

文章编号: 0253 - 9993 (2006) 05 - 0618 - 05

广东大兴煤矿特大突水事故机理分析

赵苏启¹, 武 强¹, 尹尚先²

(1. 中国矿业大学 (北京) 资源与安全工程学院, 北京 100083; 2. 华北科技学院 安全工程中心, 北京 101601)

摘 要: 通过实地调查、测量以及地质及地球物理勘探, 分析认为大兴煤矿“8·7”突水事故的突水机理为: 防水煤柱受断层破碎带的影响, 在上部水压、采动矿压、煤层自重、地下水的联合动力作用下, 破碎的岩体沿垂向固有构造裂隙面向上塌落形成椭圆形柱体, 待形成自然平衡拱后塌陷垮落停止, 上覆岩层得到暂时稳定; 随着采煤工作面的不断扩大, 自然平衡拱被再一次打破, 椭圆形柱体内的垮落继续向上发展, 直至最后的关键层破坏或破碎达到临界突水系数而发生突水。

关键词: 突水机理; 垮落; 水压; 突水系数

中图分类号: TD745 **文献标识码:** A

Mechanism analysis of water inrush in Daxing coal mine

ZHAO Su-qi¹, WU Qiang¹, YN Shang-xian²

(1. School of Resource and Safety Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Safety Engineering Center, North China Institute of Science and Technology, Beijing 101601, China)

Abstract: Study showed by field survey, geological and physical geographical exploration that mechanism of water inrush happened in Daxing coal mine, Guangdong Province is as follows: crashed rocks in water barrier pillars collapse upwards follow the vertical original fracture surface by influence of fault crash zone and the ellipse column cave is formed under the dynamical actions of water pressure, mining pressure, rock mass gravity, and groundwater. Collapses stop after natural balance arch formed and overburdens keep stabilization briefly. As face expanding continually, natural balance arch is broken again, collapses keep on developing upwards in the ellipse column cave. At last, water inrush occurs because key stratum is broken and critical coefficient of water inrush is satisfied.

Key words: water inrush mechanism; collapse; water pressure; coefficient of water inrush

大兴煤矿位于广东省兴宁市黄槐镇, 设计能力为 3 万 t/a, 一矿两井生产, 2004 年实际生产原煤 15 万 t。井田主要有 5 个煤层, 其中 7 煤和 4 煤为全井田可采, 3 煤为局部可采, 6 煤和 5 煤不可采; 7 煤平均厚度 0.91 m, 4 煤平均厚度为 3.54 m, 两煤层平均距离为 36.27 m; 2005 - 08 - 07 T 13: 13, 4 煤层发生特别重大突水事故 (简称“8·7”事故), 最大透水量约为 1.36 万 m³/min, 透水量约为 633 m³/min, 造成 121 人死亡, 直接经济损失 4 725 万元。

1 地质水文地质特征

1.1 地质及采煤概况

大兴煤矿井田范围东以 F₁₀ 断层为界, 西以 F₁ 断层为界 (图 1), 为二叠系上统龙潭组含煤地层, 走

收稿日期: 2006 - 01 - 18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40572149); 教育部重大科学技术研究项目 (2004 - 295); 教育部新世纪优秀人才计划联合资助项目 (NCET - 04 - 0254)

作者简介: 赵苏启 (1965 -), 男, 河南辉县人, 高级工程师。Tel: 010 - 64463058, E - mail: zhaosq@chinasafety.gov.cn

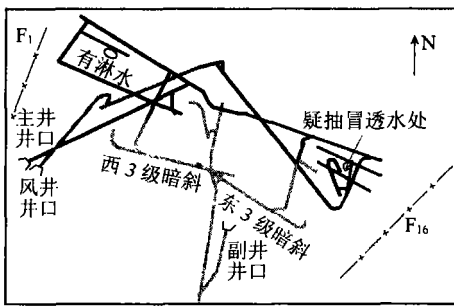


图 1 大兴煤矿平面示意

Fig. 1 The plane sketch map of Daxing Mine

向东西，倾向南，倾角 55~75°；平均 65°；属急倾斜煤层。井田主要有 5 个煤层，自下而上分别为 7 煤（7 号煤）、6 煤、5 煤（8 号煤）、4 煤（9 号煤）、3 煤（10 号煤）。7 煤厚度为 0~1.79 m，平均 0.91 m，靠近 F₁₆ 断层附近煤层厚度变大，上距 4 煤为 36.27 m；4 煤厚度为 0.28~7.28 m，平均为 3.54 m，中间夹两层火成岩侵入体，厚 0.3~0.6 m，上距 3 煤平均间距 28.42 m；3 煤厚度为 0.04~4.02 m，平均厚度为 1.11 m。

