

变形速率比值判据与猫山隧道工程验证*

李世辉¹, 宋军²

(1. 总参工程兵第四设计研究院, 北京 100850;

2. 铁道建筑第十四工程局四处, 广东 新会 529149)

[摘要] 为了初步解决新奥法隧道工程支护初期缺乏有效的、定量的围岩稳定性判据以及塌方事故多见的技术难题, 文章论述了变形速率比值判据假说的依据, 得出阈值的方法及应用中常的五种典型情况; 猫山公路隧道施工中正反两方面的演绎证明, 两个断面应用变形速率比值判据预报险情, 化险为夷, 另一断面中止应用此判据后, 发生大塌方; 变形速率比值判据是一种典型信息法, 是一种假说—演绎方法, 是从定性到定量综合集成法的一种初步应用。

[关键词] 开放的复杂巨系统; 塌方事故; 变形速率比值判据; 典型信息法; 假说—演绎方法; 综合集成法

[中图分类号] U45 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2002)06-0085-07

1 变形速率比值判据

1.1 现行围岩稳定性判据的主要问题

隧道围岩稳定性的现行判据, 概括了当时国内外新奥法(New Austrian tunneling method, NATM)隧道工程监控量测的经验, 提高了工程的安全性和经济性, 但尚存三个主要问题:

1.1.1 判据与量测断面的地质条件与施工状况缺乏具体联系 各个隧道工程地质条件不同, 施工措施与进度各异。但是现行围岩稳定性判据来自以往新奥法工程的施工监测经验, 未能紧密结合当前工程对象量测断面的具体地质条件和施工状况, 塌方事故往往难以避免。以20世纪80年代两个重点工程为例: 全长14.295 km的大瑶山铁路隧道, 施工进展虽比较顺利, 但开挖至10 km, 发生中小型塌方(高1~9 m)29处, 平均每公里近3处^{[1]①}。军都山铁路隧道设计阶段地质勘察中测得大小断层5条, 施工中出露大小断层达100多条, 1985年发生大小塌方21次, 处理塌方占当年总工时的40%^[2]。

国外有的规范强调地层条件和施工状况的重要性, 如美国“隧道衬砌设计指南”中指明, 在观测过程中, 应该把重点放在地层条件和施工措施的直接视觉鉴别和细微记录上, 并力求详细^[3]; 而“日本隧道标准规范及解释”则强调, 进行量测时重要之点, 不单是从仪器上取读数及整理数据, 而且要经常掌握量测值与施工状况间存在的关系^[4]。但是, 如何得出定量的、适用于千变万化的隧道地质条件和施工状况的稳定性判据, 多年来仍是国内外的一个技术难题。

1.1.2 以变形量或变形速率为主的判据 围岩稳定状态的判断是围岩—支护系统动态相互作用的力学问题。在国内外有关规范中, 围岩稳定性判据均以变形值或变形速率为主(变形加速度的现场实测困难), 而用于软弱围岩往往实效不佳。根据牛顿运动定律, 物体从运动转变为静止状态的必要条件是, 加速度由负值渐趋于零。因此, 围岩稳定性判据应以变形加速度为主, 辅以变形值(趋于常量)或变形速率(趋于零)。软弱围岩通常具有流变性, 如果规范规定变形加速度和变形速率为零或接近于

[收稿日期] 2001-12-03; **修回日期** 2002-01-14

[作者简介] 李世辉(1932-), 男, 北京市人, 总参工程兵第四设计研究院高级工程师

* 中国科学院工程地质力学开放研究实验室资助课题

①铁道部隧道工程局. 大瑶山长大铁路隧道修建新技术, 1998. 121~125

零, 难免支护过强或耗时过久, 实用性差。因此, 具有工程实用价值的围岩稳定性判据的核心, 应是绝对值尽可能大的、又能确保围岩趋于稳定而不会逆转的变形加速度阈值。这是课题的第二个难点。

