

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

研究简讯

对沙木拉打隧道区节理的初步研究*

徐文龙

(西南交通大学, 四川峨眉)

通过对四川西南部成昆铁路中段沙木拉打隧道区一组发育的剪节理的研究, 作者认为这组节理是由新构造运动所产生。同时发现节理频度在平面上呈疏密相间的韵律, 在剖面上随深度的增加呈线性递减。经分析认为, 前者是由于岩体中构造应力不均匀分布所致, 后者是由于围压而引起。

节理是岩石中一种重要的断裂构造, 它发育广泛, 与理论和生产实践关系密切, 历来为广大地质学家所重视。不少学者通过各种途径、采用各种方法对节理的发育规律进行过详细的定性或定量的研究^{[1,2], [1]}。然而由于条件所限, 很少有人在一个区域内研究同一组节理在平面和剖面上的发育特征。作者有幸于1976—1981年三次参加成昆铁路沙木拉打隧道的病害调查工作。在利用该隧道区有利的地形、地质条件和隧道施工中的地质记录资料的基础上, 对该区NW向一组剪节理频度在平面和剖面的变化规律作了较为深入的研究。

研究区位于四川省西南部成昆铁路中段、牛日河和深水河的分水岭区, 海拔2250—2800m。在区域构造上, 该区位于川滇南北构造带中的米市向斜(轴向南北的中生代红色盆地, 在本区称沙木拉打向斜)北端, 其主要出露地层为下白垩系小坝组(K_1^s)的中上部, 即由紫红色泥岩、粉砂岩及砂岩组成的红色岩系^[3]。米市向斜在本区十分开阔, 两翼岩层倾角在 10° — 20° 之间, 向斜在隧道北口西侧扬起(图1)。一组普遍发育的NW走向的陡倾斜剪节理、力学性质较为相近的红色地层、沙木拉打隧道(长6.37km)开挖时的地质记录以及显著的地表高差等成为研究节理频度在平面和剖面上变化的重要条件。

一、节理的野外研究

根据本区仅有一组陡倾斜剪节理普遍发育的特征, 我们主要采用两种方法研究节理频度在平面和剖面上的变化规律。

(一) 实测节理剖面: 为研究本区NW向这组节理的发育特征, 采用了类似测制地层剖面的方法; 在垂直或近似垂直于NW向节理组的方向上, 对节理产状、节理频度、节理缝及充填物、岩性和岩层产状等要素进行详细的测量和研究, 并编制成节理实测剖面图(图2)。这种方法使我们获得了本区该组节理发育的一些定量数据, 同时剖面图清晰地反映了本区NW向节理组的发育特征, 包括节理频度及其变化特征, 节理倾斜与岩层倾斜的关系以及节理发育与岩性厚度的关系等。显然, 用这种方法来研究一组或两组陡倾斜节理的发育特征, 可以取得较为满意的效果。

* 赵瑞明、丰明海和计宝忠同志参加了野外调查工作。

[1] J. F. 亥瑞斯等, 1960, 沉积岩的构造裂隙与区域构造和局部构造的关系。国外小构造研究专辑, 第189—211页, 地质部地质科学技术情报研究所编。

