

中国科学院地质研究所  
工程地质力学开放研究实验室

# 煤矿突水预报研究

许学汉 王杰 等著

地质出版社

# 煤矿突水预报研究

许学汉 王杰 等著

地质出版社

(京)新登字 085 号

## 内 容 简 介

本书是一本工程地质力学应用基础研究的著作,也是我国第一本应用工程地质力学理论与方法研究煤矿突水预测预报问题的专著。它是在总结“七五”国家重点攻关研究项目成果的基础上撰就的。第一篇,突水地质基础研究,全面地讨论了酿成突水的基本地质规律与特征,以及由此决定的水文地质和工程地质的基本条件与综合特性。第二篇,突水理论基础研究,重点围绕突水机制问题进行理论探讨,从不同角度分析了突水通道形成与诱发突水的作用机制。第三篇,突水预测预报方法研究,主要讨论了突水监测技术和方法,以及突水预报的原理。

本书可供矿山、水电、交通等有关勘测、设计、施工部门的工程技术人员阅读,也可供高等院校、科研机构的水文地质工程地质教学、科研人员和研究生参考。

### 煤矿突水预报研究

许学汉 王 杰 等著

\*

责任编辑:高天平

地质出版社出版发行  
(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷  
(北京海淀区学院路 29 号)

新华书店总店科技发行所经销

\*

开本: 787×1092  $1/16$  印张: 15.75 插页: 2 页 字数: 368,000

1991 年 11 月北京第一版·1991 年 11 月北京第一次印刷

印数: 1—1200 册 定价: 9.10 元

ISBN7-116-00984-1/P·843



# 序 言

中国煤炭资源丰富，煤炭资源的开发利用是我国经济发展的重要组成部分和既定国策。然而，我国煤炭资源的开采受水害威胁严重，尤其是随着开采深度、开采强度、开采速度、开采规模的增加和扩大，来自底部高承压水的危害日趋加剧。特别是华北石炭—二叠系煤田已成为我国煤炭生产的重要基地，煤炭产量占全国总产量的三分之一左右。而华北煤田位于岩溶水文地质类型区，水文地质条件极为复杂，突水事故频繁发生，严重地威胁着煤炭的安全生产，并已造成了巨大的经济损失和不良后果。要保证煤炭资源开发的稳步发展，摆脱突水灾害的严重困扰，根本出路在于实现安全监测开采。所以，解决安全开采、免除突水灾害的总途径，首先是对煤矿突水实现有效的监测和预报。不仅我国，世界各产煤国都迫切需要解决这一安全开采的重大难题。为此，我国将煤矿突水预测预报研究列入“七五”国家重点攻关项目。

本书从工程地质观点出发，认为煤矿突水问题实质是地质工程中的一项工程地质力学问题，是工程岩体（开采煤层的围岩体）发生变形、破坏与失稳的问题，而不单纯是水文地质问题。或者说，它是在特定的地质结构、地下水、地壳应力场条件制约和工程采掘综合作用及影响下发生的一项特殊的岩体水力学问题。据此，拟以工程地质力学理论与方法开展煤矿突水预测预报综合研究。此项研究既指对诱发突水的多种因素和综合作用的研究；又体现于对突水预测预报采取多种的综合指标。据此制订的基本研究内容和程序如下图所示。

框图明确指出，此项工作非常重视以工程地质力学综合分析为中心的基础研究——包括对突水物质基础（地质基础）和理论基础（突水机制）的研究。不言而喻，只有通过基础研究才能从根本上、实质上查清楚发生突水的原因和特征，才能有针对性地实施突水预测预报，才能有根据地采取有效的防治措施。

以基础地质研究为先导，首先要查清矿区地质与结构特性、地下水运动规律、现代地壳应力状态以及抗突水围岩体的工程地质综合特性和采掘效应等主要环境因素的影响；继之以抗突水岩体（例如煤层底板岩体）工程地质力学作用综合分析为中心，分析岩体结构力学、地壳应力和地下水以及采掘效应等综合作用，判定综合抗突水性能；抓住岩体变形、破坏与失稳，尤其是强渗、突水通道的形成条件。这就为突水理论基础研究——主要是突水机制研究奠定了基础，且提供了依据。理论基础研究的关键是解决突水通道的形成机制和类型，以及与之相关的突水类型和岩体水力学特征等基本课题。在完成上述基础研究的基础上，开展煤矿突水预测预报技术和方法的研究。在此要强调宏观预测与微观监测相结合的原则。首先针对矿区实际，对突水威胁或危险程度，或者反其意，对开采煤层围岩体阻抗突水的能力（即针对突水而言的渗透稳定性），从突水机制、类型和空间分布方面进行划分与评价。然后，进行突水微观监测的系列研究，包括监测参数的选定、监测技术与方法、监测结果分析以及临突预报标准与判据等研究。在完成上述技术与方法研究

