

米易县仙山尾矿库水文地质条件分析及其 建设对地下水的影响评价

文耀进

(中冶长天国际工程有限责任公司,湖南 长沙 410205)

摘要:为奠定米易县仙山尾矿库的建设基础,开展其水文地质条件分析及其建设对地下水的影响评价具有重要的现实意义。文章结合米易县仙山尾矿库的勘察成果,开展库区水文地质条件分析,并利用层次分析法、指标客观权重赋权法和专家法等进行库区建设对地下水的影响评价研究。分析结果表明:仙山尾矿库具相对独立水文地质单元特征,其地表共计调查发现11个地表渗流点和13个泉眼,流量变化差异较大,水温较稳定,且地下水类型主要为孔隙水(潜水)和基岩裂隙水(承压水),赋存地层的渗透性总体偏弱,局部中等透水。同时,库区建设对地下水的影响评分为71.1,具Ⅱ级影响等级,说明其建设对区内地下水的影响一般,会一定程度上污染区内地下水,需采取一定的防控措施。本文结果奠定了米易县仙山尾矿库建设的理论基础,可为类似工程提供一定参考。

关键词:尾矿库;水文地质条件;渗透性;影响评价

中图分类号:P641;TD926.4;X523

文献标志码:A **文章编号:**1673-8993(2026)03-0079-08

doi:10.13402/j.gcjs.2026.03.034

Analysis of hydrogeological conditions of Xianshan tailings pond in Miyi county and evaluation of its impact on groundwater during construction

WEN Yaojin

(Zhongye Changtian International Engineering Co., Ltd., Changsha 410205, Hunan, China)

Abstract: In order to lay the foundation for the construction of Xianshan tailings pond in Miyi county, a hydrogeological condition analysis of the pond was carried out based on the survey results. The impact assessment of the pond construction on groundwater was also conducted using methods such as analytic hierarchy process, objective weight weighting of indicators, and expert method. The analysis results show that the Xianshan tailings pond has relatively independent hydrogeological unit characteristics. A total of 11 surface seepage points and 13 springs were found through surface investigation, with significant differences in flow rate and stable water temperature. The groundwater types are mainly pore water (groundwater) and bedrock fissure water (confined water), and the permeability of the reservoir is generally weak. At the same time, the impact rating of the construction of the reservoir area on groundwater is 71.1, with a level II impact rating, indicating that its construction has limited impact on groundwater in the area and that the implementation of the project has strong feasibility.

Key words: tailings pond; hydrogeological conditions; permeability; impact assessment

近年,米易县矿山开采建设逐步增加,对尾矿库的需求也在逐步增加,但为确保尾矿库建设的合理性,开展其水文地质条件分析及其建设对地下水的影响评价具有重要的现实意义。目前,已有不少的

相近研究,如李悦等^[1]、邓梦凡^[2]探究了尾矿库对地下水的污染运移特;孙文杰等^[3]开展了尾矿库洪水计算分析;魏廷忠等^[4]、黄泽霖等^[5]进行了尾矿库勘查及调查研究;左涛等^[6]利用数值模拟评价了尾矿

收稿日期:2025-05-08

作者简介:文耀进(1986—),男,工程师,从事岩土工程勘察方面的工作。

库建设对地下水的环境影响规律。上述研究充分说明开展尾矿库研究的重要性,但对米易县仙山尾矿库的相关研究仍属空白。因此,本文以米易县仙山尾矿库为实例背景,结合勘察成果开展库区水文地质条件分析,并结合层次分析法、指标客观权重赋权法和专家法等开展库区建设对地下水的影响评价研究,以为相关工程建设提供一定的理论依据。

1 工程概况

仙山尾矿库位于四川省米易县草场镇仙山村一带,其建设目的是为满足米易县多个矿山的生产需求。结合设计资料,仙山尾矿库最终堆积标高为 1 740 m,总坝高设计为 198 m,总库容为 15 162 万 m^3 ,属二等尾矿库,且尾矿库堆积坝采用中线式粗粒尾矿筑坝,堆积坝平均边坡坡比为 1:3.75。

