

BLD系列地热井用高效保温钢管的研制与应用

张科明¹, 王智作¹, 孙建华², 周正新³, 钱山红¹

(1. 无锡贝来石油专用管有限公司, 江苏 无锡 214151; 2. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000;
3. 无锡贝来钢管有限公司, 江苏 无锡 214151)

摘要:我国能源行业发展由清洁高效进入了降碳节能的新阶段,作为清洁、零碳能源的地热能,迎来了空前的发展机遇。目前地热开发过程中井下保温管道运用不规范,甚至不适用,大大浪费了地热资源。为科学、高效、高质量利用地热能,研制地热井用高效保温钢管很有必要。借鉴稠油开采保温管和国外温泉井保温管技术,研制的保温管导热系数 <0.02 ;保温管的抗外挤、抗内压、连接强度等指标可以满足地热中深井开采设计要求。实现自主知识产权和国产化制造,保证了地热能的高效利用,为今后开发超深井和干热岩用隔热钻杆积累了有价值的技术数据。

关键词:地热能;地热井;保温钢管;气凝胶;井下保温管;导热系数

中图分类号:TE24 文献标识码:A 文章编号:2096-9686(2021)11-0056-09

Design and application of BLD series high efficient insulation steel pipe for geothermal wells

ZHANG Keming¹, WANG Zhizuo¹, SUN Jianhua², ZHOU Zhengxin³, QIAN Shanrong¹

(1. Wuxi Beilai Tube Co., Ltd. (OCTG Branch), Wuxi Jiangsu 214151, China;

2. Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China;

3. Wuxi Beilai Tube Co., Ltd., Wuxi Jiangsu 214151, China)

Abstract: In order to achieve carbon peak before 2030 and carbon neutrality before 2060, the energy industry of China has proceeded to a new stage of carbon reduction and energy saving from clean and efficient energy development. As a clean, zero-carbon energy source, geothermal energy is facing unprecedented development opportunities. For the scientific, efficient, and high-quality utilization and development of geothermal energy, it is necessary to develop high-efficiency insulation steel pipes for geothermal wells. An insulation pipe has been developed with the thermal conductivity less than 0.02, and the high anti-collapse, high anti-burst, and connection strength up to the design requirements of medium and deep geothermal wells. The product is of independent intellectual property rights, and can be made locally with cost reduction by more than 30%, and excellent economic benefits.

Key words: geothermal; geothermal well; insulation steel pipe; aerogel; downhole insulation steel pipe; thermal conductivity

0 引言

地球内部蕴藏着巨大的能量,相当于地球煤炭资源的1.7亿倍,这些能量的产生与地球的形成过程以及地球内部的放射性元素的衰变、地球内部的各种运动和各种化学反应都有一定的关系^[1]。每年

从地球内部以热传导的方式传递到地表,然后再散发到宇宙太空中的热量为47 TW,相当于当今人类年消耗总能量的1000倍,远远超过全球每年通过地震、火山以及其他水热活动所释放出来的能量^[2]。

地热能作为地球上储量巨大的自然资源,已成

收稿日期:2021-02-11; 修回日期:2021-04-28 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.11.009

作者简介:张科明,男,汉族,1979年生,无锡贝来石油专用管有限公司总经理,工程师,电子工程专业,长期从事石油、地质管材研发工作,江苏省无锡市惠山区钱桥街道溪南工业区金山路88号,komy500@qq.com。

引用格式:张科明,王智作,孙建华,等.BLD系列地热井用高效保温钢管的研制与应用[J].钻探工程,2021,48(11):56-64.

ZHANG Keming, WANG Zhizuo, SUN Jianhua, et al. Design and application of BLD series high efficient insulation steel pipe for geothermal wells[J]. Drilling Engineering, 2021,48(11):56-64.

为21世纪不可忽视的可再生能源之一。

目前开发利用地热资源的国家已经有多达上百个,并正以每年13%以上的速度上涨^[3]。干热岩等新型地热能的勘探和开发亦受到广泛关注,并取得多项重大技术进展,商业化开发应用可期^[4-6]。

“十三五”期间,国家出台了首部“地热能开发利用规划”,推动了地热能产业的发展。现在,我国拥有世界上规模最大的地热能产业,地热供暖面积超过11.4亿m²,加上温泉、旅游、康养等的折算,我国已经拥有人均1m²的地热清洁供暖。

