

长江中游江西江段 防洪干堤基础水患灾害致灾机制分析^①

李钧辉,何伟相

(江西省地质调查院,江西南昌 330201)

摘要 江西长江防洪干堤修筑在九江—黄梅平原第四系冲积层之上。作者通过对长江沿岸(江西段南岸)环境地质调查,依据大量的钻探工程资料,基本查明了防洪干堤基础工程地质条件,并对干堤形成水患灾害的类型、分布特征和致灾机制进行了综合分析,从而为今后防洪减灾提供了基础性地质依据。

关键词 水患灾害 致灾机制 防洪干堤基础 江西江段 长江中游

中图分类号 X14

文献标识码 A

长江中游江西江段位于江西省北部,长江南岸,全长 151.9 km。长江干堤分布在江岸松散堆积层之上,堤线长 122.89 km(图 1)。据有史记载(九江水利志),长江干堤梁公堤段始修于明朝万历五年(约公元 1577 年),清朝同治元年(1862 年)和三年(1864 年)在长江岸边又修筑了永安堤及赤心堤。由于新构造的活动(北升南降)及科氏力的影响,长江河道不断持续南迁,导致崩岸、削堤等不良后果。仅永安堤段 1917 年至 1955 年的 38 年间,向南迁堤 13 次,总计退堤 14100 m。据 1949 年至 1990 年统计,已经崩溃江岸 1.8 km,江泓不断向南移动。防洪干堤在历史上曾多次发生溃堤,几经修复和迁堤,显然,为有效地防治水患灾害,查明防洪干堤基础工程地质条件和致灾原因是十分必要的。

1 干堤基础工程地质条件

长江南岸地形地貌、地层类型及岩性组合特征较为复杂。地貌有丘陵、岗地、平原。地形标高为 14 m~200 m(黄海高程系)。地层从早古生代寒武纪—新生代第四纪均有出露。已固结成岩的前第四系组成耐冲刷基岩岸带,第四系松散堆积组成易冲刷岸带。长江南岸以易冲刷的第四系堆积为主,基岩仅零星出露。由第四系组成的松散堆积岸有下更新统九江组、中更新统进贤组、上更新统新港粘土和柘矶砂层、全新统联圩组。九江组为灰白、杂色砂砾石夹多层粘土、粉质粘土透镜体,厚度为 30~40 m,进贤组为棕红色粘土,网纹构造发

① 收稿日期 2002-06-03

国家地质调查项目 项目名称“长江中游主要水患区环境地质调查评价”,项目编号 19991230003044。

万方数据

第一作者简介 李钧辉(1963~)男,高级工程师,从事环境地质调查评价工作。

育,底部有薄层砂砾石,具双层结构,厚度为 5~10 m;新港粘土(又称下蜀粘土)为灰褐色粘土、粉质粘土、含铁锰质胶膜粘土,垂向节理发育,厚度为 5~10 m;柘矶砂层为浅黄、棕黄色中细砂夹少量灰褐色淤泥质粘土、粘质砂土,底部偶含小砾,厚度 5~30 m;联圩组上部为黄褐色粘土、粉质粘土,下部为灰黄、浅黄色粉细砂、中粗砂、砂砾石、卵砾石,双层结构明显,厚度 20~40 m。基岩出露仅零星分布于长江江西段上段瑞昌市码头镇以西与湖北省交界处和下段湖口县以东与安徽省交界处。上段出露基岩以碎屑岩类为主,下段则以碳酸盐岩为主。第四系松散堆积物上、中段下部多为不整合覆于下第三系碎屑岩之上,下段下部多为不整合覆于石炭、二叠系灰岩之上。基岩面起伏不平,第四系厚度不一,最厚处为 150 m,最薄处仅为 18 m,一般为 40~60 m。

