

# 铁路工程岩溶发育区 桩位岩溶勘察方法的探讨

广东省地质物探工程勘察院 李学文

地址：510800，广州市花都区秀全大道 59 号

电话：020-86821939 传真：020-36809596

网址：[www.gdgpi.com.cn](http://www.gdgpi.com.cn)

E-mail：[pygdgpi@public.guangzhou.gd.cn](mailto:pygdgpi@public.guangzhou.gd.cn)

# 目 录

1 前言 .....	1
2 勘察资料对比 .....	1
2.1 对比资料概况 .....	1
2.2 对比情况 .....	3
2.3 对比结论 .....	7
3 管波成果的钻孔验证 .....	8
3.1 验证方法 .....	8
3.2 验证资料分析 .....	8
4 对比与验证成果总结 .....	12
5 对桩位岩溶勘察方法的建议 .....	13

## 1 前言

新建南京至安庆城际铁路（铜陵至池州段）现处于定测阶段，根据前期资料，里程 DK156+000~DK17+660、铜九改线 TDK1+600~TDK6+600、三 DK33+000~三 DK39+700、三 DK44+000~三 DK44+800 段见岩溶发育。桥区设计采用大口径嵌岩桩基础类型。

受铁三院集团公司的委托，广东省地质物探工程勘察院承担了新建南京至安庆城际铁路（铜陵至池州段）定测阶段岩溶区墩台及桩位岩溶物探勘察工作，岩溶物探勘察工作接受铁三院物探所的直接管理。

根据委托方的要求，本次岩溶物探勘察的主要方法为跨孔 CT 法。生产期间，我院向委托方介绍了在同类工程中广泛应用的我院专利技术——管波探测法，并在本项目中的部分钻孔中进行试验性探测。

