

中国地质大学（武汉）学术著作出版基金资助

中国地质大学“211工程”地下水资源与地质环境保护学科群资助

清江高坝洲水电站 岩溶发育规律及其 对工程的影响

万军伟 沈继方 王增银 晁念英 等著



中国地质大学出版社

中国地质大学(武汉)学术著作出版基金

中国地质大学“211 工程”地下水资源与地质环境保护学科群

联合资助

清江高坝洲水电站岩溶发育规律 及其对工程的影响

万军伟 沈继方 王增银 晁念英 等著

中国地质大学出版社

内 容 简 介

本书针对高坝洲水利枢纽工程所遇到的岩溶地质、水文地质问题,以现代岩溶动力系统理论为指导,运用岩溶作用正反馈原理分析与研究了高坝洲地区岩溶发育的特征及其控制因素,利用计算机数值模拟技术、同位素测试和包裹体分析等先进技术方法,再现了该地区古岩溶水文地质环境及未来水库蓄水条件下地下水渗流场和岩溶水环境的变化,为工程设计、施工提供了依据。

全书共分四章:第一章以高坝洲地区岩溶岩组类型为主线,阐述了该地区岩溶发育的自然和地质背景条件。第二章从高坝洲地区各类岩溶发育的形态特征入手,通过对典型岩溶洞穴的剖析,从岩溶动力学的角度,分析了研究区岩溶发育的控制因素及各因素之间的相互关系,在此基础上对全区岩溶发育的强度进行了分区。第三章以岩溶水流动系统为核心,在对各岩溶水系统结构特征和水动力条件分析的基础上,运用地下水数值模拟技术对坝区右岸岩溶水系统的地下渗流场进行了识别,并预测了不同工况条件下水库渗漏的形式、途径和渗漏量,为水库防渗帷幕的优化设计提供了依据。第四章针对高坝洲地区岩体中发育的古岩溶角砾岩,从岩石学和岩溶地质学的角度研究了角砾岩的岩石学特征、形成环境和形成历史,进而分析了研究区岩溶发育和演化过程,为大坝抗滑稳定和渗透稳定性评价奠定了基础。

本书可供岩溶地质、水文地质、工程地质、环境地质以及水利水电工程等学科专业的科技人员和高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

清江高坝洲水电站岩溶发育规律及其对工程的影响/万军伟,沈继方,王增银,晁念英等著. —武汉:中国地质大学出版社,2006.3

ISBN 7-5625-2081-X

I. 清…

II. ①万…②沈…③王…④晁…

III. 清江-高坝洲-水电站-岩溶发育规律-工程

IV. P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 018269 号

清江高坝洲水电站岩溶发育规律及其对工程的影响

万军伟 沈继方 等著
王增银 晁念英

责任编辑:王凤林

责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮编:430074

电话:(027)87482760

传真:87481537

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

http://www.cugp.cn

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数:160 千字 印张:6

版次:2006 年 3 月第 1 版

印次:2006 年 3 月第 1 次印刷

印刷:湖北地矿印业公司

印数:1—500 册

ISBN 7-5625-2081-X/P·662

定价:18.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

高坝洲水电站是清江干流上的大型水利水电枢纽工程,库坝区下古生界碳酸盐岩广布,岩溶地质、水文地质及工程地质条件极为复杂,坝区还有大量的古岩溶角砾岩分布,这些特殊的地质条件直接影响到库坝区工程地质条件的评价和设计、施工方案的抉择。

本书在长江水利委员会前期大量勘探工作的基础上,通过现场岩溶地质综合调查、地下水长期观测、样品的系统采集、室内多种试验和测试等分析工作,应用现代岩溶动力学理论与方法,以渗流场为主线,从岩溶发育与演化的正反馈过程入手,系统论述了高坝洲地区岩溶岩组类型、岩溶发育的控制因素及岩溶的发育与演化过程;应用最新的计算机数值模拟技术对复杂的裂隙-溶隙-岩溶管道三重介质地下水渗流场进行了仿真模拟,再现了水库在不同工况条件下库坝区地下水的渗流场以及不同防渗帷幕条件下的渗漏量,为大坝防渗帷幕工程的优化设计提供了科学依据;应用多种测试和断代技术系统地研究了古岩溶角砾岩的结构、沉积环境、形成年代及其工程地质性质。该研究不仅对高坝洲水电站坝址的工程地质条件分析具有重要的实际意义,同时对江汉盆地以及鄂西隆起的古环境演变研究有重要的科学意义。

全书共分四章,前言及第三章由万军伟执笔,第四章及结束语由王增银执笔,第一章由沈继方执笔,第二章由晁念英执笔。全书经沈继方、徐瑞春、李焰云共同审阅后,由万军伟统稿。

在项目的研究和本书的编辑过程中得到了湖北清江水电开发有限责任公司、长江水利委员会、中国地质大学等单位的大力支持,特别是湖北清江水电开发有限责任公司的李焰云、汪金元、陈润发、周梓良、江洪湖、李昌彩、曹志宇、长江水利委员会的徐瑞春、石伯勋、黄中平、黄华、王正波、李会中,中国地质大学的王良忱、郭颖、刘志忠等同行专家和学者不仅在工作上给予了大力的支持,还提供了很多宝贵意见以及自己的调查和研究资料,作者在此表示衷心的感谢。

感谢中国地质大学学术著作出版基金评审委员会、中国地质大学“211 工程”地下水资料与地质环境保护学科群的大力支持和资助。因时间仓促和笔者水平有限,书中不妥和错误之处恳请读者批评指正。

作者

2005 年 12 月于武汉

目 录

第一章 岩溶发育的自然背景	(1)
第一节 自然地理	(1)
第二节 地层岩性与岩溶岩组类型	(3)
一、地层岩性	(3)
二、岩溶岩组类型	(8)
三、岩溶岩组类型的分布及其岩溶水文地质意义	(11)
第三节 地质构造	(13)
一、褶皱	(13)
二、断裂	(15)
三、断层角砾岩组构及方解石脉成因	(18)
四、地质构造的岩溶水文地质意义	(20)
第二章 岩溶发育特征	(21)
第一节 岩溶地貌形态	(21)
一、溶沟与石脊、石芽	(21)
二、干谷	(22)
三、岩溶洼地	(23)
四、岩溶洞穴	(25)
第二节 典型岩溶洞穴	(27)
一、关门石洞(K ₃₀₉)	(27)
二、盆景洞(K ₃₃₅)	(30)
三、王子洞(K ₄₁₂)	(32)
四、风洞(K ₄₂₇)	(33)
五、仙人洞(K ₄₃₂)	(35)
第三节 岩溶发育的控制因素	(37)
一、岩石的可溶性	(37)
二、裂隙介质的发育特征	(40)
三、裂隙介质的水动力模式	(42)
第四节 岩溶发育程度分区	(44)
一、分区原则	(44)
二、分区特征	(45)
第三章 岩溶水系统与水库渗漏	(48)
第一节 岩溶水系统特征	(48)

