组合拱理论在软岩锚喷网支护设计中的应用

兰 冰
(广东省水利水电第二工程局,广东 增城 511341)

摘 要:分析组合拱在软岩锚喷网支护设计中的应用,给出了软岩锚喷网支护参数的计算方法。

关键词:锚喷网支护;组合拱理论;软岩;松动圈支护理论
中图分类号:U 455.7+2 **文献标识码**:A

1 问题的提出

由于锚喷网支护施工简单、经济合理等优点,在各类地下工程的软岩支护中被广泛采用。锚喷网支护设计理论有:组合拱理论、悬吊理论、组合梁理论等多种,能用于设计的主要是组合拱理论和悬吊理论。

通过锚杆的压缩作用,使破裂的岩石在锚头和锚尾之间形成了一个锥形体压缩区。锚杆以适当的间排距布置,使相邻锚杆的锥形体压缩区相互重叠,便形成一定厚度的连续压缩带。因此,通过锚杆的作用,在破裂区便形成一个厚度一定的均匀连续压缩带,即组合拱,这就是组合拱理论。

软岩锚喷网支护是采用组合拱理论进行设计的。由于原岩应力大小尚没有有效的方法准确探测,目前,在软岩锚喷网支护设计中多采用经验类比法,如预留变形量、锚杆长度等,其设计参数的合理性还需研究。

2 软岩锚喷网支护参数的设计

2.1 支护对象的确定

弹塑性支护理论认为支护的对象是围岩的弹塑性变形。现在我国科研设计部门,以及一些重大工程的设计中,引用弹塑性支护理论求解的实例已逐渐普遍起来。运用弹塑性支护理论解决实际问题,必须要以原岩应力作为前提条件,进行理论分析,才能把围岩和支护的共同变形与支护上的作用力、支护设置时间、支护刚度等关系,正确联系起来。否则,使用假设的外荷载条件进行计算,就失去了它的真实性,降低了计算结果的科学价值和实用意义。弹塑性支护理论认为,开挖后围岩中的塑性区的形成和变形是产生地压的原因,主张通过支护手段限制塑性区的发展,阻止围岩的松动破坏,将围岩控制在弹塑性状态。目前应用弹塑性支护理论解决实际生产问题,还有一定问题,如计算所需的岩石力学参数还难以准确确定,对支护设置前围岩变形量尚缺乏正确的估计,对围岩破坏机理认识不足,并缺乏围岩破坏失稳的判断准则等。因此,目前根据弹塑性支护理论所得计算结果,一般只能作为设计的参考依据。

松动圈支护理论认为,围岩普遍存在着由于开挖后应力重新分布所产生的松动带——围岩松动圈,围岩松动圈与地应力和围岩强度有关。松动圈大小能定量反映支护的难易程度;支护是为防止围岩松动圈形成过程中所产生的有害变形;支护对松动圈大小影响不大;支护的对象是松动圈形成过程中所产生的碎胀力。这样就可避开直接量测原岩应力的难题。

松动圈支护理论按照围岩松动圈大小,将围岩分为六类:Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ类,将松动圈大于1.5 m的Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ类围岩定义为软岩。目前在松动圈理论指导下,已成功地解决了Ⅳ、Ⅴ类软岩锚喷网支护问题。

2.2 软岩中开挖断面的选择

由于软岩隧(巷)道四周压力较大,应选择受力状况好的封闭拱形断面。

2.3 预留变形量的选择

围岩内表面预留变形量可用弹性力学计算。

根据有关试验资料,锚固体在未破裂前,锚杆不起作用,而且由于锚杆的存在,使破裂的岩石又重新组合起来形成锚固体,该锚固体具有接近原来未破裂前锚固体强度的性能。用原岩强度代替锚固体强度,用原岩弹性模量代替锚固体的弹性模量是可行的。锚固体与弹性体受力性质相似。

根据上述分析,将组合拱问题转化为厚壁圆筒来分析。力学模型见图1。组合拱为圆形,其内、外半径分别为 a、b,厚度为 d。组合拱仅受外载作用,外载为均布载荷 p。

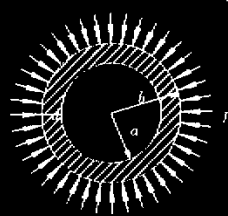


图1 组合拱力学计算模型图

根据弹性力学平面轴对称问题,可解得组合拱极限变形量:

$$U_j = \frac{a}{E} \cdot \sigma \qquad (1)$$

式中 U_j——组合拱内表面极限变形量;
E——原岩弹性模量;
a——开挖半径;
σ——原岩强度。

收稿日期:2001—07—18
作者简介:兰冰(1964—),男,工程师,硕士,现从事水利水电工程施工工作。

σ、α、E 在设计时是已知的。这样在设计时可以根据计算出的极限变形量来确定预留变形量，避免了预留变形量选取时的盲目性。

2.4 组合拱厚度的选择

2.4.1 计算公式

首先由经验类比法确定组合拱厚度，通过现场试验确定组合拱的外载，由此经理论计算，反推出组合拱的合理厚度，为支护设计提供依据，使组合拱厚度选择由完全经验类比，变为经验与理论计算相结合的方法。

