(1055)

调动深部围岩强度—21 世纪软岩巷道支护新方向*

何满潮　　段庆伟

(中国矿业大学岩土工程研究所　北京　100083)

摘要　分析了软岩巷道围岩的弹塑性分区及其各分区的强度特性,和软岩巷道大变形、大地压、难支护的特点,提出关键部位运用锚索技术调动深部围岩强度的新观点,并借助数值模拟手段,研究了锚索支护调动深部围岩强度的机理,探讨了多根锚索之间,锚索与锚杆之间的相互作用与影响。

关键词　关键部位支护理论,弹塑性分区;锚索支护

MOBILIZING THE STRENGTH OF DEEP PART OF SURROUNDINGS – A NEW DIRECTION FOR THE SUPPORT OF SOFT ROCK TUNNEL IN 21 CENTURY

He Manchao,　Duan Qingwei

(*China University of Mining and Technology, Beijing* 100083 *China*)

Abstract　In this paper, the elastic-plastic zoning and the strength characteristics of surroundings in soft rock tunnel are analyzed. A new idea about using anchor-rope at the key point to mobilize the strength of deep surroundings, is put forward. Through numerical modeling, the mechanism of this idea is studied. And the interaction among the multiple anchor-bars, and between anchor-rope and anchor-bar are researched.

Key words　*key point supporting theory, elastic and plastic zoning, bolting cables supporting*

1　综　述

我国软岩工程技术的发展至今已有 40 年的历史,在这 40 年里取得了巨大成就,人们对软岩的认识趋于清晰化,对软岩的一般变形力学机制研究已基本清楚[1]。在支护理论方面,新奥法理论、联合支护理论、围岩松动圈理论、高强度弧板支护理论、位移反分析理论等不同学术理论在软岩工程中普遍采用,这几种理论都兼容并蓄,取长补短,各自又在不断完善。但是目前,随着浅部煤炭资源的日趋减少,开采方向逐渐向深部发展,有的开采深度甚至达到地下 1 000 m 以上,在这种情况下,软岩巷道就又出现了新的特点,同时给支护也带来了新的难题。

1.1　软岩巷道的特点

煤矿软岩巷道和水利、交通等地下隧道相比有以下特点:

(1) 浅层围岩软,强度低。煤作为一种沉积矿产,与沉积岩共生组合,而且由于沉积韵律的控制,煤层的顶板和底板往往是泥页岩,其强度一般都比较低。

(2) 深度大,高地压。煤矿的开采深度目前多在 500 m ~ 600 m,有的甚至超过 1 000 m,应力水平都在 10 ΩPa 以上,在这样大的应力水平上,巷道围岩都表现为软岩的特征。

(3) 变形力学机制复杂。煤矿巷道绝大多数围岩属于软岩的范围,其变形力学机制非常复杂,中国矿业大学何满潮教授把软岩的变形力学机制分为三大类,十三个亚类,每种变形力学机制有其独特的特征型矿物、力学作用和结构特点,其软岩巷道的破坏特征也有所不同。软岩的另一个特征就是非线性大变形。

(4) 大变形。软岩巷道大变形是由其具有复杂型变形力学机制决定。大变形稳定性控制给软岩支护带来了很大

* 国家杰出青年科学基金资助(No.59825114)项目。

作者 何满潮 简介:男,44 岁,博士,1989 年毕业于中国矿业大学力学系,现任教授、博导,主要从事于岩石力学与岩土工程教学与科研工作。

困难,因此常常前支后翻,浪费严重。

1.2 围岩弹塑性分区

对于静压条件下的软岩巷道来讲,在巷道开挖以前,地下岩体在特定地应力场中处于三轴压力的平衡状态,巷道一旦开挖,这个平衡系统就会被破坏,围岩应力会重新调整。调整的结果,围岩出现了4个区,自空区向外依次是:塑性流动区、塑性软化区、塑性硬化区、弹性区(图1)。塑性硬化区和弹性区是稳定区,塑性流动区和塑性软化区属于破坏区。由于稳定区具有足够的强度维持稳定状态,故破坏区的范围(R_t)确定将与支护荷载密切相关[2]。

