 朱岳明. 裂隙岩体渗流研究述评[J]. 河海科技进展,1991,11(2):16~25.
- [19] 张有天、张武功. 裂隙岩石渗流特征、渗流数学模型及系数测量[J]. 岩石力学,1982(8):41~52.
- [20] 毛昶熙. 裂隙岩体渗流计算方法研究[J]. 岩土工程学报,1991,13(6):1~10.
- [21] 陈志坚,吉林. 层状岩质边坡地下水分布特征及其控稳作用[J]. 河海大学学报,2001,29(1):107~110.
(收稿日期:2001-07-01 编辑:张志琴)