一、洞沐浴层控—侵蚀型相对集中排泄子系统(B-1)	(48)
二、响水洞层控—侵蚀型相对集中排泄子系统(B-2)	(48)
三、黑岩子湾层控—溢出型相对集中排泄子系统(D-1)	(49)
四、城池口层控—侵蚀型相对集中排泄子系统(B-3)	(50)
五、人家河层控—溢出型相对集中排泄子系统(D-2)	(50)
六、猫子洞层控—侵蚀型相对集中排泄子系统(B-4)	(51)
七、毛家沱层控—溢出型分散排泄子系统(D-3)	(51)
八、泉水湾层控—溢出型分散排泄子系统(D-4)	(51)
第二节 岩溶水系统的数值模拟	(52)
一、模型概化	(52)
二、模型识别	(54)
第三节 水库渗漏与防渗	(63)
一、水库渗漏特征及渗漏量分析	(63)
二、右岸防渗帷幕工程地质条件分析	(64)
三、水库运行期间岩溶作用的演化趋势	(65)
第四章 古岩溶角砾岩及其对	
大坝工程的影响	(66)
第一节 古岩溶角砾岩的发育特征	(66)
一、岩体分布与基本地质特征	(66)
二、岩石组构特征	(69)
三、角砾岩胶结物—方解石的物化特征	(71)
第二节 古岩溶角砾岩的形成环境	(76)
一、古岩溶角砾岩的岩相标志与成因类型	(76)
二、方解石晶体的形成条件	(77)
三、方解石胶结岩溶角砾岩形成机制及形成时代	(78)
第三节 岩溶发育史	(81)
一、区域水文地质条件演变	(81)
二、岩溶发育及演化	(83)
第四节 古岩溶对大坝工程的影响	(84)
一、坝体稳定问题	(84)
二、坝区渗漏问题	(84)
结束语	(86)
主要参考文献	(89)

第一章 岩溶发育的自然背景

第一节 自然地理

清江发源于湖北省利川市齐耀山东麓,自西向东流经利川市、恩施市、建始县、宣恩县、巴东县、五峰县、长阳县,于枝城市陆城镇北注入长江,全长约 430km,总落差约 1 000m,平均坡降 2.3‰。

高坝洲水电站位于清江下游(图 1-1),距清江与长江交汇口陆城镇约 12km,它地处鄂西山地与江汉平原的过渡区。高坝洲水库两岸主要为低山丘陵,地形起伏较小,河谷开阔,河曲发育,支流众多,反映出典型的低山—平原型组合特征。根据高坝洲库区清江河谷地貌特点可分为四个河段:

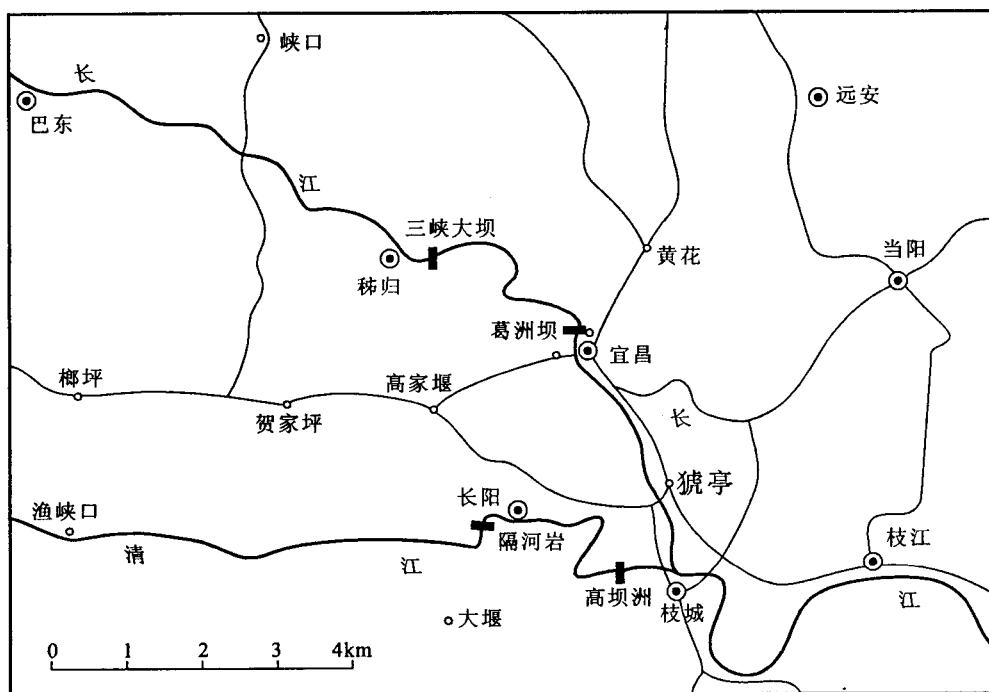


图 1-1 高坝洲水利水电枢纽工程地理位置图

(1)隔河岩河段(沿市口一下渔口),该段河谷自沿市口由上游的东西向急转为南北向,横切长阳背斜南翼寒武系地层,形成了横向型峡谷,主要沟谷及支流分别由东、西两侧近正交汇入清江,两岸山势陡峻,峰谷相对高差达 300m 以上。在沿江陡崖之上,分布有较大规模的水平干溶洞,其洞口分别高出江面 63m 和 133m。在距下渔口不远处清江流出峡谷,右岸西寺坪

发育有较完整的 I、II、III 级阶地。

(2) 隔河岩至高坝洲河段(下渔口—石门), 该河段主要穿越于长阳背斜的轴部, 受近东向和近南北向两组张性裂隙的控制, 河道有 8 处 90° 以上的转折, 是典型的河曲发育段。河谷比较开阔, 两岸山势比较低缓, 多处发育有 5~7 级阶地。