大兴煤矿采用斜井开拓方式，主、副井和风井 3 条明斜井与暗斜井分 3 级延深至 -480 m 水平。主斜井由地面 +282~-55 m 水平。第 1 级暗斜井由 -55~-290 m 水平，第 2 级暗斜井由 -290~-480 m 水平。副斜井由地面 +356~+42 m 水平，

第 1 级暗斜井由 +42~-290 m 水平，第 2 级暗斜井从 -290~-480 m 水平。风井由地面 +282~+75 m 水平；第 1 级暗斜井由 +75~-55 m 水平，第 2 级暗斜井为 -55~-290 m 水平。大兴煤矿采用斜坡短壁采煤法，采用打眼放炮落煤工艺，自然垮落管理顶板，开采深度为 -290~-500 m 水平。

1.2 水文地质条件

大兴煤矿井田内共有 6 个相对含水层组和 4 个相对隔水层组，导水裂隙不发育，含水性较差，矿井本身水文地质条件较简单。但上部四望嶂矿区水淹区估算积水 1 500~2 000 万 m³，对现有矿井开采形成威胁。大兴煤矿深部设计正常涌水量 150 m³/h，最大涌水量 200 m³/h。矿井分 3 级排水：-480 m 水平的水先排到 -290 m 水平，-290 m 水平的水分别排到 -55 m 水平和 +42 m 水平，再分别通过主、副斜井排至地面。1999 年 11 月，原四望嶂矿务局井田由于小煤窑开采破坏，降水量大，矿井排水能力不足，造成各矿生产采区被淹，井下巷道大量积水。为了保证正常生产，各矿均在 -180 m 水平以上各水平构筑了井下堵水闸墙，6 对矿井共构筑 29 处堵水闸墙，使 -180 m 水平以上老空区逐步充满矿井水，从 +262 m 平硐溢出，形成水淹区。该矿从 -180~-290 m 水平留设垂高 110 m 防水安全煤柱，延深开采水淹区下深部煤炭资源。

2 突水过程与特征

矿井东翼 -400 m 石门以东 150~240 m 范围内，4 煤厚度 3~4 m，倾角大（75 左右），由于距 F₁₆ 逆断层较近（F₁₆ 断层为逆断层，断距 90 m），该处 -290 m 水平的 4 煤小断层发育，煤层比较松散，且此处 4 煤倾角是全矿井最大的地方，平均煤层倾角达 75 左右，近似直立，易发生垮落。在 -290 m 水平石门东侧约 35 m 处，4 煤曾发生垮落，高度达 5 m 左右；在同一位置的 -320 m 水平石门以东 2 个反眼（约 100 m）和 -360 m 水平暗斜井以东 4 个反眼，4 煤也均发生过垮落。此外，在 2005 年 3—4 月，东翼 -400 m 石门以东 150~240 m 的 -400 m 水平处（第 5~7 反眼范围），也发生过 4 煤大规模垮落，其垮落煤量约 3 000 t。垮落后，在 -360 m 水平巷道向下能看见宽 8 m、深 10 m 的大坑，向上可看见高 2~3 m 的垮落带，并有滴水现象，估算水量 5 kg/d 左右。此后，该地段继续垮落，2~3 个月后，发现原塌陷大坑已被垮落的 4 煤所充填，且塌陷的煤较潮湿。另据 2005 年 6—7 月矿井东翼 4 煤开采工程剖面图（图 2），可明显看到在 -400 m 水平第 5 反眼处已形成了发育至 -290 m 水平以上的垮落带。以上证实在 -400 m 石门以东 150~240 m 范围的 4 煤在 -290 m 以下各水平开采时都发生了大量的垮落现象，使 -290~-180 m 防水安全煤柱被破坏，导通了 -

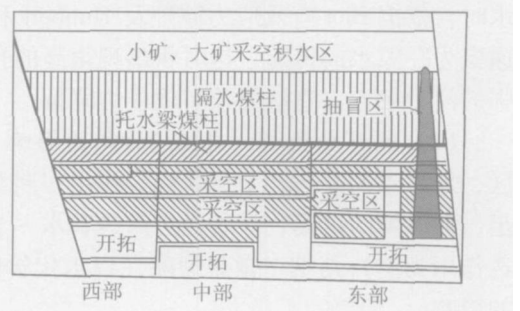


图 2 大兴煤矿 4 煤开采布置及突水通道
Fig. 2 Sketch map of coal seam No. 4 mining collocation and water inrush passage

