武山铜矿南副井井筒破裂分析与注浆加固

张明龙
(煤炭科学研究总院合肥研究所,安徽 合肥 230001)

摘　要:介绍了武山铜矿南副井井筒破裂的情况,从地质因素和地下水动力因素 2 方面对该井筒破裂的形态及原因进行分析,并对井筒破壁注浆加固施工工艺及效果进行了阐述。

关键词:井筒破裂;原因分析;破壁注浆
中图分类号:TD262.5　　文献标识码:B　　文章编号:1000 - 3746(2001)06 - 0003 - 03

1　基本情况

武山铜矿新建副井位于该矿区南矿带的西部,井口标高 +42.3 m,井深 305.65 m,井筒净直径 5.5 m,为钢筋砼单层井壁,厚 0.4 m(2 层钢筋),部分段壁厚 0.6 m(3 层钢筋),井筒中有马头门 5 对。

新副井在建井期间出现 10 多次围岩塌方事故,累计塌方量将近 500 m^3,把塌方物处理以后,对井壁后的塌方空间充填砼并注浆,但施工至井深 79.2 m 时发生的大塌方,造成 -15.3 ~ -20.1 m 的永久井壁出现多条竖向、环向裂缝。井筒建成后,在 -220 m 距副井井筒中线 150 m 的马头门施工中,因放炮突水,水量达 350 m^3/h;其后,井内又发生砼井壁掉块现象,经检查发现,井深 19 ~ 76 m 段出现许多新裂缝,老裂缝增长加宽,井壁内钢筋外露,变形弯曲,井壁变形破坏仍在继续发展(见图 1、表 1)。

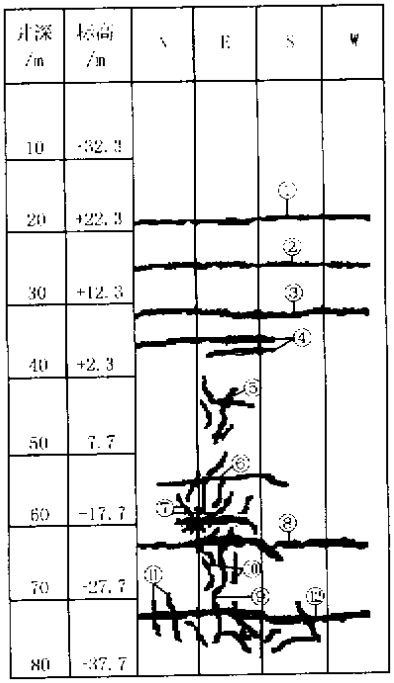

图 1　新副井井壁破裂实测展开图

表 1　新副井井筒裂缝情况

裂缝编号	观测日期		
	5 月 12 日	5 月 21 日	5 月 30 日
①	环向张裂缝,东边缝宽约 10 mm	裂缝处有砼剥落,缝宽基本不变	张开缝 10 mm,环向缝圈
②	环向缝一圈	环向张开缝约 4 mm,砼剥落,露筋见粘土(局部东边)	缝宽 5 mm,主要东边
③	未发现	环向缝,东半圈明显	环向张开缝一圈
④	裂纹不明显	较明显	明显
⑤	裂缝明显	裂缝加长,宽 2 mm	无变化
⑥	环向张开缝(东)	有砼块脱落	无明显变化
⑦	交叉开裂宽 2 ~ 3 mm	裂缝加长	裂缝宽 3 ~ 4 mm
⑧	环向斜缝,有砼脱落,钢筋弯曲	斜缝加宽,砼被挤压松动,局部暴脱	无变化
⑨	主纵裂缝,最宽处 10 mm,长 11 m	裂缝加长加宽,最宽处 12 mm	旁边又出新裂缝
⑩	不明显	明显	裂缝宽 2 ~ 3 mm
⑪	细小裂缝	明显加宽,约 2 mm	加宽加长
⑫	环向缝,钢筋暴露、弯曲,砼脱块	砼继续松掉	无变化