1.1.3 缺乏隧道开挖后支护初期的定量判据 隧道工程软弱围岩通常难以避免。开挖后支护初期围岩稳定性急剧变化, 向稳定或失稳转化的可能性并存。大瑶山、军都山隧道上述塌方, 都发生在这个阶段。“日本隧道标准规范及解释”强调, “开挖工作面附近的量测结果应作为重点, 将结果立即反映到设计、施工中是必要的”, 但同时指出, “想用数值表示常常是很难的”^[4]。这是课题的第三个技术难题。

有的国外规范有个别的定量规定, 但均非关键性的变形加速度判据。如日本“NATM设计施工指南”指出, “当最大位移速度大于20 mm/d, 必须采用特殊模式”^[5]。国外也有工程规定, 一天的容许位移值应不大于容许变形值的1/5~1/4^[6]。

1.2 软岩隧道支护初期围岩稳定性判据研究原则

为了判据明确、应用简便, 定义: 隧道开挖后开始进行初期支护, 至预设计初期支护施作完成后24小时之内, 为隧道支护初期。将洞室周边收敛量测值和拱顶下沉(位移)量测值, 统称围岩变形值, 或变形值; 将二者的速率统称围岩变形速率, 或变形速率。

1.2.1 围岩—支护系统是一个开放的复杂巨系统

隧道周围岩体(围岩)是地质体的一部分, 经历多次地质构造运动的变形、再变形, 破坏、再破坏^[2]。虽然近代区域地质通常很少变化, 但是隧道施工中, 在人为因素造成的围岩再变形与再破坏的触发下, 围岩原有的非均质、不连续、非线性、流变性的复杂特性, 与未知的地应力场、地下水渗流场等环境因素动态相互作用, 力学性态逐点、甚至逐时发生着变化。实践表明, 为了有效地认识与控制如此复杂多变的对象, 按照常规的思路方法——获取充分的原型信息, 所需技术、经济和时间条件远远超出任何地下工程的实际可能^[7]。

围岩—支护系统的子系统种类多、层次多, 它们之间关系复杂, 中间的层次甚至还不清楚; 施工中与外界有物质、能量、信息的交换。围岩—支护系统符合开放的复杂巨系统的本质特征^[8,9]。

1.2.2 有效处理方法是定性到定量综合集成法 开放的复杂巨系统目前还没有形成从子系统相互

作用出发构筑出来的统计力学理论。单纯的理论分析或经验分析实效不佳。现在能用的、唯一能有效地加以处理的方法, 就是从定性到定量综合集成法。在应用中通常是科学理论、经验知识和专家判断力相结合, 提出经验性假说(判断或猜想)。这些经验性假说虽不能用严谨的科学方式加以证明, 但可以用经验性数据和资料对其确实性进行检验^[10]。

1.2.3 稳定性判据的决定因素是围岩变形加速度

围岩—支护系统既然是动态系统, 其稳定性判据虽与变形值、变形速率有关, 但决定因素应是变形速率的增减倾向, 即变形加速度。为了简明实用, 以后次与前次变形速率实测值的比值表示围岩变形速率的增减倾向。在支护初期, 变形速率比值不仅应小于1.0(负加速度), 而且, 随着支护的分层分次施作, 此比值应迅速降到某一阈值以下, 并渐趋于零。

1.2.4 判据必须符合每个量测断面的地质条件与施工状况

用实测围岩变形速率(或变形值), 从整体上反映隧道量测断面地质、施工状况, 是新奥法的精髓。充分利用各个工程实测的“围岩变形速率的比值”进行稳定性判别, 符合新奥法原理。在此基础上, 充分利用典型隧道工程围岩—支护系统的变形监测资料, 从中选取由不稳定状态确已转化为稳定状态的若干典型断面量测资料, 作为隧道工程典型性力学问题, 用数理统计方法得出变形速率比值判据的阈值。这一判据充分反映了当前隧道量测断面与典型性力学问题代表性的地质、施工状况, 是复杂性问题研究中的一种假说—演绎方法。

1.2.5 判据应可概略定量使用 隧道工程实用精度要求, 即本项研究中稳定性判据的合理要求, 不是可供精确的定量使用, 而是要求定性规律符合实际, 可供概略的定量使用。随着隧道工程应用这一判据进行验证的统计资料增多, 判据阈值的误差将趋于减小^[7]。

