

石家庄经济学院学术著作出版基金资助

生态地质地球化学环境与 优质林果比配

——以石家庄市变质岩山区为例

栾文楼 高永丰 魏瑞华 刘国英 著
韩永亮 王立峰 钱金萍

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书在对石家庄市变质岩区岩石类型及岩性、岩石地球化学特征、土壤、地貌、地球化学背景、水热条件等各种生态地质环境和植被, 以及主要果树果实品质进行全面研究、评价的基础上, 揭示了主要果树果实品质与各种生态地质地球化学条件之间的最优相关关系。根据影响果实品质各种因素组合最佳的原则, 确定了主要果树的最佳适宜发展区, 为山区技术开发提供了科学依据。在研究中, 首次应用 Landsate 7 遥感数据和 GIS 数据, 在野外调研、样品采集中应用 GPS, 实现了空间上全面分析和准确立体定位。

本书可供从事农业地质、生态地质环境研究, 以及优质果树科学开发布局、山区技术开发研究的科技人员、管理者和有关专业大专院校师生阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

生态地质地球化学环境与优质林果比配: 以石家庄市变质岩山区为例 / 栾文楼, 高永丰等著. —北京: 地质出版社, 2006. 4

ISBN 7-116-04744-1

. 生... . 栾... 高... . 变质岩 - 生态环境:
地质环境: 地球化学环境 - 关系 - 果树 - 种植 - 研究
. S66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 025523 号

责任编辑: 郁秀荣

责任校对: 关风云

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010) 82324508 (邮购部); (010) 82324557 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010) 82310759

印 刷: 北京长宁印刷有限公司

开 本: 787 mm× 1092 mm

印 张: 7.25

字 数: 167 千字

印 数: 1—1000 册

版 次: 2006 年 4 月北京第一版·第一次印刷

定 价: 25.00 元

ISBN 7-116-04744-1/P·2663

(凡购买地质出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社出版处负责调换)

前 言

石家庄市有 8 个山区县（区），人口 255 万，土地和人口分别占全市总面积和人口的 60.7% 和 29.17%，但国民生产总值和财政收入仅占全市的 21.4% 和 14.07%，人均国民生产总值和农民纯收入分别比平原县（市）低 22.3% 和 23.2%。全面建设小康社会，山区能否彻底脱贫致富是至关重要的影响因素。贫在山区，富在山区，希望在山区。山区脱贫致富的根本是如何分利用山区的生态自然条件进行技术开发，发挥山区的优势。

然而，片麻岩区如何开发？开发什么？开发到什么程度？中国加入世贸组织后，国家和各级政府都在进行农业结构调整，重点是提高农产品的品质。在石家庄市山区开发过程中如何做到品质效益和规模效益协调发展？开发与退耕还林、小流域治理如何协调发展，发挥综合效益？这些问题的回答和解决，必须依据科学事实和理论根据。

在以往的开发中，多数是按农民自己的意愿去种植，或者靠行政安排，一味追求规模效益。对能否达到优质高产并不清楚；只重视农艺或园艺技术的作用，但对要种植的地域的生态地质地球化学环境是否适合种植某种林果或农作物也不清楚。“易地而竭，隔界不生”的传统经验，不仅没有升华到科学认识，而且适地适树的意识也已淡化。在一些地方强调发展规模，不重视品质的效益，浪费资金投入，结果可能严重挫伤农民的积极性。例如，最适宜发展大枣的岩石类型区是黑云斜长片麻岩区，而在石灰岩和第三纪砂砾岩丘陵区发展大枣种植，就得不到应有的经济效益回报。

从农学的角度分析，影响农产品品质的因素很多，包括地貌、气候（地理位置）、水、热、土壤类型、营养元素的含量及相互间的制约关系、农艺和园艺技术等等。以往对提高农产品品质的研究，在同一地理区域更多地考虑的是园艺、农艺技术，如苹果的剪枝和套袋技术及合理的施肥技术。虽然这些研究也考虑了土壤对农产品品质的影响，但忽视了岩石（成土母岩）对

农产品品质的影响。即便是有些研究注意到岩石对农产品品质的影响，但研究中往往对岩石类型划分较粗，这样就不能准确地反映农作物生长的背景条件。对山区的农业来说，影响产品品质的因素更具有复杂性。在同一地理位置范围内，岩石类型多种多样，所决定的土壤类型、地球化学背景，地下水和地表径流的特性（水质）有显著的差别，正是这些差别对农产品品质起着关键作用。这就是从 20 世纪 80 年代开始兴起的农业地质学和土壤地质学研究成果的一部分。

农业系统及农作物的生长过程是一个多因素影响的复杂过程。从地质学的角度研究名、特、优农林产品的布局已有一些典型的实例，如贵州的茶叶、北京良乡的板栗、河南的烤烟、四川的蜜橘等。这些研究重视了农作物生长的地质背景和地球化学背景，尤其是重视了岩石因素，但对影响产品品质的地貌特征，特别是微地貌、水热条件等方面可能考虑得不够，或者过分强调了某几种元素的作用，因此在实际应用当中，特别是对农民的应用来说有时有一定的局限性，对此，有待进一步深入研究。

