

四川某水库岩石试验研究

——岩体工程分级应用实例

杨子文

(水电部成都勘测设计院科研所)

一、概 况

四川某水库位于旭水河上游。近期为该地区骨干蓄水工程,远期为长征渠囤蓄水库。主要供21.6万亩农田灌溉及自贡市工业用水,兼可减轻下游洪害。枢纽由大坝(粘土斜墙石渣坝,高52米)、左岸导流隧洞与引水隧洞和右岸溢洪道组成。库容6440万米³。

坝区为中下侏罗系自流井统马鞍山组(J_{1-2}^3)砂质粘土岩和大安寨组(J_{1-2}^4)石灰岩与砂质粘土岩互层。坝基、引水隧洞和溢洪道所通过处,大部份为砂质粘土岩,其它为石灰岩与砂质粘土岩互层。所用筑坝材料,亦取自上述岩层。坝区岩层走向近东西倾向南,倾角6—8度。无断层和次级褶皱,仅在 J_{1-2}^3 和 J_{1-2}^4 中有局部挤压破碎带和层间滑动。

该工程研究了以下岩石力学问题:

1. 砂质粘土岩的工程性质(主要指抗风化能力);
2. 坝基主要持力层 J_{1-2}^3 的变形及抗滑动性能;
3. 坝基后部 J_{1-2}^4 的沿层面、层间滑动;
4. 坝基岩体的不均匀现象;
5. 坝基和绕坝渗流;
6. 坝基开挖与坝身连接;
7. 用于筑坝材料的各种岩石的工程性质;
8. 坝身的抗滑稳定性;
9. 围岩岩体的抗力、山岩压力;
10. 隧洞进口段进水塔基的允许承载力及岩石稳定坡角;
11. 溢洪道岩体的抗冲刷能力。

关于砂质粘土岩的工程特性以及如何选取工程所需的各种计算指标是研究的中心课题。为此进行了如下一些工作:

室内岩石物理力学性试验

现场变形试验	4组
现场承载力试验	2组
现场原位剪力试验	4组23个试点
配合灌浆钻孔取样作抗压试验	20块
糜棱岩及夹泥的室内物理力学性试验	7组
夹泥X射线及差热分析	7组
镜下薄片鉴定	29组

本文根据室内、现场试验资料，经多次现场勘查，并结合设计、地质资料，分析了历次会议商定数据后写成。

二、指标参数的选取

J_{1-2.7}⁴ 马鞍山组砂质粘土岩，为大坝基础的主要持力层，是试验和研究的重点。该岩层总厚度70米，呈紫红色，不显层理，较为致密，岩性岩相均较稳定。岩石的主要成分为鳞片状水云母（含量约60~80%）、方解石（10~30%）、石英碎屑（5~15%）和少量长石，粉砂泥状结构，分选较好，多为棱角状。该粘土岩在库区和坝下游广泛出露。坝区各类岩石的室内物理力学试验指标见图1。

