

某碾压混凝土重力坝坝基扬压力监测成果分析

李 新, 尚 层

(新疆额尔齐斯河流域开发工程建设管理局, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要:为了解某碾压混凝土重力坝运行多年后出现坝基扬压力较高的原因并及时采取相应的措施,对该坝近几年坝基扬压力的安全监测资料进行了整理、分析和安全评价。借助渗压计和量水堰的监测数据,从扬压力系数、开合度、扬压力分布及变化等方面,分析了造成坝基扬压力较高的诸多原因,并提出通过新增排水孔的措施及时降低坝基扬压力。监测结果表明:采取相关措施后,总体上,该坝工作状态良好,坝基扬压力的升高未对大坝安全造成影响。

关 键 词:碾压混凝土重力坝;安全监测;坝基扬压力

中图法分类号:TV698.1+2

文献标志码:A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.21.024

碾压混凝土重力坝由于具有体型简单、造价低、施工方便、建设速度快和能适应多种地基条件的特点而被广泛应用于坝工建设中。但在重力坝运行阶段,扬压力过高会对大坝的稳定、变形等安全问题产生不利影响,因此,扬压力问题在大坝安全监测中占有十分重要的地位。本文基于大坝安全监测资料,分析扬压力较高的原因并及时采取相应的工程措施,为工程安全运行提供有力保障^[1-5]。

1 工程概况

某碾压混凝土重力坝水库总库容为24亿m³,属I等大(一)型水库,主要由主坝、1,2号副坝、泄水建筑物、发电引水系统、厂房和次要建筑物组成,工程以供水为主,兼顾防洪和发电。

该碾压混凝土重力坝坝顶高程为745.5 m,正常蓄水位739.0 m,最大坝高121.5 m,大坝全长1 570 m,包括左岸台地坝段、左岸岸坡坝段、河床坝段、右岸岸坡坝段和右岸台地坝段等87个坝段;副坝最大坝高14.5 m,坝段长535 m,电站装机容量为140 MW。坝址处地震基本烈度为7度,主、副坝设计烈度为8度。

库区出露的地层,在近库坝段及支流坝段主要是上石炭统和中泥盆统变质砂岩、片岩、片麻岩及构造杂

岩。近坝左岸3.4 km和右岸1.9 km的库段,可能存在库水通过强风化层向下游渗漏的问题,但在施工期已作防渗处理。库区附近的主要构造形迹为褶皱和断层,其中库坝区的褶皱主要位于两向斜的南翼,坝址区断层主要发育有NE、NW和EW向3组,这些断层规模不大、延伸短、破碎带狭窄。按照规范要求,已完成相关水工建筑物的抗震设计,并在库区周边建立了相应的地震监测设施。

2 坝基扬压力监测仪器布置

在主河床封闭式帷幕灌浆廊道、横向灌浆廊道以及横向对外交通廊道布设测压管83支,以观测坝基扬压力分布。其中,上游帷幕灌浆廊道内11~77号坝段布设了47支测压管,下游帷幕灌浆廊道内25~38号坝段布设了14支,横向灌浆廊道25,28,31,34,39号及42号坝段布设了22支。在测压管内安装渗压计,监测孔布置在建基面以下1.0 m深度。廊道内还安装了20支量水堰,用以监测坝基渗流量(见图1)。

3 监测成果分析

3.1 扬压力系数与渗压系数

扬压水位高于坝底高程的水柱高度为扬压水头

H_i , 扬压水头与上游水深 H_1 的比值为扬压系数 α_i , 即

$$\alpha_i = \frac{H_i}{H_1}$$

(1)

渗压水头与上下游水位差的比值为渗压系数 α_i' , 即

$$\alpha_i' = \frac{H_i - H_2}{H_1 - H_2}$$

(2)

式中, H_2 为下游水深。

根据监测资料, 并利用公式(1), 将 2014 年 12 月 29 日计算的上游及下游纵向灌浆廊道的扬压力系数列于表 1 与表 2 中。

表 1 上游纵向灌浆廊道扬压力系数

测点 编号	埋设高程/ m	测值/ m	扬压力水头/m		扬压力系数	
			设计	实测	设计	实测
P25-12	645.67	692.88	29.55	47.21	0.35	0.56
P26-13	635.64	656.00	33.06	20.36	0.35	0.22
P27-14	626.26	654.64	36.34	28.38	0.35	0.27
P28-15	625.40	674.27	20.94	48.87	0.20	0.47
P29-16	625.51	685.85	20.92	60.34	0.20	0.58
P30-17	623.91	659.61	21.24	94.21	0.20	0.89
P31-18	623.91	671.18	21.24	47.27	0.20	0.45
P32-19	623.38	687.12	21.34	63.74	0.20	0.60
P33-20	623.72	639.91	21.27	16.19	0.20	0.15
P34-21	628.51	634.65	20.32	6.15	0.20	0.06
P35-22	626.03	633.57	20.81	7.54	0.20	0.07
P36-23	626.20	639.27	36.36	13.07	0.35	0.13
P37-24	627.45	646.33	35.92	18.88	0.35	0.18
P38-25	633.57	659.99	33.78	26.42	0.35	0.27

