

杨光忠, 李吉春, 王志京. 贵州剑河 5.5 级地震的地质构造背景[J]. 华南地震, 2016, 36 (2): 6-12. [YANG Guangzhong, LI Jichun, WANG Zhijing. The Tectonic Background Introduction of Jianhe  $M_s$  5.5 Earthquake in Guizhou[J]. South china journal of seismology, 2016, 36(2): 6-12.]

## 贵州剑河 5.5 级地震的地质构造背景

杨光忠, 李吉春, 王志京  
(贵州省地矿局 101 地质队, 贵州 凯里 556000)

**摘要:** 简述了大兴安岭-太行山-武陵山大型重力梯度带及其系列断层的地质构造背景, 在此基础上对地震成因进行了浅析, 认为切穿水库的凸洞断层在震中深部与剑河(革东)-台江断层交汇而致局部构造应力集中而孕震, 在断层渗水影响和三板溪水库荷载作用下导致应力失衡而引发地震, 通过水库的调整应可或更利于可能的更大级别地震的预防和避免。

**关键词:** 地震; 地质构造背景; 贵州剑河

**中图分类号:** P315.7

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-8662 (2016) 02-0006-07

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2016.02.002

## The Tectonic Background Introduction of Jianhe $M_s$ 5.5 Earthquake in Guizhou

YANG Guangzhong, LI Jichun, WANG Zhijing

(No.101 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration&Development of Guizhou Province, Kaili 556000, China)

**Abstract:** The Jianhe  $M_s$  5.5 earthquake has relatively serious threat to people's lives and property in earthquake region, and has certain influence to "the safe island of earthquake" southeast Guizhou. This paper briefly describes the tectonic background of Daxinan-taihang-wuling gravity gradient zone and its faults, and analyzes of the cause of the Jianhe  $M_s$  5.5 earthquake. The results show that the Tudong fault cutting through the reservoir joins the Jianhe (gedong) -taijiang fault in deep epicenter, which results in the concentration of local tectonic stress and earthquake preparation; under the influence of water percolation of fault and function of Sanbanxi reservoir's load, stress is unbalanced and earthquake is triggered. By the adjustment of reservoir, the greater earthquake may be prevented and avoided.

**Keywords:** Earthquake; Tectonic background; Jianhe

**收稿日期:** 2015-07-15

**作者简介:** 杨光忠 (1967-), 男, 研究员, 主要从事地质矿产找矿勘查与水工环地质调查研究工作。

**E-mail:** ygzh6701@163.com.

## 0 前言

贵州从 1308 年开始有破坏性地震的历史记载, 700 多年来, 共记录 5 级以上地震 28 次(其中 6 级以上地震 3 次, 最大为 1875 年发生的罗甸 6.5 级地震)。黔东南目前不构成地震带, 只有零星地震活动分布, 1879 年黎平发生 5.0 级地震, 1626 年湖南会同发生 5.0 级地震, 1695 和 1806 广西融水分别发生 5.5 和 4.75 级地震。因此普遍认为贵州是地震的“安全孤岛”<sup>[1]</sup>。

但据中国地震局网站消息, 北京时间 2015 年 3 月 30 日 09 时 47 分, 在贵州省黔东南州剑河县发生 5.5 级地震, 震源深度约 7 km。截止 4 月 2 日 8 时, 共记录到余震 33 次, 其中 3.0 级以上余震 1 次, 震级为 3.4 级, 震源深度 8 km。震中房屋受损较严重, 对人民群众生命财产构成了较严重的威胁。

贵州虽然地震级数不大, 但由于独特的地质地貌条件, 容易出现“小地震大灾害”现象。2010 年 1 月 17 日, 贵州关岭、镇宁和贞丰三县交界处发生 3.4 级地震, 诱发岩崩导致 6 人死亡, 9 人受伤<sup>[2-3]</sup>。贵州剑河 5.5 级地震, 对一向认为居住在地震“安全孤岛”的人们, 尤其是震区人民产生了较大的震撼, 并倾向性地“归罪”于三板溪水库的建设和蓄水。对此, 本文对本次地震活动的地质构造背景进行简述及成因浅析, 旨在引导人们对地震形成的理解和消除不必要的恐慌。

