

三峡工程临时船闸与升船机中隔墩 爆破安全判据的研究*

朱传云 卢文波

(武汉水利电力大学 武汉 430072)

摘要 三峡工程临时船闸布置在升船机右侧,且相互平行,中间由中隔墩分开。当临时船闸侧岩石开挖高程接近 69m 时,升船机部位再从 88m 高程向下开挖。为了确保在爆破开挖过程中中隔墩的安全与稳定。在试验与研究的基础上,确定了爆破振速控制的安全判据。

关键词 安全判据 爆破振速控制

中图法分类号 TV 542

1 概述

按设计要求,三峡升船机与临时船闸部位的石方开挖达到 88m 高程后,将分别以大体平行的两个深槽继续向下开挖至建基面。与此同时,也就形成了一个由保留岩体组成的、两侧具

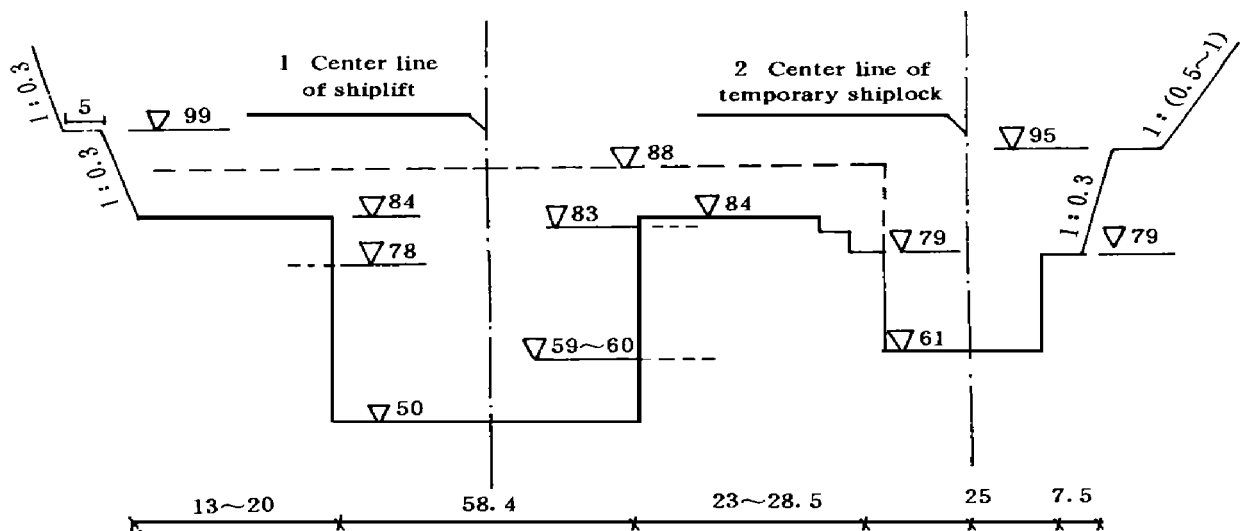


图1 升船机及临时船闸开挖断面图(上游立视) (单位:m; —声波孔 5+ 203- 5+ 109)

Fig 1 Section of the rock excavation of shiplift and temporary shiplock

* 武汉水利电力大学 21 工程建设费资助。

朱传云:男,1954年2月生,硕士,副教授。

1998-02-10日收到原稿,1998-05-21收到修改稿。

有竖直边墙的中隔墩。实际的施工程序是临时船闸深槽先于升船机深槽的开挖, 于是在升船机深槽自 88m 高程向下爆破开挖时, 其右侧已形成由临时船闸左侧墙 (即中隔墩的右侧墙) 组成的直立临空面 (如图 1)。这样, 在爆破开挖过程中, 就中隔墩的稳定与安全而言, 可能受到以下三方面的不利影响:

(1) 若爆破荷载的强度达到一定量级使原有裂纹失稳扩展, 便有可能导致中隔墩内深层贯穿裂缝的形成, 从而给中隔墩的稳定与安全留下隐患, 严重时甚至可能造成墩体的坍塌。

