

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

断裂构造研究进展对工程地质学的启示

陈昌彦¹⁾ 张李节²⁾ 王思敬³⁾ 王贵荣⁴⁾

1) 北京市勘察设计研究院, 100038; 2) 煤炭工业部南京设计研究院, 210003

3) 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京, 100029; 4) 西安科技学院, 710054

内容提要 在长期地质作用下形成的岩体和岩体结构是工程地质学研究的基本内容, 它们的形成和演化主要受控于构造作用, 而系统地解析岩体所经历的构造作用是认识岩体结构、抽象和概括岩体工程地质模型的突破口。因此, 重视和应用现代构造地质学研究的新理论、新方法必将会对岩体工程地质学研究起着重要的指导意义。本文系统总结了与工程地质研究相关的现代构造地质学理论和思维观的研究进展, 在此基础上分析了这些理论方法对工程地质工作的启示和指导意义, 希望起到抛砖引玉的作用。

关键词 现代构造地质学 构造作用控制 岩体和岩体结构 工程地质模型 地质工程

岩体是经历了长期成岩建造和构造改造及次生改造作用形成的具有独特组成和结构并赋存于一定地质环境中的地质体, 结构面和结构体是岩体结构的基本组成单元(谷德振, 1979; 孙广忠, 1988; 王思敬, 1965, 1992)。其中岩体结构面是岩体结构组成的核心, 对结构面的几何学特征和力学特性的研究是进行工程岩体稳定性评价和岩体工程改造作用的基础, 也是研究岩体工程地质力学理论的核心。综观岩体工程地质力学理论创立和发展的各个阶段, 都视断裂构造研究为基础和关键, 其理论和认识上的每一个进展都伴随着对工程岩体断裂构造研究及其对岩体工程问题认识的不断深化, 其研究历程可概括为由“岩性、构造、地下水”研究逐渐认识到构造是控制岩体工程地质特性的关键, 并开展了断裂构造系统研究, 在此基础上提出了岩体结构概念和岩体结构控制论(谷德振, 1963, 1965; 王思敬, 1965, 1992; 孙玉科等, 1965; 许兵等, 1976; 徐嘉谟, 1987; 孙广忠, 1988; 张咸恭等, 2000), 岩体结构的形成和演化直接或间接地受控于构造作用(孙广忠, 1996; 许兵, 1994; 陈昌彦, 1997)。因此, 认识和研究现代构造地质学的理论及进展, 尤其新全球构造活动论地球观的建立, 对研究岩体结构的发育规律、认识岩体结构的复杂性都具有重要的指导意义。

1 现代断裂构造的研究进展

近 30 年来, 由于板块构造学说的发展, 学科间

横向和纵向的广泛联合, 地球物理方法、遥感技术的完善和引入, 大陆超深钻探实施和高温高压模拟技术的发展等, 使构造地质学在理论上和观念上及研究方法和内容上都取得了巨大进展, 各种新的构造见解和理论模式纷纷应运而生, 尤其是在构造解析方法论上取得了相当大的进展(马杏垣, 1983; 朱志澄, 1996), 诸如层圈式构造(马杏垣等, 1984)、伸展构造(马杏垣, 1982)、大型薄皮构造(Seeber, 1983)、反转构造(Cooper, et al, 1989)、抽拉构造(杨志华等, 1996)等, 下面主要对与工程地质研究相关的某些构造地质学的研究进展进行回顾和综述。

1.1 构造观和方法论的突破

所谓构造观就是对全球构造和岩石圈构造运动性质及动力来源的主导认识和观点, 现代构造地质学的构造观主要表现为: 水平的活动论构造观是高度活动的岩石圈运动的主体形式; 岩石圈构造运动的动力具有多源性, 是地球旋转力、重力和热动力相互作用的结果, 在构造运动的不同阶段、不同层次和性质的构造中, 各种作用力的贡献是不同的; 岩石圈是一个垂向分层、横向不均一的层圈式结构; 构造作用是多因、多级、多时、多性的; 挤压作用、伸展作用和走滑作用分别或共同作用形成了岩石圈多级次、多体制的构造综合体。因此断裂构造研究更加强了系统观、全球观、动态观和成因观, 积极采用构造解析方法动态地研究构造作用的几何学、运动学和动力学特征, 重塑构造发育演化史(马杏垣, 1983; 马

收稿日期: 2001-09-10; 改回日期: 2002-02-19; 责任编辑: 任希飞。

作者简介: 陈昌彦, 男, 1968年生。1997年获中国科学院地质与地球物理研究所工程地质学博士学位。现为北京市勘察设计研究院副总工程师, 高级工程师。主要从事岩土工程地质、地基检测、计算机在岩土工程中的应用、地质灾害防治及构造地质等的应用研究工作。电话: 010-63957318(O); Email: chenchangy@263.net。