由弹性力学可解得组合拱承受载荷与表面变形量的关系式：

$$U = \frac{2\alpha p b^2}{E(a^2-b^2)} \tag{2}$$

式中　σ ——锚固体强度；

U ——围岩表面位移；

E ——围岩的弹性模量；

p ——载荷。

上式中，α、E 是已知的，由(1)式求得极限变形量 U_j。

由弹性力学中的拉麦公式求得组合拱极度限承载能力 p_j：

$$p_j = \sigma \cdot \frac{(1-\frac{a^2}{b^2})}{2} \tag{3}$$

上述计算公式的推导详见参考文献[3]。

2.4.2 计算步骤

a) 由经验类比法确定组合拱厚度 $d(d=b-a)$然后进行现场试验。

b) 根据现场试验确定出的实际围岩表面变形量 U，代入(2)式求得载荷 p 。

c) 将 p 与 p_j 进行比较，选取一个合理的系数，即安全系数。

d) 根据选定的安全系数，由 p_j求得设计载荷 p_s。

e) 由(2)式求得 b，即可得设计组合厚度 $d=b-a$ 。

另外，安全系数的选择有待进一步研究。

2.5 锚杆的选择

2.5.1 锚杆型式的选择

根据软岩的实际情况选取锚杆，据笔者的经验建议优先选用管缝式金属锚杆。由于管缝式金属锚杆有如下优点：一是全长锚固，锚固力大，施工工艺简单，施工质量容易保证；二是开挖后及时安装管缝式金属锚杆，由于管体受到岩体的挤压，锚杆对孔壁围岩产生弹性抗力，因而在孔壁围岩与杆体之间产生轴向磨擦力，增加了岩石的稳定性；三是管缝锚杆安装后能立即提供支护抗力，具有良好的早期支护效应；四是管缝式金属锚杆锚入岩体后在一定时间内其锚力随时间的延续而明显增长。

锚杆的强度选取要同组合拱承载能力相匹配，以达到最佳的资源配置(详见参考文献[4])。

2.5.2 锚杆支护参数

在锚喷网组合拱中锚杆是支护的主体构件，它能与松动的围岩相互作用组成组合拱。按照组合拱理论寻锚杆支护参数进行设计。

锚杆长度：

$$l = \frac{d \cdot \mathrm{tg}\alpha + a}{\mathrm{tg}\alpha} \tag{4}$$

式中　l —— 锚杆有效长度；

d —— 组合拱厚度；

α ——锚杆对破裂岩体的控制角，$\alpha = 43°$，一般取 $\alpha = °$；

a ——锚杆间排距。

锚杆全长：

$$L = l + \triangle_1 + \triangle_2 \tag{5}$$

式中　$\triangle_1$—— 锚杆端部锥形体长度；

$\triangle_2$——锚杆尾部露出岩面的长度。

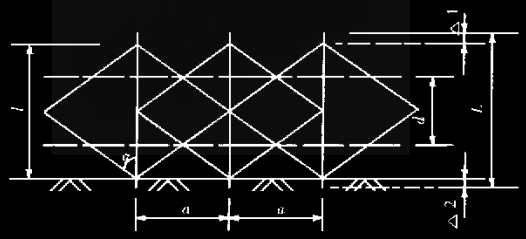


图 2　组合拱参数计算图

2.6 钢筋网的确定

在锚喷网组合拱中，钢筋网可提高喷层的整体抗变形能力，更有效地阻止锚杆间的岩块鼓出或掉落，出现大的不均匀变形，维护组合拱的厚度。按照经验类比法进行选取。

2.7 砼喷层参数设计

砼喷层能防止围岩的风化和潮解，与钢筋网共同作用阻止锚杆之间的岩块掉落，避免由于逐渐掉块引起锚杆松弛失效。由经验类比法确定。

3 建议

综合上述，提出以下建议：

a) 需对组合拱承载能力的合理安全系数的选取进行研究。

b) 需对砼喷层合理厚度、钢筋网的合理参数进行研究。

c) 需进一步研究锚杆类型与各类软岩的适应性。

参考文献：

[1] 董方庭等.围岩松动圈支护理论.第三届国际采矿科学技术讨论会文集.1991,10

[2] 鹿守敏.软岩巷道锚喷网支护机理的研究.建井技术.1991(2,3)

[3] 兰冰.软岩巷道锚喷网合理支护参数的探讨.建井技术.1994(5,6)

[4] 兰冰.软岩锚喷网支护机理的探讨.西部探矿.2001(2)

[责任编辑：曾卫跃]

2.4 可靠的售后技术服务网络还未形成

完善售后服务非常重要，除了所有的商家要提供到位的服务外，还应鼓励有这方面能力的专业研究单位参与为市场服务，并尽快形成网络，以切实地提供技术支持和解决使用中所发生的问题，为用户排忧解难，真正解除了用户的后顾之忧。

总之，变频技术作为高新技术、基础技术、和节能技术，已经渗透到经济领域的所有技术部门中，变频设备可靠、好用、会用，是变频技术普及的关键。

[责任编辑：曾卫跃]