

新构造断裂控制的北江大堤石角段管涌初探

杨秋芳^{1,2}, 王建平¹

(1. 河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 中交第三航务工程勘察设计院勘察工程公司, 上海 200232)

摘要 : 长期以来北江大堤石角段管涌险情久治不愈, 备受关注。阐述了北江大堤石角段地质、水文地质条件及其对管涌多发性成因机制的争议。通过实际调查新构造断裂发育特征, 探讨基岩新构造断裂发育对管涌形成的控制作用。研究发现新构造断裂带等地质缺陷确实存在, 形成地下水集中径流带, 使石角段基岩产生集中渗水通道, 大大增强了基岩红层的透水性能, 导致汛期管涌发生。指出在研究松散层渗透特性和规律的同时, 必须重视对下伏基岩工程地质条件和地质构造的全面探测研究, 今后大堤的除险加固应综合考虑下伏基岩的渗透通道。

关键词 : 管涌 新构造断裂 第三系红层 北江大堤 石角段

中图分类号 : TV871.3 **文献标识码** : B **文章编号** : 1006-7647(2007)S2-0120-03

北江大堤位于北江下游, 始于广东省清远市石角镇。石角段是北江大堤的首段, 是北江大堤主要险段之一。该段地势低平, 为南北向河谷冲积平原, 历史上曾多次决堤出险, 历年汛期各种险情不断, 其中管涌占整个险情的 90% 以上^[1], 不仅危害大且久治不愈。大量的勘探、试验研究分析显示石角段堤基地质结构复杂, 下伏基岩可能存在类似于洞穴管道等的强渗透通道^[2], 但一直未能得到广泛的认同, 使大堤除险加固和对管涌成因的认识存在争议^[3-4]。本文在总结前人研究成果的基础上, 通过野外地质调查新构造断裂发育特征, 结合堤基地质勘探资料的分析, 探讨新构造断裂控制石角段管涌多发的成因机制, 为大堤的除险加固提供参考。

1 地质环境及主要问题

北江大堤区域构造位于印支构造的罗沅—大赛褶皱群和广花复向斜之间, 属三水红色盆地西缘。石角至河口段北江河流方向与该褶皱轴向基本一致, 呈北北东—南南西走向。石角段为第三系红层残丘与冲积阶地相映的地貌景观, 下伏基岩在 6 + 450 以北为上泥盆统帽子峰组 (D_{3m}), 由石英砂岩夹钙质页岩、灰岩组成, 有微弱溶蚀现象; 6 + 450 以南为第三系丹霞群 (E_{dn}) 红层, 以紫红色粉砂岩为主, 间夹砾岩, 泥质胶结, 强度较低。基岩上部覆盖上更新统中期 (Q_3^2) 和全新统 (Q_4) 的松散冲积层, 最

大厚度超过 30 m, 其中砂及卵砾石层最大厚度超过 25 m, 渗透系数为 50 ~ 500 m/d, 为极强透水层。

北江大堤从 1954 年进行联围, 并逐年加高培厚。先后进行过 3 次大规模的加固, 在石角段背水坡约 60 ~ 180 m 范围内填沙压渗, 压渗段末段高程为 9.5 m。1990 年冬针对强透水地基堤段 (桩号 5 + 840 ~ 10 + 883) 进行了专门的高喷射水泥浆防渗板墙加固处理, 墙基深入松散冲积层以下基岩 1 ~ 2 m, 1994 年 4 月完成。但在 1994 年 6 月和 1997 年 7 月, 北江水位分别达到 50 年和 20 年一遇时, 堤后仍发生严重的管涌。当外江水位超过 9.8 m 时, 8 + 731 ~ 9 + 180 距堤脚 180 m 的排水渠底发生多次渗透破坏。

存在的主要工程地质问题或险情有^[5] : ①堤基的大量渗漏。由于堤基下强透水层厚度大, 堤基砂层渗透系数大, 致使汛期堤基渗流量很大。②严重的‘沙沸’和流土。‘沙沸’和流土现象整个北江大堤都出现过, 其中以石角段的古河床型堤段、漫滩型堤段及历史溃口堤段处险情最严重。③因大量流土而发生地面沉陷和堤内剩余水头太高使堤基大面积失重而上浮。