## 1 剑河 5.5 级地震简介

如前所述, 贵州剑河 5.5 级地震(北纬 26.6°, 东经 108.8°), 震源深度约 7 km。震中的南寨柳基和新柳等村寨房屋受损较严重, 地震引起木房瓦片掉落致多人受伤, 尤其出现地面裂缝等新增地质灾害(隐患), 对震区人民群众生命财产构成了较严重的威胁。

地震发生后, 作为拥有地质灾害危险性评估、勘察和治理设计相关资质的地勘单位, 有责任和义务对这一突发地震引起的地质灾害及隐患进行排查, 提出应急防灾减灾措施, 以确保震区人民群众的生命财产安全, 笔者等火速赶赴震中开展应急调查, 当晚在震中范围的剑河南嘉住宿。次日凌晨 4 时 21 分和 28 分, 相继发生两次震感明显余震, 住宿的房屋晃动明显, 并可听到地下传来的低沉轰鸣声, 有如闷雷一般, 持续时间达几秒以上。随后街上便开始有人活动, 想必又受到惊吓了。作为地质工程专业技术人员, 能在第一时间亲临震区, 切身感受余震的震撼, 深刻理解震区人民的感受。

截止 2015 年 4 月 2 日, 据有关部门统计, 地震造成剑河、天柱、锦屏、黎平 4 个县 28 137 人受灾, 紧急转移 2 547 人, 房屋严重受损 867 间, 一般损坏 5 308 间。剑河县 17 所学校、1 所卫生院、20 余公里省道和乡村公路不同程度受损(图 1)。

据贵州省地震局局长王尚彦现场介绍, 与同等级别地震相比, 此次地震影响范围相对较小,



左为路面开裂沉陷, 右上为木房瓦片滑落, 右下为砖房墙体开裂

图 1 地震导致的主要破坏

Fig.1 The main damage caused by earthquake

震害相对较轻,人员伤亡相对较少,经初步分析,主要原因为:一是当地居民房屋以榫卯结构木房为主,部分砖房多为框架结构或楼板现浇结构,抗震性能较好;二是发震时间为上午 9 时 47 分,村民多在田间耕作,减少了被坠物砸伤的危险;三是震区地质结构较为稳定,地层岩性以浅变质碎屑岩为主,植被发育较好(森林覆盖率达 68.2%),形成了天然屏障。此外,近年来当地政府加大地质灾害治理力度,减少了发生滑坡、崩塌等次生地质灾害的危害。

## 2 水库地震一般特征

水库地震是由于水库蓄水、水体荷载产生的压应力和剪应力破坏地壳应力平衡,引起断层错动而产生的地震,一般发生在水库蓄水一定时间之后,多分布在库区下游及大坝附近<sup>[4-5]</sup>。水库地震可分为三种情况:① 蓄水前没有历史地震记载,蓄水后出现明显的地震活动;② 蓄水后发生的地震震级和频度高于历史地震;③ 蓄水后地震的震级低于蓄水前的震级。其中,前两种常发生在弱震区或无震区,又称水库诱发地震。后一种常出现于多震区或强震区。水库诱发地震具有如下特点:① 震中仅分布在库区及附近 5 km 范围内,震源深度大多在 5 km 内,少有超过 10 km;② 主震发震时间与水库蓄水过程密切相关;③ 地震的频度和强度随时间而呈明显下降趋势;④ 以弱震和微震为主。

水库地震按成因类型可分为构造型、岩溶型、滑坡崩塌型、冻裂型及混合型等。其中以构造型水库地震的强度较高,岩溶型水库地震较为常见。

构造型水库地震,系因岩体强度大,又积累了较高的应变能,当库水沿断裂带向深部集中渗透,促使破裂面强度降低,造成能量急剧释放而诱发地震。其发震条件主要是:① 有区域性或地区性断裂带通过库(坝)区;② 断层在上更新世以来有明显的构造活动;③ 沿断裂带有地震活动的记载;④ 断裂带有一定规模和导水能力(库水能渗向深部)。据已观测到的实例,这类地震的特点是:① 震中位于断裂带附近;② 震源深度一般 3~5 km,深的约 8 km;③ 震级较高,已发生的 strongest 地震为 6.5 级;④ 蓄水深度或水压力大小与发震的相关性不明显。

