

官地水电站坝区缓倾角断裂成因研究

沈军辉, 赵其华, 李天斌, 卫 宏

(成都理工学院, 成都 610059)

[摘要]通过对官地水电工程坝区断裂系统,特别是缓角断裂的发育分布及变形破裂形迹研究,认为该坝区缓倾角断裂的形成,受控于构造和浅表生改造,并从构造应力场演化探讨了缓倾角断裂的构造成因,建立其构造成因模式;根据缓倾角断裂的浅表生改造特征,探讨它的浅表生改造模式。

[关键词]官地水电站 缓倾角断裂 构造改造 浅表生改造 成因模式

[中图分类号]P542. +3 [文献标识码]A [文章编号]0495 - 5331(2000)06 - 0048 - 04

从岩体稳定性角度考虑,把倾角小于 40° 的断裂称为缓倾角断裂。有关其成因,观点很多,诸如原生节理后期改造论、表生改造成因论、构造成因论及浅生时效变形论等。缓倾角断裂对工程建筑物基础稳定性产生不利影响,对其成因的研究,有助于认识其力学性能及空间发育规律,对工程建设中诸如断裂力学参数的取值、工程岩体的稳定性评价、水工建筑物的布置和设计等均具有重要的理论和实际意义。拟建雅砻江官地水电站为二滩水电站上游衔接电站,设计重力坝高 160 m,装机容量 1.8×10^6 kW。平硐揭示坝区缓倾角断裂较发育,其形成受构造改造控制外,浅表生改造对其形成的控制是一显著特点。

1 坝区地质条件概述

坝区位于青藏高原东南缘,雅砻江深切河谷在此形成一向西凸的河弯,坝址位于河弯下游段东西向河道上,河谷呈基本对称的“V”型谷,岸坡平均坡度 35°~45°,坡高约 1000 m。研究区区域构造线为 SN 走向,区域 SN 向断裂发育,其中 SN 向金河—箐河断裂带距坝区东约 3.5 km。研究区历经多次构造活动,印支—燕山期主要为近东西向挤压,尤以燕山期为强烈,喜马拉雅早期,区域构造应力场转为 NW - SE 向挤压,并一直持续到全新世。

坝址区岩层为上二叠统玄武岩组,产状 N10°W, SW 80°,为一陡立的单斜构造。规模较大的断层见近南北向(N0°~30°W, SW 80°,如 F₁、F₂、F₅、F₆、F₇等)和近东西向(如 F₈:N65°W, NE 60°; F₉:EW, N 60°)两组(图 1)。次级断裂以陡倾角占优,可见 4 组,其中 N0°~20°W, SW 80°; N70°E, SE 85°最为发育, EW, N 60°次之。此外,岩体内发育多组

产状分散、性质各异的缓倾角断裂。

2 坝址区缓倾角断裂发育分布规律

1) 方向分散,据统计主要可见 N20°W, NE 20°; N82°W, NE 25°; N80°E, SE 20°; N5°~35°E, SE 30°; N50°W, SW 35°; N10°E, NW 20°等组,其中以 N10°E, NW 20°组最为发育。

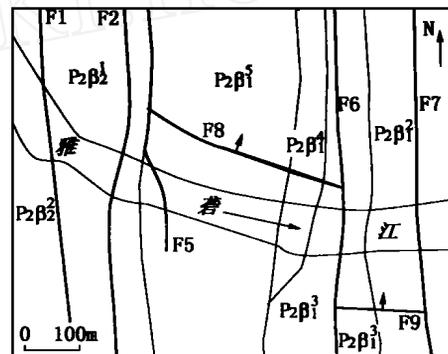


图 1 坝区构造简图

P₂^{β1}—集块熔岩及辉斑玄武岩; P₂^{β2}—隐爆角砾岩、斜斑玄武岩及火山角砾集块岩; P₂^{β3}—致密玄武岩、火山角砾岩及沉凝灰岩; P₂^{γ1}—玄武岩熔岩及玻屑凝岩; P₂^{γ2}—杏仁状玄武岩; P₂^{γ3}—玄武质熔岩(斑状、致密状及杏仁状玄武岩)

