

现代构造应力场与工程地质问题

朱之杰

唐少甫

(中国科学院地球物理所)

(水电部成都勘测设计院)

工程区地应力场,与区域构造背景和控制现代构造活动的板块碰撞所形成的构造应力场有密切关系。工程实践表明,由于高应力的作用引起地下洞室破坏、边坡失稳和工程区的构造稳定性等问题,随着工程建设的深入开展也日益显得突出,并受到人们的普遍关注。水利水电工程的可行性研究阶段,除根据地质体的历次构造变形场,探索各构造阶段的应力场以及它们的叠加和再分布的历史渊源外,更重要的是求得现代应力场的分布与定量数值,据以评价水工建筑物区的工程地质条件,合理地选择坝(场)址拟定枢纽布置的最佳方案,以达到缩短建设周期,降低工程造价的予期目的。

一、中国大陆现代构造应力场特征

(一) 中国大陆主压应力迹线展布

我国大陆范围内地应力场的主应力迹线,呈现出明显的规律性,大致以东经105度为界,往西直到中亚地区,主压应力迹线由北东东,逐渐转为北北东直到南北向展布。著名的地球动力学及岩石力学专家陈宗基教授指出^{[1]、[2]},地应力主要来源于地幔热对流引起的板块运动。我国大陆部分,东受太平洋板块向西运移,南有印度板块向北挤压,东南和北面又分别受菲律宾板块和西北利亚板块的约束,在这样的边界力作用下,主压应力迹线呈现如图1的总体分布规律。图1中一簇向北凸出的曲线,其切线则表示各该点处的最大主应力方向。王士天教授等^[3]也在他的著作中提出相似的结果。

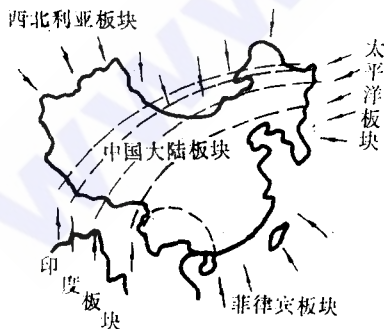


图1 中国大陆板块边界所受的外力分布
(据陈宗基教授)

(二) 岩石圈下部剪应力场

据刘元龙^①研究了美国GEM-108地球卫星资料(1981年发表),得出2-36阶位系数,按S.K. Runcrn(1976)给出的应力方程计算出岩石圈下部约100公里处的剪应力分布(图2)。印证了岩石圈下部由于地幔热对流所引起的应力场,影响着地壳浅层的地应力场分布,且与板块运移作用所促成的应力场相一致。在北纬25度左右、东经102度附近,大约为攀西裂谷所延伸的地带,处于南北两侧剪应力形成的挤压作用之下,与近几年来二滩水力枢纽实测最大应力方向基本一致。但在祁连山地区据图1解释和近代活动断层的错断方向看

来, 该区一系列北西西向压性断层都承受着来自北北东与南南西的挤压力, 图2则表现为拉伸应力, 原因尚待研究。

(三) 地震断层面解主应力轴分布^②

根据1950至1980年的169次浅源大地震资料, 得出主震的断层面解主应力轴水平投影图(图3)。图中各地的主应力轴方向亦符合图1的总趋势, 唯西南攀西裂谷地区主要呈北西向, 与二滩实测结果有一定差距。值得提出的是地表浅层岩体主应力方向, 与施测地点地形(势)有密切关系, 但工程区所采用的地应力数据, 应以实测结果为依据, 并可参照震源机制解与地应力场的总体分布规律和新构造调查等资料最后决定。

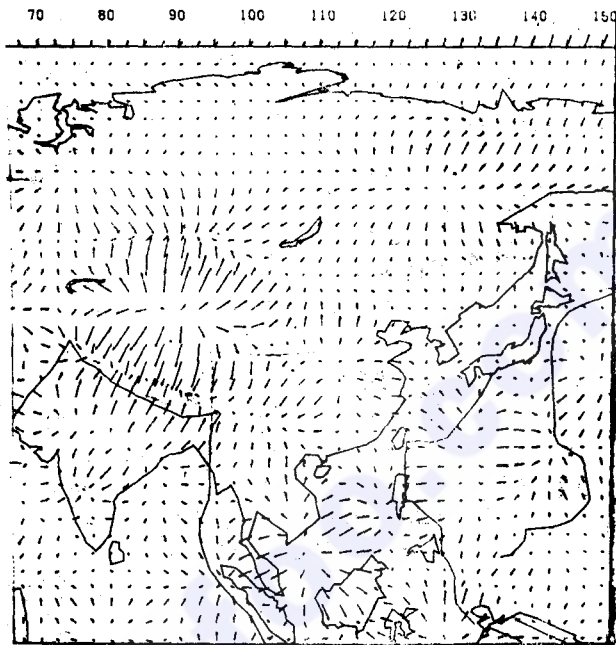


图2 中国大陆地壳下剪应力分布

(据刘元龙, 1983)

