

文虎个人简介

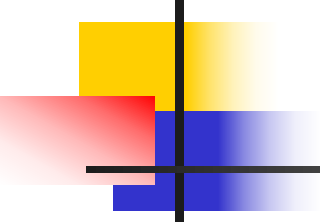
- 百千万人才工程国家级人选
- 国家有突出贡献专家
- 教育部新世纪优秀人才
- 全国优秀共产党员
- 陕西省“五一”劳动奖章
- 新疆生产建设兵团科技合作奖



主要从事矿山救援和灾害防治领域的教学科研工作，主持国家和省部级科技项目60余项，企业科技项目300多项。

获国家级科技和教学成果奖3项、省部级奖50余项、专利80余件，著作10多部，学术论文200余篇。

长期深入生产一线，攻克了煤火灾害防治、应急救援等方面的多项技术难题，指导事故救援200多起，被多个煤矿授予“名誉矿工”。

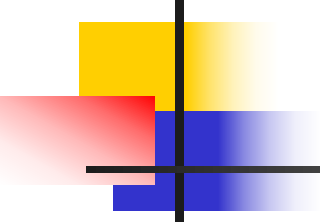


煤(井)田火区探测监测与 分级灭控技术

文 虎

西 安 科 技 大 学

2024. 08. 28



目 录

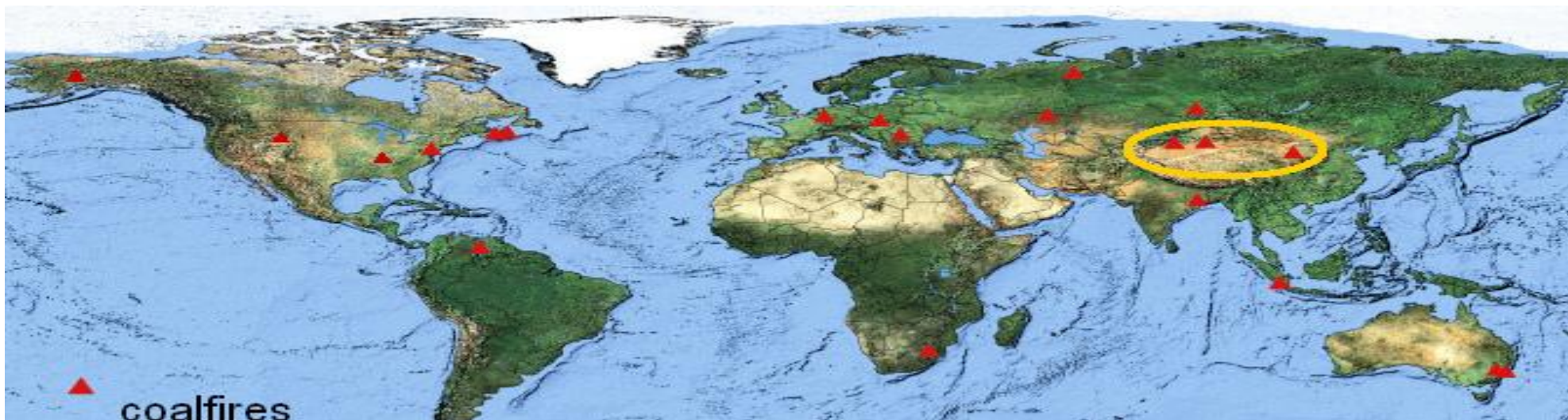
- 1 煤井田火区**类型及特征**
- 2 煤井田火区**探测和监测**技术
- 3 煤井田火区**分级灭控**技术
- 4 煤井田火区**治理实践**

1 煤井田火区类型及特征

煤井田火区是全球性的灾害

美国、印度、俄罗斯、澳大利亚、印度尼西亚、中亚、中国等主要产煤国家和地区，煤层自燃火灾普遍存在。

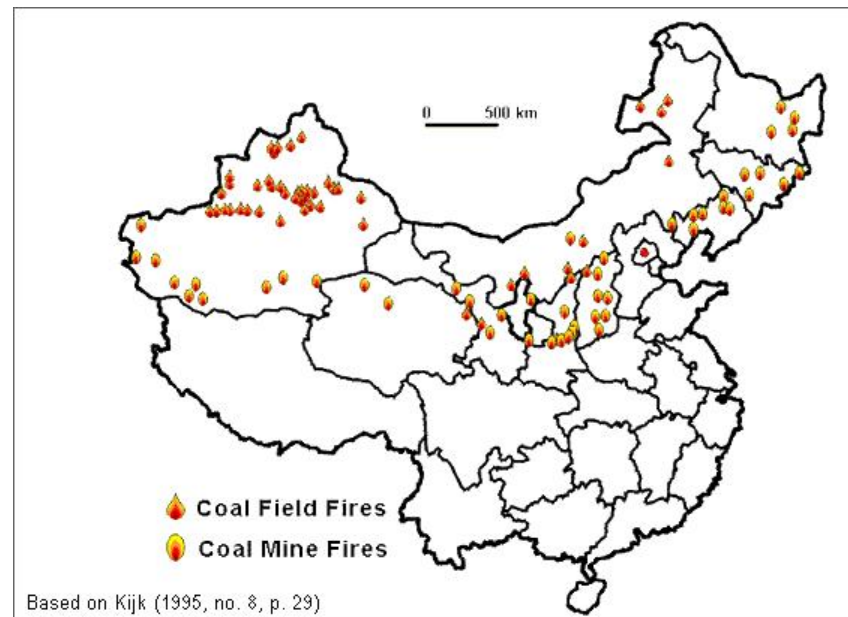
- 美国煤田火区：260多处
- 澳大利亚煤火：2000多年



1 煤井田火区类型及特征

我国煤井田火灾十分严重

- 着火面积: 720km²
- 威胁储量: 477亿吨
- 燃烧深度: >300m
- 地表温度: >300℃
- 烧毁煤量: >580万吨/年
- 温室气体: >1200万吨/年



1 煤井田火区类型及特征

煤井田火灾的主要危害

- 烧毁煤炭资源；
- 焚毁植被、引发山火；
- 滑坡塌陷，改变地貌；
- 污染大气（水）环境；
- 威胁周边矿井安全生产。



烧毁资源



烧毁植被



滑坡塌陷



污染环境

1 煤井田火区类型及特征

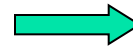
煤井田火区的主要类型

煤层露头
自燃火区



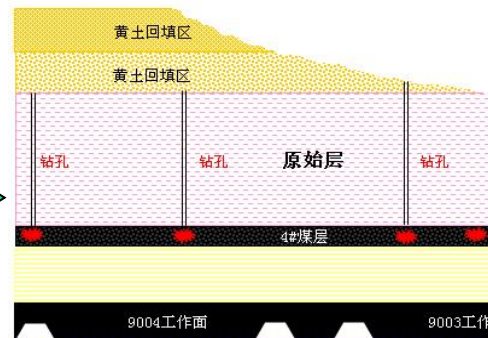
新疆、宁夏、
内蒙古、山西
、贵州等

封闭小窑
遗煤自燃火区



陕西、内蒙古
、宁夏、山西
四川、新疆

浅埋煤层群
上部采空区
遗煤自燃火区



陕西、新疆、
内蒙古、宁夏
、山西、四川

1 煤井田火区类型及特征

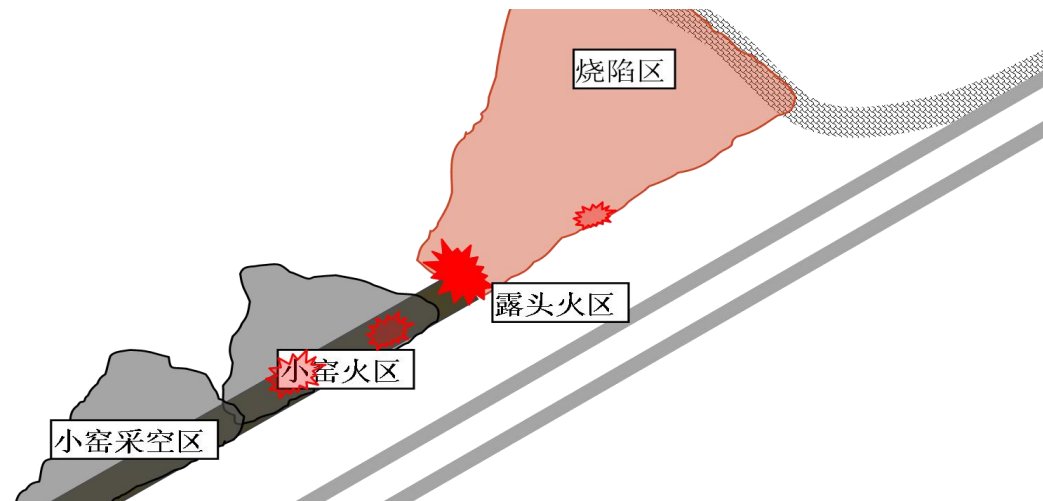
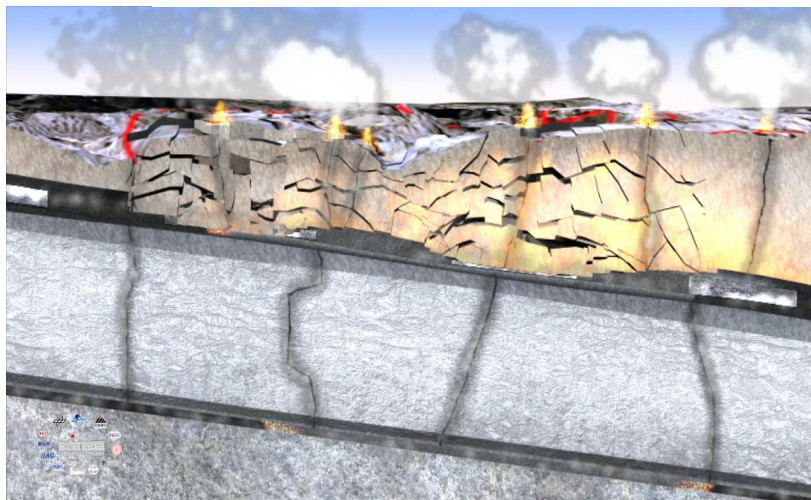
煤井田火区的主要特征

