

小浪底水利枢纽工程右岸坝基漏水问题分析

王登科,崔志芳,温秋生,杨 浩

(黄河水利委员会勘测规划设计研究院,河南 郑州 450003)

摘要:小浪底水库蓄水后,位于右岸坝基1号排水洞的排水量远远大于三维渗流计算的排水量,文章在阐述右岸坝基的地质构造、水文地质条件、地下水在基岩裂隙中运动规律的基础上,分析了造成右岸坝基漏水的主要原因及采取的工程处理措施。

关键词:坝基渗漏;灌浆帷幕;层状渗漏;壳状渗漏;带状渗漏

中图分类号:TV652.2

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2001)07-0092-03

小浪底水利枢纽工程大坝为设有内铺盖的壤土斜心墙堆石坝,坝顶高程281m,设计坝高154m,坝顶长1667m,宽15m,最大坝底宽度864m。上、下游坝坡分别为1:2.6(下部1:3.5)和1:1.75,坝体设计总填筑量5184.7万 m^3 ,坝基总开挖量为770万 m^3 。

1 坝基的水文地质特性

1.1 地层岩性

右岸坝基 F_1 断层以北由西至东出露二叠系 P_2^1 、三叠系 T_1^1 和 T_1^2 岩组;岩层产状: $75^\circ \sim 95^\circ \angle 7^\circ \sim 9^\circ$; F_1 以南至 F_{230} 断层间出露二叠系 P_2^2 、 P_2^3 、 P_2^4 岩组,岩层产状: $50^\circ \sim 60^\circ \angle 7^\circ \sim 9^\circ$; F_{230} 断层以南坝基出露二

叠系 P_2^5 岩组和三叠系 T_1^3 岩组,岩层产状: $90^\circ \sim 120^\circ \angle 5^\circ \sim 8^\circ$ 。 P_2^1 、 T_1^1 、 T_1^2 以砂岩为主, P_2^2 、 P_2^3 以粘土岩为主。

1.2 地质构造

右岸坝基开挖揭露的顺河向断层自北向南主要为 F_1 、 F_{233} 、 F_{231} 和 F_{230} ,断层在心墙区的分布情况及特性见表1。其中 F_1 断层规模最大,在心墙区断层带及破碎影响带宽度为14~20m,其南北两盘均有一系列分支断层。 F_{230} 断层在心墙区断层带宽度为0.5~0.8m,有5条分支断层在此交汇,由东向西呈扩散状,两盘岩体较破碎。主要断层在右岸坝基的展布情况见图1。

