

◀ 现场与经验 ▶

薄产层水平井GP06-9井钻井技术

王万庆 谌建祁 石崇东 耿天祥

(川庆钻探工程有限公司 长庆钻井总公司,陕西 西安 710021)

摘 要:GP06-9井是长庆油田分公司在靖边中部气田下古生界薄气层实施的第一口水平开发试验井。钻探目的层为奥陶系下统马五¹层。针对有效储层厚度0.5~1.0 m,并且埋藏深度超过3 180.00 m的地质状况,采取直井探明储层地质信息后,填井至造斜点以上50 m,再侧钻水平井。该井在优化井身结构设计的基础上,通过采取挤压封堵技术、裸眼侧钻技术、井眼轨迹控制技术等关键技术,解决了上部易漏层刘家沟组地层的漏失、下部“双石”层和石炭系“煤层”的坍塌及长水平井段的井眼轨迹控制、长裸眼井段的井壁稳定等技术难题,总结了在薄气层水平井钻井施工的技术措施。GP06-9井的成功不仅对提高该区块的产能具有重要作用,而且为有效开发该区块的薄产层积累了十分重要的实践经验。

关键词:薄层;水平井;井眼轨迹;裸眼侧钻;堵漏;承压能力;导向钻井;GP06-9井
中图分类号:TE243 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0890(2009)02-0089-05-0089-05

GP06-9井是部署在靖边中部气田下古生界薄气层上的水平开发试验井,位于内蒙古自治区乌审旗嘎鲁图镇,鄂尔多斯盆地伊陕斜坡上。钻探目的层为奥陶系下统马五¹层,设计完钻井深4 363.00 m,垂深3 181.35 m,水平位移1 350.00 m,在实钻中由于产层的变化对靶体进行了随钻调整,实际完钻井深4 425.00 m,水平位移1 386.70 m,水平段长1 034.00 m,最大井斜角91.23°,该井的成功完成对采用水平井开采薄气层具有重要的指导作用。

1 地质和工程设计

1.1 地质设计

GP06-9井的目的层马五¹层以灰色白云岩和灰岩为主,储层处于潮间带鸟眼泥~微晶白云岩微相,具有鸟眼孔或窗格孔,白云石或方解石充填,储层埋藏深。该井的具体地质设计数据见表1。

表 1 GP06-9井的具体地质设计数据				
靶点	垂深/m	水平位移/m	方位角/(°)	靶体(纵×横)/m
1	3 171.65	349.99	245.02	2×20
2	3 173.65	557.72	245.01	2×30
3	3 174.85	677.71	245.01	2×30
4	3 176.15	797.70	245.00	2×40
5	3 177.28	917.70	245.00	2×40
6	3 179.85	1 187.69	244.99	2×40
7	3 181.35	1 349.97	244.99	2×40

1.2 钻井工程设计

鉴于靖边气田下古生界储层非均质性强的特点,采取直井钻探,取得准确的的目的层地质信息后填至设计造斜点以上50 m,再裸眼侧钻水平井。为保证井眼轨迹顺利进窗入靶,确保水平井段的产层钻遇率,对其井身结构进行了优化设计,井身结构如图1所示,其井身剖面设计见表2。