本文1987年9月收到, 12月改回, 王毅编辑。

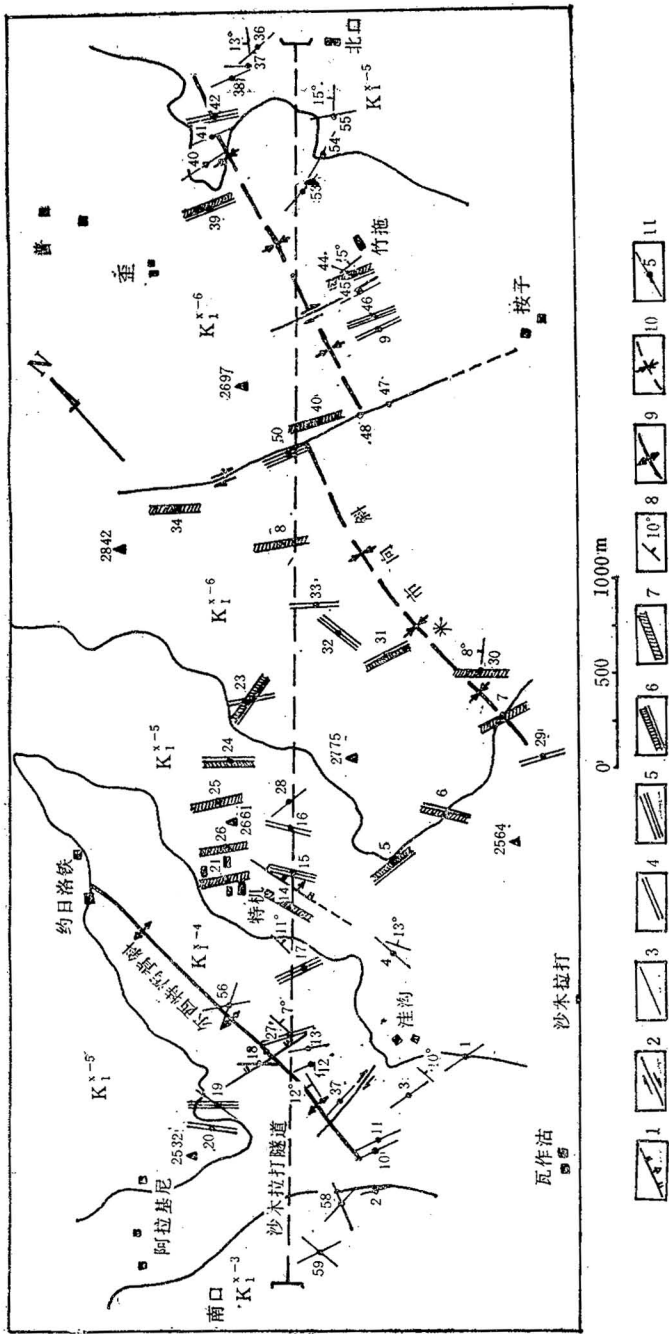


图 1 成昆铁路中段沙木拉打隧道区构造图

Fig. 1 Structural map of the Shamulada Tunnel area in the middle sector of the Chengdu-Kunming Railway

K₁^{x-5}—泥岩、粉砂岩、粉砂岩和泥岩互层；K₁^{x-4}—细砂岩及粉砂岩、泥岩；K₁^{x-3}—泥岩和粉砂岩互层
1—正断层；2—平移断层；3—节理频率2—4条/米；4—4—6条/米；5—6—8条/米；6—8—10条/米；7—>10条/米；8—岩层产状要素；9—背斜轴；10—向斜轴；11—节理观测点编号，线条方向为节理方向
K₁^{x-6}—mudstone and siltstone; K₁^{x-5}—alternating beds of fine sandstone, siltstone and mudstone; K₁^{x-4}—fine sandstone and siltstone; K₁^{x-3}—alternating beds of mudstone and siltstone
1—Normal fault; 2—strike-slip fault; 3—joint frequency 2—4 joints/m; 4—4—6 joints/m; 5—6—8 joints/m; 6—8—10 joints/m; 7—>10 joints/m; 8—strike and dip of rocks; 9—anticlinal axis; 10—synclinal axis; 11—No. of joint observation point, direction of line and direction of joint

