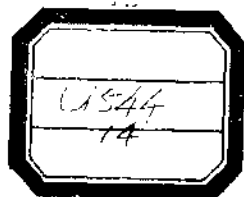


1958

露天煤矿 边坡稳定性問題

煤炭工業出版社



1182.0785

露天煤矿边坡稳定性问题

抚顺煤炭科学研究院编译

*

煤炭工业出版社出版(社址:北京东长安街煤炭工业部)

北京市书刊出版业营业许可证出字第084号

煤炭工业出版社印刷厂排印 煤炭工业出版社发行

*

开本 787×1092 公厘 $\frac{1}{32}$ 印张 $2\frac{9}{16}$ 字数45,000

1959年6月北京第1版 1959年6月北京第1次印刷

印数:0,001—2,000册 定价:0.35元

随着露天矿的开采越来越深，边坡稳定问题的研究就显得非常重要。如何合理地选择边坡形状及稳定角？如何使剥离量达到最小？苏联在这方面曾成立了专门机构，进行了科学研究，积累了一些经验。

苏联专家格·耳·菲生柯同志从事露天矿边坡稳定工作将近十年，他提出了野外岩石试验、露天矿凸状边坡的合理性以及其他新的边坡稳定计算方法，这些都使边坡稳定问题的研究大大地向前迈进了一步。

这次，苏联专家格·耳·菲生柯同志来我国抚顺露天矿对滑坡研究工作进行了指导。在短短的两个半月时间里，先后作了九次报告。这些报告对我国从事边坡稳定问题的研究工作有极大的帮助，因为报告里所涉及的理论都是格·耳·菲生柯同志经过多年的野外观察，进行了一系列试验然后总结出来的。

露天开采是今后我国煤炭工业技术发展方向之一，因而边坡稳定问题的研究是值得重视。目前，抚顺西露天矿、阜新海州露天矿的边坡滑落对生产多多少少是有影响的。学习苏联先进经验以大力开展露天矿边坡稳定问题的研究，使我国煤炭产量能更大地提高，参考格·耳·菲生柯这些报告是有帮助的。

本书翻译工作由胡天毅同志担任，整理工作由吴江、雷良惟、霍起元、罗长武、王泽春、马永梅等同志担任，由于水平有限，记录不够完全，不免有遗漏或错误之处，请指正。

目 录

前 言

岩石整体的强度特征.....	3
岩石抗剪强度实验室测定方法.....	18
露天矿边坡稳定性计算(一).....	26
露天矿边坡稳定性计算(二).....	32
苏联的滑坡研究工作.....	43
关于室内试验的仪器配备等问题.....	47
露天矿滑坡及岩层疏干问题.....	49
撫順西露天矿非工作帮水文地质条件.....	57
在撫順露天矿工作的总结报告.....	61
附录 露天煤矿合理的边坡形状.....	72

岩石整体的强度特征

在解决一系列矿山技术问题时，经常要确定岩体中的岩石强度特征，同时也要考虑到岩石非均质性的影响。

当解决露天边坡稳定问题时，确定岩体中岩石特征就显得更重要，因为在这个问题里岩石的基本强度特征象内聚力(K)和内摩擦系数(ρ)直接参入已经足够准确的基本计算公式里。

当在野外条件下使用油压千斤顶对在岩体内凿好的三稜体进行抗剪试验成功后，为了计算边坡倾角，在1951年开始对岩体中岩石强度进行了研究；同时，也在这个时候，提出了对崩落区实测的结果来确定 ρ 和 K 值。在1950年，H. H. 庫瓦耶夫提出了用液压枕垫在野外做岩石强度试验，这样就在很大程度上减轻了开凿三稜形试验体的工作，从而在花费不多劳动力下也增加了试验的次数。在1956—1957年，使用液压枕垫在巴卡特、巴格司洛夫斯克、克拉斯諾布諾德、爱基巴斯杜司等露天煤矿和哥尔那布拉格达特露天铁矿上在不同强度的岩石中曾进行了75次野外试验。

在下面，将简单叙述一下现在使用的野外试验方法和已经做过的试验结果：

1. 内摩擦系数的确定

对岩石强度的两个基本特征——内聚力和內摩擦系数来说，內摩擦系数的变化是較小的。根据实验区试验的结

果：內摩擦角（它的正切就是內摩擦系数）改变的限度是从 12° （蒙特士）到 38° （粗粒砂岩），可是在同时內聚力数值的改变就是从松軟的粘土 0.2 公斤/公分²到坚硬岩石 700 公斤/公分²为止。从另一方面來說，在較大应力数值下，內摩擦力会造成比內聚力对移动更大的阻力，这是因为摩擦所造成的对移动的阻力在垂直应力增长情况下不断增长着；而且內聚力所造成的对移动的阻力在內应力的不断增长下保持不变。

