

大渡河金川水电站坝区节理构造 及工程稳定性影响

王世元^{1,2} 王道永² 王亚琼³ 黄 维^{2,4} 徐 强^{2,5}

(1.四川省地震局工程地震研究院,四川 成都 610041;2.成都理工大学地球科学学院,四川 成都 610059;
3.中国科学院南京地质古生物研究所,江苏 南京 210008;4.成都军区 78155 部队,四川 成都 610036;
5.成都军区 78138 部队,四川 成都 610036)

摘要:运用野外观察分析和构造解析方法,遵循共轭节理配套分期原则对大渡河金川坝区发育的节理构造进行逐步分析研究,可将该区发育的 NE 向、NEE 向、NEE 向、SW 向、倾向 SW、倾向 NE、倾向 SEE 和倾向 NWW 的节理构成 4 套共轭节理,分别属于区域北西向和南北向构造的组成。据此推出该区节理的形成、发育先后受到印支—燕山期北西向构造应力场、喜马拉雅期南北向构造应力场的影响和制约。该区岩层倾向南西,第一期节理与岩层面倾向相反;第二期节理与层面倾向近乎一致,起到主要控制作用。在工程建设中,两期节理共同作用切割岩体,前者易于破碎岩石,后者则易于形成滑坡。两期节理的研究对工程的稳定性研究具有重要的意义。

关键词:共轭节理;构造应力场;大渡河;金川坝区;工程稳定

中图分类号:P542+.33;P642 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)04-0682-06

节理构造是地壳中较为常见的一种变形构造,通过对节理构造的观察研究,尤其是对共轭节理形态、性质的认识和配套、分期,将有助于查明一个地区的变形序列及构造应力场的演化。在大型地质工程建设中,特别是水电工程,大量发育的节理构造常常引起水库的渗漏和岩体的不稳定,为水库和大坝等工程带来隐患^[1]。为此,节理构造的变形性质及其形成构造应力场演化深入研究,可为地质工程的安全建设提供更多的地质背景资料。在对大渡河金川坝区发育的节理构造实地调查和综合分析中,充分考虑节理配套分期的原则、依据及节理配套分期与该区构造发育和构造应力场特征及其演化之间的对应关系。

1 坝区区域地质概况

金川水电站坝址区位于大渡河上游的金川地区,地处中朝—塔里木陆块、扬子陆块和羌塘—三江陆块围限的三角形松潘—甘孜造山带中心偏南东的部位。对坝区区域构造单元而言,处于由北部的五甲断层,东部的坝区 f14 断层,西部的北西向德胜断层等 3 条断层带围成的一个三角形断裂块体之中。据李四光^[2]的“安全岛”理论,该块体以断

裂为边界,其内部较为稳定。坝区区域还发育有北北西的勒乌断层、线碛挤压带、河西断层、河西南挤压带以及近东西向的大照壁断层等(图 1)。本区主要出露三叠系(梁斌等^[3]曾称为西康群)地层,划分为杂谷脑组厚层—块状变质砂岩夹少量千枚岩、侏倭组变质砂岩、新都桥组变质细屑岩。除此之外,在坝区东部和西南部还发育有大量的印支—燕山期花岗岩体,以及沿河分布的少量第四系。

2 坝区节理构造特征

2.1 坝区节理构造的形态

坝区发育的节理构造大多是剪节理,少量的张节理。不同产状、不同成因的节理构造,其形态特征有所差异。坝区最为发育的是陡倾斜的剪节理及部分中等倾角的剪节理,无论是在平面上还是在剖面上,节理面都显得较为平直、光滑紧闭,在大的范围内节理呈轻微的舒缓波状;部分共轭节理有互错现象(图 2)。节理面上常发育摩擦镜面以及擦痕和阶步。如由 NE 与 NW 向组成的平面共轭节理面上常发育有明显的水平或近于水平的左行和右行擦痕(图 3)。中等倾角和缓倾角的节理构造,其节理面在平面

