

地 质 矿 产 部

环境地质研究所论文集

第 1 集

地 质 出 版 社

58083

121

1

地质矿产部环境地质研究所论文集

第 1 集

地质出版社

(京)新登字 085 号

内 容 简 介

本书是地质矿产部环境地质研究所近期研究成果的总结。内容包括：城市新址环境地质研究、城市区域水文地球化学研究、地下水分布演化规律和利用、断层活动带研究、土体工程地质研究、区域地壳稳定性研究、地震工程地质问题研究等。

本书可供从事环境地质工作的生产、科研人员阅读，也可供大专院校有关专业的师生参考。

地质矿产部环境地质研究所论文集

第 1 集

*

责任编辑：高天平

地质出版社出版发行

(北京和平里)

北京市科普印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本：787×1092 1/16 印张：13 字数：301 000
1992 年 7 月北京第一版·1992 年 7 月北京第一次印刷
印数：1—2000 册 定价：8.70 元
ISBN 7-116-01117-X/P·939

序

环境地质学是一门新兴的应用地质学科，也是处于地质学、环境科学与社会学、经济学之间的边缘学科。在我国，环境地质学是在 40 余年来的水文地质、工程地质工作基础上发展起来的。

我国工农业生产的蓬勃发展，地质矿产资源的大量开发，不断地影响着地质环境的变化和发展。如果适应于自然环境发展规律的变化，其结果将导致社会发展的良性循环；相反，违背了自然发展规律，其后果不仅达不到开发利用地质矿产资源的目的，而且会受到自然的惩罚，造成难以防治的地质灾害，或者使自然灾害增强其危害程度。

为了合理开发利用地质矿产资源，防止地质灾害的发生、发展，协调人口、资源和环境的正确关系，有必要尽速发展环境地质学的理论和技术方法。

地质矿产部环境地质研究所肩负着这种兴利、防灾的重担，参与了这场有益的科学实践。因为我所仍处于建所的初始阶段，科研工作刚起步不久，所以此次出版“七五”期间水平有限的科研成果和调查研究报告，旨在交流学术思想，促进环境地质学科的发展。不当之处，渴望批评指正。

让我们携起手来，共同为促进环境地质学的发展奋勇前进。

地矿部环境地质研究所名誉所长、研究员

胡海涛

1991 年 9 月

前 言

随着人口的增多、资源的开发、科学技术的发展,环境保护已成为当今世界关注的重大课题。但是,人们比较容易忽视地质环境及其变化对人类的生存和生态平衡的重大影响。大家知道,地球作为一个完整的动力学系统是在不断变化着的,地质环境的变化必将引起大气圈、水圈、生物圈的变化,这种变化反过来又影响人类的生存和生态平衡。

自然界自从有了人类以来,人类为了生存,在适应自然、利用自然的同时也带来了许多意想不到的变化。这种变化往往与为生存求发展的意愿背道而驰,这种事例几乎比比皆是。不难看出,现代人类工程技术、经济活动已经成为巨大的地质营力,并且越来越广泛和深刻地参与着地质环境的变化。有人估计,就其变化速度和强度而言,人类工程技术、经济活动有可能超越某些自然地质作用,或者使相距很远的不同地质环境增大彼此间的联系。因此,人类对赖以生存的地球进行深入的环境地质研究已是刻不容缓的重要任务了。

环境地质学作为一门新兴的应用学科,主要研究地质作用、地球物质与人类活动之间的相互作用和影响,为合理利用地球资源和保护地质环境而服务。

环境地质学具有很强的区域性、综合性和预测性,与其它学科密切关联。在它的发展过程中也难免有其不成熟和不够完善的地方。为了适应环境地质学科的发展,环境地质研究所首次把我所近几年来,特别是“七五”以来的研究成果编辑成集,与同行们交流。希望这本不定期的论文集能得到同行们的支持、关怀与帮助。不足之处,在所难免,敬请批评指正。

地质矿产部环境地质研究所所长、研究员

哈承祐

1991年9月

目 录

长江上游“三江”地区水电开发的环境地质特征及工程地质问题·····	胡海涛 (1)
南通市地下水系统的咸淡水形成演化规律及地下水资源合理开发利用研究 ·····	
····· 哈承祐 赵继昌 梁 静 曲焕林 (12)	
三峡工程库区拟迁城市巴东县新城址环境地质研究·····	钟立勋 殷跃平 唐 灿 (41)
我国主要城市地下水水质问题的主要成因分析及其防治对策·····	李京森 (54)
柴达木盆地昆仑山前平原地下水流系统研究 ·····	
····· 何庆成 李文鹏 王瑞久 赵家绪 咎明寿 (62)	
甘肃省石羊河流域平原区地下水流系统研究·····	李文鹏 何庆成 王瑞久 (82)
宁波平原地下水环境同位素地球化学研究·····	袁志梅 王怀颖 王瑞久 (97)
环渤海地区区域地壳稳定性分析与评价 ·····	贾家麟 张加桂 曾青石 (123)
黄河青铜峡坝区区域地壳稳定性评价 ·····	殷跃平 朱永余 (137)
南通市工程地震危险性分析与砂土体震动液化势评价 ·····	周平根 (153)
南通市城市工程地质环境质量的灰色预测与城市规划的适宜性研究 ·····	
····· 贾家麟 李晓军 (167)	
三峡库区拟迁城市新址地质环境质量综合比较评价 ·····	文宝萍 钟立勋 (188)
新疆喀拉通克地区水化学测量研究 ·····	李励红 高 平 王金国 (196)

