

山区河谷层状岩质岸坡稳定问题的宏观预判方法

韩羽¹, 杨健, 李宁新

(1. 中水珠江规划勘测设计有限公司, 广东省广州市, 邮编: 510610)

摘要: 山区河谷遗漏岸坡稳定问题是工程产生重大风险的主要原因之一。本文把工程地质问题定义为在工程(新)作用和工程(新)环境下相关地质体的不良行为和不良功能, 把勘察策划和外业过程中对工程地质问题的定性分析界定为对工程地质问题的判别, 运用系统工程地质勘察思路, 把工程地质问题判别工作贯穿勘察工作全过程, 提出工程地质问题判别的技术思路; 根据自然地质系统的功能规律, 揭示自然地质体的性能与行为规律, 建立山区河谷层状岩质岸坡稳定问题的判别原理并据此提出相应的预判方法。采用三维宏观差异分区建模方法, 建立初拟的河谷分区(段)地质结构模型, 可以进一步获得相应河段岸坡地质结构, 并通过预判不利地质结构对岸坡稳定问题作出预判。

关键词: 工程地质问题判别; 河谷地质结构; 层状岩质岸坡; 预判方法

中图分类号: **文献标志码:** A

Macroscopic prediction method for stability of stratified rock bank slope in mountain valley

HAN Yu¹, YANG Jian, LI Ning xin

(1. China Water Resources Pearl River Planning Surveying & Designing Co., Ltd GUANGDONG GUANGZHOU 510610)

Abstract: The stability of the neglected bank slope in mountain valley is one of the main reasons for the major risks. In this paper, the engineering geological problems are defined as the bad behaviors and bad functions of related geological bodies under the engineering (new) function and engineering (new) environment, and the qualitative analysis of engineering geological problems in the process of survey planning and field work is defined as the discrimination of engineering geological problems. According to the function rule of natural geological system, the performance and behavior rule of natural geological body are revealed, the discriminating principle of the stability problem of stratified rock bank slope in mountain valley is established, and the corresponding prediction method is put forward accordingly. Partition modeling method based on 3-d macro differences, the establishment of the quasi valley division (section) at the beginning of the geological structure model, can further to obtain corresponding river bank slope geological structure, and through the anticipation adverse geological structure on bank slope stability to make predictions.

Key words: Identification of engineering geological problems; valley geological structure; Stratified rock slope; Prediction method

0 引言

在山区河谷开展工程地质勘察, 岸坡稳定问题是主要工程地质问题。工程实践中, 不少勘察人员困守于“先有勘探, 后有地质分析”的勘察思路, 勘察策划缺乏工程地质问题预判, 仅按规范平均布置勘探试验, 有些项目竟然把移民安置点或工程建筑物选址放在古滑坡上, 直接导致工程产生重大风险。

文献^[1]把勘察对象(与工程有关的地质体)作为系统加以考察, 提出了“先假设模型, 后做勘察验证”的系统工程地质勘察思路, 把查明工程地质问题作为工程地质勘察的中心任务, 要基于“假设的地质模型”进行工程地质问题(预)分析, 据此安排勘察工作。文献^[2]建立起自然地质系统与自然地质体、工程地质系统与工程地质体等基本概念, 提出工程地质问题分析主要就是对工程地质体的行为的预测性分析, 为进一步理解工程地质问题并开展工程地质问题预判提供良好的基础。

本文进一步把工程地质问题定义为在工程作用和环境相关地质体的不良行为和不良功能, 把勘察策划和外业过程中对工程地质问题的定性分析界定为对工程地质问题的判别, 运用“先假设模型, 后做勘察验证”的系统工程地质勘察思路, 提出工程地质问题判别的技术思路; 针对山区河谷层状岩质岸坡稳定问题的预判, 在完善河谷地质结构分类的基础上完善河谷层状岩质岸坡地质结

收稿日期:

第一作者简介: 韩羽(1979-), 男, 河南镇平人, 高级工程师, 硕士研究生, 从事水利水电工程地质勘察研究工作。E-mail: 398911423@qq.com