这样，本项目中包括三种进行桩位岩溶勘察的勘察手段：桩位超前钻探、跨孔 CT 法、管波探测法。

本文将根据本项目实测资料对上述三种勘察方法进行分析、对比，探讨桩位岩溶勘察的解决方案。

## 2 勘察资料对比

### 2.1 对比资料概况

根据本项目情况，选择跨孔 CT 剖面穿过管波探测孔的墩台进行对比。

经过寻找，选择的墩台有：

#### 1、白浪湖特大桥 23 号墩

钻探揭露最大溶洞洞高 5.5m。有多个钻孔、2 对 CT 剖面及 2 个管波孔。具体见图 1。

#### 2、白浪湖特大桥 38 号墩

钻探揭露最大溶洞洞高 9.4m。有多个钻孔、2 对 CT 剖面及 3 个管波孔。具体见图 2。

### 3、白浪湖特大桥 51 号墩

钻探揭露最大溶洞洞高 3.9m。有多个钻孔、2 对 CT 剖面及 2 个管波孔。管波孔均位于 CT 剖面上。具体见图 3。

2.2 对比情况

1、白浪湖特大桥 23 号墩

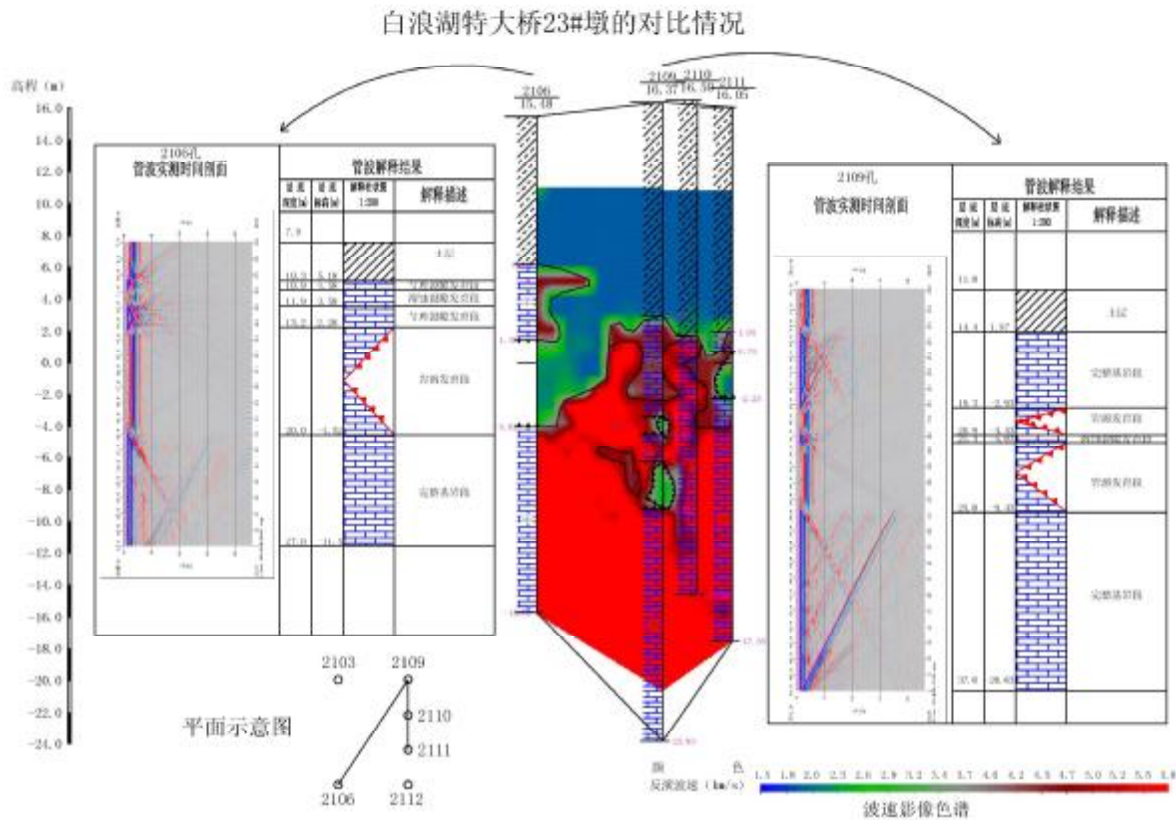


图 1、白浪湖特大桥 23 号墩的对比情况

白浪湖特大桥 23 号墩有多个钻孔、2 对 CT 剖面及 2 个管波孔。两个进行管波的钻孔均为 CT 剖面的收发孔。对比情况见图 1，揭露或解释的溶洞标高见表 1。

表 1、白浪湖特大桥 23 号墩对比情况

钻孔	岩溶	揭露或解释顶底标高 (m)		
		钻孔	CT 解释	管波解释
2106	1	1.48~-4.02	1.48~-4.02	2.28~-4.52
2109	1	-3.33~-4.53	-3.33~-4.53	-2.93~-4.53
	2	-6.23~-9.23	-6.23~-9.23	-5.03~-9.43

从图 1 和表 1 可见：

跨孔 CT 法成果与收发钻孔之间具有很好的吻合性；跨孔 CT 法成果与压线钻孔之间具有较好的吻合性；钻孔揭露的岩溶，在管波探测成果中必定有反映，具有很好的吻合性；管波发现的岩溶比钻孔揭露及 CT 解释的要大。