1.2.6 变形速率比值、变形速率与变形值三者的地位 在施工中, 围岩变形速率比值必须运用多种手段即时地、有效地加以控制, 这是首要的。对变形速率则在必要时(实测最大变形速率大于既往总结的经验值时)必须加以控制; 对变形值则酌情加以控制, 或适当修正允许值。

1.3 变形速率比值判据

1.3.1 已知条件 为了便于稳定性判据的普遍适

用，以我国现行规范对围岩分级与围岩变形监测的有关规定^[11]，作为判据研究与应用的已知（前提）条件，列举如下：**a.** 预设计中已根据围岩级别（采用国家标准《工程岩体分级标准》与国家军用标准《防护工程设计规范》中围岩分级的适用范围，不包括土和膨胀岩等）和毛洞跨度，查表预选初期支护类型与参数；**b.** 围岩变形监控量测数据，采用随时间变化的 $u-t$ 曲线表示；**c.** 洞周允许相对收敛量（%）根据围岩级别（并区分脆性岩体和塑性岩体）和隧洞埋深查表得出，并据以计算允许变形值 u_0 ；**d.** 测点初读数应在爆破后 24 h 内、下一循环的爆破前取得，测点距开挖工作面不应超过 2 m；**e.** 除规范规定外，补充简化假定：一是除特别说明外，开挖工作面正常推进，二是量测断面附近围岩级别不变。

1.3.2 变形速率比值判据

1) 根据上述原则与已知条件，提出适用于软弱围岩隧道支护初期的围岩稳定性判别法——变形速率比值判据（经验性假说）为：预设计初期支护全部施作后 24 h 内的围岩变形速率 v 与该断面实测围岩变形速率最大值 v_0 （通常为初测值）的比值，如小于既往典型工程监控量测资料中由可能失稳确已转化为稳定状态的若干断面的典型量测资料统计得出的该比值的阈值（ $[v/v_0] = 5\%$ ），预计该断面围岩趋于稳定；如有流变，以施作后期支护处理。变形速率比值判据如式（1）：

$$v/v_0 < [v/v_0] = 5\%。 \quad (1)$$

2) 变形速率比值判据应用说明，实测变形速率比值达 50% 左右，表示变形速率略有减小，距围岩稳定相差甚远；比值达 20% 左右，表示变形速率显著减小，需加强支护，否则仍有转为失稳的可能；比值为 5%~10%，根据小样本 t 分布统计原理，置信概率 0.90 将趋于稳定，但施工中仍应注意监控量测，使该比值确已减小到 5% 之内，防止意外反弹。

考虑到地质条件复杂多变（例如，进入雨季地下水渗流剧增），变形速率比值小于 5% 之后，仍应按照规范继续监控量测，至围岩完全稳定为止。

3) 变形速率比值判据的初测值补充判据。当初测时出现下列情况之一时，应立即加强支护：**a.** 实测围岩变形速率最大值 $v_0 > 20 \text{ mm/d}$ ；**b.** 一天的实测变形值达到允许变形值 u_0 的 $1/5 \sim 1/4$ 以上；**c.** 喷射混凝土出现大量的明显裂缝。

1.3.3 变形速率比值判据阈值典型信息统计^[7]

本课题典型信息源取自第一作者亲身参加围岩变形监控量测的 20 号工程。该工程是一项风险很大的极软岩坑道工程，其围岩变形监测与岩体力学参数原位测试工作量分别是国内外知名隧道工程的几倍至几十倍以上。课题组在长达 5 年的施工监控量测中，以经验方法多次预报险情，成功处理并化险为夷；20 号工程围岩变形量测资料与成功经验，在软弱围岩稳定性监测中具有典型性。变形速率比值判据阈值由 20 号工程中 14 个量测断面的实测资料统计得出，包括曾经预报险情、并已成功处理的 5 个断面及其前后有关断面。统计资料见表 1。