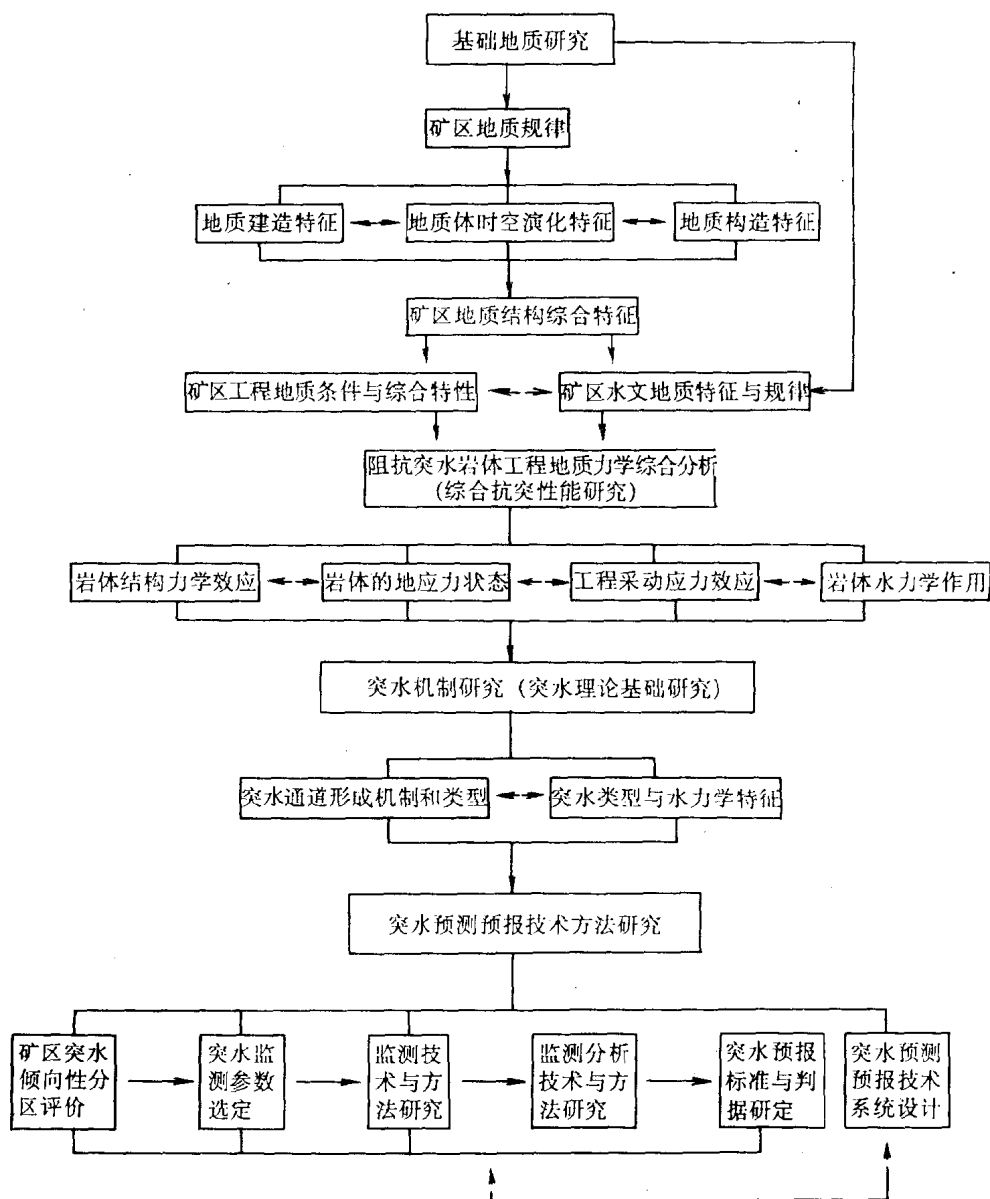


图 煤矿突水预测预报综合研究程序图

成果的基础上，设计与矿区实际相适应的突水预测预报技术系统。这里所谓选定监测参数，系指根据突水机制研究结果，将与突水相关的一切主要影响因素参数化、定量化，并从中选定主要、重要和关键性的参数。它们是建立突水判别标准、对突水实施监测和预报的基础。监测结果的分析处理，是指在采掘前对选定的各项突水参数进行预测，取得本底值；在采掘过程中监测其变化，并对监测值进行分析处理。例如将监测值输入计算机进行程序（依据突水机制建立的监测分析程序）运算分析。突水预报的标准与判据研究，系指研究确定诱发突水的各个相关参数达到突水时的临界值和判定依据。根据监测分析结果，对照突水标准判断并预报发生突水的危险程度。最后要求研究工作设计出包含了上述所有

预测（监测）预报功能的技术系统。为在生产实践中实施监测预报以及对突水灾害实行防治处理提供依据，尚有必要强调，这里所谓突水标准与判据是根据不同地质模型及其不同的突水机制建立的，考虑了诱发突水的多种因素和综合作用（包括时间效应）。这是同目前国内外所采用的单项指标，例如突水参数、等效隔水层厚度等预测预报方法的根本区别所在。

本专著侧重从酿成突水的地质基础和物理基础文献论述突水预测预报的应用基础研究。其主要特点是：在统一的工程地质力学理论指导下，既重视基础研究，又重视基础研究在突水预测预报中的应用；重视应用多种技术手段研究突水问题；重视突水机制的理论分析；并由上述几个方面推动突水预测预报的综合研究；重视理论与实践应用——解决实际问题相结合。每篇文章既相对独立，从不同的侧面论述了煤矿突水的原因、机制、类型，为预测预报提供了有论据、有内容、有实例的科学基础，又在统一理论指导下互为联系，从整体上反映了以工程地质力学研究、解决煤矿突水预测预报问题的完整的理论体系和科技途径，体现了整体上的有机联系。

