

N1203 工作面提高瓦斯抽采浓度
工艺技术研究

研究报告

河南理工大学
二〇一一年十一月

目 录

一、项目研究背景	1
二、N1203 工作面基本情况	2
三、课题技术研究内容及要求	4
四、课题研究工作情况	5
五、提高采面抽采瓦斯浓度和瓦斯量的技术措施	10
(一) 瓦斯抽采浓度状况	10
(二) 提高瓦斯抽采负压技术措施及效果分析	19
(三) 提高抽采瓦斯浓度和瓦斯量技术措施	28
六、工作面瓦斯抽采率计算及技术分析	29
(一) 按支管日抽采瓦斯测定计算抽采率	30
(二) 按单孔抽采量计算 2#高位钻场区段计算瓦斯抽采率	31
(三) 1#高位钻场影响段瓦斯抽采率计算	38
(四) 用瓦斯涌出量反算工作面瓦斯抽采率	43
七、课题研究的效益分析	46
(一) 经济效益分析	46
(二) 安全效益分析	46
(三) 工作面高产稳产	48
八、主要结论及今后工作意见	49
(一) 主要结论	49
(二) 提高抽采率的安全经济效益	51
(三) 今后工作意见	51
课题附件目录	52
科题研究阶段总结	52
整改意见	53
附表目录	53

一、项目研究背景

矿井瓦斯抽采是瓦斯治理的主体，矿井瓦斯抽采主要是围绕确保掘进和回采安全生产进行，而提高工作面瓦斯抽采效果、实现工作面瓦斯抽采率达标是工作面瓦斯抽采的核心内容。

国家安监局对工作面瓦斯抽采率提出了明确的要求：

表1 采煤工作面瓦斯抽采率应达到的指标

工作面绝对瓦斯涌出量 Q (m^3/min)	工作面抽采率(%)	备注
$5 < Q \leq 10$	$\geq 20\%$	适用于相对瓦斯涌出量大于 $10\text{m}^3/(\text{t}\cdot\text{d})$ 的工作面
$10 < Q \leq 20$	$\geq 30\%$	
$20 < Q \leq 40$	$\geq 40\%$	
$40 < Q \leq 70$	$\geq 50\%$	
$70 < Q \leq 100$	$\geq 60\%$	
$100 < Q$	$\geq 70\%$	

余吾煤业 N1203 工作面瓦斯涌出量为 $20 < Q \leq 40$ 的区间，抽采率应达到 $\geq 40\%$ 。余吾煤业开采的 3# 煤层是高瓦斯单一难抽煤层，工作面瓦斯抽采率达到国家标准要求的指标 $\geq 40\%$ ，是一个难度较大的课题。

工作面瓦斯抽采率达标是一个综合性的课题，不仅是要提高抽采瓦斯浓度，更重要的是要提高抽采瓦斯量。

本课题在进行中未单纯的提高瓦斯浓度，而是将提高瓦斯浓度与提高瓦斯抽采量结合起来，并以提高瓦斯抽采量为主体来进行。最终以提高瓦斯抽采率、瓦斯抽采率达标作为主攻目标。

一、N1203 工作面基本情况

(一)、位置

N1203 工作面位于矿井北一采区，北接北一 2#回风上山、北二胶带上山、北二进风上山，东临 N1205 设计工作面，南面为实体煤，西临 N1202 设计工作面。

(二)、煤厚及瓦斯含量

地面标高+948.8~+999.5m，工作面标高+439.1~+465.2m，煤层厚度 6.0—7.0m，平均：6.60m。煤层倾角由北向南 -3° ~ $+4^{\circ}$ ，由北向南平均倾角 2.5° ，容重 1.39t/m^3 ，瓦斯含量 $12.1\text{m}^3/\text{t}$ 。

(三)、煤层顶板情况

表 1 N1203 煤层顶底板情况

老 顶	细~中粒砂岩	0.92~14.67
直接顶	泥岩~粉砂质泥岩	2.85~3.68
伪 顶	含砂泥岩	0~0.45
直接底	砂质泥岩~细粒砂岩	1.20~2.00
老 底	粉~细粒砂岩	0.70~2.45

(四)、地质构造情况

工作面整体为由东向西倾斜的单斜构造，局部发育小型褶曲，平均坡度 -2.5° 。

1、根据三维地震及实际揭露巷道资料，整个工作面回采区内不存在落差大于 5m 的断层和直径超过 20m 的陷落柱。整个工作面共发育 6 个构造，发育于回风顺槽与瓦排巷 3#横贯处的 F109 正断层；发育于进风顺槽与胶带顺槽中部的 F103 正断层、F104 正断层、F105 正断层；发育于