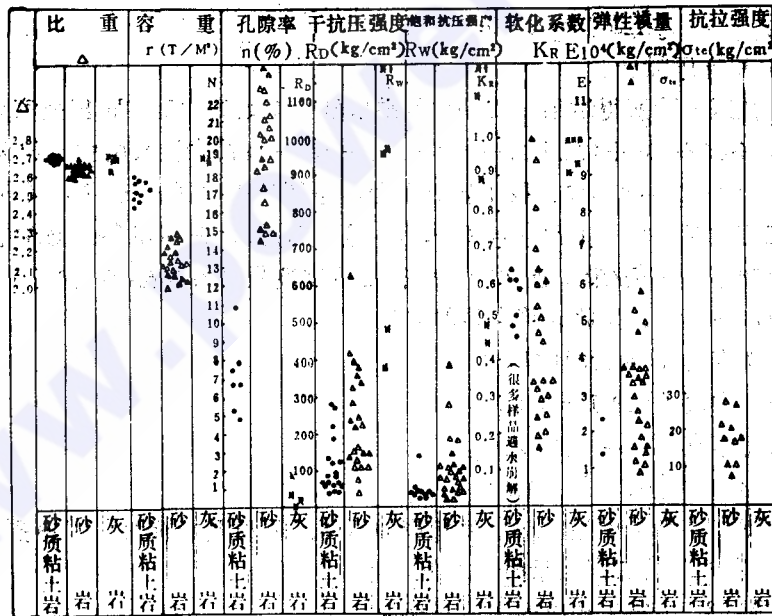


图1 坝区岩石室内物理力学试验指标图

坝基最大法向应力约10公斤/厘米²。通过35段钻孔压水试验，其中57%的单位吸水量小于0.03升/分·米·米，属于较好的隔水层。

J_{1-2.7}⁴ 互层中的砂质粘土岩 (J_{1-2.7}⁴⁻²) 与 J_{1-2.7}³ 类似。所有砂质粘土岩，由于样品易

失水干裂, 经浸水饱和再风干后, 几乎都崩解破坏, 故室内饱水情况下的试验资料甚少。据现场观察, 新鲜岩样取出后 2~4 小时即开裂, 2~3 天全部成为碎块。但取出后即浸泡于水中 7~8 天之久, 也未见开裂或崩解。可见这类岩石〔1〕的失水崩裂是其强度降低的主要因素。施工开挖时必须注意采取相应的工程措施(例如预留保护层或喷浆护面等), 防止失水后岩石工程质量急骤恶化, 使得强度降低。

在这类岩体中, 主要的原生结构面是成岩裂隙。据六处大面积统计, 裂隙走向、倾向均无规律, 但倾角 80% 在 20°~35° 之间, 一般长度小于 2 米, 多闭合或微张开, 具擦痕。按左岸导流洞进口段统计, 裂隙频率为 3~5 条/米, 裂隙间距 0.2~0.4 米。

这类岩体中的构造结构面, 主要是在上述裂隙基础上发展起来的挤压破碎带。其产状亦无规律。埋深多在 7.5~12.5 米之间, 宽度为 1~10 厘米者居多, 其间填充物为糜棱岩及压碎岩。据地质分析, 此类破碎带虽然各地段均有出现, 但并未形成统一的软弱结构面。

地质分析还认为: 这种软弱岩组, 虽然强度较低, 又易失水干裂风化, 裂隙发育但多闭合, 其隔水性好, 在坝下 165 米长的坝段内, 估算渗漏量仅 2.66 升/秒。

(一) J₁³_{2Z} 砂质粘土岩工程性质

1. 根据文献〔2〕考查此种岩石和岩体的工程性质, 以 (S) 表示简易的岩石工程质量指标, 则 $(S) = R_w/300$

式中 R_w 为饱和抗压强度。

按九组干抗压试验所得结果, 其平均值乘以软化系数后的饱和抗压强度为:

$$R_w = [(41+68+136+121+97+224+286+271+187)/9] \times 0.59 = 94 \text{ 公斤/厘米}^2$$

故 $(S) = 94/300 = 0.313$, 属于岩石工程质量坏的极软弱岩石〔2〕(见表 1)。

用岩体工程质量指标 $[(M) = (R_w/300)(K_v)]$ 来判断〔2〕据左岸导流洞进口统计的裂隙频率为 4 条/米, 查文献〔3〕得岩体完整程度系数 $K_v = 0.8$; 钻孔岩芯获得率统计值为 77%〔5〕。据此计算岩体的 M 值分别

按裂隙频率查得 $K_v = 0.8$ 计算:

$$(M) = 94/300 (0.8) = 0.25$$

据岩芯获得率查得 $K_v = 0.77$ 计算:

$$(M) = 94/300 (0.77) = 0.24$$

据参考文献〔2〕查得上述 (M) 值相应的岩体工程质量指标 $M^{(1)}$ 分别为 0.019 和 0.018 均属 IV 类岩体, 其工程质量属于差偏于坏的。

据此从文献〔2〕中查出相应的实用指标为:

$$E_0 = 0.5 \times 10^4 \text{ 公斤/厘米}^2 \quad K_0 = 40 \text{ 公斤/厘米}^3$$

$$\mu = 0.34$$

$$f = 2.3$$

$$[\sigma] = 6 \text{ 公斤/厘米}^2$$

$$\alpha = 48^\circ$$

2. 根据《岩石试验规程》建议的岩石分类方法〔1〕

该类岩石工程质量指标为: $S = (R_w \cdot E/20 \times 10^6)^{\frac{1}{2}}$

代入 R_w , E 值得:

$$S = (1.75 \times 10^4 \times 94 / 20 \times 10^6)^{\frac{1}{2}} = 0.29 \text{ 属岩石工程质量坏的极软弱岩石 (1) };$$