2) 缓倾角断裂受高级断裂控制程度不同,如组多发育于 F₅ (N30°W, SW 80°) 断层附近,而组则不受这样控制。

3) 断裂的追踪继承现象明显,如组断裂的发育多追踪组断裂而成。

4) 空间分布具一定规律。某些组受地貌控制较明显,表现为与河谷走向一致的缓倾角断裂,两岸和不同高程发育程度的差异及两岸错动性质的不同。

5) 由于形成演化的力学机制不同,断裂性状特

[收稿日期]1999 - 08 - 02; [修定日期]1999 - 10 - 23; [责任编辑]张启芳。
[基金项目]国家自然科学基金(青年)基金项目(49602040)。

征各异。如 组一般为压扭性,延伸长度大,断面较平直, 组主要为张性或张扭性,延伸短,断面起伏。

3 缓倾角断裂构造成因机制探讨

3.1 坝区断层活动性演化特征

通过对坝区主要断层变形结构特征的研究,其演化特征综合如下。

1) SN 向断层演化特征: 最初在近 EW 向挤压下,沿层间弱面逆冲错动; 张性或张(反)扭性活动,多有石英脉充填; 挤压错动,使石英脉强烈劈理化,透镜体化,并发生揉皱,绿帘石化蚀变强烈; NNE 向挤压下的顺扭活动; NW - NWW 向挤压下的(反)扭压至压性错动。

2) EW 向断层的演化特征: 断裂最初为平面“X”型扭裂面的一组; 张性或张扭性; 逆冲使断层具相当规模,为主要形成期; 扭性或张扭性。

3.2 断裂的组合及切割关系

坝区断裂的组合及切割关系复杂。

1) 南北向陡倾断裂对它组断裂具明显的控制作用,如近东西向 F_8 、 F_9 断层均受南北向 F_6 等断层的限制;南北向陡倾断裂又普遍切割它组断裂,如 SN 向陡倾断裂右行切错 EW, N 65 节理,正错 组缓倾角断裂,显示了 SN ~ NNE 向挤压或近 EW 向拉伸。说明 SN 向断裂具多期活动性。

2) 组缓倾角断裂普遍被它组断裂切割,又普遍切割它组断裂。如逆冲切割 F_6 断层达 1 m 以上,

又如产状为 $N6^\circ W, NE 21^\circ$ 的石英脉被 f_{x421} ($N16^\circ W, SW 71^\circ$ 断裂正错 56 cm 后,又逆冲切割 f_{x421} 达 3 cm ~ 5 cm。

3) 组和 组陡倾角断裂相互切割,构成晚期平面 X 型断裂组。其中 组左行切错 组, 组右行切错 组,显示了 NW - SE 向的挤压。

4) 组缓倾角断裂普遍逆冲切割多组断裂,显示晚期的 NWW 向挤压作用。

3.3 坝区构造应力场演化及缓倾角断裂的形成

根据断层活动性及断裂分期配套特征,结合区域构造应力场演化史,把坝区的构造应力场演化史划分为 3 期,分别表现为 NEE ~ EW (期)、SN ~ NNE 向(期)、NW ~ NWW 向(期)的强烈挤压,尤以 期最为强烈。这一构造活动史决定了坝区岩体内复杂的断裂系统,包括缓倾角断裂的形成演化(表 1)。坝区缓倾角断裂有如下演化规律: 组为 期 EW 挤压下,岩层转陡过程形成的旋转剖面扭裂面, 期时具张扭性,充石英脉, 期时具反扭逆冲性质; 组最初为 期形成的陡倾扭裂面,随岩层转陡而成, 期经逆冲改造, 组主要形成于 期,为剖面压扭性裂面,也可为 F_8 等东西向断层逆冲过程派生而成, 、 组 期时均为顺扭逆冲性质; 组形成于 期,为该期剖面扭裂面,也可追踪 组等先成节理形成; 组主要由 NWW 向 F_5 断层 期顺时针扭压派生而成; 组为 期时岩层转陡过程中形成的张扭性节理,发育较差。

