

三峡坝基建基面岩体质量验收标准

鲁先元 高鹏飞 肖国强 汪杰

(长江科学院 武汉 430010)

提要 在三峡坝址区历年的岩石(体)物理力学静力试验及弹性波测试资料的相关研究基础上,建立了动、静力学参数的统计相关式,同时提供了岩体质量的临界判据指标。研究成果可作为弹性波检测三峡坝基建基面岩体质量依据及岩体质量控制标准。

关键词 三峡坝基; 验收控制标准, 快速检测; 弹性波测试

1 前言

随着水利水电建设的发展,坝基岩体质量的控制和开挖验收工作,已从过去单一的宏观工程地质判别,向快速检测手段方向发展。用岩体(石)的物理、力学及声波参数定量测试资料进行综合评价就是主要方法之一。如清江隔河岩等工程在利用快速声波检测进行坝基验收方面就取得了成功的经验。

建基面岩体开挖爆破后,将引起原生构造裂隙扩大、张开,相邻区域爆破的重复影响及地应力释放调整将产生一定厚度的松弛层,表面岩体脆性系数降低。为了确保三峡坝基岩体工程的质量控制及验收,开展了有关三峡工程坝区岩体质量快速检测方法及其临界判据指标的研究论证,为正在施工的三峡坝基开挖质量检测、浇筑前基岩验收提供科学依据。

2 岩体(石)的声波特性及其力学性质相关性研究

2.1 岩石波速与岩石物理力学性质关系

岩石的声波速度是反映岩石质量的综合性指标。在前人和三峡大量室内外声波与岩石物理力学性质及动静力学试验对比基础上,进行了相关性研究。

对三峡不同建筑物部位的 312 组试验岩块统计,其回归方程为:

$$E_{def} = 3.23 \times 10^{-3} V_p^{5.523} \quad (r = 0.92, n = 242) \quad (1)$$

$$E_{ca} = 1.634 \times 10^{-2} V_p^{4.649} \quad (r = 0.94, n = 242) \quad (2)$$

式中: E_{def} 、 E_{ca} 分别为静力变形模量、静力弹性模量, V_p 为纵波速度。

试验研究表明,岩石的纵波速度与岩石的物理性质关系可用图 1 表示。由图可知:(1) V_p 为密度的函数,在小密度范围内按指数函数增加,大密度范围内按对数函数增加;(2) 孔隙率越大,波速越小;(3) 孔隙水含量对波速有明显影响,一般说在湿润状态下波速增

1996年3月29日收到初稿,1996年9月17日收到修改稿。

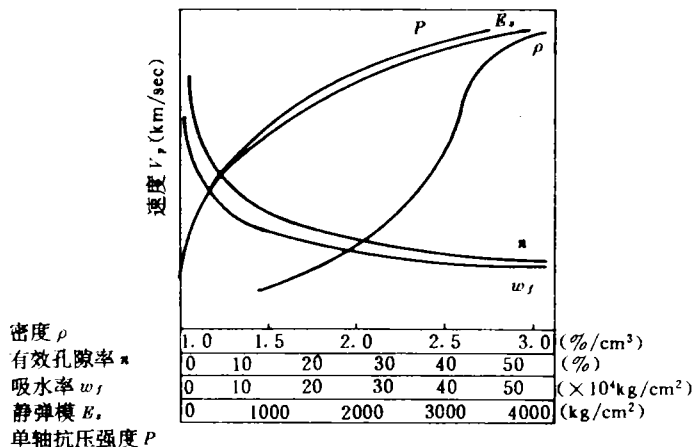


图 1 岩体波速与其它力学参数的关系曲线

Fig. 1 Relation curve between rock velocity and other mechanics parameters

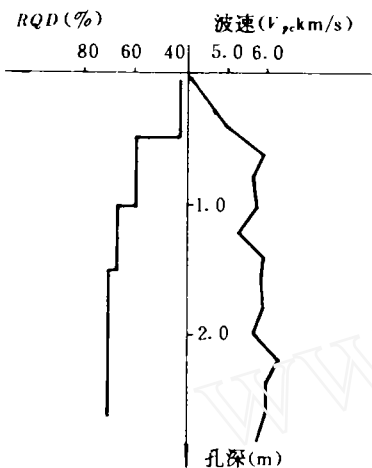


图 2 V_p 、RQD 与孔深关系曲线
Fig. 2 Relation curve of the velocity and RQD with the hole depth

