

宋永津 编著

注水 压裂 弱化

控制煤层坚硬 难冒顶板技术

煤炭工业出版社



TD 327.23

C 20020076

注水 压裂 弱化
控制煤层坚硬难冒顶板技术

宋永津 编著

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书在总结坚硬难冒顶板控制研究成果的基础上,以多种采场结构力学模型和现场实例,较系统地阐述了大同矿区坚硬难冒顶板岩体控制理论、测试方法、工艺技术及采场支护设备选型、使用、管理等。内容主要包括:坚硬难冒顶板的力学特性,矿山压力及其显现规律,采场来压预测、预报,采场支架受力分析与合理工况高度,顶板岩体注水压裂弱化及井下大药量集中爆破等处理方法和控制数值分析等。

本书对提高坚硬难冒顶板控制理论水平和技术水平有所帮助,可供煤矿现场工作的采煤、机电工程技术人员和管理工作者使用参考。对大专院校、科研单位、液压支架设计与制造单位的技术工作者也有较高的参考价值。

前 言

井工开采煤矿煤层坚硬难冒顶板控制分为两大类：一种是充分利用坚硬难冒顶板岩体分层厚度大、整体性强、坚硬难以冒落的工程特点，采用房柱或仓房式采煤方法，用留置在采空区的大量煤柱支撑顶板，使之顶板岩体在较长时间不冒落，维护工作面安全采煤，煤层采出后采空区顶板不做任何处理。有时为了保护环境的需要也采取这种采煤方法，保护地面不塌陷。为了适应这种采煤方法的需要，研制了各种型号连续采煤机、梭车、锚杆钻车等机械设备。这种采煤方法和顶板控制方法虽然解决了坚硬难冒顶板控制问题，但资源回收率低（仅有 50% 左右），产量低，劳动生产率低。另一种是长壁式采煤方法，用长壁冒落法控制工作面顶板和采空区顶板。这种采煤方法为高产高效设备的应用创造了条件，提高了矿井产量、劳动生产率和资源回收率。但因顶板岩体坚硬，采煤过程中顶板岩体不能随采煤工艺冒落充填采空区，在工作面和采空区内形成较大面积悬空顶板。当悬空顶板达到一定面积时突然来压断裂，瞬间大面积顶板一次冒落形成较大灾害。

刀柱式采煤方法是介于房柱、仓房和长壁采煤方法之间的一种采煤方法。它是用长壁法采煤，用刀间煤柱控制顶板岩体。即采煤工作面每推进 20~30m 后，平行工作面留置一条宽 4~5m 与工作面等长度的煤柱，用留置在采空区内的煤柱控制采后顶板岩体不冒落。但当采空区悬空的顶板面积达到一定程度时，同样会产生大面积悬空顶板突然来压，瞬间大面积一次冒落，形成较大的灾害。这种顶板控制方法虽然能够在采煤工艺过程维护工作面安全，但是采煤过后采空区顶板控制问题并没有解决。而且这种采煤方法限制了高产高效设备的使用（每推进 20~30m 工作面

设备要小搬家一次), 产量低, 劳动生产率低, 资源回收率低 (仅有 65% 左右)。

坚硬难冒顶板控制主要是对坚硬难以冒落的顶板条件下, 采用长壁法采煤, 用长壁冒落法管理工作面和采空区顶板, 解决坚硬难以冒落的顶板岩体控制问题。

坚硬难冒顶板大面积瞬时一次冒落, 是大同矿区井工开采煤层用长壁冒落法控制顶板的一种矿山压力现象, 常发生在坚硬的厚层状整体砂岩或砾岩的顶板岩体中, 在煤层开采过程中不能把坚硬难冒顶板放下来, 当采空区悬空的顶板面积达到数千平方米或数万平方米时, 顶板剧烈响动, 迅速下沉, 底板隆起, 煤壁严重片帮, 安全煤柱被压碎, 支架损坏, 大面积悬空的顶板在瞬间突然大面积一次冒落, 压垮工作面, 堵塞巷道, 生产中断, 甚至造成整个矿井的毁灭 (大同局挖金湾矿青羊湾井在 1961 年 10 月 22 日的一次大面积顶板瞬时一次冒落中, 严重破坏矿井, 迫使矿井关闭)。大面积一次冒落还产生强烈的震动, 震动波在几十公里外的地震台可以清晰的收到。

