

国家重点基础研究发展计划(973)项目资助

强冲击危险矿井 冲击地压灾害防治

张寅 编著

QIANGCHONGJI

WEIXIAN KUANGJING
CHONGJI DIYA ZAIHAI FANGZHI

煤炭工业出版社

国家重点基础研究发展计划 (973) 项目资助

强冲击危险矿井冲击地压 灾 害 防 治

张 寅 编著

煤 炭 工 业 出 版 社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

强冲击危险矿井冲击地压灾害防治/张寅编著. --北京:
煤炭工业出版社, 2010

ISBN 978-7-5020-3748-2

I. ①强… II. ①张… III. ①煤矿-冲击地压-防治
IV. ①TD324

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 207407 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

开本 880mm × 1230mm ¹/₃₂ 印张 9 ¹/₈ 插页 4
字数 238 千字 印数 1—1 200
2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷
社内编号 6558 定价 30.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书系统、全面地介绍了典型强冲击地压矿井冲击地压综合防治技术。书中内容包括了煤岩体基本物理、力学参数测定；煤岩体冲击倾向性测试；井下围岩地质力学性质原位测试；巷道冲击地压发生机理分析；回采巷道冲击地压危险区域划分；冲击地压监测；冲击地压防治理论及其技术体系；强动压巷道支护新理论；冲击地压综合防治效果分析。本书彰显了我国冲击地压综合防治理论与技术的新进展，也显示出我国在冲击地压灾害控制效果上了一个新台阶。本书所介绍的冲击地压综合防治模式实践性强，可为类似条件矿井进行冲击地压灾害防治提供借鉴。

本书可作为从事采矿工程、安全工程专业大中专学生的参考教材，特别是可作为现场工程技术人员的参考用书。

前 言

国际上冲击地压灾害自有记载起已有二百七十多年历史了，尤其是近二十年来，随着现代力学、数学理论的介入，冲击地压无论是从机理、监测预测、防治手段都取得了长足的发展。但是对于冲击地压灾害仍然没有从根本上得到解决。我国作为产煤大国，随着开采深度的不断加大，具有冲击地压的矿井数量不断增加，摆在这些矿井面前的紧急问题是如何及时、准确预测到冲击地压并进行有效防治，使得灾害降低到最低。

作者经过多年对冲击地压进行防治管理与研究后发现，关于冲击地压发生机理的观点与学说，其基本都落脚于高度的应力集中和能量的瞬间释放。冲击地压监测、防治的手段与方法多种多样，效果参差不齐，致使煤炭生产企业眼花缭乱，只要发生一次冲击地压，就会在全矿井、全煤层的范围尽可能多地采取相关措施，结果往往造成人力、物力以及经济上的疲惫，无法坚持，或者是顾此失彼，无的放矢。好多手段与方法平行使用，结果相异，最终是分不清楚哪种方法起作用，或者做不出判断。

2007年前的义马千秋煤矿就是处于这样的窘态。该矿井瓦斯高；煤尘具有爆炸危险性；煤层极易自燃，最短自然发火期仅为7 d；开采深度大，部分区域达800 m；煤层、顶板都具有冲击倾向性；由于历史上的不合理开采导致了工作面进行孤岛开采，加之采区的充分采动和较大的水平构造应力作用，21采区掘进、回采工作面多次发生冲击地压灾害。2008年6月5日发生在21采区21201非孤岛工作面回采巷道的“6·5”冲击事故造成13人死亡、11人重伤，破坏巷道近千米，近200 m巷道闭合，导致工作面数日停产、工人惧怕下井作业，造成巨大的经济损失和社会负面影响。这是迄今为止我国仅仅因冲击地压灾害死

伤人数最多、危害最大的一次冲击地压灾害性事故。事后，作者针对如何完成 21201 工作面安全回采以及下一个孤岛工作面 21141 工作面的掘进与回采，着手与天地科技股份有限公司开采设计事业部（煤炭科学研究总院开采设计研究分院）合作进行了冲击地压难题攻关。