长江上游“三江”地区水电开发的环境地质特征及工程地质问题

胡 海 涛

应四川省人民政府的邀请,中国国土经济研究会、中国能源研究会、中国水力发电工程学会及中国水利经济研究会组织有关部门的专家、领导共 50 余人,于 1989 年 4 月 18 日至 5 月 25 日对金沙江、雅砻江、大渡河(以下简称“三江”)以及岷江、嘉陵江部分河段,进行了以水电为主的综合经济考察。

考察团途经川西丘陵地区、金沙江下游峡谷,纵贯攀西山地、安宁河谷地,涉猎川西北大渡河与岷江上游河谷地段,经过 7 个地区(自治州)、11 个县,行程累计约 5000km。笔者有幸参加了此次难得的考察活动,沿途侧重于观察区域地质、地貌、水利水电工程地质及环境地质;查勘了 13 个大中型水库和电站。笔者在考察中忧虑地注意到,一些地区的环境已形成不利于人类生产、生活的恶性循环。笔者从而提出问题和对策,以期达到国土开发整治、兴利防灾的目的。

这次考察不仅增加了开发“三江”水电资源的认识,而且开阔了眼界。

一、山川形势与地质构造格架

1. 地势上两个台阶的过渡

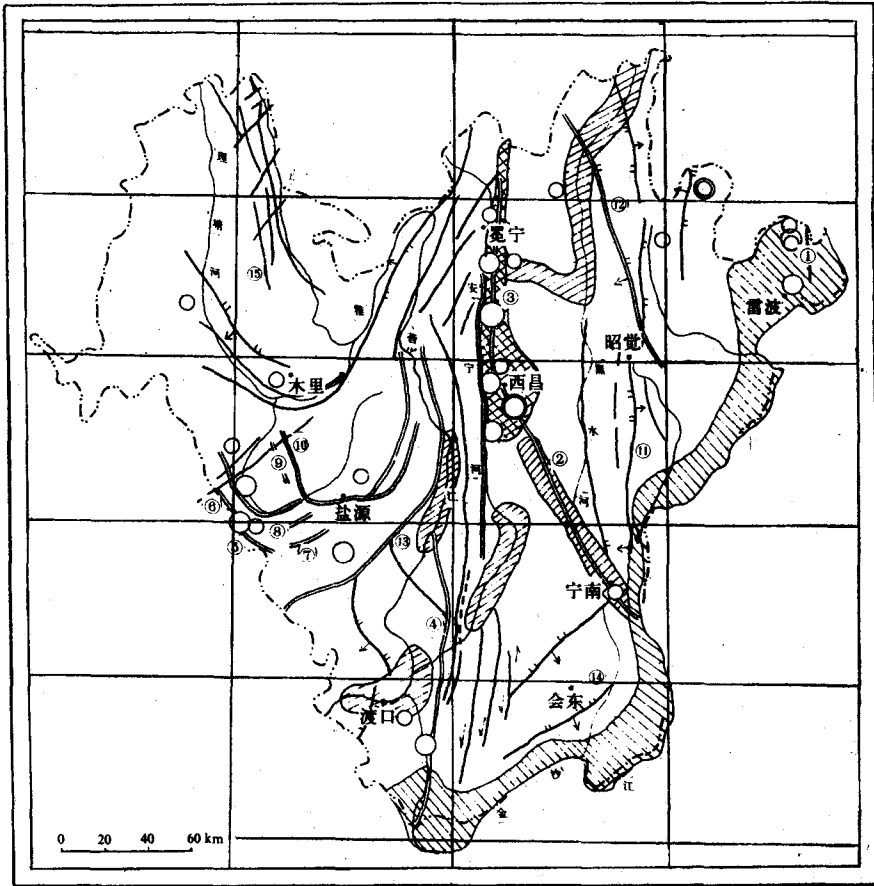
考察地区恰位于我国地势上第二台阶(四川盆地)向第一台阶(青藏高原)过渡的中高山峡谷地区。四川盆地川中丘陵高程约 400—600m,青藏高原第一台阶海拔在 4000m 以上,过渡带海拔约 400—4000m。区内东北部的贡嘎山常年积雪,海拔 7556m,为区内的最高峰。雅砻江大拐弯处的锦屏山是盘踞在本区西南的最高峰,海拔 4488m。

长江三峡地区是第二、第三台阶之间的过渡地带,其下刻深度为 500—1000m,其天然落差较上两级台阶间的下刻深度 1000—3500m 为小,其发电量亦大为逊色。这次我们上到第二台阶至第一台阶之间的过渡带,看到水能开发,真可谓“更上一层楼”。

2. 大地构造特征

本区西侧与青藏地块相接,东侧与四川地台相毗邻。后者是一个被褶皱了的陆相中生代盆地,在三叠纪末期结束其海相沉积。其后,沉积了深厚的侏罗-白垩纪陆相红层。四川盆地属于新华夏系的第三拗陷带。四川地台的西界大致在龙门山山前断裂带;再向西为川滇南北构造带,出露有前元古代的古老结晶岩基底(如康定杂岩)及晋宁期花岗岩,经过长期隆升剥蚀,黄汲清教授称之为康滇地轴;至二叠纪有大量峨眉山玄武岩海底喷出;至印支期,两侧向地轴推覆,安宁河谷一带相继成为攀西裂谷,沉积了深厚的三叠系砂页岩,经变质成为砂板岩和千枚岩;之后又沉积了深厚的侏罗-白垩纪红色岩层,其后在安宁河谷