伴随坚硬难冒顶板大面积瞬时一次冒落的同时, 产生强大的压缩空气, 发生空气冲击 (爆风)。空气冲击波及数千米, 有时冲出井口, 在强大空气冲击作用下, 摔死摔伤矿工, 摧毁通风设施, 破坏通风系统、供电系统和运输系统, 吹起大量煤尘, 引起瓦斯、煤尘爆炸, 严重破坏矿井的安全生产, 危害矿工的生命安全, 因此, 坚硬难冒顶板瞬时大面积一次冒落是大同矿区用长壁冒落法开采坚硬难冒顶板煤层的重大灾害之一。

坚硬难冒顶板大面积瞬时一次冒落是与岩体结构、岩体应力状态下产生的围岩运动有关的矿山压力现象, 是与矿井冲击地压发生原因与机理不同的一种矿山压力现象。一般认为矿井冲击地压是因为开采煤层坚硬, 顶、底板岩体亦坚硬, 开采深度超过 300m 以上时才有可能发生, 而且随着开采深度的增加, 发生冲击地压的危险性亦越大。坚硬难冒顶板大面积瞬时一次冒落, 不仅顶板岩体坚硬, 整体性强, 而且煤层和煤层底板亦坚硬, 但不

受埋藏深度的影响。大同矿区井工开采发生的坚硬难冒顶板大面积瞬时一次冒落多发生在煤层埋藏深度不超过 300m 的区域内,最浅的只有 38m 左右。因此,坚硬难冒顶板大面积瞬时一次冒落是顶板岩体采动应力集中,岩体结构破坏,围岩迅速运动的结果。

坚硬难冒顶板大面积瞬时一次冒落的矿山压力现象,同样是各国井工煤矿用长壁法采煤,用长壁冒落法管理坚硬难冒顶板煤层尚未解决好的课题之一。多次国际学术会议都对这一问题进行过广泛讨论。尽管有些国家采用房柱、仓房、刀柱式采煤方法,用煤柱支撑坚硬难冒顶板,但是这些采煤方法资源回收率低,煤层自然发火频繁,机械化程度低,产量低,劳动生产率,而且也未能消除坚硬难冒顶板大面积瞬时一次冒落的隐患。

为解决这一课题,大同矿务局从 1957 年开始便与有关的科研部门合作,对坚硬难冒顶板控制进行现场观测与研究,探索坚硬难冒顶板在煤层采动后促使围岩向已采空间运动的矿压显现规律,并对坚硬难冒顶板的岩体结构,客观地质体的赋存条件,以及构成坚硬难冒顶板岩体的岩石材料的矿物成分,物理特征等进行了专题研究,发现坚硬难冒顶板岩体结构有其特殊性,并控制着采场矿山压力显现规律和冒落特点,从而通过改变顶板岩体客观地质体的赋存条件,诸如顶板岩体注水压裂弱化,爆破预裂等方法,改变岩体结构,给定岩体变形,控制坚硬难冒顶板岩体运动产生的矿山压力和矿山压力作用下围岩运动显现规律,将坚硬难冒顶板由难以控制,危及矿工生命和安全生产的难控顶板改造成为可控顶板,使难冒顶板变为可冒顶板,充分利用矿山压力安全采煤,使坚硬难冒顶板控制取得了重大突破,发展了机械化采煤,提高了企业经济效益,保障了矿井生产和矿工的生命安全。

改造坚硬难冒顶板客观地质体的赋存条件,弱化岩体结构,改变岩体运动矿压显现规律与提高采场支护强度,增加支护设备的抗冲击性能和稳定性,这是一对矛盾的两个方面,研究解决坚硬难冒顶板控制问题时必须从这两方面入手。即在研究坚硬难冒