二、场地地应力场

尽管工程场地测得的地应力受到测点所在构造部位, 地形(势)变化, 岩石的结晶、变质、沉积、固结以及脱水作用等等影响, 但总的受区域构造力所制约。从我国各地的实测结果反映出如下规律。

(一) 与图1所示的主压应力迹线吻合

据李方全等^[4]测得华北地区及郯庐断裂带地表以下30米内的浅部地应力表明(图4)华北地区的主应力优势方向为北西西到东西方向, 且全部为压应力; 甘肃全川矿区^③测得最大主应力轴线近水平, 方向为北北东(见图10), 但各测点的方向略有差异, 可能与实际测点的构造部位有关; 刘家峡水电站^④在两钻孔中测得最大主应力方向为北29°东±9°; 二滩水力枢纽区经水电部成都勘测设计院等五个单位实测, 尽管方法不同, 但测得最大主应力多为南北与北30°东之间。不多的实测资料也反映出它一定的规律性。

①刘元龙: 岩石圈下部剪应力场分布, 1983。

②引用国家地震局的资料。

③引自中国科学院地质力学所等单位: 全川矿区原岩应力测量及其构造应力场研究, 1981。

④朱之杰、刘燕君: 刘家峡库坝区地质构造, 1983。

(后附图3)

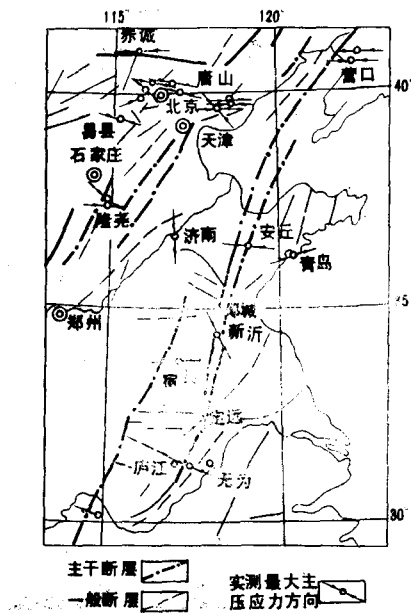


图4 华北地区及邻庐断裂带地质构造纲要及地应力实测最大主应力方向(据李方全, 1982)

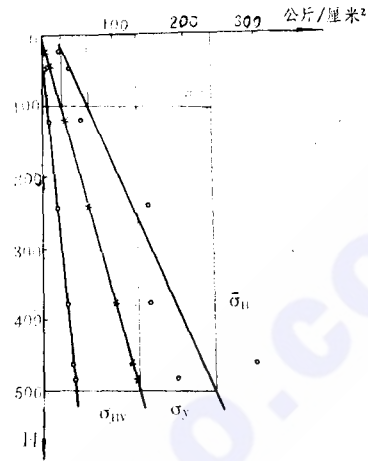


图5 全川矿区平均水平应力、垂直应力以及侧压效应随深度变化曲线(据③)

(二) 水平应力大于自重应力

我国各处实测资料^[5]表明, 水平应力大于垂直应力的情况极为普遍, 而且两水平分量亦不相等, 都远大于上覆岩体自重应力。国外据Herget, G^[6]搜集十余个国家和地区的实测资料, 水平应力大于垂直应力者约占75%。

(三) 随测量深度增加地应力值亦随之增大

金川矿区③测得表层最大水平应力值约30公斤/厘米²; 200—500米深处测得最大主应力值一般为300多公斤/厘米², 最高达500公斤/厘米(图5)。地应力不仅随深度加深而增大, 且与岩体力学特性和完整性有明显关系^[7,8](见下文)。例如渔子溪一级隧洞凡发生岩爆之处, 岩体极其完整, 节理发育处则未见有岩爆现象; 青石岭电站基坑开的卸荷开裂^[9]也类此。

三、现代构造应力场与工程地质问题

(一) 构造稳定性问题

工程区构造稳定性评价, 其内容可概括为: 1. 根据地壳的现代构造活动确定地震危险区; 2. 水库诱发地震的可能性; 3. 局部地震效应等问题。当前, 尤以前两点国内

