

卡拉水电工程

滑坡体勘察技术及其变形监测

反馈分析

彭 鹏 张宏洋 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

卡拉水电工程滑坡体勘察技术 及其变形监测反馈分析

彭 鹏 张宏洋 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

• 北京 •

内 容 提 要

本书以扎实的野外调查为基础,以足够的勘探试验为保障,在环境地质背景研究的基础上,从滑坡发育条件及演化规律、滑坡体结构及变形破坏特征、滑坡成因机制及影响因素等方面入手,确定滑坡体物质组成、结构特征、滑带土特征及变形破坏特征,并据此进行滑坡体工程地质分区,对滑坡体整体稳定性和局部稳定性进行地质宏观判断,探讨滑坡体变形特征及其失稳的工程影响。

本书适合水利水电工程、工程地质、环境地质类专业的师生阅读,也可供相关爱好者参考。

图书在版编目(CIP)数据

卡拉水电工程滑坡体勘察技术及其变形监测反馈分析/
彭鹏,张宏洋著. — 北京:中国水利水电出版社,
2018.12

ISBN 978-7-5170-7169-3

I. ①卡… II. ①彭… ②张… III. ①水利水电工程—滑坡体—地质勘探—研究—木里藏族自治县②水利水电工程—滑坡体—变形观测—研究—木里藏族自治县 IV. ①P642.22

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第273141号

策划编辑:向 辉 责任编辑:陈 洁 加工编辑:王开云 封面设计:李 佳

书 名	卡拉水电工程滑坡体勘察技术及其变形监测反馈分析 KALA SHUIDIAN GONGCHENG HUAPOTI KANCH A JISHU JI QI BIANXING JIANCE FANKUI FENXI
作 者	彭 鹏 张宏洋 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话:(010) 68367658 (营销中心)、82562819 (万水) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市元兴印务有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 11.25印张 203千字
版 次	2018年12月第1版 2018年12月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	55.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

滑坡是一种重大的地质灾害,给人类的生命和财产带来重大威胁。我国目前正处于经济建设高速发展的时期,在水利、铁路、公路、矿山建设中,遇到了一系列复杂的边坡工程地质技术难题,其中高边坡的稳定性问题较为突出。高边坡的稳定性关系到工程建设的成败、工程运营的安全性及经济合理性。本书以卡拉水电站滑坡为研究背景,针对滑坡的成因、变形进行研究。

在滑坡动态变形监测中一般会在滑坡体上布置多个传感器,以进行综合观测。目前的监测模型仅依靠个别关键点的数据进行评判分析,容易造成原始数据信息的流失,且以往的研究多集中于监测数据的整合,并未考虑传感器自身的因素,使得融合结果不精确。为了克服以上不足,引入多传感器估值融合理论,在证明了误差均方差最小意义下,多传感器数据融合的效果优于任一单个传感器进行估值的效果后,采用较高级的决策级融合方法,将其应用于卡拉下马鸡店滑坡动态变形的监测分析,融合后的数据较为理想,消除了融合前数据的矛盾性和不准确,获得了被测对象的一致性描述和解释。经分析知:该滑坡的整体位移随时间的增加而增大,且年均下滑速度也呈现上涨趋势,具有阶段性变化的特点。自监测之日起至今,由位移信息反映出该滑坡形变经历了以下四个不同的时期:2006年7月至2007年9月的缓慢变形期;2007年9月至2008年9月的匀速变形期;2008年9月至2009年8月的加速变形期;2009年8月至2010年2月的急剧变形期,这符合滑坡的工程特性依时性变化规律。另外,两个不同时期的“交接”位置大多发生在8月与9月间,主要是因为该时期当地的降雨量比较大,由此反映出降雨入渗是引起该滑坡发生位移变形的主要因素,亦符合滑坡的一般自然规律,同时证明了该方法在滑坡动态变形监测与分析中具有有效性和可行性。

本书只是初步揭示了卡拉水电站勘察过程中出现的一种滑坡问题。由于时间和条件的限制,仍有大量的研究工作亟待解决。相信随着试验方法、仪器设备的进步和工作经验的积累,卡拉滑坡工程中暴露出的各种问题将得到进一步的研究和解决。