本书是一本工程地质力学应用基础研究专著，也是我国第一本应用工程地质力学理论与方法研究煤矿突水预测预报课题的专著。它是“七五”国家重点攻关项目研究成果的总结。第一篇突水地质基础研究，全面地讨论了酿成突水的基本地质规律与特征，以及由此决定的水文地质工程地质的基本条件与综合特性。第二篇突水理论基础研究，重点围绕突水机制问题进行理论探讨，从不同角度分析了突水通道形成与诱发突水的作用机制。最后一篇主要讨论了突水监测技术和方法，以及突水预报的原理。

本专著也是作者们参与“七五”攻关研究的第一批成果，此后还将有计划地总结和奉献其它研究成果，为在理论和实践上推动和解决煤矿突水预测预报这一当前既紧迫又陌生的重大难题，恪尽一分子、一专业之责。

许学汉

1991年3月 北京

# 目 录

## 第一篇 突水地质基础研究

|     |                            |                      |
|-----|----------------------------|----------------------|
| 第一章 | 煤矿突水预测预报的工程地质基础研究 (大纲)     | 许学汉 (1)              |
| 第二章 | 煤矿突水预报和防治的水文地质基础研究         | 王 杰 (7)              |
| 第三章 | 煤矿突水灾害防治研究中的水文地质新方法        | 王 杰 潘曙兰 赵树森 石惠馨 (15) |
| 第四章 | 矿坑涌水量的动态分析及非线性随机模型的应用      | 唐炳善 (23)             |
| 第五章 | 华北煤田奥陶纪灰岩岩溶水渗流溶蚀模拟试验研究     | 时梦熊 (35)             |
| 第六章 | 抗突水岩层中泥质岩的工程地质特征研究         | 曲永新 (40)             |
| 第七章 | 煤矿突水预报中的围岩体结构效应研究          | 刘国霖 (52)             |
| 第八章 | 煤矿突水预测预报的岩石力学试验研究          | 郭 志 (61)             |
| 第九章 | 层状岩体的弹性模量及张开型临界应力强度因子的测试研究 | 王 杰 凌荣华 (75)         |

## 第二篇 突水理论基础研究

|      |                          |                   |
|------|--------------------------|-------------------|
| 第十章  | 煤层底板采动效应特征及力学作用机制分析      | 许学汉 (83)          |
| 第十一章 | 煤层底板岩体采动效应的三维分析          | 凌荣华 许学汉 王 杰 (96)  |
| 第十二章 | 煤层底板层状岩体采动效应影响下的突水机制研究   | 许学汉 王 杰 凌荣华 (109) |
| 第十三章 | 地质结构面再扩展与突水通道形成作用机制的综合分析 | 许学汉 (115)         |
| 第十四章 | 软弱结构面断裂韧度与扩展特征的直接剪切试验研究  | 许学汉 凌荣华 (137)     |
| 第十五章 | 岩体中混合型裂纹扩展的断裂判据          | 凌荣华 (151)         |
| 第十六章 | 切层结构面扩展的三维断裂力学分析         | 凌荣华 (157)         |
| 第十七章 | 层状岩体中节理网络系统追踪扩展的断裂力学分析   | 凌荣华 许学汉 (164)     |
| 第十八章 | 陡立岩层突水机制的三维分析            | 凌荣华 许学汉 王 杰 (181) |
| 第十九章 | 断裂构造带突水机制的三维断裂力学分析       | 许学汉 凌荣华 (193)     |
| 第二十章 | 岩溶陷落柱突水机理简析              | 刘继山 张文彬 (211)     |

## 第三篇 突水预测预报方法研究

|       |               |                   |
|-------|---------------|-------------------|
| 第二十一章 | 煤矿突水监测技术与方法研究 | 王 杰 (216)         |
| 第二十二章 | 煤矿底板突水预报分析    | 许学汉 王 杰 凌荣华 (228) |

# Contents

## Part I Researches for Geological Foundation of Water Gush

|                                                                                                                                              |                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Chapter 1 Engineering Geological Foundation Study of Water Gush Prediction in Coal Mine Outline .....                                        | <i>Xu Xuehan</i> (1)                                            |
| Chapter 2 Hydrogeological Foundation Study of Water Gush Prediction and Prevention in Coal Mine .....                                        | <i>Wang Jie</i> (7)                                             |
| Chapter 3 New Hydrogeological Methods on Prevention of Water Gush in Coal Mine .....                                                         | <i>Wang Jie, Puan Shulan, Zhao Shusheng and Shi Huixin</i> (15) |
| Chapter 4 Regime Analysis of Discharge of the Pit and the Use of the Nonlinear Stochastic Model .....                                        | <i>Zhan Binshan</i> (23)                                        |
| Chapter 5 Modeling Study of Filtration and Erosion of Ordovician Limestone Karst in Coalfield North China .....                              | <i>Shi Mongxiong</i> (35)                                       |
| Chapter 6 Engineering Geological Character Study of Mudstone in Water Gush Resisting Layer .....                                             | <i>Qu Yongxin</i> (40)                                          |
| Chapter 7 Structural Effect Investigation of Surrounding Rock on Water Gush Prediction in Coal Mine .....                                    | <i>Liu Guolin</i> (52)                                          |
| Chapter 8 Rock Mechanical Tests Study on Water Gush Prediction in Coal Mine .....                                                            | <i>Guo Zhi</i> (61)                                             |
| Chapter 9 Measurement Study of Elastic Modulus and Critical Opening Mode Stress Intensity Factor by Spot Testing in Stratified Rock Mass ... | <i>Wang Jie and Ling Ronghua</i> (75)                           |

