

DIZHI
GONGCHENG
KANCHA
YU
YANJIU

地质工程 勘察与研究

——周绪纶论文、科普散文选集

◎ 周绪纶 著



地质出版社

地质工程勘察与研究

——周绪纶论文、科普散文选集

周绪纶 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书收集了作者多年来发表的学术论文、地质报告内容摘编及科普散文,共29篇。内容涉及水文地质、旅游地质、工程地质、环境地质、岩溶地质等诸多领域。其学术论文倾注了作者毕生精力,展示了其主要科研成果;科普散文表达了作者对工作区域、自然景观的真情实感和科学领悟。字里行间,充分表现了一位老地质工作者对自然的热爱,对事业的执著,并充分展现了一代地质人以苦为乐、钟情自然的精神风貌。

本书适合广大地质工作者、旅游爱好者,以及相关专业院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

地质工程勘察与研究:周绪纶论文、科普散文选集/周绪纶著.
—北京:地质出版社,2015.3
ISBN 978-7-116-09179-5

I. ①地… II. ①周… III. ①工程地质勘察—文集
IV. ①P642-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第049969号

责任编辑:蔡卫东

责任校对:张冬

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010)66554643(邮购部);(010)66554628(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010)66554686

印 刷:北京地大天成印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:19 图 版:6面

字 数:500千字

印 数:1-1000册

版 次:2015年3月北京第1版

印 次:2015年3月北京第1次印刷

定 价:85.00元

书 号:ISBN 978-7-116-09179-5

(如对本书有意见或建议,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

序 言

周先生与我是老朋友了!

我们初次邂逅于 1989 年,当时中国地质学会在云南召开成立“中国地质学会洞穴学术研究会”筹备会议,我们都参加了这次会议。大概由于我们俩人有着相似的秉性、人生历练、学术观点和对世事的见解,所以一见如故,有点相见恨晚之感。在其后的几次洞穴学术会议中,我们有了较深的交流,彼此间更加了解,成了老朋友。

这本选集是他从大量正式发表的文献中精选出有代表性的著作汇编而成的,字里行间真实地反映了他为人真挚、热情、正直,追求真理的秉性。

以我本人的学识和文墨水平本是没有资格为他的著作撰写序言的,但拜读了周先生的大作后,我却深深地感到我应该写,也必须写。

本书主要包含了水文地质、工程地质、环境地质、岩溶地质和旅游地质等几方面内容,采用科学论文和科普散文两种形式。前者倾注了周先生毕生主要科研成果;后者表达了他对工作过的景区的景观景物、对所从事学科的感情和感悟。朴实的笔墨,充分抒发了一个普普通通老地质工作者对祖国的山山水水、风土人情的热爱和关注,对自己专业的挚爱,也充分显示了老一代地质人的风采和精神。

在以往的交流中,我大致了解到周先生的一些学术观点和一些新论点在本书里也有体现。例如《九寨沟风景区的长海不是冰川堰塞湖而是崩塌型堰塞湖》是一篇问答、商讨式的论文,采用大量实际资料,有理、有据,入情、入理地反驳了持冰川堰塞湖观点的学者们;在另一篇《黄龙钙华是热成因还是冷成因——高寒岩溶气源之一》及《成因是保护黄龙钙华景观的理论基础——黄龙钙华是热成因还是冷成因续篇》的论文中,他对 20 多年的实地工作所收集的资料,经分析研究后,用大量的水文、水化学、水环境资料无可辩驳地肯定了黄龙钙华是在冰缘环境条件下“冷”成因产物,纠正了一般认为钙华是温度较高的地下水在出露点沉淀结果的观点。

本选集中有两篇论文是作者近几年的倾力之作。

第一篇是《长江的发育与三峡库区的岸坡再造》。本文涉及我国地学界多年科学交锋的聚焦点,即长江水系的雏形怎样?完成于何时?长江三峡如何形成?何时成为峡谷?三峡水库建成后对库区岸坡稳定性和岸坡再造的影响,等等。作者从构造地质学、岩溶(喀斯特)学、沉积学和工程地质学等学科的角度,对大量资料进行分析和综合,简明地、提纲挈领地提出:①中生代燕山运动在川、黔、渝、鄂、湘交界地区形成宽背斜和狭向斜的“八面山型”构造体系;②中生代末期至新生代初期该地区处于气候炎热的干旱环境,在断陷拗盆中沉积了含有灰质夹石膏、芒硝的红色砂岩和黏土岩的陆相地层;③新近纪至第四纪早期,三峡以上的长江由三部分彼此孤立、独立系统的水系组成。即④四川盆地中的内陆水系(以成都盆地为中心)。⑤丰都—忠县的宽向斜内,旱季时地表发育为蛇曲或蜿蜒迂回于万壑千湖之间的地面间歇河;雨季时才在轴部形成泥流、积水湿地和池湖彼此连接的地表河。久而久之逐渐向西南的重庆靠近,向东北直逼奉节夔门,形成一条长达 400km 的内陆顺向河——长江。当时它大致在高程为 190 ~ 210m 之间的向斜轴部回荡;⑥与此同时,渝、鄂、湘、黔的碳酸盐岩分布地区正是山原期岩溶发

育期,岩溶作用正剧烈地改造着垄岗起伏的构造地貌,逐渐形成波状起伏的岩溶蚀夷面,其间散落着岩溶小丘、丘陵、洼地、漏斗等,并由裂隙管道将地表水吸入地下形成地下径流,相互汇集并穿越瞿塘峡、巫峡碳酸盐岩区,向较低的秭归盆地排出,成为一段地表河后,复又潜入西陵峡碳酸盐岩区,在南津关出峡,排向江汉平原。