180 ~ +262 m 水平的水淹区, 造成上部水淹区的积水大量溃入大兴煤矿, 导致事故的发生。

2005 - 08 - 07 T 13: 15, 大兴煤矿主井突然停电, 考虑上部水淹区防水安全煤柱 - 290 m 水平以下高压线路和电气设备较多, 再加上透水速度迅猛, 推断突水时间应在 2005 - 08 - 07 T 13: 13 左右, 突水发生后, 主、副井井筒均有雾气冒出, 出现反风现象. 13 时 30 分, 水已涨至 - 290 m 水平西三暗斜井 - 281 m 处绞车房, 突水量达 23.1万 m^3 , 此段时间的突水强度约为 $1.36 \text{万 m}^3/\text{min}$; 14 时, 水已涨至离主井口斜长 80 m, 此时水位为 +245 m, 此时间段突水量约 1.9万 m^3 , 突水强度约为 $633 \text{m}^3/\text{min}$, 矿井总透水量约为 25万 m^3 .

据物探报告^[1], 在大兴矿区内的物探低阻异常只有一个, 推断为本次突水通道, 其位置处在 - 180 ~ - 290 m 水平靠近 F_{10} 断层附近, 形状为上窄 (90 m) 下宽 (140 m) 的倒喇叭形 (图 3). 物探结果与突水情况、地质构造的位置与性质基本对应, 与分析圈定的重点异常区域吻合。

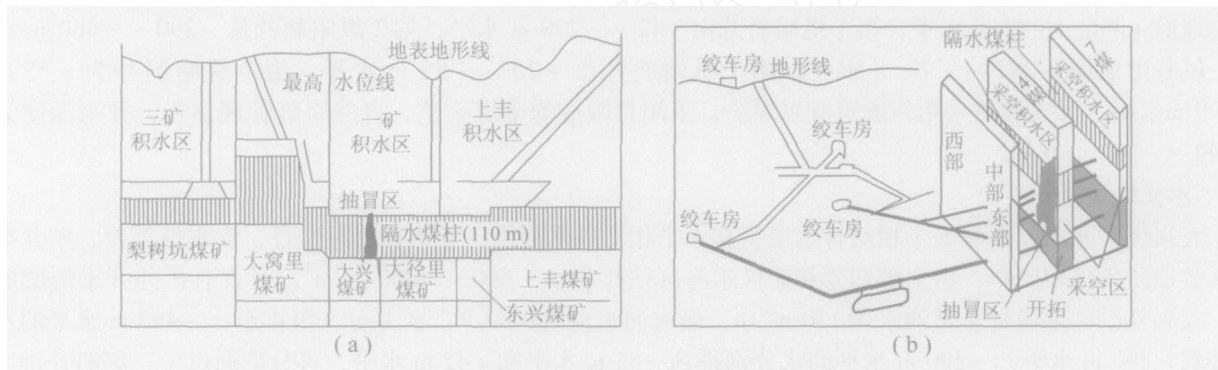


图 3 大兴煤矿“8·7”突水剖面 and 立体示意

Fig. 3 Section and solid sketch map of water inrush “8·7” in Daxing Mine

(a) 剖面示意; (b) 立体示意

3 突水影响因素及机理分析

3.1 突水影响因素

分析上述 4 煤垮落过程, 防水安全煤柱垮落形成透水柱体通道的主要影响因素有以下 4 个方面。

3.1.1 地下水的作用与影响

从 +262 ~ - 180 m 水平的积水对防水安全煤柱形成 4.42 MPa 压力无疑是此次垮落及突水通道形成的主要动力, 除此之外, 地下水还有以下作用与影响。

(1) 地下水对岩层强度与有效应力的影响 当破碎带内地下水未饱和时, 地下水的存在导致结合力 C 和内摩擦角 都会急骤下降, 依据莫尔 - 库仑准则 (1), 间接引起抗剪强度 () 降低; 当空隙中完全饱和水时, 依据 Biot 有效应力原理及 Hubbert 和 Rubey (1959) 的浮力效应原理, 应力的传递方式将由颗粒传递变为孔隙水的传递, 这时将出现很高的孔隙流体压力去抵消滑面上由于岩体质量而产生的压力, 引起很强的浮力效应, 直接导致有效应力降低。

