

黄壁庄水库副坝塌坝原因的同位素方法研究

陈建生¹,董海洲¹,陈 亮²,杨松堂²

(1.河海大学科学研究院,江苏 南京 210098;2.河海大学岩土工程研究所,江苏 南京 210098)

摘要 通过钻孔中进行的密度测定、人工同位素示踪、环境同位素分析等方法与技术,分析了黄壁庄水库副坝在进行混凝土连续墙施工过程中多次发生塌坑、塌坝的原因为:塌坝段下部的硅质灰岩中溶洞发育,充填物很少,上部地层多次的塌方使已固结的土体遭到严重的破坏,在护壁泥浆的长期浸泡下形成软塑状土,在重型机械的压力下,软塑状土从槽孔向溶洞中流动,造成严重的塌坑事故。

关键词 溶洞;塌坑;同位素方法;地层密度

中图分类号 TV641

文献标识码 A

文章编号 1000-1980(2004)05-0542-04

黄壁庄水库除险加固工程自 1999 年 3 月 1 日正式开工以来,由于水库地质条件非常复杂,副坝防渗墙施工中多次出现塌坝、塌坑、塌陷和裂缝等。2002 年 3 月 4 日,黄壁庄水库副坝(桩号 A4+033.1~A4+172.7)发生了加固历史上最为严重的塌坑事故,轴向和横向塌坑的影响范围分别达到 127 m 和 90 m,塌陷的体积接近 4000 m³。在塌坑之前笔者曾对该段进行过探测,并于 2002 年 2 月 20 日正式向黄壁庄除险加固工程管理局提交了“黄壁庄水库副坝混凝土防渗墙施工坍塌同位素方法探测及其塌坝原因分析报告”,文中对多次塌坑、塌坝的原因进行了分析。由于发现在基岩中存在溶洞,地层中存在疏松带,笔者对 A4 段做出了开春化冻后可能会发生塌坑的预报,第 6 次严重塌坑就发生在预测的范围之内。

1 塌坑之前所进行的塌坝原因调查试验研究

对于塌坑、塌陷、塌坝事故的调查,所采用的通常都是国内近年来比较成功的技术和方法,如高密度电法、弹性波 CT。但通过这些试验尚不能得出塌坑的真正原因,对试验结果的分析还存在着一些不同的认识,例如,对于中、细砂层和砂壤土层中存在疏松带,各个勘测单位认识不同。有的认为:“渗透流速较快(渗透系数最大可达 1 m/d),天长日久,其中的细颗粒被大量带走,致使这一层非常疏松……”实际上,细颗粒在孔隙中的流动是有条件的^[1],在砾石层是不可能产生“细颗粒被大量带走”的情况,因为在砾石层中的孔隙是是有限的,流动的细砂将会在孔隙小或流动不畅的窄口处形成自淤,最终堵塞通道。

由于对历史资料缺少调研,前期的勘探工作不够深入,副坝塌陷和裂缝的原因还曾归结为“坝体施工质量差,清基不彻底”^①。大量土石坝的研究表明,一般来说,选用自然土石材料建造的土坝随着固结时间的增长,会越来越趋于密实,强度随着时间的推移会越来越高。黄壁庄水库副坝已经建成 40 余年,如果仅为坝体本身的质量问题,如干密度不够、坝体松散等,在副坝修建的初期就应该出现沉陷、裂缝等。40 多年来在自身荷载的作用下,坝体的固结应该很好了,密度和强度都会比建坝初期大大提高。

对渗透破坏认识的不一致,造成了对黄壁庄水库大坝塌坑原因认识上的分歧,直接影响了对副坝连续墙施工的指导。

2 黄壁庄水库副坝存在裂缝、塌陷的原因分析

2.1 地质概况

黄壁庄水库副坝塌坝所在位置历史上曾为古河道^[2]。塌坝 A4 坝段的地层为冲/洪积层,从上至下可划

收稿日期 2004-03-04

基金项目 国家自然科学基金重点资助项目(50139030),国家自然科学基金资助项目(50179009)

作者简介 陈建生(1955—),男,江苏泗阳人,教授,博士,博士生导师,主要从事同位素水文学研究。

① 詹道江,叶水庭,丁贤荣,等.岗南黄壁庄水库古洪水研究报告,1991。

分为 7 层 (a)第四系上新统冲洪积壤土、砂壤土 (b)冲洪积中粗砂 (c)冲洪积砾石、砾砂 (d)冲洪积卵石层 (e)第四系中更新统冲洪积含碎石红黏土 (f)震旦系硅质灰岩夹少量薄层泥质灰岩 (g)元古界薄沱群千枚岩、大理岩互层。副坝的基础建设在古老的石灰岩地区,地层经历各个不同的地质年代。由于河流渗水长期侵蚀的原因,石灰岩中的溶洞极为发育,在所有产生塌坑、塌陷的区域,钻探都揭露到了溶洞,有些溶洞的规模很大,具有多层。大部分的溶洞中没有黏土沉积。

