

和睦山矿区软岩硐室的支护与加固技术*

国振,刘珊,张水宾

(中国矿业大学 建筑工程学院,江苏 徐州 221008)

摘 要 根据松软岩层中的大型硐室支护的理论,针对和睦山矿区软岩硐室的具体情况,采用柔性初次支护卸压、适度滞后的强力二次支护的方案,并描述了其支护机理。通过对工程硐室的现场实测结果进行统计,证明方案支护效果显著。

关键词 软岩;硐室;支护;机理;锚网喷支护;锚注加固

中图分类号 TD354 **文献标识码** A **文章编号** 1671-5322(2007)01-0072-04

1 工程概况

马钢集团姑山矿业有限责任公司和睦山矿区位于安徽省当涂县南12 km处,是马鞍山钢铁集团公司的主要铁矿石原料供应基地。和睦山矿区隶属于姑山矿业有限责任公司。分二期建设,一期规模50万t/a,二期规模为70万t/a。

和睦山矿区主、副井井筒均已施工至-300 m水平,此水平处的水泵房硐室设计净断面宽度为5 000 mm,高度为5 270 mm,其掘进断面宽度可达6 000 mm,高度可达6 170 mm;而中央变电硐室的设计净断面宽度为7 000 mm,高度为5 830 mm,其掘进断面宽度可达8 200 mm,高度可达7 960 mm。因此,水泵房和中央变电所硐室均属于大断面硐室,对其进行施工和支护的技术要求均较高。

2 围岩性状

和睦山矿区揭露的岩层具有典型的软岩特征,是以碎胀性和膨胀性为主的复合型软岩。

水泵房和中央变电所硐室围岩主要为细砂质泥岩,围岩表现出松散、软弱和膨胀的特性,整体性较差,承载能力较低,碎胀特点明显,且这些软弱岩层遇水或吸湿后,具有明显的软化和泥化现

象,同时宏观表现出水平构造应力较大。

根据围岩松动圈支护理论,大量的现场松动圈测试及松动圈与巷道支护难易程度相关关系的调研,结合锚喷支护机理,依据围岩松动圈的大小将围岩分为小松动圈稳定围岩 $L_p 0 \sim 40$ cm,中松动圈一般稳定围岩 $L_p 40 \sim 150$ cm和大松动圈不稳定围岩 $L_p > 150$ cm三个大类。和睦山矿区揭露的围岩基本上是属于大松动圈不稳定围岩中的IV、V类围岩。

3 施工支护方案

软岩硐室具有大变形、大地压、难支护的特点,是因为其同时具有多种变形力学机制——复合型变形力学机制特性。采用单一的支护方法难以奏效,必须综合治理^[1]。

针对水泵房和中央变电所硐室在使用中的特殊性,应用软岩支护理论,采用了先柔后刚、先让后抗、柔让适度、强力支护的原则,结合和睦山矿区的岩层特点,经方案比较分析,确定其水泵房和中央变电所硐室采用的支护结构形式为:初次锚网喷支护,二次混凝土砌碛,然后根据硐室稳定状况采用锚索和锚注进行加固。其方案主要施工与支护参数如下。

3.1 硐室掘进断面与初次锚网喷支护参数

采用分层导硐法进行掘进施工,其掘进断面

* 收稿日期 2006-11-01

作者简介:国振(1982-)男,山东淄博人,硕士研究生,主要研究方向为软岩支护与加固技术。

每侧均扩大 200 mm,允许初次支护后围岩产生一定的变形。初次锚网喷支护中,采用高强度螺纹钢锚杆,规格 $\phi 22 \times 2\,500\text{ mm}$,间排距 $700\text{ mm} \times 700\text{ mm}$,树脂锚固,锚固长度不少于 800 mm,锚固力不低于 150 kN,预紧力不低于 20 kN;金属网采用 $\phi 6\text{ mm}$ 钢筋焊接,规格与锚杆间排距配套;喷射混凝土强度等级不低于 C20,厚度 80~100 mm。

3.2 二次砌碇支护

在形成初次支护结构后,滞后一定时间采用高强度抗渗混凝土进行砌碇支护。要求混凝土的强度等级不低于 C40。可通过选用优质材料和调整混凝土配合比及掺加外加剂来改善砌碇混凝土的性能,达到高强和抗渗的目的。设计要求混凝土的抗渗等级为 0.6 MPa。

