

WFSD-2孔二开孔斜分析及纠斜施工

李海明

(北京市地质工程设计研究院,北京 密云 101500)

摘要:汶川地震断裂带科学钻探工程WFSD-2孔钻探工程技术质量要求高,其中,孔斜及取心率尤为重要。但其上部(≤ 600 m)花岗岩、花岗闪长岩、变质火山岩坚硬致密,局部裂隙发育,裂隙面、小断层多且断层倾角大,易造斜,造成岩心堵塞。钻孔结构较复杂,采用大口径牙轮钻进孔斜难以控制,纠斜钻进难度大。二开(47.8~638.01 m)施工,从80~311.39 m顶角/方位角由 $0.7^\circ/202.9^\circ$ 到 $5.8^\circ/222.7^\circ$ 。其后,采用5LZ120 \times 7.0L-5(0.5° 、 0.75° 弯外管)螺杆马达纠斜。从317.43~456.12 m顶角/方位角由 $6.0^\circ/228.3^\circ$ 纠正到 $0.9^\circ/103.7^\circ$,取得了理想的效果。就孔斜及纠斜施工进行总结、分析和归纳。

关键词:大口径;科学钻探;孔斜;纠斜;汶川地震断裂带

中图分类号:P637.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)01-0021-04

Analysis on the Second Opening of WFSD-2 Hole and Deviation Correction Construction/Li Hai-ming (Beijing Geological Engineering Design Institute, Miyun Beijing 101500, China)

Abstract: WFSD-2 hole of scientific drilling engineering of Wenchuan earthquake fault zone has high quality requirement, and the hole deviation and coring rate are especially important. But the granite, granodiorite and metavolcanic rocks in upper part (≤ 600 m) are hard and compact with fracture development, many fracture surfaces and small faults; the big fault dip made deviation easily occur with core blockage. Because of complicated bore hole structure, the deviation was difficult to control by large diameter roller bit drilling. The satisfied effect was received by second opening(47.8~638.01m) construction; in 80~311.39m section, top angle/azimuth angle from $0.7^\circ/202.9^\circ$ to $5.8^\circ/222.7^\circ$; then 5LZ120 \times 7.0L-5 screw motor was used in 317.43~456.12m section, top angle/azimuth angle were corrected from $6.0^\circ/228.3^\circ$ to $0.9^\circ/103.7^\circ$. The paper summed up and analyzed the construction of deviation correction.

Key words: large diameter; scientific drilling; hole deviation; deviation correction; Wenchuan earthquake fault zone

1 概况

1.1 地层

汶川地震断裂带科学钻探工程WFSD-2孔至311.39 m开始纠斜施工,到499.03 m结束,地层条件为:0~14 m为第四系冲(坡)洪积漂砾石层;14~499.03 m为震旦系花岗岩、花岗闪长岩。

二开地层以花岗岩、花岗闪长岩、变质火山岩为主,坚硬且裂隙发育,裂隙面、小断层多且断层倾角大,易造斜。

1.2 二开施工的钻孔结构

根据地层和施工情况,WFSD-2孔钻孔结构经过多次设计变更。二开施工的钻孔结构及套管为:

钻塔基础施工时,井口位置预先留出埋设井口管的孔洞(预埋直径600 mm油桶),深度到原状土层,在钻塔、钻机安装后,在预留的大孔内埋设 $\varnothing 426$ mm井口管,深至2.90 m。

一开钻进主要采用 $\varnothing 377$ mm钢粒钻进技术,钢

粒钻进到47.66 m,然后采用 $\varnothing 374.7$ mm牙轮钻头通井并钻进到47.80 m,施工完毕下入 $\varnothing 273$ mm套管至47.80 m。之后的二开施工自47.80~311.39 m采用 $\varnothing 245$ mm牙轮钻进。

1.3 施工工艺

二开施工自47.80~100.94 m采用 $\varnothing 245$ mm牙轮钻进。钻具组合: $\varnothing 245$ mm牙轮钻头+ $\varnothing 203$ mm钻铤+ $\varnothing 159$ mm钻铤+ $\varnothing 89$ mm钻杆。钻进参数:钻压30~40 kN,转速46 r/min,排量1200 L/min,泵压1~1.2 MPa。