空间：面积大、范围广、立体分布；

火源：温度高（温区大）、储热量大、贫氧氧化、火源隐蔽；

供氧：火风压大、漏风供氧通道复杂（地表/井下）；

灭控：降温难、易复燃、控制周期长、易受开采扰动。



2 煤井田火区探测和监测技术

探测监测参数和技术方法

主要监测参数：位置、范围、深度、程度（温度）；
浅表明烟明火：红外热成像探测（位置、范围和浅表温度）；
中深隐蔽火源：氦法探测（位置、范围）
燃烧程度监测：孔底测温法（深度、温度）
指标气体分析法（中低温200度以下）



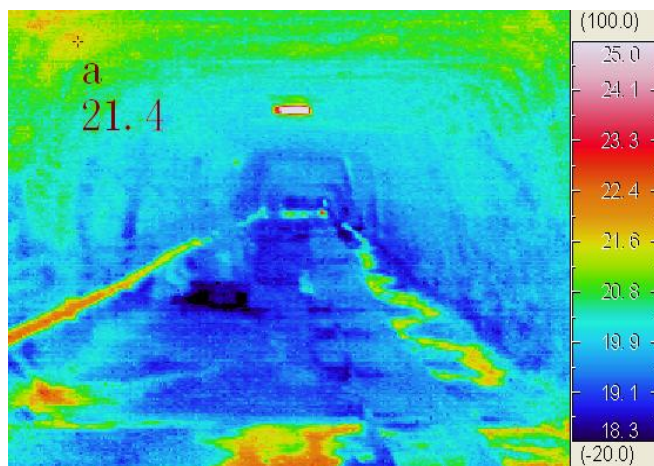
特征温度	温度阈值/°C	阶段名称	预警名称	温度范围/°C	气体指标预警阈值
吸附温度	30 (30~40)	潜伏阶段	预警初值	$T_m < 30$	$R_0 = \{O_2 > 18\% \cap CO > 50ppm\} \cup \{O_2 \in (15\%, 18\%) \cap CO > 80ppm\} \cup \{O_2 \in (12\%, 15\%) \cap CO > 150ppm\} \cup \{O_2 < 12\% \cap CO > 200ppm\}$
复合温度	50 (50~60)	复合阶段	灰色预警	$T_m \in (30, 50)$	$R_1 = R_0 \cap \{100 \times \Delta CO / \Delta O_2 \in (0.2, 0.4)\}$
临界温度	70 (70~80)	自热阶段	蓝色预警	$T_m \in (50, 70)$	$R_2 = R_0 \cap \{100 \times \Delta CO / \Delta O_2 \in (0.4, 0.6)\}$
热解温度	100 (90~110)	临界阶段	黄色预警	$T_m \in (70, 100)$	$R_3 = R_0 \cap \{100 \times \Delta CO / \Delta O_2 > 0.6\}$
裂变温度	150 (140~160)	热解阶段	橙色预警	$T_m \in (100, 150)$	$R_4 = R_3 \cap \{C_2H_4 > 0\}$
		裂变阶段	红色预警	$T_m \in (150, 210)$	$R_5 = R_4 \cap \{k = (C_2H_4 / C_2H_6)_{max}\}$
燃烧温度	210 (>210)	燃烧阶段	黑色预警	$T_m > 210^\circ C$	$R_6 = R_5 \cap \{k = C_2H_2 > 0, \text{明烟、明火}\}$

2 煤井田火区探测和监测技术

红外热成像探测技术

红外热成像技术是将不可见的红外光变成可见的图像。

红外热成像是对目标表面进行非接触的成像并分析其热图案。



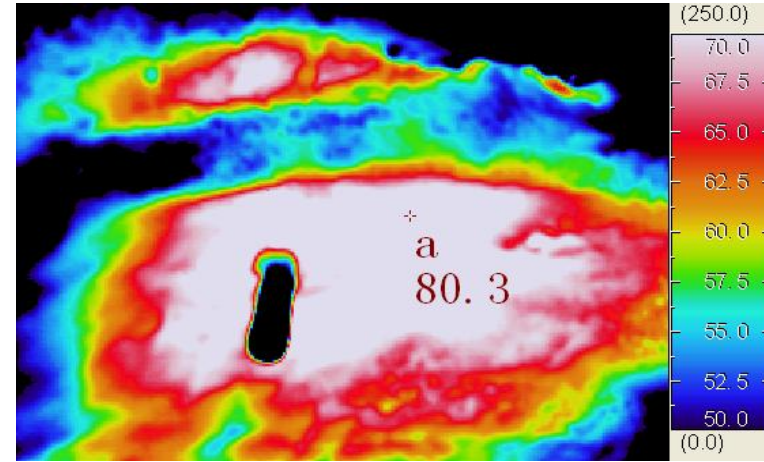
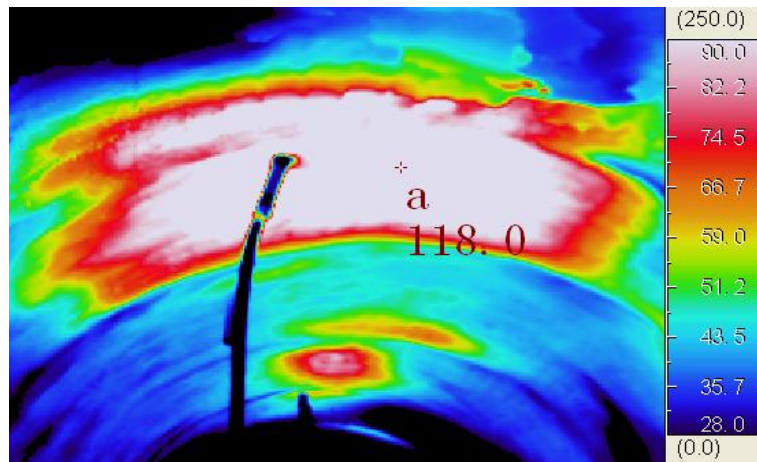
探测方法：二维探测；

