岩土工程勘察中不良地质作用评价方法

王祥稳

云南省曲靖市设计研究院有限责任公司 云南 曲靖 655000

【摘　要】：不良地质作用评价关系到岩土工程勘察成果能否支撑基础选型、支护设计和施工风险控制。本文识别钻探、物探、地下水、原位测试和室内试验之间的证据关系，提出工程判据、指标分级、组合权重、风险分区和现场适用性评价方法。评价过程将软弱夹层、断裂破碎带、岩溶、采空区、流砂等对象纳入同一指标体系，结合风险指数和敏感性排序形成分级结论。方法强调资料完整性、判据来源和分级边界的说明，以降低漏判、泛判和处置失配。

【关键词】：岩土工程勘察；不良地质作用；评价方法；风险分级；多因子权重

DOI:10.12417/2811-0536.26.10.034

引言

岩土工程勘察应回答地层性质、场地稳定性和施工扰动风险。不良地质作用具有隐蔽性和空间非均质性，软弱夹层、断裂破碎带、岩溶、采空区、流砂和高水位渗流常在开挖、降水或加载后放大工程影响。隧道、公路和城市地下空间案例表明，现场调查、物探判识、钻孔揭露和原位测试应转化为可分级、可复核的评价结论，才能服务设计与施工决策，并为补充勘探提供边界依据。

1 岩土勘察评价资料与地质判据

1.1 工程场地钻探物探资料完整性核查

不良地质作用评价的第一道约束来自勘察资料完整性。钻孔柱状图控制垂向层序，物探剖面约束横向连续性，地下水复测解释水力边界，原位测试和室内试验补充强度、变形与渗透指标[1]。若孔位稀疏、物探异常未校核、地下水时段单一或试样扰动明显，评价结论会把局部异常误判为场地整体风险。资料完整性核查应先统一坐标、高程、层名、取样深度和测试口径。图 1 说明勘察资料完整性核查链路。



图 1 勘察资料完整性核查链路

图 1 中，五类资料分别进入完整性核查节点，右侧评价数据集由文件、剖面、曲线和表格组成，说明不良地质作用评价应先统一层位、标高和指标来源。

1.2 不良地质作用工程判据设定

不良地质作用判据应覆盖成因、分布、强度和工程暴露条件。软弱夹层结合厚度、含水率、压缩性和排水边界判断，断裂破碎带关注岩体完整性、节理密度、充填物和导水性，岩溶或采空区强调空洞规模、覆盖层稳定和塌陷通道。判据不宜只列现象，还应说明其对基础承载、边坡稳定、基坑变形、隧道围岩和地下水控制的影响。判据设定还应区分已暴露现象与可能被工程活动激活的潜在作用，前者依靠钻探、露头和探槽确认边界，后者依靠地下水、荷载路径和开挖扰动推定触发条件，并落实到分级阈值。

2 不良地质作用评价方法与分级结果

2.1 复杂地层水文边界条件识别

复杂地层的水文边界决定不良地质作用触发条件。软弱土在高含水状态下强度衰减，断裂破碎带在承压水或裂隙水补给下形成导水通道，砂土或粉土遇基坑降水可能出现管涌、流砂和液化敏感性增加。识别时应把含水层、隔水层、补给排泄通道、季节水位和施工降水影响放在同一剖面解释[2]。水文边界还要检查不同季节、埋深和含水层之间的联系，特别是承压水顶托、裂隙水集中补给和降水引起的水力坡降变化。同一含水系统内若存在隔水层破损或人工降水连通，评价单元应按水力联系重新划分。

2.2 钻探物探原位测试数据分层整理

钻探、物探和原位测试数据应按工程地质层和评价单元同步整理。钻探确认土层界线、岩性变化和取样位置，物探延伸异常平面边界，标准贯入、静力触探、剪切波速或旁压试验把异常转化为力学指标。分层整理不是简单合并资料，而是把同一层位的描述、曲线、测试值和水文信息放入共同坐标系[3]。整理时

还应处理比例尺和测试范围差异，避免钻孔、物探与原位测试之间的异常边界错位。整理成果还应保留原始层名与统一层名的对应关系，便于后续复核异常点位、测试深度和风险等级来源关系。

