

# 龙台水库岩溶研究分析与评价

32  
96-99

熊翔

(四川省水利水电勘测设计研究院勘察分院, 四川 郫县 611731)

P641.131  
TV62

**摘要:**通过对旺苍县龙台水库大量的勘察资料运用岩溶汇流理论, 分析、研究了水库区工程、水文地质条件, 论证并得出水库区不存在永久岩溶渗漏问题的结论。

**关键词:**岩溶渗漏; 汇流理论; 岩溶发育强度; 排泄基准面; 补给型河流; 分析与评价

中图分类号: TV62<sup>+</sup>1; P641.131

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(1999)04-0096-04

## 1 工程概况

龙台水库是拟建于旺苍县龙台村境内的一座中型水库, 设计坝高 90 m, 正常蓄水位 640 m, 库容 1 500 万 m<sup>3</sup>。

龙台水库位于四川盆地北部米仓山之南麓地带, 地势北高南低。在东河至白水河之间范围内, 以三迭系雷口坡组地层为界, 向北至大两会背斜核部, 属构造——溶蚀低中山区地形。

工程区地层由北向南、由老到新分布。其最老为寒武系地层, 往南依次为奥陶系、志留系、二迭系、三

迭系、侏罗系地层。在水库正常蓄水位范围内, 中等岩溶的地层是二迭系含燧石灰岩, 分布于库尾峡谷里; 三迭系飞仙关组第三段中薄层灰岩夹泥灰岩, 分布于水库天台罐一带; 强岩溶的地层是三迭系嘉陵江、雷口坡组的灰质角砾岩、灰岩、白云质灰岩、灰质白云岩、白云岩, 分布于坝址至射香坝。非岩溶地层是铜街子组、飞仙关组第四段的泥灰岩夹白云岩, 分布于射香坝至天台罐; 飞仙关组第一、二段薄板状泥灰岩夹白云岩、薄层泥灰岩, 分布于天台罐中部至峡谷里; 以及分布于库尾峡谷里至天台乡的志留系罗