由于水库建设,水库增加的水体重量,通常是均匀分布在一块较大的面积上,水库蓄水能够

消除应力集中、改善地球表面受力情况,因此水库地震一般都非常微弱,即便地震断裂带的存在,原有地应力的积累即已孕育的地震(将要发生?),由于水库蓄水打破了原有应力平衡,导致构造应力孕育的地震延迟或提前发生,因此水库蓄水只是引发或诱发了地震,而不是创造地震。总之,水库蓄水可以促发地震,但总的趋势是最初地震小而少,随后逐渐增多且略有增强,然后再逐渐减弱,从而能够减少和避免强震的发生,这已为全世界范围尚未出现因地震而致垮坝的水利事故所证明<sup>[4-5]</sup>。

## 3 剑河 5.5 级地震的地质构造背景

### 3.1 震区大地构造位置及其地球物理背景

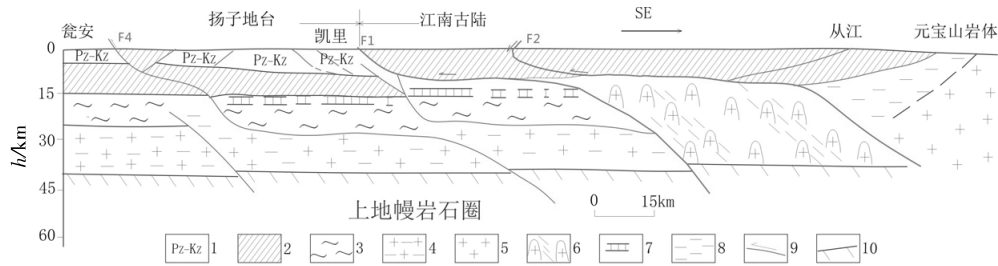
震区位于江南古陆南西段,即贵州省地质矿产局以玉屏-凯里-三都断裂构造为界划分的华南褶皱带(Pz1)<sup>[6]</sup>,王砚耕称为江南造山带<sup>[7]</sup>。但池际尚等将“扬子地台”的南东边界外推至江苏绍兴-江西萍乡-湖南郴州-灌阳-广西柳州一线<sup>[8]</sup>,这与江南古陆(亦即雪峰古陆)尤其是黔东南地区产(含金刚石)钾镁煌斑岩(或金伯利岩)的大地构造属性较为吻合。综合而言,湘黔桂地区晚元古代浅变质碎屑岩分布区属于上扬子陆块南东边缘过渡带,因长期隆起而常称江南古陆。

范小林根据贵州瓮安-从江地震剖面的陆壳地震反射特征轮廓、地壳波速结构、地电断面结构和岩石密度参数等,结合大量地质资料,参照重力(场)异常值变化形态,采用多边形二度体重力异常计算法,经二维重力正反演计算拟合,在瓮安-从江-桂北元宝山一线建立如图 2 所示的地壳内非均一性“碎裂层块”结构特征<sup>[9]</sup>(剖面位置见图 3)。其中,作为“扬子地台”与江南古陆分界的玉屏-凯里-三都断裂构造,为一条向南东缓倾的逆冲推覆构造。