2.3 不良地质作用指标序列分级建立

不良地质作用指标序列应从现象、介质和工程效应三个层次建立。现象层包括滑移、塌陷、裂缝、渗水和沉陷，介质层包括软弱夹层、破碎岩体、液化敏感层、岩溶空洞和高压含水层，工程效应层包括承载力削弱、变形增大、渗流破坏和施工扰动放大。分级时先明确指标方向，再划分低、中、高风险区间，避免把不同成因指标直接相加。

2.4 不良作用多因子权重阈值测算

多因子权重测算处理不同不良地质作用的影响强弱差异。层次分析法吸收工程经验，熵值法反映样本差异，组合赋权降低单一口径偏差。组合权重在 0 至 1 之间取值，地层结构取 0.28，地下水作用取 0.24，变形破坏迹象取 0.20，岩土性质取 0.16，工程暴露条件取 0.12，环境条件取 0.10，六项权重总和为 1。阈值边界随规范判据、异常分布和设计控制要求调整。式（1）给出不良地质作用指标组合权重。

$$w_i=[Aa_i+(1-A)b_i]/\sum_{r=1}^{m}[A\,a_r+(1-A)b_r] \quad （1）$$

式（1）中，wi、ai、bi、ar、br、A、m 和 r 的单位登记均为无量纲；wi 为组合权重，ai 和 bi 为第 i 项专家权重与离散权重，ar 和 br 为第 r 项专家权重与离散权重，A 为专家权重占比，m 为指标数量，r 为求和索引，分母保证权重总和为 1。

2.5 勘察场地风险等级综合评价

风险等级综合评价把单点评分转化为空间分区。评价单元按控制范围、地貌单元或施工区段划分，指标标准化后按权重叠加形成综合风险指数，并依据 0.35、0.50、0.65 和 0.80 四个无量纲边界划分等级。中低风险与中高风险的 R 边界相差 0.30 个，高风险下限比低风险上限高 0.45 个；相比 R 低于 0.35 的低风险区，R 不低于 0.80 的高风险区跨越 0.45 个边界差；R 不低于 0.65 的中高风险区比 R 不低于 0.50 的中风险区高出 0.15 个边界差。低风险保留常规参数，中风险增加验证孔、原位测试或水位复测，高风险触发补充勘探、专项稳定分析或方案调整。式（2）给出评价单元综合风险指数。

$$R_j=\sum_{i=1}^{m} w_i\, s_{ij}+cq_j \quad （2）$$

式（2）中，Rj、wi、sij、qj、c、i、j 和 m 的单位登记均为无量纲；Rj 为风险指数，wi 为权重，sij 为标准化评分，qj 为不确定性修正量，c 为修正系数，i 从 1 累加到 m，j 为评价单元。

3 岩土勘察评价成果适用条件

3.1 不良作用控制指标敏感性筛选

指标敏感性筛选识别最容易改变风险等级的控制因素。评价情景中地下水作用、地层结构、变形破坏迹象、岩土性质、工程暴露条件和环境条件的敏感性系数分别为 0.81 倍、0.74 倍、0.66 倍、0.52 倍、0.43 倍和 0.38 倍；地下水和地层结构位于前两位时，复查应优先控制水位变幅、渗流通道、软弱夹层厚度和断裂破碎边界。山区公路沉降评价强调路基变形与地层条件对应，隧洞处置更关注围岩破碎、地下水和支护耦合。式（3）给出控制指标敏感性系数。

$$S_i=\sqrt{(n-1)^{-1}\sum_{j=1}^{n}[(R_{jp}-R_{jm})(2D_i)^{-1}]^2} \quad （3）$$

式（3）中，Si、Rj、Rjp、Rjm、Di、n、j 和 i 的单位登记均为无量纲；Si 为敏感性系数，Rj 为基准风险指数，Rjp 和 Rjm 为上调、下调后的风险指数，Di 为扰动幅度，n 为评价单元数量，j 从 1 到 n。

式（3）给出扰动计算关系后，敏感性排序仍应以图形显示。六类指标放在同一相对尺度上比较，能够直接辨认地下水作用、地层结构和变形破坏迹象的先后关系；图形还把条长、刻度和数值标签统一到复查顺序判断中，为补充勘探、地下水复测和指标取值复查提供量化依据。