## Part II Theoretical Foundation Investigation of Water Gush

|                                                                                                                            |                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Chapter 10 Mining Effect Charavter and Its Mechanical Mechanism Study of Floor of Coal Seam .....                          | <i>Xu Xuehan</i> (83)                             |
| Chapter 11 Three Dimensional Analysis of Mining Effect of Floor .....                                                      | <i>Ling Ronghua, Xu Xuehan and Wang Jie</i> (96)  |
| Chapter 12 Water Gush Mechanism in Stratified Rock Mass Under Mining .....                                                 | <i>Xu Xuehan, Wang Jie and Ling Ronghua</i> (109) |
| Chapter 13 Comprehensive Analysis Between Geclogival Structural Plane Repropagating and Formation of Water Gush Pass ..... | <i>Xu Xuehan</i> (115)                            |
| Chapter 14 Study of Fractural Toughness and Propagating Property for Weakness Plane in Direct Shear Test .....             | <i>Xu Xuehan and Ling Ronghua</i> (137)           |

|            |                                                                                             |       |                                                   |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------|
| Chapter 15 | Fractural Criterion of Mixed Crack Propagating in Rock Mass                                 | ..... | <i>Ling Ronghua</i> (151)                         |
| Chapter 16 | Three Dimensional Propagating Analysis of Floor-cutting Plane                               | ..... | <i>Ling Ronghua</i> (157)                         |
| Chapter 17 | Fractural Analysis of Joint Net Trace Propagation in Stratified Rock Mass                   | ..... | <i>Ling Ronghua and Xu Xuehan</i> (164)           |
| Chapter 18 | Three Dimensional Analysis of Water Gush Mechanism of Steeply Dipping Rock Bed              | ..... | <i>Ling Ronghua, Xu Xuehan and Wang Jie</i> (181) |
| Chapter 19 | Three Dimensional Fracture Mechanical Analysis of Water Gushing Mechanism in Fractural Zone | ..... | <i>Xu Xuehan and Ling Ronghua</i> (193)           |
| Chapter 20 | A Brief Analysis of Water Gush Mechanism of Krast Collapse Column                           | ..... | <i>Liu Jishan and Zhang Wenbin</i> (211)          |

### **Part III Study of Predicting Methods of Water Gush**

|            |                                                                            |       |                                                   |
|------------|----------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------|
| Chapter 21 | Invertigation of Monitor Techniques and Methods of Water Gush in Coal Mine | ..... | <i>Wang Jie</i> (216)                             |
| Chapter 22 | Prediction Analysis of Water Gush in Coal Mine Base                        | ..... | <i>Xu Xuehan, Wang Jie and Ling Ronghua</i> (228) |

# 第一篇 突水地质基础研究

## 第一章 煤矿突水预测预报的工程地质 基础研究（大纲）

许 学 汉

### 一、研究任务

煤矿突水的预测预报是当前国内外急待研究解决，而从理论和实践上又尚未解决好的重大难题。

以工程地质学观点考察，矿井突水是由于在一定时、空范围的地质体内（工程岩体内）形成采空区影响并破坏了地质体固有平衡状态，主要是引起工程地质力学场和地下水流场的失衡所致。它是在矿山地质开发中发生的一项特殊的水力学问题。煤矿突水的实质是煤层围岩体（工程岩体）在多种因素的综合作用下，发生变形、破坏与失稳的问题。归根到底，它是地质工程中的一项工程地质力学问题。

据此，解决煤矿突水预测预报问题——这是实施突水防治措施的前提和基础——宜应用工程地质力学理论与方法。概括起来说，工程地质力学理论与方法就是以地质力学和岩体结构力学为基础，从论证工程稳定出发，将多种影响因素概化为力学作用，进行综合分析的理论与方法。

从突水实质和工程地质力学综合分析需要出发，突水预测预报研究的总任务是：在查清矿区岩体的工程地质条件与综合特性以及地下水作用特征的基础上，分析在多种因素综合作用下地下水突破围岩体的条件、突水机制与类型，从而研究和建立突水预测（监测）预报技术系统。此总任务可分解为以下三方面：

①通过基础地质研究——地质规律、工程地质水文地质的基础研究，查清发生突水（引起上述二种失衡）的物质基础和条件。

②分析引起上述二种失衡与发生突水的作用机制和物理过程——这属于工程岩体综合抗突（水）性能分析和突水理论基础研究任务。

③研究突水预测技术与方法、预报标准与判据，据此设计突水预测预报技术系统。

上述第二项任务是中心，即工程地质力学综合分析；而第一项任务是为这种分析提供充分的地质基础和依据；第三项任务则是这种分析结果的应用。

显然，本章所涉及的内容属于基础地质研究范畴，即以突水预测预报为目标、应用工程地质力学理论与方法进行工程地质基础研究。其主要任务是研究矿区地质规律与特征、工程地质条件与特性，以及同工程地质力学分析、评价抗突岩体综合性能和水文地质特性

有关的地质基础和依据。据此规定了工程地质基础研究的内容。

## 二、工程地质基础研究内容和要点（大纲）

### 1. 基础地质研究

基础地质研究是工程地质研究的前提和基础，也是水文地质研究的基础。其基本任务是查清宏观的、区域的及矿区的地质规律和地质结构特性，为论证和确认与突水相关的水文地质工程地质基础条件和基本特性提供地质依据。其基本研究内容如下：