外都还处于探索和总结工程建设实践经验的阶段, 未形成比较成熟的理论和有效方的方法, 尤以结合现代构造应力场分析工程区构造稳定问题更是如此。运用板块构造学说探讨不同类型板块的发展特征, 分析活动断裂的构造格局与交接复合关系对划分相对稳定地块等方面, 不少学者都进行了有益的研讨。由于板块碰撞, 板内块体的差异活动, 以及地应力场所决定的现代构造与强震带, 往往是有规律地沿板块碰撞边界, 板内断块邻接处的活动断裂带分布。其交汇点、端点、拐点和错列点等处形成构造应力集中而成为潜在的地震危险区。因此, 工程区尽力避开活断层, 地震断层或发展断层, 尤其显得重要。

1. 以下试图分析几个实例

(1) 潘家口水库坝基 F_{12} 断层稳定性④

潘家口水库混凝土坝高103.4米, 坝基为太古代片麻岩, 片理走向近于东西。坝址在侏罗纪曾先后受东西、北东向构造的影响。坝基开挖后, F_{12} 断层以走向北40°~50°东斜贯坝址, 断层带宽3—8米, 倾向北西、倾角50°, 属左旋逆断层, 根据断层擦痕等判断, 在侏罗纪之后至少又有两次活动。在坝基36坝段的上、下游, 可观察到复于 F_{12}

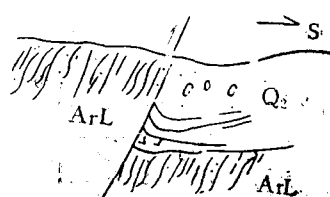


图6 三级阶地上的新构造断层

上的二级阶地砂砾石层(Q_3)未被错动, 但在坝址下游300米处的河流左岸三级阶地后缘, 有一与 F_{12} 平行的新断层(走向北50°东、倾北西、倾角50°~60°), 可见到太古代片麻岩(ArL)上冲于 Q_2 砂卵石层之上(图6)。断距约40厘米, 长10余米。考虑到坝区基本烈度较高(7度), 故借助 F_{12} 两侧地应力实测来论证 F_{12} 的稳定性。应力测量数据如表1。

表1 F_{12} 断层上、下盘应力测量结果

测点位置	水平最大主应力(公斤/厘米 ²)	水平最大主应力方向
F_{12} 上盘	48.29 ± 7.80	北东 $15^\circ \pm 11^\circ$
F_{12} 下盘	80.22 ± 3.37	北东 $19^\circ \pm 4^\circ$

根据下盘所测值数, 算得断层面上剪应力 $\tau=25$ 公斤/厘米², 正应力 $\sigma_n=33.8$ 公斤/厘米², 从而求得 F_{12} 断层在临界状态下的滑动准则 $\tau=0.74 \sigma_n$, 即 F_{12} 断面的摩擦系数至少应大于0.74。若按上盘测得结果, F_{12} 则不易滑动。但水库蓄水后断层性状将会改变, 考虑实测点水平最大主应力与断层走向间的夹角或区域地应力条件, 都不能说是很有利的。但主要从 F_{12} 在 Q_3 (?)以后没有活动, 也并非控制性大断裂; 断层带中很少夹泥, 所夹角砾及碎石块摩擦力较大; 坝区基本烈度主要依据1976年7月28日唐山大地震后, 当地民房松散土地基的震害确定等因素看来, 相对于坝基比较坚硬的基岩应当是偏于安全的。

(2) 二滩水力枢纽(图7)