(3) 高坝洲河段(石门—毛家沱), 该河段河谷呈北东向, 河谷平直, 两侧为低山—丘陵地貌, 河谷两岸多呈宽缓的垭口和宽敞、平坦的岩溶槽谷以及被其分隔的浑圆状山丘, 丘顶地表岩溶(溶沟、溶槽及石芽)发育。岩溶槽谷的谷峰高差一般 60~70m, 多以悬谷或陡坡与清江或其支流相接, 有的呈封闭盲谷形式, 仅以落水洞、漏斗通过地下岩溶管道与清江或其支流相连, 槽谷方向多变。此外还有少量弯曲、深切的侵蚀沟谷汇入清江。清江河谷在此段与地层斜交构成斜向谷, 两岸丘陵高出江水面 120~180m。沿江两岸可见五级阶地, 其中 I 级保存较好, II、III 级呈断续分布, IV、V 级仅零星出现。在河床凸岸和洞河沟沟口形成宽阔的砂砾石漫滩, 即高坝洲。母鸭沟岩溶角砾岩体分布在其左岸, 并被清江切割。

(4) 清江河口段(毛家沱—陆城镇), 该河段长 11km, 落差仅 2m, 清江向东流入宽阔的第三系红层谷地, 江面宽 200~300m, 河床砂砾石滩增多, 水流渐趋平缓, 两岸阶地发育, 呈连续片状分布, 陆城镇就位于长江和清江阶地上。

清江高坝洲库区河谷阶地发育, 其中 I 级阶地(高漫滩)和 II 级阶地表现为嵌入式阶地, 其余多为基座阶地。最高一级阶地相对江水面高差达 129m, 最低一级(高漫滩)仅 9~20m, 两者相差达 110m, 但相邻各级阶地之间的高差不大, 一般都在 25m 以内, 自上游向下游, 各级阶地高度逐渐下降, 与河流纵坡降一致。各级阶地面明显向清江倾斜, I、II 级阶地分布较完整, 其余均被较深的溪流和冲沟切割成残余平台。II 级阶地的形态不太明显, 它的前缘常被一级阶地叠置, III—VII 级阶地形态清楚, 相邻之间以 $20^\circ \sim 25^\circ$ 斜坡相衔接。各级阶地的类型、高程和沉积物的性质如表 1-1 所示, 不同河段阶地的位相如图 1-2 所示。

表 1-1 长阳至枝城间清江阶地类型和分布特征

(据长江水利委员会《清江高坝洲水利枢纽工程地质勘察报告》, 1995)

阶地级数	阶地高程(m)	阶地类型	阶地物质组成及其分布特征
VII	104~129	基座	以南岸坪和陆城一带阶地最为典型, 长阳宝塔即位于此阶地上, 由棕红色泥砾层组成。地面切割呈丘陵状与下级阶地以 $25^\circ \sim 30^\circ$ 坡相衔接
VI	89~110	基座	除洲衙坪和毛家沱一带阶地不明显外, 其它地区均有分布, 由泥砾层组成, 地面亦受沟谷切割, 与下级阶地呈 $20^\circ \sim 30^\circ$ 坡接触
V	69~90	基座	除鄢家沱一带阶地不明显外, 其余皆均有分布, 由泥砾和深黄色粘土组成, 与下级阶地呈 $20^\circ \sim 25^\circ$ 斜坡接触
IV	46~65	基座	在研究区均有分布, 由泥砾和黄色粘土组成, 与下级阶地以 $25^\circ \sim 30^\circ$ 斜坡衔接
III	30~40	基座	除洲衙坪一带阶地不明显外, 余者清楚, 由泥砾和黄色粘土组成, 与下级阶地呈 $25^\circ \sim 30^\circ$ 斜坡接触
II	16~20	嵌入	毛家沱以东阶地分布较宽阔, 以西分布较窄, 由粘土和砾石组成, 其前缘常有一级阶地叠置, 阶地形态不明显
I	10~20	嵌入	毛家沱至陆城间阶地宽阔, 毛家沱以西阶地较窄, 由壤土、粘土、砂砾石组成, 砂砾石常有钙质胶结。前缘与低河漫滩和江面呈一陡坎接触