2021年是“十四五”开局之年。我们面对的是国家实现“2030年前碳达峰”“2060年前碳中和”两个新的奋斗目标。我国能源发展由清洁高效进入了降碳节能的新阶段。而作为清洁、零碳能源的地热能,迎来了空前的发展机遇。

然而,目前地热能开发项目尤其是在中深层地热运用中,一般不用专用保温管,而是使用普通钢管、PE管等或者不适合井下使用的保温管(如聚氨酯保温管等)作为地热能输送的管道,导致地热能利用效率低下。

2020年7月15日,河北省管控抽采地热水的政策发布,传统的简单粗暴的地热水抽采模式受到了控制,“取热不取水”的中深层同轴换热模式得到了各地政府的鼓励和支持。同时油田大量废弃井改造项目,也运用了中深层同轴换热取热技术。此种地热能开发技术中运用的中心管要求是高绝热保温管,因此研发我国自有的、针对地热能井下热能传输的高效保温管,真正实现地热资源的高效利用和高质量发展很有必要。我们经过2年的努力,研制成功了经济实用的地热井专用BLD系列高效保温钢

管,为我国科学、高效、高质量开发利用地热能资源做出了积极贡献。

1 研发思路和技术参数的确定

高效的保温管,在石油开采领域里有类似的产品,称为隔热油管。隔热油管按照《预应力隔热油管》(SY/T 5324-2013)的规定进行生产。隔热油管主要用于稠油开采,规格单一,价格昂贵,不适用于地热能开采。但隔热油管以及日本温泉用保温管的技术参数可以作为地热井用高效保温钢管研发的主要参考依据,其设计理念和结构亦有重要借鉴价值。

目前可以用于地热开发的隔热油管规格见表1^[7],隔热等级划分见表2,主要保温材料的导热系数见表3。通常把导热系数较低的材料称为保温材料[我国国家标准规定,凡平均温度 ≥ 350 ℃时导热系数 $\lambda \geq 0.12$ W/(m·K)的材料称为保温材料],而把导热系数在0.05 W/(m·K)以下的材料称为高效保温材料。

C级以上的隔热油管属于高效保温材料的范畴。PE或PPR塑料管的导热系数一般在0.4~0.6 W/(m·K)之间,按照国家标准不属于保温材料。根据地热用保温管使用条件(通常40~150℃之间热水的输送),研制的地热用高效保温管100℃时的导热系数可以定为 $\lambda < 0.02$ W/(m·K)。

我国目前地热井实际深度,一般小口径(取水管内径 ≤ 100 mm)可达2000~3000 m,大口径通常用于500 m以浅地表面段的保温。因此,研制的地热井专用保温管(BLD系列高效保温管)的连接强度、使用寿命、抗外挤和抗内压强度等必须满足相关要求。

表1 隔热油管规格

Table 1 Specification of insulation tube

规格(外径/内径)/mm	隔热等级	长度/m	米重/(kg·m ⁻¹)	扣型	外径/mm	内径/mm	适合井深/m
178/124	D、E		64.24	BTC	178.0	124.26	
139/101	D、E		42.04	BTC	139.7	101.6	
139/88			40.70	BTC	139.7	88.0	
114/76	C、D、E	9~12	32.00	BTC	114.3	76.0	1600~3500
114/62			28.00	BTC	114.3	62.0	
88/50	B、C、D、E		21.00	BTC	88.9	50.6	
73/40			15.00	BTC	73.0	40.9	

表2 隔热油管隔热等级划分

Table 2 Insulation level of insulation tube

隔热等级	B	C	D	E
导热系数 $\lambda/[\text{W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}]$	$0.04 \leq \lambda < 0.06$	$0.02 \leq \lambda < 0.04$	$0.006 \leq \lambda < 0.02$	$0.002 \leq \lambda < 0.006$

表3 主要保温材料的导热系数

Table 3 Thermal conductivity of main insulation material

保温材料	导热系数 $\lambda/[\text{W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}]$	安全使用温度/ $^{\circ}\text{C}$	主要成分	执行标准
PPR	0.21	≤ 70	聚丙烯	GB/T 18742.2
PE	0.42	≤ 95	聚乙烯	GB/T 13663
石棉布	0.034	≤ 400	二氧化硅	GB/T 13350-2000
气凝胶	0.013	≤ 800	二氧化硅	GB/T 34336-2017

2 保温管技术特性分析

2.1 基本结构与隔热设计

不同于传统的PE和PPR单层保温管结构, BLD系列高效保温管由内管和外管组成, 内外管之间填加新型高性能隔热材料, 并在内外管连接处焊接后进行抽真空处理, 保温管结构如图1所示。