二滩位于雅砻江下游峡谷段。坝址处于盐边一共和断块腹部, 其东约40公里有安宁

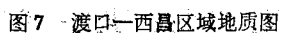


表 2 二滩坝区地应力(全应力)测试成果表

岸别洞号	测点编号	测点位置 (深度:米)	测点处 岩性	σ_1			σ_2			σ_3			测试方法	测试单位	工程部位
				值 公斤/厘米 ²	投影方位角	倾角	值 公斤/厘米 ²	投影方位角	倾角	值 公斤/厘米 ²	投影方位角	倾角			
左岸	σ_{2-1}	3#支洞 0+26.9-3	ϵ (正长岩)	260	34°	23°	95	140°	33°	25	277°	48°	孔径法	成都院研究所	坝后房式地下
	σ_{2-2}	0+280	ϵ (正长岩)	188	31°	45°	75	141°	19°	-19	245°	34°	孔径法	中科院武汉岩土所	
	σ_{2-3}	0+260-280	ϵ (正长岩)	195	20°	57°	67	160°	27°	57	260	18°	压磁法	三河地震队	
	σ_{2-4}	0+265	ϵ (正长岩)	222-250	30°-23°	20°-23°	154-169	180°-121°	-20°-180°	44-82	160°-178°	61°-51°	孔壁法	中科院地质所	
右岸	σ_{4-1}	N47°W支洞 0+355-159	P ₂ β L (玄武岩)	296	359°	-8°	117	76°	57°	74	275°	52°	压磁法	三河地震队	库内房式地下
	σ_{4-2}	N43°E支洞 0+33-419	P ₂ β L (玄武岩)	384	22°	26°	173	111°	-3°	104	195°	63°	"	"	
	σ_{4-3}	N6°E支洞 0+195	ϵ (正长岩)	244	38°	-6°	231	135°	-47°	98	173°	42°	"	"	
	σ_{4-4}	N6°E支洞 0+75	ϵ (")	295	18°	40°	221	155°	42°	187	87°	-24°	"	"	
24#	σ_{24-1}	0+102	ϵ (")	96	353°	31°	45	163°	58°	43	261°	4°	"	"	左坝肩
23#	σ_{23-1}	0+220	P ₂ β 3 (玄武岩)	266	16°	27°	168	101°	-10°	108	172°	61°	"	"	导洞出口
11#	σ_{11-1}	0+261	P ₂ β 2 (")	303	11°	-24°	220	95°	12°	41	34°	63°	孔径法	成都院研究所	左坝肩
	σ_{11-2}	0+261	P ₂ β 2 (")	304-347	46°-50°	-4°-12°	154-142	132°	26°-27°	73-112	338°-347°	59°-60°	孔壁法	中科院地质所	导洞进口
32#	σ_{32-1}		ϵ (正长岩)	109	28°	-24°	42	123°	-01°	14	54°	64°	孔径法	成都院研究所	

说明: 1. 投影方位角以磁北为0°, 顺时针转到360°, 倾角的仰角为正, 俯角为负。

2. 为便于成果对比, 对各单位提供成果中的方位角作了适当变换

河深大断裂从北向南纵贯全区；金河—菁河深大断裂从北向西呈弧形凸向盐边一共和断块；南有攀枝花断裂和昔格达断裂终止于坝址下游约10余公里范围（图7）。以上断层用热发光和C¹⁴方法测定^⑤，并根据渡口—西昌区域地质构造图以及近代地震活动判断为发震断裂^③。断块内西番田断裂从北向南，又将盐边一共和两断块一分为二，坝址所处的共和断块，在十公里范围内还可见几条断层终止于距坝区1.5~5公里处。兼以坝址区正长岩贯入玄武岩之中，岩体又比较完整坚硬，故实测地应力高与上述的特定构造背景颇为呼应（表2、3）。

表3 二滩坝区河床钻孔地应力测试成果表

$\sigma_{\text{河}-1}$ 测量孔深	σ_1 (公斤/厘米 ²)	σ_2 (公斤/厘米 ²)	φ	$\sigma_{\text{河}-2}$ 测量孔深	σ_1 (公斤/厘米 ²)	σ_2 (公斤/厘米 ²)	φ	试测方法	测试单位
17.9	18	5	N78°W	21.9	15	-10	N6°E	孔径法	中科院武汉岩土所
24.5	50	12	N87°W	26.8	11	-20	N32°W	"	"
30.0	180	30	N80°W	31.4				"	"
37.5*	650	291	N34°E	38.0	145	126		"	"
40.5	659	259	N50°E	45.0	394	248	N12°E	"	"
45.0	494	202	N28°E	53.5	407	226	N32°E	"	"
55.3	600	315						"	"
59.4	610	320	N50°E					"	"

*此点岩芯呈饼状破裂

应力测量结果表现如下规律：

a. 地应力量级远大于上复岩体的自重应力。由于峡谷谷坡高耸，地应力迹线受地形影响较大，各实测点最大主应力走向集中在北22°东左右，基本垂直河床；倾角多在22°上下，小于岸坡倾角。

b. 地应力集聚与岩体力学特性的差异有明显变化，随着弹模增高而增大。玄武岩体中最大主应力（平均为315公斤/厘米²），大于正长岩体（200~240公斤/厘米²）；其弹性模量前者为（79~130）×10⁴公斤/厘米²，后者为（30~60）×10⁴/厘米²。三个主应力比值为1:1/2:1/4。

