

大瑶山隧道 專題情报資料

第 三 期

大瑶山隧道科技情报组编印

1982年12月

新奥法 (NATM) 量测规则 (草案) 及解释

(日本隧道技术学会)



目 录

第一章 总 则

第 一 条	适用范围	1
第 二 条	量测目的	1
第 三 条	施工前调查	2
第 四 条	围岩分类	3

第二章 量 测

第 一 节 量测计划

第 五 条	量测计划	5
第 六 条	量测项目的选定	5
第 七 条	量测要点	7

第 二 节 A 项量测

第 八 条	洞内状态观察	7
第 九 条	净空位移量测	11
第 十 条	隧道拱顶下沉量测	16
第 十 一 条	锚杆拉拔试验	17

第 三 节 B 项量测

第 十 二 条	围岩试件试验	19
第 十 三 条	围岩内位移量测	20
第 十 四 条	锚杆轴力量测	22
第 十 五 条	衬砌应力量测	22
第 十 六 条	地表、地中下沉量测	25
第 十 七 条	洞内弹性波速度测试	31

第 四 节 量测管理

第 十 八 条	量测结果的设计反映	32
第 十 九 条	量测结果的资料积累	35

第一章 总 则

第一条 适用范围

本规则制定了用新奥法修建的隧道在施工中以及为今后用该法修建的隧道提供资料而提出的量测标准。

【解释】

新奥法的最大特点是在施工中一边多方面地、系统地进行围岩动态（行为）的量测，一边根据其结果把与当初设计不符的部分立即变更为适应现场情况的设计而进行施工。

本规则是针对这种方法中最主要的因素——量测而制定的，只提出了量测技术及其意义、量测要点等，未涉及用于设计、施工的具体方法。

因此，本规则提出了判定量测结果的施工管理标准的大致目标、量测结果的现场应用以及与提高隧道技术有关等事项。

新奥法在欧洲等国已有相当的经验，但在日本还处于初期，经验较少。在这种情况下编制新奥法的量测正式规则，在时间上及质量上都存在一些问题，故只作暂行标准。

所谓新奥法是在开挖初期，基于岩体力学理论，系统用喷混凝土、锚杆等主要支护手段，积极利用围岩自身所具有的强度，以求围岩稳定的一种方法。

本法创始人，奥地利的拉布塞维奇（Rabcewicz）教授曾就新奥法说明如下：

新奥法是一种极为重视在隧道开挖后的空间周围产生的应力重分布过程中的力学状态变化，而且谨慎地加以控制，以岩体自身为支护的方法。一般采用二种类型（喷混凝土和二次衬砌）的支护，因为最初的支护是一个柔性的外壳，或者只认为是一个防护性支护，故可按能使隧道达到适度的稳定来设计。一般场合用喷混凝土对岩壁表面加以防护，系统地配置锚杆，但视具体条件，可加设钢支撑、封闭仰拱等，在应力重分布过程中的隧道周边围岩动态（行为）及一次衬砌的动态应通过量测来控制。

另外，新奥法与以往施工方法的不同点是：过去方法的支撑作业是以把开挖后的岩体暂时地用支撑构件的强度来支承的形式出现的，正如拉布塞维奇所说，新奥法则是着重于围岩的稳定，即作为发挥被开挖的围岩本身所具有的作用，借助喷混凝土、锚杆等以求围岩稳定的方法。

因此，围岩稳定有怎样的变化要由量测来反映，并据此判断支护的规模、施工方法等合适与否，把它的过程科学地反映在施工中以达到安全、经济地修建隧道的目的。

第二条 量测目的

按下面所列举的项目提出为完成初期计划的隧道所需的资料。

1. 确保隧道周边围岩的稳定；

2. 作为日常施工管理的指标反映在设计中；
3. 为今后的工程计划积累资料。

【解释】

施工前首先应为设计和施工计划进行地质调查，但这种调查即使作得很细致，在地质条件复杂多变的日本，想合理地预估土压的大小、形态等往往也是很困难的。因此，用量测方法确认施工中的地质概况并与当初设计比较，对变化之处修改成符合现场的设计是这个方法的特点，这是一个不可缺少的环节。