杏垣等,1984;朱志澄,1986,1994,1996;单文琅等,1991)。

活动论构造观启示我们在研究地壳、山体稳定性时应以活动论构造观为指导思想,用动态思维观去认识、反演地质时期岩体结构的形成及赋存环境。充分认识到构造作用是控制岩体结构形成、发展的动态因素,它一方面以断裂构造、褶皱构造等构造形迹对岩体结构的形成和组合规律以及地应力、地下水等工程地质环境的静态控制,同时又以构造运动动态地控制岩体结构的演化和改造作用、岩体稳定性的发展等,构造作用对岩体结构及岩体稳定性的控制是动态和静态的综合控制(黄克兴等,1991;陈昌彦,1997)。

因此只有从地球运动的动态系统观点来探索各种动力工程地质作用,准确地把握工程岩体的物质系统、能量系统和运动系统的相互变化和演化,才能正确认识它们的发展规律,预测其活动趋势并采取合理的防治措施。

1.2 岩石圈的多层次层圈式结构观

现代构造地质学的发展使人们逐渐认识到大陆岩石圈是由不同性质、不同层次的岩片相互穿插、楔入、推覆、叠置、拼贴、抽拉、滑离等多种构造体制作用形成的一个纵向分层、横向不均一的复杂的多层次层圈式结构(马杏垣等,1984;张文佑,1984;朱志澄,1986),各层圈内的化学组成、岩石密度、温度和强度等都是不同的,从而形成了不同层次、不同变形机制的构造变形。而那些相对低阻低速的软弱层即是物性界面,也是力学和构造变形的软弱结合面,它们在各个层次的变形过程中起到了非常重要作用,常沿这些相对软弱结构面发生多层次拆离、滑脱等作用,从而使上部断裂延伸到其中时即开始顺软弱层带发展,尤其穿过不同性质或厚度力学层时,使不同级别断裂构造表现为上陡下缓的犁式形态(Wernicke et al., 1982; Williams, 1987)。这些断裂构造在后期的构造演化过程中又经过多期次、多体制的构造叠加作用,发生构造反转,形成了各种类型的反转构造,从而使断裂构造的性质和组成结构更加复杂(Cooper et al., 1989)。因此过去那种深大断裂切割岩石圈的构造模式在岩石圈变形结构中是很少发育的。

由于近水平的犁式断层伸展拆离、滑脱、逆冲推覆、抽拉等作用,使不同构造层次和变形机制的岩体常被拆离滑脱到地表浅层,而且这些不同性质和级别的拆离作用即可发生在中深部地层中,也可发生

在人类工程作用影响范围内的表浅部地层中,它们常常相互并存,并具有不同的工程力学特性。这些层圈式的构造结构面常常构成了工程岩体的软弱结构面,对岩体工程具有重要的影响。因此对岩石圈层圈式结构的认识不仅扩大了构造地质学的研究范围,也同样影响和扩大了岩体工程地质学的研究内容,并为此提出了许多新课题。岩体工程地质力学不再仅仅研究地壳表部岩体,还要研究中、深部层位岩体变形的工程力学特性,因此更需要多种构造理论指导工程地质研究及工程地质模型和岩体结构的抽象和概括。

1.3 挤压构造、伸展构造和走滑构造共同组成了全球各级各类构造系统

纵观全球构造演化表明,挤压作用和伸展作用是同一构造作用过程的不同方面,两者具有同等重要意义,而走滑作用则伴随它们相互发育,从而改变了过去以挤压构造体系一统天下的构造格局。伸展构造、挤压构造和走滑构造三者以同等地位共同构成了不同级别的岩石圈构造变形体系,它们彼此间相互联系相互作用,这是当代构造地质学的又一重要进展(马杏垣,1982;徐嘉炜,1995;朱志澄,1996;杨巍然,1999;王义天等,1999;刘剑平等,2000)。

挤压构造、伸展构造和走滑构造相互并存并广泛发育于各层次的地壳构造变形中,控制着相应构造体制下的岩体建造组合及岩体结构特征和工程地质问题,有关的研究重点和方法也都不同。因此在具体的研究工作中,不能仅将挤压构造形迹视为分析的“构造线”(谷德振,1979;杨志法等,2000),而应根据各种构造体制特征及构造组合型式来综合确定“构造线”,并据此抽象和概括合理的地质模型和岩体结构模型,分析和评价工程岩体变形组合规律及其力学特性。