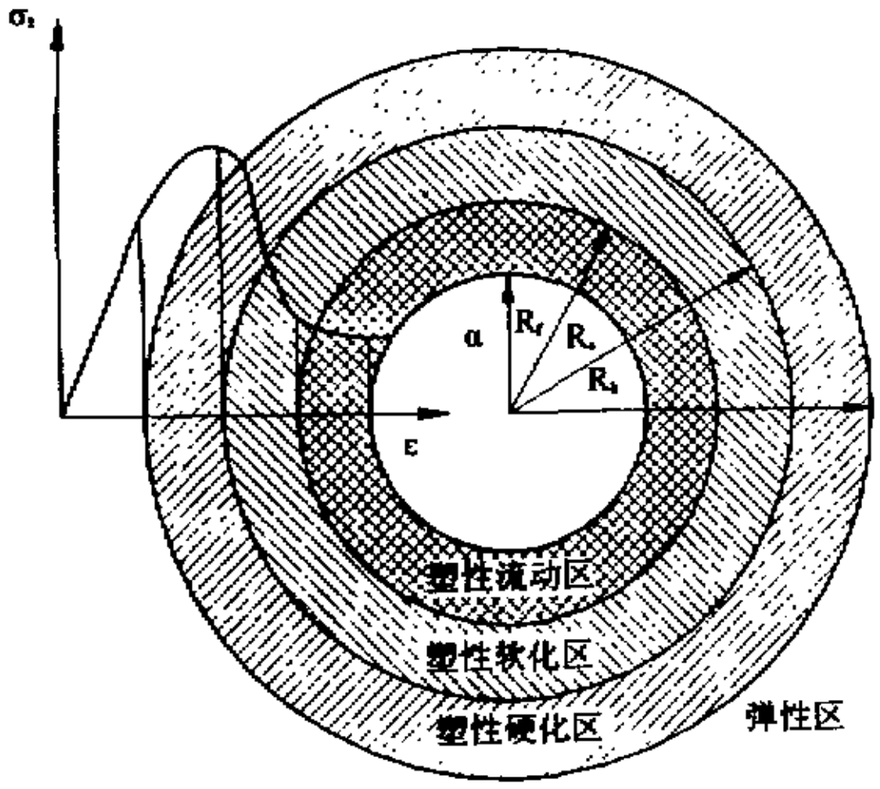


图1 静压条件下软岩巷道围岩分区

2 关键部位耦合支护理论

关键部位耦合支护理论是中国矿业大学何满潮教授首次提出的。研究表明,无论是新开巷道、还是翻修巷道,其破坏是一个渐进的力学过程,是从某一个或几个部位开始变形、损伤、破坏,进而导致整个支护体失稳。这些首先破坏的部位,称为关键部位。

2.1 关键部位是产生机理

软岩巷道的支护与围岩相互作用后出现关键部位的机制颇为复杂,有如下四种类型[3](详见图2)。

Ⅰ型关键部位是指支护体和围岩的强度不耦合,非均匀的荷载作用在等强的支护体上,形成局部过载,产生局部破坏,最终导致支护体失稳;

Ⅱ型关键部位是指支护体和围岩的刚度正向不耦合,支护体刚度小于围岩刚度,围岩产生的过量变形得不到限制,形成局部过载而产生破坏;

Ⅲ型关键部位是指支护体和围岩的刚度负向不耦合,支护体刚度大于围岩刚度,围岩的变形能不能释放,造成局部能量聚集,使支护体局部过载而首先产生破坏;

Ⅳ型关键部位是支护体和围岩结构变形不耦合,支护体产生均匀的变形,围岩中的结构面(如软弱夹层、使支护体局部发生破坏。

2.2 关键部位特征与识别准则

(1) 关键部位的变形特征:关键部位的变形特征大体上可分为四种类型,如图3所示。曲线1反映了该关键部位的围岩强度远低于荷载,经历了一段减速变形后,在荷载作用下变形急速增加而破坏;曲线2反映了该关键部位围岩和支护体的联合强度仍然低于荷载;曲线3说明了该关键部位的围岩和支护体共同作用强度仍略低于荷载;曲线4反映了支护体和围岩相互作用是耦合的。前三种曲线类型都是关键部位的变形曲线特征类型。