早更新世后期,位于丰都—忠县向斜内的内陆顺向河与渝、鄂、黔、湘碳酸盐岩发育的地下河届时彼此贯通,地下河因此加快塌陷,成为地表河,即为幼年期的长江。

中更新世的新构造运动(鄂西称元谋运动),四川盆地产生不等量的掀升运动,调整了四川盆地内的水系格局,导致水流方向改变,向南汇流,并直逼到盆缘。由于该时长江的溯源侵蚀,切割四川盆地南缘,逐步袭夺盆地内的各河,最后归并至长江,完成了一个庞大的水系。其后的岁月,长江不断地塑造自我,完善流域体系,最后才完整地形成了目前的壮年期大河。

作者在文中提出众所周知的三峡库区岸坡因蓄水导致地质环境变化而加剧岸坡再造问题,作者以一个学者的情怀中肯地指出预防建议,特别是古滑坡地区灾害重演的可能性,希望有关单位引起高度关注。

第二篇是《论岷山地区冰缘岩溶》。冰缘岩溶是指岷山雪线下部,冰缘环境内的碳酸盐岩的溶蚀和冻融相互掺和、叠加作用的岩溶类型。这是作者从事世界自然遗产地——黄龙、九寨沟风景区的成因、类型、美学等学科研究20多年后提出的新观点,在岩溶学上是有新意的。以往学者均认为它属高寒气候(极地、亚极地、高山)带岩溶类型,从事这方面研究的学者较少,文献报道更不多见。书中认为黄龙、九寨沟和牟尼沟等风景区的钙华沉积是该区碳酸盐岩岩溶场与堆积层(包括冰缘碎屑、冰期、间冰期堆积)岩溶场共同作用的产物。这种特有的冰缘岩溶场具二元结构。同时他又从水化学、年代学、第四纪气候变化(冰期、间冰期)的古环境、现代冰缘环境分析,提出该区岩溶作用模式为浅部岩溶场和深部岩溶场,前者岩溶作用主要活动于夏季(5~10月),其后冬季(11月至翌年4月)主要由深部岩溶场占主导地位。他还指出钙华的迁移现象是冰缘岩溶作用过程中最具特色的地质现象。钙华最早生成于中更新世的早中期52.2万a前,最新的年龄为0~3.57万a(牟尼沟、张家沟钙华分析资料),它们中有的正在成长,有的正在衰退、消亡,正在成长的表现出颜色艳丽、光彩夺目、生机勃勃的景象(黄龙景区);正在衰退的表现出色彩陈旧,与植物体相依而生,显得气衰萎缩,局部正在破坏中(牟尼沟景区);处于消亡阶段的九寨沟景区钙华,已是处于残留阶段。不管怎样,它们在科学上同样重要,同样需要保护,特别是当前全球气候剧烈变动时期,稍有松懈,就会造成不可弥补的损失。

选集中还有科普散文,写的是他曾从事过科研工作的地方的山水美景和这些美景给他带来的感慨领悟,并以深入浅出的抒情散文体裁方式通俗地将科学道理、风土人情介绍给读者,使读者不仅能够领略到自然的、人文的美,徜徉陶醉于世界自然遗产的瑰丽景色中,还能省悟到这些景观景物生成的道理,无形中增长了科学知识,体会到与大自然和谐共处的至重要性。

能为周先生的选集写序感到十分高兴和荣幸,但愿本书付梓之后,有更多的人能够通过字里行间去领会周先生的魅力。

俞锦标

2014年5月于南京

推荐感言

本人素与著者深交久远，既有师生之缘，又有同事之谊，更有挚友之情。

我所感知的著者学术特质是：勤于自学，联系实际；奔于野外，不畏艰险；细于观察，善于思考；乐于交流，博于吸纳；勇于挑战，敢于探索；郁于打压，迫于应对。

他的学术论著总计 29 篇，地学门类齐全，课题研讨广泛。最值得品味的应属最受社会关注的民生题材，首推发表在全国著名专业学术期刊《水文地质工程地质》（1983 年，第 3 期）上的题目为《试论红层浅层风化带裂隙水》的论文。该篇值得推荐的理由：其一，选题符合“三农”（农业、农村、农民）需要，深受社会欢迎，影响深远。该题目备受著名专业人士重视，中国科学院地学部资深院士贾福海先生，早在他古稀之年（2000 年 90 岁）即起草建议全国组织科技力量，进行“关于开展中国红色岩层地下水研究课题”的专题研究。贾院士指出：“四川省的红色岩层都做过普查勘探，解决了许多小型工业及民用供水水源问题，最可喜的是基本上解决了干旱季节的点滴用水问题。”这是课题立项的重要性、紧迫性和可行性。它既体现了红层老旱区农业、农村、农民急需解决喝上“卫生、安全”的饮用水和农业抗旱保苗的可贵水源，又体现了著者关注社会热点的科技方向正确无疑。其二，论据翔实，效益显著。著者早在 20 世纪 70 年代（1975~1980 年）参加全国水文地质普查工作中，担当峨眉幅技术负责人时，对四川盆地“红层”富水性规律做过实际调查研究，认识了“普遍贫水，贫中有富”的规律。重要的是他深化了对富集规律的认识，从而提出了“红层浅层风化带含水结构中存在浅而富的含水单元”的结论。其三，社会效益影响深远。经四川、云南、山东“红层”丘陵区、旱区找水打井的交流经验证实，采用科学找水定井定会成功。

