

沂源鲁村煤矿千米混合立井围岩稳定性分析与施工措施*

文增生¹,张宗坤¹,单吉成²

(1. 沂源县鲁村煤矿有限公司, 山东 沂源 256100; 2. 沂源县国土资源局, 山东 沂源 256100)

摘要:基于沂源鲁村煤矿围岩稳定性差,塑性变形量大的实际情况,采用弹塑性力学分析的方法,分析了鲁村煤矿千米混合立井岩石开挖后围岩应力重新分布情况和塑性变形,进而确定是否采用临时支护措施,以确保施工安全。研究表明鲁村煤矿混合立井围岩掘进深度大于780 m时,围岩变得不稳定,需要施加锚喷临时支护,同时增加井筒掘进断面,预留围岩变形空间。

关键词:立井围岩;稳定性;施工措施;鲁村煤矿;沂源

中图分类号:TD265

文献标识码:B

沂源鲁村煤矿位于沂源县鲁村镇,矿井始建于1978年4月,1985年1月投产,矿井设计生产能力15万t/a。矿井现采用一对斜井开拓,双钩串车提升,中央并列式通风。随着开采水平的延伸,矿井提升运输、通风等不断延长,影响和制约了正常的安全生产工作。因此,决定在井田北部施工一口千米混合立井作为提升、进风之用。井筒需穿过第四纪、古近纪地层,进入侏罗纪地层,所遇围岩岩层为软岩,软岩地层深度1018.337 m,软岩强度低,稳定性差,严重威胁着施工进度与安全。为此,为确保立井安全施工,该文对混合立井围岩的稳定性进行了分析与研究。

1 井田地质概况

沂源煤田鲁村井田属华北型石炭二叠纪海陆交互相含煤沉积,假整合于中奥陶系石灰岩之上,因遭受剥蚀作用,浅部仅保存煤系下部的本溪组和太原组地层,在深部还保存煤系上部的山西组地层。井田含煤总计16层,其中可采或局部可采7层(6-1, 6-2, 7-1, 7-2, 9, 10-1, 10-3层),煤种为中等变质程度的气煤、气肥煤和肥煤,为良好的炼焦配煤。煤系上覆地层为侏罗纪淄博群三台组、古近纪官庄群及第四纪松散层。其中第四纪松散层厚6.0 m,

岩性为黄土、砂质粘土;古近纪官庄群厚911.08 m,岩性以红褐色粘土岩、粉砂岩为主,夹细砂岩及薄层砾岩,砾岩成分以石灰岩为主,次为片麻岩及石英岩,与侏罗纪淄博群三台组不整合接触。侏罗纪淄博群三台组厚101.257 m,岩性以红褐色粉砂岩、粘土岩为主,夹细砂岩及薄层砾岩,砾岩成分以石灰岩为主、次为片麻岩及石英岩,与山西组不整合接触。

2 立井围岩强度稳定性分析

在井筒施工过程中,随着施工立井的开挖,井筒围岩原始应力状态发生重分布,围岩将逐渐产生变形和塑性松动,其过程将呈渐进和膨胀性破坏。进而会影响井巷围岩稳定性。因而,对软岩围岩段进行应力计算和验证是施工安全设计的前提。

2.1 立井围岩应力计算

一般来说,立井围岩的破裂区是分段等直截面的破裂筒体,并有下滑趋势。将这种有下滑趋势的破裂筒体外侧边界上的正应力处理成围岩作用在井壁上的压力,简称围岩压力^[1]。

鲁村煤矿混合立井井筒表土层较薄,受力危险地段主要为深部基岩软岩地段,基岩开挖后地应力

* 收稿日期:2010-10-14;修订日期:2010-11-28;编辑:孟舞平

作者简介:文增生(1976—),男,山东沂源人,工程师,主要从事煤矿安全生产管理工作;E-mail:lcmkws@126.com。

发生重新分布,因此,基岩段围岩应力采用无限弹性体中圆孔孔边应力集中问题来分析。依据弹性力学分析计算公式(1)计算,得出鲁村煤矿混合井不同深度围岩的应力值见表1。

$$\sigma_{\theta} = q(1 + \frac{a^2}{r^2}); \tau_{\theta} = 0; \sigma_z = \gamma H \quad (1)$$