农林牧业生产，归根结底是地球表生带包括岩石圈、土壤圈、水圈、生物圈、大气圈之间物质交换和能量转化的一种特定形式。转化过程的物质基源以岩石圈为主。由于这个层圈的不均一而使能量转化的形式及最终产物有别，表现为农林牧的生产和产量、质量具有很强的地域选择性（在相同的品种和农艺条件下）。基于这种思想，本项目在全面分析、研究评价片麻岩区生态地质资源的基础上，探讨了各种生态地质条件与生物资源品质之间的相关关系和制约机理，并通过试验、示范进一步验证、推广，在此基础上对山区开发进行优化布局，使品质效益、规模效益、生态效益协调发展，在有限的区域内取得最大的综合效益。在具体工作中采取以下方法：

（1）基础资料和常规分析研究方法与 3S 技术分析研究方法相结合。对生态地质地球化学环境的研究评价及与果树果实品质相关性研究和技术的优化布局，充分应用了 1:5 万地质图、1:20 万地球化学测量资料和第二次土壤普查资料，同时，结合 3S 技术方法和手段，从三维空间进行分析研究评价。遥感数据采用当时的最新数据，利用计算机应用 PCI 处理软件进行数字

合成，分别提取植被、地貌（三维）、岩石、水热等各种信息。

（2）地质学和农业理论方法相结合。从农业的角度分析应用地质资料，从地质学的角度分析研究影响农业的因素。对岩石类型的划分，既要考虑准确反映农林作物的岩石背景，又要考虑便于规划和农民的认识和利用。对 1:20 万地球化学图的应用，在重点地区补充测试了有效态的含量，结合第二次土壤普查的结果，对比了全量和有效态之间的关系和空间分布规律，增强了数据量大、空间位置准确的 1:20 万地球化学资料的农业应用性。

（3）野外调查和室内研究相结合。对各种遥感信息和生态地质地球化学环境的分区，都进行了大量的野外调查、验证，对重点地区反复进行野外和室内的对比研究，以提高分区的可靠性，以及生态地质因素与林果品质相关性判定的正确性。

（4）感性认识和分析测试结果相结合。对林果品质的认定，进行了大量的访问调查，提取农民多年来积累的经验 and 感官认识，并结合农业专家的实地考察，对重点品种和地点的果实、树叶、土壤进行取样，测定有关数据，对比确定品质的好坏。

（5）理论研究和试验示范相结合。本项研究从开始就将试验、示范作为重要内容，在形成阶段成果时就开始进行示范，做到边研究边示范。一方面通过试验示范验证研究成果的正确性，另一方面通过试验示范推广研究成果，以便产生经济、生态和社会效益。

本项目在对石家庄市片麻岩区岩石类型及岩性、岩石地球化学特征、土壤、地貌、地球化学背景、水热条件等各种生态地质环境和植被，以及主要果树果实品质进行全面研究、评价的基础上，揭示了主要果树果实品质与各种生态地质地球化学条件之间的最优相关关系。根据影响果实品质各种因素组合最佳的原则，确定了主要果树的最佳适宜发展区，为山区技术开发提供了科学依据。在本项目的研究中首次应用 Landsat 7 遥感数据和 GIS 数据，在野外调研、样品的采集时应用 GPS，实现了空间上全面分析和准确立体定位。

本项目研究主要取得以下成果：

(1) 以农业地质的理论和方法对石家庄市山区的岩石类型、地球化学背景、土壤、地貌、水热条件、生物（重点是林果类）进行研究评价，并进行了分区。对山区开发、小流域治理、退耕还林积累了丰富的科学资料。

1) 从农林业开发应用的角度将“片麻岩”划分为7类，全面系统阐述了每类岩石的岩石学特征，从常量元素、微量元素、稀土元素三方面讨论了每类岩石的地球化学特征。

2) 根据1:20万水系沉积物地球化学测量资料，在对43种元素分析的基础上，重点对与植物生长密切相关的15种元素和5种有害元素的全量及有效态分布特征及富集区域进行了分析，对有效态按农业部门的标准，判定了丰缺状况。

3) 根据第二次土壤普查资料和遥感分析及补充测试分析结果划分了土壤类型，分析了每类土壤的特征。

4) 根据遥感数据和GIS数据及高程数据对石家庄市山区山地进行分类，按坡度、高程、坡向的不同及农林利用的性质划分了10种类型。

5) 根据Landsat 7数据中的热红外数据对石家庄市山区的水热条件进行分析，划分了低温湿润区、中低温半湿润区、中温半干旱区及中高温干旱区4个区域。

6) 应用Landsat 7数据对石家庄市山区的植被覆盖程度进行了划分；根据前人的研究成果结合本次调查结果，阐述了植被类型；根据调查访问、实地考察及对果品品质的分析测试，阐述了主要果树果实品质及分布规律。