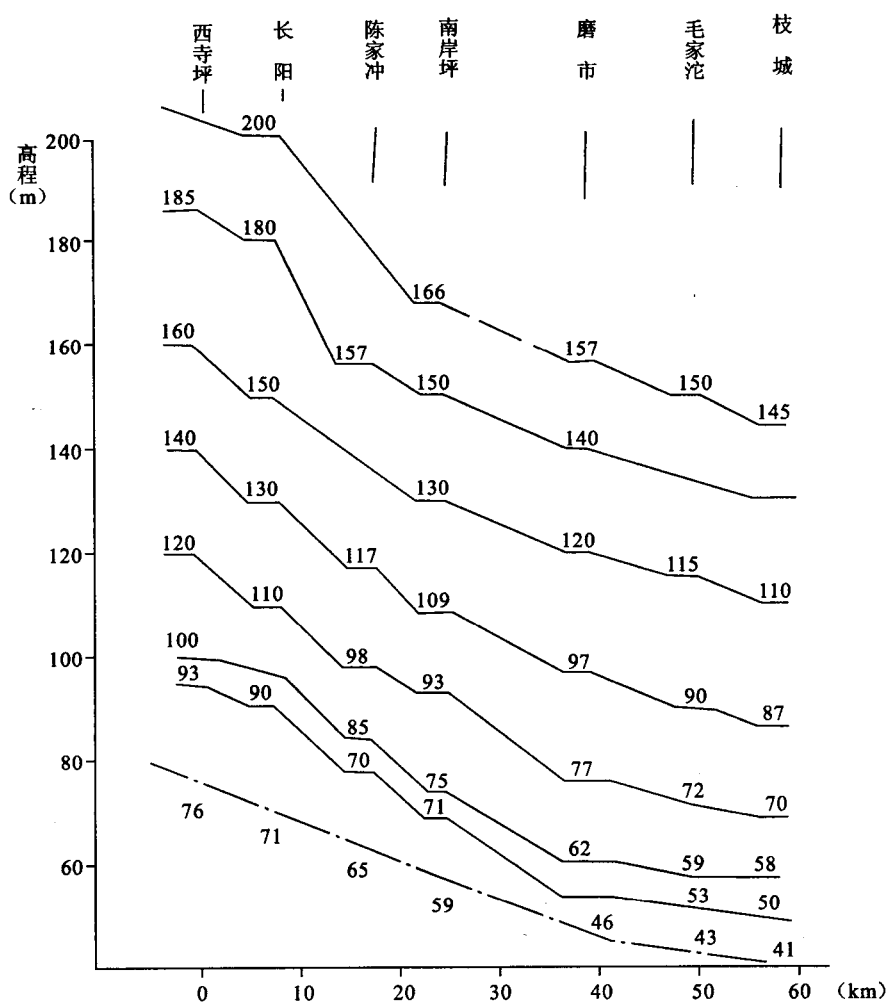


图 1-2 清江下游西寺坪—枝城段河谷阶地相图
(据长江水利委员会《清江高坝洲水利枢纽工程地质勘察报告》, 1995)

第二节 地层岩性与岩溶岩组类型

一、地层岩性

高坝洲地区出露的地层主要为下古生界寒武系、奥陶系的海相碳酸盐岩夹少量碎屑岩, 志留—泥盆系以碎屑岩为主, 石炭—二叠系以碳酸盐岩为主, 白垩—第三系以碎屑岩为主。

(一) 寒武系

寒武系是本区分布最广的地层, 上、中、下统均有出露。

1. 下统(ϵ_1)

主要分布于西寺坪、王家河、鸡公岩及土地岭、城池口一带。自下而上分为水井沱组、石碑组、石龙洞组和平善坝组。

(1) 水井沱组(ϵ_1^1), 厚 116~265m。下部为灰、灰黑色、灰紫色炭质页岩、硅质页岩夹灰岩

与炭质泥灰岩,页岩中夹扁球状灰岩透镜体。中部为灰绿色粉砂质页岩、炭质灰岩,局部夹粗晶灰岩。上部为灰色薄—中厚层泥质砂岩与紫红色鲕状含铁灰岩或钙质粉砂岩。

(2)石牌组($\in_1^2$),厚 195~225m。下部为灰绿、黄绿色薄层砂质、泥质页岩夹薄层铁质、钙质粉砂岩,含少量云母。中部为灰绿色页岩夹少量粉砂岩,页理明显,含绢云母细片,风化后呈淡黄色片状。上部为灰绿、灰紫色薄层状粉砂岩夹页岩,为不等厚互层夹薄层灰岩透镜体及砂岩。

(3)石龙洞组(含天河板组)($\in_1^3$),厚 154~195m。底部为薄层灰岩与页岩互层,厚约 5m(天河板组)。下部为灰、深灰色厚层微晶条带状灰岩、鲕状灰岩及泥质白云岩、疙瘩状泥灰岩。中部为灰色、深灰色薄层至中厚层微细晶泥质条带灰岩,含碎屑状灰岩或竹叶状灰岩。上部为深灰与浅灰色相间的厚层结晶白云岩,硅质、白云质灰岩,含泥质条纹及鲕状灰岩。

(4)平善坝组($\in_1^4$),厚 40~60m。下部为灰绿、黄绿色薄层砂质页岩夹深灰色微晶灰岩、鲕状灰岩及泥质条带灰岩。上部为灰、深灰色薄层泥质条带灰岩或薄层灰岩与泥灰岩互层。

2. 中统($\in_2$)

主要分布于隔河岩、罗家坳、纱帽山、鸡公岩、淹水塘及高坝洲坝区一带。自下而上分为红溪组、上峰尖组和黑石沟组。

(1)红溪组($\in_2^1$),厚 60~72m。下部为深灰色微晶白云质灰岩,局部为条带状灰岩。中部为深灰色厚层夹薄层条带状白云质灰岩或泥灰岩,局部为厚层含硅质白云质灰岩或硅质灰岩,缝合线发育。上部为深灰色、灰褐色粗—细晶灰岩或硅质白云岩。

(2)上峰尖组($\in_2^2$),厚 216~366m。是高坝洲坝址区出露的主要地层,按岩性可划分为三段:

第一段($\in_2^{2-1}$)厚 60.17m,主要分布在大坝下游,为浅灰带红色,薄—中厚层,泥—微晶白云岩,厚层泥质白云岩夹白云质灰岩和钙质粘土岩。

第二段($\in_2^{2-2}$)厚 63.86m,主要分布在大坝下游,下部为白云石化条带状微晶灰岩和斑状白云质微—泥晶灰岩,厚约 20m;中部近 30m 为含藻屑细晶和粉晶钙质(去白云石化)白云岩;上部为核形石亮晶白云岩。

第三段($\in_2^{2-3}$)厚 153.84~211.37m,为坝基岩体。底部 18.5m 岩性变化较大,自下而上依次为钙质含粉砂核形石中—细晶白云岩,钙质藻团块白云岩,薄—中厚层泥质条带白云岩夹有核形石亮晶白云岩;下部为浅灰色中厚层含石膏泥晶白云岩夹薄层灰质(或白云质)泥岩;中部为中厚层粉晶白云岩和纹带状微晶白云岩,中夹泥质微晶白云岩及薄层白云质或钙质泥岩;上部为浅灰色薄—中厚层微晶白云岩及微—泥晶白云岩夹粉晶团粒白云岩。

(3)黑石沟组($\in_2^3$),按岩性可以划分为两段:

第一段($\in_2^{3-1}$)厚 153.84~164.25m,下部为坝基岩体,该段主要分布在左岸干溪沟、九墩子老屋、大山坡—猪儿滩一带以及右岸从溜石板顺南东方向斜切王家冲、郑家冲至泉水湾一带。其岩性下部为灰—深灰色厚层粉—微晶白云岩和细—粉晶白云岩,中夹泥质白云岩、钙质泥岩,灰岩中局部溶孔较发育;中部为灰与深灰色泥—微晶白云岩和白云质灰岩互层,中夹软弱的泥质白云岩(厚约 1.2m);上部为中厚层灰红色微晶泥质白云岩与深灰色藻团粒微—亮晶灰岩互层,其中下段夹 12~14 层薄—极薄层泥质白云岩、钙质泥岩(呈叶片状)。