c. 河谷谷坡下部和河床底部有明显的应力集中现象（图8a）。河床左岸 $\sigma_{\text{河}-1}$ 孔30余米以下，最大主应力陡增至650公斤/厘米²，右岸 $\sigma_{\text{河}-2}$ 孔38米以下增大达394公斤/厘米²。两孔了解深度远未穿过应力集中范围。根据^⑥河床勘探孔岩芯薄饼状破裂和有限元计算结果，应力集中范围可深达160米。

d. 岸坡岩体由河岸向里实测原位应力有明显分带（图8b）现象，且与地质上风化卸荷带吻合。谷坡应力释放区与应力集中区的分界线，可能提示谷坡稳定性差的重要界面。

以上比较复杂的地质构造背景，工程区的稳定性必然成为争论的焦点。

a. 关于区域现代构造应力场的方向与活动性断裂的关系

⑤中科院地质所等；雅砻江水力开发可行性若干问题综合研究报告，1982，3。

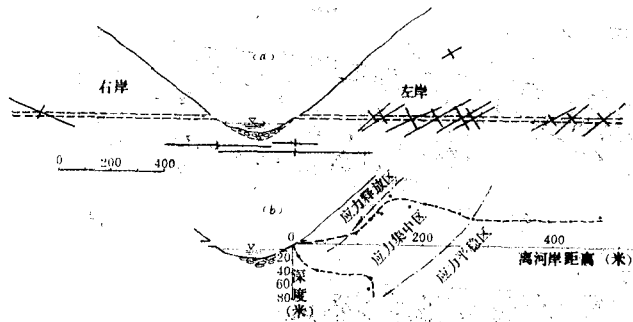


图8 (a) 正长岩岩体中垂直河流剖面主应力分量
(b) 以最大主应力为准划分的三个应力区 (据⑤)

表4

主压应力方向与发震构造之间的夹角	$<30^\circ-0^\circ$	$30^\circ-60^\circ$	$60^\circ-80^\circ$	$>80^\circ$
地震次数	11	22	8	5
百分率	23.9	47.8	17.4	10.9

计分析, 提出如下关系式:

$$M = 6.53 + 0.28 \ln L$$

$$M = 6.60 + 0.2 \ln R$$

式中 M —震级; L —地震断裂长度 (公里); R —垂直、水平错距 (厘米)。

按上式计算, 只在 $M > 6.5$ 级的强震才有可能产生地震断层。另据^[13]国内外近代地震断裂实例, 当震级 $M \geq 5.6$ (一般都 ≥ 6.4 级) 即可出现地震断裂。二滩基本地震烈度定为Ⅶ度稍强, 可见设防标准应该适当提高。

c. 断块大小问题

稳定断块大小只是一个相对标准。若按目前有些国家对核电厂选址的规定, 距厂址 8 公里范围内无主要活断层, 5 公里内无小的活断层。从这一标准看来, 二滩的稳定块亦可满足此条件。

(二) 区域地应力场与洞室稳定问题

地应力与洞室稳定的关系, 以我国的金川矿区表现得尤为典型, 研究工作也做得较好。

金川矿区位于阿拉善块台边缘隆起带。北接阿拉善块台南缘的拗陷—潮水盆地; 南与祁连山地槽相毗邻。矿区所处的龙首山两侧发育有深大断裂, 控制了本区的地质构造、岩浆活动及成矿作用。矿区深大断裂 F_1 即为祁连山—秦岭板块俯冲带。据研究^[14], 在俯冲带北侧地台区有加里东期含镍及钼、钽的超基性岩, 龙首山一带花岗岩的侵入及边缘混合岩的形成可能为俯冲过程中熔岩上升的产物。

这一地区构造继承性异常明显, 海西、燕山直至新生代的构造运动都继承了北西西

根据李兴唐等^[10]研究区域最大主应力优势方向为南北。按西南地区 46 个 5 级以上的地震统计 (表 4)^[11], 区域最大主应力方向与发震构造断裂的夹角, 多为 $30^\circ-60^\circ$, 其它次之。说明震源破裂面以剪切破坏为主, 亦即发震断裂以走滑型者居多。尽管共和断块外围活动性断具备上述条件, 但坝址范围内无大断裂, 邻近断裂也与活断裂无明显的直接连系。