表 1 坝区缓倾角断裂的构造成因史

应力场期次	1 方向及构造活动方式	缓倾角断裂的形成演化
	1:EW ~ NEE 向 强烈的近 EW 向挤压	1. 岩层水平,早期平面共轭“X”型节理形成。岩层转陡为 $N10^\circ W, SW 80^\circ$,先成 $N23^\circ E, SE 78^\circ$ 节理,随之转为 EW, S 33°。 2. 岩层转陡过程中,发生层间错动,形成剖面旋转“X”型节理组; $N20^\circ W, NE 20^\circ$ (压扭性,发育), $SN, W 25^\circ$ (张-张扭性,发育差)。
	1:NNE 向 NNE 向挤压	1. 剖面共轭“X”型节理组, $N60^\circ W, SW 35^\circ$ (张扭性); $N75^\circ W, NE 30^\circ$ (压扭性)形成;EW, S 33°逆冲改造。 2. F_5 ($N30^\circ W, SW 30^\circ$)顺时针扭压,派生 $N50^\circ W, SW 20^\circ \sim 40^\circ$ 断裂。 3. 近 EW 向 F_8 断层($N60^\circ \sim 65^\circ W, NE 60^\circ$)逆冲,派生近 EW 向缓倾断裂。
	1:NW ~ NWW 表现为 NW ~ NWW 向 强烈挤压	1. 剖面共轭“X”型节理形成,其中 $N30^\circ \sim 50^\circ E, SE 30^\circ$ 相对发育。 2. 追踪 $N40^\circ E, SE 39^\circ; N20^\circ W, NE 20^\circ$ 断裂,形成总体 SN, E 20° ~ 30° 断裂,并具逆冲性质。

3.4 坝址区缓倾角断裂构造成因模式

根据坝区断裂系统及其形成演化史的研究,建立坝址区缓倾角断裂的构造成因模式:

1) 因岩层转陡,早期陡倾角断裂,随之转为缓倾角断裂。如坝区内早期平面“X”扭裂面 $N23^\circ E, SE$

78° 转为 EW, S 33°。岩层的转陡可以是褶皱引起,也可以是铲式断层的逆冲推覆造成,本区属于后者(图 2(a))。

2) 断层逆冲产生的派生应力场作用下形成。发育于两条逆冲断层间的岩席中的缓倾角断裂,如 组

(N20°W, NE 20°) 断裂(扭性)和 组 SN, W 20° 断裂(张性或张扭性)的形成(图 2(b));主干陡倾角断层旁侧的次级断裂或羽状节理,如 N45°W, SW 35° 断裂为 F₅ 断层顺扭逆冲形成;一些近东西向缓裂也形成于 NWW 向 F₈ 断层的逆冲过程(图 2(c))。

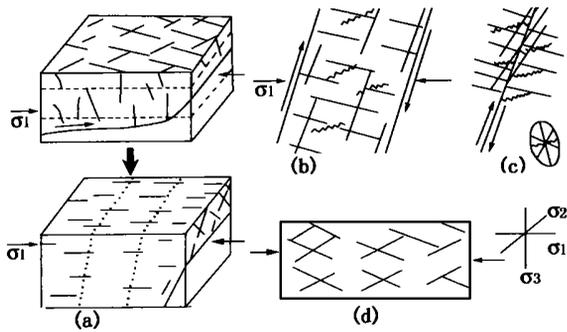


图 2 缓倾角断裂构造成因模式
(b)、(c)为剖面图

3) 区域性挤压应力场作用下形成的剖面共轭“X”型剪裂面(图 2(d)),如 N40°E, SE 30° 断裂为 NW 向挤压应力场作用下形成的剖面“X”型剪节理的一组,具压扭性质。

4) 后期构造应力场作用下,追踪先成缓倾角断裂形成。如坝区 SN, E 25° 断裂,一些即是在 NWW 向挤压应力场作用下,追踪 N20°W, NE 20°, N35°E, SE 30° 断裂而成。

4 缓倾角断裂的浅表生改造

浅表生改造是近期以来的地貌演化过程中,岩体受剥蚀卸荷引起应力场调整而经受的改造。它受地貌演化史、地应力场条件、岩体先成构造结构特征等的控制。这一改造对官地坝区缓倾角断裂的形成演化起了极为重要的控制作用。