收稿日期:2006-11-08;改回日期:2007-07-05

基金项目:四川省构造重点学科建设项目(SZD0408)资助。

作者简介:王世元,男,1982年生,硕士生,构造地质学专业;E-mail:wangsir2006@163.com。

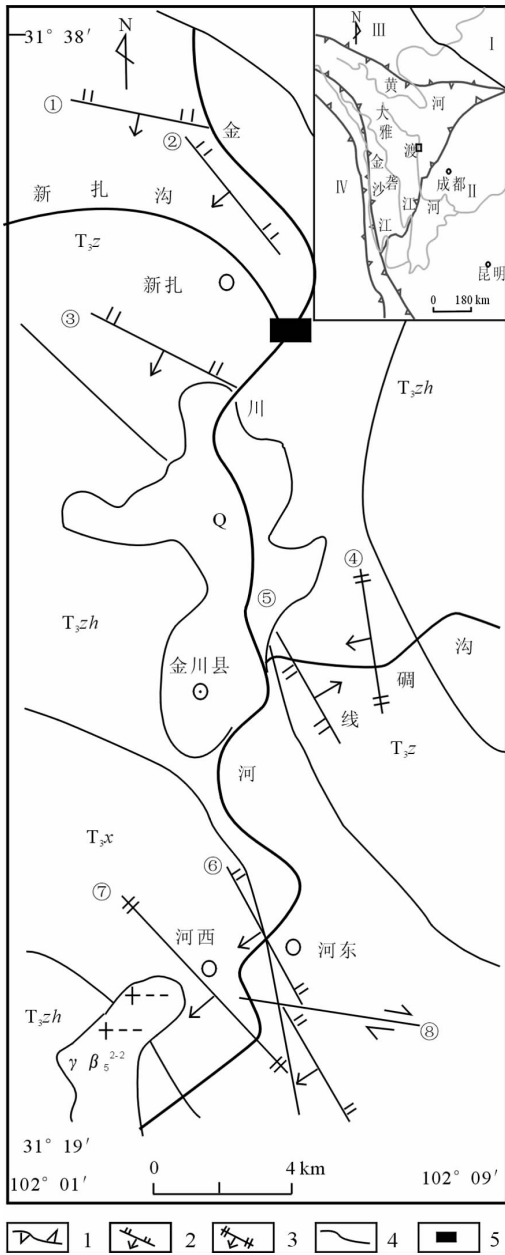


图 1 区域地质构造纲要图

- 1—边界断裂;2—断层;3—挤压带;4—岩层界线;5—坝址;
 - I—华北陆块;II—扬子陆块;III—中朝—塔里木陆块;
 - IV—羌塘—三江陆块;①—五甲断层;②—坝区 f14 断层;
 - ③—德胜断层;④—线碉挤压带;⑤—勒乌断层;
 - ⑥—河西断层;⑦—河西南挤压带;⑧—大照壁断层
- (有关地层及岩体代号说明见正文)
- Fig.1 Regional structural outline map
- 1—Boundary fault;2—Fault;3—Compressional zone;
 - 4—Geological boundary;5—Dam site of the hydropower station;
 - I—North China plate;II—Yangtze plate;III—Sino-Korean-Tarim plate;IV—Qiangtang-Sanjiang block; ①—Wujia fault;
 - ②—Fault f14 of the dam area;③—Deshen fault;
 - ④—Xiandiao compressional zone;⑤—Lewu fault;⑥—Hexi fault;
 - ⑦—Hexinan compressional zone;⑧—Dazhaobi fault