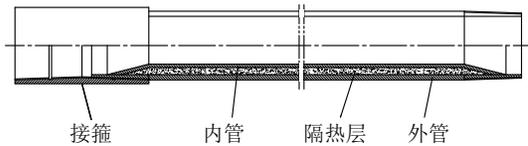


图1 BLD系列高效保温管结构

Fig.1 Structure of BLD series high efficient insulation steel pipe

热传导有3种途径:热对流、热传导、热辐射。面对热量传递的3种传导机制, BLD保温管的结构设计旨在最小化3种传导机制的热损失。

隔热空间隔热的原理为环形真空防止热传导和热对流导致的热损失;隔热材料采用气凝胶, 其对3种热传导机制都有较好的隔绝(见图2);缠绕在内管外壁的铝箔进一步降低热辐射导致的热损失。

对隔热层的优化是技术研发的关键, 重点选择纳米气凝胶毡来改善隔热层。由于纳米气凝胶材料特殊的结构特性, 能有效阻断、阻隔热量的传递, 它是一种隔热性能优异的轻质纳米多孔网状非晶固体, 微观结构呈现出“蜂窝状”的多孔形貌。纳米级别孔空50 nm范围内, 三维纳米骨架颗粒2~5 nm, 孔隙率可高达99.8%, 加之其比表面积可高达1000 m^2/g 等独特的结构特点决定其具有极低的导热率^[8]。

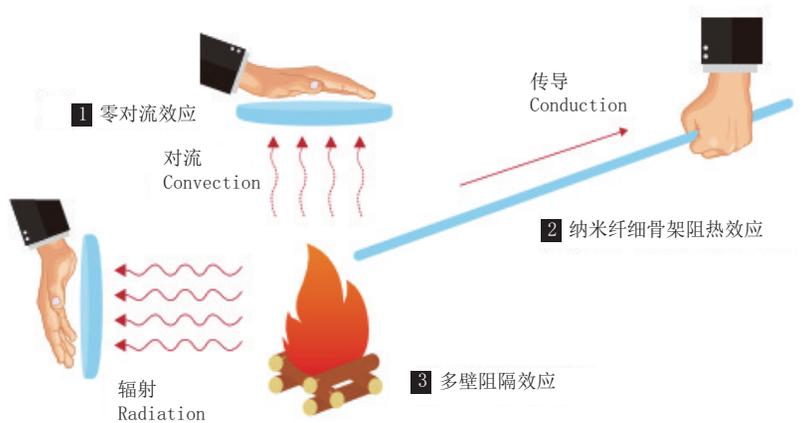


图2 气凝胶应对3种热传导途径的表现

Fig.2 Behavior of aerogel responding to three heat transfer pathways

无对流效应:气凝胶纳米材料中的气孔直径 $< 70\text{ nm}$,气孔内的空气分子就失去了自由流动的能力,处于近似真空状态,无法进行热对流。

无穷遮挡效应:气凝胶的气孔为纳米级气孔且气凝胶自身具有极低的密度,气凝胶内的气孔趋于“无穷多”,每个气孔壁都具有遮热板的作用,因而产生近于“无穷多遮热板”效应,使热辐射降到最低。

无穷长疏松路径效应:气凝胶的密度极低、比表面大且体积骨架疏松,气凝胶有无穷多的纳米气孔,热量在气凝胶固体材料中沿着气孔壁传导,有无穷多的气孔壁构成“无穷长疏松的路径”效应,使固体热传导的能力下降到接近最低极限。

与其它传统隔热材料相比,气凝胶导热率最低(见图3),隔热效果优势明显。气凝胶导热系数随温度变化很小。而传统保温材料随着温度升高,导热系数变化很大,隔热效果会变差。

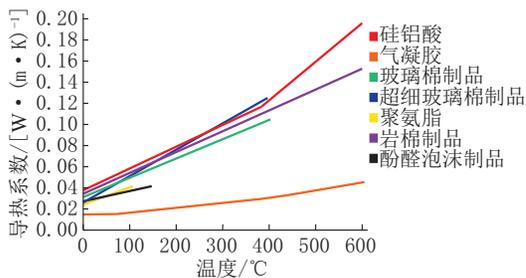


图3 常见保温材料的导热系数随温度变化情况

Fig.3 Thermal conductivity vs temperature of common thermal insulation materials

气凝胶毡/气凝胶毯寿命:气凝胶整体性好,具有较好的抗震抗拉性,在使用过程中不会出现颗粒堆积、沉降现象,20年模拟测试收缩率 $< 1\%$,导热系数不变。

2.2 结构强度设计

BLD系列高效保温管内外选用金属结构,实际使用性能大为提高,并对内外钢管壁厚的优化,主要结合对钢管材料选择,钢级的调整,对照抗拉和屈服强度,计算最终成品的抗外挤强度和抗内压强度。