进风顺槽 4#贯以南约 100m 的 F48 正断层；发育于回采线北侧北一 2#回风上山中部的 X45 陷落柱。

2、根据工作面坑透报告，工作面回采期间共发育 3 块异常区域，分别如下：

一号异常区，位于切眼以北 135m~197 m。结合瓦斯抽采平行孔资料，推测该处发育断层或陷落柱的可能性较小，可能为瓦斯异常区。

二号异常区，位于切眼以北 370m~416 m。结合瓦斯抽采平行孔资料，推测该处发育断层或陷落柱的可能性较小，可能为瓦斯异常区。

三号异常区，位于切眼以北 888m~937 m。结合瓦斯抽采平行孔资料，推测该处发育断层或陷落柱的可能性较小，可能为瓦斯异常区。

表 2 N1203 断层、陷落柱特征

构造	走向	倾向	倾角	性质	落差 (m)	对回采的影响
F109	115°	25°	31°	正	1.1	延伸至工作面（延伸范围长度不大于 50m）
F103	118°	28°	32°~60°	正	0.8	延伸至工作面（延伸范围长度不大于 50m）
F104	270°	180°	44°	正	2.4	延伸至工作面（延伸范围长度不大于 50m）
F105	90°	0°	30°	正	0.4	延伸至工作面（延伸范围长度不大于 50m）
F48	270°	180°	45°	正	1.5	无
构造	直径（长轴×短轴）		控制程度		对回采的影响	
X45 陷落柱	55m×45m		边界明确		防止回采震动造成滞后突水	

（五）、水文情况

结合地面瞬变电磁及现有水文地质资料，本工作面水文地质条件简单，不存在奥灰水突水的危险，N1203 工作面防治水重点是对 3#煤层上

覆 K8、K10 含水层富水区涌水的治理和 X45 陷落柱滞后突水的防治工作。

预测在回采期间工作面最大涌水量 $80\sim 100\text{m}^3/\text{h}$ ，正常涌水量为

$20\sim 60\text{m}^3/\text{h}$ 。

二、课题技术研究内容及要求

（一）、研究目的

逐步建立工作面瓦斯抽采工程设计、施工、安装、测试和管理“五位一体”的技术和管理工作模式。提高和稳定抽采瓦斯浓度，确保工作面安全和实现高产。

（二）、技术研究内容

1、以 N1203 采面为研究试验和实施地点，从掘进到回采过程中对抽采工程进行全程监测；

2、对工作面抽采工程进行设计；

3、对钻孔施工、封孔、联网提出标准化要求并监督实施；

4、为建立采面瓦斯抽采工程管理体系和抽采工程参数考查验收体系打下基础；

5、加强瓦斯抽采参数测试，及时收集工作面瓦斯涌出资料，及时计算工作面瓦斯抽采率，分析变化原因，及时提出整改方案；

6、参加抽采技术措施的整改；

7、通过实践形成工作面瓦斯抽采浓度的系统总结。

（三）、形式和要求

以实现抽采瓦斯浓度为中心，对采面抽采工程进行技术指导与管理，逐步完善采面瓦斯抽采工程的合理性和规范性。

（四）、应达到的技术指标和参数

顺层孔瓦斯浓度达到 45%，高位钻孔、高位巷道应力集中带瓦斯浓度在 40%以上，减少 N1203 采面瓦斯预警次数，同 N1203 工作面同期相比减少 30%以上，以通风科提供数据为依据，减轻通风管理压力。

（五）、课题研究内容的变动

该课题承担单位原是另外一个单位，经审批后，直接转到河南理工大学承担。开始工作后认为一个工作面单纯攻瓦斯浓度是不够的，工作面应该以提高抽采瓦斯量和抽采率为中心。所以课题组将课题扩大为提高瓦斯浓度、瓦斯抽采量和抽采率三个参数。并以提高工作面瓦斯抽采率为中心来开展工作。

三、采面抽采情况

对 N1203 工作面瓦斯抽采是在 N1201 和 S2205 两个工作面提高瓦斯抽采率实施的基础上进行的全面推广。N1203 工作面采用综合瓦斯抽采立体布孔方式，工作面煤体布置有切眼预抽孔、回风巷和胶带巷顺层孔、上隅角截流孔、回风巷和胶带巷顶板裂隙带卸压孔、瓦排巷高位钻孔和瓦排巷高位钻场，通过提高钻孔密度来提高抽采瓦斯的效果。

N1203 工作面钻孔显著特点是：

- 1、加强了裂隙带瓦斯抽采：在瓦排巷设计高位钻场两个；
- 2、加强卸压带抽放：在回风巷、胶带巷布置 89 个和 98 个卸压孔；
- 3、在回风巷各钻场布置上隅角截流孔。