注: 上游水位 730.09 m, 下游水位 641.21 m, 下同。

(1) 从表 1 中可以看出, 上游纵向灌浆廊道的扬压力系数范围为 0.06~0.89, 其中 P25-12、P28-15、P29-16、P30-17、P31-18、P32-19 处扬压力系数较大, 分别为 0.56、0.47、0.58、0.89、0.45 和 0.60, 均超过设计扬压力系数, 初步判断和库水位的变化、坝基温度等因素有关。

(2) 从表 2 中可以看出, 下游纵向灌浆廊道的扬压力系数范围为 0.16~2.45, 其中 P28-51、P30-53、

P31-54、P32-55、P33-56、P37-60 处扬压力系数较大, 分别为 2.45、0.81、0.54、1.08、0.63 和 1.04, 均超过设计扬压力系数, 初步判断也是和库水位的变化、坝基温度等因素有关。

表 2 下游纵向灌浆廊道扬压力系数

测点 编号	埋设高程/ m	测值/ m	扬压力水头/m		扬压力系数	
			设计	实测	设计	实测
P25-48	645.94	647.16	2.36	1.22	0.50	0.26
P26-49	631.60	633.18	4.81	1.58	0.50	0.16
P27-50	625.96	632.69	7.63	6.73	0.50	0.44
P28-51	625.93	663.39	7.64	37.46	0.50	2.45
P29-52	625.75	630.95	7.73	5.20	0.50	0.34
P30-53	624.28	637.98	8.47	13.70	0.50	0.81
P31-54	623.57	633.04	8.82	9.47	0.50	0.54
P32-55	624.01	642.66	8.60	18.65	0.50	1.08
P33-56	625.10	635.22	8.06	10.12	0.50	0.63
P34-57	627.36	633.07	6.93	5.71	0.50	0.41
P35-58	627.97	633.22	6.62	5.25	0.50	0.40
P36-59	628.04	633.41	6.59	5.37	0.50	0.41
P37-60	631.13	641.58	5.04	10.45	0.50	1.04
P38-61	633.68	-	3.77	-	0.50	-

3.2 开合度监测

(1) 基岩和坝体接触面开合度。从监测资料中可以看出, 各坝段基岩和坝体接触面的开合度均随着库水位的升高而有不同程度的增大, 变化范围为 0.62~1.33 mm。

(2) 横缝开合度。29~30 号坝段 638 m 高程处的上游面横缝开合度变化范围为 0.81~1.41 mm, 下游面横缝开合度变化范围为 1.43~1.86 mm。668 m 高程处的上游面横缝开合度变化范围为 1.64~2.38 mm。下游面横缝开合度变化范围为 1.17~3.66 mm。

(3) 斜坡段基岩和坝体接触面开合度。25~26, 38~39 号坝段斜坡段基岩和坝体接触面的开合度也都随着库水位的升高呈不同程度的增大, 与库水位呈正相关变化, 最大变化范围分别为 1.11~2.46 mm 和 1.79~1.96 mm。

3.3 扬压力变化规律

近期监测资料显示坝基扬压力较高, 据此选取近 3 a 的安全监测资料对其进行分析, 判断引起坝基扬压力较高的原因。

(1) 受库水位的影响。坝基扬压力随着库水位的上升而增大, 总体和库水位呈正相关, 从监测资料可以看出, 坝基扬压力的变化, 稍滞后于库水位的变化。

(2) 受环境温度和坝基温度

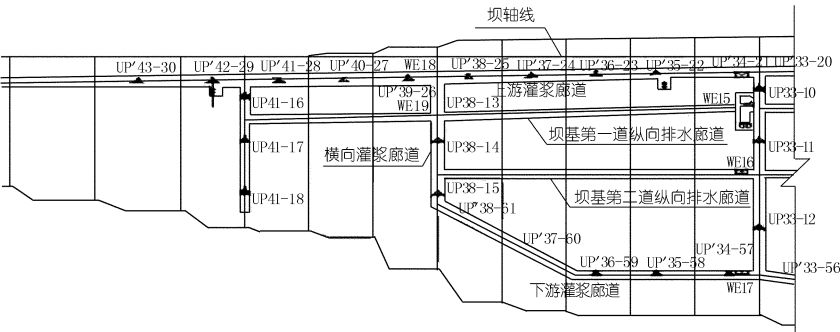


图 1 坝基扬压力监测平面布置(1:500)