1.4 非线性动力观

构造作用是地球旋转力、重力、热动力及物理化学作用等多元动力源相互协调综合作用的产物,是不同级次、不同期次和不同性质的构造变形相互组合形成的复杂的非线性地质构造系统,因此综合运用线性理论和非线性理论方法可以更加准确地定量描述和反映构造作用的发育规律和空间组合特征,更真实地认识岩体结构的复杂性和发育规律。

2 现代构造地质学进展对地质工程研究的启示

在建设和改造过程中形成的工程岩体,其中发

育了各种形态、大小、间距和方向的结构面及结构体,二者相互组合、排列形成了各种类型的岩体结构(王思敬,1965;谷德振,1979;孙广忠,1988),而结构面,尤其是断裂结构面,是控制岩体工程特性的重要组成部分,但不同级别和性质的结构面对岩体结构效应的贡献是不同的,其研究内容和方法也不同。另一方面,由于各种类型构造结构面和岩体结构的演化都直接或间接地受控于构造作用。因此,构造地质学的新理论、新方法的研究进展对工程地质学的发展以及地质灾害的防治具有重要的启示意义。

2.1 构造层次的研究及其工程意义

长期以来一直认为工程地质研究对象只涉及地表浅层次的构造变形岩体,而很难涉及到中深部构造变形环境的岩体。这种观点只是从岩体目前的赋存状态来认识构造变形特征,而并非从岩体构造变形机制来考虑,这也是不能深入研究岩体结构发育规律的一个原因,实际上也是一种观念上的问题即忽视了构造变形层次观和岩石圈的层圈式结构特征。构造层次观的建立使人们认识到工程地质研究既涉及了浅表层地质变形环境的脆性、脆-韧性构造变形岩体,也涉及了中深部地质环境的韧性变形和流变作用的构造变形岩体及其结构。

根据岩石圈多层次层圈式结构观的研究表明,整个岩石圈表现为一个纵向分层、横向分区的不均匀的多层次层圈式结构,各层圈(或层)内由于岩石组成和变形环境的差异,决定了其主导构造变形机制和相应的构造形迹的组合规律都完全不同,从而形成了岩石圈的层圈式构造即构造变形相(单文琅等,1991)、构造位(张文佑,1984)、构造层次(马托埃,1984)等。依据构造变形机制及其组合特征,将构造层次由浅至深可分为表构造层、上构造层、中构造层和深构造层(马托埃,1984;马杏垣等,1984;张文佑,1984;单文琅等,1991),各构造层次的变形机制及其组合特征都是不同的(表1)。

对于一条断裂构造带也同样表现了层次性结构,即从地表到深部,断裂的形成环境、形态、性质、构造岩结构及断裂变形机制也都呈层次性变化。断裂带在浅层次域表现为脆性破坏为主,以快速地震式断裂滑动,形成了构造碎裂岩系列。而断裂带在深层次域则以韧性剪切变形为主导,呈缓慢无震式塑性蠕变,以塑性变形为主,形成了构造糜棱岩系列,滑动面常弥漫于整个断裂域,断裂带与围岩间无明显的面。两者之间为脆-韧性变形过渡带。

但是由于大型逆冲推覆、拆离滑脱作用以及造

山带上升隆起剥蚀等多种构造作用,使上述垂向构造层次中的深部各构造变形岩体常常被推覆到地表或浅层次中亦或将浅、表层次的变形岩体掩覆于深部,从而使不同构造变形机制和变形组合为主导的断裂岩体在平面上分区出露,形成了平面分区结构。

构造层次的建立表明在不同的构造层次内岩体的主导构造变形机制以及断裂构造组合特征都是不同的,相应形成的岩体结构类型以及岩体的工程力学特性也都不同。因此工程建设活动不仅会涉及真正的地表构造层的岩体,也可能涉及到“假”的地表构造层,实则为中、深部构造层的岩体,相应地研究岩体的内容和方法也都不同。对于表、浅部构造层岩体,应以典型的脆性断裂构造变形的研究方法为主,研究断裂构造及其组合特征;但是对于中深部构造层,岩体变形则以韧性和流变等变形方式为主,很少发育明显的脆性断裂构造变形,代之以韧性剪切带、片理、劈理等构造较发育,这些不连续构造虽然规模不大,但具有透入性特点。这类工程岩体虽然未发育较大规模的断裂带,但韧性断裂结构岩体变形的危险性往往超过脆性断裂岩体,尤其岩体中发育的透入性片理、劈理使岩体的水理性和工程力学性质很差,因此对于中深部构造层次岩体,在抽象和概括工程地质模型时,应以研究韧性剪切结构面为重点,采用粘塑性力学理论来研究岩体变形机制。