经过测斜发现100 m处孔斜 1.3° ,方位 205.5° 。在后来100.94~311.39 m孔段施工期间,项目部先后3次对钻具组合进行了相应调整,采取单钟摆钻具结构,适当增加了钻铤数量,并增加了 $\varnothing 243$ mm稳定器。但是孔斜趋势并未得到有效控制。

1.4 孔斜情况

收稿日期:2011-10-31

基金项目:科技部科技支撑计划专项“汶川地震断裂带科学钻探(WFSD)”项目之“科学钻探与科学测井”课题资助

作者简介:李海明(1984-),男(汉族),宁夏彭阳人,北京市地质工程设计研究院工程师,地质工程专业,硕士,从事工程施工工作,北京市密云县园林东路1号,lihaiming19840918@163.com。

自孔深 100 m 处发现孔斜、方位角较大后,采取了相应的技术措施,调整了钻具组合,三次调整后并未取得预想控制井斜的效果,本孔孔斜趋势持续走高,至 310 m 处孔斜达 5.8° ,方位达 222.7° ,已经严重影响到成孔质量和下一步正常施工,急需纠斜作业。具体孔斜情况见表 1。

表 1 40~310 m 测斜数据

| 井深/m | 顶角/方位/($^\circ$) | 井深/m | 顶角/方位/($^\circ$) |
|------|--------------------|------|--------------------|
| 40 | 0.4/19.7 | 200 | 3/215.6 |
| 80 | 0.7/202.9 | 220 | 3.2/214.5 |
| 100 | 1.3/205.1 | 240 | 4/212.2 |
| 120 | 1.7/212 | 260 | 4.2/214.4 |
| 140 | 1.7/222.6 | 280 | 5.1/225.8 |
| 160 | 2.5/213.8 | 300 | 5.5/226.4 |
| 180 | 2.3/220.3 | 310 | 5.8/222.7 |

2 孔斜原因分析

2.1 地层造斜

地层本身节理发育、倾角大,有小断层。WFSD-2 孔施工中,47.8~311.39 m 孔段采用 $\varnothing 245$ mm 牙轮全面钻进,地层为花岗岩,通过取心发现,岩心破碎,岩心中存在较多倾角较陡的节理面(参见图 1)。另外,该孔段还存在倾角较陡(70° 左右)的小断层,钻遇倾角比较陡的节理时,地层的不均匀性和环壁间隙增大,容易导致钻头顺节理面和小断层面滑动,形成“顺层溜”。



图 1 裂隙发育地层取出的岩心

2.2 技术因素

2.2.1 钻具配备

钻具结构的选择,对孔斜控制至关重要。二开施工初期,现场钻具配备不够充分,钻铤数量不足、稳定器尚未加工完毕,钻具组合结构防斜效果差,受以往花岗岩地层不易造斜的传统观念影响,在工期要求较为紧迫的情况下,项目部在 47.80~234.90 m 孔段采用 $\varnothing 245$ mm 牙轮钻头+钻铤 mm+ $\varnothing 89$ mm 钻杆的塔式钻具结构进行钻探施工,发现孔斜后,在 234.90~311.39 m 孔段采用单钟摆钻具结构,孔斜仍未得到控制。

$\varnothing 245$ mm 牙轮全面钻进中采用低压(25~50 kN)、慢转(27~46 r/min)钻进,采取了这些措施后孔斜并未得到有效控制,可见大口径钻探施工与小口径钻探施工有所不同,在孔斜控制方面钻具结构的选择更为重要。

2.2.2 操作规程

在二开施工的前期,由于对孔斜认识不足,加之现场钻具配备不够充分,为了满足孔底压力需要,施工中采用了钻杆加压,钻具的中和点处于钻杆之中,使得钻杆弯曲严重,钻具上端靠向孔壁,迫使钻具轴线偏离原孔轴线,不利于防斜。

3 纠斜

3.1 方法选择

3.1.1 采用打水水泥塞回填后侧钻纠斜

钻孔回填至 100 m 左右,再采用大口径管钻进行纠斜钻进。这种方法的优点是:能够彻底对二开孔斜进行纠正,对后续施工极其有利。其缺点也很明显:一方面回填工作量较大,采用水泥灌注作业,对地层产生一定影响,污染了原本的地层环境,岩心将难以满足地质研究要求,加之水泥塞强度较低,侧钻施工中钻具极易向原孔斜段偏移,并且造成孔壁严重坍塌情形;另一方面,采用大口径侧钻纠斜,难度相当大,钻进参数不好把握;另外,二开孔段中存在漏失地层,对大口径纠斜钻进极为不利。