据此查得经验指标为:

$$f = 0$$

$$K_0 < 24 \text{ 公斤/厘米}^3$$

$$E_0 < 0.3 \times 10^4 \text{ 公斤/厘米}^2$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$[\sigma] = 5 \sim 10 \text{ 公斤/厘米}^2$$

$$\mu = 0.4$$

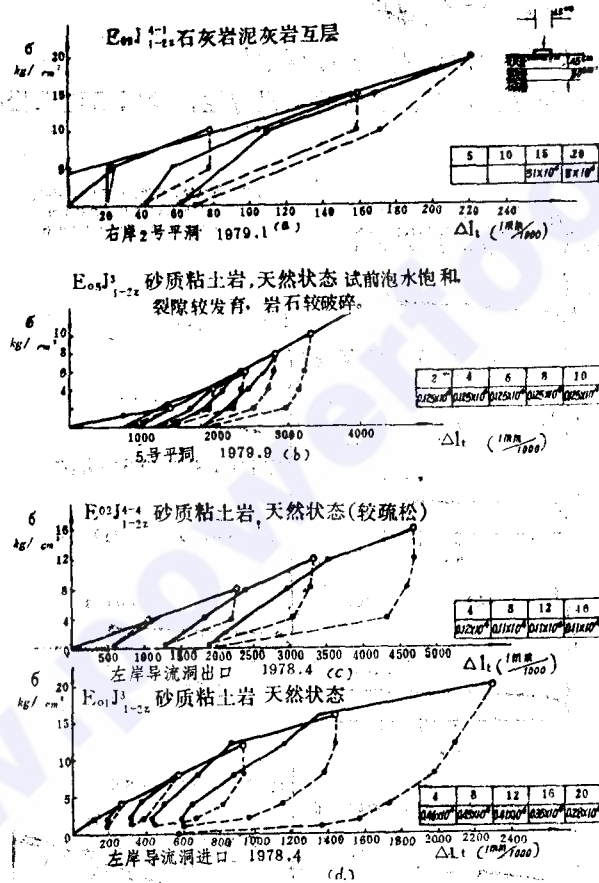


图2 现场岩体变形模量试验资料

3. 根据《工程岩体因子组合分类》〔3〕查出属于第〔43〕号岩体(即比较差的岩体), 其相应指标为:

$$E_0 = 1 \times 10^4 \text{ 公斤/厘米}^2$$

$$K_0 = 60 \sim 120 \text{ 公斤/厘米}^3$$

$$\mu = 0.25$$

$$[\sigma] = 10 \sim 18 \text{ 公斤/厘米}^2$$

$$\tan \varphi = 0.45 \sim 0.55$$

$$c = 1 \sim 1.5 \text{ 公斤/厘米}^2$$

4. 根据《四川盆地红层工程性质研究》一文〔4〕还可查到这类岩体的指标如下:

$$E_0 = 0.5 \times 10^4 \text{ 公斤/厘米}^2$$

$$K_0 = 40 \text{ 公斤/厘米}^3$$

* E_0 —变形模量

K_0 —弹性抗力系数

μ —泊松比

f —坚固系数

α' —稳定坡角

$[\sigma]$ —允许应力

$$\mu = 0.3$$

$$f = 1.8$$

$$\tan \psi = 0.4$$

$$c = 0.2 \text{ 公斤/厘米}^2$$

$$[\sigma] = 8 \text{ 公斤/厘米}^2$$

$$\alpha = 50^\circ$$

5. 根据现场实测资料〔图2—(c)、(d)〕, 取值如下:

$$E_0 = (0.11 \sim 0.46) \times 10^4 \text{ 公斤/厘米}^2 \text{ (略偏小)}$$

$$\mu = 0.3$$

$$[\sigma] = 15 \sim 20 \text{ 公斤/厘米}^2 \text{ (比例极限)}$$

$$\tan \varphi = 0.37(1), 0.44(2), 0.56(3)^*$$

$$c = 0.1(1), 1.1(2), 0.84(3) \text{ 公斤/厘米}^2$$

考虑现场实测资料与这种岩石、岩体的工程特性, 参照已建工程的经验综合分析各

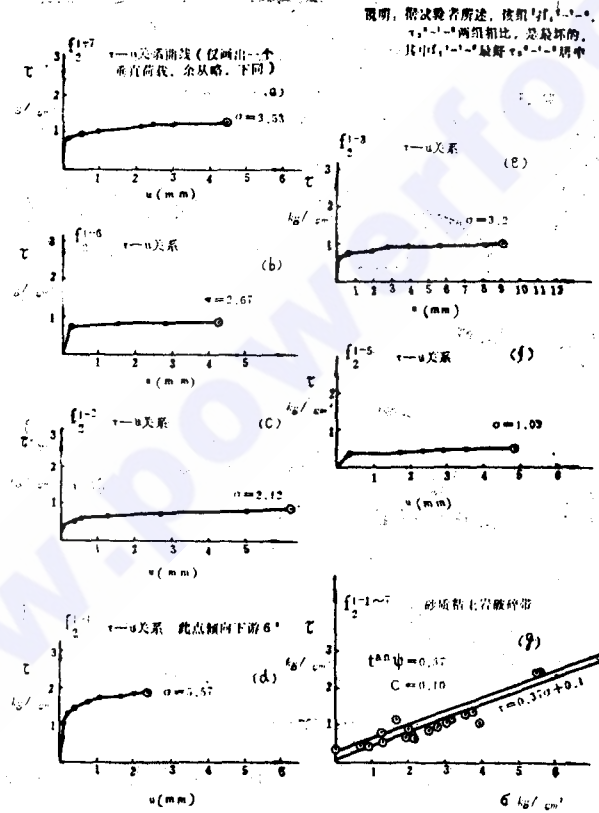


图3 砂质粘土岩破带

*据调查, 此三组资料分别属于三种情况。即(1)砂质粘土岩中挤压破碎带最坏的情况, 在七个试点, 三个有夹泥, 四个沿裂隙面剪坏(图3); (2)共五个试点, 其中两点的裂隙。面有软塑夹泥, 实地观察也较前者〔图4(b)〕为差; (3)基本属岩石本身剪坏, 试验位置深埋地下, 是上述三组中最好的情况〔图5(b)〕。

种经验方法和岩体工程分级等相互比较,再结合该工程的具体情况给出砂质粘土岩的实用指标:

$E_0 = 0.5 \times 10^4$ 公斤/厘米²

$K_0 = 40$ 公斤/厘米³

$\mu = 0.3$

$f = 2.5$

$[\sigma] = 8$ 公斤/厘米²

$\alpha = 35^\circ$

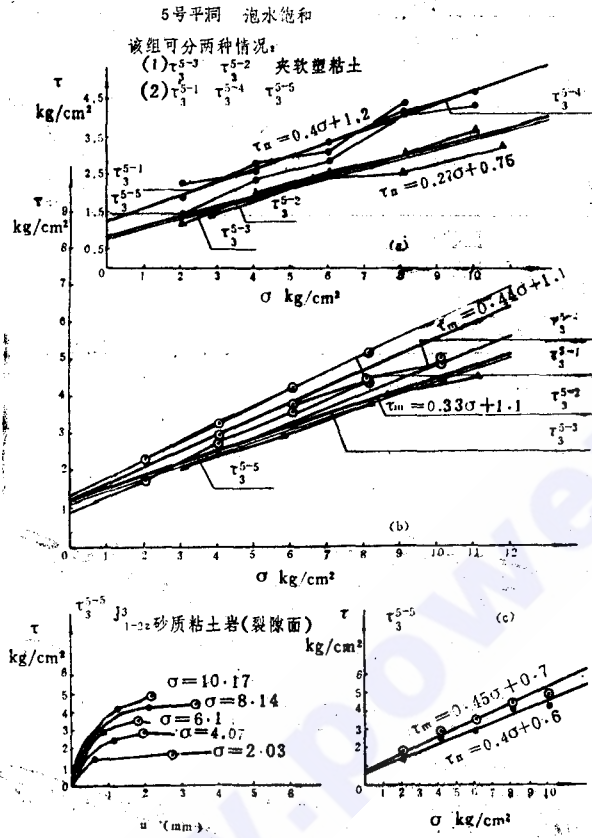


图4 J³_{1-2Z} 砂质粘土岩 (裂隙面)