统计结果表明，施加预设计支护后，围岩变形速率比值范围值为 2.3%~100%；预报险情加强支护后，趋于稳定的围岩变形速率比值 v/v_0 的范围值为 0.6%~8.6%，均值为 5.02%；均值与 2 倍均方差之和为 10.04%。据此判定，软弱围岩趋于稳定的变形速率比值的阈值可取 5%。若固定 2 倍均方差作为极限误差，则样本容量 $n = 14$ 时， t 分布置信概率为 0.90，即 90% 的可能性趋于稳定。用典型信息法得出的判据阈值，有待工程实践演绎证明。

1.3.4 应用变形速率比值判据常见的五种典型情况 总结新奥法隧道监控量测经验，可用 5 条位移-时间 $u-t$ 曲线概括隧道开挖后支护初期围岩稳定状态常见的五种典型情况，如图 1 所示。图 1 中各 $u-t$ 曲线的不同点主要是稳定状态与趋势不同，变形值与允许变形值的大小不同。五种典型情况的具体说明及相应的处理方法，在下一章结合工程实例加以说明。

2 猫山公路隧道施工中的应用验证^①

1989—1995 年，变形速率比值判据研究阶段性成果曾作为四期“典型类比分析法讲习班”的讲授内容，并以文献[12]发表；1996 年在 SCI 收录的国际期刊以经验性假说的形式发表^[13]，经初步工程应用验证后，1998 年纳入国家军用使用标准《防护工程设计规范》。由于进行验证的工程受地质条件的限制，而且在施工中预有准备、加强支护、严密监控，实际上此前并未发生重大险情。因此，该判据有待严格的、全面的演绎证明。

① 广东省冠粤路桥工程公司. 猫山公路隧道工程技术, 2001

表1 典型工程典型量测断面围岩变形速率比值统计表
Table 1 Statistical figures of surrounding rock deformation rate ratio measured at typical measurement section of typical project

序号	测量断面	围岩变形速率最大值 v_0 /mm·d ⁻¹	预设计支护后围岩变形速率 v_1 /mm·d ⁻¹	v_0/v_1 /%	加强支护后趋于稳定的围岩变形速率 v_2 /mm·d ⁻¹	v_1/v_2 /%	趋于稳定的围岩变形速率比值阈值 v/v_0 /%
1	1—3*	11.60	1.71	14.7	0.32	2.8	2.8
2	1—4	1.88	0.125	6.6			6.6
3	1—7	12.0	0.97	8.1			8.1
4	1—8	5.99	0.396	6.6			6.6
5	1—9*	54.67	16.39	30.0	4.70—1.01	8.6—1.8	8.6—1.8
6	1—10	20.27	0.85	4.2			4.2
7	1—11	13.0	3.22	24.8	0.326	2.5	2.5
8	1—12*	62.74	17.26	27.5	2.59	4.1	4.1
9	1—13*	27.14	11.98	44.1	2.23	8.2	8.2
10	1—14	18.83	7.34	39.0	0.67—0.40	3.6—2.1	3.6—2.1
11	1—15	1.68	0.10	6.0			6.0
12	1—16	1.75	0.04	2.3			2.3
13	2—2	4.2	0.26	6.1			6.1
14	2—4*	22.54	22.54	100.0	0.134	0.6	0.6
统计值	均值						5.02
	样本均方差						2.50

* 20号工程施工监测中曾预报险情,并成功处理的5个断面

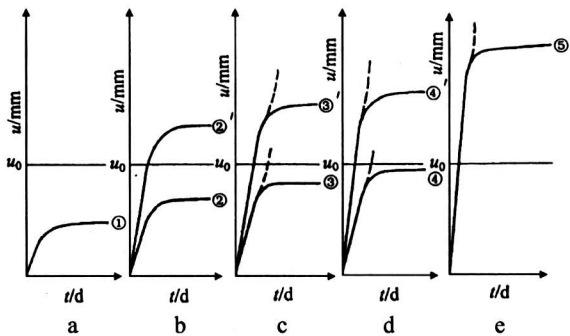


图1 围岩变形速率比值判据应用中五种典型情况

Fig.1 Diagram showing five typical cases on use of deformation rate ratio criterion