对于断裂带结构研究也同样如此,应根据工程所涉及的深度范围来概括断裂构造带的岩体结构及其工程力学特性,而不能一味地按照脆性断裂的模式来研究。

2.2 各种构造体制的岩体断裂结构发育特征及其对工程影响

现代构造地质学的重大进展就是正确地认识了伸展构造作用、挤压构造作用、重力构造及走滑构造作用的意义和地位。它们在全球构造演化中具有相同的地位,尤其伸展构造作用和挤压作用,构成了同一构造作用在时空上紧密相关的两个侧面(徐嘉伟,1995;朱志澄,1996;杨巍然,1999;刘剑平等,2000)。但是过去由于构造研究源于造山系,而造山系又多以挤压构造变形为特色,以致长期忽视了伸展作用及相应构造的存在及意义,使构造研究内容和方法过于片面化,从而在岩体工程地质研究中只强调确定挤压构造线的重要性,而忽视了研究伸展构造线的工程意义。“其实,引张作用也造就了全球范围的构造现象,其规模甚至比挤压变动更复杂”(马杏垣,1982)。

表 1 不同构造层次变形特征

Table 1 Deforming characteristics of tectonic levels

构造层次 变形特征 机制		表构造层次	浅构造层次	中构造层次	深构造层次
		主导变形机制	剪切、拉裂等脆性变形作用为主	拉裂+挠曲或挠曲作用为主的脆-韧性变形	压扁作用, 区域动力变质作用为主的韧性变形
构造变形标志	褶皱作用	宽缓弯滑挠曲	弯滑-弯流褶皱作用	相似褶皱	被动柔流、肠状褶皱等
	断裂作用	脆性剪切断裂, 棱角状构造岩	脆-韧性断裂过渡带, 定向发育碎裂岩	韧性剪切带、糜棱岩化、片理化	构造片岩带
	劈理发育特征	无劈理	能干岩层无劈理, 非能干岩层发育间隔劈理	劈理发育, 软弱岩层中顺层流劈理发育	强烈片麻理化
	主导构造组合	各类断裂构造为主	平滑褶皱和断裂组合	相似褶皱+韧性剪切变形	固态融流变形
变形环境	温度(°C)	0~150	150~300	250~500	570以上
	有效围压	低	过渡	高	岩浆活动范围
	应变速率	高速应变	过渡	低速应变	

与此相应地, 由于不同构造体制具有不同的构造动力演化特征, 从而形成了性质各异的岩体结构特征, 并赋存于不同的地质工程环境中, 因此影响岩体结构、岩体质量发育特征及岩体稳定性的主导因素也不同, 相应的工程地质研究的重点和方法以及存在的工程问题也都具有不同的特点, 因此只有将具体的工程地质问题置于系统的构造动力环境下进行研究和分析, 才能正确有效地认识岩体和岩体结构的演化特征及其发育规律。

2.2.1 伸展构造体制下的工程地质问题

伸展构造就是在引张作用下形成的以正断层为基本单元组合成的构造体系, 伸展构造作用(区)的工程地质基本特征和问题总结如下。

(1) 区域构造表现为伸展拉张状态, 主导构造线以正断裂(带)及其组合为主体。

(2) 伸展构造区的区域变质作用微弱或较局限, 相对为高温低压变质作用。地应力常表现为低地应力状态, 因此低地应力及其伴生的工程地质问题是此类地质工程活动中需要解决和考虑的重点。断裂带、节理等各级次结构面以不同程度松弛张裂, 节理性质常表现为张性和张扭性特征, 断裂结构面形状以粗糙、起伏状为主; 断裂带、节理面等结构面内常被不同程度地充填各种夹泥、碎屑物等软弱充填物, 或者发育脉体、次生矿物并呈晶簇、空洞等产状;

岩体结构面力学性质差。在地下岩体开挖过程中常发生围岩松动、掉块、塌方、垮塌等现象; 在岩石钻进过程中, 钻孔内常发生严重的漏浆等现象。

(3) 由于断裂系的伸展张开, 为地下流体, 尤其地下水提供了流动空间和通道。岩体内各级次断裂带相互组合形成了优良的地下水流动条件和地下水网络, 为地下水的主要导水、储水构造。在地下工程开挖时, 常表现为不同程度的渗水、流沙等灾害, 同时由于地下水对岩体软弱结构面的不断侵蚀和弱化作用, 提高了工程岩体失稳的可能性, 因此地下水及其对工程岩体充水状况的调查和评价是此类岩体工程研究的又一重要内容。如陕西渭北煤田奥陶纪灰岩地下水运动特征及其对煤矿开采的影响, 就是新生代复合伸展构造系对地下水流动条件综合控制的问题(陈昌彦等, 1996)。

