

任丘市首眼填砾地热井施工工艺

景龙¹, 杨永明¹, 常林祯¹, 李忠², 董秋生³, 王涛¹

(1. 河北省地勘局第四水文工程地质大队, 河北 沧州 061000; 2. 河北省地勘局第一地质大队, 河北 邯郸 056001; 3. 天津市第二地质勘探大队, 天津 蓟县 301900)

摘要:任丘市常规地热井存在含砂量高、孔壁易失稳等问题。在本区设计首眼填砾地热井, 选择了 $\phi 178\text{ mm}/\phi 311\text{ mm}$ 的管/孔径级配的成井结构。通过录井仪监测、泥浆性能控制等措施完成成孔施工; 通过破壁替浆、静水填砾等程序完成成井施工。运行检验证明, 施工工艺可行, 成井质量可靠。

关键词:地热井; 深井填砾; 钻井工艺; 成井工艺; 任丘

中图分类号: TE249 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2009)07-0028-05

Construction Technology of the First Gravel-filled Geothermal Well in Renqiu / JING Long¹, YANG Yong-ming¹, CHANG Lin-zhen¹, LI Zhong², DONG Qiu-sheng³, WANG Tao¹ (1. No. 4 Team of Hydrogeology and Engineering Geology, Hebei Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Cangzhou Hebei 061000, China; 2. No. 1 Team of Geology, Hebei Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Handan Hebei 056000, China; 3. No. 2 Geological Exploration Party of Tianjin, Jixian Tianjin 301900, China)

Abstract: High sand content rate and unstable borehole wall exist in common geological well in Renqiu, and the gradation of $\phi 178\text{ mm}$ pipe and 311 mm diameter was chosen for the first gravel-filled geological well in this area. Borehole construction was completed under the logging instrument monitoring and mud property control; well construction was completed by -breaking mud layer of the wall and gravel-filling in static water level. It was proved the construction technology was feasible and quality of well completion was reliable by operation test.

Key words: geological well; gravel-filling in deep well; drilling technology; well completion technology; Renqiu

任丘市地处华北平原, 该地区进行过较详细的石油地质勘探工作, 对新近系地质结构有详细的了解, 探明该区新近系具有地热资源, 特别是馆陶组热储, 温度较高, 适于供暖。因此该区地热开发利用由来已久。

地热资源补给缓慢, 该区多年来集中开采条件下储层压力急剧下降。根据 2007 年的测量值, 该市新近系(馆陶组为主)热储静水位 75 m 左右, 非供暖期(夏季抽水试验测定)最深动水位 116 m, 供暖期最深动水位达 150 m 左右(涌水量均在 60 ~ 80 m^3/h 之间)。该水位大大低于 2004 年的测量值, 更低于同组热储的其它地区(沧州市区、肃宁县城区等地)。

1 常规新近系地热井的结构及存在问题

以往该区地热井的成井结构, 主要采用不投砾二开的成井工艺, 橡胶伞止水, 利用段为新近系热储, 成井深度一般在 2000 m 以内。上部孔径 445 mm, 下入 $\phi 340\text{ mm}$ ($13\frac{1}{2}\text{ in}$) 泵室管后水泥固井; 下

部及目的层孔径为 241 mm ($9\frac{1}{2}\text{ in}$), 下入 $\phi 178\text{ mm}$ (7 in) 井壁管及滤水管, 在滤水管顶部加设橡胶伞封闭, 见图 1。通过多年的运行, 部分井产生了一些问题。

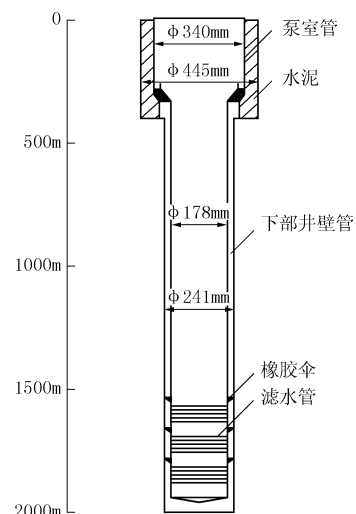


图 1 原不填砾成井结构

(1) 储层压力的降低不利于孔壁的稳定, 特别

收稿日期: 2009-02-04

作者简介: 景龙(1978-), 男(汉族), 河北怀安人, 河北省地矿局第四水文工程地质大队地热钻井公司副经理、助理工程师, 探矿工程、水文地质专业, 从事地热井、岩心钻探、水文水井施工及相关水文地质技术工作, 河北省沧州市新华区冷冻厂东街, jing_longd@163.com。