2.1 猫山公路隧道工程概况

猫山隧道位于广东省西部高速公路新会市崖门口崖门大桥桥头,双洞连拱结构。单洞开挖跨度13.15 m,轴线长411 m。隧道围岩为中粗粒花岗岩,裂隙发育,围岩分属V、IV、III级。该工程地质勘察报告称:隧道通过路段不存在构造断裂。但是,在隧道开挖中先后出现4条较大的断层,分别宽1~2 m,软弱围岩区段占隧道总长的一半以上;部分区段围岩松散破碎,富含地下水,稳定性极

差。猫山隧道由中国铁道建筑总公司第十四工程局四处中标承担施工。由于猫山隧道地质条件与勘察报告反差较大,施工中险情一再发生,使变形速率比值判据得到一次严格的、比较全面的工程验证。

2.2 猫山隧道工程应用变形速率比值判据的成功实例

2.2.1 实例1:支护保守(典型情况1,见图1a)

猫山隧道1#洞K7+170—K7+100段属III级围岩,埋深32~60 m,岩体为微风化花岗岩,巨块状结构,完整性好;允许变形量(收敛值,下同) $u_0 = 24.0$ mm。预设计支护参数为:C25喷射混凝土(C25下同)厚10 cm;锚杆 $\phi 22$ mm,长300 cm,间距 \times 排距=100 cm \times 100 cm; $\phi 6$ mm钢筋网间距25 cm \times 25 cm。在拱部45°角范围内锚杆尚未施作,复喷混凝土(初喷厚4 cm)落后于开挖工作面100 m的情况下,实测3个断面围岩变形速率比值 $v/v_0 = 1.34$ %,已远低于阈值,且最大变形量 $u = 4.4$ mm,远小于允许变形量 $u_0 = 24.0$ mm,说明围岩已经基本稳定,预设计偏于保守,与图1中曲线①同类。据此,施工单位建议将该区段拱顶两侧45°内的锚杆减少到1/4,以节省投资。由于未及时获得有关方面认可,未能实现。

2.2.2 实例 2: 支护适当 (典型情况 2, 见图 1b)

猫山隧道 1# 洞 K7+190 断面及其前后断面, 埋深 24 m, III 级围岩; 允许变形量 $u_0 = 24.0$ mm, 预设计初期支护参数与实例 1 相同。初期支护施作完成后, 实测最大变形量 $u = 7$ mm ($u < u_0$), 变形速率比值均小于 5%, 围岩已趋于稳定, 与图 1 中曲线②同类, 监控量测证明本断面预设计支护参数适当。当实测最大变形量 $u > u_0$ (即曲线②'), 且 u 已大于设计预留量, 可在下一循环开挖时适当增加预留变形量, 或加强支护使 $u \leq u_0$ 。

2.2.3 实例 3: 支护不足 (典型情况 3, 见图 1c)

猫山隧道 2# 洞 K6+944—K6+964 段埋深约 30 m, 预设计取 IV 级围岩; 允许变形量 38.0 mm。初期支护参数: 喷射混凝土厚 20 cm; 锚杆 $\phi 22$ mm, 长 350 cm, 间距 \times 排距 = 100 cm \times 100 cm; $\phi 6$ mm 钢筋网间距 25 cm \times 25 cm。隧道开挖后初喷厚 8 cm, 锚杆安装完毕, 量测断面 K6+948 (埋深 30.8 m) 首次施测变形速率 $v_0 = 24.31$ mm/d, 量测组当即做出险情预报, 随后第二天发现拱顶明显开裂 2~3 cm 宽, 钢筋网部分挤出。当天下午架设格栅钢架并复喷至厚 20 cm, 变形速率降至 8.02 mm/d, $v/v_0 = 33\%$, 裂缝继续发展, 第四日又发现新裂缝, 当即停止掘进, 加喷混凝土至 25 cm 厚, 并加密锚杆至间距 \times 排距 = 50 cm \times 50 cm 时, 变形速率比值降至 3.6% $< 5\%$, 围岩趋于稳定, 避免了一次塌方事故。实测变形量 $u = 82.4$ mm, 已远大于允许变形量, 但小于设计图纸给出预留变形量 120 mm。如最大变形量大于设计图纸给出预留变形量, 处理措施与典型情况 2 相同。