此外，这种方法不仅能防止施工中的塌方事故，也能防止竣工后的变异等，由于把量测作为监视的手段，在安全管理上也是一个极有效的手法，其间的关系于示图 1。

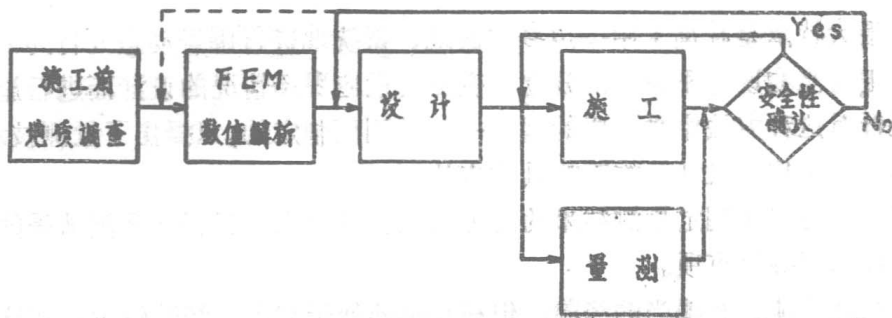


图 1 量测的地位

量测经常是与施工同时进行的，这表示测定的过程会直接反映在施工及设计中。

量测的具体目的是：

1. 根据围岩的行为，将各施工阶段的现状与原设计进行比较分析；
2. 检查理论上决定的支护力，根据量测值判断支护尺寸及支护效率是否恰当；
3. 确保施工现场的安全；
4. 测定施工对邻近建筑物的影响。

第三条 施工前调查

为取得决定设计标准及施工方法等资料，开工前应对地质构造及围岩物性等进行必要的调查和试验。

【解释】

在隧道工程计划期间的事前调查分为决定路线的调查和编制设计和施工计划的调查。此处的事前调查指后者。这项调查是为了决定与地质构造、围岩物性相适应的断面形状、开挖顺序及必要的辅助方法等，也是为了决定锚杆、喷混凝土、二次衬砌等各种参数而进行的。

为掌握地质构造、地下水状态所进行的调查，不管是过去方法还是新奥法都是以地质踏勘（包括航空摄影调查）、弹性波测试、钻探调查以及利用钻孔的各种调查等为主体的。但对围岩物性的调查，在新奥法中要求较高，应算出支护阻力以及围岩、支护结构的变形、应力等以便作出支护结构参数的预设计。

预设计所需的围岩物性常数以及其调查、试验项目列于表 1。

预设计所需的围岩物性常数 表 1

设计计算方法		围 岩 物 性 常 数
拉布塞维奇方法		单位容重 (γ)，粘结力 (C)，内摩擦角 (φ)
有 限 元 法	弹 性	单位容重 (γ)，弹性模量 (E)，泊松比 (ν)
	弹 塑 性	单位容重 (γ)，弹性模量 (E)，泊松比 (ν) 粘结力 (C)，内摩擦角 (φ)
	粘弹塑性	单位容重 (γ)，弹性模量 (E)，泊松比 (ν)，粘结力 (C)， 内摩擦角 (φ)，粘性系数 (η)

有关这些常数的现场试验及试件试验均列于表 3。

但是，根据这些试验求出的数值是试件的，或是部分围岩的，而且分散性较大，此外还随着时间历程、应力状态而有所不同，故照原样用于设计是不妥当的。为此有必要把事前调查和施工实态结合起来，而把这些试验结果作为大致标准加以适当修正。

决定设计标准及施工方法要参照地质构造，地下水状态和过去的经验，并与预设计的计算结果一起进行判断。

第四条 围岩分类

应基于开工前调查的结果对欲设计的隧道进行适宜的围岩分类

【解释】

取得开工前地质调查的结果后，首先针对整个隧道围岩的性质，根据构成成分（地质、生成年代及其特性）、劣化状况（破碎、变质、风化程度等）、含水状态及透水性等加以划分是很重要的。这些再加上地形条件（埋深等）和施工条件（隧道断面、工区长度、工期等）以及环境条件等就可能进行与实际的设计、施工有关的围岩分类，而且即使碰到预计的地质条件与实际的地质条件不同时也易于处理。

从这些出发，过去也进行过围岩分类，土木学会的《山嶺隧道技术规范》中用弹性波速度和地质条件的组合分类就是一例（图 2）。此外，这些分类与西欧各国的围岩分类的大致比较见表 2。

日本还没有完成有关新奥法的通用的统一围岩分类，这有待于今后实践经验的大量积累。

日本和西欧各国围岩分类对比表

表 2

日本岩体分类					弹性波速度 Vp (Km/s)	欧洲岩体分类																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
日本公路		建设省	日本铁道			法国	Pacher分类		Barton分类																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
岩质区分(I)	岩质区分(II)	岩质区分	硬岩	软岩		岩质区分	陶思	阿尔贝格	分类级	Q值																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
A	I	A	K	M	6.0	I	I	I	1-8	1000~100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
					5.0	II																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	II	B	H	I	4.0	II	II	II	9-15	100~10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
					3.0	III																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	III	C	I	II	2.0	V	II	II	15-25	40~0.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
					1.0	III																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	IV	D	I	I	III	V	a	V	26-33	1.0~0.01																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
											E	V	F	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III

