阿岗水库岩溶发育规律分析

张晓东¹,徐世光^{1,2},巴俊杰¹,张兵¹ (1.昆明理工大学,云南昆明 650093;2.云南地矿勘查工程总公司(集团),云南昆明 650041)

摘要 以曲靖市阿岗水库为背景,分析了岩溶地区岩溶分布,结合钻探、物探及连通实验等手段,论述了岩溶地区岩溶的发育规律。坝 址区以碳酸盐岩为主,区内岩溶发育,断裂构造十分发育,工程地质条件复杂,通过对多年勘察资料的分析,结合区域岩溶发育情况,着 重论述坝址区的岩溶发育规律。 关键词 岩溶;断裂带;特征;阿岗水库

中图分类号 P642.25 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)02-322-03

The Karst Development Law of Agang Reservoir

ZHANG Xiao-dong¹, **XU Shi-guang^{1,2}**, **BA Jun-jie¹ et al** (1. Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650093; 2. Yunnan Geological Engineering Exploitation Group Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650041)

Abstract With Agang reservoir in Qujing City as the research material, we analyzed the karst distribution in karst region by combining with the drilling, geophysical prospecting and connectivity test. The development law in the karst area was discussed, the dam site area was dominated by carbonate rock, karst development appeared in the area, the fault structure was well development, and the engineering geological condition was very complex. Based on the analysis of survey data and the development situation of regional karst, the karst development law in dam site area was discussed.

Key words Karst; Fault zone; Characteristics; Agang reservoir

曲靖市阿岗水库位于云南省东部曲靖市罗平县境内,拟 建的曲靖市阿岗水库位于公路阴私线旁,阴私线与 324 国道 相接,东至曲靖、昆明,西至师宗、罗平至贵阳,交通十分便 利。具体位置如图 1 所示。拟建的曲靖市阿岗水库位于九 龙河上游篆长河之上。篆长河流域呈北偏东至南偏西向的 长轴椭圆形,南北长约 54 km,东西宽约 35 km。流域地势总 体上是北西面高,南东面低。水库区地表出露地层主要为二 叠统栖霞茅口组(P₁q,P₁m),岩性为厚层状灰岩、白云岩为 主,夹少量的碎屑岩,特点是碳酸盐岩层厚、质纯,几乎无碎 屑岩阻隔,多溶洞泉或暗河岩溶极为发育,以水平岩溶发育 为主,岩溶发育产生了大量的溶洞及溶蚀裂隙。

罗平地区历经多期的地壳运动,岩溶的发育经过了一个 漫长的时代。岩溶发育的不同特征、强弱、深度及相互间的 关系、分布规律都反映了不同时期的气候、古地理、地质构造 特点,以及地下水在不同水文地质条件下的补给、逸流、排泄 等特征^[1]。研究其发育规律性对于水库汇水区地表水与地 下水的补给转换关系,地下水水质变化规律,环境水文地质, 均具有一定的意义;特别是对拟建水库集水范围内,地下水 循环规律及其水资源评价等方面具有重要意义。笔者在前 人完成的连通实验、钻探实验等的基础上,系统总结了阿岗 水库集水范围内岩溶发育的通道及分带问题。

1 研究区地质概要

研究区内出露地层主要有元古界、上古生界、中生界和 新生界。元古界出露昆阳群黑山头组和牛头山组;上古生界 中泥盆系至二叠系均有出露,其中泥盆系至二叠系下统主要 为碳酸盐岩和少量碎屑岩组成的浅海相沉积;中生界仅出露 三叠系;新生界第三系由一套山麓、河湖相沉积的碎屑物 组成。



图 1 交通位置 Fig.1 Traffic position

区域地处云南"山"字型构造前弧东翼,东距小江断裂带约100 km。拟建水库研究区夹持于弥勒一富源断裂和师 宗一晴隆断裂之间,区域内断裂构造发育,主要为北东向,近 南北向。

1.1 小江断裂带 川滇菱形块体的东南边界断裂,构成青 藏高原和华南块体的部分边界。该断裂北起巧家盆地,南止 于建水南,走向近南北,全长 370 km,区内长 360 km,走向北 西 5°。

1.2 弥勒一富源断裂 该断裂走向北东,长约 300 km,属于 基底断裂,活动时代 Q₁₋₂,显右行压扭特征,弥勒、陆良等地 多次发生 5.00 ~ 5.75 级地震。线性清晰,束状组合,带宽 1 km,构成陆良盆地南东界和弥勒盆地北西界,N₂ 和 Q₁ 地层 变形显著。