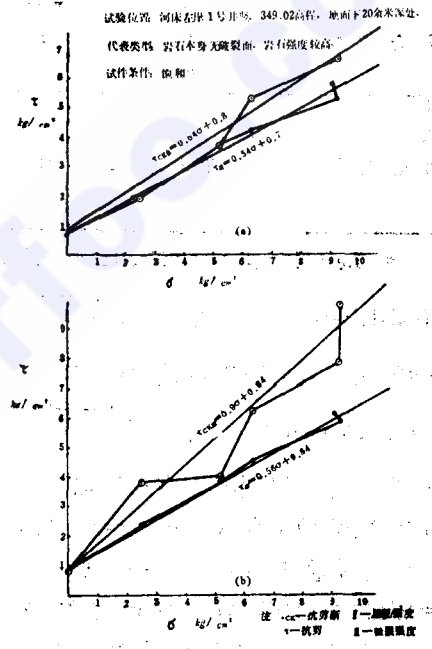


图5 J³_{1-2Z} 砂质粘土岩 (裂隙面)

$\tan\varphi = 0.45$ (粘土岩本身), $c = 0.2$ 公斤/厘米²

$\tan\varphi = 0.4$ (裂隙面不夹泥), $c = 0.1$ 公斤/厘米²

$\tan\varphi = 0.3$ (裂隙面夹泥), $c = 0.1$ 公斤/厘米²

$\tan\varphi = 0.3$ (挤压破碎带), $c = 0.1$ 公斤/厘米²

兹将上述各种方法所得结果汇总于表2以便比较。

(二) 关于 J³_{1-2Z} 与上部 J⁴_{1-2Z} 的整合接触面, 以及 J⁴_{1-2Z} 大层内各小层之间的剪切参数

地质调查表明, 在 J⁴⁻¹_{1-2Z}, J⁴⁻²_{1-2Z}, J⁴⁻³_{1-2Z} 各层中, 全泥化层面达 7~10 层 (部分泥化层面达 13~18 层)。由于泥化层面较多, 在进行稳定校核计算时, 坝基宜按贯穿性泥

表2 J_{1-2z}³ 砂质粘土岩建议数据比较表

方法	E ₀ 10 ⁴ 公斤/厘米 ²	μ	K ₀ 公斤/厘米 ³	f	tanφ	C 公斤/厘米 ²	α 度	[σ] 公斤/厘米 ²	备注
简易(M)法〔2〕	0.5	0.34	40	2.3	0.28	0.4	48	6	
«岩规»M法〔1〕	<0.3	0.4	<24	0	0.3	<0.3	<45	5<10	
组合分类法〔3〕	1.0	0.25	60—120		0.45—0.55	1—1.5		10—18	
红层分类〔4〕	0.5	0.35	40	1.8	0.4	0.2	50	8	
现场实测	0.11 / 0.46	0.3	40		0.37 0.44 0.56	0.48 0.2 1.1		15—20	E ₀ 值偏低*
试验建议	0.5	0.3	40	2.5	0.3(挤压破碎带) 0.3(裂隙面夹泥) 0.4(裂隙面不夹泥) 0.4(粘土岩本身)	0.1 0.1 0.1 0.2	35	8	

* E₀实测值偏低是因加工后未及时进行试验引起的, 故建议指标略高。

化层面考虑。根据2号平洞 f_2

砂质粘土岩的破碎带试验(图3),

$\tau = 0.37\sigma + 0.1$; 5号平洞 τ_3

砂质粘土岩裂隙面有夹泥情况下试验时峰值(图4、6) $\tau = 0.33\sigma + 1.1$, 屈服值 $\tau = 0.27\sigma + 0.75$; 并考虑到1974年审查会的意见和文献〔7〕的建议, 以及自贡市的安全等因素, 建议指标为:

$$\tau = 0.22\sigma + 0.05$$

(三) 关于变形模量(E₀)、许可承载力[σ]

