

GUIZHOU SHUIKU
DIZHEN YANJIU

贵州水库地震研究

王尚彦 陈本金 王 波 等 编著



地震出版社

贵州水库地震研究

王尚彦 陈本金 王 波 欧品智 张贤文 梁 操 编著

地 震 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

贵州水库地震研究 / 王尚彦等编著. -- 北京 : 地震出版社, 2017.5

ISBN 978-7-5028-4847-7

I. ①贵… II. ①王… III. ①水库地震 — 研究 — 贵州
IV. ①P315.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 079855 号

地震版 XM 4001

贵州水库地震研究

王尚彦 陈本金 王 波 欧品智 张贤文 梁 操 编著

责任编辑 : 董 青

责任校对 : 凌 樱

出版发行 : 地震出版社

北京市海淀区民族大学南路 9 号

发行部 : 68423031 68467993

门市部 : 68467991

总编室 : 68462709 68423029

<http://www.dzpress.com.cn>

邮编 : 100081

传真 : 88421706

传真 : 68467991

传真 : 68455221

经销 : 全国各地新华书店

印刷 : 北京地大彩印有限公司

版 (印) 次 : 2017 年 5 月第一版 2017 年 5 月第一次印刷

开本 : 787 × 1092 1/16

字数 : 156 千字

印张 : 8.75

书号 : ISBN 978-7-5028-4847-7/P(5547)

定价 : 46.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

序

Preface

在适当的地质条件下，人类的活动，如矿山采掘、人工地震、油气开采、高压液体注入地下以及人工水库蓄水等活动，会引发（触发或诱发）地震。水库蓄水引发地震（简称“水库地震”）便是人工引发地震的一种。

水库地震的发现可以追溯到20世纪20年代末至30年代初。1928年，希腊马拉松（Marathon）水库开始蓄水。从1931年起，伴随水库蓄水在库区频繁发生小地震。7年后，即1938年，发生了震级 $M5.7$ 地震。美国米德湖（Lake Mead）上的胡佛（Hoover）水库于1935年开始蓄水，1938年基本蓄满。翌年即在库区发生了 $M5.0$ 地震。通过对胡佛水库地震的研究，科学界于1945年确认了水库载荷与地震的联系。从那时起，“水库蓄水，引发地震”的现象开始引起社会各界的广泛注意。迄今，经科学界确认的世界范围水库地震震级大于、等于6.0的地震已有4例；大于、等于5.0，小于6.0的地震已有10例；大于、等于4.0，小于5.0的地震已有29例；小于4.0的地震不下100例。4例震级大于、等于6.0的地震有：我国广东河源新丰江水库地震（1962年3月18日，面波震级 $M_s6.1$ ）；赞比亚—津巴布韦边界的卡里巴（Kariba）水库地震（1963年9月23日， $M_s6.2$ ）；希腊克列马斯塔（Kremasta）水库地震（1966年2月5日， $M_s6.2$ ）；印度柯伊纳（Koyna）水库地震（1967年12月10日， $M_s6.3$ ）。这些震级大

于、等于6.0的水库地震乃至许多震级较小的水库地震造成了程度不同的灾害，有的甚至造成了巨大经济损失和人员伤亡的严重灾害。

“水库蓄水，引发地震。”著名法国地球物理学家罗特(Rothé, J. P.)的这句名言言简意赅，振聋发聩，表达了科学界以及广大公众对于水库蓄水引发地震问题的深切关注。但是，也不宜将其绝对化。事实上，随着研究工作的深入，一方面，发现的水库蓄水引发地震的例子愈来愈多；但是，另一方面，迄今也不乏水库蓄水、地震活动反而减弱的例外以及有争议的例子。

长期以来，科学界对于人工引发地震，究竟是“触发”还是“诱发”并不严格加以区别，“触发地震”和“诱发地震”是作为同义词混用的。近年来，科学家发现有的人工引发的地震，人工因素只占与地震相联系的应力变化或能量的一个很小的份额。在这类人工引发的地震中，起主要作用的还是构造载荷，人工因素的作用好比是压垮骆驼的最后一根稻草。因此，这类人工引发的地震称为“人工触发地震”。另一类人工引发的地震，人工因素则占与地震相联系的应力变化或能量的一个相当可观的份额，称为“人工诱发地震”。在迄今发现的水库地震中，与蓄水水位最高时的人工水库蓄水产生的应力变化仅约为1兆帕(MPa)，远小于板内地震的应力降(约10MPa)。据此看来，迄今发现的水库地震几乎大多数都属于“水库触发地震”，而不是“水库诱发地震”。