第二章 量 测

第一节 量 测 计 划

第五条 量测计划

施工前，基于开工前调查结果，应充分考虑到其目的和隧道规模而编制与设计、施工相应的量测计划。

〔解释〕

在新奥法中量测是施工的一部分，据此可逐次变更当初设计使与围岩条件相适应并一边进行施工，这是新奥法的一大特征。

所以，在编制量测计划时，要充分考虑其目的和隧道规模，决定经济有效的量测项目、方法等，同时，量测手段和设施应充分考虑量测作业的安全，而且尽可能不妨碍施工。

第六条 量测项目的选定

在应用新奥法的工程中，应把下列各项的量测和试验作为标准：

1. A 项量测（日常量测）

- (1) 洞内状态观察；
- (2) 净空位移量测；
- (3) 拱顶下沉量测；
- (4) 锚杆拉拔试验。

2. B 项量测（在有代表性地点进行）

- (1) 围岩试件试验；
- (2) 围岩内位移量测；
- (3) 锚杆轴力量测；
- (4) 衬砌应力量测；
- (5) 地表、地中下沉量测；
- (6) 洞内弹性波速度测试。

〔解释〕

与隧道施工有关的量测项目列于表 3，从这个表中，选定了在重要性和实践上为新奥法所必需的 10 个项目。其中四个项目作为 A 项量测（确保隧道周边围岩稳定和反映设计、施工所进行的日常量测）。剩余的项目作为 B 项量测（为了解围岩和锚杆、衬砌等动态，以及编制今后的隧道工程计划和未开挖地段的设计、施工，而在有代表性地点进行的量测）。

在表 3 中，岩体直剪试验、三轴压缩试验、底鼓量测等均不包括在 A、B 两项量测中，但认为必要时，也是应进行的重要量测。

量 测 概 要 表 3

量 测 项 目		量 测 内 容	量测类型
现场 调 查 试 验	洞内状态观察	1. 了解岩质、断层破碎带、褶皱、变质带等的状态； 2. 了解喷混凝土等支护的变形	A
	洞内弹性波速度测试	了解松弛区域，地层的裂隙、变质程度以及岩体强度	B
	钻孔调查	与“洞内状态观察”之 1 同，采取围岩试件	
	利用钻孔的调查、钻孔测试	承载力（标准贯入试验）、水压、透水系数（涌水压试验）、变形系数（孔内水平加载试验）等	
	岩体直剪试验	围岩初始抗剪强度（ C 、 φ ），残余强度（ C' 、 φ' ），变形系数（ E_r ）	
	千斤顶试验	变形系数（ E_r ），地基反力系数（ K ）	
围 岩 试 件 试 验	单轴抗压试验	单轴抗压强度（ σ_c ），静弹性模量（ E ），静泊松比（ ν ）	B
	超声波传播速度测定	P 波速度（ V_p ），S 波速度（ V_s ），动弹性模量，动泊松比	B
	单位容重试验	单位容重（ γ ），含水量（ $w\%$ ）	
	吸水率试验	吸水率	
	压裂抗拉试验	压裂抗拉强度（ σ_t ）	
	流变试验	流变常数（ η ）	
	粘度分析试验	泥岩、温泉余土等软岩时，求得有关膨胀性的大致标准	B
	浸水崩解度试验		
	三轴压缩试验	粘结力（ C ），内摩擦角（ φ ），残余强度（ C' ， φ' ）	
	X 线分析试验	粘土矿物的种类（有无膨润土）	
	盐基交换容量	推求蒙脱土含量	

