煤矿大口径保温井保温套管结构设计及下套管技术

缑延民
(河南省煤田地质局四队,河南 平顶山 467000)

摘　要:通过中平能化集团某矿的工程实践,研制出满足煤矿高地温矿井井下降温工程需要的钢基 GFRP 双层复合保温套管,对保温套管的下套管技术和保温套管接头保温方法进行了研究,对煤矿采用钻井的方法实施井下降温工程具有十分重要的意义。

关键词:煤矿;大口径保温井;保温套管设计;下套管技术
中图分类号:P634　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1672 - 7428(2012)10 - 0063 - 03

Structure Design of Insulation Case for Large Diameter Insulating Well in Coalmine and the Casing Technology/

GOU Yan-min (The 4th Team, Coalfield Geology Bureau of Henan Province, Pingdingshan Henan 467000, China)

Abstract: Based on the engineering practice, a steel matrix GFRP double-layer composite insulating case for underground cooling engineering in high temperature coalmine was developed. The study was made on the casing technology and the insulating method of insulation case joint, which are very important for underground cooling engineering with drilling in coalmine.

Key words: coalmine; large diameter insulating well; insulation case design; casing technology

0　引言

煤炭是我国的主要能源之一。随着我国社会经济的可持续发展要求和煤炭资源开发的日益加强,矿井的开采深度不断增大。目前,世界各主要采煤国家相继进入深部开采,开采深度的逐步增加,地温也随之升高,地温对煤炭生产的制约和影响日趋增大。

据世界各地的测量资料,全球平均地温梯度约为 3 ℃/100 m,据全国矿井高温热害普查资料统计,我国目前已有近百对矿井出现了不同程度的热害,其中超过 50 对矿井的采掘工作面气温超过 30 ℃。据我国煤田地温观测资料统计,百米地温梯度为 2 ~4 ℃/100 m,例如平顶山八矿平均地温梯度为 3.4 ℃/100 m, -430 m 水平的原始岩温为 33.2 ~33.6 ℃,采掘工作面的气温在 29 ~32 ℃,最高已达 34 ℃。世界各国对井下温度也做出了相应规定,我国 2005 年 1 月 1 日起实施的新《煤矿安全规程》规定,生产矿井采掘工作面空气温度不得超过 26 ℃,机电设备硐室的空气温度不得超过 30 ℃。

深井开采条件下,地温不断升高,热害以及有毒有害气体、粉尘的危害也日益增大。这些危害严重影响作业工人的工作效率及他们的身心健康,甚至很可能导致一些矿井恶性事故的发生,给矿井的安全生产及其日常管理带来了极大的威胁。可见,煤矿井下降温技术正成为国内外矿业开发研究的一个重要课题。

1　背景

目前国内外煤矿开展井下降温工程研究的步伐还比较缓慢,煤矿开展井下降温工程研究通过钻井的方式建立矿井上下联通保温通道,开展大口径输冰井的钻井施工尚处于试验研究阶段,尤其是大口径保温井的保温套管结构设计、制造工艺,下套管工艺技术还没有成熟的技术和经验可以借鉴。一些煤矿为了改善井下采面的高温现状,开始与一些高校和降温公司合作,对高地温矿井井下降温工程技术进行了积极的研究。

据了解,目前有少数高温矿井采用冰冷却系统方法,通过井上融冰和井下融冰方式实施了井下降温工程,还有一些高温矿井则采用双井循环冷冻水的方式实施井下降温工程。但由于这些已经实施的降温工程大都是利用煤矿开拓的立井(或斜井)来敷设常规保温管道,受煤矿立井(或斜井)等开拓通道位置的限制,位置较远的采面实施井下降温工程受到了很大限制,迫切需要在需要降温的采区上部地面建设制冷系统,通过实施大口径钻井工程,下入