上述的两种情况使对摩擦系数的确定比对內聚力确定要更为准确。一般說来，确定內摩擦系数（角）是使用在不同垂直应力数值下进行抗剪試驗的方法，并按照下列公式：

$$f = \operatorname{tg} \rho = \frac{\tau_2 - \tau_1}{\sigma_{n_2} - \sigma_{n_1}} \quad (1)$$

式中 σ_{n_1} 和 σ_{n_2} ——剪切时垂直应力数值；

τ_1 和 τ_2 ——和垂直应力相应的切綫应力（单位移动阻力）。

因为移动阻力在很大程度上还决定于剪切面上所存在的减弱因素，要准确地确定內摩擦系数，就是对均質岩石也要在較大垂直应力范围内对岩石进行多次（不少于 10 次）的抗剪試驗。在野外条件下实际上不能用現場試驗的方法获得較准确的內摩擦角数值，因为在这样条件下不可能得到較大的垂直应力差（除了对岩层接触面和沿着致密的裂縫进行試驗例外）。

这样，为了确定岩体内摩擦角的唯一途径就是对高段

排土場安息坡度角，實驗室內抗剪試驗所確定的內摩擦角和實驗室內摩擦試驗所確定的內摩擦角進行比較。

表1列有各種不同岩石實驗室內抗剪試驗所獲得的內摩擦角數值，高段排土場安息坡度角，岩層接觸面和由裂縫所分開的岩塊面上的摩擦角。

表 1

岩石名稱	岩塊內 摩擦角 度	自然安息 坡度角 度	岩塊面上的摩擦角，度			
			沿着不平 而且粗糙 的面	沿着平 的但粗 糙的面	沿着平 的且光 滑的面	沿着岩 層接觸 面
砂 岩	36	34—36	33	31	23	26
粉砂岩	33		—	28	23	23
泥質岩	27—30		26	—	20	19—21
帶鏡面的粉砂岩	—	—	—	—	—	13
石灰岩	34	33—35	—	—	—	—
變質頁岩	29		—	—	—	—
石英斑岩、花崗閃	36		—	—	—	—
長岩、玢岩	—	—	—	—	—	—
正長岩、玢岩	36	35	34	29	25	22

從表1可以看出，沿岩塊面的摩擦係數決定於岩石顆粒成分和表面平滑程度，沿着不平粗糙面摩擦角僅比實驗室內抗剪試驗獲得的內摩擦角小1—3°；同時估計到下列因素：就是岩石在岩體中的滑動面當它們和岩層接觸面不重合時和實驗室內抗剪試驗所得的剪斷面一樣，都是不平滑的，這樣就可以有信心地取使在岩體內和層面相交並和密致裂縫面不重合的滑落面上的內摩擦角等於對同樣岩石在實驗室內獲得的內摩擦角。排土場的自然安息坡度角和實驗室內獲得的這組岩石的內摩擦角平均值的符合也証實

了这一論点（当坡角被認為等于介質內摩擦角时）。

岩层接触面的內摩擦角可以有信心地使它等于实验室内沿着同样面作摩擦試驗所获得的摩擦角；而和裂縫重合的表面的內摩擦角可使其等于实验室内抗剪試驗和摩擦試驗所获得的內摩擦角的平均值。

假使內摩擦角的数值已經知道，那末，沿剪切面的內聚力值就可以在每次抗剪試驗中得到。

2. 野外抗剪試驗方法

岩石强度野外試驗的实質就是：在岩体中凿开一个三棱形試体，使这試体和岩体只有一面相接，并沿着这面确定岩石的强度。剪切力一般是和这面成一銳角（从 20° 到 45° ），使得能保証沿这面岩石的破坏是剪断，而不是拉断或者压碎。三棱体一般的尺寸約为 $0.6 \times 0.5 \times 1.0$ 立方公尺，剪断面的面积等于 $0.5-0.7$ 平方公尺。

当剪切面和岩层面相交有一角度时，这样尺寸的三棱試体一般在各方向都包括有若干构造因素，这样，剪切面就包括了一系列的裂縫和裂縫之間各区段，并体现了岩石在岩体内沿着預定方向的內聚力。同样，当剪切面沿着岩层面时，三棱試体的尺寸也足够体现岩石整体沿层面对移动的阻力。