2、白浪湖特大桥 38 号墩

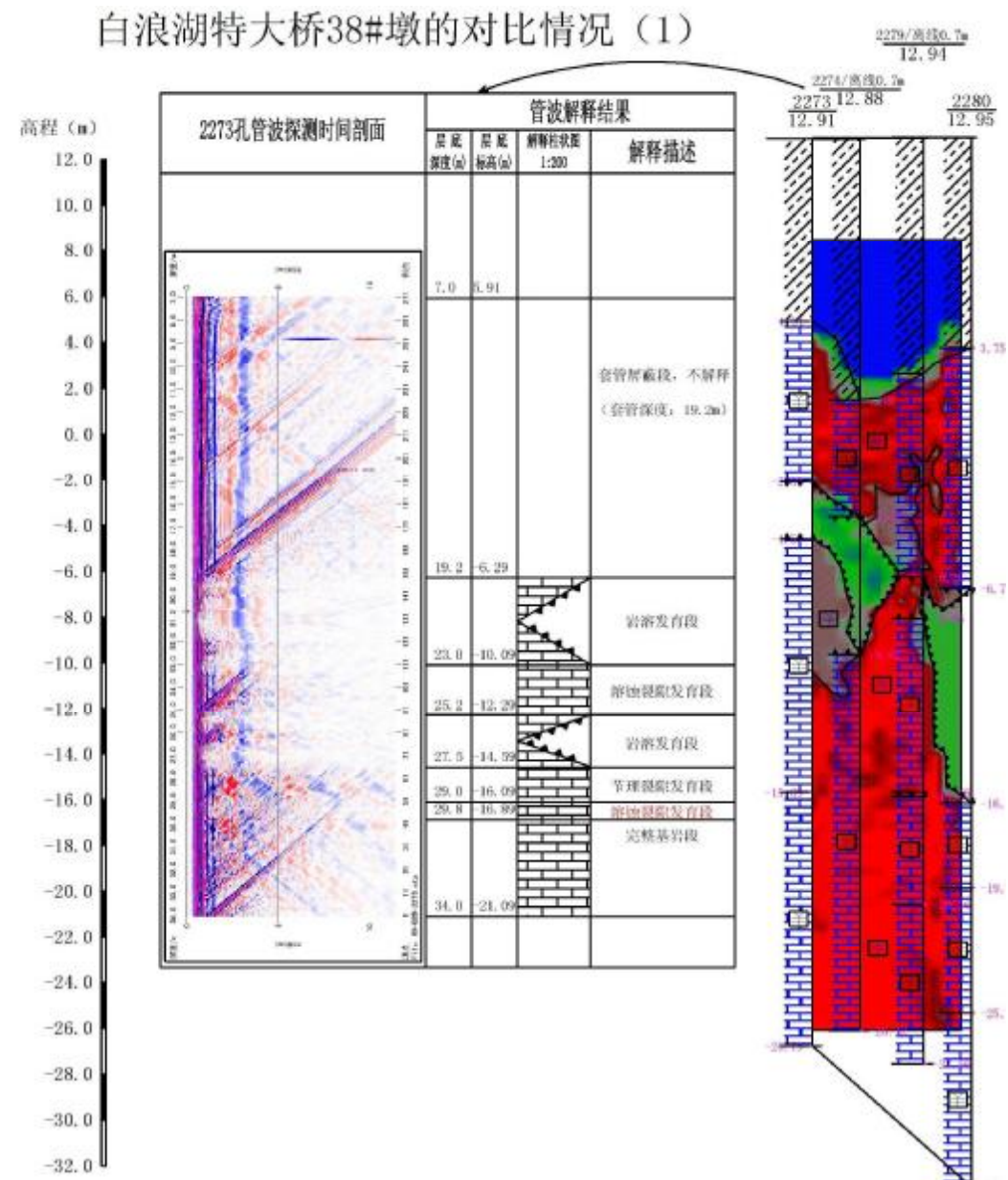


图 2-1、白浪湖特大桥 38 号墩的对比情况（1）

白浪湖特大桥38#墩的对比情况（2）

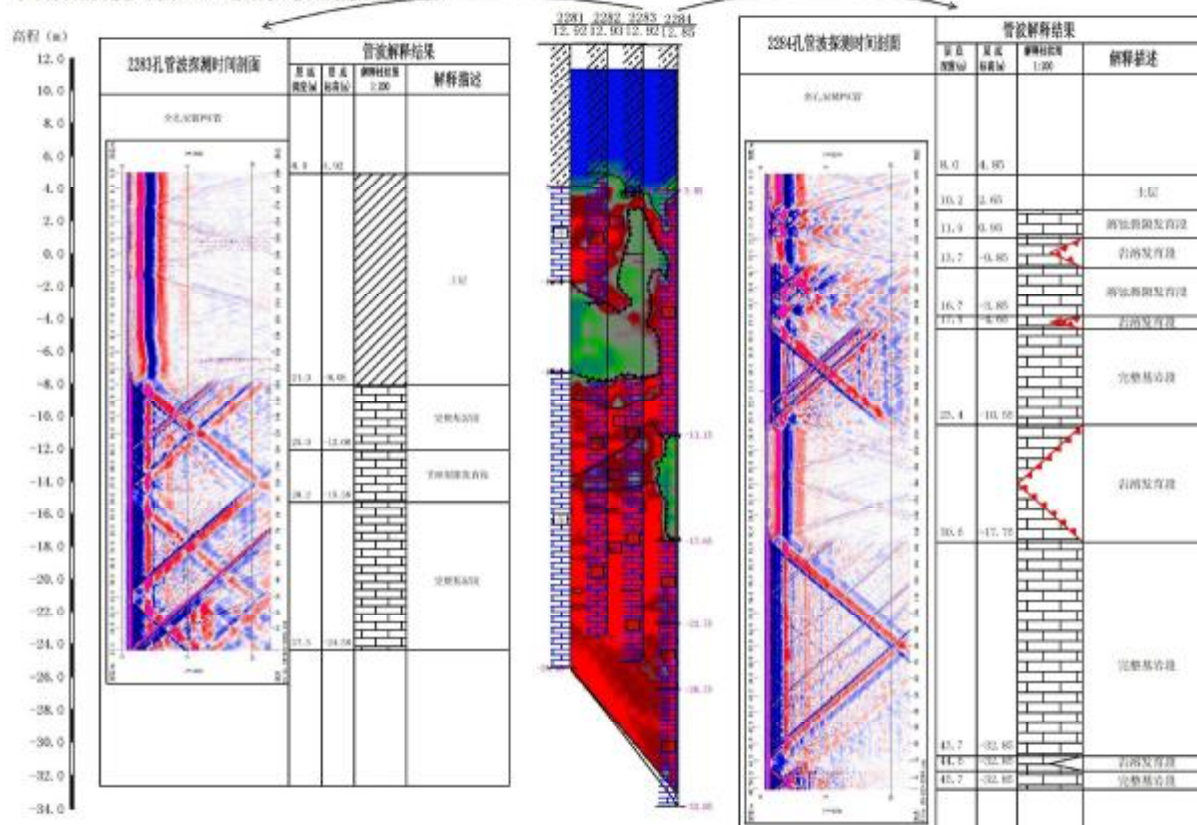


图 2-2、白浪湖特大桥 38 号墩的对比情况（2）

白浪湖特大桥 38 号墩有 8 个钻孔（排成平行的两条直线）、2 对 CT 剖面及 3 个管波孔。3 个管波孔中，2283 孔为 CT 剖面的压线钻孔，2281 和 2284 孔为 CT 剖面的收发钻孔。对比情况见图 2-1、图 2-2，揭露或解释的溶洞标高见表 2。

表 2、白浪湖特大桥 38 号墩对比情况

钻孔	岩溶	揭露或解释顶底标高（m）		
		钻孔	CT 解释	管波解释
2273	1	-2.09~-4.59	-2.09~-4.59	位于套管屏蔽段，不解释
	2	无	未发现	-6.29~-10.09
	3	无	未发现	-12.29~-14.59
2283	1	3.72~-7.68	2.78~-7.68	土层~-8.08
2284	1	无	未发现	0.95~-0.85
	2	无	未发现	-3.85~-4.65
	3	-11.15~-17.65	-11.15~-17.65	-10.55~-17.75
	4	无	未发现	-30.85~-31.75

从图表可见：跨孔 CT 法成果与收发钻孔之间具有很好的吻合性；跨孔 CT 法成果与压线钻孔之间具有较好的吻合性；钻孔揭露的岩溶，在管波探测成果中必定有反映，具有很好的吻合性；管波探测发现了 5 段岩溶发育段，钻孔未揭露、CT 剖面未