构分类，并根据自然地质系统的功能规律，揭示自然地质体的性能与行为规律，建立山区河谷层状岩质岸坡稳定问题的判别原理并据此提出相应的预判方法。

1 与工程地质问题有关的若干基本概念

文献^[1]把工程地质问题定义为：工程建筑与工程地质条件（地质环境）相互作用、相互制约而引起的，对建筑本身的顺利施工和正常运行或对周围环境可能产生影响的地质问题。

文献^[2]提出，研究工程地质系统的功能实质上是研究工程地质（岩土）体与其外部环境的相互作用关系；工程地质问题分析主要就是对工程地质体的行为的预测性分析。自然地质体的行为是外部环境作用下自然地质体自身产生的变化。

自然地质体与工程地质体都是地质体。地质体的行为是外部环境（自然环境或工程环境）作用下地质体自身产生的变化。显然，在外部环境作用或外部环境条件干扰下，地质体自身必然产生变化（行为），有正常变化也有不良行为；不良行为还常常伴随不良功能。据此，本文把外部环境作用下地质体的不良行为和不良功能称为地质问题；而且，自然环境作用下有自然地质问题，工程（新）作用和工程（新）环境下有工程地质问题。

1.1 自然地质问题

本文把自然地质问题定义为：自然地质体在外部自然环境作用或条件变化下的不良行为和不良功能，如出现崩塌、滑坡等现象。相当于自然灾害。即虽然认同自然地质问题是“地质体与外部环境相互作用引起的”，但不再把自然地质体作为“地质环境”，而是把它（勘察研究对象）作为地质系统的实体。

1.2 工程地质问题

与工程有关的地质问题，是指因工程建设引起的工程地质问题，即因工程建设改变了相关自然地质体的外部环境作用或条件，导致相关地质体产生的不良行为和不良功能。即工程地质问题是指在工程（新）作用和工程（新）环境下相关地质体的不良行为和功能，可以称为广义工程地质问题。

因工程建设改变了的外部环境条件，既包括工程（新）作用和工程（新）环境（合称工程条件），也包括相关自然地质体与工程（新）作用和工程（新）环境共同构建起的工程地质系统整体的外围环境，常常对工程地质系统整体有一定的制约作用（简称环境制约条件）。

据此，广义工程地质问题可以细分为狭义工程地质问题和环境工程地质问题。

狭义工程地质问题定义为：在工程（新）作用下相关自然地质体的不良行为和不良功能。如工程（建筑物）作用下地质体的变形（行为），进而导致建筑物出现的不允许变形（功能）。

环境工程地质问题定义为：工程（新）环境下相关自然地质体的不良行为和不良功能。不良行为如水库诱发地震、水库坍岸、水库浸没等问题；不良功能如开挖边坡引起工程边坡变形，进一步引起边坡上的建筑物变形；再如水库蓄水导致水库坍岸，进而引起岸坡上的建筑物变形等。

1.3 工程地质问题判别

显然，自然地质体的性能是自然地质体行为的基础，外部环境作用是外因，自然地质体的性能（优劣）才是决定自然地质体行为（大小）的内因。据此，基于对地质体性能和外部环境（自然环境或工程环境）作用的认识，可以定性预测地质体是否产生不良行为和不良功能。

本文把对地质问题的定性预测称为地质问题判别。即对在外围环境作用下（自然环境或工程环境）相关地质体是否可能产生不良行为和不良功能进行判别。

如上所述，工程地质问题是指在工程（新）作用和工程（新）环境下相关地质体的不良行为和不良功能。工程地质问题分析就是对上述不良行为和不良功能的预测分析。文献^[3]提出，工程地质问题分析是工程地质工作的中心环节；工程地质问题（预）分析还能够起到指导勘察的作用，为合理选用勘察手段，布置勘察工作量提供依据。这种指导勘察的工程地质问题（预）分析就是对工程地质问题的预判。