(2) 在爆破荷载的重复作用下, 可能导致其岩体力学性能参数的劣化, 而中隔墩岩体裂隙中水的作用又加剧了这种劣化。

(3) 当爆破地震波的强度足够大时, 中隔墩岩体在地震波惯性力的作用下有可能发生整体倾倒或发生局部滑落。

要避免中隔墩出现上述不安全隐患, 将爆破振动的有害影响降低到允许的范围, 必须优化爆破设计与施工, 确定合理的爆破振动安全控制标准, 即爆破振动安全判据。为达到上述目的, 我们采用了综合试验与研究的方法, 即爆破振动观测、声波检测及宏观调查, 最终以爆破振动动质点速度作为常规监测的爆破振动安全判据。

2 基本条件

中隔墩区段的岩体为微风化闪云斜长花岗岩, 中粗粒结构, 岩质坚硬, 且岩体裂隙不发育, 属块状或整体结构, 岩体的完整性较好。穿过中隔墩的主要节理大体有两组:

$$I : (250^\circ \sim 260^\circ) < (70^\circ \sim 80^\circ); II : (70^\circ \sim 80^\circ) < (60^\circ \sim 70^\circ)$$

这两组主要节理是影响中隔墩稳定性的潜在因素, 在爆破动力作用下尤其如此。岩石的静态强度指标见表 1。爆破振动测试传感器为 CD-1 及 DZJ5-70 速度计, 数据采用 MCS-2 型双线道瞬态波形存储器, 数据处理用配有专门软件的便携式电脑, 其测试系统框图如图 2 所示。

表 1 三峡船闸区岩体强度变形指标

Table 1 Rock's intensity parameter of the THREE GORGES shiplock

岩石名称	风化程度	容重 $\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	湿抗压	抗拉	弹模	变模	泊松比	岩体抗剪		岩体抗剪断	
			强度	强度	E_c	E_d		断强度	裂残余强度		
			M Pa	M Pa	G Pa	G Pa	-	f'_c M Pa	f_c M Pa	f'_c M Pa	f_c M Pa
闪云斜长花岗岩	微新	27.0	100	1.5	40	35	0.22	1.8	1.8	1.3	0.7
	弱风化	26.8	50	1.0	15	10	0.24	1.3	1.0	1.1	0.35
	强风化	26.5	20	0.5	1.0	0.5	0.30	1.0	0.35	0.9	0.15
	全风化	25.0	1		0.1	0.05	0.35	0.7	0.1	0.7	0.07

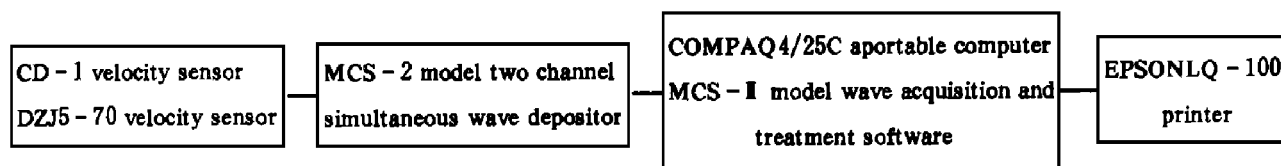


图 2 爆破振动测试系统框图

Fig. 2 Measuring system chart for blasting vibration

声波采用了单孔一发双收及跨孔测试, 仪器为 SYC-II 型岩体声波测试仪。

3 成果分析

3.1 爆破振动观测试验

3.1.1 观测的基本方法及成果

在一定的场地条件下, 岩体的质点振动速度大小及分布规律与爆破方法和爆破参数有关, 而质点振动速度的大小又与保护对象的破坏效应相关联。因此, 通过对岩体质点振动速度的测试, 可为找到防止保护对象的爆破振动破坏所能允许的爆破方法和相应的爆破参数提供依据。