依据美国石油协会 API spec 5C3 2018 标准和美国石油协会 API spec 5B 2018 标准第16版^[9-11]进行了BLD系列高效保温管强度设计校核,并抽样进行了试验测试。借鉴国内外先进经验,编制生产工艺流程,进行批量化生产^[12-13]。BLD系列高效保温管常用钢级及性能参数见表4。

2.3 主要产品类型与用途

地热井地质条件尤其复杂,需要充分考虑温度变化、承受外挤、内压以及连接强度等因素。通过优化设计,使BLD系列保温管同时兼顾高性能保温和管柱连接强度,确保杆体、接头均具有隔热效能,实现管柱连续隔热无断点。采用无缝管坯,同时对钢管整体进行调质处理,提升钢管钢性和强度,确保组成保温管品质能够满足井下环境的要求。

减小壁厚可以降低材料的使用、减轻管柱质量,为保证连接强度和钢管本身强度,BLD系列保温管采用端部加厚工艺,在加厚处进行螺纹加工。

提高隔热空间的真空度,对提高保温性能有着明显的作用。在隔热空间内放入保温材料(气凝胶毡和铝箔)后,进行整体加热烘干处理,去除材料中的水汽。抽真空过程中,对保温管整体持续加热,是独创的有效工艺。

2.3.1 BLD1保温管

经与地热能开发相关单位交流,针对实际工程的全管柱保温要求,并考虑接箍连接处外径较大,会影响水的流速,首先开发了BLD1系列保温管,其结构如图4所示,技术参数见表5。

该系列保温管采用无接箍内管直连扣设计,内外口径一致。连接处采用保温接箍进行保温。同时对于隔热材料和钢管壁厚进行优化,降低成本。同样的内孔型号,价格比隔热油管下浮 $30\% \sim 50\%$ 。尤其适合超过3000 m以上井的使用。

2.3.2 BLD2保温管

BLD1设计结构获得了用户的好评,但是价格还是超出用户的预期,于是研发了BLD2型保温管。在和日本温泉开发商沟通过程中,了解到日本温泉保温管结构和隔热油管基本一致。BLD2型保温管沿用了接箍连接方式,对钢管壁厚进行了调整,对隔热空间进行了特殊处理。BLD2保温管结构如图5所示,技术参数见表6。

主要对钢管壁厚和保温层进行了优化,降低了保温管的价格,价格同比隔热油管下浮 50% 以上。而且可生产的尺寸跨度较大,内孔尺寸范围为 $22 \sim 320\text{ mm}$,可根据用户要求设计不同尺寸的保温管。

BLD2产品已经获得了实际的运用,取得了成功。近期,又对BLD2进行了优化,推出BLD2-1型保温管。相比BLD2外管更轻薄,端部采用加厚的模式,使得连接处的强度和管体强度等同。采用接

表4 BLD系列高效保温管常用钢级及性能参数

组别	钢级	类型	加载下的总伸长率/%	屈服强度/MPa		抗拉强度/MPa	硬 度		规定壁厚/mm	允许硬度变化(HRC)
				min	max		HRC	HBW		
1	H40		0.5	276	552	414				
	J55		0.5	379	552	517				
	K55		0.5	379	552	655				
	N80	1	0.5	552	758	689				
	N80	Q	0.5	552	758	689				
2	M65		0.5	448	586	586	22	235		
	L80	1	0.5	552	655	655	23	241		
	L80	9Cr	0.5	552	655	655	23	241		
	L80	13Cr	0.5	552	655	655	23	241		
	C90	1、2	0.5	621	724	689	25.4	255	≤12.70	3.0
	C90	1、2	0.5	621	724	689	25.4	255	12.71~19.04	4.0
	C90	1、2	0.5	621	724	689	25.4	255	19.05~25.39	5.0
	C90	1、2	0.5	621	724	689	25.4	255	≥25.40	6.0
	C95		0.5	655	758	724				
	T95	1、2	0.5	655	758	724	25.4	255	≤12.70	3.0
	T95	1、2	0.5	655	758	724	25.4	255	12.71~19.04	4.0
	T95	1、2	0.5	655	758	724	25.4	255	19.05~25.39	5.0
	T95	1、2	0.5	655	758	724	25.4	255	≥25.40	6.0
3	P110		0.6	758	965	862				
4	Q125	1~4	0.65	862	1034	931			≤12.70	3.0
	Q125	1~4	0.65	862	1034	931			12.71~19.04	4.0
	Q125	1~4	0.65	862	1034	931			≥19.05	5.0