(2) 关键部位的裂纹特征:通过研究,提出了工程裂纹反分析理论,并用之确定需要耦合支护的关键部位。

(3) 关键部位的识别准则:

变形准则,巷道面各点变形及其速率同时满足① $U_i \geq 0.6[U]$;② $\frac{\partial U_i}{\partial t} \geq 0$时,则表示出现了关键部位,[U]为设计围岩最大变形量;强度破坏准则,出现了高应力腐蚀现象,则表征产生了关键部位;空间位置准则,根据关键部位特征及其空间位置关系,可分为同位型关键部位和异位型关键部位,同位型关键部位设置破坏特征出现的位置就是关键部位的空间位置所在,是一致的,异位型关键部位是指破坏特征出现的位置和关键部位的空间位置是不一致的,破坏特征出现只能证明已产生了关键部位,但关键部位的空间位置所在,必须做具体的力学分析才能得出。

2.3 关键部位耦合支护技术

关键部位耦合支护的整个设计过程都为非线性力学设计方法,其设计过程分为对策设计、过程设计和参数设计三大部分,而不能简单仅用参数设计来代替。

目前的耦合支护技术中,主要有刚柔层支护技术、刚腺柔层支护技术、锚杆与围岩耦合支护技术、锚网耦合支护技术、锚网-锚索耦合支护技术等。这些支护技术在目前的巷道支护中都取得了很大成功,在21世纪,由于从未遇到的大深度巷道会给支护带来很大的困难,所以在原来支护理论基础上,如何在软岩巷道大变形过程中出现的关键部位运用锚索等手段调动深部围岩的强度从而控制巷道周围岩体稳定性是21世纪软岩巷道支护技术新走向。

3 调动深部围岩强度的理论与技术

3.1 围岩各分区的强特性

在图1中,很明白的说明了各分区围岩的强度特性,在塑性流动区和塑性软化区,围岩的力学参数如内摩擦角,内聚力都已变为围岩的残余值,强度特性已显然比原岩的强度值小的多,而在塑性硬化区和弹性区,围岩强度与原岩相比则变化很小。所以在应力水平高,深度深的软岩巷道中,锚索最好打入塑性硬化区和弹性区中,调动深部围岩的强度,才能充分发挥锚索的作用,否则,有可能发生锚索和岩体整体失稳而使锚索支护大打折扣。

3.2 关键部位的处理措施

软岩巷道支护中,由于各种不耦合因素而在岩体中产生关键部位,在确定关键部位的空间位置之后,只要适时在关键部位采取合理的处理措施,巷道就能成功的完成支护。尤其是巷道进入深部软岩状态后,在关键部位使用锚索支护,

充分调动深度部围岩的强度特性对于控制软岩的稳定十分重要。

3.3 锚索加固机理的数值模拟

为研究锚索对围岩的加固作用，调动深部围岩强度的机理，作者分别研究了直墙半圆拱巷道、矩形巷道在没有锚索、单根锚索和多根锚索情况下的应力分析和变形分析，由于篇幅有限，仅将半圆拱巷道的部分结果加以比较分析，并示出应力分布图(如图 4 所示)。