作者简介 张晓东(1990-),男,河北邯郸人,硕士研究生,研究方向: 水文地质与工程地质。 收稿日期 2015-12-10

1.3 师宗一晴隆断裂 该断裂走向北东,长约 300 km,属于 盖层断裂,活动时代 Q₁₋₂,显右行压扭特征。线性影像清晰, 束带状组合,带宽 10~30 km,多为走向断层,随地层褶皱而 弯曲。

节理、裂隙:库区发育的结构面可分为原生结构面、构造 结构面 2 类。高桥寨背斜为界,分 NW、SE 两区域。SE 区 域:①层面产状 N40°~80°E,SE $\angle 10^{\circ}$ ~30°,延伸长,张开宽 一般小于 20 mm,红黏土或碎屑充填。②N68°~80°E,NW $\angle 60^{\circ}$ ~80°,面基本平直,延伸长,裂隙间距 10~30 m;该组 裂隙和较大岩溶的发育关系密切,受它的引导。NW 区域: ①层面产状 N13°~66°E,NW $\angle 5^{\circ}$ ~20°,延伸长,张开宽一般 小于 5 mm,红黏土或碎屑充填。②N61°~85°E,NW $\angle 65^{\circ}$ ~ 68°,面基本平直,延伸长,裂隙间距 2~10 m。③N61°E~ S77°E,SE~SW $\angle 50^{\circ}$ ~76°,面基本平直,张开宽小于 5 mm。

2 岩溶发育的基本规律

区域内可溶岩地层在长期的地质历史时间内,受地下 水、地表水溶蚀作用,形成了组成丰富的岩溶地貌,各种岩溶 形态较齐全,地表岩溶形态主要有溶槽、石芽、石柱(偶见)、 漏斗、洼地、落水洞等^[2],整个阿岗盆地主要属于背斜型岩溶 水文地质结构。

阿岗水库库区主要地层为泥盆系(D)、石炭系(C)、二叠 系(P),岩溶暗河漏斗、天窗、溶洞、暗河星罗棋布,岩溶暗河 发育明显受岩性、构造控制。岩性以中厚层状灰岩为主,夹 白云质灰岩、白云岩,有利于岩溶发育,岩溶化程度较强^[3]; 右岸南部受玄武岩及砂页岩非可溶岩阻水,岩溶暗河基本沿 岩层分界线方向延伸,即大瓦鲁一槽盆箐一戈维;库区岩层 产状较平缓,岩层倾角一般 5°~15°,地下水以水平运动为 主,有利于水平溶洞发育^[4];库区左岸以 NE 向断裂为主、 NW 向断裂次之,岩溶暗河发育基本于构造线方向一致呈 NE 向(洞 108—洞 125—洞 609,洞 325—洞 59—洞 609),NW 向岩溶暗河穿插其中(洞 119—洞 59)。

2.1 岩溶发育对河流排泄基准面的适应性 河流的侵蚀基 准面对岩溶的发育有着重要的影响。在大面积的岩溶发育 地区,河流的侵蚀基准面在相当程度上控制着地表和浅部岩 溶的发育。岩溶的溶蚀基准面(即岩溶作用的下限)有时与 河流的侵蚀基准面相一致,但有时受岩性及构造的控制,或 高于河流的侵蚀基准面,或大大低于河流的侵蚀基准面^[5]。 阿岗水库岩溶发育主要受篆长河控制,其岩溶的主要溶蚀基 准面基本与河流的侵蚀基准面相当,局部发育不连通的深部 岩溶。

2.2 岩溶发育规律 研究区分布地层主要为 D、C、P 灰岩, 其中少量夹有 C₁d^{ee} 砂页岩,东部外围被 P₂β 玄武岩及 T₁f 砂 页岩包围。从野外查勘情况看,落水洞、洼地、天窗比比皆 是,泉水、暗河出口见于九龙河边。区内岩溶发育与阿岗盆 地密切相关,盆地始于上新世。以后地壳间歇性地上升,使 略具雏形的篆长河(九龙河上游,下同)迅速下切,嵌入基岩 幅度 80~100 m。与此同时,溶蚀下限亦迅速下移。袭夺现 象尤其激烈:大雨本至撒玛依地段地表河及捏恰小支流,被 横山村—阿市里暗河袭夺,成为季节性排洪沟;飞吉洼地受 东部础挪河源头暗河的袭夺,变为一个3.5 km²的封闭洼地。 篆长河沿岸泉水流量出现了上游逐年减小,下游逐年增大的 现象;一方面显示了地下水的强烈袭夺,同时也说明岩溶基 准面在不断降低。