2 管涌成因的争议

多年来对于北江大堤石角段管涌的成因一直存在争议^[6], 主要有两种观点。

a. 大多数研究人员认为管涌产生于砂砾石层,

作者简介 杨秋芳 (1981—), 女, 上海人, 硕士研究生, 从事基岩地下水及环境水文地质研究。E-mail : yqf3305@126.com

与深部基岩无关。渗漏是通过砂层和砾石层进行的。历次除险加固的各项工程措施都是针对这一地基结构实施的,管涌险情未完全消除的原因是由于隐蔽工程的局限性及工程实施过程中可能存在某些薄弱环节或质量欠佳的堤段。对石角段基岩红层透水性的理解如下^[7] ①基岩裂隙或破碎带含水透水层,与第四系强透水层同属于北江河水补给,其渗透通道呈条带状。基岩地下水流动在单位流量下流速较快,进入孔隙性砂岩中流速会迅速减慢,不可能在砂层中形成集中的管道及冲过几十米砂层直到地表。②根据石角地区地质调查,红层断裂构造不发育,很少见到规模较大的断层。沿走向或倾向同种岩性常有不连续现象,如砾岩呈透镜状或交错分布。③在石角出露的红层中,未发现溶洞。根据同位素示踪试验钻孔资料,所谓掉钻的位置均分布在弱风化砾岩内或砾岩与砂岩、粉砂岩层接触面上,与该处的层面和砾岩本身胶结差及构造裂隙发育程度等因素有关。

b. 另一种观点则认为,石角段发生的“管涌”其实是严格意义上的流土,它是由基岩中存在的集中渗漏通道引起的,江水直接通过它补给到砾石层下部,水流上升到上部的砂层,当渗流力足够大时将覆盖黏土层顶穿,形成管涌。其依据是部分钻孔资料、同位素示踪试验等成果^[8]。主要认识是:①地质调查和钻探表明,基岩主要为红色砂岩和砾岩,其胶结物主要为钙质。其中还夹有薄层石灰岩和泥灰岩,并存在一种以石灰岩砾石为主的砾岩。上述岩石经岩溶作用,可被溶蚀形成溶孔及溶洞,成为地下水的通道。溶洞或溶蚀带经钻探证实,其垂向高度自0.2~3.7 m不等。②遥感图像解释和钻孔电视观察,发现基岩中存在多组断裂,其中一组为与沿北江发育的大断裂相交的北东东向断裂,正好在管涌区的下部穿过。③钻孔常规注水试验证明基岩中存在极为强烈的透水带。特别是钻进突快部位较钻进正常部位(即岩石)的吸水率高出一至两个数量级,最大可达109.3 Lu,并与钻孔岩芯中存在的溶洞和破碎的部位相吻合。④同位素示踪法测定,大多数钻孔中基岩段的水平流速远大于其上覆的冲积层,证明北江水是以基岩连通为主,约占总出水量80%以上,即80%以上的管涌水来自基岩。

上述争议的焦点,集中在对沟通大堤内外水力联系,从而产生管涌的途径或通道的认识上,即到底是上覆第四系强透水层还是基岩透水通道引起的管涌。

3 红层新构造断裂发育特征

石角地区地形上以剥蚀残丘和河流冲积平原为主,沿江发育高程6~9 m和10~14 m两级阶地。二

级阶地向东、向南发育高程15~20 m,30~40 m和50 m以上三级台地,各级台地均由下第三系丹霞群红层组成。岩石露头主要分布在遥堤南北两头的大片丘岗区域,岩性为泥质粉砂岩、泥岩夹细砾粗砂岩及含砾粗砂岩或互层,砂岩单层厚度在5 m左右。从遥堤两头的岩层分布特征可知,北江大堤石角段下伏基岩为该层岩性。一个明显的特征是,遥堤南北两侧红层的产状相向倾斜,北侧倾向西南,产状为340°/SW∠12°,南侧倾向北东,产状为305°/NE∠9°,并且地层倾角有向南增大的趋势,反映红层受到构造作用呈现出宽缓向斜盆地的构造特征。砂岩露头通常风化强烈,呈松散砂,可见其钙质胶结和成岩较弱的特征,孔隙率及透水性较强。地表可见砂岩中沿砂岩和上覆泥岩的交界面受地表水流冲刷而成的洞穴和沟槽,说明红层岩性强度较低,遇水易软化崩解,形成空洞,产生似溶蚀现象。