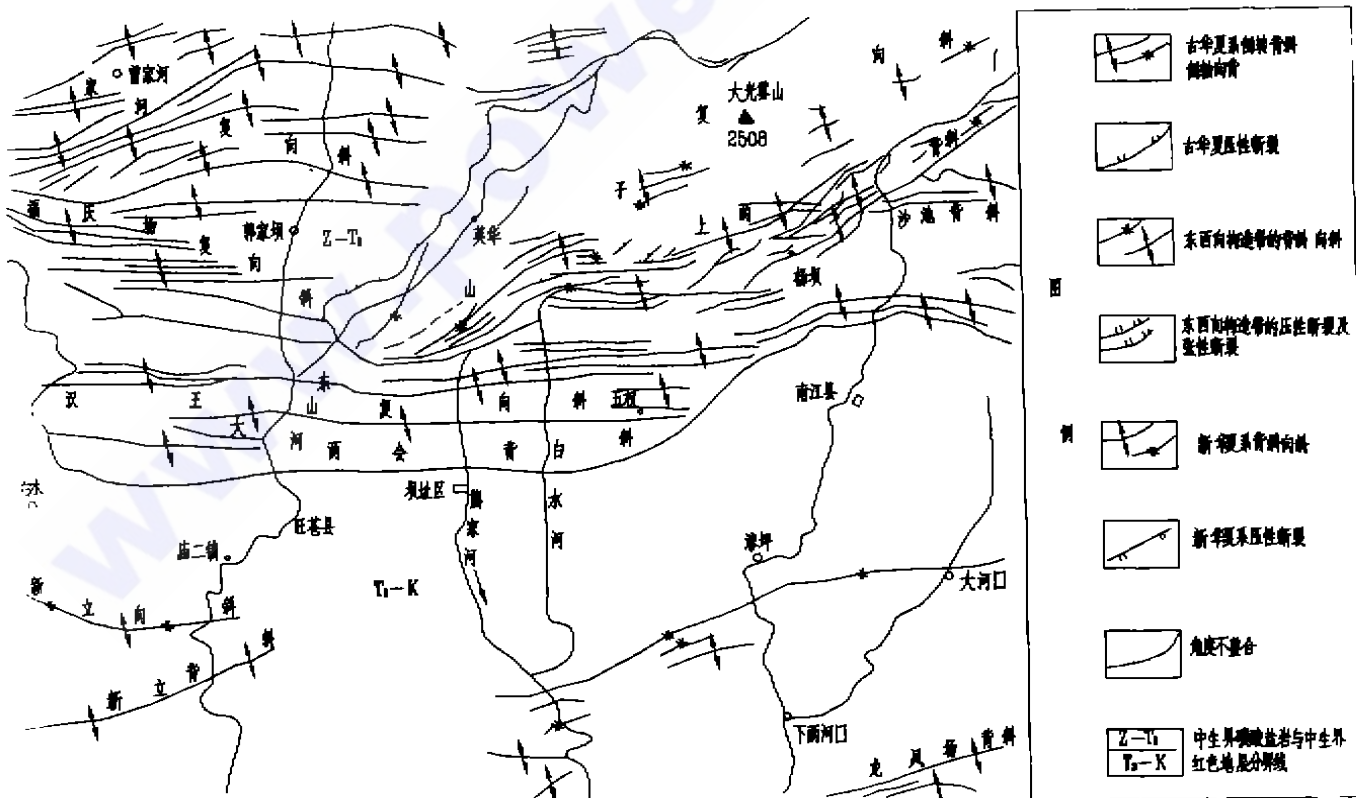


图1 构造体系图

收稿日期: 1999-05-04

诺坪群的页岩夹粉砂质泥岩。

工程区位于昆仑——秦岭巨型纬向构造体系南缘摩天岭——米仓山东西向构造带内之大两会背斜南翼。其北侧为汉王山复向斜、南侧为新立弧形褶皱。大两会背斜西起彭家沟、东经大两会于王家坪倾伏,长约49 km。背斜走向为东西向,开阔对称,两翼地层倾角 $42^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。背斜枢纽具 $3^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 起伏角(见图1)。水库区岩层产状为 $N75^{\circ}\sim 85^{\circ}W SW \angle 40^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。裂隙以 $N84^{\circ}\sim 87^{\circ}E SE \angle 50^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 的压扭性裂隙最发育,裂隙多闭合,是溶洞形成的重要切割面。在已发现的溶洞洞口一般均可见该组裂隙与倾向上游裂隙切割出洞口的痕迹。其次为 $N5^{\circ}\sim 10^{\circ}W NE$ 或 $SW \angle 67^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 与 $N5^{\circ}\sim 10^{\circ}E SE$ 或 $NW \angle 50^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 的张扭性裂隙。河流流向、溶洞切层转弯多沿此两组裂隙方向发展。另见有产状为 $EW N \angle 25^{\circ}$ 、 $EW N \angle 65^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 、 $N75^{\circ}E NW \angle 38^{\circ}$ 的、倾向上游的压扭性裂隙。该组裂隙多为溶洞切割面,在溶洞洞口常见。工程区内无区域性大断裂构造出现,仅在水库区有三条小断层出现,见表1。

表1 工程区断层一览表

断层名称	位置	地层	断层产状	断层破碎带		延伸长度/m
				宽度/m	物质组成	
峡谷里断层	库尾	$P_2W$	$N70^{\circ}W SW \angle 72^{\circ}$	0.5~1.5	断层泥、糜棱岩	小于500
射香坝断层	库中	$T_2$	$N85^{\circ}W SW \angle 70^{\circ}\sim 80^{\circ}$	5~8	糜棱岩、角砾岩	800
徐家坡断层	库首	$T_2$	$N70^{\circ}\sim 80^{\circ}E SE \angle 80^{\circ}\sim 85^{\circ}$	0.2~0.8	断层泥	150

根据1/400万《中国地震裂度区划图》,工程区地震基本裂度为VI度。

根据1/20万水文地质图,工程区新构造运动仅表现为大面积断续上升。其痕迹为:数期冰川地形和夷平面的产生;现代河流的刻切与堆积,中高山区河谷多为“V”形谷,支溪与主溪会合处常有数米跌坎而形成瀑布;数期喀斯特地形的产生;河流改道。

