

祁连山区永冻地层钻探工程施工方法

刘海波

(甘肃省地矿局第四地质矿产勘查院,甘肃 酒泉 735000)

摘要:通过对高海拔地区永久冻土层的冻结因素和岩心钻探孔内复杂问题的技术分析,从钻孔结构和钻进方法的选择、低温耐寒聚合物冲洗液的选型和配制等方面探讨了在永冻地层钻探施工预防孔内冻结事故和由于孔壁岩石吸热融冻而发生坍塌、缩径、漏失事故等必须解决的关键问题。

关键词:永冻地层;冻结因素;钻孔结构;钻进方法;冲洗介质;选型配制

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2008)12-0012-03

Construction Technology of Drilling Engineering in Permanent Frozen Soil of Qilian Mountains/LIU Hai-bo (4th Institute of Geological and Mineral Exploration of Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Jiuquan Gansu 735000, China)

Abstract: According to the technical analysis on freezing factors of permanent frozen soil and complex problems in coring borehole, the paper discussed the selection of borehole structure and drilling technology as well as model selection and preparation of cold-tolerance polymer circulation fluid in order to avoid freezing accident in borehole, prevent collapsing, hole shrinkage and leakage caused by thawing from borehole wall endothermic.

Key words: permanent frozen soil; freezing factors; borehole structure; drilling technology; circulation medium; model selection and preparation

祁连山脉位于甘肃省西部,在海拔 4200 ~ 5600 m 范围内的高海拔地区,常年处于低温冰冻季节,地表覆盖层以下厚度超过百米的地层终年冻结不化,故称之为该区永久冻土地层。根据地质工作需要,我院自 20 世纪中叶至 21 世纪初先后 3 次在祁连山高海拔地区永冻地层开展钻探工程施工,前后跨越数十年。伴随着我国探矿工程领域科技水平的不断提高和施工手段的不断完善,经过艰苦探索与创新,我们逐步总结出一套适宜高山地区永冻地层的钻探工程施工方法,无论在工程质量还是在钻探效率上都达到了一个新的水平。

1 岩层冻结因素和孔内复杂问题技术分析

祁连山高海拔永久冻土层地区,其覆盖层为第四系坡积物,主要成分为亚粘土、中细砂、砾石、碎块石;下部基岩主要为变质岩类的泥岩、片麻岩、闪长岩等。基岩上部因季节融冻作用裂隙较发育,随深度增加变质程度加深,矿物颗粒变细。

该区一般距地表 2 m 左右为季节性融冻层,以下为永久冻土层,厚度超过百米。根据测井资料,该永冻层地区地层平均温度一般在 $-4 \sim -5$ °C 范围内(如图 1 所示)。

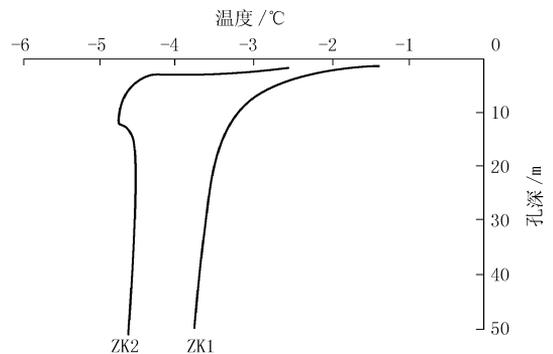


图 1 典型钻孔地温变化图

1.1 祁连山区永冻地层基本特征

(1) 高山寒冷的高海拔气候是地面低温及产生永久冻土层的重要原因。在海拔 4200 m 以上,地表温度一般在 -2 °C 以下,钻孔(地层)温度随孔深增加逐渐下降至 $-4 \sim -5$ °C,之后趋于相对稳定或缓慢下降。

(2) 地面温度受季节影响较为明显,夏季(7 ~ 8 月)随气温升高,地面温度最高可增加至 6 °C,表层冻土(深度 2 m 左右)开始融冻,下部永冻地层温度有所升高,这一时段孔内地层冻结程度最低,是钻探工程最佳施工期。