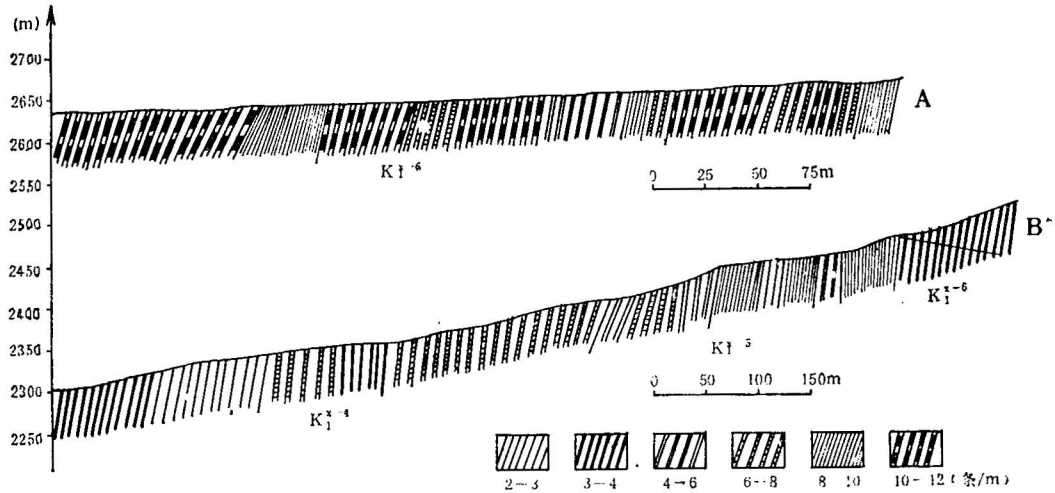


图 2 沙木拉打隧道区的节理实测剖面图，反映高程与频度关系

Fig. 2 Section of measured joints in the Shamulada Tunnel area, showing the relation between the elevation and the joint frequency

A—特西西侧剖面图；B—特西东沟剖面图

A—section at the west side of the Texi Gully; B—section at the east side of the Texi Gully

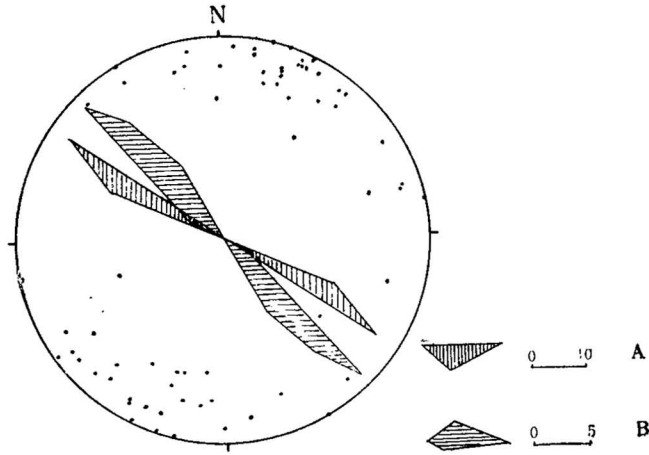


图 3 沙木拉打隧道区的节理极点图和观测点N°13(A)、N°24(B)的节理走向玫瑰花图。图示本区 NW 向节理极为发育。极点代表测区内各观测点上的节理产状

Fig. 3 Pole diagram of joints and rose diagram of joint strikes at the points N°13(A) and N°24(B), showing the development of NW-trending joints. The poles show the joint attitudes of joints at various observation points

(二) 填绘节理构造图，这也是研究节理的一个重要方法。由于研究区内NW向节理普遍发育，而且区内岩性较均一，地形高差大，因此，大面积填绘节理构造图不仅可以了解全区节理频度在平面上（即同一水平面上）的变化，而且还可以了解它们在不同高程上的变化。根据图 1 获得的结果表明，研究区内节理频度在不同高程有着明显的差异。

除上述两种方法外，辅以观测点上的详细节理统计。图 3 中的玫瑰花即是两个观测点上节理统计的结果，它表明在这两个点上仅有NW走向的节理发育，而无其他方位的节理。

二、节理资料的分析

通过本区测制的两个节理剖面(总长1 350m)和52个节理观测点所获得的资料,可以发现本区节理发育有如下一些主要特征:

(一)野外观测资料整理结果表明,研究区内NW方向的一组节理普遍发育。

在研究区内其他方向上虽有一些节理发育,但它们相对于NW向这组节理就显得十分微弱,方向性差(图3中的极点)。

图1和图2表明,NW向节理在海拔2500m以上地区,其频度大多在5—12条/米之间,节理倾角一般在 73° — 85° 之间。根据这组节理的形态和发育特征,可以确定这是一组剪节理^[3],然而由于本区的岩性特征决定了在节理面上很难发现其微位移的痕迹。所以在野外难于辨别其旋扭类型,仅仅发现沿这组节理的密集带发育的或与之平行的断层均为右旋平移断层,如竹拖断层,按子断层等。

(二)NW向剪节理在平面和剖面上的发育特征

研究区内普遍发育的NW向剪节理在平面和剖面上的变化具有一定的规律性。

在垂直节理走向的方向上,节理在平面上呈疏密相间的韵律出现(图2)。“疏”和“密”之比通常为1:2—1:3。节理分布集中的部分常成带出现,在本区称之为“节理密集带”。密集带的延伸方向与组成密集带的单个节理的走向平行,方向稳定。节理密集带的节理频度都在10—12条/米。

垂直于节理走向的剖面测绘和面积填绘节理构造图都获得了一致的结果:节理发育的强度随着高程的降低而减弱,换言之,节理频度随着深度的增加而减小。这种现象可以从以下两个方面得到证实:

1. 不同高程的实测剖面对比(图2):在海拔2 650m的特机西侧剖面上,节理非常发育,其频度为8—12条/米的剖面长度占剖面总长的75.5%,频度为4—8条/米仅占24.5%;而在特机东沟所测的剖面上(平均海拔约2 400m),节理频度为8—10条/米的剖面长度仅占剖面总长的15%,而频度为2—4条/米的却占50%。在这同一个连续剖面上,节理频度也表现为随着高度的增加而加大,在高程为2 300—2 330m之间,节理频度不超过4条/米,而在高程大于2 330m的剖面上,节理频度不断增大,甚至达到8—10条/米。该剖面终点节理频度突然变小是由于岩性和厚度的显著差异所致(巨厚层中砂岩)。

在长达6 370m的沙木拉打隧道峒身断面上(海拔2 250m),根据施工中的地质记录资料表明,在此高程上节理频度最大不超过4条/米,其中小于3条/米的长度占隧道总长的91%(图4)。

上述三个剖面具有不同的海拔高度,相互平行,并基本上垂直于NW走向的节理组,因此完全可以对比。图5—I是根据这三个剖面资料整理的结果,它不仅证实了节理的发育频度随着深度的增加作有规律的递减,而且还显示了在相近高程上节理频度的疏密韵律。

2. 不同高程观测点上节理频度的变化特征研究区52个观测点上的节理频度差异指出,在海拔高度较低的隧道南口和北口附近,节理频度较小,一般为2—4条/米,而在峒顶较高的观测点上,节理频度都在6条/米以上。图5—II是根据52个观测点上的节理频度绘制的。显然,它与图5—I一样,都清楚地反映了节理频度随着深度的增加而呈线性递减以及节理频度在平面上的疏密韵律。