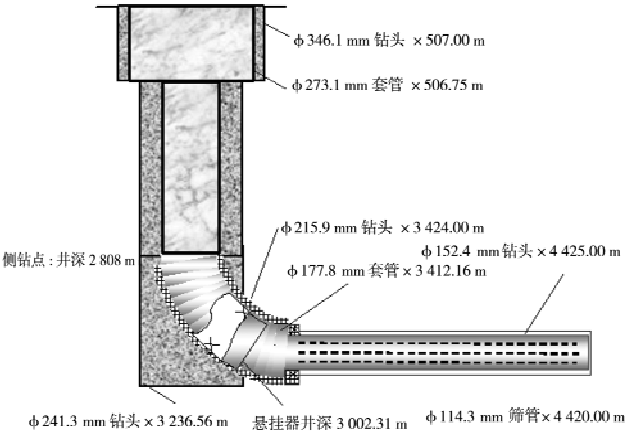


图 1 GP06-9 井井身结构

收稿日期:2008-10-08;改回日期:2009-01-14

作者简介:王万庆(1964—),男,2005年毕业于西安石油大学石油工程专业,定向井技术服务公司经理,工程师,主要从事定向井、水平井技术方面的研究工作。

联系电话:(029)86592615

表 2 井身剖面设计数据

井段类型	井 段/m	累计水平位移/m	垂 深/m	井斜角/(°)	造斜率/(°)·(30m) ⁻¹
直 井 段	0~2 808.00	0	2 808.00	0	0
第一造斜段	2 808.00~3 011.00	62.62	2 997.82	35.13	5.0
稳 斜 段	3 011.00~3 055.00	88.06	3 033.97	35.13	0
第二造斜段	3 055.00~3 424.00	349.99	3 171.65	89.41	5.3
水 平 段	3 424.00~4 425.00	1 349.97	3 181.35	89.47	0

2 技术难点

- 1) 储层马五 1³ 层灰岩厚度仅 2.5 m,有效储层厚 0.5~1.0 m,埋藏深度超过 3 180.00 m,且有一定的坡降,上下界面都有泥岩存在,水平段长超过 1 000 m,稳定性差,裸眼长时间浸泡,井壁易坍塌。
- 2) 山西组、太原组和本溪组地层富含煤系,有多套煤层和炭质岩层,并且都位于井斜角较大的斜井段,保持井眼稳定和控制井眼轨迹具有一定的难度。
- 3) 由于水平段长超过 1 000 m,井深超过 4 400 m,摩阻大,φ88.9 mm 钻具加压困难,井眼轨迹控制难度大。
- 4) 易漏失的刘家沟组地层与下部易塌“双石”层以及山西组、太原组、本溪组地层的煤层,其稳定性需要同时兼顾。

3 技术对策

- 1) 采用直井钻穿马五 1³ 层灰岩,取全、取准储层地质信息后,填井至侧钻点以上 50 m,再裸眼侧钻水平井。
- 2) 应用承压堵漏技术对易漏失的刘家沟组地层进行承压堵漏施工,提高易漏地层的承压能力^[1-5],为斜井段提高钻井液密度平衡“双石”层坍塌压力和稳定石炭系煤层创造条件。
- 3) 应用无固相强抑制聚合物钻井液体系快速钻穿上部易漏地层,钻入“双石”层后将钻井液转换为三磺钻井液体系,完成直井钻探任务;承压堵漏施工后将钻井液转换为三磺盐水钻井液体系,以提高钻井液防塌性能,预防易塌地层和煤层的坍塌,完成斜井段、入窗进靶、电测和下入 φ177.8 mm 套管施工;水平井段采用无固相低伤害暂堵钻井液体系,利用其良好的润滑性和较强的护壁性降低摩阻和预防井壁坍塌,确保水平井段安全施工。
- 4) 采用地质导向钻井技术,进行地质导向钻井,

确保水平井段在气层中穿行,提高气层的钻遇率^[6-9]。

4 现场施工

4.1 承压堵漏施工

- 上部中生界三叠系刘家沟组地层破裂压力当量密度为 1.15 kg/L,而增斜井段的下部古生界二叠系山西组、太原组地层和石炭系本溪组地层的多套煤层和炭质岩层的坍塌压力当量密度为 1.28 kg/L,为了防止煤层和炭质岩层的坍塌,需增加钻井液密度以达到力学平衡。为此,在直井完钻填井后,先针对刘家沟地层进行承压堵漏施工,以提高其地层承压能力,然后从石千峰组地层裸眼侧钻水平井。堵漏浆的配方要求体现“固相含量和强度高、承压能力强”,以满足斜井段“双石层”和煤层的防塌要求,为提高钻井液密度创造条件。
- 1) 配堵漏浆基浆要求滤失量大、黏度低,加入的固相尽量少。
- 2) 堵漏材料选择要体现“多级配、强度高、高吸水、成型快”的原则。多级配是要粗细搭配,既有大的架桥粒子,又要有强度高的填充粒子;强度高是尽量用石子、核桃皮和木屑等高强度材料;高吸水是尽量采用核桃皮、木屑等进入漏层能快速大量吸水的材料;成型快是堵漏浆马上脱水成型,失去流动性。
- 3) 封堵井段为 1 775.00~2 475.00 m(延长组至刘家沟组底),长 700 m。配制堵漏浆 184 m³,其密度 1.17 kg/L,漏斗黏度 45 s。
- 4) 挤压封堵施工。光钻杆下至易漏地层底部后注入堵漏浆,堵漏浆充满易漏井段后关井进行挤压,最大挤入压力(套压)6~7 MPa,待压力降至 3 MPa 以下后再次挤入(每次间隔 15~20 min),挤入 7 次,套压升至 6 MPa,30 min 降至 4.7 MPa 后不再下降,计算当量密度为 1.36 kg/L,承压堵漏成功。共挤入堵漏浆 21 m³。