收稿日期:2012 - 07 - 16; **修回日期**:2012 - 09 - 20

作者简介:缑延民(1967 -),男(汉族),山东齐河人,河南省煤田地质局四队党委书记、副队长、高级工程师,机电工程专业,从事煤田地质勘探、地质钻具加工、石油和煤层气钻井、大口径特凿钻井技术与管理工作,河南省平顶山市矿工中路 185 号,gym2819@163.com。

保温套管,在建立井上下保温联通通道的基础上,实施井下降温工程。

因此,研究煤矿大口径降温井保温套管的结构设计和下套管技术,满足输冰和输送冷冻水对管道保温的要求,同时又要满足钻井下套管工艺技术要求,具有十分重要的意义。

2 工程概况

中平能化集团某矿己三采区是主力生产采区,主要开采标高 -600 ~ -850 m。采掘工作面的气温在夏季一般为 33 ~ 35 ℃,个别高达 36 ℃,热害不但威胁煤矿职工身体健康,也严重影响矿井安全和正常生产。因此,为改善矿工在井下采掘工作面的生产条件,中平能化集团某矿决定实施煤矿井下降温工程。我队承担了降温工程中的输冰井钻井施工任务。

根据降温公司设计的《制冷降温工程设计方案》,制冷冰降温工程主要由制冷制冰系统、输冷输冰系统、融冰系统、输冷散冷系统组成。其中输冷输冰系统设计施工一口井深为 600 m、井径为 650 mm 的输冰井,在井内下入 Ø500 mm × 10 mm/Ø426 mm × 10 mm 双层保温套管,井上下的输冰管路通过保温管道连接。该井主要用于地面制冰站向地下采区内输送片冰,在井下建设融冰站,通过冰的溶解把水冷却到 2 ~ 3 ℃,然后把冰冷水送到各采掘工作面,对井下的采掘工作面实施喷洒降温,达到降温和除尘的双重目的。

3 保温套管结构设计

3.1 保温套管原结构设计方案

降温公司在《制冷降温工程设计方案》中设计的大口径输冰井保温套管的结构是外管为 Ø500 mm × 10 mm 无缝钢管,内管为 Ø426 mm × 10 mm 无缝钢管,中间填充聚氨酯保温材料的钢套钢结构的双层保温套管。

3.2 保温套管原结构设计方案存在的问题

(1)选用的无缝钢管管壁太薄($\delta = 10$ mm),经校核计算,其强度满足不了井下下套管和固井要求;

(2)中间环空间隙中充填聚氨脂保温材料(密度约 60 kg/m^3、压缩强度约为 0.3 MPa),环空厚度为 27 mm,抗压强度非常低;

(3)双层套管质量大,600 m 套管约重 140 t(不含聚氨酯保温材料),造价高,经济技术性不合理;

(4)双层套管中间充填的是聚氨酯保温材料,双层套管在井内承受双向钻井液(含固井水泥浆)液柱的压力,极易导致内外层套管变形,造成整个工程报废;

(5)套管接口焊缝多,套管焊接接口结构复杂,接头现场充填保温材料,接头结构复杂,下套管作业施工难度大,周期长。

据了解,该结构主要应用于城镇直埋供热管道设计,在个别矿山利用井筒实施井下输冰降温工程中得到了初步应用,用于钻井法下入保温套管成井尚无先例,整体强度无法满足下套管和固井要求。

3.3 新型保温套管结构设计

由于设计部门提交的钢套钢聚氨酯双层保温套管的结构形式,抗压强度低,只能用于城市直埋供热管道和煤矿立井中向下敷设,无法采用浮力塞下套管方法和水泥固井方法,满足不了本工程的施工要求。因此必须对原保温套管的结构进行重新设计,使其既能简化套管结构,起到保温效果,又能满足安全下入套管和水泥固井要求。

经过认真的调研,在多种方案对比分析研究基础上,最终设计出钢基 GFRP 双层复合保温套管,即以无缝钢管为基体,在无缝钢管外复合一层一定厚度 GFRP 管,使 GFRP 与无缝钢管紧密的粘合在一起,形成一个整体结构双层材质的保温套管。

