

①
2P-31

蚌埠闸减压井减压效果分析评价

周志芳

汪斌

(河海大学土木工程学院 南京 210098)

(水利部淮河水利委员会 蚌埠 233001)

Tr662
TV135

摘要 为了定量分析蚌埠闸减压井的减压效果,给出了天然水头差、减压水头差和井损水头差的定义,采用数值分析和统计分析相结合的方法,探讨了现有减压井的减压效果,及影响减压井减压的因素,建议采用修复、改造减压井方案或在两岸打抽水井以减压井抽水井相结合的方案,保证蚌埠闸安全与稳定。

关键词 蚌埠闸;减压井;数值分析;井损水头差

蚌埠闸水利枢纽工程由节制闸、水电站、船闸和分洪道四部分组成,是淮河最重要的水利工程之一,整个工程于 1963 年竣工,节制闸 28 孔,每孔净宽 10 m,自节制闸向南,依次为电站、船闸和分洪道,枢纽的总泄洪能力为 $15000 \text{ m}^3/\text{s}$,设计在灌溉期时,上游水位 19 m,下游水位 11.5 m,落差 7.5 m。

为了降低闸基承压含水层的承压水头,提高闸基的稳定性,减轻闸底板下的扬压力,预防部分未发现或处理不彻底老钻孔的冒沙冒水,在蚌埠闸枢纽下游共设置了 19 眼减压井,其分布为:节制闸下游 7 眼,井间距 48 m;电站下游 2 眼,井间距 32 m;北岸 7 眼,井间距 24 m;南岸 3 眼,井间距 48 m。自 1963 年工程完工后,蚌埠闸为淮河中下游防洪防涝发挥了巨大的作用,产生了重大的社会效益和经济效益。蚌埠闸运行 30 余年,闸基下伏承压含水层的承压水头对闸基下游冲刷槽及隔水顶板的顶托破坏作用,一直是威胁蚌埠闸安全与稳定的因素,没有得到彻底的根治。

1 闸基地质环境及渗压数值分析

1.1 地质环境概况

地形地貌上,闸址区的淮河北岸接淮北平原,南岸依涂山余脉,淮河河槽宽约 400 m,河底高程一般 8~9 m。

闸址附近东西向 3 km,南北向 5 km 范围内,土层概分为四层。第一层自地表至高程 9~12 m,为细砂、极细砂和砂壤土层,属潜水含水层。第二层为粉质粘土和粉质壤层,透水性差,属于弱透水层或相对隔水层,厚度在 10 m 左右。第三层为中砂、细砂、极

细砂和砂壤土,夹少量的粗砂和砾质砂,透水性好,是区域内唯一的松散介质承压含水层。承压含水层顶板南倾,高程自北岸 3 m 逐渐降至南岸的 -14 m;底板则北倾,其高程自南岸的 -14 m,逐渐降至北岸的 -30 m。因此承压含水层呈北厚南薄,至船闸引河一线附近尖灭。承压含水层以下,即为第四层基岩,是承压含水层的隔水底板。

1.2 闸基渗压三维数值分析^[1]

在 1989~1994 年这六年中选取 890425,901025,911125,940425,940829 和 941125 这六个代表性时段,分有抽水井和无抽水井工作,考虑到越流的作用,用三维有限元法分析研究区地下水的三维渗流规律,探讨抽水井、减压井对承压含水层承压水头的控制效果及闸上下游水位对流场的影响。

为了了解减压作用的效果,计算时假定减压井失效,计算各节点水头。减压井假定完全失效情况下的计算成果和观测井实测成果相比较发现,除有抽水井工作情况外,闸附近观测孔的计算水位普遍大于实测水位(见表 1),表明当承压含水层水头与闸下游河水位差值较大时,减压井仍然起着降压作用,但效果不佳。

2 减压井减压效果分析

2.1 相关分析^[2]

理论上讲,当承压含水层水头 H_3 与闸下游水位 H_2 存在水头差时,减压井就应起减压作用。减压井减去的压力应等于承压含水层水头与闸下游河水位之差值。但由于种种原因,减压井实际减压效果远小于这个值。在减压井作用下,承压含水层仍保留着