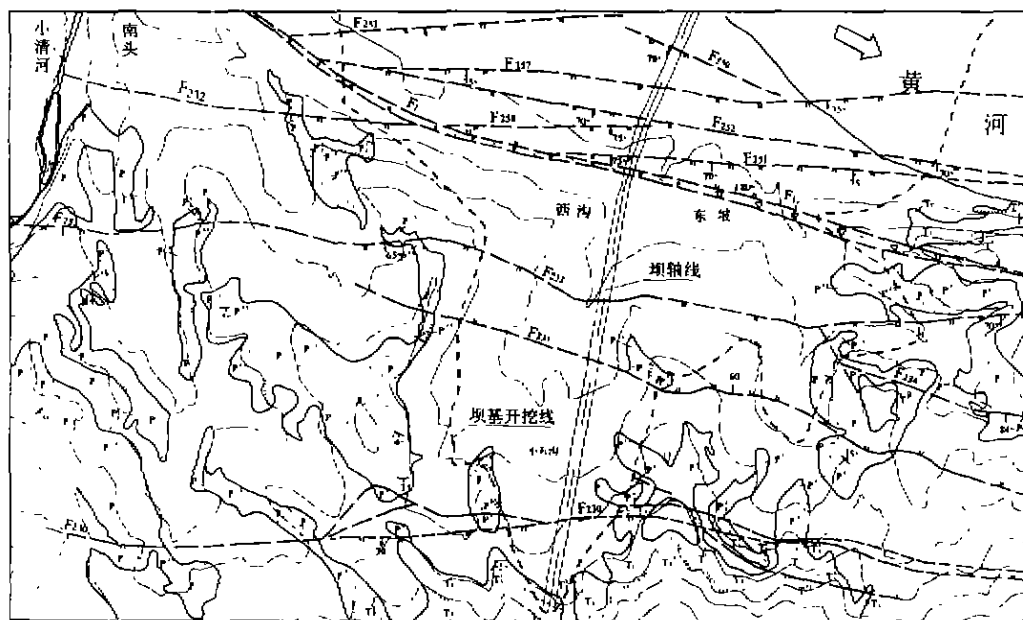


图1 右岸坝基构造地质

作者简介:王登科(1963—),男,河南扶沟人,工程师,主要从事水文地质与工程地质勘察工作。

表 1 右岸坝基心墙区出露的主要断层

断层 编号	产状			垂直断距 /m	坝基下分布长度 /m	断层带宽度 /m	断层带物质
	走向/(°)	倾向	倾角/(°)				
F ₁	118	NE	83	220	750	0.9~1.5	断层带为断层泥夹角砾、岩屑,影响带为碎块岩
F ₂₃₀	102	SW	68	15~17	420	0.5~1.7	以断层泥为主,夹少量角砾
F ₂₃₁	103	NE	82~85	4	350	1~1.5	以断层泥为主,夹少量角砾
F ₂₃₆	100	SW	73	50~70	210	0.5~0.8	断层泥夹岩屑

右岸坝址区发育的节理有 4 组,其中以 NWW, NNW, NNE3 组节理为主,局部形成节理密集带,节理面大多平直粗糙,节理宽度 0.2~2 mm,充填钙质薄膜,粘土岩中节理相对不发育。

1.3 基岩中地下水渗流的基本特征

基岩裂隙水广泛分布于坝址区裂隙岩体中。据施工前地下水长期观测资料及泉水出露情况,右岸 F₁ 断层以南至 F₂₃₀ 断层潜水位一般 141~200 m, F₂₃₀ 断层以南在 230 m 以上,由于 P₂¹ 厚层粘土岩的隔水作用,其下伏各砂岩含水层中地下水均为基岩裂隙承压水,承压水头一般高出河水位 2~10 m,同时,由于岩层倾向东或北东方向,在软岩隔水层作用下,各裂隙中地下水含水层自西向东渐次由潜水变为承压水。受岩性、构造及风化卸荷作用控制,坝址区基岩表现出显著的层状非均质各向异性渗透特征,从宏观上看,砂岩类地层的渗透性大于泥岩类地层,顺层方向的渗透性大于垂层方向,浅部岩体的渗透性大于深部岩体,顺断裂方向的渗透性大于垂直断裂方向。坝址区基岩裂隙岩体的上述渗透特征,决定了其地下水渗流运动的基本规律。

2 大坝防渗设计

小浪底大坝为座落在 70 余 m 深砂卵石覆盖层上的心墙堆石坝,坝基采用垂直防渗为主,水平防渗为辅的防渗措施。混凝土防渗墙厚 1.2 m,上部插入心墙 12 m,截断覆盖层并嵌入基岩 1~4 m,墙顶高程为 126 m 和 128 m,最大造孔深度约 80 m,沿轴线全长 439 m。混凝土防渗墙与两岸固结灌浆及帷幕灌浆形成完整的防渗体系。斜心墙通过坝内短铺盖和坝前天然淤积形成辅助防渗体系。右岸灌浆帷幕后设 1 号排水洞,排水洞洞底高程 145 m,顶、底均布置排水孔,排水孔顶部高程为 170~180 m,底部高程为 100~110 m。

3 右岸坝基漏水原因分析

3.1 右岸坝基渗漏量计算

大坝渗流控制方案确定后于 1995 年 5 月完成了整体三维渗流计算,渗流计算按上游库水位 275 m,下游最高水位 141 m,坝前淤积顶面高程 200.0 m,天然铺盖长 1000 m 计算。计算结果表明断层 F₁ 与 F₂₃₀

