
〔苏联〕A·A·包里索夫 著

锚杆支架的计算方法

徐振亚 叶道一 译 李世平 校

中国工业出版社

錨杆支架的計算方法

徐振亚 叶道一 譯 李世平 校

中国工业出版社

在这本小册子里，研究了锚杆支架计算的新方法，其中包括：裂隙性层状岩石顶板中锚杆支架的计算方法，无裂隙性层状岩石顶板中锚杆支架的计算方法，以及整体岩石顶板中锚杆支架的计算方法。介绍了为编制巷道锚杆支架支护说明书所必需的知識。

本书可供广大采矿工程技术人员、設計和科学研究工作人员以及矿业高等院校学生参考。

А. А. Борисов
**НОВЫЕ МЕТОДЫ
РАСЧЕТА
ШТАНГОВОЙ КРЕПИ**
ГОСГОРТЕХИЗДАТ МОСКВА 1962

* * *

锚杆支架的计算方法

徐振亚 叶道一 译

李世平 校

*

煤炭工业部书刊編輯室編輯（北京东长安街煤炭工业部大楼）

中国工业出版社出版（北京修德园路西10号）

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本787×1092 $\frac{1}{32}$ ·印張2·字数39,000

1964年10月北京第一版·1964年10月北京第一次印刷

印数0001—2,270·定价(科七)0.30元

*

統一书号：15165·3218(煤炭-208)

目 录

緒 言	1
第一节 锚杆锚头锚固强度的计算	4
一、楔缝式锚杆锚头锚固强度的计算	4
二、涨壳式锚杆锚头锚固强度的计算	10
三、对使用计算公式的意见	13
第二节 裂隙性岩石顶板中锚杆支架的计算	15
一、岩石的裂隙性	15
二、计算锚杆支架所用地压学说的选择	16
三、裂隙性岩石顶板冒落高度的确定	26
四、根据岩石裂隙性确定锚杆有效长度	29
五、中等裂隙性岩石和拱形断面巷道中 锚杆支架的计算方法	30
六、中等裂隙性岩石和矩形断面巷道中 锚杆支架的计算方法	36
七、铰链压坏安全性的校核	39
第三节 层状岩石顶板中锚杆支架的计算	40
一、层状硬岩顶板冒落区内承载能力减小过程的特征	40
二、被锚固的岩层刚度相同时容许跨度的确定	42
三、顶板各层岩石刚度不同时锚杆支架的计算	45
四、根据剪切应力校核锚杆间距	48
五、将松软岩石直接顶板悬附于较硬岩层时锚杆支架的计算	51
六、锚杆间距的确定	53
七、将薄层岩石悬附于较稳固岩体时锚杆支架的计算	55
結 論	57
参考文献	58

緒 言

錨杆支架在各种地质条件下的有效应用，以及其应用范围的逐步扩大，提出了研究錨杆支架合理計算方法的必要性。

近年来，国内外学者对各种典型結構岩石所进行的井下和實驗室研究，是建立錨杆支架計算方法的基础。

實驗室研究有两种方法：相似材料模型法和光彈性法。

列宁格勒矿业学院的B.Н.謝梅夫斯基、A.A.包里索夫、A.И.高洛莫津、И.И.托尔斯东諾夫，以及前全苏煤炭科学研究院的A.M.科津，国外的A.札克松(英)等，都是用相似材料方法研究錨杆支架的。

B.Н.謝梅夫斯基、И.И.克拉夫欽科(苏)，P.克瓦皮尔(捷)，A.札克松(英)等，都是用光彈性方法研究錨杆支架的。

實驗室研究是在安装錨杆支架的情况下，研究頂板岩石的应力状态特征，并研究在各种类型結構頂板中使用錨杆后頂板岩石承载能力的变化。

許多實驗室試驗都存在着重大的缺点，其中主要是过多地抽象了所研究的現象。И.拉布采維奇的研究工作就是一个例子，这些研究工作仅考虑了一些个别情况，其中有些研究工作甚至沒有考虑基本的相似准则，所采用的边界条件完全不正确，而且所試驗的岩石結構与岩石的实际結構也不一样。此外，这些試驗还没有考虑錨杆錨头的錨固和錨杆变形的条件，而錨杆所受的拉力則完全是任意施加的，即不是相

