

DB4201

武汉市地方技术标准

DB4201/T 632—2020

岩溶地区勘察设计与施工技术规范

Technical regulation for survey design and construction in Karst areas

2020-10-26 发布

2020-11-26 实施

武汉市市场监督管理局 发布

目 次

前 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号 3

5 总则 3

6 基本规定 3

7 勘察 4

 7.1 一般规定 4

 7.2 勘探工作布置 6

 7.3 钻探、取样与原位测试及室内试验 9

 7.4 地球物理勘探 10

 7.5 岩溶水 11

 7.6 稳定性及适宜性评价 12

 7.7 岩土工程评价 13

8 设计 15

 8.1 一般规定 15

 8.2 地基基础设计 15

 8.3 基坑工程设计 16

 8.4 隧道工程设计 17

9 施工 18

 9.1 一般规定 18

 9.2 桩基础施工要点 18

 9.3 高压旋喷桩施工要点 19

 9.4 注浆法施工要点 19

 9.5 矿山法隧道施工要点 20

 9.6 盾构法隧道施工要点 20

10 监测与检验 21

 10.1 一般规定 21

 10.2 监测 21

 10.3 检验 22

附录 A（资料性附录） 武汉都市发展区碳酸盐岩分布图（2020 年版） 24

附录 B（规范性附录）	武汉地区典型岩溶地质结构类型划分表.....	25
附录 C（资料性附录）	隧道岩溶治理范围参考表.....	26

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由武汉市勘察设计有限公司、武汉市建设工程设计审查办公室、武汉市市政工程质量监督站提出。

本文件由武汉市城乡建设局归口。

本文件起草单位：武汉市勘察设计有限公司、武汉市建设工程设计审查办公室、武汉市市政工程质量监督站、中南建筑设计院股份有限公司、中铁第六勘察设计院集团有限公司、中铁十一局集团有限公司、武汉地质工程勘察院、中建三局基础设施建设投资有限公司、长江岩土工程总公司（武汉）、中机三勘岩土工程有限公司、中南勘察设计院集团有限公司、武汉华中岩土工程有限责任公司、中国建筑西南勘察设计研究院有限公司、武汉市市政建设集团有限公司。

本文件主要起草人：官善友、余平安、唐传政、彭华中、龙治国、舒武堂、张杰青、李景成、陈义平、夏红萤、李慎奎、吴圣贤、张旭东、吴占瑞、李爱军、张晴、戴小松、叶亦盛、张三定、冯建伟、温国炫、金新锋、刘佑祥、庞建成、熊伟光、唐建东、卢华峰、李忠超、邹伟彪、曾宇。

本文件首次发布。

岩溶地区勘察设计与施工技术规范

1 范围

本文件规定了岩溶地区勘察设计与施工技术的总则、基本规定、勘察、地基基础设计与施工、监测与检验的要求。

本文件适用于武汉市岩溶地区建筑、市政和轨道交通等工程的勘察、地基基础设计与施工、监测与检验。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- GB 50011 建筑抗震设计规范（附条文说明）（2016年版）
- GB 50021 岩土工程勘察规范[2009年版]
- GB 50026 工程测量规范(附条文说明)
- GB 50307 城市轨道交通岩土工程勘察规范
- GB 50497 建筑基坑工程监测技术标准
- GB 50911 城市轨道交通工程监测技术规范
- GB/T 51238 岩溶地区建筑地基基础技术标准
- CJJ 57 城乡规划工程地质勘察规范
- JGJ 8 建筑变形测量规范
- JGJ 79 建筑地基处理技术规范
- T/CECS 590 岩溶溶洞泡沫混凝土充填技术规程
- DB42/ 242 建筑地基基础技术规范
- DB42/T 159 基坑工程技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

岩溶 karst

可溶性岩石受水和二氧化碳溶蚀、侵蚀形成的各种地质现象和地貌形态，又称喀斯特。

3.2

岩溶水 water in Karst cave

赋存于可溶岩的溶蚀裂隙和溶洞中的地下水。

3.3

土洞 soil cave

发育在可溶岩上覆土层中的空洞。

3.4

岩溶地面塌陷 karst ground collapse

岩溶洞隙上方的岩土体在自然或人为因素作用下发生变形破坏,并在地面形成陷坑的一种岩溶地质作用和现象。

3.5

岩溶地基 karst ground

岩体中存在溶洞、溶蚀裂隙,或岩体表面有石芽、溶沟(槽)、溶蚀漏斗,或覆盖层中存在可溶岩类残积土(包括经搬运沉积次生的沉积土、冲积土)、伴生土洞等不良地质现象的地基。

3.6

红黏土地基 red clay subgrade

地基主要受力层由碳酸盐系出露的岩石经红土化作用形成的颜色为棕红、褐黄色的高塑性黏土组成的地基。

3.7

钻孔见洞隙率 drilling hole rate

钻探中遇岩溶洞隙的钻孔与钻孔总数的百分比。

3.8

线岩溶率 the drilling line karst rate

见洞隙钻探进尺之和与可溶岩、洞隙钻探总进尺的百分比。

3.9

延米线岩溶率 the drilling karst rate per meter

单孔基岩面以下每延米碳酸盐岩中溶洞(隙)进尺所占的百分比,计算深度为基岩面以下8m~10m。

3.10

裸露型岩溶 bare karst

可溶岩裸露地表,缺少土层覆盖的岩溶。

3.11

覆盖型岩溶 covered karst

被松散堆积物覆盖的岩溶。

3.12

埋藏型岩溶 buried karst

被已成岩的非可溶性岩层覆盖的岩溶。

3.13

岩溶地质结构类型 classification of karst geological structure

上覆盖岩（土）层与下伏可溶岩之间空间组合关系的分类。

4 符号

下列符号适用于本文件。

A ——基础底面面积；

d ——桩基直径；

D ——隧道直径；

H ——可溶岩上覆岩土厚度；

h_1 ——隧道顶板至地面的距离；

h_2 ——隧道底板至可溶岩岩面的距离；

L ——岩溶地面塌陷影响范围；

h ——地面塌陷坑的深度；

r ——地面塌陷坑的半径；

B ——隧道中心与地面塌陷中心的距离；

θ ——塌陷角。

5 总则

5.1 为了在武汉市岩溶地区勘察、地基基础的设计与施工、监测与检验中，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境，根据武汉市岩溶地区的岩土工程特点，制定本规程。

5.2 岩溶地区地基基础设计与施工，应进行岩土工程勘察和评价，综合考虑工程结构类型、材料与施工条件等因素，因地制宜，精心设计，精心施工。

6 基本规定

6.1 武汉都市发展区内碳酸盐岩分布可参照附录 A。

6.2 根据武汉市碳酸盐分布、岩溶发育规律、地层组合、地下水动力条件等因素，将武汉市岩溶地质结构划分为 4 个类别，8 个亚类，详见附录 B。

6.3 岩溶勘察应查明建设场地岩溶的发育程度和分布规律、地基岩土的工程特性和地下水埋藏条件，并应对场地及地基作出综合评价。

6.4 岩溶勘察分为可行性研究勘察、初步勘察和详细勘察三个勘察阶段。当施工期间需要进一步提供岩土工程资料、岩土条件与勘察资料不符或出现必须查明的异常情况时，应进行施工勘察；场地或附近岩溶地质条件复杂、存在对工程有重大影响的岩溶地质问题时，应进行岩溶专项勘察。对工程规模较小、场地地质条件简单或有工程经验的地区，可合并勘察阶段或直接进行详细勘察。

6.5 岩溶场地稳定性宜从场地地震稳定性、岩溶发育程度和其他不良地质作用、地质灾害危险性等方面进行定性评价，岩溶场地稳定性可划分为稳定、基本稳定、稳定性差、不稳定四个等级。

- 6.6 岩溶勘察取样、测试及水文地质试验完毕后，应及时注水泥浆填充封闭。对工程有影响的岩溶可结合钻孔和水文地质试验孔封孔技术要求对岩溶进行预处理。
- 6.7 岩溶稳定场地的地基基础设计宜尽量利用上部较好土层，作为基础或桩基础持力层。
- 6.8 对于地基基础设计等级为甲级、乙级的建筑物，主体建筑应避开场地不稳定、抗震危险地段。存在下列情况之一且未经处理时不应作为地基：
- 6.9 存在洞体或溶洞群，洞径大，浅部岩溶在第四纪覆盖土层中有土洞或松散、饱和砂、砾石层直接覆盖在溶洞之上，且不稳定的地段；
- 6.10 碳酸盐岩顶板标高变化大或存在深、大溶沟、溶槽且软塑～流塑状红黏土与基岩直接接触，地面有可能塌陷的地段。
- 6.11 场地内存在对地基基础设计与施工有重大影响的岩溶时，宜进行专门研究与论证。
- 6.12 I 类岩溶地质结构类型场地不应抽排岩溶裂隙水；当确需抽排时，应采取相应措施。
- 6.13 地基及基础设计时，所采用的作用效应与相应的抗力限值应符合 GB 50007 的规定。
- 6.14 岩溶地区地基基础的勘察、设计尚应符合 GB 50011 的规定。
- 6.15 应根据岩溶地基基础、隧道与基坑工程施工中出现的问题，进行必要的补充测试与监测，及时修改设计及施工方案。
- 6.16 岩溶地区的各类工程应根据地质条件与工程特点，开展监测与检验工作，及时反馈监测与检验信息，实行动态设计和信息化施工。

7 勘察

7.1 一般规定

- 7.1.1 工程重要性、场地复杂程度和地基复杂程度等级的划分应符合 GB 50021 的规定。
- 7.1.2 岩溶地区岩土工程勘察等级应根据工程重要性、场地和地基复杂程度划分为甲级、乙级和丙级，并应符合下列规定：
- a) 甲级：在工程重要性、场地复杂程度和地基复杂程度等级中，有一项为一级；
 - b) 乙级：除甲级和丙级以外均为乙级；
 - c) 丙级：在工程重要性、场地复杂程度和地基复杂程度等级均为三级。
- 7.1.3 岩溶勘察宜由面到点、由浅入深、分阶段开展工作。根据工程特征和场地条件，宜采用工程地质测绘和调查、物探、钻探、现场测试等综合勘察方法进行，并应符合下列要求：
- a) 可行性研究勘察应调查场地地质构造、岩溶洞隙、土洞的发育条件；了解岩溶场地工程地质条件；并对其危害程度和发展趋势做出判断，对场地稳定性和工程建设适宜性作出初步评价；
 - b) 初步勘察应初步查明岩溶地质结构、岩石强度、岩溶洞隙及其塌陷的分布、发育程度和发育规律、碳酸盐岩上覆红黏土的分布及状态；初步查明地下水的埋藏条件、地下水类型，地下水、地表水补给排泄条件；并对场地的稳定性及适宜性进行评价；