加,但有些软性岩石随着含水量增加,波速反而减小;(4)静力弹性模量与单轴抗压强度,一般随波速增加按指数增加。

2.2 岩体动静力学试验对比及表层与深部的纵波速度变化

利用柔性承压板的静力学试验及其中心部位的声波测试,得到岩体变形模量随深度的变化规律(表 1)以及波速、PQD 随深度的变化(图 2)。由图表可知,表层 0.5m 岩体的变形模量比加荷影响范围内岩体的综合变形模量低 17%—35%,波速及 RQD 也显现类似变化规律。说明承压板表面至 0.5m 深度以内的岩体是不同程度的爆破与开挖卸荷影响,使测得的变形模量、纵波速度值降

低。

根据 51 组动静试验对比资料,统计分析得纵波速度 V_p 、动弹模 E_{dyn} 与静力变形模量 E_{def} 、静力弹性模量 E_{sta} 的关系式:

$$\left. \begin{aligned} E_{def} &= 0.001V_p^{5.76} & (r &= 0.936) \\ E_{sta} &= 0.0038V_p^{5.14} & (r &= 0.952) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} E_{def} &= 0.0375E_{dyn}^{1.659} & (r &= 0.915) \\ E_{sta} &= 0.0808E_{dyn}^{1.55} & (r &= 0.956) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

表 1 承压板下不同深度处岩体变形模量的变化

Table 1 Deformation modulus with different depths

深度(cm)	变形模量(GPa)	备注
0~0.5	25.7	1. E_{v1-3} 测点环形枕试验资料 2. 变形模量值为平均值
0.5~1.0	43.8	
0.5~3.0	50.4	
1.0~3.0	55.7	
0~3.0	39.6	

3 三峡工程坝基建基面岩体质量控制标准

3.1 有关规范的要求依据

根据水利部关于颁布《混凝土重力坝设计规范 SDJ21-T8(试行)补充规定》的通知,坝体混凝土与基岩接触面抗剪断参数的参考值如表 2 要求的岩石工程的级别和岩石综合评价,三峡工程坝基建基面岩体质量控制标准,不得低于Ⅱ级。

表 2 坝体混凝土与基岩接触面抗剪断参数的参考值

Table 2 Reference value of the anti-value of the anti-value

parameters of the contact face between the concrete dam body and foundation rock

岩石工程分级	岩石综合评价	基岩特性	抗剪断参数	
			f'	C' (N/cm ²)
I	很好的岩石	完整的、新鲜的、致密坚硬的、裂隙不发育的、块状的厚层状的岩石,饱和抗压强度>98MPa,变形模量>19.6GPa,声波纵波速>5000m/s。	1.2—1.5	127—147
II	好的岩石	完整的、新鲜的、坚硬的、微裂隙的、块状的厚层状的岩石,饱和抗压强度 58.8~98MPa,变形模量 9.8~19.6GPa,声波纵波速 4000~5000m/s	1.0—1.3	107—127
III	中等岩石	完整性较差的、微风化的、微裂隙的中等坚硬的块状的厚层状的岩石,饱和抗压强度 29.4~58.8MPa,变形模量 4.9~9.8GPa,声波纵波速 3500~4500m/s。	0.9—1.2	68.6—107
IV	较差的岩石	完整性差的、弱风化的、弱裂隙的、较软弱的中等层状的岩石或节理不发育,但层理、片理较发育易风化的薄层状的岩石。饱和抗压强度 14.7~29.4MPa,变形模量 1.96~9.8GPa,声波纵波速 2500~3500m/s。	0.7—0.9	29.4—28.6

注: 1. 本表不包括基岩内有软弱夹层的情况
2. 混凝土与基岩接触面上的抗剪断参数不能超过混凝土本身的抗剪断参数值
3. 对于 I、II 级基岩,如果基建面能做成较大的起伏差,则接触面上的抗剪断参数可采用混凝土的抗剪断参数。

