

冲击地压

苏联 C.Г.阿维尔申著

煤炭工业出版社

冲击地压

苏联 C.P.阿维尔申著

朱 敏 汪伯煜 韓金祥译

煤炭工业出版社

內 容 提 要

冲击地压是一种矿山压力现象,它常给采矿工作带来严重灾害。一般地说,它常发生在深度为200米以下的、顶底板非常坚固的、煤质富于弹性的煤层中。开采深度越大,它发生的可能性和为害的程度也越大;它往往将工作面附近的支架完全破坏,甚至将工作面附近的巷道完全堵塞,给顶板管理造成严重困难,给安全生产带来很大威胁。

各国都在研究它,有的已经研究了几十年;但是直到目前为止,它的发生原因和预防方法还是研究的重要课题。

本书对于冲击地压作了全面叙述,列举了许多实例和计算方法,着重地分析了它的发生原因和预防方法,对于我国正在向深部开采的矿井有指导作用,对于我国正在进行的地压研究工作有启发作用。

С.Г.Авершин

ГОРНЫЕ УДАРЫ

Углетехиздат Ленинград 1955

根据苏联国立煤矿技术书籍出版社1955年版译

1326

冲击地压

朱敏 汪伯煜 韩金祥译

*

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 新华书店发行

*

开本 850×1168 公厘 $\frac{1}{32}$ 印张 $8 \frac{3}{16}$ 插页4 字数187,000

1959年12月北京第1版 1959年12月北京第1次印刷

统一书号:15035-990 印数:0,001—3,000册 定价:1.30元



前 言

在苏联采矿工业中，仅仅在最近十年内，才开始研究冲击地压的問題。当然，十年前在个别的情况下，也发生过冲击地压。但是，当时冲击地压的破坏力是微不足道的，不是采矿工作的主要困难；因此，在苏联采矿科学中，关于冲击地压预防措施以及与其斗争的方法等問題，没有得到充分的研究。

近几年来，在苏联很多煤田的矿井中，出现了破坏力很大的冲击地压。这种情况引起了现场技术人员和科学工作者们的注意，他们开始研究冲击地压现象及寻找与其斗争的方法。

对这一类问题的研究，苏联现有的经验虽然不多，但毕竟能够给实际工作带来某些有益的效果。

在研究冲击地压现象的现阶段，向更多的采矿专家们介绍該问题的内容，是恰当的。这也是本书的主要目的。

据我们看来，根据已有的冲击地压的实际资料，对于在煤层和岩石中发生冲击地压的过程，可以作出一些推论。

但是，这些推论不能作为绝对正确的理论根据，只试图引起专家们的注意，以便更深入地研究冲击地压问题。

目 录

前 言	
緒 論	3
第一章 岩体中发生变化过程的一般概念	9
1. 固体应力状态的概念	9
2. 弹性能	19
3. 岩石的力学性質	26
第二章 支点压力区	37
1. 原岩中岩石的应力状态	37
2. 支点压力区内载荷的分布情况	40
3. 围岩的应力状态	49
第三章 冲击地压及与其斗争的经验	75
第四章 煤和岩石动态的研究	146
1. 在发生冲击地压的矿井中岩石和煤的变形和位移的若干情况	146
2. 关于11号及13号层的煤及围岩的机械特性	167
3. 吉泽洛夫煤田中冲击地压的一般特征及与冲击地压斗争的办法	172
第五章 冲击地压的发生条件和发展过程	177
1. 冲击地压的发生条件	177
2. 冲击地压的发展过程	211
3. 冲击地压的能量	223
第六章 与冲击地压作斗争的措施	245
参考文献	258