- c) 详细勘察应查明拟建工程范围内及有影响地段的各种岩溶洞隙和土洞的位置、规模，埋深、岩溶堆填物性状和地下水特征，划分岩溶地质结构类型，对地基基础的设计和岩溶的治理提出建议。

7.1.4 岩溶勘察工作除应符合 GB 50021 的有关规定外，尚应符合下列要求：

- a) 岩溶勘察采用综合勘察方法时，宜首先开展工程地质测绘和调查，再进行物探，在此基础上有针对性布置勘探和测试工作；
- b) 岩石出露或开挖至可溶岩岩面、岩溶地质条件复杂的场地应进行工程地质测绘；
- c) 岩溶地区的工程地质测绘和调查宜在工程可行性研究或初步勘察阶段进行。后期勘察阶段仅在工程地质条件复杂或工程关键地段进行详细工程地质测绘。工程地质测绘和调查的范围及比例尺应根据勘察阶段、工程性质及岩溶发育程度，按下列要求确定：
 - 1) 工程地质测绘和调查应包括场地及周边外扩地段，外扩范围应根据地质条件、岩溶发育背景条件及工程需要综合确定；
 - 2) 工程地质测绘比例尺。可行性研究阶段可选用 1:5 000~1:50 000，初步勘察阶段可选用 1:2 000~1:10 000，详细勘察阶段可选用 1:500~1:2 000，岩溶地质条件复杂时，比例尺可适当放大。
- d) 浅层溶洞和覆盖土层厚度可用挖探查明或验证；土洞和塌陷发育地段，可采用轻便型、密集型勘探查明或验证。

7.1.5 采用天然地基、复合地基及其他人工地基或桩端下卧层为红黏土时，应采用原位测试的方法查明红黏土的分布及力学性质。

7.1.6 岩溶勘察选用物探手段时，宜符合下列要求：

- a) 可行性研究勘察和初步勘察，可选择电法、电磁法、地震波法、波速测试和综合测井等物探方法；
- b) 详细勘察或施工勘察，当岩溶发育程度为中等及以上、勘察等级为甲级时可采用物探方法探测岩溶洞隙和土洞的位置、规模等，宜选择跨孔层析成像（CT）法、高密度电阻率法、地质雷达和地震波法等。厚覆盖、强干扰条件下宜优先采用跨孔弹性波或电磁波层析成像（CT）法，岩溶裸露或浅覆盖条件下，宜优先采用高密度电阻率法和地质雷达；
- c) 施工勘察宜选择地质雷达、地震反射波法（TSP）、高密度电阻率法、管波法、声呐探测、钻孔摄像和孔洞三维激光探测等；
- d) 物探解译成果应通过一定数量的钻探孔验证，未经钻探验证的物探成果不应作为施工图设计和地基处理的依据。

7.1.7 岩溶场地可根据岩溶发育程度划分为三个等级，应根据具体情况按表 1 划分。

表1 岩溶发育程度

等级	岩溶场地条件
岩溶强发育	地表有较多岩溶塌陷、漏斗、洼地、泉眼 溶沟、溶槽、石芽密布，相邻钻孔间存在临空面、且基岩面高差大于 5 m 地下有暗河、伏流 钻孔见洞隙率大于 30%、线岩溶率或延米线岩溶率大于 20% 溶槽或串珠状竖向溶洞发育深度达 20 m 以上
岩溶中等发育	介于强发育和微发育之间

表1 (续)

等级	岩溶场地条件
岩溶微发育	地表无岩溶塌陷、漏斗 溶沟、溶槽较发育 相邻钻孔间存在临空面、且基岩面相对高差小于 2 m 钻孔见洞隙率小于 10%、线岩溶率或延米线岩溶率小于 5%

7.1.8 场地岩溶发育程度应结合场地地质条件按地层岩性、地质年代(组或段)进行分析评价,当岩溶发育程度变化较大时,可按单栋(段)进行评价和分区。详细勘察阶段应判定岩溶发育程度,当施工勘察与详细勘察判定结果不一致时,应进行重新判定。

7.1.9 延米线岩溶率可适用于以下分析评价:

- 场地岩溶垂向发育程度与发育规律评价;
- 基础选型、地基稳定性计算;
- 桩基嵌岩深度的确定;
- 检测与检验项目选定等。

7.1.10 岩溶地区钻探施工应采取可靠的安全生产防护措施,在岩溶地面塌陷易发区钻探施工时应制定应急预案。

7.2 勘探工作布置

7.2.1 建筑、市政工程

7.2.1.1 勘察工作量布置应符合下列要求:

- 可行性和初步勘察宜采用工程地质测绘和调查、综合物探并结合钻探的方法,勘探点和勘探线宜结合物探方法进行布置,控制性勘探孔的深度应穿过表层岩溶发育带;
- 详细勘察和施工勘察应根据场地的工程地质、水文地质和工程周边环境等条件,采用勘探与取样、原位测试、室内试验,辅以工程地质测绘与调查、工程物探的综合勘察方法。

7.2.1.2 建筑物初步勘察勘探线、点的间距可按表 2 确定。对于下列地段,应进行重点勘察,并加密勘探点:

- 岩溶地面塌陷或地表水消失的地段;
- 地下水强烈活动的地段;
- 碳酸盐岩层与非碳酸盐岩层接触的地段;
- 碳酸盐岩埋藏较浅且起伏较大的石芽发育地段;
- 软弱土层分布不均匀的地段;
- 物探成果异常或基础下有溶洞、暗河、伴生土洞分布的地段;
- 构造导水断层或导水破碎带以及交汇地段;
- 其它人类工程活动强烈的地段。

表2 建筑物初步勘察勘探线、勘探点的间距

地基复杂程度等级	勘探线间距 (m)	勘探点间距 (m)
一级(复杂)	40~80	25~40
二级(中等复杂)	60~120	35~80
三级(简单)	100~150	50~100
注:表中间距不适用于地球物理勘探。		

- 7.2.1.3 市政桥梁初步勘察勘探线应与桥梁的轴线方向一致，勘探点宜布置在桥梁轴线两侧可能建造墩台的部位。对于特大桥的主桥，每个墩台勘探点不宜少于1个；对于其他桥梁，可采取隔墩台或隔墩台交叉布置勘探点。
- 7.2.1.4 初步勘察勘探孔的深度应符合GB 50021的规定。
- 7.2.1.5 建筑物详细勘察勘探点应沿轴线、周边和角点布置，高层建筑中心应布置勘探孔，勘探点间距可按表3确定。对于岩溶强发育地段应加密勘探孔；地质条件复杂时每个独立基础均应布置勘探点。

表3 建筑物详细勘察勘探点间距

地基复杂程度等级	勘探点间距（m）
一级（复杂）	8~15
二级（中等复杂）	15~20
三级（简单）	20~25

- 7.2.1.6 市政桥梁详细勘探点可按桥（墩）位置逐墩布置；对于特大桥的主桥，每个墩台勘探点不应少于2个；桩位确定时，宜逐桩布置勘探点。
- 7.2.1.7 施工勘察时，对于采用天然地基或复合地基的建筑物，宜采用钻探、静力触探和标准贯入试验等方法，查明可能存在的土洞、软弱土层的分布范围。勘探孔布置应符合以下规定：
- a) 岩溶微发育及中等发育场地，独立基础应一柱一个勘探孔，条形基础应沿基础轴线每间隔6 m~12 m布置1个勘探孔；
 - b) 岩溶强烈发育场地，独立基础的勘探孔可按基础底面积 A 确定： $A \leq 1 \text{ m}^2$ 时布置1个孔， $1 \text{ m}^2 < A \leq 5 \text{ m}^2$ 时布置2个孔， $A > 5 \text{ m}^2$ 时布置3个孔；条形基础应沿基础中线每6 m布置1个勘探孔；
 - c) 当溶洞顶板可能利用作为地基持力层或遇深溶槽或串珠状溶洞，拟采取混凝土梁、板跨越，并需查找稳定支点情况下，应适当加密勘探孔，勘探线宜沿土洞、溶洞长轴方向布设。
- 7.2.1.8 当采用嵌岩桩并以可溶岩作为持力层时应逐桩进行施工勘察，并应符合下列要求：
- a) 岩溶微发育场地，钻孔宜按1桩1孔布置；
 - b) 岩溶中等及以上发育场地，可溶岩埋深小于40 m，每桩钻孔数宜依据桩直径确定：桩直径 $d \leq 1.0 \text{ m}$ 时，钻孔数为1个；桩直径 $1.0 < d \leq 1.5 \text{ m}$ 时，钻孔数为2个；桩直径 $d > 1.5 \text{ m}$ 时，钻孔数为3个。碳酸盐岩石埋深大于40 m，桩直径 $d \leq 1.5 \text{ m}$ 时，每桩钻孔数为2个；桩直径 $d > 1.5 \text{ m}$ 时，每桩钻孔数为3个；
 - c) 对于抗拔桩可1桩布置1个钻孔。
- 7.2.1.9 详细勘察、施工勘察勘探孔的深度除应满足国家现行有关标准、规范等的规定外，尚应符合下列要求：
- a) 采用桩基础时，勘探孔的深度宜满足下列规定：
 - 1) 勘探孔的深度进入完整基岩不应小于桩端以下3倍桩径，且不小于5 m；当相邻桩底的基岩面起伏较大时应加深勘探孔的深度；
 - 2) 抗拔桩勘探孔深度进入桩端以下完整基岩面不应少于2 m；
 - 3) 对于一桩多孔的施工勘察，每个勘探孔的深度分别满足本款第（1）项要求即可；
 - 4) 遇串珠状溶洞或溶槽时，当延米线岩溶率 $\leq 5\%$ 时，溶隙（洞）可计为完整岩石的累计厚度；
 - 5) 桥梁工程的勘探孔深度应符合相关技术标准要求。

- b) 为验证物探异常带而布置的勘探孔，应进入异常带以下不少于3 m。

7.2.2 轨道交通工程

7.2.2.1 本条适用于轨道交通工程及市政地下隧道工程的专项勘察。对车站、车辆基地和高架工程、路基工程的勘察应按本规程 7.2.1 条相关规定执行，并应满足 GB 50307 的规定。需进行专项勘察的其他工程可参照执行。

