分阶段动态支护法在超千米深井大断面软岩巷道支护中的应用

张修峰
（新汶矿业集团 华丰煤矿，山东 宁阳 271413）

［摘　要］　对超千米深井大断面巷道围岩稳定性进行了分析。根据巷道围岩变形特点在高阻限制-分次让压支护机理的基础上，提出了分阶段动态支护法。介绍了分次支护的时机、手段和技术要求，在华丰煤矿 -1100m 水平运输大巷进行了实践，取得了明显效果。

［关键词］　分阶段动态支护法；高阻限制；分次让压；深井；支护
［中图分类号］ TD353　　［文献标识码］ B　　［文章编号］ 1006-6225（2006）05-0050-03

Application of Dynamic Support by Stages in Large Section and Soft Roadway in the Mine with the Depth over 1000m

随着矿井开采量的增大，目前我国大部分矿井已逐步进入深部开采，深部条件下围岩表现为明显的软岩特征，给巷道支护带来很大困难。分阶段动态支护法是根据现场实际在新奥法理论、联合支护理论、位移反分析理论等多个支护理论的基础上提炼出的深部巷道支护方法，适合深井大断面软岩巷道支护。该支护方法在华丰煤矿 -1100m 水平大巷得到了较好应用。

1　巷道围岩稳定性和变形破坏特征

1.1　巷道围岩稳定性分析

华丰煤矿 -1100m 运输大巷是华丰煤矿五水平基本运输大巷，采用轨运合一的大断面布置方式，巷道垂深 1230m，东西长 1180m。巷道所处的煤岩层综合柱状见图 1，由于矿井煤岩层走向变化较大，巷道在部分区段为穿层布置。巷道布置层位主要位于煤 7(2) 与煤 8(2) 之间的砂岩中，以煤 8(1) 顶板 8.1m 厚的粉砂岩和煤 7(3) 顶板 8.0m 厚的粉砂岩为主要层位。煤岩层平均倾角为 33°，巷道与上方的 6 层煤的水平距离为 35 ~ 170m，因此巷道将受到 6 层煤的采动影响。

华丰煤矿煤系地层之上为 500 ~ 800m 的第三系巨厚砾岩层，采后不易垮落，由于砾岩层向下方转递集中应力的作用，下方煤岩体围岩应力将受到上方的采动影响。目前 -1100m 水平的第一、二阶段 4 和 6 层煤正在开采中，因此 -1100m 大巷周边集中应力受到上方采动传递应力的影响。

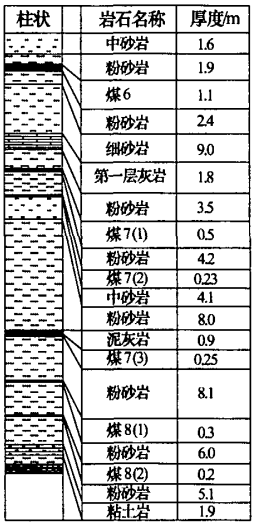


图 1　煤岩层综合柱状

采用围岩稳定性指数法对 -1100m 大巷围岩总体稳定性进行评判。该法以巷道周边最大应力与围岩长时强度之比作为围岩稳定性指数，然后根据稳定性指数确定围岩稳定程度。评定指标见表 1。

表 1　稳定性指数与稳定性关系

稳定性指数 e	巷道稳定状态
<0.5	稳定
0.5 ~ 1.2	中等稳定
1.2 ~ 2.5	不稳定
>2.5	极不稳定（强流变）

稳定性指数 $e=\sigma_\theta/\sigma_c$

［收稿日期］ 2006 - 04 - 10
［作者简介］ 张修峰（1970 - ），男，山东鄄城人，工程师，现任华丰矿生产部副主任。

万方数据

式中，σ_θ 为巷道周边最大应力；σ_c 为围岩的长时强度。

按照计算垂直方向原岩应力的计算公式：$\sigma_z \gamma h$，可以得到计算半无限体中巷道周边环向应力集中的最大值：

$$\sigma_\theta = \gamma h k_1 k_2$$

式中，γ 为上覆岩层的平均密度，一般取 $2.5 \times 10^4 N/m^3$；h 为上覆岩层的总厚度，m；k_1 为上阶段采空区上方岩体造成的应力集中传递系数，取 1.2；k_2 为周边应力集中系数，此处取 2.0。