### 3.2 震区地质构造特征

#### 3.2.1 地层

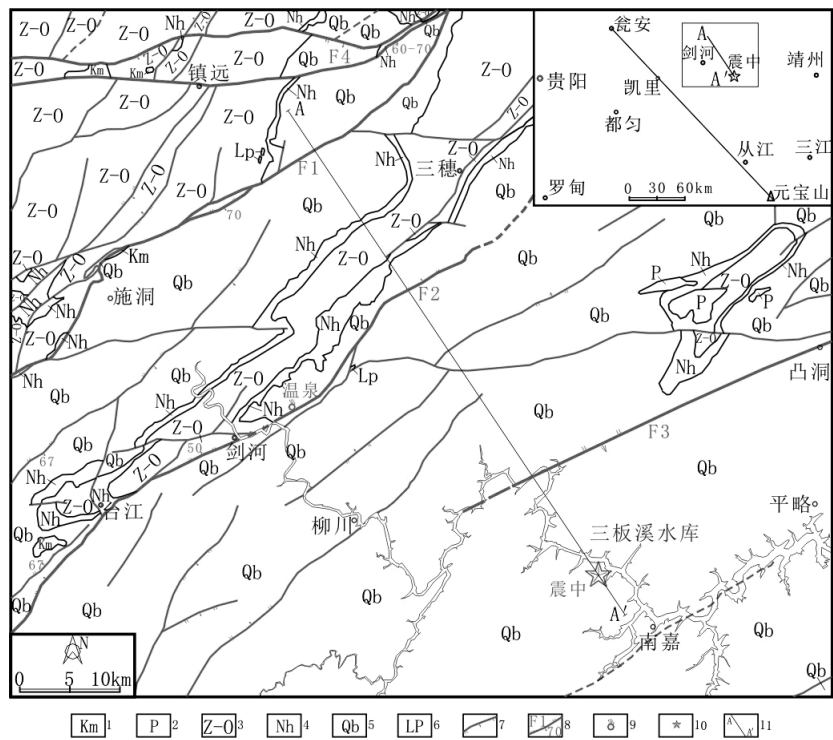
震区出露地层主要为晚元古代青白口系及南华系浅变质碎屑岩,在台江-剑河-三穗一带有少量震旦系-寒武系及奥陶系碳酸盐岩夹砂屑岩分布,其北西侧主要为震旦系-寒武系-奥陶系分布,另有中生代白垩系零星分布(图 3)。区域地层累计最大厚度 36 590 m。其中,青白口系最大厚度达 13 000 m。



1: 古-中生界; 2: 古元古界; 3: 中元古界; 4: 古元古-新太古界 (太古界); 5: 加里东岩体;  
6: 碎裂的加里东期构造侵入岩脉群; 7: 元古宇残留洋壳; 8: 壳幔韧性剪切带; 9: 主要冲断层; 10: 地壳底界。

图2 瓮安-从江地质地球物理综合解释图<sup>[9]</sup>

Fig.2 Comprehensive interpretation map of geology and geophysics of Weng'an-Congjiang<sup>[9]</sup>



1: 白垩系茅台组; 2: 二叠系; 3: 震旦-奥陶系; 4: 南华系; 5: 青白口系;  
6: 钾镁煌斑岩; 7: 断层; 8: 主要断层; 9: 温泉; 10: 震中; 11: A-A'剖面位置。

图3 剑河地区地质构造略图<sup>[6]</sup>

Fig.3 The geological structure diagram of Jianhe area<sup>[6]</sup>

3.2.2 断裂构造

震区构造发育,以一系列北东向褶皱断裂构造为主要特征及基本格架(图3)。其中,北东-北东向断裂构造为我国大兴安岭-太行山-武陵山大型重力梯级带的南延部分在松桃-榕江段的地表变形反映,可称为松桃-榕江深断裂构造带,主要断裂包括玉屏-凯里-三都(独山)断裂构造(F1)、剑河(革东)-台江(西江)断裂(F2)、凸洞逆断层(F3)及图区外的平永断裂和中潮断裂、富禄断裂等,为宽达40~80 km的断裂构造组合带,该带在深部表现为岩石圈厚度由80 km变为两侧的150

km,莫霍面深度从东侧的40 km变为西侧的45 km,在剑河岑松、台江南牛和榕江平阳及雷山高岩等地有偏碱性超基性岩侵入,因此被认为是岩石圈或超岩石圈深断裂带?盛学庸认为黔东地区钾镁煌斑岩的产出,在此重力梯度带背景下,受玉屏-凯里-三都(独山)断裂构造(F1)与近东西向镇远-贵阳深大断裂(F4)交汇控制的结果<sup>[10]</sup>。

本文分析认为,剑河5.5级地震主要与松桃-榕江深断裂构造带的剑河(革东)-台江(西江)断裂(F2)、凸洞断层(F3)和三板溪水库密切相关。

(1) 玉屏-凯里-三都(独山)断裂构造(F1)