(4) 由于岩体内节理、裂隙发育且以张裂隙形式为主, 为地下水对岩体的选择性侵蚀风化作用提供有利条件, 尤其对碳酸盐岩体, 使岩体发生相对强烈的风化作用以致发育大规模岩溶裂隙槽和各种风化槽、风化囊等, 恶化工程岩体的力学特征, 为地质工程留下了许多不利隐患。

(5) 大规模伸展断裂带地区的地壳上层以构造切削而减薄, 深层以韧性分流而减薄, 导致莫霍面变平, 深部常表现为地幔隆起。这些地带常是各类地质

灾害频发的部位,断裂构造控制了地震、地裂缝、地面沉降和滑坡等内外工程地质现象的发生和分布。如汾渭盆地就处于以伸展构造作用为主体的构造动力环境,其中历史上发育的地震及地裂缝、滑坡等地质灾害的空间分布大都受盆地内的主体伸展断裂带控制并与其密切相关。

2.2.2 挤压断裂构造体制下的工程地质特征

挤压构造作用表现为褶皱变形和挤压断裂两大类,其中挤压断裂构造是影响岩体结构的主要结构面,并以低角度的挤压、压扭性断裂构造组合为主,岩层原始产状改变显著,变形强烈。挤压构造作用(区)的工程地质特征主要表现为:

(1) 由于强烈的挤压构造作用,其影响空间为区域性带状,作用空间界限明显。区域变质作用强烈,以中低温高压变质作用为主。地应力常表现为高地应力状态,最大主应力垂直于主导挤压构造线走向。因此高地应力及其伴生的工程地质问题是挤压构造作用区中进行地质工程活动需要解决和考虑的重点。以挤压构造线为主体解析断裂岩体结构的几何学、动力学特征及其演化史是工程岩体结构分析的主要内容和基本原则。岩体内各类结构面以紧闭为主,胶结程度较高,其形状主要为平滑—微粗糙,结构面导水性能差,一般不透水或弱透水,为阻水构造,在含水岩体中开挖隧洞时少有渗水现象。

(2) 挤压构造作用变形区内岩体具有较高的应变能,当在完整坚硬岩体中进行开挖或钻探等卸荷活动时发生岩爆、岩层剥离、板裂、岩心饼裂、瓦斯突出等现象;在较软岩体中施工时常表现为收敛变形,位移稳定时间缓慢,尤其软岩收敛变形强烈,流变现象发育,软弱夹层常被挤出,如二滩水电站、金川镍矿等工程就是处于强烈挤压构造作用范围,在

地下岩体开挖过程中时常发生上述各种地质现象。

(3) 挤压动力作用环境对工程岩体稳定性影响非常大,其中对地应力的研究是主要内容,但不同构造作用区带的研究内容又是不同的。

2.2.3 走滑断裂作用区的工程地质问题

走滑作用在大陆动力学机制中是极为重要的一类构造作用,相当于平移断层、旋扭构造等,是地球表面上第三大构造类型,普遍发育。它既可调节造山带的斜压运动和差异压缩,也能调节同造山期伸展作用,这是因为走滑构造主要形成于复合剪切构造动力环境,有时具有走滑挤压特征,有时又具有走滑伸展特征(徐嘉炜,1995;王义天等,2000)。走滑断裂带内单条断层一般延深不远,但由各级断层分叉交织组成的断裂带规模却很大,水平位移巨大,在一个小区域平面上常难以显示。

断裂构造在走滑活动过程中常因其形态改变或相互交切作用而产生了复合应力场,尤其在断层端部因应力状态的迭加与复合,常导致挤压和引张应力场相间分布,相应地发育了与不同构造变形机制相伴生的构造组合特征和岩体结构。在空间上,伸展构造系和挤压构造系相伴发育于走滑断层的两侧或同侧,它们常相互关联。因此如果不能正确认识这种构造组合的相关性,常常会孤立地分析局部构造系统,从而得出不恰当的结论。

2.3 岩体结构分析中的构造作用控制机制

构造作用是地球内部物质运动的总体反映,也是地球内部物质和能量的转换过程,它活跃于整个构造圈,甚至更深层次;它既有运动学意义,产生构造变动、岩浆活动和变质作用;又含有几何学特征,产生静态的构造形迹(黄克兴等,1991)。因此构造作用控制了地球动态活动系统中一切地质过程,而岩