b. 产生地震断裂的条件

据蒋溥等^[12] (1976) 研究我国近 30 处发生地震断裂层的实例统

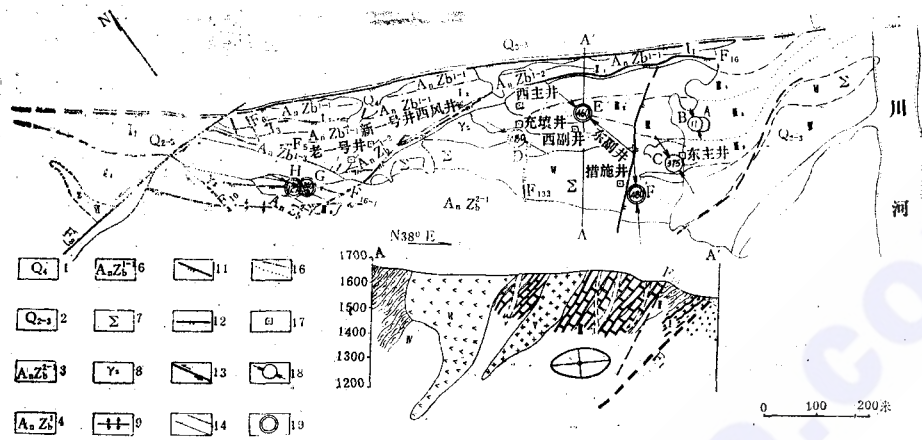


图9 金川矿区地质构造及应力测点分布图

1 全新统 2 中—上更新统 3 前震旦界二段一层 4 前震旦界一段三层 5 前震旦界一段二层 6 前震旦界一段二层 7 超基性岩 8 肉红色花岗岩 9 背斜轴 10 区域性断裂 11 压性断裂 12 张性断裂 13 平推断裂 14 性质不明断裂 16 实测与推测岩组界限 17 竖井 18 平面应力点圈(内为测点深度,米) 19 三维应力测点(圈为测点深度,米) 20 最大主应力矢量 1厘米=200公斤/厘米² I 混合岩带 II 片岩, 片麻岩带 III 大理岩带 IV 条痕—均质混合岩带 V 花岗岩带 VI 含矿超基性岩带

向的构造活动。龙首山两侧深大断裂的新构造运动与地震活动强烈(如民勤、山丹、古浪、海源等地震),震中震级达5—8.4级。

矿区地应力场,通过实测、模拟试验和有限单元分析,其最大和中间主应力轴接近水平(图9),最小主应力轴近于垂直。最大主应力方向为北东—北北东,距地表300—500米深处,最大主应力为300公斤/厘米²左右,水平主应力随深度增加而加大,最大和最小差值,亦随深度有增大的规律(图6)。巷道变形概括如下规律:

1. 最大主应力与坑道轴线近于正交时,若最大主应力与水平面夹角很小,侧压作用明显,边墙多开裂严重,巷道断面拉长;当夹角增大,偏压作用明显,巷道变形多呈歪桃形。

2. 巷道变形与最大主应力和巷道轴线间交角关系明显。如图10所示一段巷道与 F_{16-1} 断层斜交(交角51度),也正是最大主应力与巷道轴线近于正交,断层与地应力两因素的共同作用,使得两帮侧压增大,片冒频繁,顶板冒落达7—8米,多次返修,仍变形开裂。当巷道与 F_{16-1} 近于正交穿过,即与最大水平主应力平行时则比较顺利地通过这一地段,成巷后亦较

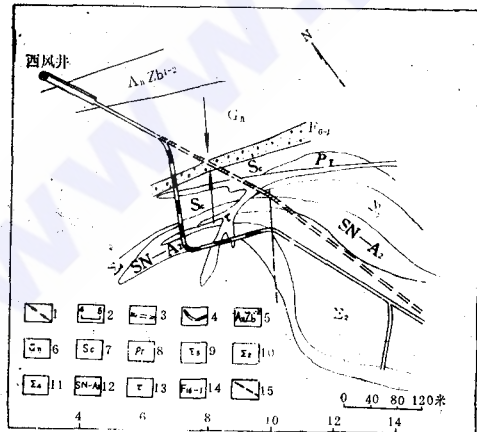


图10 金川矿区巷道变形破坏示意图

1 最大主应力方位 2 行线编号 3 强烈变形巷道 4 完好或轻微变形巷道 5 前震旦界 6 片麻岩 7 石墨绿泥片岩 8 伟晶花岗岩 9—11 2—4超基性岩 12 贫矿体 13 斜长细晶岩 14—15 断层