第一作者简介:周志芳,男,博士,教授,从事水文地质研究。

表1 闸基附近各观测井水位降

时 间	80—8			80—9			节3			节4			南电2		
	观测 水位 H_0/m	计算 水位 H_c/m	水位降 /m	观测 水位 H_0/m	计算 水位 H_c/m	水位降 /m	观测 水位 H_0/m	计算 水位 H_c/m	水位降 /m	观测 水位 H_0/m	计算 水位 H_c/m	水位降 /m	观测 水位 H_0/m	计算 水位 H_c/m	水位降 /m
890425	15.64	15.58	0.06	15.67	15.51	0.15	14.93	14.79	0.13	14.71	14.69	0.02	13.37	13.35	0.01
901025	16.11	16.23	-0.12	16.11	16.04	0.06	15.81	16.76	-0.95	15.75	16.74	-0.99	15.90	16.22	-0.32
911125	16.11	16.52	-0.41	16.04	16.50	-0.46	15.58	16.58	-1.00	15.32	16.57	-1.25	15.76	16.56	-0.80
940425	16.00	16.62	-0.62	16.06	16.61	-0.55	15.73	16.65	-0.92	15.62	16.65	-1.03	15.80	16.64	-0.84
940829	15.19	16.44	-1.25	15.62	16.43	-0.81	14.61	16.47	-1.86	14.34	16.47	-2.13	14.78	16.46	-1.68
941125	15.64	17.21	-1.57	15.82	17.13	-1.31	15.32	17.34	-2.02	15.22	17.33	-2.11	15.39	17.29	-1.90

大于闸下游河水位承压水头 H_4 (见图1)。为了探讨减压井的减压效果,定义 ΔH_2 为天然水头差,它等于天然承压水头 H_3 与下游河水位 H_2 之差值; ΔH_4 为减压水头差,它等于减压井作用下损耗的天然水头差绝对值, ΔH_3 为井损水头差,它等于减压井由于淤积等原因损耗的水头差。显然有

$$\Delta H_3 = \Delta H_2 - \Delta H_4 \quad (1)$$

而

$$\Delta H_2 = H_3 - H_2, \quad \Delta H_4 = H_3 - H_4 \quad (2)$$

所以

$$\Delta H_3 = H_4 - H_2 \quad (3)$$

同时,定义有效减压系数(无量纲因子)为

$$\alpha = \frac{\Delta H_4}{\Delta H_2} \quad (4)$$

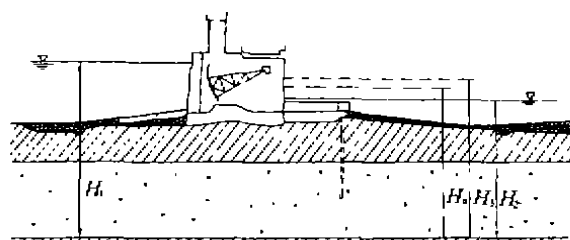


图1 各种水头剖面分布示意图

H_1 为上游河水位; H_2 为下游河水位; H_3 为天然承压水头;
 H_4 为减压后的承压水头

以闸基附近 80—8, 80—9, 节 3, 节 4, 南电 2 五个长观孔不同时段的水位值为依据, 讨论有效减压系数 α 与无量纲因子

$$d_2 = \frac{\Delta H_2}{\Delta H_1}, d_3 = \frac{\Delta H_3}{\Delta H_1}, d_4 = \frac{\Delta H_4}{\Delta H_1} \quad (5)$$

之间的关系, 其中 ΔH_1 为对应时段闸上游水位差值, 即 $\Delta H_1 = H_1 - H_2$ 。取 901025, 911125, 940425, 940829 和 941125 五个时段, 计算得各观测孔对应时段天然水头差、井损水头差、减压水头差和有效减压系数。据式(5) 计算得各无量纲因子值。

对各无量纲因子作相关分析, 其成果列于表 2。从表中看出, 相关曲线类型有两类, 即指数型和直线型。相关性程度据相关系数可以分为三类, 即相关系数大于 0.9, 相关性很好的 $\alpha \sim d_2$; 相关系数大于