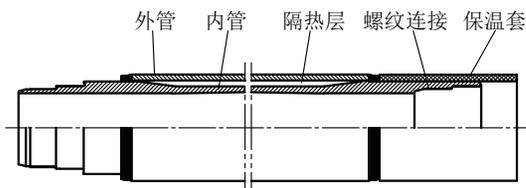


图4 BLD1保温管结构

Fig.4 Structure of BLD1 series insulation steel pipe

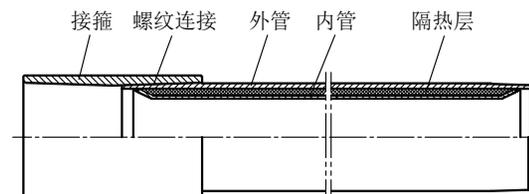


图5 BLD2保温管结构

Fig.5 Structure of BLD2 series insulation steel pipe

箍连接方式,适合井直径较大的情况使用。BLD2-1

型保温管技术参数见表7。

表5 BLD1系列保温管技术参数

Table 5 Specification of BLD1 series insulation steel pipe

保温管编号	规格(外径/内径)/mm	扣型	连接处外径/mm	米重/(kg·m ⁻¹)
BL080051D1	76/51	2 3/8 in BL8	76	14.4
BL095062D1	95/62	2 7/8 in BL8	95	18.5
BL114076D1	114/76	3 1/2 in BL8	114	25.8
BL140100D1	140/100	4 1/2 in BL8	140	35.5

注:1 in=25.4 mm,下同

表6 BLD2系列保温管技术参数

Table 6 Specification of BLD2 series insulation steel pipe

保温管编号	规格(外径/内径)/mm	扣型	连接处外径/mm	米重/(kg·m ⁻¹)
BL042022D2	42/22	1 ¼ in, NU	53	5.0
BL060036D2	60/36	2 ⅜ in, NU	74	9.7
BL073045D2	73/45	2 ⅞ in NU	89	13.6
BL089062D2	89/62	3 ½ in NU	108	18.2
BL102072D2	102/72	4 in NU	121	21.5
BL114081D2	114/81	4 ½ in SC	127	22.8
BL127094D2	127/94	5 in SC	141	26.9
BL140106D2	140/106	5 ½ in SC	154	31.9
BL168130D2	168/130	6 ⅝ in SC	188	45.3
BL178144D2	178/144	7 in SC	194	44.1
BL219182D2	219/182	8 ⅝ in SC	244.5	64.2
BL245207D2	245/207	9 ⅝ in SC	273	79.3
BL340286D2	340/286	13 ⅝ in SC	365	122.1

表7 BLD2-1系列保温管技术参数

Table 7 Specification of BLD2-1 series insulation steel pipe

保温管编号	规格(外径/内径)/mm	扣型	连接处外径/mm	米重/(kg·m ⁻¹)
BL073046D2-1	73/46	2 ⅞ in NU	89	10.6
BL089062D2-1	89/62	3 ½ in NU	108	15.2
BL102074D2-1	102/74	4 in NU	121	18.9
BL114084D2-1	114/84	4 ½ in SC	127	22.6
BL127094D2-1	127/94	5 in SC	141	26.7

2.3.3 BLD3保温管

利用地热能取暖项目中,同轴换热模式备受推崇,目前中心保温管大都采用PE或改良型塑料管。由于BLD2产品的价格还是明显高于塑料管,制约了高效保温管的推广应用。所以开发性价比更高的高效保温管是必然的方向。据此,研制开发了更为经济的BLD3型高效保温管。其结构如图6所示,技术参数见表8。