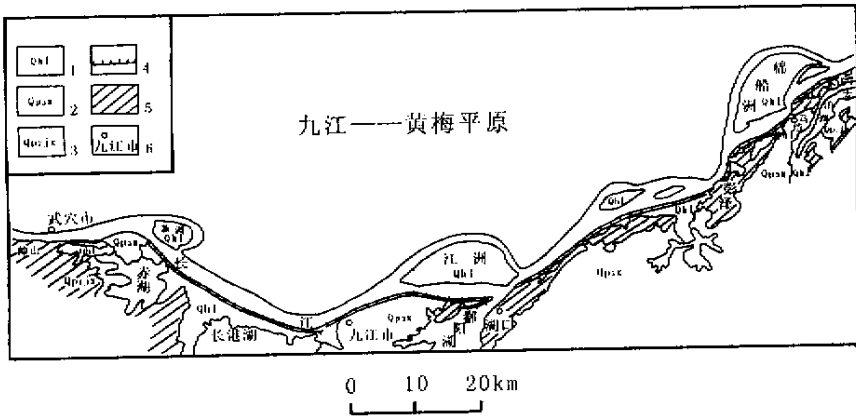


图 1 长江中游江西江段防洪干堤分布图

Fig.1 The distribution map of control flood dike of Changjiang river in Jiangxi

1—全新世联圩组地层 2—晚更新世新港组地层 3—中更新世进贤组地层 4—防洪干堤位置 5—基岩分布区 6—地名及所在位置

防洪干堤基础为第四纪沉积的松散堆积物。根据其岩性和土体结构类型可划分为一般粘性土、老粘性土、软土、砂土、砾类土 5 种类型。

①一般粘性土:广布于长江沿岸、次级河流谷地,包括全新统冲积、冲湖积相各种粘性土,以粘土、粉质粘土为主,粘质砂土仅零星分布,其间常夹有粉细砂和软土透镜体,呈可塑状、高—中压缩性,含水、饱水,透水性能差。②老粘性土:广泛分布于岗地、长江一级阶地和长江古河道,包括更新统冲积、残积的黄褐、棕红、灰白色粘土、粉质粘土及含碎石粘土。土层铁锰质含量较高,粘结紧密,呈硬塑至坚硬状态,中—低压缩性。③软土:为联圩组中层和湖相冲积层中的淤泥质粘土,第三系砂岩和灰岩表层风化残坡积红色粘土,天然含水量大于液限,呈软塑至流塑状,高压压缩性,承压稀释。④砂土:多伏于一般粘性土之下,为浅黄、灰白色粉砂、细砂、中砂、粗砂,中密至密实状态,颗粒分选性好,透水。⑤砾类土:分布于砂类土层之下,为灰、灰白色砾石、卵石层夹砾砂层透镜体,中密至密实状态,颗粒分选差,透水性强。

联圩组、进贤组均具双层结构,区内长江普遍切穿第四系上部粘性土层顶板,地下水与江水具密切水力联系。由于江水的不断侵蚀作用,往往沿上下岩层界面掏空,造成岩层失稳,使岸坡崩塌。新港粘土为粉质粘土、含铁锰质胶膜粘土,进贤组网纹状红色粘土,饱水状

态下比较稳定,气候干燥岸坡后缘则发育收缩和拉裂缝,易形成崩岸和滑坡。饱和的软土等松软土层,属灵敏的、稍易流动的土层,在地震作用和人工机械震动下,易发生附加荷载(如建筑物、人工筑堤)震陷现象。下伏基岩第三系新余群细砂岩、砂砾岩,岩石胶结较为松散,抗风化能力较弱,钙质胶结物易风化淋滤,砾石脱落后形成残留空洞,江水冲刷作用下,发展成岩洞和“岩穴”。裸露和第四系覆盖的岩溶化碳酸盐岩,特别是石炭、二叠系石灰岩,碳酸盐质地较纯,可溶性强,发育岩溶洞穴,具有发生岩溶塌陷的可能性。