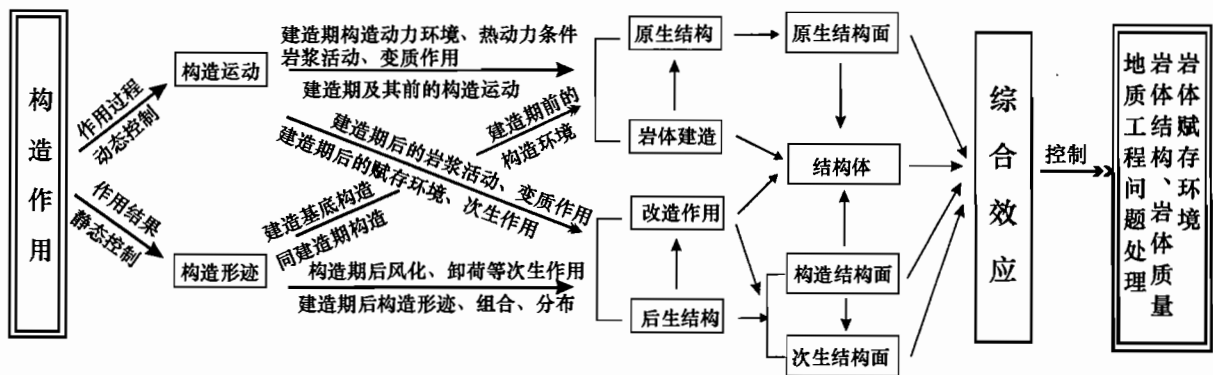


图 1 构造作用对岩体结构控制的实质及过程

Fig. 1 Mechanism and process of tectonism control to rock mass structure

体及岩体结构则是这个活动系统运动作用的产物,其形成、演化及时空组合无时无刻不受其控制。

岩体结构研究的核心主要包括岩体建造(或工程地质岩组)、原生结构、后生结构及赋存环境,其组成可概括为结构面和结构体两个基本单元的相互组合和排列。构造作用对岩体结构、岩体质量发育特征及地质工程的控制就是通过对岩体建造作用、改造作用及地下水、地应力等赋存环境进行动态和静态的控制而实现的,即通过构造作用动态控制了工程岩体的形成及其演化,通过构造形迹静态地控制了岩体结构及其结构面的空间组合、分布及其各阶段演化的边界条件,从而综合控制了工程岩体结构及其地质环境。构造作用对岩体结构及地质工程的控制实质可概括为图1。

图1表明,构造作用通过构造运动和构造形迹双重特性动态和静态地控制着岩体建造作用即岩体组成及其原生结构特征和赋存条件,同时又控制着各种类型的改造作用(包括构造改造和次生改造作用),使岩体建造及原生结构在后期的构造改造和次生改造过程中发生不同程度的破碎并形成了各种类型的构造结构面和次生结构面及其围限的结构体,由于构造作用的强弱以及不同变形机制的相互迭加,共同控制了岩体完整性、结构面及结构体的形成、分布和组合规律,从而控制了各种岩体结构类型的发育及分布以及工程岩体的赋存环境,进而决定了工程地质模型的抽象和概化,并控制了地质工程改造作用中的优势结构作用效应。

另一方面,构造作用的控制是分层次、分级别地控制着工程地质体的演化和发展并控制了岩体结构面分级的工程意义,根据规模可将其分为大地构造和小构造等不同层次,前者则控制着区域性地壳演化及岩石建造单元、建造的动力学背景以及构造动力环境,而小构造则控制了岩体各期次的变形变位、结构面形成、演化及相互组合等,是岩体结构的直接控制者。因此,构造作用控制了岩体及岩体结构的形成、演化及时空组合特征,在岩体工程分析和研究中坚持构造作用控制观为主导,系统地解析其对岩体结构、岩体质量控制作用的实质和表现,是正确有效地认识和研究岩体结构的形成、演化规律,也是进行岩体质量评价和稳定性分析的有效方法和途径。

3 结束语

岩体是长期地质作用下经建造和改造作用的综合产物,其形成和演化的实质就是在构造作用控制

下的岩体内外界物质和能量的交换过程,因此构造作用控制了各期次和各类型的岩体结构的形成、演化及组合规律,系统地解析构造作用是正确认识岩体结构、抽象和概括岩体工程地质模型的突破口,而现代构造地质学的每一研究进展都会为岩体工程地质学的正确研究提供合理的建议和工作方法,甚至是思维观念的突破,重视和积极应用现代构造地质学新理论方法必将对工程地质学的研究起着重要指导意义。