工程地质问题判别首先是对“是否”可能存在问题作出定性分析，追求找全问题（不遗漏）；然后是对存在问题的类型进行定性分析，追求找对问题（不误判）。

资料不完备时的宏观定性分析阶段（勘察策划和外业过程）开展工程地质问题判别，不仅能满足勘察策划时找出勘察重点的需要，而且能满足勘察过程中重大方案比选（规避重大地质风险）需

要，并据此及时调整勘察方案。

本文把定量分析才称为工程地质问题分析。即工程地质问题分析是对“判别”找出的工程地质问题作进一步分析，最终要获得对工程地质问题的严重程度乃至影响程度的定量分析结论，满足处理方案设计需要。

1.4 工程地质问题判别的技术思路

运用“先假设模型，后做勘察验证”的系统工程地质勘察基本思路，工程地质问题的判别采用“先有宏观预判，后做勘察验证”的技术思路。结合勘察流程，工程地质问题判别分别进行预判、初判和复判。

工程地质问题的宏观预判首先是指在分析已有资料的基础上，提出初拟的分区（段）地质模型后，结合规划设计意图，就开始识别各初拟分区（段）的不利因素，预判工程地质问题，为现场查勘提出重点区段和重要岩土层；其次是指在现场查勘初步验证基础上，进一步识别重点区（段）不利地质结构，预判重大工程地质问题，为编制工程地质勘察方案（大纲）提供重点勘察范围，并选择合适的勘察手段（组合）。

“后做勘察验证”是指在勘察过程不断验证或修正分区（段）工程地质结构模型的基础上，逐步验证和修正工程地质问题的判别（初判），最后在外业结束前完成工程地质问题的复判。

显然，宏观预判是工程地质问题判别的首要环节。由于勘察策划时资料较少，这一环节既难度最大的环节，又是薄弱环节。

2 山区河谷层状岩质岸坡稳定问题的判别原理

2.1 自然地质体的性能与行为规律

根据自然系统的结构功能规律：虽然元素、结构、环境三者共同决定系统的性状与功能，但自然系统的性状与功能主要地是由结构决定的^[4]。据此有自然地质系统的结构功能规律：虽然元素（组成）、结构、环境三者共同决定自然地质系统的性状与功能，但自然地质系统的性状与功能主要地是由地质结构决定的。

采用“自然地质体”及其性能、行为和功能等概念，有自然地质体的性能与行为规律：虽然元素（组成）、结构、环境三者共同决定自然地质体的性能与行为，但自然地质体的性能与行为主要地是由地质结构决定的。

2.2 岸坡稳定问题的地质结构控制原理

如上所述，地质体的性能与行为主要地是由地质结构决定的。据此有地质问题的地质结构控制原理：在组成性能不差和外部环境变化不大的情况下，地质问题主要由岸坡地质结构控制。

对于某具体工程，勘察范围内的岸坡地质体组成（尤其是分层）基本明确而且性能良好（能够自稳），岸坡地质体的稳定问题（不良行为）主要由岸坡地质结构控制。本文称之为岸坡稳定问题的地质结构控制原理。

2.3 山区河谷岸坡地貌差异的地质结构控制原理

2.3.1 山区河谷局域地貌单元差异的地质成因控制原理

把地貌视为自然地质体的外貌，山区河谷地貌现状是自然地质体行为在演化过程中的阶段性表现，即外部环境对自然地质体阶段性改造的结果。山区河谷地貌现状形成的内因是自然地质体性能（抵抗外部环境改造作用的能力），外因是外动力地质作用（即系统的外部环境改造作用）因素，如日照、降雨、水流等。

把具体工程勘察范围内的山区河谷地貌单元称为局域地貌单元，其中的外动力地质作用因素（日照、降雨、水流等）差异不大，自然地质体的性能差异就成为产生局域地貌差异的主要控制因素，即山区河谷局域地貌单元差异受地质成因控制。