之间的漏水量,有天然铺盖时为 1366.25 m³/d,无天然铺盖时为 1418.0 m³/d。

3.2 蓄水后右岸坝基渗漏情况

1999 年 10 月 25 日小浪底水库下闸蓄水,12 月份以后库水位调控在 EL 205~209 m 之间,右岸 1 号排水洞渗漏量由下闸前无水流排出猛增为 8640 m³/d,远大于三维渗流的计算结果。

3.3 渗漏原因

3.3.1 地质条件的影响

在大坝的上游,原小清河东侧 210 m 高程以下出露的 P₂² 及 P₂³ 岩组均是由透水的砂岩与相对隔水的粘土岩组成,这些地层中的砂岩形成库水向下游渗漏的通道,特别是靠近地表的风化卸荷带,节理裂隙发育,透水性较强。

4 条主要断层及其之间小断层与河流走向近平行,并贯穿坝基上下游,垂直断层基本上是不透水的,但由于断层两侧影响带宽达数米至数十米,岩体相对破碎,透水性很强,是原地层透水性的数十倍甚至更大,因此,断层影响带是库水向下游渗漏的重要通道。

右岸坝基渗透特征:①层状渗透,主要透水岩组有 P₂¹⁻¹、P₂²⁻³、P₂³⁻²、P₂³⁻⁴,隔水岩组有 P₂¹、P₂³;②带状渗漏,断层两盘影响带成为主要的渗漏;③壳状渗漏,沿基岩风化壳及岸边卸荷带形成的渗漏。故右岸坝基渗漏是层状、带状、壳状三种透水结构的叠加。

3.3.2 计算方面的原因

水库蓄水后,发现 1 号排水洞的漏水量远大于三维渗流计算的值,根据 1 号排水洞的实际渗漏水量,反演相关岩组(P₂¹, P₂³, T₁¹, T₁³)的渗透系数 K,结果右岸 P₂² 岩组 K=3.05 m/d,比三维渗流计算采用的 0.17 m/d 大 18 倍,同样,其它岩组的 K 值比渗流计算采用的值均大,这说明三维渗流计算时渗透系数 K 的取值明显偏小。主要有以下原因:前期地质勘察工作中,在钻孔做压水实验时,往往出现一些无压漏水段,无法准确测得该试段的 W(单位吸水量)值。这样使得 W 平均值偏小,由此计算的 K 值偏小;排水设计时, K 值应取大值,但在三维渗流计算中,采用 K 值偏小;对右岸坝基进行渗漏计算时, K 值的选取必须考虑 4 条主要断层的影响,取原地层的渗

透系数是不能反映实际情况的,应该是断层影响下的渗透系数。

3.3.3 防渗帷幕设计及施工质量的影响

由于考虑到黄河泥沙量大的特点及天然铺盖的防渗作用,灌浆帷幕只布置了一排灌浆孔,局部为3排,并且灌浆帷幕未深入到 P_2 隔水层中,呈悬挂式。因为只有一排灌浆孔,因此灌浆帷幕的施工质量不能达到设计要求至关重要。在施工中,灌浆孔稍有倾斜(这很难避免),钻孔的底部就不会在一个垂直平面上,在帷幕的下部形成很多缺口,不能形成连续的防渗帷幕,很难达到防渗设计的要求。从观测到的灌浆帷幕上、下游水位高程及随时间变化的一致性,说明灌浆帷幕的阻水作用不明显。

3.3.4 水库蓄水时间的影响

由于水库蓄水是在汛期过后开始的,此时上游来水是清水,不能在坝前淤积而形成天然铺盖。因此,防渗设计时考虑到的天然铺盖没有形成,起不到防渗作用,从而导致库水向下游的渗漏量增大。