第二段($\in_2^{3-2}$)厚 73.82~80m,其岩性下部为深灰色藻团粒粉晶灰岩与浅灰色厚—巨厚层微晶白云岩;上部为斑状白云质团粒微晶灰岩夹浅灰—灰紫色纹带状微晶灰岩及角砾状藻

团粒—团块亮晶灰岩。

3. 上统(ϵ_3)

三游洞组(ϵ_3)厚约 500m,分布在大坝上游,按岩性可以划分为三段:

第一段(ϵ_3^1)厚 39.21m,岩性为深灰色厚层细—微晶灰岩(含叠层石)夹浅灰—灰红色泥质白云岩或微晶白云质灰岩。

第二段(ϵ_3^2)厚 217.85m,下部(108m)为深灰色厚—巨厚层中晶白云岩与浅灰色微—细晶白云岩互层(每约 3m 厚度交替出现);中部(40.03m)为浅灰色厚层—巨厚层中—细晶白云岩,含中砂微晶白云岩,夹有藻团块亮晶白云岩;上部为浅灰色中厚层(有时含中砂)粉—微晶白云岩与深灰色巨厚层粉—中晶白云岩的不等厚交互。

第三段(ϵ_3^3)厚 250.7m,岩性为深灰色厚—巨厚层粗—中晶白云岩或硅质中晶白云岩与浅灰或灰褐色厚层中晶白云岩。

(二)奥陶系(O)

1. 下统(O_1)

分布于麒麟山—淹水塘—响水洞(渔洋河岸边)及石门—长滩—磨市一线上。自下而上分为南津关组、分乡组、红花园组、大湾组。

(1)南津关组(O_1^1),厚 126~164m。底部(29.10~40m)为灰绿色页岩与生物碎屑灰岩互层;中上部基本为纯碳酸盐岩层,以粉—微晶灰岩为主,含有生物碎屑,多为棘皮类、藻团块等,此外还有三叶虫、介形虫;顶部见生物碎屑灰岩。

(2)分乡组(O_1^2),厚 45~60m,由生物碎屑灰岩、微晶灰岩和页岩组成。下部为生物碎屑灰岩夹页岩,中部为生物碎屑灰岩与微晶灰岩的交互,上部为生物碎屑灰岩夹页岩或与页岩交互。

(3)红花园组(O_1^3),厚 22~40m,岩性比较单一,由生物碎屑灰岩和微晶灰岩组成。

(4)大湾组(O_1^4),厚 18~37m,以泥质岩类为主。下部为泥质条带灰岩夹页岩与页岩夹灰岩透镜体;中部为瘤状灰质粘土岩夹微—泥晶灰岩;上部为页岩。

2. 中上统(O_{2+3})

厚 26~83m(包括中统牯牛潭组、庙坡组、宝塔组,上统临湘组和五峰组)。以紫红色—灰紫色瘤状泥质灰岩、钙质粘土岩为主,中夹青灰色龟裂纹灰岩、含生物碎屑微晶灰岩和黑色或灰绿色页岩,顶部有时见硅质页岩。

(三)志留系(S)

本地层在长阳复背斜南翼沿市口至磨市一带以南广大地区均有出露。北翼由于受天阳坪断裂影响,出露范围有限,呈北西西—南东东向条状展布,至干冲附近被第三系红层所覆盖。

1. 下统(S_1)

自下而上分为龙马溪组和罗惹坪组。

(1)龙马溪组(S_{1l}),厚 272~682m。黄绿色、灰绿、深蓝色页岩、砂质页岩互层,夹少量泥质砂岩,底部为黑色页岩,产笔石。

(2)罗惹坪组(S_{1lr}),240~415m。灰绿、蓝灰、黄褐色砂质页岩与粉砂岩互层,中部为黄绿色页岩夹砂岩顶,底部夹一至数层五房贝泥灰岩。

2. 中统(S_2)

纱帽群(S_{2sh}),厚 300~650m。灰绿、紫红、黄绿色粉砂岩,细砂岩与页岩互层,波痕发育,

顶部夹有五房贝灰岩。

(四)泥盆系(D)

在本区缺失下统,而中上统在马鞍山一带出露较全,清江北岸分布与志留系地层分布一致。

1. 中统(D₂)

云台观组(D₂yt):厚 30~50m。白色、灰白色、局部略带肉红色厚层块状砂岩、石英砂岩,局部夹少量砂质页岩,上部交错层理发育。

2. 上统(D₃)

(1)黄家磴组(D₃h),厚 23m。灰色、灰绿、棕黄色石英砂岩、砂质页岩与黄色页岩互层,中上部夹鲕状赤铁矿。富含植物化石。

(2)写经寺组(D₃xj),厚 32~60m。下部为黄色页岩夹砂岩、砂质页岩及鲕状赤铁矿。中部为黄色页岩、泥质灰岩、灰岩、白云质灰岩互层。上部为泥质页岩与砂岩互层,中夹结核状及层状菱铁矿及鲕状赤铁矿。

(五)石炭系(C)

本地层缺失上统。

1. 下统(C₁)

未分组,厚 18~24m。下部(相当于岩关阶)为深灰色页岩夹黑灰色生物灰岩;中部为灰黑色灰岩、白云质灰岩;上部为灰、褐黄、灰绿、紫红色粘土质粉砂岩夹煤线及泥岩和泥灰岩。顶部(相当于大塘阶)厚约 6m,蓝灰色中厚层泥灰岩夹灰岩透镜体及钙质泥岩条带。

2. 中统(C₂)

黄龙群(C₂hn):厚 112m。下部为灰白色白云质灰岩,局部具角砾状白云质灰岩;中部为结晶灰岩;上部为微红色块状灰岩。

(六)二叠系(P)

1. 下统(P₁)

(1)栖霞组(P₁q),分为马鞍山段和灰岩段,分述如下:

马鞍山段(P₁qm):厚 6~30m。主要为石英砂岩、砂质页岩及炭质页岩及煤层,含黄铁矿结核或透镜体。煤层为似层状或透镜体。

灰岩段(P₁q₂):厚 170~220m。下部为灰色、深灰色厚层状微晶灰岩,底部含泥质或炭质较多;中部为灰色、灰黑色厚层状灰岩,偶夹薄层灰岩,富含燧石结核;上部为灰黑色含炭质、沥青质、瘤状或块状灰岩,顶部夹薄层页岩和黑色疙瘩状灰岩。