(2) 全面研究了主要果树果实品质与岩石类型、地球化学背景、土壤类型及地貌、水热条件之间的相关性及其空间分布规律，确定了影响果实品质的主要生态地质因素。

(3) 根据主要果树影响其果实品质的各种因素和各种生态地质条件，确定了能够满足优质果实品质生长的各种生态地质因素最佳组合的主要果树适宜发展区。划分了石榴适宜发展区和2个次适宜发展区，4个枣树适宜发展区和1个次适宜发展区，5个核桃适宜发展区，2个板栗适宜发展区，5个柿

树适宜发展区，2个花椒适宜发展区，2个苹果适宜发展区。

(4) 在全面对片麻岩区生态地质背景分析研究的基础上，结合目前国内外林果和农作物的开发现状，对部分开发品种进行对比分析，提出了适合片麻岩区生态地质条件的林果和林木、牧草和经济作物开发的新品种。

(5) 本项目的实施，始终把科技成果的转化作为重要的任务，采取边研究边示范的方式，使研究成果及时转化，已有的示范取得了较好的经济效益和社会效益。示范面积达12.52万亩，涉及6个县，12个乡镇，取得直接经济效益91071万元。使示范区的农民基本懂得了按科学规划进行果树开发的重要性和影响果树果实品质的因素及岩石、地貌等标志。

自20世纪90年代初开始，石家庄经济学院开始承担国家15万的地质填图任务，范围涉及到石家庄市各山区县。在完成地质填图任务的同时，我们注意到了不同岩石类型区果树果实品质和产量的差异性，并对优质区的生态地质背景进行了初步分析。我们将取得的一些初步成果和认识，与山区开发办和市科委的有关领导进行汇报、交流。在有关领导的支持下从1999年开始选择石榴和枣树两种具有代表性的果树，引导农民依靠科学进行优化布局，在实施地区扩大栽植规模，建立示范区，进行典型示范。为扩大并深化已有的研究成果和认识，对山区技术开发提供科学依据，充分发挥已有的研究成果和多学科联合攻关的作用，石家庄经济学院与石家庄市山区经济技术开发办公室联合，于2001年4月向市科委（现科技局）申请立项，并邀请河北省农林科学院果树研究所和粮油作物研究所协作完成。本项目于2001年9月正式批准立项。其后，山区开发办的领导和课题组成员进行充分讨论，根据时间和批准经费及当前山区开发的需要，对研究的重点和内容进行了适当的调整，重点解决各县具有特色的林果类——石榴、大枣、核桃、柿子、板栗、花椒、苹果的科学开发布局问题——即优质林果与生态地质地球化学环境比配问题。

项目完成后，2003年6月以卢耀如院士为主任的专家鉴定委员会，经过认真讨论和审阅，认为本项研究应用3S技术，使片麻岩区各种生态地质地球化学环境、影响果实品质的各种生态地质因子的最佳组合与技术开发优化布

局方案，实现了三维空间地理信息与农业生态信息的精确定位，这是本项研究的重要创新点之一，达到了同类研究的国际先进水平。

本项目的研究涉及地质学（包括岩石学、地球化学）、地貌、土壤、果树等学科，是一种边缘交叉学科的研究，研究人员的组成也涵盖了各个学科，并有农业技术推广人员参加。野外工作各学科人员全部参加，各司其责，并在现场互相学习、交流。特别是对典型地点采样工作，做到了室内讨论方案，现场研究实施，力求准确而有代表性。对发现的问题，随时研究讨论解决。因此，本专著是项目组全体成员共同努力的结晶。

本项研究和本书的出版，得到石家庄经济学院、石家庄市科技局各位领导的大力支持和关怀。石家庄经济学院科技处和石家庄市山区经济技术开发办公室在项目的具体实施和出版过程中给予了具体的帮助和指导，在此表示衷心的感谢！同时，对为本书出版提供帮助和指导的各位专家，以及石家庄市各山区县给予的帮助和支持表示诚挚的谢意！我们深知由于本项研究涉及的问题和领域广泛，许多问题还有待进一步探讨和深化，对于书中可能存在的问题，殷切希望读者提出宝贵意见，以便我们改正和提高。

目 录

前 言

第一章 变质岩区生态地质地球化学背景	(1)
一、变质岩区岩性特征及分布	(1)
(一) 石家庄市西部山区岩石单位的划分	(1)
(二) 变质岩的分布	(3)
(三) 岩石学和地球化学特征	(3)
二、变质岩区区域地球化学特征	(26)
(一) 区域地球化学参数特征	(26)
(二) 元素在不同地质单元中的分布特征	(28)
(三) 主要元素的地球化学分布特征	(31)
三、土壤资源类型与分布	(37)
四、地貌特征及山地分类	(40)
(一) 遥感数据源及图像处理	(40)
(二) GIS 数据和数字高程数据的 DEM 图像制作及地貌特征	(40)
(三) 基于 DEM 图像的山地分类	(41)
五、水热资源特征与分区	(42)
(一) 水热条件研究的原理和方法	(42)
(二) 水热条件分区	(43)
(三) 水热条件影响因素和构成水热分区的机制	(44)
(四) 地下水资源特征	(45)
六、变质岩区植被及主要优质林果的分布	(45)
(一) 片麻岩区植被的遥感信息提取	(45)
(二) 植被类型	(46)
(三) 主要果树类型与品质分布	(46)
第二章 生态地质地球化学环境与优质林果相关性研究	(51)
一、岩石类型与果品品质的关系	(51)
(一) 大枣品质与岩石类型的关系	(51)
(二) 核桃品质与岩石类型的关系	(53)
(三) 石榴品质与岩石类型的关系	(55)