作者牵头组建了课题组，协助课题研究人员深入现场，与现场领导、干部、工人并肩作战，细心研究，积极验证。经过为期两年多的理论与实践研究，21201 工作面得以安全顺利回采，21141 孤岛工作面顺利进尺近 500 m，期间没有发生一起人员伤亡的冲击地压事故，两工作面累计安全采出煤炭约 430×10^4 t，实现产值 21.5 亿元。此外，在冲击地压防治过程中兼顾了煤层自然发火、煤与瓦斯突出等次生灾害的抑制，降低了巷道重修费用和工程量，节省了防冲安全投入，使得冲击地压灾害性事故得到初步控制，取得了巨大的经济与社会效益的同时，总结提炼出了冲击地压综合防治模式，编著成书，以便查阅。

本书第三章、第六章编入了作者张寅博士论文的部分研究内容。作者在此感谢课题组：天地科技股份有限公司开采设计事业部（煤炭科学研究总院开采设计研究分院）采矿所冲击地压研究室的潘俊锋工程师、蓝航高级工程师、夏永学工程师、王书文工程师、秦子晗工程师、杜涛涛工程师等；义煤集团千秋煤矿的王延国高级工程师、别小飞高级工程师、魏向志工程师等。

由于作者水平有限，书中难免有谬误疏漏之处，敬请广大读者批评指正！

作 者

2010 年 6 月

目 次

第一章 绪论	1
第一节 矿井地质生产技术条件	1
第二节 冲击地压发生概况	8
第二章 煤岩体基本物理力学特性测试	10
第一节 煤岩体物理力学性质测试	10
第二节 煤岩体冲击倾向性测试	22
第三节 巷道围岩地质力学性质原位测试	33
第四节 本章小结	49
第三章 冲击地压发生机理及危险区域划分	51
第一节 工作面冲击地压发生规律及条件	51
第二节 深部全煤巷道冲击失稳机理研究	55
第三节 回采巷道冲击危险区域评价	74
第四节 本章小结	89
第四章 巷道冲击地压监测	91
第一节 冲击地压微震监测	91
第二节 冲击地压的电磁辐射监测	107
第三节 冲击地压钻屑法监测	114
第四节 本章小结	125
第五章 冲击地压防治的能量递减理论与技术	127
第一节 全煤巷道能量递减预防理论的提出	127
第二节 采动高应力转移技术	136
第三节 采动高应力释放技术	170
第四节 剩余能量消耗技术	185
第五节 各项技术时空搭配及参数	190
第六节 本章小结	192

第六章 动载巷道围岩复合结构支护理论	195
第一节 冲击作用下双层结构的等效静载分析与动力分析	195
第二节 三层组合厚壁圆筒围压作用下应力分布数值分析	202
第三节 三层组合厚壁圆筒复合结构动力响应数值分析	209
第四节 深部巷道围岩稳定性控制“弱-强-弱-强”力学模型	240
第五节 本章小结	244
第七章 巷道冲击地压防治效果	245
第一节 灾害性冲击地压事故初步得到控制	245
第二节 巷道重修工程量得到降低	250
第三节 兼顾了煤层自然发火的治理	253
第四节 兼顾了煤与瓦斯突出的治理	253
第五节 经济效益	257
附录 千秋煤矿防治冲击地压实施细则	258
参考文献	275

第一章 绪 论

第一节 矿井地质生产技术条件

义马煤业集团股份有限公司千秋煤矿于1955年建井,1958年投产,设计年生产能力为 60×10^4 t/a。矿井经技术改造后,2007年设计核定生产能力 210×10^4 t/a。是义煤集团的骨干矿井之一。

一、矿井地质条件

1. 地质特征

本井田以上侏罗统砾岩为骨架,上部广泛第四系亚黏土,地形复杂,属低山丘陵区,标高 $+437.20 \sim +670.73$ m,最大相对高差233.53 m,整个井田呈南高北低的形态,在井田南部构成近东西向分坡,标高 $+547.8 \sim +670.73$ m,井田内南北及东西向冲沟发育,井田北部较平坦,季节性河流涧河在井田北部由西向东流过。

1) 地层

井田内地层由老到新为三叠系、侏罗系、白垩系、第三系和第四系。侏罗系中统义马组(Js):为本井田含煤地层,煤系保留厚度20.1~99.86 m。义马组含煤岩系自下而上划分为四段:底砾岩段厚0.3~32.81 m,平均7.7 m;下含煤段厚5.31~39.34 m,平均32.3 m,该段为义马组主要含煤段,含2号煤层组(2-1煤、2-3煤);泥岩段厚4.4~42.2 m,平均24 m;上含煤段0~9.09 m,平均3.0 m。