式中: σ_{θ} —立井围岩中的切向应力(MPa); τ_{θ} —立井围岩中的剪切应力(MPa); σ_z —立井围岩中的垂直应力(MPa); a —立井断面半径(m); q —立井围岩远处水平应力(MPa),其中 $q = \lambda\gamma H$ (q 值与所处位置的测压系数 λ 、上覆岩层平均容重 γ 和深度 H 有关)。

表1 鲁村煤矿混合井不同深度围岩应力值(MPa)

井深(m)	400	500	600	700	800	900	1000	1020
σ_z	9.2	11.5	13.8	16.1	18.4	20.7	23	23.46
σ_{θ}	7.73	9.66	11.59	13.52	15.46	17.39	19.32	19.71

由表1可见,鲁村煤矿混合井随着掘进深度的增加,其围岩应力值逐渐增大。

2.2 立井围岩稳定性验证

依据围岩的力学性质不同,立井围岩稳定性验

证的方法也不同。当围岩中无软弱夹层时,因围岩内壁处于二向应力状态,发生的破坏通常为剪切破坏^[2]。围岩稳定性验证宜采用“库仑-纳维尔”强度准则来验证。其“库仑-纳维尔”强度见公式(2):

$$\sigma_{\theta}[(\tan^2\varphi + 1) - \tan\varphi] - \sigma_r[(\tan^2\varphi + 1) - \tan\varphi] = C \quad (2)$$

式中: φ —立井围岩的内摩擦角(度); C —立井围岩的内聚力(KPa)。

当围岩中含有软弱夹层则采用莫尔强度准则验证。其“莫尔”强度见公式(3):

$$\sigma_{\max} \leq C \cdot \tan \frac{90 + \varphi}{2} \quad (3)$$

式中: σ_{\max} —为立井围岩中的极限应力(MPa),其中 σ_{\max} 值当立井围岩中的切向应力较大时,采用 $\sigma_{\max} = \sigma_{\theta} = 2\lambda\gamma H$;当立井围岩的垂直应力较大时,采用 $\sigma_{\max} = \sigma_z = \gamma H$ 。

首先依据鲁村煤矿的实际测量参数,计算出不同深度极限垂直应力值和实际垂直应力(表2),通过与二者比较,来验证围岩的稳定性。当实际垂直应力小于极限垂直应力说明围岩稳定;反之,则说明围岩不稳定。

表2 鲁村煤矿混合井不同深度实际垂直应力和极限垂直应力

井深(m)	400	500	600	700	780	800	900	1000	1020
岩性	泥质砂岩	泥质砂岩	泥质砂岩	粉砂岩	粘土岩	泥质砂岩	粉砂岩	粉砂岩	粉砂岩
σ_z (MPa)	9.2	11.5	13.8	16.1	17.94	18.4	20.7	23	23.46
σ_{\max} (MPa)	21.42	21.42	21.42	17.89	15.92	21.42	17.89	17.89	17.89

由表2可见,鲁村煤矿混合井围岩掘进到780m时,实际垂直应力大于极限垂直应力,显示围岩开始变得不稳定,需要采取加以临时支护措施。

3 立井围岩变形稳定性分析

立井开挖后,在围岩附近将引起较大的应力集中,岩体在高应力的作用下表现为塑性变形量的增加。整个变形区域分为弹性区和塑性区两个部分^[3]。对于软岩深立井,因地压很大,需进行变形稳定性的校核,或称为刚度稳定性校核,也就是围岩径向位移变形的校核。

根据弹塑性力学理论,深部立井围岩塑性区半径按公式(4)计算:

$$R = a \left[\frac{q + C \cdot \cot\varphi}{C \cdot \cot\varphi} (1 - \sin\varphi) \right]^{\frac{1 - \sin\varphi}{2\sin\varphi}} \quad (4)$$