由于北部桐柏—大别山的不断隆升^[1],九江地区相对沉降(据长江水利委员会十八年的水准观测,确定九江市年下降率为 1.8 mm),地势由北向南掀斜,造成长江深泓线不断南移,长江河道不断南迁。从多方面资料表明,大致沿长江河道均有新构造断裂存在,第四纪以来均有活动,有的目前仍活动。其上江段有 NW 向码头—赛湖(即武穴—九江)断裂沿江展布,在此断裂带上于 1972 年 4 月 29 日发生了强度 2.1 级地震和 1972 年 9 月 12 日强度 4.2 级地震;下江段有 NE 向马垱—新洲断裂控制长江河道走向,此断裂带上于 1976 年 11 月 19 日发生强度 2.2 级地震和 1977 年 5 月 10 日强度 1.6 级地震。

2 水患灾害类型及分布特征

江西连年来发生水患灾害在全国都属较为严重的省份之一。在每年汛期(4~8 月)为水患灾害发生的高峰期,长江中下游江西江段是江西防洪的主要地带,江岸多属第四系松散堆积的易侵蚀岸带,虽然修建了标准防洪干堤,但由于地质基础引发了许多工程地质问题,随着此段江泓的不断南移,水患地质灾害非常严重。主要水患类型有:管涌、渗漏、边岸崩塌、滑坡、溃堤。

2.1 管涌、渗漏

管涌、渗漏是长江中下游沿岸普遍存在的水患灾害之一。在 1998 年长江洪水期,管涌占干堤重大险情的 54.5%,居多种险情之首。历史上长江干堤决堤 90% 以上都是管涌造成^[2]。1998 年汛期,整个江西江段沿岸几乎全线发生过管涌、渗漏。管涌一般呈单个出现,少数成群出现。九江上游赤心堤、永安堤段和彭泽马垱下游船形堤段管涌作用最为强烈。据野外调查和实地走访,了解到仅赤心、永安堤段就有管涌十几处,管涌点数十个,船形堤段管涌点十余个。管涌直径小则几 cm,大者可达 1.2 m。管涌点绝大部分离堤脚较近,远者可达 500 多米。远处管涌点一般分布在堰塘、沟渠中,近处管涌多发生在上覆土体粘土层较薄地段及原来的老管涌点、民井、筑堤取土坑处。

2.2 边岸崩塌

边岸崩塌即崩岸,是长江中下游沿岸主要的灾害类型之一,分布相当普遍。崩岸的发生不但在洪水期有,在枯水期也有,而且多数崩岸尤其大规模的崩岸是在洪峰过后的江水回落至次年的汛期以前的枯、平水期,即 9 月至翌年 3 月份。低水位期地下水通过地层下部透水砂层补给江水,同时渗流作用将细小颗粒沿着骨架颗粒的孔眼或间隙带入长江。洪水期,高水位江水反补给地下水,产生水力联系。其渗透压力和潜蚀作用对崩岸生成与发展有着诱发和加剧作用^[3]。

2.3 滑坡

江西江段由水患引起的滑坡不多,典型的主要有两处,即彭泽马湖和湖口双钟。灾害均发生在枯水季节。此类灾害具有极强的隐蔽性和突发性,造成的损失和危害极其严重。

2.4 溃堤

江西江段防洪堤均修筑在江岸和心滩的全新世以来沉积之冲积相松散堆积层上,据史书记载,江西历史上由于长江大水,多处、多次发生过溃堤,造成洪涝灾害严重。溃堤发生时间主要在 6~8 月洪水期。九江上游永安堤段和江心沙洲(江洲、棉船洲)围垸为溃堤的多发地段。1954 年以前,所有堤防由于建设工程比较粗糙,堤身较低,经常发生溃堤事件,每遇大水,基本上大堤都被冲决或多处溃口。现虽已大大提高了防洪标准,但长江水位逐年抬高,加重了中下游的防洪负担。