7.2.2.2 场地或附近岩溶地质条件复杂、存在对工程设计方案或施工有重大影响的岩溶地质问题时，应进行岩溶专项勘察。

7.2.2.3 岩溶专项勘察应采用综合地质调查、钻探、物探、水文地质试验和室内试验等多种勘察手段。重点查明可溶岩与非可溶岩接触界线，岩溶发育规律、较大岩溶洞隙、土洞的位置、规模、埋深和岩溶堆填性状，岩溶与工程的关系，水文地质条件，软塑~流塑状红黏土分布特征及周边人类工程活动等，为岩溶处理设计和施工提供依据。

7.2.2.4 岩溶专项勘察工作布置应满足下列要求：

- a) 勘探点宜在隧道两侧及两隧道中间结构外侧3 m~5 m处交叉布设，间距10 m~25 m；
- b) 孔深应进入结构底板或桩端平面以下不小于10 m且进入岩层，揭露溶洞时应根据工程需要适当加深，并满足物探测试要求；
- c) 物探测试手段可选择跨孔电磁波CT、弹性波CT、孔内电视录像等。

7.2.2.5 岩溶专项勘察勘探取样、原位测试、室内试验、物探及水文地质试验除应符合 GB 50307 的规定外，尚应满足本规程 7.3、7.4、7.5 节相关要求。

7.2.3 基坑工程

7.2.3.1 岩溶地区基坑工程详细勘察，应进行周边环境调查，勘探点布置宜扩大到基坑开挖边线外1倍~2倍开挖深度范围；对地形或岩溶地质条件复杂的基坑，应根据需要进一步扩大勘察范围。勘探点的间距应符合 7.2.1.5 条规定。

7.2.3.2 岩溶中等及以上发育场地的基坑工程，当支护结构嵌入基岩时宜进行支护结构施工勘察。对于采用连续墙的支护结构，宜沿连续墙中线每3 m布置1个勘探孔；对于支护桩，当基坑重要性等级为一级时宜隔2桩1孔进行施工勘察；对基坑立柱桩，应逐桩进行施工勘察。

7.2.3.3 勘探孔深度应满足基坑稳定性计算的需要。

7.2.3.4 岩溶强烈发育场地且对基坑工程有重要影响、开挖深度较大且周边环境复杂的基坑，应进行基坑工程岩溶专项勘察。

7.2.4 红黏土地基

7.2.4.1 红黏土地基工程勘察应包括下列内容：

- a) 不同地貌单元红黏土的分布、厚度、组成、土性质等特征及其差异；
- b) 下伏基岩岩性、岩溶发育特征及其与红黏土的性质、厚度变化的关系；
- c) 场地是否发育溶沟、溶槽，碳酸盐岩上覆红黏土的状态，流塑~软塑状红黏土是否发育土洞等；
- d) 地表水及地下水的分布、动态变化；
- e) 既有工程经验。

7.2.4.2 红黏土的勘探孔应沿建（构）筑物轴线布置，各勘察阶段勘探点的间距和勘探孔的深度应符合下列规定：

- a) 初步勘察勘探孔间距宜取30 m~50 m，其中控制性勘探孔宜为勘探孔总数的1/5~1/3，且每个地貌单元均应有控制性勘探孔；对均匀地基，勘探孔的深度可按GB/T 51238确定；对不均匀地基，勘探孔应深入稳定分布的岩层；
- b) 对均匀地基详细勘察勘探孔的间距宜取12 m~24 m，对不均匀地基宜取6 m~12 m，独立基础宜按一柱一孔布置。勘探孔施工顺序宜先疏后密，先鉴别土性后取土试样；
- c) 详细勘察的勘探孔深度应大于红黏土地基主要受力层的深度，对于条形基础不应小于基础底面宽度的3倍，对于单独柱基不应小于基础底面宽度的1.5倍，且不应小于5 m，勘探孔深度应满足岩溶地基稳定性要求；
- d) 对高层建筑和需作变形计算的地基，详细勘察控制性勘探孔不应少于勘探孔总数的1/3；控制性勘探孔的深度应大于地基变形计算深度；
- e) 当基础底面下红黏土层厚度小于地基变形计算深度时，详细勘察勘探孔深度的应符合7.2.1.9条要求；
- f) 在浅层岩溶发育地区的红黏土中分布有土洞、软弱土时，应采用物探方法初步查明土洞的成因、形态、规模和下伏基岩岩溶发育状况，并应采用加密、加深勘探孔的方法验证确定，勘探孔应进入土洞或溶洞洞底完整土（岩）层不小于3 m。

7.3 钻探、取样与原位测试及室内试验

7.3.1 岩溶场地钻探应符合下列要求：

- a) 进场前应搜集地质资料，并应配置相应钻具、护管、黏土球、泥浆粉和早强水泥等；
- b) 岩溶发育场地钻探宜采用液压钻机，并应低压、中慢速钻进；
- c) 岩溶发育场地钻进过程中，当钻穿溶洞顶板时，应立即停钻，并用钻杆或标准贯入器试探。钻探应根据溶洞的特点，选择合适的钻进方法和钻具，并应详细记录溶洞顶、底板的深度，洞内充填物及其性质、成分、水文地质条件等；
- d) 当溶洞内有充填物时，应采用双层岩芯管钻进或采用单层岩芯管无泵钻进；
- e) 对无充填物或半充填溶洞，宜按溶洞大小及位置采用护管钻进；
- f) 岩溶发育地区钻进时，应采用带卡簧或爪簧岩芯管取芯。钻具应慢速起落，遇阻时应分析原因并采取相应措施；
- g) 当场区位于Ⅰ类岩溶地质结构类型区域时，钻探应采用跟管钻进或泥浆护壁措施。当场区位于其它类岩溶地质结构类型区域时，钻孔内轻微漏浆可采用浓稠泥浆进行护壁；当钻孔内严重漏浆或不返浆时，可向孔内投入黏土球，若不能有效止住漏浆，可改用向孔内漏浆段灌注水泥浆的方法。

7.3.2 岩溶场地取样应符合下列要求：

- a) 对采取质量等级为Ⅰ级~Ⅱ级的土样和原位测试的勘探孔应采用回转钻进；对采取质量等级为Ⅰ级~Ⅱ级的土样，应使用与质量等级相对应的取土器，采取软塑或流塑状态的红黏土应采用薄壁取土器，并采用快速静力连续压入或重锤少击法取样；
- b) 溶洞充填物为黏性土时，应采用与质量等级相对应的取土器取样；以碎石土为主时可取扰动土样；
- c) 钻孔孔径应满足勘察目的、取样、测试及钻进工艺的要求。鉴别和划分地层的孔径不应小于75 mm，采取软质岩试验岩样孔径不宜小于91 mm；孔内测试试验的孔径应满足相应的要求；

- d) 为提高岩芯采取率应选用合适的钻探工艺。对完整、较完整岩体岩芯采取率不应低于 80%，对较破碎、破碎岩体岩芯采取率不应低于 65%；对溶洞充填物岩芯采取率不应低于 50%（软塑、流塑体除外）；
- e) 对不同岩性界面和软弱结构面等需重点查明的部位，应采用双层单动取芯钻具连续取芯等措施提高岩芯采取率；
- f) 当需采用岩石质量指标（RQD）评价岩体基本质量等级时，应采用 75 mm 口径（N 型）双层岩芯管及金刚石钻头；
- g) 钻进回次进尺不应超过 2 m，对不同岩性界面应减小回次进尺；可溶岩为重结晶白云岩及取芯率较低的岩层时，回次进尺应控制在 1 m 以内，并调整相应的钻进速度和压力等。

7.3.3 岩溶勘察取样和原位测试数量应满足下列要求：

- a) 初步勘察时取土试样和进行原位测试的勘探孔宜为勘探孔总数的 1/4~1/2，采取土试样的数量和孔内原位测试的竖向间距，应按地层特点和土的均匀程度确定；每层土均应采取土试样和进行原位测试，其数量均不应少于 6 个（组）；
- b) 详细勘察采取土试样和进行原位测试应满足岩土工程评价需要，且不应少于全部勘探孔的 1/2，每栋主要建筑物不应少于 3 个；钻探取土试样孔的数量不应少于勘探孔总数的 1/3；当采用连续记录的静力触探或动力触探为主要勘察手段时，每个场地不应少于 3 个孔；每个场地每一主要土层的原状土试样、岩石单轴抗压强度试验及原位测试数据均不应少于 6 个（组）；
- c) 当场区内红黏土存在上硬下软时，应分层取样，取样间距不超过 1.0 m，同时加强现场原位测试。

7.3.4 岩溶勘察室内试验应符合下列要求：

- a) 地表水、地下水样除进行一般试验项目外，应增加游离 CO₂ 含量分析，必要时进行放射性同位素测试；
- b) 黏性土应做液限、塑限、比重、天然含水量、天然密度、压缩、抗剪强度等常规物理力学性质、膨胀性、渗透试验，必要时进行矿物与化学成分分析；砂层做颗分试验；溶洞充填物样应做常规物理力学性质试验，必要时应作黏土矿物成分分析；
- c) 代表性岩样应做单轴抗压强度试验，必要时选作镜下鉴定、化学分析和溶蚀试验；泥灰岩等软质岩类应增加软化系数试验。

7.3.5 岩溶勘察原位测试重点查明第四系覆盖层中有无隐蔽土洞存在、土洞的规模及埋藏位置、疏松裂隙带的分布及其范围、上覆砂土层是否存在强度异常及溶洞充填物的性质，宜符合以下要求：

- a) 对于砂土层可采用静力触探试验、标准贯入试验等方法；
- b) 对于碎石土可采用重型动力触探试验（ $N_{63.5}$ ）或超重型动力触探试验（ N_{120} ）；
- c) 对于红黏土可采用静力触探或标准贯入试验，对软塑和流塑状态的红黏土，可采用旁压试验和十字板剪切试验，对浅部红黏土地基可采用静载荷试验；
- d) 溶洞充填物的状态可采用标准贯入试验或重型动力触探试验进行判定；
- e) 对发生过地面塌陷的场地应根据回填处理材料选择合理的原位测试手段，当回填材料为黏性土时，可采用静力触探试验、标准贯入试验等方法；当回填材料为碎石土时，可采用重型动力触探试验（ $N_{63.5}$ ）或超重型动力触探试验（ N_{120} ）。