此后, 在该段施工中, 施工单位建议改按 V 级围岩软质岩的初期支护施工, 最终得到采纳。支护参数: 喷射混凝土厚 25 cm; 锚杆 $\phi 22$ mm, 长 350 cm, 间距 \times 排距 = 75 cm \times 80 cm; $\phi 6.5$ mm 钢筋网间距 20 cm \times 20 cm; 格栅钢架主筋 $\phi 22$ mm 4 根, 间距 20 cm \times 20 cm, 钢架纵向间距 75 cm。施工中未再出现险情。

2.2.4 支护不足有流变 (典型情况 4, 见图 1d)

猫山隧道工程未提供流变监测资料与典型情况 4 的实例。曲线④或④'与典型情况 3 大体相近, 不同点是: 当变形速率比值小于阈值后, 围岩变形仍以流变形式增长, 处理措施是在典型情况 3 的基础上, 按规范规定施作后期支护。根据 20 号工程经验, 如施工工期许可, 后期支护的施作宜晚, 以避

免衬砌开裂。

2.2.5 实例 4: 即将失稳, 应立即封闭仰拱 (典型情况 5, 见图 1e) 猫山隧道 2# 洞 K7+190 断面, 埋深 24.6 m, 岩体破碎松散, 富含地下水, 属于 V 级软质岩且近于下限; 允许变形量 $u_0 = 65$ mm; 初期支护参数取 V 级软质岩 (见实例 3), 初期支护全部施作后开始掘进, 围岩变形速率初测值 $v_0 = 21.32$ mm/d, 量测组当日 17 时发出险情预报。由于现场施工人员认识不足, 开挖工作面继续掘进, 第二天上午 7 时发现两侧墙喷层开裂, 裂缝最大宽度 4.2 cm, 部分钢筋网挤出。经研究决定, 在现有初期支护基础上再设一层 $\phi 6.5$ mm 钢筋网, 并复喷至 30 cm 厚。第四天变形速率已明显减小 (比值 $v/v_0 = 19.4\%$), 但仍应继续加强支护。此时喷层仍有开裂, 第二层钢筋网仍有少量挤出现象。现场主管工程师依据变形速率比值判据, 决定立即停止掘进, 灌注 60 cm 厚钢筋混凝土仰拱。24 h 后变形速率比值降至 $v/v_0 = 4.1\%$, 围岩趋于稳定, 避免了又一次塌方事故, 参见图 2。实测最大变形量 $u = 113.4$ mm, $u \gg u_0$, 但小于设计预留变形量 150 mm。

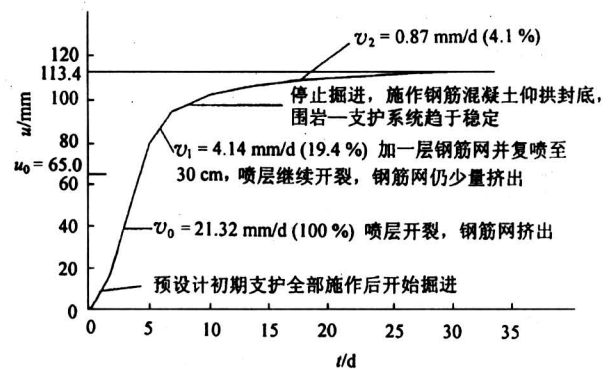


图 2 2# 洞 K7+190 断面围岩变形-时间曲线、变形速率比值与相应施工情况

Fig.2 Surrounding rock convergence-time curve, deformation rate ratios and corresponding conditions in construction at K7+190 section of No.2 tunnel

2.3 猫山隧道工程中应用变形速率比值判据发生大塌方

猫山隧道 2# 洞 K7+210—K7+196 段位于冲沟与断层破碎带交会处, 应属 V 级极软岩。预设计初期支护参数取 V 级软质岩 (见实例 3)。预设计初期支护施作完成后 3 天, 埋设了 K7+210 量测