断裂剖面位于遥堤南侧约1 km、西牛南村西、卡房水库北侧的小山包上(图1)。由于开发区厂区道路建设,开挖出一条很好的剖面。整个剖面由第三系红层组成,从下到上可分为3层:最下层为灰白色、浅灰色含砾砂岩砾岩,未见底;中间层为紫红色泥质粉砂岩、砂岩,厚5 m左右;最上层为砖红色含砾砂岩,风化严重,呈半松散状。断裂带以节理裂隙密集带的形式产出,可见单条裂隙多达35条以上,裂隙间距一般在1.5 m左右,断裂带总的视宽度在70 m左右。裂隙产状285°/SW∠80°,裂面稍呈波状,可见少量切砾现象,根据裂面上反映出的羽列和阶步特征分析,断裂带具有反时针张扭性活动特性,但未见裂隙带明显错断地层的现象。沿裂面还可见到钙膜充填和少量水迹及退色现象,说明断裂带对地下水活动起着一定的沟通作用。

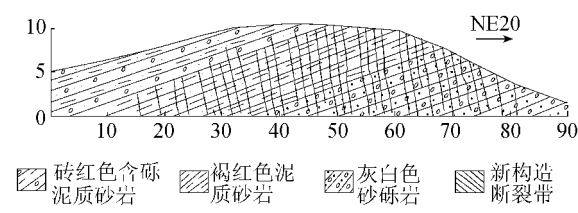


图1 卡房水库北侧山包人工边坡地质剖面(单位:m)

沿断裂带延伸方向追索,在其西侧的了哥水库边第三系砂岩层中,同样见到断裂裂隙发育带,并且沿裂面冲蚀成槽沟,因此可以判断,此新构造断裂带的存在是毋庸置疑的,但由于地表风化强烈,很难见到清楚的断裂迹象,这也是先期的调查未能发现的主要原因。

根据卡房水库断裂发育的特征,在遥堤北侧六房水库西的第三系泥质砂岩中,也见到与其同方向平行展布的裂隙带发育,沿裂隙面地表形成直线状

细沟。该断裂带的延伸方向直指石角段管涌多发的莲藕塘附近。

综合地表勘查断裂带发育特征,结合珠三角新构造断裂发育的总体特征^[9],认为石角区域新构造断裂发育具有 1 ~ 1.5 km 等距分布的特点,且切割性和延伸性均较强,是红层基岩中不可忽视的重要地质现象。

4 红层断裂带管涌形成机理初步分析

红层新构造断裂带的发育,无疑增加了红层砂岩的透水性,沿断裂带往往成为地下水集中径流带和强烈活动带。由于岩性和钙质胶结的溶蚀,极易沿断裂带结构面形成空洞和通道,特别是在江水位反复涨落引起的水位波动下,产生长期的溶蚀、冲蚀,使红层地下水与江水具有良好的水力联系,成为沟通堤内外水力联系的重要通道。从岩性特征分析,这种通道在红层砂岩中以及红层砂岩与泥岩接触的顶面极易形成。由此认为红层基岩渗水通道是红层砂岩岩性与断裂带组合在地下水的作用下形成的产物,如图 2 所示。石角段大量的钻探和试验研究都不同程度地揭露了这些基岩渗漏通道^[10-11],成为形成管涌的一个重要原因。由此砂岩岩性分布以及断裂带位置对地表管涌发生的位置具有决定性作用。这也是理解管涌发生在远离堤脚的不同位置的原因之一。

诚然,管涌点的出露是一个多因素综合作用的结果。由砂岩断裂带引起的渗透通道使得其露头位置水头压力衰减不明显,甚至与北江水位变动同步,北江水位的震荡,还会引起地下水产生瞬时高压,洞穿上覆的黏土隔水层,产生管涌。管涌的出露还与上覆第四系岩性结构、黏土层分布及其厚度有一定的关系。由此可见,如果在断裂带砂岩露头地段