的影响。基岩和坝体接触面的开合度受库水位和温度的影响,当库水位升高开合度会相应增大;由于温度的热胀冷缩效应,使基岩和坝体接触面的开合度会出现不同程度的变化,从而导致渗流量的增加,增大了坝基扬压力。

(3) 受复杂地质条件的影响。库区附近的主要构造形迹为褶皱和断层,地质条件较为复杂,库水也会沿着强风化层向下游渗漏,在施工期虽已经过处理,但难免会有处理效果不佳的部位,工程运行多年后可能会有库水渗漏,造成扬压力偏高的情形。

(4) 受排水孔排水不畅的影响。在进行渗流量和排水孔的调查时发现,部分排水孔不出水或出水较少,这种情况下排水孔排水不畅也是导致坝基扬压力较高的原因。

3.4 扬压力分布规律

3.4.1 横向分布规律

取典型坝段——31 号坝段为例,P31 - 68、P31 - 69、P31 - 70 埋设在 30 ~ 31 号坝段横缝处横向灌浆廊道的坝基内,P31 - 68 的渗压水位与库水位密切相关,渗压水位随库水位的上升而缓慢增加,P31 - 69、P31 - 70 的渗压水位较低,截至 2014 年 11 月,2 支仪器渗压水头升幅分别为 2.83 m 和 3.54 m。由 31 号坝段横向廊道扬压力分布图可知,该坝段 P31 - 68 测点的扬压力超设计值 3.52 m;P31 - 69 测点的略超设计值 0.36 m。

3.4.2 纵向分布规律

左岸台地坝段(11 ~ 18 号坝段)上游纵向灌浆廊道的基岩内安装了 5 支渗压计,部分渗压计实测扬压力超出设计值范围 0.24 ~ 6.92 m。

左岸岸坡坝段(19 ~ 27 号坝段)上游纵向灌浆廊道基岩内安装了 9 支渗压计,P25 - 12 渗压计实测扬压力超出设计值 15.79 m。

主河床坝段(28 ~ 35 号坝段)上游纵向灌浆廊道的基岩内安装了 8 支渗压计,部分渗压计实测扬压力超出设计值范围 26.49 ~ 45.66 m。

右岸岸坡坝段(36 ~ 43 号坝段)上游纵向灌浆廊道基岩内安装了 8 支渗压计,各渗压计的实测扬压力均小于设计值。

右岸台地坝段(44 ~ 77 号坝段)上游纵向灌浆廊道基岩内安装了 17 支渗压计,部分渗压计实测扬压力超出设计值范围 0.33 ~ 13.85 m。

主河床典型坝段坝基上游纵向灌浆廊道测压管水位过程线见图 2。

3.5 钻孔前后扬压力变化情况

鉴于主河床段、左右岸坡和台地等部分坝段坝基扬压力较高,为了保证工程安全运行,笔者所在单位立即采取了相应的工程技术措施,即在原有的排水孔基础上,每两孔之间又新增一个排水孔。截至目前,已完成 25 ~ 32 号坝段钻孔,新增的排水孔中,80% 有水渗出,就这部分坝段而言,总体效果还是很好的。钻孔前后上游纵向帷幕灌浆廊道扬压力对比见图 3。

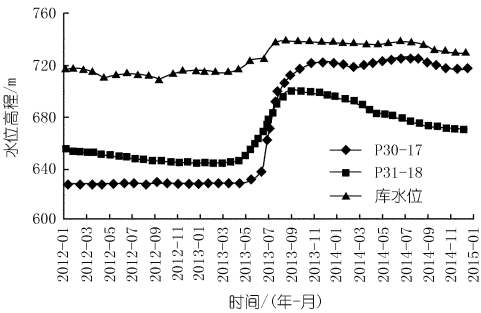


图 2 典型坝段坝基上游纵向灌浆廊道测压管水位过程线

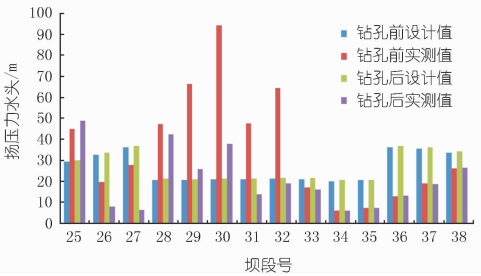


图 3 钻孔前后上游纵向灌浆廊道扬压力对比

从图 3 中可以看出,截至 2015 年 1 月 31 日,在大坝上游水位持续上涨的情况下,采取钻孔排水来降低坝基扬压力的措施,除 25 号坝段未发生明显变化以外,26 ~ 32 号坝段均取得了明显效果。