(1) 地质建造研究 地质建造研究是指对岩体形成规律与特征的研究，也是岩体结构研究的物质基础。抗突（水）岩体结构特性的优与劣同地质建造的形成环境、形成时代、成岩作用和演变过程有着内在的有机联系。这些均需借助于传统的和现代的理论与技术予以查清；还需研究组成各种建造的岩石成分与结构特征、成因类型、岩性岩相、成层条件与原生界面、均衡性与差异性，以及岩石建造组合与岩组划分的宏观与微观特征。研究三大成因类型岩石建造组合与划分的基本特征，是对工程岩体进行工程地质岩组划分的物质基础；此外如有需要，有时还对构造岩组和风化岩组进行专门研究。

(2) 地质构造研究 地质构造研究的实质是对地质建造的改造与再改造的研究，或者说是岩体形变规律与特征的研究。构造变形对岩体结构特性及其形成具有决定意义。

地质构造研究宜遵循地质力学理论与方法，研究构造变形场形成的时空演化规律及其相应的应力场特征；鉴定一切构造形迹及其形成的力学机制与特征；对基本构造型式——褶皱、断裂、断折以及构造体系进行组合和划分；分析构造应力场的时空转化以及构造形迹、构造型式、构造体系的联合与复合的规律与特征。

(3) 区域地质规律与基本特征研究 在上述地质建造和地质构造研究的基础上，分析研究二者之间的相互作用与联系特征，尤其应注意构造对建造的制约性和形变对形成体的改造效应。据此研究区域地质规律与特征，划分和评价不同的地质单元和地质（体）结构类型与基本特征。

(4) 矿区地质结构基本特征研究 在区域地质规律与特征研究成果的基础上，进一步研究矿区范围内地质建造特征、地质构造格架及它们的形成和演化；特别应进一步补充研究矿区有关地层中原生和次生型软弱地质界面和构造破碎夹层；重点研究切割性强、连通性好的一切构造分割面、不连续面，以及破碎带、断层和断裂构造带、节理劈理带、节理裂隙网络系统、陡倾破碎的褶皱轴和褶皱带，还有软弱破碎的构造岩带和构造影响带等；研究上述一切建造和构造类型的基本地质特性。

在上述研究基础上，鉴定和划分矿区地质体（包含抗突水围岩体）的地质结构类型与基本特征，以及由此规定的岩体（含工程岩体）的完整性（取决于结构面的数量与性状）和坚固性（取决于结构面和结构体的几何特征和强度）。矿区岩体结构特性是构成矿区岩体基本水文地质工程地质条件与综合特性的物质基础。

(5) 研究区域和矿区新构造及现代构造活动及其应力场特征 要注意它们对于老构造的继承性和改造作用，以及对矿区地质环境和抗突岩体基础地质条件的影响和改造效应；还需研究和分析现代断裂与断块活动的地震效应，因为地震活动可以单独地或与突水叠加地对矿区形成地质灾害。

(6) 矿区水文地质结构与地下水流场的地质基础研究 区域和矿区的地质规律与特性, 构成了区域和矿区水文地质结构、地下水流场乃至水文地质规律及其特征的地质基础。它从根本上决定了地下水的补给、径流、排泄条件。这需从基础地质研究成果中汲取一切与此有关的基础资料和依据, 并据此划分出不同的水文地质结构体系(单元)和地下水流场系统, 以及由此二者决定的不同水文地质单元; 需研究构成水文地质单元边界和内部条件差异性的地质依据; 要研究地下水作为一种能量的储存与释放的特性及其差异性, 研究形成这种特性与差异性的水文地质结构与工程地质条件方面的基础和依据。

## 2. 矿区基本工程地质条件与综合特性的基础研究

这一研究需以矿区地质规律和结构特性为依据, 因为归根到底, 矿区岩体结构特性反映着岩性、构造与地下水的综合特征, 决定着抗突(水)岩体在多种因素综合作用下的变形、破坏与失稳的机制和特征, 是建立抗突岩体地质模型和工程地质力学模型、分析与评价工程岩体稳定性的物质基础和地质依据。

这一研究工作应围绕着矿区和抗突水岩体的基本水文地质工程地质条件与综合特性而进行, 基本研究内容和要点如下:

### (1) 矿区基本工程地质条件研究

①对矿区范围内地层、岩相、岩性、成层条件、韵律特征、组合与划分特性等进行详尽研究, 根据其形成特征的统一性和差异性划分与评价不同的自然岩组类型。这是构成不同工程地质岩组与单元的物质基础。

②对矿区范围内一切构造形迹进行充分地勘察和研究, 特别需要详尽地研究它们的构造形式、产状与规模、成分与组构、地质力学属性与成生序次, 对地质建造的切割、干扰、影响与改造状况; 研究各种构造形迹、型式的叠加、组合与相关(联系)特征; 研究边界控制性构造与内部小构造的发育特征与差异; 研究各种构造形迹与型式在矿区地质建造中的总体分布(也是空间分布)特征、对建造层的总体切割与分割特征及其差异, 以及由此自然划分的构造单元特征。以上所述构成了划分不同工程地质单元的基础和依据。

③由不同的建造单元(岩组)和构造单元及其组合, 形成不同的地质结构类型与特性。这不仅是构成不同水文地质单元(又是由不同的水文地质结构单元与地下水流场系统所构成)的地质基础和依据, 也是决定地下水流场及其能量储存与释放(发生突水就是一种能量释放)的物质基础。