地区沉积了较厚的第三系和第四系。雅砻江中游锦屏山大拐弯东侧河谷以金河—菁河断裂分割，以东为攀西裂谷古老结晶岩基底（出露在磨盘山一带）；以西则为甘孜—雅江褶皱带（地槽型沉积），石炭、二叠及三叠系已变质为变质砂岩、板岩及片岩，石灰岩、白云岩已变质为大理岩，并有大量印支期和燕山期酸中性岩浆岩侵入。其活动断裂与中、强地震震中分布，如图所示。



攀西安宁河流域活动断裂、地震及崩、滑流集中带分布图

（根据地矿部成都水文地质工程地质中心资料编绘）

1—强活动断裂；2—中强活动断裂；3—弱活动断裂；4—压性断裂；5—扭性断裂；6—地震震中 $M_s=7-7.9$ ；7—地震震中 $M_s=6-6.9$ ；8—地震震中 $M_s=5-5.9$ ；9—滑坡集中分布带；10—泥石流集中分布带；11—滑坡、崩塌、泥石流集中分布带；12—活动断裂编号；13—县城；14—省界；15—河流；强烈活动断裂：①—玛瑞断裂；②—则木河断裂；③—安宁河东侧断裂；中强活动断裂：④—红格断裂；⑤—辣子沟断裂；⑥—辣子乡断裂；⑦—小黄草坝断裂；⑧—黄草坝断裂；⑨—霍几坪断裂；⑩—棉埂断裂；⑪—布拖—昭觉断裂；⑫—石棉断裂；⑬—金河—菁河断裂；⑭—平川—香居断裂；⑮—小高山断裂；其它未编号的断裂均为弱活动断裂

本区主要构造体系为：a. 川滇经向构造体系，沿安宁河河谷及其两侧发育，向南直达昆明附近；b. NNE 向新华夏构造体系，沿龙门山褶皱带及山前断裂带分布；c. NW—NNW

向青藏高原“歹”字型构造带。其中最显著的有两带：一是甘孜—炉霍—道孚带，沿鲜水河流域玉石棉，与 NNE 和 SN 向构造交汇复合，形成我国西部特有的“Y”字型构造带；一是则木河 NNW 向断裂，在西昌附近与经向安宁河断裂带斜交或联合，构成历史上的强震发震背景。本区西部主要为木里、盐源弧型构造带。以上各体系除新华夏系近期活动较微弱外，其余各体系活动均较强烈，特别是几个体系相互交汇的复合地带，常有 7 级地震发生。如公元 814 年，西昌 $7\frac{1}{5}$ 级地震；1216 年，雷波 7 级地震；1536 年，西昌 $7\frac{1}{2}$ 级地震；1850 年，西昌—南宁 $7\frac{3}{4}$ 级地震（见图）。

总之，该地区的自然地质、地理条件具有以下几点特征：

①立体气候特征。本区从南至北，可分为金沙江河谷亚热带、安宁河中亚热带、凉山与木里温暖带，再高为寒带气候；垂直气候分带明显，适合于立体农林牧业的发展，对于培植多种早熟立体农业十分有利。

目前沿途一带，森林、植被遭受严重破坏，覆盖率低，约为 17—22%，多呈荒山秃岭或插花林地。因此，水土流失与河道淤积严重，流失量达 7000—10000t/km² 以上。阿坝自治州水土流失每 10 年增加 18.5%，生产 1kg 粮油，损失 138kg 泥沙；森林植被再破伐 12 年，即将被砍伐一光。

②本区地形起伏强烈，河流多深切峡谷，滩多流急，天然落差大。如金沙江长 3480km，天然落差 5000m，拟开发 18 个梯级，装机 5×10^{10} W；大渡河天然落差 3138m，多年平均径流量 150m³/s，年流量 3.56×10^{10} m³，水能蕴藏量 3×10^{10} W。一般河流河床固体径流发育，堆积深厚，这是冲洪积、重力堆积和冰川堆积的加积结果，因此给大型水利枢纽选址造成了很大困难。如大渡河瀑布沟水电站，坝址河床堆积厚 70 余米，南埡河龙头水库冶勒坝址第四系堆积厚 300 余米，尚未见底。

③晚近期以来，断裂活动与地震活动均较强烈。一般坝址地区，地震基本烈度较高，均在七八度，如安宁河谷地的大桥水库高达八九度。因此在高烈度地区，给重大工程选址造成很大的困难。

④水热活动比较强烈，高、中温温泉分布甚广。如西昌南数十公里的螺髻山有温泉瀑布高 20 余米，沿岩壁下泻，最低温度在 35℃ 以上，为含钙质温泉。泸定（海螺沟）、康定、石棉附近温泉也很多。至今除康定有温泉用于医疗沐浴之外，其它仅用于旅游或尚未开发。

⑤崩、滑、流地质灾害强烈、频繁。由于山区日温差大、岩石风化强烈，故每当暴雨期间，滑坡、崩塌、泥石流彼彼皆是，其集中分布带（如图所示）多集中于金沙江沿岸，特别是白鹤滩、乌东德一带和攀枝花附近，大渡河沿岸，汉源县附近的流沙河两岸，乌斯河附近的利子依达沟，安宁河谷的东侧支沟。沿孙水河、黑水河、西昌东河等，泥石流相当发育。在历史上，大渡河的磨西面、雅砻江唐古栋及金沙江的干支流，多处发生过崩、滑、流堵河事件，给上、下游人民造成很大的威胁和损失。

