

# 滇中红层浅层地下水的特征和农村供水示范工程的建立

朱春林<sup>1,2</sup>, 李智毅<sup>1</sup>, 饶春富<sup>2</sup>, 邢志会<sup>2</sup>

ZHU Chun-lin<sup>1,2</sup>, LI Zhi-yi<sup>1</sup>, RAO Chun-fu<sup>2</sup>, XING Zhi-hui<sup>2</sup>

1. 中国地质大学(北京), 北京 100083;

2. 云南地质工程第二勘察院, 云南 昆明 650051

1. China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China;

2. Yunnan Second Investigation Institute of Geological Engineering, Kunming 650051, Yunnan, China

**摘要:**为了缓解滇中红层区村镇居民生活用水的困难,中国地质调查局在该区实施了地下水勘查与供水示范项目。依据项目的勘查数据、供水示范工程并结合前人已有的成果,重点探讨了示范区不同类型地下水的分布、赋存特点和多种类型钻井取水、多种供水模式供水的地下水开发利用方式。

**关键词:**滇中红层;地下水特征;供水应用

中图分类号:P641

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2010)04-0610-06

**Zhu C L, Li Z Y, Rao C F, Xing Z H. The characteristics of shallow groundwater and the establishment of rural water supply demonstration project in central Yunnan red beds area, southwestern China. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(4): 610-615**

**Abstract:** To mitigate the sufferings of the local residents from water-shortage for their daily life in some villages and towns of central Yunnan red beds areas, China Geological Survey has carried out a project on groundwater investigation and utilization. Based on the survey data on this project and the water supply demonstration project, meanwhile, combined the results of our predecessors has been, this paper mainly discussed the distribution of different types of groundwater, the occurrence features, the types of drill for water and a variety of water supply mode which combined the local settlements characteristics in the demonstration area.

**Key words:** red beds in central Yunnan; groundwater characteristics; water utilization

滇中红层集中分布于楚雄州及相邻的县市,面积约  $3.46 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,农村人口近 300 万。由于季风气候的影响,红层区冬春季节久旱无雨,短浅溪沟、泉水和小坝塘常常断流、干涸,丘陵山区农村季节性缺水严重。近年来,随着生态环境恶化和地表水体污染加剧,许多村寨原有的水源枯竭或水质恶化,“资源型缺水”或“水质型缺水”的村寨急剧增加,农村生活用水困难日益加剧。目前,滇中红层区共有缺水人口

近 100 万,占农村人口的 35%。

红层大多属弱含水层,红层找水是地下水勘查开发中的难题之一。前人曾对此做过许多工作和专门的探讨<sup>[1-3]</sup>,云南省地调院也于 2003—2006 年在滇中红层区严重缺水的楚雄市、大姚县开展了地下水勘查示范<sup>①</sup>。本文以勘查示范探索获得的最新数据和所建立的供水示范工程为依据,结合前人的研究成果,重点对示范区地下水的类型特征和供水工程建

收稿日期:2009-12-23;修订日期:2010-02-08

地调项目:中国地质调查局项目《云南红层严重缺水地区地下水勘查示范》(编号:1212010535407)资助

作者简介:朱春林(1963-),男,在读博士,正高级工程师,从事水工环地质勘查工作。E-mail:ekyzcl@163.com

设进行简要的介绍,以期为类似缺水地区解决农村生活用水困难提供借鉴。

1 示范区地质环境条件

示范区地处滇中红层区中北部,属亚热带高原型季风气候,多年平均降雨量楚雄为 830.2mm,大姚为 796.8mm,最小年降雨量仅 485.8mm,降雨的 80% 以上集中在 6—10 月,冬春季节最长连续无降水日数在 100 天以上。区内多年平均水面蒸发量为 1809.4mm,年最大蒸发量达 2754.0mm。示范区分属金沙江一级支流龙川江和蜻蛉河流域,以丘陵和低中山地貌为主,总体呈平直垅状山脊与宽缓沟谷、盆地相间,一般切割深度为 50~300m。缺水村寨主要坐落于盆地、谷地边缘和台地、沟源缓坡地带,短浅支沟枯季断流、干涸,对居民供水意义有限。

