

55-57

岩体原位测试技术及其应用

刘康和 段伟 (水电部天津勘测设计院, 天津 300222)

TV221

摘 要 本文着重介绍以弹性波测试、回弹试验、点荷载试验为内容的原位测试技术及其在水电工程中的应用。文后谈了作者的几点认识。

关键词 现场测试 坝址 岩体

Abstract The rapid in-situ determination technique of rock mass based on elastic wave method, rebound test, and point load test and its application in engineering project are introduced in this paper. Finally a few of the authors' points of recognition are stated.

Key words elastic wave test, rebound test, point load test.

目前,应用原位快速测试技术来定量或准定量地评价工程岩体质量已取得了很大的进展,从而促使工程地质工作不再停留在定性评价或经验判断的阶段。通过对工程岩体的原位测试或无损检测,可以获取其原始状态下的多种物理力学参数,再配合一定的大型试验和室内试验就能全面地取得工程岩体物理力学性质和质量指标,进而对工程岩体进行评价,为设计、施工等部门提供可靠的定量依据。同时原位测试所使用的仪器轻便、操作简单,工作条件要求不高,作为工程地质人员的“代锤工具”可以现场作出切合实际的定量分析评价。同样,原位测试技术也可以作为工程基础开挖验收与施工质量控制的一种有效监测手段。

近年来国内外都十分重视工程岩体质量的监测研究。国际岩石力学学会(ISRM)曾于1967年提出《岩石力学试验建议方法》在世界范围内试行,1975年国际工程地质协会场地勘察委员会提出了《场地勘察工作原则的报告》,上述技术文献都明确地把回弹试验,点荷载试验、弹性波试验等,列为室内外测试的常规方法。

我国结合长江、黄河水资源的开发利用,相继开展了大规模岩体室内与现场试验研究工作,较好地解决了诸如长江葛洲坝,黄河龙羊峡等一批大型水电工程的复杂岩体力学问题,并在坝基岩体开挖的质量检测与验收评价中得到一定的应用。随着工程建设的不断发展,工程质量的要求也越来越高,因而现场测试技术和测试参数也不断改进、完善和提高。目前,现场测试方法应用最多的主要有弹性波试验,回弹试验,点荷载试验等。这些测试方法和技术都有专著介绍和有关规程可参考,此不赘述。以下重点介绍上述现场测试方法和技术的应用实例,与同行共磋。

1 工程应用

黄河大柳树坝址位于宁夏回族自治区中卫县境内的黄河上游30km,黑山峡出口以上2km处。构成坝区的主要地层为寒武系中统第四亚群。岩性为浅变质长石砂岩,浅变质长石砂岩类千枚状板岩。左岸岩层走向大致为 $NE65^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 或 $NW270^{\circ} \sim 300^{\circ}$,倾向 $SE55^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 或 $SW60^{\circ} \sim 85^{\circ}$,右岸岩层走向大致为 $NE60^{\circ} \sim 80^{\circ}$,倾向 $SE30^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 。由于坝区历经多次构造运动,又处于几个构造体系的复合部位,断层、裂隙极为发育,岩石扭曲剧烈且形式多样,加之本区处于干旱的沙漠气候,所以物理风化作用强烈。浅变质长石砂岩坚硬耐风化,千枚状板岩软弱易风化,沿板岩及其挤压带有顺层带状风化的现象。

由于该水利工程对开发大西北,促进大西北的工农业发展具有重要意义,因此在该地区已相继开展30余年的地勘工作。就坝址岩基能否承受建高坝方案,曾引起国内外有关专家的极大兴趣,也曾展开很多有意义的讨论。为弄清坝址岩体结构、工程地质分类及岩体成坝条件,我院投入了大量的原位测试工作,取得了一定的资料,现分述于后。

根据大柳树坝址20个平洞的原位测试资料(包括弹性波试验、回弹试验、点荷载试验),经数理统计分析,定量划分出该坝址区岩体结构质量类别(见表1)。

由于各种测试技术均依据一定的物理力学基础,因此所测参数之间也存在着一定的相关关系。为求得他们之间的关系,实测过程中,注意同时同地平行试验,其结果见图1,由此说明纵波速度 V_p 与回弹值