同时,将其他基础设计概况介绍如下。

(1) 初期坝坝底标高为 1 542 m,坝顶标高为 1 590 m,坝顶宽度为 5 m,坝高为 48 m,初期坝采用堆石填筑,上下游边坡坡比均为 1:2,坝轴线长度为 360 m,坝体填筑方量约为 89.13 万 m^3 。

(2) 滤水拦砂坝采用碾压堆石坝,坝顶标高为 1 410.00 m,最大坝高为 9 m,坝顶宽度为 3 m,坝轴线长度为 76 m,上下游坡比均为 1:2,坝体填筑方量约为 0.79 万 m^3 。

(3) 截渗坝采用碾压堆石坝,坝顶标高为 1 395.00 m,最大坝高 8 m,坝顶宽度为 3 m,坝轴线长 56 m,上下游坡比均为 1:2,坝体填筑方量约为 0.54 万 m^3 。

(4) 尾矿库共设置 1[#]、2[#]共两座截洪坝,截洪坝均采用 C20 毛石混凝土坝型,坝顶宽度为 2 m,上游铅直,下游坡比为 1:0.8。

(5) 仙山尾矿库排洪系统采用 C30 钢筋砼排水隧洞+排水井+竖井联合泄流,排水井与主隧洞之间通过竖井与支隧洞连接。

仙山尾矿库平面形态及主要工程位置如图 1 所示。

2 工程区地质背景条件

2.1 气象水文条件

库区属亚热带为基调的干热河谷气候,其



图 1 仙山尾矿库平面形态及主要工程位置

极端气温范围为 $-2.2 \sim 39.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,多年平均气温为 $19.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,多年平均降雨量为 1 097.6 mm,主要集中在 6~10 月,其降雨量占全年的 77%;同时,蒸发量因区域不同而有所差异,其中,河谷地带蒸发量为 2 400~2 900 mm,山岭地带蒸发量为 1 400~1 800 mm。

在库区附近,地表河流为安宁河,其与库区距离约为 3.3 km。地下水类型主要为孔隙水、裂隙水和岩溶水。

2.2 地形地貌条件

经调查,库区具中山区构造剥蚀及山麓斜坡堆积地貌(图 2),斜坡沟谷地形,场地地势总体为西高东低,靠近山顶局部陡壁处见零星基岩出露,附近山体相对高差约 334 m,库区西、南、北三面为山,沟谷地形切割一般,斜坡坡度一般为 $15^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。

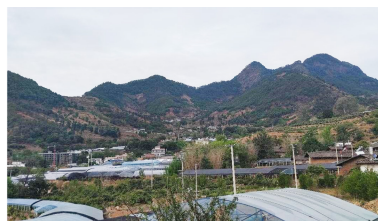


图 2 库区典型地形地貌

场地内冲沟中等发育,主沟为仙山河沟,贯穿整个场地,其平面形态近似呈“S”型,下切深度一般为 6~12 m,沟宽度为 10~20 m,长度约为 3 110 m,坡降约为 112‰,且除仙山河沟外,区内还发育有较大的 4 条支沟,沟内常年有水,流量受气候影响较大。

2.3 地层岩性条件

根据调查及钻孔揭露,场地内第四系主要为耕植土、坡洪积含碎石粉质黏土、坡洪积粉质黏

土、坡洪积漂卵石土、残积粉质黏土。下覆基岩主要为昔格达组泥岩夹粉砂岩、晚二叠世辉长岩（下伏基岩以辉长岩为主，局部为花岗岩或正长岩），岩层南北走向，岩层产状 $270^{\circ} \angle 40^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 。

2.4 地质构造条件

拟建场地周边断裂构造较发育，但勘察区内无活动性断裂通过。场区内未发现新的构造断裂，也未发现构造活动痕迹。

3 库区水文地质条件分析

3.1 库区水文地质单元划分

据调查，以尾矿库周围山脊的最高分水岭为界，基本可将本工程作为一个相对独立的水文地质单元，其地表水与地下水分水岭基本一致，故区内地表水、地下水总体流向一致，尾矿库即处在该水文地质单元的补给、径流、排泄区内，地表水及地下水的主要补给来源为大气降水，各斜坡既是补给区又是径流区，沟底为排泄区。

