

中國科技諮詢服務中心

中國科學院工程地質力學開放實驗室

黃河黑山峽河段大柳樹壩址 工程地質專題研究

胡海濤 羅國煜 許 兵 等著



地 震 出 版 社



前 言

黑山峡是黄河从上游青藏高原进入中游陕甘宁盆地间的峡谷河段，该河段于甘肃省靖远县大庙村入峡宁夏中卫县小湾村出峡，全长 71 公里。小观音坝址位于甘肃省景泰县境内，在黑山峡进口以下 21 公里处。大柳树坝址位于宁夏中卫县，黑山峡出口以上 2 公里处，两坝址相距 48 公里。

黑山峡河段的开发方案为大柳树高坝和小观音高坝加大柳树低坝两级开发的两种方案。究竟选择哪一方案，争论已延续三十余年，两坝址的工程地质条件是争论的主要焦点之一。从 1954 年对该河段进行规划论证工作开始至今，有的研究者先后提出：大柳树坝址存在顺河大断层，区域稳定性较差、有抗断问题、地震基本烈度应上升为九度，坝址区岩体大范围松动、稳定性能差以及存在大面积倾倒体和大滑坡等问题。这些问题的不断提出，一再延误了坝址的确定，影响着黑山峡河段的开发。

黑山峡河段是黄河上游最后一个能建高坝大库的峡谷河段，起着承上启下的重要作用。开发该河段对发展西北经济，改善当地各族人民的的生活和老、少、边穷地区的面貌有着十分重要的作用。中国科技咨询中心曾于 1983 年到 1986 年组织专家对该河段的两个开发方案进行了全面的比较论证，认为两方案的工程投资和建设周期基本相同，但对黄河水资源的利用和灌溉、供水、发电、防洪、防凌、环保等综合开发效益而论，则大柳树一级开发方案明显优于小观音大柳树两级开发方案。然而，有的研究者对大柳树坝址建坝的工程地质条件陆续提出上述一些新的质询，鉴于此种情况，为加速

该河段的开发，中国科技咨询中心于 1991 年组织成立了大柳树坝址工程地质论证组，深入进行专题研究。论证组以胡海涛教授为组长，罗国煜教授、许兵教授为副组长，聘请了学部委员贾福海教授、张宗祜教授，王思敬研究员、肖楠森教授、孙广忠研究员、蒋溥研究员和段永侯教授为论证组的顾问。论证分区域地壳稳定性、岩体质量评价和斜坡稳定性三个专题。

论证组收集、阅读了大量有关资料，进行了为期一年多的现场工作，地质、工程地质测试。在论证工作中，除了使用大量常规方法外，还采用一些国际上先进的理论、测试手段和分析计算方法，对某些重要数据还用不同方法进行复核、印证。针对该地区地震强烈、地质条件复杂的特点，应用了“安全岛”、“岩体结构控制”和“优势面分析”等理论，采用了先进的声波测试、表面波测试、CT 层析成象、包裹体测定、蒙特卡罗模拟及区域稳定性和岩坡稳定性优势面专家系统评价等方法，正确地揭示了坝址区的地震地质和工程地质条件。本书就是这次工作的结晶。

邱晓华

1992.12

顾 问 名 单

- 贾福海：地质矿产部高级顾问、学部委员
张宗祜：地质矿产部水文地质工程地质所名誉所长、学部委员
王思敬：中国科学院地质研究所所长、研究员
肖楠森：南京大学教授
孙广忠：中国科学院地质研究所教授
蒋 溥：国家地震局地质研究所研究员
段永侯：中国水文地质工程地质勘察院总工程师、教授级高级工程师