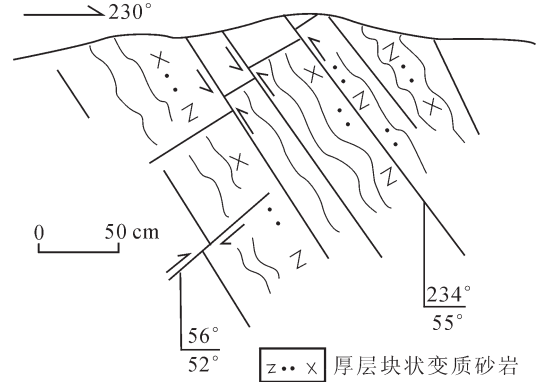


图 2 剖面共轭节理素描图

Fig.2 Sketch of conjugate joints in section

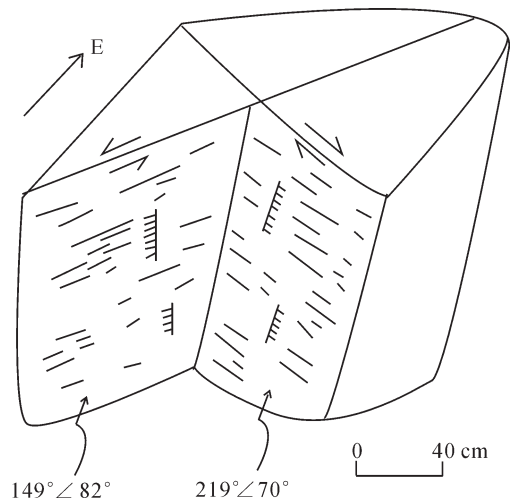


图 3 平面共轭节理素描图

Fig.3 Sketch of conjugate joints in plan

和剖面上多呈舒缓波状,个别起伏较大,甚至形态不规则。这类节理构造的节理面多呈紧闭状或局部略为开口,常发育上冲或下滑擦痕。

2.2 坝区节理构造的规模

总体来看,坝区节理构造的长度、宽度都较小,对于不同产状特征、不同成因的节理来说,又有一些差别。规模在平面和剖面延伸长度一般在 0.3~5 m,少数达 40 m。而节理的开口宽度在 3~5 cm,绝大多数节理面紧闭,仅少数节理有开口现象,节理缝内少有岩石破碎物或后期充填物;局部充填有粘土物质,但这类开口的节理构造基本上没有发生错动或仅仅发生很微小的错移。

在陡倾斜和中等—缓倾角的节理构造中,前者在平面和剖面的延伸长度一般都在几米,仅部分节理规模相对较大,延伸可达 10 m,个别可达 30~40 m;规模相对较小者,其平面和剖面的延伸长度一般在 2 m 左右。所以,前者的切割现象

在露头上不是很明显。后者的规模变化较大,在平面和剖面上的延伸长度小的1 m左右,大的5 m甚至20 m,但多数节理的长度在6 m的范围之内。

3 节理构造的解析

3.1 节理配套

通过坝区众多节理构造的野外系统观察、测量,对节理的产状、规模、变形特征以及成因进行了详细的研究。统计结果显示,该区节理按其产状可分为8组。在野外按共轭节理配套原则,结合区域构造应力场特征对这8组节理进行初步配套、分期。其具体原则^[4]为:①配套节理组在几何学关系上多呈“X”型式;②配套节理组有相互切割关系,这种相互切割遵循力学分析原理,服从统一的构造应力;③配套节理组在动力学上属于一个统一的构造应力场和区域构造背景,可归属于某一次构造运动的构造成分。根据以上原则,在野外将该区具有共轭关系的节理配套为4套(表1)。

在野外配套基础上,通过对本区近千组节理数据进行统计和赤平投影^[4]显示,在节理构造优势产状图上显示本区节理构造有8个较为明显的优势产状(图4)。根据野外各个节理调查点上节理配套和分期情况,结合产状特征和赤平投影显示的优势产状与野外实际相吻合。其中优势产状为149°∠82°和331°∠54°两组可配成平面共轭节理;优势产状为43°∠40°和224°∠40°两组可配成剖面共轭节理,2套均受北东向挤压,属于本区北西向构造的构造组成。而优势产状为219°∠66°和7°∠66°两组可配成平面共轭节理;优势产状为108°∠45°和289°∠42°两组可配成剖面“X”共轭节理,2套均受近东西向挤压,属于本区南北向构造的组成。