是抽水初期,水位急剧下降使井壁失稳,造成孔壁边缘部位(微胶结及半胶结砂岩)的颗粒在水流作用下脱离,特别是极细粒,甚至包括粘土细团粒(泥质胶结、钙质胶结的基质)^[1]通过滤网向井内涌入。这种效应随着地层压力降的增大而增加,因此增大了涌水含砂量,大者超过0.1‰。长期运行,加剧了抽水设备、管道的磨损,也加剧了滤水管及滤网的磨损;造成井内沉淀物急剧增厚,容易淤塞滤水管;井孔壁容易失稳,造成坍塌,彻底破坏储层结构,影响管井寿命。

(2)从储层压力大幅下降的趋势可以判断,本区地热的开发必然走回灌之路。根据新近系地热井回灌实践可知,上述井结构存在缺陷:回灌压力下使用橡胶伞止水效果较差,容易串层;孔径较小,一定程度上影响回灌量;过滤管与地层无充填,回灌时井中水位变化频繁,也易产生应力集中,使孔壁坍塌,从而堵塞滤水管。由此可见,这种井结构实现回灌功能的可行性是有待讨论的。

2 井结构完善及施工难点

从近期和长期使用看,在本区设计合理的井结构势在必行。针对上述情况,我们借鉴沧州地区已有填砾井的成井经验及河南部分地区地热井成井结构,通过与兄弟单位合作,在任丘市设计并施工了首眼填砾地热井。通过运行检验,效果良好。

2.1 成井结构

井管级配与不投砾井基本相同:0~520 m段孔径550 mm,520~1886 m段孔径311 mm;井管全部为石油套管材质,泵室管采用 $\phi 273$ mm($10\frac{3}{4}$ in)规格,长度为500 m,下部采用异径接头连接 $\phi 178$ mm(7 in)井壁管及滤水管;1500 m以深填滤料,选用优质石英砂;上部采用优质粘土球和粘土止水,井结构详见图2。

深井填砾工艺中,孔径与管径的级配是关键问题。环隙小将不利于填砾,甚至实现不了填砾的优势,环隙加大给护壁带来难度,特别是1000 m以深的井,为保证井壁稳定,完井泥浆性能(粘度、密度等指标)的调整将会受限,较高粘度的完井泥浆与滤料混合,给洗井带来难度,甚至影响产量。从挡砂的角度出发,滤料厚度>25 mm即可,考虑到管井施工的多种因素影响(泥浆性能、地层特征、施工工艺等),将填砾厚度增大至75 mm以上^[2]。从增大单井涌水量的角度分析,根据一般经验,管井在一定范围内,增大孔径可以增加产量,但对于深层承压水,

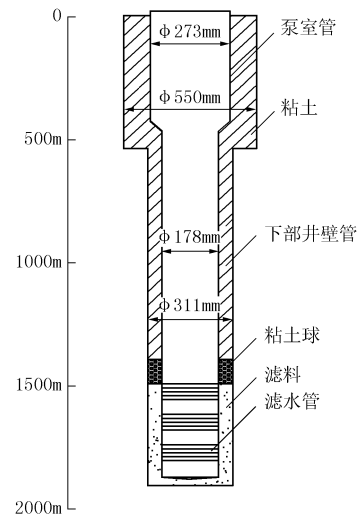


图2 填砾成井结构

含水层透水能力有限,当井径由300 mm再增大,其对产量影响不明显^[3]。从施工难度分析,将滤料厚度增至75 mm(孔径增至330 mm)以上,给成孔造成极大难度,普通深水井钻机能力很难实现,不利于工艺推广。在河南等地类同地层中的成井施工经验来看,选用 $\phi 311$ mm规格牙轮钻头成孔,与井壁管($\phi 178$ mm)形成的环隙为65 mm,与滤水管形成的环隙为60 mm左右,这种级配采用填砾工艺是可行的。