参加咨询论证专家名单

- 胡海涛：地矿部环境地质研究所教授
罗国煜：南京大学地球科学系教授
许 兵：中国科学院地质研究所教授
周瑞光：中国科学院地质研究所副研究员
殷跃平：地矿部环境地质所副教授
王培清：南京大学副教授
陈征宙：南京大学讲师
刘玉海：西安地质学院教授
刘传正：地矿部环境地质所博士
张加桂：地矿部环境地质所工程师
康宏达：地矿部环境地质所助工
陈志新：西安地质学院讲师
门玉明：西安地质学院讲师
戴福初：西安地质学院硕士
李鄂荣：地矿部地质出版社教授
吴庆曾：地矿部水文地质工程地质方法队教授
郭建强：地矿部水文地质工程地质方法队工程师
李国占：地矿部水文地质工程地质方法队工程师
曹福祥：地矿部水文地质工程地质方法队工程师

董兆祥：河北地质学院付教授
徐铭森：河北地质学院付教授
贺可强：河北地质学院讲师
程德春：地矿部水文地质工程地质勘察院 906 队工程师
李 杰：地矿部水文地质工程地质勘察院 906 队工程师
吴玉庚：中国科学院地质研究所工程师
梁金火：中国科学院地质研究所博士
徐贵忠：中国科学院地质研究所副研究员
黄运飞：机械电子工业部工程勘探研究所高工
严寿民：中国科学院地球物理研究所副研究员
邢念信：中国人民解放军国防工程研究设计所高工
陈 静：中国科学院地球物理研究所博士
芷有恒：中国科学院地球物理研究所工程师
袁晓辉：中国科学院地球物理研究所工程师
李守柱：中国人民解放军国防工程研究设计所工程师
张连城：中国人民解放军国防工程研究设计所高工
储同庆：南京大学地球科学系副教授
陈世福：南京大学计算机系教授
陈兆乾：南京大学计算机系副教授
吴燕玉：南京大学地球科学系副教授
吴 浩：南京大学地球科学系讲师
闫长虹：南京大学地球科学系讲师
吴兰洲：南京大学地球科学系工程师
黄永林：南京大学地球科学系工程师
曲继立：南京大学地球科学系硕士
潘 刚：南京大学地球科学系硕士
方 磊：南京大学地球科学系硕士
宛 铭：南京大学计算机系硕士生
邸晓华：中国科学技术咨询服务中心高工
梅益超：中国科学技术咨询服务中心高工

INTRODUCTION

A typical case—study is illustrated to siting for key hydraulic project in strong earthquake zone in the book, and the systematic theory and methodology is presented to catch a "safety island"—relative stable landmass as the site of key facilities in the Heishanxia Gorge of the upper reach of the Yellow River, that is located in the high intensity area and surrounded with three major earthquakes with $M > 8$.

The Heishanxia Gorge with 71km long is latest valley of upper reach of the Yellow River at which high dam can be built, reseving abundant hydraulic resources. Utilization of the Gorge's hydraulic resources will be extremely important to promote the development of Shaanxi, Gansu, Ningxia, Inner Mongolia and other provinces, also provide a very glorious prospect to large area land using of Northwestern China. Two sites are recommended: one is Daliushu site about 2km down to the exit of the Gorge, other, Xiaoguanyin site about 21km up to the entrance of the Gorge. The distance between two sites is about 48km.

The feasibility of developing the gorge has been studied since 1954. The detail investigation and survey for siting has been undertaking by insitutions from Gansu province, Ningxia Hui autonomous region and Central Ministries. The principle points for siting are presented as follows:

—In 1961, former Water and Electricity Ministry's Beijing Surveying Designing Institute completed the first report on primary design siting for Daliushu dam. The inspection result on the report presented "The geologic condition of Daliushu dam foundation is so complicate that it is unsuitable to construct high concret dam with 170m high. There exits the possibility of rockfill dam, but the final conclusion can be received unless more detail in-

vestigation and survey are conducted."

—In 1980, the Electricity Power Ministry's Northwestern Survey and Design Institute proposed the report on site-selection for Daliushu dam and the geologic report on site comparison. The inspection by the institute suggested the Daliushu site could be as one of candidative dam sites and has the possibility of building concret high dam with 164m.