2.2 产生裂缝和塌陷的原因

黄壁庄水库副坝产生沉陷和裂缝的原因是:当受到外力的作用(如洪水期间水位猛增、水流速度加快等)时,卵砾石下部基岩中溶洞上部的松散层逐层向下塌陷。由于对塌陷和裂缝的原因没有调查清楚,认为裂缝和沉陷的原因是坝体在修建过程中碾压不实造成的,于是决定对副坝的坝身进行加固,在基岩以上建造一道 0.8 m 宽的混凝土防渗墙,深入到基岩之中。这就要求在地层中建造上下地层连通的槽孔,然后再向槽孔中注入水泥成墙。由于开工前不知道基岩中存在溶洞,采用了冲击钻成槽的施工工艺,冲击钻将深部的溶洞打通,它的强烈震动又破坏了土的固结,使护壁泥浆中的水分进入到非饱和土层中,造成地层强度大大降低。

实际上,存在溶洞塌陷的地层已十分疏松,而施工期间大量的泥浆水进入到非饱和地层中,使疏松的地层变成饱和,土的强度大大降低,钻孔时土已经为软塑状。同样成分的干密度土,会因为含水量的不同,其强度指标相差几个数量级。

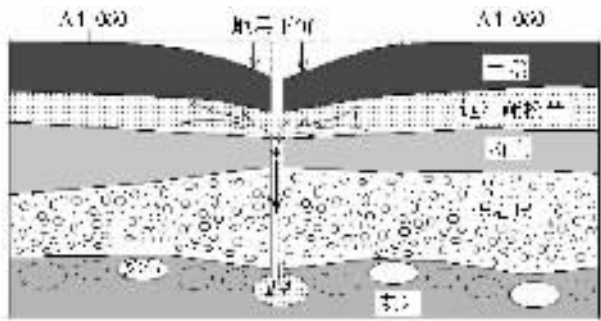


图 1 施工中塌坑事故原因分析

Fig.1 Sketch for analysis of collapse failure during the construction

$A = 0.8\text{ m} \times 3\text{ m} = 2.4\text{ m}^2$ 流体的速度 $= Q/A = 0.23\text{ m/s}$ 。疏松带软塑状土的流失示意图 1。

3 同位素方法探测副坝塌坝的隐患

2001 年 11 月 14~21 日和 2002 年 1 月 20~29 日对黄壁庄水库副坝桩号 K1+755~K1+865, A2+875~A2+935, A4+067~A4+337 和 A5+210~A5+270 4 个段的 24 个钻孔进行了温度、电导测量和人工同位素示踪技术测定流速^[3,4]、流向^[5]、垂向流^[6],并且进行同位素氦、¹⁸O 和氡分析。

经过调研,发现黄壁庄水库副坝勘测段曾经是古河道,在早期的勘探钻孔中曾揭露了溶洞,所以建议钻孔深度为卵砾石层下 25 m。钻探的 24 个钻孔中有 21 个发现了溶洞,大部分溶洞中基本没有充填物,有些钻孔揭露了几层溶洞,最大的直径达到 6 m。溶洞发育很靠近卵砾石层,在距离槽孔 11 m 的观测孔揭露的溶洞中发现了大量冲槽施工中的回填物,表明钻孔与槽孔揭露的溶洞是相同的。

3.1 孔中进行的温度和电导测试

探测中,在混凝土连续墙下游 11 m 处平行钻了一排观测孔,孔间距离为 30 m。塌坑段的温度与电导测试结果见图 2。显然在孔深 61 m、69 m 处存在低温异常,低温与溶洞发育相对应,而且在对应的低温处电导也偏低。低温和低电导

在冬季,地表面 20 cm 左右厚的地层结冰成为冻土,冻土的抗剪强度很高,所以在冬季施工一般不会发生很严重的塌坝、塌坑事故。而开春化冻后,地表面附近土的强度指标大大降低,在重型机械荷载与施工中产生的震动作用下,地表的固结层被破坏了,在钻机等重型设备的压力下,地层中软塑状的土开始变形并流动。一旦表层的固结黏土遭到破坏,上部的荷载将全部加在软塑状土之上,受压遭到破坏的软塑状土只有通过注浆槽孔流入深部基岩中的溶洞。

塌坝过程持续了 2 h,总塌坝量约为 4 000 m³,可以计算出土的平均流量为 $Q = 0.55\text{ m}^3/\text{s}$,槽孔的面积

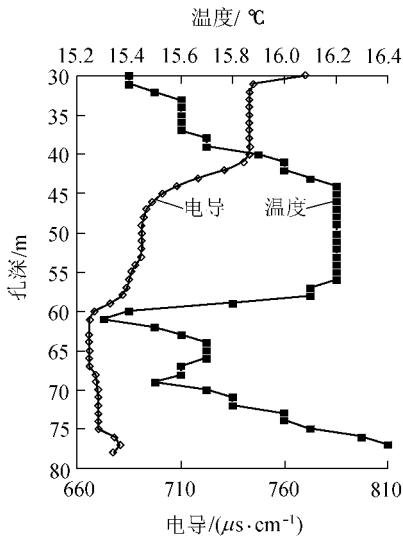


图 2 桩号 A4+037 孔中温度与电导

Fig.2 Temperature and conductivity distribution in borehole A4+037 before collapse