四、课题研究工作情况

(一)、N1203 抽采钻孔布置设计图及施工方案

- 1、N1203 瓦排巷高位钻场设计及施工图；
- 2、N1203 高位钻场钻孔联网方式设计图；
- 3、N1203 瓦排巷高位钻孔设计图；
- 4、N1203 回风巷卸压孔设计图；
- 5、N1203 回风巷上隅角钻孔设计图；
- 6、N1203 顺层孔设计示意图；
- 7、N1203 切眼钻孔设计图；
- 8、N1203 综合抽采钻孔布置示意图；

(二)、各类型钻孔设计说明

1、顺层孔：在胶带巷和回风巷向工作面内部布孔。回风巷布孔 376 个，胶带巷布孔 339 个。钻孔间距 2.5 米，设计孔深 150 米；

2、切眼钻孔：切眼共布置 209 个钻孔，分上下两排进行施工。孔间距 1 米，上排孔倾角 3° ，孔深 90 米，下排孔与煤层底板平行，孔深 80 米；

3、卸压孔：从回风巷和胶带巷向切眼煤层顶板方向布置的裂隙孔，与高位钻孔和高位钻场一同抽放采动裂隙带瓦斯。卸压孔与所在巷道呈 65° 夹角，与煤层底板呈 17° 夹角施工，孔深 100 米，孔间距 10 米。回风巷布置 89 个钻孔，胶带巷布置 98 个钻孔；

4、高位钻孔：在瓦排巷共布置 35 个钻孔，与煤层底板呈 17° 夹角向工作面顶板方向布孔，孔深 100 米，孔间距 30 米。高位钻孔不仅可

以抽放裂隙带瓦斯，还可以抽放采空区瓦斯；

5、上隅角截留孔：在回风巷钻场内向切眼煤层顶板方向布孔，每个钻场布置两个钻孔，钻孔与煤层顶板夹角 13° ，孔深 100 米，终孔点距煤层顶板高 17 米，主要抽放回采过程中上隅角裂隙带瓦斯；

6、高位钻场：在瓦排巷布置两个高位钻场，每个钻场设计 12 个钻孔，钻孔深 100 米，倾角 12° ，与回风巷呈一定夹角向工作面煤层顶板上方布孔，终孔点距煤层顶板的范围在 25~30 米以内，主要抽放裂隙带瓦斯。钻孔在顶板裂隙中控制的范围很大，抽采量是顺层孔的 3~30 倍。

（三）、钻孔施工情况

表 3 N1203 钻孔施工情况

巷道名称	钻孔类型	孔数	总进尺
瓦排巷	高位钻场	24	2400
瓦排巷	高位孔	35	3500
回风巷	顺层孔	376	52220
	卸压孔	89	
胶带巷	顺层孔	339	50708
	卸压孔	98	
切眼	预抽孔	209	18810
合计		1170	127638

表 4 钻孔深度统计（抽取回风巷 100 个孔施工数据）

深度区间	小于 100	101—120	121—150	大于 150
计数	16	28	52	4
比例（%）	16	28	52	4

（四）、管路安装情况

2010 年 5 月初，施工队开始对 N1203 采面内的钻孔联网进行系统整改，到 5 月下旬基本上把原来的“T”型联接全部改为“L”型联接，使钻孔水堵情况得到了明显改善，也提高了抽采负压和瓦斯流量，见如下示意图。

