

## 大直径风动潜孔锤中深井孔钻进的 可行性分析

王平

(山西第一水文地质队)

文中介绍了目前国内外风动潜孔锤钻进工艺的现状和技术水平。对已施工的4个水井作了技术分析,计算了不同孔深、不同直径潜孔锤所需风量、风压参数,阐明了空气泡沫钻进的重大意义,论述了完成钻进中深井孔的可行性和经济效果,探讨了相应的钻进工艺。

**关键词:** 大直径风动潜孔锤; 风压和风量参数; 空气泡沫钻进

### 研究目的及发展现状



钻探技术

在中等能量的空压机条件下,使用直径250~350mm的风动潜孔锤,完成孔深为450~500m的中深水井孔是否可行,是水文水井钻探中空气钻进工艺的一个新课题。该项研究对开发缺水山区(如晋西北)深部水源,承揽大工程量的工程任务,具有钻进速度快、质量高、成本低等优越性。

从目前的技术发展水平看,国内使用的风动潜孔锤主要以直径250mm以下的居多,孔深一般在200m以内,静水位以下可钻进184m。国外一些钻井公司使用的潜孔锤约有60余种型号,大多数是用于矿山爆破孔,又多为小口径(一般在150~200mm之间)。最深孔纪录是,1986年英国DRILL SUR有限公司使用HALCO MACH60型无阀式潜孔锤配以直径为165mm的重型球齿钻进孔深达782m;最大直径的潜孔锤钻进直径

达762mm,孔深小于10m。

我队使用两台空压机(无锡空压机厂生产的LGY II-20/40型和蚌埠第二空压机厂生产的3W3.5-20/40型)供风, J250型冲击器,已完成水井4眼,其中最深孔为380.04m,见水以下钻进227.47m。同时又设计制作了 $\phi 300$ mm的扩孔钻头、 $\phi 300$ 和 $\phi 350$ mm球齿冲击钻头,以及配套的W-300型冲击器,取得了良好的经济效益和技术经验,具备了设备和其他技术条件。

### 钻进参数分析

风动潜孔锤钻进工艺的关键参数是风压和风量。一要满足驱动冲击器碎岩功率的需要;二要将孔内岩屑排出井外,避免重复破碎。不同水文地质条件、钻孔结构、孔深、孔径,参数要求亦不一样。

在已竣工的井孔钻进中,干孔段风压一般保持在6~8kgf/cm<sup>2</sup>,风量表指示风量为20~23m<sup>3</sup>/min。此井段排除孔内岩屑主要是依靠上返的自由风带出地表。这种情况使用两台空压机并车送风是可以满足的,钻进

效率高。初见水的小渗水段，如果继续使用干空气钻进，则会发生糊钻和埋钻事故，在此情况下采用泡沫钻进，风压为10~12 kgf/cm<sup>2</sup>，风量13m<sup>3</sup>/min。静水位以下进行风动潜孔锤钻进，是此工艺在水文水井钻探的关键。随着孔深和静水柱的增加，要驱动冲击器正常工作达到额定的冲击功和冲击频率，压风机的输出压力要求足够，以解决冲击器的背压过大问题。然而一般所用的供风设备能力有限，想无限制地增大风风量、压是不实际的。这可以根据流量表读数与空压机输出的风量之关系式看出问题之所在。

$$Q = Q_{\text{表}} \sqrt{P_{\text{表}} + 1}$$

式中Q为空压机输出风量(m<sup>3</sup>/min); Q<sub>表</sub>为流量表读数(m<sup>3</sup>/min); P<sub>表</sub>为压力表读数(kgf/cm<sup>2</sup>)。

在空压机供风量额定的情况下，随着风压的增高，风量减小，也就是说，在水下钻进愈深，工作风量随压力之增大而减小。但当井孔水量不太大时，由于使用泡沫剂，它将井水部分地排出井外，减少了水柱压力。例如某井在水位以下145m钻进时，风压最高达20kgf/cm<sup>2</sup>，此时是启动风压，随着风路的畅通和泡沫混合越好，压力逐渐降低、风量逐渐增大。根据晋西北地区水文地质条件，一般静水位在250~300m，而水文钻进又可望达到200m，因此提出钻进450~500m水井是可能的。