经过降温公司和中平能化集团组织专家进行技术论证,一致认为该结构保温套管与原设计相比具有结构更加简单、施工技术更加可靠、造价更为低廉、保温性能满足设计要求等诸多优点,最终同意并予以采纳。

本工程采用的钢基 GFRP 双层复合保温套管的规格是在 Ø426 mm × 14 mm 无缝钢管外复合一层厚度为 10 mm 的 GFRP 管,经过对无缝钢管套管强度计算,其强度满足工程设计要求。复合保温套管与单体无缝钢管相比,整体抗挤毁强度得到了大幅提高。

3.4 钢基 GFRP 双层复合保温套管的优点

(1)GFRP 材料具有优良的保温性能和抗拉、抗压强度。采用纤维缠绕工艺制造的 GFRP 管与无缝钢管的复合,与原设计钢套钢双层套管结构相比,整体强度得到大幅提高,能够满足下套管和固井要求;

(2)发生腐蚀,GFRP 管依然能确保使用;

(3)GFRP 材料密度不足钢的 1/4,与其它材料的双层套管相比,可大幅降低套管串的质量、工程造价和下套管作业难度;

(4)GFRP 材料的导热系数小,不足钢的 1%,

其保温性能良好,完全能够满足煤矿井下降温工程需要;

(5)复合保温套管结构简单,下套管作业效率高,套管两端预留一定长度接头,在完成接头断面焊接后,接头预留部分的保温工作可以现场实施。

3.5　GFRP 管与钢管的性能对比(表 1)

表 1　GFRP 管与普通钢管性能对比

名称	比强度/MPa	拉伸强度/MPa		冲击强度/(t·m^{-2})	密度/(g·cm^{-3})	弹性模量/GPa		导热系数/[W·(m·℃)$^{-1}$]	热膨胀系数/[m·(m·℃)$^{-1}$]	绝对粗糙度/mm	摩阻系数	Hazen - Willians 系数 C
		环向	轴向			环向	轴向					
GFRP 管	100 ~ 168	320	160	1.5×10^5	1.8 ~ 2.1	25.2	17.6	0.23 ~ 0.45	1.12×10^{-5}	0.0053	0.016	150
钢管	49	380		2.3×10^5	7.84	210×10^3		54	1.23×10^{-5}	0.046	0.035	120

3.6　钢基 GFRP 双层复合保温套管的制造工艺

GFRP 复合套管是以除过锈的 Ø426 mm × 14 mm 无缝钢管为基体,按照设计要求,采用成熟的 GFRP 管制造工艺,利用模具在无缝钢管外壁以高强度的连续无碱无捻玻璃纤维粗纱浸渍环氧树脂交叉缠绕制作而成,GFRP 具有优异的物理机械性能,在高温条件下仍具有优良的性能保持率,同时具有优异的操作性能和加工性能。设计 GFRP 管的缠绕厚度为 10 mm,复合套管的 GFRP 层与钢管外壁紧密粘结在一起,形成一个有机整体。GFRP 复合后整体套管的抗压强度在无缝钢管的基础上又有了大幅度的提高。图 1 为 Ø426 mm × 14 mm 钢基 GFRP 双层复合保温套管示意图。

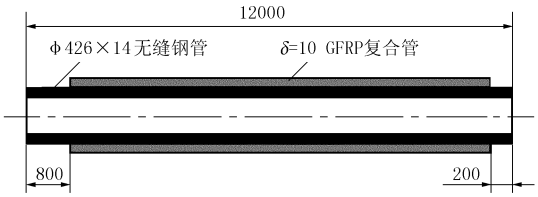

图 1　Ø426 mm × 14 mm 钢基 GFRP 双层复合保温套管

4　下套管工艺

4.1　保温井基本数据

设计井深 600 m,一开孔径 1080 mm,下入 Ø820 mm × 12 mm 螺旋钢管 150 m,二孔孔径 650 mm,下入 Ø446 mm × 12 mm 钢基 GFRP 双层复合保温套管 600 m,全井水泥固井完井。

