

地下水资源 系统勘查技术与 综合评价方法

● 霍明远 主编



科学出版社

地 下 水 资 源

系统勘查技术与综合评价方法

COMPREHENSIVE EVALUATION
METHOD AND SYSTEM EXPLORATION OF
UNDERGROUND WATER RESOURCES

霍明远 主编

科 学 出 版 社

1 9 9 2

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书是《经济地质学》丛书中的一部。全书分上、中、下三篇,共十章。上篇在总结前人关于地下水成因说的基础上,提出了在地球形成前氢氧爆炸结合成水的假说,总结了地下水物理化学性质和分布特征研究的最新成果,探讨了地下水的运移和富集规律。中篇系统地介绍了地下水勘查技术,包括遥感技术、地球物理技术在找水中的应用,以及构造水文地质找水方法、地球化学找水方法等,并创造性地提出了以环套理论为基础的综合立体找水模型;以及在沂蒙山区找水的实际应用中取得的显著效果。下篇主要介绍了地下水资源的综合评价方法和综合利用,提出了地下水资源的节约与保护措施,并讨论了地下水资源开发的产业政策。本书既有系统性、创造性又有实用性,可供从事寻找与开发地下水资源的科研、生产人员,大专院校有关专业的师生和地下水资源管理部门的干部参阅。

地下水资源 系统勘查技术与综合评价方法

霍明远 主编

责任编辑 谢洪源 郑秀灵

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

北京市大兴县海子角印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1993年3月第一版 开本: 787×1092 1/16

1993年3月第一次印刷 印张: 16

印数: 1-1 000 字数: 365 000

ISBN 7-03-003236-5/P·632

定价: 18.00 元

谨以此书献给：

沂蒙山区人民；
以及缺水地区那些渴望找到并开发利用地下水
资源的人们。

编 者

1992 年 12 月 28 日

编委会成员

主 编	霍明远			
副主编	滕吉文	李荫槐	郑兰芬	石昆法
	刘元龙	刘洪臣	刘安国	高桂媛
编 委	(按姓氏笔画排列)			
	王晋年	毛木林	叶金山	包石柱
	石昆法	江为为	刘元龙	刘安国
	刘洪臣	孙海明	李荫槐	李英贤
	吴露萍	张庚利	金 浩	武传真
	郑兰芬	侯宏飞	姜维维	高桂媛
	梁尚鸿	滕吉文	颜铁森	霍明远

序

沂蒙山区是一个十分缺水的地区,尤其是位于深山沟里的革命老区,至今仍没有完全解决人畜饮水问题。沂蒙山区是中国科学院重点扶贫地区之一。为了解决老区人畜饮水问题,中国国际经济技术交流中心、中国贫困地区经济开发服务中心和中国科学院、国家计划委员会自然资源综合考察委员会开发中心,三方决定联合进行“利用航空遥感技术,在沂蒙山区寻找地下水资源”项目,并列入中国科学院重点扶贫计划中。

项目历经三年时间,终于完成了一万平方公里的地下水资源勘查任务。初步摸清了工作区地下水资源的分布特征、运移和富集规律,建立了以环套理论为基础的综合立体找水模型,并通过打井验证。从已打的 10 口井看,成功率达 80%。未出水的两口井,一口是由于把酸性侵入体误认为老地层而终孔,另一口是由于寒武纪地层局部加厚而未打到储水层。虽然没打出水,但解决了多年困惑不解的老大难问题。第一口干井在临朐县平安峪村,该村原先已打了 13 口干井,这次是第 14 口干井。如不弄清是寒武纪地层局部加厚问题,还可能打第 15 口、第 16 口干井。在该村只有打 350—450 米深井,才可以解决人畜饮水问题。第二口干井是在沂南县佛子坊村,该村原已打 7 口干井,这次是第八口,都是误把酸性侵入体当作老地层而终孔,物探异常是由酸性侵入体引起的,并非是地下水异常。这次解决了疑难,认识到必须有断裂通过且有储水构造和物探异常,而且最主要的还要有地下水遥感信息显示才行。项目组将继续在这两个村进行工作,力争解决这两个村的老大难问题。