由于作者水平有限,书中错误和遗漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作者于南非开普敦大学魔鬼峰下

2017年11月

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 选题依据及研究意义	1
1.2 工程概况	2
1.3 研究内容	5
1.4 研究技术路线	6
第 2 章 区域构造稳定性	7
2.1 地形地貌	7
2.2 水文气象环境	7
2.3 区域地层岩性	8
2.4 地质构造	9
2.4.1 区域主要断裂活动性	9
2.4.2 近场区主要构造活动特征	14
2.4.3 工程区构造稳定性	15
2.4.4 新构造运动及地震	15
2.5 区域构造稳定性综合评价	16
第 3 章 卡拉电站滑坡区河谷演化史	17
3.1 地貌演化规律	17
3.2 第四纪地质	20
3.2.1 第四纪堆积物物质组成及结构特征	20
3.2.2 第四纪堆积物空间分布特征	22
3.2.3 第四纪堆积物成因类型及形成年代	22
3.3 河谷发育史及其与滑坡分布的关系	22
3.3.1 河谷演化的阶段划分	22
3.3.2 各阶段发育特征及主控因素	23

3.3.3	工程区滑坡与河谷演化的关系	23
第4章	滑坡勘察技术	26
4.1	滑坡的形成条件	26
4.2	滑坡的作用因素	29
4.3	勘察工作大纲的编制	31
4.4	滑坡的综合勘察技术简介	32
4.5	滑坡的调查测绘与识别	35
4.6	滑坡勘探	43
4.7	滑动面(带)的分析确定与连接	47
4.8	勘察资料的分析与整理	49
第5章	工程区基本地质条件	52
5.1	地形地貌	52
5.2	地层岩性	52
5.3	地质构造	55
5.4	水文地质条件	56
5.5	岩土体物理力学性质	57
第6章	下马鸡店滑坡体变形监测反馈分析及稳定性计算	82
6.1	地质概况	82
6.2	滑坡体基本特征	89
6.2.1	整体特征与分区	89
6.2.2	分区特征	90
6.3	近代变形破坏特征及分析	96
6.3.1	变形现象	96
6.3.2	变形监测成果	103
6.3.3	多传感器数据融合理论及方法评价滑坡体近代变化特征	111
6.4	滑坡体形成条件与成因	124
6.4.1	形成条件	124
6.4.2	滑坡体成因	125
6.5	滑坡体与滑带物理力学性质	128

6.6	稳定性分析	130
6.6.1	定性分析	130
6.6.2	定量分析	133
6.6.3	滑坡体稳定性敏感因素分析	140
6.6.4	滑坡体稳定性数值模拟分析	143
6.7	稳定性评价	150
第 7 章	滑坡体对工程影响分析评价	151
7.1	滑坡破坏形式及破坏规模	151
7.2	工程区滑坡涌浪计算	152
7.3	滑坡堵江分析	158
7.4	工程影响分析	160
第 8 章	结论及建议	162
8.1	结论	162
8.2	建议	162
参考文献		163

第 1 章 概述

1.1 选题依据及研究意义

滑坡灾害多发生在山区、河流沿岸、暴雨区、蓄水区等地区，是主要的地质灾害之一，对人民生命财产的危害、工程设施、道路交通、河道、航运、农田及地质环境与生态环境等均产生极大的危害。

