喀斯特地基处理的技术经济研究

郭　峰
（贵州大学建工系，贵阳，550025）

提　要　本文结合有关规范、经验及工程实例，对喀斯特地基处理运用“二级判断优选法”进行技术经济研究，以达到选择最优处理方法的目的。

一　绪　言

我国土地辽阔、自然地理环境不同、土地各异、地基条件区域性较强，因而使地基基础这门学科特别复杂。而地基处理恰当与否，关系到整个工程质量、投资和进度。据我国有关资料表明，由于地基问题处理不当而造成的工程事故占总事故数的40%左右。正如比利时国立根特大学土力学地基基础学科的凡英佩(W　F　Van Impe)教授所说“可以毫不夸张地说，全世界在解决越来越复杂的基础问题中，地基土的加固技术日益变得更为重要”。

喀斯特(Karst)是可溶性岩石在水的溶(侵)蚀作用下，产生的各种地质作用、形态和现象的总称。

碳酸盐类岩石在我国分布面积很宽，不论北方或南方都有成片或零星的分布。全国共有碳酸盐岩分布面积344.3万平方公里，其中碳酸盐出露面积占国土面积9.7%。故对该类地基处理问题进行研究有相当大的经济意义及社会意义。

本研究的方法采用“二级判别优选法”。一级判别主要结合各种岩溶形态地基特点，对工程的危害、地方处理经验、有关规范标准，通过半定量法分类，用模糊逻辑进行“三分法”判别，得到适应以上各种岩溶形态地基处理的可行方法。二级为优选，在各种具体岩溶形态地基处理的二种以上方法中从处理效果、经济性、技术难度结合各地具体条件及工程情况进行优选，并考虑社会效益及环境效益。喀斯特地基的特点及其对工程的危害复杂，易造成地基的不均性和失稳，对建筑物的安全、设计、施工及投资费用均有较大的影响。加之各地区喀斯特发育程度不同，特点各异，更增加了此类地基处理的难度。

喀斯特对工程的不良影响主要有以下几个方面：

(1)喀斯特岩面起伏，导致上覆土质地基压缩不均。(2)岩体洞穴顶板变形造成地基失稳。(3)岩溶水的动态变化给施工和建筑物造成不利影响。(4)土洞坍落形成地表塌陷。

喀斯特地基处理必须建立在对它的正确评价的基础上。在处理时，应根据喀斯特的形态、工程要求和施工条件等，因地制宜地选择处理方法。主要方法有：

(1)清爆换填；(2)梁、板跨越；(3)洞底支撑；(4)调整柱距；(5)水的整治；(6)土洞的处理。

下面结合各种规范、经验方法，着重结合贵州地区处理经验仅此对石芽、溶洞地基处理进行技术经济研究。

二　喀斯特地基处理的技术经济研究

1. 石芽地基处理的技术经济研究

石芽地基的处理，主要是克服地基的不均匀性。当有基础支承于石芽上时，验算其抗滑移性。石芽地基分为个别石芽地基和密布石芽地基。

(1)个别石芽地基处理的技术经济研究

①个别石芽地基处理方法判别

一级评价为地基处理方法判别，将影响个别石芽地基处理的二个主要因素：土层承载力（Q）及基础下卧层与石芽关系（X），根据各项要求，在满足各规定下，依据其半定量范围分别取为：1.0、0.5、0 三个值。（鉴于篇幅所限，各划分标准、依据略，后同。）

可由此半定量模糊判别得个别石芽地基处理判别因素及处理方法对应表，如表 1 示：

表 1　个别石芽地基处理判别因素及处理方法

土层承载力（Q）	基础下卧层与石芽关系（X）	地基处理判别
1.0	1.0	可不处理
1.0	0.5(0)	①中部岩尖凿除，回填夯实；②端部位置可不处理（6 层以下砖混），6 层以上部分凿除，换填夯实。
0.5	1.0	①置换土层夯实；②挤密桩等复合地基；③调整基础尺寸。
0.5	0.5	①岩尖凿平、褥垫回填；②挤密桩等复合地基。
0.5	0	同上，但石芽相交处宜沉降缝。
0	1.0(0.5、0)	①石芽凿除，挖土回填，夯实；②石芽凿除，挖土回填夯实际上，设褥垫；③岩尖凿除，挤密桩等复合地基。

注：以上仅针对建筑物分类中的乙、丙类建筑；当为甲类建筑时一般用灌注桩等来防止不均匀沉降。

②个别石芽地基处理方法优选

即二级评价为地基处理方法的优选。即针对以上分类具体石芽地基处理二种以上方法，根据处理效果(主要为承载力提高值)、经济性(主要从造价方面)、技术难度(主要从所属施工设备、工艺等方面)、考虑工期、当地原材料利用情况、社会效益和环境效益方面综合评价后优选针对具体工程的最佳地基处理方案。(后述同此，限于篇幅不一一列举。)