续表 3

施 工 管 理 量 测	量 测 项 目	量 测 内 容	量测类型
	净空位移量测	用断面的变形状态、位移的收敛状态、位移速度等来判断围岩的稳定性, 锚杆长度, 根数, 布置, 增设与否, 断面闭合时间等	A
	拱顶下沉量测	监视拱顶的下沉绝对值, 防止围岩崩坍	A
	锚杆拉拔试验	判断锚杆的拉拔力, 锚固效果及合理长度, 决定锚杆锚固方式及类型	A
	围岩内位移量测	了解隧道周边松弛范围, 求得决定锚杆长度的判断资料	B
	锚杆轴力量测	了解锚杆内应力状态, 根据锚杆的屈服强度、应力分布判断合理的锚杆长度, 增设与否等	B
	衬砌应力量测	土压大小, 分布, 衬砌内应力	B
	钢支撑应力量测	作用在支撑上的土压大小、方向, 侧压系数(K_0)	
	底鼓量测	判断是否需要仰拱及其效果	
	地表、地中下沉量测	隧道开挖时对地表的影响, 判断防止下沉措施的效果, 推求作用在隧道上的荷载范围	

第七条 量测要点

进行量测时, 应充分掌握其目的以决定量测项目、位置、测点布置以及量测频率等。

〔解释〕

各项量测的纵向间距, 横断面上的布置及量测频率等标准列于表 4。但在实际应用时, 应视量测目的以及已进行的量测结果的评价, 由主管技术人员视现场情况决定之。

第二节 A 项 量 测

第八条 洞内状态观察

洞内状态观察是为了解地质状态以及确认支护效果而进行的, 是隧道设计、施工以及量测的基础, 应进行正确的观察。

〔解释〕

地质调查在隧道设计、施工中是极重要的，主要在开挖面附近进行，据此在支护设计中用以判断那些基本布置合适与否，也有用以判断是否有必要追加支护的。例如，最初预计的量测断面 B，该地点是否良好，是否需要增设量测点，都需要根据地质调查决定之。再加上有必要获得预估开挖面前方的地质状态的资料，所以必须用指定的方法进行正确的观察。

开挖面的地质观察，原则上每天开挖后进行，地质变化显著的情况要酌情处理并记入图3所示的日报中。其次主管技术人员为了切实掌握其状况，把量测结果整理后放进地质剖面图（图4、图5）中是很重要的。

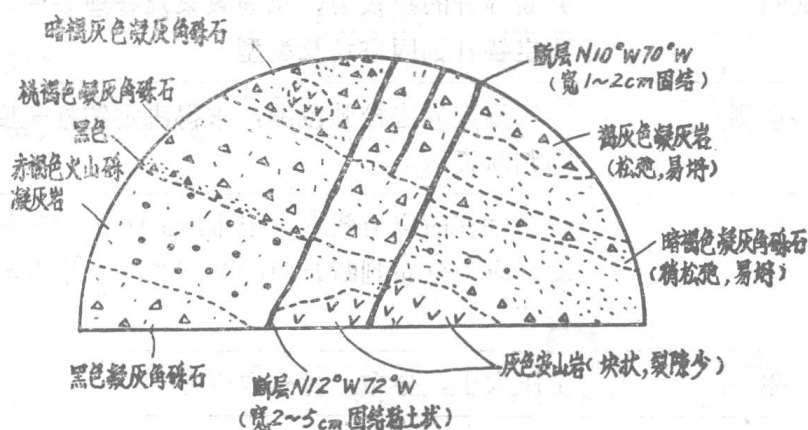


图3 开挖面素描图（上半断面）

在图中记载的事项有：

1. 地质（岩石名称）及其分布、性质；
2. 地层的固结度、软硬程度、裂隙数量、变质程度等；
3. 断层的分布及走向、倾角、粘土化软弱化的状态；
4. 涌水地点、涌水量及其状态；
5. 软弱层的分布状态等。