④矿区基本工程地质条件研究。该项研究目的是: a. 为研究抗突水岩体的微观工程地质条件和综合特性提供宏观的背景依据; b. 为抗突水岩体的工程地质力学综合分析提供基础依据。

该项研究建立在上述研究成果的基础上, 并侧重从以下几方面集中地揭示和研究矿区工程地质基本条件: a. 根据矿区三种自然单元——岩组类型、构造单元与水文地质结构单元的特征及其统一性和差异性, 研究和划分矿区地质体(包含抗突水岩体)的结构特性, 并侧重从完整性和坚固性方面全面地分析和评价矿区基本工程地质条件与特征; b. 继之分析评价矿区工程地质条件与特征的差异性; c. 再对一切不良因素和条件, 或由它们组合集中而形成的工程地质薄弱环节与区段, 予以侧重和充分地研究、鉴定与评价; d. 研究和评价矿区岩体在现代地壳应力场与变形场、地表地质作用和工程活动中的稳定性。

⑤ 矿区水文地质工程地质区划研究。在以上研究基础上,综合基本工程地质条件的特性、统一性和差异性,对矿区进行工程地质区划与评价。在此强调,这种区划是为突水预测预报服务的,因此需突出酿成突水且反映突水倾向性(危险程度)的基本工程地质条件,从突水角度分析和评价渗透稳定性,或者说是阻抗突水的基本性能。在这种工程地质区划的基础上,结合考虑水文地质规律,特别是水文地质结构与地下水流场特征制约下的地下水能量储存与释放特性,综合分析矿区(针对突水而言)的渗透稳定性,并据此作出区划与评价。区划与评价抗突岩体突水渗透稳定性的基本依据如下:

A. 矿区地质结构制约下的水文地质结构单元,同区域水文地质结构体系之间的连通特性;特别应注意由软弱破碎结构因素构成的富水带与强渗带(或地段)。

B. 矿区不同水文地质结构单元之间的连通程度,以及由此决定的不同地下水流场之间的联系特性。应特别注意分割与沟通性充分的水文地质工程地质薄弱环节和因素。

C. 矿区水文地质结构特性与工程地质条件制约下的抗突(水)岩体,对地下水能量的储存和释放的特性与差异性。

D. 矿区基本工程地质条件与抗突岩体工程地质综合特性。

E. 原生强渗通道的发育程度和特征。

F. 形成次生强渗通道的基本工程地质力学条件与可能性。

G. 可能发生的突水机制和类型。

H. 需考虑在未来采深不断发展的条件下抗突岩体的空间部位与特点。

I. 应考虑上述诸种因素影响与作用的时间效应。

(2) 抗突水岩体的工程地质综合特性研究 在矿区工程地质基本条件与特性研究成果的基础上,侧重对抗突(水)岩体的微观工程地质条件和综合特性进行补充性的量化研究,可归纳为如下几方面工作:

① 详尽地描述抗突岩体的地质组构特征,定性地评估其物理、力学、水理性质及其在地应力、地下水和工程作用下的效应和特征;据此划分工程地质岩组并评价各岩组的基本工程地质特性及相互差异性。如组成与结构、坚硬与软弱、完整与破碎、遇水膨胀和泥化效应、隔水与导水、骨架层与软弱夹层、变形破坏机制与特征等。

② 详尽描述(特别需要利用一切开拓和采掘场合的人工剖面和露头)一切有关抗突岩体的构造发育特征,诸如:层间或小型褶曲构造、层间构造破碎带、大小断层、大型节理裂隙、小微构造集中带(如节理、劈理密集带、各种构造形迹和组成型式不同规模与特征的构造破碎带、节理裂隙网络系统等);要研究它们的产状与规模、成生机制与地质力学属性以及相关特性;定性地判断和描述它们的地质特征和物理、力学、水理与水力学等性能;分析和评价它们的整体和局部、宏观和微观上对抗突岩体的切割与分割特性;考虑它们在地应力、地下水以及工程应力综合作用下的响应、效应和特性,以及时间效应特征。

③ 在矿区地质结构划分的基础上,参照以上二项补充研究结果,对抗突水岩体的结构特性及其差异性进行补充和修正,并据此划分和建立典型的地质模型。

④ 抗突岩体的综合工程地质性能测试研究。测试研究范围包括岩石与岩体的物理和力学性能、水理性质、地应力状态。

测试参数与测试方法:

A. 在现场以水压致裂综合测孔法测试抗突岩体的如下 11 种性能参数: 地应力状态——三个主应力  $\delta_1$ 、 $\delta_2$ 、 $\delta_3$ , 岩体力学参数——泊松系数  $\mu$ 、弹性模量  $E$ 、张性临界应力强度因子  $K_{IC}$ 、抗拉强度  $R_T$ 、最大致裂压力  $P_n$ , 岩体物理和水理参数——孔隙度  $n_0$ 、渗透系数  $K$ , 单位吸水量  $\omega$ 。

B. 必要时, 进行现场原位大型力学试验, 获取如下岩体力学性能参数: 单轴压条件下的弹性与变形模量  $E$  和  $E_0$ , 泊松系数  $\mu$ , 单轴压强度  $R_C$ , 抗剪强度参数  $C$ 、 $\varphi$  值和剪切刚度, 剪型临界应力强度因子  $K_{IIC}$ ; 三轴条件下岩体的抗压强度  $R_T$ , 弹性模量  $E$ , 抗剪强度参数  $C$ 、 $\varphi$  值, 以及获取在充水和时间效应下的以上各参数值和软化系数。