参 考 文 献

- 陈昌彦,王思敬,王贵荣,黄克兴. 1996. 陕西渭北东部区新生代伸展构造网络系统对奥灰水的控制作用. 地质力学学报, 2(4): 21~30.
- 陈昌彦. 1997. 工程岩体断裂结构系统复杂性研究及在边坡工程中的应用. 中国科学院地质与地球物理研究所[博士论文], 10~37.
- 谷德振. 1963. 地质构造与工程建设. 科学通报, (10): 10~19.
- 谷德振. 1965. 水利工程建设中的地质构造问题. 水文地质工程地质问题. 北京: 科学出版社, 35~50.
- 谷德振. 1979. 岩体工程地质力学基础. 北京: 科学出版社, 198~260.
- 黄克兴, 夏玉成. 1991. 构造控煤概论. 北京: 煤炭工业出版社, 9~25.
- 刘剑平, 汪新文, 周章保, 陶国强, 文绵良. 2000. 伸展地区变换构造研究进展. 地质科技情报, 19(3): 27~32.
- 马托埃, M. 1984. 地壳变形. 孙坦等译. 北京: 地质出版社, 70~85.
- 马杏垣. 1982. 论伸展构造. 地球科学, 21(3): 15~22.
- 马杏垣. 1983. 解析构造刍议. 地球科学, 22(3): 1~9.
- 马杏垣, 索书田. 1984. 论滑覆及岩石圈内多层次滑动构造. 地质学报, 58(3): 205~212.
- 单文琅, 宋鸿林, 等. 1991. 构造变形分析的理论方法和实践. 武汉: 中国地质大学出版社, 1~90.
- 孙广忠. 1988. 岩体结构力学. 北京: 科学出版社, 15~106.
- 孙广忠. 1996. 地质工程理论与实践. 北京: 地震出版社.
- 孙玉科, 李建国. 1965. 岩质边坡稳定性的工程地质研究. 地质科学, 1(4): 55~65.
- 王思敬. 1965. 岩体结构及其工程地质性质形成的地质历史过程. 水文地质工程地质问题. 北京: 科学出版社, 1~26.
- 王思敬. 1992. 工程地质学的前沿及其拓展. 见: 王思敬等主编. 90年代地质科学. 北京: 海洋出版社, 234~239.
- 王义天, 李继亮. 1999. 走滑断层作用的相关构造. 地质科技情报, 18(3): 30~34.
- 许兵, 黄鼎成. 1976. 岩体结构特性及其对岩体稳定性的影响. 地质科学, 11(4): 20~28.
- 许兵. 1994. 关于岩体结构几个基本问题的讨论. 工程地质力学进展. 北京: 地震出版社, 18~22.
- 徐嘉谟. 1987. 岩体工程地质力学工作的基本内容和程序问题的探讨. 岩体工程地质力学研究(八). 北京: 科学出版社, 102~110.
- 徐嘉谟. 1995. 论走滑断层作用的几个主要问题. 地学前缘, 2(2): 125~136.
- 杨巍然. 1999. 论造山作用和造山带. 地质论评, 45(1): 10~14.
- 杨志法, 许兵. 2000. 关于工程地质力学基础理论和体系方法的初步研究. 工程地质学报, 8(增刊): 617~622.
- 杨志华, 苏生瑞. 1996. 秦岭造山作用形成新模型——抽拉—逆冲岩席构造. 见: 吴正文, 等主编. 中国构造学. 北京: 地质出版社.
- 张文佑. 1984. 断块构造导论. 北京: 石油工业出版社, 32~38.
- 张威恭, 王思敬, 张倬元. 2000. 中国工程地质学. 北京: 科学出版社,

36~62.

- 朱志澄. 1986. 伸展构造和拆离断层. 地质科技情报, 6(1):19~22.
 朱志澄. 1994. 变质核杂岩和伸展构造研究述评. 地质科技情报, 13(3):1~9.
 朱志澄. 1996. 对几个重大地质构造问题的思考. 地质科技情报, 15(4):1~8.