(3) 在同一海拔地区,施工钻孔地势越陡,比高

收稿日期:2008-09-01

作者简介:刘海波(1967-),男(汉族),河北易县人,甘肃省地矿局第四地质矿产勘查院工程师,探矿工程专业,从事探矿工程技术与管理工作,甘肃省酒泉市解放路 22 号, Liujiaci719@yahoo. cn。

越大,则永冻地层越厚,冻结程度越严重。

(4)在陡峻山坡钻孔施工时,永冻地层冻结厚度和钻孔孔身水平出露地面(坡底)的距离基本相同。

(5)岩层松散破碎、裂隙发育、漏失严重的钻孔冻结程度远比完整岩层严重。

1.2 祁连山区永冻地层钻探难题

在前期钻探施工阶段,用常规钻探手段(硬质合金钻进,普通细分散型泥浆做为冲洗液)遇到诸多难以解决的问题,其主要表现为:

(1)永冻地层孔段由于受岩层冰点以下低温影响,冲洗液在循环过程中温度逐渐降低,导致孔壁缓慢结冰缩径,钻进回次终了提钻受阻;

(2)施工中因孔内事故或机械事故停钻时,钻孔内冲洗液自孔壁开始冻结直至将钻孔封冻密实,导致冲洗液循环中断,整套钻具冻结于孔内;

(3)在地表温度相对较高的季节施工时,进入钻杆柱内的冲洗液温度 $>0^{\circ}\text{C}$,在循环过程中通过外环状间隙返流的冲洗液与周围地层岩石处于不断的热交换中,导致部分孔段温度升高,岩石融冻,在松散破碎和裂隙发育部位发生坍塌、掉块或漏失现象;

(4)第四系覆盖层(主要为季节性融冻层)及基岩上部松散破碎且裂隙发育地段是发生坍塌掉块和漏失现象的主要部位,在钻探施工中应予以高度重视。

综上所述,在永冻地层钻探施工,采用合理有效的施工工艺,选取适宜地层需要的冲洗介质和钻进方法,防止钻孔冻结事故以及由于孔壁岩石吸热融冻而导致坍塌、缩径、漏失现象的发生,这是保证在永冻地层钻探施工顺利进行必须解决的关键问题。

2 永冻地层钻进技术方法

2.1 钻孔结构和钻进方法的选择

为了顺利穿过第四系覆盖层(包括季节性融冻层)和基岩上部破碎且裂隙发育地层,防止发生钻孔漏失和坍塌掉块事故,为下部施工打下良好基础,正确合理地选择钻孔结构和钻进方法尤为重要。

在第四系覆盖层特别是季节性融冻层钻进时,冲洗液在循环过程中与孔壁岩石发生热交换而使孔壁冻土融化,同时相对较高的地表温度使季节性融冻层中之地表水对孔壁发生侵蚀作用(主要集中在融冻层和永冻层的界面处),再者由于钻孔形成了自由面,而第四系地层的应力分布又不均匀,在以上 3 种因素的综合作用下,孔壁松散破碎的岩石失去

胶结性,进而发生严重的坍塌事故,这时冲洗液护壁已不起任何作用。

大量工程实例证明,在钻孔上部复杂地层钻进最为有效的施工方法是采用跟管钻进法,逐次下入护壁套管,从而对钻孔上部复杂地层起到有效的隔离保护作用。其工法要点如下。

(1)开孔选用 $\text{Ø}130\text{ mm}$ 普通硬质合金钻头或外出刃加大的 $\text{Ø}110\text{ mm}$ 硬质合金肋骨钻头钻进。

(2)钻进至孔深 1.5 m 后,提出开孔钻具,下入第一节下部带 $\text{Ø}150\text{ mm}$ 普通硬质合金钻头的 $\text{Ø}146\text{ mm}$ 护壁套管,其长度 1 m 左右。