似的。

所有載于文獻的國外研究工作如 A. 扎克松以及絕大多數的國內研究工作都存在同樣的缺點。

用光彈性法研究錨杆支架的所有已知研究工作中，也存在同樣的缺點。以 A. 扎克松和 P. 克瓦皮爾的試驗為例，在其試驗中沒有考慮任何相似準則，無論是錨杆的變形，還是邊界條件都沒有模擬。因此，類似的試驗，只能看成是一種極個別的情況，即只有彈性指標高的均質堅硬頂板而且在巷道跨度十分小的情況下，才接近這種情況，然而這時實際上就沒有使用錨杆支架的必要了。

但是應當指出，當相似條件和邊界條件得到遵守、且頂板的結構和錨杆的變形模擬得還不錯時，光彈性的研究方法有可能得到很有效的結果。而這種可能性現在還沒有被充分利用。

沒有考慮時間的影響，也是實驗室研究存在的重大缺點。

錨杆支架的井下試驗，主要是確定錨杆的承載能力，在個別情況下也確定錨杆錨頭由於拉力產生位移的情況。根據這些研究，便可確定不同類型的錨杆在各種岩石中的大致承載能力。

錨杆支架的計算方法，過去對某些類型的頂板岩石，以及對平巷、平峒與峒室等提出得最多。

B. H. 謝梅夫斯基、B. H. 馬赫諾和 B. K. 丘坎等提出了一系列適用於這些條件的計算方法。

在國外學者的許多計算方法中，應當提到 A. 拉布采維契、A. 尤賓、法國的巴勒岑格爾和加拿大的 A. 柯爾列特等的計算方法。

分析現有計算方法表明，它們都缺乏有根據的假設，尤其是在選取相應的地壓學說和計算方案時缺乏根據。

應當着重指出，在一些有關計算方法的著名著作中，都沒有揭示錨杆支架工作的實質，並且在計算公式中都沒有引入錨杆數目這一因素。錨杆間距的確定僅是從保證巷道下部岩層的穩定性出發，而未從保證由巷道頂板構成的整體結構的承載能力出發。

錨杆支架不同於點柱或棚子。它不僅和岩石一起共同工作，而且作為一種內部支架，能夠改變岩石的性質，提高岩石的強度極限，如抗剪強度極限。從這方面說，用錨杆加固岩石就如同膠結加固裂隙性岩石一樣。

計算方法的作用不僅是為了能正確地編制具體情況下的錨杆支架支撐說明書，而且還有助於人們較全面地、正確地理解錨杆支架工作的實質。

要建立一種能完成必要計算的計算方法，如果不預先研究岩石的物理力學性質，是不可能的。因此計算方法的準確性完全取決於確定岩石物理力學性質特征的準確程度。所以所有使用錨杆支架的煤礦和金屬礦井，都應當組織力量研究岩石的物理力學性質。為了使用錨杆，必須確定頂板岩石的真實結構，主要裂縫的方向和間距，岩石的抗压、抗拉、抗剪強度極限以及岩層與岩層之間、岩塊與岩塊之間的摩擦系數。

由於錨杆支架的工作狀況難以檢查，並且必須保證工作安全，計算中就要求採用較大的強度安全系數。錨杆支架只有在事先經過認真試驗、並且安裝質量完全可靠的條件下才能使用。

第一节 锚杆锚头锚固强度的计算

锚杆承载能力是一个相对概念，即是当锚杆（杆体或锚头）破坏或锚杆开始从钻孔中被抽出时，也就是锚杆强度或锚头锚固强度遭到破坏时的极限力。

锚杆锚头的锚固强度是锚杆计算的主要参数，但是对它的确定方法，研究得不够，原因在于课题本身就没有经过充分研究，而且难于考虑许多因素的影响，且其中一些因素是变量。所以目前所采用的锚杆锚头锚固强度的计算方法都是近似的方法。