工程区内大部分基岩裸露,地下水主要为岩溶水和基岩裂隙水。裂隙水为重碳酸钙型水或重碳酸、硫酸钙型水,岩溶水以管道运移方式为主,为重碳酸钙型水或重碳酸钙、镁型水。

## 2 水库区岩溶发育特征

水库区在长期的地质历史及强烈的地下水作用下,雕塑出了地面和地下各种形态的岩溶地貌景观。主要有溶沟、溶槽、溶蚀洼地、落水洞、溶洞等以下分述于后。

### 2.1 溶沟、溶槽及峰丛

溶沟、溶槽发育于雷口坡组裸露于地表的灰质

白云岩中。溶沟(槽)走向SN,长5~20 m,宽1.0~1.5 m,深0.5~0.6 m,分布于坝址左岸下游斜坡地带;峰丛主要分布在沟谷两岸1200 m高程上,峰丛相对高差150~300 m。

### 2.2 溶蚀洼地

主要发育于熊家河与白水河之间的河间地块中,较大的溶蚀洼地为冉家槽、注水坪。分布高程1100 m,长轴方向沿 $N10^{\circ}\sim 25^{\circ}E$ 和 $N10^{\circ}W$ 展布,长500~800 m,宽100~200 m。

### 2.3 溶蚀漏斗

在注水坪洼地向下游方向的斜坡上,见有长8 m,宽3 m,深1.5~2.0 m的漏斗,在冉家槽洼地中见有直径1.0~2.0 m,深1.5~5.0 m的圆锥形漏斗4处。漏斗下部多被亚粘土充填。

### 2.4 落水洞

工程区内落水洞主要发育于嘉陵江组地层中,落水洞长轴方向多沿南北向裂隙发育,少数呈 $N25^{\circ}E$ 方向展布或呈圆形。分布高程为550~1300 m。各洞口受裂隙和层面控制,呈不规则圆形或长条形,以竖井状或管道状向下延伸。除注水坪LS20可测深100 m外,其余在24 m以内。

### 2.5 溶洞

溶洞是区内主要的岩溶形态类型,构成了地下水的主要运移和排泄通道。在东河——白水河之间的地段内,自河床高程500~1300 m的谷坡地带分层出露,且以当地侵蚀基准面附近较发育。受岩性、构造作用,溶洞多沿层面和张扭性裂隙发育,平面上呈“弓”型弯曲。延伸长度除燕儿洞、岩燕洞大于100 m外,其余均在84 m以内。现将较大的和对渗漏评价有影响的溶洞列于表2。

## 3 水库区岩溶发育规律

### 3.1 岩溶发育的强弱与地层岩性密切相关

工程区岩溶发育的强弱与岩石的可溶性、结构、杂质含量密切相关。在工程区各时代的碳酸盐岩中,其岩溶强度有:灰岩>白云质灰岩>灰质白云岩>白云岩的规律性,即可溶性强的方解石含量的多少决定岩溶发育程度的强弱。工程区岩溶最发育的为 $T_2$ 层灰质角砾岩,其角砾为白云岩,胶结物为方解石。其破坏形式一般为方解石溶蚀,角砾崩掉。正是由于岩石的这种结构导致胶结迅速溶解,岩石解体垮塌,其岩溶强度还较灰岩为强。在库尾峡谷里二迭系灰岩中,由于含燧石较多已成条带,隔断了灰岩之间的联系,该段灰岩岩溶不发育。经开采石灰岩爆破出的长100 m,高80余 m的断面证实,仅见有6个深度为0.2~0.3 m的小溶孔斜列于断面上。