⑥由于高山、极高山多年积雪，枯水期有积雪融化补给，因此枯、洪期河水流量不致异常悬殊，如瓦斯沟、南埡河及资兴河等二级支流，有利于这些河流的梯级开发和自流引水发电。

由于以上自然地质—地理特征，形成了该地区丰富的自然资源：

①由于本区地质历史时期岩浆岩活动频繁，形成了丰富的矿产资源，尤以攀西地区 V、Ti、Fe、Cu、Pb、Zn、Sn 和伴生的稀有金属矿产为最。攀西地区是开发建设黑色金属、有

色金属等原材料的重要工业基地。稀有金属 Ti 为宇航工业的重要材料, 国际市场上价格高昂, 但需要很多的电能才能冶炼。二滩电站就主要是为攀钢冶炼用电而兴建的。

②由于本调查区河流众多、坡陡流急、落差大, 故成为长江上游的水电建设基地。三江地区各干支流的水电能量, 如表 1 所列。

表 1 长江上游“三江”流域水能指标

河流名称	10 ⁶ W 以上 干支流条数	理论出力 (10 ⁷ W)	年发电量 (10 ¹¹ W·h)	装机容量 (10 ⁷ W)	年发电量 (10 ¹¹ W·h)	占全省的量 (%)
金沙江 (除雅砻江外)	54	3009.95	2636.7	2306.66	1270.51	24.66
雅砻江 (全部)	78	3343.88	2929.2	2491.47	1523.07	29.56
大渡河 (除青衣江外)	54	3102.39	2717.7	2336.76	1267.10	24.59
全省所有河流	380	15036.78	13172.1	9166.51	5152.92	100.00

由表 1 可见, 三江流域的可开发年发电量约占全省年发电量的 78.81%。全国可开发年发电量为 1.933×10^{14} W·h, 四川省占全国可开发年发电量的 26.8%, 可见四川三江地区是全国重要的水电建设基地之一。

③山间盆地、谷地成为富饶的农业基地。如安宁河盆地, 被誉为“川西第二粮仓”。

④考察地区, 旅游资源甚为丰富。如位于安宁河谷的西昌, 又称月城, 有邛海、泸山, 风景如画, 一年四季暖和如春; 距西昌 40 余公里的螺髻山, 不仅有温泉瀑布可供沐浴, 尚有第四纪冰川遗迹可供调研; 冕宁附近的乾海子是刘伯承将军与小叶丹土司结盟的地方; 卫星发射站是 80 年代的尖端技术, 可供人参观; 大渡河上游的旅游胜地更是引人入胜。如康定的跑马山, 温泉沐浴, 泸定的铁索桥; 海螺沟的现代冰川景观, 与温泉瀑布相映成趣; 岷江上游更是旅游地, 黄龙九寨沟风景绝世; 至岷江流入川西平原处的都江堰水利工程时, 我国古代水利工程建筑的宏伟和李冰的光辉形象, 给人们留下了深刻的印象。除此之外, 还可以游览道教胜地青城山, 树林郁郁葱葱, 山径曲折徘徊, 是避暑纳凉的胜地。总之, 三江地区旅游景观资源丰富, 值得进一步地开发。

二、各水电站的主要工程地质问题

本次考察了“三江”流域的主要大中型水电站 13 处, 其主要的规划指标如表 2 所列。其它梯级开发小支流, 仅作一般性研讨。现按表列次序探讨其工程地质条件和工程地质问题。

1. 向家坝水电站

该电站为金沙江梯级开发的最下游发电站, 位于四川省宜宾县与云南省水富县境内。其主要指标如表 2 所列。1991 年完成可行性研究报告。

表2 四川省“三江”流域考察地区大中型水电站主要指标一览表

电站名称	装机容量 (10 ⁷ W)	保证出力 (10 ⁷ W)	年发电量 (亿度)	坝型	坝高 (m)	总库容 (10 ⁸ m ³)	覆盖层 均厚 (m)	基岩 岩性	地震 烈度 (度)	所在 河段
向家坝	500	132	260 (282)	重力坝	180	52	50	砂页岩	七	金沙江下游
溪落渡	1008	344	572	重力拱坝	275(最大)	122	20	玄武岩	八	金沙江下游
桐子林	40	15	22	重力坝	50	0.7	20	石英闪 长岩	七	雅砻江下游
二滩	330	100	170	双曲拱坝	240	53	20	玄武岩 正长岩	七	雅砻江下游
锦屏一级	300	142	182	重力坝	300	100	47	大理岩 砂板岩	七	雅砻江中游
锦屏二级	300	196	210	引水隧洞	长16km			大理岩 砂板岩	七	雅砻江中游
大桥	6	1.5	2.2	堆石坝	87	4.8	10	混合岩	八—九	安宁河
冶勒	20	14	9	土石坝	130 坝长3—5km	3.2	>300	第四纪 沉积	八	大渡河支流 南坪河上游
瀑布沟	330	91.8	144.3	土石坝	188	50	75	左岸花岗 岩,右岸 玄武岩	七	大渡河
龙头石	46	11.0	25.64	堆石坝	72	1.15	70	花岗岩	八	大渡河
大岗山	150	34.5	81.20	重力坝	180	4.5	10	花岗岩	八	大渡河
龚嘴	70(低) 210(加高)	34	98	碾压坝 沥青砼 斜墙	85(低) 150(加高)	3.1		花岗岩	七	大渡河下游
铜街子	60	13	32.10	堆石坝	8	2.0	已清基, 最深处在 左深槽 70m	玄武岩 砂页岩	七	大渡河下游