一、楔缝式锚杆锚头锚固强度的计算

1959年 E. Я. 馬赫諾发表了楔缝式锚杆锚头锚固强度的计算方法，计算图如图 1 所示。计算原理是基于下述假设：锚杆 2 的端瓣 1 始终插入在岩石中，被锚杆拉坏的整块岩石总是具有球面 A_1BB_1 的形状。这个球面可以用其底部圆锥角 $\alpha=45^\circ$ 的圆锥体 ABB 代替，在这些假设条件下，得出下述平衡条件：

$$R = \pi r l \sigma_{нч.р} \quad (1)$$

式中 r ——圆锥体底部的半径；

l ——圆锥体母线长；

$\sigma_{нч.р}$ ——岩石的抗拉强度极限。

但是，由于

$$r = \frac{c}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad l = \frac{c}{\sin \alpha},$$

所以
$$R = \frac{\pi}{n} c^2 \sigma_{n\alpha, p} \cos \alpha, \quad (2)$$

式中 n ——强度安全系数。

根据锚杆在井下和实验室进行的拉出试验证明：只有当 c 比较小且均质岩石的抗拉强度极限很小时，才出现如图 1 所示的破坏现象。因此这仅是一种个别情况。

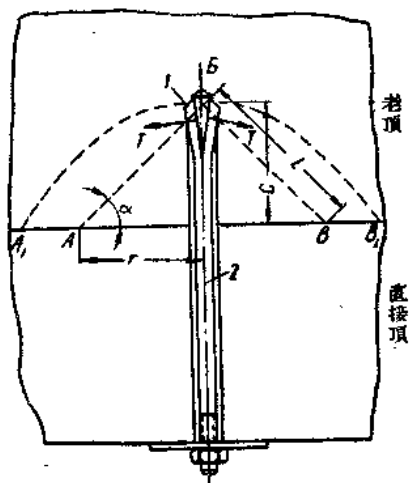


图 1 楔缝式锚杆锚头锚固强度的计算图
(按 E. M. 馬赫諾方法)

此外，上述假设是很不实际的，就是在这种个别情况中也没有反映出所研究岩石结构实在的多种多样破坏方式。

当其他条件相同时，锚杆的承载能力决定于钻孔直径和杆体直径的比值，并且当它们的差等于楔子厚度时，锚杆的承载能力等于零。下述结论都是在下列条件下得出的：钻孔与锚头直径之差不超过 5~7 毫米，楔子有足够的厚度并且比

钻孔直径与杆体直径之差最少大两倍。

一切坚硬岩石，根据它们的抗压强度极限和钢材的抗压强度极限的关系可分为两类。

第一类岩石取决于不等式：

$$\sigma_{n4.c\kappa.cm} < \sigma_{n4.c\kappa.nop} \quad (3)$$

式中 $\sigma_{n4.c\kappa.cm}$ ——钢的抗压强度极限；

$\sigma_{n4.c\kappa.nop}$ ——岩石的抗压强度极限。

极坚硬的火成岩和沉积岩属于这一类，如石英岩、极坚硬的砂岩等。这些岩石的单向抗压强度极限在 2200 公斤/平方厘米以上。应当注意，由于钻孔中岩石处于复杂应力状态条件下，在与锚杆锚头相接触的地方，岩石的实际抗压强度极限将大大地提高。