区内最高海拔约为 2 794.00 m，截渗坝坝址区为区内最低排泄基准面，海拔高程约为 1 387.00 m，区内汇水最终经仙山河沟汇入安宁河，汇水总面积约 15.3 4 km²。

3.2 地表水发育特征

据地表调查，场地内冲沟较发育，沟内大多为季节性流水，场地内最大的地表水体为仙山河沟，沟内常年有地表水径流，调查期间流量约为 0.16 m³/s，主要由大气降水补给，流量受季节影响变化大。同时，场地地表零星分布水田、纵横交错的灌溉沟渠，主要由人工引水补给，总体水

量较小，受季节性耕种等人为因素影响大。

结合影像、地形图资料，将主要工程位置处的流域特征参数统计如表 1 所示。

其次，以《四川省中小流域暴雨洪水计算手册》为基础，利用推理公式法、综合瞬时单位线法联合开展不同工程位置在不同降雨频率条件下的洪峰流量、洪水总量，其结果如表 2 所示。由表 2 可知，在洪峰流量计算结果中，推理公式法的计算值要略大于综合瞬时单位线法的计算值，故从安全角度出发，建议洪峰流量采用推理公式法的计算值；在洪水总量计算结果中，各位置处的计算值均较大。

表 1 主要工程位置处的流域特征参数

统计位置	汇水面 积/km ²	主河槽 长度/m	主河槽平 均纵坡/‰
2#截洪坝上游	7.14	3.31	18.5
1#、2#截洪坝之间	2.22	2.73	18.9
库内(1#截洪坝下游)	2.26	2.41	21.1
库内(2#截洪坝下游)	4.48	3.60	15.5
初期坝、滤水拦砂坝之间	0.94	1.36	10.5
左侧坝肩截水沟	0.22	0.61	13.6
右侧坝肩截水沟	2.56	2.28	21.2

最后，再对区内地表渗流点、泉眼特征进行统计，结果如表 3、4 可知。由表 3 可知，库区内的地表渗流点有 11 个，其流量变化范围为 14.4 ~ 13 626.5 m³/d，均值为 2 456.02 m³/d，水温变化范围为 19 ~ 21 ℃，即地表渗流点的流量变化范围较大，但水温差异小。

据表 4，库区内泉眼有 13 个，其流量变化范围为 4.3 ~ 72.9 m³/d，均值为 31.65 m³/d，水温变化范围为 20 ~ 22 ℃，也是流量波动范围大，水温相对较为稳定。

表 2 库区洪峰流量计算结果

汇水区域	洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)										洪水总量/万立方米			
	推理公式法					综合瞬时单位线法								
	P=0.1%	P=0.2%	P=0.5%	P=1%	P=2%	P=0.1%	P=0.2%	P=0.5%	P=1%	P=2%	P=0.1%	P=0.2%	P=0.5%	P=1%
2 [#] 截洪坝上游	177.39	161.62	140.87	125.22	—	156.1	142.23	123.97	110.19	—	205.28	186.8	161.76	143.28
1 [#] 、2 [#] 截洪坝之间	—	46.87	40.75	36.14	—	—	41.25	35.86	31.8	—	—	51.33	44.59	39.71
库内(1 [#] 截洪坝下游)	—	53.09	46.24	41.07	—	—	46.72	40.69	36.14	—	—	52.36	45.58	40.5
库内(2 [#] 截洪坝下游)	94.24	85.7	74.47	66	—	82.93	75.41	65.53	58.08	—	122.83	111.61	96.69	85.84
初期坝、滤水拦砂坝	—	—	—	—	15.98	—	—	—	—	13.58	—	—	—	—
左侧坝肩截水沟	—	—	—	—	5.07	—	—	—	—	4.31	—	—	—	—
右侧坝肩截水沟	—	—	—	—	43.19	—	—	—	—	36.71	—	—	—	—