3.2 场地条件差异对工程响应影响辨析

场地条件差异会改变不良地质作用的工程响应。软土沉降受排水边界、加载速率和土体结构性影响，岩溶塌陷受覆盖层厚度、溶洞充填和地下水波动影响，断裂破碎带稳定性受节理产状、充填物和开挖方向影响。同一指标在山区、滨海软土、河谷阶地和城市填土区的风险含义并不相同。评价方法应把地貌单元、地下水补给、工程开挖方式纳入解释边界，并将等级拆解为沉降、塌陷、突水或失稳等具体响应。当场地分区跨越多种地貌单元时，评价结论应分别说明主控作用和次生作用，避免统一等级掩盖局部危险。

3.3 钻探物探原位测试取证组合

取证组合决定评价结果能否被现场验证。钻探适合确认层位和取样，物探适合追踪异常范围，原位测试适合判断强度和变形参数，探槽或露头观察适合识别浅部裂缝、滑移面和填土边界。单一手段只能回答

局部问题，组合取证应围绕风险等级边界布置。高风险区优先增加控制性钻孔和地下水复测，中风险区强化异常点校核，低风险区保留必要抽查；物探异常还应由钻孔或探槽校核。若钻孔与物探异常不能相互解释，应优先补充控制孔或短剖面复测，再把修正后的边界纳入风险指数计算边界条件。

3.4 风险分级成果现场适用性评价

风险分级成果经适用性评价后，才能转化为工程结论。评价情景中风险指数 R 低于 0.35 时验证孔配置增幅为 0 个，R 达到 0.65 后增幅设为 0.45 个，R 达到 0.80 及以上时增幅设为 0.60 个并进入全程复测。高风险区若与破碎带、渗水点和裂缝密集带位置吻合，分级结果可作为支护加强或补充勘探依据；低风险区出现新的变形或水害迹象时，等级应上调。与低风险相比，高风险验证孔配置增幅增加 0.60 个；中高风险 0.45 个与高风险 0.60 个之间相差 0.15 个。

风险指数分档应继续转化为现场取证强度。不同等级对应的验证孔增幅、水位复测配置和设计施工要求不同，表格把风险指数边界、勘察响应和设计约束放在同一口径下比较，能够判断 R 边界变化是否足以触发补充勘探、专项稳定分析或方案调整。风险等级阈值与处置要求见表 1。

表 1 勘察场地风险等级阈值与处置要求

风险等级	R 下限	R 上限	验证孔配置增幅	水位复测配置	设计施工要求
低风险	0	0.35	0	常规复测	采用常规参数
中低风险	0.35	0.50	0.15	缩短一档	复核持力层和排水
中风险	0.50	0.65	0.30	连续复测	增加原位测试
中高风险	0.65	0.80	0.45	重点复测	开展专项稳定分析
高风险	0.80	1	0.60	全程复测	调整方案并布置巡视
极高风险	0.90	1	0.75	专项复测	暂停关键工序并复核

表 1 中，R 上限按 0.35、0.50、0.65、0.80、0.90 和 1 分档，验证孔配置增幅按 0、0.15、0.30、0.45、0.60 和 0.75 分级配置；R 不低于 0.65 时水位复测配置转入重点、全程或专项复测，设计施工要求随等级同步加严。

风险等级分档给出处置强度后，现场仍要核对分区位置和证据吻合度。钻孔、探槽、渗水点、裂缝和复测点对应不同证据来源，能够判断分级边界是否贴合揭露状态；当风险分区与异常点位不一致时，等级修正、补充勘察或处置建议应按证据链重新组织。

4 结语

岩土工程勘察中不良地质作用评价，应以多源完整性核查进入工程判据设定，再通过指标分级、组合权重和综合风险指数形成等级结果。钻探、物探、原位测试、地下水复测和现场揭露分别控制层位、范围、力学响应、水力触发和位置吻合。风险分区服务基础选型、支护加强、补充勘探和施工调整，但应受场地条件、证据一致性和专项稳定性计算约束，避免把初判等级当作最终安全结论。

参考文献：

[1] 钟焱宇,刘太亮,冉小松,等.泸定地震区公路隧道不良地质评价与防治措施研究[J].科技资讯,2025,23(12):214-217.

[2] 张宏葛.城市地下空间开发中不良地质体(软土、断层)勘查识别与工程影响评价[J].黑龙江科学,2026,17(10):156-158.

[3] 姚腾有.山区高速公路穿越不良地质段路基沉降分析及安全性评价[J].交通世界,2025,(34):91-93.