4 工程补充处理措施

针对右岸1号排水洞的漏水量问题,经多次研究并听取有关专家的意见,拟采取以下处理措施:①

在右岸坝体上游距坝轴线约180m设置一道灌浆帷幕,灌浆帷幕为单排孔,灌浆孔深95~105m,已于2000年上半年完成。由于该灌浆帷幕不是在坝轴线上,不能形成封闭的帷幕,因此,其防渗效果是有限的,从1号排水洞排水孔出水量的变化情况判断,右岸坝基渗漏水量减小20%~30%。②在1号灌浆洞进行补强灌浆。

5 结 语

众所周知,黄河泥沙含量高,正是因为过多考虑了泥沙淤积形成的天然铺盖的防渗作用,而忽视了渗漏处理问题。特别是右岸坝基发育4条贯穿坝体上、下游的主要断层,受其影响还产生一系列小断层,岩体破碎,透水性强,形成库水向下游渗漏的重要通道,没有引起足够的重视。

随着水库的运行,汛期洪水挟带的泥沙在坝前沉淀淤积,有利于坝前天然铺盖的形成,坝基的渗漏条件将会得到改善。

但渗流产生的渗透压力及可能出现的渗透变形对坝基稳定性的影响依然不可忽视。

(收稿日期:2001-08-30 编辑:熊水斌)

(上接第76页)峰值加速度贡献主要为郑州、新乡两震源,它们的贡献见表2。

表2 潜在震源区贡献 %

潜在震源	$P=63\%$	$P=10\%$	$P=3\%$
新乡	49	93	100
郑州	16	7	0
临汾	8	0	0
其它	27	0	0

表3 基岩地震加速度反应谱 Gal

周期/s	$P=63\%$	$P=10\%$	$P=3\%$	周期/s	$P=63\%$	$P=10\%$	$P=3\%$
0.04	36.69	108.4	213.5	0.40	57.49	183.4	380.5
0.05	43.16	124.0	242.3	0.42	52.76	175.0	366.7
0.06	56.60	154.7	300.8	0.46	43.83	153.5	323.1
0.07	55.31	152.2	294.7	0.50	39.23	137.4	288.9
0.08	63.67	168.5	327.8	0.60	36.67	127.5	267.5
0.10	84.28	206.7	394.4	0.70	30.27	109.0	231.5
0.12	106.0	239.4	453.0	0.80	25.10	92.97	201.5
0.14	119.4	262.8	498.0	0.90	20.32	80.93	180.1
0.16	128.4	282.1	533.5	1.00	16.80	72.83	166.2
0.18	131.9	289.4	547.0	1.20	13.72	63.14	147.7
0.20	122.3	286.3	550.6	1.50	10.53	45.45	106.8
0.24	107.0	264.2	515.6	1.70	9.62	38.64	88.30
0.26	103.5	257.2	503.3	2.00	7.78	30.03	66.55
0.30	87.60	228.2	449.3	2.40	6.75	22.66	48.97
0.34	79.81	221.6	446.0	3.00	5.08	15.42	33.42
0.38	64.47	195.8	401.7				

4.2 基岩地震加速度反应谱

采用基岩地震加速度反应谱衰减关系,通过地震危险性概率分析对每一个周期点进行计算,可以得到工程场址50年超越概率63%,10%,3%的基岩地震加速度反应谱,见表3。

(收稿日期:2001-07-27 编辑:马敏峰)

(上接第79页)岩石新鲜,致密坚硬,围岩无不稳定组合,开挖成型好,能长期自稳,无需喷锚支护。

b. 洞内存在3条小断层,宽度窄,倾角陡,走向与洞线方向近于垂直,虽对洞身稳定影响不大,但存在溶蚀现象,可构成良好渗漏通道,对此已做防渗处理。

c. 少量零星分布的溶蚀裂隙,对隧洞稳定影响不大,但有可能产生渗漏,对此已采取防渗措施予以封堵。

d. 隧洞进口洞脸边坡稳定,明洞段基础大都置于基岩上,无不均匀沉降问题。

(收稿日期:2001-06-20 编辑:马敏峰)