3.2 节理分期

根据以上配套节理的相互切割关系,结合区域构造,将该区4套共轭节理划为2期,其中第I、II套均受控于NE-SW方向挤压的北西向构造应力场,属于NE向构造期不同变形阶段的产物。第III、IV套共轭节理受控于东西方向挤压

的近南北向构造应力场,属于NS向构造期不同变形阶段的产物。经实地观察分析,后者被前者切割,应属于该区形成的第一期共轭节理组;前者切割后者的同时又有互相切割、错动的现象,前者的第I套被第II套有所切割,故第I套共轭节理形成早于第II套共轭节理。

3.3 节理构造解析

将本区各组共轭节理进行主应力求解(图5~6)和进行最大主应力赤平投影,得出最大主应力轴产状(表2)和主应力等密线图(图7),其等密线主要集中在走向NE-SW向(25°~70°、200°~240°)和近东西向(265°~305°、80°~130°),前者主要反映NE-SW向应力的挤压,代表了本区NW向构造应力场,后者则反映了近东西向应力的水平挤压,代表了本区近NS向构造应力场。两者就代表了本区节理构造的2个构造期次。

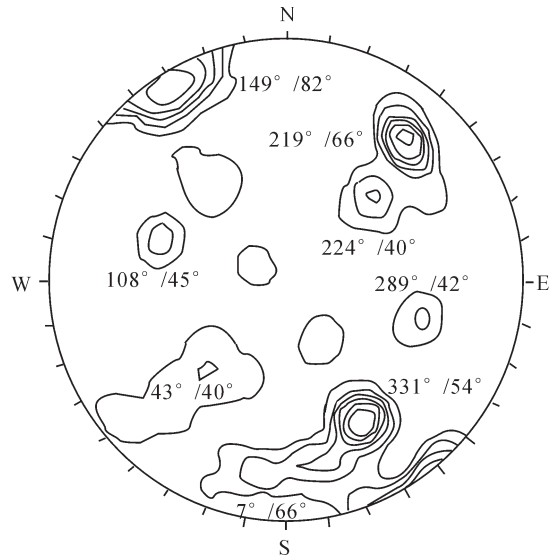


图4 节理赤平投影求解优势产状图

Fig.4 Stereographic projection of preferred attitudes of joints

表1 金川水电站坝区节理配套

Table 1 Division of joints in the dam area of the Jinchuan hydropower station

共轭节理	共轭节理组及产状范围		配套类型	构造归属	构造期次
	A组	B组			
I	走向 NE, 倾向 NW 310° ~ 350° ∠48° ~ 60°	走向 NEE, 倾向 SSE 140° ~ 160° ∠75° ~ 85°	平面共轭	NW 向构造	印支期-燕山期
II	走向 NW, 倾向 SW 195° ~ 240° ∠35° ~ 50°	走向 NW, 倾向 NE 30° ~ 60° ∠37° ~ 45°	剖面共轭	NW 向构造	印支期-燕山期
III	走向 NEE, 倾向 SSE 130° ~ 165° ∠57° ~ 74°	走向 NW, 倾向 NEE 25° ~ 65° ∠60° ~ 70°	平面共轭	SN 向构造	喜马拉雅期
IV	走向 NNE, 倾向 SEE 90° ~ 125° ∠40° ~ 55°	走向 NNE, 倾向 NWW 270° ~ 305° ∠38° ~ 46°	剖面共轭	SN 向构造	喜马拉雅期

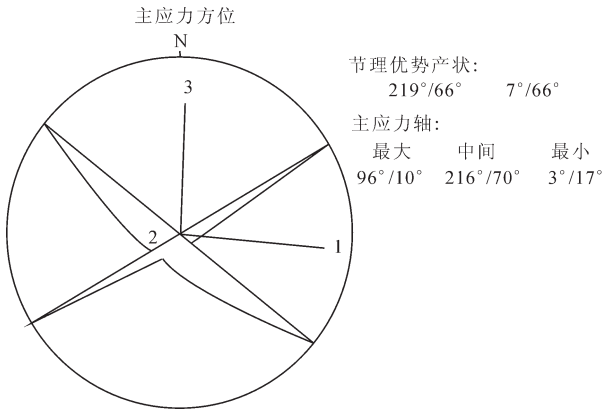


图 5 南北向节理构造主应力赤平投影

Fig.5 Stereographic projection of the maximum principal stress of N-S-trending joint structure