顶板岩体运动矿压显现规律的同时，研究适应坚硬难冒顶板岩体运动的矿压显现规律的支护设备，两者之间的关系是互为依存的，忽视任何一方都不会收到预期效果。大同矿务局通过多年研究开发了适应坚硬难冒顶板岩体运动矿压显现规律的特殊型号的液压支架，较好地解决了坚硬难冒顶板控制问题。

本书是在试验室研究和现场实验获得大量资料的基础上，通过系统分析，归纳整理，对大同矿区坚硬难冒顶板岩体控制理论、观点、研究成果、控制措施、技术工艺等做了全面叙述。笔者愿和采煤工艺专家、顶板控制专家、岩石力学专家以及现场工作的广大工程技术专家共同探讨，集思广益，使坚硬难冒顶板控制方法日臻完善，发展煤炭工业企业生产力，为煤炭工业企业安全生产服务，为经济效益服务。

编著者

目 录

前 言

第一章 大面积顶板瞬时一次冒落的矿山压力现象····· 1

第一节 大面积顶板瞬时一次冒落····· 1

第二节 大面积顶板瞬时一次冒落与空气冲击 ····· 23

第二章 坚硬难冒顶板矿压显现规律与控制 ····· 38

第一节 坚硬难冒顶板控制研究的基本观点 ····· 38

第二节 矿压显现特征与支架失稳 ····· 40

第三节 液压支架的冲击载荷试验 ····· 60

第四节 坚硬难冒顶板控制的技术途径 ····· 72

第三章 岩体结构与力学属性 ····· 78

第一节 岩体结构 ····· 78

第二节 岩石矿物组分与特征 ····· 97

第三节 岩石物理力学属性 ····· 111

第四章 坚硬难冒顶板岩体破坏机理····· 134

第一节 注水压裂渗透特性试验····· 135

第二节 岩体压裂机理····· 139

第三节 岩体弱化机理····· 153

第五章 注水压裂弱化工程设计与工艺····· 168

第一节 采场区域地质调查····· 168

第二节 注水压裂弱化工程设计····· 170

第三节	注水压裂工艺与设备	179
第六章	矿井下深孔大药量集中爆破	187
第一节	目 的	187
第二节	爆破材料	188
第三节	深孔大药量集中爆破参数的确定	193
第四节	装药工艺与炮孔封堵方法	212
第五节	引爆网路与引爆方法	219
第六节	拒爆、漏爆的检查与处理	234
第七章	采场支架	238
第一节	液压支架选型要求	239
第二节	液压支架工作阻力确定	242
第三节	液压支架	246
第四节	大流量安全阀	254
第八章	液压支架合理工况高度	263
第一节	支架工况与损坏	263
第二节	液压支架工况高度的确定方法	272
第三节	液压系统与初撑力	282
第九章	矿压观测	292
第一节	矿压观测目的要求	293
第二节	综采工作面的矿压观测	296
第三节	钻孔电视岩体移动观测	305
参考文献		313

第一章 大面积顶板瞬时一次冒落的 矿山压力现象

第一节 大面积顶板瞬时一次冒落

根据大同矿区侏罗纪煤系顶板岩体结构和矿山压力显现规律可将采场顶板分为三类：

第一类：坚硬岩石的顶板岩体

顶板岩体的岩石材料单轴抗压强度为 $50 \sim 100\text{MPa}$ 。分层厚度一般为 $3.5 \sim 25\text{m}$ ，线节理裂隙度 $0 \sim 0.16$ 条/ m ，整体性强，煤层采动后直接顶或老顶悬空面积 $3000 \sim 7000\text{m}^2$ ，最大可达 $8000 \sim 12000\text{m}^2$ ，老顶来压步距大于 50m 。属于这种类型的顶板岩体多为砾岩、含砾粗砂岩、粗砂岩、中粒砂岩、粉砂岩等泥质胶结的岩体。由于顶板岩体节理、裂隙不发育，整体性强，煤层采动后顶板不易自然冒落，很难用长壁冒落法开采，综合机械化采煤也难以发展。长期以来一直沿用房柱、仓房、刀柱式采煤方法，用煤柱支撑采场顶板和采空区顶板。然而，随着开采面积的扩大，采空区悬空顶板面积达到数万平方米或十几万平方米，便发生悬空顶板的大面积瞬时一次冒落，同时产生强大的空气冲击，破坏性很强，对矿工生命和矿井安全生产威胁极大。