J_{1-2z}⁴⁻⁴砂质粘土岩成份中永云母及泥质含量达80%, 表现出结构疏松, 现场实测E₀及[σ]值均较低, 根据文献〔2〕计算:

(S) = 40/300 = 0.133, 属岩石工程质量坏的极软弱岩石。

(M) = 0.133 × 0.8 = 0.104 查出 M = 0.006, 得知该岩体的 E₀ = 0.23 × 10⁴ 公斤/厘米², μ = 0.4,

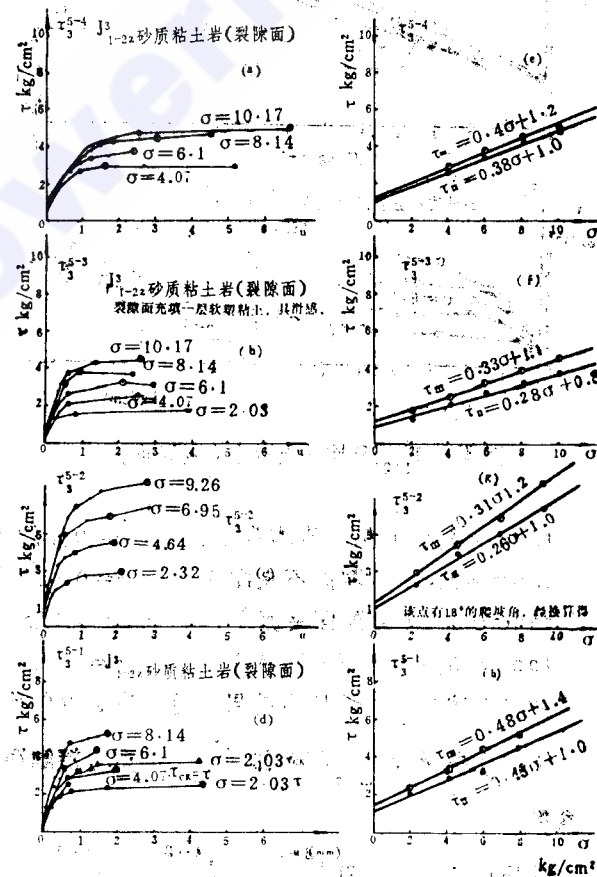


图6 J_{1-2z}³ 砂质粘土岩(裂隙面)

$K_0=20$ 公斤/厘米², $\alpha=44^\circ$, $[\sigma]=4.0$ 公斤/厘米², $f=1.7$ 。

据文献〔4〕查出, $E_0=0.15 \times 10^4$ 公斤/厘米², $\mu=0.4$, $K_0=15$ 公斤/厘米², $f=1.5$, $\alpha=45^\circ$, $[\sigma]=5$ 公斤/厘米²。

建议 J_{1-2}^{3-4} 的指标如下:

$E_0=0.2 \times 10^4$ 公斤/厘米² $\mu=0.35$ $K_0=20$ 公斤/厘米²

$[\sigma]=5$ 公斤/厘米² $\alpha=30^\circ$ $f=1.5$

根据以上分析 J_{1-2}^{3-4} 和 J_{1-2}^{3-4} 中的砂质粘土岩, 其工程性质是属于坏的和极软弱的

V类岩石; 即使在岩体完整程度比较好 ($K_v=0.8$) 的情况下, 它的工程质量仍属于较差或坏的IV、V类岩体。

其余情况, 不再赘述, 其资料分析及取值情况基本同前。各种试验指标与建议值和岩体工程质量评价见表3。

三、资料分析

根据以上分析计算, 下面对该工程涉及的岩石和岩体作一些讨论。

据表1所列的10种岩性除风化的外, 其它七种按岩石工程质量归纳如下:

Ⅰ类岩1种, 占14%,

Ⅱ类岩1种, 占14%,

Ⅲ类岩1种, 占14%,

Ⅳ类岩4种, 占58%。

据此, 岩石工程质量差(Ⅳ)和坏(V)的总计占72%。

再从与工程有关系的九种岩体情况来看, 最好的是岩体质量中等偏坏的Ⅱ类岩体, 计有两种, 占22%; 岩体质量差的Ⅳ类岩体有五种, 占56%; 岩体属于坏的V类岩体有两种, 占22%。而与工程主要部位有关的多为Ⅳ类, 属于岩体工程质量差的岩体。