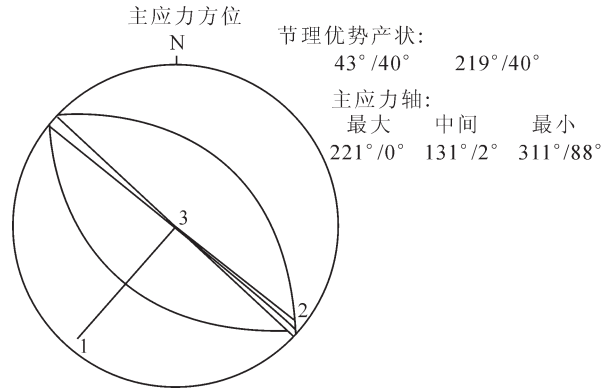


图 6 北西向节理构造主应力赤平投影

Fig.6 Stereographic projection of the maximum principal stress of NW-trending joint structure

表 2 金川地区节理构造解析

Table 2 Structural analyses of joints in the Jinchuan area

共轭节理优势产状	主应力轴产状			配套类型	构造归属	共轭节理
	σ_1	σ_2	σ_3			
149° ∠82° 331° ∠54°	226° ∠2°	350° ∠86°	153° ∠3°	平面共轭	NW 向	第 I 套
43° ∠40° 224° ∠40°	221° ∠0°	131° ∠2°	311° ∠88°	剖面共轭	NW 向	第 II 套
219° ∠66° 7° ∠66°	96° ∠10°	216° ∠70°	3° ∠17°	平面共轭	SN 向	第 III 套
108° ∠45° 289° ∠42°	106° ∠2°	196° ∠2°	338° ∠88°	剖面共轭	SN 向	第 IV 套

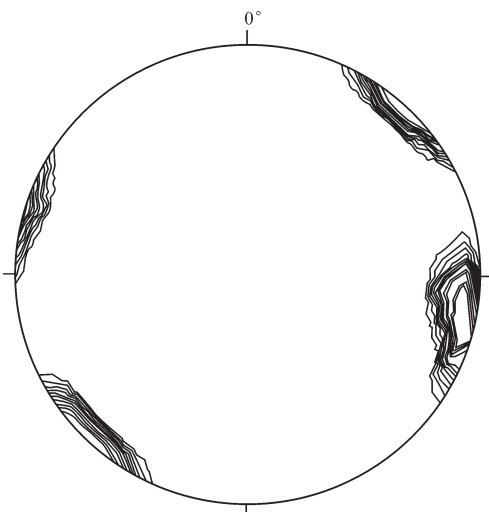


图 7 主应力的等密线图

Fig.7 Pole isodensity diagram of the principal stress

经对比分析,野外对节理构造的初步分期和配套与室内计算机综合整理和构造解析结果基本吻合。

4 节理构造形成和演化

据区域构造分析,大渡河金川水电站坝区及其邻近外围地区自印支期—喜马拉雅运动,随古特提斯洋的关闭,各大地块之间相互碰撞作用,经历了 2 次显著的构造变形事件,分别形成区域上北西向构造和南北向构造。在金川水电站坝址区的稳定块体内留下 2 期 4 套共轭节理构造痕迹(图 8)。

晚三叠世末—燕山期,羌塘—三江陆块与中朝—塔里木陆块共同作用,产生区域上的北东—南西向挤压,在坝址区外围形成五甲断层和德胜断层;在坝址区,形成坝区 f14 断层和第 I 套平面共轭“X”型节理组和第 II 套剖面共轭“X”型节理组。