剪切力是由油压千斤頂或液压枕垫所造成的。

液压枕垫是由厚 $1.5-2.0$ 公厘的薄銅片所制成，同时它們有简单的和带硬帮的两种。简单液压枕垫就是两端凸起并焊在一起的两块銅片（图1）。这种液压枕垫的缺点是它不能使应力按照它和岩石接触的面平均分配，在面的

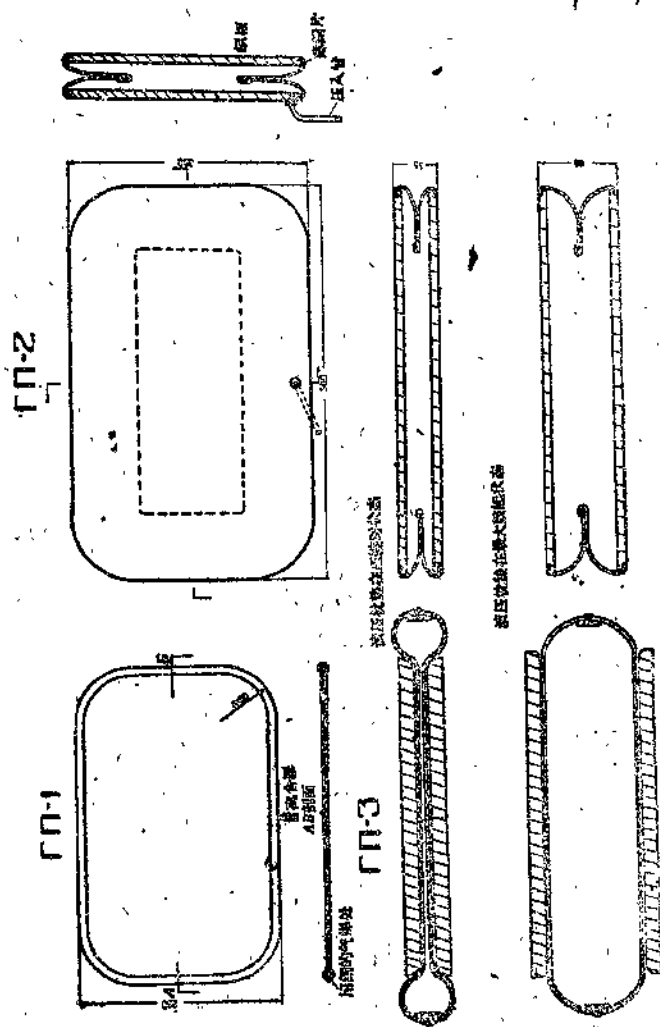


图 1 液上枕示意图

边缘应力小，而在中间就较大。这个缺点特别是在液压枕垫不大的情况下容易觉察。此外，在岩石和枕垫接触面岩石强度不同时，会发生被剪切三棱试体不平均变形，如较弱岩石的局部破坏或较硬岩石的劈开，这样，三棱试体就不按原定面剪断，而是压坏。

为了消除这些缺点，提出了带硬帮的液压枕垫（图1）。它是由两片厚为8—10公厘的钢片组成，彼此间由一铜片连接成小手风琴式。这样构造的液压枕垫使整个面应力的平均分配。当岩石不是均质体时，三棱试体就一致变形，并保证沿着预定面剪断。但是这种样式的液压枕垫具有隐藏在内部的焊缝，当这焊缝漏时就不能再继续使用，并很难把它修好。最保险的还是普通的液压枕垫，但带钢垫板（图1），以后我们就利用它来进行这样类型的试验。

在整套抗剪试验仪器中，除液压枕垫外，在我们试验时还包括有：油泵，压力计，连接管等（图2）。

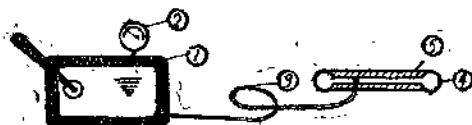


图2 液压枕垫装置图

1—油泵； 2—压力计； 3—连接管； 4—液压枕垫； 5—钢板。

凿割三棱试体一般是用手提式电钻或风钻，凿割工作按下列程序进行：在圈定好的面上钻一系列平行的钻孔，同时尽量一个靠近一个，然后在这个面上对角线地对主要钻孔同样地向一个方向和另一个方向钻眼；这以后在凿好