3.1.2 自 311.39 m 开始孔底纠斜

这种方法是在不改变原孔段的基础上自孔底纠斜,使孔斜逐步回到预定的范围内。相比之下,这种方法的优点是:减少了工程量,有利于在较短时间内完成纠斜任务,对工期影响较小,并且能够满足地学部门的要求。其缺点是:上部局部孔段井斜弯曲率较大,可能会对后续施工造成一定影响。

通过汶川科学钻探工程中心组织有关专家研究讨论,对这 2 种方案进行了反复分析比较,最终认为第二种方案更加可行,确定使用第二种方案纠斜。

3.2 实施

3.2.1 方案设计

因钻孔顶角增大较快,为了控制井斜,拟在 311~500 m 孔段采用定向钻进纠斜施工方案。在纠斜过程中要穿插进行 2 次点取心(取心钻具规格 $\varnothing 150$ mm),因此选用 $\varnothing 152$ mm 口径纠斜,钻具采用 $\varnothing 152$ mm 牙轮钻头接 $\varnothing 120$ mm 弯外管螺杆钻具定向钻进纠斜,分 3~4 段进行,根据纠斜效果,每段定向钻进 18~28 m,稳斜 5~10 m。开始先采用 0.5° 弯外管

螺杆马达纠斜,如果纠斜效果不明显,改用 0.75° 弯外管螺杆马达纠斜,控制钻孔“狗腿”度在 $1^\circ/30\text{ m}$ 左右,如果造斜率 $>1.5^\circ/30\text{ m}$,纠斜 20 m 左右稳斜一段距离;钻孔顶角纠到 1° 以内,再开始纠方位角,纠方位的孔段长度在最后 30 m ,方位角尽可能纠向 135° 方位。稳斜方法采用牙轮稳斜钻具回转钻进,稳斜钻进还可以结合点取心采用金刚石取心钻进。

3.2.2 纠斜施工

纠斜钻进是与中国地质大学地大科技公司合作施工的,使用弯螺杆钻具和有缆随钻测斜纠斜技术,通过控制钻压、螺杆弯度、工具面,定向与复合钻进来对井斜进行控制(图2),纠斜孔段为 $311.3\sim 499.03\text{ m}$,纠斜前钻孔顶角为 6.2° ,方位 220° 左右,采用 $\varnothing 152\text{ mm}$ 牙轮定向钻进与 $\varnothing 152\text{ mm}$ 牙轮稳斜钻进交替进行控制钻孔的弯曲度,纠斜要求是到 500 m 孔深顶角纠回到 1° 以内,方位尽可能纠到 136° ，“狗腿”度尽可能不超过 $2^\circ/30\text{ m}$ 。由于在硬岩层中定向钻进可参考的工程实例不多,对采用多大度数的弯外管螺杆马达进行纠斜能控制“狗腿”度在 $2^\circ/30\text{ m}$ 以内还没有成熟的经验,所以选用了 0.5° 和 0.75° 两种弯外管螺杆马达(图3)。



图2 随钻测斜系统



图3 5LZ120×7.0L-5(0.5°、0.75°弯外管)螺杆马达

3.2.2.1 311.39~344.17 m 孔段的纠斜施工

定向钻进之前,首先采用 $\varnothing 245\text{ mm}$ 变 $\varnothing 152\text{ mm}$ 口径的变径钻具在 311.39 m 变径钻 $\varnothing 152\text{ mm}$ 居中孔,钻具组合为: $\varnothing 152\text{ mm}$ 牙轮钻头+钻铤+稳定器+钻铤+稳定器+钻铤+ $\varnothing 89\text{ mm}$ 钻杆。然后采用弯外管螺杆马达纠斜钻进,选用5LZ120×7.0L-5型螺杆马达,钻具组合: $\varnothing 152\text{ mm}$ 牙轮钻头+