红外异常：差异分析；

2 煤井田火区探测和监测技术

红外热成像探测技术

巷道高温位置
和范围探测

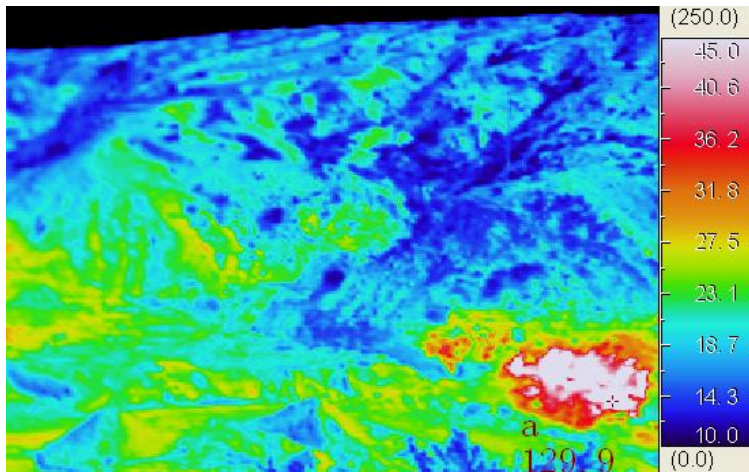


山西洪洞河北矿主斜井火灾红外热像图（正常壁温8℃）

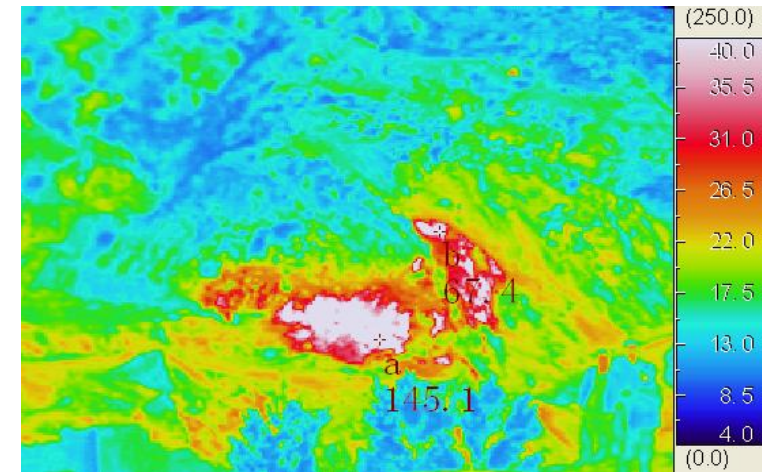
2 煤井田火区探测和监测技术

红外热成像探测技术

煤田露头火区探测



裕民



2 煤井田火区探测和监测技术

氡法探测技术

利用煤岩介质中天然放射性氡随温度升高析出率增强的特性，在地面探测氡的分布，经数据分析处理给出火源位置、范围及发展趋势。

1) 氡在岩石中的分布

在煤、铁、硫磺、粘土等沉积型矿的沉积岩中含有放射性元素氡。

2) 温度对氡分布的影响主要表现在

温度越高，析出的氡越多；

温度越高，氡向上运移速度越快。

3) 氡及其子体在地层中的运移

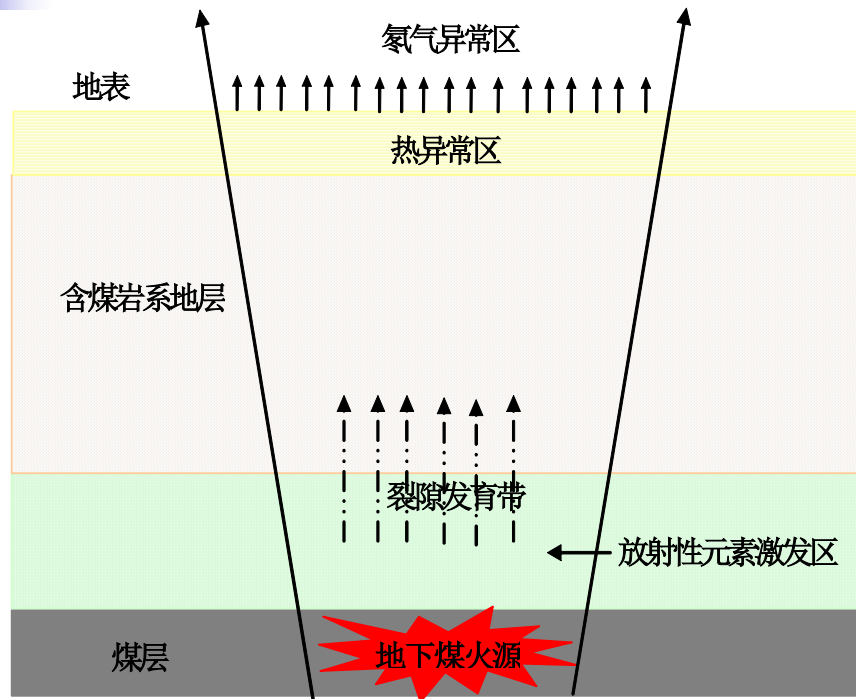
氡及其子体在地层中的纵向运移能力远大于其横向运移能力；

氡及其子体的向上运移能力远大于其横向运移能力；

氡及其子体的运移是以纵向为主，纵向运移几率不小于90%。

2 煤井田火区探测和监测技术

氦法探测技术



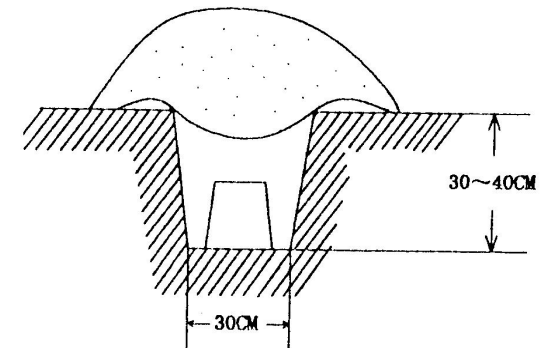
操作简单、成本低、精度高和
抗干扰能力强的优点。
探测深度超过500m。



测氦仪



α 探杯



地面探坑埋杯

2 煤井田火区探测和监测技术

氦法探测技术

探测工艺流程:

- 1) 确定区域
- 2) 布置测点
- 3) 挖坑埋杯
- 4) 取杯测量
- 5) 数据分析

布置测点



挖坑埋杯



取杯测量



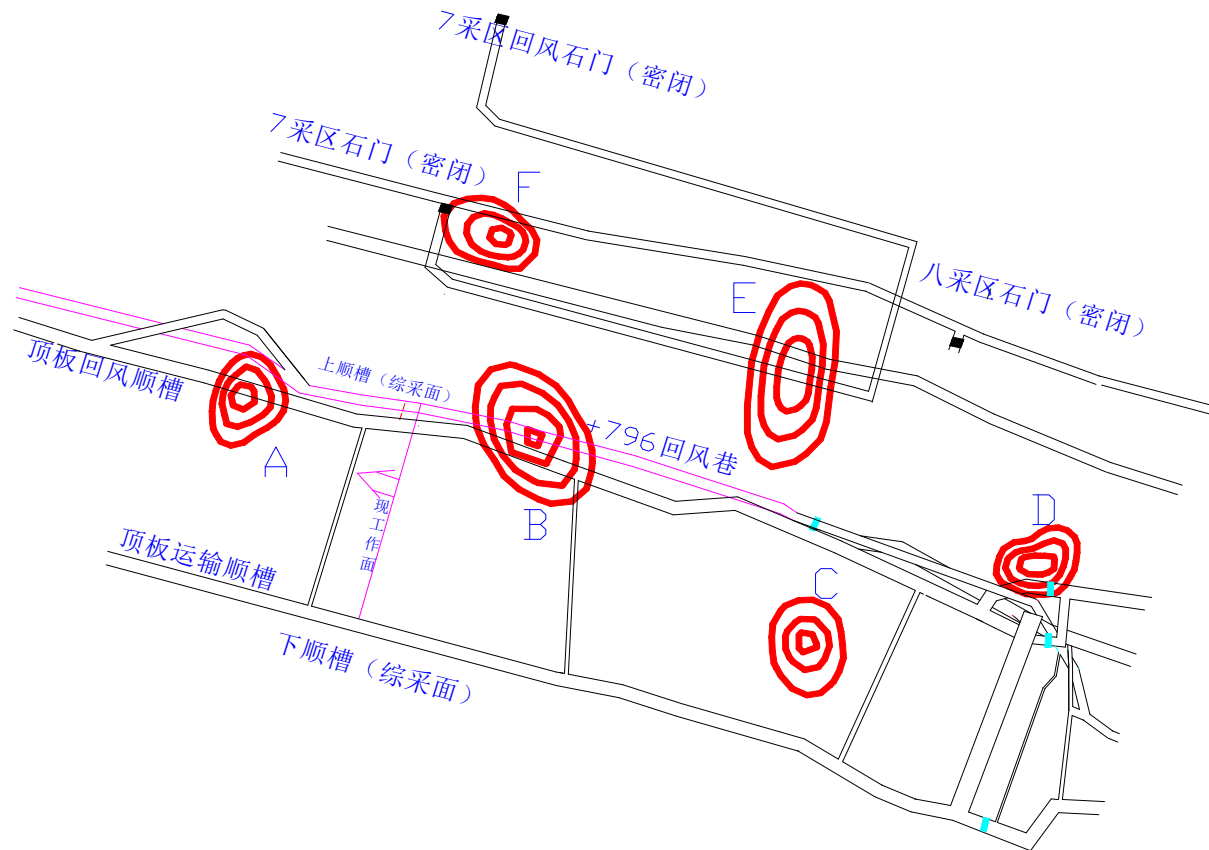
数据分析



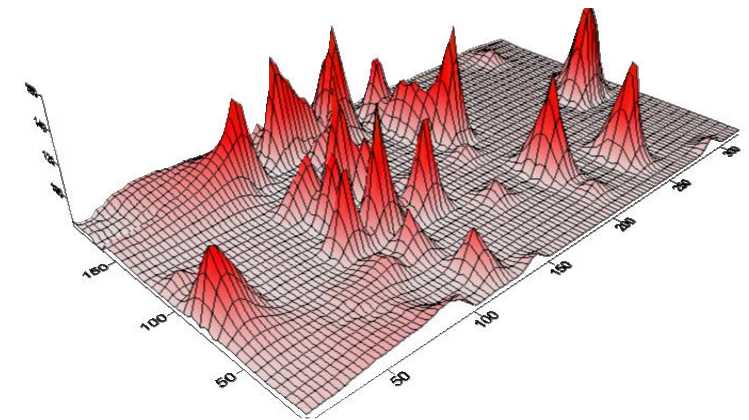
2 煤井田火区探测和监测技术

氦法探测技术

1) 新疆大黄山矿综放面火区探测



火源中心位置平面图 (面积43000m², 492个测点)