注：本表为地矿部成都水文工程地质中心陈永侠同志编。

坝段位于金沙江最后一段峡谷，长7.5km，共选有7个坝址（1—7坝址）。全坝段已有岩心钻探183孔，总进尺3万多米；硐探约30个，共3526.5m。进行了不同比例尺的工程地质测绘，坝址左岸尚进行了岩体变形观测及岩石物理力学试验。其工程地质条件如下：a. 向家坝坝段以西的川滇SN褶皱带地震活动较频繁，有纪录以来共906次，最大震级大于6级，共5次，其中以1971年5月11日的7.1级云南大关地震最大，距向家坝67km，影响

烈度小于六度。1981年,四川地震局定其基本烈度为七度。b. 库区虽有石灰岩,但其总体渗漏条件较好,向邻谷没有明显的渗透途径,库岸总体稳定条件也较好。水库淹没有大型矿山。c. 各坝址的工程地质条件存在差异。Ⅰ—Ⅱ坝址,河床覆盖层深厚;Ⅲ坝址勘察工作量较多,覆盖层厚40—60m;Ⅳ坝址左岸卸荷带深12m,河床覆盖层之下有灰岩出露的天窗;Ⅴ、Ⅵ两坝址比较,Ⅴ坝址覆盖层厚68—71m,有一条勘探线,覆盖层厚仅40余米;左岸大滩坝,覆盖有深50m的深槽,宽80—100m,槽中充满砂卵石层;Ⅵ坝址上游左岸马步坎张裂岩体,张裂带宽2m,深100余米。现已布置自动化监测,两次大暴雨(100mm及570mm以下充水)尚没有变位发生。Ⅵ坝址两岸岩层不能相联系,产状不一致,左岸 $N45^{\circ}-52^{\circ}E/NW\angle 6^{\circ}-11^{\circ}$;右岸 $N73^{\circ}-85^{\circ}E/NW\angle 7^{\circ}-15^{\circ}$ 。可能在褶皱的轴倾部位,或河床中存在顺河断层。

Ⅲ坝址防渗帷幕较深,在170m以下,单位吸水量(ω) $<0.01L/min\cdot m$ 。

坝段范围内分布的基岩为 T_3 (滇家河流)砂岩、泥岩及煤层,河床部分尚有少量灰岩出露。其湿抗压强度:砂岩为87MPa,灰岩为186MPa。砂岩中夹软弱煤层三层,其 $f=0.2-0.3$,强度较低,在查清分布、产状之后,应加以处理加固。

正常高水位为380m时,淹没屏山、绥江两县,淹没耕地 $2.065\times 10^7m^2$,迁移人口57000人。

总的看来,该坝段区域地壳稳定性较好。以Ⅲ坝址为代表,坝基岩层为上三叠统砂岩,其强度可满足砼高坝的需要。如将左岸马步坎不稳定岩体加以监测、处理,将河床中深槽成因查清,经防渗、加固处理之后,仍可作为建筑砼高坝的坝址。

2. 奚落渡水电站

奚落渡水电站为攀枝花至宜宾河段梯级开发的第三梯级电站。坝址位于四川省雷波县和云南省永义县境内,距雷波20km,距永义7km。奚落渡电站装机容量为 $1.008\times 10^{10}W$ 。发电后不仅为缓解西南地区缺电作出贡献,而且对缓解华中和华东地区电力供应紧张状况也将发挥其重要作用。除三峡电站外,它是全国目前规划的水电站中装机容量最大的电站。建造水库需搬迁人口仅2.97万人,淹没耕地约 $2.358\times 10^4km^2$,一度电投资约0.203元。可以认为,它是全国淹没损失最小、电费最低廉的电站。

主要工程地质条件和问题如下:

①电站位于川滇SN向构造带与NE向构造带交汇复合部位,处于峨眉—金阳断裂带、莲峰—巧家断裂带及楔子坝断裂带围限的雷波—永义构造盆地的中心地带。坝区附近历史上未发生过强震,近期弱震较少,但马边—永义隐伏构造带作NNW向展布,地震活动频繁,是影响坝区基本烈度的主要因素。地震部门曾定其基本烈度为八度,但尚须在查明马边—永义断裂的活动性之后,才能作区域地壳稳定性评价。

②坝基为峨眉山玄武岩(熔岩)、凝灰岩及凝灰集块岩互层,其接触带为经层间错动的软弱夹层,但夹泥量甚少,作为拱坝两肩,应考虑呈棱形分布的缓倾角节理面对坝肩稳定性的影响。