(1) 26,27 号坝段坝基扬压力虽未超设计值,但扬压力水头也分别下降 11.46 m 和 21.35 m。

(2) 钻孔前扬压力超设计值的 31,32 号坝段,钻孔后扬压力水头分别下降了 33.78 m 和 45.6 m,满足设计要求。

(3) 29,30 号坝段扬压力仍然超出设计值,但扬压力水头下降显著,分别降低 40.6 m 和 56.25 m。

(4) 28 号坝段扬压力水头虽有降低,但效果不明显,仅降低了 4.83 m。

(5) 25 号坝段剩余 2 个排水孔未完成钻孔工作,可能对该坝段扬压力水头降低有影响。

横向灌浆廊道虽未开始钻孔,但受上游纵向帷幕灌浆廊道钻孔排水的影响,25 ~ 28 号坝段横向灌浆廊道扬压力水头也有所降低。尽管 28 号坝段扬压力水头依然超出设计值,但降低效果明显,尤其是 P28 - 66

孔,降低了 19.32 m,仍需采取钻孔排水措施。

下游纵向帷幕灌浆廊道未开始钻孔,主要受下游水位等的影响,当前扬压力也较高,目前考虑继续钻孔,排水降压。

4 结 论

通过对某碾压混凝土重力坝坝基扬压力的监测成果分析,可以得出以下结论。

(1) 受库水位升高、环境温度与坝基温度变化、复杂地质条件、排水孔排水不畅等因素的影响,坝基各部位开合度会出现不同程度的变化,加之基岩裂隙的变化等,最终导致碾压混凝土重力坝坝基扬压力较高。

(2) 鉴于坝基扬压力较高,采取了及时增加排水孔的措施。上游帷幕纵向灌浆廊道的扬压力降低效果非常明显,大部分排水孔都有出水情况,扬压力得到了释放;横向灌浆廊道虽未开始钻孔,但受上游钻孔的影响,部分渗压计的测值也有所降低。

(3) 从目前采取的钻孔排水措施情况来看,降低坝基扬压力的效果很明显,横向灌浆廊道和下游帷幕

纵向灌浆廊道也应及时采取钻孔排水的方法。同时,坝基基岩有可能存在裂隙,也应采取增加帷幕灌浆等工程措施对其进行处理,以达到“上挡下排”的效果,从而彻底解决坝基扬压力较高的问题。

(4) 通过对近几年的工程安全监测资料结果进行分析发现,各监测项目均在安全指标范围内变化,坝基扬压力的升高未对该碾压混凝土重力坝的安全产生影响,使其仍处于安全运行工作状态。

参考文献:

[1] 孙恭尧,王三一,冯树荣.高碾压混凝土重力坝[M].北京:中国电力出版社,2003.

[2] 赵志仁.大坝安全监测的原理与应用[M].天津:天津科学技术出版社,1991.

[3] 陈兰,陈浙新,王少伟.古田溪四级大坝坝基扬压力综合分析[C]//2012 年中国水力发电工程学会大坝安全监测专委会年会暨学术交流会议论文集,2012.

[4] 朱凯,梅一韬,刘敬洋,等.某水电站坝基扬压力异常原因分析[J].人民长江,2013,44(1):52-56.

[5] 宋汉周,赖诗坤,童海涛.探讨大坝基础局部扬压力异常机理的综合分析方法[J].水力发电学报,2003,(4):60-66.

(编辑:胡旭东)

Analysis on monitoring results of foundation uplift pressure of a RCC gravity dam

LI Xin, SHANG Ceng

(Xinjiang Irtysh River Basin Development Project Construction and Management Bureau, Urumqi 830000, China)

Abstract: The foundation uplift pressure of a RCC gravity dam is becoming large after years of operation. To timely take appropriate measures, the RCC gravity dam safety monitoring data of the uplift pressure in recent years were reviewed, analyzed and evaluated. The causes for the high foundation uplift pressure were analyzed in terms of uplift pressure coefficient, openings, uplift pressure distribution and variation by using the monitoring data of osmometer and measuring weir, and the measures of increasing drainage holes to lower the foundation uplift pressure in time were put forward accordingly. After taking a series of measures, the gravity dam was in safe condition, and the elevation of foundation uplift pressure did not affect the dam safety from the overall perspective.

Key words: RCC gravity dam; safety monitoring; uplift pressure of dam foundation