表 2 旺苍县龙台水库主要溶洞一览表

溶洞名称及编号	出露位置	发育地层	洞口高程/m	洞口形状	洞口类别	溶洞形态				岩溶沉积物		洞中岩溶泉水			溶洞走向、形状及控制裂隙	备注		
						总长/m	分段/m	宽度/m	高度/m	洞底倾向	洞底坡降	洞底物层	洞底物质	位置			流量/L·s <sup>-1</sup>	高程/m
硝洞门 K <sub>1</sub>	右岸崖中	T <sub>2</sub>	575	“人”字形	主洞	0~30	10~12	5~7	熊家河	0.04~0.13	白云岩块碎石	石钟乳长 1.2m	进洞 5m 下游洞 下挖 1.5m	0.35	568	粘土	N70°~80°W, 厅堂式; 由 EW/S <sub>2</sub> ∠44° 和 EW/N <sub>2</sub> ∠35° 裂隙控制, 近沿其交线发育。	岩燕洞
						30~50	12~0	7~0		0.05~0.12	粘土夹块碎石	石钟乳长 0.2~0.5m	主洞 110m, 支洞 11m, 深潭中。					
燕儿洞 K <sub>2</sub>	左岸岸中谷坡地	T <sub>2</sub>	623.9	“人”字形	主洞	0~30	3~6	3~5	白水河	0.02~0.2	粘土夹块碎石	石钟乳长 0.2~0.5m	大于 0.05	610	粘土	N80°W, “弓”字形, 厅堂式; 由 N80°W/SW <sub>2</sub> ∠69° 裂隙控制, EW/N <sub>2</sub> ∠65°~70° 裂隙切割并在洞帮沿 N5°E/SE <sub>2</sub> ∠80°~85° 裂隙发育。	两个, 半圆形	
						30~99	0.5~1.0	0.2~0.5		0.176~0.444	主洞 110m, 支洞 11m, 深潭中。							
						99~110	5~7	4~5		0.02~0.05								
岩燕洞 K <sub>4</sub>	白水河右岸小坝内东, 西沟交汇处上游 200m 西沟侧	T <sub>2</sub>	815	“人”字形	主洞	0~127	3~5	3~11	熊家河	0.083~0.176	粘土夹白云岩块碎石	石钟乳长 0.3m	支洞 6~200m	4.0	810~800	白云岩、灰岩卵石、砾石	N80°W, “弓”字形, 厅堂式; 由 EW/S <sub>2</sub> ∠50° 和 EW/N <sub>2</sub> ∠30° 裂隙控制, 近沿其交线发育同时由 N3°E/SE <sub>2</sub> ∠80°~85° 裂隙控制, 该裂隙为垂性。	洞与大洞口相
			812			半圆形	支洞	200		0~200	0.5~1.5	1.5~2.0						
龙台 K <sub>6</sub>	右岸坝轴线下游约 60m	T <sub>2</sub>	580	城门洞形	主洞	0~8	5~6	8~10	熊家河	0.04~0.05			洞底 51m 处	3.3	582.3	粘土及小砾石	N83°W, 弧线; 由 EW/S <sub>2</sub> ∠50° 裂隙控制, 受 EW/N <sub>2</sub> ∠12°, EW/N <sub>2</sub> ∠70° 裂隙切割呈辐射延伸。	于大洞口 3m。
彭家槽 K <sub>8</sub>	右岸彭家槽西侧	T <sub>2</sub>	900	“人”字形	主洞	0~84	0.5~2.0	0.8~10	熊家河	0.02~0.04			洞底 84 米处	0.09	903	粘土	N83°W, 弧线; 由 EW/S <sub>2</sub> ∠50° 裂隙控制, 受 EW/N <sub>2</sub> ∠35° 裂隙切割。	

### 3.2 岩溶发育的强弱受构造控制

工程区溶洞以顺层走向发育和沿张扭性裂隙穿越最为常见。长溶洞一般沿东西向发育一段距离后即转向南北向发育一段距离后又转为东西向发育。如岩燕洞中有数次上述变化。在岩体中, 裂隙发育的地方岩溶就较发育, 如左岸坝址下游溶沟、溶槽均顺裂隙发育而成。一般溶洞洞口形状, 均受层面裂隙和倾向上游的压扭性裂隙控制。

### 3.3 岩溶的发育与地壳垂直运动密切相关

当地壳以上升运动为主时, 岩溶以垂直方向发育为主。在陡峭的崖壁上可见斜列或单个的小溶孔、溶隙或小溶洞。如坝区右岸硝洞门下游陡崖上上述现象反映明显。当地壳处于相对稳定时期, 岩溶以水平发育为主, 当稳定时间较长时, 发育成层的水平溶洞, 且与当地排泄基准面相适应。当地壳上升时, 伴随着排泄基准面的下降, 岩溶又将以垂直发育为主。这样就形成了与阶地高程相对应的水平岩溶。如龙台溶洞与 I 级阶地, 燕儿洞与 II 级阶地相对应。

### 3.4 岩溶发育的强弱与水动力条件的好坏密切相关

在水动力条件好, 交替、循环强烈的地方岩溶发育。如龙台溶洞 K<sub>6</sub> 虽然为 T<sub>2</sub> 层的灰质白云岩, 其上游 150 m 处有纯灰岩层。但彭家槽消水点 (LS50) 恰于灰质白云岩中灌入, 而下游是薄层状泥灰岩隔水, 在水力坡度的作用下, 其顺岩层走向向熊家河方