随着全球范围社会经济发展对水力发电、洪水控制、农田水利灌溉等方面需求的增长，世界各地如雨后春笋般地兴建了大

量的水库，其中不乏大、中型水库。“水库蓄水，引发地震。”水电资源开发利用的地震安全性问题、生态平衡、环境保护等问题，理所当然地受到社会的广泛关注。

水库地震是地震的一种。阐明水库地震的成因机制对于认识地震的成因机制，对于地震预测、预报乃至地震控制，对于预防和减轻地震灾害，在科学上有着重大的意义，长期以来一直是科学界关注的重要问题。半个多世纪以来，相关的研究成果数量庞大、内容丰富，各种论著林林总总，可谓汗牛充栋，从一个侧面反映了科学界对这一具有重要实际意义的科学问题的关注。

我国新丰江水库地震是迄今为止世界范围四大水库地震之一。在库区最大的地震（1962年3月18日 $M_s6.1$ 地震）发生之前，有关部门即已在库区布设地震观测台网，并且两次对大坝采取加固措施，从而避免了重大损失。我国地震学家对新丰江水库地震的地震活动坚持长达半个多世纪的连续观测与研究，取得了极其宝贵的、很有意义的观测资料和研究成果。半个多世纪以来，随着社会经济的发展对水利基础建设需求的增长，全国各地兴建了许多大中型水库。对于水力资源比较丰富的贵州省来说，水利基础建设取得了巨大的成绩。特别是国家实施西部大开发和西电东送以来，进一步加大了对贵州水利水电的投入力度，启动了许多大型水电水库建设工程项目。这些大型水库的任务以发电为主，兼顾航运、灌溉、供水、观光等功能，在贵州的经济建设和社会发展中，发挥着重要作用。但是，“水库蓄水，引发地震”，也

发生了一些水库地震，对库区及其附近居民的生活和生产带来了一定的负面影响。大型水电水库建设工程的地震安全性问题对于地区经济社会的可持续发展，是一个不容忽视的重要问题。

从20世纪80年代初开始，一些专家学者便开始从事贵州水库地震的调查研究工作，并于1995年开始在有关库区布设地震台网，观测记录水库地震。他们对水库地震的地质背景、地震活动特征、水库地震的成因机制、分类以及发展趋势，多方位地开展了研究，取得了一批很有实际意义的研究成果，并在专业期刊上发表了多篇论文，产生了良好的影响。现在，王尚彦等专家学者在广泛收集、整理前人研究成果的基础上，结合他们近年来对贵州水库地震研究成果，编撰而成《贵州水库地震研究》一书。书中研究总结了贵州水库地震的特点、成因机制、诱发和控制因素，并对贵州水库地震进行了分类；详细介绍了水库地震的监测、预测以及预防与减轻水库地震灾害的方法，并以贵州8个有代表性的水库地震为例，从各个侧面反映了贵州各主要流域水库地震的基本情况、特点和规律，丰富了对水库地震的认识。《贵州水库地震研究》一书侧重贵州水库地震的研究，但我相信该书对于其他地区水库地震的研究，对于人类其他种类的活动引发的地震的研究，以及对于天然地震的研究，都会有所裨益。

陈运泰

2016年10月1日

目 录 content

第一章 概 述.....	1
参考文献	9
第二章 水库地震的类型.....	15
第一节 地质分类	15
第二节 地震活动特征分类	17
第三节 成因分类	18
第四节 发震时间分类	20
第五节 地震序列分类	21
第六节 岩溶地区水库地震成因类型	22
参考文献	24
第三章 水库地震的成因机制.....	25
第一节 库水对库底岩体的效应	25
第二节 水库诱发地震的机制和标志	26
第三节 水库地震的诱因	27
第四节 水库地震形成的一般地质条件	32
第五节 水库地震能量来源	36