(四) 柿子品质与岩石类型的关系	(56)
(五) 板栗品质与岩石类型的关系	(57)
(六) 花椒品质与岩石类型的关系	(58)
(七) 苹果品质与岩石类型的关系	(58)
(八) 结论	(59)
二、地球化学异常与果实品质的关系	(59)
三、土壤类型与优质果树相关性	(66)
四、地貌与果树的分布及品质的关系	(68)
(一) 果树分布与地貌的关系	(68)
(二) 不同地貌条件对果树生长状况的影响	(70)
(三) 果树的生物量和生产力与地貌的关系	(74)
(四) 结论	(76)
五、变质岩区水热资源与果实品质的相关性	(77)
第三章 变质岩区果树开发优化布局	(79)
一、有害元素分布与绿色农业布局	(79)
结论	(80)
二、果树技术开发优化布局方案	(81)
(一) 优化布局原则	(81)
(二) 石榴的优化布局	(84)
(三) 枣树的优化布局	(84)
(四) 核桃的优化布局	(86)
(五) 板栗的优化布局	(87)
(六) 柿树的优化布局	(88)
(七) 花椒的优化布局	(89)
(八) 苹果的优化布局	(90)
第四章 典型示范	(91)
一、林果开发示范	(91)
(一) 石榴示范区	(91)
(二) 枣树典型示范区	(93)
二、综合技术开发示范	(94)
(一) 平山西柏坡综合技术开发示范区	(94)
(二) 灵寿慈峪镇综合技术开发示范区	(97)
第五章 引进技术开发建议	(99)
一、林果类开发品种	(99)
二、生态建设开发品种	(100)
三、开发应用建议	(101)
主要参考文献	(103)

第一章 变质岩区生态地质地球化学背景

一、变质岩区岩性特征及分布

(一) 石家庄市西部山区岩石单位的划分

石家庄西部山区岩石地层发育齐全，从太古宇至第四系均有出露。前人曾对区内岩石地层做了大量的研究工作，先后完成了1:20万石家庄幅地质图、1:10万石家庄地区地质图。进入20世纪90年代，地质部门在本区开展了大规模的1:5万地质填图，提交了平山幅、神堂关幅、团泊口幅、陈庄幅、下口幅、温塘幅、辛庄幅、口头幅、南甸幅、慈峪幅、测鱼幅、王家坪幅、北褚幅、赞皇幅1:5万地质图。这些图件为本区的岩石地层研究提供了丰富的参考资料。我们在充分搜集和整理已有地质资料的基础上，对本区进行了大量的野外实地观测，并对2001年5月Landsat卫星遥感数据进行了岩石地层解译。根据研究课题的需要，我们集中于区内岩石类型和岩性单元划分和分布的研究，舍去岩石地层的年代含义。在进行岩石单位划分时，首先考虑了与农林开发密切相关的岩石类型、岩石化学特征，而且充分利用了已有的地质研究成果，考虑了变质岩的原岩建造类型。因为即使相同的岩石类型，不同的原岩建造形成的岩石具有不同的岩石地球化学属性和成壤能力，对农业开发产生重要的影响。同时，为了强调研究成果的宏观指导意义和便于应用，对分布范围较小的地质体进行了归并和取舍，将区内出露的岩石地层简化为9个岩石单位（表1-1-1）。

农业开发中使用的“片麻岩”概念与地质学中的片麻岩是不同的。马平安等认为，“片麻岩是包括了深变质岩和岩浆岩”。在农业开发中已习惯将易风化的变质岩和花岗岩类岩石称为“片麻岩”，根据农业开发中普遍使用的片麻岩内涵和太行山区农业开发的实际情况，当地政府在农业开发中所提出的“片麻岩”的概念实际包含了太古宙变质杂岩和古元古代的浅变质地层，以及太古宙和古元古代出露面积较大的花岗岩体——变质岩区。

中元古代以来的岩石地层主要为沉积岩系，与古元古代岩石地层之间存在明显的不整合。根据沉积岩系的出露、岩性特征划分为3个岩石地层单位：第四系、碎屑岩和碳酸盐岩。由于研究区内中元古代以来的岩浆岩都以小岩体和岩墙、岩脉出露，出露面积较小，考虑到研究成果的实际应用需要，在研究中不考虑这部分岩石。