发现；管波发现的岩溶比钻孔揭露及 CT 解释的要大。

3、白浪湖特大桥 51 号墩

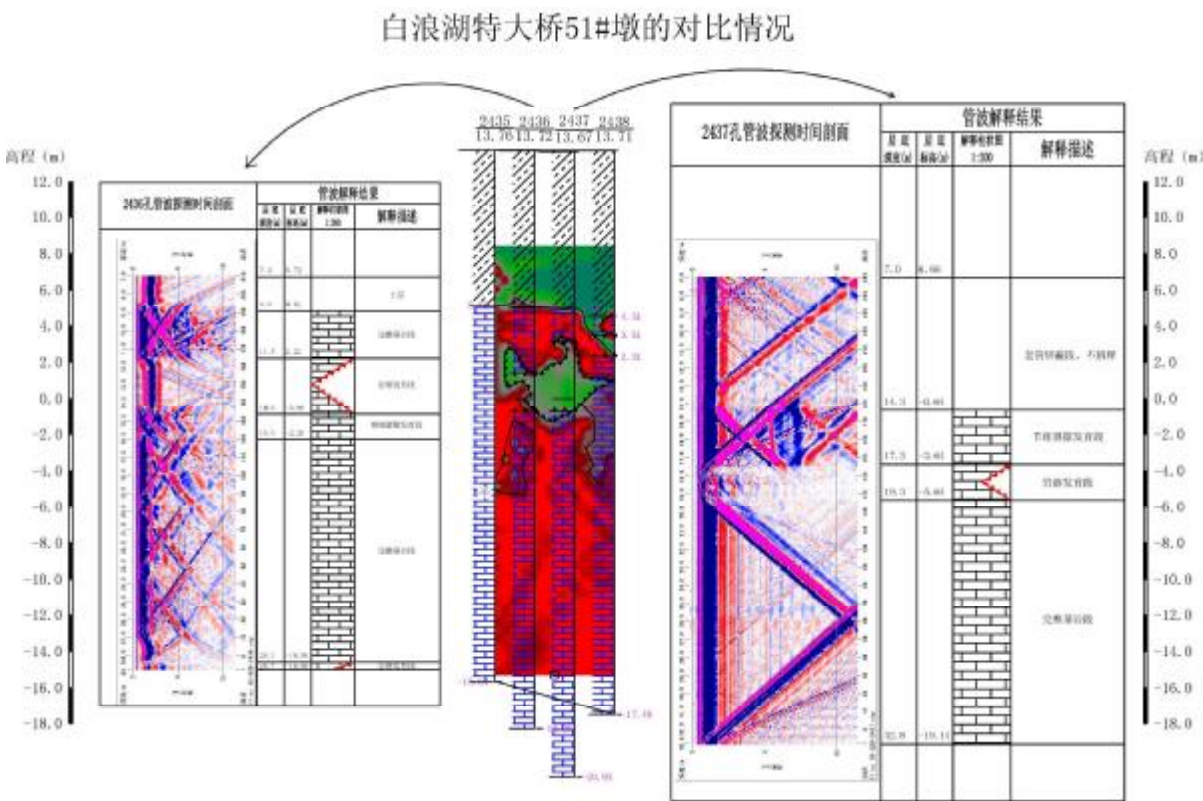


图 3、白浪湖特大桥 51 号墩的对比情况

白浪湖特大桥 51 号墩钻探揭露最大溶洞洞高 3.9m。有多个钻孔、2 对 CT 剖面及 2 个管波孔。管波孔均位于 CT 剖面上。选择穿过两个管波孔的一条 CT 剖面 and 钻孔、管波成果资料进行对比，见图 3，揭露或解释的溶洞标高见表 3。

表 3、白浪湖特大桥 51 号墩对比情况

钻孔	岩溶	揭露或解释顶底标高 (m)		
		钻孔	CT 解释	管波解释
2436	1	-1.42~-0.78	-1.42~-0.78	2.22~-0.88
	2	无	未发现	-14.58~未测到洞底
2437	1	3.17~-0.73	3.17~-0.73	位于套管屏蔽段，不解释
	2	无	未发现	-3.64~-5.64

从图表可见：跨孔 CT 法成果与收发钻孔之间具有很好的吻合性；跨孔 CT 法成果与压线钻孔之间具有较好的吻合性；钻孔揭露的岩溶，在管波探测成果中必定有反映，具有很好的吻合性；管波探测发现了 2 段岩溶发育段，钻孔未揭露、CT 剖面未发现；管波发现的岩溶比钻孔揭露及 CT 解释的要大。



## 2.3 对比结论

根据上述三墩的对比情况，可以归纳出如下结论：

- 1、跨孔 CT 法成果与收发钻孔之间具有很好的吻合性；
- 2、跨孔 CT 法成果与压线钻孔之间具有较好的吻合性，可发现剖面穿过处的岩溶；
- 3、钻孔揭露的岩溶，在管波探测成果中必定有反映，具有很好的吻合性；
- 4、管波发现了较多钻孔未揭露、CT 剖面未发现的岩溶发育段；
- 5、管波发现的岩溶比钻孔揭露及 CT 解释的要大。

上述结论中，第 1、2、3 条说明，对于钻孔揭露的岩溶，跨孔 CT 法和管波法均有发现，并且是吻合的。

第 4、5 条，说明管波可发现钻孔未揭露、CT 剖面未发现的岩溶发育段，并且管波发现的岩溶比钻孔揭露及 CT 解释的要大。说明了管波法对“隐蔽”岩溶（钻孔和 CT 未发现的岩溶）的发现能力。看似不吻合。