—In 1983, the Science Technology Association of China organized an engineering geology expert group to consult the feasibility on siting in the gorge and suggested the rockfilling dam for Daliushu site. Meanwhile, Northwestern Survey & Design Institute presented "Recompiled and comparative report on developing ways of Heishanxia Gorge that proposed the high concret gravity dam could not be ensured to construct on the firm geologic foundation until the rockmass weathering, foundation sliding stability, natural constructing material are well known, but at present stage the rockfilling dam is safe.

—In 1984, the engineering geology instruction of Xiaoguanyin dam and Daliushu dam was presented.

—In 1991, Tianjin Survey Design Institute recommended the one-level developing programme be concret plane-plate rockfill dam for Daliushu site on the base of engineering geology, slope, cavity and seismic risk analysis, with 163.5m high and dam top altitude 1386m, normal water storage level 1380m, and the auxillary facilities were suggested.

The adequent investigation has revealed the engineering geology features of Daliushu site: 1) Basic earthquake intensity is VIII degree; 2) No significant fault along the river; 3) Tectonic condition is complex in around site, and F1, F3, F7 EW-direction reversed high angle faults controlled the site rockmass; 4) Dam located in rigid slight-metamorphic arkosite interbedded with little phyllite and slate (less than 20%); 5) Adit could be excavate on the right bank rockmass; 6) The present investigation mainly for one-level de-

veloping programme.

The Daliushu site is only 2km far from the Zhongwei-Tongwei active fault belt in where a strong earthquake occurred in 1709 with $M=7\frac{1}{2}$ and epicenter is 30 km away. The structure in around site is complex. So some problems need to be further studied:

—What is the age of the F1, F3, F7 fault activity and whether or not they can create obvious displacement in the foundation?

—The exploring adits reveals that rockmass is relatively broken in the site and the P-wave velocity is not high, does that present the extensive loosening rockmass or the proper feature?

—Is there "wide-range rockfall" on the two bank slopes, and to what degree will they threaten the slope stability?

The three problems determine the engineering geology feasibility for the high rockfilling dam programme.

The book summarizes above results and provides further conclusions for Daliushu dam siting, also proposes a set theory and methodology for siting of key facilities in strong earthquake belt or high intensity zone.

In 1991, Consultant Centre of Science Technology of China organized an engineering geology expert groups to undertake the siting investigation. Three further studies are set up: regional crustal stability assessment, rockmass quality research and slope stability analysis. The advanced theories and methodologies have been applied, such as "Safety Island theory" for relative stable landmass, "rockmass structure controlling" for rockmass quality research, "preferred plane theory" for slope stability analysis. Surface wave, CT tomography imagery, mineral package body test, Monte-Carlo simulation, expert system and other methods also were applied. These studies reveal further the engineering geology condition and earthquake geology condition:

1. Daliushu dam site is located in the Yemingshan landmass, secondary

landmass of the Xiangshan uplift that is composed of epimetamorphic sandstone intercalated with slate and phyllite of Xiangshan group of Middle Cambrian system. The landmass is surrounded by the relatively soft formations of upper paleozonian. And NNW--direction faults in the eastern area to the site plays a "screen" attenuating earthquakes role. That is benifit to the regional stability of the dam site.

2. There exist several major faults in near the site: F1, F3, F7 and F201. The Quaternary analysis, isotope dating and seismic risk analysis indicate that no obvious evidence shows the activity since Holocene and it is impossible that these faults create significant earthquake. The dam foundation may be affected by the outside earthquake vibration and could not displaced by these faults.

3. The basic rockmass quality in the dam site belongs mainly to II, III and IV grade, in which II and III grade rockmass are about 57%. Little part of rockmass is uncompleted under long term tectonic processes and weathering unloading. Surface wave, borehole sonic wave and CT scanning show no evidence of large scale rockmass loosening.

4. The system engineering geology analysis, esp., fluid inclusion, structure plane network model, risk degree and reliable analysis, slope stability expert system assessment reveales the natural slope is at the stable state, but local remaining small rockfall slide. The engineering slope design occupies a high safety reseves.

