

模型材料锚喷加固实验研究

(14)
94-99

肖勤学

(重庆建筑大学建筑工程学院 630045)

TU458.4

摘要 对含不同夹角软弱结构面的模型材料在不同方位锚杆的作用下和喷射混凝土的作用下的实验研究,探讨了锚喷加固含软弱结构面岩体的机理,本文的实验结果对指导锚喷支护设计有一定的应用价值。

关键词 锚喷加固, 模型实验 岩体, 模型材料.

中图分类号 TU 458.4

锚喷加固技术广泛应用于隧道工程、水电工程、人防工程、矿山工程和市政工程以及城市边坡加固工程中,大量的锚喷支护工程实践和岩体力学的迅速发展导致了现代支护理论的建立。尽管人们对锚喷支护作用无可否认,但对锚喷的加固机理还不完全了解,在工程设计中仍主要依靠工程类比并通过现场监测来修改设计,因此,对锚喷支护的作用机理还有进一步研究的必要,锚喷加固后岩体的强度和变形作出定量的分析还需深入的研究。为此,本文采用模型材料试样实验研究锚喷加固含软弱结构面的岩体的变形特性和加固机理。

1 模型材料的选择

为了研究锚喷加固含软弱结构面的岩体的加固机理和加固作用,我们采用均质性好、软弱面性质易于控制、试样成型制作简单的模型材料进行实验。本实验旨在研究锚喷加固的受力机理、强度特点,而不是对某个具体工程进行定量模拟分析。因此,在对模型材料的选择上,不强求模型材料与实际岩土材料的完全相似,只要求模型材料具有岩土材料的基本属性即可满足实验要求。

鉴于上述考虑,我们选用不同水灰比的石膏作为岩体模拟材料和软弱结构面模拟材料,采用 1.0 mm^2 的铝芯线作为锚杆模拟材料,锚杆胶结材料采用水灰比为2.0的425#水泥净浆进行模拟,喷射砼采用标准砂、石粉和乳白胶按一定比例调和后,涂在试样表面上。根据配比实验,各种模型材料的配比及性质如表1所示。

2 实验方案及模型制作

2.1 实验方案

收稿日期:1997-01-20

肖勤学,男,1960年生,副教授

重庆市中青年科技专家基金资助项目(91-31171)

表 1 模型材料配比及力学性质

材料名称	模型材料规格及配比	力学性质	备注
岩体	石膏:水 = 1:0.95	$\sigma_c = 6.2 \text{ MPa}$	
软弱结构面	石膏:水 = 1:1.9	$\sigma_c = 2.1 \text{ MPa}$	
锚杆	1.0 mm ² 铅芯线		
锚杆胶结材料	425# 水泥:水 = 1:2.0		
喷射砼	标准砂:石粉:乳白胶 = 1:1:1.5		

为了研究软弱结构面、锚杆和喷射砼对岩体强度特征的影响,我们采取了软弱结构面、锚杆和喷射砼的多种组合方案进行实验,这些组合方案包括:

1) 均质岩体模型:不含任何软弱结构面,也不进行喷锚加固,此模型作为标准模型,用于与其它非均质模型和锚喷加固模型进行比较。

2) 均质岩体锚杆加固模型:在均质岩体模型上安装 4 根砂浆锚杆,用于研究锚杆对完整岩体的加固作用。

3) 均质岩体喷射砼加固模型:在均质岩体模型上喷射砼,用于研究喷射砼对完整岩体的加固作用。

4) 均质岩体锚喷加固模型:在均质岩体模型基础上进行锚喷加固,用于研究锚喷对完整岩体的加固作用。

5) 结构岩体模型:含有一组或二组软弱结面的,不进行锚喷加固,用于结构面对岩体强度的削弱情况。

6) 结构岩体锚杆加固模型:在结构岩体模型的基础上,采用锚杆进行加固,用于研究锚杆对含有软弱结构面的岩体的加固作用。

7) 结构岩体喷射砼加固模型:在结构岩体模型的基础上,采用喷射砼进行加固,用于研究喷射砼对含有软弱结构面岩体的加固作用。

8) 结构岩体锚喷加固模型:在结构岩体模型的基础上施加锚喷加固措施,用于研究锚喷对含有软弱结构面岩体的加固作用。

上述八种试验模型中,软弱结构面与最大压应力作用方向之间的夹角又按 30°、45°、60°和 90°进行组合;锚杆的锚固方向亦与最大压应力的作用方向之间的夹角为 30°、45°、60°和 90°。八种模型与四种结构面和四种锚杆锚固方向的组合如表 2 所示,每个方案取三个试样,共 114 个试样。