为了降低爆破振动量, 升船机深槽开挖的程序, 根据试验, 一是要给破岩提供有效的补偿空间以求达到比较理想的破岩块度与设计的开挖方量, 另一主要目的是使爆破地震能量得到比较充分的释放。因此其施工方法是: 竖向自上而下逐层开挖; 平面上自下游向上游进展; 在开挖断面上, 先中间抽槽, 再围边预裂, 最后扩槽成型。

振动速度监测点一般应沿可能出现最大破坏效应的方向布置。升船机部位岩体开挖爆破时, 中隔墩可能出现的最大破坏效应将沿爆区中心所在的横断面显现出来。因此, 测点主要沿该断面布置。

根据动力有限元分析, 临时船闸左侧墙底部是最大的拉应力区, 故在该处也适当布置监测点。爆破振动监测 36 场次, 共获取 251 个振速数据, 综合分析整理后得到表 2 表 3 的升船机深槽左、右边线预裂爆破、抽槽及扩槽爆破观测成果汇总, 供进一步分析研究用。

表 2 升船机左、右边线预裂爆破观测成果

Table 2 Pre-split blasting test data on shiplift's left and right side

类别	实测点次	最大 段药量 /kg	测试范围		监测控制点	
			爆心距 /m	峰值振速 /(cm/s)	爆心距 /m	峰值振速 /(cm/s)
左 边 线	11	50	4.6~27.6	23.8~0.69	75	<0.69
	13	56	5.3~88.1	20.6~0.49	88.1	1.96
	4	40	75~110	1.41~0.87	86	<1.41
右 边 线	7	32	41~54.5	6.72~2.94	43.5	6.72
	9	32	26.3~29	3.75~0.27	26.3	3.75
	7	22	13~18	6.24~3.16	23	6.24
	6	28	13~20	5.56~3.8	25	5.56
	6	28	13~26	9.79~0.7	26	4.12

3.1.2 振速分布的一般规律

根据实测资料可以得到有关爆破振速分布的一般规律:

(1) 在同一爆源作用下, 爆心距相同的各测点振速大小与测点所在的爆破方位关系极为密切, 后冲向振速最大, 侧冲向次之, 前冲向最小。

(2) 中隔墩的振动量与爆破类型有关。预裂爆破受两侧岩体夹制作用, 在同等震强(即

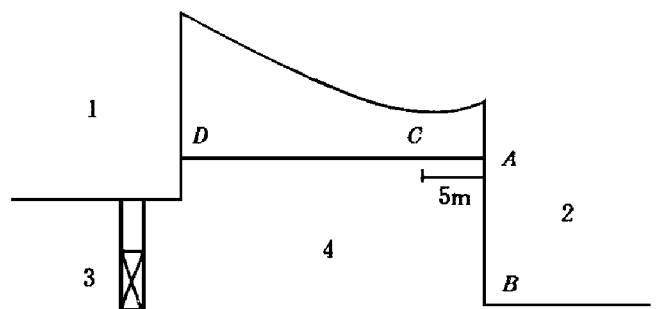
$Q^{1/3}$ (R, Q 为段药量, R 为爆心距)下, 其振速比抽槽和扩槽爆破大。

表 3 升船机抽槽与扩槽爆破观测成果汇总

Table 3 Cutting blast and streader blast data for the shiplift

类别	实测点次	最大 段药量 /kg	测 试 范 围		监 测 控 制 点	
			爆心距 /m	峰值振速 /(cm/s)	爆心距 /m	峰值振速 /(cm/s)
抽	7		18.8~44.7	27.4~27.7	41.7	2.81
	5	200	28~33	8.65~4.41	33	5.76
	7	100	20~40	4.68~2.41	40	3.94
槽	5	100	30~49	7.6~1.51	49	4.93
	10	96	36~39	2.78~1.4	36	2.78
	8	144	4.8~39.6	4.4~3.77	37.1	6.81
扩	3	138	26~27	5	26	5.1
	12	180	12.5~28.5	1.1~5.4	22	11
	9	120	4.5~26	20.8~3.5	25	5.76
	6	130	26~31	11.3~4.4	26	11.3
	10	50	30	5.6~4.9	30	5.6
	10	80	20~60	7~0.3	35	2.79
	4		45~60	3.4~1.3	45	1.83
	9	100	6~45	31.6~2.2	45	2.94
槽	6	100	12~28	6.9~4.2	28	6.9
	7	100	13~28	7~3.4	28	3.4
	8	100	34~46	3.8~1.2	36	3.8
	4	100	35~37	4.96~1.46	35	4.96
	8	35	40~52	7.05~1.2	40	7.05