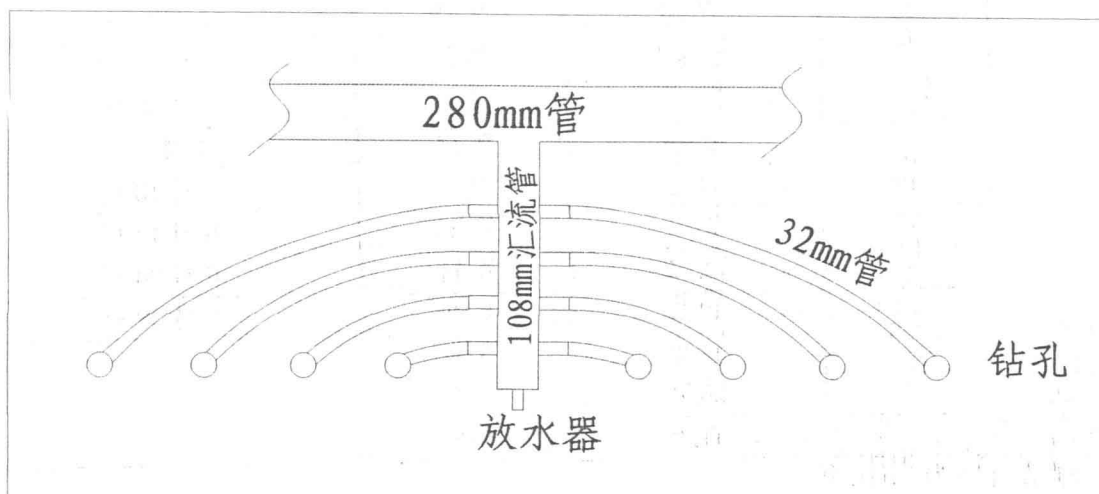


图1 “T”型联网图

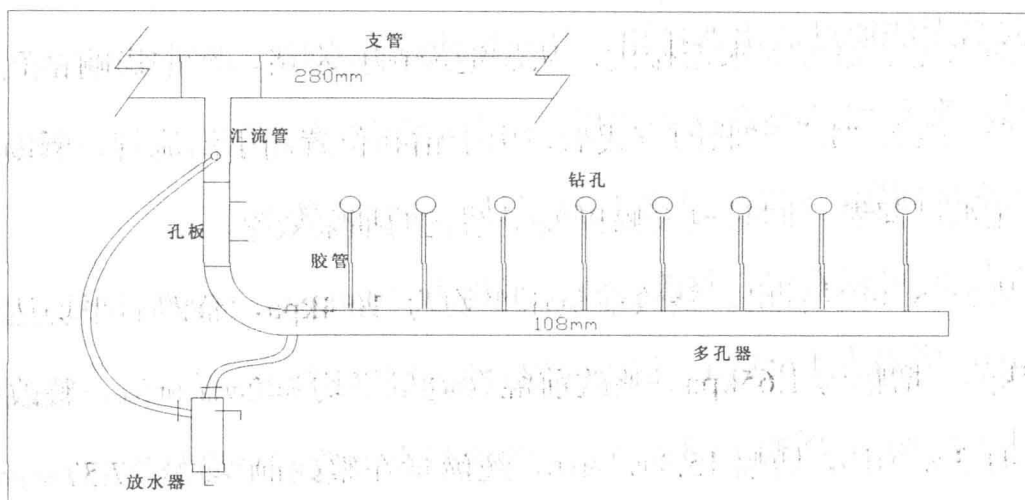


图2 “L”型联网图

表5 整改前后效果比较(根据抽采科回风巷测试数据)

	负压 (kpa)	混合流量 (m ³ /min)	纯流量 (m ³ /min)	测试日期
整改前	9	22.08	6.01	2月1日
	8	18.29	9.44	2月20日
	11	28	7.11	3月10日
	12	23.6	7.84	3月20日
	11	31.3	8.83	4月1日
	10	30.1	7.04	4月28日
	12	28.31	6.74	5月7日
最高	12	31.3	9.44	
最低	8	18.29	6.01	
平均	10.4	26	7.57	
整改后	12	39.6	9.58	5月21日
	12	39.6	9.58	5月23日

	12	39.68	9.29	5月25日
	12	39.86	9.41	5月27日
	12.5	40.25	9.1	6月3日
	12	40.46	8.74	6月7日
	12	44.2	9.6	6月10日
	12	43.7	9.83	6月12日
	12	42.97	9.11	6月20日
	12	42.9	9.09	6月28日
最高	12.5	44.2	9.83	
最低	12	39.6	8.74	
平均	12.05	41.3	9.33	

注：测试日期为 2010 年。

“T”型联网方式中，有的钻孔低于汇流管连接点高度，使一部分钻孔中的水无法通过放水器排出，从而造成钻孔水堵，严重影响钻孔的正常抽采。改为“L”型联网方式后，由于钻孔位置高于汇流管，所以解决了钻孔水堵问题，同时也大幅提高了钻孔的抽采效率。

从表 5 可以看出，整改前负压平均为 10.4kpa，整改后平均达到了 12.05kpa，增幅为 1.65kpa。整改前混合流量平均为 26 m³/min，整改后平均为 41.3 m³/min，增幅 15.3 m³/min。纯流量在整改前平均是 7.57 m³/min，整改后平均是 9.33 m³/min，增幅 1.76 m³/min。所以，联网方式的改变对 N1203 采面提高瓦斯抽采率起到了重要的作用。

（五）、抽采情况调查及阶段总结

2010 年元月份合同签订以后，河南理工大学瓦斯抽采科研小组开始进入课题工作。以提高 N1203 采面综合抽采率为中心，以提高采面瓦斯浓度为手段，以逐步建立工作面瓦斯抽采工程设计、施工、安装、测试和管理“五位一体”的技术和管理工作模式为目标，系统地提出了七份阶段性科研报告（总结）和六份整改意见，并将现场发现的问题向抽采科和抽采队（组）及时沟通，确保了 N1203 工作面的稳产和高产。