緒 論

与岩石应力状态有关的现象，研究得还不够。在这些现象中，冲击地压被研究得最少，虽然它已被研究了半个世纪。

煤和岩石冒落、破坏、塌陷及移动的原因，是很多的。我们将讨论煤和岩石破坏的一种形式，这种形式叫做冲击地压。

冲击地压的现象实际上是煤或岩石突然被抛出或是两者一起突然被抛出；这是由极限应力状态所引起的。这种现象和装在煤或岩石里的大量炸药爆炸时的现象一样。

冲击地压伴有剧烈的响声和周围岩石的振动；这种振动，在几公里范围内的地表上都能感觉到。

冲击地压出现时，巷道支架将被严重破坏或完全破坏；巷道被涌出的、块度不同的煤和岩石所堵塞，经常形成很多煤尘；在某些情况下，排出大量的瓦斯。被冲击地压打松了的岩石将失去原来的稳定性，且常常冒落和堵塞巷道。在冲击地压发生之前，煤柱和巷道支架上的压力常常增加；在冲击地压发生之后，一般压力都有增长。这时，底板凸起；在某些情况下，煤柱中的煤被挤出来，以至充满巷道的整个断面。

冲击地压出现时，常发生强烈空气波——空气冲击。无论在采场或采准巷道中，冲击地压可波及几米到几百米的区域。留在煤柱中的煤和围岩裂开，节理裂隙张开，在这部分岩体中的煤和岩石的强度也减小。

因此，冲击地压是开采工作中的严重灾害之一。它危害矿工的生命，严重地破坏矿井中的生产过程。在煤矿、金属矿和岩盐矿开采时，都能产生冲击地压。

有很多著作曾研究冲击地压及与其作斗争的方法。但是到目前为止，还没有说明这一现象的理论，也没有提出可靠的预防方法。然而，多年与冲击地压作斗争的经验，大大地丰富了我们的认识；因此，苏联的采矿工程师应该熟知这些经验的成果。

在世界上所有矿区中常常遇到的最严重的冲击地压，是发生在采空区各种窄煤柱内。这些煤柱乃是巷道旁的煤柱以及在采用相遇回采工作面及跟随回采工作面时留下的煤柱。

应该指出，冲击地压既发生于采场的影响范围内，也发生于独立存在的采准巷道中。后一种情况的冲击地压，通常发生在很深的地方，即发生在应力相当大而且岩石或煤有发生脆性破坏可能的地方。

在高应力的煤柱中或在支点压力作用下的岩石中，仅仅由于重载荷长时期的作用（没有任何附加载荷作用），就能够产生冲击地压。

由于突然发生的附加载荷作用，在高应力带内，能引起极为强烈的冲击地压。

冲击地压的发生，必须有一系列条件的配合，其中有下列几个条件：

- 1) 开采深度相当大（通常大于200~250米）；
- 2) 顶板和底板岩层厚且非常坚固；
- 3) 煤相当坚固，并具有高度弹性。

还有一些条件也是很重要的，如采煤方法、顶板管理方法、工作面推进速度，等等。

照例，冲击地压发生在采场面积很大和开采深度相当大的地方（250米以上）。矿井采场总面积和深度越大，冲击地压的危险性就越大，发生的冲击地压就越严重。

在其他一切条件均相同时，在軟岩层和軟煤层中，冲击地压发生的可能性很少。

在大多数場合下，冲击地压出现在易于发生脆性破坏的煤中

冲击地压的大小是不同的。在某些場合下，冲击地压仅能抛出少量的煤或岩石(大約几吨)，对于巷道支架的破坏也不多。在其他場合下，冲击地压抛出的煤有几十吨，巷道支架完全地或几乎完全地被破坏。

在世界上各采矿工业区中，冲击地压使很多人丧失了生命。西欧国家对这些现象已經观测了一百多年，西欧各国在这一問題上已积累了一定的知識和一些斗争的經驗。但是，国外的专家们認為对这一問題的研究还是不够的。