3.2 各类岩体波速与岩体静力变形、弹性模量关系

在水电工程设计中，通常采用岩体静力试验的弹模值作为设计依据。三峡工程坝基岩体变形性质试验成果，是经过长江科学院与设计部门共同确认的建议值，是考虑了工程代表性、地质结构和裂隙发育程度等综合因素确定的。由于静力法试验周期长、耗资大、试点地质代表性的局限，因此基岩建基面验收时无法采用。岩体弹性波方法简便快捷，且可进行大范围测试，又具有与力学指标联系的定量、半定量的动静对比关系式可资利用，因此，可通过同类岩体的动静对比试验研究，以求解两种弹模值的相关性或直接求出纵波速度与静力变形模量和静力弹性模量的关系式，以便在施工期直接用动力弹性波方法测试结果，推算设计惯用的静力弹性模量、变形模量。根据对各区岩体大量的动静测试资料的对比，总结得各区岩体波速与岩体静力变形模量 E_{def} 、弹性模量 E_{ea} 的关系式：

I 区(微新带次块状、块状整体结构，弱下块状结构)：

$$\left. \begin{aligned} E_{def} &= 1.611 \times 10^{-8} V_p^{12.471} & (r = 0.95, n = 24) \\ E_{ela} &= 1.330 \times 10^{-7} V_p^{11.357} & (r = 0.93, n = 24) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

II 区(弱下镶嵌，次块状结构及微风化镶嵌结构)

$$\left. \begin{aligned} E_{def} &= 8.089 \times 10^{-3} V_p^{4.488} & (r = 0.95, n = 11) \\ E_{ela} &= 1.017 \times 10^{-2} V_p^{4.475} & (r = 0.97, n = 11) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

III 区(弱上碎裂、镶嵌结构、次块状结构岩体)

$$\left. \begin{aligned} E_{def} &= 6.459 \times 10^{-3} V_p^{5.353} & (r = 0.80, n = 5) \\ E_{ela} &= 5.665 \times 10^{-3} V_p^{5.681} & (r = 0.81, n = 5) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

IV 区(全风化散体结构、强风化散体碎裂结构及 F_7 主断层核部风化严重的岩体)

$$\left. \begin{aligned} E_{def} &= 0.133 \times V_p^{1.278} \\ E_{ela} &= 0.242 \times V_p^{1.156} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

F_7 断层及其影响带弱风化及微风化带碎裂镶嵌结构岩体为：

$$\left. \begin{aligned} E_{def} &= 1.115 \times 10^{-3} V_p^{5.855} & (r = 0.95, n = 12) \\ E_{ela} &= 7.351 \times 10^{-3} V_p^{4.829} & (r = 0.97, n = 12) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

3.3 三峡基岩建基面岩体质量控制标准与说明

3.3.1 基岩建基面岩体质量综合控制标准

建基面开挖后，往往是在较短时间内即决定是否浇筑混凝土或进行处理，因此控制标准必须满足以下条件：

- (1) 能很好地把岩石力学与工程地质联系起来的快捷简便测试验收方法；
- (2) 该方法与岩石力学物理参数能建立起定量、半定量的相关关系，以满足设计部门要求；
- (3) 符合国家标准或水电行业标准。

根据以上条件及三峡工程历年进行的试验研究工作，提出了表 3 所列的基岩建基面岩体质量综合控制标准。

3.3.2 现场基岩建基面验收措施—弹性波测试

(1) 地震剖面法及布置原则

地震剖面法的原理是地震勘探中的折射波法，由于大面积的岩体工程中的爆破开挖（预裂爆破、光面爆破）的坝基、边坡、地下洞室围岩等，存在不同厚度的松弛层。因此，对于重要水电工程，为确保其稳定安全，需弄清松弛层厚度，以便为基础加固处理设计提供依据。

表 3 三峡工程基岩建基面岩体质量综合标准

Table 3 Comprehensive criterions of the quality of the foundation rock contact face of Three Gorges Project