2　井筒破裂原因

根据对井筒裂缝的调查观测:裂缝大多集中在东面井壁,且上部 19 ~ 31 m 的环向裂缝受拉张开,中部 42 ~ 61 m 裂缝斜交呈张开状,62 ~ 76 m 环向、纵向及斜交裂缝均较发育,其中 71 ~ 74 m 裂缝密度最大,环向裂缝力学性质呈压性,即表现出井筒的上部受拉,下部受压。造成这种状况的原因主要有:地质因素,地下水动力因素,以及由于此因素引起地层沉降而对井壁产生的负摩擦力。

2.1　地质因素

新副井 17.9 ~ 73 m 段围岩为全强风化的泥钙质页岩,其中发育有小土洞,钻探过程中经常出现塌孔、埋钻事故。掘井时黄色页岩遇水浸泡后,很快成为 1 ~ 2 cm 大小的片状松散体,可见其工程性状极差。强风化页岩在水的浸泡下,其内聚力和内摩擦角迅速减小,当开挖井筒造成其各向应力不

收稿日期:2000 - 06 - 19;改回日期:2001 - 09 - 17
作者简介:张明龙(1963 -),男(汉族),安徽人,煤炭科学研究总院合肥研究所高级工程师,工业与民用建筑、化学专业,从事岩土地基、矿山井巷和隧道围岩稳定、加固和防治水的的研究、设计与施工工作,安徽省合肥市宣城路 81 号,(0551)4651357,zhangml - cn@sohu.com。
万方数据

平衡时,在自重的作用下易于屈服、流动,所以,在井筒开挖期间,地下水位以下围岩出现 10 多次塌方,累计塌方量近 500 m^3。

对于井筒来说,由于上部(0 ~ 30 m 段)围岩无地下水作用,致密稳定,围岩与井筒之间的相互作用较强,从而保证了井筒上部的稳定性。但是,地下水位以下的围岩塌方时,当塌方体对井筒的冲力达到一定值时将造成井筒下部的位移,此时的井筒就相当于一个施加了弯矩的钢筋砼悬臂梁(实际上井筒所受的力较悬臂梁要复杂),井筒在弯矩的作用下发生弯曲,当弯矩超过砼的开裂弯矩时,井筒受拉区的砼即开裂,受压区砼还未达极限压应变,因此,井筒的一侧将出现裂缝,而另一侧将完好无损。外力一旦撤除,井筒的位移变形将能基本回复。例如,当井筒掘进至 79.2 m 深时,发生了一次大塌方,在 5 min 的时间内,近 280 m^3 的饱和泥砂页岩碎屑混合物涌入井筒内,塌方的同时,听到井筒内有很大的响声,塌方冲垮了厚 300 mm、高 6.5 m 的临时砼支护和钢镟胎,造成深 57.5 ~ 62.4 m 的东部井壁出现裂缝。后经探查,在井壁后深 55.2 ~ 64.4 m 的东面有一个大空洞,这就表明新副井裂缝出现在东部是因为东侧井壁受拉造成的。

2.2 地下水动力因素

新副井区域 73 m 以上地层为全强、中风化的松散、碎裂结构的页岩,由于构造作用的破坏,特别是发育于页岩之间的 F7 断裂,在勘探过程中大量漏水,经压水试验,单位吸水量为 0.29 ~ 0.3 L/(min·m·m),说明 F7 是透水导水断层。副井北侧基岩裸露,大气降水可直接渗入地下,转变为地下迳流;副井东侧地形低洼,第四系厚度较大,岩性以亚粘土为主,建井前即出现地面沉降,这说明大气降水通过地表松散层渗流入地下,且在松散层和基岩之间常有地下水的迳流活动。