第六节 水库地震的成因	36
参考文献	37
第四章 贵州水库地震的诱发因素和特点.....	39
第一节 贵州水库诱发地震的主要影响因素	39
第二节 贵州水库地震的主要特征	41
参考文献	44
第五章 贵州省水库地震监测.....	45
第一节 地震监测台网	45
第二节 水库地震监测台网的建设和运行管理	52
第三节 水库地震监测资料处理和预测技术	66
第六章 水库地震灾害的预防.....	77
第一节 水库地震的预测方法	77
第二节 水库地震灾害的防御	86
参考文献	88
第七章 贵州水库地震实例.....	89
参考文献	129
后 记.....	130

第一章 概述

水库地震，指水库引发（触发或诱发）的地震，是水库蓄水后，在库水作用下，导致库区及其附近岩（土）体和构造等活动而产生的地震。水库地震，一般认为是人工地震的一种。严格地说，在水库地震中，“人工因素”占主导地位造成的地震是“诱发”水库地震，“人工因素”占次要或很小因素造成的地震是“触发”水库地震。但习惯上对是“诱发”还是“触发”水库地震，没有严格区分，并笼统称为“水库诱发地震”或“水库地震”。为了论述方便，本书采用“水库地震”或“水库诱发地震”的说法。

水库地震最早发现在希腊的马拉松水库，于1931年伴随水库蓄水在库区产生频繁的地震活动。1933年阿尔及利亚的福达溪坝水库、1936年美国的胡佛（波尔德）坝米德湖水库也相继发生水库诱发地震，最大震级为5级。1995年召开的世界水库诱发地震讨论会（ISORIS）认为全世界约有120例水库地震，分布在29个国家，中国、美国和印度较多（中国有22例，美国有18例，印度有12例）。由于不同学者的认识和接触的资料不同，统计结果不尽相同，但对世界上一些典型的水库诱发地震，大家认识相同，大于6.0级的水库诱发地震有4起，它们是：中国新丰江水库1962年3月19日发生的6.1级地震，赞比亚与津巴布韦之间的卡里巴湖（Lake Kariba）水库1963年9月23日发生的6.1级地震，希腊克列里马斯塔（Kremasta）水库1965年2月5日发生的6.2级地震，印度柯伊纳（Koyna）水库1967年12月10发生的6.3级地震。这些水库地震中，有一些地震造成大坝及附近建筑物的破坏和人员伤亡。印度柯伊纳水库地震，造成柯伊纳市绝大部分房屋倒塌，死177人，伤2300多人，大坝和附属建筑物受到严重破坏；克列马斯塔水库诱发地震使480多间房屋倒塌，死1人。我国的新丰江水库诱发地震的极震区有数千间房屋遭受严重破坏，死伤数人，还使水库边坡产生较大规模的地裂缝、滑坡和崩塌。



20世纪60年代接连发生水库诱发6.0级以上强震以后,水库地震很快引起学术界、工程界和社会公众的注意,开展了一系列研究活动,召开了一系列学术会议。1970年联合国教科文组织成立了一个研究“与大型水库有关地震现象”的工作小组(UNESCO Working Group on Seismicity of Large Reservoirs),并于同年12月召开了第一次会议,对30处大型水库震例作了评价。1973年英国皇家学会召开了蓄水地震效应学术会议(Colloquium Seismic Effects on Impounding, Royal Society, London UK)。1975年在加拿大召开了国际诱发地震讨论会(International Symposium on Induced Seismicity, Banff, Canada),会议的大部分论文由Milne 1976年编辑为《工程地质》。1976年美国地质调查局水库诱发地震公开报告出版(USGS Open File Report on RIS)。1976年H.K.Gupta和B.K.Rastogi的《大坝与地震》(Dams and Earthquakes)出版,该书1990年重版,是水库诱发地震研究中具有里程碑意义的著作。1995年北京国际水库诱发地震讨论会(ISORIS' 95)召开。此外,多次世界大坝会议(ICOLD, 1979, 1988, 1997, 2000)都有水库诱发地震的专题^[1]。