③河床砂卵石覆盖层不厚,Ⅰ线厚15—20m,Ⅳ线厚30—40m。

④茅口灰岩在坝前及下游15km处出露,应注意研究坝下渗漏。两线均在深度108m以下遇该层茅口灰岩。应进一步研究深部岩溶的发育状况与渗透的可能性。

总的看来,奚落渡是金沙江难得的电站好坝址,近期修建装机 $1.008\times 10^{10}W$;后期待

白鹤滩、二滩、虎跳峡等电站建成之后可装机 $1.5 \times 10^{10} \text{W}$ ，还可起防洪、下游减淤、通航的作用。

3. 二滩水电站

二滩水电站位于雅砻江下游，西南距攀枝花市约 40km。对该坝址水库进行过可行性论证和初步设计勘察，曾投入大量工程地质勘测和试验研究工作。它为国际招标工程，由世界银行、国家能源公司和四川省集资，各占 1/3。

该电站工程地质条件较好，但也存在一些有待研究和处理的问题。

①坝址位于共和断块——相对稳定地块之上，基本裂度为七度。

②双曲拱坝以峨眉山玄武岩及正长岩为基础，岩质坚硬，较完整，风化卸荷带深入两岸岸坡约 100m，应进行并挖或防渗加固。

③坝址左岸上游输水洞进口部位的金龙山滑坡是建设者们特别关注的问题。该滑坡顺江可分解为三部分：上游部分已滑动；中间部分呈蠕动状态；下游靠金龙沟部分尚未滑动过。关键问题是上游坡脚是否存在缓倾角裂隙？勘探竖井开挖未发现此组缓倾角裂隙，但应在水库蓄水后加强监测。如蓄水后滑动，则直接影响左岸输水洞进口的安全。

④坝址右岸正长岩与玄武岩接触处存在软弱的蚀变岩石——纤闪石玄武岩，作为拱坝坝肩岩体是软弱、易于变形破坏的，因此应全部开挖或加固处理。

⑤加强施工勘察，以保证施工安全和工期。

⑥库内尚有大型古滑坡分布，应监测研究蓄水后滑坡稳定性的变化及其影响。

4. 桐子岭电站

该电站坝址位于雅砻江与安宁河交汇处的下游桐子岭车站附近，距二滩坝址约 15km，为二滩电站的反调节电站。坝址左岸可见李明久断裂顺坝肩穿过。因此，坝肩的花岗岩风化破碎比较严重。但作为坝高仅 50m 的水电站，坝址的工程地质条件还是易于满足的。

5. 锦屏水电站

锦屏水电站，位于雅砻江大河湾附近，利用大河湾地形上的优势，河段长 150km，落差 300m。在河湾上游修建一级高坝，坝高 300m；在大河湾下游，磨坊沟电站以南修建二级电站。以长 16km 的隧洞引水，穿过锦屏山。规划中的引水隧洞，埋深 2000 余米，沿线山体雄伟，其间没有开凿支洞的地形条件。因此，施工条件（如掘进、排水、通风）和交通条件都比较困难。

其工程地质条件如下：

①隧洞穿凿地层为石炭-二叠系变质岩系，由片麻岩、大理岩及板岩组成；岩层走向近 SN，倾向 E，倾角 $60^\circ - 70^\circ$ 。

②从地表观察，锦屏山南坡岩溶溶洞、裂隙水比较发育，磨坊沟电站引后山岩溶水，落差 170m，装机 $6.7 \times 10^6 \text{W}$ 。除此之外，谷坡上有岩溶水以散流瀑布流出，且有大片泉华分布在大河湾南岸岸坡之上。因此，应注意隧道深处遇见此种岩溶含水层引起的突水灾害；在排水条件较差的情况下，更应引起注意。

③由于隧洞埋深达 2000 余米，通风、排水条件较差，且变质岩比较坚硬，易于产生高地应力、岩爆和热害等不良地质作用，造成施工困难。

④在这种特殊的深山峡谷地区，对于深埋长隧洞的勘探尚无先例可借鉴，只能充分应用航空遥感解译，再加上地表全面露头剖面测绘。另外，从两头开凿数百余米的探洞，然

后在洞内做地震物探穿透,是否能探测山体内部结构,尚是值得探索的问题。

6. 大桥水库

大桥水库是治是安宁河的重点工程,该水库坝址位于冕宁县北约15km。安宁河主流与苗村河支流交汇处为一中型水库,其工程经济指标如表2所列。该水库修建之后可以起到显著的社会、经济和环境效益。a. 最突出的效益是防洪:1987、1988年每年洪灾损失上万斤粮食,淹没耕地30—40万亩^①,一次洪水之后有5000多亩耕地不能恢复。每年用于防洪经费几十万至几百万元。b. 灌溉:安宁河地区旱、洪灾害均有。在旱灾年份,需要灌溉,大桥水库可保灌耕地6000亩。c. 发电:非本水库的主要效益,装机容量仅 $6 \times 10^7 \text{W}$ 。d. 水库建成之后对促进水产养殖、发展旅游业与保护生态环境,都将起到很大的作用。其水库坝址的工程地质条件如下:

①大桥水库坝址,位于安宁河断裂带内的前震旦纪小型地块之上,坝基为混合岩体,经多次构造运动,坝基岩体风化破碎。

②坝段东侧有 F_3 断层,为安宁河断裂带东侧断层,距坝段约600—1000m;西侧有 F_2 断层,为安宁河断裂带西侧断层,距坝段约200m。前者活动性较强,后者较弱;两条区域性的大断裂之间尚有二级断裂数条,三级断裂上百条。