4.2 井眼轨迹控制

1) 一开井段(0~506.80 m)。采用复合钻井方式,钻具组合为 $\phi 346.1$ mm 钻头+ $\phi 203.2$ mm 螺杆+ $\phi 203.2$ mm 无磁钻铤+ $\phi 177.8$ mm 钻铤+ $\phi 127.0$ mm 钻杆。为克服地层因素造成的井斜角增大,采用 20~50 kN 钻压吊打。钻至井深 506.75 m,下入 $\phi 273.1$ mm 表层套管,固井水泥返至地面。由于采用了复合钻井方式,有效控制了井斜角,提高了机械钻速。

2) 二开直井段(506.80~3 236.60 m)。上部采用的钻具组合为 $\phi 241.3$ mm 钻头+ $\phi 177.8$ mm 钻铤 2 根+ $\phi 237.0$ mm 稳定器+ $\phi 177.8$ mm 钻铤 1 根+ $\phi 238.0$ mm 稳定器+ $\phi 177.8$ mm 钻铤+ $\phi 127.0$ mm 钻杆,钻至井深 2 800.00 m。由于该井段砂泥岩夹互频繁,多含砾石,不适于应用 PDC 钻头,于是采用高压喷射钻井,强化机械、水力联合破岩,机械钻速明显提高。

直井段从石千峰组地层中部到马家沟组地层,裸眼段较长且在 3 027.00~3 140.00 m 井段有多个煤层,易导致井径扩大,形成“大肚子”井眼,增加岩屑的上返难度。为保证该井段安全快速钻进,采用的钻具组合为 $\phi 241.3$ mm 钻头+ $\phi 177.8$ mm 钻铤+ $\phi 127.0$ mm 钻杆。钻井液为综合防塌能力较好的三磺钻井液体系,钻井液密度控制在 1.07~1.12 kg/L,API 滤失 ≤ 6.0 mL。

3) 裸眼侧钻井段(2 808.00~2 843.00 m)。采用的钻具组合为 $\phi 215.9$ mm 钻头+ $\phi 171.5$ mm 1.5°单弯螺杆钻具+ $\phi 165.1$ mm 无磁钻铤+ $\phi 165.1$ mm 钻铤+ $\phi 127.0$ mm 钻杆,侧钻点井深 2 808.00 m,位于石千峰组地层。2 808.00~2 810.00 m 井段以 0.3 m/h 的钻速钻进,在侧钻过程中,每隔 20 min 捞取砂样分析水泥与岩屑的含量。钻至井深 2 812.00 m 时返出的水泥含量低于 50%,地层岩屑开始逐渐增多,表明井眼已形成台阶,钻至井深 2 816.00 m 时岩屑含量超过 90%,侧钻成功,逐渐增大钻压提高钻速完成侧钻施工。

4) 增斜井段(2 843.00~3 424.00 m)。采用的钻具组合为 $\phi 215.9$ mm 钻头+ $\phi 171.5$ mm 1.25°单弯螺杆+ $\phi 165.1$ mm 无磁钻铤+ $\phi 127.0$ mm 加重钻杆+ $\phi 127.0$ mm 钻杆。钻井液为三磺钻井液体系。

为了提高钻速,在斜井段试验了 PDC 钻头,但由于钻井液黏切高,加之“双石”层造浆性强,造成了

PDC 钻头泥包。PDC 钻头(PK5364MD)进尺 49 m,由于钻速低,起钻。起钻后发现 PDC 喷嘴堵了两个,复合片完好。

在斜井段钻进过程中使用了 5 只 MD537HX 牙轮钻头,满足了斜井段增斜要求。斜井段主要以复合钻进为主。钻井参数:钻压 160 kN,转数 40 r/min,排量 34 L/s。三磺盐水钻井液密度 1.28 kg/L,粘度 60~100 s,基本满足了大井眼携砂和井下安全的需要。在钻至井深 3 424.00 m(垂深 3 171.7 m)时,预计井底井斜角 89.5°~89.8°,方位角 245°,达到了施工设计的“着陆点”,完钻电测和下入 $\phi 177.8$ mm 技术套管进行固井施工。