第二类岩石取决于不等式：

$$\sigma_{n4.c\kappa.cm} > \sigma_{n4.c\kappa.nop} \quad (4)$$

砂岩、中硬的石灰岩、泥质页岩、砂质页岩等都属于这一类。

1. 第一类岩石锚杆锚头锚固强度的计算。

当满足不等式(3)时，锚杆锚头压入岩石所起的作用不大，因此锚杆的最大承载能力由下列平衡方程式确定

$$R_{max} = 2T_2, \quad (5)$$

式中 T_2 ——作用在锚杆锚头和岩石接触面上的摩擦力。

计算图见图 2。

用 P_1 表示锚杆安装时的压入力，其他符号如图 2。

显然，锚头的最大锚固强度可用下式表示

$$R_{max} = \frac{f_2 P_1}{\sin \alpha \cos \alpha}, \quad (6)$$

式中 f_2 ——钢和岩石间的摩擦系数。

取强度安全系数为 n ，则确定作用在锚杆上容许载荷或锚杆容许反力的计算式如下：

$$R_0 = \frac{f_2 P_1}{n \sin \alpha \cos \alpha} \quad (7)$$

例 已知： $P_1 = 4$ 吨， $n = 4$ ，
 $\alpha = 30^\circ 30'$ 。

由手册表中查得 $f_2 = 0.4$ ，但是考虑到钻孔表面的粗糙性及接触的紧密性较差，因此可取 $f_2 = 0.2 \sim 0.3$ ，则

$$R_0 = \frac{(0.2 \sim 0.3) 4}{4 \cdot 0.061 \cdot 0.998}$$

$$= (3.3 \sim 4.9) \text{ 吨，}$$

即所得结果完全符合锚杆承载能力的实际范围，从而证明公式(7)是适用的。

从公式(7)中可以看出，增加锚杆的压入 P_1 ，适当减小 α 角及提高 f_2 ，都可以提高锚杆的承载能力。

2. 第二类岩石锚杆锚头锚固强度的计算。

满足不等式(4)时，摩擦力 T_2 不可能达到很大的数值，所以剪切力就起着主要的作用。当把锚杆压入钻孔时，锚杆的端部将嵌入岩壁中去，这种现象有点像刨齿切削刨花的情况，端部嵌入岩壁的深度(刨屑厚度)在零与某个最大值之间变动。由于靠近眼底，楔紧的最后阶段可能不像开始那样剪切岩石，而是压缩岩石和把岩石挤碎。

