

关于注水试验不适合均质土坝坝体渗透性测试的讨论

韦 港, 闫 宇

(水利部水利水电规划设计总院 北京 100120)

摘要 分析讨论了注水试验这一原位试验方法,认为该方法对于均质土坝坝体渗透性测试存在较大误差,特别是对于小型水库较为单薄的大坝坝体基本上不适用,现行规程、规范关于坝体注水试验的有关规定尚值得商榷,如果实在要将该方法推广应用于类似均质土坝坝体这样的孤立式非半无限空间的人工填筑土体的渗透性测试,建议另行研究和推导渗透系数的计算公式。

关键词 注水试验 渗透系数 规程规范 均质土坝 除险加固

中图分类号: TU411.4

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2009)04-0018-03

Discussion on water injection test inapplicability to the permeability test for homogeneous earth dam/WEI Gang, YAN Yu
(Water Conservancy and Hydropower Planning and Design General Institute, Ministry Of Water Resources, Beijing 100120, China)

Abstract: The in situ method of a water injection test is discussed. This method is prone to error when used for permeability tests of homogeneous earth dams. In particular, it is not suitable for the relatively thin-walled dam of the small reservoir. The current standards and regulations of dam injection tests are worth discussing. If we want to use the method for the permeability test of isolated and not half-spaced artificial filling soil, the formula of the permeability coefficient should be reviewed.

Key words: water injection test; permeability coefficient; standards and regulations; homogeneous earth dam; danger control and reinforcement

1 问题的提出

注水试验是测试岩土体渗透系数的一种原位试验方法,分为试坑注水试验和钻孔注水试验两大类。中华人民共和国水利部于 2007 年 11 月 26 日发布了行业标准 SL 345—2007《水利水电工程注水试验规程》^[1](以下简称《规程》),对水利水电行业注水试验的有关技术要求作出了统一规定,使这一原位试验方法步入了规范化、合法化的轨道。

近年来,随着大量病险水库除险加固工程的实施,在众多病险水库的安全鉴定和勘测设计阶段,许多均质土坝坝体渗透系数的测试都采用了注水试验方法,但所测结果与传统的取样室内测试结果有较大差异,甚至得出均质土坝这一防渗坝体是“透水坝”的结论,这并不符合工程实际。

当然,关于注水试验是否适用于均质土坝坝体渗透性测定,目前尚存在不同看法,而《规程》对此并未明示,只是在条文说明中的第 5.1.1 条中作了原则性表述:“钻孔常水头注水试验的适用条件是渗透性比较大的岩土层,目前在坝基、堤防、输水渠道、病

险库勘察等工程中应用较广”^[1]。此外,SL 55—2005《中小型水利水电工程地质勘察规范》^[2]第 7.2.4 款第 7 条作出了“坝体钻孔宜进行注水试验”的规定。

2 试坑注水试验

《规程》界定:试坑注水试验是保持固定水头高度向试坑注水、量测渗入土层的水量,以确定土层渗透系数的一种原位试验方法,分为单环注水试验和双环注水试验^[1]。

《规程》第 3.1.1 款明确指出:“试坑单环注水试验适用于地下水位以上的砂土、砂卵砾石等土层”^[1]。均质土坝坝体一般为黏性土,显然与《规程》关于试坑单环注水试验的适用条件(砂性土)不相符,本文不再讨论。

《规程》第 4.1.1 款认为:“试坑双环注水试验适用于地下水位以上的粉土层和黏性土层”^[1]。这一条似乎适合均质土坝坝体渗透性试验,但需要注意的是,该方法只适合浸润线以上的土体(即《规程》中的地下水位以上),并且该方法测出的是土体的垂直渗透系数^[1],而土坝渗透性的评价主要取决于水平渗

透系数。因此双环注水试验对于均质土坝来说已经没有实际意义。

笔者认为,试坑注水试验不适用于坝体渗透性测试最主要的理由是边界条件不符合规定要求。

以上分析表明,试坑注水试验对于土坝坝体渗透性测试基本上不适用。

3 钻孔注水试验

《规程》对钻孔注水试验的定义:通过钻孔向试段注水,以确定岩土层渗透系数的原位试验方法,分为钻孔常水头注水试验和钻孔降水头注水试验^[1]。

3.1 钻孔注水试验的岩土层物质条件

《规程》第 5.1.1 款规定常水头注水试验适用条件是渗透性比较大的壤土、粉土、砂土和砂卵砾石层^[1]。因此,常水头注水试验似乎也不适用于均质土坝坝体渗透性测试。