縫中剩下的小岩柱用旋轉鑽頭向前稍加推力或用專門的鑽頭將其打碎。

將要安裝枕墊的縫隙要特別仔細加工，加工後在縫里放上壓縮的液壓枕墊，在枕墊和牆之間的空隙內用干的細砂填滿，然後用連接管把油泵和液壓枕墊連接起來，並向里面壓油。

當指壓計剛剛表示出在枕墊中停止增長壓力或壓力剛開始降落時，三稜試體被認為已經剪斷。同時也對三稜試體上出現的裂縫也進行了觀察。

野外試驗資料的整理和獲得岩體強度特征按照下列程序進行：

1) 仔細地測量剪切面，並確定其面積 S 。

2) 測量液壓枕墊和剪切面的放置因素，並確定它們之間的角度 α 。

3) 確定作用在剪切面上的力，這力是三稜體自重和由液壓枕墊所造成的，並按下式所算出的力之和：

$$P_1 = DtL, \quad (2)$$

式中 D ——枕墊中的油壓(大氣壓)；

t ——枕墊傳壓系數，它決定於枕墊構造、它的尺寸和試驗時枕墊鼓起的數值（這系數是把枕墊放在萬能壓力機下測定的）；

L ——枕墊面積。

4) 按下式確定內聚力的數值

$$K \Rightarrow \frac{P}{S} (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \rho). \quad (3)$$

野外試驗可以按下列四种图示来进行(图3)。在按照第一种图示时,枕垫面和岩层面相重合,而剪切面对角綫地穿向岩层面并垂直和交于裂縫系。按第二种图示,即剪切面平行于垂直相交裂縫系的主要裂縫組,并体现了垂直于岩层面的岩体最弱方向。按第三种图示,即液压枕垫面垂直于岩层面,而滑动面对角綫地穿向层面和裂縫方向。按照这图示的試驗,确在岩层接触面底部不被采空情况下底板岩体的强度。按第四种图示,剪切面和层面重合,同时液压枕垫面对角綫地交于层面。

在按第一、第二和第三种图示进行試驗时测定了被裂縫分开的岩块的尺寸和裂縫間的距离;在野外試驗的同时,从三稜試体中选择了試样,准备在实验室内进行試驗,同时从每个三稜体中选2—3个試样。

在表2中列举了在爱基巴斯杜司煤田所进行的現場試驗結果。

3. 岩石在整体中的内聚力

我們所进行的研究証明,影响内聚力数值的因素有:岩石裂隙程度,岩石(破坏)变形块尺寸的大小即对同样的岩石,当增大稜形破坏体时(破坏岩块),内聚力减少。同样的現象也可以在同样大小稜体的裂隙程度加大的情况下看到。当观察极限应力下岩石变形的性質时,可清楚看到在岩石整体中破坏岩块大小对内聚力的影响。如果在很长的一段岩体中岩石的力学性質是比較均質的,在滑动面附近就形成一个完整的极限紧张状态区,同时由此所形成的切綫应力場使得在該区内由裂縫局限的个别岩块发生轉动