In brief, the Daliushu dam site is located in the relative stable landmass. The rockmass quality belongs to middle & lower level that can meet the needs to build the high rockfilling dam.

目 录

第一篇 区域地壳稳定性评价

第一章 区域地质构造特征	胡海涛 刘传正 张加桂 康宏达 (1)
第一节、区域沉积建造	(1)
第二节、主要构造格架	(2)
第三节、中卫—同心断裂带分段性讨论	(6)
第四节、地球物理场与深部地壳结构	(7)
第五节、区域构造发展史	(8)
第二章 坝区地质构造条件	刘玉海 刘传正 陈志新 (13)
第一节、地 层	(13)
第二节、地质构造	(13)
第三章 新构造运动及地震活动特征	张加桂 李鄂荣 殷跃平 (17)
第一节、新构造运动特征及分带	(17)
第二节、地震活动的空间分布特点	(24)
第三节、大柳树坝址区域地震史料研究	(28)
第四章 现今构造应力场分布特征	殷跃平 (32)
第一节、震源机制解	(32)
第二节、地形变及地应力测量结果	(32)
第三节、强震震源应力场特征	(32)
第五章 大柳树坝址区域地壳稳定性三个重要问题	殷跃平 刘传正 张加桂 董兆祥 贺可强 (38)
第一节、F ₂₀₁ 断裂的展布及活动性	(38)
第二节、1709 年中卫南地震(7 $\frac{1}{2}$)形变带之讨论	(49)
第三节、坝区及外围的地裂缝问题	(52)
第六章 区域地壳稳定性综合评价	胡海涛 殷跃平 康宏达 (56)
第一节、区域断裂活动性分类	(56)
第二节、坝区及附近地表断裂地震工程地质评价	(58)

第三节、坝区所在地块特征.....	(65)
第四节、部分强震区坝址与大柳树坝址地震工程地质条件类比.....	(72)
第五节、区域地壳稳定性专家系统评价.....	(77)
结 论.....	胡海涛 殷跃平 (81)
参 考 文 献	(82)

第二篇 坝址区岩体工程地质特性及质量评价

第一章 区域地质构造背景.....	许 兵 梁金火 (83)
第一节、地层及岩性特征.....	(83)
第二节、区域构造特征.....	(84)
第三节、区域构造发展简史.....	(86)
第二章 坝址区地质构造特征	许 兵 梁金火 徐贵忠 周瑞光 (87)
第一节、坝址及附近断裂构造特征.....	(87)
第二节、坝址区褶皱特征.....	(90)
第三章 坝址区结构面特征	梁金火 周瑞光 许 兵 (96)
第一节、坝址区小断层发育及分布特征.....	(96)
第二节、坝址区挤压带发育及分布特征	(103)
第三节、坝址区节理裂隙发育及分布特征	(106)
第四节、坝址区断裂构造发育特点	(114)
第四章 坝址区工程地质岩组及岩体结构类型.....	吴玉庚 许 兵 周瑞光 (116)
第一节、坝址区工程地质岩组	(116)
第二节、岩石物理力学性质	(118)
第三节、岩体波速测试	(119)
第四节、坝址区岩体结构类型	(122)
第五章 坝址区岩体结构 Monte-Carlo 模拟	黄运飞 周瑞光 梁金火 (125)
第一节、Monte-Carlo 模拟概述	(125)
第二节、岩体结构面几何参数概率模型	(125)
第三节、Monte-Carlo 模拟方法	(127)
第四节、模拟结果及其分析	(127)
第六章 钻孔声波测试及硐间岩体 CT 分析.....	周瑞光 陈静 邢念信 (132)
第一节、铜壁岩体钻孔声波测试	(132)