自Carder (1945)最早指出美国米德湖(Lake Mead)水库诱发地震活动与水库库水载荷有关以来,国内外对水库地震进行了长期多学科的观测与研究,积累和发表了大量的资料和相关文献^[2]。国外对几个被认为非常典型的影响比较大的水库的水库地震进行了监测和综合研究,这些水库包括印度的柯伊纳(Koyna)水库、塔吉克斯坦努列克(Nurek)水库、加拿大马尼克3(Manic 3)和LG3水库、埃及阿斯旺(Aswan)水库、美国蒙蒂赛洛(Monticello)和奥洛维尔湖(Lake Oroville)水库、赞比亚与津巴布韦之间的卡里巴湖(Lake Kariba)水库和希腊的克列马斯塔(Kremasta)水库等。以这些典型水库地震震例为基础,在地震地质条件、地震序列、震源机制、诱震机理等方面进行了广泛的综合研究,同时,对现行水库诱发地震危险性评价方法、水库诱发地震特征的认识、诱震机制理论及水库诱发地震预报方法和理论的研究也有不少成果^[1-2]。

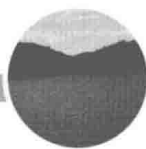
2008年的统计资料显示,我国已发生的水库地震的水库有29座,4.0级以上的水库地震有:1962年广东河源新丰江水库的6.1级地震,1967年湖北丹江口的丹江口水库的4.7级地震,1972年辽宁辽阳参窝水库的4.8级地震,1954年的安徽霍山佛水岭水库的4.5级地震,1974年四川犍为新店水库的4.5级地震,1982年广西都安大化水库的4.5级地震,1989年新疆拜城克孜尔水库的4.1级地震,陕西石泉的石泉水库的4.2级地震,1993年福建闽清水口水库的4.1级地震,2000年浙江文成珊溪水库的4.6

级地震, 1999年四川冕宁大桥水库的 4.6级地震^[3]。2010年9月19日在贵州罗甸龙滩水库发生了 4.4级地震。2015年3月30日, 贵州剑河的三板溪水库诱发了5.5级地震, 这是我国继新丰江水库6.1级地震之后的震级第二大的水库地震。

在1962年新丰江水库地震发生后, 我国开始对水库地震高度重视, 开展了广泛的水库地震的介绍和调查研究, 政府对水库地震的监测、水库大坝的地震安全性评价等也提出了要求。除对新丰江水库的研究^[4-30]外, 对三峡水库的水库地震^[31-52]和四川紫坪铺水库与2008年汶川8.0级地震的关系^[54-62]等研究成果比较多。贵州省水库比较多, 水库地震也相应较多, 个别水库诱发了震级比较大的地震。贵州的乌江、盘江、红水河流域水库地震、贵州剑河三板溪水库地震等也有一些调查研究成果^[63-87]。

国内外科技工作者以具体的水库地震实例为基础, 对水库地震进行了多方面的调查研究, 取得了丰硕的成果^[1-95]。对水库地震的研究, 是从回答修建水库能否诱发地震开始的, 所以早期的文献主要集中于建库前后库区地震活动性与水位相关性方面, 以后的研究基本上分为四方面: 水库地震的地质学研究, 主要研究库区及周围构造、断层、地震带以及水文地质、岩性、地应力场等, 希望总结出易于诱发地震的库区环境条件; 地震学研究, 主要为地震序列分析、震源机制; 水库地震的物理机制研究, 包括一些概念模型、数学模型的研究和数值模拟研究; 第四方面为水库地震危险性评价和预测方法研究。易立新等(2003)对其做了很好的总结和介绍^[1]:

(1) 对水库诱发地震地质环境有以下几个方面的认识: ①一种观点认为, 水库诱发地震多发生在天然地震活动水平低的地区, 无论中国还是世界范围都存在这种现象。例如中国水库诱发地震绝大多数位于长江中下游及其以南地区, 库区基本烈度为Ⅵ度或低于Ⅵ度。印度半岛地盾、加拿大地盾以及美国南卡罗莱纳地区, 是世界水库诱发地震的多发地区, 但这些地区天然地震活动均处于低水平。②另一种观点认为, 分布在构造活动带(区)的大型水库, 容易诱发比较大的水库地震。这些构造活动带(区), 主要包括板块结合带、板内快体结合带、褶皱带、断裂带和裂谷带等。③库区高角度正断层比逆断层和走滑断层更容易诱发地震。④当库区淹没区岩溶发育时, 发生水库诱发地震的可能将大大增强。中国水库诱发地震大部分发生于岩溶发育的库区。⑤当淹没区岩体呈现力学性质和渗透性的各向异性时, 水库诱发地震的可能性增大, 印度德干高原上的水库诱发地震库区均分布有柱状节理发育的玄武岩。⑥水库诱发地震总是分布于距离水库很近的范围, 大部分震中分布



于距离淹没区3km范围内,最大也不超过20km,说明库区局部构造条件对水库诱发地震具有重要的控制意义。

(2) 在水库诱发地震的物理机制研究方面,1970年W. D Gough和W. I Gough (1970)研究了载荷作用在克列马斯塔(Kremasta)水库诱发地震中的作用,20世纪60年代早期科罗拉多附近落基山军工厂地下注液诱发地震的观察,以及Hubbert、Rubey于1959年把太沙基(Terzaghi)有效应力定律用以解释流体在构造活动和地震中的作用的研究,奠定了水库诱发地震物理机制研究的基础。研究库体载荷作用对孕震影响的有W. D Gough、W. I Gough (1970), Snow (1972), Beck (1976), Withers、Nyland (1978)等,一般结论认为,载荷作用除在最大主应力垂直区域外,起稳定作用,并指出了不同构造条件的不稳定部位。据N. L. Nikolaev 1974年的研究,地壳剪应力在新构造不活跃区为 $(100 \pm 50) \text{ kg/cm}^2$,在活跃区为 $(750 \pm 350) \sim (1000 \pm 500) \text{ kg/cm}^2$ 。

水库蓄水后,两种作用引起库盆基岩体孔隙压力升高:一是岩体的压缩变形作用,这种作用使岩体受压孔隙度降低引起的孔隙压增高,发生于蓄水初期,其持续时间决定于岩体结构和渗透性;二是库水在岩体中渗流,引起流体压力的扩散。Talwani和Acree 1985年根据对美国卡洛来纳州一系列水库诱发地震震例研究,提出地震是由于孔隙水压力扩散使水压力峰面达到震源处而发生。Bell和Nur 1978年应用Boit饱水多孔介质线性准静态弹性理论,研究了二维半空间均匀介质和含断层介质在荷载作用下的强度变化,发现渗透性均匀介质出现一弱化带,而在有高渗透断层带分布介质中,弱化带的宽度加大,强度显著下降。沈立英和常宝崎1995年用同一理论计算了新丰江水库诱发地震,认为诱发地震主要是应力—孔隙压耦合作用的结果。D. W. Simpson等1989年提出一个由岩体非均匀性对诱发地震影响的模型,认为由非均匀性引起的孔隙压力的集中是导致蓄水后不久小震的原因。梁青槐等1995年采用应力场—渗流场耦合的方法研究了理想条件下水库蓄水应力场和渗流场的变化特征,对断层带、蓄水速率对诱发地震的影响等进行了讨论。

在水库诱发地震的机理讨论中许多研究者都提起水对介质的“弱化”作用,即饱水岩石的强度降低和断层摩擦强度的降低,众多室内实验结果支持这种观点。从水文地质的观点看,建库前地下水位以下的岩体已处于饱水状态,水库蓄水地下水位升高仅影响地下水位变动带的饱水状态,所以岩体饱水对强度的弱化仅限于地下水位变动带。据胡毓良等人1986年对浙江湖南镇水库诱发地震的研究,震源深度仅

200~300m, 似处于水位变动带。可以认为, 除震源深度极浅的诱发地震外, 岩体饱水对地震的诱发作用是较弱的, 但当地下存在封闭的“干燥”裂隙或断层, 当在一定压力梯度下充水时, 孔隙压力的变化将是一个相当大的值, 可以设想这种变化对水库诱发地震具有重要意义。