根据对开挖面自稳和地质性质的观察，决定支护参数，进行支护施工，但各种支护是否发挥了充分的支护效果，也有必要对支护的作用效果进行观察。

这样，在支护出现变形等情况下，应与开挖时所记录的地质状态相对照，研究是否需要采取措施。

观察要点可举出以下几项。

1. 锚杆

- (1) 打入位置、方向；
- (2) 锚杆、垫板的松弛；
- (3) 垫板向围岩方向挤入。

2. 喷混凝土

- (1) 厚度；
- (2) 开裂（发生位置、开裂类型、宽度、长度）；

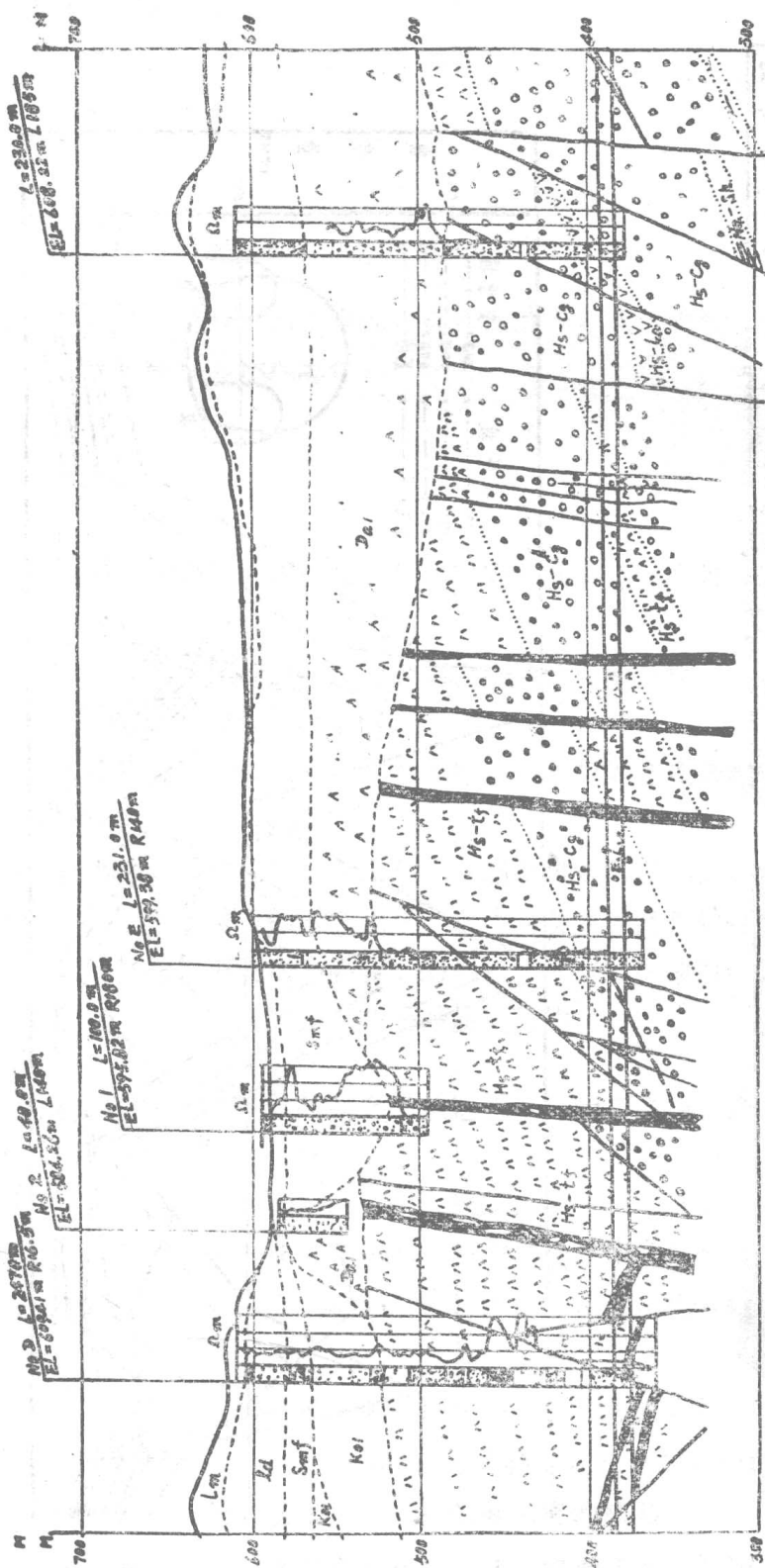


图 4 地质纵剖面实施图

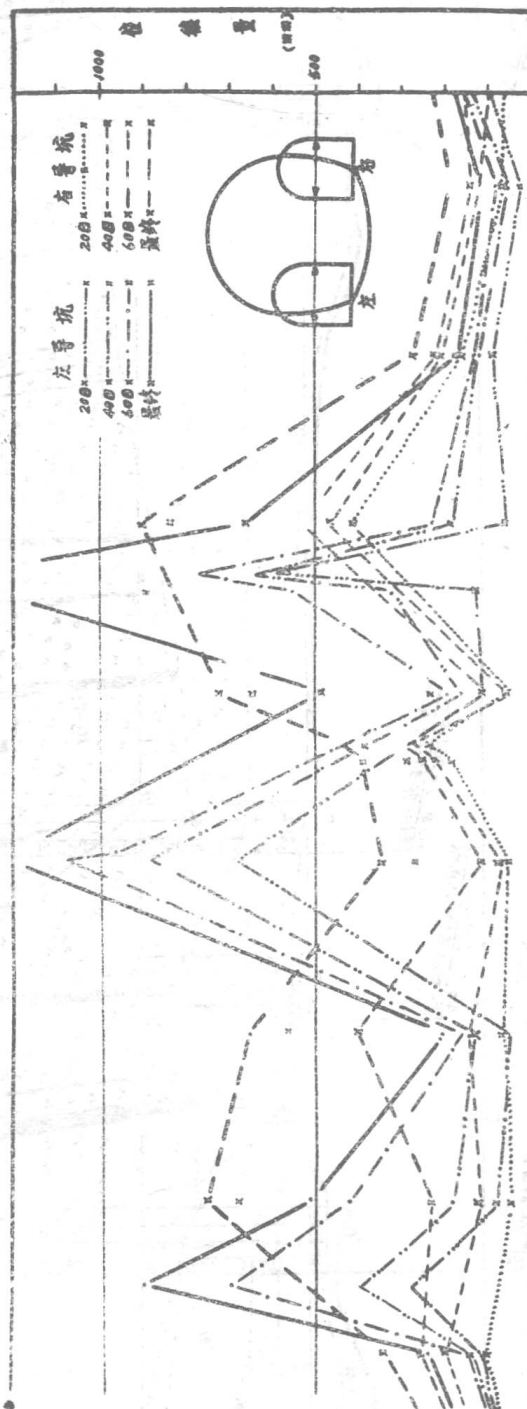
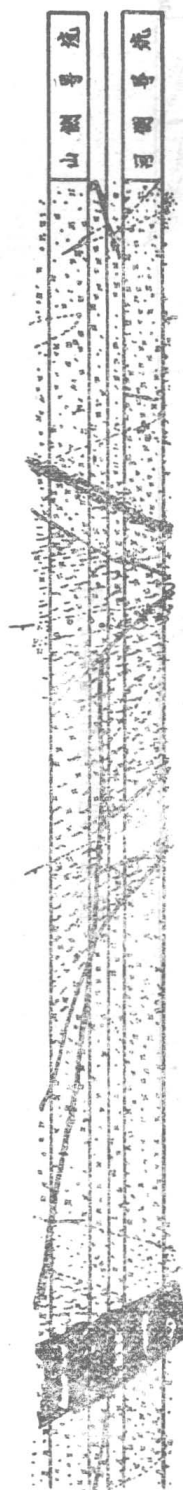


图 5 在施工基准面上的水平地质剖面图

(3) 涌水地点及其状态。

3. 钢支撑

(1) 变形、屈伏位置、状况；

(2) 向围岩方向挤入；

(3) 可缩式支撑的缩小状态。

4. 钢背板 弯曲状态。

第九条 净空位移量测

净空位移量测对研究隧道施工的安全性、支护的效果、支护的施工时间、方法等是最基本的资料，应采用位移量测用的标尺进行。

〔解释〕

1. 量测目的

(1) 开挖面开挖后尽可能早地预估最终位移值进行其安全性的研究，取得是否需要追加一次衬砌的判断资料；