圖 3 岩石體野外試驗云道圖

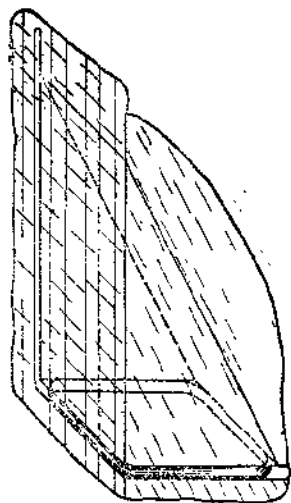


圖 3 岩石體野外試驗云道圖

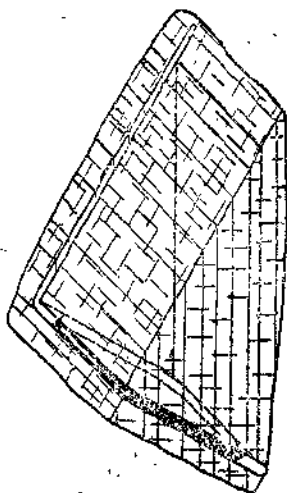


圖 3 岩石體野外試驗云道圖

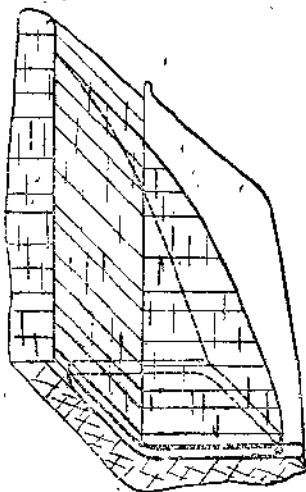


圖 3 岩石體野外試驗云道圖

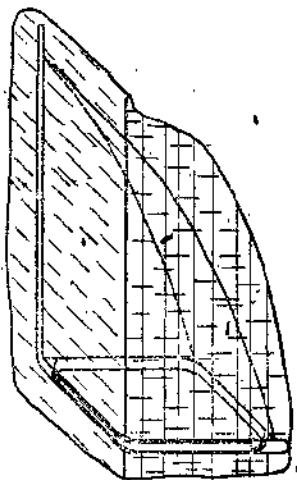


圖 3 岩石體野外試驗云道圖

(图4)。因此,当远远未达到沿滑动面剪断岩石所必需的应力时,岩体已处于极限状态了。

图 4 单位岩块在滑落时旋转滚动示意图

当滑落面和层面及裂隙成斜交，也就是当非均质面不与滑落面重合时，内聚力减少的原因也可以用上述多裂隙岩体变形的特性来解释。如果滑落面取平面数值（即没有滑落厚度），这种情形下必须有能剪断所有与滑落面相接触的岩块，而内聚力在岩体中和岩块中相等时的应力才能达到极限状态，这是在裂隙岩石中实际上不可能的。

性。当滑落面与非均質面重合时，即岩石按非均質面发生平面滑落，在这种情况下内聚力的大小与岩体变形大小无关。如果裂隙是阶梯式的（不是很致密的），那变形的特性，也就是内聚力的大小是和裂隙分布度（頻率），裂隙間隔厚以及应力大小和破坏体尺寸有关。

对于不与非均質面重合的面，根据野外試驗的結果，我們画出了整体岩石内聚力和裂隙关系的变化图(图5)。图上横坐标軸是破坏稜体大小(高度)和基本岩块尺寸平均值之比(H/l)，而縱坐标軸是岩石整体内聚力和岩块中内聚力之比(K_n/K_k) (根据庫瓦耶夫H.H.的建議可以叫做結構削弱系数)。

横坐标軸上取的不是 H/l 的简单比值而为其自然对数值，我們可以用下面两点理由來說明：

1) 当 $H=l$ 时，岩体的内聚力和岩块的内聚力相等($\frac{K_n}{K_k} = 1$)，这一点应该在縱坐标軸上，即 $\varphi(H/l) = 0$ ，如 $H=l \neq 0$ ，即只能是 $\ln 1 = 0$ 下才成立。

2) 根据已有的資料可証明 $\frac{K_n}{K_k}$ 和 H/l 的关系图在 $\varphi(H/l)$ 軸上的点不是平均分布，而是間隔越来越小，这正适合于对数刻度規律。

在横坐标軸上画出 $x = \frac{1}{5} \ln H/l \sqrt{\frac{H}{l}}$ 从1到 10^4 对实际应用已足够)值的刻度，并画出一系列根据野外試驗得出

的点，这样我们就得到了曲线的一小段，并根据以下的论点来确定曲线的形状：

破坏稜体高度无限增大或且单块岩石尺寸无限减小时，整体岩石中内聚力趋向于零，也就是曲线无限地接近于横轴，这就表明了曲线将是一抛物线状。

当坐标轴是这样安排时，曲线方程式如下：

$$y = -\frac{1}{a + bx}, \quad (4)$$

系数 a 与 b 可以把曲线上已知点代入求得。1) 当 $x = \ln 1 = 0$, $y = \frac{K_{\sigma}}{K_{\kappa}} = 1$ ，由此得出 $a = 1$ ；2) 取一系列野外试验得到的点，求出它们的平均值 b , $b = 10$ 。

把未知数和常数值代入，得方程式如下：

$$K_{\sigma} = \frac{K_{\kappa}}{1 + 2 \ln \frac{H}{l}}. \quad (5)$$

上式是岩体的内聚力和岩块的内聚力及岩体内裂隙发育程度的关系式。

图 5 上的所有各点，除 1 和 2 外，都是在柯尔金诺、卡尔宾斯克、库兹巴斯和爱基巴斯杜司等露天煤矿野外试验所得出的结果。这些试验是在剪断面和岩层面及裂隙成斜交条件下做的，也就是说和非均质面不重合。点 1 是根据 1946 年巴格司洛夫斯克露天矿东帮崩落实测资料中求得。当整理崩落资料时，其所得岩体内聚力等于 2.3 吨/公尺²，而在 50 公尺深岩块平均内聚力等于 25 吨/公尺²（摘自全苏矿山