C. 经常进行的是室内测试, 通过典型取样获取以下岩石 (岩块) 力学指标: 抗拉强度  $R_T$ , 单轴和三轴抗压强度  $R_C$ 、泊松系数  $\mu$ 、弹性模量  $E$ , 抗剪强度参数  $C$ 、 $\varphi$  值, 临界应力强度因子  $K_{IC}$ 、 $K_{IIC}$ , 以及测试在充水和时间效应下的上述各参数值和软化系数。

D. 现场抽水试验和钻孔注水试验, 获取岩体的渗透系数  $K$  和单位吸水量  $\omega$  值。

E. 通过室内样品测试, 获取以下常用的岩石物理性能指标: 容重  $\gamma$ , 孔隙度  $n$ , 含水量  $W(\%)$ 、塑限  $(\%)$ 、流限  $(\%)$  及塑性指数, 膨胀率, 粘土矿物含量、类型及其表面积等。

除上述外, 还可以根据特殊需要设计特殊的测试, 取岩石或岩体的特殊的物理、力学和水理、水力学性能参数。

⑤从工程岩体渗透稳定性出发, 对抗突岩体的水文地质结构及其制约下的水文地质条件的基本特征与差异性, 对矿区岩体渗透稳定性分区与评价, 进行补充性和定量化研究; 要特别注意对富水性、渗透性和贯通性以及塑化、液化特性的分析研究。

⑥在对岩体结构进行概化分析并据此建立了地质模型的基础上, 依据上述研究结果, 并考虑一切有关应力作用特征, 建立抗突 (水) 岩体的力学作用模型。这是进行工程地质力学综合分析的基础, 也是评价综合抗突性能以及分析严重变形破坏带和强渗突水通道形成机制的基础。

### 3. 诱发突水的工程地质因素、条件与作用

在对矿区和抗突 (水) 岩体的基本工程地质条件和综合特性、水文地质规律与地下水作用特征, 以及一切有关的应力作用特点已知 (根据研究结果) 的情况下, 是否发生突水取决于诱发突水的工程地质因素、条件和作用。集中到一点, 即是否具备突水通道。据此, 研究突水通道的形成颇为关键。与此有关的研究作用归纳如下:

①应着重对抗突岩体中所有的水文地质工程地质薄弱环节, 特别是切割和分割抗突岩体的各类软弱破碎带和网络系统的综合抗突性能, 进行分析研究和鉴定; 评价其是否构成原生强渗通道而诱发即射型 (一旦被揭穿) 突水, 或者在工程地质力学综合作用下, 可能发展成为诱发滞后型突水的次生通道。

②在各种类型结构面单独地或者网络状地切割抗突岩体的场合, 应侧重研究结构面或网络系统发生再扩展乃至形成强渗通道的可能条件; 可以引用断裂力学理论或其它有关理论分析结构面向网络结构面产生再扩展的作用机制和类型, 并且这种研究需与抗突岩体的力学作用综合分析密切结合。根据分析研究结果, 鉴定与评价可能发生扩展的结构面或破碎带或节理网络系统的增渗效应及阻抗突水的有效性, 以及形成次生突水通道的可能性。

③在对抗突岩体进行工程地质力学综合分析中, 要特别注意那些赋存于抗突岩体中的

一切不良因素。如非稳定性工程地质因素和薄弱环节，由低劣的物理、力学、水理性能综合构成的工程地质性能软弱、易变、易于发生变形破坏与失稳的区段和软弱构造破碎岩带等。研究分析它们在地下水的充分（时间效应）作用下发生以剪切塑变为主导的增渗效应及形成突通道的机制和条件；研究分析在工程地质力学综合作用中表现削弱、蜕变和恶化的一切工程地质因素、条件、效应（效果）和不良单元。根据这种全面综合分析结果，鉴定岩体的综合抗突水性能，分析抗突性能的差异性，评价一切抗突性能较差和最差地段形成次生强渗通道而诱发突水的可能性。

④工程采动效应引起抗突围岩体中应力调整，形成卸荷塑变区间，从而成十倍、数十倍地增强渗透性能，一般可形成强渗通道诱发突水。可以应用数值模拟分析方法，或在现场直接监测的方法确定采动效应塑变区间。

⑤综合分析研究上述四种不良效果的叠加与联合、它们之间的联系与连通特征，评价其联合形成次生强渗通道的可能性，尤其是采动效应往往起着最终沟通一切单独形成、尚未相互连通的强渗通道的作用，从而构成触发突水的直接因素和条件。

⑥对处于现代构造运动强烈和地震活动区的矿区，除要进行上述正常情况下的有关研究外，尚需研究在非常情况下（如在断裂与地震强烈活动影响下），上述诱发突水的诸种水文地质工程地质因素、条件与作用，产生急剧强化和恶化效应的可能性。

## 第二章 煤矿突水预报和防治的水文地质基础研究

王 杰

### 一、概 述

华北石灰—二叠纪煤田和南方晚二叠世煤田的矿井受石灰岩喀斯特水的严重威胁，突水事故频繁。

据有关统计，受突水灾害威胁的大型矿井有 200 对之多，生产能力达  $1 \times 10^8 \text{t/a}$ ，已发生突水事故数百起，直接经济损失约数十亿元，煤炭减产近  $1 \times 10^8 \text{t}$ 。这表明，突水灾害是影响我国煤炭生产与安全的重大问题。