2) 构造

(1) 井田基本构造形态:千秋井田位于义马向斜北翼,基

本构造形态为简单的单斜构造。地层产状平缓，走向近东西，倾向南，倾角 $11^{\circ} \sim 13^{\circ}$ 。沿走向略有变化。

(2) 断裂构造：井田内断裂构造相对较发育，尤以北北东~北东向小断裂发育，按其展布方向和力学性质可划分为近东西向压扭性断裂和北北东~北东向张扭性断裂两组。

2. 主要可采煤层

本井田含煤地层为侏罗系义马组，主要可采煤层为2-1煤和2-3煤。两层煤在+200~+250 m标高以下合成一层称为2号煤层。2-1煤在井田内大部分可采，煤层倾角 $3^{\circ} \sim 13^{\circ}$ ，煤层厚0.14~9.45 m，平均厚度4.24 m，煤层结构较为复杂，含夹矸4~7层，稳定夹矸两层，其中一层矸厚0.4 m，为细粒砂岩，对回采有较大影响。2-3煤上距2-1煤0~35.2 m，平均15.2 m，煤层赋存稳定，井田内全部可采，煤层厚度0.2~8.52 m，平均厚度为4.73 m，两层煤合并后称2号煤层，平均厚度为21 m。

截至2007年底，累计探明资源储量 15812×10^4 t，可采储量 9285.2×10^4 t；煤层工业牌号均为长焰煤，最低可采厚度均定为0.8 m；2-1煤灰分19.61%，硫分1.94%，发热量23.6 MJ/kg；2-3煤灰分22.11%，硫分1.55%，发热量22.1 MJ/kg。

3. 水文地质

本区地形复杂，属低山丘陵区，地形呈南高北低形态，南部构成东西向分水岭，井田内南北向及东西向冲沟发育。本井田水文地质条件较为简单，只有3层弱含水层：第四系河流石层、第三系砾岩及底层煤以下的砾岩层，各含水层均有稳定的隔水层存在，井田内地下水的补给水源主要是大气降水、地表水，各含水层裂隙发育程度低，透水性差，地下水交替缓慢，径流条件差。矿井正常涌水量为 $275 \text{ m}^3/\text{h}$ ，最大涌水量为 $313 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

本矿井属孔隙—裂隙水顶板间接进水为主的水文地质条件简单矿床。

4. 煤层顶底板情况

2-1 煤、2 号煤层顶板为泥岩，厚度 4.4~42.2 m，平均厚度 21 m。岩性致密、均一、裂隙不发育，由东向西逐渐加厚，属 3 类稳定顶板。2-3 煤顶板：岩性以中砂岩为主，局部为粉砂岩或泥岩，厚 0~27 m，直接顶属中等稳定 2 类顶板。2 号煤层、2-3 煤底板：岩性复杂，由砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩及含砾相土岩组成，厚度 0.3~32.81 m。当煤层底板为砾岩、砂岩时，巷道底板比较稳定，无明显底鼓现象，若底板为含砾黏土岩泥岩、煤矸互叠层时岩性遇水易膨胀，随开拓、回采推进矿井压力增大，底鼓问题较为严重。

5. 瓦斯、煤尘、自燃倾向性

根据 2008 年瓦斯等级鉴定结果，全矿井瓦斯和 CO₂ 绝对涌出量分别为 28.28 m³/min 和 7.48 m³/min，瓦斯和 CO₂ 相对涌出量分别为 6.51 m³/t 和 1.72 m³/t，根据河南省煤炭工业局批复：矿井为低瓦斯矿井。矿井无瓦斯爆炸事故与瓦斯突出历史。煤尘爆炸指数 44.57%，有爆炸危险性。