(三)岩性和厚度是控制节理发育的重要因素

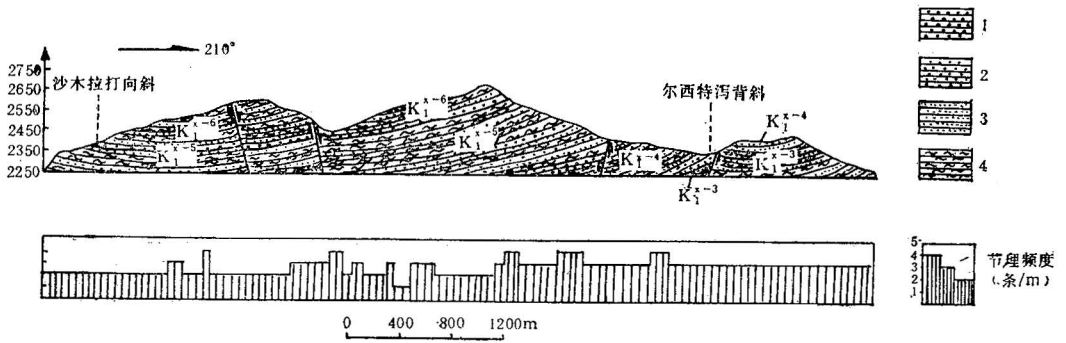
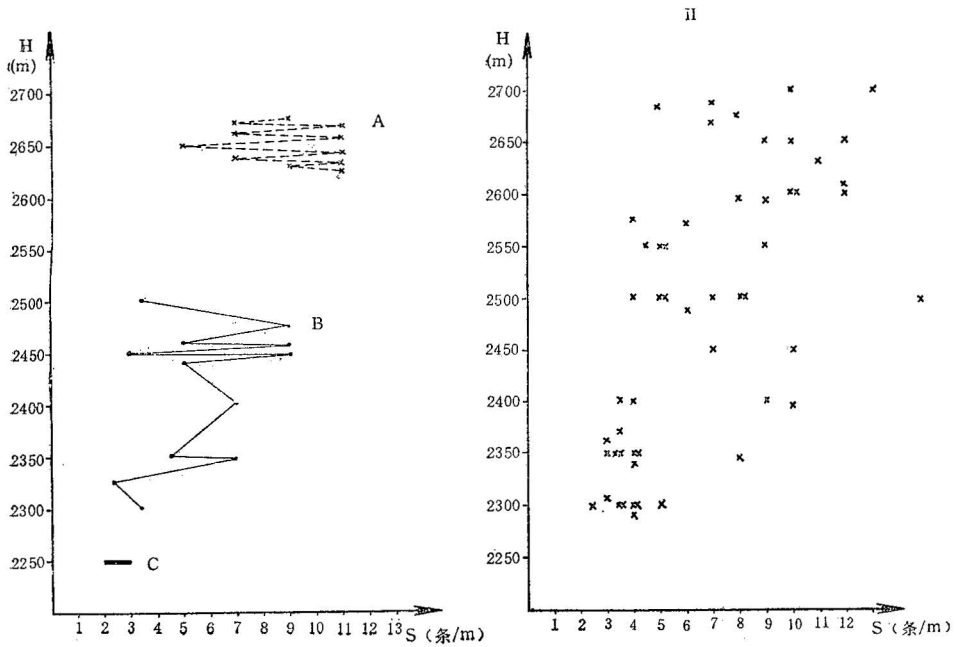


图 4 沙木拉打隧道地质剖面图及峒身节理频度图表示在同一高程上, 节理频度相近
Fig. 4 Geological section and joint frequency diagram in the Shamulada Tunnel, showing the similar joint frequency at the same height
1—中砂岩; 2—细砂岩; 3—粉砂岩; 4—泥岩
1—Medium-grained sandstone; 2—Fine-grained sandstone; 3—Siltstone; 4—Mudstone



图·5 节理频度与海拔高度的关系, 示随着高程的增加节理频度变大
Fig. 5 Relations between the joint frequency and the elevation above sea level—the increase of joint frequency with the height
I: A—特机西侧剖面; B—特机东沟剖面; C—隧道峒身剖面; II: 根据52个节理观测点上的节理频度绘制
I: A—section at the west side of the Teji Gully; B—section at the east side of the Teji Gully; C—section of the tunnel;
II: Diagram showing the joint frequencies at 52 measuring points

虽然本区岩性基本趋于均一, 但局部差异仍然存在。在同一露头上, 厚度相近的红色砂岩和粉砂岩中, 节理频度差为2—3条/米。如在特机北东大路上的节理密集带中, 砂岩中的节理频度为10条/米, 而在粉砂岩和泥岩中为12条/米, 即在节理发育中, 这两种不同的岩石之间存在一个

岩性系数: 砂岩/泥岩=5/6。在局部岩性和岩层厚度相差较大的地方, 节理频度相差显著。如在前已提及的特机东沟剖面上, 在其终点的 K_1^{x-6} 底部的巨厚层的砂岩中, 其节理频度比相邻的中层粉砂岩、泥岩小一倍, 表现了厚度和岩性对节理发育的控制作用。