(0.5° 弯外管)螺杆马达+ $\varnothing 120\text{ mm}$ 定向接头+ $\varnothing 105\text{ mm}$ 无磁钻铤+钻铤+ $\varnothing 89\text{ mm}$ 钻杆。钻居中孔的目的—是为了纠斜钻进时螺杆钻具与孔径级配合理,二是为了防止扩孔时变径处别钻,居中孔由 311.39 m 钻进到 317.43 m ,孔段长度 6.04 m ;定向钻进纠斜首先采用 0.5° 的弯外管螺杆马达,钻进到 344.17 m 测斜,孔深 340 m 顶角为 6.6° ,方位 240° ,孔斜并未得到控制。

3.2.2.2 344.17~473.26 m 孔段的纠斜施工

由于 0.5° 的弯外管螺杆马达纠斜效果不好,改为 0.75° 的弯外管螺杆马达纠斜,钻进到 350.85 m 进行测斜,孔深 348 m 顶角为 5.9° ,方位 237.7° ,从测斜结果来看,采用 0.75° 的弯外管螺杆马达纠斜有效。之后继续采用 0.75° 的弯外管螺杆马达纠斜,为了控制钻孔的弯曲度,采取纠斜钻进与稳斜钻进交替施工,其中稳斜孔段为 $364.81\sim 365.11$ 、 $368.09\sim 370.11$ 、 $400.40\sim 409.87$ 、 $456.12\sim 467.28\text{ m}$ 。稳斜钻进采用 $\varnothing 152\text{ mm}$ 牙轮稳斜钻具: $\varnothing 152\text{ mm}$ 牙轮钻头+稳定器+钻铤+稳定器+钻铤+ $\varnothing 89\text{ mm}$ 钻杆。纠斜钻进到 473.26 m 进行测斜,孔深 470 mm 顶角为 0.3° ,方位 88.2° 。

3.2.2.3 473.26~491.15 m 孔段的稳斜施工

采用 0.75° 的弯外管螺杆马达进行复合钻进稳斜,钻具组合为: $\varnothing 152\text{ mm}$ 牙轮钻头+螺杆马达+ $\varnothing 89\text{ mm}$ 钻杆,稳斜到 491.15 m ,顶角又增加到 0.9° ,方位又回到 220° 左右。

3.3 分析

3.3.1 顶角和方位角之间的关系

通过定向纠斜施工我们发现,在纠斜孔顶角的时候,方位角会随着顶角的变小逐步变化,有利于纠斜施工(表2)。

表2 344.17~491.15 m 孔段纠斜效果统计

| 钻进方法 | 钻进孔段 /m | 顶角变化 /($^\circ$) | 方位变化 /($^\circ$) |
|------------|--------------|-----------------------|-----------------------|
| 螺杆马达定向纠斜钻进 | 344.17~364.8 | 6.6→5 | 240→234 |
| 牙轮稳斜钻进 | 364.8~370.11 | 5→4.7 | 234→229 |
| 螺杆马达定向纠斜钻进 | 370.11~400.4 | 4.7→3.8 | 229→197.4 |
| 牙轮稳斜钻进 | 400.4~409.87 | 3.8→3.9 | 197.4→194.1 |
| 螺杆马达定向纠斜钻进 | 409.87~456.1 | 3.9→0.9 | 194.1→103.7 |
| 牙轮稳斜钻进 | 456.1~467.28 | 0.9→0.7 | 103.7→82.2 |
| 螺杆马达定向纠斜钻进 | 467.28~473.3 | 0.7→0.2 | 82.2→90 |
| 螺杆马达复合稳斜钻进 | 473.3~491.15 | 0.2→0.7 | 90→220 |