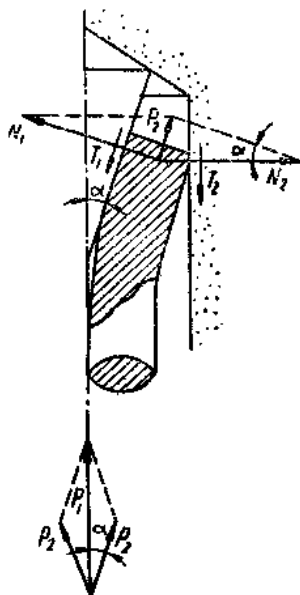


图2 岩石抗压强度近似于钢或者大于钢的抗压强度极限时，楔缝式锚杆锚固强度计算图

在这种情况下，锚杆的计算图如图 3 所示。

压入锚杆时的平衡条件如下式：

$$P_2 = T_1 + T_2 + \sigma_{ny, csk} \cdot S_1, \quad (8)$$

式中 S_1 ——锚杆端头与岩石的接触面积。

由于锚杆楔紧的最后阶段，岩石由被剪切转为受挤压，摩擦力相对比较小，而且锚杆不再往上移动，因此方程式 (8) 可写成

$$P_2 = S_1 \sigma_{ny, csk}, \quad (9)$$

并且

$$S_1 = \frac{P_1}{2\sigma_{ny, csk} \cos \alpha}. \quad (10)$$

当锚杆是用压入法安装时，可直接得到 P_1 的大小；如

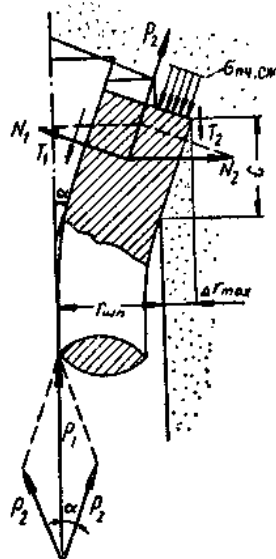


图 3 楔缝式锚杆在打入或压入阶段情况下，锚头锚固强度计算图

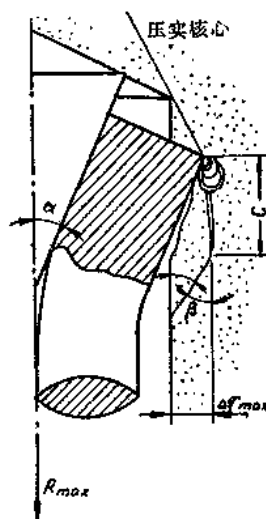


图 4 楔缝式锚杆在拉出阶段锚头锚固强度计算图

用冲击法安装，则可根据弹性体碰撞公式求得；采用扳手时，可近似地取

$$P_1 = 75P_k,$$

式中 P_k ——扳手末端施加的力。

采用测力扳手或机械自动螺帽扳手时， P_1 力的计算也并不困难，这时可按各种参考书中介绍的公式求得。

当对锚杆施加超过它的最大承载能力的拉力时，将会看到一种与切削极相似的剪切破碎现象，剪切下来的岩石（刨屑）在纵剖面上呈镰刀形状。

参考文献〔2〕中证明：当岩石试块的局部表面承受钢制物体（压模或冲头）的静压或冲击载荷而破坏时，无论压模或冲头的形状怎样，在其底部都形成压实核心，由于这些压实核心的压缩变形而引起试块因受拉而破坏。

根据对剪切下来的岩石厚度为最大的剖面（即沿纵剖面上）的这些研究，图4表示岩石断裂形成的示意图，包括压实核心的产生及核心下部断裂裂缝开展的情况。

因此锚杆支架的最大承载能力由下式确定

$$R_{max} = 2\tau_p(S_2 + S_3) + 2T_2, \quad (11)$$

式中 τ_p ——岩石的抗剪强度极限；

S_2 ——断口的垂直面的面积；

S_3 ——断口斜面的面积。

可以取 $\tau_p = \sigma_{nq.p}$ ，这样是偏于安全的；此外由于 $2T_2$ 值相当小，故可略去不计，所以

$$R_{max} = 2\sigma_{nq.p}(S_2 + S_3). \quad (12)$$

根据(10)和(12)式，便可得到确定锚头最大锚固强度的公式

$$R_{max} = P_1 \cdot \frac{\sigma_{ny.p.}}{\sigma_{ny.czk}} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \left(2 \operatorname{ctg} \alpha + \frac{1}{\sin \beta} \right) \quad (13)$$

錨杆的容許反力

$$R_d = \frac{P_1}{n} \cdot \frac{\sigma_{ny.p.}}{\sigma_{ny.czk}} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \left(2 \operatorname{ctg} \alpha + \frac{1}{\sin \beta} \right) \quad (14)$$

对岩石來說， $\frac{\sigma_{ny.p.}}{\sigma_{ny.czk}}$ 的变动范围相当大，其平均值可取为 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{10}$ 。

例 設： $P_1 = 4$ 吨， $\alpha = 3^\circ 30'$ ， $\beta = 45^\circ$ ， $n = 4$ 。

則

$$R_d = \frac{4}{4} \cdot \frac{1}{(4 \sim 10)} \cdot \frac{2 \cdot 16.35 + \frac{1}{0.7}}{0.998} = (3.4 \sim 8.5) \text{ 吨.}$$

所得結果完全符合錨杆在上述工作条件下的实际承载能力，从而証明公式(14)是适用的。

在所研究的情况下，公式(14)成立的条件是

$$S_{KA} \sigma_{ny.czk} > P_1, \quad (15)$$

式中 S_{KA} ——楔子端部的面积。

如果不保持不等式(15)的关系时，則楔子可能在公式(9)实现之前，就已插入岩石中去，即楔子将不会完全楔紧，这时錨杆的承载能力可能显得不足，因此当不等式(15)得不到滿足时，应该在楔子端部与孔底之間放置鋼垫板。

应用公式(7)和(14)时，应该具有这些公式中所含一切数值的精确資料。

二、漲壳式錨杆錨头錨固强度的計算

A. 尤貢和巴勒岑格尔提出的漲壳式錨杆錨头錨固强度的計算方法[3]最为著名。这个方法的計算图如图5。

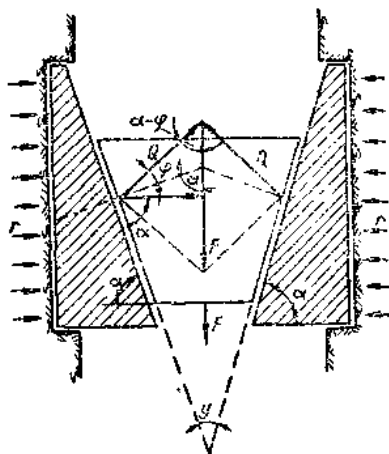


图5 尤貢和巴勒岑格尔所提出的漲壳式
锚杆锚头锚固强度計算图

正压力建議采用下式确定

$$R = \frac{F}{2} \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \varphi). \quad (16)$$