第二类：极坚硬岩石的顶板岩体

顶板岩体的岩石材料单轴抗压强度为 $100 \sim 170$ (250) MPa ，岩体分层厚度一般为 $2 \sim 33\text{m}$ ，线节理裂隙度 $0.1 \sim 0.4$ 条/ m ，直接顶或老顶来压步距为 $30 \sim 50\text{m}$ 。属于这种类型的顶板岩体多为碳酸盐胶结的中粒砂岩和泥质胶结的中粒砂岩、细砂岩、粉砂岩等。岩体中节理裂隙较发育，用长壁冒落法开采时，每个回采区

段初采时,采空区常形成 3000m^2 左右的悬空顶板突然大面积瞬时一次冒落。冒落的岩体块度小者几十立方米,大者上百立方米,碎胀系数 $1.04 \sim 1.13$,不能充填满采空区(采高 3.0m ,顶板岩体冒落高度 $24 \sim 33\text{m}$,冒落岩堆与顶板之间尚有 $0.68 \sim 1.02\text{m}$ 的空间未被充填)。随着采煤工作面的继续推进,上部厚层岩体断裂冒落,形成强裂的周期性冲击动压。根据地面自由落体冲击载荷模拟试验曲线得知,在 10.2ms 内冲击载荷达到峰值,释放出大量弹性能,液压支架安全阀很难启开起到保护作用。实际上井下顶板周期性冲击动压要比地面模拟试验大得多,采场支架承受高于支架工作阻力 $2 \sim 3$ 倍的冲击载荷,造成设备的严重损坏,液压支架立柱缸体爆裂或弯曲。这些顶板活动现象均对采场工作人员、机械设备构成严重威胁,造成矿工伤亡和巨大的经济损失。

第三类:坚硬岩石或极坚硬岩石节理裂隙极发育的破碎岩体顶板岩体的岩石材料单轴抗压强度为 $80 \sim 170\text{MPa}$,分层厚度 $1.5 \sim 36\text{m}$,线节理裂隙度 $0.5 \sim 9$ 条/ m ,面积节理裂隙度 $3 \sim 15$ 条/ m^2 ,整体性差,顶板岩体冒落后碎胀系数 $1.1 \sim 1.18$,不能充填满采空区,老顶来压步距小于 25m 。这类顶板岩体多为中粒砂岩、细砂岩、粉砂岩等,用长壁冒落法管理顶板时,采场支护空间因受前方采动应力和地应力影响,经常发生顶板局部冒漏,漏顶高度达 10m 左右,造成生产停顿和支护设备的损坏。

坚硬难冒顶板大面积瞬时一次冒落,多发生在第一类型顶板,第二类型顶板次之,第三类型顶板较少发生。

形成坚硬难冒顶板大面积瞬时一次冒落的原因是多方面的,主要有:

(1) 构成坚硬难冒顶板岩体结构、岩石性质具有特殊性。

①顶板岩体结构形态完整,整体性强,层理、节理、裂隙等断裂构造不发育。

②顶板岩体的岩层分层厚度大,不仅地质划分同一岩层厚度大,而且破坏之后形成的岩块体积也大。

③岩石试块的单轴抗压强度大，机械切割或钻进硬度大。由于顶板岩体结构、性质的特殊性，决定了顶板岩体在采场运动及破坏过程中的特殊性。

(2) 煤层和煤层底板亦坚硬。

(3) 采煤方法、顶板控制方法及采场支护设备不能适应坚硬难冒顶板岩体运动矿压显现的特殊性。应用煤柱支撑顶板的柱式采煤方法，在采空区留置大量的煤柱，采煤工艺过程不能把顶板岩体放落下来，形成了支点压力区，并在坚硬难冒顶板岩体中和支点压力区的煤柱中积聚了大量的弹性潜能。这种弹性潜能是由于坚硬难冒顶板岩体和坚硬煤层的应力状态产生的，在高应力区煤柱中，或在支点压力作用下的煤、岩体中，在重力场载荷的长期作用下，煤柱或顶板岩体应力不断增加，并积蓄了大量的弹性能，这种弹性能一经放出，顶板岩体便向采空区快速运动，形成坚硬难冒顶板大面积瞬时一次冒落的矿山压力现象。

为了进一步说明坚硬难冒顶板大面积瞬时一次冒落的特殊性，从大同矿务局 1949 年建局至 1983 年的 34 年中发生的 37 次坚硬难冒顶板大面积瞬时一次冒落实例中，选出有代表性的五例加以说明。

资料一：挖金湾矿青羊湾井 14[#]层 402 盘区，仓房式采煤方法坚硬难冒顶板大面积瞬时一次冒落。

挖金湾矿青羊湾井开采侏罗纪煤系 14[#]层，402 盘区距地面垂深 38~55m，煤层厚度 4.0m，直接顶为 3.0m 左右的粉砂岩，老顶为 20~28m 的厚层状中粗砂岩，结构完整，整体性强，节理、裂隙等断裂构造均不发育。解放前用仓房式采煤方法一次采全厚。仓宽 10~14m，仓间煤柱 8~10m，仓房长 200~500m。矿井恢复生产后，回收了部分仓间煤柱。在回收仓间煤柱过程中，于 1960 年 7 月 31 日 2 时 30 分发生了顶板大面积瞬时一次冒落，顶板冒落和地面塌陷情况如图 1-1 所示。