3.3.2 0.5° 、 0.75° 两种弯外管螺杆马达的使用效果

纠斜初期采用 0.5° 弯外管螺杆马达纠斜,孔斜

不但未受到控制,反而还在继续增大,因此改用0.75°弯外管螺杆马达,从测斜结果来看,采用0.75°的弯外管螺杆马达纠斜有效。

3.3.3 纠斜钻进中各钻进方法效率比较

纠斜段钻进参数与钻进效率见表3。表3数据显示,复合钻进的钻进效率比较高。

表3 纠斜孔段钻进参数与钻进效率统计

| 钻进方法 | 钻头规格类型 | 进尺/m | 钻进参数 | | | | 时效/m | 台月效率/m | |
|----------|--------------|--------|-------|---------------------------|--------|-----------------------------|------|--------|-----------------------------|
| | | | 钻压/kN | 泵量/(L·min ⁻¹) | 泵压/MPa | 转盘转速/(r·min ⁻¹) | | | 螺杆转速/(r·min ⁻¹) |
| 螺杆马达定向钻进 | Ø152 mm 牙轮钻头 | 129.90 | 20~40 | 700 | 3~5 | | 140 | 0.68 | 254.71 |
| 螺杆马达复合钻进 | Ø152 mm 牙轮钻头 | 17.9 | 20 | 700 | 4.5 | 27 | 140 | 0.80 | 358.00 |
| 牙轮稳斜钻进 | Ø152 mm 牙轮钻头 | 22.95 | 20~30 | 700 | 1.5~2 | 46~72 | | 0.43 | 127.50 |

3.4 效果

采用弯外管螺杆马达纠斜钻进结合稳斜钻进交替的方式进行纠斜施工,使得钻孔顶角由纠斜前最大6.2°降至纠斜后最小0.2°,后又增至0.9°;方位由纠斜前220°左右降至最小82.2°,后又增至220°左右。最大“狗腿”度4.39°/30 m,位于纠斜段孔深450 m处,其余井段“狗腿”度均基本控制在3°/30 m以内。事实证明,纠斜施工保证了下一阶段取心钻进的正常进行,达到了预想的效果。钻孔纠斜轨迹如图4所示。

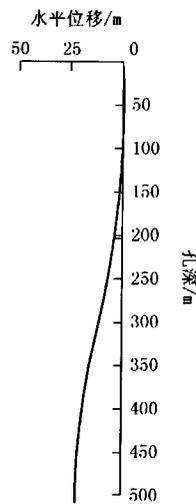


图4 钻孔纠斜轨迹图

4 结论

(1)大口径基岩钻进要注意孔斜预防。在坚硬、裂隙发育地层进行大口径钻进,要格外关注地层造斜,及时预防。WFSD-2孔施工中,二开钻进所遇地层为花岗岩,地层中节理比较发育,而且小断层多,当钻遇倾角比较陡的节理和断层时,容易造成“顺层溜”。

(2)大口径基岩钻进防斜钻具以“满眼”钻具为主。大口径防斜钻具的选择上,要以“长、刚、直”的满眼钻具为好,不宜采用塔式钻具及单钟摆钻具。满眼钻具一般采用3个以上的稳定器,再加适当的粗径钻铤配合。WFSD-2孔在Ø245 mm牙轮全面钻进阶段,由于缺乏本地区施工经验,没有及时采用满眼钻具组合,使得孔斜未能得到有效控制。

(3)大口径基岩地层纠斜最好在孔底实施。对于大口径基岩地层纠斜施工而言,孔底纠斜较回填后侧钻纠斜有更明显的优势:工程量较小,对工期影响小,能够满足地质部门对于岩心的要求。

(4)大口径孔底纠斜采用螺杆钻具较理想。弯外管螺杆马达定向纠斜是连续作用的,能同时改变钻孔的顶角和方位角的定向钻进,中靶精度高;由于钻杆不转动,改善了钻杆工作状态,孔内事故少,可以进行随钻测量定向钻探;而且该技术适用地层广泛,钻具结构简单,操作方便,很好的符合了本孔的纠斜要求。

参考文献:

- [1] 李世忠. 钻探工艺学(上册)[M]. 北京:地质出版社,1992.
- [2] 刘广志. 金刚石钻探手册[M]. 北京:地质出版社,1991.
- [3] 吴光琳. 定向钻进工艺原理[M]. 四川成都:成都科技出版社,1991.
- [4] 樊腊生,贾军,吴金生,等. 汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1)钻探施工概况[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(12):5-8.
- [5] 张纯峰,孙贵生. 螺杆钻进技术在煤田地质勘探中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,(12):15-16.

致谢:中国地质科学院探矿工艺研究所、汶川地震科学钻探工程中心钻井工程部的领导和专家在WFSD-2孔0~897.66 m施工过程中给予了全面指导、支持和帮助。特别是对施工中技术难题的解决提出了宝贵的意见和建议。在本文的编写、修改中,给予了悉心指导,提出了宝贵的意见,在此对他们表示衷心的感谢!