这种不吻合是由于探测范围的不同引起的，图 4 可说明了三种探测方法的有效范围。

钻孔对岩溶的探测有效范围为钻孔直径范围，用“一孔之见”形容十分贴切；跨孔 CT 法的探测有效范围为两个钻孔之间的一个面状区域（切片），用“一面之词”形容比较贴切；管波探测法的探测有效范围是以钻孔为圆心，直径约 2 米的圆柱形（圆筒形）区域。三者对比，管波探测法的探测范围更加适合于桩位岩溶的探测。

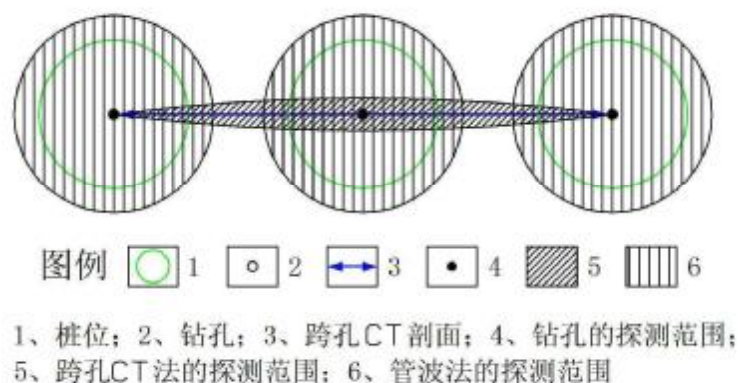


图 4、三种方法的探测范围示意图

### 3 管波成果的钻孔验证

#### 3.1 验证方法

本项目部分钻孔的管波探测初步成果提交后，由铁三院负责本项目的地质负责人在与钻孔资料“显著不吻合”管波成果中选择了三个管波资料：09-BZD-975 孔（位于顺安河特大桥）、09-BZD-1503（位于金华公路中桥）、09-BZD-3281（位于双岭特大桥）进行钻孔验证，验证方法为在原来进行管波探测的钻孔周围布置四个验证孔，验证孔距离原孔约 1m。图 5 为实际施工的探测孔和验证孔的孔口照片。