据上述分析, 本工程岩石和岩体的工程质量是比较差的。但是, 这里采用的岩石、岩体工程分级(优、良、中、差、坏五级)标准, 它包含了工程上可能遇到的最好到最坏的岩体; 且多从大型水电工程的角度出发, 较少顾及中小型地方工程的特点。类似红旗水库大体积废渣坝型及其附属工程, 对其地基和坝料的要求相对来讲可以适当放宽, 并不能与某些大型工程或对地基要求敏感的坝型等同对待。当然, 还应该强调的是在坝基、隧洞、溢洪道开挖时, 必须采取工程措施, 防止岩石的短期风化。溢洪道部分亦须注意防止由于岩体的抗冲刷能力不足而可能引起的破坏。

四、结束语

文中所提出的指标是在室内、现场测试资料基础上, 参照了历次商定数据, 并研究了该工程的岩石和岩体的具体情况之后提出的, 基本上符合客观实际。表1、2中各种

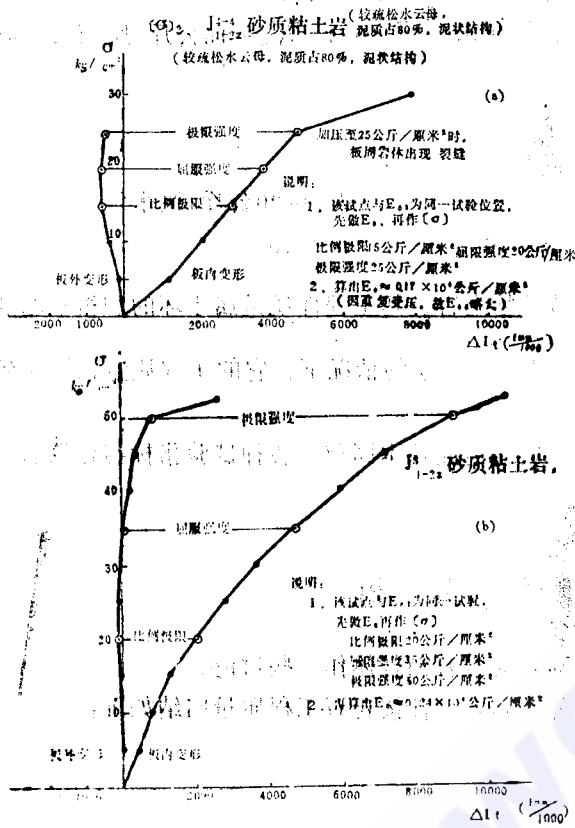


图7 现场岩体载荷试验资料

方法所提供的数据除个别稍有偏高以外, 其余均较为接近。这也说明了根据实践总结得出的这些经验公式与岩石、岩体分级方法, 对确定中小型地方工程所需的指标数据是可行的。尤以中小型地方工程, 在目前一无试验队伍, 二无大量资金的情况下, 采用这类经验分析法不失为一种简便快捷的手段。

参 考 文 献

- [1] 《水利水电岩石试验规程》工程岩体分类(征求意见稿) 成都勘测设计院科学研究所 1979, 11
- [2] 杨子文、徐荣照, 简易岩体工程分级及其在工程中的应用 《四川水利》, 1982 第四期
- [3] 徐荣照、傅冰骏、杨子文, 工程岩体因子组合分类 《水电工程研究》 1981 第2期
- [4] 成都勘测设计院科学研究所, 四川盆地红层工程性质研究 《水电工程研究》 1982, 1期、2期
- [5] 四川省地质局水文工程地质大队, 四川省自贡市××水库技术资料设计阶段工程地质勘察报告, 1979, 10
- [6] 四川省水利电力厅勘测设计院, 四川××水库粘土岩斜墙设计大纲(施工图阶段); 1980, 4
- [7] 成都勘测设计院科学研究所, 自贡市荣县红旗水库岩石试验初步分析商定数据, 1979, 5
- [8] 成都勘测设计院科学研究所, 自贡市荣县红旗水库现场岩石试验补充报告, 1979, 9