2.2 模型制作

按上述试验方案制作实验模型,其方法和步骤如下:

1) 模型试样规格:

所有试样都浇注成 70.7×70.7×114 本位的方柱形模型。

2) 钢模及木模

浇注试样采用 100×100×300 平位的砼钢模作为外模,内大套木模板,已保试样尺寸的标准,在木模板上预设架设锚杆的孔位,保证锚杆定位的准确性。

表 2 实际模型实验方案组合

软弱面角	锚喷	锚杆角度				
		90°	60°	45°	30°	无锚杆
90°	锚喷	×	√	√	×	√
	单锚	×	√	√	×	×
60°	锚喷	√	√	×	√	√
	单锚	√	√	√	√	×
45°	锚喷	√	√	√	√	×
	单锚	√	√	√	√	√
30°	锚喷	√	√	√	×	√
	单锚	√	√	√	√	√
无软弱面	锚喷	√	√	×	×	√
	单锚	√	√	√	×	√

“√”表示有试样、“×”表示无试样

2.3 模型浇注

1) 完整模型的浇注: 在已安装好木模内衬的模子内倒入按选定的配合比调合好的石膏浆液振动成形, 脱模即成。

2) 预备锚杆孔模型的浇注: 根据模型实验设计方案要求, 在每个试样上分别按 90°、60°、45°、30°, 预留四个锚杆孔(图 1)。浇注前, 先将 $\Phi 4$ 的钢丝按预留锚杆孔的位置穿入内衬模板上, 使钢丝架设在安装锚杆的模型位置上, 然后向模子内倒入石膏净浆液。成型脱模后, 迅速拔出钢丝, 则在模型上预留下了锚杆孔位。

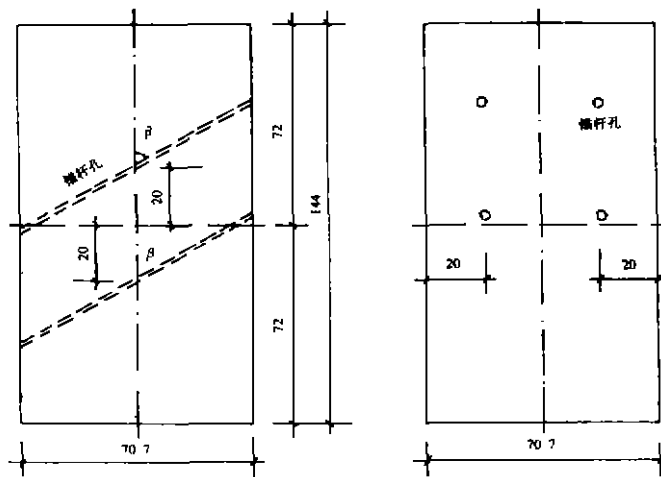


图 1 锚杆安装位置示意图

2.4 软弱夹层的形成与胶结

将已浇注成型的模型试块(完整模型和预留锚杆孔的模型), 按图 2、图 3 的方向以 4 mm 缝隙切割开, 其中 30°软弱面将试件切割成两部分, 45°、60°和 90°分别为两条平等软弱