注：P 为洪水重视期，a；P 为 1% 指百年一遇；P 为 2% 指 50 a 一遇，以此类推。

表 3 地表渗流点特征

编号	位置		流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	水温/ $^{\circ}\text{C}$	基本描述
	X 坐标	Y 坐标			
S1	508 682.678	2 986 043.531	518.4	20	该点位于库区西南侧,水质清澈,为上游地表水体流入库内
S2	508 514.608	2 986 324.652	7 273.6	20	该点位于冲沟上游冲沟内(即库区上游截洪坝位置),水质清澈,属库区最主要的流入体表水体
S3	508 600.691	2 986 443.238	806.4	19	该点位于冲沟上游沟谷左岸坡,库区北侧,水质清澈,为北侧上游地表水体流入库内
S4	509 752.474	2 986 169.756	37.0	20	该点位于冲沟上游沟谷左岸坡,库区北侧,水质清澈,收集上游地表水体,水池集满后溢出,流入库区内
S5-1	510 095.415	2 985 779.404	513.2	20	该点位于库区中北侧,初期坝左岸靠下游位置,该点为两股地表径流中的一股,水质清澈,为上游地表水体流入库内
S5-2	510 091.941	2 985 777.038	1 814.4	20	该点位于库区中北侧,初期坝左岸靠下游位置,该点为两股地表径流另外一股,水质清澈,为上游地表水体流入库内
S6	511 133.155	2 985 271	13 626.5	21	该点位于冲沟下游(即库区下游拦砂坝位置),水质清澈,为库区内最主要的流出体表水体
S7	510 678.161	2 985 144.898	749.8	20	该点位于库区南侧,右岸靠下游位置,水质清澈,为南侧上游地表水体流入库内
S8	510 118.759 1	2 985 168.376	14.4	20	该点位于库区中部南侧右岸,为一较小的渗水沟,水质清澈,为南侧上游地表水体流入库内
S9	509 123.319	2 985 554.965	222.2	19	该点位于库区南侧,初期坝右岸靠上游位置,水质清澈,为南侧上游地表水体流入库内
S10	510 998.964	2 985 194.66	1 440.3	21	该点位于库区南侧,右岸靠下游位置,水质清澈,为南侧上游地表水体流入库内

据表 4 对比,地表渗流点的流量要明显大于泉眼的流量,两者温度均较为稳定,只是泉眼温度略高一点,差异较小。

3.3 地下水发育特征

根据调查,库区内地下水类型主要为孔隙水(潜水)和基岩裂隙水(承压水),其特征介绍如下。

3.3.1 孔隙水特征分析

孔隙水赋存于第四系覆盖层中,一般无承压性,但其含水介质富水性差异明显,其中,斜坡及山脊处以含碎石黏性土为主,为相对隔水层,富水性差,水量不丰富;仙山河沟的沟床岩土为碎石类土,富水性较强,水量较丰富,主要接受大气降水及地表水入渗补给。

该类地下水的动态变化受大气降雨、气候变化及生产用水排放影响,水量不大,易与地表水连通。据勘察钻孔资料统计,其初见水位埋深 0~3.70 m,标高变化在 1 746.33~1 384.19 m 之间,且稳定水位埋深 0~3.70 m,标高变化在 1 746.43~

1 384.19 m 之间。

3.3.2 裂隙水特征分析

基岩裂隙水主要赋存于岩体裂隙中,具承压特性,主要含水介质为辉长岩,但受构造裂隙影响,基岩富水性局部较强,场地内冲沟附近地表水较丰富,沟床附近分布的碎石类土透水性较好,有利于地下水的补给;一般地段岩体节理裂隙较发育,连通性中等,富水性及导水性一般,地下水的径流及排泄条件一般,主要由大气降水及地表水下渗补给,其水位及水量受季节性影响变化大。据已完成的勘察钻孔资料统计,基岩裂隙水稳定水位埋深 0~42.80 m,水位标高 1 748.43~1 460.81 m。

对区内典型钻孔的承压裂隙水涌水特征进行统计,结果如表 5 所示。据表 5 可知,钻孔开始涌水深度范围为 30~110 m,变化范围较大,这与区内地形起伏密切相关,且涌水量范围为 2~186 L/min,均值为 40.24 L/min,也具较大的波动特征,这应与基岩裂隙的发育程度、水力联系相关。