References

- Chen Changyan, Wang Sijing, Wang Guirong, Huang Kexing. 1996. Cenozoic extensional tectonic system control of the underground water in Ordovician limestone in East Weibei, Shaanxi Province. *Journal of Geomechanics*, 2(4):21~30 (in Chinese with English abstract).
- Chen Changyan. 1997. Research on complexity system of engineering rock mass structure and application on the slope engineering. Ph. D. dissertation. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 10~37 (in Chinese with English abstract).
- Cooper M A, Williams G D, De Graciansly P C, et al. 1989. Inversion tectonics and discussion. In: Cooper M A, Williams G D, ed. *Inversion Tectonics*. London: The Geological Society, (11), 335~350.
- Gu Dezhen. 1963. Geological structure and the engineering conservancy. *Chinese Science Bulletin*, (10): 10 ~ 19 (in Chinese).
- Gu Dezhen. 1965. Study on geological structure in irrigation works. *Problem of Hydrogeology and Engineering Geology*. Beijing: Science Press, 35~50 (in Chinese).
- Gu Dezhen. 1979. Basis of Rock Mass of Engineering Geology Mechanics. Beijing: Science Press, 198~260 (in Chinese).
- Liu Jianping, Wang Xinwen, Zhou Zhangbao, Tao Guoqiang, Wen Mianliang. 2000. Research advance in transition structure in extended region. *Geological Sciences and Technology Information*, 19(3):27~32 (in Chinese with English abstract).
- Ma Xingyuan. 1982. On extensional tectonics. *Earth Sciences*, 21(3): 15~22 (in Chinese with English abstract).
- Ma Xingyuan. 1983. On analytical tectonics. *Earth Sciences*, 22(3):1~9 (in Chinese with English abstract).
- Ma Xingyuan, Suo Shutian. 1984. On gliding nappes and multilevel detachment structures in the lithosphere. *Acta Geologica Sinica*, 58(3):205~212 (in Chinese with English abstract).
- Seeber L. 1983. Large scale thin-skin tectonics. *Geophysics and Space Physics*, 21(6):320~335.
- Sun Guangzhong. 1988. *Rock Mass Structure Mechanics*. Beijing: Science Press, 15~106 (in Chinese).
- Sun Guangzhong. 1996. *Theories and Practice of Geological Engineering*. Beijing: Seismological Press (in Chinese).
- Sun Yuke, Li Jianguo. 1965. Study on stability of rock slope. *Scientia Geologica Sinica*, 1(4):55~65 (in Chinese).
- Wang Sijing. 1965. Rockmass structure and its formation of engineering geological properties. *Problem of Hydrogeology and Engineering Geology*. Beijing: Science Press, 1 ~ 26 (in Chinese).
- Wang Yitian, Li Jiliang. 1999. Fault-related tectonics of the strike-slip faulting. *Geological Sciences and Technology Information*, 18(3):30~34 (in Chinese with English abstract).
- Wernicke B, et al. 1982. Modes of extensional tectonic. *Journal of Structural Geology*, 4(2):105~115.
- Williams G. 1987. The geometry of listric normal faults and deformation in their Hanging wall. *Journal of Structural Geology*, 9(7):789~795.
- Xu Bin, Huang Dingcheng. 1976. Properties of rock mass structure and their impact upon rock mass stability. *Scientia Geologica Sinica*, 11(4):20~28 (in Chinese with English abstract).
- Xu Bing. 1994. Discussion about rock mass structure. *Advances in Engineering Geomechanics*. Beijing: Seismological Press, 18~22 (in Chinese).
- Xu Jiawei. 1995. Some major problems on strike-slip faulting. *Earth Science Frontiers*. 2(2): 125 ~ 136 (in Chinese with English abstract).
- Yang Weiran. 1999. On orogeny and orogenic belt. *Geological Review*, 45(1):10~14 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhifa, Xue Bing. 2000. Studying initially the basic theory and methodology of the Engineering Geomechanics. *Journal of Engineering Geology*, 8(Suppl.): 617~622 (in Chinese).
- Zhang Wenyu. 1984. *Introduction to fault block*. Beijing: Petroleum Industry Press, 32~38 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xiangong, Wang Sijing, et al. 2000. *Engineering Geology of China*. Beijing: Science press, 36~62 (in Chinese).
- Zhu Zhicheng. 1986. Extensional tectonics and detachment fault. *Geological Science and Technology Information*, 6(1):19~22 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Zhicheng. 1994. Review on metamorphic-core complex and extensional tectonics. *Geological Science and Technology Information*, 13(3):1~9 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Zhicheng. 1996. Thinking on some important geotectonic problems. *Geological Science and Technology Information*, 15(4):1~8 (in Chinese with English abstract).

Significance of Advances of Fault Structure on Studying Engineering Geology

CHEN Changyan¹⁾, ZHANG Lijie²⁾, WANG Sijing³⁾, WANG Guirong⁴⁾

1) *Beijing Geotechnical Institute*, 100038; 2) *Nanjing Mining Institute of Design and Research*, Nanjing, 210003

3) *Institute of Geology & Geophysics, CAS, Beijing*, 100029; 4) *Xi'an Science and Technology Institute, Xi'an*, 710054

Abstract

Formation and evolution of rockmass and its structure, which is basic problems studied in engineering geology, are all controlled by tectonization. Tectonic analysis is key to comprehend rock mass structure and to generalize engineering geological model of rock mass. Therefore, advances of theory and methodology of modern structure geology must be of significance to analyze and resolve rock mass engineering geological problems. In this paper, advances of theory and methodology of modern structure geology are systematically

reviewed, and significance of these advances to study geoenvironmental problems is then discussed.

Key words: modern structure geology; theory and methodology; tectonic controlling; rock mass and its structure; abstraction and generalization of engineering geological model; geoenvironmental problems