(2) 取得由于下半断面开挖等对一次衬砌的安全性的判断资料；

(3) 取得二次衬砌灌注时间的判断资料。

为了确认锚杆和喷混凝土的效果及其安全性等，往往根据这项量测求出的隧道壁面的位移值和位移速度作为指标进行判定。

这项量测的作业比较容易，且量测地点数、量测频率都可以加到相当密，此外，即使不用专门的数学方法，如有一定可观的资料积累，上述的研究凭经验就可能加以判断。

为此，这项量测是作为把新奥法主要特点的增打锚杆、二次喷射、二次衬砌的施设时间及其数量对照地质状况而变更时的基本判断手段而进行的。

2. 量测器材

隧道净空位移量测要采用与隧道断面大小及地质状况相适应的、最合适的量测器材，但一般最好具备下列条件：

(1) 坚固耐久，安装容易，量测时没有个人误差；

(2) 量测精度（读数精度）约在 $0.1\sim 1\text{mm}$ 左右，视具体条件也可有高于 0.1mm 的；

(3) 用钢尺的净空位移计，每次量测都要保持恒定的拉力，或者视拉力的大小可以对钢尺的伸长加以校正。

量测精度（读数精度）要考虑是随隧道断面大小、预计的壁面位移值等而变化的，在膨胀性围岩中和位移较大的隧道中， $0.1\sim 1\text{mm}$ 左右的精度是充分的。在良好地质条件下和位移较小的隧道等，位移也小，故有要求达到 0.01mm 精度的情形。