系区域性北东向张家界-花垣-铜仁-玉屏断裂带的南西延伸。在台江施洞口段逆冲推覆特征最为明显而习称施洞口断层。断裂带南段延伸进入广西南丹附近,全长约 450 km,为一条前震旦纪以来长期活动的断裂。其南东侧为震旦纪以来的长期隆起区(江南古陆),基底下江群广泛出露,盖层几乎剥蚀殆尽;北西侧为长期拗陷地带,沉积盖层厚达 6 000 m 以上。

李学刚等认为,该断裂构造由多条断层组成,地表破碎带宽 300~500 m,主断面倾向南东,倾角 30°~80°,由浅到深断层倾角逐渐变缓,显示逆掩推覆性质,但基本属于准原地推覆体,水平推覆距离仅 12~15 km,系多条断层多期次小规模位移叠加而成,主推覆变形发生在早、中燕山期,断裂东侧元古代地层发育复式及紧闭倒转褶皱,西侧显生宙地层则表现为侏罗山式褶皱。断裂带在燕山期以来的演化主要受太平洋构造域控制,早中燕山期(主)挤压逆冲、晚燕山期拉张正滑、喜马拉雅期再次挤压定型<sup>[1]</sup>。

### (2) 剑河(革东)-台江(西江)断裂(F2)

断层走向 10°~55°,在台江附近呈向西突出的弧形弯折,全长 300 km 以上,南东盘地层为江南古陆基底岩系的青白口系及南华系,北西盘地层为青白口系(番召江组-平略组)-南华系-震旦系-寒武系及白垩系。在断层弧顶部位地层断距达 3 000 m,向两侧减小,但北东段普遍>1 500 m。断层破碎带宽几十米至百余米,在(断层带影响范围内的)剑河岑松和雷山大塘等地有加里东期钾镁煌斑岩分布,说明其深部构造背景为岩石圈或超岩石圈断裂。

断层弧顶部位南东侧白基山背斜为紧闭褶皱(构造应力作用最强),由此向两侧延伸的断层与褶皱轴的交切关系及其运动学特征显示,北东段为右行扭错,南西段为左行扭错,以及除断层破碎带角砾岩外,两侧接触带还普遍发育趋近定向组构特征的碎斑岩等,综合特征显示其为强烈挤压构造作用的、断面倾向南东的逆冲断层在弧顶部位仰冲而表现为正断层特征,断层尤其是深部产状特征与范小林等的物探解译<sup>[9]</sup>相符(见图 2)。

另外,断裂带中的新生代红色断陷盆地白垩系被切割以及剑河温泉(小型地热水  $40^{\circ}\text{C} \leq t < 60^{\circ}\text{C}$ )的分布等,说明断层在燕山期及喜山期以来的长期活动特征。

### (3) 凸洞逆断层(F3)

呈北东东向(60°)展布,长度大于 60 km,其

北东端与主山冲断层对应,或为侧现(延伸)断裂构造,断层倾向南东,倾角 70°~80°,逆冲兼右行平移,最大断距 800 m,主破碎(断层角砾岩)带宽 10~15 m,沿断裂带两侧普遍发育劈理密集带,局部地段宽达 1 km。断层破碎带及其两侧接触带普遍硅化蚀变,常见石英脉和毒砂、黄铁矿化及金矿化等。分析认为,该断层应具有类似于剑河(革东)-台江(西江)断裂(F2)的上陡下缓的产状变化特征。由于该断层横穿水库,具有库水沿断层破碎带向深部渗透的水文地质条件。

### (4) 镇远-贵阳深大断裂构造(F4)

该断裂总体走向近东西,略呈向北西突出的弧形,长度大于 400 km,主断面倾向南,倾角 60°~70°(图 2),刘彦良等认为,该断裂带是一条长期活动的深切基底的大断裂带,大体经历 7 个活动阶段。不过断裂带真正开始剧烈活动的时间是中奥陶世-中志留世末的都匀运动期<sup>[10]</sup>。并因此引发镇远地区加里东期深部超基性岩浆(钾镁煌斑岩)的活动<sup>[11]</sup>。该断裂构造与玉屏-凯里-三都断层(F1)和剑河(革东)-台江断层(F2)等一起构成江南古陆南西段自南东向北西逆冲推覆的深部构造格架(见图 2)。