4.2　钻井设备

钻机为 GZ2600 型,钻塔为 JJ110/28 - A 型(配 2.3 m 平台),钻机、钻塔、天车和大钩的承载能力最大为 1100 kN。

4.3　下套管方法

(1)表层套管总质量为 35.87 t,可以采用直接提吊法下入。

(2)钢基 GFRP 双层复合保温套管总质量 101.79 t,钻井液的密度按 1.20 g/cm^3 计算,保温套管悬重 788.8 kN;工作套管的最大悬重虽然没有超出钻机和钻塔的最大承载能力,但已接近设备的最大负荷。为保证套管安全下入防止意外发生,钻机提升能力必须预留一定能力储备。为此,保温套管采用“提吊 + 浮力塞”下管方法,利用浮力降低载荷,确保下套管作业时钻机钩载在安全合理范围内。

4.4　套管连接

套管之间的连接采用打坡口对焊连接的方法。下套管前,按设计在套管一端切割出穿杠孔,下套管时插入穿杠,用钢绳连接游车大钩起吊套管。套管对接时,使用自制井口套管对接扶正器进行找正,保证两根连接套管管口合缝、同心;点焊牢固后,按要求完成套管接头的焊接。套管管口焊接完毕,应在焊缝外均匀加焊一定数量的加强筋板。套管对接完成后,开车上提套管,抽出下部的穿杠,将从套管上切下的圆板补焊到套管穿杠孔处,圆板焊牢后,再在圆板外补焊加强筋。依照上述步骤根据套管的入井编号依次下入井内。需要注意的是,套管接头焊接完成后,应保证一定的自然降温时间,待焊缝温度降到合理值方可将其下入井内。内管焊接完成后,还须进行套管接头保温,接头保温完成后,保温套管方可下入井内。

4.5　保温套管接头的保温方法

保温套管内管接头焊接工作完成后,套管接头处裸露的部分须进行现场保温处理。方法一是使用经环氧树脂浸渍的玻璃丝布(厚度 0.7 mm)对套管的裸露部分进行缠绕,直至接头部位的缠绕厚度达到玻璃钢管的厚度并直到完全硬化后方能下入井内。为减少固化时间,提高下套管作业的效率,环氧树脂中可以添加一定比例的固化剂。固化剂的加量应综合考虑气温、作业速度等因素的影响。中平能化集团输冰保温井项目采用了此种接头保温办法。在淮南煤业集团顾桥矿和潘三矿的 4 口保温井项目中,为提高接头保温速度,我们采用的另一种方法是

(下转第 68 页)

锚索失效、5 号锚索外),下降幅度为 5.3% ~6.5%。实测锚索最大轴力为设计值的 17.9% ~50.7%,锚索最大轴力实测值见表 4。锚索轴力实测值随时间变化情况如图 3。

表 4 锚索最大轴力实测值

监测点编号	设计值/kN	最大轴力实测值/kN	轴力实测值与设计值之比/%
①	284.2	107.6	37.9
②	259.8	124.3	47.8
③	259.8	113.1	43.5
④	259.8	131.6	50.7
⑤	259.8	109.5	42.1
⑥	245.1	86.3	35.2
⑦	200.3	74.7	37.3
⑧	234.0	70.1	30.0
⑨	209.5	70.6	33.7
⑩	209.5	55.2	26.3
⑪	209.5	37.6	17.9
⑫	209.5	50.2	24.0