区内中生界发育齐全,其中以白垩系分布最为广泛,岩性以泥岩、钙质泥岩、泥质粉砂岩夹砂岩为主,局部夹有砾岩、泥灰岩、泥质白云岩、石膏、岩盐等,岩性组合复杂。第四系呈条带状、树枝状分布于河谷和山间谷地地带,一般厚度不大,成因类型复杂。该区所处大地构造单元属扬子板块川滇陆块南段,靠近红河—哀牢山挤压构造带,经历多期构造运动,构造线多呈南北向和北北西向,以褶皱为主,断裂次之,背斜成山、向斜成谷的特点明显。不同的岩性层在空间展布上往往相互叠置、交错分布,形成互层或夹层状结构;砾岩、砂岩、粉砂岩等硬质、脆性的岩层构造裂隙发育,张开度较大,泥质充填物一般较少,在构造应力集中的部位裂隙发育深度大于

200m;软质、柔性的泥质岩裂隙较窄、较短且多闭合或被充填,但钙质泥岩、泥灰岩等含可溶性矿物的岩层中溶孔、溶隙较发育。岩层倾角较陡,一般为 25~60°,构成示范区地质构造的基本特点<sup>[4]</sup>,与四川内陆拗陷盆地等以丘陵地貌为主、褶皱微弱、岩层平缓<sup>[5~6]</sup>的红层区截然不同。

2 地下水的类型与供水工程范例

按照地下水赋存介质的差异<sup>[7]</sup>,示范区地下水类型可划分为第四系松散层孔隙水、风化裂隙水、构造裂隙水和溶蚀裂隙孔隙水四大类。根据构造裂隙含水层(带)的埋藏和空间分布特征,将构造裂隙水进一步分为层间裂隙水和脉状裂隙水。由于沉积环境的不同,红层中的易溶盐会在一些区段富集形成含盐层,导致含盐层地下水水质较为复杂,成为微咸水、咸水而不宜饮用,因而将含盐层溶蚀裂隙孔隙水单独划为一类。

第四系松散层孔隙水属非红层地下水,脉状裂隙水主要赋存于断裂构造岩及裂隙发育带,分布有限,均不具有代表性,这里仅对其他类型地下水的特征和农村供水方式进行探讨。

2.1 风化裂隙水

风化裂隙水是红层地区常见的地下水类型。示范区地形切割较深,剥蚀强烈,地层倾角普遍较大,风化带普遍发育不完全,连续性较差,风化裂隙水的分布较为局限,季节性变化大,只在局部风化带发育且保存完好、地形和水文地质结构有利的部位才能形成富水块段。

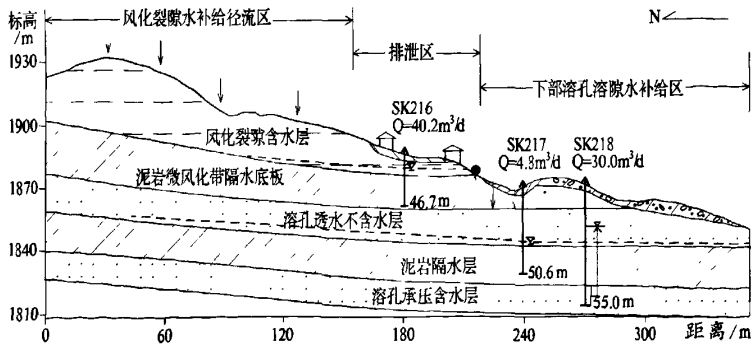


图 1 楚雄杨家示范点地下水形成示意图<sup>图</sup>

Fig. 1 The schematic diagram of groundwater formation of the Chuxiong Yangjia demonstration

楚雄紫溪镇杨家村,在三面低缓山丘环抱的宽缓坳沟之内分布着粉砂质泥岩夹钙质泥岩的风化层。洼地封闭条件好,径流区与补给区为一体,前缘见有地下水散点状溢出和常年湿地,构成完整的汇水地貌单元,具有良好的风化带储水条件。SK216孔揭示0~2m为全风化带;2~15m为强—中等风化带,岩心呈碎块、短柱状,裂隙较发育,充填少、连通好,成为风化裂隙水的主要储水层;15~46.7m为微风化泥岩,岩心呈长柱状,裂隙稀少且密闭,为隔水底界<sup>[9]</sup>(图1),构成裸露型风化裂隙储水构造<sup>[9]</sup>。该井水位埋深仅2.0m,抽水稳定水位7.13m,涌水量达40.2m<sup>3</sup>/d,以此建成单井分片供水示范工程(图2),解决了村庄北片相对集中的14户农户的缺水困难,成为风化裂隙水的典型代表。