2.2 施工难点

- (1)孔径增大,必须合理控制钻进参数,保证成孔质量,不缩径、不坍塌。
- (2)管串一体一次性下入,增加下管难度。
- (3)填砾难度大。据笔者统计,沧州地区新近系成井采用填砾工艺的工程有3眼,任丘市尚属先例。近2000 m深度的地热井采用填砾成井,如何能保证安全到位在施工中具有一定难度,因此不但需要较高的成孔质量,还需要切实可行的填砾方法。

3 工程实施

3.1 钻井工艺

成孔的质量是井管顺利下入、填砾到位的基础。选用GZ-2600型深水井钻机,从成孔程序及钻具组合、钻进参数等方面进行控制。

3.1.1 成孔程序及钻具组合

多年来施工经验可知,新近系中钻进主要遇到泥岩段缩径、局部松散段易坍塌的施工问题。考虑到钻机施工能力,采用“小打大扩”的施工程序,加快成孔速度,利于保护含水层段。基本程序为: $\phi 311$ mm($12\frac{1}{4}$ in)钻头开孔至1200 m→换 $\phi 241$

mm(9½ in)终孔→测井→换 Ø311 mm(12¼ in)钻头快速扩孔到底→换 Ø550 mm 组合钻头上部扩孔。

采用粗径钻铤加压,总配重 > 150 kN,进行减压钻进。钻具组合为:Ø241、311、550 mm 钻头 + Ø178 mm 钻铤 + Ø127 mm 钻杆 + Ø89 mm 钻杆 + 主动钻杆。

3.1.2 钻进控制

为保证成孔质量,使用了录井仪,实现对关键钻进参数进行记录及监控。进行钻时录井、监测关键参数(钻压、转数、扭矩等)。基本工作原理为:钻时录井原理主要是将传感器安装于卷扬滚筒上,采用无接触式测量,金属物体在传感器附近划过,产生脉冲信号,送入微处理器计数和处理,从而换算成大钩钢丝绳下放速度以进行钻时录井。将拉力传感器安装于天车钢丝绳固定端,依据其拉力大小并通过钻具总重校正,换算出钻头压力,从而避免了以往拉力表数据失真的现象。将转数传感器安装于转盘与变速箱的联轴器底部,其工作原理与钻时传感器相同,通过感应联动轴转数换算转盘转数。将扭矩传感器安装于电机上,通过感应电流确定扭矩。这些传感器与录井仪连接,录井仪再将数据传至电脑显示,显示分室内显示和工作台显示,见图3、4。通过施工过程的监测及调整,本井采用的合理钻进参数为:钻压 80~90 kN,转数 80 r/min,泵量 700~800 L/min,实测扭矩 < 10 kN·m,实现了施工机械的最佳工作效率。

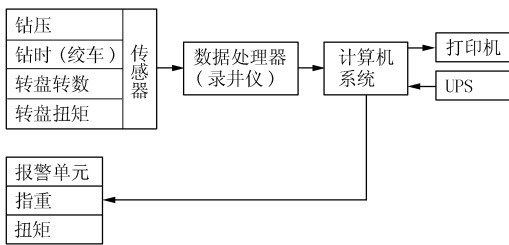


图3 录井仪工作流程图

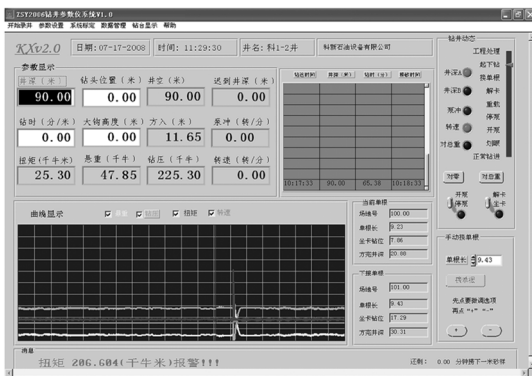


图4 录井数据显示屏(数据正待校正)

钻进各参数互相影响互相制约,通过录井仪的使用,施工人员准确监测到关键钻进参数,对于同类地层很快即可确定在现有施工条件下的最优钻进参数,提高钻进效率,减少孔内及机械事故发生率。终孔测井划分地层时可以结合钻时录井数据,检验地质判层结果。通过实测数据不断进行总结,从而提高施工技术,使施工由定性控制转向量化控制。通过录井仪的应用,发挥了钻井设备功效的优化,在本井近2个月的施工过程中,未有机械故障发生,开创了同类地层我们使用该钻机施工的新纪录。