断面(埋深17 m)。6月20日上午11时,在掘进至K7+208时,量测断面出现最大变形速率 $v_0 = 20.84 \text{ mm/d}$,量测值发出第一次险情预报。在拱顶两侧 45° 范围内加强支护(将锚杆间距 \times 排距 $= 75 \text{ cm} \times 80 \text{ cm}$ 改为 $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$)后,至6月24日变形速率比值 $v/v_0 = 28.4\%$,施工现场工程师根据变形速率比值判据判断:变形速率已经有较大降低,应继续加强支护,使围岩趋于稳定。由于有关方面认为加强支护增加成本并非必要,不予支持,施工单位不得不中止应用变形速率比值判据,仍按原设计初期支护参数施工。至6月30日变形速率 $v_0 = 23.55 \text{ mm/d}$, $v/v_0 = 113.0\%$,量测值发出第二次险情预报,施工单位向有关方面汇报,继续施工。7月2日上午10时量测,变形速率比值 $v/v_0 = 187.0\%$,迅速发出第三次险情预报,但一直未能引起有关方面的重视;其间喷层开裂、钢筋网挤出,均如前例。7月2日以后连降大雨,7月8日10时量测值 $v/v_0 = 330.1\%$,量测值做出第四次险情预报。8日15时再次量测,围岩变形值达 507.43 mm ,变形速率 $v = 175.89 \text{ mm/d}$,变形速率比值已达 $v/v_0 = 844.0\%$,量测值发出第五次险情预报,现场工程师发出指令,要求施工队迅速把人员、机械设备撤出洞外,并立即向管理方作紧急汇报。8日20时,量测组冒险做了最后一次量测,围岩变形量达 570.08 mm ,变形速率 $v = 300.72 \text{ mm/d}$,变形速率比值 $v/v_0 = 1443\%$,此时连降暴雨已达10 h。9日晚20时左右,猫山隧道发生大塌方,塌方高 $17 \sim 24 \text{ m}$,沿轴线长 14 m ,塌方体积 720 m^3 。由于险情预报及时准确,塌方未造成人员伤亡与机械损失;此后在抢修中,施工单位精心组织,措施合理,仍耗时2月余,耗资100余万元,方通过塌方段。对于一个新事物,人们的认识难免有个过程。实践证明:猫山隧道工程有关各方当时如能认识到应用变形速率比值判据的必要性,此次塌方是完全可以避免的。

3 结语

本文总结国内外新奥法围岩变形监测新鲜经验,探索出典型信息与原型信息结合的一种典型信息法新形式,应用理论分析、专家经验、信息资料三者结合的综合集成法,提出的变形速率比值判据,初步解决了既要从本工程地质条件与施工状况出发,又要在隧道支护初期复杂多变的施工动态过

程中,有效地判别围岩稳定性的定量判据的技术难题。隧道工程的复杂多变性,决定了变形速率比值判据仍应在工程实践中继续检验并补充完善。

猫山隧道大塌方的典型意义在于:在一个围岩软弱、勘测不足、险象环生的大跨度隧道施工中,并无丰富的监控量测经验的一位现场工程师,应用变形速率比值判据,不仅在两个断面成功地预报险情,化险为夷,而且在另一断面一再预报险情,正在成功处理之时,由于有关方面不予认可,功亏一篑,使完全能够避免的一次大塌方降临。在隧道工程史上,首次应用隧道支护初期的围岩稳定性定量判据,以若干断面围岩变形监测的时间序列数据为依据,从正反两方面证明:隧道工程中相当多的塌方是完全能够避免的,并且为变形速率比值判据的科学合理性,提供了一个比较全面的、严格的演绎证明。

致谢:20号工程监控量测资料和经验,是“坑道工程围岩分类与支护应用”课题负责人邢念信先生与徐复安、刘清、董国民、窦万和、赵玉绂、喻仁元、李登云、李守柱、汝兴武、任宇生先生等,以及第一作者在该组多年团结共事,忘我拼搏获取的成果;典型信息法在猫山隧道工程应用得到刘陌生先生的全力支持,谨此一并致谢。