值得推荐的重点科研成果是“四川省黄龙—九寨沟旅游地质景观资源调查、寻找矿（温）泉水探索研究”项目（省科委下达），该项目获得省科技进步二等奖。值得推荐的理由是：该项成果是助力国家级旅游地要做到科学开发、保护景观之有效性在于确保“高寒岩溶”自然生态链是关键。在国家级景区内找出了碳酸型矿泉水（法国著名矿泉水——维希矿泉水就是碳酸泉），经原地质矿产部验收和省国土资源厅鉴定确认是优质天然碳酸泉（全省首例），难能可贵。

综上所述，周绪纶高级工程师长期坚持野外调查研究，经验丰富，成效显著，硕果累累，可喜、可贺、可荐。

周云章

2014 年 3 月 17 日于成都

自序

在我整理编写选集时，将罗盘、放大镜、地质锤视为三宝的地质生涯又一幕幕地浮现在脑海中。

我毕业于西南煤田勘查局职工学校水文班，接受著名的水文地质专家周云章老师的授课，得益于教学与野外地质队生产紧密结合的教育方法，所以一被分配到成都水文地质工程地质队就投入了专业工作。从困难时期到“文化大革命”十多年间，我做过标本采集员、记录员、看钻地质员、地质员、地质组长等职务，有幸被安排到“抓革命、促生产”的队伍中，几乎没有卷进当时动荡的漩涡，却有机会学习了大量高等地质理论书籍和文献。特别是1965~1967年我被派到国家科委组织的“四川锦屏电站岩溶水文地质研究组”中工作，得到了著名岩溶水文地质学者张之淦、何玉彬的亲自教导，聆听了著名地质学家谷德振、戴广秀、刘国昌、张咸恭、黄乃梁等教授的报告，看见了他们手不离锤、脚踏实地地在锦屏崇山峻岭中工作的作风，他们渊博的知识、敬业的精神成了我一生追求的楷模。这十多年来，虽然未独立承担地质项目，但在四川垫江抗旱找水、巡场岩溶水文地质勘探、成昆铁路勘察、锦屏岩溶科研、长征渠工程地质勘察、军工厂址勘察等项目工作中，锻炼并夯实了坚实的地质勘查功底。

20世纪70年代，全国开展1/20万水文地质区域调查，我首先主动报名请求参加这项工作，先是组织参加了1/20万灌县幅水文地质区测的踏勘，后又完成了1/20万峨眉幅水文地质区测的全部任务。这两幅图是青藏高原向四川盆地过渡地区，所谓中国第一阶梯，高低悬殊，地貌多样，地质构造复杂，水文地质类型齐全，岩土工程地质评价困难，是我国最复杂的区域水文地质图幅之一，也是锤炼意志、钻研业务的战场。我跑遍了峨眉幅中主要的制高点，调查了最复杂的水文地质路线，编写了调查报告。本想得到赞许，但因与队技术负责人违反部颁发的规范：要将碎屑含水类型中的J-K红色泥砂岩划为独立的含水类型而产生意见相左，遭到沉重打击。虽然我得到了部局技术领导的支持，报告被评审通过了，之后却免除了项目组长的职务，第一编写人也被易名，报告被一批未参加野外作业的人修改，我被“清闲”了四五年。这期间对峨眉灌县幅的野外资料进行了深度分析，于《水文地质工程地质》杂志发表了三篇论文。在此我要感谢该刊总编、已故著名区域水文地质学者阎锡屿先生，我的第一篇论文是在他的鼓励、指导下修改完成的，使我在寒裘中倍增温暖。1984年，我代表四川省参加“中国岩溶地质展览馆”的筹建和展品征集工作，有机会与国内外岩溶地质学专家、同仁共事，学习了很多先进的岩溶理论和科研方法。次年，参加了四川省科委组织的阿坝藏族羌族自治州科学考察团，科委主任宋大凡、程思远在现场选立科研课题和考核竞标者，我获得了“黄龙-九寨沟旅游地质景观资源调查、寻找矿泉水探索研究”重点科研课题，与我国著名岩溶学者朱学稳教授用了近三年的时间完成了任务，以第一作者身份获得了四川省1988年科技进步二等奖。该课题进行一半时，便找到了著名的碳酸型翡翠矿泉水，研究成果初显光芒。虽然该课题在评审过程中不太顺利，但还是以高分通过。后因故未能刊印正式的科研报告。此后，我对黄龙-九寨沟的岩溶水做了10余年长期观测工作，直至退休。好

在其间我完成了由袁道先院士主持的,由他委托的地质矿产部“‘八五’重要基础研究项目 IGCP-299 中国岩溶形成与环境变化预测研究”中的一项高寒岩溶地区 CO₂ 测试项目和地质矿产部水文司委托的黄龙风景区灾害地质调查项目,还有幸承包了三峡库区忠县桥址勘察项目,90 年代我参加了中国地质学会洞穴委员会,每届学术活动我都积极参加,使我扩大了眼界,增长了知识,对我将积累了一生的地质资料做深耕细耘有极大的帮助。本选集主要的文章就是退休前后完成的。