## 2.2 层间裂隙水

根据含、隔水层空间组合的差异,又可大致划分为单层型、互层型、夹层型3种组合方式。在相同条件下,单层型含水层厚度大、分布连续,裂隙连通性较好,富水性强、水量大,可形成大中型集中供水源地,也是以往找水勘查着重研究的对象。但由于单层型砂岩含水层分布范围较小,且岩质坚硬,往往形成高地、岭脊,地下水位埋深大,打井成本较高,农户居住较少,对解决广大农村生活用水困难的作用有限。

示范区泥质岩分布普遍,往往夹有厚度不等的砂岩、粉砂岩,含、隔水层频繁相间,形成互层型或夹层型层间裂隙水。泥质岩区往往也是缺水村庄分布集中的地区,两者具有较好的对应性,因而夹(互)层型层间裂隙水具有较大的开发利用潜力。

楚雄市富民镇黄土坡村处于楚雄向斜东南翼、盆地山前地带,地势平缓,属构造有利部位,但出露的白垩系普昌河组(K<sub>p</sub>)以泥质岩为主,岩性组合复杂,区域上属单井涌水量小于50m<sup>3</sup>/d的弱含水层。经详细调查,该地层岩性组合和结构有以下特点<sup>[9]</sup>:泥岩中所夹砂岩、粉砂岩厚度薄,仅数十厘米至数米,但层数多,部分地段与泥岩呈互层状,砂岩、粉砂岩可形成单独的单斜储水构造,是地下水赋存的良好空间,地下水以顺层径流为主,易于富集。虽然该地层由于富水性不会太好且差异也较大,浅钻井往往只能揭露1~2层含水层,所获得的水量也有限,但

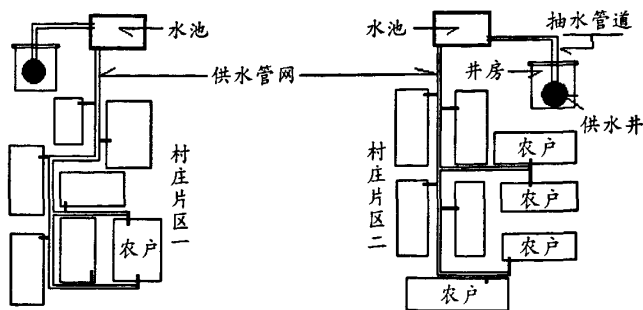


图2 单井分片供水示意图<sup>①</sup>

Fig. 2 The schematic diagram of the single-well's water-supply in slicing

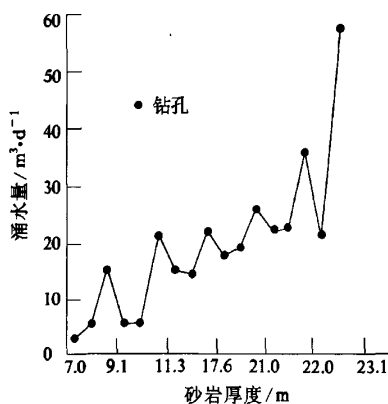


图3 砂岩厚度与钻孔涌水量关系<sup>①</sup>

Fig. 3 The relation between sandstone thickness and drilling water inflow

对于农村生活所需的小水量而言,只要井位选择恰当,揭露1层厚1~2m的砂岩,其单井涌水量就可满足1户或几户生活用水的需要,仍具备采用浅钻井开发地下水解困的条件。勘查示范实施钻孔26个,单井深27.4~39.5m,地下水位埋深2.4~19.0m,单井涌水量0.96~22.6m<sup>3</sup>/d,显示出极大的差异性;总体上浅井涌水量与其所揭露的砂岩、粉砂岩层的厚度成正相关<sup>①</sup>(图3);获得总涌水量221.3m<sup>3</sup>/d,采用单井独户或单井联户供水方式(图4),每井供1~4户使用,解决了全村36户170人的饮用水困难。