总之,震区地质构造面貌是在武陵运动形成的古老基底褶皱带基础上,经雪峰、加里东、印支-燕山及喜马拉雅运动多次改造而成。秦守荣等尤其强调喜山运动的影响,并指出贵州中西部喜山期褶皱和断裂都比较发育,褶皱轴向与先期褶皱相近或一致、甚至重叠,唯较下伏褶皱舒缓而已。在震区,玉屏-凯里-三都断层(F1)和剑河(革东)-台江断层(F2)等先期断裂,在喜山期复活并切割白垩系红层,而有些断裂构造则应该是喜山期新生,如 NE 向平移断层切穿先期若干大型褶皱等<sup>[14]</sup>,亦即震区断层普具新构造活动特征。

## 3.3 三板溪水库及其地震活动特征

三板溪水库(电站)控制流域面积  $1.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,大坝高 185.5 m,在水库达到正常蓄水水位 475 m 后,库容  $4.1 \times 10^9 \text{ m}^3$ ,蓄水深度将有 55 层楼房高,形成  $79.56 \text{ km}^2$  的水域面积。

三板溪水库(电站)于 2006 年 1 月开始蓄水,自 2006 年 9 月 18 日至 2011 年 8 月 31 日,架设在库区范围的剑河新柳和南加、锦屏河口和三板溪等 4 台 DD-1 型模拟地震计台网,共记录到地震 446 次,其中最大的为 2009 年 10 月 24 日发生在

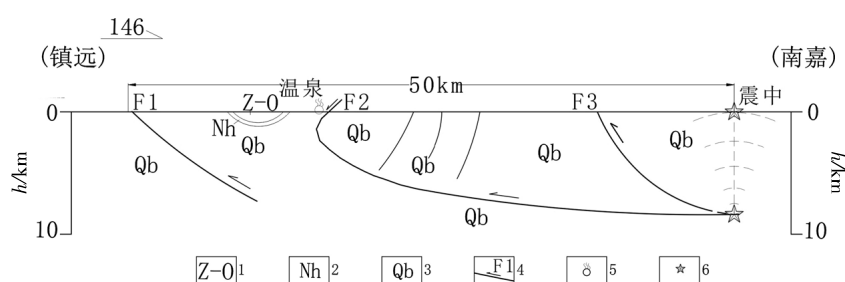
锦屏县河口乡格翁村的 4.2 级地震,震中烈度为 V 度。所记录的地震具有如下简要特征:①自水库蓄水以来,地震活动频度在夏季汛期远高于冬季枯水期,呈现明显的正相关性,地震活动水平与库区水位抬升之间有明显的对应关系,并且具有快速响应的特点;②地震主要集中在距离库坝 10 km 的范围内,并且距离库坝 5 km 以内的地震数约占总数的 95%;③据计算,震源深度都在 3 km 以内,多数为 1 km 以内。总之,对比水库诱发地震活动判别标准,三板溪水库蓄水后出现的频繁地震活动属于水库诱发地震,尤其符合卸荷型水库地震的活动特点<sup>[5]</sup>。

## 4 地震成因浅析及讨论

如前所述,震区以一系列北东向断裂为基本构造特征,尤其是玉屏-凯里-三都断层(F1)、剑河(革东)-台江断层(F2)和镇远-贵阳深大断裂构造(F4)等构成深部构造格架(见图 2),根据震区地

质构造特征结合区域地球物理解译(产状特征)结果,分析认为,剑河 5.5 级地震的形成,系倾向南东的凸洞逆断层(F3)在震中深部 7~8 km 处与剑河(革东)-台江断层(F2)的交汇并导致局部构造应力集中,切穿水库的凸洞逆断层(F3)向深部的导水及其对构造交汇部位的渗润影响,以及三板溪水库蓄水荷载作用等,导致构造交汇处局部构造应力的突然失衡或释放而诱发地震(图 4),剑河 5.5 级地震属于构造型水库地震类型。