1959 年 12 月 2 日，法国马尔帕斯特拱坝因坝肩岩体失稳而塌滑，其下游 12km 处弗里吉斯城镇部分被毁，421 人死亡，财产损失达 300 亿法郎，在最富有的地中海地区造成重大灾难。此外，中国三峡库区也是滑坡地质灾害的多发区，在库区高程 600m 以下的干、支流两岸岸坡上，已查出崩滑地质灾害点 4700 余处，严重影响了库区人民生命财产、移民工程建设和生态环境的安全。巨型滑坡可毁坏大坝、水电站厂房，冲毁水渠、管道，淤积水库、河道和农田等。1963 年 10 月 9 日，意大利 Vajont 拱坝近坝库岸岩体发生巨大规模滑坡，造成 2600 余人死亡，滑坡体掩埋了水库，使大坝和水库完全报废。由于斜坡地形地貌，河流沿岸特别是峡谷地段多为滑坡灾害易发地段。长江是遭受滑坡灾害较严重的河运航道，因滑坡造成的断航事故时有发生。滑坡还经常堵塞河道，形成天然水库，而这些天然水库由于没有溢洪道，一旦溃决，将形成洪水灾害。2000 年 4 月 9 日，中国西藏易贡藏布河扎木弄沟发生大规模山体滑坡，体积约 3 亿 m^3 ，滑坡体堵塞了易贡藏布河 7km 长的主河道，形成汇水面积达 1 万多 km^2 的“湖泊”，至 6 月 10 日晚，“湖泊”累计水位涨幅达 35.94m，6 月 11 日凌晨，“大坝”溃决，使下游通麦大桥和两座吊桥被冲垮，通麦大桥至易贡茶场及排龙乡的公路全部被冲毁，此次山体滑坡为世界罕见，是迄今为止中国发生的规模最大的山体滑坡灾害。

中国地域辽阔，自然地理条件复杂，地质构造运动强烈，地质灾害类型较多，同时，中国又是一个发展中国家，经济建设对资源开发的依赖程度相对较高，大规模的资源开发、工程建设以及对地质环境保护重视不够，又人为诱发了很多地质灾害，使中国成为世界上地质灾害最为严重的国家之一。近年来，西南方雨水丰沛，地震又较为频繁，滑坡现象时常发生，对人民生命和财产造成巨大的损失，因此，有效地防治滑坡灾害不但对保护灾区人民当前生命财产安全具有重要的现实意义，而且关系到地区、国家乃至全球的可持续发展。

20 世纪 90 年代以来,中国进一步加大了水利水电建设的步伐,西部开发、南水北调、西气东送等工程中普遍存在着生态环境、水环境、地质环境三大主要环境问题。重大工程的实施,在给人类带来利益的同时,也将带来更大规模、更大范围的灾害和环境问题。目前正在设计和施工中的龙滩、小湾、水布垭、溪洛渡、向家坝、锦屏一级和二级、瀑布沟、糯扎渡、拉西瓦、卡拉等水利水电工程都遇到了巨型滑坡灾害问题。因此,研究巨型滑坡问题对环境保护和工程建设都具有非常重要的实用价值。

1.2 工程概况

卡拉水电站工程区位于凉山州木里县卡拉江中游河段内,为雅砻江干流两河口至江口段梯级开发 11 级中的第 6 级,上游与杨房沟水电站衔接,下游与锦屏一级水电站毗邻。坝址距木里县约 174km,距西昌市约 406km。木里县有等外公路通至下田镇,下田镇至坝址区有新修的勘测公路相通。

卡拉水电站预可阶段在八通~草坪长约 22.9km 的河段上初拟上、中、下三个坝址,上坝址又分为上坝线、下坝线,上坝址上坝线位于九一三沟下游,距下游八一桥约 9.1km (河道距离,下同);上坝址下坝线位于下田镇村上游峡谷内,距下游八一桥约 7.6km,上坝址上、下坝线相距 1.5km;中坝址位于八一桥上游约 1.6km,下坝址位于卡拉乡政府山下峡谷河段,距八一桥(下游)约 2.4km。上坝址上坝线、中、下坝址初选均为混凝土重力坝,上坝址下坝线初选为心墙堆石坝。

卡拉水电站初选水库正常蓄水位 1987m,坝顶高程约 1992m,最大坝高约 129m,初选总装机容量约 1000MW,回水至杨房沟水电站,水库长约 33.2km。总库容约 2.558 亿 m^3 ,调节库容约 0.381 亿 m^3 。