需要指出, 在研究区的广大区域内, 除局部地段岩性和厚度差异较大外, 基本趋于均一。因此, 在研究中没有考虑这两个因素, 它们不影响本文所研究的节理发育在平面和剖面上的变化规律。

三、讨 论

(一) 本区白垩纪褶皱之后形成的NW向剪节理

我们所研究的在本区极为发育的NW向剪节理, 倾角很陡, 近于直立, 与岩层面交角也很大, 因此很容易被认为是褶皱前在平面应力状态下 (σ_2 直立) 形成的一组剪切面, 然而以下几个事实可以证明这组节理是在本区褶皱之后 (即白垩纪之后) 的新构造应力作用下形成的:

1. 如前所述, 本区主要断层, 如按子断层、竹拖断层等都与NW向剪节理密集带相伴生, 彼此平行, 因此可以认为这组节理和与之相伴生的断层是在同一构造应力场中先后形成的。所以这组剪节理的微扭动方向应与断层的位移方向一致, 即均为右旋。由于按子断层明显地右旋错开了米市向斜轴 (图1), 所以本区NW向剪节理和NW向平移断层均形成于褶皱之后, 为新构造运动的产物。

2. NW向节理的倾角很陡, 近于直立, 但不垂直于层面。显然它是在岩层褶皱之后的新构造应力场中形成的。如若这组剪节理形成于岩层掀起之前, 那么它应与层面直交, 并且随岩层的倾斜, 其产状也应发生相应的变化。

3. 如上所述, 节理频度随深度而变化的现象是客观存在的。因此, 如果本区NW向节理是在褶皱之前形成, 那么在同一层位中节理频度相差不会很大 (尽管有韵律存在), 然而在隧道北口的 K_1^{x-5} 中节理频度很小, 与隧道南口的 K_1^{x-3} 中的频度相当; 虽然隧道穿过不同层位 (K_1^{x-3} , K_1^{x-4} , K_1^{x-5}), 但在峒身剖面上节理频度趋于均一 (图4)。所有这些都表明: 节理频度没有因为层位的不同而变化, 它仅仅取决于深度的变化。因此, 只有在褶皱之后形成的节理才可能出现这种现象。

综上所述, 本区NW向这组陡倾角右型剪节理产生于米市向斜形成之后, 由新构造运动所产生。根据断层和剪节理的扭动方向, 可以确定它们是NNW-SSE向的水平挤压和ENE-SWW向的水平拉伸作用所形成。这样的应力场与整个川西南地区的新构造应力场相吻合¹⁾。这期新构造应力场 (图6) 与形成米市向斜的构造应力场有着明显的差异。

(二) 关于节理频度在垂直剖面上的变化

节理频度随着深度的变化在本区比较明显, 引起这种变化的原因可能取决于多种因素, 不能简单地认为形成节理的水平构造应力随着深度的增加而减弱。事实上, 在地表以下几百米深的范围内, 作为引起地壳变形的水平构造应力不可能有很大的变化, 相反, 岩体本身所受的围压则随着深度的增加而明显加大。因此, 作者认为在均匀构造应力作用下, 随着围压的加大, 岩体中的节理频度相应减小。所以围压应是引起节理频度随深度增加而递减的主要原因。

(三) 关于剪节理在平面上分布的“疏”“密”韵律

在野外, 同一组剪节理的分布并不均匀, 而且一般总是表现出疏密相间或成束排列, 这种现象可称为剪节理的疏密韵律性^[1]。剪节理的这种分布特征在本区十分典型。形成这种现象的主要