(3) 库水和环境间的作用, 基本可以归纳为库水载荷作用、孔隙压力扩散作用和润滑作用。库水载荷作用, 指库水重力对库区岩体的加载作用和重力作用下岩体孔隙减小引起孔隙压增高。孔隙压力扩散作用指库水在水头作用下向地下渗透扩散, 导致渗流场孔隙压力增高。润滑作用指库水向构造破碎带渗透时, 断层岩软化、泥化, 降低了粘聚力和摩擦系数。水库诱发地震的物理机制, 以上述三种作用为基础, 可以概括为四种。一是应力增强机制, 认为库水载荷作用导致岩体中应力增强并超过其强度而诱发地震。二是强度弱化机制, 认为水库蓄水后水头升高引起地下孔隙压力的升高, 导致滑动面有效应力减小而诱发地震。三也是强度弱化机制, 认为水库蓄水向岩体扩散, 导致滑动面摩擦系数降低而诱发地震。四是局部应力集中机制, 认为库区岩体结构和介质建造的不均匀性和各向异性, 控制着蓄水过程地应力和孔隙压力的分布, 导致局部应力和孔隙压力的高度集中, 从而诱发地震。

(4) H. K. Gupta 1992年总结了多位研究者对水库诱发地震的地震学研究成果, 总结出以下规律: ①水库诱发地震前震 b 值大于余震 b 值, 并且二者均大于当地天然地震 b 值。②水库诱发地震的最高余震震级与主震震级比值高于天然地震。③水库诱发地震余震具有衰减慢的特征。④水库诱发中强地震的地震序列为前震—主震—余震型, 低震级诱发地震一般为震群型。

(5) 水库诱发地震危险性评价, 即诱发地震的可能性和最大震级的评价, 各学科、不同学者持有不同的观点方法, 目前尚处于资料积累和方法探索对比阶段, 至今尚无成熟的预测潜在危险性的评价方法。归纳起来大致有诱震条件判别法和成因模式法。前者通过对水库特征参数(库容、库深、形状等)和构造、岩性、水文地质条件、应力状态、区域地震活动性等的综合研究, 或是基于研究者的直觉判断、或是基于震例的统计分析结果, 对研究水库潜在诱震危险性作出评价。后者以一定的成因模式为基础, 建立破裂或屈服准则, 通过计算对诱发地震危险性作出预测。

胡毓良等1979年提出根据岩性、渗透条件和岩体稳定性评价诱发地震的可能性, 并在国内首次成功预测了乌江渡水库的诱发地震, 随后提出了根据水库规模、



岩性、地质条件、渗透条件、应力状态和区域地震活动水平进行综合评价的原则。汪雍熙1995年以谷德振岩体结构面理论和水文地质垂直分带理论为基础,提出水库诱发地震的多成因理论及基于此理论的危险性评价程序与方法。夏其发2000年以工程地质学理论为基础,系统阐述了水库诱发地震危险性评价的工作程序和方法。该方法以区域工程地质、构造地质、水文地质与地震活动性综合研究,并与世界水库诱发地震资料进行对比,总结出构造断裂型、地表卸荷型和岩溶塌陷型三种类型水库诱发地震判据。

基于震例统计分析危险性评价方法很多。Packer、Baecher 1979年和1982年提出概率预测法,选择库深、库容、应力状况、库区断层活动性和库区优势岩性条件,通过统计发震水库和不发震水库给出五个因子的概率,然后对拟建水库据五因子得出发震概率。常宝崎1989年以模糊集理论为基础,提出两级综合模糊评判法。杨清源等应用模糊集分析方法对三峡水库诱发地震最大震级做出预测。黄润秋和许强1995年提出水库诱发地震震级的人工神经网络预测模型。基于统计的水库诱发地震危险性评价方法很多,这类方法的效果取决于选择统计样本的数量和质量,一些非确定性因素的数学处理,研究者的专业经验和学术观点也起作用。