卡拉水电站工程区自一江至草坪约 29.94km 的河段内,地质条件复杂,边坡稳定性较差,两岸冲沟较发育,地形较零乱,分布有一江、周家、八通、上田镇、下田镇、田三、岗尖、下马鸡店、草坪九个滑坡体,有八通、下田镇、田三、岗尖、让山包、下马鸡店、七一桥左、七一桥右八个较大型崩坡积体。其中一江、周家、八通滑坡体,八通崩坡积体位于上坝址上坝线上游,上田镇滑坡体位于上坝址上、下坝线之间;下田镇、田三滑坡体,下田镇、田三崩坡积体位于上坝址下坝线与中坝址之间;岗尖滑坡体、岗尖、让山包崩坡积体位于中坝址与下坝址之间;下马鸡店、草坪滑坡体,下马鸡店、七一桥左、七一桥右崩坡积体位于下坝址下游,各滑坡体、崩坡体分布位置如图 1-1 所示,与各坝址的关系见表 1.2-1。工程区内滑坡体、崩坡积体分布众多,地质条件复杂,需要进一步查明工程区滑体的物质组成、结构、分布等特征,分析其稳定性及对工程的影响程度,为工程处理措施提供地质依据。

表 1-1 工程区主要滑坡体、崩塌积体一览表

滑坡体、 崩塌积体	体积 /10 ⁴ m ³	分布位置							
		上坝址上坝线		上坝址下坝线		中坝址		下坝址	
		位置	距离/km	位置	距离/km	位置	距离/km	位置	距离/km
一江滑坡体	8433.8	上游	9.70~11.50	上游	11.20~13.00	上游	17.20~19.00	上游	21.20~23.00
周家滑坡体	7299	上游	9.20~11.00	上游	10.70~12.50	上游	16.70~18.50	上游	20.70~22.50
八通滑坡体	12208	上游	4.90~6.20	上游	6.40~7.70	上游	12.40~13.70	上游	16.40~17.70
上店镇滑坡体	624	下游	0.59~1.13	上游	0.37~0.91	上游	6.37~6.91	上游	10.37~10.91
下店镇滑坡体	12200	下游	3.80~4.90	下游	2.30~3.40	上游	2.50~3.60	上游	6.50~7.60
田三滑坡体	3662.2	下游	5.70~6.30	下游	4.20~4.80	上游	1.10~1.80	上游	5.10~5.80
岗尖滑坡体	8846	下游	8.50~9.00	下游	7.00~7.50	下游	1.00~1.50	上游	2.40~2.90
下马鸡店滑坡体	10761	下游	13.20~14.70	下游	11.70~13.20	下游	5.70~7.20	下游	1.70~3.20
草坪滑坡体	13171	下游	16.70~18.40	下游	15.20~16.90	下游	9.20~10.90	下游	5.20~6.90
八通崩塌积体	1164	上游	5.60~6.40	上游	7.10~7.90	上游	13.10~13.90	上游	17.10~17.90
下店镇崩塌积体	240	下游	3.00~3.70	下游	1.50~2.20	上游	3.80~4.50	上游	7.80~8.50
田三崩塌积体	1300	下游	4.90~5.70	下游	3.40~4.20	上游	1.80~2.50	上游	5.80~6.50
岗尖崩塌积体	72	下游	7.90~8.50	下游	6.40~7.00	下游	0.60~1.00	上游	2.90~3.30
让山包崩塌积体	390	下游		下游		下游		上游	0.3~1.30
下马鸡店崩塌积体	1400	下游		下游		下游		下游	0.2~1.20
七一桥左崩塌积体	500	下游		下游		下游		下游	4.3~5.20
七一桥右崩塌积体	1600	下游		下游		下游		下游	5.0~6.10

一江至草坪河段从上游至下游依次分布有一江、周家、八通、上田镇、下田镇、田三、岗尖、下马鸡店和草坪九个滑坡体。同时还发育有八通、下田镇、让山包、下马鸡店、七一桥右、七一桥左等崩塌堆积体。在下田镇~草坪河段分布有五个大~巨型滑坡体和七个大型崩塌积体。

1.3 研究内容

由于卡拉水电站工程区滑坡较多,本书主要以下马鸡店、田三和上田镇滑坡体为研究对象,主要研究内容如下:

(1) 滑坡发育的环境地质条件研究。通过收集已有研究成果和地面工程地质调查,查明滑坡赋存的环境地质条件,具体包括:

1) 地形地貌条件:原始地形坡度及高度、斜坡前沿河流切割状况、斜坡后缘地貌特征、侧缘沟谷发育特征。

2) 地层岩性及岩土体性质:地层岩性分布发育状况、各岩层工程地质性状、软弱层、带发育分布特征及其力学性状。

3) 地质构造条件:岸坡结构类型(层面产状及其与斜坡坡面组合关系)、控制性断裂构造发育分布状况、节理裂隙发育特征。

4) 水文地质条件:斜坡地下水赋存条件、斜坡地下水补排条件、地下水的物理、化学地质作用。

5) 地震等其他外动力条件:历史地震及其与斜坡变形破坏的关系、暴雨强度特征。

6) 滑坡区崩塌积物的成因、年代、形成过程及与滑坡的关系。

(2) 滑坡体基本特征研究。通过地面调查,并结合地质测绘及勘探试验成果,确定滑坡体物质组成、结构特征、滑带土特征及变形破坏特征,并据此进行滑坡体工程地质分区。具体包括:

1) 滑坡体边界条件:包括前后缘、侧缘和底滑边界。

2) 滑坡体总体特征:总体形态特征、坡面沟谷发育特征、物质组成特征及结构特征、变形破坏迹象。

3) 滑坡体工程地质分区:主要依据滑坡体地形地貌、物质组成及结构特征及变形破坏特征进行划分,查明各区边界条件、变形破坏迹象。

4) 滑坡形成机制、形成年代。

(3) 滑坡体概念模型研究。通过上述研究,建立该滑坡体地质力学概念模型,并对滑坡体整体稳定性和局部稳定性进行宏观判断。

(4) 试验研究。

1) 测年分析:在滑坡体内分别采集坡积物、滑体土、滑带土等进行测年分析,根据测年结果,结合地表地质调查及勘探成果,确定滑坡体形成时代及滑坡体与坡积物等的相互关系,为滑坡成因机制分析提供可靠证据。

2) 现场试验:在现场平洞内滑坡堆积物进行物理性质试验及现场大剪试验,分析滑坡体组成物的结构特征,并为滑坡体的稳定性分析计算提供相关物理性质参数。

3) 室内试验:对各滑坡体中滑带土取样进行物理力学性质试验,分析滑带土组成结构组成特征和物理力学特性,为边坡稳定分析计算中力学参数的分析取值提供依据。

(5) 分析破坏模式。通过对滑坡体的地形地貌条件、结构特征、边界条件、水文地质条件、环境条件、变形破坏现象等方面的研究,对滑坡体的稳定性进行系统分析,确定滑坡体可能的变形破坏模式和边界条件。

1.4 研究技术路线

本书研究的总体技术路线为:以扎实的野外调查为基础,以足够的勘探试验为保障。在环境地质背景研究的基础上,从滑坡发育条件及演化规律、滑坡体结构及变形破坏特征、滑坡成因机制及影响因素等方面入手,对滑坡体整体稳定性和局部稳定性进行地质宏观判断,探讨滑坡体变形特征及其失稳的工程影响。

第 2 章 区域构造稳定性

2.1 地形地貌

研究区地处青藏高原向四川盆地过渡地带,属青藏高原东部边缘侵蚀山原区强烈~极强烈山原亚区,区内山高谷深,山顶高峰均在 5000~5200m。河道密集,呈南北向平行排列,形成紧束的高山与深谷相间。谷间分水岭多高达 5500m 以上,以贡嘎山为中心的东部分水岭高耸,西部分水岭则较低,地势上有由东向西倾斜的趋势。由于河流的强烈下切,多形成深切峡谷,地形复杂,高差悬殊,其河谷下切深度达 1000~1500m,江水湍急,多见跌水和急、险滩。区内河谷横剖面总体上表现为上宽下窄的复式地貌形态。河谷上部呈现出以侧蚀~夷平作用为主的宽谷及 U 形谷地貌景观;下部则以强烈下蚀作用为主的深切峡谷为其突出特征。以 2400m 高程为界,上、下河谷形态明显有别。其上谷坡坡度 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$,呈现宽谷形态,保存一级夷平面,两级剥夷面;该高程线之下,谷坡坡度 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$,谷底狭窄,河漫滩不发育,为峡谷形态。