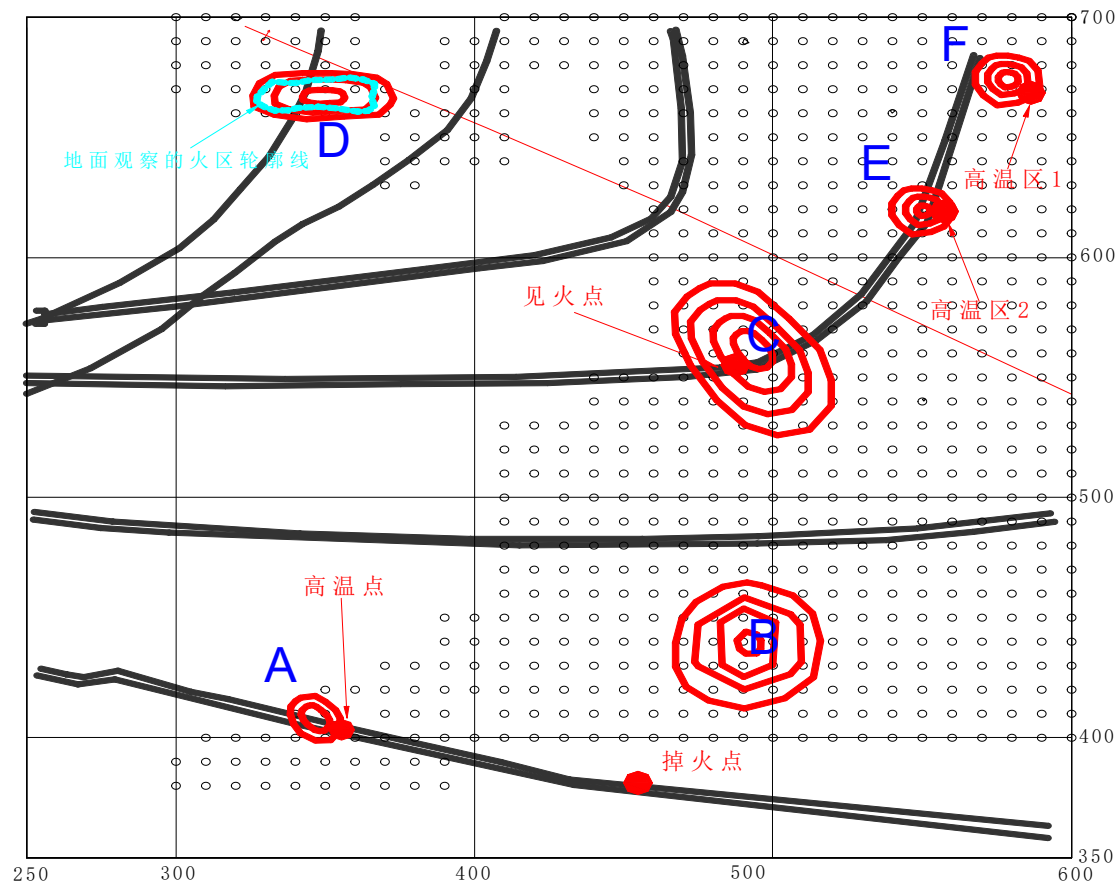


异常值立体图

2 煤井田火区探测和监测技术

氦法探测技术

2) 新疆阿克苏博孜墩火区探测



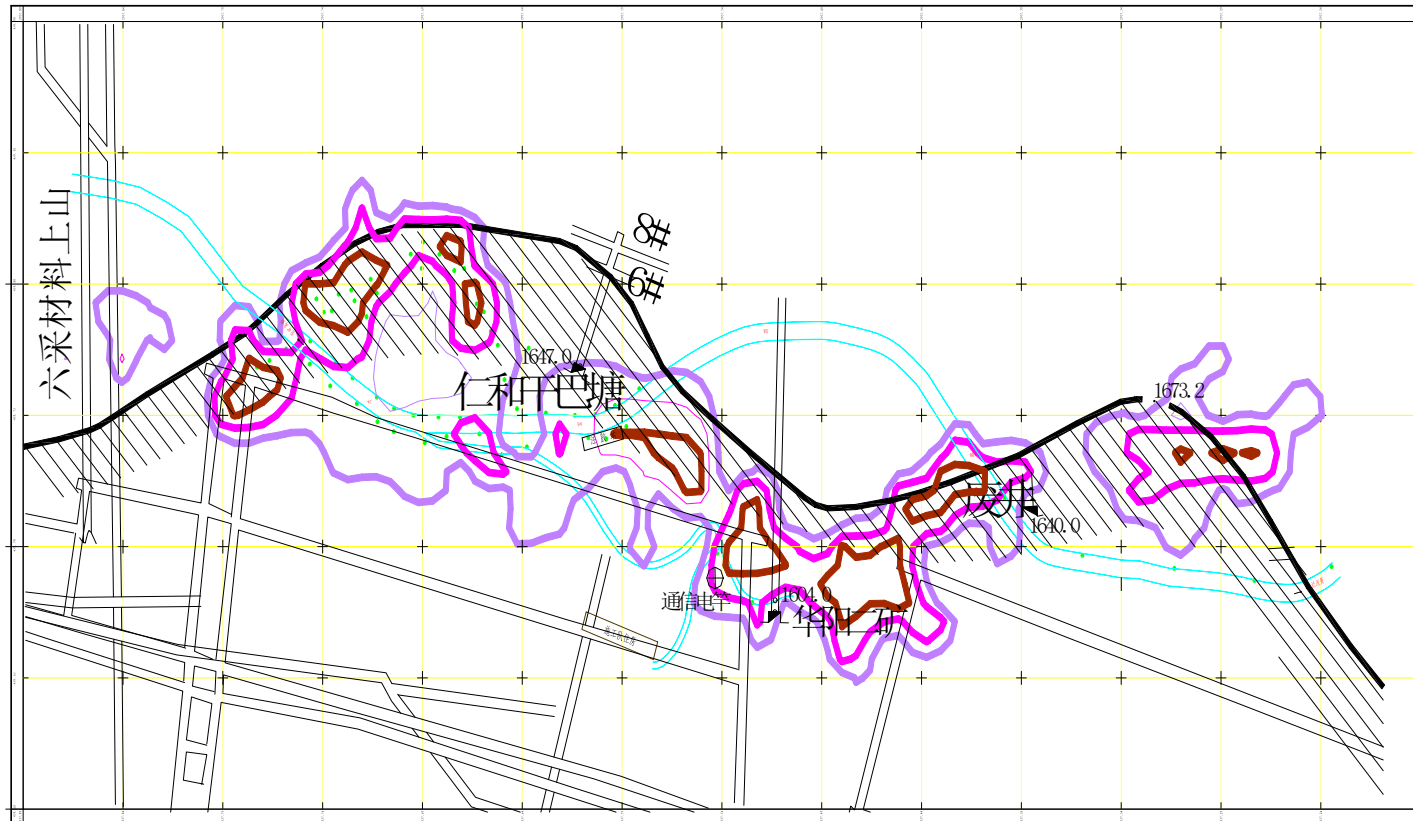
火源中心位置平面图（面积89200m², 670个测点）



2 煤井田火区探测和监测技术

氦法探测技术

3) 四川攀枝花大宝鼎火区探测



火源范围平面图（面积750*200m²，470个测点，火区8900m²）

2 煤井田火区探测和监测技术

煤井田火区综合探测技术方法

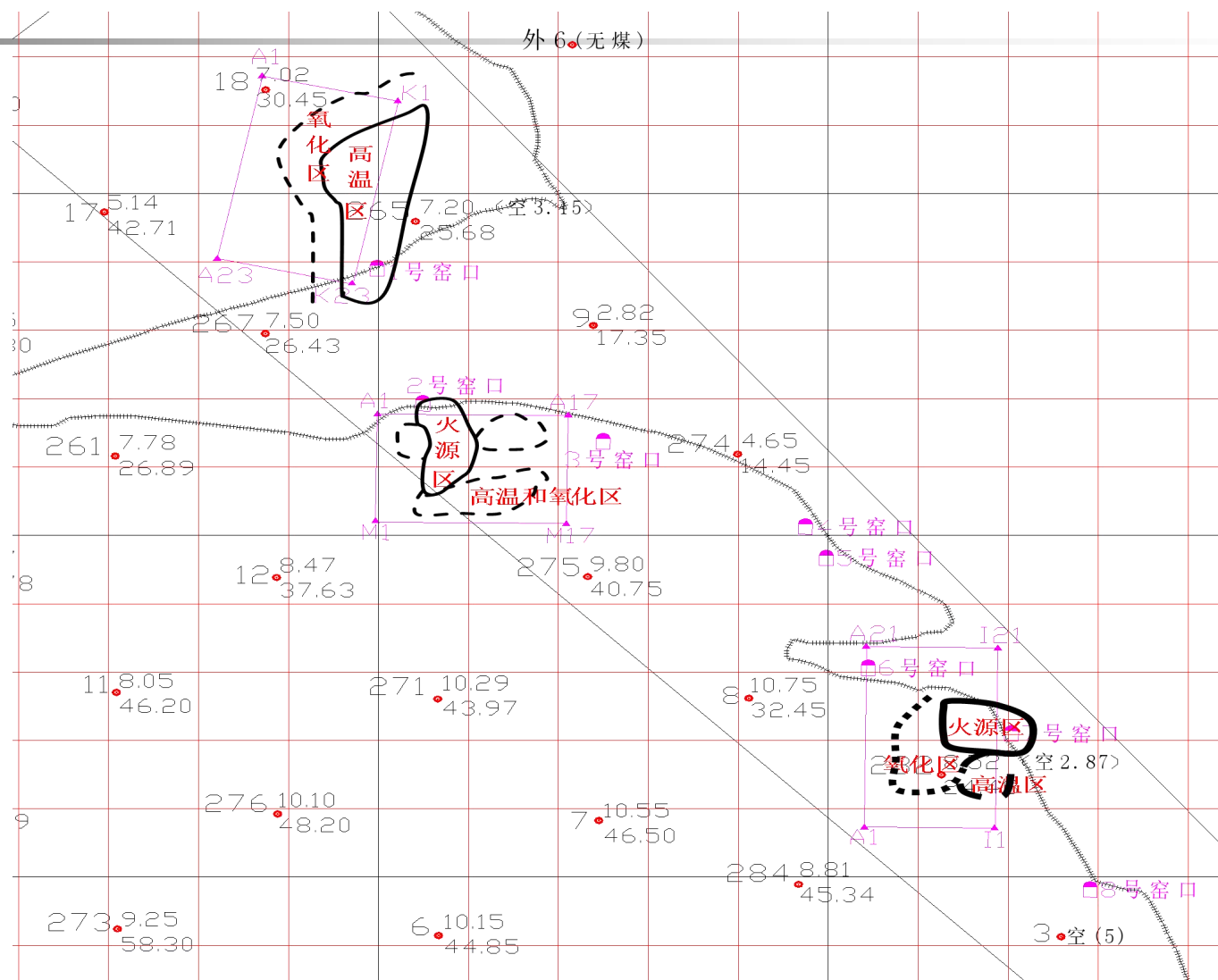
1) 郭家坡火区探测

探测方法:

现场调查;