在苏联的采矿实践中，目前还很少遇見这种现象；但根据近十年来积累的經驗，已能作出某些結論。

冲击地压是巷道周围的岩石和煤的应力状态产生的結果。因此，如果这种应力相当大，岩石就能积累弹性能，并且形成很快地放出弹性能的条件；此时，可以預料到冲击地压的发生。

随着开采深度的增加，冲击地压的危险性不可避免地要增大。

在冲击地压产生原因方面和这些现象发展过程方面，存在着很多不同的意見；但是，无论那一种意見，都沒有绝对正确的論据。

應該把該課題分为两个問題：冲击地压的产生原因及其发展过程；冲击地压的預防方法。

冲击地压最早的报导，是在1788年(英国)。但是，从十九世紀的80年代才开始明显地注意这种现象。当时，在西欧国家

的采煤过程中，开始发生愈来愈多的冲击地压。

虽然苏联煤田的开采深度早已超过250~300米（在该深度下是可能发生冲击地压的），但在苏联的矿井中在最近十年前几乎没有这种现象。

仅仅在近二十年来开采吉泽洛夫煤田的第11号和13号煤层（深度超过250米）时，发生了一系列的冲击地压。

显然，吉泽洛夫煤田有着促使这些现象发生的条件。

下面将提到：冲击地压与所谓的“支点压力区”内发生的一些现象有密切的关系。

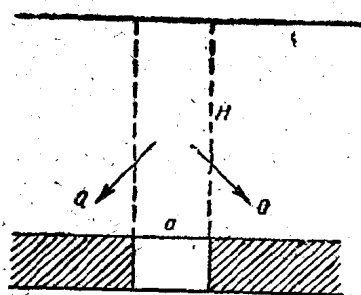


图1 支点压力的发生

一些现象有密切的关系。巷道掘进时，直接位于巷道上面的一部分岩石的支承点就发生移动（图1），下面掏空了的岩柱的重量就传到巷道壁上（煤柱上），结果巷道壁的载荷就增加。

每一个煤柱上总的增荷

Q ，等于岩柱重量之半，可按下列式计算：

$$Q = \frac{aH}{2} \gamma,$$

式中 γ —— 岩石的容重。

这种增荷分布在所谓支点压力区，其分布情况取决于复盖岩层和底板岩层的性质及互层的情况，也取决于煤的物理机械性质、煤层厚度、埋藏深度、倾角及巷道规格。

煤柱上使煤柱发生变形的载荷，使弹性潜能蓄积起来。如果能量有可能消耗（放出）于缓慢变形的功上，则煤柱也可能不发生破坏。如果能量系突然放出，煤柱则将发生剧烈破坏；潜能转变为动能，结果便引起冲击地压。

巷道围岩中发生的一些现象及产生这些现象的条件，是非常复杂的，是具有各种形式的。因此，试图用数学和力学的原理分析这些现象的结果，是有缺陷的。这会引起生产工作者对那些方法的怀疑，他们往往有根据来怀疑把数字模教的方法应用到如此复杂的现象和如此复杂的岩体上去的合理性。在岩体中的一切是如此不同！初看起来，也是如此没有规律！

多次企图在量上描述地压过程和多次企图建立地压的计算方法，都未得出完满的实际成果。这更加强了这种怀疑。虽然有些个别的成果已应用在实践中（例如，M.M. 普洛托契雅閣諾夫教授提出的采准巷道支架压力的计算方法），但是，这较之学者们在最近数十年间做过的许许多多的研究，是非常不够的。可以说，由于科学工作者和工程技术人员相互间没有充分的了解，常常妨碍在实践中去运用科学工作的成果。例如，发展了岩石铰接理论的Г.Н. 庫茨涅佐夫的工作成果，无疑地，能使巷道上岩体变化过程的概念更加确切；但是，至今，这些成果在实践中还没有被采用。

我们觉得，为了改变这种情况，必须进一步明确这一点：从这些复杂问题的理论研究上，可以得到些什么和需要怎样去理解及运用这些成果。

这个问题很大，而我们在这里仅仅讨论该问题的某几个方面。应当注意到：现代的巷道围岩应力状态的理论研究，认为岩石是弹性、塑性各向同性的物质；这种理论，只可用以说明应力分布的情况、确定应力集中的地点、确定发生张力和压力的范围，等等。