根据区调工作中构造-岩（地）层-事件法的指导思想，区内变质杂岩划分为变质表壳岩和变质深成岩两大类型。在太古宙变质表壳岩中，根据岩石类型、原岩建造和岩石化学特征划分为副变质地层和正变质地层两类，正变质地层指的是太古宙原岩为火山岩的表壳岩，而副变质地层指原岩为碎屑岩的太古宙表壳岩。需要提及的是这种划分方法是侧

表 1 - 1 - 1 石家庄山区岩石单位划分简表

岩石地层单位		主要岩石类型	岩石地层单位	面积 / km ² 及所占比例 /
沉积岩	现代河（沟）冲积砂、砾石	粗碎屑沉积物堆积	全新统	
	第四系亚砂土、亚粘土	细碎屑沉积物	全新统	
	碎屑岩	砾岩、砂岩、页岩、泥岩	第三系砾岩；石炭系—二叠系砂岩、页岩；寒武系页岩；青白口系砂岩；长城系砂岩	
	碳酸盐岩	石灰岩、白云岩	奥陶系灰岩、白云岩；寒武系灰岩、白云岩；蓟县系白云岩；长城系白云岩	
片麻岩	浅变质岩	板岩、千枚岩、变砂砾岩、变火山岩	古元古界甘陶河群、滹沱群	603.96 12.11%
	副变质地层	大理岩、斜长角闪片岩、二云片岩、变粒岩、浅粒岩、片麻岩	新太古界湾子岩组、宋家口岩组、城子沟岩组（原岩为碎屑岩和碳酸盐岩建造）	952.26 19.1%
	正变质地层	黑云斜长变粒岩、含榴黑云斜长变粒岩、含磁铁矿二长浅粒岩	麻河清岩组、王家湾表壳岩、元坊岩组（原岩为基性—中酸性—酸性火山岩夹硅铁质沉积建造）	1039.91 20.86%
	黑云斜长片麻岩	黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩	湾子旋回、阜平旋回、吕梁旋回变质深成岩	1571 31.52%
	黑云二长片麻岩	眼球状黑云二长片麻岩、条带状黑云二长片麻岩、眼球状白云母花岗片麻岩	同上	407.66 8.18%
	花岗岩	混合花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、斑状花岗岩、奥长花岗岩	太古宙—古元古代侵入岩、混合岩化花岗岩和变质花岗岩	404.47 8.88%
	斜长角闪岩	透辉斜长角闪岩、含石榴斜长角闪岩、含磁铁矿石榴斜长角闪岩	太古宙—古元古代侵入岩、角闪岩相深变质岩	5.6 0.11%

重于将区域地质的研究成果应用于山区农业开发，而与区域地质工作中的概念内涵并不完全一致。在区域地质资料中所指的深变质岩中，根据岩石类型和岩石化学划分出 4 大类型：黑云斜长片麻岩、黑云二长片麻岩、花岗岩和斜长角闪岩。

综合已有的地质研究成果，结合研究区农业开发的实际，根据岩石类型、岩石化学、原岩建造和立地条件，将“片麻岩”划分出以下 7 大岩石单位：浅变质岩、副变质地层、正变质地层、黑云二长片麻岩、黑云斜长片麻岩、花岗岩和斜长角闪岩（表 1 - 1 - 1）。

(二) 变质岩的分布

通过对研究区已有的 14 幅 1:5 万地质图资料综合和对遥感数据的详细解译, 根据以上所述的岩石单位划分方案, 我们绘制出了《石家庄西部山区岩性分布图》, 圈定了不同类型片麻岩的分布范围。通过对岩性分布资料的数字化处理, 利用计算机测算统计了研究区内不同变质岩岩石单位的平面分布面积。尽管岩石单位的平面分布面积与实际面积存在偏差(平面分布面积要小于实际面积), 但它仍然给政府和职能部门提供了变质岩(“片麻岩”)出露的定量数据, 为这些部门的宏观指导决策提供了依据。

变质岩出露主要集中在山区的南、北两端, 中部的井陘、获鹿地区为沉积岩系出露区。石家庄西部山区变质岩出露范围总共 4984km^2 , 其中北部变质岩约 3600km^2 , 南部为 1384km^2 。研究区内出露范围最大的岩石单位是黑云斜长片麻岩, 总面积为 1571km^2 , 占片麻岩区面积的 31.5%。黑云斜长片麻岩分布连续, 在南部和北部都是主要的变质岩类, 成为山区开发的重点岩石单元。

正变质地层出露面积为 1039.91km^2 , 占片麻岩总面积的 20.86%, 是区内第二大类岩石单元。正变质地层岩石单元主要分布在研究区的北部, 最大的连续成片出露区位于平山境内。在南部赞皇县只以条带状小面积出露。

副变质地层出露面积为 952.26km^2 , 占片麻岩面积的 19.4%, 是第三大岩石单元。副质地层只在研究区北部出露, 且以北东向条带状和小块零星分布为特征, 缺少连片的大面积出露。