3 致灾机制分析

3.1 管涌、渗漏

管涌主要是由于地下水受大堤内外的水压差的作用,即长江汛期高水位,通过地下砂层中产生渗流、潜蚀,与地下水发生水力联系,并在大堤内侧隔水层压力较小的弱势点处携带流砂翻涌出地表。如不及时处理或采取处理措施不当就会造成溃堤决口。如 1998 年震惊全国的九江 4~5 号闸防洪墙倒塌和江洲洲头大堤溃决就是由于大堤基础发生管涌所致。九江县永安乡江边村就因近堤脚民井(2 个民井分别离堤脚 440 m 和 450 m),98 年汛期长江水位为 18.61 m 时,发生管涌,当时长江水位高出地面 3.39 m。由于处理措施不当,99 年汛期在同一位置,长江同一水位时再次发生管涌,并产生地面塌陷,造成严重的险情。渗漏一般呈点状或线状沿堤分布。渗漏包括堤基渗漏和堤身渗漏,堤基渗漏是由于地下基础上部粘土层较薄、下部为砂性土,明显的土体双层结构,在大堤内外水力差作用下造成的,而堤身渗漏则是因堤防筑土过程存在工程地质问题(如大堤填土质量和压实不够造成堤身变形)或新构造活动、生物潜蚀、江水侵蚀造成堤基变形,使之堤防基础不牢,当长江高水位,引发堤身渗漏现象。堤防渗漏具隐蔽性、突发性特点,难以觉察。初期渗漏对堤的破坏是逐渐发生的,当渗透破坏达到一定程度时就会加速发展,形成管涌。

一般管涌分布区大多伴有基础渗漏。管涌、渗漏分布区根据沿岸工程钻探资料得知,均分布于全新世联圩组地层之上。上部为粘性土层,下部为砂土、砾类土,具土体双层结构。粘性土层厚度一般小于 10 m,多处为 4~6 m,最薄处(永安村徐家湾)仅 2.8 m。且管涌、渗漏区堤外滩狭窄,某些区段江泓已逼近堤脚。水位差和隔水层厚度是管涌能否发生的重要条件。通常水位差越大,隔水层越薄,渗漏、管涌越容易发生。经野外调查结合工程钻探资料证实,江西江段沿岸易发生渗漏、管涌水患区均分布在全新世地层之上,土体双层结构明显,粘性土层小于 6 m 的地区,管涌点有越来越多的发展趋势。

3.2 边岸崩塌

崩岸的形成与发展主要受控于长江河道的南迁,与岸带介质及江水流向有关。崩岸均发生在分布较多的抗冲刷能力弱的粉、细砂、软土岸带。根据其形成条件、主导因素及成因类型,可分为河流水冲刷为主形成的崩岸、地下水渗流变形形成的崩岸和风浪冲蚀形成的崩岸三类。河流冲刷作用与河流主流线特别是高水位期主流线的动态变迁密切相关。长江河床的持续南迁,江流对南岸的侧蚀、淘蚀作用强烈。由于岸坡下部受水流冲刷形成凹槽,上部悬空土体在重力作用下产生崩塌,一般出现于水动力条件强烈的冲刷岸。江西江段九江上游、湖口下游江岸均属侵蚀崩塌岸带。如永安江岸 50 年以来总体南移 1.8 km,发生较大崩岸长 44.5 km¹⁾据,冯湖江岸 40 年间(1950 年~1990 年)总体南移 1.1 km(县城镜子山—彭

朗矶)崩岸长 4.1 km。主要原因是岸坡表层粘性土层以下全部为砂性土,由于江流主流线的迁移靠岸,湍流江水的冲刷,加剧了江水堤岸的冲刷、潜蚀和掏空,上部的粘性土表壳崩解坍塌,岸线逐渐后退。洪峰过后,在江水位大幅度下降的短期内,临江地带边岸失去江水顶托,处于临空而低水头回压状态,地下水以大坡降、高落差向江中排泄,带走坡脚土体中的细小颗粒,导致边岸崩塌。此原因造成的崩岸在沿岸极为普遍。平、枯水期,江水已回落,水流流速减缓,冲刷能力减弱,边岸以遭受风浪冲蚀为主。这时期地下水大量补给江水,渗流、潜蚀作用加强,产生地下渗流变形,使临江边岸下部掏空,在诸多因素的共同作用下,发生崩岸。如永安江岸王以珍险段,64 年 10 月一次就向江中崩落 300 余 m 宽,崩岸长 800 m,98 年 10 月底又崩岸长 180 m,宽 12 m,现已崩至堤脚。长江江西江段随着江水主流线的不断南移,边岸崩塌极为严重,上述三种崩岸因素均作用强烈。