第二节、硐间地震波穿透测试及 CT 分析	(134)
第三节、平硐开挖松动圈研究	(138)
第七章 坝址区岩体破裂类型及成因	周瑞光 许兵 (144)
第一节、构造型破裂现象	(144)
第二节、外动力作用下岩体结构面破裂现象	(145)
第三节、坝址区岩体破裂现象分析	(150)
第八章 坝址区岩体质量评价	许兵 周瑞光 (155)
第一节、从硐壁岩体特性评价大柳树坝址岩体质量	(155)
第二节、从钻孔声波测试和 CT 分析评价大柳树坝址岩体质量	(158)
第九章 问题讨论与主要结论	许兵 周瑞光 (160)
第一节、右岸地下硐室群成洞条件分析	(160)
第二节、主要结论	(163)
 第三篇 斜坡变形破坏分析及边坡稳定性评价	
第一章 山体结构特征	王培清 阎长虹 (165)
第一节、地形地貌	(165)
第二节、地质构造	(167)
第三节、岩体结构与岩体特征	(173)
第四节、水文地质概况	(175)
第二章 坝区构造矿物包裹体研究	储国庆 罗国煜 (176)
第一节、引言	(176)
第二节、区域地质背景	(176)
第三节、构造岩裂隙充填石英包裹体特征与问题探讨	(177)
第四节、构造岩带矿物变形性与微裂隙研究	(183)
第五节、结论	(185)
第三章 岩体结构特征	潘刚 陈征宙 (187)
第一节、岩体结构模型模拟的原理及方法	(187)
第二节、坝址区结构面几何参数概率模型	(188)
第三节、坝址区岩体结构模拟结果	(193)

第四章 斜坡现状与问题分析.....	罗国煜 潘刚	(198)
第一节、关于“倾倒体”与“大滑坡”的研究		(198)
第二节、斜坡现状分析与认识		(204)
第三节、斜坡工程地质分区		(207)
第五章 坝址斜坡稳定性分析.....	罗国煜 王培清	(209)
第一节、岩坡优势面分析基本概念		(209)
第二节、坝址边坡不稳定性的因素		(209)
第三节、坝址左右岸边坡变形类型和模式		(210)
第四节、坝址边坡稳定性初步评价		(214)
第六章 主要工程边坡稳定性分析.....	方磊 陈征宙	(221)
第一节、工程边坡地质条件		(221)
第二节、主要工程边坡稳定性分析		(223)
第七章 坝址斜(边)坡稳定性优势面分析与评价.....	陈征宙 方磊	(232)
第一节、优势面理论对本区边坡研究的新认识		(232)
第二节、边坡危害度分析		(238)
第三节、边坡决策分析		(240)
第八章 边坡稳定性优势面分析理论专家系统 (ROPP)	罗国煜 曲继立	(247)
第一节、ROPP 系统结构概述		(247)
第二节、知识库		(249)
第三节、ROPP 系统的推理机制		(251)
第四节、推理机的实现		(254)
第五节、ROPP 系统的知识获取功能		(255)
第六节、ROPP 系统的测试		(256)
结 论.....	罗国煜 陈征宙 王培清	(259)
结 语.....	胡海涛 罗国煜 许 兵	(261)

第一篇 区域地壳稳定性评价

第一章 区域地质构造特征

该区位于青藏隆起北东边缘，属秦祁昆地槽系祁连山地槽的北东部。东面与鄂尔多斯地块相邻，西北侧为阿拉善地块。由于其特殊的大地构造位置，地质构造较复杂。现简述如下。

第一节 区域沉积建造

本区以海原断裂为界，南属于北祁连优地槽范围，北为冒地槽，北边牛首山断裂为地槽的边界。元古代以来，该区发育有海陆相各种沉积建造。

(一) 元古代沉积建造

岩性为粘土质岩石和碳酸盐岩夹中基性火山岩，为优地槽早期沉积建造，厚度巨大，后期遭受低级区域变质作用。在海原断裂以南的南华山、西华山及西吉县月亮山等地有出露，称该套地层为海原群。