黑云二长片麻岩出露面积 407.66km^2 , 占片麻岩总面积的 8.18%。黑云二长片麻岩主分布于平山县境内, 在慈峪镇以西出露了 200 多 km^2 以上连片分布的黑云二长片麻岩, 占区内黑云二长片麻岩出露面积的 50%。其他黑云二长片麻岩沿红石崖—上观音堂—索庄一带分布。

花岗岩出露面积 404.47km^2 , 占片麻岩总面积的 8.11%。区内出露了 4 个大花岗岩岩体, 分别分布于以下 4 个地区: 最大的花岗岩岩体出露在赞皇县境内的许亭以西, 出露面积达 300km^2 , 是区内花岗岩出露面积的主体; 第二大的花岗岩体分布在平山县黑山关西与山西省交界处; 第三大花岗岩体出露在团泊口以北与保定交界处; 第四处花岗岩出露温塘—东回舍一带。

浅变质岩单元出露面积 603.96km^2 , 占区内片麻岩总面积的 12.11%。浅变质岩出露连续成片, 分布比较集中, 主要出露面积集中于山区南部的赞皇和井陘境内。赞皇县的虎口—障石岩一带是浅变质岩单元的最大连片分布区。在板山—下圆—上寨一带是浅变质的出露区, 北侧与沉积岩系为界。研究区中部的万山—东回舍—慈峪镇一带是浅变质岩集中分布区, 其北侧是深变质岩系, 南侧为沉积岩系。

斜长角闪岩出露面积仅 5.6km^2 , 占片麻岩总面积的 0.11%。只在研究区北部的 3 处出露。

(三) 岩石学和地球化学特征

1. 浅变质岩

浅变质岩单元指区内出露的古元古界甘陶河群轻度变质的碎屑岩、板岩、千枚岩和中

浅变质的基性火山岩类。这套岩石矿物的重结晶作用明显，具轻微的变质特征。岩石基本上保留了原岩的结构构造和矿物成分特征，属低级区域变质作用的产物。其原岩为碎屑岩、火山岩和碳酸盐岩，自上而下构成了一个完整旋回，与下伏太古宙深变质岩系、上覆中元古代沉积岩系均呈不整合接触。上覆的中元古代沉积岩系在地貌上往往形成巍峨的峭壁或单面山，古元古代浅变质岩风化破碎形成缓坡或小山包，这些缓坡或小山包植被发育，二者组合构成了太行山独特的地貌景观，最典型的地区是赞皇县境内的障石岩风景区。

(1) 变质砂砾岩类

岩石呈灰色及深灰色，粗粒变余砂砾状结构，层状构造。常具磁铁交错层理构造，碎屑成分为长石和石英。泥质、粉砂质胶结，胶结物具强烈的绢云母化。长石含量约25%，粒度在1~2mm间。石英含量为65%，粒度在1~2mm不等。砾石成分为长石、石英和岩屑，砾石的粒度一般2.5~4mm。根据砾石含量的不同，岩石依次为变质砾岩、变质砂砾岩、变质含砾砂岩。此类岩石在南寺组一段下部最发育。

(2) 变质砂岩类

包括各种变质含砾长石砂岩、变长石砂岩、变长石石英砂岩。岩石呈黄灰色、灰色和灰白色。中—粗粒变余砂状结构，层状构造。碎屑成分为长石25%~30%，石英60%~70%，胶结物为泥质和粉砂质。此类岩石在甘陶河群各段地层中均有分布，以南寺组一段部最为发育。

(3) 板岩类

颜色多为黑色、青灰色、灰色等，变余泥质粉砂结构，板状构造。岩性致密，常具密集的劈理和板劈理。板理面平滑而脆硬。矿物成分为粘土矿物和长石、石英，板理面上常见绢云母发育。板岩类由黑色板岩、千枚状板岩、砂质板岩和凝灰质板岩组成。黑色板岩普遍含黄铁矿，板理极为发育，常剥离成完整的板块，可做建筑装饰石材。千枚状板岩是板岩与千枚岩的过渡类型，主要特征是呈黄灰色，具有板状构造和千枚状构造，有时可见斑点状褐铁矿化。砂质板岩中常见泥砂质条带及长英质条带在岩石中形成薄层构造，局部可见长英质肠状构造。凝灰质板岩属基性火山碎屑岩和凝灰岩与泥砂质板岩的过渡类型。岩石多呈青灰色，板理较发育。

(4) 千枚岩类

包括绢云千枚岩和绿泥绢云母千枚岩。岩石为绿灰色及灰色，鳞片变晶结构，变余粉砂泥质结构，千枚状构造。矿物组合为绢云母、石英、钠长石、绿泥石等。

(5) 变质火山熔岩

为甘陶河群地层中广泛分布的浅变质玄武岩和安山岩类。岩石多呈灰绿色—黑绿色。一般为变余粗玄—变余间隐结构，常具纤维状、纤粒状变晶或筛状变晶结构，有时呈鳞片粒状变晶结构，变余杏仁状、气孔状、块状及枕状构造。