《规程》第 6.1.1 款规定降水头注水试验适用于地下水位以下粉土、黏性土层或渗透系数较小的岩层。在条文说明第 6.1.1 款中进一步作了阐述:对于渗透系数比较小的岩土层,采用常水头注水试验所用时间较长,采用降水头注水试验可以缩短试验时间^[1]。该条文说明可以理解为只要有足够的时间,常水头注水试验同样适用于渗透系数较小的岩土层,也就是说常水头注水试验可以适用于均质土坝坝体渗透性测试。因此暂且从岩土层渗透性的角度认为常水头和降水头这 2 种钻孔注水试验方法对均质土坝坝体来说都是适用的。下面从另一个角度来讨论这 2 种方法都不适用的理由。

3.2 钻孔注水试验的边界条件

坝体浸润线(面)是倾斜的曲线(面),而一般天然岩土层地下水位在试验区域内被认为是水平的;更为重要的是,试验区内的天然岩土层被假定为半无限空间,至少在注水孔某一范围之内符合半无限空间的边界条件,渗透系数的计算公式也是从半无限空间推导出来的。而坝体在坝轴线方向上可以认为符合半无限空间条件,但在垂直坝轴线方向上则是 2 面临空(上、下游方向)的孤立土体(图 1),显然与半无限空间的假设条件(表 1)相差甚远。表 1 是《规程》中渗透系数计算公式中系数 A(形状系数)的取值规定^[1]。从表 1 中可以看出,有 2 个图(简图(b)和(d))所示的是试验土层顶部为不透水层,与坝体土条件完全不符;简图(a)和(c)的边界条件很明显,是针对水平地下水位和半无限空间体的,坝体上的钻孔不知如何选取该形状系数。

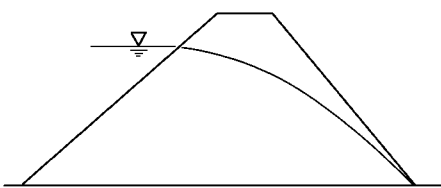


图 1 土坝坝体示意图

表 1 注水孔边界条件及形状系数取值

试验条件	简图	形状系数 A
试段位于地下水位以下,钻孔套管下至孔底,孔底进水		5.5r
试段位于地下水位以下,钻孔套管下至孔底,孔底进水,试验土层顶板为不透水层		4r
试段位于地下水位以下,孔内不下套管或部分下套管,试验段裸露或下花管,孔壁和孔底进水		$\frac{2\pi l}{\ln \frac{ml}{r}}$
试段位于地下水位以下,孔内不下套管或部分下套管,试验段裸露或下花管,孔壁和孔底进水		$\frac{2\pi l}{\ln \frac{2ml}{r}}$

注: $l/r > 8$; $m = \sqrt{k_h/k_v}$, 其中 k_h, k_v 分别为试验土层的水平、垂直渗透系数。

从以上分析可以看出,地下水位和半无限空间这 2 个最为重要的边界条件,天然岩土层与均质土坝坝体相差甚远,基本上不可以按照《规程》中所给的相同公式^[1]计算渗透系数。而原位试验是客观真实条件的反映,在此不适用也可以理解为渗透系数的计算公式不适用,需要根据工程实际另行研究和推导适合非半无限空间条件下的计算公式,也可以考虑采取现行公式的修正形式来解决差异性问题。

至此,笔者从不同侧面论证了注水试验方法一般情况下不适用于均质土坝坝体渗透性测试。当然,在特殊条件下也可能是适用的。

4 有关问题的讨论

从注水试验半无限空间的边界条件来说,当均

质土坝坝体足够宽厚和坝体浸润线(面)较为平缓时,注水试验有可能是成立的,其理由是黏性土的渗透系数较小,渗透范围有限,只要在注水试验时段内渗入土体的水在水平方向的渗径尚不足以达到坝体上下游临空边界时,则可以认为符合《规程》半无限空间的条件。《规程》第4.2.7款对试坑双环注水试验渗入深度确定方法的阐述:试验前在距试坑3~5m处打1个比坑底深3~4m的钻孔,取样测含水量与试验后试坑中心钻孔取样测得的含水量进行比较,以确定渗入深度^[1]。对此可以理解为,距试坑3~5m是渗径极限,满足这一要求就可以当成半无限空间看待。以此推论钻孔注水时的半无限空间边界也可以按距注水孔3~5m来考虑,则坝轴线上的钻孔按距坝坡3~5m计,坝顶宽度应大于6~10m,即可以认为基本满足边界条件的要求。但坝体浸润线(面)较为平缓的条件是很难满足的。