图 5 测试孔与验证孔的关系

#### 3.2 验证资料分析

将上述三孔的原孔柱状图、管波测试初步成果与对应的验证孔柱状图按标高排列在一起的图件见图 6、图 7、图 8。

### 顺安河特大桥0975孔的对比验证情况

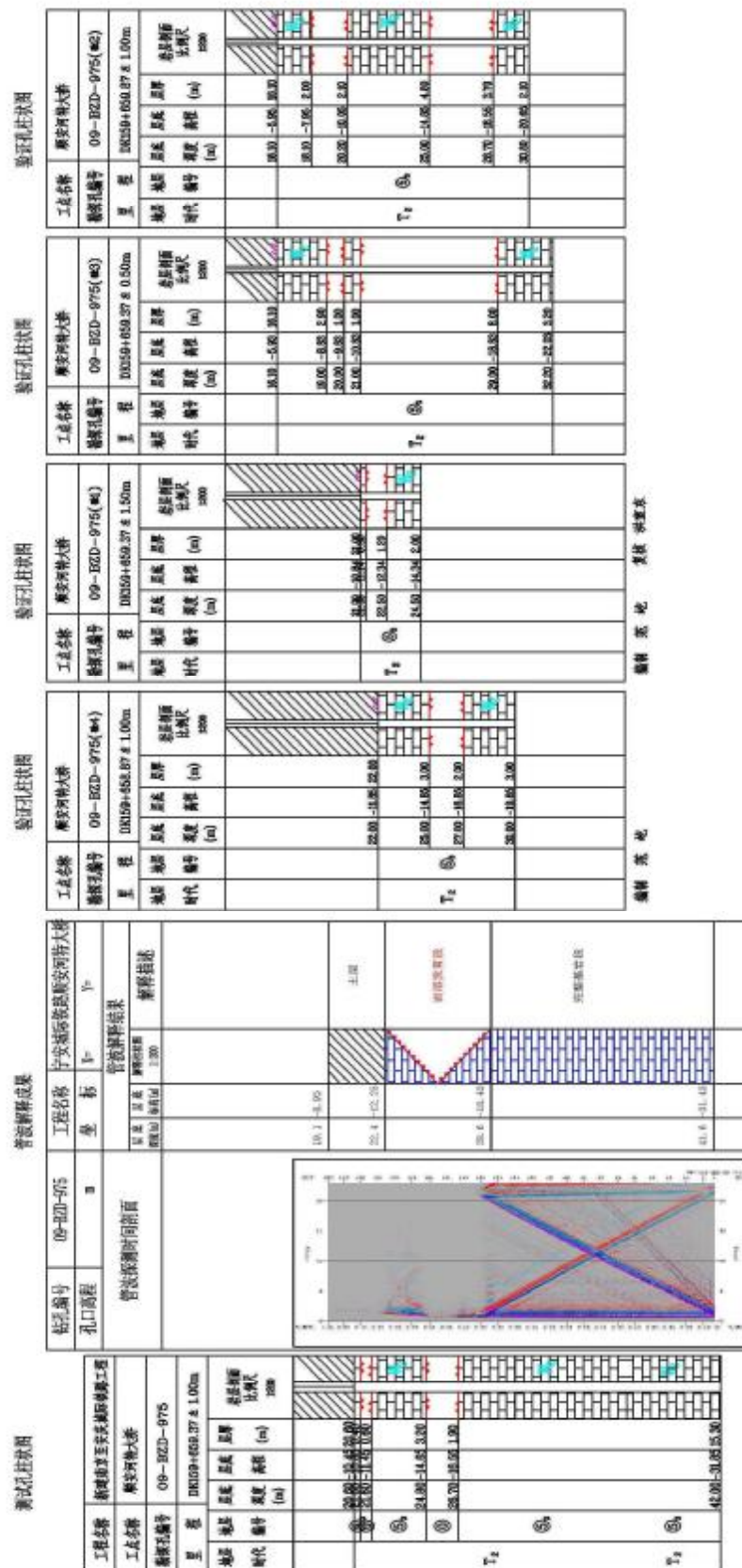
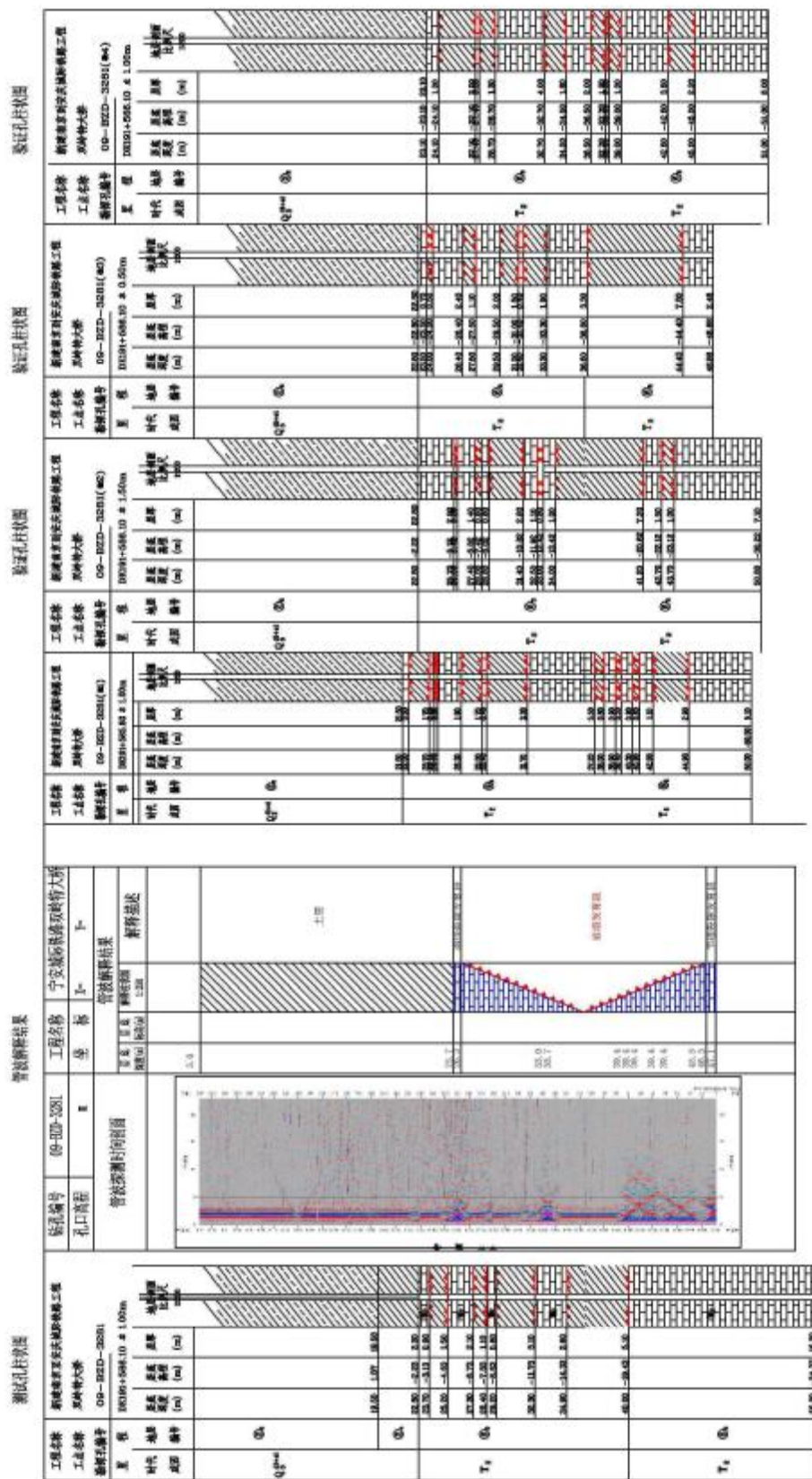