## 2.3 溶蚀裂隙孔隙水

含水岩组以钙质泥岩、泥灰岩、泥质白云岩等含可溶性矿物的岩层为主,地下水多呈层状分布,一般以互层型和夹层型为主,富水程度取决于含水层的

厚度、岩石的溶隙和溶孔发育程度、汇水地形地貌条件等因素。

楚雄腰站街盆地为基本对称的向斜储水构造,地下水富集条件较好(图 5)。勘察找水的重点是向斜核部的白垩系江底河组一、二段。当地正好是缺水村庄分布处。

江底河组一段( $K_j^1$ )和二段( $K_j^2$ )都以钙质泥岩、粉砂质泥岩为主,夹泥灰岩、粉砂岩等,赋存的地下水以溶蚀裂隙孔隙水为主。一段泥灰岩夹层多,约占总厚度的 10%~15%,最厚达 14m,顺层面溶蚀裂隙、蜂窝状溶孔发育且宽大,孔径一般 0.5~2.0cm,连通性好,富水性强;而二段所夹泥灰岩较少,溶蚀裂隙、溶孔主要发育在钙质泥岩中,孔小量少、连通性较差,富水性总体较一段弱。

勘察示范孔多布设于浆底河组一段中<sup>①</sup>。前期在大村、白家村村内实施单井独户或联户供水浅井 53 口,孔深 25~35m,地下水位埋深 5.1~25.0m,单孔涌水量 1.5~40m<sup>3</sup>/d,其中小于 5m<sup>3</sup>/d 的有 5 个孔,5~15m<sup>3</sup>/d 的有 7 个孔,有 11 口井在旱季水量不足或无水可取。

对前期成果和深孔资料进行总结研究,在垂向上,江底河组一段溶隙、溶孔的发育具有明显的分带性,并随深度的增加而减弱。3 个溶孔发育带埋深分别为 15~35m、40~55m 和 70~90m,90m 以下溶孔减少且多充填<sup>①</sup>。主要含水段埋深多在 20~55m 之间,富水部位一般在龙川江水位以下,以上的溶蚀裂隙发育段为透水且不含水段。同时,缺水村庄大多居住集中、庭院相连,采用单井联户供水势必造成井孔过密、过多、相互干扰;浅井涌水量差别较大,有的水量

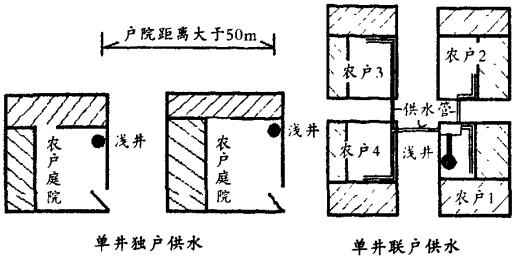


图 4 单井独户、单井联户供水示意图<sup>①</sup>

Fig. 4 The schematic diagram of one well single family and one well joint household

不足,有的则显富余,不能有效调配、充分利用。

之后,在其他示范村庄扩大了详细调查范围,井位选择也不仅仅局限于屋旁村内,而是综合考虑相对富水条件与供水方式后确定,并适当加深了孔深,以 40~60m 的中深井为主,每个示范点根据缺水人口和所需水量布设 2~10 口供水井,供水方式调整为以单井分片供水和多井取水集中供水(图 6)为主,对人数较多、需水量大的学校则采用深井集中供水。在 11 个村庄、学校共实施 41 口中深井,单井涌水量大于 40m<sup>3</sup>/d 的有 8 孔,15~40m<sup>3</sup>/d 的有 28 孔<sup>①</sup>;智明小学 SK32 深井孔深 97.3m,水位 19.5m,45.5~81.5m 段溶孔发育,抽水试验涌水量 166m<sup>3</sup>/d,除学校 560 名师生外,还供寺脚下、东屯 2 个村 130 余户 680 人用水(图 7),解困效果显著。

2.4 含盐层溶蚀裂隙孔隙水

滇中红层的含盐层主要是江底河组三段( $K_j^3$ ),在示范区主要分布在大姚夏家坝一团山一带,岩性

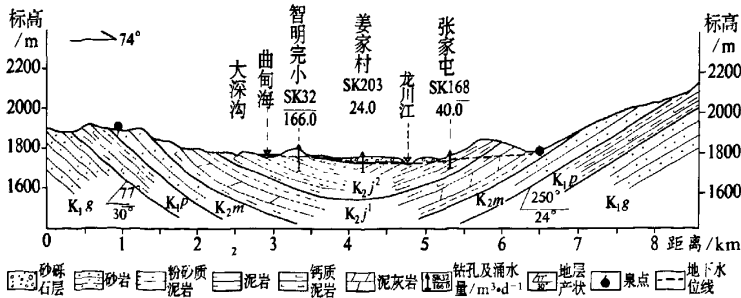


图 5 楚雄腰站街盆地水文地质剖面图<sup>①</sup>

Fig. 5 Hydrogeological profile of Yaozhanjie basin, Chuxiong

$K_{4g}$ —白垩系下统高丰寺组; $K_{4p}$ —白垩系下统普昌河组; $K_{2m}$ —白垩系上统马头山组; $K_{j1}^1$ —白垩系上统江底河组一段; $K_{j2}^2$ —白垩系上统江底河组二段