顶板冒落区采空面积 63010m²，其中煤柱面积 25.7%，大面积顶板瞬时一次冒落面积 22310m²，占采空区面积的 35.41%。

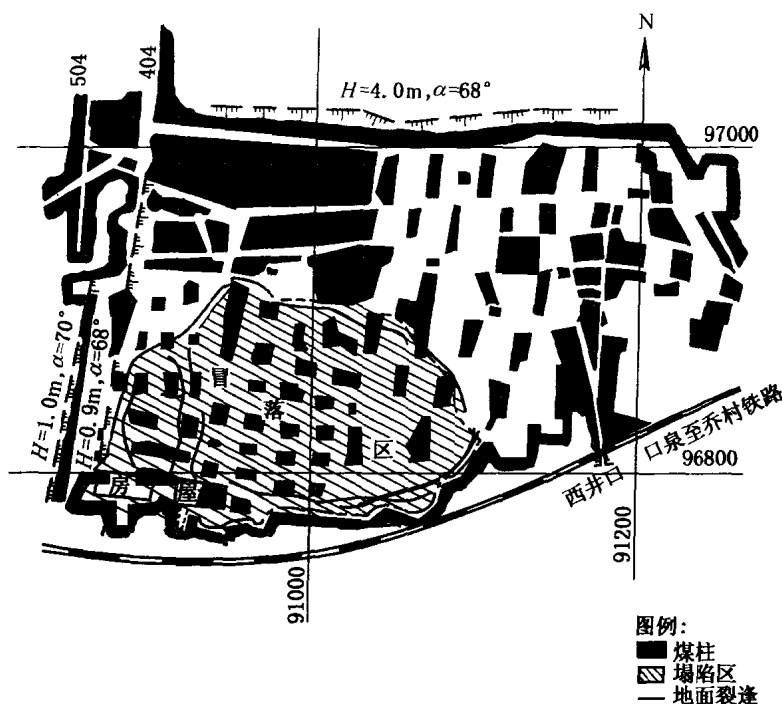


图 1-1 挖金湾矿青羊湾井 14[#]层 402 盘区仓房工作面井下
与地面塌陷平面图

由于顶板大面积瞬时一次冒落前有预兆，工作人员事前撤离了工作面，躲藏在盘区巷道内，没有伤亡。然而由于顶板大面积瞬时一次冒落时压缩了采空区容积内的空气，产生空气冲击，把躲藏在盘区巷道中的矿工摧倒，摔死 1 人，摔伤 11 人。根据理论计算，空气冲击压强 0.133MPa。由于冒落区距地面浅，造成房倒屋塌，死亡 1 人，伤 24 人。地面产生 6 条裂缝，长 60~170m，宽 0.1~0.4m，塌陷深度 0.3~0.7m。

资料二：挖金湾矿青羊湾井 14[#]层 404 盘区 832 采区房柱式采煤方法，坚硬难冒顶板大面积瞬时一次冒落，整个矿井毁灭。

14[#]层 404 盘区 832 采区距地面垂深 84~104m，煤层厚度

4.0~4.3m, 直接顶为 2.5~2.8m 的粉砂岩, 老顶为 30m 的厚层状中粗砂岩, 结构完整, 整体性强, 节理、裂隙等断裂构造极不发育。采用房柱式采煤方法, 一次采全厚, 房宽 8~10m, 房间煤柱 6~8m。1958 年开采至 1961 年 5 月采完开始回收采区煤柱, 在回收煤柱过程中, 于 1961 年 10 月 22 日 11 时 30 分发生大面积瞬时一次冒落, 顶板冒落及地面塌陷情况如图 1-2 所示。

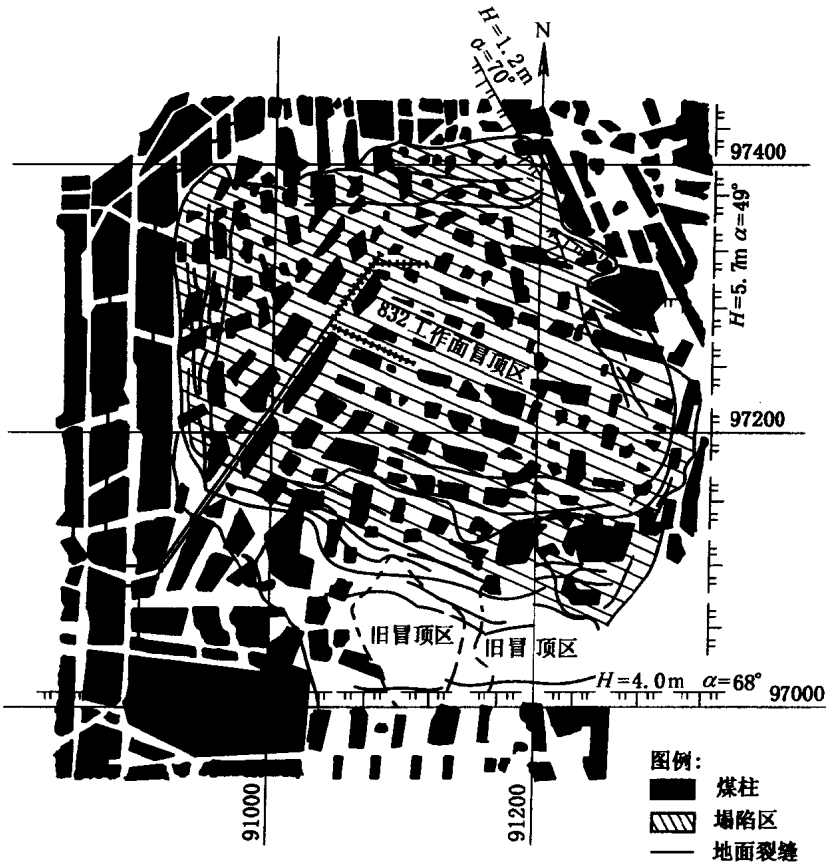


图 1-2 挖金湾矿青羊湾井 14[#]层 404 盘区 832 采区房柱
工作面井下与地面塌陷平面图

大面积顶板瞬时一次冒落时，采空区面积 163000m^2 ，其中煤柱面积 33206m^2 ，占采空区面积 20.37%。瞬时一次冒落面积 124047m^2 ，占采空区面积的 76.1%。