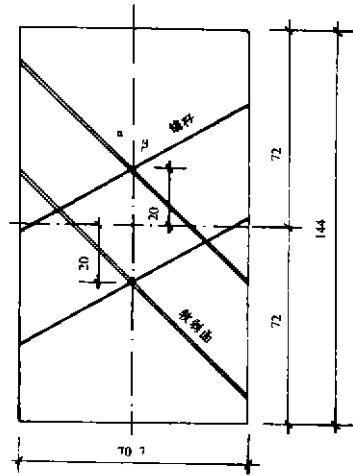


图 2 双软弱面试样示意图

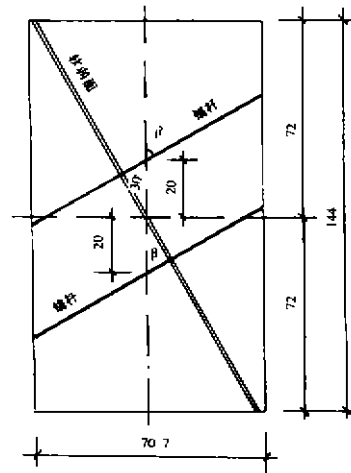


图 3 单软弱面试样示意图

结构面。试件按预先设计的裂隙切割，浸泡到无水泡为止，再放入模型，锚杆插入锚杆孔内后，按软弱面模型材料配比配制石膏浆液，边振动边注入石膏浆液，然后脱模成型。

2.5 锚杆灌浆

先向锚杆孔内滴入清水，待钻孔周围完全湿润后，再用大注射器向钻孔内注入 425# 水泥净浆，待钻孔内水泥净浆收缩后再次补灌，直到灌浆饱满为止。

2.6 喷射砼

在需要喷射砼的试样中均匀涂上一层乳白胶、标准砂和石粉的混合浆液，涂层厚约 1 mm。

上述模型放入烘箱烘干后，进行端面处理，精磨后两端的不平行度大于 0.02 mm。

3 实验成果与分析

上述试样均在 INSTRON - 1342 型刚性试验机上进行力学实验，计算机数据采集和回归分析，典型试样的载荷位移曲线如图 4 所示，软弱结构面对试样强度的影响如图 5 所示，锚杆和喷射砼对含软弱结构面试样的加固作用见图 6 ~ 图 7 所示。对这些实验成果我们可作出如下分析。

1) 软弱结构面对岩体的强度有影响，由图 5 可知，随 α 角的减小其承载能力降低；锚杆对含有软弱结构面的岩体的加固作用较为显著，其效果与锚杆和软弱面之间的夹角有关（图 6），当锚杆作用方向与裂隙面正交时，加固效果最好，当锚杆作用方向与软弱结构面平行时，加固作用甚

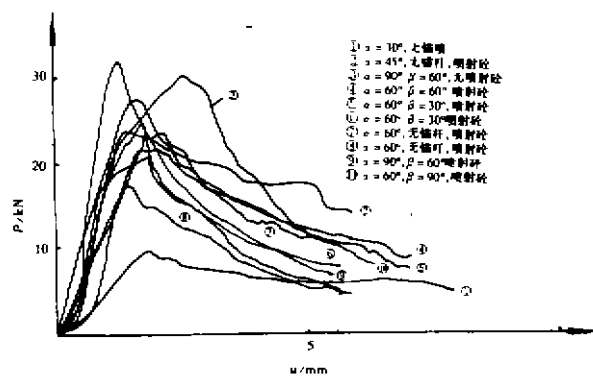


图 4 典型试样的 $P-u$ 曲线

微,同时,锚杆的加固作用还与载荷的作用方向有关。实验表明:锚杆的作用方向与最大压应力的作用方向成 $30^\circ \sim 45^\circ$ 的夹角,且近似于垂直软弱结构面时,锚杆的加固作用得以最大的发挥。锚杆对软弱结构面岩体的加固作用,主要表现在:含软弱结构面的岩体,在轴应力作用下,当压应力的作用方向与软弱结构面垂直时,软弱结构面上不承受剪应力只承受压应力,当软弱结构面与压应力作用方向的夹角逐渐减小,软弱结构面上的强度逐渐降低,当软弱结构面上有锚杆作用时,锚杆增加软弱面上的剪切强度和刚度,防止软弱结构面的变形与破坏,从而起到加固围岩的作用。当锚杆与软弱结构面垂直时,这种加固作用就更加明显。由此可以推断,当采用预应力锚杆时,由于预应力以正应力的方式作用在软弱结构面上,一方面增加软弱面上的抗剪强度,起到对软弱岩体的加固作用,另一方面,由于预应力的作用,使一维应力状态变成二维应力状态,二维应力状态变成三维应力状态,从而改变岩体的受力状态,起到提高岩体强度的作用。

2) 实验结果表明,不论是完整岩体还是软弱结构面的裂隙岩体,也不论有无锚杆支护,喷射砼都不同程度地对岩体有加固作用(图 7)。对于裂隙岩体除一般人们公认的高压喷射浆液渗入裂隙的加固作用外,就单轴压缩试样而言,砼喷层还具有捆绑作用,将软弱面分割离散的岩块捆绑成整体,从而提高岩体的整体稳定性和强度;对于完整试样来说,在高压下砼喷层对岩面产生正压力,同时,约束岩体的变形,从而改善岩体的应力状态,起到加固围岩的作用。

3) 实验还意外地发现,灌浆不饱满,胶结不好的锚杆,不但不能起到加固围岩的作用,反而使岩体的强度下降,实验中,不论完整试样,还是含有软弱结构面的试样,当锚杆粘结不牢时,其强度均低于该状态下的无锚杆试样。分析发现产生上述现象的主要原因是:未粘结的锚杆或粘结不牢的锚杆起不到增加软弱结构面的抗剪切强度和改善围岩应力状态的作用,相反,由于锚孔的存在削弱了岩体的完整性,降低了岩体的有效承载面积,从而使岩体的整体承载能力下降。由此提醒人们,当使用砂浆锚杆,必须保证灌浆饱满,否则不但起不到加固作用,反而还将会降低围岩的稳定性。保证锚杆质量的有效方法是采用药卷预应力锚杆,即能保证施工质量又能起到良好的加固围岩的作用。