表 1

| 类别 | 岩体结构 | 岩性及描述 | V_p (m/s) | V_s (m/s) | μ | E_d (MPa) | K_v | N | $I_5(50)$ (MPa) |
|-----|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|----------------|--------------------|
| II | 整体层状结构为主 | 主要为中厚层浅变质长石砂岩, 构造影响一般较重, 裂隙2组, 间距大于0.4m, 近闭合~闭合, 无充填。结构面多为刚性结构面, 除层面外, 贯穿性较差, 块间接触紧密, 偶有小断层和层间错动现象, 以微风化为主, 略占总岩体的15%。 | 3200 4000 | 1600 2300 | 0.3 0.25 | 22000 34000 | > 0.42 | 43.5 | 12.8 |
| III | 层状结构为主 | 主要为较完整的砂岩、板岩、粉砂质板岩, 岩体呈层状和薄层状。构造影响较重, 节理裂隙发育, 裂隙组数2~3组, 间距0.3m, 近闭合, 多无充填, 局部有少量岩屑、岩粉等充填, 块间咬合较好, 伴有少量断层和挤压破碎带等贯穿性较弱结构面。以弱、微风化为主, 略占总岩体的40%。 | 2500 3200 | 1300 1800 | 0.35 0.28 | 11500 22000 | 0.25 0.42 | 40.5 (11) | 12.6 (1.8) |
| IV | 碎裂结构为主 | 主要为完整性差的砂岩、板岩及构造影响带等, 构造影响严重, 结构面发育~很发育, 裂隙3组或3组以上, 间距0.2m左右, 一般呈张开状态, 多无充填, 局部少量岩粉、岩屑等充填, 块间咬合力较差。常伴有断层、挤压带等软弱结构面, 以强烈风化为主, 略占总岩体的30%。 | 1500 2500 | 700 1200 | 0.37 0.34 | 5000 10000 | 0.09 0.25 | 29.9 (< 10) | 11.8 |
| V | 散体结构为主 | 组成为破碎的砂岩、板岩岩块、岩屑、糜棱岩和断层泥等, 构造影响很严重, 主要为构造破碎带、交汇带, 严重影响带和强风化破碎带等。各种结构面发育密集, 块间咬合力很弱。略占总岩体的15%。 | < 1500 | < 700 | 0.4 0.37 | < 6000 | < 0.09 | | |

注: V_p 纵波速度; V_s 横波速度; μ 泊松比; E_d 动弹模; K_v 岩体完整性系数; N 回弹值;
 $I_5(50)$ 点荷载强度指数(括号内为板岩强度),

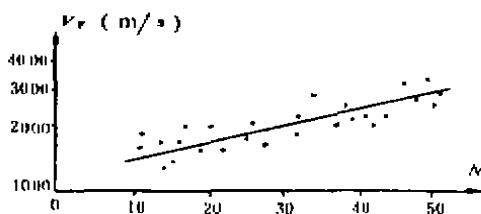


图 1 纵波速度与回弹值关系曲线
(单对数坐标系)

Fig 1 Curve of correlation between longitudinal wave velocity and rebound value (single logarithm coordinate system)

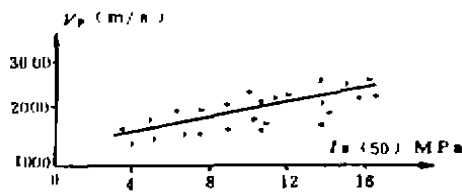


图 2 纵波速度与点荷载强度关系曲线
(单对数坐标系)

Fig 2 Curve of correlation between longitudinal wave velocity and point load strength (single logarithm coordinate system)

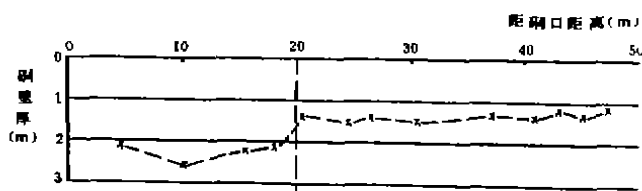


图 3 304 平硐 R 波速分层随硐深变化关系图

Fig 3 Variation of R wave velocity layers in adit 304 with depth of the adit

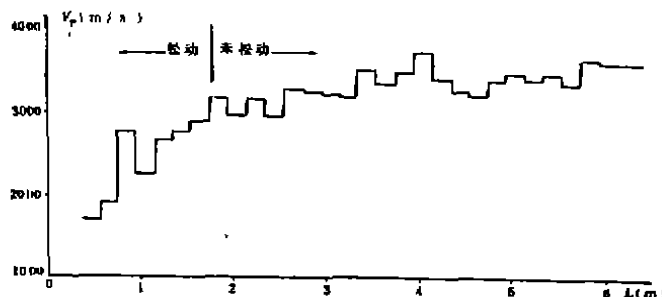


图 4 324 平硐 2# 孔声速 V_p -孔深 L 关系曲线

Fig 4 Curve of correlation between sound velocity V_p in hole 2 of adit 324 and hole depth L