喜马拉雅运动,羌塘—三江陆块和扬子陆块近水平相互挤压作用产生的近 EW 向的应力场,形成研究区外围的勒乌

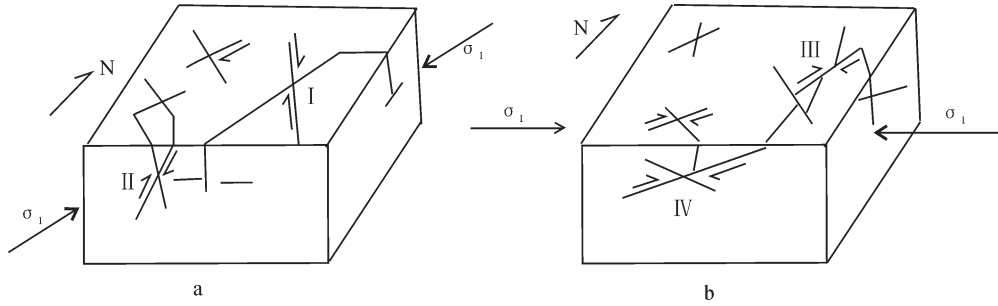


图 8 金川坝址区节理构造模拟演化图

Fig.8 Simulation of the evolution of joints in the Jinchuan dam area

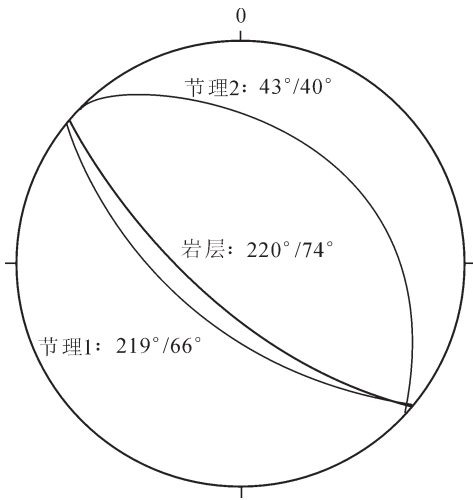


图 9 层面与节理关系赤平投影图

Fig.9 Stereographic projection of the relationship between the beds and joints

断层、河西断层和大照壁断层。在坝址区,形成第Ⅲ套平面共轭节理组和第Ⅳ套剖面共轭“X”型节理组。

5 节理构造对工程稳定性的影响

节理的发育使岩体的完整性遭到破坏,经过风化、溶蚀等作用,使原有的裂隙扩大深化,从而降低了岩体的力学强度。

该研究区节理较发育,岩体较破碎。根据图 9 分析得出:该区岩层倾向南西,主要发育两期节理,第一期节理产状倾向 NE(NW 走向),与岩层面倾向相反;第二期倾向 SW(近 NS 走向),与层面倾向近乎一致,起到主要控制作用。两期节理共同作用切割岩体,使其不稳定。如在长期的风化及水的溶蚀作用下,裂隙将进一步扩大并向深部延伸,将引起水库的渗漏,为水库和大坝等工程带来安全隐患。

第一期的节理易于破碎岩层,第二期的节理则易于形成滑坡。在施工中必须通过一定的工程方法治理(灌浆、护坡

等),提高该区岩体的力学强度。通过适当的工程治理,这两期节理构造对工程的稳定性影响较小。

6 结 论

金川坝址区的构造主要受控于区域 NE-SW 向和近 EW 向的挤压构造应力场,为中朝—塔里木陆块、扬子陆块和羌塘—三江陆块相互运动的产物。因受区域构造应力场作用的影响,研究区发育 2 期次 4 套共轭剪节理,属于该区及区域南北向构造运动的产物。根据共轭节理切割关系和由此显示的构造应力场特征,坝址区的构造演化序列和演化过程为:首先是 NW 向构造期,然后是 NS 向构造期;即晚三叠世末的印支期—燕山期的构造期到喜马拉雅期的构造期。

坝区发育两期节理构造,第一期节理产状与岩层面倾向相反;第二期节理倾向与层面倾向近乎一致,起到主要控制作用。两期节理共同作用切割岩体,对工程的建设影响较小。为避免节理裂隙的进一步扩大并向深部延伸,特别是第二期起主控作用的节理,应对其进行合适的工程治理;对第一期节理的治理、监控也要得到相应的重视。

致谢:在写作过程中得到刘援朝副教授、邓江红副教授的悉心指导和朱菲菲硕士、孙东硕士的热情帮助,一并表示衷心感谢!