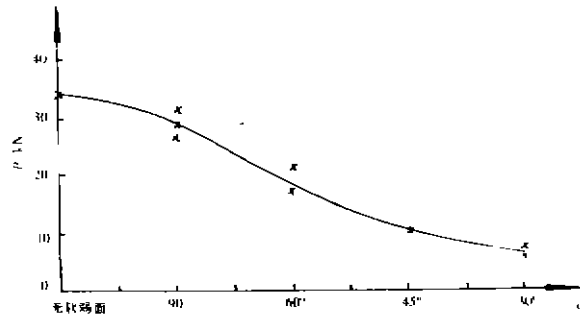


图 5 软弱结构面对试样强度的影响

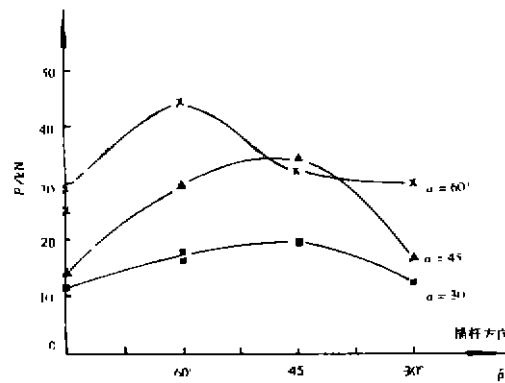


图 6 锚杆方向对含不同方向对含软弱结构面试样的加固作用

4 结论与讨论

从含有软弱结构面模型的锚喷实验研究结果表明：

- 1) 锚喷技术用于加固围岩有显著的加固效果。
 - 2) 锚杆的布置方向与弱面正交时的加固效果最为明显。
 - 3) 砂浆锚杆在含软弱结构面中的主要作用是提高软弱结构面的抗剪切强度。
 - 4) 实际工作中，为了确保锚杆的支护效果，建议采用药卷预应力锚杆。
 - 5) 砂浆锚杆灌浆不饱满时，有可能破坏围岩的完整性，降低围岩的稳定性。
 - 6) 喷射砼还具有捆绑作用和改善围岩受力状态的作用。
- 由于实验经费和时间的限制，对锚杆支护的合理间距和长度尚待进一步研究。

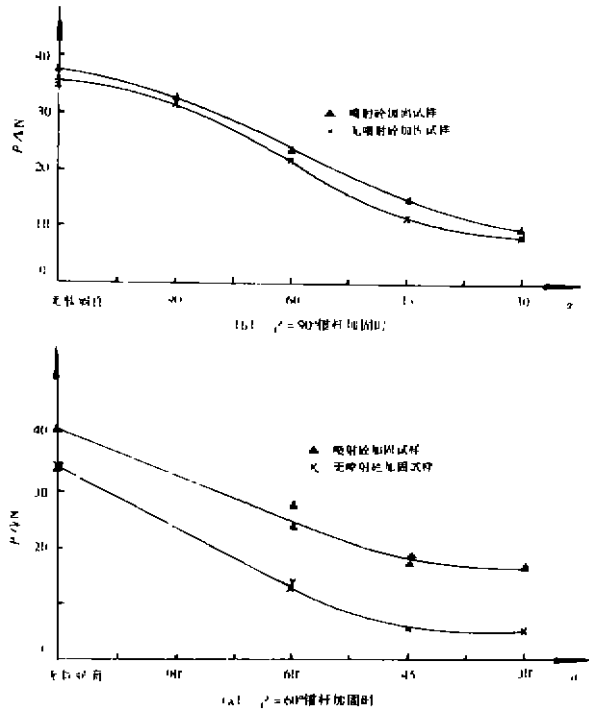


图 7 喷射砼对含软弱结构面试样的加固作用

参 考 文 献

肖勤学等，碎散体涵洞三维模型实验研究，地下空间，1996(2)

An Experimental Study on Bolt and Shotcrete in Model Materials

Xiao Qinxue

(Faculty of Civil Engineering, Chongqing Jianzhu University, 630045)

Abstract In this paper, a series of bolts and shotcrete experiments are made with the model materials which have different soft structure surfaces, and their acting mechanism is discussed. The experimental results have some practical values of the bolts and shotcrete design in underground engineering.

Key Words bolts and shotcrete, model experiment

(编辑:袁 江)