向运移, 并与熊家河方向地下水相遇, 产生混合溶解作用, 加大溶蚀强度。在层面裂隙、倾向上游裂隙等构造裂隙切割下, 岩石逐渐溶蚀、垮塌, 形成水平溶洞, 导出这一穿跨流域排泄于熊家河。上游虽为厚层灰岩, 但上、下游均有泥灰岩、页岩隔水, 其走向方向又无强地下水源补给, 故灰岩中岩溶不发育, 而灰质白云岩中在右坝肩即有二层溶洞发育。又如工程区内, 凡在河边及其附近发现大泉的地层, 其岩溶均较发育。因为在其大泉形成过程中, 岩溶通道必已形成, 岩溶的水动力条件一定较好。如 T<sub>2</sub> 层灰质角砾岩中的左岸 W<sub>5</sub> 与右岸硝洞门溶洞泉。T<sub>2</sub> 层的灰质白云岩, 在左岸有 W<sub>63</sub> 号大泉, 右岸龙台溶洞泉均是流量在 100 L/min 以上的大泉。岩溶泉水具水温恒定、冬暖夏凉、易于查找的特点。因此, 可据此现象帮助判断地层的岩溶强弱。

### 3.5 岩溶发育强度具各向异性

工程区河谷为横谷, 具高倾角的多层结构, 各地层中均有相对隔水层存在, 因而切层地下水联系差, 岩溶不发育。而顺层地下水水力联系较好, 岩溶易于发育, 在条件具备的地方即发育成水平溶洞。

## 4 水库区岩溶渗漏分析评价

工程区所在熊家河的邻谷左岸为白水河, 右岸为东河, 均属嘉陵江水系。熊家河与白水河合为木门河, 木门河是渠江支流。渠江与东河均是嘉陵江支流。由前述已知, 河谷为与岩层倾向近一致的横谷,