③大桥坝址正位于安宁河地震带内,为一重力梯度达 $(2.6-3.3) \times 10^{-5} \text{m/s} \cdot \text{km}$ 强烈活动的安宁河断裂带,断裂活动年龄约 1.5×10^4 年,历史上发生过4次大于6级的地震。地震部门曾将大桥水库的基本地震烈度定为十度,但根据安宁河历史地震发震特征,烈度较强部位均在SN带与NNW带交汇复合地带,而在冕宁附近却缺乏NNW向断裂交汇,因此经详细工作后,有可能将基本烈度降为八度,设计烈度按九度。对于修筑87m的高坝,选择适应性较强的面板堆石坝坝型不是不可能的,但必须作好前期论证工作。

④水库内泥石流沟支流较多,特别是来自东岸的支沟更为发育,固体径流对水库的淤积,应进一步结合安宁河流域的环境地质调查进行系统、深入的研究。

总之,大桥水库对于安宁河河谷的减灾、防灾及灌溉、供水都具有重要的意义,应进行前期论证,尽早施工,使安宁河谷的地质环境得到保护和利用。

7. 冶勒水库

冶勒为大渡河支流南垭河的龙头水库。坝址位于两河口下游,库容较大,可作为下游梯级开发的调节水库。设计坝高为130m,上坝址坝长3km多,下坝址坝长1.9km。坝址处海拔较高,约在3000m以上,为安宁河与南垭河分水岭地带,其工程地质条件甚为复杂。

①冶勒水库适位于第四纪以来的冰蚀、冰碛地貌类型,设计部门选有上、下两个比较坝址。上坝址第四系深厚,左岸钻探170m,尚未穿到基岩,物探厚度达250—300m,坝基为上更新统至全新统的冰及河湖相沉积,岩性为砂卵石夹亚粘土,前者渗透性强, $K=10-25 \text{m/d}$;后者 $K=5-15 \text{m/d}$,含水层为承压性质;下坝址左岸有花岗岩出露,右岸距坝肩1.9km处尚未见基岩。

②大桥水为的 F_3 断裂已从分水岭垭口延至冶勒水库内,由于冶勒库盆海拔较高,在将来的应用期间,冶勒库水有向大桥渗漏之虑。

③坝基及绕坝渗透严重,且不易处理,防渗处理耗资甚昂。

^① 1亩=666.6m²。

④建筑材料运输条件差,质量也较差。

⑤地震基本烈度较高,达八度。

综上所述,从经济合理性和技术可能性考虑,该址均不满足成库条件。建议缓上或不上。

8. 瀑布沟电站

瀑布沟水电站位于大渡河中游,汉源县下游约35km处。该电站的最大优点是库容大,达 $5 \times 10^9 \text{m}^3$,为下游发电站的调节水库,可使下游电站装机容量增加 $2 \times 10^8 \text{W}$ 。该坝址主要的工程地质问题如下:

①坝址覆盖层深厚,达60—70m,为砂砾、块石堆积,其间夹有粉细砂凸镜体和块径大的崩积块石。修建时要处理好这样深厚的覆盖层,实属世界罕见。

②坝址左岸基岩为坚硬的玄武岩,卸荷张裂隙比较发育。

③坝址右岸为花岗岩组成的分水岭,地形比较单薄。

④防渗帷幕灌浆的深度和宽度均较大。

⑤水库在黄草坝断裂和流沙河断裂的交汇处,且有石灰岩存在,有发生水库诱发地震的可能。

9. 大岗山电站

该电站位于大渡河上游;瓦里上游3—5km,坝址附近河谷狭窄,坝段位于中岗山下,呈W型;河床中覆盖层仅十余米,坝基岩石为片麻状花岗岩,被酸性至中、基性岩墙所侵入。该坝址右岸,因有NNW向的磨西断裂和近SN的得托断裂分布,地震部门将该坝址的基本烈度定为八度。坝址下游约15km的龙头石电站为大岗山的反调节电站,两岸均有花岗岩出露,河床部位,已知覆盖层厚度达70m。

10. 铜街子电站

该电站是大渡河最下游梯级。其工程地质条件比较复杂。坝基岩层为玄武岩和砂页岩,河床下为层间错动结构面(沿喷发间断面发育的)及对冲式缓倾角断层。左右两岸均有深槽。左岸深槽中覆盖层最长达70m。但前期工作搞得比较仔细,问题基本得到了解决,为设计时考虑防治措施的制定提供了科学依据。

在前期工作中,唯一一个未能查明的问题是左岸的堆积层滑坡,施工中发现时不得不临时采用沉井桩加固,耽误了工期,花费了大量资金(约3千余万元)。

11. 苍嘴电站

该电站位于铜街子电站上游约20km处,原建电站坝高85m。在第二期,当上游瀑布沟电站建成后拟加高至150m坝高,其发电量将由 $7 \times 10^8 \text{W}$ 增加至 $2.1 \times 10^9 \text{W}$ 。该坝址为花岗岩地基,前期工作搞得比较好,查明了坝区的内存在的蠕滑体和缓倾角裂隙及谷下卸荷裂隙的发育分布以及它们的力学性质,为正确的选线及设计提供了比较充分的依据。

三、意见和建议

四川省的能源资源,水能占79.7%,煤炭占19%,天然气和石油分别只占1.2%和0.1%。而目前四川省的能源构成,煤炭高达77.1%,天然气也占13%,而水电仅占10.6%。这种资源构成和生产构成严重倒挂的不正常状态,势必不能长久维持。“三江”干支流在四