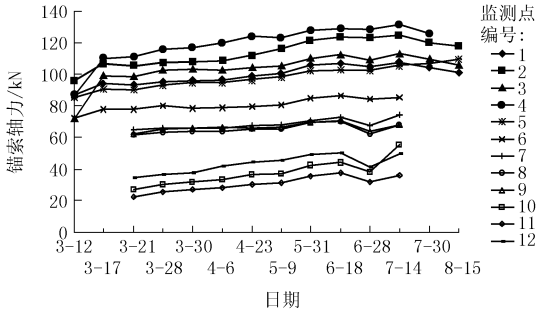

图 3 锚索轴力实测值随时间变化曲线

5 结论

通过对该基坑工程锚索轴力的监测,从中得到以下结论:

(1)锚索张拉锁定力能否达到设计的要求,在很大程度上取决于张拉锁定设备的匹配性,仅仅根据穿心千斤顶油压表读数往往达不到理想的效果;

(2)下道锚索张拉锁定时,会使上道锚索的轴力略有减小,本工程在下道锚索张拉锁定时,上道锚索轴力减小 0.4% ~1.6%;

(3)随着基坑的开挖及开挖完成后未开始回填前,锚索轴力基本处于增长状态,本工程锚索最大轴力较锚索锁定值提高 8.8% ~104.4%,平均提高 37.5%;

(4)随着基坑回填,锚索轴力略有减小,本工程基坑回填至冠梁顶时锚索轴力较锚索最大轴力减小 5.3% ~6.5%;

(5)整个基坑锚索轴力监测过程中,实测最大锚索轴力为设计值的 17.9% ~50.7%,远达不到锚索设计值,说明本方案还存在优化的空间。

参考文献:

[1] JGJ 120 -99,建筑基坑支护技术规程[S].
[2] GB 50497 -2009,建筑基坑工程监测技术规范[S].
[3] JGJ 94 -2008,建筑桩基技术规范[S].
[4] 龚晓南.深基坑工程设计施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1998.
[5] 周勇,朱彦鹏.框架预应力锚杆柔性支护结构的锚杆预应力损失研究[J].工程勘察,2010,(9):1 -6.
[6] 张永安,李峰.边坡锚索预应力长期监测成果分析[J].工程勘察,2010,(3):11 -14.
[7] 吴燕开,郭海轮.复杂条件下基坑支护结构变形及受力情况分析研究[J].岩土工程学报,2008,30(S1):473 -478.
[8] 刘卫铎.可回收锚索工艺在城市地铁施工中的应用[J].铁道工程学报,2011,(3):105 -109.

(上接第 65 页)

在无缝钢管焊接后,在裸露的钢管部分刷上环氧树脂,利用事前预制好的 GFRP 半合管扣上,上下用钢带紧固后,在外面缠绕经环氧树脂浸渍的玻璃丝布的方法。该方法下套管施工速度快、外观质量好,保温效果满足工程要求。

5 结语

中平能化集团某矿大口径保温井项目的顺利完井,其井身质量、固井质量、保温效果等技术指标均满足设计要求,项目顺利通过竣工验收并投入运营,井下高温作业的环境得到明显改善。在安徽淮南矿业集团顾桥矿和潘三矿开展的冷媒输送工程中又获得成功应用,施工的 4 口保温井顺利通过验收,保温效果满足降温工程要求。钢基 GFRP 双层复合保温套管的研制和成功应用,对全国矿山企业高地温矿井实施井下输冰降温、输送须保温介质等施工领域具有重大的借鉴意义和推广价值。

参考文献:

[1] 缑延民,耿建国,等.煤矿大口径输冰井施工技术研究报告[R].河南省煤田地质局四队,2011.
[2] 赵金洲,张桂林.钻井工程技术手册[M].北京:中国石化出版社,2011.
[3] 袁志坚,白领国.大口径瓦斯抽放井钻探施工[J].西部探矿工程,2007,19(10):80 -82.
[4] 袁志坚,提吊加浮力塞下管法在大口径瓦斯抽排孔的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(1):27 -29.
[5] 金涌.煤矿大口径瓦斯抽排孔施工技术[J].中国煤炭地质,2009,21(11):68 -69.