

再论岩芯饼化的应力分析

——对陶振宇先生“讨论文”的答复

贾愚如 侯发亮

(武汉水利电力学院)

贵刊1986年第2期刊载了陶振宇先生撰写的“对岩芯饼化的应力分析一文的讨论”(以下简称“讨论文”,)对我们1984年第5期发表的“岩芯饼化的应力分析”一文(以下简称“分析”一文)提出了某些意见,现作出答复并进一步讨论如下。

众所周知,岩石是一种非均质的、不连续的介质,而且处在非常复杂的环境中,受地应力场、温度、地下水等因素的影响,这给研究工作带来很大的困难,人们不得不采用简化的方法,突出某些主要因素,忽略一些次要的方面,以建立某些相应的关系。所以,无论是古典的、还是现代的理论和方法,无不受到某些条件的制约,存在着局限性。

我们在探讨岩芯饼化的破坏机理时,在试验的基础上也作了相应的假定,即“饼化”是由剪切破坏形成的,因而使问题得到简化。这个假定也反映了在某些地质背景下,岩芯饼化的机理,具有一定的代表性,深入研究也有助于对岩芯饼化的认识。

关于岩芯饼化机理问题,历来有不同的观点,如N·Hast^[1]和L·Obert^[2]等人认为是剪切破坏,而J·C·Jaeger和N·G·W·Cook^[3]和日本铃木光等人认为是拉断。之所以得出不同的结论,是由于岩性和试验条件的不同。但两种结论,都建立在自己的试验、研究的基础上,具有可靠的依据。这两种观点,无疑都揭示了产生“饼化”的机理。除此之外,是否还有其它可能性呢?在“分析”一文发表之后,我们又进行了现场试验及大量的三维有限元计算证实,大部份“饼化”岩芯是由剪应力和拉应力综合影响所致,并找出了某些内在的关系^[4]。

需要说明的是,“分析”一文所讨论的绝非二滩一地之岩饼,所得结论是通用的。“讨论文”作者认为,“就该文所讨论的二滩岩石来说,则是不充分的”。所谓充分和不充分,是有条件的。“分析”一文所讨论的原理和方法亦是有条件的,如上所述,它是建立在剪切破坏的基础上,凡符合此假定者,无疑是充分的,二滩岩饼也不例外。正如“讨论”文作者,在他所提的第四个问题中指出,“在陡峻河谷底应力集中区多属剪切破坏型,这在二滩也是如此”。这岂不说明,“分析”一文所提供的论点,对二滩岩石也有适用的一面。

“讨论文”作者,对中国科学院武汉岩土力学研究所,在二滩的实测结果“ $\sigma_1 = 63.7\text{MPa}$ 时形成环状裂纹岩芯”表示怀疑。我们引用这个数据时,曾请教过施测者及有关人员,证实了资料的真实性和可靠性。这个在形成饼状岩芯的同时又测得应力的数据是极为珍贵的,至今在国内外的文献中尚未见到第二个报导。

为什么在该点之下3m处的相邻测点测得 $\sigma_1 = 64.6\text{MPa}$,并没有出现“饼化”呢?这恰恰

反映出岩体的复杂性,而不能因此否定前者的真实性。

推测和判断,虽然有助于问题的深化,但在没有掌握充分的论据之前,怀疑别人实测成果是不妥的。

第二,“讨论文”作者指出:“该文是用室内试验得到一个物理概念以形成计算简图,即饼状岩芯的直径(D)与岩饼厚度(h)之比约为 $h/D=0.35$,甚至更大些。这种模型的真实性的可能需要论证。因为二滩钻孔饼化岩芯的实测结果多为 $h/D=0.25\cdots\cdots$ 。”任何一种模型的建立,都需要反复论证,反复检验。对于我们从多种试验和有限元计算中得出的这一概念,也必然是如此。然而,使我们不理解的是,在这里,“讨论文”作者拿来论证的 $h/D=0.35$,不知出在何处?在“分析”一文中只有 $t_0/D=0.35$,没有 $h/D=0.35$ 。 t_0/D 与 h/D ,是两个概念完全不同的比值,因而是不能混为一谈的。如果说二滩钻孔饼化岩芯的实测结果多为 $h/D=0.25$ 的话,那末,根据我们在“分析”一文中取用的岩饼的平均厚度 $t=0.9953\text{cm}$,平均直径 $D=3.8766\text{cm}$,亦可求得 $t/D=0.257$ 。

第三,“讨论文”作者在他的第三个问题中指出:“该文认为岩芯饼化的条件是水平地应力要满足 $\sigma_1 \geq 3\sigma_2$ 的条件”,并对此加以评论。然而,在“分析”一文中绝对不存在这样的条件或类似这样的概念,所以我们不拟多占篇幅就此继续讨论。

第四,“讨论文”作者在他的第四个问题中,着重阐述了人所共知的几种岩芯饼化机制,和他对二滩的饼化岩芯用断裂力学概念计算得到的一个具体数据,以及他对三斗坪坝址产生岩芯饼化现象的推测。