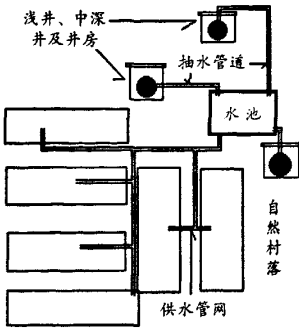


图 6 多井集中供水示意图<sup>①</sup>

Fig. 6 The schematic diagram of the multiple-well's water-supply concentrated

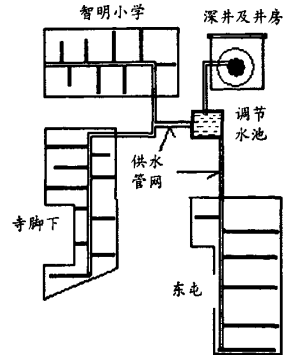


图 7 深井联村供水示意图<sup>①</sup>

Fig. 7 The schematic diagram of the joint villages' deep-well water-supply

组合复杂,下部以杂色泥岩、钙质粉砂质泥岩和泥灰岩不等厚互层为主,含盐粉砂岩层厚度小、层数少;上部由泥砾岩、岩盐岩、粉砂岩、泥岩、泥灰岩交替组成,普遍含石膏、芒硝、石棉等。

与非含盐地层相比,含盐地层更易形成溶隙、溶孔,大多富水性好、水量丰富,但水质相对较差。在夏家坝—团山片区实施的 23 口中深井,水量大于 55 m<sup>3</sup>/d 的就占 57%,只有 9 口井的水质符合农村生活用水要求<sup>①</sup>,占 1/3 左右。

含盐层中淡水的分布主要受岩性、含水层埋藏条件和地下水补排条件的控制。芦川村委会位于 2 条谷地交汇的地带。谷地内第四系粘土层厚 0.5~10.0m, 岭丘出露的江底河组三段岩层倾向北东,倾角 30~40°, 风化较强,地表溶蚀空洞、裂隙发育,不同地段岩性组合有所差异。SK223、SK224 孔<sup>①</sup>揭露的紫红色含盐细砂岩沿岭丘裸露,又被多条横向沟谷切割,地下水补排循环顺畅,井水水质良好。而与之相距仅 30m 的 SK222 孔,含水层为青灰色含盐粉砂岩,上覆粘土层厚 8.20m,孔深 40m 以上的裂隙被盐分和泥质物充填封闭,透水性差,地表还可看到 1 层厚约 2m 的紫红色泥岩层阻断了与上覆 SK224 孔含水层的水力联系,导致 SK222 孔 40m 以下的含水层封闭较好、循环较差(图 8),井水有轻微咸涩味,矿化度达 1216.73mg/L, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>为 500mg/L,水质超标。补排条件与之相似的芦川完小、石桥村示范孔水

质也较差。勘查示范利用 2 口淡水井建立了多井集中供水工程。

### 3 结论与建议

(1)示范区地形切割强烈,起伏变化大;构造运动强烈,褶皱发育,岩层产状变化较大;地下水类型多样,富水性差异较大。

(2)示范区风化裂隙水分布局限、动态变化大,不具有普遍的农村供水意义。但砂岩、钙质泥岩或泥灰岩等脆性岩和可溶岩夹层普遍存在,层间裂隙水和溶蚀裂隙孔隙水分布广泛,水量相对丰富,与示范区农村聚落分布、日需水量小且间歇性取水的特点相结合,具有较大的开发利用潜力。