此款保温管是在BLD2保温管的基础上,结合城市供水系统中内衬不锈钢复合钢管技术研发的。内管采用304#不锈钢管,减轻总体质量,从而进一步

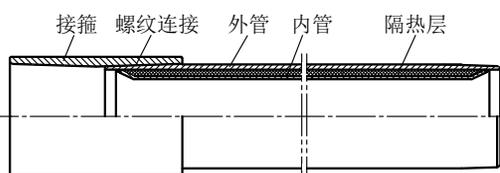


图6 BLD3保温管示意图

Fig.6 Structure of BLD3 series insulation steel pipe

表8 BLD3系列保温管技术参数

Table 8 Specification of BLD3 series insulation steel pipe

保温管编号	规格(外径/内径)/mm	扣型	连接处外径/mm	米重/(kg·m ⁻¹)
BL073053D3	73/53	2 ⅞ in, NU	89	10.7
BL095075D3	95/75	3 ½ in, EU	114	13.2
BL114090D3	114/90	4 ½ in, SC	127	16.6
BL127100D3	127/100	5 in, SC	141	19.6

降低成本。

304#不锈钢管在输水过程中耐腐蚀性好,表面光滑,流体阻力小,保留钢管机械强度高的特点,克服了采用热熔连接的塑料管易漏水和老化的缺陷。

2.3.4 BLD4保温管

由于BLD3保温管是接箍连接方式,接箍连接处的外径偏大,不利于在小口径井中使用。针对小口径井需要,研制了外管直连型的BLD4型高效保

温管,其结构如图7所示,技术参数见表9。

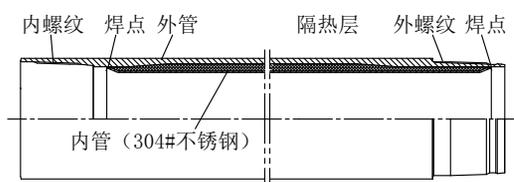


图7 BLD4保温管结构

Fig.7 Structure of BLD4 series insulation steel pipe

BLD4保温管是在BLD3保温管的基础上进一步优化,不仅仅是简单地把BLD3保温管的外管进行螺纹加工,而是用较薄的管子两端镦粗后车直连型扣,整体质量最轻。无接箍设计,在保证出水口径的情况下同时保证了回水面积。特别适合中深层地埋管无干扰模式(取热不取水)地热能开发使用(见图8)。

表9 BLD4系列保温管技术参数

Table 9 Specification of BLD4 series insulation steel pipe

保温管编号	规格(内径/外径)/mm	扣型	连接处外径/mm	米重/(kg·m ⁻¹)
BL073050D4	73/50	2 7/8 in, BL-3TD	73	8.2
BL089068D4	89/68	3 1/2 in, BL-3TD	89	10.3
BL102080D4	102/80	4 in, BL-3TD	102	11.9
BL114090D4	114/90	4 1/2 in, BL-3TD	114	14.7
BL127100D4	127/100	5 in, BL-3TD	127	16.4

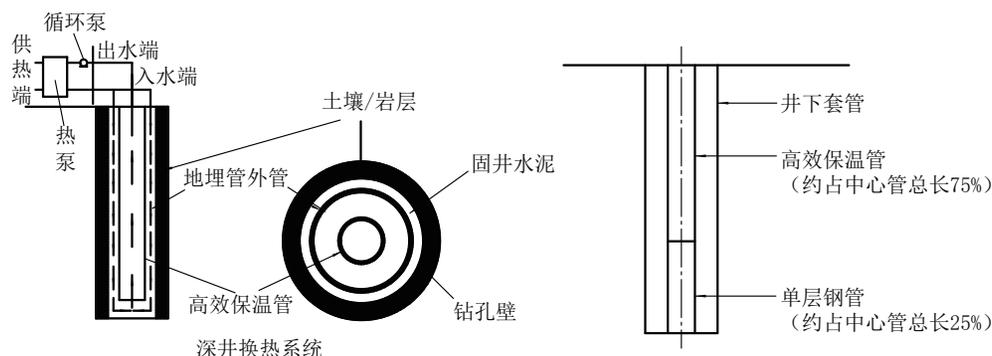


图8 中深层地埋管无干扰模式(取热不取水)地热能开发示意

Fig.8 Geothermal energy development with closed-loop circulation deep buried pipe (taking heat without water)

为了进一步提高专用保温管应用的经济性,可以考虑底下一部分(约25%)采用单层管。同时建议井壁套管采用高钢级的薄壁套管,以使整体井下管道费用最为经济。

2.3.5 BLD5保温管

BLD3和BLD4由于内管是304#不锈钢管,壁厚较薄,其带来的一个很大的问题就是抗内压的能力下降。通常只能抗6~8 MPa。按照地下水压力,也就能够在800 m以浅的深度正常工作。虽然同轴换热模式系统即使在3000 m深的井底,实际水压也不会超过5 MPa,但是安装调试的时间段里,瞬时压力可能达到30 MPa,易造成保温管损毁。于是开发了能够适合各种模式深井的BLD5保温管,其结构如图9所示,技术参数见表10。