为此，围绕着突水灾害防治这个中心问题，煤炭工业有关的生产和科研部门以矿山水文地质学的基本理论与方法为基础，在矿区水文地质条件探查、矿井涌水量计算分析、含水层疏干降压工艺技术、注浆封堵工艺技术、帷幕截流工艺技术、井下防水工艺等技术的工程实施等方面进行了大量的研究与治理工作，逐步形成了一套具有中国特点的矿山防水治理论与技术，在生产实践中发挥了重要的作用。

特别是有关突水机理研究有了新的进展，已经注意到突水与采掘工程作用引起的围岩变形破坏、水压、矿压、煤层及相对隔水层的岩体强度、断裂节理等结构面介质力学性质等一系列因素有着密切关系。这预示着煤矿突水灾害防治理论研究正在逐步深化。

通过科研实践，作者认为煤矿突水是含水介质系统（亦称水文地质结构系统）的结构遭受破坏，引起地下水流动系统发生急剧改变的水动力作用造成的。煤矿突水不是单纯的矿井涌水问题，而是煤矿井巷或采场周围岩体在其力学平衡状态发生失稳破坏时，地下水体内所存储的能量以流体物质高速运移的形式瞬间释放而产生的一种急剧猛烈破坏的动力现象。流量大、流速高是突水形成的两个不可缺少的重要条件。煤矿突水水文地质研究归根结底就是要对流量大、流速高这两个重要条件能否同时具备提供水文地质方面的依据，即要对水文地质结构系统能量的储存性能、水文地质结构系统能量释放性能、水文地质结构系统的稳定性能、地下水流动系统水动力作用性能给予确切的评价。

这是因为，地下水系统是由固、液两相构成的。液相充填于固相骨架的空隙之中，固相骨架的空隙组成含水介质系统（亦称水文地质结构系统），液相流体构成地下水流动系统。前者处于静态平衡状态储存着应变能；后者处于动态平衡状态具有动能（或势能）。两者构成了相互依存、相互作用的统一的有机整体。当地下水系统平衡状态受到扰动时，其力学响应最明显最敏感的是地下水流体本身。

地下水系统是由特定的物质组成、具有特定的结构组合、赋存于特定的地质和地球物理环境之中的地质综合体。突水的条件及其特征和规律是受上述三个因素及相应的工程作

用状态制约的。揭示突水的内在原因、内在规律及内在联系，以地质的观点与方法、力学的观点与方法、工程作用的观点与方法，全面地统一地查明地下水系统的物质组成、介质属性、结构型式、力学性质、流动状态、应力状态等方面特征，是煤矿突水防治理论和技术研究的基础。

煤矿突水水文地质研究的核心问题是评价突水的水文地质条件。

对地下水系统客观实际的描述不仅要全面、深入而且应准确，在此基础上还要进行简明合理地概化与理定，建立一个能够合理、准确地反映客观突水水文地质条件的物理力学模型。这个概化模型应能表征含水介质系统和地下水流动系统的主要特征（如结构组合特征、边界特征、水动力特征）、主要作用（如存储作用、导水作用、传递作用）、主要效应，即地下水系统因周围介质环境状态变化而产生的含水介质系统静态平衡变化、流动系统的动态平衡变化。

突水水文地质研究应当是一个从具体到抽象、从表象到本质、从无序到有序逐步深化的过程。应当遵循归纳与演绎相结合、单元分析与多元分析相结合、形象思维与抽象思维相结合的原则，把客观描述过程仅仅作为研究起始的第一步。

现以开滦某矿区地下水系统概化模型研究为例，对研究的基本方法作精略的归纳与总结。

## 二、研究的基本方法

### （一）构造水文地质的综合分析

以构造水文地质学为理论基础，着重研究地质构造对地下水系统的控制作用。研究表明，所谓控制作用是控制着地下水系统的水文地质条件，可归纳为下述四方面。

#### 1. 地质构造决定着区域地下水系统的边界及类型

本区地处华北断块北缘地带，构造发育，条件复杂，区域北部展布有近 EW 向的马兰峪巨型复式背斜，其轴部广泛出露太古界片麻岩系，褶曲的南翼分布震旦系变质岩系；近 EW 向展布着两条大型基底断裂，沙河驿—韩家庄断裂和昌黎—西河断裂；NE 向展布着唐山—陡河断裂和山港—雷庄断裂。上述四条断裂所夹持的地质体称为开平断块。这四条断裂的两侧地质条件差异甚大，为开平断块内部地质建造和构造的历史演化奠定了控制性基础。

区域地下水系统的划分和边界主要取决于地下水的水力联系，地质构造格局展布是控制区域地下水系统范围与边界的决定性因素。从水文地质出发要着重考察区域地下水系统中各类含水介子系统含水结构划分及各自功能、各子系统间的相互水力联系及其转化。各含水介子系统及其隔水结构的空间展布，是进行区域地下水系统划分和边界确定的主要依据。

地质研究结果表明，区域上有四套主要地层，也是四个构造层，即前寒武系变质岩基底以碳酸盐岩为主的下古生界、以碎屑岩为主的古生界和中生界及未成岩松散层为主的新生界；存在着四种类型的含水介质系统，即变质岩裂隙含水系统、碳酸盐岩岩溶含水系统、碎屑岩孔隙裂隙含水系统和松散层孔隙含水系统。

#### 2. 地质构造决定着地下水补给区的位置和大气降水的补给条件