由于矿区北北东、北东东、北西—北北西断裂,裂隙发育且相互交切,沟通了新副井所属水文地质单元与邻区水文地质单元之间的水力联系,于是侧向的地下迳流通过 F7 断层流向新副井。新副井坑道系统排水,又使副井附近地下水位下降,形成以新副井为中心的降水漏斗,水力坡度增大,地下水动力作用加强,使其对岩土介质的潜蚀、运移作用增强,特别是在地下迳流经常活动的地层形成空洞和运移通道,该种地层一旦受到地下水的影响,则必造成地层压缩而引起地面沉降。

根据土的有效应力原理,饱和土体所受的总应力 σ 为有效应力 σ' 和孔隙水压力 μ 之和,即:

$$\sigma = \sigma' + \mu \tag{1}$$

设 A 点位于地面下 h 处,距地下水位 h_2(见图 2),则作用在 A 点的垂直总应力为:

$$\sigma = \gamma h_1 + \gamma_{sat} h_2 \tag{2}$$

A 点孔隙水压力为:

$$\mu = \gamma_w h_2 \tag{3}$$

则 A 点有效应力为:

$$\begin{aligned}\sigma' &= o - \mu = \gamma h_1 + \gamma_{sat} h_2 - \gamma_w h_2 \\ &= \gamma(h - h_2) + (\gamma_{sat-} - \gamma_w) h_2 \\ &= \gamma h - \gamma h_2 + \gamma' h_2 \\ &= \gamma h - (\gamma - \gamma') h_2\end{aligned}$$

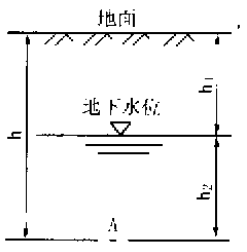

图 2 有效应力原理

其中 $\gamma - \gamma' > 0$,令 $\gamma_0 = \gamma - \gamma'$,则

$$\sigma' = \gamma h - \gamma_0 h_2 \tag{4}$$

式中:γ——土的天然重度,kN/m^3;γ_{sat}——土的饱和重度,kN/m^3;γ_w——水的重度,kN/m^3;γ'——土的有效重度,kN/m^3。

从(4)式可看出,地下水位 h_2 发生变化时,A 点处的有效应力也发生变化。当地面下某点土体中无孔隙水($h_2 = 0$)时,土体所受的应力最大,该应力通过土骨架传递下去,从而使得土中孔隙体积缩小引起地面沉降。所以,新副井的延深和排水,使地下水位下降,原饱水的页岩孔隙水压力消失,有效应力直接作用在土洞、孔隙较为发育的页岩骨架上,使强风化页岩空隙体积缩小而造成地面沉降。地下水位下降的速度慢,地层沉降也慢,产生的对井壁的摩擦力也较小,井筒内的附加应力就小,所以,新副井建成后,井壁裂缝的发展极为缓慢。但是,在 - 220 m 距副井井筒中线 150 m 的马头门施工中,因放炮突水,水量达 350 m^3/h,使设在井深 64.4 m 处的放水管不再出水,地下水位显著下降,地面沉降明显加剧。由于地层沉降加剧,产生的对井壁的摩擦力显著增大,使得井壁内的设计应力与摩擦力之和在井筒中性点附近超过了井壁的极限抗压强度,造成页岩下部井壁受压破坏;地下水位的迅速下降,使得有较多裂隙、土洞的页岩快速压缩沉降,而第四系及强风化页岩上部地层受地下水位变化的影响很小,围岩致密坚硬,沉降较慢,在此段井壁上拉应力较大,大于砼的极限抗拉强度,造成上部井壁受拉破坏。实际上,由于在井筒掘进到 79.2 m 深时发生大塌方,除井壁出现明显的裂缝外,井壁中还将产生许多看不到的微裂缝,井壁的质量将受到严重影响,其极限抗压强度和抗拉强度将比设计值小得多。