3.1.3 泥浆管理

新近系微固结层或半固结层钻进过程中主要遇到缩径问题,因此施工现场主要从泥浆固相控制、降失水方面进行调整。第四系松散层钻进速度快,须加强大颗粒岩屑(无用固相)的清除工作,主要通过震动筛及旋流除砂器。新近系泥岩易缩径,通过加入降失水剂控制泥浆失水,设计泥浆性能为:粘度 18~35 s,失水量 < 15 mL/30 min,密度 1.15~1.30 kg/L,泥饼厚度 < 2 mm,含砂量 < 1%。

实际钻进时,合理控制了失水量及泥浆含砂量,提高泥浆悬浮能力及润滑性,现场实际加入适量铵盐、沥青粉及火碱改善泥浆性能。清水或泥浆添加剂加量以泥浆总体积计量,且均匀加入。实际泥浆性能参数为:粘度 18~30 s,失水 < 10 mL/30 min(缩径孔段控制为 8 mL/30 min 以内),密度 1.15~1.30 kg/L,泥饼厚度 < 1 mm,含砂量 < 0.5%。

3.2 成井工艺

3.2.1 破壁、替浆

下管前的破壁、替浆是填砾井施工的关键程序,直接影响成井质量。替浆和破壁同时进行,既要保持孔壁稳定性,又完成泥浆性能调整。

破壁是将成孔施工中形成的含水层井壁泥皮破坏,防止堵塞进水通道,也可以简化洗井工艺。现场采用牙轮钻头扫孔的方法完成破壁工序。

替浆主要控制粘度,低粘度稀泥浆与滤料结合力较弱,在水流作用下容易冲洗掉,简化洗井工艺。替浆分排屑、降粘两个步骤。排屑替浆粘度控制在 25~20 s,循环 2~3 周,将井中岩屑彻底排出。无岩屑返出时渐入清水循环 1~2 周,将粘度均匀降至 18 s,该步骤配合破壁完成。降粘替浆配合探孔完成,向泥浆中加大清水渐入量,同时监测泥浆粘度,降粘过程中控制加水量来控制泥浆粘度、密度变化程度,见图5。循环 2~3 周后最终将粘度降至 16.5 s。

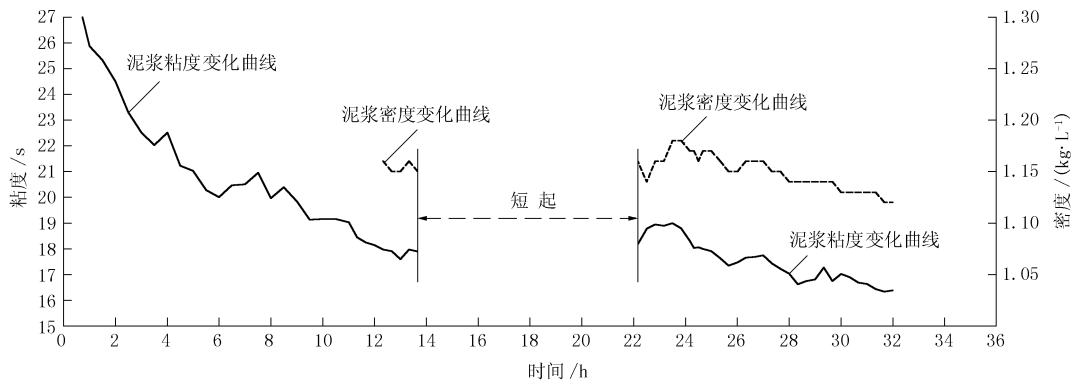


图5 泥浆性能调整历时线

3.2.2 下管

3.2.2.1 井管设置

整体管串采用丝扣连接,中部采用变径接头连接泵室管和下部井壁管。滤水管采用包网缠丝型,包网为40目不锈钢丝网,缠丝间距1~2 mm,胎管孔隙率为16%。为保证滤料厚度均匀,形成有效的填砾过滤系统,滤水管位置处加设扶正器,整体外径280 mm。滤水管底部设置沉淀管19 m,底部焊封成锥形引鞋。