解放以来,贵州的水利基础建设取得了巨大成绩,到2005年,建成规模以上水库1936座,总库容74.9923亿 m^3 。在这些水库中,大型水库(库容大于等于1亿 m^3)7座,总库容48.2702亿 m^3 ,中型水库(库容1000万 $\text{m}^3 \sim 1$ 亿 m^3)50座,总库容12.9566亿 m^3 ,小型水库(库容10万 $\text{m}^3 \sim 100$ 万 m^3)1879座,总库容13.7655亿 m^3 。我国实施西部大开发和西电东送战略以来,国家进一步加大了对贵州水利水电的投入力度,许多大型水电水库建设工程项目上马,到2013年8月,贵州共有水库2379座,总库容为468.52亿 m^3 ,已经建成的水库2308座,总库容为431.56亿 m^3 。全省已建成大(2)型(库容1亿 $\text{m}^3 \sim 10$ 亿 m^3)以上水库24座(包括与邻省界河上所建大型水库),总库容达662.676亿 m^3 ,其中大(1)型(库容大于10亿 m^3)10座,大(2)型14座(表1)。

这些大型水库的任务以发电为主,兼顾航运、灌溉、观光、供水等功能。贵州境内(包括界河上)的水库分布主要在两大流域四大水系:长江流域和珠江流域;乌江水系、沅江水系、北盘江水系和红水河水系(图1、表1)。乌江水系建有大型水库14座,沅江水系3座,北盘江水系3座,红水河水系4座。

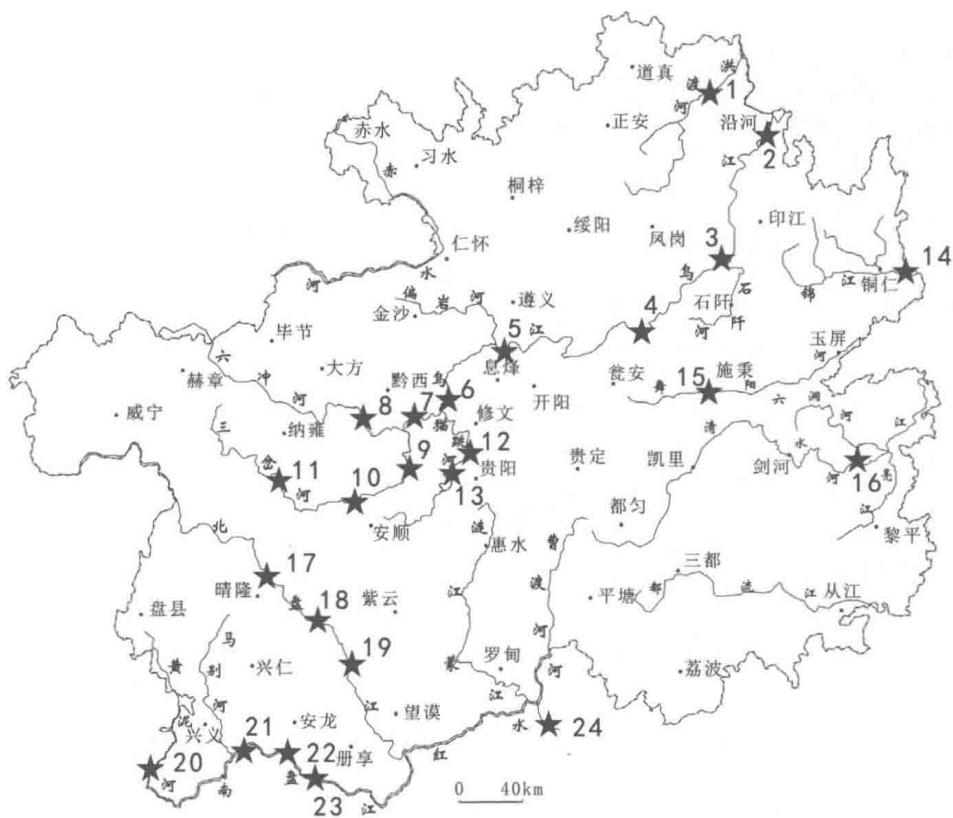


图1-1 贵州大型水库分布图

1. 石垭子水库; 2. 沙坨水库; 3. 思林水库; 4. 构皮滩水库; 5. 乌江渡水库; 6. 索风营水库; 7. 东风水库;
8. 洪家渡水库; 9. 引子渡水库; 10. 普定水库; 11. 黔中枢纽工程水库(平寨水库); 12. 百花湖水库;
13. 红枫湖水库; 14. 漾头水库; 15. 观音岩水库; 16. 三板溪水库; 17. 光照水库; 18. 马马崖水库;
19. 董箐水库; 20. 鲁布革水库; 21. 天生桥一级水库; 22. 天生桥二级水库; 23. 平班水库; 24. 龙滩水库