为了确定漲壳式锚杆漲壳压入岩石的深度，A. 尤貢和巴勒岑格尔建議采用布辛涅斯克的方法解决，事先把漲壳的側面变换成相似平面圓压模的表面，其半徑

$$a = \sqrt{\frac{S_M}{\pi}}, \quad (17)$$

式中 S_M ——漲壳的側面面积。

根据这个假設得出

$$\Delta r = \frac{F \operatorname{tg}(\alpha - \varphi) (1 - \mu^2)}{2El \sqrt{\frac{S_M}{\pi}}}, \quad (18)$$

式中 Δr ——漲壳压入岩石的深度；

φ ——鋼与鋼(通常就是楔子与漲壳材料)的摩擦角；

μ ——橫向应变系数；

E ——岩石的彈性模数。

由于是研究杆体沒有任何移动时的平衡条件，所以錨杆的拉出力 F 可分解为两个垂直于楔子斜面的力，这两分力与 F 力的夹角为 α 。由于布辛涅斯克的解是在力作用于彈性半无限体情况下得到的，而用这个公式来計算钻孔內球形冲模压入时的情况則是完全任意設想的和沒有根据的，因此不能用公式(18)来确定漲壳式錨杆錨头的錨固强度。

上述情况下漲壳式錨杆錨头錨固强度計算图見图 6。

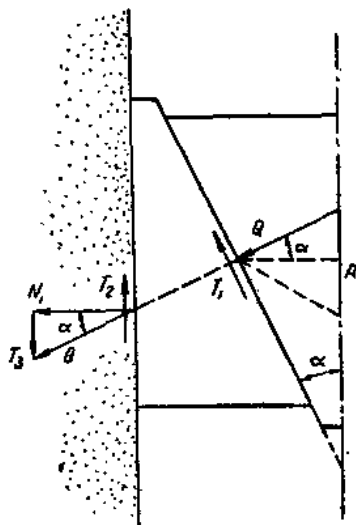


图 6 漲壳式錨杆錨头錨固强度計算图

在 $\sigma_{нч,сж,см} < \sigma_{нч,сж,нод}$ 即第一类岩石的情况下，平衡方程式为

$$R_{max} = 2T_2 \quad (19)$$

显然，锚杆的容许反力

$$R_d = \frac{f_z P}{n \operatorname{tg} \alpha} \quad (20)$$

在 $\sigma_{nu,cm} > \sigma_{nu,nop}$ 即第二类岩石的情况下，平衡方程式为

$$R_{max} = m \sigma_{nu,p} S + 2T_z, \quad (21)$$

式中 m ——涨壳的瓣数；

S ——每瓣底部的岩石受剪面积。

这时，由于涨壳瓣压坏岩石，摩擦力只起次要的作用，因此可略去不计，则

$$R_{max} = m S \sigma_{nu,p} \quad (22)$$

所以，近似地得到

$$mS = \frac{\pi}{\sin \beta} (d_{un} \Delta r + \Delta r^2), \quad (23)$$

如是，

$$R_d = \frac{\pi}{n \sin \beta} (d_{un} \Delta r + \Delta r^2), \quad (24)$$

式中 β ——岩石的剪切角；

d_{un} ——钻孔直径。

要解方程式(24)就应该确定 Δr ，但是用理论方法来确定它是很困难的，因此为了应用公式(24)就要求通过试验来确定 Δr ， $\Delta r = \psi \left(\frac{N}{mS} \right)$ 。

三、对使用计算公式的意见

在井下现场条件下，经常采用类比的方法。一些文献资料中举出了锚杆初始滑动和锚杆拉出时锚固力的数值。如按谢梅夫斯基的资料[4]，楔缝式锚杆当承载能力为2.18~5.80