当地质组成差异明显时，河谷地质体的性能首先受控于地质组成，山区河谷地貌差异首先受控于河谷地质体组成（如硬岩U形峡谷、软岩V形谷）；当地质组成差异不大时，河谷地质体的性能主要受控于地质结构，即山区河谷地貌差异受控于河谷地质结构（如横向谷的对称峡谷、纵向谷的不对称峡谷）。

2.3.2 山区河谷两岸地貌明显差异的地质结构控制原理

具体工程勘察范围内的山区河谷两岸，外动力地质作用因素（日照、降雨、水流等）差异不大，当两岸地质组成差异也不大时，两岸地貌的明显差异（不对称）受控于河谷地质结构，本文称之为山区河谷两岸地貌明显差异的地质结构控制原理。

如某段纵向谷，两岸外动力地质作用因素（日照、降雨、水流等）差异不大，当两岸地质组成差异明显时，两岸地貌差异受控于河谷地质体组成（硬岩陡坡与软岩缓坡）；当两岸地质组成差异不大时，两岸地貌受控于河谷地质结构：因两岸地质结构差异明显，结构面不利的层状顺向坡一岸，常被环境“改造”成缓坡，结构面有利的层状逆向坡的另一岸则被环境“改造”成陡坡，以致纵向谷多形成明显不对称岸坡；而横向谷两岸地质体基本相同且结构面有利，外部环境“改造”成的地貌相似，以致横向谷多形成对称岸坡。

3 山区河谷层状岩体岸坡稳定问题宏观预判方法

运用山区河谷局域地貌单元差异的地质成因控制原理原理，可以根据山区河谷地形地貌差异识别地质差异，为勘察策划初拟河谷地质结构分段提供依据；运用山区河谷两岸地貌明显差异的地质结构控制原理，可以根据岸坡地形地貌差异识别宏观地貌异常，进而识别岸坡地质结构异常，为预判岸坡稳定问题提供依据。而河谷地质结构及岸坡地质结构是宏观预判的基础。

3.1 河谷地质结构及岸坡地质结构

3.1.1 河谷地质结构及其分类

河谷地质结构是指河谷形态及其地质结构的综合^[5]。依河流流向与岩层产状的关系，层状岩体河谷可分为：水平岩层河谷、纵向谷、横向谷、斜向谷。

上述横向谷是指河谷延伸方向与岩层走向正交($60^{\circ} \sim 90^{\circ}$)的河谷；斜向谷是指河谷延伸方向与岩层走向斜交($30^{\circ} \sim 60^{\circ}$)的河谷；纵向谷是指河谷延伸方向与岩层走向基本一致(小于 30°)的河谷。

既然河谷地质结构是指河谷形态及其地质结构的综合，按地质结构首先应该分为两大类：块状岩体河谷和层状岩体河谷。其中，层状岩体河谷的“地质结构”应该全面考虑岩层产状三要素（走向、倾角与倾向）河谷延伸方向的不同组合。工程实践中，岩层倾角对河谷地貌差异乃至工程地质问题具有重要意义，如中等倾角纵向谷必然形成一岸中等倾角顺向坡，其稳定性比缓倾角和陡倾角顺向坡都要差；再如混凝土坝坝基，倾角大于 30° 的层面一般不控制的深层抗滑稳定问题，中等倾角横向谷常作为优良坝址。据此，需要全面考虑岩层产状三要素，提出更为全面的层状岩体河谷地质结构分类。

- 1 类，横向谷，有缓（中等或陡）倾角倾向上（下）游等 6 种组合（亚类）。
- 2 类，纵向谷，有缓（中等或陡）倾角倾向左（右）岸等 6 种组合（亚类）。
- 3 类，斜向谷，有缓（中等或陡）倾角倾向上（下）游偏左（右）岸等 6 种组合（亚类）。
- 4 类，斜向谷，缓（中等或陡）倾角倾向左（右）岸偏上（下）游等 6 种组合（亚类）。
- 5 类，水平岩层河谷。

其中，岩层倾角小于 5° 为水平岩层， $5^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 为缓倾角， $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 为中等倾角，大于 50° 为陡倾角。