其中,水泵房硐室混凝土砌碇厚度为 200 mm,中央变电所硐室的混凝土砌碇巷道为 300 mm,均较设计断面少 100 mm,以防止硐室后期产生较大变形,便于实施锚注和锚索加固措施。

3.3 全断面锚注和锚索加固

根据硐室围岩变形和支护结构受力状态的测试结果确定是否进行锚注与锚索加固及加固的合理时间。当围岩变形不能趋于稳定状态,或碇体中的应力及锚杆应力偏高,应及时实施全断面锚注和锚索加固。一般同时安装锚索和内注浆锚杆,如碇体壁后围岩较破碎,可先采用注浆短管进行壁后充填注浆,然后再进行全断面锚注和锚索加固。

在锚注支护中,内注浆锚杆规格为 $\phi 22\text{ mm} \times 2\,000\text{ mm}$,沿硐室径向全断面布置,孔径为 $\phi 45\text{ mm}$,采用树脂端锚,锚杆间距为 1 000 mm,排距为 2 000 mm。锚杆采用 $\phi 22\text{ mm}$ 无缝钢管滚丝制作,杆尾制作成麻花状,锚杆的最终锚固力不低于 60 kN,预紧力不低于 10 kN。配标准螺帽和高强度托盘。

在两排注浆锚杆间布置一排高强度螺纹钢锚杆,锚杆规格 $\phi 20 \times 2\,500\text{ mm}$,间距 1 000 mm,树脂锚固,锚固长度不少于 800 mm,锚固力不低于 150 kN,预紧力不低于 20 kN。

挂网后喷浆封闭围岩,使内注浆锚杆口外露 30~50 mm,利用内注浆锚杆进行注浆。

金属网采用 $\phi 6\text{ mm}$ 钢筋焊接,网格为 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 。喷射混凝土强度等级不低于 C30,厚度 80~100 mm,其配合比在水泥:砂子:石子为 1:2:2 和掺加速凝剂的基础上再掺加 0.7%~

1.0% 高效减水剂,可提高喷射混凝土的强度和抗渗性。

在锚索加固支护中,预应力锚索采用 $\phi 15.24\text{ mm}$ 低松弛预应力钢绞线制作,锚索长度为 8.5 m,基本垂直于碇体,与锚注断面间隔布置。锚索孔径为 $\phi 28\text{ mm}$,采用树脂药卷锚固,锚固长度应大于 1.0 m;其极限承载力为 260.7 kN,伸长率为 3.5%;采用槽钢拱架作垫板,并采用专用锚具与设备进行张拉和固定;锚索的预紧力不低于 100 kN,排距为 2.0 m,间距为 2.0~3.0 m。水泵房硐室全断面布置 4~5 根锚索,而中央变电所硐室全断面布置 6~7 根锚索。

在安装内注浆锚杆和锚索的同时,全断面铺设金属网,利用内注浆锚杆完成注浆加固后进行喷浆封闭,形成由锚杆、锚索、金属网和高强度喷层组合起来的一个复合支护结构,可满足硐室长期稳定和抗渗要求。

3.4 硐室底板岩体加固

在浇灌底板混凝土前可预埋一些注浆管,条件允许时可安装部分注浆锚杆,锚杆长度控制在 1.0~1.5 m,完成混凝土的浇灌后可利用预埋的注浆管或注浆锚杆对硐室底板岩体进行加固。底板也应浇灌高强度混凝土,强度不低于 40 MPa。

4 支护机理分析

4.1 锚网喷组合拱支护分析

锚网喷支护在和睦山矿区软岩巷道和硐室支护中作为主要支护手段,其支护机理分析如下。

4.1.1 锚固层与组合拱

松动岩体中,单根锚杆约束可以形成一锥型压密区,锚杆群在围岩中形成双锥体压缩区相互交叉重叠,形成一连续的层状锚固体,即锚固层。拱形断面中该锚固层呈拱型,称为组合拱^[2]。锚固层厚度与锚杆长度和间排距有关,即:

$$b = \frac{L \operatorname{tg} \alpha - a}{\operatorname{tg} \alpha}$$

式中 b 为锚固层厚度, cm; L 为锚杆的有效长度, cm; a 为锚杆的间排距, cm; α 为锚杆对破裂岩体的控制角,一般取 $\alpha = 45^\circ$ 。