(3)再次下入开孔钻具,在原孔深 1.5 m 基础上钻进至 2.5 m ,然后提出钻具,接长 $\text{Ø}146\text{ mm}$ 护壁套管跟进下入孔内。

(4)按以上跟管钻进法交替进行,钻进时护壁套管下部钻头距钻进钻头约 1.5 m ,先钻进约 1 m ,再将护壁套管跟进下入,直至穿过第四系地层(融冻层)将第一级护壁套管经回转加压坐实于下部永冻层中相对比较稳定的位置上。第一级护壁套管(长度约 $5\sim 6\text{ m}$)下入后,即可对第四系覆盖层(融冻层)起到有效的隔离保护作用。

(5)第一级 $\text{Ø}146\text{ mm}$ 护壁套管下入孔内后,换用 $\text{Ø}91\text{ mm}$ 特制肋骨式硬质合金钻头(增大外出刃 $3\sim 5\text{ mm}$)钻进,并配制使用低温聚合物冲洗液,穿过永冻层中基岩上部松散破碎且裂隙发育地层至稳定层位后,下入第二级 $\text{Ø}108\text{ mm}$ 护壁套管。钻进过程中如发生坍塌、漏失事故而使钻进无法正常进行时,亦可采用跟管钻进法。第二级护壁套管(长度视地层情况不同而有差异,一般情况下 $30\sim 50\text{ m}$)下入后对基岩上部松散破碎且裂隙发育地层即可起到有效的隔离保护作用。

(6)第二级 $\text{Ø}108\text{ mm}$ 护壁套管下入孔内后,经清(磨)孔后换用 $\text{Ø}76\text{ mm}$ 金刚石钻头(普通双管)钻进至终孔。中深孔钻进时为提高钻探效率,亦可采用 S75 绳索取心钻进成孔。

(7)在钻进方法和钻探工具的选择上,根据不同的地层条件,硬质合金钻进和金刚石钻进可以互换使用。实践证明,采用硬质合金钻进时,宜使用肋骨式钻头或外出刃大的钻头;采用金刚石钻进时,应对常规形式钻头结构进行改进,增加水口数量,调整水口排列,钻头侧面设计成肋条式,以减小钻头阻力,改善钻头冷却条件。

(8)无论采用何种钻进方法和冲洗介质,在一般情况下均不宜采用“干钻”法施工,因为“干钻”不

但机械钻速低,破坏了岩心的原始结构,而且极易发生孔内烧钻、糊钻等事故。

2.2 冲洗液的选型及配制方法

在永冻地层钻探施工,我们曾先后试用过以下几种类型的冲洗液或措施:

(1)普通细分散型泥浆或清水——事故多,效率低;

(2)将冲洗液地表预热后送入孔内——只在钻进状态下有效,但增大了发生孔内事故的几率;

(3)孔内注入柴油或煤油——短时间有效,但易形成油垢糊在钻杆柱上,甚至造成冲洗液循环中断而发生烧钻事故;

(4)添加各种类型的有机抗冻剂——成本高,效果亦不理想;

(5)不同类型和浓度的无机盐类冲洗液——效果明显。

近年来我们在永冻地层配制和使用不同类型和浓度的无机盐类冲洗液,有效地解决了钻进中孔内冻结事故和坍塌、缩径及漏失事故频繁发生的问题,大大提高了钻探效率,降低了钻探成本。

祁连山区冻土钻探有关生产试验证明,为了使永冻地层钻探施工顺利进行,必须保证送入孔内的冲洗液温度保持在 $0 \sim -2.5$ °C范围内并尽量接近所钻地层岩石的温度。这是因为冲洗液在循环过程中向孔壁岩石传递的热量不仅使岩石的自然负温度升高到 0 °C以上,而且可使岩石中的冰态胶结物逐渐由固态转化为液态,失去岩石的聚集性,孔壁岩石开始解冻,进而发生坍塌、缩径事故。故此,保证冰冻胶接的岩石不融解的必要条件是 $t_{\max} \leq 0$ °C(其中 t_{\max} 为孔壁中冲洗液最高温度),这是保证孔壁安全稳定、不发生孔内坍塌、缩径事故的先决条件。