表 4 地表泉眼特征

编号	位置		流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	水温/ $^{\circ}\text{C}$	基本描述
	X 坐标	Y 坐标			
Q1	509 108.969 0	2 986 198.343	43.2	22	该点位于冲沟上游沟谷左岸坡、库区北侧,覆盖层为坡洪积含碎石粉质黏土,泉点属上升泉,水流呈小股状流出,形成水坑,水质稍浑浊,且该点位于径流排泄区,来源于覆盖层中孔隙水
Q2	509 142.580 1	2 986 347.686	4.3	22	该点位于冲沟上游沟谷左岸坡、库区北侧,覆盖层为坡洪积含碎石粉质黏土,泉点属上升泉,水流呈小股状渗出,流量极小,水质稍浑浊,该点位于径流排泄区,来源于覆盖层中孔隙水
Q3	509 098.128 5	2 986 467.531	55.4	20	该点位于冲沟上游沟谷左岸坡、库区北侧,覆盖层为坡洪积含碎石粉质黏土,泉点属上升泉,水流呈小股状渗出,水质较清澈,该点位于径流排泄区,来源于覆盖层中孔隙水
Q4	509 127.600 8	2 986 579.046	21.9	20	该点位于冲沟上游沟谷左岸坡、库区北侧,覆盖层为坡洪积含碎石粉质黏土,泉点属上升泉,水流呈小股状渗出,水质较清澈,该点位于径流排泄区,来源于覆盖层中孔隙水
Q5	509 563.463	2 986 554.212	8.1	20	该点位于冲沟上游沟谷左岸坡、库区北侧,覆盖层为坡洪积含碎石粉质黏土,泉点属上升泉,水流呈小股状流出,水质较清澈,该点位于径流排泄区,来源于覆盖层中孔隙水
Q6	509 565.981 7	2 986 393.727	15.1	20	该点位于冲沟上游沟谷左岸坡、库区北侧,水塘中,覆盖层为坡洪积含碎石粉质黏土,泉点属上升泉,水流呈小股状渗出,水质较清澈,该点位于径流排泄区,来源于覆盖层中孔隙水
Q7	509 664.577 8	2 986 284.956	53.0	20	该点位于冲沟上游沟谷左岸坡、库区北侧,覆盖层为坡洪积含碎石粉质黏土,泉点属上升泉,水流呈小股状渗出,水质较清澈,该点位于径流排泄区,来源于覆盖层中孔隙水
Q8	509 692.213 8	2 986 048.632	29.2	20	该点位于冲沟上游沟谷左岸坡,覆盖层为坡洪积含碎石粉质黏土,泉点属上升泉,水流呈小股状渗出,水质较清澈,该点位于径流排泄区,来源于覆盖层中孔隙水
Q9	509 866.353 3	2 986 001.473	7.9	20	该点位于冲沟上游沟谷左岸坡,覆盖层为坡洪积含碎石粉质黏土,泉点属上升泉,水流呈小股状渗出,水质较清澈,该点位于径流排泄区,来源于覆盖层中孔隙水
Q10	509 683.855 5	2 985 830.387	34.0	20	该点位于冲沟上游沟谷右岸坡,覆盖层为坡洪积含碎石粉质黏土,泉点属上升泉,水流呈小股状渗出,水质较清澈,该点位于径流排泄区,来源于覆盖层中孔隙水
Q11	509 670.285 6	2 985 748.961	29.5	20	该点位于冲沟上游沟谷右岸坡,覆盖层为坡洪积含碎石粉质黏土,泉点属上升泉,水流呈小股状渗出,水质较清澈,该点位于径流排泄区,来源于覆盖层中孔隙水
Q12	509 207.428 7	2 985 545.663	72.9	20	该点位于冲沟上游沟谷右岸坡,覆盖层为坡洪积含碎石粉质黏土,泉点属上升泉,水流呈小股状渗出,水质较清澈,该点位于径流排泄区,来源于覆盖层中孔隙水
Q13	510 107.722 0	2 985 167.921	36.9	20	该点位于冲沟上游沟谷右岸坡,水池上方,覆盖层为坡洪积含碎石粉质黏土,泉点属上升泉,水流呈小股状渗出,水质较清澈,该点位于径流排泄区,来源于覆盖层中孔隙水