稳定。

3. 在水平地应力大的情况下, 巷道断面宽/高比 ≤ 1 时, 巷道稳定性差; 采用仰拱全封闭的似椭圆(轴比 >1)巷道断面, 则稳定性好, 是适应地应力作用的一种比较理想的几何形状。

4. 巷道变形统计证明, 随深度增加而有加剧的趋势, 与实测地应力随深度增大以及最大、最小主应力差亦相应增加的情况相吻合。

除上述各点外, 地质条件好坏, 施工方法的得当与否也是有一定影响的。从渔子溪一级隧洞实践中得知洞室轴线与主要结构面走向之间的夹角小于 20° 时, 往往对洞室稳定带来很不利的影响; 碧口水电站陡倾角较疏松的薄层千枚岩开挖实践总结: 隧洞轴线与千枚岩走向间夹角在 $0^\circ-25^\circ$ 时, 洞壁发生严重外鼓和倾倒; $25^\circ-45^\circ$ 时, 外鼓和倾倒轻微; $>45^\circ$ 时, 基本无外鼓现象。因此, 洞室轴线选择, 不仅要考虑地应力状况、具体位置的地质条件, 并且照顾到枢纽布置要求, 经全面比较后确定。对于大跨度、高边墙的洞室, 其轴线的最终确定, 最好能借助施工时导洞作进一步研究。例如渔子溪一级地下厂房长75.82米, 开挖宽度14米, 主机间最大开挖高度33.3

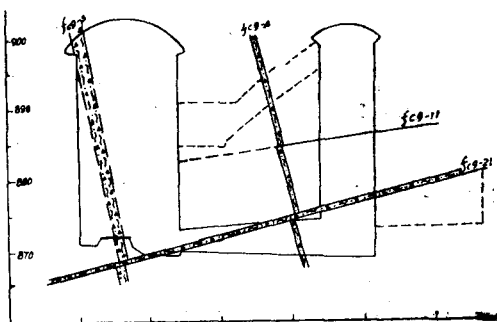


图11 厂区地质剖面图

(图11), 尽管开挖中由于花岗闪长岩体产生侧向弹塑性变形, 引起主厂房与尾调间岩柱的母线洞衬砌裂缝, 轴线选择还不尽理想, 但运行十余年来, 稳定情况良好, 位置选择是成功的。即现厂房位置, 就是在交通洞、通风洞和原拟定厂房拱角导坑开挖后, 根据暴露的地质条件向东平移(70米)到相对完好的地段。

(三) 卸荷回弹引起的工程地质问题

卸荷回弹是地应力区岩体因河谷深切和人工开挖压起地应力释放、表层张裂的普遍现象, 是建筑物稳定、变形和渗漏的隐患。如二滩坝址区两岸水平卸荷深一般为40—60米, 最大深度可达100米; 谷底在钻进过程中岩芯呈饼状破裂, 反映峡谷地段地应力集中可足以使完整的正长岩达到成层拉裂的程度。关于坝基基坑开挖卸荷引起岩体回弹破裂^[9]与剪切滑移^[15]提示了基坑开挖时地应力所造成的危害应引起重视, 并研究其处理对策。从目前认识水平看来, 类似建筑物区的这些问题, 尽可能减少开挖, 及时回填, 采取有效的固结灌浆或予应力锚固等措施或许是可行的。

地下洞室开挖过程所产生的岩爆, 笋壳状剥落, 其主要因素仍属高地应力所积蓄的弹性势能释放的结果。从渔子溪一级隧洞的施工地质实践中观察(表5)岩爆有如下规律。

1. 岩石新鲜完整, 看不出有明显裂隙;
2. 产生岩爆时的岩石表面干燥, 似烘干光泽;
3. 岩爆主要发生在山体邻河的右拱牛角弯处(图12);
4. 以爆裂坍塌、笋壳状剥离居多, 真正弹射型的少见;

表5 渔子溪一级引水隧洞岩爆特征表

桩号 (米)	隧洞埋深 (米)	岩爆部位	岩爆距掌子面 (米)	岩爆持续时间
1+205—1+216	325	右拱肩		
3+808—3+815	280	左边墙		
4+335—4+345	170	右拱肩		
4+900—4+915	325	"		开挖30—40天后发生
5+012	445	"		放炮后发生
5+155—5+175	540	"		
5+766—5+790	450	右边墙	70—90	
5+957	380	"	40	
6+100—6+105	300	右拱肩	100	
7+218—7+228	385	"	200	
7+428	310	"	≈10	

5. 爆破开挖后24小时内爆裂声明显, 以后逐渐减弱;