川境内的可开发装机容量达 $7.135 \times 10^{10} \text{W} \cdot \text{h}$, 年发电量达 $4.061 \times 10^{14} \text{W} \cdot \text{h}$, 占全省可开发资源的 78.8%。“三江”流域内的矿产资源和生物资源十分丰富, 水能资源的开发可以带动其它多种资源的开发利用。“三江”干流有多处可修建高坝大库的优良坝址, 且其淹没损失甚少; 支流修建中、小型电站的梯级开发更有利于电能的普遍开发。故此, 四川的能源出路在水电, 而水电的战略基地在“三江”。同时, 要大、中、小相结合, 对“三江”开发的前期工作要持积极的态度, 并将前期工作提高到全川经济发展的战略高度来认识。为了使“三江”地区的水能资源得到尽快的开发, 现提出下列意见和建议:

①金沙江第一期开发, 应以开发奚落渡电站为主。因为该电站坝址、水库的工程地质条件优越, 适合于修筑高重力拱坝。经地矿部 909 水文地质工程地质大队勘察, 水库基本不存在永久性渗透, 库岸稳定条件较好, 区域地壳稳定性需进一步论证。将其河谷断面与二滩坝址相比较, 可能造价较廉, 且淹没损失甚少。因此, 应尽先完成可行性论证阶段勘察, 再转入工程初步设计勘察。

②尽快完成安宁河流域国土整治开发规划。完成大桥水库的可行性论证, 关键在于论证强震区修建堆石坝的可行性。

③为了调节枯水期大渡河下游流量, 增加下游铜街子和龚嘴水电站的出力, 需尽早开发上游瀑布沟水库。但开发瀑布沟主要的问题是坝址河床中第四系堆积层厚 75m, 堆积层中有粗大的漂砾和粉细砂凸镜体, 在这样性质和厚度的覆盖层上修筑高坝, 在国内外尚属罕见。因此, 深厚覆盖层上的坝基处理, 还需在技术上攻关, 使我国堆石坝技术有所提高。金沙江的向家坝址, 在查清左岸马步坎不稳定岩体、河床深槽与断裂及软弱夹层之后, 经过详细选址和必要的坝基处理之后, 仍然有修筑砼高坝的条件。

④开发天然落差水能资源较大的瓦斯沟、南垭河及宝兴河等支流是必要的和可行的, 为中、小型梯级开发创造了条件。由于地形陡峻, 露头甚好, 因此, 少做一些勘探, 主要以地质测绘为主, 即可进行设计、施工修建。

⑤冶勒和独松等龙头水库, 第四系覆盖层深厚, 且多为冰碛和冰水沉积, 厚度大于 300m, 且渗透性强, 防渗处理工程量大, 短期内难于查清其坝基的渗透条件, 难以上马。锦屏二级发电站, 引水隧洞长 16km, 沿线地形为高山峻岭, 且无开挖支洞的地形条件。但从地表观察, 磨坊沟发电站系引山体流出的岩溶水发电, 且在大拐弯处古岩溶水凝结的泉华彼彼皆是, 裸露于谷坡之上。该处地形条件险峻, 不利于勘测工作, 采用何种勘测方法, 尚是值得研究的问题。

⑥正在修建中的水电站, 如二滩电站, 在施工期要加强施工地质勘察, 密切结合施工进行必要的处理。勘察阶段所发现的一些工程地质问题, 如右岸的纤闪石化玄武岩, 左岸坝址上游的金龙山滑坡均需妥善处理, 以免影响工程安全。

从上述环境地质特征、工程地质问题和当前四川省能源的短缺情况看, 在先易后难, 抓紧进行一些水电站的前期勘察论证工作; 对于资料积累较多, 且工程地质条件和其它条件, 都比较优越的坝址, 如奚落渡电站, 应尽早列为第一期开发的对象。另一种情况是, 电站的修建有利于下游电站的调峰, 虽然水库坝址工程地质条件比较复杂, 但前期工作做得比较深入, 个别难题如深厚覆盖层上的筑坝技术需要攻关研究而外, 亦可在已有设计的基础上进入建设的行列, 以满足四川能源紧缺的需要。与此同时, 抓紧进行嘉陵江、岷江、安宁河等中型水库电站的设计施工, 对一些天然落差较大的小支流, 如瓦斯沟、南垭河及宝

兴河等，在进行少量勘测工作之后即可设计、施工梯级、自流引水电站。这种以水电为主的大、中、小相结合的采取不同集资方式的能源开发方向，是符合“三江”地区的自然条件和社会经济条件的。

环境工程地质条件是选择坝址、水库的重要因素，但不是唯一的因素。因此，从工程地质观点提出的上述意见和建议，可能尚不够全面，且随着勘探程度的深入，对某些现象的认识，可能还有一定的出入。本文如有不当之处，欢迎批评指正。

“三江”地区的开发建设，对于建设西南有其重要的意义，丝毫不意味着这是三峡建设的代替方案。不同地质—地理地区的建设和开发有其本地区的效益和特点，当然也有相关之处，但绝不是可以相互代替的。换句话说，三峡建设是积极需要的，而“三江”地区的开发建设也是刻不容缓的。

参 考 文 献

- [1] 高安泽，积极稳妥地做好四川“三江”水电能源开发的前期工作，水电站设计，No. 1，1990。
- [2] 梁益华，我国水电现状和发展前景，水力发电学报，No. 2，1989。
- [3] 黄汲清，中国主要地质构造单位，地质出版社，1954。