使用J250型、W300型冲击器完成口径为250、300、350mm的中深井孔，在不同孔深条件下究竟需要多大风量和风压，可由下述方法选定，并分析其极限孔深。

### 1. 风量

该两种冲击器的定额风量为30m<sup>3</sup>/min。随着孔深的增加和口径的增大，要保证孔底岩屑彻底排出，减少岩粉的重复破碎达到理想的钻进效率，通常要求孔内循环风的上返速度达到15m/s为最佳。此时气流的速度大于岩屑的悬浮速度。要解决这个问题，一方面要有足够的排风能力的压风机，另一方面要求钻孔结构合理。

钻进所需空气量由下式计算：

$$Q = 47.1 \cdot K_1 K_2 (D^2 - d^2) V \quad (\text{m}^3/\text{min})$$

式中Q为钻进时所需风量(m<sup>3</sup>/min); K<sub>1</sub>为孔深系数; K<sub>2</sub>为钻孔中有水时增加的孔深系数。一般取K<sub>2</sub>=1.5; D为钻孔直径(m); d为钻杆直径(m); V为上返风速(m/s)。

由上式可以得出不同孔深、不同上返风速、不同直径的潜孔锤钻进时所需的空气量(附表)。从表中可明显看出，单从供风量考虑，直径为250mm的潜孔锤钻进500m是可行的。我队所用的两台空压机并车供风就可满足风量要求，若使用φ114mm钻杆钻进，排粉效果会更好。对于大直径(φ300和350mm)的潜孔锤钻进时所需风量范围为61.47~135.77m<sup>3</sup>/min，显然一般国家空压机是难以满足供风要求的。要保证正常钻进需要有三台以上的风量为20m<sup>3</sup>/min的空压机并车送风才行。这样，能源、设备消耗很大，成本自然很高。因此，要完成大直径潜孔锤中深井孔钻进，单依靠空压机风量来排除孔内岩屑的单空气钻进工艺是不行的，必须采取化学处理降低孔内对压力和风量的要求，同时携带岩粉。即采用空气泡沫钻进工艺，或小口径钻眼、大口径扩孔集中排粉工艺来解决。同时钻进中尽可能采用大直径钻杆，与φ114、140、168mm的钻杆配套使用。

### 2. 风压

冲击器的额定工作风压一般为5kgf/cm<sup>2</sup>，管路消耗约为2kgf/cm<sup>2</sup>。除此之外压风机的风压能，主要是用来排除孔内岩屑的压差和在水下钻进时克服冲击器背压，使其达到理想的工作状态，高效率地破碎岩石。从已施工的井孔钻进中看，随着孔深的增加和在水下钻进深度水柱的增高，风压是逐渐加大的。J250型潜孔锤钻进380m深的孔，风压最高达20kgf/cm<sup>2</sup>。由于空压机能量的

不同直径潜孔锤在不同条件下钻进时所需风量表

孔深 (m)	钻杆直径 (mm)	上返风速 (m/s)	孔深系数	各种直径潜孔锤钻进时所需风量(m <sup>3</sup> /min)		
				φ250mm	φ300mm	φ350mm
300	89	10	1.06	49.87	61.47	85.9
		15	1.08	62.47	93.94	131.14
	114	10	1.06	37.07	57.67	82
		15	1.08	56.67	88.13	125.33
400	89	10	1.08	41.64	62.63	87.12
		15	1.12	64.78	97.42	135.9
	114	10	1.08	37.77	52.76	83.55
		15	1.12	58.77	91.39	129.9
500	89	10	1.09	42.03	63.21	88.23
		15	1.15	66.52	100.03	139.64
	114	10	1.09	38.12	59.3	84.32
		15	1.15	60.34	93.84	133.45
600	89	10	1.11	42.8	64.37	89.85
		15	1.17	67.68	101.77	142.07
	114	10	1.11	58.82	60.39	85.87
		15	1.17	61.39	95.47	135.77

限制,同时要求风压和风量的增大是不实际的。当风量满足额输出时,随着压力的进一步增高,风量逐渐降低。然而,钻进效率的高低是受风压直接影响的,风压愈大,其冲击功愈大,碎岩效率就愈高。因此,完成大直径风动潜孔钻进,首先应满足冲击器工作压力的要求,使其满负荷工作。由于压力的提高,供风量相对降低、孔内岩屑排除不畅问题,可采用空气泡沫钻进来解决。从使用的3W3.5-20/40型空压机来看,输出风压最高可达40kgf/cm<sup>2</sup>,同另一台LGY II-20/25型空压机并车等压送风使用,除去孔内水柱和岩粉比重产生的背压影响,完成水下钻进200m的中深水井孔压力是可以完全满足要求的。