“世界上没有百分之百的事”,我们不能要求寻找地下水百发百中,但要认真总结经验教训,尽可能地提高打井命中率,这不仅仅是缺水、盼水的革命老区人民所渴望的,也是从事此项工作的科研人员义不容辞的责任。从已出水的 8 口井看,最小的出水量为每小时 18m^3 ,最高的达每小时 48m^3 ,不仅解决了人畜饮水问题,而且可以发展工农业生产。沂水县井峪村打出一口每小时出水 40m^3 以上的井,不仅解决了人畜饮水问题,而且还使 800 亩黄烟达到稳产高产。事实证明,高科技不仅能进入扶贫主战场,而且还会取得显著的经济效益,达到事半功倍的效果。

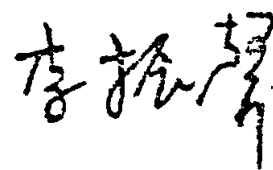
地下水资源的研究从一开始就具有较强的实用性,不论是研究地下水的形成、运移与富集等演变规律,还是对地下水资源评价的理论与方法,都是为地下水资源开发利用服务的。该领域的研究正朝着地下水基础理论研究-地下水系统勘查技术-地下水综合评价方法与应用-地下水开发利用与节约保护等系统性和综合性的方向发展。《地下水资源系统勘查技术与综合评价方法》一书就是按这个方向进行研究并经沂蒙山区寻找地下水实践的验证和应用而获得的新成果。这是一本具有较强实用性、系统性和创造性的科学专著,它不仅仅是上述项目的成果总结,而且对于我国地下水资源的开发利用和节约保护也是

一份宝贵的贡献。

人们越来越认识到水资源的宝贵,尤其是地下水资源愈来愈珍贵,希望本书能在地下水资源基础研究与开发应用领域发挥其应有的作用。

中国科学院副院长、学部委员

中国科学院扶贫工作领导小组组长

A handwritten signature in black ink, consisting of three characters: '李', '瑞', and '声' (Li Rui).

1992年8月8日

COMPREHENSIVE EVALUATION METHOD AND SYSTEM EXPLORATION OF UNDERGROUND WATER RESOURCES

Editor: Huo Mingyuan

Summary

This is one of the books in the "Economic Geology" series. It is a monograph applicably, systematically and creatively expounding the theoretical research on the formation of underground water, the exploration technology of how to find out the underground water, and comprehensive evaluation. The whole book contains 10 chapters in three parts.

The first part sums up the underground water formation theory of the predecessors and on the basis of this theory puts forward the hypothesis that the water was combined and formed after the explosion of hydrogen and oxygen before the formation of the earth, and sums up the nowadays research on the physicochemical features and the distributional characteristics of underground water and the new research results, then, approaches the transpositional and concentrative regulation of underground water. The second part systemically recommendeds the comprehensive exploration technology of underground water and creatively puts forward the link theory and establishes the three-dimensional model on finding underground water. The practical use of this model has gained very obvious results. The third part mainly introduces the method of comprehensive evaluation and exploitation of underground water and suggests countermeasures for the conservation of underground water resources and deals with the research on the policy of the industries using underground water.

This book is a special reference book for the persons who are engaged in underground water research, production and for faculties and students of related colleges and universities as well as the underground water administrative personnel.