(3) 沿中隔墩横断面顶部的爆破振动衰减规律, 不同于半无限介质条件下的振动衰减。如图 3 爆心距由近及远, 自 D 点约 10m 范围内质点振速急剧衰减, 随后缓慢衰减至 C 点达最小振速, C 点与右边界的距离小于 5m。自 C 点至右边界 A , 振速有增大趋势。实际观测时, 边界点 D 、 A 的传感器均布置在离最近边界约 1m 处。根据几次测试成果分析, A 点与 C 点的振速比约为 1.2。 C 、 A 点之间振速增大是由于爆震波传至右侧 AB 边界时, 产生波的反射作用, 从而加强了边缘区域的振动量。这种反射波为拉应力波, 使岩体处于受拉状态, 当产生的反射拉应力值达到某个量级时, 会导致岩体内原有裂隙进一步扩展或产生新的张拉裂隙。因此, 把监测点置于中隔墩右侧, 距边壁约 1m 的顶部是比较合理的。



1 Side of shiplift 2 Side of temporary shiplock
3 Blasting charge 4 Rock wall

图 3 中隔墩横断面顶部振速分布

Fig. 3 Vibration velocity distribution at the top of the rock wall along horizontal direction

因此, 把监测点置于中隔墩右侧, 距边壁约 1m 的顶部是比较合理的。

(4) 为了控制单段起爆药量, 必须对振动量的大小进行预测。由于中隔墩是一种特殊形式的构筑物, 其宽度不一, 局部地质条件复杂, 且在不同程度上遭受过爆破振动甚至破坏, 加之地形条件多变, 爆破类型多样, 要寻求一个普遍适用、相关性好的振速回归公式作预报及施工控制之用是十分困难的。经过对一些有代表性的场次进行分析整理, 并以 Q 代表最大段药量 (kg), R 代表爆心距 (m), 回归计算后得到如下振速公式:

竖向振速 (单位: cm/s)

$$v_{\perp} = 32.1(Q^{1/3} R)^{1.12} \quad (\text{相关系数 } V = 0.946) \quad (1)$$

水平向振速 (单位: cm/s)

$$v_{\parallel} = 21.7(Q^{1/3} R)^{1.22} \quad (\text{相关系数 } V = 0.987) \quad (2)$$

若用 (1)、(2) 式进行预报, 其保证率仅为 50%, 为了确保中隔墩的安全与稳定^[1], 将保证率取为 95%, 可得如下实用的爆破振速衰减公式:

竖向振速 (单位: cm/s)

$$v_{\perp} = 69.5(Q^{1/3} R)^{1.12} \quad (3)$$

水平向振速 (单位: cm/s)

$$v_{\parallel} = 32.2(Q^{1/3} R)^{1.22} \quad (4)$$

在后期的开挖过程中, 用 (1)、(2) 式作预报, 以 (3)、(4) 作为控制线, 其监测的结果与预测的水平基本吻合。

4 声波检测与宏观调查成果分析

4.1 声波检测

根据中隔墩各部位测孔声波波速, 计算得到声波变化率一般为 $-2.3\% \sim 3.1\%$, 其绝对值很小, 且正负兼有, 各点平均变化率仅 0.79% , 这种变化实为测量误差或其它非爆破因素引起。对应声波测值, 振速不大于 6.81 cm/s 时, 对中隔墩岩体无破坏作用; 当控制振速达到 11 cm/s 时, 会引起岩体结构弱面扩张, 不利于中隔墩的安全与稳定。