选集包括:①各刊物发表的学术论文;②摘编部分由我执笔的地质报告;③科普性的散文。

论文中的红层找水、湿地退化、否定大冰盖论、论岷山地区冰缘岩溶、长江的发育及其岸坡再造等篇注入了我较大的精力。我长期在四川盆地红色泥砂岩地区工作,亲身与广大农民经历了缺水的困境,红层找水是水文地质工作者义不容辞的责任。我从红层含水特征,与岩性、地貌的关系总结出红层含水机制、地下水赋存空间、富水地段、找水方法和科学开采地下水的建议。四川湿地被称之为“四川之肺”,1985 年在阿坝藏族羌族自治州考察时,若尔盖县委书记介绍“新中国成立初当地牧草高过头,如今只盖着脚背”,目睹该县城关附近已有裸地砂化,草场枯萎严重,湿地环境恶化。这种现象是自然和人为多种因素造成的。我从水文地质角度论述了川西湿地是形成在高原宽谷型水盆结构中的,因人为大量的工程活动,如大规模地修建水渠、公路,挖泥炭等,破坏了水盆结构的储水性,使地下水水位降低,导致湖泊消亡、含水层裸露砂化。据此我提出了治理意见。1997 年前后全国掀起了一场大冰盖热,各类报刊铺天盖地登载我国西部曾发生了大冰盖的文章,其论据就是四川龙门山彭州的塘坝子葛仙山二叠系的碳酸盐岩外来体盖在三叠系碎屑岩上,在二者接触面上有早更新世的泥砂砾石存在。20 世纪初的历代地质学家都论证老的碳酸盐岩是构造作用推覆在新地层之上的飞来峰,为论证碳酸盐岩外来体是构造成因还是大冰盖的冰川漂砾,20 世纪末 21 世纪初四川地学界又多次组织了现场考察,查获有构造论的证据,但又无法解释实际存在于接触面上泥砂砾石层的由来,其处境甚为尴尬而沉默。为解开该谜团,我自费调查,从第四纪地层、岩溶形态和地貌、新构造作用等综合观点阐明了泥砂砾石层的由来,支持了构造成因论,并将论文交给大冰盖论的作者,平息了中国地质界有无大冰盖之百年争论。早在 1985 年于“黄龙九寨沟科研课题”的设计书中我提出了岷山地区的碳酸盐岩为高寒岩溶的观点,后来与朱学稳教授合作时又将高寒岩溶看成高寒岩溶系统,并将黄龙、九寨沟按高程分别划为两个子系统。由于后来研究程度的深入,岩溶水文地质资料的增多,认识黄龙、九寨沟岩溶地貌、岩溶机制、岩溶强度上都有很大的差别,不具备一个岩溶系统应有的共性,而是两个独立的岩溶类型,它们是分别处于岷山地区垂向岩溶类型剖面中的冰缘岩溶(黄龙)和高山-峡谷岩溶类型(九寨沟)。冰缘岩溶类型受气候变化制约,在第四纪气温动荡的条件下,具有在垂向上的游移性,根据这个观点就可以对岷山地区所有的碳酸盐岩和钙华的岩溶现象、形成机制和衰退原因作出全面合理的解释。

20 世纪末到 21 世纪初,我参加了三峡库区的一些工程地质勘察和岩溶洞穴考察,综合上述成果和李玉生总工赠送的“长江三峡工程库区大型滑坡崩塌”等资料,撰写了《长江的发育与三峡库区的岸坡再造》一文,认为长江诞生于新近纪四川盆地丰都-忠县向斜轴部,早期为内陆河,到早更新世在奉节于川鄂湘黔断褶带的碳酸盐岩的地下河(后

为地表河)产生水力联系后才演变成流向海洋的大陆河。长江发育的同时也再造了岸坡,在盆地形成的一、二级台阶和高低漫滩,在断褶带形成了峡谷。其动力来源于盆地中新世的掀升,晚更新世的间歇性抬升,断褶带的以抬升为主的断块差异活动,并导致长江侵蚀、旁蚀作用的增强,风化营力加剧和岸坡岩体重力调整过程中产生的滑坡、崩塌等地质现象。岸坡再造经历了40多万年漫长的地史时期,但到全新世人为因素注入,特别是三峡水库蓄水对岸坡岩体的浸泡、软化、浪涌等作用以及岸坡上各种工程建设的爆破等活动,将大大加速岸坡再造。呼吁三峡库区应该设立专门机构,把保护岸坡地质环境作为头等大事进行科学规划严格管理。

地质生涯使我长期融入自然,而自然以其壮丽的山峦溪河景色慰藉着我。我常会情不自禁地产生对它赞颂的冲动,只是自叹笔力欠佳,仅撰写了《松潘黄龙风景名胜旅游区景观导游》、《五花海——九寨之心》、《川西第一山——青城山》等几篇科普性散文。

我一生最感谢的是妻子李振伦医生。在那艰难的岁月,我们两地分居,聚少离多、薪水微薄,且上有老、下有小,赡养父母、教育孩子的家庭重担全落在她那体弱多病的瘦小身上,一旦回家还要给我缝补衣裳,出野外时鼓励我安心工作,在我低谷期安慰我要积极面对人生,支持我写稿创作。今天我能出版这选集其字字句句都有她的支持、她的情愫、她的恩爱。我这一辈子对不起的是两个儿子,没有给他俩的父爱,对他俩的教育也问心有愧,还常用粗暴的态度对待他俩,好在他们能自学、自立、自强,在社会上拼搏发展,让我能安心投入到地质事业中去。

选集的出版得到四川省地勘局书记、局长杨茂华同志的赞誉和鼓励,四川省地质工程勘察院安世泽院长、杨光辉书记、总工程师钱江澎、副总工程师刘宗祥的帮助和支持,勘察院下属的水文地质工程公司慷慨的赞助,以及公司中部分地质同仁的捐赠,四川省地勘局915队及总工程师刘民生的帮助和支持,特此深深地感谢。还要感谢在队上培养扶助过我以及与我同甘共苦的王基堂、于琮璞、吴廷国、刘子福、陆中权等领导和队友。

感谢四川省地矿局教授级主任工程师、四川省科技顾问团地学组成员、中国地质学会水文地质专业委员会委员、四川省地质学会水文地质工程地质环境地质专业委员会主任委员、国际水文地质学家协会(IAH)会员、国务院政府津贴获得者周云章老师为本选集撰写推荐感言。