全国小应变动测桩承载力研讨会在北京召开

1994年元月12~15日中国振动工程学会土动力学专业委员会在北京召开了“全国小应变动测桩承载力研讨会”。这是一次小应变动测法经验交流的盛会。来自全国建设、地矿、冶金、交通、铁道、机电、水利、电力、化工、石油、航空、煤炭、中国科学院及有关院校等14个部门的200多位代表参加了会议。中国科学院院士、中国振动工程学会土动力学专业委员会理事长汪闻韶教授到会并致词,国家技术监督局质量监督司副司长张松遐,地矿部勘查技术司司长赵国隆,国家科委成果办袁恒仁,建设部建设监理司副处长王宁,国家建筑工程质量检测中心常务副主任王汉明,建设部标准定额司卫明等同志到会并讲了话;61位代表在大会上就小应变动测桩承载力的各种方法技术作了专题发言。

会上交流的内容从小应变动测桩的机理到测承载

力的经验及动静对比数据,从方法技术到仪器设备,从现状到发展不仅作了充分的肯定并提出了进一步改进、提高的措施。经过多年来全国数万个工地数十万根桩的检测实践和近千根桩的动静对比资料已充分证明:小应变动测桩的承载力是行之有效的,并可将误差控制在允许范围之内。

会议期间部分代表就桩基检测市场的管理、工程单位资质考核等方面的问题向领导们进行了汇报,并提出了具体意见和建议,领导们对此十分重视并作了具体指标,同时还澄清了一些问题,有关领导明确表明,作为政府主管部门的建设部从未在任何文件上写过限制某种动测方法的词语,承载力的各种动测方法应当取长补短,互相学习,在实践中不断发展提高。

(何贤明供稿)

~~~~~  
 $N'$ 、点荷载强度 $I_g(50)$ 的关系为指数关系、

为了解岩体的成洞条件,特进行瑞雷波测试和干孔声波测试,以确定岩体成洞后的松动情况。

瑞雷面波测试是沿平洞洞壁进行,以其频散特性,求出平洞洞壁到岩体内一定深度内瑞雷面波速度 $V_R$ 的分布情况,即 $V_R$ 随深度的变化关系,并以其拐点处作内洞室岩体的松动厚度。图3为瑞雷面波测试所得到的304平洞洞壁岩体的松动厚度与洞深的变化关系图。

干孔声波测试获得的声速( $V_p$ )随孔深变化的关系图。据此确定出洞壁岩体的松动厚度(见图4)。

综合分析,洞室岩体产生松动的原因一般可认为以下几种:

- (1) 开挖爆破松动,为岩体松动的主要原因。
- (2) 洞室开挖后长期不支护,进一步风化松动。
- (3) 洞室径向应力释放,原岩卸荷,产生松动。
- (4) 洞室围岩切向应力集中,距洞壁一定深度范围内岩体达屈服状态松动。

按照《地下工程围岩稳定分析》介绍的计算洞室松动厚度的公式,根据该区岩体客观情况,取内聚力 $c=0.6\text{MPa}$ ,内摩擦角 $\varphi=39^\circ$ ,最大埋深 $H_{\max}=95\text{m}$ ,岩体容重 $\rho=2.5\text{t/m}^3$ ,计算出岩体松动区半径为 $0.99r_0$ ( $r_0$ 为勘探洞开挖半径)。塑性区半

径为 $1.14r_0$ 。这说明,岩体自重应力没有使岩体产生松动区,因此,该区岩体产生松动的主要原因是爆破、应力释放和进一步风化造成的,不是由于应力使岩体屈服而造成的。

### 2 几点认识

(1) 工程实例表明,原位测试技术简单易行,测试数据全面可靠,因而在岩体质量评价和工程基础开挖的验收与监测中得到越来越广泛的应用,同时也受到工程技术人员的普遍重视。

(2) 因各种测试方法均依据一定的物理力学基础,故所测参数之间也存在较好的相关性,但由于测试条件等各种随机因素的影响,又给各种测试参数之间带来一定的离散性,运用数理统计方法求出它们之间的关系,进而简明、准确地评价工程岩体的质量。

(3) 目前,应用单位测试计算评价工程岩体质量尚无统一标准和规范可循。这样我们就应该依据不同工程的基础岩体特征和工程特性,在基本原则指导下建立具体的分类标准,以达到分类指标符合客观实际,满足工程需要。

(4) 单位测试技术的应用已显示出显著的经济效益和社会效益,但从技术原理及工程应用方面,还存在着各种参数的可比性与相关性的规律性问题,需要进一步研究和探讨,这将是我们的努力方向。

(1993年3月收稿)