对于三斗坪坝址产生岩芯饼化问题,我们不加评论,因为它与本文讨论的内容相距甚远,且只是讨论文作者的一种推测。

令人感兴趣的则是,“讨论文”作者对二滩的饼化岩芯用断裂力学计算的结果($\sigma_1=24.5\text{MPa}$)和水电部成都勘测设计院科研所的实测值($\sigma_1=25.5\text{MPa}$)颇为一致的结论。如果单从数值看,两者确实颇为一致,但是,前者是产生“饼化”的应力条件;后者则是在二滩2号洞的3支洞内,距洞壁10m以外(为避免应力集中的影响)一点 $\Delta(N\alpha.6_{2-1}$,见图1)的实测全应力值;

$$\begin{array}{lll} \sigma_1 = 25.51\text{MPa} & \alpha_1 = N34^\circ E & \beta_1 = 23^\circ (\text{仰角}) \\ \sigma_2 = 8.83\text{MPa} & \alpha_2 = N40^\circ W & \beta_2 = -33^\circ \\ \sigma_3 = 2.45\text{MPa} & \alpha_3 = N83^\circ W & \beta_3 = 48^\circ \end{array}$$

事实上,在此测点上并未出现岩芯饼化现象,这恰恰说明它们的不一致性。

如果将 $N\alpha.6_{2-1}$ 测点的实测应力值, ($\sigma_1=25.51\text{MPa}$, $\sigma_3=2.45\text{MPa}$)代入弹性理论公式; $\sigma_\theta = (\sigma_1 + \sigma_3) - 2(\sigma_1 - \sigma_3)\cos\theta$ (按圆形截面考虑),反求洞周边测点处应力为 74.07MPa , (试验地点在 $\theta=90^\circ$ 处)。洞周应力值及其分布见下表及图1。

θ	0°	30°	45°	60°	90°
$\sigma_\theta(\text{MPa})$	-18.15	4.91	27.96	51.01	74.07

如用“分析”一文中的公式计算,则得周边测点处应力为 $\sigma_1=69.84\text{MPa}$,这两个数据是非常接近的。

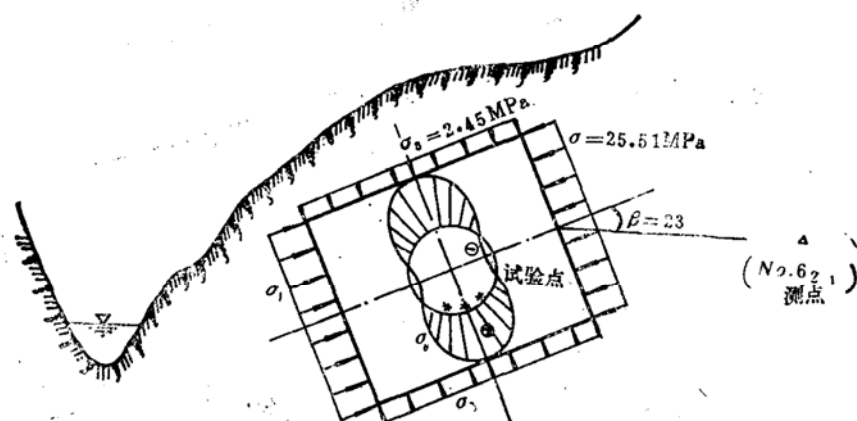


图1 二滩2洞3支洞应力集中情况

1984年，我们在成都勘测设计院实测点 $\Delta(No. 6_2-1)$ 相应的洞底板上，进行了11组岩饼断裂试验，实测应力为

$$\begin{cases} \text{平均应力值} & \sigma_1 = 88.46 \text{ MPa} \\ \text{最大应力值} & \sigma_1 = 100.00 \text{ MPa} \end{cases}$$

实测应力值较上述计算值($\sigma_1 = 69.84 \text{ MPa}$)偏大的原因，可能是洞形并非标准圆形的影响，导致洞周边应力增大。

综上所述，“讨论文”作者所提四个问题中，有两个问题是“分析”文不存在的，故本文对其它两个问题特作如上答复。

参 考 文 献

- [1] Hast N., Limits of Stress Measurements in the Earths Crust, Rock Mechanics, 11, pp. 134—150, 1979.
- [2] Obert L., Stephenson C.E., Stress Condition under Which Core Discing Occurs Society of Mining Engineers, 1965.
- [3] Jaeger J.C. and Cook N.G.W., Pinching-off and Discing of Rock, J. Geophys. Res. Vol. 68, No. 6, pp. 1759-1765.
- [4] Hou Faliang, Jin Yuru, The Relation Between Rockburst and Surrounding Rock Stress in Underground chambers, Proceedings of the International Symposium on Engineering in complex Rock Formations, Science Press, Beijing, China, 1986, 11 pp. 497—505.