本选集邀请南京大学地理与海洋科学院教授、副主任、中国地质学会洞穴专业委员会副会长,著名岩溶学家俞锦标老友为本书作序,万分荣幸和感激。

这本选集仅仅是一个普通地质工作者在祖国经济腾飞过程中,一步步踏在艰辛的道路上,唱着《勘探队员之歌》,奋斗拼搏前进留下的脚印。

周绪纶
2014年3月于成都

目 录

序 言	I
推荐感言	III
自 序	V

水文地质、旅游地质

试论红层浅层风化带裂隙水及其合理开发利用	1
试论四川盆地须家河组砂页岩浅层水	13
成都黏土中的钙质结核	21
四川省地质景观资源预测	26
四川安县碎屑岩溶洞 —— 龙泉砾宫	35
芦山县砾岩岩溶形态及景观资源评价	38
四川省松潘县牟尼沟翡翠泉矿泉水地质预测与勘查概况	43

工程地质、环境地质

四川省茂汶县叠溪大小海子溃堤事件与稳定性评价	47
黄龙钙华景观的地质灾害及其对策	54
九寨沟湖泊景观的衰老现象与保护对策	60
地质环境恶化对九寨沟景观的影响	67
叠溪地震的今昔 —— 为建立叠溪地质公园进言	77
四川西部湿地的灾变与防治	84
九寨沟风景区的长海不是冰川堰塞湖而是崩塌型堰塞湖	91
长江的发育与三峡库区的岸坡再造	102

岩溶地质

一个砂砾岩假喀斯特洞穴 —— 天星洞	116
钙华洞穴的形成与保护	121

从岩溶角度探索塘坝子葛仙山外来体的成因·····	130
黄龙钙华是热成因还是冷成因 —— 高寒岩溶气源之一 ·····	149
成因是保护黄龙钙华景观的理论基础 —— 黄龙钙华是热成因还是冷成因续篇 ···	157
九寨沟岩溶盆地碳酸盐岩和钙华的溶蚀量·····	168
九寨沟早期钙华体的岩溶作用与湖瀑景观的形成·····	177
黄龙钙华体的碳酸盐溶质输入量输出量及演化阶段·····	189
论岷山地区冰缘岩溶·····	201

科普散文

松潘黄龙风景名胜区旅游景观导游·····	234
川西第一山 —— 青城山 ·····	278
五花海 —— 九寨之心 ·····	282
阵阵龙吟话长海·····	287
游窦圉山·····	288
后 记·····	291
照 片·····	293

水文地质、旅游地质

试论红层浅层风化带裂隙水及其合理开发利用

摘 要 红层地下水为基岩浅层裂隙水，赋存于红层丘陵区宽谷风化带中。宽谷为红层地下水的含水单元，红层地下水富集部位在宽谷的排泄区，其地貌标志是宽谷下游较窄峡口的上部，有不同程度的沼泽化、盐渍化。红层风化带含水介质的形成机制是经历着中新生代由干燥型水盆沉积物的沉积作用、成岩作用和表生地质作用这一漫长复杂的地球物理化学过程。

干旱地区红层地下水的开发应采用抽水 and 囤水相结合的方案，并在政府部门管理下，用水管将供水水源与需水的农宅、灌溉农田连成网络，用电脑据水位法控制抽、囤水量，据旱情输出和分配水量。

关键词 红层 浅层风化带裂隙水 宽谷型含水单元

在我国幅员辽阔的土地上，于西北、东北、华东和川渝滇地区都连片分布着面积达十几至几十万平方千米的中生代红色的泥岩地层，简称红层。这些地区人口稠密、物产丰富，尤以粮棉富足，但经常干旱，是农业发展的软肋。近几十年来在全球气温变暖的大背景下，干旱加剧，甚至造成人畜饮水断源，连片田地干裂，因此，查明红层地下水出露规律，研究红层含水的水文地质理论，为在红层地区寻找地下水和合理利用地下水提供科学依据和有效方法是当今水文地质工作者义不容辞的责任。

作者在 20 多年前曾以四川盆地的水文地质资料为依据，在我国著名的水文地质学家阎锡屿先生指导下发表了《试论红层浅层风化带裂隙水》一文，该文对当时我国红层找水工作产生过影响。此后的 20 多个春秋中，作者又积累和收集了一些红层水文地质方面的资料，并对利用红层地下水有些想法，故在原文的基础上作了些修改与补充，并增添了利用红层地下水内容，写成此文，希望能为缺水地区的农民作点贡献。

1 红层地下水的一般特征

1.1 面分布特征

红层泥砂岩中，泉水出露较为普遍，以四川 H-48-XX 1/20 万峨眉幅为例，中生代红层面积 2480km²。在该幅水文地质区域调查中，查获水点 252 个，其流量见表 1。

表 1 1/20 万峨眉幅红层地区泉水流量统计表

流量/(L·s ⁻¹)	≤0.1	0.1~0.5	0.5~1	1~5	≥5	合计
泉点数/个	159	72	10	9	2	252
占总泉点数的比例/%	63	28.6	4	3.6	0.8	100

从表 1 中可以看出, 红层泉水是平均每 10km² 出露 1 个泉点, 在实际地域上分布是极不均匀的, 并且以小流量的泉点为主, 流量小于 0.5L/s 的泉点占总泉点数的 91.6%。