地下水袭夺受阶段性的限制,未明显影响到北部,致使 涨水坡一带,仍然保存溶蚀盆地的岩溶发育特征。地下水埋 藏浅,并有众多的泉水溢出,部分地段还有沼泽化现象;地表 水系发育,并排泄该段之地下水,河流两侧有较宽的松散冲 洪积层。地表岩溶形态比较单调,依稀可见为数不多的浅、 缓、小的洼地。水平方向的溶蚀裂隙普遍发育,显示均匀、稳 定的扩散流特点。

盆地中部和南部情况却大为不同。垂直岩溶形态广泛 而强烈地发育,尤以竖井为典型代表,又常常是暗河天窗。 发育深度一般 30~50 m,组成垂直岩溶发育带。此带内偶而 见有短而小的水平溶洞,仅占本带的 12% (线比例),显示层 状分布规律。推测其可能为短暂稳定期的产物,形成时代略 早于竖井。以竖井为代表的垂直岩溶带之下,为宽阔畅通的 大型水平管道分布带,组成树枝状的地下水文网,为岩溶强 发育但不均一的岩溶带。盆地内地下水力坡度平均在 10% 以内,径流速度 50~100 m/h,个别暗河部分河段可达 518 m/h,说明暗河系统径流畅通,但受岩溶发育因素影响,亦存 在河道狭窄段。

枯水季节,地下水沿暗河管道源源不断地在盆地南部泄 出。雨季地下管道泄水不及,水流沿暗河天窗上升、溢出,致 使盆地内的低凹地带一片汪洋,造成水灾。有的暗河水力坡 度仅0.17‰。另据象鼻子洞(609 点)观测,在无外因干扰的 情况下,日出水量增加10万 m³,推断为岩溶发育不均匀性造 成,或认为地下虹吸现象。

据20世纪70年代昆明水电勘测设计院连通实验资料, 在洞119、洞325、洞91、洞568、洞125、洞108、洞59、洞87进 行了连通实验及地下暗河观察,显示地下水由北向南、由东 向西通过地下暗河排向九龙河,最终以象鼻子洞(609点)为 主要排泄点。

由上述例证可以认为,阿岗盆地内地下水以不均一的管 道流为主,显急变流特征,并随着岩溶作用的不断发展,暗河 系统不断扩大、伸长,逐步向盆地北部推进。如洞 609 阿市 里一横山村主干暗河,长 15 km 以上,枯季流量 2.09~4.28 m³/s,有明显的 3 条支流。

篆长河与盆地地下水依存关系十分密切。枯季篆长河 补给部分地下水,洪水季节,地下水大量地补给河水,使一些 落水洞变为冒水洞,如洞 568。

整个库区处于石林期形成的阿岗溶丘盆地内,岩溶现象 极为发育,地表 30~50 m 深度范围内,以垂直岩溶为主,以 竖井、暗河天窗为代表(占 88%),偶为水平溶洞(占 12%), 竖井、暗河天窗基本概况见表 1^[6]。

根据区域资料,阿岗盆地岩溶发育分为2个带(A、B), 见阿岗溶丘盆地水文地质结构模式图2。各带主要特征为: A带是岩溶强烈发育,但极不均匀,为地下水主要活动带,上 为垂直形态,下为水平形态,控制深度约50m。该带地下水、 地表水交替活跃,动态变化显著,为地下水的主要储存、运移 带。库区地表主要位于该带。B带是溶蚀较均匀,溶隙为主 要形态,受岩性和构造控制,深度各地不一,以水平方向均匀 溶蚀为主要特征,库区地表、库尾主要位于该带。

表1 竖	至井、暗河	天窗基本	本概况
------	-------	------	-----

Table 1	General situation	of the skylights of	vertical shafts and	underground rivers
---------	-------------------	---------------------	---------------------	--------------------