岩石中矿物成分具有重结晶作用，多为细粒及隐晶状。矿物成分为角闪石和中基性斜长石。次要矿物有黑云母、绿泥石、绿帘石、石英和方解石等。副矿物主要为钛磁铁矿、磁铁矿、黄铁矿和榍石、磷灰石，主要产于杏仁体中。

岩石普遍具绿泥石化，常在熔岩与围岩的接触部位形成强烈片理化的岩石。与此同时往往伴生有金属硫化物的黄铁矿、黄铜矿等矿化现象。

(6) 变质火山碎屑岩类

这类岩石的矿物成分和化学成分总体特征基本相同，因碎屑的粒度、含量不同而分为火山集块岩、火山角砾岩和凝灰岩。火山集块呈次棱角状和浑圆状，砾径一般为 100 ~ 200mm，最大可达 600mm。火山角砾为棱角 - 次棱角状，砾径一般为 30 ~ 100mm 不等。集块和角砾岩由火山熔岩和砂质胶结，胶结紧密。凝灰岩呈鳞片变晶结构，变余火山碎屑粉砂泥质结构，具千枚状构造。

(7) 白云岩类

岩石由浅灰色中层、薄层大理岩化白云岩、砂质白云岩组成，白云岩有硅质条带和灰白色石英砂岩夹层。大理岩化白云岩中普遍发育线理构造，可见风化漏斗和裂隙等古岩溶地貌，并被上覆沉积物充填。

2. 副变质地层

区内的副变质地层，宏观上以似层状体产出，横向分布相对比较稳定，并且都受相同期次的变形变质作用影响。但由于各变质地层单位所处构造位置和原岩组成的不同，其变形变质程度也表现不同。变形作用主要表现在浅粒岩中的长英质组分形成圆球状、椭圆状、条带状不均匀变形带，局部粒状岩石中长英质矿物普遍具有拉长变形特点，在变形强烈部位形成构造眼球或小型韧性变形带。在露头上，可见岩石中保留了较多的原始沉积结构，如钾长浅粒岩中磁铁矿形成的包络面，显示出原始沉积层理特征；角闪斜长变粒岩中粒度变化形成的变余层理；粒状岩石中保留的砂状结构等。区域地质研究成果证明副变质地层的原岩为一套陆源粗碎屑岩 - 泥质岩 - 碳酸盐岩沉积。

(1) 岩石组合特征

副变质地层主要岩石组合类型为片岩类、长英质变粒岩类、大理岩类，地层中见少量角闪岩类薄层或夹层。

1) 片岩类：包括白云片岩、石榴黑云片岩、云母石英片岩、角闪片岩、钙质片岩以及蚀变类型的角闪绿帘片岩和阳起绿帘片岩等。岩石变形强烈，发育小褶皱、鳞片变晶结构、变斑状构造。矿物成分复杂，不同岩石类型矿物成分及其含量见表 1 - 1 - 2。

2) 长英质变粒岩类：可进一步分为 3 种：

a. 磁铁石英岩类：粒状变晶结构，具分层的细条带状构造，分别由磁铁矿和石英组成。次要矿物为普通角闪石、镁铁闪石、单斜辉石和黑云母等。

b. 变粒岩：包括黑云变粒岩、角闪变粒岩、二云变粒岩、透辉斜长变粒岩。岩石松软，易风化，多形成平缓地貌。中层、中薄层产出，弱片麻状、平行粒状构造，鳞片细粒变晶结构，粒柱变晶结构。矿物成分复杂，主要矿物有斜长石、石英、钾长石、黑云母、角闪石、透辉石、方解石、磁铁矿、白云母等。副矿物有磷灰石、榍石、锆石、绿帘石等，不同岩石类型矿物成分及其含量见表 1 - 1 - 3。

c. 浅粒岩：主要为钾长浅粒岩、斜长浅粒岩、角闪浅粒岩、钾长石英浅粒岩等。岩石呈肉红色、褐红色、变余砂状结构，粒状变晶结构。岩石坚硬，具砂岩外貌特征。主要矿物组成有钾长石 10% ~ 40%、斜长石 30% ~ 50%、石英 15% ~ 40%，次要矿物为普通闪石、磁铁矿、白云母、黑云母等。表 1 - 1 - 4 列出了副变质地层主要浅粒岩类型的矿组成。