前 言

如果说沂蒙山区有许多特点的话,那么迄今为止,一个最显著的特点就是:哪里有水,哪里人们就相对富裕;哪里没有水,哪里人们就相对贫困。

截止到 80 年代末,沂蒙山区还有相当一部分地区连人畜饮水都没解决,更谈不上发展生产与繁荣经济了。就在这种现实背景条件下,中国科学院综合考察委员会牵头,组织了中国科学院地球物理所、中国科学院地质所和中国科学院遥感所四个单位的 28 名找水专业队伍,三下沂蒙山区,进行五个县的地下水资源勘查与评价工作。特别值得一提的是中国科学院地球物理所石昆法高级工程师,为了帮助贫困山区寻找地下水资源,手臂伤口未愈,打着绷带亲自奋战在找水第一线;武传真、关露萍两位女同志撇家舍孩子也同男同志一道勤奋工作;还有李荫槐、刘元龙、滕吉文三位研究员不顾年高体迈,都亲临找水前线,参加实地勘查工作,确实体现了科技人员对贫困山区人民的无私奉献精神,得到当地政府和人民群众的高度评价与赞扬。

临朐、蒙阴、沂水、沂源、沂南五县人民政府大力支持与援助此项工作的实施。各县水利部门的领导与技术人员也都积极参加此项找水工作,在实际工作中给了许多有益的帮助和指导,为项目的顺利进行奠定了基础。

此书就是该项工作的总结,它是大协作的成果和集体智慧的结晶。全书共十章,其中第一、二、三、四、七、九(1、2、3 节)、十章由霍明远撰写;第五章由郑兰芬、王晋年、叶金山、金浩、侯宏飞撰写;第六章为李荫槐撰写;第八章(1、2、3、4、5、6 节)为滕吉文撰写、第八章(第 7 节)由刘洪臣、刘元龙、石昆法、王谦身、李英贤、武传真、江为为、吴露萍、孙海明、张庚利、毛木林、梁尚鸿等人撰写,刘洪臣统稿定稿;第九章(第 4 节)由高桂媛、霍明远撰写;全书最后由霍明远统稿、定稿。

由于本书涉及专业较多,知识面广,编写水平有限,错误之处恳请读者斧正。

霍明远

1992 年 12 月 28 日

目 录

序
前言

上篇 地下水的基础理论研究

第一章 地下水的成因.....	(1)
第一节 大气降水的转化.....	(1)
第二节 地球深部水的上移.....	(2)
第三节 同生水的概念及其质疑.....	(4)
第四节 氢和氧爆炸结合成水的假说.....	(6)
第五节 地下水的地质环境.....	(9)
参考文献	
第二章 地下水的物理化学性质与分布特征	(15)
第一节 地下水的物理性质	(15)
第二节 地下水的化学性质	(17)
第三节 地下水的分布特征	(22)
参考文献	
第三章 地下水的运移、富集与演变规律.....	(29)
第一节 地下水的运移	(29)
第二节 地下水的富集	(33)
第三节 地下水的演变	(36)
参考文献	

中篇 地下水资源的系统勘查技术

第四章 环套理论及其在找水中的应用	(40)
第一节 问题的提出	(40)
第二节 环套理论——问题的数学表达	(42)
第三节 立体找水模型——环套理论的应用	(45)
参考文献	
第五章 地下水资源调查的遥感与 GIS 技术	(50)
第一节 综述	(50)
第二节 航天航空遥感技术	(52)
第三节 遥感图像的计算机处理技术	(61)
第四节 构造、纹理信息提取及其水文地质意义.....	(67)

第五节 地表热异常的遥感探测及其水文地质意义	(73)
第六节 水资源与数字地形模型(DTM)	(75)
第七节 水资源地理信息系统	(80)
第八节 沂蒙山区地下水遥感信息显示图像生成模型	(87)
参考文献	
第六章 构造水文地质找水方法	(91)
第一节 构造水文地质理论的基本要点	(91)
第二节 山东省构造水文地质的主要特征	(106)
第三节 构造水文地质在找水中的应用——以沂蒙山区五县为例	(117)
参考文献	
第七章 地球化学找水方法	(125)
第一节 气体测量找水	(125)
第二节 生物地球化学找水方法	(126)
第三节 土壤分类找水方法	(129)
第四节 岩石风化元素组合找水方法	(130)
第五节 水化学同位素指示剂找水方法	(133)
参考文献	
第八章 地球物理找水技术与应用	(135)
第一节 磁法勘探的实际应用与磁异常的地质解释	(135)
第二节 重力勘探在水文与工程地质中的应用	(139)
第三节 放射性测量方法在寻找地下水与热水中的应用	(141)
第四节 地热测量勘探地下热水的能力与应用	(152)
第五节 浅层地震勘探的应用	(154)
第六节 电法勘探在寻找地下水中的应用	(164)
第七节 综合地球物理勘探方法在沂蒙山区找水中的应用	(183)
参考文献	