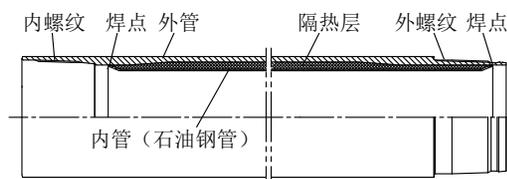


图9 BLD5保温管结构

Fig.9 Structure of BLD5 series insulation steel pipe

总体结构和BLD4一致,但内管采用了石油钢管。这样做的目的是可以让内管的抗压能力也达到整体工况要求,开式和闭式2种系统均适合。适用于2000~3000 m深井,也可以根据客户要求单独设计。

表10 BLD5系列保温管技术参数

Table 10 Specifications of BLD5 series insulation steel pipe

保温管编号	规格(外径/内径)/mm	扣型	连接处外径/mm	米重/(kg·m ⁻¹)
BL073046D5	73/46	2 7/8 in, BL-3TD	73	10.6
BL089062D5	89/62	3 1/2 in, BL-3TD	89	15.2
BL102074D5	102/74	4 in, BL-3TD	102	18.9
BL114084D5	114/84	4 1/2 in, BL-3TD	114	22.6
BL127094D5	127/94	5 in, BL-3TD	127	26.7

3 保温性能实测和地热井运用

为取得保温管对地热单井换热性能的影响数据,参考有关文献研究制定了保温管导热系数测试方案^[14-15],对E级隔热油管和BLD系列保温管的导热系数进行了实测和比对。114×76 P110 E级隔热油管实测导热系数范围为0.00219~0.00328 W/(m·K)

(见表11);BLD系列保温管中BLD3编号BL095075D3,规格95×75 N80实测导热系数范围为0.00878~0.0123 W/(m·K)(见表12)。证明地热井用BLD系列高效保温管具有良好的隔热效果,获得了地热施工和设计单位的认可,保证了项目的顺利实施。

表11 E级隔热油管导热系数实测数据

Table 11 Measured thermal conductivity of heat insulation tube of Grade E

序号	内壁温度/℃	外壁温度/℃	加热功率/W	加热时间/(min:s)	保温时间/min	导热系数/[W·(m·K) ⁻¹]	等级
1	350	29	72	11:03	90	0.00219	E
2	350	28	82	7:20	90	0.00249	E
3	350	31	93	8:42	90	0.00285	E
4	350	31	98	7:11	90	0.00300	E
5	350	31	75	12:16	90	0.00230	E
6	350	30	88	9:34	90	0.00269	E
7	350	32	92	9:04	90	0.00283	E
8	350	26	69	7:13	90	0.00208	E
9	350	28	1008	8:45	90	0.00328	E

表12 保温管实测导热系数情况

Table 12 Measured thermal conductivity of BLD3 series insulation steel pipe

序号	内壁温度/℃	外壁温度/℃	加热功率/W	加热时间/(min:s)	保温时间/min	导热系数[W·(m·K) ⁻¹]	等级
1	100	25	77	3:59	70	0.00914	D
2	100	26	72	4:00	70	0.00878	D
3	100	24	105	4:10	70	0.01230	D

2019年,BLD2保温管(编号BL140100D2,140×100)在中国煤炭地质总局水文地质局为河北工程大学新校区施工的中深层U形井中应用。使用深度2480 m,取水井底部到出水口温差3℃以内,取得良好的效果。

2020年,中国煤炭地质总局水文地质局再次选

择此型号保温管3100 m,用于陕煤蒲白矿业公司中深层地热供暖项目。

4 总结与建议

(1)BLD系列高效保温管实现自主知识产权和国产化制造,兼具经济性,有多种型号可以选择,适

用于井下作业,能有效保障高效、高质量开发地热能资源。

(2)BLD保温管的规格尺寸可以根据实际施工需要进行调整。保温管在地热能资源开发利用行业推广应用的同时,还可在煤炭、石油、新能源以及工程施工领域中使用。煤炭原位热采技术中,原位油化和气化,亦需要使用在500℃以上仍然具有保温能力的保温管。