4.2 宏观调查

宏观调查是研究爆破破坏效应的一种简便、直观的方法, 爆后若出现大裂隙, 甚至塌方是很容易被发现的, 但对细微裂隙的变化则必须采用作为观察窗口的“石膏桥”进行观察和辨认。所谓“石膏桥”就是把石膏浆涂抹到岩面上, 石膏硬化后, 在原裂隙的两侧间形成“桥”。若在爆破动力作用下原有裂隙扩张或产生新的裂隙, 则石膏抹面在裂隙部位断开。据以往经验, “石膏桥”是观察裂隙发展的行之有效的方法。

对应“石膏桥”处的爆破振动观测成果, 当控制点振速不超过 $6.72 \sim 6.81 \text{ cm/s}$ 时, 临时船闸左侧墙壁面不会产生破坏效应。

5 中隔墩爆破安全判据

综合爆破振动观测、声波检测及宏观调查的结果, 确定了中隔墩爆破振动的安全判据, 它包括监测控制点和安全控制振速。安全监测控制点位于中隔墩监控断面顶部临时船闸侧边缘, 传感器实际布置在离边缘 1 m 处。

根据表 2~ 3 实际上只有在扩槽爆破时, 振速达到 11cm/s 使原有岩体裂隙扩张, 其它测次证明是安全的。又根据宏观调查及声波测试, 当振速在 $6\sim 81\text{cm/s}$ 时, 对岩体不会产生破坏效应。

由以上分析的结论, 经过全面考虑后 (既要保证中隔墩的安全与稳定, 又要不影响生产进度), 将爆破质点振速安全判据定为: $[v] = 6\sim 8\text{cm/s}$

按振速衰减公式 (1)、(2) 估算, 在最小爆心距 (即中隔墩最窄断面) 25m 处, 其单段药量小于 43kg 实际施工中根据爆心距的大小, 取单段药量为 $30\sim 150\text{kg}$

6 结 论

三峡临时船闸与升船机中隔墩的爆破安全判据, 是经生产性试验后制定的, 经过近一年的爆破开挖, 取得了良好的经济效益和社会效益, 并确保了中隔墩在爆破施工过程中的安全与稳定。其涉及的有关方法亦对其它工程有一定的参考价值。

必须指出, 本文中所述的爆破安全判据, 并非建筑物 (岩体) 的破坏判据, 它实际上是一个工程上能接受又能保证安全的判据^[2, 3]。因此, 可以定义为一个可以接受的爆破安全判据。

同时我们也强调, 本文中所述爆破安全判据, 是针对相应的爆心距而言, 若没有这个约束条件来谈安全判据, 显然没有实际的工程意义。

参加本项目研究的还有赖世骧教授、舒人强副教授。

参 考 文 献

- 1 朱传云, 卢文波. 爆破振动的预报与控制. 武汉水利电力大学学报, 1996 29(2): 101~ 105
- 2 朱传云, 等. 爆破振动对岩体结构面影响的室内试验研究. 工程爆破, 1996 2(4): 51~ 54
- 3 孟吉复, 惠鸿斌. 爆破测试技术. 北京: 冶金工业出版社, 1992 90~ 95

BLASTING SAFETY CRITERION FOR THE ROCK WALL BETWEEN TEMPORARY SHIPLOCK AND SHIFLIFT IN THREE GORGES PROJECT

Zhu Chuanyun, Lu Wenbo

(Wuhan University of Hydraulic and Electric Engineering, Wuhan, 430072)

ABSTRACT The temporary shiplock is situated to the right of the shiplift and runs parallel to it. They are separated by a rock wall. When the rock excavation of the shiplock gets to elevation of 69m , the excavation of the shiplift begins from elevation of 88m . To ensure safety and steady of the rock wall during the period of blasting excavation, a safety criterion for controlling the blast vibration effect determined by experimental study is described in this paper.

KEY WORDS safety criterion; blast vibration control