目前，从这些复杂岩体的理论研究上，很难期望得到更多的成果。但已有的成果也有很大的价值，因为它们能够正确地确定解决实际问题的方向。例如，在解决冲击地压原因的问题

时，对我们极重要的是使我们知道应力集中的程度、巷道相互影响的性质、煤柱中应力分布的性质，等等。

工程技术人员往往想从理论研究中，得到解决与地压有关的实际问题的现成答案；但在没有获得那样的答案时，就贬低了和不能充分地运用已经获得的那些成果。

从另一方面看，科学工作者常常过高地估价自己研究成果的意义，而不是十分正确地提出这些成果的适用范围。这都能妨碍科学工作者和工程技术人员间的正确了解。彼此应当理解：为了解决实际的问题，当然需要工程技术人员的技术和他们的经验；研究成果虽不能给出现成的答案，但对巷道围岩可能发生的变化过程，却能给工程技术人员指出正确的方向。

目前，实验室的研究和矿井中的观测，证实了理论研究成果的正确性；同时，它们能在量上确定在具体采矿地质条件下出现的一些现象。这样的综合研究，如果不能得出巷道附近的地压计算方法，那末总可以确定所需要的特性和拟定获得这些特性数值的方法。

重要的特性是围岩的变形速度、岩石和煤向巷道挤出的速度。因为情况复杂，于是我们就不能计算出这些速度；但在矿井中用直接测量的方法，可以获得这种速度在该具体条件下的数值。

在这些有关岩石应力状态及其在载荷下的动态的问题中，包括有象矿房的顶板和房间煤柱的稳定性的问题。对这些问题来说，把围岩当作弹性、塑性物质而进行的理论研究，能够得到最终的、完全肯定的答案。

在说明煤被压出和冲击地压等原因时，理论研究仅有助于比较正确地确定进行实验研究和解决一些实际问题的方向。对于巷道支架压力问题和采场顶板管理方法问题，也是这样。

第一章 岩体中发生变化过程的一般概念

1. 固体应力状态的概念

我們已經談过：地压范围内的問題，与岩石及有用矿物的应力状态問題，有着密切的关系。因此，現在應該討論固体应力状态的某些概念。

外界载荷、体积力、温度变化及湿度变化，都能在固体中引起一定的物理机械变化过程；这种过程会使固体分子处于机械力的作用下。讓我們研究一下，在载荷作用下的固体应力状态。

設 P 为垂直地作用在面积 F 上的力。此时，該面积表面上的平均应力 σ 可按下式求得：

$$\sigma = \frac{P}{F}$$

应力也可称为該面积表面上的作用力的强度；另一种說法，即单位面积上作用力的大小。

为了更清楚地理解应力状态，我們从固体中取一单位体积（例如立方体），并研究作用在它表面上的力。例如，在图 2 中，作用在单位立方体的各个面上的合力是 $P_1, P_2, \dots, P_6$ 。

如果各面的面积为一个单位面积，那末，显然作用在各面上的力就是应力。

为了研究应力状态，把合力分为与坐标系平行的几个分量。这样，如果采用直角坐标系（图 3），則作用于立方体上的平行于坐标平面的各个面上的合应力，可以分解为平行于坐标軸的几个分量。这些分量相应地是：正应力 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ ，而作用在平面内的为剪应力是： $\tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{xz}, \tau_{zx}, \tau_{yz}, \tau_{zy}$ ①。

① 作用在立方体后面的和下面的分量在图上沒有表示出来。

众所周知，由作用于立方体上各力的平衡条件，可以导出下列等式：

$$\tau_{xz} = \tau_{zx}; \tau_{xy} = \tau_{yx}; \tau_{yz} = \tau_{zy}.$$

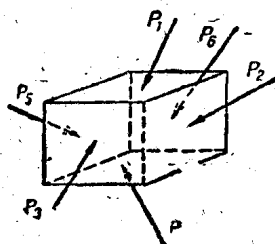


图 2 作用于立方体各面上的力

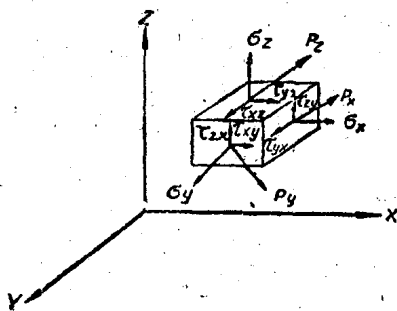


图 3 应力各矢量的分量

在平面应力情况下，各分量的表示法，如图 4 所示。在该条件下 $\tau_{xy} = \tau_{yx}$ 。

图 3 和图 4 上所示的应力，将引起压缩、拉伸和剪切变形。正应力能引起压缩和拉伸变形，而剪应力则能引起剪切变形。

由于力对单位体积的作用，固体的质点将产生位移。其位移符号如下：

u —— 平行于 x 轴的；

v —— 平行于 y 轴的；

w —— 平行于 z 轴的。

因此，单位立方体的变形如下式：

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \text{ —— 平行于 } x \text{ 轴的；}$$