通过模糊判别和综合评价优选的“二级判别优选法”，能选择出最优的地基处理方法。

③与工程实例对比分析

对收集 3 个工程实例进行对比，本判断方法可行。如对贵州某教学楼分析，下有个别

石芽出露，土质较软。按本方法判别为 Q=0，X=0；优选为石芽岩尖凿除，设褥垫，将软土挖除回填夯实。但本工程实例未处理地基，故房屋墙体开裂，且较大。

(2)密布石芽地基处理的技术经济研究

①密布石芽地基处理方法判断

一级评价为地基处理方法判别，将影响密布石芽地基处理的二个主要因素：土层厚度（H）、土层承载力（Q）分别取为 1.0、0.5、0 三个值（同前）。得表 2 如下：

表 2　密布石芽地基处理判别因素及处理方法

土层厚度（H）	土层承载力（Q）	地基处理判别
1.0(0.5)	1.0	可不处理
1.0(0.5)	0.5(0)	①原土挤密、夯实 ②挖除（<3m 厚）土，置换夯实。
0	1.0(0.5)	局部岩尖凿除，作实垫，结合梁板跨盖处理。
0	0	挖除软土，回填夯实，岩尖凿除作褥垫，加跨盖处理。

②密布石芽地基处理方法优选（略）

③与工程实例对比分析

对收集 4 个工程实例进行对比分析，本判断方法均正确可行。对其中一例分析如下：贵阳某车间厂房，为三层砖混结构，下为石芽密布，土层厚 2.0m 左右，土质较软。

按本方法评价为：H=0.5，Q=0；优选方法为挖除软土，置抵换夯实。但工程实际为未进行地基处理，造成无筋砖拱开裂。

2. 溶洞地基处理的技术经济研究

溶洞地基处理主要解决地基的稳定性。

(1)溶洞地基处理方法判别

此一级评价为地基处理方法判别，将主要影响的五个因素：基底下土层情况(T)、溶洞内充填物(W)、溶洞大小(D)、岩体综合质量(Q)、顶板厚变(R)分别取值为 1.0、0.5、0。并对数据取均值乘以权数得下表 3：

(2)溶洞地基处理方法优选（略）

(3)与工程实例对比分析

将评价因素的地基处理的判别及优选用于所收集的十余个工程实例进行对比，结果符合相当好，证明本方法切实可行。选其中 4 例列表 4 分析如下：

表 3　溶洞地基处理判别因素及处理方法

T	W	D	Q	R	地基处理判别
4	1.5	1	1.5	4	可不处理
1	1.5	1	0.5	4	①提高土层承载力②加大基础尺寸③挖除上土层支撑于洞顶
4	1.5	1	0.5	2	①加大基础尺寸②提高上层承载力
2	1.5	1	0.5	2	①土层置换②用挤密桩等复合地基
2	0	1	0.5	2	①土层置换，洞内灌浆加固②土层用挤密桩等复合地基，洞内灌浆
0	3	1	0.5	2	①土层置换，梁板跨越②土层挖除，用锚钉与基础一起浇筑
0	1.5	2	0.5	2	①揭顶灌浆②揭顶置换③揭顶挤密桩等复合地基
0	0	1	0.5	2	①揭顶置换、梁板跨越②揭顶抛石压浆加强
0	0	0	0.5	2	揭顶（挖除）支柱+梁板跨越
1	3	1	1	0	①揭顶置换土层及洞内物②揭顶置换，加大基础尺寸等
1	0.75	1	0.5	0	①揭顶灌浆+梁板跨越②揭顶换填+梁板跨越③揭顶+挤密桩等
1	0.75	0	0.5	0	①揭顶换填+支柱+梁板跨越②揭顶振冲桩等+梁板跨越
1	3	1	0.25	0	土层加强，加大基础尺寸

表 4　溶洞地基工程实例评价及地基处理

名称	T	W	D	Q	R	工程地基处理
昆明三聚磷胶钠厂	2	0	2	1	2	钻孔灌注桩（穿过溶洞）
深圳某塑胶厂	2	0	1	1	0	钻孔灌注桩（穿过溶洞）
贵阳某公司仓库	0	0	1	1	4	块石基础（未处理）
广西某水泥厂	4	0	1	1	4	独立基础（未处理）

以上二表对比分析，符合较好。

三　结束语

通过以上研究，本方法有如下优势：

(1)将传统经验方法转变成“半定量+定性”的判断选优方法；

(2)能将本方法数据化，用计算机来解决；

(3)运用了模糊数学有关知识，并进行了恰如其分的处理；

(4)本研究可继续深入，最终达到定量加半定量的方法来处理；

(5)本方法可供其他类似问题研究借鉴。

鉴于本人水平有限，不足、错误之处望得到各位专家、同仁赐教。

参考文献

[1] 叶书麟，韩杰，叶观宝编著：《地基处理与托换技术》（第二版），北京，中国建筑工业出版社，1995。

[2] 《地基处理手册》编写委员会：《地基处理手册》，北京，中国建筑工业出版社，1996。

[3] [美]H·F 温科特恩，方晓阳主编，钱鸿缙、叶书麟等译校：《基础工程手册》，北京，中国建筑工业出版社，1983。

[4] 《岩土工程手册》编写委员会：《岩土工程手册》，北京，中国建筑工业出版社，1995。

（鉴于引用文献繁多，恕不一一列举，在此对引用文献作者表示诚挚的感谢！）