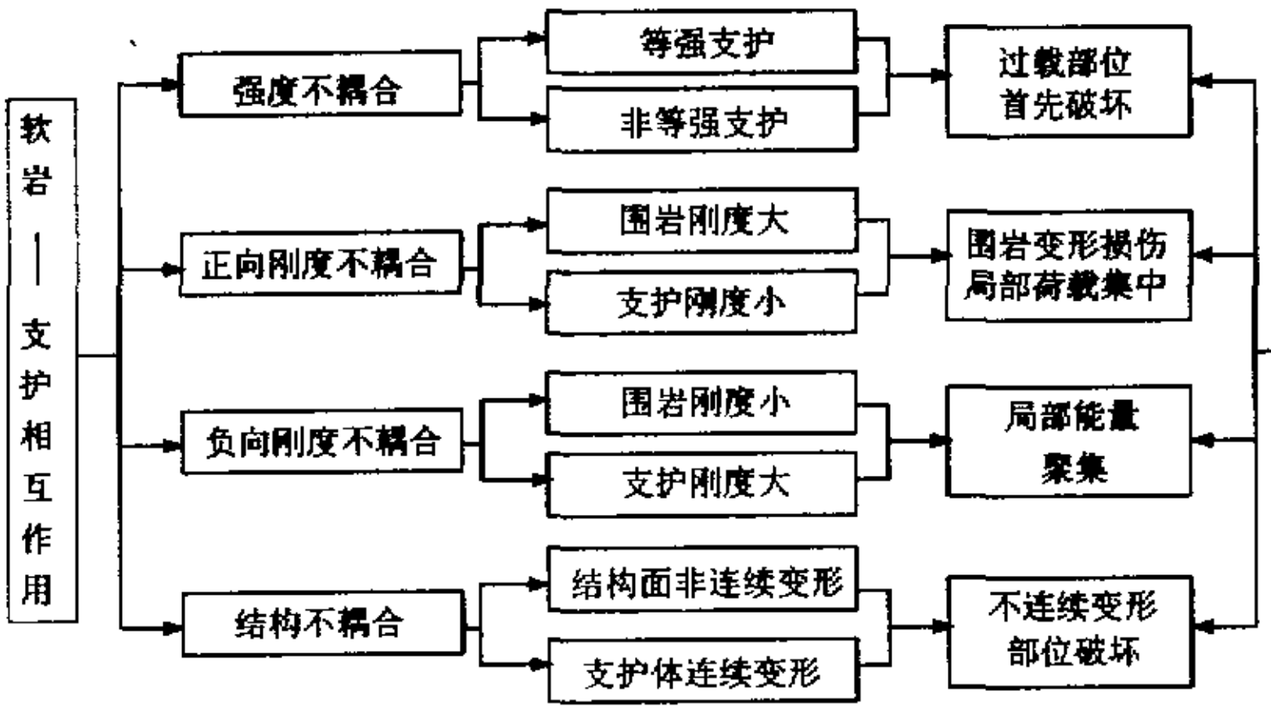


图 2 关键部位的产生机理

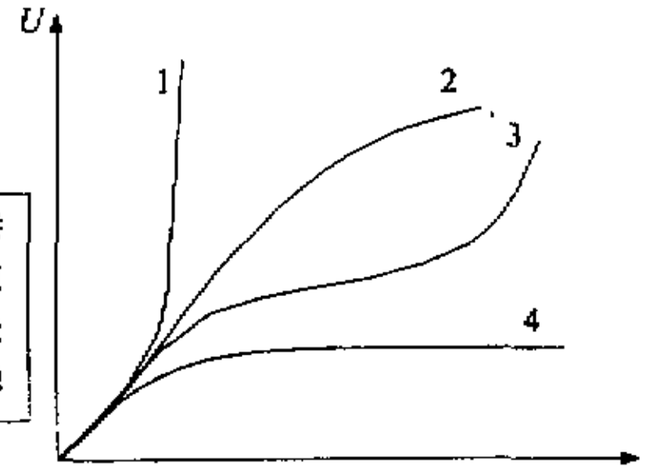
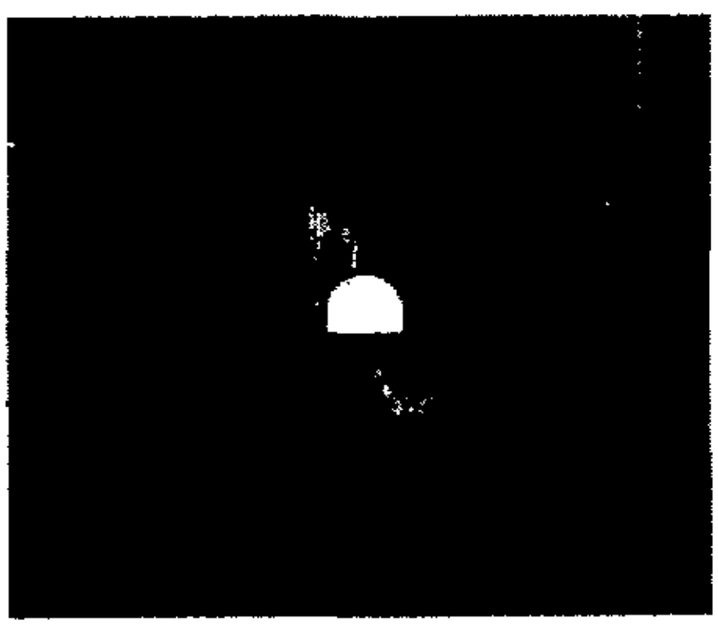