深部立井围岩最大塑性区位移按公式(5)计算:

$$U_a = \frac{R^2 (q \sin\varphi + \cos\varphi)}{2Ga} \quad (5)$$

式中: G —为深立井围岩的剪切模量。

利用公式(4)和(5)计算得出鲁村煤矿混合井不同深度的塑性区半径和塑性位移量(表3)。

表3 鲁村煤矿混合井不同深度的塑性区半径和塑性位移量

井深(m)	400	500	600	665	700	780	800	900	1000	1020
岩性	泥质砂岩	泥质砂岩	泥质砂岩	泥质砂岩	粉砂岩	粘土岩	泥质砂岩	粉砂岩	粉砂岩	粉砂岩
R	2.43	2.54	2.65	2.72	2.90	3.14	2.86	3.16	3.30	3.32
Ua						0.004	0.004	0.005	0.005	0.006

由表3可见,当塑性区范围达到一定数值后,弹性区和塑性区的受力才能达到新的平衡,此时围岩内壁能够由快速的塑性变形过渡到缓慢的蠕变变形。

4 施工措施

通过以上计算与分析,鲁村煤矿混合立井掘进780 m之后,围岩变得不稳定。施工时需要采取缩小掘进段高,减少围岩暴露时间,采取锚喷加网临时支护措施,同时增加井筒掘进的荒断面。其合理的支护方式是采用二次复合支护。第一次支护以锚喷为宜,一方面采用锚、喷形式起到及时支护、及时封闭、隔绝围岩受水机会,提高围岩自承能力,降低围岩变形及强度衰减;另一方面喷层较薄,具有一定柔性,使围岩在大量位移过程中不致开裂。第二次支护以刚性支护为宜,防止支护工作点落在临界位移值之后。一次支护要在一定程度上允许围岩变形、位移,以释放荷载,改善二次支护受力状态,有利于巷道稳定。但二次支护要有时间间隔,以利于一次支护后围岩卸压并趋于稳定,间隔时间越长,卸压越充分,效果就越好。但值得注意的是间隔时间长,可能要影响施工进度。为此,建议在第一次与第二次

支护之间设可缩变形层,留有一次支护的变形空间,变形空间要根据实测围岩变形结果确定,即永久井壁施工后还允许围岩有一定的变形,保证井壁不受围岩膨胀而破坏^[4]。

5 结语

通过对鲁村煤矿混合立井围岩的应力计算与稳定性验证,鲁村煤矿混合立井当掘进到780 m之后,围岩始变得不稳定。因此,在井筒掘进过程中需要加强临时支护工作,应采取锚喷加网的临时支护措施,同时增加掘进荒断面。建议施工时,预留一次支护的变形空间,以确保施工进度与安全。

参考文献:

- [1] 王渭明. 千米立井井壁应力分析及设计问题的探讨[J]. 煤炭学报, 1993, 18(5): 63 - 72.
- [2] 周维恒. 高等岩石力学[M]. 北京: 水利电力出版社, 1989: 13 - 25.
- [3] 王同福, 胡中信, 曹丁涛. 兖州矿区井筒破裂原因分析及防治[J]. 矿业世界, 1997, (4): 27 - 30.
- [4] 吴翔天, 谷桂成. 亭南矿马头门稳定性分析[J]. 矿山压力与顶板管理, 2004, (4): 61 - 64.

Stability Analysis and Construction Measures of Country Rock of Hybrid Shaft under Thousands Meters in Lucun Coal Mine in Yiyuan County

WEN Zengsheng¹, ZHANG Zongkun¹, SHAN Jicheng²

(1. Lucun Coal Mine Limited Corporation in Yiyuan County, Shandong Yiyuan 256100, China; 2. Yiyuan Bureau of Land and Resources, Shandong Yiyuan 256100, China)

Abstract: Due to actual condition of Lucun coal mine in Yiyuan county, such as stability of country rock is poor, and plastic deformation is big, by using elastic - plastic mechanical analysis method, re - distribution of rock stress and plastic deformation of country rocks after rock excavation of hybrid shaft under thousands meters of Lucun coal mine are analyzed. Thus, whether use temporary support to ensure construction safety is determined. As showed by the study results, when the depth of country rock excavation of hybrid shaft in Lucun coal mine is more than 780 m, the rock becomes unstable, and shotcrete temporary support should be used, driving shaft section be increased, and rock deformation space be reserved.

Key words: Country rock of shaft; stability; construction measures; Lucun coal mine; Yiyuan county