下篇 地下水资源综合评价、开发利用和节约保护

第九章 地下水资源综合评价方法	(206)
第一节 地下水储量与资源概念的划分	(206)
第二节 地下水储量计算方法	(210)
第三节 地下水资源的评价方法	(216)
第四节 沂蒙山区五县地下水资源的综合评价	(220)
参考文献	
第十章 地下水资源的科学管理与产业政策研究	(229)
第一节 地下水资源的开发利用	(229)
第二节 地下水资源的节约与保护	(232)
第三节 地下水资源的科学管理与产业政策研究	(239)
参考文献	

Contents

Foreword

Preface

Part I Basic Theory of Underground Water

Chapter 1	Origin of Underground Water	(1)
§ 1.1	Transformation of Meteoric Water	(1)
§ 1.2	Upward Movement of Deep Subsurface Water	(2)
§ 1.3	Conception of Retention Water and Its Problem	(4)
§ 1.4	Water Formation Hypothesis-explosion Combination of Hydrogen With Oxygen	(6)
§ 1.5	Geologic Backgrounds of Underground Water	(9)
References		

Chapter 2	Physical and Chemical Properties, and Distribution of Underground Water	(15)
§ 2.1	Physical Properties of Underground Water	(15)
§ 2.2	Chemical Properties of Underground Water	(17)
§ 2.3	Distribution of Underground Water	(22)
References		

Chapter 3	Movement, Catchment and Evolution of Underground Water	(29)
§ 3.1	Movement of Underground Water	(29)
§ 3.2	Catchment of Underground Water	(33)
§ 3.3	Evolution of Underground Water	(36)
References		

Part I Systematic Exploration Techniques in Underground Water Search

Chapter 4	Circulation Theory and Its Application in Water Search	(40)
§ 4.1	Circulation Theory	(40)
§ 4.2	Mathematical Model of Link Theory	(42)
§ 4.3	Three-dimensional Model for Water Search— Application of Link Theory	(45)

References

Chapter 5	Remote Sensing and GIS Technique in Water Search	(50)
§ 5.1	Introduction	(50)
§ 5.2	Aerial Remote Sensing Techniques	(52)
§ 5.3	Computer Processing of Remote Sensing Images	(61)
§ 5.4	Conception of Structure, Lamination Information and Its Hydrogeological Significance	(67)
§ 5.5	Remote Sensing of Subaerial Thermal Abnormality and Hydrogeological Significance	(73)
§ 5.6	Water Resources and Digital Topographic Model	(75)
§ 5.7	Geographic Information System of Water Resources	(80)
§ 5.8	Image Formation Model of Remote Sensing Indication of Underground Water, Yimeng Mountains	(87)

References

Chapter 6	Tectono-Hydrogeological Water Search Methods	(91)
§ 6.1	Key Points of Tectonohydrogeology	(91)
§ 6.2	Principal Tectonohydrogeological Characteristics of Shandong Province	(106)
§ 6.3	Tectono-Hydrogeological Methods in Water Search —For example Yimeng Mountains	(117)

References

Chapter 7	Geochemical Methods in Water Search	(125)
§ 7.1	Gas Survey	(125)
§ 7.2	Biogeochemistry	(126)
§ 7.3	Soil Categorization	(129)
§ 7.4	Weathering Element Association of Rocks	(130)
§ 7.5	Isotopic Indication of Water Chemistry	(133)

References

Chapter 8	Geophysical Techniques and Applications in Water Search	(135)
§ 8.1	Applications of Magnetic Prospecting and Geological Interpretation of Magnetic Abnormalities	(135)
§ 8.2	Applications of Gravitational Prospecting in Hydrogeology and Engineering Geology	(139)
§ 8.3	Applications of Radiometric Prospecting in Underground Water and Thermal Water Search	(141)