$$\epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \text{ —— 平行于 } y \text{ 轴的；}$$

$$\epsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} \text{ —— 平行于 } z \text{ 轴的。}$$

如果是平面变形問題，压縮和拉伸变形是 ϵ_x 和 ϵ_y 。这种变形是由于正应力作用而产生的。坐标平面内的剪切变形如下：

$$\gamma_{xy} = \gamma_{yx} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}.$$

此变形是由于剪应力的作用而产生的。

为了描述固体的应力和变形状态，必須确定应力及由它所引起的变形之間的关系。

在一般的情况下，这种关系可以写成下式：

$$\sigma = f(\epsilon),$$

式中 σ ——应力，是材料变形的函数，即变形 (ϵ) 的函数。

在弹性变形阶段，这种关系是綫性的(虎克定律)，如下式：

$$\sigma = E \epsilon,$$

式中 E ——拉伸或压縮变形模数。

由此，得下式：

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}.$$

这种变形和作用力 σ 的方向是一致的。后者的作用引起垂直于力 σ 方向的横向变形，亦即在压縮时引起单位体积的膨胀和在拉伸时引起其收縮。横向变形是縱向变形的一部分，不同机械性質的固体的横向变形是不同的。横向变形与縱向变形相反：当縱向压縮时，横向发生伸张；反之，当縱向拉伸时，横向发生收縮。横向变形可用下式表示：

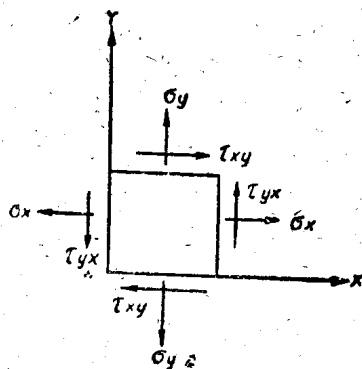


图 4 平面应力状态

$$\varepsilon_x = -\mu \varepsilon_y,$$

式中 μ ——横向变形系数(泊松系数)。

岩石的 μ 值变化于0.2到0.4的范围内, 其平均值为0.3。

因此, 在纵向正应力作用下的变形, 加上平行于其他两座标轴的正应力分量所引起的附加变形, 可得平行于坐标轴的变形, 如下式:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_y}{E} - \mu \frac{\sigma_z}{E} = \frac{1}{E} \left[\sigma_x - \mu (\sigma_y + \sigma_z) \right] \\ \varepsilon_y &= \frac{\sigma_y}{E} - \mu \frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_z}{E} = \frac{1}{E} \left[\sigma_y - \mu (\sigma_x + \sigma_z) \right] \\ \varepsilon_z &= \frac{\sigma_z}{E} - \mu \frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_y}{E} = \frac{1}{E} \left[\sigma_z - \mu (\sigma_x + \sigma_y) \right] \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

若是平面问题, 则如下式:

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_y}{E} = \frac{1}{E} (\sigma_x - \mu \sigma_y). \quad (2)$$

切应力或剪应力使固体中的某一单位体积对于其相邻的另一单位体积发生剪切应变。剪应力及其相应的剪应变之间的关系, 决定于材料的性质。

在弹性变形范围内, 这种关系也是线性的, 如下式:

$$\tau = G\gamma,$$

式中 τ ——平面内的剪应力;

G ——切变模数或切变弹性模数;