(2) 地下水的水 - 岩化学作用的影响 即使煤层的关键层不形成完全失稳, 而是出现节理裂隙分布区, 地下水的渗透、水化学综合作用^[2]将加剧裂隙相互作用及裂隙聚集效应, 使得岩体破坏条件更易满足, 而裂隙的聚集、扩展又为渗透和水 - 岩化学作用提供了更有利的环境. 宏观固有构造主裂隙 (以渗透作用为主) 与细、微观裂隙 (以水化学作用为主) 互相促进相互转化扩展对煤层失稳破坏有非常重要的影响。

3.1.2 构造发育处采动矿压的作用与影响

采煤时的初次来压以及矿压, 不仅使顶、底板破坏, 而且也是形成顶板垮落的主要动力, 特别是在断层附近, 顶、底板破坏形成的“三带”高度会显著增大. 现场试验测试资料显示^[3], 在正常岩层条件下

底板破坏深度达到 16.8 m，而在断层带该深度达到 29.6 m，同样在顶板也会出现类似的成倍增长的情况。此次突水通道靠近 F_{16} 断层，小断层发育，防水安全煤柱上部开采会形成底板破坏^[4]，下部开采又会形成顶板破坏^[5]，这样原来垂高 110 m 防水安全煤柱减去顶底板破坏带高度，理论上隔水层厚度仅为 50 m，实际上经过多次垮落隔水层厚度不到 15 m，此时的突水系数高达 0.4 MPa/m，突水在所难免。

3.1.3 急倾斜厚煤层的作用和影响

该矿井东翼 -400 m 石门煤厚达 3~4 m，倾角高达 75 左右，近似直立，较松散，小断层发育，极易发生抽冒。从 2004 年到透水淹井前，在东翼 -400 m 石门以东 -400 m 以上各水平都在出煤，且出煤量较大，煤层抽冒现象严重。

3.1.4 防水安全煤柱自重重力的作用与影响

-180 m ~ -290 m 水平垂高 110 m 防水安全煤柱本来是起抵抗水压的作用^[6]，但其自重形成的重力为 $110 \times 1.4/100 = 1.54$ MPa，却成为顶板垮落的主要动力，此外，在其他因素的影响下，防水安全煤柱强度的减弱也将是透水形成的原因之一。

(1) 地应力集中影响 靠近 F_{16} 断层附近岩体破碎导致应力释放，断裂破碎带内为地应力低值区，应力释放对垮落的形成有较大影响。

依据莫尔-库仑准则，岩石强度为

$$\sigma = C + \tan \alpha \tau \quad (1)$$

式中， σ 为水平应力（柱体侧压）； C 为软弱带的结合力； α 为软弱带的内摩擦角。

由于垮落柱体导致的地应力集中，其作用方向铅直，与柱面剪应力（ τ ）大体一致，且最大值应在柱面边缘，当接近或等于柱面抗剪强度（ σ ）时，即 $\tau = \sigma$ ，就可产生柱面滑剪。

(2) 卸压带岩层强度降低的影响 在垮落柱体引起的卸压带内，垂直和水平应力都降低，依据莫尔-库仑准则（1），当水平应力（ σ ）降低时，直接造成柱面抗剪强度（ σ ）降低。

3.2 突水机理

从 +262 ~ -180 m 水平的积水对防水安全煤柱形成 4.42 MPa 压力，-180 ~ -290 m 水平垂高 110 m 防水安全煤柱自重形成的压力为 1.54 MPa，总压力为 5.96 MPa（图 4），因此突水系数为 $5.96 \text{ MPa}/110 \text{ m} = 0.054 \text{ MPa/m}$ ，正常条件下不会发生突水。但在多种因素的影响下，在断层破碎带处，极倾斜煤层的严重抽冒，使防水煤柱的隔水层厚度不断减小，突水系数不断增大达到临界突水系数而导致突水^[7~9]。

综上所述，发生此次突水事故的机理可归纳为：在上部水压、采动矿压、煤层自重、地下水的联合作用下，在小断层发育、陡倾角大厚度煤层且煤质松散易抽冒的特定地质环境下，由于超强度开采，一旦关键层失稳，破碎的煤岩体沿垂向固有构造裂隙面向上塌落，待形成自然平衡拱后塌陷垮落停止，上覆岩层得到暂时稳定；但随着采煤工作面的不断扩大，自然平衡拱被再一次打破，坍塌继续向上发展，直至最后的关键层破坏或破碎达到临界突水系数而发生透水^[10,11]。