代入上式,得 $b = L - a$

4.1.2 组合拱结构承载能力估算

在软岩巷道中,基于对锚固体力学性能的认识,在大松动圈内可以用小于松动圈厚度的锚杆,将破裂围岩锚固起来,提高其残余强度,形成具有

一定承载能力和可塑性的组合拱结构体,用来承受地压、维护围岩。

圆形巷道组合拱支护能力,可以用拉麦公式近似计算:

$$p = \frac{\sigma_z}{2} \left(1 - \frac{R_b^2}{(R_b + b)^2} \right)$$

式中 p 为组合拱径向承载能力; σ_z 为破碎岩体锚固强度。一般取原岩强度 70% ~ 80%; σ_z 为原岩单轴抗压强度; b 为组合拱厚度; R_b 为组合拱内半径,即:

$$R_b = R_0 + \frac{a}{2}$$

其中 a 为锚杆间排距; R_0 为巷道净半径。

4.1.3 锚杆支护结构可缩性分析

锚杆支护结构的可缩性表现在三个方面:实测证实,普通树脂锚杆,在岩性较弱的条件下,不仅锚杆尾端随巷道表面围岩位移而位移,且其锚固端也随着深部岩体的位移而位移,破碎岩石锚固体本身具有一定的可缩性;使用高延伸率的可缩性锚杆或者是结构可拉伸的可缩性锚杆。

试验证明,当巷道均匀收敛 400 mm 时,仍处于良好的维护状态,因此,锚杆支护具有良好的可缩性。

4.1.4 喷层、钢筋网支护作用分析

软岩锚杆支护,锚杆形成的锚固层组合拱是支护的主要承载结构,喷层和金属网作用是维护组合拱,防止其因岩块冒落而失效。锚杆对松动围岩的控制范围是有限的,其控制角为 $43^\circ \sim 45^\circ$,因此在相邻 4 根锚杆之间,存在一个四角锥形的非锚固松弛带,该松弛带内岩块掉落将危及锚杆控制范围内的锚固岩块,进而使锚杆松弛而失去锚固力,原来均匀封闭的组合拱会变薄或失效,造成支护失败。

因此,锚杆间的松弛区内的岩石,必须用喷层和金属网予以支护。将单根锚杆连接成为一整体锚杆群,增强锚杆支护的总体稳定。必要时可以设置钢筋托梁或钢带,可显著提高锚杆支护的整体效果。

喷层支护的首要作用是及时封闭围岩,防止围岩风化崩解,同时可作为临时支护,在其保护下进行锚杆安装作业。

和睦山软岩巷道、硐室属于碎胀性和膨胀性为主的复合型软岩,因此,在支护中特别强调对地下水、空气水分的处理。喷浆封闭围岩强调及时

性。该复合型软岩,既有围岩的吸水膨胀性变形,又产生有较大的松动圈,剪胀变形和岩石的吸水膨胀性都比较大,须采用防水和支护阻力较强的可缩性支护措施;复合型软岩施工过程中要注意加强维护,因为在剪胀变形力作用下,一般用来防水的喷层很快就会开裂破坏,必须及时补喷,防止围岩暴露风化。

4.2 锚注支护机理

在大松动圈围岩巷道或硐室中,围岩表现出软岩的工程特征,围岩松动圈碎胀变形量大,初期围岩收敛变形速度快,变形持续时间长,矿压显现较大,支护难度大。

由于单根锚杆作用下每根锚杆因受拉应力而对围岩产生挤压,在锚杆两端周围形成一个两端圆锥形的受压区,因此合理的锚杆群可使单根锚杆形成的压缩区彼此联系起来,形成一个均匀压缩带。对于拱形巷道,压缩带将在围岩破裂带形成拱形,矩形巷道将形成矩形结构,即组合拱结构。这一结构对于充分利用围岩自身强度,维持围岩稳定,发挥较大作用。

由于高应力的影响,不可避免要出现大松动圈,巷道维护十分困难,有时单纯采用锚杆支护因锚固力小而无法有效的控制大松动圈的围岩变形,巷道难以维护,最终导致巷道围岩破坏。为了改善大松动圈巷道锚杆支护锚固力偏低的状态和提高围岩强度,可对围岩进行注浆加固^[3]。

围岩注浆加固往往与其他巷道支护形式结合起来时,它不仅改善围岩岩性和应力分布,而且可大大减小围岩变形,减轻支架承受的外载压力,改善支架的受力情况。

围岩注浆加固松动圈机理关键有两条:首先是提高松动圈内破裂岩体强度。利用注浆锚杆内浆液充填大松动圈内的破裂面,将破裂岩体固结起来,使松动圈内块体黏结成整体结构,同时使原松动圈块体由单向或者双向受力变为三向受力状态,从而大大提高破裂岩体残余强度和改善其力学性能,而注浆锚杆本身由于向围岩中注浆,使得普通锚杆也变成全长锚固锚杆,提高了锚杆的锚固力及锚固体(组合拱)的强度,从而增加围岩自身承载能力,提高了支护结构的整体性,保证围岩松动圈的稳定性^[4]。