5) 水平井段(3 424.00~4 425.00 m)。通过电测解释结果分析,目前钻遇层位为奥陶系马家沟组马五 1³ 层,开始水平段钻进。为保证水平段钻进顺利,重新预测水平段构造坡降。通过直井、邻井与实钻点加权平均计算构造坡降,奥陶系顶部为沉积侵蚀界面,地层倾角略为偏大,其他界面地层倾角由上部地层到下部地层逐渐减小,由此预测马五 1³ 层地层倾角为 1.2°~1.6°,且 1.2°最为可能,于是井斜角按 89°稳斜钻进。

水平段钻具组合为 $\phi 152.4$ mm 牙轮钻头(XR50Y)+ $\phi 120.7$ mm 单弯螺杆(1°)+ $\phi 146.0$ mm 刚性稳定器+ $\phi 120.7$ mm 无磁钻铤+ $\phi 88.9$ mm 加重钻杆 $\times 15$ 根+ $\phi 88.9$ mm 钻杆 $\times 50$ 根+ $\phi 88.9$ mm 加重钻杆 $\times 45$ 根+ $\phi 88.9$ mm 钻杆。

为了保证水平段钻进时钻头上能施加有效的钻压,钻具组合采用倒装钻具组合,将加重钻杆放在直井段或井斜角小于 50°的井段。采用复合钻进方式控制井眼轨迹以满足地质要求。由于该井是区块薄气层实施的第一口水平井,在水平段钻进初期,需要摸索该钻具组合在白云岩地层的增斜规律。初期井眼轨迹控制效果不好,通过结合滑动和复合钻进方式,在钻进 2~3 个单根后,逐渐摸索出该钻具组合在白云岩地层的规律:复合钻进时基本属于稳斜趋势,复合钻进平均钻速 4.62 m/h,复合钻进造斜率(1.8°~2.0°)/30m,造斜率偏高;滑动造斜率平均(9°~10°)/30m;在滑动增斜后,由于井眼轨迹已有增斜趋势,此时复合钻进造斜率更高;但在滑动降斜后的复合钻进约有 8 m 进尺处于微降斜或稳斜趋势;同时在含气的白云岩和不含气的白云岩中钻进也稍有不同。

为了保证水平段在气层中穿行,按地质要求进行井眼轨迹控制。钻至井深 3 668.00 m 时,根据返

出砂样及气测显示等多方面因素判断目前井眼轨迹可能处于气层下部底界外,并根据测斜数据和伽马数据对气层构造的坡降进行了重新预测,要求在两个单根内将井斜角调至 90° 以上。根据当时的井眼轨迹,从工程角度分析只有将井斜角调至约 92° ,然后采用缓降斜的方法才能进入产层稳斜钻进。由于靶点调整频繁,为了更好地控制井眼轨迹,将调节接头接在稳定器下面,增加两稳定器间的长度,使该钻具组合在复合钻进过程中保持微增斜的趋势。同时调节上部加重钻杆在井眼中的位置。

随着水平段钻进不断深入,通过对钻时、气测值、伽马等参数的分析对比,认为气层厚度在1 m以内,地层倾角没有当初预计的大且出现了局部突起现象。由于井眼轨迹控制精确,气测值一直显示较好,气层钻遇率较高。

4.3 关键技术措施

1)由于该区块储层压力预计达31.74 MPa,在水平段开钻要进行高压测试,以确保地面井控设备满足井控要求。要求在钻具组合中安装回压凡尔,且每次下钻过程中进行分段循环,以保证下钻到底后不会产生太大的气体后效,确保井控安全。

2)直井段采用“塔式+钟摆钻具”组合,刚度大,重心低,稳定性好,使钻头与稳定器之间的钻柱不易弯曲,以防止钻头对井底不对称切削,保证钻头平稳工作。为有效利用钻头水马力,采用了双喷嘴、直径比接近0.6的喷嘴组合。