1) 鄧永生, 1986, 试论金河背河断裂走滑特征。四川地质学报, 第6卷, 第2期, 第39—42页。

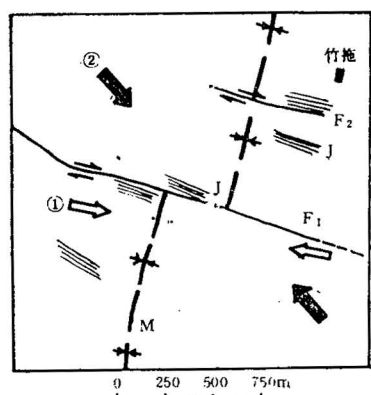


图 6 沙木拉打隧道区构造应力场略图

Fig. 6 Sketch map of the tectonic stress field in the Shamulada Tunnel area

①—第一期构造应力 (σ_1^1), 形成米市向斜; ②—第二期构造应力 (σ_1^2), 形成NW向断层和节理; F_1 —安子平移断层; F_2 —竹拖平移断层; J—节理密集带; M—米市向斜

1—The first stage of tectonic stress (σ_1^1), forming the Mishi syncline; 2—The second stage of tectonic stress (σ_1^2), forming the fault and joints of NW trends; F_1 —Anzi strike-slip fault; F_2 —Zhutuo strike-slip fault; J—joint concentration zone; M—Mishi syncline

原因可以认为是与构造应力在岩体中的分布状态有关。在构造应力作用条件相同的岩体中, 应力分布状态又取决于岩性。通常在刚性岩体中 (如 K_1^{x-6} 底部的巨厚层中砂岩), 应力传递均匀, 因此, 节理的分布也较均匀, 很少出现疏密相间的韵律或韵律表现不明显。相反, 在塑性相对较大的岩体中 (如本区的红色泥岩、粉砂岩), 由于应力传递不均匀而有可能形成应力集中带, 而导致节理发育的不均匀性, 形成疏密韵律。因此, 作者认为剪节理的疏密韵律主要出现在水平构造应力作用下的较塑性的岩体中, 并且, 根据上述节理频度在垂直方向上的变化规律, 剪节理的疏密韵律又主要出现在节理形成时的岩体表层, 在深部, 剪节理的这种分布特征就不明显了 (图4)。

上述研究的问题无论在理论上或是对水文地质和工程地质都有着重要意义。但所研究的问题仅仅是个探讨, 还有不少问题, 有待进一步研究。

罗健和杨怡同志对本文提供了不少帮助, 在此表示谢意。

参 考 文 献

- 〔1〕 马宗晋、邓起东, 1965, 节理力学性质的判别及其分期配套的初步研究。构造地质问题, 第15—30页, 科学出版社
- 〔2〕 Ruhland, M., 1973, Methode d'étude de la fracturation naturelle des roches associee a divers modeles structuraux. Sci. Géol. Bull. 26. 2—3 pp. 91—113 Strasbourg.
- 〔3〕 铁道部第二设计院第二总队, 1975, 红层工程地质条件的探讨。铁路工程地质经验汇编, 第69—89页, 人民铁道出版社。

JOINTS IN THE SHAMULADA TUNNEL AREA

Xu Wenlog

(Southwestern Jiaotong University Emei, Sichuan)

Abstract

The Shamulada Tunnel area is located in the middle sector of the Chengdu-Kunming Railway in the southwestern part of Sichuan Province, at the northern end of the Mishi syncline (Mesozoic red basin). A set of NW-trending steep shear joints are developed in red sandstone, mudstone and siltstone of the Lower Cretaceous Xiaoba Formation. Through measuring the section perpendicular to the joint strike and constructing the joint structure map, the author finds that the joint density

decreases with depth, and the joint frequency varies from 2—3 joints/m and is reduced to 5—12 joints/m at an elevation of 2250m above sea level. The joints exhibit an alternately dense and sparse distribution at the same elevation. The development of the shear joints is directly controlled by the lithology and thickness of the rocks. The lithologic ratio of joint development for sandstone and mudstone in the area is: sandstone/mudstone=5/6.

It has been confirmed that the NW-trending shear joints developed in the Mesozoic red beds are the product of neotectonic movements. The regular change of the joint frequency in the vertical direction may possibly be due to the confining pressure, while the alternately dense and sparse distribution of the joints in plan may possibly be due to the heterogeneous distribution of tectonic stresses in the rock body.