编号	位置	说明
Code	Position	Introduction
洞 822 Cave 822	位于倒马坎 100°方向 1 300 m 处	和流向 W_{11} 之水平岩溶及 $C_2 w$ 与 $C_1 d^s$ 相关
洞 701 Cave 701	位于牛皮山 198°方向 802 m 处	和 $C_2 w$ 与 $C_1 d^s$ 分界相关
洞 702 Cave 702	位于尖山 103°方向 608 m 处	岩层为 C ₁ d ^s
洞 703 Cave 703	位于尖山 79°方向 604 m 处	岩层为 C ₁ d ^s
洞 704 Cave 704	位于大山 3°方向 806 m 处	和 $C_2 w$ 与 $C_1 d^s$ 分界相关
洞 717 Cave 717	位于素白山 259°方向 801 m 处	D2,背斜轴部
洞 723 Cave 723	位于白龙山 234°方向 730 m 处	岩层为 D ₂
洞 728 Cave 728	位于大梅子山 241°方向 404 m 处	岩层为 D ₁ y
洞 118 Cave 118	位于高桥大寨 70°方向 401 m 处	岩层为 D ₂
洞 119 Cave 119	位于高桥大寨 180°方向 200 m 处	岩层为 D ₂
洞 59 Cave 59	位于小石洞山 215°方向 320 m 处	岩层为 D ₂
洞 87 Cave 87	位于高桥大山 12°方向 602 m 处	岩层为 D ₃
洞 325 Cave 325	位于高桥大山 78°方向 114 m 处	岩层为 C ₁ y
洞 320 Cave 320	位于大黑山 335°方向 720 m 处	岩层为 C ₁ y;背斜轴部
洞 108 Cave 108	位于阿岗 240°方向 2 800 m 处	岩层为 C ₁ y
洞 737 Cave 737	位于水槽 128°方向 540 m 处	岩层为 C ₂ w







Fig. 2 The hydrogeological structure model of basins in Agang

库区垂向岩溶发育主要位于地下水位之上,发育深度一般 30~100 m,坝址~河格村主要划为 A 型,河格村~库尾为 B 型^[7]。

水平岩溶:区内层状发育的水平溶洞比较普遍。大型溶 洞高5~10 m,宽达20~30 m,有的长6500 m。发育方向除 少数受断裂控制外,大部分沿不同方向节理呈曲折状发育。 洞内形成石钟乳、石笋、石柱等钙华沉积,有的洞穴堆积中保 存有第四纪哺乳类化石。根据溶洞分布的高度及位置,大致 可分为3个主要层。高层溶洞(海拔高程1835~1855 m)层 位于夷平面以下,近代深切峡谷裂点之上,高出盆地30~50 m;中层溶洞(海拔高程1815~1820 m)位于近代深切峡谷 两侧,高出盆地10~15 m;低溶洞层(海拔高程1805~1808 m),即现代溶洞层,位于河谷底部,一般为溶洞泉或暗河的 进出口。

库区水平岩溶主要在洞 609~高桥小寨之间,前人大部 分已做了连通实验,它们都向篆长河排泄,水平溶洞地下水 力坡降为10%,径流速度50~100 m/h,篆长河与地下水依存 关系密切,枯季篆长河补给部分地下水,雨季地下水大量补 给河水,使一些落水洞变为冒水洞,如W25;或枯季泉水补给 篆长河,雨季篆长河倒补给地下水,如高桥大寨洞 118、洞 119^[8]。根据此次野外观察及其他相关资料,岩溶发育统计 见表1、表2。 作经历,甚至可以酌情降低对学历、年龄、科研成果的限制, 为专业学位研究生教育储备师资力量。高校还可以建立合 适的人才流动机制,吸引行业、企业里具有博士学位的高级 技术人员到学校工作,充分发挥他们专业实践经验丰富的优 势。高校也可以制定相关政策,支持教师去企业进行生产实 践的锻炼,提高专业实践能力,或者开展一些专门的培训课 程,强化教师的生产和实践技能,在学校现有的教师中培养 一批"双师型"人才。在职称的评定上,不仅以教师的学术水 平为依据,还要注重教师的专业实践能力,给一批具有丰富 实践经验的教师提供晋升渠道,调动教师不断丰富自身专业 实践经验的热情,形成一支高水平的"双师型"队伍。

3.3 加强实践能力的培养 实践教学环节是全日制专业学 位研究生培养的重要环节。突出实践教学环节,强化专业学 位研究生实践能力的培养,是实现全日制专业学位研究生教 育目的的重要保证。高校可以建立多种形式的实践基地,吸 纳和利用社会资源,保证学生真正投身实践并切实得到锻 炼。高校既可以充分利用的实验室或实践中心,组织学生开 展实践训练,也可以与企业建立校企合作实践基地,与企业 进行联合培养,使学生接受大规模、多层次的实习训练。校 企合作实习需要企业为学生提供与专业对口的实习岗位,同