该盘区从 1961 年 5 月开始回收房间煤柱和采区煤柱，至 9 月中旬顶板有局部响动和局部冒落，直接顶冒落高度 1.5m 左右，之后停止响动，顶板趋于稳定，回收煤柱工作继续进行。时隔一个月左右，于 10 月 19 日顶板又开始响动，响动范围不断扩大，频率增加，响声越来越大，方引起矿方注意，采取了派专人监听顶板，并将工作地点后撤 50m 等措施。10 月 19 日 23 时顶板响声进一步增大，频率继续增加，又将工作地点后撤 100m 继续生产。后来发现煤柱片帮严重，断层附近巷道底板隆起，未采的煤柱也有矿压显现，顶板下沉速度加快。现场矿工反映，木支柱量好了尺寸没等锯短就支不上了，反复三次才能支上一根支柱。10 月 22 日 11 时顶板响动异常，遍布整个盘区，安监员撤出了现场工作的 30 名矿工到盘区巷道躲藏。11 时 30 分发生了顶板大面积瞬时一次冒落事故，安监员和 3 名区队干部没有来得及撤出，在冒落区遇难。

大面积顶板瞬时一次冒落同时，产生强大的空气冲击，理论计算空气冲击压强 0.36MPa ，冲击波所到之处将 14 名矿工摧倒摔死，有的被摔贴在煤壁上，摔伤 19 人。这次事故共死、伤 37 人。

空气冲击气流冲出井口时将沿途木棚子 90 多架全部摧毁，两座风桥摧塌，13 座密闭摧翻，排风井防爆门被推开，主通风机检查孔的水泥盖板移位，通风系统全部破坏。采区车场 8 辆装满煤炭的 1t 煤车被摧翻，采区变电所墙被摧倒，一台 QC83-80 开关从变电所里拐了三个 90° 的弯推出 150 多米。巷道多处塌落，整个矿井通风系统、运输系统、供电系统、通讯系统全部摧毁，无法恢复，矿井关闭。

事故后地面形成 124300m^2 的圆形盆地，深 $0.5 \sim 1.0\text{m}$ 。冒落区内埋压 DTY-30 皮带输送机一部，SGD-11 型刮板输送机三

部, 11.4kW 绞车、回柱绞车、2.5 及 4.0kVA 变压器等设备 10 余台件。

造成这次大面积顶板瞬时一次冒落的原因是应用房柱式采煤方法, 用煤柱支撑坚硬难冒顶板, 生产时留置在采空区内的煤柱面积占采空区面积的 20.37%, 采煤后又回收了部分煤柱, 使煤柱有效支撑面积仅剩 21302m^2 , 占采空区面积的 13.07%, 减少了 $1/3$, 支撑不住支点压力区内大面积悬空顶板载荷, 煤柱进一步破坏, 造成大面积悬空顶板瞬时一次冒落事故。