参考文献(References):

[1] 徐开礼,朱志澄.构造地质学(第二版)[M].北京:地质出版社,2002:111-114.
 Xu Kai-li, Zhu Zhicheng. Structural Geology (2nd ed.)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002:111-114 (in Chinese with English abstract).

[2] 胡海涛.区域地壳稳定性评价的“安全岛”理论及方法[J].地质力学学报,2001,7(2):97-103.
 Hu Haitao. The theory and method of evaluation of regional crustal stability on concept of “safety island”[J]. Journal of Geomechanics, 2001, 7(2):97-103(in Chinese with English abstract).

[3] 梁斌,何文劲.川西北壤塘地区三叠纪西康群低级变质作用[J].

- 矿物岩石, 2003, 23(1):42-45.
- Liang Bing, He Wenjin. Regional very low grade metamorphism of Triassic Xikang Group in Rangtang area Northwest Sichuan [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2003, 23(1):42-45(in Chinese with English abstract).
- [4] 俞鸿年, 卢复华. 构造地质学原理 [M]. 南京: 南京大学出版社, 1998:94-95.
- Yu Hongnian, Lu Fuhua. Principle of Structural Geology [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1998:94-95 (in Chinese with English abstract).
- [5] 陈胜同, 赵明鹏. 极点等密线图的计算机绘制[J]. 软件, 1996, (4): 27-36.
- Chen Shengtong, Zhao Mingpeng. The pole isodensity diagram draw in computer [J]. Software, 1996, (4):27-36(in Chinese with English abstract).

Joint structure in the dam area of the Jinchuan Hydropower Station on the Dadu River and its influence of project stability

WANG Shi-yuan^{1,2}, WANG Dao-yong², WANG Ya-qiong³,
HUANG Wei^{2,4}, XU Qiang^{2,5}

- (1. Institute of Earthquake Engineering Seismological Bureau of Sichuan Province Chengdu 610041, Sichuan, China;
2. College of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;
3. Njing Institute of Geology and Palaeontology Chinese Academy of Science, Njing 210008, Jiangsu, China;
4. 78155 Troops, Chengdu Military Region, Chengdu 610036, Sichuan, China;
5. 78138 Troops, Chengdu Military Region, Chengdu 610036, Sichuan, China)

Abstract: Through field observations and structural analysis and in light of the principle of classifying the joints according to their strikes and dips into conjugate joint sets and determining their phases, the joint structure developed in the Jinchuan dam area of the Dadu River was analyzed and studied. The authors classified the NE-, NW-, ENE- and ENE-striking and SW-, NE-, ESE- and WNW-dipping into four sets of conjugate joints, belonging to the regional NW- and N-S-trending structures respectively. According to this conclusion, the authors deduce that the formation and development of the joints in the area were affected and constrained by the regional Indosinian-Yanshanian NW-trending structural stress field and Himalayan N-S-trending structural stress field. The strata in the area dip SW, and the joints of the first phase dip in the opposite direction of the dip of the bedding of the strata, while the joints of the second phase dip in almost the same direction as the dip of the bedding. The joints of the second phase play the principal role in controlling the structural movement. In the civil engineering construction, joints of the two phases combine to cut the rock masses. The former is prone to crush rocks, while the latter is prone to form landslides. The study of the two phases of joints has great significance for the study of the engineering stability in the dam area of the Jinchuan hydropower station.

Key words: conjugate joints; structural stress field; Dadu River; Jinchuan dam area; engineering stability

About the first author: WANG Shi-yuan, male, born in 1982, Master candidate, engages in structural geology; E-mail: wangsir2006@163.com.