千秋矿煤炭自然发火严重，自然发火期一般 0~3 个月，最短 7 d，自燃倾向性属容易自然发火煤层。

6. 地温与地震

随着开采深度增加，地温将随之加大，地温梯度为 1.34~1.98 °C/100 m，平均 1.66 °C/100 m，本井田基本无热害区。

据洛阳地震办公室资料：义马市属 5 级地震区，震中烈度为 6~7 度。

二、开采技术条件

1. 矿井开拓方式及主要生产系统

1) 开拓方式

矿井采用立井、斜井单翼双水平上、下山开拓。一水平大巷长 7500 m，大巷标高 +320 m；二水平大巷标高 +65 m。全矿共 8 个井筒。

2) 主要生产系统

(1) 通风系统：通风方式为混合式通风，通风方法为抽出

式负压通风。共有 5 个进风井：副井、三号进风斜井、四号进风斜井、原四号回风井及新材料立井。两个回风井：三号回风井、新回风立井。其中：三号回风井安装 BDK-6-NO.16 轴流式对旋风机两台，一台工作，一台备用，电机功率 $2 \times 45 \text{ kW}$ ，主要承担一水平大巷及附近机电硐室用风；二水平新回风立井安装 BDK-6-NO.20 轴流式对旋风机两台，电机功率 $2 \times 185 \text{ kW}$ ，主要承担二水平生产用风。

(2) 原煤：经工作面下巷→21 区皮带下山→二水平皮带大巷→皮带暗斜井提至一水平，然后经一水平运输大巷运至主立井井底，经主立井提至地面。

(3) 材料：经副立井→一水平大巷→轨道暗斜井到达二水平或经材料立井直接到达二水平。

(4) 矸石：由采区内开拓工作面→21 区轨道下山→二水平轨道大巷→材料立井至地面。

(5) 人员：大部分经材料立井→二水平轨道大巷→21 采区工作地点。

2. 采区划分及采煤方法

全矿井分二个水平共 6 个采区。其中一水平有东翼采区、姚一采区、姚二采区、姚三采区、姚四采区，一水平采区已采完，只剩下保护煤柱。二水平只有一个采区即 21 采区。

千秋矿现生产地区集中于 21 区下山盘区，开采 2 号煤层。该盘区位于 +65 m 水平（二水平）大巷以下，东起 F_{3-6} 断层，西至 F_{3-9} 断层，走向长 2300 ~ 2500 m，倾斜长 1300 m，可采面积 3.12 km^2 ，是矿井目前唯一的采区，是保证矿井产量的主要开采块段。

1) 盘区开拓

盘区采用双翼开采，以二水平（+65 m 水平）轨道大巷向下（向南）以四条下山开拓，自西向东依次为 21 区轨道下山（沿顶板）、21 区皮带下山（沿顶板）、21 区进风下山（沿底板）、21 区专用回风下山（沿顶板），水平间距依次为 50 m、

30 m、20 m。已形成了完善的供电、排水、运输、通风等系统。

2) 开采程序

区内煤开采顺序为下行开采，区段斜长西翼 140 m，东翼 150 m，区内只有 21101 面及 21091 面设有同区段车场，其他各工作面只在下山西翼综放工作面上下巷设有车场。西翼共设计 9 个区段（工作面），下山东翼设计 10 个区段（分层开采，共计 20 个工作面），因 21 区下山盘区为矿井唯一的生产采区，为保证下山西翼综放面的正常回采，在下山西翼形成了跳采局面。

3) 开采现状

截至 2008 年 7 月，该盘区已回采 10 个工作面，西翼回采了 21101、21102、21181、21201 共 4 个工作面，其中 21101 和 21102 为上下分层工作面。东翼回采了 21091、21092、21111、21131、21151、21171 共 6 个工作面，其中 21091 和 21092 为上下分层工作面。正在回采工作面：下山西翼 21201、21141 综放工作面。

4) 采煤方法

根据开采煤层（2-1 煤、2-3 煤）为缓倾斜煤层，煤层厚度大的特点，矿井采用走向长壁后退式采煤法。2-1 煤煤层厚度小，以炮采为主；2-3 煤煤层厚度大，以综采（或综放）为主，两层煤合并后，在 21 区下山西翼以综放为主，下山东翼上分层以炮采（或炮放）为主，下分层以综采或炮放为主，各工作面采用全部垮落法管理顶板，顶板自由垮落。

3. 回采工作面概况

以 21141 工作面为例。21141 工作面位于 21 区下山西翼，工作面切眼西到矿井边界煤柱，东为 21 区下山煤柱，北临 21201 工作面（正在开采），南临 21161 工作面（未采）。工作面地表为丘陵山地，地面起伏较大，地面无大的水体及建筑，为沿煤层底板掘进的全煤巷道。该工作面上巷为沿空掘巷，设计长度 1439 m（平距）；下巷实体煤掘进，设计长度 1537 m（平距），上巷对应地表标高为 +590.1 ~ +614.2 m，井下标高为 -39.4 ~