泉点调查时间绝大部分在 1977 年春、秋、冬季和 1978 年春季, 1977 年正值四川西部 30 年一遇的大旱年, 寻找水点困难, 故统计资料可靠性高。

1.2 垂向特征

从 20 世纪 50 年代以来, 四川盆地 (包括重庆地区) 在红层地区打孔掘井数不少于万口, 孔井的涌水量普遍在 120t/d 以下。2004 年 4~5 月间四川省地质工程勘察院 (成都水文队) 在剑阁红层区随机抽查 128 口抽水井。其中小于 0.3t/h (7.2t/d) 的为 4 口, 0.3~3t/h 的为 112 口, 3~5t/h 的为 10 口, 大于 5t/h 的为 2 口, 抽水量小于 120t/d (5t/h) 的井占全部井数的 98.4%。红层地下水在浅层风化带内是贫少的, 只有在特殊的水文地质背景下才形成富集部位, 如邛崃幅灌口组的钙质砂岩一井, 其涌水量可达 1442t/d。

红层浅层风化带裂隙水在垂向上的赋存空间普遍在孔深 30m 以内, 在富水条件好的地段可达 50m, 为了查明浅层风化带地下水的赋存部位, 在峨眉幅 1/20 万水文地质区域调查中专门选择了红层具有较好富水条件的地段布置勘察孔, 进行上部风化带和下部新鲜基岩的抽水试验对比, 其结果见表 2。

表 2 红层富水条件较好地段抽水试验对比表

钻孔 编号	层位	岩性	孔洞发育 深度/m	第一次抽水试验				第二次抽水试验			
				抽水孔深 /m	水位 /m	降深 /m	涌水量 (t·d ⁻¹)	抽水孔深 /m	水位 /m	降深 /m	涌水量 (t·d ⁻¹)
612	K ₂ g	青紫红色砂质泥岩 夹钙芒硝、泥岩	10~16.80 46~60.20	4.00~50.38	+0.82	9.46	577.24	55.03~100.22	55.03	19.05	14.69
612副孔	K ₂ g	粉砂岩、泥岩夹 钙芒硝	17.80~46.59	6.60~33	+2.40	5.80	780.28				
608	J ₃ p	粉砂质泥岩、钙 质泥岩、含石膏 团块	4.44~30.24	2.53~50.43	+1.46	5.55	578.54	抽水试验查明无水			
609	J ₃ p	钙质泥岩、粉砂 岩、泥岩、含石 膏团块	6.50~19.61	6.50~100.63	+1.45	7.61	302.20	据物探资料含水部位在50m以上			
610	J ₃ p	钙质泥岩、粉砂 岩、含石膏团块	8.03~24.52	4.88~81.10	+0.89	5.10	240.07	同上			
611	J ₃ p	钙质泥岩、粉砂 岩、含石膏团块	5.35~19.54	3.05~50.32	0.11	1.71	19.00				
613	T ₁ j	细砂岩		4.09~50.54	0.27	19.45	198.89	50.54~101.04	+0.63	24.33	24.25

21 世纪以来在红层地区抗旱, 绝大部分是抽取 30m 深度之内的地下水, 据南江水文队谭开欧高工介绍, 在重庆红层抗旱井的深度也是在 30m 左右, 在特别贫水区井深达 50m。这说明 30 年来红层浅层地下水其垂向赋存空间基本上没有改变。

1.3 水动力特征

红层浅层风化带裂隙水的天然排泄点绝大部分是下降泉，但在丰水期有少数下降泉出现微承压性，为上升泉，具有冒气涌砂等现象。钻（井）孔揭露的红层地下水一般都为潜水，但在富水条件好的地段，常具有低水头值，表 2 中 7 个钻孔其中 5 个钻孔的水头值为 $+0.82\sim+2.4\text{m}$ ，有的土井也存在涌水现象。由此得出：红层地下水为层状或脉状潜水，但具有季节性和局部性的承压特征。峨眉地区地下水的水力坡度大致为 $2\text{‰}\sim10\text{‰}$ 。

1.4 水动态特征

红层地下水稳定性差，20 世纪 60 年代在峨眉幅 1/20 万区域水文地质调查中记录的泉点有 300 个以上。到 70 年代后期我们复查核实有 252 个。有的泉点枯竭了，在找到的泉点中据访问资料也有少数于大早期会断流，表 2 中的钻孔其承压水头在一年后的回访中有回落为潜水的，也有水头降低的。据成都水文地质队 2005 年 8 月至 2006 年 2 月在川中对 12 口井的监测资料，其间水位变幅为 $0.5\sim5\text{m}$ 。

红层地下水动态的不稳定性受到含水层的富水程度、季节（主要是降水量和地表积水面积与积水时间长短）、开采量等的影响，往往在三种负面影响叠加时，如富水性差的地区又遇干旱少雨，积水面积缩小。过度开采，就会导致地下水枯竭。

1.5 水质特征

红层地下水一般是无色无味、透明的，水化学类型、矿化度、pH 值受围岩化学成分的影响大，通常的水质类型主要为重碳酸钙型或重碳酸钙镁型，矿化度小于 0.5g/L ，pH 值在 $6.5\sim7.5$ 之间。红层中石膏、钙芒硝含量较高的地区，水质呈重碳酸、硫酸钙型水，在含黄卤的地层区水质为氯化钠或氯化钠钙型水，后两者的矿化度较高，大于 0.5g/L ，个别点可达 17g/L ，pH 值为 $8\sim9$ ，但这两种水质多出现在钻孔（井）深度 50m 以下，所谓咸淡水界面以下的地下水。