现场踏勘;
GPS控制测量;
照片拍摄;
红外热成像;
氦法探测;

勘查成果:

火区地形和煤层露头;
明烟明火和裂隙区;
隐蔽高温区和
氧化区范围。



2 煤井田火区探测和监测技术

煤井田火区综合探测技术方法

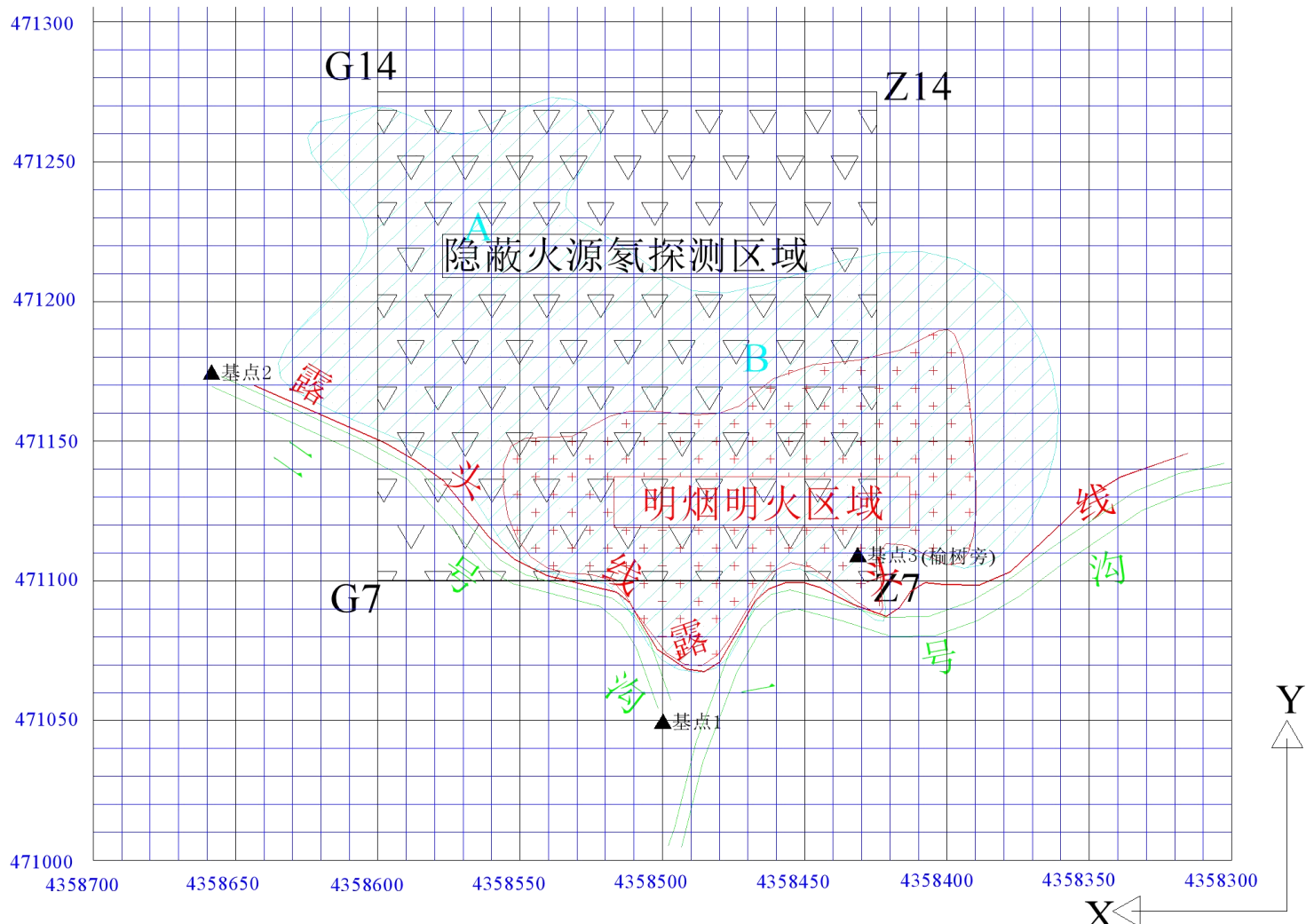
2) 不拉沟东梁火区探测

探测方法:

现场调查;
现场踏勘;
GPS控制测量;
照片拍摄;
红外热成像;
氦法探测;

勘查成果:

火区地形和煤层露头;
明烟明火和裂隙区;
隐蔽高温区和
氧化区范围。



2 煤井田火区探测和监测技术

煤井田火区综合探测技术方法

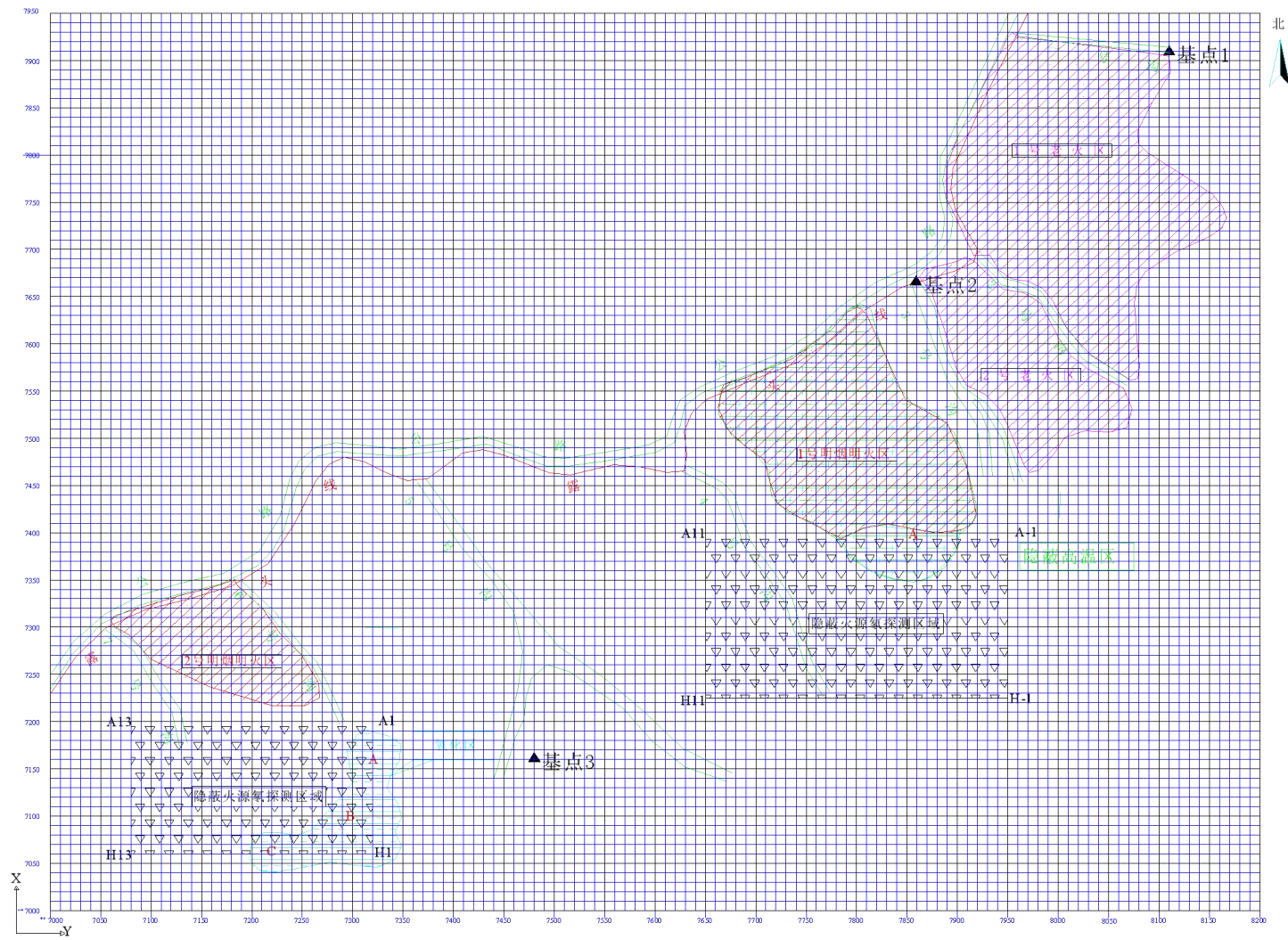
3) 皮达圪旦火区探测

探测方法:

现场调查;
现场踏勘;
GPS控制测量;
照片拍摄;
红外热成像;
氦法探测;

勘查成果:

火区地形和煤层露头;
明烟明火和裂隙区;
隐蔽高温区和
氧化区范围。



3 煤井田火区分级灭控技术

煤井田火区的灭控要素和方法

灭控要素：**煤体**、**氧气**、**温度**、**时间**

灭控方法：

控制**煤体**：挖除高温煤体等。

减少**供氧**：覆盖压实、充填堵漏、注惰气、封闭井下通道或井口。

移热**降温**：灌浆、注水、胶体、液氮、液态 CO_2 、三相泡沫等。

作用**时间**：气、液、固、胶等灭火材料的作用范围和时间。



高分子胶体



3 煤井田火区分级灭控技术

分级灭控总体思路

总体思路:

时空-分级-适配

分区: 煤层露头区

采煤扰动区

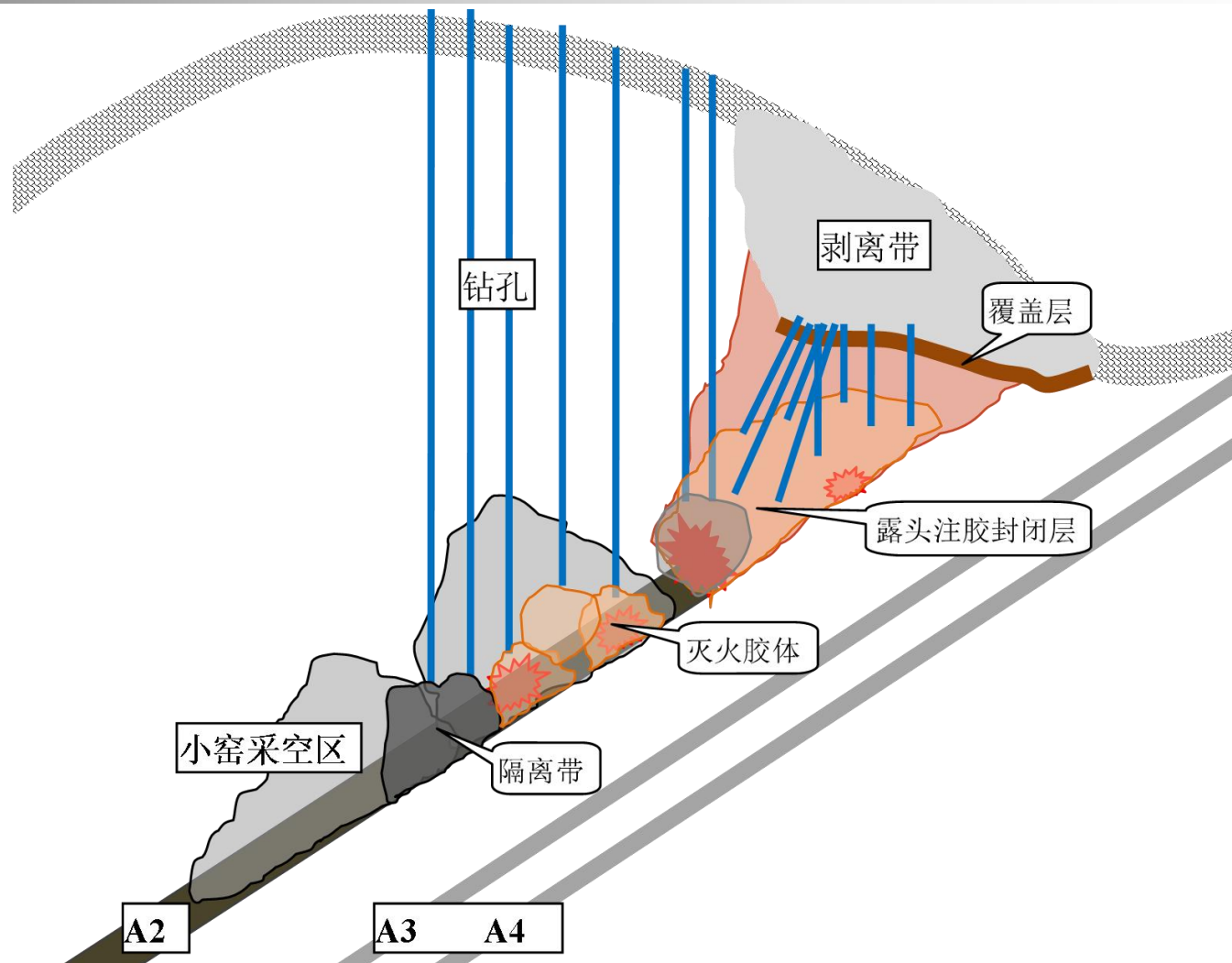
无扰动区

分级: 地表挖除

浅层充填

深部控制

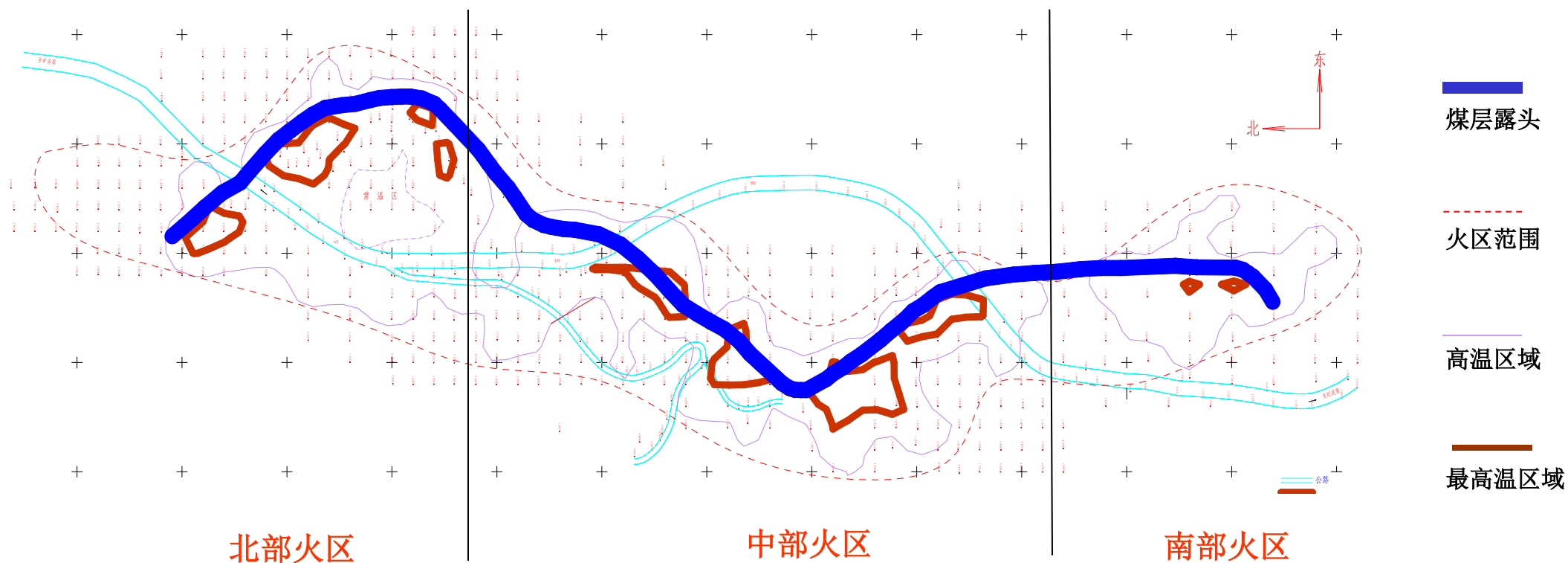
覆盖压实



4 煤井田火区治理实践

攀枝花大宝鼎火区治理

大宝鼎露头火区温度高达 500°C 以上，地表植物枯死或被煤烟熏黑，火区面积 8490m^2 。



4 煤井田火区治理实践

攀枝花大宝鼎火区治理



火区状况



4 煤井田火区治理实践

攀枝花大宝鼎火区治理



火区勘测



炸封小窑井口



剥挖覆盖



4 煤井田火区治理实践

攀枝花大宝鼎火区治理

南灌浆注胶站



建设灌浆注胶站



北灌浆注胶站



施工钻孔



4 煤井田火区治理实践

攀枝花大宝鼎火区治理



灌注复合胶体



4 煤井田火区治理实践

攀枝花大宝鼎火区治理



注胶效果



4 煤井田火区治理实践

攀枝花大宝鼎火区治理



采空区顶板爆破后注胶



4 煤井田火区治理实践

攀枝花大宝鼎火区治理

1#塌陷坑南剥离前



1#塌陷坑南剥离后



1#塌陷坑南注胶后



剥离后打钻注胶

1#塌陷坑北剥离前



1#塌陷坑北剥离后



1#塌陷坑北注胶后



4 煤井田火区治理实践

攀枝花大宝鼎火区治理



火区观测



4 煤井田火区治理实践

攀枝花大宝鼎火区治理



火区治理前后对比



4 煤井田火区治理实践

攀枝花大宝鼎火区治理



火区治理前后对比



4 煤井田火区治理实践

攀枝花大宝鼎火区治理

主要工程量：

- 1) **火区面积**：探测面积 $750 \times 200 \text{m}^2$ ，470个测点，火区面积 8490m^2 ；
- 2) **钻孔施工**：施工钻孔112个，其中北部火区、中部火区和南部火区分布的钻孔个数分别为59、32和21个。
- 3) **灌浆注胶**：注浆总量约为 112610m^3 。其中用水量为 78923m^3 ，粉煤灰用量为 34575m^3 ，胶凝剂用量为90吨。