提出的科研阶段总结和整改意见文件题目如下：

科题研究阶段总结

- 1、N1203 工作面瓦斯抽采设计说明书；（2010.1.3）
- 2、N1203 工作面整改效果分析；（2010.3.5）
- 3、N1203 工作面瓦斯预抽评估；（2010.5）
- 4、N1203 工作面切眼段瓦斯预抽评估报告；（2010.8.28）
- 5、N1203 工作面提高瓦斯抽采浓度工艺技术研究课题阶段总结；
（2010.11.18）
- 6、N1203 工作面高位钻场抽采情况调查阶段总结；（2010.12.22）

整改意见

- 1、N1203 工作面各巷道瓦斯抽采负压调查及整改意见；（2010.1.29）
- 2、N1203 工作面检查问题汇总；（2010.3.20）
- 3、N1203 工作面钻孔联网存在问题及整改意见；（2010.8.27）
- 4、N1203 工作面瓦斯抽采整改意见；（2010.9.13）
- 5、N1203 工作面裂隙孔管理及整改意见；（2010.9.19）
- 6、N1203 工作面高位钻孔管理、卸压孔管理意见；（2011.3.4）

五、N1203 采面瓦斯抽采浓度情况及技术措施

(一)、瓦斯抽采浓度

1、顺层孔瓦斯抽采浓度

N1203 工作面共布置 715 个本煤层顺层钻孔，其中回风巷布置了 376 个，胶带巷布置了 339 个。钻孔设计孔深 150 米，与煤层底板倾角呈 2° 夹角向 3#煤层钻进。钻孔分上下两排，三花眼分布，钻孔间距 2.5 米。

顺层钻孔是采面布置数量最多的钻孔，其抽采效果的好坏直接影响采面的整体效果。N1203 工作面切眼距停采线走向长 1023 米，采面倾斜宽 305 米，顺层孔布置的间距比较小，留空白带少。

2009 年 5 月份开始 N1203 回风巷和胶带巷布置顺层钻孔，钻孔施工完成后立即带抽。我们从胶带巷和回风巷各抽出 3 组钻孔来反映整个采面顺层孔瓦斯抽采的浓度变化情况。

表 6 回风巷顺层孔浓度汇总

日期	浓度 (%)	钻孔编号	日期	浓度 (%)	钻孔编号
2010-7-26	36.2	73-79	2010-8-28	51.4	111-114
2010-12-7	45.2	73-79	2010-9-5	47.4	111-114
2010-12-14	42.6	73-79	2010-9-13	45.2	111-114
2010-12-24	41.8	73-79	2010-9-17	45.6	111-114
2010-8-7	75.1	73-79	2010-9-19	48.4	111-114
2010-8-13	72.4	73-79	2010-9-22	46.8	111-114
2010-8-18	77.4	73-79	2010-10-1	25.6	111-114
2011-1-4	41.8	73-79	2010-10-3	25.4	111-114
2011-1-7	40.6	73-79	2010-10-8	25.4	111-114
2011-1-9	41.2	73-79	2010-10-19	23.6	111-114
2011-1-13	41.2	73-79	2010-10-21	23.8	111-114
2011-1-16	41.2	73-79	2010-10-30	22.8	111-114
2011-1-20	41.6	73-79	2010-11-4	47.2	111-114
2011-1-24	41.6	73-79	2010-11-9	47.4	111-114
2011-1-27	40.2	73-79	2010-11-13	47.2	111-114
2011-2-1	31.6	73-79	2010-11-22	46.8	111-114
2011-2-4	41.6	73-79	2010-11-26	46.8	111-114
2011-2-8	41.6	73-79	2010-12-3	46.2	111-114

2011-2-9	40.4	73-79	2010-12-7	46.2	111-114
2011-2-16	35.2	73-79	2010-12-14	41.4	111-114
2011-2-20	38.6	73-79	2010-11-25	42	179-186
2011-3-1	36.2	73-79	2010-11-27	18.6	179-186
2011-1-13	38.8	111-114	2010-11-28	13.6	179-186
2011-1-16	37.6	111-114	2010-12-2	42	179-186
2011-1-20	37.2	111-114	2010-12-5	42.6	179-186
2011-1-24	32.6	111-114	2010-12-7	30.6	179-186
2011-1-27	38.2	111-114	2010-12-10	28.4	179-186
2011-2-1	35.2	111-114	2010-12-12	30.8	179-186
2011-2-4	37.2	111-114	2010-12-13	26	179-186
2011-2-8	37.2	111-114	2010-11-26	14.4	179-186
2010-8-10	57.8	111-114	2010-11-26	13.8	179-186
2011-2-9	34.6	111-114	2010-12-14	35	179-186
2010-8-16	52.8	111-114	2010-12-17	18	179-186
2010-8-23	50.6	111-114	2010-12-20	20	179-186
2010-8-26	52.6	111-114	2010-12-21	22	179-186