奥地利在阿尔贝格隧道中，二次衬砌的施工时间，由表 5 所列的 30 天以内的净空位移值判断。

净空位移 mm (平均位移速度 $mm/天$)	混凝土强度 $\sigma_{28} (kg/cm^2)$
0~1 $mm/30$ 天 (0.00~0.03)	250
1~3 $mm/30$ 天 (0.03~0.10)	300
3~5 $mm/30$ 天 (0.10~0.17)	400

现假定正当 30 天达到 3 mm 的净空位移值时灌注二次衬砌的情况, 在灌注前净空位移的位移速度是 0.1 $mm/天$ 。

图 6 表示钢尺净空位移计的大致模式。视其种类, 有的没有恒定拉力装置。不管哪一种, 都应以恒定拉力量测或对拉力进行校正以把拉力变化纳入量测值误差范围之内。量测器材也有因温度变化而产生误差的, 要进行校正。此外, 应考虑使用在更换量测器材时不致因量测器材的磨损而影响量测结果的器具。

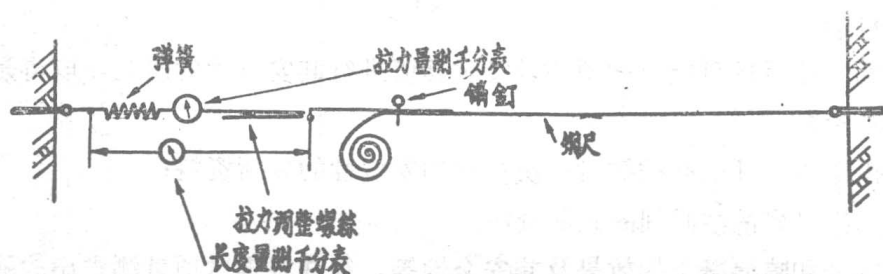


图 6 钢尺净空位移计

3. 量测器材的设置和量测要点

在洞内进行实地量测时, 有需要注意以下几点:

(1) 埋入螺栓和钢尺端头的接触状态, 每次量测都应处于相同条件下;

(2) 钢尺每次量测都给以恒定拉力, 在拉力发生变化的情况下应加以校正;

(3) 量测间距、测线布置 (图 7)、量测频率等最好按地质状态、预计的位移值、隧道断面大小等决定。尤其是, 工程初期阶段及地质状态可能变化的地段, 量测要加密进行。表 6 列出标准的基准。

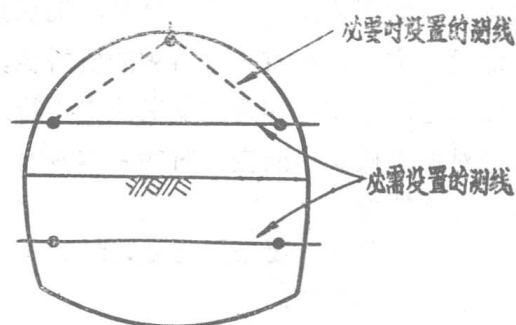


图 7 净空位移量测线的布置

量 测 频 率 实 例

表 6

类型	量测间距	布 置	量 测 频 率		
			0~15 天	16~30 天	31 天以后
A	10~50m	水平 2 测线	2~1 次/天	1 次/2 天	1 次/周
B	200~500m	水平 2 测线	2~1 次/天	1 次/2 天	1 次/周

上述的量测要点是作为最低基准而提出的，应视地质状况以及现场情况加以适当地变动。

在坚硬岩体中缩短整个量测时间是可能的，量测频率也可以减少，一般可视量测值加以改变。

变质性岩体和膨胀岩体，特别是埋深较浅的围岩等，往往量测频率要加密，量测间距也要缩小。

从上台阶开挖下台阶，需进行仰拱封闭等情况，也有必要加密量测频率。

关于量测间距，应视地质状况和土压状况而变，但一般在地质条件变化较大的场合等，有必要缩小间距。

连接钢尺端头的埋入螺栓尖头，应按量测方向牢固地埋设在隧道壁面上。

4. 记录的整理

量测结果的整理，原则上应具备下面所列的内容，必要时可供与工程有关人员查核。

- (1) 量测记录的资料卡片（表 7）；
- (2) 位移值的历时变化图（图 8）；

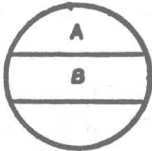
		量 测 项 目: <table><tr><td>测 线:</td><td>支撑编号:</td><td>距离:</td><td>开挖日期:</td></tr></table> 测点位置 				测 线:	支撑编号:	距离:	开挖日期:
测 线:	支撑编号:	距离:	开挖日期:						
天 数									
日 期									
上半断面	进 度								
	开挖面里 程								
	开挖面距 离								
下半断面	进 度								
	开挖面里 程								
	开挖面距 离								