4 煤井田火区治理实践

新疆温宿博孜墩火区治理

井田浅部开采形成的老空区着火，形成大范围露头火区，可从地表观察到燃烧火焰和烟气，地表局部温度达 960°C 以上，火区面积约8万平方米。

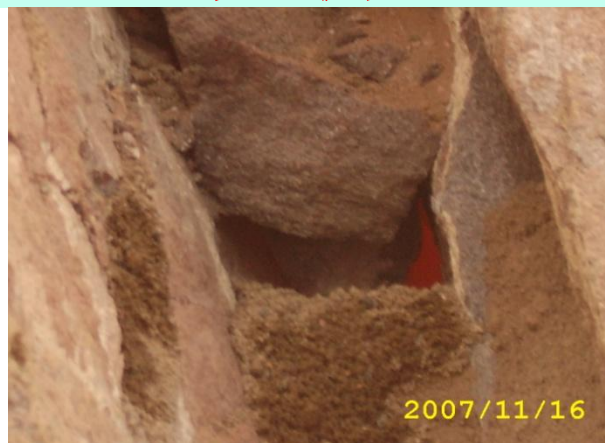


4 煤井田火区治理实践

新疆温宿博孜墩火区治理



火区状况

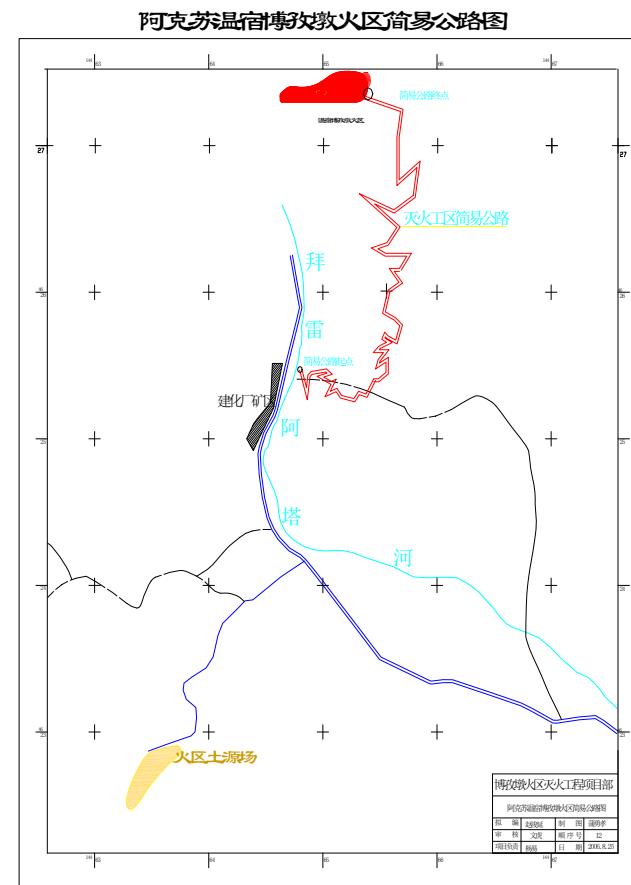
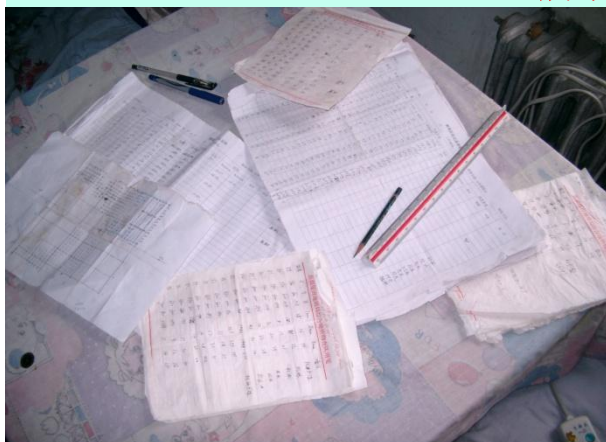