表 5 典型钻孔的承压裂隙水涌水特征

钻孔编号	SDK1	SDK2	SDK3	SDK5	SDK8	SDK9	SDK10	SDK11	SDK15	SDK17
开始涌水深度/m	68.0	106.5	86.0	84.0	110.0	103.0	82.0	40.0	37.0	42.5
涌水量/($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	118.0	10.6	8.7	27.0	13.5	15.0	34.0	30.0	33.0	100.0
钻孔编号	CQK9	CQK10	CQK14	CQK18	CQK19	CQK20	CQK24	K40	K60	K85
开始涌水深度/m	49.0	46.0	37.0	37.0	37.0	35.5	30.0	53.5	41.	34.0
涌水量/($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	4.9	2.0	55.0	18.0	186.0	12.0	70.0	2.0	5.0	60.0

3.4 岩土层渗透性评价

为掌握区内主要地层的渗透系数,在调查过程中,进行了多次注水试验、压水试验、地表试坑渗水试验,其试验结果如表 6 所示。由表 6 可知,强风化辉长岩属中等透水,坡洪积漂卵石土属弱~中等透水,其他地层均属弱透水,因此,库区内地层的渗透性总体偏弱。

3.5 水文地质作用评价

场地内地表水主要为大气降水,工程建成后会有完善的库区截排洪系统,因此,地表水对项目场地的主要影响为尾矿库运营过程中对库岸的软化作用。

尾矿库建成运营过程中,随着尾矿堆积的增高,尾矿库库区的水文地质条件可能会发生改变,地下水水位会有所提高,鉴于库区内局部地段岸坡坡度在 $35^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 范围内,随着尾矿堆积的增高,库区内的尾矿水将浸没沟谷岸坡,对岸坡地层将会起到浸泡软化作用,可能会导致局部岸坡垮塌、失稳等现象,对尾矿库的正常运行有一定影响。

地下水主要作为坝体渗流作用,在高水头差下容易引起流土、管涌等现象,地下水位过高也可能导致坝体失稳破坏,影响尾矿库的安全运行。

拟选场地地貌形态多样,地表水较丰富,含

水层埋藏深浅不一,地下水形成条件较复杂,地下水含水层富水性差异较大,场地水文地质条件综合评价为中等。

4 尾矿库建设对地下水的影响评价

4.1 影响评价思路及方法

由 3.5 节成果,仙山尾矿库地表水截排洪系统较完善,故库区建设主要是对地下水的影响。结合行业经验,尾矿库建设对地下水的影响因素相对较多,因此,提出利用层次分析法进行构建,并将其评价体系设计为 3 层,其中,目标层为“仙山尾矿库建设对地下水的影响评价体系 A”,其下准则层共设计 4 个一级指标,包括“库区危险性评价因素 B_1 ”、“抗污染因素 B_2 ”、“污染传递性因素 B_3 ”、“污染危害性因素 B_4 ”;同时,在准则层基础上再进一步细分了 15 个方案层二级指标。

仙山尾矿库建设对地下水的影响评价体系的具体结构如图 3 所示。

为合理实现仙山尾矿库建设对地下水的量化影响评价,结合以往经验,提出利用 $P \times C$ 法开展其量化分析。首先,通过指标客观权重赋权法(criteria importance through intercriteria correlation, critic)开展各影响指标的权值计算,其计算过程

表 6 库区主要地层渗透系数试验结果

序号	地层名称	地层分布情况	试验方法	渗透系数/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)			频数	渗透性
				最大值	最小值	平均值		
1	坡洪积含碎石粉质黏土	场地内均有分布	试坑渗水试验	8.90×10^{-5}	3.57×10^{-5}	5.74×10^{-5}	10	弱透水
2	坡洪积漂卵石土	场地内均有分布,主要出露在沟谷底部	注水试验	5.55×10^{-4}	5.69×10^{-5}	1.83×10^{-4}	5	弱~中等透水
3	残积粉质黏土	除下游拦砂坝、截渗坝区域及堆积坝下游区域未揭露,其它地段均有分布	注水试验	7.56×10^{-5}	5.83×10^{-5}	6.47×10^{-5}	5	弱透水
4	全风化辉长岩	除下游拦砂坝、截渗坝区域及堆积坝下游区域未揭露,其它地段均有分布	注水试验	4.54×10^{-5}	1.93×10^{-5}	2.89×10^{-5}	3	弱透水
5	强风化辉长岩	除下游拦砂坝、截渗坝区域及堆积坝下游区域未揭露,其它地段均有分布	注水试验	5.92×10^{-4}	2.54×10^{-4}	3.91×10^{-4}	5	中等透水
6	中风化辉长岩	除下游拦砂坝、截渗坝区域及堆积坝下游区域未揭露,其它地段均有分布	压水试验	7.71×10^{-5}	3.83×10^{-6}	2.02×10^{-5}	6	弱透水