根据红层地下水露头较少且流量小、埋深浅、以潜水为主局部承压、水动态不稳定、水质主要为重碳酸型以及低矿化度等特征，应属于浅层风化带裂隙水，简称红层地下水。

2 红层水文地质条件

2.1 岩 性

四川浅层风化带裂隙水含水层主要是中生界侏罗系、白垩系河湖相沉积岩和蒸发岩。岩性为黏土岩类：泥岩、页岩、粉砂质泥岩、钙质泥岩等，以及碎屑岩类：粉、细、中、粗粒砂岩、钙质砂岩、砂砾岩、砾岩以及石膏、钙芒硝层等。黏土类岩与碎屑类岩的结构、构造及组合关系对红层的含水性具有一定的影响，但通过大量的野外工作，查明红

层中的可溶盐和易溶盐成分、含量及分聚状态等因素对红层风化带的富水性起着主导作用（表3）。

表3 川中红层侏罗系三岩组化学成分表

$w_B/\%$

岩 组		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
蓬莱镇组	细砂岩	67.58	11.35	3.39	11.42	1.2	1.91	—
	泥岩	61.73	14.62	5.43	10.41	2.46	2.91	0.17
遂宁组	粉砂岩	63.06	13.90	5.18	9.36	2.93	2.53	—
	泥岩	60.23	15.81	6.01	9.81	2.67	3.11	0.15
沙溪庙组	细砂岩	69.65	14.80	5.20	1.93	2.47	2.62	0.12
	泥岩	61.32	16.39	6.49	6.06	3.42	3.42	0.16

（引自《中国紫色土》）

四川盆地红层的黏土岩类在不同程度上含有可溶盐（方解石）和易溶盐（石膏、芒硝、钙芒硝）成分，它们以晶粒状、晶簇状、团块状、条带状、薄层状分布在岩体中，有的可溶盐成分与水云母组成连续或断续的显微状构造。这些黏土岩类中可溶盐或易溶盐成分的分布是不均匀的，据川西蓬莱镇组泥岩一些样品的镜下观察：方解石或石膏的含量在1%~30%之间变化。

黏土岩类的可溶性或易溶性成分的晶粒、团块或薄层在地下水的溶解和溶滤作用下，发育成溶孔（ $D=0.5\sim5\text{mm}$ ）和孔洞（ $D>5\text{mm}$ ），其深度一般在30m左右，最深可达60.2m（见表2）。岩体中的孔洞不是孤立地存在，而是和微细裂隙与层理、层面裂隙相互沟通成网络，形成含水介质，成为浅层风化带裂隙水的储运空间。峨眉幅红层的钻孔中有溶孔、孔洞发育的孔段其涌水量比不发育的孔段的涌水量要大几十至上百倍，这就是佐证。

碎屑岩中可溶盐成分主要以胶结物的形式充填在碎屑颗粒之间，如形成基底式胶结的钙质砂岩、钙质砾岩等。砂岩中易溶盐成分多以薄膜或夹层分布在层间，据夹江千佛岩坝址钻孔资料统计，夹关组的砂岩中含石膏夹层的平均频率为1.58条/m，石膏单层厚为0.5mm至数毫米，绝大部分与层理平行，极少数是斜交和垂直的。

碎屑岩类中可溶性胶结物和易溶性夹层被溶蚀后在岩体中形成延伸性好的张开的溶蚀裂隙，成为储运地下水的良好空间和通道。千佛岩坝址的夹关组砂岩其石膏被溶蚀后的风化带之钻孔（压水）单位吸水量是新鲜基岩（石膏层出现）孔段的上百倍。

红层中具可溶盐成分的黏土岩类与碎屑岩类的地层往往是交错式或复理式的结构，即在几十米厚的风化带黏土岩与砂（砾）岩也可能交替出现几个或十几个轮回。因此，红层中溶孔、孔洞含水介质与溶蚀裂隙为主的含水介质常交织在一起，使红层风化带的含水性更为丰富，这正是表2中612孔岩性泥岩砂岩交错的地层涌水量可达577~780t/d的原因。

岩性中溶盐的成分和含量对红层富水性的影响在红层各岩组地下水的天然排泄量方面有着明显的反映，以峨眉幅为例，该幅中生界白垩系蒸发岩的灌口组富含钙芒硝。夹关组富含石膏。这些含易溶盐成分的岩组出露的泉率为0.073~0.077个/km²，泉水径流模数为0.22L/s·km²，富水性好。侏罗系的蓬莱镇组含石膏团块、夹层与泥灰岩，上

沙溪庙组含钙质结核、泥灰岩与灰岩，泉率为 0.053~0.07 个 /km²，泉水径流模数为 0.011~0.02L/s · km²，富水程度较前者差，而侏罗系自流井组因岩组的泥岩中夹有厚度大的介壳灰岩，虽可溶性较石膏、芒硝差，但其泉率为 0.082 个 /km²。泉水径流模数为 0.0082L/s · km²，这是区内红层含水性最好的岩组（表 4）。

红层岩性中可溶盐成分和数量的差别导致的富水性的富贫不仅在不同层组中反映出来，而且在不同地区也是如此。夹关组砂岩在峨眉幅西部为钙质胶结夹石膏薄膜，该层流量大的泉水几乎都集中在此，东部砂岩为泥钙质或泥质胶结，泉点少且流量小。