4.1 浅表生改造的新构造地貌及地应力场条件

上新世以来,本区地壳处于间歇性抬升状态,河谷下切强烈,具有发生强烈浅表生改造的新构造活

动和地貌演化条件。

研究区地震震源机制解译资料表明,区域现今应力场最大主压应力 1 为 NWW - SEE 向。坝区实测地应力场资料显示,地应力场受河谷下切影响明显,从河床至岸坡深处,最大主应力方向由近 SN 向(与河谷垂直)渐转成 NWW 向(现今应力场方向),波及深度达 300 m 以上,其值达 25 MPa ~ 30 MPa。河床及岸坡深部的岩芯裂饼及片帮现象等,均说明本区为高地应力区,具有浅表生改造的地应力条件。

4.2 缓倾角断裂浅表生改造特征

对缓倾角断裂的统计分析及其变形和性状特征的研究(表 2)表明,其有如下改造特征。

1) 从岸坡深处至表部,从低高程至高高程,缓倾角断裂发育程度明显增强;

2) 同组缓倾角断裂,两岸岸坡中发育程度具明显差异,以顺坡向者较为发育,导致两岸发育状况具明显的对称状,如 组(N82°W, NE 25°)南岸明显强于北岸; 组(N80°E, SE 20°)则北岸高于南岸。且某些组别的断裂,河谷两岸力学性质不同,如 组北岸为正错性质(如 f_{x904}, f_{x515}),南岸则为逆冲性质(如 f_{x1814}, f_{x208});

3) 断裂带内石英颗粒形貌及热释光测年显示坝区缓倾角断裂具多期活动性,近期发生错动时间大体在(6~25)万年,相当于 T₃~T₅ 阶地形成时段。

4) 同一断裂,错动位移量有从岸坡深部向浅部增大的趋势。如 f_{x904},深部(75 m 深)错动量为 6 cm,浅部(60 m ±深)达 10 cm 以上;

5) 浅表生改造受构造断裂的控制,缓倾角断裂多追踪先成断裂形成,如 f_{x904}是以 EW, S 20°为主体,联合追踪 N16°E, SE 16°, N61°W, SW 12°, N35°W, NE 10°等多条裂隙而成;改造过程中陡倾角断裂起分割面的作用;如 f_{x1402}(EW, N 25°)在 SN 向断裂两侧,回弹变形程度明显不同;

表 2 坝区典型缓倾角断裂浅表生改造主要特征

编号、出露部位及产状	浅表生改造形迹	测年及石英颗粒形貌
f _{x820} 南岸 XD08 主坝 0+7 m N50°~60°W, NE 15°~20°	1. 裂面起伏,散布及断续次生泥充填,且主要充填在断裂相对陡处,缓处相对紧密。 2. 充填之次生泥中,见垂向正错擦痕(倾向向 355°)。 3. 上下盘产状为 EW, N 65°节理均拉开,充填次生泥。	热释光:11.7 万年 石英颗粒形貌:溶蚀不均,见虫蛀状、钟乳状、桔皮状、贝壳状形貌
f _{x4203} 南岸 XD42 平坝 0+35—86 m N10°E, SE 10°~15°	1. 裂面起伏,北爬坡段(倾 SW)由糜棱岩组成,紧密无次生泥,下错段(倾 NE)多见断续次生泥充填,松散。 2. 上下盘,特别是外端部下盘 EW, N 65°节理多张开,充填次生泥, N75°E, SE 80°节理微具牵引现象。 3. 裂面见上盘向河谷方向(向北)错动擦痕。	石英颗粒形貌:溶蚀程度不均,可见钟乳状、桔皮状、次贝壳状、贝壳状形貌

6) 由浅表生改造形成的缓倾角断裂多形态起伏,且不同部位断裂特征不同,通常在倾角变缓处或反倾坡内段,结构面紧密,断裂岩为糜棱岩;相对陡倾坡外段,拉张,充填软塑状次生泥,显示断裂上盘岩体向河谷临空方向的回弹错动,晚期擦痕也均显示了这一特征。