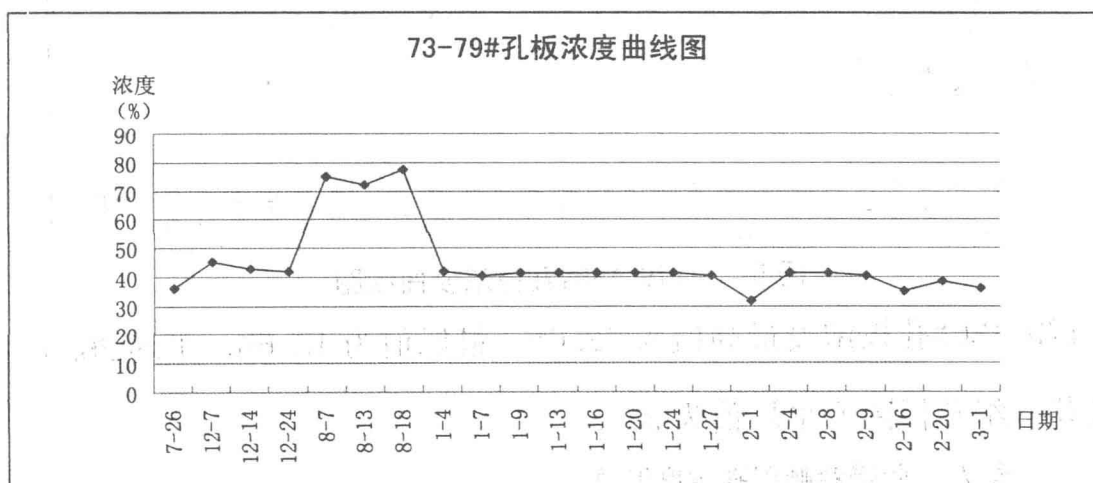


图 3 73-79#孔板浓度曲线图

73-79#孔板浓度最高值为 77.4%，最低值为 31.6%，平均 44.8%。

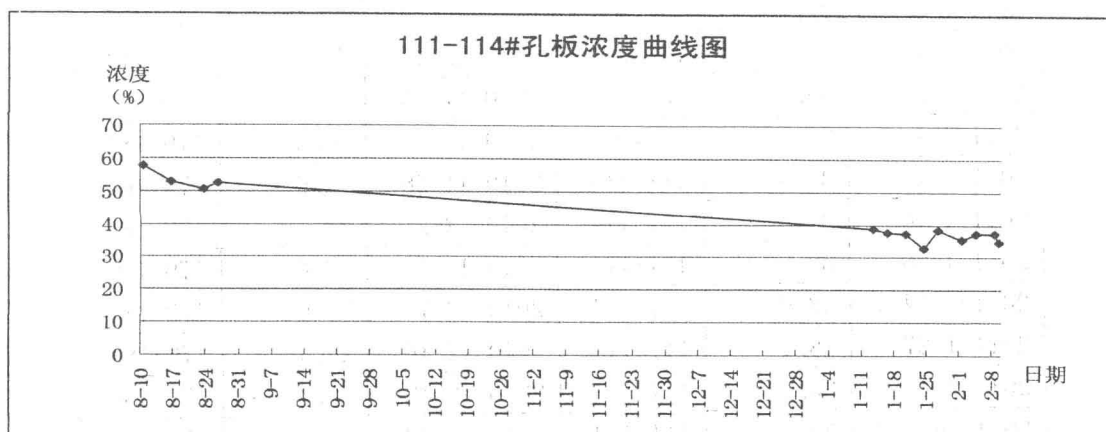


图 4 111-114#孔板浓度曲线图

111-114#孔板浓度最高值为 57.8%，最低值为 22.8%，平均 40.7%。

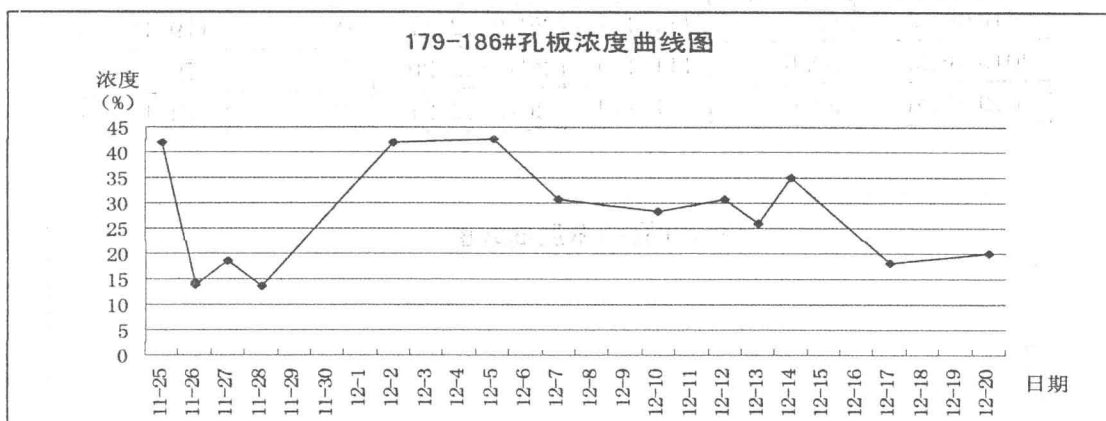


图 5 179-186#孔板浓度曲线图

179-186#孔板浓度最高值为 42.6%，最低值为 13.6%，平均 26.5%。

回风巷三组孔板浓度平均值为 37.3%。

表 7 胶带巷顺层孔浓度汇总

日期	浓度 (%)	钻孔编号	日期	浓度 (%)	孔板编号
2010-7-11	21.2	105-111	2010-10-4	32.6	61-66
2010-7-26	20.8	105-111	2010-10-8	32.6	61-66
2010-8-5	20.2	105-111	2010-10-18	17.2	61-66
2010-8-16	70.2	105-111	2010-10-19	17.2	61-66
2010-8-23	68.6	105-111	2010-10-26	16.8	61-66
2010-8-24	68.6	105-111	2010-10-31	16.8	61-66
2010-8-31	69.2	105-111	2010-11-2	23.2	61-66
2010-9-5	63.2	105-111	2010-11-4	22.8	61-66
2010-9-13	63.2	105-111	2010-11-7	26.6	61-66
2010-9-22	62.8	105-111	2010-11-9	28.6	61-66
2010-10-4	42.6	105-111	2010-11-13	26.4	61-66

2010-10-19	20.6	105-111	2010-11-18	26.2	61-66
2010-10-21	21.4	105-111	2010-11-20	26.8	61-66
2010-10-26	20.8	105-111	2010-11-23	25.2	61-66
2010-10-31	20.8	105-111	2010-12-14	19.6	61-66
2010-11-2	69.2	105-111	2010-12-18	19.6	61-66
2010-11-4	67.8	105-111	2010-11-30	22.6	61-66
2010-11-4	40.6	105-111	2011-1-4	19.8	61-66
2010-11-7	21.2	105-111	2011-1-7	20.4	61-66
2010-11-7	24.2	105-111	2011-1-9	17.8	61-66
2010-11-9	71.2	105-111	2011-1-13	38.2	61-66