时也要求高校根据实习单位的用人需求,统筹分配实习人员,将学生的提升与企业的收益相结合,以确保企业、高校效益双赢,这样才能形成有利于校企合作基地建设的长效机制^[6]。

一方面,研究生可通过参与导师的应用型课题,随导师 到企业开展实践研究工作;另一方面,学校可统一安排学生 到相应领域的校外基地,在企业导师的指导下进行实践训 练。学校还可以制订相关制度,使专业学位研究生的毕业论 文与专业实践密不可分,真正做到从上到下,从导师到学生, 都充分重视实践环节,保证实践培养的质量。

参考文献

- [1] 高益民. 日本专业学位研究生教育的初步发展[J]. 比较教育研究,2007 (5):33-37.
- [2] 洛林·W·安德森. 布卢姆教育目标分类学:分类学视野下的学与教及 其测评[M]. 北京:外语教学与研究出版社,2009.
- [3] 王佳佳. 全日制专业学位研究生德育工作探讨[J]. 成功(教育),2010 (4):200.
- [4] 黄羽. 我国高校硕士专业学位研究生实践教学问题研究[D]. 武汉:中 南民族大学,2012.
- [5] 黄秋萍.对工程硕士师资队伍建设的初步探讨[J].长春工业大学学报,2009,30(3):70-72.
- [6] 李桂梅,李科生. 立足双赢:校外实习基地建设与研究[J]. 当代教育理 论与实践,2010,2(2):75-77.

(上接第324页)

	Table 2	General situation of the de	evelopinent degree of	vertical karst	
深度 Depth m	地表竖井、溶洞 Vertical shaft and karst cave in ground surface		钻孔所见溶洞 Karst caves found after drilling		备注
	个数 Quantity	占比 Percentage//%	个数 Quantity	占比 Percentage//%	Note
0~40	299	83.80	33	44.60	孔径大于 10 cm 者为溶洞
40 ~100	54	15.13	28	37.80	该表增加了库区
>100	4	1.17	13	17.60	CK1、CK2 资料
总计 Total	357	100	74	100	

表 2 垂向岩溶发育程度概况 Fable 2 General situation of the development degree of vertical ka

3 结论

根据上述分析,得出以下结论:

(1)工程区岩溶发育特征符合区域岩溶发育规律,从岩 性方面泥盆系中上统、石炭系及二叠系中下统的灰岩、白云 岩岩体中岩溶现象发育;从空间分布来看,岩溶发育符合沿 构造线、傍坡临岸(受风化卸荷作用控制)的规律。

(2)河流的侵蚀基准面对岩溶的发育有着重要的影响, 阿岗水库岩溶发育主要受篆长河控制,其岩溶的主要溶蚀基 准面基本与河流的侵蚀基准面相当,局部发育不连通的深部 岩溶。

(3) 阿岗盆地内地下水以不均一的管道流为主,显急变流特征,并随着岩溶作用的不断发展,暗河系统不断扩大、伸长,逐步向盆地北部推进。

(4)两岸地下水位高于河水位,地下水补给河水。该河 谷就是当地的或区域的最低排水基准面;河谷的岩溶层不延 伸到邻谷;两岸有地下水分水岭。河谷区地下水水力坡降与 岩溶发育强度有关,水力坡降愈缓,岩溶愈发育。阿岗水库 两岸都属于该类型。

参考文献

- [1] 王玉来. 蟒河口水库坝址区岩溶发育规律分析[J]. 探矿工程,2009 (S1):313-317.
- [2] 袁道先.中国岩溶学[M].北京:地质出版社,1994:15-18.
- [3] 沈继方,李焰云,徐瑞春,等.清江流域岩溶研究[M].北京:地质出版 社,1996.
- [4] IOA E,莫跃支.岩溶发育的垂直分带性[J].水文地质工程地质译丛, 1991(6):30-36.
- [5] 张操 简述岩溶地区工程建设地质勘查[J].中华民居,2010(12):70-71.
- [6] 沈继方,徐瑞春.碳酸盐岩地层剖面的差异性溶蚀分析[C]//工程地质 及环境地质论文选集.武汉:中国地质大学出版社,1993.
- [7] 曾志飙,张美良.湘西保靖县塘口湾水库岩溶渗漏分析[J].中国岩溶, 1999,18(1):56-64.
- [8] 于绍周.观音阁水库库首右岸可能渗漏的初步分析[J].中国岩溶, 1986,5(1):61-67.