4.3 缓倾角断裂浅表生改造模式

上述说明坝区缓倾角断裂受浅表生改造的控制明显,其演化模式如下。

上新世末以来,地壳间歇性强烈抬升,区域性剥蚀和河谷下切,具较高残余构造应变能的玄武岩体因卸荷而调整应力场,发生回弹改造(图3(a))。这

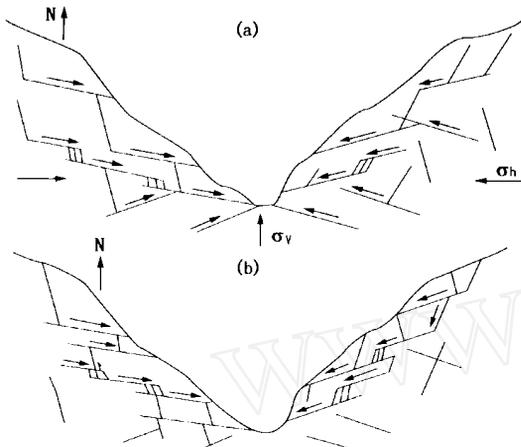


图3 缓倾角断裂浅表生改造模式

(a) —卸荷回弹模式;(b) —重力场作用下表生改造模式

一改造多追踪先成断裂发生,往往沿先成缓倾角裂两侧,回弹变形程度明显不同;断裂发生离面卸荷回

弹和差异回弹,并向河谷临空方向错动,陡倾角断裂起了侧向分割面的作用。在这一回弹改造过程中,可形成新的缓倾角断裂,特别是顺坡断裂进一步显现。其后,在重力场、地下水及风化等外营力作用下,缓倾角断裂得到了进一步的表生改造(图3(b)),使其性状进一步弱化。其沿断裂面的蠕滑变形形式主要有重力滑移和重力压致滑移等。

5 结论

构造活动是官地水电站坝区缓倾角断裂形成的最重要因素,其演化性质,决定了缓倾角断裂的形成及其发育分布、性状特征等。在多次构造活动中,缓倾角断裂的形成模式归纳为:1)早期陡倾角断裂随岩层转陡的结果;2)主干断层逆冲派生而成;3)区域性挤压应力场作用下形成的剖面“X”型断裂;4)后期构造应力场作用下,追踪先成缓倾角断裂形成。

坝区缓倾角断裂的浅表生改造表现为,剥蚀卸荷过程追踪先成缓倾角断裂发生离面卸荷回弹和向河谷方向的回弹错动,并在重力场作用下的进一步表生改造。改造结果:1)顺坡缓倾角断裂进一步发育,表现出明显的沿河谷对称状发育分布的空间规律性;2)追踪多组断裂形成规模相对较大的缓倾角断裂;3)使缓倾角断裂的力学性能进一步弱化。

[参考文献]

- [1] 张悼元,王士天,玉兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [2] 玉兰生,李天斌,赵其华. 浅生时效构造与人类工程[M]. 北京:地质出版社,1994.

THE GENESIS OF GENTLY - DIPPING FAULTS IN THE DAM - AREA OF GUANDI HYDROELECTRIC PROJECT

SHEN Jun - hui , ZHAO Qi - hua , LI Tian - bin , WEI Hong

Abstract :Based on studying the development law and deformation - fracture signs of gently - dipping fault in the dam - area of Guandi hydroelectric project , it is suggested that the formation of gently - dipping fault was controlled by tectonic and epigenetic - surface reworking. The tectogenetic model and epigenetic - surface reworking model of gently - dipping fault in the dam - area are set up.

Key words :Guandi hydroelectric project ,gently - dipping fault ,tectonic reworking ,epigenetic - surface reworking ,genetic model



第一作者简介:

沈军辉(1964年-),男。1988年毕业于成都地质学院地质系地质学专业,1993年在成都理工学院获构造地质专业硕士学位,2000年6月在成都理工学院获地质工程专业博士学位。现任成理工学院地质系讲师。主要从事工程地质、地质灾害防治等方面的科研、生产及基础地质教学工作。

通讯地址:四川省成都市 成都理工学院构造教研室 邮政编码:610059