6. 笋壳状剥离多在岩体较完整的洞段, 其剥离与开挖临空面相似, 往往在撬挖一层后, 又形成新的剥离层。有的洞段开挖后岩体显得完整, 拟作为不衬砌洞段处理, 随着裸露时间增长, 岩体似笋壳状节理增多, 岩体变得破碎, 最后仍决定衬砌。

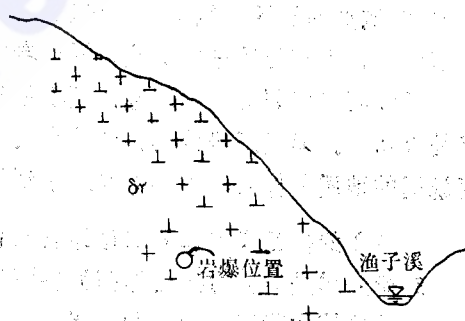


图12 渔子溪一级隧洞岩爆位置示意图

结 语

随着工程建设的深入开展, 水能资源的充分开发, 大型水工建筑物多集中在地质构造复杂, 现代构造活动强烈的我国西南、西北地区。现代构造应力场所引起的一些特殊工程地质问题促使工程地质研究工作必须向更深更广的领域发展, 探索新的研究路径, 更好地为工程建设服务。在开辟新的研究领域方面有人提出^[16]“研究方法上要向更大宏观和更小微观扩展……”, 这是符合客观实际的论点。运用板块构造观点研究我国大陆现代构造应力场和工程地质条件的关系, 充分利用卫星资料、遥感解释、地球物理方法以及常规地质勘探手段进行综合分析, 一定会对工程地质研究提出更恰当的解释和有益的资料, 为工程地质条件深入研究开拓新的前景。

参 考 文 献

- [1] 陈宗基: 关于中国板块动力学及其在国民经济中的一些应用, 大自然探索, 1983年, 12—13页
- [2] 陈宗基: 地下巷道长期稳定性的力学问题, 岩石力学与工程学报, 1983, VOL.1, NO.1
- [3] 王士天等: 四川西部水电建设中的主要工程地质问题及其研究途径, 四川水力发电, 1982, 1, 26页
- [4] 李方全等: 华北 庐断裂带地应力测量, 岩石力学与工程学报, VOL.1, NO.1, 1982, 74—77页
- [5] A.Roberts: Geotechnology, 1977, p173
- [6] 李仲春: 略谈地应力与地下洞室围岩稳定性评价, 水利水电技术, 1983.4
- [7] 孙世宗等: 二滩电站的地应力测量, 水文地质工程地质, 1984.2.13页
- [8] 李光煜等: 岩体应力的现场研究, 岩土力学, 1979, 1, 83页
- [9] 唐少甫: 风化岩体的工程特性, 分带, 利用和改善的探讨, 四川水力发电, 1982, 2
- [10] 李兴唐等: 二滩坝址及邻区地壳稳定性研究, 水文地质工程地质, 1984, 2, 1—6页
- [11] 四川省地震局地震地质大队: 地震地质工作十年, 四川地震, 1981, 1, 28页
- [12] 蒋溥等: 强震地面破坏效应及其形成的地质条件, 地质科学, 1976, 1
- [13] 地震区水工建筑物场地的选择, 水利水电勘测设计, 1979, 11, 2—5页
- [14] 向鼎璞: 祁连山地质构造特征, 地质科学, 1982, 第四期, 366—367页
- [15] 程开庠: 葛洲坝水电工程二江基坑垂直变形观测, 人民长江, 1980, 6
- [16] 王思敬: 第四届国际工程地质大会综述, 水文地质工程地质, 1983, 第三期, 1—5页

《四川水力发电》征订启事

1. 《四川水力发电》主要刊载水电勘测、规划、设计、设备制造、施工、运行、管理、教学、科研、能源政策和小水电建设等论著, 技术经验总结, 科研成果, 国内外技术动态, 技术引进及新兴科学知识和科普文章等。

2. 本刊1985年改为季刊, 分别在2、5、8、11月分发行。每期定价0.60元; 全年2.4元。平寄免收邮费但若有遗失不负责查询; 挂号则每期每本加收邮费0.12元。

82年第2期和83年、84年各期现尚有库存, 每本0.8元, 可直接汇款另购。若需征订单, 函索即寄。

编辑部地址及银行帐号: 成都市 青羊宫 水电部成都勘测院转 《四川水力发电》编辑部。

开户银行: 成都市人行 青羊宫分理处; 帐号: 893024

《四川水力发电》编辑部

1984年12月