3.3 滑坡

滑坡形成的原因是地下基础存在较厚的软土层,在临江侧岸坡下部已掏空,枯水期地下水补给江水,在上部重力作用下,使堤基软土产生变形,向临江方向发生堤岸滑坡。此类灾害造成的损失巨大。下面以彭泽马湖和湖口双钟两个典型的滑坡实例,对滑坡形成的原因和作用的过程进行综合分析。

(1)彭泽县马湖段曾发生过多次较大的滑坡,又是崩岸极为严重地区。60 年代在此建堤时,原有 250~300 m 宽外滩,到 1986 年经过二十多年冲刷只剩下 20~35 m。马湖特大滑坡事件之前分别于 1973 年、1988 年发生过两次较大的滑坡。1975 年 3~4 月,对应 1996 年特大滑坡位置堤内农田出现了“长约 150 m,宽约 10~20 cm,局部见底深 40~50 cm”的地裂缝;“放入灌溉的水全部从中(地裂缝)流失”。1995 年 11 月 12 日开始马湖堤段的加宽加高工程施工,于 1996 年 1 月 3 日,在 1973 年滑塌处的下游约 200 m 处发生了滑坡。该滑坡初期缺口长约 150 m,宽 80 m,滑坡不断发展达到长 240 m、宽 90 m。1996 年 1 月 8 日傍晚,马湖特大滑坡事件发生,发生前兆是大堤缓慢变形引起的高压电线火花出现,江岸边坡上树木开始倾斜晃动,约 10~15 分钟后,地面开始晃动,人站立不稳,地面出现裂缝,大堤在“一声巨浪”的声音中消失。近滑坡体后缘的残余房屋倾向江中,房子向江中水平位移 10 多米。滑坡缺口长度达 960 m、宽达 200 m,并且与前三次连成一片,形成一个长达 1210 m 的缺口。根据工程钻探资料,滑坡处地基上部为黄褐色粘土,厚 3.2 m;中部为灰褐色淤泥质粘土、粉质粘土、淤泥质土,厚 15.05 m;下部为浅灰、深灰色细砂,厚 15.30 m,覆于二叠系石灰岩之上(图 2)。由于下游彭郎矶的存在,阻碍了江水的通畅,产生回流,不断淘蚀坡脚,使岸坡处于悬空状态,在大堤加宽加高和重型机械作业的影响下,下部软塑—流塑状的淤泥质土产生稀释、“液化”,发生滑坡。江岸遭受侵蚀,枯水期地下水补给长江水形成渗流、潜蚀作用,加上堤基软土变形是造成马湖段多次滑坡的主要原因。

(2)湖口县双钟圩堤紧邻上石钟山,位于鄱阳湖入江口,全长 1220 m。于 1999 年 12 月 16 日开工兴建。2000 年 4 月 9 日早上 6 时 55 分至 7 时零 5 分,正处在建设中的双钟圩堤,从中部突然发生向湖中滑塌 50 余 m 宽、280 m 长的灾害事故(图 3)。堤基陷落 5~6 m。

此处堤基基础是由河湖相沉积物组成,总厚度约 23 m。据工程钻探资料:自上而下为淤泥质粘土,厚 8.8~10.3 m,呈软塑状态;淤泥质土,厚为 4.6~7.2 m,流塑状态;淤泥质粉细砂,厚 2.4~3.8 m,松散状;中砂及角砾碎石,厚 1.3~2.1 m,松散状。覆于坚硬的泥盆系含砾石英砂岩之上。大堤直接修筑在软塑状淤泥质粘土和流塑状淤泥质土之上,此类土处