2010-11-18	64.8	105-111	2011-1-16	38.2	61-66
2010-11-18	50.8	105-111	2011-1-20	37.4	61-66
2010-11-23	73.8	105-111	2011-1-24	36.8	61-66
2010-11-26	68.6	105-111	2011-2-1	35.4	61-66
2010-11-30	67.2	105-111	2011-2-4	36.2	61-66
2011-1-7	61.2	105-111	2011-2-9	36.2	61-66
2011-1-13	66.8	105-111	2011-2-15	49.4	61-66
2011-1-16	66.8	105-111	2011-2-20	40.2	61-66
2011-1-20	65.4	105-111	2011-2-25	39.8	61-66
2011-1-24	64.8	105-111	2011-3-1	39.8	61-66
2011-2-1	64.8	105-111	2011-3-12	25.8	61-66
2010-12-10	67.6	105-111	2011-3-15	25.2	61-66
2010-12-24	65.4	105-111	2011-3-17	24.6	61-66
2011-2-4	64.2	105-111	2010-11-23	76.6	72-80
2011-2-9	64.8	105-111	2010-12-10	41.2	72-80
2011-2-15	64.8	105-111	2010-12-14	41.2	72-80
2011-2-19	64.8	105-111	2010-12-18	40.8	72-80
2011-2-20	62.6	105-111	2010-12-20	39.8	72-80
2011-3-1	57.4	105-111	2010-12-24	39.2	72-80
2011-3-12	63.2	105-111	2010-11-26	62.2	72-80
2011-3-15	62.8	105-111	2011-1-4	40.2	72-80
2011-3-17	51.4	105-111	2011-1-9	38.8	72-80
2010-7-5	48.8	61-66	2011-1-13	69.2	72-80
2010-7-18	51.2	61-66	2011-1-16	71.2	72-80
2010-7-26	51.6	61-66	2011-1-20	67.8	72-80
2010-8-1	51.6	61-66	2011-1-24	67.2	72-80
2010-8-5	45.8	61-66	2011-2-1	65.4	72-80
2010-8-5	46.8	61-66	2011-2-4	65.8	72-80
2010-8-16	47.4	61-66	2011-2-9	67.4	72-80
2010-8-23	47.8	61-66	2011-2-15	68.2	72-80