为了达到上述目的,必须采取有效措施,降低冲洗液的冰点,制备低温聚合物冲洗液。在冻土岩石中钻进时,传热系数小、失水量低、粘度大的冲洗液最为有效。为了降低冲洗液冰点,可以使用NaCl、KCl、CaCl₂、Na₂CO₃等无机盐类添加剂制成盐水泥浆(冲洗液),同时加入适量有机添加剂做为稳定剂,制成低温耐寒聚合物泥浆(冲洗液)。

在实际施工中,根据矿区不同地质条件和现场施工条件,选择和配制了不同的冲洗液类型。

2.2.1 第四系覆盖层和松散、破碎、裂隙发育地层

这类地层在施工中极易发生坍塌、缩径及漏失现象,宜选用以优质膨润土作为固相、以工业纯碱Na₂CO₃作为防冻添加剂、以羧甲基纤维素作为聚合

物稳定剂的低温耐寒聚合物泥浆,此类型泥浆对冻结砾石层和泥岩层钻进尤为有效。其配比及主要性能参数如表1所示。

表1 低温耐寒聚合物泥浆配比及性能参数表

组成含量			泥浆主要性能参数				
粘土粉 /(kg· m ⁻³)	Na ₂ CO ₃ /(kg· m ⁻³)	羧甲基 纤维素 /%	密度 /(g· m ⁻³)	漏斗 粘度 /s	失水量 /[cm ³ · (30 min) ⁻¹]	pH 值	冰点 /°C
40	20	1.5	1.10	36	3.5	8.2	-1.8
50	60	1.0	1.12	32	4.0	8.5	-3.5
60	100	1.5	1.13	37	3.0	8.6	-4.6
60	140	1.0	1.14	35	3.0	8.3	-5.8
60	200	2.0	1.16	41	3.5	9.0	-7.0

表1中列出冰点在 $-1.8 \sim -7$ °C范围内5组泥浆配合比及主要性能参数,施工中可根据所钻岩石温度及地层变化情况灵活调整使用。

2.2.2 岩层完整或相对稳定地层

在该类地层钻进时,孔内发生坍塌、缩径或漏失情况的概率相对较小,故应以防止岩石融冻、提高钻探效率为主而进行冲洗液的配制。在实际施工中宜选用以工业用盐NaCl(根据原料情况亦可选用KCl或CaCl₂)作为防冻添加剂、以聚丙烯酰胺做为聚合物稳定剂的无固相低温耐寒聚合物冲洗液。其配比及主要性能参数如表2所示。

表2 无固相低温耐寒聚合物冲洗液配比及性能参数表

组成含量		冲洗液主要性能参数			
聚丙烯酰胺浓度 /(kg·m ⁻³)	NaCl /%	密度 /(g·m ⁻³)	塑性粘度 /(Pa·s)	pH 值	冰点 /°C
0.3	4	1.024	0.003	6.9	-2.3
0.3	6	1.026	0.004	6.8	-3.5
0.5	8	1.030	0.006	7.2	-4.9
0.5	10	1.035	0.007	7.1	-6.0
1.0	12	1.070	0.018	7.0	-7.2

表2中列出冰点在 $-2.3 \sim -7.2$ °C范围内5组冲洗液配比及主要性能参数,供实际施工中参考使用。

3 结语

祁连山高海拔地区冻土带相对广阔,蕴藏着丰富的矿产资源。我们在永久冻土层开展钻探施工虽然积累了一定的经验,但需要解决的问题仍然很多,特别是冲洗液的组成成分、配比的改进和性能的提高,以及探索研究和开发适宜永冻地层钻探施工的新型冲洗介质(如泡沫、冷却空气等),将是今后在永冻地层开展钻探工程工作的重点和努力方向。