(3)风、光等新能源的能量一般有不连续性和不稳定性,需要对丰盛时期的能源进行地下储能,在贫瘠时段进行地下能量提取,储能和提取过程以水作为媒介。使用高效保温管进行传输,可以使能量最大限度地得到利用。另外,在温泉等地热资源勘察工程中,对各地层水温测定之前通常是用钻杆中心空间进行抽水,但出水温度和取水处温度温差相差过大,不能准确测定。用保温钻杆或保温管可较好解决这个问题。良好的保温性能可使千米延程温降1℃以内,出口温度基本等同于取水点的温度。可实现钻探过程中准确地掌握各层实际水温的目的。

(4)工程施工,如地下压裂工程,有些采用高温或者低温的液体进行压裂,通过保温管可以更好地让预定的液体保温输送到作业场地,使施工效果达到最优化。

(5)地热开发用保温管制造技术的成功,为隔热钻杆的研发奠定了良好基础。“十四五”期间拟通过产学研合作方式,开展超深科学钻探、高温干热岩开发、火山口勘探用的大深度高强度隔热钻杆产品研制。

参考文献(References):

- [1] 左然,施明恒,王希麟.可再生能源概论[M].北京:机械工业出版社,2007.
ZUO Ran, SHI Mingheng, WANG Xilin. Introduction to Renewable Energy[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2007.
- [2] 汪集暘.地热学及其应用[M].北京:科学出版社,2015.
WANG Jiyang. Geothermal Science and Its Application[M]. Beijing: Science Press, 2015.
- [3] 程丽娇.基于吸收式换热的深层地热集中供热系统配置[D].北京:北京建筑大学,2018.
CHENG Lijiao. Deep geothermal central heating system configuration based on absorption heat transfer[D]. Beijing: Beijing

- University of Architecture and Architecture, 2018.
- [4] 冉恒谦,冯起赠.我国干热岩勘查的有关技术问题[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(10):17-21.
RAN Hengqian, FENG Qizeng. Some technical issues on hot dry rock exploration in China[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(10):17-21.
- [5] 许天福,张延军,曾昭发,等.增强型地热系统(干热岩)开发技术进展[J].科技导报,2012,30(32):42-45.
XU Tianfu, ZHANG Yanjun, ZENG Zhaofa, et al. Technology progress in an enhanced geothermal system (hot dry rock)[J]. Science & Technology Review, 2012,30(32):42-45.
- [6] 卢予北,李艺,卢玮,等.新时代地热资源勘查开发问题研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(3):1-8.
LU Yubei, LI Yi, LU Wei, et al. Research on the exploration and development of geothermal resources in the new era[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(3):1-8.
- [7] SY/T 5324—2013,预应力隔热油管[S].
SY/T 5324—2013, Vacuum Insulated Tubing[S].
- [8] 董相禄,倪明,罗旭光,等.二氧化硅气凝胶毡在直埋蒸汽管的应用[J].煤气与热力,2017,37(11):10-13.
DONG Xianglu, NI Ming, LUO Xuguang, et al. Application of silica aerogel felt to directly buried steam pipe[J]. Gas & Heat, 2017,37(11):10-13.
- [9] API Specification 5ct Tenth Edition, June 2018[S].
- [10] API Technical report 5C3 2018[S].
- [11] API Spec 5B Sixteenth Edition, 2018[S].
- [12] 高显利,郭洪斌,董芬.隔热油管生产质量控制[J].鞍钢技术, 2014(4):55-58
GAO Xianli, GUO Hongbin, DONG Fen. Quality control for thermal insulation tubing during production[J]. Angang Technology, 2014(4):55-58
- [13] 鲜林云,张国超,毕宗岳,等.真空隔热油管内外管环焊接接头评价方法研究[J].焊管,2017,40(1):25-29.
XIAN Linyun, ZHANG Guochao, BI Zongyue, et al. Evaluation method research on circumferential welding lap joints of vacuum insulated tubing inside and outside pipe[J]. Welded Pipe and Tube, 2017,40(1):25-29.
- [14] 冉运敏,卜宪标.保温对地热单井换热性能的影响分析[J].化工学报,2019,70(11):4191-4198.
RAN Yunmin, BU Xianbiao. Influence analysis of insulation on performance of single well geothermal heating system[J]. CIESC Journal, 2019,70(11):4191-4198.
- [15] 罗光强,周策,刘一民,等.耐高温高压复合保温管研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(8):15-18.
LUO Guangqiang, ZHOU Ce, LIU Yimin, et al. Research on high temperature and high pressure composite insulation tube[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(8):15-18.

(编辑 李艺)