于饱水状态 ,天然含水量高 ,孔隙比大 ,具高压缩性 ,抗剪强度低。滑塌段内侧原是一个污水排泄处 ,每天均有上千吨的污水从此处流入湖中。新修圩堤与内侧造船厂组成一个封闭性的水域 ,大量污水涌入 ,积水成潭 ,形成“人造湖”。当时“人造湖”水位大大高于鄱阳湖、长江水位 ,地表滞水的渗透和湖水、地下水的浸泡 ,使淤泥层的含水量进一步加大 ,发生滑坡时圩堤正处于紧张的建设中 ,笨重的推土机、铲土机、载重车辆来回不断的辗压震动 ,使坝体基础本来就处于饱水状态的淤泥层的结构发生变化 ,产生了“液化”现象 ,砂土变成了粘滞流体。随着坝体不断加高 ,压力不断增大时 ,加上重型机械震动 ,过往船只搅动湖水 ,使处于悬浮状态下的堤基产生滑坡。

3.4 溃堤

发生大堤溃决的原因有多方面的因素 :江水冲刷 ,特别是迎流顶冲部位 ,堤防管涌 ,地基变形 ,包括堤基基础渗流、潜蚀作用 ,新构造活动 ,生物侵蚀等。

(1)江水冲刷、迎流顶冲 :长江河道水流通过冲刷堤坡、淘蚀堤脚和漫顶冲刷侵蚀堤防。水流侵蚀作用主要是由横向环流引起的凹岸堤防冲刷和凸岸淤积。凹岸冲刷常引起凹岸堤防崩塌和决口 ,主要有以下几种情况引起 :A.河道拐弯时形成的水冲部位 ,直接遭受水流冲刷 ;B.河流蛇行弯曲时由于离心力作用所产生的横向环流对凹岸迎水侧堤坡产生冲刷 ;C.在直线河段护岸不连续的部位或河床沉积物有变化的部位 ,由于流沙的非平衡状态出现而发生水流冲刷 ;D.河道水流作用对堤脚造成土体流失掏空坡脚而诱发崩岸 ,造成堤防溃

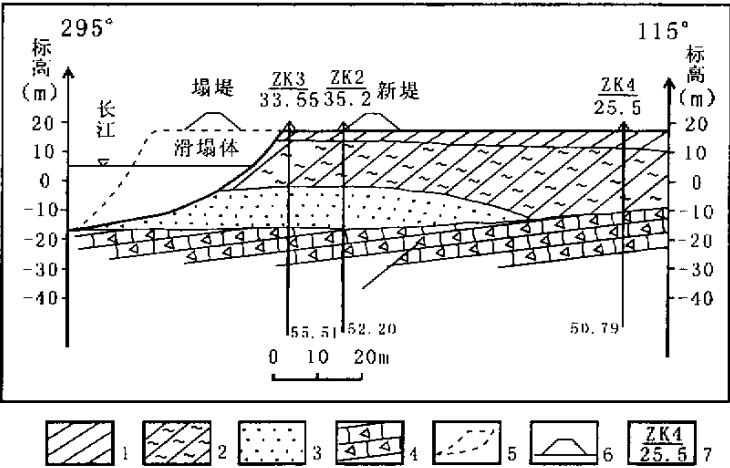


图 2 彭泽县马湖长江干堤工程地质勘探剖面

Fig.2 The geological section of dike of Changjiang river in Mahu ,Pengze
1.粘土 2.淤泥质粘土 3.细砂 4.石灰岩 5.滑塌体 6.长江干堤位置 7.钻孔
(孔号/第四系厚度)