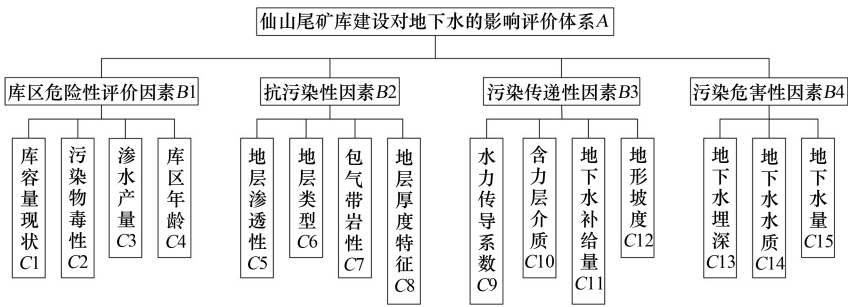


图 3 仙山尾矿库建设对地下水的影响评价体系

是先计算相关性系数 r_{ij} :

$$r_{ij} = \frac{\sum_i \sum_j (y_i - y'_i)(y_j - y'_j)}{\sqrt{\sum_i (y_i - y'_i)^2 \sum_j (y_j - y'_j)^2}} \tag{1}$$

式中： y_i 为指标取值； y'_i 为指标均值。

以 r_{ij} 指标为基础，进一步计算评价指标的信息量 c_j :

$$c_j = \mu_j \sum_{i=1}^n (1 - r_{ij}) \tag{2}$$

式中： μ_j 为指标的标准差； n 为指标数。

c_j 值越大，该指标对应的信息量也就越大，因此，将其权重 w_j 设计为

$$w_j = c_j / \sum_{i=1}^n c_i \tag{3}$$

其次，再利用专家法开展各影响指标的隶属度计算，且为确保隶属度计算结果的全面性，本次要求调查专家数不少于 6 人，并规定邀请专家具高级及以上职称。

最后，结合各影响指标的权值、隶属度，按照 $P \times C$ 法思路，各指标的量化影响评价指标 R 按下式(4)计算：

$$R = HV^T \tag{4}$$

式中： V 为影响评价向量，即 $[55\ 70\ 85\ 95]$ ； H 为应隶属度。

根据 R 值结果，再进一步开展库区建设对地下水的量化影响评价分级，具体标准如表 7 所示。

4.2 影响评价结果分析

按照 4.1 节思路，通过 Critic 法计算得到各指标的权重结果如表 8 所示。由表 8 可知，各指标权重存在明显差异，一方面，说明在工程实例中，各指标对地下水的影响贡献程度存在差异；二方面，Critic 法能有效区分各影响指标的相对重要性。

同时，通过专家法计算得到各影响指标的隶属度，结果如表 9 所示。由表 9 可知，各指标在Ⅰ级条件下的隶属度变化范围为 0.058 ~ 0.187，在Ⅱ级条件下的隶属度变化范围为 0.513 ~ 0.833，在Ⅲ级条件下的隶属度变化范围为 0.038 ~ 0.154，在Ⅳ级条件下的隶属度变化范围为 0.001 ~ 0.205。