表 4 峨眉幅中生代各岩组泉水参数表

地质年代	层位与代号		岩 性	出露面积/km ²	出露泉点数/个		泉水总流量 (L·s ⁻¹)		泉率 (个·km ⁻²)	泉水模数 (L·s ⁻¹ ·km ⁻²)
白垩系	灌口组	上段K _{2g} ³	泥岩、粉砂岩、夹泥灰岩、石膏、芒硝	1089	27	85	4.112	24.060	0.077	0.022
		下段K _{2g} ¹	泥岩、夹泥灰岩，下部含石膏、钙芒硝		58		19.950			
	夹关组K _{1j}		砂岩、钙质砂岩、夹石膏薄膜	1035.25	76		22.956	0.073	0.022	
侏罗系	蓬莱镇组 J _{3p}		泥岩含石膏夹层、团块和泥灰岩	506.22	27		10.110	0.053	0.020	
	遂宁组 J _{2sn}		泥岩，下部具钙质结核	271.44	15		0.739	0.055	0.0027	
	上沙溪庙组J _{2s} ³		砂岩、含钙质结核、泥灰岩、灰岩	462.41	32		5.234	0.070	0.011	
	下沙溪庙组J _{2s} ¹		砂岩夹粉砂质泥岩、钙质细砂岩	153.57	7		0.345	0.046	0.0022	
	自流井组 J _{2z}		泥岩夹介壳灰岩	121.57	10		1.001	0.082	0.0082	

2.2 地 貌

四川红层的地貌形态主要为丘陵，次为中低山。丘陵分布于盆地中心，从水文地质角度可将其分为 3 个亚类：①浅切丘陵；②中切丘陵；③深切丘陵。其地貌形态特征见表 5。

表 5 四川红层地区丘陵地貌形态特征表

地貌类型	相对标高/m	地质作用	形态特征
浅切丘陵（基岩波状平原）	0~30	强烈剥蚀作用	丘包呈馒头状、串珠状分布在开阔的平原和宽谷间，谷宽大于300m，纵坡度小于5‰，有坡洪积覆盖层
中切丘陵	30~100	剥蚀作用	丘陵为双丘连座丘，其间有宽谷，宽为100~300m，纵坡度5‰~10‰，谷底有坡洪积覆盖层
深切丘陵	100~200	剥蚀作用和侵蚀作用	丘陵顶面较平，呈带状，丘坡上陡下缓，谷底狭窄，谷宽小于100m，纵坡度大于10‰

红层中低山地分布于盆缘,其绝对标高大于 500m,相对标高大于 200m,它们有着面积较大的峰(山)顶面,多级开阔的谷坡,且保持着浅切至深切丘陵的地貌形态,与盆地中的丘陵有着相同的水文地质条件。

前面已述,红层有地下水,但不丰富且各地的富水程度不同,现对峨眉幅水点边界条件作分析,它们在地貌上有着如下共性:

(1)红层地下水出露的泉、井及水量在 5t/d 以上的勘探孔和土井都处在剥蚀地貌中浅切丘陵间的负向宽谷中(以下简称宽谷)。

(2)红层宽谷分布面积的大小是红层地下水富水性的重要因素之一。一般而言,在其他水文地质条件相同的情况,面积大的宽谷其地下水比面积小的要丰富,宽谷的结构也影响红层地下水的贫富,如宽谷面积相同,分支少的宽谷比分支多的宽谷要富水。

(3)宽谷周边的丘陵其自然地理条件不同也影响宽谷地下水的富集,如缓坡、宽厚、植被茂密的丘陵比陡坡、单薄、植被稀少的丘陵更有利于宽谷地下水的补给。

(4)宽谷下游是地下水富集部位,它的标志:①宽谷下游较窄的峡口上部;②有不同程度的沼泽化、盐渍化,老乡称“下湿田”。

(5)红层丘陵(即正向的丘包、丘垄等形态)的地貌部位泉点极少,该处的勘探孔和土井绝大部分是干的,少许水量也小于 5t/d,故可视为贫水区。

由此得出:红层地下水受到地貌条件的控制,它仅赋存在红层中浅切丘陵区的宽谷中,宽谷的面积大小、结构、边界条件是红层地下水富集的重要因素。

2.3 节理裂隙

红层节理裂隙的成因类型有 3 种:①原生节理;②构造裂隙;③风化裂隙。

(1)原生节理:原生节理是红层沉积物在沉积和成岩作用中产生脱水、压密、收缩等一系列地质物理变化所致。在红层岩体中它主要有两种形式存在:①垂直和斜交层理的原生节理,其特点是节理密度与单层厚度成反比,即岩层单层厚度越大,节理的间距越稀,反之则反。节理的发育受到层理的制约,也就是说它仅发育在单层间,切穿层理的原生节理很少见。②沿层理面发育的原生节理,这种节理往往是在不同岩性组合的界面上,它具有延伸长,多为张开的特点,有着较大的集水能力,在钻探中常揭穿至砂岩与泥岩接触的顶底面时水量会突然增大,原因就在于此。

(2)构造裂隙:四川红层经历着燕山期、喜马拉雅期运动,虽然盆地的红层大面积受构造作用较为轻微,但仍形成了一定规模和数量的构造裂隙,局部应力集中的地区,如靠近龙门山的盆缘地带发育着与龙门山断褶带构造线近似的北东—北北东向的裂隙系统,甚至与小型断裂组成破裂带。构造裂隙通常是以原生节理为基础所扩大改造形成的。

(3)风化裂隙:红层表部岩体受到表生地质作用形成的裂隙系统。它主要是:①风化作用在原生节理和构造裂隙的基础上改造和扩张形成的裂隙系统。②红层表部岩石在风化作用下其物理状态和化学成分产生变化所形成的裂隙。上述两种成因的裂隙在红层地表从 30~50m 的深度空间形成纵横交错的裂隙网络,其特点:①距红层临空面(包括水平向、斜切向和垂直向)越近,风化程度越高,裂隙越密集和张开程度越好,相反则风化程度变弱,裂隙渐稀并呈闭合状。②有地下水径流和生物活动(包括动、植物)的