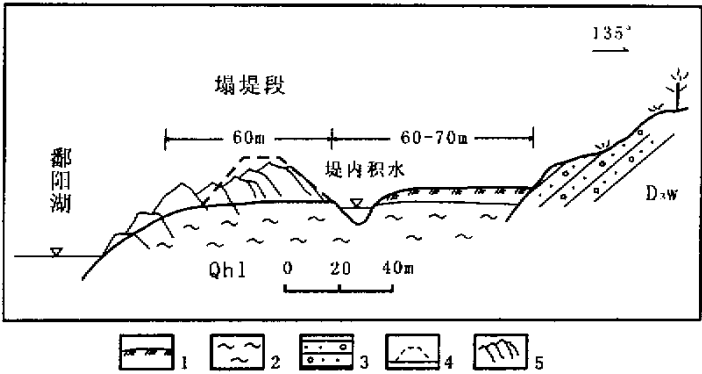


图 3 湖口县双钟圩堤滑塌剖面

Fig.3 The creeping section of dike of Shuangzhong , Hukou
Qh1 - 第四系鄱湖组 ; D₃W - 上泥盆统五通组

1.杂填土 2.淤泥、淤泥质粘土 3.砂砾岩 4.原圩堤位置 5.塌堤

决^[2]。如 1998 年长江大水 ,由于迎流顶冲造成江洲洲头、牛脚无堤闸堤防溃决 ,江洲长江北支右岸、棉船洲北支右岸因河道弯曲造成顶冲溃堤。

(2)堤防管涌 堤防管涌见于表层为隔水层或弱透水层、下部为透水层的双层结构堤基。洪水期在表土层底面产生较高承压水头 ,当承压水头超过表土层的抵抗力 ,表土层就会被顶穿 ,其下砂层颗粒被水流带出就形成管涌。穿堤建筑物的渗流破坏多是沿基土、顶部填土与建筑物的接触面产生的 ,进而形成渗流通道 ,引起堤防溃决。历史上长江干堤决堤 90% 都是堤基管涌造成的。1998 年九江城防堤 4 ~ 5 号闸溃决就因堤基管涌而造成。

(3)地基变形 堤基基础上部表土层薄、下部存在透水层 ,而透水层由于渗流、潜蚀作用的不断加强 ,造成堤基变形引起堤防下陷、坍塌 ,在洪水冲击下而引发堤防溃决。生物潜蚀发生在堤身内部一定深度范围。某些生物为栖身生存而筑的巢穴 ,如鼠洞、蛇洞、獾穴、白蚁穴等 ,其中尤以白蚁潜蚀危害致险最为严重。在汛期高水位情况下 ,生物潜蚀将会引发堤防跌窝、漏洞、堤身管涌 ,易酿成重大险情。江西省境内长江大堤 1998 年洪水期间曾发生 66 处因蚁害导致大面积漏水^[2]。新构造活动在江西北部表现比较强烈 ,桐柏—大别山隆升 ,造成长江河道不断南迁。沿江均分布有活动断裂存在 ,构造活动影响堤基的稳定 ,破坏岸坡建筑物包括堤防、水闸等 ,难以抵御洪水期高水位的江水水流冲击 ,易造成溃堤。

参考文献

[1] 李长安. 桐柏—大别山掀斜隆升对长江中游环境的影响[J]. 地球科学, 1998, 23(6): 562 - 566
[2] 朱建强, 邹社校, 潘传柏. 长江中下游堤防侵蚀及其防治[J]. 水土保持通报, 2000, 20(5): 5 - 10
[3] 鞠建华. 长江中下游堤岸主要工程地质问题分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, 12(2): 23 - 25

Analysis on flood catastrophe mechanism
in Jiangxi , the Middle Reaches of Changjiang River

LI Jun - hui , HE Wei - xiang
(Jiangxi Institute of Geological survey , Nanchang 330201 , China)

Abstract

Flood bank in Jiangxi is built on the Quaternary alluvium of Huangmei Plain. Based on the environment geologic investigation and many drilling data , comprehensive analyses have been made for the types of flood catastrophes , flood distribution and causes of catastrophes . The analyses provide some information for controlling flood and avoiding calamity .

Key words : flood catastrophe ; causing catastrophe mechanism ; flood bank basement ; Jiangxi River ; Middle Reaches of Changjiang River