7.4 地球物理勘探

7.4.1 各勘察阶段宜根据场地物性、地形、覆盖和环境电磁场等条件以及探测精度要求选择合适的物探方法。必要时可选择代表性地段，进行物探方法的有效性比选试验。

7.4.2 跨孔层析成像（CT）法物探剖面布置应符合下列要求：

- a) 对于隧道，单线隧道采用两侧钻孔对称布置，双线隧道外侧和两隧道中间采用梅花型钻孔布置，相邻钻孔均进行跨孔CT，形成多线联测网格；
- b) 对于房屋建筑工程，岩溶探测勘探点宜根据建筑物轮廓线，在可能的岩溶影响范围内采用梅花型满堂布置，相邻钻孔均进行跨孔CT，形成多线联测网格；
- c) CT钻孔间距除应满足勘探点间距的要求外，尚应满足物探探测精度要求，宜按15 m～25 m布置。

7.4.3 高密度电阻率法勘探宜根据建筑物型式和特点布置测线或测网，结合场地环境、物性参数和探测精度要求等，通过比选试验确定合适的装置、总电极数、电极间距等参数。

7.4.4 桩基岩溶探测宜采用管波探测法，以探测钻孔或桩孔一定范围内的岩溶发育程度。

7.4.5 施工勘察阶段，宜在建筑物基槽、隧道底板和基坑底板处采用地质雷达法，探测基底以下岩溶发育程度；在掌子面等部位采用 TSP 等物探方法探测掌子面前方岩溶发育程度。

7.4.6 地质雷达探测岩溶有效深度为 20 m，TSP 法探测岩溶的有效深度为 50 m，实际有效探测深度可根据现场试验确定，并根据不同探测深度要求，合理选择天线频率。

7.4.7 应对初步解释为溶洞的物探异常进行钻孔验证，验证孔数量宜按钻孔总数或物探异常数的 3%～5%布置，且不宜少于 10 个；各类异常经过钻孔验证后，方可对物探资料进行综合解译。

7.4.8 岩溶处理前宜对工程影响范围内拟进行工程治理的所有物探异常进行先导孔验证。

7.5 岩溶水

7.5.1 当岩溶地下水对地基、基础与基坑设计、地下结构抗浮、施工安全等有重大影响或采用矿山法施工时，应进行专门水文地质勘察，重点查明下列内容：

- a) 岩溶地下水的埋藏条件、分布范围、水位与动态变化等；
- b) 当存在多层地下水时，每层地下水的赋存条件、动态特征及其与岩溶地下水的水力联系，长江、汉江等地表水与岩溶地下水的水力联系；
- c) 含水层透水性、富水程度等水文地质参数。

7.5.2 岩溶地区地下水勘察宜采用水文地质测绘、物探、钻探、水文地质试验、地下水位观测等方法进行，并应符合下列规定：

- a) 水文地质测绘应在现场踏勘、收集已有水文地质资料，初步掌握场地水文地质条件的基础上进行，重点调查微地貌、地层岩性、地质构造、地表岩溶发育、井（泉）等内容；
- b) 水文地质勘探应在水文地质测绘的基础上，结合场地岩土工程勘察的需要布置；
- c) 勘探孔深度应根据地下水赋存、埋藏条件和地下结构分布确定，当存在地下水涌水和突涌可能性时，宜钻至相应含水层底板以下2 m，含水层厚度很大时可按满足水文地质测试需要确定；
- d) 水文地质试验应根据评价工作的需要选择钻孔抽水试验、连通试验、注（压）水试验、地下水流速流向测试等试验方法。

7.5.3 水文地质试验应符合下列规定：

- a) 当需要提供水文地质参数和初步确定岩溶水连通性时，宜在不同水文地质单元结合建筑物平面钻孔抽水试验；
- b) 抽水试验井孔宜按不同岩溶发育地段布置，岩溶强发育地段不少于2个，岩溶中等发育地段不少于1个；

- c) 应根据水文地质条件和工程设计需要，选择单孔或带观测孔的抽水试验方案。当布置1条观测线时，宜按平行岩层走向（预测强透水方向）布置，布置2条观测线时，另一条宜垂直岩层走向布置。水文地质条件复杂时，宜进行群孔抽水试验；
- d) 抽水结束后，宜进行水位恢复观测；
- e) 压水试验宜选择代表性孔段，自上而下分段进行。压水试验过程中，宜对周边可能受到影响的钻孔、井泉的水位变化进行观测；
- f) 根据工程设计需要进行岩溶连通试验。可采用示踪法、充电法和自然电场法等方法，必要时可进行工程范围内地表、地下水的天然同位素测试。投放的指标剂或示踪剂应符合环境保护要求；
- g) 当需要对地下水采取专门治理措施时，施工阶段宜进行验证性水文地质试验，以选定适合的水文地质参数。

7.5.4 地下水位观测应符合以下列规定：

- a) 应在不同水文地质单元选择一定数量的钻孔观测钻孔内岩溶水初见水位和终孔稳定水位，岩溶强发育区尚宜在钻进过程中观测地下水位。当场地存在对工程有影响的多层含水层时，应分层量测地下水位；
- b) 当需要了解岩溶水动态变化情况时，宜在不同水文地质单元布置长期观测孔，工程需要时观测时间不宜少于1个水文年；
- c) 长期水位观测孔宜采用非金属同径孔壁支护技术。当采用传统金属套管护壁时，钻孔位置应适当远离拟建建筑物结构轮廓线，避免可能的孔内遗留物对施工造成影响；
- d) 对于 I 类岩溶地质结构宜在岩溶水长期观测孔旁布置副孔，同步观测上部砂层孔隙水水位变化。
- e) 岩溶场地基础施工期间宜对与工程相关的地表水、地下水进行水位和水量变化监测。

7.6 稳定性及适宜性评价

7.6.1 岩溶场地稳定性可按表 4 划分。对不稳定场地，宜提出避让要求；对稳定性差、基本稳定场地应采取有效的处理措施。

表4 岩溶场地稳定性等级划分

等 级	场地条件与岩溶地质结构类型
不 稳 定	1、在降雨、地震、重力及地下水动态变化等自然地质作用下岩溶地面塌陷易发且岩溶地质结构类型为 I ₁ 的场地； 2、具岩溶地面塌陷历史场地且未经治理的场地。
稳定性差	1、人类活动作用下岩溶地面塌陷易发且岩溶地质结构类型为 I ₁ 的场地； 2、土洞发育场地； 3、岩溶地质结构类型为 II ₁ 、III ₁ 、IV ₁ 的场地。
基本稳定	土洞不发育且岩溶地质结构类型为 I ₂ 、II ₂ 的场地。
稳 定	土洞不发育且岩溶地质结构类型为 III ₂ 、IV ₂ 的场地。
注1：从不稳定开始，向稳定性差、基本稳定、稳定推定，以最先满足为准； 注2：岩溶场地稳定性等级划分，符合表中所列条件之一即可； 注3：当场地条件改变时，应重新划分岩溶场地稳定性等级； 注4：本表应配合 CJJ 57 使用。	

7.6.2 岩溶场地工程建设适宜性分级应按表 5 划分。

表5 岩溶场地工程建设适宜性分级

级 别	分级条件
不 适 宜	1、场地不稳定； 2、岩溶地面塌陷治理难度大。
适宜性差	1、场地稳定性差； 2、岩溶地面塌陷治理有难度。
较 适 宜	1、场地基本稳定； 2、岩溶地面塌陷治理简单。
适 宜	1、场地稳定； 2、岩溶地面塌陷低易发。
注1：表中未列条件，可按对场地工程建设的影响程度比照推定； 注2：划分每一级别场地工程建设适宜性分级，符合表中条件之一时即可； 注3：从不适宜开始，向适宜性差、较适宜、适宜推定，以最先满足的为准。	

7.6.3 不稳定和稳定性差的岩溶场地经处理，完全或部分消除不稳定因素后，应重新评价其稳定性、适宜性及划分建筑抗震地段。

7.7 岩土工程评价

7.7.1 岩溶场地岩土工程评价应阐明拟建场地岩土工程条件，岩溶发育特征；对场地稳定性、工程建设适宜性作出评价，根据工程特点，提出地基基础方案建议。

7.7.2 岩溶场地应评价岩溶的成因类型、发育程度、形态和分布特征；溶洞充填程度及充填物；覆盖层厚度及性质；溶洞、土洞和塌陷的成因及其发展趋势，并提出防治措施建议。

7.7.3 岩溶场地应评价岩溶地下水的类型、水位及变化幅度、水量、排补及其对拟建工程的影响，并提出防治措施建议。

7.7.4 存在红黏土的岩溶场地应评价红黏土的物理力学性质及其对地基基础及场地稳定性的影响，并提出处理建议。

7.7.5 岩溶、土洞对工程影响的评价，除符合 GB 50021 有关规定外，尚应包括下列内容：

- a) 地基不均匀沉降的评价；
- b) 地基基础附近存在岩溶、土洞，使基础下岩土层沿临空面或软弱结构面滑动的可能性评价；
- c) 基岩和上覆土层内，由于岩溶地区较复杂的水文地质环境，易产生新的工程地质问题，造成地质环境恶化的可能性评价。

7.7.6 对于有第四系土层覆盖的隐伏岩溶地区，宜按以下原则判别地面塌陷的可能性并采取相应措施：

- a) 在以岩溶水为供水水源地附近，在影响半径范围内的场地，如碳酸盐岩之上有饱和砂、砾石层、软土层和有土洞存在的黏性土层均应视为有可能发生覆盖层地表塌陷的场地，不经处理不得建筑。处理措施中，首先为停止抽采岩溶水，或查明碳酸盐岩之上第四系土层均为黏性土层并有充分试验、分析评价时可限制抽水量、降深，确保岩溶水头稳定在岩面以上的覆盖层中，以确保地基和场地的稳定性；