(二) 早古生代沉积建造

以类复理石建造为主，晚期沉积建造有所变化。具体如下：

(1) 寒武纪发育有相当于庄期沉积的一套深海海槽相类复理石沉积建造，厚 4000 余米，称为香山群。在香山、米钵山、夜明山、烟筒山以西的长山头、牛首山、野猫子山等地广泛分布，可分为四个亚群：第一亚群为灰色薄层灰岩、鲕状灰岩、砾状灰岩，灰绿色砂岩及千枚状板岩；第二亚群为灰绿色中—细粒长石石英砂岩、板岩及薄层灰岩；第三亚群为灰绿色长石石英砂岩夹板岩、灰岩透镜体，灰色、灰褐色硅质岩和硅质白云岩；第四亚群以灰绿色长石石英砂岩为主夹少量板岩，该群后期经受了浅变质作用。大柳树坝址位于第四亚群之上。

(2) 奥陶纪早期 (O_1^{1-2}) 发育浅海相碳酸盐岩沉积建造，中晚期 ($O_1^3-O_3$) 有由砂岩、板岩和灰岩组成的类复理石建造，厚 4000 米以上，在牛首山、香山和罗山有出露。

(3) 早志留世晚期至中志留世，发育一套不厚的浅海相以灰岩为主的沉积建造；晚志留世有浅海—滨海相碎屑岩沉积建造，岩性为紫红—暗红色钙质细砂岩、粉砂岩、钙质长石砂岩和长石石英砂岩等，厚 300—600 米，出露在南华山和西华山。

(三) 晚古生代沉积建造

经过强烈的加里东运动，海水退出本区，区内发育了山麓磨拉石相碎屑岩沉积建造。后期地壳趋于稳定，但有海水入侵，发育有海陆交互相沉积建造：

(1) 泥盆纪中晚期发育有典型的山麓坳陷磨拉石建造。中泥盆世以紫红色细粒长石石英砂岩为主，在牛首山有出露；晚泥盆世发育紫红色长石石英砂岩和灰绿色、灰白色长石石英砂岩，厚 2300 余米，在香山、孟家湾、上河沿、下河沿及红泉等地有出露。石炭纪早、中期为海相—海陆交互相灰色—灰黑色钙质砂岩沉积建造；晚期为陆相煤系沉积建造。总厚 2300 余米，在卫宁北山、香山、烟筒山、孟家湾、上河沿和下河沿等地有出露。

(2) 二叠纪发育有紫红色、黄绿色、灰绿色凝灰质砂岩、凝灰岩等陆相碎屑岩沉积建造，厚 660 米，仅见同心县新断头、海原县油井山及中卫县大柳树村有出露。

(四) 中生代沉积建造

本期已结束海侵历史，无海相沉积，河湖相碎屑岩沉积建造大量发育：

(1) 三叠纪发育有灰白色、黄绿色粗碎屑岩、碎屑岩等河湖相沉积建造，厚度较大，但分布零星，仅见于中卫小红山、米粮川。

(2) 侏罗纪中—晚期发育有黄褐、灰色碎屑岩、粗碎屑岩，底部含煤，为一套河流—湖沼和河湖相沉积建造，厚达 600 米以上，在香山南麓下流水有出露。

(3) 白垩纪早期发育有紫红色、灰绿色、蓝灰色碎屑岩夹多层泥灰岩及石膏，为河湖相沉积建造，厚 1700—3040 米，在六盘山、月亮山分布广泛，此外，固原、同心有零星分布。

(五) 新生代沉积建造

第三纪发育一套内陆红色碎屑岩—含膏盐建造；第四纪发育洪积、冲积和湖积沉积建造：

(1) 早第三纪发育始新世河湖相砖红色砂岩夹少量砾岩；渐新世红色砂岩、泥质砂岩沉积建造，含丰富的石膏。古湖泊范围较大，在六盘山两侧及海原至同心一带有分布，卫宁盆地边缘也有零星分布。