表 1 - 1 - 2 副变质地层片岩类矿物成分含量

岩石类型	矿物成分及含量/								
	钾长石	斜长石	石英	黑云母	白云母	透辉石	角闪石	磁铁矿	其他主要矿物及副矿物
黑云二长片岩	20 ~25	20	21 ~30	25 ~30					黄铁矿、磷灰石、锆石、榍石、刚玉、金红石
含矽线石黑云片岩		30	30	25 ~30	5 ~10				矽线石、磷灰石、锆石、石榴子石、石墨、褐铁矿、电气石
黑云长英片岩	15	30	30	15 ~20		5			磷灰石、锆石、榍石、褐帘石、绿帘石、阳起石
透辉二长黑云片岩	20	15	15	30		15	5		磷灰石、锆石、榍石、褐帘石、绿帘石、绢云母
含磁铁白云母石英片岩	0 ~5		50 ~55	5	35 ~40			5	磷灰石、锆石
含磁铁钾长石英片岩	10 ~15		45		35			5 ~10	锆石
斜长角闪片岩		35 ~40	5 ~10				50		磷灰石、磁铁矿、锆石、金红石
钾长绢云石英片岩	30 ~35		35 ~40		25 ~30				绿泥石、磷灰石、锆石、金红石、磁铁矿
黑云母片岩	5 ~10	5 ~10	35	50					
白云母片岩			40	3 ~5	55				磷灰石、锆石、金红石

表 1 - 1 - 3 副变质地层变粒岩类矿物成分含量

岩石类型	矿物成分含量/									
	钾长石	斜长石	石英	黑云母	白云母	透辉石	透闪石	角闪石	磁铁矿	其他主要矿物及副矿物
透辉斜长变粒岩		45	25			25 ~30				阳起石、磷灰石、锆石、榍石
角闪斜长变粒岩		65 ~70	15				15 ~20			榍石、磷灰石、锆石、磁铁矿、褐帘石、绿帘石
黑云二长变粒岩	15 ~20	40	30 ~35	10						磷灰石、锆石
透辉二长变粒岩	35 ~40	30	5				25 ~30			磷灰石、榍石、褐帘石
含黑云二长变粒岩	25 ~30	30	35	5 ~10						磷灰石、锆石、褐帘石、磁铁矿
含透闪黑云透辉变粒岩	偶见	10		15 ~20		60	10			磷灰石、榍石、褐帘石
阳起透闪二长变粒岩	20 ~25	35	30	少量		< 5	5 ~10			榍石、磷灰石、锆石、褐帘石、绿帘石
透辉透闪斜长变粒岩	少量	35	50			5	10			磷灰石、锆石、榍石、褐铁矿

岩石类型	矿物成分含量/									
	钾长石	斜长石	石英	黑云母	白云母	透辉石	透闪石	角闪石	磁铁矿	其他主要矿物及副矿物
斜长角闪变粒岩	5	55	30					10		阳起石、楣石、磷灰石、锆石、黝帘石、绢云母
黑云斜长变粒岩	10	50~65	15~30	15~25						磷灰石、锆石、绿帘石、黝帘石、绢云母
黑云钾长斜长变粒岩	20	40	25	10~15						磷灰石、锆石、褐铁矿、磁铁矿
阳起二长变粒岩	20~25	15~20	35			少量				阳起石(25)、楣石、磷灰石、锆石、褐帘石
含磁铁黑云斜长变粒岩		40	35	10						磁铁矿(5~10)、磷灰石、锆石、独居石
含石墨黑云斜长变粒岩		45~50	30	20	少量					石墨(1~2)、矽线石少量、磷灰石、锆石
透辉钾长变粒岩	30	5	15~20			35	5			绿帘石(5~10)、磷灰石、锆石、楣石

表 1 - 1 - 4 副变质地层浅粒岩的矿物含量

岩石类型	矿物成分及含量/					
	钾长石	斜长石	石英	黑云母	白云母	其他主要矿物及副矿物
含磁铁二长浅粒岩	25	25	35~40	< 5		磁铁矿(5~10)、磷灰石、锆石
肉红色二长浅粒岩	15~40	20~25	30~55	少量	0~5	磁铁矿、磷灰石、锆石、楣石
斜长钾长浅粒岩	35~40	10~15	45~50		少量~5	磁铁矿、锆石、褐铁矿
含斜长钾长浅粒岩	60	10	25		少量	锆石、楣石、赤铁矿金红石
钾长石英浅粒岩	35	15	50		少量	磁铁矿、磷灰石、锆石
中粗粒钾长浅粒岩	55	5	35~40	少量		磁铁矿(3)、磷灰石、锆石
石英钾长浅粒岩	45~55	3~10	35~50	少量		磁铁矿、磷灰石、锆石
含黑云钾长浅粒岩	40	15~20	35	5		磁铁矿、楣石、锆石

3) 大理岩类: 白色、灰白色、绿色、粉红色、红色, 变余薄层、中层构造, 少数变余巨厚层构造, 中粗粒变晶结构。矿物成分以方解石、白云石为主, 并以两种矿物相对含量分为钙质大理岩与白云大理岩。以透闪白云石大理岩、透辉石大理岩分布最广, 其次为透辉石白云石大理岩、含阳起石斜长大理岩、金云母白云石大理岩等。大理岩多不纯, 白云石或方解石含量在 15% ~90% 之间变化, 透辉石、透闪石、石英、斜长石、钾长石、金云母、白云母、黑云母、方柱石等多种矿物, 其含量在 0 ~30% 范围变化。副矿物有磷石、楣石等。表 1 - 1 - 5 列出了区内主要大理岩类型的矿物成分含量。