3)采用MWD无线随钻测量方式,测点距井底大约有15 m的距离。根据在地层钻进过程中总结出的各种钻进方式的轨迹参数变化规律,从而推断出井底的井斜角和方位角。

4)斜井段选用 $\phi 171.5$ mm螺杆(1.25°)进行定向造斜,当发现井眼轨迹超前时,根据预测选择适当的时机采用转盘复合钻进^[10]。稳斜或微增斜钻进一段后,根据井眼轨迹需要再次定向钻进。在相同弯角情况下,小尺寸单弯螺杆的造斜能力比较强。水平段选用 $\phi 120.0$ mm螺杆(1°)定向造斜,复合钻进造斜率($1.8^{\circ}\sim 2.0^{\circ}$)/30m,造斜率偏高。滑动造斜率平均($9^{\circ}\sim 10^{\circ}$)/30m。由采用分次定向技术施工,滑动钻进和复合钻进交替使用,既加快了钻速,又提高了中靶精度。

5)由于小井眼选用的 $\phi 88.9$ mm钻杆刚性低、柔性大,随着水平段不断加深,扭矩逐渐增大且摆工具面难度增大^[11]。同时受上部井眼曲率的影响,即

使同一种钻具组合、相同的钻井参数,在不同的井眼曲率情况下使用,也会显示出不同的特性。因此,合理选用小井眼钻具组合及使用时机,能有效提高井眼轨迹控制精度。

6)该区块邻井实钻资料少,目的层薄,现场各种资料表明,气层厚度只有0.5~1.0 m,地质不确定程度高。使用MWD无线随钻测量系统对井身参数随钻实时测量,及时掌握随钻伽马值的变化,并通过伽马值、碳、氢气测值及钻时的对比分析,预测气层坡降趋势,以便更有效地控制井眼轨迹,确保水平段在最有价值的产层中钻进。

7)在水平段钻进过程中,通过观察钻压、泵压和工具面的变化,判断井下钻具状态,采取有效的措施,防止在滑动钻进过程中出现粘卡现象。

8)螺杆滑动钻进井段应充分划眼,修整井壁,钻完一个单根划眼两次,使井壁平滑,若机械钻速增快,增加循环钻井液洗井时间,钻进一定井段后,进行短程起下钻,结合分段循环洗井等措施,以破坏、清除岩屑床^[12]。

5 结论和建议

1)在表层井段,用膨润土细分散钻井液钻进,形成有效滤饼,克服了流沙层容易垮塌、导管易下陷等困难。采用双喷嘴组合,有效利用了钻头水马力,提高了机械钻速。

2)靖中北地区直罗组地层到纸坊组地层顶部井段较长,砂泥岩夹互频繁,多含砾石,不适于应用PDC钻头。在该井段试验了PDC钻头,但增斜效果不好,出现了钻头泥包现象。今后应进一步优化PDC钻头的选型,提高定向时的造斜率以便适应更多的地层,为提高机械钻速提供有力的保障。

3)GP06-9井的纯钻时间仅占全井时间(不包括测井和固井)的45%,因此,减少其他工况条件下的作业时间及非生产时间,可有效缩短钻井周期。

4)在易坍塌井段采用高密度三磺钻井液体系,不但防塌效果好,而且润滑防卡性能好、携砂能力强。在水平段应用的无固相低伤害暂堵钻井(完井)液体系,具有稳定性好、密度和滤失量低、润滑防卡性能优良、能生物降解等特点,同时对气层暂堵好,对气层伤害低,是一种新型高效的钻井(完井)液体系。

5)在小井眼水平段施工中,全井段使用了 $\phi 88.9$ mm钻杆,由于钻具刚性低,柔性强,导致扭

矩非常大,在水平段后期表现更为明显,摆工具面非常困难。对于水平段较长的水平井应选用合理的井身结构及钻具组合,以利于后期施工。

参 考 文 献

[1] 刘四海,崔庆东,李卫国.川东北地区井漏特点及承压堵漏技术难点与对策[J].石油钻探技术,2008,36(3):20-23.
[2] 蔡利山,张进双,苏长明.关于合理使用承压堵漏技术指标的建议[J].石油钻探技术,2008,36(2):84-86.
[3] 隋跃华,关芳,苏长明,等.低密度膨胀型堵漏技术在塔深 1 井中的应用[J].石油钻探技术,2006,34(6):74-76.
[4] 何立成,宫艳波,胡清富.塔河油田盐膏层钻井技术[J].石油钻探技术,2006,34(4):85-87.
[5] 陈亮,王立峰,蔡利山,等.塔河油田盐上承压堵漏工艺技术[J].2006,34(4):65-66.