(2)茅口组(P₁m),厚 70~130m。下部为灰色、浅灰色厚层微晶灰岩,含少量燧石,其底部偶夹钙质、硅质页岩;中部为灰色、暗灰色厚层灰岩和燧石层互层,燧石条带极为发育;上部为灰黑色硅质页岩,含炭质泥岩及白云质灰岩。

2. 上统(P₂)

(1)龙潭组(吴家坪组)(P₂l),厚 78~138m。下段为硅质页岩、泥质页岩含煤层,局部为蒙脱石粘土岩及煤层;上段为灰黑色薄层至中厚层灰岩、泥灰岩,含燧石结核及燧石层。

(2)长兴组(P₂c),厚 11~98m。上部为薄层灰岩与薄层燧石层互层或薄层灰岩夹燧石透镜体;中部为中厚层灰岩含燧石结核;下部为薄层灰岩,泥质灰岩夹燧石层或二者互层。

(3)大隆组(P₂d),厚 3.4~6m。薄层泥质灰岩,燧石结核灰岩夹炭质页岩或互层,间夹 10~20cm 页岩。

(七)三叠系(T)

主要分布在马鞍山向斜核部,出露大冶群部分地层。

大冶群(T_1dy),厚度出露不全。灰色、深灰色薄层至中厚层致密灰岩夹紫灰、黄色砂质、钙质页岩,底部为泥质灰岩与黄色页岩互层。

(八)白垩系(K)

主要分布在清江北岸的白云山至马王山以北广大地区,测区仅出露上统下部地层。

上统(K_2)罗镜滩组(K_2l):出露不全。下部为浅红色块状砾岩,砾石成分多为灰岩,砾径一般10~15cm,分选及圆度均佳;中部为浅桔红色块状砾岩、细砂岩及粉砂岩,偶含砾石,砾石成分复杂,主要为灰岩,次为石英砂岩,砾径一般大于10cm,圆度尚好,分选不佳;上部为砖红、棕红色块状砾岩,中夹条带状细粒至中粒砂岩透镜体,砾石成分以灰岩为主,次为石英砂岩,砾径一般为2~10cm,砾石圆度中等,分选中等或较差,为泥质、钙质胶结。

(九)第三系(E)

测区分布范围较广,在石灰冲至胥家冲、长岭岗至大宋山、毛家沱至香客岩一带均有出露,地层主要为第三系下统。

(1)分水岭组(E_1^1),厚150~270m。为砖红色粉砂岩与杂色砾岩呈不等厚互层,中、下部夹有不连续的淡水灰岩,厚0.5~5m。底部局部有底砾岩,厚0~10m。

(2)方家河组(E_1^2),厚84m。为浅红、灰白、黄褐色砂岩夹少量砖红色粉砂岩和杂色砾岩。

(十)第四系(Q)

高坝洲水库和坝区第四系保留很少,大都集中分布在东部枝城市区一带。根据沉积物的岩性特征、成因类型和出露的相对高度,划分为下更新统(Q_1)、中更新统(Q_2)、上更新统(Q_3)、全新统(Q_4),现分述如下:

1. 下更新统

河流相冲积物,为一套砾石层,上覆河漫滩沉积粘土层。分布于库、坝区外围长江北岸古老背、云池等地。研究区内表现为岩溶角砾岩,见于库、坝地段古生界灰岩分布区,常有岩溶塌陷堆积的角砾和石块。成分以细晶灰岩、白云质灰岩、白云岩为主,砾径一般为10~20cm,最大者达1m以上,呈尖角至棱角状,其间皆被方解石充填和胶结。分布面积大小不一(5~100m²)。根据高坝洲附近清江左岸的钻孔揭示,在孔深200余米,仍系溶蚀塌陷的角砾和石块。其方解石胶结物经热释光测年为距今约 $(82.8 \pm 6.1) \times 10^4$ 年,证明该堆积的角砾和石块为更新世早期的产物。本层不仅沿清江河畔出露,在任志岩、赤土坪、叹气沟、壤水坪、板桥铺附近也都有发育。

2. 中更新统

陆城至隔河岩清江两岸的七至三级阶地上都有出露。分述如下:

七级阶地残留着褐红色泥砾层,表层风化呈浅黄色。砾石成分以石英砂岩、砂岩为主,圆度较好,砾径5~10cm和10~15cm。层内泥砾混杂,无分选,其中砾石显较厚的风化圈。见于枝城云盖寺、磨市狮子崖下、南岸坪大金坪、长阳宝塔山等地。残留厚度1~1.5m。

六级阶地上为深黄色泥砾层。砾石成分亦为石英砂岩和砂岩,砾径以10~15cm居优,滚圆状和泥混杂,在枝城大山坡、磨市狮子崖下、南岸坪小金坪、长阳花坪等地皆有出露,厚度1~3m。

五级阶地上为黄色泥砾层。砾石成分仍以石英砂岩和砂岩占优势。砾径3~5cm和10~

15cm,浑圆,具风化圈,上覆有较薄的黄褐色冲积粘土层。见于枝城仙帝庙、磨市狮子崖下、南岸坪、永和坪、长阳等地,厚度1~3m,在隔河岩杨家坪一带仅保留零星散布的砾石。

四级阶地上为黄色泥砾和冲积粘土层。泥砾成分亦为石英砂岩、砂岩,与七至五级阶地的物质相同,其区别在于本层砾石风化圈的减薄和充填物颜色相对较浅。砾径以5~10cm和15~20cm占优势。在毛家沱至冉家坪、磨市、南岸坪、长阳等地出露,厚度1~5m。在隔河岩附近冲积黄色粘土皆被侵蚀,仅残留着散布的泥砾。

三级阶地上的堆积物,下部为黄色砾石层。砾石成分仍以石英砂岩为主,次为砂岩。砾径5~10cm、15~20cm居多,砾石滚圆,其间充填为粘土。本层底部夹有灰岩和页岩碎屑。上部为冲积黄色、黄褐色粘土。本层厚度各地不一,在毛家沱附近为1~5m,南岸坪为2~4m,西寺坪为6m。

上述七至三级阶地上的堆积物,可与长江北岸的云池、善溪窑阶地物质对比。据古地磁资料,皆为松山地磁期的沉积物,应属更新世中期。

3. 上更新统

在毛家沱、磨市、南岸坪、鄢家沱、永和坪至津洋口、西寺坪等地二至一级阶地上,两者出露皆以河流相二元结构为特征,分述如下:

二级阶地:下部砾石层,成分以石英砂岩和砂岩为主,次为灰岩、燧石、页岩等,砾石滚圆,砾径5~10cm,层内具分选,常夹砂和砂砾的透镜体;上部黄色粘土层,质地紧密,偶夹薄层砂砾石,厚度10~15m。

一级阶地:下部砾石层,成分以砂岩、石英砂岩、灰岩为主,页岩、燧石和石英次之,砾径5~10cm和3~5cm,滚圆至次圆状。其间夹有砂层或细砾含砂的夹层或透镜体。厚度不稳定,层次清楚。在阶地前缘底部砾石全被钙质所胶结,坚硬牢固,颇似“砾岩”。上部为浅黄色、黄褐色壤土、砂土层,不显层次,质地均一、结构松散。厚度5~20m。

上述堆积于二至一级阶地的物质,亦可与长江两岸的宜昌、红花套等地二、一级阶地之堆积物对比,两者皆属更新世晚期产物。

洞穴堆积:在库、坝区及其外围地段的太阳山、峡龙岩、学堂坡、大堰、瓜果崖等地溶洞中堆积了黄色含角砾粘土,含丰富的动物化石,如东方剑齿象、熊猫、中国犀牛、巨獭、鹿类(近似黑鹿),在库区西南钟家湾出土的“长阳人”真人化石及其共生哺乳动物群,基本和过去所称的熊猫—剑齿象动物群相似,只是更进化含真人(长阳人)化石,为晚更新世早期的代表。

4. 全新统

在毛家沱至隔河岩之间,沿清江两岸组成低河漫滩和江边砂、砾滩。砾石成分主要为灰岩、砂岩、石英砂岩,次为页岩、石英及燧石。砾径5~10cm和10~15cm,圆至次圆状,上覆细砂或粗砂、砂土层。在长阳至津洋口间,河滩以巨大的圆砾分布,全系抗风化坚硬的石英砂岩成分,砾径20~30cm,最大者达1m以上。按其砾径、圆度和成分分析,应为河流上游从地貌面被侵蚀再度转入清江的物质。据钻孔揭露,其厚度为8~9m。

二、岩溶岩组类型

高坝洲库坝区主要分布的是寒武—奥陶系地层,除了寒武系底部水井沱组和石牌组外,基本由碳酸盐岩类组成,其中仅部分组段夹有厚度不大的非碳酸盐岩—泥质岩类。按照现代沉积岩石学和碳酸盐岩石学的新观点,对其进行岩石类型的划分。

首先根据研究剖面中三种主要矿物成分,即方解石、白云石、粘土矿物的相对含量

($>50\%$, $25\% \sim 50\%$, $<25\%$), 将本区 $\epsilon - O$ 的岩石划分为三大类, 然后根据岩石的组构特点确定和划分具体的岩石类型。

(一) 石灰岩类(方解石含量 $>50\%$)

1. 较纯石灰岩

(1) 内碎屑灰岩。主要为砾屑灰岩, 一般出现厚度不大, 多分布在厚层灰岩层面附近 $10 \sim 20\text{cm}$ 范围以内。

(2) 生物碎屑灰岩。主要分布在奥陶系下统南津关组、分乡组、红花园组中, 生物碎屑以棘皮类、三叶虫为主, 腕足类和管孔藻次之, 另见大量藻屑(藻团块, 藻团粒)。

(3) 鲕粒灰岩。分布很少, 鲕粒主要为藻鲕, 重结晶呈放射状, 层圈少, 壁厚, 大多为圆形, 少数为椭圆形, 基质由粉晶方解石构成。

(4) 藻团块灰岩。常表现为角砾状或斑块状构造, 是隐藻类型的蓝绿藻与其捕获或粘结的碳酸盐微粒的共同沉积体。

(5) 微—泥晶灰岩。不含或少含内碎屑或生物碎屑及其它颗粒, 一般外观致密均一, 巨厚者表现为块状构造, 有时发育稀疏、断续的纹带或条带。

2. 白云质灰岩(白云石含量为 $25\% \sim 50\%$)

分布较少, 主要见于寒武系中。白云石多为交代形成, 常呈斑状交代方解石, 又称斑状白云石化泥—微晶灰岩, 白云石为中—细晶, 基质则为泥—微晶; 有时白云石细晶相对集中在一定条带中, 又称条带(纹带)状白云石化泥—微晶灰岩; 也见有均匀白云石化的细晶灰岩或微晶灰岩。

3. 泥质灰岩(粘土矿物含量为 $25\% \sim 50\%$, 白云石含量 $<25\%$)

主要见于奥陶系, 根据其结构可分为三类:

(1) 条带状泥灰岩。分布较少, 一般为黄褐色泥质条带(或泥质灰岩条带)与浅灰色微晶灰岩条带相间组成, 具明显水平层理。

(2) 瘤状(又称疙瘩状)泥质灰岩。见于大湾组及中上奥陶统, 宏观上(露头面上)表现为瘤状构造, 即在泥质泥晶灰岩中包裹有微晶灰岩结核或透镜体, 呈瘤状突起, 故名。

(3) 块状泥质灰岩。均匀致密, 为泥—微晶结构, 比较少见。

4. 硅质灰岩

硅质灰岩是红溪组中的主要岩石类型之一, 其它多为含燧石团块或结核的微晶灰岩, 属成岩期压溶交代形成。

(二) 白云岩类(白云石含量 $>50\%$, 方解石与粘土矿物含量均小于 25%)

白云岩类主要分布于中上寒武统。

1. 较纯白云岩

根据结构又可分为:

(1) 粉—微晶白云岩。一般具水平层理, 常由两种结晶程度的白云石组成纹层构造, 薄片可见相对较暗纹层的微晶白云石与相对较明亮纹层的细—粉晶白云石, 其界面清晰、平直, 有时界面上有较多微粒黄铁矿和石英细粉砂。

(2) 交代成因的晶粒白云岩。该类岩石主要见于三游洞组。晶粒为镶嵌结构, 结晶程度均一者, 多为细晶或中晶白云岩, 结晶程度不均一者, 多为粗—中晶或中—细晶白云岩, 宏观上均表现为块状构造。其中常发育有大小不等(多为毫米—厘米级)的鸟眼构造, 鸟眼构造中为粗