0.8 而小于 0.9, 相关性好的 $\alpha \sim d_3$ 和 $d_2 \sim d_4$; 相关系数大于 0.7 而小于 0.8, 相关性较好的 $\alpha \sim d_4$ 和 $d_3 \sim d_2$ 。

表2 无量纲因子相关分析成果

相关 关系	相关曲线	相关曲 线类型	相关 系数	均值	标准 偏差	均方差
$\alpha \sim d_2$	$d_2 = e^{5.62\alpha - 3.19}$	指数型	0.9837	0.2010	0.1013	0.9676
$\alpha \sim d_3$	$d_3 = -0.41\alpha + 0.68$	直线型	0.8140	0.5762	0.0572	0.6627
$\alpha \sim d_4$	$d_4 = -0.46\alpha + 0.66$	直线型	0.7629	0.7773	0.0696	0.5821
$d_2 \sim d_4$	$d_4 = e^{0.74d_2 - 0.41}$	指数型	0.8394	0.7773	0.0696	0.7046
$d_3 \sim d_2$	$d_2 = e^{-0.79d_3 + 2.64}$	指数型	0.7498	0.2010	0.1013	0.5623

从 $\alpha \sim d_2$ 相关曲线方程看出, 随着有效减压系数的增大, 天然水头差呈指数增长, 即随着天然承压水头与闸下游河水位差值的急剧增加, 减压井的减压效果呈现缓慢增长, 表明减压井虽有减压作用, 但减压效果远没有充分发挥其真实的减压作用。从 $\alpha \sim d_3$ 相关直线方程看出, 随着有效减压系数的增大, 井损水头差呈直线缓慢递减的趋势。值得注意的是, 当有效减压系数 $\alpha = 0$ 时, 即减压井完全失效时, 临界的井损水头差因子 $d_3 = 0.68$, 若取闸上下游水位差 $\Delta H_1 = 5.0\text{m}$, 由式(5) 不难算得井损水头差为 $\Delta H_3 = d_3 \times \Delta H_1 = 0.68 \times 5.0 = 3.40(\text{m})$, 这表明, 当闸上下游水位差为 5.00m 时, 损耗在减压井内的水头损失达 3.40m, 即只有当承压水头与闸下游河水位差值大于 3.40m 时, 减压井才能开始起到减压作用, 所以目前减压井可以说已严重淤堵, 减压效果不佳。所有关系曲线都显示出, 在较高天然水头差下, 减压井仍具有减压作用, 但减压井的减压效果远没有达到设计要求。

2.2 减压井减压效果动态分析

蚌埠闸设计时要求闸附近承压水头必须按区内承压水头最大值减去闸下游冲刷槽最低水位, 降低 70% 降压。取承压含水层最大静止水位为 18.0m, 冲刷槽最低水位为 11.5m, 闸附近最大剩余承压水头应为 $(18.0 - 11.5) \times 30\%$, 即 1.95m。为了分析目前减压井减压的动态效果, 曾采用淮北 41 号测压井水位为计算时的动态最高水位, 80—8 号孔水位作为区内闸址附近低水位, 计算闸址附近实际的剩余承

压水头值.1989 ~ 1994 年的五年中实测次数为 69 次,超设计值次数有 3 次,占总次数的 4.35%.

从渗流场三维分析看出,41 号和 80—8 号孔水位受诸多因素影响.而闸基下游冲刷槽附近是否在承压水头作用下发生顶托破坏,主要取决于闸下游河水位与对应位置承压含水层水头值之差值,即取决于井损水头差值 ΔH_3 ,这个值实质上就等于闸基下游在减压井减压作用下真正的剩余承压水头值.从表 3 中看出,它与 41 号和 80—8 号孔水位绝对值之差 ΔH 的大小关系不大.所以建议采用井损水头差值 ΔH_3 ,即真正的闸下承压含水层的剩余水头值,作为判别是否会发生顶托破坏的依据,具体的临界标准可根据承压含水层顶板相对隔水层厚度及力学参数计算确定.