3.2.2.2 下管控制

采用井口提吊下入整体管串,由于管串总重76.5 t,加设浮力塞降低惯性冲击效应。为防止下管过程中对井壁产生扰动,严格控制下管速度,一般要求下管速度 ≥ 0.46 m/s^[4]。下管速度的控制主要在后期,即在 $\varnothing 178$ mm井壁管下入完毕接 $\varnothing 273$ mm泵室管时,整体管串长度增大,对井壁的扰动效应增强,施工中实际单管下放速度控制为0.15~0.19 m/s(泵室管下入速度),下管过程中密切注意拉力变化,从而控制下入速度。

3.2.3 填砾

3.2.3.1 滤料规格及数量

滤料规格根据地层颗粒大小选择,其选择原则在相关的文献中均有参考范围。本井利用段为馆陶组砂岩,通过岩屑录井及测井曲线幅值对比,岩性主要以中细砂、含砾中粗砂为主。选择滤料规格为2~8 mm。填砾量按下式计算^[2]:

$$V = 0.785(D_k^2 - D_g^2)L\alpha$$

式中: V ——滤料数量, m^3 ; D_k ——填砾段井径, m ; D_g ——过滤管外径, m ; L ——填砾段长度, m ; α ——超径系数,一般为1.2~1.5。

计算填砾量须考虑裸孔段体积。以上公式实际使用时关键是超径系数 α 的取值,超径系数通过类同工程施工经验一般取上限值。滤料按照 α 取1.5

~1.8的数量准备,最终滤料数量还须压力检验,检验方法是在填砾后期砾料接近计算值时,待密实下沉,封井口送清水憋压,若环隙不返水可判定投料量合适,否则还须投入。本井实际填砾量为 $44 m^3$,实际 α 取值1.6。

3.2.3.2 填砾方法

本井采用了静水填砾法。井管下至预定位置,通浮力塞,连接井口三通。在向井内投入滤料时,井管内外液柱产生压差,井内泥浆将从井口返出,开始井口返浆量可达到 $50 m^3/h$ 左右,随着滤料投入量的增加,颗粒下沉逐渐埋没滤水管,井口返浆量减少。在井口返浆的同时向管外环隙中补充当量的清水,保证管外液面不降,同时又保证井口返浆向外排出,不回流。这种填砾方法,可以通过井口返浆状态判定井内滤料下沉情况。

深井填砾还须注意控制填砾强度(单位时间的填砾量)。填砾强度的控制主要是防止产生砂桥及滤料分选效应而失去填砾井的结构优势。在河南等地投入量经验值为 $7 \sim 8 m^3/h$,实际本井填砾平均强度为 $5.28 m^3/h$,大致相当于2人从井口依次均匀铲入的数量。

3.2.4 洗井、止水

由于下管前进行了充分替浆,经过现场试验,在井内的完井泥浆与滤料混合后,采用小水流速短时间(1 min左右)即可将砾石表面粘结物冲洗干净,因此本井采用冲孔器及泵抽洗井,力求简化工艺。填砾完毕,钻具接冲孔器向井内泵入清水,并分别对应滤水管段反复冲洗,累计冲孔器洗井时间15 h。而后下入大流量水泵抽水,抽水量达到 $100 m^3/h$ 以上,泵抽洗井5 h后水清砂净。

止水与洗井同步进行。经过压力检验,可判定滤料已达设计位置,冲孔器下入洗井时,管外液面稳定,进一步证实滤料到位。随即均匀投粘土球止水,

封闭长度 > 100 m, 上部粘土回填。

4 成井效果

本井2008年6月19日开钻, 其间进行了2级扩孔, 纯施工历时47天。按照相同的施工装备条件, 采用常规不填砾成井工艺可减少工期12天。

成井后通过抽水试验检测, 大落程涌水量 $88 \text{ m}^3/\text{h}$, 降深43 m, 水温 $73 \text{ }^\circ\text{C}$, 含砂量 < 1/20 万。从成井结果的关键指标对比, 本井创下了该区热水井的最优质量。与邻井对比, 本井增加了滤料层, 涌水量相同条件下减小了10~20 m的水位降深; 含砂量更优于其它井, 达到了普通供水管井的质量指标。