岩石类型	基岩建基面岩体质量宏观评价			建基面岩体弹性波速度验收测试标准	基岩建基面岩体质量综合评价参数			
	风化程度	岩体结构	评价	V_p (m/s)	岩体完整性系数 K_r	变形模量 E (GPa)	饱和抗压强度 R_c (MPa)	孔隙率 ω (%)
I	新鲜	整体	极好岩体	>5600	>0.80	>40	>100	<0.7
II	微风化	块状~次块状	优良岩体	5600~5200	0.80~0.69	40~35	100~85	0.7~0.9
III ₂	弱风化(下)	块状~次块状	中等岩体	5200~4500	0.69~0.52	35~15	85~70	0.9~1.1
III	弱风化(上)	镶嵌~碎裂	中等偏差岩体	4500~3000	0.52~0.23	15~3	50~20	1.1~4.5
IV	强风化~全风化	散体结构	差的岩体	<3000	<0.23	3	<20	>4.5

备注：
 $K_r = (V_{pm}/V_{pr})^2$
 式中： K_r —岩体完整性系数， V_{pm} —岩体弹性波纵波速度(m/s)
 V_{pr} —岩石弹性纵波速度(m/s)，此表取新鲜岩块波速 6250m/s 计算

测线布置对验收效果很重要。根据主要地质构造的走向，在与之平行和垂直方向布以 $5 \times 5m$ 的网格测线，以提供各网格节点间岩体波速平均值 V_p 、 V_{pr} 及岩体松弛厚度。图 3 为地震剖面法测线布置及测试结果分析方法示意图。在地质条件较复杂部位，可根据缺陷、爆破影响大小，岩体构造及各向异性情况，将地震剖面网格距离在 2—7m 之间调整。

(2) 钻孔声波法及布置原则

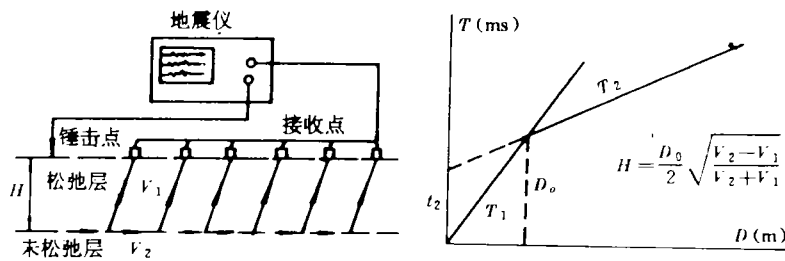


图 3 地震剖面法测试网及时距测线示意图

Fig. 3 Schematic cross-section for the seismic profile and the time-distance curve

在基岩构造发育和爆破施工开挖影响严重部位,往往使基岩建基面岩体性状很复杂。因此,在这些部位必须补充校验声波孔,进行单孔和跨孔的三方向的声波测量,以详细了解其岩体性状。

参 考 文 献

- 1 李云林等:三峡水利枢纽岩体(石)物理力学性质参数及取值建议(供讨论).长江科学院,1992
- 2 中华人民共和国国家标准:《工程岩体分级标准》,1995
- 3 混凝土重力坝设计规范 SDJ-78(试行)补充规定.水力发电,1985;(3):1-3
- 4 李维树:三峡工程坝区岩体形变特性的动静对比分析.长江科学院院报,1995;(4):44-49
- 5 罗 堂,胡月兰:岩石湿度对纵波速度的影响.岩土工程学报,1985

CRITERIA OF CHECKING AND ACCEPTING FOR THE FOUNDATION ROCK AT DAMSITE OF THE THREE GORGES PROJECT

Lu Xianyuan Gao Pengfei Xiao Guoqiang Wang Jie
(Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010)

Abstract The dynamic and static data about the foundation rock at the damsite of the Three Gorges Project are collected and studied during these years. The relationships between the dynamic and static parameters of the rock are set up. The velocity and the mechanic quotas to controll the quality criteria of the dam foundation rock are suggested. They can be accepted to check the dam foundation rock before pouring concrete.

Key words dam foundation of the Three Gorges Project, criteria of checking and accepting, quick test, elastic wave measurement