γ ——表示切变的数值, 是材料相对歪斜的数值。

在这种情况下, 平行于坐标轴的切变量如下式:

$$\begin{aligned} \gamma_{xy} = \gamma_{yx} &= \frac{\tau_{xy}}{G}; \quad \gamma_{yz} = \gamma_{zy} = \frac{\tau_{yz}}{G}; \\ \gamma_{zx} = \gamma_{xz} &= \frac{\tau_{zx}}{G}. \end{aligned} \quad (3)$$

上式中, γ_{xy} 、 γ_{yz} 、 γ_{zx} 是材料剪切变形时与平行于坐标轴綫所形成的剪切角。系数 E 、 μ 、 G 是固体弹性的基本特征。

在弹性变形范围内, 可以找出 E 、 μ 、 G 之间的关系, 如下式:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}. \quad (3')$$

等式(1)各项相加后, 可导出下式:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \frac{1}{E} & \left[\sigma_x(1-2\mu) + \sigma_y(1-2\mu) \right. \\ & \left. + \sigma_z(1-2\mu) \right] = \frac{1-2\mu}{E} (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z). \end{aligned} \quad (4)$$

上式的左端表示固体体积的变化, 称为体积膨胀。

因此, 等式(4)表示体积膨胀与正应力分量总和之间的关系。

在解方程式(1)时, 对于 σ_x 、 σ_y 、 σ_z , 可以用变形 ε_x 、 ε_y 、 ε_z 表示。

分量 σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{xy} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} 或 σ_x 、 σ_y 及 τ_{xy} (属于平面的问题时) 完全能说明固体各点的应力状态。因此, 如果已知上述诸分量, 就可求出通过该点的任何面积上的应力。

应力状态问题, 在于找到平行于坐标轴的诸分量。

在解平面问题时, 利用图5, 很容易得到已知点在任何方向的应力的计算公式。

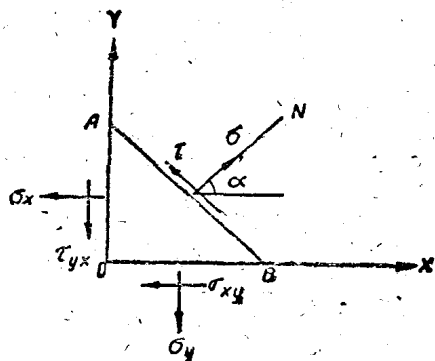


图5 单位棱柱体各面上的应力分量

在 O 点附近, σ_x 、 σ_y 是已知的, 我們取一由綫 AB 所确定的小面积。它的位置由小面积的法綫与 x 軸所夾的角 α 所确定。

单位体积 OAB , 处于平衡之中。以 F 表示稜柱体 OAB 的 AB 面的面积; 此时, OA 面的面积为 $F \cos \alpha$, 而 OB 面的面积等于 $F \sin \alpha$ 。

由平衡条件, 可得到作用在 AB 面上的正应力和剪应力, 如下式:

$$\sigma = \sigma_x \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha + 2\tau_{xy} \sin \alpha \cos \alpha;$$

$$\tau = \tau_{xy} (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) + (\sigma_x - \sigma_y) \sin \alpha \cos \alpha.$$

从上式中可知, 如果 σ_x 、 σ_y 和 τ_{xy} 已被給定, 則 σ 和 τ 的改变取决于 α 。 α 值是极其重要的; 随着它的改变, σ 和 τ 有极大值和极小值。其中, τ 的变化从零到某一最大值。在 τ 等于零时, 由下式可求得 α 值:

$$\tau_{xy} (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) + (\sigma_x - \sigma_y) \sin \alpha \cos \alpha = 0,$$

由此, 可得下式:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}.$$

因此, 有两个方向使剪应力等于零。

这两个方向尚有如下性質: 处于該方向的表面上作用的正应力, 也具有最大值和最小值。此方向, 称为主方向。其上作用的正应力, 称为主应力。主方向之間的角度为 $\frac{\pi}{2}$ 。

如果在已知点所采用的坐标軸, 和主应力方向相符合, 則任意面的应力, 可按下式計算:

$$\sigma = \sigma_x \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha;$$

$$\tau = \frac{1}{2} \sin 2\alpha (\sigma_x - \sigma_y).$$