图 6、09-BZD-975 孔验证成果图





# 双岭特大桥3281孔的验证情况



从图 6 可见,原孔揭露岩面标高-10.45m,有两个溶洞。管波解释岩面标高-12.25m,岩溶明显增大,在-18.45m 以上为岩溶发育区域(岩溶发育段),以下为完整基岩,持力层应该为-18.45m 以下。将四个验证孔综合后可见,在管波解释的岩溶发育区域,至少一个钻孔见岩溶发育,管波解释的完整基岩段,均为完整基岩。验证说明,管波解释的岩溶发育区域(岩溶发育段)的确岩溶发育,管波解释的完整基岩段岩石完整、可做持力层使用。

从图 7 可见,原孔揭露岩面标高 21.95m,未见溶洞。管波解释岩面标高 21.75m,在 11.85m 以上为岩溶发育区域(岩溶发育段),以下为完整基岩,持力层应该为 11.85m 以下。将四个验证孔综合后可见,在管波解释的岩溶发育区域,至少一个钻孔见岩溶发育。验证说明,管波解释的岩溶发育区域(岩溶发育段)的确岩溶发育。

从图 8 可见,原孔揭露岩面标高-2.23m,至-19.43 见多层溶洞,-19.43 以下为完整基岩。管波解释,在探测深度范围内均为岩溶发育区域,找不到持力层。将四个验证孔综合后可见,在管波解释的岩溶发育区域,至少一个钻孔见岩溶发育。验证说明,管波解释的岩溶发育区域(岩溶发育段)内的确岩溶发育。

综合上述三孔的验证情况说明,管波解释的岩溶发育区域(岩溶发育段及溶蚀裂隙发育段)的确岩溶发育,管波解释的完整基岩段岩石完整、可做持力层使用。

#### 4 对比与验证成果总结

通过本次对三种桩位岩溶勘察方法的对比与验证,可有如下结论:

- 1、跨孔 CT 法成果与收发钻孔之间具有很好的吻合性,与压线钻孔之间具有较好的吻合性,可发现剖面穿过处的岩溶;
- 2、钻孔揭露的岩溶,在管波探测成果中必定有反映,具有很好的吻合性;
- 3、管波发现了较多钻孔未揭露、CT 剖面未发现的岩溶发育段,管波发现的岩溶比钻孔揭露及 CT 解释的要大;
- 4、管波解释的岩溶发育区域(岩溶发育段及溶蚀裂隙发育段)的确岩溶发育,管波解释的完整基岩段岩石完整、可做持力层使用。

## 5 对桩位岩溶勘察方法的建议

对于岩溶地区，在一桩一孔的基础上补充管波探测，采用“一桩一孔一管波”方法，可有效查明桩位范围的岩溶发育深度和持力层的完整情况，为桩端高程设计、桩基施工提供地质依据；

对于岩溶十分发育的墩台，除补充管波探测外，尚需采用跨孔 CT 法调查墩台范围内岩溶的连通性和岩面、溶洞顶底面的起伏变化情况。