对于小型水库大坝来说,一般情况下都不能满足以上边界条件的要求,因为10多m高的土坝坝顶宽度也就2~3m,远达不到坝顶宽6~10m的边界条件要求,所以注水试验基本上不适用于小型水库均质土坝坝体渗透性测试;对于坝体较为宽厚的中、高坝,也只有在特殊条件下才勉强可以满足要求,因为坝体浸润线(面)不可能是水平的。另一方面,如果放空水库降低浸润线(面)之后再行进行坝体渗透性原位测试,实际上也是不可能的,当地农民不会答应轻易放空水库,当可以采用其他方法测试坝体渗透性时,放空水库的方案就是多余的。

根据已经做过坝体注水试验的若干工程实例来看,基本规律是现场注水试验测得的坝体渗透系数大于取样室内进行的试验值,例如室内试验测试的坝体渗透系数为 10^{-4} 量级,而现场注水试验测得的渗透系数为 10^{-3} 量级,即现场试验值一般要大于室内试验值1个数量级。如果按以上分析,可以接受的解释是:注水超出规定边界后从上、下游临空区渗出,注水量偏大,渗透系数自然偏大。按照渗透性质的定性分级,原来是弱透水(10^{-4} 量级)坝体就变成了中等透水(10^{-3} 量级)坝体,均质防渗土坝被评价为中等透水的“透水坝”,以此来进行坝体防渗处理,是对除险加固设计的误导。

取样进行室内试验的方法是沿用了数十年的传统方法,试验技术较为成熟,工程实例众多,工程类比依据充分,工程判定实用可靠。因此,建议对坝体、堤身等水工建筑物或孤立式人工填筑土体的渗透性测试以取样室内试验为主。

坝体注水试验值较室内试验值偏大的另一种解释是,坝体存在渗漏夹层(例如坝体填筑时垂直方向

上材料不均一、有透水性强的材料夹层或存在填筑密实度较差区域等),注水量顺着此类较强透水区渗走,导致所测渗透系数偏大。此类情况应具体分析,找出坝体渗漏的薄弱环节,有针对性地采取工程措施。

《规程》中关于“钻孔常水头注水试验在堤防、病险库勘察等工程中应用较广^[1]”的阐述,可以理解为是对堤防工程的堤基和病险水库大坝坝基渗透性测试的要求。SL55—2005《中小型水利水电工程地质勘察规范》第7.2.4款第7条“坝体钻孔宜进行注水试验^[2]”的规定,尚值得商榷,但随后在条文说明中并未推荐“钻孔注水试验”方法,而是对坝体明确“要求分区取样进行室内渗透试验^[2]”,显然存在前后矛盾。工程勘测设计需要提倡的是一切从工程实际出发,提高分析问题和解决问题的能力。

5 结 论

注水试验主要是针对天然地质岩土体的,对于人工填筑的坝体、堤身等具有临空边界的孤立式水工建筑物,特别是坝体单薄的小型水库均质土坝,笔者认为基本上不适用。当确实要采用这种试验方法时,需认真分析适用条件,慎重对待试验结果。传统的取样进行室内试验的方法沿用了数十年,试验技术成熟,工程实例众多,工程类比依据充分,工程判定实用可靠,建议现阶段仍然采用该方法的试验结果(地质建议值)作为均质土坝除险加固工程的设计依据。

注水试验这一原位试验方法具有客观真实性,是值得推广的试验方法。该方法应用于非半无限空间体条件时,需要另行研究和推导渗透系数的计算公式,或对现行《规程》给出的计算公式进行修正,以符合工程实际。

参考文献:

- [1] SL345—2007, 水利水电工程注水试验规程[S].
 - [2] SL55—2005, 中小型水利水电工程地质勘察规范[S].
- (收稿日期 2008-09-17 编辑 方宇彤)