§ 8.4	Applications and Efficiency of Geothermal Measurement in Underground Thermal Water Prospecting	(152)
§ 8.5	Applications of Shallow Seismic Prospecting in Water Search	(154)
§ 8.6	Applications of Electric Prospecting in Water Search	(164)
§ 8.7	Integrated Geophysical Approaches in Water Search, Yimeng Mountains	(183)

References

Part III Comprehensive Evaluation, Exploration, Saving and Conservation of Underground Water Resources

Chapter 9	Comprehensive Evaluation of Underground Water Resources	(206)
§ 9.1	Classification of Underground Water Reserves and Resources	(206)
§ 9.2	Calculation of Underground Water Reserves	(210)
§ 9.3	Evaluation of Underground Water Resources	(216)
§ 9.4	Comprehensive Evaluation of the Underground Water Resources in Yimeng Mountains (Covers 5 Counties)	(220)

References

Chapter 10	Scientific Management and Industrial Policy of Underground Water Resources	(229)
§ 10.1	Exploration and Utilization of Underground Water Resources	(229)
§ 10.2	Saving and Conservation of Underground Water Resources	(232)
§ 10.3	Scientific Management and Policy Studies on Underground Water Resources	(239)

上篇 地下水的基础理论研究

第一章 地下水的成因

第一节 大气降水的转化

一提起地下水的形成,一般人首先会想到水是从天上掉下来的,即地下水是由大气降水转化而成的。地下水确实有一部分是由大气降水形成的。水从海洋、湖泊、河流和陆地上在太阳辐射热作用下而蒸发升腾到空中,形成雾、云或散布在大气层中,随空气一起流动。在气温、气压、风和电的作用下,由于重力作用从天而降。大气降水落到地表后分为两大部分,一部分水作水平运动即形成地表水,一部分水作垂直运动而形成地下水。地下水形成后仍然派生两种运动,一种继续垂直运动,一种向水平扩展或作水平运动。

大气降水向地下渗入形成的地下水受三个主要因素控制。一是地形。如果地形陡峭切割强烈的山区,大气降水成为地表径流迅速下流而不利于向下渗入;如果地形平坦舒缓,大气降水容易渗入和汇集而有利于下流。二是植被。在同等地形条件下,植被的多少对于渗入也起到很大影响作用。植被多,则滞留部分降水,对渗入有利;植被少,则有利于地表径流,对下渗无利。三是岩性结构。如果地表是隔水岩层,且断裂与裂隙不发育,大气降水就转变不成地下水;如果地表不是隔水岩层且断裂和裂隙发育的话,大气降水就可以渗入到岩层或岩石中转变为地下水。

如果将地形、植被和岩性等诸因素构成大气降水的渗入条件,以系数 α 表示三种因素或更多种因素的综合影响,在已知单位面积(S)和单位面积内年降水量(L)的情况下,就可以求出单位面积内大气降水的渗透量,也就是大气降水转变为地下水量:

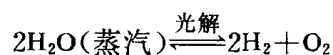
$$W = \alpha SL$$

此外,在适量气候和岩性条件下,大气中的水能在岩石空隙中凝结,经过渗入也可以转变为地下水。这种情况大多发生在气候湿润的温带和热带以及相应的地质条件下,温度一定时,空气湿度不断增大,达到饱和从而产生凝结,形成水珠和水滴后渗入地下而转变为地下水;还有一种情况是降温,当空气绝对湿度一定时,温度下降,湿度加大,从而产生饱和后凝结。这种凝结不很普遍,一般发生在昼夜温差较大的沙漠或干旱地区,以及高山山脉分水岭等地区。