(2) 晚第三纪发育中新世以浅湖相为主的红色碎屑岩建造和上新世红土层。中新统在区内分布较广；上新统仅固原东有零星分布。

(3) 第四纪更新世在盆地中发育一套冲积相粘土质砂、砂质粘土层和灰色砾石层沉积，山前发育有洪积相灰色砾石层，晚更新世还有一套厚 15.5—46 米的风成黄土沉积；全新世发育有洪积、冲积、湖积和风积相沉积层。

第二节 主要构造格架

黄河黑山峡位于我国东部与西部大地构造的转折部位，呈现多个构造体系和构造带的交汇、复合。东面为鄂尔多斯地块，西南侧为青藏地块，西北侧为阿拉善地块。这三个地

块及其边缘构造体系的作用,使黑山峡大柳树坝区外围受到陇西系、河西系和祁吕贺山字型以及区域东西向构造带的影响。因此,黑山峡地块就位于它们孕育的南北地震带北段与古浪—海原地震带交汇成的地带内。

在地质结构上,黑山峡所在的香山地块是陇西系第二隆褶带内的一个次级古地块。它由中寒武世浅变质的类复理石建造构成基底,由晚古生代海陆相红色碎屑岩建造和含盐、含煤建造构成第一盖层、由新生代新第三纪褐红色碎屑岩建造构成第二盖层。第四纪时期在地块边缘局部仍有明显的活动迹象。

(一) 主要构造体系或成分

影响坝区的构造体系主要有三个,一是介于秦岭和阴山两纬向构造体系之间区域东西向构造,二是陇西系,构成本区主体格架,三是河西系,往往切割前两个体系并互为影响(图 1-1.2.1)。

1. 区域东西向构造

它是阴山和秦岭两个巨型纬向体系的影响成分,一般规模不大,主要发育在本区北部的卫宁北山,小红山—下河沿以及五佛寺—大庙一线,在香山地块内部的罗锅井也有显示,其断裂要素一般表现为中寒武统逆冲于上泥盆统或石炭系之上,与之配套的张性和扭性结构而不甚发育,延伸很短,东西带形成于加里东期,印支和燕山期活动强烈,并受到陇西系影响,喜山期以来在本区东部有继承性活动,在下河沿以西,断裂受到陇西系归并或与陇西系呈重接关系。

2. 陇西系

构成本区的主要构造格局,它是一个巨型旋卷构造体系,其西北可达甘肃的乌鞘岭,西部影响到拉脊山大背斜的西宁槽地,南面插入了祁吕褶带和秦岭东西带,东北面则与贺兰山断褶带的南段斜接。

本区分布着陇西系的中南段,可具体分为三个旋回隆起断褶带和四个沉降拗陷带以及与其伴生或派生的次级构造成分。自北向南依次为:Ⅰ鸣沙—新庄集新生代拗陷带,Ⅱ烟筒山—窑山隆起断褶带,Ⅲ中卫—同心—固原新生代拗陷带,Ⅳ黑山—香山隆起断褶带,Ⅴ兴仁—海原新生代拗陷带。

Ⅵ南、西华山—六盘山隆起断褶带,Ⅶ西吉新生代拗陷带,其中Ⅳ、Ⅵ两个断褶带对坝区影响最大,它们的边界断裂分别是香山—天景山活动断裂带和海原活动断裂带,且后者是陇西系在本区的主带,也是西北地区岩石圈动力学边界的组成部分。陇西系最北侧的牛首山—罗山隆起断褶带与贺兰山褶断带归并和斜接(见图 1-1.2.1)。

四个弧形断褶带及其间的拗陷带明显地向南收敛,因此构成了一个向东南方向收敛,向西北方向撒开的帚状体系,但也不排除西北侧也有一个收敛中心,形成双带向东北撒开的格局。即西北方的旋涡在兰州西北,而本区的旋涡在水天一通渭附近。

卷入陇西系的地层包括上、下古生界及新生界,说明本区经历了加里东、海西,印支—燕山运动和喜山运动,至今构造与地震活动仍很强烈。西、南华山—六盘山隆起断褶带是该体系中最明显,最主要的成分,该带长达 500 公里,为布格重力异常变异带,也是莫霍面深度变化的强烈梯度带,它控制了超基性岩的分布,并断隆出前寒武纪的地体。该