冬季供暖运行过程中, 本井水温、水量、含砂量均保持了抽水试验时的测定值, 有效证明了本井成井质量可靠, 采用的填砾、止水等技术措施可行。

5 结语

(1) 本井的成功证明在河北平原成岩性较差的新近系热水井成井中采用填砾成井工艺是可行的。使用该种成井工艺, 完全可以达到普通供水管井含

砂量指标(1/20 万), 其单井涌水量亦有增加。

(2) 本井所设计的管径及孔径级配可以满足深井填砾的施工要求, 只要把握好关键施工工序, 滤料完全可以到位。

(3) 安装录井仪优化了钻进参数, 可提高施工效率, 减少设备事故, 在深井施工中值得应用。

(4) 本井终孔破壁、替浆工序控制合理, 简化了洗井工艺。

(5) 采用静水投砾法在深井填砾施工中可行, 使整个填砾过程有序进行, 同时须设计好合理的填砾强度及填砾量, 通过合理的检验方法, 深井填砾工艺方可进一步完善。

参考文献:

- [1] 刘久荣. 地热回灌井堵塞的原因和防治[A]. 全国油区城镇地热开发利用经验交流会论文集[C]. 北京: 冶金工业出版社, 2003.
- [2] GB 50296-99, 供水管井技术规范[S].
- [3] 薛禹群, 等. 地下水动力学[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [4] 朱家玲, 等. 地热能开发与应用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.

南京纬三路过江通道前期建设基本完成

《扬子晚报》消息 从南京市交通局获悉, 南京纬三路过江通道前期建设基本完成, 纬三路过江通道有限公司已经建立, 2009年7月中旬将开始设计招标及其他相关工作。按照国家发改委对项目核准的要求, 纬三路过江通道的预可行性研究报告已于7月9日报省发改委, 预计月底完成省内预审, 8月上报国家发改委。根据这一报告, 纬三路过江通道基本确定为双管双层X形隧道, 车辆在其中的通行时速为80 km。

从地图上看, 纬三路隧道与正在建设的纬七路过江隧道相隔并不远, 而且仅从预可报告的方案来比较, 无论是隧道直径还是过江路线, 都有相似之处, 不过, 纬七路过江隧道是采用一桥一隧连接的形式, 隧道从北往南到江心洲出土, 连接夹江大桥至江南, 而纬三路隧道则是全线隧道, 直到河西地区设置出口。与纬七路隧道一样, 纬三路隧道也由左、右两个隧道组成, 从走线上看, 两股隧道从浦珠路与定向河的交叉点出发, 遇到长江后左右分开, 左线穿过潜洲后右偏, 从秦淮河口上游上岸, 而右线则要连续穿越潜洲和江心洲, 在定淮门大街和扬子江大道交叉点附近上岸。左右两条隧道在江南定淮门大街处呈X形交叉, 左线隧道的出口在扬子江大道上, 而右线隧道的出口在定淮门大街上。

细看纬三路隧道的内部结构图, 会发现它其实就是一条双层的来回线, 上层为江北往江南方向的车道, 而下层为江南往江北的车道, 南京市交通局公路建设处处长孙军说, 这样设计的最大好处是每股隧道都能独立承担起江南江北的

来回交通, 通车后如果遇到特殊情况如单股隧道出现堵车或是突发问题需要关闭, 另一股隧道仍能保证江南、江北双向车流的正常开行。

隧道过江, 安全是工程最关键的因素之一, 不少隧道都会选择单辟出一层作为紧急时刻的逃生避难层, 而纬三路隧道的双层车道设计则提出了“互为避难层”的思路, 上下层之间通过隧道壁上的红色逃生门与楼梯相连, 每隔80 m就有一扇红色逃生门, 单层内出现问题时, 可以向另一层及时转移并疏散。

在预可报告中, 还看到了江北收费站的设计图, 在设计中, 这个收费站被安放在江北定向河路与丰子河路的交叉处, 但是交通局相关负责人表示, 目前南京正在研究年次票制, 如果隧道建成时年次票制已经开始推行, 纬三路隧道毫无疑问将纳入到年次票制中, 不设收费站。

地铁四号线与汽车道上下层捆绑过江, 曾经作为纬三路过江通道的思路之一摆在专家们的案头。不过, 从现在的预可报告来看, 捆绑过江的方案基本已经被排除, 原因是铁路隧道和公路隧道对江底水文、管道直径甚至走线弧度要求都不同, 两相叠加施工, 技术难度非常大, 并且, 如果要让位给地铁, 公路隧道将不得不从8车道缩水为6车道, 降低车流通行效率。

据悉, 规划中的地铁四号线在放弃与纬三路“捆绑”过江后, 有望转到草场门大街(纬四路)过江。