剑河 5.5 级地震的发生,说明我国第二(高原)与第三级(平原)地势间的分野界线、大兴安岭-太行山-武陵山断裂带及其延伸的松桃-榕江深断裂构造带,具有一定的活动性。同时,因水库荷载叠加而打破构造应力平衡引发的剑河 5.5 级地震,或为构造应力孕震的提前或滞后诱发,或因此而避免更大级别地震的形成。另外,此次强震势必导致各相关断裂构造及其水文地质条件的调整,或更利于库水的渗透和地下水导通,对剑河温泉或许具有积极的促进作用。



1: 震旦-奥陶系; 2: 南华系; 3: 青白口系; 4: 断层; 5: 温泉; 6: 震中。

图 4 震区 A-A'地质构造剖面即剑河 5.5 级地震成因浅析

Fig.4 The geological structure section of A-A' in earthquake region and a brief analysis of cause of Jianhe  $M_s$  5.5 earthquake

## 5 结语

剑河 5.5 级地震具有大兴安岭-太行山-武陵山大型重力梯度带及其系列断层的地质构造背景,应为凸洞断层(F3)在震中深部与剑河(革东)-台江断层(F2)交汇而致局部应力集中孕震,在凸洞断层渗水影响和三板溪水库荷载作用下,致使构造交汇处应力失衡释放而引发地震,属于构造型水库地震,或因此而避免可能的更大级别地震的形成,同时地震导致各相关断裂的调整,或更利于库水的渗透和地下水导通,对剑河温泉或构成积极的促进影响。

## 参考文献:

- [1] 覃子建. 贵州省历史地震和地震区划讨论[J]. 中国科技博览, 2011 (36): 436-437.
- [2] 王尚彦, 梁操, 文微亚, 等. 贵州贞丰-关岭-镇宁交界 3.4 级地震诱发岩崩分析[J]. 贵州地质, 2010, 27 (3): 67-69.
- [3] 王尚彦. 我国西部岩溶山区“小震大灾”现象的原因分析[J]. 科技资讯, 2013 (3): 139, 141.
- [4] 李敬, 刘少文, 李志军, 等. 水库地震监测与预测技术研究项目实施情况[J]. 华南地震, 2014, 34 (3): 109-114.
- [5] 韩源刚. 水库地震[J]. 人民黄河, 1983(05): 48-51, 43.
- [6] 贵州省地质矿产局. 贵州省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1990.

- 出版社, 1987.
- [7] 王砚耕. 贵州构造基本格架及其特征[C]//贵州区域成因构造学术讨论论文集, 贵阳: 贵州科技出版社, 1992.
- [8] 池际尚, 路凤香. 中国原生金刚石成矿地质条件研究[M]. 中国地质大学(武汉), 1996.
- [9] 范小林, 陆国新, 蒋洪堪, 等. “江南古陆”西南段深部地质(构造)探讨[J]. 华东地质学院报, 1993, 16 (1): 40-47.
- [10] 盛学庸. 黔东南雪峰隆起区大地构造属性之我见——质疑其华南造山带属性判定[J]. 贵州地质, 2012, 29 (3): 235-239.
- [11] 李学刚, 杨坤光, 胡祥云, 等. 黔东凯里-三都断裂结构及形成演化[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2012, 39 (1): 18-26.
- [12] 刘彦良, 杨坤光, 邓新. 镇远-贵阳断裂带活动历史及其对黔中隆起演化的制约[J]. 地质科技情报, 2009, 28 (3): 41-47.
- [13] 牛新生, 冯常茂, 刘讲. 黔中隆起的形成时间及形成机制探讨[J]. 海相油气地质, 2007, 12 (2): 46-50.
- [14] 秦守荣, 刘爱民. 论贵州喜山期的构造运动[J]. 贵州地质, 1998, 15 (2): 105-114.
- [15] 欧品智, 张贤文, 付飞耀, 等. 三板溪水库地震活动特征及成因分析[J]. 科技资讯, 2014 (30): 237-239.