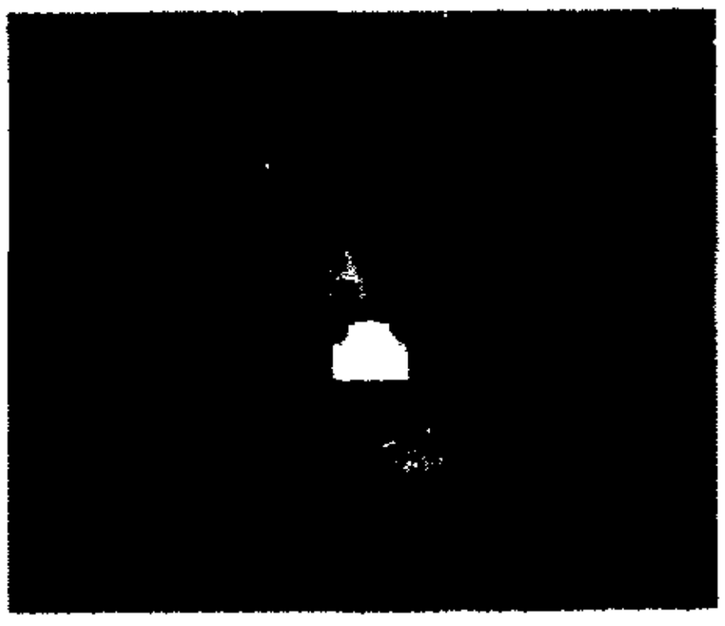


图 3 巷道关键部位的变形特征

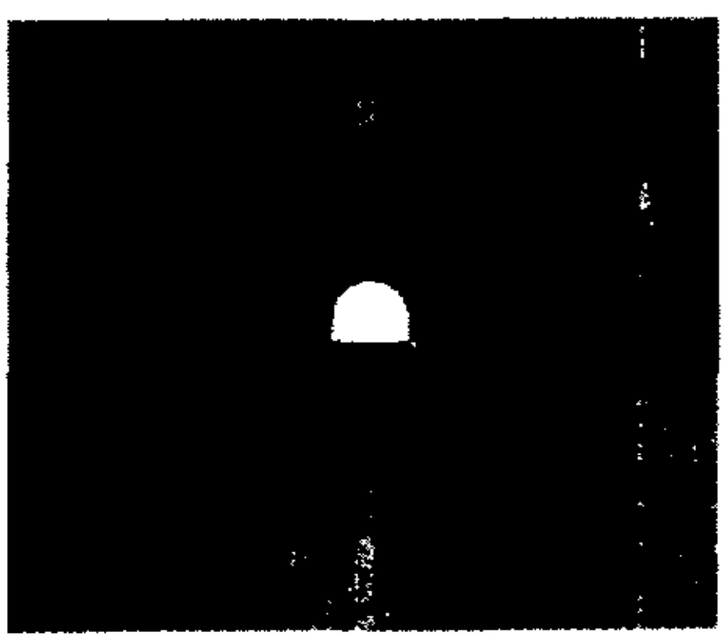
1—关键部位未支护围岩变形特征
2，3—关键部位围岩支护不耦合的变形特征
4—围岩支护耦合的稳定变形特征