以上这些描述是经典的大气降水转变为地下水的模式。经过近三十年来的深入研究,提出了许多新的观点和新的解释。其中以原苏联加里宁格勒国立大学教授维亚切斯拉夫·奥尔列诺克的观点具有代表性。他认为1990年发生在孟加拉国的特大洪水是对全世界人们的一种预告,预示着将来可能发生世界性水灾。某些国家的局部事实已被他的预言证实,例如1991年中国南方数省的特大洪灾和1992年美国西部的特大水灾。他认为“经典的和众所周知关于自然界里水循环的概念即蒸发水分和回到世界海洋内的水分总量相等是十分错误的^[1]。行星上水的平衡要复杂得多,除了传统的蒸发、降水和水流以外,还包含其它两个主要因素,尽管这两个因素需要很长的时间才起作用,但一起作用就会产生灾

难性后果。”这两个主要因素中的一个就是光解消费：

光解消费。水蒸气上升到大气圈后，有一部分不是再降到地面上来，而是在阳光作用下产生光解作用：



这一部分蒸发的水分分解成氢和氧气，氢进入宇宙，而氧气补充在大气圈中。这种光解消费在以年计的统计数量中不算大，但如果以地质时间百万年计或亿年计的话，它们又具有决定性的意义。维亚切斯拉夫·奥尔列诺克认为，再经过 3—3.5 亿年，从现实观测水的光解数量推算，由于水蒸气光解作用和损失到宇宙空间，水可能会从地球表面消失，地球表面将变得象火星表面那样干涸。

所以说，大气降水的补给并不是永远存在下去的，进行着永不休止的循环，而是在人们常常忽略不计地减少之中，因为人类生存的历史与地球生成的历史相比只是一瞬间的事。大气降水形成地下水是人们所能经常见到和相信的事实，乃至产生地下水全都是由大气降水所形成的模糊认识。由于大气降水在时间上具有不均衡性、在空间上同样具有不均衡性，因此对于转化成地下水也具有不平衡性。从这一点上说，大气降水控制着由其转化生成的地下水的数量和分布。大气降水转化成的地下水一般以高含氧量为特征，这是因为空气中氧可溶于水，地表水中植物光合作用可产生氧。大气降水转化成的地下水一般都分布在地壳表层，只有极少的一部分渗入到地壳下部和地幔中去。

第二节 地球深部水的上移

最早，人们对于地球深部有水的上移还仅仅是推断与设想，并没有充分的证据。后来，随着地质学的发展，尤其是岩浆岩形成的原因与一些热液型矿床的成因研究，才开始有了一些直接的证据。直到 1968 年，美国在进行深海钻探后所获得的大量事实才说明：1.65 亿年以前，地球上还没有海洋和像现在这么多数量的水。由于地壳冷缩下沉形成巨大凹地，同时由水充满了凹地。这些水的来源主要是从地球内部经地壳下深大断裂而上涌来的水和强大的火山喷发而喷发出来的水转变成的。

地球深部的的水主要与地球深部的岩浆相共生或伴生。目前研究得比较深入的是岩浆水的生成与演变。而地球深部的的水，截止到今天所占有的资料表明，大部分是由岩浆水组成的。

研究表明^[2]，当超过水的临界温度 374℃ 时，水从岩浆中开始分离，这时的水是呈类气相状态而存在的。在岩浆熔体逐渐冷却时，从溶解度达到极限的瞬时开始，水组分就与岩浆中的硅酸盐相分离，以后水开始不断从岩浆中分离出来，一直到硅酸盐发生结晶时止。据罗琼诺夫的研究报告认为，水在熔浆中的原始含量为 2%，由地壳深度 10km 处冷却的侵入体中分离出的水是在 93% 结晶时开始生成的，在深度为 2km 处冷却的侵入体中，是在 50% 结晶时开始分离出水组分。在深成条件下，熔浆将逐渐变成液态热水溶液。在浅成和近地表条件下，根据沸腾原理，将从其中分离出蒸汽相。水在岩浆中的原始含量为 10% 时，这种沸腾将在地壳 20km 深处发生；含量为 6% 时，在 10km 深度产生沸腾；含量为 3% 时，在 3km 深度产生沸腾；含量为 1% 时，在 1km 深度发生沸腾。这种沸腾