- b) 在以疏干岩溶水为开发条件的矿区，采区上方的第四系覆盖土层为饱和砂、砾石层时，不得作为建筑场地；覆盖土层为黏性土层但有土洞存在时，不经处理不宜作为建筑场地；远离采区的场地，但确属矿区岩溶水补给区（如河床、河漫滩及一级阶地），应视为不宜建筑场地；必须用作建筑场地时，应在矿山采取隔水帷幕的前提下，建筑物可采用端承桩并对岩溶洞隙采取堵塞、注浆封堵等辅助措施；
 - c) 在地下水位高于基岩表面的岩溶地区，应考虑由人工降低地下水引起土洞或地表塌陷的可能性。塌陷区的范围及方向可根据水文地质条件和抽水试验的观测结果综合分析确定。在已有建筑物附近抽水时，应考虑其影响；
 - d) 应评价岩溶场地勘察钻探及桩基、地下工程等施工时诱发地面塌陷的可能性，并提出防治措施建议。
- 7.7.7 持力层为倾斜岩层、基岩面凹凸不平、岩土中有洞穴或基岩之上存在深厚软土时，应评价桩的稳定性，并提出处理措施的建议。
- 7.7.8 岩溶场地基坑工程的岩土工程评价除了满足常规基坑评价外，尚应分析和评价溶洞、土洞、红黏土及岩溶水对基坑工程的影响，并提出相应的处理措施。
- 7.7.9 岩溶场地隧道工程的岩土工程评价除了满足岩质隧道评价外，对采用矿山法或暗挖法的尚应评价隧道断面影响范围内的洞隙分布及充填物情况对隧道施工及运营安全的影响；对爆破振动、抽排岩溶水等引发岩溶地面塌陷的可能性进行评估；预测施工期间涌水突泥位置及强度并提出处理措施。
- 7.7.10 当线路工程跨越、置于隐伏溶洞之上时，应评价隐伏溶洞的稳定性并提出处理措施。
- 7.7.11 根据场地工程地质、水文地质条件及岩溶发育程度，结合工程建设特点对因工程建设活动可能引起的环境地质问题进行预测及评价。
- 7.7.12 岩溶场地抗震地段的划分应符合表 6 规定，对不利地段、危险地段的综合评价应符合 GB 5011 的要求，并提出抗震措施建议。

表6 有利、一般、不利和危险地段的划分

地段类别	地质、地形、地貌及岩溶地质结构类型
有利地段	稳定基岩，坚硬土，开阔、平坦、密实、均匀的中硬土等，岩溶微发育、溶洞被硬塑粘性土完全充填、土洞不发育的地段且岩溶地质结构类型为 III ₂ 、IV ₂ 。
一般地段	不属于有利、不利和危险的地段，土洞不发育的地段且岩溶地质结构类型为 I ₂ 、II ₂ 的地段。
不利地段	软弱土、液化土，条状突出的山嘴，高耸孤立的山丘，陡坡，陡坎，河岸和边坡的边缘，平面分布上成因、岩性、状态明显不均匀的土层（含故河道、疏松的断层破碎带、暗埋的塘浜沟谷和半填半挖地基）等；岩溶地质结构类型为 II ₁ 、III ₁ 、IV ₁ 的地段。
危险地段	地震时可能发生滑坡、崩塌、地陷、地裂、泥石流等及发震断裂带上可能发生地表位错的部位，地震作用下易产生岩溶地面塌陷且岩溶地质结构类型为 I ₁ 的地段。

7.7.13 岩溶场地勘察报告除应符合 GB 50021 的要求外，尚应包括下列内容：

- a) 岩溶、土洞发育的地质背景和形成条件；
- b) 岩溶钻孔见洞率、线岩溶率；
- c) 当需评价垂向的岩溶发育规律时，可分析延米线岩溶率；
- d) 岩溶发育程度；
- e) 岩溶地质结构类型划分；
- f) 评价工程建设引发岩溶地面塌陷的可能性；
- g) 场地稳定性和工程建设适宜性评价；
- h) 岩溶场地环境地质问题及工程对策。

8 设计

8.1 一般规定

8.1.1 岩溶地区的建筑物宜布设于稳定、基本稳定的场地；对于稳定性差或可能产生岩溶塌陷的场地，建筑物应采用嵌岩桩等措施。

8.1.2 岩溶地区隧道位置和线路选择应符合以下原则：

- a) 对岩溶强发育地段应尽量绕避；对中等发育、微发育岩溶地段可选择较窄、较易于采取措施的岩溶地段通过。
- b) 隧道轴线不宜与岩层构造线方向平行，应与岩层构造线大角度斜交或垂直通过。
- c) 隧道应尽量避免避开较大的断层破碎带。

8.1.3 岩溶区隧道应加强防排水设计。

8.1.4 岩溶地区的基础设计尚应符合现行有关技术标准的规定。

8.2 地基基础设计

8.2.1 在岩溶场地进行地基及基础设计时，应根据场地地质条件结合建（构）筑物荷载、基底覆盖土层厚度及下卧软弱土层（土洞）的分布，通过安全、环保、经济、施工可行性等因素综合比选，经判定岩溶洞隙顶板在设计附加荷载及地震作用下处于稳定状态的地基，宜利用岩溶上部覆盖土层作为天然地基；当天然地基不能满足要求时，应根据工程实际进行复合地基处理，在满足地基稳定、地基承载力和沉降要求的前提下，进行基础设计；当复合地基处理后的地基不能满足要求时，宜选用桩基础。

8.2.2 岩溶发育场地基岩上覆土层为砂性土且易发生岩溶地面塌陷时，上部土层不得作为建筑物基础持力层。

8.2.3 可利用上覆土层作为持力层的岩溶场地上的浅基础、小直径桩基、复合地基宜采用整体性好的筏板基础。

8.2.4 对于岩溶地质结构类型为 II₂、III₂的场地，天然地基所选择的持力层稳定性受溶洞影响时，溶洞应经过预处理。

8.2.5 基槽开挖后，当基底下岩溶洞隙呈开口状或顶板不能满足稳定性要求时，可打开洞隙顶板，清除填充物，回填素混凝土（洞体较小）或毛石混凝土（洞体较大），然后在其上按浅基础设计。当基底下遇竖向溶槽、溶洞或串珠状溶洞地基时，可采用梁板跨越。

8.2.6 对于岩溶地质结构类型为 II₂、III₂的场地，可采用复合地基，以可溶岩或承载力较高的黏性土层为端部持力层。复合地基应设褥垫层，褥垫层设置的范围、厚度及材料，应根据复合地基型式、桩土相对刚度和工程地质条件等因素综合确定，褥垫层的夯填度不应大于 0.9。

8.2.7 岩溶地区的桩基，应符合下列规定：

- a) 对于一桩多个施工勘察孔设计时应采用不利的勘探孔资料进行设计；
- b) 岩溶微发育场地的桩基最小入岩深度和桩端下溶洞顶板厚度可按DB42/ 242采用；
- c) 岩溶中等发育或强烈发育场地的嵌岩端承型桩，桩端全断面嵌入完整岩层的深度不应小于2倍桩端直径且不得小于2.0 m；
- d) 岩溶场地基础应加强刚度设计，高层建筑宜选用桩筏基础型式；
- e) 当遇竖向溶槽、溶洞或串珠状溶洞地基时，可按嵌岩摩擦型桩进行计算（当溶洞间隔板厚度<1.0 m时，不应计入桩身侧阻力），单桩竖向承载力特征值应通过单桩竖向静载荷试验确定；
- f) 岩溶场地桩基采用后注浆技术时，其单桩竖向承载力特征值应通过单桩竖向静载试验确定，且应考虑施工因素的不确定性，对试验结果宜进行适当折减；
- g) 对于判定为稳性定差且岩溶地质结构为I₁、III₁的场地应采用大直径嵌岩桩且不应计取基岩面以上第四系土层的摩阻力，并适当加强桩身混凝土强度和配筋；对于单桩基础，应考虑负摩阻力的影响。

8.2.8 岩溶预处理可采用充填法、注浆法、高压旋喷注射法等单一或多种方法组合进行预处理。

8.3 基坑工程设计

8.3.1 当可溶岩层面为顺坡向，或当溶沟、溶槽、溶牙等外露岩面相对于基坑开挖为不利软弱结构面，或土岩结合面时，应进行基坑抗滑移稳定性验算。

8.3.2 当基坑侧壁及基底揭露红黏土层时，应采取有效措施封闭，避免地表水、雨（雪）水、地下水冲刷或浸湿软化红黏土层。

8.3.3 当坑底以上可溶岩岩溶微发育时，可采用悬壁嵌岩支护结构型式，并应采用内支撑或锚杆锁脚，必要时对下方岩体进行竖向超前微型桩支护及水平锚杆加固。

8.3.4 支护桩（墙）的嵌固深度应按设计桩长和入岩累计长度双控。当支护桩嵌固深度范围内遇溶洞时，桩端应穿过溶洞进入溶洞底板以下稳定岩层不少于1.0 m；遇串珠状溶洞时，应满足入岩累计长度不少于设计嵌固深度；遇土洞时桩端应予以穿过，并满足设计嵌固深度要求，对土洞应采用充填法封填处理。

8.3.5 基坑内支撑立柱桩的设计方法应与工程桩基的设计方法相同。

8.3.6 岩溶中等及强发育区、岩溶水存在承压性和连通性时，支护结构不宜采用岩石锚杆。

8.3.7 基坑岩溶地下水控制设计应综合考虑周边环境、地质条件特别是岩溶发育程度、地下水赋存特性、开挖深度及支护结构型式等因素，宜采用明排、隔渗等方法或综合处理方案，特殊情况下也可采用降水等措施。

8.3.8 当基坑开挖深度大于土岩接触面，且接触面富水时，应考虑地下水的渗流作用，验算抗渗与抗管涌稳定性，必要时考虑在接触面处设置隔渗帷幕。

8.3.9 当基坑底部处于土岩接合面或岩溶层，且岩溶地下水承压水头超过基坑开挖底标高时，尚应考虑承压水头压力对支护结构的影响；当坑底标高附近存在开口溶洞或溶洞通道时，应采用充填法等进行预处理，防止岩溶地下水（或溶洞内流塑状充填物）突涌突泥。

8.3.10 当对岩溶地下水采取降排水方法时，应注意控制水位降深，应分析评估可能引起的地面塌陷。当存在地面塌陷的可能性时，应对溶洞（或土洞）采取充填封堵或隔渗等预处理措施。

8.3.11 当基岩石方采用爆破方式开挖时，应采取有效措施避免爆破作业对基坑支护结构及周边环境的不利影响。

8.3.12 岩溶发育区基坑工程设计应与施工密切配合,结合现场实际情况和监测资料进行信息化的动态设计。

8.4 隧道工程设计

8.4.1 一般规定

8.4.1.1 岩溶区隧道应进行安全风险分析,根据风险分析情况开展岩溶治理专项设计。当隧道位于 I、II₁、III₁、IV₁岩溶地质结构类型区域时,隧道结构设计宜与岩溶治理并重。