带不仅控制了中、新生代槽地、盆地的分布，并且改造、归并了较老的东西带的成分（如下河沿以西一线）。

3. 河西系

为主要展布在青海与甘肃交界地区的一套成分，其方位为 $330^{\circ}-345^{\circ}$ ，西部受祁吕系的影响而稍向西偏，甚至二者不易分辨。本区发育的 NNW 向断裂带是河西系武威—兰州构造带的东部成分，武兰带的主体在兰州以西，以古浪河—临洮河断裂带为代表。本区河西系主要分布于黑山峡西端的苦水沟、翠柳沟、东端的粉石沟并南延经香岩寺东到油井山、下流水附近隐没，中宁和青铜峡—三关口一线也有显示。

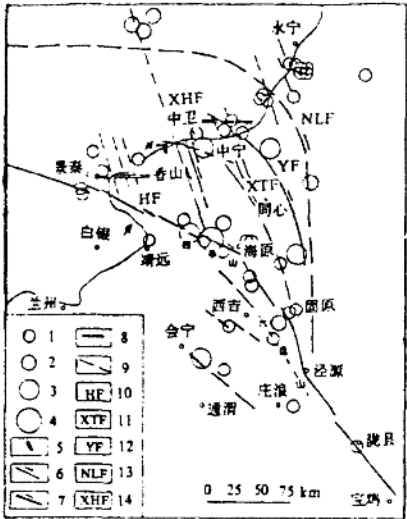


图 1-1.2.1 黄河黑山峡大柳树外围活动构造体系与地震分布图

1. $4.7 < M < 6.0$; 2. $6.0 < M < 7.0$; 3. $7.0 < M < 7.5$;
4. $M = 8.5$; 5. 坝址; 6. 河西系活动断裂; 7. 陇西系
活动断裂; 8. 纬向构造; 9. 隐伏断裂; 10. 海原断
裂带; 11. 中卫—同心断裂带; 12. 烟筒山断裂带;
13. 牛首山—罗山断裂带; 14. 小洞山—黑龙井断裂带

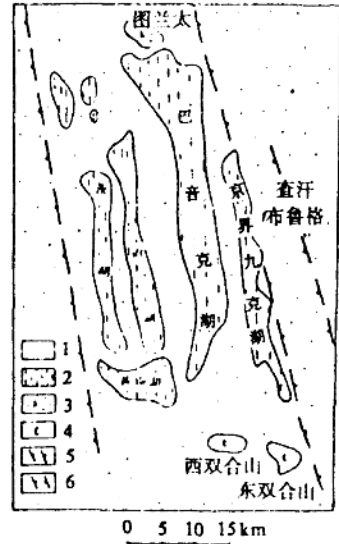


图 1-1.2.2 内蒙古图兰太—东、西双合山地区河西系控制现代湖泊分布图
(宁夏地质志, 1990)

1. 第四纪风成沙; 2. 第四纪湖积;
3. 白垩纪砂砾岩; 4. 寒武系;
5. 河西系隆起; 6. 河西系凹陷

坝区外围河西系切割了第四纪以前的地层，并控制了新生代的隆起、拗陷和切割其它体系的成分，说明该体系主要成生于喜马拉雅运动时期。河西系在粉石沟、腰峁子沟右旋切错了陇西系，并向北延伸入腾格里沙漠，可从内蒙东、西双合山与图兰太之间现代湖泊与大型沙垅均以 345° 方向平行排列加以佐证（图 1-1.2.2）。此外，中强地震震中沿 NNW 向构造东及南北端分布，也可说明河西系在晚近时期仍有强烈活动，且在某种程度上起到屏蔽地震于中卫以东的作用。

如上述，区域东西向构造是本区最老的构造成分，主要形成于加里东期，陇西旋扭构