资料三:雁崖矿 11[#]层 301 盘区短壁采煤方法坚硬难冒顶板大面积瞬时一次冒落。

雁崖矿开采侏罗纪煤系 11[#]层, 301 盘区距地面垂深 130m, 煤层厚度 6.0~7.0m, 直接顶为 0.8~1.5m 的灰色细砂岩, 老顶为 3.8~11.6m 的深灰色砂质页岩。采用短壁采煤方法, 锚杆控制顶板, 一次采全厚。工作面长 25~30m, 走向长 285m。采空区面积 30001m^2 , 其中煤柱面积 6850m^2 , 煤柱比率 19.5%。1964 年 10 月 28 日 20 时 10 分发生大面积顶板瞬时一次冒落, 冒落面积 17370m^2 , 占采空区面积的 57.9%。因为冒落前顶板有预兆, 及时撤出工作面人员, 没有发生伤亡。但产生较大的空气冲击, 推开了采区与总回风道之间预留的泄风口临时密闭, 将空气冲击气流引入盘区总回风道, 使盘区总回风道内的 150 多架木棚子全部摧毁。理论计算空气冲击压强为 0.209MPa。坚硬难冒顶板大面积瞬时一次冒落后, 地面塌陷形成 7850m^2 的椭圆形盆地, 深度达 4.0m 之多。顶板冒落及地面塌陷情况如图 1-3 所示。

资料四:马脊梁矿旧井 2[#]层 402 盘区刀柱式采煤方法坚硬难冒顶板大面积瞬时一次冒落。

马脊梁矿旧井为平硐式矿井, 开采侏罗纪煤系 2[#]层, 402 盘区距地面垂深 55.8~106m, 煤层厚度 6~6.7m, 直接顶为 3~4.5m 的坚硬砂岩及局部含砾粗砂岩, 老顶为 50m 以上的黄色粗砂岩。长壁刀柱式采煤方法, 用刀间煤柱控制顶板, 一次采全厚。工作面长 60~75m, 每采 25m 留一条宽度 5m 与工作面平行

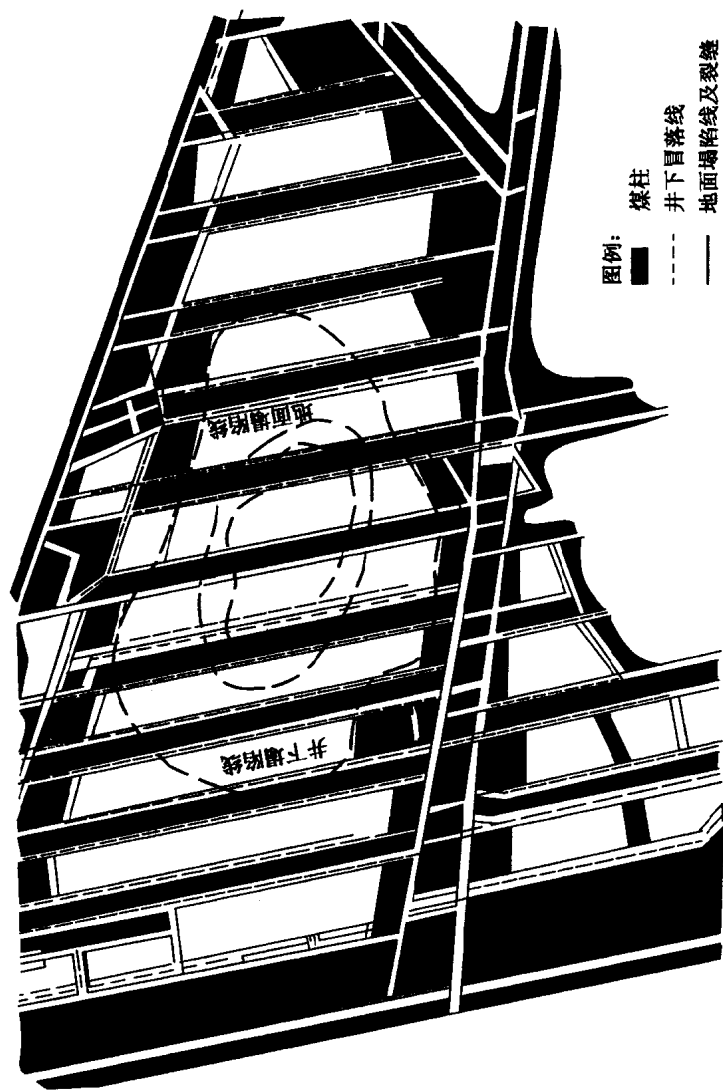


图 1-3 雁崖矿 11[#] 层 301 盘区短壁工作面井下与地面塌陷平面图