图 8

表 7

14

(3) 位移值随开挖面进展的变化图 (图 9) ;

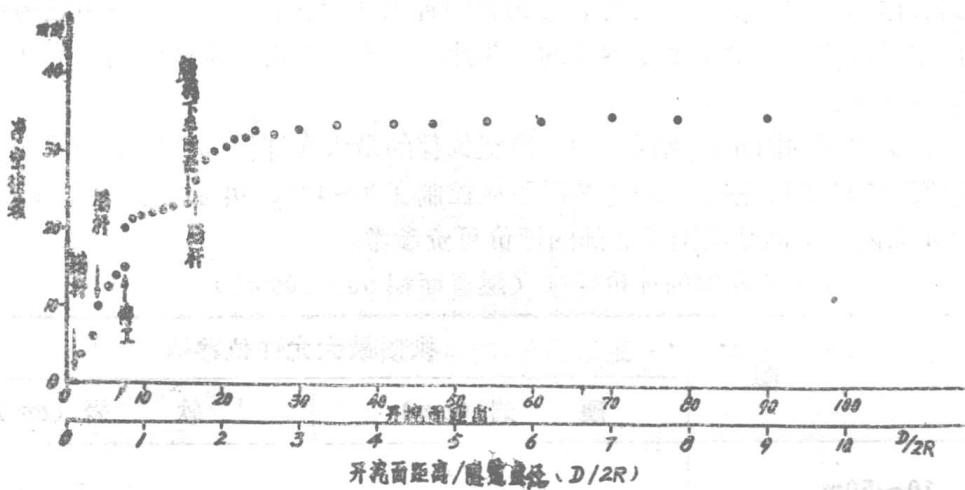


图 9 净空位移—开挖面距离图

(4) 位移速度的历时变化图 (图 10)。

上述各种图表,要同时记入开挖、喷混凝土、锚杆、支撑等的施工时间。

净空位移资料的表达,最基本的是位移值历时变化图、位移值随开挖面推进的变化图,但对判断位移的收敛状况最有效的是位移速度历时变化图。此时,位移速度或时间哪一个用对数座标表示,可视利用目的而选择。

在已经有了为便于理解位移速度的变化与开挖面位置的关系而作成的图 8 (位移值的历时变化图)的情况下,有时就不一定要另外再整理图 9 与图 10 了。

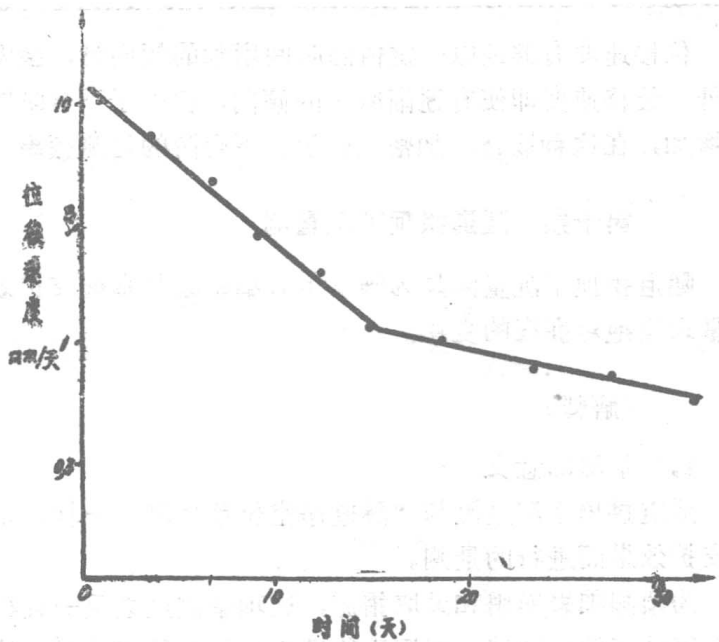


图 10 位移速度—时间关系图

5. 评价的大致标准

在新奥法中,评价的基准或允许值视现场状况而异,还没有确立统一的基准值,但大致可按下列事项进行评价:

(1) 位移值

最大位移值要收敛在设计变形富余量之内,预计超过变形富余量时,应立即采取增打锚杆、喷射混凝土等追补措施。

(2) 位移速度

二次衬砌的灌注最好在长时间位移收敛后进行。