(3)不同类型红层地下水的资源特征和开采技术条件的差异,决定了其有效开采和供水方式亦有

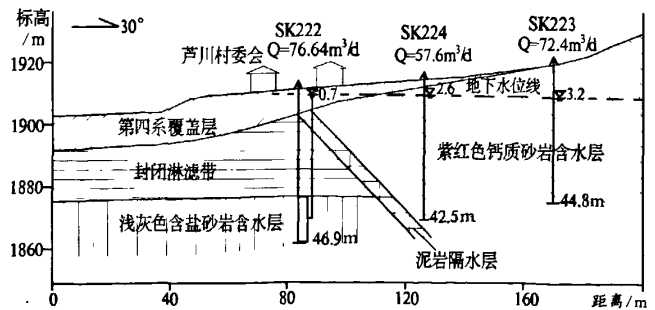


图 8 大姚芦川示范点水文地质剖面示意图<sup>①</sup>

Fig. 8 The hydrogeological cross-section diagram of Luchuan demonstration, Dayao County

一定的差别。示范区往往同时并存着 2 类以上的红层含水层可供开发利用,可根据供水需求情况,结合水文地质和地下水开采技术条件,因地制宜地综合采用多种适宜的取水工程和供水方式进行地下水的有效开发利用,充分合理地开发利用有限的地下水资源。

参考文献

[1]毛文清,温清茂.红层地下水形成环境分析与水文地质分类[J].成都理工学院学报,1997,24(增刊):142-147.  
[2]安永会,张福存,吴登定.红层盆地缺水类型区人畜饮用地下水勘查[C]//中国地质调查局.严重缺水地区地下水勘查论文集(第一集).北京:地质出版社,2003.  
[3]郑万模,魏伦武,李明辉.西南红层严重缺水地区找水工作[J].沉积与特提斯地质,2004,24(4):106-107.

[4]骆银辉,张成亚,饶春富,等.云南红层地下水赋存特征与开发利用途径[J].勘察科学技术,2006,(2):46-49.  
[5]鄢毅.川、渝红层地区浅层地下水勘查与开采技术初步研究[C]//中国地质调查局.严重缺水地区地下水勘查论文集(第二集).北京:地质出版社,2004:261-268.  
[6]张福存,鄢毅,刘安云,等.西南红层浅层地下水特征及其开发利用模式[J].水文地质工程地质,2008,(3):53-56.  
[7]王大纯,张人权,史毅虹,等.水文地质学基础[M].北京:地质出版社,2001.  
[8]武选民,文冬光,郭建强,等.西部严重缺水地区人畜饮用地下水勘查示范工程[M].北京:中国大地出版社,2006:233-238.  
[9]武选民,文冬光,张福存,等.江西山地缺水地区储水构造的特征和供水示范工程的建立[J].地质通报,2010,29(1):142-146.  
① 云南省地质调查院.云南红层严重缺水地区地下水勘查示范成果总结与规划建议报告.2006.

.....

《地质通报》第 29 卷第 5 期要目预告

Holocene shoreline changes and marine impacts on the muddy coast, west of Bohai Bay, China .....	WANG Hong, et al.
渤海湾西岸风暴潮:叠加地质因素的新探讨 .....	王 宏等
渤海湾西部现代有孔虫群垂直分带的特征及其对全新世海面、地质环境变化的指示 .....	李建芬等
渤海湾西部浅海区活牡蛎礁调查结果及资源保护建议 .....	范昌福等
渤海湾西部表层沉积物粒度特征与沉积混合 .....	田立柱等
渤海湾西部 CH19 孔全新统硅藻组合、年代学与古环境 .....	商志文等
天津潮间带高程现状与滨海新区城市安全 .....	王 福等
内蒙古锡林浩特地区拜仁达坝矿区闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义 .....	刘翼飞等
松潘-甘孜褶皱带较场弧形构造显微应变机制 .....	邓 宾等
川北若尔盖高原表土孢粉的特征及其与现代植被的关系 .....	蔡 遥等
北京地区盐碱尘暴粉尘物质的主要来源 .....	刘艳菊等
内蒙古中部金盆地区发现与冀北大店子组相当的地层 .....	高 宏等
西南山区城镇地质灾害易损性评价方法——以四川省丹巴县城为例 .....	许 强等
水体富营养化状态对城市河道底泥吸附/释放 P 的影响——以江苏省苏州市河道试验研究为例 .....	冯海艳等
喀斯特石漠化地区土壤 Fe 组成及其发生学意义 .....	李孝良等
基于 ASTER 遥感数据的西藏多龙矿集区示矿信息的提取 .....	代晶晶等
老挝万象盆地钾盐矿床微量元素地球化学特征及成因 .....	李善平等
川西稻城地区竹鸡顶铜矿床花岗细晶岩的特征及其成矿意义 .....	钟文丽等