以表 8、表 9 中的数据为基础，开展仙山尾矿库建设对地下水的整体影响评价，得到其整体影响得分 R 值：

$$R = [0.129\ 0.716\ 0.085\ 0.071][55\ 70\ 85\ 95] \\ T = 71.1$$

因此，仙山尾矿库建设对地下水的整体影响具Ⅱ级影响等级，说明其建设对库区及周边地下水的影响一般，会一定程度上污染地下水，需采取一定的防控措施，设计合理的防渗方案。

表 7 库区建设对地下水的量化影响评价分级标准

影响等级	分值范围	影响评价描述
Ⅰ级	0 ~ 65	尾矿库工程建设对区内地下水的影响很有限,属正常可控范围内
Ⅱ级	65 ~ 80	尾矿库工程建设对区内地下水的影响一般,会一定程度上污染区内地下水,需采取一定的防控措施
Ⅲ级	80 ~ 95	尾矿库工程建设对区内地下水的影响较大,会对区内地下水造成比较大的污染,需尽快采取防控措施
Ⅳ级	95 ~ 100	尾矿库工程建设对区内地下水的影响很大,会对区内地下水造成较大的污染,需立即采取防控措施。

表 8 各指标的权重结果

一级 指标	一级指 标权重	二级 指标	二级指 标权重
库区危险性 评价因素 B1	0. 185	C1	0. 208
		C2	0. 329
		C3	0. 385
		C4	0. 078
		C5	0. 483
抗污染性因素 B2	0. 370	C6	0. 272
		C7	0. 088
		C8	0. 157
		C9	0. 400
污染传递性因素 B3	0. 345	C10	0. 081
		C11	0. 140
		C12	0. 379
		C13	0. 416
污染危害性因素 B4	0. 100	C14	0. 126
		C15	0. 458

表 9 各指标的隶属度结果

影响等级	I 级	Ⅱ 级	Ⅲ 级	Ⅳ 级
C1	0. 187	0. 625	0. 099	0. 089
C2	0. 100	0. 805	0. 038	0. 057
C3	0. 058	0. 826	0. 068	0. 048
C4	0. 106	0. 802	0. 076	0. 015
C5	0. 113	0. 833	0. 053	0. 001
C6	0. 134	0. 571	0. 123	0. 173
C7	0. 169	0. 625	0. 154	0. 052
C8	0. 113	0. 767	0. 083	0. 037
C9	0. 097	0. 790	0. 089	0. 024
C10	0. 122	0. 740	0. 072	0. 066
C11	0. 124	0. 794	0. 063	0. 019
C12	0. 187	0. 513	0. 095	0. 205
C13	0. 171	0. 625	0. 123	0. 080
C14	0. 157	0. 586	0. 106	0. 151
C15	0. 175	0. 708	0. 106	0. 011

5 结 论

通过米易县仙山尾矿库水文地质条件分析及其建设对地下水的影响评价，主要结论如下。

(1) 仙山尾矿库属二等尾矿库，具相对独立水文地质单元特征，地表水、地下水一般发育，且库区内地层的渗透性总体偏弱，局部中等透水，中等透水层为库区主要渗漏通道。

(2) 经仙山尾矿库建设对地下水的影响评价，得出其整体影响得分为 71. 1，具Ⅱ级影响等级。

(3) 通过该文研究，有效掌握了仙山尾矿库的水文地质条件及其建设对地下水的影响规律，建议后续在此基础上，进一步开展尾矿库防渗方案设计及后期库区运营期的监测成果分析，以实时确保库区建设及运营不会对库区内外环境造成不可接受的影响。

参考文献：

[1] 李悦,王坤,张名亮,等. 某铁尾矿库周边地下水污染运移预测及控制方案模拟 [J]. 矿业研究与开发, 2024,44 (4):152 - 160.

[2] 邓梦凡. 有色金属尾矿库对周边水文地质环境的影响分析 [J]. 世界有色金属,2025(1):118 - 120.

[3] 孙文杰,梅国栋,王莎,等. 推理公式法和瞬时单位线法在尾矿库洪水计算中的对比分析 [J]. 有色金属工程,2022,12 (9):122 - 127.

[4] 魏廷忠,王超,朱昶,等. 山东某金矿尾矿库尾砂回采勘查分析 [J]. 云南地质,2023,42 (3):316 - 320.

[5] 黄泽霖,李哲映,何乐,等. 广西盘龙铅锌矿区水质调查与评价研究 [J]. 环境科学与管理,2023,48 (8): 177 - 182.

[6] 左涛,熊小锋,戴柳珍. 数值模拟在地下水环境影响评价中的应用:以福泉市某尾矿库建设为例 [J]. 地下水,2023,45 (3):1 - 3;12.