4 结 论

(1) 本次突水分析表明，不论岩体结构如何，灾难性突水的通道大多为类似陷落柱的“柱体突水通道”，通道的截面多呈椭圆形，面积有限，形成管道状水流涌出。

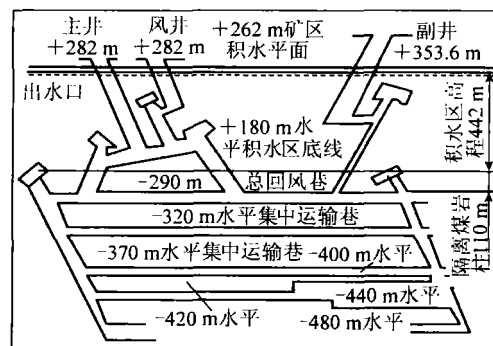


图 4 大兴煤矿积水区、隔水煤柱及开采水平位置关系

Fig. 4 Location relation sketch map of seep area, water barrier pillars and mining level in Daxing Mine

(2) 研究表明: 垮落是以采空区为基础, 地下水的作用为条件, 地下水水压、采动应力、岩体自重重力以及地应力集中作用为动力, 随着采煤工作面的不断扩大, 经过垮落、间歇、再垮落等周而复始的过程, 分阶段逐步形成柱体导水通道, 造成上部水淹区的积水大量溃入大兴煤矿, 导致事故的发生。

参考文献:

- [1] 煤炭科学研究总院西安分院. 广东省兴宁市大兴煤矿透水通道物探工作报告 [M]. 西安: 陕西人民出版社, 2005.
- [2] Bulau J R, Tittmann B R, Abdel - Gawad M. The role of aqueous fluids in the internal friction of rock [J]. J. Geophys Res , 1984, 89 (B6): 4 207 ~ 4 212.
- [3] Yin Shangxian, Zhang J. Impact of karst paleo - sinkholes on mining and environment in Northern China [J]. Environmental Geology, 2005, 48 (8): 1 077 ~ 1 083.
- [4] Wu Q, Wang M, Wu X. Investigations of groundwater bursting into coal mine seam floors from fault zones [J]. Int J. Rock Mech Min Sci , 2004, 41: 557 ~ 571.
- [5] Zhang J, Shen B. Coal mining under aquifers in China: a case study [J]. Int J. Rock Mech Min Sci , 2004, 41 (4): 629 ~ 639.
- [6] Kesseru Z S. Water barrier pillars [M]. Budapest: MWA Proc 13, 1982.
- [7] 尹尚先. 煤矿区突(涌)水系统分析模拟及应用 [D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2002.
- [8] 尹尚先, 武强, 王尚旭. 华北煤矿区岩溶陷落柱特征及成因探讨 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23 (1): 120 ~ 123.
- [9] 尹尚先, 王尚旭, 武强. 煤层底板陷落柱突水模拟及机理分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23 (15): 2 551 ~ 2 557.
- [10] 中国煤田地质总局. 中国煤田水文地质学 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000.
- [11] 尹尚先, 武强, 王尚旭. 陷落柱突水模式及理论判据 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23 (6): 964 ~ 968.

2007年《JOURNAL OF COAL SCIENCE & ENGINEERING (CHINA)》(《煤炭学报》英文版) 征订启事

《JOURNAL OF COAL SCIENCE & ENGINEERING (CHINA)》是中国煤炭学会主办的刊物, 是向国内外公开发行的英文版煤炭科学技术方面的综合性学术刊物. 主要刊载煤田地质与勘探、煤矿开采、矿山测量、矿井建设、煤矿安全、煤矿机械工程、煤矿电气工程、煤炭加工利用、煤矿环境保护等方面的科研成果论著和学术论文, 以及煤矿生产建设、企业管理经验的理论总结, 也刊载重要学术问题的讨论及国内外煤炭科学技术方面的学术活动简讯.

《煤炭学报》英文版《JOURNAL OF COAL SCIENCE & ENGINEERING (CHINA)》是向世界传播我国煤炭科学技术的重要媒体, 对加强中外科学技术交流, 宣传我国煤炭科学成就, 提高我国煤炭科学技术的国际地位将起到重要的作用. 及时报道我国煤炭科技新理论、新技术、新经验也是《煤炭学报》英文版的主要任务. 《煤炭学报》英文版和中文版具有不同的刊登内容和各自的特点.

《煤炭学报》英文版是季刊, 每期 112页, 每册国内订价 28元, 全年共收费 112元. 订阅者可直接和本编辑部联系, 订单函索即寄, 编辑部随时办理订阅手续.

本刊地址: 北京市和平里煤炭科学研究总院内《煤炭学报》编辑部 邮政编码: 100013

联系电话: (010) 84262930, E-mail: mtxbhj@126.com, mtxb@vip.163.com