工程区在卡拉江两岸周围高山海拔多在 4300~5000m 左右,西侧的各依梁子、凹多梁子高程为 4432.2m 和 4875.1m,东侧的羊奶梁子高程 4715.1m。工程区一带地形切割深,河谷一般宽度 50~100m,河面高程 1885~1935m 左右。自上游至下游,左岸有立尔沟、甲尔沟、大碧沟、纤维沟、央沟、骆驼沟;右岸有周家沟、热水沟、猪白沟、九一三沟、九一四沟、大沟。

2.2 水文气象环境

场区地处青藏高原与四川盆地过渡地带,特殊的地形地貌环境造成本区气候瞬息万变,气象水文条件复杂,主要表现在以下几方面:

(1) 气象条件的垂直分带性明显:5000m 高程以上,长冬无夏,大气降水多

以雨雪为主,是较典型的高寒气候带。3000~5000m 高程范围内为高原气候带,无四季之分,只有雨、旱两季,每年6~9月为雨季,年平均降雨量950mm左右,且多雷阵雨伴冰雹。10月至次年5月,久晴少雨,冰雪封冻,干燥寒冷。3000m高程以下的河谷地带,具有月平均气温较高(17.2℃)、降雨量较充沛(年平均降雨量796.7mm)、空气湿润等特点,属较典型的亚热带气候区。

(2) 气候的突变明显:本区多为高山峡谷,气候瞬息万变,日温差一般为10余度。在降雨集中的季节里,一天之内往往几雨几晴,变化无常。

(3) 降雨的集中性和突发性:本区的降雨量多集中在6~9月的雨季,月平均降雨量在100~200mm以上,占年降雨量的81%以上;雨季多暴雨,突发性明显,降雨量大,而且极不均一的特点十分突出。

(4) 地表径流量较大,且变化幅度巨大:区内卡拉江及其主要支流水系流量充沛,年平均流量 $908\text{m}^3/\text{s}$,洪水期最大流量可达 $8010\text{m}^3/\text{s}$ 。卡拉江水位受径流量大小和河谷宽窄程度的控制,各地变化不一。一般天然洪、枯水位变化幅度约4m,最大可达6m以上。

2.3 区域地层岩性

工程区位于一级地层区巴颜喀拉地层区(松潘甘孜地层区)内,又以甘孜~理塘断裂带和理塘~德巫断裂带为界,分为两个二级区,以东为马尔康分区,以西为义敦中甸分区。

研究区从元古界、古生界(奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、二叠系)至中生界(三叠系)地层均有出露。侵入岩主要为燕山期的黑云母花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩等酸性火山岩。第四系为崩坡积、冲洪积、残坡积、重力堆积。现从老到新分述如下:

(1) 元古界:分布于卡拉乡南—回水塘一带,下统与上统均有出露,为下村岩群(Pt_{1-2}XC) (包括贡山岩组、吴家沟岩组、小荒田岩组、核桃湾岩组),为云母片岩、钠长石英岩夹绿泥片岩、变粒岩及大理岩,厚605m。

(2) 古生界。

1) 志留系:分布于奥陶系东西两侧,仅有下列,缺失中上统,为一套滨海—

浅湾海湾相硅质岩沉积。主要由硅质板岩组成,夹少量变质石英砂岩、千枚岩及结晶灰岩。上伏层为邛依组,石英碎屑结晶灰岩夹千枚岩,底为含砾砂岩;中部为米黑组(S_{1m}),总厚度 382.9m,工程区附近厚约 100m;下伏层为瓦厂组,灰黄色变质石英粉砂岩。