4 煤井田火区治理实践

新疆温宿博孜墩火区治理



辅助工程

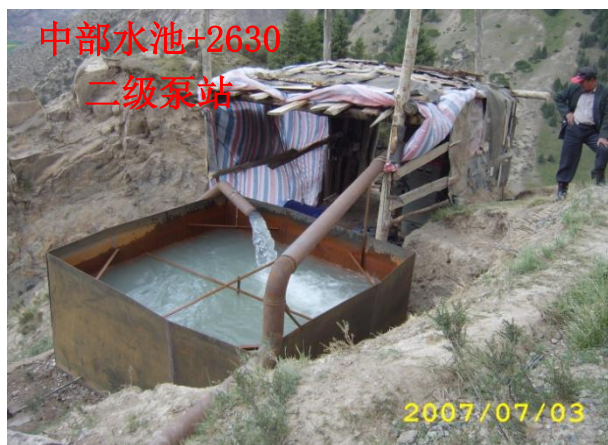


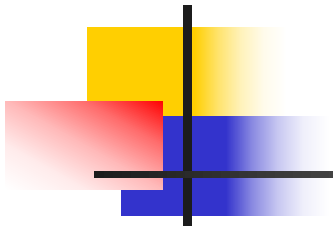
4 煤井田火区治理实践

新疆温宿博孜墩火区治理



辅助工程-供水、供电





4 煤井田火区治理实践

新疆温宿博孜墩火区治理

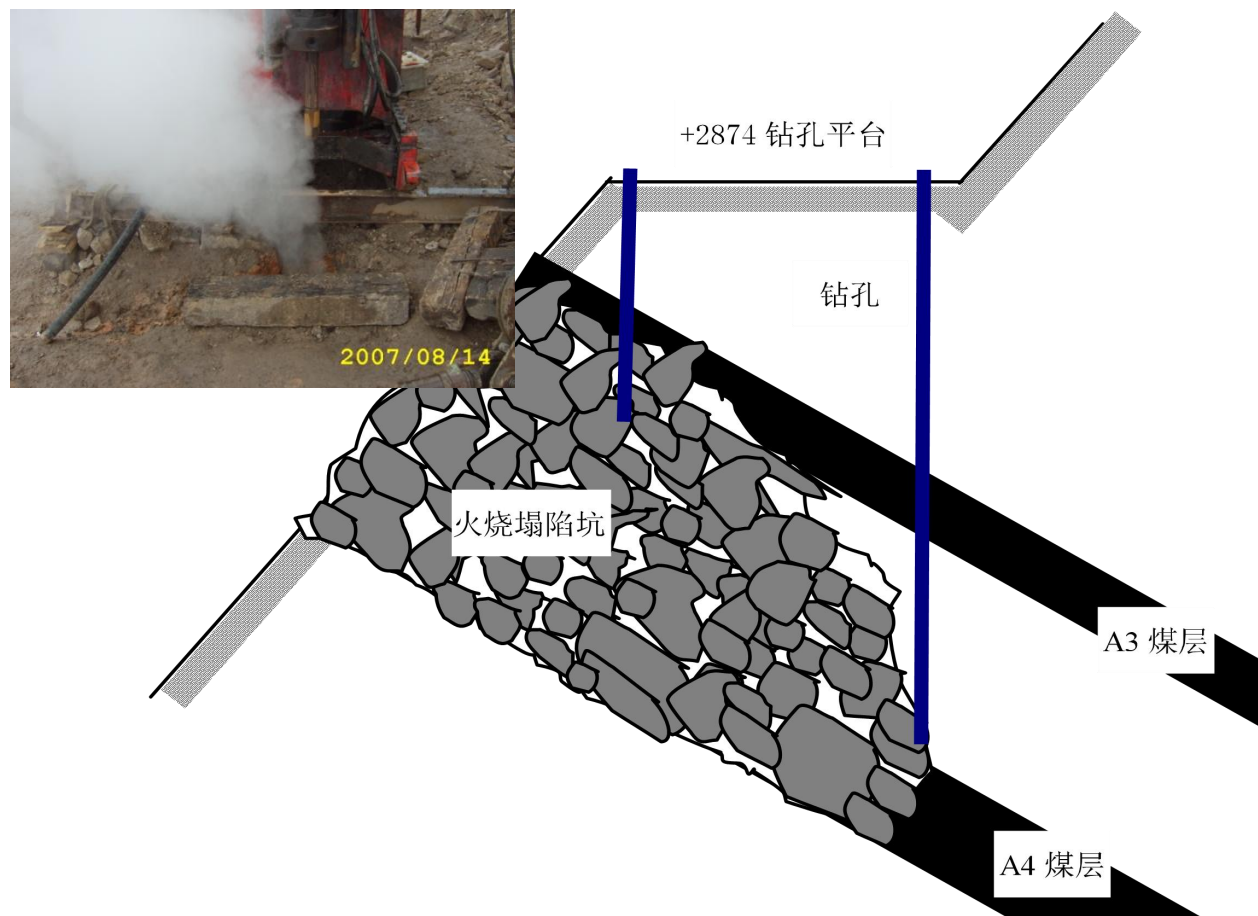
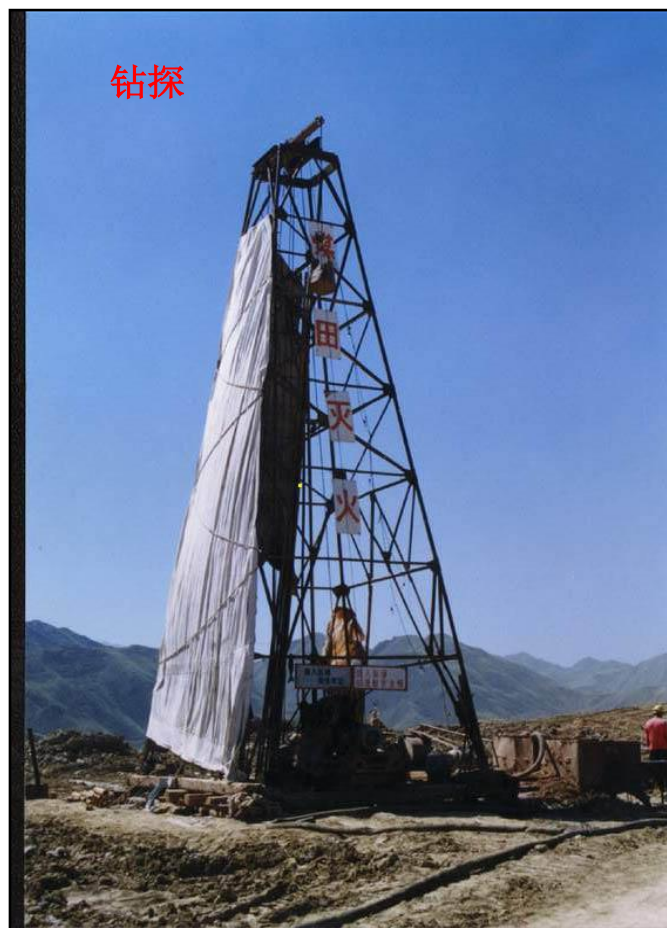


作业平台施工、覆盖堵漏



4 煤井田火区治理实践

新疆温宿博孜墩火区治理



4 煤井田火区治理实践

新疆温宿博孜墩火区治理



平台、钻孔和鱼鳞坑灌浆注水降温

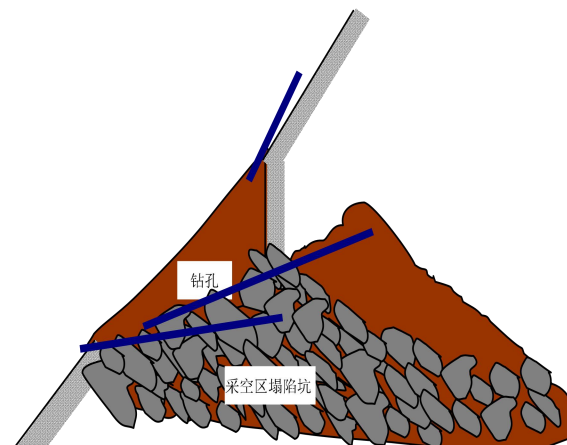


4 煤井田火区治理实践

新疆温宿博孜墩火区治理

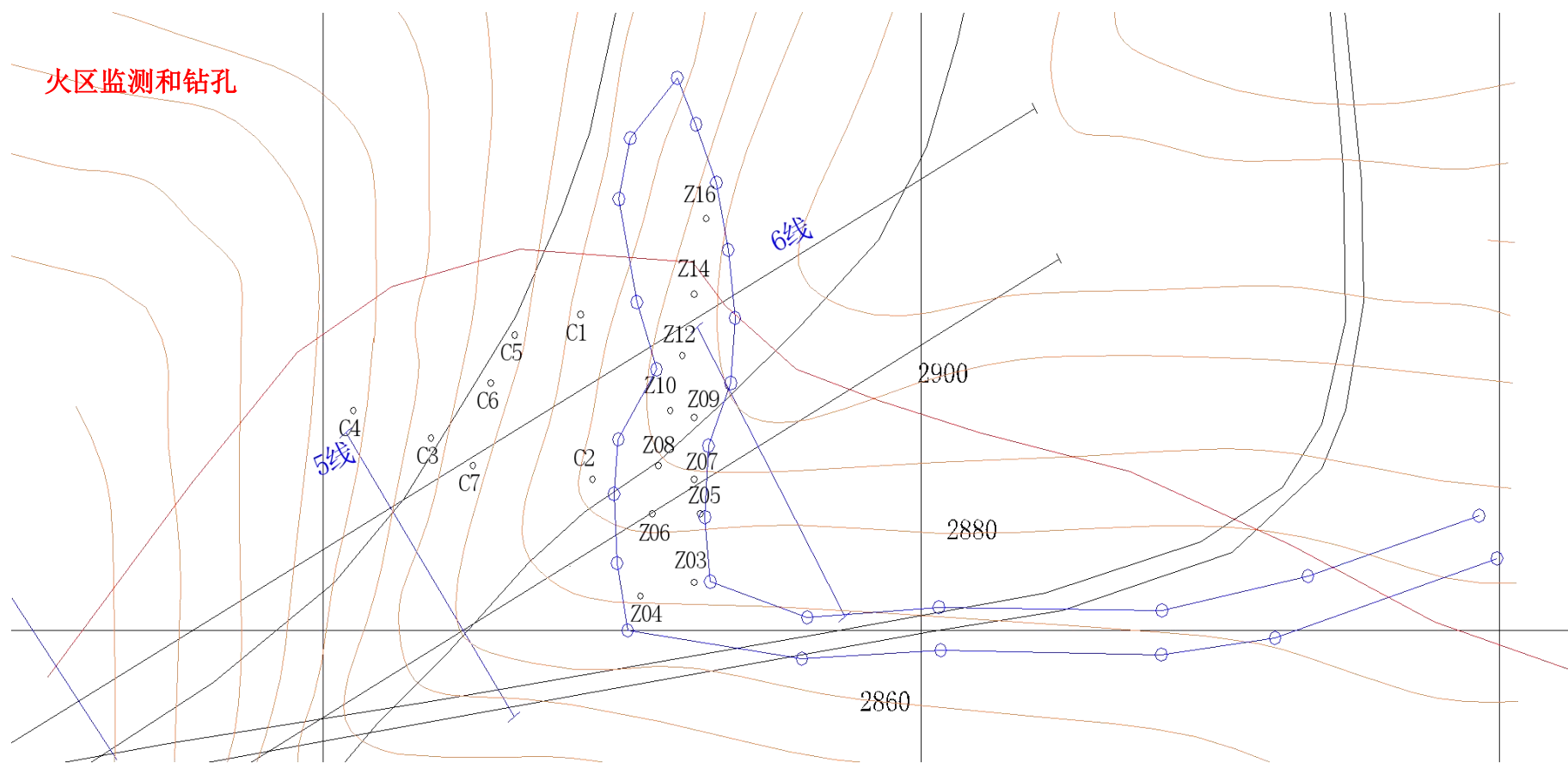


降温 and 充填堵漏-压注胶体



4 煤井田火区治理实践

新疆温宿博孜墩火区治理



4 煤井田火区治理实践

新疆温宿博孜墩火区治理

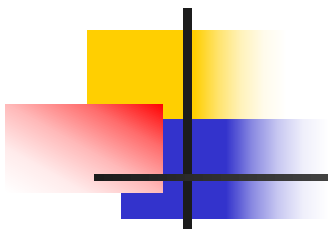
主要工程量：

辅助工程：简易公路3613m；供电线路960m；供水管路2160m。

灭火工程：剥离95000m³；覆盖45000m³；钻孔施工730m；

注水117000m³；注胶65000m³。

充填老窑口：3个。

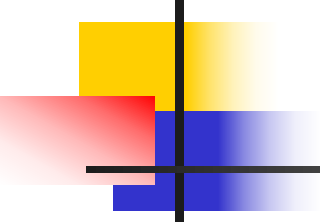


谢 谢

敬请批评指正

文虎：13572000519

wenh@xust.edu.cn



煤(井)田火区探测监测与 分级灭控技术

文 虎

西 安 科 技 大 学

2024.08.28