8.4.1.2 岩溶区隧道应加强岩溶专项勘察和超前地质预报,隧道设计和岩溶治理措施应根据超前地质预报及地质情况进行动态调整。

8.4.1.3 隧道位于 II₁、III₁岩溶地质结构类型区域时宜考虑岩溶地面塌陷的可能性;位于 I、IV₁岩溶地质结构类型区域时应考虑岩溶地面塌陷的可能性,并对隧道采取保护措施。

8.4.1.4 隧道施工中应加强围岩、支护、衬砌受力量测和地下水位观察,发现实际情况与设计不符时应及时修正。

8.4.1.5 隧道设计荷载应根据地形、地质条件、埋置深度、施工方法、相邻隧道间距等因素,定量计算或按工程类比确定,隧道周边分布有较大溶洞时,应考虑偏载影响。

8.4.2 衬砌设计

8.4.2.1 衬砌设计应符合下列规定:

- a) 隧道断面尺寸除应满足限界要求外,尚应预留适当变形量;变形量可根据围岩级别、隧道截面、埋置深度、施工方法、岩溶地质结构类型等因素确定;
- b) 设计水压力应根据岩溶地质结构类型、富水情况、溶洞充填状况、隧道防排水类型、隧道埋深等综合分析确定;
- c) 隧道采用全包防水时应验算衬砌抗水压能力;
- d) 岩溶区隧道衬砌结构和配筋应适当加强。

8.4.2.2 隧道拱、墙背回填应符合下列规定:

- a) 矿山法隧道周边的超挖部应采用同级混凝土回填密实;
- b) 盾构隧道应加强同步注浆、二次注浆。

8.4.3 岩溶治理措施

8.4.3.1 岩溶治理主要采取跨越、注浆充填、抛石充填、地层加固、引排截堵岩溶水、疏排地表水等措施。水量大、水压高隧道可采用“以疏为主、排堵结合、综合治理”的原则;水量、水压相对较小隧道可采用“以堵为主,堵排结合,限量排放”的原则。考虑周边环境保护并根据水量、水压、隧道类型、环境保护等采取半包防水或全包防水设计。

8.4.3.2 矿山法隧道岩溶治理应符合下列规定:

- a) 衬砌结构防水可根据不同区段岩溶水文地质条件进行分区设计,分区防水能力应与岩溶水发育情况相适应;
- b) 当遇到大型溶洞,难以跨越或耗资过大时,经技术、经济比较后可局部改线绕避溶洞;
- c) 隧道侧墙、底板有小规模溶沟、溶槽时,可在隧道侧墙及底部设置盲沟、暗管等疏导岩溶水;
- d) 隧道拱部以上溶洞可根据岩石破碎程度采用喷锚支护加固、注浆、加设护拱及拱顶回填方式进行治理;

- e) 根据溶洞与隧道的位置关系及溶洞充填情况,可采用注浆、混凝土、片石等回填封堵;
- f) 水量较大区段隧道可设置排水盲沟和道床排水沟,加大排水管截面;排水系统应考虑施工、运营期间的可维护性,并应满足不利情况下岩溶水排水能力的要求;
- g) 富水岩溶段衬砌结构应考虑向相邻段延伸一定范围,与相邻地段衬砌接缝处应设置阻水措施;
- h) 对于常规截面矿山法隧道,岩溶治理范围可参考本规程附录C表C确定。

8.4.3.2 盾构隧道岩溶治理应符合下列规定:

- a) 岩溶治理以注浆充填、抛石充填、地层加固等地面措施为主,洞内预留措施为辅;
- b) 对Ⅲ₁岩溶地质结构类型区域,当隧道底板位于流塑~软塑状红黏土层或底板下部存在红黏土深槽时,应对溶洞进行注浆充填处理,并应采取防止流塑~软塑状红黏土流失的措施;
- c) 隧道位于Ⅰ、Ⅳ₁岩溶地质结构类型区域时,应根据岩溶塌陷角、隧道到岩面距离及隧道直径计算岩溶塌陷影响范围,确定岩溶处理范围。岩溶治理可采用岩层帷幕注浆、溶洞充填注浆、砂层隔离等措施,具体措施需专项研究;
- d) 隧道位于Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ₂岩溶地质结构类型区域时,宜根据本规程附录C表C进行溶洞注浆充填处理;
- e) 对位于Ⅰ类岩溶地质结构类型区域内的隧道,在施工及使用阶段宜对地下水进行长期监测。

9 施工

9.1 一般规定

- 9.1.1 施工前应研究分析工程及水文地质资料,结合现场实际,作出风险评估,制定施工技术方案和专项应急预案,并做好各种施工储备。
- 9.1.2 岩溶地区地基基础施工应根据勘察资料及设计要求,按本规程第8章规定对岩溶进行预处理,处理合格后方可进行下一步施工。
- 9.1.3 测量控制点和水准点应设置在不受施工及岩溶地面塌陷影响的区域内。
- 9.1.4 应结合工程实际进行现场试验、试验性施工,并根据工程经验确定施工参数及工艺。
- 9.1.5 施工过程中应采取措施,防止因施工引起岩溶地面塌陷,同时应重视环境效应,并遵循信息化施工原则。
- 9.1.6 重型设备行走路径及作业影响范围内的场地应确保稳定。

9.2 桩基础施工要点

9.2.1 岩溶地区灌注桩施工宜采用下列工艺:

- a) 地下水位以下宜采用泥浆护壁冲击成孔水下混凝土灌注桩;
- b) 桩孔无地下水时可采取挖干作业成孔灌注桩;
- c) 岩溶地质结构类型为Ⅰ₁、Ⅲ₁类的区段,当环境条件复杂时宜采用全套管跟进钻孔工艺。

9.2.2 溶岩区群桩基础施工时应合理安排施工顺序,宜采用隔桩跳打施工,施工工艺应符合 DB42/ 242 的相关规定。

9.2.3 当桩基施工采用冲击成孔工艺时,桩基范围的溶洞宜预先处理。当采用全套管钻机成孔工艺时,桩基位置的溶洞可不作处理。

9.2.4 岩溶地质结构类型为Ⅰ₁、Ⅲ₁类的区段采用冲击成孔工艺时,应观察岩面以上土层状态。当遇软塑~流塑状红黏土或松散砂土时,应向孔内投放黏土碎石冲孔造壁。

9.2.5 岩溶强烈发育场地，灌注桩施工前宜在桩周布置注浆孔对岩溶段进行注浆充填。

9.2.6 桩基施工采用全套管成孔工艺时，应符合以下规定：

- a) 桩基位置应制作钢护筒或混凝土导墙；
- b) 土层中钢套管应超过钻进深度；
- c) 钢套管每钻进5m，应进行垂直度、机械稳定性检测；
- d) 钢套管壁厚不宜小于18 mm，并满足水压力要求。

9.2.7 桩基浇筑混凝土时，应采取以下措施：

- a) 采用泥浆护壁成孔工艺时，水下混凝土浇筑应密切注意孔口泥浆溢出量与混凝土浇筑量是否一致。泥浆溢出量较少时，应在确保埋管的前提下，放慢拔管速度继续浇筑混凝土，直至恢复正常；
- b) 水下混凝土浇筑时，应随时检查混凝土面高度。拆除混凝土导管前应确保导管插入混凝土2 m~6 m，防止导管拔出混凝土面。干作业成孔采用串筒法浇筑混凝土时，串筒底距混凝土浇筑面宜小于2 m；
- c) 混凝土浇筑完成后应间隔一定时间检查混凝土面是否出现下降，直至混凝土初凝。

9.3 高压旋喷桩施工要点

9.3.1 施工前应根据设计要求进行工艺性试验，数量不少于2根。

9.3.2 高压旋喷桩根据工程需要和土质条件，可分别采用单管法、双管法和三管法，施工技术参数应符合GB/T 51238的有关规定。

9.3.3 注浆孔的平面布置可根据上部结构和基础特点确定。高压旋喷注浆处理的地基和基础之间应设置褥垫层。

9.3.4 施工顺序应按跳孔间隔注浆方式进行，并宜采用先外围、后内部的注浆施工方法。

9.3.5 注浆过程中出现压力骤然下降、上升或冒浆异常时，应查明原因并及时采取措施。宜在原孔位采用冒浆回灌或第二次注浆等措施，防止浆液凝固收缩影响桩顶高程。

9.4 注浆法施工要点

9.4.1 采用注浆法进行溶洞充填处理应符合下列规定：

- a) 注浆处理前应根据溶洞大小及溶洞填充情况制定施工方案；
- b) 注浆材料可选用纯水泥浆或水泥浆与水玻璃（或其他速凝材料）的混合液，浆液配合比应通过工艺试验确定；
- c) 对岩溶地质结构类型为Ⅰ、Ⅱ类的岩溶注浆宜采用跟管钻进工艺；
- d) 对中、大型溶洞宜采用泵送低标号素混凝土填充处理的方法；
- e) 对特大型溶洞宜采用吹填中粗砂加泵送低标号素混凝土填充处理的方法；
- f) 溶洞可采用泡沫混凝土进行充填，并应符合T/CECS 590的有关规定。

9.4.2 当处理边界位于溶洞边界以内时，应在处理边界设置注浆孔（边界孔）预先注入双液浆进行封堵，再对边界内的注浆孔（中央孔）采用注水泥浆或水泥砂浆充填。注浆压力参数可参考表7确定。

表7 注浆压力控制

序号	注浆参数	内容
1	周边孔控制压力	0.3 MPa~0.8 MPa
2	中央孔控制压力	0.8 MPa~1.0 MPa

9.4.3 采用袖阀管注浆法进行溶洞充填处理时，应符合下列规定：

- 注浆处理深度不宜超过25 m。
- 袖阀管注浆浆液宜采用水泥浆，水灰比可取0.5~1.0，注浆参数应根据溶洞充填状况、充填物性质经现场试验确定；
- 袖阀管可采用钢管或塑料管，内壁应圆滑，连接顺直；
- 注浆顺序宜采用“由下而上，隔孔跳注、先外后内”；
- 当浆液压力发生突增且持续增加，出现地表返浆时，应立即终止注浆。当注浆量达到设计限定值，浆液压力仍未出现突增时，宜采取间歇式注浆或调整浆液浓度等措施；
- 注浆过程中应加强对周边环境监测和保护；
- 对注浆可能造成的沉降变形等危害性灾害应提前进行评估，并采取相应措施。