锚注支护适用于各类大松动圈巷道或硐室加固,尤其是返修巷道更优,对于地质软岩形成的大松动圈应考虑软岩是否遇水软化成泥或遇水膨

胀,如果有这些特点则须采取特殊的注浆材料等措施。

4.3 锚索加强支护机理

从支护机理讲,锚索支护适用于各类大松动圈巷道,尤其是矩形或梯形采准巷道或大断面硐室最优。

与锚杆支护相比,锚索支护具有锚固深度大、锚固力大、可施加较大的预紧力等诸多优点,是大松动圈巷道支护加固不可缺少的重要手段。其加固范围、支护强度、可靠性是普通锚杆支护所无法比拟的。

一般认为锚索主要起悬吊作用,锚索将下部大松动圈范围内群体锚杆形成的组合拱或者锚注形成的组合拱及组合拱之外不稳定岩层(如岩层中的层理面造成的离层等)悬吊于上部稳定的岩层。同时,由于锚索可施加较大的预紧力,可挤紧和严密岩层中的层理、节理裂隙等不连续面,增加不连续面之间的摩擦力,从而提高围岩的整体强度。对于大断面巷道和硐室中的锚索还起一个重要的作用——减跨作用。

锚索主要是锚索悬吊作用,锚索把下部松动圈及可能不稳定岩层层吊于上部稳定的岩层,或者大松动圈之外。因此其计算公式如下:

据悬吊理论,则锚索的总长度应按式计算:

$$L = L_1 + L_p + L_2$$

参考文献:

- [1] 陆家梁. 软岩巷道支护技术[M]. 吉林: 吉林科学技术出版社, 1995.
- [2] 李建民, 姜玉民, 戚兆祥, 等. 软岩支护技术在特殊硐室中的应用[J]. 北京: 煤炭科学技术, 2002, 30(12): 35-37.
- [3] 吕华文. 破碎煤岩体锚注加固技术研究[D]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2003.
- [4] 胡毅夫, 董燕军. 地下硐室锚注围岩的变形分析[J]. 岩土力学, 2004, 25(11): 27-30.

Support and Reinforcement Technology of the Soft Rock Chamber in Hemushan Mine

GUO Zhen, LIU Shan, ZHANG Shui - bin

(School of Architecture and Civil Engineering, China University of Mining and technology, Jiangsu Xuzhou 221008, China)

Abstract Based on the support and reinforcement technology of large chambers and in view of the situation of the soft Rock chamber in Hemushan Mine, the support technique that the firstly support is flexible to relief the earth pressure and the moderate post-ponerment of the secondary support is rigid is employed. The mechanism is described. It is proved by the monitoring of Soft Rock Chamber that the applied effects are remarkable.

Keywords soft rock chamber support mechanism bolt - mesh - spurting supporting bolting and grouting

式中, L_1 为锚索的锚固段长度, 常取 1 500 mm; L_2 为锚索的外露长度, 常取 $L_2 = 150 \sim 250$ mm; L_p 为锚索的有效长度(松动圈的厚度值或者不稳定岩层厚度值)。

5 效果监测

为便于掌握围岩的变形规律和变形量, 了解围岩的松动范围, 保证硐室的支护加固效果, 在施工过程中对水泵房、中央变电所硐室进行了围岩表面收敛变形测试。水泵房设置了 2 个测试站, 中央变电所设置了 2 个测试站, 测试时间 3 个多月。

测试数据表明, 水泵房两帮在测试期间总变形量为 38 mm, 顶底板移近量为 23 mm; 变电所两帮总变形量为 41 mm, 顶底板移近量为 30 mm。由测试结果看, 水泵房、变电所两硐室的表面收敛变形量均较小, 围岩已趋于稳定。

6 结语

对软岩硐室进行支护, 要尽量采用主动支护技术, 提高围岩的整体性, 发挥围岩的自承载能力, 并形成一个受力性能良好的稳定支护结构。适当卸压, 及时锚注, 分步支护加固是充分利用软岩自稳性, 加强软岩硐室围岩长期强度的最佳动态支护技术。