## 空气泡沫钻进工艺

### 1. 泡沫剂携粉原理及其作用效果

目前施工所用的泡沫剂有洗衣粉、十二烷基苯磺酸钠、ADF-1型和QK型泡沫剂。这些泡沫流体具有液包气的气相和液相两种结构。其中液相是连续相,气相是非连续相。这样的泡沫群体,就有效地形成了泡沫的结构粘度和结构强度。而在泡沫群体结构中,还具有和岩屑的亲亲和吸附能力,从而形成了结构稳定、携带能力强的气、液、固三相一体的包裹流体。这样的泡沫流体,具有比重轻、接触面积大、携粉能力强的结构特性。

使用泡沫钻进,不仅可以使纯钻进时间达到55~60%,而且可以有效地降低上返风速和减少供风量;既有助于降低对空压机的能量要求,又可达到和上返风速为15m/s时相同排屑效果。从已完成的4眼井孔试验数据分析,泡沫钻进的排屑能力就相当于减少1/3的供风量和上返风速。即泡沫钻进的上

返速度相当于单一空气钻进的60%。因此,根据附表计算出的所需风量,使用 $\phi 300\sim 350\text{mm}$ 的潜孔锤钻进孔深达500m时风量要求为 $33\sim 45\text{m}^3/\text{min}$ ,中等能力的空压机是可以满足要求的。

## 2. 泡沫剂的性能参数及灌注工艺

通过试验,使用泡沫剂十二烷基苯磺酸钠时,配比以每 $\text{m}^3$ 水加 $10\sim 15\text{kg}$ 为最佳。此时泡沫浓度为 $0.1\sim 0.5\%$ ,发泡率高,携粉能力强。使用ADF-1型泡沫剂时,配比以每 $\text{m}^3$ 水加 $0.6\sim 1\text{kg}$ 为最佳,泡沫浓度保持在 $0.6\sim 0.1\%$ 为最好。使用洗衣粉发泡,效果要差得多,配方时加量根据泡沫剂配料箱内发泡情况而定。

灌注配好的泡沫剂有两种方式。一是用泡沫泵随风通过风水三通阀,以泵量 $15\sim 20\text{L}/\text{min}$ 地等压输送。此种方法可以有效发挥泡沫钻进技术的优越性。排粉效果好,孔内干净,钻进效率高。二是—次性灌注泡沫剂,即每钻完一个回次后,以大泵量 $40\text{L}/\text{min}$ 将泡沫泵入孔内,然后开始钻进。每回次钻完,吹孔30分钟,也可达到净孔的效果。此法虽较简单,但钻进效率较低,而且会增加

井内循环压力,故较少应用。

## 结 语

从当前国产空压机的类型看,一般均为中等功能。利用这类空压机,采用空气泡沫钻进工艺,是可以完成大直径风动潜孔锤钻进中深水井孔的。对于施工更大直径、更深的井孔,或在海、河的水下钻进,以及地下水丰富的地层,使用风动潜孔锤钻进,受空压机功能的限制,是难以完成的。解决这类技术难题,国外已有一种新工艺——MACH (Mud Air Circulation Hammer),即“泥浆空气循环潜孔锤”施工法。它的特点是利用压缩空气驱动潜孔锤(单锤或多锤),利用清水或泥浆的反循环或正循环排屑。这种施工法钻进效率高,不受水压产生的背压影响,可进行深孔大口径钻进。据介绍此法最大口径可达 $1500\text{mm}$ (多锤),耗气量 $90\text{m}^3/\text{min}$ ;钻进口径 $800\text{mm}$ 时耗气量为 $40\text{m}^3/\text{min}$ ,风压 $7\text{kgf}/\text{cm}^2$ 。因此,进行湿式风动潜孔锤大口径施工工艺研究,是今后潜孔锤钻进工艺的一个发展方向,是具有开拓意义的。

## Feasibility and Drilling Technology of Large Diameter Air Operated Down Hole Hammer in Medium Depth Hole Drilling

Wang Ping

The state of art of air operated down hole hammer drilling at home and abroad are introduced in this paper. An analysis of drilling technology of four holes completed was made. We have calculated the air output and wind pressure parameters required by the down hole air operated hammers of different diameters at different hole depths in order to expound the important significance of foam drilling. In the last part of the paper, the feasibility, economical results and appropriate drilling technology for fulfil the drilling in medium depth holes are discussed.