9.5 矿山法隧道施工要点

9.5.1 隧道通过岩溶地区时，施工前应根据设计资料并结合施工现场实际，采用综合超前地质预报，及时正确制定施工方案。

9.5.2 矿山法隧道岩溶处理应符合下列规定：

- 当隧道穿越堆积物时，应采用超前预注浆加固周围的堆积物；
- 隧道顶部存在溶管且分布有地下水时，应在隧道底部设置暗管或将地下水引入隧道底部跨越；
- 对于涌水量大、涌水点多、分散、排泄通道不明显的岩溶地段，宜采取辅助导坑、集水廊道结合泄水洞、行洪通道等排水处理方法。

9.5.3 矿山法隧道开挖应符合以下规定：

- 爆破开挖时，宜遵循“密布眼，少装药”的原则；
- 当隧道一侧遇到溶洞时，应先开挖该侧，待支护完成后再开挖另一侧；
- 岩溶地下水对施工有影响的地段，应利用超前探水钻孔作超前预报。

9.6 盾构法隧道施工要点

9.6.1 盾构隧道岩溶处理应符合下列规定：

- 盾构隧道岩溶处理应遵循以地面预处理为主，洞内处理为辅的原则。对于区间范围内地质勘察已揭露的溶洞应全部自地面采取措施进行处理；
- 当溶洞对盾构换刀有影响时，应采取加固措施对溶洞进行处理，以满足盾构换刀的地质条件；
- 盾构在岩溶发育区掘进，宜适当上仰，严格控制铰接油缸的引程变化，并启动中盾径向注浆，防止盾构跨越底部溶洞时栽头。

9.6.2 盾构掘进溶洞处理施工顺序应符合下列规定：

- 溶洞处理的施工顺序应遵循先探边界，再注浆填充，最后对注浆效果进行检测的原则；
- 注浆施工应符合本规程9.4.2条有关规定。当边界孔首次注浆量满足要求、压力无法满足设计要求时，可采用边界孔与中央孔交替注浆；
- 中央区域注浆孔应隔孔施工，避免跑浆，窜浆现象；

- d) 对于需处理的纵向多层分布的溶洞，应由深至浅依次充填处理。
- 9.6.3 岩溶地区盾构掘进施工应符合下列规定：
 - a) 推进速度不宜过快，应确保盾构机均衡、匀速穿越；
 - b) 应严格控制同步注浆压力，同步注浆及二次注浆应及时足量，确保管片背后空隙充填密实；
 - c) 掘进出现异常时，应立即停机保压，并向盾构机下方压浆填充空洞，及时实施姿态调整；
 - d) 掘进过程中应加强进行地面沉降监测，采取分级预警措施；当出现地面塌陷时，应及时对现场进行封闭、隔离，启动应急预案。
- 9.6.4 岩溶地区土压平衡盾构掘进施工应符合下列规定：
 - a) 施工时应加强土仓压力控制与监测。可根据地质条件采用气压辅助掘进，同时根据隧道轴线上溶洞分布和溶洞处理实际情况调整土压舱支护压力，保持压力均衡；
 - b) 在盾构掘进过程中，可向前方土体添加泡沫剂、膨润土等改良土体，增加渣土的流动性。
- 9.6.5 岩溶地区泥水盾构掘进施工应符合下列要求：
 - a) 应保证隧道掌子面土压的稳定，确保环流系统通畅；
 - b) 盾构掘进宜降低刀盘转速，并采用优质泥浆，减少对地层的扰动；
 - c) 盾构机穿越溶洞地段，应储备足量优质的泥浆；当排泥口堵塞时，应立即改用逆循环模式进行冲洗，待泥浆循环正常后恢复掘进。

10 监测与检验

10.1 一般规定

- 10.1.1 岩溶场地的工程项目监测与检测检验，应根据岩溶场地地质条件，结合工程特点，采取成果可靠、技术先进、经济合理的监测、检验手段和方法。
- 10.1.2 监测与检测检验的记录、数据和图件等资料应完整，及时按工程要求整理分析，结果应及时反馈给业主、监理、设计、勘察、施工等相关单位，做到施工信息化管理。
- 10.1.3 岩溶场地的工程监测工作宜与当地政府地质环境保护监测工作相衔接，相关监测点宜与国家、地方设置的监测点形成监测网络。

10.2 监测

- 10.2.1 岩溶场地的地基基础工程、地基处理工程、基坑工程、隧道工程等在施工阶段应进行全程监测，监测周期应满足建（构）筑物整体竣工稳定标准。工程实际需要时监测时间可适当延长或进行长期监测。
- 10.2.2 各类工程的监测项目，宜根据工程特征、岩溶地质结构类型、施工工艺和周边环境等确定。岩溶场地的工程监测宜包括以下内容：
 - a) 岩溶场地及周边影响范围内的地表沉降、地表裂缝、地表及基坑坑底隆起监测，工程需要时可进行地下土体变形监测。地基处理工程宜重点监测处理区段的地面隆起（沉降、裂缝）变形、地面冒浆（水、气）等；
 - b) 支护结构变形、建设工程结构变形、基础沉降变形监测；
 - c) 周边建（构）筑物、交通设施及地下管线变形监测；
 - d) 通过岩溶区段的隧道工程，当采用盾构法施工时，宜重点监测盾构机掘进姿态变化情况；
 - e) 桩基础、勘探施工时，宜详细观察记录钻孔内塌孔、附近地表沉降变形等；

- f) 岩溶场地及周边影响范围内的地下水位变化、孔隙水压力监测，宜重点监测岩溶地下水位；岩溶地基处理可能造成地下水污染时尚需对地下水水质等进行监测；
- g) 其他监测项目按相应的国家与行业规范执行。

10.2.3 工程监测宜根据工程类型、岩土条件及周边环境采用现场观察、试验、仪器量测等方法，必要时可采用自动化监测。

10.2.4 岩溶场地的工程监测周期、频率及报警值，应根据施工方法、施工进度、监测对象、监测内容、周边环境、自然条件及地质条件等，并结合本地工程经验综合确定。当遇监测数据异常、工程险情、邻近工程施工等周边环境条件改变较大时应提高监测频率。监测报警值应满足工程设计、施工以及周边环境中被保护对象的控制要求。

10.2.5 岩溶场地工程监测的范围、监测方法和精度等要求，尚应符合 GB 50026、JGJ 8、GB 50497、GB 50911、JGJ 79 等有关规定。

10.3 检验

10.3.1 基槽、基坑开挖后及隧道开挖过程中，应检验地基、围岩的地质条件与勘察报告和设计文件的符合性，遇到异常情况时，应提出处理措施和修改设计的建议。当与勘察报告有较大差异时，宜根据现场实际选用钎探、静力触探、钻探、物探等手段进行施工补充探测。

10.3.2 岩溶场地地基基础的检测与检验应符合下列规定：

- a) 对于以可溶岩为持力层的嵌岩桩，采用钻芯法检测桩身混凝土强度、桩身完整性、桩底沉渣厚度和持力层状况时，钻芯孔进入桩端以下完整岩石的深度不应小于3m。钻芯孔结束后需采用微膨胀水泥等材料进行封孔；
- b) 采用低应变法进行桩身完整性检测时，以可溶岩为持力层的嵌岩桩基础，应全数进行低应变检测；
- c) 对应进行声波透射法检测的桩基础，宜增加预埋声测管数量及检测桩数；
- d) 其他要求应符合DB42/ 242规定。

10.3.3 岩溶场地的地基处理工程检测与检验应符合下列规定：

- a) 岩溶地基处理的试验、施工及竣工验收阶段，均应进行地基处理检测。为设计提供依据的试验阶段的检测应在设计前进行。检测内容包括地基承载力、变形参数、加固体强度、渗透性、均匀性等方面的施工质量评价。检测方法可选择平板载荷试验、钻芯法、静力触探试验、动力触探试验、标准贯入试验、压（注）水试验、物探等；
- b) 检测数量应根据相关标准的规定确定。对复杂场地或重要建筑地基应增加检测点数，检测深度不应小于设计有效深度；
- c) 采用注浆法对岩溶地基进行处理时，宜对注浆加固范围、深度、强度、渗透性和均匀性等内容进行检验；
- d) 注浆效果的检测孔布设应根据工程实际所划分的注浆区段进行，每个区段均应设置钻芯孔，压（注）水试验孔和物探线根据工程实际需要确定。每个注浆区段的钻芯孔检测数量不应少于注浆孔数的5%，且不少于2孔。钻芯和压（注）水试验检测应在注浆结束28天后进行；
- e) 注浆加固范围、深度应达到设计要求。注浆加固地层有强度要求时，加固地层的平均无侧限抗压强度不应低于设计强度。对于有渗透性要求的注浆处理工程，加固范围内的平均渗透系数不应大于设计值，或测得的单位吸水量平均值不大于设计要求。检测效果应根据注浆前后的试验数据的比较，并结合变形观测结果综合确定；
- f) 钻芯孔、压（注）水试验孔在各项检测项目结束后，应及时注水泥浆予以封闭；

- g) 当岩溶场地采用复合地基、夯实地基、高压旋喷桩或其他地基处理方法时，其检测检验的项目、方法、数量尚应符合JGJ 79的有关规定执行。

10.3.4 岩溶场地的基坑工程检测与检验应符合下列规定：

- a) 基坑工程的排桩应采用低应变动测法检测桩身完整性，检测桩数不少于总桩数的30%，且不少于10根。立柱桩应全数采用低应变动测法进行桩身完整性检测；
- b) 地下连续墙应采用声波透射法检查墙身混凝土结构内在质量，检验槽段数量不应少于同条件下总槽段数的20%，且不少于3幅墙段。两墙合一且墙底位于可溶岩的地下连续墙，应采用钻芯法进行验证，钻芯孔进入墙底以下完整岩石的深度不应小于2 m；
- c) 其他要求尚应符合DB42/T 159的相关规定。

10.3.5 当检验发现单桩承载力、桩身或地下连续墙质量、地基处理效果等不满足设计要求时，应结合工程场地地质条件和施工情况综合分析，必要时应扩大检验数量，提出处理意见。

附录 A
(资料性附录)
武汉都市发展区碳酸盐岩分布图 (2020 年版)