2010-8-26	47.2	61-66	2011-2-19	68.2	72-80
2010-9-5	36.4	61-66	2011-2-20	74.6	72-80
2010-9-13	36.2	61-66	2011-2-25	74.8	72-80
2010-9-17	36.4	61-66	2011-3-1	56.4	72-80
2010-9-19	36.2	61-66	2011-3-12	62.2	72-80
2010-9-22	36.4	61-66	2011-3-15	61.8	72-80
2010-9-22	35.8	61-66	2011-3-17	49.8	72-80

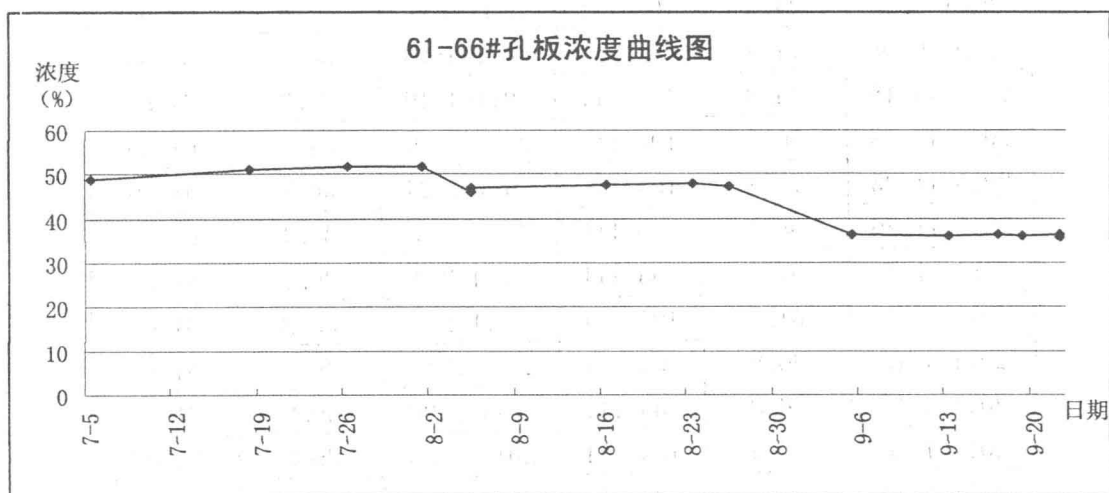


图 6 61-66#孔板浓度曲线图

61-66#孔板浓度最高值为 51.6%，最低值为 16.8%，平均 33.01%。

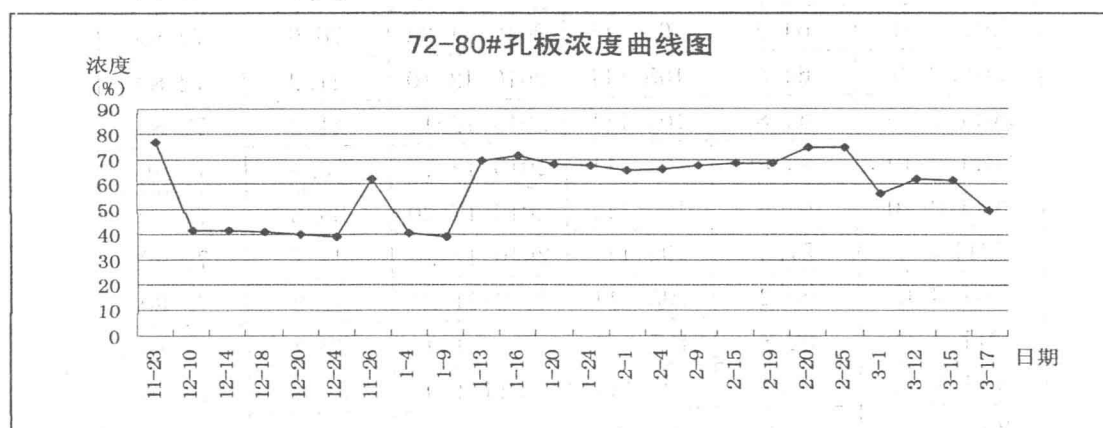


图 7 72-80#孔板浓度曲线图

72-80#孔板浓度最高值为 76.6%，最低值为 38.3%，平均 58.8%。