2) 石炭系:分布于下田镇—卡拉乡后山一线及草坪等地。主要有邛依组(C_{1-3q}),为一套浅湾相石英碳酸岩,次为火山岩、碎屑岩沉积。

3) 二叠系:在研究区内广泛分布,总体呈近南北向展布。九一四林场沟之北西几乎全为二叠系,其南东段,一是沿催朋冈—卡拉烧香梁子一带出露,另一是沿蔡家坪—骆驼沟—候家坪一带分布。分为上、下两个岩性段,下段为海相碎屑岩、碳酸盐岩、火山岩沉积;上段主要为海相碎屑岩、碳酸盐岩沉积,局部夹有火山岩、硅质岩沉积。冈达概组(P_{2g})上段由板岩、砂质板岩与灰岩组成互层,偶夹硅质板岩,近底部夹极少量变质玄武岩;卡翁组下段为灰绿色钙质板岩。

(3) 中生界三叠系:区域范围分布的三叠系分属于两个地层小区,雅江小区的杂谷脑组(T_{3z})、侏倭组(T_3^2z)和新都桥组(T_{3xd})出露于经纬沟—哑巴铺子—赤目一带,为羊奶向斜之西翼地层;木里小区的图姆沟组(T_{3t})出露于凹多梁子—鸭咀牧场一带呈南北向展布,构成催保向斜的核部地层。

(4) 侵入岩:主要为燕山期(γ_5^2)侵入岩,多属中性~酸性岩类,为黑云母花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩、石英闪长岩、闪长岩。

(5) 第四系:主要沿河谷、谷坡、沟口及平缓的山脊零星分布,按成因可分冲积、洪积、坡积、残积、重力堆积,其中山坡以崩坡积物为主,一般位于缓坡地带,河谷、河口为冲洪积物。

2.4 地质构造

2.4.1 区域主要断裂活动性

场区地处新生代强烈活动的青藏高原东缘,区域断裂构造十分发育,区域新构造运动有两个最突出的特点:第一,是以大面积整体间歇性急速抬升为主;第二,以大断裂为边界的断块之间的差异运动。另外,还有鲜水河—小江断裂带以西的川滇块体向南东滑移和次级块体的相对转动等运动方式。区内断裂构造十分发育,其

中许多断裂规模大，晚第四纪直至全新世强烈活动，并且与中、强地震的发生密切相关。主要强震发震断裂带有 5 条，即安宁河—则木河断裂带、大凉山断裂带、鲜水河断裂带、龙门山断裂带、理塘—德巫断裂等。另外，盐源弧形断裂带也是具有发生强震的潜在发震构造。区域内主要断裂活动特征见表 2-1。

表 2-1 区域主要断裂活动特征一览表

序号	断裂名称	产状 走向/倾向/ 倾角	长度 /km	性质	分段性 (活动时代)	滑动速率 / (mm/a)	地震活动
F1	彭县—灌 县断裂	N30-50°E/NW ∠50-70°	500	逆冲兼 右旋走 滑	都江堰—天 全段 (Q4)	1.0 (水平和 垂直)	1327 年≥6 级 和 1970 年 6.2 级地震
					江油段 (Q1-Q2)		中小地震零星 分布
F2	北川—映 秀断裂	N30-50°E/NW ∠50-70°	500	逆冲兼 右旋走 滑	北川—映秀 段 (Q4)	1.0 (水平和 垂直)	1958 年 6.2 级 地震
					南坝段 (Q3)		中小地震分布
F3	茂汶—汶 川断裂	N30-50°E/NW ∠50-70°	500	逆冲兼 右旋走 滑	陇东段 (Q3)		中小地震分布
					茂汶—草坡 段 (Q4)	1.0 (水平) 0.80 (垂直)	1657 年 6.5 级 地震
					平武段 (Q1-Q2)		
F4	三合断裂	N30-50°W/SW ∠45-55°	65	逆冲	Q1- Q2		中小地震分布
F5	保新厂— 凰仪断裂	N40°W/SW ∠70-80°	100	逆冲	Q1-Q2		弱震分布
F6	金坪断裂	N30-40°W/SW ∠60-75°	84	逆冲	Q1-Q2		中小地震分布
F7	甘洛—竹 核断裂	北段： N30°W/SW ∠60-75°； 南段：NS/W ∠70-80°	150	逆冲	Q3		