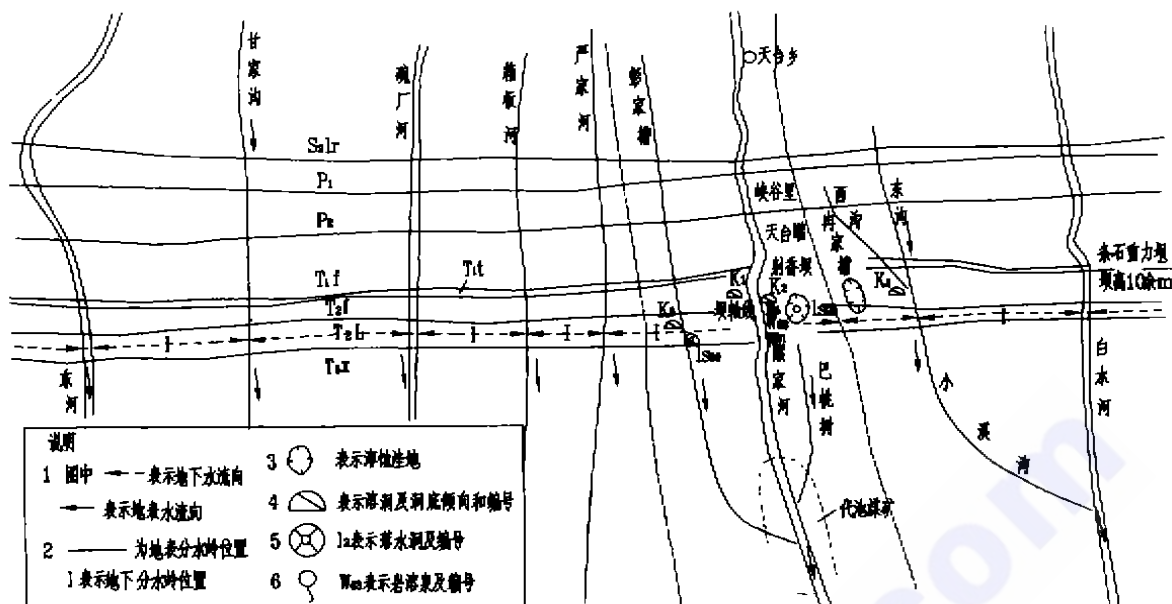


图2 熊家河左、右岸邻谷岩溶水文地质分析图

不存在由隔水层圈闭库盆的条件,地下水运移以顺岩层走向为主。工程区岩溶最发育的地层为  $T_{2L}$  的灰质白云岩和  $T_{2S}$  的灰质角砾岩;工程区无断裂通向库外。只要在上述两地层中不存在通向邻谷的岩溶通道,则其余地层均不存在。下面以两地层为对象,论述水库区渗漏条件。如图2所示,熊家河至东河河间地块宽 14 km。河间地块中发育有甘家沟、西溪沟、碗厂河、箱板河、严家河、彭家槽等一系列冲沟和小河,其中除彭家槽为熊家河支沟外,其余属东河流域。经调查证实,东河水系各河沟均长年有水,在  $T_{2L}$  与  $T_{2S}$  层两岸有泉水出露,为补给型河沟。其切割最深的碗厂河距熊家河 7 km,在  $T_{2L}$  层处河床高程 630 m,高出熊家河河床 64 m。距熊家河流域最近的为彭家槽西侧的严家河,该河属未成形河,河沟中瀑布、跌坎常见,说明不存在在深部岩溶。 $T_{2L}$  在河床基岩裸露,高程 800 m,在其左岸有  $WT_{150}$  号大泉,高程 820 m;在彭家槽右岸有  $K_2$  溶洞水排向彭家槽。溶洞口高程 900 m。说明彭家槽与严家河在  $T_{2L}$  层存在地下分水岭,且高程大于 900 m。故库水不存在由右岸向库外渗漏问题。

在熊家河左岸,由于燕儿洞洞底板倾向白水河方向;徐家坡对岸嘉陵江组地层中无地下水露头;熊家河河床在雷口坡组高出白水河 68 m。熊家河存在是补、排型河流的可能。经过详细的岩溶水文地质调查和勘探试验工作证实,燕儿洞洞底板虽倾向白水河,但其排泄方向仍是熊家河,连通试验与  $W_{63}$  大泉有一定联系。这与岩燕洞相似。其成因可能是该洞原为虹吸多潮泉溶洞,在地壳强烈抬升下出露地表,当地壳继续上升,地下水排泄基面下降,溶洞水直接

通过扩展小裂隙排向熊家河而留下一个倾向山内的溶洞地下水天窗。徐家坡对岸嘉陵江组地层中无地下水露头,是因为嘉陵江组地层中的薄层泥灰岩、页岩隔水,在走向方向上又由于注水坪落水洞较发育,截断了地下水向熊家河的运移,而该段岩溶不发育,雨水一般迅速以地表径流形式排向熊家河。所以,该段未见地下水露头。经调查,在白水河流域的  $T_{2S}$  中见岩燕洞泉水消水点高程 800 m;  $T_{2L}$  在冉家槽见井  $W_{161}$ 、黄泥巴坡见  $W_{160}$  号泉,高程均大于 900 m。在熊家河左岸  $T_{2S}$  中燕儿洞见水高程 610 m,河边见  $W_3$  号大泉在  $T_{2S}$  中见  $W_{61}$  号大泉,注水坪见  $LS20$  号落水洞,其深度约 100 m,在洞底见水,高程为 1 000 m。又在注水坪下游的巴桃树沟中的  $T_{2X}$  层砂岩中见水流出,高程 800 m,流量 150 L/min。证明熊家河与白水河之间存在地下分水岭,且其高程大于 800 m。又由龙  $ZK_1$  号孔与龙  $ZK_3$  号孔资料,其水力坡度沿岩层走向为 0.08。而注水坪洼地东侧距坝址龙  $ZK_1$  约 1 500 m,按其水力坡度计算,其分水岭高程已在河床 566 m 高程基础上增加 120 m,为 686 m 较实际为低。主要原因是在接近分水岭附近,其水力坡度大于下部。

综上所述,熊家河为补给型河流。地下水以顺岩层走向运移为主,经河床向下游排泄。在熊家河两岸存在地下分水岭,且高程大于 800 m,远大于正常蓄水位 640 m。由此得出结论,龙台水库虽为岩溶区建库,但库水不存在向库外渗漏问题。

作者简介:

熊 翔(1965年—),男,四川广汉人,四川省水利水电勘测设计研究院工程师,从事水利水电工程地质工作。