图A. 1给出了武汉都市发展区碳酸盐岩分布图示。

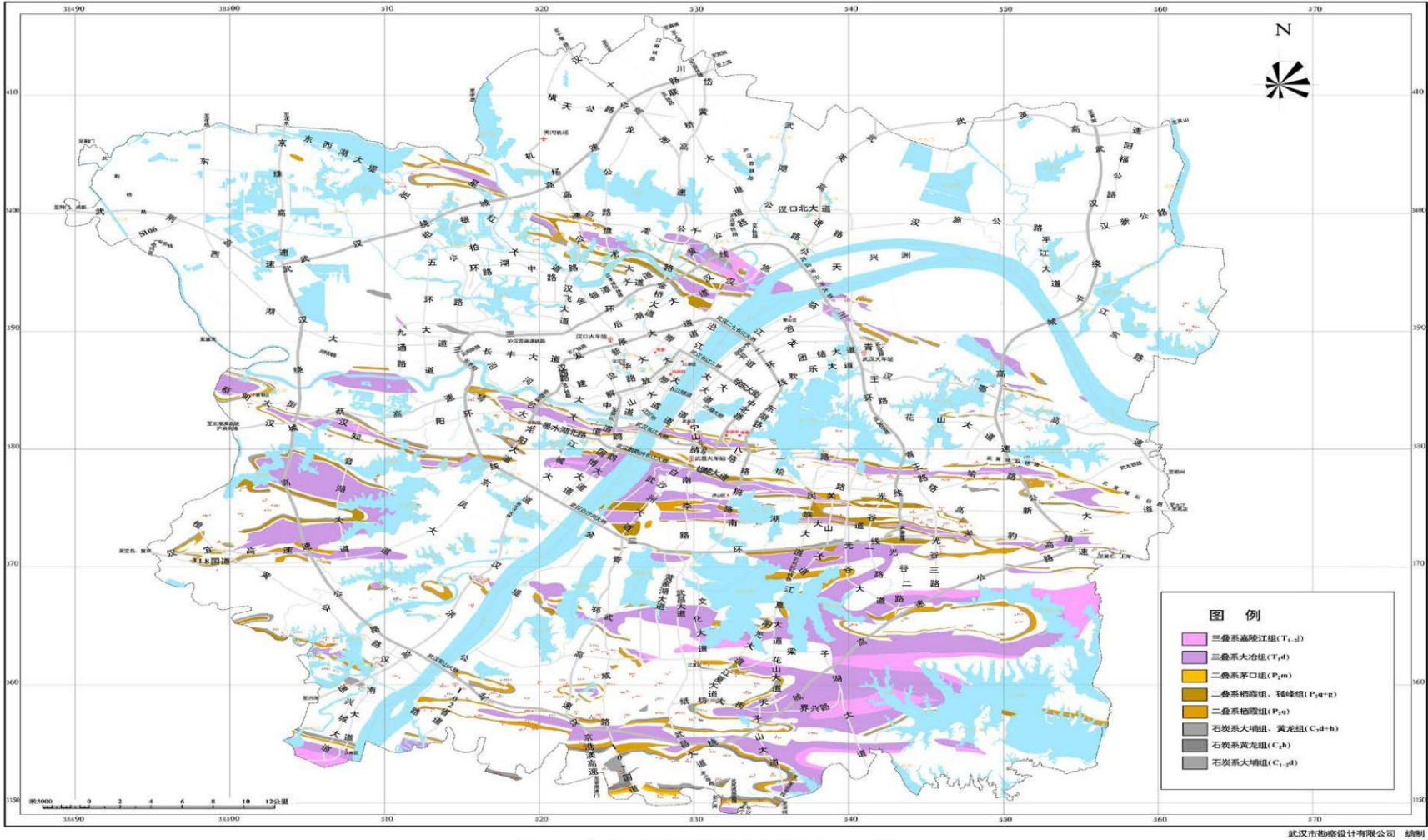


图 A.1 武汉都市发展区碳酸盐岩分布图 (2020 年版)

附 录 B
(规范性附录)
武汉地区典型岩溶地质结构类型划分表

表B. 1给出了武汉地区典型岩溶地质结构类型划分表内容。

表 B. 1 武汉地区典型岩溶地质结构类型划分表

岩溶地质结构类型		岩溶类型	工程地质与水文地质特征	岩溶发育程度、与可溶岩接触关系等	主要分布范围
I	I ₁	覆盖型	覆盖层为第四系全新统地层，具典型二元结构，上部为一般黏性土，中部为厚层状砂性土及卵砾石，下伏可溶岩。孔隙承压水赋存于砂性土及卵砾石层中，岩溶裂隙水赋存于可溶岩中；岩溶中等及中等以上发育时，孔隙承压水与岩溶裂隙水有直接水力联系，可溶岩上覆砂土及卵砾石可直接通过可溶性岩中的溶隙、孔洞流失。	1. 岩溶中等及中等以上发育； 2. 可溶岩上覆砂性土及卵砾石。	河流冲积一级阶地
	I ₂			1. 岩溶微发育； 2. 可溶岩上覆砂性土及卵砾石。	
II	II ₁	覆盖型	覆盖层主要为第四系更新统地层，上部一般为老黏性土，中部为黏质砂土或黏性土，下伏可溶岩；孔隙承压水赋存于黏质砂土中，岩溶裂隙水赋存于可溶岩中；孔隙承压水与岩溶裂隙水有直接水力联系，岩溶中等及中等以上发育时，在外因作用下黏质砂土可直接通过可溶岩中溶隙、孔洞流失。	1. 岩溶中等及中等以上发育； 2. 可溶岩上覆黏性土厚度小于或等于 2.0 m，或厚层状黏质砂土中黏粒含量小于 10%。	河流冲积二级阶地、古河道
	II ₂			II 类中除满足 II ₁ 类所列条件之外的类型。	
III	III ₁	覆盖型	覆盖层为第四系更新统地层，上部主要为老黏性土或黏土夹碎石，中部为红黏土或红黏土夹碎石，下伏碳酸盐岩。岩溶裂隙水赋存于碳酸盐岩中，上部老黏性土或黏土夹碎石为隔水层。岩溶中等及中等以上发育时，在外因作用下流塑~软塑状红黏土或红黏土夹碎石可通过碳酸盐岩中的溶隙、孔洞漏失。	1. 岩溶中等及中等以上发育； 2. 碳酸盐岩顶板标高变化大或存在深、大溶沟、溶槽且软塑~流塑状红黏土与基岩直接接触。	剥蚀堆积垄岗
	III ₂			III 类中除满足 III ₁ 类所列条件之外的类型。	
IV	IV ₁	埋藏型	覆盖层主要为第四系全新统地层，上部为一般黏性土，中部为砂性土及砾卵石，下伏可溶岩。孔隙承压水赋存于砂性土及卵砾石层中，岩溶裂隙水赋存于碳酸盐岩中，碎屑岩中赋存少量基岩裂隙水。碎屑岩风化程度高、节理裂隙发育，在外因作用下砂性土、砾卵石、碎屑岩碎块可通过碳酸盐岩中的溶隙、孔洞流失。	1. 岩溶中等及中等以上发育； 2. 可溶岩上覆碎屑岩厚度小于或等于 2.0 m； 3. 碎屑岩风化程度高、节理裂隙发育。	河流冲积一、二级阶地
	IV ₂			IV 类中除满足 IV ₁ 类所列条件之外的类型。	
注1：分类时岩溶发育程度、与可溶岩接触关系栏序号所列条件须全部满足。					
注2：其他岩溶地质结构类型划分可参照本表执行。					

附 录 C
(资料性附录)
隧道岩溶治理范围参考表

表C. 1给出了隧道岩溶治理范围参考表内容；图C. 1给出了I类岩溶地质结构类型区岩溶地面塌陷影响范围示意图。

表 C. 1 隧道岩溶治理范围参考表

岩溶地质结构类型		岩溶治理范围
I		隧道中心两侧 B 范围内溶洞，具体处理措施需专项研究。
II	II ₁	隧道轮廓两侧 5 m、竖向 6 m 范围内的溶洞。
	II ₂	隧道轮廓两侧 3 m、竖向 6 m 范围内的溶洞。
III	III ₁	隧道轮廓两侧 3 m、竖向 6 m 范围内的溶洞；对流塑~软塑红黏土进行特殊处理。
	III ₂	隧道轮廓两侧 3 m、竖向 6 m 范围内的溶洞。
IV	IV ₁	隧道中心两侧 B 范围内溶洞，具体处理措施需专项研究。
	IV ₂	隧道轮廓两侧 3 m、竖向 6 m 范围内的溶洞。

注1：塌陷角建议根据上覆砂层内摩擦角选取。

注2：当隧道中心两侧 B 范围内溶洞治理因地面建构筑物、管线、交通疏解等问题无法实施时，可采取上部土层隔离措施缩小 B 的范围。

注3：隧道位于半土半岩地层时，应对隧道轮廓两侧 3 m、竖向 3 m 范围内的溶洞进行处理。

注4：越江隧道穿越岩溶区时，应做专项研究。

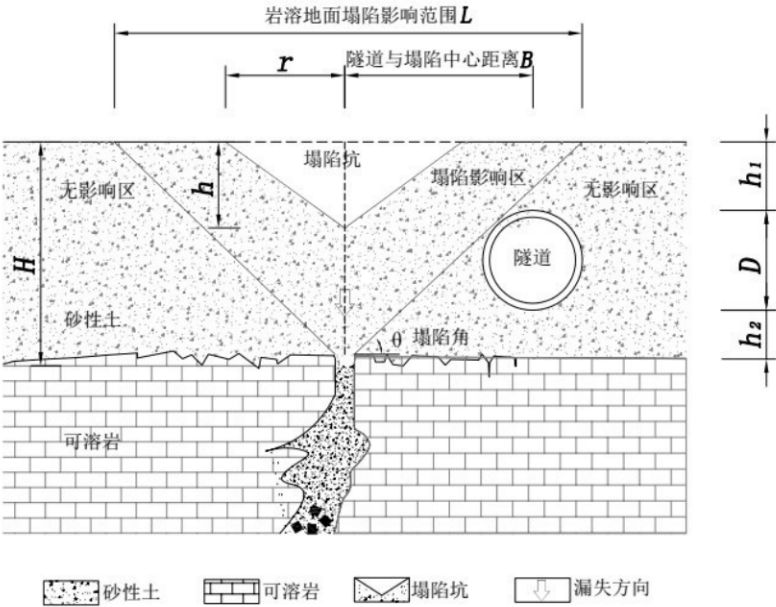


图 C. 1 I 类岩溶地质结构类型区岩溶地面塌陷影响范围示意图