情况下,从每吨硅酸盐熔浆中可以分出 6—10kg 的水。

从岩浆分离出水的规律有以下几点:

- (1)水从岩浆中的分离早在岩浆结晶时就产生了,产生的时间延续很长。
- (2)水从岩浆中分离的开始,分离作用的规模、形式和速度取决于水和在水中溶解的化合物的原始浓度及岩浆体系中所处的压力状况。
- (3)在压力较低和深度较浅的条件下,由于岩浆蒸馏,水呈类蒸汽状态逸出,以后才冷凝成热水溶液。
- (4)在压力较大和深度较大的条件下,岩浆蒸馏导致超临界溶液的分离,冷却时直接转变为压缩热水溶液。在压力大于 70MPa 的情况下,水在很大深度下可形成液态。
- (5)从岩浆中分离出来的水,大多数是矿化水,含有多种矿化组分。

还有相当多的科学家从各种研究中得出结论,认为地下水即是来自地球深部的水,不仅仅是岩浆中所包含的水,而且还有独立的水存在,无论它是以固体、气体和流体三种形式中的哪一种形式存在,还是以混合形式存在也是有可能的。计算的结果说明,地球各圈层中,包括地核表层都可能存在着水。依据计算结果,在深度约 100km 的软流圈中,水的浓度最大可达到 7%。

1970 年,原苏联在摩尔曼斯克地区的科拉半岛上(位于北极圈以北 250km 处)钻出一口深达 12km 的深井,所提供的地质事实与科学家们所推测的设想有许多差别。它证实了地壳内部压力,乃至地球内部压力并不均匀分布。实际资料表明 4 800m 处的压力和 800m 处的压力一样,3 200m 处的压力和 7 800m 处的压力也一样。在地下某个深度上,深处的压力反而比浅处的小。对这种情况的产生,科学家们解释为是由巨大的固态拱形桥物质所造成的。也就是说,在拱形桥下可形成压力

减少的空间。越来越多的地球物理测量资料说明,地球内部沿垂直方向的压力有时比侧向压力小得多。80 年代末期,我国科学家对地球的三层结构提出了修改意见,认为地球结构为四层,即在地球内部深 2 878—3 000km 处存在一个气态圈。在地球物理测量中,地震波沿地球表面传播速度为 7—8km/s(地球表面为大气层与固态物质地壳相接触的地方),地震波在向下传递过程中,在 2 878—3 000km 之间的 100 多公里处突然变为 8km/s,横波消失,这与地表气—固态交界处的地震波传播速度几乎是一样的。这种现象的产生被解释

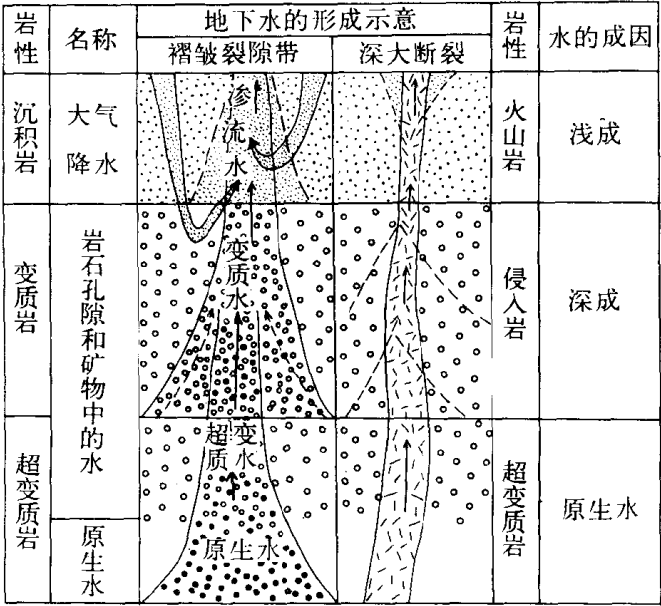


图 1-1 地球深部水向上运移形成地下水示意图