-64.8 m。下巷对应地表标高为 +590.1 ~ +606.8 m，井下标高 -68.7 ~ -97.2 m，工作面平均采深 684.4 m。工作面位置图如图 1-1 所示。

(1) 煤层：该工作面位于 2-1 煤与 2-3 煤合并区，统称 2 号煤层。煤体黑色块状及粉末状、具沥青光泽，干燥、疏松破碎，极易自燃。煤层结构复杂，含矸 4 ~ 7 层，含矸岩性分别为细砂岩、粉砂岩、泥岩，局部煤体紊乱。一层矸为含砾细砂岩，砾石为细砂岩状石英岩屑，位于顶板以下 1.7 ~ 2.9 m，平均 2.4 m，厚度 0.76 ~ 1.70 m，平均 1.13 m，基本稳定，特征明显。一层矸往上夹 2 薄层泥岩、碳质泥岩，厚度 0.1 ~ 0.42 m，距顶板 0.2 ~ 0.4 m。二层矸为泥岩，上距一层矸 1.53 ~ 2.8 m，平均 1.81 m，厚度 0.42 ~ 0.8 m，平均 0.6 m，较稳定。煤矸互层厚度 0 ~ 3.35 m，自东往西逐渐变厚。煤岩类型为光亮型一半暗型。该工作面全煤厚平均 21 m。属于较稳定巨厚煤层。

(2) 顶板：直接顶为深灰色泥岩，夹菱铁质薄层，致密均一、断口平坦，具隐蔽水平层理发育，厚度 23.02 ~ 27.63 m，分布较稳定，基本顶为泥岩和粉砂岩，厚度约 26 m；在煤层以上约 280 m 为中侏罗杂色砾砂岩，厚度较大，平均 410 m。千秋煤矿地层综合柱状图如图 1-2 所示。

(3) 底板：自上而下为煤矸互层、碳质泥岩、含砾泥岩、细砂岩、粉砂岩砾岩，分布不稳定。

(4) 构造：工作面地质构造简单，下巷在平口西 70 m 处遇到 F_{3-7} 断层，产状 $268^\circ \angle 75^\circ - 81^\circ H = 2.2$ m。上巷在轨口西 1225 m 处，下巷在轨口西 1243 m 处，遇到 F_{3-9} 断层，产状 $274^\circ \angle 84^\circ - 86^\circ H = 2 \sim 3$ m，底板起伏较大，当工作面进入西部构造带时，底板先以 $-1^\circ \sim 5^\circ$ 下沉，到最低点，后以 $+2^\circ \sim +8^\circ$ 上升，走向长度近 545 m。

(5) 水文：该工作面水文地质条件简单，工作面北部为 21121 采空区，采空区水容量预计在 2×10^4 m³，水压 0.12 MPa，上巷在掘进时，要做好采空区的探放水工作，严格按照探放水措