[6] 袁昭,李艳明,陶林本,等.吐哈油田水平井随钻地质导向技术研究[J].石油钻探技术,2008,36(3):87-90.
[7] 狄富春,吕建云,赵立文,等.提高薄油层水平井油层钻遇率的技术研究[J].石油钻探技术,2008,36(2):25-27.
[8] 闫振来,韩来聚,李作会,等.胜利油田水平井地质导向钻井技术[J].石油钻探技术,2008,36(1):4-8.
[9] 耿应春,韩来聚,王爱国,等.胜利油田 CB26B-ZP1 鱼骨状水平分支井钻井技术[J].石油钻探技术,2007,35(5):52-54.
[10] 石崇东,庄平 6 井井眼轨迹控制技术[J].内蒙古石油化工,2008,34(2):121-122.
[11] 谭平,岳砚华,雷桐,等.长庆小井眼丛式井钻井技术[J].石油钻采工艺,2002,24(1):18-21.
[12] 刘晓青,鄢文军,徐显军,等.东方 1-1 气田丛式水平井及大位移井钻井技术[J].钻采工艺,2006,29(1):27-28.

[审稿 徐忠伟]

Drilling Techniques Used in Horizontal Well GP06-9

Wang Wanqing Chen Jianqi Shi Chongdong Geng Tianxiang

(Changqing Drilling Corporation, Chuangqing Drilling & Exploration Co. Ltd., CNPC, Xi'an Shaanxi, 710021, China)

Abstract: Well GP06-9 is the first horizontal development test well to exploit gas in Changqing Oilfield's Palaeozoic thin layer. Its target bed is Mawu 13 of Ordovician system. Considering the effective reservoir thickness of 0.5—1 m and the buried depth exceeding 3 180 m, the vertical well was used to obtain geological information. After obtaining the required data, the well was plugged back to kick off point and sidetracked into a horizontal drilling. Based on the optimized design of well structure, using the squeeze and block off technology, open hole sidetrack technology and horizontal well trajectory control technique, the problems were solved, including easy loss in upper part in Liujiagou formation, collapse in lower part “Shihezi and Shiqianfeng”, “coal bed” sloughing of Carboniferous system, long horizontal section well path control technique and long open hole section stability. This paper summarizes horizontal drilling techniques of thin gas layers. The success of well GP06-9 not only improves the productivity of this block but also provides an important experience and operation support in developing thin gas layers in this block effectively.

Key words: thin layer; horizontal well; hole trajectory; open hole sidetracking; loss circulation control; resistance to pressure; navigational drilling; Well GP06-9

欢迎从网上下载《石油钻探技术》期刊全文检索系统

在重庆维普资讯有限公司的帮助下,2006 年本刊编辑部将《石油钻探技术》1991—2005 年共 1873 篇文章及信息制成了基于 Windows 操作系统的全文检索光盘(单机版),并给近年来在本刊发表过稿件、订阅过期刊的部分石油工程技术人员进行了免费赠送。该检索光盘具有检索速度快、使用操作简单、功能强大等优点,采用 pdf 全文浏览器,可方便对文章浏览、打印、文本识别、图像截图等。一年多来,获赠者众多,普遍表示给他们查找资料提供了方便。但这种“申请—刻录—邮寄”的方式费时费力,不够简便,为此,本刊编辑部近日将全文检索系统存放在网络硬盘中,广大读者可以通过网络免费下载使用。我们对您惟一的要求,就是希望您在撰写论文、科技报告和技术总结时多参考本刊曾经刊发过的论文,同时积极向您身边的同事、朋友宣传本刊,以努力提高本刊的知名度。

下载全文检索系统的步骤是:1)登陆网页: <http://mail.sinopd.com>, 进入邮箱系统界面;2)用户名:ztjs,密码:ztjs;3)登陆邮箱,点击“存储文件夹”;4)点击“网络存储”;5)6 个压缩文件全部下载后解压即可应用。

《石油钻探技术》编辑部