上述层状岩体河谷地质结构类型，既为初拟不同河段的河谷地质结构模型提供了直接依据，也为进一步获得相应河段岸坡地质结构提供依据。

3.1.2 岸坡地质结构

所谓岸坡地质结构，是指河谷两岸岸坡形态及其地质结构的综合。同样有两大类：块状岩质岸坡地质结构和层状岩质岸坡地质结构。本文只限于层状岩质岸坡地质结构分类。

文献^[6]的岩质边坡分类，按岩体结构把层状岩体分为层状顺向（缓倾、陡倾）结构、层状逆向结构、层状斜向结构等四类。工程实践中，层状顺向中等倾角结构的岸坡滑坡（包括天然滑坡和工程滑坡）也颇为常见；具有上硬下软结构的水平层状岩质岸坡，倾倒变形乃至崩塌常见。

因此，根据上述全面考虑不同倾角的河谷地质结构类型，本文按岩体结构把层状岩质岸坡地质结构首先分为水平层状结构和倾斜层状结构两大类；倾斜层状结构再细分为层状顺向（缓倾、中倾、

陡倾)结构等三个亚类、层状逆向结构(缓倾、中倾、陡倾)等三个亚类、层状斜向(缓倾、中倾、陡倾)结构等三个亚类。

3.2 三维宏观差异分区建模方法

勘察策划时,通过已有资料分析和现场查勘初步验证,采用三维宏观差异分区建模方法,建立初拟的河谷分区(段)地质结构模型。

宏观预判重点关注河谷分区(段)的三维宏观差异。三维差异是指空间三维差异,如上下游+左右岸(侧)+不同高程。根据山区河谷局域地貌单元差异的地质成因控制原理,勘察策划(尤其是现场查勘)可以根据宏观地貌差异识别地质体差异。

横河向(X):如果两岸地质体(岩性或结构)存在差异,经常反映在两岸地形地貌上有明显差异。如对称河谷与不对称河谷等差异。

顺河向(Y):如果不同河段河谷地质体(岩性或结构)存在差异,经常反映在不同河段的地貌差异。如宽谷与峡谷、对称河谷与不对称河谷等差异。

垂向(Z):不同岩性在不同高程存在的岩溶或风化差异,也经常反映在不同高程的地形地貌差异。如软岩缓坡与硬岩陡坡差异。

3.3 不利岸坡地质结构预判

3.3.1 初拟岸坡地质结构

根据不同河段的初拟河谷地质结构模型,可以进一步获得相应河段初拟岸坡地质结构。

1) 横向谷:两岸均呈横(切)向坡,岸坡走向垂直岩层走向,两岸岸坡岩层倾上游或下游,软弱层面不构成控制天然岸坡稳定的结构面。

2) 斜向谷:两岸均呈斜向坡,坡走向与岩层走向斜交,但其中一岸属于斜顺向坡,当其中的层面倾角为中等或存在缓倾软弱夹层时,构成控制岸坡稳定的结构面。

3) 纵向谷:一岸为顺向坡,一般属于不利结构,当层面倾角为中等或存在缓倾软弱夹层时,构成控制岸坡稳定的结构面;另一岸呈反向坡,倾向坡内,不构成控制岸坡滑动稳定的结构面,但具有上硬下软结构时,软层构成控制岸坡倾倒变形乃至崩塌的结构层。

3.3.2 不利岸坡地质结构预判

根据初拟岸坡的地质结构,据此可以预判是否(或哪一岸)存在不利岸坡地质结构。最为典型的有二类:

1) 具有上硬下软结构的水平层状岸坡地质结构,软层构成控制岸坡稳定的结构层,两岸均可能存在倾倒变形乃至崩塌问题;

2) 缓倾、中倾层状顺向岸坡地质结构,层面或缓倾软弱夹层构成控制岸坡稳定的结构面,可能存在滑坡问题。

3.4 山区河谷地质结构异常预判

根据山区河谷两岸地貌明显差异的地质结构控制原理,提出山区河谷宏观地貌异常预判的二个判据。

1) 纵向谷两岸地貌正常情况下不对称,纵向谷一旦出现对称岸坡,可以预判为顺向坡一侧地貌异常,即顺向坡地质结构异常;