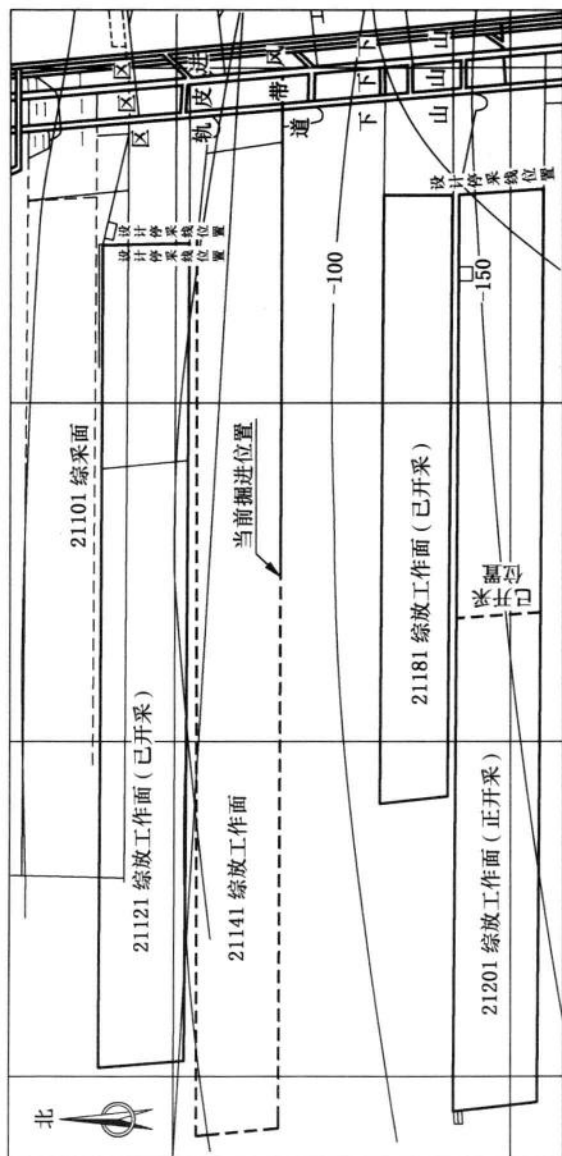


图 1-1 21141 综放工作面布置情况示意图

施执行。

(6) 储量：工业储量为 $1495.5 \times 130 \times 20.5 \times 1.4 \approx 558.0$ (10^4 t)。

(7) 可采储量： $1296 \times 130 \times 20.5 \times 1.4 \times 0.83 \approx 401.3$ (10^4 t)。

(8) 矿压显现：该工作面采深较大，巷道变形严重，构造多，采掘活动中会有冲击现象发生，预计上巷处于二级冲击危险区，下巷处于一级危险区。为保证安全，需制定严格的防冲措施。

第二节 冲击地压发生概况

千秋矿现开采深度已达到 800 m。矿井自 1991 年首次发生冲击以来，随着采深的不断加大，冲击地压显现愈加强烈。其中对矿井安全生产造成和构成严重危害的有 4 次：

(1) 1998 年 9 月 3 日，姚四下山 18152 工作面下巷掘进头，埋深 400 m，巷道掘进不足百米，整条巷道被涌出的煤充满，工字钢大部分倒落，当时埋住 10 人，救出 8 人，两人死亡。

(2) 2006 年 8 月 2 日，21201 工作面下巷掘进 850 m 时发生冲击地压，造成桥式皮带连接件断裂，有 7 棚支架腿梁严重变形，支架卡环断裂，顶板移近量 0.8 m，巷帮移近量 0.7 m，距工作面 200 m 风筒脱节，无人员伤亡。

(3) 2006 年 8 月 6 日，21201 工作面下巷掘进 900 m 时发生冲击地压较 8 月 2 日危害更大，其中发生较为严重的两处之间正好为 8 月 2 日发生冲击的位置，表现为巷高由 3.4 m 降为 2 ~ 2.6 m，巷宽由 4.8 m 收敛为 3 ~ 4 m，棚腿、棚梁扭曲，焊口崩开多处，正前窝头冒顶 0.6 m，桥式转载机位置变动，两节风筒脱落，距窝头 30 m 巷帮部分锚网整体外移。无人员伤亡。

(4) 2008 年 6 月 5 日，21201 回采工作面下巷再次发生冲击地压，此次冲击地压给千秋煤矿 21201 工作面下巷造成巨大破坏，距巷口 725 ~ 830 m 间有 105 m 巷道顶底板合拢，巷道底鼓

量在 2 m 以上，支架卡环大部分断裂，棚腿滑动量大，底鼓的煤上帮厚，下帮相对较薄，底鼓的煤至巷顶约 0.3 ~ 0.5 m，所剩下的空间被挤压变形的皮带架子和管路充塞；有 215 m 巷道严重受损，底鼓量由 500 mm 逐渐增大到近 2 m，支架扭曲，腿梁搭接处折断；有 255 m 巷道一般受损，支架卡环有部分断裂，底鼓量一般小于 500 mm，锚喷皮脱落。受损巷道共计 565 m，其他区域也受到此次冲击的一定影响。此次事故造成 11 人受伤，13 人死亡。21201 工作面平均埋深 735 m。

在采区开采过程中，下山西翼综放工作面上巷为小煤柱掘进，冲击很小或无冲击，下巷实煤体掘进冲击较大，显现剧烈。下山东翼均为分层开采，曾在 21092 回采距停采线约 100 m 时在原 21092 下巷闭墙里发生一次冲击，顶板下沉 0.1 m，闭墙被挤凸，主要是由于此范围巷道布置数目较多关系错杂，有应力集中区存在。3 条沿顶下山在掘进时无冲击，只有 21 采区进风下山顺煤层倾向沿底掘进时有煤炮冲击，越到深部冲击强度渐强，有一定影响。