表1-1 贵州省现有大型水库统计表

序号	水库名称	流域	水系	总库容 (亿m ³)	蓄水时间	最大坝高 (m)	备注
1	石垭子	长江	乌江	3.49	2010	130	大(2)型
2	沙坨	长江	乌江	6.24	2013	156	大(2)型
3	思林	长江	乌江	15.93	2009	117	大(1)型
4	沟皮滩	长江	乌江	55.64	2011	240	大(1)型
5	乌江渡	长江	乌江	23	1979	165	大(1)型
6	索风营	长江	乌江	1.37	2006	115.8	大(2)型
7	东风	长江	乌江	10.25	1994	162	大(1)型
8	洪家渡	长江	乌江	49.25	2004	179.5	大(1)型
9	引子渡	长江	乌江	5.31	2003	134.5	大(2)型
10	普定	长江	乌江	3.62	1995	75	大(2)型



续表

序号	水库名称	流域	水系	总库容 (亿m ³)	蓄水时间	最大坝高 (m)	备注
11	黔中水利枢纽	长江	乌江	10.89	在建	162.7	大(1)型
12	百花湖	长江	乌江	2.18	1966	50.22	大(2)型
13	红枫湖	长江	乌江	7.61	1960	52.5	大(2)型
14	漾头	长江	沅江	1.146	1991	39	大(2)型
15	观音岩	长江	沅江	1.23	19902	82.2	大(2)型
16	三板溪	长江	沅江	40.94	2006	185.5	大(1)型
17	光照	珠江	北盘江	32.45	20072	200.5	大(1)型
18	马马崖	珠江	北盘江	1.70	2013	109	大(2)型
19	董箐	珠江	北盘江	9.55	2009	149.5	大(2)型
20	鲁布革	珠江	红水河	1.1	1990	103.8	大(2)型
21	天生桥一级	长江	乌江	2.77	2007	134.5	大(2)型
22	天生桥二级	珠江	红水河	102.6	2000	178	大(1)型
23	平班	珠江	红水河	2.78	2005	62.2	大(2)型
24	龙滩	珠江	红水河	273	2006	216.5	大(1)型

这些水库，在贵州的经济和社会发展中，发挥了重要作用。但是，一些水库也诱发了地震，对库区及其附近居住的人们的生活和生产，带来了一定的负面影响。一般来说，大型以上水库才会诱发明显的地震。在贵州已经建成的24座水库中，除三板溪水库库区基岩以碎屑岩为主外，其他23个水库库基基岩基本上以碳酸盐岩（灰岩和白云岩）为主或占很大比例。因此，对贵州水库地震的研究，也就是对喀斯特（碳酸盐岩形成的地貌）分布区水库地震的研究。

贵州水库地震最早仪器记录从1998年3月的天生桥水电站开始。通过对乌江流域的洪家渡、构皮滩、思林、沙陀、北盘江流域的光照、董箐、红水河流域的龙滩、清水江流域的三板溪8座水库的统计，从2006年9月3日到2014年10月30日，共记录到 M_L 1.0以上水库地震9528次，其中 M_L 1.0~1.9地震8211次， M_L 2.0~2.9地震1208次， M_L 3.0~3.9地震98次， M_L 4.0以上地震11次，最大的水库地震为2010年9月19日发生在贵州罗甸龙滩水库坝区的 M_L 4.8（ $M4.4$ ）级地震。

贵州的水库地震研究是从乌江的乌江渡水库开始的。贵州水库地震研究成果，最早正式发表文章的是文潜能（1983），他在《环保科技》1983年第1期上发表了题为《乌江渡水库的地震活动及成因问题讨论》的文章，分析了乌江渡水库区域