所以,围岩塌方及因地下水位的下降引起的地层沉降,是造成新副井破裂的直接原因。

3 破壁注浆

武山铜矿新副井所处松散层厚 70 多 m,由于建井期间发生多次塌方事故,造成井壁破裂的同时,壁后必然存在较多空洞,虽然在塌方后井壁后充填了大量的砼,但由于充填压力很小,井筒围岩难以充填密实,必将促使围岩继续沉降,井筒继续破坏,所以必须进行破壁注浆加固,以保持井筒的稳定。

3.1 注浆目的

通过向井壁后注入水泥浆液,充填壁后空洞及松散围岩,使壁后形成 1 m 以上的岩土水泥胶结密实帷幕环抱井壁,增强井筒的整体性和稳定性,减弱围岩沉降对井筒的破坏作用,并封堵井壁裂缝漏水。

3.2 注浆段高

由于井筒在井深 19 ~ 76 m 段破裂,为使注浆帷幕处于破裂段范围,并充填上部第四系与页岩交界面,下部封堵页岩与灰岩交界面,确定注浆段为井深 18 ~ 85 m。

3.3 施工设备

由于注浆的目的是充填壁后空洞和加固围岩,所以钻孔必须凿穿井壁。钻孔机具是气腿式风动凿岩机,使用 Ø42

万方数据

mm 一字钻头和配套钎杆;注浆设备为 2TGZ－60/210 型双液注浆泵 2 台,井壁破裂处漏浆时可以迅速地堵住。

3.4　注浆孔布置与施工顺序

破壁注浆加固钻孔以均匀布孔为主,重点布孔为辅,从井深 18～85 m 基本按线距 4～5 m、点距 3 m、每圈 6 个孔布置;注浆施工按从下而上进行。

3.5　钻孔参数

由于注浆泵的排量较小,而且浆液进入岩层的速度不能快,所以钻孔的直径为 42～45 mm,深度为 1～1.5 m,否则钎杆进入围岩后难以拔出。

3.6　施工工艺及浆液配比

施工工艺流程:钻孔→下入注浆孔口管→连接注浆泵→搅拌水泥浆→开泵注浆→封口。

水泥采用 425 普通硅酸盐水泥,水玻璃模数为 2.4～3.2,拌制水泥浆采用水灰比为 1～0.8。

3.7　注浆量

破壁注浆加固以单液水泥浆为主,水泥－水玻璃双液浆只用于封堵井壁裂缝漏水和跑浆。共注入 425 普通硅酸盐水泥 504.16 t,水玻璃 10.7 t。分段注浆情况见表 2。

3.8　注浆加固效果

3.8.1　取心检查

注浆发现,井深 18～27 m 段井筒围岩致密,浆液在高压下注不进;井深 30～75 m 段共施工 7 个检查孔,取心钻孔深度 1.5 m,岩心密实坚硬,含水泥结石。

3.8.2　变形监测结果

破壁注浆加固工程结束后,开始对加固段井筒纵向、径向进行近 1 年的变形监测。监测结果为:在破裂加固段设置的 7 个纵向变形测点都由开始时的最大值逐渐减小到 0 或接近 0;18 个径向变形测点中已有 16 个测点监测值减小到 0.09～0.02 mm(大部分为 0.02 mm)。监测数据表明,破壁注浆加固井筒效果显著,达到了稳定井筒的目的。

表 2　新副井破壁注浆情况

施工序号	注浆位置/m	注浆孔数	注入水泥量/t	注浆终压/MPa	备注
1	78.8		48.8	10	
2	85.0	6	2	10	此段为灰岩
3	73.1	9	145.7	10	
4	67.4	6	68	10	
5	62.5	6	59	10	
6	58.4	6	75.4	10	
7	53.1	6	13.7	10	
8	48.4	6	36.5	10	
9	44.5	6	22	10.5	
10	39.9	6	4.3	10	
11	36.3	6	2.46	10	
12	32.0	6	1.7	7	
13	27.5	2	0.1	－	壁后密实,注不进
14	77.0	3	24.5	10.5	此段为最后补注