采取压砂措施,则消除管涌的效果可能更佳。

5 结论与建议

堤基的管涌对堤防安全的危害极大,必须对其形成机制和发展规律进行深入的研究,提出切实可行的预防措施与治理方法。

北江大堤石角段堤基管涌研究和治理历史久远,屡修屡决,引起国内外专家的广泛关注。至今为止,对其管涌的认识和治理都集中在堤基下伏厚约 30 m 的第四纪冲积砂层和砾石层中,严格按照水利工程勘察、设计和施工程序,经国内多方专家审查通过的。但由于管涌始终不能根治,随着地质调查的不断深入和对深部地质条件的进一步认识,红层断裂带可能引起的管涌发生机制和安全隐患得到了更多的认识和重视,地面红层新构造断裂的确认为这一观点提供了更直接的证据。

石角段管涌具有复杂的成因机制,深部红层新构造断裂透水带的存在是一个不可忽视的条件。目前针对松散冲积层的各种治理措施已经到位,而进一步开展对深部基岩断裂带勘察及其渗透特性的研究,已经成为未来彻底根治管涌的主要目标和任务。主要可进行以下工作 ①通过细致的地面地质调查,结合地球物理探测技术,查明堤段红层新构造断裂发育及其溶(侵)蚀作用,阐明堤基管涌与红层新构造断裂分布的关系。②通过钻探和试验,查明红层新构造断裂的溶蚀强度、渗透特性及其对管涌发生的作用,探讨管涌形成机制。③通过数值模拟计算分析,进一步研究管涌发生、发展的机制、条件和过程。必要时还可以进行物理模型的模拟。④分析论证各种管涌治理措施和方案对地下水渗流场的影响,为防治决策提供依据。

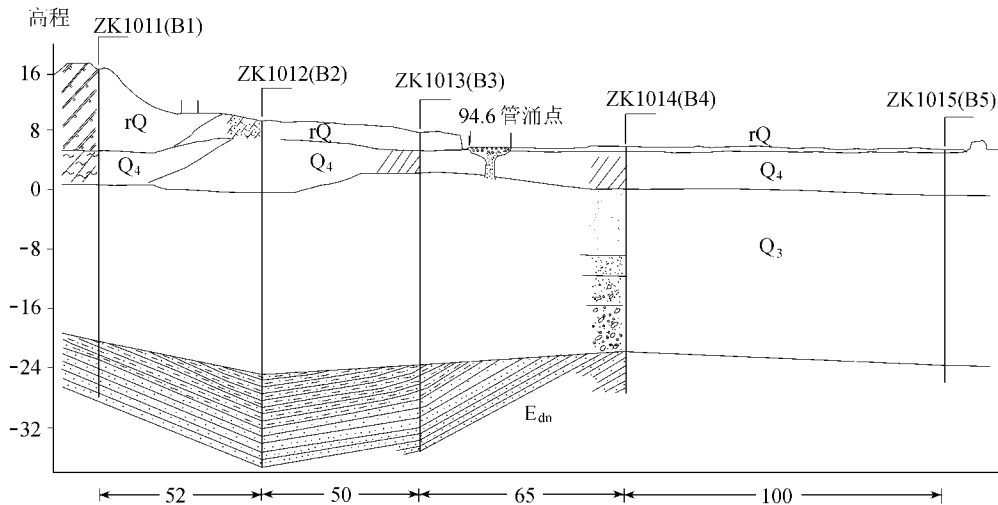


图 2 石角段 7 + 330 断面管涌发育与砂岩透水带关系示意图(单位: m)

(下转第 128 页)

10 m,计 126 个,进尺 1 134 m,最终孔距为 5 m。

本次灌浆造孔机械采用土钻机,利用卷扬机牵动重锤,锤击钻杆成孔。造孔采用干法,端部和中上部摩擦杆直径 50 mm,下部花杆直径 38 mm,孔深 9 m (孔口高程 28.00 m)。

2.5.3 制 浆

制浆采用泥浆搅拌机制浆。在迎水坡坡肩处挖一个泥浆过滤池,一个泥浆池,用 D—07 单桶打浆机制备纯黏土浆及黏土水泥浆,制成浆液经 2 mm 网筛过滤后流入泥浆池。制浆的土料塑性指数大于 12,是由上级主管部门指定地点并经检验合格后确定使用的。