参考文献

- [1] 李华晔. 国内外地下洞室建设与地质灾害综述[A]. 中国岩石力学与工程学会编. 中国岩石力学与工程学会第五次学术大会论文集[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1998. 63~69
- [2] 孙广忠. 工程地质与地质工程[M]. 北京: 地震出版社, 1993
- [3] [美] O'Rourke T D. 隧道衬砌设计指南[M]. 侯学渊, 李桂花, 孙逸民译. 北京: 中国铁道出版社, 1984
- [4] [日] 土木学会. 日本隧道标准规范(山岭篇)及解释[M]. 1986改订版. 关宝树等译. 成都: 西南交通大学出版社, 1988
- [5] [日] 国有铁道建设局等. NATM设计施工指南[J]. 吴佛明译. 铁道标准设计通讯, 1986, (总252): 1~120
- [6] 关宝树. 隧道力学概论[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1993
- [7] 李世辉, 赵玉绂, 徐复安, 等. 隧道支护设计新论——典型类比分析法应用和理论[M]. 北京: 科学出版社, 1999

- [8] 钱学森. 再谈开放的复杂巨系统[A]. 钱学森, 黄秉维, 竺可桢, 等. 论地理科学[M]. 杭州: 浙江教育出版社, 1994. 164~171
- [9] 李世辉, 吴向阳, 尚彦军. 地下工程半经验半理论设计方法的理论基础——围岩—支护系统是一种开放的复杂巨系统[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(3): 299~304
- [10] 钱学森, 于景元, 戴汝为. 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论[J]. 自然杂志, 1990, 13(1): 3~10
- [11] GBJ86-85, 锚杆喷射混凝土技术规范[S]. 1985
- [12] 李世辉. 围岩—支护动态系统稳定性判据——变形速率比值判别法[J]. 水电站设计, 1992, 8(3): 20~25
- [13] Li S. An empirical hypothesis of deformation rate ratio criterion[J]. Rock Mech Rock Engng, 1996, 29(2): 63~72

Deformation Rate Ratio Criterion (DRRC) and Its Verification in Maoshan Tunnel Excavation

Li Shihui¹, Song Jun²

(1. The 4th Design and Research Institute, Department of the Engineer Corps, H. Qs of the General Staff of PLA, Beijing 100850, China; 2. No.4 Department of the No.14 Railway Construction Bureau, Xinhui, Guangdong 529149, China)

[Abstract] In order to help solving the technical puzzles of lacking in scientific, reasonable and quantitative surrounding rock stability criteria in the initial lining during tunneling excavation by NATM and occurring of many cave-ins, in this paper some viewpoints are put forward, the essentials of which are as follows: 1. Advance the basis for the hypothesis of deformation rate ratio criterion (DRRC) and the method for obtaining the threshold of this criterion, and enumerate five typical cases for the application of this criterion to the tunneling excavation; 2. The success and failure in the Maoshan expressway tunnel excavation are deducted and verified from positive and negative aspects. DRRC was used in two excavating sections to forecasted dangerous situations resulting in coming safely out of cave-in accidents, while the use of DRRC was compelled to stop in another excavating section and a big cave-in accident happened; 3. Obtain the method of DRRC for constituting a typical information method, which is characterized by the combination of prototype information and typical information. DRRC is a kind of hypothetico-deductive method, and it is also a preliminary application of metasynthesis from the qualitative to the quantitative.

[Key words] open complex giant system; cave-in accident; deformation rate ratio criterion; typical information method; hypothetico-deductive method; metasynthesis

(cont. from p. 76) Presently in China, studies on the PPD technology should be focused on the highly-waxy Daqing crude oil, which accounts for about one third of total crude oil production in China. For heavy crude oil pipelining, it is believed that the oil-in-water emulsion technology will find more application, and exploitation of offshore heavy crude oil fields in the Bohai Sea of China urgently requires that study on this technology be aimed at pipelines concurrently transporting heavy crude oil and produced water. Further updating of existing technologies and emerging of new technologies call for enhanced basic research, innovative ideas and approaches, and multi-disciplinary studies.

[Key words] pipelining; paraffin-base crude; heavy crude; pour point depression; drag reduction; chemical additives