－1100m 大巷平均覆岩厚度为 $h = 1230m$。所以开挖后巷道周边的应力最大值为：

$$\sigma_\theta = 2.5 \times 10^4 \times 1230 \times 1.2 \times 2 = 73.8(MPa)$$

根据华丰煤矿煤岩物理力学性质的实验结果，－1100m大巷所穿岩层的平均抗压强度取 50MPa。

围岩的长时强度为：

$$\sigma_c = p\sigma_c = 35(MPa)$$

式中，p 为折减系数，本文取 0.7。

所以稳定性指数为：$e = \sigma_\theta / \sigma_c = 73.8/35 = 2.1 > 1.2$。由此可以判定－1100m 大巷处于不稳定状态。由于－1100m 大巷后期将受到 4 和 6 层煤的 2 次采动影响，因此－1100 m 大巷最终将处于极不稳定状态。

1.2　巷道变形破坏特征

大量岩体工程实践表明，深部地压下含有软弱煤岩的巷道围岩流变性十分明显。观测资料表明华丰煤矿深部巷道变形主要表现为不稳定蠕变，即巷道变形随时间的延长持续增大。图 2 为华丰煤矿－750m 水平主要巷道蠕变特征曲线。

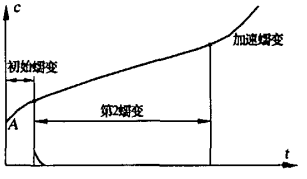


图 2　－750m 水平主要巷道蠕变特征

由图 2 可以看出，华丰煤矿深部巷道蠕变过程分 3 个阶段：初始蠕变阶段、第 2 蠕变阶段、加速蠕变阶段。第 2 阶段基本呈线性蠕变，变形速率趋于稳定，加速蠕变阶段变形速率加大，巷道变形较为显著，因此对于巷道的蠕变应控制在第 2 阶段。

2　高阻限制-分次让压支护机理

研究表明，在一定范围内巷道支护阻力与围岩变形呈负指数关系，提高支护阻力可以大大减缓围岩变形，因此对于深部软岩巷道应保持较高的阻力来限制围岩的过渡变形；另一方面，在高地应力转移和重新分布过程中要求支护有一定的可缩性能，允许围岩有一定变形，防止支护初期巷道围岩的高应力大变形提前破坏支护结构。由于深部巷道变形为不稳定蠕变，因此应在一定支撑能力的前提下对巷道围岩进行分次让压，才能使围岩在控制下将高应力逐渐释放，达到控制支护围岩的目的。

根据不稳定蠕变特征，分次让压应在矿压观测的指导下进行，各个阶段让压应控制在线性蠕变阶段内。

3　分阶段动态支护法

3.1　分阶段动态支护法支护方案

根据华丰煤矿－1100m 水平运输大巷围岩特征及深部巷道矿压规律，对－1100m 运输大巷采取 4 阶段动态支护方案，即在巷道矿压观测结果的指导下，对巷道进行 4 次支护，每次支护采取不同的支护方式，使围岩和支护体形成全过程的支护抗压体系，提高围岩的自承载能力，减小围岩变形。图 3 为 4 阶段支护效果。

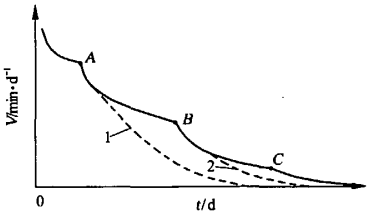


图 3　－1100m 运输大巷 4 阶段支护效果示意

（1）第 1 阶段支护　采用喷锚网喷支护，图 3 中 A 点左边部分。该阶段支护要及时，主要目的是防止巷道开挖初期围岩离层量的增大，增大围岩自承载能力。

（2）第 2 阶段支护　通过矿压观测，变形速率没有按照曲线 1 的趋势发展，而是沿 AB 段变化，即变形速率趋于一个稳定值时应进行第 2 次支护，该阶段为图 3 中的 AB 段。该阶段采用锚网喷支护，主要是在巷道受开挖应力影响基本结束后增大巷道支护强度，形成浅部的围岩支护体系。

（3）第 3 阶段支护　当第 2 次支护一段时间后，巷道变形速率趋于稳定时，应进行第 3 次支护，即图 3 中的 BC 段。该阶段采用预应力锚索支护，主要是扩大围岩承载范围，向深部转移巷道周

万方数据

边集中应力，提高支护强度，改善巷道支护效果。

（4）第4次支护　3次支护后巷道蠕变仍以一个稳定的速率进行时，要进行第4次支护。该阶段采用U29型钢支架强化支护，主要是约束巷道表面位移，控制表面变形，提高巷道整体支护强度。