2) 横向谷两岸地貌正常情况下是对称的,横向谷一旦出现不对称岸坡,可以预判为缓坡地貌异常,即缓坡地质结构异常。

通过宏观地貌异常识别岸坡地质结构异常,预判岸坡不利地质结构,据此找出勘察重点。在勘察周期普遍较短的现实面前,仍困守于“先有勘探,后有地质分析”的勘察思路,勘察策划缺乏工程地质问题预判,容易误判乃至遗漏岸坡稳定问题而导致工程设计重大失误。

如某中型水库^[7],因把建筑物区河段的纵向谷误判为横向谷、勘察策划没有识别出左岸存在的河谷地貌等异常,因而没有对此开展针对性勘察而遗漏古滑坡,左岸溢洪道大部分均处于古滑坡堆积体中下部。施工图设计被迫做出重大设计变更,增设二排抗滑桩(加锚索)进行滑坡处理。

补充勘察发现,建筑物区河段河谷两岸地貌差异明显:右岸山体陡峭,基岩呈陡坡(70°~80°),770m高程以上为土质斜坡,坡度35°左右;左岸为土质缓坡,坡度15°~30°。即“横向谷”呈现出明显不对称岸坡,左岸缓坡地貌存在异常,其中隐含地质结构异常,勘察策划缺乏预判识别。此外,坝轴线左岸溢洪道附近个别岩石露头岩层产状缓倾坡外,与上下游岩层产状明显不同,地质测绘过程

中没有及时识别；勘探孔揭露：左岸缓坡较厚堆积层与下伏基岩之间缺乏全强风化（渐变）层，弱风化基岩为粘性土夹块石、碎石层呈“突变”接触。勘察过程中没有及时识别。

4 结语

1) 地质问题是指在外部环境作用下地质体的不良行为和功能。地质问题分析就是对地质体不良行为和不良功能的预测分析。

2) 工程地质问题的判别，是对在工程（新）作用和工程（新）环境下相关地质体是否可能产生不良行为和不良功能进行判别。采用“先有宏观预判，后做勘察验证”的技术思路，从勘察策划就可以开展工程地质问题的宏观预判。

3) 根据自然地质系统的功能规律，揭示自然地质体的性能与行为规律，可以建立山区河谷层状岩质岸坡稳定问题的判别原理并据此提出相应的预判方法。

4) 采用三维宏观差异分区建模方法，建立初拟的河谷分区（段）地质结构模型，可以进一步获得相应河段岸坡地质结构，并通过预判不利地质结构对岸坡稳定问题作出预判。

参 考 文 献

- [1] 李宁新.工程地质勘察学若干理论问题探讨[J].人民珠江, 2005,4: 15~17.
- [2] 李宁新,陈杰.工程地质系统若干基本概念[A].水利勘测技术成就与展望[C](中国水利学会勘测专业委员会2018年年会暨学术交流会论文集).武汉: 武汉理工大学出版社,2018.
- [3] 张咸恭,王思敬,张倬元.中国工程地质学[M].北京: 科学出版社,2000.
- [4] 张华夏,叶侨健.现代自然哲学与科学哲学.广州: 中山大学出版社,1996.
- [5] 陈德基.中国水利百科全书水利工程勘测分册[M]. 北京: 中国水利水电出版社,2004.
- [6] 中小型水利水电工程地质勘察规范编写组.2005.中小型水利水电工程地质勘察规范(SL55-2005)[S].北京: 中国水利水电出版社.
- [7] 韩羽, 李宁新, 等. 2014. 贵州省望谟县纳坝水库工程左岸溢洪道边坡处理设计变更报告 [R].广州: 中水珠江规划勘测设计有限公司.

韩羽, 广东省广州市天河区天寿路沾益直街19号712室, 电话: 020-87117893, 手机号18929059357, 电子邮件: 398911423@qq.com