2.5.4 灌 浆

灌浆采用孔底注浆全孔灌注的方法,灌浆开始采用稀浆,经过 3~5 min 后再加大泥浆稠度,在灌浆中,应先对第一序孔轮灌,采用‘少灌多复’的方法,待第一序孔灌浆结束后,再进行第二序孔灌浆,每次最大灌浆量应按 7 m³ 左右控制,每孔灌浆 5 次,每次间隔时间 5 d;灌浆过程中,坝顶裂缝小于 2 cm,坝肩处横向水平位移小于 3 cm。

2.5.5 灌浆结束标准及封孔

当堤顶裂缝连续 2 次冒浆,堤顶裂缝又基本连成一线时,即可认为结束。灌浆结束后,将注浆管拔出,注满密度大于 1.5 t/m³ 的稠泥浆,如果浆面下降,可继续灌注稠浆,直至浆面升至坝顶不再下降为止。

3 灌浆过程中遇到的问题及处理

a. 在灌浆过程中,堤身转弯处及本工程中间偏北部分出现异常裂缝(斜、横向裂缝),分析是因为堤身原施工质量差,堤身局部应力复杂,尚未形成小主

应力的原因。出现异常裂缝后立即停灌,待堤身应力得到一定程度调整,过一段时间后再灌。第二次复灌时基本没有出现此现象。

b. 灌浆过程中,迎水坡冒浆情况较多,多与该处堤身原施工质量差有关。冒浆全部出现在护坡石缝处,经采取剔缝并拌和水泥封堵的方法处理后均不再冒浆。

c. 一序孔平均单孔吃浆量在 18 m³ 左右,部分孔吃浆量为 35~70 m³。一序 114 号孔的单孔吃浆量达 141.2 m³,在灌浆过程中,孔口压力与周边孔基本正常,但裂缝长达 13 m,经核实,该处堤身构筑时系为两个乡的施工交界处,均未碾压到位,造成堤身极不密实,故吃浆量很大属正常。

4 结 语

在灌浆施工过程中,共计完成灌浆 251 孔,进尺 2 259 m,灌浆(水泥黏土浆)3 766.70 m³,均严格按照施工方案和相关规范进行施工。经有关部门对施工的质量进行监督和抽样检查,工程的布孔、造孔、工艺操作、浆液性能、综合控制情况、各孔终止灌浆均达到的标准,封孔、灌浆中出现的问题及处理情况等符合设计要求,灌浆效果较好。

根据灌浆现场观测和实际调查,灌浆后堤身形成一道防渗帷幕,说明此次灌浆是很成功的。灌浆结束 1 年后的汛前,经骆马湖高水位时的验收钻探测定分析,邳洪河大堤的渗漏窖潮现象消失,由此可见劈裂式灌浆法满足设计要求,该法在骆马湖邳洪河大堤渗漏加固中应用效果良好。

(收稿日期 2006-09-07 编辑 熊水斌)

(上接第 122 页)

参考文献:

[1] 周红星,曹洪,林洁梅.管涌破坏机理模型试验覆盖层模拟方法的影响研究[J].广东水利水电,2005(2):6-10.
[2] 刘建刚,陈建生,陈亮.北江大堤石角段基岩渗漏评价及形成机理分析[J].水文地质工程地质,2001(4):23-25.
[3] 杨传敏.北江大堤石角段仍需加固[N].南方都市报,2005-07-13(A9).
[4] 郭清宏.2005 广东两会焦点提案:25 亿难固北江大堤[N].南方都市报,2005-01-28(A6).
[5] 王著杰.简述北江大堤埋设测压管的必要性[J].西部探矿工程,2003(4):13-15.
[6] 林忠,古晓明.也谈北江大堤石角段管涌的认识[J].广

东水利水电,2005(5):19-21.
[7] 李宁新.北江大堤石角段若干地质问题初步分析[J].人民珠江,2000(2):15-18.
[8] 陈建生,茹建辉,黄春华,等.同位素水文学方法研究北江大堤石角段基础渗漏研究报告[R].南京:河海大学等,2001.
[9] 肖楠森.新构造分析及其在地下水勘察中的应用[M].北京:地质出版社,1986.
[10] 刘建刚,陈建生.基岩渗漏成因病险堤坝的两个典型案例[J].岩石力学与工程学报,2003,22(4):683-688.
[11] 叶合欣,黄春华,陈建生,等.北江大堤石角管涌多发段基岩地质条件分析[J].水文地质工程地质,2003(4):76-78.

(收稿日期 2006-10-24 编辑 熊水斌)