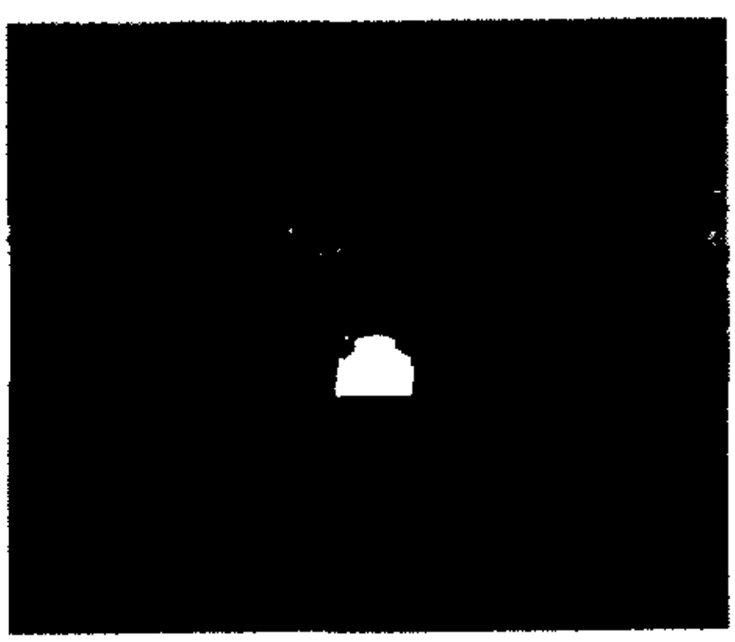
(a) 无锚索时τ_w应力图



(b) 两根锚索时τ_w应力图



(c) 无锚索时τ_v应力图



(d) 两根锚索时τ_v应力图

图 4 两种情况下的应力分布

没有锚索支护情况下，如图 4(a)所示，直墙半圆拱巷道周围形成“双耳”应力集中关键部位，常常造成巷道两边剪坏；图 4(b)表明，在关键点上施工锚索后，浅部围岩剪应力集中程度明显减小，深部岩体的剪应力水平显著增加，表明调动了深部岩体强度，控制了浅部岩体的稳定性；图 4(d)表明了锚索使集中程度大幅度降低，使深部岩体 σ_r 发生集中通过比较可看出，有锚索和无锚索时的应力分布显然不同，主要表现在锚索支护后剪应力明显向深部围岩延伸、扩张，在围岩深处锚索顶端附近出现拉应力集中区，说明了由于锚索的作用，使深部岩体也承担了浅处围岩的支护荷载，从而减

小了巷道的变形量。从另一方面考虑，巷道无支护开挖时自然在围岩中形成了弹塑性分区，自空区向围岩深处依次塑性流动区、塑性软化区、塑性硬化区和弹性区，围岩的强度从空区向深处围岩也依次增大直到无扰动的原岩强度，通过锚索的作用，正是调动了深部围岩的强度达到了对浅层围岩的支护效果。

4 结　论

随着巷道开采深度的不断加大，围岩荷载也不断增大，仅靠发挥浅部围岩强度和支护体强度来支护大深度巷道的巨大的围岩荷载已不可能。根据关键部位理论，在软岩巷道关键部位运用锚索等技术，发挥深部围岩的强度是21世纪的软岩巷道支护新方向。

参 考 文 献

1 何满潮．“软岩工程技术现状与展望”．见：何满潮、黄福昌、闫吉太主编．世纪之交软岩工程技术现状与展望．煤炭工业出版社，1999

2 姜衍祥．软岩巷道支护荷载的确定方法及其计算系统的开发[博士学位论文]．北京：中国矿业大学北京校区，1998

3 何满潮．中国煤矿软岩巷道支护理论与实践．徐州：中国矿业大学出版社，1996