4　结语

武山铜矿新副井井筒位于特殊的地质环境中,建井期间,井筒东侧的大塌方对井筒的冲击是造成井筒破裂及裂缝大多位于井筒东部的直接原因。井筒建成后的马头门突水,引起了井筒中下部围岩的快速沉降,井筒与围岩发生了垂向的相对运动,在井壁上产生了负摩擦力,使井筒上部呈张力,下部呈压力,造成了井壁的进一步破坏。对破裂井筒进行壁后注浆是一种很好的措施,既能封堵井壁裂缝漏水,又能充填加固井筒,增强井筒的整体性和稳定性,提高井筒抵抗外力作用的能力。

参考文献:

[1]　陈希哲.土力学地基基础(第二版)[M].北京:清华大学出版社,1989.

俄罗斯钻探专家应邀访问中国地质科学院勘探技术研究所

应中国地质科学院勘探技术研究所邀请,俄罗斯全俄钻井技术研究总所彼尔姆分所所长、工学副博士尤·阿·科罗塔耶夫先生,全俄钻井技术研究总所螺杆马达总设计师、工学博士、俄联邦功勋发明家、古布金奖金 2 次荣获者特·弗·巴尔坚科先生,全俄钻井技术研究总所伏尔加格勒科托沃市试验厂厂长恩·阿·斯特列利佐夫先生一行 3 人于 2001 年 9 月 14 日对该所进行了访问,双方就钻探技术和产品的经济技术合作达成了初步意向。

甘行平所长,张金昌、刘三意副所长会见了俄罗斯钻探专家。甘行平所长对客人的来访表示欢迎,并向俄罗斯客人介绍了中国地质科学院、勘探所的基本情况。俄方专家对该所的非开挖技术、液动冲击回转钻进技术产生了浓厚的兴趣,表达了进一步合作的强烈愿望。此外,俄罗斯生产的液动螺杆钻具、孔底涡轮钻具、牙轮钻头等钻探产品的材质和性能比较好,价格远低于西方同类产品,有的产品比我们国内同类产品价格要低 30% 左右,性能却优于我们国内的产品。由此俄方希望与该所合作开发中国市场,同时可以代销该所相对具有优势的非开挖、大口径钻具产品。双方一致认为,两所的技术、产品具有互补性,双方就螺杆钻具、液动冲击器等领域的经济技术合作达成了初步意向。

据俄罗斯客人介绍,全俄钻井技术研究总所亦称为"钻井技术科研生产联合企业",始建于 1953 年,目前其机构包括位于莫斯科市的钻井技术研究总所、位于彼尔姆市的钻井技术研究总所彼尔姆分所、莫斯科区柳别尔催市实验厂、伏尔加格勒区科托沃市试验厂、莫斯科区波瓦罗夫卡市试验中心,以及俄联邦一些油气采区的服务部和新技术试验部。其中钻井技术研究总所彼尔姆分所是总所主要的研发机构之一,目前约有工作人员 540 人,设有螺杆钻具、涡轮钻具、钻探工艺等研究室,同时有一个规模较大的机加工车间以及修理车间、试验台等,郊区有一个附属的螺杆马达定子生产基地。主要工作领域为油气井钻进基础研究和钻井技术研发,如倾斜和水平井钻进,大直径竖直井眼钻进,复杂地质条件下取心,钻井液最佳系统选择,钻进和取心用的牙轮和金刚石钻头研制,液动孔底马达研制等。

俄罗斯钻探专家在所期间,副所长张金昌、刘三意以及所内部分技术专家与来访的俄罗斯客人就孔底动力机、水平井钻进等领域的关键技术进行了座谈。俄罗斯客人还参观了勘探所冲击回转实验室、非开挖装配车间、大口径钻头与钻具研制中心车间等设施。

(勘探所科技处　供稿)

万方数据