从位于桩号 A4 + 127 的 7# 观测孔中的密度曲线①可以看出 ,21 m 以上已经被压实 ,而 21 ~ 24 m 的土层仍然较为疏松 ,13 m 以上由于土壤的含水率低 ,密度曲线的计数率大 .基岩与卵石层中明显存在低密度区 ,显然由于变形和位移引起的 .24 ~ 40 m 的渗透流速在 0.03 m/d 左右 ,41 ~ 62 m 渗透流速接近 1 m/d ,泥浆与填料显然已经减小了基岩中的渗漏 .该孔对应于 2 号塌坑位置 .

位于桩号 A4 + 157 的 8# 观测孔在 44 ~ 48 m 的渗透流速较大 ,达到 8 m/d ,这是由于塌陷造成的卵石层松散所致 .上部 23 ~ 43 m 的渗透流速较小 ,61 m 以下的渗透流速小于 0.5 m/d .卵石层与基岩交界带的密度偏小 ,显然发生过地层的位移变形 .13 ~ 25 m 存在疏松带 ,是一个很危险的层位 ,存在沉陷的危险 ,需要进行加固处理 .

A4 + 037 ~ A4 + 187 段的渗漏剖面见图 4 ,在 4 + 037 A + 067 A + 157 附近存在强渗漏 ,深度在 50 ~ 60 m 之间 ,对应着低温与低电导 .

4 结 论

通过试验分析可知 ,黄壁庄水库副坝在运行过程中出现塌陷、开裂等灾害的原因是在卵石层下部基岩中存在很发育的溶洞 ,在长期水化学侵蚀、水力冲刷、上部荷载的共同作用下 ,溶洞上部的基岩出现了坍塌 ,砾石落入溶洞之中 ,然后逐层向下位移 ,最终造成了地表的沉陷与开裂 .在进行工程施工中 ,由于护壁泥浆比地下水位高出 20 ~ 30 m ,加上泥浆的比重大 ,所以当钻通基岩溶洞后 ,大量的泥浆伴随着卵石、砂、填料等流入溶洞之中 ,在泥浆压力的作用下 ,“泥石流”向溶洞更远的纵深流去 ,所以造成实际塌方的体积大于坝下溶洞的体积 .

参考文献 :

[1] 陈建生 ,李兴文 ,赵维炳 .堤防管涌产生集中渗漏通道机理与探测方法研究 [J] .水利学报 ,2000 (9) :48—54 .

[2] 李恩鹤 .黄壁庄水库副坝地质条件与垂直防渗处理的必要性 [J] .河北水利水电技术 ,2001 (4) :43—44 .

[3] 陈建生 ,董海洲 .井中测定流速广义示踪稀释物理模型 [J] .水利学报 ,2002 (9) :100—107 .

[4] 陈建生 ,赵维炳 .单孔示踪方法测定裂隙岩体渗透性研究 [J] .河海大学学报(自然科学版) ,2000 ,28(3) :44—50 .

[5] 陈建生 ,杨松堂 ,陈亮 ,等 .同位素示踪测定地下水流向中的异常现象分析 [J] .河海大学学报(自然科学版) ,2002 ,30(增刊) :148—152 .

[6] 刘光尧 ,陈建生 .同位素示踪测井 [M] .南京 :江苏科学技术出版社 ,1999 .41—70 .

Study on collapse sink of Huangbizhuang secondary dam with isotope method

CHEN Jian-sheng¹ , DONG Hai-zhou¹ , CHEN Liang² , YANG Song-tang²

(1. Research Institute of Science and Technology , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China ;

2. Geotechnical Research Institute of Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract :Based on the methods of density measurement , artificial isotope tracking , and environmental isotopic analysis in boreholes , the causes of collapse sink , which occurred many times during the construction of the continuous concrete wall for the Huangbizhuang secondary dam were analyzed as follows : the solution caverns in silicon sandstones developed under the collapse section of the dam ; with little material filling in the caverns , many times of upper stratum collapses resulted in serious damage to consolidated soil mass of the caverns , which converted into weak soil after a long-term soaking in the wall protective slurry ; the movement of slots in weak soil toward the caverns under the pressure of heavy machines caused the serious collapse sink .

Key words :solution cavern ; collapse sink ; isotope method ; stratum density

① 陈建生 ,刘建刚 ,杨松堂 ,等 .黄壁庄水库副坝混凝土防渗墙施工坍塌同位素方法探测及其坍塌原因分析报告 .2002 .