一巨晶方解石所充填。

2. 灰(钙)质白云岩(方解石含量 25%~50%)

根据其结构构造,可分为:

(1)斑块状灰质白云岩,具斑块状构造。宏观上表现为深灰(或黑灰)色与灰紫(或浅灰)色,呈不规则斑块(或斑纹)相间分布,经风化溶蚀后呈串珠状或蜂窝状溶孔。

(2)条带状(或纹带状)灰质白云岩,宏观上表现为深灰与浅灰相间或浅灰与肉红色相间的条带状构造,条带常不规则,薄片可见有少量硅质充填。

(3)钙质(去白云石化)细晶白云岩。

(4)钙质假鲕粉晶白云岩,假鲕为钙质,胶结物为白云质。

(5)钙质核形石亮晶白云岩,表现为强白云石化,有时含粉砂。

3. 泥质白云岩

为微晶(或泥晶)结构,具水平层理,有明显的条纹构造。

4. 硅质白云岩

分布较少,主要见于寒武系中上统,如红溪组中的中厚层板状硅质白云岩,三游洞组中的硅质中晶白云岩,此外还常见燧石结核或团块以零散或局部较集中状态分布于白云岩中。

5. 含外碎屑(中砂)白云岩

(三)泥质岩类(粘土矿物含量>50%)

按其矿物和化学成分可分为:

1. 伊利石页岩或粘土岩

一般呈灰绿色或黄绿色,在地层剖面中有时夹有灰岩透镜体或钙质结核。

2. 砂质页岩(或粉砂岩)

粘土矿物中含(25%~50%)石英质粉砂。

3. 灰质粘土岩(含 25%~50%方解石,俗称泥灰岩)

按结构可分为:

(1)均一结构,块状构造灰质粘土岩,主要见于奥陶系,在地层剖面上与上述伊利石粘土岩呈过渡关系,当钙质含量>50%时,则转化为泥质灰岩,所以三者常共同分布在同一沉积层位内,宏观上难以截然区分。

(2)瘤状灰质粘土岩,与前述瘤状泥质灰岩特点相同,二者在地层剖面中亦呈过渡关系,宏观上难以截然区分。

4. 硅质页岩

具水平细微层理,见于奥陶系。

5. 炭质页岩

见于寒武系底部水井沱组和石牌组。

上述岩石类型在地层剖面上的不同组合,则构成了不同的岩组类型,从而具有不同的水文地质和工程地质特性,并表现出岩溶作用上的差异。从宏观岩溶研究角度,岩组类型是我们研究的主要目标和对象。按照我们对清江流域岩溶岩组类型的划分原则与方案(表 1-1),在 O 地层剖面上的岩溶岩组类型主要有:非碳酸盐岩岩组类的 A-1、A-2 型;不纯碳酸盐岩岩组类的 B-1-b、B-2-a、B-2-b、B-2-d、B-3-a 型;纯碳酸盐岩岩组类的 C-1-a、C-1-b、C-2、C-3 型。

表 1-1 清江流域碳酸盐岩岩溶岩组类型划分方案

类 型	亚 型	代 号
A. 非碳酸盐岩岩组	1. 连续砂页岩型	A-1
	2. 砂页岩夹灰岩型(砂页岩总厚度>50%)	A-2
B. 不纯碳酸盐岩岩组	1. 单一均匀型	a. 泥质灰岩类(含泥灰岩)亚型
		b. 硅质灰岩(或硅质白云岩)亚型
	2. 间混交互型	a. 纯碳酸盐岩与非碳酸盐岩交互亚型
		b. 碳酸盐岩间夹非碳酸盐岩亚型
		c. 泥质(或硅质)条带灰岩亚型
		d. 碳酸盐岩与非碳酸盐岩交互亚型
	3. 单一断续型	a. 瘤状构造泥质灰岩亚型
		b. 含燧石结核(或团块)灰岩(或白云岩)亚型
C. 纯碳酸盐岩岩组	1. 均匀型	a. 厚—巨厚层连续灰岩亚型
		b. 厚—巨厚层连续白云岩亚型
	2. 灰岩与白云岩交互型	C-2
	3. 斑块状云灰岩或灰云岩型	C-3

三、岩溶岩组类型的分布及其岩溶水文地质意义

碳酸盐岩的实际岩溶水文地质特征受到地层岩性、结构构造、结构面特征、水交替条件等诸多因素的影响,是各类因素综合作用的结果,本段就碳酸盐岩岩类本身,讨论由其岩石类型的组合关系所决定的岩组类型在地层剖面上的变化形成的溶蚀差异,相应表现出的一般宏观岩溶相对发育程度及其水文地质特征。下面按地层组对 $\in$ —O的岩层进行概括性描述。

(一)水井沱组和石牌组($\in_1^1$ 与 $\in_2^1$)

为非碳酸盐岩组类 A-1 型构成的岩层,不发育岩溶,据区域(隔河岩地区)压水试验,其单位吸水率一般为 0.002~0.005L/(min·m·m),是良好的隔水层。

(二)石龙洞组($\in_3^1$)

基本为碳酸盐岩岩组类。上部为厚—巨厚斑块状云灰岩型(C-3);中、下部为间互状的灰岩与白云质条带的组合或厚层灰岩夹白云质灰岩,定为 C-2 型。其岩溶发育随其分布和出露条件有较大差异,但总体来讲,属于岩溶发育的层位,其透水介质是一个以溶隙—溶洞—管道综合构成的岩溶网络系统,因此也是岩溶含水系统。坝址区左岸的土地岭→人家河口及黄家天坑→城池口地下岩溶通道即发育在此地层中。

(三)平善坝组($\in_4^1$)

为碳酸盐岩与非碳酸盐岩交互型(B-2-d),灰岩的单层厚度和连续厚度均薄,该岩组总厚度仅 40m 左右,所以一般岩溶不发育,以裂隙为主要透水介质,在水文地质上可视为相对隔水层。

(四)红溪组($\in_5^1$)

主要由白云质灰岩和含硅质的中厚层不纯碳酸盐岩组成,总体可视为纯碳酸盐岩与不纯碳酸盐岩组类之间的过渡类型或接近 B-1-b 型,且总厚度不大(60~70m),以溶隙为主要含