3.2　阶段动态支护法的应用

3.2.1　支护方案

图4为－1100m运输大巷支护断面图。巷道为马蹄形断面，高宽分别为5.0m，4.0m。锚杆规格为ϕ22×2200mm的螺纹钢锚杆，第1，2次支护间排距分别为1000mm×1000mm，水泥药卷全锚。第1次支护挂8#铁丝网，第2次支护挂ϕ6mm钢筋网；砼厚度为180mm；锚索规格为ϕ15.24×6000mm，间排距为3000mm×3000mm；U29型钢棚距为700mm。

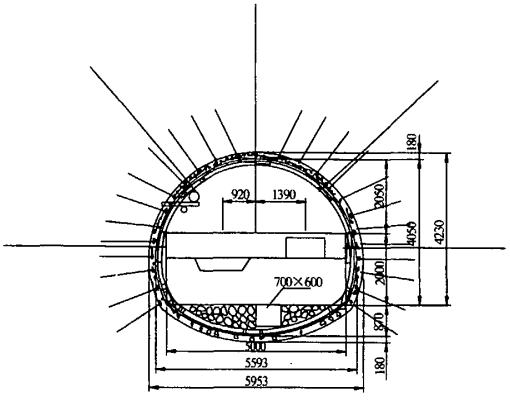


图4　－1100m水平运输大巷支护断面

根据矿压观测结果，第2次支护一般距离迎头30～50m，第3次支护距离第2次支护50～100m，第4次支护距离第3次支护为300m以后。

3.2.2　矿压观测结果

掘进期间对巷道表面位移进行观测，根据观测结果指导巷道支护时间，观测结果见表2与图5。

表2　－1100m水平运输大巷表面移近观测结果

	移近速度/mm·d^{-1}				
	2次支护前	2次支护后	3次支护后	4次支护后	平均
两帮	1.68	1.34	0.07	0.01	0.77
顶底	1.81	1.43	0.25	0.08	0.89

4　结论

（1）受采动影响，深井大断面软岩巷道围岩处于极不稳定状态，有明显的不稳定蠕变特性。

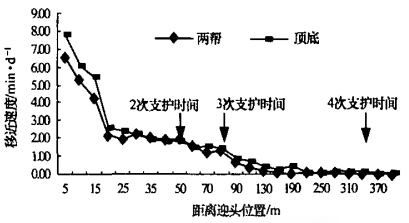


图5　动态支护时机与表面移近速度对应关系

（2）对于深部软岩巷道一方面要加大巷道的支护强度，另一方面要允许围岩在高强度支护条件下有一定的变形。高阻限制-分次让压支护机理适于深部软岩巷道支护要求。

（3）分阶段动态支护法是在高阻限制-分次让压支护机理的基础上提出的一种适合深部软岩巷道的支护方法，它通过多次支护不断提高巷道的支护强度，分次支护之间允许围岩有一定变形。利用矿压观测的围岩变形速度来指导分次支护的时机。

（4）在分阶段动态支护法应用过程中，当一次支护后围岩变形速度趋于某一稳定值后采取下一次支护，通过分次支护不断改善围岩变形特征。

（5）华丰煤矿－1100m水平运输大巷采用全封闭马蹄形4次动态支护法较好地控制了围岩变形，取得了明显的支护效果。

[参考文献]

[1] 沈明荣．岩体力学［M］．上海：同济大学出版社，1993.
[2] 姜福兴，谭云亮，等．巷道围岩动态工程分类技术研究［J］．工程地质学报，1999（3）：51-57.
[3] 李希勇，孙庆国．深部巷道围岩工程控制理论及支护实践［M］．徐州：中国矿业大学出版社，2001.

［责任编辑：邹正立］

（上接37页）

$\sim A'$，$B \sim B'$，……，$E \sim E'$，然后根据周边眼眼距在弧轮廓上定出眼位，进入掘进施工工序。

4　结束语

通过实践证明，交岔点、弯巷、大硐室等岩巷特殊工程的抡尺定位方法，现场施工中较易掌握，能够指导施工，对掘进班组验收员的抡尺定位具有普遍的现实意义，它多用于一次全断面施工法及正台阶施工方法，对于扩帮刷大、导硐法的施工，还需另外选择合理的抡尺定位方法。

［责任编辑：邹正立］

万方数据