表 3 井损水头差 ΔH_3 与 ΔH 比较 m

时 间	井损水头差 ΔH_3	41 孔与 80—8 孔水位差 ΔH
901025	3.14	0.78
911125	3.56	0.89
940425	2.32	1.43
940829	4.15	2.52
941125	3.16	1.58

2.3 减压井效果不理想原因分析

根据调查分析,减压井效果不理想主要有以下几个方面的原因:

a. 成井质量问题.由于施工工艺上的缺陷,泥浆钻井后井孔内的泥浆泥皮不一定能够全部冲洗干净,导致成井后渗水受阻.

b. 减压井淤井.蚌埠闸减压井全部淹没在闸下游水下,不便于检查、管理和维护,井内有不同程度的淤积.根据淤积物的来源可分为内淤和外淤两类,内淤系反滤层有缺陷或井管结构破损基沙涌入井内所致.外淤系河流携沙沉入井中所致.从井内淤积物中夹有碎石、碎砖、煤渣和煤块等杂物看,以外淤为主.

c. 井口及出水箱设计不合理.向上敞开的井口,当井口涌水流速小于某种泥沙颗粒的临界流速时,泥沙颗粒即下沉入井,造成减压井外淤.

d. 河水回流减速,泥沙沉积.就一般规律,河床

两岸流速较小,易落淤.南岸由于电站未放水,形成回流,流速很小,泥沙大量沉积,致使电站两井和南岸三井井口严重淤积.

e. 逆止阀损坏失效.当闸下游河水位高出承压含水层地下水头时,若井口逆止阀失效,河水将携带大量泥沙倒灌入井,淤堵井管及井的反滤层.

3 结论与建议

a. 随着有效减压系数的增大,天然水头差呈指数增长,即随着天然承压水头与闸下游河水位差值的急剧增加,减压井的减压效果呈现缓慢增长,表明减压井虽有减压作用,但减压效果远没有充分发挥.值得注意的是,当有效减压系数 $\alpha = 0$,即减压井完全失效时,在闸上下游水位差为 5.00 m 的情况下,损耗在减压井内的水头损失达 3.40 m.即只有当承压水头与闸下游河水位差值大于 3.40 m 时,减压井才能开始起到减压作用.所以目前减压井可以说已严重淤堵,减压效果不佳.但在较高天然水头差下,减压井仍具有减压作用,但减压效果远没有达到设计要求.

b. 闸基下游冲刷槽附近是否在承压水头作用下发生顶托破坏,主要取决于井损水头差值 ΔH_3 ,它与 41 号和 80—8 号孔水位相对下游河水位的大小有关,而与两孔绝对值之差 ΔH 的关系不密切.

c. 建议采用修复、改造减压井方案或在两岸打抽水井与减压井抽水井相结合方案,有效地降低闸基下伏承压含水层的承压水头对闸基下游冲刷槽及隔水顶板的顶托破坏作用,保证蚌埠闸安全与稳定.同时建议加强长观,密切关注承压含水层中地下水位的动态变化,遇有异常现象及时分析原因.

参考文献

- 1 周志芳,钱孝星,顾长存.三峡工程坝基扬压力三维有限元分析.河海大学学报,1993,21(5): 94 ~ 99
- 2 周志芳,朱学愚.新安江水电站三坝段扬压力异常机理分析.岩土工程学报,1998,20(4):54 ~ 57
(收稿日期:1998-03-10 编辑:熊水斌)
- 3 Bayardo Materon, Construction of Foz do Areia Dam. In: ASCE. Symposium on CFRD, Detroit, 1985. 192 ~ 207
- 4 Pinto N L de S, Blinder S, Toniatti N B, et al. Foz do Areia and Segredo CFRDS—12 years evolution, In: CSHEE, ICOLD, eds, International Symposium on High Earth-Rockfill Dams, Beijing, VolI, 1993. 381 ~ 398
- 5 Montanez-Cartaxo L E, Hacelas J E, Castro-Ahonce J. Design of Aguamilpa dam. In: CSHEE, ICOLD, eds. International Symposium on High Earth-Rockfill Dams, Beijing, VolI, 1993. 337 ~ 364
(收稿日期:1997-09-01 编辑:张志琴)

(上接第 21 页)